

あべのハルカスにおける厨房排水と厨芥からのエネルギー回収

株式会社 竹中工務店 環境エンジニアリング本部 加藤利崇

1行目スペース

はじめに

2014年3月、大阪市阿倍野区に日本一の高さとなる300mの複合ビル、あべのハルカス(図1)がグランドオープンした。

とりわけ環境配慮を重視する本件は、エネルギーの面的利用、調色LED照明など先進的かつ普及性の高い環境技術を探求している。都市インフラへの負荷を減らすために生ごみや排水処理汚泥を用いたバイオガス発電が日本で初めて建物の地下にビル設備として導入されている。これまで生ごみのメタン発酵は、残渣処理に排水処理設備が必要なことや搬送機器の小型化が困難なことから、小規模では経済性の成立が困難であり、実証試験等は実施されたものの、ビル設備としての実機導入は例がない。本件では、厨房排水処理設備(厨房除害設備)と生ごみのメタン発酵を組み合わせることにより、経済性を向上させた。外部処理が必要で大きな費用を要している厨房排水処理汚泥の処理費用をメタン発酵装置によって内部化し、排水処理負荷が低減したところにメタン発酵の処理残渣(消化液)を流入させ厨房除害設備の機能を利用して下水道に放流可能なレベルまで消化液の処理を可能とした。



図1 あべのハルカス

グランドオープン後の試運転調整、様々な設備改造、テナント協力PR等を経て、順調に運転されている。本稿では、導入されたシステムの概要と運転状況等について報告する。

なお、本件は国土交通省の平成20年度住宅・建築物省CO₂推進モデル事業に採択されており、大阪市が進めるCASBEE大阪において、最高ランクとなるSを取得している。

1. 都心部ビル地下に最適な厨芥のリサイクル

食品リサイクル法の制定から15年が経過し、食品廃棄物のリサイクル率は向上しつつある。平成24年度の食品廃棄物の発生及び処理状況を見ると、産業廃棄物の食品廃棄物リサイクル率は80%程度である。これに比べ一般廃棄物は家庭系一般廃棄物に比べてリサイクル率の高い事業系一般廃棄物でも食品リサイクル率が30%未満と低く、食品製造業に比べ飲食店等から発生する食品廃棄物のリサイクルが進んでいない¹⁾。都市部ではこの事業系一般廃棄物としての食品廃棄物発生量が多いが、リサイクル施設は郊外への立地が多く、費用や運搬費の面から焼却処理される割合が高い。生ごみは含水率が高く焼却処理には向かない。また、ビル内処理では、乾燥処理による悪臭問題や堆肥化物の利用先の確保の困難さから、一部でその実施が中止されている。都市部に適した生ごみのリサイクルを考えると、都市部では確実なエネルギー需要があり、需給バランスによる確実なリサイクルの継続性の観点から、発電や蒸気としてのエネルギー回収が適していると考えられる。

2. エネルギー回収の課題と解決策

都心部ビル地下における生ごみからのエネルギー回収は、生ごみの運搬、安全性及び臭気、経済性の点で課題がある。今回、あべのハルカスへのバイオガス装置の導入にあたってはそれぞれの課題項目に対して、次のような対策を講じている。

1) 生ごみの運搬

生ごみの運搬は、ディスポーザを(図2)用いてビルの地下へと生ごみを運搬している。ディスポーザの活用により、生ごみの汚水の通路やエレベータ内への飛散による悪臭等が防止され、衛生面の確保がなされるとともに、含水率の高い生ごみの長距離運搬が不要となり労働力の削減にも繋がっている。一方で、ディスポーザの利用では配管の閉塞が最も危惧される事項である。業務用ディスポーザについての知見が少なく既報²⁾に示すように様々な試験を実施し、業務用ディスポーザとしては初の集合管による長距離搬送システムを構築した。ポンプ圧送による中継システム(図3)の採用により配管の閉塞なく、ディスポーザ1台で最大10kg/分の生ごみを搬送することが可能である。



図2 ディスポーザ設備



図3 ディスポーザ中継システム

2) 臭気防止と安全性の確保

メタン発酵は閉鎖系でメタンガスを回収するため、臭気が外部に漏れることはないが、ディスポーザ排水の前処理過程や消化液の処理過程での臭気の拡散の可能性がある。そこで、ディスポーザ排水の前処理過程や消化液の処理過程については全て系内を陰圧とするよう脱臭ダクトを設け、オゾン処理による脱臭工程の後に屋外へと排出するようにした。また、メタンガスの爆発の危険性は、室内換気のシミュレーションを実施し、部屋全体として爆発限界に達しないような換気回数を確保し、換気設備に冗長性を持たせ安全性を高めた。また、局所的なガス溜まりに対して、硫化水素検知器、メタンガス検知器を設置し、ガス漏れ危険性のある周辺は防爆設備とした。なお、部屋の入口に回転警告灯を設置し、危険事象発生時に誤入室のないようにしている。

