

<技術報告>

マイクロタービンによる消化ガス発電システムの開発

Development of a digestion-gas power-generating system by means of a micro turbine

石川隆章^{1*}, 戸田雅之¹, 井上勇², 山口克昌²¹ (株) 明電舎 環境システム事業部 技術部 / 〒 103-8515 東京都中央区日本橋箱崎 36-2² (株) 明電舎 マイクロガスタービン事業開発室 / 〒 103-8515 東京都中央区日本橋箱崎 36-2TAKAAKI ISHIKAWA^{1*}, MASAYUKI TODA², ISAMU INOUE³, KATSUMASA YAMAGUCHI³¹ Meidensha Corporation, Environmental Systems Engineering Division
/36-2, Nihonbashihakozaki, Tyuuouku, Tokyo, 103-8515, Japan² Meidensha Corporation, Micro Gas Turbine Business Development Office
/36-2, Nihonbashihakozaki, Tyuuouku, Tokyo, 103-8515, Japan

Abstract

Due to the increasing interests and demands on the prevention of global warming, technological developments for energy saving and effective utilization of un-utilized energy are being undertaken in various fields. In the field of sewage sludge treatment, digestion gas obtained from anaerobic digestion of excess sludge has been utilized as fuel for boilers and gas engines, as well as supplement to city gas production in many years, but its utilization has been limited mostly to large-scale sludge treatment facilities so far. Under such circumstances, we have developed a more advanced power and heat generation (co-generation) system by using micro turbine technology. Current advancement in micro turbine technology provides some unique advantages over the previous technologies; these being (1) a smaller output capacity which allows wider range of applications, (2) compact dimensions for easy installation, and (3) the integrated design and structure for simple maintenance and operation. These design advantages of micro turbine system are very suitable to establish a so-called dispersed energy system, and are expected to realize an effective utilization of digestion gas even at a medium-scale sewage sludge treatment facility. The authors have investigated and report in this paper the practicality and feasibility of micro turbine power generation system for sewage sludge digestion gas, and an uninterruptible power supply (UPS) system specifically designed to be used with micro turbine system. Micro turbine power generation system combined with the UPS can maximize its applicability as the UPS enables continuous power supply to important equipment at the facility should an unexpected power failure occur in the utility service.

Key Words : global warming, un-utilized energy, digestion gas, micro turbine, UPS

1 はじめに

地球温暖化防止の必要性を背景として様々な分野において“省エネルギー”あるいは“未利用エネルギー”の有効活用に関する技術開発が盛んである。下水道分野においても同様であり、汚泥処理において嫌気性消化により得ることができる消化ガスはボイラーやガスエンジンの燃料、あるいは都市ガスの原料¹⁾として活用されてきた。また、近年では発電利用として燃料電池の適応²⁾などの検討もされている。

一方、電力分野においては電力自由化の流れもあり、小規模分散型電源が注目を集めている。その電源として用いられるのが燃料電池やマイクロタービンなどである。これらはいずれもコージェネレーションシステムとしての運用が可能であり、電力需要家とその直近で発電を行い、さらに排熱を利用することで1次エネルギーをより有効に活用することができる。

我々はこのマイクロタービンに着目し、比較的大規模な処理場に限られてきた消化ガス発電を中規模

*Member of EICA

あるいは小規模な処理場、さらには家畜ふん尿を発酵処理する過程で得られるいわゆるバイオガスによる発電システムへも適応できるシステム構築を目指して検討を続けている。

本文では我々が実施してきた消化ガス発電の検証試験から得られた知見を示すとともにマイクロタービンという発電システムをより有用なものとするために開発したUPS機能について併せて報告する。

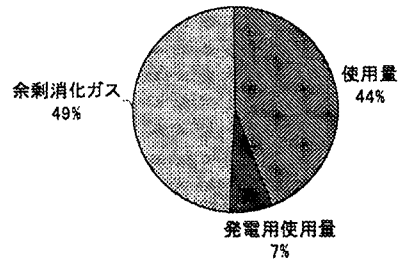


Fig.1 消化ガス利用の現状

2 消化ガス

2.1 消化ガスの組成

消化ガスは汚泥中の有機物が嫌気性微生物により分解される際に発生するメタンを主成分としたガスである。消化ガスは投入された有機物 1kg あたり 500~600 (L (N)) 発生するが、その成分はおおよそ Table.1 のようになる。

