

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01806

研究課題名(和文)電気化学的に制御された固液界面の水和構造の不均一性とナノ気泡の発生

研究課題名(英文) Nanobubble and solvation at electrochemical interface

研究代表者

中林 誠一郎 (Nakabayashi, Seiichiro)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70180346

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：電極上のナノ気泡に関する研究をおこなった。白金電極上の水素発生反応では、水素ナノ気泡の発生密度は、表面粗さにより変化し、原子的平坦面とフラクタル面(白金黒)上で、ナノ気泡密度は最小となり、中間的な粗面で密度が最大となる。ナノ気泡の電極電位に与える影響は、100mV程度である。酸化亜鉛上でナノ気泡を観測すると、正電荷を補足した表面準位上に気泡が形成され、溶媒和構造が変化した。金属銅上にニッケル層状複水和物を担持し、アルカリ水溶液中で過電圧の小さな酸素発生について、ナノ気泡の影響を調べた。酸素発生反応は、担持触媒の3重相線上で進んでいると推定されたが、ナノ気泡は電極反応にほとんど影響を持たない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過飽和に気体が溶けた液体が、固体と接すると、気液界面にナノ気泡が発生する。これは、身の廻りにありふれた現象で有る可能性が高く、濡れやトライボロジーに大きな影響を持つ。本研究は、電気化学的な水素や酸素発生に関わるナノ気泡を調べた。過電圧が少なく程々乱れた電極表面には水素ナノ気泡が観測された。ところが、4電子4プロトン移動を経由する複雑な素過程を持つ酸素発生反応ではナノ気泡は観測されなかった。ナノ気泡は、平衡から離れた界面では観測されないことが判った。

研究成果の概要(英文)：Nanobubbles at electrode were investigated. At hydrogen evolution platinum electrode, the density of the bubbles was minimum at both atomically flat single crystal and fractal platinumized platinum surface. The maximum density was obtained at moderately roughened surface. At ZnO electrode, the nanobubbles were located at positively charged surface state, where the atomic arrangements were deformed. The hydration profile was different between with and without the bubbles. For the oxygen evolution reaction (OER), the nickel LDH (layered double hydroxide) was the best electrocatalyst on copper electrode. The over potential for OER was almost zero at NiLDH/Cu electrode. The reaction proceeded around the edge of the NiLDH (triple phase line). However, the oxygen nano-bubbles were not observed and do not affect the reaction. The effect of nanobubble is smaller than the surface bond formation and cleavage, which affected much by magnetic field.

研究分野：物理化学 表面界面

キーワード：ナノ気泡 電気化学的水素発生反応 電気化学的酸素発生反応 白金電極 N型酸化亜鉛電極 ニッケル層状複水和物 電極触媒 表面準位

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。

1. 研究開始当初の背景

気体が飽和した水溶液に、固体を漬けると固液界面にナノメートルサイズの微小気泡が発生する。この事実は、21世紀初頭に発見された比較的新しい現象である。気泡径が小さいほど表面張力による押し潰し効果（ラプラス圧）が増加するので、気泡の力学的安定性は減少し、生成した気泡の寿命はマイクロ秒を超えない。しかしながら、多種多様な測定から、気泡寿命は1日以上と報告されているため、100万倍以上の齟齬が、理論と実験を隔てている。本研究では、白金単結晶を電気化学的に制御した原子的に再現性良く定義された表面を用い、表面からナノメートル領域を周波数変調原子間力顕微鏡(fmAFM)により観察し、原子配列の変化に伴う近距離・長距離の「水和構造」を原子・分子分解能で精査して、ナノ気泡の発生と安定性の謎の解明を目指す。

ナノ気泡の存在は、異なる分野・検出手法で報告されているが、気泡安定性の合理的な原因は明らかでない。甚だしくは、「不純物の混入による気液界面の汚染が安定性の起源」という主張もある。表面清浄性を電気化学的に保証して、ナノ気泡の形状を原子分解能で、近距離(STM) 遠距離(AFM)測定をおこない、ナノ気泡の生成機構の解明を目指す。

