

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14327

研究課題名（和文）ポリアニオンを骨格構造とする高速カリウム脱挿入正極材料に関する研究

研究課題名（英文）Study on Rapid Potassium Extraction/Insertion in Polyanion-Type Cathode Materials for Potassium Batteries

研究代表者

久保田 圭 (Kubota, Kei)

東京理科大学・理学部第一部応用化学科・講師

研究者番号：50709756

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：電極材料面でのブレイクスルーを起こすべく、カリウムイオン電池材料としてポリアニオンを骨格構造とする遷移金属オキソ酸カリウム材料を探索し、リチウムやナトリウムよりも低いルイス酸性を利用した“高速でカリウムを脱挿入可能な”ポリアニオン系正極材料の創製を目指した。遷移金属オキソ酸系カリウム材料を網羅的に探索し、 KTiOP_4 型材料やリン酸・シュウ酸複合オキソ酸系材料がカリウムの脱挿入に適したフレームワークを有しており、カリウムイオン電池正極として高出力特性を示すことを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カリウムイオン電池はリチウムイオン電池に匹敵もしくは凌駕する高電圧二次電池として期待されているが、その研究開発が黒鉛への電気化学的カリウム挿入脱離から始まった経緯から、世界でも負極材料に関する研究開発がほとんどであり、正極材料の研究開発は遅れている。本研究によって、イオン半径の大きなカリウムの挿入脱離に適したポリアニオン系材料を明らかにしたことで、カリウムイオン電池の正極材料開発が加速すると期待される。更に、カリウムイオンの拡散に特化したフレームワーク構造の発見は、固体イオニクスの研究として学術的にも意義がある。

研究成果の概要（英文）：Polyanionic compounds containing potassium have been extensively studied as positive electrode materials for K-ion batteries. The polyanionic compounds have a three-dimensional open framework consisting of MO_x ($M = \text{transition metals}$) and $(\text{XO}_4)_n^-$ ($X = \text{P, S, As, Si, Mo or W}$) polyhedra. The open framework is expected to lead to fast potassium diffusion in the structure and a high rate-performance of the batteries. Among the polyanionic compounds studied in this project, KTiOP_4 type materials and vanadium oxalate-phosphate hybrid materials exhibit long charge-discharge cycle life and excellent high rate performances in aprotic K cells. Their high operation potential close to 4 V enables 4V-class high-power K-ion batteries.

研究分野：固体イオニクス

キーワード：カリウムイオン電池 ポリアニオン化合物 正極材料 電池材料 二次電池 機能性セラミックス材料
固体イオニクス 電気化学

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) なぜカリウムイオン電池?

実用化されている二次電池の中でも、リチウムイオン電池は、最も高いエネルギー密度を誇り、1991年に我が国で初めて実用化されて以来、生活に欠かせない蓄電池となっている。しかし、リチウムイオン電池に必須な、リチウム、コバルトなどは稀少金属に分類され、特にリチウム資源は、南米大陸に偏在しており、資源確保のリスクを抱える国も多い。

このような背景のもと、究極の元素戦略電池として注目を集めているのが「ナトリウムイオン電池」や「カリウムイオン電池」であり、ナトリウムイオン電池は2010年頃から、カリウムイオン電池は2015年頃から世界中で研究開発が進められている^[1]。ナトリウムもカリウムも地殻埋蔵量が豊富であり、資源戦略的にはどちらも有利であるが、カリウムにはナトリウムよりもイオン拡散に優れ、リチウムよりも卑な標準電極電位という電気化学的優位性がある。

このような優位性や新規二次電池としての期待から、カリウムイオン電池の研究が世界的で活発化している。しかし、負極材料に関する研究開発がほとんどであり、正極材料の研究開発は遅れている。これは、カリウムイオン電池の研究開発が黒鉛負極への電気化学的カリウム挿入脱離の発見を転機に始まった経緯による影響もあるが、それ以上にカリウムイオンの脱挿入に適した結晶構造を有する正極材料の開発が困難であることを示唆している。

