

## 【令和2年度実績】

### 1. 材料科学国際共同利用・共同研究拠点の実績状況

No.33 ②-4 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化

No.21 ①-3 国際的ネットワークの構築による国際共同研究等の推進

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

#### 実績報告

東北大学金属材料研究所は、平成30年11月13日に文部科学大臣から国際共同利用・共同研究拠点の認定を受けた。これにより、それまでの共同利用・共同研究拠点(平成22年4月から平成30年11月まで)で実施してきた国内大学・研究機関との共同利用研究の取組と、研究所独自に展開してきた国際共同利用研究の取組とを統合する、材料科学国際共同利用・共同研究拠点(GIMRT: Global Institute for Materials Research Tohoku)として、材料科学分野の国際的な協業体制であるマテリアルリサーチオープンアライアンス(MAterials Research Open Alliance: MAROA)を形成し、我が国の材料科学分野の研究力強化と国際的に認知される若手人材の育成に取り組んでいる。

令和2年度における共同利用・共同研究課題の応募件数と採択件数はそれぞれ588件と582件であり、平成30年度に比べ1.15倍となっている。また、採択件数582件のうち国際共同研究課題数は148件であり、国際共同研究課題数については、平成30年度比で2.24倍となった。

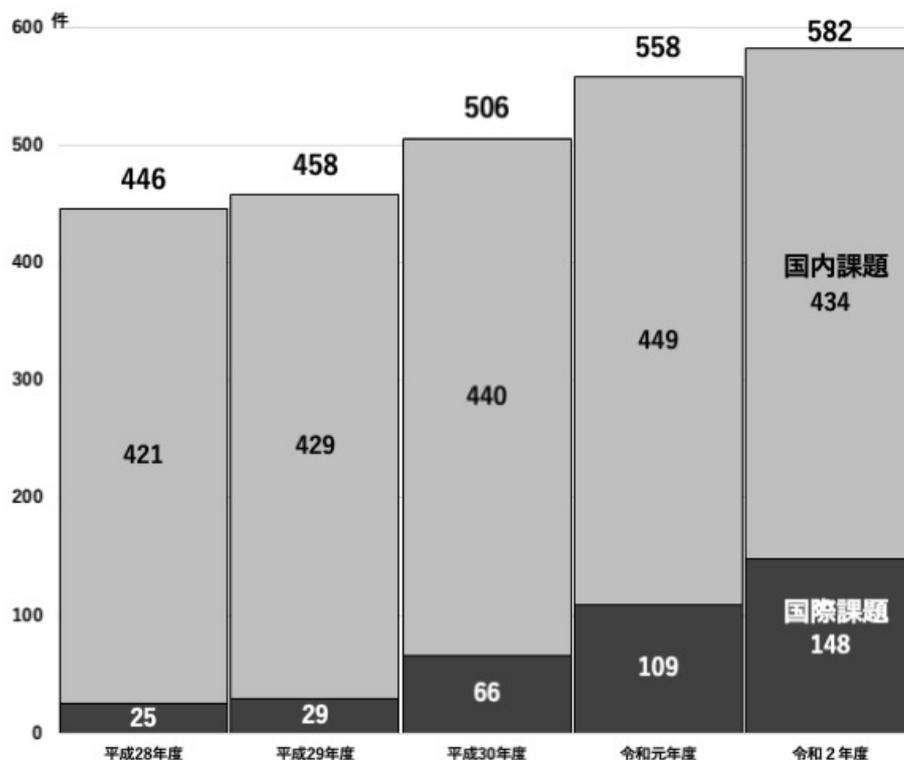


図 材料科学国際共同利用・共同研究拠点 GIMRT における採択課題件数の推移

令和2年度取組の概要

1. 国際共同利用・共同研究委員会を年 2 回開催し、GIMRT の国際活動の水準の改善を不断に図った。委員会では、新型コロナウイルスへの対応やユーザーへの支援プログラムなどを紹介し、委員から強い支持を得た。また、2019 年度に引き続き、実施統括と研究戦略の 2 名のコーディネーターを配置し、国際共同研究センターおよび研究協力係との連携により、効率的かつ国際的多様性に対応した共同研究実施体制の強化と国際的な研究動向の分析に基づく戦略的な共同研究を実施した。この中で、新型コロナウイルス下での世界の共同利用機関の状況についてのサーベイも実施した。
2. 令和 2 年秋季には 5 件の国際会議と 1 件の国内会議を開催したが、大型国際研究会を連続して開催する Materials Science Week2020 については中止とした。この影響で、長期滞在型の研究集会が実施できなかったため、新型コロナウイルスの状況の改善後、速やかな実施を目指している。
3. 海外研究機関との共同利用・共同研究を推進するために、GIMRT パンフレット、英語ウェブシステムのユーザーの経験を反映した改良、英語公募要領の内容の改善、英語版安全教育スライドのリニューアル等、国際共同研究受け入れの環境整備を 2019 年度に引き続き継続して実施し、ホームページ機能の充実や研究資源の公開により、柔軟かつ迅速な研究機会の提供と研究成果を的確に発信する環境を充実させた。
