



Tokyo Tech

Press Release

2024 年 5 月 23 日

東京工業大学

マルチフェロイック光触媒ナノ粒子による 有機染料の高効率分解を確認

ー グリーンテクノロジーにより SDGs の達成に貢献 ー

【要点】

- 簡易な水熱プロセスによりマルチフェロイック Au-BiFeO₃ 光触媒ナノ粒子を作製
- 太陽エネルギー（可視光）を利用して有毒な有機染料を高効率に分解
- ナノ粒子は磁石により容易に回収・リサイクル可能
- グリーンエネルギーとグリーンテクノロジーにより SDGs の達成に貢献

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所の Tso-Fu Mark Chang（チャン・ツォーフー・マーク）准教授と岡本敏特任教授を中心とする研究チームは、住友化学次世代環境デバイス協働研究拠点において、**マルチフェロイック**（用語 1）Au-BiFeO₃ 光触媒ナノ粒子の作製に成功し、可視光および近赤外線照射下で高効率なメチレンブルー有機染料の分解を達成した。BiFeO₃ は可視光から近赤外まで吸収できる無毒の光触媒であり、金（Au）ナノ粒子との統合により有機染料の分解能力がさらに向上することを確認した。さらに、Au-BiFeO₃ 光触媒ナノ粒子は**強磁性**（用語 2）を備えているため、容易にリサイクルでき、環境の二次汚染を防ぐことが可能と考えられる。

安全な水の確保や、それに向けた廃水処理技術の向上は **SDGs**（用語 3）の重要な目標であり、特に環境中の**残留性有機汚染物質**（**POPs**、用語 4）の除去にとって重要な課題である。本研究で作製した Au-BiFeO₃ 光触媒ナノ粒子はグリーンエネルギーである太陽光で駆動することが可能であり、持続可能性の高い材料と言える。太陽光においては可視光と赤外線がエネルギー分布の 90% 超を占めており、それらを活用できるマルチフェロイック Au-BiFeO₃ 光触媒ナノ粒子の作製成功は、「持続可能な世界」の実現に大きく貢献すると考えられる。

本研究成果は、4 月 5 日に米国化学会誌「*ACS Applied Nano Materials and Interfaces*」に掲載され、サプリメンタリィ表紙の研究（ACS Supplementary Cover）として選定された。

●背景

SDGs の達成には、環境に優しい技術を活用して汚染水を処理し、安全な水を提供することが必要である。太陽エネルギーはグリーンで豊富な再生可能エネルギーのひとつであり、光触媒と太陽エネルギーを活用した水中の汚染物質分解は、安全な水を継続的に提供するのに最適なソリューションである。二次汚染を防ぐためには、処理水から光触媒粒子をリサイクルできることも必要である。

マルチフェロイック材料の可能性を探究することは、住友化学次世代環境デバイス協働研究拠点の重要な目的のひとつである。ビスマス、鉄を主原料とする BiFeO_3 は、可視光と近赤外光を吸収できる**マルチバンドギャップ**（用語 5）を持つマルチフェロイック材料である。 BiFeO_3 のような光応答性材料の光触媒活性を向上させるには、半導体光触媒に導電性の高い金属ナノ粒子を複合することが有効な方法である。そこで本研究では、**水熱プロセス**（用語 6）により、 BiFeO_3 に金（Au）ナノ粒子を複合した Au- BiFeO_3 ナノ粒子を作製することを検討した。分解対象としては、メチレンブルー（MB）を用いた。MB はデニム業界で使用されるインディゴ同様に一般的な有機染料で、POPs の一種とされており、環境中 MB の除去技術の開発は、インディゴなどによる汚染のための環境保全を考える上で重要な意味を持つ。さらに、Au- BiFeO_3 の強磁性特性により、Au- BiFeO_3 ナノ粒子を簡単にリサイクルして二次汚染を防ぐことができると考えた。

