

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410251

研究課題名(和文) 多元素系リチウムイオン二次電池正極材のコンビナトリアル高速スクリーニング

研究課題名(英文) Combinatorial high-throughput screening for multi-element system lithium ion secondary battery cathode materials

研究代表者

藤本 憲次郎 (FUJIMOTO, Kenjiro)

東京理科大学・理工学部・准教授

研究者番号：70366441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：リチウムイオン二次電池正極材の代替物質が探索されるなか、コンビナトリアル技術を駆使して多元素系材料の探索を進め、層状岩塩構造を有する $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Ti})\text{O}_2$ では遷移金属サイトに10%のTiを含む物質群が優れたサイクル特性を有することを見出してきた。Ti置換効果は層状岩塩型に限らず、スピネル型化合物においても同様の挙動を示した。オリビン型構造では $\text{LiFe}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Co}_y\text{P}_04$ の初期放電容量において、Co無置換体に比べ、Co10%置換体 $\text{LiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Co}_{0.1}\text{P}_04$ の値が大きくなる傾向もみられた。これらの知見は、多元素系新規機能材を探索する上で、大きな指針になると期待する。

研究成果の概要(英文)：I have hitherto found that layered-type  $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co})_{0.9}\text{Ti}_{0.1}\text{O}_2$  showed better cycle performance than the other  $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Ti})\text{O}_2$  using the high-through-put combinatorial materials preparation system and the conventional evaluation process for electrode property. The Ti-substitution effect was observed not only layered-type but also spinel-type oxides and so on. Also, in the exploration and characterization of olivine-type  $\text{LiFe}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Co}_y\text{P}_04$ ,  $\text{LiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Co}_{0.1}\text{P}_04$  showed higher 1st discharge capacity than the other  $\text{LiFe}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Co}_y\text{P}_04$  library. These results are promising information as guiding principle of materials design.

研究分野：無機材料化学 コンビナトリアル化学

キーワード：リチウムイオン電池 層状岩塩型構造 オリビン型構造 オリビン型構造 多元素系機能材料

1. 研究開始当初の背景

(1) リチウムイオン二次電池正極材

リチウムイオン二次電池正極材には  $\text{LiCoO}_2$  が初期から広く用いられている。 $\text{LiCoO}_2$  は空間群  $R\bar{3}m$  に属する層状岩塩構造 ( $\alpha\text{-NaFeO}_2$  型) をしており、立方最密充填した酸素(111)面の片側の八面体位置に  $\text{Li}^+$  イオンが、反対側の八面体位置に  $\text{Co}^{3+}$  が交互に配列し、c 軸方向に  $\text{Li}$  層と  $\text{Co}$  層が交互に積層した構造を持つ。更なる特性や安全性の向上、コスト削減が求められ、 $\text{LiCoO}_2$  同型化合物である  $\text{LiNiO}_2$  や、 $\text{Co}$  の一部または全てを  $\text{Ni}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Al}$  などによって置換した材料やオリビン型構造をもつ代替材料の研究が広く行われている。

(2) コンビナトリアルケミストリー

コンビナトリアルケミストリーはノーベル化学賞を受賞した Merrifield により「架橋して不溶化したポリマービーズ上に反応場を設定し、あるアミノ酸を反応させて未反応物を洗浄したのち、次のアミノ酸を反応させて洗浄・分離・精製する方法を繰り返してタンパク質を合成する方法」を開発したことに端を発することが知られている。実際には、この同時期(1960年代)に Kennedy (*J. Appl. Phys* **36** (1965) 3808-3810.) や Miller, Hanak らによってスパッタリング技術を活用することで金属・無機材料の分野でも探索技術として検討されてきた。しかし、当時はコンピュータや高速分析評価装置などのツールがなく、すぐに発展へ繋がる状況ではなかった。1986年よりこの15年間、ドライおよびウェットのそれぞれの分野で装置開発が進み、上述(研究目的)のように申請者のグループでも装置開発そしてリチウムイオン二次電池正極材や酸化物熱電変換材料の探索を行えるようになった。