4. 国際共同研究センターと連携して User Office の人員を 1 名増員して 4 名とし、共同研究実施への支援体制を強化した。
5. 新型コロナウイルスの研究活動への影響に対応するために、影響を受けた研究者や学生に対する支援プログラムを、柔軟かつ迅速に公開・実施することで、内外の研究活動の回復を支援した。具体的には、リモート実験への支援、長期滞在型の実験への旅費・滞在費支援、共同利用の成果論文出版への支援、海外から新規に入国する留学生のフェロシップ研究プログラムの提供、学生の国際会議発表、英語発表支援、論文執筆支援などを実施した。
6. エネルギー、スピントロニクスを始めとする分野で超伝導材料分野に続いて、Joint Laboratory の発足や MAROA の形成を推進する準備を進めた。
7. 材料科学・物質科学分野における、アジア太平洋地域における研究コミュニティの形成を支援し、2021 年 1 月にはアジアオセアニア物理学連合傘下の凝縮系物理学部門の結成に繋がった。本所教員が初代副議長に選出されるなど、GIMRT を中心とした国際的研究ネットワークの強化に貢献した。

 fig\_1.jpg

## 2. 「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定ーロードマップ2020ー」に関わる取組

No.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

No.40 ①-1 国際競争力向上に向けた基盤強化

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.26 ①-1 多彩な研究力を引き出して国際競争力を高める環境・推進体制の整備

No.31 ②-2 グローバルな連携ネットワークの発展

### 実績報告

#### 1. 強磁場コラボラトリー：統合された次世代全日本強磁場施設の形成

金属材料研究所における共同利用の中核施設の1つである強磁場超伝導材料研究センターが、東京大学物性研究所、大阪大学理学研究科先端強磁場科学研究センターと共に推進してきている「強磁場コラボラトリー：統合された次世代全日本強磁場施設の形成」は、令和2年2月の

学術会議「マスタープラン2020」の重点計画認定に引き続き、令和2年9月の文部科学省「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定－ロードマップ2020－（令和2年9月24日策定）」においても大型施設計画の一つとして認定された。

この計画は、日本が強い伝統を持つ強磁場施設間の連携によりオールジャパンのネットワーク型強磁場施設「強磁場コラボラトリー」を構築するものであり、物性物理学、物質科学、材料科学の主要要素である強磁場科学の国際的優位性を確保することを目指している。この計画の中で金属材料研究所は、世界最高となる33テスラ無冷媒超伝導磁石の導入を目指し、これを中核として国際的に特色ある学術研究を推進するとともに、産業界とも協力して超伝導材料評価・認証施設を担う構想となっている。なお、強磁場施設がロードマップに採択されたのはロードマップ2010に次ぐ2回目となるものあり、ロードマップ2010採択時には現在稼働している25テスラ無冷媒超伝導磁石の導入が予算化された。

