




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

NEWS LETTER

Vol5, No1. Jan 2021



持続的実現のための
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と教育研究の展開

Research on Cutting-Edge Energy Materials for a Sustainable Society by
Structural and Carrier Control at the Atomic Level



東北大学金属材料研究所

《目次》

スコープ:エネルギー材料研究の展望

再生可能エネルギーを取り巻く国内外の状況と研究課題の最前線 河野龍興特任教授

研究者紹介

岡本範彦 准教授 : 光エネルギー材料研究部

李弘毅 特任助教: イオンエネルギー材料研究部

最近の動向

1. 2020年度「若手研究者のためのエネルギー材料萌芽研究助成」採択課題
2. 受賞 藤原航三教授
3. 水口将輝准教授、名古屋大学大学院 工学研究科物質プロセス工学専攻 教授 に着任
4. プレスリリース1 宮坂等教授
5. プレスリリース2 折茂慎一教授
6. プレスリリース3 水口委嘱教授 (リリース時: 准教授)
7. プレスリリース4 市坪哲センター長、李弘毅特任助教
8. プレスリリース5 木口准教授
9. プレスリリース6 高梨教授

E-IMR 2020ワークショップ

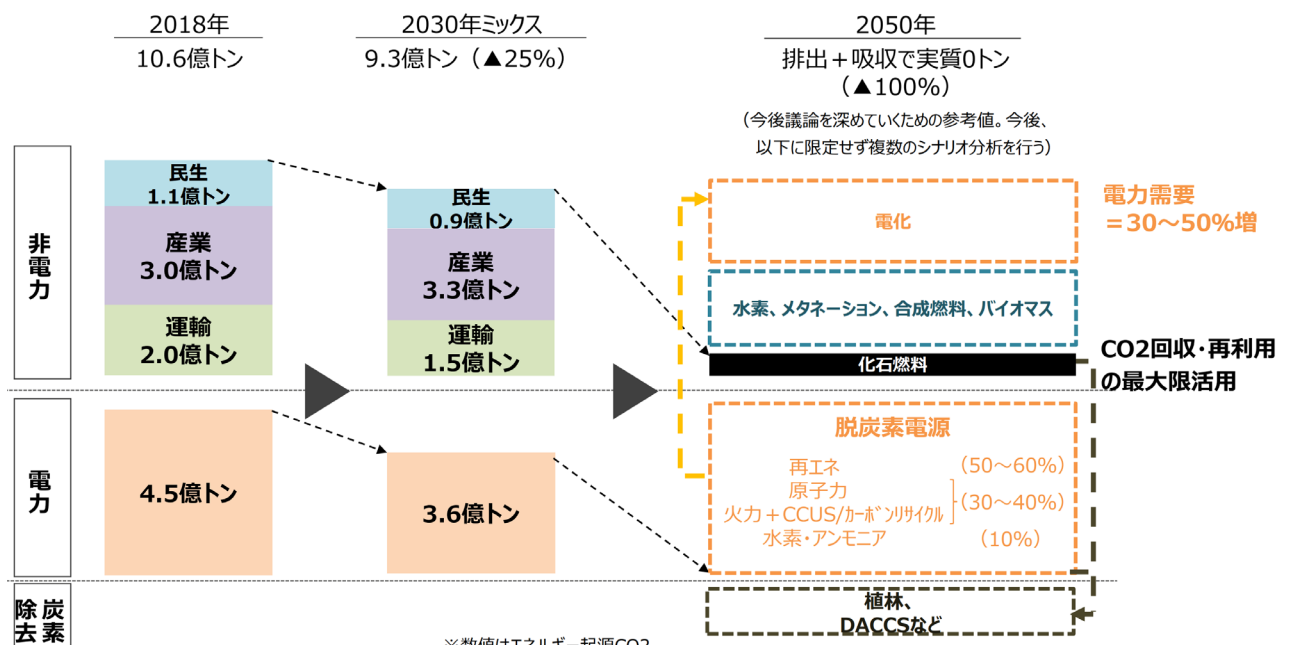
E-IMR 2020ワークショップを開催しました

再生可能エネルギーを取り巻く国内外の状況と研究課題の最前線



材料プロセス・社会実装研究部
河野龍興 特任教授

2020年は新型コロナウイルスの影響により、我々の世界が大きく変化したといっても過言ではないかと思えます。新しい日常へとシフトしていくためには今後様々な議論が進められると思いますが、このコロナの影響によって、今までには不可能であった世界的な大規模実験を行うことができました。それは「人的活動の大幅制限によるCO₂排出量への影響評価」です。コロナにより世界中でほぼ同時期に大規模に経済活動、交通、流通をストップさせた訳です。しかし、2020年のエネルギー関連のCO₂排出量はIEAの報告によると、残念ながら前年比で約8%減少に留まるとレポートされています。2020年10月に日本は「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロ」にすると宣言し、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すこととしました。つまり2050年にCO₂排出量ゼロというこの大きな目標を達成するためには、人間の活動を著しく制限するだけでは非常に困難であることが実証された事となり、これはとても大きな一歩です。今後CO₂削減を実現していくためには、クリーンなエネルギーの活用と経済回復を結びつける「グリーンリカバリー」が重要な施策となります。これを踏まえて経済産業省は、関係省庁と連携して、2020年12月25日に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定しています。