

食品廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業

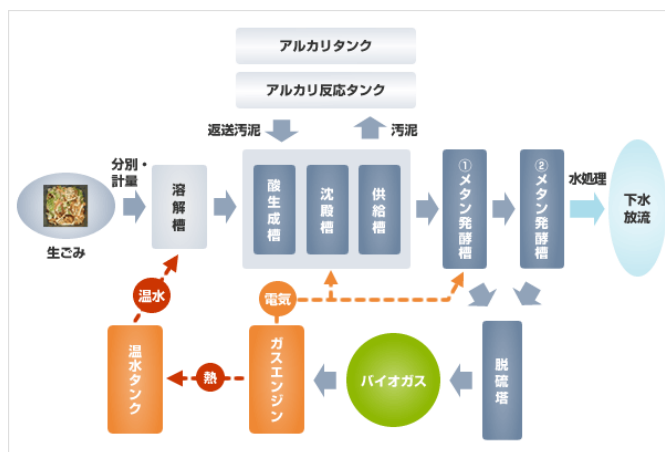
赤松 佑介・林 まゆ・遠藤正史・斉藤芳人

Demonstaration Project of Biogasification for Waste Food

Yusuke AKAMATSU, Mayu HAYASHI, Masashi ENDO, Yoshihito SAITO



ガスエンジン設備



バイオガスプラント フロー図

研究の目的

本件では、マイカル明石店舗内で発生する食品廃棄物（生ごみ）を原料としたメタン発酵によるバイオガス生成と、ガスエンジンを使った電気と温水の回収・利用についての実証研究の概要、設備の稼働状況について報告する。メタン発酵とは、様々な有機系廃棄物から、メタンガスを主とするバイオガスを作り出す技術のことで、バイオマス利用技術の中でも有用な技術として、今後の展開が期待されている。

技術の説明

商業施設内各テナントや加工場から発生した残飯や調理くず、売れ残り商品などの固形状の生ごみを、生ごみ溶解装置によって、液状化し、その後段にはメタン発酵にグラニュールを用いた反応システムを組み込んでいる。

液状化した生ごみは、メタン発酵槽流入前までの前処理によって、メタン発酵菌が活発にバイオガスを生成できる特性の液体に変換される。また、メタン発酵槽には、EGSB方式（第1メタン発酵槽）、UASB方式（第2メタン発酵槽）を採用し、バイオガス生成反応を高速化させた。

なお、複合商業施設での食品廃棄物を原料とするメタン発酵で発電までを実施するのは国内初の試みである。

主な結論

実証運転を開始して以降、生ごみ1トンあたりに換算すると、約140 m³のバイオガスを発生させている。生ごみ溶解装置内部は、乳酸発酵環境に保たれ、そこから排出される液体は乳酸を多く含む液体であったが、酸生成槽内に流入することで、乳酸からメタン菌の直接的な基質となる酢酸への転換が確認された。また、酸生成槽内部では、タンパク質の脱アミノ化によるアンモニウムイオン濃度の上昇も確認され、プラント各部によって分解対象とする有機物が異なる傾向を確認した。今後、更なるプラント各部の最適化を図り、システム全体の運転ノウハウの蓄積に努める所存である。

なお本実証事業は、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）より公募された、新エネルギーフィールドテスト事業 地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業に採択されたもので、NEDO・株式会社マイカルとの共同研究事業である。

食品廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業

赤 松 佑 介 林 ま ゆ
遠 藤 正 史 斉 藤 芳 人

要 旨

マイカル明石店舗内で発生する食品廃棄物（生ごみ）を原料としたメタン発酵によるバイオガス生成とガスエンジンをを用いた電気と温水の回収・利用についての実証事業の概要，設備の稼働状況について報告する．

商業施設内各テナントや調理加工場から発生した残飯や調理クズ，売れ残り商品などの固形状生ごみを生ごみ溶解装置によって可溶化（液化）し，その後段にグラニュールを用いたメタン発酵槽を設けたシステムを組み込んだ．

なお，複合商業施設での食品廃棄物を原料とするメタン発酵で発電までを実施するのは国内初の試みである．

キーワード バイオマス／食品廃棄物／食品リサイクル法／商業施設／メタン発酵／発電

目 次

- | | |
|-----------|-------------|
| 1．はじめに | 4．稼働状況 |
| 2．事業概要 | 5．プラント各部の効能 |
| 3．プラントの特徴 | 6．結論と今後の課題 |

Demonstration of Methane fermentation for waste food

Yusuke AKAMATSU Mayu HAYASHI
Masashi ENDO Yoshihito SAITO

Synopsis:

It reports on the outline of the experimental study of the methane fermentation that makes the food waste (garbage) generated in the store of MYCAL AKASHI a raw material and the operation situation of equipment.

