

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06803

研究課題名(和文) 高電子伝導性及び高耐久性を両立するメソポーラス単結晶酸化物電極の開発

研究課題名(英文) Development of Mesoporous Single-Crystalline Oxide Electrodes with High Electroconductivity and Durability

研究代表者

黒田 義之 (Kuroda, Yoshiyuki)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50638640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：CO₂の排出の無い再生可能エネルギーの有効利用のために水素エネルギーが注目されている。電気から水素を得る水電解、水素から電気を得る固体高分子形燃料電池では、頻繁な出力変動や起動停止により電極材料が腐食や溶解、剥離により劣化する問題を抱えている。本研究では、多孔質導電性酸化物やハイブリッドナノシートといった新材料を開発し、高耐久な電極材料として利用できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の進行を食い止めるためには、CO₂を排出しないクリーンな再生可能エネルギーの利用が必須である。再生可能エネルギー(太陽光、風力、水力、地熱など)は発電時間や発電場所が限られており、水素等の貯蔵、輸送に敵した形で取り扱う必要がある。本研究の成果は、水素利用、水素製造の装置の高寿命化に貢献する技術であり、将来社会において水素エネルギーを利用する際のコスト低減に寄与すると期待される。

研究成果の概要(英文)：Hydrogen has attracted much attention for the efficient use of renewable energy without emission of CO₂. Water electrolysis converting electricity to hydrogen and polymer electrolyte fuel cell converting hydrogen to electricity have problems about durability of electrodes which degrade by corrosion, dissolution, and/or delamination due to frequent power fluctuation and/or start/stop operation. In this research, novel materials, such as porous conductive metal oxides and hybrid nanosheets were developed as highly durable electrode materials. These new technologies will contribute to cost reduction of hydrogen energy in our society.

研究分野：無機材料化学

キーワード：多孔質材料 ナノシート 導電性酸化物 固体高分子形燃料電池 アルカリ水電解

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化問題の解決のため、CO₂排出の無い再生可能エネルギーを用いる低炭素社会の実現が急務である。太陽光、風力、水力、地熱等に代表される再生可能エネルギーは発電時間や発電場所が限られているため、電力を貯蔵、輸送するための仕組みが必要である。水素は水電解により電気エネルギーから製造し、燃料電池により電気エネルギーに変換できる理想的なエネルギーキャリアの一つである。しかし、水素エネルギーの利用に有望な固体高分子形燃料電池やアルカリ水電解では、頻繁な出力変動や起動停止に由来する電極材料の劣化が問題である。例えば、アルカリ水電解では起動停止に伴い、電極の放電現象である逆電流が生じ、電極性能が劣化していくことが知られている。¹再生可能エネルギーの多くは常時発電を継続することが難しく、アルカリ水電解の長寿命化が望まれている。また、固体高分子形水電解の主要用途として自動車用電源としての利用が考えられるが、アクセルのオンオフに伴う出力変動や起動停止により電極の劣化が進行する。²

これらの問題を解決するためには、材料自体の長寿命化が有効である。例えば、固体高分子形燃料電池の空気極では白金系触媒担持カーボンが用いられるが、この電極を構成するカーボンが酸化分解することで劣化するモードが知られている。カーボンをより安定な導電性酸化物で置き換えることができれば、固体高分子形燃料電池の大幅な長寿命化が期待できるが、これまで知られているマグネリ相亜酸化チタンの様な物質は安定性、導電性に優れているものの、表面積が小さく大電流への対応が困難であった。³また、アルカリ水電解の酸素極では比較的安価なニッケル系電極が用いられるが、逆電流発生時にはニッケル基材の腐食による劣化が顕著であった。さらに、ニッケルを導電性酸化物でコーティングすることで耐久性を向上させることは可能だが、⁴水電解には5~10年オーダーでの長寿命が必要であり、より高度な耐久性向上が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、比表面積が大きく、また十分な導電パスの形成も期待されるメソポーラス導電性酸化物を合成し、その電極材料としての有効性を検討することを目的とした。また、メソポーラス導電性酸化物への触媒担持プロセスや、エネルギー変換デバイスの寿命を向上させる新技術の検討も行った。