このグリーン成長戦略では、14の重要分野ごとに、高い目標を掲げた上で、現状の課題と今後の取組を明記して、あらゆる政策を盛り込んだ実行計画を策定しています。下図はCO₂排出量の構成を示しています。電力需要は今後も増大していく中、脱炭素電源化は非常に大きなポイントであり、中でも50-60%とウエイトの高い再生可能エネルギーをどのように増やしていくか、また非電力、電力共にキラー技術となる水素技術をいかに伸ばしていくかが鍵となります。再生可能エネルギーは季節や天候により大きく電力が変化するため、大規模な調整力としての余剰電力貯蔵技術が必要となります。再エネ電力の長周期変動に対しては、蓄電池では調整が困難な状況であり、水素を製造することによりグリーンエネルギーを貯蔵するPower-to-gasが国内外で注目されています。アフターコロナ時代を見据えて、再生可能エネルギーの大量導入と水素エネルギーをベースとした新たな社会の構築を目指して、本センターでは国内はもちろん海外との連携を強力に推進していく予定です。



2050年カーボンニュートラルの実現

岡本範彦 准教授：光エネルギー材料研究部

学位：2006年3月 京都大学大学院工学研究科 博士(工学)

職歴

2003年9月-2006年3月 日本学術振興会特別研究員(DC1)

2006年4月-2008年1月 日本学術振興会特別研究員(PD)

2006年6月-2007年11月 カリフォルニア大学デイヴィス校 博士研究員

2008年2月-2017年5月 京都大学 大学院工学研究科 助教

2017年6月- 東北大学 金属材料研究所 准教授



私は、博士後期課程時からクラスレート化合物やシリサイド系熱電変換材料の研究に取り組んできました。熱電変換とは、熱エネルギー（温度差）と電気エネルギーの直接変換現象であり、導体の両端に温度差を印加すると温度勾配方向に起電力が生じるゼーベック効果などがあります。このゼーベック効果を利用すれば、工場廃熱や自動車排ガス熱など今まで環境中に捨てられていた未利用熱エネルギーを熱源とした熱電変換発電を行うことが可能であり、低炭素社会の実現に貢献するエネルギーハーベスティング技術の一つとして熱電変換材料・技術の開発が望まれています。

優れた熱電変換特性を得るには、高いゼーベック係数に加えて、高い電気伝導率と低い熱伝導率という相矛盾する伝導物性が求められますが、そのような特性を兼備しようと考えられたのが、包摂化合物に分類されるクラスレート化合物です。クラスレート化合物は、主にIV族元素(Si,Ge,Sn)が大きな空隙を有するケージ状フレームワークを構成し、その空隙中にアルカリ(土類)金属原子 (Na,Ba,Sr)が内包された結晶構造を有しています(下図)。ケージ構造が電気伝導を担う一方で、内包原子の特異な熱振動により格子熱伝導率が低減されると考えられています。私は、ケージ構造を一部元素置換することによりケージ構造サイズを制御し、内包原子の熱振動量(サイト分裂幅)と格子熱伝導率の間に負の相関があることを明らかにしてきました。この研究から、ケージ(ホスト)構造のサイズを合金添加により制御し熱電特性を向上させる「ホストエンジニアリング」という新たな材料設計指針を提案し、これを基にBa-Ga-Ge系クラスレート化合物の熱電変換特性をIn添加により2倍以上向上させることに成功しています。

