

令和 6 年 9 月 18 日現在

機関番号：12701

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05816

研究課題名（和文）蓄電固体界面の機能開拓と界面新材料開発

研究課題名（英文）Development of New Solid State Ionics Materials through Design of Functional Interface

研究代表者

藪内 直明（Yabuuchi, Naoaki）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：80529488

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 158,400,000円

研究成果の概要（和文）：蓄電材料と蓄電池の高性能化を目指し、蓄電固体界面とその現象について詳細な研究を行った。その結果、従来と比較して高濃度の電荷蓄積を実現する新しい電極材料の開発に成功した。また、超高速イオン輸送を実現する新しい固体電解質の発見にも成功し、さらに、実用的な全固体電池においてキーマテリアルとなる、体積変化を生じない電池材料の発見に成功した。硫化物系固体電解質と組み合わせた全固体電池を作製し、実際に外部拘束圧をかけない全固体電池作動が可能であることを初めて立証した。これらの蓄電材料とその界面における現象の理解は将来の蓄電池高性能化に繋がることが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来的な脱炭素社会実現には蓄電池の高性能化が必要不可欠であり、また、夢の電池として全固体電池を上げることができる。本研究課題では蓄電固体界面をキーワードに様々な電池材料開発を進め、多くの新しい材料開発に成功した。さらに、実用的な全固体電池実現の鍵となる電極材料の体積変化を生じないという材料の開発にも成功した。これまで、全固体電池の課題として寿命向上が課題であったが、体積不変の材料を用いることで、従来の液系リチウムイオン電池よりも長寿命な電池ができることが確認された。これらの発見は将来的な脱炭素社会の実現に大きく寄与する成果であるといえる。

研究成果の概要（英文）：To develop advanced batteries and electrode materials, detailed studies on science of electrode materials and interfaces with electrolytes have been conducted. New electrode materials with higher charge carrier density have been successfully found. A new solid electrolyte with superior ionic conductivity has been also developed. Moreover, a key material to realize practical all-solid-state batteries, which is a near dimensionally invariable high capacity electrode material, has been obtained, and the operation of all-solid-state batteries without external pressure is experimentally proved. These findings for battery materials and interfaces with electrolytes result in the development of high-performance batteries in the future.

研究分野：エネルギー化学

キーワード：蓄電池

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、脱炭素社会の実現を目指して自動車の電動化などが急速に進行している。その鍵となる技術が蓄電池であり、その内部で使われている蓄電固体材料である。固体と固体が接合すると、その界面近傍で固体本来(バルク)の性質とは異なる全く新しい機能が生じる。電子とホールが電荷キャリアとして存在する半導体では、p型とn型の半導体が接合すると、フェルミ準位( $E_F$ )が一定となるよう、界面で電荷が僅かに移動してバンド屈曲した空間電荷層が形成される。この界面でのキャリア変調は、スイッチングや非線形抵抗、光電変換、界面容量として電子デバイスに広く応用されているが、このような界面現象の全容解明には至っていない。これらの学術的理解が進めば、今後、蓄電池の高性能化に繋がることが期待できる。

### 2. 研究の目的

本学術領域は、蓄電材料界面における学理を構築することで、全固体電池などの産業競争力強化に資する次世代固体イオンデバイス設計指針を明確化すると同時に、革新的な駆動原理に基づく固体デバイスの開拓まで狙うものである。特に A04 班では蓄電固体材料中の界面・粒界構造が蓄電固体材料のイオン輸送・イオン蓄積特性に影響する因子についての理解と、学術的な理論の確立を目指して研究を実施する。具体的には各種のナノ界面構造の違いが蓄電固体界面の機能の発現に及ぼす影響について検討(藪内・喜多條)、また、同様に非晶質界面材料についての研究(林)、さらに、アニオンレドックス現象について詳細に検討し、固体電解質と蓄電材料の界面安定性に影響する因子の解明に繋げる(大久保・藪内)。また、これら現象を他のイオンデバイスの応用に展開し、新しい蓄電固体デバイスを提案する(菅)。

