

平成 21 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

『食品廃棄物を利用したバイオガス実証プラントの製作
及び精製・濃縮装置の研究開発』

研究開発成果等報告書

平成 22 年 6 月

委託者：四国経済産業局

委託先：株式会社ちよだ製作所

『紙へリサイクル可』

目 次

第1章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制	5
	①事業管理者及び研究実施場所	5
	②研究組織（全体）	5
	③管理体制	5
1-3	成果概要	6
	①可溶化装置	6
	②メタン精製・濃縮装置	7
	③液肥化装置	8
	④固形肥料化設備	8
	⑤プラント全体概略図	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	9
第2章	本論	
2-1	可溶化装置の開発	10
2-1-1	目的	10
2-1-2	仕様、装置外観	10
2-1-3	運転試験・開発	11
	①ガス発生量	11
	②攪拌について	11
	③加熱温度、圧力について	11
2-2	メタン濃縮装置の開発	12
2-2-1	目的	12
2-2-2	仕様、装置外観	12
2-2-3	運転試験・開発	13
	①濃縮テスト	13
	②処理能力・再生について	13
	③再生テスト	13
2-3	液肥化装置の開発	14
2-3-1	目的	14
2-3-2	仕様、装置外観	14
2-3-3	運転試験（栽培試験）・開発	16
	①処理結果比較	16
	②肥料成分比較	16
	③栽培試験結果	17

2－4	固形肥料化設備の開発	1 8
2－4－1	目的	1 8
2－4－2	仕様、装置外観	1 8
2－4－3	運転試験・開発	1 9
	①加熱バーナー	1 9
	②炭化試験（固形肥料化）	1 9
	③炭化試験（固形肥料化＋油化）	2 0
	④排ガス測定	2 0
	⑤固形肥料としての利用	2 1
第3章 総括		
(1)	研究開発成果と研究開発後の課題	2 2
(2)	事業化展開	2 3

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

背景・研究目的：

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応。

(十九) 発酵に係る技術に関する事項

発酵に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 環境対応に関する事項

①川下製造業者の抱える課題及びニーズ

ア．低コスト化

イ．高品質化

- ・ コスト面からエネルギーとしては利用が進まなかった食品廃棄物のエネルギー転換を推進するため、低コスト化・高品質化を実現した小型バイオガス実証プラントの製作、メタンガス精製・濃縮・貯留装置の開発、消化液液肥化装置の開発

②上記を踏まえた高度化目標

ア．未利用バイオマス等の高度利用に係る技術の高度化

- ・ 中小食品加工業者等において採用可能な低コスト化・小型化を図るため、発酵期間の短縮、得られたバイオガスのメタン濃度の改善、不純物の除去、高密度でのガスの大量貯蔵等の技術を開発する。
- ・ メタン発酵後に排出される消化液の有効利用のため、生物処理により消化液を連続的に液肥化する装置を開発する。また、プラント内から廃棄物を出さないように固形廃棄分については炭化し土壌改良剤として農地に還元する。

現在国内で発生する食品廃棄物約 2,200 万トン／年はその 80～90%が焼却されている。残りは堆肥化、及び埋立されている。食品廃棄物は水分が多く焼却するには大量の石油を消費しそれに伴い二酸化炭素を多く排出する。また、埋立処理した場合は地中からメタンが発生し、二酸化炭素に比べ 21 倍の温室効果があるといわれている。食品廃棄物の一部は堆肥化されているが、製造過程の臭気や堆肥の売り先の確保が困難などの問題で再利用化は進んでいない。

一方、水分の多い廃棄物からエネルギーを回収する方法としてメタン発酵処理が行われている。現状のメタン発酵処理の課題として、高コスト、消化液の処理が困難、バイオガスの利用用途が少ないなどが挙げられる。これらの理由からメタン発酵処理は普及に至っておらず、システムの低コスト化並びに生成物の高品質化がそれぞれ喫緊の課題となっている。

このような課題を解決し、メタン発酵プラントの普及を促進するため本研究では、発酵期間の短縮技術、得られたバイオガスのメタン濃度改善技術、消化液の農業利用を可能とする液肥化技術・固形肥料化技術をそれぞれ開発することにより、中小食品加工業者等に於いて採用可能な程度にシステム全体を低コスト化した食品廃棄物バイオマス化プラントの実用化を目指す。

