

## 可視光を吸収する粉末酸硫化物光触媒における光キャリアダイナミクス

産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門 松崎 弘幸\*

Photocatalytic water splitting to produce  $H_2$ , a clean energy source without  $CO_2$  emissions, has attracted much interest in recent years, and the development of materials that can utilize visible light is being actively pursued worldwide to utilize solar energy with high efficiency. In this paper, transient absorption spectroscopy measurements and theoretical analysis of the measured data for  $Y_2Ti_2O_5S_2$ , a powdered visible-light absorbing oxysulfide-based photocatalyst, are performed to obtain quantitative guidelines for improving its solar energy conversion efficiency. As a result, we succeeded in extracting various physical properties including the photocarrier lifetime. Furthermore, we were able to clarify the conditions for improving the solar energy conversion efficiency from the simulation analysis based on the obtained physical properties.

**Keywords:** photocatalytic water splitting, visible-light absorbing oxysulfide-based photocatalyst, photocarrier dynamics, transient absorption spectroscopy

## 1 はじめに

地球規模の気候変動問題の解決に向けて、2020年10月、日本政府は2050年までに二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言した<sup>1)</sup>。現在、水力発電、風力発電、太陽光発電、バイオマス燃料等の二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーの利用・実用化に関する研究開発が世界中で加速している。化学エネルギーとして貯蔵・利用可能な水素は、熱エ

ネルギーや電気エネルギーに変換可能であり、また燃焼時に二酸化炭素を排出しないことから、クリーンなエネルギー源として大きな期待が寄せられている。水素は水として地球上に豊富に存在する元素であるが、単体の水素分子は稀少である。そのため、化石資源に依らずに再生可能エネルギーを用いて製造する水素は、「グリーン水素」と呼ばれ注目を集めている。無尽蔵に降り注ぐ太陽エネルギーと半導体光触媒を利用して直接水を分解し水素を製造する人工光合成は、究極の「グリーン水素」製造法であり、現在研究開発が活発に行われている。

太陽エネルギーを利用して、光触媒によって水を分解し水素を生成する研究は、本多-藤嶋効果<sup>2)</sup>の発見以来、これまで盛んに行われてきた<sup>3-8)</sup>。特に、粉末状の光触媒は、塗布によってシート状にすることで安価に大面積化することができ、太陽エネルギーによる大規模な水素製造を可能にする。しかしながら、これまでに開発されてきた光分解可能な酸化チタンなどの光触媒材料は、その大半が紫外光しか利用できず、太陽エネルギーから水分解反応エネルギーへの変換効率 (solar-to-hydrogen energy conversion efficiency, STH) は1%未満と低い値にとどまっている。実用化の目安となるSTH 5%–10%を実現するためには、紫外光のみならず可視光を含むより長波長の光を吸収・利用できる光触媒の開発が必要である。

粉末酸硫化物光触媒  $Y_2Ti_2O_5S_2$  (YTOS) は、バンドギャップエネルギーが $\sim 1.9$  eV (吸収端 650 nm) の半導体であり、2019年に堂免一成東京大学特別教授らによって初めて、1種類で水を水素と酸素に分解 (全分解) できることが報告された<sup>6)</sup>。この光触媒は、20時間にわたって水を水素と酸素に2:1の体積比で持続的に分解することが可能であり、理論上ではSTH 10%以上が期待できる。しかし、現状のSTHは1%以下であり、さらなる光触媒の改良が必要であるが、その指針が明らかではなかった。

本稿では、YTOSのSTHが低い要因を特定するために、同粉末試料について行った、過渡吸収分光測定とその測定データに対する理論解析の結果を紹介する。

Photocarrier dynamics in a powdered visible-light absorbing oxysulfide-based photocatalyst

Hiroyuki MATSUZAKI\* (Research Institute for Material and Chemical Measurement, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology),

