

【令和3年度実績】

1. 国際共同利用・共同研究拠点関連

No.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

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
実績報告

1. 期末評価結果と認定更新

文部科学省が令和3年度に実施した国立大学の共同利用・共同研究拠点及び国際共同利用・共同研究拠点に対する第3期中期目標期間期末評価において、金属材料研究所の材料科学国際共同利用・共同研究拠点は、『材料科学分野の中核的拠点として、強磁場、材料照射施設等の大型施設の共同利用が活発に行われるとともに、国内研究者と海外研究者が共同するブリッジ型課題制度の創設やネットワークを生かした海外との連携強化を通じて、国際共著論文比率、TOP10%国際共著論文比率、国際共同研究数、海外研究者の受入れ数等が増加しており、更には大学院生の学位取得者の増加等の人材育成への貢献や産業界との連携も進展しており、当該分野における海外の代表的研究機関と遜色のない国際的な頭脳循環のハブとして機能していることは非常に高く評価できる。』として、評価区分Sの評価を受けた。金属材料研究所は、共同利用・共同研究拠点を対象に行われた過去3回の全ての中間評価・期末評価において評価区分Sを受けているが、国際共同利用・共同研究拠点としても引き続き特段に高い評価を得ることができた。その期末評価結果を踏まえて、金属材料研究所は令和4年度以降の第4期中期目標期間においても材料科学国際共同利用・共同研究拠点として、文部科学大臣の認定を受けるに至った。

材料科学国際共同利用・共同研究拠点 GIMRT: Global Institute for Materials Research Tohoku

目的

- 内外の研究者・機関を結合した材料科学分野の国際的協業体制マテリアルリサーチオープンアライアンス (MAROA: MAterials Research Open Alliance) を形成
- 材料科学研究分野における日本の国際的競争力強化と日本発材料の国際展開を実現

特長I: 世界最高水準の研究環境を提供

IMRT 世界でも数カ所しかない大型施設
蓄積した材料科学の経験・知識

活発な高水準の国際共同研究
国内外研究者の参加 (約600件, 海外比率25%)

特長II: 国際協業を促進する先進的な制度

IMRT ブリッジ型研究制度
金研と複数の国内外大学・研究機関による
国際共同研究の実施を支援

日本全体を巻き込んだ国際共同研究の実施
MAROA形成を通じた日本の材料科学の底上げ

特長III: 頭脳循環・若手育成

IMRT 若手海外派遣(海外研究道場)
若手萌芽研究, ツインPI申請者制度

若手研究者の海外での研究展開力強化
若手の認知度向上, 自立の支援, 国際人材集積

MAROA形成

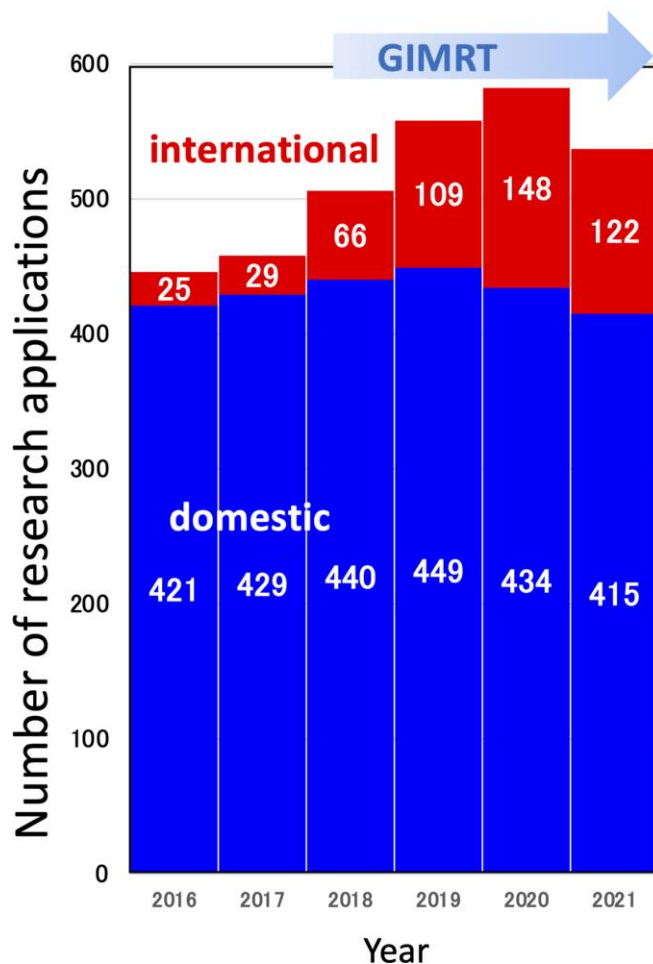
2. 行動規範の制定

材料科学国際共同利用・共同研究拠点では、東北大学の掲げる「研究第一」の伝統と「門戸開放」の理念、「実学尊重」の精神を発展させ、世界に向かって扉を開き、多様性を重視し、国際的研究活動を進めることで、人類が共有する知と文化を創造する営みを担い、その成果によって社会の進歩と発展に寄与することを目指して、その行動規範(Code of Conduct)―(1)公正な研究活動の原則遵守とその遂行、(2)研究成果は社会の共有物であるとの認識に立った客観的で公平かつ透明性のある研究の実施、(3)研究活動において不正行為・不適切行為を行わない、(4)研究倫理の保持の努力・自己研鑽・学習、(5)人種、性、地位、思想、宗教などによって個人を差別せず、人格を尊重し、多様性の確保に努めた研究活動の実施、(6)学術における男女共同参画の推進と女性研究者活躍のための活動、(7)若手研究者が活躍できる環境の確保、(8)学術の国際交流の発展―を令和3年度に日英2言語で定めた。第4期中期目標期間においても、この行動規範のもと、材料科学国際共同利用・共同研究の推進に取り組む。

3. 国際共同利用・共同研究に関する主な取組

3-1. 国際共同利用・共同研究の実施状況

新型コロナウイルス感染症の影響下にあっても実施可能な国際共同利用・共同研究の方法を検討・構築することによって、令和3年国際課題申請件数は認定前(平成29年)に比べて約4倍となっており、国際課題申請件数の割合は全件数の20%以上を維持している。認定更新を得て第4期中期目標期間では、これまでの単年度課題型共同研究に加えてポストコロナ時代に対応した短期滞在と中長期滞在型共同研究(客員教授制度)とを融合する新しい申請プログラムを設定することによって拠点活動の強化をはかり、さらなる国際共同利用・共同研究の活動を活性化していく。



3-2. 量子エネルギー材料科学国際研究センター


2011年福島第一原発事故で生じた燃料デブリの処理には分析を必要とするが、アクチノイド元素に関してはその方法論が未だ確立していない。茨城県大洗町にある金属材料研究所量子エネルギー材料科学国際研究センターでは、日本原子力研究開発機構や日本核燃料開発株式会社(NFD)、九州大学、長岡技術科学大学と連携して、最新の超微量分析法であるICP-MS/MS(誘導結合プラズマ質量分析)法による分析法の確立を目指した基礎研究を行っている。福島復興に欠かせない廃炉に向けた重要なデータ獲得が期待されている。

また、アクチノイド元素を活用した新規物性の探索、特に、スピン3重項超伝導体 UTe_2 に関する研究活動がここ数年で大変活発化している。この研究分野において必要となる大きな単結晶を創製できる研究施設は量子エネルギー材料科学国際研究センターに限られ、日本物理学会誌 JPSJ の被引用数上位 10% 論文の多くがこの研究分野で占められており、量子エネルギー材料科学国際研究センターは当該研究分野の発展に大きく貢献している。

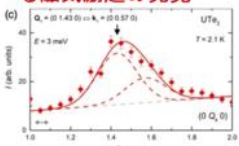
なお、東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻で金属材料研究所アクチノイド物質科学研究部門に所属する大学院生の佐藤芳樹氏が第12回(令和3(2021)年度)日本学術振興会育志賞を受賞しているが、その受賞研究課題『特徴的な結晶構造を持つ金属間化合物の単

『結晶育成と新奇物性』は、量子エネルギー材料国際研究センターにおいて実施されているものである。

**UTe₂における
トポロジカルスピン三重項超伝導**

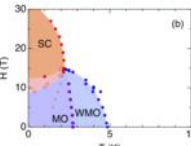
国際共同研究


超伝導発現機構の解明
中性子散乱実験による
磁気励起の発見




W. Knafo et al. PRB
104, L100409 (2021)

新奇現象
磁場誘起超伝導



D. Aoki et al. JPSJ 90,
074705 (2021)

スピントリプル状態による
エキゾチック超伝導




- 超伝導発現機構の微視的解明
- 磁気秩序近傍でおきる磁場誘起超伝導の発見

アクチノイド化合物はバルクのトポロジカル超伝導を研究する格好の舞台

2021年度に出版されたUTe₂の論文
D. Aoki et al. JPSJ 90, 074705 (2021)
S. Fujimori et al. JPSJ 90, 015002 (2021)
W. Knafo et al. Com. Phys. 4, 40 (2021)
D. Li et al. JPSJ 90, 073703 (2021)
G. Nakamine et al. PRB 103, L100503 (2021)
C. Paulsen et al. PRB 103, L180501 (2021)
G. Nakamine et al. JPSJ 90, 064709 (2021)
D. Aoki et al. accepted in JPCM → Review article (47 pages)

JPSJ Most Cited Articles in 2020 from Vol. 88 (2019)
The 10 articles published in 2019 that were most frequently cited in 2020
(Data source: Web of Science)