水素ナノ気泡はステップあるいは、原子的に平坦性の欠陥上に存在する確率が高いと推定できる。原子的に平坦な Pt(111)電極表面を徐々に粗らし、極限粗面として白金黒電極を用いて、水素ナノ気泡密度を測定する。白金黒を3次元パーコレーションクラスター(DLA: diffusion limited aggregate)と仮定すると、フラクタル次元は、2.52となる。白金黒電極は、2次元と3次元の中間に当たる性質を持っている。また、IUPACは、標準水素電極には白金黒電極を用いるように勧告している。これは、経験的に、水素電極電位の再現性が高い事実を反映したものであり、白金黒使用勧告の化学的根拠は明らかでない。

白金黒上での水素ナノ気泡密度を見積もる目的で、Pt(111)、白金多結晶、白金黒を用いて気泡密度を測定した。電極面積で規格化すると、水素ナノ気泡密度は、「白金黒」と「原子的に平坦な Pt(111)」で、ほぼ同様となった。水素ナノ気泡が水素電極電位の揺らぎの原因ならば、白金黒電極は Pt(111)と同様に、極めて再現性の高い電位を与えるはずである。白金黒は、白金イオンからの電気メッキで作成でき、Pt(111)に比べ作成が容易で、電位の再現性が同程度に高い理想の電極と言える。

2. 研究の目的

酸性およびアルカリ性水溶液中に付けたZnO(0001)面での水素ナノ気泡と水和・表面構造について実験をおこなった。ZnO表面の正に帯電した表面準位上で、ナノ気泡が観察され、同時に溶媒和水のZ方向の分布を観測した。

ニッケル層状複水和物を電極触媒としたアルカリ水溶液中の酸素発生反応でナノ気泡の寄与の解明を目指した。

3. 研究の方法

(1) ZnO(0001) Zn 終端面

ZnO(0001) Zn 終端面を塩基および酸でエッチングして、その表面の原子間力顕微鏡観察を

行った。塩基エッチングは、3 M NaOH水溶液で20分間エッチングし、0.1M KCl水溶液に置換して、原子間力顕微鏡観察を行った。酸性エッチングは、0.1M KCl・0.1M HCl水溶液で、20分間エッチングを行い、そのまま溶液を置換せず表面観察を行った。それぞれ、開回路状態で表面計測を行った。塩基エッチング条件で、広領域観測を行うと、一辺が100 nmの正三角形のテラスが観測された。この表面の高分解能観測を行うと、2nm 間隔の畝状構造が得られた。この表面で、Z方向の力を計測し、X-Zのマッピングを行うと、Z方向に水和構造と思われる周期パターンが測定された。酸性エッチングで広領域観測を行うと、3-4 nm間隔で段々畑状にテラスが観測される領域と、当該構造が観測されない領域が混在した。テラス表面を高分解観測しても、原子像は測定できなかった。X-Y平面中に原子像が観測されないにもかかわらず、Z方向の観測結果には、X方向に依存した周期構造が観測された。電位規正条件で表面計測を行ったところ、酸性条件で水素発生開始電位（フラットバンド電位から1.3V負電位）に電極電位を保持すると、開回路時に得られた段々畑構造のテラス間隔が大きく伸長して、かつ、水素ナノ気泡と思われる像が獲られた（図1）。