3. 研究の方法

メソポーラス導電性酸化物の構成材料としては固体高分子形燃料電池の電極周辺環境に相当する強酸性条件でも安定なマグネリ相亜酸化チタンに着目した。しかし、マグネリ相亜酸化チタンの合成には高温での水素還元処理が必要であり、その際の結晶成長や焼結により表面積が低下してしまう。そこで、シリカコロイド結晶からなるハードテンプレートを用いた鋳型合成法により、メソポーラス亜酸化チタンの合成を検討した。この際、鋳型内での結晶成長を制御し、導電性向上に有効と期待される単結晶骨格を有するメソポーラス亜酸化チタンの合成を目指した。

一方、アルカリ水電解用高耐久電極材料を検討する中で、当初想像していなかった新たな高耐久化コンセプトを提案するに至った。アルカリ水電解において5~10年オーダーの長寿命を実現するためには、電極触媒の高耐久化だけでなく、触媒の修復技術の開発も有効であると考えられる。そこで、水電解の運転を止めずに電解槽内で電極を修復する新規触媒を検討した。我々が本研究期間以前に開発したハイブリッド水酸化ナノシートは、アルカリ水電解の酸素発生触媒でもある遷移金属水酸化ナノシートの表面に有機物が結合した構造を有する新材料である。ハイブリッド水酸化ナノシートはアルカリ水電解の電解液にも高分散させることができるため、電解槽の運転中に電解液から触媒を補充して電極を修復する方法を検討した。

4. 研究成果

(1) 固体高分子形燃料電池用単結晶メソポーラスマグネリ相亜酸化チタンの開発

メソポーラスマグネリ相亜酸化チタン ($m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$) の合成には鋳型合成法 (図1) を用いた。まず、既報⁵に従い粒径約50nmの単分散シリカナノ粒子からなるコロイド結晶鋳型を合成した。続いて titanium tetraisopropoxide (TTIP) の加水分解、硝酸処理により調整した titanium nitrate をコロイド結晶鋳型に含浸し、粒子間隙に TiO₂ を析出させた。これをさらに 200 mL/min の水素気流下で 800 °C、5 h の還元処理を行い、TiO₂ を Ti₆O₁₁ に変換した。最後に水酸化ナトリウム水溶液を用いたコロイド結晶鋳型を溶出させ、多孔質の $m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$ を得た。

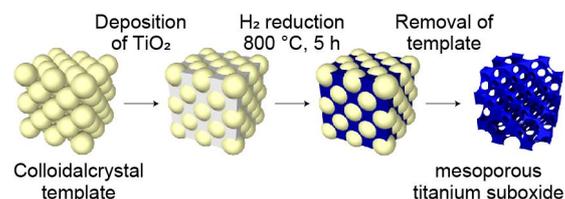


図1. 鋳型合成法概念図。

XRD より、 $m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$ はマグネリ相 Ti₆O₁₁ とわずかなアナターゼ相 TiO₂ からなることがわかった。TEM より、 $m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$ は規則的な直径約 49 nm のメソ孔を有することを確認した (図2)。また、同じ箇所撮影した SAED パターンは、Ti₆O₁₁ に帰属可能なスポットパターンを示し、 $m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$ の一次粒子はメソ孔を有する単結晶であることが示唆された。 $m\text{-Ti}_6\text{O}_{11}$ の窒素吸脱着測定

より、IV 型の吸着等温線が確認され、BET 比表面積は $11 \text{ m}^2/\text{g}$ と算出された。これはバルクのマグネリ相亜酸化チタンにおける比表面積 ($\sim 1 \text{ m}^2/\text{g}$) に比して非常に大きい値である。また、BJH 細孔系分布は $50\text{--}70 \text{ nm}$ にピークをもつ分布を示しており、規則的なメソ孔に加え、一次粒子間の間隙も観測されたと考えられる。