高被引用論文
トップ10のうち
我々の論文7編
がランクイン

3-3. 強磁場超伝導材料研究センター

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。その認定を踏まえて、令和3年度には国立大学法人先端研究等施設整備費補助金として33テスラ無冷媒超伝導磁石の開発・導入が認められた。

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。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を新たに導入することによって、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。

なお、強磁場コラボラトリーは、上記3機関間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機関で統一した共同利用研究課題の申請受付を実施し、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の運用が開始されている。材料科学・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。

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

東北大学 金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター 

【概要】エネルギー分野のグリーンイノベーション、先端機器、医療分野における高温超伝導応用による超伝導社会革新を日本が先導するため、金研の世界一の超伝導応用技術により、高温超伝導材料研究に必須な最先端設備「33T無冷媒超伝導磁石」を導入し、これを中核とする超伝導材料の評価・認証施設を設置、内外の研究機関と民間を結集した超伝導応用・社会実装研究開発拠点を形成し、超伝導材料応用技術の研究開発を推進する

【実績】	高温超伝導体材料研究開発、評価・認証拠点	【必要性・緊急性】
<p>○超伝導材料開発で世界をリード 先進超伝導線材開発と実用化 無冷媒超伝導磁石の開発と産業化 無冷媒超伝導磁石の世界記録保持 無冷媒超伝導磁石ハイブリッド磁石 25テスラ無冷媒超伝導磁石</p>  <p>○日本唯一の定常強磁場施設 ▶我が国の超伝導材料開発の中核施設 核融合用超伝導材料 高強度超伝導線材 ▶世界の5定常強磁場施設の1つ</p> <p>○日本の超伝導材料開発を先導 国内20組織(九大、名大、京大、KEK他) 海外10組織(MIT, CNRS, 電工研他) 国内企業10社(東芝、古河電工、フジクラ、中部電力、住友電工、JASTEC他)</p> <p>○オープンな共同利用・共同研究の実績 年間課題数約120件、ユーザー数420名、 延べ利用人数は8,500人日 10年間で共同利用課題数は50% 国際利用10%</p>	<p>33テスラ無冷媒超伝導磁石(新設)</p> <p>高温超伝導コイル及び外層コイル(12.8億円)  クライオスタット及び電源・制御盤(2.2億円) </p> <p>超伝導特性評価装置群(既存設備の整備)</p> <p>特長 1. 超伝導磁石の世界記録の実現 2. 50 Tが可能な国産イットリウム系材料材料を利用 3. 運転経費が従来の非超伝導磁石の1/10(効率世界1) 4. 年間300日、24時間運転が可能、利用時間100倍</p> <p>【実施体制・連携】 強磁場コラボラトリー</p> <p>金研強磁場超伝導材料研究センター 東北大学 東京大学 大阪大学</p> <p>超伝導応用・社会実装研究開発拠点</p> <p>海外大学 海外企業 ベンチャー 国内研究法人 国内大学</p> <p>幅広い企業を結集、超伝導線材開発から社会実装まで一貫研究を展開</p> <p>国内外における超伝導社会革新を先導 日本発の材料の海外展開による経済効果</p>	<p>○背景と必要性</p> <ul style="list-style-type: none"> 超伝導の社会実装がカーボンゼロ社会の鍵 高温超伝導材料による「超伝導社会革新」が、エネルギー、先端機器、医療分野で進行 グリーンイノベーションに必要な高温超伝導の社会実装の中核的応用技術確立が急務 33テスラ無冷媒超伝導磁石を中核とする超伝導材料の評価・認証施設の設定が必要 <p>【事業実施による効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 高温超伝導材料の研究開発と社会実装における日本の先導性の強化・発展 超伝導によるグリーンイノベーションで送電・蓄電・発電にわたるカーボンゼロに貢献 コンパクトな次世代核融合炉実現の鍵となるプラズマ閉じ込め技術で世界を先導 強磁場コラボラトリーの中核施設として我が国の科学技術の発展に貢献 <p>(波及効果) 先端材料、医療機器等における国際競争力の強化、海外展開への貢献</p> <p>超伝導送電・蓄電—グリーン技術 核融合炉—カーボンゼロエネルギー 超高分解能MRI—医療・脳科学 30テスラNMR—新薬開発、感染症対策 超伝導加速器—先端機器</p> 

3-4. 新素材共同研究開発センター

コロナ禍の拡大により、前年度から共同利用・共同研究の申請者は来所が困難となり、研究の進展に支障をきたしている。そこで、新素材共同研究開発センターでは、本来、申請者が行う実験をセンター職員が代替で行う、あるいは、リモート実験が可能な装置については、Webカメラを利用したリモート実験を行う等によって申請者の研究が滞らないように努めた。この作業を実施するために必要となるPC機器等を新たに導入整備した。

新素材共同研究開発センターは、毎年、申請される共同利用・共同研究の中から特筆すべき成果を挙げている研究課題に対して共同利用研究課題最優秀賞を授与しており、令和3年は東北大学理学研究科岡大地助の「エピタキシーを利用した酸化物および複合アニオン体の機能開発」を選定した。この研究は、多彩な機能を示す酸化物のうち、酸素の一部を異種アニオンで置換した複合アニオン酸化物の合成技術を確認し、独創性に秀でた研究である。具体的には、真空気相蒸着法や溶液法などの技術を活用し、準安定相を含む多様な酸化物のエピタキシャル薄膜の合成と評価を行い、分子レベルで組成を既定した二核錯体を出発原料とする新たな合成手法の開発に成功した。さらに得られた錯体の水溶液を基板上に滴下後に焼成することで、原子レベルで平坦な表面を持つ高品質な薄膜創製に成功した。また大気圧溶液プロセスであるミスト化学気相成長法をもちいて、揮発性のアニオンの組成制御が難しい系に対し複合アニオン化を試み、ハロゲンを含むビスマス・オキシハライドのエピタキシャル合成に初めて成功した。

3-5. 計算材料学センター

計算材料学センター、東京大学物性研究所計算物質科学研究センター、自然科学研究機構分子科学研究所・計算科学研究センター、大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センターによる運営機関(令和3年度事務局:金属材料研究所計算材料学センター)は、我が国の最先端の計算物質科学技術を振興し、世界最高水準の成果創出と、シミュレーション技術、材料情報科学技術の社会実装を早期に実現するため、計算物質科学技術に関わる全ての方々に開かれた『計算物質科学協議会』を令和2年5月に設立した。

この計算物質科学協議会については、『マテリアル革新強化戦略(令和3年4月27日統合イノベーション戦略推進会議決定)』の「第5章アクションプラン 2. マテリアルデータと製造技術を活用したデータ駆動型研究開発の促進(2) 具体的取組①データの収集・蓄積の環境整備とその促進」(p.24)において、「2021年度以降、産官学が集う計算物質科学協議会において、富岳や附置研スパコン等により創出された計算データのレポジトリルールの整備や、実験、計測データとの連携の在り方を検討し、マテリアルデータ利活用の仕組みを整備」することとされている。

この戦略にも適切に対応していくため、学界や産業界のニーズと計算物質科学界のシーズを常に対比させ、国際動向を含めた情報交換を行なって、ソフトウェアやツールの新たな研究開発の方向性を導き、それらを駆使したシミュレーション技術、データ解析技術の開発と活用を引き続き取り組んでいる。

3-6. 中性子物質材料研究センター

中性子物質材料研究センターでは、共同利用・共同研究拠点としての活動を平成31・令和元年から開始している。申請状況は、平成31・令和元年19件(うち国際課題7件)を皮切りに、令和3年には23件(コロナ禍のため国際課題は3件)、令和4年第1期募集で28件(うち国際課題3件)と着実に実施されている。今後、年内にさらに3回の募集を予定していることから、令和4年申請数はより多くなるものと見込んでいる。

また、我が国の研究用原子炉 JRR-3 の運転再開(令和3年2月26日)を受けて、JRR-3 に設置する金属材料研究所の装置群に対する令和3年共同利用申請数は30件であり、令和4年申請数も38件となっている。これは運転再開を見越した令和2年以前の申請課題数の2倍以上であり、中性子物質科学の再興を感じさせるものである。

特に、JRR-3 で利用の要望が多い結晶・磁気構造解析が行える研究環境を、金研の中性子粉末回折装置 HERMES を用いて迅速に整備・実現し、JRR-3 での共同利用開始後たった二ヶ月で成果の論文化に結びつけた。また、J-PARC MLF との連携も強化し、中性子利用のプラットフォームの構築を高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、東京大学物性研究所とも進めている。

さらに、中性子物質材料研究センターは、JRR-3 運転再開を受けて、高輝度光科学研究センター(JASRI)と総合科学研究機構(CROSS)に協力して、「第4回放射光・中性子の連携利用に向けた合同研究会:粉末回折測定研修会」を令和3年11月(11月5日と18日)に実施した。研修会には、4グループ6名が参加し、金属材料研究所が JRR-3 に設置している高効率高分解能回折装置 HERMES を利用した実習を行なった。この実習では、参加者が持ち込んだ試料を用いて中性子回折測定を実施することによって、分析方法を習得する機会を提供するとともに、測定結果に基づいて研究議論を深め、さらに今後の実験計画について意見交換を行なっている。このような取組みを通じて、中性子を利用した物質・材料科学研究の発展に努めるとともに、若手研究者の育成にも貢献している。

 [A1_gimrt.png](#),  [A2_no_applications.png](#),  [A3_actinoid.png](#),  [A4_hflsm.png](#)

