

マイクロガスタービン・燃料電池ハイブリッドシステムに関する研究

1. 研究・開発のターゲット

究極的な分散電源としてマイクロガスタービン(μGT)と燃料電池(SOFC, MCFC)を複合化したハイブリッドシステムに大きな期待が寄せられ、欧米を中心に多様なシステム解析や実証試験が活発化している。一方、東京大学では、工学系研究科内にて学科の枠組みを越えた横断的研究組織として「超小型分散エネルギーシステム研究共同体」が発足し、分散システムに関する技術に関する多彩な研究が展開されている。その一環として、筆者らは、今後も増大が予想される民生用エネルギー需要への対応を射程に入れ、各種商業施設や事務所、ホテル、病院、集合住宅等でのエネルギー供給を想定した出力30kWのハイブリッドシステムの実現に向けた研究・開発に着手している。以下では、μGT-SOFCハイブリッドシステムに関する研究の一部を紹介したい。

2. ハイブリッドシステムの性能評価

図1はシステムの構成を示したものである。再生ガスタービンサイクルの燃焼器前段に内部改質型SOFCの配置を想定した。このような系に対して、ガスタービンの熱力学計算と燃料電池の化学平衡計算を統合した解析コードを作成し、大局的なシステム性能評価を行っている。図中の数値は理想的条件としてSOFC作動温度を1000°C、再生熱交換器温度効率を95%とした試算結果であり、発電効率(LHV)が65%を超える可能性が示される。

μGTと燃料電池との複合化では、構成要素の設計条件によりシステムの総合性能が大きく変化する。そのため、材料強度等による制約(例えば、構成材料の耐熱温度、圧縮機/タービン回転数)の下で、μGTと燃料電池が共に無理のない条件下で運転し得るような各部の温度、圧力の適切な設計条件を見極めることが不可欠となる。図2

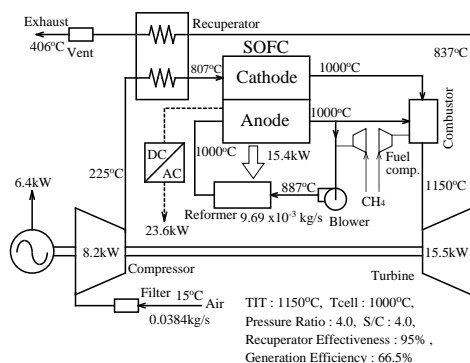


図1 μGT-SOFCハイブリッドシステムの構成

は、システム解析の一例として、タービン入口温度(TIT)と発電効率の関係をSOFC作動温度をパラメータとして整理したものである。セル温度を高く、燃焼器への追加燃料投入を削減してTITを低下させれば発電効率は向上する。現状のセラミック材料や関連技術レベルを考慮し、SOFC作動温度を900°C、TITを1100°Cとしても発電効率は60%を越え、分散電源として極めて魅力的である。

3. ハイブリッドシステムの実現に向けて

民生用分散電源としての用途を想定すると、負荷変動への柔軟な対応が要請される。そのため、設計点を外れた運転条件での性能評価が必要であり、負荷の変化時にも各部の温度等を安全な運転範囲内に維持しうる高効率な運転方法の確立が望まれる。このような観点から、ハイブリッドシステムの部分負荷特性の評価も重要な課題である。負荷変動に関しては、過渡的な追従性が優れていることも必須であり、燃料電池の熱自立運転を含めて、今後はシステム・ダイナミクスならびに制御技術に関する検討も不可欠である。さらに、排熱利用を含めた最適なシステム構成、LCAの視点に基づく総合的なシステム評価へのアプローチが必要となる。

現在、システム解析と並行して要素技術の基礎研究として、5kW級の超小型μGTの高効率化に向けた熱流動解析、燃料電池排気中の未反応成分を完全に酸化する希薄予混合燃焼技術、高い伝熱性能と低圧力損失特性を有する再生熱交換器の最適設計等が採り上げられている。

ハイブリッドシステムは、従来にない高い発電効率の実現可能性を有する。その実用化への技術的ハードルは高いが、様々な基礎・応用研究を通じて夢のエネルギーシステムの実現に向けた挑戦を続けていきたい。

(東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻
笠木 伸英, 君島 真仁)

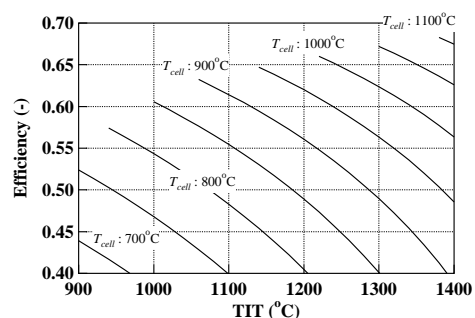


図2 SOFC作動温度およびTITが発電効率に及ぼす影響