2) 経済性

あべのハルカスでは日量3t/日程度の生ごみの発生量が見込まれた。ビル単体としての発生量として建物規模も大きく多い方であるが、それでもこの規模で生ごみのメタン発酵を実施してもその残渣の排水処理までを考えると、経済性は成立しない。一方、あべのハルカスでは厨房除害設備が設けられており、日量700tの厨房排水を処理し、そこから外部処理の必要な汚泥が発生する。この排水処理汚泥

(好気処理前の加圧浮上スカムを含む)は生ごみと同様にメタン発酵によりエネルギー回収が可能である。このエネルギー回収により汚泥中の炭素分がメタンとなり回収されることから汚泥量が大幅に減量され、汚泥の外部処理費が大幅に削減される。また、メタン発酵により生じた残渣は厨房除害設備

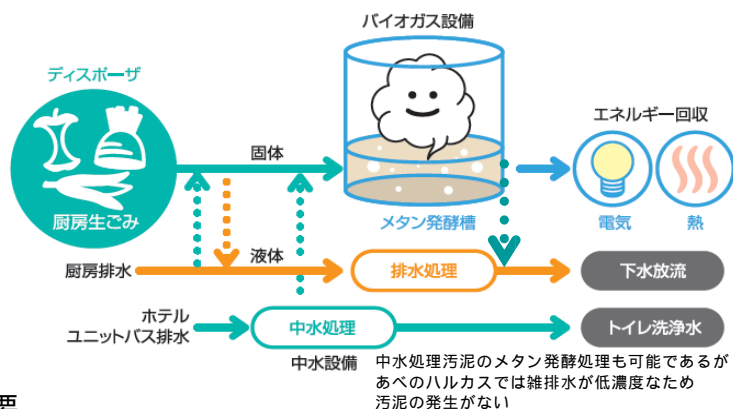


図4 メタン発酵システムの組合せ

で処理可能である。この組合せ(図4)により生ごみ日量 3t という小規模でも経済性が向上した。

3. 導入したシステム概要

図5に設置されたバイオガス設備、図6に地下5階への設置イメージ、図7にバイオガス設備の詳細フロー図を示す。これらの設備で日量 3t の生ごみ、日量 700t の厨房排水の処理が可能であり、バイオガス(メタンガス濃度 60%) 540Nm³ が得られるものとして設置された。

