

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04491

研究課題名(和文) 中性子散乱を利用した充放電中の蓄電池の伝導イオンの位置と流れの時空間4次元解析

研究課題名(英文) Four-dimensional analyses for understanding the position and conduction pathway of ions in the battery under the charge/discharge practical operation by neutron diffraction

研究代表者

福永 俊晴 (Fukunaga, Toshiharu)

京都大学・複合原子力科学研究所・名誉教授

研究者番号：60142072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：中性子回折と放射光X線回折を併用し、革新型全固体蓄電池の研究を行った。結晶系ではリートベルト解析により構造解析を行い、MEM法により、イオン伝導経路を精密に可視化した。また、歪んだ系では、構造因子 $S(Q)$ を導出し、RMCモデリングを用い原子配置を可視化し、BVSイメージング法でイオン伝導経路の可視化を行った。

特に、フッ化物イオン導電性固体電解質に着目し、 $Ba_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}$ の構造解析では、その結晶構造を明確し、フッ化物イオン(Fイオン)伝導経路を可視化した。その結果、本系が準格子間拡散をベースとする拡散機構によってFイオンが伝導経路内を移動することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全固体蓄電池(LIBやFSB)の電池性能をフルに引き出すためには、固体内での伝導イオンの高速移動のみならず、固-固界面で伝導イオン(LiイオンやFイオンなど)の授受が円滑に行われることが重要である。それにもかかわらず、電池を構成する物質の充放電中の構造変化の解析ならびに伝導イオンの移動経路の原子レベルの解明は非常に遅れている。それ故、伝導イオン移動経路の視覚化は学術的に意義の高い研究であると言える。同時に、電池性能を向上させるための要因を原子レベルで解明することは、次世代全固体電池開発の指針を与えることとなり、社会的意義も非常に高い。

研究成果の概要(英文)：The realization of all-solid-state batteries is critical for large-scale applications. In this work, we used a cutting-edge neutron diffractometer and analysis programs of the Rietveld and maximum entropy methods to determine ions diffusion pathways in the crystalline solid electrolyte. For the glassy solid electrolyte, the three-dimensional atomic configurations and conduction pathways of ions were clarified by reverse Monte Carlo modeling and bond valence sum imaging programs.

Especially, we focused to determine the F ions diffusion pathways in the superior solid electrolyte $Ba_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}$. We showed that the excessive F ions, located at the specific interstitial sites, migrate to the neighboring F ion sites based on the interstitialcy diffusion mechanism at the operating temperature for all-solid-state fluoride shuttle batteries(FSBs). Understanding the diffusion mechanism of F ions plays a key role in the development of solid electrolytes for FSBs.

研究分野：材料物性

キーワード：中性子散乱 構造解析 蓄電池材料 X線回折 伝導特性 固体電解質 イオン伝導経路 イオン伝導体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2007年の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)報告により温室効果ガス排出が地球温暖化の主要因としてほぼ確実視され、今世紀末には化石燃料不足の深刻化も予想される現在、環境・エネルギー関係の研究が重要視されている。それ故、環境・エネルギーシステムの開発が急がれているのが現状である。その中でも、環境に優しい電池はエネルギーシステムの中で着目され、現在一番使われているリチウムイオン蓄電池は、その安全性や性能を上げるべく、数多く研究が行われている。リチウムイオン蓄電池の安全性に着目して、リチウム全固体電池の開発が急がれる中、その中心的役割を持つ高イオン伝導固体電解質の開発が望まれている、そのため、イオン周りの構造変化とそれに伴うイオン伝導経路やイオンの動きの情報を得ることが、高性能特性を醸し出す新しい材料開発の指針を得るために必須であることが認知されつつある。さらに、リチウムイオン蓄電池の高度化ばかりではなく、リチウムイオン蓄電池の性能を凌駕する革新的蓄電池開発も強く望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、「蓄電池中の伝導原子(イオン)の位置と伝導経路、そして充放電中の構造の時間変化を調べ、電池特性との関係」を中性子とX線の相補的散乱・回折実験で明らかにすることである。まず、我々は KEK との共同で設計・製作した原子位置の時間的変移が観察できる第4世代型回折装置(SPICA)と世界最高の高強度全散乱装置(NOVA)、さらに準弾性散乱装置(DNA)を用いて、充放電中の全固体電池(正極・負極材料、そして固体電解質)の in situ 実験を行う。そして、我々が開発に成功した結晶のみならず歪んだ結晶やガラス状態の中の伝導原子(イオン)の伝導経路を明らかにする新しい解析法を用いて、時間・空間を含む「4次元解析」を行い、母相構造の時間的変移と伝導原子(イオン)の動的な流れを解明して次世代全固体電池の開発を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、J-PARC の MLF 施設の BL21 の全散乱装置(NOVA)、BL09 の第4世代型回折装置(SPICA)そして BL02 の準弾性散乱装置(DNA)を主に利用して、蓄電池の正極材料・負極材料、そして固体電解質(超イオン伝導材)の構造観察を行う。すなわち、蓄電池の充・放電中の in situ 回折・散乱実験を行い、時間にもなう構造変化、ならびにイオンの位置とその時間変位を明らかにする。そして、回折・散乱データを基にした3次元モデル構造を構築し、結晶固体電解質ではマキシマムエントロピー(MEM)法を用い、歪んだ結晶固体電解質やガラス状固体電解質に対しては我々が独自に開発したボンドバレンスサム(BVS)法をさらに高度化した解析法を用いて、イオンの伝導経路の視覚化と物理的解明を行う。さらに、中性子準弾性散乱装置(DNA)を用いたイオン拡散・運動の研究も展開し、時間・空間変化に対する物理的な「4次元解析」を展開する。