プラント概略：

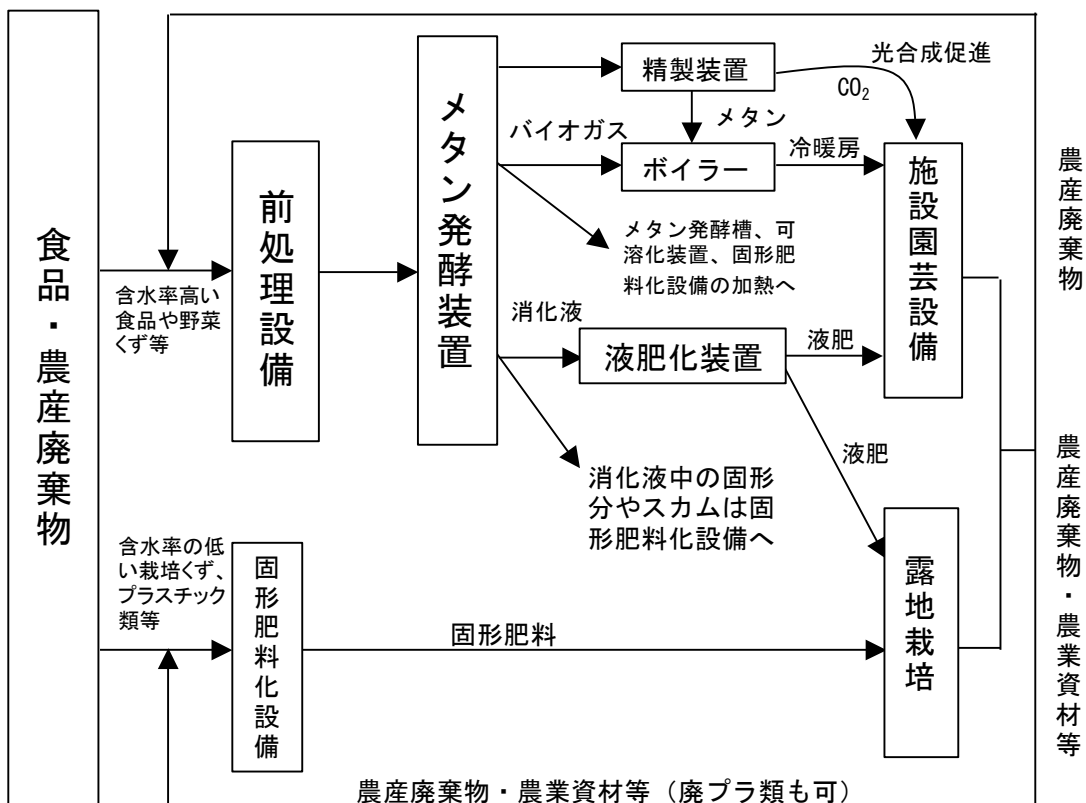


図 1－1．プラント概略フロー図

研究目標：

プラント設置場所：株式会社ちよだ製作所（香川県高松市香南町西庄 941-5）

製作設備内容：可溶化装置、メタン濃縮装置、液肥化装置、固形肥料化設備

設備開発目標：

- ①メタン発酵槽の小型・低コスト化を実現する為に水熱反応を活用した可溶化装置を開発する。なお、開発する可溶化装置は処理物を 170℃まで加熱することができる、熱効率の高い省エネルギーでかつ低コストなものとする。
- ②メタン濃度 80%以上に濃縮できる低コストメタン濃縮装置を開発する。
- ③消化液を生物処理することにより養液栽培で使用可能とする液肥化装置を開発する。また、プラントから発生する固形廃棄物を炭化処理することにより固形肥料を生成する固形肥料化設備を開発する。

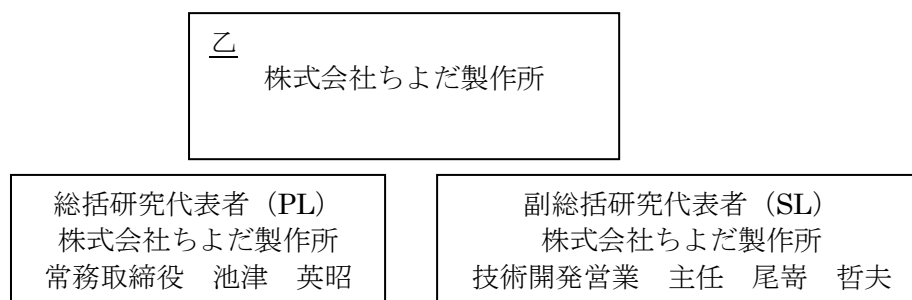
1-2 研究体制

①事業管理者及び研究実施場所

株式会社ちよだ製作所（最寄り駅：琴平電気鉄道 琴平線 岡本駅）

〒761-1406 香川県高松市香南町西庄 941-5

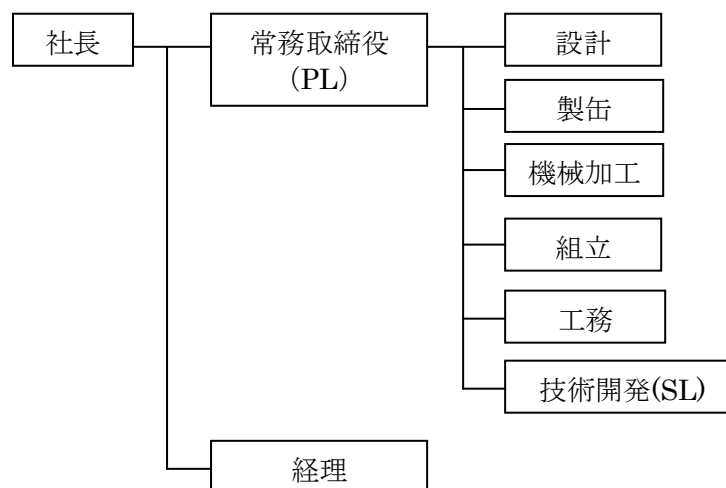
②研究組織（全体）



③管理体制

事業管理者

[株式会社ちよだ製作所]



