

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15305

研究課題名(和文) 錯体水素化物固体電解質と硫黄/炭素電極材料間における界面挙動の解明と制御

研究課題名(英文) Investigation of interface between complex hydride solid electrolyte and sulfur/carbon composite electrode

研究代表者

木須 一彰 (Kisu, Kazuaki)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：80755645

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)：錯体水素化物固体電解質は、リチウム金属負極に対する高い安定性や高いリチウムイオン伝導特性から全固体電池用の固体電解質として注目されている。これまでに $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$ を用いた全固体リチウム硫黄電池が提案されており、可逆な充放電特性が報告されている。一方、充放電サイクルに伴う容量減少が確認されており、サイクル特性改善に向けて、充放電過程における容量劣化要因の解明が求められている。本研究では、錯体水素化物固体電解質を用いたリチウム硫黄全固体電池のサイクル特性向上に向けて、リチウム負極/固体電解質および硫黄炭素複合体正極/固体電解質の界面安定性に着目し、充放電サイクルに伴う容量劣化要因を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、錯体水素化物を全固体電池用途としての固体電解質として捉え、電池材料としての安定性評価を本格的に行うという研究であった。研究対象とする錯体水素化物は最もシンプルな構造でかつ代表的な水素化物である $\text{LiBH}_4$ を用いて評価を行うことで、水素化物としての共通的な界面安定性を明らかにした。近年、申請者のグループでは、 $\text{LiBH}_4$ を超える高いイオン伝導特性を有する多種多様な錯体水素化物を生み出しており、本研究で得られた基盤的な知見を活かすことで、今後幅広い錯体水素化物固体電解質へと展開が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Complex hydride materials have been widely investigated as potential solid electrolytes because they have good compatibility with the lithium metal anodes used in all-solid-state batteries. However, the development of all-solid-state batteries utilizing complex hydrides has been difficult as these cells tend to have short cycle lives. This study investigated the capacity fading mechanism of all-solid-state lithium-sulfur (Li-S) batteries using  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  solid electrolytes by analyzing the cathode microstructure. Cross-sectional scanning electron microscopy observations after 100 discharge-charge cycles revealed crack formation in the  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  electrolyte and an increased cathode thickness. Raman spectroscopy indicated that decomposition of the  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  solid electrolyte occurred at a constant rate during the cycling tests. To combat these effects, the cycle life of Li-S batteries was improved by increasing the amount of solid electrolyte in the cathode.

研究分野：電気化学

キーワード：イオン伝導 錯体水素化物 二次電池 全固体電池 リチウム硫黄電池

### 1. 研究開始当初の背景

持続可能社会に向けた再生可能エネルギーの導入や電気自動車などの発展を背景として、高エネルギー密度化型のエネルギー貯蔵デバイスが求められている。リチウム金属負極と硫黄正極から成る固体型のリチウム硫黄電池は次世代電池の中でも高い理論重量エネルギー密度を有しているが、それらの電極材料への安定性を有する固体電解質の開発が課題となっている。強い還元力を有する錯体水素化物は、反応活性が非常に高いリチウム金属に対して高い安定性を有するため、リチウム硫黄電池用電解質として期待されている。その最大の理由は、強い還元力を有する錯体水素化物が、反応活性が非常に高いリチウム金属に対して安定であるという点であり、申請者らは最近、この高い安定性を実証した結果を報告している。実際に申請者らは、正極材料として硫黄炭素正極材料、固体電解質として錯体水素化物、負極材料としてリチウム金属を用いたリチウム硫黄全固体電池（水素リチウム硫黄電池）を構築し、現行リチウムイオン二次電池の約6倍のエネルギー密度を達成している。一方、充放電サイクル過程における容量劣化（短い寿命）は依然として課題となっていた。負極リチウム金属に対する優れた安定性が実証されていることから、主な容量劣化要因は正極材料層において発生していると考えられる。さらに電気化学評価より、固体電解質および正極材料間における不可逆的な反応生成物の存在が示唆されており、生成量と電池性能の関連性が示唆されている。一方、反応生成物の性質や生成メカニズムなどについて、詳しいことはほとんどわかっていない。本研究では正極材料として、硫黄および炭素材料に着目し、水素化物電解質との複合電極においてどのような劣化が生じるのか、電池動作において望ましい構造は何かという課題を立てた。

