

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14724

研究課題名（和文）オペランド質量分析法を用いたカリウムイオン電池劣化機構の解明

研究課題名（英文）Revealing Decomposition Mechanism of K-ion Batteries by Operando Mass Spectrometry

研究代表者

多々良 涼一（Tatara, Ryoichi）

東京理科大学・理学部第一部応用化学科・助教

研究者番号：20876081

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：カリウムイオン電池は、現行の蓄電デバイスとして広く利用されているリチウムイオン電池に比べ、希少金属や有害元素を含まない電池として期待されている。しかしながらカリウムイオン電池の劣化についてはリチウムイオン電池と異なる挙動が多く、未だ劣化のメカニズムが明らかとなっていない。劣化メカニズムを解明するには電池セル内で発生する微量の分解物を検出することが必須であるが、本研究では電池セルの充放電と同時に発生ガスを質量分析する「オペランド質量分析法」を用いて、カリウムイオン電池の充放電中の微量分解物を検出・分析しその劣化メカニズムを明らかにすることを目的とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リチウムイオン電池は現在広く普及しており、低コストで資源制約のないナトリウムイオン電池の上市に向けた研究開発も各企業で進められている。カリウムイオン電池はさらに次世代の蓄電池であるが、ナトリウムイオン電池と同等の低コストで、かつナトリウムイオン電池以上のエネルギー密度が出せる可能性を有する。一方でリチウム、ナトリウム、カリウムのイオン半径の違いから、カリウムイオン電池の劣化メカニズムはリチウムイオン電池とは異なるモードで進むため不明な部分が多い。本研究でカリウムイオン電池の劣化メカニズムに迫ったことは学術・社会の両面から意義あるものであったと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Predominantly utilized lithium-ion batteries for energy storage could potentially be supplanted by potassium-ion batteries, projected to be absent of minor metals and deleterious constituents. However, the degradation mechanism of potassium-ion batteries substantially diverges from that of their lithium-ion analogs, and the precise mechanism is yet to be defined. The detection of trace amounts of decomposition derivatives generated within the battery cell is essential to elucidating this mechanism. Consequently, the goal of this study was to identify and meticulously analyze the subtle degradation by-products occurring during the charge-discharge cycles of potassium-ion batteries using "operando mass spectrometry", thus enhancing our understanding of their degradation mechanism.

研究分野：電気化学

キーワード：蓄電池 二次電池 カリウムイオン電池 質量分析 オペランド測定 ガス分析

## 1. 研究開始当初の背景

2019年のノーベル化学賞としても記憶に新しいリチウムイオン二次電池は、蓄電池として最高のエネルギー密度を有し、1991年の実用化から現在まで生活に欠かせない電池として活躍している。しかしながらリチウムイオン電池に必須なリチウム、コバルトなどは希少金属に分類され、特にリチウム資源については南米大陸に偏在しているため資源確保のリスクを懸念する声も大きい。このような背景のもと注目を集めているのが、元素周期表でリチウムと同族にあたるナトリウムイオン電池及びカリウムイオン電池である。中でもカリウムイオン電池は、カリウム金属の電極電位が有機電解液中ではリチウム金属よりも低いことから、リチウムイオン電池以上の高電圧電池の実現が期待されている。しかしながら、カリウムイオン電池の劣化機構についてはリチウムイオン電池で説明されている通説がそのまま適用できず、未だ不明な点が多い。リチウムイオン電池では電極/電解液界面に不動態被膜が形成されることによって電解液分解が抑制されることが報告されている。一方でカリウムイオン電池では、リチウム系にて一般に不動態形成が進むとされる電解液を用いても、リチウム系と同等の寿命を得られていない。リチウムよりも原子番号が大きくイオン半径が大きいカリウムイオンはルイス酸性が低いため、形成した不動態被膜が不安定であり、電解液に溶解しやすいからであると類推される。しかしこれはあくまでも推論に過ぎず、実験的な証拠を伴ったものではない。また前述のようにリチウムイオン電池を超える高電圧作動を行うということは、言い換えれば材料がより激しい酸化・還元条件に曝され分解が促進されることを意味する。本研究では、カリウムイオンを用いた二次電池の劣化メカニズムはリチウムイオン電池とどのように異なるのか、という点に着目する。劣化メカニズムが明らかとならない限り、建設的な新規セル設計は難しいと言える。