### 3. 研究の方法

各種の材料の合成は固相焼成法、メカニカルミリング、液相合成、イオン交換法など材料の特徴に合わせ、様々な手法を取り入れて実施した。また、これら材料の同定は X 線・中性子結晶構造解析、X 線全散乱測定、ラマン分光法、各種走査型・透過型電子顕微鏡などにより観察を行った。また、定電流充放電試験、交流インピーダンス測定などの手法により電気化学特性について評価を行った。また、電気化学セルの作製に用いる電解質としては非水系有機溶媒に加え、硫化物系固体電解質による評価を行った。

### 4. 研究成果

#### 高密度電荷蓄積を可能とする材料開発(藪内・大久保)

これまで、資源が豊富なマンガンをベースに構成された、従来材料と比較して 1.5 倍の高エネルギー密度が得られるアニオンレドックス系材料(従来の材料は遷移金属イオン、つまりカチオン種が酸化還元反応を示すが、骨格構造である酸化物イオンの酸化還元反応を利用する材料群)を開発してきたが、研究初期の段階では可逆性の低さやイオン輸送速度が遅く、高温でのみ高エネルギー密度が得られていた。そこで、界面・欠陥構造に着目して研究を進め、材料の欠陥濃度の増加により、反応の可逆性向上が可能であり、室温で高エネルギー密度が得られることを藪内が立証した(*Advanced Energy Materials*, 2024)。さらに、酸化物だけではなく、酸フッ化物材料でも同様に可逆性の高い材料の発見にも成功した(*ACS Energy Letters*, 2023)。また、アニオンレドックスの制御は固体電解質設計への応用が期待でき、固体電解質と電極材料界面における副反応を考える上で重要な知見であるが、実際にその反応機構について大久保が酸素の二量体形成の抑制が鍵であることを発見した(*Energy & Environmental Science* (2022) 計 A04+計 A03 連携成果)。また、藪内はバナジウム系岩塩型材料において界面濃度を向上させた材料を利用することで体積不変の材料を開発し、全固体電池用正極材料として界面構造の安定化が可能であり非常に有望であることを明らかにした(*Nature Materials* (2023) 計 A04+計 A02 連携成果)。また、外部連携機関として LIBTEC と協力して実際に外部拘束圧をかけることなく、全固体電池作動することを立証し、実用的な全固体電池実現の可能性を世界で初めて立証した。また、大久保は負極系でも同様に体積変化が少ない材料を開発に成功している(論文投稿中)。

#### 非晶質・低結晶性材料の開発(林・喜多條)

林はこれまでに硫化物系固体電解質において、様々な組成の材料を検討しており、その成果として、リチウム系よりも優れたイオン伝導率を示すナトリウム系硫化物系固体電解質の発見に世界で初めて成功している(*Nature Communications*, 2019)。ナトリウムイオン電池は低コスト電池システムとして期待されていたが、室温でも高い固体電解質の発見は重要な成果である。林はさらに、硫化物材料合成時の加熱工程を再検討することで、超高速でリチウムイオンが伝導する材料も発見し、全固体電池用電解質として有用であることを報告している(*Journal of American Chemical Society*, 2023)。喜多條は LiF-LiCrO<sub>2</sub> 系の酸フッ化物系高濃度材料を合成し、界面構造と蓄電特性の相関性を解明することに成功した(*Journal of Physical Chemistry C* (2023) 計 A04+計 A02 連携成果)。

**新しい蓄電固体デバイスの開発 (菅)**

菅は薄膜を利用し、固体高分子型プロトン伝導体であるナフィオンを用い、電気化学的なプロトン挿入により材料の磁気特性を制御可能であることを報告している (*Journal of Solid State Electrochemistry*, 2024)。このような現象は新規蓄電固体デバイスへの応用展開なども期待できる研究成果である。

このように一部の成果を抜粋して紹介したが、2019-2024年の期間に雑誌論文は計84件(そのうち、連携成果28件)報告しており、また、招待講演も87件行われている。さらに、産業財産権も計31件が出願され、非常の多くの研究成果の創出に繋がったといえる。