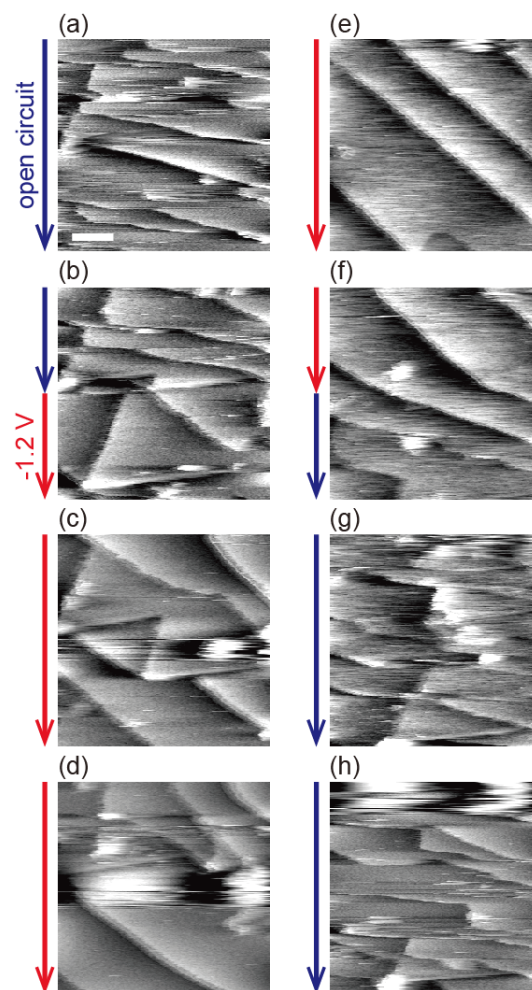


図1 酸性水溶液中での ZnO(0001) Zn 面の原子配列の乱れ（開回路状態）と負電位印加による整列した原子配列

(2) ニッケル層状複水和物を電極触媒として担持した銅電極のアルカリ水溶液中の酸素発生反応

酸性溶液中での水素発生反応と、アルカリ性溶液中での酸素発生反応は、ともに溶媒（水）の分解による気体発生反応であるが、その機構は大きく異なる。水素発生反応は、白金電極表面で可逆に進む2電子2プロトン過程であり、活性化障壁はほぼゼロで反応が進行する。一方、アルカリ水溶液中の酸素発生反応は、4プロトン4電子移動反応であり、通常活性化障壁が高く、過電圧の大きな電気化学反応と言える。また、表面での化学結合の生成と破壊を繰り返し反応が進行するため、酸素発生と酸素還元は可逆な化学過程ではない。本研究では、第1周期遷移金属を用いた層状複水和物が、アルカリ水溶液からの酸素発生に優れた電極触媒効果を示すことを基に、過電圧を極小にする電極と触媒の検索をおこなった。その結果、ニッケル層状複水和物、あるいは、鉄をドーブしたニッケル層状複水和物を担持した銅電極で、ほぼ過電圧ゼロで酸素発生が進む事を見いだした。この電極系を用いて、酸素発生反応におけるナノ気泡の効果を検討した。

4. 研究成果

(1) ZnO(0001) Zn 終端面に於けるナノ気泡

アルカリ性水溶液中のZnO表面は、真空中の表面原子配置とほぼ同じ配置をとり、ナノ気泡は観測されなかった。一方、酸性水溶液中では、ZnOの表面原子配置が不規則に乱れた配置をとる場合があり、この時、この乱れた領域の表面は表面禁制帯中に正電荷を補足した表面準位であると考えられた。ナノ気泡は、この正に帯電した乱れた表面上で観測された。また、この乱れた表面構造を持つ電極を負電位に保持して、表面準位に電子を捕獲させ中性に変化させると、表面原子配置は整然とした構造に変化して、ナノ気泡も消滅した。図1は酸性水溶液中における乱れた原子配列（開回路状態）と、-1.2Vの電圧を加え、表面電子を蓄積により原子配列が整列する状態を示した図である。開回路状態では、表面原子配列に規則性がなく乱れている。この時、モットショットキー静電容量測定から、乱れた原子配列が観測される状態で、禁制帯に正電荷が捕獲されていることが判った。つまり、乱れた原子配列を示す領域は表面に局在した電子状態を有し、表面準位として機能している。

