

あべのハルカス向け都心型バイオガスシステムの 安定運転結果

Experience with Stable Operation of Urbanized Biogas System Installed in
Osaka's Landmark Building "ABENO HARUKAS".



塩田憲明*
Noriaki Shiota
農学博士



徳田直子*
Naoko Tokuda



竹林徹也**
Tetsuya Takebayashi



水口 護**
Mamoru Mizuguchi



斉藤 彰***
Akira Saito
技術士（水道部門）



長谷川進****
Susumu Hasegawa
工学博士・技術士（水道部門）

当社が納入したあべのハルカス向けバイオガス発生設備について、安定運転を達成したので報告する。当初、立上げ試運転では、厨房排水の加圧浮上スカム由来の油分が高く、メタン発酵が阻害されて立上げできなかったものの、メタン発酵原料の油分と有機物の比率をコントロールして運転することで、所定の性能を発揮した。厨芥投入量 2 t/d、厨房排水流入量 542 m³/d に対して、バイオガス 378 Nm³/d を発生し、放流水質も基準内であった。

This paper describes the operating results of novel biogas system installed in Osaka's landmark building "ABENO HARUKAS". The system consists of garbage disposer units, anaerobic digester of shop garbage and septic primary sludge from dissolved air floatation (DAF) unit, and the septic treatment facility for canteen kitchen wastewater. During the start-up of the digester, higher concentration of oil and grease derived from the DAF sludge showed inhibitory effect on their methane fermentation. Stable operation of the digesters was finally achieved by feeding of raw waste materials with adequate ratio of HEM (*n*-hexane extractable material) versus volatile solid (VS). 378 Nm³ of biogas with methane content of around 60 % was averagely produced from 2 tons of waste materials and the primary sludge generated from 542 m³/d of canteen kitchen wastewater. The wastewater and the effluent from the digesters were mixed and biologically treated in order to keep the sewage discharge standard of treated water.

Key Words :

| | |
|-----------|----------------------------|
| メ タ ン 発 酵 | Methane fermentation |
| バ イ オ ガ ス | Biogas |
| 厨 芥 | Garbage |
| 厨 房 排 水 | Canteen Kitchen Wastewater |

【セールスポイント】

- ・日本初の超高層ビル内オンサイトバイオガスシステムとして先進的な取組みです。

まえがき

都心部の商業ビルやショッピングセンター、ホテルなどではまとまった量の生ごみが一般廃棄物として排出され、また一定規模以上のビルには厨房除害設備を設置する必要性から余剰汚泥が排出されているところもある。これらの処分には高い場外処分費がかかり、その貯蔵、運搬には臭気が出るなど衛生面の問題も大きかった。一方で、ビル内では電気や熱のエネルギー需要があるため、生ごみや汚泥などの廃棄物系バイオマスからエネルギーがオンサイトで回収できれば、効率よく地産地消できるメリットがある。湿潤バイオマスからのエネルギー回収技術としてメタン発酵が古くから採用されているが、日本ではメタン発酵後の処理液（メタン発酵消化液）の処分が導入ネックになることが多い。これら都心部の事業場では一般に排水放流先は下水道なので、メタン発酵消化液は厨房排水などの他の廃水に含めて放流基準以下にまで処理すれば放流することができる。

当社は(株)竹中工務店と共同で、生ごみデスポーザと固液分離器、メタン発酵設備、および排水処理設備を組合わせた有機性廃棄物処理システム（以下、都心型バイオガスシステム）を考案した¹⁾。当社は2013年7月に日本一の高さを誇る超高層複合ビルあべのハルカスに、バイオガスシステム全体のうち、厨芥投入・搬送設備とバイオガス利用設備を除くバイオガス発生設備を納入した²⁾。

本稿では、バイオガス発生設備の中のメタン発酵設備を中心に、2014年3月より実施した立上げ（試運転）での問題点とその改善、2015年に実施した性能評価運転、およびその後の稼働状況について報告する。