Table.1 消化ガスの成分 (v/v%)

メタン	二酸化炭素	水素	窒素	硫化水素
60~65	33~65	0~2	0~8	0.02~0.08

消化ガスはLHVで約22 (MJ/m³)、HHVで約25 (MJ/m³) の発熱量を有しており、これは都市ガス (13A) の約50%の発熱量である。

2.2 消化ガス利用の現状

平成10年度版下水道統計から調査した消化ガス利用実態を Fig.1 に示す。

使用量のほとんどはボイラー燃料などへの活用であり、発電用途への利用は10%に満たない。また、約50%は余剰ガスとして処分されている。

Table.2 に処理場規模 (消化ガスの発生量) 毎の処理場数、及び消化ガス発電実施処理場をまとめた。

この表からは大規模な処理場での発電実施率が高い一方、中・小規模処理場ではほとんど発電が行われていないことがわかる。この理由として、消化ガ

スの発生量と電力及び熱需要、あるいは発電機容量とのバランスが悪く、従来の方法では経済性が得にくいことが推察できる。

Table.2 消化ガス発電の実施規模

消化ガス発生量 (千m ³ /年)	処理場数	消化ガス発電
1未満	2	0
5未満	2	0
10未満	3	0
50未満	29	0
100未満	29	1
500未満	123	1
1,000未満	38	1
5,000未満	60	10
5,000以上	9	5
合計	295	18

従来からガスエンジンを消化ガス発電に採用してきた。しかし、ガスエンジンはメンテナンス周期が短いなど、維持管理に費用がかかることが知られている。このため、ある程度大容量の発電を実施しないと経済的なメリットが得られない場合が多いと考えている。

一方、マイクロタービンはメンテナンスが容易なことが大きな特徴となっており、比較的小規模な小売店のような需要家における維持管理にも配慮されている。このため、小容量であることと併せて、より多くの処理場に対し消化ガスの有効利用について発電利用と言う選択肢を増やすことが可能になる。ちなみに、マイクロタービンを運転する場合の年間消費ガス量はおよそ160 (千m³) 程度であり、Table.2 から見れば消化ガス発生量500未満から1,000未満

満 (千 m³) の 160 カ所程度の処理場へ適応が可能であると考えられる。

3 消化ガス発電システム

3.1 システム構成

Fig.2 に概略のシステム構成を示す。消化ガス発電

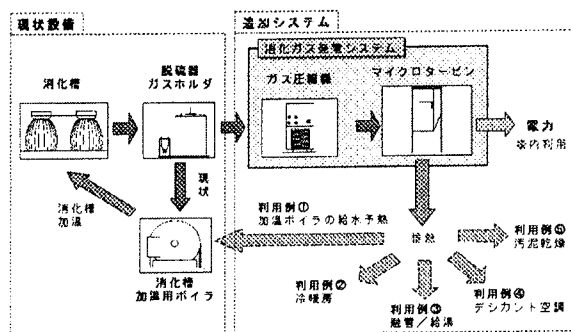


Fig.2 消化ガス発電システム構成概略図

システムは主にマイクロタービン本体とガス圧縮機により構成される。消化ガスは前述のとおり都市ガスの約 1/2 程度の発熱量しかない、このため低発熱量ガス用のマイクロタービンを適応する。このマイクロタービンには燃料を 0.4MPa 程度に昇圧して供給する必要があるため、ガス圧縮機を組み合わせる。

消化ガス中の不純物として硫化水素があげられる。硫化水素は腐食性が強いので留意する必要がある。しかし、通常、消化ガスは脱硫器を介しガスホルダに貯蔵されており、一般的に脱硫器は硫化水素を 10ppm 以下にするように設計されるため、マイクロタービン及びガス圧縮機はこれを許容できる。このため、特別な処理装置は不要である。