(2) 正極材料に求められる条件

カリウムイオン電池も電池の作動原理はリチウムイオン電池とほぼ同じである。充放電によってリチウムイオンが電極材料の構造中から可逆的に脱挿入して正負極間を行き来し、それと共に電極材料の酸化還元反応によって外部回路に電子が流れ、放電では電気エネルギーを取り出せる。ここで、正極材料に求められる条件を以下に列挙する。

ここで、カリウムイオン電池の正極材料に求められる条件を以下に列挙する。

高電位作動：高酸化数遷移金属イオンやオキソ酸による誘起効果を利用する。

高容量：構造内にKを占有可能な結晶学的位置を多く有し、真密度も高い。

長寿命：充放電に伴ってKが脱挿入しても構造的変化が小さく安定なホスト構造を有する。

急速充放電性能および低抵抗：高い電子伝導性とK⁺イオン電導性を有する。

これらを全て満たす材料の開発が求められており、特にとが基礎研究においては重要となる。図1に示す平均作動電位と容量の関係から^[2]、リチウムイオン電池で一般的な層状酸化物はカリウム電池では低作動電位かつ低容量であり、プルシアブルー類似体と呼ばれるシアノ錯体とポリアニオン化合物が高い作動電位と比較的高い容量を示すことがわかる。シアノ錯体はその単純なジャングルジム様構造から基本性能の大幅な向上は望めない一方で、ポリアニオン化合物には多様なフレームワーク構造が存在し、更なる高性能化が期待される。

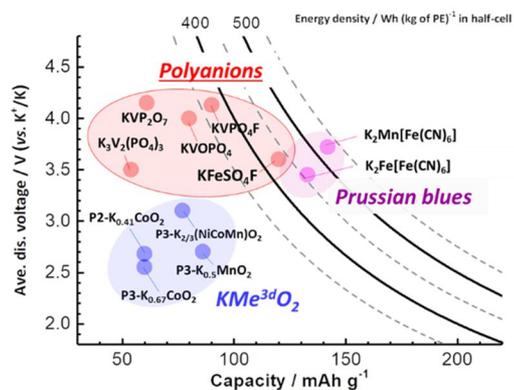


図1 各種正極材料の平均作動電位(V)と容量(mAh g⁻¹)、エネルギー密度(Wh kg⁻¹)の関係^[2]

2. 研究の目的

世界のカリウムイオン電池開発をリードする電

極材料を開発すべく、材料合成を主研究として、カリウムイオン電池正極材料のブレイクスルーを起こすと期待する高性能ポリアニオン系材料の創製を目指した。リチウムやナトリウムイオンと比べてカリウムイオンはルイス酸性が低いためイオン相互作用が弱く、固体中でも高速でカリウムを脱挿入できる可能性を有しており、優れた急速充放電特性が期待される。

3. 研究の方法

本研究では、材料探索とその設計、合成条件の最適化、電極特性評価、材料の結晶構造および電子状態の調査、の順に研究を遂行し、最終的に電極特性の評価に用いる電解液の研究も行い、電極特性の向上も目指した。

既報のポリアニオン化合物の組成、結晶構造および合成条件を踏まえて、初年度に既報材料および新奇材料の合成手法を検討し、得られた材料の電池特性を評価した。2年目では初年度に見出した材料に対して、結晶構造および電子状態変化等の反応機構を解明すると共に、カリウム電池評価に適した電解液の開発し、電極特性の更なる向上を目指した。

4. 研究成果

(1) 材料探索と材料設計

材料探索に先立ち、リチウムイオン電池でオリビン型正極材料として知られるトリフィライト LiFePO₄ (図2a左)の母構造(ヘテロサイト FePO₄ (図2a右))を用いて、電気化学的にLi, Na, Kを挿入脱離した際のアルカリ金属種による影響を調べた^[2]。図2bにその充放電曲線を示す。ヘテロサイト FePO₄電極はLiセルでは既報の通りに明瞭な電位平坦部を3.45 V vs. Liに示し、160 mAh g⁻¹の可逆容量を、Naセルでは約2.9 Vに電位平坦部、151 mAh g⁻¹の可逆容量

