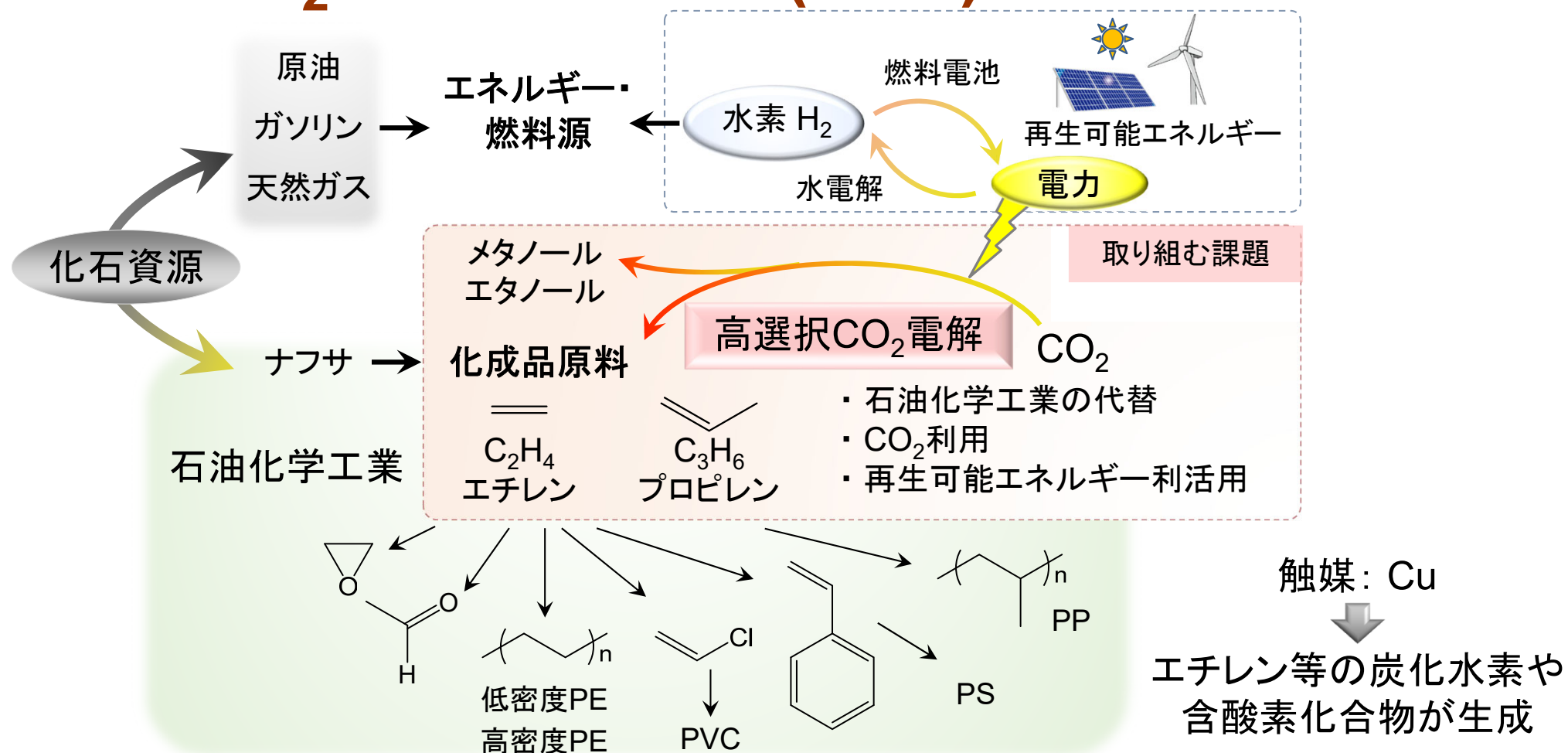


CO₂電気化学還元による高選択的 エチレン生成

鹿児島大学 大学院理工学研究科
工学専攻 化学工学プログラム
教授 田巻 孝敬

2026年7月2日

CO₂電気化学還元(電解)について



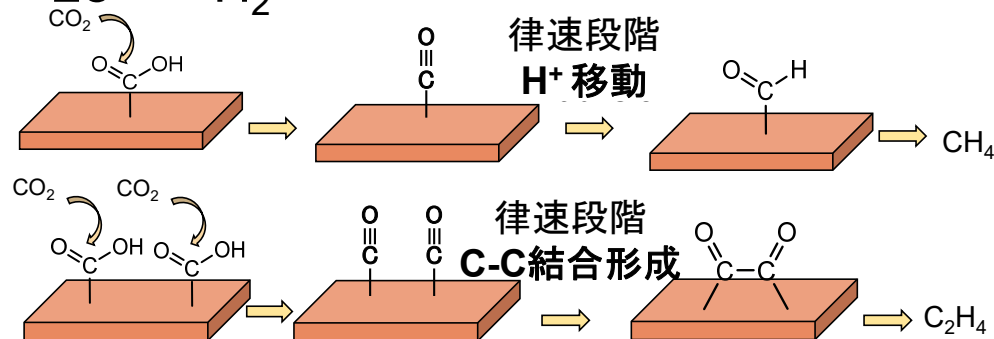
従来技術とその問題点

従来技術では、主としてCu触媒のナノ構造制御が検討されているが、エチレンの選択性が低いことが問題であり、実用化には至っていない。

・水素生成：低pHで促進 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

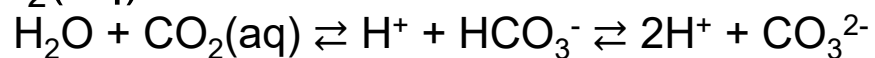
・ CH_4 生成：低pHで促進

