

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名「超小型ガスタービン・高度分散エネルギーシステム」

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者 鈴木 健二郎（芝浦工業大学エネルギーフロー研究センター センター長）

3. 研究内容及び成果：

数十kWから数千kW容量の小規模発電設備を居住区やオフィス街、工場地区に分散配置する分散電源には多数の利点がある。本研究では、発電効率の観点から分散電源ユニットとして最も有望視される固体酸化物形燃料電池(SOFC)とマイクロガスタービン(MGT)を複合化した SOFC - MGT ハイブリッドシステムに着目し、その分散電源ユニットとしてのフィジビリティを明らかにすること、また将来において必要とされる 設計指針用のデータベースを構築すること、を目的とした基礎研究を行った。

まず研究対象(ターゲット)とすべきSOFC - MGTハイブリッドシステムの発電容量を、まだ現在技術では達成できていない超小型化を目指す視点から30kWと定め、その概念設計を行った。ついで、このシステムのフィジビリティを明確にする目的から、発電効率および総合エネルギー利用効率の検討を行うとともに、このシステムを構成する各要素(SOFC、マイクロ燃焼器、ガスタービン、再生熱交換器)と、総合エネルギー利用効率を高める観点からボトムアップに接続する吸収式冷凍機に関して、要素研究を行った。この目的を達成するため、研究チーム内に当初7グループを構成し、2年次以降にSOFC研究グループと吸収式冷凍機研究グループを加えて研究陣を強化し、最終的に9グループによって研究を推進した。この概要では9グループの研究を6つにまとめた。

(1)システムの効率解析とフィジビリティの検討

研究プロジェクトにおいては、ハイブリッドシステムのサイクル解析コードを開発し、発電効率の予測、エクセルギー損失に基づく性能評価、設計条件とシステム性能との関係ならびに概念設計、部分負荷効率の評価などの課題に取り組んだ。低温化 SOFC を用いたハイブリッドシステムの特性解析を進めた。より現実的な性能予測に向けた SOFC マルチステージモデルの検討を進め、それに基づく性能解析を行っている。ハイブリッドシステムの動特性解析に関する研究の一環として円筒型セルの非定常特性実験に着手している。

(2)SOFC の低温化に向けての検討と熱管理ツールの開発

通常、SOFC は高効率燃料電池発電の観点からは 900 ～ 1000 の高温動作が大きな目標であるが、小規模な使用目的や補助電源などの新たな使用分野への SOFC は起動停止を容易にし、安価で加工など取り扱いが容易な耐熱金属が使用可能な温度である 700 ～ 800 程度の低温動作動化が期待されている。本研究ではマイクロガスタービンとのハイブリッドを最終的な目標に掲げ、それに必要な燃料電池部材の検討と、燃料電池単セル及びスタックの最適設計、熱管理ツールの開発を行った。さらに低温動作に適した電極材料の検討や、新規電解質を使用した効率のシミュレーションなども行った。

(3)超希薄マイクロ高安定性燃焼器の研究

固体酸化物型燃料電池 (SOFC) - マイクロガスタービン (MGT) ハイブリッドシステムを家庭に設置することを想定すると、その MGT 燃焼器においては、安全性や住環境の面から、確実に保たれる安定な燃焼を実現すること、NO_x ならびに未燃成分の排出抑止を実現することが重要な課題であるとともに、タービンなどの重要部材の熱損傷に繋がるような燃焼も避けねばならない。さらに、エネルギー・環境問題の重要性に鑑みて、一層の熱効率の向上を計ることも必要である。マイクロガスタービン燃焼に関わる部分については、マルチ噴流超小型燃焼器、マイクロ電磁アクチュエータによる混合促進、触媒燃焼、マイクロフレームホルダー、低 NO_x 燃焼、タービン翼内における全温一定膨張燃焼など種々の角度から研究が行われた。

(4)超小型ガスタービンの研究

本研究プロジェクトで対象とするマイクロガスタービンは、出力が5kW級である。
・マイクロガスタービン全体のイメージを具体化するための概念設計・乱流モデル開発の第一段階として予測精度検証用基礎データを準備する DNS、小型化に伴う種々の影響を考慮した新しい乱流モデルの提案と精度検討、開発した乱流モデルによる実際のマイクロガスタービン内流れの計算・レイノルズ数低下による層流剥離の実験的解明・層流剥離防止のための制御技術に関する基礎研究・セラミックス製ブレード上への異物衝突による損傷試験・超微細多孔体からの水蒸発を用いたハイブリッド軸受 等について研究した。

