福島県霊山の寺子屋教室で学ぶ

メタン発酵の原理と応用

簡易型メタン発酵施設の建設・維持管理にむけて

監修/野池達也・東北大学名誉教授
/佐藤茂夫・日本工業大学名誉教授（REPA代表理事）

発行　NPO法人再生可能エネルギー推進協会
寺子屋教本編集委員会

寺子屋教本の構成

■はじめに■..... 3
東日本大震災とメタン発酵への期待/霊山プロジェクト・寺子屋教室
■メタン発酵の基礎知識..... 5
メタン発酵ってなに？/メタン発酵の酸生成とメタン生成/バイオマス資源の特徴/メタン発酵施設の仕組み/前処理設備/写真で見るメタン発酵のフロー図/バイオガスプラントとは？/メタン発酵プロセスの方式/バイオガスプラントの特徴/ 下水処理場におけるバイオガスプラント/簡易型メタン発酵プラント（霜里農場）
■メタン発酵施設の維持管理.....17
メタン発酵プロセスの立ち上げ/日常の維持管理の留意点/運転管理指標（参考）/霊山プロジェクト　日常の計測管理項目
■メタン発酵による有効利用..... 23
各種有機物の１トン当たりのバイオガス生成量/くずの栄養成分分析結果と野菜類の比較/生ごみの発酵実験結果（霊山）/下水処理場から発生するバイオガスの利用（神戸市・東灘処理場）/混合発酵によるバイオガス・消化液の利用（福岡県大木町）/混合メタン発酵を行うメリット/消化液の利用（福岡県大木町）
■メタン発酵の最近の動向..... 31
メタン発酵を中心とする循環型社会/瀬波バイオマスエネルギープラント/バイオマス産業都市のイメージ
■霊山プロジェクト..... 35
経過/再生可能エネルギーによる研究開発イメージ/霊山町下小国地区でのREPAの復興支援活動/研究開発及び実証の手順/期待される効果/想定される課題
■霊山プロジェクトの参加..... 42
霊山プロジェクトの担い手
■バイオガス製造実証実験..... 46
メタン発酵により放射性物質を濃縮する意味は？/発酵槽内汚泥の放射能測定/河川敷および道路際雑草類のメタン発酵処理とその減容効果/各種雑草類のメタン発酵処理後の残渣発生率
■ホームセンター部品調達型メタン発酵施設..... 52
/バイオガス製造実証装置の基本構成/大沼氏が作成したメタン発酵の仕組み説明図/手作りメタン発酵装置製造費用/手作りメタン発酵装置の構造と部材/手作りメタン発酵装置（１）メタン発酵装置/発酵槽の様子/手作りメタン発酵装置（２）バイオガス貯留槽/ガス貯留槽と発電装置/維持管理に欠かせない脇役たち/バイオガス製造装置の手作り製作の様子/ホームセンター部品調達型バイオガス製造装置
■地域再生・復興に向けて..... 64
小水力発電の可能性/霜里農場視察/下小国区民会との復興に向けた対話会
■REPAについて■..... 68
■編集後記■..... 70

東日本大震災とメタン発酵への期待

東日本大震災の発生後、早くも２年余が経過いたしました。廃墟と化した被災地に立ちまして、あまりの悲惨さにただ涙以外の何ものもありませんでした。

この大地震・津波によりまして、原子力発電所が破壊され、放射性物質が環境に放出する深刻な事態が生じ、地元の皆様のお苦しみは測り知ることはできません。

被災地域の復興、原発事故による電力不足、低炭素社会の形成、やがて到来する化石資源エネルギーの枯渇に対して、今こそ、これまで焼却処分されてきた生ごみ・下水汚泥および直接堆肥化されてきた家畜排せつ物、さらに放射性物質に汚染された農作物等すべてのバイオマスに対してメタン発酵を行い、バイオガスエネルギーを生産し、地産地消のエネルギー拠点とするべき時に至っております。

さらに、地球温暖化の防止は、21世紀における世界各国共通の使命であり、私達は世界の民として、可能な限りの手段を通じて、低炭素社会の実現に向けて対処する務めに立たされています。

メタン発酵の普及のためには、施設建設費が安価で、市町村民の方々自身にも操作可能な、地域分散型の小規模簡易型のメタン発酵システムの普及を進めることが重要であると考えられます。

今後、メタン発酵施設が被災地をはじめ全国に普及することによって、その地域にエネルギーを供給するとともに、循環型社会並びに低炭素社会を確実に進展させていかなければなりません。寺子屋教室がそうした一助になればと願っております。

（野池達也・東北大学名誉教授の挨拶より抜粋）

霊山プロジェクト・寺子屋教室

「メタン発酵」：野池達也・東北大学名誉教授

「稲わら・刈草バイオガス化」：姫野修司・長岡技術科学大学准教授

「小水力発電」：池田敏彦・信州大学名誉教授・特任教授（研究）

寺子屋教室が行われた山下公民館前には測定日時と空間線量率の結果が掲示されていました。

メタン発酵の基礎知識

糸状性
Methanosaeta

連球状
Methanosarcina

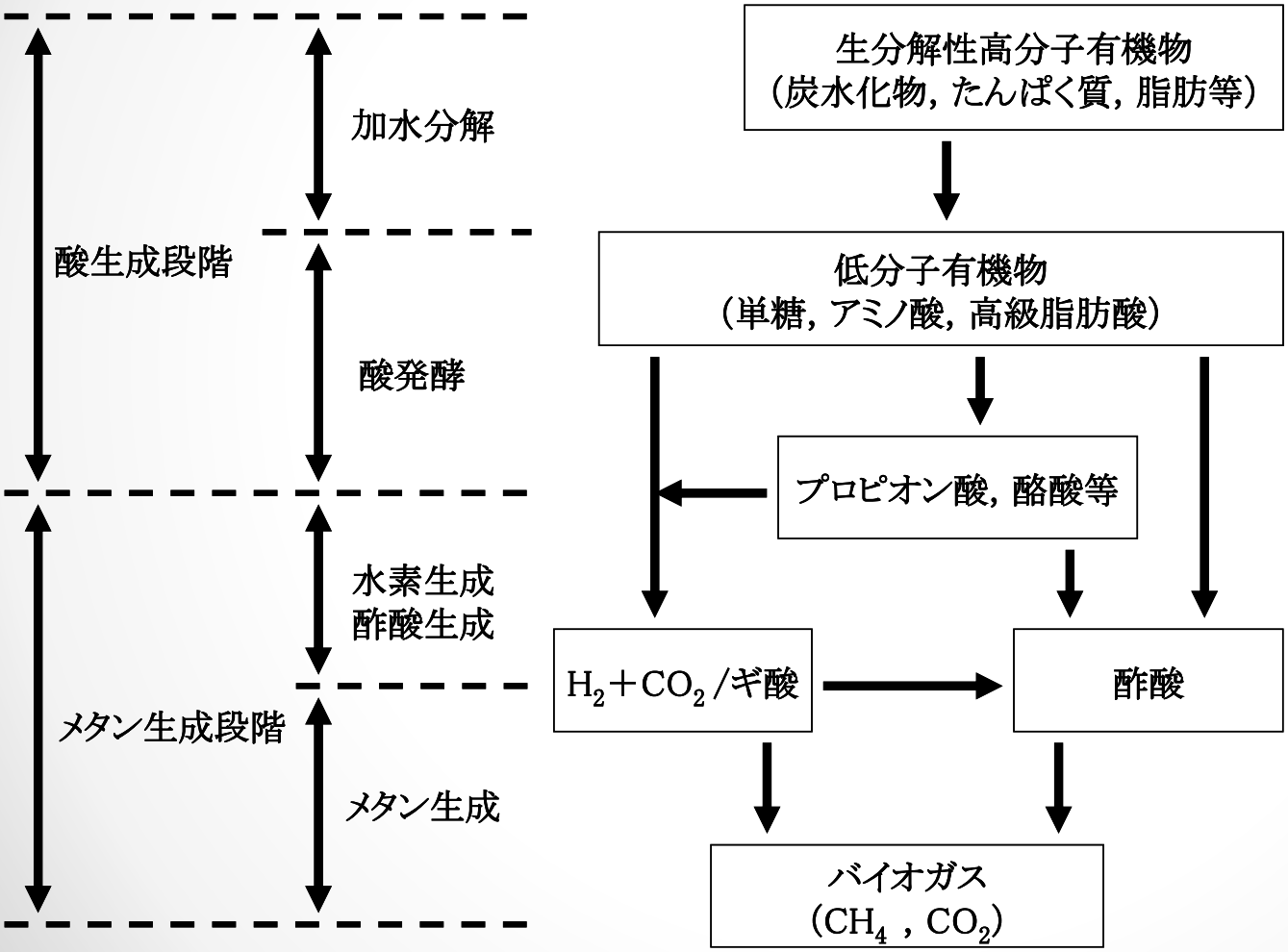
メタン発酵ってなに？

　嫌気性細菌であるメタン生成細菌は、地上に出現して以来、35億年もの歴史を有し、古細菌とも呼ばれています。人類はじめ好気性生物に必要な酸素を消費することがない古細菌は、嫌気的な環境の中で生命活動を営んでいます。この縁の下の力ともいえる古細菌の働きを借りて、私たちの生活の営みの中で排出される廃棄物中の有機物を分解し、地球環境を汚染から守るだけでなく、エネルギーや資源を生み出したりする方法のことをメタン発酵法と呼んでいます。

　少し専門的な言い方をしますと、メタン発酵法とは、酸素の存在しない嫌気性条件下で働く嫌気性細菌により、下水汚泥や有機性廃棄物中の有機物を分解し、メタンおよびCO_2に変化させ、安定化・減容化する方法のことをいいます。嫌気性消化法ともいわれています。

メタン発酵の酸生成とメタン生成の段階

メタン発酵は、次ページに示したバイオマス資源が酸生成とメタン生成の２つの段階を経て、バイオガスと消化液を生み出します（下図参照）。



【酸生成段階】

加水分解は、細菌の細胞外に分泌される細胞外酵素によって、多糖類、たんぱく質、脂質といった高分子有機物が、単糖類やアミノ酸、脂肪酸、アルコールといった低分子有機物に分解します。

酸発酵は、低分子有機物質を低級アルコール、低級揮発性脂肪酸(VFA)、水素、二酸化炭素に分解します。

【メタン生成段階】

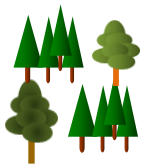
酸生成で生じた低級揮発性脂肪酸をさらに分解し、酢酸、ギ酸、H_2/CO_2を生成し、それぞれからメタンを生成します。

バイオマス資源の特性

バイオマスは、大気中のCO_2を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性により、地球温暖化対策に有効です。また、地域のバイオマス資源を活用することにより、循環型社会の形成、地域の活性化、及びエネルギー供給源の多様化にも貢献できます。

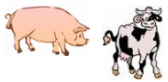
バイオマス資源

木質系



資源作物

家畜排せつ物



下水汚泥

食品廃棄物

変換

製品

○肥飼料
○化成品原料（アミノ酸、有用化学物質等）
○素材（プラスチック、樹脂等）
○燃料（エタノール、ディーゼル、木質ペレット等）

利用

利用形態

○再生
○製品
○発電
○熱
○輸送燃料

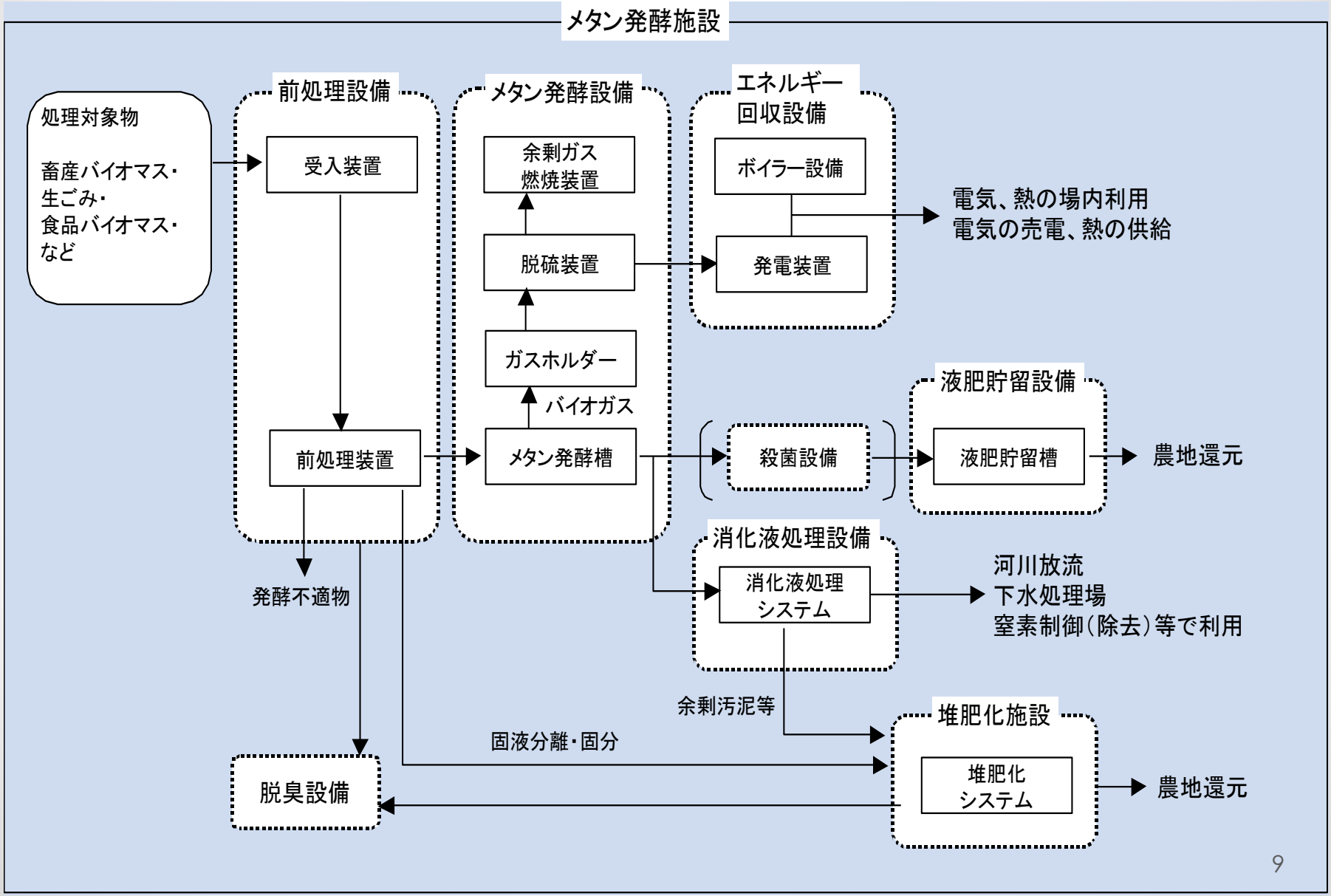
メリット

○カーボンニュートラル
　⇒ 地球温暖化対策に有効
○地域の未利用資源の有効活用
　⇒ 循環型社会の形成、地域活性化
○太陽光や風力に比べ安定的な出力
　⇒ エネルギー源の多様化
○発電・熱利用のほか、液体燃料、化成品原料、素材など多様な用途