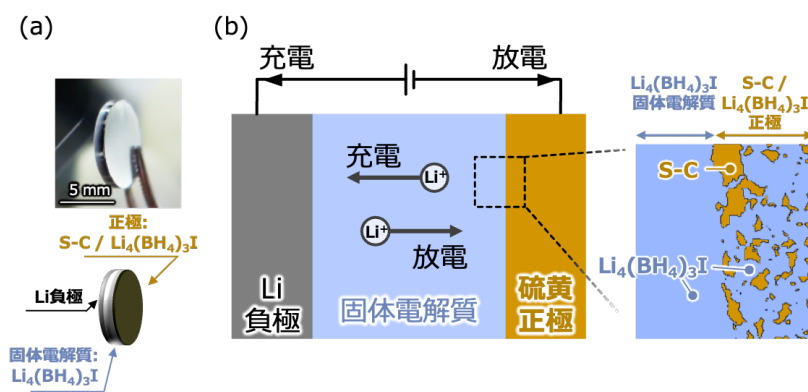


図1. (a) 固体型一体電池の写真とイラスト、(b) 電池構造の概要図

### 2. 研究の目的

本研究では、錯体水素化物固体電解質 / 硫黄および炭素によって形成される複合電極層において、充放電過程においてどのような構造変化を起こすのか、その生成条件や生成メカニズムを明らかにし、安定な充放電サイクル寿命を有する水素リチウム硫黄電池の実現を目指す。具体的には、下記について取り組んだ。

- (1) 充放電前後における全固体リチウム硫黄電池の形態・結晶構造・分子構造の評価  
これまで水素化物を用いた全固体電池において、“電池の解体”や“装置への適用”などの困難により、充放電後の構造解析を行った例はほとんどなかった。本研究では、液系電池で実現している解析手法を応用することで、ex-situ/in-situ 測定を可能とする。
- (2) Mg や Ca などの 2 価カチオン系イオン伝導体・電池の展開  
界面新規層に対するカチオン種の依存性の解明に向けて、カチオンのサイズや価数を変化させた錯体水素化物イオン伝導体を用いる事で、共通した特徴等を調べる。

### 3. 研究の方法

$\text{LiBH}_4$  と  $\text{LiI}$  をモル比 3:1 で調整し、400 rpm にて 5 時間のボール ミリングを行うことで、固体電解質  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  を作製した。金属リチウムを用いた対称セルの充放電試験より、固体電解質の安定性評価を行った。硫黄粉末および Maxsorb®、Ketjen Black を重量比

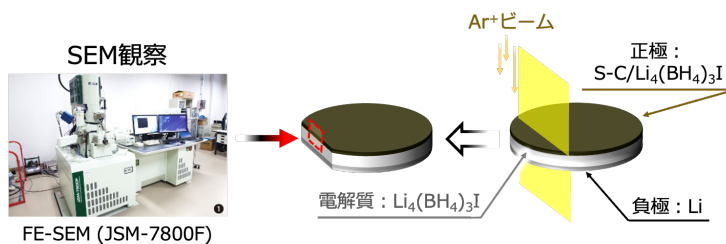


図2. (a) 固体型一体電池の写真とイラスト、(b) 電池構造の概要図

2:1:1 で調整し、20 時間のボールミリングを行うことで、硫黄炭素正極複合体を作製した。これらの固体電解質、正極材料および金属リチウム負極を用いて全固体電池を構築し、各種電気化学評価を行った。充放電試験では、1.0-2.5 V の電圧範囲において、0.1C の C-rate にて試験を行った。電気化学評価を前後における結晶構造・形態・分子構造の評価としては、X 線回折測定 (XRD, X'Pert PRO, PANalytical)、EDS 搭載走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS, JSM-7800F, JEOR)、ラマン分光測定 (DTR3, ThermoFisher) を行った。SEM-EDS の断面観察においては、断面試料作製装置 クロスセクションポリッシャ (CP, IB-09020CP, JEOR) を用いて、アルゴンビームによって断面加工を行った。断面加工を行った後、大気非暴露にて SEM-EDS へサンプルを移動させ、断面観察を行なった。

#### 4. 研究成果

錯体水素化物固体電解質  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  を用いたリチウム硫黄電池の充放電カーブを図 3(a) に示す。初期充放電サイクルにおいて、2V 付近における可逆な容量発現が確認できることに加え、硫黄の理論容量 ( $1472 \text{ mAh g}^{-1}$ ) に近い放電容量 ( $1250 \text{ mAh g}^{-1}$ ) を示していることができる。これは硫黄正極とリチウムによる電気化学反応が起きていることを示している。一方、充放電サイクルを繰り返すことで容量が減少していることが確認されており、30 サイクル目の容量維持率は 65% である。容量減少が見られているが、100 サイクル後においても充放電カーブの形状自体は大きく変化しておらず、反応における過電圧も大きく変化していないことがわかる。これは 100 サイクルの充放電後においても、硫黄とリチウムのレドックス反応が起きていることを示唆しており、一部の電極材料の失活によって容量劣化している可能性を示唆している。初期サイクルにおいて大きな容量劣化がみられ、その後は緩やかではあるが止まることなく容量減少が起きていることがわかる。また、初期サイクルにおいては、放電容量に比べて充放電容量が大きい。これは高電位において、酸化分解が生じている可能性を示唆しており、同様の現象が、 $\text{TiS}_2$  正極材料を用いた電池評価においても確認されている。また、 $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  を含む  $\text{LiBH}_4$  系錯体水素化物固体電解質はリチウム金属に対して、高い安定性を有していることが確認されていることから、図 3(b) で見られる容量減少は硫黄正極側による劣化に由来していることが推定される。

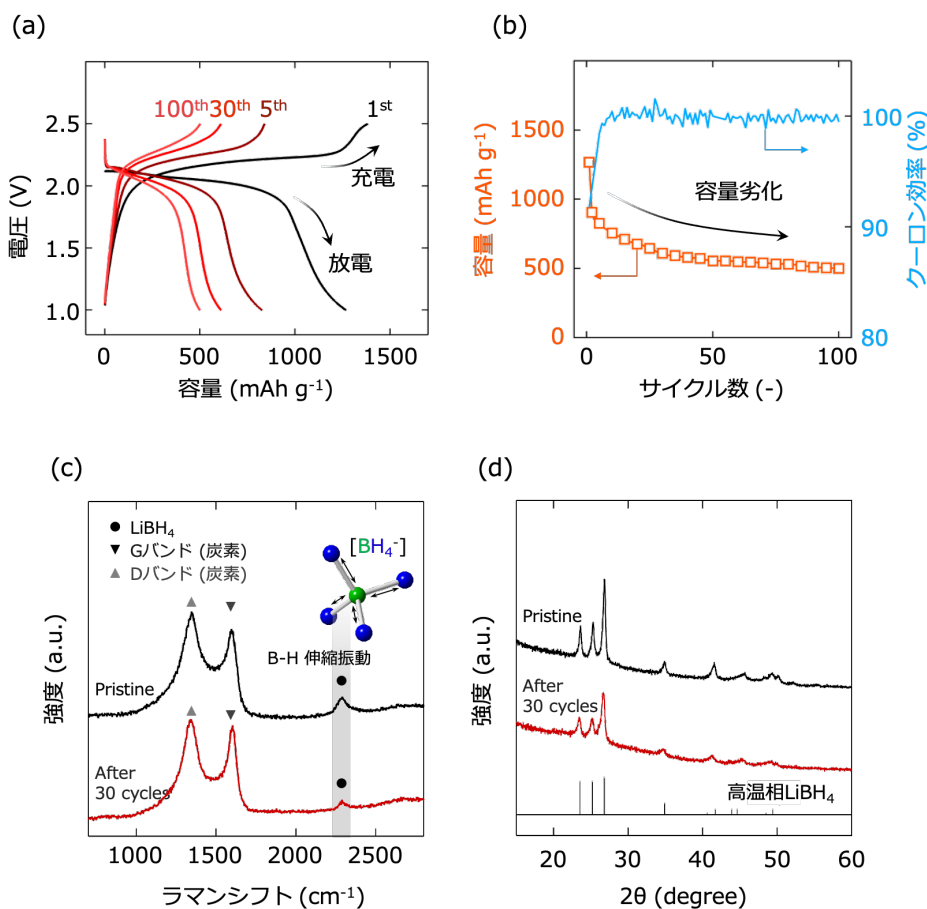
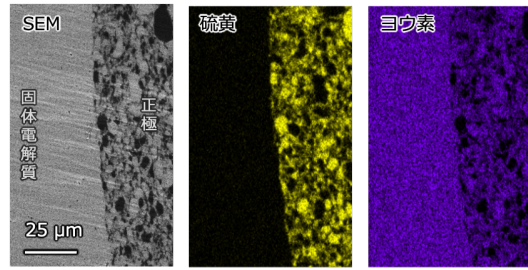


図 3. (a)  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  を用いたリチウム硫黄電池の充放電カーブ、(b) リチウム硫黄電池のサイクル特性、(c) 充放電前後における Raman 分光測定結果および  $[\text{BH}_4]^-$  の分子構造、(d) 充放電前後における X 線回折測定結果および高温相  $\text{LiBH}_4$  の XRD パターン

充放電前後の正極層における Raman 分光測定結果および XRD 測定結果を図 3(c) および(d)に示す。30 サイクルの充放電試験後においても、正極層内における固体電解質は  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  の高温相構造を維持しており、大きな変化は見られていない。ラマン分光の測定結果からは、 $\text{BH}_4$  分子における B-H 伸縮振動のシグナルを確認することができる一方、わずかにピーク強度が弱まっていることも確認できる。これは一部の  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  が分解などを起こしている可能性を示唆している。

一般的に硫黄正極を用いたリチウム電池を充放電させた場合、硫黄にリチウムが取り込まれることによる体積膨張が起き、電極劣化が生じることが考えられる。正極層における電極構造の変化を調べるために、充放電前後における正極層の断面 SEM-EDS 観察を行なった。図 4 および図 5 に充放電前の断面 SEM 観察像および EDS 分析結果を示す。充放電前後のどちらの断面像においても、固体電解質層と正極層が明確に分かれていることを確認できる。また、正極層内においては、硫黄正極材料と  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  固体電解質がおおよそ数マイクロメートル程度に分布した複合体構造であることがわかる。一方、図 5(c) で示される充放電後の断面 SEM 像を見てみると、充放電前に比べて厚みが増加していることが確認できる。加えて、拡大像である図 5(d) からは、正極層内における固体電解質内部において集中的にクラックが発生していることが確認できる。このクラックによってリチウムイオンパスが断絶することで、一部の硫黄正極材料が不活性化することによって、電池容量が低下したことが考えられる。以上の充放電前後における分析および観察から、下記のメカニズムを検討した。充放電前の状態では、固体電解質が硫黄炭素複合体まで途切れることなく存在しているため、イオンパスが形成されており、リチウムイオンが硫黄炭素複合体まで伝導することが可能である。一方、このリチウムイオン挿入過程である放電が続いていくと、硫黄とリチウムの反応に伴う体積膨張が起き、正極層全体としての膨張が起こり、続く充電過程においては、逆にリチウムイオンが脱離することで、硫黄の収縮が起こる。硫黄の膨張/収縮に伴い、正極層内の固体電解質にクラックが生成することに加えて、固体電解質の酸化分解が起こることによって、イオンパスの喪失が生じ、充放電容量に劣化が起きていると考察した。

(a) 充放電前



(b) 充放電後

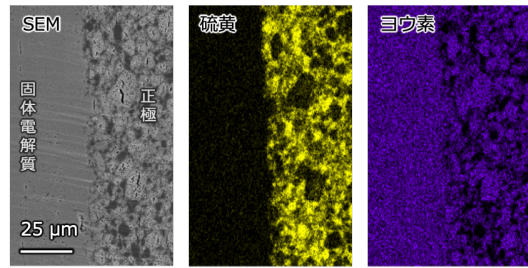


図 4. 全固体 Li-S 電池の断面 SEM および EDS 解析、

(a) 充放電前、(b) 充放電後

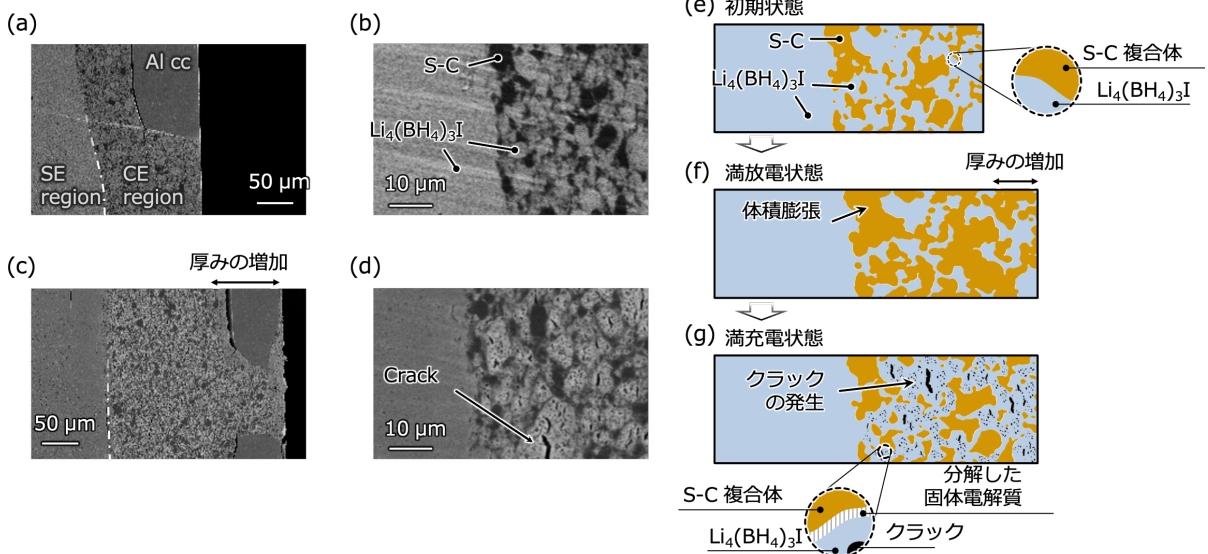


図 5.  $\text{Li}_4(\text{BH}_4)_3\text{I}$  を用いた全固体 Li-S 電池の断面 SEM 観察像、充放電前の低倍率 (a)、充放電前の高倍率 (b)、充放電後の低倍率 (c)、充放電後の高倍率 (d)、全固体 Li-S 電池の充放電サイクルにおける劣化メカニズムの模式図、初期状態 (e)、満充電状態 (f)、満放電状態 (g)

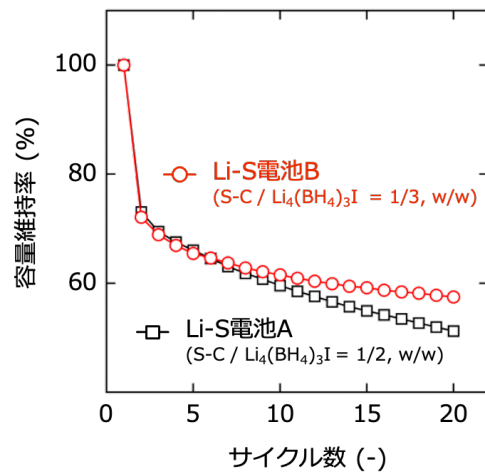


図 6. 電極組成の最適化を行ったリチウム硫黄電池のサイクル維持率

得られた考察をもとに、リチウム硫黄電池のサイクル特性向上に向けて、正極層における固体電解質と硫黄正極材料の組成の最適化を行なった。電極組成の最適化を行なったリチウム硫黄電池は、従来型電池に比べてサイクル維持率が向上することが確認された (図 6)。本研究において、水素化物固体電解質を用いたリチウム硫黄電池の高性能化に向けて、水素化物の高電位安定性を持たせることに加えて、硫黄炭素複合体の体積膨張を抑制する手法が効果的であること見出された。これにより蓄電池の高いエネルギー密度化に向けた設計指針の助けを得ることができたと考えている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kisu Kazuaki, Kim Sangryun, Yoshida Ryuga, Oguchi Hiroyuki, Toyama Naoki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 50
2. 論文標題 Microstructural analyses of all-solid-state Li-S batteries using LiBH <sub>4</sub> -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 424 ~ 429
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, Shinohara Takara, Zhao Kun, Zuttel Andreas, Orimo Shin-ichi	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 7563
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 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 Kim Sangryun, Kisu Kazuaki, Takagi Shigeyuki, Oguchi Hiroyuki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Complex Hydride Solid Electrolytes of the Li(CB <sub>9</sub> H <sub>10</sub> )-Li(CB <sub>11</sub> H <sub>12</sub> ) 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 Kim Sangryun, Kisu Kazuaki, Orimo Shin-ichi	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 ~ 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 木須一彰、金相倫、折茂慎一	4. 巻 56(2)
2. 論文標題 錯体水素化物系マグネシウムイオン伝導体の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 72-75
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 無
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 Kisu Kazuaki, Kim Sangryun, Oguchi Hiroyuki, Toyama Naoki, Orimo Shin-ichi	4. 巻 436
2. 論文標題 Interfacial stability between LiBH4-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 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 LiCoO2 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 Orikasa Yuki, Kisu Kazuaki, Iwama Etsuro, Naoi Wako, Yamaguchi Yusuke, Yamaguchi Yoshitomo, Okita Naohisa, Ohara Koji, Munesada Toshiyuki, Hattori Masashi, Yamamoto Kentaro, Rozier Patrick, Simon Patrice, Naoi Katsuhiko	4. 巻 32
2. 論文標題 Noncrystalline Nanocomposites as a Remedy for the Low Diffusivity of Multivalent Ions in Battery Cathodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1011~1021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/ACS.CHEMMATER.9B03665	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 金相倫, 木須一彰, 折茂慎一	4. 巻 104
2. 論文標題 錯体水素化物リチウムイオン伝導体を用いた全固体電池	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気評論	6. 最初と最後の頁 20-29
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 無
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17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 犬飼宗弘, 大口裕之, 高木成幸, 折茂慎一
2. 発表標題 錯体水素化物マグネシウムイオン伝導体Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> BH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> の電気化学特性
3. 学会等名 日本金属学会 第168回春期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu
2. 発表標題 Energy Related Application of Hydrides
3. 学会等名 Joint Workshop AIMR-Fraunhofer ENAS(国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 折茂慎一
2. 発表標題 カルシウムイオン電池用電解質 $\text{Ca}(\text{CB11H12})_2$ の合成と特性評価
3. 学会等名 第140回東北大学金属材料研究所講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 折茂慎一
2. 発表標題 錯体水素化物系電解質 $\text{Ca}[\text{CB11H12}]_2$ の合成と電気化学評価
3. 学会等名 日本金属学会 第169回秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木須一彰
2. 発表標題 次世代エネルギーデバイスに向けた錯体水素化物の開発
3. 学会等名 第10回 MaSC 技術交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 Hydride-based Monocarborane Cluster for Calcium Battery Electrolyte
3. 学会等名 5th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 折茂慎一
2. 発表標題 カルシウム蓄電池用電解質 $\text{Ca}[\text{CB11H12}]_2$ の合成と電気化学評価
3. 学会等名 第62回 電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Kun Zhao, Andreas Zuttel, Shin ichi Orimo
2. 発表標題 Calcium Battery Electrolyte with Hydride-based Monocarborane Cluster
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Munehiro Inukai, Hiroyuki Oguchi, Shigeyuki Takagi, and Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 Electrochemical characterization of Magnesium Borohydride Ammonia Borane $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2(\text{NH}_3\text{BH}_3)_2$ as a Magnesium Ionic Conductor
3. 学会等名 The 4th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, and Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 Microstructural analyses of all-solid-state Li-S battery using $\text{LiBH}_4$ -based solid electrolyte for prolonged cycle performance
3. 学会等名 The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, and Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 ALL SOLID-STATE BATTERIES USING LiBH <sub>4</sub> -BASED SOLID ELECTROLYTE AND LITHIUM METAL ELECTRODE
3. 学会等名 1st International Symposium "Hydrogenomics" combined with 14th International Symposium Hydrogen & Energy (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 犬飼宗弘, 大口裕之, 高木成幸, 折茂慎一
2. 発表標題 錯体水素化物マグネシウムイオン伝導体Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> BH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> の電気化学特性
3. 学会等名 日本金属学会 第168回春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 犬飼宗弘, 大口裕之, 高木成幸, 折茂慎一
2. 発表標題 マグネシウムイオン伝導体Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> BH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> の電気化学特性
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木須一彰, 金相倫, 大口裕之, 折茂慎一
2. 発表標題 LiBH <sub>4</sub> 系錯体水素化物固体電解質を用いたリチウム-硫黄全固体電池の電極/電解質界面安定性
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 木須一彰, 金相倫, 折茂 慎一
2. 発表標題 水素化物系全固体電池の開発動向 -高速陽イオン伝導と電極界面安定性-
3. 学会等名 第107回 新電池構想部会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Hiroyuki Oguchi, Naoki Toyama, Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 All solid-state batteries using complex hydrides solid electrolyte and lithium metal electrode
3. 学会等名 Gordon Research Conference Hydrogen-Metal Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Hiroyuki Oguchi, Naoki Toyama, Shin-ichi Orimo
2. 発表標題 Interfacial stability between lithium metal anode and LiBH <sub>4</sub> -based complex hydride solid electrolytes for all-solid-state lithium battery
3. 学会等名 22nd International Conference on Solid State Ionics (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 木須一彰, 金相倫, 折茂慎一	4. 発行年 2020年
2. 出版社 水素化物系全固体電池の開発動向, 高速陽イオン伝導と電極界面安定性	5. 総ページ数 7
3. 書名 電池技術	

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 全固体電池の界面抵抗低減と作製プロセス、評価技術	5. 総ページ数 8
3. 書名 技術情報協会	

1. 著者名 金相諭, 木須一彰, 折茂慎一	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 8
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：錯体水素化物固体電解質を用いた高エネルギー密度型全固体電池の開発	

1. 著者名 折茂 慎一、福谷 克之、藤田 健一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 216
3. 書名 “水素”を使いこなすためのサイエンス ハイドロジェノミクス	

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

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