This is an experimental study of the collection and the use of electricity with biogas generation with the methane fermentation and a gas engine and the warm water.

Solid garbage of the leftover, the cooking kudzu vine, and the unsold stuff commodity from each tenant and cooking processing place in commercial facilities was solubilized by aerobic solubilization device, and the system that installed the methane fermentation tank where granule had been used for steps afterwards was built in.

Moreover it is the first attempt domestically that the food waste is made a raw material and power generation is executed by the methane fermentation at commercial complex.

1. はじめに

平成 14 年にバイオマスニッポン総合戦略（平成 19 年改訂）が閣議決定され、化石燃料に代わるバイオマスエネルギーの開発促進が政府方針として掲げられている。

バイオマスとは「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用できるもの。」と定義されており、本報告で取り扱う食品廃棄物も廃棄物系バイオマスとして、エネルギー利用を含めた有効利用が求められている。

食品廃棄物の有効利用方法については、堆肥化・飼料化などのマテリアル利用も進められてはいるが、その利用先が確保できないケースも多いため、食品廃棄物からメタンを生成し（メタン発酵）、エネルギーとして利用する技術が求められていた。

メタン発酵とは、有機性廃棄物を嫌気性環境下においてメタン菌の作用によって、メタンガスを主としたバイオガスを発生させることで、発生したバイオガスは、ボイラー・エンジンなどを用いてエネルギー利用される。メタン発酵の対象となる有機性廃棄物には、本報にて対象とした食品廃棄物の他にも家畜糞尿や下水汚泥、ビール工場や焼酎工場などから発生する排水などがあげられる。

昨今、環境に配慮した活動を企業経営にも要求する機運の高まりから、各業種ともに省エネルギー化、クリーンエネルギーの有効利用を可能とする設備の導入は今後さらなる広がりを見せられると思われる。

さらに食品関連業界においては、業種毎に一定割合以上のリサイクルを義務付ける食品リサイクル法（平成 19 年改制）が施行されたこともあり、食品廃棄物の再利用は急務な状況である。

しかし、小売業・外食産業から発生する食品廃棄物は少量分散傾向にあり、集中型処理を行うためには収集運搬をはじめとする法的・費用的課題は多いとされている。

そこで今回、都市部のショッピングセンター（複合商業施設）における食品廃棄物のメタン化による有効利用モデルの構築を目指して、1t/day 規模のメタン発酵設備をマイカル明石店舗内に設置し、実証試験を行った。

ショッピングセンターなどの商業施設におけるメタン発酵プラントの稼働事例は国内でも少ない上、今回は開業から約 10 年経過した同店舗に後付設置した点においても他に類を見ない事例となっている。

本報告では、店舗内に設置したメタン発酵プラントの概要と稼働状況などについて報告する。

なお、本実証事業は独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、株式会社マイカルとの共同研究事業（平成 19 年度 新エネルギー技術フィールドテスト事業 地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業 複合商業施設における食品系廃棄物を対象としたバイオガス化実証事業）において実施したものである。

2. 事業概要

本件は、マイカル明石店舗内にて発生する食品廃棄物（生ごみ）をメタン発酵によりバイオガス化し、ガスエンジンをを用いて、電気と温水を回収し、有効利用する実証事業である。

マイカル明石は、兵庫県明石市にある大型商業施設であり、最寄駅とも通路で連結された 4 棟の商業棟から構成されている。棟はそれぞれ、1 番街、2 番街などと称されている。

開業当初より、3 番街内には、マイカル明石店舗全体から発生する廃棄物を集約・管理するリサイクルセンターが構えられており、そこでは食品廃棄物以外にも空き缶、ビン類、ダンボールなど店舗から発生する廃棄物の分別回収とリサイクルが進められている。

