

「資源循環・エネルギーミニマム型システム技術」
平成11年度採択研究代表者

鈴木 健二郎

(京都大学大学院工学研究科 教授)

「超小型ガスタービン・高度分散エネルギーシステム」

1. 研究実施の概要

21世紀の我が国の社会は個性化すると考えられる。それゆえ、それを支えるエネルギーシステムが必要となる。高度分散エネルギーシステムは、エネルギー使用量の空間的・時間的変化を受容できる点で、個性化社会に適する。また、このシステムは自然災害時のライフライン確保を容易にし、インフラ整備に困難度が大きい離島や、国外の過疎地、開発途上国での受容が見込まれる。このシステムを高効率化し、広く導入できれば、家庭にインフラを含むコスト感を与えることができ、現在難しいとされる民生用エネルギーコントロールの困難度を軽減できる。また、大容量発電システムをベースロード供給に特化でき、資源的な無駄も排し得る。本研究は、超小型ガスタービンと固体電解質燃料電池のハイブリッドシステムを、高度分散エネルギーシステムとして実現するための、フィージビリティの検討や、システムの最適化指針の確立、システム設計に必要なモノグラフやデータベース構築のための基礎研究の推進、を行うものである。

2. 研究実施内容

本研究が対象とする天然ガスベースの3段ハイブリッド・コンバインドシステムを図1に示す。このシステムでは、トッピングとして高温型固体電解質燃料電池

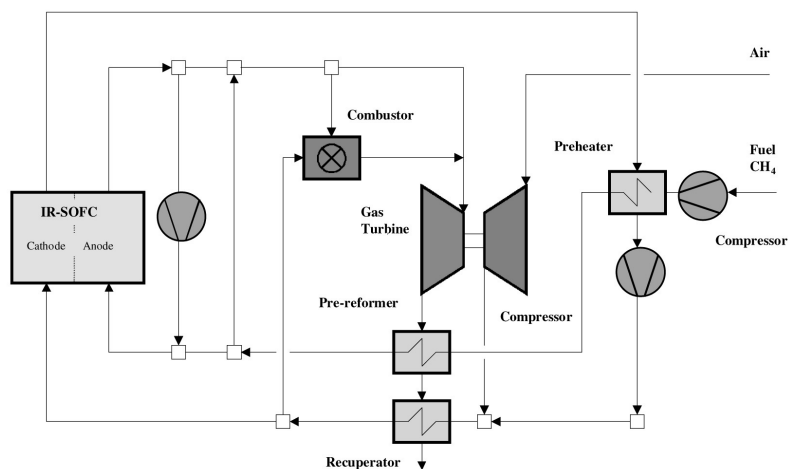


図1 ハイブリッド・コンバインドシステム

(SOFC)を加圧運動し、これと中段に配する超小型ガスタービン(MGT)をハイブリッド的に結合し、さらにボトミングに徹底的な熱回収を行なうためのヒートポンプあるいは吸収式冷凍機などの熱機器を用いるものである。このシステムは、SOFCとMGTそれぞれの長所を活かし、それをハイブリッド運転して、さらなる利点を加え得るので、高度の分散エネルギーシステムとして展開できるものと期待される。

すなわちSOFCは、酸素イオン伝導性を持つ電解質を用いるので、水素以外の燃料も利用でき、1000 程度の高温で作動するので白金触媒が不要なため、コスト要因が少なく、また燃料の内部改質を燃料電池の冷却手段として利用することが可能であり、発電効率も高く、高温排出ガスの熱利用に大きな優位性がある。本提案のシステムでは、SOFCからの排出ガスに燃料を添加して追い焚きし、それをMGTの運転に利用する。このことによって、燃料電池単独の運動であれば必要となる排出ガス未燃分の燃焼器やCO濃度の低減装置が不要であり、無駄が少ない。また、ガスタービンの特徴である起動時の早い立ち上がり、負荷変動への良好な追従性が活用でき、高い制御性と信頼性が確保できる。さらに、SOFCとMGTの出力配分制御によって、それぞれの単独運転や、その中間様式の運転による多様なオプション運転が可能であり、燃料電池の立ち上げにも有利である。さらに、ガスタービンは各種ボトミング装置との適合性が良好であり、この利点を活かしてMGTにおける熱再生の上に、熱回収を行えば総合的熱利用率の向上が図れる。

初年度に行った各種の調査結果によると、SOFCには実証テスト20,000時間(2年強)の実績があり、またメタンを燃料とする250kW級プラントにおいて圧力比3.5でSOFCとガスタービンとをハイブリッド運転し、低位発熱量ベースで57%の発電効率が記録されていること、また冷却翼を用いる1300 級ガスタービンとSOFCの300MW級大型ハイブリッドシステムを対象とする効率解析で、各種損失を考慮しても68%を超える発電効率が期待できるとの報告があること等が分かり、熱再生式MGTとSOFCの50kW未満級ハイブリッドシステムに対しても、大いに期待が持てることが判明した。

個々のテーマについては、実質的な研究期間が半年であるため、まだ十分な成果を得るには至っていないが、準備状況などを以下に報告する。SOFCについては、燃料の種類・濃度の影響の他に圧力、温度特性を含めたモデルの検討を開始しており、また内部改質を含む円筒型燃料電池セルの熱流動特性解析を行う準備を行っている。

MGTについては、各部の損失を考慮に入れた効率解析を行った結果の一部が図2に示してある。単純サイクルの熱効率は、圧力比3.5程度では15%程度にしか過ぎない。温度効率87%のレキュペレータを使用して熱再生すると、熱効率は3.5程度の圧

力比で最大値に近く、34%に及ぶ値になる。熱効率はレキュペレータの温度効率や圧力損失によって顕著に影響されるので、高性能レキュペレータの開発がMGT成否の鍵を握っていることが分かった。さらに、速度3角形を用いた5kW, 30kW, 100kW級MGTの概念設計を行った。図3は、5kW級MGTの全体図、また図4はそのMGTに用いるラジアルタイプのタービンと圧縮機の概略図である。この概念設計から小寸法、高速回転が要求されることが分かり、このタービンを実現するために遂行すべき基礎研究課題が判明した。それらは、高回転、スライド壁付き大曲率流路内の乱流特性の検討と、そのモデル化の研究や、セラミック翼の高精度加工法とガス漏洩量の低減、さらには高速軸受けの開発などに向けての基礎研究である。現在、その一部について検討を開始している。

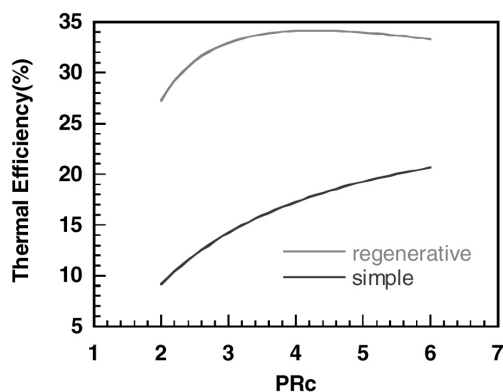


図2 熱効率の比較

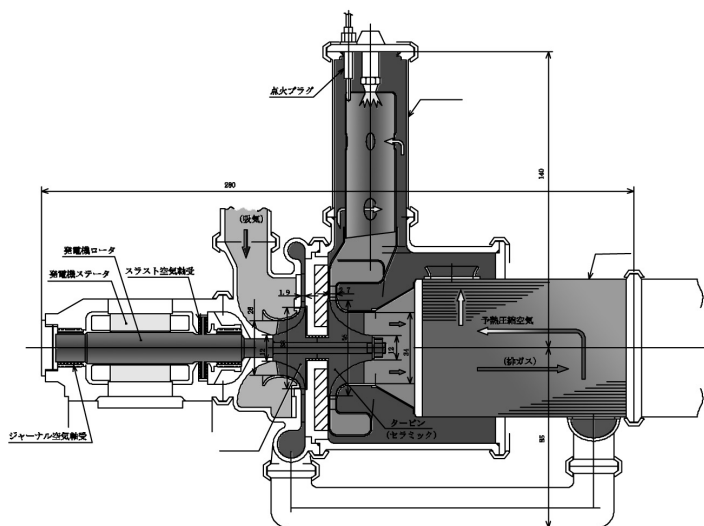


図3 5 kW級マイクロガスタービン

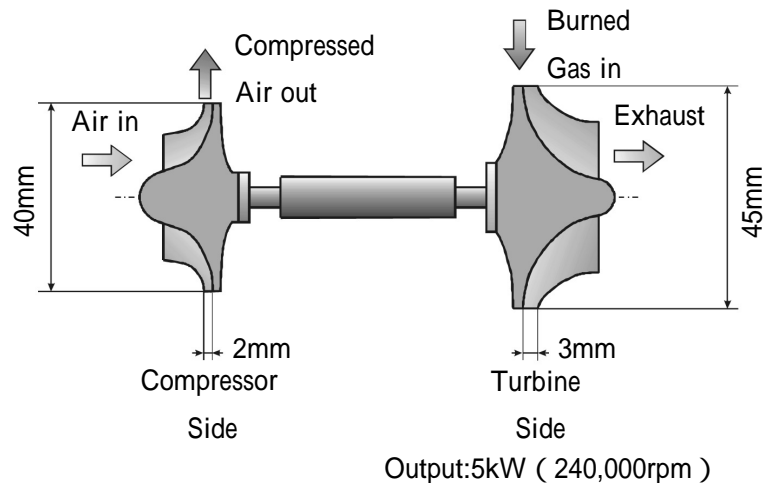


図4 コンプレッサ翼およびタービン翼

燃焼器の開発研究も重要である。小寸法で、迅速な混合が可能であり、保炎と完全燃焼が保証され、振動燃焼が抑制できる燃焼器が必要であり、現在これに合致すると期待される管型燃焼器の基礎研究を始めている。また、低レイノルズ数下でも混合を促進し得る噴流のアクティブ制御の研究を行っている。

その他に、高性能レキュペレータの開発研究やボトミングの熱回収方法として家庭で需要の多い温水を得る形式のシステムの検討、あるいはガスタービンの効率を上げるための圧縮空気中への水噴射の影響などについて、鋭意検討を行っている。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

機械研NEWS, 1999年, No.8, 「ピンブレード用セラミックの衝撃クラック応力」, pp.1-3.

工業技術, 1999年, Vol.40, No.7, 「セラミックガスタービンの研究開発 - セラミックの異物衝撃損傷 (FOD) の評価技術」, pp.13-15.