

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月2日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21350084

研究課題名（和文）反応サイトが分離制御された環境浄化用超高感度酸化チタン/チューブ光触媒の開発

研究課題名（英文）Development of a high active titanate nanotube photodatalyst having separated reaction sites for environmental clean up

## 研究代表者

横野 照尚 (OHNO TERUHISA)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10203887

## 研究成果の概要（和文）：

1. アスペクト比を制御したブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの開発の合成法を開発した。その光触媒の紫外光下での活性は、アスペクトの増大に伴って向上し、既存の光触媒の4倍以上の性能を示した。
2. 鉄イオンを結晶面選択的に担持した可視光応答性を示すブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの合成法を開発した。その光触媒の可視光下での活性は、既存の窒素ドーパ酸化チタンの3倍の性能を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

1. Brookite TiO<sub>2</sub> nanorods with controlling aspect ratio had been prepared. Photocatalytic activity of brookite TiO<sub>2</sub> nanorods under UV light increased with increase in its aspect ratio. The activity of the brookite TiO<sub>2</sub> nanorod is about 4 times higher than that of commercially available TiO<sub>2</sub> photocatalysts.
2. Visible light responsive brookite TiO<sub>2</sub> nanorod site-selectively loaded with Fe ions had been prepared. Fe loaded brookite TiO<sub>2</sub> nanorod showed three times higher activity compared to N-doped TiO<sub>2</sub>, which is commercially available visible light responsive TiO<sub>2</sub> photocatalyst.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

## 研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・環境関連化学

キーワード：光触媒・反応サイトの分離・環境浄化・酸化チタンナノチューブ

## 1. 研究開始当初の背景

酸化チタン光触媒は、紫外光照射下で高い酸化活性と超親水性の表面特性を発現し、殺菌、防汚、防曇、空気浄化など、さまざまな

分野への製品開発に関する応用研究が活発に進められている。万能に見える酸化チタン光触媒であるが、次世代の高機能光触媒へ発展

を遂げるためには超えなければならない重要な問題点いくつか残されている。まず、酸化チタン光触媒の機能発現には、紫外光照射が必須である。

そのため紫外光をわずかしか含まない室内光や太陽光を光源とする際には性能を十分に発揮することは不可能である。その他、その反応機構上、光照射下で一つの光触媒ナノ粒子上で酸化反応と還元反応という正反対の反応が同時に進行する。このような条件下では、容易に逆反応が進行してしまうために反応の効率が激減してしまうことである(図1)。これら酸化チタン光触媒の深刻な欠点は、その基本特性(紫外線照射下でしか光触媒性能を発現できない。光触媒粒子が球形で反応場の制御が出来ない。酸化力が高く、基質選択性がない。)に根ざすものであり、その解決のために多くの研究者による様々な挑戦が行われてきた。しかしながら、これらの問題の解決は容易ではなく、抜本的に解決した所謂次世代型の光触媒の開発に成功した例はない。

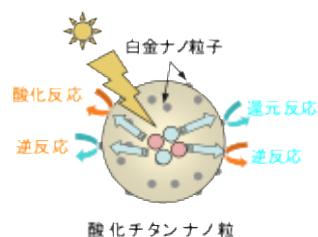


図1. 球状の酸化チタンの反応の模式図

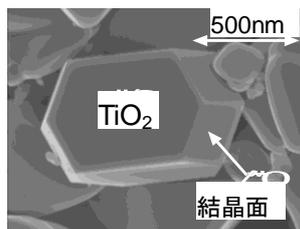


図2. 表面構造制御された酸化チタン粒子

研究代表者は、酸化チタン光触媒の光触媒微粒子の製造過程における表面構造制御技術を開発し、発達した結晶面を有する酸化チタン粒子の製造に世界で初めて成功し(図2)、結晶面による反応特異性の違いが発現することをあきらかにした。その成果は、学術誌(T. Ohno, et al., New J. Chem., 26, 1167-1170 (2002), T. Taguchi, et al., New J. Chem., 27, 1304-1306 (2003))に発表している。しかも、これらの研究成果は、特許も取得している。また、球状酸化チタン粒子に硫黄原子をドーブして、可視光応答性を発現させる技術の開発に世界に先駆けて成功し、その成果を欧文誌(T. Ohno et al., Appl. Catal. A, General, 265, 115-121 (2004))に発表した。さらに、この論文は "Top most cited articles" as published in Elsevier's Catalysis journals