強磁場コラボラトリーは、参加3機関の協定締結によって令和2年4月から正式に発足しており、既に3機関で統一した課題申請や統合した運営委員会を備えた全日本の強磁場施設として、その運用が開始されている。材料・物質科学を先導する金属材料研究所と東京大学物性研究所の2大拠点間の連携により、共同利用課題の相互乗り入れを可能にした本事業は、共同利用制度において単独型とネットワーク型の長所を併せ持つ、材料・物質科学における横断的メガ拠点形成へと発展する事が期待される。

## 2. スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク

我が国が高い研究力を有するスピントロニクス分野において、マテリアル・デバイス・システムの3階層を連結したネットワーク型研究拠点の形成とネットワーク型研究開発の推進を目的に整備された「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点は、大型研究計画として、ロードマップ2014の認定に引き続き、令和2年の日本学術会議マスタープランに再度採択されるとともに、文部科学省ロードマップ2020に掲載された。本計画では、これまでの成果に基づき、古典と量子を融合した新たなスピントロニクスの展開を目指したネットワーク型研究開発を推進する。すでに平成28年度には東北大学、東京大学、大阪大学、慶應義塾大学を中心的拠点とするスピントロニクス学術連携研究教育センターが設置されており、東北大学では全学組織として東北大学CSRNが設置され、金属材料研究所から12名の兼任教員が参画、平成30年度からは高梨教授がCSRNセンター長を兼任するなど金属材料研究所はその中核として貢献している。

---

## 3. コロナ禍の影響緩和に向けた若手研究者・学生支援の取組

No.26 ①-1 多彩な研究力を引き出して国際競争力を高める環境・推進体制の整備

No.13 ①-1 学生への経済的支援制度の拡充と学生寄宿舍の整備・充実

No.41 ①-2 国際発信力の強化

### 実績報告

令和2年度に入って新型コロナウイルスにより国際的な往来が減少する中で、国際活動を支援するために以下に掲げる若手支援制度を新設した。

#### 1. 若手研究者論文発表支援プログラム「今が大切」

若手研究者が、コロナ禍においても研究活動を継続して、自身の代表作や出世作となる学術論文の執筆と投稿を行う事を支援することを目的として、若手研究者論文発表支援プログラム「今が大切」を緊急整備した。これにより令和2年度は、准教授・助教・学術研究員・ポスドクによる学術論文11報に対して投稿料、英文校正、オープンアクセスに係る経費の支援を行った。この所内の若手支援策については、所長裁量経費を、共同利用の成果については共同利用経費を一部用いている。

## 2. 大学院生の国際化支援「つとめてやむな」

学生が海外渡航出来ない中で国際性を涵養するために、大学院生フェローシッププログラム「つとめてやむな」を新設し、国際会議での英語発表、国際的共同研究の推進活動の RA としての支援、第1著者の英語論文出版への支援などのプログラムを、金属材料研究所の独自資金で実施している。

## 3. 留学生への研究支援

留学生の再入国や来日が、入国管理によって、大幅に遅延する中で、留学派遣元の大学と連携して、来日前の共同研究、来日後の共同研究の推進を支援する若手受け入れフェローシップ制度を新設し、留学生の研究支援を実施した。

---

## 4. 材料科学国際共同利用・共同研究拠点における新型コロナウイルス感染症の影響と代替案等の工夫

No.33 ②-4 国際共同利用・共同研究拠点及び共同利用・共同研究拠点の機能強化

No.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

No.73 ①-1 環境保全・安全管理の充実

### 実績報告

#### 1. 新型コロナウイルス感染症拡大の影響

令和2年度において実施された共同利用・共同研究の国内課題及び国際課題は昨年度の75%程度になっている(令和3年1月時点)。これらの実施課題の件数には、リモート実施された件数や複数回の実施を予定するもので、その一部が令和2年12月までに実施された課題や国際課題で結果の取り纏めなどを行っている課題等を含む。これらについては、令和2年度末時点で課題実施が終了し、報告書提出により完了する予定である。残りの25%は、国内課題・国際課題とも令和2年度に新規で始められたもので、新型コロナウイルスのために来所が困難であった課題であり、それらは計画通りの研究実施が困難となったものである。新規課題に未実施が多い理由としては、全く新しい課題、特に挑戦的な課題の場合、リモート実験等を行うための事前の様々な調整や準備研究が必要とすることによるものである。

