

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02846

研究課題名（和文）酸素アニオン制御による新規電極反応を用いた高エネルギー密度正極材料の創造

研究課題名（英文）High energy-density positive materials using novel electrode reactions by controlling oxygen anions

研究代表者

大石 昌嗣（OISHI, Masatsugu）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・准教授

研究者番号：30593587

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：リチウムイオン二次電池の更なる高性能化を目指して、精力的な研究が数多く行われている。従来の正極材料は、材料の結晶構造を保ったままLiイオンのみが脱離挿入するため、優れた充放電サイクル特性を示す。一方で、高エネルギー密度を示すリチウム過剰系正極は、Liと遷移金属が連動することで生成される低結晶構造にて、多量のLiイオンの脱離挿入を達成していた。本研究では、局所構造から平均構造まで解析可能なPair distribution functionを用いた構造解析より、リチウム過剰系正極の充電時にLi欠損層を支持するピラー金属イオンの移動に伴う結晶構造変化によって生成する低結晶構造の存在を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新規構造体による電極反応は、従来の正極材料設計とは全く異なっており、次世代リチウムイオン二次電池の新たな材料設計指針を示すことに成功した。カーボンニュートラルに向けて二次電池の重要性が高まる中、リチウムイオン二次電池の大型化及び高容量化が求められている。本研究で取り組んだリチウム過剰系正極材料は高容量化に寄与し、新規材料設計指針に沿った材料系を開発することで、カーボンニュートラル社会の実現に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：Intensive research is being conducted to further improve the performance of lithium-ion secondary batteries. Conventional positive-electrode materials exhibit excellent charge-discharge cycle characteristics because only Li ions are extracted and inserted while maintaining the crystalline structure of the material. In contrast, lithium-rich layered oxide (LLO) materials with a low-crystalline structure have achieved high energy density and extraction/insertion of a large amount of Li ions. We revealed by pair distribution function (PDF) analysis that the existence of a low crystalline phase in the LLO structure, formed by a crystal structure change accompanying the migration of pillar metal ions that support the Li deficient layer during extraction of Li-ions.

研究分野：固体イオニクス

キーワード：リチウムイオン二次電池 高容量正極材料 低結晶構造 結晶PDF解析 放射光X線 全散乱測定

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リチウムイオン電池(Lithium ion battery, LIB)は最も高性能な蓄電池ではあるが、現状の反応システムを用いる限り、更なる高エネルギー密度化は困難である。従来の LIB では、 LiCoO_2 を代表とする結晶性材料がその骨格構造を維持したまま Li イオンを脱離挿入することで、可逆性の良い正極として利用されている。しかし、多量の Li イオンの脱離挿入によっては、正極材料の骨格構造を保つことができず、脱離挿入する Li イオンの量を制限しており、そのため電池容量が制限されてしまう。一方、電極材料内に多量の Li イオンを含有しているリチウム過剰系正極材料が次世代 LIB の高容量正極材料として注目されている。従来の LiCoO_2 正極が 160 mAh/g 程度の電池容量しか示さないのに対して、リチウム過剰系正極では 230 mAh/g を超える容量を示す。

研究代表者は、リチウム過剰系層状酸化物 (Li-rich layered oxide, LLO) の Li_2MnO_3 において、従来の正極では見られなかった特異的な現象として Li イオンの脱離により結晶性が低下し、結晶相と非晶質相の混在状態を取ることを X 線回折(X-ray diffraction, XRD)及び透過電子顕微鏡透(Transmission Electron Microscopy, TEM)測定より観察した。つまり、高容量を実現している正極材料では、結晶構造を保つ範囲でのみ Li イオンの脱離挿入が可能、という従来の構造上の制限を受けていない。また、軟 X 線を用いた X 線吸収分光法(X-ray absorption spectroscopy, XAS)による充放電時スペクトルの差分解析により、 Li_2MnO_3 正極は Li イオン脱離反応時に Mn^{4+} は酸化せず、酸素アニオンが過酸化物/超酸化物状態で酸化反応に寄与することを報告した[1]。