**【公募研究】**

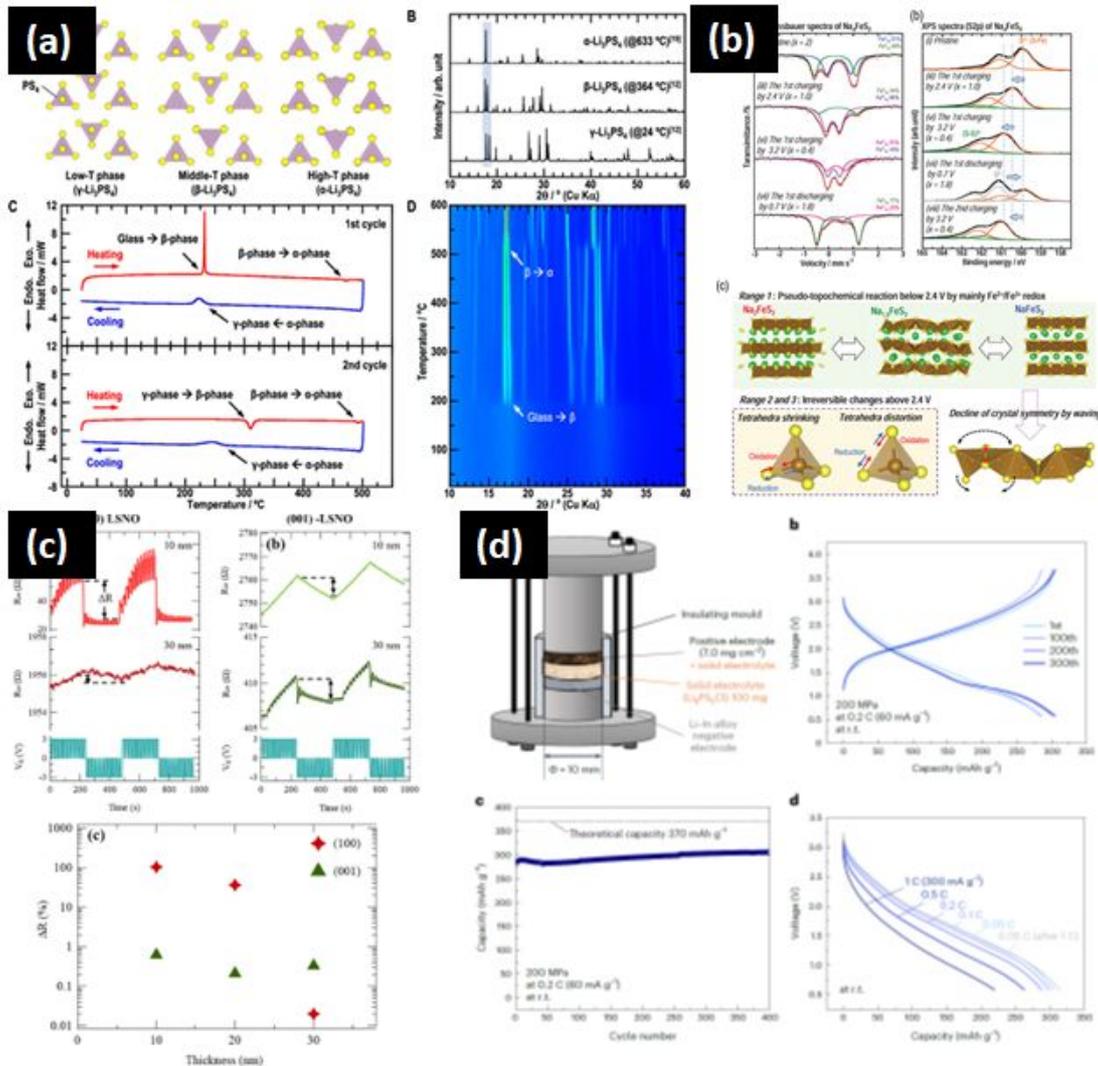
**蓄電固体界面材料を用いた磁性的制御とスピントロニクス固体デバイスへの応用 (土屋)**

土屋はFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>のような強磁性体と固体電解質を積層した固体デバイスを作製し、電気化学的なイオン挿入により磁気モーメントを可逆的に変化させることに成功し、低消費電力での磁性制御に成功している。 (*Nano Letters*, 2024)

**有機結晶材料からなるイオン導電体 (畠山)**

畠山は有機結晶体に関して系統的な実験とインフォマティクスを使ったデータ解析によりリチウムイオン伝導体の発見に成功した。 (*npj Computational Materials*, 2022)

