

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360103

研究課題名(和文)スマートエネルギーシステム実現のための高度熱電供給システム制御技術

研究課題名(英文)Control technologies of co-generation for smart energy network systems

研究代表者

金子 成彦 (KANEKO, SHIGEHICO)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70143378

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は以下の3部により構成されている。ガスエンジンによる供給側変動補償技術の進化と確立、マイクロガスタービンによる供給側変動補償技術の進化と確立、スマートエネルギーシステムダイナミクスシミュレーション技術の構築。についてはリアルタイムセンシング技術により瞬時の燃料の特性を推測し、最適な燃焼状態を保持できることを実現できた。については遅れ時間を定量的に計算し、熱発生位置を安定判別に組み込んだ理論を提案し実験で検証した。については自然エネルギーの変動補償にガスエンジンと蓄電池を組み合わせた場合、効率とコストの2つを評価関数として最適な組み合わせを見つける手法を提案することができた。

研究成果の概要(英文)：This project is composed by the following three parts;(1)Development of supply side energy compensation by Gas Engine(GE), (2)Development of supply side energy compensation by Micro Gas Turbine (MGT), (3)Development of simulation method for smart energy system dynamics. As for (1), maintaining optimal combustion was realized by estimating instantaneous fuel property with real time sensing technology. As for (2), the theory for estimating the condition of combustion oscillation taking account of time lag by chemical reaction was proposed and validation was done through experiments. As for (3), making use of the combination of battery and gas engine for the compensation of renewable energy such as solar and wind power which is unsteady in nature was proposed, and then, the method for searching best combination of battery and gas engine in capacity was done by applying generic algorithm taking efficiency and cost as cost function.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御

キーワード：動的設計 エネルギーシステム 分散型エネルギー マイクログリッド スマートエネルギー 過渡特性 ガスエンジン ガスタービン

1. 研究開始当初の背景

再生可能な自然エネルギーと呼ばれる太陽光や風力などは、本質的に変動を伴う再生可能エネルギーである。そのため、太陽光や風力由来の分散型電源には変動を補償するための要素が必要である。この目的のために操作が簡便な蓄電池を用いると大量の蓄電池が必要となり高コストなものとなる。また、蓄電池は充放電を繰り返している内に性能劣化が発生するという欠点も有している。したがって、このような欠点を解消できる再生可能エネルギーの変動補償に適したシステムの提案が求められている。

本研究では、ガスエンジン(GE)やマイクロガスタービン(MGT)を用いたマイクロコジェネレーションシステム(熱電併給システム)と蓄電池を組み合わせた変動補償用スマートエネルギーシステムの動的設計法に注目して研究を行った。

2. 研究の目的

本研究は、動的設計法、特に過渡特性の性能に注目して、GEの制御、GTの制御時に問題を引き起こす燃焼器内部で発生する燃焼振動、スマートエネルギーシステムダイナミクスシミュレーションの3つに注目して研究を行っている。具体的には、以下の3つのパートより構成されている。

- ① **GEによる供給側変動補償技術の進化と確立:** 従来から筒内の燃焼状態の計測用に使ってきた圧力センサーに替わり、燃料の変動をより簡便に捕らえるためにクランク軸に取り付けた高応答のトルクセンサーから燃焼圧力を取得する手法について検討する。トルク信号にはノイズや制御に必要なではない情報も重畳されているので、信号処理によって、制御に必要な信号のみを取り出す工夫が研究の中心となる。また素反応過程を考慮した数値計算により、燃料組成の違いがエンジン内燃焼に及ぼす影響の調査も行う。
- ② **MGTによる供給側変動補償技術の進化と確立:** MGTは高負荷運転の際に燃焼器に振動燃焼が発生し、運転が不能となることがある。MGTの運転の際に問題となる高負荷運転時の燃焼振動の解明が必要である。
- ③ **スマートエネルギーシステムダイナミクスシミュレーション技術の構築:** マイクログリッドに風車、太陽光発電等の変動要素と負荷を繋げた場合の変動補償計算が可能なソフトウェアを構築する。具体的には、太陽光発電(PV)、ガスエンジン(GE)、マイクロガスタービン(MGT)、蓄電池(BT)等の発電装置および送配電システムの動特性を伝達関数の形で表現し、過渡特性を計算できるシミュレータの開発までを行う。

3. 研究の方法

①については、既存のエンジンを転用し、点

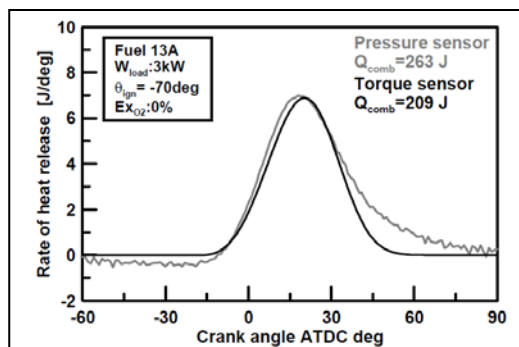


図1 リアルタイムセンシング手法の違いによる熱発生率履歴の比較

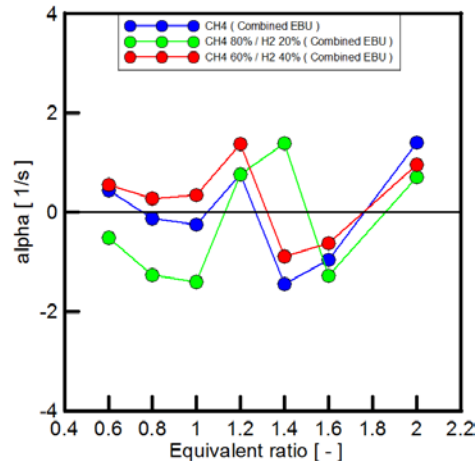


図2 燃焼振動の発生領域

(縦軸の α は振動の成長率を表す。正の時に燃焼振動が発生する。実験結果とほぼ一致する傾向が得られた)

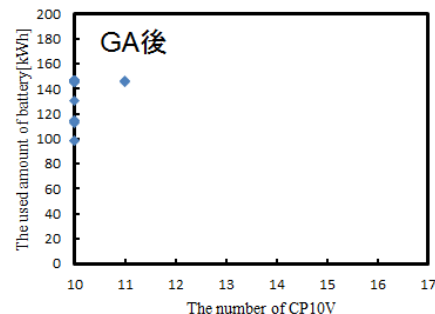
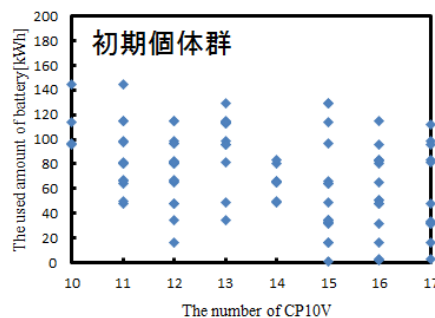


図3 GAによる最適なエンジンバッテリーの導入台数の導出

(上: 変動抑制の条件は満たすバッテリーとエンジンの組み合わせ群, このデータ群にコストと効率を評価関数としてGAを適用したら, 下図のように最適解の候補が得られた)

火時期、空燃比制御が可能となるよう改造した。また、②のマイクロガスタービン燃焼器の燃焼振動に関しては、パイレックスガラスで模擬燃焼器を試作し、可視化と圧力、温度測定を併用して実験を行った。また、CHMKINというソフトを使用して着火遅れ時間を計算した。③の最適化には、MATLABというソフトを使用した。

4. 研究成果

①については、研究の結果、リアルタイムセンシング技術により瞬時の燃料の特性を推測し、最適な燃焼状態を保持できるように空気流量、燃料流量、点火時期を適切に制御するアルゴリズムを構築することができた。また、スマートエネルギーネットワーク内での変動補償装置として、要求される負荷変動に十分な応答性を持って追従可能な制御アルゴリズムに進化させることができた。(図1参照)

②については、燃料と空気の予混合気が燃焼するまでの遅れ時間が最も重要なパラメータであることは過去の研究において知られていたが、今回、これを、化学反応によるものと対流によるものに分けて定量的に計算することに成功し、熱発生位置を安定判別に組み込んだ理論を提案し実験によって検証することができた。(図2参照)

③については、太陽光や風量などの自然エネルギーの変動補償にガスエンジンと蓄電池を組み合わせた場合の最適運転方法や組み合わせ手法について遺伝的アルゴリズムを用いた手法を適用し、効率とコストの2つを評価関数として最適な組み合わせを見つける手法を提案することができた。(図3参照)

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 山崎由大, 篠田治人, 金子成彦, “バイオマスガスを利用する HCCI エンジン (予混合気の不均質性の影響)”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 93, No. 2, pp. 135-141, (2014)
- ② 山崎由大, 新井太一, 金子成彦, “バイオマス由来ガス燃料を利用する HCCI エンジンの自動運転制御”, 日本機械学会論文集 C 編(Web), Vol. 79, No. 807, pp. 4263-4274, (2013)
- ③ 見並克俊, 山崎由大, 金子成彦, “自然エネルギーの変動抑制に利用するガスエンジンの排気特性とコスト評価”,

日本機械学会論文集 B 編(Web), Vol. 79, No. 808, pp. 2836-2845, (2013)

- ④ 山崎由大, 小林大悟, 野口雄平, 牛島宏太, 金子成彦, “ガスエンジンを利用した自然エネルギー電源の出力変動補償”, 日本機械学会論文集 B 編(Web), Vol. 79, No. 806, pp. 2138-2148, (2013)
 - ⑤ 山崎由大, 野口雄平, 藤原直人, 金子成彦, “バイオマス熱分解ガスを用いるディーゼルエンジンに関する研究”, 日本エネルギー学会誌, Vol. 92, No. 10, pp. 957-963, (2013)
 - ⑥ 山崎由大, 津田健嗣, 金子成彦, “バイオマス由来ガス燃料を用いるエンジンの制御 (素反応数値計算とクランク軸瞬時トルクの適用)”, 日本機械学会論文集 C 編(Web), Vol. 79, No. 801, pp. 1453-1460, (2013)
 - ⑦ Yudai Yamasaki, Masanobu Kanno, Yoshitaka Suzuki and Shigehiko Kaneko, “Development of an engine control system using city gas and biogas fuel mixture”, Applied Energy, Vol. 101, issue C, pp. 465-474, (2013)
 - ⑧ 山崎由大, 篠田治人, 金子成彦, “HCCI エンジンによる木質系バイオマスガスと都市ガスの混焼利用 (燃料組成の影響)”, 日本機械学会論文集 B 編(Web) Vol. 78, No. 787, pp. 410-414, (2012)
 - ⑨ Yudai Yamasaki, Yukihiro Nishizawa and Shigehiko Kaneko, “Development of flexible gas fuel engine system”, Journal of System Design and Dynamics, Vol. 5, No. 1, pp. 125-138, (2011)
- [学会発表] (計 13 件)
- ① 町田陸, 山崎由大, 金子成彦, 遺伝的アルゴリズムによる自然エネルギー平

- 準化システム内の分散電源の最適化, 日本機械学会年次大会, 2013年9月11日, 岡山大学 (岡山県)
- ② 清水文也, 山崎由大, 金子成彦, 変動抑制に利用するガスエンジンの当量比可変制御, 日本機械学会年次大会, 2013年9月11日, 岡山大学 (岡山県)
- ③ 荒川大輝, 山崎由大, 金子成彦, 変動抑制に利用するガスエンジンの回転数可変制御, 日本機械学会年次大会, 2013年9月11日, 岡山大学 (岡山県)
- ④ 山崎由大, 津田健嗣, 金子成彦, “クランク軸瞬時トルクを用いたバイオマスガスエンジン制御”, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会D&D2012, 2012年9月18日, 慶応義塾大学日吉キャンパス (神奈川県)
- ⑤ 見並克俊, 牛島宏太, 山崎由大, 金子成彦, 進士誉夫, 緒方隆雄, “自然エネルギーの変動抑制に用いるガスエンジンのコスト評価と運転手法”, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 2012年9月12日, 北海道大学 (北海道)
- ⑥ 牛島宏太, 見並克俊, 野口雄平, 山崎由大, 金子成彦, “自然エネルギーの変動抑制に適したガスエンジン運転手法”, 日本機械学会年次大会, 2012年9月9日, 金沢大学 (石川県)
- ⑦ 藤原慎之輔, 山崎由大, 金子成彦, “予混合気の不均質性が HCCI エンジンの振動騒音へ及ぼす影響”, 日本機械学会年次大会, 2012年9月9日, 金沢大学 (石川県)
- ⑧ 藤原直人, 野口雄平, 山崎由大, 金子成彦, “バイオマス利用 Dual Fuel エンジンの着火燃焼特性”, 日本機械学会年次大会, 2012年9月9日, 金沢大学 (石川県)
- ⑨ Shigehiko Kaneko, Daisuke Yamazaki, Hosung Hwang, Tatsuo Watanabe and Yudai Yamasaki, “Modeling of Combustion Oscillation Experienced in Micro Gas Turbine Combustor Fueled by Biomass Gas”, 10th International Conference on Flow-Induced Vibration (& Flow-Induced Noise), 2012年7月2日, アイルランド・ダブリン
- ⑩ 見並克俊, 山崎由大, 金子成彦, “自然エネルギーの変動抑制に利用するガスエンジンの排気特性とコスト評価”, 日本機械学会第17回動力・エネルギー技術シンポジウム, 2012年6月21日, 九州大学 (福岡県)
- ⑪ 小林大悟, 野口雄平, 山崎由大, 金子成彦, 牛島宏太, “自然エネルギー電源の変動抑制におけるガスエンジンの利用”, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会D&D2011, 2011年9月7日, 高知工科大学 (高知県)
- ⑫ 野口雄平, 小林大悟, 山崎由大, 金子成彦, “ガスエンジンダイナミクスモデルによる太陽光発電の出力変動抑制予測”, 日本機械学会第16回動力・エネルギー技術シンポジウム, 2011年6月23日, 関西大学 (大阪府)
- ⑬ Hwang Hosong, Daisuke Yamasaki, Ryohei Kitamura, Shigehiko Kaneko and Yudai Yamasaki, “Combustion Oscillation of Micro Gas Turbine Operated by Biomass Gas”, The Second Korea-Japan Dynamics Symposium, 2011年5月25日, 韓国・釜山

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ：
<http://knock.t.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 成彦 (Shigehiko Kaneko)
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 (Yudai Yamasaki)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：60376514