

## 可視光で水と酸素から過酸化水素合成に成功

—持続可能な過酸化水素製造技術の創出に期待—

### 【本研究成果のポイント】

- *in situ* 重合反応<sup>1)</sup>により電極表面に均一な有機高分子膜を形成する新たな合成法を確立した。
- 作製した有機高分子電極が酸素を  $\text{H}_2\text{O}_2$  へ選択的に還元する光カソード<sup>2)</sup>として機能することを見出した。
- 中性水溶液中において、外部電気バイアスなしで、可視光により水と酸素から  $\text{H}_2\text{O}_2$  を合成することを実証した。

過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) は、有機合成や医療用消毒剤など幅広い分野で利用されていますが、現在の工業的な製造法は化石燃料に依存しているため、環境負荷が大きいことが課題となっています。そのため、太陽光などの再生可能エネルギーを利用した持続可能な  $\text{H}_2\text{O}_2$  製造技術の開発が求められています。新潟大学工学部の坪ノ内 優太 准教授、自然科学研究科博士前期課程の井手 玲花さん、Debraj Chandra 特任准教授、八木 政行 教授らの研究チームは、可視光により酸素を  $\text{H}_2\text{O}_2$  へ選択的に還元する有機高分子光カソードを開発しました。さらに、この光カソードと水から酸素を発生する光アノード<sup>3)</sup>を組み合わせ、中性溶液中において外部電気バイアス<sup>4)</sup>なしで可視光により水と酸素から  $\text{H}_2\text{O}_2$  を合成することに世界に先駆けて成功しました。本成果は、環境調和型の  $\text{H}_2\text{O}_2$  製造技術の実現に向けた重要な一歩であり、持続可能な化学品製造や太陽光エネルギーの有効利用への貢献が期待されます。

### 1. 研究の背景

$\text{H}_2\text{O}_2$  は水以外の副生成物を生じないクリーンな酸化剤であり、幅広い用途を有する重要な化学品ですが、現在の工業的な製造法は化石燃料に依存しているため、太陽光などの再生可能エネルギーを利用した持続可能な製造技術の開発に期待が寄せられています。有機高分子半導体は、従来の無機半導体に比べ、バンドギャップやフロンティア軌道エネルギーを精密に制御できるため、有機高分子光カソードに高い関心が寄せられています。これまで効果的に酸素を還元して  $\text{H}_2\text{O}_2$  を生成する有機高分子光カソードの開発は十分に進んでいませんでした。

## II. 研究の概要・成果

本研究グループは、有機モノマー分子の溶液に、多孔質の酸化インジウムスズ (meso-ITO) 層で被覆した透明導電性電極を浸漬し、*in situ* 重合反応を進行させることにより、電極表面にカルバゾール部位を含む共有結合性トリアジン構造体 (Cz-CTF) 光カソードを作製することに成功しました (図 1A)。meso-ITO 層のない場合には、Cz-CTF 膜はほとんど形成されないため、meso-ITO 層が均一な Cz-CTF 膜の形成に重要であることが分かりました。作製した Cz-CTF 修飾電極が、中性水溶液中において、可視光により 95% の極めて高いファラデー効率<sup>5)</sup>で酸素を  $\text{H}_2\text{O}_2$  へ還元する光カソードとして機能することを見出しました。さらに、密度汎関数理論 (DFT) 計算による解析から、Cz-CTF のトリアジン部位が活性点として機能して、酸素を高効率で  $\text{H}_2\text{O}_2$  へ変換することを明らかにしました。

また、この Cz-CTF 光カソードと水を酸化して酸素を発生する  $\text{BiVO}_4$  光アノードを組み合わせた光電気化学システムを構築し (図 1B)、外部電気バイアスを印加することなく、可視光で水と酸素から  $\text{H}_2\text{O}_2$  を合成することに成功しました。本システムは、有機高分子光カソードを用いて、中性水溶液中で可視光により水と酸素から  $\text{H}_2\text{O}_2$  合成した初めての例です。本成果は、再生可能エネルギーを利用した環境調和型  $\text{H}_2\text{O}_2$  製造技術の実現に向けた重要な一歩となることが期待されます。

