

超低公害型再生サイクルマイクロガスタービン RGT3R の開発

Development of Ultra Low Emission Recuperated Cycle Micro-Gas Turbine RGT3R

柴 田 良 輔 新潟原動機株式会社技術センター技術開発グループガスタービン開発チーム
 中 山 賀 夫 新潟原動機株式会社技術センター技術開発グループガスタービン開発チーム
 藤 原 弘 新潟原動機株式会社技術センター技術開発グループガスタービン開発チーム マネージャー
 小 林 一 幸 新潟原動機株式会社技術センター技術開発グループガスタービン開発チーム チーム長

発電端熱効率 32.5% の出力 300 kW クラスとしては、世界最高レベルの低燃費とクリーンな環境適合性を実現したマイクロガスタービン RGT3R を開発した。本マイクロガスタービンの適用市場としてコージェネレーション用途にとどまらず、揮発性有機化合物 (VOC) の廃棄物処理を目的としたシステムの開発も進めている。このシステムは工場から排出される VOC を含んだ排気をガスタービンに吸気させ燃焼処理するものである。本ガスタービンをベースとし未利用エネルギー分野へ積極的にチャレンジしていく。

Niigata Power Systems Co., Ltd. developed a 300 kW class micro-gas turbine, RGT3R, which has realized an electrical thermal efficiency of 32.5%, a low specific fuel consumption of the highest level, and clean exhaust gas with environmental conformity. The development is applicable to conventional cogeneration use and waste disposal plant systems for volatile organic compounds (VOC) as an application of this micro-gas turbine. This system uses the exhaust gas containing VOC discharged from a factory as the gas turbine intake, and combusts the gas as a fuel. Niigata Power Systems will enter the unused energy field with the micro-gas turbine RGT3R.

1. 緒 言

新潟原動機株式会社（以下、NPS と呼ぶ）は、発電端熱効率 32.5% の発電機出力 300 kW クラスとしては世界最高レベルの低燃費と、液体燃料焚きガスタービンとしては世界で最もクリーンな環境適合性を実現した超低公害型再生サイクルマイクロガスタービン（以下、MGT と呼ぶ）RGT3R を開発した。

本 MGT は、防災用として 1997 年に商品化した RGT3 型ガスタービンの技術実績をベースに、第 1 段階として圧縮機などの要素を高効率化し、常用耐久性を高めた発電機出力 350 kW クラスのシンプルサイクル MGT を RGT3C として開発した。次いで第 2 段階として RGT3C をベースに発電機出力 300 kW クラス再生サイクル MGT を RGT3R として開発したものである。本稿では超低公害型再生サイクル MGT である RGT3R について紹介する。

2. 開発の背景

過去数年間多くのメーカーによって MGT および関連機器の開発が進められ市場に投入されてきた。しかしその多くは海外メーカーであり出力も 100 kW 以下の MGT がほとん

どである。

一方、このような小形分散電源として MGT が市場に導入され始めたことを受けて、国内では電気事業法施行規則の一部が改正された。出力 300 kW 未満の小形ガスタービン設備については、ボイラ・タービン主任技術者の選任が不要となり、MGT にとって追い風が吹いたといえる。

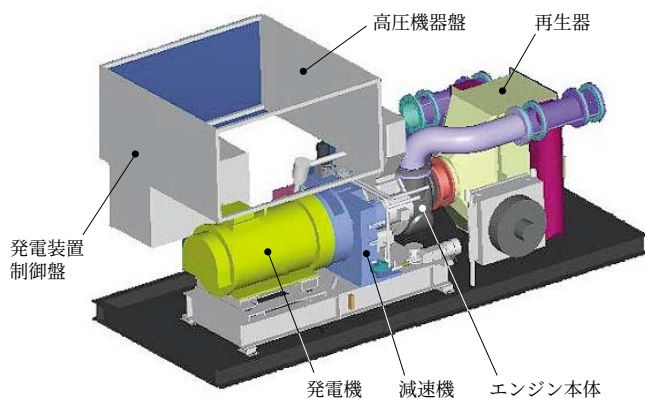
しかし現在の MGT は、これらをトータルライフサイクルコスト、すなわちイニシャルコスト、工事費、運転費、メンテナンス費の観点から評価すると、この出力が低いために単位出力当たりのコストが非常に高価なものになっている。また、小形であるために高い効率が得られないという理由で期待ほどの普及には至っていないのが実情である。