以上の知見を基に研究代表者らは、 Li_2MnO_3 は結晶 - 非晶質混在相において、酸素アニオンの可逆的な酸化還元反応を達成していると考えた。この非晶質相を含有する構造は、従来の XRD などの長周期構造解析では観察ができない。そこで、本来非晶質相の構造解析として用いられてきた全散乱測定による Pair distribution function (PDF)解析を、LIB の正極材料の構造解析に用いて評価した。

2. 研究の目的

2019 年ノーベル化学賞に輝いた Goodenough が 1980 年に報告した LiCoO_2 は[2] 結晶性材料の骨格構造を維持したまま Li イオンが脱離挿入可能で、可逆性の良い正極として LIB の実用化に貢献した。しかし、 LiCoO_2 は多量の Li イオンの脱離挿入によっては、電極の骨格構造を保つことができず、それ故に電池容量が制限されている。世界中の研究者による、その後約 40 年もの電池材料研究によっても、その制限を克服できていない。本研究対象である Li_2MnO_3 系リチウム過剰系正極では、電気化学酸化処理により結晶再配列して得られた結晶相と非晶質相が混在する新規構造体において、何らかの機構で可逆的に多量の Li イオンを脱離挿入している。そのメカニズムの本質を電子状態と局所構造の差分解析から解明することを目的とした。

研究代表者は、 Li_2MnO_3 電極が初期充電(電気化学酸化処理)後に結晶相と非晶質相が混在することを TEM 測定により観察した。また Li_2MnO_3 - LiNiO_2 混合材料においては、Mn-rich ドメインと Ni-rich ドメインが混在しており、それらの相互作用による歪の影響で金属 - 酸素の電子軌道の混成が増すことで、酸素アニオンの電子が電荷補償に寄与することを報告した[3]。これは従来の電池反応系とは全く異なる反応メカニズムで Li イオンが脱離挿入されていることを示唆している。つまり、結晶相と非晶質相との混在による“乱れ(歪み)”の存在により、多量の Li イオンの脱離挿入を達成している、と研究代表者は考えた。乱れを嫌い、整った結晶系材料の研究開発に重きを置いていた従来の電池材料研究分野において、本アイデアは革新を与える独創的内容であり、また新規研究分野を開拓することができる。

3. 研究の方法

本研究では、正極材料を電気化学処理にて酸化量(Li イオン脱離量)を制御することで系統的に結晶 - 非晶質相の混在量違い正極を作製し、PDF の差分解析より Li イオン脱離挿入に伴う結晶 - 非晶質両相の構造変化と酸化物アニオンの相関について考察した。

基幹構造 Li_2MnO_3 及び Li_2MnO_3 と層状金属酸化物 LiMeO_2 ($\text{Me} = \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Co}$) 混合材料にて、充電深度の異なる試料を作製した。本材料を正極として用いると、初期充電時の酸化反応時、非晶質相が生成し結晶 - 非晶質混在相が形成される。この初期充電時の酸化量が異なる試料を系統的に作製し、結晶と非晶質相の混在比の異なる試料の評価を行った。また、 Li_2MnO_3 電極はサイクルに伴い放電容量が低下する事から、サイクル劣化の考察を行うためにサイクル後の試料の作製も行った。

Li_2MnO_3 は $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ と MnCO_3 から固相法にて、 $0.3\text{Li}_2\text{MnO}_3+0.7\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ は $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ と Ni-Co-Mn 炭酸塩から固相反応によって合成した。得られた活物質にカーボンと PVdF バインダーをそれぞれ 10wt% 添加した合剤電極を正極とし、負極と参照極(リチウム箔) 電解液(1M LiPF_6) を用いて単電池を作製した。カットオフ電圧を 2.0-4.8 V として室温で所望の充放電状態に達した電池を Ar 雰囲気グローブボックス内で解体し、DMC で洗浄後に正極粉末を石英キャピラリーに封入した。充放電状態のことなる試料に対し、放射光施設 SPring-8 の高エネ