〒305-8565 茨城県つくば市東1-1-1 中央第5

TEL: 029-860-5719, E-mail: hiroyuki-matsuzaki@aist.go.jp

さらに、得られた物性値に基づいて、STHの向上に必要なYTOS粉末試料の定量的な改良の指針を提示する<sup>9)</sup>。

## 2 過渡吸収分光法

光触媒における光化学過程のダイナミクスを計測・解析し理解することは、光水分解反応の高効率化を図る上で重要である。過渡吸収分光法は、超短パルスレーザー光照射によって瞬間的に生じる光励起状態の生成・消滅過程を高い時間分解能で追跡する測定法であり、材料やデバイス中で起こる過渡現象を観測し、その動作機構・反応機構を解明する上で、有効な計測手法である。筆者は、これまでに、数100フェムト秒(fs)からミリ秒(ms)領域までの幅広い時間領域で、過渡吸収(または正反射, 拡散反射)スペクトルおよび時間変化を、紫外から中赤外域の広波長領域で測定可能なシステムを開発・整備し、さまざまな光触媒材料への適用を進めてきた<sup>10-21)</sup>。Figure 1に過渡吸収分光法の測定原理の模式図を示した。過渡吸収分光法を含む時間分解分光法には、大別して2通りの測定方法がある。ひとつは現象の時間全体を直接測定する「直接法」と、もうひとつは高繰り返しパルスレーザー光を用いた「ゲート法」である。ナノ秒(ns)以上の時間領域では、光強度信号の時間変化に計測器が十分追従できるため、直接法が適用される。実際には、定常的な強度を持つ検出光を用い、励起光による瞬間的な検出光強度の時間変化全体をオシロスコープ等で直接的に観測するのが一般的である。一方で、fsからnsにかけての時間領域では、ゲート法が用いられる。これは、計測器を構成する光電変換素子や電気回路の応答がns付近を境として、それより高速な時間領域で追従困難になることが多いのが大きな理由である。ゲート法では、励起光と検出光にパルスレーザー光を用いる。

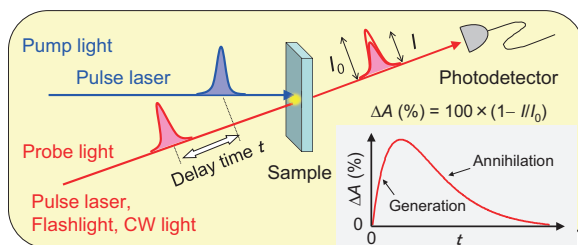


Figure 1. Schematic of the measurement principle of transient absorption spectroscopy.

並進ステージを使用して、励起光または検出光の光路長を変化させ、両者の間の時間差(1 fsは約0.3 μmに相当)を制御し、時間差の関数として検出光強度の変化を測定する。同法では、時間分解能は励起光と検出光のパルス時間幅で決定され、光検出器の応答速度に左右されない点が特徴である。

一般に、粉末試料に光を入射すると、入射した光は試料内部で透過、散乱、反射を繰り返した後、再び試料表面から出射される。これが拡散反射光であり、試料内部を繰り返し通過した光であるため、透過スペクトルと良く似たスペクトル形状を示すことが知られている。本稿では、測定対象試料をCaF<sub>2</sub>セルに封入し、不透明な粉末試料からの拡散反射光を検出する配置で過渡吸収分光測定を行った。この測定配置では、試料を励起していない時の拡散反射した検出光強度をR<sub>0</sub>、励起した時の検出光強度Rとして、吸収変化ΔA(%)は、 $\Delta A(\%) = 100 \times (1 - R/R_0)$ で与えられる。適切な検出光波長では、ΔA(%)は、パルスレーザー光で励起することで試料中に対生成する電子と正孔(以下、総称して光キャリアと呼ぶ)の濃度に比例するとみなすことができ、ΔAの時間変化から光キャリアの濃度の時間変化を観測することができる。光触媒における光キャリアの生成および消滅過程のダイナミクスを詳細に調べるためには、ピコ秒(ps)領域からマイクロ秒(μs)–msまでの幅広い時間領域でシームレスに過渡吸収分光を行うことが有効である。

そこで、本稿では、3 ns以下の時間領域では、検出光として波長5250 nmのフェムト秒パルスレーザー光(パルス時間幅~100 fs)を用いて、上記のゲート法によって過渡吸収測定を行った。この赤外光波長では主に光生成した自由キャリアを検出していると考えられる。一方で、3 ns以上の時間領域では、連続発振の量子カスケードレーザーからの波長5250 nmの光を検出光とし、高速光検出器(HgCdTe半導体検出器 帯域80 MHz)と高速オシロスコープ(帯域2 GHz, サンプリングレート5 GSa/s)を用いて、上記の直接法によって、過渡吸収信号の時間変化を3 nsから1 μsまでの範囲で測定した。両方の時間領域の測定で、励起光は共通して波長400 nmのフェムト秒パルスレーザー光(パルス時間幅~100 fs)を用いた。

