

現地レポート：下水道技術が支える市民生活

消化ガスを燃料とした発電システムの開発

姫野修司* 高橋倫広** 山岸和弘*** 森田弘昭****

1. 消化ガスエンジン動力システムの開発に関する共同研究

現在、地球温暖化対策やエネルギー対策としてバイオマスの利活用推進が強く求められており、従来より下水処理場で行われてきている下水汚泥の嫌気性消化（メタン発酵）は、これに大きく応えられるメニューの一つである。下水道統計¹⁾によると、全国で平成18年現在、291箇所の下水処理場で嫌気性消化が行われているが、そこから発生する消化ガスは完全に利用されている訳ではなく、年間発生量の約3割相当の87百万m³が焼却されている。

下水処理場は水処理・汚泥処理の過程で多くの電力を必要としており、消化ガスによる発電を行えば下水処理場のエネルギー自給向上・経営健全化に大きく貢献するものであるが、既存のガスエンジン発電やマイクロガスタービン発電は、出力からみて相当に高価であり必ずしも普及が進んでいない。土木研究所は、これらの問題を解決するために電力単価12円/kwhの条件で5年以内に採算が合う消化ガス発電機を含む汎用性の高い動力システムを開発することを目的として、平成17年から20年までの四ヶ年でライト工業株式会社、株式会社井上政商店と共同研究を実施した²⁾。

本共同研究の成果及び今後の課題を表-1に示す。

2. 新潟県、長岡技術科学大学、大原鉄工所による実証試験

新潟県及び長岡技術科学大学、大原鉄工所は、土木研究所が実施した前述の共同研究を基に、平成21年度から新潟県内の2か所の下水処理場において実消化ガスを用いた長期実証試験を実施している。

2.1 実証実験の概要

実証試験は、新潟県魚野川流域下水道堀之内浄化センターにて実施している（写真-1）。



写真-1 実証試験で使用した発電システム（堀之内浄化センター）

開発した発電機（BG30型バイオガス発電機）の仕様を表-2に、実証試験設備フローを図-1に示す。

表-1 共同研究の成果及び今後の課題

主な成果	主な課題
<ul style="list-style-type: none"> ○市販のディーゼル発電機のエンジンを改造することにより、純メタンでの運転が可能になった ○制御系を操作することにより、CH₄・CO₂混合ガスにおいても安定した発電が可能となった ○鶴岡市浄化センターでの実証実験により、実際の消化ガスでの運転が可能であることを証明した ○函館湾浄化センターでの実証実験により、処理場内の施設へ約40日間にわたり安定して電力を供給することに成功した 	<ul style="list-style-type: none"> ○実用化に向けた一年程度の連続運転の実施 ○シロキサン除去タンクでの圧力損失の見積もりと配管の設計 ○エンジンの運転方法の高度化 <ul style="list-style-type: none"> ・始動時に時間がかかる。（エンジン内部の温度が低いときには特に始動しにくい） ・機械の起動時などの瞬間的に大容量となる電力を供給する方法 ・電圧変動率の改善 ○エネルギー効率 <ul style="list-style-type: none"> ・システム全体での発電効率の算定と効率化