今回設置した設備は、リサイクルセンター及び、3 番街屋上駐車場脇の空きスペースに設置した。



写真-1 マイカル明石 3 番街 外観

各店舗テナント、調理加工場には発生する食品廃棄物を投入する専用の車輪付バケツが設置されており、そこに食品廃棄物のみを投入し、1 回／日、リサイクルセンターまで、テナント従業員または、リサイクルセンター管理委託業者によって搬送されている。以下に車輪付バケツと発生する食品廃棄物の一例を示す。



写真-2 車輪付バケツ



(魚腸骨) (野菜類)

写真-3 食品廃棄物一例

3. プラントの特徴

本プラントは、食品廃棄物を生物的に可溶化することで、グラニューールを用いた高速バイオガス化を可能とした点が最大の特徴である。

グラニュールとは、黒い粒状のメタン菌塊であり、これが有機物を含む排水と接触すると、極めて効率良くバイオガスが発生する。



写真-4 グラニュール

メタン発酵に関与する菌は、中温域（38℃程度）を好む中温菌、高温域（55℃程度）で活性が最大化する高温菌に大別される。高温菌は有機物の分解速度が速い反面、温度変化に過敏で、制御に難を有する指摘もある。中温菌は、高温菌と比較すると分解速度は劣るものの、温度変化に対しての許容性が高く、システムを安定的に稼働させることが可能とされている。^{*1)}

また、生ごみを対象としたメタン発酵の場合、メタン発酵槽内のアンモニア濃度が上昇し、菌活性を阻害することも報告されている。^{*1)} 簡易的にアンモニア濃度を抑えるためには、水によるメタン発酵原液の希釈が必要となるが、その分設備の過大化を招いてしまう。

それらの課題に対して、当社が参画した東京農業大学

を中心とした共同研究グループでは、生ごみの微生物可溶化と中温菌グラニュールを用いることで、課題点を補完する高速でコンパクトなシステムを作り上げることが可能となった。

一般的なメタン発酵では、中温発酵菌を採用した場合、約半月から 1 ヶ月程度かけてメタン発酵を完結させる事例が多いが、本件では 7 日間程度での高速反応となっている。以下にプラントフローと各特徴を示す。

なお、フロー図中の溶解槽から排水処理設備までをリサイクルセンター内に設置し、脱硫塔から温水タンクまでを屋上駐車場脇に据え置いた。

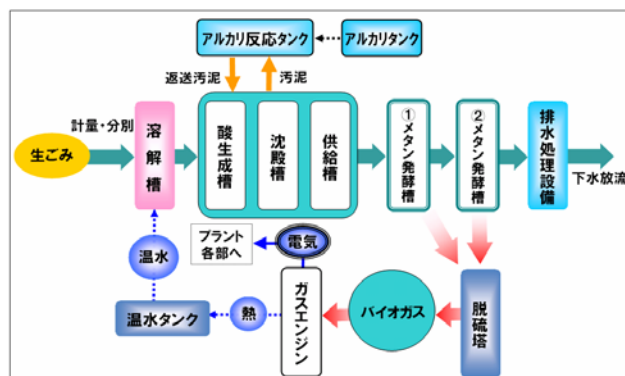


図-1 プラントフロー

3.1 溶解槽

溶解槽内に投入された固形状の食品廃棄物は、槽内部に充填された乳酸菌床と攪拌混合され、可溶化して排出される。

溶解槽上部に投入口が設置されているが、人力による投入は大変な手間となるため、車輪付バケツ専用のリフターを溶解槽に取り付け、スイッチ制御によって自動投入可能な設備とした。

