

機関番号：13904

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360126

研究課題名（和文）

トリレンマ克服を可能とする分散型エネルギーシステム用次世代高安全二次電池の創製

研究課題名（英文）

Development of the Next-generation Highly-Safe Secondary Batteries for Dispersed Energy Systems towards Conquering the Trilemma

研究代表者

櫻井 庸司 (SAKURAI YOJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80452217

研究成果の概要（和文）：カーボンを含まないミクロンサイズ(平均 $>7\mu\text{m}$)の LiFePO_4 の電気化学特性が、新規な窒素ドーピングにより改善された。窒素ドーピング LiFePO_4 ($\text{LiFePO}_4\text{-N}$)は 1mAcm^{-2} 、 20°C の条件下で、C-free LiFePO_4 の約1.5倍の放電容量(90mAhg^{-1})を示した。これは、 LiFePO_4 中のOがNで一部置換されたことでフレームワークの共有結合性が強くなり、間接的に結晶格子中の Li^+ イオン拡散性が向上した結果だと考えられた。

研究成果の概要（英文）：The electrochemical performances of micron-sized (av. $>7\mu\text{m}$) carbon-free LiFePO_4 was improved by the novel nitrogen doping. Nitrogen-doped LiFePO_4 ($\text{LiFePO}_4\text{-N}$) exhibited discharge capacity of 90mAhg^{-1} , which is ca. 1.5 times higher than that of C-free LiFePO_4 at 1mAcm^{-2} , 20°C . This improvement was considered as the result of the lattice modification through the partial nitrogen substitution for oxygen, which might leads to the enhanced Li^+ ion diffusivity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：電気化学エネルギーデバイス

科研費の分科・細目：5101

キーワード：二次電池、リチウムイオン電池

1. 研究開始当初の背景

資源エネルギーの枯渇・環境破壊を防ぎつつ、経済発展を維持していくことが、持続可能な社会を成立させる上で必要だが、地球規模でこれらの同時達成は難しく、ジレンマならぬ「トリレンマ」の状態にある。とりわけ、地球温暖化問題が全世界的な問題としてクローズアップされ、京都議定書の第一約束期間（2008-2012年）に入っている現在、石油依存度が極めて高い我が国では「新・国家エ

ネルギー戦略」が策定され、エネルギーセキュリティの観点からも石油依存社会からの脱却を目指して①エネルギー源の多様化（クリーンエネルギーの利用促進）、②エネルギー利用効率の向上、③省エネルギーの一層の推進、が重要課題として取り上げられている。

この様な状況の下、分散型クリーンエネルギー電源として、エネルギー変換効率が高く充電可能な次世代型大容量リチウムイオン

電池がさまざまな分野で期待されているが、この電源システムには、①10-15年の長寿命性（サイクル用としては3000-5000回レベルの可逆性）と②保守稼動低減につながる高信頼性に加えて、③高安全性④低コスト性が必須要件として要求される。一方で昨今、ノートパソコン・携帯電話用小型リチウムイオン電池の発火事故など不具合が相次ぎ、電池メーカー・機器メーカーによる空前の大規模リコールが続いており、安全・安心の観点から電池の安全性に対する社会的関心・懸念が高まっている。

上記課題を克服するためには特に、現行リチウムイオン電池に採用されているレアメタル Co を主成分とする正極材料（コバルト酸リチウム：LiCoO₂）を、資源量豊富かつ安全性の高い元素からなる材料に置き換える必要がある。その候補材料として LiFePO₄ が検討されているが、その電子伝導度は LiCoO₂ の約百万分の 1 であり、リチウムイオン伝導度もかなり低いいため、通常の電池に用いられる材料粒径（10 μm 程度）に調整した粉末では反応がうまく進まず、材料の重量・体積当たりの比容量（mAh/g, mAh/cc）やレート特性（電流取得特性）は現行正極 LiCoO₂ に及ばないという問題がある。そこで電池反応を円滑に進行させるために、①材料粒子表面に炭素膜を形成したり、②リチウムイオンの一部を価数の異なる元素で一部置換して電子伝導度を向上させ、③粒子の大きさを極度に小さくしてナノサイズ化することでリチウムイオン伝導パスを短くする、等の方策が採られている。しかしながらその結果として材料粉末の嵩密度が低下し、電極を作製した場合の電極密度も低下するため、実際に電池化した場合には LiCoO₂ 系の 2/3~1/2 程度までエネルギー密度が落ちてしまう、という課題があった。