続いて、アークプラズマ析出法により $\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ に Pt ナノ粒子を担持させた ($\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$)。TEM 像より、粒径約 2 nm の均一な Pt ナノ粒子が細孔表面に析出する様子が観察された (図 3. (a), (b))。Pt/ $\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ とナフィオンを水と 1-propanol の混合溶液に分散させて触媒インクを調製し、これをグラッシーカーボン上で乾燥させて電極 ($\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}/\text{GC}$) を得た。

この電極を作用極とし、 $0.1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ 中で電気化学測定を行った。 50 mV/s におけるサイクリックボルタンメトリー (CV) 曲線を図 3(c) に示す。Pt ナノ粒子上での水素吸脱着や酸素吸脱着によるピークが観測され、Pt ナノ粒子が電気化学的に機能しており、 $\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ が触媒担体となることがわかった。また、 0.1 V vs. RHE 以下の領域には一般的な Pt 電極よりも大きな還元電流が観測された。これは Pt ナノ粒子表面の吸着水素の $\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ へのスピルオーバーを示す可能性がある。

O_2 雰囲気及び N_2 雰囲気における 5 mV/s での分極曲線の差分より、 $\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}/\text{GC}$ 及び市販 Pt/C の酸素還元反応 (ORR) 電流を示す。 $\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}/\text{GC}$ における Pt 重量基準の ORR 活性は市販 Pt と同等であり、Pt ナノ粒子が有効に機能することが示された。以上より、触媒担体として利用可能なメソポーラスマグネリ相亜酸化チタンの合成を確認した。

(2) アルカリ水電解用自己修復ハイブリッド水酸化物ナノシートの開発

ハイブリッド水酸化コバルトナノシート (図 4) は既報⁶に従い以下の通り合成した。まず、塩化コバルト水溶液と三脚型配位子 (tris(hydroxymethyl)aminomethane; Tris- NH_2) の水溶液を混合し、 80°C で 1 日加熱することで層状ハイブリッド水酸化コバルトを合成した。これをメンブレンフィルターで濾過し、純水で洗浄した後、乾燥、粉碎して粉末試料を得た。これを純水に分散し、超音波処理することでハイブリッド水酸化コバルトナノシート (Co-ns) 分散液を得た。Co-ns の合成は XRD 及び FT/IR により確認した。

電気化学測定は触媒添加無しと Co-ns 添加有りの 2 通りの構成で行った。作用極は表面をエッチングした Ni ワイヤ、対極には Ni コイルを用い、電解液は 1 M KOH とした。まず、触媒析出の前処理として 800 mA cm^{-2} の定電流電解 30 min と触媒活性評価のための CV 及び電気化学インピーダンス測定 (EIS) を 8 回繰り返して行った。この際、CV 曲線において Co-ns に由来する A1, A2, C1, C2 のレドックスピークが前処理回数の増大と共に大きくなり、Co-ns の電極表面への析出が示唆された (図 5(a))。触媒添加無しの条件では、この様なレドックスピークは殆ど観測されなかった (図 5(b))。 100 mA cm^{-2} における酸素発生反応 (OER) 過電圧は前処理回数と共に 380 mV から 360 mV まで徐々に減少し、析出した Co-ns が高い OER 活性を有することが明らかとなった (図 5(c))。一方、触媒添加無しの条件では前処理により OER 過電圧

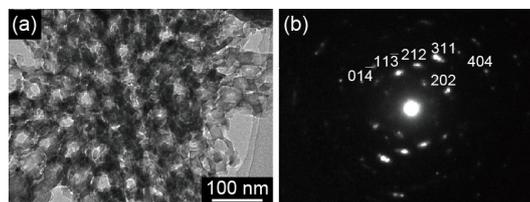


図 2. $\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ の (a) TEM 像と (b) SAED パターン.

