

# 下水道パワー！（第1回） 下水汚泥消化ガス利用技術について

一般社団法人 日本下水道施設業協会

技術部長 堅田 智洋



## 1. はじめに

### 1. 1 下水道を取り巻く資源・エネルギー状況

世界の資源・エネルギー需要は、今後も大幅に増加すると見込まれており、資源・エネルギーの枯渇が懸念されている。とりわけ、我が国は資源・エネルギーの供給源を海外に依存しており、加えて、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故が契機となって、資源・エネルギー安全保障の確立が急務となっている。

「循環型社会形成推進基本計画」（平成25年5月閣議決定）では、循環資源の種類に応じて適正な規模で循環を進めること、バイオマス系循環資源については、肥飼料化や再生可能エネルギー等として地域内で循環利用する取り組みを支援することが示されている。

下水汚泥は、バイオマス系循環資源の中でも、人々の日常の生活から排出されるため安定的かつ多量に発生することに加え、収集・処理システムがインフラとして整備されている。こうした状況も踏まえ、国土交通省が平成26年7月に策定した「新下水道ビジョン」では、下水処理場を「水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化」とすることが目標として掲げられ、平成27年7月施行の下水道法改正では、下水道管理者の責務として、下水汚泥が燃料・肥料として再生利用されるよう努めることが明確化された。

### 1. 2 下水汚泥の利活用状況

年間発生量が約230万t・DSに達する下水汚泥は、その固形分の約80%が有機物であり（図-1）、年間約40億kWhの発電量（約110万世帯の年間電力消費量）に相当する質・量ともに安定したエネルギー資源であるが、その有効利用の大半はセメント化等の建設資材利用であり、平成26年度末に



図-1 下水汚泥中の有機物の割合

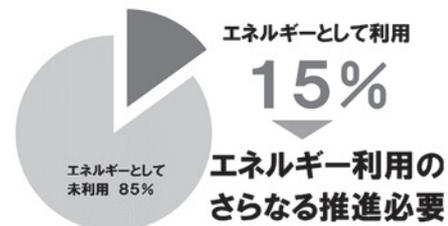


図-2 下水汚泥エネルギー化率（平成26年度末）

における下水汚泥エネルギー化率は約15%と未だ低い水準である（図-2）<sup>1)</sup>。

したがって、バイオガスや固形燃料等として、また、新たな手法も含めエネルギー利用に積極的に取り組んでいく必要がある。

## 2. 消化ガス利用技術

下水汚泥のバイオマスとしての特徴を生かしたエネルギー化技術は多岐にわたる（図-3）。本稿では、その中から消化ガス利用技術を取り上げる。

### 2. 1 消化ガス利用技術の分類

消化ガスの利用形態を図-4に示す。消化ガスは、従来から消化槽の加温や焼却炉の補助燃料として場内利用されてきたが、ここでは、近年、地域のバイオマス系循環資源としての活用を目的として、固定価格買取制度やPPP官民連携事業によ