以上の背景から、NPS は単位出力当たりのコストを抑え、かつ、ほかの原動機と比較しても高い熱効率が得られる 300 kW クラスの MGT を開発することにした。

3. RGT3R の概要

第 1 図に RGT3R 発電装置の機器配置を示し、諸元を次に示す。

名 称	RGT3R
形 式	再生サイクル 1 軸式



第1図 RGT3R 機器配置
Fig. 1 RGT3R configuration

発電機出力	300 kW
空気流量	2.5 kg/s
圧力比	4.02
回転数	37 000 min ⁻¹
圧縮機	遠心1段
タービン	ラジアル1段
燃焼器	単筒缶型乾式低公害型 (DLE)
熱効率 (発電端)	32.5%
排気ガス NO _x 濃度	20 ppm (at 1.6% O ₂)

開発に当たっては「実証された技術の上に高い信頼性が成立する」を目標として掲げ、確立された既存の技術の組合せによる高い信頼性を確保した。

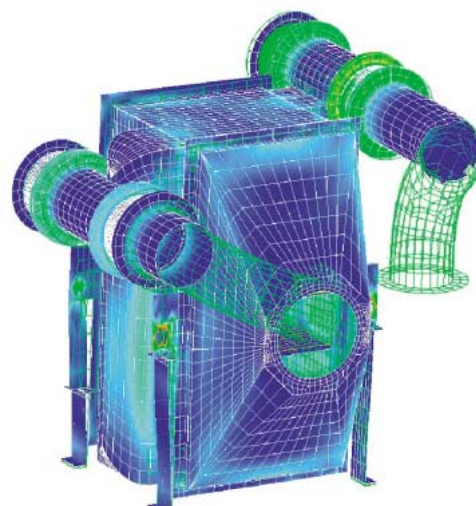
ガスタービン本体はすでに防災用として市場に投入している RGT3 型ガスタービンをベースにしたものであり、1 段の遠心式圧縮機と 1 段のラジアルタービンと単筒缶型の燃焼器で構成されるシンプルな構造である。発電機は、既存の MGT の多くが採用しているタービン直結の高速発電機ではなく、通常の同期発電機を使用している。

3.1 再生器

再生器についてはすでに多数の実績があるプレートフィン型熱交換器を採用しており、主に耐久性の評価と配管、再生器の支持方法に絞って開発を進めた。第2図に再生器の FEM 解析例を示す。

3.2 タービンケース材料

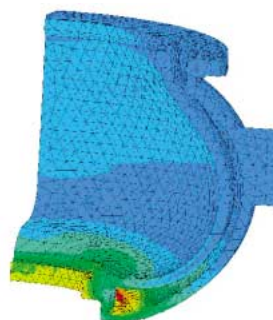
再生サイクルでは燃焼用空気温度がシンプルサイクルと比較して大幅に上昇する。したがって、タービンケース内部の温度勾配は非常に大きくなり、熱応力も大幅に上昇する。通常このような高レベルの熱応力は短期間での破壊を伴うことが多い。このため RGT3R の開発では、タービンケースの素材として鋳造メカと共同開発した新素



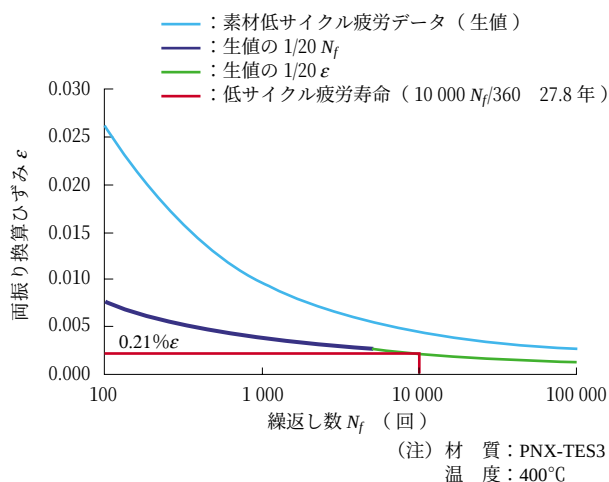
第2図 再生器の FEM 解析例
Fig. 2 FEM analysis results of recuperator

