

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15666

研究課題名(和文) 錯イオンの機能性に基づく水素化物固体電解質の新規物性開拓

研究課題名(英文) Development of novel properties of hydride solid electrolytes based on functionality design of complex anions

研究代表者

金 相侖 (Kim, Sangryun)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：20801442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、錯イオンの分子レベルでの共存による物性設計指針の構築および構造と物性の相関解明により、導電性と安定性の両側面の高機能性を兼ね備える錯体水素化物の創成に取り組んだ。[CB9H10]⁻、[CB11H12]⁻、[B12H12]²⁻などの様々な錯イオンを有する材料を合成し、その構造と特性を調べることで、錯体水素化物の固溶領域、固溶とイオン導電特性の相関、電気化学特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

錯体水素化物を固体電解質として利用する研究は未踏分野と言ってよく、材料物性、その機構解明、デバイス実証などの様々な課題がある。そこで本研究では、「錯イオンの分子レベルの共存化による新規材料物性の創出」という固体電解質材料の新たな指導原理を提案している。また、固体電解質研究の主流となっている酸化物や硫化物とは異なる物性を実現し、高い潜在性を持ちながらも蓄電池材料としての認識が限定的であった錯体水素化物の学術的・社会的価値を格段に高めるとともに、固体電解質としての材料科学・材料学間において新たな研究領域を切り拓くものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Complex hydrides have recently received much attention as promising solid electrolyte systems for all-solid-state batteries, because of the high lithium ion conductivity of their high-temperature (high-T) phases, excellent stability against a lithium metal anode, and a highly deformable nature. However, the superionic conductivity of complex hydrides is achieved in only a few materials; therefore, an understanding of the material factors involved in the formation of the high-T phase at room temperature and experimental demonstration of their battery applications are required.

In this study, I report the solid-solution region of complex hydrides, the relationship between the solid solution and the ionic conduction, and the electrochemical properties as a solid electrolyte for all-solid-state batteries.

研究分野：固体化学、固体イオニクス、電気化学、

キーワード：超イオン導電 水素化物 固体電解質 全固体電池

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

錯体水素化物は水素貯蔵材料として多くの研究が進められてきた材料であるが、近年では新たな応用領域として全固体電池の固体電解質材料としての利用が注目されている (R. Mohtadi, S. Orimo, *Nat. Rev. Mater.*, **2** (2016) 16091)。特にホウ素と水素が籠状に結合した錯イオン ($[B_{12}H_{12}]^{2-}$ 、 $[CB_{11}H_{12}]^{2-}$ など) とリチウムなどの陽イオン間のイオン結合によって形成されるクロソ系錯体水素化物は、温度上昇に従い構造無秩序高温相への相転移が進行すると共に、リチウムイオン導電率が急増し 100 °C 以上では液体電解質に匹敵する超イオン導電率を示す。一方で、錯イオンは中心原子と水素間の強固な共有結合により形成されるため、原子置換・欠損のような従来の構造制御法によっては、固体電解質のイオン輸送に必要とされるイオン導電特性の物性開拓が困難である。また、全固体電池のエネルギー密度・寿命のデバイス特性を決定づけるのは固体電解質の電気化学的安定性であるにも関わらず、錯体水素化物の電気化学安定性の向上に関する報告例は皆無である。すなわち、錯体水素化物の固体電解質としての物性開拓のためには、その構造と特性を自由自在に制御できる新しい材料設計指針が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、錯イオンの分子レベルでの共存による物性設計指針の構築および構造と物性の相関解明により、導電性と安定性の両側面の高機能性を兼ね備える錯体水素化物の創成に取り組む。具体的には、錯イオンの機能性を軸とする材料設計により、個々の錯イオンでは実現できない、超イオン導電性高温相の室温安定化、格子サイズ・価数などの構造制御により、錯体水素化物固体電解質の超イオン導電率と高電気化学安定性を達成する。

3. 研究の方法

以下に示す研究により、複数の錯イオンの固溶法および錯イオンの固溶による構造無秩序高温相の室温安定化法の確立を行う。

- (1) 錯イオンの固溶効果 : $Li(CB_9H_{10})-Li(CB_{11}H_{12})-Li_2(B_{12}H_{12})$ 擬似三成分系の合成により、固溶領域、固溶による高温相の室温安定化の効果、得られた材料のイオン導電特性を評価。
- (2) 液相合成法および熱力学安定性 : (1) の中で優れたイオン導電特性を示した材料において、溶媒を用いた新たな液相合成法の検討を行うとともに、熱処理による熱力学安定性を調査。
- (3) 全固体電池特性 : 得られた材料の固体電解質としての適用可能性を検討するために、リチウム負極との化学/電気化学安定性および全固体電池の電気化学特性を評価。

