

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05241

研究課題名（和文）ナノ粒子結晶内のイオン配列制御による高速・高効率な電気化学反応の実現

研究課題名（英文）Achieving High-Speed and High-Efficiency Electrochemical Reactions through Ion Arrangement Control in Nanoparticle Crystals

研究代表者

岩間 悦郎（Iwama, Etsuro）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：90726423

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、特に結晶内・結晶表面の局所化学配列(LCO: Local Chemical Order)や空孔・欠陥、「LCO」近傍の粒界に着目し、これらの量的解析を通して、高出力・高効率・安定な電気化学反応を可能とする新規蓄電材料創製を試みた。Li3V04やZnSiP2結晶中のイオン配列制御(カチオン配列・欠陥導入)を通して、酸化還元反応の熱力学的エネルギー準位分布を制御することで、より高効率な反応・充放電高速化を目的としている。これまで合成された無数のイオンインサージョン型の電池電極材料群を原型として本手法を適用することで、高性能な新規蓄電材料群へと転換させることが可能となると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

局所化学配列(LCO)解析・制御に着目した本研究は、リチウムイオン電池負極材料Li3V04をモデル材料として、X線散乱解析からcation-disorder化したLi3V04結晶内の秩序配列距離の数値化を試みた点で画期的である。本手法を他のLCO制御材料に適用することで、秩序配列距離の数値比較を行い、材料特性と紐づけすることで新たな解析軸が生まれ、新規材料開発に繋がると期待される。さらに本研究で開発された材料転換手法を、これまで合成された無数のイオンインサージョン型の電池電極材料群を原型として適用することで、高性能な新規蓄電材料群へと転換させることが可能となると期待される。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on the localized chemical arrangement within and on the surface of crystals (Local Chemical Order, "LCO"), as well as on vacancies, defects, and grain boundaries near the "LCO." Through quantitative analysis of these features, we aim to develop novel energy storage materials that enable high-output, high-efficiency, and stable electrochemical reactions. By controlling the ionic arrangement within the crystal (including cation arrangement and defect introduction), the goal is to manipulate the thermodynamic energy level distribution of redox reactions, thereby achieving more efficient reactions and faster charge-discharge cycles. Applying this approach to the numerous ion-insertion type battery electrode materials synthesized so far is expected to transform them into high-performance, novel energy storage materials.

研究分野：電気化学・エネルギー化学・ナノ材料科学

キーワード：イオン配列制御 高速充放電 エネルギー高効率

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

イオンの吸脱着を利用した電気二重層型キャパシタ(EDLC)は、低抵抗に起因した高入出力特性および広い電位範囲の充放電プロファイルにより、太陽光/風力などの再エネや環境発電を高効率に受け入れることができるが、その低いエネルギー密度が課題である。しかしながら、活性炭電極材料の充放電メカニズムから考えれば、EDLCの劇的なエネルギー密度向上は根本的には限界が存在する。単純な高エネルギー密度化のみを志向するのであれば、キャパシタ電極材料を酸化還元反応を利用する高容量ナリチウムインサージョン系材料へ置き換えるアプローチが有効となる(キャパシタ材料：40 mAh g⁻¹、インサージョン系材料：120-200 mAh g⁻¹)。一方で、リチウムインサージョン系材料は、キャパシタ材料と比較してサイクル特性(キャパシタ材料：100,000回、インサージョン系材料：1,000回)、充放電レート(キャパシタ材料：300C、インサージョン系材料：10C)が低いことが課題となる。これは電子移動を伴う反応が電解液分解の促進や電荷移動による抵抗増加を引き起こすことに由来している。これらの課題を解消し、次世代の高パワー・高エネルギー密度を有する蓄電デバイス構築するためには、インサージョン系材料の電池的特性をキャパシタ的特性へ如何に転換させるかという問いが重要であり、新たな材料手法開拓が必要である。

2. 研究の目的

本申請は、結晶中のイオン配列制御(カチオン配列・欠陥導入)を通して、酸化還元反応の熱力学的エネルギー準位分布を制御することで、より高効率な反応・充放電高速化を可能な蓄電(キャパシタ)電極材料の創製を目的とした。これまで合成された無数のイオンインサージョン型の電池電極材料群を原型として本手法を適用することで、高性能な新規蓄電材料群へと転換させることが可能となる。さらにナノ粒子合成技術および表面欠陥の導入を組み合わせることで、イオン・電子の混合伝導相を有する特異なナノ粒子の合成も試みる。開発する新規材料は、例えば変動の激しい再生可能エネルギーの高効率回収や、環境発電で発生する微弱電流の高効率利用、さらにはナノ粒子表面における電気化学的な物質変換技術(新規触媒)への応用展開にも繋がると期待される。