1. 設備概要

1.1 システム構成

図1に全体システムフロー図を示す。都心型バイオガスシステムは以下の設備により構成されている。

① 厨芥投入・搬送設備

厨芥投入・搬送設備は、厨芥を計量する計量器と業務用デスポーザなどから構成されており、ビル内12階、13階、14階、および地下3階に設置されている。計量しないとデスポーザの蓋が開かない仕組みになっており、確実に厨芥投入量を把握することができる。百貨店、レストラン、ホテルの各店舗より持込まれた厨芥は、発酵不適物を分別除去したうえで処理可能物だけを投入する。

デスポーザに投入された厨芥は破碎されたのち、搬送水とともにポンプで上層階からバイオガス発生設備のある地下5階に送られる。途中で配管の長い横引きが生じる場合は、小型タンクで受けて容積式ポンプで中継することにより、固形物を含む排水でも配管閉塞の少ない長距離輸送が可能となる³⁾。

② バイオガス発生設備

バイオガス発生設備は、百貨店、ホテルからの厨房排水を下水道放流可能なレベルにまで処理するための厨房排水処理設備と、そこから発生する余剰汚泥（加圧浮上スカム）とデスポーザ排水に含まれる厨芥固形分を混合して発酵処理するためのメタン発酵設備から成る。またこれら設備とは別に、百貨店、ホテル、オフィスからの雑排水を処理して中水として再利用するための中水設備も併設しており、ここから発生する余剰汚泥もメタン発酵の対象となっている。