2. 研究の目的

LiFePO₄ の改良に関する従来の研究は、その電子伝導度・リチウムイオン伝導度の低さをカーボンコートやナノ粒子化で物理的に行うという言わば対症療法的なものであったが、本研究においては、上記課題の根本的解決を狙った電氣的・電気化学的な改良である点に特色がある。すなわち、LiFePO₄ を構成する陽イオン（Li⁺, Fe²⁺）および陰イオン（PO₄³⁻ ポリアニオン）の他元素置換、特にこれまで例のない PO₄ ユニットへの窒素原子の置換導入に挑戦した。ポリアニオンである PO₄ ユニットに酸素よりも電気陰性度の低い窒素を置換導入できれば、P-N 結合の方が P-O 結合よりも共有結合性が強いことから、ポリアニオンユニットの共有結合性が高まり、間接的にリチウムイオンとフレームワークの相互作用が弱くなってリチウムイオンの移

動度即ちリチウムイオン伝導性が向上するものと期待される。ポリアニオンの共有結合性増大により間接的にリチウムイオンの動き易さを増して、リチウムイオン伝導度ひいてはマイクロオーダーの実用サイズ粒径での正極活物質特性向上を図ることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、LiFePO₄ の他元素置換（特に、酸素の一部を窒素で置換する窒素ドーピング）によるバルク改質、ならびに導電性炭素膜被覆による表面改質を行い、X線回折による結晶構造解析、電子顕微鏡によるモルフォロジー評価、粒度分布測定、元素分析、ラマン分光による微細構造解析、など種々の材料物性評価を行った。またこれらの材料粉末を用いて電池用電極を作製し、放電特性・充放電サイクル特性などの電気化学特性を評価した。リートベルト法を用いた結晶構造解析を踏まえてこれらを総合的に評価することにより、高密度電極形成に直結する大粒径粉末の使用を可能とする条件を明らかにして、LiFePO₄ 正極の大型リチウムイオン電池適用に向けた電極最適化を図ることにした。

以下に、主な検討項目を示す。

- (1) ミクロンサイズかつカーボンを含まないピュア LiFePO₄ (C-free LiFePO₄) の合成
- (2) C-free LiFePO₄ の窒化(窒素の置換導入)による窒素ドーブ LiFePO₄ (LiFePO₄-N) の合成
- (3) C-free LiFePO₄ および LiFePO₄-N の物理化学特性評価
- (4) C-free LiFePO₄ および LiFePO₄-N の電気化学特性評価
- (5) リートベルト法を用いた結晶構造解析による窒素ドーブ効果発現要因の推定

4. 研究成果

- (1) ピュア LiFePO₄ (C-free LiFePO₄) および窒素ドーブ LiFePO₄ (LiFePO₄-N) の合成

本研究においては、比較的大粒径なマイクロサイズの LiFePO₄ を合成し、さらにそれを窒化して特性・構造を評価することを目的としている。そのためには多くの研究で行われていることとは逆に、まず LiFePO₄ の合成時に粒子をマイクロサイズに成長させる必要がある。これには、焼成時の粒成長を阻害するカーボンの存在は望ましくない。そして窒化(窒素ドーブ)の効果を厳密に評価するためにも、導電性を与えるカーボンを含まない原料を用いて LiFePO₄ を合成する必要がある。そこで、合成過程で炭素が形成される可能性のある炭素を含む従来の原材料(例えばシュウ酸鉄 [Fe(COO)₂ · 2H₂O] や酢酸鉄 [Fe(OOCH₃)₂] は使用せず、リン酸リチウム (Li₃PO₄) およびリン酸第1鉄 (Fe₃(PO₄)₂ ·

8H₂O) を原料として用いて炭素フリーな LiFePO₄ (C-free LiFePO₄) を真空炉中で焼成合成した (300°C、1h の脱水加熱後、750°C、24h で本焼成)。