2002-2006ならびに2003-2007連続で選出されて、世界的に高い評価を得ている。さらに、ここで開発した可視光応答型光触媒に関しては物質特許も取得している。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述の成果をもとに、白金ナノ粒子及び金属酸化物ナノ粒子のナノレベルの位置選択的担持技術開発によりナノ反応サイト分離技術の確立をめざし、並びにこれらの技術と可視光応答化技術との融合によりナノ反応サイトが制御された機能集積型酸化チタン光触媒の開発を行うことを着想したものである。

## 3. 研究の方法

以下の研究計画に従って、研究を推進した。

(1) 酸化チタンナノチューブの熱処理温度による結晶構造の制御と触媒活性との相関性の評価

(2) 酸化チタンナノチューブへの助触媒ナノ粒子の位置選択的担持法の開発

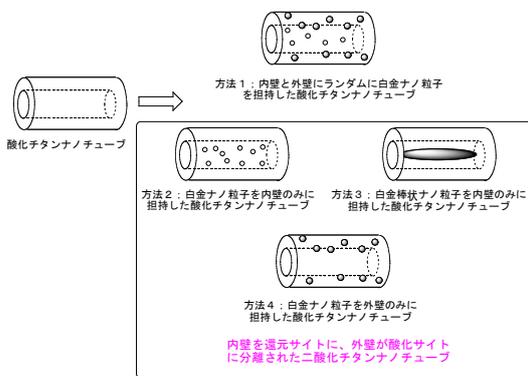


図3. 酸化チタンナノチューブへの位置選択的に白金ナノ粒子を担持する概念図

(3) 硫黄のドーブ処理による酸化チタンナノチューブの可視光化処理法の開発

(4) 可視光応答性の反応場制御型酸化チタンナノチューブの開発

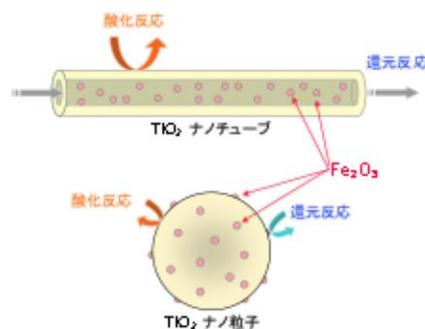


図4. 硫黄ドーブ可視光応答型酸化チタンナノ粒子とナノチューブへの酸化鉄ナノ粒子を担持する概念図

#### 4. 研究成果

##### 1. 酸化チタンナノチューブの熱処理温度による結晶構造の制御と触媒活性との相関性の評価

二酸化チタンナノチューブはチタン酸系の非常に結晶性の低い構造であり、明確な結晶構造を有していない。しかし、高い光触媒活性を発現する酸化チタンの結晶構造は、アナターズ、ルチル、ブルッカイト結晶構造を有し、なかでもアナターズ型の酸化チタンは有害物質の分解に高い活性を発現することが報告されている。一方、酢酸、安息香酸などの酸化されにくい有害化学物質に対しては、ルチル型結晶構造を有するものがアナターズ型結晶構造のものより、高い活性を示すことも明らかになっている。このように、ターゲットとする物質によって酸化チタンは最適な結晶構造が異なっている。そこで、二酸化チタンナノチューブの結晶構造を熱処理により制御する手法の開発を行う。一般の球状酸化チタンナノ粒子は、低温処理（～600度）によりアナターズ型が、高温処理（700度～）でルチル型が生成することが報告されている。しかし、酸化チタンナノチューブは、高温の熱処理により、その構造が変化することが考えられるために、ルチル型結晶構造を調製する手法の開発に関して困難が予想される。しかし、研究代表者は、二酸化チタンナノチューブは白金などの微粒子を担持することにより、その熱安定性が向上するという予備的知見を最近得ており、これらの知見を元に、処理法の開発を進めた。その結果、トルエンの酸化反応についてはルチル型酸化チタンナノチューブが、アセトアルデヒドの酸化については、アナターズ型酸化チタンナノチューブの方がより高い活性を発現することを見出した。