以下に測定・評価方法を纏める。

(1) 錯イオンの固溶効果

$Li(CB_9H_{10})$ (Katchem Ltd.)、 $Li(CB_{11}H_{12})$ (Katchem Ltd.)、 $Li_2(B_{12}H_{12})$ (Katchem Ltd.) を任意のモル比で秤量、混合した後、400 rpm にて 20 h ボールミリングを行うことにより目的の試料を合成した。合成前後の構造変化を X 線回折法で評価した。リチウムイオン導電率は金電極を使用した交流インピーダンス法により測定した。

(2) 液相合成法および熱力学安定性

固相法で合成した試料の中で最も高いリチウムイオン導電率を示した $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を用いて、ドライルームで露点を制御しながら暴露試験を行い、試料の水分安定性を調べた。液相合成では、モル比 7:3 の $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ と $\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を水溶媒に溶解させた後、溶媒除去と熱処理により $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を合成した。熱処理前後の構造を X 線回折法で評価した。

(3) 全固体電池特性

負極材料として、金属リチウムを用いた。錯体水素化物固体電解質と金属リチウム間のリチウム溶解析出反応の安定性を定電流測定により調べた。電池特性の評価は、正極に TiS_2 、固体電解質に錯体水素化物、負極に金属リチウムを用いたセルで行った。

4. 研究成果

(1) 錯イオンの固溶効果

図 1 に $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})-\text{Li}_2(\text{B}_{12}\text{H}_{12})$ 擬似三成分系錯体水素化物の錯イオンの共存（固溶）領域、固溶と相転移温度の関係、固溶とイオン導電特性の関係を示す。

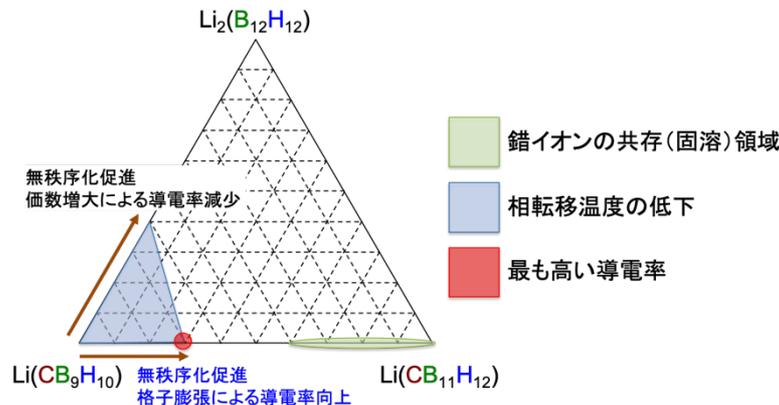


図 1. $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})-\text{Li}_2(\text{B}_{12}\text{H}_{12})$ 擬似三成分系錯体水素化物の錯イオンの共存（固溶）領域、固溶と相転移温度の関係、固溶とイオン導電特性の関係。

錯イオンの共存（固溶）領域および固溶による相転移温度の低下は、 $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ に近い組成において、顕著であった。中でも最も優れたイオン導電特性を示した $(1-x)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-x\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ は、その構造によって主に 3 つの領域に分類された。低 x 領域 ($0.1 \leq x \leq 0.4$) では一部の $[\text{CB}_9\text{H}_{10}]^-$ が $[\text{CB}_{11}\text{H}_{12}]^-$ に、高 x 領域 ($0.7 \leq x \leq 0.9$) では一部の $[\text{CB}_{11}\text{H}_{12}]^-$ が $[\text{CB}_9\text{H}_{10}]^-$ に置換された相が得られた。また、低 x 領域では $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ の高温相が、高 x 領域では $\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ の低温相が主相であり、高温相の安定化における固溶の効果は低 x 領域でより顕著であることから、この効果は母構造内の錯イオンとそれに置換される錯イオンの構造に大きく依存することが示唆される。さらに、低 x 領域の $0.1 \leq x \leq 0.3$ では、 x の増加により導電率が向上し、それ以降 ($0.3 \leq x \leq 0.4$) 減少した。 $0.1 \leq x \leq 0.3$ の導電率向上は

