

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03929

研究課題名(和文)非平衡電子構造解析に基づく蓄電池カソード配位子電荷移動の安定化

研究課題名(英文)Stabilization of Battery Cathode Ligand Charge Transfer Based on Non-Equilibrium Electronic Structure Analysis

研究代表者

内本 喜晴(Uchimoto, Yoshiharu)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：50193909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：リチウムイオンの挿入・脱離時に酸化物イオンの電荷補償が起こるリチウム過剰系酸化物正極材料について、遷移金属カチオンではなく、アニオンの電荷補償に着目し、operando軟X線吸収分光法と高エネルギーX線コンプトン散乱法を用いて、その機構解明を行うことで、アニオン制御による材料の設計指針を確立した。遷移金属カチオンと酸化物イオンとの共有結合性またはイオン結合性のいずれかが極端に強い場合に、酸化物イオンが可逆的に電荷補償に寄与できることを見出した。従来酸化物を中心に研究開発されてきた、リチウム過剰系材料の分野において、酸化物イオンの一部を窒化物イオンに置換することにより高容量が発現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化問題を解決するために、電気自動車等が注目され、長い距離を走行可能な電気自動車の開発には、既存する二次電池よりもさらにエネルギー密度の高い二次電池が必要となる。本課題は、高容量を有するリチウムイオン二次電池正極材料として、期待されているリチウム過剰系材料に着目した。主に、放射光を用いたオペランドX線吸収法によりアニオンである酸素が充放電過程における電荷補償に寄与することにより高容量を発現する機構を解明し、それを基に、従来の酸化物ではなく酸素とともに窒素をアニオンとして含む、酸窒化物高容量正極の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：We focused on the charge compensation of anions, not transition metal cations, for lithium-rich oxide cathode materials in which charge compensation of oxide ions occurs during insertion and deinsertion of lithium ions. We established a guideline for the design of materials by controlling anions. We found that oxide ions can contribute reversibly to charge compensation when either the covalent or ionic bonding between transition metal cations and oxide ions is extremely strong. Based on these results, in the field of lithium-rich materials, which have been researched and developed mainly with oxides in the past, high capacity was achieved by replacing some of the oxide ions with nitride ions.

研究分野：電気化学

キーワード：リチウムイオン二次電池 電子構造 正極活物質 高容量正極 高エネルギー密度電池

1. 研究開始当初の背景

リチウムイオン二次電池は、実用化されている二次電池の中で最もエネルギー密度が高い電池であり、スマートグリッド社会の実現、電気自動車の本格普及へ向けて大きな期待を受けている。しかしながら、現在のリチウムイオン二次電池の正極材料として用いられている 3d 遷移金属酸化物あるいはポリアニオン化合物の充放電容量は、これらシステムやデバイスの本格普及を目指すには十分ではない。これは、従来の正極の材料設計が、トポケミカル反応を利用したリチウムイオンのインターカレーション、デインターカレーションを用い、その電荷補償は、3d 遷移金属の価数変化によって行うというものであるためである。さらなる充放電容量の大幅な増加のためには、3d 遷移金属の価数変化に加えて、酸化物等のアニオン種の酸化還元反応を用いる必要がある。最近、幾つかの材料において、3d 遷移金属の価数変化では説明が出来ない高容量を示す材料が報告されてきた。例えば、 $\text{Li}_{1.2}\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.4}\text{O}_2$ 等の Li_2MnO_3 固溶体材料、4d 遷移金属を含んだ Li_2RuO_3 系、および 5d 遷移金属を含んだ Li_2IrO_3 系のリチウム過剰系正極材料等である。

我々は、酸化物イオンの電子構造変化について、軟 X 線吸収分光法を用いて酸素 K 殻吸収端を計測することにより、酸素の 2p 軌道にホールが導入され、過酸化物・超酸化物状態で存在することを見出した。しかし、何故このような不安定な酸化状態が安定化するのかについては不明な点が多い。Ti のようなイオン結合性が強い酸化物と、4d 遷移金属や 5d 遷移金属のような共有結合性の強い酸化物において可逆容量が発現していることから、リチウム過剰系正極の共有結合性とイオン結合性が酸素の電荷補償を安定化させる重要なパラメーターであると考えられる。しかし、共有結合性とイオン結合性の異なる材料の酸素の電荷補償機構を体系的に調べた報告はない。さらに酸素の電荷補償機構を明らかにするためには、非平衡な電池作動条件下（オペランド）での酸素の電子状態を観測することが極めて重要であるがこれまでにそのような方法論が確立されていない状況である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アニオン種の電子構造変化を本質的に解明することにより、アニオン種の可逆な酸化還元が可能な材料設計指針を確立することである。これにより、遷移金属に配位している酸化物イオン等のアニオン種の酸化還元を利用することによる、飛躍的なエネルギー密度の向上を図ることが出来る。これは、従来のカチオン種の制御による材料設計から、アニオン種制御による材料設計へと、材料設計のパラダイムシフトであり、材料化学の観点からその学術的意義が大きい。