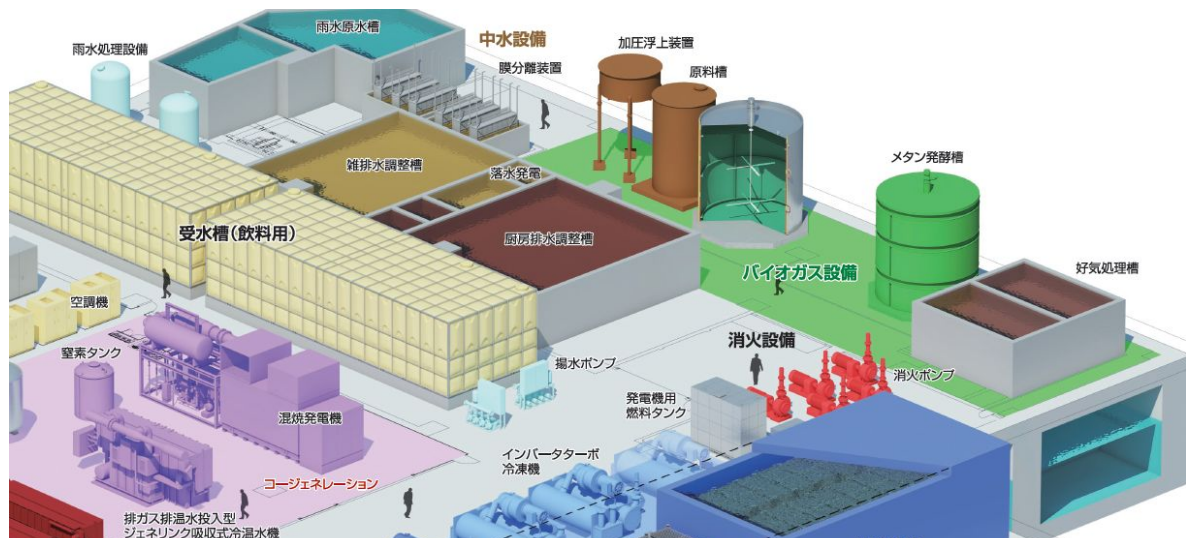


図6 メタン発酵システムの設置イメージ図



図5 メタン発酵システム

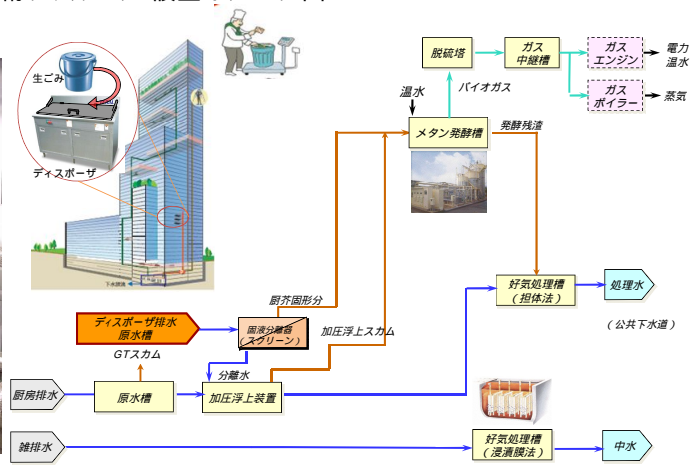


図7 フロー図

4. グランドオープンからの運転状況

あべのハルカスのバイオガス設備は2014年3月に運転を開始し、当初は様々なトラブルや想定外の水質などから運転が安定せず、想定外の水質に対応可能なように改修した。図8にグランドオープンからのエネルギーバランス(設備での使用電力量と使用蒸気量、発生したバイオガスを全て1次エネルギー換算)を示す。電力や蒸気の使用エネルギーに比べ得られたバイオガスのエネルギーが増加し、2015年3月には、ほぼエネルギー収支が0となり、4月以降はエネルギー

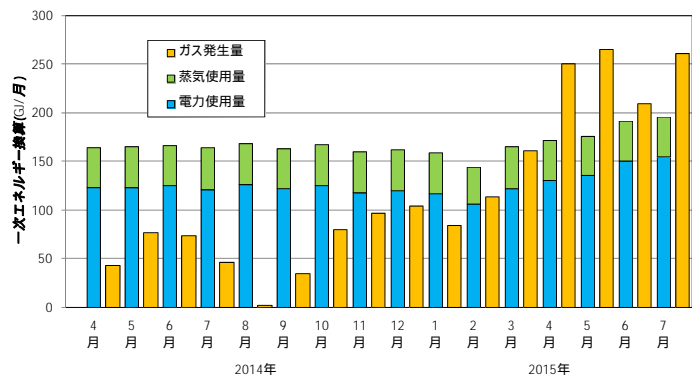


図8 毎月のエネルギーバランス

収支が安定してプラスとなった。このエネルギープラス分は全量を発電効率 37%で発電した場合、10kW 強の発電機が 24 時間運転できる量である。なお、2015 年 5 月の段階で投入されている生ごみは日量 2t 程度である。この運転条件から生ごみ 3t の場合を計算すると、約 600Nm³ のバイオガスが得られ、40kW の発電機を 24 時間運転することが可能となる。

図 9 にグランドオープンからの厨芥投入量と厨房排水スカム投入量とバイオガス発生量を示す。ガス発生量は最大 0.83Nm³/分解 VSkg と標準³⁾0.35~0.55 に比べ多量なバイオガスが発生した。メタンガス濃度は 70%程度と標準³⁾の 60%に比べ高濃度でより多くのメタンガスが回収できた。これは厨房排水汚泥中の油脂割合が高いことによるものと思われる。

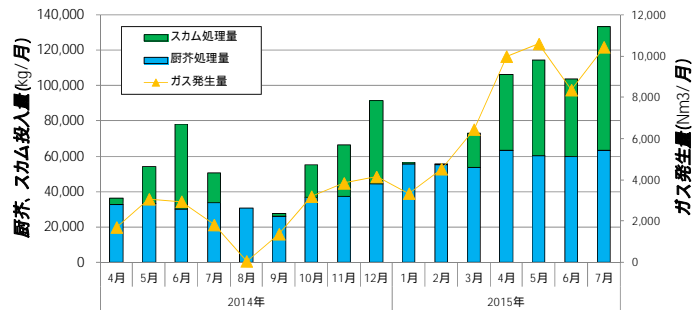


図 9 月毎の負荷とガス発生量

油脂分に注目すると、厨房排水中の高油脂類により何度か発酵阻害が起きた。油脂分は発酵原料中に多量に入ると発酵阻害を引き起こすことが知られている。そこで、想定外の油脂濃度にも対応可能なように、想定以上の油脂類が流入した際にメタン発酵槽を守るため、油分除去装置を新に設置した。これにより安定したメタン発酵槽の運転が可能となった。

