

廉価な消化ガスエンジン発電システムの開発

宮本豊尚* 岡本誠一郎** 落 修一*** 大内公安**** 茅 洪新*****

1. はじめに

1.1 背景と目的

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。全国には291箇所の下水処理場で嫌気性消化が行われているが（平成18年現在）、そこから得られる消化ガスが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¹⁾（図-1）。

一般に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・経営健全化に貢献するものである。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。

本問題を解決するために、(独)土木研究所では平成18～20年度の期間にわたりライト工業(株)・(株)井上政商店と共同研究を実施し、市販のディ

ーゼル発電機に最低限の改造・調整を施した消化ガス発電機とその補機(コンプレッサー・シロキサン除去装置)からなる消化ガスエンジン発電システムを開発した^{2),3)}。なお、シロキサンとは消化ガスに含まれている不純物で、燃焼時に発生するシリカがプラグなどに付着して点火不良によるトラブルにつながるため対策が必要な物質である⁴⁾。消化ガスの利用促進のためには廉価である必要があり、研究開発対象とする消化ガス発電機の開発目標は、5年以内に採算が取れる価格帯とすることとした。

1.2 開発プロセス

本共同研究では、以下の手順によって開発を行った。

まず、市販のディーゼル発電機をガスで稼働するように改造を施した。次に、市販の工業用メタンガスと炭酸ガスを混合して作成した人工混合ガスにより運転方法の検討を行った。混合ガスによる安定した運転を確認した後、山形県鶴岡市浄化センター内にエンジンを設置して下水処理場で実際に発生する消化ガスを使用して実験を行った。ここでは主にガスの供給圧力と出力の関係を調査した。さらに、北海道函館湾流域下水道函館湾浄化センター内にエンジンを設置し、長期間の連続実験を行った。

2. 開発エンジンシステムの概要

2.1 基本性能

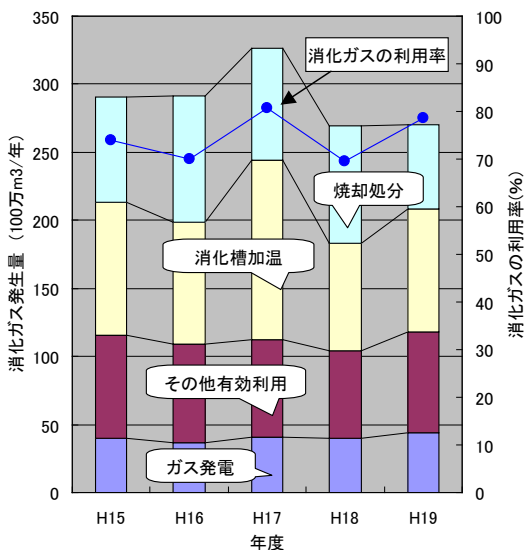


図-1 下水道バイオガスの発生量と利用内訳¹⁾



図-2 開発したガスエンジンの外観

表-1 改造前発電機の主要諸元⁵⁾

型 式		DCA-60ESH		交流発電機			ディーゼルエンジン		
全長x全幅x全高		2050mm x 880mm x 1250mm		周 波 数	50Hz	60Hz	名称	日野W04D-TG	
乾燥質量 (整備質量)		1,240kg(1,380kg)		出力	三相(3線)(4線)	50kVA	60kVA	形式	直接噴射式・過給器付
					単相(3線)	28.9kVA	34.6kVA	気筒数-内径 x 行程	4-104mm x 118mm
騒 音 値	7mdB(A)	61dB/64dB(無負荷時7m四方向平均値)		電 圧	三相(3線)(4線)	200V	220V	総排気量	4,009cc
	LwA dB	92dB(音響レベル無負荷定格回転(60Hz)時)			単相(3線)	100V/200	110V/220	定格出力	57.4kW
排出ガス対策指定機		第2次排出ガス対策型建設機械		力率	三相(3線)(4線)	0.8(遅れ)		燃料	軽油
					単相(3線)	—		燃料タンク容量	125L
				極 数	4		燃料消費量	50%負荷6.3L/h 75%負荷10.6L/h	