## 3 Y<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>5</sub>S<sub>2</sub>における光キャリアダイナミクス

Figure 2の左写真は、固相反応で合成された粉末状のYTOSであり、個々の粒子の粒径は、およそ5 μm–10 μmである(Fig. 2右 走査電子顕微鏡像を参照)。以

下では、YTOS 粉末試料の過渡吸収分光測定とその測定データに対する理論解析の結果について述べる。光触媒は、光のエネルギーを利用して光触媒内部で光キャリアを対生成させ、光キャリアが表面まで移動することで、光触媒表面に担持された助触媒と呼ばれる活性サイトで特定の反応を起こす。Figure 3 で示すように、光触媒表面で水を分解し水素を生成する反応を高効率で起こすためには、光キャリアが光触媒内部で再結合して消失することなく、水と接触する光触媒表面に到達する必要がある。モットショットキー測定から、YTOS は N 型半導体であることがわかっており、光触媒内部では光を照射しない暗下の状態で、電子が正孔に対して過剰に存在する。そのため、光キャリアのうち正孔は過剰な電子と再結合して、反応前に失われやすく、現状の STH は非常に低い (0.007%)。

光キャリアの再結合過程を詳細に追跡するために、1 ps から 1  $\mu$ s までの 6 桁にわたる時間幅で、過渡吸収分光法による光キャリア濃度の時間変化をさまざまな励起光密度で測定した。Figure 4 に代表的な励起光密度での測定結果を示す。Figure 4(a) の黒実線は、この

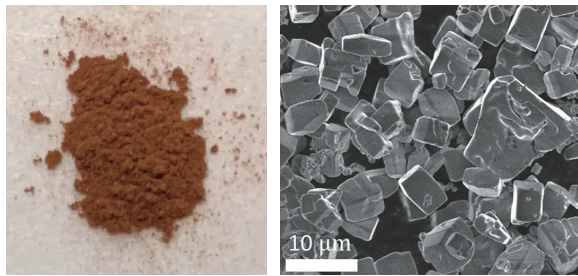


Figure 2. Optical microscope (left) and scanning electron microscope (right) images of  $Y_2Ti_2O_5S_2$  particles.

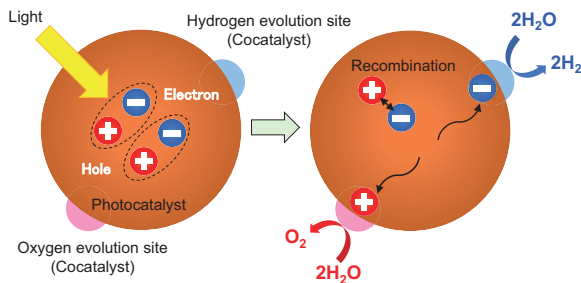


Figure 3. Schematic of photocatalytic water splitting reaction.

ような光キャリア濃度の時間変化に対して、Fig. 4(b) に示す光反応モデルに基づいて数値解析を行った結果である。約 10 ns 以下の光キャリアの減衰は、励起光密度依存性があることから、電子と正孔は二分子的な再