現在まで民生用の熱電変換材料としては Bi_2Te_3 のみが実用化されていますが、元素の希少性や高製造コストなどの理由から、大規模化には至ってません。そこで、より資源性に優れ低コストな熱電変換材料の開発を目指しています。具体的には、トンネル状空隙を有するFe基化合物について、内包原子のフォノンモードと熱伝導特性の相関を明らかにした上で、トンネル状フレームワーク構造により電子構造制御を行い、熱電変換性能を向上させていきたいと考えています。

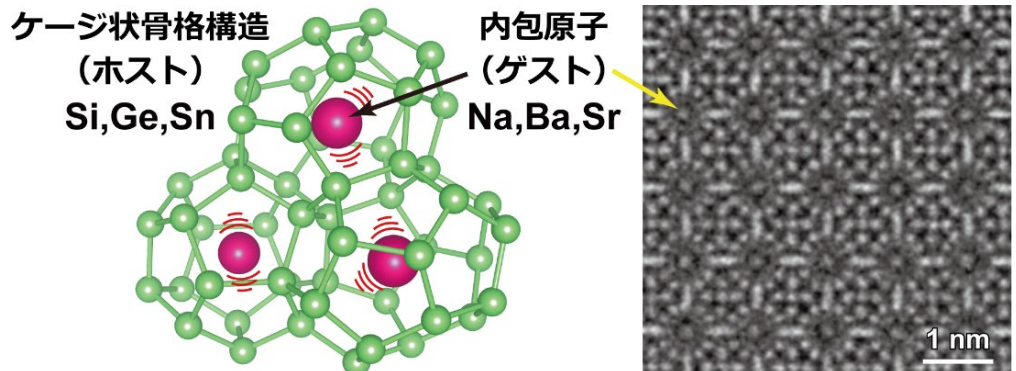


図. クラスレート化合物の(a)結晶構造および(b)走査透過型電子顕微鏡像。

連絡先

E-mail: nlokamoto_at_tohoku.ac.jp _at_を@に変換してください

Fax: 022-215-2553

李弘毅 特任助教：イオンエネルギー材料研究部

現職：特任助教

学位：2019年3月 東北大学 博士(工学)

職歴

2019年4月-2019年9月 日本学術振興会特別研究員(PD)

2019年10月- 東北大学金属材料研究所 特任助教



エネルギー・環境問題の解決に向け、カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現が推進されています。その中核的な技術の1つとして、蓄電池技術が挙げられます。私は電池の構造設計、電極材料の開発や電極反応の素過程解明など、様々なスケールで、高性能かつ安心・安全な蓄電池を構築する研究に取り込んでいます。

具体的には、博士課程時代から、現在E-IMRのセンター長を務めている市坪哲先生のご指導のもとで、私はLiとMgの2種類の電荷担体（キャリア）を併用するデュアルカチオン電池の研究を進めてきました。LiとMgはともに高い理論容量と低い酸化還元電位を有し、電池材料として魅力的ですが、それぞれ固有の性質に起因する課題が存在しています。Li金属は充電中負極上に析出すると、長細いデンドライト状の結晶を形成し、集電体との接着性が悪く、析出・溶解の可逆性が低いほか、電極間のセパレータを貫通して、内部短絡を引き起こし、電池を発火させるリスクが高いです。実際に現状のLi-ion電池は、Li金属の代わりに、容量が1/10しかない炭素系負極材料が使用されています。一方、Mgはデンドライト形成しにくく、金属負極として安全性が高いですが、 Mg^{2+} イオンはクーロン相互作用が強く、特に正極材料における固体内拡散が非常に遅いことが、材料開発のネックになっています。これらの課題は1種のキャリアのみの系では、解決することが非常に困難で、そこで、LiとMgを併用するアプローチを着想しました。これまでの研究において、LiとMgの同時析出によるデンドライト成長の抑制[H. Li et al, *J. Mater. Chem. A* 5, 3534 (2017)]や、正極材料での Li^+ と Mg^{2+} の協同拡散による Mg^{2+} の固体内拡散の促進[H. Li et al, *Adv. Energy Mater.* 8, 1801475(2018)]を発見し、キャリアそれぞれの課題を解決できることを明らかにしました。これからはデュアルカチオン電池の実用化を目指しています。

