

# 「日田市バイオマス資源化センター」 運転実績

## Operation Results of Hita City Biomass Recycling Center



技術開発本部  
水・汚泥技術開発部汚泥処理室  
川 嶋 淳  
Jun Kawashima  
山 下 哲 生  
Tetsuo Yamashita  
技術本部操業技術部施設管理室  
宇 良 伸 之  
Nobuyuki Ura

日田市バイオマス資源化センターは、豚糞尿、生ごみ、農集排汚泥を主原料としてメタン発酵によるバイオガス発電をおこなう施設である。原料受入、メタン発酵、ガス貯留、エネルギー利用、液肥貯留、堆肥化、排水処理、脱臭の各設備からなる再資源化のトータルプラントである。2006年4月より商用運転を開始し、焼酎粕を原料として追加投入することで、電力自給率はほぼ100%にまで達するようになった。本稿では、1年以上に渡る商用運転でえられた知見について報告する。

Hita city biomass recycling center is the integrated recycling facility that consists of the methane fermentation, the biogas power generation, wastewater treatment, and composting. This facility has begun operating since April, 2006. At first, the biogas was generated by methane fermentation of pig excreta, garbage, and sludge from public wastewater treatment facilities. Since last October, shochu lees have been accepted additionally to increase power generation, and the electric power rate of self-sufficiency of facility reaches almost 100%. This report is operation results over one year of this biomass recycling center.

### Key Words :

メタン発酵  
中温発酵  
バイオガス  
バイオマス発電  
有機性廃棄物

Methane fermentation  
Mesophilic fermentation  
Biogas  
Biomass power generation  
Organic waste

### まえがき

21世紀に入り、二酸化炭素の蓄積による地球温暖化問題や、その原因となっている化石燃料の有限性がクローズアップされている。1997年の京都議定書締結により、対策が具体化された感はあるが、未だ対応が進んでいないのが実情である。

化石燃料の代替として注目される再生可能エネルギーとして、バイオマスが有力視されている。バイオマスとは、生物資源（バイオ/bio）の量（マス/mass）

をあらわし、エネルギー源として再利用できる、動植物から生まれた有機性の資源のことである。先に挙げた温暖化問題解決に加え、循環型社会の形成や農林漁業の活性化を目的として、政府は2002年12月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定し、バイオマスを持続的に利活用する体制作りに取り組んでいる。

環境ソリューションに取り組む当社としても、廃棄物系バイオマスの利活用は大きな課題である。当社

は2003年に食品廃棄物を対象としたメタン発酵設備をコープこうべに納入し、ここでえられたノウハウ<sup>1)</sup>をもとに、2006年に大型メタン発酵設備の第一号機となる「日田市バイオマス資源化センター」を完成した。<sup>2)</sup> 本報では、日田市バイオマス資源化センターにおいて、試運転以降、1年以上に渡る商用運転でえられた知見について報告する。

## 1. 設備導入の経緯

### 1.1 日田市について

日田市は、人口約7万5千人弱、市域面積666 km<sup>2</sup>の、大分県の西部に位置する自治体である。1000 m級の山々とこれに源を発する九州最大の河川「筑後川」の恩恵を受けて発展したまちであり、基幹産業は農畜産業、林業、製材業および、醸造業等である。これらの産業に由来する、家畜糞尿、木質系廃棄物、ビール粕、焼酎粕などのバイオマスが豊富に存在する地域であり、これらの有効利用をはじめとする環境政策を積極的に進めている。

### 1.2 バイオマス資源化センター建設の背景

バイオマス資源化センターは、日田市から発生するバイオマスのうち、一般家庭や事業所から排出される生ごみ等の食品廃棄物、豚糞尿、農業集落排水汚泥を主原料として、メタン発酵によるバイオガス発電をおこなう施設である。

建設の背景には、バイオマス有効利用の目的のほかに、以下の三つの環境問題解決への取組みがある。

一つ目は、地球温暖化の原因となっている温室効果ガス削減への取組みである。その対策のひとつとして、地域に存在する資源で新エネルギーを創造する設備の積極的な導入をおこなっている。