2. 研究成果実績の状況と研究力向上に向けた取組み

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

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

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.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

実績報告

1. 論文数の推移(国際共著など)

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3年度においても、新材料開発に重要な基礎研究を積極的に推進するとともに、応用研究及び計測・評価技術に関する研究など材料研究を実施してきた。

金属材料研究所における2021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519編である(令和4年2月24日現在)。国際共著率は第3期中期目標期間(2016-2021年)平均で42.8%(国際共著論文数1,361編/総論文数3,178編)となっており、下図に示すように一貫して高い水準を維持している。



2. プレスリリースを行った代表的な研究成果

令和3年発表論文のうちプレスリリースを行った代表的な成果14件を、基礎研究、応用研究、計測・評価技術に3分類して紹介する。とくに、論文冒頭に「◆」を付したものについては、大学本部総務企画部広報室の協力を得て日本語に加えて英語での詳細なリリースを行ったものである。

当該広報室からの EurekaAlert! 等への掲載依頼と実際の掲載の効果もあって高 Altmetric Attention Score を示し、高い注目を得ていることがわかる。

- Altmetrics: 論文やデータセットなど様々な研究成果物の影響を、ソーシャルメディアの反応を中心に定量的に測定する手法と、その手法を用いた新しい研究の影響度を測定・評価する活動(『科学技術動向』, 2013 年 3・4 月号, 21 頁, 林和弘 <https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STT134J-2.pdf>)
- 通常、Altmetric Attention Score の中央値は 10 を少し下回る程度であり、30 を超えると Altmetric Attention Score が計測されている全論文のうち上位 5% に入る。
- 今回の Altmetric Attention Score は、Altmetric.com の Bookmarklet を用い、2022 年 3 月 1 日に調査した。

【基礎研究(8件)】

◆ガラス形成の謎に迫る ～金属ガラスのハイエントロピー化に伴う 2 つのガラス遷移温度のデカップリング現象を観測～ (Altmetric Attention Score: 71)

固体物理・材料科学における未解決問題として知られるガラス遷移現象は、急冷中の過冷却液体が熱力学的に安定な結晶固体へ凝固せず、長範囲規則性を持たないガラス固体に凍結する現象であり、その根本的な理解に向けて世界中で研究が進められている。金属ガラスは、高強度、高靱性、優れた軟磁性などで知られる一方で、構成原子が異方性の少ない金属結合によって、ほぼ無秩序に凝集した簡単な構造モデルで表されるため、ガラス遷移に関する基礎研究の対象材料としても大いに注目されている。金属材料研究所では、金属ガラスのハイエントロピー化を意図的に促進すると、比熱(熱力学)と粘性率(動力学)の変化から検出される 2 つのガラス遷移温度の間に存在する密接な対応関係が崩壊する“デカップリング現象”が生じることを初めて明らかにした。今回の実験結果は、ガラス遷移現象の根本的な理解に向けて重要なヒントを与えるものである。

"Decoupling between calorimetric and dynamical glass transitions in high-entropy metallic glasses", Nature Communications, doi.org/10.1038/s41467-021-24093-w

◆音波による磁石の向き制御に世界で初めて成功 ～携帯電話などに用いる弾性波デバイスの高度化に期待～ (Altmetric Attention Score: 62)

音波は、空気や物質の振動が波として伝わる現象である。音波が物質の表面を伝わる場合は「表面弾性波」と呼ばれており、その振動方向が回転しながら伝わっていく性質を持っている。このような回転は、物理学的には、磁石の元となる電子の自転(スピン)と同様に「角運動量」と呼ばれる回転量で表されることが知られている。金属材料研究所では、表面弾性波から電子のスピンへの角運動量の移動を利用することにより、音波による磁石の向き制御に世界で初めて成功した。表面弾性波を用いたデバイスは、高精度なバンドパスフィルターとして携帯電話などに内蔵されており、記録素子として広く使われる磁性との融合によりデバイスの高度化が期待できる。

"Magnetization control by angular momentum transfer from surface acoustic wave to ferromagnetic spin moments", Nature Communications, doi.org/10.1038/s41467-021-22728-6

◆磁性体におけるキラリティーメモリ効果の発見 (Altmetric Attention Score: 61)

二重らせん構造を示す DNA などのねじれた物質では、鏡に映した像はもとの構造とねじれ方が逆になる。このように鏡映像がもとの構造と異なる性質のことをキラリティーと呼び、同様なキラリティーは磁気構造においてもつくり出すことができる。磁気モーメントがらせん状に整列するらせん磁気構造は、DNA と同様にキラリティーを有している。磁性体の磁気構造は極めて安定で外部磁場や温度などのパラメータで制御しやすく実験の再現性もよいことから、らせん磁性体はキラリテ

ィーを調べるための有用な舞台となっている。金属材料研究所では、高温にある強磁性相のドメイン壁にらせん磁性体のキラリティー情報が保存されるキラリティーメモリ効果を発見した。この結果は、非キラル相における欠陥などにあるキラル構造の重要性を示唆しており、一般的なキラリティー問題に一石を投じる結果である。

"Chirality memory stored in magnetic domain walls in the ferromagnetic state of MnP", Physical Review Letters, doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.177205

◆眺める方向によって明るさが変わる磁石の開発に成功 ～有機・無機ハイブリッドペロブスカイト系材料の新しい光機能を開拓～ (Altmetric Attention Score: 40)

有機・無機ハイブリッドペロブスカイト系化合物は、比較的低温かつ簡便なプロセスでの合成が可能でありながら、優れた太陽電池材料としての光学特性を示すことなどから、新しいフォトニクス材料として世界的に注目を集めている。これまでこの材料の光機能の開拓は、磁性を持たない化合物のみに限定されていたが、磁性を持つ化合物に目を向けることで、光と磁性を結びつけるような新しい光機能の創出も期待される。金属材料研究所では、二次元有機・無機ハイブリッドペロブスカイトにおいて、キラル分子を用いて反転心を持たない磁石の材料設計に成功し、身の回りにある磁石が出すような弱い磁場で、眺める方向により明るさが変化する機能を発現させることに成功した。本研究で示された材料設計指針によって物質開発が進むことで、さまざまなスピントロニクスデバイスへの応用展開などが期待される。

"Magneto-Electric Directional Anisotropy in Polar Soft Ferromagnets of Two-Dimensional Organic-Inorganic Hybrid Perovskites", Angewandte Chemie International Edition, doi.org/10.1002/anie.202103121

◇単一強磁性体素子で3次元磁場検出を実現 ～3次元磁気センサの小型化に向けた新たな設計指針を提示～

磁場ベクトルの大きさと方向を同時に検出する3次元磁気センサは、移動体の位置・速度・角度の検出を可能とするもので、スマート社会における自動化やロボットの社会実装の進展に伴い、磁気センサの小型化の重要性がますます高まっている。金属材料研究所では、強磁性体 Fe-Sn ナノ結晶薄膜素子を用いて、平面型単一素子による3次元磁場ベクトルの検出を実証した。この成果は、3次元磁気センサの小型化の実現だけでなく、強磁性体を使った新たな機能性センシング素子の開発に貢献するものと期待される。

"Three-dimensional sensing of the magnetic-field vector by a compact planar-type Hall device", Communications Materials, doi.org/10.1038/s43246-021-00206-2

◇放射光でついに見えた磁気オクタポール ～熱を電気に変える新たな担い手～

物質中の電子が持つスピンを起源とする高い熱電変換効率や大きな異常ホール効果は、これまで電子スピンの揃った状態でのみ起こると考えられてきた。その一方で、スピンの打ち消し合うように整列した反強磁性と呼ばれる状態でも、大きな効果が報告されており、スピンは打ち消し合っているにも関わらず、何らかの状態が打ち消し合わずに向きを揃えていると考えられており、これは「磁気八極子」として理論的に予測されていたが、実験的には検出されていなかった。金属材料研究所では、磁石のマイクロな起源である電子スピンの打ち消しあう反強磁性と呼ばれる状態の中に潜んだ「磁気八極子(磁気オクタポール)」を放射光 X 線実験から明らかにした。今回検出された磁気八極子は、従来のスピンよりも高速制御が可能で、スピントロニクスデバイスなどの大幅な高速化にも貢献すると期待されており、新規なスピントロニクスや熱電変換機能を生み出す起源を探る新たな手法の提案であるとともに、放射光を用いた X 線磁気分光や共鳴 X 線散乱の新たな可能性を拓くものである。

"X-ray study of ferroic octupole order producing anomalous Hall effect", Nature Communications, doi.org/10.1038/s41467-021-25834-7

◇高い超伝導転移温度の機構解明に光明～電荷密度波が誘起する「対密度波」超伝導状態～

近年になり室温超伝導体の発見があったが、大気圧下において最も高い超伝導転移温度を持つものは層状構造を持つ銅酸化物である。層状銅酸化物において、高い温度で超伝導状態になる原因は、これまで精力的な研究が行われてきたが十分な答えは得られていなかった。金属材料研究所では、層状銅酸化物における超伝導電子対が、超伝導転移温度近傍で特殊な空間変調を持つ状態を形成していることを実験的に明らかにし、長年の謎の解明に光明を見出した。この結果により、対密度波状態と電荷密度波状態の関係が明らかとなり、超伝導転移温度が高くなる原因には、電荷の自由度が関わっていることが明らかになった。

"Two-dimensional superconducting fluctuations associated with charge density wave stripes in $\text{La}_{1.87}\text{Sr}_{0.13}\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{O}_4$ ", *Physical Review Letters*, doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.167001