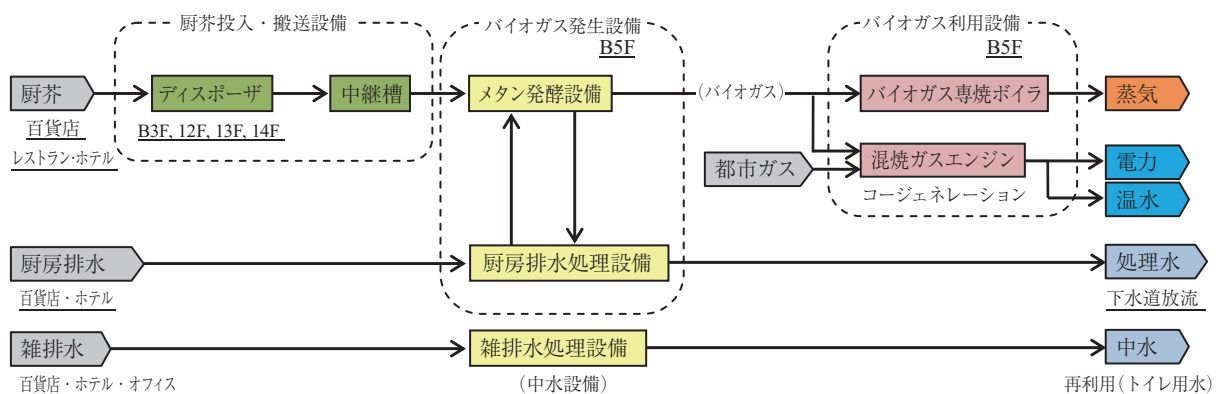


図1 全体システムフロー

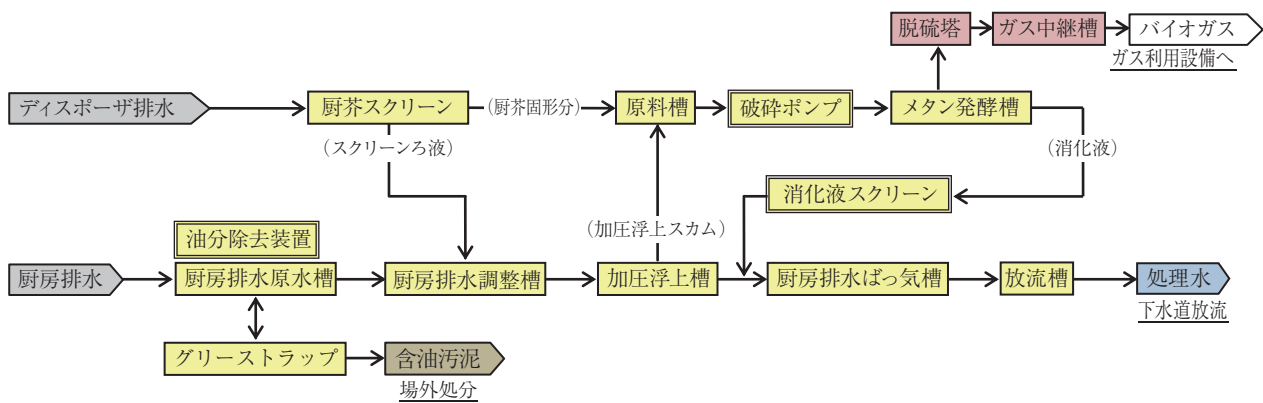


図2 バイオガス発生設備ブロックフロー

③ バイオガス利用設備

バイオガス利用設備は、同発生設備で得られたバイオガスをエネルギーとして有効利用するためのバイオガス専焼又は切替式ボイラおよび都市ガス混焼式ガスエンジンコージェネレーションから構成されている。

1.2 バイオガス発生設備の概要

都心型バイオガスシステムのうち当社が納入したバイオガス発生設備の概要を述べる。図2に設備のブロックフローを、写真1に設備の外観を示す。

ディスポーザで破碎された厨芥はディスポーザ排水としてバイオガス発生設備に送られ、厨芥スクリーンによって分離液と厨芥固形分に分けられる。一方、厨房排水はグリーストラップ（油水分離槽）を経て加圧浮上分離され、発生した加圧浮上スカムを厨芥固形分と混合してメタン発酵槽に供給する。メタン発酵槽は鋼板製で機械攪拌されており、2槽並列運転となっている。メタン発酵は高温発酵方式（55℃前後）を採用しており、計画滞留時間は10日である。得られたバイオガスは乾式脱硫装置を通したのち、バイオガス利用設備に送られる。

メタン発酵消化液は、未発酵残渣や有機物を多量に含んでいるためそのままでは下水道に放流できない。当社システムでは、メタン発酵消化液に含まれる大きな未発酵物をスクリーンで除去したのち、加圧浮上処理した厨房排水と混合し、厨房排水ばっ気槽で有機物（BOD）と油分（*n*-ヘキサン抽出物質、以下 *n*-Hex. と略す）を放流基準値以下に処理する。厨房排水ばっ気槽には流動床式好気生物処理装置（パビオムーバー）を採用しており、処理水中の懸濁物質（SS）については固液分離せずとも基準値以下で放流可能なため、生物性汚泥の系外抜出は発



写真1 設備外観（メタン発酵槽）

生しない。この点が都心型バイオガスシステムのセールスポイントである。

併設する雑排水処理設備（中水設備）には、浸漬型膜分離装置をばっ気槽に設置した膜分離活性汚泥法（MBR）を採用している。ここから発生する余剰汚泥もメタン発酵槽に投入する計画であったが、実際には雑排水濃度が低いために余剰汚泥は発生しておらず現時点では投入実績は無い。

1.3 設計条件

本バイオガス発生設備の計画受入条件と処理水およびバイオガス排出条件を表1に示す。計画では、厨芥3 t/dに相当するディスポーザ排水27 m³/d、および厨房排水700 m³/dを受入れ、バイオガス540 Nm³/dを発生させる設備である。

2. 稼働状況

2.1 立上げ試運転と性能評価

2014年3月のグランドオープンに合わせて当該設備の立上げ試運転を開始した。当初は百貨店食品売

り場からの厨芥が十分に集まらず、先に立上げた厨房排水処理設備から発生する加圧浮上スカムと少量の厨芥固形分を原料としてメタン発酵槽を立上げようとしたが、投入原料の油分濃度が高いためにメタン発酵槽が活性を失い、2014年12月までは安定的に

