

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：14501

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2018～2022

課題番号：18KK0161

研究課題名（和文）人工合成の学理：タンタル酸ナトリウム光触媒をプラットフォームとする多国間協働

研究課題名（英文）Artificial Photosynthesis by Sodium Tantalate Photocatalysts: Multinational Collaboration in Fundamental Science

研究代表者

大西 洋 (Onishi, Hiroshi)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：20213803

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：人工合成をめざす半導体光触媒にドーピングした金属カチオンは、半導体結晶の完全性を損なう不純物であるにもかかわらず、なぜ電子-正孔再結合を抑制して光触媒反応の収率を向上させるのか？この問いに答える多国間協働チームを組織してドーピングした金属元素の構造を解析した。タンタル酸ナトリウムとチタン酸ストロンチウムという二種類の半導体結晶にドーピングしたランタン・ストロンチウムなどの金属元素の局所構造を蛍光エックス線ホログラフィー・エックス線吸収微細構造・走査型透過電子顕微鏡などで明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽光を用いて水を水素燃料に変換する化学反応（ $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ）は広い意味での人工光合成である。CO<sub>2</sub>排出をとまなわない持続可能な化学エネルギー供給の社会実装をめざして半導体光触媒の開発研究がすすんでいる。本研究ではこれまでに開発されてきた光触媒材料のうち最も反応収率が高いタンタル酸ナトリウムとチタン酸ストロンチウムに注目して、収率向上の鍵となる金属ドーピングの学理の一端を明らかにした。半導体光触媒が太陽光エネルギーを化学エネルギーへ転換するメカニズムを理解し、社会実装へむけたさらなる高機能化を支える知的基盤を提供する意義がある。

研究成果の概要（英文）：Metal cations, doped into semiconductor photocatalysts for artificial photosynthesis, are impurities that compromise the periodic structure of the host semiconductor. The cations curiously reduce electron-hole recombination and enhance the yield of photocatalytic reactions. To unravel this intriguing phenomenon, a multinational team was assembled to scrutinize the structure of the doped photocatalysts. Two metal-oxide semiconductors, sodium tantalate and strontium titanate, were doped with hetero-metal cations such as lanthanum, strontium, barium, iron, manganese, and others. The local structures of these infused cations were detailed using techniques such as fluorescence X-ray holography, X-ray absorption fine structure, and scanning transmission electron microscopy.

研究分野：界面分子科学

キーワード：金属酸化物 半導体 ドーピング ペロブスカイト構造 電子-正孔再結合 オペランド計測 人工光合成 放射光

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

太陽光を用いて水を水素燃料に変換する化学反応 ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ) は広い意味での人工光合成である。CO<sub>2</sub> 排出をとまなわれない持続可能な化学エネルギー供給の社会実装をめざして半導体光触媒の開発研究がすすんでいる。太陽光から化学エネルギーへの変換効率は、本多-藤嶋効果(光触媒を用いた水から水素燃料へ物質変換)が発見された1970年代には考えられなかったほど高くなった。たとえばペロブスカイト構造をとる tantalum acid sodium (NaTaO<sub>3</sub>; 図1左) にランタン(La)、ストロンチウム(Sr)、カルシウム(Ca)、バリウム(Ba)などの金属元素をドーピングし、さらに微量の助触媒(酸化ニッケルなど)で表面を修飾すると、紫外光励起による水-水素転換反応の速度が一桁向上して量子収率50%超となることが2000年代初頭に示された[Kudo and Kato, *Chem. Phys. Lett.* 331, 373 (2000)]。さらに2020年にはチタン酸ストロンチウム(SrTiO<sub>3</sub>; 図1右)にアルミニウム(Al)をドーピングした光触媒が開発され、紫外光励起による水-水素転換反応の量子収率は96%に達した[Takata et al., *Nature* 581, 411 (2020)]。これら高収率光触媒材料の発見と開発は日本における材料探索の輝かしい成果である。その一方で、金属元素ドーピングが量子収率を向上させるしくみは、タantalum acid sodium 光触媒の開発から20年を経ているにもかかわらず明らかでなかった。

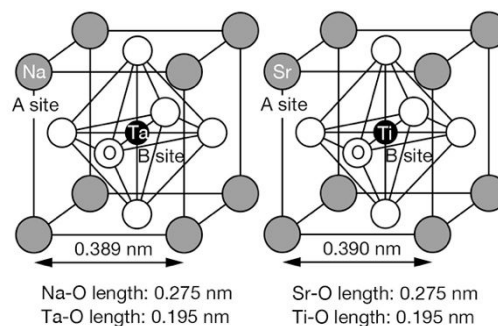


図1. タantalum acid sodium とチタン酸ストロンチウム.