それを可能とするためには、アニオン（酸素）の電荷補償機構を明らかにする必要がある、電池作動条件下（オペランド）での酸素の電子状態を観測することが極めて重要となる。これまで、電池作動条件下（オペランド）での正極材料の電子状態を計測するには、遷移金属の K 殻の X 線吸収微細構造（XAFS）を計測する手法が用いられてきた。例えば、コバルトの K 殻の X 線吸収微細構造は、約 7720 eV 付近の硬 X 線領域に K 殻の吸収端があるため、空気による入射 X 線の散乱の影響が少なく、計測は空気中で可能である。

一方、酸素の K 殻の吸収端は約 530 eV 付近の軟 X 線領域に位置する。軟 X 線は吸収が大きく、1000 eV で大気（1 気圧）中では 2 mm、水中では 2 μm ほどしか透過しない。そのため測定はこれまで真空中に限られてきた。これまでの準備段階において、我々はオペランド軟 X 線吸収分光法の計測手法を確立した。そのセルの模式図を示す。軟 X 線の経路は超高真空であり、100 nm の窒化ケイ素の窓を介して、通常の電解液の電池系が設置された構造になっている。こ

れにより、窒化ケイ素の窓に貼り付けた正極の酸素の K 殻の吸収端が計測可能となった。この計測手法は独創的なものであり、それにより得られた電子構造変化の知見を基にした材料設計は独創的なものである。

3. 研究の方法

これまでの報告から、リチウム過剰系正極の共有結合性とイオン結合性が酸素の電荷補償を安定化させる重要なパラメーターであると考えられる。しかし、共有結合性とイオン結合性の異なる材料の酸素の電荷補償機構を体系的に調べた報告はない。そこで本研究では充電時における酸素の電子構造を直接観察する手法として、これまでに開発したオペランド軟 X 線吸収分光法を中心とする高度解析手法を適用する。共有結合性とイオン結合性が異なる 3 つの材料 Li_2MnO_3 、 Li_2RuO_3 、 $\text{Li}_{1.2}\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.4}\text{O}_2$ をモデル材料として選択し、オペランド軟 X 線吸収分光法と硬 X 線吸収分光法を適用することでこれらの材料の充電時における酸素の電子構造を直接観察する。特に、酸素の脱離が進行しない（酸素の 2p 軌道にホールが導入され、過酸化物・超酸化物状態で安定であり、不均化反応による酸素脱離が進行しない） Li_2RuO_3 および $\text{Li}_{1.2}\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.4}\text{O}_2$ (Yabuuchi, et.al., *Nat. Commun.* **7**, 13814–10 (2016).) の機構解明を行えば、安定な過酸化物・超酸化物状態をいかに達成するかの指針が得られると期待できる。酸素および遷移金属の電子構造と金属-酸素の局所構造の観点からの解析により、酸素の 2p 軌道に導入されたホールの状態を明らかにして目的を達成する。得られた材料設計指針を基に、材料合成を行う。特に、酸素の電子構造を精密に制御して、酸素 2p 軌道と遷移金属の d 軌道の相対関係を設計する必要があると考えられる。従来のカチオンをドーピングすることによる制御法では、設計が困難であると予想されるために、アニオン種制御による材料設計を行う。具体的には、塩化物イオンや窒化物イオンを添加することにより、酸素 2p 軌道エネルギーを増加させる等の手法が必要となると考えられる。そのためには、雰囲気制御（塩素や窒素供給源を添加しての焼成）や、高压合成などの手法を用いる。