ルギー-X線回折ビームライン BL04B2にてX線全散乱測定を行った。観測されたX線散乱強度に対してX線吸収、コンプトン散乱、偏光因子補正等を実施し、規格化およびフーリエ変換を行うことで試料の減衰二体分布関数 $G(r)$ を得た。結晶 PDF 解析法を適用することで、各充放電状態の結晶構造パラメータの精密化を行った。

4. 研究成果

(1) Li_2MnO_3 電極

Li_2MnO_3 電極は、典型的な LLO 材料の充放電プロファイルである初期充電過程の不可逆的な電圧平坦部、そして初期放電過程以降のサイクルでは可逆的な反応を示した(図 1(a))。図 1(b)に示す XRD プロファイルより、充電前(pristine)は対称性の高い単相試料(単斜晶系、空間群 $C2/m$)であった。初期充電後(1c)はすべてのピーク強度が減少及びブロード化しており、Li イオンの脱離に伴い結晶構造が乱れることを示している。初期放電後(1d)はピークがわずかにシャープになり強度も回復したが、完全に充電前の状態に戻ることはなかった。また、 $9-15^\circ$ の超格子ピークは Mn 層間の Li/Mn 秩序を反映しているが、1c 後にはほとんど消滅し、1d でわずかに回復した。したがって、初期充電時に不可逆的な構造変化し、その後のサイクルでは充電状態と放電状態の間でほぼ可逆的な構造変化を示した。5 サイクル目ではさらにピークのブロード化しており、サイクル増加に伴い構造歪が増大していた。Pristine, 1c, 1d の X 線全散乱測定から得られた $G(r)$ を図 1(c)に示す。 $G(r)$ 強度が初期充電後に低下しており、Li 脱離に伴う構造乱れが PDF から確認された。充放電によって、 3 \AA 以下の短距離秩序と、 $\sim 10 \text{ \AA}$ 程度までの中距離秩序とで異なる変化を示しており、1c は MnO_6 八面体構造が維持しつつ、 MnO_6 八面体のネットワーク構造が変化した。一方で、1d は $G(r)$ 強度がわずかに強くなったが pristine 状態までは戻らず、初期充電過程における不可逆的な構造変化を反映する結果を得た。差分 PDF 解析より初期充電過程で生成した低結晶相の構造情報を抽出したところ(図 1(d))、Li-poor 相は Li 脱離した LiMn_2O_4 ($\lambda\text{-MnO}_2$)ではなく、立方晶スピネルである LiMn_2O_4 に近い構造であることが示された。つまり初期充電後は Li-poor 相において Mn が Li 空孔サイトへ移動することで無秩序化していることが示された[4]。