運転することができなかった。原料に占める割合が高い加圧浮上スカムの油分を低減しないと運転は困難と判断した。

そこで、加圧浮上スカムの油分低減を含め、試運転中に生じた問題点を解決するために以下の対策を講じ、最終的に図2のプロセスフローとする設備を納入した。表2に上記対策を含めた設備仕様を示す。

① 厨房排水油分除去対策

厨房排水の油分をグリーストラップで回収する設計であったが、厨房排水中の油分濃度が設計値200 mg/Lを超えて流入することが頻繁にあり、かつエマルジョン化した油分を除去するためには自然浮上分離では困難であった。これを解決するために、厨房排水に薬品を注入してエマルジョンブレイク（乳化破壊）したのち、厨房排水原水槽で分離した油分をスキマーポンプで回収するように改造した。この結果、厨房排水の油分日間流入負荷量に対して約40%低減できることを確認し、立上げ時や油分流入量が多い時期・時間帯に限定して油分除去装置を運転することで、加圧浮上スカムの油分濃度を低減できた。

② 厨芥固形分の腐敗防止

当初、設備に流入するディスポーザ排水は一旦ディスポーザ排水原水槽に受入れて厨芥スクリーンへ送水し固液分離していたが、同原水槽内での滞留時間が長く、固形分が腐敗・可溶化してスクリーン回収率が悪かった。そのため、同原水槽を経由せずに、バイパスして直接厨芥スクリーンで処理できるように改造した結果、厨芥スクリーンでの厨芥固形分のVS回収率が33%から62%に向上した。

表1 受入条件と排出条件（計画値）

| 受入量 | |
|------------------|---|
| ディスポーザ排水 | 27 m ³ /d (厨芥3.0 t/d, 希釈水24 m ³ /d 含む) |
| 厨房排水 | 700 m ³ /d |
| ディスポーザ排水水質 | |
| pH | 5.0~9.0 |
| TS | 最大2.78 %, 平均2.22 % |
| VS/TS 比 | 0.9以上 |
| 厨房排水水質 | |
| pH | 5.0~9.0 |
| BOD | ≤800 mg/L |
| SS | ≤400 mg/L |
| n-Hex. | ≤200 mg/L |
| 水温 | 15~40℃ |
| 処理水質（下水放流水, 保証値） | |
| pH | 5.0~9.0 |
| BOD | ≤600 mg/L |
| SS | ≤600 mg/L |
| n-Hex. | ≤30 mg/L |
| 水温 | <45℃ |
| バイオガス | |
| 発生量 | 平均540 Nm ³ /d |
| メタン濃度 | 60 % |
| 硫化水素濃度 | ≤ 1 mg/L (脱硫後) |

表2 設備仕様

| 設備名 | 機器名称 | 主仕様 |
|---------|-----------|--|
| メタン発酵設備 | 厨芥スクリーン | 多重板型（目幅1 mm）, 台数：2台 |
| | 原料槽 | SS 鋼板製攪拌機付, 基数：1基, 容量：34 m ³ |
| | 破碎ポンプ | 横軸渦巻型, 破碎機構付, 台数：1台 |
| | メタン発酵槽 | SS 鋼板製攪拌機付, 基数：2基, 容量：106 m ³ |
| | 消化液スクリーン | 多重板型（目幅4.5 mm）, 台数：1台 |
| | 脱硫塔 | オープンドラム型, 基数：1 + 1基 |
| | ガス中継槽 | 基数：1基, 気相部容量：5 m ³ |
| 排水処理設備 | 厨房排水スクリーン | 細目スクリーンし渣脱水機付, 台数：1台 |
| | 油分除去装置 | 一式（フロートポンプ, 薬注ユニット） |
| | グリーストラップ | SUS 製角型槽, 基数：1基, 容量：1.8 m ³ |
| | 加圧浮上装置 | 中心駆動式, SS 鋼板製, 基数：1基 付属品：循環ポンプ, 滞留タンク |
| | 厨房排水ばっ気槽 | RC 角型槽, 基数：2基, 容量：87 m ³ /基, 付属品：PE 製担体 |