二つ目は、ごみ問題である。日田市ではごみ焼却

処理経費および、焼却施設更新にかかるイニシャルコストの増大の解決のため、生ごみの有効利用を検討してきた。

三つ目は、畜産環境問題である。家畜排泄物法の施行にともなう畜産環境問題解決のため、豚糞尿を集約処理できる施設についての調査検討をおこなってきた。

これら3点の問題の解決策として、日田市はメタン発酵発電施設を建設した。施設本体工事は2005年5月～12月におこなわれた。2006年1月より試運転を開始し、同年4月より商用運転を開始している。

## 2. バイオマス資源化センター概要

### 2.1 計画概要

日田市バイオマス資源化センターの全景を図1に示す。

バイオマス資源化センターは原料受入設備、メタン発酵設備、ガス貯留設備、エネルギー利用設備、液肥貯留設備、堆肥化設備、排水処理設備、脱臭装置からなる。メタン発酵施設の計画規模は豚糞尿50 t/d、生ごみ24 t/d、農集排水汚泥6 t/dの合計80 t/dである。これらバイオマスを原料としてメタン発酵をおこない、発生させたバイオガスで発電をおこなう。メタン発酵は中温湿式方式を採用している。メタン発酵槽から発生する消化液は一部を液肥として利用し、その他は排水処理を経て下水道に放流する。また、排水処理設備から発生する固形物残渣は堆肥化して有効利用する。計画では、発電量：200万 kWh/年、液肥生産量：2500 t/年、堆肥生産量：300 t/年である。豚糞尿と、事業系および産廃系生ごみについては、引取る際に事業者から処理料金を徴収する。処理料金は豚糞尿600円/t、事業系生ごみ4000円/t、産廃系

