

小型バイオガス発電の動向と事例紹介

Trend and case introduction of small biogas power generator

林 清史*

はじめに

資源循環や脱炭素を目指す上で、メタン発酵による廃棄物系有機物のバイオガス化とそれを用いた発電は重要な技術である。それが小規模なシステムであっても地域のバイオマスを活用する地域活用電源になり、その地域の特性に応じて設置が可能である事から広く採用される事が必要である。なお下水処理場での下水汚泥を嫌気性メタン発酵したものは消化ガスと呼ばれることもあるが、有機物を菌によって分解されたガスのためバイオガスと同義である。

本稿では、バイオガス発電について種類、規模、効率、費用、原料別のバイオガスの特性、設計のポイント、メーカーの選定、試運転時の調整、維持管理、停電時の自立運転、導入事例を紹介する。

1. 発電装置の種類と特徴

バイオガスとは、有機物を嫌気性メタン発酵した際に発生するメタンが主成分のガスであり、有機物の種類や発酵方式によって差異はあるものの、多くはメタンが60%、二酸化炭素が40%の可燃性ガスである。メタンが主成分であるため、発電機の燃料として使用することが可能である。バイオガスを燃料とした発電機には、燃焼を伴うガスエンジン方式とガスタービン方式、バイオガス中の水素を取り出して化学反応で電力を取り出す燃料電池があり、それぞれの特徴は以下の通りである。

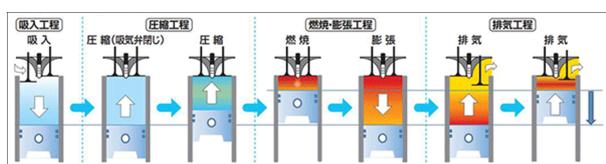


図1 ガスエンジン模式図
(出典：ヤンマーホームページ)

1.1 ガスエンジン方式

ガスエンジンは、燃料となるバイオガスと空気を混合した混合空気をシリンダ内で圧縮、燃焼させ、その動力で発電機を駆動する方式であり、現在の主力方式である。自動車と同じ内燃機関と同様の方式である。バイオガスは、各サイト（メタン発酵施設）によって、発熱量（メタン濃度）やガス発生量、供給圧力等が異なることや、諸条件によって変動するため、各メーカーによって規定されている使用範囲となっているかを確認する必要がある。各メーカーは独自の燃料制御技術で品質確保、維持するガスエンジンを搭載しており、そのエンジンを動力源として同期発電機、誘導発電機、逆変換式発電機等の発電機を駆動する方式である。

1.2 マイクロガスタービン方式

マイクロガスタービンは、空気を圧縮機で加圧し、燃料器でその加圧した空気を利用し燃料であるバイオガスを燃焼し、高温高压ガスを発生させ、この高温高压ガスでガスタービンの羽根を回転させ、発電機を駆動させる方式である。マイクロガスタービンの特徴としては、構造がシンプルで部品点数が少なく、また、往復運動を回転運動に変換するガスエンジンとは異なりタービンの回転で発電機を駆動するため、振動が少なく、ガスエンジンと比べるとNOxや煤じん排出量が少ないという利点がある。一方で、ガスエンジンと比較すると発電効率は低い傾向にあり、国内においては取り扱っているメーカーは少ない。

1.3 燃料電池方式

燃料電池は、燃料であるメタンより水素を取り出し、水素（H₂）と酸素（O₂）の化学反応により電気を取り出す方式である。エンジンやタービンと異な

*ヤンマーエネルギーシステム株式会社 東京支社 空調システム営業部 兼営業開発部

り駆動部分が無く、燃料の持つ化学エネルギーを直接電力に変換するため効率が高いという特徴がある。但し、メタンから水素を取り出すための改質装置が必要であることや、燃料電池そのものがまだまだ高価という事もあり、コスト面ではガスエンジンやガスタービンよりも高く採用数は少ない。

