



IMR NEWS

KINKEN

2020
SUMMER

Vol. **92**



CONTENTS

トップメッセージ

～ 所長就任のご挨拶 ～
試練からの復活のために
所長 古原 忠

研究室紹介

先端放射光利用材料研究センター

広報ビジット! - 研究センターの今 -

先端エネルギー材料理工共創研究センター

研究最前線

- 静的過冷と液体急冷を組み合わせたアモルファスSiの作製
- 金属ラセン磁性体におけるラセンの巻き方の制御

1枚の写真

金研ニュース

- 受賞
- つとめてやむな 研究者紹介

表紙について

編集後記



TOHOKU
UNIVERSITY



所長就任の ご挨拶

試練からの復活のために

所長

古原 忠



本年4月より高梨弘毅前所長の後任として、本所の所長職をつとめることになりました。40年近く鉄鋼を中心とした構造用金属材料の基礎研究に一貫して携わってまいりましたが、日本における鉄鋼の学術研究がスタートした金研においてこの重責を担うことになった今、改めて身の引き締まる思いをしています。

本所は理学と工学の融合した組織であり、基礎と応用の両面での研究を重視するところが大きな特徴です。ハード面で世界有数の大型施設から各種の中小型の材料創製・評価装置までの幅広い材料研究を行える環境を持つとともに、ソフト面でも専門性の異なる研究者がその知見を共有し十分に交流できる素晴らしい場所です。このような環境が本所において維持されていることを感謝するとともに、これを引き続き発展させることに力を注ぎたいと思います。

金研では、近年「エネルギー材料」「社会基盤材料」「エレクトロニクス材料」という3つを重点分野としてずっと掲げてきました。それは「広範な物質・材料に関する基礎および応用研究の推進」という本所の理念・目的に沿った研究活動において、その応用面における指向を明示したものです。現在取り組んでいる「エネルギー」分野の重点化、「安心・安全空間」などの重要な社会的課題に答える研究活動を包含するものとして、我々が取り組むべき命題は「持続可能社会の実現」です。今後も、持続的発展のためにあるべき研究は何かを意識した研究を推進するとともに、パラダイムシフト

を生む新分野開拓も視野に入れた研究戦略を考え、必要な研究基盤の強化を行っていききたいと思います。日本の材料研究を牽引する本所のあり方は、今後の理学・工学分野における人材育成への波及効果が大いことは間違いありません。研究動向をしっかりと見極めて議論を重ね、しっかりと次世代への橋渡しをしていきたいと思っています。

今年度、私たちは、現在認定を受けている「材料科学国際共同利用・共同研究拠点(GIMRT)」の活動のさらなる活性化を目標に、スタートを切ることを予定していました。しかしながら、昨年度末から世界的に猛威を振るうコロナウィルス禍により、私たちの社会、経済、文化活動が非常に低調になっている状況が続いています。6月に入り、日本における感染数が減少する中、少しずつ活動の再開に向けた取り組みが始まろうしている感があるものの、まだまだ予断は許されません。本所でもどのように研究活動を進められるか苦慮していますが、すべての所属員が一丸となって感染防止対策を徹底して安全に研究・教育活動を行い、材料科学の日本および世界におけるCOEとして学術活動の早急な復活に向けて鋭意努力してまいります。皆様におかれましては、金研の活動に引き続きご理解とご支援を賜りますよう、どうぞよろしくお願いいたします。

研究室紹介

Division introduction

先端放射光利用材料研究センター

杉山 和正

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

シンクロトン放射光、

電磁波領域から

ガンマ線領域までカバーする

物質科学をアシストする

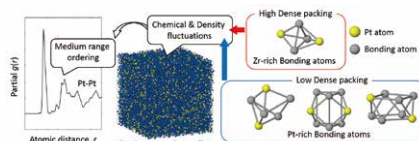
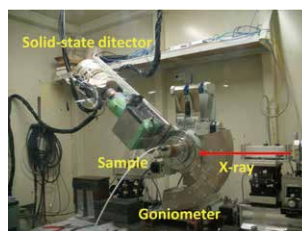
最強プローブ光