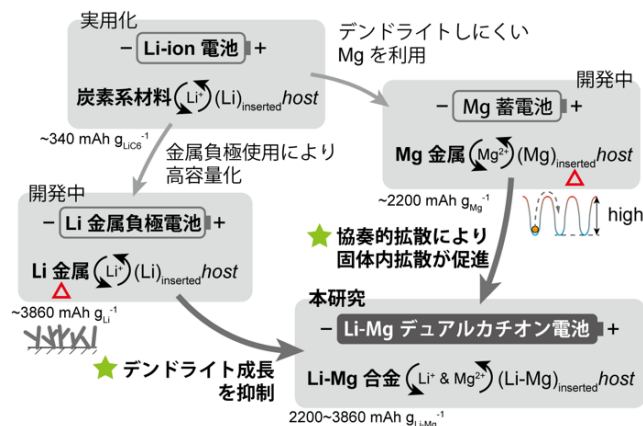


図 1 Li-Mgデュアルカチオン電池の着想

また、昨年度から、Li電池の高性能・低コスト化に向け、住友化学株式会社との共同検討で、圧延Al箔負極の研究をはじめました。Si, Sn, Alなどの合金系負極材料はLi貯蔵能力が高いものの、合金化に伴って、2~4倍の体積変化が生じてしまい、体積ひずみの形成をうまく制御できないと、充放電過程において、安定な組織構造を維持することが難しいです。この研究では、冶金学観点を電極材料の反応機構に適用し、Al箔の硬さを制御することによって、体積ひずみの形成が回避され、体積膨張を箔面直の一方向に制限することができました[H. Li et al, *Nat. Commun.* 11, 1584(2020)]. これにより、圧延Al箔を集電体と活物質の機能を兼備する一体型の負極として使用することが可能になります。今後はデュアル系蓄電池への適用をにらんでいきたいと考えております。

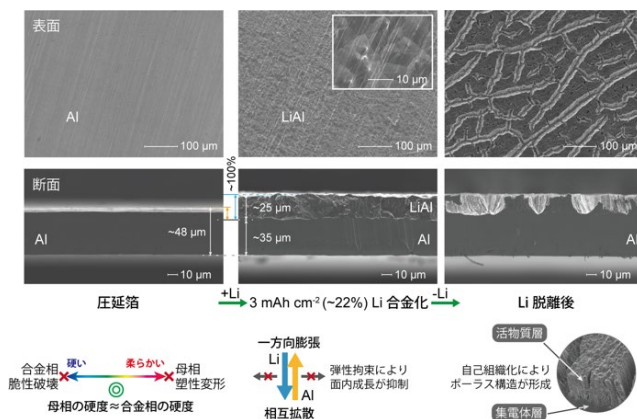


図 2 Li電池用集電体一体型Al負極の実現

連絡先

構造制御機能材料学研究部門

E-mail: li.hongyi_at_imr.tohoku.ac.jp _at_を@に変換してください

Fax: 022-215-2553

最近の動向

1. 2020年度「若手研究者のためのエネルギー材料萌芽研究助成」採択課題決定

今年度は以下の2研究チームの提案課題が採択されました。

1) 研究代表者 錯体物性化学研究部門 高坂 亘先生

2) 研究代表者 金属組織制御学研究部門 張 咏杰先生

研究内容は、当センター主催のワークショップなどで発表いただく予定です。

2. 藤原航三教授、「令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰」科学技術賞（研究部門）受賞

光エネルギー材料研究部 藤原航三教授が、中嶋一雄東北大名誉教授（19代金属材料研究所長）とともに「令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰」科学技術賞（研究部門）の受賞者に決定いたしました。

業績名「太陽電池用シリコン多結晶インゴットの高品質化の研究」

3. 水口将輝准教授、名古屋大学大学院 工学研究科物質プロセス工学専攻 教授 に着任

スピネルエネルギー材料研究部 水口将輝准教授が2020年5月1日に名古屋大学大学院 工学研究科物質プロセス工学専攻 教授 になりました。6月1日より当センター委嘱教授に着任いただいています。