課　題

○資源が薄く広く存在するため収集運搬コストが高い
　⇒ 大規模化によるスケールメリットが得られにくい
○食料供給や既存用途との競合の可能性
　⇒ 稲わら、木質等のセルロース系や廃棄物系原料の有効活用

メタン発酵施設の仕組み



前処理設備

①受入装置

受入槽（生ごみ（左）と家畜糞尿用）

②前処理装置

メタン発酵を円滑に行うには、発酵を阻害する薬品等や、発酵不適物（土砂、金属塊）、生物分解しないプラスチック等、それに環境の保全に不適な物（電池等）を事前に除去しておくことが大切です。このために設置される設備を前処理設備といい、次のようなものがあります。

湿式粉砕選別設備

破砕機

発酵不適物の事例

写真で見るメタン発酵のフロー図

メタン発酵槽

液肥貯留設備

消化液処理設備

河川放流
下水道放流

農地還元

二重膜式ガスホルダー

ガスホルダー一体型
メタン発酵槽

余剰ガス燃焼装置

微生物脱硫装置

エネルギー回収設備
メタン発酵の過程で発生するバイオガスを燃料として使用する発電機には次の３種類が実用化されています。

デュアルフュエルエンジン発電機（バイオガスと灯油・重油等と混合）

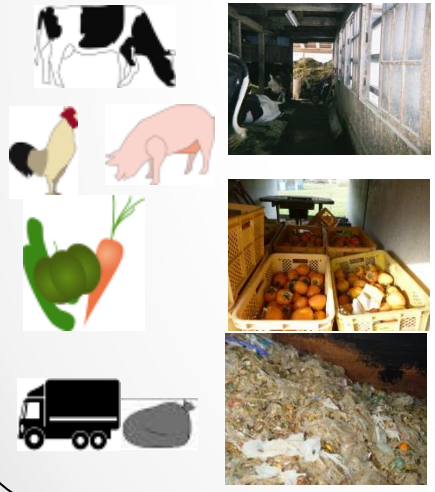
ガスエンジン発電機（メタン濃度60～65％で使用）

マイクロガスタービン発電機（メタン濃度35％で使用）

バイオガスプラントとは

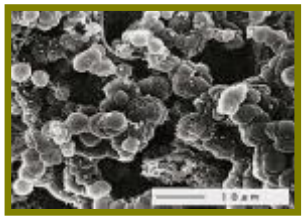
嫌気性微生物の代謝機能を利用してメタンガスを得ることを強調するプラントの場合、「バイオガスプラント」という言い方が用いられます。下水汚泥、生ごみ、野菜くず、家畜ふん尿などのバイオマス資源（動植物から生まれた再生可能な有機性資源）をメタン発酵させ、発生したバイオガスをエネルギーとして利用する施設を指します。

バイオマス資源



メタン発酵

嫌気状態（無酸素の状態）で原料となるバイオマスを温めると、微生物が有機物を分解し、メタン生成細菌によりバイオガス（CH_4 60%、CO_2 40%）が発生します。



エネルギー化

発生したバイオガスは、ガス発電機やボイラーなどの燃料として利用され電気や温水を作り出します。廃棄物からエネルギーを取り出すことができるのです。

メタン発酵プロセスの方式

（1）湿式メタン発酵

下水汚泥、し尿、家畜排せつ物、生ごみ等を処理対象とする従来のメタン発酵は、槽内の固形物濃度は撹拌の可能な濃度に保持します。消化液は液肥として農業利用されるか、脱水して残渣をコンポスト化し、脱水ろ液は水処理して放流するか、下水道に排出されます。

（2）乾式メタン発酵システム

近年、ヨーロッパにおいて、20-40％の高濃度の有機固形物に対して、消化液の水処理を必要最小限とする超高濃度メタン発酵法が開発され、DRANCO 、KOMPOGAS およびBIOFERM プロセスが、わが国に技術導入されています。

一般的な都市域からの生ごみ、紙ごみ、剪定枝を収集し、バイオガスを回収後、発酵残渣は、後工程で堆肥として農業利用、または炭化物として燃料に有効利用することができます。槽内の固形物濃度は15～40％と高濃度で運転するため、槽内で固液分離を起こしません。そのため発酵槽内に撹拌装置を必要としないほか、湿式メタン発酵におけるような水処理施設は不要とされています。

ソウル　東大門環境資源民間投資事業

韓国ソウル市役所前の公園地下の東大門環境資源センターでは、 住宅からの生ごみ98t/日の分解・処理に、DRANCOプロセスの乾式メタン発酵システムを稼働させています。

バイオガスプラントの特徴

■完全に密閉された無酸素状態（嫌気発酵）によりバイオマス資源を分解しますので、発酵の途中で臭いがもれることはありません。

■バイオマス資源を分解する過程で発生するメタンガスを回収し、それをエネルギーとしてプラントの運転にも活用できますので、施設のランニングコストを低減することができます。

■バイオマス資源を分解に伴って発生する消化液を液肥として活用することで、以下のメリットが期待できます。

- 消化液を河川放流したり下水放流するには水処理をしなければなりませんが、液肥として利用すれば、水処理設備を整備する必要がありませんし、水処理施設の運転管理に係る費用を削減できます。
- 液肥を有機性肥料（資源）として農地還元することにより、化学肥料の使用量を大幅に削減できます。また、安全かつ、高品質の作物を生産できます。

下水処理場におけるバイオガスプラント

メタン発酵施設は日本全国で約600施設が運転されていますが、下水処理場でのバイオガスプラントが最も多く、約半数を占めています。

山形市の公共下水処理場の消化タンク

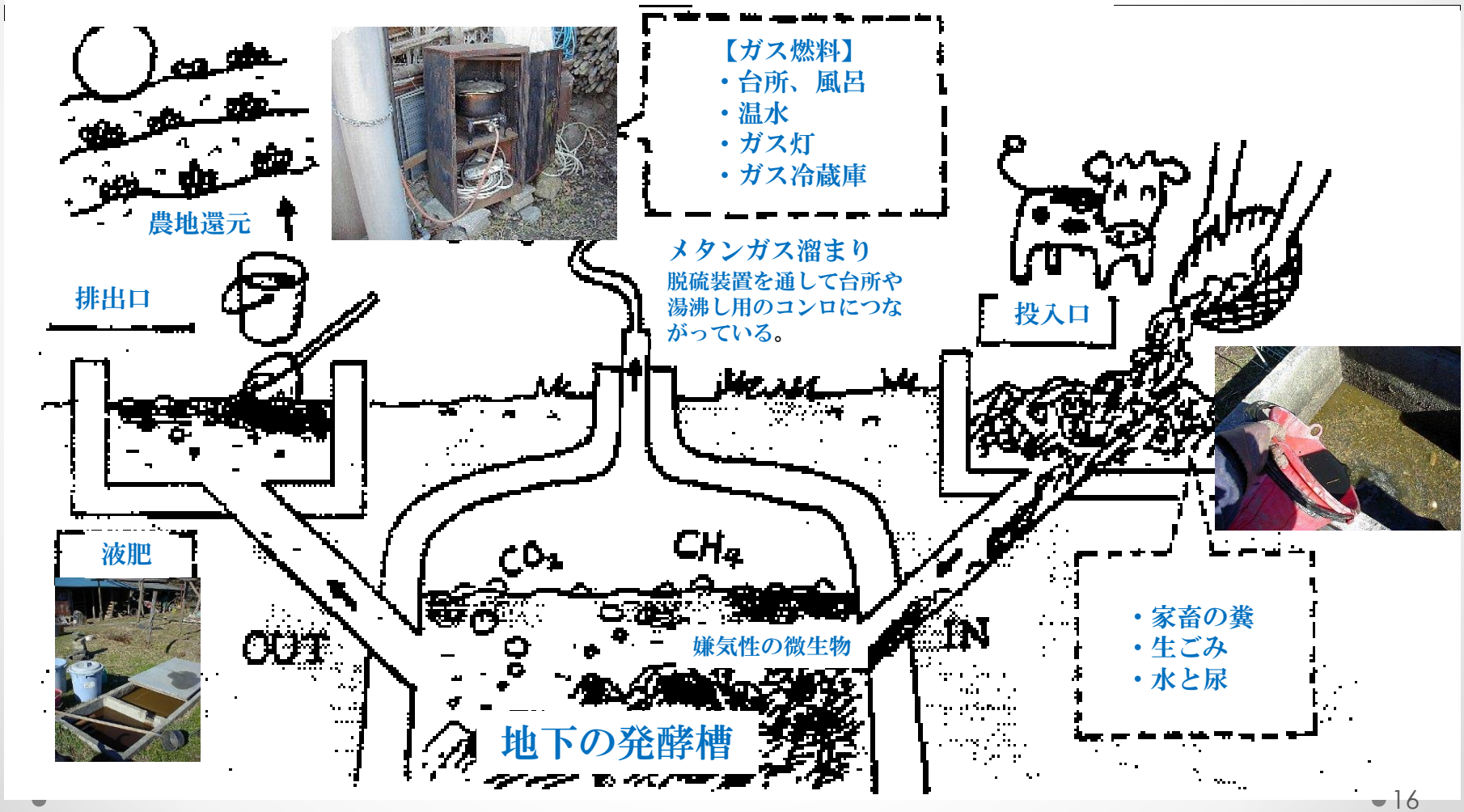
神戸市の東灘下水処理場の全景

北海道・稚内市のバイオガス施設

■処理対象物：
・生ごみ（市内の全量）
・下水汚泥・水産廃棄物
・年間処理量：約7,300t
■バイオガスの用途：
・発電（1,230MWh/年）
・ごみ収集車の燃料
・ボイラー燃料
■竣工：2012年３月

簡易型メタン発酵プラント
霜里農場（埼玉県小川町）

地下の発酵槽に、家畜の糞や生ごみと、それと等量の水と尿を投入するだけでメタンガスが発生し、投入した量とほぼ等量の、可溶性窒素やリンなどの栄養分が豊富に含まれる液肥が蓄積します。メタンガスは、ガスストーブ、温水器などに使っておられますが、料理用のガスはほぼ自給しているとのこと。液肥は有機性肥料として農地に還元されています。



メタン発酵施設の維持管理

(1)　メタン発酵プロセスの立ち上げ

メタン発酵の効率的な立ち上げには、以下の５項目に留意することが必要です。

- 種汚泥の量および質
- 処理対象物の組成
- 種汚泥ならびに処理対象物中の栄養塩濃度とpH緩衝能
- 初期HRT（水理学的滞留時間）
- 容積負荷上昇率

種汚泥は、立ち上げようとしているメタン発酵プロセスと、できるだけ同じ条件で運転しているメタン発酵施設から採取することが望ましいとされています。家畜糞尿、生ごみ、食品廃棄物、下水汚泥や高濃度食品排水等を処理対象とする場合は、種汚泥として、これらと類似している物質を処理しているメタン発酵施設の発酵液（消化液）や消化汚泥のほか、し尿処理場や下水処理場の嫌気性消化槽の消化液あるいは脱水汚泥等を用いることが有効です。

【種汚泥の導入】

最初に、これらの種汚泥をメタン発酵槽にできるだけ多く導入し、発酵槽内での固形物濃度を適度に調整します。他のメタン発酵槽から搬入された消化汚泥（種汚泥）には、有機物が残留しており、かなりのバイオガスが発生し、種汚泥として機能しています。このため、処理対象物を投入せず、種汚泥だけによるガス発生状況を見ることが大切です。

種汚泥からのバイオガス発生が少量になるまで低下した後、メタン発酵槽の気密と温度を適切に維持し、設計量の１/４～１/３から徐々に投入量を増やしていくことが一般的です。

（2）日常の維持管理の留意点

１）立ち上げにおいては、pHの値※2とバイオガス発生量※3に特に注意を払いながら投入量を増やしていきます。メタン生成が充分に進まない内に投入量を増やすと、揮発性脂肪酸の蓄積に伴うpHの低下によって酸敗が起きることがあります。

２）槽内のpHが大きく下がる前に揮発性脂肪酸※4の濃度が明らかに上昇しますので、揮発性脂肪酸濃度を測定しておくことは、立ち上げの失敗を防ぐために極めて大切です。

３）ガス組成を分析することは、さらに望ましいとされています。一般的にメタン濃度は約60％、二酸化炭素濃度は約40％です。pHが低下した時や、逆に高すぎる場合は、メタン濃度が約40％、二酸化炭素濃度が約60％となることがあります。