金属材料研究所は、令和2年4月と5月の緊急事態宣言の下では、県外からの来所受け入れを停止したが、6月以降は受け入れ再開した。また令和3年1月からの2度目の緊急事態宣言の下では、感染防止対策と重要度を課題1件毎に確認した上で、所長決裁等により許可を行って

る。しかしながら、共同利用研究者の所属先の方針により、移動の自粛等がある場合やそれぞれの機関における新型コロナウイルス対応により、来所が困難な場合もあり、大幅な未実施となっている。なお、来所を必要としない計算材料学センターについては課題が100%実施されている。

## 2. コロナ禍での対応

東日本大震災を経験した金属材料研究所は、新型コロナウイルス感染症という世界規模の危機においてもそれを克服し、研究の継続性を保つとともに、New normal 時代を見据えた新たな社会構築に貢献していくことを責務と考えている。その中で以下のような対応を実施している。

1. 来所する研究者や受け入れ側が、安全に研究の実施が出来るように、感染防止対策のマニュアル「新型コロナウイルスルールブック」を作成し、訪問する共同研究者に徹底することで、令和3年2月末まで感染者を出さずに課題を実施している。
2. 急激な感染拡大や共同研究者の所属元での感染により、来所が突然中止になることに対応して、旅費支給額を弾力化し、キャンセル等への対応を可能にした。
3. 受け入れ部署やセンターにおいて、様々な感染防止対策を行い、そのために所長決裁で配分できる「新型コロナウイルス対策費」を設け、共同利用研究を受け入れる研究部門やセンター、事務部において様々な感染防止対策を講じることにより、非接触での書類の受け渡しや、来所者の入館管理などを可能にし、安全な実施に繋がった。
4. 共同利用研究者に対して、共同利用の実施に関する情報を伝え、要望や実情を把握するために、センター毎にオンラインのユーザーミーティングを実施して、情報発信と意見交換に努めた。
5. 試料を送付して受け入れ側が実験を行うオンライン実施、技術職員による代行実験、旅費の実施経費への転用、共同利用の成果論文の公開への支援などを総合的に行う新型コロナウイルス対策パッケージを実施し、全課題の約10%がその適用を受けて、課題の実施を後押しした。
6. 海外からの申請課題については、それぞれの国の厳しい感染状況を考慮して、報告書提出の遅延に柔軟に対応するとともに、課題の実施期間を最大2年まで延長する措置を講じた。

---

## 5. 2020 年度主要研究成果 (SDGs 関連)

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.22 ②-1 経済・社会的課題に応える戦略的研究の推進