4. プレスリリース1

宮坂等教授 二酸化炭素を吸着してスピン状態を変える 金属錯体の合成に成功！

東北大学金属材料研究所の高坂亘 助教、宮坂等 教授、熊本大学大学院先端科学研究部の速水真也 教授、仲谷学 博士（現・城西大学 助教）らは、室温で二酸化炭素を吸着し、吸脱着に伴ってスピン状態を変化させるコバルト(II)錯体の開発に成功しました。

本研究成果は、2020年3月18日付でドイツ化学会誌「Angewandte Chemie International Edition」に掲載されました。

金属材料研究所プレスリリース（2020年4月16日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1226.html/>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]

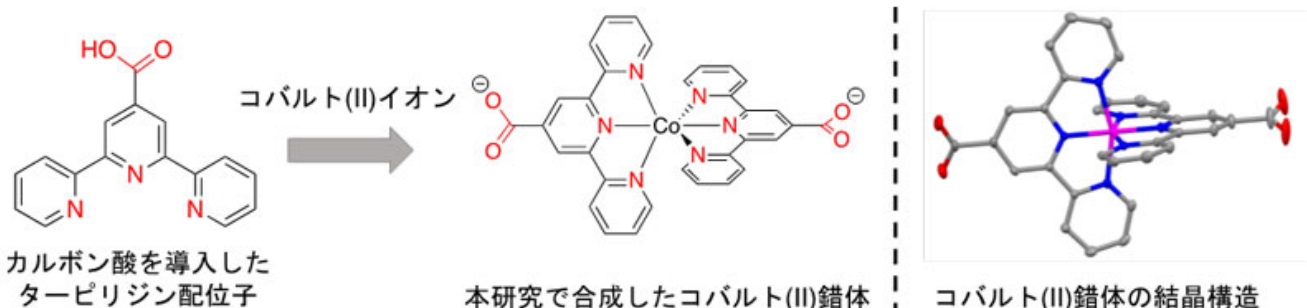


図1. 本研究で合成したコバルト(II)錯体およびその結晶構造。

5. プレスリリース2

折茂教授、多数の水素からなるクラスターの“擬回転”を利用した室温超イオン伝導の新たな発現原理を確立

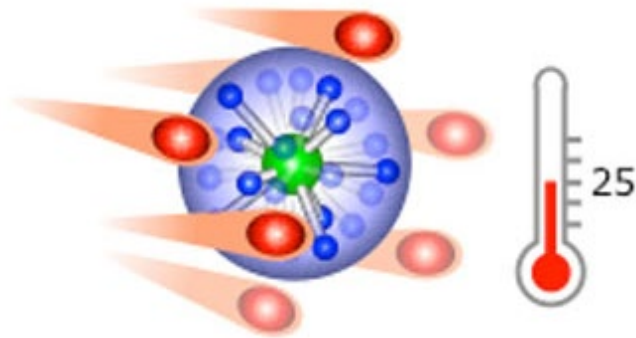
東北大学金属材料研究所の高木成幸准教授と同大学材料科学高等研究所の折茂慎一所長らの研究グループは、1つの金属原子に多数の水素が結合したクラスター（＝“高水素配位”錯イオン）が示す“擬回転”により促進される新たな室温超イオン伝導現象を発見しました。

本成果は、2020年4月27日付（現地時間）で「Applied Physics Letters」にオンライン掲載されました。

金属材料研究所プレスリリース（2020年4月22日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1229.html>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]



クラスターの“擬回転”を利用した室温超イオン伝導

6. プレスリリース3

水口准教授（発表時）、コバルトと酸化マグネシウムからなるグラニューラー材料で熱電変換効率に変化

東北大学金属材料研究所水口将輝准教授研究グループは、高知工科大学藤田武志教授らグループとの共同研究によって、 $\text{Co}_x(\text{MgO})_{1-x}$ グラニューラー薄膜において、磁場中の熱電変換効果の一つである「異常ネルンスト効果」と呼ばれる熱磁気効果の大きさが、 MgO の組成量に応じて大きく変化することを発見しました。

本成果はApplied Physics Lettersに2020年4月7日付けで公開されました。

金属材料研究所プレスリリース（2020年4月27日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1230.html>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]