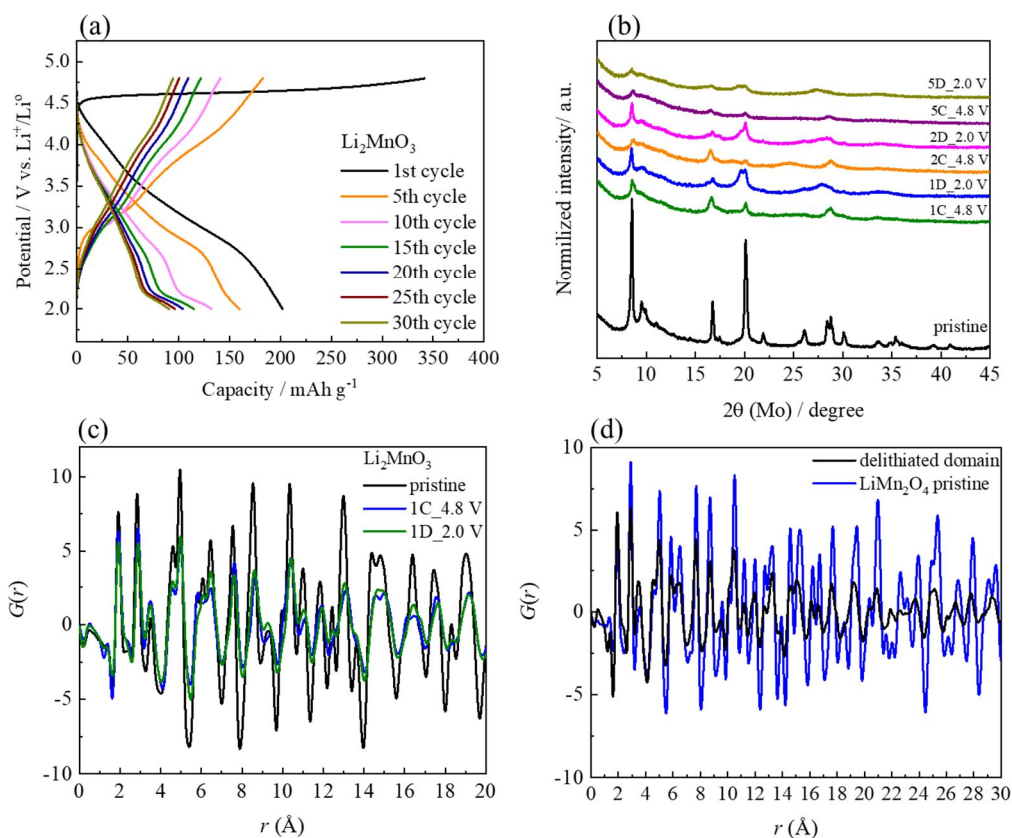


図 1 Li_2MnO_3 電極の(a)充放電曲線, (b) XRD, (c) $G(r)$ プロファイル, (d)差分 $G(r)$ プロファイル

(2) $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 電極

図 2(a)に $0.3\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-}0.7\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 電極の充放電結果を示す。初期充電過程では $\sim 4.5 \text{ V}$ までの電位勾配を示したのちに電位平坦を示した。充電前(pristine)、電圧プラトー前の半充電状態(half-1c)、初期充電(1c)、初期放電(1d)、20 サイクルの充電(20c)、放電(20d)の試料の X 線全散乱測定を行った。XRD に対応する構造因子 $S(Q)$ プロファイルは、全ての試料で $R3m$ の結晶構造

に由来するブラッグピークが確認された(図 2(b))。それに加え、pristine と half-1c 試料では 1.8 \AA^{-1} 近傍に Li_2MnO_3 超格子構造に由来する弱いピークが観測されたが、初期充電後に超格子ピークが消失したことから half-1c から 1c の間に Li_2MnO_3 相由来の Me 層内の周期性が失われることを示した。1c と 1d の $S(Q)$ は $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ で見られるような $R\bar{3}m$ に帰属されるブラッグピークプロファイルを示したが、いくつかのピーク強度比が異なるため、構造が異なることを示唆している。図 2(c) に示した 1c の $G(r)$ 振幅は弱くなっており、 $R\bar{3}m$ に帰属される結晶構造の中に、局所的な乱れた相が生成されたことが推測される。1.90 \AA の第一近接 Me-O ピーク強度は試料の充放電によらずほぼ一定であり、強固な MeO_6 八面体構造を維持していることを示唆している。 $G(r)$ 振動は 1d 状態で回復するが、その強度は pristine よりは弱く、初期充電過程における結晶構造変化を反映している。3.5 \AA 付近の第 3 ピークは、第 2 近接 Me-Li (四面体サイト) と第 2 近接 Me-O の相関に由来しており、このピークは充電でわずかに短距離側にシフトし増強した。これは充電時に Me が Li 層の四面体サイトに移動することを示唆しており、またピークシフトは格子定数の変動、あるいは Me-Li (四面体サイト) の相関が第 2 近接 Me-O 相関に比べ短いことを反映していると考えられる。なお、LLO 正極では充電による酸素アニオンの酸化による過酸化物質、超酸化物質、酸素分子の形成が示唆されており[1]、それに伴う O-O 相関が 1.2~1.55 \AA に含まれている可能性があるが、これらは約 1.5 \AA に観察される導電助剤の寄与と重複しているため、本研究の X 線全散乱測定ではそれらの存在を裏付ける結果を得ることはできなかった。

