

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00282

研究課題名（和文）宇宙探査における生命維持のためのCO₂からのO₂回収：燃料電池システムの適用研究課題名（英文）CO₂ reduction for a life-supporting O₂ recycling during space exploration by applying fuel cell system

研究代表者

梅田 実（Umeda, Minoru）

長岡技術科学大学・工学研究科・理事・副学長

研究者番号：20323066

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,100,000円

研究成果の概要（和文）：CO₂を付加価値のある化学物質に変換するにあたり、CO₂電解還元は有用な技術の一つとして注目を集めている。種々の金属電極、主にAu、Ag、CuでCO₂電解還元に関する報告が多い。しかし、これらの報告ではCO₂還元のために高い過電圧を必要とする。当研究グループでは、最近、膜電極接合体にPt系電極触媒を採用することで、極めて低い過電圧でCO₂還元反応が進行することを世界に先駆けて見出した。本研究では、これを発展させ、Pt電極上に吸着したHとCOを反応させる新しい反応を開発した。結果的に、極小の過電圧で、最大60%のファラデー効率でCO₂をCH₄に変換する技術の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、国際的に活発化している有人宇宙探査を長期に渡り実施するため、高い効率でCO₂分子からO原子2個を回収する技術開発に係るものである。従来型のサバチ工法は、触媒を用いる高温高圧下でのバッチ反応である。本研究の電気化学反応は、常温常圧下でフロー方式による連続反応が可能であるため、世界に先駆けて研究開発を行い、国際標準となるO₂回収方式を確立することを目指している。この核心技術となるCO₂還元は、すでに低過電圧と高選択反応にめどを立てており、電流効率の高効率化が最重要課題であったが、本研究により極小の過電圧で、最大60%のファラデー効率でCO₂をCH₄とH₂Oに変換する技術の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：Treating CO₂ as an unused resource and converting it into value-added chemicals and fuels are important. CO₂ electroreduction has been receiving significant levels of attention as one of the technologies. There are many reports on CO₂ electroreduction at various metal electrodes, mainly Au, Ag, and Cu catalysts. However, almost all these techniques still require high overpotentials for CO₂ reduction. The use of Pt-based electrocatalyst is found to be a breakthrough to overcome the issue. Recently, we found the reaction proceeds with extremely low overpotential for the first time by employing the Pt-based electrocatalyst in a membrane electrode assembly. It possesses a novel reaction mechanism associated with adsorbed H and CO on the Pt-based electrocatalyst. Consequently, we have successfully developed a technology that converts CO₂ to CH₄ with a faradaic efficiency of ~60% without overpotential.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：メタン生成 二酸化炭素還元 白金担持カーボン 固体高分子形セル 低過電圧

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化に歯止めをかけるべく、2020年10月に日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言した¹⁾。これは、グリーン成長戦略としてカーボンニュートラルを実行していくことを目的としている。この戦略の極めて有力なキー技術はCO₂の回収と有効利用(Carbon dioxide Capture and Utilization: CCU)であり、この技術開発は、地上に限定されることなく、宇宙空間でも人類が活動するために不可欠な技術と位置付けられる。しかし、CO₂はCが最も酸化された化学的に安定な分子であるため、有用化合物に変換(還元)するには外部エネルギーが必要となる。有望なCCU技術としては熱化学²⁾、光化学³⁾、バイオプロセス⁴⁾、電気化学⁵⁾を利用するものが挙げられる。注目すべきものとして、Ni系やRu系を触媒に用いてCO₂とH₂からCH₄を得るサバチエ技術⁶⁾や固体酸化物形電解セル(SOEC)を用いたH₂OとCO₂の共電解技術⁷⁾などがあるが、どちらも数百という高温環境が求められる。一方で、一般的な電気化学還元法は主に水溶液中で常温および常圧下での単純な反応プロセスを通じてCO₂から有用化合物を得ることのできる特異的な方法である。

(2) 先行研究における各種電極触媒のCO₂還元反応の生成物に注目すると、Cu, Au, Agを用いた報告が多いことに気づく。Cu電極触媒上ではCH₄などの炭化水素生成物が得られるが、AuやAg上ではCOのみが生成することが知られている⁸⁾。これに対してPt上では、ほとんどH₂発生が起こるだけで、CO₂還元生成物が得られた報告は数少ない。このように生成物に違いが現れる要因は、CO₂還元反応により生じた反応中間体すなわち吸着CO(CO_{ads})の電極への吸着力の強弱が影響している。CO_{ads}の吸着力が弱いAuやAg電極触媒ではCO_{ads}が容易に脱離するため後続反応が起きず、COが生成物となる。一方、Pt電極触媒では非常に低いエネルギーでCO_{ads}を生成することが可能であるが、PtとCO_{ads}が強く結合してしまうことで後続反応が起きづらいうことに加え、CO_{ads}が電極表面を被毒するため電極反応を阻害する。このほかに、Cu電極触媒ではCO_{ads}が適度な吸着力であるため、他の触媒と異なりCO_{ads}から炭化水素(CH₄, C₂H₄)の生成が起こりやすい。PbやPd電極はHCOOH生成に適していることが経験的に知られている。しかし、Au, Ag, Cu, Pbなどの電極触媒を用いるCO₂還元は、その理論電解電位に対して1V以上の高い過電圧を必要とするという致命的といえる欠点を有しておりエネルギー変換効率が概して低い⁹⁾。

2. 研究の目的

(1) ここで、CO₂還元によるCH₄生成反応を熱力学的に眺めると、CO₂にH₂が作用しCH₄とH₂Oが生成する反応は発熱反応であり自発的に進行するはずである。しかし、実際には先述の通り吸熱(過電圧を要する)反応であることが経験的にわかっている。この一見矛盾する現象の原因は化学結合エネルギー(解離エネルギー)である。例えば、C-O結合を解離するためには大きな熱エネルギーを要するため、結果的にCO₂還元によるCH₄生成反応が吸熱反応となってしまう。この問題を解決するカギは触媒にある。つまり、CO₂還元によるCH₄生成反応は理論的には発熱反応であるため、比較的容易に反応は進行しやすいはずであるが、そのためにはどの電極触媒をどのように使用するかが重要な選択肢となっている。

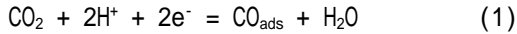
(2) 一方、Pt基電極触媒は圧倒的に低い過電圧でCO₂還元により吸着COを生ずること枚出されている¹⁰⁾。研究代表者らは、その特異的に理論電解電位近傍でCO_{ads}を得るが取り出すことはできないという特性に着目し、Pt電極触媒を有する膜電極接合体(MEA)を用いたCO₂還元に関する研究を進めてきた。本研究開発においては、Pt電極触媒を用いて、極小の過電圧で50%以上のファラデー効率でCO₂をCH₄に変換する技術開発を達成することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 先述のように、CO₂の電気化学的還元による有用化合物への変換において、Pt電極触媒はCO₂還元中間体であるCO_{ads}の吸着力の強さに打ち勝つエネルギーを投入する必要があることから、実用化に向けた研究開発は無理とされてきた。しかし、多くの研究者の取り組みにより、その常識は徐々に覆されつつある。特に、研究代表者らは、CO_{ads}がそれ以上還元されない(触媒表面を被毒する)原因をCO₂から生成物への反応プロセスに関与する吸着H(H_{ads})の供給量に問題があると仮定し、不足するH_{ads}の供給量を多くしたところCO₂還元時のCO₂濃度を低減(Arで希釈)することでメタン生成効率を大きく改善することに成功した。

(2) 水溶液系でのPt電極触媒を用いたCO₂還元では、これまではH₂発生しか起こらないとされてきた。研究代表者らはPt/C電極触媒を有するMEAを使用し、供給するCO₂濃度と還元電位を制御することで、理論電極電位近傍でのCO₂還元によるCH₄生成を達成した。MEAを用いるCO₂還元の特長を述べるにあたり、MEA系と水溶液系におけるPt/C電極触媒のサイクリックボルタモ