を示した。リチウムイオンが占有していた位置にイオン半径の大きなカリウムイオンが挿入されることは困難であると予想していたが、Kセルでも 120 mAh g^{-1} の可逆容量を示した。しかし、充放電曲線はスロープ状であり、その作動電圧も約 2.3 V と低い結果となった。この低い作動電圧は、ヘテロサイト FePO_4 へのカリウムイオンの挿入によって結晶構造が破壊されて微結晶化して、微結晶もしくは非晶質状態の FePO_4 へのカリウムイオンの挿入脱離反応に由来することを、X線回折法を用いて明らかにした。従って、ヘテロサイト FePO_4 中の Li 空孔にリチウムイオンやナトリウムイオンがトポタクティックに挿入され、脱離も可逆的に可能だが、イオン半径の大きなカリウムイオンの挿入には不適であることが明らかになった。この結果は、カリウムイオン電池正極材料として、大きなカリウムイオンの挿入脱離に適した構造を有するポリアニオン化合物の探索が必要であることを示唆している。

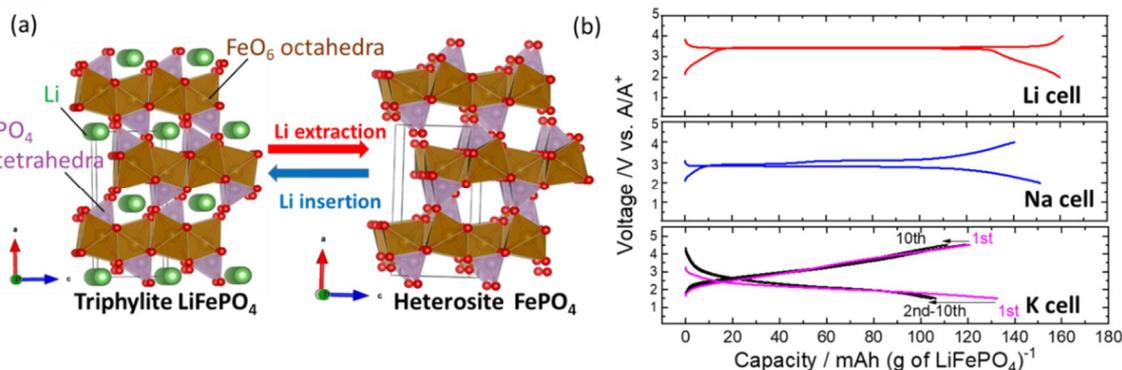


図2 (a) トリファイライト LiFePO_4 (左) とヘテロサイト FePO_4 (右) の結晶構造と (b) Li, Na, K セルにおけるヘテロサイト FePO_4 電極の充放電曲線^[2]

上述の知見を基に、遷移金属オキソ酸カリウムを網羅的に探索し、合成した各種材料のカリウム電池特性を既報材料も含めて比較し、総説にまとめた^[2]。本報告書ではその一部を記載する。

(2) 斜方晶系 KFeSO_4F と単斜晶系 KFeSO_4F

KFeSO_4F には2つの多形が存在することが知られており^[3]、図3に示すように KTiOPO_4 型構造を有する斜方晶系 $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ (図3a) と層状構造を有する単斜晶系 $m\text{-KFeSO}_4\text{F}$ (図3b) がある。その結晶構造の違いによるカリウム電池特性への影響を調べた^[2]。図3c, d にそれぞれの充放電曲線を示す。 $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ は 110 mAh g^{-1} と高い初回可逆容量を示し、20 サイクル後もその78%の容量を維持している。さらに、その平均放電電圧は 3.6 V と高く、これは $\text{Fe}^{2+/3+}$ の酸化還元電位としては極めて高いため、 SO_4^{2-} と F の誘起効果によるものと考えられる。一方、 $m\text{-KFeSO}_4\text{F}$ は 53 mAh g^{-1} の初回可逆容量と 3.4 V の平均放電電圧、20 サイクル後においては60%の容量維持率と、 $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ に劣る特性であった。2017年に我々が見出した高性能な KVPO_4F と KVOPO_4 も^[4]、 $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ と同形の KTiOPO_4 型構造を有しており、 KTiOPO_4 型のフレームワーク構造がカリウムイオンの脱挿入に適していることを明らかにした。