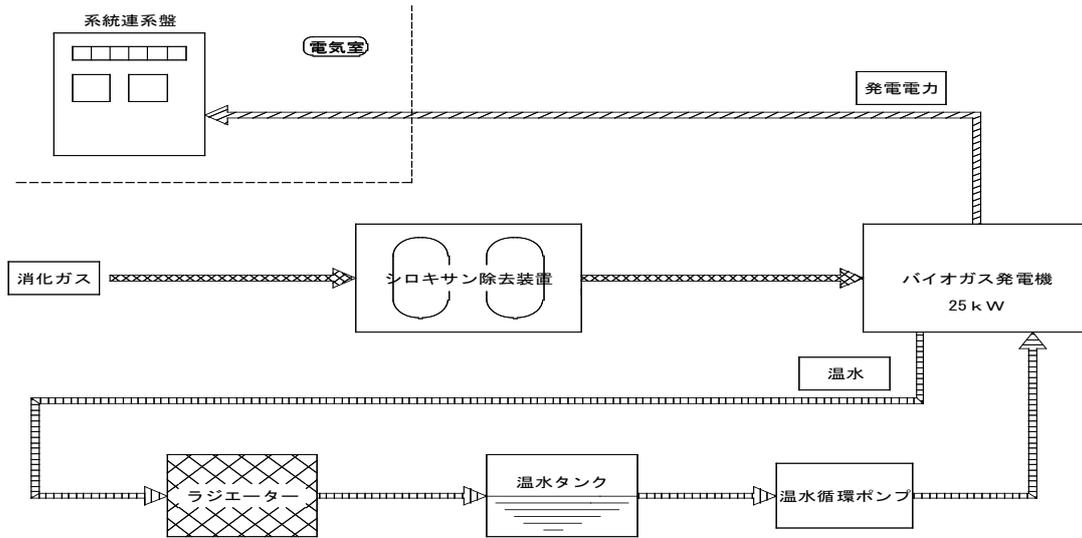


図-1 実証試験設備フロー

表-2 BC30型バイオガス発電機仕様

型式		BG30A
出力	出力	25 kW / 30 kW
	電圧	200 V級 / 400 V級
燃料	ガス種	バイオガス
	メタン濃度	55~65 %
	供給圧力	2.0~3.0 kPa
エンジン	形式	電気着火無過給希薄燃焼
	気筒数	4
	排気量	4.329L
	回転数	1500 rpm / 1800 rpm
発電機	形式	回転界磁形同期発電機
	極数	4
	励磁方式	ブラシレス方式 (自動電圧調整器付)
性能	駆動方法	エンジン直結
	排熱回収量	32 kW / 40 kW
	発電効率	35 % / 34 %
	熱回収効率	45 % / 46 %
総合効率		80%

実証試験設備は、既設ガスタンク設備配管から分岐し昇圧せずに発電設備に消化ガスを導入、活性炭吸着方式によるシロキサン除去装置にてシロキサンを0.02ppm以下に除去した後、発電機へ供給している。設置台数は1台で、発電電力25 kWを同期投入方式により浄化センターの機械動力400 V系へ系統連系している。同浄化センターの場内平均使用電力は約125kW程度であり、実証試験により約20%の電力を賄っている。

また発電機排熱回収は温水として取り出す方法を採用している。取り出した温水は実証試験設備内で温水を循環させ、夏場はラジエータで放熱を行い、冬場は融雪に利用した。

実際の導入においては、排熱回収による温水で消化槽加温ラインと熱交換を行うため、これまでのボイラ加温からコジェネレーションに移行する

ことで消化ガスの消費量低減が見込まれ、25kW機×2台計50kWの発電が可能となり、処理場電力の約40%を賄う予定である。

2.2 実証試験結果

(1) 平均出力および稼働率

平成23年の5月からの連続での長期実証試験において月別稼働率99.8%、平均出力24.8kWを達成した。また連続稼働時間は約8600時間を達成した。続いて、メタン濃度測定結果とそれにより算出した発電効率、総合効率を表-3に示す。期間を通して消化ガスメタン濃度は50.7%~59.5%の変動幅となったが、本発電機は空燃比センサを用いたりアルタイム空燃比自動制御方式を採用しているため、安定的な発電出力を得ることができた。尚、定期点検時の停止以外は24時間連続運転を継続しており、発電機のトラブルによる運転の停止は一切発生していない。

表-3 メタン濃度測定結果と発電効率および総合効率

測定日	消化ガスメタン濃度 (%)	日平均消費ガス量 (Nm ³ /h)	日平均発電出力 (kW)	発電効率 (%)	日平均回収熱量 (kW)	総合効率 (%)
11.06.29	59.5	13.0	24.9	32.4	37.8	81.6
11.08.31	57.7	13.5	25.3	32.7	38.0	81.9
11.09.28	55.2	13.5	25.1	33.9	35.6	82.0
11.11.4	57	13.4	25.1	33.1	34.3	78.3
11.11.30	59.4	13.3	25.1	32.0	33.6	74.8
11.12.20	50.7	13.3	25.2	37.6	32.8	86.6
12.01.26	56.6	13.2	25.0	33.7	33.6	79.0
12.02.28	55.4	13.2	25.0	34.4	34.5	82.0
12.03.27	57.2	13.2	24.9	33.2	35.2	80.2
12.04.26	56.9	13.4	25.0	33.0	36.5	81.2
ave	56.6	13.3	25.1	33.6	35.2	80.7