上記のとおり、本申請ではナノ粒子に対し結晶化度・固溶制御(非結晶化・カチオン無秩序化・欠陥導入・異種金属固溶)を適用することで、結晶内の高イオン伝導性と粒子界面における電気伝導性を併せ持つ新規ナノ材料の創製を試みた。まずV系酸化物を基盤材料として、ナノ粒子化・結晶化度・固溶制御を導入することで、1)結晶内カチオン配列制御：電気化学反応エネルギー分布の制御、2)カチオン配列乱雑化による結晶内イオン拡散性変化の体系的研究(反応メカニズム変化)、3)欠陥導入による酸化還元反応の可逆化・安定化を試みた。合成には遊星ボールミルを主として用い、必要に応じて合成法(固相焼成法 etc...)を検討した。合成した試料に対しては、各種構造解析・基礎電気化学特性を行うと同時に、*in situ*・*in operando*測定手法も駆使し、その特異な反応メカニズム解析を進めた。さらにV系以外のイオン配列制御材料として、高容量(理論容量 1966 mAh g⁻¹)を持つ閃亜鉛鉱型 A(II)-B(IV)-C(V)化合物 ZnSiP₂に着目し、カチオン配列乱雑化(cation-disorder 化)ならびに結晶欠陥導入による電気化学特性向上を試みた。

3. 研究の方法

対象となる活物質材料群：

本研究の対象としては、いずれもリチウムイオン電池用負極材料である cation-disordered Li₃VO₄ (CD-LVO)、異種金属固溶γ型-LVO、cation-disordered ZnSiP₂を選定し、合成を行った。合成サンプルに対し、*ex situ*, *in situ*, 昇温X線回折(XRD)、中性子線回折(J-PARC)、X-ray Absorption Fine Structure (XAFS)解析、電子顕微鏡観察、ならびに種々の電気化学評価等を行った。合成の詳細については以下の通り：

i)メカノケミカル処理 cation-disordered Li₃VO₄ (LVO) および cation-disordered ZnSiP₂

Cation-disordered LVOの合成：Cation-disordered LVOの合成は以下の手順で行った。Li₂CO₃とV₂O₅の粉末をボールミル(300 rpm, 30分)で混合し、得られた粉末を電気炉で固相焼成(600°Cで5時間、続いて900°Cで8時間)することで白色のLVO粉末を得た。得られたLVO粉末に対して、遊星ボールミル(ジルコニア製)を用いて高エネルギーのメカノケミカル処理(600 rpm, 36時間)を施し、cation-disordered LVO (CD-LVO)を合成した。

Cation-disordered ZnSiP₂の合成：CD-ZnSiP₂の合成は以下の手順で行った。ZnとSi、Pの粉末を遊星ボールミル(ジルコニア製)を用いて高エネルギーのメカノケミカル処理(600 rpm, 12時間)を施すことで、CD-ZnSiP₂の粉末を合成した。さらにメカノケミカル処理中の雰囲気制御(Argon 雰囲気下、空気(Air)下)を行うことで、結晶中に欠陥(非結晶領域)を導入したCD-ZnSiP₂も合成した。

ii) 固相焼成法：異種金属固溶 γ 型-LVOの合成
 高温安定な γ 型 LVO 粉末は、異種元素である 4 価カチオン (Ti^{4+} , Ge^{4+}) または 5 価 (P^{5+}) により LVO 中の V^{5+} を置換をすることで合成した。

4. 研究成果

i) Cation-disordered Li_3VO_4 (CD-LVO)

負極材料 LVO をモデルに、結晶内イオン伝導を高速化する方法を確立することを目指した。LVO はカチオン配列が無秩序化 (cation-disorder 化) すると、イオン伝導性が約 100 倍に向上することが報告されている。しかし、既往の報告では熱力学的に不安定な cation-disordered Li_3VO_4 (CD-LVO) の合成は電気化学的手法のみであり、粉末の単体合成そのものひいては X 線回折法による CD-LVO 粉末の結晶構造の精密解析が困難であった。そこで本研究では高エネルギーボールミルを用いて 36 時間の連続ミリングにより、LVO 結晶をメカノケミカルに活性化させる手法を確立した (図 1)。