### 2. 研究の目的

半導体光触媒にドーピングした金属カチオンは、半導体結晶の完全性を損なう不純物であるにもかかわらず、なぜ電子-正孔再結合を抑制して光触媒反応の量子収率を向上させるのか? この問いに答える多国間協働チームを組織してドーピングした金属元素の構造を解析し、電子-正孔再結合を抑制する新しいサイエンスを発見することを本プロジェクトの目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 蛍光エックス線ホログラフィー(XFH)を用いた構造解析

ホスト結晶(たとえば NaTaO<sub>3</sub>)にドーピングした金属元素(たとえば Sr)はホスト結晶の金属元素(Na または Ta)を置換することが多い。しかし、ドーピング量が少ない(半導体光触媒では通常 1-5 mol%) ために長距離構造秩序が生じずエックス線結晶回折(XRD)を使って構造を解析することができない。そのような場合であっても、ドーピングした金属元素周辺の局所構造を解析した三次元マップを作成する手法が蛍光エックス線ホログラフィーである(図2)。

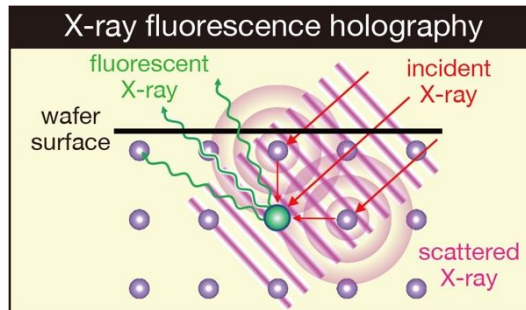


図2. 蛍光エックス線ホログラフィーの原理.

(2) エックス線吸収微細構造(EXAFS)を用いた構造解析

蛍光エックス線ホログラフィーはドーピングした元素の局所構造を三次元解析する優れた手法であるが、測定には1 cm 程度の大きさをもつ結晶が必要となる。実用される半導体光触媒は直径0.1 μm 程度の微粒子であるため、蛍光エックス線ホログラフィーによる構造解析はむずかしい。微粒子光触媒の構造を解析するためにエックス線吸収微細構造を測定した。この方法ではドーピングした原子と周辺原子との原子間距離(局所構造の一次元マップ)を知ることができる。

(3) 走査型透過電子顕微鏡(STEM)による構造解析

0.1 μm サイズの光触媒微粒子に極小径電子ビームを照射して微粒子の結晶構造と元素組成をマッピングする手法が走査型透過電子顕微鏡である。

(4) 傾斜組成をもつ薄膜結晶の合成

パルスレーザー蒸着法(PLD)を用いて光触媒薄膜を合成するとドーピングした元素の濃度を精密に制御できる。製膜を進めながらドーピング濃度を変えることで、薄膜表面で高濃度(あるいは低濃度)になるような濃度傾斜をもつ光触媒薄膜を作ることができる。

(5) 界面選択的な振動分光による吸着種の化学分析

振動分光法(赤外吸収やラマン散乱)は対象物質の分子構造を計測評価に常用される分析法である。しかし、これらの分光法は物質表面に存在する分子と物質内部に存在する分子を区別せずに計測するために、光触媒表面に吸着した反応中間体分子を検出することがむずかしい。表面に存在する分子のみを観測するように工夫した振動分光法として和周波発生(SFG)がある。

(6) 電子スピン共鳴 (ESR) をもちいた励起電子状態の計測

光励起によって生じる電子励起状態 (励起電子と正孔) はスピンをもつ。電子スピン共鳴によるマイクロ波吸収を測定することで、励起電子状態の空間構造に関する情報を得ることができる。

(7) マイクロ電極を用いた溶存酸素の時間分解検出

半導体光触媒を用いて水を水素燃料へ転換するためには  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$  という化学反応を起こさなければならず、2個の水分子から酸素原子を取り出して酸素分子に変換する4電子酸化反応が変換プロセスの隘路となっている。4電子酸化反応の最終生成物である酸素分子が水中へ放出される速度を直径  $20\ \mu\text{m}$  の白金電極を光触媒ディスクから  $100\ \mu\text{m}$  まで近づけて計測する手法 (図3) を開発して本研究で利用した。