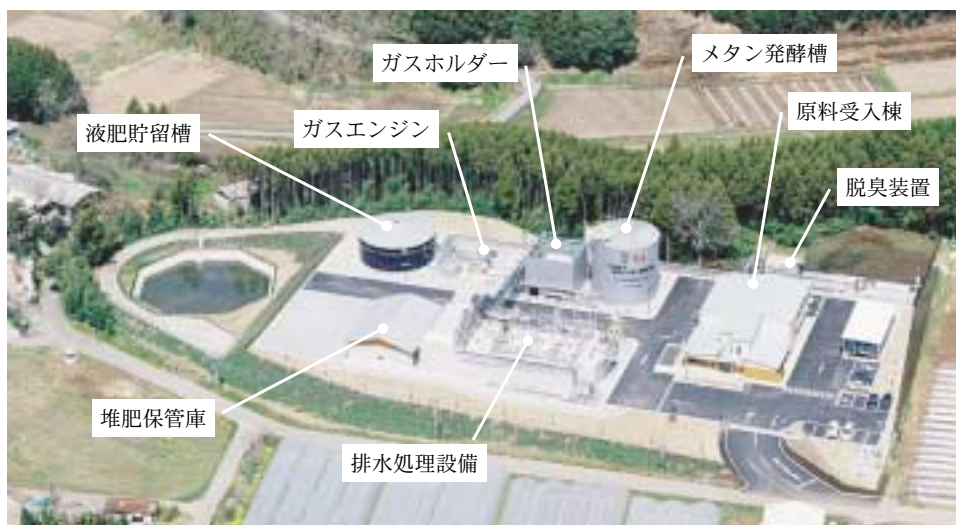


図1 バイオマス資源化センター全景

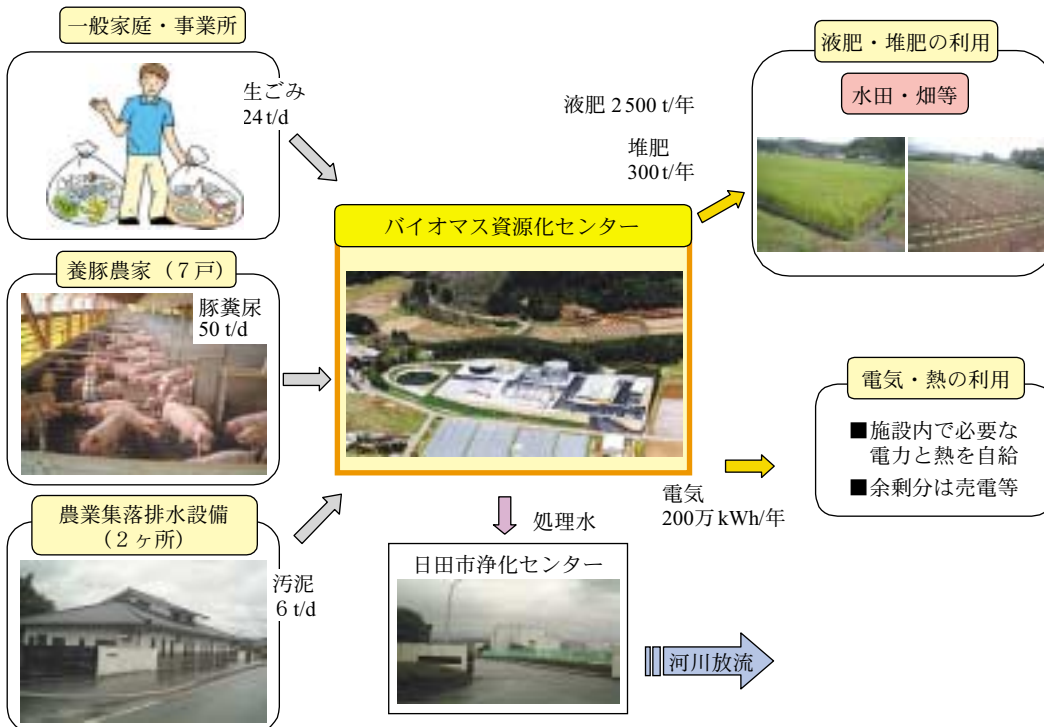


図2 バイオマスの流れ

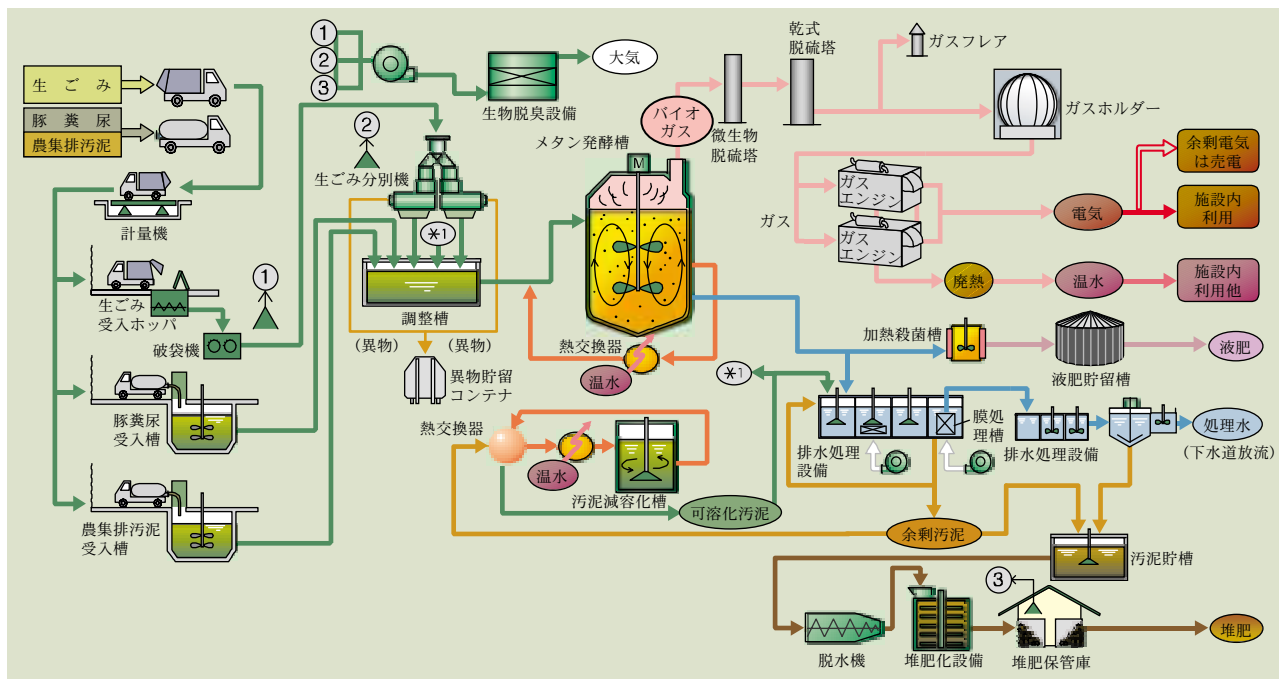


図3 バイオマス処理フロー

生ごみ9000円/tである。バイオマスの流れを図2に示す。

バイオガス発電によりえられた電力は施設内の自給に利用するほか、余剰電力は売電する。同センターは2006年10月に経済産業省からRPS法に基づく設備認定を受け、九州電力と売電契約を結んでいる。売電単価は、夏季昼間が9円30銭/kWh、その他季昼間が8円80銭/kWh、夜間が7円40銭/kWhである。

堆肥および液肥については、成分分析、施用実験、肥料登録後、地域住民に安価で提供する予定である。

## 2.2 バイオマス処理の流れ

バイオマス処理フローを図3に示す。豚糞尿は専用のバキューム車もしくはタンク車にて、生ごみはパッカー車にて、集排汚泥は運搬委託業者のバキュームカーにて搬送され、計量機にて重量測定がおこなわれる。豚糞尿および集排汚泥は専用のスクリーン



図4 生ごみ受入状況



図5 メタン発酵槽外観



図6 排水処理設備外観

を通過して大型の固形物を分離後、それぞれ糞尿受入槽、集排汚泥受入槽に投入され、ポンプにて定量的に後段の調整槽に移送される。生ごみ受入状況を図4に示す。生ごみは受入ホッパに袋詰め状態で投入された後、破袋機、破砕機を経てビニール袋や発酵不適物等の異物を除去後、調整槽に投入される。調整槽で混合され、スラリー化した原料はカッター

