

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14319

研究課題名(和文) Liフリー固体溶媒をベースとした新たな固体電解質開発

研究課題名(英文) Synthesis of the novel solid electrolytes based on the Li-free solid solvent

研究代表者

宮崎 怜雄奈 (Miyazaki, Reona)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10756191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：全固体Li電池の開発に向け、Liフリー化合物(固体溶媒)中に固溶したLi⁺であるゲストLi⁺に着目し、新規ゲストLi⁺伝導体を開発した。従来のゲストLi⁺伝導体は、KI-LiBH₄系とNaI-LiBH₄系に限られていた。本研究ではNaBrもLiBH₄を固溶しゲストLi⁺伝導体となることを明らかにした。またNaI結晶中のLi⁺、BH₄⁻組成を制御し、10 μS/cmのゲストLi⁺伝導度を達成した。更にNaI-NaBH₄-LiI系を用いて全固体電池を試作し、60 °Cにおいて10 μA/cm²で動作することを実証した。また新たな合成手法として、低温下でのメカニカルミリング(クライオミリング)法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、NaI結晶中で10 μS/cmのゲストLi⁺伝導度を達成した。一方でNa⁺伝導はLi⁺伝導と比べ無視できる程度であった。従来は、Li⁺とNa⁺が結晶内に共存するとLi⁺伝導度は低下するとされてきたが、NaI中ではゲストLi⁺の高速伝導が確認された。この結果は、ゲストLi⁺は従来と異なる機構で伝導することを意味しており、特に混合アルカリ系における新たなイオン伝導機構を見出せる可能性が示唆された。また本研究では、ゲストLi⁺伝導体を用いた全固体電池の動作を実証できた。これはゲストLi⁺伝導体が、全固体電池実現に向けた固体電解質開発の新たな切り口となることを示唆する、重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：For the high performance all-solid-state Li batteries (LIBs), we focused on the guest Li⁺ ions which are doped in the crystal lattice of Li-free compounds and fabricated novel guest Li⁺ conductors. In this work, we have reported that NaBr forms solid solution with LiBH₄ and becomes a guest Li⁺ conductor with higher electrochemical stability compared to NaI. Li⁺ conductivity in NaI was improved by controlling Li⁺ and BH₄⁻ concentrations and reached to be 10 μS/cm at room temperature. All-solid-state LIB of Li/TiS₂ was fabricated using NaI-NaBH₄-LiI as the solid electrolyte. The stable charge-discharge cycles were confirmed, which is the first example of the all-solid-state LIB using guest Li⁺ conductor. Furthermore, we proposed cryo-milling as a novel fabrication method of meta-stable phase. Wurtzite LiI was stabilized by doping LiBH₄ via cryo-milling at 213 K. It was considered that cryo-milling is a powerful tool for synthesizing new phases which can include new guest Li⁺ conductors.

研究分野：固体イオニクス

キーワード：固体電解質 ゲストLi⁺伝導体 Liフリー化合物 NaI LiBH₄

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Li 電池の安全性向上のため、不燃性の固体電解質を用いた全固体 Li 電池の開発が求められている。全固体電池の実現には、高 Li⁺伝導性セラミックスの開発が必須である。高 Li⁺伝導性の材料として、LiBH₄ や Li₂B₁₂H₁₂ などの水素化物系が知られている。これらの Li 水素化物は、結晶中に既に高 Li⁺伝導機構が形成されている化合物群である。また、心臓のペースメーカー用電源として 1960 年代に実用化された全固体電池では、LiI が固体電解質として用いられていた。これら LiI や Li 水素化物は、自身の結晶中の Li⁺がキャリアとなる、ホスト Li⁺伝導体と言える。研究代表者は従来と逆転の発想で、Li フリー化合物中にドーブされた Li⁺であるゲスト Li⁺に着目し、新規ゲスト Li⁺伝導体の開発を行っている。ゲスト Li⁺伝導体は、Li⁺を固溶する全ての Li フリー化合物が対象となるため、固体電解質開発の材料選択が大幅に向上する。研究代表者はこれまでに、KI-LiBH₄ や NaI-LiBH₄ 系固溶体を作製し、ゲスト Li⁺伝導を報告してきた [R. Miyazaki ら、2014 年、2016 年]。しかし最も Li⁺伝導度が高い NaI においても、室温で 10⁻⁶ S/cm 程度であった。またゲスト Li⁺伝導の発現が確認されている Li フリー化合物は、KI と NaI に留まっていた。