他、公募研究を実施した研究者からは雑誌論文計37件が報告されている。



図：A04 班研究成果ハイライト (a) 超イオン伝導材料の新合成プロセス確立 (林) (b) 鉄系アニオンレドックス材料の反応機構解明 (大久保) (c) 電気化学反応を用いた磁性的制御 (菅) (d) 無体積変化の材料発見と全固体電池応用 (藪内 + LIBTEC 連携成果)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 FUJITA Yushi, KAWASAKI Yusuke, INAOKA Takeaki, KIMURA Takuya, SAKUDA Atsushi, TATSUMISAGO Masahiro, HAYASHI Akitoshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Amorphous Li120-Li1 Solid Electrolytes Compatible to Li Metal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 334 ~ 336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00049	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 Sato Takuro, Yoshikawa Kazuki, Zhao Wenwen, Kobayashi Tokio, Rajendra Hongahally Basappa, Yonemura Masao, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 2021
2. 論文標題 Efficient Stabilization of Na Storage Reversibility by Ti Integration into O3-Type NaMnO2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy Material Advances	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34133/2021/9857563	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 TSUJI Fumika, HOH Kah Loong, KIM Kwang Hyun, SAKUDA Atsushi, TATSUMISAGO Masahiro, MARTIN Steve W., HAYASHI Akitoshi	4. 巻 129
2. 論文標題 Solid electrolytes Na10+xSn1+xP2-xS12 prepared via a mechanochemical process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 323 ~ 328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.21010	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 Uematsu Hideshi, Ishiguro Nozomu, Abe Masaki, Takazawa Shuntaro, Kang Jungmin, Hosono Eiji, Nguyen Nguyen Duong, Dam Hieu Chi, Okubo Masashi, Takahashi Yukio	4. 巻 12
2. 論文標題 Visualization of Structural Heterogeneities in Particles of Lithium Nickel Manganese Oxide Cathode Materials by Ptychographic X-ray Absorption Fine Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 5781 ~ 5788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01445	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 Ikeda Naohiro, Konuma Itsuki, Rajendra Hongahally Basappa, Aida Taira, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 9
2. 論文標題 Why is the O3 to O1 phase transition hindered in LiNiO2 on full delithiation?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 15963 ~ 15967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TA03066C	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 Tsuji Fumika, Nasu Akira, Sakuda Atsushi, Tatsumisago Masahiro, Hayashi Akitoshi	4. 巻 506
2. 論文標題 Mechanochemical synthesis and characterization of Na <sub>3-x</sub> P <sub>1-x</sub> S <sub>4</sub> solid electrolytes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 230100 ~ 230100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2021.230100	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 Campeon Benoit Denis Louis, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Fundamentals of metal oxide/oxyfluoride electrodes for Li-/Na-ion batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Physics Reviews	6. 最初と最後の頁 041306 ~ 041306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0052741	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 Yun Jeongsik, Sagehashi Ryota, Sato Yoshihiko, Masuda Takuya, Hoshino Satoshi, Rajendra Hongahally Basappa, Okuno Kazuki, Hosoe Akihisa, Bandarenka Aliaksandr S., Yabuuchi Naoaki	4. 巻 118
2. 論文標題 Nanosized and metastable molybdenum oxides as negative electrode materials for durable high-energy aqueous Li-ion batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2024969118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2024969118	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 Yang Seunghoon, Yamamoto Kentaro, Mei Xiaohan, Sakuda Atsushi, Uchiyama Tomoki, Watanabe Toshiki, Takami Tsuyoshi, Hayashi Akitoshi, Tatsumisago Masahiro, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 5
2. 論文標題 High Rate Capability from a Graphite Anode through Surface Modification with Lithium Iodide for All-Solid-State Batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 667 ~ 673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c03166	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 Qi Ruijie, Konuma Itsuki, Campeon Benoit D. L., Kaneda Yuko, Kondo Masashi, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Highly Graphitic Carbon Coating on Li <sub>1.25</sub> Nb <sub>0.25</sub> V <sub>0.50</sub> Derived from a Precursor with a Perylene Core for High-Power Battery Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1946 ~ 1955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c04426	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 Shinoda Miyuki, Rajendra Hongahally Basappa, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 5