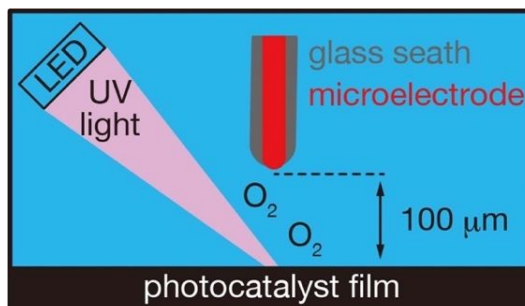


図 3. マイクロ電極を用いた溶存酸素の時間分解検出。

4. 研究成果

(1) 蛍光エックス線ホログラフィーを用いた構造解析

タンタル酸ナトリウムと類似した結晶構造 (ペロブスカイト型構造) をとるタンタル酸カリウム ( $\text{KTaO}_3$ ) 結晶ウェハにカルシウムとストロンチウムとランタンをそれぞれドーピングして人工合成光触媒のモデルを構築し、ドーピングした元素周辺の局所構造を解析した論文を *Chem. Mater.* 誌と *J. Phys. Chem. C* 誌に発表した。カルシウムとストロンチウムはカリウム (A サイトカチオン) とタンタル (B サイトカチオン) の両方を置換することがわかった。一方、ランタンはカリウムとタンタルを置換するのみならず、結晶格子のすきま (格子間サイト) にも存在することが明らかとなった。蛍光エックス線ホログラフィーの測定には大強度エックス線が必要となるために放射光施設 SPring-8 のビームライン 13XU にて大西洋 (研究代表者) が笹原亮 (神戸大学)・木村耕治・林好一 (ともに名古屋工業大学)・八方直久 (広島市立大学) の協力のもとに測定した。

(2) エックス線吸収微細構造を用いた構造解析

タンタル酸ナトリウム光触媒に可視光を吸収させる方法として、ランタンと遷移金属を同時にドーピングすることが知られている。そこでランタンと鉄 (Fe)、ランタンとマンガン (Mn)、ランタンとクロム (Cr) をドーピングした光触媒の構造を解析した。どちらの光触媒でもランタンがナトリウム (A サイトカチオン) を置換し、遷移金属 (Fe と Mn と Cr) はタンタル (B サイトカチオン) を置換することを確認した。また、ランタンとバリウム (Ba) を単独でドーピングした光触媒の構造を解析した。これらの成果を *J. Phys. Chem. C* 誌、*PCCP* 誌、*ACS Appl. Energy Mater.* 誌、*Chem. Phys.* 誌で発表した。エックス線吸収微細構造の測定には大強度エックス線が必要となるために放射光施設 Photon Factory のビームライン 12C と NW10A にて大西洋と一國伸之 (研究分担者) が Hanggara Sudrajat (日本学術振興会外国人特別研究員、のちにインドネシア国立研究革新庁) の協力のもとに測定解析した。

(3) 走査型透過電子顕微鏡による構造解析

インジウム (In) をドーピングしたチタン酸ストロンチウム光触媒微粒子を Hanggara Sudrajat が合成し、橘田晃宜 (研究分担者) が顕微鏡計測した。インジウム原子がチタン (B サイトカチオン) を置換することを明らかにして *Appl. Phys. Lett.* 誌で発表した (図4)。

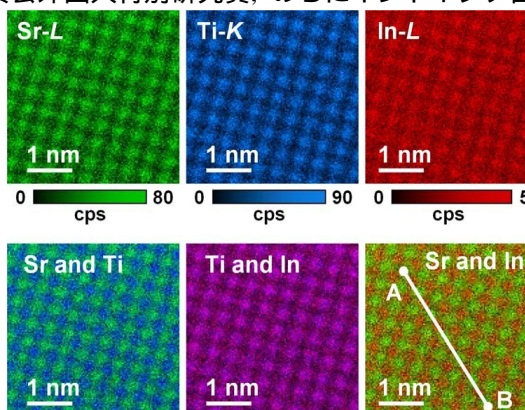


図 4. インジウムを 7 mol% ドーピングしたチタン酸ストロンチウム光触媒の透過型電子顕微鏡写真。

(4) 傾斜組成をもつ薄膜結晶の合成と解析

丸山伸吾 (研究分担者) がストロンチウムをドーピングしたタンタル酸ナトリウム薄膜をパルスレーザー蒸着法を用いてアルミン酸ランタン ( $\text{LaAlO}_3$ ) 結晶基板上にヘテロエピタキシャル成長膜した。ストロンチウム濃度が薄膜表面で高くなるように合成した薄膜と、低くなるように合成した薄膜の構造をエックス線吸収微細構造を用いて解析し、微粒子として合成した光触媒と同じくストロンチウムがホスト結晶の A サイトと B サイトを同時置換することを *Chem. Mater.* 誌で発表した。