マイクロタービンにより得られた電力は商用電源系統に接続することにより有効に活用できる。また、排熱については消化槽の加温のほか、空調・給湯・デシカント空調など様々な方法で活用することが可能である。

3.2 マイクロタービンについて

マイクロタービンはここ数年注目されている小型分散電源のひとつである。Fig.3 は、後述する UPS 機能などを搭載するオプションボックス (写真 左部分) を組み合わせた外観図である。Table.3 にマイクロタービンの基本仕様を示す。

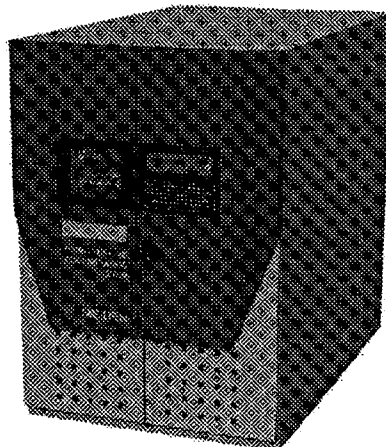


Fig.3 マイクロタービン外観 (オプションボックスつき)

Table.3 マイクロタービンの基本仕様

最大出力	30kW
発電効率	27% (LHV)
燃料流量	440MJ/h
対応ガス発熱量	約 14~48MJ/m ³ (N) (HHV)
排気ガス温度	261°C
排気ガスエネルギー	305MJ/h
騒音値	65dB (A) 機側 1m
寸法・重量	2,000H × 800W × 2,000D 1,600kg

- 1) マイクロタービンは主に次の特徴を持つ。
- 2) 小容量であるため、設置場所を選ばない
- 3) メンテナンスが容易で経済性が高い
- 4) 排ガスがクリーンで環境負荷が低い

マイクロタービンは極小容量なガスタービンであるため、ガスタービンのもつ特長を引き継ぐ。また、小容量であることから中・小規模処理場へ適応できる一方、複数台の組み合わせにより大きい処理場への適応もできる。従来、小型のガスタービンは発電効率が低く実用的では無かった。しかし、近年の技術開発により発電効率が向上しつつあり、実際の設備として普及が始まっている。この効率向上に寄与する主な技術には次の3つが有る。

- 1) 空気軸受けの開発
- 2) 効率の良い再生器の開発
- 3) タービン及びケーシングの加工精度向上

特に空気軸受けと再生器はマイクロタービンの大きな特徴となっている。

3.3 運転特性と操作性

Fig.4に消化ガス相当の燃料（メタン60%、二酸化炭素40%の混合ガス）による運転データを示す。

この実験は系統に接続しない状態で実施したものであり、マイクロタービンは負荷にあわせてその出力を決定する。実験では26kWの負荷で起動し、運転中に26kW→16kW→20kWと負荷を変動させた。起動時はタービン速度25,000 (rpm)で着火、45,000 (rpm)で暖機した後に負荷を投入した。停止時は指令後直ちに出力が遮断され、45,000 (rpm)にてクールダウンされた後停止する。