溶解槽内部の菌床は繊維質素材を用いており、経年使用によって磨耗し、都度補充する必要がある。



写真-5 生ごみ溶解槽 外観

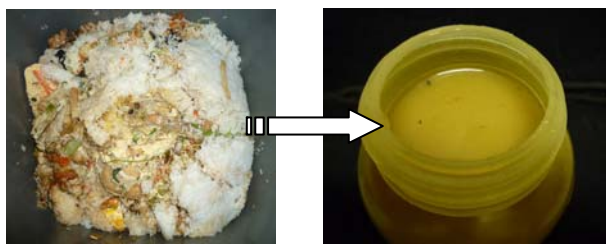


写真-6 残飯（固形生ごみ）と可溶化後の液体

また、写真-7 のような包装品類については、写真-8 の包装品類分別装置を介して、内容物のみを分別し、溶解槽へ自動投入している。



写真-7 包装品類



写真-8 包装品類分別装置

3.2 前処理槽

溶解槽から排出された液体（以後、生ごみ溶解液と記す）は、主として乳酸を含む液体であり、これをメタン菌の直接的な基質である酢酸に転換するために酸生成槽を設けている。メタン発酵槽の前段において、生ごみ溶解液中の酢酸濃度を増加させておくことで、メタン発酵が高効率に進み、バイオガスの発生量も増加させることが可能となる。

沈殿槽は生ごみ溶解液中の汚泥（SS・油分）の分離を目的とした槽であり、ここでの上澄み液が、次の供給槽へ移行する仕組みとなっている。

酸生成槽上部には、アルカリ反応タンクを設置し、沈殿槽下部の汚泥を引き抜いて、汚泥分解を目的にアルカリと接触させ、接触後の汚泥は、酸生成槽へ再投入する流れとなっている。アルカリ接触後の汚泥が酸生成槽へ返送されることで、酸生成槽内の pH 制御も兼ねている。

3.3 メタン発酵槽

メタン発酵槽として、グラニュールを用いた 2 槽を設置し、第 1 メタン発酵槽には EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 法、第 2 メタン発酵槽には UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 法を採用した。

メタン発酵槽は、3 番街店舗の駐車場棟と店舗兼事務所棟の間に設置され、1 階の屋根を突き抜けた形で設置されている。



写真-9 メタン発酵槽（左：1 階部、右：天板部）

3.4 ガスエンジン設備

メタン発酵槽で発生したバイオガスは配管を通じて、屋上のガスエンジン設備にまで自圧で移送される。

脱硫塔で硫化水素を除去した後、水封式のガスホルダーに貯留され、ガスホルダーのレベル（高さ）に応じて、ガスエンジンの起動・停止が自動制御される仕組みとなっている。

なお、複合商業施設内で食品廃棄物を原料としたメタン発酵において、発電までを実施する事は、国内初の事例とされている。



写真-10 屋上 ガスエンジン設備一式

4. 稼働状況

生ごみの投入量、バイオガスの発生量、発電量を以下に示す。

4.1 食品廃棄物 投入量

2008 年 4 月から 8 月までは、試運転調整として 500 kg/day 程度の投入を継続し、9 月以降は発生する食品廃棄物のほぼ全量（平均 700kg/day 程度）を投入する運転に切り替えた。2008 年 12 月末から 2009 年 3 月までは、生ごみ投入種類の影響把握のため、食品廃棄物の内、魚腸骨の投入を停止した。また、2009 年 6 月においては、プラントの配管清掃作業などのメンテナンス作業によって、稼働を約 15 日間停止させたため、投入量が他の月よりも減少している。

食品廃棄物の種類割合としては、残飯類が全体の半分程度を占め、野菜類・魚腸骨類が各 2 割程度、それ以外を売残り包装品類が占めている。

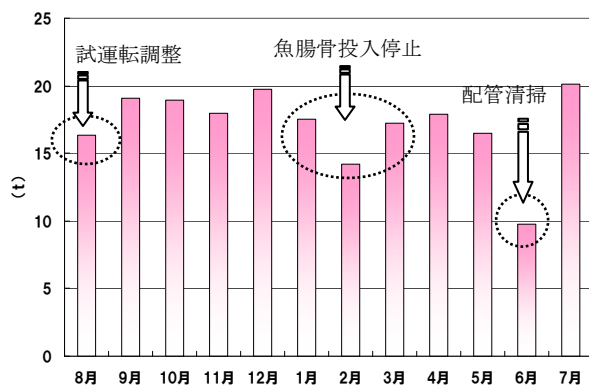


図-2 食品廃棄物 投入量

4.2 バイオガス発生量

食品廃棄物量 1tあたりに換算した場合の月別バイオガス発生量を以下に示す。当初、システム設計段階では、 $125 \text{ Nm}^3/\text{t}$ 程度のバイオガス発生を想定していたが、実際にはそれ以上の発生量と、順調な稼働を示している。