・ C_2H_4 生成：pHに依存しない



➤ 高pHでエチレン選択性向上

・ $\text{CO}_2(\text{aq})$ 平衡反応

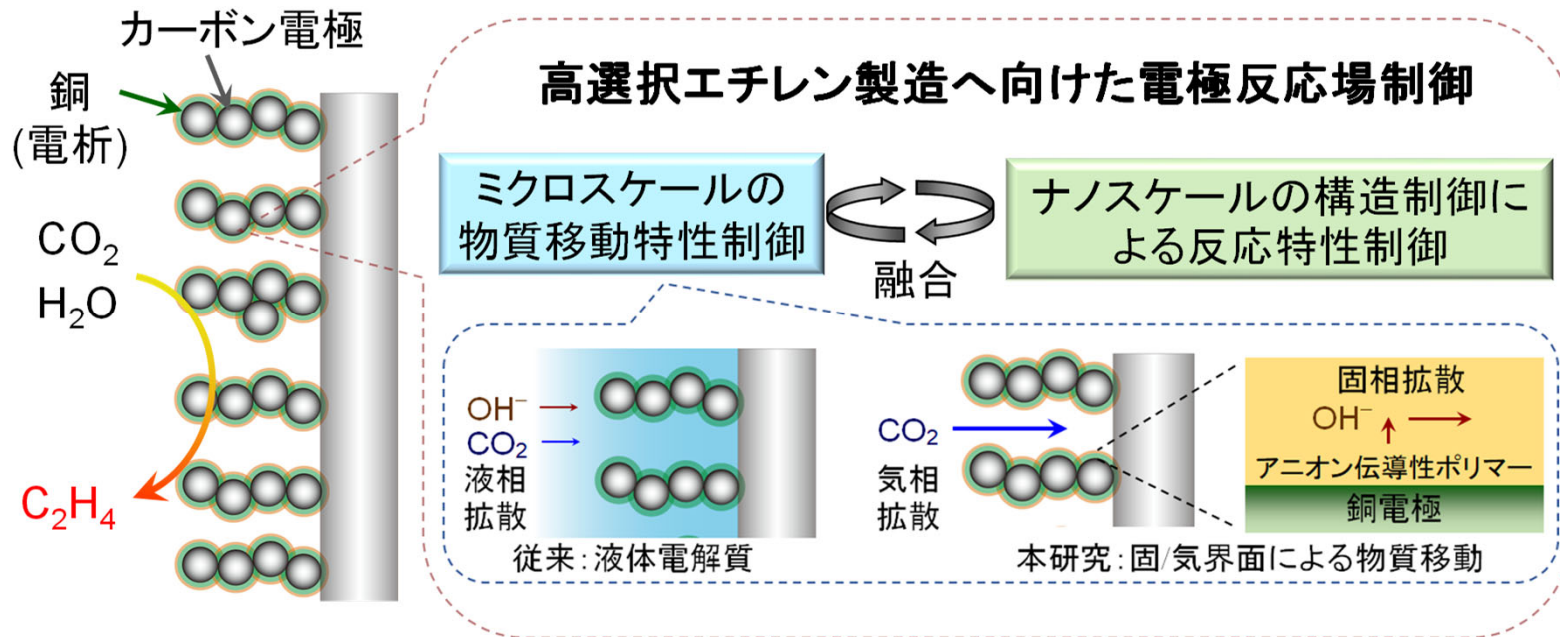


➤ $\text{CO}_2(\text{aq})$ 濃度が低下

物質移動特性の制御

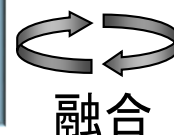
新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ 従来技術の問題点であった、エチレン選択性の向上を図った。
- ・ 多孔質カーボン材料へ銅を析出した電極 & アニオン伝導性ポリマー被覆
→ 電極内 & ポリマー層内の物質移動を制御
→ 銅のナノ構造制御との融合によりエチレン選択性が向上

