514 エクセルギーデザインによる家庭用 SOFC のエントロピー損失の評価とその低減策の検討

Entropy Loss Analysis and Improvement Strategy of Household SOFC using Exergy Design

学 ○平野 駿(阪大院) 正 久角 喜徳(阪大院) 正 堀 司(阪大院) 正 毛笠 明志(大ガス) 正 若林 努(大ガス)

Shun HIRANO^{*1}, Yoshinori HISAZUMI^{*1}, Tsukasa HORI^{*1}, Akeshi KEGASA^{*2}, Tsutomu WAKABAYASHI^{*2}^{*1}Osaka University, 2-1, Yamada Oka, Suita-City, Osaka, Osaka Gas, 6-19-9, Torishima, Konohana-ku, Osaka

1 緒 言

固体酸化物型燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)は発電効率がよく、コンバインドサイクル化を含め様々な研究が行われている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、数 kW クラス以下の家庭用民生用の燃料電池は常圧動作が一般的であり、燃料利用率の改善、放熱損失の低減などを中心に効率改善が行われている。

我々は、SOFC の常圧高温排熱を活用できる反転ブレイトンサイクル APT(Atmosphere Pressure Turbine)⁽³⁾に注目し、700W 級家庭用 SOFC と SOFC/APT コンバインド方式をエクセルギー面により比較し、APT の効率によるシステム全体の発電効率特性を検討した。

2 計算モデルと計算条件

図 1 に SOFC/APT コンバインド方式の概略図を示す。都市ガスおよび改質用水蒸気は、排熱回収熱交で改質温度に昇温され、改質器で平衡組成となった水素、一酸化炭素、並びに未反応メタンは、セルスタックにて改質および発電反応を経て、直流電流として取り出される。未反応のガスは燃焼器にて燃やされ、排熱回収熱交と温水ヒータで熱回収される。APT のタービンは、高温利用が可能な燃焼器後流に、また圧縮機は温水ヒータ後流に設けられるとした。

都市ガス 13A 用 SOFC の予想仕様は、発電効率 41% HHV、排熱回収効率 37% HHV、発電量 E_{SOFC} 700W、出湯温度 70 °C である。本仕様に対して、スタックの燃料利用率 70%、電流密度 0.3 A/cm²、S/C 2.5、空気比 2.2、改質温度 650 °C を採用しプロセス計算を行った。まず、インバータ効率と投入熱量 HHV に対する放熱損失率を、SOFC の出力仕様に合わせて、それぞれ 90%と 9%とした。APT の発電出力 E_{APT} は、タービンと圧縮機の断熱効率 η_{tc} を同一の 40%~90%、タービンの膨張比を 3、発電機効率を 100%として計算した。

SOFC の発電効率は、運転温度によるメタンの理論発電効率(約 68%HHV)に、抵抗過電圧と電池抵抗による電圧効率、燃料利用率、インバータ効率を乗じて求めた。なお各構成機器の圧力損失は考慮していない。エクセルギー解析は、環境温度と圧力を 25°C、大気圧としてプロセスシミュレータ (VMGSim ver.6.5) により行った。

Fig.1 Schematic diagram of SOFC/APT cogeneration
(E_{SOFC} : 700W, E_{APT} : 195W, η_{tc} : 80%).

3 計算結果および考察

SOFC 単体と断熱効率 80%SOFC/APT のエクセルギー解析の結果を図 2 に示す。また図 3 にタービン効率と発電効

率および熱交換器のエクセルギー損失の関係を示す。SOFC 単体では、熱交換器、燃焼器、放熱の順に損失が大きい。これらの損失を低減するには、燃料利用率やインバータ効率の向上と放熱損失の低減が有効である。燃料利用率を高めれば、燃焼器出口温度が下がるため、熱交換器の伝熱性能を高めることにつながる。燃料利用率を高めたいが、現状では耐久性に課題があると言われている⁽⁴⁾。

一方 SOFC/APT では、タービン効率が約 60%以上なら熱交換器での損失を有効に低減でき、システム全体の発電効率を改善できることがわかった。

Fig.2 Exergy analysis of SOFC and SOFC/APT.
(E_{SOFC} : 700W, E_{APT} : 195W, η_{tc} : 80%)

Fig.3 Effect of turbine and compressor efficiency

4 まとめ

SOFC と SOFC/APT の家庭用コージェネレーションに対してエクセルギー解析を行い、損失を定量化し、損失低減策について検討した。高い断熱効率の APT が実現できれば、熱交換器の伝熱に伴うエクセルギー損失を電力に変換でき、発電効率 50%HHV 以上が見込めることがわかった。発電出力の大きい業務用なら、さらに高い効率が期待できる。

参考文献

- (1) 上地、君島、笠木、機論 B, Vol.68 No.666(2002), pp.626-334.
- (2) 幸田、日本ガスタービン学会誌, Vol.34 No.2 (2006), pp.89-93.
- (3) 辻川、日本ガスタービン学会誌, Vol.37 No.3 (2009), pp.137-142.
- (4) Richard P. et al., ECS Transaction, Vol.25 No.2 (2009), pp.231-239.