●研究成果

本研究で作製した純 BiFeO_3 および金含有量の異なる Au- BiFeO_3 ナノ粒子の走査型電子顕微鏡画像を図 1 に示す。

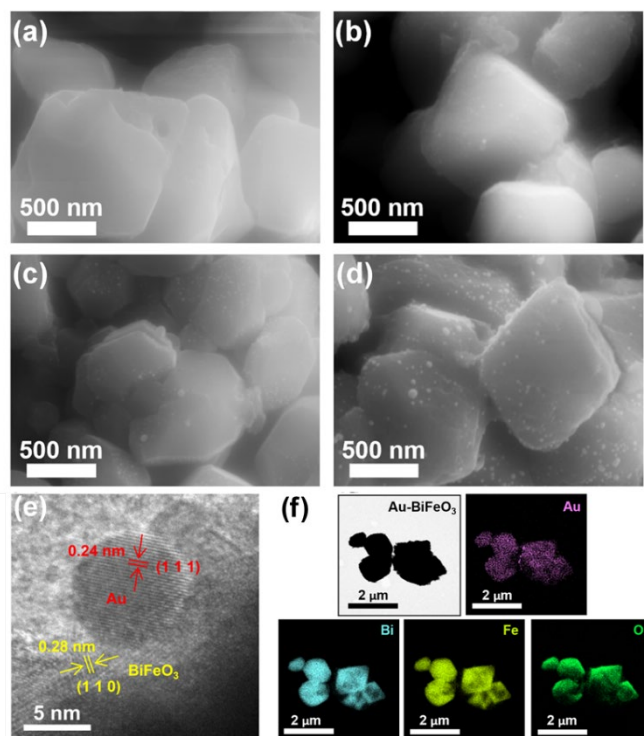


図 1 (a) 純 BiFeO_3 ナノ粒子、(b) 0.5 wt% Au- BiFeO_3 ナノ粒子、(c) 1.0 wt% Au- BiFeO_3 ナノ粒子、(d) 1.5 wt% Au- BiFeO_3 ナノ粒子の走査型電子顕微鏡画像。(e) 1.0 wt% Au- BiFeO_3 ナノ粒子の高解像度透過型電子顕微鏡画像および (f) 元素分析マッピング。

図 1 における大きな粒子は BiFeO_3 で、表面の明るい小さな粒子は金ナノ粒子である。高解像度透過型電子顕微鏡画像は、粒子がすべてナノメートルスケールであることを示している。 BiFeO_3 粒子のサイズは約 600 nm、金粒子のサイズは約 8 nm である。元素分析マッピングから、粒子は金と BiFeO_3 からなることが確認された。

図 2(a) には作製した複合粒子の磁気特性を示している。 Au-BiFeO_3 が強磁性であることが確認されており、挿入画像に示すように、 Au-BiFeO_3 が磁石に強力に引き寄せられることが確認され、 Au-BiFeO_3 のリサイクル可能性を示している。図 2(b) には、 Au-BiFeO_3 を用いた水中の MB（初期濃度 20 μM ）の光分解反応の結果を示している。純 BiFeO_3 は MB を分解する効果があり、金ナノ粒子と複合することで分解効率が向上した。1.0 wt% Au-BiFeO_3 が最高の分解効率を示し、120 分の反応後に MB 濃度が 0 に近くなることが明らかとなった。