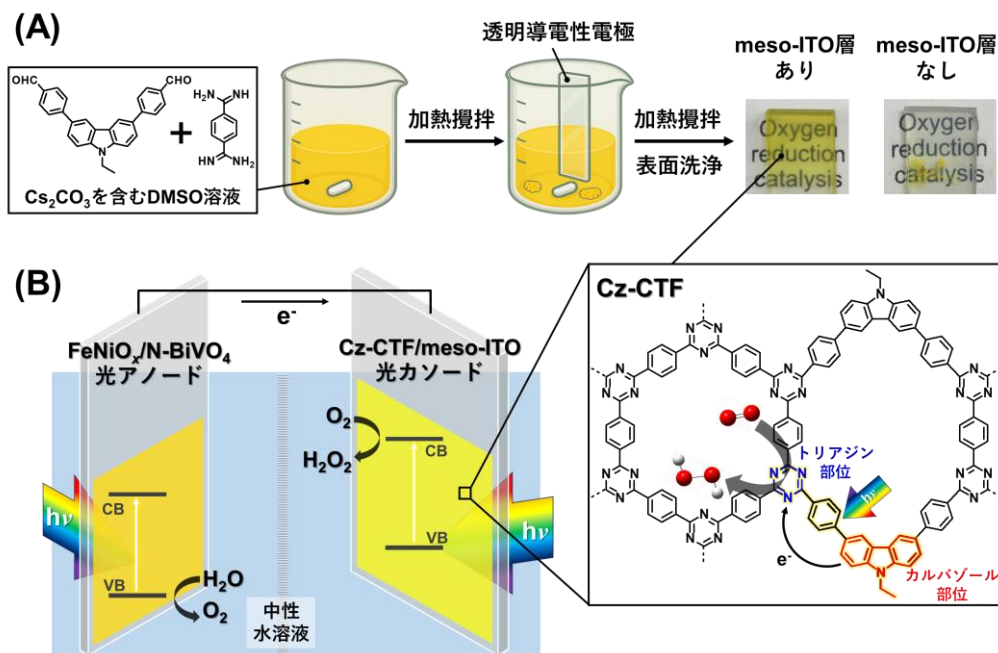


図 1 (A) *in situ* 重合法による Cz-CTF 膜被覆 meso-ITO 電極の合成のスキーム、(B) Cz-CTF 光カソードと助触媒担持  $\text{BiVO}_4$  光アノードを組み合わせた光電気化学セルによる太陽光  $\text{H}_2\text{O}_2$  合成

## III. 今後の展開

有機高分子の分子設計や光電極の高性能化、光アノードとの組み合わせの最適化により、太陽光-過酸化水素変換効率の向上に取り組めます。さらに、大面積電極へ展開することで、持続可能な  $\text{H}_2\text{O}_2$  製造技術の実用化を目指します。

#### IV. 研究成果の公表

本研究成果は、2026年7月6日、科学誌「Angewandte chemie international edition」に掲載されました。

【論文タイトル】 An *in situ* deposited covalent triazine framework photocathode for electric bias-free solar-to-hydrogen peroxide conversion in a photoelectrochemical cell

【著者】 Yuta Tsubonouchi, Reika Ide, Kazuma Takakura, Katsunobu Takahashi, Debraj Chandra, Zaki N. Zahran, Masayuki Yagi

【doi】 10.1002/anie.9303504

#### V. 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費助成事業（若手研究（24K17768）；基盤研究(A)（24H00377））、公益財団法人天野工業技術研究所研究助成の支援を受けて行われました。

#### 【用語解説】

（注1） *in situ* 重合反応：重合反応と同時に基板上に製膜する手法

（注2） 光カソード：光を吸収し、その光エネルギーを利用して還元反応を進める電極

（注3） 光アノード：光を吸収し、その光エネルギーを利用して酸化反応を進める電極

（注4） 外部電気バイアス：光電気化学セルにおいて、反応を促進するために電極間に印加する電圧

（注5） ファラデー効率：電気化学反応で流れた電気量に対する生成物の生成効率

#### 本件に関するお問い合わせ先

新潟大学工学部

准教授 坪ノ内 優太（つぼのうち ゆうた）

E-mail : ytsubonouchi@eng.niigata-u.ac.jp

教授 八木 政行（やぎ まさゆき）

E-mail : yagi@eng.niigata-u.ac.jp