

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻
エネルギー材料工学講座

エネルギーナノマテリアル科学グループ

尾上 順(教授), 中谷 真人(准教授), 高島 舞(助教)
博士後期課程 1 名(留学生1名), 博士前期課程 6 名(留学生1名), 学部 3 名(留学生1名)
(2023 年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

持続可能な未来社会を実現するためには、二酸化炭素を削減しつつ経済活動を維持することが求められている。しかしながら、環境を優先する(二酸化炭素の排出削減)と、経済活動(エネルギー消費)を抑えることになり、逆に経済活動を優先すると環境に悪影響(二酸化炭素の排出増加)を与えることになり、両者はトレードオフの関係にある。この問題を解決すべく、我が国では科学技術基本計画に基づく「エネルギー・環境イノベーション戦略 2050 (NESTI2050)」が策定され、我々のグループでも、上記の難問の解決に取り組んでいる。具体的には、ナノ炭素科学・エネルギー変換科学・量子材料科学・データ科学を基盤に、実験・理論の両面から、有機太陽電池、無機・有機熱電変換デバイス、省エネデバイス、二酸化炭素の固定化・有価物質変換、希少元素回収、放射性廃棄物処理、に関する研究を行なっている。また、以上の研究を通して、広い視点でグローバルに活躍できる人材の育成も行なっている。

【キーワード】

ナノカーボン, 有機分子, 有機金属骨格体, 高分子, ナノ空間材料, 半導体光触媒粒子, 有機熱電変換デバイス, 有機太陽電池, 不揮発メモリ, 放射性廃棄物処理, 希少元素の回収, 二酸化炭素の固定・有価物質変換, エネルギーハーベスティング, IoT, 計算科学, *In situ* 赤外分光, *In situ* 走査プローブ顕微鏡/トンネル分光, 四探針マイクロスケール電気計測, 可視吸収分光, 光電場変調高感度分光感度測定, 第一原理計算, 機械学習, サイクリックボルタメトリー, ガスクロマトグラフィー, 液体クロマトグラフィー

【主な研究と内容】

(A) 新奇ナノ炭素材料の創製と応用

分子を共有結合で連結していくと、分子結晶とは全く異なる機能・特性が創発されることがある。我々は、フラレン(C_{60})分子を連結・融合させることで、エネルギー変換や触媒活性などの機能を有する低次元材料の開発を進めている。これまで、 C_{60} 薄膜への紫外可視光や電子線の照射によって、 C_{60} 分子間の重合反応($[2 + 2]$ 環化付加反応)および融合反応(一般化 Stone-Wales 転移)を誘起できることを見出し、これらを利用した 1 次元・2 次元構造体の形成やその物性解明および応用探索を進めてきた。1 軸方向に融合した 1 次元ピーナツ型 C_{60} ポリマー薄膜は既往のナノカーボン(フラレン, ナノチューブ, グラフェン)にはない曲面に由来する部分多様体量子系を示す唯一の物質であり、さらに C_{60} 薄膜や 2 次元

光重合ポリマー薄膜にはない高い電気伝導性や熱的安定性、化学的性質を示すことがこれまで明らかになっており、エレクトロニクス材料やナノ空間反応場への応用が期待される。

これまで、1次元ピーナツ型 C₆₀ ポリマー薄膜が内部に幅 0.3 nm の周期的サブナノ空間を有することに注目し、この空間を反応場として利用する研究を進めている。これまで、大気中の二酸化炭素 (CO₂) を炭酸イオン (CO₃²⁻) として室温で固定化できることを見出しており、さらに形成された CO₃²⁻ を原料とした有価物質の合成を進めることで、環境・資源問題の解決に貢献する。

(B) 人体装着型高性能熱電材料の開発

近年、電子機器は「周辺に配置するモノ」から「携帯するモノ」、さらには「人体に装着するモノ」に進化しようとしており、このような人体装着型素子 (ウェアブルデバイス) は、モノのインターネット (IoT) を基盤とする安心・安全な未来社会 (Society 5.0) を実現するための鍵とされている。ヒトの体温から電力を取り出す高性能熱電変換素子は、様々な人体装着型素子の独立電源として注目されている。熱電素子をヒトの肌に密着させ、体温をエネルギー源とする場合、素子を構成する熱電材料には、「高性能」・「人体に優しく」・「柔らかい」ことが求められる。我々の研究室では、有機分子材料を基盤とした柔らかくて高性能な熱電材料の開発を進めている。