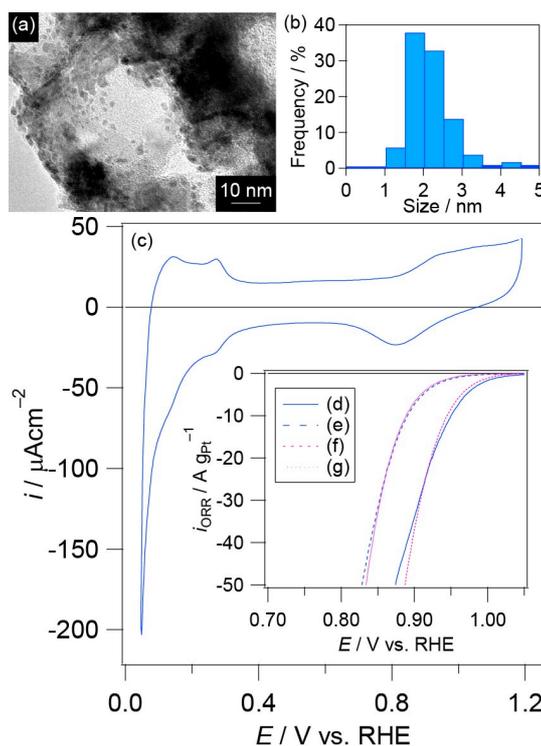


図 3. (a) $\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}$ の TEM 像と (b) Pt の粒径分布. (c) $\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}/\text{GC}$ の CV 曲線. $\text{Pt}/\text{m-Ti}_6\text{O}_{11}/\text{GC}$ の ORR 分極曲線 (d) アノード掃引, (e) カソード掃引. 市販 Pt/C の ORR 分極曲線 (f) アノード掃引, (g) カソード掃引.

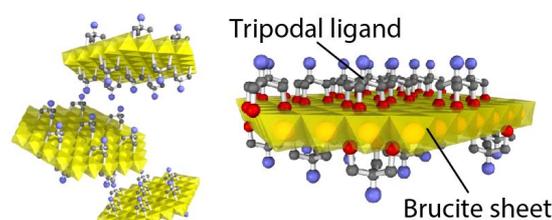


図 4. ハイブリッド水酸化コバルトナノシートの模式図.

は 395 mV から 455 mV まで増加し、むしろ電極劣化が進行することがわかった (図 5(e))。従って、Co-ns の存在下での定電流電解が電極への触媒析出の条件として有効であると考えられる。また、定電流電解の電流が 100 mA cm^{-2} と小さい場合、OER 過電圧は触媒を用いない場合と大差無かった (図 5(d))。従って、前処理にはある程度大きな電流を印可する必要がある。

電位変動を模した加速劣化試験は以下の通り実施した。電位変動として 2000 サイクルの CV を $0.5\text{--}1.8 \text{ V}$ の範囲で 500 mV s^{-1} の走査速度で行った。次に触媒再生処理として定電流電解を 800 mA cm^{-2} で 30 min 行った (再生あり)。また、定電流電解を行わない再生なしの条件も比較した。触媒活性評価として CV 及び EIS を行った。これらの操作を 20 回行い、計 40000 サイクルの耐久試験を行った。触媒添加無しの場合では、OER 過電圧は 2000 サイクル以降急激に増加し、380 mV から 530 mV へと変化した (図 6(a))。これは Ni 電極の表面に活性の低い水酸化物被膜が形成されたためと考えられる。Co-ns 添加あり (再生あり) の条件では、40000 サイクルまでほぼ過電圧の変化が無く、その増加量はわずか 9 mV であった (図 6(b))。一方、Co-ns 添加あり (再生なし) の条件では、触媒添加無しの場合と比べると活性低下が抑制されているものの、350 mV から 400 mV へ、約 50 mV の過電圧の増大が認められた (図 6(c))。これは、Co-ns 触媒の剥離により Ni 基材が露出し、Ni の腐食による性能低下を生じたためと考えられる。また、Co-ns 添加あり (再生あり) の条件で 40000 サイクルの耐久試験を行った後、電解液を触媒添加無しのものに交換して再生処理を含む同様の耐久試験を 20000 サイクル行ったところ、Co-ns 添加あり (再生なし) の初期 20000 サイクルと同様の過電圧の増加が見られた (図 6(b))。従って、触媒の再生には定電流電解と電解液中に分散した Co-ns の両方が必要であり、Co-ns の電極への析出が活性維持の主要な現象であると考えられる。また、Co-ns の代わりに $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ を添加した場合、触媒添加無しに比べると活性は良いが、Co-ns 程の高活性、高耐久性は得られず、Co-ns の利用が必須であることがわかった (図 6(d))。