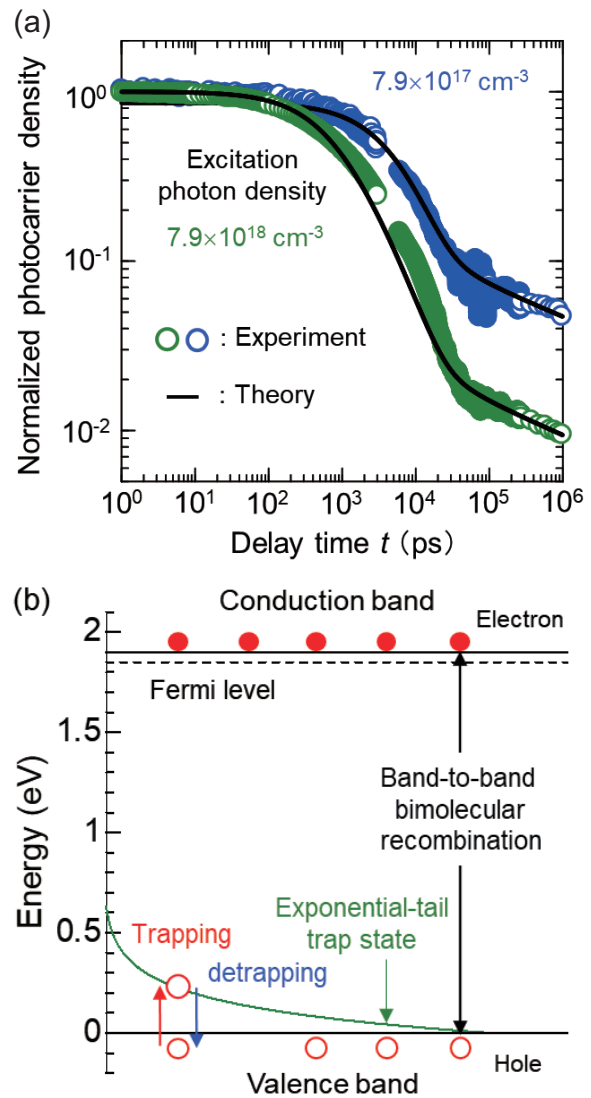


Figure 4. (a) Time profiles of photocarrier density normalized at  $t = 1$  ps for typical excitation photon densities (open circles,  $7.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  and  $7.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) in  $Y_2Ti_2O_5S_2$ . Pump photon energy is 3.1 eV. Solid lines correspond to the results of theoretical calculation. (b) Proposed model schematic showing exponential-tail trap state of valence band along with band-to-band bimolecular recombination between mobile electrons and mobile holes and trapping/detrapping processes of holes.

Table 1. Evaluated physical property values of  $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_5\text{S}_2$ .

Physical property	Numerical value
Biomolecular recombination rate constant ( $k_r$ )	$1.57 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$
Equilibrium electron density ( $n_{\text{eq}}$ )	$5.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
Trap density of exponential-tail state of valence band ( $N_t$ )	$5.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
Characteristic energy of exponential-tail state of valence band ( $E_0$ )	0.137 eV

結合をしていると考えられる。一方で、約 100 ns より長時間で観測された減衰挙動は、正孔が欠陥にトラップされたために寿命が長くなっていることを示唆している。トラップ状態のエネルギーが価電子帯に近く伝導帯からは離れていると、トラップされている間の再結合は無視できる程小さいために寿命が長くなる。遅いながらも減衰しているのは、脱トラップした正孔と電子との再結合反応によるものである。理論解析の結果、正孔のトラップされた状態と正孔が自由に動ける価電子帯との間の特徴的なエネルギー差は約 0.14 eV であることがわかった。Figure 4 に示すように、数値解析により、異なる励起光強度で観測された ps から  $\mu\text{s}$  にわたる減衰を定量的に再現することができ、電子と正孔の二分子再結合速度定数 ( $k_r$ )、平衡電子濃度 ( $n_{\text{eq}}$ )、およびトラップの状態密度 ( $N_t$ ) およびそのエネルギー分布 ( $E_0$ ) に関する情報を得ることに成功した。詳細は参考文献<sup>9)</sup>を参照いただきたいが、Table 1 に得られた物性値をまとめた。

#### 4 太陽エネルギー変換効率向上への指針

この項では、過渡吸収分光により得られた物性値に基づくシミュレーション解析から、STH 向上に必要な YTOS 粉末試料の定量的な改良の指針を示す。まず、得られた平衡電子濃度  $n_{\text{eq}}$  と二分子再結合速度定数  $k_r$  の値を用いて、標準太陽スペクトル放射照度である  $100 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$  の太陽光が照射されている条件での光キャリア寿命  $\tau_{\text{eff}} = (k_r n_{\text{eq}})^{-1}$  を約 12 ns と推定した。光キャリア寿命がわかると、寿命の間にキャリアが移動できる距離である拡散長  $L_D = \sqrt{D\tau_{\text{eff}}}$  を見積もることができる。拡散係数  $D$  はアインシュタインの関係式  $D = \mu k_B T / q$  と電気素量  $q$ 、半導体の典型的な易動度の値  $\mu = 1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  から推定し、この値と光キャリア寿命を用いて、拡散長を  $L_D \approx 178 \text{ nm}$  と求めた。この拡散長は、YTOS の粒子サイズの  $10 \mu\text{m}$  と比較して 2 桁ほど小さい。ここで粒子を半径  $R$  の球と仮定すると、その内部で一様に生成した光キャリアに