分子系薄膜材料の物性計測では、構造欠陥 (ドメイン境界等) の影響が支配的に振る舞うことが多く、分子薄膜本来の熱電物性については、未だ不明な点が多い。このため、ドメイン境界等の影響を排除した分子材料の物性評価を実現するために、薄膜試料の単一ドメイン (サイズ 100 nm ~ 数 μ m) の電気特性や熱電特性を計測する手法の開発を進めている。現在まで、マイクロ電極アレーを分子膜上へ真空一貫で形成することで分子膜の単ドメインへ電極接続し、電気特性や熱電特性を評価する技術を確認しつつある。

(C) 高性能有機太陽電池のためのエネルギー変換素過程の解明

有機太陽電池 (OPV) は、軽量で高い柔軟性を示す素子をインクジェットプリンターで大量生産できるため、既存の無機材料 (シリコンや化合物半導体) ベースの太陽電池に比べて、人体装着型デバイスの独立電源として有用性が高い。現在、エネルギー変換効率 η が 17% と向上してはいるが、無機太陽電池のそれ (25~40%) に比べて、なお低いのが現状である。我々の研究室では、OPV の性能向上に向けて、光電変換の各素過程 (光吸収、励起子拡散、電荷分離、キャリア伝導) における律速因子の解明の研究を進めている。とくに、OPV の性能に及ぼす微視的効果 (ドナー・アクセプター界面での分子配列や分子間相互作用など) や分子間重合反応が素子性能に及ぼす影響をマルチスケール (ナノからミリメートルスケール) で調べることで、素子の高性能化へ向けた新たな指導原理の確立を目指している。

(D) ナノ空間材料 (金属有機骨格体・フラーレンポリマー) を用いた原子力・資源循環応用

軽水炉用の使用済み核燃料 1 トン (燃焼度: 30000 MWd/t, 冷却期間: 150 日) 当たりから生じる高レベル放射性液体廃棄物 (HLLW) には、白金族元素 (PGM) であるルテニウム (Ru), ロジウム (Rh), パラジウム (Pd) がそれぞれ、2.09 kg, 0.36 kg, 1.20 kg と多く含まれている。これら白金族元素 (Ru, Rh, Pd) は、アメリカウムなど長寿命核種と一緒にガラス固化され深地層処分される。PGMs は高機能触媒 (創薬合成用触媒, 自動車排ガス浄化触媒, など) として産業上重要な希少金属であり、そのサプライチェーンの確保は省資源国の我が国にとって極めて重要な政策課題である。したがって、HLLW からの PGMs 回収は、PGMs が減った分多くの HLLW をガラスに充填できるため固化体の本数が減り、処理スペース・処理費の削減に繋

がり、また、我が国にとって希少金属のサプライチェーン確保の観点から、回収した PGMs の再利用は益々重要度を増すと考えられる。

我々の研究室では、ナノ空間を有する有機金属骨格体の一種であるフェロシアン化物を収着剤として用いて、PGMs をガラス固化の前段階で一括回収するシステムの開発を行っている。このシステムを高性能化するためには、PGMs に対する収着性能を支配する因子を解明することが重要となることから、理論・実験の両面から収着機構の解明から高性能収着材料の設計まで一貫通貫で行っている。

さらに、フェロシアン化物を用いて都市鉱山から希少元素 (PGMs, Au, Pt, Ir, Os, など) を高選択・高速かつ低コストで回収するための新規プロセスの開発も並行して進めている。

(E) 環境浄化やクリーンエネルギー創製のための光触媒反応素過程の解明

金属酸化物などの半導体微粒子を用いた不均一系光触媒反応は、エネルギー問題の解決策とされる人工光合成や水／大気中の汚染物質分解などの環境浄化等への応用が注目されているが、その反応機構、とくに複数の電子移動を必要とする多電子移動機構の詳細は未解明のままである。そこで、我々の研究室では、高強度紫外 LED ランプを用いた光触媒反応速度の光強度依存性解析から多電子移動機構の解明を目指している。