1.4 発電装置の規模及び効率

国内では、単機出力が数十 kW から数百 kW の発電機がラインナップされており、バイオガス発生量や設置スペース、コストに応じて需要家毎に選択を検討することとなる。以下は実績から見た目安である。

- ①下水処理場：数十から数百 kW
- ②家畜ふん尿：数十 kW
- ③大規模家畜ふん尿：数百 kW
- ④食品工場：数十から数百 kW
- ⑤廃棄物処理場：数百から 1MW

いずれにおいても、ガスの発生量は投入原料の量によって変動する可能性があることや、機器メンテナンスや故障時における停止リスクを最小限にするためにも、発電機は、単機設置ではなく複数台を設置することが望ましい。

発電の効率は、発電機の種類だけではなく、容量によって発電効率は異なる。以下は、目安である。

- ①ガスエンジン（小型）：30 から 35%

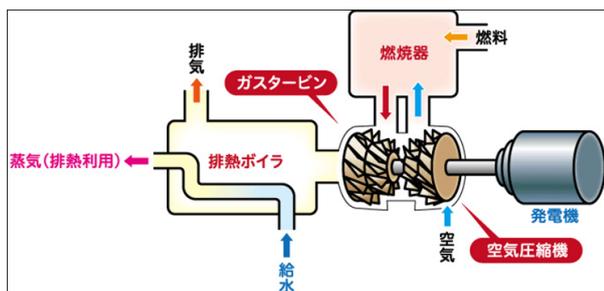


図2 ガスタービン模式図
(出典：コージェネ財団ホームページ)

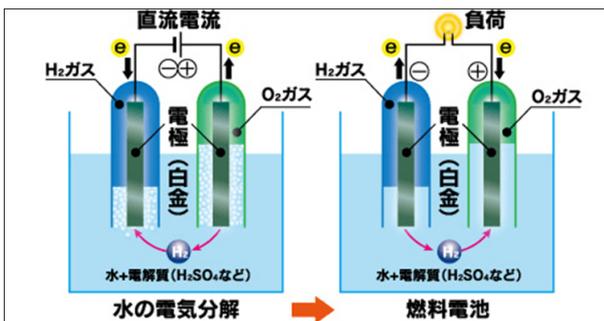


図3 燃料電池模式図
(出典：コージェネ財団ホームページ)

- ②ガスエンジン（中型以上）：35 から 40%
- ③マイクロガスタービン：30%
- ④燃料電池：40%以上

エンジンやガスタービンの燃焼を伴う方式の場合は、メタン濃度によって熱効率が異なるため、各社のカタログや技術資料の確認が必要となる。

2. バイオガスコージェネの設計上の留意点

2.1 設置に係る費用確認

系統連系を行うバイオガス発電機の場合は、発電機単体の費用だけではなく、FIT や FIP への申請や設置に関わる費用も発生するため、機器単体での費用のみでイニシャルコストを比較することはできない。コストを比較するためには、見積条件を提示してメーカーやエンジニアリング会社より見積もりを入手する必要がある。又、設置条件や工事条件により導入コストは大きく左右されるため注意が必要である。以下は発電機設置に関わる費用項目であるが、需要家毎に異なることに注意する必要がある。

- ①各種申請費用（電力会社、経済産業局、消防局）
- ②設計費
- ③発電機本体、付帯オプション
- ④基礎工事
- ⑤建築工事（建屋がある場合）
- ⑥機械設備工事
- ⑦配管設備工事
- ⑧電気工事
- ⑨計装工事

そのため、発電機設置に伴う費用は概算であっても提示することは難しく、50万円から100万円/kW くらいの幅が発生するため、事業計画時には発電機単体の価格だけでメーカー選定をしない事が重要である。

2.2 原料・発行設備によるメタン濃度の違い

バイオガスは様々なバイオマスを嫌気性発酵することで発生するガスであるが、投入される主な原料によってメタン濃度に差異が見られる。下水汚泥や家畜ふん尿では、メタン濃度が55～60%の場合が多い。有機物の多い食品残さや食品工場排水では、メタン濃度が65～75%と高い傾向があり、特に成分中のたんぱく質や脂質の含有量が多いとメタン濃度が高くなる。そのため、メタン濃度に応じたエンジンの選定やマッチングが必要となる。又、発酵方式には、発酵温度によって中温発酵と高温発酵があり、高温発酵の方が滞留時間を短くすることができ設備をコンパクトにできる。さらに、発酵槽へ投入