対しては、粒子表面から  $L_D$  までの距離に存在する光キャリアのみ表面に到達できることから、その割合は  $L_D \ll R$  のもとで  $(4\pi R^2 L_D) / [(4\pi R^3) / 3]$  と近似できる。 $L_D \approx 178 \text{ nm}$  と  $R \approx 5 \mu\text{m}$  を用いると、表面に到達できる光キャリアの割合は 10.7 % (=  $100(3L_D/R)$ ) と推定できる。このことは、粒子サイズが拡散長と比較して十分に大きいため、粒子内部で生成した光キャリアの約 10 % しか表面に到達できず、大半が再結合で失われてしまうことを意味している。

このように、表面に到達できる光キャリアの割合は粒子径 ( $2R$ ) に依存する。光触媒表面に到達した光キャリアが全て水分解反応に寄与すると仮定すると、内部量子効率 (internal quantum efficiency, IQE) の上限は表面に到達した光キャリアの割合となる。 $L_D \ll R$  の条件を除いた、一般的な IQE の粒子サイズ依存性については、

$$\text{IQE}(\%) = 100(3L_D/R)[\text{coth}(L_D/R) - L_D/R] \quad (1)$$

という関係式が成り立つ<sup>9)</sup>。(1) 式は、 $L_D/R \ll 1$  の極限で、上記の  $100(3L_D/R)$  を与える。

Figure 5(a) は (1) 式を用いて計算した IQE の粒子サイズ ( $2R$ ) 依存性である。ここで、 $n_{\text{eq}} = 5.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $L_D = 178 \text{ nm}$  としている。粒子サイズを現状の  $10 \mu\text{m}$  から  $1 \mu\text{m}$  まで小さくすることにより、IQE は 69.5 % に向上することが明らかになった。詳細は参考文献<sup>9)</sup>に譲るが、IQE と STH の関係から、バンドギャップが  $\sim 1.9 \text{ eV}$  の YTOS では、IQE が 69.5 % となると実用化の目安となる STH 10 % を大きく超える可能性があることがわかった。さらに、 $\tau_{\text{eff}}$  は、ドーピングにより  $n_{\text{eq}}$  を変化させても増大させることができる。Figure 5(b) は (1) 式を用いて計算した IQE の  $n_{\text{eq}}$  依存性である。ここで、 $L_D = \sqrt{D\tau_{\text{eff}}}$ 、 $R = 5 \mu\text{m}$  としている。 $n_{\text{eq}}$  を現状の値 ( $5.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) から、その 100 分の 1 に下げることによっても、IQE は 69.5 % に向上し、STH が 10 % を超えることが推定された。一方で、欠陥 (トラップサイト) については、価電子帯から 0.14 eV 以