2. 研究の目的

(1) NaI 以外の Li フリー化合物の探索

本研究期間では KI や NaI 以外の Li フリー化合物として、NaBr に着目した。NaBr と LiBH₄ の固溶体を合成し、Li⁺固溶を確認し、NaBr 中でゲスト Li⁺伝導が発現するかを調べた。

(2) NaI 中のゲスト Li⁺伝導度の向上。

NaI-LiBH₄ の伝導度は 10⁻⁶ S/cm に留まっていた。NaI-LiBH₄ 系固溶体では、LiBH₄ の固溶が進行しづらく、ミリング法により作製した試料では LiBH₄ が残存していることを確認している。この LiBH₄ がイオン伝導を阻害していると考えられた。そこで本研究では、原料試料に全て岩塩型構造を有する NaI、NaBH₄、LiI を用いることで、単相試料の作製を試みた。また、ゲスト Li⁺伝導体を用いて全固体電池を試作する。固体電解質を 10、厚さ 1 mm のペレット成型した際の実抵抗が数 100 Ω まで低下すれば、100 μA/cm² 程度のレートであれば充放電可能である。そのため、10⁻⁴ S/cm(@室温)を Li⁺伝導度の目標値とした。

(3) クライオミリング法による新規相の安定化

本研究では LiI-LiBH₄ 系固溶体に着目した。LiI は岩塩型構造を有することが知られるが、Li⁺と I⁻のイオン半径比からは必ずしも 6 配位は安定ではなく、むしろ 4 配位のウルツ鉱型構造が安定であることが考えられる。一方で LiBH₄ は室温では 4 配位の結晶構造を有する。また LiI と LiBH₄ は固溶体を形成し、その結晶構造はウルツ鉱型構造である。従って LiI へ LiBH₄ をドーブし、更にそのドーブ量を最小限にすることでウルツ鉱型 LiI を安定化できると考えた。本研究では試料合成にクライオミリング法を用いた。通常メカニカルミリング法は、合成中の温度制御はされず、室温で行われる。本研究では -60 °C の低温下でのメカニカルミリング(クライオミリング)により、ウルツ鉱型 LiI の安定化を試みた。

3. 研究の方法

(1) NaBr-LiBH₄ 系の合成と、ゲスト Li⁺伝導度測定

NaBr - LiBH₄ 系固溶体は、NaBr と LiBH₄ を所定のモル比で混合・粉碎し、PULVERISETTE7 (フリッチュ社製)を用いてメカニカルミリングにより合成した。得られた粉末試料を 450 MPa で圧粉しペレットを作製した。CV 測定は、対極に Li 箔、作用極に Mo 箔を用い、PS08(東方技研製)を用いて -0.5 V ~ 5 V (vs. Li⁺/Li) の範囲でおこなった。イオン伝導度は、両極に SUS 基板をセットし、Sorlatron1260 を用いて交流インピーダンス法により測定した。