(3) 結論

以上より、単結晶生メソポーラス導電性酸化物やハイブリッドナノシートを用い、固体高分子形燃料電池やアルカリ水電解の寿命向上に寄与する新材料を見出した。また、これらの材料の開発に伴い、メソポーラス Nb ドープ Ti_4O_7 、ハイブリッド NiAlLDH 等の新材料の合成にも成功しており、今後もこれらの材料を用いたエネルギー変換デバイスの性能、耐久性の向上が期待される。

(4) 参考文献

Y. Uchino, T. Kobayashi, S. Hasegawa, I. Nagashima, Y. Sunada, A. Manabe, Y. Nishiki, S. Mitsushima, *Electrochemistry* **2018**, *86*, 138.

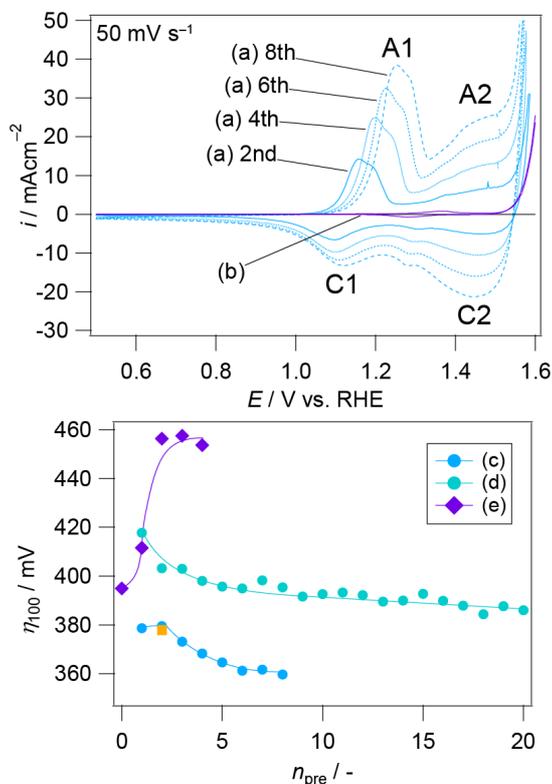


図 5. (a) Co-ns 添加有り, (b) 触媒添加無しの場合における前処理中の CV 曲線. (c) Co-ns 添加有り (800 mA cm^{-2}), (d) Co-ns 添加有り (100 mA cm^{-2}), (e) 触媒添加無し条件における前処理回数 (n_{pre}) と 100 mA cm^{-2} における OER 過電圧 (η_{100}) の関係。

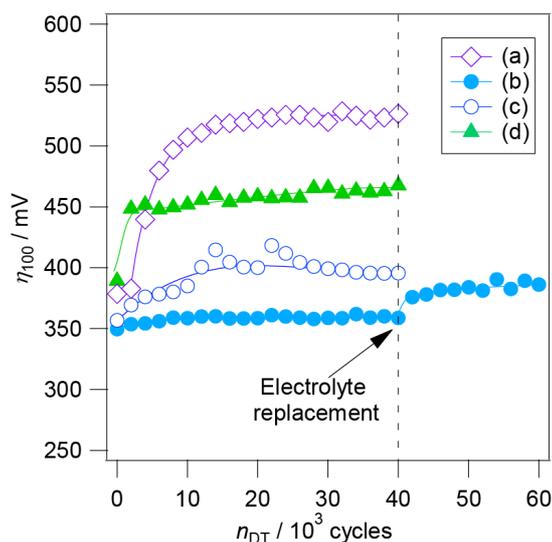


図 6. 耐久試験サイクル数 (n_{DT}) と 100 mA cm^{-2} における OER 過電圧 (η_{100}) の関係. (a) 触媒添加無し, (b) Co-ns 添加有り (再生あり), (c) Co-ns 添加有り (再生なし), (d) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 添加。