(3) 電解液開発による電極特性の向上

$o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ の電気化学特性は確かに $m\text{-KFeSO}_4\text{F}$ よりは優れたものの、充放電を繰り返すと容量が減少しており、寿命特性に課題があった。そこで、一般に用いられる KPF_6 /炭酸エステル系電解液の代わりに、高濃度電解液である 5.5 mol kg^{-1} カリウムビス(フルオロスルホニル)アミド (KFSA)/ジグリム電解液を用いると^[5]、図3eに示すように100 サイクル後も86%の容量を維持し、容量維持率が顕著に向上した。さらに、図3fに示すように KTiOPO_4 型の $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ は優れた出力特性を示すことを明らかにした。

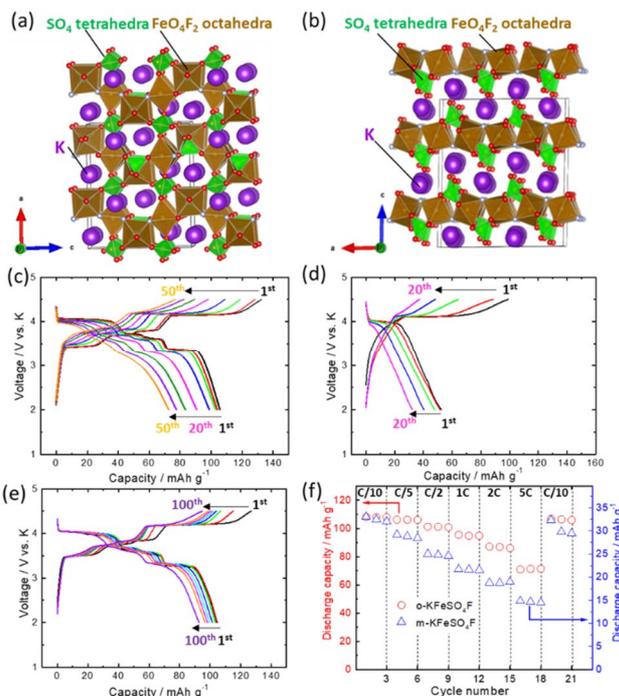


図3 (a) $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ と (b) $m\text{-KFeSO}_4\text{F}$ の結晶構造。(c) $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ と (d) $m\text{-KFeSO}_4\text{F}$ の $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaPF}_6$ /炭酸エチレン-炭酸プロピレン(1:1 v/v)電解液における K セルの充放電曲線。 $o\text{-KFeSO}_4\text{F}$ の 5.5 mol kg^{-1} /ジグリム電解液における K セルの (e) 充放電曲線と (f) 出力特性^[2]

(4) リン酸-シュウ酸複合オキソ酸系材料

KTiOPO₄ 型材料から脱却し、カリウム挿入脱離に適した新たなポリアニオン化合物として、リン酸-シュウ酸複合オキソ酸系材料 K₂[(VOHPO₄)₂(C₂O₄)]に着目した。当該材料は図 4a に示すように層状構造を有しており、層状 *m*-KFeSO₄F (図 3b) と同様にカリウム挿入脱離には不適かと思われたが、その充放電反応の可逆性は非常に高く、約 100 mAh g⁻¹ の可逆容量を 100 サイクルに渡って保持した (図 4b)。更に入出力特性も優れており、図 4c に示すように 10C すなわち 6 分間で充電を完了する急速充電条件でも 80% の容量を充電できることを見出した^[6]。充放電中の結晶構造の変化は小さく、層状バナジウムリン酸-シュウ酸複合酸のフレームワーク構造がカリウム挿入脱離に適していることを見出した。

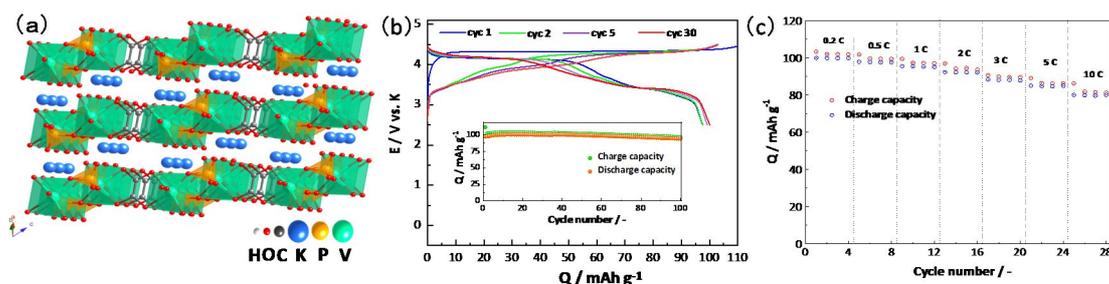


図 4 K₂[(VOHPO₄)₂(C₂O₄)]の (a) 結晶構造、(b) 定電流充放電曲線、(c) 入出力特性^[6]