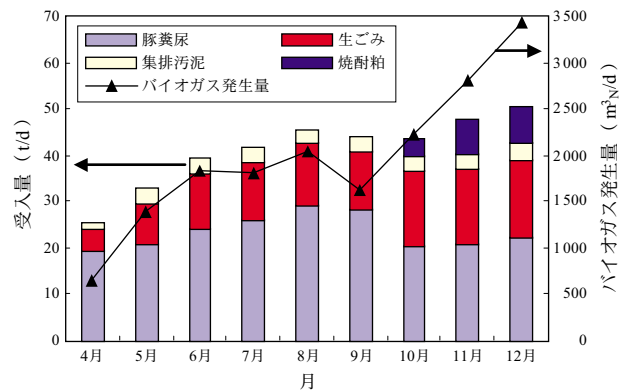


図7 原料受入量とバイオガス発生量の推移

ポンプでさらに細分化され、定量的にメタン発酵槽に移送される。

メタン発酵槽外観を図5に示す。メタン発酵槽は有効容積1900 m<sup>3</sup>であり、計画滞留時間は24日間である。熱交換器への汚泥循環により35℃に維持されており、有機物をメタン発酵してバイオガスを発生させる。バイオガスはメタン約60%、二酸化炭素約40%であり、その他硫化水素や水素を含んでいる。高濃度の硫化水素は発電機に悪影響を与えるため、微生物脱硫装置で粗取り後、乾式脱硫塔にて仕上げの脱硫をおこない、20 ppm以下にまで処理後、ガスホルダーに貯留される。貯留されたバイオガスはガスエンジン(170 kW×2台)に送られ、発電をおこなう。発生した電気は基本的に場内設備に利用されるが、余剰分は売電にまわされる。発電時の廃熱でえられる温水は、メタン発酵槽の加温等に利用される。ガスホルダー内圧が一定以上になった場合、バイオガスの一部はガスフレアにて燃焼処分される。

メタン発酵槽で発生した消化液の一部は加熱殺菌槽で殺菌後、液肥貯留槽にて貯留され、専用車にて液肥として農地散布される。残りの消化液は、スクリーンにて夾雑物を除去した後、膜分離活性汚泥法による排水処理設備で処理がおこなわれる。排水処理設備外観を図6に示す。本設備は、余剰汚泥を極力減量化することを目的として、好熱性細菌による汚泥減量化プロセス(エステプロセス)を組んでいる。消化液は硝化脱窒、固液分離、凝集沈殿リン除去を経て下水道放流水質まで処理後、下水道放流されている。