(3) 研究成果を踏まえ着想に至った経緯

これまでにウェットプロセスのひとつである静電噴霧堆積法を基盤技術としたコンビナトリアル材料探索システムを開発し、実際に  $\text{LiCoO}_2$  の同型多元素置換体の固溶領域とその電極特性を調査してきた。一例として、当該システムを用いて、擬四元系  $\text{Li-Ni-Co-Ti}$  系酸化物の状態図の作成と電極特性の調査を進めてきた。状態図の作成では、層状岩塩型構造は「リチウム」と「その他遷移金属の総和」の元素比率が 1 : 1 で、かつ、「ニッケル&コバルト」と「チタン」の元素比率が 10 : 0 ~ 7 : 3 の範囲で得られることがわかり、Liu ら (*Electrochimica Acta* **49** (2004) 1151) により示された研究範囲よりも広範囲で層状岩塩型構造が得られることを見出した。さらに電池特性評価を進めたところ、 $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Ti})\text{O}_2$  は  $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co})\text{O}_2$  よりも良好なサイクル特性と低い初期放電容量を示した。特に、遷移金属中の  $\text{Ti}$  比が 10% のとき最も良好なサイクル特性を示した。また、 $\text{Ti}$  量の

増加に伴いカチオンミキシングの増加と結晶子サイズの減少が確認された。

これらの結果を踏まえ、「 $\text{Ti}$  の置換量」、「遷移金属の混合比」、それらにより左右される「粒子特性」は電池特性と密接な関係があるものと考えられ、その関係を詳細に見出すべく、そして新たな代替材料を見出すべく、本申請である「多元素系リチウムイオン二次電池正極材のコンビナトリアル高速スクリーニング」の着想に至った。

2. 研究の目的

$\text{LiCoO}_2$  に代わるリチウムイオン二次電池正極材の探索は、結晶構造制御や元素置換などにより多くの系において検討がなされている。本申請では、コンビナトリアルテクノロジーを駆使して  $\text{LiCoO}_2$  や  $\text{LiFePO}_4$ 、 $\text{Li}_2\text{MnO}_3$  などの同型多元素置換体の固溶領域とその電極特性を調査することを目的とする。このコンビナトリアルテクノロジーは創薬の分野で広く用いられてきたが、この10年で無機材料探索のための装置開発も進み、実際に申請者の研究グループでも静電噴霧堆積法を基盤技術として1日に100種類からなる試料群(ライブラリー)の作製を可能にしてきた。これまでに  $\text{LiCoO}_2$  層状岩塩型複合酸化物の  $\text{Co}$  サイト多元素置換体において代替候補材料を見出してきたことから、その知見を生かし、オリビン型結晶構造などを含めた新規代替材料の創出を目指す

3. 研究の方法

図1には本研究で用いた材料探索システムを示す。溶液プロセスのひとつである静電噴霧堆積法を基盤技術とした高速材料合成システム(図右)を活用し、図左をイメージとする反応図をコンビナトリアル高速粉末 X 線回折装置による相同定結果と ICP 発光分光分析法による組成分析結果から構築した。そして、目的の結晶構造を有する組成について、従来法の静電噴霧堆積法により粉体を作製し、これを活物質として導電材および結着材との混合から作製した正極を用いて三電極式ビーカーセル、もしくはコイン型電池を作製して電極評価を行った。

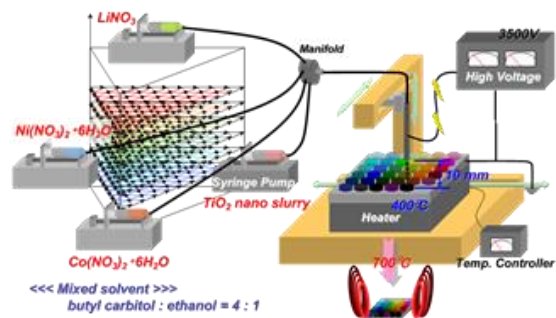


図1. コンビナトリアル高速材料探索概念図

(1) 層状岩塩 (LiCoO<sub>2</sub>) 型 : Li(NiCoFeTi)O<sub>2</sub> 反応図作成と電極特性

出発原料には LiNO<sub>3</sub>, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O の各硝酸塩およびエタノール分散 TiO<sub>2</sub> ナノスラリーを用い、これらを 2-(2-n-ブトキシエトキシ)エタノールとエタノールの混合溶媒に溶解または再分散させ 0.2 mol/L に調製した。これらの原料溶液を静電噴霧型コンビナトリアルシステム”M-ist Combi”へ導入し、組成比を 10%ごとに変化させた 66 試料からなる LiNi<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub>-LiCo<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub>-LiFe<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub> 粉末ライブラリを作製した。ライブラリは酸素雰囲気下 (150 mL/min.), 650 および 700 °C で焼成し、相同定にはコンビナトリアル X 線回折装置を、組成分析には ICP 発光分光分析法を用いた。

