

審査の結果の要旨

氏名 橋本 彰

本論文は、「固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の加圧下における性能向上と大容量化についての研究」と題し、全 5 章から構成されている。

本論文では従来の火力発電所の効率を大幅に向上させるトリプル複合発電システムのキー技術である固体酸化物形燃料電池 (SOFC) に注目し、ガスタービンのトッピングサイクルとして加圧運用される SOFC の素子 (セル) の特性予測、セルスタックの性能予測、40kW 級加圧モジュール実験機による検証を行った。セルの特性予測に関しては、加圧により過電圧が低下するのは水蒸気分圧が高くなると燃料極の活性化過電圧が低下するためであることを実験的に解明した。その特性を交換電流密度として整理し、セルスタックの性能予測をおこなった。これらの解析結果を踏まえ、モジュールの熱流動解析による 40kW 級加圧モジュールの設計を行い、製作して実証試験を行った。実証試験の結果、解析結果と計測値が良い精度で一致することを確認した。それらの結果を通して、加圧下で運用される SOFC の性能予測と熱設計の精度を従来と比較して大幅に向上させ、SOFC の実用化に対して有望な見通しを得る事が出来た。

以下に、各章の内容を纏める。

第 1 章では、65%以上の発電効率 (高位発熱量基準、送電端) が達成可能なトリプル複合発電システムが地球温暖化問題とエネルギー問題を解決する有効な手段であり、その実現のための鍵を握る、SOFC の性能予測・性能向上に関する技術的課題ならびに先行研究の未解明の課題をまとめ、本論文の目的を述べている。

第 2 章では加圧下の SOFC のセル特性予測について述べている。加圧下でセルの出力電圧上昇を計測すると、理論起電力 (Nernst の式) から予測される値よりも実測値が大きく上回る事がわかった。

この原因を明らかにするため、燃料ガス組成の変化が大きい燃料極について抵

抵抗過電圧、濃度過電圧、活性化過電圧の計測を実施した。その結果、抵抗過電圧および濃度過電圧は加圧の影響を受けないが、活性化過電圧は加圧により減少し、特に、水蒸気分圧が増加すると活性化過電圧が低下し、種々のガス組成条件に対して、水蒸気分圧により活性化過電圧は整理できる事が判明した。これにより、水蒸気分圧が活性化過電圧に与える影響を交換電流密度として整理した。

第 3 章では、セルスタックの性能予測と最適化について述べている。セルスタックの高精度な性能予測を行うため、第 2 章で整理した交換電流密度を使用して活性化過電圧を算出する方法を取り入れ、電気化学反応を考慮した 3 次元熱流動解析を行った。また、検証実験を行い、解析結果と実験結果が良く一致することを確認した。さらに、この解析モデルを使ってセルスタック形状の最適化を実施した。その結果、セルの有効発電部を短くし、セル間部を長くした方がインターコネクタの電気抵抗が下がり出力が増加すること、また、セル数は現状より多くした方が出力は増加するという、新たな重要な知見が得られた。この知見をもとに改良したセルスタックを製作し、検証実験を行った。その結果、解析結果と実験結果が良く一致すること、ならびに形状最適化により、セルスタックの出力が約 1.5 倍に増加することを確認した。

第 4 章では、40kW 級加圧モジュール実験機による検証について述べている。モジュールの設計では、局所的な空気欠乏を生じさせないこと、および部材のメタル温度とセルスタック温度が許容値を超えないことが重要であり、高精度な熱流動解析手法が必要となる。第 2 章の加圧下のセル特性予測、第 3 章のセルスタック性能予測の結果を取り入れ、3 次元熱流動解析を行い、40kW 級加圧モジュールの設計、製作を行った。製作した 40kW 級加圧モジュールを用いて検証実験を行い、解析で予測した各部の温度分布が実験の計測値と良く一致することを確認した。さらに、40kW 級加圧モジュールで連続運転を実施し、負荷遮断や内部改質等、実機を想定した運用条件においても安全に運用できる事を確認した。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章までの結論を以下のように纏めている。

(1) 加圧下のセル特性予測

燃料極について加圧下における、抵抗過電圧、濃度過電圧、ならびに活性化過電圧を実験的に計測し、抵抗過電圧、ならびに濃度過電圧は加圧の影響を受けないが、活性化過電圧は加圧の影響を受け、特に、水蒸気分圧が上昇すると活性化過電圧は低下するという新たな知見が得られた。セルの性能予測に活かせる

るように、この知見を交換電流密度として整理した。

(2) セルスタック性能予測と最適化

上記で整理した交換電流密度を用いてセルスタック性能解析モデルを構築し、性能を予測すると共に検証実験を実施し、セルスタックの性能の高精度な予測が可能であることを確認した。さらに、性能解析モデルを用いて、セルスタック形状の最適化を行った。その結果、セル数を従来よりも多くし、かつ、インターコネクタ部を長くすることによりセルスタックの性能を向上できるという従来にない知見を得ることができ、セルスタックの試作試験によりそのことを確認した。

(3) 40kW 級加圧モジュール実験検証

加圧下のセル特性、セルスタックの性能を踏まえ、モジュールの熱流動解析モデルを構築し解析を行った。また、40kW 級加圧モジュールの設計、製作を行い、検証試験を実施した。実験では実機を想定した運用を確認すると共に各部温度計測を実施し、解析で予測した各部の温度分布が実験の計測値と良く一致することを確認した。

以上のように、加圧下の燃料極の活性化過電圧は水蒸気分圧の影響を強く受けることを明らかにし、その特性を交換電流密度として整理した点、この交換電流密度に基づくセルスタックの電気化学反応解析手法を構築し、その精度を検証するとともに、形状最適化を行った点、さらにそれらを組み合わせたモジュールの熱流動解析手法を構築し、実際に大形実験機を設計・製作し、加圧形 SOFC モジュールの成立性を実証した点は本研究の新規性と考えられ、本研究により、加圧下で運用する SOFC の性能予測と熱設計の精度を従来に比較して大幅に向上させることができ、その実用化に対して有望な見通しを得ることが出来た。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。