4. 研究成果

蓄電デバイスにおける電極反応では、キャリアイオンの移動に伴う電極材料の電荷補償量によって容量が規定されるため、電極材料の電子構造を解明・制御することが重要である。これまで電極材料の電子構造の解明・制御に関する研究は、遷移金属カチオンを中心として、精力的に行われてきたが、遷移金属カチオン制御による電極材料の開発には限界が見えつつある。このような背景に対し、候補者は電極材料中の遷移金属カチオンではなく、アニオンの電荷補償に着目し、*operando* 軟 X 線吸収分光法と高エネルギー X 線コンプトン散乱法を用いて、その機構解明を行うことで、アニオン制御による材料の設計指針を確立した。リチウムイ

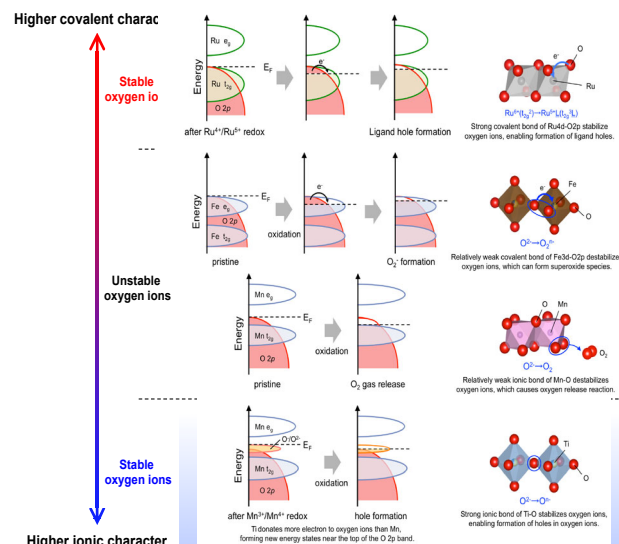


図1 リチウム過剰系酸化物正極材料の酸化物イオン電荷補償の安定化機構

て、その機構解明を行うことで、アニオン制御による材料の設計指針を確立した。リチウムイ

オンの挿入・脱離時に酸化物イオンの電荷補償が起こるリチウム過剰系酸化物正極材料については、*operando*軟X線吸収分光法を用いて、遷移金属カチオンと酸化物イオンとの共有結合性またはイオン結合性のいずれかが極端に強い場合に、酸化物イオンが可逆的に電荷補償に寄与できることを見出した(図1,論文2)。さらに高エネルギーX線コンプトン散乱法を用いることで、イオン結合性が極端に強いリチウム過剰系酸化物正極には、遷移金属の t_{2g} 軌道と酸素2p軌道間の静電反発により π 結合性が弱く、酸素2p軌道が孤立して存在しており、ホールが孤立した酸素の2p軌道に導入されることを解明した(論文1,7)。

これらの得られた知見に基づき、リチウム過剰系酸化物正極中の遷移金属カチオンならびにアニオンを制御することで、酸化物イオンの電荷補償を安定化し、高容量な電極材料を開発した(論文3-5,8)。ポリアニオン正極においても、X線吸収分光法を用いた電荷補償機構の解明を行い、得られた知見から遷移金属カチオンならびにアニオン制御により、高性能なポリアニオン材料を設計した(論文6)。

本研究は、電極材料中のアニオンによる電荷補償機構を明らかにし、その制御方法を見出したものであり、次世代の電極材料の設計指針を与えた。

論文

1. H. Hafiz, K. Suzuki, B. Barbiellini, Y. Oriksa, S. Kaprzyk, N. Tsuji, K. Yamamoto, A. Terasaka, K. Hoshi, Y. Uchimoto, Y. Sakurai, H. Sakurai, A. Bansil[#], “Identification of ferrimagnetic orbitals preventing spinel $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ degradation by charge ordering” *Phys. Rev. B* 100, 20, 205104–2051010 (2019).
2. K. Yamamoto, Y. Zhou, N. Yabuuchi, K. Nakanishi, T. Yoshinari, T. Kobayashi, Y. Kobayashi, R. Yamamoto, A. Watanabe, Y. Oriksa, K. Tsuruta, J. Park, H. R. Byon, Y. Tamenori, T. Ohta, Y. Uchimoto, “Charge Compensation Mechanism of Lithium-excess Metal Oxides with Different Covalent and Ionic Characters revealed by *Operando* Soft and Hard X-ray Absorption Spectroscopy”, *Chem. Mater.* 32, 1, 139–147 (2020).
3. A. Watanabe, K. Yamamoto, Y. Oriksa, M. Oishi, K. Nakanishi, T. Uchiyama, T. Matsunaga, Y. Uchimoto, “Relationship between rate performance and electronic/structural changes during oxygen redox of lithium-rich 4d/3d transition metal oxides”, *Solid State Ionics* 357, 115459–115466 (2020).
4. A. Watanabe, K. Yamamoto, T. Uchiyama, T. Matsunaga, A. Hayashi, K. Maeda, H. Kageyama, Y. Uchimoto, “Capacity Improvement by Nitrogen-doping to Lithium Rich Cathode Materials with Stabilization Effect of Oxide Ions Redox”, *ACS Appl. Energy Mater.* 3, 5, 4162–4167 (2020).
5. A. Watanabe, T. Matsunaga, A. Abulikemu, K. Shimoda, K. Yamamoto, T. Uchiyama, Y. Uchimoto, “Structural analysis of imperfect Li_2TiO_3 crystals”, *J. Alloys Compd.* 819, 153037–153041 (2020).
6. A. Watanabe, K. Yamamoto, Y. Oriksa, T. Masese, T. Mori, T. Uchiyama, T. Matsunaga, Y. Uchimoto, “Reaction Mechanism of Electrochemical Insertion/Extraction of Magnesium Ions in Olivine-type FePO_4 ”, *Solid State Ionics* 349, 115311–115315 (2020).
7. H. Hafiz, K. Suzuki, B. Barbiellini, N. Tsuji, N. Yabuuchi, K. Yamamoto, Y. Oriksa, Y. Uchimoto, Y. Sakurai, H. Sakurai, A. Bansil, V. Viswanathan, “Tomographic reconstruction of non-bonding oxygen orbitals in Li-rich battery materials”, *Nature*, 594, 213–216 (2021).
8. A. Abulikemu, T. Matsunaga, A. Watanabe, K. Yamamoto, T. Uchiyama, K. Nakanishi, S. Kawaguchi, K. Osaka, Y. Uchimoto, “Rocksalt type $\text{Li}_2\text{Nb}_{0.15}\text{Mn}_{0.85}\text{O}_3$ without structure degradation or redox

evolution upon cycling”, *J. Alloy Compd.* 853, 156984–156989 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Oishi Masatsugu, Shimoda Keiji, Ohara Koji, Kabutan Daiki, Kawaguchi Tomoya, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 124
2. 論文標題 Disordered Cubic Spinel Structure in the Delithiated Li ₂ MnO ₃ Revealed by Difference Pair Distribution Function Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 24081 ~ 24089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07124	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 Oishi Masatsugu, Shimoda Keiji, Okada Sojiro, Imura Ryoshi, Yamanaka Keisuke, Yamashige Hisao, Mizuguchi Hitoshi, Watanabe Iwao, Uchimoto Yoshiharu, Ohta Toshiaki	4. 巻 25
2. 論文標題 Evaluation of oxygen contribution on delithiation process of Li-rich layered 3d transition metal oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 101673 ~ 101673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2020.101673	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 Watanabe Aruto, Yamamoto Kentaro, Orikasa Yuki, Oishi Masatsugu, Nakanishi Koji, Uchiyama Tomoki, Matsunaga Toshiyuki, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 357
2. 論文標題 Relationship between rate performance and electronic/structural changes during oxygen redox of lithium-rich 4d/3d transition metal oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 115459 ~ 115459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssi.2020.115459	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 Watanabe Aruto, Yamamoto Kentaro, Uchiyama Tomoki, Matsunaga Toshiyuki, Hayashi Akitoshi, Maeda Kazuhiko, Kageyama Hiroshi, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 3
2. 論文標題 Capacity Improvement by Nitrogen Doping to Lithium-Rich Cathode Materials with Stabilization Effect of Oxide Ions Redox	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4162 ~ 4167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00564	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 Watanabe Aruto, Matsunaga Toshiyuki, Abulikemu Aierxiding, Shimoda Keiji, Yamamoto Kentaro, Uchiyama Tomoki, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 819
2. 論文標題 Structural analysis of imperfect Li ₂ TiO ₃ crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 153037 ~ 153037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.153037	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 Yamamoto Kentaro, Zhou Yingying, Yabuuchi Naoaki, Nakanishi Koji, Yoshinari Takahiro, Kobayashi Takanori, Kobayashi Yuki, Yamamoto Rina, Watanabe Aruto, Orikasa Yuki, Tsuruta Kazuki, Park Jiwon, Byon Hye Ryung, Tamenori Yusuke, Ohta Toshiaki, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 32
2. 論文標題 Charge Compensation Mechanism of Lithium-Excess Metal Oxides with Different Covalent and Ionic Characters Revealed by Operando Soft and Hard X-ray Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 139 ~ 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b02838	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 Hafiz Hasnain, Suzuki Kosuke, Barbiellini Bernardo, Orikasa Yuki, Kaprzyk Stanislaw, Tsuji Naruki, Yamamoto Kentaro, Terasaka Ayumu, Hoshi Kazushi, Uchimoto Yoshiharu, Sakurai Yoshiharu, Sakurai Hiroshi, Bansil Arun	4. 巻 100
2. 論文標題 Identification of ferrimagnetic orbitals preventing spinel degradation by charge ordering in $\text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{M}_{x-4}\text{O}_4$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205104-2051010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.205104	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 Hafiz Hasnain, Suzuki Kosuke, Barbiellini Bernardo, Tsuji Naruki, Yabuuchi Naoaki, Yamamoto Kentaro, Orikasa Yuki, Uchimoto Yoshiharu, Sakurai Yoshiharu, Sakurai Hiroshi, Bansil Arun, Viswanathan Venkatasubramanian	4. 巻 594
2. 論文標題 Tomographic reconstruction of oxygen orbitals in lithium-rich battery materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 213 ~ 216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03509-z	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 Abulikemu Aierxiding, Matsunaga Toshiyuki, Watanabe Aruto, Yamamoto Kentaro, Uchiyama Tomoki, Nakanishi Koji, Kawaguchi Shogo, Osaka Keiichi, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 853
2. 論文標題 Rocksalt type Li ₂ NbO ₃ ・15MnO ₂ ・85O ₃ without structure degradation or redox evolution upon cycling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 156984 ~ 156984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.156984	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7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yuki Omote, Misaki Katayama, and Yuki Oriyasa
2. 発表標題 Irreversible Reaction of LiFePO ₄ -Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ Full-cell Using Two-phase Reaction Active Material
3. 学会等名 Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺 穂香, 藤井 達生
2. 発表標題 鉄系複酸化物ナノ粒子の合成と Li イオン二次電池への応用
3. 学会等名 第59回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kentaro Yamamoto
2. 発表標題 Direct observation of anion redox in Li-excess oxides with different covalent and ionic characters by operando Soft/Hard X-ray absorption
3. 学会等名 MRM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内本喜晴
2. 発表標題 放射光を用いたリチウムイオン二次電池の反応解析
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Yamamoto, Naoaki Yabuuchi, Koji Nakanishi, Tomoki Uchiyama, Yuki Kobayashi, Rina Yamamoto, Yuki Oriyasa, Hye Ryung Byon, Toshiaki Ohta & Yoshiharu Uchimoto
2. 発表標題 Anion Redox Mechanism in Li-Excess Oxides with Different Ionic or Covalent Characters
3. 学会等名 CMCEE 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Nishitsuji, K. Yamamoto, T. Uchiyama, A. Watanabe and Y. Uchimoto
2. 発表標題 Electrochemical performance and charge compensation mechanism of cation-disordered
3. 学会等名 16th ACSSI (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kentaro Yamamoto, Naoaki Yabuuchi, Koji Nakanishi, Tomoki Uchiyama, Yuki Kobayashi, Rina Yamamoto, Yuki Oriyasa, Toshiaki Ohta & Yoshiharu Uchimoto
2. 発表標題 Charge compensation mechanism in Li-excess Oxides revealed by operando soft/hard X-ray absorption spectroscopy
3. 学会等名 AIMES 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	田中 優実 (Tanaka Yumi) (00436619)	東京理科大学・工学部工業化学科・准教授 (32660)	
研究分担者	藤井 達生 (Fujii Tatsuo) (10222259)	岡山大学・自然科学研究科・教授 (15301)	
研究分担者	折笠 有基 (Orikasa Yuki) (20589733)	立命館大学・生命科学部・准教授 (34315)	
研究分担者	大石 昌嗣 (Oishi Masatsugu) (30593587)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授 (16101)	

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