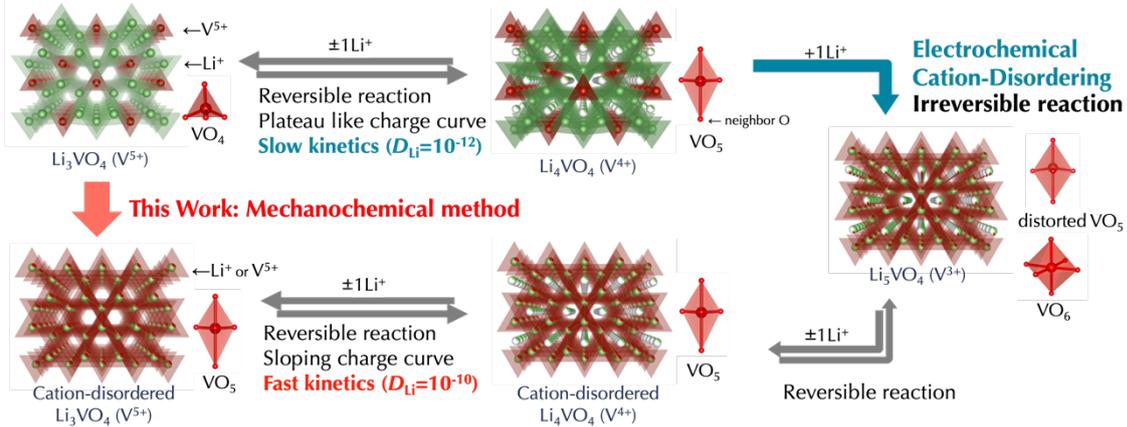


図 1. Cation-disordered Li_3VO_4 の合成経路と本研究の位置づけ。

高エネルギー X 線 (SPRING-8) や中性子線 (J-PARC) を使い、Rietveld 解析、EXAFS 解析、PDF 解析を組み合わせ、カチオンディスオーダー構造の秩序・無秩序性を定量的に解析した。特に PDF 解析から、12 時間のメカノケミカル処理の時点で、LVO の結晶配列が大幅に減少し、24-36h 程度になって一定値に落ち着くことが確認された。さらに定量解析から CD-LVO 中のカチオンの局所秩序配列距離が約 8-13 Å にまで減少し、多量の面欠陥が導入されていることが判明した。高解像度 TEM 観察像 (図 2) の解析から、秩序だった LVO 微細結晶の集合体が 10 Å 程度のドメインを持って乱雑に集合していることが観察でき、先の解析と一致することが確認された。CD-LVO が持つこれら欠陥構造がイオン拡散を高速化し、優れた電気化学特性に寄与していると考察した。

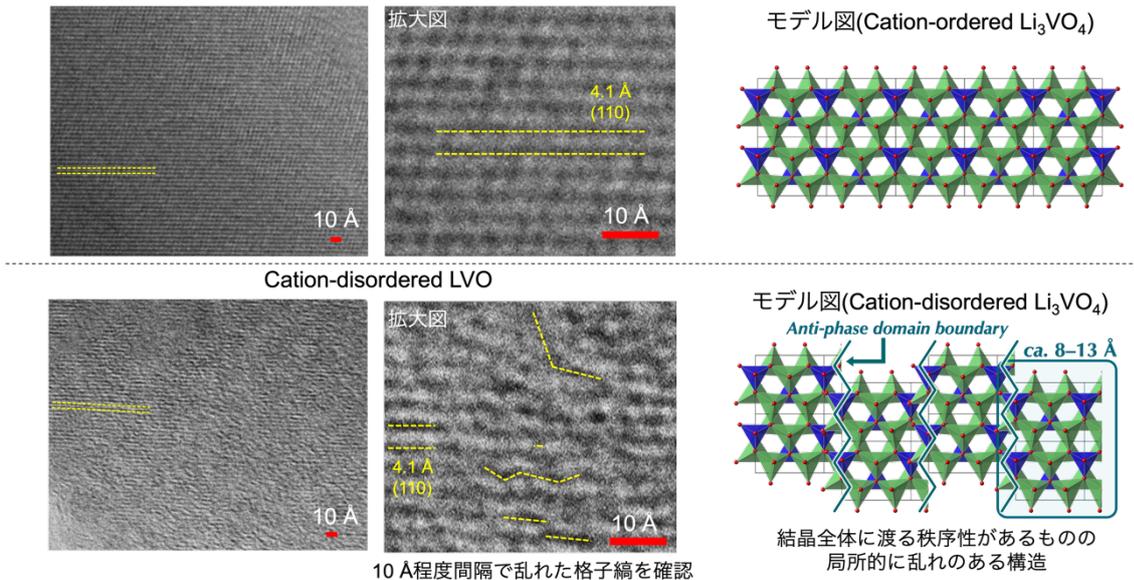


図 2. Cation-ordered LVO ならびに cation-disordered Li_3VO_4 の高解像 TEM 観察像。

さらにメカノケミカル手法の代替合成手法にも着手し、噴霧乾燥を適用することでメカノケミカル手法と同等以上の電気化学特性を有する LVO を、従来 50 時間以上の 1/200 である約 15 分で合成することにも成功した。