4. 研究成果

現行のリチウムイオン蓄電池(LIB)の安全性を向上させるために、全固体リチウムイオン電池の実用化が推し進められている中、そのキーとなるリチウムイオン伝導固体電解質の開発研究も推し進められるが、その構造やイオン伝導経路の解明はまだまだ進んでいない。そこで、歪んだ結晶やガラス状態の固体電解質の構造を明らかにすると共に、我々が開発したBVS法を用いて、リチウムイオンの伝導経路を明らかにしてきている。最近行った研究成果の一部を以下に示す。

図1に、 $(\text{Li}_2\text{S})_x(\text{SiS}_2)_{100-x}$ ガラス($x = 40, 50, 60$)のリチウムイオン伝導経路を示す。イオンの安定領域のしきい値を $|\Delta V| < 0.04$ と定め、さらに $|\Delta V|$ の許容値を増やすことで準安定領域を色分けしている。すなわち、青色で示す領域が多い $(\text{Li}_2\text{S})_{40}(\text{SiS}_2)_{60}$ ガラスが、リチウムイオン伝導度が高いことを示している。この系では、 (SiS_2) の配合割合が、 $x=40, 50, 60$ と多くなるにつれて、リチウムイオンの移動しやすい環境が固体中に形成されていること示しており、実際のイオン伝導度の測定値と一致していることが明らかとなった。

最近では、リチウムイオン蓄電池(LIB)に代わる革新型蓄電池(ポスト・リチウムイオン電池)の候補の1つとして固体フッ化物シャトル電池(FIB)が注目され、とりわけ全固体FIBでは、固体電解質として利用可能なフッ化物イオン伝導体の探索が加速して

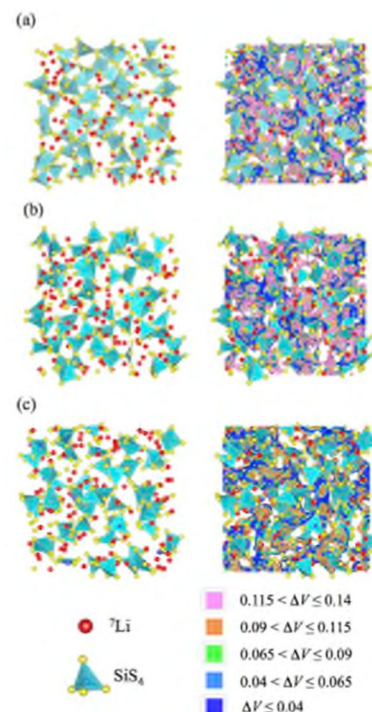


図1 $(\text{Li}_2\text{S})_x(\text{SiS}_2)_{100-x}$ ガラス($x = 40, 50, 60$)のリチウムイオン伝導経路

いる。すなわち、革新型蓄電池の開発競争をリードする上で、固体フッ化物シャトル電池で使用するフッ化物イオン導電性固体電解質は、今後の革新型蓄電池開発において重要なキーマテリアルとなる。それ故、次に研究成果として、我々が最近集中して行ってきた固体フッ化物シャトル電池(FIB)で用いられる固体電解質のイオン伝導の原理とその経路の視覚化の研究結果を述べる。

フッ化物イオン伝導体の中で、PbFとSnFの化合物であるPbSnFは、フッ化物イオン伝導体の中で最も高いイオン伝導度を示す。メカニカルアロイング(MA)によって得られたPbSnF₄はγ相で、これを熱処理することで、β相に転移する。室温でも高いイオン伝導度を維持するβ-PbSnF₄では、“-Pb-Pb-Sn-Sn-”層が形成されており、Pb-Pb層間のFサイトはFによって完全に満たされているが、Pb-Sn層間のFサイトではフッ素欠損を含んでいた。一方、Sn-Sn層間にはFが存在しなかった。これは、Sn²⁺がもつ孤立電子対(lone pair)とFとの間で働く静電反発が影響している。これらの結果から、図2に示すように、フッ素欠陥を持つPb-Sn層間がイオン伝導層に相当することが分かった。すなわち、Pb-Sn層間でフッ素欠損のホッピングが生じていると考えられる。

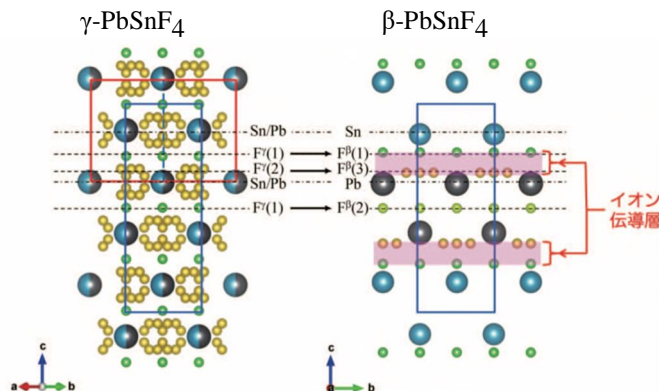


図2 リートベルト解析により精密化したγ-PbSnF₄とβ-PbSnF₄の結晶構造

ごく最近の研究では、フッ化物イオン導電性固体電解質Ba_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}のイオン伝導メカニズムを原子レベルで解明した。蛍石型構造をもつフッ化バリウム(BaF₂)は、電池性能において重要な高電圧下での利用が期待されるが、その反面、イオン伝導率が低い物質である。これにバリウム(Ba)の一部をランタン(La)で置換することでイオン伝導率が劇的に向上するが(図3)、本系のフッ化物イオン(F⁻)の分布やその伝導メカニズムは不明のままであった。そこで、蓄電池研究中性子回折装置を利用し、Ba_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}固体電解質の原子位置をリートベルト解析で明らかにし、マキシムエントリピー法にて核密度分布(散乱長密度分布)を精密に調べ、図4に示すようにBa_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}固体電解質のフッ化物イオン伝導経路の可視化に成功した。その結果、準格子間拡散をベースとする拡散機構によってF⁻イオンが伝導経路内を移動することを明らかにした。このイオン伝導メカニズムの解明によって、フッ化物イオン伝導体のイオンの流れに関する理解をより深めることができた。

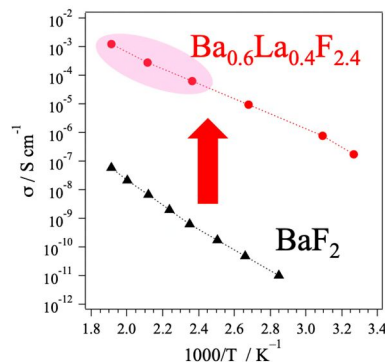


図3 BaF₂ならびにBa_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}結晶の電気伝導度

その他、全固体フッ化物シャトル電池(FIB)の正極材料として、新奇な4元系酸フッ化物Bi_{0.7}Fe_{1.3}O_{1.5}F_{1.7}を見出し、その正極を使いフッ素イオンの伝導種とした充放電を明らかにした。この研究では、フッ素化剤を用いたnon-topotactic反応により、Bi_{0.7}Fe_{1.3}O_{1.5}F_{1.7}を合成し、中性子回折により、結晶構造の精密化を行い、フッ素の含有量と原子位置を決定した。この物質を正極、Pbを対極として、サイクリックボルタンメトリー測定を行い、全固体セルにおける放電容量は360 mAh/gと高い値が得られたことから、多元系フッ化物FIB開発への新しい展開が期待される。