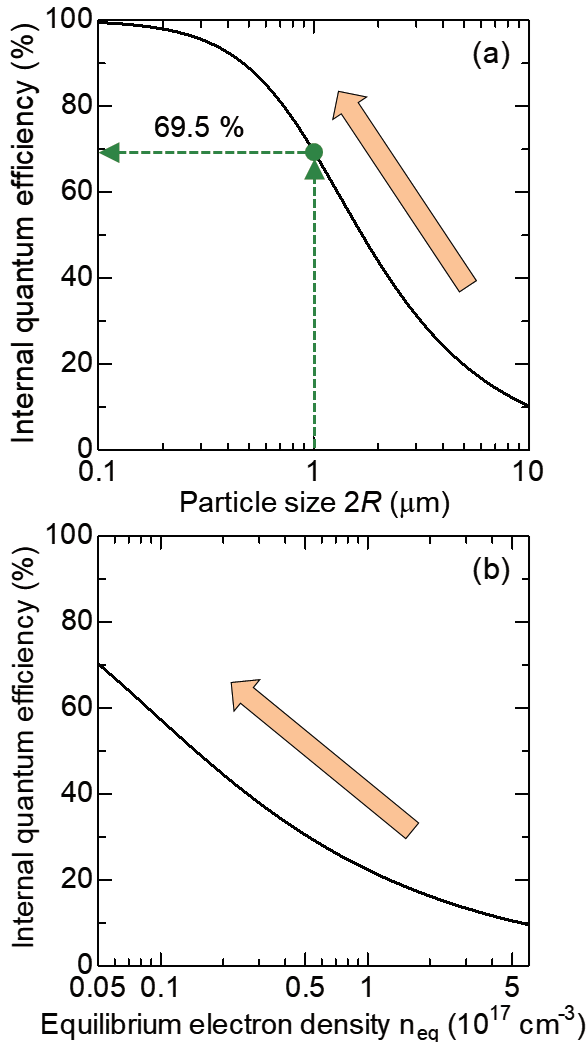


Figure 5. (a) Particle-size ( $2R$ ) and (b) equilibrium-electron-density ( $n_{eq}$ ) dependencies of internal quantum efficiency in  $Y_2Ti_2O_5S_2$  assuming that all photocarriers reaching the photocatalyst surface contribute to the water splitting reaction. Here the particle is assumed to be a sphere of radius  $R$ .

下のエネルギー幅で分布しており、これにトラップされた正孔が電子と再結合して失われる効果は限定的である<sup>9)</sup>。このように、欠陥濃度を減らすよりも、粒子サイズや平衡電子濃度を減らすことで、STHを大きく向上させる余地があることが示された。これを受けて、現在粒子サイズと平衡電子濃度を減少させるための材料合成の方法や条件の検討が進められている。

## 5 まとめと展望

本研究では、可視光応答する粉末酸硫化物光触媒  $Y_2Ti_2O_5S_2$  について、低い太陽エネルギー変換効率の要因を定量的に明らかにし、変換効率向上の指針を得るために、過渡吸収分光測定と測定データの理論解析を行った。次に、得られた光キャリア寿命等の光触媒の物性値に基づいたシミュレーション解析を行うことで、粒子サイズの制御やドーピングによる電子濃度の制御といった方法について、変換効率を向上するための定量的な指針を得ることができ、実用化の目安となる 10% を超えるために必要な条件が明確となった。今後は、本研究で行った物性値の抽出方法とシミュレーション解析の方法を高効率化が期待できる他の粉末光触媒にも適用することで、水から水素をさらに効率よく取り出す新規材料の開発に貢献していきたい。本稿で紹介した研究成果が、高効率固体粉末光触媒の材料開発、ひいては大規模なグリーン水素製造の実現に向けた一助になれば幸いである。

### 〈謝 辞〉

本研究は、Nandal Vikas 博士、東海林 良太博士、関和彦博士（産業技術総合研究所）、古部 昭広教授（徳島大学）、金子 正徳博士、山下 晃一特任教授（横浜市立大学）、Lihua Lin 博士、久富 隆史准教授（信州大学）、堂免 一成教授（信州大学、東京大学）の各氏のご協力の下に行われたものであり、この場を借りて深く感謝申し上げます。また、本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」事業の支援の下、人工光合成化学プロセス技術研究組合（ARPCChem）との共同研究として実施された。

### 〈参 考 文 献〉

- 1) 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（経済産業省ウェブサイト）  
[https://www.meti.go.jp/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html)
- 2) A. Fujishima, K. Honda, *Nature*, 239 (1972) 37.
- 3) A. Kudo, Y. Miseki, *Chem. Soc. Rev.*, 38 (2009) 253.
- 4) Q. Wang, T. Hisatomi, Q. Jia, H. Tokudome, M. Zhong, C. Wang, Z. Pan, T. Takata, M. Nakabayashi, N. Shibata, Y. Li, I. D. Sharp, A. Kudo, T. Yamada, K. Domen, *Nat. Mater.*, 15 (2016) 611.

