

単純化した航空機用 SOFC スタックの 余剰燃料インジェクタの保炎実験装置の製作

日大生産工(院) ○鎌田 健太郎

日大生産工 野村 浩司

日大生産工 菅沼 祐介

1. 緒言

近年の地球温暖化の影響により、様々な分野で環境適合性の向上が求められている。航空業界でも、IATA（International Air Transport Association：国際航空運送協会）は、2050年までのCO₂排出量ネットゼロ目標を採択したのに続き、ICAO（International Civil Aviation Organization：国際民間航空機関）も第41回総会で2050年までの長期的なグローバル目標（LTAG）を採択した。

この目標を達成するためには、新技術の導入、運用方法やインフラの改善、SAF（Sustainable Aviation Fuel）の適用、電動化や水素燃料の導入などの対策が挙げられる。その中で、JAXA（Japan Aerospace Exploration Agency：宇宙航空研究開発機構）では、固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell：SOFC）とガスタービンを組み合わせたハイブリッド発電システムを電源とする電動ファン推進機の開発が進められている。SOFCとガスタービンの双方で発電し、電動ファンを駆動して推力を得る方式である。小型の電動ファンを多数搭載することでファンの総面積を増大させ、バイパス比の向上により推進効率の改善が図られると期待されている。電動ファン推進機の模式図をFig.1に示す。この電動ファン推進機の電源であるSOFCは、空気極と燃料極の間に電解質が挟まれた三層構造を持つ。空気極側から供給された酸素は電解質を通り、燃料極側で水素と反応して水蒸気を生成する。このため、燃料である水素は水蒸気によって希釈され、上流から下流にかけて希釈度は増大する。最下流においても発電反応を起こさせるために、SOFCには発電に必要な以上の燃料を供給する必要がある。排気には余剰燃料と水蒸気が含まれることになる。この高温の排気を燃焼させてタービンで仕事として回収することで、発電システムの熱効率向上が期待される。当研究室では、このSOFC排気に含まれる水素と水蒸気の混合気を燃焼室で安定的に燃焼させるため、水蒸気を多く含む余剰燃料の保炎可能な条件を調べるための実験装

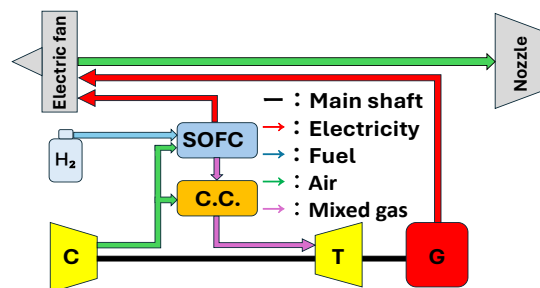


Fig. 1 Schematic diagram of hybrid electric power generation system.

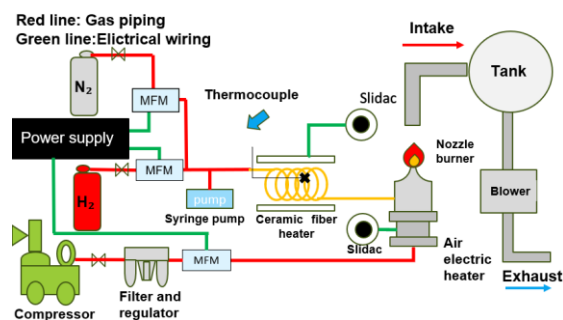


Fig. 2 Experimental apparatus.

置を製作した。今回は製作した実験装置の特性把握試験の結果を報告する。

2. 実験装置

実験装置の概略をFig.2に示す。この図の赤線が配管、緑線が配線を表している。SOFCから発生する余剰水素の代わりに、水素ボンベから水素を供給する。質量流量調節器（MFC）で流量を調節した後、電気炉の中でシリンジポンプから吐出される水を添加することで、水素と水を同時に加熱し、水を蒸発させて水素／水蒸気混合気を同軸ノズルバーナの中心流路に送る。また、コンプレッサから供給された圧縮空気は、MFCで流量を調節し、空気加熱用ヒータおよび二重管ノズルバーナの外周流路に送る。最後に、二重管ノズルバーナの出口から噴出した水素／水蒸気混合気をブタントーチバーナで強制点火させ、水素／水蒸気混合気拡散火炎による余剰燃料保炎実験を行う。

Fabrication of experimental apparatus for flame holding tests of a simplified excess-fuel injector of SOFC stack for airplane

Kentaro KAMADA, Hiroshi NOMURA and Yusuke SUGANUMA

3. 実験方法

実験を開始する前に、各ヒータの抵抗値を計測し、劣化が生じていないことを確認する。電気ヒータのエレメント温度が 1000°C を超えないように注意し、また水素ヒータ内の黄銅管の温度が融点である 900°C を超えないよう十分に注意する。本報の作動試験では、ノズル出口温度が 400°C 、流速が 10m/s となるように電気ヒータ出力と流量を制御する。流速とノズル出口面積から連続の式を用いて体積流量を算出し、理想気体の状態方程式を用いて、 400°C における体積流量を標準状態（温度 0°C 、大気圧 1013hPa 、相対湿度 0% ）の体積流量へ変換する。この値をMFCの目標値として設定する。