(2) NaI 中のゲスト Li⁺伝導度の向上と、全固体電池構築

NaI-NaBH₄-LiI 系の合成にあたり、NaI 中のアニオン比(I⁻/BH₄⁻比)およびカチオン比(Na⁺/Li⁺比)を独立に制御した。すなわち、まず NaI-NaBH₄ 系固溶体を作製することで BH₄⁻ドーブを行った。BH₄⁻ドーブは、過去に報告された LiBH₄-LiI 系と同様な Li⁺伝導度向上の狙いがある[R. Miyazaki ら、2010 年]。BH₄⁻の組成を制御した NaI-NaBH₄ 系固溶体へ LiI を固溶することで、キャリア濃度を制御した。全固体電池は、TiS₂ を正極、Li 箔を負極に用いて作製した。TiS₂ と固体電解質を質量比 7:3 で混合し、正極合剤を作製した。PEEK 樹脂製の円筒中で固体電解質を圧粉し、TiS₂-固体電解質合剤を 1 mg 程度セットし、再度 450 MPa で固体電解質と一体成型した。充放電測定は Scribner 社製の充放電システム 580 を用いて行った。

(3) クライオミリング法による LiI-LiBH₄ 系固溶体の合成

クライオミリングにより、LiI-LiBH₄ 系固溶体の合成を試みた。クロム鋼製のミリング容器に、粉末試料とボール(φ10)を Ar 雰囲気中で密閉した。ミリング容器を、-60 °C に設定したクライオポーターで冷却した。その後に 5 分間メカニカルミリングを行った。ミリング後に再び -60 °C で 1 時間冷却した。この「冷却 - ミリング」のサイクルを 60 回繰り返すことで、試料を作製した。本研究期間ではクライオミリング容器や、ミリング装置を整備できておらず、現状は冷却下でのメカニカルミリングは行えていない。

4. 研究成果

(1) NaBr-LiBH₄ 系の作製とゲスト Li⁺伝導特性

NaBr-LiBH₄ 系をメカニカルミリングにより合成した。その結果、15:1 の組成では固溶体が形成されたことを確認した。一方で、LiBH₄ のドーブ量の増加により LiBr の存在が確認された。これは NaBr と LiBH₄ の固溶体形成と並行し、NaBr + LiBH₄ → NaBH₄ + LiBr の副反応が進行していることを示唆している。

本研究期間ではこの副反応を抑制できておらず、固溶体が合成できたのは $15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ (Li^+ : 6 mol%) のみであったため、この組成の試料についてイオン伝導度測定を行った。図 1(a) に $\text{SUS} | 15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4 | \text{SUS}$ および $\text{SUS} | 15\text{NaBr}\cdot\text{NaBH}_4 | \text{SUS}$ の、150 °C におけるナイキスト図を示す。単一の円弧が観測され、粒界抵抗に相当する円弧は見られなかった。 $15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ は圧粉成型したペレットを用いている。すなわち、 NaBr は焼結することなく圧粉成型のみで緻密なペレットが得られることを示唆している。図 1(b) にイオン伝導度のアレニウスプロットを示している。200 °C でホットプレスした試料の結果を、圧粉体の結果を で示している。ホットプレスにより若干伝導度の向上が見られるが、室温でプレスした圧粉体でもホットプレス体の 80 % 程度の値が得られた。このことから $\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ 系固溶体は圧粉性に優れることがわかる。 Li^+ をドーブした $15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ では、同じアニオン組成で Li^+ を含まない $15\text{NaBr}\cdot\text{NaBH}_4$ と比べて 2 桁以上高いイオン伝導度を得られた。図 2 に 150 °C における CV 測定の結果を示す。0 V (vs. Li^+/Li) 付近で、 Li の酸化還元電流によるピークが明確に観測された。この結果は、 Li 組成が 6 mol% と少量であるにもかかわらず、 NaBr 中をゲスト Li^+ が伝導していることを示唆している。しかしながら室温における Li^+ 伝導度は、 10^{-7} S/cm に留まり、全固体電池を構築するのに十分な値とは言えない。CV 測定の結果から、 NaBr は NaI よりも耐酸化性に優れることが示唆されており、 Li^+ 伝導度が向上すれば、高電位な正極材料を利用できると期待される。