2. 論文標題 Rocksalt and Layered Metal Sulfides for Li Storage Applications: LiMe <sub>0.5</sub> Ti <sub>0.5</sub> S <sub>2</sub> (Me = Fe <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , and Mg <sup>2+</sup> )	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 2642 ~ 2646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c04044	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 Isoda Yosuke, Kan Daisuke, Ogura Yumie, Majima Takuya, Tsuchiya Takashi, Shimakawa Yuichi	4. 巻 120
2. 論文標題 Electrochemical control and protonation of the strontium iron oxide SrFeO <sub>y</sub> by using proton-conducting electrolyte	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 091601 ~ 091601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0083209	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 QI Ruijie, CAMPEON Benoit D. L., KONUMA Itsuki, SATO Yoshihiko, KANEDA Yuko, KONDO Masashi, YABUUCHI Naoaki	4. 巻 90
2. 論文標題 Metastable and Nanosized Li <sub>1.2</sub> Nb <sub>0.2</sub> V <sub>0.6</sub> O <sub>2</sub> for High-Energy Li-ion Batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 037005 ~ 037005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.22-00005	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 Yabuuchi Naoaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Rational material design of Li-excess metal oxides with disordered rock salt structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Opinion in Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 100978 ~ 100978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coelec.2022.100978	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 Ando Taka, Sakuda Atsushi, Tatsumisago Masahiro, Hayashi Akitoshi	4. 巻 116
2. 論文標題 All-solid-state sodium-sulfur battery showing full capacity with activated carbon MSP20-sulfur-Na <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub> composite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 106741 ~ 106741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2020.106741	査読の有無 無
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 Suzuki Ikumi, Kan Daisuke, Kitamura Miho, Shen Yufan, Horiba Koji, Shimakawa Yuichi	4. 巻 127
2. 論文標題 Influence of oxygen vacancies on magnetic properties of perpendicularly magnetized NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> epitaxial thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 203903 ~ 203903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0008173	査読の有無 無
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 Kan Daisuke, Mizumaki Masaichiro, Kitamura Miho, Kotani Yoshinori, Shen Yufan, Suzuki Ikumi, Horiba Koji, Shimakawa Yuichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Spin and orbital magnetic moments in perpendicularly magnetized Ni <sub>1-x</sub> Co <sub>2+y</sub> O <sub>4</sub> epitaxial thin films: Effects of site-dependent cation valence states	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 6 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.224434	査読の有無 無
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 Hamaguchi Motoyuki, Momida Hiroyoshi, Kitajou Ayuko, Okada Shigeto, Oguchi Tamio	4. 巻 354
2. 論文標題 Suppression of O-redox reactions by multivalent Cr in Li-excess Li <sub>2.4</sub> MO <sub>0.8</sub> MO <sub>0.8</sub> O <sub>4</sub> (M, M' = Cr, Mn, and Ti) cathodes with layered and cation-disordered rock-salt structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 136630 ~ 136630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.136630	査読の有無 無
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 Shen Yufan, Kan Daisuke, Lin I-Ching, Chu Ming-Wen, Suzuki Ikumi, Shimakawa Yuichi	4. 巻 117
2. 論文標題 Perpendicular magnetic tunnel junctions based on half-metallic NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 042408 ~ 042408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0017637	査読の有無 無
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 Jalem Randy, Hayashi Akitoshi, Tsuji Fumika, Sakuda Atsushi, Tateyama Yoshitaka	4. 巻 32
2. 論文標題 First-Principles Calculation Study of Na <sup>+</sup> Superionic Conduction Mechanism in W- and Mo-Doped Na <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub> Solid Electrolytes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8373 ~ 8381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c02318	査読の有無 無
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 Kan Daisuke, Suzuki Ikumi, Shimakawa Yuichi	4. 巻 59
2. 論文標題 Influence of deposition rate on magnetic properties of inverse-spinel NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> epitaxial thin films grown by pulsed laser deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 110905 ~ 110905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abc2b2	査読の有無 無
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 Koedtruid Anucha, Amano Patino Midori, Chuang Yu-Chun, Chen Wei-tin, Kan Daisuke, Shimakawa Yuichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Ruddlesden-Popper phases of lithium-hydroxide-halide antiperovskites: two dimensional Li-ion conductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 41816 ~ 41820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra07803d	査読の有無 無