ここで、負電位印加状態の整列した原子配列上と、開回路状態の乱れた原子配列上の水和構造（z軸方向の力分布）を測定して、図2、3に示した。

図2では、x-y平面に並んだ水和面がz軸方向に周期構造を示している。これは通常観測される固液界面の水和構造と同じである。図3は、表面原子が乱れた平面上の水和構造を示している。図2とは異なり、z方向の繰り返しは明瞭に観察されていない。また、表面最近接部には構造の不明なガスと思われる層が観測された。これらの事実を総合すると、表面原子配置が乱れて正の表面電荷を有する表面準位上に、ナノ気泡が捕獲され、水和構造を破壊していると結論づけられる。ナノ気泡は、表面に局在する正電荷に水素ガスが捕獲され、乱れた水和構造の中で安定に存在していると考えられる。

(2) ニッケル層状複水和物担持銅電極上での酸素発生

水からの水素発生とは異なり、酸素発生の機構は極めて複雑である。いくつかの試行錯誤の末、Ni層状複水和物(NiLDH)を担持した銅電極で、アルカリ水溶液中過電圧がほぼゼロの酸素発生を行う系を見いだした（図4）。

本系において、酸素ナノ気泡の影響を調べた。酸素発生反応は、銅とニッケル層状複水和物および、アルカリ性水溶液の3相が接する3重線が活性点であると推定できた。しかし、酸

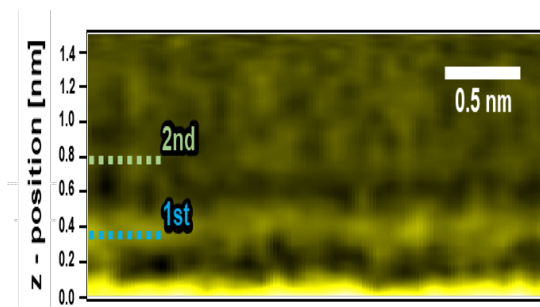


図 2 整列した表面原子配列を持つ ZnO(0001) 面上の水和構造(アルカリ水溶液)

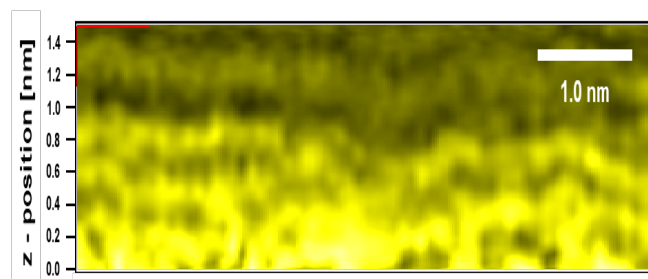


図 3 乱れた表面原子配列を持つ ZnO(0001) 面上の ナノ気泡と乱れた水和構造(酸性水溶液)

素ナノ気泡が反応に及ぼす影響は、ほぼゼロであった。

研究の背景で示した水素発生における水素ナノ気泡と対比すると、可逆な水素電極反応に及ぼすナノ気泡の影響は0.1eV程度であると言える。酸素発生に到る律速障壁は、0.1eV よりも十分に大きく、このため、酸素発生反応に関しては、酸素ナノ気泡が反応に影響を与えることが

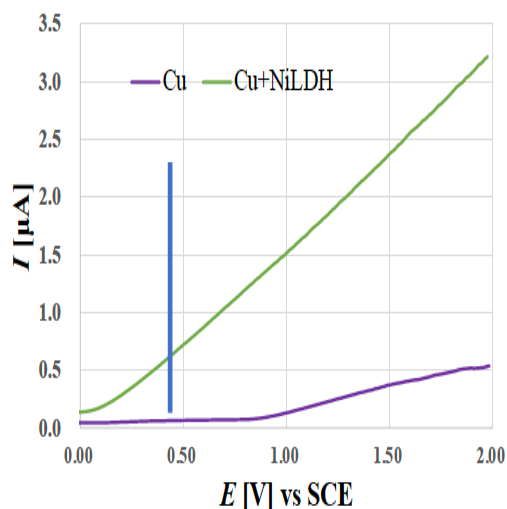


図4 NiLDH/Cu 電極と Cu 電極における酸素発生

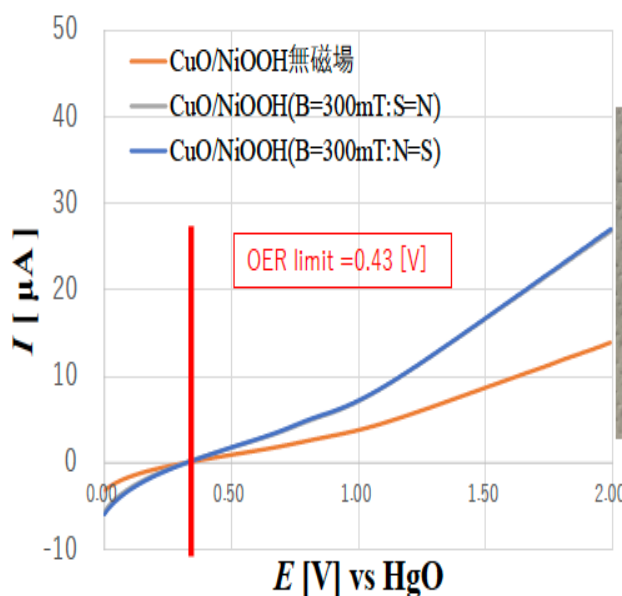


図5 Cu/NiLDH 電極における酸素発生と磁場による酸素発生電流の増加

無いと結論できた。

さらにCu/NiLDH電極の酸素発生に300mTの磁場を加えると磁場の方向にかかわらず、図5のように酸素発生電流が増加した。以上の事実を総合すると、Cu/NiLDH電極における酸素発生の律速段階は、隣接する酸素ラジカル間のスピン反転再結合と考えられる。外部磁場は、酸素ラジカル再結合のスピン並行化に寄与して、活性化障壁を低減したと考えられる。発生する酸素により、電極近傍は酸素濃度過飽和になるため、酸素ナノ気泡が発生すると考えられる。しかし、ナノ気泡からのエネルギー増減は0.1eVと小さく、さらに、酸素発生反応は水素発生とは異なり、可逆な反応では無いため、ナノ気泡は酸素発生に影響を持たなかったと結論された。

(3) 電気化学反応に及ぼすナノ気泡の効果

研究全体をふり返ると、電気化学における気体発生反応で電極表面にはナノ気泡が発生する。気泡は、電極表面の電荷不均一の表面状態に捕獲され、気泡周囲の溶媒和構造が変化し、電極表面と溶媒和の両者から安定化され長寿命を保つ。しかしながら、ナノ気泡が電極反応に与える効果は限定的であり、可逆なゼロ過電圧水素発生において0.1V程度である。活性化障壁の大きな酸素発生反応においては、過電圧をゼロに近づけても、酸素ナノ気泡が反応に影響を与えることは無かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Samejima Yudai, Kobayashi Naritaka, Nakabayashi Seiichiro	4. 巻 23
2. 論文標題 Polar zinc oxide surface in electrolyte solutions: an atomic view of reconstruction, hydration and surface states	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 18349 ~ 18358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP02371C	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 Putra Ridwan P., Samejima Yudai, Nakabayashi Seiichiro, Horino Hideyuki, Rzeznicka Izabela. I.	4. 巻 388-389
2. 論文標題 Copper-based electrocatalyst derived from a copper chelate polymer for oxygen reduction reaction in alkaline solutions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 360 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2020.06.005	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 Takahashi Hozumi, Yamaji Mayu, Ikeyama Jun, Nakajima Makoto, Kitahara Hideaki, Tetsukawa Syouei, Kobayashi Naritaka, Maruyama Mihoko, Sugiyama Teruki, Okada Shuji, Mori Yusuke, Nakabayashi Seiichiro, Yoshimura Masashi, Yoshikawa Hiroshi Y.	4. 巻 125
2. 論文標題 Growth Enhancement of Organic Nonlinear Optical Crystals by Femtosecond Laser Ablation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8391 ~ 8397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c10636	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 Kashiwagi Kentarou, Hattori Tamon, Samejima Yudai, Kobayashi Naritaka, Nakabayashi Seiichiro	4. 巻 123
2. 論文標題 Hydrogen Nanobubbles at Roughness-Regulated Surfaces: Why Does the Standard Hydrogen Electrode Need a Platinized Platinum Electrode?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7416 ~ 7424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b11648	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 Takahashi Hozumi, Sugiyama Teruki, Nakabayashi Seiichiro, Yoshikawa Hiroshi Y.	4. 巻 14
2. 論文標題 Crystallization from glacial acetic acid melt via laser ablation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 045503 ~ 045503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abf053	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 Togo Shodai, Sato Ken, Kawamura Ryuzo, Kobayashi Naritaka, Noiri Makoto, Nakabayashi Seiichiro, Teramura Yuji, Yoshikawa Hiroshi Y.	4. 巻 4
2. 論文標題 Quantitative evaluation of the impact of artificial cell adhesion via DNA hybridization on E-cadherin-mediated cell adhesion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Bioengineering	6. 最初と最後の頁 016103 ~ 016103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5123749	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 Kobayashi Naritaka, Togo Shodai, Matsuzaki Takahisa, Hashiseko Kaede, Kawamura Ryuzo, Suganuma Masami, Nakabayashi Seiichiro, Yoneyama Yosuke, Ouchi Rie, Takebe Takanori, Yoshikawa Hiroshi Y.	4. 巻 13
2. 論文標題 Stiffness distribution analysis in indentation depth direction reveals clear mechanical features of cells and organoids by using AFM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 097001 ~ 097001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abaeb5	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 Meguriya Keisuke, Kikuchi Shiori, Kobayashi Naritaka, Yoshikawa Hiroshi Y., Nakabayashi Seiichiro, Kawamura Ryuzo	4. 巻 58
2. 論文標題 Reversible surface functionalization of motor proteins for sustainable motility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDD101 ~ SDD101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab17ca	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 Loukanov Alexandre, Angelov Anatoliy, Takahashi Yuki, Nikolov Ivan, Nakabayashi Seiichiro	4. 巻 574
2. 論文標題 Carbon nanodots chelated with metal ions as efficient electrocatalysts for enhancing performance of microbial fuel cell based on sulfate reducing bacteria	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 52 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2019.04.067	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 Wu Chi-Shiun, Ikeyama Jun, Nakabayashi Seiichiro, Sugiyama Teruki, Yoshikawa Hiroshi Y.	4. 巻 123
2. 論文標題 Growth Promotion of Targeted Crystal Face by Nanoprocessing via Laser Ablation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 24919 ~ 24926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b06878	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 Alexandre Loukanov, Svetla Nikolova, Chavdar Filipov, Seiichiro Nakabayashi	4. 巻 66
2. 論文標題 Nanomaterials for cancer medication: from individual nanoparticles toward nanomachines and nanorobots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Pharmacia	6. 最初と最後の頁 147-156
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 該当する

1. 著者名 Umemoto Megumi, Kawamura Ryuzo, Yoshikawa Hiroshi Y., Nakabayashi Seiichiro, Kobayashi Naritaka	4. 巻 59
2. 論文標題 Simultaneous atomic-resolution flexural and torsional imaging in liquid by frequency modulation atomic force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 S11101 ~ S11101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7479	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 Loukanov Alexandre, Nikolova Svetla, Filipov Chavdar, Nakabayashi Seiichiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Metabolic labeling of Escherichia coli genomic DNA with erythrosine-11-dUTP for functional imaging via correlative microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microscopy Research and Technique	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jemt.23487	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 Fernando Favela-Rosales, Arturo Galvan-Hernandez, Jorge Hernandez-Cobos, Naritaka Kobayashi, Mauricio D. Carbajal-Tinoco, Seiichiro Nakabayashi, Ivan Ortega-Blake	4. 巻 257
2. 論文標題 A molecular dynamics study proposing the existence of statistical structural heterogeneity due to chain orientation in the POPC-cholesterol bilayer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biophysical Chemistry	6. 最初と最後の頁 106275 ~ 106275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bpc.2019.106275	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 Arturo Galvan-Hernandez; Naritaka Kobayashi; Jorge Hernandez-Cobos; Armando Antillon; Seiichiro Nakabayashi; Ivan Ortega Blake	4. 巻 1862
2. 論文標題 Morphology and dynamics of domains in ergosterol or cholesterol containing membranes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes	6. 最初と最後の頁 183101 ~ 183101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbamem.2019.183101	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 El Allaoui Nouha, Omor Anass, Elmadani Fatima Zahra, Bouayad Kenza, Nakabayashi Seiichiro, Loukanov Alexandre	4. 巻 1
2. 論文標題 Semi industrial remediation of effluents polluted by the artisanal activities through bipolar electrocoagulation with aluminum sacrificial electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water and Environment Journal	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/wej.12581	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 Alexandre Loukanov, Polina Mladenova, Svetlin Toshev, Asen Karailiev, Elena Ustinovich, Seiichiro Nakabayashi	4. 巻 81
2. 論文標題 Real time monitoring and quantification of uptake carbon nanodots in eukaryotic cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microsc. Res. Tech.	6. 最初と最後の頁 1541-1547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jemt.23161	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 Kobayashi, Naritaka; Maruyama, Mihoko; Mori, Yoichiro; Fukukita, Suguru; Adachi, Hiroaki; Takano, Kazufumi; Murakami, Satoshi; Matsumura, Hiroyoshi; Inoue, Tsuyoshi; Yoshimura, Masashi; Nakabayashi, Seiichiro; Mori, Yusuke; Yoshikawa, Hiroshi	4. 巻 122
2. 論文標題 Atomic-Scale Imaging of Surface and Hydration Structures of Stable and Metastable Acetaminophen Crystals by Frequency Modulation Atomic Force Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 21983-21990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b06928	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 Yuki Takahashi, Takashi Fujihara, Naritaka Kobayashi, Seiichiro Nakabayashi, Zsombor Miskolczy, Laszlo Biczok	4. 巻 708
2. 論文標題 Electron transfer kinetics of methylviologen included in 4-sulfonatocalix[n]arenes at glassy carbon electrode; adiabaticity and activation energy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 222-227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2018.08.005	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 Zsombor Miskolczy, Yuki Takahashi, Naritaka Kobayashi, Seiichiro Nakabayashi, Alexandre Loukanov, Laszlo Biczok	4. 巻 552
2. 論文標題 Self-Assembly of Anionic Pyrene Derivatives with Cationic Surfactants Bearing a Tetradecyl Chain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Colloid Surface A	6. 最初と最後の頁 161-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colSurfa.2018.05.018	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 Daiki Suzuki, Seiichiro Nakabayashi, Hiroshi Y. Yoshikawa	4. 巻 18
2. 論文標題 Control of Organic Crystal Shape by Femtosecond Laser Ablation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4829-4833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.8b00697	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 Alexandre R. Loukanov, Alexei G. Basnakian, Ryuzo Kawamura, Hibiki Uono, Chavdar K. Filipov, Alena V. Savenka, Todd Fite, Seiichiro Nakabayashi	4. 巻 122
2. 論文標題 Light-Powered Nanoconverters Cytotoxic to Breast Cancer Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J.Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7916-7924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b11779	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 Alexandre Loukanov, Polina Mladenova, Svetlin Toshev, Hibiki Uono, Seiichiro Nakabayashi	4. 巻 81
2. 論文標題 Visualization of the native shape of bodipy-labeled DNA in Escherichia coli by correlative microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy research & Techniques	6. 最初と最後の頁 267-274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jemt.22975	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0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

中林・吉川研究室
<http://park.saitama-u.ac.jp/~nakabayashi-lab/index.php?FrontPage>

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	小林 成貴 (Kobayashi Naritaka) (40595998)	滋賀県立大学・工学部・准教授 (24201)	

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