

# 新型消化ガス精製装置の導入とバイオガスの有効利用

中山卓也・佐々木敏哉

## 1. はじめに

京都市では、昭和5年に下水道事業を開始し、平安建都1,200年に当たる平成6年度には市街化区域の下水道整備を概ね完了しており、下水道人口普及率は平成30年度末時点で99.5%に達している。

平成30年度には、経営戦略の柱として令和9年度までの10年間に取り組むべき課題や目標を示した「京（みやこ）の水ビジョン」を定め、現在、その前期5箇年の実施計画として策定した「京都市上下水道事業中期経営プラン（2018～2022）」に基づき、「下水道管路の改築更新・地震対策」「下水処理施設の改築更新・地震対策」「浸水対策」「水環境対策」「創エネルギー対策」等を推進している。本市が管理する水環境保全センター（鳥羽、伏見、石田）及び京北浄化センターでは、処理機能維持や地震対策のため、老朽化した施設・設備の改築更新に積極的に取り組んでいる。

そのうち、老朽化が著しい汚泥処理施設については、耐震性の向上を図るため、平成26年度から汚泥消化タンク等の再整備に着手した。この再整備にあわせ、再生可能エネルギーの利用拡大を図るため、汚泥消化タンクから発生する消化ガスを増加させる計画とした。今回の再整備にあたり、消化ガスから不純物を取り除く設備として新型の消化ガス精製装置（図-1）を導入したので、本装置の特徴及び本装置を活用した消化ガスの有効利用について報告するものである。



図-1 消化ガス精製装置

Introduction of a New Digestion Gas Refining System and the Effective Use of Biogas

## 2. 汚泥処理の再整備

### 2.1 汚泥処理施設の概要

平成25年度から、各水環境保全センター及び京北浄化センターで発生した下水汚泥を、鳥羽水環境保全センターにて集約処理を行っており、それらの下水汚泥は、濃縮→消化（一部）→脱水→焼却の処理を行い、脱水汚泥及び汚泥焼却灰の一部はセメント原料等として有効利用を行っている。（図-2）発生した消化ガスは、消化タンクの加温及び汚泥焼却炉の燃料の一部として利用している。

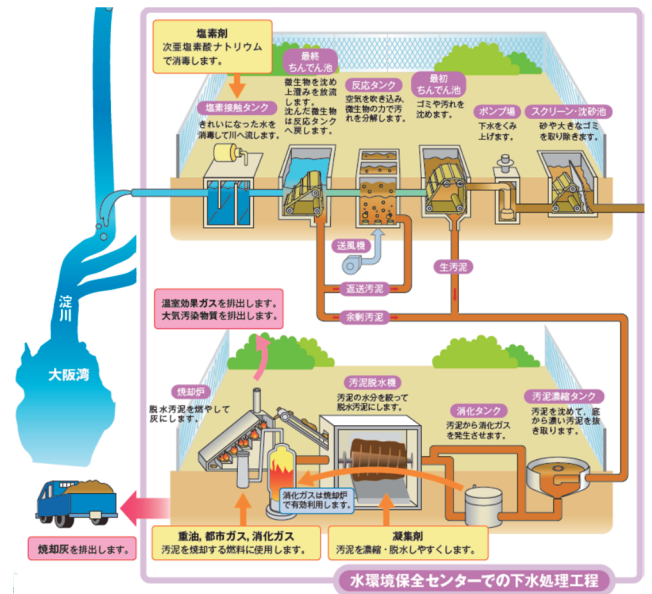


図-2 水環境保全センターでの下水処理フロー

### 2.2 消化ガス精製装置導入の経緯

汚泥処理施設の再整備に伴い、老朽化している消化ガス中の硫化物等を除去する脱硫装置についても改築を行うこととなった。下水処理で用いる脱硫装置については湿式（既設仕様）と乾式があるが、湿式については硫化水素の除去効率が低く、近年採用実績は減少している。また、ガス精製を目的とした高圧水吸収式（図-3）が他都市で運用が開始されていたことから乾式と高圧水吸収式において比較検討を行った。結果、以下の理由により高圧水吸収式を採用した。

- (1) 硫化水素やその他の不純物（二酸化炭素、シロキサン、水分）の除去効率が高いこと

- (2) 乾式脱硫装置で発生する使用済み脱硫剤といった産業廃棄物が出ないこと
- (3) 装置の必要面積が小さいこと
- (4) 将来消化ガス発生量は増加するが、その際に有効利用先として一般的な焼却炉への補助燃料だけでなく、消化ガス発電や、都市ガスへの導管注入、水素製造といった有効利用先の幅を広げることができること
- (5) 有効利用を含めたトータルコストが低減できること

以上より、高圧水吸収式の消化ガス精製装置を採用することで、高純度のメタンガスを生成でき、今後のバイオガス有効利用においても幅広い選択肢を有することができる。

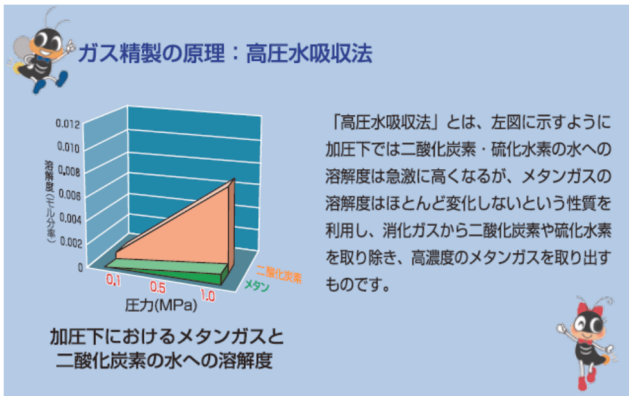


図-3 高圧水吸収法の原理

### 3. 消化ガス精製装置

#### 3.1 装置の特徴

高圧水吸収式の消化ガス精製装置は、消化ガスに含まれるメタンを純度97%以上の性状で、都市ガス相当の高品質ガスに精製するものであり、平成20年3月に「バイオ天然ガス化装置」として建設技術審査証明（(公財)日本下水道新技術機構）を取得した技術である。現在、鳥羽水環境保全センターで稼働する消化ガス精製装置は、この技術を国土交通省 国土技術政策総合研究所の委託研究（B-DASHプロジェクト）にて、消化ガス圧縮機の形式を一部変更したことにより装置の省エネ化が図られた“新型”バイオ天然ガス化装置であり、国内最大級の規模である。

#### 3.2 プロセスフロー

本装置の仕様及びフローは表-1、図-4のとおりであり、1基あたり2台の消化ガス圧縮機が消化ガスの発生量に応じて処理量を自動制御し、バラ

ンスを取って並列運転を行う。消化ガス圧縮機により圧縮された消化ガスは、吸収塔（図-5）で0.9MPaの高圧下で水と対向流接触し精製される。この精製ガスは、除湿器で露点が-51℃以下になるように水分を除去した後、中圧の球形ガスホルダへと供給される。消化ガス圧縮機の運転は、従来低压ガスタンクが担っていた消化タンクの圧力管理を代替している。

精製されたガスは、精製過程で0.9MPaまで昇圧しているため、そのまま中圧の球形ガスホルダに送られて貯留される。各利用先では減圧して供給しており、従来の消化ガス利用時に必要とした昇圧ブロウは不要となる。

減圧塔から排出される吸収水には多くの不純物が溶け込んでおり、脱気塔へ供給し圧力を下げ吸収水に溶け込んでいた不純物を分離解放させる。分離解放された二酸化炭素及び硫化水素を主成分としたガス（以下「オフガス」という。）は、オフガス処理装置（生物脱臭）及び活性炭吸着塔にて悪臭成分を適正に処理して大気解放している。

また、一連のプロセスを適正に管理するために精製消化ガスの分析計を設置しており、精製消化ガスが常に仕様を満たすように監視し測定結果を運転制御に反映している。

表-1 消化ガス精製装置の仕様

項目	仕様
形式	高圧水吸収法
処理量	消化ガス 600Nm <sup>3</sup> /時
消化ガス性状	メタン：約65% その他：約35% 硫化水素：約1,000ppm
処理ガス性状 (精製ガス)	メタン：97%以上 その他：3%程度 硫化水素：0.1ppm以下 露点：-51℃以下 シロキサン：1.0mg/Nm <sup>3</sup> 以下 (D3～D6合計)
電動機出力	約260kW(総合出力)
電源	動力：3φ×400V×60Hz 制御：1φ×100V×60Hz
運転圧力	0.9MPa
基数	2基