これらの動作は全てマイクロタービン本体の制御装置が行い、運転するユーザは運転指令・負荷出力指令・停止指令を行うのみである。

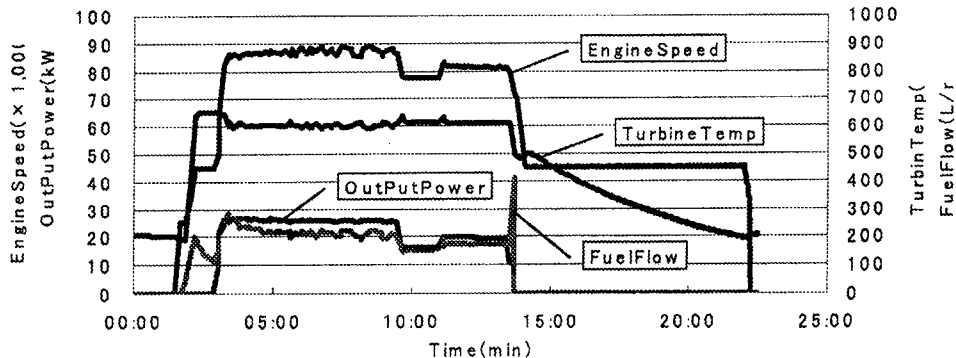


Fig.4 マイクロタービン動作

Fig.5にはマイクロタービンの操作部を示す。写真上部が本体操作部を示し、下部は外部制御を行うパソコン上の操作画面を示す。いずれもシンプルな

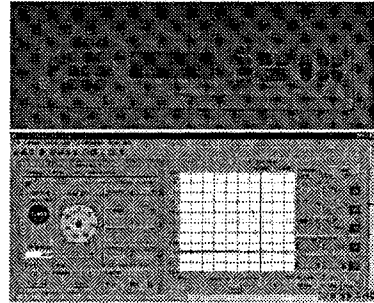


Fig.5 マイクロタービン操作部

操作で運転が可能であり、特にPCから操作する場合はトレンドグラフの表示、運転データのロギングなどの機能も搭載している。

4 UPS機能

マイクロタービンによる消化ガス発電について述べてきたが、発電電力のより有効な用途、あるいは装置導入に関する更なるメリットを図るため、我々は電源装置としての付加価値を得るための開発3)を行った。その結果が先のオプションボックスに納められるパワーコンディショナーであり、無停電電源装置と同様のUPS機能及びアクティブフィルタと同様の不平衡補償機能を提供するものである。

マイクロタービンは系統が停電した場合、出力を停止し、タービンは運転を終了・停止する。これは安全上重要な機能ではあるが、電源設備としてはより進んだ利用方法が求められるところである。マイクロタービンは起動に数分間必要なため、消防設備などに対する非常用発電設備として利用することはできない。しかし、開発したUPS機能を付加することで、中央監視などの重要負荷のバックアップを瞬時に行うことが可能となった。

4.1 システム構成

システム構成の概略を Fig.6 に示す。システムは

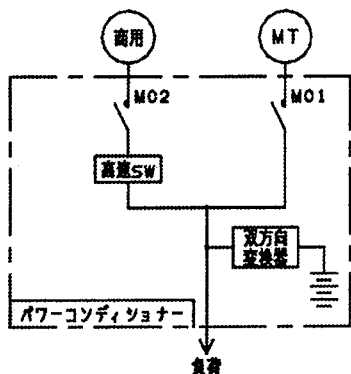


Fig.6 システム概略図

電磁接触器 2 台、高速スイッチ 1 台、双方向変換器 1 台およびバッテリー 1 式より構成される。

4.2 停電補償動作

動作の概念図を Fig.7 に示す。

MT 連系運転中に、停電が発生すると内蔵の高速停電検出装置がこれを検知し、高速スイッチおよび電磁接触器を開放する。この時点でマイクロタービンおよびバックアップすべき重要負荷が系統から解列される。

双方向変換器は通常電流制御モード (I モード) にて動作しているが、この高速停電検出装置の動作で瞬時に電圧制御モード (V モード) 動作に切り替わる。V モード時は蓄電池のエネルギーを利用して重

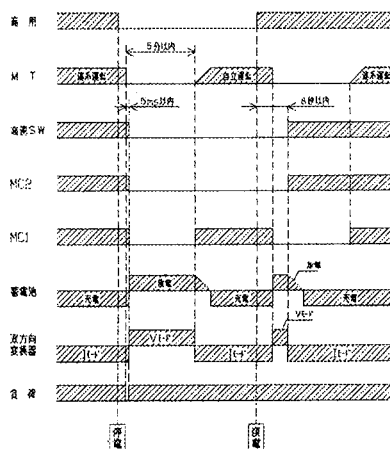


Fig.7 UPS 機能動作タイムチャート

要負荷への電力供給を継続することができる。

系統から解列されたマイクロタービンは停電により一旦停止するが、自動的に自立運転モードへ変更され、再起動・出力可能となる。その後、電磁接触器を投入すると、双方向変換器がマイクロタービンに同期、V モードから I モードに切り替わる。この状態ではバッテリーによらず、マイクロタービンからの出力で重要負荷をまかなうことが可能となる。