## 2. 研究の目的

一般的に化合物の同定作業に用いられる手法としては核磁気共鳴(NMR)法が挙げられる。しかしながら NMR 法は感度が低く、分析対象分子が数%程度含まれている必要がある。一方で電池セル内において蓄積する分解物濃度は 0.1%以下であり、NMR 法での検出は困難を極める。また充放電過程のどの段階で分解物が生成しているかも劣化メカニズムを検討するにあたって必須の情報であるが、通常の ex-situ 分析では電池セルを無数に作製し逐一解体・分析する必要があり、効率的な調査が行えない。

本研究では、感度・時間分解能の両面から極めて強力な分析ツールである「オペランド質量分析法」を用いて分解メカニズムの解明を図る。「NMR は試験管に 1 滴、赤外分光はお風呂に 1 滴、質量分析はプールに 1 滴」とも言われるように、質量分析法は ppm オーダーの微量成分を検出可能な手法であり、NMR 法に比べて圧倒的高感度で成分の同定が可能である。このように質量分析法は微量成分の同定に極めて強力なツールであるが、NMR 法ほどの手軽さと認知度がないため、これまで電池の劣化解析には多く使用されてこなかった。本研究では、本手法を用いてこれまで明らかにされてこなかったカリウムイオン電池劣化機構を解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では以下の 2 手法を相補的に用いた。

- (1) 充放電後の電解液に対して ex-situ GCMS 分析を行い分解物を同定する
- (2) オペランドセルを用いた充放電同時測定により分解物濃度の増減を追跡する

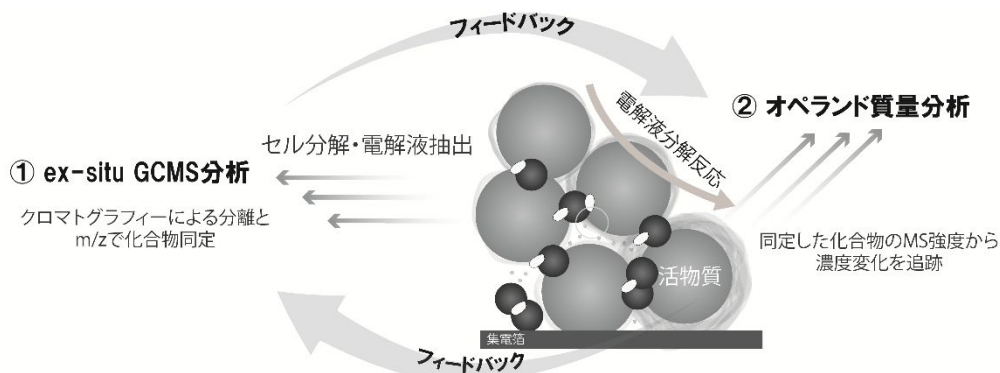


図1 質量分析法：ex-situ 測定とオペランド測定の相補的關係性

まず充放電後のカリウムイオン電池セルを分解し、電解液を遠心分離装置で回収、ガスクロマトグラフ質量分析(GCMS)装置を用いて ex-situ で分析を行い、分解物を化合物 MS ライブラリ検索から同定した。またオペランドセルにて同様のカリウムイオン電池セルを作製し、分解物の MS ピークを追跡することによって、充放電過程のどの段階において分解物が生成されたかを確認した。例えば高電位に曝された時のみ発生するのであれば、酸化的に分解していると言える。ここでオペランド分析は、時間分解能を上げるためにカラムを通さずに質量分析を行う仕組みとなっているため、化合物の同定は ex-situ 分析に比べると不得手とする傾向にある。「化合物同定は得意だが時間分解能の低い」ex-situ 測定と、時間分解能の高いオペランド測定が相補的に働き、分解物と分解条件の双方を明らかにできる。

