

K2-76

SOFC の発熱を利用した水蒸気改質によるジェットエンジンへの適用について

Power generation efficient on steamreforming by utilization of exhaust heat of SOFC

○関口 亮¹, 本橋 和典¹, 齊藤 允教², 田辺 光昭³Ryo Sekiguti¹, Kazunori Motohashi¹, Masanori Saito¹, Mitsuki Tanabe¹

Abstract: Amount of heat to improve CH₄ is provided by reaction in a fuel cell. In the study performance of the reformer and the Solid Oxide Fuel cell are estimated numerically. Influence on parameter of ppressure, fuel flow value or reformer enter temperature by power generation efficiency is determined. Power generation efficiency of SOFC and it increases due to increase of reformer enter temperature.

1. 諸言

ジェットエンジンの理論サイクルはブレイトンサイクルであり、ガスタービンエンジンを高効率かつ高比推力にするためには系の高温化と高圧力比化が必要である。しかし、タービン入口温度には限界があり、高効率かつ高比推力化への妨げとなっている。このトレードオフの解決を目標にこれまでの研究^[1]で、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) によって発電した電力で圧縮機を駆動する新たなシステムのジェットエンジンを考案している。

本報では実現を想定した水蒸気改質を行ない、また SOFC の発熱を改質器の改質に必要なエネルギー源として利用するシステムを考案した。そこで、システムに圧縮機を取り付けた場合、燃料流量と改質器運転圧力、改質器入口温度を変化させたときの、改質率と SOFC 運転温度、システムの総合発電効率を調べた。また、燃料が初期条件のもと反応したときに生じるエンタルピー変化と、発生したギブズエネルギーを割ったものを総合発電効率とした。

2. システム構成と計算手法

2. 1. システム構成

システム条件を Table 1 に、システム全体図を Figure 1 に示す。

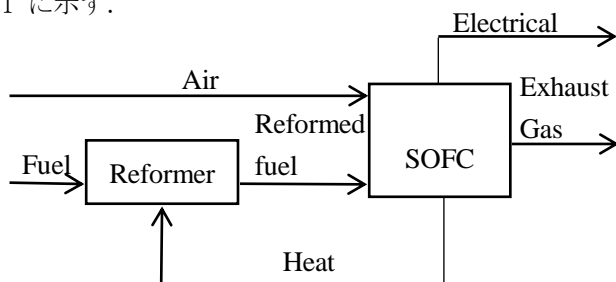


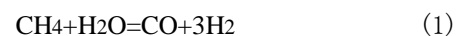
Figure.1 System Configuration

Table 1. Calculation conditions

改質器運転温度 TRFM [K]	900
SOFC 内 H ₂ 使用率 U _{H₂} [-]	0.8
SOFC 内 CO 使用率 U _{CO} [-]	0.8
SOFC 内 O ₂ 利用率 U _{O₂} [-]	0.5
水蒸気量 S/C [-]	1
当量比 φ [-]	1
改質器-SOFC 間熱損失率 η [-]	1
基準燃料流量 V [kgmol/h]	100
基準改質器入口温度 TRF [K]	298.15
基準改質器運転圧力 PRF [K]	1.5

今回の評価するシステムでの燃料は CH₄ を使用し改質方法は水蒸気改質を用いた。また、SOFC から改質器へ与える熱の損失は簡略化のため無視し、改質器出口温度は改質器運転温度とし、燃料電池出口温度は SOFC 運転温度と同じとした。

改質器内での改質反応は、水蒸気改質と水性ガスシフト反応のみを想定した。水蒸気改質の反応式を式 (1) に水性ガスシフト反応の反応式を式 (2) に示す^[1]。



SOFC での反応物質は H₂, CO, O₂ のみを想定した。SOFC 内のアノードでの反応式を式 (3)、式 (4) に示す。



2. 2. 計算手法

2. 2. 1. 改質器の計算手法

まず、 CH_4 と H_2O の水蒸気改質と水性ガスシフト反応によって変化するギブズエネルギー ΔG_R , ΔG_S を求め、アレニウスの式に代入しそれぞれの平衡定数 K_R , K_S を求めた。計算には化学平衡計算プログラム NASA CEA^[3] で用いられている熱力学的定数を用いて多項式計算により求めた。また、化学反応の平衡も満たすために水蒸気改質によって反応の進んだモル数と水性ガスシフト反応によって反応の進んだモル数が等しくなるような流量を求めた。そして、化学反応の平衡定数とアレニウスの式より求めた平衡定数の K_R, K_S の値がそれぞれ等しくなる流量になるまで繰り返し計算を行った。