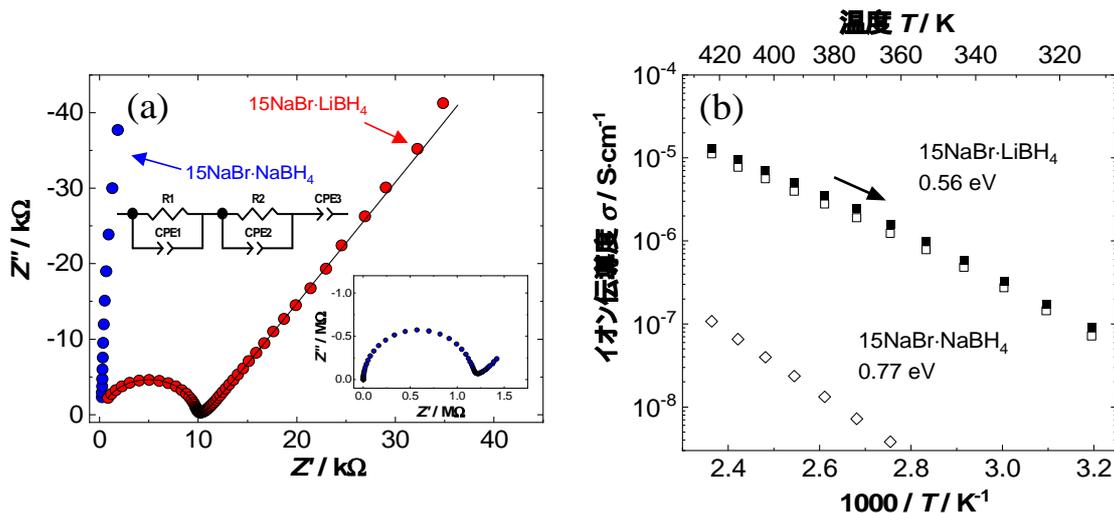


図 1(a): $\text{SUS} | 15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4 | \text{SUS}$ (赤)と $\text{SUS} | 15\text{NaBr}\cdot\text{NaBH}_4 | \text{SUS}$ (青)の 150 °C におけるナイキスト図。(b): $15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ および $15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ のイオン伝導度のアレニウスプロット。150 °C から 10 °C 毎に冷却しながら、伝導度を測定した。

(2) NaI 中のゲスト Li^+ 伝導度の向上と、全固体電池構築

$\text{NaI}\cdot\text{LiBH}_4$ 系では、 NaI (岩塩型)と LiBH_4 (ウルツ鉱型) の結晶構造が異なるために、固溶体形成がスムーズに進行しないものと考えた。そこで $\text{NaI} \rightarrow \text{NaBH}_4$ および Li^+ をドーブする際に、原料試薬の結晶構造をすべて岩塩型構造としたことで、残存 LiBH_4 を低減することができた。しかしながら、原料に LiBH_4 を用いていないにもかかわらず、メカニカルミリングにより合成した $\text{NaI}\cdot\text{NaBH}_4\cdot\text{LiI}$ 系では LiBH_4 が見られた。この結果は、 $\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4$ 系と同様に、メカニカルミリング中に $\text{NaI}\cdot\text{NaBH}_4\cdot\text{LiI}$ 系固溶体が形成されると同時に、 $\text{NaBH}_4 + \text{LiI} \rightarrow \text{NaI} + \text{LiBH}_4$ の副反応が進行していることを示唆している。本研究期間ではこの副反応の抑制方法や、反応機構について明らかにすることはできなかった。図 3(a) に NaI 、 NaBH_4 、 LiI を用いて作製した試料のイオン伝導度測定結果を、 $\text{NaI}\cdot\text{LiBH}_4$ 系の結果と共に示している。残存する LiBH_4 を低減できたことで、伝導度が 1 桁程度向上し、室温で 10^{-5} S/cm の値が得られた。しかしながら本期間で得られた Li^+ 伝導度はこの値が最高値であり、目標値の 10^{-4} S/cm には到達できなかった。そこで測定温度を 60 °C にすることで固体電解質の Li^+ 伝導度を向上し、電流密度: $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ で TiS_2/Li セルの充放電測定を行った。図 3(b) に固体電解質に $9(15\text{NaI}\cdot\text{NaBH}_4)\cdot\text{LiI}$ を用いた TiS_2/Li セルの充放電測定結果を示す。出力は低いものの、サイクル途中で大きな容量低下は見られず、安定して充放電することができた。また図 3(c) に示したインピーダンス測定結果より、固体電解質の抵抗成分が主に観測され、電極/電解質の界面抵抗に起因する円弧は見られなかった。この結果は、固体電解質の抵抗を低減できれば、更に高レートで充放電できる可能性を示唆している。