### 3. 施設稼働状況

#### 3.1 運転状況

商用運転を開始した2006年4月から12月までの原料受入量とバイオガス発生量の推移を図7に、発電

量と電力自給率の推移を図8に示す。

4月以降、順次原料受入量を増量してメタン菌を馴養し、6月にはバイオマス発生量の全量受入れが可能となった。しかし、生ごみの搬入量が計画より3割程度低く、豚糞尿の発生量も20~30 t/dで頭打ちとなったことから、原料受入量は約40 t/dでほぼ一定となり、これにともなうバイオガス発生量、発電量も伸び悩む状況であった。そこで客先要望として10月以降、発電量アップのため、市内の焼酎工場で発生する焼酎粕を実証的に投入することとした。12月までの3カ月間、順次受入量を増量（3 t/d → 7 t/d）した結果、バイオガス発生量および発電量は安定して増加し、電力自給率もほぼ100%賄える状態となった。

排水処理の窒素除去性能は、試運転時より硝化率はほぼ100%、脱窒率は80~100%を維持している（図9、図10）。メタン発酵消化液は放流基準値（BOD 200 mg/L, SS 200 mg/L, T-N 40 mg/L, T-P 8 mg/L）以下まで排水処理後、下水道放流されている。汚泥減量化と最終堆肥発生量の評価にはもうしばらく時間がかかる見込みである。

### 3.2 今後の運転課題

試運転開始から1年以上が経過し、これまでは施設の安定稼動を優先した運転であったが、今後は電力消費量や薬品使用量等のランニングコストを低減する運転を目指す。

原料面では、発電量アップのため焼酎粕受入れをおこなっているが、当初の計画には含まれない原料であり、バイオガス発生量や排水処理にかかる窒素負荷、汚泥発生量等に想定外の影響が及ぶと考えられるため、メタン発酵や排水処理への影響について調査を継続している。

また、液肥のEC値（電気伝導度）が高いことから、客先にて実証栽培試験をおこない、植物への影響を調査し、普及を図る予定である。

## 4. メタン発酵運転不調対策

### 4.1 メタン発酵の運転管理指標<sup>3)</sup>

メタン発酵では、有機物が低分子の有機酸に分解される反応（酸発酵）の後、これを原料としてメタンガスに転換する反応（メタン発酵）が起きる。メタン菌の活性が低下したり、死滅が進んだりすると、メタン発酵の原料となる有機酸（VFA）が消化液中に蓄積するため、VFA濃度はメタン菌の働きのパラメータとなる。メタン発酵の運転が安定な状態でも、2週間ごとに消化液のVFA測定をおこない、メタン菌の管理指標としている。正常な運転状態に

おけるVFA濃度の管理値<sup>4), 5), 6)</sup>は、1500 mg/L以下に設定している。

また、メタン菌の活性を阻害する物質として、アンモニアが挙げられる。本設備は、豚糞尿や生ごみ由来の窒素濃度が高濃度になることが予測されたため、高温発酵よりもアンモニア阻害に強い中温発酵方式を採用している。<sup>6), 7), 8)</sup> 本設備の消化液中アンモニア性窒素濃度の管理値は、2800 mg/L以下に設定している。

VFA濃度上昇等によりメタン発酵が不調と判断された場合、一時的な負荷低減によりメタン菌の回復を図ることが基本であるが、状況に応じて原因物質の希釈や除去、種汚泥の追加投入などの改善策が必要になる。