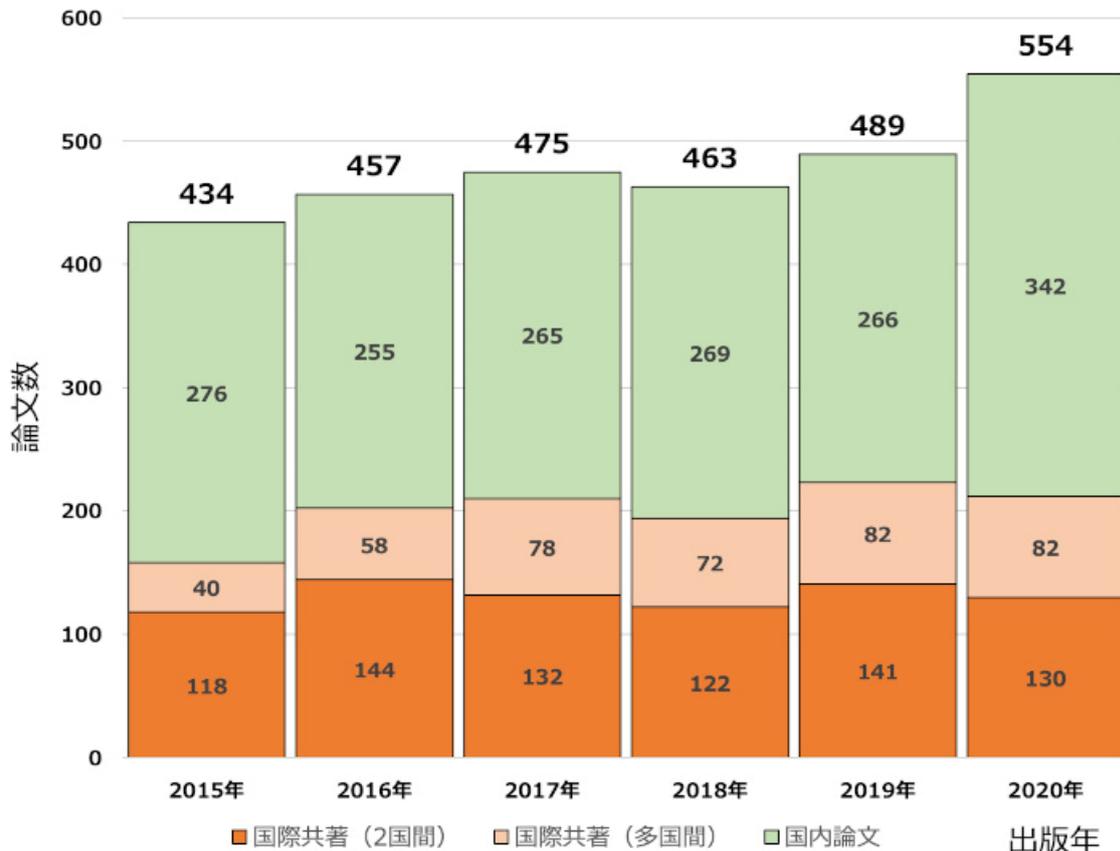
No.23 ②-2 イノベーション創出を実践する研究の推進

No.21 ①-3 国際的ネットワークの構築による国際共同研究等の推進

### 実績報告

東北大学金属材料研究所は、「広範な物質・材料に関する基礎と応用の両面の研究により、真に社会に役立つ新たな材料を創出することによって、文明の発展と人類の幸福に貢献する。」ことを理念としており、材料科学の学理の探求と応用に関する研究を行っている。令和2年度においても、新材料開発に重要な基礎研究を推進するとともに、世界有数の大型研究施設の利用から新素材の創製、評価など材料研究を実施してきた。

金属材料研究所における2020年出版学術論文状況は、Web of Science の2つの文献タイプ Article と Review で計554編であり、2019年論文数(Article と Review: 489編)よりも65編増加している(令和3年7月5日現在)。国際共著率についても第3期中期目標期間(2016—2020年)平均で42.7%(国際共著論文数2438編/総論文数2438編)となっており、高い割合を維持している。2020年論文成果のうち30件をプレスリリースで公開しており、それらの中から「持続可能な開発目標(SDGs)」の達成にも大きな貢献が期待できる研究成果10件を紹介する。



## 1. 安全・安心な社会の実現に貢献する材料科学研究

安全・安心な社会を支える様々なインフラの機能や健全性の確保が課題となっており、金属材料研究所では社会インフラを支える材料の構造特性や信頼性の向上を志向した研究を進めている。

### (1) 優れた構造特性を有するハイエントロピー合金の開発

ハイエントロピー合金は、5種類以上の元素を同程度ずつ含む多成分合金であり、強度や耐熱の面で画期的な特性を秘めた構造用金属材料として注目されている。金属材料研究所では、米国マサチューセッツ工科大学、韓国ソウル国立大学との国際共同研究において、3次元アトムプローブ法という解析手段によって、ハイエントロピー合金を構成する元素のナノレベルでの不均一な分布が優れた強度や延性を発現していることを解明した。これにより、優れた耐熱性能を持つものの、加工の困難さや耐衝撃性が低いといったことが課題であったチタン基ハイエントロピー合金に優れた機械特性を備えるための合金設計に成功した。(耐火用ハイエントロピー合金のナノ構造の解明: 令和2年8月25日)