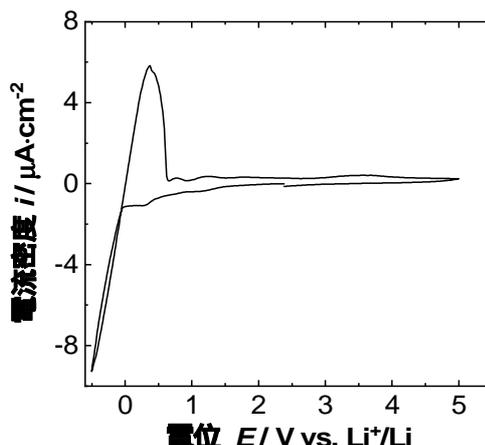


図 2: $\text{Li} | 15\text{NaBr}\cdot\text{LiBH}_4 | \text{Mo}$ の CV 測定結果

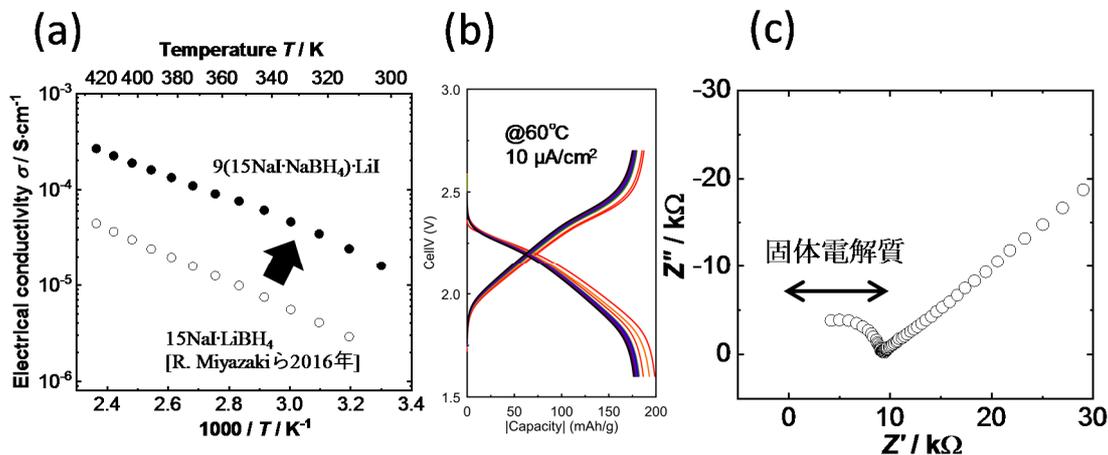


図3(a): NaI-NaBH₄-LiI系のイオン伝導度のアレニウスプロット。(b): TiS₂/Liセルの60°Cにおける充放電測定結果。(c): TiS₂/Liセルのインピーダンス測定結果

(3) クライオミリング法による LiI-LiBH₄系固溶体の合成

図4に-60°Cにおけるクライオミリングにより合成した3LiI·LiBH₄のXRD測定結果を示す。比較のためLiIおよび室温でのメカニカルミリングで合成した3LiI·LiBH₄の結果も示している。室温で合成した試料は、ウルツ鉱型の回折ピークに加え、岩塩型のLiIのピークが明確に観測された。この結果は、室温ではLiIへのLiBH₄の固溶限は75 mol%以下であることを意味している。一方で、クライオミリングで合成することで、岩塩型のピークが大幅に減少し、ウルツ鉱型LiIの単相に近い試料を得ることができた。作製された固溶体はLiBH₄を固溶したLiIであり、クライオミリングによりウルツ鉱型LiIが安定化されたと捉えることができる。本研究期間ではクライオミリングによるゲストLi⁺伝導体合成には着手できなかったが、低温でミリングすることで、より多くの格子欠陥がNaI結晶中に導入できると考えられる。従ってクライオミリングは、新規相の安定化だけでなく、ゲストLi⁺伝導度の向上にも有利であると考えている。

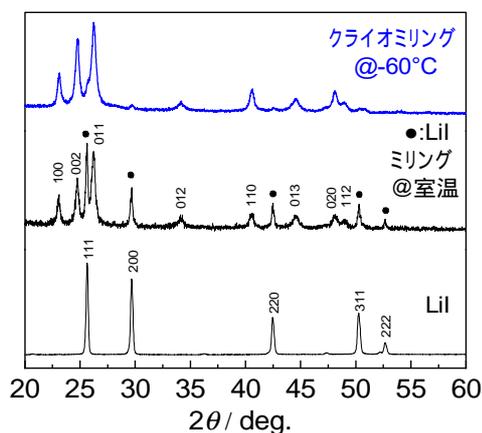


図4: クライオミリングにより合成した3LiI·LiBH₄のXRD測定結果

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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Reona Miyazaki, Isao Sakaguchi, Karl-Michael Weitzel, Takehiko Hihara	4. 巻 283
2. 論文標題 Demonstration of the conductive species in “Li-free” solid solvent doped with LiBH ₄ and its Li ⁺ dominating conduction mechanism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 1188-1194
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.electacta.2018.07.058	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 該当する
1. 著者名 Reona Miyazaki, Masatoshi Shomura, Reina Miyagawa, Takehiko Hihara	4. 巻 9
2. 論文標題 Li ⁺ ion conductor based on NaBr doped with LiBH ₄	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MRS Communications	6. 最初と最後の頁 304-309
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1557/mrc.2018.22	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 Reona Miyazaki, Takehiko Hihara	4. 巻 427
2. 論文標題 Charge-discharge performances of Sn powder as a high capacity anode for all-solid-state lithium batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 15-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.04.068	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 Reona Miyazaki, Takehiko Hihara	4. 巻 271
2. 論文標題 Fabrication of LiI-LiBH ₄ solid solutions by cryomilling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 127775
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127775	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24件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Reona Miyazaki, Isao Sakaguchi, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Li ⁺ Ion Conduction Mechanisms of Li ⁺ -Doped NaI and Its Electrochemical Properties
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masatoshi Shomura, Reona Miyazaki, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Li ⁺ Ion Conduction Properties and Electrochemical Properties of Sodium Bromide Doped with Li ⁺ Ions
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎怜雄奈、坂口勲、日原岳彦
2. 発表標題 Li ⁺ ドーピング NaIのイオン伝導機構と電気化学的安定性
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 正村将利、宮崎怜雄奈、日原岳彦
2. 発表標題 Li ⁺ イオンを少量ドーピングしたNaBrのイオン伝導及び電気化学特性
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎怜雄奈、坂口勲、日原岳彦
2. 発表標題 NaI-LiBH ₄ 系固体電解質におけるLi+イオン伝導機構
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎 怜雄奈
2. 発表標題 全固体Li電池のSi系高容量負極材料
3. 学会等名 第80回マテリアルズ・テラリング研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎怜雄奈，坂口勲，日原岳彦
2. 発表標題 NaI-LiBH ₄ 系固体電解質におけるLi+伝導機構と電気化学特性
3. 学会等名 化学電池材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Reona Miyazaki, Isao Sakaguchi, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Li+ ion conduction mechanism in NaI doped with LiBH ₄
3. 学会等名 第四回中国エネルギー貯蔵技術交流会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎怜雄奈、坂口勲、日原岳彦
2. 発表標題 NaI-NaBH ₄ -LiBH ₄ 系固溶体におけるLi ⁺ 伝導特性
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 正村将利、宮崎怜雄奈、日原岳彦