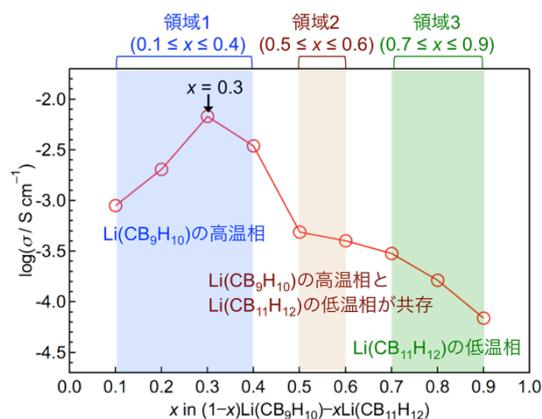


図 2. $(1-x)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-x\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ の 25 °C でのリチウムイオン導電率。

固溶による $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ の高温相の形成、 $0.3 \leq x \leq 0.4$ の導電率減少は固溶限界による $\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ の低温相の形成に起因すると考えられる。以上の結果から、 $(1-x)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-x\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ 擬似二成分系錯体水素化物は、 $x = 0.3$ で最も高いリチウムイオン導電率を示した (図 2)。

$(1-y)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-y\text{Li}_2(\text{B}_{12}\text{H}_{12})$ 擬似二成分系錯体水素化物では、低 y 値 ($0.1 \leq y \leq 0.4$) において、 $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ の構造を有する固溶体が得られた。上記領域では、 $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ 中の $[\text{CB}_9\text{H}_{10}]^-$ 錯イオンが $[\text{B}_{12}\text{H}_{12}]^{2-}$ 錯イオンに置換された相が形成された。また、 y が増加すると、固溶量が増加するとともに、高温相の低温安定化が促進された。特に、 $y = 0.3, 0.4$ において、室温において高温相が安定化され、液体電解質並みの超リチウムイオン伝導率が得られた。一方で、錯イオンの価数が増加すると、イオン伝導の活性化エネルギーが低下し、イオン導電率が低下した。以上の理由から、 $(1-y)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-y\text{Li}_2(\text{B}_{12}\text{H}_{12})$ は $(1-x)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-x\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ より低いイオン導電率を示した。

(2) 液相合成法および熱力学安定性

最も高いイオン導電率を示した $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を目的物質とした。 $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を用いた暴露試験では、水和反応による相分離が進行するものの、試料の分解は確認されなかった。また、暴露させた試料を熱処理することにより、暴露前試料と同様の空間群 (六方晶、 $P3_1c$) を有する試料が得られた。

以上の結果から、上記試料は熱力学的に安定であり、水和された試料は熱処理により結晶水除去と固溶反応が同時に達成できることが示唆される。これらの結果に基づいて行なった液相合成では、 $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$ と $\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ を水溶媒へ溶解後、溶媒除去と熱処理を行うことにより、超リチウムイオン導電率を示す $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ が得られることが明らかになった (図 3)。

(3) 全固体電池特性

正極に TiS_2 を用いた全固体電池を作製し、特性を評価した。

まず、熱処理により、 TiS_2 と錯体水素化物固体電解質の化学的反応性を調べた。 100°C で熱処理を行った結果、 TiS_2 と錯体水素化物固体電解質の変化は見られず、これらの電極と固体電解質は化学的に安定性であることが明らかになった。

電池作製にあたっては、 $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ 固体電解質層のみを一軸成形した後、正極複合体 (TiS_2 と $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$) とリチウム負極を加えて一軸成形することにより、 $\text{TiS}_2/0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})/\text{Li}$ 全固体電池を作製した (図 4(a))。

0.1C (1C は、1 時間で充電または放電が可能な条件を表す) のレートで充放電試験を行ったところ、2 サイクル目の放電容量は TiS_2 正極の理論容量の 96.4% に相当する 230.5 mAh g^{-1} であった (図 4(b))。また、 0.2C のレートで、40 サイクルまで初期サイクルの 73% 以上の放電容量が維持された。さらにレートを上げて、 1C の条件下で充放電試験を行った結果、200 サイクル後も 160 mAh g^{-1} 以上の放電容量が維持された (図 4(c))。全ての電池試験におけるクーロン効率