ii) 異種金属固溶 γ 型-LVO

CD-LVOの合成には、cation-ordered LVOの合成(固相焼成)と、それに続くメカノケミカル処理によるcation-disorder化処理を行う必要があり、合計50時間を有する。そもそもとして常温常圧で不安定なCD-LVO結晶構造を、簡易に合成する必要がある。(1)で記載したように噴霧乾燥による合成も一つであるが、ここでは、リチウム超イオン伝導体(LISICON)構造を有する γ 型-LVOに着目した。 γ 型-LVOは高温下で安定(>700°C)だが、低温時(焼成後の冷却時)には常温安定な β 型-LVOへと相転移してしまう。本研究では、LVO中の V^{5+} を Ti^{4+} で選択的に置換することで、 γ 型-LVOを常温常圧で安定化可能な点に着目した。 γ 型-LVOの常温安定化に必要な Ti^{4+} の原子百分率を見出すことに加え、急冷・急停止させるクエンチ法の導入により、固相焼成後の冷却過程における相変化($\gamma \rightarrow \beta$)を抑制する効果に戻る速度の定量化に成功した(図3)。

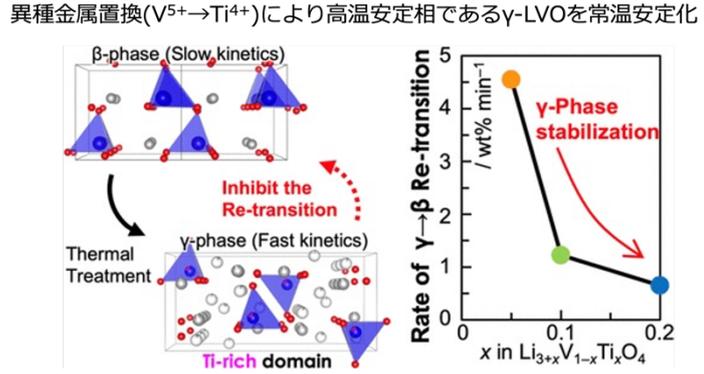


図3. 異種金属置換($V^{5+} \rightarrow Ti^{4+}$)によるLVOの γ 相安定化.

$V = 0.7, Ge = 0.05, P = 0.25$ ($Li_{3.05}V_{0.7}Ge_{0.05}P_{0.25}O_4$)にて充放電レート特性(@10 A g⁻¹)最大化

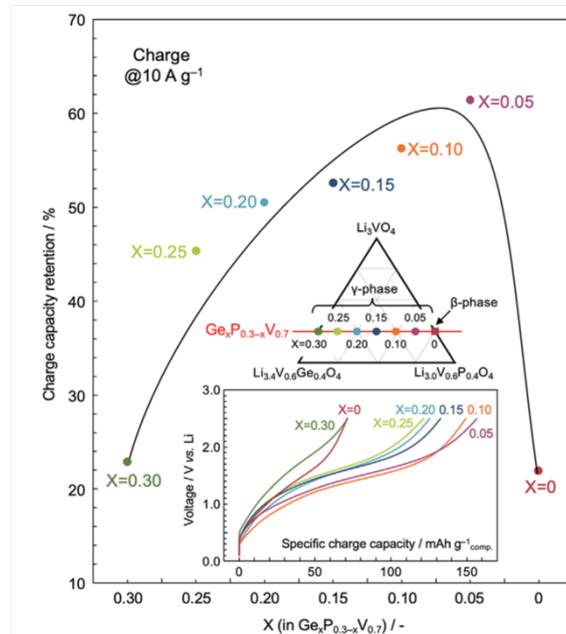


図4. 異種金属置換($V^{5+} \rightarrow Ge^{4+} \cdot P^{5+}$)によるLVO負極の充放電高速化.

iii) Cation-disordered ZnSiP₂

閃亜鉛鉱型A^{II}-B^{IV}-C^V化合物ZnSiP₂は、現行の黒鉛と比較して5倍以上の理論容量(1966 mAh g⁻¹)を有する負極材料として注目される化合物であるが、膨張収縮を伴う反応メカニズム(コンバージョン+合金化)により充放電サイクルが課題でもあった。そこで本研究では、ZnSiP₂の充放電の長期サイクル安定化のために、ZnSiP₂結晶内・結晶表面の局所化学配列(「LCO」: Local Chemical Order)に加えて、空孔・欠陥に着目した。具体的には、1)カチオン種(Zn, Si)が不規則に配列するcation-disorder化、2)メカノケミカル手法の雰囲気制御によりZnSiP₂の「LCO」近傍の粒界へのアモルファス相導入を試みた。

