

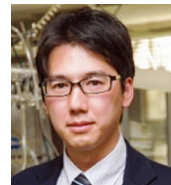


高速・高選択CO₂ 電解還元系の多階層横断的設計

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る。本技術の社会実装に向けては高速かつ高選択で反応系を駆動させる必要がある。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、1 A/cm²を超える電流密度でC₂以上の有機化合物やギ酸を高選択的に合成することに成功した。

研究の背景と結果

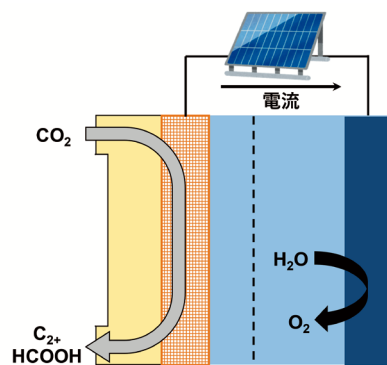
カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー由来の電力を用いたCO₂電解が大きな注目を集めている。特に近年、ガス拡散電極(GDE)を用いて基質CO₂をガス状のまま反応界面に供給することで、CO₂電解を高電流化しようとする試みが活発になりつつある。これまでこのガス状CO₂電解の高活性化に向けては、触媒などの各構成要素を個別に設計・開発する研究が主流であった。CO₂還元反応系全体の活性の向上には、触媒・電極・電解槽などスケールの異なる各要素材料を調和的に機能させ、各材料のもつポテンシャルを最大限に発揮させることが必要不可欠である。

我々はナノメートルスケールでの材料設計と、マイクロメートルスケールでの界面設計を組み合わせることで、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きた。その結果、最も標準的な触媒である金属銅ナノ粒子を用いて、その触媒層の厚みや多孔性を精密に制御することで、世界最高の電流密度で駆動する超高電流密度CO₂電解系(C₂以上の化合物の生成電流密度 $J_{C_2+} = 1.8$ A/cm²)の立ち上げに成功した。さらに、我々は金属ナノフォームとカーボンナノ粒子をハイブリッドすることで、親/疎水界面を厚み方向に増加させることで、反応面である三相界面の面積を大幅に増加させた。その結果、水素キャリアとして期待されるギ酸の生成電流密度を1 A/cm²を超えるまでに増大させることに成功した。さらに、固体高分子型電解セルを用いることで、従来の液体電解質系と比較して消費電

力(作動電圧)を大幅に低減したうえで、C₂以上の化合物を高速で生成することができる反応系を構築した。

研究の意義と将来展望

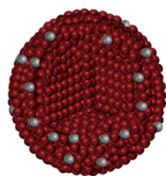
CO₂電解に活性を決定する因子は触媒・電極・電解槽など多階層にまたがって複数あげられる。しかし、従来の多くの研究は各要素のみにフォーカスしたものであり、それぞれをいかに全体調和的に機能させるかといった研究はほとんど行われてこなかった。一方、我々はこれらの各要素を適切に選択・配列することで、それらを調和的に機能させ、各構成材料のポテンシャルを最大限に発揮させるといった思想に基づき研究を進めることで、世界最高クラスの反応速度を達成することに成功した。本研究で扱ったようなマイクロからマクロスケールまで多階層横断的視点での設計は、今後のエネルギーデバイスの開発において基盤的方針になると考えられる。



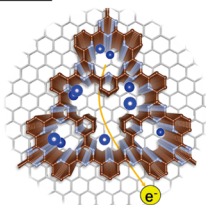
ガス拡散電極

ガス状CO₂電解の概略図

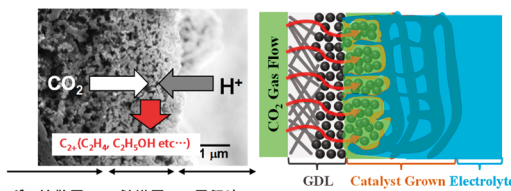
電極触媒



金属ナノ粒子

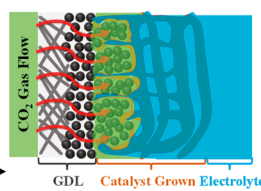


単原子触媒

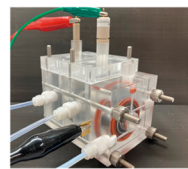


三相界面

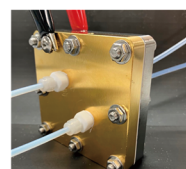
電極



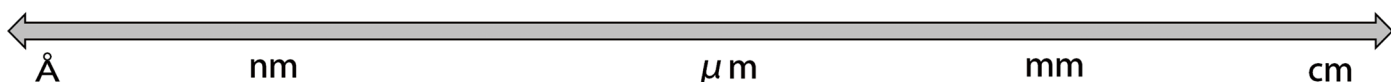
電解槽



液体系電解セル



固体高分子型電解セル



CO₂電解系の多階層横断的設計

特許 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*. 2023, 1, 9-16. doi: 10.1039/D2EY00035K

論文 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, 18, 2205323. doi: 10.1002/sml.202205323

参考文献 Kato, Shintaro; Nakanishi, Shuji; Kamiya, Kazuhide et al. Selective and high-rate CO₂ electroreduction by metal-doped covalent triazine frameworks: A computational and experimental hybrid approach. *Chemical Science*. 2023, 14, 613-620. doi: 10.1039/D2SC03754H

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

キーワード CO₂電解、カーボンニュートラル、マルチスケールシミュレーション、人工光合成