

HINEWS HINHEN

2022 SUMMER

Vol. 96



CONTENTS

トップメッセージ

マテリアルインフォマティクスへの期待 所長 古原 忠

研究室紹介

アクチノイド物質科学研究部門

新任教員紹介 つとめてやむな

- ●熊谷悠 ●土屋雄司 ●寺田吏
- ●村上力輝斗 ●赤木 暢

研究最前線

- ●高強度・高伝導性を備えた 新しい複合酸化物分散強化銅合金
- ●ホストーゲスト間電子移動の制御による 磁石スイッチ
- 水分子の脱挿入により低温廃熱を繰り返し 蓄熱できる層状二酸化マンガン
- ●高融点の酸化物結晶成長でコスト・品質の ボトルネックである貴金属ルツボを使わない 新規成長法を開発

金研ニュース

- ●本学特別招聘プロフェッサーの 佐川眞人博士がIEEE Medal、 エリザベス女王工学賞の 受賞者に決定
- ●花田修治名誉教授が 第71回河北文化賞を受賞
- ●齊藤英治教授の日本学士院賞受賞が 決定しました
- ●受賞

表紙について

編集後記





トップメッセージ

IMR TOP MESSAGE

マテリアル インフォマティクス への期待

所長

古原忠



2022年はオミクロン株が猛威を振るうコロナ第6波のため、年明けからの感染急拡大で始まりました。3月には大震災以来の大きな地震が発生しましたが、大学での被害は軽微にとどまったことは幸いでした。新学期はその余波が残る中でスタートしましたが、新入生全員出席での入学式の実施、対面授業の開始など、ウィズコロナの状況下で教育・研究活動がより正常な形に戻りつつあります。国内外でのアカデミアの活動が少しずつ活性化していますが、最近の国際情勢の緊迫化が大きな逆風にならないことを期待します。

今年度から、第6期科学技術・イノベーション基本計画 期間が始まりました。基本方針では、「持続可能で強靭な 社会への変革」、「価値創造の源泉となる知の創造」、「新 たな社会を支える人材の育成」が重点項目であり、金研 の研究分野が深く関わる「マテリアル革新力強化戦略」 では、「革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装」、「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」、「国際競争力の持続的強化」がアクショ ンプランに上がっています。今年度に入り統合イノベー ション戦略推進会議で量子未来社会ビジョンとAI戦略の 議論が始まりました。将棋の藤井聡太5冠はディープラー ニングを応用したAIツールを活用し、普通では考えられ ない妙手を続出させているそうですが、材料開発におい ても、量子コンピューティングとAIの組み合わせで未踏 空間でのセレンディピティを目指す手法も提案されていま

す。3年前の高梨前所長のメッセージでも、金研の代表 的発明であるセンダストとAIの話題がありましたが、マテ リアルインフォマティクスに基づく新材料発見が今後ます ます高速化されることと思います。片や実装を加速する 手段としてのプロセスインフォマティクスは、材料毎に異 なる部分を統合して技術開発ができるかが重要と思われ ますが、今後の急速な進展が期待されます。狭義のイン フォマティクスにはあと2つ、「計測 | と 「物理 | があるそう ですが、これらはともに構造や機能の発現メカニズムの 根源的解明に関わるものです。材料は静的環境下では なく常に動的環境下で使われることから、環境による特 性変化などのオペランド計測の重要性は以前から強調さ れ、計測の高速化によるビッグデータの活用も進められ ています。理解をつかさどる物理インフォマティクスでは、 さまざまな仮説を立てそれを検証して行く仕組みが必要 です。その高速化は最も難しいですが、まさにここが材 料科学の研究者の本領が発揮される部分であり、科学 技術の発展の根幹であると思います。

金研は、その創立以来、材料科学分野での世界最高 水準の研究の先導と今後の科学技術と社会の発展を担 う新しい研究者・技術者の育成を使命として参りました が、このことを今後も確実に、かつ発展的に行なっていく 所存です。皆様方には私たちの活動にますますのご支援 ご鞭撻をいただきますよう、どうぞよろしくお願い申し上 げます。