2. 発表標題 メカニカルミリングによるLiフリーハロゲン化物の過渡的な電気伝導度の向上
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 宮崎 怜雄奈、野田 泰斗、日原 岳彦
2. 発表標題 NaIをベースとしたゲストLi ⁺ 伝導体の合成
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸松大輝、宮崎怜雄奈、日原岳彦
2. 発表標題 亜鉛空気電池用Ni-Co窒化物カソード触媒材料の触媒性能評価
3. 学会等名 第28回 学生による材料フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳永健太, 宮崎怜雄奈, 日原岳彦
2. 発表標題 気相合成したPd系合金ナノ粒子の作製と触媒性能の評価
3. 学会等名 第28回 学生による材料フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦真, 宮崎怜雄奈, 日原岳彦
2. 発表標題 スパッタリング法で作製した亜鉛ドーブ酸化銅薄膜の磁気特性の評価
3. 学会等名 第28回 学生による材料フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 湯浅 康佑, 宮崎 怜雄奈, 日原 岳彦
2. 発表標題 酸化タンタル薄膜の磁気特性評価
3. 学会等名 2018年日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高井 亮佑, 宮崎 怜雄奈, 日原 岳彦
2. 発表標題 2源プラズマ・ガス凝縮法によるFe-Co-Ptナノ粒子の作製
3. 学会等名 2018年日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野中 慎也, 宮崎 怜雄奈, 日原 岳彦
2. 発表標題 プラズマ・ガス凝縮法によるPt-Cu合金ナノ粒子の作製とPEFC触媒性能評価
3. 学会等名 2018年日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門脇 和希, 日原 岳彦, 宮崎 怜雄奈
2. 発表標題 Fe/NiO複合ナノ粒子の作製と磁気特性の評価
3. 学会等名 2018年日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Reona Miyazaki, Isao Sakaguchi, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Guest Li+ Ion Conduction in NaI-NaBH4 system
3. 学会等名 The 11th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎怜雄奈, 野田泰斗, 日原岳彦
2. 発表標題 NaIをベースとしたゲストLi+伝導体の合成とイオン伝導特性
3. 学会等名 電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Reona Miyazaki, Yasuto Noda, Isao Sakaguchi, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Guest Li ⁺ ion conductors based on NaI-NaBH ₄ and their potential use for all-solid-state batteries
3. 学会等名 International Conference on Materials Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎 怜雄奈、野田 泰斗、日原 岳彦
2. 発表標題 NaI-NaBH ₄ -LiI系ゲストLi ⁺ 伝導体の单相作製条件の検討
3. 学会等名 固体イオニクス討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yudai Omori, Reona Miyazaki, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Is Wurtzite-Type LiI Stable at Room Temperature?
3. 学会等名 2019MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Reona Miyazaki, Yasuto Noda, Takehiko Hihara
2. 発表標題 Fabrication of the Guest Li ⁺ Ion Conductors Based on NaI-NaBH ₄ System
3. 学会等名 2019MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 宮崎怜雄奈	4. 発行年 2018年
2. 出版社 情報機構	5. 総ページ数 13
3. 書名 全固体電池開発の現状と産業化へのアプローチ～製造プロセス、部材作成、高容量化、評価手法～	

1. 著者名 宮崎怜雄奈	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 6
3. 書名 全固体電池の界面抵抗低減と作製プロセス、評価技術	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 全固体リチウム二次電池	発明者 宮崎怜雄奈, 日原岳彦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-058910	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ゲストLi + 伝導体を用いた全固体リチウム二次電池	発明者 宮崎怜雄奈, 日原岳彦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-055220	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

国立大学法人名古屋工業大学研究者データベースシステム http://researcher.nitech.ac.jp/html/100000381_ja.html

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
研究協力者	野田 泰斗 (Noda Yasuto)		