C-free LiFePO₄ に対して窒素を導入する手法として本研究では、高温下での NH₃ ガスフローによる直接窒化法を採用した。NH₃ ガスは高温に加熱することで、水素と活性な窒素に分解する。この時生成された活性な窒素が C-free LiFePO₄ に導入されることで、窒化された C-free LiFePO₄ (以下、(C-free) LiFePO₄-N) を得ることができる。本研究では横型石英管状炉中で、NH₃ ガス流量を 100[mL/min]、加熱処理時間を 24[h] とし、加熱処理温度 T_{set}[°C] をパラメータとして T_{set}=500, 550, 600, 625, 650[°C] の 5 種の試料を合成した。

合成した C-free LiFePO₄ の粉末 X 線回折パターンを、LiFePO₄-N の回折パターンと併せて図 1 に示す。図 1 より、C-free LiFePO₄ が空間群 *Pnma* に帰属される単相として合成できたことを確認した。また、625、650°C で窒化を行ったものには異相として Fe₂P が存在しており、混相であることが確認された。それに対して 500、550、600 °C で窒化を行ったものには異相が存在せず、単相であることが確認された。この結果から、LiFePO₄-N の窒化温度としては 500~600°C が適していることが分かった。

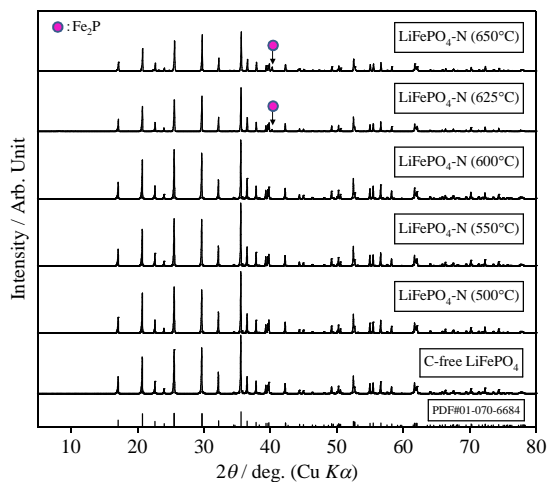


図 1 C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N の粉末 X 線回折パターン

単相であることを確認し、FT モードで回折パターンを測定した C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) に対して、粉末 X 線回折パターン総合解析ソフト (JADE 7, リガク) を用いて格子定数計算を行った。格子定数精密化の結果、標準偏差が Å 単位で小数点以下第 4 桁に収まり、比較的高精度な値が得られた。しかし、C-free LiFePO₄ と LiFePO₄-N を比較すると、どれも値の差異が

±3σ 以内に入ってしまうため、標準偏差を考慮した場合有意な差は認められなかった。より詳細な結晶構造解析は、後述する (4) のリートベルト解析により行った。

(2) C-free LiFePO₄ および LiFePO₄-N の物理化学特性評価

① レーザ回折粒度分布測定

合成した C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N の粒子が目的とするミクロンサイズになっているかどうか確認するため、レーザー回折式粒度分布測定装置によって粒度分布を測定した。図 2 に C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) の粒度分布を示す。図 2 の粒度分布測定結果から、合成した C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N はどちらの粒子もメダイアン径 7 μm を上回っていることが分かり、目標とするミクロンサイズの粒子が得られていることを確認した。