アクチノイド物質科学研究部門

青木 大

http://actinide.imr.tohoku.ac.jp/

アクチノイド化合物の 強相関

トポロジカル超伝導

周期表の下の方でいつも仲間はずれにされている元素を希土類元素、アクチノイド元素と言います。私たちの研究室では、これらの化合物の超伝導や磁性を研究しています。希土類・アクチノイド元素のf電子が伝導電子と絡み合って織りなす強相関電子系の物理です。伝導電子の有効質量が100倍から1000倍にも到達するため、重い電子系の物理と呼ばれています。この系では、強い電子相関のために、磁性と超伝導の共存、磁場誘起超伝導、多極子秩序、量子臨界現象など多彩で魅力的な物性物理が出現します。

とりわけアクチノイド化合物においては、5f電子が局在と遍歴の中間的な性質を示し、相対論効果に起因した強いスピン軌道結合を示すために、興味深い物質が多数存在します。例えば、私たちが発見した $NpPd_5Al_2$ という物質は反強磁性磁気秩序寸前のネプツニウム化合物初の超伝導体です。

最近、私たちが最も力を入れているのがウラン化合物の強磁性超伝導です。強磁性と超伝導は、通常は共存できません。強磁性の強い内部磁場が超伝導を破壊してしまうからです。ところが、スピン三重項という特殊な状態になると超伝導と強磁性が共存します。しかも、磁場誘起超伝導という常識はずれの現象が観測されます。これに、最近UTe₂という新たな仲間が加わりました。強磁性磁気秩序寸前の物質とされ、1.5Kの超伝導転移温度に対して、磁場誘起(磁場再突入型)超伝導を示しながら35Tまで超伝導が生き残ります。図1は強磁性超伝導体URhGe,UCoGeそしてUTe₂の超伝導の磁場応答を示しています。このように、磁場に対してきわめて強い超伝導は、スピン三重項超伝導の特徴をよく示しています。さらに最近UTe₂に高圧を加えることで、超伝導相の内部にさらに超伝導相があるという多重超伝導も発見しました。超伝導秩序変数の違いを反映しており、これもスピン三重項超伝導の特徴です。多重超伝導は、Jーベル物理学賞にもつながった超流動へリウム3の研究でよく知られています。

また、スピン三重項超伝導は最近トポロジカル超伝導としても注目を集めています。図2は磁性、超伝導、トポロジカル物質科学の関係を示しています。トポロジカル超伝導のエッジあるいは表面に期待される「幻の粒子」とも呼ばれるマヨラナ粒子は次世代量子コンピューターへの応用が期待されています。トポロジカル超伝導は、多くの場合ナノワイヤーやヘテロ構造などのファインチューニングが必要ですが、UTe₂や強磁性超伝導体はスピン三重項超伝導であるがゆえにバルクとしてのトポロジカル超伝導が実現しています。これは、スピン・軌道の交差相関現象や超伝導ダイオード効果、非線形応答などの新奇現象の発見や超電導工学、スピントロニクスなどとの融合研究の舞台としても期待されています。

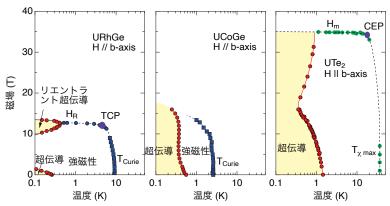


図1: 強磁性超伝導体URhGe, UCoGe、常磁性重い電子系超伝導体UTe;の磁場・温度相図。強磁性と超伝導の 共存および磁場誘起超伝導が示されている。

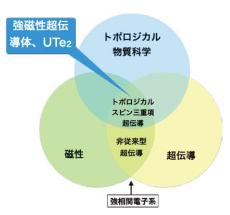


図2:磁性、超伝導、トポロジカル物質科学の関係を示す概念図。 UTe。および強磁性超伝導体はこの三つが重なったところに位 置しており、重要な研究の舞台になっている。



近年の計算機性能は指数関数的な発展を遂げ、材料特性の予測にも大きく貢献しています。私はセラミック材料における計算材料学データベース(DB)の構築と、そのために必要な革新的計算技術の開発に取り組んできました。例えば、空孔や不純物元素などの点欠陥はセラミックスの材料機能発現に重要な役割を担います。点欠陥特性は実験だけでは詳細に知ることが難しいため、そのDBの構築は新材料の開発に大きく貢献します。しかし点欠陥計算は多数の複雑なプロセスを必要とすることから、従来の研究では個別の物質を扱うにとどまり、大規模な計算データを得るのは難しい状況でした。