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 Kan Daisuke, Hatano Takafumi, Abe Akihiro, Ikuta Hiroshi, Shimakawa Yuichi	4. 巻 117
2. 論文標題 Metallic transport properties and electrostatic resistance modulations in LaNiO <sub>3</sub> ultrathin channels electrochemically etched in electric-double-layer transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 231602 ~ 231602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0028501	査読の有無 無
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 Sawamura Miho, Kobayakawa Sho, Kikkawa Jun, Sharma Neeraj, Goonetilleke Damian, Rawal Aditya, Shimada Nanaka, Yamamoto Kentaro, Yamamoto Rina, Zhou Yingying, Uchimoto Yoshiharu, Nakanishi Koji, Mitsuhashi Kei, Ohara Koji, Park Jiwon, Byon Hye Ryung, Koga Hiroaki, Okoshi Masaki, Ohta Toshiaki, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 6
2. 論文標題 Nanostructured LiMnO <sub>2</sub> with Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Integrated at the Atomic Scale for High-Energy Electrode Materials with Reversible Anionic Redox	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Central Science	6. 最初と最後の頁 2326 ~ 2338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscentsci.0c01200	査読の有無 無
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 Umezawa Raizo, Tsuchiya Yuka, Ishigaki Toru, Rajendra Hongahally Basappa, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 57
2. 論文標題 P2-type layered Na <sub>0.67</sub> Cr <sub>0.33</sub> Mg <sub>0.17</sub> Ti <sub>0.502</sub> for Na storage applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 2756 ~ 2759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC00304F	査読の有無 無
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 Tsuchimoto Akihisa, Shi Xiang-Mei, Kawai Kosuke, Mortemard de Boisse Benoit, Kikkawa Jun, Asakura Daisuke, Okubo Masashi, Yamada Atsuo	4. 巻 12
2. 論文標題 Nonpolarizing oxygen-redox capacity without O-O dimerization in Na <sub>2</sub> Mn <sub>3O<sub>7</sub></sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 7 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-20643-w	査読の有無 無
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 Okubo Masashi, Ko Seongjae, Dwibedi Debasmita, Yamada Atsuo	4. 巻 9
2. 論文標題 Designing positive electrodes with high energy density for lithium-ion batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 7407 ~ 7421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TA10252K	査読の有無 無
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 Sun Dan, Okubo Masashi, Yamada Atsuo	4. 巻 12
2. 論文標題 Optimal water concentration for aqueous Li <sup>+</sup> intercalation in vanadyl phosphate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 4450 ~ 4454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC04647G	査読の有無 無
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 Yuki, Sawamura Miho, Kondo Sayaka, Harada Maho, Noda Yusuke, Nakayama Masanobu, Kobayakawa Sho, Zhao Wenwen, Nakao Aiko, Yasui Akira, Rajendra Hongahally Basappa, Yamanaka Keisuke, Ohta Toshiaki, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 in-press
2. 論文標題 Activation and stabilization mechanisms of anionic redox for Li storage applications: Joint experimental and theoretical study on Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub> ?LiMnO <sub>2</sub> binary system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Today	6. 最初と最後の頁 in-press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matmod.2020.03.002	査読の有無 無
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 Sudayama Takaaki, Uehara Kazuki, Mukai Takahiro, Asakura Daisuke, Shi Xiang-Mei, Tsuchimoto Akihisa, Mortemard de Boisse Benoit, Shimada Tatau, Watanabe Eriko, Harada Yoshihisa, Nakayama Masanobu, Okubo Masashi, Yamada Atsuo	4. 巻 in-press
2. 論文標題 Multiorbital bond formation for stable oxygen-redox reaction in battery electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 in-press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9EE04197D	査読の有無 無
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 Hayashi A., Masuzawa N., Yubuchi S., Tsuji F., Hotehama C., Sakuda A., Tatsumisago M.	4. 巻 10
2. 論文標題 A sodium-ion sulfide solid electrolyte with unprecedented conductivity at room temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-13178-2	査読の有無 無
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 Tokio, Zhao Wenwen, Rajendra Hongahally Basappa, Yamanaka Keisuke, Ohta Toshiaki, Yabuuchi Naoaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Nanosize Cation Disordered Rocksalt Oxides: Na <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub> -NaMnO <sub>2</sub> Binary System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1902462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201902462	査読の有無 無
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51件（うち招待講演 51件 / うち国際学会 22件）