(5) 界面選択的な振動分光による吸着種の化学分析

丸山伸吾が酸化マグネシウム ( $\text{MgO}$ ) 結晶ウェハにチタン酸ストロンチウム薄膜をパルスレーザー蒸着した。チタン酸ストロンチウムと液体水との界面に生じる吸着化学種の振動スペクトルを計測するために、丸山が渡航して Ellen Backus (ウィーン工科大学) と共に和周波分光実験をおこなう計画をたてたが、COVID-19 による渡航制限のために薄膜をウィーンへ送って測定を依頼した。測定結果をまとめた原著論文を Ellen Backus が作成中である。

(6) 電子スピン共鳴をもちいた励起電子状態の計測

長嶋宏樹(研究分担者)が Michael Wasielewski (ノースウェスタン大学)のもとに 2019 年 10 月から 6 ヶ月滞在して半導体光励起ダイナミクスをパルス ESR と赤外分光を用いて解析し、その成果を *J. Phys. Chem. C* 誌で発表した。

(7) マイクロ電極を用いた溶存酸素の時間分解検出

チタン酸ストロンチウム光触媒ディスクの表面から水中に放出される溶存酸素を 0.1 秒の時間分解能で計測した。100  $\mu\text{m}$  下方の光触媒からマイクロ電極までの酸素拡散に要する時間を有限要素法シミュレーションによって推定し、光触媒ディスクが放出する酸素の絶対量を決定した。光触媒に紫外光を照射してから酸素が水中に放出されるまでに 1-2 秒のおくれがあることを見出した。これらの成果を *ACS Catal.* 誌と *PCCP* 誌で発表した。

(8) 海外派遣の状況

当初計画(2018-2021 年度)では研究代表者と分担者がカールスルーエ工科大学・ウィーン工科大学・マックスプランク高分子研究所・ノースウェスタン大学・レンヌ大学などへ渡航して共同研究を展開する予定であった。COVID-19 直前に長嶋宏樹をノースウェスタン大学へ 6 ヶ月派遣して電子スピン共鳴を用いた電子励起状態の国際共同研究を実施して論文発表することができた。しかし 2020 年度以降の派遣は渡航制限のために断念せざるを得なかった。国際共同研究加速基金の繰越制度を使って研究期間を 2022 年度まで一年間延長し、海外派遣の機会をうかがったが時宜を得ることができなかった。