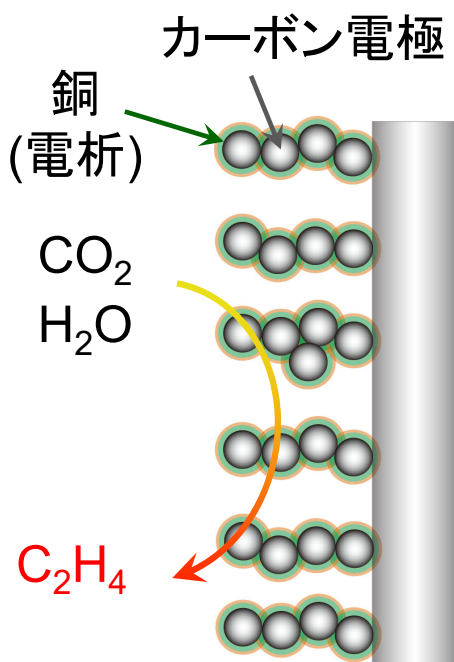


本発表で紹介する結果

ミクロスケールの
物質移動特性制御



ナノスケールの構造制御
による反応特性制御



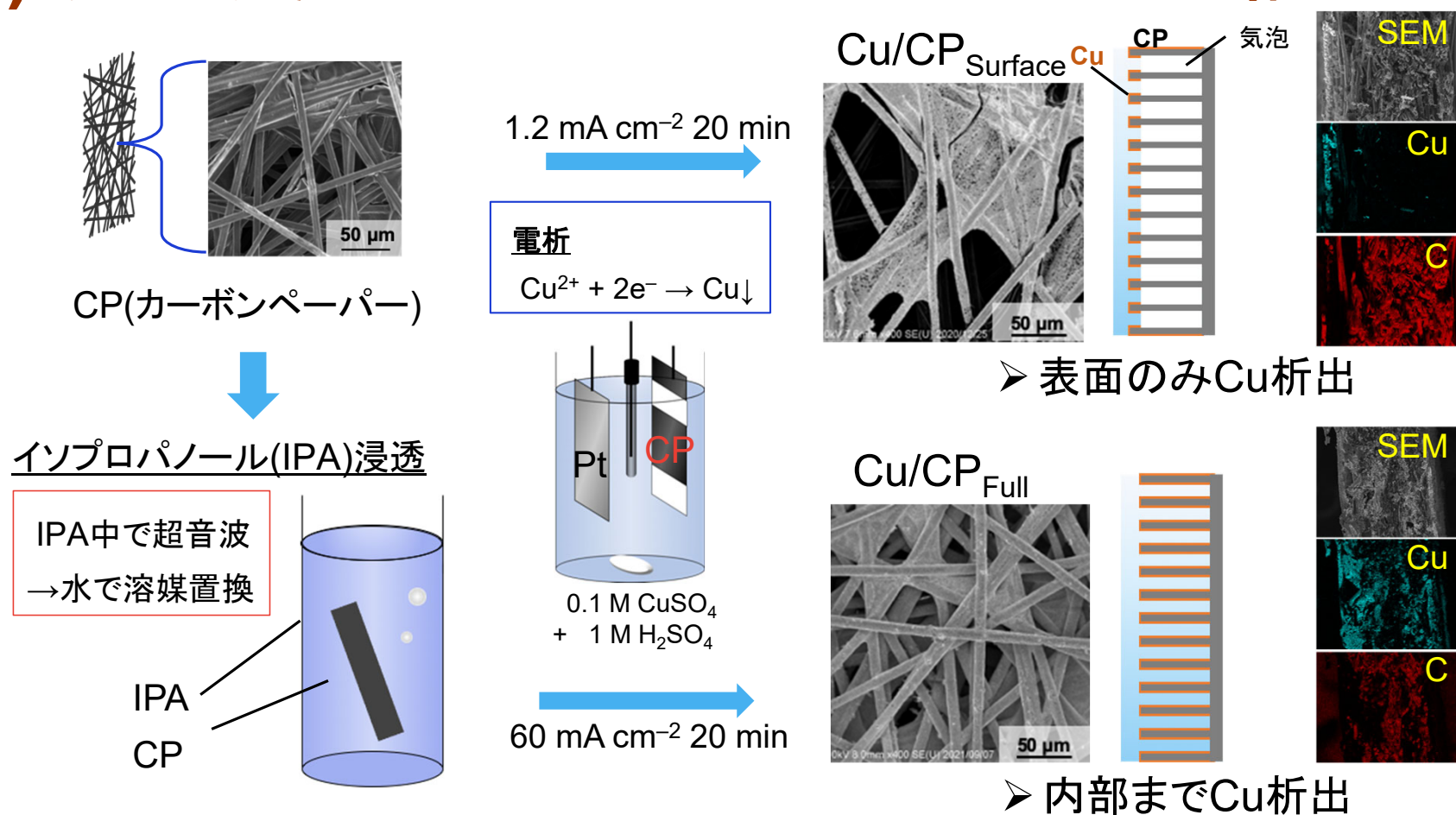
1) Cu析出カーボン三次元電極の構造: 三次元電極中の物質移動

2) Cuのナノスケール構造制御: Cu析出カーボン電極でCuナノ構造制御

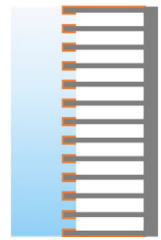
3) アニオン伝導性ポリマー被覆電極: ポリマー被覆効果