- R. Borup *et al.*, *Chem. Rev.* **2007**, *107*, 3904.
- T. Ioroi, Z. Siroma, N. Fujiwara, S. Yamazaki, K. Yasuda, *Electrochem. Commun.* **2005**, *7*, 183.
- S. Fujita, I. Nagashima, Y. Sunada, Y. Nishiki, S. Mitsushima, *Electrocatalysis* **2017**, *8*, 422.
- T. Yokoi, Y. Sakamoto, O. Terasaki, Y. Kubota, T. Okubo, T. Tatsumi, *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 13664.
- Y. Kuroda, T. Koichi, K. Muramatsu, K. Yamaguchi, N. Mizuno, A. Shimojima, H. Wada, K. Kuroda, *Chem. Eur. J.* **2017**, *23*, 5023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Keisuke Muramatsu, Yoshiyuki Kuroda, Hiroaki Wada, Atsushi Shimojima, Kazuyuki Kuroda	4. 巻 47
2. 論文標題 In situ synthesis of magnesium hydroxides modified with tripodal ligands in an organic medium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 3074-3083
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: 10.1039/c7dt03699j	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 Kuroda Yoshiyuki, Igarashi Hikaru, Nagai Takaaki, Napporn Teko W., Matsuzawa Koichi, Mitsushima Shigenori, Ota Ken-ichiro, Ishihara Akimitsu	4. 巻 10
2. 論文標題 Templated Synthesis of Carbon-Free Mesoporous Magn?li-Phase Titanium Suboxide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrocatalysis	6. 最初と最後の頁 459 ~ 465
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s12678-019-00544-3	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 Kuroda Yoshiyuki, Nishimoto Takeshi, Mitsushima Shigenori	4. 巻 323
2. 論文標題 Self-repairing hybrid nanosheet anode catalysts for alkaline water electrolysis connected with fluctuating renewable energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 134812 ~ 134812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134812	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 Muramatsu Keisuke, Hayashi Shiori, Kuroda Yoshiyuki, Oka Yuya, Wada Hiroaki, Shimojima Atsushi, Kuroda Kazuyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Selective Covalent Modification of Layered Double Hydroxide Nanoparticles with Tripodal Ligands on Outer and Interlayer Surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 6110 ~ 6119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://dx.doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c00192	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 Kuroda Yoshiyuki, Oka Yuya, Yasuda Tadao, Koichi Tatsuyuki, Muramatsu Keisuke, Wada Hiroaki, Shimojima Atsushi, Kuroda Kazuyuki	4. 巻 47
2. 論文標題 Precise size control of layered double hydroxide nanoparticles through reconstruction using tripodal ligands	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 12884 ~ 12892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1039/C8DT02190B	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 梶間博隆, 黒田義之, 松澤幸一, 石原顕光, 光島重徳
2. 発表標題 テンプレート法による導電性チタニアナノ構造体の合成
3. 学会等名 第28回電極材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda, Shigenori Mitsushima
2. 発表標題 Preparation of Highly Durable Electrocatalyst for Alkaline Water Electrolysis via Self-Assembly of Hybrid Cobalt Hydroxide Nanosheets
3. 学会等名 International Symposium on Electrocatalysis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田義之, 光島重徳
2. 発表標題 ハイブリッド水酸化コバルトナノシートを用いたアルカリ水電解用自己組織化触媒
3. 学会等名 第62回粘土科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda Shigenori Mitsushima
2. 発表標題 Self-Assembled Anode Catalysts with Excellent Durability for Alkaline Water Electrolysis Using Novel Hybrid Cobalt Hydroxide Nanosheets
3. 学会等名 AiMES2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西本武史, 黒田義之, 光島重徳
2. 発表標題 水酸化コバルトナノシートを用いた自己組織化OER触媒の検討
3. 学会等名 第42回電解技術討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda, Takeshi Nishimoto, Shigenori Mitsushima
2. 発表標題 Self-Assembling Electrocatalyst for Alkaline Water Electrolysis
3. 学会等名 2nd International Workshop on Phase Interfaces for Highly Efficient Energy Utilization -For dramatic advancement of energy utilization efficiency- (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西本武史, 黒田義之, 光島重徳
2. 発表標題 ハイブリッドナノシート触媒を用いたアルカリ水電解の運転条件の検討
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶間博隆, 黒田義之, 松澤幸一, 石原顕光, 光島重徳
2. 発表標題 PEFC用カソード担体としてのマクロポラスNb-Ti407の合成と電気化学的評価
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島督晴, 石原顕光, 光島重徳, 黒田義之
2. 発表標題 酸性電解質中でのチタン酸ナノシートの酸素還元触媒能
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda
2. 発表標題 Synthetic Chemistry of Metal Hydroxides and Their Applications
3. 学会等名 Fourth Joint Workshop on Electrocatalysis, Materials Science and Analytical Chemistry of Nickel-Based Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田義之
2. 発表標題 層状複水酸化物の自己組織化による固体塩基触媒のナノ構造制御 ~ 層状金属水酸化物の構造 機能制御法の開拓 ~
3. 学会等名 2018年度フロンティア材料研究所学術受賞記念講演会・若手教員講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Muramatsu, Yoshiyuki Kuroda, Atsushi Shimojima, Hiroaki Wada, Kazuyuki Kuroda
2. 発表標題 Formation of turbostratic brucite and its nanosheets by reversible modification with dipodal ligands
3. 学会等名 The 16th International Clay Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda, Shiori Hayashi, Yuya Oka, Atsushi Shimojima, Hiroaki Wada, Kazuyuki Kuroda
2. 発表標題 Direct synthesis of colloidal interlayer-modified layered double hydroxides using tripodal ligands
3. 学会等名 The 16th International Clay Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiyuki Kuroda, Hiroaki Wada, Atsushi Shimojima, Kazuyuki Kuroda
2. 発表標題 Design of Silica Superstructures by Assembly of Silica Nanospheres
3. 学会等名 IUMRS-ICAM2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒田義之, 岡佑弥, 安田忠央, 小市竜之, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸
2. 発表標題 層状複水酸化物の溶解再析出及び再構築過程における三脚型配位子の効果
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林志桜里, 岡佑弥, 黒田義之, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸
2. 発表標題 遷移金属含有層状複水酸化物の三脚型配位子による層間修飾
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村松佳祐, 黒田義之, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸
2. 発表標題 二脚型配位子の修飾・脱離による剥離可能なブルーサイトの合成
3. 学会等名 第61回粘土科学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒田義之, 島崎佑太, 北原真樹, 梶間博敬, 松澤幸一, 石原顕光, 和田宏明, 下嶋敦, 黒田一幸, 光島重徳
2. 発表標題 PEFC用導電性酸化物担体に向けたメソポーラスNbドーブTiO ₂ の合成
3. 学会等名 2017年電気化学秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林志桜里, 岡佑弥, 黒田義之, 下嶋敦, 和田宏明, 黒田一幸
2. 発表標題 三脚型配位子による層状複水酸化物の層間修飾
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 アルカリ水電解アノード	発明者 黒田義之, 光島重徳, 西本武史	権利者 横浜国立大学、 デノラ・ペルメ レック株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-45008	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----