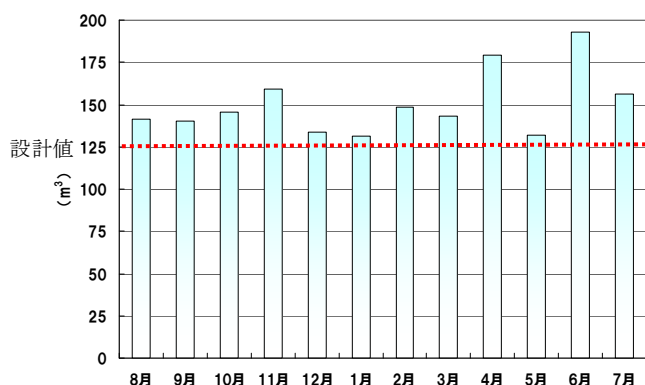


図-3 月別バイオガス発生量 1t 換算

また、バイオガス中のメタン濃度は 65～75%程度で変動した。

4.3 発電量

発生したバイオガス量に応じて、ガスエンジンも稼働し、発電している。

なお、本件では、店舗への系統連携は実施していないため、発生した電気はプラント各部の稼働に用いている。

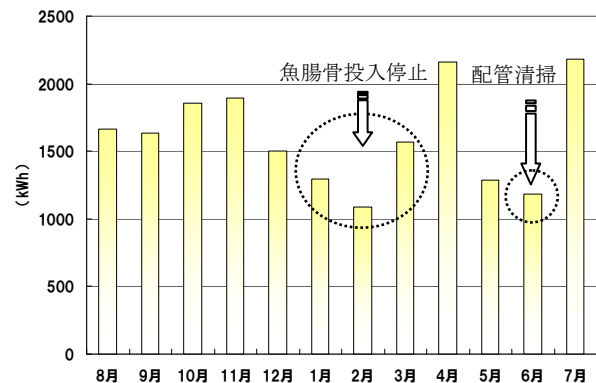


図-4 発電量

なお、ガスエンジンの冷却として回収した温水は、プラント各部での生ごみ溶解液の希釈やリサイクルセンターでの清掃用に使用されている。

5. プラント各部の効能

プラント各部の効能を確認するために、下記の条件でプラント稼働する期間を設け、プラントの各部位で液体分析・菌相解析を実施した。

アルカリ反応タンク停止期間：2008/10/14 ～ 2009/01/7

魚腸骨投入中止期間：2008/12/25 ～ 2009/3/19

5.1 液質分析方法

分析項目と分析方法を以下に示す。

表-1 分析項目とその方法

pH	JIS K0102.12
COD (Cr)	JIS K0102.20
VFA	高速液体クロマトグラフ法
T-N	JIS K0102.45.2
NH ₄ -N	JIS K010242.1, 42.2

5.2 細菌相解析法 (PCR-DGGE)

核酸の抽出にはベンジルクロライド法を用いた。PCR (Polymerase Chain Reaction) および DGGE (Denaturing Gradient Del Electrophoresis) の条件は、登坂^{*2)}の方法に準じて行った。

プライマーは、全細菌をターゲットとする E. coli

No.357f と 518r を使用した。

DNA 塩基配列は相同性検索プログラム BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>) にて行い、解読した塩基配列と相同性の高い既知種を検索した。