このように、カリウム含有ポリアニオン化合物を網羅的に探索し、カリウム挿入脱離反応に適したフレームワーク構造を有する正極材料を見出した。遷移金属リン酸(もしくは硫酸)カリウムとしては、KTiOPO₄ 型材料がカリウム挿入脱離には適しており、電解液もカリウム電池評価に適したものに調製することで、高出力特性を達成した。更にKTiOPO₄型から脱却した新奇材料として、リン酸-シュウ酸複合オキソ酸系材料に展開し、K₂[(VOHPO₄)₂(C₂O₄)]が非常に優れた出力特性を示すことを明らかにした。本研究はカリウムイオン電池の正極材料として、ポリアニオン化合物の体系的な研究を世界で初めて行ったものであり、カリウム挿入脱離に適したフレームワーク構造を提案するまでに至っている。本研究で得られた知見が新奇なポリアニオン系カリウムイオン電池正極材料の設計指針となり、更なる高性能ポリアニオン系正極材料の開発に繋がると期待する。

参考文献

- [1] K. Kubota *et al.*, *Chem. Rec.*, **18**, 459 (2018).
- [2] T. Hosaka, K. Kubota, *et al.*, *Chem. Rec.*, **19**, 735 (2019).
- [3] L. Lander, *et al.*, *J. Mater. Chem. A*, **3**, 19754 (2015).
- [4] K. Chihara, K. Kubota, *et al.*, *Chem. Commun.*, **53**, 5208 (2017).
- [5] T. Hosaka, K. Kubota, *et al.*, *Chem. Commun.*, **54**, 8387 (2018).
- [6] A. S. Hameed, K. Kubota, *et al.*, *Adv. Energy Mater.*, **9**, 1902528 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6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 Hameed Abdulrahman Shahul, Katogi Akihiro, Kubota Kei, Komaba Shinichi	4. 巻 9
2. 論文標題 A Layered Inorganic/Organic Open Framework Material as a 4 V Positive Electrode with High Rate Performance for K Ion Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1902528 ~ 1902528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.201902528	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 Hosaka Tomooki, Muratsubaki Shotaro, Kubota Kei, Onuma Hiroo, Komaba Shinichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Potassium Metal as Reliable Reference Electrodes of Nonaqueous Potassium Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 3296 ~ 3300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b00711	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 Hosaka Tomooki, Kubota Kei, Hameed A. Shahul, Komaba Shinichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Research Development on K-Ion Batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.9b00463	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 Kubota Kei, Shimadzu Saori, Yabuuchi Naoaki, Tominaka Satoshi, Shiraishi Soshi, Abreu-Sepulveda Maria, Manivannan Ayyakkannu, Gotoh Kazuma, Fukunishi Mika, Dahbi Mouad, Komaba Shinichi	4. 巻 32
2. 論文標題 Structural Analysis of Sucrose-Derived Hard Carbon and Correlation with the Electrochemical Properties for Lithium, Sodium, and Potassium Insertion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 2961 ~ 2977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b05235	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 Hameed A. Shahul, Kubota Kei, Komaba Shinichi	4. 巻 -
2. 論文標題 CHAPTER 8. From Lithium to Sodium and Potassium Batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Future Lithium-ion Batteries	6. 最初と最後の頁 181 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/9781788016124-00181	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 Hosaka Tomooki, Shimamura Tomoaki, Kubota Kei, Komaba Shinichi	4. 巻 19
2. 論文標題 Polyanionic Compounds for Potassium Ion Batteries	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 735 ~ 745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.201800143	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 Hosaka Tomooki, Muratsubaki Shotaro, Kubota Kei, Onuma Hiroo, Komaba Shinichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Potassium Metal as Reliable Reference Electrodes of Nonaqueous Potassium Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 3296 ~ 3300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.9b00711	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36件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 五十嵐大輔、齋藤陸遙、久保田圭、伊藤祐司、猪瀬耐、井上浩文、武内正隆、駒場慎一