1-3 成果概要

①可溶化装置

【目的】

発酵期間の短縮化に資するため、水熱反応法を活用することにより、多用な基質を溶解しかつ微生物が資分解し易い水溶性の低分子有機物に効率的に変換できるバッチ式加圧熱水可溶化装置を開発・試作する。

なお、本装置は、得られたバイオガスを燃料として使用することができ、かつ攪拌することなく高温スチームにより直接または間接的に処理物を加熱することができる、省エネルギーで低コストなものとする。

【成果】



可溶化装置

食品廃棄物を所定の温度まで加熱し、可溶化することが可能な装置を開発・試作することができた。従来の直接加熱するタイプの可溶化装置に比べ30%以上燃料消費が減り、さらに本装置ではメタン発酵で得られたバイオガスを利用できるようになった為、省エネルギー化に成功した。

運転面においても、従来繊維質のものを処理した場合、配管部が詰まるなどのトラブルが頻発したが、本装置では排出口が広いいため全くそのような問題もなく、操作性も改善された。

実施計画では170℃まで加熱する予定であったが、ビーカー試験の結果から150℃前後が最も安定して可溶化の効果が発揮できるとわかったので、本装置は150℃で加熱することを前提に設計・試作した。

また、攪拌装置をなくし蒸気の力で処理物を攪拌する予定であったが、基礎試験や検討の結果必要と判断し、本装置に設けた。ただし、従来に比べ攪拌軸をできる限り短くすることにより繊維質のものが絡む不具合を防止した。

今後、さらに加熱釜の外側に効果的な断熱を施し、熱効率を高めさらに省エネルギー化を図る。従来、配管などに用いているグラスウール等では水で濡れた場合に効果がなくなってしまうので水に濡れても大丈夫なものを使用するか、構造的に対策をしなければならぬと考えている。

②メタン精製・濃縮装置

【目的】

ゼオライトが選択的に二酸化炭素を吸着する性質を持つことに着目し、これを吸着材として利用した低コストメタン濃縮装置を開発する。

なお、本装置は温度、圧力、水分等を適正に管理することによりメタン濃度を 80% 以上に精製・濃縮できることを目標とする。

【成果】



メタン濃縮装置

食品廃棄物から得られたバイオガスの性状はメタン 60%、二酸化炭素 40%であるが、これをゼオライトを用いた吸着材により二酸化炭素を除去しメタンのみを回収することによりメタン濃縮する装置を開発し試作した。テストの結果、約 65%のメタン濃度を 90%まで濃縮することに成功した。市場で販売されている濃縮装置は 97%以上濃縮することができるがその分コストが高く（数千万円～数億円）、中小企業が採用できるレベルではない。本装置の濃縮能力は 90%前後であるがコスト的には市場で販売されている装置の約 1/10 程度で製作できる目途がたった。

今後、さらに連続運転を行い濃縮性能をどこまで保証出来るかを確認する必要がある。特に気温の高いときは能力が落ちると予測されるので確認の必要があると思われる。

また、ゼオライトは再生すれば半永久的に使用できるとされているが、連続試験を行い稼働時間もどこまで保証できるかの確認も必要である。

③液肥化装置

【目的】

消化液を生物処理することにより有機物の分解、アンモニア態窒素の硝化を行い、養液栽培で使えるように改質する液肥化装置を開発・試作する。

【成果】



液肥化装置



左が化学肥料、右が本装置で生成した液肥で育てたもの。
化学肥料と比べても遜色ない生育状態を示した。(栽培種：小松菜)

消化液を液肥化して農業に有効利用するための装置を開発・試作した。この装置で消化液を処理し養液栽培に使用した結果、問題なく使用できることがわかった。臭気についてもこの装置で処理した場合、処理する前に比べほとんど臭わなくなり、液の取扱性が向上した。