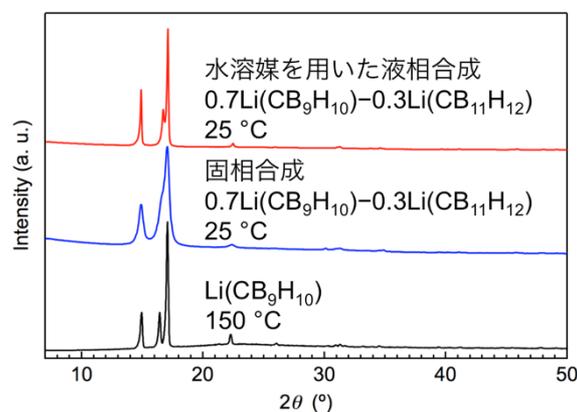


図 3. $\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})$, 固相法と液相法で合成した $0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ の XRD 測定結果。

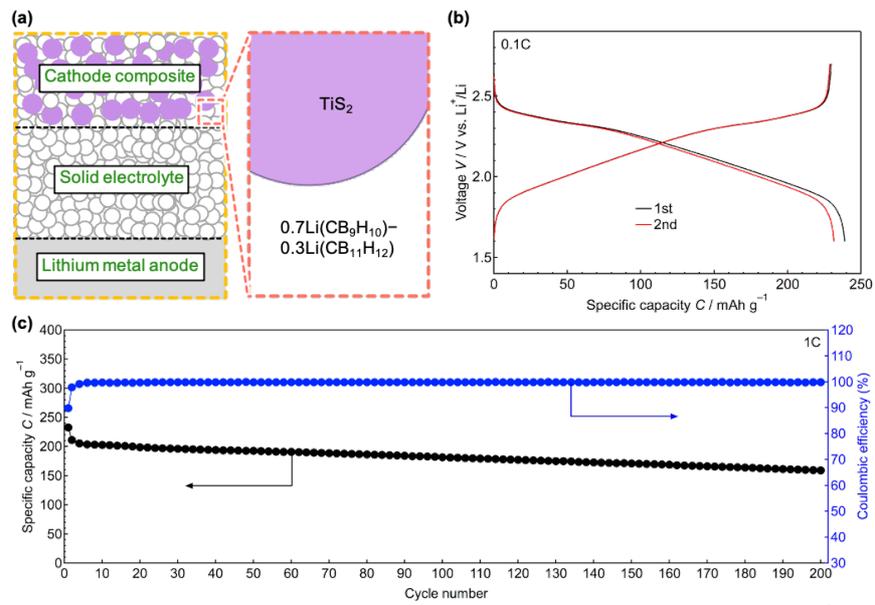


図 4. (a)全固体電池 $\text{TiS}_2/0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})/\text{Li}$ の概略図。b. 0.1C での充放電曲線。c. 1C での放電容量とクーロン効率のサイクル特性。

は、2 サイクル目以後はほぼ 100%であった。このことから、サイクル動作中に顕著な副反応が起こっていないことが示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sau Kartik, Ikeshoji Tamio, Kim Sangryun, Takagi Shigeyuki, Akagi Kazuto, Orimo Shin-ichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Reorientational motion and Li ⁺ -ion transport in Li ₂ B ₁₂ H ₁₂ system: Molecular dynamics study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 75402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.075402	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 Kisu Kazuaki, Kim Sangryun, Oguchi Hiroyuki, Toyama Naoki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 436
2. 論文標題 Interfacial stability between LiBH ₄ -based complex hydride solid electrolytes and Li metal anode for all-solid-state Li batteries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 226821 ~ 226821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2019.226821	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 Oguchi Hiroyuki, Kim Sangryun, Maruyama Shingo, Horisawa Yuhei, Takagi Shigeyuki, Sato Toyoto, Shimizu Ryota, Matsumoto Yuji, Hitosugi Taro, Orimo Shin-ichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Epitaxial Film Growth of LiBH ₄ via Molecular Unit Evaporation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1792 ~ 1796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00350	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 Kim Sangryun, Harada Kentaro, Toyama Naoki, Oguchi Hiroyuki, Kisu Kazuaki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 43
2. 論文標題 Room temperature operation of all-solid-state battery using a closo-type complex hydride solid electrolyte and a LiCoO ₂ cathode by interfacial modification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Energy Chemistry	6. 最初と最後の頁 47 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jechem.2019.08.007	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 Hirscher Michael et al.	4. 巻 827
2. 論文標題 Materials for hydrogen-based energy storage: past, recent progress and future outlook	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 153548 ~ 153548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.153548	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 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Ryuga Yoshida, Hiroyuki Oguchi, Naoki Toyama, Shin-ichi Orimo	4. 巻 -
2. 論文標題 Microstructural analyses of all-solid-state Li-S batteries using LiBH ₄ -based solid electrolyte for prolonged cycle performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Energy Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jechem.2020.03.069	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 Kisu Kazuaki, Kim Sangryun, Inukai Munehiro, Oguchi Hiroyuki, Takagi Shigeyuki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Magnesium Borohydride Ammonia Borane as a Magnesium Ionic Conductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 3174-3179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00113	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 Abdel El Kharbachi, Julia Wind, Amund Ruud, Astrid B. Hogset, Magnus M. Nygard, Junxian Zhang, Magnus H. Sorby, Sangryun Kim, Fermin Cueva, Shin-ichi Orimo, Maximilian Fichtner, Michel Latroche, Helmer Fjellvag, Bjorn C. Hauback	4. 巻 22
2. 論文標題 Pseudo-ternary LiBH ₄ -LiCl-P ₂ S ₅ system as structurally disordered bulk electrolyte for all-solid-state lithium batteries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 13872-13879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP01334J	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 Sangryun Kim、Kazuaki Kisu、Shigeyuki Takagi、Hiroyuki Oguchi、Shin-ichi Orimo	4. 巻 3
2. 論文標題 Complex Hydride Solid Electrolytes of the Li(CB9H10) - Li(CB11H12) Quasi-Binary System: Relationship between the Solid Solution and Phase Transition, and the Electrochemical Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4831-4839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00433	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 Sangryun Kim、Kazuaki Kisu、Shin-ichi Orimo	4. 巻 11
2. 論文標題 Stabilization of Superionic-Conducting High-Temperature Phase of Li(CB9H10) via Solid Solution Formation with Li2(B12H12)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11040330	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 Kazuaki Kisu、Sangryun Kim、Takara Shinohara、Kun Zhao、Andreas Zuttel、Shin-ichi Orimo	4. 巻 11
2. 論文標題 Monocarborane cluster as a stable fluorine free calcium battery electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-86938-0	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 該当する

1. 著者名 Kartik Sau、Tamio Ikeshoji、Sangryun Kim、Shigeyuki Takagi、Shin-ichi Orimo	4. 巻 33
2. 論文標題 Comparative Molecular Dynamics Study of the Roles of Anion-Cation and Cation-Cation Correlation in Cation Diffusion in Li2B12H12 and LiCB11H12	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 2357-2369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c04473	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5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 金相倫、木須一彰、松浦豊、野口敬太、野上玄器、折茂慎一
2. 発表標題 錯体水素化物超リチウムイオン伝導体の水分安定性と水溶媒を用いた液相合成
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金相倫、木須一彰、松浦豊、野口敬太、野上玄器、折茂慎一
2. 発表標題 錯体水素化物固体電解質の水分安定性と水溶媒を用いた液相合成
3. 学会等名 金属学会 2020年春期（第166回）講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金相倫
2. 発表標題 水素化物超リチウムイオン伝導材料の開発と次世代エネルギーデバイスへの応用
3. 学会等名 金属学会 2019年秋期（第165回）講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金相倫、木須一彰、松浦豊、野口敬太、野上玄器、折茂慎一
2. 発表標題 Li(CB9H10)-Li(CB11H12)系固体電解質の合成、水分安定性、電気化学特性
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金相諭、木須一彰、高木成幸、折茂慎一
2. 発表標題 Li(CB9H10)-Li(CB11H12)系錯体水素化物の合成と電気化学特性
3. 学会等名 金属学会 2021年春期
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 金相諭、木須一彰、折茂慎一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 -
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（第4章，第5節）	

1. 著者名 金相諭、折茂慎一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 -
3. 書名 全固体リチウム電池の開発動向と応用展望（第1編，第9章）	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 LiCB9H10の高温相を含むイオン伝導体およびその製造方法	発明者 金相諭、木須一彰、 折茂慎一、野口敬 太、野上玄器、松浦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-24326	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 正極材料および二次電池	発明者 金相諭、折茂慎一ら	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-038515	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 分散液の製造方法、シートの製造方法、および、二次電池の製造方法	発明者 金相諭、折茂慎一ら	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-192973	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 二次電池の製造方法	発明者 金相倫、折茂慎一ら	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-192974	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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