$G(r)$ プロファイルの構造パラメータの精密化において、pristine と half-1c 状態では $R\bar{3}m$ と $C2/m$ からなる 2 相混合モデルを、それぞれ $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ と Li_2MnO_3 の組成を仮定して計算した(図 2(d))。充電後には $C2/m$ 由来の超格子ピークが消失するため、 Li_xMeO_2 の $R\bar{3}m$ 構造を考慮した単相モデルを充電状態(1c, 20c)及び放電状態(1d, 20d)に対して用いた。また、 $R\bar{3}m$ 構造の Li 層の四面体サイトを Me (この解析では Ni イオン) が占有することを仮定して構造解析を行った。この四面体サイトは、Me 層八面体サイトと Li 層八面体サイトの間を経路の中間位置となる。 $R\bar{3}m$ 構造の精密化では、Li 層八面体及び四面体サイトの占有率を精密化した。放電状態では四面体 Li サイトの Me の占有率は 0 に漸近したため、四面体の占有率は 0 に固定した。Pristine の $R\bar{3}m$ に対する $C2/m$ のモル比は、合成時の仕込み組成の 30 mol% Li_2MnO_3 と 70 mol% $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$ の 0.405 ($0.3/0.7=0.428$) となった。それぞれの相の格子定数は、単相試料の格子定数とほぼ同じであった。

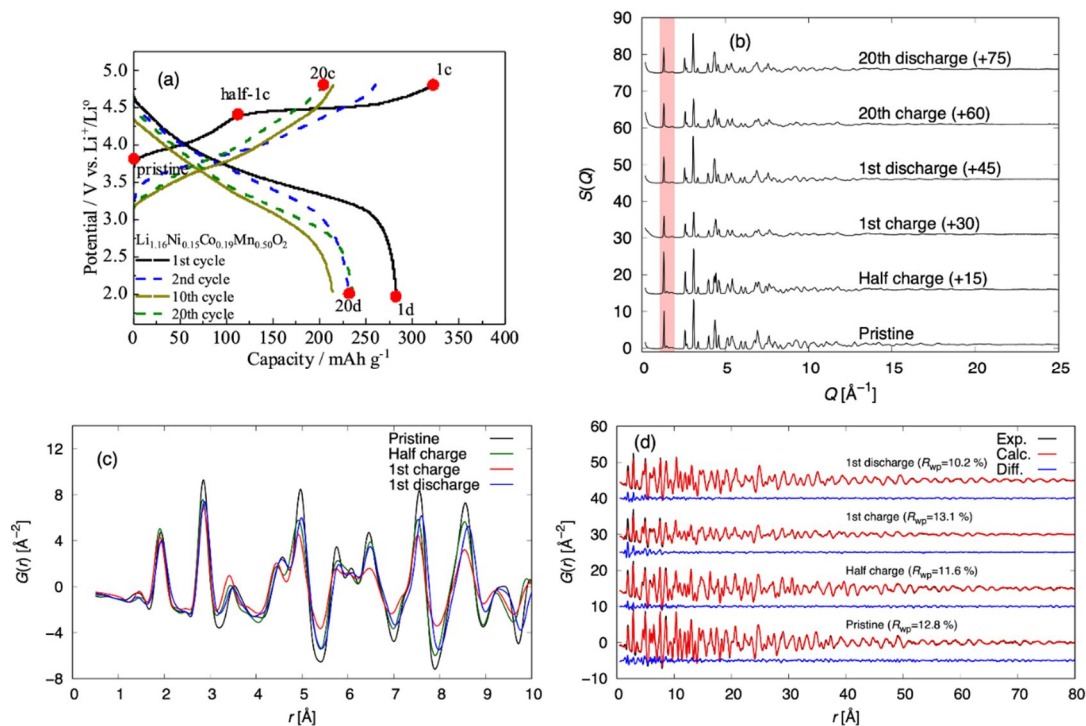


図 2 0.3 Li_2MnO_3 -0.7 $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 電極の(a)充放電曲線, (b) $S(Q)$, (c) $G(r)$, (d) $G(r)$ フィットング結果.

Li イオンが脱離した状態では Li 層四面体サイトに Me が占有することが示された。XRD データの Rietveld 解析では Li 層四面体サイトへの占有を考慮した構造解析の R_{wp} はわずか 4% の改善に留まったのに対し、結晶 PDF 解析では 40% もの改善が見られた。つまり、PDF を利用した構造解析からは、充電状態での $R\bar{3}m$ 構造における Li 層四面体サイトへの Me の拡散を強く支持する結果が得られた。全散乱・回折測定から得られる本試料の散乱強度には、散漫散乱のほか、合剤電極のカーボン等正極構成部材の非結晶成分の寄与が含まれている。このような非結晶成分

は、Rietveld 解析においては自由度の高い多項式を利用して減算されるためブラッグピーク強度比評価に対する影響を避けられない。一方、非結晶成分は長距離相関を持たないため、長距離領域に限定した結晶 PDF 解析を行うことによって結晶の正極材料以外の寄与を無視でき、不純物成分の影響を受けない構造解析を実現できることが明らかになった。

結晶 PDF 解析により、Me の各サイトの占有率変化を定量化できた。Pristine の 2 相混合試料では、 $R\bar{3}m$ 相は Li 層八面体サイトにおける Me の占有率は小さかった。Half-1c では Li 層八面体サイトの Me 占有率は 8.5% 増加したが、Li 層四面体サイトはわずかに増加しただけであった。これは、Me 層から Li 層の八面体サイトへ優先的に移動することを示唆している。続く 1c では Li 層四面体サイトの Me 占有率は 8.2% に増加したが、Li 層八面体サイトはほとんど変化しなかった。したがって、初期充電過程での Li イオン脱離によって、16.3% の Me イオンが Li 層に移動したことを示している。初期放電以降は、Li 層の 2 つのサイトに移動した Me はサイクルにおいて異なる挙動を示した。八面体サイトの占有率は充放電サイクルによってほとんど変化しないが、四面体サイトの占有率は Li イオンの脱離挿入に伴って変化した。四面体サイトの Me は Li イオンの挿入時には Me 層に戻るため、放電状態では Li 層四面体サイトに Me は確認されなかった。したがって、Li イオンの脱離に伴う Me の可逆的な移動が主に Me 層八面体サイトと Li 層四面体サイト間で起こることが示唆された。初期充電過程後の Li 層八面体サイトの Me 占有率は変化しておらず、20 サイクルまでは Li イオンの脱離挿入反応とは無関係に Li 層八面体サイトの Me が固定化されており、初期サイクルにおける容量低下の一因であると考えられる。

図 3 に充放電の構造メカニズムの模式図を示す。Pristine 状態は Li_2MnO_3 相と LiMeO_2 相の 2 相混合構造である。初期充電過程の半充電状態までは LiMeO_2 相から優先的に Li イオンが脱離する。Me サイトにある Me の一部は Li イオン濃度の減少とともに欠損した Li 層八面体サイトへ移行する。半充電状態後の電圧平坦部では、主に Li_2MnO_3 相から Li イオンが脱離する。さらに、 LiMeO_2 相に残存する Li イオンも脱離する。この過程で四面体サイトを介した Me の混合が進み、構造が乱れた新規低結晶構造の $R\bar{3}m$ 構造が形成される。 $R\bar{3}m$ 相の Me が占有できる Li 層には八面体サイトと四面体サイトの 2 つであるが、それぞれ Li イオンの脱離挿入に対して異なる応答を示す。八面体サイトの Me は Li 濃度に依存しないが、四面体サイトの Me は Li イオン濃度によって Me 層八面体サイトの間を行き来する。Li 層四面体サイトの Me は、充電状態では pillar (柱) として欠損した Li 層を支えている。放電時に Li イオン濃度が上昇すると、Li イオンの挿入経路を確保するために Me 層に

移動し pillar は消滅する。したがって、四面体サイトの Me は Li イオンの拡散と層状構造の安定性の両方に寄与することが明らかになった[5]。LLO 材料系においてのみ形成する低結晶性構造がどのように形成され、なぜ LLO 材料においてのみ達成されるのか、さらにその低結晶構造と高容量特性の相関は本当に存在するのか、さらには、多量の Li イオンを可逆的に脱離挿入する高容量正極の設計指針とはどのようなものなのか、という「問い」は、未だ解明されておらず、次世代高容量正極の設計指針を明らかにするために、継続して本研究に取り組んでいる。

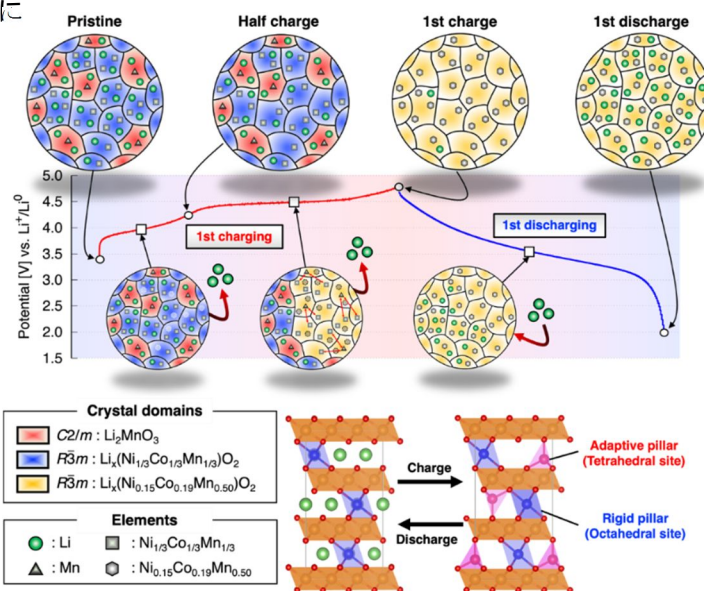


図 3 0.3Li₂MnO₃-0.7LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ 電極の充放電過程における結晶構造の模式図[5] .

< 引用文献 >

[1] M. Oishi, K. Yamanaka, I. Watanabe, K. Shimoda, T. Matsunaga, H. Arai, Y. Ukyo, Y. Uchimoto, Z. Ogumi, T. Ohta, et al. J. Mater. Chem. A, 4, 9293 (2016).
 [2] K. Mizushima, P.C. Jones, P.J. Wiseman, J. B. Goodenough, Mat. Res. Bull., 15, 783 (1980).
 [3] T. Kawaguchi, M. Sakaida, M. Oishi, T. Ichitsubo, K. Fukuda, S. Toyoda, E. Matsubara, J. Phys. Chem. C, 122, 19298 (2018).
 [4] M. Oishi, K. Shimoda, K. Ohara, D. Kabutan, T. Kawaguchi, Y. Uchimoto, J. Phys. Chem. C, 124, 24081, (2020).
 [5] S. Hiroi, M. Oishi, K. Ohara, K. Shimoda, D. Kabutan, Y. Uchimoto, Small, 2203412 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroi Satoshi, Oishi Masatsugu, Ohara Koji, Shimoda Keiji, Kabutan Daiki, Uchimoto Yoshiharu	4. 巻 18
2. 論文標題 Adaptive Cation Pillar Effects Achieving High Capacity in Li Rich Layered Oxide, Li ₂ MnO ₃ LiMeO ₂ (Me = Ni, Co, Mn)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2203412-1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202203412	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 大石昌嗣, 廣井慧, 尾原幸治	4. 巻 92
2. 論文標題 リチウム過剰系正極材料の低結晶性の機能	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 35-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masatsugu Oishi, Satoshi Hiroi, Koji Ohara	4. 巻 2023
2. 論文標題 Functions of low crystallinity in lithium-rich positive electrode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SAP Review	6. 最初と最後の頁 230409-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.92.1_35	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, 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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大石昌嗣, 藤田裕亮, 瀧本楽, 廣井慧, 尾原幸治
2. 発表標題 リチウム過剰系正極 $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ の結晶PDF法による結晶構造解明
3. 学会等名 第90回電気化学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧本楽, 藤田裕亮, 廣井慧, 尾原幸治, 大石昌嗣
2. 発表標題 リチウムイオン二次電池の Li 過剰系正極材料の構造理解
3. 学会等名 第28回ヤングセラミスト・ミーティング in 中四国
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田裕亮, 廣井慧, 尾原幸治, 和泉匡哉, 大石昌嗣
2. 発表標題 リチウム過剰系正極材料 $0.4\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-}0.6\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ の差分PDF解析
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 和泉匡哉, 尾原幸治, 廣井慧, 大石昌嗣
2. 発表標題 リチウム過剰系正極材 $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiMeO}_2$ (Me=Ni, Mn)の結晶二体分布関数PDF解析
3. 学会等名 2021年電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石昌嗣
2. 発表標題 次世代リチウムイオン二次電池高容量正極材料の放射光 X線を用いた 局所電子・原子構造解析
3. 学会等名 第58 回 X線材料強度に関する討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大石 昌嗣, 廣井 慧, 和泉 匡哉, 内本 喜晴, 尾原 幸治
2. 発表標題 高容量正極材料Li ₂ MnO ₃ -LiMeO ₂ (Me = Ni, Mn, Co)の結晶二体分布関数PDF解析
3. 学会等名 第89回電気化学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masatsugu Oishi, Keiji Shimoda, Koji Ohara, Tomoya Kawaguchi, Yoshiharu Uchimoto
2. 発表標題 Disordered cubic spinel structure in the delithiated Li ₂ MnO ₃ revealed by difference pair distribution function analysis
3. 学会等名 PRiME2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大石昌嗣
2. 発表標題 リチウム電池充放電その場XAS解析
3. 学会等名 その場観察分科会 2020年研究討論会～テーマ：電場・液中のその場観測～
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田裕亮, 和泉匡哉, 御手洗祐作, 大石 昌嗣
2. 発表標題 リチウムイオン二次電池正極材料の充放電特性評価
3. 学会等名 第27回ヤングセラミスト・ミーティング in 中四国
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大石昌嗣研究室HP, Publicaitons https://www-me.ait231.tokushima-u.ac.jp/labs/moishi/publications.html 徳島大学HP教育研究者総覧, 准教授 大石昌嗣, 研究活動 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/309265/work-ja.html</p>

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	尾原 幸治 (OHARA Koji) (00625486)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・回折・散乱推進室・主幹研究員 (84502)	
研究分担者	山本 健太郎 (YAMAMOTO Kentaro) (90755456)	奈良女子大学・工学系・准教授 (14602)	

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