日本国内における代表者と分担者による共同研究と、海外派遣を伴わない国際共同研究は順調に進展した。延長期間を含めて 4 年半の研究期間内に査読付き論文 20 報(うち国際共著 8)と学会発表 57 件によって、研究成果を国内外へ発信した。その一方で、日本の若手研究者を海外派遣して国際的な人脈を作らせる機会に恵まれなかったことが残念である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Fu Zhebin, Onishi Hiroshi	4. 巻 127
2. 論文標題 Infrared and Near-Infrared Spectrometry of Anatase and Rutile Particles Bandgap Excited in Liquid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 321 ~ 327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c07433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sasahara Akira, Kimura Koji, Sudrajat Hanggara, Happo Naohisa, Hayashi Kouichi, Onishi Hiroshi	4. 巻 126
2. 論文標題 K <sub>3</sub> TaO <sub>3</sub> Wafers Doped with Sr or La Cations for Modeling Water-Splitting Photocatalysts: 3D Atom Imaging around Doping Cations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 19745 ~ 19755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c06080	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Fu Zhebin, Hirai Takuya, Onishi Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Long-Life Electrons in Metal-Doped Alkali-Metal Tantalate Photocatalysts Excited under Water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 26398 ~ 26405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06618	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kosaka Takumu, Ando Tomohiro, Hisatomi Takashi, Nishiyama Hiroshi, Zhou Yuanshu, Domen Kazunari, Takahashi Yasufumi, Onishi Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Microelectrode-based transient amperometry of O <sub>2</sub> adsorption and desorption on a SrTiO <sub>3</sub> photocatalyst excited under water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 19386 ~ 19393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP03264J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Katoh Ryuzi, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Dependence of Photoexcited Electron Behavior on Octahedral Distortion in Barium-Doped NaTaO <sub>3</sub> Photocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16403 ~ 16412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c03334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kitta Mitsunori, Taguchi Noboru, Sudrajat Hanggara, Onishi Hiroshi	4. 巻 118
2. 論文標題 Direct confirmation of the dopant site in indium-doped SrTiO <sub>3</sub> photocatalyst via atomic-scale analytical transmission electron microscopy imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 153901 ~ 153901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0047290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Ito Ryota, Yoshida Tomoko, Katoh Ryuzi, Ohtani Bunsho, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 The role of the shell in core-shell-structured La-doped NaTaO <sub>3</sub> photocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 8868 ~ 8879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP00375E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 大西洋	4. 巻 63
2. 論文標題 タンタル酸アルカリ光触媒：金属カチオンドーピングによる量子収率向上メカニズム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 108-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Ito Ryota, Nagai Sota, Yoshida Tomoko, Kato Ryuzi, Ohtani Bunsho, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Water-Splitting Activity of La-Doped NaTaO <sub>3</sub> Photocatalysts Sensitive to Spatial Distribution of Dopants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15285 ~ 15294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Fadlallah Mohamed M., Tao Shuxia, Kitta Mitsunori, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 22
2. 論文標題 Dopant site in indium-doped SrTiO <sub>3</sub> photocatalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 19178 ~ 19187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp02822c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Konno Rio, Maruyama Shingo, Kosaka Takumu, Kato Ryuzi, Takahashi Ryota, Kumigashira Hiroshi, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi, Matsumoto Yuji	4. 巻 33
2. 論文標題 Artificially Designed Compositionally Graded Sr-Doped NaTaO <sub>3</sub> Single-Crystalline Thin Films and the Dynamics of Their Photoexcited Electron/Hole Pairs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 226 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c03487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Dhakal Dikshya, Kitta Mitsunori, Sasaki Takuro, Ozawa Akiyo, Babel Sandhya, Yoshida Tomoko, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 123
2. 論文標題 Electron Population and Water Splitting Activity Controlled by Strontium Cations Doped in KTaO <sub>3</sub> Photocatalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18387 ~ 18397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b03640	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 531
2. 論文標題 Visible light responsive La and Fe co-doped NaTaO <sub>3</sub> photocatalysts: Local structure around dopants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 110648 ~ 110648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemphys.2019.110648	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Kitta Mitsunori, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Double Doping of NaTaO <sub>3</sub> Photocatalysts with Lanthanum and Manganese for Strongly Enhanced Visible-Light Absorption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 7518 ~ 7526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b01504	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Tomoya, Sasahara Akira, Happo Naohisa, Kimura Koji, Hayashi Kouichi, Onishi Hiroshi	4. 巻 32
2. 論文標題 Single-Crystal Model of Highly Efficient Water-Splitting Photocatalysts: A KTaO <sub>3</sub> Wafer Doped with Calcium Cations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1439 ~ 1447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b04094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kitta Mitsunori, Onishi Hiroshi	4. 巻 18
2. 論文標題 Preparation of the NaTaO <sub>3</sub> Crystal from the KTaO <sub>3</sub> Substrate via Topotactic Alkaline Cation Substitution as Confirmed by Transmission Electron Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 32 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2020.32	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Onishi Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Sodium Tantalate Photocatalysts Doped with Metal Cations: Why Are They Active for Water Splitting?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 1825 ~ 1834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201802935	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudrajat Hanggara, Zhou Yizhong, Sasaki Takuro, Ichikuni Nobuyuki, Onishi Hiroshi	4. 巻 21