金属材料研究所は、金研における放射光利用研究に関わる教員の連携を強め、放射光関連研究に組織的に取り組む体制を確立するために、先端放射光利用材料研究センターを設置しました。材料科学における放射光利用は、ナノエリアの高精度分析やオペランド測定にかかわる新しい方法論の急速な進展により、今後の益々の発展が見込まれています。

本センターは、金研における放射光を利用した材料科学の長期的な発展を踏まえて、次世代放射光施設の利用をその目的とする全学の国際放射光イノベーション・スマート研究センターと相補的な役割を果たします。さらに本センターは、多種多様な量子ビームの統合的な利用により、最先端の材料科学の推進を目指しています。

Unit for Structural Analysis

材料構造相関研究ユニット：我々は、利用するX線のエネルギーを幅広い帯域から選択的にすることを可能とする放射光源の特徴を最大限に活用するX線吸収分光法(XAFS法)やX線異常散乱法(AXS法)をドッキングすることによって、実験室系では得られない構造情報と材料特性の理解を進めています。特に、X線異常散乱法(AXS)に関しては、KEKのBL-6C(6-8keV)、BL-7C(7-18KeV)およびNW-10A (18-25KeV)、SPring8のBL02B1 (18-25KeV)各ビームラインに汎用ゴニオメーターを用いたAXS測定環境を整備し、結晶・非晶質を問わず材料の構造評価を行っています。(ユニットリーダー：杉山和正教授)



放射光源を用いたX線異常散乱法(AXS法)による環境構造解析
Environmental Structural Analysis by Anomalous X-Ray Scattering (AXS) with Synchrotron Radiation

Unit for Material Functionality

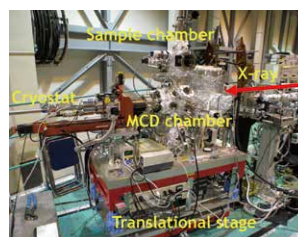
材料機能相関研究ユニット：材料の有する様々な機能の起源を調べるためには電子状態観測が重要です。我々は、超高分解能X線分光器を用い、共鳴非弾性X線散乱(RIXS)測定を磁場印可中で行うことにより、占有・非占有状態の電子軌道の情報を元素選択的・サイト選択的に調べています。新世代の放射光軟X線リングでは、機能性が応用に直結する3d遷移金属・合金系物質の電子状態観測を、より高精度に行えるものと期待しております。RIXSの磁気円二色性(MCD)のみならず、線二色性(MLD)測定も行うことにより、反強磁性体の電子状態観測や磁歪材料の異方性、バンド由来の構造相変態などに関する研究も行っています。(ユニットリーダー：梅津理恵教授)



超高分解能X線分光器とチャンバー内のミニチュアマグネット
Resonant Inelastic X-ray Scattering with Ultrahigh Resolution Soft X-ray Emission Spectrometer (Miniature Magnet in the Sample Chamber)

Unit for Advanced Characterization

先端計測開発ユニット：磁性体研究の第一歩は磁化や磁化率の測定です。放射光源を用いた円二色性磁気分光(XMCD)を用いることによって、価数転移・価数分離がある複雑系物質に関しても、目的元素の占有サイトや磁化情報を正確に議論できます。我々は、XMCDの測定にあたって強磁場を用いると、零磁場で磁化を持たない反強磁性体でも磁化を誘起できる点に着目し、SPring8のBL25SUやベルリンのBessyIIにおいて、30-40 T級の強磁場XMCD装置を整備し運用を行っています。新世代の放射光軟X線リングでは、時間分解やXMCDイメージングなどなどさらなる発展が期待され、現在それに向けた強磁場装置の開発を進めています。(ユニットリーダー：野尻浩之教授)



強磁場+放射光=磁気状態の謎を解くパワフルな道具
High Magnetic Field + Synchrotron X-ray = Powerful Tool to Solve Puzzles in Magnetic State

持続可能社会の実現につながる
先駆的な材料開発を目指す

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

一金研に根付く研究スピリットを最大限に活かす組織

先端エネルギー材料理工共創研究センター(E-IMR)は2015年に発足した次世代型エネルギー材料の研究開発を目的とした組織です。私は発足以降センター長を務められてきた折茂慎一教授の後任として、2019年10月にセンター長に就任しました。