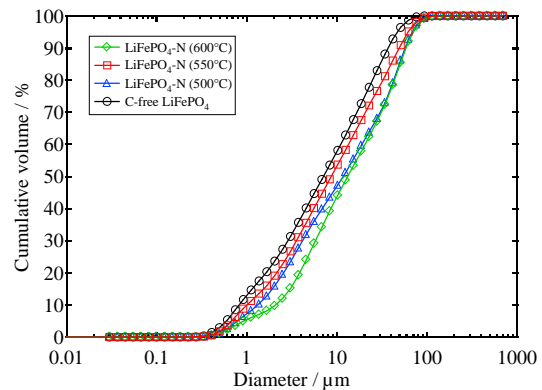


図 2 C-free LiFePO₄ 及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) の粒度分布

② ラマン分光解析

合成した C-free LiFePO₄ が実際にカーボンフリーであるのかどうかを確認するため、レーザー顕微ラマン分光器によるラマン分光解析を行った。ここでは、Li₂CO₃ / FeC₂O₄·2H₂O / NH₄H₂PO₄ から合成した、粒子表面に導電性カーボンが残存している別の LiFePO₄ (以下、normal-LiFePO₄) を比較対象として、カーボンに起因する D/G バンドスペクトルの有無によってカーボンが存在するか否かを確認した。その結果 normal-LiFePO₄ では、LiFePO₄ 粒子表面に残留したカーボンに由来する G バンド (1592[cm⁻¹]) 及び D バンド (1356[cm⁻¹]) の 2 つのブロードなバンドも観測された。一方、C-free LiFePO₄ にはこの G/D バンドが観測できなかったことから、C-free LiFePO₄ には導電性カーボンが存在しないことが確認できた。

③ EDX 元素マッピングおよび XPS スペクトル測定

窒化によって実際に LiFePO₄-N に窒素が導入されているかどうかを確認するため、エネ

ルギー分散型 X 線分光 (EDX) による元素マッピングならびに X 線光電子分光 (XPS) による結合エネルギースペクトルの測定を行った。その結果、EDX 元素マッピングには、500、550、600°C で窒化した全ての $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ において、窒素が粒子のシルエットで分布していることが分かり、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ 粒子に窒素が存在していることが示唆された。更に EDX 元素マッピングの結果を裏付けるため、X 線光電子分光 (XPS) による結合エネルギースペクトルの測定を行った。その結果、C-free LiFePO_4 の XPS スペクトルには窒素に起因する結合エネルギーは観測されなかったが、3 つの $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ の XPS スペクトルからは窒素に起因する N 1s 結合エネルギーが観測された。よって XPS スペクトルからも、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ 粒子に窒素が確かに存在していることが確認できた。

④化学分析

酸分解-ICP-AES 法、酸化還元滴定、不活性ガス融解-熱伝導度法により各々、Li, Fe, P の定量、Fe の価数分析、N の定量を行った。その結果、Li, Fe, P の各元素が誤差範囲内で化学量論比だけ存在し、また $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (550, 600°C) において N が Fe に対してモル比で 0.9 %、バルクとして存在していることを確認した。なお、C-free LiFePO_4 の N 量は検出限界以下であるという結果であった。Fe の価数分析からは、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ には Fe^{2+} しか存在していないことが確認された。

ここで、3 価のアニオンである N が 2 価のアニオンである O と置換されたとすると、 LiFePO_4 においてチャージバランスを取るためには、Fe が 2 価/3 価の混合原子価状態となるか、もしくは O が一部欠損することが可能性として考えられる。しかし化学分析の結果によれば、Fe は 2 価のものしか存在しておらず、Fe が混合原子価状態となっている可能性は消える。よってこの化学分析の結果は、N がドーピングされた場合、チャージバランスを取るために O が一部欠損することを示唆していると言える。これらの化学分析結果により、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (550, 600°C) の正確な化学組成式を $\text{LiFePO}_{3.9865}\text{N}_{0.009}$ と導出することができた。

(3) C-free LiFePO_4 および $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ の電気化学特性評価

①正極ペレットおよびコインセルの作製

合成した C-free LiFePO_4 及び $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (500, 550, 600°C) は、コインセル (CR2032) を構成して電気化学特性を評価するために、まず正極ペレットに形成した。正極ペレットには、導電助剤としてアセチレンブラック (以下 AB)、バインダーとして PTFE を使用した。正極活性物質である C-free LiFePO_4 及び $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ との分量比は、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$: AB : PTFE = 70 : 25 : 5 (in wt.) の重量比と

し、攪拌擂潰機で混合して得た混合物をロールプレス機で圧延してシート化し、Φ8 のポンチでペレットに打ち抜いた後、80°C、12 時間の真空乾燥を行った。

形成した正極ペレットを用いて、Ar 雰囲気グローブボックス内でコインセル (CR2032) を作製した。負極には金属 Li フォイル、電解液には 1 mol/L $\text{LiPF}_6\text{-EC}:\text{DMC}$ (1:1 v/v%)、セパレータには微多孔性ポリプロピレン膜をそれぞれ使用した。