2. 論文標題 The atomic-scale structure of LaCrO3-NaTaO3 solid solution photocatalysts with enhanced electron population	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 5148 ~ 5157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP07688J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kitta Mitsunori, Onishi Hiroshi	4. 巻 17
2. 論文標題 Preparation of Visible-light Responsive Rutile-TiO2(110) Wafer with Well-defined Surface by Chromium and Antimony Codoping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 5 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2019.5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bae Youn Jue, Zhao Xingang, Kryzaniak Matthew D., Nagashima Hiroki, Strzalka Joseph, Zhang Qingteng, Wasielewski Michael R.	4. 巻 124
2. 論文標題 Spin Dynamics of Quintet and Triplet States Resulting from Singlet Fission in Oriented Terrylenediimide and Quatterlylenediimide Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9822 ~ 9833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c03189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計57件（うち招待講演 19件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 松井恭平; 大西洋
2. 発表標題 アルミニウムをドーブしたSrTiO <sub>3</sub> (100), (110), (111) 単結晶面のAFM計測
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 付哲斌; 大西洋
2. 発表標題 酸化チタンに吸着したピバル酸の液中全反射赤外分光計測
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 水中ですすむ触媒反応のオペランド計測：光触媒の事例
3. 学会等名 第445回触媒科学研究所コロキウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 付哲斌; 大西洋
2. 発表標題 水中で定常光励起した半導体光触媒の赤外 - 近赤外分光：ダイヤモンドATRプリズムを用いたオペランド計測
3. 学会等名 表面界面スペクトロスコピー2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 大西洋. 半導体光触媒のオペランド界面計測: ダイヤモンドプリズムを用いた光学分光と溶存酸素の高速検出
3. 学会等名 実用表面分析セミナー2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒をもちいた人工光合成反応のオペランド計測: 溶存酸素の高速検出とダイヤモンドプリズムを用いた光学分光
3. 学会等名 日本オプトメカトロニクス協会第2回フォトンテクノロジー技術部会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 付哲斌; 大西洋
2. 発表標題 水中で定常光励起した酸化チタン光触媒の光吸収: ATRプリズムを用いた赤外 - 近赤外分光
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井恭平; 大西洋
2. 発表標題 アルミニウムドーピングによるチタン酸ストロンチウムの表面構造変化
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細川大地; 村上環; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸ナトリウム光触媒から生成する溶存酸素のマイクロ電極による検出
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 付哲斌; 平井琢也; 婦木正明; 小堀康博; 大西洋
2. 発表標題 電子スピン共鳴法を用いたチタン酸ストロンチウム光触媒におけるキャリアの励起電子構造の解明
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Matsui, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 AFM Imaging of Highly Efficient Semiconductor Photocatalysts for Artificial Photosynthesis: SrTiO <sub>3</sub> Wafers Doped with Aluminum Cations
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Hosokawa, D.; Murakami, M.; Onishi, H.
2. 発表標題 Scanning Electrochemical Microscopy for Time-Resolved Detection of O <sub>2</sub> Released on Semiconductor Photocatalysts under Water
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fu, Z.; Onishi, H.
2. 発表標題 Infrared Absorption of Semiconductor Photocatalysts Excited under Water: Operando Study with an ATR Prism
3. 学会等名 12th International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 水中拡散する酸素のマイクロ電極による時間分解検出
3. 学会等名 第4回先端膜工学研究センター成果発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fu, Z.; Onishi, H.
2. 発表標題 Infrared Absorption of Metal-Oxide Photocatalysts Excited under Water
3. 学会等名 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Semiconductor Photocatalysts for Artificial Photosynthesis: Operando Characterization under Water
3. 学会等名 Seminar at RIKEN (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細川大地; 高坂拓夢; 安藤智洋; 高橋康史; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸ナトリウム光触媒による水全分解反応生成物の時間分解検出
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井恭平; 大西洋
2. 発表標題 アルミニウムをドーピングしたチタン酸ストロンチウム光触媒の単結晶モデル構築
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 付哲斌; 大西洋
2. 発表標題 全反射赤外分光で水中観測した酸化チタン光触媒の電子励起状態
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋; 高坂拓夢; 高橋康史; 久富隆史; 堂免一成
2. 発表標題 水の完全分解で生成する溶存酸素のマイクロ電極による時間分解検出
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平井琢也; 長坂将成; 一國伸之; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸ナトリウム光触媒の軟X線吸収分光: 紫外光励起による酸素K吸収端の変化
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橘田晃宜; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸カリウム単結晶基板上でのタンタル酸ナトリウムの配向制御
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒による水の全分解反応: マイクロ電極による生成酸素の時間分解検出
3. 学会等名 電気化学会第89回大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 An ATR-IR Scheme for Operando Characterization of Semiconductor Photocatalysts
3. 学会等名 International Iwasawa Conference 2022(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒のオペランド計測：赤外分光とマイクロ電気化学
3. 学会等名 触媒学会西日本支部キャラクタリゼーション講習会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Teduka, Y.; Ogura, T.; Zhou, Y.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Time-Resolved Detection of Oxygen Released in Overall Water Splitting Reaction over SrTiO <sub>3</sub> Photocatalysts,
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2020 (Pacifichem2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Ando, T.; Takahashi, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Scanning Electrochemical Microscopy for Operand Detection of O <sub>2</sub> Released on a SrTiO <sub>3</sub> Photocatalyst Excited under Water,
3. 学会等名 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosaka, T.; Zhou, Y.; Hisatomi, T.; Nishiyama, H.; Domen, K.; Takahashi, Y.; Onishi, H.
2. 発表標題 Microelectrode-Based Transient Amperometry of O <sub>2</sub> Evolution on a SrTiO <sub>3</sub> Photocatalyst Excited under Water
3. 学会等名 International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 細川大地; 高坂拓夢; 周縁殊; 高橋康史; 大西洋
2. 発表標題 タンタル酸ナトリウム光触媒から生成する酸素の水中時間分解検出
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 付哲斌; 平井琢也; 大西洋
2. 発表標題 全反射赤外分光で観測した水中タンタル酸アルカリ光触媒の長寿命電子励起状態
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Metal Cation Doping to Perovskite-Structured Compounds for Artificial Photosynthesis
3. 学会等名 The 1st Japan-China Symposium on Catalysis (1stJCSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 チタン酸ストロンチウム光触媒による水分解反応: マイクロ電極を用いた溶存酸素濃度変化の時間分解計測
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Onishi
2. 発表標題 Semiconductor photocatalysts for artificial photosynthesis
3. 学会等名 International Lecture Series: Chemical Innovation for Sustainable Future, Universitas Jember, Indonesia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井琢也, 婦木正明, 長友敬晃, 付哲斌, 小堀康博, 大西洋
2. 発表標題 ESRを用いたNaTaO <sub>3</sub> 光触媒の光励起状態観測
3. 学会等名 第39回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 金属カチオンドーピングによるタンタル酸ナトリウム光触媒の収率向上メカニズム
3. 学会等名 大阪市立大学人工光合成研究拠点共同利用・共同研究成果報告会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橘田晃宜, 田口昇, Hanggara Sudrajat, 大西洋
2. 発表標題 原子分解能STEM-EDSマッピングによるSrTiO <sub>3</sub> 格子内のインジウムドーパントサイトの直接観察
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井琢也, 婦木正明, 長友敬晃, 付哲斌, 小堀康博, 大西洋
2. 発表標題 NiO助触媒を担持したタンタル酸ナトリウム光触媒の電子スピン共鳴による計測評価
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Buessler, M.; Maruyama, S.; Onishi, H.; Sun, S.; Backus, E.
2. 発表標題 Interaction of Water with the Oxide Interfaces: SrTiO <sub>3</sub> and MgO Viewed by Sumfrequency Generation Spectroscopy
3. 学会等名 Winter School, Investigating Solid-Liquid Interfaces: the Calcite-Water Interface at the Molecular Level, Bielefeld (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sudrajat, H.; Kitta, M.; Ito, R.; Nagai, S.; Yoshida, T.; Katoh, R.; Ohtani, B.; Ichikuni, N.; Onishi, H.
2. 発表標題 Water Splitting Activity of La-Doped NaTaO <sub>3</sub> Photocatalysts Sensitive to Spatial Distribution of Dopants
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2020年冬季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 金属ドーピング光触媒の局所構造解析
3. 学会等名 「サステナブル社会のための最先端触媒化学・表面科学」講演会～岩澤先生御受勲記念講演会～(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Song, D.; Sudrajat, H.; Tachikawa, T.; Onishi, H.
2. 発表標題 Fluorescence Study of Sodium Tantalate Photocatalysts Doped with Lanthanoid Cations
3. 学会等名 International Workshop on Frontier of Science and Technology for Solar Energy Conversion (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujiwara, T.; Sasahara, A.; Kimura, K.; Sudrajat, H.; Happo, N.; Hayashi, K.; Onishi, H.
2. 発表標題 Three-Dimensional Analysis of Ca Dopant Atoms in a $\text{KTaO}_3(100)$ Wafer
3. 学会等名 14th International Conference on the Structure of Non-Crystalline Materials (NMC-14) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Sodium Tantalate Photocatalysts Doped with Metal Cations: Why So Active for Water Splitting?
3. 学会等名 15th Nanoscience and Nanotechnology Conference (NanoTR-15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金野莉央; 丸山伸伍; 大西洋; 松本祐司
2. 発表標題 PLD法を用いた傾斜組成Srドーブ $\text{NaTaO}_3$ 薄膜の作製
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 Natao3光触媒による水全分解反応：どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 信州大学講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Konno, R.; Maruyama, S.; Sato, T.; Kosaka, T.; Onishi, H.; Matsumoto, Y.
2. 発表標題 Artificially Designed Compositionally-Grade Sr-Doped NaTaO <sub>3</sub> Thin Films
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dai, N.; Onishi, H.
2. 発表標題 Sr-Doped KTaO <sub>3</sub> Photocatalysts, Calcination-Temperature-Dependent Properties
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 一國伸之; Sudrajat, H.; 周以重; 佐々木拓朗; 大西洋
2. 発表標題 LaとCrをダブルドープしたNaTaO <sub>3</sub> 光触媒のXAFSによる構造解析
3. 学会等名 第22回XAFS討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 NaTaO <sub>3</sub> 光触媒による人工光合成：どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 界面分子変換研究会ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹原亮；木村耕治；Sudrajat, H.；八方直久；林好一；大西洋
2. 発表標題 金属ドーパントantal酸カリウムの蛍光X線ホログラフィー解析
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sudrajat, H.；Sasaki, T.；Ichikuni, N.；Onishi, H.
2. 発表標題 Enhancing the Population of Photoexcited Electrons in NaTaO <sub>3</sub> Via Codoping with Lanthanum and Manganese
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sudrajat, H.；Dhakal, D.；Sasaki, T.；Ozawa, A.；Babel, S.；Yoshida, T.；Ichikuni, N.；Onishi, H.
2. 発表標題 Electron Population and Hydrogen Evolution Rate Controlled by Concentration Gradient of Strontium Cations Doped in KTaO <sub>3</sub> Photocatalysts
3. 学会等名 Gordon Research Conference on Chemical Reactions at Surfaces, Instructive Surfaces: From Guiding Chemical Reactions to Controlling Protein Adhesion (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onishi, H.
2. 発表標題 Atom-Scale and Nano-Scale Architectures of NaTaO <sub>3</sub> Photocatalysts Doped with Guest Metal Cations
3. 学会等名 Gordon Research Conference on Chemical Reactions at Surfaces, Instructive Surfaces: From Guiding Chemical Reactions to Controlling Protein Adhesion (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 NaTaO <sub>3</sub> 光触媒による人工光合成：どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 千葉大学工学研究院サブ領域勉強会：先端計測に学ぶ材料開発の指針 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大西洋
2. 発表標題 NaTaO <sub>3</sub> 光触媒による人工光合成：どうしてそんなに活性が高いのか
3. 学会等名 日本大学工学部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高坂拓夢；手塚裕也；小椋拓也；周縁殊；高橋康史；大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒による酸素生成反応：走査型電気化学顕微鏡による時間分解計測のシミュレーション
3. 学会等名 2018年度第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 手塚裕也; 小椋拓也; 高坂拓夢; 周縁殊; 高橋康史; 大西洋
2. 発表標題 半導体光触媒による酸素生成反応: 走査型電気化学顕微鏡による溶存酸素の時間分解検出
3. 学会等名 2018年度第3回関西電気化学研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>神戸大学理学研究科大西研究室 (日本語版)  <a href="https://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/">https://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/</a>          神戸大学理学研究科大西研究室 (英語版)  <a href="https://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-E.html">https://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-E.html</a>          神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室 (中国語版)  <a href="http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-C.html">http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-C.html</a>          神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室 (インドネシア語版)  <a href="http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-I.html">http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-I.html</a>          神戸大学理学研究科化学専攻 大西研究室 (タイ語版)  <a href="http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-T.html">http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-T.html</a>          神戸大学理学研究科化学専攻大西研究室 (韓国語版)  <a href="http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-K.html">http://www.edu.kobe-u.ac.jp/sci-onishi/index-K.html</a></p> <p>分子科学研究所物質分子科学研究領域大西グループ (日本語版)  <a href="https://www.ims.ac.jp/research/group/onishi/">https://www.ims.ac.jp/research/group/onishi/</a>          分子科学研究所物質分子科学研究領域大西グループ (英語版)  <a href="https://www.ims.ac.jp/en/research/group/onishi/">https://www.ims.ac.jp/en/research/group/onishi/</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長嶋 宏樹  (Nagashima Hiroski)  (60814027)	埼玉大学・理工学研究科・助教    (12401)	
研究分担者	橘田 晃宜  (Kitta Mitsunori)  (90586546)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員    (82626)	
研究分担者	丸山 伸伍  (Maruyama Shingo)  (80732362)	東北大学・工学研究科・准教授    (11301)	



