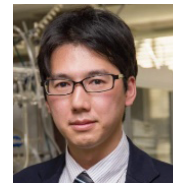


階層横断的視点からのCO₂電解還元系の設計・開発

基礎工学研究科 附属太陽エネルギー化学研究センター

准教授 神谷 和秀

 Researchmap <https://researchmap.jp/kamiya0908>

研究の概要

水溶液系での電気化学的手法によるCO₂還元反応は、クリーンかつ常温常圧で進行することから、CO₂の資源化技術として大きな注目を集めています。CO₂電解還元の社会実装に向けては、高付加価値物質を高速かつ高選択的に生成できる反応系の構築が必要不可欠です。我々はCO₂電解の反応場である三相界面を構築する電極触媒などの各要素を適切に選択・配列することで、世界最高の電流密度で駆動する超高速CO₂電解系（C₂以上の有機化合物の生成電流密度 $j_{C_{2+}}=1.7A/cm^2$ ）の立ち上げに成功しました。

研究の背景と結果

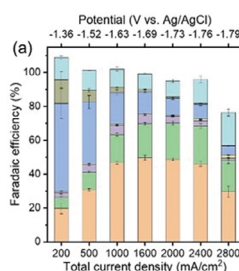
カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー由来の電力を用いたCO₂電解が大きな注目を集めています。特に近年、ガス拡散電極（GDE）を用いて基質CO₂をガス状のまま反応界面に供給することで、CO₂電解を高電流化しようとする試みが活発になりつつあります。これまでこのガス状CO₂電解の高活性化に向けては、触媒などの各構成要素を個別に設計・開発する研究が主流でした。しかし、反応サイトである触媒/電解液/ガス状基質から成る三相界面の設計が不十分であったため、それぞれのポテンシャルが十分に発揮されてきませんでした。

そのような背景のもと我々は三相界面の各要素を適切に選択・配列することで、それらを調和的に機能させ、各構成材料のポテンシャルを最大限に発揮させるといった思想に基づき研究を行っています。その結果、酸化銅由来の金属銅ナノ粒子の触媒層厚みおよび多孔性を適切に制御することで、中性溶液中でのC₂以上の有機化合物の生成電流密度 $j_{C_{2+}}=1.7A/cm^2$ という世界最速のCO₂電解反応を駆動させることに成功しました。従来のガス状CO₂の電解系では電流密度とC₂₊生成の電流効率にトレードオフの関係があると考えられていました。しかし、申請者の超高速電解系では電流密度を増加するに伴いファラデー効率が上昇する、トレードオフの関係が得られました。この結果は、電流密度を増加させることで、反応界面がC₂₊生成反応の進行に適した形に動的に変化していることを示しています。

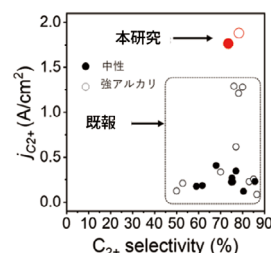
研究の意義と将来展望

本研究で構築したCO₂の超高速電解系は従来の低速での反応系とは、選択性などに大きな違いがみられます。これは本系が単純に電流密度が高いだけでなく、質的に異なるものであることを示しています。つまり、本系を基盤として創出される学理や本系に適した材料は、既存の低速系のそれらとは全く異なると考えられます。

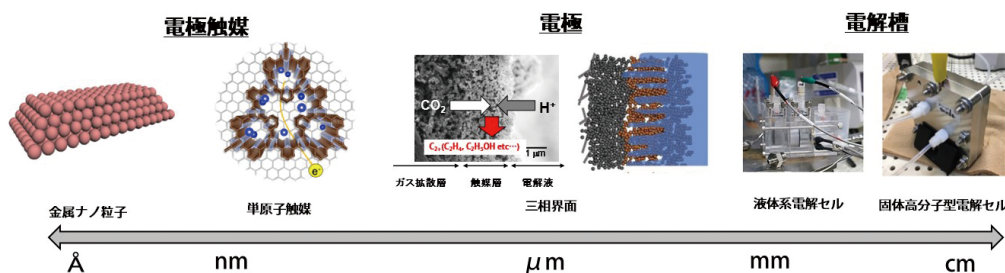
特に新規電極触媒材料開発に関して、本系は大きな転換点になると期待されます。我々が開発した超高速電解系では、触媒表面における中間体COの濃度が従来とはけた違いに高くなることに加え、表面pHも大きく上昇します。これにより競合反応である水素発生が抑制されると考えられます。つまり、従来の低速でのCO₂電解では水素発生のみが進行する触媒に対して超高速電解系を適用することで、これまで水素発生に隠されていたCO₂電解活性を顕在化させることができると期待されます。



電流密度とファラデー効率



既報論文と本研究での電流密度比較

CO₂電解系の多階層横断的設計

特許

論文

Inoue, Asato; Nakanishi, Shuji; Kamiya, Kazuhide et al. Ultra-high-rate CO₂ reduction reactions to multicarbon products with a current density of 1.7 A/cm² in neutral electrolytes. EES Catalysis. 2022 in press. doi: 10.1039/D2EY00035K
Liu, Tengyi; Nakanishi, Shuji; Kamiya, Kazuhide et al. A Tin Oxide-Coated Copper Foam Hybridized with a Gas Diffusion Electrode for Efficient CO₂ Reduction to Formate with a Current Density Exceeding 1 A cm⁻². Small. 2022 in press. doi: 10.1002/smll.202205323

参考URL

<https://rsec.osaka-u.ac.jp/nakanishilab>

キーワード

CO₂の資源化、電子移動触媒、マルチスケールシミュレーション、人工光合成