4) 固/気界面でのCO₂電解性能評価: Cu析出三次元電極へポリマー被覆

1-1) 多孔質カーボン電極へのCu析出構造制御



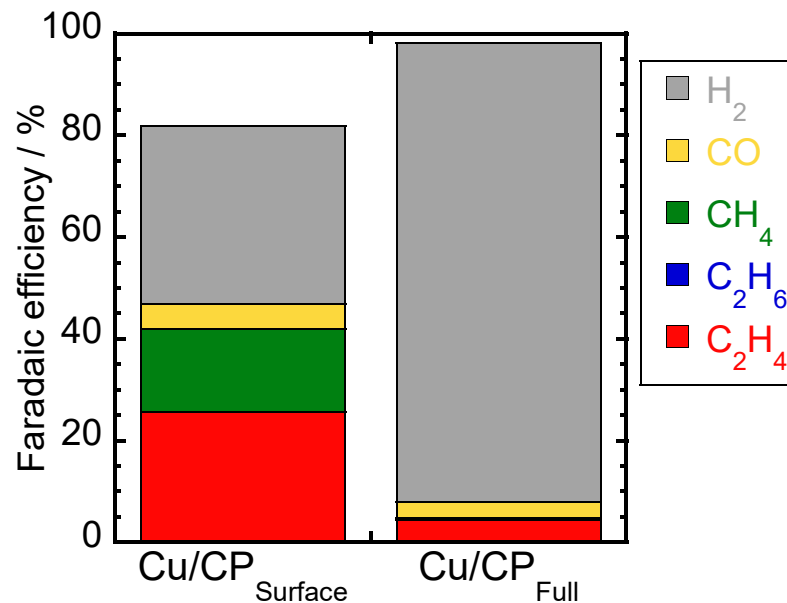
1-2) Cu析出厚さがCO₂電解性能へ与える影響



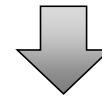
Cu/CP_{Surface}



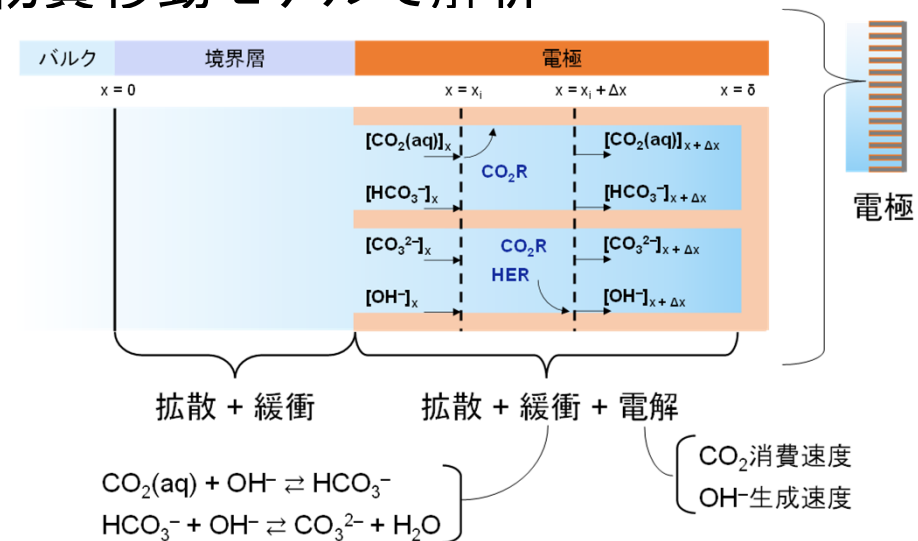
Cu/CP_{Full}



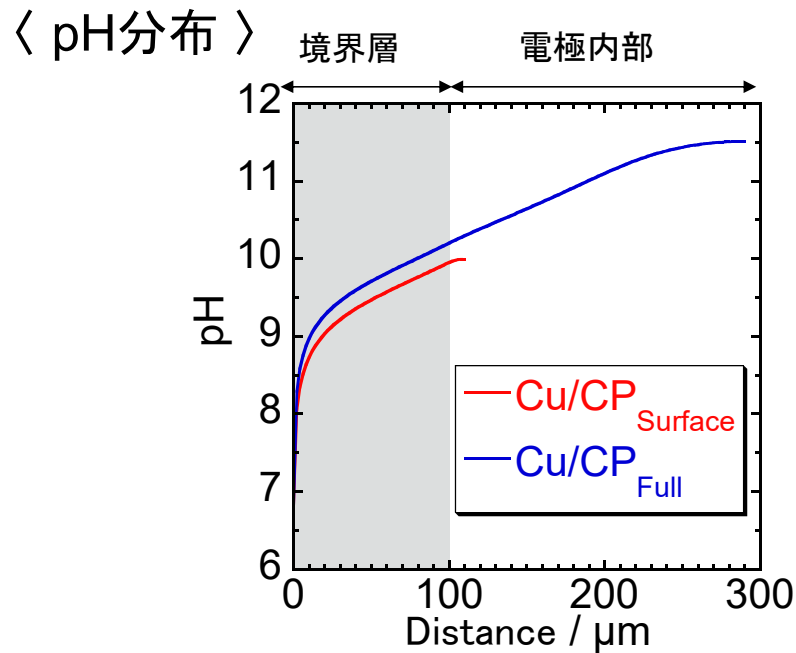
- Cu/CP_{Full} : 水素発生支配的 (CO₂還元: 小)
- Cu/CP_{Surface} : エチレン選択性向上



物質移動モデルで解析

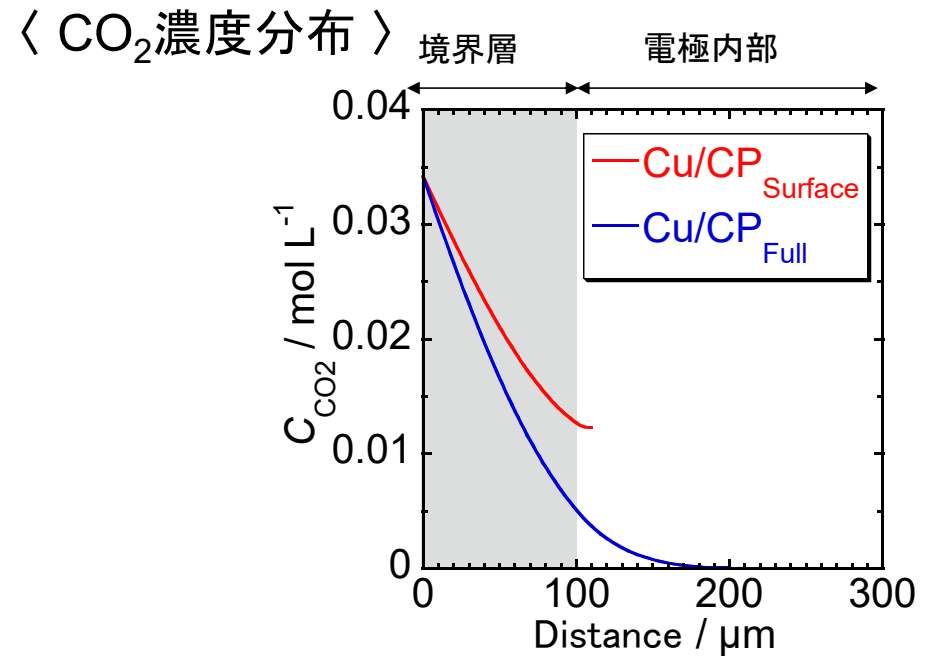


1-3) 数値計算結果：物質移動の影響



Cu/CP_{Full}

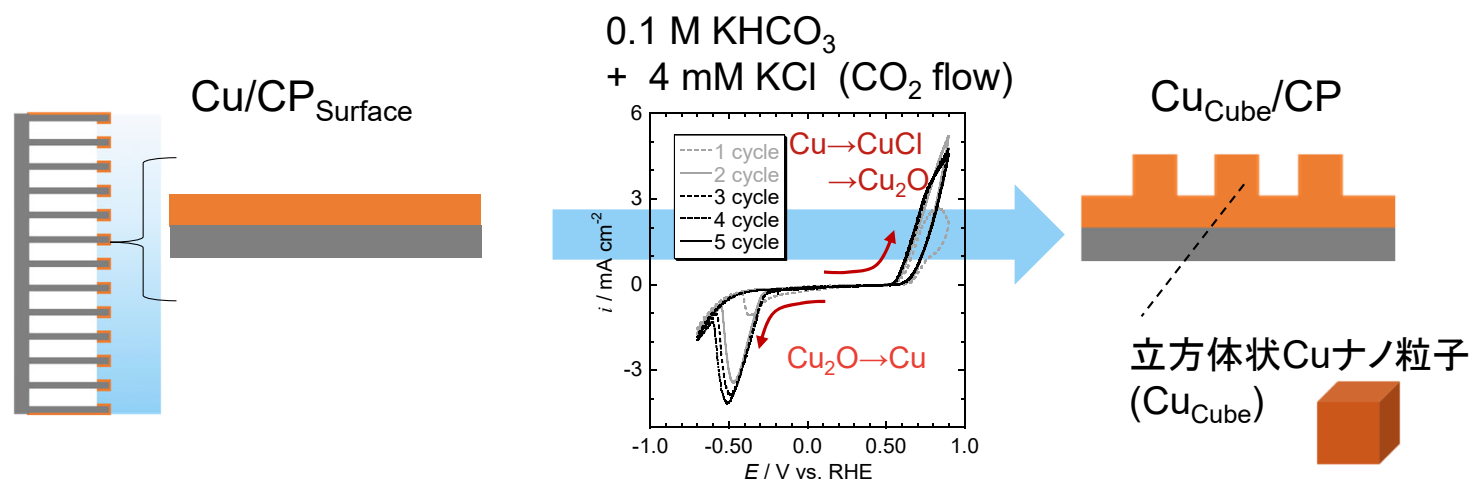
- pH上昇による CO_2 濃度低下 ($\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$)
→ CO_2 電解性能低下の原因