(2) オリビン (LiFePO<sub>4</sub>) 型 : Li(Fe, Co, Mn)O<sub>2</sub> 反応図作成と電極特性

出発原料は LiNO<sub>3</sub>, Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O, Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O および H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> を用い、上記混合有機溶媒中に溶解させ、0.2 mol/L に調整した。これらを、(Li:Fe:P = 1:1:1), (Li:Mn:P = 1:1:1), (Li:Co:P = 1:1:1) の組成になるように混合し、”M-ist Combi” システムへ導入した。なお、溶液混合時における原料の凝集・偏析を抑制するため、各溶液に 1.2 mol/L の HCl を 3 vol% 加えた。ソフトウェアによる自動制御により、接地・加熱した反応基板に 66 種類の試料群を堆積させ、500~700°C、Ar (97%) -H<sub>2</sub> (3%) 混合ガス雰囲気下で 2 時間焼成した。試料群の X 線回折パターンと組成分析結果から反応図を作成した。

(3) スピネル型 Li(Ni, Mn, Ti)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の探索と電極特性

出発原料は LiNO<sub>3</sub>, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O およびエタノール分散 TiO<sub>2</sub> ナノスラリーを用いた。これらを上記混合有機溶媒 (体積比 4 : 1) に溶解させ、各々 0.2 mol/L に調整した。そして、Li:Mn = 1:1, Li:Ni = 1:1, Li:Ti = 1:1 となる混合原料液体を ”M-ist Combi” システムへ導入した。これら混合原料液体において Li 成分が 100% 過剰 (2 倍量) なのは、噴霧および焼成時における Li の飛散を考慮しているためである。ソフトウェアによる自動制御により、接地・加熱した YSZ 基板上に試料群を堆積させ、酸素雰囲気下、700°C で 3 時間焼成した。

#### 4. 研究成果

(1) 層状岩塩 (LiCoO<sub>2</sub>) 型 : Li(NiCoFeTi)O<sub>2</sub> 反応図作成と電極特性

図 2 には、酸素雰囲気下 (150 mL/min.), 650 および 700 °C で焼成した LiNi<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub>-LiCo<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub>-LiFe<sub>0.85</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub> 粉末ライブラリの反応図を示す。焼成温度の上昇に伴い、Fe の固溶領域が拡大することが分かった。

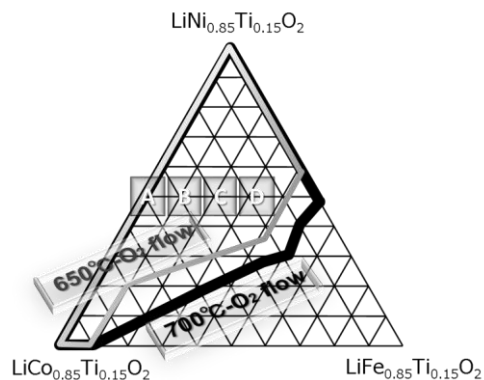


図 2. 擬三元 LiNi<sub>0.8</sub>Ti<sub>0.2</sub>O<sub>2</sub> - LiCo<sub>0.8</sub>Ti<sub>0.2</sub>O<sub>2</sub> - LiFe<sub>0.8</sub>Ti<sub>0.2</sub>O<sub>2</sub> 反応図 (700°C 酸素雰囲気)

表 1. LiNi<sub>0.425</sub>Co<sub>1-y</sub>Fe<sub>y</sub>Ti<sub>0.15</sub>O<sub>2</sub> の電極特性

650°C	A	B	C	D
1 <sup>st</sup> Dis. Capacity/mAhg <sup>-1</sup>	135	137	146	104
Ret. Rate/% (50 cycles)	89	93	82	77
700°C	A	B	C	D
1 <sup>st</sup> Dis. Capacity/mAhg <sup>-1</sup>	140	135	136	84
Ret. Rate/% (50 cycles)	98	97	93	

