

PCECの反応を模擬した電気的等価回路モデルの構築

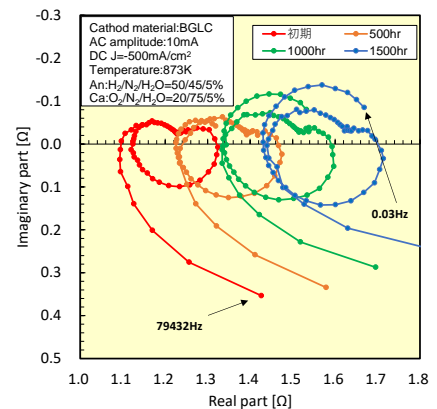
Development of an Electrical Equivalent Circuit Model for Simulating PCEC Reactions

○福住勇貴¹, 辻健太郎², 直井和久², 塩野光弘², 吉川将洋²*Yuki Fukuzumi¹, Kentaro Tsuji², Kazuhisa Naoi², Mitsuhiro Shiono², Masahiro Yoshikawa²

Abstract

This study focuses on developing an equivalent circuit model for protonic ceramic fuel cells/electrolysis cells (PCFC/ECs), which enable highly efficient reversible operation between fuel cell and steam electrolysis modes. While previous work derived a linear equivalent circuit using electrochemical impedance spectroscopy (EIS) data, the calculated transport numbers were physically unrealistic, indicating that the model failed to represent internal electrode reactions and short-circuit mechanisms. To overcome this limitation, we constructed a nonlinear equivalent circuit model that represents the transport of three charge carriers in the electrolyte using resistors, capacitors, and diodes. The model's reproducibility was verified using a general-purpose circuit simulator. Simulation results were also obtained under operating conditions corresponding to those of actual PCFC/EC experiments conducted in our laboratory.

近年,地球温暖化対策として温室効果ガスの削減やエネルギー自給率の向上の観点から,太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が増加している.これらの発電方式は温室効果ガスを排出しないという利点を有する一方で安定供給が難しいという課題がある.そのため,電力不足時には発電を行い,電力余剰時には余剰電力を貯蔵可能なデバイスの一つとして燃料電池が注目されている.本研究では,燃料電池の中でもより高効率であり,燃料電池状態と水蒸気電解状態でリバーシブル運転が可能な燃料電池としてプロトン伝導形燃料電池/水蒸気電解セル(Protonic Ceramic Fuel Cell/Electrolysis Cell 以下PCFC/EC)に着目した.しかし,PCFC/ECは開発段階であり,発電時や水蒸気電解時のオーミック損による電圧降下,燃料極及び空気極過電圧を分離評価し,性能劣化の要因を特定する方法は確立されていない.また,PCECはFigure 1^[1]のようにナイキスト波形に誘導性挙動が表れるため既存の方法では特定が困難である.そこで,本研究ではPCECの反応を模擬した電気的等価回路モデルの構築を目的とした.先行研究^[2]では,実験から得られた交流インピーダンス(EIS)データを用いてPCECの電気的な挙動を再現するための模擬的な等価回路が導出された.しかしながら,この等価回路から算出された輸率は理論上取り得ない値を示し,セル内部の電極反応や短絡回路の反応メカニズムを物理的に表現できていないことが明らかとなった.この問題は等価回路を線形素子のみで構成したことに起因している.そこで本研究では八代氏^[3]らが報告している電解質内の3つの伝導キャリア(プロトン,酸素空孔,ホール)の輸送を抵抗,コンデンサ,ダイオードを用いて表現した等価回路モデルを参考にして構築し,汎用的な回路シミュレーターを用いてその再現性を検証した.本稿では参考論文^[3]を基に作成した等価回路モデルの再現性確認結果に加え,本研究室でPCFC/ECを運転した際の条件を用いたシミュレーション結果について報告する.

Figure 1. Nyquist diagram at PCEC mode^[1]

参考文献

- [1] 杉山健悟, 辻健太郎, 吉川将洋, "BGLC 空気極材料を適用した PCFC の高温水蒸気電解モードにおける適用性評価", 第 42 回電気設備学会全国大会, 2H-11, pp. 414-415, 2024
- [2] 杉山健悟, "誘導性挙動が発現する PCEC の等価回路とその回路を用いた輸率推定方法の検討", 令和6年度日本大学大学院理工学研究科修士論文要旨集, 電気工学, pp24-25, 2024
- [3] 八代圭司, 江畑総一郎, 川田達也, "回路シミュレーターを用いたイオン導電体中のポテンシャル分布の解析", 電気化学, Vol. 92, No. 4, pp. 336-340, 2024

1: 日大理工・院(前)・電気 2: 日大理工・教員・電気