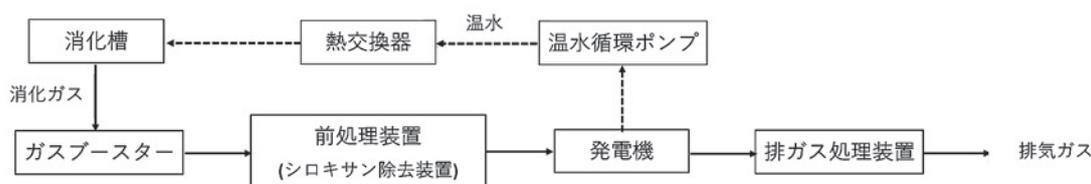


図-5 ガスエンジン方式のシステムフロー<sup>3)</sup>

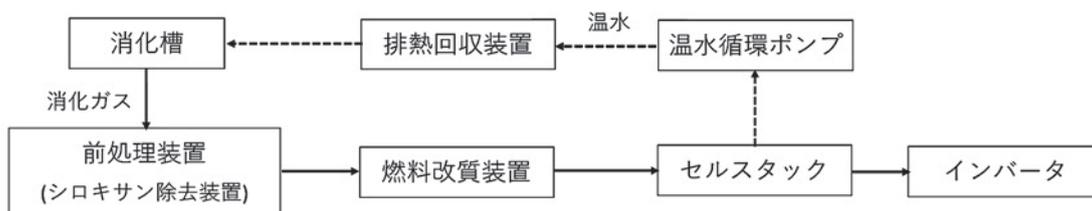


図-6 燃料電池方式のシステムフロー<sup>3)</sup>

ンジン方式は、ガスエンジン方式と比較し燃焼排ガスNO<sub>x</sub>濃度が低いため、必ずしも排ガス処理装置を必要としない。

燃料電池方式のシステムフローを図-6に示す。

燃料改質装置は、消化ガス内の硫化水素を除去し、水蒸気と触媒存在下で接触させ水素濃度の高い改質ガスを発生させるものである。セルスタックは、改質ガス中の水素(H<sub>2</sub>)と空気中の酸素(O<sub>2</sub>)を電気化学的に反応させ、外部に電力を取り出すものである。インバータはセルスタックから発生する直流電力を交流電力に変換するものである。排熱回収装置は改質器へ供給する水蒸気の製造や排熱を有効利用する場合に設置するものである。

## (2) 発電技術の原理と特徴

### 1) ガスエンジン方式

ガスエンジン方式は、いわゆる往復動機関であるレシプロエンジンをガスエンジンとして利用し、マイクロガスコージェネレーションシステムとして開発された設備である。レシプロエンジンは、燃料ガスと空気を混合してシリンダー内に供給して圧縮燃焼させ、その燃焼に伴い生じる膨張力によるピストンの往復運動をクランク軸の回転運動に変換して動力を取り出す内燃機関である。本方式は発電設備を駆動して電力供給を行うと同時に、排ガスや冷却水から排熱を蒸気や温水の形態で回収する。

### 2) マイクロガスタービン方式

マイクロガスタービン方式は、航空用ガスタービンエンジンの技術を転用して、分散型発電機用として開発された設備であり、基本的な発電原理はガスエンジンと同様である。タービン出口排ガスの有するエネルギーで燃焼用空気を加温する再生サイクル技術の採用により、100kW以下の小容量でも比較的高い発電効率を達成している。

### 3) ロータリーエンジン方式

ロータリーエンジン方式は、従来、自動車用に開発されたロータリーエンジンを、ガス用エンジンに転用開発したものであり、レシプロ式エンジンと異なり、ガス交換用のバルブピストンを持たない構造となっている。基本的な発電原理はガスエンジン方式と同様であり、ピストンの代わりにローター(回転子)を用いたエンジンである。ハウジングの内面を三角おむすび形のローターが回転し、吸気・圧縮・爆発・排気の4サイクルを進行する。ローター1回転で4サイクルの工程が3組同時進行し、出力軸は3回転する。構造がシンプルなため、設備を小型化することが可能であり、メンテナンスが容易となる。また、エンジンが回転運動となるため騒音・振動が少なく耐久性に優れている。さらに、補機動力が小さいため、自己消費電力が低減できる等の特徴を有している。

### 4) 燃料電池方式

燃料電池は、化学反応によって電気を発生させる電池の一種であり、水の電気分解とは逆の原理で、バイオガスから分離した水素と空気中の酸素の化学反応から生じる電子を直流電流として取り出すものである。

燃料電池の本体はセルスタックといい、セルが積み重なっている。セルには、燃料極と空気極があり、反応に必要な水素が燃料極を通り、酸素が空気極を通る構造となっている。水素は電極中の触媒の働きで電子を切り離して水素イオンになり、電解質はイオンしか通さないという性質があるため、切り離された電子は外に出ていく。電解質の中を移動した水素イオンは、反対側の電極に送られた酸素と外部から電線(外部回路)を通じて戻ってきた電子と反応して水になる。この「反応に関与する電子が外部回路を通ること」が、電流が