そこで私は無数の物質を対象に点欠陥を自動計算する革新的技術と、数万回以上の第一原理計算を全て自動化するプログラムを開発。これにより、約1,000種類の酸化物セラミックスにおける、点欠陥特性を含めた計算材料DBの構築に成功しました。この技術を応用すれば、世の中に10万個存在するといわれる全物質の特性を予測することも可能になります。

私の金研での最大のミッションは社会で使われる材料の発見です。計算機は理想的な環境下を条件とするため、理論上は安定でも実験的に作れないことは多々あります。金研では実験グループと密な連携をとることで、計算上の課題を見つけ、できるだけ多くの物質を精度よく予測する手法を確立したいと考えています。理論と実験のギャップを計算機でフィードバックできるようになれば、新材料の発見は飛躍的に進むと期待しています。計算を通した理論と実験の融合が私の最大の目標です。

研究室はまだ立ち上がったばかりですが、国内外問わず学生や研究者を迎えて、多様性豊かな環境にしたいと思っています。アイディアは違う人が集まってこそ出てくるもの。私がポスドクの時に所属していたスイスの研究所でも、男女問わず世界各地から研究者が集まり大変刺激的でした。背景が違えばアイディアも全く異なり、また自分ができない計算もだれかは知っていることも多々ありました。それらの知識を共有しあうことでより広い範囲をカバーでき、各々が成長する姿を間近で見てきました。そんな研究室を私も目指したいです。

着任メッセージ

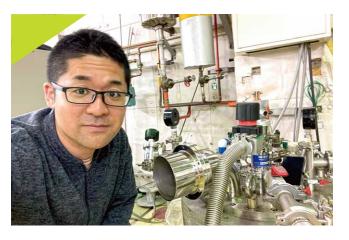
金研は私が学生の頃から有名でして、歴史ある研究所のイメージがとても強いです。 材料研究に携わる研究者の間では憧れのような存在で、金研の教授になるのはまさに 夢でした。金研の先生方からは、金研が果たさずだれが果たすのかという社会への責 任感を強く感じます。私もその一員として、一つでも役立つ材料を見つけたいと思ってい ます。どうぞ末永くよろしくお願いします。



複合機能材料学研究部門 教授 熊谷 悠

2010年3月京都大学大学院工学研究科材料工学専攻・博士課程修了。博士号は計算材料学分野。その後、京都大学特定研究員、スイス国ETHにて日本学術振興会海外特別研究員、東京工業大学特任教員、准教授を経て、2022年4月より現職。



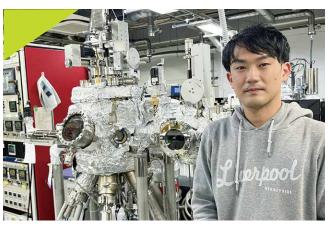


超伝導体の魅力

私の研究対象は「超伝導体」です。超伝導体はリニア中央新幹線でおなじみですが、電気工学から量子力学まで1粒で2度おいしい魅力のある材料です。私はさらに整流機能を追加した超伝導ダイオードの実用化に向けた研究を進めています。これからは超伝導の魅力を広めるとともに先端科学技術を社会へ還元できるよう精一杯励みます。

強磁場超伝導材料研究センター

准教授 土屋 雄司

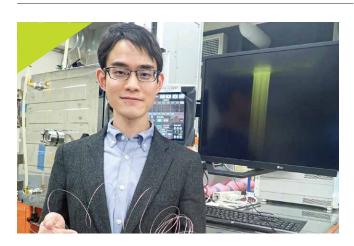


薄膜形成技術を駆使して新たな物理の探求へ

私はこれまで、熱を電気に直接変化することができる熱電変換技術に着目し、高性能な熱電薄膜の実現に向けた研究に携わってきました。現在所属する低温物理学研究部門では、薄膜の電気・磁気・光などの様々な特性を制御し、新しい物理の確立を目指しています。その中でも私は、独自の薄膜形成技術を開発し、未知なる物理現象の発現と理解に挑戦し続けたいと思います。