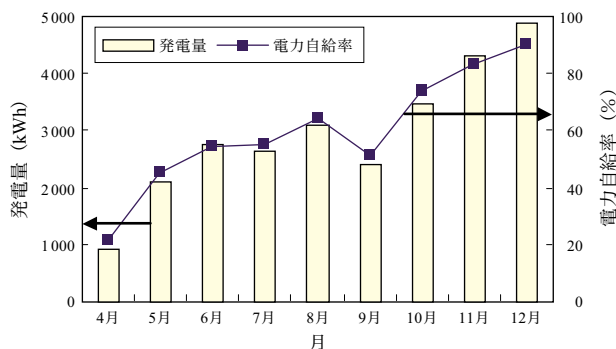


図8 発電量と電力自給率の推移

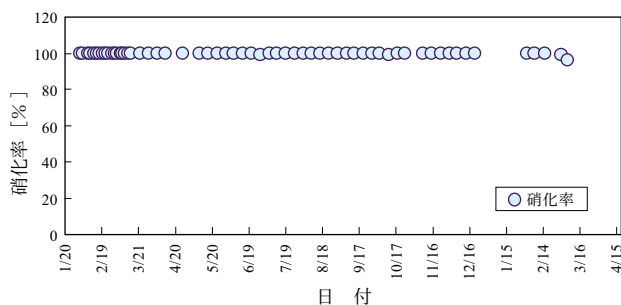


図9 排水処理硝化率の推移

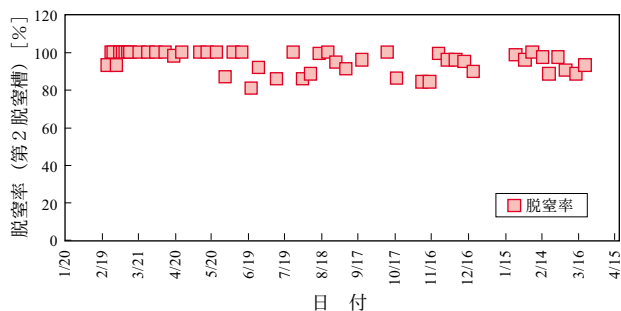


図10 排水処理脱窒率の推移

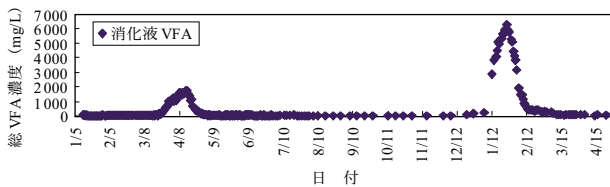


図11 消化液 VFA 濃度の推移

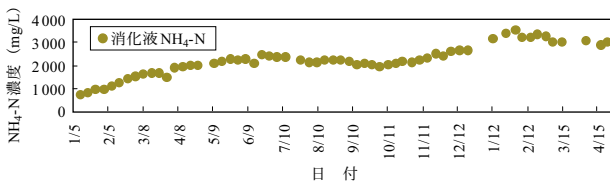


図12 消化液アンモニア性窒素濃度の推移

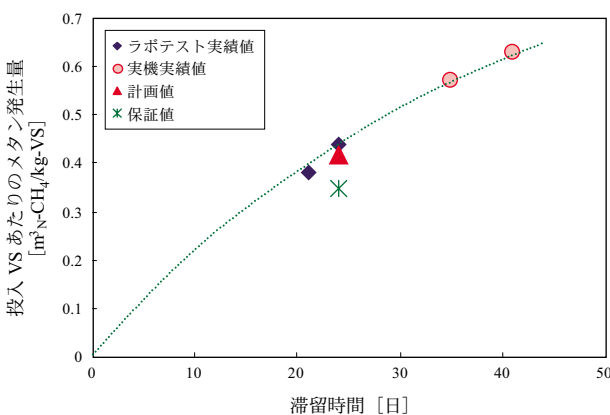


図13 メタン発酵性能評価結果

#### 4.2 メタン菌に対する温度対策

2006年1月の試運転から、2007年4月までの消化液 VFA 濃度の変動を図11に示す。試運転終了時の2006年3月から4月にかけて、消化液中の VFA 濃度が上昇し、最大で管理値を超える1800 mg/Lにまで達した。運転状況としては、商用運転開始に備えて生ごみの負荷を上昇していた時期であった。当初は立ち上げ時における負荷上昇にメタン菌の馴養が追いつかないことが原因と考えられたが、生物診断による検討の結果、他の施設の消化汚泥と比較して、メタン菌の活性がかなり低下していることが確認された。商用運転開始に備えて緊急に再立ち上げの必要があったため、一時的に負荷低減運転にするとともに、京都府南丹市の八木バイオエコロジーセンターの中温消化汚泥60 m<sup>3</sup>を種汚泥として再投入することで、約1カ月後に運転を安定化させることに成功した。