1. 発表者名 藪内 直明
2. 発表標題 多電子固相酸化還元反応を利用したLiイオン電池用高容量正極材料
3. 学会等名 第112回 新電池構想部会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏, 作田 敦, 辰巳砂 昌弘
2. 発表標題 Development of cation-substituted Na <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub> solid electrolytes
3. 学会等名 2021 MRS Spring Meeting & Exhibit（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機セラミックス材料を用いた全固体電池の研究開発
3. 学会等名 大阪大学フレキシブル3D実装協働研究所 第1回F3D公開講座（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 Ductile Solid Electrolytes for All-Solid-State Batteries
3. 学会等名 Solid-state Batteries 4.0（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 高成形性電解質を用いた全固体電池の界面構築
3. 学会等名 第22回化学電池材料研究会ミーティング（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 高ナトリウムイオン伝導性硫化物電解質の開発
3. 学会等名 電気化学会電池技術委員会第406回委員会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 All-Solid-State Lithium-Sulfur Batteries with Sulfide Electrolytes
3. 学会等名 International Conference on Lithium-Sulfur Batteries（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池の最新技術動向
3. 学会等名 電子情報技術産業協会(JEITA)講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Li-excess Rocksalt-type High-capacity Positive Electrode Materials for Li-ion Batteries
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池の研究開発動向
3. 学会等名 NEDIA第8回SSIS-NEDIA関西シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 硫化物系固体電解質の開発状況と動向
3. 学会等名 電気化学会関東支部「第75回学際領域セミナー 全固体電池研究の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 "Nanostructured High-Capacity Positive Electrode Materials for Li-Ion Batteries
3. 学会等名 240th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Materials design of Li-excess rocksalt oxides for Li storage applications
3. 学会等名 IBA 2021 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏, 作田 敦, 辰巳砂 昌弘
2. 発表標題 Development of Solid Electrolytes Suitable for Interface Formation in All-Solid-State Batteries
3. 学会等名 IBA 2021 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akitoshi Hayashi,
2. 発表標題 Amorphous solid electrolytes with interface-formation ability for all-solid-state batteries
3. 学会等名 3rd WORLD CONFERENCE ON SOLID ELECTROLYTES FOR ADVANCED APPLICATIONS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 作田 敦
2. 発表標題 硫化物型全固体電池材料の課題と研究動向
3. 学会等名 日本電子デバイス産業協会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Nanostructured Electrode Materials for High Energy Li Batteries
3. 学会等名 International Workshop on Materials Science at Osaka Prefecture Univeristy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池の界面構築にむけた固体電解質の材料開発
3. 学会等名 日本化学会第15回技術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池の界面構築にむけた固体電解質の材料開発
3. 学会等名 日本化学会 オンラインセミナー【第15回 技術開発フォーラム】(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 New Nano-structured Electrode Materials with Niobium for Energy Storage Applications
3. 学会等名 Niobium Technology for Clean Energy Organized by The Embassy of Brazil in Tokyo, CBMM and Sojitz Corporation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Metastable and Nanosized Materials for High-Capacity Positive Electrode Materials
3. 学会等名 6th International Conference on Advanced Eelectromaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 數内 直明
2. 発表標題 高エネルギー密度正極材料の開発と今後の展望
3. 学会等名 2021年度第2回電池製造技術分科会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体ナトリウム電池用硫化物固体電解質の開発
3. 学会等名 日本粉体工業技術協会2021年度第2回電池製造技術分科会WEB講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機固体電解質を用いた全固体電池の開発
3. 学会等名 令和3年度高分子学会九州支部産学連携フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Nanostructured Li-excess High-capacity Electrode Materials for Li Storage Applications
3. 学会等名 Nanostructured Li-excess High-capacity Electrode Materials for Li Storage Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池に向けた固体電解質材料の進展
3. 学会等名 近畿化学協会コンピュータ化学部会(第112回例会)公開講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 硫化物ガラス電解質の特長と全固体電池への応用
3. 学会等名 2021年度第3回ニューガラスセミナー(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藪内 直明
2. 発表標題 クリーンエネルギー社会の実現へと向けた蓄電池材料研究開発
3. 学会等名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会講習会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機アモルファス材料を用いた全固体電池の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池にむけたガラス電解質の進展