液の肥料成分の分析結果からも処理後、硝酸態窒素が増加しており狙い通りの装置を製作することができた。



左が処理前の消化液、右が本装置で処理後の液肥

今後の課題としてはメタン発酵する食品廃棄物の性状によって液肥の肥料成分が左右されるので運転管理方法について検討する必要がある。

④固形肥料化設備

【目的】

比較的水分率の低い固形廃棄物（農産廃棄物・高分子系廃棄物等）を炭化処理することにより固形肥料を生成する固形肥料化設備を開発・試作する。



固形肥料化設備



バイオガスバーナー燃焼のようす

【成果】

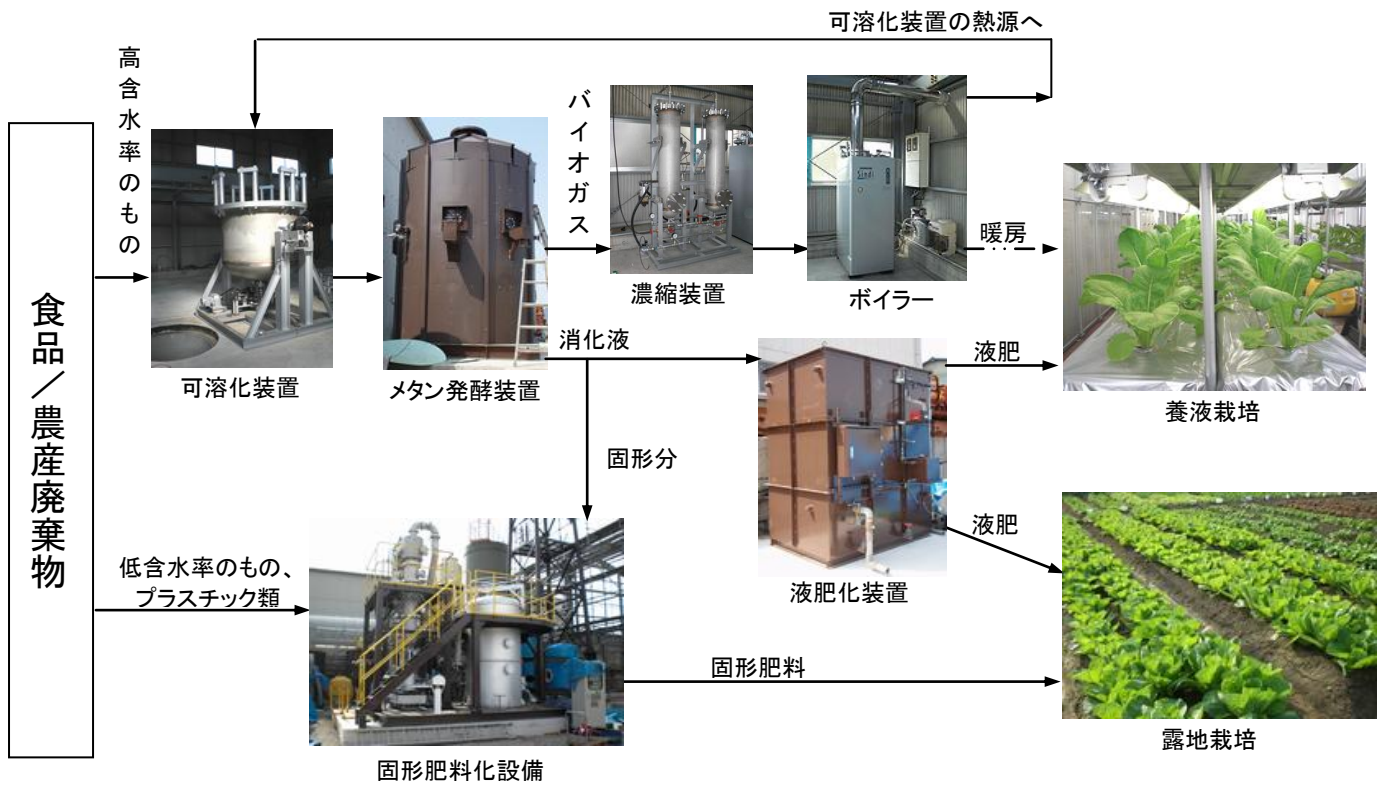
消化液の固形残渣や農業などで出る高分子系廃棄物を処理し、処理後、プラントからゴミを出さないゼロエミッション化プラントを目指す目的で固形肥料化設備を開発・試作した。

加熱バーナーにはメタン発酵で得られたバイオガスを用いて省エネルギー化も可能であり、高分子系廃棄物を処理した場合には油の回収も可能となった。食品廃棄物等を処理した場合は炭化でき、土壌改良剤として使用できた。

今後は高分子系廃棄物を処理した後に回収できる油の精製能力を向上させ重質油を回収できるようにし、その油を本装置の燃料に使用できるように改良する。

また、できた炭化物の性状を調べ土壌改良剤以上に付加価値の高いものに利用できるようにする。

⑤本事業のプラント全体概略図



1－4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ちよだ製作所

技術開発営業

尾寄 哲夫

TEL 087-879-7911

FAX 087-879-3985

E-Mail ozaki@chiyoda-mfg.jp

第 2 章 本論

2－1 可溶化装置の開発

2－1－1 目的

メタン発酵装置の課題のひとつとしてイニシャルコストが高いことが挙げられる。メタン発酵は一般的に発酵期間に 25 日前後を要する。発酵期間が長ければメタン発酵槽が大型化し、これがコスト高の原因となっている。つまり発酵期間の短縮が低コスト化につながることになる。本事業ではメタン発酵前に前処理として高温高压で処理することにより発酵期間を短縮し、低コスト化を図る為、水熱反応を利用したバッチ式可溶化装置を開発する。

2－1－2 仕様、装置外観

表 2－1－1 可溶化装置仕様

項 目	仕 様
有効容量	1,000L
寸法	1,800×1,800×2,850mm
材質	SUS304
加熱装置	蒸気ボイラー
加熱温度	120℃～150℃
圧力	0.5MPa 以下
付帯設備	攪拌装置、蒸気ボイラー、釜傾倒装置



受入槽

写真 2－1－1：可溶化装置



写真 2－1－2：蒸気ボイラー
(プロパン・バイオガス併用型)

2-1-3 運転試験・開発

試作した可溶化装置を用いて運転試験を行った。

①ガス発生量

可溶化の有無によるガス発生量の違いを確認した。その結果、可溶化した場合 15%のガス発生量の向上が見られた。今回は釜の内部温度を測定している温度計が 150℃を指し示した瞬間に加熱を止め、一日放置した後に翌日冷めた状態で排出する方法で行った。今後、加熱時間と温度を変える実験を行い、ガス発生量や処理時間に与える影響を調べ、最も効果的に運転できる条件を確立する必要があると思われる。

