

表界面精密解析によるエネルギーマテリアルの研究開発

研究代表者 福永 明彦
(先進理工学部 応用化学科 教授)

1. 研究課題

大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度の増加は、地球全体の環境システムに影響を与え、地球温暖化を招き、異常気象や海面の上昇により人類の持続的な発展に脅威となりつつある。そこで、化石燃料の使用量削減と共に、CO₂を資源としてリサイクルする技術開発が急務となっている。CO₂のリサイクル技術の中でも、二酸化炭素電解還元反応 (carbon dioxide reaction reduction: CO₂RR) は CO₂を常温、常圧で有用な化学物質に直接変換できる技術として大変注目されている。

しかし、CO₂は水溶液への溶解性が低く、溶液内の拡散も遅いため、実用化に向けては、ガス拡散電極 (gas diffusion electrode: GDE) の利用が期待されている。GDEを用いると、CO₂を溶解させることなく気相から電極表面に直接供給することができるので、高電流密度下での運転が可能となる。しかしながら、水素発生反応 (hydrogen evolution reaction: HER) が競合する可能性がある。特にGDEを用いた場合、電解液がGDE内を通してガス供給側へ漏れ出してしまうフラッドイングにより、CO₂の電極表面への供給が妨げられ、HERが支配的になってしまうケースがある。そこで本検討では、疎水性が高く微細孔を有する Microporous Layer (MPL) の GDE への導入やイオン伝導性を高めるポリマーである ionomer の GDE への塗布により、フラッドイングの抑制や CO₂還元生成物の選択性に改善がみられるかどうかを検討した。

2. 主な研究成果

2.1 ガス拡散電極の高電流密度下での CO₂還元特性[1]

1 M CuSO₄水溶液を用いて、電流密度 16 mA cm⁻²で 60 分間 Cu 電析をカーボンペーパー上に行い、GDE を作製した。カーボンペーパーには、microporous layer (MPL) が含まれるカーボンペーパーと含まれないカーボンペーパー2種類を用いた。電析により作製した電極に、Cu の重量に対して 0、0.5、1 wt%の ionomer を塗布しその効果を調べた。検討に用いた CO₂電解システムを図1に示す。対極に Pt メッシュ、参照極に Ag/AgCl を使い、作用極にガス拡散層 (Gas diffusion layer(GDL)) 付き GDE を図1に示す通りセットした。CO₂はガス拡散

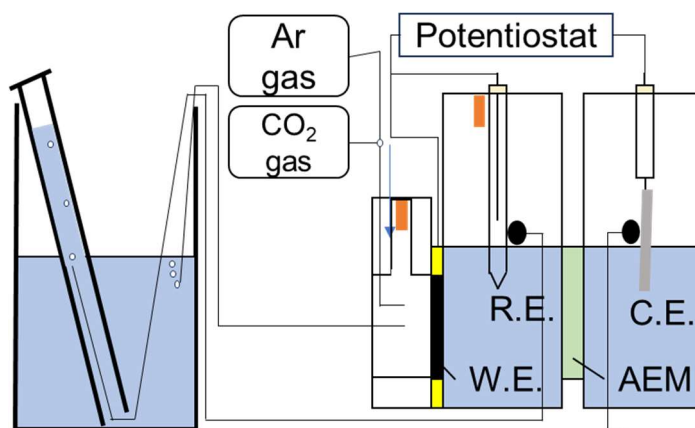


図1 CO₂電解システム図

層を通じて Cu 電極に供給される。電解液には、1 M KOH を用いて、Ar で脱気、CO₂ で十分通気を行った上で、電流密度 200 mA cm⁻¹ で 30 分間電解を行った。液生成物は、イオンクロマトグラフ、HSSGC-MS で定量した。ガス成分は、電解液側とガス流路側両方からガス収集を行い TCD および FID 付きのガスクロマトグラフで定量した。

図 2 に各 GDE の電解によって得られた生成物のファラデー効率を示す (MPL が含まれない GDE を N、含まれる GDE を M、Cu の電析を MPL 上でなく、その裏側に作製した GDE を M' として示している。また、数字は ionomer 量を表しており、単位は wt% である)。MPL の導入によりフラッディングが抑制され、CO₂ 還元生成物の選択性が向上し、C₂ 成分の C₂H₄ と C₂H₅OH の生成が認められた (M/0 and M'/0)。また、MPL 上に Cu 電析した方 (M/0) が、Cu を MPL の反対側に電析させた GDE (M'/0) より CO₂ 還元生成物の選択性が高かった。これは、Cu 電析層が電解液でフラッディングを起こしている為と考えられる。さらに、MPL 側に Cu 電析した GDE 上への ionomer 量の添加により、CO₂ 還元生成物の選択性に変化が認められた。

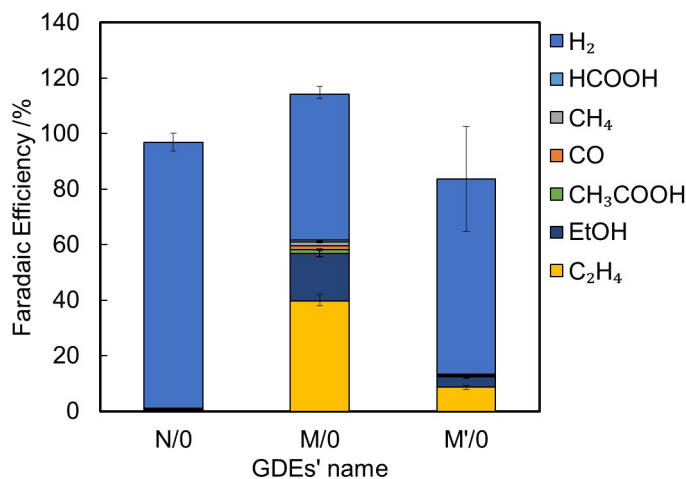


図 2 CO₂RR 生成物のファラデー効率

[1] ○原琢人, 佐久間洋佑, 福永明彦, 電気化学会第 93 回大会 要旨集 S11_1_08(2026).

3. 共同研究者

なし

4. 研究業績

4.1 学術論文

○Akihiko Fukunaga, Wakana Ichimura, Yosuke Sakuma, Asaki Kamio, “*Effect of PTFE and surfactant modifications on the performance of electrodeposited Cu electrodes for the electrochemical CO₂ reduction reaction*” *Surfaces and Interfaces*, 80 (2026) 108182.

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.108182>

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

自動車技術会「燃料電池部門委員会」委員

日本鉄鋼協会 「水素脆化の基本要因と実用課題」フォーラム 委員
米国 SAE Fuel Cell Interface Task Force Committee, member
電気化学会
日本化学会
炭素材料学会
燃料電池開発情報センター

5. 研究活動の課題と展望

本研究において、Cu 電析により GDE を作製し、ガス拡散層の MPL の有無、GDE へのアイオノマーの塗布が CO₂RR 生成物にどのような影響を与えるのか明らかにした。今後は、更に高電流密度下での検討を行う。