5.3 生ごみ溶解槽

以下に、生ごみ溶解液中の乳酸・酢酸濃度を示す。

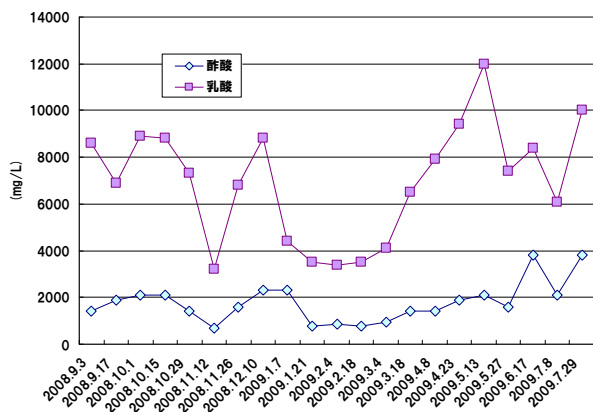


図-5 生ごみ溶解液中の酢酸・乳酸濃度

溶解槽では有機酸組成に占める乳酸の割合が高い結果となった。

また、PCR-DGGE 法による細菌相解析の結果を図-6 に示す。

優先株(主要な構成菌種)として①②に示す箇所 *Lactobacillus* 属が検出された。これらの結果から、溶解槽内では糖の分解反応である乳酸発酵が活発に行われていることが示唆された。

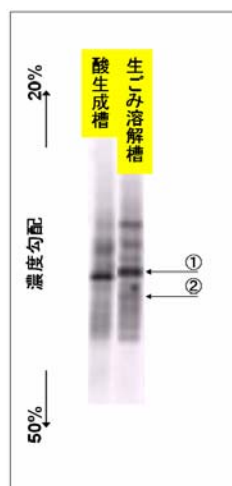


図-6 菌相解析結果

5.4 酸生成槽

図-7 に生ごみ溶解槽から排出された直後の生ごみ溶解液及び、酸生成槽滞留生ごみ溶解液中のT-Nに対してのNH₄-Nの割合を示す。

生ごみ溶解槽排出直後では、T-Nに対してのNH₄-Nの割

合は低い、酸生成槽滞留時には、魚腸骨投入停止期間を除いて、NH₄-Nの割合が増加した。

これは、食品廃棄物中のタンパク質が、酸生成槽内で脱アミノ化され、NH₄-Nが増加したことを示している。

また図-6のPCR-DGGE法による細菌相解析の結果、溶解槽と酸生成槽の主要な構成菌種は大きく異なり、有機物の分解・転換に対して、別機能を有している事も推察された。

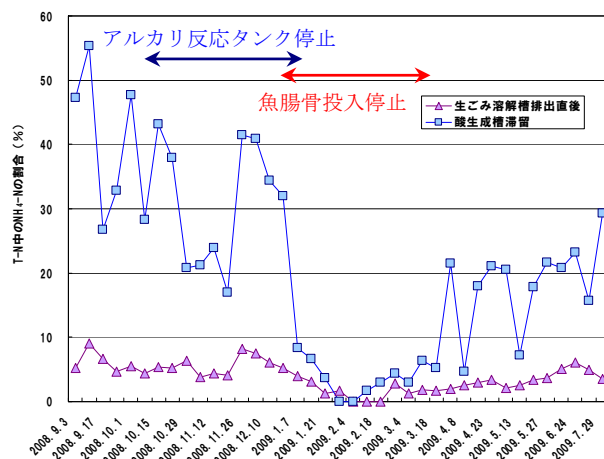


図-7 T-N中、NH₄-Nの割合

図-8 に酸生成槽内の pH、酢酸・プロピオン酸・乳酸濃度の変化を示す。

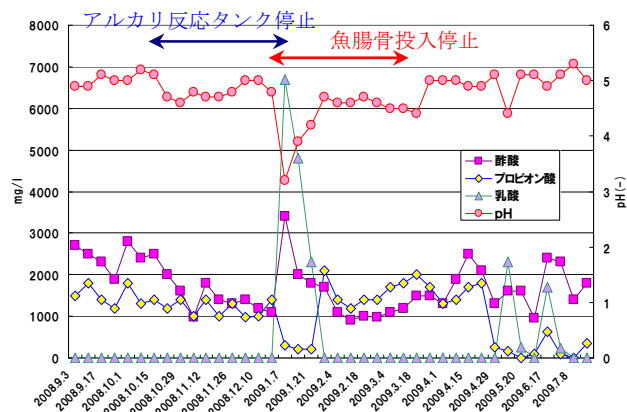


図-8 酸生成槽 pH・有機酸

通常運転時には、有機酸組成に占める酢酸の値が上昇しており、後段のメタン発酵にとって効果的な酢酸生成状態であると考えられる。

乳酸値が突出している箇所は、アルカリ反応タンク停止と魚腸骨投入停止が重複する期間であり、酸生成槽内の pH 上昇因子が無かった期間と言える。そのため、乳酸から酢酸に転換する作用を果たす微生物相に適した pH からは低い値であったため酢酸生成が緩慢になったことが示された。