②攪拌について

当初の攪拌方式は攪拌羽根や攪拌シャフトに繊維質のものが絡まり、不具合の原因になるので、攪拌装置を無くして蒸気の噴射の力で攪拌できないかを検討した。その結果、対象物の流動性がないため蒸気の通り道ができてしまい、釜の内部を攪拌する力は得られないことがわかった。その後、対策として釜の底に攪拌羽根を取り付ける機構とし攪拌シャフトは無くすことができた。この対策によりシャフトに処理物が絡まることは無くなり、以前の可溶化装置と違い上蓋が完全開放であり掃除も簡単に行えるため繊維質のものが絡みつく不具合はなくなった。

今後は攪拌羽根の形状をいくつか変えてテストし、効率よく温度を上げられ、なおかつ繊維質のものが絡みにくい形状を開発する。効率よく温度上昇させることにより結果的に省エネルギー化が図れるものと思われる。

③加熱温度、圧力について

加熱温度は当初 170℃を想定していたが、ビーカー試験の結果から 150℃を想定して今回は製作した。蓋部分では作業性、機密性、耐圧性が問題となった。

蓋は日常的に何度も開閉する。ボルト締めでは作業に時間がかかるため、本装置ではハンドルを回せば開閉できるような構造とした。

また、耐圧性、機密性を確保する為、ハンドルを回せば軸が伸びテコの原理で軸が蓋を押える構造とした。蓋の裏は O リングを二重に配置し機密性を保つようにした。

2-2 メタン濃縮装置の開発

2-2-1 目的

バイオガスは主にメタン 60%、二酸化炭素 40%で構成されており、その熱量 (5,500～6,500kcal/m³) は都市ガス (13A 10,000～15,000kcal/m³) に比べて低く、発生源の近くで利用しなければならないなど利用用途が限定される。また、硫化水素、水分などを含み、これらの微量成分が機器を劣化・損傷させる。何らかの方法でバイオガス中の二酸化炭素を除去しメタンを濃縮することにより使用機器の安定性向上、離れた場所での利用が可能になるなど利用用途の拡大が可能となる。本事業ではゼオライトが選択的に二酸化炭素を吸着する性質を持つことに着目、これを二酸化炭素や水分、硫化水素などの吸着材として利用し、メタン濃度を 80%以上に濃縮できる低コストメタン濃縮装置を開発する。

2-2-2 仕様と装置外観

表 2-2-1 メタン濃縮装置仕様

項 目	仕 様
吸着槽容量	0.114m ³
吸着槽寸法	1,400W×750D×2,500H
吸着槽数量	2 基
材質	SUS304
吸着材	ゼオライト
吸着材充填量	1 基あたり 48kg
バイオガス精製量 (CO ₂ 濃度 40%として)	1 基、1 回あたり 10m ³
最高使用圧力	0.9Mpa 以下
付帯設備	ドライフィルター、バルブ類、逆止弁、減圧弁等



写真 2-2-1 : メタン精製・濃縮装置

2-2-3 運転試験・開発

①濃縮テスト

メタン発酵装置で得られたバイオガスのメタン濃度、二酸化炭素濃度を測定し、何%まで濃縮できるか測定した。測定器の性能上、二酸化炭素は 20%までしか測定できない為、計算値を示す。メタンは 63.5%の濃度だったガスを 90.5%まで濃縮できた。

②処理能力・再生方法について

内部に充填している吸着材であるゼオライトの能力は、吸着材 10kg あたり 1.7kg の二酸化炭素を吸着できる能力がある。一般的なバイオガス（メタン：二酸化炭素の割合が 6：4）の場合、今回の装置における能力は 20m³ のバイオガスを処理できる。20m³ のバイオガスを処理した後、吸着材を再生しなければならない。方法としてはいくつかあるが、本装置ではエネルギー面とシステム化が容易であることから、圧力変動再生方式を採用した。

③再生テスト

約 15m³ のガスを処理した状態を測定した。初期に比べて濃縮能力が落ちていた。この状態で加圧・開放を何度か繰り返して濃縮能力が再生できるかテストした。再生前には 77%までしか濃縮できなかったが、再生後は 90%以上濃縮できるまでに回復した。

2-3 液肥化装置の開発

2-3-1 目的

メタン発酵後に残る消化液は BOD、COD が高くそのまま河川等に排出できない。投入物の水分率によるがメタン発酵時 92%まで希釈する為、量的にも投入量と同じかそれ以上の量が毎日排出され、有効利用の確立が期待されている。一方、消化液には窒素、リン酸、カリ等の肥料成分が含まれており全国的にも肥料としての利用が試みられている。

本事業ではこの消化液を生物処理し養液栽培にも使用できるようにする液肥化装置を開発する。

2-3-2 仕様、装置外観

表 2-3-1 液肥化装置仕様

項 目	仕 様
水槽容量	2.5m ³
材質	SS400
外形寸法	1,200L×1,800W×2,300H
制御盤	屋外型、550×500×140
その他付帯設備	バルブ類、散気管等