##### 2. 酸化チタンナノチューブへの助触媒ナノ粒子の位置選択的担持法の開発

結晶化した酸化チタン微粒子を原料に用いて調製した酸化チタンナノチューブへ助触媒の一つの例として白金ナノ粒子の位置選択的担持法の開発に成功した。

##### 3. 形状制御されたルチル型酸化チタンナノロッドの開発

酸化チタン前駆体と構造制御剤を用いて水熱合成法により形状制御されたルチル型酸化チタンナノロッドの合成に成功した。得られたルチル型酸化チタンナノロッドは、非常に発達した2種類の結晶面が露出しており、それぞれ(111) (110)面と同定された。ルチル型酸化チタンナノロッドの触媒性能を紫外光照射下で気相中のアセトアルデヒドおよびトルエンの光触媒酸化分解反応で評価したところ、現在市販されている環境浄化用の光触媒で最も高い性能のものと比較して3

倍以上の触媒活性を発現することが明らかになった。さらに、高い触媒性能発現の要因について明らかにするために、露出したそれぞれの結晶面反応性について白金イオンの還元反応および鉛イオンの酸化反応により評価した。その結果、(111)面上では酸化反応が、(110)面上では還元反応が優先的に進行しており、粒子上で反応場が分離された結果電荷分離効率の飛躍的向上により高い触媒性能が達成されたと結論づけた。

##### 4. 鉄イオンを結晶面選択的に担持した可視光応答性を有するルチル型酸化チタンナノロッドの開発

研究代表者は、鉄イオンを市販の球状ルチル型酸化チタンナノ粒子に担持することで可視光応答性を発現することを以前報告している。これらの技術を応用して、今回開発した形状制御されたルチル型酸化チタンナノロッドの露出結晶面のうち酸化面のみに鉄イオンを担持する画期的な方法を開発した。結晶面選択的に鉄イオンを担持したルチル型酸化チタンナノロッドの可視光下での気相中のアセトアルデヒドおよびトルエンの光触媒酸化分解反応の触媒性能は、市販品中最も性能が高い窒素ドープ酸化チタンと比較して4-5倍の性能を発現することを見いだした。

##### 5. アスペクト比を制御したブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの開発

酸化チタン前駆体と結晶制御用のグリコール酸を添加し、アスペクト比を制御するための添加剤を加えて水熱合成プロセスにより、アスペクト比を制御したブルッカイト結晶構造を有する酸化チタン光触媒ナノロッドの合成に成功した。得られたブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドは非常に発達した2種類の結晶面が露出しており、それぞれ(210)面と(212)面と同定された。さらに、PVPやPVAまたは尿素等を水熱プロセスの際に添加剤として加えることで、酸化チタン光触媒ナノロッドのアスペクト比を1.6～4.9まで変化させることに成功した。ブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの触媒性能を紫外光照射下で気相中のトルエンの光触媒酸化分解反応で評価したところ、アスペクトの増大に伴って触媒活性が向上し、現在市販されている環境浄化用の光触媒で最も高い性能のものと比較して4倍以上の触媒活性を達成することが明らかになった。さらに、高い触媒性能発現の要因について明らかにするために、露出したそれぞれの結晶面反応性について白金イオンの還元反応および鉛イオンの酸化反応により評価した。その結果、(212)面上では酸化反応が、(210)面上では還元反応が優先的に進行しており、粒子上で反応サイトがナノレベルで分離され

たことにより高い触媒性能が達成されたと結論づけた。

#### 6. 鉄イオンを結晶面選択的に担持した可視光応答性を示すブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの開発

研究代表者は、鉄イオンを市販の球状ルチル型酸化チタンナノ粒子に担持することで可視光応答性を発現することを以前報告している。これらの技術を応用して、今回開発した形状制御されたブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの酸化サイトの結晶面にのみ鉄イオンを担持する技術開発を行った。結晶面選択的に鉄イオンを担持したブルッカイト型酸化チタン光触媒ナノロッドの可視光照射下での気相中のアセトアルデヒドの光触媒酸化分解反応の触媒性能は、紫外光照射下と同様にアスペクト比によって変化し、最大性能のアスペクトが市販品中最も性能が高い窒素ドーパ酸化チタンと比較して3倍の性能を発現することを見いだした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 19 件)

1. Exposed Crystal Surface-controlled TiO<sub>2</sub> Nanorods Having Rutile Phase from TiCl<sub>3</sub> under Hydrothermal Conditions, E. Bae, N. Murakami, and T. Ohno, J. Mol. Catal. 300, 72-79 (2009)
2. Shape-controlled anatase titanium(IV) oxide particles prepared by hydrothermal treatment of peroxy titanate in the presence of polyvinyl alcohol, N. Murakami, Y. Kurihara, T. Tsubota, and T. Ohno\*, J. Phys. Chem. C., 113, 3062-3069 (2009).
3. Novel hydrothermal preparation of pure brookite-type titanium(IV) oxide nanocrystal under strong acidic conditions, N. Murakami, T. Kamai, T. Tsubota and T. Ohno\*, Cat. Commun., 10, 963-966 (2009)
4. Characterization and photocatalytic performance of carbon-modified TiO<sub>2</sub> synthesized by using the hot CVD process, T. Tsubota, A. Ono, N. Murakami, T. Ohno, Appl. Catal. B, Environmental, 91, 533-538 (2009)
5. Chemical reaction of hydrogenated diamond surface with amino acids by using N-chlorosuccinimide, Toshiki Tsubota\*, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, Yuta Hagiwara, Diamond and Related Materials, 18, 1174-1178 (2009).
6. Exposed Crystal Surface-controlled Rutile TiO<sub>2</sub> Nanorods Prepared by Hydrothermal Treatment in the Presence of Poly(vinyl pyrrolidone), E. Bae and T. Ohno, Appl. Catal. B, Environmental, 91, 634-639 (2009).
7. Development of a visible light-responsive titania nanotube photocatalyst by site-selective modification with hetero metal ions, N. Murakami, Y. Fujisawa, T. Tsubota, and T. Ohno, Appl. Catal. B, Environmental, 92, 56-60 (2009)
8. Chemical reaction of hydrogenated diamond surface with pyridinecarboxylic acid or similar compounds using N-chlorosuccinimide, Toshiki Tsubota\*, Yuta Hagiwara, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, Diamond and Related Materials, 18, 1174-1178 (2009)
9. Control of crystal structure of titanium(IV) oxide by hydrothermal treatment of a titanate nanotube under acidic conditions, N. Murakami, T. Kamai, T. Tsubota, and T. Ohno, Cryst. Eng. Comm., 12, 532-537 (2010)
10. Development of Visible-light Active S-doped TiO<sub>2</sub> Photocatalyst, Teruhisa Ohno and Naoya Murakami, Current Organic Chemistry, 14, 699-708 (2010)
11. Chemical modification of diamond surface with X-(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>)-COOH (X = F, Cl, Br, I) using benzoyl peroxide, Toshiki Tsubota, Yuki Kawamura, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, Diamond and Related Materials, 19, 1003-1006 (2010)
12. Development of a visible-light-responsive photocatalyst by site-selective modification of iron(III) ion on {111} exposed crystal faces of rutile rod, Naoya Murakami, Asami Ono, Misa Nakamura, Toshiki Tsubota and Teruhisa Ohno\*, Appl. Catal. B, Environmental, 97, 115-119 (2010)
13. The Effect of Chemical Etching by Sulfuric Acid or H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub> Mixed Solution on the Photocatalytic Activity of Rutile TiO<sub>2</sub> nanorod, Eunyong Bae, Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Applied Catal. A. General, 380, 48-54 (2010)
14. Photocatalytic reaction over iron hydroxides: A novel visible-light responsive photocatalyst, Naoya Murakami, Takuma Matsuo, Toshiki Tsubota and Teruhisa Ohno, Catal. Commun., 12, 341-344 (2011)
15. Dependence of photocatalytic activity on aspect ratio of shape controlled rutile titanium(IV) oxide nanorod, Naoya Murakami, Satoshi Katayama, Toshiki Tsubota and Teruhisa Ohno, J. Phys. Chem. C., 115, 419-424 (2011).
16. Visible light photocatalytic activities of S-doped TiO<sub>2</sub>-Fe<sup>3+</sup> in aqueous and gas phase, Víctor M. Menéndez-Flores<sup>§ †</sup>, Detlef W. Bahnemann<sup>§</sup>, Teruhisa Ohno<sup>†</sup>, Appl. Catal. B, Environmental, 103, 99-108 (2011).
17. Improvement of capacitance value as the

electrode of and electrochemical capacitor by mixing starch with guanidine phosphase, Toshiki Tsubota, Yoshihito Miyauchi, Naoya Murakami, and Teruhisa Ohno, J. Power Sources, 196, 5769-5773 (2011).

18. Chemical modification of diamond surface with linoleic acid by using benzoyl peroxide , Toshiki Tsubota, Shota Mihara, Naoya Murakami, and Teruhisa Ohno, Diamond and Related Materials, 20, 584-587 (2011).

19. Performance of nitrogen- and sulfur-containing carbon material derived from thiourea and formaldehyde as electrochemical capacitor, Toshiki Tsubota, Kaori Takenaka, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, J. Power Sources, 196, 10455-10460 (2011)

[学会発表] (計 49 件)

1. Teruhisa Ohno, Development of surface structure controlled TiO<sub>2</sub>

International Workshop on Development of Environmentally Friendly Functional Materials (NCRS G-COE Symposium/Workshop Series 2009-II), 2009, June, 19 , C-Cube Chikushi hall, Chikushi Campus, Kyushu University

2. 横野照尚, 村上直也, ナノレベルで構造制御された光触媒の開  
第9回光触媒研究討論会, 2009, July, 15 , 東大先端研(東京)

3. Eunyoung Bae, 横野照尚, Exposed Crystal Surface-controlled Rutile TiO<sub>2</sub> Nanorods Prepared by Hydrothermal Treatment in the Presence of Poly(vinyl pyrrolidone)

2009年 電気化学秋季大会, 2009, September, 10-11 , 東京農工大(東京)

4. 小野麻実, 横野照尚, ルチル型二酸化チタンナノロッドの合成と面選択的的金属担持による可視光応答化

2009年 電気化学秋季大会, 2009, September, 10-11 , 東京農工大(東京)

5. Teruhisa Ohno, Development of a Visible Light Responsive Rutile Titanium Dioxide Photocatalyst by Modification of Transition Metal Ion

1st International Workshop on Application of Redox Technologies in the Environment, 2009, September, 14 , Istanbul Technical University, Istanbul Turkey

6. Naoya Murakami, Yu Kurihara, Teruhisa Ohno, Shape-Controlled Anatase Titanium(IV) Oxide Particles Prepared by Hydrothermal Treatment of Peroxo Titanic Acid in the Presence of Hydrophobic Polymer

1st International Workshop on Application of Redox Technologies in the Environment, 2009, September, 14 , Istanbul Technical University, Istanbul Turkey

7. 松尾卓馬, 村上直也, 横野照尚, 鉄系酸化物光触媒の開発と可視光光触媒特性

第104回触媒討論会, 2009, September, 27-30 , シーガイヤ, 宮崎大学工学部  
(宮崎)

8. 堤俊之, 村上直也, 横野照尚, 鉄(III)イオンとの複合化による酸化ニオブ(V)の可視光応答型光触媒反応特性

第104回触媒討論会, 2009, September, 27-30 , シーガイヤ, 宮崎大学工学部  
(宮崎)

9. 村上直也, 栗原悠, 横野照尚, 表面構造制御されたアナターズ型酸化チタン(IV)光触媒の反応特性

第104回触媒討論会, 2009, September, 27-30 , シーガイヤ, 宮崎大学工学部  
(宮崎)

10. 横野照尚, 村上直也, 表面構造制御した酸化チタン光触媒ナノ粒子の合成と性能評価  
粉体工学会講演会, 2009, October, 16 , 博多都ホテル(福岡)

11. 横野照尚, 村上直也, 太陽光エネルギーを利用した環境作り-ナノレベルで表面構造制御された可視光応答型光触媒-

財団法人 光産業技術振興協会講演会, 2009, December, 15 , 光産業技術振興協会会議室(東京)

12. 松尾卓馬, 村上直也, 横野照尚, 鉄系酸化物光触媒の開発と可視光光触媒活性

第16回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」, 2009, December, 5 , 神奈川科学技術アカデミー(東京)

13. 貴田友樹, 村上直也, 横野照尚, マイクロウェーブ水熱合成法による二酸化チタンの調製および光触媒活性評価

第105回触媒討論会, 2010, March, 24-25 , 京都テルサ(京都)

14. 市川晶子, 村上直也, 横野照尚, Feイオン担持による十面体アナターズ型TiO<sub>2</sub>ナノ粒子の可視光応答化

日本化学会第90春季大会, 2009, March, 26-29 , 近畿大学本部キャンパス(大阪)

15. 齊藤洋文, 村上直也, 横野照尚, 金属イオン担持したブルッカイト型TiO<sub>2</sub>の光触媒活性評価

日本化学会第90春季大会, 2009, March, 26-29 , 近畿大学本部キャンパス(大阪)

16. Teruhisa Ohno and Naoya Murakami, Visible light responsive surface structure controlled TiO<sub>2</sub> nanoparticles site-selectively modification of Fe<sup>3+</sup> ions on exposed crystal face  
Third International conference on Semiconductor Photochemistry, 2010年4月12日-14日, Glasgow, England

17. Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Size-controlled decahedral anatase titanium(IV) oxide photocatalyst prepared by hydrotherm

al treatment of peroxy titanate acid in the presence of polyvinyl alcohol

Third International conference on Semiconductor Photochemistry, 2010年4月12日-14日, Glasgow, England

18. Teruhisa Ohno, Naoya Murakami, Preparation of a Visible-light-responsive Rutile TiO<sub>2</sub> Nano Rod by Site-selective modification of Iron(III) ion on {111} exposed crystal faces Solar Chemistry and Photocatalysis; Environmental Applications (SPEA6), 6月13-16日, Hotel DAP - Dům armády Praha (House of the Army, Prague)

19. Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Size-controlled decahedral anatase titanium(IV) oxide photocatalyst prepared by hydrothermal treatment of peroxy titanate acid in the presence of polyvinyl alcohol

18th International Conference on Photochemical conversion and Storage of Solar Energy (IPS-18), 7月25-30日, Korea University, Seoul

20. Hirofumi SAITOH, Naoya MURAKAMI, Toshiki TSUBOTA, and Teruhisa OHNO, A visible light responsive brookite titanium(IV) oxide photocatalyst by modification of iron(III) ions

18th International Conference on Photochemical conversion and Storage of Solar Energy (IPS-18), 7月25-30日, Korea University, Seoul

21. Yuuki IMOTO, Naoya MURAKAMI, Toshiki TSUBOTA, Teruhisa OHNO, Synthesis of zinc oxide nano-pillar by microwave-assisted process for organic photovoltaic cell

18th International Conference on Photochemical conversion and Storage of Solar Energy (IPS-18), 7月25-30日, Korea University, Seoul

22. 堤俊之、村上直也、横野照尚, 金属微粒子を担持させたニオブ系酸化物の可視光下における光触媒反応特性

2010年電気化学秋季大会, 9月2-3日, 神奈川県工科大学

23. 井本裕貴、村上直也、横野照尚, マイクロ波加熱法により形成されたZnOナノロッドを電子輸送層とする有機薄膜太陽電池の開発

2010年電気化学秋季大会, 9月2-3日, 神奈川県工科大学

24. 齊藤洋文、村上直也、横野照尚, 水溶性ポリマーによって形状制御されたブルックライト型TiO<sub>2</sub>光触媒の開発

2010年電気化学秋季大会, 9月2-3日, 神奈川県工科大学

25. 武部直宏、村上直也、横野照尚, 複合型

バナジン酸ビスマスの可視光光触媒活性  
第106回触媒討論会, 9月15-18日, ベルクラシック甲府・山梨大学甲府キャンパス

26. Teruhisa Ohno, Control of Reaction Sites on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles by Exposing Crystal Surfaces

The 15th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications(TiO<sub>2</sub>-15), 11月15-18日, Town and Country Resort, San Diego, California, USA

27. Victor M. Menendez F., Teruhisa Ohno, Development of S-doped TiO<sub>2</sub>, The 15th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications(TiO<sub>2</sub>-15), 11月15-18日, Town and Country Resort, San Diego, California, USA

28. Teruhisa Ohno, Naoya Murakami, Development of a visible-light-responsive rutile TiO<sub>2</sub> nanorod by site-selective modification of iron(III) ion on {111} exposed crystal faces

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 12月15-20日, Honolulu, Hawaii, USA

29. Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Dependence of photocatalytic activity on particle size of shape controlled anatase titanium(IV) oxide nanocrystal

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 12月15-20日, Honolulu, Hawaii, USA

30. Toshiyuki Tsutsumi, Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Visible-light photocatalytic property of co-catalyst loaded niobium-based oxides for photodegradation of organic substance

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 12月15-20日, Honolulu, Hawaii, USA

31. Yoshidomi Yuki, Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Improvement of efficiency in P3HT/PCBM heterojunction solar cell by addition of phthalocyanine dye

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 12月15-20日, Honolulu, Hawaii, USA

32. Naohiro Takebe, Naoya Murakami and Teruhisa Ohno, Photocatalytic activity of silica hybrid BiVO<sub>4</sub> under visible light irradiation

The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 12月15-20日, Honolulu, Hawaii, USA

33. 馬籠悠平、村上直也、横野照尚, Bi<sub>5</sub>FeTi<sub>3</sub>O<sub>15</sub> とg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の白金担持及び各々の複合化による新規可視光応答型光触媒の開発

第17回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開

], 12月2日, KSPホール(かながわサイエンスパーク)

34. 村上直也、川上翔大、横野照尚, 十面体アナタース型酸化チタン(IV)の粒子サイズ制御とその光触媒反応特性

第 30 回光がかかわる触媒化学シンポジウム, 2011 年 6 月 10 日, 東京工業大学

35. Naoya Murakami, Shota Kawakami and Teruhisa Ohno, Dependence of photocatalytic activity on particle size of shape controlled anatase titanium(IV) oxide nanocrystal

The 9th International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies (PacRim 9), 2011 年 7 月 11 日, ケアンズ(オーストラリア)

36. Teruhisa Ohno and Naoya Murakami, New visible light responsive hybrid photocatalysts composed of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with Bi<sub>15</sub>FeTi<sub>3</sub>O<sub>15</sub> and g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with S-doped TiO<sub>2</sub>

The 9th International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies (PacRim 9)(招待講演), 2011 年 7 月 13 日, ケアンズ(オーストラリア)

37. 横野照尚, 反応サイト分離型ナノコンポジット光触媒の構築

第 11 回光触媒研究討論会, 2011 年 7 月 21 日, 東京大学

38. 張林傑、村上直也、横野照尚, 化学エッチング処理によって表面形態制御されたブルッカイト型酸化チタンの光触媒活性

2011 年光化学討論会, 2011 年 9 月 7 日, 宮崎市河津コンベンションエリア

39. 金正元、村上直也、横野照尚, 八面体構造を有するアナタース型酸化チタン粒子の開発

2011 年光化学討論会, 2011 年 9 月 7 日, 宮崎市河津コンベンションエリア

40. 村上直也, 酸化チタン光触媒ナノ粒子の表面形状制御による高活性化

2011 年電気化学秋季大会(招待講演), 2011 年 9 月 10 日, 朱鷺メッセ(新潟市)

41. 中村美紗、小野麻実、Eunyoung Bae、村上直也、横野照尚, ルチル型酸化チタンナノロッドの化学処理による可視光応答性能の向上

2011 年電気化学秋季大会, 2011 年 9 月 10 日, 朱鷺メッセ(新潟市)

42. 村上直也, 二重励起光音響分光法を用いた酸化チタン(IV)粒子の光触媒特性評価

第 108 回触媒討論会(招待講演), 2011 年 9 月 21 日, 北見工業大学

43. 近藤健太郎、村上直也、横野照尚, グラファイト型窒化炭素と硫黄ドーパド酸化チタンの複合による高活性光触媒開発

第 108 回触媒討論会, 2011 年 9 月 21 日, 北見工業大学

44. Teruhisa Ohno, Visible light responsive surface morphology controlled brookite TiO<sub>2</sub> loaded with Fe<sup>3+</sup> ions

2nd European Symposium on Photocatalysis (JEP2011), 2011 年 9 月 29 日, Bordeaux Cite Mondiate Centre de Congres Hotel

45. Teruhisa Ohno, Naoya Murakami, Hybrid Photocatalysts Composed of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with Bi<sub>15</sub>FeTi<sub>3</sub>O<sub>15</sub> and g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with S-Doped TiO<sub>2</sub> The 16th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO<sub>2</sub>-16)(招待講演), 2011 年 10 月 8 日, Town & Country Resort, San Diego, California, USA

46. Naoya Murakami, Shota Kawakami, Teruhisa Ohno, Dependence of Photocatalytic Activity on Particle Size of Shape-controlled Anatase Titanium(IV) Oxide Nanocrystal

The 16th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO<sub>2</sub>-16), 2011 年 10 月 8 日, Town & Country Resort, San Diego, California, USA

47. Misa Nakamura, Asami Ono, Eunyoung Bae, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, Improvement of Visible Light Responsibility of Loaded Rutile TiO<sub>2</sub> Nanorods by Chemical Etching Treatment

The 16th International Conference on TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: Fundamentals and Applications (TiO<sub>2</sub>-16), 2011 年 10 月 8 日, Town & Country Resort, San Diego, California, USA

48. Teruhisa Ohno, CO<sub>2</sub> photoreduction using g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/WO<sub>3</sub> or g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/brookite TiO<sub>2</sub> nanorod composite photocatalysts systems Green Chemistry 2011 Innovations (招待講演), 2011 年 12 月 5 日, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Australia

49. 近藤健太郎、村上直也、横野照尚, グラファイト型窒化炭素と金属酸化物光触媒の複合化による高感度可視光応答型光触媒の開発

第 18 シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」, 2011 年 12 月 12 日, 東京大学生産技術研究所

〔図書〕(計 1 件)

1. 横野照尚, 日本工業出版, クリーンテクノロジー, 2009, 4

6. 研究組織

研究代表者

横野 照尚 (OHNO TERUHISA)

九州工業大学・工学研究院・教授

研究者番号: 10203887