メタン菌の活性低下の原因として、メタン発酵槽立ち上げ当初の種汚泥への加温条件が急激過ぎた(一時的に50℃まで上昇)と考えられた(本件詳細

については、本技報「分子生物学的手法をもちいた微生物群集解析の適用事例の紹介」を参照)。消化汚泥温度管理のノウハウとして新規性のある知見であるため、特許出願中(特願2007-40975)である。

#### 4.3 消化液アンモニア濃度対策

2006年1月から、2007年4月までの消化液アンモニア性窒素濃度の変動を図12に示す。2007年1月中旬より消化液 VFA 濃度が急上昇し、最大6000 mg/Lに達した。原因としては2006年10月より受入を開始した焼酎粕により、消化液中のアンモニア性窒素濃度が管理値である2800 mg/Lを超えてアンモニア阻害が起きたため、ならびに、年末年始の不規則な負荷変動のためであると考えられた。対策として一時的に焼酎粕の受入を停止し、他の原料負荷を半減するとともに、調整槽内原料を水で希釈してアンモニア性窒素濃度を下げる操作をおこなった。その結果、1月下旬より VFA 濃度が低下し、2月中旬には管理値である1500 mg/L以下となった。これより順次原料投入量を増加し、3月中旬には、ほぼ VFA 上昇前の原料負荷の状態にまで復帰させることができた。焼酎粕の受入については、①メタン発酵槽に投入する前に2倍以上希釈する、②1ヶ月のゆっくりしたペースで増量する、の2点を受入条件に追加し、3月中旬より受入を再開している。

### 5. 実施設計数値評価

#### 5.1 メタン発酵性能

原料の受入量は計画80 t/dに対し、40~50 t/d程度であり、本施設が計画値とおりの性能を有するかを実機運転で確認することはできない。そこで、実績数値から、実施設計数値の妥当性を評価することで最大性能の予測をおこなった。

焼酎粕受入以前の2006年7~9月の3種原料(豚糞尿、生ごみ、集排汚泥)受入時の運転実績でえられた結果をもとに、計画最大の3種原料80 t/d受入時におけるバイオガス発生量を予測した。滞留時間35日(原料受入量54 t/d)および41日(同46 t/d)の実績値から、メタン発酵槽内滞留時間と投入 VS 当りのバイオガス発生量に関する性能曲線を作成した(図13)。このグラフから推定される滞留時間24日(計画原料受入量80 t/d)におけるバイオガス発生量は0.43 m<sup>3</sup>N-CH<sub>4</sub>/kg-VSであり、計画値0.42 m<sup>3</sup>N-CH<sub>4</sub>/kg-VSとほぼ同等であることが確認された。このグラフに、2004年9月から約1年間に渡り実施した実施設計数値決定のためのラボスケール実験でえられたデータをプロットすると、ほぼ予想性能曲線上にのることから、予想内容は妥当であると判断した。

