

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006～2010

課題番号：18206025

研究課題名(和文)

環境影響を考慮したマイクログリッド用バイオマスガスタービンの過渡特性向上技術

研究課題名(英文)

Environment-Friendly Technique for Improving Transient Response
of Biomass Gas Turbine for Micro-Grid Use

研究代表者

金子 成彦 (KANEKO SHIGEHICO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70143378

研究成果の概要(和文)：

太陽光、風力などの再生可能エネルギーを利用するためには、変動補償用電源が必要である。本研究では変動補償用にバイオマスガスを利用したマイクロガスタービンの利用を提案しており、燃焼器、軸受開発、制御システムを中心に研究を実施し、過渡特性向上技術に資する技術を構築することが出来た。

研究成果の概要(英文)：

In order to utilize renewable energy such as wind force and solar light, fluctuation compensation powers are necessary. In this research, making use of biomass gas turbine as a fluctuation compensation power is proposed. Studies were carried out focusing on combustor, bearing and control system and the transient characteristic improvement technology was established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2007年度	14,500,000	4,350,000	18,850,000
2008年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	0	0	0
総計	37,000,000	11,100,000	48,100,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御(5006)

キーワード: 小型分散エネルギーシステム, マイクロガスタービン, バイオマスガスタービン, 燃焼器, ロバスト制御, 過渡応答, フォイル軸受, 安定性

1. 研究開始当初の背景

太陽光や風力などの変動要因を含む電源をマイクログリッド内で使用するためには変動吸収用の原動機やバッテリーが必要である。この目的に使用するガスタービンには、起動運転特性に優れ、出力変動を瞬時に吸収するといった過渡応答性能に優れていること、バイオガス使用時の燃料組成変動および熱量変動に対しても排気がクリーンで高効

率での運転が維持できることが期待されている。

そこで本研究では、起動運転特性および過渡応答性能に優れ、かつ、バイオガス使用時の燃料組成および熱量変動に対しても高効率な運転が維持可能なバイオマスマイクロガスタービン(BMGT)の構成要素およびその制御手法の開発を行うために必要な基盤技術の研究を行う。

2. 研究の目的

小さな複数の発電設備と複数の需要設備をまとめてコントロールするようなシステムであるマイクログリッド内での使用を想定したガスエンジンやガスタービンには、起動運転特性の向上、出力変動を瞬時に吸収するといった過渡応答性能に優れていること、バイオガス使用時の燃料組成変動および熱量変動に対しても排気がクリーンで高効率での運転が維持できることが期待されている。そこで本研究では、起動運転特性および過渡応答性能に優れ、かつ、バイオガス使用時の燃料組成および熱量変動に対しても高効率な運転が維持可能な小型ガスタービンおよびその制御手法の開発を行うために必要な基盤技術の研究を行うこととした。

3. 研究の方法

本研究は、燃焼器、運転制御方式、フォイル軸受とシステム化の4つのサブテーマに分かれて実施された。以下に内容の概略を述べる（注：括弧内は作業内容を示す）。

平成18年度は、研究の初年度で研究内容を、システム全体（問題設定、基盤技術の確認）、燃焼器（燃焼反応計算、燃焼特性等、設計指針）、運転制御（熱量変動・負荷変動評価、起動制御・負荷制御アルゴリズム提案）、軸受（軸受設計基礎理論提案）に分けて実施し、研究インフラを整えた。

平成19年度は、燃焼器の改良、運転制御ソフトの改良、軸受動特性設計のための設計計算ツールを構築した。

平成20年度は、分光解析用燃焼器を用いた可視化実験を実施し、性能改善のための知見を得た。また、フォイル軸受の試作を行い、負荷容量や安定性についての実験を行い、評価指標との比較検証した。

平成21年度は、フォイル軸受設計計算ツールを完成させ、成果を学会発表した。

平成22年度は、ガスタービンの運転中に発生した燃焼振動を抑制するための対策を行い、問題点を解消した後、組成の違うバイオマスを運転したときの性能試験を実施し、結果を取り纏め、学会発表を行った。

4. 研究成果

(1) ロバスト制御によるバイオマスを燃料とするマイクロガスタービン発電システムの運転

制御対象は、コンプレッサとタービンからなるガスジェネレータと、パワータービンからなる二軸式再生サイクルであり、燃焼器には、バイオマスガス等の低カロリー燃料に対応するため、二段燃焼を用いている。二段燃焼は、一段目で安定な火炎を形成し、二段目の燃料は一段目の既燃焼ガス中に投入することで自着火させて燃焼させ