(2) シロキサン破過試験

シロキサンは、ケイ素と酸素を成分とする合成化学物質で、化粧品やシャンプーなどに潤滑性や保湿性、柔軟性を与えるために添加され、洗面所

や浴室から下水道に排出される。シロキサンは、揮発性を有することから消化ガスに混入し、配管やエンジン内部に固着して機器を損傷させるため、消化ガスをエンジンに導入する前に活性炭等を用いて除去する工程が必要である。

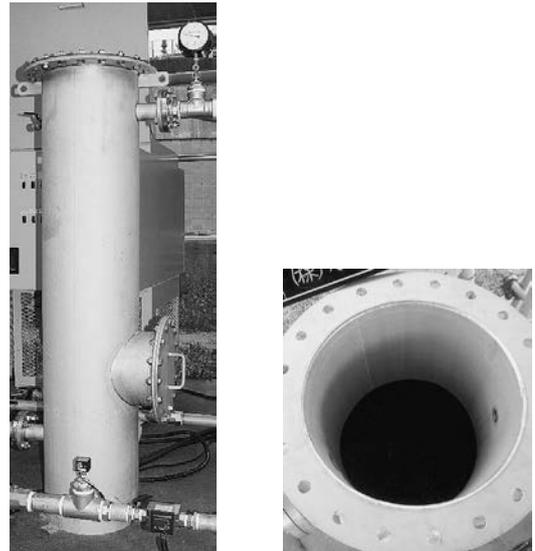
日別平均出力・回収熱量及び消費ガス量を図-2に示す。長期実証試験前半の5～7月に消費ガス量の変動がみられるが、これは、シロキサン除去装置の必要活性炭量を精査する目的で、活性炭の破過を観察したためである。この期間中の活性炭の充填は少量としており、シロキサン濃度増加に対して活性炭からの破過が起り、シロキサンがエンジン内部に混入したことで徐々に空燃比センサが劣化してしまった。その結果エンジンへの最適なガス量を供給することが出来なかった為に変動がみられている。その後センサ交換により復旧し、エンジン内部にも特に大きな影響が見られなかった為、そのまま実証試験を継続している。

シロキサンに対しては濃度に応じて算出した活性炭量を確保し、確実に取り除くことで安定的な運転の継続が可能であることが確認できた。

写真-2にシロキサン除去装置の外観、内部を示す。

(3) 排熱回収量

排熱回収量は期間を通して平均35kWと仕様値より高い値となり、冬場でも仕様値の32 kW以上を達成することが出来た。排熱回収の仕様としては入口設定温度50～70℃に対して、5℃上昇した約100 L/minの温水を供給することが可能である。



(a) 外観 (b) 内面 (活性炭投入後)

写真-2 シロキサン除去装置

(4) 発電効率および総合効率について

実証試験期間を通じた発電効率は33.6%、総合効率は80.7%であった。総合効率は仕様値を満足したが、発電効率は1.4%下がり、シロキサン破過試験の影響も多少は考えられるが、年間を通じた常用での発電効率は33～34%となることを確認した。

(5) 耐久性

1,000時間毎のオイルサンプリング分析により、金属元素混入濃度を明らかにした。これによりオイルの劣化状況を把握し、加えてエンジン摺動部の摩耗状況の確認も行った。その結果、オイルに異常な劣化は見られなかったため、エンジンオイルの交換頻度は3か月毎(2190h毎)とした。また、エンジン内部の摺動部品は、異常摩耗等無く良好な状態であった。