②定電流放電特性

充放電電流密度 1 [mA/cm²]、充電終止電圧 4.2 [V]、放電終止電圧 3.0 [V] として、定電流充放電を行い、正極活性物質特性を評価した。図 3 に C-free LiFePO_4 及び $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ の 2 サイクル目における定電流充放電特性を示す。

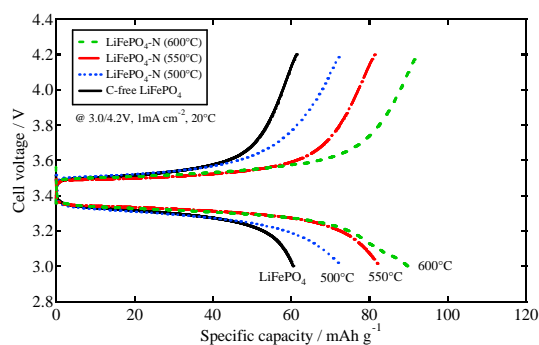


図 3 C-free LiFePO_4 及び $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (500, 550, 600°C) の定電流充放電特性 (2nd cycle)

図 3 から分かるように、C-free LiFePO_4 が 61 [mAhg⁻¹] の放電容量を示しているのに対し、窒素処理を行った $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (600°C) は 90 [mAhg⁻¹] と約 1.5 倍の大きな放電容量を示した。ほかの $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (500°C)、 $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ (550°C) についても、それぞれ C-free LiFePO_4 よりも大きな放電容量が得られている。この $\text{LiFePO}_4\text{-N}$ における放電容量の増加は、 LiFePO_4 中の酸素が窒素で一部置換されたことで結晶構造にわずかな変化が生じ、バルク中の Li^+ イオン拡散性が向上した結果だと考えられる。

③放電特性の電流依存性測定

1.0 [mA/cm²] で 2 回定電流充放電試験を行った後、1.0 [mA/cm²] で定電流充電し、そこから 20 / 10 / 5 / 4 / 3 / 2 / 1 [mA/cm²] の順に電流密度を変化させて定電流放電を行い、レート特性の評価を行った。なお、それぞれの電流密度での放電が終了した後は充電は行わず、10 分間の休止時間を挟んでそのまま次の電流密度で放電を行った。最終的には各電流密度での放電容量を順に積算し、グラフ化した。このような手法でレート放電を行うことで、サイクル劣化の影響を無視して、放電容量の電流密度依存性を知ることができる。このレート特性は、大きな電流密度

どれだけの放電容量が得られるのか、つまり正極活物質の出力をどれだけ取り出すことができるのかを測る尺度となる。充電終止電圧は 4.2[V]、放電終止電圧は 3.0[V]に設定し、定電流充放電試験と同一とした。図4に C-free LiFePO₄及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) のレート特性を示す。

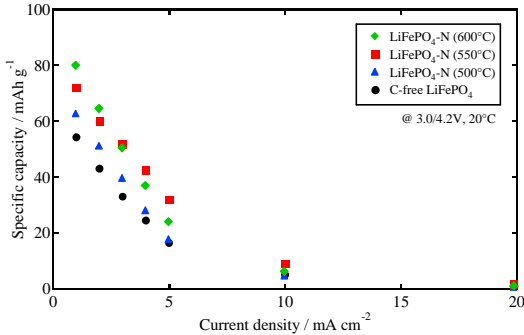


図4 C-free LiFePO₄及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) のレート特性

図4より、窒化した LiFePO₄-Nの方が C-free LiFePO₄よりもレート特性が良くなっていることが分かる。20, 10[mA/cm²]ではその差はそれほど大きくないが、5[mA/cm²]まで電流密度を絞るとその差は大きく広がっている。1[mA/cm²]においては LiFePO₄-N(600°C)が最も良い特性を示していたが、それ以上の電流密度では LiFePO₄-N (550°C)が最も良いレート特性を示した。