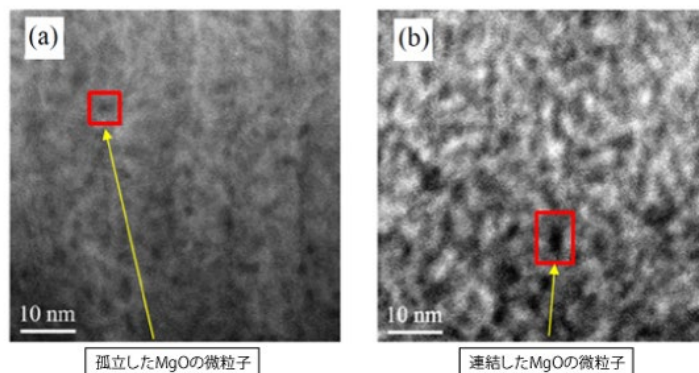


図2 透過電子顕微鏡による $\text{Co}_x(\text{MgO})_{1-x}$ グラニューラー薄膜の構造観察結果

7. プレスリリース4

李弘毅特任助教、市坪哲センター長、アルミニウム負極の課題であった 充放電時の劣化の回避につながる新しい機構を解明

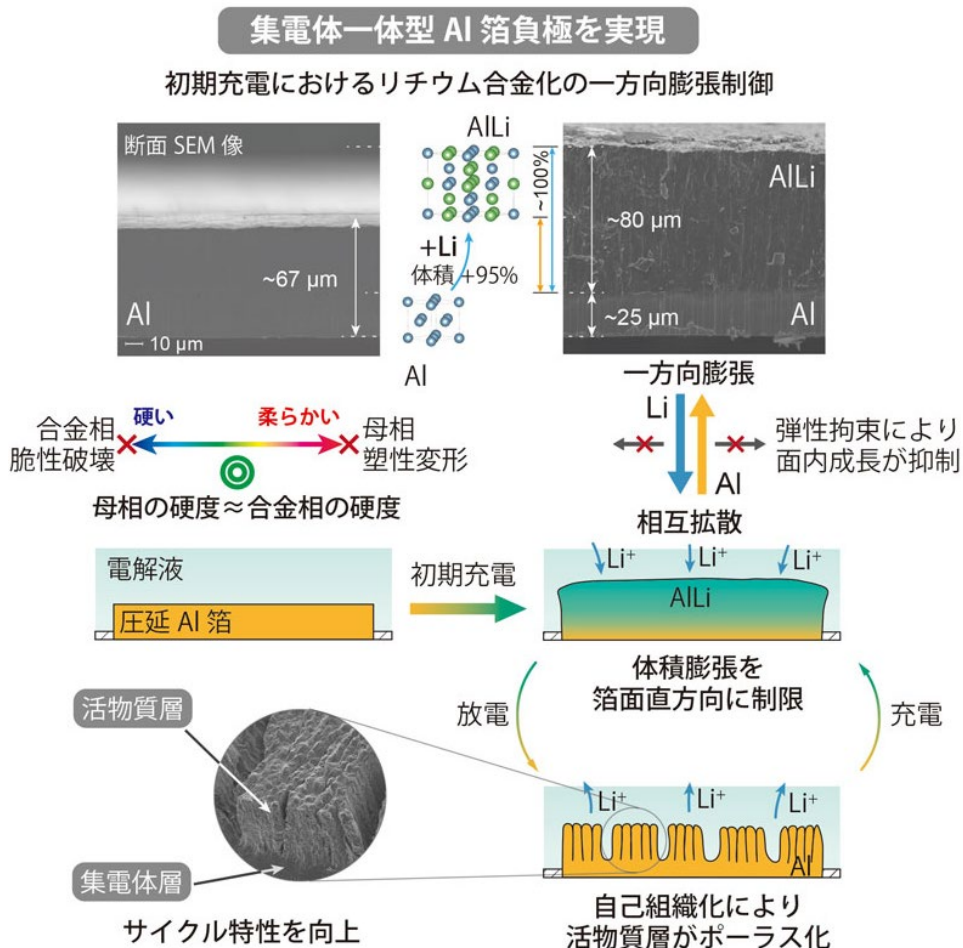
東北大学金属材料研究所の李弘毅特任助教、市坪哲教授をはじめとする研究グループ、および住友化学株式会社は、2019年4月より連携して、リチウムイオン二次電池の高容量化のための新しい負極の研究開発を行ってきました。その成果として、このたび、負極の材料を高純度アルミニウム箔のみで、充放電時に起こる巨大体積ひずみを回避するという、新しい機構を解明いたしました。