Argonおよび空気下で合成した2つのZnSiP₂粉末サンプルはともにcation-disordered構造特有のX線回折パターンを示した(図5)。

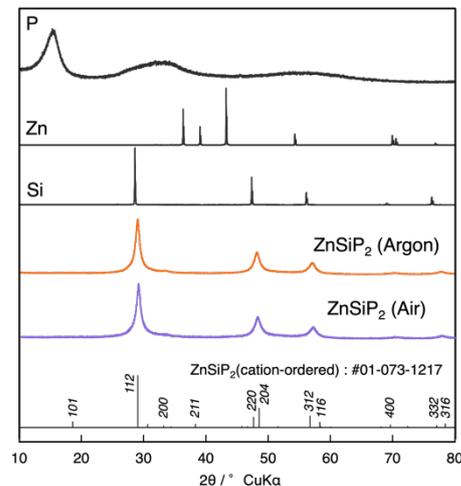


図5. Arおよび空気下(Air)合成のZnSiP₂のXRD回折パターン比較.

しかしながら、高解像度 TEM 像において、結晶の微細構造に着目すると、Argon 雰囲気下で合成した 10nm 程度の ZnSiP_2 結晶の集合した多結晶構造 (cation-disorder 構造) に対し、大気下合成 (Air) は微細結晶領域の周囲にアモルファスな領域が多く存在することが確認された (図 6)。

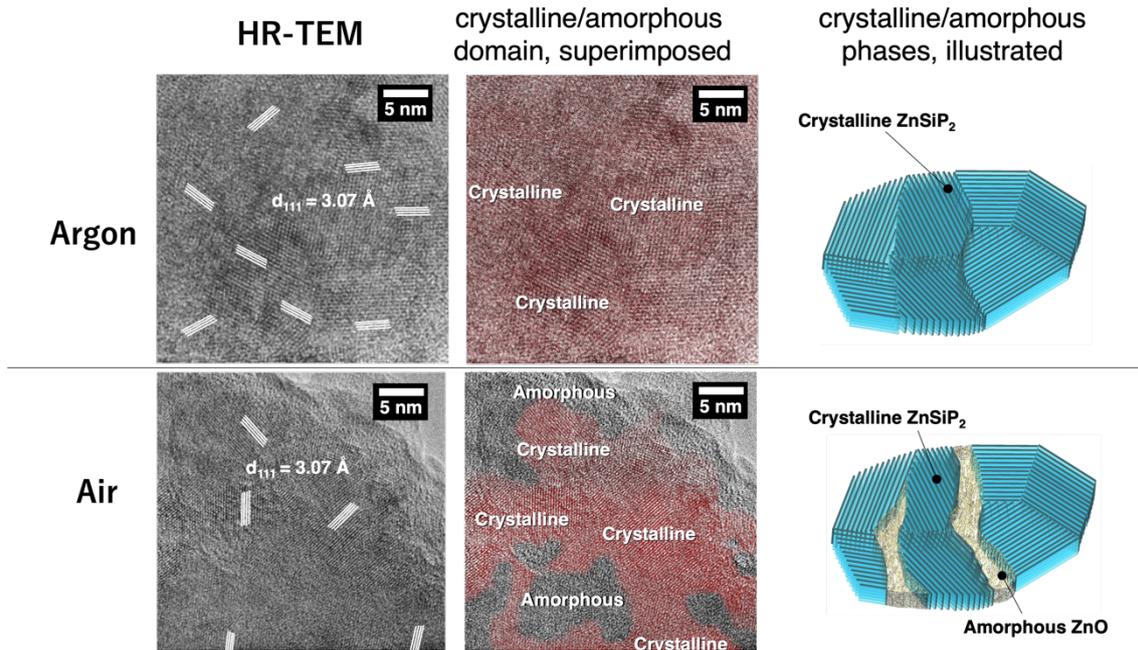


図 6. 雰囲気制御サンプル (Argon/Air) の解像度 TEM 観察像。雰囲気制御による ZnSiP_2 微細結晶構造の違い (結晶領域・アモルファス領域) が観察される。

Zn, Si, P 粉末をメカノケミカル処理を行い、雰囲気制御を導入することで、Zn 原子と P 原子は同時に母材となる Si 結晶構造に取り込まれ、混晶相とアモルファス相のナノドメイン構造を制御した $\text{A(II)}_x\text{B(IV)}_y\text{P}_{x+y}$ 型の固溶体形成が可能となることが示された。さらに ZnSiP_2 結晶中の「結晶微細構造 (結晶/アモルファス相)」が Li^+ 脱挿入の可逆性・ Li^+ 拡散に与える影響に焦点を当て検証を行い、従来の不活性雰囲気下 (Argon) 合成に対して、コスト面で優れる大気下合成 (Air) の優位性を示すことに成功した。図 6 で示したように、従来の Ar 雰囲気下のボールミル合成ではなく、大気下で合成した ZnSiP_2 (Air- ZnSiP_2) は、電子顕微鏡観察において結晶領域に加えアモルファス領域が多く確認できた。この Air- ZnSiP_2 は、Argon- ZnSiP_2 と比べて、リチウムイオン拡散性も約 3 倍ほど向上し、1C 充放電におけるサイクル特性も優れることが明らかとなった (図 7)。