表3 性能確認時の処理水水質

| 項目 | 単位 | 処理水 (実測値) | | | 保証値 |
|----------------|------|-----------|-----|-----|---------|
| | | 最大 | 最小 | 平均 | |
| pH | — | 7.2 | 6.8 | 7.0 | 5.0~9.0 |
| BOD | mg/L | 244 | 62 | 147 | ≦600 |
| SS | mg/L | 392 | 132 | 259 | ≦600 |
| <i>n</i> -Hex. | mg/L | 18 | 3.5 | 9.1 | ≦30 |

対象期間：2015/6/22~7/5

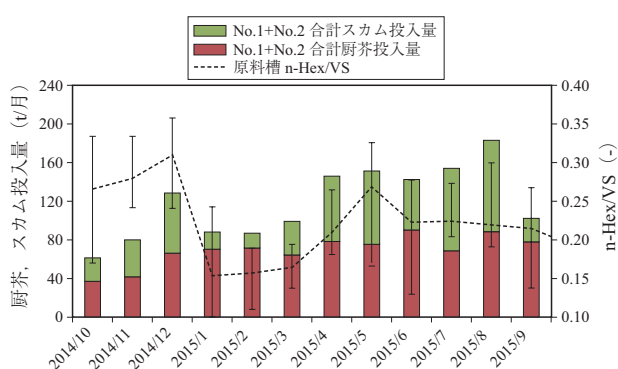


図3 メタン発酵槽投入量と原料 *n*-Hex/VS 比の推移

③ 投入原料破碎による分解率向上

ディスポーザで破碎された厨芥固形分は粒径が大きく繊維質も多く残っていたため、メタン発酵槽分解率向上と未発酵残渣の低減を目的として原料槽に破碎ポンプを設置し、厨芥固形分をさらに細かく粉碎できるようにした。加えて、排水処理設備での閉塞を考慮してメタン発酵消化液中の未発酵残渣を除去するためのスクリーンを設置した。

2015年3月より、設備改造後のフローで後述する運転管理項目と管理値を設定してメタン発酵槽の再立上げを行った。同時に、百貨店や店舗からの厨芥を安定的に収集する運用方法が確立された結果、2015年1月以降の厨芥投入量は5カ月平均1.9 t/d、4月以降は厨芥量平均2.0 t/dを確保できた。また、厨房排水受入量は5カ月平均で569 m³/dであった。

最終的に、同年5月にその時点での最大負荷まで立上げた。また、同年6月から7月にかけて連続14日間の放流水検水運転を行い、表3に示すように全て保証値を満足することを確認した。

2.2 メタン発酵槽運転不調対策

図3に発酵槽原料投入量と原料 *n*-Hex/VS 比を、図4に発酵槽内 VFA と *n*-Hex 各濃度の推移を示す。2014年12月から2015年1月にかけて槽内 VFA 濃度が上昇し、その後メタン発酵槽の不調を招いた。槽内 VFA 濃度の上昇は原料 *n*-Hex/VS 比の上昇と関係