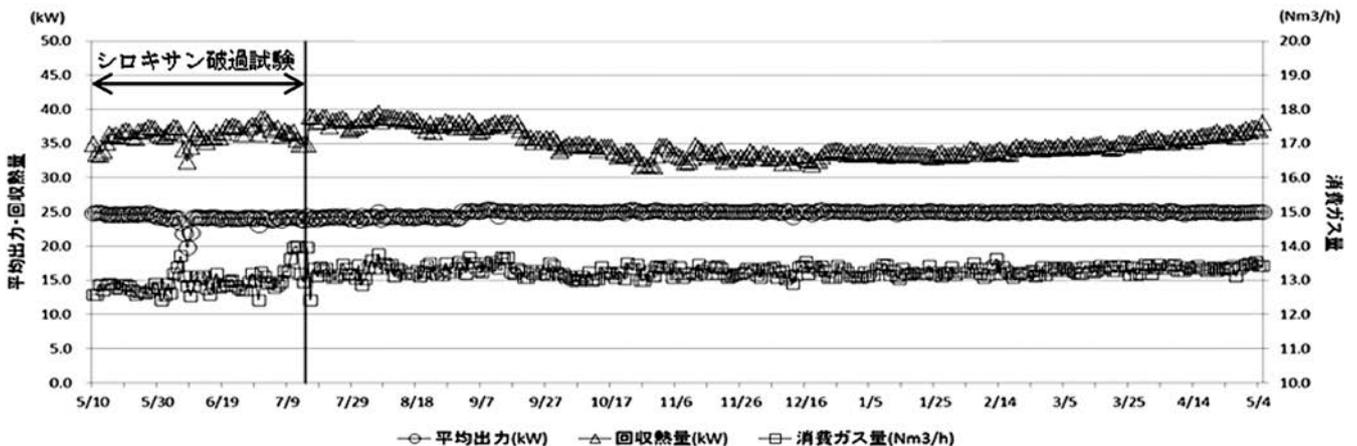


図-2 日別平均出力・回収熱量及び消費ガス量

3. 今後の取り組み

これまでの実証試験結果より、BG30型バイオガス発電機はメタン濃度変動や季節変動に対応し、安定した運転の継続が可能であること、また耐久性についても問題ないことが確認できた。さらに、出力50kW（50Hz）のBG60型バイオガス発電機（写真-3、表-4）の開発を行い、新潟県信濃川下流流域下水道新津浄化センターにて、平成24年7月より系統連系での実証試験を開始した。目的は、既存の25kW機2台と比較した場合の設備費の更なる低減が可能であることを実証することである。本発電機は、中規模下水処理場への導入を想定している。

また、前述の堀之内浄化センターでは、平成24年8月より発電機2台による実証試験を開始した。目的は、ガス量に応じた台数制御運転及び運転時間数平準化運転を行い、より実稼働に近い状態での運転性能を把握することであり、9月より本格稼働している。平成24年7月よりスタートした再生可能エネルギーの固定価格買取制度は、著者らが開発した小型消化ガス発電機の普及を強力に推進するものと考えており、このことによって日本国内の消化ガス利活用促進及び温室効果ガス排出量の削減に貢献できることを期待している。



写真-3 BG60 バイオガス発電機（新津浄化センター）

表-4 BG60 バイオガス発電機仕様

型式		BG60A
出力	出力	50 kW / 60 kW
	電圧	200 V級 / 400 V級
燃料	ガス種	バイオガス
	メタン濃度	55～65 %
	供給圧力	2.0～3.0 kPa
エンジン	形式	電気着火無過給希薄燃焼
	気筒数	6
	排気量	7.961L
	回転数	1500 rpm / 1800 rpm
発電機	形式	回転界磁形同期発電機
	極数	4
	励磁方式	ブラシレス方式（自動電圧調整器付）
	駆動方法	エンジン直結

参考文献

- 1) （社）日本下水道協会：下水道統計、平成19年
- 2) 独立行政法人土木研究所：消化ガスエンジン動力システムの開発に関する共同研究報告書、平成21年3月

姫野修司*



長岡技術科学大学
環境・建設系 准教授、工博
Dr.Shuji HIMENO

高橋倫広**



株式会社大原鉄工所
Michihiro TAKAHASHI

山岸和弘***



新潟県土木部都市局
下水道課
Kazuhiro YAMAGISHI

森田弘昭****



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究官、工博
Dr. Hiroaki MORITA