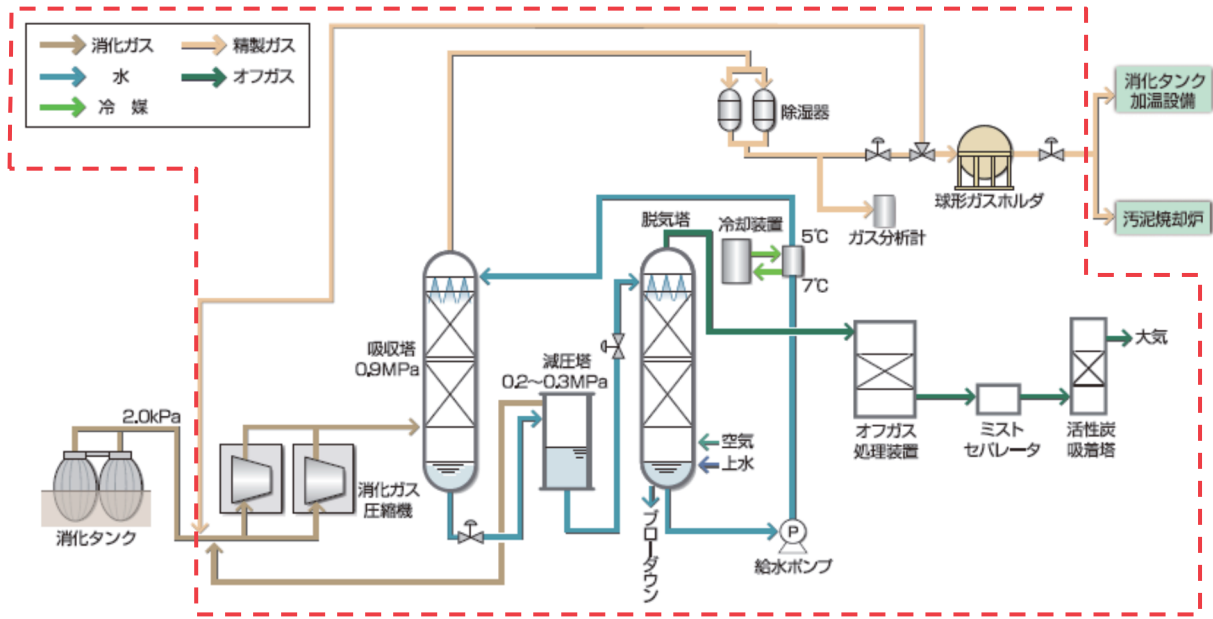


図-4 消化ガス精製装置フロー（赤枠破線内）



図-5 吸収塔内部（上）と吸収塔内部のろ材（下）

## 4. 運用状況と効果

### 4.1 運用状況

平成28年度に供用を開始して以来、ガス精製装置は順調に稼働している。消化タンクの改築更新に先立ち供用を開始したため、しばらくは余裕を持った運用となっていたが、新設消化タンクの運用開始に伴い、消化ガス発生量が増加し、徐々

に装置の稼働率も上昇している。新設消化タンクが定格運用に進めば、ガス精製装置2基が本格的に連続稼働することになる。

### 4.2 精製消化ガスの性状

工事完成時の試運転の精製消化ガスの性状は、以下のとおりである。

表-2 精製消化ガスの性状

試料採取日	平成28年5月27日	平成28年6月3日	
系列	1系	2系	
測定項目	メタン	98.6%(vol/vol)	98.5%(vol/vol)
	二酸化炭素	0.39%(vol/vol)	0.40%(vol/vol)
	硫化水素	<0.01ppm(vol/vol)	<0.01ppm(vol/vol)
	シロキサン(D3)	<10 μg/ m <sup>3</sup>	<10 μg/ m <sup>3</sup>
	シロキサン(D4)	<10 μg/ m <sup>3</sup>	<10 μg/ m <sup>3</sup>
	シロキサン(D5)	<10 μg/ m <sup>3</sup>	<10 μg/ m <sup>3</sup>
	シロキサン(D6)	<10 μg/ m <sup>3</sup>	<10 μg/ m <sup>3</sup>
露点	-55℃	<-55℃	

(参考) シロキサンとは、ケイ素と酸素を主成分とする化合物で、流入下水中にも含まれており、機械・電気設備等に付着すると設備不具合の原因となる。

上記より、試運転時の精製消化ガス性状は、表-1の仕様を十分満足している。更新前の湿式脱硫装置の出口ガス濃度が、メタン59%、二酸化炭素35%、硫化水素20ppm（いずれも平成27年1月16日測定データ）であることから、高品質であると言える。また、その後の定期整備時のデータ



においても設計仕様を満足していることから、本装置は安定的に性能を発揮していると言える。

#### 4.3 消化ガス精製による効果

ガス精製装置で精製したガスは、場内で消化タンク加温用の温水ヒータ用燃料と汚泥焼却炉の補助燃料として活用している。消化タンクの再整備により発生する消化ガスが増えたこと、従来の湿式脱硫装置よりメタン回収率が高い本装置を採用したことにより燃料費の低減を図ることが期待できる。これにより、汚泥処理施設全体で使用する都市ガスが減少しており、カーボンニュートラルな消化ガスの活用による二酸化炭素の排出削減効果にもつながっていると見える。

また、消化ガスに含まれる1,000ppmを超える高濃度硫化水素を0.1ppm以下まで除去できるようになったことやシロキサン除去も可能になったことにより、ガス貯留設備や汚泥焼却設備における機器、配管の腐食や故障リスクの低減につながっている。

#### 4.4 運用後の問題とその対応

当初、オフガス処理装置及び活性炭吸着塔の臭気除去対象物質はオフガス中の硫化水素と考えており、その考えに基づき設計・建設を行った。しかし運用開始後、悪臭防止法で定める硫化水素を含む特定悪臭22物質は除去できているにもかかわらず、周囲でわずかながら臭いを感じる状況が確認された。センターの敷地境界における規制基準は満足しているが、安全な作業環境確保の観点から改善が必要と判断し、詳細な調査を行った。その結果、特定悪臭22物質と異なるこの臭いを複数物質の複合臭と判断した。その後、複合臭に効果のある活性炭を新たに追加することにより、問題の解決を図った。



図-6 脱臭装置

## 5. 今後の課題

汚泥消化タンク関連施設の再整備により、汚泥消化タンクから発生する消化ガスを増量させた。今後、更なる有効利用を図るべく、現在建設中の固形汚泥燃料化施設への供給も計画しているが、現在の有効利用先は限定されており、消化ガス発生量の変動や汚泥焼却炉等の稼働状況により、精製したガスに余剰が生じることが考えられる。

精製消化ガスの有効利用方法としては、ガス発電による場内利用、FIT発電事業等があるが、精製したガスの利用はその選択に留まらず、都市ガス導管への注入、水素製造等も挙げられる。京都市では、平成29年度から平成30年度にかけて精製消化ガスの水素化の共同研究を行い、その可能性を模索してきた。

今後の動向を見極めながら、この精製消化ガスの利活用幅を広げるため、情報収集を引続き実施し、技術やコスト等について検討・研究を行っていく。

## 6. まとめ

今回京都市において新型消化ガス精製装置を導入した経緯や本装置の特徴を紹介した。本装置は高純度のメタンガス精製が可能のため、バイオガスの有効利用を図るうえで様々な利用方法が考えられる。今後は本装置で精製したメタンガスの更なる有効利用の検討を行い、再生可能エネルギーの利用拡大に努めていきたい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン（案）

中山卓也



京都市上下水道局下水道部設計課 課長補佐  
Takuya NAKAYAMA

佐々木敏哉



京都市上下水道局下水道部設計課 課長  
Toshiya SASAKI