④定電流サイクル特性

定電流充放電試験と同様に、充放電電流密度を 1.0[mA/cm²]、充電終止電圧を 4.2[V]、放電終止電圧 3.0[V]の条件下で、定電流サイクル試験を行った。図5に C-free LiFePO₄及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) のサイクル特性を、放電容量維持率の充放電回数依存性として示す。

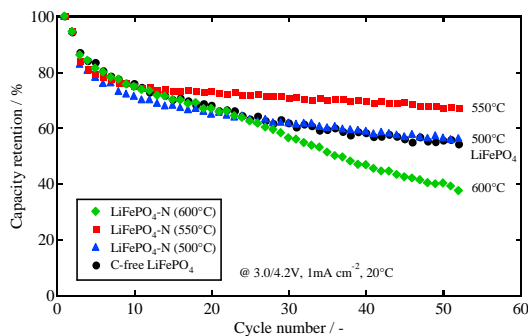


図5 C-free LiFePO₄及び LiFePO₄-N (500, 550, 600°C) のサイクル特性

このサイクル特性においても、LiFePO₄-N (550°C)が最も良い放電容量維持率を示している。一方で、LiFePO₄-N (600°C)はサイクルにつれて容量減少が増える特性となっ

た。現段階ではこの理由は必ずしも明らかでないが、LiFePO₄-N (600°C)よりも若干窒化処理温度が高い LiFePO₄-N (625°C)において見られた Fe₂Pなどの不純物相が粒子最表層にわずかに存在し、サイクル劣化の原因になっていることも考えられる。

(4) リートベルト法を用いた結晶構造解析による窒素ドーブ効果発現要因の推定

上記(3)に示した LiFePO₄の正極活物質特性における窒素ドーブ効果の発現要因を明らかにするために、(2)の検討で得られた化学組成を元にした X線リートベルト解析による詳細な結晶構造解析を行った。

化学分析の結果、放電特性の顕著な向上が見られた LiFePO₄-N (窒化処理温度：(550, 600°C)においては、Li、Fe、Pが化学量論比で存在し、Feは2価であり、NがFeに対してモル比でおよそ1%、バルクとして存在していることを確認した。これらの結果から、Nがドーブされるとチャージバランスを取るためにOが一部欠損し、LiFePO₄-N ((550, 600°C)の化学組成は LiFePO_{3.9865}N_{0.009}と表すことができると考えられた。この化学組成を元にして、X線リートベルト解析を行った結果を以下に示す。

図6(a)に C-free LiFePO₄、図6(b)に窒素ドーブ品の例として LiFePO₄-N (550°C)のリートベルト解析結果をそれぞれ示す。

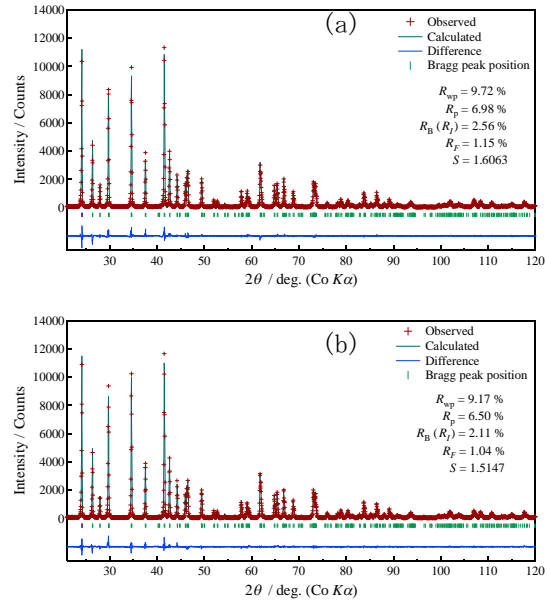


図6 C-free LiFePO₄および LiFePO₄-N (550°C) のリートベルト解析結果

両者ともに R_{wp}が 10.00%以下となり、R_Bと R_fについても 5%を下回っており、結晶構造モデルは妥当であると言える。リートベルト解析の結果、窒素ドーブにより格子定数はさほど変わらぬ一方、LiFePO₄-NにおいてNはO₁、