グラムの結果を比較する¹¹⁾。CO₂雰囲気下の0.6 V vs. RHE付近の酸化ピーク(CO₂還元で形成されたCO_{ads}の再酸化に由来)を比べると、MEA系の方が水溶液系よりも顕著に現れている。両系の実験条件の大きな違いはH₂O量であることを考慮すると、次式(1)で表されるH₂Oが関与する化学平衡に基づいてMEA系の方がCO₂還元によりCO_{ads}を形成しやすい傾向を有すると考察される。



4. 研究成果

(1) Pt電極触媒を有するMEA系でのCO₂還元によるCH₄生成メカニズム

まず、Pt電極表面へのCO₂吸着プロセスについて、図1aにPt(110)クラスターにH₃O⁺を2分子吸着させてCO₂吸着が起こるか構造最適化した結果を示す¹²⁾。最も安定なCO₂吸着構造である図1aのΔGは-160 kJ/molであり、これはCO₂非吸着のΔGとほぼ等価である。すなわち、吸着CO₂が形成されるプロセスは自発的に進行することを示しており、これは吸着CO₂のO原子とH₂OのH原子の間で生じる水素結合により吸着CO₂が安定化するためと考えられる。

図1bにPt電極触媒におけるCO_{ads}、H_{upd}(hollowサイトに吸着したH)、m/z 15、H_{opd}(atopサイトに吸着したH)の電位に対するファラデー電荷量、質量スペクトル強度、およびIRバンド強度を示す¹³⁾。先述の通り、Pt電極触媒を有するMEA系でのCO₂還元によるCH₄生成はCO_{ads}を介する2段階反応(CO₂ → CO_{ads} → CH₄)であるため、前段反応(CO₂ → CO_{ads})と後段反応(CO_{ads} → CH₄)に分けて反応機構を考察する。前段反応のCO_{ads}生成については、0.35 V vs. RHE付近のH_{upd}生成領域で起こることから、CO_{ads}生成は吸着CO₂とH_{upd}が関与するLangmuir-Hinshelwood(L-H)メカニズムであると示唆される。一方で、後段反応であるCO_{ads}からのCH₄生成は0.16 V vs. RHE付近のH_{opd}生成領域で起こっている。以上より、後段反応はCO_{ads}とH_{opd}が関与するL-Hメカニズムであると考えられ、Pt電極触媒ではこのH_{opd}を生じる電位がCH₄生成の理論電極電位(0.169 V vs. SHE)と偶然に一致したため、過電圧を必要とせずCH₄生成が起こることが示された。注目すべきことに、このPt電極触媒でのCH₄生成メカニズムは新規であることが分かり、従来のCu電極触媒で知られているCH₄生成反応機構(プロトン共役電子移動型のEley-Ridealメカニズム¹⁴⁾)とは異なる。

図1cにPt/CにおけるCH₄生成反応前後の貴方向リニアスイープボルタモグラム(上段)およびそのピーク分離解析結果(下段)を示す¹³⁾。CO_{ads}に関連する2つの酸化電流ピークは低電位側がlinear CO(CO_L)由来、高電位側がBridge CO(CO_B)由来である¹⁵⁾。CH₄生成後ではCO_L由来の酸化電流のみが減少しており、CO_B由来の酸化電流は変化していないため、CH₄生成に関与するCO_{ads}種はCO_Lであることがわかる。