◇分子の吸着で磁石を創る～吸着分子に依存した磁気相変換の実現～

磁石本来の単なる性能向上にとどまらず、従来の磁性体では実現不可能であった機能を発現する磁石や、磁石の ON/OFF 機能を併せ持つ磁石の開発が注目されている。金属材料研究所では、ベンゼンなどの小分子を吸着させることで、磁石でない状態から磁石へと変換する新たな多孔性材料の開発に成功した。今回開発された材料は分子性多孔性材料の一種で、層状構造になっており、その層の間にベンゼンなどの小分子を出し入れできるのが特徴である。このような材料は、化学的刺激により駆動する新たな分子デバイス創製に繋がると期待される。

"Magnet Creation by Guest Insertion into a Paramagnetic Charge-Flexible Layered Metal-Organic Framework", *Journal of the American Chemical Society*, doi.org/10.1021/jacs.1c01537

【応用研究(4件)】

◆液体硫黄を活用した高速充放電可能なマグネシウム電池用正極複合材料の開発に成功 (Altmetric Attention Score: 66)

次世代蓄電池であるマグネシウム蓄電池の正極材料候補として酸化物系材料が検討されているが、より高容量を実現できる硫黄系正極材料の研究が近年盛んに行われている。金属材料研究所では、電気化学反応を利用したトップダウン的手法により、マグネシウム蓄電池正極に適した高性能な硫黄/硫化物複合材料の作製に成功した。この硫黄系複合材料は、マグネシウム蓄電池用正極材料として蓄電容量、充放電速度、サイクル特性などの点において高い性能を有することが示された。また、充電直後の硫黄の非平衡状態(高いエネルギー状態)を利用することにより、熱力学的に想定される電位よりも高電位で放電できることも示された。これは硫黄の新しい利用法を示すものであり、今後の硫黄系正極材料の開発に拍車をかける結果であると期待される。

"Electrochemically Synthesized Liquid-Sulfur/Sulfide Composite Materials for High-Rate Magnesium Battery Cathodes", *Journal of Materials Chemistry A*, doi.org/10.1039/d1ta03464b

◇必須の高強度・高伝導性銅合金の開発に新たな道～SDGsの達成への貢献～

銅合金は優れた熱伝導性と強度を併せ持つことから、SDGs 達成に不可欠な高効率のエネルギー輸送・変換機器において必須の材料である。ただし銅合金を高温で用いるためには、材料を強化する析出物や分散粒子が高温でも安定であることが必要で、それには酸化物が期待されている。金属材料研究所では、メカニカルアロイング法によってイットリウムとジルコニウムの複合酸化物をナノサイズの分散粒子として銅中に混合した新しい酸化物分散強化銅合金を創り出すことに成功した。新合金は、従来のイットリウム酸化物を分散粒子とする合金の 1.5 倍の強度があり、高温で作動するヒートパイプや熱交換器等にも適用できる可能性がある。

"Effects of Zirconium Addition on the Material Properties and Microstructure of ODS-Cu Alloys", Journal of Alloys and Compounds, doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.163328

◇ポスト・リチウム蓄電池の開発に前進 ～マグネシウム蓄電池正極材料開発に向けて MnO₂ を使いこなす～

二酸化マンガン(MnO₂)はアルカリ乾電池やリチウム電池の正極に用いられる身近な材料である。その結晶構造には、電池材料として広く使われてきたγ型以外にも、結晶多形と呼ばれるα、β、δ、λ型など、同組成の異なる構造が存在する。金属材料研究所では、拡散律速のために室温では十分に見られなかった反応を、中温域での電気化学反応により浮き彫りにした。そして、いくつかのMnO₂の多形構造は、マグネシウムイオンの挿入が可能であり、挿入後も母構造を堅持できる(トポタクティック反応)という、MnO₂の新たな側面を発見した。この発見により、MnO₂をベースとする活物質を正極とするマグネシウム蓄電池の開発が加速するものと期待される。

"Accelerated kinetics revealing metastable pathways of magnesiation-induced transformations in MnO₂ polymorphs", Chemistry of Materials, doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c02011

◇燃料電池などで使われる酸素還元用合金触媒の高性能化機構を解明 ～触媒表面の歪を利用した高活性な触媒の開発へ期待～

燃料電池や空気電池の高効率化には、電気化学反応を促進するための触媒の高性能化が求められる。これまで、複数の金属元素を混合した合金触媒が用いられてきたが、どのような組成や構造の時に高活性な触媒が得られるかについての理解は進んでいなかった。金属材料研究所では、合金触媒の表面近傍に予め内在させた歪が、合金触媒能を向上させることを明らかにした。本研究で用いた解析手法や知見は、高効率な合金触媒の合理的な材料設計に貢献するものと期待される。

"Electrochemically Induced Strain Evolution in Pt-Ni Alloy Nanoparticles Observed by Bragg Coherent Diffraction Imaging", Nano Letters, doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c00778

【計測・評価技術(2件)】

◆薄い被覆の接合強度の測定に成功 ～マイクロメートルサイズの超微小試験技術を駆使する～ (Altmetric Attention Score: 31)

薄く被覆された材料の界面接合強度は、被覆層の大きさに制限があるため、通常の強度試験では正確に測定することが困難である。金属材料研究所では、鉄鋼材料に対して爆発接合法によって被覆したタングステン箔の界面接合強度を、超微小試験技術であるマイクロ引張試験およびマイクロせん断圧縮試験によって明らかにした。本研究成果は、未来のエネルギー源として開発が進められている核融合炉の厳しい環境に耐える被覆技術の評価法に関連するものだが、様々な被覆材料の界面強度の測定に応用可能であり、高機能化や軽量化を目指して様々な産業機器で活用が進むマルチマテリアル技術の安全性評価への貢献が期待できる。

"Bonding Strength Evaluation of Explosive Welding Joint of Tungsten to Ferritic Steel using Ultra-Small Testing Technologies", Materials Science and Engineering: A, doi.org/10.1016/j.msea.2021.141995

◇磁性ワイル半金属の表面に潜む金属伝導を初検出 ～表面伝導を活用した新型素子開発に前進～

トポロジカル物質群と呼ばれる特殊な物質の一種である磁性ワイル半金属については、強磁性であると同時に、トポロジカルな電子構造に由来する様々な興味深い物性の発現が提唱されている。磁性ワイル半金属の試料表面には、特異な電子構造に起因する表面状態が生じている。そのため、表面状態の特性は試料厚みに依存せず、優れた電気伝導を示すことが期待されている。しかしながら、表面状態と試料内部の伝導成分をそれぞれ分けて評価することは困難であっ

た。金属材料研究所では、磁性ワイル半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 薄膜の膜厚を精密に制御することで、磁性ワイル半金属状態における表面伝導の発現を初めて捉えたとともに、その金属的性質を明らかにした。この成果は、磁性ワイル半金属の物性解明を大きく前進させるだけでなく、表面伝導を活用した新型素子の開発にも寄与するものと期待される。

"Two-dimensionality of metallic surface conduction in $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ thin films",
Communications Physics, doi.org/10.1038/s42005-021-00627-y

3. 主な受賞

令和4年1月 第12回日本学術振興会育志賞

佐藤 芳樹 氏(博士後期課程3年:アクチノイド物質科学研究部門)
研究テーマ「特徴的な結晶構造を持つ金属間化合物の単結晶育成と新奇物性」

令和3年12月 第18回日本学術振興会賞

塚崎 敦 教授(低温物理学研究部門)
受賞理由「高度な薄膜界面作成技術に基づくトポロジカル物質の物性発現と応用」

令和3年5月 第18回本多フロンティア賞

折茂 慎一 教授(水素機能材料工学研究部門)
受賞対象研究「水素化物の新たな機能開拓とエネルギーデバイスへの応用」

令和3年4月 令和3年度 科学技術分野文部科学大臣表彰 若手科学者賞

金 相侖 助教(水素機能材料工学研究部門)
業績名「水素化物超イオン導電体の開発に関する研究」

4. 創発的研究支援事業への採択

金属材料研究所では、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若手支援制度(若手研究者論文発表支援プログラム「今が大切」、大学院生の国際化支援「つとめてやむな」等)を新設した。そして、令和3年度もその運用を行うなど、若手研究者に対する手厚い支援をコロナ禍においても継続して行っている。

若手研究者の活発な研究活動は、JST 創発的研究支援事業への採択にも結びついている。令和2年度の採択2件(宮本吾郎准教授、南部雄亮准教授)に続き、令和3年度も1件(新居陽一助教「先端計測による強相関フォノンクスと熱機能の開拓」)が採択された。同事業で採択された研究者は、金属材料研究所で制定した申し合わせに基づき、融合研究部先端・萌芽研究部門創発研究グループ所属として独立し、積極的な研究活動を行っている。

5. URA の雇用

大学等における研究体制・研究環境の全学的・継続的な改善や、研究マネジメント改革などによる国際競争力の向上を目的とし、研究大学強化促進事業が実施されている。金属材料研究所においても、その方針に則り、令和3年2月に材料科学分野の素養を有する URA(特任准教授)1

名を新たに雇用した。同人は、主に個人及び部局評価並びに広報の業務を担当している。これによって当研究所の URA は2名体制となり、研究者が研究に専念できる環境がいつそう充実することとなった。令和3年度の主な取組みとして以下が挙げられる。

評価業務に関しては、Web of Science からデータを入手、クレンジング、抽出、整理、分析の作業が生じるが、URA(特任准教授)が Python スクリプトを作成することによって作業の効率化を実現し、従来3日間程度を要していた一連の作業を約3時間程度で自動実行することが可能となった。

令和3年度から URA(特任准教授)を広報活動に参画させることによって、特に英語によるプレスリリース情報発信強化を図った。具体的には、プレスリリースの英語発信数の増大を目標として、金研研究力強化セミナーを開催し、国際プレスリリースに係る手続きをあらためて周知するとともに、実際に行われた日本語プレスリリースについても担当教員に対して英語版作成依頼を個別に行うようにした。この結果、令和2年度までの過去3か年で英語の詳細なリリースを行ったものは年間プレスリリース数の 10%以下であり 90%以上は書誌情報等の記載に留まってところ、令和3年度では金研が主導するプレスリリースの 40%以上のものが英語での詳細なリリースが行われ、それらの論文は『2. プレスリリースを行った代表的な成果』で示したように高い注目が得られる結果をもたらしている。

 [論文数グラフ.jpg](#)

3. 若手研究者支援・人材育成関連

No.20 ①-2 世界トップレベル研究の推進

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

No.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

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

実績報告

1. 若手研究者が独立的に研究を推進するための制度の高度化;テニユアトラック制度の導入と融合研究部先端・萌芽研究部門開拓研究グループ、創発研究グループの新設

機動的な研究領域の設定や柔軟な研究実施を目的とする先端・萌芽研究部門において、独立研究グループに所属する准教授に関する申し合わせを変更するとともに新たに開拓研究グループを設置することによって、若手研究者が独立的に研究を推進するための制度を高度化した。

独立研究グループに所属する独立准教授については、新たに定めた「東北大学金属材料研究所テニユアトラック制度に関する内規」に基づいてテニユアトラック教員として教育研究活動に取り組むものとし、独立的に運営する研究室に特任助教1名を配置することを可能とするとともに、研究費および研究スペースについても金属材料研究所の定めるところにより配分されることとなった。また、独立准教授がテニユア付与に係る審査に合格、テニユアを付与された場合に適切に対応するため、先端・萌芽研究部門に開拓研究グループを新たに設置し、テニユア教員となった後も引き続き独立的な研究を推進することができる環境を整備した。

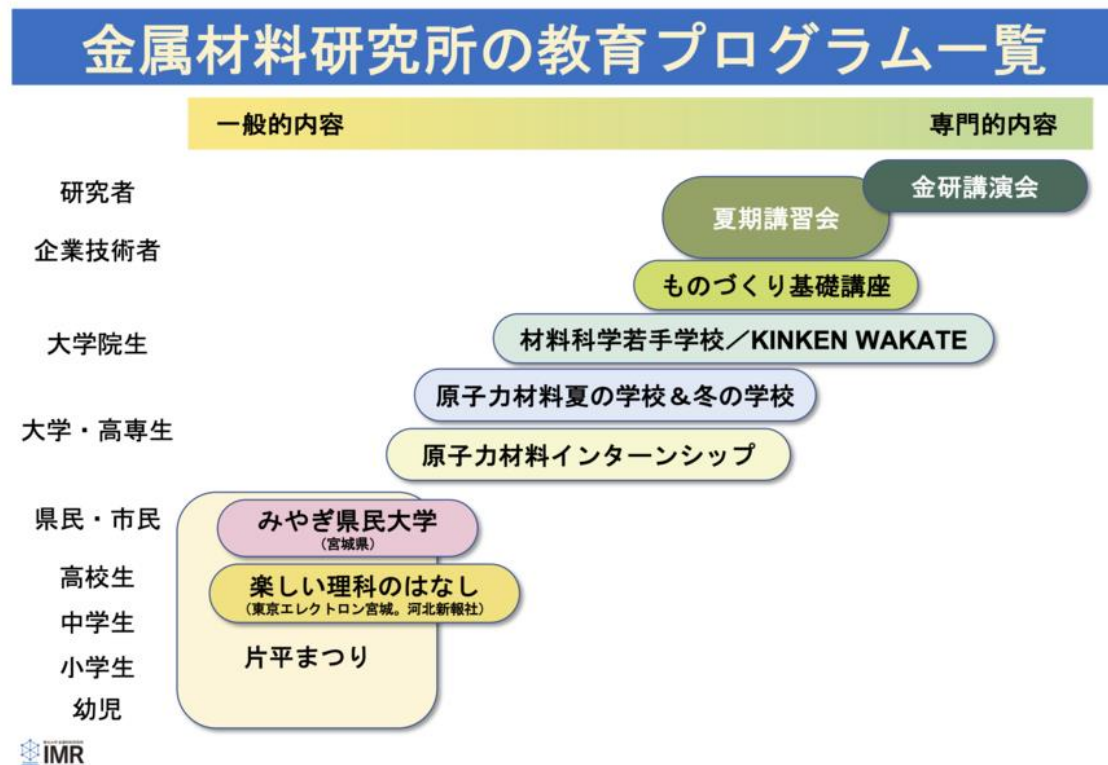
また、先端・萌芽研究部門に創発研究グループを新たに設置し、科学技術振興機構「創発的研究支援事業」に採択された若手研究者(令和2・3年度採択者:南部雄亮准教授、宮本吾郎准教授、新居陽一助教)が、独立して創発的研究を遂行することのできる研究環境を整備した。

2. 若手研究者論文発表支援プログラム 続「今が大切」

金属材料研究所では、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」を令和2年度に緊急整備した。令和3年度においても、この支援プログラムを名称『続「今が大切」』として継続展開を図った。令和3年度の支援対象を原則 40 歳以下の教員と博士研究員とし、投稿料・掲載料、オープンアクセス料金(50%補助・上限 10 万円)、英文校正費(上限 6 万円)を支援した。令和4年3月 11 日時点で延べ 24 人の若手研究者等が支援プログラムを活用しており、Nature や Journal of the American Chemical Society など有力誌への投稿・掲載を促す効果が表れている。

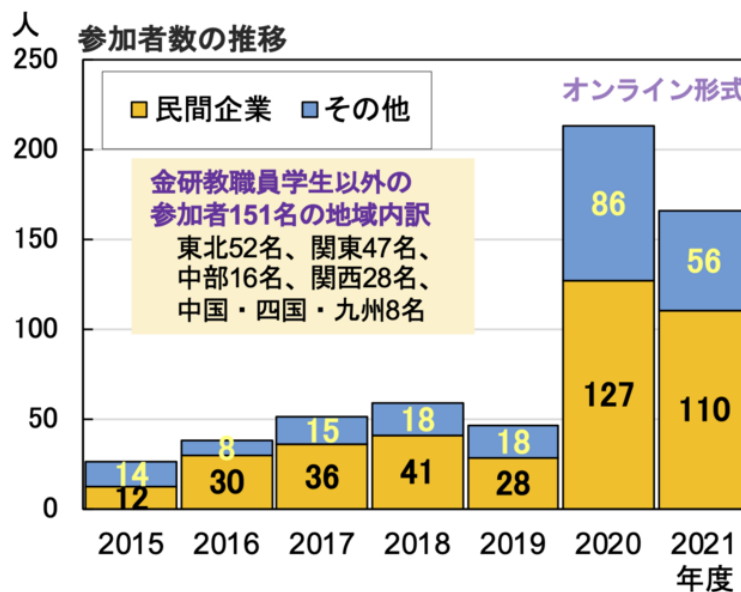
3. 金属材料研究所教育プログラム

金属材料研究所では、所内外から材料科学のみならず多様な研究分野の研究者を特別講師とする研究者向けの金属材料研究所講演会、民間企業技術者を対象とする夏期講習会やものづくり基礎講座、若手研究者を対象に英語講義を行う材料科学若手学校、大学院生・専門学校生を対象に原子力材料に関する教育を展開する原子力夏の学校、幼児から児童・生徒をはじめ一般の方々を対象とする片平まつり・きんけん一般公開を通じて、多くの方々に材料科学研究の最先端から研究の楽しさまでを理解いただくためのさまざまな教育プログラムを実施している。また、宮城県、東京エレクトロン宮城・河北新報社の教育プログラムにも積極的に協力し、材料科学への理解増進に努めている。令和3年度も、コロナ感染症対策を講じつつ工夫してこれらのプログラムを実施した。以下に、それら取組のなかから一部の概要を記す。



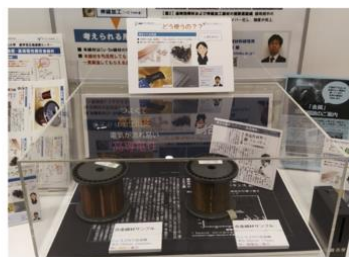
3-1. 金属材料研究所夏期講習会

コロナ禍対応として夏期講習会の開催形式をオンライン方式を採用したところ、遠隔地からの参加者が急増している。オンライン方式が講習会の対象者である企業研究者・技術者のニーズに答え得るものとなっていることが十分に示唆される。令和3年度では参加者数が減っているが、その理由は本所参加者数の減によるものであり、企業参加者数はコロナ禍以前に比べて高い水準となっている。したがって、今後コロナ禍の影響が小さくなると見込まれるが、遠隔地からの参加者が多い状況を踏まえて、引き続き、オンライン形式を併用する予定である。ただし、コロナ禍以前の夏期講習会では実習も行われていたことから、オンライン形式であっても効果ある実習の実施方法を検討する必要がある。



3-2. 企業技術者向けセミナーと技術相談

コロナ禍が継続するなかではあるものの企業人向けセミナーや技術相談をオンラインで開催するとともに、感染拡大が下火となった令和3年10月から12月にかけては、感染防止に十分努めながらオンサイト活動を再開した。大阪産業局が管理運営するクリエイションコア・東大阪において、産業局の厳重な感染予防措置のもと、150人定員の技術交流室での30名参加限定の企業人向けセミナー開催（ハイブリッド形式、下写真左）や、40人定員の会議室で最大4名入室の技術相談を実施した。さらにビジネスチャンス発掘フェアに参加し、企業との共同研究成果を出展した（下写真右）。



3-3. 原子力材料夏の学校、インターンシップ、冬の学校

量子エネルギー材料科学国際研究センターでは、文部科学省「国際原子力人材育成イニシアティブ・機関横断的な人材育成事業」(令和元年度採択)のもと原子力材料に関する教育を展開し、大学院生を対象とする「大洗原子力夏の学校」(令和3年8月2～6日開催)と高等専門学校生を対象とする「高専インターンシップ」(8月23～27日開催)をそれぞれ開催している。この取組では、現行炉のより高い安全性を確保するために不可欠となる原子力材料に関する教育と実習を行うものであり、放射線の基礎、放射化試料の取り扱い、透過電子顕微鏡や3次元アトムプローブなど最先端のマイクロ組織分析手法を扱っている。令和3年度は、夏の学校については現地参加のみとして11名が、インターンシップについてはオンライン参加のみとして10名が参加した。なお、現地参加のみとした夏の学校では、新型コロナへの感染防止の観点からも十分な対策を講じた上で実施している。

また、放射性廃棄物処理・処分における分離・分析に関する教育を実施する「大洗原子力冬の学校」(令和4年1月24～28日開催)を実施し、現地参加者3名とオンライン参加者9名の参加を得た。この取組では、東京電力福島第一原子力発電所廃止措置や通常の廃炉措置などで不可欠となる廃棄物分離分析に関する教育・実習を行うものであり、放射線廃棄物や化学操作の基礎の習得、最先端の分析機器である誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いた分離分析手法の講義と実習を扱った。現地参加を計画していたが、開催直前の新型コロナ感染者急増となったことを考慮して、感染拡大防止の観点から現地参加者数を特に絞った上での開催となった。現地参加者に対しては十分な感染予防策を講じた。

これらの若手人材育成の取組みに対しては、毎年開催している運営協議会でも学外、特に産業界の有識者からも大きな期待を寄せられている。

原子力材料に関する教育（大洗原子力夏の学校、高専インターンシップ）

現行炉のより高い安全性を確保するために不可欠な原子力材料に関する教育・実習を行った。放射線の基礎、放射化試料の取り扱い、透過電子顕微鏡や3次元アトムプローブなど最先端のマイクロ組織分析手法などを扱った。

教育効果を上げるため、現地参加のみまたはオンライン参加のみで開催した。現地参加では十分な感染対策を取った。

大学院生夏の学校：
11名
(全員現地参加)

高専インターンシップ：
10名
(全員オンライン参加)

微小欠陥の観察手法の講義・演習



照射済み試料の破面観察実習



オンラインによる研究紹介・懇親会



照射済み試料のガンマ線スペクトロスコピー実習

3-4. 一般公開

金属材料研究所では、児童・生徒を対象として世界最先端の材料科学研究に触れる機会を提供する「きんけん一般公開」を2年に1回の頻度で行っており、令和3年10月9日(土)に第12回目を開催した。今回は、新型コロナウイルス感染症の影響により、YouTubeを活用した完全オンライン開催となった。研究室紹介動画(6研究部門)や実験動画(6件)のコンテンツを専用ホームページに公開するとともに、リアルタイムの動画配信コンテンツとして、シリコン結晶の成長に関する研究紹介、通常の一般公開では見学することが難しい巨大マグネットで身近なものを浮かす実

験、研究者への質問コーナーなどを配信し、金属材料研究所の今の様子を提供した。

なお、それらコンテンツについては全てアーカイブされており、現時点でもYouTubeで視聴することが可能である。令和4年3月3日時点の動画視聴数は660回となっているが、今なお視聴数が伸びている状況である。動画配信という手段が新たな広報の方法として期待できる。



4. 計算物質科学人材育成コンソーシアム(PCoMS)

金属材料研究所は、平成27年8月に文部科学省科学技術人材育成補助事業『科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業(次世代研究者プログラム)』の採択を受けて、東京大学物性研究所、自然科学研究機構分子科学研究所、大阪大学ナノサイエンスデザイン教育研究センターと連携して計算物質科学人材育成コンソーシアム(PCoMS)を設立し、広範な物質科学領域と基礎、応用、実用化の全段階を俯瞰しつつ、ハイパフォーマンスコンピューティング技術を駆使して物質科学分野の課題発見と解決ができる人材育成の環境整備と若手研究者の安定雇用につながる仕組みの構築を通じて若手研究者を支援している。

計算物質科学人材育成コンソーシアム(コンソーシアム長:久保百司 金属材料研究所教授)は、文部科学省データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト『極限環境対応構造材料研究拠点(RISME)』(拠点長:古原忠 金属材料研究所教授)と共同で、外国籍の大学院生・若手研究者を主な対象とする研究費申請書作成セミナー”The PCoMS & RISME professional skills training online seminar of English research proposal writing”を令和4年2月18日にオンライン形式により開催(共催:金属材料研究所計算材料学センターおよび京都大学ヒト生物学高等研究拠点;協力:東北大学学際融合グローバル研究者育成東北イニシアティブおよび東北大学URAセンター)した。

これまで若手研究者を対象とした研究費申請書作成セミナーは数多く開催されてきたが、その多くが日本語によるものであって、外国籍若手研究者・大学院生にとっては我が国の研究費制度への理解を深めることや、過去に採択された研究者による申請書作成から審査までの経験を共有することなどが困難であった。この状況を解決し外国籍若手研究者による研究費獲得を支援するため、英語によるセミナーを初めて開催することとした。このような英語セミナーの開催事例は、あまり例がなく、前駆的な取組みともいえるものである。

C1_edu_prog.png, C2_夏期講習会.png, C3_seminar.png, C4_oarai_summer.png, C5_openIMR.png

4. カーボンニュートラル・SDGs への貢献と人々の安全安心に関わる材料科学研究の推進

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

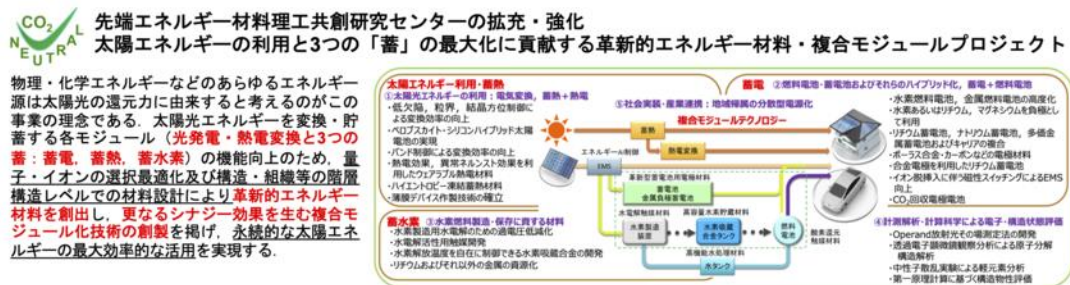
No.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

実績報告

1. カーボンニュートラル・SDGs 達成に向けたエネルギー材料研究の推進

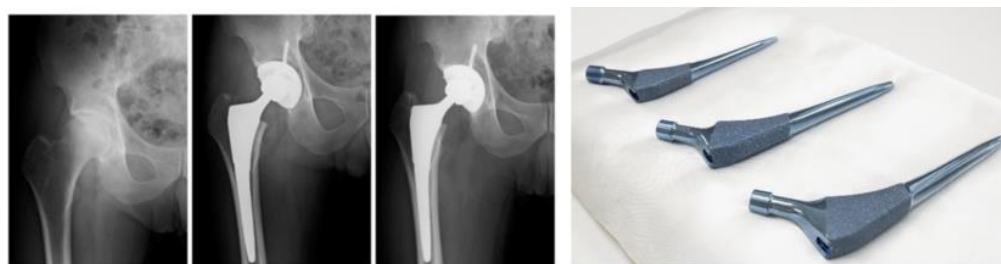
先端エネルギー材料理工共創研究センターでは、持続可能社会の実現に資する先端エネルギー材料に関わる理工共創研究を進め、太陽電池材料や蓄電池材料の機能向上を図るためのエネルギー材料研究の開拓に取り組んできている。また、研究成果の速やかな実装を可能にするとともに、その実装として前提している再生可能エネルギー由来水素利用エネルギーシステムの高度化を図っている。これらの取組みは、今後、東北大学のグリーン未来創造機構の取組みとも連携させていく。

また、令和4年度から先端エネルギー材料理工共創研究センターの拡充・強化をはかり、学内の工学研究科、多元物質科学研究所、材料科学高等研究所との連携体制を構築して、太陽エネルギーの利用と3つの「蓄」の最大化に貢献する革新的エネルギー材料・複合モジュールプロジェクトを開始し、2050カーボンニュートラルやSDGs目標7「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」の達成に貢献していく。



2. 社会実装に向けた最新研究成果:インプラント TiNbSn 合金が厚生労働省の薬事承認を取得



金属材料研究所が、本学医学部及び企業と共同で開発した TiNbSn 合金が厚生労働省の薬事認可を得た。本合金は、現在、世界で最も低いヤング率を有し、医療現場の長年の課題であった応力遮蔽による廃用性骨萎縮の改善が期待されている。この成果をまとめた論文は、国際的な学術論文の評価機関“Advances in Engineering”(AIE)により、材料工学分野で特に重要度の高い論文に選ばれた(選出される確率は全世界で毎月国際学術誌に掲載される論文総数の0.1%以下)。また論文の Highlight はニュース速報として AIE の Web サイトで紹介された。写真は廃用性萎縮が抑制された患者の経過観察のレントゲン像と、患者にインプラントした TiNbSn 合金製人工股関節システムである。



廃用性萎縮が抑制された患者の経過観察レントゲン画像 TiNbSn合金製人工股関節ステム

3. 放射線がん治療用材料アクチニウム 225 の高効率・高品質製造技術の確立

株式会社日立製作所、東北大学電子光物理学研究センターと金属材料研究所、および京都大学複合原子力科学研究所は、放射線がん治療法の一つであるアルファ線内用療法に必要なアクチニウム 225 を高効率・高品質に製造する技術を世界で初めて確立した。その技術では、ラジウム 226 を原料として電子線形加速器を用いることで、分離できない不純物を生成することなく高品質なアクチニウム 225 を効率よく製造できる。今後、日立製作所と東北大学、京都大学は、本製造技術の実用化に向けた研究開発を進めるとともに、日立製作所が本技術で製造したアクチニウムの薬剤への適用性評価に関する研究を国立がん研究センターと共同で令和3年10月から開始し、安全・安心社会「一人ひとりの健康で快適な生活」の構築に貢献することを目指す。

 [D1_eimr.png](#),  [D2_TiNbSn.png](#)

5. マテリアル DX プラットフォーム実現をはじめとする新しい材料科学研究の先導

No.19 ①-1 長期的視野に立脚した基礎研究の充実

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.32 ②-3 附置研究所等の機能強化

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

実績報告

1. データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト事業「極限環境対応構造材料研究拠点」

文部科学省が実施する令和3年度データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト事業において、東北大学金属材料研究所・大学院工学研究科、九州大学、大阪大学及び物質・材料研究機構による「極限環境対応構造材料研究拠点 (RISME: Research Initiative of Structural Materials for Extreme Environment)」(拠点長: 古原忠 金属材料研究所教授)が採択された。

本拠点は、社会インフラの高度化・長寿命化には革新的構造用材料の開発が必須であることから、構造材料に関するオールジャパン体制で、超耐熱性、耐水素環境、耐疲労性、耐摩耗性など、多様な極限環境下で長期使用に耐え得る機能を備えた構造材料及びその利用技術のデータ駆動型開発を行い、既存インフラシステムの長寿命化や新規インフラシステムの高効率化に向けたデータ活用型マテリアル工学の構築を目指している。

この取組みを通じて、2050年脱炭素化目標の達成や安全・安心なレジリエント社会構築など我が国が抱える社会課題解決の貢献に向けた材料科学研究を展開する。

**データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト
極限環境対応構造材料研究拠点**

代表機関： 東北大学（研究代表者：金属材料研究所 古原忠教授） 令和3年度実施概要
FS参画機関： 大阪大学、九州大学、物質・材料研究機構 他

背景 世界が目指すグリーン・レジリエント社会の構築には、金属等の**構造材料の安全性向上・長寿命化**が必須

目的

- 極限環境（高圧・水素、高圧・摩耗・疲労、高温・高圧）下での材料の損傷・破壊メカニズムの解明
- 材料創製のキーとなるデータの整理・集積・活用

先端解析と計算科学により解明される数々の知見を、データ科学的手法を用いて損傷・破壊の進展制御に生かし、耐極限環境材料の創製に活用

【変形／破壊の基礎学理の現実問題への応用】
= 【理想材料から実用材料へ】& 【実験室環境から実極限環境へ】

【実用材料】	【実環境・極限環境】
多様な材料種・ミクロ組織、 欠陥・不純物の存在、 コスト・規格の制限 ...	・ 疲労環境（長時間、超高サイクル負荷下の損傷） ・ 化学環境（水素環境下での材料劣化） ・ 高温環境（高温・長時間運転、摩擦下の損傷）

【構築を目指すプラットフォームとその役割】
多様な**研究連携**や**データ集積・活用**が可能なオープンプラットフォーム
次世代マテリアル×デジタル科学人材の育成

【期待される成果の応用例】
耐水素環境：FCV用高圧水素貯蔵システム
耐摩耗・耐疲労環境：EV・FCV用次世代ギアボックス
超耐熱環境：高効率発電タービン、航空機エンジン

<今後>
令和3年度に実施した動向調査、課題検討を踏まえ、本格的拠点形成を目指す

IMR

2. マテリアル先端リサーチインフラ「高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル領域」

東北大学産学連携機構ナノテク融合技術支援センターは、令和3年度からマテリアル先端リサーチインフラ「高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル領域」のハブ機関として、三つのスポーク機関、すなわち、筑波大学、豊田工業大学、香川大学と連携し、これまでに構築してきた共用設備群を発展させ、マテリアル DX プラットフォーム実現に向けたリサーチインフラの研究開発拠点を担っている。本事業においては、金属材料研究所の今野豊彦教授が中心的役割を担って学内推進体制を構築し、本学先端電子顕微鏡センター、理学研究科附属巨大分子解析研究センター、マイクロシステム融合研究開発センターとともに事業推進に努めている。

これにより、高品質で大量のデータを創出し、データを活用した基礎から応用、実用化に至るシームレスな研究開発を行う場としての役割を果たし、関係各機関と連携してデータ駆動型研究開発を進め、マテリアル・イノベーション創出に貢献していく。

**マテリアル先端リサーチインフラ
高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル領域**

事業実施期間
令和3～12年度

設備共用からデータ共有へ

これまでに構築した**共用設備群**を**発展**させ、マテリアルDXプラットフォーム実現に向けたリサーチインフラの研究開発拠点として、**高品質で大量のデータを創出**する役割、さらに、**データを活用した基礎から応用、実用化に至るシームレスな研究開発を行う場**としての役割を果たす。とくに、**多種多様な材料を応用した高度なデバイス機能実現に必要な共用設備基盤を整備**してデータ創出と活用を進めるとともに、**関係機関と連携**して社会実装を推進し、**マテリアル・イノベーション創出**に貢献する。

東北大学 (ハブ)
筑波大学 (スポーク)
豊田工業大学 (スポーク)
香川大学 (スポーク)

- 新規材料を含めた多種多様な材料の取扱い
- ハイスループット化の推進
- 技術代行、リモート化の推進
- データ創出・活用拠点形成
- 社会実装推進
- 関係機関との連携による人材の育成、確保

多種多様な材料 → データ創出・活用 → ハイスループット → 高度デバイス → 社会実装

<令和3年度東北大学推進体制>

**東北大学産学連携機構
ナノテク融合技術支援センター**
(センター長：今野豊彦)

課題採択委員会・事務局
(利用課題選定、報告書審査等)

(R3はナノプラ事業の最終年度)

微細構造解析分野 (担当責任者：今野豊彦教授)

- ・金属材料研究所
- ・先端電子顕微鏡センター
- ・理学研究科附属巨大分子解析研究センター

微細加工分野 (担当責任者：戸津健太郎教授)

- ・マイクロシステム融合研究開発センター

令和4年度以降の推進体制

- ・事業全体の事務をマイクロシステムセンターが所掌
- ・金研分析コア内に事業班を設置し、事業班が課題採択、技術支援、課金等の業務を担当

3. 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業「高品質 β - Ga_2O_3 単結晶育成のための AI 計算を用いた新規ルツボフリー結晶成長法の開発」

文部科学省の令和3年度革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業(次々世代・周辺技術領域)において、東北大学金属材料研究所・東北大学未来科学技術共同研究センター・鳥取大学工学研究科による「高品質 β - Ga_2O_3 単結晶育成のための AI 計算を用いた新規ルツボフリー結晶成長法の開発」(代表: 吉川彰教授)が採択された。

この事業課題では、次世代パワー半導体の本命と目されている β - Ga_2O_3 単結晶を超低コストかつ高品質に作製する方法として、貴金属坩堝を用いない革新的な「スカルメルト+Cz法」を提案し、転位密度を低減した β - Ga_2O_3 基板の実用化を目指す。この新規成長法の垂直立上げのために、機械学習や深層学習といった AI 計算手法(①物理法則に基づいた深層学習、②ベイズ最適化、③画像認識処理)を取り入れ、効率的な開発を進めることで従来の β - Ga_2O_3 基板や SiC 基板よりも低コスト、かつ低転位密度の基板の具現化を目指している。

この取組を通じて、2050年脱炭素化目標の達成や、歴史的に我が国が得意としてきたパワー半導体分野への貢献に向けた材料科学研究を展開する。

4. 材料科学研究の開拓

令和3年度創発的研究支援事業に、新居陽一助教(量子機能物性学研究部門)『先端計測による強相関フォノンクスと熱機能の開拓』が採択された。当該研究は、強相関物質に焦点をあて先端計測手法の開発と併せて新しい熱機能の開拓に取り組み、熱の自在制御に向けた基盤技術

の創出を目指すものである。

また、高エネルギー中性子に対するスピン偏極技術と試料環境技術を融合することで物質内の詳細なスピン情報を取得できる新しい共鳴スピン分解法の構築に着手し、高温超伝導体およびスピントロニクス基盤物質におけるスピンダイナミクスの全貌解明を進めている(藤田全基教授、令和3年度科研費基盤S採択課題『中性子スピン偏極物性科学の開拓』)。

 [E1_mext_risme.png](#),  [E2_mext_mri.png](#)

6. 教員の研究時間確保に関する取組

実績報告

6-1 テクニカルセンターによる研究技術支援

金属材料研究所で行われる研究では、研究用試料の作製・加工や、新規材料の観察・分析・測定が行われる。研究の質はこれらの技術の高さも大きく関わってくるが、助教をはじめとする若手研究者にとっては、短時間で高い水準の技術を修得することは難しい。

テクニカルセンターは、熟練な知見と技能を有する約50名(再雇用職員と技術補佐員を含む)で構成されており、国際共同利用・共同研究を担う量子エネルギー材料科学国際研究センターをはじめとする各附属研究センター、材料分析研究コア、アルファ放射体実験室、情報企画室情報班、及び学内組織である先端電子顕微鏡センターや極低温科学センターにおいて研究技術支援の重要な役割を担っている。

具体的には、テクニカルセンターの技術職員は、強磁場超伝導材料研究センターや計算材料学センターで行われる共同利用研究の24時間運用・実施支援や、研究に欠かせない実験装置や器具などのメンテナンス管理や実験運営管理に対応しており、研究者の効率的な研究を実現するための研究環境整備に努めている。また、放射線管理に係る国や自治体への報告・申請・届出への対応、研究者・大学院生を対象とする技術相談や工作機械利用に関する安全教育を実施するなど、幅広く研究技術支援を行なっている。

また、技術職員一人ひとりが自己啓発やスキルアップにも努めており、高度化・高速化する研究に対応できる組織として資質向上を図っている。こうした技術職員の自発的な能力向上は、若手研究者が高い技術に基づく研究の実施を可能にするとともに、技術職員が獲得した技術を若手研究者へ効率的に移転することにも繋がっている。

これらの取組みにより、研究者が高い技術水準を修得するために係る時間の短縮化や、装置・機器の運営管理・利用時調整を含めた実験準備、安全な研究推進に必要な法的対応に係る作業の負担軽減に貢献している。

6-2 研究支援組織の取組み

(1) 研究企画立案から報告までに係る作業への支援:URA

研究者は、研究資金の確保のため外部資金の獲得に努力している。申請書では、その研究の必要性・背景や研究計画、期待される成果などについて記述することから、関連する情報を集め

整理する作業が発生し、多くの時間を必要とする。また、資金獲得後は、その実施状況や成果の報告が必須となる。国の研究事業や大型の外部資金では、研究活動前後の申請作業や報告・評価対応作業に膨大な時間をかけて対応することが求められてくる。

URA は、研究の必要性や背景にも関係する国の科学技術・イノベーション施策や研究事業そのものに関する情報の収集、研究内容の整理・企画立案・資料作成の支援、事業獲得後の年次・中間・期末(終了)報告・評価への対応支援を担当している。例えば、その支援の取組みの成功事例の一つが国際共同利用・共同研究拠点対応である。その中で URA は、拠点制度設立に関する情報の収集から拠点認定申請時の書類作成支援、認定後も年次・期末報告書の作成支援に取り組んだ。

これらの取組みにより、研究者が、外部資金などの申請書作成や各種報告・評価への対応などに係る負担の軽減に繋げている。

(2) 研究成果の公開に係る作業への支援:情報企画室広報班

研究成果を多くの方々にお伝えする手段として、プレスリリースがある。そのプレスリリースでは、専門的な研究内容を多くの方が理解しやすい表現で作成することが求められる。研究者もその点を十分に考慮して作成に努めるが、最新の研究成果情報を平易に伝える技術を修得したり、原稿に対して十分な推敲を重ねる時間を確保したりすることは、容易ではない。

金属材料研究所の公式の広報活動全般を担う広報班では、最新の研究成果を紹介するホームページや SNS の管理運営、広報誌や研究活動を紹介する定期刊行物の発行、来訪者向けパンフレットの企画・作成・発行、研究所一般公開の企画運営、中高生や一般の方々の研究所見学に対応している。そのような機会において多くの方に説明することを通じて、研究内容を分かりやすく伝える方法について検討を重ねている。その経験を踏まえて、研究者が作成するプレスリリース原稿をより良いものにするための提案を行なっている。

また、プレスリリースを行う場合に必要となる、関係する学内組織や報道機関との連絡・調整については研究者に代わって対応している。さらに、組織としての広報活動では研究者に協力を依頼するものも少なくないが、研究者に過度な負担とならないよう、広報班の中で十分な事前準備にも努めている。

これらの取組みにより、研究者の研究成果の広報に係る負担の軽減に貢献している。

(3) 研究者評価対応への支援:情報企画室情報班点検評価情報 DB 担当

研究者が自らの研究活動に対する評価を受けるためには、学術論文や国内外会議講演などに関する状況を整理する必要がある。自らの研究成果を適切に整理することは重要であるが、研究活動の活性度に比例して、その作業負担が大きくなってしまう場合がある。

点検評価情報 DB 担当は、金属材料研究所の論文・特許・受賞等の状況調査、毎年刊行する自己点検評価報告書の編集・発行、教員個人業績評価書の作成支援に当たっている。その取組

みのなかで、教員個人業績評価書作成支援を行っており、論文等状況調査で把握した情報を研究者別に整理して、各研究者に提供している。

これにより、研究者自身の研究活動状況の整理や自己評価対応に係る負担の軽減に繋がっている。

(4) 研究の安全・安心確保に向けた支援:安全衛生管理室

学生や若手研究者に快適な研究環境を提供することは、教授の努めである。また、研究を実施する際には、用いる化学物質・薬品や高圧ガス、液体寒剤を安全に取り扱う方法の理解、レーザー機器やエックス線発生装置の適切な運用・管理が必要となる。安全で安心な研究環境を整備し維持するためにも、研究者全員が安全衛生に関する理解を深める必要がある。

安全衛生管理室は、学生・教職員・研究者の安全の確保及び健康の保持増進と快適な職場環境の形成を促進するため、安全衛生パトロールを中心とした安全指導、各種安全教育による啓発活動、労働安全衛生法をはじめ関係法令遵守のための技術支援を行なっている。安全衛生に係る高度な知識と経験を有する助手を中心に、毎週1回の巡視や定期的な防火・防災自主点検を行うなど、常日頃から研究所全体の快適な研究環境の構築に努めている。また、化学物質等の取扱いをはじめとした安全衛生教育や、高圧ガス保安法に基づく保安検査申請等の各種届出については、研究者と連携して行なっている。

安全衛生管理室による教育・啓蒙活動は、研究者の安全配慮への学習と理解を深化させており、より安心な研究活動の推進に繋がっている。

(5) 国際的研究を展開するための支援:ユーザーオフィス

国際共同利用・共同研究拠点の認定に伴い、金属材料研究所では国内外研究者との共同利用・共同研究活動が活発化している。海外研究者との国際共同利用・共同研究の実施にあたっては、海外研究者の来日から滞在、離日に至るまでの期間で、研究以外でも研究者が海外研究者のための事務的な対応を行うことも必要となる。

海外研究者が国内で円滑に共同研究を実施し、また受入れ側の研究者に係る負担の軽減を図るため、事務処理と語学に堪能な事務補佐員2名を配属するユーザーオフィスを設置している。

また、第3期中期目標期間中に、国の研究開発法人において国際事業の運営・推進の経験者を研究コーディネータとして採用し、物質・材料科学分野と異なる研究分野の研究者・研究機関との連携構築の支援を担当した。

これらの取組みにより、研究者が国際共同利用・共同研究を実施するための事務的手続きの業務や、その円滑な推進に係る負担の軽減に繋がっている。

(6) 教員への事務サービスの向上等に係る取組み: 事務部

教員の諸活動を事務的に支援する事務部には、教員への事務サービスの向上等の取組みを通じ、その研究時間の確保にも寄与することが期待されている。

令和3年度における主な取組みとしては、会議の効率的運営(会議前における資料の事前配付及び会議後における議事録案の早期配付の徹底、オンライン開催及び人事案件の電子投票の活用による議事運営の円滑化及び会議時間の短縮化)、コロナ感染防止対策を踏まえた事務手続きの効率化(物品等の無人受渡し、海外渡航に係る許可申請窓口の一元化及び申請手続きの Google フォーム化)、共同利用の効率化(宿泊施設も含めた利用申請手続きの Google フォーム化)、各種の外部資金の獲得及び評価対応における事務的なチェックの徹底(URA との適切な役割分担による書類のブラッシュアップのための協働作業の徹底)が挙げられる。

これらの取組みにより、教員が関わる会議への参画のほか、共同利用の研究者も含めた各種書類作成に係る負担の軽減に繋げている。

なお、本年6月より事務部幹部職員がすべての教授及び准教授と面談を行い、事務のサービス向上及び事務手続きの負担軽減等に加え、教員の研究時間確保についても幅広く意見・要望を聴取しており、今後本所として必要な対応を検討・実施することにより、教員への事務サービスの向上のほか、研究環境の更なる改善・充実にも繋げる予定である。

6-3 今後に向けて

教員の研究時間確保は、個人個人の適切なライフワークバランスと大学の研究力向上を図る上でも、重要な課題となってきた。金属材料研究所としても、これを第4期中期目標期間中に取り組むべき課題の一つとして位置付けることとし、運営会議において新たな取組の検討を開始する。