Cu/CP_{Surface}

- $\text{Cu/CP}_{\text{Full}}$ と比較して CO_2 濃度が高い
→ CO_2 供給は十分

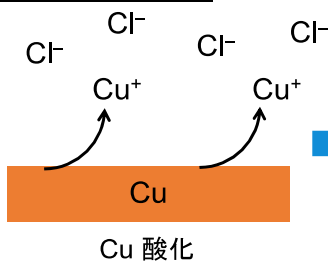
2-1) Cuのナノ構造制御：立方体状Cuナノ粒子



CuCube形成メカニズム

Roberts, F.S. et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **54**, 5179- (2015)

0.6 ~ 0.9 V



立方体状CuCl形成

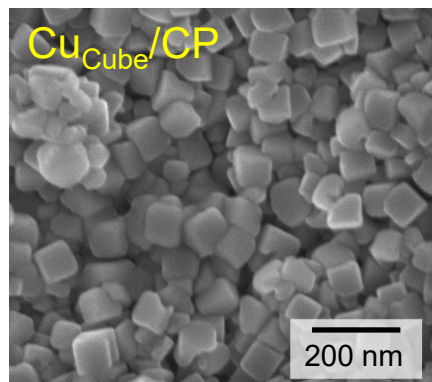
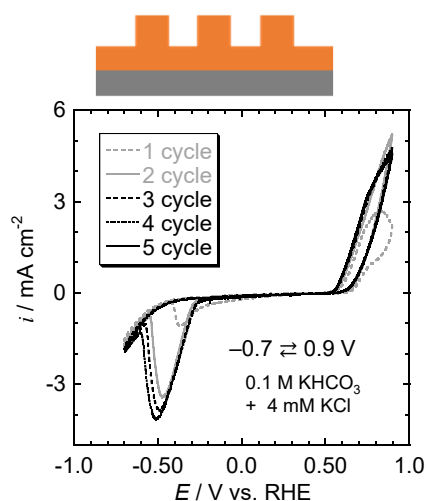
Cu₂Oに変換

Cuに還元

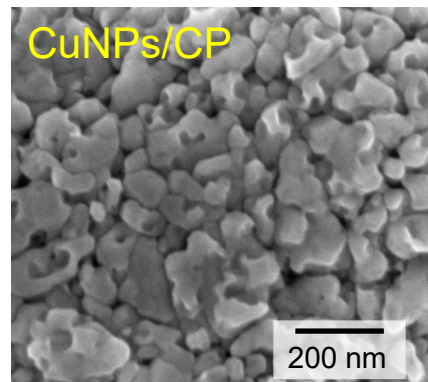
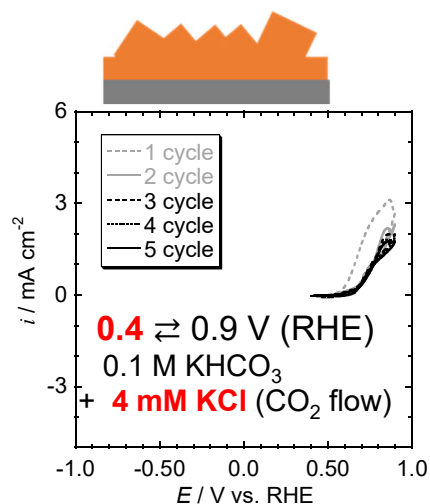
-0.5 V

2-2) 電位掃引条件による構造制御

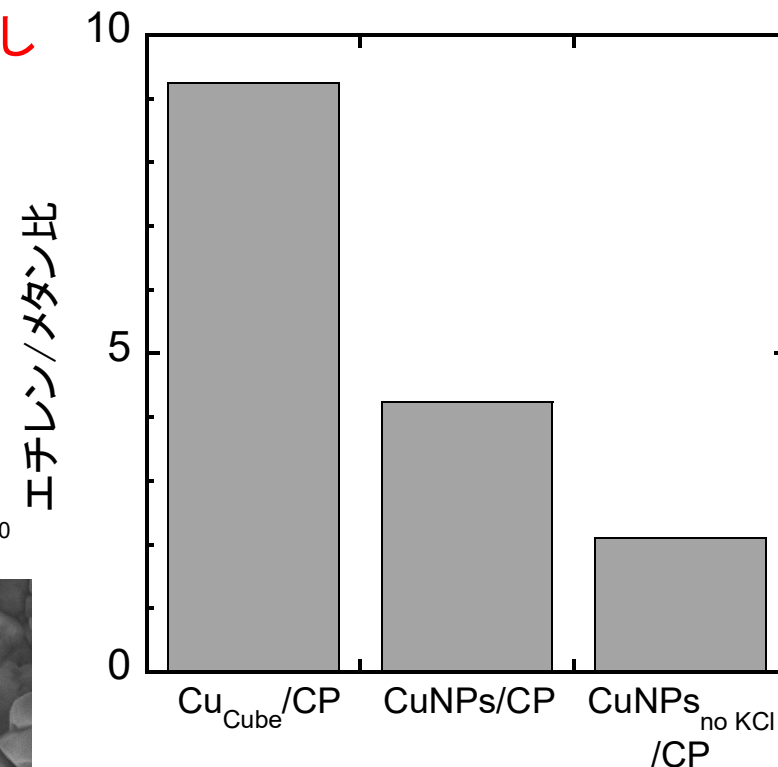
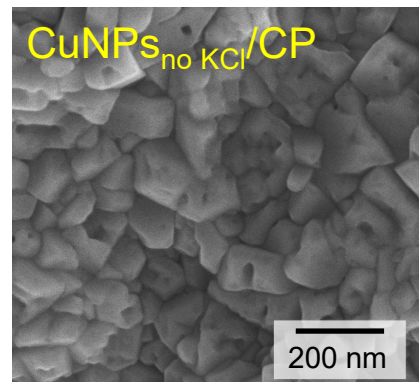
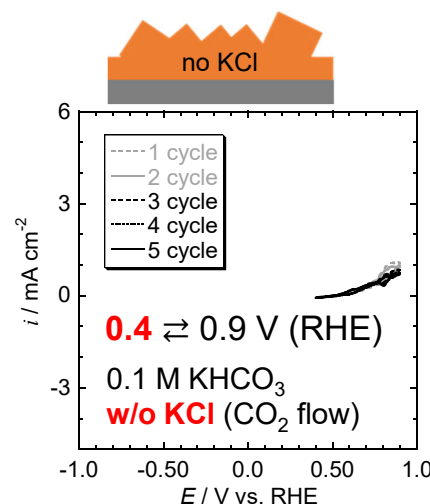
酸化・還元 & KCl