表-1 各発電技術の特徴<sup>2)</sup>

	ガスエンジン方式	マイクロ ガスタービン方式	ロータリー エンジン方式	燃料電池方式
発電出力(kW)	25~1,000	30~95	40	105
発電効率(%)	25~39	25~28	22~23	42
排熱効率(%)	40~55	約45	57~58	20~49
総合効率(%)	約80	70~80	約80	62~91

流れるということであり、電気が発生するという  
ことである。

各発電技術の発電出力や発電効率等の特徴を表  
-1に示す。

## 2. 3 消化ガス燃料利用技術

### (1) 概要

消化ガス燃料利用技術は、消化ガスを改質して  
ガス燃料として利用する技術で、自動車燃料利用  
技術、ガス導管直接注入技術、都市ガス供給・都  
市ガス原料供給技術等がある。

自動車燃料利用技術は、CO<sub>2</sub>排出量がガソリン  
車より2~3割少ない天然ガス自動車の燃料とし  
て利用するもので、バイオガスを都市ガス並みの  
品質に精製、付臭後、ガスホルダに貯留し、ガス  
充填設備で天然ガス自動車へ供給する。

ガス導管直接注入技術は、バイオガスを都市ガ  
ス13Aレベルと同等の品質に精製、プロパンガス  
添加による熱量調整、付臭を行い、ガス導管に送  
りこむものである。送り込まれたガスは、都市ガ  
スとして需要家に供給される。

都市ガス供給・都市ガス原料供給技術は、バイ  
オガスを供給先の条件に合わせて精製し、圧縮機  
で圧力を高め、除湿器で除湿し、必要に応じて熱  
量調整を行った後、ガス事業者へ供給するもの  
である。

### (2) バイオガス精製技術

下水汚泥から発生するバイオガスはその成分の  
約6割がメタン、約3~4割が二酸化炭素であり<sup>4)</sup>、  
燃料としての熱量が低く、硫化水素、シロキサン  
等の微量不純物成分が機器を損傷・劣化させる原  
因となる。そのため、前節(1)の各用途に用いるた  
めには、供給先で求められる品質にまでガス中の  
不純物を除去し、メタン濃度を高める「精製操作」  
が必要となる。

バイオガスの精製方法としては、気液接触法、  
PSA法（Pressure Swing Adsorption：圧力変動吸  
着）、膜分離法等がある。気液接触法は、常圧あ  
るいは高圧でガスと水を接触させ、ガス中の二酸  
化炭素等の不純物を水中に溶解させてメタン濃度  
を高める。PSA法は、吸着剤を用いて高圧下で不

純物を吸着除去し、常圧あるいは減圧下で不純物  
を吸着剤から脱着し再生することにより、高純度  
に精製する。膜分離法は、分圧による膜への浸透  
速度の違いを利用してガスを分離する。

## 3. おわりに

消化ガス発電技術、消化ガス燃料利用技術の実  
際の導入にあたっては、それぞれの技術・機種  
の特徴と、自治体が抱える課題、製品受け入れニ  
ーズ、下水処理場の規模や地域特性をふまえて、適  
切な技術を選定し、事業性を評価する必要がある。

また、今後の技術開発により、消化ガス利用効  
率の一層の向上が期待される。

### 【参考文献】

- 1) 下水処理場における地域バイオマス利活用マ  
ニュアル 平成29年3月 国土交通省水管理・国  
土保全局下水道部
- 2) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン-改  
訂版- 平成27年3月 国土交通省水管理・国土  
保全局下水道部
- 3) 消化ガス発電普及のための導入マニュアル  
平成28年3月 公益財団法人日本下水道新技術機  
構
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説 後編-  
2009年版- 社団法人日本下水道協会