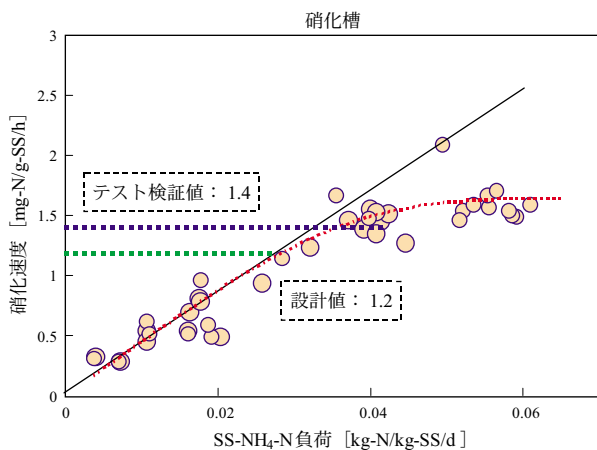


図14 硝化速度評価結果

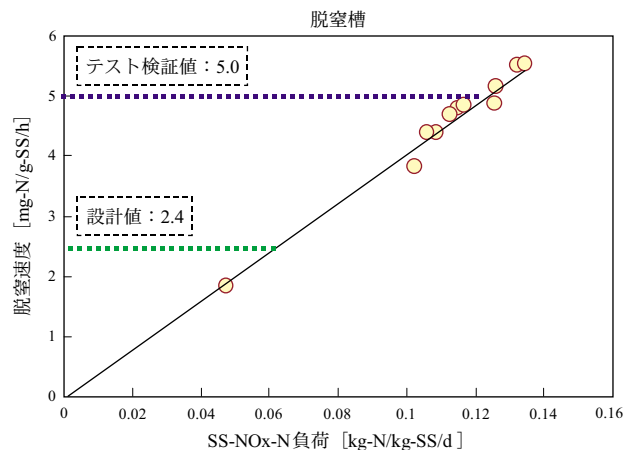


図15 脱窒速度性能評価結果

## 5.2 硝化脱窒速度

本排水処理設備は、固形物残渣の発生量を極力減量するために、消化液に含まれる固形物の大部分を直接処理することを特長としている。そのため、汚泥中の硝化菌・脱窒菌の割合が少なくなることが予想され、硝化脱窒速度も通常の排水処理設備より低い数値を採用している（硝化：1.2 kg-N/kg-SS/d、脱窒：2.4 kg-N/kg-SS/d）。この計画数値の妥当性の評価をおこなった。

排水処理設備にかかる窒素負荷は、実機運転状態では計画値よりも低く、計画最大硝化脱窒速度の確認ができない。そのため、排水処理設備機側にサイドストリーム実験装置（容量5L）を設置し、試薬を添加して人工的に窒素負荷を上げることで、最大硝化脱窒速度の確認をおこなった。

サイドストリーム実験の結果を図14、15に示す。硝化速度：1.4 kg-N/kg-SS/d、脱窒速度：5.0 kg-N/kg-SS/d以上の結果がえられ、実施設計数値は妥当であったと評価できる。計画最大窒素負荷にも十分対応できる設備であることが確認できた。

## むすび

日田市バイオマス資源化センターの1年以上に渡る運転を通じ、運転面、性能面でえられた知見について報告した。

- ① メタン発酵は計画原料である豚糞尿、生ごみ、農集排汚泥に加えて、焼酎粕の受入れをおこない、電力自給率をほぼ100%賄える状態となった。
- ② 排水処理性能は試運転時より硝化率はほぼ100%、脱窒率は80~100%を維持しており、メタン発酵消化液は放流基準値以下まで排水処理後、下水道放流されている。
- ③ 運転実績値から、計画原料受入量80t/dにおけるバイオガス発生量についての評価をおこなった

結果、計画値0.42 m<sup>3</sup>N-CH<sub>4</sub>/kg-VSを上回る0.43 m<sup>3</sup>N-CH<sub>4</sub>/kg-VSがえられ、実施設計数値が妥当であると評価された。

- ④ サイドストリーム実験により硝化脱窒性能評価をおこなった結果、硝化速度・脱窒速度ともに計画値以上の結果がえられ、実施設計数値は妥当であったと評価された。

本施設は、当社における大型メタン発酵第一号機であるとともに、バイオマス再資源化のトータルプラントであることから、非常に注目度の高い設備である。これまでの見学者数も二千人を超えており、今後、バイオマス利活用のモデルプラントとしてさらにPR活動に努めたい。また、えられた知見を次期案件に反映させるべく、標準化の推進に注力していく。

## [参考文献]

- 1) 宮本武, 隅晃彦: 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 1, No.1 (2004/8), p.49-54
- 2) 神鋼環境ソリューション技報, Vol.3, No.1 (2006/8), p.34
- 3) 李玉友, 西村修: メタン発酵法による廃棄物系バイオマスの循環利用, 混相流 21巻 1号 (2007), p.29-38
- 4) 生物系廃棄物資源化・リサイクル技術, (株)エヌ・ティー・エス (2000), p.49-50
- 5) 家畜排せつ物の処理・リサイクルとエネルギー利用, (株)エヌ・ティー・エス (2004), p.111-117
- 6) 片岡直明ほか: 生ごみの中温および高温メタン発酵特性, 第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1999), p.298-300
- 7) 片岡直明ほか: 家畜糞尿のメタン発酵処理システム, 第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集 (1999), p.307-309
- 8) 李玉友ほか: 有機性廃棄物の高濃度メタン発酵に及ぼすアンモニアの影響, 第36回日本水環境学会年會講演集 (2002), p.416