はじめに、空気の昇温試験では、電圧を 10V ずつ上昇させ、ノズル出口温度が 400°C に到達するまで加熱を行う。

次に、水素の昇温試験では、本来は水素を用いるが、作動試験の段階では安全のためすべて窒素を用いる。空気を 400°C で流しながら、水素加熱用電気ヒータの電圧を 10V ずつ上昇し、ノズル出口温度が 400°C に到達するまで加熱を行った。

最後に、水素流に水蒸気を添加した試験を実施した。シリンジポンプを用いて水の流量を調整した。混合気出口流速を一定に保つために総体積流量を一定とし、水蒸気体積分率に応じて水素（作動試験では窒素）および水蒸気の流量を変化させた。水蒸気濃度に依存せず同一温度条件を維持することを目標とした。水蒸気を添加するとヒータ内温度が低下するため、濃度を変更する際はヒータ温度を十分に上昇させてから実験を行うようにした。

4. 作動実験結果

空気の昇温試験の実験の結果をFig.3に示す。縦軸はノズル出口温度、横軸は空気用電気ヒータ印加電圧である。印加電圧 30V において、ヒータ内温度が約 850°C 、ノズル出口温度が 400°C を超えたことを確認できた。

水素の代用気体として用いた窒素の昇温試験の結果をFig. 4に示す。燃料混合気加熱用電気ヒータに 60V 印加することにより、電気ヒータ内温度が 500°C 、ノズル出口温度が 400°C を超えることを確認した。黄銅管の融点には十分に余裕があることが確認できた。

水蒸気添加試験の結果をfig.5に示す。縦軸は燃料加熱用電気ヒータ内温度と混合気ノズル出口温度であり、横軸は水蒸気濃度である。水蒸気濃度を 30% から 90% まで変化させ、実験を

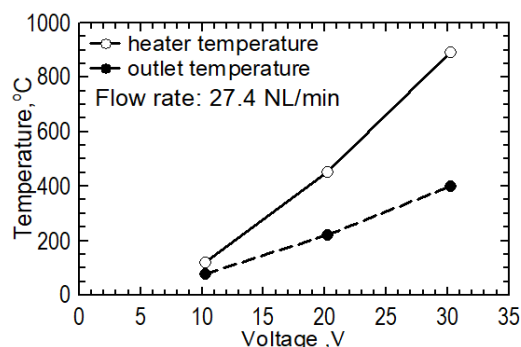


Fig3. Air temperature rise test.

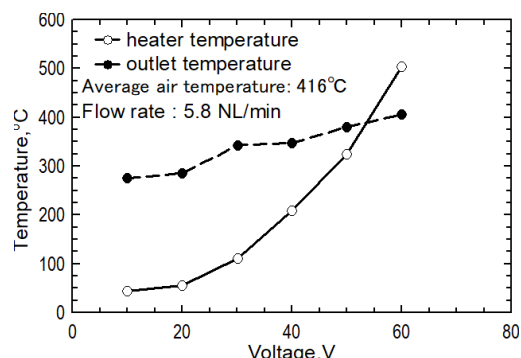


Fig4. Nitrogen temperature rise test.

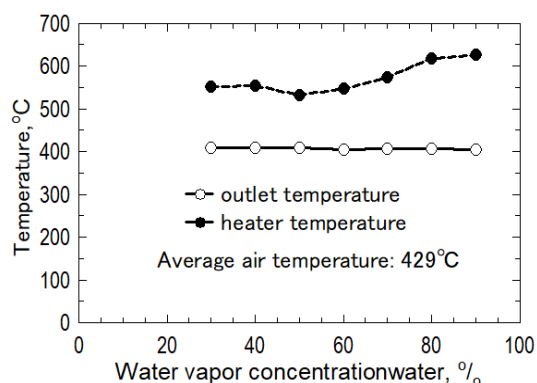


Fig5. Steam dilution temperature rise test.

行った。どの濃度においても混合気のノズル出口温度を 400°C に保つことができた。

5. まとめ

ノズル出口温度 400°C 時の条件で昇温試験を行った。水蒸気濃度を 30% から 90% まで変化させ、実験を行った結果、どの水蒸気濃度においても混合気のノズル出口温度を 400°C に保つことができた。今後は水素を用いてノズル出口温度 400°C の条件で、水蒸気を含む余剰燃料保炎実験を行う。

参考文献

- 1) 航空機電動化に関する最新動向，公益財団法人航空機国際共同開発促進基金，技術資料提供，2022，

<https://www.iadf.or.jp/document/pdf/2022-6.pdf>