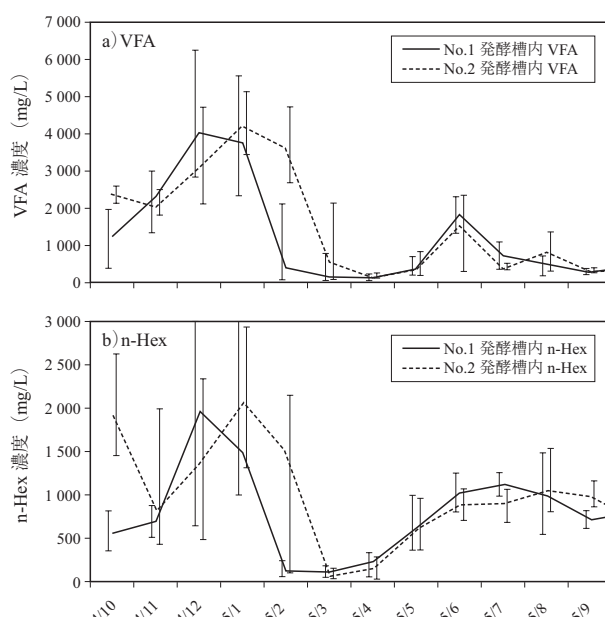


図4 メタン発酵槽内の a) VFA と b) *n*-Hex の推移

しており、*n*-Hex/VS 比0.30以上になると槽内 *n*-Hex 濃度が急激に上昇した。その後も厨芥投入量に対する浮上スカムの投入比率が高い状態が続き、原料 *n*-Hex/VS 比が高い状態でメタン発酵槽への投入を継続したため、最終的に2014年12月末時点でメタン発酵槽は不調に至った。その後、一旦負荷を下げ回復させるとともに、前述した厨房排水油分除去対策の設備改造を実施した。

メタン発酵槽不調に伴う槽内の変化として、槽内 *n*-Hex 濃度の上昇とともに発酵阻害の兆候が見られるようになり、1500 mg/L を超えると槽内 pH、ガス中のメタン濃度ともに低下する傾向が見られた。さらに槽内 VFA 濃度の上昇が見られ、VFA 組成として酢酸よりもプロピオン酸が多く蓄積していた。一般に、プロピオン酸は酢酸よりも菌に対する毒性は低いことが知られており、当初は VFA 総量のみ注目してプロピオン酸を重要視していなかった。しかし、プロピオン酸の蓄積が油分の分解過程上流の高級脂肪酸の蓄積を引き起こし、さらに蓄積した高級脂肪酸が菌に阻害作用を及ぼすことが報告されている⁴⁾。したがって、中間代謝物である VFA に占めるプロピオン酸の割合が多いことを本設備の特徴として、これを考慮した運転管理値の見直しを行った。

以上のメタン発酵槽不調対策で得た知見をもとに運転管理指標と管理値を設定し、2015年3月以降、再度メタン発酵槽の立上げを行った。

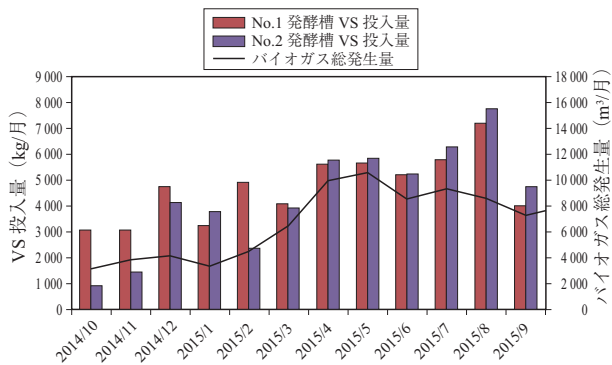
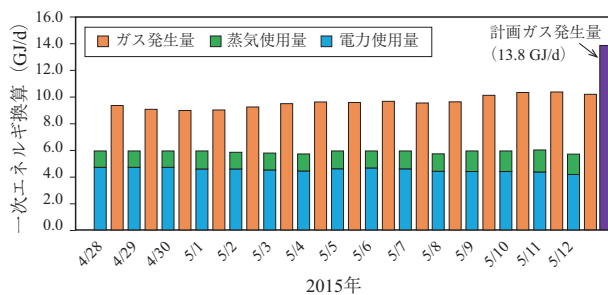


図5 メタン発酵槽 VS 投入量とバイオガス発生量の推移



※1：電力使用量は計画値の按分により、バイオガス発生設備全体の消費電力量の25%をメタン発酵装置に必要な電力として計算
 ※2：蒸気使用量は蒸気弁の開閉時間と配管径、流速により計算

図7 メタン発酵設備単独のエネルギーバランス

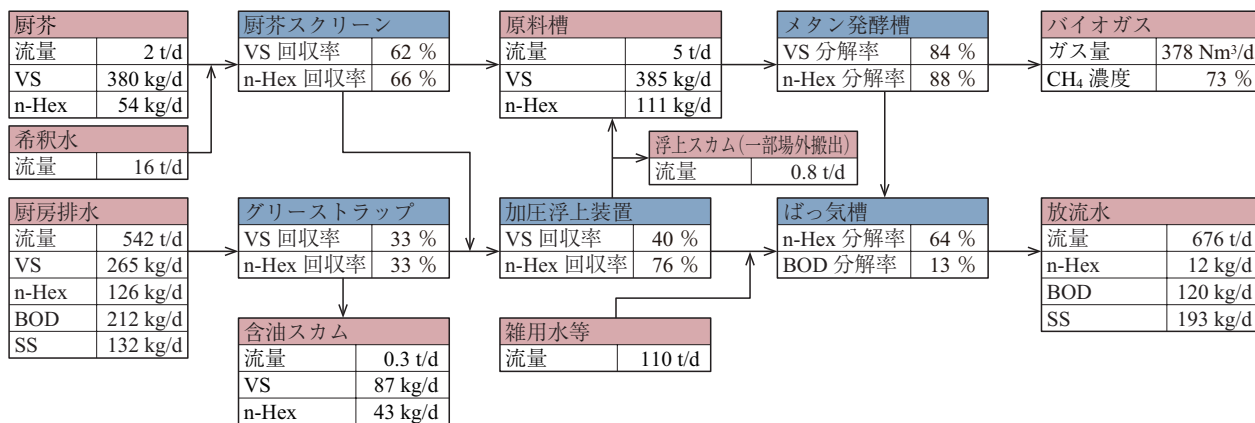


図6 性能確認期間中のマテリアルバランス

2.3 マテリアルバランスとエネルギーバランス

図5に発酵槽 VS 投入量とバイオガス発生量の推移を示す。2015年5月にメタン発酵槽が定常負荷に到達して以降、設定した運転管理値を守ってバイオガス発生設備は安定的に運転されている。また、図6に2015年5月時点の2週間平均マテリアルバランスを示す。厨芥投入量 2 t/d、厨房排水流入量 542 m³/d に対して、バイオガス 378 Nm³/d を発生し、放流水質も基準内であった。厨芥投入量が 3 t/d になれば、浮上スカム一部抜出はもちろんのこと、含油スカム発生も大幅に削減できると試算している。図7に同時期のメタン発酵設備単独のエネルギーバランスを示す。1次エネルギー換算で1日あたり 3.8 GJ (1 055 kWh 相当) 程度の余剰エネルギーが得られており、メタン発酵設備の消費エネルギーを上回るエネルギーを創出している。従来は場外処分費のかかる厨芥や排水処理汚泥から安定してエネルギーを得ることができている。

むすび

あべのハルカスに納入した都心型バイオガスシステムの性能評価運転結果とその後の稼働状況について報告した。都心部の複合商業ビルでは、廃棄物処

分費が高いことで経済的に導入メリットが出やすいこともあるが、生ゴミ運搬時の臭気等衛生面から解放され、かつ汚泥・生ゴミ処分回避とエネルギー回収に伴う CO₂ 削減効果も謳えることから本システムの導入インセンティブになると考える。あべのハルカスは国交省の平成20年度省 CO₂ モデル推進事業に採択され、この中で本システムは省 CO₂ 対策技術の目玉となっている。また本システムは、平成25年度地球温暖化防止活動環境大臣表彰をはじめこれまで数々の賞を受けており、非常に注目度が高い。当社のバイオマス関連技術の新しい切り口としてソリューション提案に加えてゆきたい。

最後に、本設備の建設、試運転に多大なるご協力をいただいた近畿日本鉄道(株)、近鉄不動産(株)、近鉄ビルサービス(株)、(株)竹中工務店、三機工業(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 特許第5500717号
- 2) 神鋼環境ソリューション技報, Vol.10, No.1 (2013), p35-36
- 3) 特許第5508069号
- 4) 楮春鳳ほか：土木学会論文集 559/VII-2 (1997), p31-38