2023 年度の研究・教育の概要

【C₆₀・三酸化モリブデン複合型熱電材料の加熱処理による P/N 特製の制御】

C₆₀ 薄膜は柔軟性に富み室温において N 型の非常に大きなゼーベック係数 α (-121 mV/K) を示すため、高性能フレキシブル熱電素子材料として人体装着型センサーへの応用が期待されている。実用化のためには、C₆₀ 薄膜の極めて低い電気伝導度 σ (10^{-6} S/cm 以下) の改善による出力因子 ($PF = \sigma\alpha^2$) の向上および高い熱的安定性の実現が必要不可欠である。これまで我々は、C₆₀ と三酸化モリブデン (MoO₃) の真空共蒸着で作製した複合薄膜が大きな α 値を示しつつ σ が向上することで C₆₀ 薄膜に比べ大きな PF を示す高性能熱電材料として振舞うことを示してきた。C₆₀・(MoO₃)_x 複合膜中では、(MoO₃)_x ナノクラスターから C₆₀ へ正孔ドープされることで P 型熱電特性が発現するため、 π 型素子の構成要素としても有望である。本年度は、C₆₀・(MoO₃)_x 薄膜の熱的安定性を検証するとともに、加熱処理により P/N 型熱電特性を制御および PF のさらなる向上を実現した。

C₆₀・(MoO₃)_x 複合膜 [$x = 0.03$ および $x = 0.16$] を加熱処理 (1 時間) したときの α と σ の変化を調べた結果、加熱前の $x = 0.03$ の複合膜では、大きな正の α (20 mV/K) と C₆₀ 薄膜に比べて約 100 倍の σ (9.7×10^{-4} S/cm) が得られた。この複合膜を加熱処理したところ、室温～100 °C での加熱温度領域において α と σ がほぼ保持され、室温で用いる熱電材料として十分な熱的安定性を有することが分かった。 $x = 0.16$ の複合膜も同様の熱的安定性を示した。また、 $x = 0.16$ の複合膜については室温～100 °C での加熱処理によって、 σ が保持されつつ $|\alpha|$ が僅かに増加したので加熱前よりも PF が向上した。さらに、 σ が減少する加熱温度域 (130 °C～150 °C) において、 α の極性が正から負に反転することも分かった。加熱処理前後の複合膜を X 線光電子分光測定したところ、加熱処理によって Mo の価数が 6 から N ($4 < N < 6$) まで僅かに減少したことから、C₆₀ と Mo 酸化物から成る複合膜の P/N 熱電特性が Mo の価数に依存して制御できることを示唆する。

©本研究に関連する誌上発表および講演

- [1] M. Nakaya, T. Kawai, S. Watanabe, and J. Onoe, *J. Chem. Phys.* **153**, 054701 (2023).
 [2] 中谷真人, 渡邊真太, 尾上 順, ナノ学会第 21 回大会 2023 年 5 月 12 日.
 [3] 山本 駿, 中谷真人, 尾上 順, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 2023 年 9 月 20 日.

【高性能アルミ酸化物系熱電材料探索のためのモデル構築】

国際的にカーボンニュートラルの要求が強まる中, 種々の廃熱利用による環境発電の需要が高まっており, その解決策の一つに高性能な熱電変換材料の開発が挙げられる。熱を電気に変換する熱電変換効率 η および無次元性能指数 ZT は, それぞれ次の式で与えられる。

$$\eta = \frac{T_H - T_L}{T_H} \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + \frac{T_L}{T_H}} \quad ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa_e + \kappa_l} T \propto m_{\text{eff}}^{3/2} \left(\frac{\mu}{\kappa_l} \right) T$$

ここで, $T_H \cdot T_L$ は素子の高・低温側温度, S はゼーベック係数, σ は電気伝導度, $\kappa_e \cdot \kappa_l$ は電子・格子熱伝導度, m_{eff} は電子・正孔の有効質量, μ は移動度, T は T_H と T_L の相加平均, をそれぞれ表す。上式で示すように, ZT の値が大きくなるにつれて η がカルノー効率に近づくことがわかる。したがって, 分子の $S^2 \sigma$ が大きく, $\kappa_e \cdot \kappa_l$ が小さい材料が高い ZT を示すことになるが, S と κ_e が比例関係に, S と σ が反比例の関係に, それぞれあり, 現在実用化されている Bi_2Te_3 で $ZT=1.2$ 程度であり, 室温動作で $\eta=10\%$ 程度となるが, 例えば 500°C 以上の高温領域では $\eta > 15\%$ と効率が向上する。

我々の研究室では, 高温で動作する高性能熱電材料の候補としてアルミ (Al) 酸化物系に注目している。Al は他の元素と置換すること (例: サファイア → ルビー) が知られており, 多元素置換による物性制御が容易に行える。しかしながら, その組み合わせは膨大な数になり, 第一原理計算で高性能な熱電材料の探索は非現実的である。そこで, 機械学習を組み合わせた第一原理計算により効率的に高性能 Al 酸化物系熱電材料を探索することを目的とする。

機械学習を組み込んだ第一原理計算の探索手法を以下に述べる。

- 1) 第一原理計算とボルツマン輸送計算を用いて, 熱電材料データベース TEDignLab に掲載されている 55 種類全ての Al 酸化物系の電子構造・電気伝導率 (σ)・ゼーベック係数 (S)・電子熱伝導率 (κ_e) を算出し, Al 酸化物系の性能指数 (ZT) を算出する。
- 2) 元素の周期表での位置 (period, group), 元素の基本特性 (atomic mass, electronegativity, covalent radius etc.), 単体の特性 (melting point, boiling points, pecific heat capacity etc.) など 143 個の Al 酸化物系の熱伝導率と電気伝導率算出の特徴記述子とする。
- 3) Al 酸化物系の性能指数 (ZT) を目的変数, 143 個のアルミ酸化物系熱伝導率と電気伝導率の特徴記述子を説明変数として, 学習データにニューラルネットワーク (NN) モデルのハイパーパラメータ (活性化関数, 中間層の層数, 単層のニューロン数, 正則化係数など) を最適化し, 機械学習モデルを最適化する。
- 4) 最適化した NN モデルを用いて, 結晶構造データベース Materials Project から抽出した 3447 種類の Al 酸化物系から, 高い ZT を示す p 型の Al 酸化物を短時間に抽出する。

最適化された NN モデルは, $R^2 = 0.939$ という高い相関係数を示し, 第一原理計算による ZT 値と良く一致した。この結果は, 提案された NN モデルが熱電材料の性能予測において高い信頼性を有することを示

す。さらに、この NN モデルを用いて、Materials Project データベースから抽出した 3447 種類の Al 酸化物系の中から、高い ZT 値を持つ p 型 Al 酸化物 29 種類を効率的に探索できた。

今後は、抽出した 29 種類の Al 酸化物を第一原理計算にて ZT を算出し、予測値との相関関係を調べる。

◎本研究に関連する学会発表および誌上発表：

[1] Bi Rongrong, 西井俊明, 野田祐輔, 尾上 順, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会 2024 年 3 月 22 日.

[2] Bi Rongrong, 西井俊明, 野田祐輔, 尾上 順, 第 8 回 D-マテリアルズ分野融合研究会 2023 年 4 月 22 日.

【フラーレンおよびフラーレンポリマー薄膜を用いた白金族元素の高速収着】

都市鉱山に含まれる白金族元素 PGMs (ロジウム Rh, パラジウム Pd, ルテニウム Ru) の現行リサイクル手法は、多段階プロセスに加えて有機溶媒中にて各種金属イオンを抽出するため、長時間・高コスト(抽出材の開発)・高環境負荷(大量の有機廃液)である。このため、水溶液中において金属イオンを分離精製できる高性能収着材の開発が求められている。これまで、内部に幅 0.3 nm のナノ空間を有し、アルカリ金属 (ナトリウム Na, カリウム K, ルビジウム Rb, および セシウム Cs) を単位格子あたり最大 12 個まで収着できるフラーレン (C₆₀) 薄膜を用いて、Pd イオン, Rh イオン, Ru イオンが共存する水溶液において収着性能を調べた結果、C₆₀ 薄膜表面近傍で PGMs イオン が高密度に収着することを発見した。C₆₀ 薄膜では、分子同士の電子線重合により薄膜の導電性と溶液中での安定性が向上するため電位制御による収着速度の高速化も期待される。本研究では、PGMs 含有水溶液において電位制御を行うことによって PGMs イオンの収着性能について調べた。

塩化カリウム水溶液に濃度 4 mM の硝酸パラジウム Pd(NO₃)₂, 硝酸ロジウム Rh(NO₃)₃, 及び硝酸ニトロシルルテニウム Ru(NO)(NO₃)₃ を溶解させた混合溶液 (Pd-Rh-Ru 水溶液) を作製し、水溶液が満たされたセル内に C₆₀ 薄膜 (作用極), Pt 線 (対向極), AgCl/Ag 線 (参照極) をそれぞれポテンショスタットへ接続することで、C₆₀ 薄膜の電位制御浸漬を行った。PGMs 元素分析は エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX) により、収着総量は 高精度電子天秤により、それぞれ定性・定量評価した。

