## K2-6

### 固体酸化物型燃料電池を用いたモータジェットエンジン実験装置の開発と性能推算 Development and Performance Estimation of the Experimental Setup of Motor Jet Engine Using SOFC

○永尾洋輝<sup>1</sup>, 白井孝典<sup>1</sup>, 秋山卓哉<sup>2</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>

\*Hiroki Nagao<sup>1</sup>, Takanori Shirai<sup>1</sup>, Takuya Akiyama<sup>2</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>3</sup>

Abstract : In SOFC motor jet engines which was driven at low-pressure conditions, it is necessary to raise the temperature of the working gas in SOFC inlet. In this research, by setting up a pre-burner, the equipment raises the temperature of the gas required for SOFC. The setup has SOFC simulator, because the output density etc. of SOFC which made in the laboratory are not enough to incorporate in the experimental setup. SOFC-simulator simulates the reaction of SOFC, by air bleeding and by injecting  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$  using mass flow controllers. The results of estimation, it was confirmed that the proposed experimental setup can run theoretically.

### 1. 緒言

ブレイトンサイクルで作動するジェットエンジンの 熱効率,出力を向上させるためにはエンジンの高温高 圧化が有効である.しかし,圧縮機の動力源であるタ ービンが耐えられる熱的・機械的負荷には限界があり, それらがジェットエンジンの性能向上の妨げとなって いる.Saitoらはこの問題の解決を目指して,固体酸化 物型燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell: SOFC)を圧縮機の動 力源としたモータジェットエンジンシステムを提案し ている<sup>[1]</sup>.Akiyamaはこのシステムに水素燃料を適用し た際のサイクルの性能を明らかにしている<sup>[2]</sup>.しかし, これらは慣性力を無視した計算であり,実用化には SOFC・圧縮機の統合制御法やエンジンの過渡特性を明 らかにするための実験的研究が不可欠である.本報で は,開発中の実験装置の概要および,装置の性能推算 を行った結果を報告する.

#### 2. 実験装置

実験装置の概要図を Fig. 1 に示す.既往研究との差 異は、SOFC 入口にプリバーナを設けたことである.こ れにより、低圧力の運転においても水素を燃料として 供給、燃焼させることで SOFC の作動に必要な温度を 得られるようにした.また、実験室規模で作成される 大きさの SOFC の出力密度では本装置に組み込むこと が困難である.実際の SOFC の代わりになる装置を 開発し、SOFC 内で起こる作動ガスの組成変化を理論 的に計算し、質量流量計(MFC)や抽気弁を使用して模 擬する.その際の圧縮機入口の空気の成分はモル比率 で窒素 79%、酸素 21%と仮定した.圧縮機は SOFC の 代わりに外部電源を用いてモータを使用して駆動する.



Fig. 1 Schematic drawing of experimental setup

-					
Compressor <sup>[3]</sup>					
Product name	ROTREX C8-8				
Compressor type	Centrifugal				
Drive efficiency	91 %				
Max pressure ratio	2.23				
Max air flow	0.065 kg/s				
Motor					
Product name	Trackstar T28 1/5 <sup>th</sup>				
	Brushless Motor				
Max power	7350 W				

# Table 1Specs of equipments

### 2.1 SOFC 模擬装置

本来の SOFC の各電極では(1), (2)式のような反応が 起きている.

燃料極(Anode) H<sub>2</sub>+O<sup>2</sup>→H<sub>2</sub>O (2)

これより, SOFC 全体では(3)式のような反応となる.

1:日大理工・学部・航宇 2:日大理工・院(前)・航宇 3:日大理工・教員・航宇

 $H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O \tag{3}$ 

本装置でもこれらの反応を模擬する必要がある.本来 の空気極では作動流体中の一部の酸素が(1)式の反応に より消費されるため、酸素の分率が減少する. そのた め、本装置では空気極で消費される酸素のモル数を算 出し、空気極を通過した後の窒素と酸素の比率が SOFC のそれと同じになるように窒素を投入し、消 費される酸素と同じモル数の作動流体を抽気すること で模擬した.一方、本来の燃料極では燃料として投入 した水素は(2)式の反応により水に変化するものと、反 応しないでそのまま水素として SOFC から排出される ものに分かれる.本装置では発生する水と SOFC から そのまま排出される水素のそれぞれの量を算出し、投 入することで燃料極での反応を模擬した. SOFC の排 出ガス中の水素はアフターバーナで完全燃焼し、ノズ ルにより大気圧まで膨張,排気されるものとした.本 装置では SOFC の水素使用率は 60%, 発電効率は 80%とした.

### 3. 性能推算

今回の実験装置を開発するにあたり,装置の性能推 算を行った.その際の圧縮機の条件は Table 2 に示す. プリバーナで作動ガスの温度上昇のために使用する燃 料の水素量はプリバーナの出口での作動ガスの温度が 850℃になるように収束計算を行った.プリバーナとア フターバーナでの圧力損失はそれぞれ圧縮機で昇圧し て得た圧力の 10%とし,SOFC 内部での圧力損失はな いものと仮定した.また,Fig. 2 のように圧縮機の各 回転数において断熱効率の高い場所を通る計画上の作 動線をコンプレッサマップ上に作成し,その作動線上 で Case 1 ~ 4 を設定し,各点においてそれぞれ性能推 算を行った.

その結果得られたノズル出口の排気速度と推力,熱効率をTable3にまとめた.また,Table3よりCase1~4のすべてにおいて理論上,開発中の実験装置が作動することが確認できた.

### 4. 結言

実験装置に使用する要素などのデータを元に性能推 算を行い,装置の開発に必要なデータを推算し,理論 上,装置が作動することが確認できた.今後,この性 能推算の結果を元に実験装置を完成させ,性能推算の 妥当性と作成した作動曲線上で装置の運転を行い過渡 特性等を調査するための確証が得られた.

 Table 2
 Calculational conditions of compressor<sup>[3]</sup>

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Adiabatic efficiency	57 %	74 %	72 %	71 %
Pressure ratio	1.10	1.45	1.80	2.15
Air flow	0.010	0.029	0.040	0.047
rate	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s

Table 3 Calculation results

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Exhaust	24.0	82.1	123.3	154.7
speed	m/s	m/s	m/s	m/s
Thrust	0.242 N	2.40 N	4.98 N	7.34 N
Thermal	2.00.0/	11 1 0/	17.2.0/	22.0.0/
efficiency	2.90 %	11.1 %	17.2 %	22.0 %



Fig. 2 Compressor map<sup>[3]</sup> and operating line

### 参考文献

- [1] 齊藤, ほか:第24回内燃機関シンポジウム講演論 文集, 2013.
- [2] 秋山:日本大学理工学部卒業論文, 2016.
- [3] Power Enterprise Co., Ltd: "Rotrex C8 Technical Data Sheet"

http://power-enterprise.co.jp/rotrex/pdf\_rotrex/C8.pdf