復電の際には、マイクロタービンは一旦停止となる。マイクロタービン停止動作中、双方向変換器は一旦 I モードから V モードになり再度バッテリーから給電継続しつつ商用と同期をとり連系運転にスムーズに移行する。

その後マイクロタービンを連系運転に復帰させ停電・復電の一連の動作完了となる。

停電時の切替時間は 5ms 以内を補償しており、これは JEIDA - 63 - 2000 (産業用情報処理・制御機器設置環境基準、社団法人日本電子工業振興協会発行) の ClassB (瞬時停電 10ms 以下または 1/2 サイクル) を十分満足するものとなっており、中央監視など CPU への供給電源として問題ないものと言える。

UPS 機能の仕様を Table.4 に示す。

Table.4 UPS 機能仕様一覧

項目		定格及び性能	
方式	装置容量	40kVA	
	回路	シングルコンバージョン	
交流入力	相数	3相3線	
	電圧範囲	200V(180V~220V)	
	周波数範囲	50/60Hz ±5%以内	
	入力力率	0.92以上	
	種類	シール型鉛蓄電池	
蓄電池	保持時間	5分(30kVA pf=0.8)	
	相数	3相3線	
	定格電圧及び精度	200V ±25V以内	
交流運転	周波数範囲	交流入力と同一	
	定格容量	40kVA	
蓄電池運転	相数	3相3線	
	定格電圧及び精度	200V ±5%以内	
	波形歪率	線形負荷	5% 以下(定格運転時)
		整流器負荷	10%以下

5 負荷平衡機能・高調波抑制機能

負荷に CPU が多く含まれる場合、特に負荷の不均衡が問題となる。先に示した双方向変換器は、マイクロタービン給電時は常時 I モード運転をしている。このとき負荷の電流アンバランスおよび高調波電流を検出し、アクティブフィルタとして動作する。これにより負荷側への高調波電流の流出を抑制し、マイクロタービン単独バックアップ運転中、マイクロタービンの発電能力を最大限に引き出すことができる。

Fig.8 はマイクロタービン単独運転時に三相 10kVA、整流器 5kW、単相 5kW の負荷をかけたときの波形である。電流アンバランスおよび高調波電流両方とも補償している。

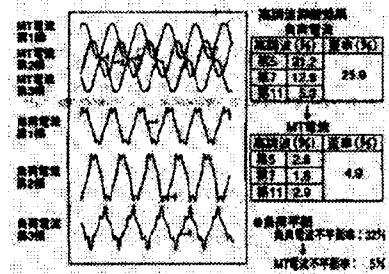


Fig.8 不均衡及び高調波抑制試験結果

6 むすび

近年小容量分散型電源として注目を集めているマイクロタービンの消化ガス発電システムとしての適応について開発の経緯と概要を述べた。

本報告ではこのシステムが特に中、小規模の処理場で有用であることを示した。また、その設備の有用性をさらに高めるため開発した UPS 機能について紹介した。

今後、実処理場での検証試験を継続し、本システムの経済性評価、信頼性の確保などの開発を実施し、多くの処理場に対して経済的で、環境負荷の小さいシステムの提案を行なっていく所存である。

参考文献

- 1) 長部 恵介：長岡市における消化ガスの都市ガス原料化について、環境技術，29(5)，353-359(2000)
- 2) 新井 徹：汚泥消化ガスを原料とする燃料電池の実用化について、下水道協会誌，36(437)，24-29(1999/3)
- 3) 井上 勇・山口 克昌：UPS（無停電電源）機能付きマイクロタービンコージェネレーションシステム，明電時報 通巻 279 号 (No.4)，36-37(2001)

(受付 2001. 8. 20)

(受理 2001. 9. 10)