

# 固体酸化物形燃料電池の発電試験および

## 急速昇温降温試験装置開発

日大生産工(院) ○今村 叶志 中野 哲磨 日大生産工 野村 浩司 菅沼 祐介  
宇宙航空研究開発機構 小島 孝之 岡井 敬一

### 1. 緒言

人類の活動に起因するといわれる地球温暖化において、人為的に排出された温室効果ガスのうち75%を二酸化炭素が占めている<sup>(1)</sup>。そのため、地球温暖化の抑制には二酸化炭素排出量の削減が急務である。JAXAでは、燃料電池とガスタービンのハイブリッド推進システムの研究が行われている<sup>(2)</sup>。燃料電池は、固体酸化物形燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell : SOFC)であり、作動温度が600~800℃と高温であることからSOFCから排出される気体のエンタルピーをタービンで利用することができ、高効率な複合サイクルが期待できるため選定されている。しかしながら、航空機での運用はSOFCに急激な温度変化をはじめとした多様な発電環境変化による負荷がかかると考えられる。その発電環境を模擬した実験を行うことでSOFCの特性を把握し、SOFCが破損する条件などを見出すことを試みる。三層のセラミックスからなるSOFCが雰囲気温度の変動によりセル全体が等しく熱せられることで、個々の層の熱膨張率の差異から界面外周部に応力が集中して剥離や破損が起こる可能性がある。よって昇温・降温試験前後でSOFCセルを観察することで破損の度合いを評価し、繰り返し昇温・降温がSOFCに与える影響を考察する。JAXAのシステム試験に使用されている燃料電池スタックの燃料電池と同一材料・同一製法で作られたコイン型SOFCを対象に、実験的耐環境変化試験を多数行う必要があるため、従来使用していた発電試験装置を改良し、電池交換が行いやすいようにする必要があった。本報では、実験装置の改良と確認試験の結果、および急速昇温・降温試験装置の作動試験結果を報告する。

### 2. 発電試験装置開発

多数のSOFCについて発電試験を行うにあたり、新型実験装置の設計・製作を行った。装置の概略をFig.1に示す。SOFC周りの構造を変更することで、SOFC交換作業時間短縮を図った。压力容器の中に内部モジュールが設置

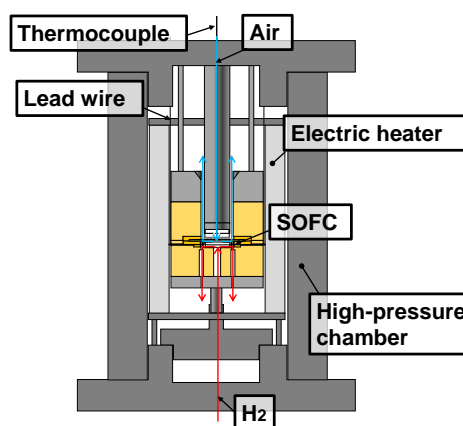


Fig.1 SOFC power generation test stand.

されている。内部モジュールは上フランジに固定されている。各要素の詳細を記す。内部モジュールはセルホルダ、電気ヒータ、リード線、および熱電対で構成される。SOFCは上下二対のセルホルダで挟み、上部フランジにボルトで吊り下げて保持する。クロム被毒対策としてセルホルダにはセラミック材料を用いた。ここに下方から水素、上方から空気を流入させる。両気体のシールにはサーミキュライト#866 (Flexitallic社製)で製作したガスケットを使用した。SOFCからの集電にはカーレントコレクタとして白金メッシュを用いた。実験装置の電気抵抗低減のため、弾力性と耐熱性のある耐熱シートにより押し付けることでリード線と電極の密着性を向上させた。実験装置の抵抗がSOFCの内部抵抗値に比較して十分に小さくないと、SOFCの発電電力を計測する際に真の極間電圧より小さい値が計測される。そのため、燃料電池の出力を過小評価してしまうことから、実験装置抵抗を低減する必要があった。電流・電圧計測用のリード線はすべて上部フランジに固定されている。実験ごとに交換が必要な

Power generation tests of single SOFC and development of rapid temperature rise/drop test equipment

Kyoji IMAMURA, Tetsuma NAKANO, Hiroshi NOMURA, Yusuke SUGANUMA, Takayuki KOJIMA, and Keiichi OKAI