(5) 高性能小型再生熱交換器の研究

熱再生をすることは、ハイブリッドシステムの高い効率を実現するために重要である。

本プロジェクトでは、プレートフィン型熱交換器(スプリングフィン利用熱交換器、孔空きフィン型熱交換器)、プライマリサーフェス型熱交換器(渦構造を用いた超コンパクト熱交換器、ディンプル/プロトルージョンの利用)などハイブリッドシステム用再生熱交換器の高性能化の検討を行ってきた。

(6) 排熱回収と吸収式冷凍機の研究

吸収冷凍機が近未来においても有望な廃熱利用機器であると考えられる。

本研究では、ハイブリッド分散型エネルギーシステムの廃熱利用機器として、多重効用化吸収冷凍機を取り上げ、その有効性について検討した。実用化のための最も重要なポイントとして、製造コストの低減のため機器の小型化・軽量化のための研究を行った。解析対象システムとしては中間廃熱利用システムすなわち廃熱回収用ボイラーを、燃料電池とマイクロガスタービンの中間位置に置くシステムについて詳細に検討した。

4. 事後評価結果

4 - 1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

京都議定書が発効し、二酸化炭素排出削減は至上の命題である。高効率の小型発電システムを中心にコージェネレーションを組むことがエネルギー利用効率の飛躍的な増大を図る一つの方法であるが、この研究では固体酸化物型燃料電池(MCFC)とマイクロガスタービン(MGT)のハイブリッドシステムを取り上げ、その超小型化(～30kW)のフィージビリティ、およびシステムを構成する要素機器(SOFC、マイクロ燃焼器、ガスタービン、再生熱交換器、吸収式冷凍機)の設計指針用データベースの構築を目指した。特にYSZを電解質としたSOFC作動温度の低温化の可能性を探り、空気極に用いるペロブスカイト組成の最適化により実現の道を開いた成果はユニークである。小型燃焼器については、マルチ噴流、触媒燃焼、タービン内膨張燃焼などが検討された。タービンについては出力5.8kW、入口温度1,000℃、径57mm、160,000rpm、圧力比2.8、軸受に超微細多孔体からの水蒸気蒸発を提案している。再生熱交換器についても、これまでにない発想の基礎形態を複数提案し、特許の提案を行っている。更に、SOFCの下流に於ける高レベルの中間排熱をボイラーで回収し多重効用吸収冷凍機の駆動に用いることでエネルギー利用効率を飛躍的に高める新方式を提案し、エクセルギー解析によりその有効性を裏付けている。

本研究チームは、京大、阪大、東大、大阪府立大、神戸大、名工大、芝浦工大、同志社大、産総研の、熱工学研究者の総力を挙げて行われたもので、研究期間中に研究報告会6回、公開シンポジウム2回、論文発表45編、口頭発表149件、特許出願2件、新聞報道3件、日本機械学会動力エネルギー部門優秀講演表彰1件、解説記事18編、招待講演26件が行われた。

4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

日本におけるマイクロガスタービン及び固体酸化物型燃料電池領域における中核的な研究者の、総力を挙げた研究といってよい。当初3年間ほどは雑然とした感を免れなかったが、次第に焦点が絞られ、ほぼ妥当な成果を挙げ得たのは、ひとえに研究代表者・鈴木健二郎教授のリーダーシップによるものと評価する。

低温作動型(タービン入口温度800℃、セリア系電解質SOFC(内部温度:620～740℃))を用いた場合の発電効率(LHV規準)が75.5%と、ジルコニア電解質を用いた高温作動型ハイブリッドシステ

ムに比肩する発電効率を得られることを示したことは評価できる。

固体酸化物型燃料電池(MCFC)とマイクロガスタービン(MGT)のハイブリッドシステムについて、その超小型化(～30kW)のフィージビリティ、およびシステムを構成する要素機器(SOFC、マイクロ燃焼器、ガスタービン、再生熱交換器、吸収式冷凍機)の設計指針用データベースの構築という戦略目標は概ね達成されたと言ってよい。

4 - 3 . その他の特記事項(受賞歴など)

日本機械学会動力エネルギー部門賞:優秀講演表彰:受賞者:産業技術総合研究所研究員
受賞日:2004年10月22日(金)

論文名:Effects of Free-Stream Turbulence Intensity on Unsteady Midspan Flow in a Turbine Rotor at Low Reynolds Number, International Conference on Power Engineering (ICOPE-3), Nov. 2003.