つまり、乳酸から酢酸を生成する菌相の活性を維持できる pH 域に槽内環境を保つことが重要と言える。

また、魚腸骨の投入停止期間においては、酢酸とプロピオン酸の濃度が逆転していた。

魚腸骨の投入有無によっても、酸生成槽内の菌相が変化している可能性があり、魚腸骨の存在は、酢酸生成に良好な作用をもたらす事が示唆される結果となった。

5.5 メタン発酵槽

メタン発酵槽内での有機物分解状況を確認するため、供給槽から採取した生ゴミ溶解液と、第 2 メタン発酵槽出口で採取した生ゴミ溶解液の 5 C 濾紙通過分の COD (Cr) 分析を実施した。以下に結果を示す。

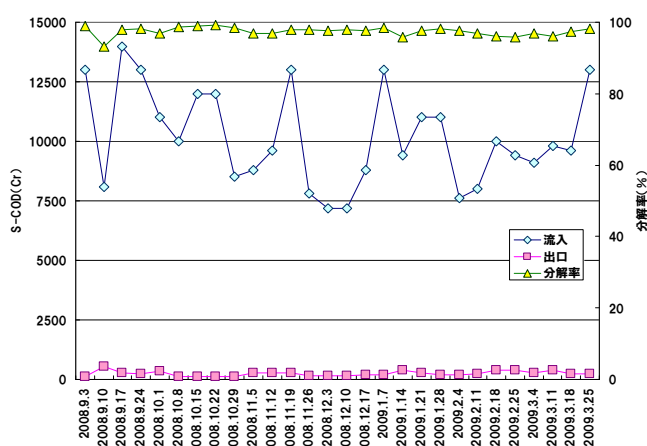


図-9 メタン発酵槽における有機物分解率

濾紙を通過した生ゴミ溶解液、すなわち可溶化した有機物においては、メタン発酵槽内部で約 98% 分解されることが示された。

メタン発酵槽流入前後で採取した生ゴミ溶解液そのものの有機物分解率 (T-COD を指標とした場合) は約 85% であったことより、さらなる可溶化、沈殿槽内部での固液分離によって、システム全体の有機物分解率・バイオガス化を向上させることにつながると考えられる。

6. 結論と今後の課題

複合商業施設に 1t 規模のプラントを設置・稼動し、システムの許容性、最適化検討を継続している。

生ゴミ溶解槽からは、安定的に乳酸を主とした生ゴミ溶解液が排出されている。現在、菌床に使用している資材は、分解と磨耗により追加投入が必要となるため、劣化し難い資材の検討を進める予定としている。

酸生成槽において、安定的に乳酸から酢酸への転換を行うためには、pH 制御とともに魚腸骨の一定割合投入が必要となる傾向を確認した。

グラニュールを用いたメタン発酵槽においては、可溶化した有機物の分解効率が約 98% であった。

今後、酸生成槽の環境最適化とともに、生ゴミ溶解液中の SS、油分の効率的除去・再可溶化を試み、メタン発酵槽での有機物分解率をさらに向上させる検討を進める予定である。

謝辞：

菌相解析をはじめとした各種検討にご協力頂きました東京農業大学 応用生物学科 大西章博助教に謝意を表します。

また、共同研究者として事業運営にご協力頂いております株式会社マイカル 環境社会貢献部、明石サティ（マイカル明石 3 番街）、リサイクルセンターの関係者各位、並びに事業の立ち上げに尽力頂いた本店建築営業部 歌津洋一氏、関西支店 土木部 作田善作氏、堀田孝氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 澤山茂樹：トコトンわかるバイオガスの本，日刊工業新聞社，2009
- 2) 登坂充博：PCR-DGGE 法を用いた水素発酵微生物群集の構造解析，東北大学大学院修士論文，2004.
- 3) 野池達也：メタン発酵，技法堂，2009