４）メタン発酵に適する処理対象物を収集し、基本的なバイオマスを長期にわたって安定的に投入します。短時日での投入内容の急激な変化を避けることがポイントです。

５）適正な有機物負荷量および滞留時間※5を把握して、１日当たりのバイオマスを投入することが望ましい。しかし、実装置では把握が困難なので、投入物や投入量に対するバイオガス発生状況をよく観察しつつ記録し、徐々に発生量が定常状態に達して行く過程を明確にし、適正な1日当たりのバイオマス投入量を確立すること。このためには、長期間の試行錯誤が不可欠です。

６）運転管理指標となるメタン発酵槽温度※1、バイオマス投入量、バイオガス生成量、バイオガス中のメタン濃度（簡易な測定器により長い間隔で）および発酵消化液のpHを測定すること。バイオマスを過剰に投入すると、酸発酵が先行して揮発性有機酸が蓄積し、酸敗現象を生じます。これにより、pHが酸性側に低下し、メタン発酵が阻害されます。

７）嫌気性細菌による有機物は、すべて酵素によって分解されます。したがって、農業廃棄物、果物、生ごみ等は、なるべく細断して投入してください。メタン生成細菌は、廃棄物系バイオマスから燃料として有用なバイオガスを生産する担い手ですから、メタン生成細菌に対する温かい思いやりをもって維持管理していただくことが大切です。

運転管理指標（参考）

※１　発酵液の温度

高温発酵（55℃前後）と中温発酵（35℃前後）があります。高温発酵は、分解速度、ガス発生速度が速いため、発酵期間は10～20日程度と短い。しかし加温に要するエネルギーは多い。中温発酵は、発酵期間が20日～30日と長く、発酵槽容積も必要。常温で固体の動物性脂肪には、注意が必要。

※２　pH

メタン発酵における最適pHは6.8～7.4とされています。メタン発酵槽内には酸成分としてVFA、アルカリ成分としてアンモニアが存在します。それぞれメタン発酵のプロセス中に発生しますが、過剰に生成されると消化槽内のpHが細菌の活動できる範囲を超えてメタン発酵を阻害し、場合によってはメタン発酵そのものが停止してしまいます。特にメタン生成細菌はpHに対して敏感で、pHが酸性側もしくはアルカリ側に推移すると、メタン生成細菌の増殖速度が急減します。また、基質の分解に用いられる細胞内および細胞外の酵素も、pHの変動によって変性を起こしてしまいます。

※３　ガス発生量

ガス生成量（菌体増殖を無視）は、食品生ごみ57.8％、都市ごみ53.3％、混合汚泥69.4％、余剰汚泥62.5％（李玉友・東北大学教授による）。

※４　揮発性有機酸(volatile fatty acid、VFA)濃度

メタン発酵の中間生成物として酢酸、プロピオン酸、酪酸などの有機酸が生成しますが、メタン発酵が順調に進んでいる場合、生成した有機酸は速やかにメタン生成細菌に利用されるので、有機酸の濃度が低く、しかも検出されるものはほとんど酢酸、プロピオン酸、酪酸になります。従って、これら３種類の揮発性脂肪酸の挙動（濃度と構成）を把握すれば、メタン発酵槽の運転状況を知ることができます。また、有機酸の蓄積はアルカリ度やpHと連動しているので、pHとアルカリ度の推移により、その動向を容易に把握できます。

※５　滞留時間

メタン発酵槽内での滞留時間は、有機物の分解率と運転の安定度に影響を及ぼすだけでなく、投入負荷とも関連する重要な指標です。

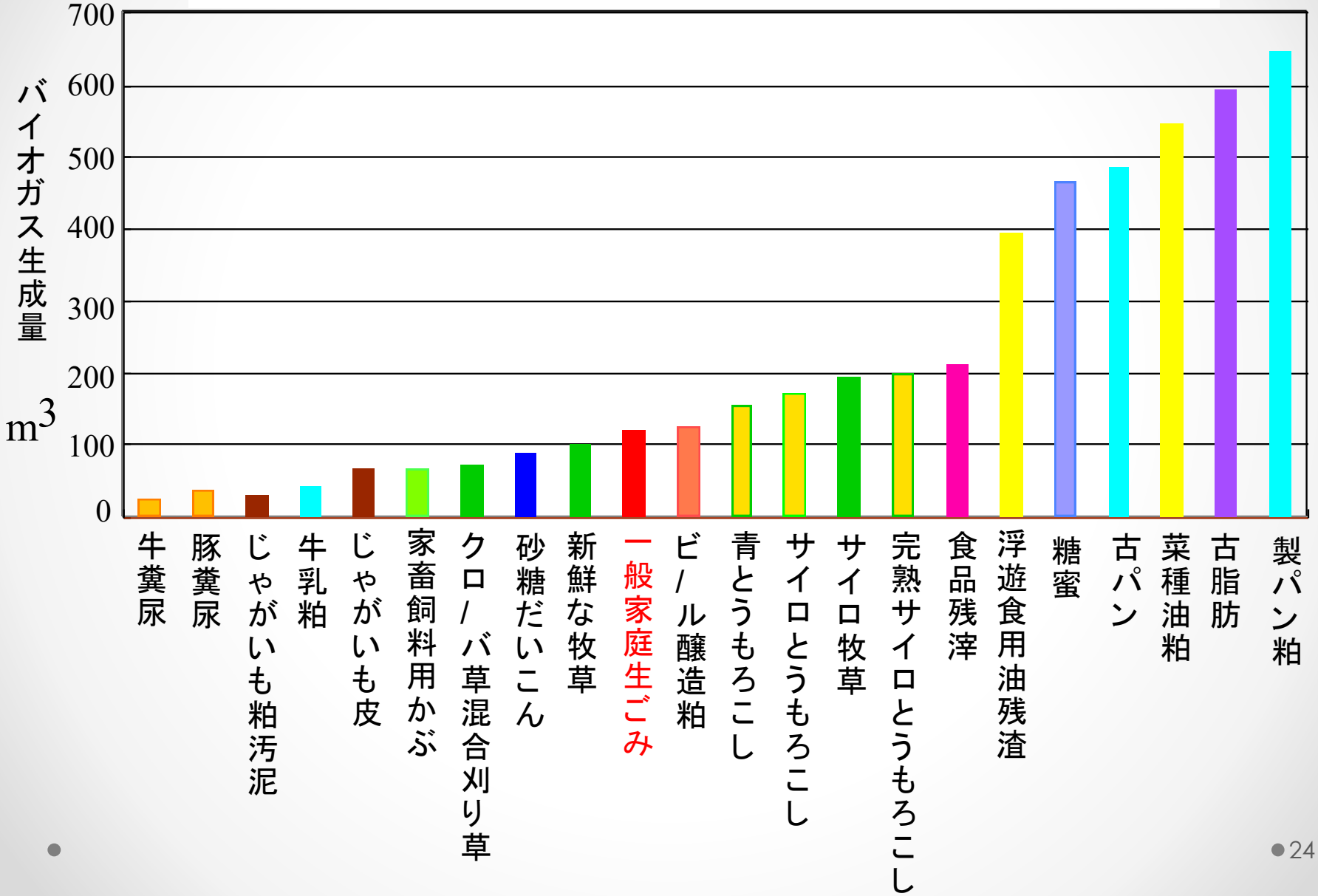
嫌気性反応槽の安定運転を維持するために、メタン生成細菌の保持と過負荷の防止が重要です。単純に菌体維持の観点から考えると、メタン生成細菌世代時間の３倍以上の滞留時間（安全係数３）を確保しようとすると、中温では６日（世代時間２日×３倍）以上、高温では４日（世代時間1.3日×３倍）以上が必要です。また下水汚泥・生ごみの分解には固形物の加水分解に時間がかかるため、高い分解率を得るには、固形物滞留時間（SRT）をある程度長くする必要があります。実用技術として滞留時間を15日程度以上とすることが一般的。メタン発酵プロセスにおいて、脱水性、容量調整などの機能も重視されているので、メタン発酵反応槽は、20～30日の滞留時間で運転されているケースが多いのです。

霊山プロジェクト　日常の計測管理項目

	計測管理項目	単位	測定/記録頻度	平成24年10月29日	平成24年10月30日	平成24年10月31日
バイオマス 投入部	種類（野菜、生ごみ、家畜糞尿、稲藁等）		投入時	生ごみ	生ごみ	生ごみ
	重量	g	投入時	1.0kg	1.0kg	1.2kg
				ミキサー粉砕	ミキサー粉砕	ミキサー粉砕
	形状(裁断形状)		投入時	水溶液として	水溶液として	水溶液として
				150cc	200cc	250cc
	放射線量	Bq	投入時	ー	0	0
発酵槽	メタン発酵槽レベル	mm	週一回	ー	ー	ー
	メタン発酵槽温度	℃	毎日	15.2℃	15.2℃	16.3℃
	発酵消化液のpH	pH	週一回	ー	ー	ー
	pH計測値サンプル液温度	℃	週一回	ー	ー	ー
	pH標準液校正値	pH	週一回	ー	ー	ー
	pH計測値標準液温度	℃	週一回	ー	ー	ー
	周辺放射線レベル	μs	毎日	0.57μs	0.51μs	0.48μs
	発酵消化液放射能レベル	Bq	月一回	ー	ー	ー
	発酵残渣放射能レベル	Bq	月一回	ー	ー	ー
	周辺臭気（有、無、腐敗臭等)		毎日	無し	無し	無し
バイオガス 貯蔵タンク	バイオガス発生量	mm	毎日	120mm	113mm	124mm
	バイオガスメタン濃度	%	週一回	ー	ー	ー
	バイオガス放射能レベル	Bq	月一回	ー	ー	ー
	周辺臭気（有、無、腐敗臭等)		毎日	無し	無し	無し
実証試験 場内気象	天候		毎日	曇り時々晴	晴	晴
	気温	℃	毎日	19.6℃	22.1℃	22.5℃
	湿度	%	毎日	48%	37%	32%

メタン発酵による有効利用

各種有機物の１トン当たりのバイオガス生成量

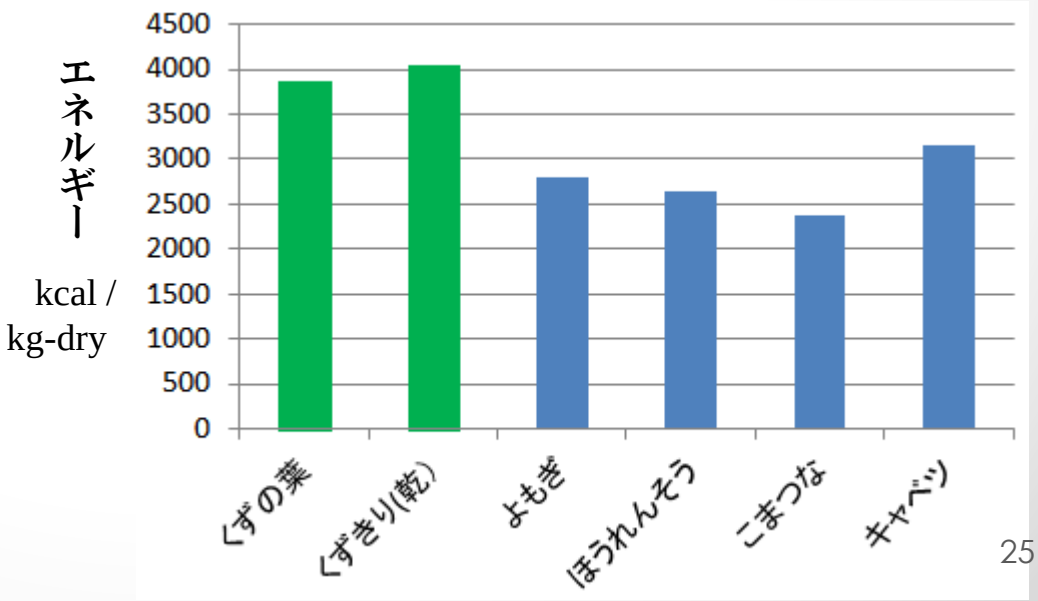


くずの栄養成分分析結果と野菜類との比較

名称	状態	エネルギー	水分	たんぱく質	脂質	炭水化物	灰分	出典
		kcal	生100gあたりの量(g)					
くずの葉	生（湿）	89	76.5	4.6	0.8	15.9	2.2	分析値
くずきり(乾)		356	11.8	0.2	0.2	87.7	0.1	五訂食品成分表
よもぎ		46	83.6	5.2	0.3	8.7	2.2	
ほうれんそう		20	92.4	2.2	0.4	3.1	1.7	
こまつな		14	94.1	1.5	0.2	2.4	1.3	
キャベツ		23	92.7	1.3	0.2	5.2	0.5	

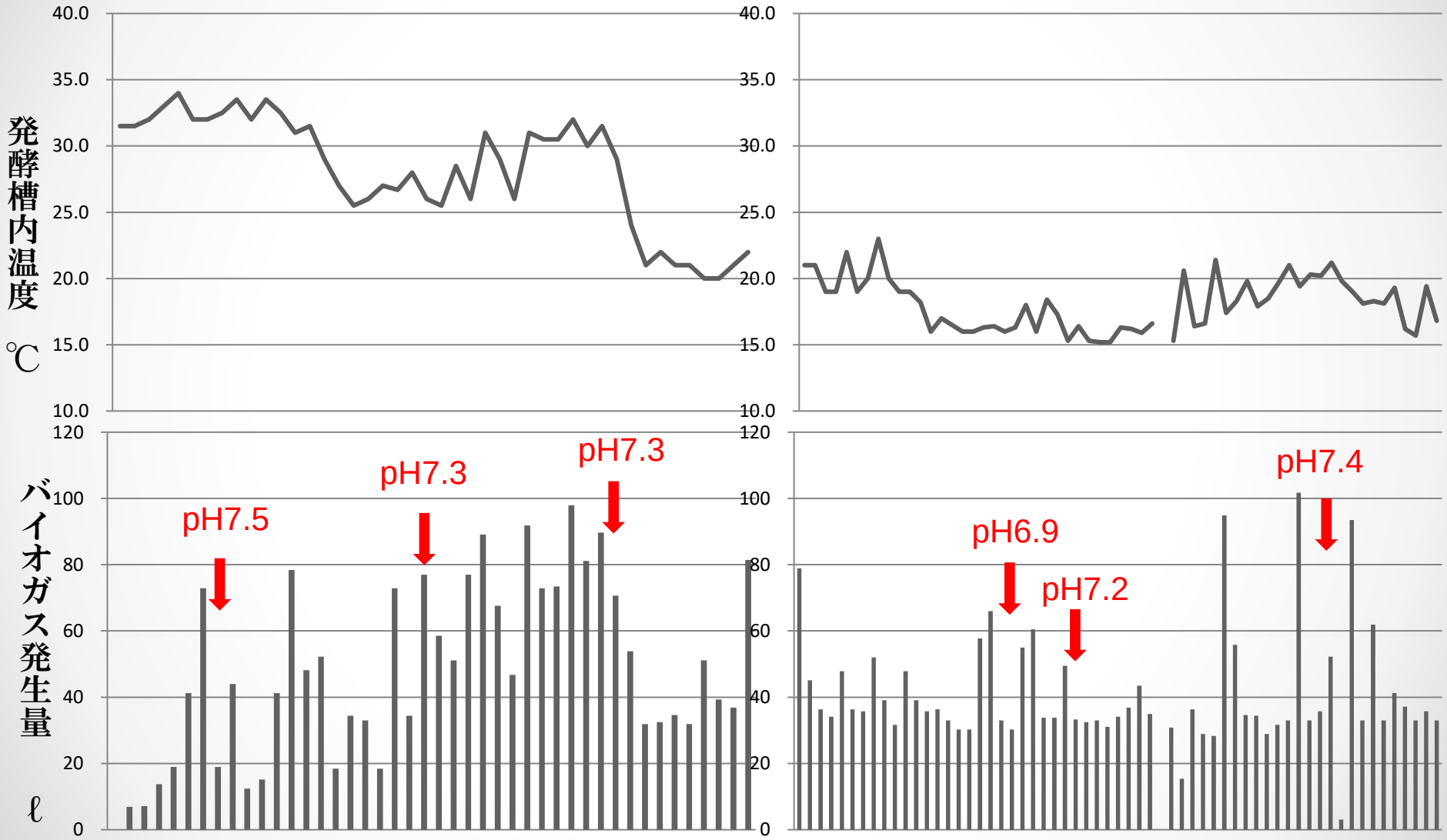
名称	状態	エネルギー	水分	たんぱく質	脂質	炭水化物	灰分	出典
		kcal/kg-dry	固形分100gあたりの量(g)					
くずの葉	固形分（乾）	3878	0	19.6	3.4	67.7	9.4	分析値
くずきり(乾)		4036	0	0.2	0.2	99.4	0.1	五訂食品成分表
よもぎ		2805	0	31.7	1.8	53.0	13.4	
ほうれんそう		2632	0	28.9	5.3	40.8	22.4	
こまつな		2373	0	25.4	3.4	40.7	22.0	
キャベツ		3151	0	17.8	2.7	71.2	6.8	

福島県伊達市の大沼氏の話によれば、くず（くず藤）の葉をうさぎの餌などにしていたとのこと。



生ごみの発酵実験（霊山）

発酵槽内温度とバイオガス発生量の推移（１号槽）

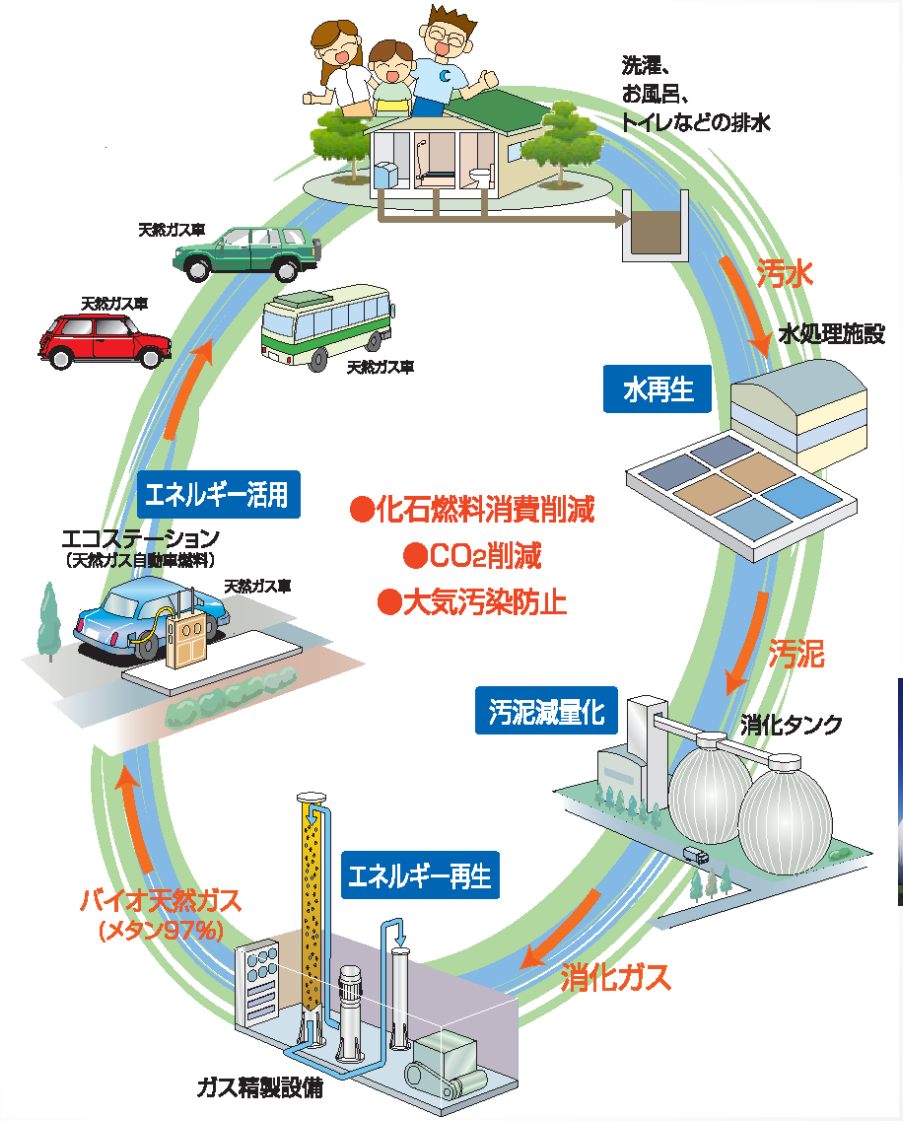


下水処理場から発生するバイオガス利用

神戸市・東灘処理場

バイオガスを精製してメタン濃度を98%に濃縮し、天然ガス車に供給

ガス会社向け都市ガス



下水汚泥からバイオガスを回収する消化槽

混合発酵によるバイオガス・消化液の利用
福岡県大木町

浄化槽汚泥
（30.6ｔ／日）

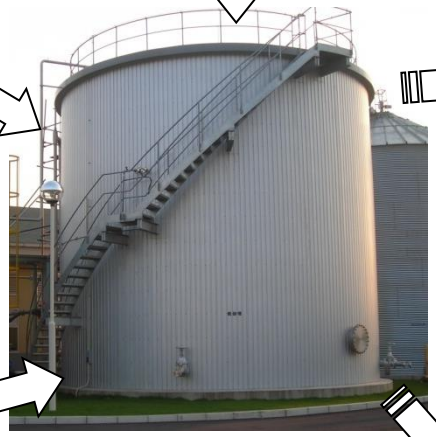
水分９９％

汚泥濃縮
遠心分離機

水処理

水分８６％

し　　尿
（7ｔ／日）



メタン発酵槽
中温湿式
37℃22日間

バイオガス

発電・熱

発電機 25kw 2基

家庭から出る
生ごみ
（3.8ｔ/日）

分別収集

液肥貯蔵タンク　液肥：6,000t/年

田

混合メタン発酵を行うメリット

下水汚泥 難分解性バイオマス		生ごみ等 易分解性バイオマス
○ 均質で一定量発生	⟷	▲ 質や量にばらつき大
▲ 有機物含有率が低く非効率	⟷	○ エネルギー価値高い
▲ 有機物分解率が低く非効率	⟷	○ 有機物分解率高い
○ アルカリ度高く発酵安定	⟷	▲ 有機酸の蓄積が生じやすい
○ 水処理施設が併設	⟷	▲ 発酵液処理にコスト大

混合消化で互いの長所、短所を補います

下水汚泥に対し、生ごみ10～15%程度混合することにより発生バイオガス量は２倍程度となります。

消化液の利用
液肥として農地に還元
福岡県大木町

液肥の特徴と課題

＜特徴＞

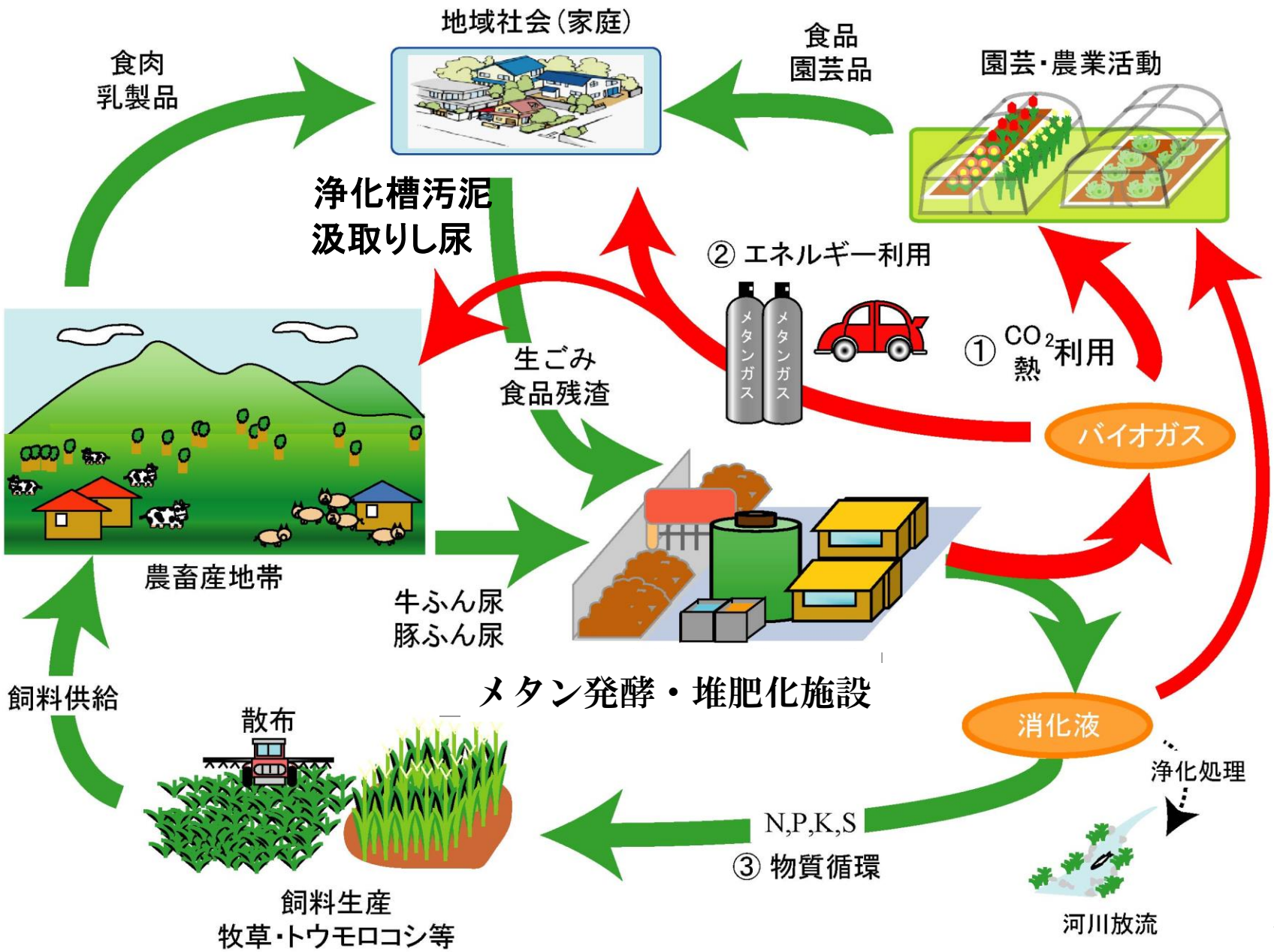
- ビタミン（B12,C)が豊富に含まれる
- 腐植質が多い（土作り効果が高い）
- 緩効・速効性肥料両方の性質がある
- 臭いはあまり気にならない
- 病虫害特に糸状菌の防除効果が認められる

＜課題＞

- 貯留と運搬・施肥に施設や散布車などの設備が必要
- 成分調整と栽培技術（施肥基準など）の確立

メタン発酵の最近の動向

メタン発酵を中心とする循環型社会



瀬波バイオマスエネルギープラント

㈱開成（新潟県村上市）：FIT適用第１号

処理量：4.9t/日
乾式メタン発酵

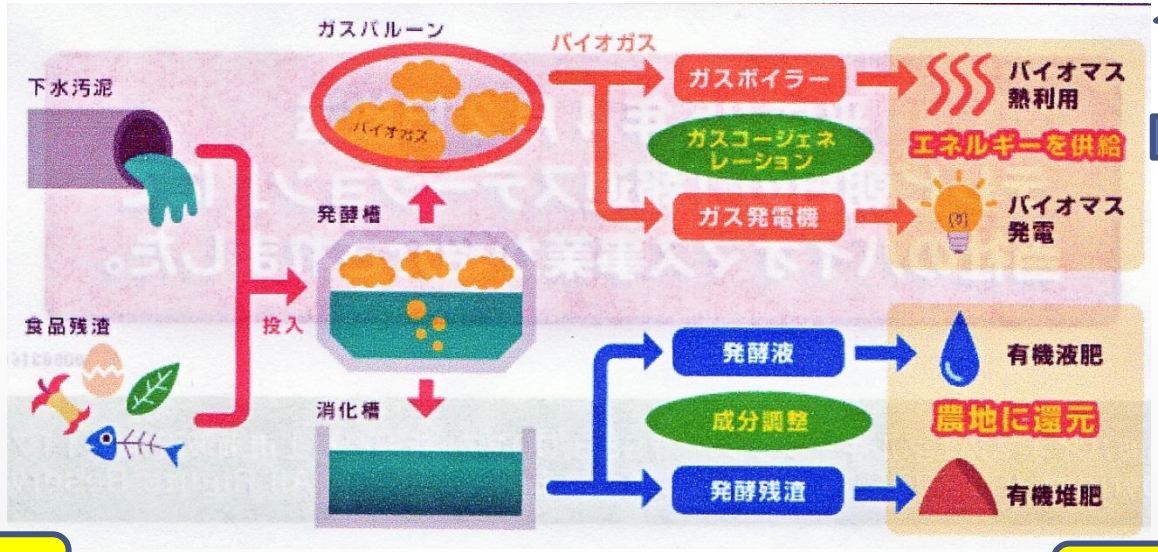
銀座・千疋屋向け
南国フルーツ
ハウス栽培

エネルギー
供給

温水を地下から
ハウスに供給し
ハウス内を14℃に保つ

2012年度3,000kW発電
光熱費2,400万円（ハウス用）
＋売電800万円

瀬波温泉
１２軒



燃料の安定的な供給

地元の
畑

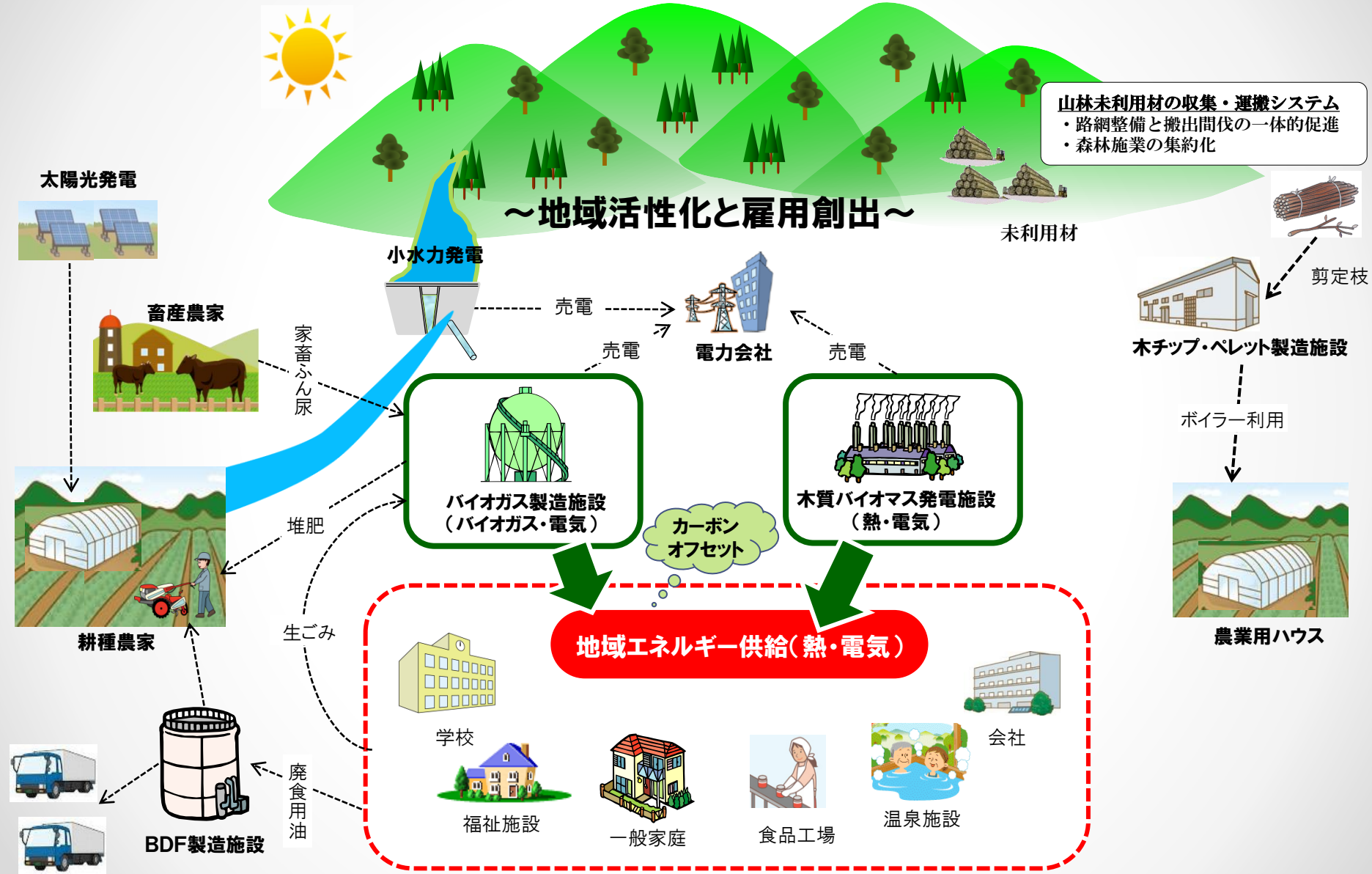
廃棄物処理

地域循環型エネルギーを実現

有機肥料製造

バイオマス産業都市のイメージ

～バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくり～



地域のグリーン産業の創出と地域循環型エネルギーシステムの構築

霊山プロジェクト
2011年８月撮影

経　過

［主な経過］

2011年6月：
　　鎌倉市の集会で伊達市住民との出会い

2011年8月：
　　伊達市を訪問し、小国地区３ヶ所で稲のサンプリング

2011年11月：
　　「きれいな小国を取り戻す会」と共催で、放射線濃度分析結果を報告。同時に、メタン発酵による放射性物質の濃縮管理とバイオガス利用を提案

2011年12月：
　　「下小国地区協議会（代表：大沼　豊）」立ち上げ

2012年4月：
　　大沼　豊氏敷地内にバイオガス製造実証装置の建設を開始

2012年6月：
　　第1回寺子屋教室（野池達也・東北大学名誉教授）を山下公民館にて開講
　　大波盛雄氏提供の水田を利用し、水田除染プロジェクトにも着手

2012年8月：
　　バイオガス実証装置の実証運転開始

2012年9月：
　　水田除染プロジェクトで三井物産環境基金助成　（～2014年8月）開始

2012年11月：
　　「汚染されたバイオマスのメタン発酵によるエネルギー利用の研究開発」（旧社団法人東北建設協会支援事業　～2013年9月）開始

2013年４月：
　　下小国区民会（佐藤好高会長）主催により、地域再生をテーマに講演会開催（下小国中央集会所）

2013年６月：
　　霜里農場（埼玉県小川町）視察、下小国地区を中心に50名以上が参加
　　下小国区民会との第１会対話会開催（下小国中央集会所）

2013年8月：
　　一般社団法人東北地域づくり協会（旧東北建設協会）の支援延長決定（～2014年８月）
　　復興庁支援「新しい東北」先導モデルに応募（「食とエネルギーの循環を活用した戦略的農業ビジネス展開事業」）

再生可能エネルギーによる研究開発イメージ

環境汚染

↓

汚染された農作物、雑草

↓

メタン発酵

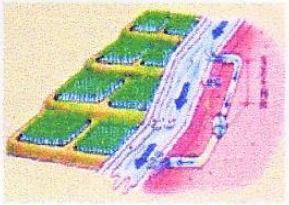
↓

再生可能エネルギー
（ 下小国地区）

↓

水力発電
（小国地区）

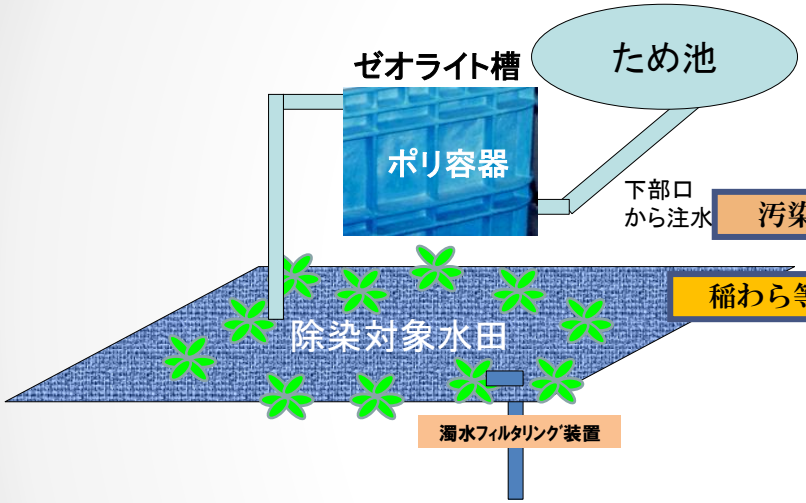
流域管理
（河川・湖沼等）



霊山町下小国地区でのREPAの復興支援活動

自然エネルギー利活用技術・メタン発酵技術と人材・人脈を駆使し、２つのプロジェクトを推進し、福島復興を支援しています。

水田除染プロジェクト

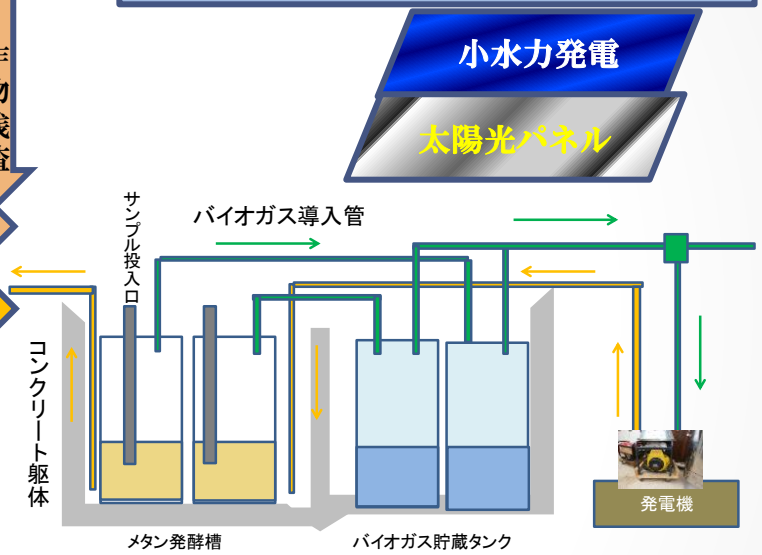


生ごみ・作物残渣

汚染有機物

稲わら等有機物

メタン発酵プロジェクト



再生可能エネルギーによる地産地消村の実現

研究開発※及び実証の手順

■メタン発酵槽の濃縮機能

１．汚染された有機性廃棄物の放射能濃度を測定

２．バイオガス側への放射能の移行状態を検証

３．メタン発酵により発生する消化液や、固液分離した後に発生する残渣の移行状態の確認

４．残渣は、行政が推奨する仮置場での保管方針に従い処理処分

５．バイオマス中の放射性物質の除去機能について新たな方法を検証

■日常の維持管理

１．メタン発酵に適する処理対象物を収集し、細断して投入

２．本装置の適正な1日あたりバイオマス投入量の確立

３．簡易な測定器によるメタン発酵槽温度、バイオマス投入量、バイオガス生成量、バイオガス中のメタン濃度および発酵消化液のpHの測定

■メタン発酵の普及

１．寺子屋教室や実証運転により、住民のメタン発酵に対する理解を深める。

２．被災地域における復興後の地産地消型のエネルギー拠点とする道筋を確立する。

３．施設建設費が安価で、一般の方が操作可能な、地域分散型の小規模簡易型メタン発酵システムを提案する。

■「下小国再生エネ村」事業構想として継続・発展（３年目以降）

●今回の事業成果を通じ、メタン発酵によるエネルギー利用や住民の再生可能エネルギーに対する理解を深め、再生エネ受入れ基盤を醸成していく。

●ため池や用水などの自然エネルギーを活用した小水力発電の整備を検討し、「小国再生エネ村」事業構想として継続・発展

注※：「汚染されたバイオマスのメタン発酵によるエネルギー利用の研究開発」（（社）東北建設協会（現東北地域づくり協会）支援事業、第１期2012年11月～2013年９月、第２期～2014年８月）

本取り組みにおける期待される効果

（１）水田に対する除染対策の促進
（２）食品類等の放射性物質検査サンプルの適正処理
（３）出荷できない農産物からのエネルギー回収
（４）バイオマスのエネルギー活用の促進
（５）高濃度放射線下におけるメタン発酵菌の挙動の研究
（６）放射能汚染地域に対するメタン発酵による環境整備

注釈：厳密には、「放射能」は放射線を出す能力のこと、「放射性物質」は放射線を出す能力のある（放射能のある）物質のことを指します。しかし「放射性物質」を「放射能」と表現・表記することが慣用的になっているようですので、本教本では、併用しています。

想定される課題

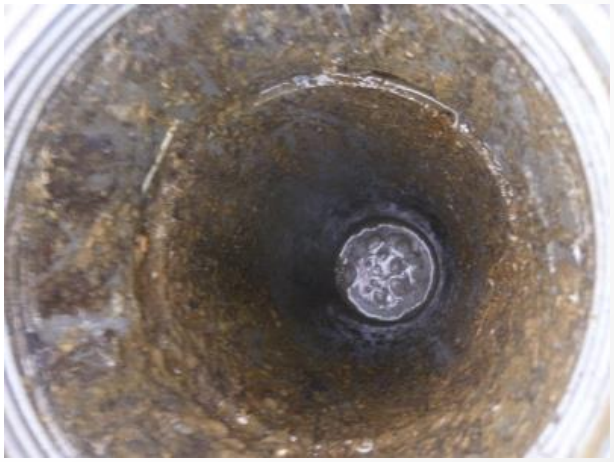
（1）消化液の処理

本提案では、投入量が少ないため、消化液の発生量は少量であるため、基本的に土壌に散布してから乾燥する方法を考えています。放射性物質濃度が高くなった場合、隔離保管を考えていますが、その場所の確保が課題になります。

（2）発酵残渣の処理

本提案では、消化液の処理と同様に、放射性物質濃度が高くなった発酵残渣を隔離保管する必要があります。消化液と同様、隔離保管する場所の確保が課題になってきます。

発酵残渣の汲み上げ



発酵槽投入口から見た底部

霊山プロジェクトの参加者

「きれいな小国を取り戻す会」と共催で開催した報告会には100人を超える方々が参加しました。ここから霊山プロジェクトがスタートしました（2011年11月）

霊山プロジェクトの担い手

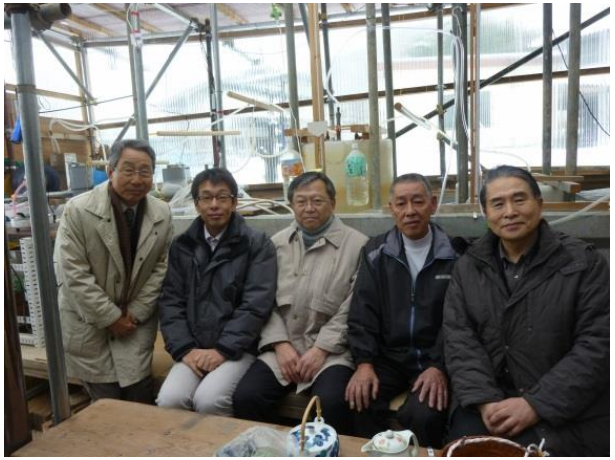
←佐藤茂夫・REPA代表理事と打ち合わせ中の大沼豊氏（左）。野池達也東北大学名誉教授に相談している大沼氏。→

メタン発酵槽建屋前に集合した主要メンバー

←除染実験のために水田を提供してくださった大波盛雄氏（右）と打ち合わせ中の尾園次郎REPA副代表

現場作業のあと、お茶を飲みながらの反省会

霊山地区視察の合間のスナップ



大学、研究団体からも多くの研究者、専門家の方々の訪問があり、専門的なアドバイスを受けました

伊達市梁川や、新潟県の神田農場から訪問された農家の方から貴重なアドバイスをいただきました

バイオガス製造実証実験

メタン発酵により放射性物質を濃縮する意味は？
～バイオマス中の放射性物質を除去する新たな機能の検証～

【着想】

●放射性セシウムは粘土類に沈着（吸収・吸着）するとされているため、メタン発酵槽の中に放射性物質が付着した野菜や生ごみ等を入れて発酵させ、その過程で発生するバイオガスには放射性物質の移行が少ないと予想されるため、これをエネルギーを回収する。

●メタン発酵の過程で発生する消化液を脱水（固液分離）し、放射性物質は、汚泥中に濃縮して閉じ込める。

【研究テーマ】

●消化液を脱水し、放射性物質が脱水ケーキ（濃縮した汚泥）および、ろ液にどの程度残留するかどうかを検証する。

【成果への期待】

●放射性物質が脱水ケーキにとどまり、ろ液には含有しないことを実証できれば、メタン発酵槽は、減量化された脱水ケーキを貯留することによってバイオマス中の放射性物質を除去する新たな機能を有することになる。

（野池達也・東北大学名誉教授の仮説による）

発酵槽内汚泥の放射能測定
あんぽ柿（33.9Bq/kg)を31kg投入した場合

発酵槽内汚泥
自然沈降分離

沈降分離後の上澄み液（左）
（消化液）放射能測定値
Cs134　8.23 Bq/L
Cs137　16.3 Bq/L

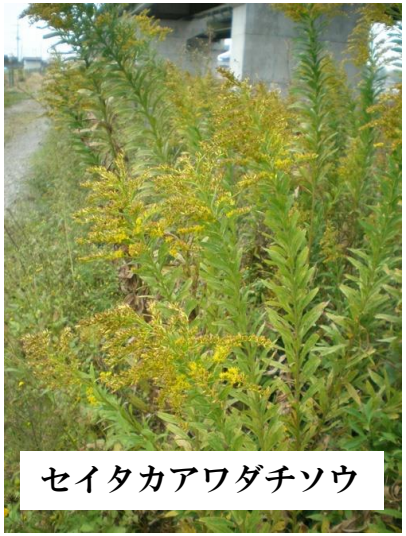
沈降分離後の沈殿物（右）
（発酵残渣）放射能測定値
Cs134　24.9 Bq/L
Cs137　43.8 Bq/L

首都大学東京大学院の吉田博久教授のご協力により分析していただいた結果、いずれも国の基準値を下回っていました。
このメカニズムを検証していくには、今後、発酵槽内汚泥の放射能測定を積み重ねていく必要があります。

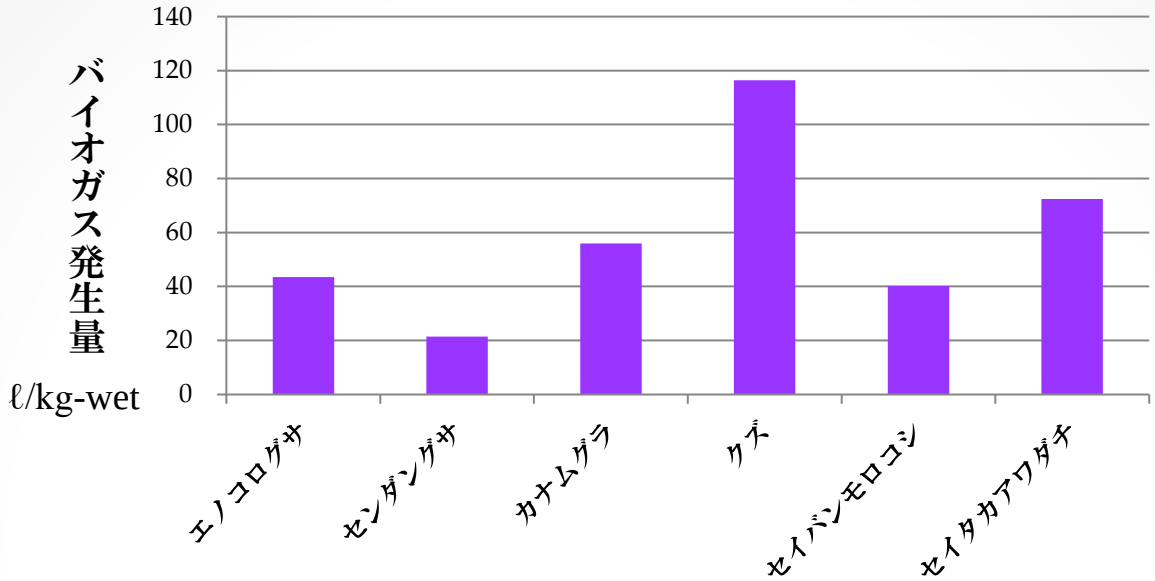
河川敷および道路際雑草類の
メタン発酵処理とその減容効果

伊達市霊山に群生する代表的な雑草

セイバンモロコシ、くず、セイタカアワダチソウは繁殖力の強い雑草の代表的なもの

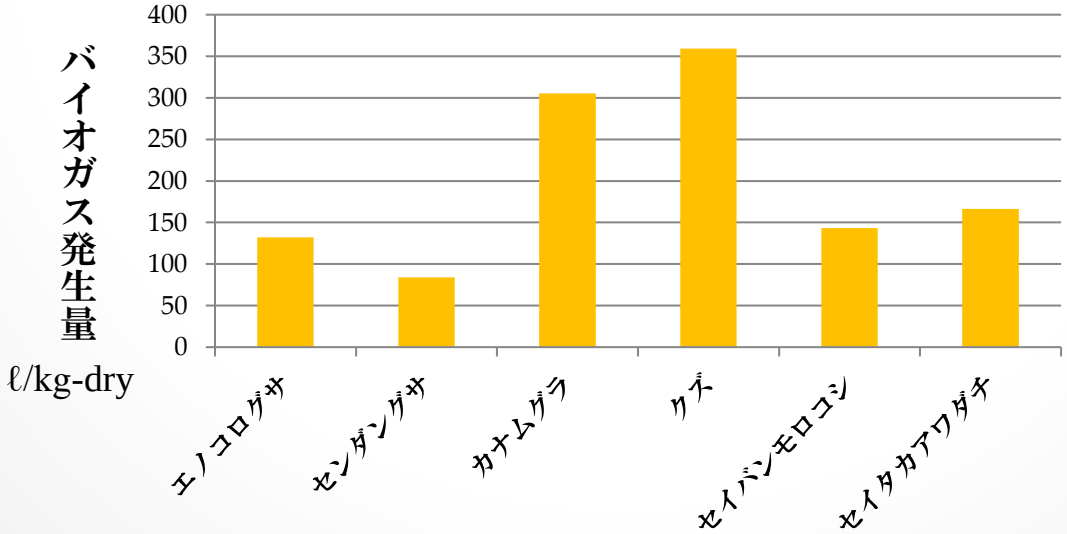


各種雑草類からのバイオガス発生量



湿重量あたりのバイオガス発生量

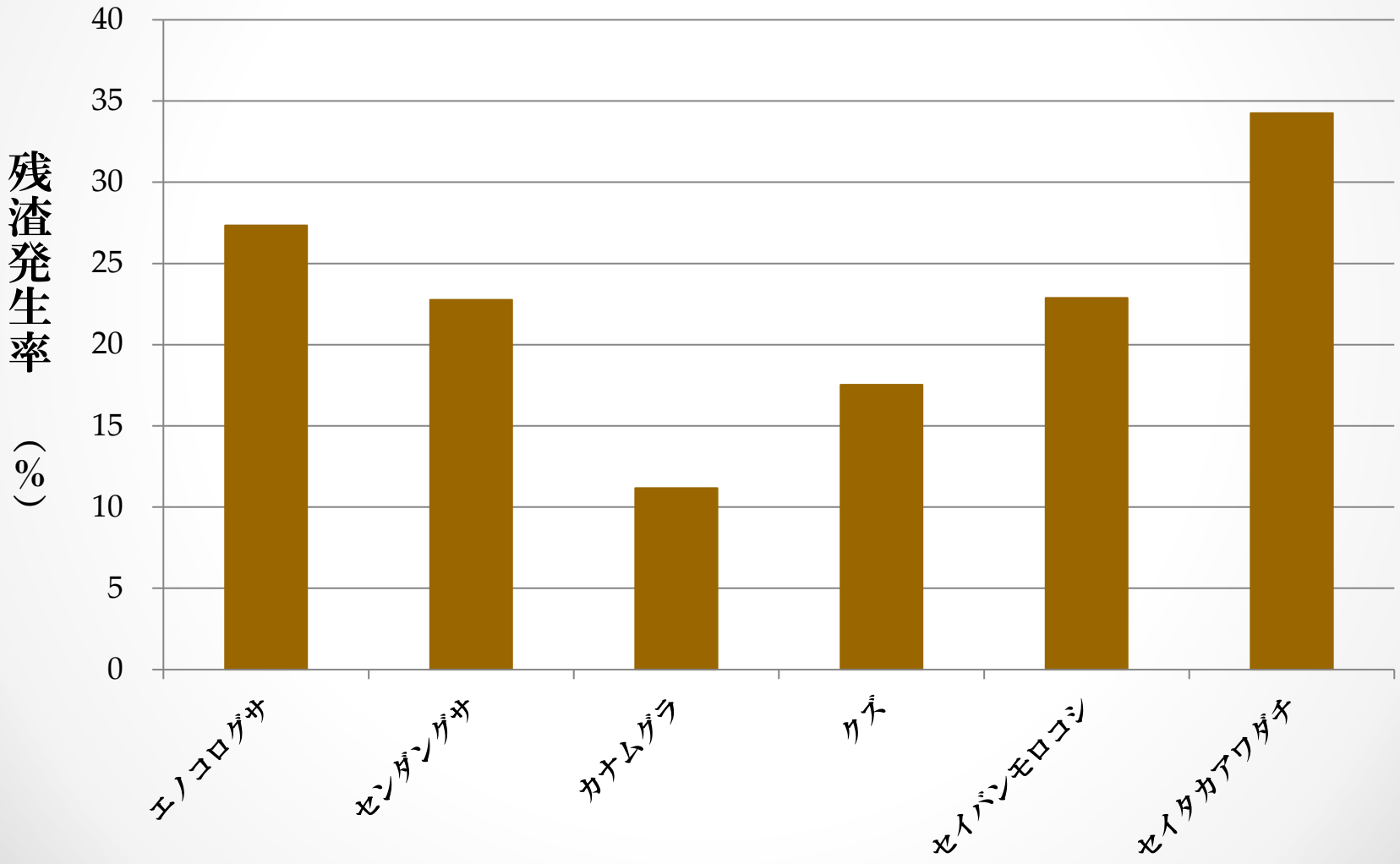
ガス体積は湿重量も
乾重量も標準状態



乾重量あたりのバイオガス発生量

各種雑草類のメタン発酵処理後の残渣発生率

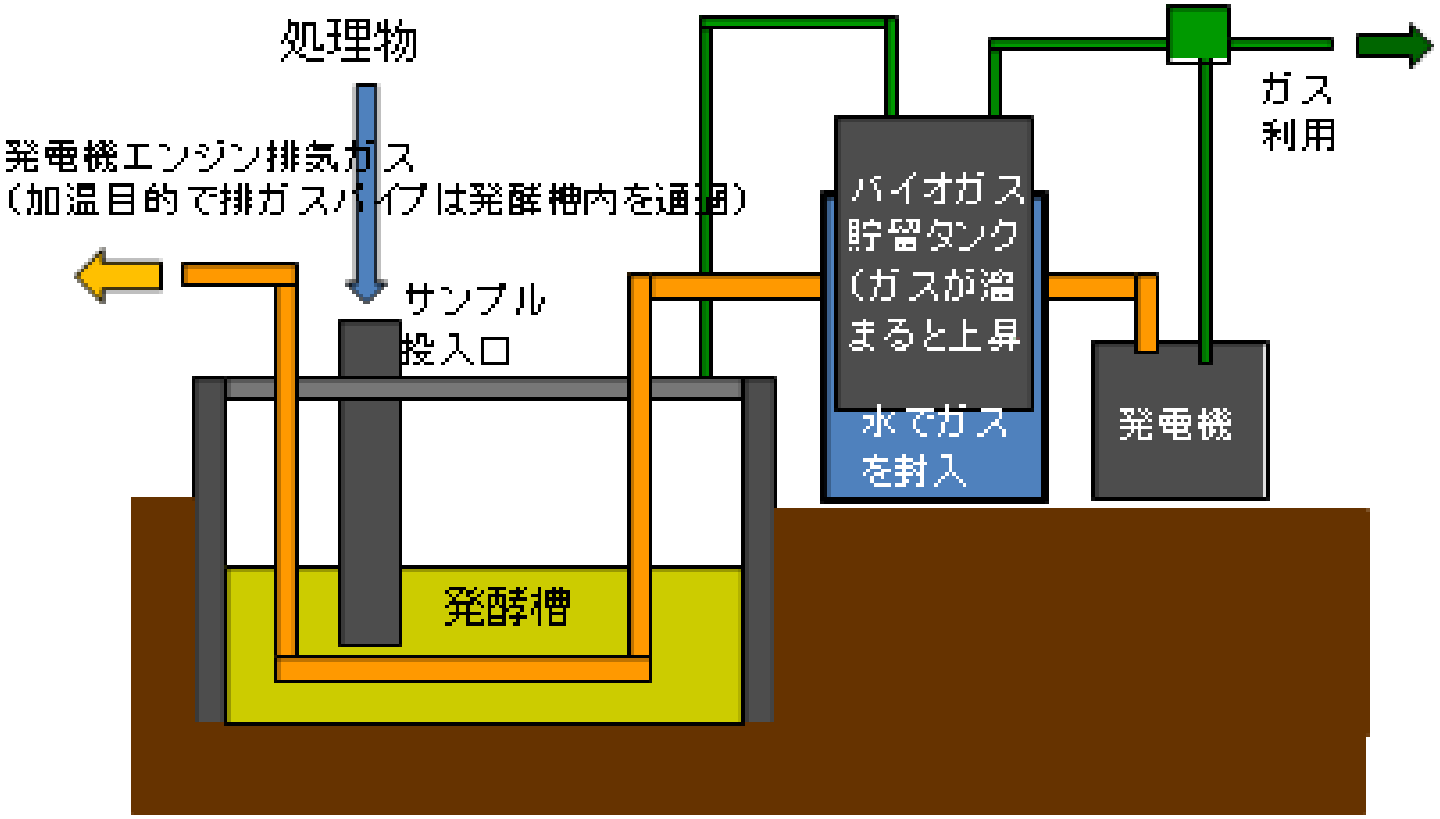
残渣発生率は処理前質量から減容質量（バイオガス質量と消化液質量の和）を差し引いた値を処理前質量で除して算出しました

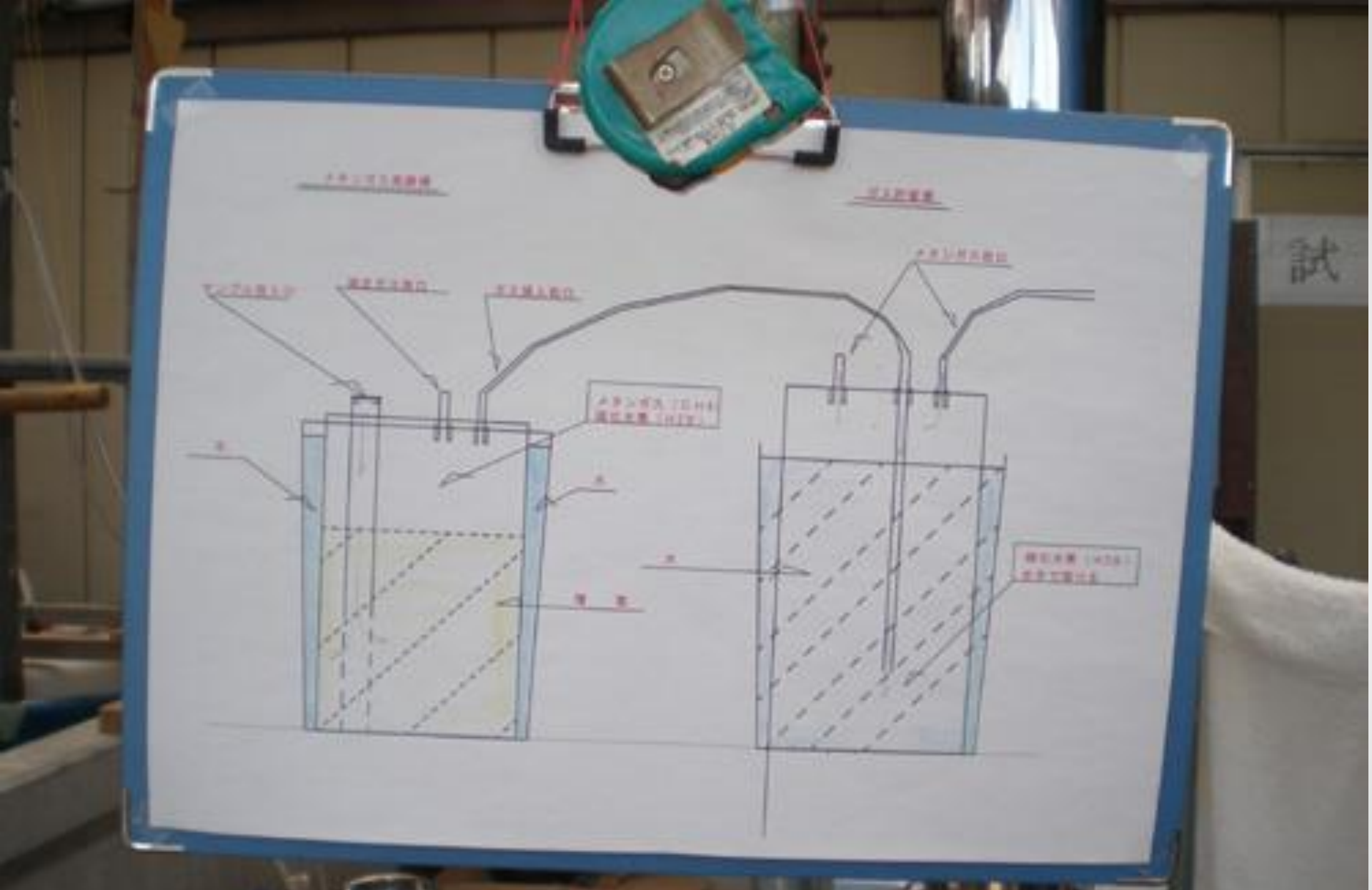


ホームセンター部品調達型
メタン発酵施設

バイオガス製造実証装置の基本構成

- コンクリート製発酵槽の利用による放射性物質の管理とバイオマスのエネルギー化





大沼氏が作成した説明用のメタン発酵の仕組み

初期建設から、メンテナンス、計測項目の記録まで大沼氏は一から学び、今では訪問者にもこのようなボードを用意して説明に当たっておられます。

手作りメタン発酵装置製作費用

装置名称	部　　材					
	部品名称	サイズ等	個数	ホームセンター価格	通販価格	業者注文価格
発酵槽	ローリータンク	500 L	1	¥16,800		
	塩ビパイプ	1000mm	5	¥3,000		
	ソケット		8組	¥4,000		
	異径ソケット		2	¥1,000		
	塩ビ製つまみ付き掃除口	100mm	1	¥600		
	ミニボールバルブ	呼び径13, 3/8	4		¥4,280	
	塗料撹拌機	低速高速両用	1	¥26,500		
	撹拌羽根		2	¥7,360		
	シリコンシーラント	333mL	4	¥1,200		
ガス貯留槽	丸型容器 500L		1		¥36,000	
	丸型容器 900L		1		¥64,000	
	ガスサンプリングバッグ	2 L	10		¥11,000	
	シリコンチューブ		10m	¥9,800		
分析機器	メタンガス濃度計測器	理研RI-415				¥250,000
	硫化水素検知管	ガステック	1			¥30,000
	硫化水素検知管	No.4 HM	5箱			¥9,500
	ハンディー型pH計					¥23,000
	温度データロガー	TR-71 Ui	1			¥24,000
	合　計			¥70,260	¥115,280	¥336,500
	総　計				¥522,040	

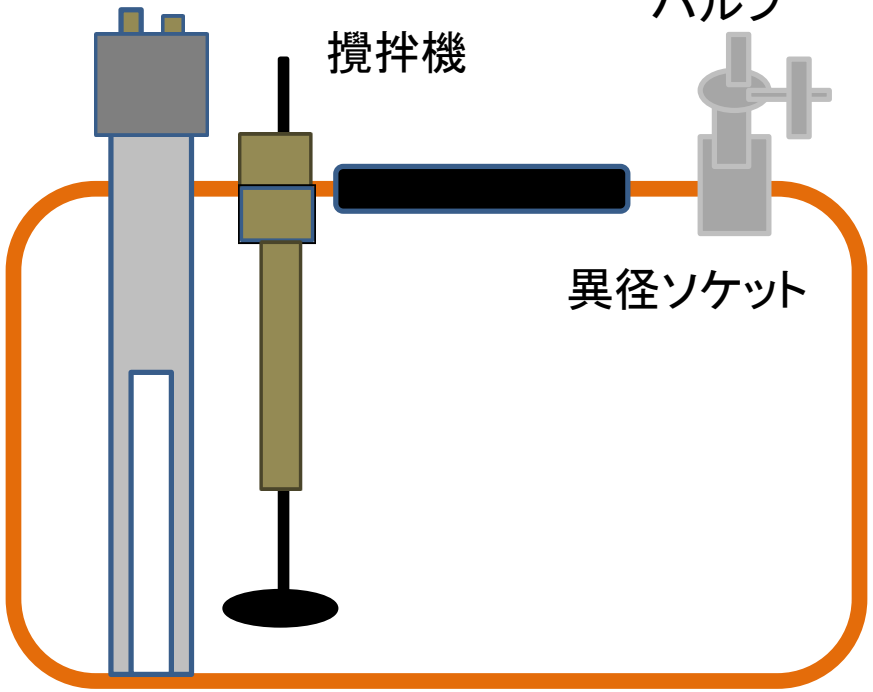
手作りメタン発酵装置（発酵槽部）の構造と部材

生ごみ
投入口

ミニボール
バルブ

塩ビ製ツマミ付き掃除口

攪拌機



積水化学工業
Kセキスイエスロン塩ビ製ミニボールバルブ

塩ビ製排水パイプ

TS異径ソケット

塗料用攪拌機

ボンド シリコンシーラント #55298(カートリッジ)
330ml グレー[HTRC 3]
¥ 704 プライム

SUGICO(スギコ)
18-8 ひしゃく共柄タイプ(浅型)

6日以内出荷 返品不可 個人向けサイトへ
6日以内出荷とは
★★★★★ (0件の商品レビュー)

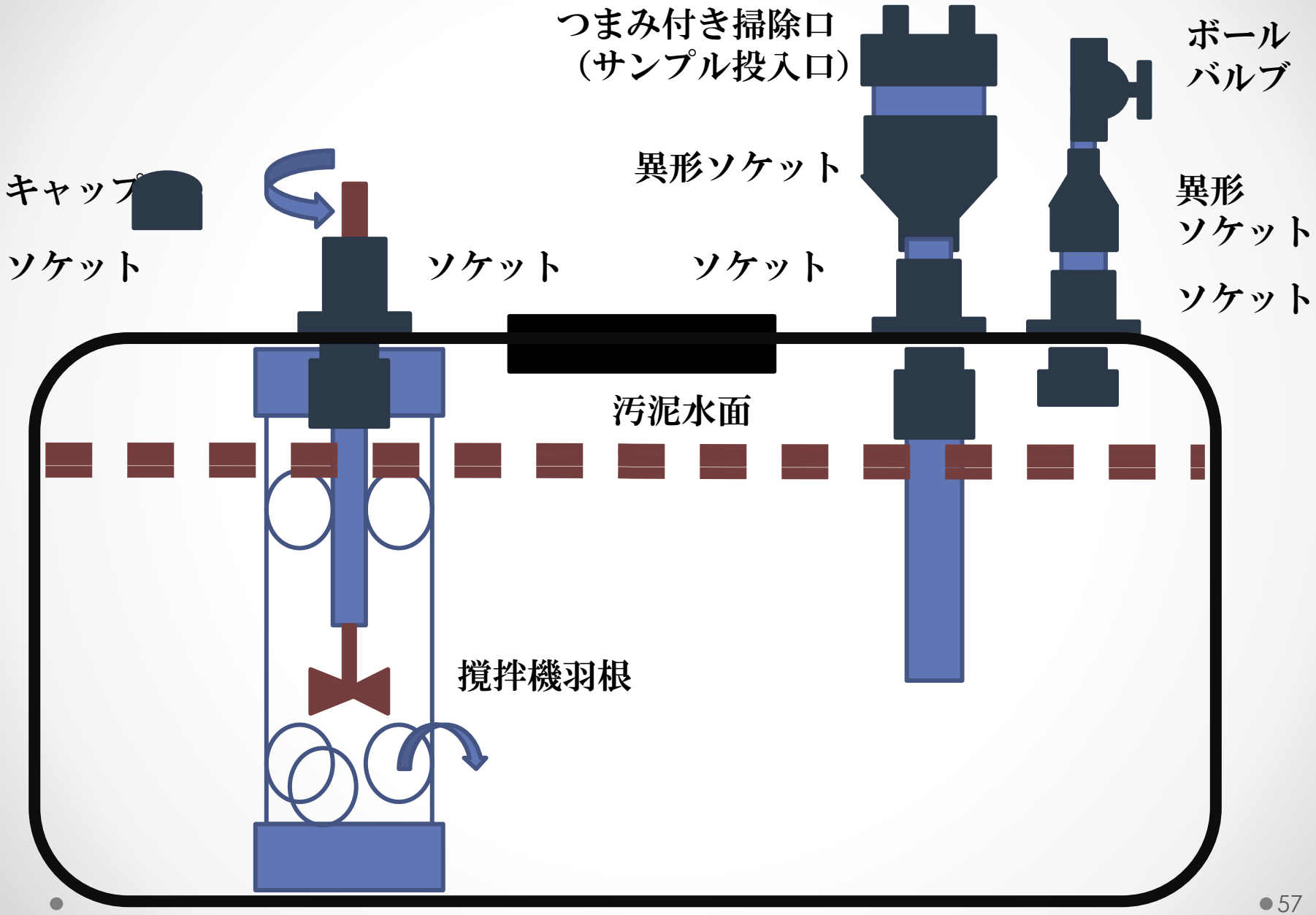
注文コード	35787123
品番	SH-660
内容量	1個
参考基準価格	¥ 12,000
税込価格	¥ 8,288

販売価格(税別)
¥7,893

数量: 1 バスケットへ入れる

ローリータンク
200～300リットル

手作りメタン発酵装置（1）メタン発酵槽



発酵槽の様子

発酵槽

発酵槽投入口

雑草専用発酵槽

雑草を裁断し投入するディスポーザ

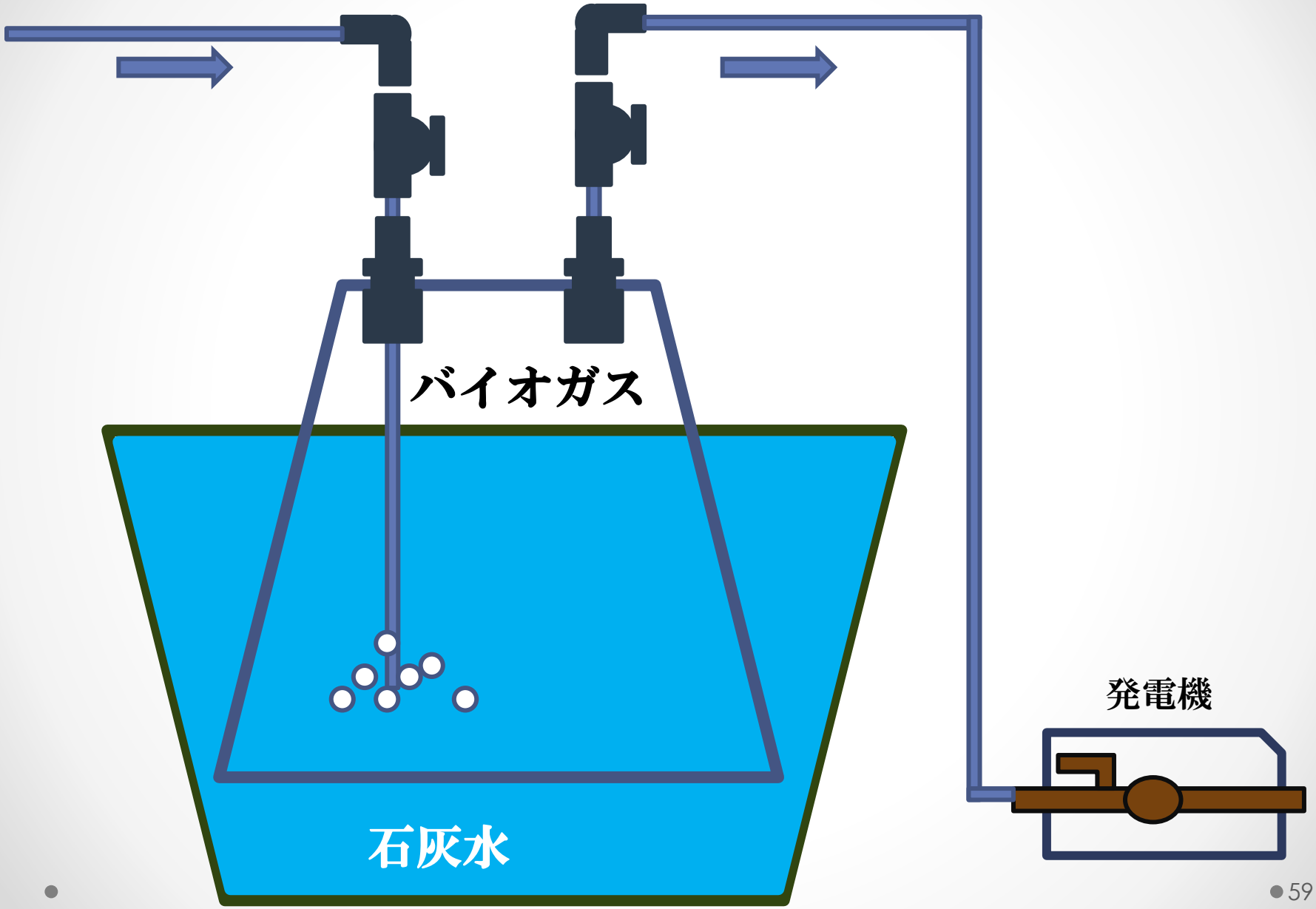
生ごみ

あんぽ柿

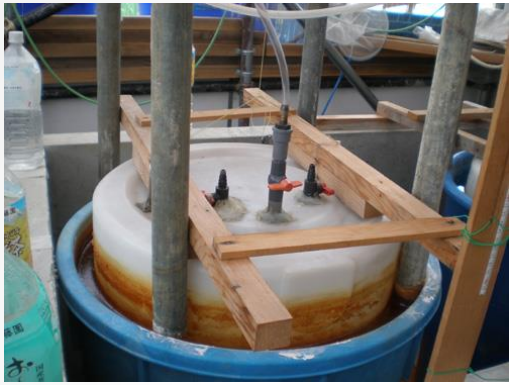
くずの花

くずの葉

手作りメタン発酵装置（2）バイオガス貯留槽



ガス貯留槽と発電装置



ガス貯留槽（屋内）

発電用ガス貯留槽（屋外）

バイオガス発電

4サイクルエンジン

点灯

維持管理に欠かせない脇役たち

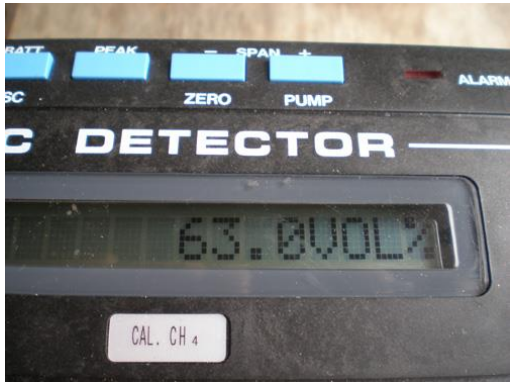
温度データロガー

ヒーター制御
と温度計測

ガス貯留量の計測

生ごみミキサー処理

生ごみ硫化水素濃度計
50ppm



生ごみメタン濃度計
メタン濃度63%を示す

室内温度計・湿度計

バイオガス製造装置の手作り製作の様子

大沼氏敷地内の建設予定地に設置されたU字ブロック。この中にメタン発酵槽とガス貯留槽を設置。

コンクリートブロック内に配置されたメタン発酵槽とガス貯留槽

ホームセンター部品調達型バイオガス製造装置

あり合わせの機材等を取り寄せ、現場で組み立て

放射線量計は常備

大沼氏が組み立てた作業場の天井の枠組を利用し、メタンガス検知器や太陽光発電からの電気を確認する測定器を設置

バイオガスの発生状態を確認（上）
バイオガスで炊飯（左）

地域再生・復興に向けて

小水力発電の可能性調査

豊富な水資源が傾斜地はじめいたるところにあります

しいたけ栽培、猪駆除の電気柵などの用途もありそうです

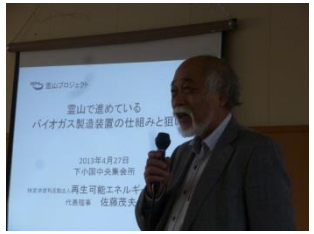
霜里農場（埼玉県小川町）視察

たくさんの方が伊達市から視察に参加され、地域再生のヒントがありました

- 廃天ぷら油で製造するBDFで駆動するトラクター

場長の金子美登氏

下小国区民会との復興に向けた対話会



復興に向けた提案の説明会（７月）

2013年４月（上）と６月（下）の会合の模様

地域の方々の現在の悩み、復興に向けてやりたいこと、希望など切実な声が発表されました。

REPA

(Renewable Energy Promotion Association)

特定非営利活動法人　再生可能エネルギー推進協会

目的	化石燃料に代わり地球環境保護に寄与する再生可能エネルギーを日本において普及し、再生可能エネルギー技術を通じ、国際交流を図り、環境の保全や技術の必要性を社会に伝え、環境を守る豊かな社会の実現に寄与する
設立	2006年５月31日（東京都認可取得）
代表理事	佐藤茂夫（日本工業大学名誉教授）
主たる事務所	東京都千代田区二番町１番地２　番町ハイム239号室
ホームページ	http://repa-npo.com/index.html
連絡先	E-mail：support@repa-npo.com

ポイントCO_2地域ネットワーク事業

埼玉県宮代市教育委員会

普及活動（展示会・セミナー等）

視察等

葛巻町・森と風のがっこう

木質バイオマス発電
（神奈川県川崎市）

他団体との交流

宮代町アーティストと竹の切り出し

岩手大学・盛岡市NPOとの情報交換

石和温泉旅館協同組合との交流

【編集後記】

2011年８月に初めて、霊山を訪問してから２年余が経過しました。放射能汚染が地域の暮らしや環境を破壊され大変な苦痛を背負わされている中で、よそ者である我々が片手間の支援をさせていただいても、どこまで地元の方々に受け入れられるのかと、半信半疑の状態で試行錯誤の取り組みを続けてまいりました。

私たちが取り組んできたのは、大波盛雄様と大沼豊様のご厚意により、水田除染とメタン発酵によるバイオガス製造等の取り組みです。まだまだ取り組みは途上ですが、小国地区の皆様のご理解により、なんとか形のつくところまで活動を続けることができました。まず、このことに感謝の意を表したいと思います。

本教本にまとめましたのは、私たちの霊山での取り組みのうちメタン発酵に関係する活動から、寺子屋教室での講義でお話いただいた内容と、現場での活動およびその成果の一部です。

メタン発酵による実証実験の本来の目的は、放射能で汚染された生ごみや果実、雑草などの有機性廃棄物をメタン発酵により分解した発酵残渣中の放射能を測定分析し、メタン発酵の放射能の濃縮機能を立証することにあります。その意味では、実証実験は緒についた段階にあり、今後継続的な測定分析が必要です。

このため、寺子屋教本は中途半端なものになってしまいました。しかし、メタン発酵がどんなものであり、誰もが安価でつくることができる身近な技術であるかを理解していただくものとして、皆様方の理解の一助になったのではないかと考えております。

今後、さらに霊山プロジェクトの取り組みを続け、それらの成果を盛り込んだ改訂版を作成したいと考えております。引き続き、私たちの活動へのご理解、ご支援をお願いいたします。

2013年９月吉日

寺子屋教本編集・文責：篠田淳司

禁無断転載・不許複製

「汚染されたバイオマスのメタン発酵によるエネルギー利用の研究開発」
（社）東北建設協会（現　東北地域づくり協会）支援事業

メタン発酵の原理と応用

～簡易型メタン発酵施設の建設・維持管理にむけて～

平成25年９月末日（第１刷）

非売品

監修：野池達也、佐藤茂夫
発行：NPO法人再生可能エネルギー推進協会
　　寺子屋教室教本編集委員会
住所：東京都千代田区二番町１－２　番町ハイム239号室
HP　http://repa-npo.com/

寺子屋教室教本編集委員（霊山プロジェクト実務者会議メンバー）：
市橋利夫、奥村　実、尾園次郎、佐藤茂夫、篠田淳司、冨成研一、林原典生