5. 運転の安定性

5月から約3ヶ月間の投入 VS (Volatile Solid)、n-Hex 負荷量と発生ガス量を図 10 に示す。また、図 11 に日々のエネルギーバランスを示す。投入物の分解が比較的早く、投入量に応じたガス発生量の変動が見られる。しかしながら、設備改修のため投入負荷をほぼ 0 とした 5 月末にはガス発生量が

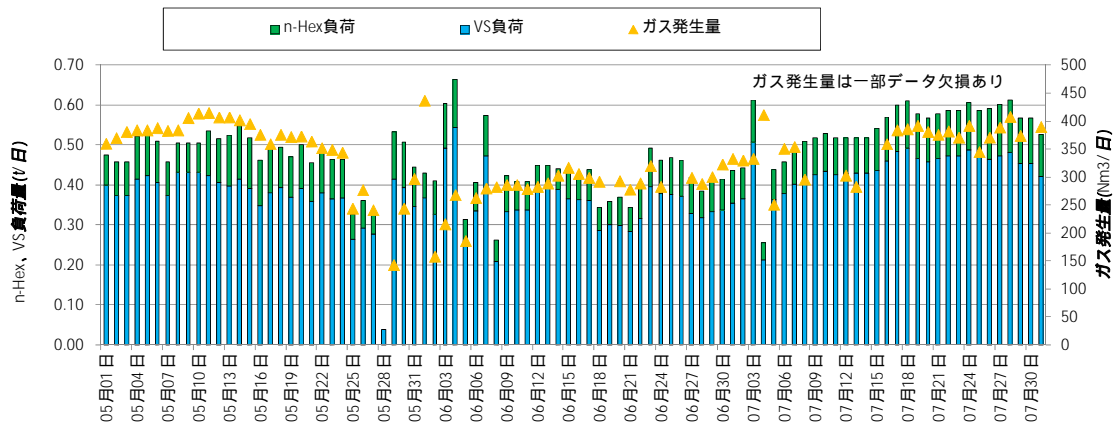


図 10 3ヶ月間の負荷とガス発生量の推移

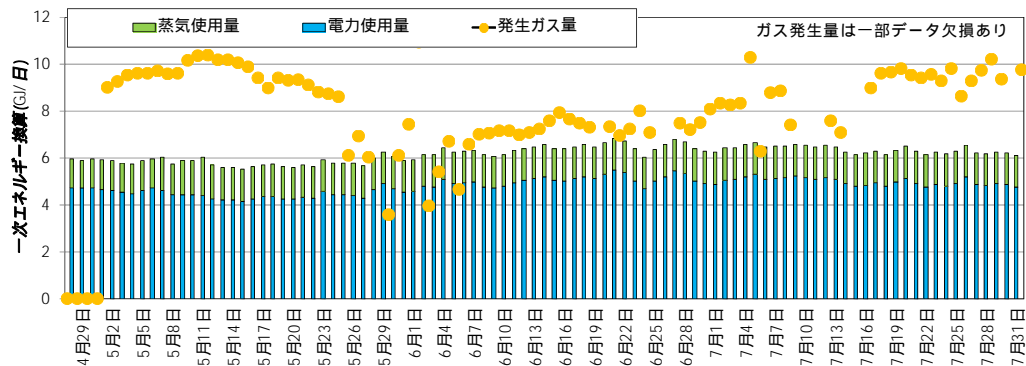


図 11 3ヶ月間のエネルギーバランスの推移

大きく変化したが2週間程度で回復した。これは負荷を止めたことにより世代時間の長い菌によるメタン生成と世代時間の短い菌によるメタン生成のバランスが崩れたことによると考えられる。したがって、滞留日数 10 日以上と長いものであるが日々の投入を安定させることにより解決可能である。その後は概ね安定して投入量に応じたガス発生量であった。エネルギーバランスも5月末からの改修による不安定な期間を除き、概ね安定してエネルギープラスの状態であった。