低温物理学研究部門

助教 寺田 吏

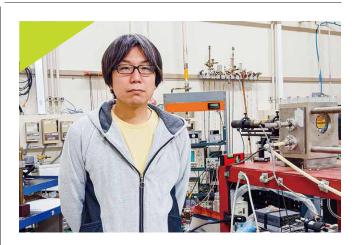


単結晶育成技術の開発と新材料創製

私はこれまで、新しい結晶育成技術の開発と、熱や光、放射線などのエネルギーに対する応答の評価を通じた新材料開発を行ってきました。最近では数 μ mのオーダーで形状制御を行いながら合金結晶を製造する技術を確立したほか、本技術により、世界最高の安定性を持つ温度計や高加熱効率なヒーター線等の実現に向けた研究を行っています。結晶工学を通じ、より良い社会の実現に向けて邁進したいと思います。

先端結晶工学研究部門

助教 村上 力輝斗



強磁場物性研究エキスパートへ

私は、強磁場を用いた物性研究を専門としています。日本の 強磁場研究を先導する、東北大金研・東大物性研・阪大先端 強磁場の3拠点での所属経験を活かし、それぞれの特徴を複 合的に活用し、新規磁性材料の探索や新規現象の観測・解明 を目指しています。東北大金研の特徴である定常強磁場研究 の知識・技術を身に付け、強磁場物性研究のエキスパートとな れるよう、精進していきます。

磁気物理学研究部門

助教 赤木 暢

研究量前線

 高
 強
 度
 ・
 高
 伝
 導
 性

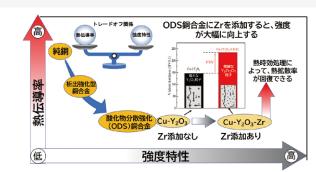
 を
 備
 え
 た
 新
 し
 い

 複
 合
 酸
 化
 物

 分
 散
 強
 化
 銅
 合
 金

◎論文掲載誌: Journal of Alloys and Compounds

◎タイトル: Effects of Zirconium Addition on the Material Properties and Microstructure of ODS-Cu Alloys 優れた熱伝導性と強度を併せ持つ銅合金は、SDGs達成に不可欠となる高効率のエネルギー輸送・変換機器において必須の材料となります。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必要があり、酸化物が期待されています。本研究では、メカニカルアロイング法によって銅中に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する新しい酸化物分散強化(ODS)銅合金を創り出すことに成功しました。この新しいODS銅合金は、従来のイットリウム酸化物を分散粒子とするODS銅合金の1.5倍の強度を達成しています。また、強度上昇に伴う熱伝導特性の低下を抑制するための合金製造や熱処理の条件に関する指針が得られました。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ヒートシンク用に開発を進める中で得られたものですが、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ります。



原子力材料工学研究部門

笠田 竜太

http://web.tohoku.ac.jp/imr-numat/

ホストーゲスト間 電子移動の

制御による

磁石スイッチ

◎論文掲載誌: Angewandte Chemie International Edition

◎タイトル: A Host-Guest Electron Transfer Mechanism for Magnetic and Electronic Modifications in a Redox-Active Metal-Organic Framework

錯体物性化学研究部門

宮坂 等

http://www.miyasaka-lab.imr.tohoku.ac.jp

近年、従来の磁性体では実現不可能であった機能性の発現などの「磁石の高機能化」が求められるようになっています。今回開発した磁石材料は層状構造を持つ分子性多孔性材料の一種で、層間に様々な小分子を吸着できる特徴を持ちます。吸着する前、すなわち"空"の状態では反強磁性体と呼ばれる磁気秩序を持つ磁石ですが、ヨウ素を吸着させると非磁石(常磁性状態)になることを発見しました。逆にこの"ヨウ素が吸着した"材料は、真空加熱処理でヨウ素を脱離させることで元の"空"の状態へと戻ります。本現象は、吸着されたヨウ素分子が分子格子から電子を受け取ることで、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になることで生じたものです。吸着分子とホスト骨格の間で電子の授受を直接行うことで駆動する可逆磁気相変換は世界初で、化学的刺激により駆動する分子デバイスの新たな駆動原理の一つとして今後の発展が期待できます。

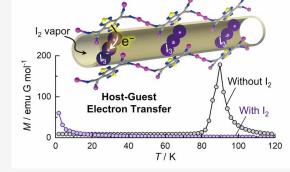


図:本研究の概念図。ョウ素が層間に挿入され、層状格子から電子移動が起こることで、 $3l_2 + 2e \rightarrow 2l_3$ となってカチオン層間に保持される。