材 (PNX-TES3) を採用した。

第3図に RGT3R タービンケースの FEM 解析結果の例を示す。低サイクル疲労寿命の評価は ASME N-147 ボイラ・圧力容器設計基準に基づいて実施した。第4図にこの結果を示す。毎日起動・停止する運用の条件のもとでは低



第3図 タービンケースの FEM 解析例
Fig. 3 FEM analysis results of turbine casing



第4図 タービンケースの低サイクル疲労寿命評価
Fig. 4 Low cycle fatigue life of turbine casing

サイクル疲労寿命が問題となるが、PNX-TES3 の場合には図に示すように 25 年以上も低サイクル疲労寿命が達成可能であることが確認できた。これは PNX-TES3 の高温疲労強度が高いことに加えて、低熱膨張、高熱伝導率という熱応力レベルを低下させる特性が大いに寄与しているためである。

3.3 DLE 燃焼器

RGT3R で特徴的な技術としては乾式低公害型 (DLE : Dry Low Emission) 燃焼器の搭載が挙げられる。RGT3R では、ランニングコストの観点から液体燃料 (灯油) を選定し、水噴射や触媒などの後処理なしで都市部の条例規制値をクリアできる燃焼器の開発を目標とした。

本燃焼器は独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency) から技術移転を受け、NPS が実用化開発したものである。本 DLE 燃焼器は特徴的な構造をもち、シンプルに構成された予蒸発予混合 2 段ステージング希薄燃焼方式で 50% の負荷から 100% の負荷まで NO_x 値 20 ppm (16% O_2) 以下を達成している。液体燃料焚きガスタービンとしては世界で最もクリーンな環境適合性を達成している。第 5 図にテスト中の RGT3R を示す。

第 6 図は DLE 燃焼器の初期試験の状況を示す。サーボバルブの代わりに手動ニードル弁がパイロット燃料系統に装着されている。パイロット燃料流量およびメイン燃料流量は、精密流量計でそれぞれ計測されるようになっている。