本成果は、Nature Communications誌に4月13日付けでオンライン掲載されています。

金属材料研究所プレスリリース（2020年4月22日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1229.html>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]



4月28日付けの「日刊工業新聞」「化学工業日報」「鉄鋼新聞」「日刊産業新聞」
5月13日付けの「日刊自動車新聞」6月2日付けの「日本経済新聞」などに記事が掲載
されました。

8. プレスリリース5

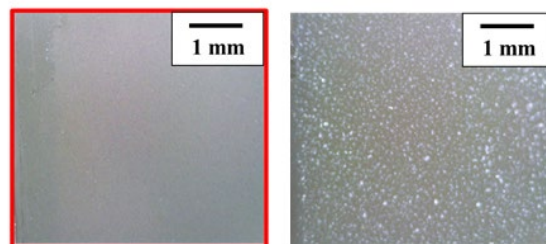
木口准教授、高電圧処理不要で高い性能を示す圧電体膜の低温作製に成功

東北大学 金属材料研究所の今野豊彦教授、木口賢紀准教授、白石貴久博士、東京工業大学 物質理工学院 材料系の舟窪浩教授（元素戦略研究センター兼任）、館山明紀大学院生（博士後期課程2年）、伊東良晴博士研究員、工学院 電気電子系の黒澤実准教授と折野裕一郎研究員らの研究グループは、毒性元素の鉛を含まない圧電体であるニオブ酸カリウムナトリウム ((K,Na)NbO₃) の膜を、水熱法により 300°C以下の低温で作製することに成功した。

本成果は、210月6日付（現地時間）で米国物理学会誌「Applied Physics Letters」に掲載されました。金属材料研究所プレスリリース（2020年10月7日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1275.html>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]



作製したままの膜
(膜厚22ミクロン)

製膜後600度で熱
処理した膜
(膜厚7ミクロン)

9. プレスリリース6

高梨教授、巨大なスピンホール効果を示す非平衡銅合金を発見

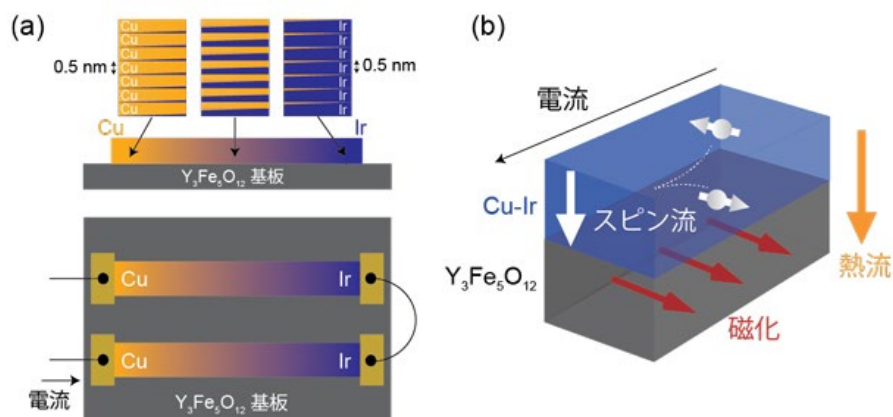
東北大学金属材料研究所の関剛斎准教授および高梨弘毅教授の研究グループは、物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点の内田健一グループリーダーの研究グループと共同で、材料の高速スクリーニング手法とスピンホール効果の定量評価技術を駆使し、新しいスピンホール効果材料を探索し、単体元素では極めて小さなスピンホール効果しか示さない銅(Cu)とイリジウム(Ir)から構成されるCu-Ir合金で、これまで見過ごされてきた組成領域にスピンホール効果材料の代表格であるPtに匹敵するほどの大きなスピンホール効果を出す非平衡合金が存在することを発見しました。

本研究は、Communications Materialsに10月14日にオンライン公開されました。

金属材料研究所プレスリリース（2020年10月15日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1276.html>

詳細: プレスリリース本文 [PDF]



