

K-1

## 航空推進系における固体酸化物型燃料電池の実用化に関する研究

## Study on Applicability of Solid Oxide Fuel Cell for Aero-Propulsion System

○中嶋航太<sup>1</sup>\*Kota Nakajima<sup>1</sup>

Abstract: The SOFC motor jet engine system is more efficient than the existing system, but in the previous calculation, it was assumed that the power generation amount of SOFC changed linearly with the length of SOFC. In this study, we analyze by model calculation considering the temperature change of SOFC electrode, and discuss the effect of the length of SOFC on engine thermal efficiency. As a result, the relationship between SOFC length and SOFC power generation showed an exponential trend. It was found that the temperature change in the electrode affects the engine efficiency.

## 1. 諸言

航空機の排気による環境汚染が問題となっており、高効率なエンジンが求められている。ブレイントンサイクルでは最高最低温度比、圧力比を高くすることで熱効率が向上するが、従来のジェットエンジンでは燃焼器出口の温度が系の最高温度となり、更に高圧力であることからタービンやケーシングに熱的、機械的負荷がかかる。そのため高温比化、高圧力比化には限界がある。この問題を解決するために田辺らは固体酸化物型燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)を用いたモータジェットエンジンシステムを提案した<sup>[1]</sup>。このシステムはタービンが無いので、従来のジェットエンジンと比較して、タービンによる圧力降下が無く同じ圧力比において高効率となる。白井らは飛行条件または SOFC の長さに応じてエンジン性能に与える影響を明らかにし、超音速飛行で高い効率を発揮することを示した<sup>[2]</sup>。白井らの性能計算では SOFC の発電量が SOFC 長さに比例すると仮定されていた。しかし、SOFC 内の電極反応面での長さ方向の温度変化により発電量の変動値は線形的に変化しないと考えられる。また SOFC 内の温度変化は SOFC での燃料流量の変化に起因する。更に SOFC の温度変化、発電量の変化はエンジン全体の熱効率に影響を与える。

本研究では流体解析の結果から理論モデル式の検証または SOFC 長さが SOFC 発電量に与える影響を電極内の反応を考慮したモデルを用い解明する。この知見から SOFC に流す燃料の流量を変えた時のエンジンの熱効率に与える影響を議論する。

## 2. 計算条件及び方法

本研究では PB 付き SOFC モータジェットエンジン<sup>[2]</sup>に使用する SOFC を想定した。このシステムを Fig.1

に示す。黒の矢印は空気、燃料の流れを、橙色の矢印は電力の流れを示している。PB 投入燃料は PB 出口ですべて燃焼するものとする。また SOFC で反応しなかった燃料はアフターバーナ(After Burner : AB)ですべて燃焼するものとする。今回用いる燃料は水素とした。

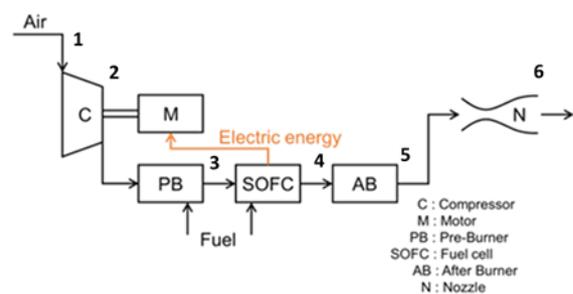


Figure 1. System diagram of SOFC motor jet engine.

SOFC のセル形状は高圧力にも耐えられることを考え、藤代らが提案したマイクロチューブ型<sup>[3]</sup>を参考にした。使用した SOFC を Fig.2 に示す。

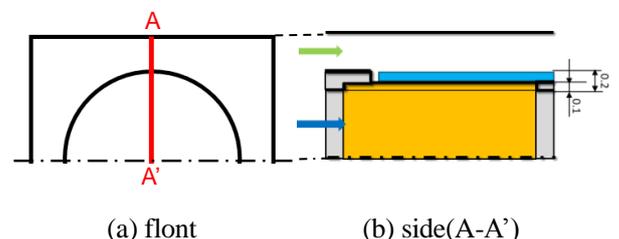


Figure 2. SOFC model.