混合溶液に電位 -0.1 V で 5 分間 浸漬させたところ、薄膜表面に堆積物 (電析物) が形成され、EDX スペクトルからその堆積物が Pd から構成されることが分かった。特筆すべきは、Rh と Ru は電析しておらず、Pd のみが薄膜表面に選択的に電析された点である。さらに、24 時間電位制御浸漬させたところ、mg オーダーの電析物が得られた。電位制御時間に対する PGMs 選択性と収着総量の変化を詳しく調べたところ、浸漬時間がおよそ 100 分を超えるまでは Pd の選択性が 90 % を保ちつつ収着総量も増加し、この間、Rh と Ru の選択性に殆ど差異はなく Pd だけが優先的に電析された。Pd²⁺ の標準電極電位は 0.915 V であるのに対して、Rh⁴⁺ および Rh³⁺ は それぞれ 0.704 V および 0.758 V であることから、この還元電位の差によって、まず Pd が電析し 続いて Rh と Ru が電析したと考えられる。

さらに、ナノ空間材料の 1 つであるプルシアンブルーおよびプルシアンブルー類似体の電位制御浸漬を利用した PGMs 元素回収に関する研究も進めた。

◎本研究に関連する学会発表および誌上発表：

[1] 尾上 順, 東京工業大学ゼロカーボンエネルギー研究所コロキウム 2023 年 12 月 15 日.

[2] 奥村光希, 中谷真人, 尾上 順, 第 23 回日本表面真空学会中部支部学術講演会, 2023 年 12 月 16 日. (講演奨励賞受賞)

- [3] J. Onoe, Mini-symposium on Advanced Nanomaterials, Strasbourg, France 2023 年 11 月 30 日.
- [4] M. Nakaya, Mini-symposium on Advanced Nanomaterials, Strasbourg, France 2023 年 11 月 30 日.
- [5] 中谷真人, 奥村光希, 尾上 順, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 2023 年 9 月 22 日.
- [6] 中谷真人, 奥村光希, 北河康隆, 尾上 順, 日本原子力学会 2023 年秋の大会 2023 年 9 月 8 日.
- [7] 北河康隆, 本城 一樹, 中谷 真人, 尾上 順, 日本原子力学会 2023 年秋の大会 2023 年 9 月 8 日.
- [8] 村上淳哉, 中谷真人, 尾上 順, 日本原子力学会 2023 年秋の大会 2023 年 9 月 8 日.
- [9] 尾上 順, 光・量子デバイス研究会 2023 年 7 月 16 日.
- [10] 奥村光希, 水野瑛基, 中谷真人, 尾上 順, ナノ学会第 21 回大会 2023 年 5 月 12 日.
- [11] J. Onoe, 2023 Conference on Excited State Processes (Invited talk), Santa Fe, USA 2023 年 6 月 5 日.
- [12] J. Onoe, Invited Lecture at Babes-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania 2023 年 5 月 23 日.
- [13] 村上淳哉, 中谷真人, 尾上 順, 第 8 回 D-マテリアルズ分野融合研究会 2023 年 4 月 22 日.

【光触媒粉末の構造がおよぼす光触媒反応への影響】

不均一系光触媒反応の特徴の一つとして、多電子移動反応が容易に進行することがあげられる。このような多電子移動反応を進行させるためには、バンドギャップ以上のエネルギーをもつ光子の吸収により生成した励起電子・正孔が消滅する前に複数の光子吸収が必要なため、反応速度は入射光子密度に依存すると考えられる。これまで、通常の光源の 10 倍以上の強度で照射可能な高強度 UV-LED を用いて、さまざまな不均一系光触媒反応の光強度依存性解析から多電子移動機構を検討してきた。本年度は、二酸化炭素還元反応(CRR)の速度論解析による多電子移動機構の解明を目的に、銀を担持させた酸化チタン(Ag/TiO₂)を光触媒として用いた CRR の光強度依存性を調査した。また、材料特性(結晶構造, 粒径, 表面構造, 欠陥など)と光触媒活性との因果関係の解明を目指し、結晶露出面を規定した光触媒粉末の調製に着手した。

(1) Ag/TiO₂ 光触媒による CRR 反応速度の光強度依存性

市販アナターズ型酸化チタン(昭和電工セラミクス, FP-6)上に銀助触媒を二段階光還元法により担持し, Ag/TiO₂ を作製した。調製した Ag/TiO₂ (30 mg) を 10vol% トリエタノールアミン含有 0.1 mol L⁻¹ 炭酸水素ナトリウム水溶液 (3 mL) に懸濁させ、二酸化炭素を約 1 時間バブリングした後、高強度 UV-LED (波長: 365 nm, 強度: 最大約 540 mW) の光を照射 (照射面積 1 cm²) した。生成物を一定時間ごとに採取し、ガスクロマトグラフィー (GC) および液体クロマトグラフィー (LC) で生成物を定量した。

調製した Ag/TiO₂ 粉末は、0.05wt%Ag 担持では pale yellow だったものが担持量を増加させるにしたがい pale purple や gray へと変化した。また、拡散反射法により Ag/TiO₂ の吸収スペクトルを測定したところ、銀粒子による 500 nm 付近の強いプラズモン吸収を観察し、また担持量を増加させるとその吸収ピークがレッドシフトかつピークもブロードに変化した。この試料の CRR 活性試験を行ったところ、水素、一酸化炭素、ギ酸が生成した。また、照射光強度を変化させて活性試験を行ったところ、水素生成の反応速度変化は担持量によりあまり変化しなかった一方、一酸化炭素生成の反応速度の光強度依存性は担持量により大きく異なり、また回数も担持量により異なった。これらの結果から、CRR は銀助触媒上で進行し、プロトンへの電子移動と二酸化炭素への電子移動に速度論的光強度依存性がある可能性を見出した。

(2) 結晶露出面を規定した光触媒粉末の調製

市販アナタース型酸化チタン(日本エアロジル, P25)を水酸化カリウム水溶液に懸濁させ, 473 K で 24 時間水熱合成をおこない, チタン酸ナノワイヤー(TNW)を作製した。つぎに, 合成した TNW をアンモニア緩衝液などの各種水溶液中, 473 K で 12 時間水熱処理して OAP が含まれる TiO_2 を合成した。走査型電子顕微鏡(SEM)観察により粒子形状を確認し, 150 個以上の粒子から OAP 含有率と平均粒径を算出した。また, 粉末 X 線回折測定により結晶型などを, 逆二重励起光音響分光(RDB-PAS)法により表面構造などを評価した。

リン酸塩緩衝液を用いて合成した TiO_2 では大部分がナノワイヤー状であった一方, 炭酸塩緩衝液では大きさ $3\text{ }\mu\text{m}$ ほどの薄い板状の粒子が確認できた。フタル酸塩緩衝液を用いると, OAP 含有率は低い(9%)ものの, 平均粒径 76 nm の OAP が得られた。アンモニア緩衝液を用いた場合に最も高い OAP 含有率(71%)で粒径 197 nm の OAP が得られた。塩化アンモニウム水溶液中では, OAP が得られたのに対し, アンモニア水中では, 両端が丸まったラグビーボール状の細長い粒子が得られたことから, アンモニウムイオンの存在が OAP 形成に重要であると考えられる。RDB-PAS の測定結果から, 市販のアナタース型 TiO_2 に比べて電子トラップ密度のエネルギー分布の分散が小さく, 表面構造がより均一であることが示唆された。

◎本研究に関連する学会発表:

- [1] 楠嶺浩斗, 尾上 順, 高島 舞, 第 8 回 D-マテリアルズ分野融合研究会, 2023 年 4 月
- [2] 高島舞, 楠嶺浩斗, ナノ学会第 21 回大会, 2023 年 5 月
- [3] Mai Takashima, Hiroto Kusumine, The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023), 2023 年 7 年
- [4] 楠嶺浩斗, 高島 舞, 第 132 回触媒討論会, 2023 年 9 月
- [5] 高島舞, 第 28 回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」, 2024 年 3 月

【本年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	16	7	3	1
学生	12	1	1	0

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

- ・プルシアンブルー薄膜の荷電状態制御によるセシウムイオンの選択的高速回収に関する研究
- ・ C_{60} 蒸着同時電子線照射による新奇フラレン重合体の創製と電気特性に関する研究
- ・水熱合成による八面体形状アナタース型酸化チタンの合成に関する研究

【修士論文】

- ・フラレンおよびフラレンポリマー薄膜を用いた白金族イオン収着に関する研究
- ・フェロシアン化銅薄膜を用いたパラジウムイオンの高選択収着

その他・特記事項

【受賞】

奥村光希 (M2)： 第 23 回日本表面真空学会中部支部学術講演会 講演奨励賞, 2023 年 12 月 16 日