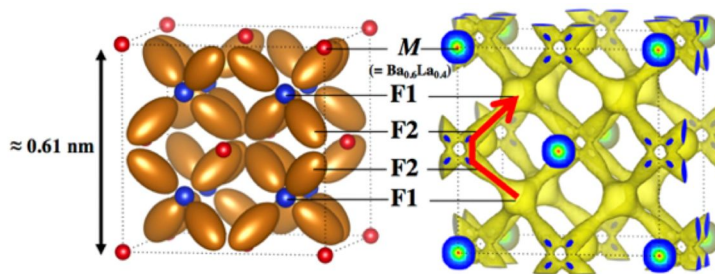


図4 フッ化物イオン導電性固体電解質Ba_{0.6}La_{0.4}F_{2.4}の結晶構造(異方性温度因子)およびフッ化物イオン伝導経路(核密度分布)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 T. Takeuchi, H. Kageyama, N. Taguchi, K. Nakanishi, T. Kawaguchi, K. Ohara, K. Fukuda, A. Sakuda, T. Ohta, T. Fukunaga, H. Sakaebe, H. Kobayashi, E. Matsubara	4. 巻 320
2. 論文標題 Structure analyses of Fe-substituted Li ₂ S-based positive electrode materials for Li-S batteries.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 387-391
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016	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 T. Takami, Y. Morita, M. Yonemura, Y. Ishikawa, S. Tanaka, M. Mori, T. Fukunaga, and E. Matsubara	4. 巻 1
2. 論文標題 Appearance of Lithium-Ion Conduction in a La-Li-Co-O Band Insulator: Possible Route to Oxide Electrolyte.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Energy Mater.	6. 最初と最後の頁 2546-2554
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021	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 T. Takami, K. Matsui, H. Senoh, N. Taguchi, M. Shikano, H. Sakaebe, T. Fukunaga	4. 巻 769
2. 論文標題 Magnetic behavior of Fe nanoparticles driven by phase transition of FeF ₃	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 539-544
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016	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 T. Matsunaga, S. Takagi, K. Shimoda, K. Okazaki, Y. Ishikawa, M. Yonemura, Y. Ukyo, T. Fukunaga, E. Matsubara	4. 巻 142
2. 論文標題 Comprehensive elucidation of crystal structures of lithium-intercalated graphite.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 513-517
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016	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 M. Saito, K. Kato, S. Ishii, K. Yoshii, M. Shikano, H. Sakaebe, H. Kiuchi, T. Fukunaga, and E. Matsubara	4. 巻 166 (3)
2. 論文標題 Effective Bulk Activation and Interphase Stabilization of Silicon Negative Electrode by Lithium Pre-Doping for Next-Generation Batteries.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Electrochemical Society	6. 最初と最後の頁 A5174-A5183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149	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 T. Takami, K. Matsui, H. Senoh, N. Taguchi, M. Shikano, H. Sakaebe, T. Fukunaga	4. 巻 9
2. 論文標題 Role of the particle size of Fe nanoparticle in the capacity of FeF ₃ batteries.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 045302 1 - 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063	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 F. Fujisaki, K. Mori, M. Yonemura, Y. Ishikawa, T. Kamiyama, T. Otomo, E. Matsubara, T. Fukunaga	4. 巻 253
2. 論文標題 Mechanical synthesis and structural properties of the fast fluoride-ion conductor PbSnF ₄	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Solid State Chem.	6. 最初と最後の頁 287-293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016	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 K. Mori, T. Kasai, K. Iwase, F. Fujisaki, Y. Onodera, T. Fukunaga	4. 巻 301
2. 論文標題 Structural origin of massive improvement in Li-ion conductivity on transition from (Li ₂ S) ₅ (GeS ₂)(P ₂ S ₅) glass to Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂ crystal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 163-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016	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 T. Takeuchi, H. Kageyama, N. Taguchi, K. Nakanishi, T. Kawaguchi, K.Ohara, K.Fukuda, A. Sakudaa, T.Ohta, T. Fukunaga, H. Sakaebae, H.Kobayashia, E.Matsubara	4. 巻 302
2. 論文標題 Structure analyses of Fe-substituted Li ₂ S-based positive electrode materials for Li-S batteries	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 387-391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016	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 森一広、米村雅雄、福永俊晴	4. 巻 59
2. 論文標題 中性子を利用した Li ₂ S-P ₂ S ₅ 系リチウムイオン伝導体の構造 およびイオン伝導経路の可視化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本結晶学会誌	6. 最初と最後の頁 230-237
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 小野寺陽平、福永俊晴	4. 巻 52
2. 論文標題 中性子散乱原理と中性子全散乱によるガラス・非晶質物質の構造解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 330-336
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 K.Mori, T.Kasai, K. Iwase, F. Fujisaki, Y. Onodera, T.Fukunaga	4. 巻 301
2. 論文標題 Structural origin of massive improvement in Li-ion conductivity on transition from (Li ₂ S) ₅ (GeS ₂)(P ₂ S ₅) glass to Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂ crystal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Solid State Ionics	6. 最初と最後の頁 163-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016	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 S. Taminato, M. Yonemura, S. Shiotani, T. Kamiyama, S. Torii, M. Nagao, Y. Ishikawa, K. Mori, T. Fukunaga, Y. Onodera, T. Naka, M. Morishima, Y. Ukyo, D. S. Adipranoto, H. Arai, Y. Uchimoto, Z. Ogumi, K. Suzuki, M. Hirayama, R. Kanno	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-time observations of lithium battery reactions - operando neutron diffraction analysis during practical operation	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 28843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038	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 K. Ohara, A. Mitsui, M. Mori, Y. Onodera, S. Shiotani, Y. Koyama, Y. Orikasa, M. Murakami, K. Shimoda, K. Mori, T. Fukunaga, H. Arai, Y. Uchimoto, and Z. Ogumi	4. 巻 6
2. 論文標題 Structural and electronic features of binary Li ₂ S-P ₂ S ₅ glasses	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038	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 -

[学会発表] 計25件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 高木繁治、藤本宏之、木内久雄、中貴弘、松永利之、右京良雄、福永俊晴、安部武志、小久見善八、松原英一郎
2. 発表標題 Detailed analysis of crystallite size of graphitic carbon influencing on performance of LIB at low temperature
3. 学会等名 IMLB 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiyuki Matsunaga, Shigeharu Takagi, Keiji Shimoda, Kenichi Okazaki, Yoshihisa Ishikawa, Masao Yonemura, Toshiharu Fukunaga and Eiichiro Matsubara
2. 発表標題 Structural Investigation of Lithium-Intercalated Graphite
3. 学会等名 IMLB 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomonari Takeuchi, Koji Nakanishi, Hisao Kiuchi, Toshiaki Ohta, Toshiharu Fukunaga, Hikari Sakaebe, Hironori Kobayashi, and Eiichiro Matsubara
2. 発表標題 Preparation of lithium halide-doped Fe-containing Li ₂ S-based positive electrode materials applicable for Li-S battery
3. 学会等名 IMLB 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木繁治、藤本宏之、木内久雄、中貴弘、松永利之、右京良雄、福永俊晴、安部武志、小久見善八、松原英一郎
2. 発表標題 Characterization of Carbon Properties Influencing on Battery Performance
3. 学会等名 Carbon 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田壮宏、平野辰巳、山木孝博、大橋俊之、中貴弘、木内久雄、福永俊晴、松原英一郎
2. 発表標題 リチウムイオン電池における電極断面方向反応分布と緩和時間の定量化
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Morihiro Saito, Kiyomi Kato, Shunya Ishii, Kazuki Yoshii, Masahiro Shikano Hikari Sakaebe, Hisao Kiuchi, Toshiharu Fukunaga, Eiichiro Matsubara
2. 発表標題 Effective Activation and Stabilization of Si Negative Electrode by Li Pre-doping Method for Next-generation Batteries
3. 学会等名 AIMES 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森一広、福永俊晴、米村雅雄、石川嘉久
2. 発表標題 フッ化物イオン伝導体PbSnF ₃ の結晶構造とイオン伝導経路
3. 学会等名 2018年金属学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木繁治、藤本宏之、中貴弘、米村雅雄、松永利之、右京良雄、福永俊晴、安部武志、小久見善八、松原英一郎
2. 発表標題 中性子回折によるグラファイト負極のオペランド構造解析
3. 学会等名 2018年電気化学秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木繁治、藤本宏之、木内久雄、中貴弘、村田徹行、下田景士、福永俊晴、安部武志、小久見善八、松原英一郎
2. 発表標題 放射光回折によるグラファイト負極のオペランド構造解析
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永利之、下田景士、岡崎健一、石川喜久、米村雅雄、福永俊晴、松原英一郎
2. 発表標題 Li ₂ (NbxMn1-x)O ₃ (岩塩型立方晶) の構造並びに充放電特性組成依存性
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤守弘、加藤清美、石井駿也、吉井一記、鹿野昌弘、栄部比夏里、木内久雄、福永俊晴、松原英一郎
2. 発表標題 次世代電池応用を指向したLiプレドープ法によるSi負極の効果的アクティベーションと界面安定化
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木繁治、藤本宏之、木内久雄、中貴弘、村田徹行、下田景士、松永利之、福永俊晴、安部武志、小久見善八、松原英一郎
2. 発表標題 カーボンの結晶子サイズ分布の解析と電池低温性能への影響
3. 学会等名 第45回炭素材料学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森 一広、福永 俊晴、米村 雅雄、石川 喜久
2. 発表標題 フッ化物イオン伝導体PbSnF4の結晶構造とイオン伝導経路
3. 学会等名 第44回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森一広、米村雅雄、石川嘉久、福永俊晴
2. 発表標題 Ce _{0.95} Sr _{0.05} F _{2.95} フッ化物イオン伝導体構造とイオン伝導機構
3. 学会等名 2019年金属学会春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森一広、福永俊晴
2. 発表標題 中性子準弾性散乱によるLi7P3S11結晶中のLiイオン挙動の直接観測
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森一広、柴田薫、川北至信、藤崎布美佳、福永俊晴
2. 発表標題 中性子準弾性散乱によるLi7P3S11結晶中のLiイオン挙動の直接観測
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森一広、福永俊晴、米村雅雄、石川喜久
2. 発表標題 MM-PbSnF4の構造およびFイオン伝導経路
3. 学会等名 第43回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森一広、福永俊晴、米村雅雄、石川喜久
2. 発表標題 逆モンテカルロモデリングによるPbSnF4のイオン伝導経路の解析
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Mori, T. Fukunaga, K. Shibata, Y. Kawakita
2. 発表標題 Direct observation of fast lithium-ion diffusion in a superionic conductor: Li7P3S11 metastable crystal
3. 学会等名 QENS 2016 / WINS 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Mori, T. Fukunaga
2. 発表標題 Visualization of Conduction Pathways of Li Ions in a Promising Solid Electrolyte: Li7P3S11 Metastable Crystal
3. 学会等名 PRICM9 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Onodera, H. Nakashima, T. Otomo, T. Fukunaga
2. 発表標題 Structure and ionic conductivity of Na-P-S superionic conductors studied by neutron and X-ray scattering
3. 学会等名 THERMEC'2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小野寺陽平、出島一仁、福永俊晴
2. 発表標題 金属硫化物系イオン伝導ガラスNa2S-Al2S3の創製と構造研究
3. 学会等名 日本セラミックス協会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森一広、古田幸三、藤崎布美佳、福永俊晴
2. 発表標題 Li2S-GeS2系超イオン伝導ガラスの構造とLiイオン伝導経路
3. 学会等名 第42回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤崎布美佳、森一広、福永俊晴
2. 発表標題 中性子・放射光全散乱測定によるLi10GeP2S12結晶のイオン伝導経路の解析
3. 学会等名 日本金属学会2016年秋期講演大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小野寺陽平、小原真司、森一広、福永俊晴
2. 発表標題 メカニカルアロイング法によって作製したアモルファスP2S5の構造
3. 学会等名 日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム
4. 発表年 2016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	小野寺 陽平 (Onodera Yohei) (20531031)	京都大学・複合原子力科学研究所・助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	森 一広 (Mori Kazuhiro) (40362412)	京都大学・複合原子力科学研究所・准教授 (14301)	