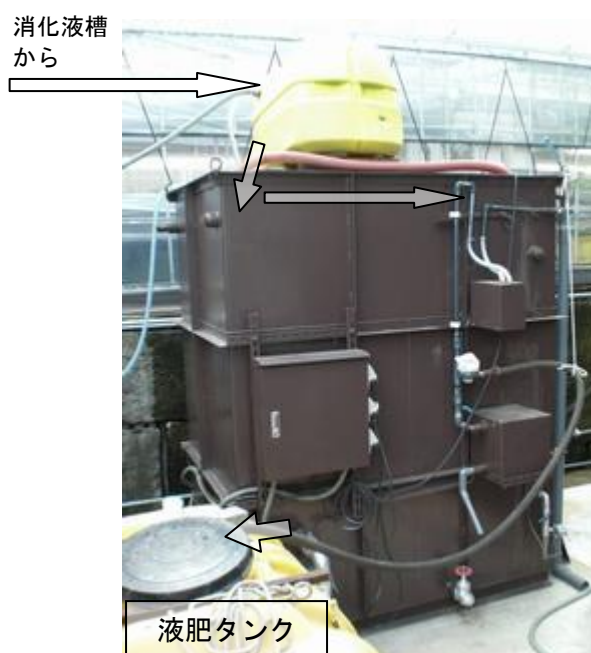


写真 2-3-1 : 改質装置

液肥化装置の改質プロセス：

改質のプロセスを図 2－3－2 に示す。液肥化装置内は 24 時間バッキされている。内部は 3 槽に分かれており、1 槽目、2 槽目には好気性菌群を入れたリアクターがあり、それらの菌群により浄化するシステムである。この装置により消化液の臭いや粘性が軽減され、取扱い性が向上する。また、肥料成分としては窒素成分のうち約半分が硝酸態窒素に変わっている。

稲や茶はアンモニア態窒素を選択的に吸収し、その他の作物は硝酸態窒素を好む。通常消化液を土壤に撒くと時間をかけて（10 日以上）アンモニア態窒素が徐々に酸化し硝酸態窒素に変わり作物に吸収される。そういう意味では本装置で得られる液肥は速効性のある液肥と考えられる。

また、養液栽培の場合はアンモニア態窒素が直接根に触れるとアンモニア障害が発生したり養分を吸収できない状態になり作物が上手く育たない。本装置で処理した液肥は栽培試験でも化学肥料で育てた場合と遜色ない育成状態を示した。

表 2－3－2 窒素成分分析結果

	消化液		液肥化装置処理後
アンモニア性窒素 mg/L	1,100	→	490
硝酸性窒素 mg/L	0	→	630

2-3-3 運転試験（栽培試験）・開発

①処理結果比較

消化液を液肥化装置で処理した結果を示す。透明度が増しており臭気はほとんどなくなっていた。



写真 2-3-2：消化液(左)と液肥(右)



写真 2-3-3：消化液(左)と液肥(右)上から

②肥料成分比較

消化液と液肥を比較した表を下表に示す。アンモニア性窒素が減り、硝酸態窒素が増えている。通常土壌中の無機窒素はアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の 3 つの形であり、大半の作物は硝酸態窒素を好んで根から吸収して利用する。分析結果から、処理前の消化液の窒素成分はアンモニア性窒素が大半で硝酸態窒素がほとんどない状態であったが、液肥化装置で処理することにより硝酸態窒素が増加し、アンモニア態窒素が減少することがわかった。

表 2-3-2 分析結果

[mg/L]

液	消化液	液肥	消化液	液肥
採取日	2010年1月12日	2010年2月16日	2010年3月8日	2010年4月14日
pH	7.60	7.37	7.76	6.79
BOD	3700	12	2800	18
COD	13000	450	11000	300
全窒素	3460	1320	3210	1100
硝酸性窒素	<0.1	680	<0.1	630
アンモニア性窒素	2400	540	1100	490
リン酸	414	12	389	5.8
カリウム	623	632	585	380
マグネシウム	207	42	361	70
マンガン	3.9	0.42	5.3	1.2
ホウ素	4.7	1.7	6.1	2.3
鉄	1250	1.2	1780	2.5
銅	1.3	0.26	1.2	0.2
亜鉛	6.7	0.54	7.9	1.4
モリブデン	0.12	0.23	0.12	0.013
カルシウム	230	175	323	120
塩化物	2400	290	1500	660

③栽培試験結果

液肥化装置で生成した液肥を用いて栽培に影響がないか調べた。現段階では消化液を有効に処理する目的である為、悪影響がないかを中心に調べた。その結果、養液栽培に於いて化学肥料と遜色ない生育状態を示した。2 回目のレタスを栽培した際、液肥で栽培したものが若干小さかったが液肥成分を見ると塩化物の値がかなり大きくなっていたため、生育障害を起こしたものと思われる。今回用いた原料の塩分が通常の食品廃棄物に比べ非常に高かった為、結果的に消化液や液肥の塩分が高くなった。原料の性状に左右される部分をどのように管理していくかが今後の課題ともいえる。

	
2 月 2 日撮影 （左）化学肥料（右）液肥 栽培種類：小松菜	3 月 1 日撮影（左）化学肥料（右）液肥 栽培種類：小松菜

写真 2－3－4：栽培試験結果

	
3 月 8 日撮影 （左）化学肥料（右）液肥 栽培種類：レタス	3 月 30 日撮影 （左）化学肥料（右）液肥 栽培種類：レタス

写真 2－3－5：栽培試験結果

2-4 固形肥料化設備の開発

2-4-1 目的

メタン発酵後の残渣のうち固形分、肥料利用したあと農業で発生する農業資材や固形残渣等も廃棄物として出さずに炭化处理することにより土壌改良剤として使用する。本事業では廃棄物を一切出さないゼロエミッション化プラントを目指し、固形肥料化設備を開発する。熱源にはメタン発酵して得られたバイオガスも使用可能とし、省エネルギー化を図る。