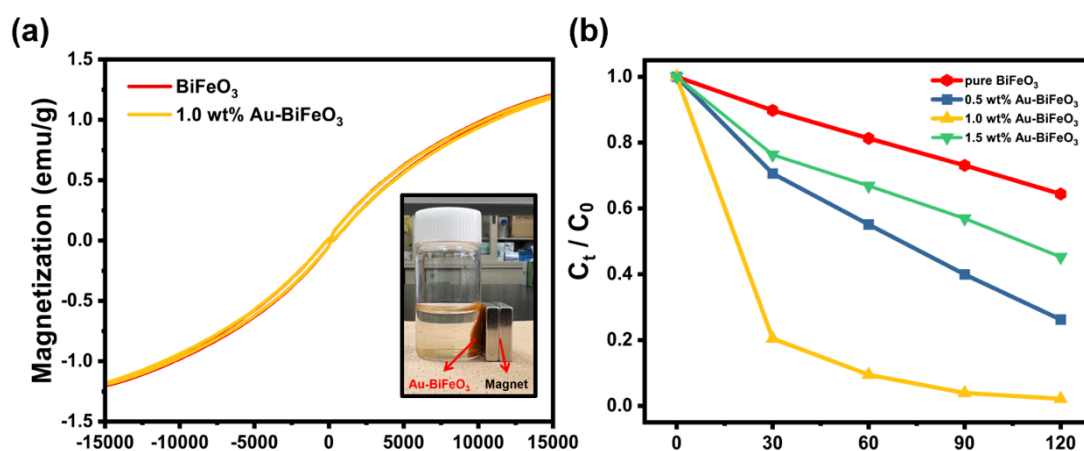


図 2 (a) 1.0 wt% Au-BiFeO_3 ナノ粒子の磁化曲線 (b) 各種 Au-BiFeO_3 ナノ粒子の光触媒による MB 分解の比較結果。

●社会的インパクト

本研究において、マルチフェロイック光触媒 Au-BiFeO_3 ナノ粒子は、MB の分解に極めて効果的であることが確認された。 Au-BiFeO_3 ナノ粒子を廃水に添加するだけで、有害な有機染料を太陽光の下で除去できると考えられる。そして、処理されたきれいな水中に分散したナノ粒子は、磁石によって簡易に回収することができる。これは、大量の廃水を扱う産業にとって浄水作業の大幅な効率化につながる。以上のことから、マルチフェロイック光触媒 Au-BiFeO_3 ナノ粒子は SDGs 達成に向けた画期的な進歩と言える。

●今後の展開

今回の結果により、マルチフェロイック光触媒 Au-BiFeO_3 ナノ粒子の分解力は、環境中のその他の有毒物質の分解にも効果的であると期待されている。たとえば、有機フッ素化合物 (PFAS) (用語 7)、細菌、ウイルスなどが候補として挙げられる。今後は、さまざまな分野の研究者や企業と協力して、可能性のあるアプリケーションを探索する。また、多様なマルチフェロイック光触媒の開発や、それらをさまざまな金属ナノ粒子を複合させた際の機能評価も今後の課題である。

●付記

本研究は、JSPS 科学研究費助成事業 JP21K04827 および JP23K04369 の助成を受けたものである。また、東京工業大学の World Research Hub Program および東京工業大学の生体医歯工学共同研究拠点により支援され、住友化学次世代環境デバイス協働研究拠点において行われた。

【用語説明】

- (1) **マルチフェロイック**：強誘電性、強磁性、強弾性などの「強的 (ferroic)」な性質を複数併せ持つ物質。電場の印加によって物質の磁化が誘起される（電気磁気効果）など、従来材料とは異なる新奇な応答反応を示す。
- (2) **強磁性**：外部から磁界を加えると磁界と同じ方向の磁気を強く帯びるとともに、外部からの磁界をゼロにしても強い磁気が残る材料である。
- (3) **SDGs**：「Sustainable Development Goals」の略称であり、持続可能な開発目標という意味。
- (4) **残留性有機汚染物質 (POPs)**：難分解性、高蓄積性、長距離移動性、有害性（人の健康・生態系）を持つ物質のことを指す。
- (5) **マルチバンドギャップ (Multi-bandgap)**：バンドギャップ（禁制帯）が複数ある。
- (6) **水熱プロセス**：高温高压の溶媒の下で化学反応を行ったり、結晶を成長させたりすること。常温常圧の水に溶けにくい物質の合成などに利用される。
- (7) **有機フッ素化合物 (PFAS)**：4,730 種を超える有機フッ素化合物の総称。自然界で分解しにくく水などに蓄積することが分かったほか、人への毒性も指摘されており、国際条約で廃絶や使用制限している。

【論文情報】

掲載誌：*ACS Applied Nano Materials*

論文タイトル：Tunable Photocatalytic Properties of Au-Decorated BiFeO₃ Nanostructures for Dye Photodegradation

著者：Jhen-Yang Wu, Chun-Yi Chen, Junan Wang, Xinyu Jin, Wending Hou, Hsuan-Hung Kuo, Wan-Ting Chiu, Tomoyuki Kurioka, Masato Sone, Satoshi Okamoto, Yung-Jung Hsu
Tso-Fu Mark Chang

DOI：10.1021/acsanm.4c01702

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 准教授

Tso-Fu Mark Chang

Email: chang.m.aa@m.titech.ac.jp

TEL: 045-924 -5044 FAX: 045-924 -5044

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 特任教授／
住友化学次世代環境デバイス協働研究拠点 副拠点長
岡本 敏

Email: okamoto.s.aj@m.titech.ac.jp

TEL: 045-924-5340 FAX: 045-924-5044

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661