する固形分濃度の違いにより湿式方式と乾式方式があり、投入原料により方式を選定することになるが国内では湿式が主流となっている。主に処理対象物の性状や発酵残さの取り扱いによって選択され、有機物の分解率に違いはあるものの、発生ガス中のメタン濃度には影響しない。

2.3 脱硫装置の重要性

嫌気性メタン発酵により生成されるバイオガスは、比較的高濃度の硫化水素が含まれることから、脱硫を行う必要がある。脱硫が不十分な場合、燃料配管、ガス圧調整器（昇圧、減圧）、発電装置の搭載機関等の金属性部品を腐食させて重大なトラブルに繋がることになる。下水汚泥の場合、脱硫剤を定期交換する脱硫装置での脱硫が主流で、複数台ある脱硫装置の切替え管理等の維持管理が重要であり、発電機を提案する場合は、脱硫を含めた維持管理体制の確認が必須となる。

2.4 シロキサン除去の重要性

下水汚泥には生活排水に含まれる「高沸点化合物やシロキサン」が含まれており、バイオガスにもその成分が含まれる。この高沸点化合物やシロキサンの濃度が高い場合、エンジンのピストン等の主要な摺動部で異常摩耗等の不具合を発生させ、潤滑油の異常消費、排気系閉塞、機関出力低下、回転制御不良等の重大故障を誘発させる。この予防としては、シロキサン除去装置の導入と、その定期的な保守運用が必要である。また、定期的なガス分析を実施し、シロキサンの濃度が規定値を超過していないかを確認する事が必要である。規定値を超過している場合はシステムを停止する必要がある。

2.5 複数台設置の重要性

大容量発電装置の単機設置は、小容量発電装置を複数台設置と比較すると、初期導入コストの抑制となるが、ガスの発生量変動対応に弱く停止時の影響が大きというリスクを伴う。

一方、複数台設置をすることでバイオガスの発生量に見合った運転台数制御効率運用を行うことが可能となり、発電装置メンテナンス時や突発故障による長期間停止リスクを最小化できる利点がある。

又、投入原料が季節毎に変動する可能性がある場合においては、単機設置の場合はガス量不足による停止リスクが発生する。重要なのは発電容量（kW）ではなく発電電力量（kWh）であるため、初期投資となる機器及び建設コストだけからの選定ではなく、運用や将来予測を加味すべきである。

2.6 ローテーション（運転号機の切替）による運転時間の平準化

複数台設置を行った場合の運転台数制御では、発電装置毎の運転時間差が最小化となる号機切替え制御を行うことが必要である。発電装置には定期点検の実施周期が運転時間毎に設定されているが、運転時間差が大きいと長時間運転号機を基準とした整備運用となり、保守の費用対効果から過剰整備や維持費増大につながる可能性がある。号機間の運転時間の平均化は、設備維持の上での重要ポイントといえる。

表1の事例はローテーション運転を実施しなかった例であり、各号機の運転時間のばらつきが発生している。

2.7 耐塩害仕様の必要性

バイオガス（消化ガス）設備を有する下水処理場は、河川下流や海岸の近傍である場合が多く、屋外設置する発電装置には塩害対策が必要となる。塩害は外板塗装の腐食等の外観品質の問題から、電気系部品の絶縁低下による漏電等、様々な故障に繋がる。発電装置導入の計画段階で、「耐塩仕様」の機器設定、仕様確認が必要である。

2.8 寒冷地仕様の必要性

燃料ガス配管の断熱不足や、冬季の低外気環境下（外気温度がマイナス10℃以下の場合）では、バイオガス中に含まれる水分により燃料ガス経路内部に結露・凍結を生じさせる危険性がある。凝縮水分離器を設置していても、結露量が過大となると発電装置への燃料ガスの供給量、供給圧力の低下や燃料ガスの偏流が生じ、機関運転の制御不良に繋がる。そのため、ドレン水排出管の加温、排気ガスの排出用延長配管への凍結対策が必要となる。

表1 複数台設置（10,000時間毎の定期点検）の運用不適例

設置号機	前回点検後の 運転時間 (hr)	備考
1号機	5,500	・最長運転機基準での「点検整備」では他号機では過剰整備となる ・平均運転時間基準の「点検整備」では長時間運転機の故障リスクが高まる
2号機	9,000	
3号機	10,000	
・・・		
7号機	7,700	
8号機	7,000	

3. メーカー選定の留意点

バイオガス発電機は、15年以上の長期運用が必要となるため、メーカー選定は販売時におけるカタログ値やスペックだけで判断するのではなく、長期間の運用実績の有無や、維持管理及びメンテナンス体制が信頼に足るか否かも見極める必要がある。

3.1 長期間の部品供給

バイオガス発電機に限らず常用発電機は、年に1～数回のメンテナンスや部品交換が必要である。エンジン部品だけではなくモデルチェンジサイクルの早い電装品も長期にわたる共有が可能であるかどうかや、後継品に上位互換が可能であるかのヒアリングを行う事も必要である。保守点検の整備部品に加えて、故障修理の交換部品が長期に亘って安定供給される体制を整備、確保している事業者であるかどうかを十分に検討する必要がある。

3.2 保守体制の有無

バイオガス発電機が停止した場合、契約電力超過（デマンドオーバー）による基本料金の高騰や、FIT売電の場合は停止期間中の売電収益を逸するため事業計画の下振れリスクが発生するため、早期復旧の対応可否が重要なポイントとなる。バイオガス発電機は都心部から距離が離れている地方に設置されることも多いため、地域に根差した保守メンテナンス体制が充実していることもメーカー選定において重要である。

又、突発故障の停止期間を短縮化する観点から、現地に行かずとも機器の状態を監視できる遠隔監視装置の搭載可否や、その監視体制の有無が、メーカー選定のポイントとなる。

3.3 国産メーカーと外国メーカーの差異確認の重要性

国産メーカーか外国メーカーという議論がなされることがあるが、その区分けではなく、長期間に渡りメンテナンスが実施され事業継続性があるかが重要である。その上で外国メーカーの一般的な傾向を以下に述べる。

- ①バイオガス発電の実績が多く、メーカーやラインナップが充実している。
- ②国産メーカーと比較してイニシャルコストやメンテナンスコストが安く提示される。
- ③カタログ値における効率が良い。
一方、以下のような市場の声もある。
- ④部品供給に時間がかかる。
- ⑤不具合発生時に現地調査を実施することに多額

の費用が発生する。

- ⑥外国メーカーは電圧が国内と異なるため、専用の補機やトランス（昇圧盤・降圧盤）が追加が必要となる場合がある。
- ⑦セットメーカー（システムをパッケージする会社）が統合されるなど、担当窓口が変更となることがある。
- ⑧為替の影響で、コストが大幅に上がるリスクがある。

いずれにしても外国メーカー機を国内で導入する場合は、メーカーもしくは代理店と事前に資料のやりとりやコミュニケーションをしっかりととり、導入検討を行うことが重要である。

4. 試運転時の調整

4.1 事前のガス分析の実施

バイオガスでは、一般的に都市ガスのような熱量調整は行われず、その発酵条件や施工環境等の影響を受け、メタン濃度が変動する。各メーカーの発電機には、供給燃料ガスに組成毎の基準範囲が規定されており、装置導入前に供給ガスの適合性を事前確認しておくことが重要となる。

分析項目は、メタン濃度、二酸化炭素濃度、硫化水素濃度、シロキサン濃度が最低限の必要項目となる。

4.2 試運転引き渡し後のガス分析

通年での熱量変化（メタン濃度変化）が生じ易いバイオガスの特性を考えると、試運転引き渡し以降も定期的なガス分析を通じた運用管理が必要である。メタン濃度は、年間変動に傾向性が見られることが多く、少なくとも導入初期1年間の傾向把握をすることで効果的な設備運用を目指せる。夏季・冬季のメタン濃度の計測と調整が、長期運用における重要なポイントとなる。

4.3 ガスに含まれる水分の影響

バイオガス中にはメタン発酵槽内の水分が含まれており、配管内で結露したドレン水が配管内を閉塞を誘発したり、冬季においては凍結の可能性も生じる。試運転調整時には、ドレン水を確実に抜くことができるか、配管断熱が実施されているかも確認する必要がある。

5. 運用開始後の維持管理

5.1 遠隔監視の重要性

メタン発酵ガスは、「FIT（固定価格買取）制度」の買取単価が、太陽光発電との比較でも高く設定さ

れていることもあり、24時間連続稼働する納入例が増加傾向にある。運転時間が長いバイオガス発電の状態を常時監視できる遠隔監視の重要性は高い。遠隔監視を実施すると、故障前警報の受信、発電装置の故障パターンの統計分析からの故障予知をし、定期点検の前倒し等の判断ができ、効果的な設備維持が期待できる。

5.2 日常点検

日常点検は、次に示す項目を中心に実施する。

- ①発電機本体：外観・振動・異音・異常臭気の有無
- ②上位制御システム：「重故障，軽故障」の監視，アラームや警報が表示の確認
- ③発電量の異常値管理：補機動力，送電端電力量，発電端の電力量等
- ④受変電設備：デマンド監視，漏電や連系保護装置の校正管理
- ⑤発酵システム：「軽故障，重故障」監視，脱硫装置，凝縮水排出装置，昇圧・減圧装置
- ⑥発電装置の供給ガスの管理：供給圧力（母管の最短，最遠の装置）
- ⑦メタン濃度：大きく変動していないか

5.3 定期的な調整

バイオガス発電機は、搭載エンジンが最適空燃比で運転維持する制御機能を搭載している。その制御は、メタン濃度の許容範囲，許容変動幅，供給圧等，メーカー毎に設けており，供給ガスがこの規定範囲を外れると安定運転の継続ができず，機器故障に繋がる。メタン濃度の低下や，制御用センサ等の経時的な特性劣化等から定期校正，定期的な調整が必要である。

5.4 定期点検

各メーカーが定期点検項目とインターバルやエンジン交換等のサイクルを定めているため，それに従った定期点検を実施する必要がある。

6. 導入事例

酪農家及び食品工場が，バイオガス発電機を導入した事例を示す。

6.1 酪農家様の導入事例

- 原料：乳牛糞尿
 原料処理量：22t/日
 導入製品：バイオガスコージェネ×2台
 導入年月：2020年3月



写真1 酪農家導入事例写真

6.2 食品工場様の導入事例

- 原料：食品廃棄物
 原料処理量：10t/日
 導入製品：バイオガスコージェネ×2台
 導入年月：2018年5月



写真2 食品工場導入事例写真

6.3 下水処理場の導入事例

- 原料：下水汚泥
 導入製品：バイオガスコージェネ×16台
 導入年月：2011年4月



写真3 下水処理場導入事例写真

おわりに

環境問題が大きく取り上げられている中で，地域資源循環やエネルギー変換，脱炭素を目指す事は喫緊の課題である。バイオマス発電を検討する事業者も増加していくと思われるが，その検討の一助となれば幸甚である。

著者略歴



林 清史（ハヤシ キヨシ）

1994年3月関西大学法学部卒，同年
ヤンマーディーゼル株式会社（現ヤン
マーホールディングス株式会社）に入
社．ガスヒートポンプエアコンの営業
を経て，ガスコージェネレーションシステム，バイ
オガスコージェネレーションシステムの企画・営業
に携わる．

現ヤンマーエネルギーシステム株式会社東京支社