SOFC とその周辺部品を一体構造とすることで、ガス漏れや配線接続の確認を円筒容器外部で実施することができ、かつ取り外しが必要なフランジは上部のみとなった。

### 3. 確認試験

新型実験装置の内部構造を改良したことで、SOFCの交換作業工程が減り、旧型よりも効率よく実験を行うことが可能になった。また、発電計測の際にSOFCの内部抵抗と区別がつかない実験装置抵抗を微小抵抗計GOM-804(GW Instek社製)により計測した結果、3.94 mΩであった。これはSOFC本体の抵抗よりも十分に小さい値であり、設計要件を満たしたと考える。

### 4. 急速昇温・降温試験装置と作動試験結果

三層のセラミックスからなるSOFCは、急激な温度変化により個々の層の熱膨張率の差から破損する可能性があることは上述した。そこで、急速昇温・降温装置を製作し、実験を行った。供試体セルはシーケンサ制御により管状ヒータ内を移動し、ヒータ中心(800℃)を原点として外側へ150 mm (200℃)の距離を移動することで600℃の温度差がセルに生じるよう制御を行った。実験で

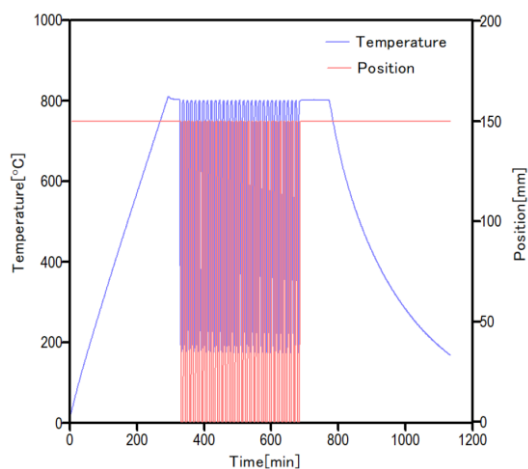


Fig.2 Temperature and position histories during cyclic rapid temperature rise/drop test.

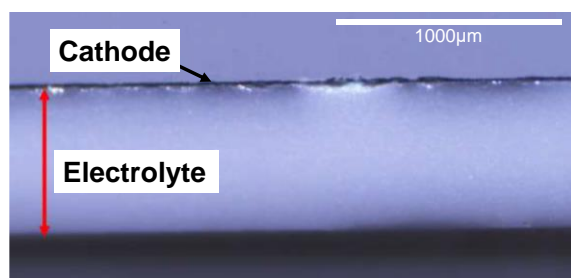


Fig.3 Cross-section view of the half cell after cyclic rapid temperature rise/drop test.

は、ヒータ中心から降温のため1分かけて150 mmの位置へ移動させ、5分間静止させたのち昇温のため1分かけてヒータ中心へ移動、そこで5分静止させ再び150 mm外側へ移動するサイクルを30サイクル行った。

Fig.2に試験中のセル近傍温度および位置の履歴を示す。使用したセルはYSZ粉末(yttria-stabilized zirconia)を焼結して製作した電解質基板に空気極(LSM/YSZ)を静電噴霧堆積法(Electrostatic Spray Deposition :ESD法)で製作した。燃料極を省略した半電池で実験を行った理由は、高温空気雰囲気における燃料極の酸化を抑制するための不活性ガスを流す機構をまだ備えていないためである。温度差は30サイクルを平均して630℃であった。結果として、Fig. 3に示されるように、ESD法を用いて製作した半電池には空気極剥離はみられなかった。一方、比較のために空気極をドクターブレード法で製作した半電池には、空気極の剥離が確認された。ESD法で製作した空気極層は、電解質基板への密着性が高いことが確認された。

### 5. まとめと今後の計画

燃料電池交換時間短縮については、発電試験装置の内部構造の改良により作業工数が減少し、約2時間で交換作業を行えるようになった。また、実験装置抵抗が低減されたことで、より正確な発電出力計測ができると考えられる。今後、SOFCスタックでの使用が検討されている既存の燃料極支持型SOFCの円板形単セルで同様な昇温・降温サイクル試験を行う計画である。また、急速昇温・降温繰り返し試験の前後でSOFCの発電性能試験を行い、急速な温度変化がSOFCに及ぼす影響を調べる計画である。そのためには、急速昇温・降温試験において燃料極の酸化を防止するため、管状ヒータ内セラミックス管内部を窒素で希釈した水素で満たすことができる機構を新たに設ける必要がある。

### 参考文献

- 1) IPCC 6th Assessment Report Working Group III: Mitigation of Climate Change, (2022) p.7 Figure SPM.1
- 2) 宇宙航空研究開発機構, エミッションフリー航空機技術の研究開発 (2021)  
<https://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/feature/> (参照2023-10-4).