本研究開発で改造に供したのは、デンヨー社製ディーゼル発電機 (DCA-60ESH) である。図-2に外観を、表-1に改造前の主要諸元を示す。

本発電機のエンジンに対して消化ガスで動くように燃料系統を改造・制御系を調整し、運転を行った。

2.2 高圧メタンガスによる試験結果

改造ガスエンジンはメタンガスを燃料とした場合、出力としては、軽油燃料のディーゼルエンジンの定格出力と同じ程度の出力は可能であった。但し運転時の各部温度がディーゼルエンジンに比べて高くなる傾向にあった。排気ガス温度は600℃以下にするのが望ましいとされており、高圧メタンガスによる試験結果から、改造ガスエンジン発電機としての連続出力は前記条件を満たすために、外気温35℃において50/60Hz、20kW程度になるものと推察された。

3. 実証実験

3.1 人工混合ガスによる実験

メタンガス濃度範囲が100~50 %v/vで、ガスエンジンが始動・安定稼動するための開発実験を行った。実験には工業用のメタンガスと炭酸ガスを圧力計と流量計で一定濃度となるよう調整し、エンジンに供給する方法を取った。

その結果、燃料ガスの供給圧力が0.3~0.4 MPaの範囲において始動と安定稼動を達成できた。0.3 MPa以下の実験は装置の制約から実施できなかった。

また、人工ガスを用い約24時間の連続運転を実施したが、問題は現れなかった。

3.2 消化ガスにおける実験結果

3.2.1 鶴岡市浄化センターにおける実験結果

(1) 目的

人工混合ガスによる実験結果から、実際の消化

ガスを燃料として利用できる可能性が見いだせた。そこで、実際の処理場で発生している消化ガスを用いた稼動確認実験を実施した。さらに、実ガスのみで始動が可能かどうか実験を行った。

(2) 実験概要

消化ガスエンジン発電機を山形県鶴岡市浄化センターに設置し、平成19年8月27日~8月31日の期間で、当センターで発生している消化ガス(脱硫・脱シロキサン・加圧済み)を用いた稼動実験を行った。ガスの供給圧力を0.4, 0.3, 0.2, 0.15, 0.1, 0.08, 0.06 MPaと順次低下させ実験を行った。ガス中の平均CH₄濃度は60.3 v/v-%であった。

(3) 実験結果

図-3に供給ガスの元圧と発電できた最大の電力値を示す。周波数は50Hz、電圧は200Vである。0.4~0.06MPaまでのいずれの元圧条件下でも、エンジンは始動することができた。しかし、元圧が0.1MPa未満では、発電のために回転数を高め

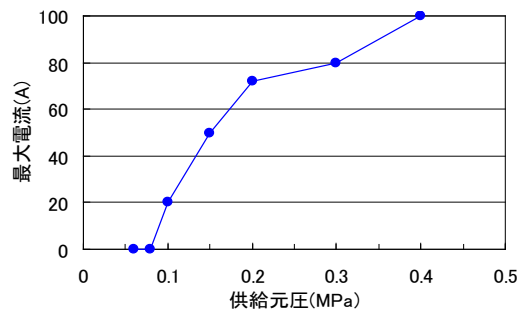


図-3 供給ガスの元圧と最大発電電流

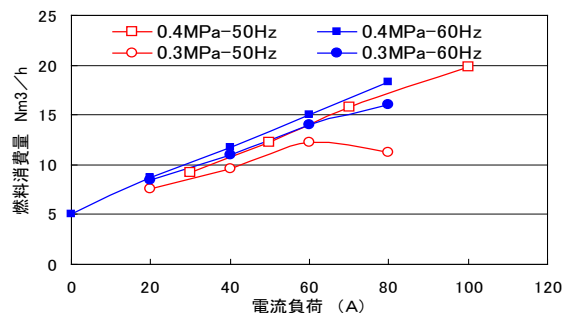


図-4 電流負荷と燃料消費量

るとエンジンが停止した。元圧が0.2MPa以下では発電電流はガスの供給量によって制限されており、0.3MPa以上では排気ガス温度の上限値によって制限されていた。

電流負荷と燃料消費量の関係は図-4のように一次関数で示される。電流を流していない時でもエンジンの駆動の為に燃料を約5Nm³/hで消費している。エネルギー効率は高出力であるほうが良く、60Aの負荷を与えると20%を超えていた。

3.2.2 函館湾浄化センターにおける実験

(1) 目的

鶴岡市浄化センターにおける1週間程度のフィールド実験により、実際の消化ガスを対象としたエンジンシステムとしての実用化の可能性を見いだせた。そこで、本システムが長期間の連続稼動に耐えるかどうか確認を行うために、実験を実施した。

(2) 実験概要

消化ガスエンジン発電機を北海道函館湾浄化センターに設置し、約40日間にわたり同センターで発生している脱硫済の消化ガス（CH₄濃度：58.3 v/v%）を用いて稼動実験を行った。燃料ガスは、シロキサン除去装置により簡易精製し、0.4 MPaに加圧してエンジンに供給した。ガスエンジンで発電した電力は三相交流の200V・約10Aであり、浄化センター内の消化槽に設置された排風機(1.5kW)・送風機(2.2kW)の電源として使用した。

(3) 実験結果

① 長期的な性能

図-5に日総電力量と日平均の電圧・電流・周波数の推移値を示す。エンジン回転数平均値はほぼ一定回転数となっており、周波数は安定していた。電圧の平均値も安定しており、人為的な要因を除くと、安定して電力を供給することができた。排気ガス温度は実験期間を通じて570℃以下となり、600℃を下回っていた。

② 瞬間的な変化

発電機性能を評価する上では、電圧変動率、周波数変動率が重要となる。

2秒毎での変動を見ると、運転安定時においても電圧は232.3～173.1Vで変動しており(図-6)、これは202±20Vの基準値⁶⁾の幅を超えていることから、そのままでは系統連系ができない。電圧

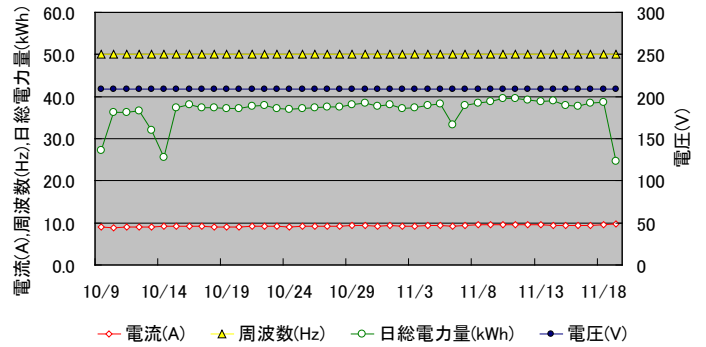


図-5 発電機長期間連続運転日平均値データ(10/9～11/19)

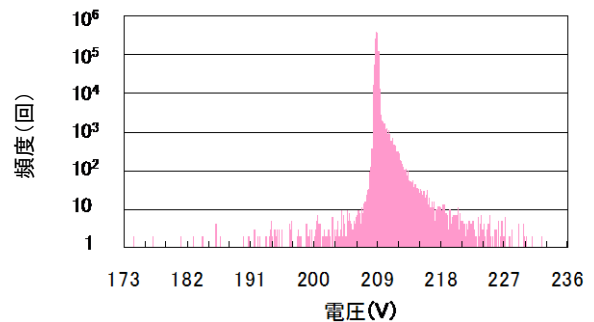


図-6 実験期間中の電圧の頻度分布(2秒毎)

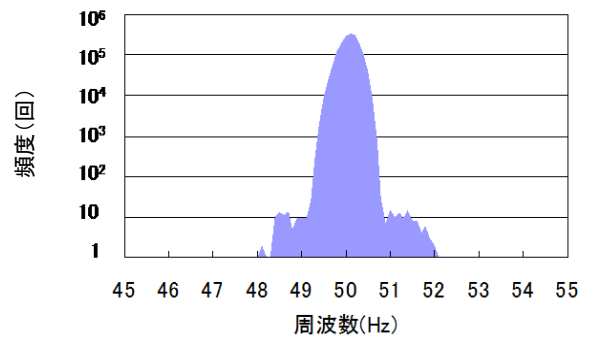


図-7 実験期間中の周波数の頻度分布(2秒毎)

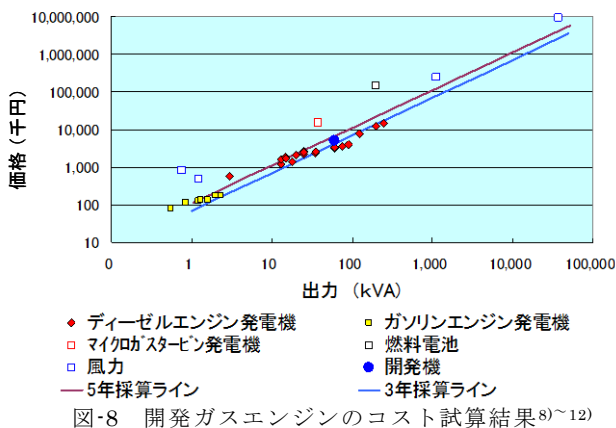
変動率に関しては、市販の発電機に対して劣っており、例えばデンヨー社社内基準は0.5%となっている。しかしJISによって許容電圧変動幅が大きく定められた電圧変動の影響が少ない機器については利用が可能であると考えられる。なお、インバータによる整流を行えばすべての機器を単独運転することは可能となる。

周波数(回転数)の変動については、調速機の定格回転速度の±5%の基準値⁷⁾を満足している(図-7)。周波数はエンジン回転数に連動しており、回転数を電子制御しているため問題はない。

4. コスト分析

開発目標で述べたように、余剰消化ガスの利用を推進していくためにはその利用コストが市場的に流通しうるものでなければ対策としての投資効果は得られない。

本研究では土木工事等の現場で用いられているディーゼルエンジン発電機50kVA(50Hz)を購入し、必要な改良を重ねてきたが、このときの改造経費は約200万円であった。したがって、販売価格を想定すると、図-8に示すディーゼルエンジン発電機の価格に改造経費を加算し、さらに、これに実用化研究経費回収相当額、利益等を考慮、加算した額が販売価格となる(図-8の●印)。ここで示す図-8のディーゼルエンジン発電機の価格はカタログ値であり、実際に企業等が製品化する場合は、発電機等の購入販売価格は交渉となることから、カタログ値よりも下がる可能性もある。以上を考慮すると開発したガスエンジン発電機は、当面の開発目標である導入者が5年以内に採算が取れる可能性が高く、廉価な消化ガスエンジン発電システムの開発の目処が立ったと考えられる。



5. まとめ

消化ガスの利用促進のため消化ガスエンジン発電システムの開発を行った。市販のディーゼル発電機を改造することにより、下水処理場で発生する消化ガスによる発電が可能であることを証明し、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。

本研究により消化ガスを燃料とする実用に耐える廉価な消化ガス発電機の開発の目処が立った。今後は本結果を利用した製品開発を進めていく予定である。

謝辞

実験に際しては、鶴岡市並びに北海道庁、北海道函館土木現業所、函館湾流域下水道事務組合の関係各位に御協力を賜りました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 下水道統計平成15~19年度、(社)日本下水道協会
- 2) 土木研究所、ライト工業、井上政商店：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、2009
- 3) 宮本豊尚、岡本誠一郎、落修一：消化ガスエンジン動力システムの開発、第46回下水道研究発表会講演集、pp.428~430、2009
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説 2009、(社)日本下水道協会
- 5) デンヨー社HP http://www.denyoo.co.jp/products/generator/dca_b3.html
- 6) 資源エネルギー庁：電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン(2004/10/1)
- 7) 国土交通省：公共建築工事標準仕様書(電気設備工事編)(2007/9/5)
- 8) 建設物価調査会：建設物価
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構HP(新エネルギーガイドブック)：<http://www.nedo.go.jp/nedata/16fy/12/g/0012g001.html>
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構HP(資料データベース)：<http://www.nedo.go.jp/nedata/16fy/03/g/0003g002.html>
- 11) 日経BP社HP：小型風力発電機が実用レベルで本格離陸へ、ゼファーが量産出荷開始(2006/3/6) <http://www.nikkeibp.co.jp/archives/423/423972.html>
- 12) グローイングピース社 HP <http://growingpeace.com/Wind%20Power%20Generation/wind%20power%20generation.html>

宮本豊尚*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム 研究員
Toyohisa MIYAMOTO

岡本誠一郎**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム 上席研究員
Seiichiro OKAMOTO

落修一***



財団法人下水道新技術推進機構資源循環部副部長(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ リサイクルチーム 総括主任研究員)、工博
Dr. Shuichi OCHI

大内公安****



ライト工業株式会社 名古屋広域営業所所長
Koan OUCHI

茅 洪新*****



株式会社井上政商店 東京支店、農博
Dr. Hongxin MAO