2. 発表標題 各種黒鉛材料の電気化学的カリウムインターカレーション特性
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野呂宣仁、深堀大河、小嶋はるか、保坂知宙、久保田圭、駒場慎一
2. 発表標題 KxMn1-yFe y [Fe(CN6)]の合成とカリウム電池正極特性
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保田圭、齋藤陸遙、伊藤祐司、猪瀬耐、井上浩文、武内正隆、駒場慎一
2. 発表標題 ソフトカーボン電極のリチウム・ナトリウム・カリウムインサージョン特性
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保坂知宙、深堀大河、久保田圭、小嶋はるか、伊藤祐司、猪瀬耐、井上浩文、武内正隆、駒場慎一
2. 発表標題 ヘキサシアノ鉄酸マンガンのカリウム電池正極特性に影響する諸因子の検討
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Tomooki Hosaka, Kei Kubota
2. 発表標題 Research Development on K-Ion Batteries, as post Li-ion and Na-ion batteries
3. 学会等名 21st International Symposium on Eco-materials Processing and Design (ISEPD2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomooki HOSAKA, Tomoaki SHIMAMURA, Kei KUBOTA, Shinichi KOMABA
2. 発表標題 Polyanionic Compounds as Positive Electrode Materials for K-Ion Batteries
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shahul Hameed ABDULRAHMAN, Akihiro KATOGLI, Kei KUBOTA, Shinichi KOMABA
2. 発表標題 K ₂ [(VO) ₂ (HPO ₄) ₂ (C ₂ O ₄)] as 4 V Electrode Material for K-Ion Batteries
3. 学会等名 MATERIALS RESEARCH MEETING 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤陸遙、久保田圭、猪瀬耐、伊藤祐司、井上浩文、武内正隆、駒場慎一
2. 発表標題 ソフトカーボン電極へのリチウム・ナトリウム・カリウム挿入脱離反応の調査
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内将規、保坂知宙、久保田圭、駒場慎一
2. 発表標題 カリウム含有層状遷移金属酸化物の合成とカリウム二次電池正極特性
3. 学会等名 第45回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松山達央、保坂知宙、久保田圭、安野聡、駒場慎一
2. 発表標題 KPF 6 KFSa電解液を用いた 4V級カリウムイオン電池の安定作動
3. 学会等名 第60回電池討論会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Kei Kubota
2. 発表標題 Material Science in K-Ion Batteries
3. 学会等名 第60回電池討論会 National project合同セッション (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takasumi Saito, Kei Kubota, Tsuyoshi Inose, Yuji Ito, Hirohumi Inoue, Masataka Takeuchi, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Effects of Carbonization Temperature of Needle Coke on Structure and Electrochemical Lithium, Sodium, and Potassium Storage Properties
3. 学会等名 6th International Conference on Sodium Batteries (ICNaB-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mirai Ohara, A.Shahul Hameed, Kei Kubota, Akihiro Katogi, Kuniko Chihara, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Synthesis and Electrochemical Performance of $K_6(VO)_2(V_2O_3)_2(P_2O_7)_4$ for K-ion Batteries
3. 学会等名 6th International Conference on Sodium Batteries (ICNaB-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiga Fukabori, Tomooki Hosaka, Kei Kubota, Haruka Kojima, Yuji Ito, Tsuyoshi Inose, Hirohumi Inoue, Masataka Takeuchi, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Ionic-Exchange Synthesis of High-Capacity Potassium Manganese Hexacyanoferrate Cathodes for Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 6th International Conference on Sodium Batteries (ICNaB-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mika Fukunishi, Shinichi Komaba, Tatsuo Horiba, Kei Kubota
2. 発表標題 Functional Binders for Li-, Na-, and K-Ion Batteries
3. 学会等名 236th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomooki Hosaka, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 K-Ion Batteries : Electrodes and Electrolyte
3. 学会等名 Lithium Battery Discussions (LiBD2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomooki Hosaka, Haruka Kojima, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Sodium and Potassium Insertion Mechanism into Manganese Hexacyanoferrate
3. 学会等名 Lithium Battery Discussions (LiBD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Hiroo Onuma, Kei Kubota, Tomooki Hosaka