また、Fe 固溶量による電極特性の変化を観察するために図 2 中の ”A”, ”B”, ”C” そして ”D” の組成において粉体を作製し、その電極特性において電極特性評価を進めたところ、表 1 のように Fe 固溶量が遷移金属サイトのなかで 10% 以内であれば 135~140mAhg<sup>-1</sup> を示し、かつ 50 サイクル後の容量維持率も 90% を示すことがわかった。また粉体の焼成温度も 700°C が適していることを見出した。一方で Fe 固溶量が遷移金属サイトに対して 10% を超える場合、電圧降下を示すなど、構造安定性に問題がある傾向も示され、以上の結果により、LiCoO<sub>2</sub> の Co サイトへの Ti や Fe の置換量の制御が材料設計に大きく寄与する可能性が見出された。

(2) オリビン (LiFePO<sub>4</sub>) 型 : Li(Fe, Co, Mn)O<sub>2</sub> 反応図作成と電極特性

図 3 は擬三元系 LiFePO<sub>4</sub>-LiMnPO<sub>4</sub>-LiCoPO<sub>4</sub> 反応図を 500, 600, 700°C の各温度域について作成したものである。500°C では全ての組成で目的の構造であるオリビン型構造が得られた。ただし、一部の組成条件では Li<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> の生成も見られ、これは焼成時間を増やすことで消滅することが確認された。600°C および 700°C においても、全ての組成範囲でオリビン型構造の生成が確認された。しかし、Co リッチの組成では、分解反応が進行し、Co<sub>2</sub>P の生成も確認され、焼成温度が上がると、その領域は大きくなることが分かった。

図 4 は 600°C で焼成した LiFe<sub>1-x-y</sub>Mn<sub>x</sub>Co<sub>y</sub>PO<sub>4</sub> の初期放電容量を示す。Co を含まない

LiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>PO<sub>4</sub> に比べ、Co を 10% 含む LiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Co<sub>0.1</sub>PO<sub>4</sub> の初期放電容量が大きくなる傾向が見出された。それは、Kim ら [Chem. Comm. 46 (2010) 1305-1307.] が報告するように、構造中に Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> が存在することで充放電に伴う酸化還元反応が促進されたと考えられる

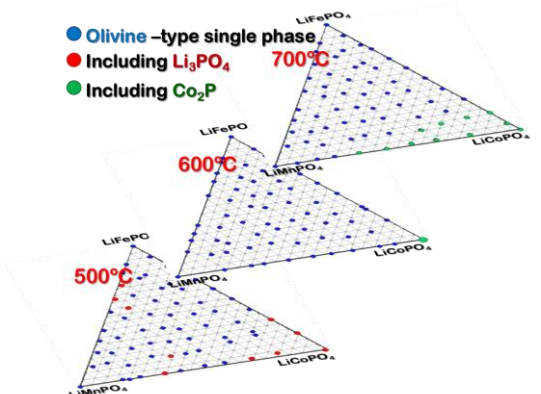


図 3. 擬三元 LiFePO<sub>4</sub>-LiMnPO<sub>4</sub>-LiCoPO<sub>4</sub> 反応図 (@500, 600, 700°C)

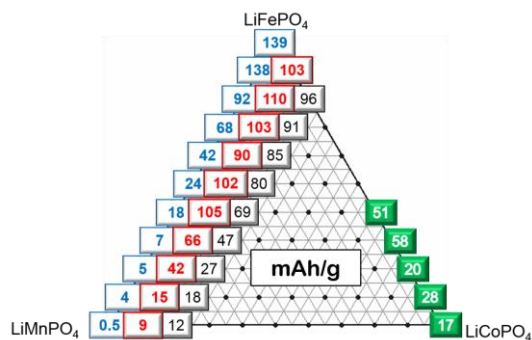


図 4. LiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Co<sub>0.1</sub>PO<sub>4</sub> の初期放電容量 (600°C 焼成試料)

なお、従来技術である静電噴霧堆積法によりオリビン型構造を有する試料を複数作製した。

LiFePO<sub>4</sub> について、静電噴霧堆積後、ペレット成型した粉体を Ar (97%) - H<sub>2</sub> (3%) の混合ガス中、熱処理温度 600°C、保持時間 2 時間で熱処理したとき、Scherrer 法により結晶子サイズを算出すると 58 nm の微粒子群であることが分かった。SEM による微細構造観察でも同様の傾向が示された。この LiFePO<sub>4</sub> の初期放電容量は 0.1 C の充放電レートにおいて 139 mAh/g であることを示した。これは、LiFePO<sub>4</sub> の電池特性を見出した Padhi ら [J. Electrochem. Soc. 144 (1997) 1188-1194] の容量 (約 0.012 C で 129 mAh/g) を凌ぐ。粒子が微細になったことから、LiFePO<sub>4</sub> 粒子内の Li<sup>+</sup> イオンの拡散が改善されたと考えられる。このように、静電噴霧堆積法で微粒子を作製することによる利点も見出すことができた。

同様のプロセスで LiFe<sub>0.9</sub>Mn<sub>0.1</sub>PO<sub>4</sub> を作製したところ、初期放電容量は 138 mAh/g となり、LiFePO<sub>4</sub> と同等の容量が得られた。加えて、Mn<sup>2+</sup>/Mn<sup>3+</sup> の酸化還元対に対応する 4 V 周辺の

高電位における充放電容量も観測された。しかし、Mn 置換量をさらに増加させると、容量は減少していく傾向が見られた。これは、LiMnPO<sub>4</sub> の導電性 (約 10<sup>-10</sup> S/cm) が LiFePO<sub>4</sub> (約 10<sup>-8</sup> S/cm) に比べて低い [J. Electrochem. Soc. 151 (2004) A1352-A1356] ためと考えられた。

LiCoPO<sub>4</sub> を同条件において作製した結果、オリビン型 LiCoPO<sub>4</sub> に加えて、副生成物として微量の Co<sub>2</sub>P が生成した。ただし、適度な Co<sub>2</sub>P の存在は、導電性の増加が期待される [J. Phys. Chem. 112 (2008) 8017-8023] ことから電極特性を調査したが、ほとんど放電容量を得ることが出来なかった。

### (3) スピネル型 Li(Ni, Mn, Ti)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の探索と電極特性

反応図では、遷移金属サイトに Mn が約 50% 以上含まれる領域でスピネル構造の固溶体を得ることを確認した。

次に LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>4</sub> の組成に着目して静電噴霧堆積法により粉体を作製し、電極評価を主とした結果が表 2 となる。上記 (1), (2) と同様に Ti が遷移金属サイトのなかで 10% ほど固溶する条件のサイクル特性が優れている傾向を示した。

表 2. LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>4</sub> の電極特性 (0 ≤ x ≤ 0.5)

x	放電容量 (mAh/g)			容量維持率 (%)	
	1st	20th	30th	20th	30th
0	119	109	103	91	87
0.1	117	114	110	97	93
0.2	123	120	118	98	97
0.3	110	102	99	93	90
0.4	108	98	96	91	89
0.5	93	80	78	86	83

以上の (1) ~ (3) ように、既知の材料系において、さらに Ti や Fe などの遷移金属を加えた多元素置換体では、置換量制御により特性の向上がさらに期待でき、今後、結晶構造の詳細な解析などを組み込むことで、より精度の高い材料設計指針の提案が出来るようになることを期待している。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

1. Kenjiro FUJIMOTO, Mami YOSHIMURA, Yuta SHIMONISHI, Shigeki KOMINE and Yuki YAMAGUCHI, Electrode Property of Spinel-type LiNi<sub>0.5</sub>Mn<sub>1.5-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>4</sub> (0 ≤ x ≤ 1.5) Prepared by Electrostatic Spray Deposition, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, in print (査読有)
2. Miharuru Iida, Tomoyuki Nakamura, Kenjiro Fujimoto, Yuki Yamaguchi, Ryuji Tamura, Tsutomu Iida and Keishi