以上の結果から、ナノ粒子化・結晶化度・固溶制御をもって、リチウムイオン電池材料 (LVO, ZnSiP_2) の電気化学反応の可逆性・高速応答性を向上させることができることが確認され、本研究における材料転換手法の可能性を示すことができた。

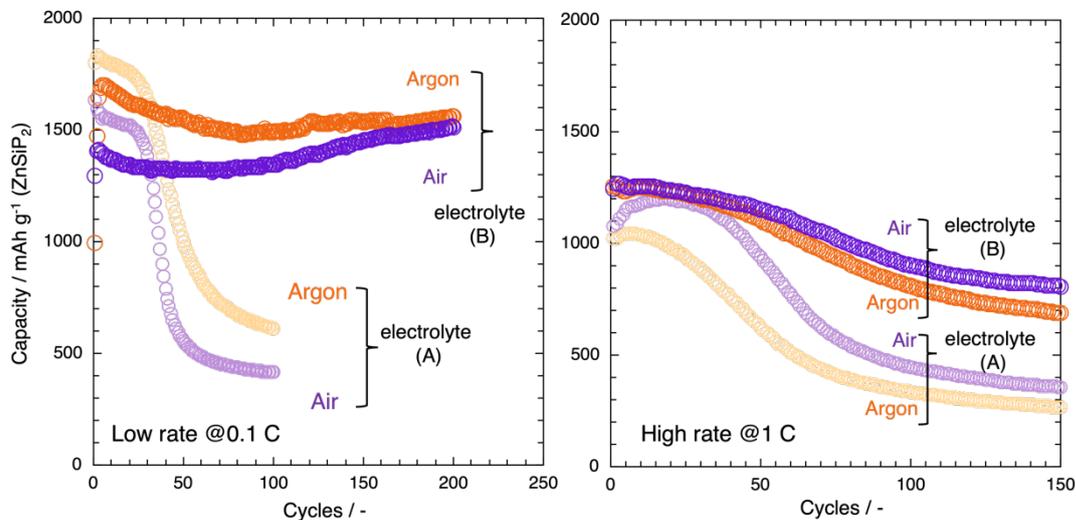


図 7. 雰囲気制御サンプル (Argon/Air) の電気化学特性評価 (長期充放電サイクル)。充放電レート 1C における充放電では、Air- ZnSiP_2 の優位性が確認できた。