2. 発表標題 K-ion vs. Li-ion capacitors : What about graphite electrode ?
3. 学会等名 6th International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋哲也、保坂知宙、久保田圭、駒場慎一
2. 発表標題 KFePO4Fの合成とカリウム電池特性
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会 (ECSJ2019)、
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.Komaba, T.Hosaka, K.Kubota, T.Matsuyama, A.Noda, Y.Matsuda, K.Ida, S.Denzumi
2. 発表標題 Super-concentrated KFSA Solutions for Non-Aqueous & Aqueous Rechargeable Batteries
3. 学会等名 70th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE 2019), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Kei Kubota, Tomooki Hosaka
2. 発表標題 On the materials of Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 Power our future 2019 The 4th International Forum on Progress and Trends in Battery and Capacitor Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S.H.Abdulrahman, A.Katogi, K.Kubota, S.Komaba
2. 発表標題 K2 [(VO)2(HP04)2(C204)] and Kx VOP04 as 4 V-Class Positive Electrode Materials for K-Ion Batteries
3. 学会等名 235th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 保坂知宙、島村友章、久保田圭、駒場慎一
2. 発表標題 カリウムイオン電池の材料開発と研究動向
3. 学会等名 第106回新電池構想部会講演会「次世代蓄電池としての新奇電池」、(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Kei Kubota, Hiroo Onuma
2. 発表標題 Graphite electrodes for Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 2019 MRS Spring Meeting and Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田圭、小沼宏生、猪瀬耐、伊藤祐司、井上浩文、武内正隆、駒場慎一
2. 発表標題 カリウムイオン蓄電池用黒鉛の負極特性に影響する諸因子の研究
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 松山達央、保坂知宙、久保田圭、安野聡、駒場慎一
2. 発表標題 KPF6-KFSA電解液の4V級カリウムイオン電池への適用
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 駒場慎一、久保田圭、保坂知宙
2. 発表標題 汎用アルカリ元素を用いる蓄電池の材料化学
3. 学会等名 日本化学会第99回春季年会 ATPセッション：T2D革新的な蓄電技術開発（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomooki Hosaka, Tomoaki Shimamura, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Polyanionic Compounds for K-Ion Batteries
3. 学会等名 International Battery Association (IBA2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田圭、駒場慎一
2. 発表標題 ナトリウム・カリウムイオン電池の材料開発
3. 学会等名 分離技術会年会2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Kei Kubota, Tomooki Hosaka, A. Shahul Hameed, Tomoaki Shimamura
2. 発表標題 Positive electrode materials for 4-volt K-ion batteries
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Lithium Batteries (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kei Kubota, Tomoaki Shimamura, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Electrode Performance and Phase Transition Mechanism of KFeS _{0.4} F for K-Ion Batteries
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Shahul Hameed, Akihiro Katogi, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 Facile Synthesis of Layered Metal Organophosphate Open Frameworks (MOPOFs) for High Voltage Electrode Materials in K-Ion Batteries
3. 学会等名 The 19th International Meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 駒場 慎一、久保田 圭
2. 発表標題 リチウムフリー・4ボルト級蓄電池の開発
3. 学会等名 日本化学会 R&D懇話会200回 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Shahul Hameed, Akihiro Katogi, Kei Kubota, Shinichi Komaba
2. 発表標題 A2[(VO)2(HPO4)2(C2O4)]; (A= Na and K) as positive electrode materials for Na-ion and K-ion Batteries
3. 学会等名 5th International Conference on Sodium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinichi Komaba, Tomooki Hosaka, Tomoaki Shimamura, Kei Kubota
2. 発表標題 Polyanionic Compounds for Potassium-Ion Batteries
3. 学会等名 International Battery Association (IBA 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 駒場慎一、久保田圭、保坂知宙
2. 発表標題 汎用アルカリ元素を用いる蓄電池の材料化学
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----