水分子の

脱|挿|入|に|よ|り

低 温 廃 熱 を

繰 り 返 し

蓄 熱 で き る

層状二酸化

マンガン

◎論文掲載誌: Nature Communications

◎タイトル: Excellently balanced
water-intercalation-type heat-storage oxide

構造制御機能材料学研究部門

市坪 哲、 岡本 範彦

http://ilab.imr.tohoku.ac.jp/

余剰熱を蓄え必要に応じてその熱を放出することが可能な蓄熱材料には、顕熱型、相変化型、化学吸着型や化学反応型などの種類がありますが、いずれも蓄熱エネルギー密度、吸放熱可逆性・速度や安定性といった蓄熱材料に求められる複数の特性を兼備していませんでした。今回我々は、結晶構造が異なる種々の二酸化マンガン多形の相安定性に関する研究において、層状構造を有する二酸化マンガンが、上記諸特性を有する高性能な蓄熱材料として利用可能であることを発見しました。また、層状二酸化マンガンの放熱・吸熱反応が、大気中の水分子が層間に挿入・脱離するインターカレーション機構によって生じることを明らかにしました。低級

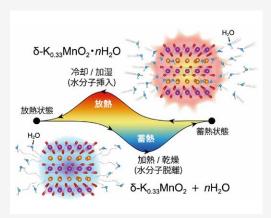


図:層状二酸化マンガンの水分子インターカレーション反応およびそれに 伴う吸放熱反応の模式図。

高融点の

酸化物結晶成長で

コスト・品質の

ボトルネックで

ある貴金属ルツボ

を 使 わ な い

新 規 成 長 法 を 開 発

◎「宮城県新エネルギー等環境関連設備開発支援事業」、 および文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術 開発事業」にて実施

先端結晶工学研究部門

吉川彰

http://yoshikawa-lab.imr.tohoku.ac.jp/

融液からの結晶成長においてルツボは融液を保持するために不可欠なものです。 加えて酸化物の場合はしばしば熱源にもなります。しかし、ルツボの利用により①扱 える物質の融点や成長雰囲気が制限される、②不純物などの欠陥が発生する、③ル ツボ代が高価(高融点材料の成長には貴金属を利用)など多くの欠点があり、長年 貴金属ルツボ起因の課題に悩まされていました。

本研究では高融点酸化物をルツボフリーで作製するOxide Crystal growth from Cold Crucible (OCCC) method(図1)を開発し、次世代のワイドギャップ半導体として期待されている酸化ガリウムの大口径結晶の作製に成功しました(図2)。この方法は、原料中心部を加熱溶融させ、その融液を高周波磁場により加熱しつつ、端部を冷却して原料を固化することで原材料自身をルツボ代わりとする方法です。この方法は比抵抗の低い金属等の材料では以前から利用されていましたが、今回の成果は比抵抗の高い酸化物結晶に対して高品質結晶を育成した点に新規性があります。本成果により、酸化ガリウムの高品質基板が安価に供給できるようになり、酸化ガリウムのパワー半導体が普及すれば、家電製品、EV、再生可能エネルギーなどの電力変換のロスを最大1900分の1とすることが可能となることが期待され、カーボンニュートラルの実現に大きく近づくことができます。







図2:OCCC法により作製した酸化ガリウム単結晶

本学特別招聘プロフェッサーの佐川眞人博士が IEEE Medal (Environmental and Safety Technologies) の 受賞者に決定

本学特別招聘プロフェッサーの佐川眞人博士がIEEE Medal (Environmental and Safety Technologies)の受賞者に決定しました。

佐川眞人博士は、1972年に本学で学位を取得された金研出身の科学者です。モーターの高性能化、省電力化に不可欠の最強の永久磁石であるネオジム磁石の開発者として、国内外の研究開発をリードされています。



詳細はこちらから

花田修治名誉教授が第71回河北文化賞を受賞

第71回(令和3年度)河北文化賞受賞者が1月1日に発表され、 本所関係者として花田修治名誉教授の受賞が決定しました。受賞 タイトルは「整形外科用の革新的なチタン合金製インプラントの開 発への貢献」です。