本センターの最大の特徴である理学と工学の融合、すなわち「理工共創」は、100年という長きにわたり、理学と工学、基礎と応用の両分野が共存してきた金研ならではの取り組みです。そのため、基礎学理を重視しながら社会への応用にも目を向けるという姿勢が金研の多くの研究者に根付いていると私は感じています。この環境を活かすべく、センターとしては個々が持つ知識や技術をエネルギー材料という一つの目標に向かって研究しやすい体制を整えることが重要と考えています。E-IMRが性格の異なる4つの研究部(スピントロニクス材料研究部、イオンエネルギー材料研究部門、光エネルギー材料研究部門、材料プロセス・社会実装研究部門)を設けているのもそうした背景がもとになっています。

一新たなエネルギーシステムの構築のために

一方、社会が求めるエネルギー材料の開発を実現するためには、学理探求という研究者使命を保ちつつも、より社会実装に重きを置いた視点が必要と考えています。そのためセンターでは、再生可能エネルギーを中心とした真に持続可能なエネルギーシステムの構築を視野に入れ、そのシステムの高性能化につながる先端エネルギー材料の開発を具体的な目標の一つに掲げています。特に、再生可能エネルギーと水素エネルギーを活用した水素エネルギーシステムは、二酸化炭素を大幅に削減でき、持続可能な社会の実現に貢献するとして昨今高い注目を集めています。このシステムでは、太陽エネルギーを使って水を還元し水素を製造、その水素を貯蔵することで膨大なエネルギーの運搬・長期保存が可能となります。ホテルなどの小規模レベルではすでに実現しており、今後は自治体、県レベル



への実装が焦点となっています。

一持続可能な社会、実現のための課題

普及への課題の一つは水素製造です。大規模なシステムを維持するだけの水素を水から製造するには大量の電力が必要です。現状ではそれを太陽光や風力などの自然エネルギーだけで賄うことは難しく、火力発電に頼らざるを得ません。しかし、環境にやさしいといわれるエネルギーシステムが、化石燃料なしに成り立たないとすれば、それは持続可能あるいは環境問題克服という点において大きな矛盾をはらみます。真に持続可能な社会の実現には、再生可能エネルギーだけでシステムを構築できる基盤を整えること、それにはE-IMRが目指す高効率・高性能な新材料の開発が重要な役割を担うと私は考えています。

一理学と工学の融合が先駆的なエネルギー材料の開発につながる

再生可能エネルギーを活用した発電には物理現象が深く関わっています(物理的発電)。例えば太陽光発電は、光エネルギーによって電子が高いエネルギー状態に励起される現象を活用します。次世代型のエレクトロニクス材料へ応用が期待されるスピントロニクス効果は、熱によって生み出されたスピン流を、逆スピンホール効果を利用することにより電気エネルギーに変換します。こうした物理的なエネルギー変換や物質移動をより高効率・高性能にするためには、多様なキャリアを原子レベルで複合的に制御する技術の確立が不可欠です。それを可能とするのは、我々E-IMRの研究体制、すなわち、金研の理学系部門が実績を上げるスピン、電子、イオン等の高度なキャリア制御に関する研究と、工学系が得意とする原子・ナノレベルでの構造・組織制御に関する研究を融合した包括的な材料研究に他なりません。再生可能エネルギーによる発電需要は年々高まり、早急な技術開発が求められています。E-IMRはその使命の一端を担うべく、先駆的なエネルギー材料創成の研究に取り組み、世界が目指す真に持続可能な社会の実現に貢献していきたいと思っています。

(2020年6月26日取材)