- 5) Z. Wang, Y. Inoue, T. Hisatomi, R. Ishikawa, Q. Wang, T. Takata, S. Chen, N. Shibata, Y. Ikuhara, K. Domen, *Nat. Catal.*, 1 (2018) 756.
- 6) Q. Wang, M. Nakabayashi, T. Hisatomi, S. Sun, S. Akiyama, Z. Wang, Z. Pan, X. Xiao, T. Watanabe, T. Yamada, N. Shibata, T. Takata, K. Domen, *Nat. Mater.*, 18 (2019) 827.
- 7) T. Takata, J. Jiang, Y. Sakata, M. Nakabayashi, N. Shibata, V. Nandal, K. Seki, T. Hisatomi, K. Domen, *Nature*, 581 (2020) 411.
- 8) H. Nishiyama, T. Yamada, M. Nakabayashi, Y. Maehara, M. Yamaguchi, Y. Kuromiya, Y. Nagatsuma, H. Tokudome, S. Akiyama, T. Watanabe, R. Narushima, S. Okunaka, N. Shibata, T. Takata, T. Hisatomi, K. Domen, *Nature*, 598 (2021) 304.
- 9) V. Nandal, R. Shoji, H. Matsuzaki, A. Furube, L. Lin, T. Hisatomi, M. Kaneko, K. Yamashita, K. Domen, K. Seki, *Nat. Commun.*, 12 (2021) 7055.
- 10) R. B. Singh, H. Matsuzaki, Y. Suzuki, K. Seki, T. Minegishi, T. Hisatomi, K. Domen, A. Furube, *J. Am. Chem. Soc.*, 136 (2014) 17324.
- 11) Y. Suzuki, A. Furube, R.B. Singh, H. Matsuzaki, T. Minegishi, T. Hisatomi, K. Domen, K. Seki, *J. Phys. Chem. C*, 119 (2015) 5364.
- 12) Y. Suzuki, R. B. Singh, H. Matsuzaki, A. Furube, G. Ma, T. Hisatomi, K. Domen, K. Seki, *Chem. Phys.*, 476 (2016) 9.
- 13) J. Liu, T. Hisatomi, D. H. K. Murthy, M. Zhong, M. Nakabayashi, T. Higashi, Y. Suzuki, H. Matsuzaki, K. Seki, A. Furube, N. Shibata, M. Katayama, T. Minegishi, K. Domen, *J. Phys. Chem. Lett.*, 8 (2017) 375.
- 14) Y. Suzuki, D. H. K. Murthy, H. Matsuzaki, A. Furube, Q. Wang, T. Hisatomi, K. Domen, K. Seki, *J. Phys. Chem. C*, 121 (2017) 19044.
- 15) G. Ma, Y. Kuang, D. H. K. Murthy, T. Hisatomi, J. Seo, S. Chen, H. Matsuzaki, Y. Suzuki, M. Katayama, T. Minegishi, K. Seki, A. Furube, K. Domen, *J. Phys. Chem. C*, 122 (2018) 13492.
- 16) D. H. K. Murthy, H. Matsuzaki, Q. Wang, Y. Suzuki, K. Seki, T. Hisatomi, T. Yamada, A. Kudo, K. Domen, A. Furube, *Sustainable Energy Fuels*, 3 (2019) 208.
- 17) D. H. K. Murthy, H. Matsuzaki, Z. Wang, Y. Suzuki, T. Hisatomi, K. Seki, Y. Inoue, A. Kudo, K. Domen, A. Furube, *Chem. Sci.*, 10 (2019) 5353.
- 18) D. H. K. Murthy, H. Matsuzaki, J. Liu, Y. Suzuki, T. Hisatomi, K. Domen, A. Furube, *J. Phys. Chem. C*, 123 (2019) 14246.
- 19) C. M. Pelicano, M. Saruyama, R. Takahata, R. Sato, Y. Kitahama, H. Matsuzaki, T. Yamada, T. Hisatomi, K. Domen, T. Teranishi, *Adv. Funct. Mater.*, 32 (2022) 2202987.
- 20) T. Higashi, H. Nishiyama, V. Nandal, Y. Pihosh, Y. Kawase, R. Shoji, M. Nakabayashi, Y. Sasaki, N. Shibata, H. Matsuzaki, K. Seki, K. Takanabe, K. Domen, *Energy Environ. Sci.*, 15 (2022) 4761.
- 21) H. Yoshida, Z. Pan, R. Shoji, V. Nandal, H. Matsuzaki, K. Seki, T. Hisatomi, K. Domen, *J. Mater. Chem. A*, 10 (2022) 24552.

#### 〈著者略歴〉

松崎 弘幸：2004年東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻博士課程修了，博士（科学）取得，同年 JST-CREST 博士研究員，産業技術総合研究所産総研特別研究員，2005年東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻助手，2007年同大助教，2011年産業技術総合研究所研究員，2013年主任研究員，2020年4月国立研究開発法人産業技術総合研究所計量標準総合センター物質計測標準研究部門研究グループ長（現在にいたる）。専門：光物性物理学，光化学，超短パルスレーザー光を用いた新規分光法の開発とこれを用いた光機能性材料の反応・動作機構の解明。