#### 4. 研究成果

有機電解液を用いたカリウムイオン電池では、ex-situ 分析により電解液溶媒として用いられる炭酸エステル溶媒が重合的に反応し、オリゴマーを形成した化合物が分解物として生成することが明らかとなった(図 2)。これらの分解物はカリウム金属と電解液との接触によって還元的に生成しており、その後のサイクル特性に大きな影響を与えていることが分かった。特にカリウム塩としてビスフルオロスルホニルアミド塩を用いた場合に溶媒のカリウム金属による還元分解を抑制できることが明らかとなった。

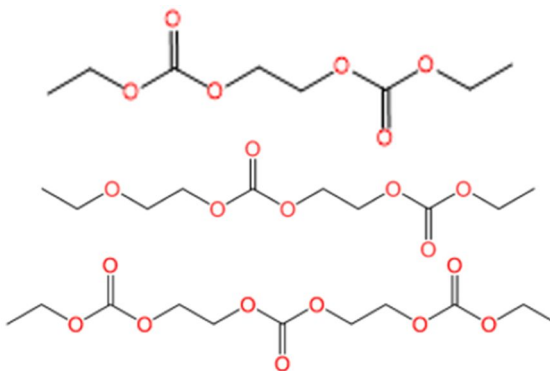


図 2 炭酸エステル系有機系電解液の分解物として検出された化合物群

また、オペランド測定系を構築するために図 3 に示すようなオペランド電池セルを特注にて設計した。正極・負極の電位を正確に記録できるよう、ロッド型参照極を使用可能なように設計しており、反応電位と分解反応進行の関係性が正確に議論できる。本セル(2 次設計品)は第 1 次設計セルをアップデートしたものであり、第 1 次設計のセルよりもガス流路を工夫し効率のかつ再現よく測定が可能になっている。

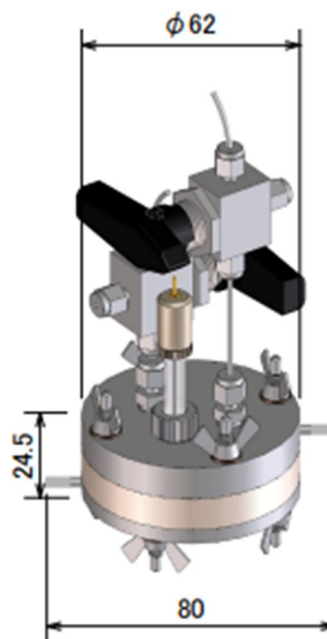


図 3 設計した operando 質量分析セル

本セルを用いて水系電解液を用いたカリウムイオン電池のオペランド測定を行ったところ、特にビスフルオロスルホニルアミド塩の濃度増加により電解液の還元分解( $m/z = 2$ : 水素発生反応)が抑制されることが明らかとなった。塩濃度の増大に伴って電極表面に不働態被膜が生成し、水素発生反応を抑制したと考えられる。

これら得られた知見をもとに、分解反応を抑制し不働態被膜の形成を促進する添加剤の探索を行ったところ、ビスフルオロスルホニルアミド塩類似の中性分子である、図 4 に示す構造の dimethyl sulfamoyl fluoride (DMSF) が分解反応を抑制しカリウムイオン電池のサイクル特性を大幅に向上させることが明らかとなった (Z. Gossage, R. Tatara, S. Komaba et al., *J. Mater. Chem. A*, **2023**, *11*, 914)。

