

マイクロガスタービンコージェネレーションパッケージの紹介

中川 貴博*

EBARA Microturbine Cogeneration Package

by Takahiro NAKAGAWA

EBARA's Microturbine Cogeneration Package features low vibration, low airborne noise and high total efficiency. Its impact on the environment is significantly minimized as exemplified by a NOx content of less than 30 ppm in the exhaust gas. As complete combustion takes place, the emission of unburnt methane gas is less than 1 ppm. Moreover, the package's simple configuration with only a few auxiliary machines, allows easy installation, operation and maintenance. CO₂ emission can be significantly reduced by the use of low calorific value, sewage digester gas as biomass fuel. Highly reliable operability is achieved by use of a remote control system for operational support and maintenance. In case of a heated water using package, an electrical efficiency of 29% and a heat recovery efficiency of 50% is achieved versus the fuel energy, constituting a total efficiency of about 79%.

Keywords: Microturbine, Power generation, Cogeneration, Sewage digester gas, Biomass, CO₂ reduction, Remote monitoring system, Grid tie, Low NOx, Low airborne noise

1. はじめに

電力不足により全国的に省電力が求められている。購入電力の削減と電力使用量の維持を両立させる手段として、小規模分散型発電装置の導入がある。当社では小規模分散型発電装置の一つである100 kWクラスのマイクロガスタービンを搭載したコージェネレーションパッケージの製造と販売を行っている¹⁾。主要諸元を表1に、外観を写真1に示す。マイクロガスタービンは、電気事業法における小型ガスタービンの要件（①発電機と接続して得られる電気の出力が単機で300 kW未満のもの、②最高使用圧力1000 kPa未満のもの、③最高使用温度が1400℃未満のもの、④発電機と一体のものとして一つの筐体に収められているもの、⑤ガスタービンの損壊事故が発生した場合においても、破片が当該設備の外部に飛散しない構造を有するもの）を満たしており、それを搭載した発電設備はボイラ・タービン主任技術者の選任が

表1 マイクロガスタービンコージェネレーションパッケージ諸元
Table 1 Microturbine cogeneration package specifications

機名 Device name	TA100
ガスタービン形式 Gas turbine type	再生サイクル1軸式 Recuperative cycle and single shaft
定格回転速度 Rated rotor speed	68000 min ⁻¹
定格発電端出力 Rated electrical output	95 kW
電圧/周波数 Voltage/Frequency	3相AC 400/440 V, 50/60 Hz 3 phase AC 400/440 V, 50/60 Hz
発電効率 Electrical efficiency	29%
排気ガス流量 Exhaust gas flow	2400 m ³ /h (NTP)
燃料流量 Fuel flow	29.4 m ³ /h (NTP) (都市ガス city gas) 53.6 m ³ /h (NTP) (消化ガス digester gas)
熱出力 Heat output	163 kW (温水 Heat water) 98 kW (蒸気 Steam)
総合効率 Total efficiency	79% (温水 Heat water) 59% (蒸気 Steam)
騒音 Airborne noise	68 dB (A) 以下、機側1m
NOx 値 NOx	30 ppm 未満 (16% O ₂ 換算, 燃料:都市ガス) (16% O ₂ conversion, fuel : city gas)
外形寸法 (L × W × H) Dimensions	3450 × 1150 × 2680 mm

* 風水力機械カンパニー 国内事業統括 MGT事業推進室
MGT技術グループ

ターボ機械 第39巻 第9号に掲載されたものを、(社)ターボ機械協会の許諾を得て、一部加筆・修正した。



12-04 01/234

写真1 エバラマイクロガスタービンパッケージ
Photo 1 EBARA microturbine package

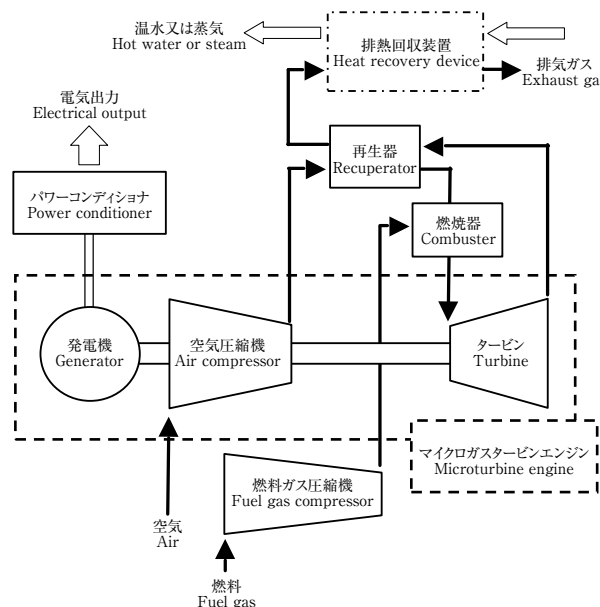


図1 マイクロガスタービンのフロー
Fig. 1 Flow of the microturbine

不要となる。更に、マイクロガスタービンコージェネレーションパッケージは、①低振動、②低騒音、③排熱回収による高い総合効率、④完全燃焼による極めてクリーンな排気ガス（低NO_x、未燃メタン濃度は1 ppm未満）、⑤都市ガスから低発熱量の消化ガスまで広い範囲にわたる燃料に対応可能といった特長をもっているため、設置・運用が容易な装置である。下水処理場の汚泥の減容化処理の過程で発生する消化ガスやごみ埋立地から発生する埋立地ガスなどはカーボンニュートラルなバイオマス燃料であり、燃料として利用することで高いCO₂削減効果が達成できる。本稿では、マイクロガスタービンとそれを搭載したパッケージについて原理、構成機器、運用事例などを紹介する。

2. マイクロガスタービンの原理

マイクロガスタービンと主な補機のフローを図1に示す。マイクロガスタービンは再生サイクルを採用しており、パッケージは主にマイクロガスタービンエンジン、燃焼器、再生器、パワーコンディショナ、燃料ガス圧縮機、排熱回収装置から構成される。

通常の運転状態を例にとってマイクロガスタービンの動作原理と各機器の機能を説明すると以下ようになる。空気圧縮機により昇圧された空気は、再生器でタービンの排気ガスと熱交換して予熱された状態で燃焼器に入る。燃焼器で予熱空気をを用いて燃料を完全燃焼させ、生成された高温高压の燃焼ガスでタービンを駆動して、

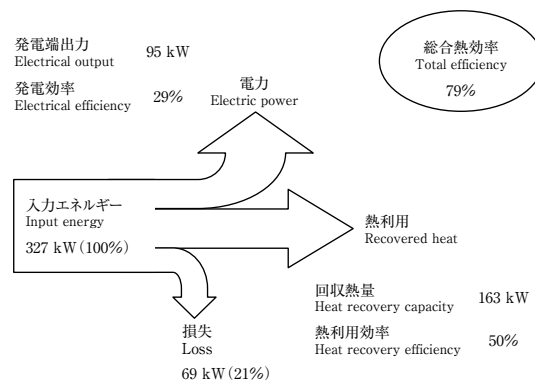


図2 温水利用時の熱収支の例
Fig. 2 Example of heat balance in utilization of heat water

タービン軸の延長線上に配置された高速発電機により発電を行う。発電された電力は電力系統の周波数に比べて高周波数となるため、パワーコンディショナにより電力系統の周波数に調整される。再生器で熱交換した後の排気ガスのもつ熱エネルギーは、排熱回収装置によって温水や蒸気又は冷水として利用される。

図2に温水利用の場合のパッケージの熱収支の例を示す。投入した燃料のエネルギー100% (327 kW) に対して、電力として29% (95 kW)、温水での回収熱量として50% (163 kW) が得られ、総合熱効率としては79%になる。

3. パッケージの構成機器

パッケージの断面を図3に示す。パッケージは上下2段に分かれており、上段には高温となる機器を、下段にはパ

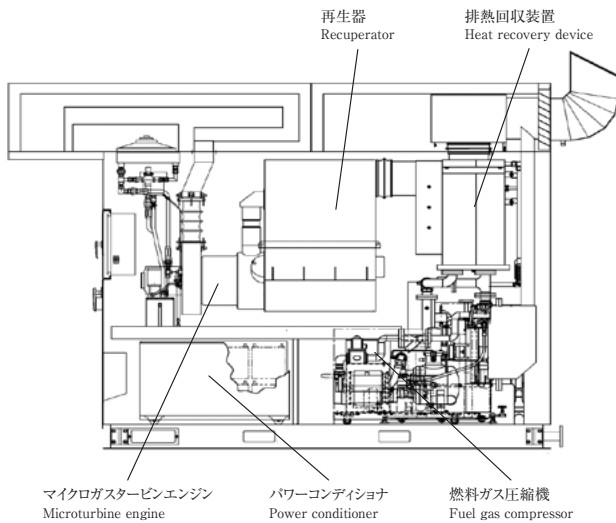


図3 マイクロガスタービンパッケージ断面図
Fig. 3 Cross-section of microturbine package

ワーコンディショナ等を配置するなど熱的な隔離にも配慮している。騒音特性は機側1 mの平均で68 dB (A)以下と低騒音で、回転機械であるため振動もほとんどない。以下にパッケージの各構成機器について述べる。

3-1 マイクロガスタービンエンジン

マイクロガスタービンエンジンは永久磁石型発電機と遠心式の空気圧縮機、タービンが同軸上に配置された一軸式のガスタービンであり、定格回転速度は 68000 min^{-1} である。軸受は発電機側にボールベアリング、ガスタービン側にジャーナルベアリングを採用しており、軸受の潤滑及び発電機の冷却には潤滑油を使用している。

3-2 燃焼器

燃焼器はアニューラー型であり、 NO_x の発生を抑制するために燃料が過濃な状態で燃焼する領域と、希薄状態で再燃する領域に分かれて燃焼する構造になっている。また、メタンは CO_2 の21倍の温暖化係数をもつため、排気ガスに含まれる未燃メタンは極力少なくする必要があるが、この濃度も1 ppm未満であり極めてクリーンな状態で排出される。

3-3 再生器

圧縮機出口の空気温度に比べてタービンからの排気ガスの温度は高いため、再生器で熱交換を行い、排気ガスに伴って外部に放出されるエネルギーを回収し熱効率の向上を図っている。パッケージに搭載している再生器は四つの熱交換エレメントをもち、それぞれのエレメントは図4に示すようにフィンをもつ空気流路と排気ガス流路が交互に積み重なる断面構造をしており、エレメント

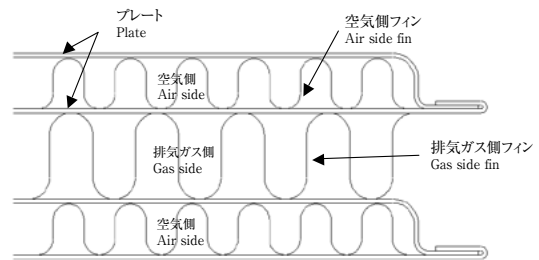


図4 再生器エレメント断面図
Fig. 4 Cross-section of recuperator element

内を通過する空気と排気ガスとが効率良く熱交換できるようにになっている。

3-4 パワーコンディショナ

発電機の回転速度が 68000 min^{-1} と高いため、発電された電力は電力系統の周波数に比べて高周波数となる。そのため、発電した電力を電力系統の周波数に調整するパワーコンディショナを搭載している。パワーコンディショナ内にはコンバータとインバータがあり、コンバータでいったん直流電流に変換した後、インバータで系統周波数の交流電流に調整する。また、パワーコンディショナは系統連系ガイドラインに適合しており、過電圧 (OVR)、不足電圧 (UVR)、周波数上昇 (OFR)、周波数低下 (UFR)、過電流保護、単独運転検出などの系統連系保護機能をもっている。

3-5 燃料ガス圧縮機

燃料ガス圧縮機にはスクリーコンプレッサを採用した。吐出圧力と流量はインバータによる回転速度制御とアンロード制御により調整している。低発熱量のガスではパッケージの外部に容量の大きな燃料ガス圧縮機ユニットを設置する場合もある。また、都市ガスの高圧配管など、高圧で安定した状態で燃料が供給されるのであれば燃料ガス圧縮機は省略し、代わりに減圧弁などを設置する。

3-6 排熱回収装置

パッケージに内蔵する排熱回収装置として温水ヒータと蒸気ボイラを標準化している。温水ヒータは無圧式の排熱回収システムを採用しており、労働安全衛生法におけるボイラ圧力容器に該当しない。また、蒸気ボイラは多管式貫流ボイラであり、伝熱面積を 5 m^2 以下としているため簡易ボイラに区分される。温水ヒータ、蒸気ボイラともに各種届出や有資格技術者が不要である。

温水ヒータのフローを図5に示す。温水ヒータは排熱回収熱交換器、温水熱交換器、内部循環水ポンプ、貯湯槽などから構成されている。貯湯槽に蓄えられた内部循

環水は熱媒として機能するが、ポンプにより排熱回収熱交換器へ送られ、排気ガスと熱交換されて高温水となり、その後温水熱交換器で顧客温水ラインの水を加熱して温水を供給する。

また、パッケージ外に設置する排熱回収装置として排気ガス直接投入吸収式冷温水機も標準化しており、空調用の冷水・温水を供給可能である。

4. 遠隔監視システム^{2, 3)}

運用にあたり、マイクロガスタービンには高い稼動信頼性、起動信頼性、低メンテナンスコストが要求される。適切なコストで最大の運用効率を得るためには、主要部品の劣化の進行状況を逐次把握し、適切な時期に補修又は交換することが望ましい。当社では遠隔監視システムを用いた運用のサポートとメンテナンスサービスを行っ

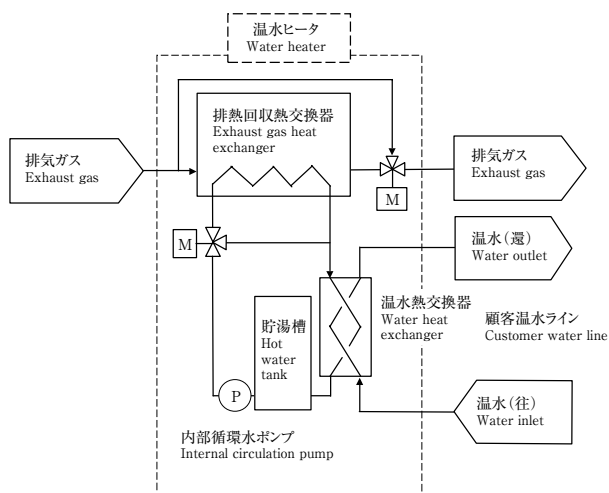


図5 温水ヒータのフロー
Fig. 5 Flow of the water heater

ており、顧客サイトでの専任のメンテナンス要員による常時の運転監視・点検は不要である。

遠隔監視システムの構成を図6に示す。各部温度や圧力等のリアルタイムデータは常に更新されており、緊急停止発生時には10ミリ秒周期×40秒の高速データが自動保存される。また、0.5秒周期×30分の高速過渡データや15分周期の長期データも更新されている。これらのデータはデータセンターのサーバに転送・保存でき、個々のPCの汎用インターネットブラウザソフトで閲覧が可能である。

遠隔監視の目的には、①健全性評価及び故障予知、②緊急停止時の原因分析及再起動の可否判断、③故障の根本原因の究明と再発防止があり、目的遂行のためにはデータ収集と適切な分析が必要となる。前述のように遠隔監視データを長期間にわたり取得し、定期的に分析・確認することで、装置の健全性評価、経年故障の未然予防を実施しており、高い稼動信頼性が達成できている。

5. 運用事例

マイクロガスタービンは系統と連系した発電に、以下のような機能を組み合わせて付加することで、様々な顧客のニーズを満足させる運用の提案を行っている。

- (1) コージェネレーションによる給湯・空調利用
- (2) 電力需要上昇時に自動起動して発電を行うピークカット運転機能
- (3) 複数台を設置し、電力需要に応じた台数制御運転機能
- (4) 系統の停電時に自立運転を行うブラックアウトスタート機能
- (5) 臭気又はVOC（揮発性有機化合物）を含む空気を吸気し、燃焼処理する脱臭、VOC処理機能

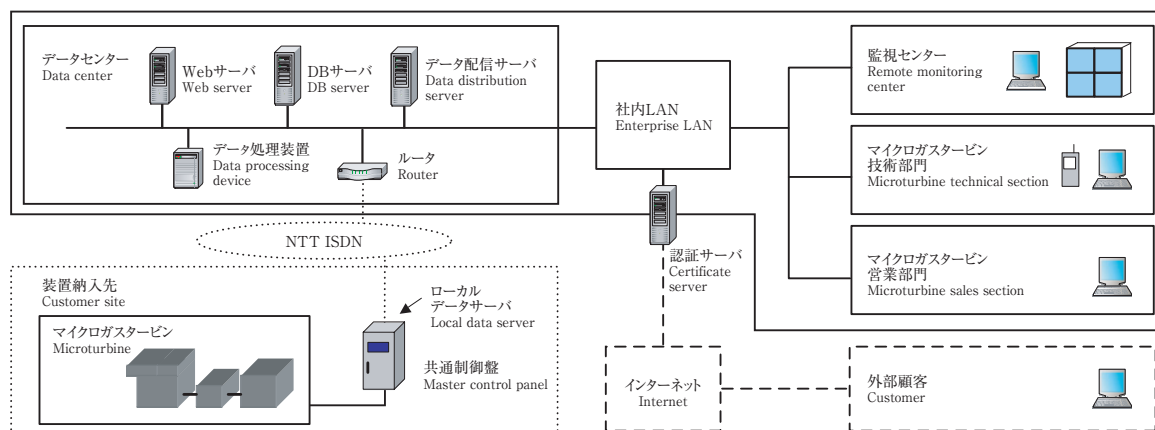


図6 遠隔監視システム
Fig. 6 The remote monitoring system



12-04 02/234

写真2 マイクロガスタービン消化ガスコージェネレーションシステム
Photo 2 Microturbine cogeneration system
utilizing sewage digester gas

前に述べたように、マイクロガスタービンは消化ガスや埋立地ガスのような低発熱量かつ季節や気温の変化で発熱量が変動する燃料も問題なく使用できる。以下に、消化ガスコージェネレーションシステムの運用例について紹介する。写真2に消化ガスコージェネレーションシステム外観を示す^{4, 5)}。本システムは福岡県久留米市南部浄化センターに設置されており、運用開始から7年が経過した。連続運転で運用されており、定期点検を適切に行うことでほぼ100%の年間稼働率〔運転時間／実時間（8760時間）〕が達成できている。浄化センターでは本システムでセンター内の消費電力の約1/4を賄う。更

に温水を消化槽加温用の熱源に利用し、電気と熱の各エネルギーを合わせたCO₂削減量は年間約700 tになり、信頼性、省エネルギー性と環境性の高さを発揮している。

6. おわりに

マイクロガスタービンはコージェネレーションにより高い総合効率を得ることができ、低騒音・低振動で排ガスが極めてクリーンな機器である。加えて、低発熱量の消化ガスや埋立地ガス等を燃料に用いることが可能なため、バイオマス利用機器として省エネ・温暖化防止効果の高い運用が可能である。また、運用に当たっては遠隔監視システムを活用したメンテナンス・予防保全を行うことで、高い稼働率が達成される。今後、ますます分散型発電装置の需要は高まると考えられ、当社はマイクロガスタービンの利用分野を更に広げ、導入を進めていくことで電力の安定供給に寄与していきたい。

参考文献

- 1) Kataoka T.・他3名, A microturbine cogeneration package for Japanese market, ASME Turbo Expo 2007, GT2007-27697.
- 2) Kataoka T.・他4名, Remote monitoring and failure diagnosis for a microturbine cogeneration system, ASME Turbo Expo 2007, GT2007-27355.
- 3) 片岡・他4名, マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの遠隔監視と故障診断, 日本ガスタービン学会誌, Vol.35, No.6, pp.38-45 (2007).
- 4) Kataoka T.・他3名, Combustion characteristics of methane-CO₂ mixture and a microturbine cogeneration system utilized sewage digester gas, ASME Turbo Expo 2007, GT2007-27351.
- 5) 片岡・他3名, 消化ガスの燃焼特性とマイクロタービン消化ガスコージェネレーションシステムへの適用, エバラ時報, 第218号, pp.8-15 (2008).