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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chikaoka Yu, Nakata Naomasa, Fujii Kenta, Sawayama Saki, Ochi Riko, Iwama Etsuro, Okita Naohisa, Harada Yuta, Orikasa Yuki, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 6
2. 論文標題 Strategy for Ultrafast Cathode Reaction in Magnesium-Ion Batteries Using BF ₄ ⁻ Anion Based Dual-Salt Electrolyte Systems: A Case Study of FePO ₄	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4657 ~ 4670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c04182	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 Harada Yuta, Okita Naohisa, Fukuyama Masahiro, Iwama Etsuro, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultralong lifespan of SuperRedox Capacitor using Ti-doped Li ₃ V ₂ (PO ₄) ₃ cathode with suppressed vanadium dissolution	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 1703 ~ 1713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TA06240F	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 Chikaoka Yu, Tashiro Tomoya, Sawayama Saki, Kobayashi Ayana, Matsumoto Ayuna, Iwama Etsuro, Naoi Katsuhiko, Fujii Kenta	4. 巻 26
2. 論文標題 A structural study on a specific Li-ion ordered complex in dimethyl carbonate-based dual-cation electrolytes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 3920 ~ 3926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CP05526D	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 Kondo Tatsuya, Matsumura Keisuke, Rozier Patrick, Simon Patrice, Machida Kenji, Takeda Sekihiro, Ishimoto Shuichi, Tamamitsu Kenji, Iwama Etsuro, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 36
2. 論文標題 Enhancing the Phase Stability of α -Phase Li ₃ V _{0.4} O ₄ for High-Performance Hybrid Supercapacitors: Investigating Influential Factors and Mechanistic Insights	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 2495 ~ 2507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.3c03255	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 Harada Yuta, Chikaoka Yu, Kasai Marina, Koizumi Kyoya, Iwama Etsuro, Okita Naohisa, Orikasa Yuki, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultrafast cathode characteristics of a nano-V2(P04)3 carbon composite for rechargeable magnesium batteries	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 2081 ~ 2092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TA05912J	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 Matsumura Keisuke, Iwama Etsuro, Takagi Kenta, Hashizume Naoki, Chikaoka Yu, Okita Naohisa, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Spray-drying synthesis and vanadium-catalyzed graphitization of a nanocrystalline - Li3.2V0.8Si0.2O4/C anode material with a unique double capsule structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 1841 ~ 1855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2TA07825B	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 Matsumura Keisuke, Iwama Etsuro, Tomochika Yuka, Matsuura Taro, Naoi Wako, Naoi Katsuhiko	4. 巻 170
2. 論文標題 Co-substitution Strategy for Boosting Rate-Capability of Lithium-Superionic-Conductor (LISICON)-Type Anode Materials in -Li3V04Li4Ge04Li3P04 Quasi-Ternary-System	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 010524 ~ 010524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/1945-7111/acaf40	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 Chikaoka Yu, Ochi Riko, Fujii Kenta, Ariga Takaaki, Sakurai Masato, Matsumoto Ayuna, Ueda Tsukasa, Iwama Etsuro, Naoi Katsuhiko	4. 巻 126
2. 論文標題 Controlling the Phase Separation of Dimethyl Carbonate Solvents Using a Dual-Cation System: Applications in High-Power Lithium Ion-Based Hybrid Capacitors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14389 ~ 14398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c03004	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 Chikaoka Yu, Okuda Reiko, Hashimoto Taiga, Kuwao Masafumi, Naoi Wako, Iwama Etsuro, Naoi Katsuhiko	4. 巻 423
2. 論文標題 Degradation of Li ₃ V ₂ (P ₀₄) ₃ -based full-cells containing Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ or Li _{3.2} V _{0.8} Si _{0.2} O ₄ anodes modeled by charge-discharge cycling simulations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 140558 ~ 140558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2022.140558	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30件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Keisuke Matsumura, Etsuro Iwama, Naoki Hashizume, Kensuke Ishimura, Wako Naoi, Katsuhiko Naoi
2. 発表標題 Vanadium-Catalyzed Graphitization in Spray-Dry Synthesis for -Li _{3.2} V _{0.8} Si _{0.2} O ₄ /C Composites with Core/Shell Architecture
3. 学会等名 74th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naohisa Okita, Yuta Harada, Masaya Nakagawa, Etsuro Iwama, Wako Naoi, Katsuhiko Naoi
2. 発表標題 Prolonged Cycle Life for Ultrafast Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ //Ti-doped Li ₃ V ₂ (P ₀₄) ₃ SuperRedox Capacitor
3. 学会等名 74th Annual Meeting of ISE (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naohisa Okita, Yuta Harada, Masaya Nakagawa, Etsuro Iwama, Wako Naoi, Katsuhiko Naoi
2. 発表標題 Prolonged Cycle Life for Ultrafast Ti-doped Li ₃ V ₂ (P ₀₄) ₃ SuperRedox Capacitor
3. 学会等名 7th International Conference on Advanced Capacitors (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 引地悠華、石村健介、松村圭祐、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 高出力型負極材料 Cation-disordered Li ₃ V _{0.4} O ₄ の生成メカニズムの解明
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩崎祐人、原田雄太、澁澤芽寛、沖田尚久、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 Li ₃ V ₂ (PO ₄) ₃ /KB複合体のLi量最適化によるMgイオン電池正極特性の向上
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 栗林日向子、源関輝人、近岡優、直井和子、直井勝彦、岩間悦郎
2. 発表標題 柔軟性イオン結晶 / ポリマー複合体電解質におけるグラファイト負極へのカリウムイオン脱挿入の可逆化
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮城 莞爾、近岡 優、藤田 正博、直井 勝彦、直井 和子、岩間 悦郎
2. 発表標題 ナトリウムイオン電池用NaFSI-P12FSI電解液におけるハードカーボン負極特性のNa塩濃度依存性とPECポリマー添加効果
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澁澤芽寛、原田雄太、岩崎裕斗、稲垣葵、沖田尚久、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 nano-V2(P04)3/カーボン複合体のマグネシウムイオン電池正極特性
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石村 健介、引地 悠華、松村 圭祐、近藤 竜也、町田 健治、石本 修一、武田 積洋、岩間 悦郎、直井 和子、玉光 賢次、直井 勝彦
2. 発表標題 スプレードライ法による高出力型負極材料Cation-disordered Li3V04の創製
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沖田尚久、原田雄太、中川正也、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 Ti-doped Li3V2(P04)3/ナノカーボン複合体のスーパーレドックスキャパシタ正極特性
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 源関 輝人、栗林 日向子、近岡 優、藤田 正博、直井 勝彦、直井 和子、岩間 悦郎
2. 発表標題 グラファイト負極への可逆なK+脱挿入を目指した柔粘性結晶/ポリマー複合電解質の最適化と4V級カリウムイオン電池の構築
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲垣葵、直井和子、岩間悦郎
2. 発表標題 Disc型Multipore Cavity Microelectrode法 による蓄電材料の新規スクリーニング法の確立
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松山幸路、山口大介、直井和子、岩間悦郎
2. 発表標題 ナノ非結晶領域制御による 高容量ZnSiP ₂ 負極の長寿命化
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口大介、松山幸路、直井和子、岩間悦郎
2. 発表標題 リチウムイオン電池負極用閃亜鉛鉱型All-BIV-CV化合物ZnSiP ₂ のサイクル特性の向上
3. 学会等名 第64回電池討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keisuke Matsumura, Naoki Hashizume, Etsuro Iwama, Wako Naoi, Patrick Rozier, Patrice Simon, Katsuhiko Naoi
2. 発表標題 Spray-dry synthesis of capsule-like -Li _{3.2} V _{0.8} Si _{0.2} O ₄ /C nanocomposite for pseudocapacitive anode material
3. 学会等名 ISEECap2022 Bologna (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Harada, Masahiro Fukuyama, Naohisa Okita, Etsuro Iwama, Wako Naoi, Katsuhiko Naoi
2. 発表標題 Ultralong-Lifespan Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ //Ti doped Li ₃ V ₂ (PO ₄) ₃ Full Cell by Significant Suppression of Vanadium Dissolution from LVP electrode
3. 学会等名 ISEECap2022 Bologna (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本大河, 源関輝人, 近岡優, 岩間悦郎, 直井和子, 直井勝彦
2. 発表標題 柔粘性イオン結晶の電解質利用によるリチウムイオン電池のサイクル特性向上
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦太郎, 松村圭祐, 沖田尚久, 岩間悦郎, 直井和子, 直井勝彦
2. 発表標題 窒素急冷法によるP置換型Li ₃ V ₀ O ₄ の結晶相制御と負極特性評価
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡昇吾, 近岡優, 岩間悦郎, 直井和子, 直井勝彦
2. 発表標題 低誘電率溶媒DMCを用いたハイブリッドキャパシ用 高出力型デュアルカチオン電解液の高耐電圧化
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋詰 直輝、松村 圭祐、石村 健介、直井 和子、直井 勝彦、岩間 悦郎
2. 発表標題 グリーンケミストリーに基づく高出力型負極材料 Cation-disordered Li3V04 の創製
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田雄太、沖田尚久、富田茉依、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 Ti-doped Li3V2(P04)3によるバナジウム溶出抑止と Li4Ti5O12//Li3V2(P04)3フルセルの長期サイクル安定化
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 片岡春菜、稲垣葵、岩間悦郎
2. 発表標題 Disc 型 cavity microelectrode 法を用いた正極粉末材料の電気化学評価
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高澤 豊身、山口 大介、松山 幸路、直井 和子、岩間 悦郎
2. 発表標題 リチウムイオン電池負極用閃亜鉛鉱型 A11-BIV-CV 化合物 ZnSiP2 の創製と評価
3. 学会等名 第63回電池討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮城莞爾、近岡優、橋本大河、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 Hard Carbon//Li3V2(P04)3フルセルの Liブレード処理による発現容量向上
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石村健介、橋詰直輝、松村圭祐、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 低環境負荷かつ量産可能な合成手法を用いた 高出力型負極材料 Cation-disordered Li3V04の創製
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本鮎奈、近岡優、藤井健太、越智梨瑚、岩間悦郎、直井和子、直井勝彦
2. 発表標題 低誘電率溶媒DMCを用いた ハイブリッドキャパシタ用 新規デュアルカチオン電解液の開発
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲田尚正、近岡優、直井和子、直井勝彦、岩間悦郎
2. 発表標題 マグネシウムイオン電池用FeP04正極の 高速充放電を実現するDual-salt電解液の開発
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口大介、高澤豊身、松山幸路、直井和子、岩間悦郎
2. 発表標題 負極材料ZnSiP2の合成条件による性能比較
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩間悦郎
2. 発表標題 ナノ結晶界面・結晶内のイオン配列制御による蓄電反応の高速化
3. 学会等名 電気化学会第89回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋詰直輝・松村圭祐・岩間悦郎・直井和子・直井勝彦
2. 発表標題 スプレードライ法を用いた高速な充放電が可能な負極材料Li3V0.8Si0.2O4/Cナノ複合体の創製
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021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	直井 勝彦 (Naoi Katsuhiko) (70192664)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・名誉教授 (12605)	

6. 研究組織（つづき）

	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	沖田 尚久 (Okita Naohisa) (70846625)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (12605)	

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