今後、オペランド実験系の測定対象を更に拡大させることによって、様々な蓄電デバイスの分解機構について議論できることを期待している。

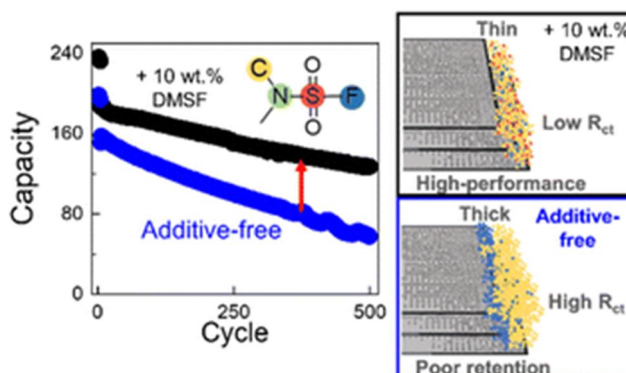


図 4 新規添加剤 DMSF の構造とサイクル安定性向上

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Tatara Ryoichi, Ishihara Kenta, Kosugi Motohiro, Aoki Kazuma, Takei Yuko, Matsui Takahiro, Takayama Toshiharu, Komaba Shinichi	4. 巻 170
2. 論文標題 Application of Potassium Ion Conducting KTiOP04 as Effective Inner Solid-Contact Layer in All-Solid-State Potassium Ion-Selective Electrode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 027507 ~ 027507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/acb4bd	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 Tatara Ryoichi, Ishihara Kenta, Hosaka Tomooki, Aoki Kazuma, Takei Yuko, Matsui Takahiro, Takayama Toshiharu, Komaba Shinichi	4. 巻 439
2. 論文標題 Effect of non-stoichiometry of K Fe[Fe(CN)6] as inner solid-contact layer on the potential response of all-solid-state potassium ion-selective electrodes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 141561 ~ 141561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2022.141561	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 Ohishi Kazuki, Igarashi Daisuke, Tatara Ryoichi, Kawamura Yukihiko, Hiroi Kosuke, Suzuki Jun-ichi, Umegaki Izumi, Nishimura Shoichiro, Koda Akihiro, Komaba Shinichi, Sugiyama Jun	4. 巻 2462
2. 論文標題 Sodium Diffusion in Hard Carbon Studied by Small- and Wide-Angle Neutron Scattering and Muon Spin Relaxation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012048 ~ 012048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2462/1/012048	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 Gossage Zachary T., Hosaka Tomooki, Matsuyama Tatsuo, Tatara Ryoichi, Komaba Shinichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Fluorosulfonamide-type electrolyte additives for long-life K-ion batteries	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 914 ~ 925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2TA06926A	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 Tatara Ryoichi, Suzuki Hosei, Hamada Mizuki, Kubota Kei, Kumakura Shinichi, Komaba Shinichi	4. 巻 126
2. 論文標題 Application of P2-Na <sub>2</sub> /3Ni <sub>1</sub> /3Mn <sub>2</sub> /3O <sub>2</sub> Electrode to All-Solid-State 3 V Sodium(-Ion) Polymer Batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20226 ~ 20234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c06360	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 Oishi Asako, Tatara Ryoichi, Togo Eiichi, Inoue Hiroshi, Yasuno Satoshi, Komaba Shinichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Sulfated Alginate as an Effective Polymer Binder for High-Voltage LiNi <sub>0.5</sub> Mn <sub>1.5</sub> O <sub>4</sub> Electrodes in Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 51808 ~ 51818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.2c11695	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 Kim Eun Jeong, Hosaka Tomooki, Kubota Kei, Tatara Ryoichi, Kumakura Shinichi, Komaba Shinichi	4. 巻 5
2. 論文標題 Effect of Cu Substitution in P 2- and P2-Type Sodium Manganese-Based Oxides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12999 ~ 13010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c02581	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 Oishi Kazuki, Igarashi Daisuke, Tatara Ryoichi, Umegaki Izumi, Koda Akihiro, Komaba Shinichi, Sugiyama Jun	4. 巻 5
2. 論文標題 Operando Muon Spin Rotation and Relaxation Measurement on LiCoO <sub>2</sub> Half-Cell	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12538 ~ 12544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c02175	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 Hosaka Tomooki, Takahashi Rie, Kubota Kei, Tatara Ryoichi, Matsuda Yuki, Ida Kazuhiko, Kuba Kanji, Komaba Shinichi	4. 巻 548
2. 論文標題 Origin of enhanced capacity retention of aqueous potassium-ion batteries using monohydrate-melt electrolyte	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 232096 ~ 232096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2022.232096	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 Hamada Mizuki, Tatara Ryoichi, Kubota Kei, Kumakura Shinichi, Komaba Shinichi	4. 巻 7
2. 論文標題 All-Solid-State Potassium Polymer Batteries Enabled by the Effective Pretreatment of Potassium Metal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 2244 ~ 2246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.2c01096	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 Kim Eun Jeong, Kumar P. Ramesh, Gossage Zachary T., Kubota Kei, Hosaka Tomooki, Tatara Ryoichi, Komaba Shinichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Active material and interphase structures governing performance in sodium and potassium ion batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6121 ~ 6158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SC00946C	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 Hosaka Tomooki, Fukabori Taiga, Matsuyama Tatsuo, Tatara Ryoichi, Kubota Kei, Komaba Shinichi	4. 巻 6
2. 論文標題 1,3,2-Dioxathiolane 2,2-Dioxide as an Electrolyte Additive for K-Metal Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 3643 ~ 3649
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.1c01238	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 IGARASHI Daisuke, KUBOTA Kei, HOSAKA Tomooki, TATARA Ryoichi, INOSE Tsuyoshi, ITO Yuji, INOUE Hirofumi, TAKEUCHI Masataka, KOMABA Shinichi	4. 巻 89
2. 論文標題 Effect of Crystallinity of Synthetic Graphite on Electrochemical Potassium Intercalation into Graphite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 433 ~ 438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00062	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 -

〔学会発表〕 計42件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Zachary Tyson GOSSAGE, Tomooki HOSAKA, Tatsuo MATSUYAMA, Ryoichi TATARA, Shinichi KOMABA
2. 発表標題 Altering Anode Interphase Chemistry with Fluorosulfonate-Type Additives in a Potassium Ion Cell
3. 学会等名 第23回化学電気材料研究会ミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 イン口, 山崎正悟, 多々良涼一, 高石玲奈, 椎山栄介, 松山貴志, 駒場慎一
2. 発表標題 スチレン-アクリルゴム系バインダーを用いたLiCoO <sub>2</sub> 正極の電気化学特性
3. 学会等名 第23回化学電気材料研究会ミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shogo Yamazaki, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, Hironori Mizuta, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Maturation effect of Si-based electrodes with newly developed polyacrylate binders
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (IMLB2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoko Tanaka, Daisuke Igarashi, Kei Kubota, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Structure and Performance of Gluconate-Derived Hard Carbon for Sodium-ion Batteries
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (IMLB2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoichi Tatara, Asako Oishi, Eiichi Togo, Hiroshi Inoue, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Lithium Alginate Sulfate as an Effective Polymer Binder for High-Voltage LiNi <sub>0.5</sub> Mn <sub>1.5</sub> O <sub>4</sub> Electrodes
3. 学会等名 21st International Meeting on Lithium Batteries (IMLB2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Tomooki Hosaka, Ryoichi Tatara
2. 発表標題 K-ion Chemistry from Liquid to Solid Electrolytes
3. 学会等名 Power Our Future 2022 (POF22) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Ohishi, Daisuke Igarashi, Ryoichi Tatara, Izumi Umegaki, Shoichiro Nishimura, Akihiko Koda, Shinichi Komaba, Jun Sugiyama
2. 発表標題 Current Status of Operand- $\mu$ SR for Battery Materials at J-PARC
3. 学会等名 15th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 川邊瑞季, 保坂知宙, 多々良涼一, 駒場慎一
2. 発表標題 常温非水電解液中でのAl( )イオンの電解還元反応の検討
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Daisuke Igarashi, Mirai Ohara, Tomooki Hosaka, Ryoichi Tatara, Hiroo Onuma, and Kei Kubota
2. 発表標題 Potassium-Ion Chemistry: Graphite and Vanadium Phosphates
3. 学会等名 73rd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Azusa Kamiyama, Kei Kubota, Daisuke Igarashi, Ryoichi Tatara, and Tomooki Hosaka
2. 発表標題 Development of Na-insertable hard carbons as “Beyond Li-GIC “
3. 学会等名 Na Battery Symposium 2022 (SBS-3) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke IGARASHI, Yoko TANAKA, Ryoichi TATARA, Tomooki HOSAKA, and Shinichi KOMABA
2. 発表標題 Novel ZnO-Templated Nanoporous Hard Carbons for High-Capacity Sodium-Ion Batteries
3. 学会等名 Na battery Symposium 2022 (SBS-3) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eun Jeong Kim, Tomooki Hosaka, Kei Kubota, Ryoichi Tatara, Shinichi Kumakura, Shinichi Komaba
2. 発表標題 The effect of Cu( ) substitution on material and electrochemical properties on sodium deficient manganese-based oxides
3. 学会等名 IBA2022-International Battery Association Hybrid Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, and Daisuke Igarashi
2. 発表標題 Na-ion and K-ion Chemistry for next generation battery
3. 学会等名 The 1st International Workshop on Carbon Value Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原達朗, 保坂知宙, 松山達央, 多々良涼一, 駒場慎一
2. 発表標題 カリウムイオン電池用電解液添加剤の探索
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎正悟, 多々良涼一, 水田浩徳, 河野景, 森悟郎, 駒場慎一
2. 発表標題 Si系負極のサイクル特性向上と電極および電解液の劣化挙動
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 イン口, 山崎正悟, 多々良涼一, 駒場慎一, 高石玲奈, 椎山栄介, 松山貴志
2. 発表標題 LiCoO <sub>2</sub> 正極用スチレン-アクリルゴム系バインダーの開発
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐大輔, 多々良涼一, 保坂知宙, 駒場慎一
2. 発表標題 KFSA/スルホラン濃厚溶液のカリウムイオン電池電極液への適用
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中陽子, 五十嵐大輔, 久保田圭, 多々良涼一, 保坂知宙, 駒場慎一
2. 発表標題 Zn0鑄型ハードカーボンの合成とナトリウムおよびカリウムイオン電池負極特性
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoko Tanaka, Daisuke Igarashi, Kei Kubota, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, and Shinichi Komaba
2. 発表標題 Extremely High-Capacity Design of Hard Carbon for Na- and K-Ion Batteries
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoichi Tatara, Shinichi Komaba, Tomooki Hosaka, and Daisuke Igarashi
2. 発表標題 Liquid and Polymer Electrolytes for Potassium-Ion Battery
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zachary T. Gossage, Tomooki Hosaka, Tatsuiomatsuyama, Ryoichi Tatara, and Shinichi Komaba
2. 発表標題 Impact of Electrolyte Additives on Interphase Chemistry and Performance in Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shogo Yamazaki, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, Hironori Mizuta, Kei Kubota, and Shinichi Komaba
2. 発表標題 Crosslinked Polyacrylate Binder and Electrode Maturation for Si-Based Composite for LIB
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Ryoichi Tatara, Tomooki Hosaka, Daisuke Igarashi
2. 発表標題 Materials Chemistry for Sodium- and Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 6th International Conference on Functional Materials Science 2022 / RIKEN SYMPOSIUM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井勇生, 多々良涼一, 高石玲奈, 椎山栄介, 松山貴志, 駒場慎一
2. 発表標題 希薄電極法によるハードカーボンの電気化学評価
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomooki Hosaka, Ryoichi Tatara, and Shinichi Komaba
2. 発表標題 Superconcentrated Aqueous Electrolytes for Na- and K-Ion Batteries
3. 学会等名 7th International Conference on Sodium Batteries (7th ICNaB 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 駒場慎一, 五十嵐大輔, 多々良涼一, 保坂知宙
2. 発表標題 汎用アルカリ金属をゲスト種とする炭素電極の機能開拓
3. 学会等名 電気化学会・キャパシタ技術委員会 令和5年度第1回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shogo Yamazaki, Asako Oishi, Ryoichi Tatara, and Shinichi Komaba
2. 発表標題 Binder Chemistry for Si and 5-Volt Spinel Electrodes for LIB
3. 学会等名 International Battery Association-2023 Annual Conference (IBA 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大石一城, 五十嵐大輔, 多々良涼一, 梅垣いづみ, 幸田章宏, 駒場慎一, 杉山純
2. 発表標題 オペランド $\mu + SR$ によるLiCoO <sub>2</sub> 中のLiイオン拡散
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤奈南子, 保坂知宙, 川邊瑞季, 多々良涼一, 駒場慎一
2. 発表標題 リチウム塩含有深共晶液体の開発とリチウムイオン電池への適用
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 インロ, 山崎正悟, 多々良涼一, 駒場慎一, 高石玲奈, 椎山栄介, 松山貴志
2. 発表標題 SAR系バインダーを用いたNMC正極の高電圧特性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 友井悠斗, 山崎正悟, 多々良涼一, 水田浩徳, 河野景, 森悟郎, 駒場慎一
2. 発表標題 ポリアクリル酸系バインダーを用いたSi系負極のマチュレーション処理の作用機構
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本竜成, 多々良涼一, 五十嵐大輔, 保坂知宙, 駒場慎一
2. 発表標題 非水系電解液を用いたルビジウム空気電池
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五十嵐大輔, 藤本竜成, 多々良涼一, 保坂知宙, 駒場慎一
2. 発表標題 黒鉛電極への電気化学的ルビジウムインターカレーション反応
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星悠樹, 保坂知宙, 多々良涼一, 駒場慎一
2. 発表標題 $K_xMn[Mn(CN)_6]$ の沈殿合成とカリウム電池特性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤井勇生, 五十嵐大輔, 多々良涼一, 保坂知宙, 高石玲奈, 椎山栄介, 松山貴志, 駒場慎一
2. 発表標題 希薄電極法によるハードカーボン負極のNa吸蔵 / 放出特性評価
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 守谷洸大, 三浦佑介, キムウンジョン, 保坂知宙, 多々良涼一, 熊倉真一, 駒場慎一
2. 発表標題 P' 2型Na <sub>2</sub> /3MnO <sub>2</sub> へのScの導入とNa電池正極特性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水優好, 前島捷人, 多々良涼一, 保坂知宙, 梅津和照, 岡田宣宏, 駒場慎一
2. 発表標題 犠牲塩Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> を添加したP2型Na <sub>2</sub> /3Ni <sub>1</sub> /3Mn <sub>2</sub> /3O <sub>2</sub> 電極の電気化学特性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関根紗綾, 保坂知宙, 前島捷人, 多々良涼一, 中山将伸, 駒場慎一
2. 発表標題 機械学習を用いたナトリウムイオン電池用Ni, Ti, Mn, Fe系層状酸化物正極材料の有望組成探索
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多々良涼一, 小杉始大, 石原研太, 大谷有紗, 保坂知宙, 青木一真, 宮本優希, 長田広幸, 武居祐子, 松井貴弘, 高山利治, 駒場慎一
2. 発表標題 カリウムイオン電池用電極材料を用いた全固体型カリウムイオン選択制電極
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Degradation of FEC Added Electrolytes in Si/Li and Si/LFP Cells
2. 発表標題 Shogo Yamazaki, Ryoichi Tataru, Hironori Mizuta, Kei Kawano, Goro Mori, Shinichi Komaba
3. 学会等名 International Battery Association-2023 Annual Conference (IBA 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 All-Solid-State Sodium and Potassium Polymer Batteries
2. 発表標題 Ryoichi Tataru, Hosei Suzuki, Mizuki Hamada, Shinichi Kumakura, Shinichi Komaba
3. 学会等名 International Battery Association-2023 Annual Conference (IBA 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多々良 涼一・五十嵐 大輔・保坂 知宙・駒場 慎一
2. 発表標題 スルホラン系濃厚電解液のカリウムイオン電池への適用
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本化学会(分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 200
3. 書名 モビリティ用電池の化学	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 負極活物質、負極、ナトリウムイオン電池、カリウムイオン電池及び負極活物質の製造方法	発明者 多々良 涼一 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-089895	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 空気電池	発明者 多々良 涼一 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-039116	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 カリウムイオン電池用正極活物質、カリウムイオン電池用正極、及びカリウムイオン電池	発明者 多々良 涼一 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-031044	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 カリウムイオン電池用電解液添加剤、カリウムイオン電池用電解液、カリウムイオン電池、カリウムイオンキャパシタ用電解液添加剤、カリウムイオンキャパシタ用電解液、及び、カリウムイオンキャパシタ	発明者 多々良 涼一 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-173969	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔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

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