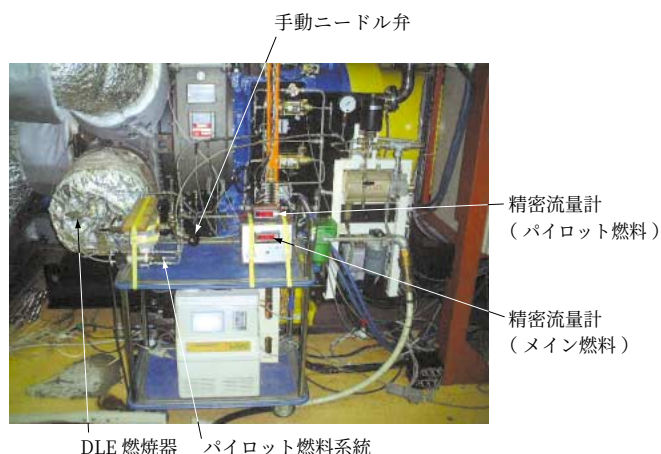
3.4 マン・マシンインタフェース

MGT に要求される重要な項目として取扱いの容易さが挙げられるため、この点についても重要な開発テーマとして取り組んだ。

客先の要求を満たすためには、容易な操作性、高い信頼性、高度な遠隔監視システムの実現が必要不可欠である。



第 5 図 テスト中の RGT3R
Fig. 5 RGT3R on test rig



第 6 図 DLE 燃焼器試験
Fig. 6 Tests on RGT3R with DLE combustor

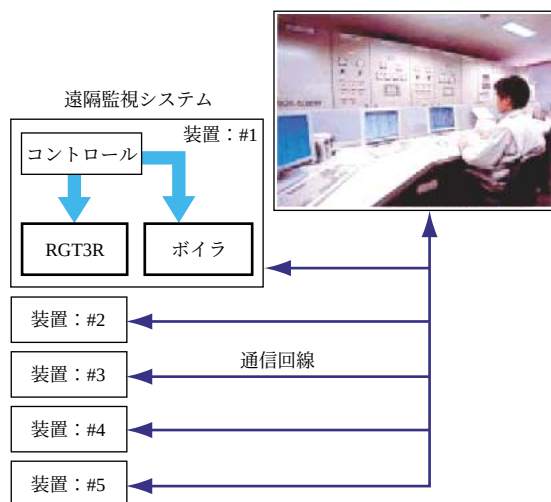
RGT3R 型 MGT はエンジン本体、再生器、発電機、各種制御盤がすべて防音エンクロージャ内に納められており、全デジタル式制御方式を採用することで容易な取扱いを実現している。第 7 図に発電装置外観を、第 8 図に LCD (Liquid Crystal Display) マン・マシンインタフェースパネルの表示例を、第 9 図に遠隔監視システムの概念を示す。



第 7 図 RGT3R 発電装置外観
Fig. 7 RGT3R generator unit



第 8 図 LCD マン・マシンインタフェースパネル表示
Fig. 8 LCD man-machine interface panel

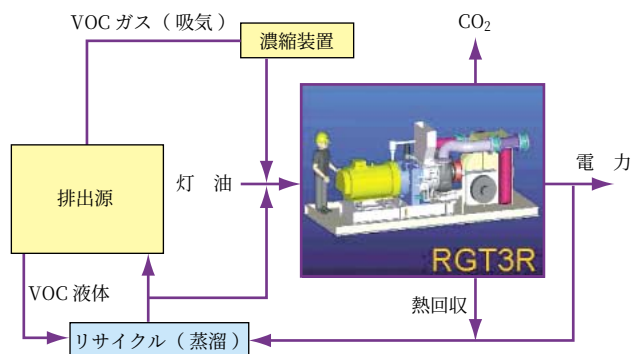


第 9 図 遠隔監視システム
Fig. 9 Schematic diagram of monitoring system

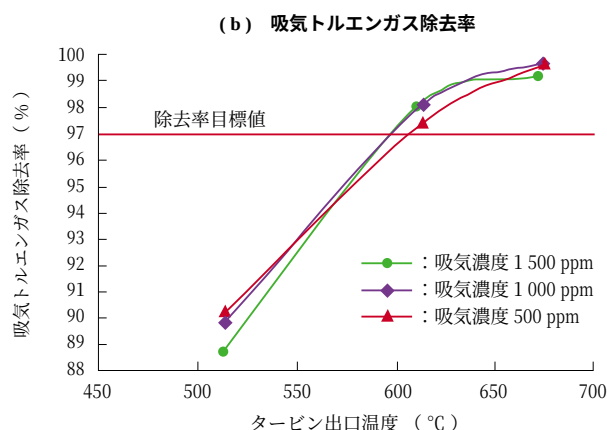
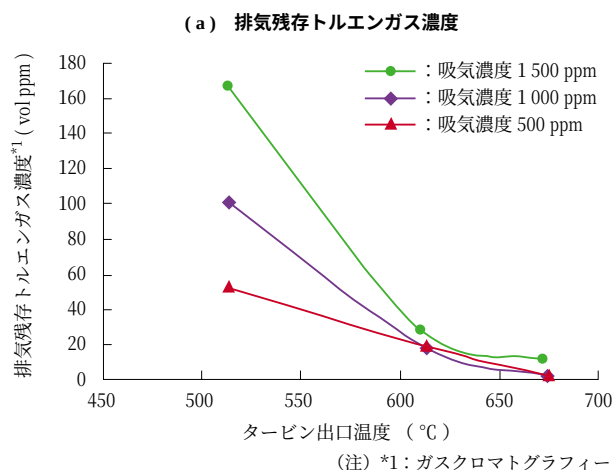
4. 適用市場

今後、需要の増大が見込まれる消化ガスなど、バイオマス起源の低カロリーガスにも対応可能なガス燃焼 DLE 燃焼器の開発も引き続き実施している。

さらに従来のコージェネレーション用途にとどまらず、ガスタービンの新たな用途開拓の一環として、高効率揮発性有機 (VOC) 廃棄物処理および臭気処理を目的としたシステムの開発も進めている。このシステムは工場などから排出される VOC を含んだ建屋排気をガスタービンの吸気に導き、ガスタービン内部で燃焼・無害化処理するとともに、VOC 廃液についても燃料としてガスタービンに投入し燃焼・無害化処理するものである。すなわち従来公害源であった VOC を、電力という質の高いエネルギーに変換が可能なシステムである。第 10 図に RGT3R VOC 処理システムフローを示す。また、第 11 図に代表的な VOC であるトルエンガスをガスタービン吸気中に噴霧したときの

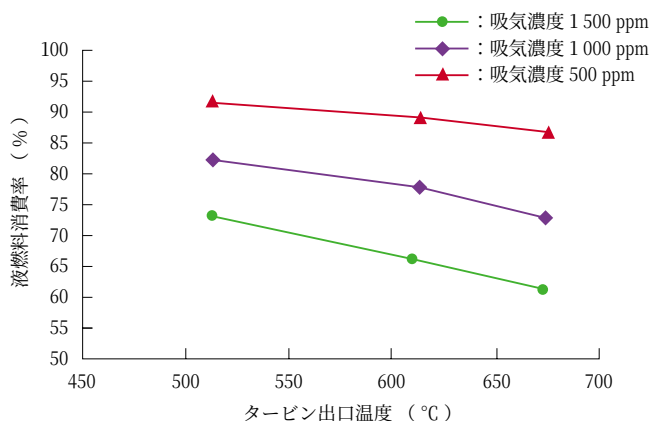


第 10 図 RGT3R VOC 処理システムフロー
Fig. 10 RGT3R VOC emission reduction system flow



第 11 図 排気残存トルエンガス濃度と吸気トルエンガス除去率
Fig. 11 Removal rate of suction toluene gas

トルエンガス除去率を、第 12 図に液燃料消費率の比較を示す。この試験結果から十分な除去率が得られることが確認された。例えば吸気中の VOC 濃度がトルエンガス換算で 1500 ppm の場合、吸気中の VOC が燃料として作用するため、液体側の燃料消費が VOC なしの場合と比較すると約 40%も削減することが可能である。この場合の液体側燃費に基づく「見なし熱効率」は 45%以上にも達成する。



第 12 図 液燃料消費率の比較
Fig. 12 Comparison of fuel consumption rate with suction toluene gas

したがって、既存の各種燃焼式 VOC 処理装置と比較して、ランニングコストが削減できるだけでなく、VOC 単位重量当たりの CO₂ 排出量を大幅に削減することが可能である。

このように、NPS では本システムを単なる発電装置ではなく、未利用エネルギーを積極的に活用する「高付加価値環境機器」と位置づけ、実際の VOC が排出される現場での試験を行った後、2004 年度後半には販売開始の予定である。

5. 結 言

開発した 300 kW クラス超低公害型再生サイクルマイクロガスタービン RGT3R の特長を、以下にまとめる。

- (1) 世界最高レベルの熱効率を達成
- (2) 液体燃料としては世界でも最もクリーンな環境適合性を実現

- (3) 実績のある技術の組合せに基づく高い信頼性の確保
- (4) 容易な操作性の実現
- (5) 未利用エネルギー分野への積極的なチャレンジ

このような世界最高レベルの熱効率、環境適合性を誇る RGT3R 型ガスタービンを搭載した常用発電装置を、同じく世界最高レベルの熱効率を誇るマイクロパイロット着火ガスエンジン AG シリーズとともに主力商品と位置づけ、低公害、環境低負荷次世代分散型発電装置のパイオニアとして 21 世紀の環境社会に貢献していく所存である。

— 謝 辞 —

本 MGT の開発に当たっては、多大なるご協力をいただいた独立行政法人宇宙航空研究開発機構および緊密なパートナーシップによってご貢献いただいたすべての関連メーカに対して、深く感謝の意を表します。