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機アモルファス材料を用いる全固体電池
3. 学会等名 第175回電子セラミック・プロセス研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池への応用に向けた非晶質固体電解質の進展
3. 学会等名 2020 年第67 回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuch
2. 発表標題 Nanostructured High-capacity Positive Electrode Materials
3. 学会等名 NANO KOREA 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Material Design Strategy for Li-excess Rocksalt Oxides with Cationic/Anionic Redox
3. 学会等名 The 2nd Japan-China Forum on Power Batteries for New Energy Vehicles (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Oxides/oxyfluorides-based Electrode Materials for Na Storage Applications
3. 学会等名 45th International conference and exposition on advanced ceramics and composites (ICACC2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機アモルファス材料を用いた全固体電池の構築
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 固体電解質が次世代電池を制する
3. 学会等名 日本化学会秋季事業第10回CSJ化学フェスタ2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機アモルファス電池材料を用いた固体界面構築
3. 学会等名 第77回固体イオニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 固体電解質創製にむけた無機化学プロセスと全固体電池への応用
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 硫化物固体電解質を用いた全固体電池の開発
3. 学会等名 電気化学会第88回大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池実現に資するアルカリイオン伝導体に関する研究
3. 学会等名 2019 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Nanostructured Materials for High Capacity Positive Electrode Materials
3. 学会等名 The 10th Asian Conference on Electrochemical Power Sources 2019 (ACEPS-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Nanostructured Mn-Based High-Capacity Positive Electrode Materials
3. 学会等名 International conference for advanced cathodes in lithium & sodium ion batteries (ICAC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Development of New Niobium-based Oxides for High-capacity Positive Electrode Materials
3. 学会等名 Niobium-based Materials for Batteries and Advanced Electrochemical Energy Storage (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Factors Affecting Reversibility of Anionic Redox for Li-excess Metal Oxides as Positive Electrode Materials of Lithium Batteries
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Ti-based Layered Oxides for Sodium Storage Applications
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hayashi, A. Sakuda, and M. Tatsumisago
2. 発表標題 Development of all-solid-state rechargeable batteries with ductile amorphous materials
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 全固体電池の材料開発と進展
3. 学会等名 中小企業のための「スマートエネルギー分野への参入セミナー」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Hayashi, A. Sakuda, and M. Tatsumisago
2. 発表標題 Sulfide and Oxide Glassy Electrolytes for All-Solid-State Batteries
3. 学会等名 2nd World Conference on Solid Electrolytes for Advanced Applications: Garnets and Competitors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoaki Yabuuchi
2. 発表標題 Mn-based electrode materials for high-energy rechargeable Li/Na batteries
3. 学会等名 Asia Pacific Society for Materials Research 2019 Annual Meeting, (APSMR 2019 Annual Meeting) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 晃敏
2. 発表標題 無機アモルファス材料を用いる全固体電池
3. 学会等名 第175回電子セラミック・プロセス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>室温で世界最高の導電率を示すナトリウムイオン伝導性硫化物固体電解質を開発  <a href="https://www.osakafu-u.ac.jp/press-release/pr20191121/">https://www.osakafu-u.ac.jp/press-release/pr20191121/</a>          高エネルギー密度蓄電池材料の発見  <a href="https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/23776/detail.html">https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/23776/detail.html</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	林 晃敏 (Hayashi Akitoshi) (10364027)	大阪公立大学・大学院工学研究科 ・教授  (24405)	
研究分担者	大久保 将史 (Okubo Masashi) (20453673)	早稲田大学・理工学術院・教授  (32689)	
研究分担者	菅 大介 (Kan Daisuke) (40378881)	京都大学・化学研究所・准教授  (14301)	
研究分担者	喜多條 鮎子 (Kitajou Ayuko) (50446861)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  (15501)	

## 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		
オーストラリア	ニューサウスウェールズ大学		