

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－中国共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「ナノ構造由来の特異場を利用した二酸化炭素の資源化」
2. 研究期間：令和元年4月～令和4年3月
3. 主な参加研究者名：

日本側チーム：ワークパッケージ1, 3 (WP1, WP3) を担当

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	宮内 雅浩	教授	東京工業大学 物質理工学院	研究開発指揮、マネジメント
主たる共同研究者	山口 晃	テニュアトラック助教	東京工業大学 物質理工学院	触媒組成開発リーダー
研究参加者	新井 勝樹	修士課程学生	東京工業大学 物質理工学院	触媒組成開発
研究参加者	風見 和宏	修士課程学生	東京工業大学 物質理工学院	触媒組成開発
研究参加者	An Niza El Aisnada	修士課程学生	東京工業大学 物質理工学院	触媒組成開発
研究参加者	Anna Strijevskaya	修士課程学生	東京工業大学 物質理工学院	ナノ相分離触媒開発
研究期間中の全参加研究者数			22名	

相手側チーム：ワークパッケージ2, 3 (WP2, WP3) を担当

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Liu Min	Professor	Central South University	Leader
主たる共同研究者	Qiu Xiaoqing	Professor	Central South University	Sub-leader
主たる共同研究者	Gao Xiaohui	Associate Professor	Central South University	Sub-leader
研究参加者	Liu Kang	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
研究参加者	Wang Peng	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
研究参加者	Zhou Huimin	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
研究期間中の全参加研究者数			9名	

4. 国際共同研究の概要

二酸化炭素 (CO₂) 削減ならびにその資源化は、日本と中国の最重要課題となっている。特に、CO₂ 資源化に向けては、CO₂ 変換の反応選択性と反応速度を高めることが望まれている。本国際共同研究では、ナノ構造に由来する特殊な「場」を創出・集積化することで CO₂ の資源化に向けた基盤技術を開発した。日本側では反応の選択性を制御するための場として「ナノレベルで異種元素を混合した触媒材料」を開発し (WP1)、中国側では反応速度を上げるための局所場となる「ナノ先鋭構造」を開発した (WP2)。最終的には、日中双方の技術の集積により、反応選択性と反応速度に優れた電極を開発した (WP3)。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

CO₂ を有用な化学物質である一酸化炭素 (CO)、ギ酸 (HCOOH)、C2 化合物 (エチレンやエタノール) に選択的、かつ、高電流密度で転換する電極触媒を開発した。WP1 の主要な成果として、ナノレベルで混合した銅と亜鉛 (Cu-Zn) 合金電極を合成し、ギ酸変換への選択性が高い触媒を開発することができた。オペランド型赤外分光 (FT-IR) を用い、還元選択性と吸着中間体の関係を明らかにすることができた。また、情報科学的アプローチにより種々の金属硫化物における CO₂ 還元の反応選択性に対する鍵パラメータの抽出に成功し、その中で高い CO 選択性を有する複合金属硫化物を見出した。WP2 では、反応速度向上のため、金のナノ先鋭構造 (Au Nanoneedles) 電極を中国側で開発した。Au Nanoneedles は CO₂ から CO への転換反応において、-0.35V の電位で 50 mA cm⁻² の高い電流密度を示した。WP3 では、Cu-ZrO₂ のナノ相分離構造を創製し、ギ酸転換へのファラデー効率の高い電極材料を開発した (下図)。

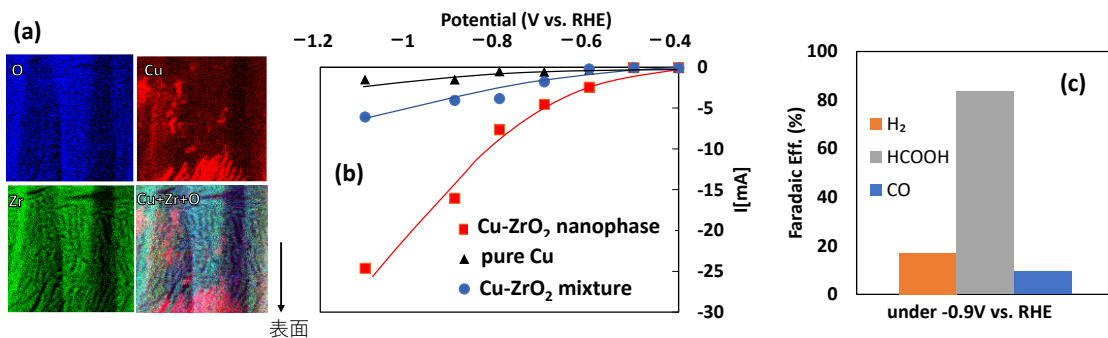


図 Cu-ZrO₂ のナノ相分離構造の元素分布マッピング像 (a), ギ酸生成の部分電流密度 (b), Cu-ZrO₂ ナノ相分離構造電極のファラデー効率 (c)

更に、WP3 において、Cu-PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) のナノ先鋭構造を開発した。この電極では、ナノニードルの壁部に PTFE が選択的にコーティングされていて、先端の先鋭部のみ Cu が露出した構造で、先鋭部への電界集中が更に高まる。Cu-PTFE ナノ先鋭構造においては、C2 (エチレンやエタノール) への転換の選択性に優れ、かつ、高い電流密度を誇る電極を開発する

ことができた。

5-2 国際共同研究による相乗効果

国際共同研究の相乗効果を高めるため、2021年1月15日にオンライン遠隔会議アプリケーションを用い、中南大学と東京工業大学共催のワークショップを開催した。ワークショップは、「Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology (under JST-SICORP project)」と題し、総勢45名が参加して日中双方の研究者間で活発な討論をおこなった。また、このワークショップの開催後においても、お互いの評価技術を共有するためのオンラインによるディスカッションやサンプルの相互提供など、継続的な共同研究を行っている。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

二酸化炭素資源化に向けた基盤触媒材料技術を確立することができた。また、本国際共同研究に日中双方の博士課程の学生が参画し、国際共同研究やワークショップ開催の運営に加わることで国際的な共同研究の進め方について学んで頂き、次世代の国際的研究リーダーを輩出すべく人材育成をおこなった。また、2021年度をもって本国際共同研究が終了した後も、日中の協業関係を継続する。具体的には、日本側では、科学技術振興機構(JST)の次世代研究者挑戦的研究プログラムへの参加が採択され、本研究室の博士課程の学生が、中国中南大学のLiu Min 研究室に5か月訪問することが決定している。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
Japan – China Joint Research Program
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「CO₂ conversion into valuable resource by nanostructured field effect」
2. Research period : April 2019 ~ March 2022
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Masahiro Miyauchi	Professor	Tokyo Institute of Technology	Leader
Co-PI	Akira Yamaguchi	Assistant Professor	Tokyo Institute of Technology	Sub-leader
Collaborator	Katsuki Arai	Master Student	Tokyo Institute of Technology	Development of catalyst
Collaborator	Kazuhiro Kazami	Master Student	Tokyo Institute of Technology	Development of catalyst
Collaborator	An Niza El Aisnada	Master Student	Tokyo Institute of Technology	Development of catalyst
Collaborator	Anna Strijevskaya	Master Student	Tokyo Institute of Technology	Development of nano-phase catalyst
Total number of participants throughout the research period:				22

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Liu Min	Professor	Central South University	Leader
Co-PI	Qiu Xiaoqing	Professor	Central South University	Sub-leader
Co-PI	Gao Xiaohui	Associate Professor	Central South University	Sub-leader
Collaborator	Liu Kang	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
Collaborator	Wang Peng	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
Collaborator	Zhou Huimin	Ph.D. candidate	Central South University	Development of catalyst
Total number of participants throughout the research period:				9

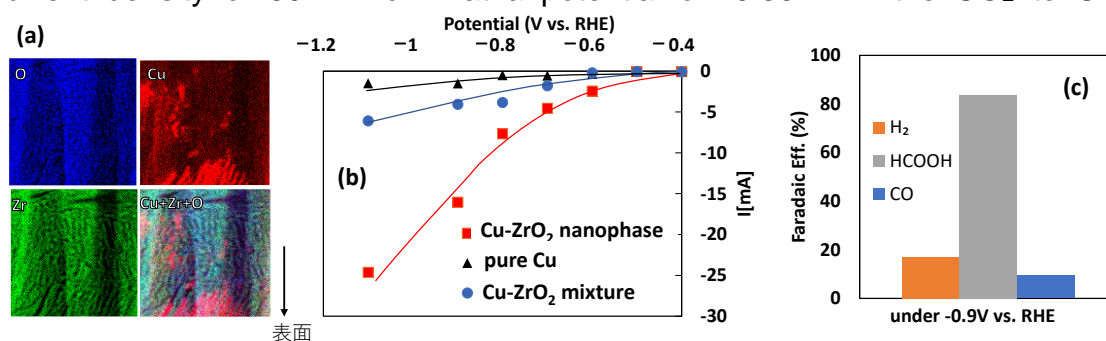
4. Summary of the international joint research

Carbon dioxide (CO₂) reduction and its recycling have become the most important issues for Japan and China. It is desired to improve the reaction selectivity and reaction rate of CO₂ conversion toward the recycling of CO₂ resources. In this international joint research project, we have developed basic technology for the recycling of CO₂ by creating and integrating special "fields" derived from nanostructures. The Japanese side has developed a "catalytic material that mixes different elements at the nano-level" as a field for controlling the selectivity of the reaction (WP1), and the Chinese side has developed a "nano-sharp structure" that is a local field for increasing the reaction rate (WP2). Finally, by integrating the technologies of both Japan and China, we developed an electrode with excellent reaction selectivity and reaction rate (WP3).

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

As a major achievement of WP1, we were able to synthesize copper and zinc (Cu-Zn) alloy electrodes mixed at the nano level and develop a catalyst with high selectivity for formic acid conversion. Using *Operando*-type infrared spectroscopy (FT-IR), we were able to clarify the relationship between reduction selectivity and adsorption intermediates. We also succeeded in extracting key parameters for the reaction selectivity of CO₂ reduction in various metal sulfides by an informatics science approach. Throughout this approach, we noticed some bi-metallic metal sulfides exhibited CO₂ reduction activity with high CO selectivity. In WP2, we have developed an electrode with a gold nano-sharp structure (Au Nanoneedles) to improve the reaction rate. Au Nanoneedles showed a high current density of 50 mA cm⁻² at a potential of -0.35 V in the CO₂ to CO



conversion reaction. In WP3, we created a nanophase-separated structure of Cu-ZrO₂ and developed an electrode material with high Faradaic efficiency for formic acid conversion (see the figure below).

Figure: Elemental mapping of Cu-ZrO₂ nanophase separated structure (a), partial current density of formic acid formation (b), Faradic efficiency of Cu-ZrO₂ nanophase separated structure electrode (c).

Furthermore, in WP3, a nano-sharp structure of Cu-PTFE (polytetrafluoroethylene) was developed. In this electrode, PTFE was selectively coated on the wall portion of the nanoneedle, and Cu was exposed only in the

sharp portion at the tip, so that the electric field concentration on the sharp portion was further increased. In the Cu-PTFE nano-sharp structure, we were able to develop an electrode that has excellent selectivity for conversion to C₂ (ethylene or ethanol) with high current density.

5-2 Synergistic effects of the joint research

In order to enhance the synergistic effect of international joint research, a workshop co-sponsored by Central South University and Tokyo Institute of Technology was held on January 15, 2021, using the online teleconferencing application. The title of the workshop was "Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology (under JST-SICROP project)", and a total of 45 people participated from both Japan and China. After this workshop was held, the continuous joint research is being conducted using online discussions.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We were able to establish the basic catalyst material technology for the recycling of CO₂. In addition, doctoral students from both Japan and China participated in this project and they learnt the management of international joint research and workshops. Further, our collaborative research project will continue under the Support for Pioneering Research Initiated by the Next Generation, Japan Science and Technology Agency (JST).

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数: 計 7 件

・査読有り: 発表件数: 計 7 件

1. Y. Chen, K. Chen, J. Fu, H. Li, H. Pan, J. Hu, A. Yamaguchi, M. Miyauchi*, M. Liu*, "Recent advances in the utilization of copper sulfide compounds for electrochemical CO₂ reduction"; **Nano Materials Science**, 2020, 2 (3), 235-247, DOI: 10.1016/j.nanoms.2019.10.006. (査読有)
2. A. C. Wardhana, A. Yamaguchi, S. Shoji, M. Liu, T. Fujita, T. Hitosugi, M. Miyauchi*, "Visible-light-driven photocatalysis via reductant-to-band charge transfer in Cr (III) nanocluster-loaded SrTiO₃ system"; **Appl. Catal. B Environ.**, 2020, 270, 118883, 1-8, DOI: 10.1016/j.apcatb.2020.118883. (査読有)
3. Q. Wang, C. Cai, M. Dai, J. Fu, X. Zhang, H. Li, H. Zhang, K. Chen, Y. Lin, H. Li, J. Hu, M. Miyauchi, M. Liu*, "Recent Advances in Strategies for Improving the Performance of CO₂ Reduction Reaction on Single Atom Catalysts"; **Small Science**, 2020, 1 (2), 2000028, DOI: 10.1002/smsc.202000028. (査読有)
4. Li Zhu, Kang Liu, Baopeng Yang, Xiaodong Zhang, Yiyang Lin, Hongmei Li, Junwei Fu, a Juhua Hu, Emiliano Cortés, Ying-Rui Lu, Ting-Shan Chan, Xiaoliang Liu*, Masahiro Miyauchi,* and Min Liu*, "Tuning the intermediate reaction barriers to improve the selectivity of electroreduction CO₂ to C₂ products on CuPd catalyst"; **Chinese Journal of Catalysis**, 2021, 42 (9), 1500-1508. (査読有)
5. H. Jing, W. Li, H. Zhou, Y. Zhou, J. Hu, M. Miyauchi, J. Fu, M. Liu, "Electric-Field Promoted CC Coupling over Cu Nanoneedles for CO₂ Electroreduction to C₂ Products"; **Chinese Journal of Catalysis**, 2022, 43 (2), 519-525, DOI: 10.1016/S1872-2067(21)63866-4. (査読有)
6. Y. Zhou, J. Fu, Y. Liang, K. Liu, Q. Chen, X. Wang, H. Li, L. Zhu, J. Hu, H. Pan, M. Miyauchi, L. Jiang, E. Cortes, M. Liu*, "Vertical Cu nanoneedle arrays enhance the local electric-field promoting C₂ hydrocarbons in the CO₂ electroreduction"; **Nano Letters**, 2022, 22 (5), 1963-1970, DOI: 10.1021/acs.nanolett.1c04653. (査読有)
7. B. Yang, K. Liu, H. Jing, W. Li, C. Liu, J. Fu, H. Li, J. E. Huang, P. Ou, T. Alkayyali, C. Cai, Y. Duan, H. Liu, P. An, N. Zhang, W. Li, Xi. Qiu, C. Jia, J. Hu, L. Chai, Z. Lin, Y. Gao, M. Miyauchi, E. Cortes, S. A. Maier, M. Liu, "Accelerating CO₂ Electroreduction to Multicarbon Products via Synergistic ElectricThermal Field on Copper Nanoneedles"; **J. Am. Chem. Soc.**, 2022, 144 (7), 3039-3049, DOI: 10.1021/jacs.1c11253.

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文): 発表件

数 : 計 12 件

・ 査読有り : 発表件数 : 計 12 件

1. T. Gunji*, H. Ochiai, Y. Isawa, Y. Liu, F. Nomura, M. Miyauchi, F. Matsumoto, "Electrocatalytic conversion of carbon dioxide to formic acid over nanosized Cu₆Sn₅ intermetallic compounds with a SnO₂ shell layer."; **Catal. Sci. Technol.**, 2019, 9 (23), 6577-6584, DOI: 10.1039/c9cy01540j. (査読有)
2. S. Shoji, X. Peng, A. Yamaguchi, R. Watanabe, C. Fukuhara, Y. Cho, T. Yamamoto, S. Matsumura, M. W. Yu, S. Ishii, T. Fujita*, H. Abe*, M. Miyauchi*, "Photocatalytic uphill conversion of natural gas beyond the limitation of thermal reaction systems"; **Nature Catalysis**, 2020, 3, 148-153, DOI: 10.1038/s41929-019-0419-z. (査読有)
3. Y. Cho, S. Shoji, A. Yamaguchi, T. Hoshina, T. Fujita, H. Abe, M. Miyauchi*, "Visible-light-driven dry reforming of methane using semiconductor-supported catalyst"; **Chem. Commun.**, 2020, 56 (33), 4611-4614, DOI: 10.1039/d0cc00729c. (査読有)
4. Y. Cho, A. Yamaguchi, R. Uehara, S. Yasuhara, T. Hoshina, M. Miyauchi*, "Temperature dependence on bandgap of semiconductor photocatalysts"; **J. Chem. Phys.**, 2020, 152, 231101 1-5, DOI: 10.1063/5.0012330. (査読有)
5. M. Kushida, A. Yamaguchi*, Y. Cho, T. Fujita, H. Abe, M. Miyauchi*, "Gas-phase photoelectrocatalysis mediated by oxygen ion for uphill conversion of greenhouse gas"; **ChemPhotoChem**, 2021, 5 (3), 275-281, DOI: 10.1002/cptc.202000228. (査読有)
6. Y. Cho, A. Yamaguchi, M. Miyauchi*, "Photocatalytic Methane Reforming: Recent Advances (review article)"; **Catalysts**, 2021, 11 (1), 18 1-39, DOI: 10.3390/catal11010018. (査読有)
7. J. E. Lee, A. Yamaguchi, H. Ooka, T. Kazami, M. Miyauchi, N. Kitadai, R. Nakamura*, "In situ FTIR study of CO₂ reduction on inorganic analogues of carbon monoxide dehydrogenase"; **Chem. Commun.**, 2021, 57 (26), 3267-3270, DOI:10.1039/D0CC07318K. (査読有)
8. T. Kujirai, A. Yamaguchi*, Takeshi Fujita, Hideki Abe, M. Miyauchi*, "Active site separation of photocatalytic steam reforming of methane using a gas-phase photoelectrochemical system"; **Chem. Commun.**, 2021, 57 (65), 8007-8010, DOI: 10.1039/D1CC02914B. (査読有)
9. Y. S. Liu, A. Yamaguchi, Y. Yang, H. Abe, S. Ueda, T. Tanabe*, M. Miyauchi*, "Visible light induced CO₂ reduction by mixed-valence tin oxide"; **ACS Appl. Energy Mater.**, 2021, 4 (12), 13415-13419, DOI: 10.1021/acsaem.1c02896. (査読有)
10. S. Shoji, A.S. B.M. Najib, M. W. Yu, T. Yamamoto, S. Yasuhara, A. Yamaguchi, X. Peng, S. Matsumura, S. Ishii, Y. Cho, T. Fujita, S. Ueda, K. P. Chen, H. Abe*, M. Miyauchi*, "Charge partitioning by intertwined metal-oxide nano-architectural networks for the photocatalytic dry reforming of methane"; **Chem Catalysis**, 2022, 2 (2), 321-329, DOI: 10.1016/j.checat.2021.11.015.

(査読有)

11. A. C. Wardhana, S. Yasuhara, M.W. Yu, A. Yamaguchi, T. Nagao, S. Ishii*, M. Miyauchi*, "Direct imaging of visible-light-induced one-step charge separation at the chromium(III) oxide-strontium titanate interface"; **J. Mater. Chem. A**, 2022, 10 (2), 752-761, DOI: 10.1039/D1TA08950A. (査読有)
12. A. Yamaguchi*, K. Arai, A. A. N. El, J. E. Lee, N. Kitadai, R. Nakamura, M. Miyauchi, "Multi-regression analysis of CO₂ electroreduction activities on metal sulfides"; **J. Phys Chem. C**, 2022, 126 (5), 2772-2779, DOI: 10.1021/acs.jpcc.1c08993. (査読有)

*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件
該当なし

*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) : 発表件数 : 計 6 件

1. 宮内雅浩, Yin Ge, 庄司州作, 山口晃, 阿部英樹. 無機材料をベースとした可視光駆動型選択的 CO₂ 還元システム, 電気化学, Vol. 87, pp. 14-19, Mar. 2019. 10.5796/denkikagaku.19-FE0004
2. 宮内 雅浩, 近藤 剛弘. ホウ化水素シートの光機能, セラミックス, Vol. 55, No. 8, p. 591, Aug. 2020.
3. 庄司 州作, 張 葉平, 山口 晃, 藤田 武志, 阿部 英樹, 宮内 雅浩. 光を使った温室効果ガスの資源化, クリーンエネルギー, Vol. 29, No. 6, p. 7, Jun. 2020.
4. 宮内雅浩, 山口晃. 触媒技術の動向と展望, 2021
5. 宮内雅浩, 庄司周作, 張葉平, 櫛田優, 山口晃, 藤田武志, 阿部英樹. 光触媒による温室効果ガスの資源化 メタンの二酸化炭素改質, セラミックス 「特集 環境調和型セラミックスの新展開」, Apr. 2022.
6. 宮内雅浩, 庄司周作, 張葉平, 櫛田優, 山口晃, 藤田武志, 阿部英樹. 光触媒によるメタンのドライリフォーミング, 触媒 「特集 合成ガス製造と CO を用いるケミカルズ合成の最新動向」, Jan. 2022.

2. 学会発表

*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 0 件 (うち招待講演 : 0 件)

*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 19 件 (うち招待講演 : 5 件)

1. Akira Yamaguchi, Tomohiro Kazami, Masahiro Miyauchi. "The effect of

- histidine on electrochemical CO₂ reduction activity of iron-nickel sulfide", International Conference on Artificial Photosynthesis-2019, Hiroshima, Nov. 2019.
2. 風見知宏, 山口晃, 宮内雅浩. 鉄ニッケル硫化物触媒の電気化学的二酸化炭素還元におけるヒスチジンの影響の検討, 2019 年電気化学秋季大会, Sep. 2019.
 3. 庄司州作, 張葉平, 山口晃, 藤田武志, 阿部英樹, 宮内雅浩. 光触媒によるメタンの二酸化炭素改質, 第 77 回講演会 「光触媒研究と開発技術の最新動向と将来展望」, Aug. 2020. 招待講演
 4. An Niza El Aisnada, Masahiro Miyauchi, Akira Yamaguchi. Alternative Descriptors for Designing Metal-Sulfide Electrocatalyst for CO₂ Reduction Reaction (CO₂RR), *Materials Research Meeting 2021*, Dec. 2021.
 5. Akira Yamaguchi, Katsuki Arai, Yoshiki Otsubo, Tomohiro Kazami, Ryouta Kubo, Norio Kitadai, Ryuhei Nakamura, Masahiro Miyauchi. Electrochemical reduction of CO₂ using metal sulfides as electrocatalysts, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021. 招待講演
 6. Yue Yang, Akira Yamaguchi, Sayuri Okunaka, Hiromasa Tokudome, Masahiro Miyauchi. Green light active BiVO₄ for complete oxidation of organic molecules, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021.
 7. Ryouta Kubo, Akira Yamaguchi, Masahiro Miyauchi, Ryuhei Nakamura. Utilization of hydrothermal electrochemistry in metal sulfide synthesis and evaluation of electrochemical CO₂ reduction ability, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021.
 8. Toru Hirabayashi, Shin-ichi Ito, Akira Yamaguchi, Takahiro Kondo, Masahiro Miyauchi. Reducing Ability of Hydrogen Boride Sheets to Form Nanocomposites with Metal Nanoparticles, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021.
 9. An Niza El Aisnada, Akira Yamaguchi, Masahiro Miyauchi. Informatics Approach for Designing Selective and Efficient Ternary Metal-Sulfide Electrocatalyst for CO₂ Reduction: Finding the Descriptor, *Joint Workshop of Central South University and Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021.
 10. Anna Strijevskaya, Akira Yamaguchi, Min Liu, Masahiro Miyauchi. Copper based nanostructured electrocatalysts for CO₂ reduction, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021.
 11. Masahiro Miyauchi, Akira Yamaguchi, Shusaku Shoji, Kawamura Reiya, Yohei Cho, Toru Hirabayashi, Masaru Kushida, Takeshi Fujita, Hideki Abe, Takahiro Kondo. Photocatalysis towards Carbon Dioxide Recycle and

Hydrogen Society, *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Jan. 2021. 招待講演

12. 張葉平, 山口晃, YANG Yue, 宮内雅浩. 加熱による光触媒のバンドギャップ吸収端のシフト, *第 128 回触媒討論会*, Sept. 2021.
13. Aufandra Cakra Wardhana, Satoshi Ishii, Sou Yasuhara, 余 閩紋, Akira Yamaguchi, Masahiro Miyauchi. Elucidation of Interfacial Charge Excitation in Visible-light-active Cr₂O₃/SrTiO₃ Photocatalyst System, *電気化学会第 88 回大会*, Mar. 2021.
14. 山口晃. 普遍元素を用いた多電子移動電極触媒の創製, *電気化学会第 88 回大会*, Mar. 2021. 招待講演
15. M. Miyauchi. Photocatalyst technology for eco-airport, JICA Asean Airport seminar, Mar. 2022. 招待講演
16. An Niza El Aisnada, Masahiro Miyauchi. Alternative Descriptor for Designing Metal-Sulfide Electrocatalyst for CO₂ Reduction Reaction (CO₂RR), *Materials Research Meeting 2021*, Dec. 2021
17. 鯨井友貴, 山口晃, 藤田武志, 阿部英樹, 宮内雅浩. 固体電解質型気相光電気化学システムを用いたメタンの水蒸気改質の反応サイトの分離, *2022 年電気化学会第 89 回大会*, Mar. 2022.
18. 張葉平, 山口晃, YANG Yue, 宮内雅浩. 回転ディスク電極法を用いた光触媒の温度依存性の調査, *2022 年電気化学会第 89 回大会*, Mar. 2022.
19. 宮内雅浩. 社会実装が進む光触媒: 基礎から人工光合成、新型コロナ対応まで, *光化学応用講座 2021*, Jan. 2022. 招待講演

* ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計 0 件

* ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計 4 件

1. 張葉平, 山口晃, YANG Yue, 宮内雅浩. 加熱による光触媒反応のアクションスペクトルの変化, *第 39 回光がかかわる触媒化学シンポジウム*, Nov. 2020.
2. Tomoki Kujirai, Akira Yamaguchi, Takeshi Fujita, Hideki Abe, Masahiro Miyauchi. Reaction site Separation of Photocatalytic Steam Reforming of Methane with Gas-Phase Photoelectrochemical System, *Materials Research Meeting 2021*, Dec. 2021.
3. Masaru Kushida, Akira Yamaguchi, Masahiro Miyauchi. TiO₂-based Photocatalyst for Gas-Phase CO₂ Recycling, *Materials Research Meeting 2021*, Dec. 2021.
4. 櫛田優, 山口晃, 張葉平, 庄司州作, 藤田武志, 阿部英樹, 宮内雅浩. 光触媒

による温室効果ガスの資源化, 光触媒研究と開発技術の最新動向と将来展望 (第 83 回シンポジウム), July 2021.

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. *Joint Workshop of Central South University & Tokyo Institute of Technology for CO₂ Recycle Catalysis Technology*, Tokyo Institute of Technology and Central South University (Professor Min Liu and Professor Masahiro Miyachi), Online, Jan. 2021, 45 participants

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

定期的なオンラインミーティング等を実施して日中双方の評価・解析技術等を共有した。また、サンプルの相互提供など、継続的な共同研究を行ってきた。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数 : 0 件

6. 受賞・新聞報道等

1. (受賞) 第 25 回光触媒シンポジウム 学生ポスター賞、櫛田優、2020 年
2. (受賞) 12th Multidisciplinary International Student Workshop(MISW), Best Presentation award、2021 年
3. (受賞) 第 17 回 Honda-Fujishima 賞、山口晃、2021 年
4. (受賞) 2020 Highly Cited Researchers, Clarivate, 2020
5. (受賞) 2021 Highly Cited Researchers, Clarivate, 2021

7. その他

東工大プレスリリース、「金属硫化物を用いた二酸化炭素還元電極触媒の設計指針を提示」、2022 年 2 月.