- Nishio, Thermoelectric Properties of  $Mg_2Si_{1-x-y}Ge_xSb_y$  Prepared by Spark Plasma Sintering, *MRS Advances* (2016) online (査読有)  
DOI: 10.1557/adv.2016.332
3. **Kenjiro FUJIMOTO**, Yuto ISHIDUKA and Yuki YAMAGUCHI, *In-situ* observation of nitrogen monoxide adsorption on perovskite-type  $MTiO_3$  ( $M = Sr, Ba$ ), *Journal of the Ceramic Society of Japan* **24**[5] (2016) 579-583. (査読有)  
DOI: 10.2109/jcersj2.15281
  4. **Kenjiro Fujimoto**, Minoru Gibu, Yuki Yamaguchi and Keishi Nishio, Phase relation and thermoelectric property of  $Ca_{1-x}Bi_xMn_{1-y}Ni_yO_3$  ( $0 \leq x, y \leq 0.1$ ), *MRS Advances* (2016) online (査読有)  
DOI: 10.1557/adv.2016.173
  5. **藤本 憲次郎**, 伊佐 拓人, 櫻井 はるか, 山口 祐貴, 西尾 圭史, 伊藤 滋, 静電噴霧熱分解法による  $Ca_3(Co, M)_4O_{9+\delta}$  型熱電材料 ( $M: Al, Cu$ ) の作製と評価, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy* **62**(4) (2015) 175-184. (査読有)  
DOI: 10.2497/jjspm.62.175
  6. **Kenjiro FUJIMOTO**, Shogo YOSHIDA, Yuki YAMAGUCHI and Shigeru ITO, Preparation and Thermoelectric Properties of Perovskite-Type  $A_xCa_{1-x}B_yMn_{1-y}O_{3-\delta}$  ( $a: La, Bi, Y, Sr$ ) ( $b: Ni, Ti, V$ ) thin-Films by Electrostatic Spray, *Key Engineering Materials* **617** (2014) 256-259. (査読有)  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.617.256
  7. **Kenjiro FUJIMOTO**, Kenji TAKAMORI, Yuki YAMAGUCHI and Shigeru ITO, Single crystal growth and structure refinement of hollandite-type  $K_{1.98}Fe_{1.98}Sn_{6.02}O_{16}$ , *Journal of Crystal Growth* **390** (2014) 88-91. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2013.12.031
  8. **Kenjiro FUJIMOTO**, Chihiro YAMAKAWA, Yuki YAMAGUCHI and Shigeru ITO, Correlativity of nitrogen oxide adsorption mechanism and crystal structure in hollandite-type compounds, *Materials for Renewable and Sustainable Energy* **3:19** (2014). (査読有)  
DOI: 10.1007/s40243-013-0019-9
  9. **Kenjiro FUJIMOTO**, Toru TAGUCHI, Shogo YOSHIDA, and Shigeru ITO, Design of Seebeck coefficient measurement probe for powder library, *ACS Combinatorial Science* **16**(2) (2014) 66-70. (査読有)  
DOI: 10.1021/co400030u
  10. **Kenjiro FUJIMOTO**, Yosuke SHIMURA and

Shigeru ITO, Establishment of pseudo-ternary  $Li_{0.5}-NiO-MnO_2$  phase diagram by combinatorial wet process, *ACS Combinatorial Science* **15**(12) (2013) 626-630. (査読有)

DOI: 10.1021/co400032p

他 15 件

[学会発表] (計 144 件)

1. 南部公平・芳野大喜・山口祐貴・**藤本憲次郎**,  $LiNi_{0.8}Ti_{0.2}O_2 - LiCo_{0.8}Ti_{0.2}O_2 - LiFe_{0.8}Ti_{0.2}O_2$  擬三元系反応図の作成および  $LiNi_{0.4}Co_{0.2}Fe_{0.2}Ti_{0.2}O_2$  の充放電特性, 日本セラミックス協会 2016 年年会, 2016. 3. 16, 早稲田大学 (東京都新宿区)
2. 森明寛・山口祐貴・伊藤滋・**藤本憲次郎**,  $Li_2MP_2O_7$  ( $M=Fe, Mn, Ni, Co$ ) の反応図の作成と電極評価, 第 54 回セラミックス基礎科学討論会, 2016. 1. 7, アバンセ (佐賀県佐賀市)
3. **Kenjiro Fujimoto**, Yuki Yamaguchi, Advantage Effect of Multielement Substitution in Candidate Cathode Materials Exploration for Lithium Ion Secondary Battery, 2015 MRS Fall Meeting and Exhibition, 2015. 11. 30, Boston (USA)
4. Minoru Gibu, Yuki Yamaguchi, Keishi Nishio, **Kenjiro Fujimoto**, Improvement Study for the Electrical Conductivity Evaluation of Powder Library, 2015 MRS Fall Meeting and Exhibition, 2015. 12. 2 Boston (USA)
5. **藤本憲次郎**・榎修平・山口祐貴, リン酸鉄マンガリチウムの Co 置換効果, 無機マテリアル学会第 131 回講演会, 2015. 11. 5, ウィンクあいち (愛知県名古屋市)

他 139 件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/iflab/index-ja.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 憲次郎 (FUJIMOTO, Kenjiro)

東京理科大学・理工学部・准教授

研究者番号: 70366441