図(b)の橙色の部分が Anode 電極、水色の部分が Cathode 電極である。青色の矢印で示されるものが Anode 流路であり、水素が流れる。緑の矢印で示されるものが Cathode 流路であり、空気が流れる。灰色の部分は集電材である。このセルを単セルとし、長手方向に積層したときの長さを SOFC 長さとした。また理

1 : 日大理工・院 (前)・航宇

論モデル式を検証するために流体解析ソフト Fluent を用い比較を行った。Table 1 に SOFC 計算条件を示す。次に Table 2 に理論モデル式からエンジンの熱効率を求めるための計算条件を示す。エンジン断面積を SOFC スタック断面積とした。飛行高度、飛行速度はエンジンが高出力運転を行う離陸時を想定した。

Table 1. Calculation conditions.

Analysis method	Fluent	Formula model
Fuel volume flow rate $\dot{m}_{fuel}$ [m <sup>3</sup> /s]	0.1	0.1, 0.19, 0.28
Air composition [%mol]	O <sub>2</sub> :21 N <sub>2</sub> :79	
Cell voltage V [V]	0.7	
Inlet temperature $T_{sofc}$ [K]	1123	

Table 2. Engine conditions.

Engine diameter $D$ [m]	1
Flight altitude $H$ [m]	0
Inlet flow rate $\dot{m}$ [kg/s]	12

### 3. 解析結果及び考察

#### 3.1 Fluent 計算結果と理論モデルの比較

Fig.3 に Fluent の計算結果とモデル式それぞれで導いた SOFC 長さ と SOFC 発電量の関係を示す。Fig.3 の黒色がモデル式で計算した結果、青色が Fluent で解析した結果である。Fig.3 ではそれぞれのグラフの傾きが異なることがわかる。これは SOFC 長さ増加による電極内での流れの変化により、燃料の供給量に影響を与えていると考えられる。

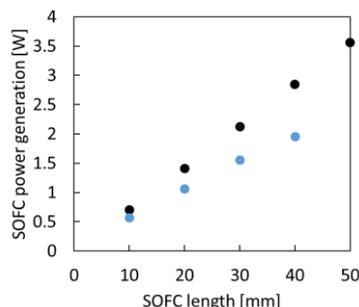


Figure 3. Comparison with theoretical model.

#### 3.2 理論モデルを用いた計算結果

Fig.4 に燃料流量ごとの SOFC 長さ と SOFC 発電量の関係を示す。Fig.4 の結果から SOFC 発電量は長さに対

し線形に増加はしないことがわかった。これは SOFC 発電量は温度依存性がある反応速度に比例するためこのような傾向がみられたと考えられる。また燃料流量の違いにより同じ SOFC 長さでも発電量の違いが現れる。これは流量の違いにより発熱量に対する温度上昇が変化するため、SOFC 内での温度分布が変わり、発電量に差が生じる。

Fig.5 に SOFC 長さ とエンジン熱効率の関係を示す。燃料流量が増すにつれ熱効率は上昇し漸近的な傾向を示した。Fig.4,5 より発電量と同様にエンジン熱効率は燃料流量の増加により高くなる。

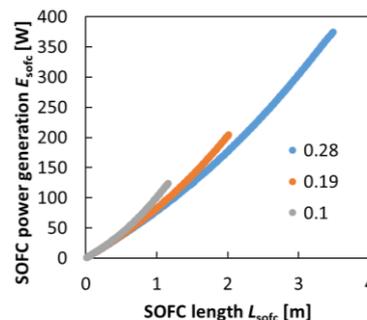


Figure 4. Relationship between  $L_{sofc}$  and  $E_{sofc}$ .

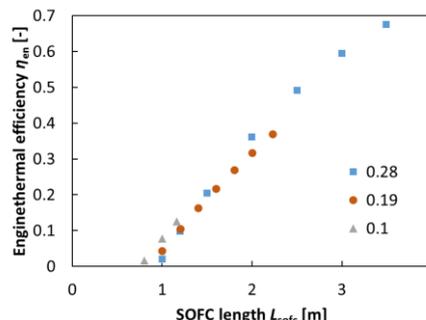


Figure 5. Relationship between  $L_{sofc}$  and  $\eta_{en}$ .

### 4. 結言

- SOFC 長さの増加による SOFC 発電量の増加量は電極の温度変化を考慮すると線形的な傾向を示さない。
- SOFC 発電量は電極内の温度変化に影響を受ける。
- 燃料流量が増加すると SOFC 発電量、エンジン熱効率は増加する。

### 参考文献

- [1] 田辺光昭, 他: 特許第 6400920 号 モータジェットエンジン, 2018.
- [2] 白井孝典, 他: 第 59 回航空原動機, 2019.
- [3] 藤代, 他: SOFC-. Synthesiology Vol.4 No.1, 2011, pp.36-45.