2-4-2 仕様、装置外観

表 2-4-1 固形肥料化設備仕様

項 目	仕 様
熱分解釜容量	2m ³
寸法	8,250W×6,400D×6,800H
材質	SUS304、SS400
循環ガス流量	5～15m ³
処理物	食品廃棄物、野菜栽培くず、農業ポリ、タイヤ等
加熱燃料	灯油、バイオガス
熱分解ガス温度	450℃～500℃
加熱時間	3～4 時間



写真 2-4-1 固形肥料化設備

2-4-3 運転試験・開発

①加熱バーナー

ガスバーナーは2基設置できるようにした。写真1はオイルバーナーを2基接続しているところである。省エネルギー化を図るため、今回はオイルバーナー1基を写真2-4-2のようなバイオガスバーナーに代え、メタン発酵で得られたバイオガスを利用できるようにした。



写真2-4-2 オイルバーナー
（固形肥料化設備）



写真2-4-3 バイオガスバーナー
（燃焼のようす）

②炭化試験（固形肥料化）

農業マルチ、野菜くず（レタス、たまねぎ）、ビニールハウスシート、木くずを炭化処理した。ビニールハウスシートは熱分解されて炭化物は残っていなかったが他のものは炭化物が回収できた。ビニールハウスシートの炭化物が残っていなかった理由としては、熱分解の温度が高すぎた為と考えられる。

写真2-4-4 農業廃棄物

炭化前	炭化後
	

③炭化試験（固形肥料化＋油化）

高分子系廃棄物を処理し炭化物と油を回収した。入手のしやすさから今回はタイヤを処理した。タイヤの場合、中に鉄製のワイヤーが入っているので、熱分解した結果、油（重質油）、炭化物、鉄に分離することができた。ただ、油の回収は装置としては 2 箇所回収できるようにしていたが、配管の中やドレン回収口等、意図していないところで油が溜まっていた。ミスト状態の油が循環したことと、完全に冷却することができず気化した油が浸入したものと思われる。

写真 2－4－5 高分子系廃棄物処理結果



④排ガス測定

固形肥料化設備は余剰ガスを燃焼炉に排出し 2 次燃焼した後に煙突から排出される仕組みになっている。その排出ガスに有害な成分が存在しないか分析を行った。分析は四電ビジネスに依頼した。測定は 2 次燃焼する前の精留塔出口、2 次燃焼後の煙突部、合計 2 ヶ所で測定を行った。

処理物は高分子系廃棄物の際に問題が発生する可能性があるので、入手し易さから今回はタイヤと塩ビパイプを処理し、排気ガスを測定した。

本装置は燃焼する装置、つまり焼却施設には当てはまらないので排ガスの基準値が存在しないが、参考として焼却施設の規制値と比較した。その結果、タイヤの場合はいずれの項目も焼却炉の規制値よりも低い値を示した（表 2-4-2, 2-4-3 参照）。また、塩化ビニールが少し（5%程度）混じっている程度では問題ないが、大量（2m³）に塩化ビニールを処理した場合は塩化水素が大量に発生し基準値を大きく上回った。2 次燃焼をしても塩化水素が大量に排出されることがわかった。現状の装置そのままでは塩化ビニールの大量処理は難しいということがわかった。

ただし、農産廃棄物には塩ビ系の廃棄物が多いため、課題は多いが解決する必要がある。今後、排ガス処理方法、処理後の配管内の洗浄・中和方法（塩素・塩酸で錆びるため）など検討する必要があると思われる。

⑤固形肥料としての利用

元肥を撒く前に炭化物を畑に撒いて土壌改良剤として使用した結果、問題なく利用できることがわかった。

ただ、農業利用には主に春と秋に使用する程度で、その量があまり多くないこと、土壌改良剤としてでは価値が低く単価が安いことがわかった。今後、炭化物（カーボン）の状態を細かく分析し、再生カーボン、脱臭剤、吸着材等利用用途を広げ、付加価値を上げることが必要と思われる。



写真 2－4－6 土壌改良剤使用結果

第 3 章 総括

(1) 研究開発成果と研究開発後の課題

発酵期間の短縮技術、得られたバイオガスのメタン濃度改善技術、消化液の農業利用を可能とする液肥化技術、固形分の肥料化技術をそれぞれ開発することにより、中小食品加工業者等に於いて採用可能な程度にシステム全体を低コスト化した食品廃棄物バイオマス化プラントの実用化を目指し、実際に装置を試作し、運転試験を行った。

・可溶化装置

発酵期間の短縮を目的とした可溶化装置の開発は、当初の予定通り蒸気による加熱で省力化を図り、150℃まで加熱することができた。また、加熱の熱源に得られたバイオガスを用いることができ、さらに省エネルギー化を図ることができた。攪拌についても繊維質のものが絡まない構造とすることができ、仮に攪拌羽根に絡まったとしてもメンテナンスを容易にすることができた。当初必要と考えていた機能は全て実現できたと思われる。ただ、低コスト化という面では釜の転倒装置部分、攪拌装置部分、蓋部分においては、機能性・安全性を優先したのでまだ検討の余地が充分あるといえる。

・メタン濃縮装置

バイオガスの利用用途拡大を目的としメタン濃縮装置の開発を行った。市場に出回っているものが非常に高価なため、濃縮率を少し落として低コスト化を実現することを目標に開発した。その結果、メタン濃度を 90%以上に濃縮することが可能な装置を開発することができた。本事業においては未だ連続試験が不十分であるといえる。数十回、数ヶ月のレベルで試験した程度では目標としていた機能は果たすことができたが、製品化する前に濃縮レベルと連続稼働時間をどこまで保証できるかを確認する必要がある。また、ゼオライトは再生すれば半永久的に使用できるとされているがこの耐久性についても確認する必要がある。

・液肥化装置

消化液の有効利用を目的に液肥化装置を開発した。その結果、本装置で処理した消化液は臭気・色などの改善、アンモニア態窒素の硝酸窒素化を行うことができ、露地栽培でも養液栽培でも良好な結果が得られた。本事業期間中、メタン発酵装置に投入した原料は比較的塩分濃度の高い原料であった。このため何度か栽培試験を繰り返しているうちに塩分の蓄積が確認され同時に若干の生育不良が見られた。塩分が高い場合などは収穫後、次の栽培をする前に何日間か水で培地を洗浄することで対応できると思われる。投入原料の性状によって消化液の成分が変化するのでその時々に対応が必要と思われる。今後、メタン発酵において代表的な原料をいくつか用いて連続試験を行い消化液の状態を把握した上で、液肥化装置のバッキン量や滞留時間などをコントロールすることによりどこまで対応できるか確認する必要がある。

・固形肥料化設備

プラントから発生する比較的水分率の低い固形残渣や農産廃棄物として排出されメタン発酵できない高分子系廃棄物等も有効利用することによりゼロエミッションプラントを目指すことを目的とし固形肥料化設備を開発した。本装置は得られたバイオガスを使用することができ、食品残渣、野菜くず、農産廃棄物（農業マルチ）等を炭化することができた。そ

の炭化物は土壌改良剤として使用し、露地栽培に再利用することができ、ゼロエミッション化が図れたと思われる。一方、固形肥料化設備については高分子系廃棄物を処理した場合、炭化物だけではなく油の回収も目的としている。油回収については重質油、軽質油の混合した油が回収できたが、この中にはタール分などを含めた不純物も多く含まれているため、そのままでは燃料に使用することができない。今後、加熱温度の管理、冷却塔の改良を行い意図した油種の油を精度よく回収できるようにすることが必要である。また、炭化物に於いては土壌改良剤としては性状は不均一でも使用できるが、付加価値があまり無い為、事業化を想定した場合はあまり（ユーザーの）利益につながらない。今後、本設備で得られる炭化物についても性状を分析し、市場を調査しながら高度利用できる可能性を探る必要がある。

（２）事業化展開

地球環境問題や産業廃棄物最終処分場の残余問題に対する解決策が求められている中、メタン発酵等、未利用バイオマスの有効利用の処理技術の開発においては、システムの低コスト化並びに生成物の高品質化がそれぞれ喫緊の課題となっている。本事業では、可溶化装置、メタン濃縮装置、液肥化装置、固形肥料化設備を開発・試作し運転試験を行うことにより、中小食品加工業者等において採用可能な程度にシステム全体を低コスト化した食品廃棄物バイオマス化プラントの実用化を目指した。

平成19年度の調査で四国内の食品加工業者は平均で残渣処分費1.8万円/tを支払っており、排出量は1.65t/日であることがわかった。年間約900万円も処理費用を支払っている。メタン発酵プラントのイニシャルコストを1トン処理あたり3,000万円（原料の受入れから消化液の処理まで含めて）として、現状の処理費用をこれに充てた場合、約5年半でイニシャルコストは回収できる。さらに、得られたバイオガスを場内のエネルギーに利用することによりエネルギーコストが削減でき、また、企業イメージの向上にもつながる。また、食品加工業者の場合、廃棄物の性状はほぼ一定であり、塩分やpHについても人が口にするものなのでメタン発酵を阻害する状態ではないと考えられる為、運転管理も容易であると思われる。以上のようなメリットから食品加工業者を中心にメタン発酵プラントの普及を目指す。

前述のような事業化にあたってはメタン発酵処理から発生する消化液の処理が最も重要な課題であり、それができることが前提条件となっている。消化液の処理は大きく分けて二つの処理方法がある。

ひとつは消化液を水処理してしまう方法である。課題は少ない反面、コストメリットが非常に少なくなるという問題がある。

もうひとつは本事業でも取り上げたが農業に利用する方法である。露地栽培、養液栽培ともに栽培には問題なく使用できることがわかったが、散布する農地の確保や農家の理解など課題がある。農業利用については課題が多い反面、循環型サイクルを形成でき、PR効果という意味では単純に水処理することに比べ効果は非常に大きいと考えられる。実現の為には関係者を巻き込んだ仕組みづくりが重要と思われる。