酸化のみ & KCl

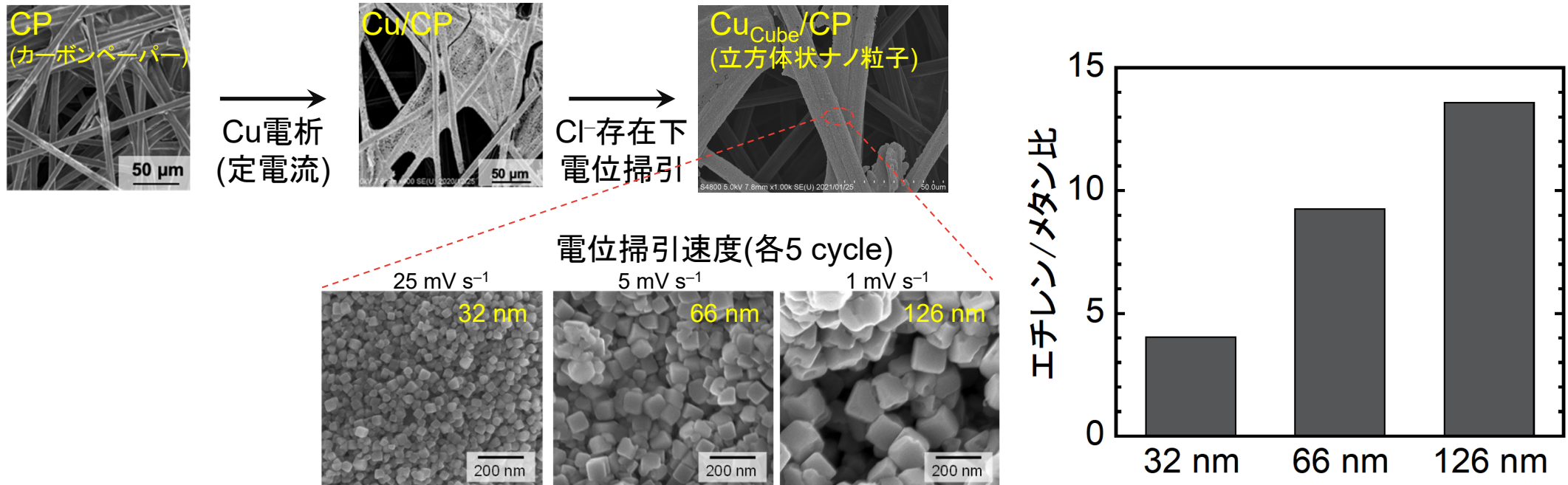


酸化のみ & KClなし



- 不定形ナノ粒子と比較して
Cu_{Cube}で高エチレン/メタン比

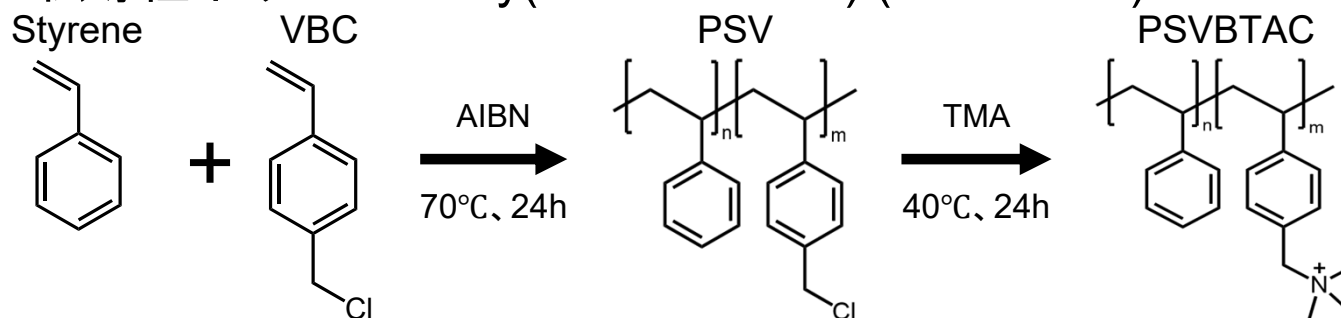
2-3) カーボン電極へ析出した Cu_{Cube} のサイズ制御



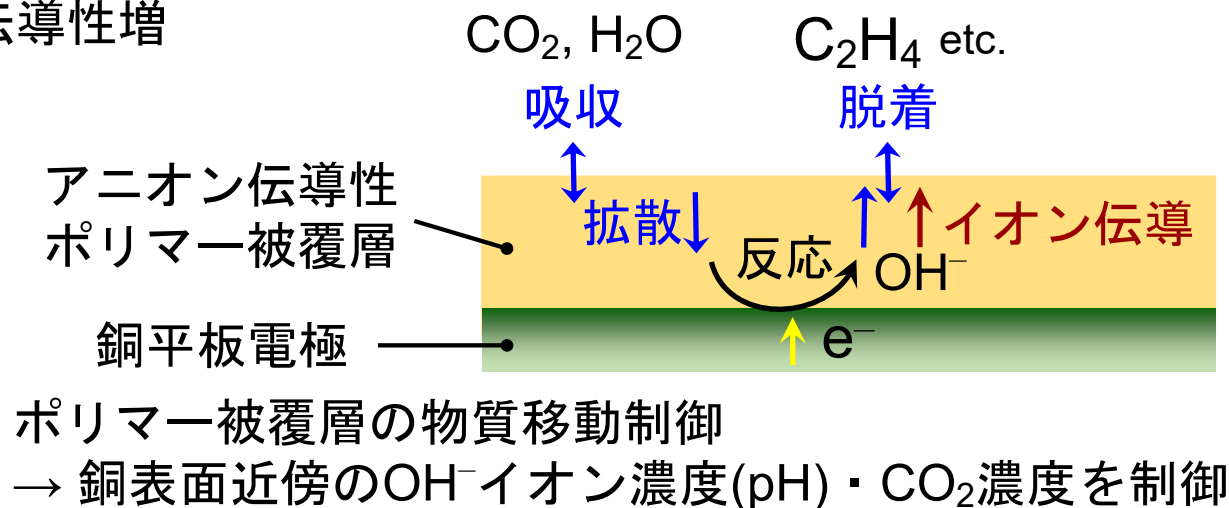
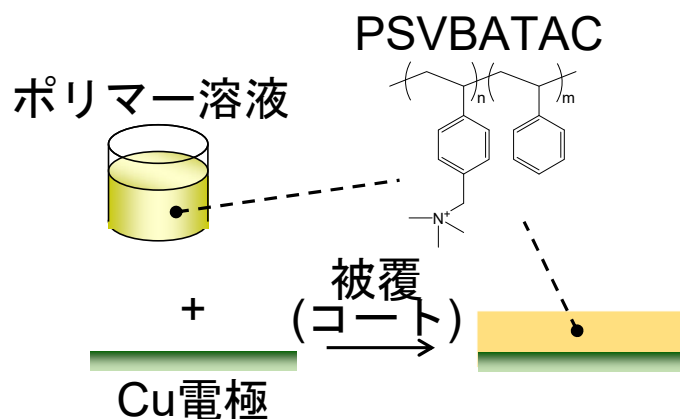
- ・ 電位掃引速度によりナノ粒子のサイズ制御
- ・ サイズが大きいほど高エチレン/メタン比

3-1) Cu平板電極へのアニオン伝導性ポリマー被覆

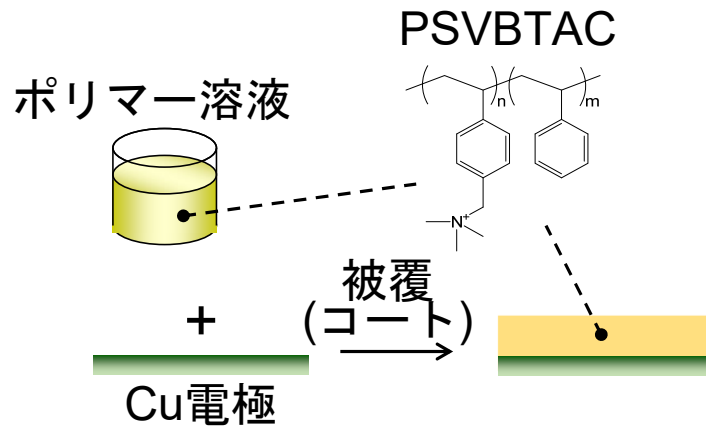
< アニオン伝導性ポリマー: Poly(VBTAC-co-St) (PSVBATAC) >