## 6. 研究組織 (つづき)

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	一國 伸之  (Ichikuni Nobuyuki)  (40261937)	千葉大学・大学院工学研究院・教授    (12501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	スドラジャト ハンガラ  (Sudrajat Hanggara)		
研究 協力者	パベル サンジャ  (Babel Sandhya)		
研究 協力者	バックス エレン  (Backus Ellen)		
研究 協力者	笹原 亮  (Sasahara Akira)		
研究 協力者	付 哲斌  (Fu Zhebin)		
研究 協力者	木村 耕治  (Kimura Koji)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	林 好一  (Hayashi Kouichi)		
研究協力者	八方 直久  (Happo Naohisa)		
研究協力者	平井 琢也  (Hirai Takuya)		
研究協力者	高坂 拓夢  (Kosaka Takumu)		
研究協力者	藤原 知也  (Fujiwara Tomoya)		
研究協力者	周 以重  (Zhou Yizhong)		
研究協力者	松井 恭平  (Matsui Kyohei)		
研究協力者	細川 大地  (Hosokawa Daichi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	戴 娜敏  (Dai Namin)		
研究協力者	手塚 裕也  (Teduka Yuya)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オーストリア	ウィーン工科大学			
インドネシア	ジェンベル大学	国立研究革新庁		
オランダ	アイントホーフェン工科大学			
エジプト	ベンハ大学			
米国	ノースウェスタン大学	プリンストン大学		
タイ	タンマサート大学			
ドイツ	カールスルーエ工科大学	マックスプランク高分子研究所	ビーレフェルト大学	