6. 省 CO2 性の検証

表1に2015年5月～6月の生ごみ2t強の場合の省 CO2 量の計算結果を示した。電力は2010年当時の関西電力の原単位である

表1 省 CO₂ 性能の検証

0.265kg-CO₂/kWh を用いているが、年間約 250tの省 CO2 を達成できる。

項目	計算
DSPの利用	・10kgずつを人が単独でエレベータで地下5Fまで運搬 ・エレベータの条件は105m/min、積載2t、積載率30%、ノンストップで昇降 計算の結果18,723kWh/年 ・DSP利用による使用電力は5,455kWh よって、18,723-5,455=13,268kWh/年 13,268kWh × 0.265kg-CO ₂ /kWh=3,516t/年の削減
厨芥収集車削減	・往復で収集車1台あたり13kmの距離を走行。 ・1台あたり1tの厨芥を積載。トラックの燃費は4km/軽油L、軽油の原単位は2.62kg-CO ₂ /L。 ・3回/日 × 2.1t/3t × 365日 × 13km/回 ÷ 4km/L × 2.62kg-CO ₂ /L=6,52t/年
汚泥収集車削減	・含水率は97%、トラック1台あたり走行20km、4m3の積載が可能。トラックの燃費は4km/L ((0.185t-DS) ÷ 0.03 ÷ 4m3) 回 × 365日 × 20km/回 ÷ 4km/L × 2.62kg-CO ₂ /L = 7.37t/年
都市ガス代替	・バイオガス13A代替 470Nm ³ × 0.7 × 35.5/40.6 × 2.01kg-CO ₂ × 365日=215.5t/年 ・バイオ設備電力消費 389kWh/日 × 365日 × 0.265kg-CO ₂ /kWh=37.6t/年 ・バイオ加温利用 2,320MJ/日 / 0.9/40.6MJ/Nm ³ × 2.01kg-CO ₂ /Nm ³ × 365日=46.58t/年 215.5-37.6-46.58=131.32t/年
厨房排水汚泥焼却回避	従来方式では0.185t-DS/日の汚泥が発生。今計画では発生が回避。 1.535kg-CO ₂ /kg-汚泥DSを原単位として採用。0.185t-DS/日 × 365日 × 1.535kg-CO ₂ /kg-汚泥DS=103.65t/年

7. 経済性の試算

表2に経済性の試算結果を示す。あべのハルカスにおいては、安定運転開始後1年間のデータが得られていないため概算として評価した。厨房排水処理汚泥や生ごみのリサイクルコストは地域によって大きく異なるため一概には標記できないが、10年程度での投資回収が可能であると評価できる。

表2 経済性の試算

おわりに

日本一高いビルの地下で日本で初めてのビル内メタン発酵の実設備の導入がなされた。立上時に予想せぬトラブルや、テナントへの分別協力のお願いなど順調な稼働まで1年強を要したが、関係各位の尽力により安定して生ごみと厨房排水からエネルギーを得ることができるようになった。

今後同様な事例が増加し、都市インフラとしてビル内にメタン発酵が導入されごみ収集車による生ごみ運搬が大幅に減り、リサイクル率も向上することが望まれる。

項目	
前提条件	・厨房除害施設（及び中水処理施設）が設置される建物への導入 ・厨房排水処理量700t/日程度 ・熱利用設備は別途
厨芥処理量	3t/日
バイオガス発生量	約600Nm ³ /日（メタン70%）
初期投資額 （メタン発酵に関する投資額のみ）	約3億円
維持管理運転費 （日常管理、分別人件費を含む）	約5,000万円/年
収入見合い（想定）	生ごみリサイクル費：3,240万円/年 3.0万円/t × 3t/日 × 360日 厨房除害/中水汚泥処理費：4,000万円/年 （前掲施設の実績ヒアリング値） 余剰ガス売却費相当：1,200万円/年 （80円/m ³ ）
投資回収年数（試算）	9.0年

分別の協力が得られず人手を必要とするとき大きくなる

管理状況により様々な値を聞くことがある

運営みだり4=5万円/tの所もある

謝辞

本稿執筆にあたり、データのご提供をいただいた、近畿日本鉄道株式会社、近鉄不動産株式会社、近鉄ビルサービス株式会社、株式会社神鋼環境ソリューションに感謝します。

【参考文献】

- 1) 環境省、平成 27 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書、p.p.198,2015
- 2) 大塚雅之、保科秀明他：超高層業務用建物へ適用するディスプレイ排水配管システムの排水性能と搬送性能に関する研究、日本建築学会技術報告集、No.44、pp.181～186、2014.2
- 3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、メタンガス化施設整備マニュアル、2007