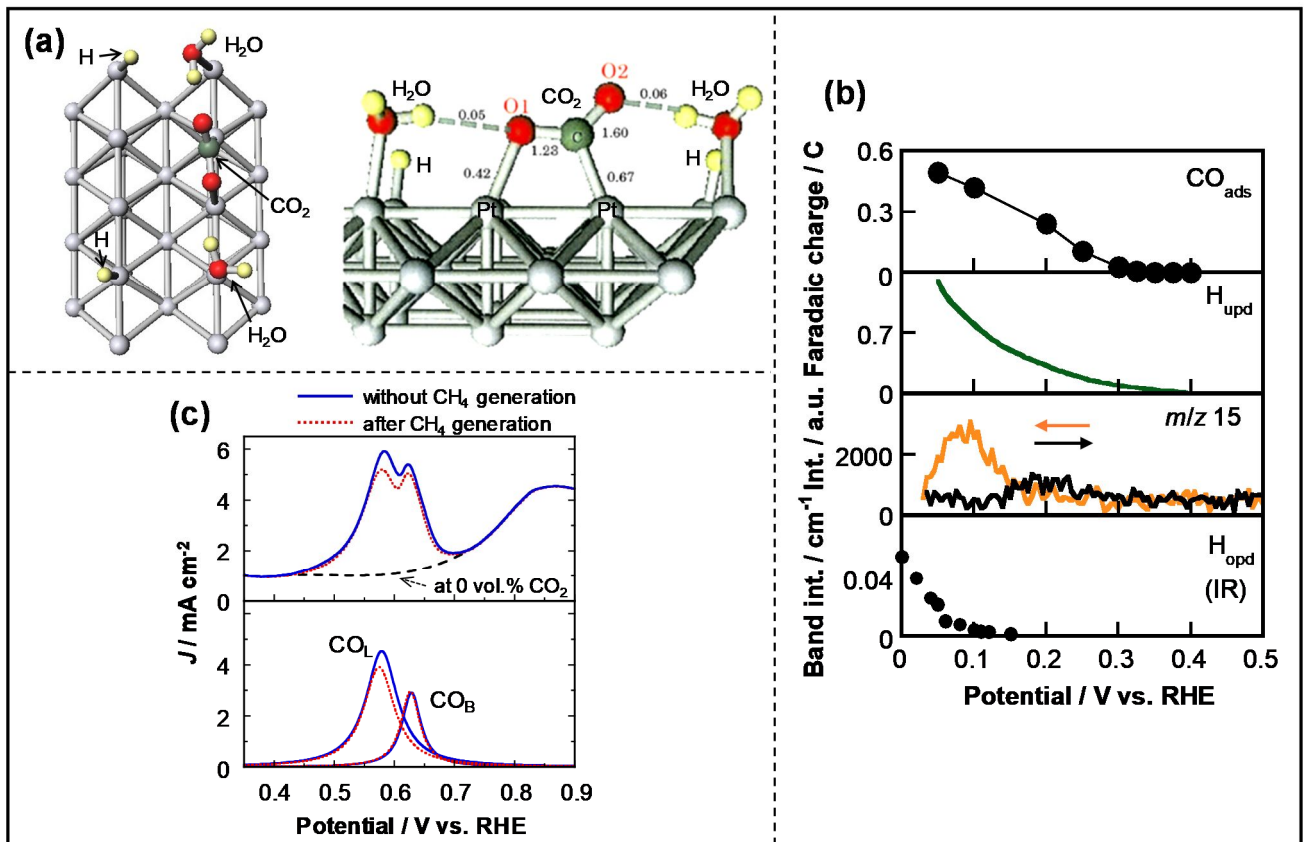


図1 Pt電極触媒における(a)CO₂吸着、(b)CO₂還元によるCH₄生成メカニズム、(c)CO₂還元によるCH₄生成に関与するCO_{ads}種。

(2) 高効率化への取り組み

図2にセル温度 40 °Cにて相対湿度を変化させたときの Pt/C 電極触媒を有する MEA 系での CO₂ 還元 CH₄ 生成に与える影響の概要を示す¹¹⁾。CO₂ 還元による CH₄ 生成の反応式の化学平衡に基づいて、系に存在する H₂O 分子数に着目したところ、先述の CH₄ 生成に寄与する CO_{ads} である CO_L が低湿度ほど形成しやすいことがわかる。また、それに伴い最適湿度下 (63.1%) では湿度 100% に比べて CH₄ 生成が 1.35 倍に向上することが見いだされた。

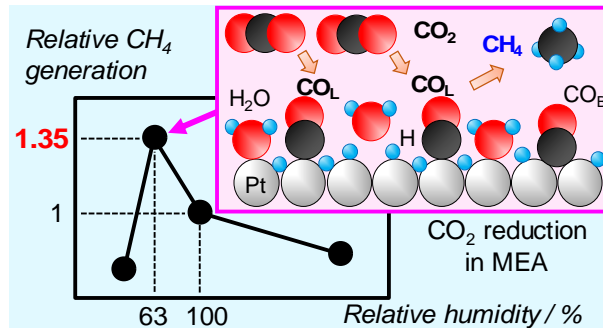


図2 Pt 電極触媒における CO₂ 還元による CH₄ 生成に相対湿度が与える影響の概略。

続いて、Pt/C の代わりに Pt_{0.8}Ru_{0.2}/C 電極触媒を採用し CO₂ 還元による CH₄ 生成性能を調査した。その結果、Pt_{0.8}Ru_{0.2}/C 電極触媒における CH₄ 生成ファラデー効率は 18.2% (CO₂ 濃度: 7 vol.%, 電位: 0.20 V vs. RHE) となり¹⁶⁾、Pt/C (12.3%) に比べ約 1.5 倍に向上した。これは Pt と Ru を合金化することで CO_{ads} の吸着力が弱まり¹⁰⁾、後段反応 (CO_{ads} → CH₄) が進行しやすくなったためと考えられる。

また、Pt 電極触媒の炭素担体が CO₂ 還元による CH₄ 生成に与える影響を検討するため、Pt black (96.4 wt.% Pt) を採用し研究を行った。その結果、CH₄ 生成ファラデー効率は 23.2% (CO₂ 濃度: 4 vol.%, 電位: 0.18 V vs. RHE) となり¹⁷⁾、46.2 wt.% Pt/C (12.3%) に比べ約 2 倍に向上した。これは、炭素担体によって電気化学表面積が異なり、電極触媒表面の CO_{ads} 密度 (CO_{ads} と H_{ads} のモル比) が変わることによって起きていると考えられる。

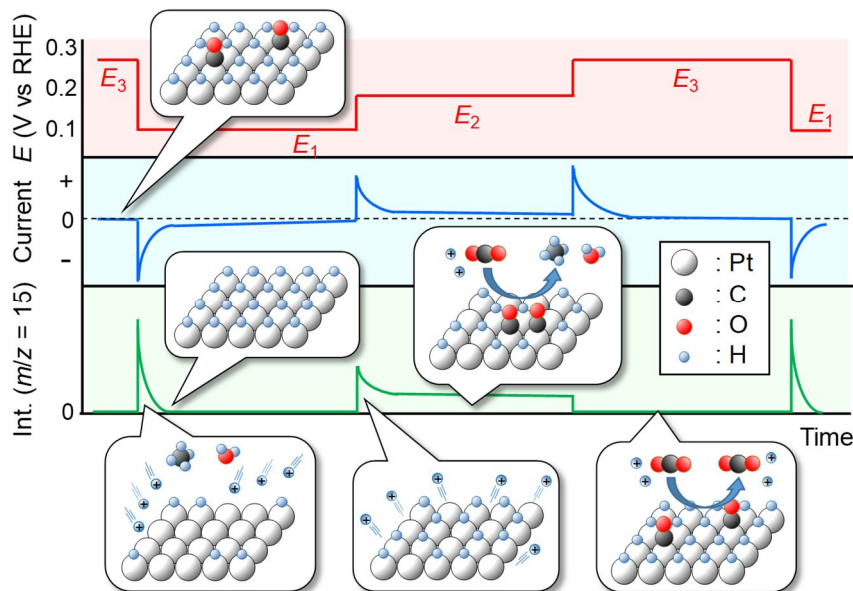


図3 Pt 電極触媒での CO₂ 還元による高効率 CH₄ 生成に向けた電位ステップ法の戦略。

最後に、Pt/C 電極触媒を有する MEA 系での CO₂ 還元において、CH₄ の前駆体形成電位と CH₄ 生成電位を系統的に制御した 3 段階の電位ステップ法を適用することで CH₄ 生成の高効率化を目指した。図3に電位ステップ法の戦略の模式図を示す¹⁸⁾。具体的には、スパイク状の還元電流を発生しながら CH₄ が生成する第 1 電位 (E₁)、スパイク状ならびに定常的な酸化電流を伴いながら CH₄ が生成する第 2 電位 (E₂)、および CH₄ 生成前駆体を再配置する第 3 電位 (E₃) の 3 つの電位を戦略的に組み合わせたものである。その結果、CH₄ 生成の見かけのファラデー効率が 59.8% にまで向上し、当初の目標値を大きく上回る高効率化を達成した。

<引用文献>

- (1) 経済産業省、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html).
- (2) T. Yabe, Y. Sekine, *Fuel Process. Technol.*, **181**, 187-198 (2018).
- (3) X. Meng, L. Liu, S. Ouyang, H. Xu, D. Wang, N. Zhao, J. Ye, *Adv. Mater.*, **28**, 6781-6803 (2016).
- (4) R.K. Thauer, A.-K. Kaster, H. Seedorf, W. Buckel, R. Hedderich, *Nat. Rev. Microbiol.*, **6**, 579-591 (2008).
- (5) T. Yan, X. Chen, L. Kumari, J. Lin, M. Li, Q. Fan, H. Chi, T.J. Meyer, S. Zhang, X. Ma, *Chem. Rev.*, **123**, 10530-10583 (2023).
- (6) A. Shima, M. Sakurai, Y. Sone, M. Ohnishi, A. Yoneda, T. Abe, *Int. J. Microgravity Sci.*, **30**, 86-93 (2013).
- (7) H. Shimada, T. Yamaguchi, T. Araki, T. Mizusawa, M. Mori, Y. Fujishiro, *Electrochemistry*, **84**, 611-615 (2016).
- (8) Y. Hori, *Mod. Aspects Electrochem.*, **42**, 89-189 (2008).
- (9) S. Matsuda, M. Tanaka, M. Umeda, *Anal. Methods*, **14**, 3280-3288 (2022).
- (10) H. Furukawa, S. Matsuda, S. Tanaka, S. Shironita, M. Umeda, *Appl. Surf. Sci.*, **434**, 681-686 (2018).
- (11) S. Matsuda, S. Yamanaka, M. Umeda, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **15**, 42676-42684 (2023).
- (12) S. Matsuda, T. Mukai, S. Sakurada, N. Uchida, M. Umeda, *New J. Chem.*, **43**, 13717-13720 (2019).
- (13) M. Umeda, Y. Niitsuma, T. Horikawa, S. Matsuda, M. Osawa, *ACS Appl. Energy Mater.*, **3**, 1119-1127 (2020).
- (14) R. Kortlever, J. Shen, J. P. Schouten, F. Calle-Vallejo, M. T. M. Koper, *J. Phys. Chem. Lett.*, **6**, 4073-4082 (2015).
- (15) B. Beden, A. Bewick, M. Razaq, J. Weber, *J. Electroanal. Chem.*, **139**, 203-206 (1982).
- (16) S. Matsuda, Y. Niitsuma, Y. Yoshida, M. Umeda, *Sci. Rep.*, **11**, 8382 (2021).
- (17) S. Matsuda, Y. Yoshida, M. Umeda, *Int. J. Energy Res.*, **46**, 9919-9925 (2022).
- (18) S. Matsuda, T. Sakoda, R. Ishibashi, M. Umeda, *ChemElectroChem*, **9**, e202200837 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shofu Matsuda, Shota Yamanaka, Minoru Umeda	4. 巻 15
2. 論文標題 Influence of Water Molecules on CO ₂ Reduction at the Pt Electrocatalyst in the Membrane Electrode Assembly System	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 42676-42684
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.3c09131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松田翔風, 曾根理嗣, 梅田実	4. 巻 23
2. 論文標題 過電圧ゼロからのアプローチによるPt電極触媒上での高効率CO ₂ 還元	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 燃料電池	6. 最初と最後の頁 40-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shofu Matsuda, Misa Tanaka, Minoru Umeda	4. 巻 14
2. 論文標題 Energy conversion efficiency comparison of different aqueous and semi-aqueous CO ₂ electroreduction systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytical Methods	6. 最初と最後の頁 3280-3288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2AY01087A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shofu Matsuda, Taito Sakoda, Ryu Ishibashi, Minoru Umeda	4. 巻 9
2. 論文標題 Highly-Efficient CO ₂ Electromethanation with Extremely Low Overpotentials on Pt/C Catalysts: Strategic Design of Multi-Potential-Step Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 e202200837
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/celec.202200837	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松田翔風, 梅田実	4. 巻 77
2. 論文標題 低炭素社会に向けたCO2還元 超低過電圧で二酸化炭素を有用化合物に変換する新電解技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 72-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 迫田泰斗, 吉田祐太, 松田翔風, 梅田 実	4. 巻 20
2. 論文標題 Pt電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO2還元によるCH4連続生成およびH2-CO2燃料電池としての発電特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 燃料電池	6. 最初と最後の頁 76-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shofu Matsuda, Yuuki Niitsuma, Yuta Yoshida, Minoru Umeda	4. 巻 11
2. 論文標題 H2-CO2 polymer electrolyte fuel cell that generates power while evolving CH4 at the Pt0.8Ru0.2/C cathode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8382/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-87841-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 梅田 実, 松田翔風	4. 巻 63
2. 論文標題 Pt基電極を用いる低過電圧CO2還元とH2-CO2燃料電池	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 336-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shofu Matsuda, Yuta Yoshida, Minoru Umeda	4. 巻 2022
2. 論文標題 Electroreduction of CO ₂ to CH ₄ without overpotential using Pt-black catalysts: Enhancement of faradaic efficiency	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Energy Research	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/er.7836	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shofu Matsuda, Shigehisa Tamura, Shota Yamanaka, Yuuki Niitsuma, Yoshitsugu Sone, Minoru Umeda	4. 巻 5
2. 論文標題 Minimization of Pt-electrocatalyst deactivation in CO ₂ reduction using polymer electrolyte cell	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Reaction Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 1064-1070
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0RE00083C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 松田 翔風, 石橋 龍, 梅田 実
2. 発表標題 Pt電極触媒上のCO ₂ 還元による高効率CH ₄ 生成: 電位ステップ法の最適化
3. 学会等名 2023電気化学秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田翔風, 田中美沙, 梅田 実
2. 発表標題 H ₂ -CO燃料電池: Pt/C電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO還元反応
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田 翔風, 曾根 理嗣, 梅田 実
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池: Pt基電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO ₂ 還元によるCH ₄ 生成
3. 学会等名 燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石橋龍, 迫田泰斗, 松田翔風, 白仁田沙代子, 梅田実
2. 発表標題 Pt/C電極触媒を用いたCO ₂ 還元の電位ステップ法適用によるCH ₄ 生成の高効率化
3. 学会等名 電気化学会北陸支部春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉山 鎌太郎, 松田 翔風, 田中 美沙, 白仁田 沙代子, 梅田 実
2. 発表標題 CO ₂ 電解還元のエネルギ-変換効率: 水溶液系と膜電解質系での比較
3. 学会等名 第29回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋 龍, 迫田 泰斗, 松田 翔風, 白仁田 沙代子, 梅田 実
2. 発表標題 Pt電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO ₂ メタネーションの高効率化に向けた電位ステップ法の適用
3. 学会等名 2022電気化学会秋季回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋 龍, 杉山 錬太郎, 松田 翔風, 白仁田 沙代子, 梅田 実
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池カソードにおけるPt _{0.9} Ru _{0.1} /C電極触媒の特異的反応
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田 翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt基電極触媒上で起こる低過電圧CO ₂ 還元反応
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田 翔風, 田中 美沙, 梅田 実
2. 発表標題 Pt上でCO ₂ 還元中間体COからCH ₄ が生成する反応のメカニズム解析
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石橋 龍, 吉田 祐太, 松田 翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt _{0.5} Ru _{0.5} /C電極触媒を有する固体高分子形セルを用いたCO ₂ 還元によるCH ₄ 生成の長期連続化
3. 学会等名 第28回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shofu Matsuda, Yuta Yoshida, Minoru Umeda
2. 発表標題 CO ₂ Electroreduction at Pt Black Catalyst in a Polymer Electrolyte Membrane Electrolyzer Cell
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 美沙, 松田 翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt/C触媒を有する固体高分子形セルにおけるCO ₂ 還元によるCO生成の速度論解析
3. 学会等名 2021電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅田 実, 松田 翔風
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池 ~ CO ₂ をCH ₄ に還元しながら発電する ~
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 迫田 泰斗, 松田翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt/C電極触媒でのCO ₂ 還元によるCH ₄ 生成: 電位ステップ法の適用
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅田 実
2. 発表標題 二酸化炭素を還元固定化して発電するH ₂ -CO ₂ 燃料電池
3. 学会等名 高分子学会 水素・燃料電池材料研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋龍, 吉田祐太, 松田翔風, 梅田実
2. 発表標題 Pt _{0.9} Ru _{0.1} /C電極触媒を用いた低過電圧CO ₂ 還元 : Pt/Ru比の検討
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田翔風, 山中翔太, 梅田実
2. 発表標題 Pt/C電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO ₂ 電解還元湿度が与える影響
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 美沙, 山中 翔太, 松田 翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt/Cを電極とした固体高分子形セルによるCO ₂ 還元でのCH ₄ 生成メカニズムの検討
3. 学会等名 第27回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 迫田 泰斗, 吉田 祐太, 松田 翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO ₂ 定電位還元によるCH ₄ 連続生成
3. 学会等名 第27回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅田 実
2. 発表標題 プロトン交換膜電解によるCO ₂ 還元
3. 学会等名 ASEC 2020年度 第1回招待講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shofu Matsuda, Yuuki Niitsuma, Yuta Yoshida, Minoru Umeda
2. 発表標題 CO ₂ Electroreduction at Pt _{0.8} Ru _{0.2} /C in a Polymer Electrolyte Membrane Electrolyzer Cell
3. 学会等名 71st Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 翔風, 新妻祐希, 吉田祐太, 梅田実
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池: Pt _{0.8} -Ru _{0.2} /C電極触媒を有する膜電極接合体を用いたCO ₂ 還元反応
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅田 実
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池 ~ 発電しながらCO ₂ 還元する燃料電池 ~
3. 学会等名 公財) 科学技術交流財団 第2回「ソーラー水素エネルギー研究会」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 迫田 泰斗, 松田翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt/Cを有する固体高分子形セルを用いたCO ₂ 電解還元におけるH ₂ 添加の影響
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田翔風、吉田祐太、梅田実
2. 発表標題 H ₂ -CO ₂ 燃料電池におけるPt black正極のCO ₂ 還元特性
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 美沙, 松田翔風, 梅田 実
2. 発表標題 Pt/Cを有する膜電極接合体におけるCO ₂ からCO生成する反応の速度論的解析
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shofu Matsuda, Masatoshi Osawa, Minoru Ueda
2. 発表標題 Mechanistic Analysis of CO2 Reduction to CH4 at Pt Electrocatalyst in a Polymer Electrolyte Cell
3. 学会等名 ELCOREL(International Conference on Electrocatalysis for Renewable Energy) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松田翔風, 梅田 実	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 586
3. 書名 「CO2の分離・回収・貯留技術の開発とプロセス設計」第5章, 第9節「膜電極接合体を用いる二酸化炭素の電気化学的固定技術」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	曽根 理嗣 (Sone Yoshitsugu) (70373438)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授 (82645)	
研究分担者	白仁田 沙代子 (Shronita Sayoko) (90580994)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授 (13102)	
研究分担者	松田 翔風 (Matsuda Shofu) (90800649)	弘前大学・理工学研究科・助教 (11101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------