- ・ Styrene / VBC比によりイオン交換基密度(IEC)を制御
- ・ IEC 増 : OH^- イオン伝導性増

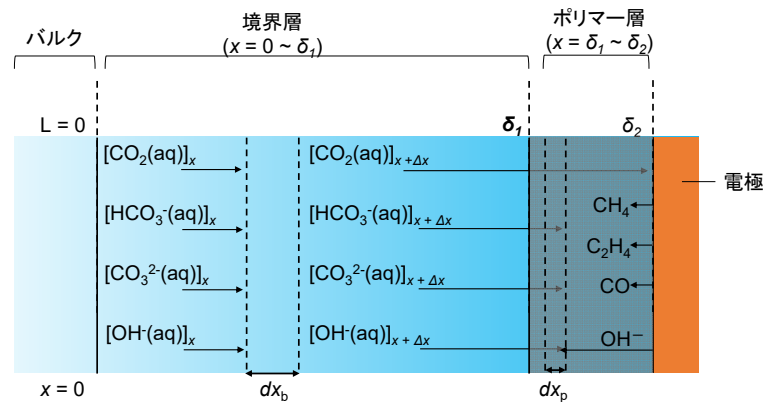


3-2) Cu平板電極へのアニオン伝導性ポリマー被覆



- ・低イオン交換基容量(IEC)のアニオン伝導性ポリマーでの被覆によりエチレン選択性向上

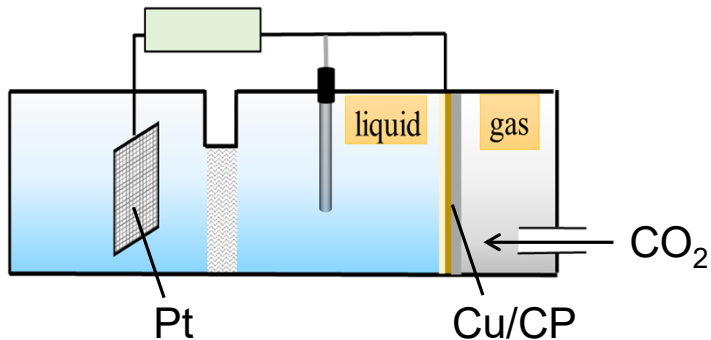
< 物質移動モデル >



- ・電極で生成したOH⁻の拡散抑制によるエチレン生成に適した反応場の形成が示唆

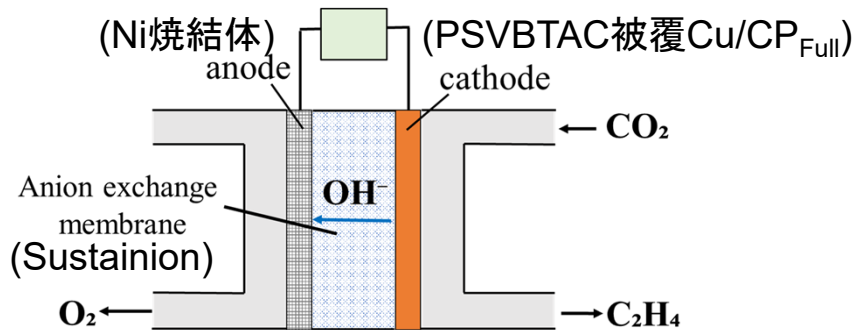
4) 固/気界面におけるCO₂電解性能評価

・ガス拡散電極(GDE)型セル



- ・GDEセルを用いた評価においても、ポリマー被覆によりCO₂電解が促進
- ・GDEセルでは気液界面が気相寄り、電極の大半が溶液と接触していることが示唆

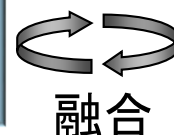
・膜電極接合体(MEA)型セル



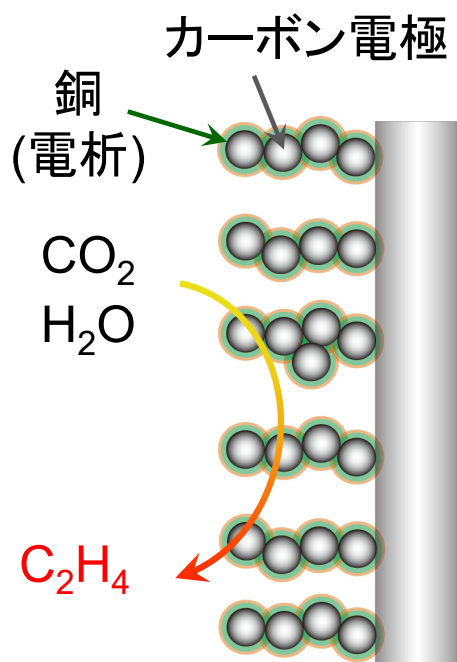
- ・固/気界面が形成されるMEA型セルにより、GDEセルと比較して水素生成が抑制され、エチレン生成が促進

本発表の結果まとめ

ミクロスケールの
物質移動特性制御



ナノスケールの構造制御
による反応特性制御



- 1) Cu析出カーボン三次元電極の構造: Cu電析厚さによる電極内の物質移動制御がCO₂電解性能へ影響
- 2) Cuのナノスケール構造制御: 立方体状ナノ粒子 & サイズ大で高エチレン/メタン比
- 3) アニオン伝導性ポリマー被覆電極: 低IECのポリマー被覆により高エチレン選択性
- 4) 固/気界面でのCO₂電解性能評価: 固/気界面が形成される膜電極接合体セルでのCO₂電解実証

想定される用途

- ・ イオン伝導性ポリマー被覆 & 多孔質カーボン材料へ
触媒金属を析出した電極反応場制御技術
 - CO₂電解によるエチレン生成
 - 電気化学的酸化/還元による { 高付加価値化合物の生成
物質の変換

実用化に向けた課題

- ・ 現在、膜電極接合体型セルによるCO₂電解への適用まで実証済み。
しかし、実用化へ向けて、水素生成の抑制が課題。
- ・ 今後、固/気界面における反応場制御技術の深化により、水素生成の抑制・エチレン選択性の向上を目指す。
- ・ 実用化に向けて、耐久性や実ガス環境下での性能評価等も必要である。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
現在	・反応場制御技術によりエチレン選択性が向上	
5年後	・固/気界面における反応場制御技術の深化による水素生成の抑制・エチレン選択性の向上 ・膜電極接合体型セルでの高エチレン選択性実証	デモンストレーション実施
10年後	・CO ₂ 電解技術の耐久性検証 ・実排ガス環境下でのCO ₂ 電解性能評価 ・セルの大面积化検証	企業へのサンプル提供
15年後	・パイロットプラントでの性能検証	共同研究企業との外部資金応募

企業への期待

- ・ CO₂有効利用技術を探索している企業との意見交換
- ・ 触媒・ポリマーのスケールアップ技術を有する企業との共同研究
- ・ 水電解・燃料電池技術の展開技術を探索している企業との意見交換

企業への貢献、PRポイント

- ・ 本技術では独自の反応場制御技術によりエチレン選択性が向上した。固/気界面における反応場制御技術の深化により、更なる高エチレン選択性を目指す。
- ・ CO₂電解による高選択的なエチレン生成は
〔CO₂の有効活用技術
非化石資源由来のエチレン製造技術〕
として企業に貢献できると考えている。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : カソード電極、電解装置及び
カソード電極の製造方法
- ・ 出願番号 : 特願2022-134662
- ・ 出願人 : 鹿児島大学
- ・ 発明者 : 田巻 孝敬、山口 猛央、
柴田 崇仁、松山 尚樹

産学連携の経歴

- ・ 2022年-現在 A社と共同研究実施
- ・ 2023年-現在 B社と共同研究実施
- ・ 2023年-2024年 C社と共同研究実施
- ・ 2025年-2026年 D社へ学術コンサルティング実施

お問い合わせ先

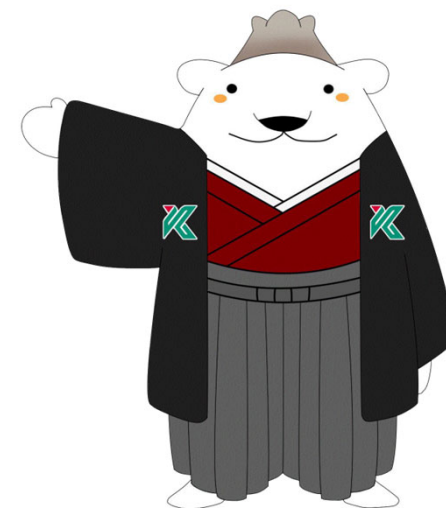
国立大学法人 鹿児島大学
南九州・南西諸島域イノベーションセンター
知的財産・リスクマネジメントユニット

〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40

TEL: 099-285-3878

FAX: 099-285-3886

e-mail: tizai@kuas.kagoshima-u.ac.jp



鹿児島大学公式マスコットキャラクター