O_3 サイトにドーピングされ(席占有率 g は各々約 0.3%)、また O の欠損は O_1 サイトにおいて生じていることが示唆された。また、原子間距離から導出した FeO_6 および PO_4 多面体の体積は、窒素ドーピングにより若干収縮し、 Li^+ イオン拡散パスに関連する $O_1 - O_2$ 及び $O_3 - O_3$ 原子間距離が拡大していることが分かった。 Li^+ イオンの拡散パスと $O_1 - O_2$ 及び $O_3 - O_3$ 原子間距離の模式図を図7に示す。これらの解析結果から、 N がフレームワークに導入されたことで、 O_1 サイトにおける酸素欠損の存在も相俟って、狙い通り Li^+ イオン拡散パスが拡がり、 Li^+ イオン拡散性が向上したことによって放電容量が増大した可能性が高いことが示唆された。

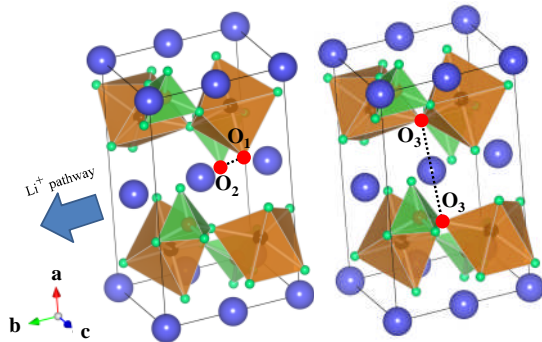


図7 Li^+ イオンの拡散パスと $O_1 - O_2$ 及び $O_3 - O_3$ 原子間距離の模式図

(5) まとめと今後の展望

本研究において、カーボンフリーかつ実用的なマイクロサイズ(メデアン径 $7\mu m$ 以上)の $LiFePO_4$ に対して、これまで国内外で報告例がない窒素ドーピングを行い、 Li^+ イオン拡散性向上を図り、その電気化学特性を向上させることができた。しかしながら、依然として低い電子伝導度ゆえにカーボンフリー状態では特性向上に限られたものとなった。紙面の都合で割愛したが、カーボンコートとダウンサイズ化による特性向上も実験的に確認しており今後は、粒子形態・粒径の最適化による更なる特性向上、ならびに学術面では、合成方法の工夫により形態制御された単一粒子を用いた真の Li^+ イオン拡散定数の決定など、 $LiFePO_4$ を高エネルギー密度かつ大電流取得可能な大型電池用正極材料に仕上げていく上で必要な課題も残されている。

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)

[学会発表] (計4件)

①月岡勇氣、田中春輝、福田裕一、千坂光陽、辻川知伸、櫻井庸司、窒素処理によるリチウムイオン電池用 $LiFePO_4$ 正極材料の特性

向上、第51回電池討論会、2010年11月9日、愛知県産業労働センター(愛知県)

②Yuki Tsukioka, Yuichi Fukuda, Haruki Tanaka, Mitsuharu Chisaka, and Yoji Sakurai, Improvement of cathode properties of C-free $LiFePO_4$ by nitrogen doping, The 15th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB 2010), 2010年7月6日, Montreal, Canada

③福田裕一、月岡勇氣、田中春輝、千坂光陽、櫻井庸司、窒素ドーピングによる $LiFePO_4$ 正極特性の向上、電気化学会第77回大会、2010年3月30日、富山大学(富山県)

④福田裕一、月岡勇氣、千坂光陽、櫻井庸司、リチウムイオン電池用 $LiFePO_4$ 正極の電極作製条件の検討、第40回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2009年11月8日、岐阜大学(岐阜県)

[図書] (計3件)

①櫻井庸司、オーム社、電池ハンドブック、2010、pp.507-513

②櫻井庸司、エヌ・ティー・エス、高性能蓄電池—設計基礎研究から開発・評価まで—、2009、pp.63-74

③櫻井庸司、シーエムシー出版、リチウムイオン電池 この15年と未来技術、2008、pp.15-38

[その他]

ホームページ等

<http://www.cec.ee.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 庸司 (SAKURAI YOJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：80452217

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし