

**E - I M R**

先端エネルギー材料  
理工共創研究センター

Collaborative Research Center on Energy Materials

令和元年度  
研究成果報告書

2019 Report on Research Activities

## はじめに

先端エネルギー材料理工共創研究センター(E-IMR)は、前身である低炭素社会基盤材料融合研究センター(LC-IMR)を発展的に改組して平成27年4月に発足致しました。

クリーンで経済的な持続的社會を実現するためには、エネルギー変換や物質輸送において高い効率や性能を示す先端材料の開発が不可欠です。本センターでは、理学と工学とを融合した「理工共創」の研究を強力に推進することにより、スピン、電子、イオン、ホール、フォトン等の多様なキャリアを原子レベルで制御した先端エネルギー材料を創成します。理工共創研究のため、理学系及び工学系研究者が新たな研究部門を構成していることも特徴です。このような取り組みにより、エネルギー材料分野での研究フロンティアを開拓して世界最高水準の材料研究を推進するとともに、異分野融合に関する高度な研究能力を持つ若手人材の育成にも努めます。

具体的な研究部とそれぞれの研究ターゲットは以下の通りです。

- 1) スピンエネルギー材料研究部門では、新概念の変換機能を持つエネルギー材料の実現を目指して、スピン流を介したエネルギー変換に関する学理を追求し、変換効率が高く経済性・耐久性にも優れたエネルギー材料の創成に取組み、将来の創エネ・省エネ社會の構築に貢献します。
- 2) イオンエネルギー材料研究部門では、ハイパフォーマンスな全固体二次電池や多機能型二次電池の実現に向けて、イオン輸送と化学エネルギー変換における学理を追求して新規な固体電解質と電極材料の開発に取り組み、新しい電池がもたらす快適な社會の構築に貢献します。
- 3) 光エネルギー材料研究部門では、より多くの電気エネルギーを得ることのできる低コスト・高効率太陽電池の実現を目指して、Si多結晶の融液成長や薄膜成長に関する新しい学理と結晶成長技術の確立を理工共創で取組み、太陽の光エネルギーを最大限に利用する創エネ社會の発展に貢献します。
- 4) 材料プロセス・社会実装研究部門では、本センターの研究成果である先端エネルギー材料が広く社會に実装されていくことを目指し、高い性能と品質を持ち経済性に優れた材料を製造する材料プロセス研究と、エネルギー材料の性能評価手法の開発、材料・デバイスの性能実証に取り組み、先端エネルギー材料を基盤とした新しいエネルギーシステムの構築に貢献します。

令和元年度は、38歳以下の若手研究者による理工共創研究を促進する助成制度を引き続き実施するとともに、東北大学エネルギー研究連携推進委員会や学内外研究機関とも連携して、先端エネルギー材料の理工共創研究を強力に推進しました。今後も、「高効率エネルギー変換・高速輸送現象の実現に向けた新しい学理の構築」、「社会実装を目指した材料創成の指導原理の確立」、そして「理工共創研究による新しい研究能力を持った人材の育成」を目標として取り組んで参ります。

また、昨年10月に、前任の折茂慎一教授の後を受け、本センター長に就任いたしました。先端エネルギー材料理工共創研究センター(E-IMR)への今後のご支援・ご鞭撻のほど、心よりお願い申し上げます。本センターの今後の活動にご期待ください。

令和 2(2020)年 9月

先端エネルギー材料理工共創研究センター  
センター長 市坪 哲

## 目次

1. 概要 .....	3
2. 研究成果報告 .....	7
2-1. スピンエネルギー材料研究部 .....	8
2-2. イオンエネルギー材料研究部 .....	14
2-3. 光エネルギー材料研究部 .....	20
2-4. 材料プロセス・社会実装研究部 .....	27
3. 令和元(2019)年度エネルギー材料萌芽研究助成成果概要.....	33
3-1. 錯体水素化物電解液および高電位酸化物正極材料を用いた Mg 蓄電池.....	34
4. 新聞発表等.....	35
4-1. プレスリリース .....	36
4-2. 新聞等掲載状況.....	37
5. 外部研究資金 .....	38
5-1. 科学研究費補助金 .....	39
5-2. 科学研究費補助金以外の外部資金.....	40
6. 知的財産権.....	42
6-1. 特許リスト .....	43
7. 各種受賞・表彰.....	44
7-1. 受賞リスト .....	45
8. 主催した会議・研究会・ワークショップ.....	47
8-1. 先端エネルギー材料理工共創研究センター 東京ワークショップ.....	48
8-2. 先端エネルギー材料理工共創研究センター 2019 年度ワークショップ .....	50
9. 職員及び運営委員名簿 .....	53
令和元(2019)年度 先端エネルギー材料理工共創研究センター名簿 .....	54
令和元(2019)年度 先端エネルギー材料理工共創研究センター運営委員会委員.....	55

# 1. 概要

**持続的社会的実現のための  
原子レベルでの複合キャリア制御による  
先端エネルギー材料の創成**

クリーンで経済的な持続的社会的実現するためには、エネルギー変換や物質輸送において高い効率や性能を実現する先端材料の開発が不可欠です。本センターでは、理学と工学とを融合した「理工共創」の研究を強力に推進することにより、スピン、電子、イオン、ホール、光子等の多様なキャリアを原子レベルで制御した先端エネルギー材料を創成します。理工共創研究のため、理学系および工学系研究者が新たな研究部門を構成していることも特徴です。このような取り組みにより、エネルギー材料分野での研究フロンティアを開拓して世界最高水準の材料研究を推進するとともに、異分野融合に関する高度な研究能力をもつ若手人材の育成にも努めます。



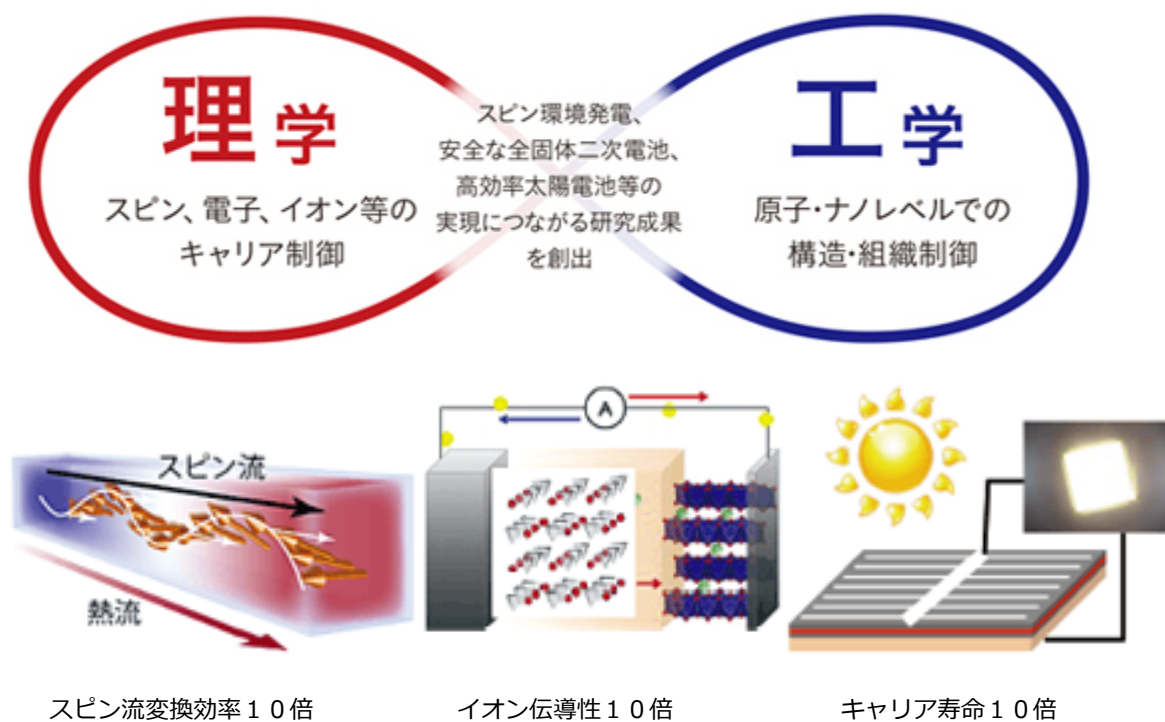
センター長 市坪 哲



- ・高効率エネルギー変換・高速輸送現象の実現に向けた新しい学理の構築
- ・社会実装を目指した材料創成の指導原理の確立
- ・理工共創研究による新しい研究能力を持った人材の育成

**原子レベルでの複合キャリア制御**

エネルギー変換や物質移動において高い効率や性能を実現するために、スピン、電子、イオン、ホール、光子などの多様なキャリアを複合的に取り扱い原子レベルで制御する。



# 実施体制

■ 理学系研究部門出身 ■ 工学系研究部門出身



2020.2.1現在



# スピンエネルギー材料研究部

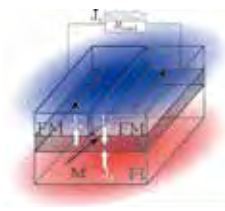
## スピン流をエネルギー変換や発電技術に展開する

21世紀に入り、私たちの生活で馴染みのある熱や音波、振動、光等が持つエネルギーから磁気の流れ（スピン流）を生み出し、それを利用して電流を得るといふ、全く新しいエネルギー変換の原理が発見されています。この新しい原理に基づいたエネルギー変換技術が実用的なものになると、私たちは熱や光などのエネルギーをこれまで以上に電力として有効利用することができるようになります。その技術を実用的なものにするためには、新しい原理に基づいたエネルギー変換を高い効率で行うことのできるエネルギー材料の開発が必要となります。さらに、その新しいエネルギー材料には経済性や耐久性も求められてきます。

スピンエネルギー材料研究部門では、新概念の変換機能を持つエネルギー材料の実現を目指して、スピン流を介したエネルギー変換に関する学術を追求し、変換効率が高く経済性・耐久性にも優れたエネルギー材料の創成に取り組み、将来の創エネ・省エネ社会の構築に貢献します。



熱とスピンの相互作用を研究するスピン・カロリトロン効果の研究に取り組みます。



熱流からスピン流を生じて、電流を得るための材料とデバイスの研究開発に取り組みます。

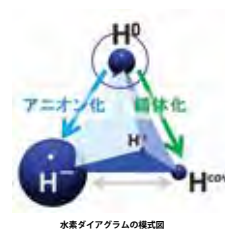
共に創る

# イオンエネルギー材料研究部

## 高速イオン伝導材料を利用して近未来型二次電池を創成する

私たちの暮らしの中では、充電して利用する二次電池（蓄電池）が多く使われています。もし、二次電池の充電容量が増え、1回の充電で利用できる時間が長くなり、そして今までの電池にはない機能を持つと、私たちの生活はこれまで以上に快適なものになると期待できます。そのような高い充電性能を持つ電池のひとつが全固体二次電池であり、電池自身に新しい機能を付け加えた近未来型とも言える電池が多機能型二次電池です。これらの優れた全固体二次電池を開発するには全く新しいコンセプトと材料が必要であり、また、多機能型二次電池の実現には充・放電の電池特性と協奏して光や磁場などに応答する新しい材料の開発が求められます。

イオンエネルギー材料研究部門では、ハイパフォーマンスな全固体二次電池や多機能型二次電池の実現に向けて、イオン輸送と化学エネルギー変換における学術を追求して新規な固体電解質と電極材料の開発に取り組み、新しい電池がもたらす快適な社会の構築に貢献します。



水素ダイアグラムの模式図  
水素の結合自由度に注目して、多様なイオンの高速伝導の研究に取り組みます。



充放電でON-OFF制御可能な新しい電磁石  
スピンイオンの性質を利用して、二次電池に新しい機能を付加するための研究に取り組みます。

# 光エネルギー材料研究部

## 太陽の光エネルギーをより経済的に大量に利用する

太陽光発電に使われるシリコン(Si)多結晶型太陽電池は、Si単結晶型に比べて経済的に製造できますが、光を電気に変換する効率が低いという課題があります。そのエネルギー変換効率を向上できれば、太陽エネルギーの利用が増すばかりではなく、社会への普及が進むことによって市場の拡大と価格の低下が期待され、さらに社会に広く普及するという好循環が生まれる可能性があります。そのためにも高いエネルギー変換効率を実現可能な高品質なSi多結晶を作り出すことが必要です。さらに、高品質化が実現すれば、この基板上にSiとは異なる光エネルギーを利用する別の材料を結晶成長させた新しい太陽電池の創出も可能となります。

光エネルギー材料研究部門では、より多くの電気エネルギーを得ることのできる低コスト・高効率太陽電池の実現を目指して、Si多結晶の融液成長や薄膜成長に関する新しい学術と結晶成長技術の確立を理工共創で取り組み、太陽の光エネルギーを最大限に利用する創エネ社会の発展に貢献します。



品質の優れたシリコン結晶を効率的に成長させるための研究に取り組みます。

200μm



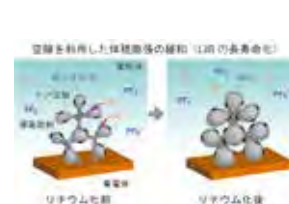
太陽電池用Si多結晶インゴット

# 材料プロセス・社会実装研究部

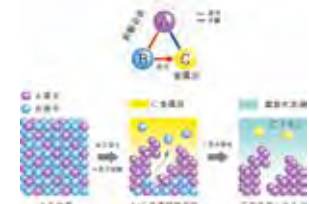
## 先端エネルギー材料の速やかな社会実装に挑戦する

最新の材料研究で得られる先端技術シーズが社会の中に広がるためには、実用化に向けた多くの課題を乗り越えることが必要になります。エネルギー材料として効率的にエネルギーを生み出したり蓄えたりすることができることや、その導入や維持に係る経済性や安心して利用できる安全性にも優れていることが求められます。これらの要求を満たすエネルギー材料を製造するための材料プロセスを確立するとともに、性能や経済性を評価する研究も重要となります。

材料プロセス・社会実装研究部門では、本センターの研究成果である先端エネルギー材料が広く社会に実装されていくことを目指し、高い性能と品質を持ち経済性に優れた材料を製造する材料プロセス研究と、エネルギー材料の性能評価手法の開発、材料・デバイスの性能実証に取り組み、先端エネルギー材料を基盤とした新しいエネルギーシステムの構築に貢献します。



材料の特性を理解し、問題点があればその解決に向けた研究を行います。



解決方法を実現するための新しい材料作成方法を確立します。

# 国際共同研究部

## エネルギー材料研究の国際共創力を強化する

海外の優秀なエネルギー材料研究者を客員教授として招聘し、新たな研究フロンティアの開拓や成果の社会実装に向けた国際共同研究に取り組みます。

## 2. 研究成果報告



## 2-1. スピンエネルギー材料研究部

**構成員** 教 授 : Gerrit Ernst-Wilhelm Bauer, 高梨 弘毅 (兼),  
准 教 授 : 水口 将輝  
助 教 : 伊藤 啓太 (兼)  
学術研究員 : Himanshu Sharma

### 【2019(令和元)年度の成果概要】

Bauer グループでは、強磁性絶縁体におけるスピントロニクスやスピнкаロリトロニクスの理論的研究に焦点をあてた。特に、磁気秩序パラメータとマイクロ波、光、音波との結合を調べた。その結果、スピン波やマイクロ波などの素励起波における旋光性に関して理論的解釈を行い、カイラルスピンゼーベック効果の存在を予言した。

水口グループでは、強磁性金属材料における異常ネルンスト効果の物理の解明と熱電応用に向けた研究展開を進めた。マグネトロンスパッタ法を用いて  $\text{Co}_x(\text{MgO})_{1-x}$  グラニューラー薄膜を酸化マグネシウム (MgO) 基板上に作製した。薄膜の膜厚は 100 nm とし、Co に対する MgO の添加量を様々に変化させた試料を作製した。作製した試料について、その異常ネルンスト効果を室温で詳細に調べた。薄膜面内方向に熱の勾配を加え、発生するネルンスト電圧を測定した。まず、試料のナノ構造を透過電子顕微鏡で観察した結果、平均粒径数 nm の MgO の微粒子が Co 薄膜内にランダムに分散した形態であることが分かった。MgO の微粒子は、その添加量に応じて互いに孤立している構造から連結している構造まで、様々な形態をとることが明らかになった。次に、異常ネルンスト効果の測定の結果、図 1 に示すように、ネルンスト効果の効率を表す指標の一つであるネルンスト角の大きさが、MgO の添加量の増加に従って増加し、MgO を添加していない Co 薄膜におけるネルンスト角の大きさの 3 倍以上にまで大きく増加することが分かった。また、熱勾配の代わりに電流を印加した場合に定義される異常ホール角について同じ試料で調べた結果、MgO の添加による異常ホール角の増加はほとんど確認されず、大きく減少したことから、本研究におけるグラニューラー構造では熱磁気効果のみが増加することが分かった。これにより、熱電変換効率が大きく増加するグラニューラー材料を用いて素子設計を行うことにより、熱電発電効率を高める可能性が示された。

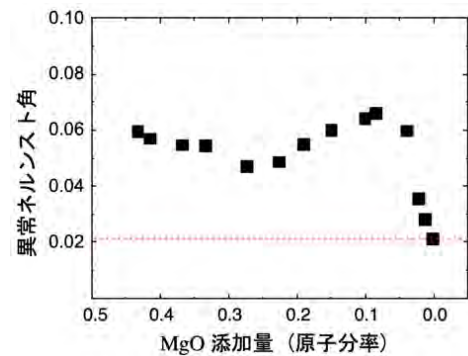


図 1.  $\text{Co}_x(\text{MgO})_{1-x}$  グラニューラー薄膜における異常ネルンスト角の MgO 添加量依存性。

低エネルギー駆動デバイスへの応用を背景として、素子に電流を流さずに垂直磁気異方性を制御する、電圧印加型スピントロニクスデバイスが注目されている。そこで、スピントロニクスデバイスにおける原子配列と磁気機能の相関の解明を目指し、Fe/MgO 界面構造についてホログラフィ技術を用いた三次元原子レベル解析を行った。SPring-8 の BL13XU および BL39XU にて蛍光 X 線ホログラフィの測定を行った。7.5-11.0 keV の X 線を試料に入射し、室温・大気中で Fe K $\alpha$  蛍光 X 線ホログラムの測定を行った。電圧を印加することができるトンネル磁気抵抗素子の蛍光 X 線ホログラフィ測定を行うことにより、磁気異方性が

変化するメカニズムを解明することを試みた。図2に得られた FeK $\alpha$  蛍光X線ホログラムパターンを示す。膜厚 0.7 nm の埋もれた Fe 層からのホログラムが得られたことが分かった。また、電圧を印加することにより、ホログラムパターンに明確な変化が観測された。これは、電圧の印加により、試料の Fe 原子周辺の局所的な原子配置が変化したことを示唆する結果である。ホログラムパターンから原子位置イメージを再構成した結果、電圧の印加により、特に第二近接位置にある Fe の原子位置が動いていることが分かった。

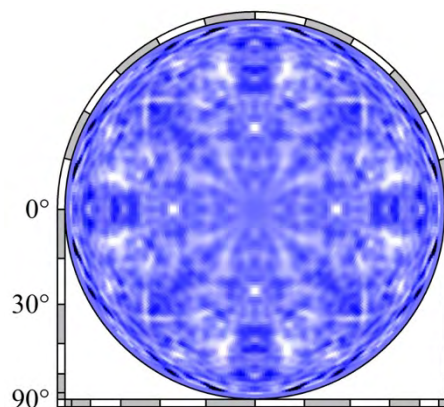


図2. 10 keV の X 線を入射して測定したトンネル磁気抵抗素子の Fe K $\alpha$  蛍光 X 線ホログラムパターン。1 V の電圧を印加している。

#### 水口グループと高梨グループの共同研究

昨年度までに、異なる基板の上に Fe<sub>4</sub>N 薄膜を成膜し、そのネルンスト効果の測定を行った。そこで、今年度は同じ結晶構造を有する Mn<sub>4</sub>N 薄膜を成膜し、そのネルンスト効果の測定を行った。MgO(001) 基板および SrTiO<sub>3</sub>(001) 基板の上に膜厚約 20 nm の Mn<sub>4</sub>N 垂直磁化薄膜をエピタキシャル成長し、室温でネルンスト効果を測定した。基板面内にかかる熱勾配の方向を 2 種類の結晶方位で変えた結果、方位の違いによって異常ネルンスト電圧の大きさが異なることが分かった。また、SrTiO<sub>3</sub> 上に成膜した Mn<sub>4</sub>N 薄膜と MgO 上に成膜した Mn<sub>4</sub>N 薄膜では、異常ネルンスト電圧の大きさが異なることが分かった。基板の種類が異なると、その上に成膜された薄膜層に加わる格子ひずみの大きさが変わることが想定されるが、異常ネルンスト効果にも異方性が生じ、その大きさに基板依存性があることが示唆される。

#### 【今後の計画】

バウアグループでは、強磁性絶縁体におけるスピンメカニクスおよびスピンキャビトロニクスの研究を推進し、スピнкаロリトロニクスの物理の探求を継続する。加えて、非磁性絶縁体におけるスピнкаロリトロニクスについても研究対象を拡げる。

高梨グループは昨年度までと同様に水口グループと協力して、新たなスピнкаロリトロニクス応用材料として注目される、資源が豊富な Fe、Mn、N から構成される逆ペロブスカイト型強磁性窒化物における異常ネルンスト効果の研究を進める。水口グループにおけるこれまでの研究で、Fe と N から構成される Fe<sub>4</sub>N では、熱勾配の方向を [100] と [110] 方向で変えた場合に、異常ネルンスト効果の大きさが変わることが明らかになっている。2019 年度の研究では、異常ネルンスト効果の結晶方位依存性が基板の種類に依存することが明らかとなったことから、今後はその起源を解明することにより、より大きな異常ネルンスト効果の実現を目指す。また、ごく最近の理論計算の報告により、Fe<sub>4</sub>N において比較的大きな横熱電係数 ( $\alpha_{xy} = 2.4 \text{ A} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) が予想されたことから、エピタキシャル Fe<sub>4</sub>N 薄膜を作製して、異常ホール効果と異常ネルンスト効果を測定することで、横熱電係数を実験により求めて理論計算結果と比較する。Mn と N から構成される Mn<sub>4</sub>N は、MgO(001) や SrTiO<sub>3</sub>(001) 基板上的エピタキシャル膜が垂直磁化膜となり、スピン軌道相互作用が大きな重貴金属元素を含まないにも関わらず、比較的大きな異常ホール角 (~2.0%) が報告されていることから、異常ネルンスト効果の大きさにも興味を持たれる。加えて、Fe<sub>4</sub>N のような熱勾配の方位の違いによる異常ネルンスト効果の大きさの変化も期待されることから、エピタキシャル Mn<sub>4</sub>N 薄膜を作製して、異常ホール効果と異常ネルンスト効果の結晶方位依存性を測定する。このように、エピタキシャル Fe<sub>4</sub>N および Mn<sub>4</sub>N 薄膜を作製し、異常ホール効果および異常ネルンスト効果の大きさを評価し、結晶方位依存性、基板依存性、膜厚依存性を系統的に調べることで、より大きなネルンスト電圧の実現を目指す。

## 【論文リスト】

1. Tao Yu, Yaroslav M. Blanter, Gerrit E. W. Bauer, Chiral Pumping of Spin Waves, *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, 123, 24 (2019)
2. Oyanagi, K., Takahashi, S., Cornelissen, L.J., Shan, J., Daimon, S., Kikkawa, T., Bauer, G.E.W., van Wees, B.J., Saitoh, E., Spin transport in insulators without exchange stiffness, *Nature Communications*, 10, 1 (2019)
3. Sharma Himanshu, Wen Zhenchao, Takanashi Koki, Mizuguchi Masaki, Anomaly in anomalous Nernst effect at low temperature for C1(b)-type NiMnSb half-Heusler alloy thin film, *JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 58 (2019)
4. M. Mizuguchi and S. Nakatsuji, Energy-harvesting materials based on the anomalous Nernst effect, *Science and Technology of Advanced Materials*, (2019)
5. Back, C.H., Bauer, G.E.W., Zink, B.L., Special issue on spin caloritronics, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52, 23 (2019)
6. Tao Yu, Chuanpu Li, Haiming Yu, Yaroslav M. Blanter, Gerrit E. W. Bauer, Chiral excitation of spin waves in ferromagnetic films by magnetic nanowire gratings, *PHYSICAL REVIEW B*, 99, 13 (2019)
7. Elyasi Mehrdad, Sato Koji, Bauer Gerrit E. W, Topologically nontrivial magnonic solitons, *PHYSICAL REVIEW B*, 99, 13 (2019)
8. Tao Yu, Sanchar Sharma, Yaroslav M. Blanter, Gerrit E. W. Bauer, Surface dynamics of rough magnetic films, *PHYSICAL REVIEW B*, 99, 17 (2019)
9. Simon Streib, Nicolas Vidal-Silva, Ka Shen, Gerrit E. W. Bauer, Magnon-phonon interactions in magnetic insulators, *Physical Review B*, 99, 18 (2019)
10. Sharma, Sanchar, Rameshti, Babak Zare, Blanter, Yaroslav M., Bauer, Gerrit E. W., Optimal mode matching in cavity optomagnonics, *Physical Review B*, 99, 21 (2019)
11. Chen, Jilei, Yu, Tao, Liu, Chuanpu, Liu, Tao, Madami, Marco, Shen, Ka, Zhang, Jianyu, Tu, Sa, Alam, Md Shah, Xia, Ke, Wu, Mingzhong, Gubbiotti, Gianluca, Blanter, Yaroslav M., Bauer, Gerrit E. W., Yu, Haiming, Excitation of unidirectional exchange spin waves by a nanoscale magnetic grating, *Physical Review B*, 100, 10 (2019)
12. Barker, J., Bauer, G.E.W., Semiquantum thermodynamics of complex ferrimagnets, *Physical Review B*, 100, 14 (2019)
13. Y. Nambu, J. Barker, Y. Okino, T. Kikkawa, Y. Shiomi, M. Enderle, T. Weber, B. Winn, M. Graves-Brook, J. M. Tranquada, T. Ziman, M. Fujita, G. E. W. Bauer, E. Saitoh, K. Kakurai, Observation of the Magnon Polarization, arXiv:1911.11968 (2019)
14. Seki, T., Miura, A., Uchida, K.-I., Kubota, T., Takanashi, K., Anomalous Ettingshausen effect in ferrimagnetic Co-Gd, *Applied Physics Express*, 12, 2, 023006-1-023006-4 (2019)
15. Seki T., Iguchi R., Takanashi K., Uchida K., Relationship between anomalous Ettingshausen effect and anomalous Nernst effect in an FePt thin film (vol 51, 254001, 2018), *JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS*, 52, 7 (2019)
16. Saito Masahiro, Ito Hisaaki, Suzuki Yuta, Mizuguchi Masaki, Koganezawa Tomoyuki, Miyamachi Toshio, Komori Fumio, Takanashi Koki, Kotsugi Masato, Fabrication of  $L1(0)$ -FeNi by pulsed-laser deposition, *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 114, 7 (2019)
17. Kubota Takahide, Ina Yusuke, Wen Zhenchao, Takanashi Koki, Temperature dependence of current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance in the

- junctions with interface tailored Heusler alloy electrodes, JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS, 474, 365-368 (2019)
18. T. Seki, S. Kikushima, K. Takanashi, Anomalous Hall Effect and Anisotropic Magnetoresistance in Perpendicularly Magnetized FePt<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> Films, Journal of the Magnetism Society of Japan, 43, 2, 25-28 (2019)
  19. T. Kojima, S. Kameoka, M. Mizuguchi, K. Takanashi, A. P. Tsai, FeNi and Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> Magnets Prepared Using Leaching, Materials Transactions, 60, 6, 1066-1071 (2019)
  20. Fujiwara Kohei, Ikeda Junya, Shiogai Junichi, Seki Takeshi, Takanashi Koki, Tsukazaki Atsushi, Ferromagnetic Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub>S<sub>2</sub> thin films fabricated by co-sputtering, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 58, 5 (2019)
  21. Tomoki Tsuchiya, Takahide Kubota, Tomoko Sasaki, Koki Takanashi, Blocking temperature enhancement in Ni<sub>2</sub>MnAl/Fe bilayers by thermal treatments, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 478, 206-210 (2019)
  22. Tashiro Takayuki, Mizuguchi Masaki, Kojima Takayuki, Koganezawa Tomoyuki, Kotsugi Masato, Ohtsuki Takumi, Sato Kazuhisa, Konno Toyohiko, Takanashi Koki, Fabrication of L1(0)-FeNi phase by sputtering with rapid thermal annealing (vol 750, pg 164, 2018), JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS, 785, 1293 (2019)
  23. Sato Takumi, Seki Takeshi, Kohda Makoto, Ryu Jeongchun, Gamou Hiromu, Karube Shutaro, Takanashi Koki, Nitta Junsaku, Evaluation of spin-orbit torque in a L1(0)-FePt single layer and a L1(0)-FePt/Pt bilayer, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 58, 6, (2019)
  24. Y. Kubota, M. Suzuki, T. Katayama, K. Yamamoto, K. Tono, Y. Inubushi, T. Seki, K. Takanashi, H. Wadati, M. Yabashi, Polarization control with an X-ray phase retarder for high-time-resolution pump-probe experiments at SACLA, Journal of Synchrotron Radiation, 26, 1139-1143 (2019)
  25. K. Ito, M. Hayashida, M. Mizuguchi, T. Suemasu, H. Yanagihara, K. Takanashi, Fabrication of L1<sub>0</sub>-FeNi films by denitriding FeNiN films, Journal of the Magnetism Society of Japan, 43, 4, 79-83 (2019)
  26. S. Mallick, S. Mondal, T. Seki, S. Sahoo, T. Forrest, F. Maccherozzi, Z. Wen, S. Barman, A. Barman, K. Takanashi, S. Bedanta, Tunability of Domain Structure and Magnonic Spectra in Antidot Arrays of Heusler Alloy, Physical Review Applied, 12, 1, 014043-1-014043-9 (2019)
  27. W. Zhou, T. Seki, H. Imamura, J. Ieda, K. Takanashi, Spinmotive force in the out-of-plane direction generated by spin wave excitations in an exchange-coupled bilayer element, Physical Review B, 100, 9, 094424-1-094424-5 (2019)
  28. Kubota Takahide, Kota Yohei, Ito Keita, Umetsu Rie Y, Sun Mingling, Mizuguchi Masaki, Takanashi Koki, Perpendicularly magnetized Cu<sub>2</sub>Sb type (Mn-Cr)AlGe films onto amorphous SiO<sub>2</sub>, APPLIED PHYSICS EXPRESS, 12, 10, 1030002-1-1030002-4 (2019)
  29. Seki Takeshi, Iihama Satoshi, Taniguchi Tomohiro, Takanashi Koki, Large spin anomalous Hall effect in L1(0)-FePt: Symmetry and magnetization switching, PHYSICAL REVIEW B, 100, 14, 144427-1-144427-8 (2019)
  30. V. Thiruvengadam, B. B. Singh, T. Kojima, K. Takanashi, M. Mizuguchi, S. Bedanta, Magnetization reversal, damping properties and magnetic anisotropy of L1<sub>0</sub>-ordered FeNi thin films, Applied Physics Letters, 115, 20, 202402-1-202402-4 (2019)

31. Kubota, T., Wen, Z., Takanashi, K., Current-perpendicular-to-plane giant magnetoresistance effects using Heusler alloys, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 492, 165667-1-165667-6 (2019)
32. K. Yamamoto, Y. Kubota, M. Suzuki, Y. Hirata, K. Carva, M. Berritta, K. Takubo, Y. Uemura, R. Fukaya, K. Tanaka, W. Nishimura, T. Ohkochi, T. Katayama, T. Togashi, K. Tamasaku, M. Yabashi, Y. Tanaka, T. Seki, K. Takanashi, P. M. Oppeneer, H. Wadati, Ultrafast demagnetization of Pt magnetic moment in  $L1_0$ -FePt probed by magnetic circular dichroism at a hard x-ray free electron laser, *New Journal of Physics*, 21, 123010-1-123010-9 (2019)
33. Z. Wen, Z. Qiu, S. Tölle, C. Gorini, T. Seki, D. Hou, T. Kubota, U. Eckern, E. Saitoh, K. Takanashi, Spin-charge conversion in NiMnSb Heusler alloy films, *Science Advances*, 5, 12, eaaw9337-1-eaaw9337-7 (2019)
34. Q. Wang, Z. Wen, T. Kubota, T. Seki, K. Takanashi, Structural-order dependence of anomalous Hall effect in  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  topological semimetal thin films, *Applied Physics Letters*, 115, 25, 252401-1-252401-5 (2019)
35. S. Ueda, M. Mizuguchi, M. Tsujikawa, and M. Shirai, Electronic structures of MgO/Fe interfaces with perpendicular magnetization revealed by hard X-ray photoemission with an applied magnetic field, *Science and Technology of Advanced Materials* (2019)
36. M. Saito, H. Ito, Y. Suzuki, M. Mizuguchi, T. Koganezawa, T. Miyamachi, F. Komori, K. Takanashi, and M. Kotsugi, Fabrication of  $L1_0$ -FeNi by pulsed-laser deposition, *Applied Physics Letters* (2019)
37. Y. Mitsui, R. Kobayashi, Y. Takanaga, A. Takaki, R. Umetsu, K. Takahashi, M. Mizuguchi, and K. Koyama, Different Magnetic Field Effects on the  $\epsilon$ - $\tau$  Phase Transformation between (Mn, Zn)-Al and Mn-Al-C, *IEEE Transactions on Magnetics* (2019)
38. H. Ito, M. Saito, T. Miyamachi, F. Komori, T. Koganezawa, M. Mizuguchi, and M. Kotsugi, Fabrication of  $L1_0$ -type FeCo ordered structure using a periodic Ni buffer layer, *AIP Advances* (2019)
39. 小林 領太、三井 好古、梅津 理恵、高橋 弘紀、水口 将輝、小山 佳一、磁場印加による強磁性  $\tau$ -Mn-Al への相変態の促進, *日本金属学会誌* (2019)
40. Xinfeng Chen, Soma Higashikozono, Keita Ito, Lei Jin, Ping-Luen Ho, Chu-Ping Yu, Nyan-Hwa Tai, Joachim Mayer, Rafal E. Dunin-Borkowski, Takashi Suemasu, Xiaoyan Zhong, Nanoscale measurement of giant saturation magnetization in  $\alpha'$ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  by electron energy-loss magnetic chiral dichroism, *Ultramicroscopy*, 203, 37-43 (2019)

#### 【国内会議】

1. 高梨 弘毅, 大学における附置研究所の意義と役割-東北大学金属材料研究所を例にして-, 兵庫県立大学金属新素材研究センター開設記念式典・セミナー, 姫路, 2019年7月5日
2. 水口 将輝, 強磁性ナノ構造における異常ネルンスト効果 -物性と熱電変換への応用-, 電子情報通信学会研究会「ヘッド、スピントロニクス、一般」, 福岡市, 2019年10月18日
3. 伊藤 啓太, Fabrication of  $L1_0$ -FeNi films by nitrogen topotactic extraction from FeNiN films, 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019年9月18日-2019年9月21日

4. 伊藤 啓太, Fabrication of  $L1_0$ -FeNi films with high degree of order by denitriding FeNiN films, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2020 年 3 月 12 日-2020 年 3 月 15 日
5. 伊藤 啓太, 脱窒素法による高規則度  $L1_0$ -FeNi 薄膜の作製, 日本金属学会 2020 年春季講演大会 (第 166 回), 東京, 2020 年 3 月 17 日-2020 年 3 月 19 日

#### 【国際会議】

1. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spin Caloritronics, Spin Caloritronics X, Groningen, 20190520
2. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spin Caloritronics with Magnetic Insulators, MLZ conference Conference Neutrons for Information and Quantum Technologies, Lenggries, Germany, 20190605
3. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spin Cavitronics, GRC Spin Transport and Dynamics in New Geometries, Materials and Nanostructures, Les Diablerets, 20190707
4. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Chiral (excitation of) spin waves in ferromagnetic films and spheres, META 2019, Lisbon, Portugal, 20190723
5. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Chiral (excitation of) spin waves in ferromagnetic films and spheres, Tohoku - Mainz - Lorraine Workshop: Future of nanomagnetism and Spintronics, Nancy, France, 20190918
6. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, YIG -THE Magnet, QuSpin International Workshop, Trondheim, Norway, 20190925
7. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spintronics with magnetic insulators, Spintronics Peru 2019, Ollantaytambo, Peru, 20191021-20191021
8. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spin Cavitronics, MMM 2019, Las Vegas, 20191107
9. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spintronics with magnetic insulators, Spin and Heat Transport in Quantum and Topological Materials, KITP, Santa Barbara, 20191113
10. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spintronics with magnetic insulators, New Perspectives in Spin Conversion Science (NPSCS2020), Kashiwa, Japan, 20200204
11. BAUER GERRIT ERNST-WILHELM, Spintronics with magnetic insulators, The 3rd Symposium for World Leading Research Centers - Materials Science and Spintronics -, Sendai 拠点国際シンポジウム, Sendai, Japan, 20200211
12. Koki Takanashi, Masaki Mizuguchi, Takeshi Seki, Spin-caloritronics in ordered-alloy thin films, JSPS-EPSRC-DFG Core-to-Core Programme York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices", York, UK, 20190612
13. Koki Takanashi, Masaki Mizuguchi, Takeshi Seki, Spin-caloritronics in ordered alloy thin films, III International Baltic Conference on Magnetism 2019, Svetlogorsk, Russia, 20190822
14. Koki Takanashi, Spin-caloritronics in ordered alloy systems, Tohoku-Lorraine Conference 2019, Nancy, France, 20190919
15. Masaki Mizuguchi, Prominent Magnetic Materials for Spin Caloritronics, Collaborative Conference on Advanced Materials (CCAM 2019), St. Julian's, Malta, 20190928



## 2-2. イオンエネルギー材料研究部

**構成員** 教 授：市坪 哲（兼），宮坂 等（兼），折茂 慎一（兼）  
准 教 授：高木 成幸（2020年1月まで）  
助 教：金 相倫（兼）  
特任助教：李 弘毅（兼）（2020年2月より）

### 【2019(令和元)年度の成果概要】

#### 1. マグネシウムイオン蓄電池正極材料における設計指針の確立（市坪・李グループ）

マグネシウムやカルシウムなどの多価イオン蓄電池系の開発に向けた基礎研究を行っている。特に本研究では、マグネシウムイオンに注目し、マグネシウムイオンを蓄えることができるスピネル化合物正極材料の設計指針について研究を行っている。本研究グループではマグネシウムがスピネル化合物に挿入されることを見出しているが、スピネル化合物から整合的に岩塩構造が形成される。その際に、マグネシウムを脱離させることが困難になり、サイクル特性劣化に繋がる。そこで、第一原理計算などを利用して、Zn元素が岩塩構造を不安定化する元素として働くことを見出し、次いで実験的にZn系スピネル化合物におけるマグネシウムイオン挿入脱離のサイクル特性が改善されることを見出した。

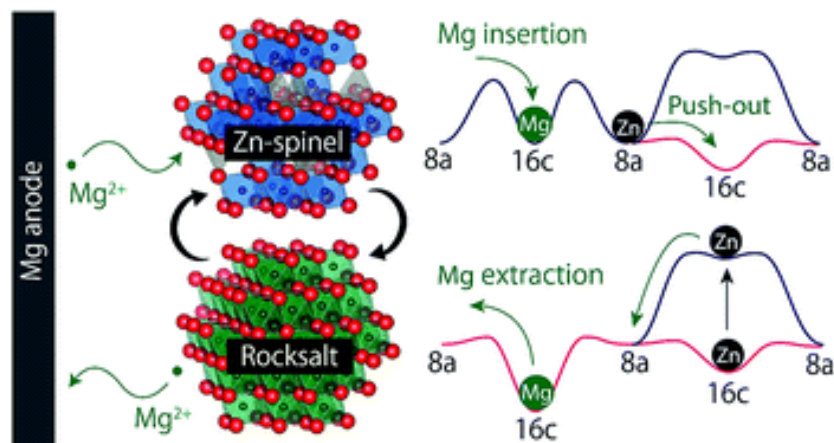


図1. マグネシウム蓄電池におけるスピネル化合物とポテンシャルの模式図  
(Journal of Materials Chemistry A 2019, 7, 12225).

#### 2. 一酸化窒素 (NO) を吸着して信号を発信する分子格子材料！？（宮坂グループ）

社会的なエネルギー問題に加え、NO<sub>x</sub> や SO<sub>x</sub> といった環境問題に密接に関係する有害ガスなどのモニターは、現在の社会的な要請も大きい。一酸化窒素 (NO) は、微量であれば、生体内で重要な役割をはたす小分子であるが、一転バルクでは、酸素、そして水と連続的に反応して酸性雨などの問題を引き起こす。そのような NO を選択的に吸着する分子格子材料を開発した。例えば、NO を細孔内に吸着して、最終的には分子格子に NO を化学的に結合させる分子格子を合成した。その固相反応を磁性変化や誘電応答で経時的にモニターすることに成功した。また、NO を吸着させる分圧を、格子を形成する金属錯体ユニットの混合比（固溶体生成比）で制御できる分子格子材料を見出した。

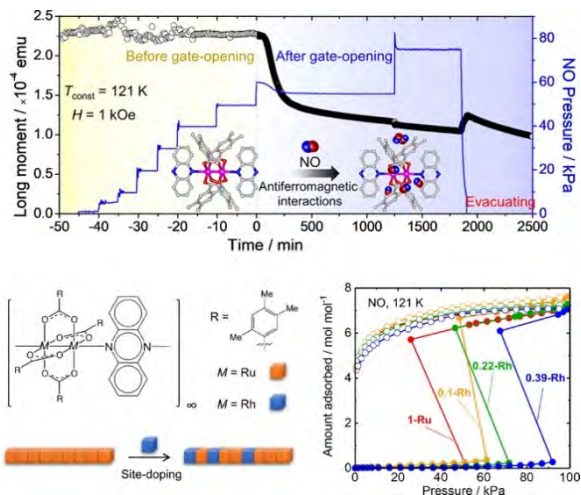


図2. 多孔性一次元金属錯体  $[\text{Ru}_2(3,4,6\text{-MePhCO}_2)_4(\text{phz})]$  ( $3,4,6\text{-MePhCO}_2^- = 3,4,6\text{-trimethylbenzoate}$ ;  $\text{phz} = \text{phenazine}$ )の一酸化窒素吸着挙動 (*Chem. Eur. J.* **2019**, *25*, 3020). (a) NO分圧に対する磁化の時間変化. (b) 固溶体  $[(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2(3,4,6\text{-MePhCO}_2)_4(\text{phz})]$ のNO吸着挙動 (*Chem. Lett.* **2019**, *48*, 1308).

### 3. 錯体水素化物の超リチウムイオン伝導体の開発

#### (折茂、金グループ)

全固体二次電池の固体電解質への応用を目指し、錯体水素化物の新たなイオン伝導体の探索研究に取り組んだ。2019年度は、籠状クラスター型錯イオンを有するクロソ系錯体水素化物を主な研究対象とし、錯イオンの固溶領域・固溶と構造相転移間の関係を調査するとともに、得られた試料のイオン伝導特性を評価した(図1)また、クロソ系錯体水素化物の固溶化に向けて、錯イオンを分子レベルで共存化するための要素技術を確認した。さらに、合成した試料を固体電解質として実装した全固体二次電池を作製し、室温で200回以上の繰り返し充放電を実現するなど、デバイス実証にも取り組んだ。

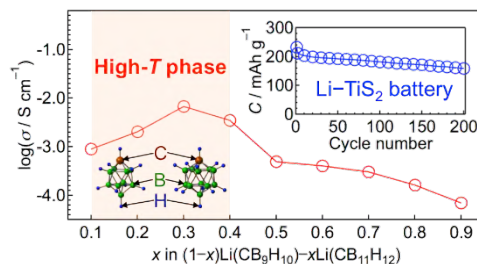


図3.  $(1-x)\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10})-x\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$  擬似二成分系錯体水素化物のリチウムイオン伝導率。(Inset)  $x = 0.3$  試料を固体電解質に用いた全固体  $\text{Li-TiS}_2$  電池のサイクル特性。

#### 【令和元年度以降の計画】

- 多価イオンと一価イオンを併用した蓄電デバイス基礎研究においてスピネル酸化物などへの適用を試みる。
- デンドライトフリー電極を考案する。
- 分子格子材料を基にした安定なリチウムイオン電池の構築と物性制御。
- 環境問題に関係するガス分子などの吸着を可能にする分子格子開発と物性制御。
- 他の様々なクラスター型錯イオンを有する錯体水素化物において、錯イオンの共存化効果を調査。
- 錯イオンの原子置換による新構造の錯体水素化物の合成。
- 錯イオンの構造とイオン伝導特性の相関解明。

## 【論文リスト】

1. Jonghyun Han, Shunsuke Yagi, Tetsu Ichitsubo, Suppressive effect of Fe cations in  $\text{Mg}(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{O}_4$  positive electrodes on oxidative electrolyte decomposition for Mg rechargeable batteries, *Journal of Power Sources*, 435, 226822 (2019)
2. Jun Zhang, Wataru Kosaka, Yasutaka Kitagawa, and Hitoshi Miyasaka, Host-Guest Hydrogen Bonding Varies the Charge-State Behavior of Magnetic Sponges, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 58, 7351-7356 (2019)
3. N. Toyama, S. Kim, H. Oguchi, T. Sato, S. Takagi, M. Tazawa, G. Nogami, S. Orimo, Lithium ion conductivity of complex hydrides incorporating multiple *cIoso*-type complex anions, *Journal of Energy Chemistry*, 38, 84-87 (2019)
4. Kazuaki Kisu, Sangryun Kim, Munehiro Inukai, Hiroyuki Oguchi, Shigeyuki Takagi, and Shin-ichi Orimo, Magnesium Borohydride Ammonia Borane as a Magnesium Ionic Conductor, *ACS Applied Energy Materials*, 3, 3174-3179 (2020)
5. Takuya Hatakeyama, Norihiko L. Okamoto, Kohei Shimokawa, Hongyi Li, Aiko Nakao, Yoshiharu Uchimoto, Hiroshi Tanimura, Tomoya Kawaguchi, Tetsu Ichitsubo, Electrochemical phase transformation accompanied with Mg extraction and insertion in a spinel  $\text{MgMn}_2\text{O}_4$  cathode material, *Physical Chemistry Chemical Physics*, (2019)
6. N. L. Okamoto, K. Shimokawa, H. Tanimura, T. Ichitsubo, Feasible Transformation of  $\text{MgCo}_2\text{O}_4$  from Spinel to Defect Rocksalt Structure under Electron Irradiation, *Scripta Materialia*, 167, 26-30(2019)
7. Tane Masakazu, Nishiyama Hiroki, Umeda Akihiro, Okamoto Norihiko L., Inoue Koji, Luckabauer Martin, Nagai Yasuyoshi, Sekino Tohru, Nakano Takayoshi, Ichitsubo Tetsu, Diffusionless isothermal omega transformation in titanium alloys driven by quenched-in compositional fluctuations, *PHYSICAL REVIEW MATERIALS*, 3, 4, (2019)
8. Martin Luckabauer, Tomoki Hayashi, Hidemi Kato, Tetsu Ichitsubo, Decreasing activation energy of fast relaxation processes in a metallic glass during aging, *PHYSICAL REVIEW B*, 99, 14, (2019)
9. Shimokawa Kohei, Atsumi Taruto, Harada Maho, Ward Robyn E., Nakayama Masanobu, Kumagai Yu, Oba Fumiyasu, Okamoto Norihiko L., Kanamura Kiyoshi, Ichitsubo Tetsu, Zinc-based spinel cathode materials for magnesium rechargeable batteries: toward the reversible spinel-rocksalt transition, *JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY A*, 7, 19, 12225-12235 (2019)
10. Jun Zhang, Wataru Kosaka, Susumu Kitagawa, Masaki Takata, and Hitoshi Miyasaka, *In Situ* Tracking of Dynamical NO Capture through a Crystal-to-Crystal Transformation from a Gate-Open-Type Chain Porous Coordination Polymer to an NO-Adducted Discrete Isomer, *Chem. Eur. J.*, 2019, 25, 3020-3031(2019)
11. Kouji Taniguchi, Masahiro Nishio, Shuhei Kishiue, Po-Jung Hang, Shojiro Kimura, Hitoshi Miyasaka, Strong magnetochiral dichroism for visible light emission in a rationally designed paramagnetic enantiopure molecule, *Phys. Rev. Mater.*, 3, 045202 (1-8) (2019)
12. Jun Zhang, Wataru Kosaka, and Hitoshi Miyasaka, Control of gas sorption gate-opening in solid solutions of one-dimensional coordination polymers, *Chem. Lett.*, 48, 1308-1311(2019)
13. Kouji Taniguchi, Shuhei Kishiue, Shojiro Kimura, and Hitoshi Miyasaka, Local-Site Dependency of Magneto-Chiral Dichroism in Enantiopure One-Dimensional

- Copper (II)-Chromium (III) Coordination Polymers, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 88, 093708(1-3) (2019)
14. Po-Jung Huang, Kouji Taniguchi, Hitoshi Miyasaka, Bulk Photovoltaic Effect in a Pair of Chiral-Polar Layered Perovskite-Type Lead Iodides Altered by Chirality of Organic Cations, *J. Am. Chem. Soc.*, 141, 14520-14523 (2019)
  15. Y. Sasahara, R. Shimizu, H. Oguchi, K. Nishio, S. Ogura, H. Morioka, S. Orimo, K. Fukutani, T. Hitosugi, A hysteresis loop in electrical resistance of  $\text{NbH}_x$  observed above the  $\beta$ - $\lambda$  transition temperature, *AIP Advances*, 9, 1, 15027-1-5 (2019)
  16. D. Meng, M. Sakata, K. Shimizu, Y. Iijima, H. Saitoh, T. Sato, S. Takagi, S. Orimo, Superconductivity of the hydrogen-rich metal hydride  $\text{Li}_5\text{MoH}_{11}$  under high pressure, *Physical Review B*, 99, 2, 024508-1-6 (2019)
  17. S. Kim, H. Oguchi, N. Toyama, T. Sato, S. Takagi, T. Otomo, D. Arunkumar, N. Kuwata, J. Kawamura, S. Orimo, A complex hydride lithium superionic conductor for high-energy-density all-solid-state lithium metal batteries, *Nature Communications*, 10, 1081-1-9 (2019)
  18. M. Latroche, D. Blanchard, F. Cuevas, A.E. Kharbachi, B.C. Hauback, T.R. Jensen, P.E. de Jongh, S. Kim, N.S. Nazer, P. Ngene, S. Orimo, D.B. Ravnsbaek, V.A. Yartys, Full-cell hydride-based solid-state Li batteries for energy storage, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 15, 7875-7887(2019)
  19. B. Paik, H. Oguchi, T. Sato, S. Takagi, A. Dorai, N. Kuwata, J. Kawamura, S. Orimo, Ionic conduction in  $\text{Li}_3\text{Na}(\text{NH}_2)_4$ : Study of the material design for the enhancement of ion conductivity in double-cation complex hydrides, *AIP Advances*, 9, 5, 055109-1-5 (2019)
  20. M. Hirscher, T. Autrey, S. Orimo, Hydrogen energy, *ChemPhysChem*, 20, 10, 1157-(2019)
  21. T. Sato, L. L. Daemen, Y. Cheng, A. J. Ramirez-Cuesta, K. Ikeda, T. Aoki, T. Otomo, S. Orimo, Hydrogen-release reaction of a complex transition metal hydride with covalently bound hydrogen and hydride ions, *ChemPhysChem*, 20, 10, 1392-1397(2019)
  22. K. Sau, T. Ikeshoji, S. Kim, S. Takagi, K. Akagi, S. Orimo, Reorientational motion and  $\text{Li}^+$ -ion transport in  $\text{Li}_2\text{B}_{12}\text{H}_{12}$  system: Molecular dynamics study, *Physical Review Materials*, 3, 7, 75402-1-10 (2019)
  23. A. Machida, H. Saitoh, T. Hattori, A. Sano-Furukawa, K. Funakoshii, T. Sato, S. Orimo, K. Aoki, Hexagonal close-packed iron hydride behind the conventional phase diagram, *Scientific Reports*, 9, 12290-1-9 (2019)
  24. H. Oguchi, S. Kim, S. Maruyama, Y. Horisawa, S. Takagi, T. Sato, R. Shimizu, Y. Matsumoto, T. Hitosugi, S. Orimo, Epitaxial film growth of  $\text{LiBH}_4$  via molecular unit evaporation, *ACS Applied Electronic Materials*, 1, 9, 1792-1796(2019)
  25. K. Horigane, K. Takeuchi, D. Hyakumura, R. Horie, T. Sato, T. Muranaka, K. Kawashima, H. Ishii, Y. Kubozono, S. Orimo, M. Isobe, J. Akimitsu, Superconductivity in a new layered triangular-lattice system  $\text{Li}_2\text{IrSi}_2$ , *New Journal of Physics*, 21, 093056-1-9 (2019)
  26. K. Kisu, S. Kim, H. Oguchi, N. Toyama, S. Orimo, Interfacial stability between  $\text{LiBH}_4$ -based complex hydride solid electrolytes and Li metal anode for all-solid-state Li batteries, *Journal of Power Sources*, 436, 226821-1-5 (2019)

## 【国内会議】

1. 市坪 哲, 共鳴結合結晶の超高速光誘起相変化の機構解明に向けて, 日本結晶成長学会, 2019年6月7日
2. 市坪 哲, 汎用金属で高性能電池を創る! -マグネシウムイオンを利用した蓄電デバイス研究-, 日本化学会秋季事業 第9回CSJ化学フェスタ2019, 東京, 2019年10月15日
3. 市坪 哲, 材料の相転移研究とそれを利用した材料開発を目指して, 東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 マテリアル工学セミナー, 東京, 2020年1月10日
4. 市坪 哲, リチウム金属電池と多価電池: 長所と短所, 第4回元素戦略シンポジウム〜産学連携研究新展開〜, 東京, 2020年2月3日
5. 宮坂 等, 「S5: Advanced multifunctional molecular materials based on dynamic spin」 「Porous Magnets based on Dynamic Spins」, 錯体化学会第69回討論会, 名古屋, 2019年9月17日
6. 宮坂 等, 動的スピンの基づく磁石設計-“変わる磁石”を創る-, 九州錯体化学50周年記念懇談会, 福岡, 2019年11月2日
7. 宮坂 等, 金属錯体格子で電荷とスピンを動かす-有機導体の知恵は金属錯体格子でも使えるか-, 有機固体若手の会冬の学校2019 (伊東), 伊東, 2019年12月5日
8. 宮坂 等, 動的スピンの基づく磁石設計-“変わる磁石”を創る-, 日本化学会東北支部ナノマテリアルコロキウム, 仙台, 2020年2月4日
9. 折茂 慎一, 高密度水素化物の材料科学-新学術領域「ハイドロジェノミクス」への展開, 材料の微細組織と機能性, 第133委員会第243回研究会, 東京, 2019年6月1日
10. 折茂 慎一, 高密度水素化物の材料科学-新学術領域「ハイドロジェノミクス」への展開, 第124回触媒討論会, 長崎, 2019年9月18日-2019年9月19日
11. 折茂 慎一, 錯体水素化物のリチウム超イオン伝導性とエネルギーデバイス応用, 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019年9月19日-2019年9月21日
12. 高木 成幸, 錯体水素化物固体電解質の開発, 電気化学会東北支部第50回セミナー, 天童, 2019年12月15日
13. 高木 成幸, 計算材料科学を用いた水素化物研究, 令和元年度触媒学会コンピュータの利用研究会セミナー, 横浜, 2019年12月20日
14. 高木 成幸, 池庄司 民夫, 折茂 慎一, 9配位錯イオンを含む錯体水素化物におけるリチウムイオン輸送特性, 日本金属学会2020年春期講演大会(第166回), 東京, 2020年3月19日
15. 金 相侖, 錯体水素化物の無秩序構造と超リチウムイオン伝導, 第22回CROSSroads Workshop, 東海村, 2019年5月15日
16. 金 相侖, 錯体水素化物固体電解質を用いた全固体電池, 全固体電池の展望と電極・固体電解質界面の設計 (技術情報協会主催), 東京, 2019年9月13日
17. 金 相侖, 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, 日本金属学会2019年秋期講演大会(第165回), 岡山, 2019年9月11日-2019年9月13日
18. 金 相侖, 錯体水素化物固体電解質を用いた全固体電池, 日本化学会R&D懇話会207回, 東京, 2019年10月4日
19. 金 相侖, 木須 一彰, 松浦 豊, 野口 敬太, 野上 玄器, 折茂 慎一, 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, 日本金属学会2020年春期講演大会(第166回), 東京, 2020年3月17日-2020年3月19日
20. 金 相侖, 木須 一彰, 松浦 豊, 野口 敬太, 野上 玄器, 折茂 慎一, 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, 電気化学会第87回大会, 名古屋, 2020年3月17日-2020年3月19日

## 【国際会議】

1. Tetsu Ichitsubo, Future battery systems using multivalent-ion carrier towards safety and high-energy density storage, 第20回 KIM-JIM シンポジウム, Okayama, Japan, 20190911
2. Tetsu Ichitsubo, Fast, beta relaxations and related structures in bulk metallic glasses, The 14th International Conference on the Structure of Non-Crystalline Materials, Kobe, Japan, 20191108
3. Hitoshi Miyasaka, Porous Magnets for Gas Sensing, 4th BORDEAUX Olivier Kahn Discussions (4th BOOK-D), Bordeaux, France, 20190625
4. Hitoshi Miyasaka, Porous Molecular Magnets with Dynamic Spins, International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Yangon 2019, Yangon, Myanmar, 20190806
5. Hitoshi Miyasaka, Porous Magnets based on Dynamic Spins, 7th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC7), Kuala Lumpur, Malaysia, 20191015
6. Hitoshi Miyasaka, Electron-Donor and Acceptor Assemblies for Bulk Functional Materials and Surface Modifications, MOF-films Japan-Germany Bilateral Symposium, Sapporo, Japan, 20191023
7. Hitoshi Miyasaka, Phase Switchable Porous Magnets, Nature Conference on Physical Properties of Metal-Organic Frameworks, Tianjin, China, 20191119
8. Hitoshi Miyasaka, Electronic State Modulation in M-Tetraoxolene Honeycomb Compounds, 3rd Modern Trend of Molecular Magnetism (MTMM2019), Bhopal, India, 20191128
9. Hitoshi Miyasaka, Phase Switchable Porous Magnets, Spin in Molecules (SiM): Theory and Applications, Bangalore, India, 20191202
10. Hitoshi Miyasaka, Phase Switchable Porous Magnets, 2019 中日二国間配位化学交流会, Dalian, China, 20191216
11. Hitoshi Miyasaka, Charge-Transfer Control in Molecular Frameworks Toward the Design of Switchable Materials, Symposium on Materials Chemistry for Sustainable Energy in Chuo University, Tokyo, Japan, 20200306
12. S. Orimo, Complex hydrides for energy device research, 5th Japan-Korea Joint Symposium on Hydrogen in Materials, Tokyo, 20191106-20191108
13. S. Orimo, Complex hydrides for energy device research, Materials Research Meeting 2019, Yokohama, 20191210-20191214
14. S. Orimo, Hydrogenomics: Creation of innovative materials, devices, and reaction processes using higher-order hydrogen functions, 1st International Symposium "Hydrogenomics" Combined with 14th International Symposium Hydrogen & Energy, Sapporo, 20200105-20200110
15. Shigeyuki Takagi, Shin-ichi Orimo, Hydride Complexes with High Hydrogen Coordination and Their Novel Functionalities, Materials Research Meeting 2019, Yokohama, Japan, 20191213



## 2-3. 光エネルギー材料研究部

構成員 教 授：藤原 航三  
准 教 授：木口 賢紀（兼）、岡本 範彦（兼）（2020年2月より）  
助 教：前田 健作（兼）

### 【2019(令和元)年度の成果概要】

#### 1. Si の融液成長メカニズムの基礎研究

結晶粒界は多結晶材料特有の結晶欠陥であり、材料の機能や特性に大きく影響を及ぼす。太陽電池用の Si 多結晶においても、近年、一方向凝固過程に粒界密度や粒界性格を積極的に制御することによりインゴットの高品質化を実現しようとする試みが活発に行われている。したがって、融液からの一方向凝固過程において、結晶粒界が固液界面における組織形成や結晶成長挙動にどのような影響を及ぼすかを基礎的に理解することは、Si 多結晶の成長技術開発において重要である。

図1は、 $\Sigma 3$  双晶粒界を複数含んだ Si 結晶の一方向成長過程において、平坦な固液界面に揺らぎが発生し界面不安定化を起こす様子を観察した結果である。右側の写真からわかるように、固液界面において双晶粒界の位置から揺らぎが発生している。同様の現象が小角粒界においても観察された。また、界面不安定化が起こる臨界成長速度  $V_c$  は単結晶の場合に比べて小さい成長速度で起こり、さらに  $V_c$  は粒界の種類によって異なることが明らかとなった。これは、固液界面における熱伝導率が粒界の種類によって異なるため、固液界面における温度場が粒界位置で局所的に変化することに起因することを明らかにした。



図1. 双晶粒界を含んだ Si の固液界面不安定化の様子。

さらに、固液界面において  $\Sigma 9$  粒界が  $\{111\}$   $\Sigma 3$  双晶粒界と  $\{112\}$   $\Sigma 3$  粒界に分裂する現象、小角粒界の発展方向の決定メカニズムなど、固液界面における粒界の挙動を明らかにした。

#### 2. 化合物半導体 CdTe 結晶の高品質化成長技術開発

X線透視画像検査は、医療診断に欠かせないものであると共に、産業分野では製品検査、運輸ではセキュリティなど、品質と安全を支える重要インフラである。しかしながら、現在、X線透視画像の解像度を向上して内視鏡の視認性を向上すること、ならびに、照射線量を低減することが、医療現場における喫緊の課題となっている。そこで、本研究では、本学歯学研究科および静岡大学との共同研究により、優れた X線受線感度を有する化合物半導体 CdTe の高品質バルク結晶作製技術の開発に着手した。

(株)第一機電の結晶成長炉を用いて CdTe の結晶成長実験を行った。ブリッジマン法をベースとして、従来の CdTe 結晶の成長法とは異なる結晶成長法により実験を行った。図2は、本研究で得られた初期の CdTe 結晶と最新の CdTe 結晶を示している。石英ルツボと CdTe の固着を避けるため、炉内雰囲気制御を制御した。最終目的である実用化を考え

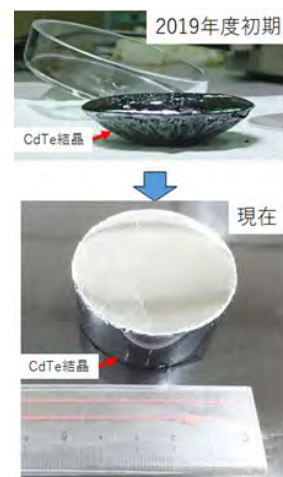


図2. CdTe バルク多結晶。

た場合、結晶のサイズは少なくとも直径 30mm $\Phi$ の結晶が必要であることから、結晶成長実験においても実験毎に結晶のサイズを大きくして研究を遂行した。現在は、図 2 下の写真に示すように直径 50mm $\Phi$ の CdTe 結晶が得られるようになった。本手法で得られる CdTe 結晶は、不純物汚染が低減されているため表面が鏡のように輝いている。しかしながら、本結晶は多結晶であるため、今後単結晶化を目指して研究を継続していく。本研究は、高橋産業経済研究財団の支援により遂行された。

#### 【今後の計画】

- Si の融液成長メカニズムに関する研究：固液界面現象に及ぼす結晶粒界の影響について、学術的理解の深化を図る。
- 太陽電池用 Si バルク多結晶の成長技術開発：ルツボとの反応を極力低減させる結晶成長技術を開発する。この技術をベースとして、多結晶組織が制御された高品質 Si バルク多結晶を実現する。
- 化合物半導体 CdTe 単結晶の成長技術開発：X線透視画像装置への応用を目指し、高品質な CdTe 単結晶の成長技術の開発を行い、最終的には実用化に資する結晶を実現する。

#### 【論文リスト】

1. L. C. Chuang, K. Maeda, H. Morito, K. Shiga, W. Miller, K. Fujiwara, Effect of misorientation angle of grain boundary on the interaction with  $\Sigma 3$  boundary at crystal/melt interface of multicrystalline silicon, *Materialia*, 7, 100357 (2019)
2. L. C. Chuang, T. Kiguchi, Y. Kodama, K. Maeda, K. Shiga, H. Morito, K. Fujiwara, Influence of interfacial structure on propagating direction of small-angle grain boundaries during directional solidification of multicrystalline silicon, *Scripta Materialia*, 172, 105-109 (2019)
3. T. Shiraishi, S. Choi, T. Kiguchi, T. Shimizu, H. Funakubo, and T. J. Konno, Formation of the orthorhombic phase in CeO<sub>2</sub>-HfO<sub>2</sub> solid solution epitaxial thin films and their ferroelectric properties, *Appl. Phys. Lett.*, 114, 232902-1-5 (2019)
4. D. Sidharth, A. S. Alagar Nedunchezian, R. Rajkumar, N. Yalini Devi, P. Rajasekaran, M. Arivanandhan, K. Fujiwara, G. Anbalagan, R. Jayavel, Effect of Te substitution on the enhancement of thermoelectric power factor of nanostructured SnSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub>, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21, 15725-15733 (2019)
5. L. C. Chuang, K. Maeda, K. Shiga, H. Morito, K. Fujiwara, A {112}  $\Sigma 3$  grain boundary generated from the decomposition of a  $\Sigma 9$  grain boundary in multicrystalline silicon during directional solidification, *Scripta Materialia*, 167, 46-50 (2019)
6. K. Shiga, M. Kawano, K. Maeda, H. Morito, K. Fujiwara, The *in situ* observation of faceted dendrite growth during the directional solidification of GaSb, *Scripta Materialia*, 168, 56-60 (2019)
7. Mukannan Arivanandhan, Genki Takakura, D. Sidharth, Maeda Kensaku, Keiji Shiga, Haruhiko Morito, Kozo Fujiwara, Crystallization and re-melting of Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> alloy semiconductor during rapid cooling, *Journal of Alloys and Compounds*, 798, 493-499 (2019)

8. K. K. Hu, K. Maeda, K. Shiga, H. Morito, K. Fujiwara, The effect of grain boundaries on instability at the crystal/melt interface during the unidirectional growth of Si, *Materialia*, 7, 100386 (2019)
9. Takanori Kiguchi, Yumiko Kodama, Takumi Shimizu, Takahisa Shiraishi, Naoki Wakiya, Toyohiko J. Konno, Interface Structure of Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>/MgO(001) Epitaxial Thin Film in Early Stage of Stranski-Krastanov Growth Mode, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 58, SLLA08-1-10 (2019)
10. Akinori Tateyama, Yoshiharu Ito, Yoshiko Nakamura, Takao Shimizu, Yuichiro Orino, Minoru Kurosawa, Hiroshi Uchida, Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi, Toyohiko J. Konno, Nobuhiro Kumada, and Hiroshi Funabuo, Effects of starting materials on the deposition behavior of hydrothermally synthesized {100}c-oriented epitaxial (K,Na)NbO<sub>3</sub> thick films and their ferroelectric and piezoelectric properties, *Journal of Crystal Growth*, 511, 1-7(2019)
11. Takanori Mimura, Takao Shimizu, Takanori Kiguchi, Akihiro Akama, Toyohiko J. Konno, Yoshio Katsuya, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo, Effects of heat treatment and in situ high-temperature X-ray diffraction study on the formation of ferroelectric epitaxial Y-doped HfO<sub>2</sub> film, *Japanese Journal of Applied Physics*, 58, SBBB09-1-5 (2019)
12. 木口 賢紀, 範 滄宇, 白石 貴久, 今野 豊彦, ミスフィット転位に誘起された PMN-PT/STO 界面変調構造, *まてりあ*, 58, 2, 97(2019)
13. 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 水熱合成(K,Na)NbO<sub>3</sub> 厚膜の組織観察, *まてりあ*, 58, 2, 84 (2019)
14. Yusuke Shimada, Kenta Yoshida, Koji Inoue, Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi, Yasuyoshi Nagai, and Toyohiko J. Konno, Evaluation of spatial and temporal resolution on in situ annealing aberration-corrected transmission electron microscopy with proportional-integral-differential controller, *Microscopy*, 1-8 (2019)
15. 木口 賢紀, 金属素描 No.2 ジルコニウム (Zirconium), *まてりあ*, 58, 3, 135(2019)
16. In-Tae Bae, Shintaro Yasui, Tomohiro Ichinose, Mitsuru Itoh, Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi, Hiroshi Naganuma, Short range biaxial strain relief mechanism within epitaxially grown BiFeO<sub>3</sub>, *Science Report*, 9, 1758644-1758917 (2019)
17. Takahisa SHIRAIISHI, Yuta MUTO, Yoshiharu ITO, Akinori TATEYAMA, Hiroshi UCHIDA, Takanori KIGUCHI, Minoru K. KUROSAWA, Hiroshi FUNAKUBO, Toyohiko. J. KONNO, Low-temperature deposition of Li substituted (K,Na)NbO<sub>3</sub> films by a hydrothermal method and their structural and ferroelectric properties, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 127, 6, 388-393 (2019)
18. Yoshiharu ITO, Akinori TATEYAMA, Yoshiko NAKAMURA, Takao SHIMIZU, Minoru KUROSAWA, Hiroshi UCHIDA, Takahisa SHIRAIISHI, Takanori KIGUCHI, Toyohiko J. KONNO, Mutsuo ISHIKAWA, Hiroshi. FUNAKUBO, Deposition of orientation-controlled thick (K,Na)NbO<sub>3</sub> films on metal substrates by repeated hydrothermal deposition technique, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 127, 7, 478-484 (2019)
19. 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 舟窪 浩, (K,Na)NbO<sub>3</sub> 基圧電体の水熱製膜, *セラミックス*, 54, 540-543 (2019)
20. Yoshiharu Ito, Akinori Tateyama, Yoshiko Nakamura, Takao Shimizu, Minoru Kurosawa, Hiroshi Uchida, Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi, Toyohiko J. Konno, Mutsuo Ishikawa, Hiroshi Funakubo, Growth of epitaxial (K,Na)NbO<sub>3</sub> films with various orientations by hydrothermal method and their properties, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 58, SLLB14-1-8 (2019)

21. Tomoya Sato, Takanori Kiguchi, Toyohiko J. Konno, Jun-ichi Kimura, Daichi Ichinose, Takanori Mimura, Hiroshi Funakubo, Kiyoshi Uchiyama, Growths of (110)-one-axis-oriented perovskite-type oxide thin films with local epitaxy on (111)SrTiO<sub>3</sub> single crystal substrates, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 58, SLLB01-1-5 (2019)
22. Yuta Muto, Takahisa Shiraishi, Yoshiharu Ito, Akinori Tateyama, Hiroshi Uchida, Takanori Kiguchi Hiroshi Funakubo, and Toyohiko J. Konno, Effect of Ta-substitution on the deposition of (K,Na)(Nb,Ta)O<sub>3</sub> films by hydrothermal method, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 58, SLLB12-1-5 (2019)
23. 仙石 晃大, 竹林 浩史, 岡本 範彦, 乾 晴行, ホットスタンプ GA の焼戻しによるめっき構造の変化および耐食性に及ぼす影響, 鉄と鋼, 105, 8, 819-826 (2019)
24. Norihiko L Okamoto, Masaya Higashi, Haruyuki Inui, Crystal structure of  $\eta''$ -Fe<sub>3</sub>Al<sub>7+x</sub> determined by single-crystal synchrotron X-ray diffraction combined with scanning transmission electron microscopy, *Science and technology of advanced materials*, 20, 1, 543-556 (2019)

#### 【国内会議】

1. 清水 匠, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, PZT 薄膜の 2 相共存組織に及ぼす弾性場の影響, 第 137 回東北大学金属材料研究所講演会, 仙台, 2019 年 5 月 29 日
2. 伊東 良晴, 館山明紀, 中村 美子, 清水 荘雄, 黒澤 実, 舟窪 浩, 内田 寛, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 熊田 伸弘, 水熱合成法を用いた(K,Na)NbO<sub>3</sub>膜の原料の高効率化, 第 36 回強誘電体応用会議 (FMA36), 2019 年 5 月 30 日
3. 濱寄 容丞, 安井 伸太郎, 白石 貴久, 赤間 章裕, 木口 賢紀, 谷山 智康, 伊藤 満, マルチフェロイック h-ScFeO<sub>3</sub> の作製と強誘電性, 第 36 回強誘電体応用会議 (FMA36), 2019 年 5 月 30 日
4. 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦, PZT エピタキシャル薄膜の組成相境界近傍の微細構造, 第 36 回強誘電体応用会議 (FMA36), 2019 年 5 月 31 日
5. 白石 貴久, Choi Sujin, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 強誘電体 HfO<sub>2</sub> 基薄膜の結晶相形成に与える熱処理温度の影響, 日本顕微鏡学会第 75 回学術講演会, 名古屋, 2019 年 6 月 17 日
6. 木口 賢紀, 白石 貴久, 三村 和仙, 清水 荘雄, 舟窪 浩, 今野 豊彦, STEM-EELS 法による HfO<sub>2</sub> 薄膜の結晶相・配向性の評価, 日本顕微鏡学会第 75 回学術講演会, 名古屋, 2019 年 6 月 17 日
7. 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦, PbTiO<sub>3</sub> 薄膜の界面急峻性に及ぼす導電性 SrTiO<sub>3</sub> 基板の影響, 日本顕微鏡学会 第 75 回学術講演会, 名古屋, 2019 年 6 月 17 日
8. 鈴木 志歩, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, <sub>(1-x)</sub>NaNbO<sub>3-x</sub>CaZrO<sub>3</sub> 薄膜の作製と構造評価, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 19 日
9. In-Tae Bae, 安井 伸太郎, 一ノ瀬 智浩, 伊藤 満, 白石 貴久, 木口 賢紀, 永沼 博, Short range biaxial strain relief mechanism within epitaxially grown BiFeO<sub>3</sub>, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 19 日
10. 濱寄 容丞, 安井 伸太郎, 白石 貴久, 赤間 章裕, 木口 賢紀, 谷山 智康, 伊藤 満, ヘテロエピタキシャル YMnO<sub>3</sub> 型 ScFeO<sub>3</sub> 薄膜の界面構造, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 20 日
11. 井上 英久, 清水 荘雄, 木口 賢紀, 白石 貴久, 舟窪 浩, 組成相境界近傍組成の PZT 膜の電界による構造変化と圧電性の評価, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 21 日

12. 田代 裕貴, 三村 和仙, 清水 莊雄, 勝矢 良雄, 坂田 修身, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, 舟窪 浩, HfO<sub>2</sub>基薄膜の電界誘起相転移, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 21 日
13. 白石 貴久, 館山 明紀, 伊東 良晴, 木口 賢紀, 内田 寛, 舟窪 浩, 今野 豊彦, (K, Na)(Nb, Ta)O<sub>3</sub> 厚膜の結晶構造および電気特性の調査, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 21 日
14. 清水 匠, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, PZT 薄膜における組成相境界近傍のドメイン構造に及ぼす弾性場の影響, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 21 日
15. 木口 賢紀, 清水 匠, 栗飯原 雅矢, 白石 貴久, 今野 豊彦, 電子エネルギー損失分光法による PZT 薄膜の結合状態の分析, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 21 日
16. 清水 匠, 栗飯原 雅矢, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, PZT 薄膜の MPB 組成域における微細組織に及ぼす格子ミスマッチの影響, 日本セラミックス協会第 39 回電子材料研究討論会, 名古屋, 2019 年 11 月 28 日
17. 鈴木 志歩, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 化学溶液堆積法を用いた (Na, Ca)(Nb, Zr)O<sub>3</sub> エピタキシャル薄膜の作製, 日本セラミックス協会第 39 回電子材料研究討論会, 名古屋, 2019 年 11 月 28 日
18. 鈴木 志歩, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 化学溶液堆積法を用いた NaNbO<sub>3</sub>-CaZrO<sub>3</sub> 膜の作製と組織観察, 2019 年度東北大学金属材料研究所共同利用・共同研究ワークショップ強誘電体関連物質の機能発現に関する構造科学の新展開, 仙台, 2019 年 12 月 16 日
19. 清水 匠, 栗飯原 雅矢, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, PZT 薄膜の MPB 組成域における微細組織に及ぼすミスフィット転位の影響, 2019 年度東北大学金属材料研究所共同利用・共同研究ワークショップ強誘電体関連物質の機能発現に関する構造科学の新展開, 仙台, 2019 年 12 月 16 日
20. 田代 裕貴, 三村 和仙, 清水 莊雄, 勝矢 良雄, 坂田 修身, 木口 賢紀, 白石 貴久, 今野 豊彦, 舟窪 浩, HfO<sub>2</sub>基薄膜の Zr, Y ドープによる結晶相変化と強誘電相の安定性, 日本セラミックス協会基礎科学部会 第 58 回セラミックス基礎科学討論会, 名古屋, 2020 年 1 月 10 日
21. 木口 賢紀, 兒玉 裕美子, 白石 貴久, 今野 豊彦, 谷川 智之, ワイドギャップ材料における貫通転位と量子井戸構造の解析, 大阪大学ナノテクノロジー設備共用拠点微細構造解析プラットフォーム 2019 年度第 2 回地域セミナー, 豊中, 2020 年 1 月 16 日
22. 白石 貴久, 鈴木 志歩, 木口 賢紀, 今野 豊彦, CSD 法による  $x\text{CaZrO}_3-(1-x)\text{NaNbO}_3$  薄膜の作製と特性評価, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2020 年 3 月 13 日
23. 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦, MPB 組成における PZT 薄膜の組織と結合状態に及ぼす基板種の影響, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2020 年 3 月 15 日
24. 大倉 雅貴, 伊東 良晴, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 舟窪 浩, 内田 寛, マイクロ波加熱式水熱合成プロセスによる (K, Na)NbO<sub>3</sub> 厚膜の堆積, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2020 年 3 月 15 日
25. In-Tae Bae, 安井 伸太郎, 一ノ瀬 智浩, 伊藤 満, 白石 貴久, 木口 賢紀, 永沼 博, (La<sub>0.3</sub>Sr<sub>0.7</sub>)(Al<sub>0.65</sub>Ta<sub>0.35</sub>)O<sub>3</sub> 基板上にエピタキシャル成長させた BiFeO<sub>3</sub> 膜の成長機構と強誘電体ドメイン構造, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2020 年 3 月 15 日
26. 佐野 真太郎, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 水熱合成法を用いた (K, Na)(Nb, Ta)O<sub>3</sub> 粉末の合成, 日本セラミックス協会 2020 年年会, 東京, 2020 年 3 月 18 日
27. 木口 賢紀, 清水 匠, 白石 貴久, 今野 豊彦, 基板種に依存した PZT 薄膜の MPB 組織の変化, 日本セラミックス協会 2020 年年会, 東京, 2020 年 3 月 19 日

28. 内田 寛, 大久保 定晃, 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, 伊東 良晴, 舟窪 浩, 水熱合成由来ニオブ酸カリウム-ナトリウム材料における不純物の分析, 日本セラミックス協会 2020 年年会, 東京, 2020 年 3 月 19 日
29. 木口 賢紀, 兒玉 裕美子, 谷川 智之, 白石 貴久, 今野 豊彦, N 極性 InGaN 量子井戸構造と貫通転位の弾性相互作用, 日本セラミックス協会 2020 年年会, 東京, 2020 年 3 月 20 日
30. 白石 貴久, 木口 賢紀, 今野 豊彦, アモルファス HfO<sub>2</sub> 基薄膜における直方晶相形成過程の調査, 日本セラミックス協会 2020 年年会, 東京, 2020 年 3 月 20 日
31. 岡本 範彦, 高エントロピー合金の室温構造緩和, 粉体粉末冶金協会第 123 回講演大会, 東京, 2019 年 6 月 6 日
32. 渡辺 宏眸, Martin Luckabauer, 岡本 範彦, 山本 篤史郎, 林 好一, 加藤 秀実, 市坪 哲, 高エントロピー合金の室温構造緩和, 日本金属学会 2019 年秋期講演大会(165 回), 岡山, 2019 年 9 月 11 日
33. 岡本 範彦, 無拡散等温  $\omega$  変態に伴う  $\beta$  型 Ti 合金の微細組織および硬度変化, 日本金属学会 2019 年秋期講演大会(第 165 回), 岡山, 2019 年 9 月 12 日
34. 岡本 範彦, 高エントロピー合金の特異な室温時効, 日本材料学会第 5 回材料 WEEK, 京都, 2019 年 10 月 16 日

#### 【国際会議】

1. Kozo Fujiwara, In Situ Observation of Melt Growth Processes of Silicon, 2019 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit, Boston, US, 20191201-20191206
2. A. Tateyama, Y. Ito, Y. Nakamura, T. Shimizu, Y. Orino, M. Kurosawa, H. Uchida, T. Shiraishi, T. Kiguchi, T. J. Konno, N. Kumada, T. Yoshimura, and H. Funakubo, Characterization of piezoelectric coefficient  $e_{31}$ , for {100}-oriented (K, Na)NbO<sub>3</sub> films prepared by hydrothermal method, F2CP2 2019 Joint Conference, Lausanne, Switzerland, 20190718
3. T. Kiguchi, T. Shiraishi, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo, and T. J. Konno, Nanostructure Analyses of Hafnia-Based Ferroelectric Thin Films by Aberration-Corrected Electron Microscopy, The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10), Xi'an, China, 20190820
4. Yosuke Hamasaki, Shintaro Yasui, Takahisa Shiraishi, Akihiro Akama, Takanori Kiguchi, Tomoyasu Taniyama, Mitsuru Ito, Interface structure in multiferroic YMnO<sub>3</sub>-type ScFeO<sub>3</sub> film on perovskite electrode, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Ginowan, Japan, 20191028
5. Masaki Okura, Takahisa Shiraishi, Yoshiharu Ito, Takanori Kiguchi, Minoru Kurosawa, Toyohiko J Konno, Hiroshi Funakubo, Hiroshi Uchida, Low-temperature deposition of potassium niobate films by microwave-assisted hydrothermal process, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Ginowan, Japan, 20191028
6. Keisuke Takashima, Naonori Sakamoto, Takanori Kiguchi, Takahiko Kawaguchi, Kazuo Shinozaki, Hisao Suzuki, Naoki Wakiya, Spontaneous Phase Separation in Composite Thin Films of Strontium Titanate and Ferrites by Dynamic Aurora PLD, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Ginowan, Japan, 20191028
7. Takahisa Shiraishi, Yoshiharu Ito, Akinori Tateyama, Takanori Kiguchi, Hiroshi Uchida, Hiroshi Funakubo, Toyohiko J Konno, Hydrothermal deposition of



- epitaxial (K,Na,Li)(Nb,Ta)O<sub>3</sub> films, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Ginowan, Japan, 20191028
8. Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Takanori Mimura, Takao Shimizu, Hiroshi Funakubo, Toyohiko J. Konno, Nanodomain Structure of Ferroelectric HfO<sub>2</sub>-Based Epitaxial Thin Films, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Okinawa, 20191028
  9. Takumi Shimizu, Takanori Kiguchi, Takahisa Shiraishi, Toyohiko J Konno, Effect of elastic field on domain structure of PZT thin films in MPB composition, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), Ginowan, Japan, 20191030
  10. Yosuke Hamasaki, Shintaro Yasui, Takahisa Shiraishi, Akihiro Akama, Takanori Kiguchi, Tomoyasu Taniyama, Mitsuru Itoh, Invstrigation of Interface Structure in Multiferroic h-ScFeO<sub>3</sub> Film, MRS 2019 Fall Meeting, Boston, US, 20191202
  11. Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi and Toyohiko J. Konno, In Situ and Ex situ Studies on the Formation of Orthorhombic Phase in HfO<sub>2</sub>-Based Thin Films, MRS 2019 Fall Meeting, Boston, US, 20191205
  12. Takanori Kiguchi, Takumi Shimizu, Takahisa Shiraishi, and Toyohiko J. Konno, Structure and Electronic State of Misfit Strain Induced Morphotropic Phase Boundary Shift in Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Epitaxial Thin Films on Various Substrate, MRS 2019 Fall Meeting, Boston, US, 20191205
  13. S. Ohno, H. Hirukawa, R. Yoshida, T. Yamaguchi, T. Kiguchi, H. Hashimoto, T. Onuma, and T. Honda, Microstructural analysis using TEM in GaInN film grown by RF-MBE, The 18th International Symposium on Advanced Technology (ISAT18), Taina, Taiwan, 20191213
  14. Norihiko L. Okamoto, Softening by Room Temperature Aging in High Entropy Alloys, Materials Research Society Fall Meeting, Boston, US, 20191205
  15. K. Fujiwara, S. Uda, TWIN BOUNDARY FORMATION DEPENDING ON CRYSTAL/LIQUID INTERFACE MORPHOLOGY IN LITHIUM TETRABORATE, The 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy, Keystone, 20190728-20190802

## 2-4. 材料プロセス・社会実装研究部

**構成員** 教 授：加藤 秀実（兼）， 特任教授：河野 龍興  
准 教 授：Rodion Vladimirovich Belosludov  
学術研究員：江口 和輝

### 【2019(令和元)年度の成果概要】

#### 1. ハイエントロピー合金ナノポーラス体の開発 （加藤教授）

ナノポーラス金属は蓄電デバイス電極や触媒としての応用が期待される材料でありその大表面積化が求められている。本研究では独自技術である金属溶湯脱成分（LMD）を利用してハイエントロピー合金（HEA）のナノポーラス化に取り組んだ。LMDの反応設計指針に従って、 $(\text{Ti}_{0.2}\text{V}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Mo}_{0.2}\text{Ta}_{0.2})_{25}\text{Ni}_{75}$  (at. %) を前駆合金に用い、これを Mg-Ca 合金液体 (600°C) に浸漬することで前駆合金から Ni 元素を選択的に溶出し、残存する Ti、V、Nb、Mo、Ta 原子がポーラス構造を自己組織化した。この後、硝酸水溶液に浸漬して金属浴成分を取り除くことにより、ナノポーラス体を抽出した。このナノポーラス体は BCC 構造を有し、リガメントは Ti、V、Nb、Mo、Ta が均等に分布した固溶体であることが確認され、Ti-V-Nb-Mo-Ta ハイエントロピー合金のナノポーラス化に成功した。このナノポーラス HEA は約 10 nm のリガメントサイズおよび、約 7 nm 超微細孔分布を有し、比表面積は 55.7 m<sup>2</sup>/g にも達しておりナノポーラス金属としては極めて大きな値を有していることが明らかとなった。今回得られたナノポーラス HEA は LMD で作製された他の金属（単成分や単純合金）に比較して同一の換算 LMD 温度においてリガメントサイズが約 1 桁小さいことが分かり、ハイエントロピー化によってリガメントの成長が抑制されたものと考えられる。

#### 2. 次世代型防災・災害対応エネルギーマネジメントの開発 （河野特任教授）

太陽光発電と蓄電池を搭載した防災対応型太陽光発電システムにおいて、休暇時の未利用電力発生と満充電状態の長時間キープによる蓄電池の劣化が問題視されており、次世代型防災対応エネルギーマネジメントの研究開発と最適制御を仙台市と共同開発している。2019 年度には更に NTT ドコモとも連携して、電力使用量、蓄電量を見える化することにより、災害対応力を向上させる災害対応型エネルギーマネジメントの構築及び実証試験を開始しており、災害時における電力確保と平常時における CO<sub>2</sub>削減を評価している。

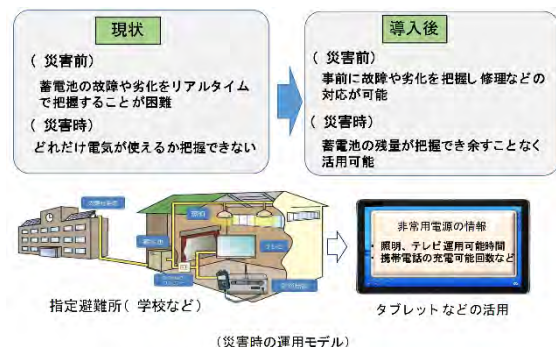


図 1. 災害対応型エネルギーマネジメントの構築

#### 3. 再生可能エネルギーを利用した水素エネルギーシステムの開発 （河野特任教授）

再生可能エネルギーを電源として、水素製造装置、水素貯蔵装置、蓄電池、燃料電池で構成する水素エネルギーシステムの研究開発を行っている。各装置での出力応答をモデル化し、運転状況を変数とした最適運転制御のシステム開発を行った。また気象変化による出力変化に対応する応答性を評価するため、気象センサーを設置して応答シミュレー

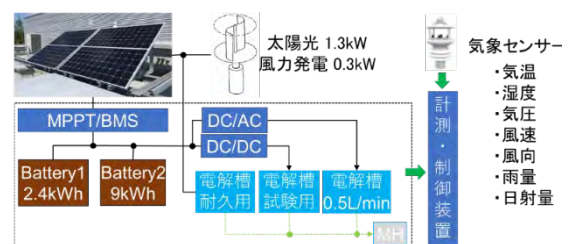


図 2. 水素エネルギーシステムの構築

ションを開発している。なお気象変化に対する電解槽応答の研究に関する部分は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合発機構 (NEDO) の助成事業の結果得られたものである。

#### 4. ナノポーラス材料の貯蔵分離物性関係の原子レベル解明 (Belosludov 准教授)

$Mn_3(Hpdc)_2(pdc)_2$  と  $Mg_3(Hpdc)_2(pdc)_2$  への  $CO_2$  吸着メカニズムを研究した。 $CO_2$  分子の導入によって MOF 複合体の電子構造が大きく変化することではなく、 $CO_2$  分子間の純粋な静電相互作用と見なすことができる。マンガンはより大きな役割を果たすため、吸着はより複雑な特性を示し、フレームワークとゲスト分子の両方の局所的な電荷分布に依存する。理論的モデリングにより、ゲスト-ゲスト相互作用が多孔質化合物のチャンネル内で安定した  $CO_2$  の特異な鎖錠構造形成に重要な役割を果たすことを明らかにした。実験の吸着等温線で観察された非常に顕著な段階は、 $Mn_3(Hpdc)_2(pdc)_2$  細孔内のゲストの低透過性に関連する鎖形成の遅延によって説明された。

最大 2.5 GPa の圧力と 200~330 K の温度範囲での水素-水システムの p-T 相図と組成を研究した。計算結果の平衡線は既知の実験データおよび理論データと良く一致する。82 MPa までの圧力領域は  $I_h$  相の安定範囲に対応する。この領域では、水素含有量は圧力の増加とともに徐々に増加する。2 番目の 82 - 472 MPa 領域は  $h_{II}$  水和物領域であり、この領域では水素含有量は氷  $I_h$  の水素含有量よりも高く、増大し続ける。 $h_{II}$  から  $C_1$  相への転移後 (472 MPa から 2 GPa へ)、水素含有量は最大 1.82 wt% まで大幅に低下する。圧力が約 2 GPa 程度になると、 $C_1$  相が  $C_2$  相に転移する。この構造はすでに水素で完全に飽和している。したがって、適度な圧力で  $h_{II}$  水和物が最も高い水素含有量を示すと結論される。

#### 【今後の計画】

- 開発したナノポーラス HEA が多種の弁金属元素を含む合金であることから、これを部材とする大容量電解コンデンサ、およびその超微小リガメントの高い形態安定性を利用した超長寿命触媒等への応用が期待される。今後はナノポーラス HEA の陽極酸化条件の最適化および適応触媒種の同定に取り組み、コンデンサや触媒への応用を行う。(加藤教授)
- 次世代型防災対応エネルギーマネジメントの開発では、今後の再生可能エネルギー利用による環境負荷低減に貢献すべく、更なる災害対応力向上と高効率化を実現できる取り組みを強化していく。また水素エネルギーシステムでは、再生可能エネルギーを最大限利用可能なシステムの構成と最適な制御手法の確立を開発していく。(河野特任教授)
- 各種 Si クラスレート構造の電子物性及び熱力学的特性を研究する。その内容には、ゲスト原子及び Si フレームワークへのドーピングによる電子物性変化、及び Si クラスレートの安定性算定が含まれる。実験グループとの共同研究として実施する予定である。HFC-245fa 及び HFO-1234ze (E) は低 GWP (Global Warming Potential=地球温暖化係数) 冷媒として魅力的であるため、これらクラスレートの原子構造、及びゲスト分布と温度圧力相図を研究する。実験グループとの共同研究として実施する予定である。二酸化炭素隔離可能性検討のため、 $CO_2$  ハイドレート融解の速度論的プロセスを研究する。平衡液相線温度以上からの冷却による Zr-Cu-Ni-Al 合金の構造変化の詳細算定のため、第一原理分子動力学シミュレーションを適用する。実験グループとの共同研究として実施する予定である。(Belosludov 准教授)

## 【論文リスト】

1. Joo SH, Bae JW, Park WY, Shimada Y, Wada T, Kim HS, Takeuchi A, Konno TJ, Kato H, Okulov IV, Beating Thermal Coarsening in Nanoporous Materials via High-Entropy Design., *Advanced materials* (Deerfield Beach, Fla.), e1906160 (2019)
2. R. V. Belosludov, A. I. Oreshkin, S. I. Oreshkin, D. A. Muzychenko, H. Kato, D. V. Louzguine-Luzgin, The atomic structure of a bulk metallic glass resolved by scanning tunneling microscopy and ab-initio molecular dynamics simulation, *Journal of Alloys and Compounds*, 816, 152680 (2020)
3. 河野龍興, 水素を利用する地産地消エネルギーシステム, *エネルギー・資源*, 41, 1, 28-29 (2020)
4. Wei Daixiu, Li Xiaoqing, Heng Weicheng, Koizumi Yuichiro, He Feng, Choi Won-Mi, Lee Byeong-Joo, Kim Hyoung Seop, Kato Hidemi, Chiba Akihiko, Novel Co-rich high entropy alloys with superior tensile properties, *MATERIALS RESEARCH LETTERS*, 7, 2, 82-88(2019)
5. Takeuchi Akira, Wada Takeshi, Kato Hidemi, High-Entropy Alloys with Hexagonal Close-Packed Structure in  $\text{Ir}_{26}\text{Mo}_{20}\text{Rh}_{22.5}\text{Ru}_{20}\text{W}_{11.5}$  and  $\text{Ir}_{25.5}\text{Mo}_{20}\text{Rh}_{20}\text{Ru}_{25}\text{W}_{9.5}$  Alloys Designed by Sandwich Strategy for the Valence Electron Concentration of Constituent Elements in the Periodic Chart, *MATERIALS TRANSACTIONS*, 60, 8, 1666-1673 (2019)
6. Takeuchi Akira, Wada Takeshi, Kato Hidemi, Solid Solutions with bcc, hcp, and fcc Structures Formed in a Composition Line in Multicomponent Ir-Rh-Ru-W-Mo System, *MATERIALS TRANSACTIONS*, 60, 11, 2267-2276 (2019)
7. Dudina Dina V, Korchagin Michail A., Gavrilov Alexander I, Bulina Natalia V, Batraev Igor S., Esikov Maksim A., Georgarakis Konstantinos, Kato Hidemi, Formation of TiC-Cu nanocomposites by a reaction between  $\text{Ti}_{25}\text{Cu}_{75}$  melt-spun alloy and carbon, *MATERIALS LETTERS*, 235, 104-106 (2019)
8. Morgane Mokhtari, Takeshi Wada, Christophe Le Boulrot, Nicolas Mary, Jannick Duchet-Rumeau, Hidemi Kato, Eric Maire, Low cost high specific surface architected nanoporous metal with corrosion resistance produced by liquid metal dealloying from commercial nickel superalloy, *Scripta Materialia*, 163, 5-8 (2019)
9. I. V. Okulov, I. V. Okulov, P. A. Geslin, P. A. Geslin, I. V. Soldatov, I. V. Soldatov, H. Ovri, S. H. Joo, H. Kato, Anomalously low modulus of the interpenetrating-phase composite of Fe and Mg obtained by liquid metal dealloying, *Scripta Materialia*, 163, 133-136 (2019)
10. Vladislav Zadorozhnyy, Alexey Kopylov, Mikhail Gorshenkov, Elena Shabanova, Mikhail Zadorozhnyy, Alexander Novikov, Aleksey Maksimkin, Takeshi Wada, Dmitri V. Louzguine-Luzgin, Hidemi Kato, Structure and mechanical properties of Ti-Based alloys containing Ag subjected to a thermomechanical treatment, *Journal of Alloys and Compounds*, 781, 1182-1188 (2019)
11. Wei Daixiu, Li Xiaoqing, Jiang Jing, Heng Weicheng, Koizumi Yuichiro, Choi Won-Mi, Lee Byeong-Joo, Kim Hyoung Seop, Kato Hidemi, Chiba Akihiko, Novel Co-rich high performance twinning-induced plasticity (TWIP) and transformation-induced plasticity (TRIP) high-entropy alloys, *SCRIPTA MATERIALIA*, 165, 39-43 (2019)
12. Dudina Dina V., Vidyuk Tomila M., Korchagin Michail A., Gavrilov Alexander I., Bulina Natalia V., Esikov Maksim A., Datekyu Masanari, Kato Hidemi, Interaction

- of a Ti-Cu Alloy with Carbon: Synthesis of Composites and Model Experiments, *MATERIALS*, 12, 9, (2019)
13. J. C. Qiao, Q. Wang, J. M. Pelletier, H. Kato, R. Casalini, D. Crespo, E. Pineda, Y. Yao, Y. Yang, Structural heterogeneities and mechanical behavior of amorphous alloys, *Progress in Materials Science*, 104, 250-329 (2019)
  14. Liang Xiaoyu, Sharma Parmanand, Zhang Yan, Makino Akihiro, Kato Hidemi, Nano-imprinting potential of magnetic FeCo-based metallic glass, *NANOTECHNOLOGY*, 30, 30, 305302 (2019)
  15. Kuchumova Ivanna D., Batraev Igor S., Ulianitsky Vladimir Yu, Shtertser Alexandr A., Gerasimov Konstantin B., Ukhina Arina V, Bulina Natalia V, Bataev Ivan A., Koga Guilherme Yuuki, Guo Yaofeng, Botta Walter Jose, Kato Hidemi, Wada Takeshi, Bokhonov Boris B., Dudina Dina V, Jorge Jr Alberto Moreira, Formation of Metallic Glass Coatings by Detonation Spraying of a  $\text{Fe}_{66}\text{Cr}_{10}\text{Nb}_5\text{B}_{19}$  Powder, *METALS*, 9, 8 (2019)
  16. Daixiu Wei, Ainiwaer Anniyaer, Yuichiro Koizumi, Kenta Aoyagi, Makoto Nagasako, Hidemi Kato, Akihiko Chiba, On microstructural homogenization and mechanical properties optimization of biomedical Co-Cr-Mo alloy additively manufactured by using electron beam melting, *Additive Manufacturing*, 28, 215-227 (2019)
  17. Geslin Pierre-Antoine, Buchet Mickel, Wada Takeshi, Kato Hidemi, Phase-field investigation of the coarsening of porous structures by surface diffusion, *PHYSICAL REVIEW MATERIALS*, 3, 8 (2019)
  18. Hosokawa Shinya, Berar Jean-Francois, Boudet Nathalie, Pilgrim Wolf-Christian, Pusztai Laszlo, Hiroi Satoshi, Maruyama Kenji, Kohara Shinji, Kato Hidemi, Fischer Henry E., Zeidler Anita, Partial structure investigation of the traditional bulk metallic glass  $\text{Pd}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{20}$ , *PHYSICAL REVIEW B*, 100, 5 (2019)
  19. Takeshi Wada, Jing Jiang, Kunio Yubuta, Hidemi Kato, Akira Takeuchi, Septenary Zr-Hf-Ti-Al-Co-Ni-Cu high-entropy bulk metallic glasses with centimeter-scale glass-forming ability, *Materialia*, 7, (2019)
  20. Wei Daixiu, Koizumi Yuichiro, Nagasako Makoto, Kubota Yusuke, Aoyagi Tomoyuki, Nakagawa Yuki, Yoshino Masahiko, Chiba Akihiko, Kato Hidemi, Introducing dislocations locally in Al-supersaturated  $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$  single crystal via nanoscale wedge indentation, *INTERMETALLICS*, 113, (2019)
  21. Soo Hyun Joo, Takeshi Wada, Hidemi Kato, Development of porous FeCo by liquid metal dealloying: Evolution of porous morphology and effect of interaction between ligaments and melt, *Materials and Design*, 180, (2019)
  22. Daixiu Wei, Xiaoqing Li, Stephan Schönecker, Jing Jiang, Won Mi Choi, Byeong Joo Lee, Hyung Seop Kim, Akihiko Chiba, Hidemi Kato, Development of strong and ductile metastable face-centered cubic single-phase high-entropy alloys, *Acta Materialia*, 181, 318-330 (2019)
  23. S. A. Sapchenko, M. O. Barsukova, R. V. Belosludov, K. A. Kovalenko, D. G. Samsonenko, A. S. Poryvaev, A. M. Sheveleva, M. V. Fedin, A. S. Bogomyakov, D. N. Dybtsev, M. Schröder, and V. M. Fedin, Understanding hysteresis in carbon dioxide sorption in porous metal-organic frameworks., *Inorganic Chemistry*, 58, 10, 6811-6820(2019)
  24. R. K. Zhdanov, Yu. Y. Bozhko, V. R. Belosludov, O. S. Subbotin, K. V. Gets, R. V. Belosludov, Y. Kawazoe, Phase diagram and composition of water based crystalline phases in hydrogen Water binary system, *Solid State Communication*, 294, 6-10 (2019)

### 【国内会議】

1. 加藤 秀実, Three-dimensional bicontinuous nanoporous high-entropy alloy by liquid metal dealloying, 日本金属学会 2019 年秋期講演大会(第 165 回), 岡山, 2019 年 9 月 12 日
2. 河野 龍興, 水素に関する日本の研究開発プロジェクト, 日仏水素モビリティセミナー, 東京, 2019 年 6 月 24 日
3. 河野 龍興, 水素エネルギー, みやぎ県民大学「地球にやさしいエネルギーと環境・材料技術 -太陽電池・水素・超伝導・植物の品種改良-」, 仙台, 2019 年 8 月 27 日
4. 河野 龍興, 再生可能エネルギーを利用した次世代型エネルギーシステム, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 札幌, 2019 年 9 月 19 日
5. 河野 龍興, 再生可能エネルギー由来の水素利活用における国内外の動向について, 再生可能エネルギー活用セミナー in エコテクノ 2019, 北九州, 2019 年 10 月 11 日-2019 年 10 月 11 日
6. 河野 龍興, CO<sub>2</sub>削減に向けた水素エネルギー技術, 未来・水素エネルギーフォーラム in 富谷, 富谷, 2019 年 12 月 13 日
7. ベロスルドフ ロディオソフ, 川添 良幸, ポルフィリン系ナノ構造の理論設計, ナノ学会 2019 年(第 17 回)大会, 鹿児島, 2019 年 5 月 9 日

### 【国際会議】

1. Hidemi Kato, Nanoporous and Nanocomposite metals by Liquid Metal Dealloying, Joint Symposium SAKES (Sendai Albi Knowledge in Engineering Seminars), Toulouse, France, 20191024
2. Hidemi Kato, Liquid metal dealloying and its P/M application, International Symposium on Innovation in Materials Processing (ISIMP2019), Jeju, Korea, 20191106
3. R. V. Belosludov, O. S. Subbotin, R. K. Zhdanov, Yu. Yu. Bozhko, K. V. Gets, Y. Kawazoe and V. R. Belosludov, Thermodynamic description of storage ability of nanoporous materials: Lattice dynamics and first-principles methods, European Materials Research Society (E-MRS) Spring Meeting, Nice, France, 20190529
4. R. V. Belosludov, Structure-property relationship of nanoporous materials based on guest-host interaction, The 10th Conference of Asian Consortium for Computational Materials Science, Hong Kong SAR, China, 20190725
5. R. V. Belosludov, O. S. Subbotin, R. K. Zhdanov, Y. Y. Bozhko, K. V. Gets, Y. Kawazoe, V. R. Belosludov, Atomistic-level description of stability and composition of multi-component clathrate hydrates, 258th ACS National Meeting, San Diego, US, 20190827
6. BELOSLUDOV, Rodion Vladimirovich, Theoretical study of porphyrin-based MOF structure for storage, separation and drug delivery applications, 258th ACS National Meeting, San Diego, US, 20190828
7. R. V. Belosludov, Atomistic level description of functional materials, Hot topics in solid state chemistry: From new ideas to new materials (HTSSC 2019), Novosibirsk, Russia, 20191002
8. R. V. Belosludov, H. Morito, Theoretical study on Tandem Solar Cell Configuration based on different Si allotropes, MRS Fall Meeting, Boston, US, 20191202

9. R. V. Belosludov, Conceptual design of multi-functional nanomaterials based on porphyrin subunits, ACS Publications Symposium: Innovation in Materials Science and Technology, Singapore, 20191118-20191118
10. BELOSLUDOV Vladimirovich Rodion, Dynamic inhomogeneity of hydrogen bonding network in TIP4P/2005 Water, Satellite Event Glass Workshop, The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, Sendai, Japan, 20200209
11. R. V. Belosludov, K. V. Gets, R. K. Zhdanov, Yu. Yu. Bozhko and V. R. Belosludov, Thermodynamic of Multicomponent Gas Hydrate Systems: Theoretical Aspects, Natural Gas Hydrate Systems Gordon Research Conference, Galveston, US, 20200223



### 3. 令和元(2019)年度エネルギー材料 萌芽研究助成成果概要

### 3-1. 実施課題名：錯体水素化物電解液および高電位酸化物正極材料を用いた Mg 蓄電池

**構成員** 河口 智也（金属材料研究所構造制御機能材料学研究部門・助教）  
木須 一彰（東北大学材料科学高等研究所 デバイス・システム・助教）  
金 相侖（金属材料研究所水素機能材料工学研究部門・助教）

#### 1. 目的

本研究では錯体水素化物電解液と既存のハロゲンを含む電解液を用いて、マグネシウム蓄電池（MRB）酸化物正極の充放電特性を評価・比較し、電極並びに電解液の安定性を検討するとともに、MRB酸化物正極へのマグネシウム（Mg）挿入脱離機構の解明を目的とした。

MRBに関する研究は、2000年にMRBを提案したイスラエルのAurbachらを始めとして、国内外にいくつかのグループによって精力的に研究が行われている。一方、高電位を有するスピネル型正極材料および錯体水素化物に関する研究は、金属材料研究所の構造制御機能材料学研究部門（市坪研究室）と水素機能材料工学研究部門（折茂研究室）が先駆的に行っている。本研究で提案・検証する系は、これまでに例を見ないものであり、それらの材料群を組み合わせた評価試験はこれまで行われていない。

本研究を通じて正負極の反応を両立する電解液が確立されれば、MRB研究が加速するだけでなく、実用化に向けた大きな一歩を踏み出せる可能性がある。また、本電解液は固体電解質としての潜在性を有することから、本研究で得られる知見は、MRB研究の世界では類を見ない全固体型 Mg 蓄電池開発の糸口になる可能性がある。

#### 2. 主要成果の概要

- $(\text{Me}_3\text{N})(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$  および Mg 金属粉末を THF 溶媒中で反応させることで、目的の錯体水素化物の合成を行った。得られた粉末試料の  $1\text{H}$  および  $11\text{B}$  の NMR スペクトルが目的の錯体水素化物  $\text{Mg}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})_2$  の NMR 測定結果のスペクトルと一致したことから、合成が成功していることが確認された。
- 合成した錯体水素化物をトリグリムに溶解させ、コイン型試験電池を用いて Mg 金属の電析・溶解試験を実施した。コイン型試験電池では、リチウムイオン電池で使用されているものと同様のポリオレフィン製のセパレータを用いたが、電解液への溶解等は認められず、正常に試験が行えることが確認できた。また電析・溶解試験では、これまで Mg 金属の不動態化による大きな過電圧の発生が報告されていた TFSA 系電解液に対して、錯体水素化物電解液では過電圧の発生が顕著に抑制されており、本電解液では円滑な電析・溶解反応が進行することが明らかとなった。

#### 3. 成果公表状況

##### 【論文】

K. Kisu, S. Kim, M. Inukai, H. Oguchi, S. Takagi, and S. I. Orimo, ACS Appl. Energy Mater. 3, 3174 (2020).

## 4. 新聞発表等

## 4-1. プレスリリース

### 【スピンエネルギー材料研究部】

1. スピン流を高効率で輸送できる新たな材料を発見 スピントロニクス常識を覆す  
2019年10月21日  
[http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191017\\_03web\\_spin.pdf](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191017_03web_spin.pdf)
2. 異常ホール効果による磁化スイッチングに成功 スピントロニクス素子の従来技術とは一線を画す情報書込方法に道すじ  
2019年10月21日  
[http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191021\\_04web\\_hall.pdf](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191021_04web_hall.pdf)
3. 1兆分の1秒で起こる超高速な磁性の変化を元素別に解明 ～レーザー励起磁化反転の鍵～  
2019年11月18日  
[https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191122\\_01web\\_sonic.pdf](https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191122_01web_sonic.pdf)
4. ハーフメタルホイスラー合金におけるスピン変換を初観測 電流-スピン流変換効率の向上に道  
2019年11月18日  
[https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191212\\_01web\\_Metal.pdf](https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191212_01web_Metal.pdf)

### 【イオンエネルギー材料研究部】

1. チタン合金において凍結された組成ゆらぎが引き起こす新たな相転移を見出し、その機構を解明 ―新たな相転移機構を利用した生体および構造材料開発に期待―  
2019年 4月17日  
[https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190416\\_01web\\_chitan.pdf](https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190416_01web_chitan.pdf)
2. 相図の裏に隠されていた新しい鉄水素化物を発見  
2019年 8月30日  
<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1148.html>
3. キラルな層状ペロブスカイト型半導体で光起電力を発現 電位差界面を使わない光起電力 材料開発に指針  
2019年 9月19日  
[https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190919\\_01web\\_kiral.pdf](https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190919_01web_kiral.pdf)

### 【材料プロセス・社会実装研究部】

1. 仙台市、東北大学およびNTTドコモが 指定避難所の電力の効果的な活用に向けた共同実験協定を締結 ―電力使用量、蓄電量を見える化し、災害対応力向上をめざす―  
2019年 5月30日  
[https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190530\\_02web\\_bosai.pdf](https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20190530_02web_bosai.pdf)

2. 【世界初】ハイエントロピー合金のナノポーラス化に成功 金属に多機能性をもたらす  
2つの技術の複合効果を利用し、新しい材料分野を開拓  
2019年12月19日  
[http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191219\\_02web\\_HEA.pdf](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20191219_02web_HEA.pdf)

#### 4-2. 新聞等掲載状況

(2020年8月27日調べ)

##### 【スピンエネルギー材料研究部】

- |    |        |             |                     |
|----|--------|-------------|---------------------|
| 1. | 日刊産業新聞 | 2020年 3月18日 | 矢崎財団、矢崎学術賞に2氏       |
| 2. | 電線新聞   | 2020年 3月30日 | 矢崎財団学術賞に水口氏、坂本氏     |
| 3. | 科学新聞   | 2020年 4月 3日 | 矢崎科学技術振興記念財団「矢崎学術賞」 |

##### 【イオンエネルギー材料研究部】

- |    |                       |             |                                  |
|----|-----------------------|-------------|----------------------------------|
| 1. | メガソーラービジネス<br>(日経BP社) | 2019年 9月21日 | 東北大、ペロブスカイトで革新、太陽電池の<br>新材料に     |
| 2. | 電波新聞                  | 2020年 3月24日 | トーキン科学技術賞贈賞式 工業分野若手<br>研究者11人に栄誉 |
| 3. | 河北新報                  | 2020年 3月26日 | トーキン科学技術賞                        |

##### 【材料プロセス・社会実装研究部】

- |    |                                  |             |  |
|----|----------------------------------|-------------|--|
| 1. | 日本経済新聞<br>(地方経済/東北)              | 2019年 5月31日 | 小中の蓄電池 有効活用 仙台市・東北大・<br>ドコモ協定を締結                                 |
| 2. | 河北新報                             | 2019年 5月31日 | 避難所電力「見える化」災害対応力向上へ<br>仙台市、東北大、ドコモ協定 最適制御シ<br>ステム構築目標            |
| 3. | 読売新聞(宮城)                         | 2019年 6月 1日 | 蓄電池残量見える化 仙台市など3者実験  |
| 4. | 日経産業新聞                           | 2019年 6月 6日 | ドコモ、蓄電池有効活用で連携   |
| 5. | 夕刊デイリー                           | 2019年 8月29日 | 水素エネルギーの実現 専門家が講演  |
| 6. | 河北新報                             | 2019年12月14日 | 水素エネ普及 産学官議論 富谷でフォー<br>ラム開幕                                      |
| 7. | りらく                              | 2019年 9月号   | 水素エネルギーが時代を変える！  |
| 8. | TEAM防災ジャパン<br>内閣府政策統括官<br>(防災担当) | 2019年 6月 3日 | 【技術・仕組】避難所電力「見える化」災害対<br>応力向上へ 仙台市、東北大、ドコモ協定 最<br>適制御システム構築目標／宮城 |

## 5. 外部研究資金

## 5-1. 科学研究費補助金

### 【スピンエネルギー材料研究部】

BAUER, Gerrit E.-W. Magnon Chemistry	基盤研究 (A)	期間：201904-202303	代表者
高梨 弘毅 金属人工格子ルネサンス	基盤研究 (S)	期間：201806-202303	代表者
水口 将輝 スピнкаロリトロンクスを基軸とした高効率テラヘルツ波発生機能の開拓	その他	期間：201902-202101	代表者
水口 将輝 ナノ超構造体を基盤とした革新的ナノスピнкаロリトロンクス機能の創出	基盤研究 (A)	期間：201704-202003	代表者
伊藤 啓太 シリコン基板上への軽元素侵入型垂直磁化膜の創製	若手研究 (B)	期間：201704-202003	代表者

### 【イオンエネルギー材料研究部】

市坪 哲 リチウムイオンと多価イオンが奏でるデュアルイオン蓄電池に向けた新学理の構築	基盤研究 (S)	期間：201806-202303	代表者
宮坂 等 磁氣的に分子吸蔵を差別化する多孔性磁石の創製	(挑戦的)萌芽研究	期間：201804-202003	代表者
宮坂 等 光と物質の一体的量子動力学が生み出す新しい光誘起協同現象物質開拓への挑戦	特別推進研究	期間：201804-202303	分担者
折茂 慎一 高密度水素による超機能材料の合成	新学術領域研究	期間：201806-202303	代表者
折茂 慎一 ハイドロジェノミクスの研究推進	新学術領域研究	期間：201806-202303	代表者
高木 成幸 水素錯イオンの高速擬回転に伴う低温副格子融解を利用した革新的固体イオニクスの創成	その他	期間：201906-202203	代表者
金 相侖 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	若手研究	期間：201904-202103	代表者

### 【光エネルギー材料研究部】

藤原 航三 温度場の直接観察による固液界面ダイナミクスの解明	基盤研究 (A)	期間：201704-202003	代表者
木口 賢紀 整合多層膜の自己調整応力場を用いたクロスオーバー状態の誘起と機能性の創出	その他	期間：201707-202003	分担者
木口 賢紀 構造傾斜領域の創出によるリラクサー薄膜のドメインエンジニアリング	基盤研究 (B)	期間：201904-202203	代表者



木口 賢紀 新学術領域研究 期間：201904-202103 代表者  
窒化物および酸化物半導体の局所電子状態・光学特性に及ぼす弾性場の影響

岡本 範彦 (挑戦的)萌芽研究 期間：201806-202003 代表者  
短範囲規則性を包含した固溶強化理論の構築 - 短範囲規則「軟化」現象の検証

前田 健作 基盤研究 (A) 期間：201704-202003 分担者  
温度場の直接観察による固液界面ダイナミクスの解明

前田 健作 若手研究 (B) 期間：201804-202003 代表者  
種子結晶加工を利用した擬似位相整合結晶の作製と波長変換デバイスへの展開

### 【材料プロセス・社会実装研究部】

加藤 秀実 新学術領域研究 期間：201807-202303 代表者  
ハイエントロピー効果に基づく新材料創製と新機能創出

加藤 秀実 特別研究員奨励費 期間：201811-202010 代表者  
Mg-希土類結晶および非晶質合金の作製とその力学特性調査

河野 龍興 基盤研究 (C) 期間：201904-202203 代表者  
積層型超格子構造を有するLaMgNi系合金における水素吸蔵特性の解明

BELOSLUDOV, Rodion V. 基盤研究 (B) 期間：201704-202003 代表者  
先端エネルギーと医療応用のための多機能性ナノポーラス材料の理論設計と実験的創製

BELOSLUDOV, Rodion V. 基盤研究 (B) 期間：201704-202003 分担者  
ペンタグラフェン：創製と機能創発

## 5-2. 科学研究費補助金以外の外部資金

### 【スピンエネルギー材料研究部】

高梨 弘毅 その他受託研究費 期間：201210- 分担者  
ネオジム焼結磁石を超える新規高性能磁石の開発

水口 将輝 JST戦略的創造研究推進事業 (CREST) 期間：201510-202103 代表者  
ナノ超空間を利用した熱・スピン・電界交差相関による高効率エネルギー変換材料の創製

### 【イオンエネルギー材料研究部】

市坪 哲 JST戦略的創造研究推進事業 (ALCA) 期間：201110- 代表者  
高エネルギー密度を有する革新的マグネシウムイオン蓄電池の開発

折茂 慎一 その他受託研究費 期間：201805-202103 分担者  
再生可能エネルギー活用のための新規水素貯蔵合金の開発とその実用化を目指した設計指針の構築

### 【光エネルギー材料研究部】

藤原 航三                      その他寄附金                      期間：201904-202003                      代表者  
超低線量・高解像度半導体X線画像受線素子の開発

木口 賢紀                      JST研究成果最適展開支援プログラム 期間：201612-202103 分担者  
非鉛圧電配向体の焼結しない低温作製法の確立-IoTセンサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201803-201906                      代表者  
IoT社会に向けた超小型非鉛系強誘電体材料の開発

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201803-201909                      代表者  
弾性的拘束を利用した準安定斜方晶相  $ZrO_2$ - $HfO_2$  新奇強誘電体薄膜の創製

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201904-202003                      代表者  
配置のエントロピーを利用したリラクサー材料創製に向けた新奇アプローチの開拓

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201904-202203                      代表者  
ハイエントロピー効果により分極ゆらぎを増強した新奇リラクサー材料の創製

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201906-202007                      代表者  
配置のエントロピーにより構造・分極ゆらぎを増強したリラクサー材料創出の新アプローチの構築

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201908-201908                      代表者  
Nanostructure Analyses of Hafnia-Based Ferroelectric Thin Films by Aberration-Corrected Electron Microscopy

木口 賢紀                      その他寄附金                      期間：201911-202010                      代表者  
応力誘起相制御によるジルコニア基超薄膜の直方晶相安定化と強誘電性の発現

岡本 範彦                      ST戦略的創造研究推進事業(さきがけ) 期間：201810-202203 代表者  
電気化学的インターカレーション反応を利用した熱スイッチングデバイスの創出

岡本 範彦                      その他寄附金                      期間：201804-202003                      代表者  
鉄系化合物高性能熱電変換材料の開発

岡本 範彦                      その他寄附金                      期間：201810-201909                      代表者  
谷川熱技術振興基金研究助成金

### 【材料プロセス・社会実装研究部】

加藤 秀実                      その他補助金                      期間：201704-202003                      代表者  
医工分野横断研究によるX線位相イメージング医療診断画像の高コントラスト化

河野 龍興                      JST戦略的国際共同研究プログラム (SICORP) 期間：201804-202103 分担者  
Research on Hydrogen as a renewable energy carrier：再生可能エネルギー媒体としての水素研究

河野 龍興                      NEDO水素利用等先導研究開発事業 期間：201807-202103 代表者  
アルカリ水電解及び固体高分子形水電解の高度化

BELOSLUDOV, Rodion JST戦略的創造研究推進事業 (CREST) 期間：201910-202503 分担者  
新規結晶の大規模探索に基づく革新的機能材料の開発

## 6. 知的財産権

## 6-1. 特許リスト

特許出願件数：2件

### 登録特許（国内）

#### 【イオンエネルギー材料研究部】

市坪哲、岡本紳哉、松原英一郎

特許6529005号 2019年 5月24日

二次電池

野上玄器、谷口貢、宇根本篤、松尾元彰、折茂慎一

特許6581997号 2019年 9月 6日

イオン伝導体およびその製造方法

#### 【材料プロセス・社会実装研究部】

加藤秀実、兪承根、和田武

特許6506738号 2019年 4月 5日

多孔質黒鉛の製造方法および多孔質黒鉛

野原正也、林政彦、由井悠基、阪本周平、小松武志、加藤秀実、和田武、森下史弥

特許6682102号 2020年 3月27日

リチウム空気二次電池

### 公開特許（国内）

#### 【材料プロセス・社会実装研究部】

矢代航、加藤秀実、北條大介

特開2019-191114 2019年10月31日

波面制御素子の製造方法

## 7. 各種受賞・表彰

## 7-1. 受賞リスト

### 【スピンエネルギー材料研究部】

#### 高梨 弘毅

第13回（2019年度）応用物理学会フェロー表彰者  
規則合金を中心としたスピントロニクス材料の研究  
公益社団法人応用物理学会  
2019年9月

#### 高梨 弘毅

日本磁気学会第35回令和元年度学会賞  
規則合金を中心としたスピントロニクス材料の先進的研究  
公益社団法人日本磁気学会  
2019年9月

#### 仙台 INTERMAG2023 誘致委員会（委員：高梨 弘毅）

2019年度国際会議誘致・開催貢献賞 国際会議誘致の部  
2023 IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG2023)  
日本政府観光局  
2020年2月

#### 水口 将輝

令和元年度（第9回）RIEC Award 東北大学研究者賞  
異常ネルンスト効果における学理の構築と機能的環境発電素子への応用に関する研究  
東北大学電気通信研究所  
2019年11月

#### 水口 将輝

2019年度 矢崎学術賞功績賞  
磁性ナノ構造の創製とスピントロニクスデバイスへの応用展開  
公益財団法人矢崎科学技術振興記念財団  
2020年3月

### 【イオンエネルギー材料研究部】

#### 宮坂 等

第37回（2019年度）日本化学会学術賞  
電子および磁氣的相関の合理的制御に基づく低次元分子磁性体に関する研究  
公益社団法人日本化学会  
2020年1月

#### 金 相倫

第29回日本金属学会奨励賞 [工業材料部門]  
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  
公益社団法人日本金属学会  
2019年9月

#### 金 相倫

第30回（令和元年度）トーキン科学技術賞  
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  
公益財団法人トーキン科学技術振興財団  
2020年3月

### 【光エネルギー材料研究部】

#### 木口 賢紀

八洲奨励賞  
IoT社会に向けた超小型非鉛系強誘電体材料の開発  
公益財団法人八洲環境技術振興財団  
2020年3月

木口 賢紀, 兒玉 裕美子, 谷川 智之, 白石 貴久, 今野 豊彦  
第 70 回日本金属学会金属組織写真賞優秀賞  
N 極性 GaN の貫通転位と InGaN 量子井戸との弾性相互作用

公益社団法人日本金属学会  
2020 年 3 月

**【材料プロセス・社会実装研究部】**

加藤 秀実, 和田 武  
粉体粉末冶金協会研究進歩賞第 43 回 (平成 30 年度)  
金属溶湯脱成分法を用いたポーラス金属粉末の開発

一般社団法人粉体粉末冶金協会  
2019 年 6 月

**BELOSLUDOV, Rodion Vladimirovich**

ACCMS Mid-Career Award for outstanding scientific achievement in computational materials science research and great contribution to the ACCMS community  
The 10th Conference of Asian Consortium for Computational Materials Science (ACCMS-10)  
June 2019



## 8. 主催した会議・研究会・ ワークショップ

## 8-1. 先端エネルギー材料理工共創研究センター 東京ワークショップ

日時：2019(令和元)年10月25日(金) 13:30-18:00

場所：東北大学 東京分室

趣旨：21世紀中葉の社会発展に向けて、これからのエネルギー材料科学研究の在り方を議論する。

### 【招待講演】

エネルギー技術への期待ー環境行政の経験から

東京大学大学院総合文化研究科 広域システム科学系・客員教授  
先端科学技術研究センター 社会連携部門・シニアプログラムアドバイザー  
小林 光 先生

### 【お取り組みの紹介】

- (1) 環境エネルギー科学技術に関する施策  
文部科学省研究開発局環境エネルギー課専門官 亀井 肇 様
- (2) 地球温暖化対策の施策  
環境省地球環境局地球温暖化対策課地球温暖化対策事業室長 相澤寛史 様
- (3) JST 国際部の取組  
国立研究開発法人科学技術振興機構国際部長 小林 治 様
- (4) NEDO 次世代電池・水素の取組  
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構主任研究員 横本克己 様

### 【エネルギー材料研究の最前線】

- (1) スピン機能をベースとした熱電変換材料の開発  
水口将輝 准教授
- (2) 太陽電池用 Si 多結晶材料の研究開発  
藤原航三 教授
- (3) 錯体水素化物を用いた次世代蓄電デバイス  
金 相侖 助教
- (4) 多孔性分子材料に対して次に期待されるもの  
宮坂 等 教授
- (5) 金属負極蓄電デバイスの開発に向けて  
市坪 哲 教授
- (6) 金属溶湯脱成分によるナノポーラス材料開発とそのエネルギー材料への応用  
和田 武 准教授
- (7) 再エネを利用した自立分散型水素エネルギーシステム  
河野龍興 特任教授

# 先端エネルギー材料理工共創研究センター 東京ワークショップ



## 8-2. 先端エネルギー材料理工共創研究センター 2019年度ワークショップ

日 時：2019(令和元)年12月20日(金) 13:00-17:00

場 所：東北大学 金属材料研究所講堂

### 【招待講演1】

イノベーション創出の最重要基盤となるマテリアルテクノロジーの戦略的強化と  
東北大学への期待

文部科学省研究振興局参事官(ナノテクノロジー・物質・材料担当)付参事官補佐  
高橋 功 様

### 【招待講演2】

学際研究重点拠点「エネルギー価値学創生研究推進拠点」の創設と地熱エネルギー研究  
東北大学エネルギー価値学創生研究推進拠点長 土屋範芳 教授

### 【E-IMR 研究発表】

- |                    |           |
|--------------------|-----------|
| (1) スピンエネルギー材料研究部  | 水口将輝 准教授  |
| (2) イオンエネルギー材料研究部  | 市坪 哲 教授   |
| (3) 光エネルギー材料研究部    | 藤原航三 教授   |
| (4) 材料プロセス・社会実装研究部 | 加藤秀実 教授   |
| (5) 材料プロセス・社会実装研究部 | 河野龍興 特任教授 |



## 東北大学金属材料研究所

# 先端エネルギー材料理工共創研究センター 2019年度ワークショップ<sup>®</sup>

日 時 2019年12月20日（金） 13:00～17:00

場 所 東北大学金属材料研究所講堂（2号館1階）  
（<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/access.html>）

13:00～13:05 挨拶 高梨弘毅 所長

13:05～13:50 招待講演 高橋功様：文部科学省研究振興局参事官(ナノテクノロジー・物質・材料担当)付参事官補佐  
“イノベーション創出の最重要基盤となる  
マテリアルテクノロジーの戦略的強化と東北大学への期待”

13:50～14:35 招待講演 土屋範芳教授：東北大学エネルギー価値学創生研究推進拠点  
“学際研究重点拠点「エネルギー価値学創生研究推進拠点」の創設と  
地熱エネルギー研究”

14:35～14:50 休憩

14:50～15:10 水口将輝 准教授： スピンエネルギー材料研究部

15:10～15:30 市坪 哲 教授： イオンエネルギー材料研究部

15:30～15:50 藤原航三 教授： 光エネルギー材料研究部

15:50～16:10 加藤秀実 教授： 材料プロセス・社会実装研究部

16:10～16:30 河野龍興 特任教授：材料プロセス・社会実装研究部

16:30～16:55 意見交換

16:55～17:00 閉会挨拶 市坪哲 先端エネルギー材料理工共創研究センター長

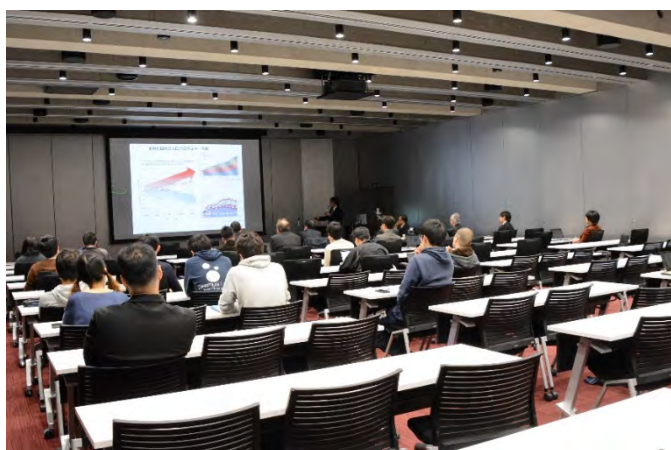


【お問合せ】東北大学金属材料研究所  
先端エネルギー材料理工共創研究センター(E-IMR) 事務局  
電話：022-215-2072 / メール：[e-imr\\*imr.tohoku.ac.jp](mailto:e-imr*imr.tohoku.ac.jp)  
\*を@に変更ください

私たちは持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています



# 先端エネルギー材料理工共創研究センター 2019年度ワークショップ



## 9. 職員及び運営委員名簿



## 令和元（2019）年度 先端エネルギー材料理工共創研究センター名簿

センター長／教授（兼）	折茂 慎一（2019年9月まで）
センター長／教授（兼）	市坪 哲（2019年10月より）
教授	Bauer, Gerrit Ernst-Wilhelm
教授	藤原 航三
特任教授	河野 龍興
教授（兼）	高梨 弘毅
教授（兼）	宮坂 等
教授（兼）	加藤 秀実
准教授	水口 将輝
准教授	Belosludov, Rodion Vladimirovich
准教授	高木 成幸（2020年1月まで）
准教授（兼）	木口 賢紀
准教授（兼）	岡本 範彦（2020年2月より）
助教（兼）	伊藤 啓太
助教（兼）	前田 健作
助教（兼）	金 相侖
特任助教（兼）	李 弘毅（2020年2月より）
特任教授	湯本 道明

**令和元（2019）年度 先端エネルギー材料理工共創研究センター  
運営委員会委員**

組織（先端エネルギー材料理工共創研究センター内規第5条）：委員長及び次の各号に掲げる委員

- （1）研究所（センターを除く。）の教授又は准教授 若干人
- （2）センターの教授又は准教授 若干人
- （3）研究所の事務部長
- （4）その他委員長が必要と認めた者 若干人

任期：第5条第1号及び第4号に掲げる委員 2年（再任を妨げない）

平成31（2019）年4月1日現在

所属	職名	氏名	任期	備考
金属材料研究所	センター長	折茂 慎一		委員長
金属材料研究所	所 長	高梨 弘毅	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	今野 豊彦	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	古原 忠	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	宮坂 等	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	加藤 秀実	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	センター長代理	市坪 哲	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	Bauer, Gerrit Ernst-Wilhelm		5条2号
金属材料研究所	教 授	藤原 航三		5条2号
金属材料研究所	准教授	水口 将輝		5条2号
金属材料研究所	特任教授（研究企画・運営担当）	湯本 道明	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条4号
金属材料研究所	特任教授（研究）	河野 龍興	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条4号
金属材料研究所	事務部長	高橋 嘉典		5条3号

**令和元（2019）年度 先端エネルギー材料理工共創研究センター  
運営委員会委員**

組織（先端エネルギー材料理工共創研究センター内規第5条）：委員長及び次の各号に掲げる委員

- （1）研究所（センターを除く。）の教授又は准教授 若干人
- （2）センターの教授又は准教授 若干人
- （3）研究所の事務部長
- （4）その他委員長が必要と認めた者 若干人

任期：第5条第1号及び第4号に掲げる委員 2年（再任を妨げない）

令和元（2019）年10月1日現在

所属	職名	氏名	任期	備考
金属材料研究所	センター長	市坪 哲		委員長
金属材料研究所	所 長	高梨 弘毅	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	今野 豊彦	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	古原 忠	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	宮坂 等	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	加藤 秀実	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条1号
金属材料研究所	教 授	Bauer, Gerrit Ernst-Wilhelm		5条2号
金属材料研究所	教 授	藤原 航三		5条2号
金属材料研究所	准教授	水口 将輝		5条2号
金属材料研究所	特任教授（研究企画・運営担当）	湯本 道明	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条4号
金属材料研究所	特任教授（研究）	河野 龍興	H31(2019).4.1-R3(2021).3.31	5条4号
金属材料研究所	事務部長	高橋 嘉典		5条3号

令和2年9月発行

発行者 東北大学 金属材料研究所  
先端エネルギー材料理工共創研究センター

〒980-8577

宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

TEL 022-215-2072

FAX 022-215-2073

E-Mail e-imr@imr.tohoku.ac.jp

URL <http://www.e-imr.imr.tohoku.ac.jp/>