詳細は

河北文化賞は、東北の学術、芸術、体育、産業、社会活動の 各部門で顕著な業績を挙げ、東北の発展のために尽力した個人、 団体に贈られます。

本学特別招聘プロフェッサーの佐川眞人博士が エリザベス女王工学賞受賞決定

本学特別招聘プロフェッサーの佐川眞人博士がエリザベス女王工学賞の受賞者に決定しました。

エリザベス女王工学賞は、工学分野において人類に大きな利益をもたら す画期的な技術革新を生み出した技術者を表彰することを目的として英国 が設立した国際的な賞です。

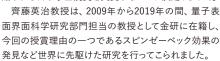
佐川眞人博士は、本賞のほか、これまでにIEEE Medal(上記)、日本国際賞などを受賞されています。



詳細はこちらから

齊藤英治教授の日本学士院賞受賞が 決定しました

材料科学高等研究所(AIMR)主任研究者の齊藤英 治教授(東京大学)が、優れた業績を挙げた研究者に 贈られる日本学士院賞を受賞することが決定しました。





詳細はこちらから

受賞

第18回日本学術振興会賞

低温物理学研究部門 教授 塚崎 敦

2022年2月3日、「高度な薄膜界面作製技術に基づくトポロジカル物質の物性発現と応用」に関する研究業績が評価され、第18回日本学術振興会賞の受賞に至りました。日本学術振興会賞は、日本学術振興会が人文学、社会科学及び自然科学にわたる全分野の若手研究者から各年度25名以内を顕彰して、研究の発展を支援する目的で創設した制度です。

今回の受賞は、トポロジカル物質群の薄膜界面物性研究に関して多くの共同

研究者の方々と進めてきた成果を評価いただいたものです。金 研研究室の学生や若手スタッフ、共同研究を一緒に行ってきた若 手学生と共同研究者の先生方に深く感謝を申し上げます。この受賞を大変光栄に受け止めるとともに、今後も研究推進に精一杯励む所存です。



詳細はこちらか

第12回日本学術振興会育志賞

アクチノイド物質科学研究部門 佐藤 芳樹 [工学研究科・量子エネルギー工学専攻 D3(受賞当時)]



この度、「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」という研究テーマに関して、日本学術振興会育志賞を受賞いたしました。本研究の研究背景は、空間反転対称性(座標を反転したときの構造が、元の構造と同一である性質)や鏡像対称性(鏡に映したときの構造が、元の構造と同一である性質)の有無が、化合物の物理的性質に大きな影響を与えることが近年明らかになってきたことです。そこで、本研究では、空間反転対称性や鏡像対称性が破れた金属

に着目し、高品質な単結晶試料を育成することで、対称性を反映 した特殊な量子振動効果や、磁気秩序状態を見出しました。金属 材料研究所での研究を通して、素晴らしい賞をいただくことがで きまして、非常に嬉しく思っております。より一層研究に励み、日本 の学術の発展に貢献できるように努力していきたいと思います。



詳細はこちらから

表紙について



今回の表紙は、今年3月に卒業・修了や異動、退職された方々の記念撮影会の写真です。コロナ禍の中、イベントもなく思い出をつくることが難しい状況を過ごしてきた皆さんへ、ささやかではありますが、最後に金研での記念になればと、広報班で撮影会を企画しました。研究室からは「この2年間、研究室内で集まることもなく集合写真が撮れない状況だったので、良い記念になりました。」と、うれしいお声をいただきました。写真協力: 藤原研、佐々木研・野島研、古原研、秋山研、笠田研、宮坂研、加研、高梨研、千葉研、新素材、職員、教員。 (情報企画室広報班)

編集後記

広報班長を拝命して2期目に入りましたが、コロナ禍による対面行事の減少により、金研広報のあり方を考える日々が続いています。私自身の科学技術コミュニケーター(北大CoSTEP13期生)としての活動もオンラインツールを駆使するなどしましたが停滞を余儀なくされました。一方で、金研広報が限られたリソースの中で何を目指すのか?という問いに対する模索は続けて来ました。例えば新しい試みとして、本学の学部生や外部生の研究室選びの参考になるIMRニュース特別号を先頃発行しました。方法論については更に磨いていく必要が有りますが、広報の対象をより明確化し、金研とその構成者、そしてそれらを取り巻く社会にとって有益な広報活動を進めて行きたいと考えています。皆様のご支援を何卒宜しくお願いします。



IMR ニュース KINKEN vol.9 (2022 SUMMER)



【発行日】令和4年7月発行 【編集】東北大学金属材料研究所 情報企画室広報担当 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 TEL: 022-215-2144 E-mail: pro-adm.imr@grp.tohoku.ac.jp