2. 2. 2. SOFC の計算手法

燃料電池は空気の通るカソードと燃料の通るアノードに分かれており、内部で反応させて電力を作る。改質された H_2 と CO が SOFC で発生させる熱量と SOFC のエンタルピを比較することによって SOFC 運転温度を求め、かつ改質器運転温度以下にならないように繰り返し計算を行った。また、SOFC のエンタルピが改質器に必要な熱量以下にならないように繰り返し計算を行った。また、改質に必要な熱量をエンタルピを用いて求めた。

3. 計算結果及び考察

Figure 2 に改質器入口温度を変化させたときの総合発電効率を示す。また、Figure 3 に改質器運転圧力を変化させたときの総合発電効率を示す。

Figure 2 より改質器入口温度に対して、総合発電効率が比例していることが分かる。今後、圧縮機を利用した温度上昇の利用や、発熱を利用することによって高電力化に対応できると考えられる。しかし、Figure 3 より改質器運転圧力が上昇すると総合発電効率が低下している。これは、圧力上昇による改質率の低下が原因であり、今後高電力化、高推力化の両立を目指す場合アノード側は低圧、カソード側は高圧にする必要があるが、圧力差に耐えるセラミックの強度と空気がアノード側に逆流するなどの問題が発生すると考えられる。この打開策として、改質器以降に圧縮機を設置することが考えられる。まずは、低圧で改質を行い、その後圧縮機を用いてアノードガスと混合することによって高電力かつ高推力なジェットエンジンが実現できると考えられる。また、航空機全体を考えた場合、今までジェットエンジンを利用した発電より直接化学エネルギーから電気エネルギーに変換できる高効率の SOFC

を利用することにより航空機全体での総合効率向上が期待できる。

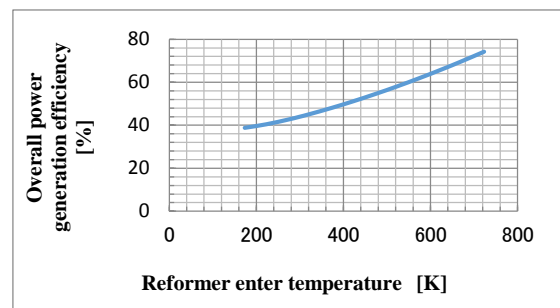


Fig.2 Relationship between reformer enter temperature and overall power generation efficiency

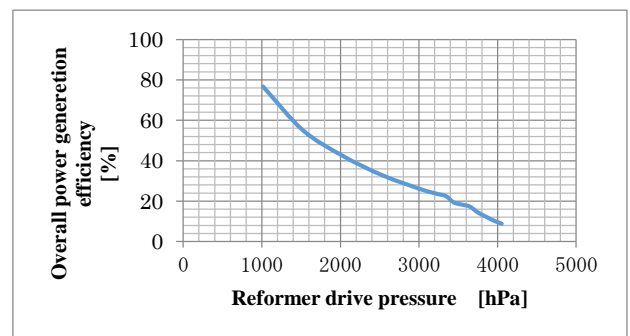


Fig.3 Relationship between reformer drive pressure and overall power generation efficiency

4. 結論

改質器に流入する燃料の温度が上昇することによって総合発電効率が上昇した。

改質器運転圧力の上昇によって総合発電効率が減少した。

改質器以降に圧縮機を設置することで、発電効率と推力を両立したジェットエンジンが実現できる。

5. 参考文献

- [1] 齊藤 允教 「電動圧縮機を用いた SOFC/ブレイトン・コンバインドサイクルの性能推算」, 2013
- [2] 上松 宏吉 「燃料電池発電システムと熱計算」, 2004 年
- [3] Bonnie J. McBride, et al. : Coefficients for Calculating Thermodynamic and Transport Properties of Individual Species, pp10-73,