る方式のことである。定格点では、マイクロガスタービンの運転中はこちらの出力軸の回転を常に6000rpmに保つように制御される。圧力比は2.3、タービン入口温度は850°C、出力は5kWとなっている。本システムでは、一段目に都市ガス13Aで安定な種火を作り、二段目にバイオマスガスを投入する。

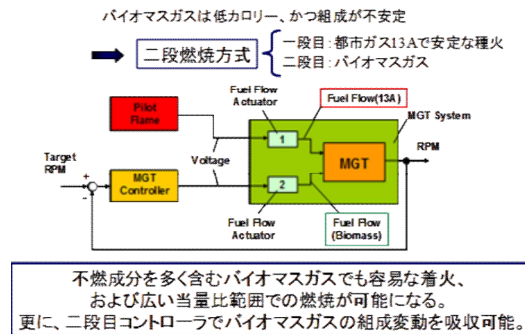


図1 バイオマスガス運転時のコンセプト

以下に、模擬バイオマスガスによる運転結果を示す。

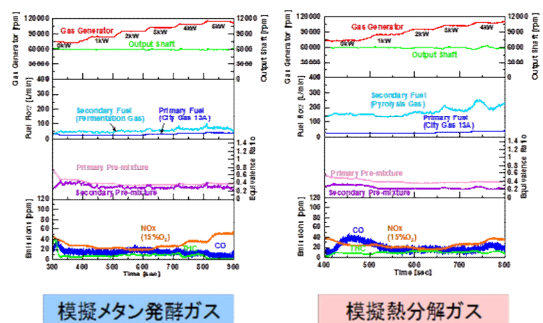


図2 模擬バイオマスガスによる運転結果

負荷が変化した場合でも、二段目の模擬バイオマスガス流量の制御に採用したH ∞ コントローラーによって、出力軸回転数ほぼ一定に保たれている。なお、コントローラーは、理論モデルに適用し効果を確認した後に実システムに実装している。

排気ガス特性については、NO $_x$ 排出はどちらも4kW時に約40ppmとなっており、ほぼ同様の排出量となっている。THC、COは全運転域において40ppm以下となっておりマイクロガスタービンの特徴である良好な排気特性が実現できている。

(2) その他の成果

① 燃焼器

二段燃焼の場合の燃焼器内部の可視化実験から、本システムで採用しているFlameless Combustionの当量比範囲には明

確なしきい値があり、そのしきい値は入口空気温度、旋回強度、投入空気流量などによって変化することを見いだした。そのしきい値を把握することで、適切な当量比範囲において運転可能な燃焼器の設計が必要であることが分かった。

②フォイル軸受

高温気体の下での使用可能性を秘めた動圧型気体フォイル軸受の性能評価のための計算手法を提案した。特に、気体フォイル軸受の静特性および動特性と温度特性についての計算手法を提案し、実験データとの比較・検証によって動圧型気体フォイル軸受の設計・性能予測ツールを構築することに成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

(1) Kai FENG and Shigehiko KANEKO, Prediction of Dynamic Coefficients of Bump-Type Foil Bearings with Bump Considered as Link-Spring Structure, Tribology Online, Vol.6(1), pp.10-18. (2011) 査読有り

(2) Kai FENG and Shigehiko KANEKO, Parametric Studies on Static Performance and Nonlinear Instability of Bump-Type Foil Bearings, Journal of System Design and Dynamics, JSME, Vol.4, No.6, pp.871-883 (2010) 査読有り

(3) 馮 凱, 金子成彦, バンプ型フォイル軸受の静特性と安定性に対するフォイル設計変数の影響, 日本機械学会論文集 C 編, 76 巻 765 号, pp.1249-1257, (2010) 査読有り

(4) Kai FENG and Shigehiko KANEKO, Analytical Model of Bump-Type Foil Bearing Using a Link-Spring Structure and a Finite Element Shell Model, ASME Journal of Tribology 132(2), 021706 (11 pages), (2010) 査読有り

(5) 岡田幸順、飯島一樹、山崎由大、金子成彦、二段燃焼を用いたマイクロガスタービン発電システムのバイオマスガスによる運転、日本機械学会論文集 (B 編) 75 巻 751 号, pp.488-489 (2009) 査読有り

(6) Kai FENG and Shigehiko KANEKO, Thermohydrodynamic Study of Multi Wound Foil Bearing Using Lobatto Point Quadrature, ASME Journal of Tribology, 131(2), 021702-1~021702-9, (2009) 査読有り

(7) 金子成彦、マイクロガスタービンの研究開発と軸受技術、月刊トライボロジー、236、

1-3 (2007) 査読有り

(8) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, A Numerical Calculation Model of Multi Wound Foil Bearing with the Effect of Foil Local Deformation, JSME, Journal of System Design and Dynamics, Vol.1, No.3, pp.648-659, No. 07-0181, (2007) 査読有り

(9) Sadamasa Adachi, Atsushi Iwamoto, Shigeru Hayashi, Hideshi Yamada and Shigehiko Kaneko, Emissions in Combustion of Lean Mixtures of Methane and Biomass Supported by Primary Hot Burned Gas in a Multi-stage Gas Turbine Combustor, Proceeding of Combustion Institute, Vol.31, No.2, pp.3131-3138 (2006) 査読有り

[学会発表] (計 27 件)

(1) 中島良文, 山崎由大, 林茂、金子成彦、Flameless 燃焼を採用した低カロリーガス対応小型燃焼器の開発—化学反応を考慮した熱流体解析による検討—, 第 34 回ガスタービン定期講演会、2006 年 10 月 25 日、弘前文化センター

(2) Development of Micro Gas Turbine Generator system for Low Calorific Value Gas from Biomass, Shigehiko Kaneko, Yoshifumi Nakashima, Tomohiko Kaneko, Yudai Yamasaki and Tatsuo Watanabe, Renewable Energy 2006、2006 年 10 月 9 日、幕張メッセ

(3) George Matsumoto, Tomohiko Kaneko and Shigehiko Kaneko, Transient Response Control for the Micro Gas Turbine System, 8th International Conference on Motion and Vibration Control, 2006 年 8 月 27 日、KAIST (韓国)

(4) 岡田幸順, 金子智彦, 山崎由大, 金子成彦, “バイオマス対応マイクロガスタービンシステムの運転制御に関する研究”, 第 12 回動力エネルギー技術シンポジウム、2007 年 6 月 14 日、東京海洋大

(5) Masato Hiramatsu, Yoshifumi Nakashima, Sadamasa Adachi, Yudai Yamasaki and Shigehiko Kaneko, Combustion Characteristics of Small Size Gas Turbine Combustor Fueled by Biomass Gas Employing Flameless Combustion, ASME Gas Turbine Congress, GT2007-27636, 2007 年 5 月 14 日、Montreal (カナダ)

(6) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, “Static Performance of Multi Wound Foil Bearing with The Effect of Foil Deformation”, 12th Asia Pacific Vibration Conference, 2007 年 8 月 6 日、北海道大学

(7) Yukinori Okada, Tomohiko Kaneko, Yudai Yamasaki, Shigehiko Kaneko, ” H ∞ Control

of Micro Gas Turbine for Low Calorific Gas”, International Gas Turbine Congress 2007 Tokyo, 2007年12月3日、京王プラザホテル

(8) Masato Hiramatsu, Yoshifumi Nakashima, Shigeru Hayashi and Shigehiko Kaneko, “Design of Small Size Gas Turbine Combustor Fuelled by Low-Calorific Gas Based on Analysis of Flameless Combustion”, International Gas Turbine Congress 2007 Tokyo, 2007年12月3日、京王プラザホテル

(9) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, The Numerical Calculation of Static Performance of Multi Wound Foil Bearing and Experimental Validation, STLE/ASME International Joint Tribology Conference 2007, 2007年10月22日、サンディエゴ (アメリカ)

(10) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, The Prediction of Dynamic Performance of Multi Wound Foil Bearings, APCOM’07 in conjunction with EPMESC XI, 2007年12月3日、国立京都国際会館

(11) 馮凱, 金子成彦, バンプ型フォイル軸受性能の解析方法: リンク・スプリング計算モデル, 日本機械学会 2008年度年次大会, 2008年8月3日、横浜国立大学

(12) 平松昌人, 林茂, 金子成彦, 山崎由大, 低カロリーガス対応小型マイクロガスタービン燃焼器内でのフレイムレス燃焼の可視化, 日本機械学会 2008年度年次大会, 2008年8月3日、横浜国立大学

(13) 飯島一樹, 岡田幸順, 金子成彦, 山崎由大, “二段燃焼を用いたマイクロガスタービン発電システムのバイオマスガスによる運転” 第13回動力エネルギー技術シンポジウム, 2008年6月19日、北海道大学

(14) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, A Study of Thermohydrodynamic Features of Multi Wound Foil Bearing Using Lobatto Point Quadrature, ASME Turbo Expo 2008, GT2008-50110, 2008年6月10日、Berlin (ドイツ)

(15) Kai FENG and Shigehiko KANEKO, Prediction of Static Performance of Bump-type Foil Bearings and Validation, CIST2008 & ITS-IFTtoMM2008, 2008年9月24日、Beijing (中国)

(16) 馮凱, 金子成彦, バンプ型フォイル軸受の静特性と安定性に対するフォイル設計変数の影響, 日本機械学会 D&D2009 講演会, 2009年8月3日、北海道大学

(17) 金子成彦, 飯島一樹, 渡邊辰郎, 山崎由大, “動特性モデルに基づく2軸マイクロガスタービン発電システムの回転数制御” 日本機械学会年次大会, 2009年9月14日、

岩手大学

(18) 金子成彦, 低カロリーガス対応マイクロガスタービンの開発, 第37回ガスタービン定期講演会, 2009年10月21日、山口県教育会館

(19) Kai Feng and Shigehiko Kaneko, Link-Spring Model of Bump-Type foil bearings, ASME Turbo Expo 2009, 2009年6月3日、Orlando (アメリカ)

(20) Kai Feng, Shigehiko Kaneko, Prediction of Dynamic Coefficients of Bump-Type Foil Bearing with Bump Considered as Link-Spring Structure, World Tribology Congress, 2009年9月6日、国立京都国際会館

(21) Yudai Yamasaki, Yukinori Okada, Kazuki Iijima and Shigehiko Kaneko, Operation of Micro Gas Turbine System Employing Two Stage Combustion by Using Biomass Gas, ASME Turbo Expo 2009, 2009年6月3日、Orlando (アメリカ)

(22) Kai Feng, Shigehiko Kaneko, Parametric studies on static performance and nonlinear stability of bump-type foil bearing, 13th Asia Pacific Vibration Conference, 2009年11月22日、クライストチャーチ (ニュージーランド)

(23) K. Feng and S. Kaneko, 2009, Calculation model of bump-type foil bearing with shell and link-spring structure, Proceedings of Asian congress on gas turbines 2009, 2009年8月25日、東大生研

(24) M. Tanaka, S. Hayashi, M. Hiramatsu, S. Kaneko and Y. Yamasaki, Combustion characteristics of flameless combustion in a small size gasturbine combustor fuelled by low calorific gas, Proceedings of Asian congress on gas turbines 2009, 2009年8月25日、東大生研

(25) Shigehiko Kaneko and Yudai Yamasaki, Control of Micro Gas Turbine Generator Fueled by Biomass Gas, 10th MOVIC, 2010年8月20日、東大生研

(26) Shigehiko Kaneko, Yudai Yamasaki and Tatsuo Watanabe, Development of Micro Gas Turbine Generator Fueled by Biomass Gas, Renewable Energy 2010, 2010年6月27日、パシフィコ横浜

(27) 山崎大輔, 金子成彦, 山崎由大, バイオガス対応マイクロガスタービン用燃焼器における燃焼振動, 日本機械学会機械力学・計測制御部門, D&D2010 講演会, 2010年9月13日、同志社大学京田辺キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

受賞

(1) 日本ナショナルインスツルメンツアプリケーションコンテスト 2006 学生部門最優秀賞 (2006 年 11 月 9 日受賞)

「バイオマスガス燃料対応エンジンの計測制御システム」

(2) 日本機械学会教育賞

(2008 年 4 月 17 日受賞)

「小型バイオマスエネルギー変換システムを題材とした P B L 方式による計測制御教育」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子成彦 (KANEKO SHIGEHICO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：70143378

(2) 研究分担者

山崎由大 (YAMASAKI YUDAI)

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号：60376514

(3) 研究分担者

渡邊辰郎 (WATANABE TATSUO)

東京大学・大学院工学系研究科・学術支援
専門職員

研究者番号：70011179

(4) 研究分担者

林 茂 (HAYASHI SHIGERU)

(独) 宇宙航空研究開発機構・航空プログラム
グループ・チーム長

研究者番号：10358492