一方、ハイエントロピー合金を現在革新的な製造技術として社会実装化が進む金属3Dプリンタ

一を活用して作成し、優れた耐食性を得るための取組も進めている。金属材料研究所と株式会社日立製作所との共同研究において、電子ビーム積層造形技術の特徴である急凝固と高温保持からなる複雑な熱履歴に起因するナノ組織形成によって、不動態皮膜と呼ばれる金属表面上の耐食性酸化皮膜が強化されることを見出した。これにより、過酷な腐食環境で使用される金属部材の安全性や信頼性の向上、金属3Dプリンターを用いた新材料開発への展開が期待できる。(金属3Dプリンターを用いたハイエントロピー合金の耐食性向上: 令和2年8月31日)

#### (2) インフラ用構造材料の高度化

水素は金属を弱くする。それは金属部材が水素ガスに曝されると水素原子が金属中に侵入し、金属を壊すためである。これは、水素エネルギー社会のインフラ用構造材料に高強度金属を利用する際の大きなボトルネックとなっている。金属材料研究所では、水素が金属を壊れやすくするメカニズムを解明するため、水素の動きが金属の内部構造に影響を与えていく様子をナノスケールで観察できる手法を開発した。この研究で開発した観察方法は、特殊な装置を必要とせず、水素環境で使用される高強度材料を開発、評価する研究の際に汎用的に活用、応用されることが期待できる。(水素が金属を弱くする仕組みを”見る”手法の開発: 令和2年6月8日)

#### (3) 廃炉処理の迅速化

原子力発電所の廃炉作業を進めるためには、炉内での空間線量測定が不可欠であるが、炉内の空間線量が非常に高いため従来の放射線検出器は動作しない。金属材料研究所は、東北大学未来科学技術共同研究センター、三菱電機株式会社、京都大学複合原子力科学研究所との共同研究において、光ファイバーを通りやすい赤色発光で、かつ高い発光量をもつ発光体材料を新たに開発した。その新規発光体と20m光ファイバーを用いて、空間線量1kSv/h程度までの超高線量の幅広い線量領域で、リアルタイムに線量測定が可能であることを示した。(廃炉の迅速化を可能にする高線量環境の炉内線量計測の開発: 令和2年6月18日)

#### (4) 材料の信頼性向上

ドローン、ロボット、自動車、医療機械などに利用される精密な微小機械システムでは、通常サイズの機械システムでは問題にならない極微量の「摩耗」でもその精度と耐久性に大きなダメージを与えるため、極限までの摩耗量の低減が強く求められる。しかし、通常サイズの機械システムで構築された摩耗量の予測式をそのまま、微小な機械システムの摩耗量予測に適用することはできない。金属材料研究所は、東北大学大学院工学研究科、中国上海海洋大学との共同研究において、金属材料研究所スーパーコンピュータ「MASAMUNE-IMR」を活用し、微小機械システムの摩耗メカニズムを明らかにするとともに、その知見に基づき微小機械システムに対する摩耗量の予測式を世界で初めて提案した。この新しい理論式は、微小機械システムの長寿命化に加え、故障・事故の防止を実現する信頼性向上に貢献するものである。(精密な微小機械システムの材料の摩耗量予測式を提案: 令和2年12月8日)

## 2. エネルギー課題の解決に貢献する材料科学研究

エネルギー課題の解決には、エネルギーを効率的に利用するための二次電池性能や省エネルギー技術の向上、熱電変換の高効率化が欠かせない。金属材料研究所では、新しい二次電池の実現に向けたイオン伝導の向上、電池の電極に用いる材料の開発、熱電変換材料、省エネルギー材料の開発に指針を与える基礎研究を実施している。

#### (1) 二次電池の高機能化

二次電池は、電極(正極と負極)と電解質で構成されており、電解質を介して正極と負極との間で陽イオンが移動することで充放電を生じている。現代社会を支える二次電池だが、より安全でより長寿命な性能が求められている。金属材料研究所は、より安全な二次電池を目指して、電解質を電解液から固体電解質に置き換えた全固体二次電池の開発を進めている。固体電解質は、電解液に比べてイオンが動きにくいという課題があり、その克服が全固体二次電池の性能向上につながる。錯体水素化合物は特定の温度以上になると錯イオンが高速に回転し、これにより陽イオ

ンの動きは著しく活発化される。この性質を踏まえて、錯体水素化合物を固体電解質に用いるための研究に取り組んでいるが、室温付近で錯イオンを回転させることが鍵であった。金属材料研究所では、平成29年に発見したモリブデンに9つの水素が結合した錯イオンに着目し、その運動を理論計算によって調べたところ、錯イオンが素早く変形を繰り返すことで高速回転しているように見える”擬回転”を示すことと、その擬回転に必要とするエネルギーが回転させるためのエネルギーに比べて約40分の1であることを発見した。さらに室温でのイオン伝導率を見積もったところ、従来の3倍以上に達する79mS/cmに到達することを見出した。この発見により、室温超イオン伝導の新たな発現原理が確立され、全固体二次電池の開発が一層加速されると期待できる。(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:令和2年4月22日)

電極材料の開発に向けた研究では、充放電時の負極劣化の回避につながる機構の解明と高性能マグネシウム二次電池用の正極開発があげられる。リチウムイオン二次電池の高容量化につながる新しい負極の実現を目指して、金属材料研究所は、住友化学株式会社との共同研究によって、純度の高いアルミニウム箔のみを材料とする負極において充放電時に生じる巨大体積ひずみを回避する新しい機構を解明した。負極は充電時に正極から移動してきたリチウムイオンを取り込み、結果として充放電のたびに負極が膨張と縮小を繰り返すことから電極構造が崩れやすくなる。その課題を解決するためには充放電時の体積の膨張と縮小を制御することが鍵であるが、それが高純度アルミニウム箔の硬さを最適化することにより可能となることを見出した。これにより、高容量化が可能となるとともに、軽量化も可能となるほか、製造プロセスを大幅に簡素化できることから低価格化なども期待できる。(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:令和2年4月27日)

また、次世代二次電池のひとつとしてマグネシウム金属を負極に用いたマグネシウム蓄電池が有力視されている。しかし、2価のマグネシウムイオンの挿入と脱離を繰り返し行うことのできる高性能な正極材料の開発が困難であった。金属材料研究所は、名古屋工業大学、東京都立大学との共同研究によって、亜鉛とマンガンを含む欠陥スピネル型構造をした酸化物を正極に利用することで、高電位、高容量を保ちつつ、これまでよりも高いサイクル特性の実現に成功した。これによりマグネシウム蓄電池の実現に向けた研究が加速されることが期待できる。(高性能マグネシウム蓄電池の正極開発に道:令和3年1月19日)

### (2) 熱電変換

排熱のエネルギーを回収して電力に変換する環境発電には、熱と電子スピンとの相関を用いる熱磁気効果を利用したエネルギー変換材料の創出が有効である。金属材料研究所は、高知工科大学との共同研究によって、コバルトと酸化マグネシウムからなるグラニュー膜において、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、酸化マグネシウムの組成量に応じて大きく変化することを見出した。これにより、酸化マグネシウムの組成量を適切に選択するだけで、熱電変換効率の制御することが可能となる。この成果は、発電素子を設計する際に、材料選択による自由度が生むものであり、より効率的な熱電素子の開発や環境発電技術への幅広い応用に期待できる。(コバルトと酸化マグネシウムからなるグラニュー膜材料で熱電変換効率が変化:令和2年4月27日)

### (3) 省エネルギー

電子スピンの流れを積極的に利用し磁石の方向で情報を記憶するスピントロニクス素子が次世代デバイスとして期待を集めている。金属材料研究所は、物質・材料研究機構との共同研究によって、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とイリジウムから構成される合金で、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白金に匹敵する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見出した。この成果では、非平衡合金の新たな可能性を切り拓き、エレクトロニクス素子の製造プロセスとの相性が良い銅基合金において大きなスピンホール効果を実現できた。これは、スピンホール効果を動作原理とするスピンオービトロニクス素子の低消費電力化に貢献するものであり、素子開発

がより加速するものと期待できる。(巨大なスピホール効果を示す非平衡銅合金を発見: 令和2年10月13日)

 [Fig\\_WoS.jpg](#)