10. プレスリリース7

宮坂等教授の研究グループ、二酸化炭素の吸脱着による磁石のON-OFF制御に成功 “二酸化炭素磁気センサー” へ道筋

磁石は身の回りでありふれた材料ですが、「分子の持つ柔軟性」を利用することで、従来の磁性体では実現不可能であった機能性の発現や、磁石機能の活用が可能です。

東北大学金属材料研究所の張俊 博士、高坂亘 助教、宮坂等 教授の研究グループは、大阪大学基礎工学研究科の北河康隆 准教授と共に、二酸化炭素ガスを吸脱着することで、磁化のON-OFFが可能な新たな多孔性磁石の開発に成功しました。

本現象は、吸着された二酸化炭素が、磁性を誘導する層状分子格子を変形させるとともに、分子格子と電子的な相互作用をすることにより、分子格子の電子状態を変化させ、磁気秩序を持たない状態（常磁性状態）になることで生じたものです。二酸化炭素のような、ありふれた非磁性・不活性ガスの吸着を利用して磁性体—非磁性体を制御した例はこれまでになく、ガス吸着による物性制御の可能性を大きく広げる結果です。

本研究成果は、2020年11月30日付け（現地時間）で英オンライン科学誌「Nature Chemistry」にオンライン掲載されました。

金属材料研究所プレスリリース（2020年12月1日）

<http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/news/results/detail---id-1286.html>

詳細: プレスリリース本文 [[PDF](#)]

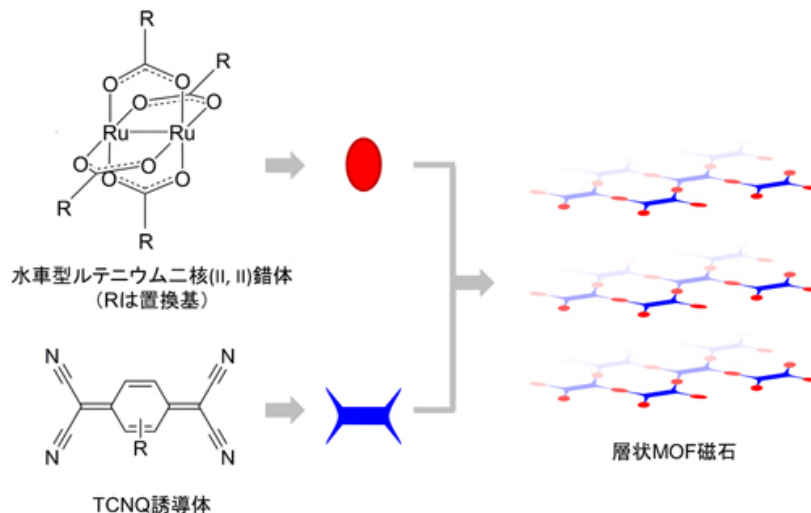


図1 電子供与性分子（水車型ルテニウム錯体）と電子受容性分子（TCNQ誘導体）から合成される層状磁石の模式図。

開催報告

●先端エネルギー材料理工共創研究センター2020ワークショップを開催しました。

開催日：2020年12月22日（火）

方 法：オンラインを中心とするハイブリッド方式

令和2年12月22日（火）に2020年度ワークショップを産学官広域連携センターとの共催で実施しました。今回は、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、講堂でのオンサイト参加とZoomウェビナーによるウェブ参加というハイブリッド形式で行いました。セッション1「豊かなグリーン社会の実現を目指す産学官連携」では文部科学省科学技術・学術政策局産業連携・地域支援課の浅井雅司課長補佐に招待講演を、セッション2「グリーン社会実現に貢献する先端エネルギー材料研究」では京都大学大学院人間・環境学研究科の内本喜晴教授に基調講演をいただきました。各セッションでは、E-IMRや産学官広域連携センターの研究活動を紹介し、また活発な質疑応答を通じて2050年のカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現に向けた今後のエネルギー材料研究の方向性や、所内間・学内間・大学間、産業界、自治体等との連携に関する議論を深めることができました。

E-IMR News Letter, vol.5, no.1

発行：2021年1月

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事務局

E-Mail：e-imr_at_imr.tohoku.ac.jp

_at_を@に変換してください

TEL: 022-215-2072



私たちは持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています