



Watanabe Hirotatsu

渡部 弘達

理工学部 准教授

2004年東北大学工学部化学バイオ系卒業、2006年東北大学大学院 工学研究科 化学工学専攻 博士前期課程 修了、2009年同大学院 工学研究科 化学工学専攻 博士後期課程 修了。博士(工学)。2009年東京工業大学大学院 理工学研究科 機械制御システム専攻 助教、2014-2015年マサチューセッツ工科大学機械工学科 客員研究員、2016年東京工業大学 工学院機械系助教を経て、2021年より現職。専門は熱工学。日本機械学会熱工学部門学会賞委員会幹事、Combustion and Flame Editorial Board 等を務める。

- 1) H. Watanabe et al., Impact of dopant X in zirconia on carbon deposition at the Nickel/X-stabilized zirconia(XSZ) surface in dry CH₄ and CH₄/H₂O environments: First-principles density functional theory calculation and experimental study, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 50, 1155, 2024
- 2) H. Watanabe et al., Oxidation Process of Ni Cathode in CO₂ Electrolysis in SOEC: X-Ray and DFT Study, ECS Transactions, Vol. 111, 1319, 2023
- 3) S. Muto et al., Carbon Deposition Mechanisms on Ni-Based Anode for SOFC: A Comparison Between Non-Discharge and Discharge Modes, ECS Transactions, Vol. 111, 385, 2023
- 4) 渡部弘達, 固体酸化物形燃料電池の燃料極における炭素析出挙動のinsitu 分析, SPring-8/SACLA 利用研究成果集, Vol. 10, 357, 2022
- 5) H. Watanabe et al., Mechanisms of the carbon deposition at the Ni/YSZ interface: A combination study of microscopic observation and first-principles calculation, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 47, 29027, 2022

固体酸化物セルを用いた二酸化炭素の電気分解

劣化に強い電極を独自開発し、高い分解効率を維持

安定的にエネルギーを供給できる炭素資源は再生可能エネルギーの導入が進む現代にあっても、エネルギーセキュリティや再生エネルギーの調整電源の観点からも重要なエネルギー源です。私たちはカーボンニュートラルな社会の実現に向け、再生可能エネルギーを使って二酸化炭素を炭素材料や石油代替燃料に変換する電気分解セルや、炭素資源をエネルギーに変換する燃料電池の研究を行っています。電気分解の研究では電極を独自に開発し、その表面で起きる反応現象を実験科学と計算科学の両面から明らかにします。二酸化炭素は火星の大気の主成分であり、火星基地の建設をめざす際には、酸素生成装置としても活用が期待されています。

酸化に強く高効率なSOEC 電極の開発と性能評価

二酸化炭素の電気分解に用いられる固体酸化物形電気分解セル(SOEC)を製作し、電気分解の反応前後や反応中の電極の状態の観察と評価を行っています。研究では、カソード・電解質・アノードからなるボタン型セルを使用しており、電圧を加えて二酸化炭素を一酸化炭素と酸素イオンに分解します。

SOECを用いた二酸化炭素の電気分解には摂氏700度程度の高温が必要ですが、この温度の二酸化炭素は金属を酸化させやすく、通常の電極は次第に劣化してしまいます。私たちはニッケル系の電極を独自に開発し、電解電圧1.2V、電解電流

400mA/cm²でファラデー効率80%超を達成しました。また、大学内の放射光施設を使用したオペランド分析により、電気分解の前後で電極のX線スペクトルがほぼ変化せず酸化による劣化が抑えられたことも確認できました。ボタン型セルはφ=8mm、厚さ=0.5mmと小さなものですが、電池や電気分解には性能上のスケールメリットがなく、小型のセルで得られた成果は大型化しても維持されます。電解電圧をどこまで下げられるか、電解電流をどこまで伸ばせるかなど電極自体の性能を向上させる取り組みを続け、大型セルの開発に繋がりたいと考えています。

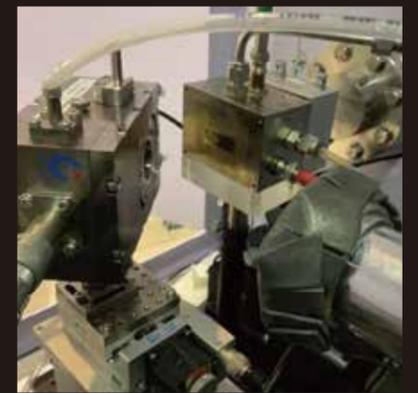


図1: 反応中の電極をX線で直接観察するオペランド分析装置

酸素・炭素の原料としての二酸化炭素の宇宙利用の可能性

私たちはこれまで、二酸化炭素から炭素材料や石油代替燃料を生成することに注力してきました。しかし宇宙ではアノード側に生じる酸素も貴重な資源となりえます。SOECを用いた酸素の生成の研究にはNASAなども着目しています

が、端緒についてところで研究は始まったところです。

オペランド分析や電子顕微鏡、さらには第一原理計算といった計算科学などを用いて電極を観察・評価できることが私たちの強みです。火星大

気の二酸化炭素とソーラーパネルでどの程度の量の酸素が作れるか、長時間連続で稼働させたとき電極の状態がどう変化するかなど、実験とシミュレーションを組み合わせながら今後検討する予定です。

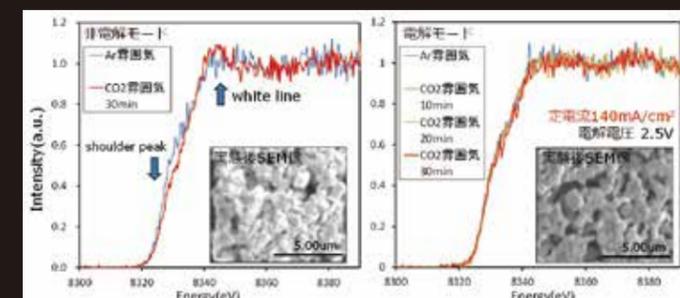


図2: 電気分解前後の電極表面状態の変化(反応前:青、反応後:赤)左グラフでは反応前後でX線スペクトルが変化しているが、右グラフでは変化が小さく電極の酸化が抑えられたことが確認できる

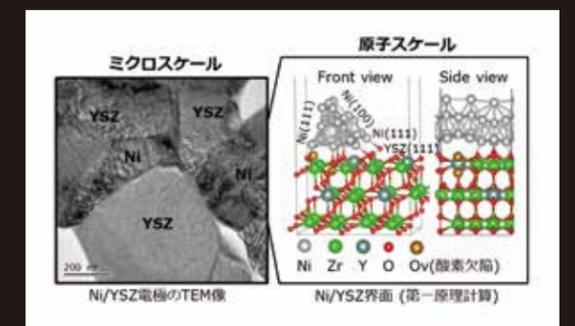


図3: 第一原理計算による電極構造の原子レベル理解