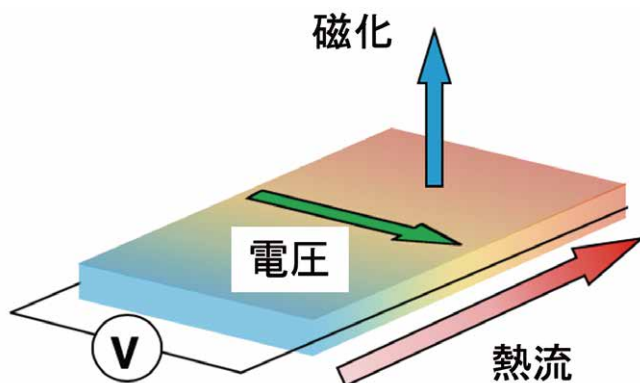
研究活動紹介 ①

スピンを生かした未来のエネルギー材料

スピンエネルギー
材料研究部
委嘱教授
水口 将輝



持続可能な循環型社会を実現するために、エネルギー・環境問題の解決に資する高機能性材料や省エネルギー材料などの開発が注目されています。このような背景から、スピンエネルギー材料研究部では、スピン流を介したエネルギー変換に関する学理を追求するとともに、変換効率が高く経済性・耐久性にも優れた新しいエネルギー材料の創製に取組み、将来の創エネ・省エネ社会の構築を目指しています。特に、熱とスピンの相互作用に関する物理を探究するスピнкаロリトロニクスの研究や、熱流からスピン流を生成して電力を得る材料の探索とそれらを用いたデバイスの開発などに精力的に取り組んでいます。例えば、図に示すような異常ネルンスト効果と呼ばれる熱磁気効果をナノスケールの磁性体超構造に適用することにより、飛躍的に高い熱電変換効率を有する材料の創製を進めています。今後は、熱電変換効率をさらに高めることにより、応用化への道筋をつけていきたいと考えています。



異常ネルンスト効果の模式図

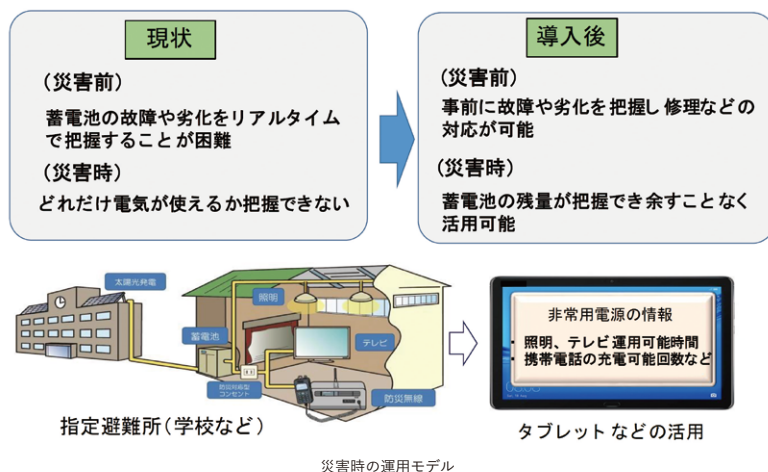
研究活動紹介 ②

次世代型防災対応及び 災害対応エネルギーマネジメントの開発

材料プロセス
社会実装研究部
特任教授
河野 龍興



災害時での自立的な電力確保と平常時の環境負荷低減を目的とした太陽光発電と蓄電池を組み合わせた防災対応型太陽光発電システムが仙台市内の196カ所に設置されていますが、土日祝の余剰電力発生と長時間満充電状態による蓄電池の劣化が問題となっています。その問題を解決すべく、高効率化と効果的な利用に向けて、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その最適制御を仙台市と共同で取り組んでいます。更にNTTドコモと連携して、電力使用量、蓄電量を見える化することにより、災害対応力向上をめざす災害対応型エネルギーマネジメントの実証試験も開始しています。今後、産官学連携のもとで、再生可能エネルギーの利用促進による環境負荷低減に貢献し、地域の災害対応力向上と安全安心社会の実現に向けた取組みを進めていきます。



静的過冷と 液体急冷を 組み合わせた アモルファスSi の作製

◎掲載論文: Applied Physics Letters

◎タイトル: Phase relation between supercooled liquid and amorphous silicon

結晶材料化学研究部門

岡田 純平、宇田 聡

<http://www.uda-lab.imr.tohoku.ac.jp/>

アモルファスSiは薄膜半導体として用いられる重要な材料です。液体急冷によってアモルファスSiを作製するためには 10^3K/sec 以上の冷却速度が必要となるために、現在は気相成長法を用いてアモルファスSiが生産されています。一方、液体Si(融点 1683K)を数百K以上過冷させると、過冷却液体SiからアモルファスSiが自発的に形成される可能性が報告されていますが、これまで成功例はありませんでした。本研究では、静電浮遊法を用いて液体Siを無容器状態で保持し過冷させる実験を行いました。液体Siの温度を融点から 300K 以上下げるとアモルファスSiが形成されることを実験的に確認するとともに、図1に示す方法を用いた過冷却液体Siの急冷によって数 μm サイズのアモルファスSiを作製できました(図2)。本研究で用いた試料作製方法では固化の際に発生する潜熱を取り切れないために、試料中のアモルファスの割合は1割未満にとどまっています。しかし過冷却液体Siを用い、そこから直接アモルファスSiが得られたという事実の意義は大きく、これからの材料開発の指針となります。

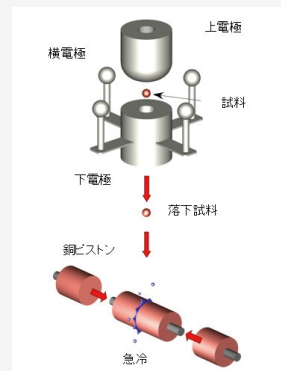


図1: Si融体の過冷却状態を急冷するための装置。静電気を用いて浮遊保持したSi融体の液滴を落下させ、2個の銅ピストンで勢いよくはさみ込むことによって試料を急冷する。

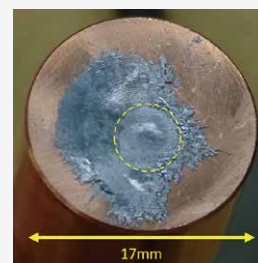


図2: 急冷したSiの写真。円(黄色)の内側にアモルファスSiが形成されている。アモルファスと結晶が混在しており、アモルファスの割合は10%程度である。

金属らせん 磁性体における らせんの巻き方 の制御

◎掲載論文: Nature Communications

◎タイトル: Electric current control of spin helicity in an itinerant helimagnet

量子機能物性学研究部門

小野瀬 佳文

<http://onoselab.imr.tohoku.ac.jp/>

らせん磁性体は、磁気モーメントがらせん状に秩序化するものです。このうち絶縁体のらせん磁性体は、逆ジャロシンスキー守谷機構とよばれるメカニズムでらせんの巻く向きを電場でコントロールできることが分かっていました。しかし、電場がかからない金属でどのようにらせん磁気構造の巻く向きをコントロールするかはよく分かっておりませんでした。本研究では、金属らせん磁性体において、電流印加によって生まれる磁気モーメントに作用するトルク(スピントランスファートルク)の効果を利用し、電流と磁場の印加によりらせんの巻く向きがそろい、その方向は電流と磁場が平行か反平行かによることを明らかにしました。らせん磁性体の巻き方の自由度は、外場や擾乱にも強く理想的な情報保持媒体として磁気メモリなどに将来応用される可能性があります。また、らせん構造は鏡映対称性が破れたキラルな構造であり、キラリティーの制御法の研究にも一石を投じるものになることが期待されます。

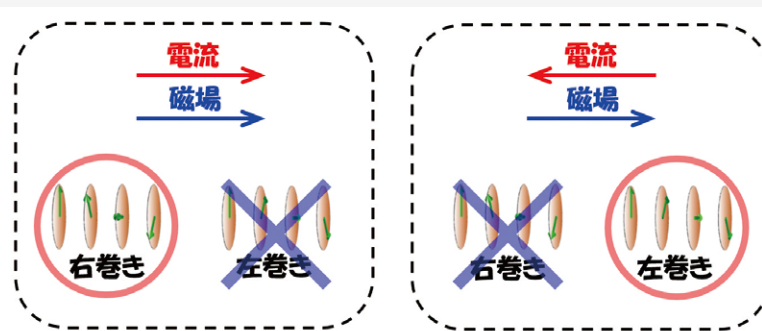


図: 金属らせん磁性体における電流と磁場を用いたらせんの巻き方の制御

1枚の写真 vol.9

耐蝕試験試料クロム - モリブデン鋼

さびる、それはモノが自然の姿に返ること

モノを脆くし、景観をも損ねる“さび”は我々人間にとって厄介ものだ。しかし金属がもし喋れたなら「こっちの方が自分たちの本来の姿だ!」と言うかもしれない。自然界に存在する金属の多くはさびた状態で存在しているからだ。さびることは金属腐食の代表例。身近な金属である鉄も“酸化鉄=さびた状態”で掘り出され、精製されて初めてあの銀色の姿となる。金属にとってさびることをはじめとした腐食は至って自然な現象なのだ。

理解のできない“疫病”

とはいえ、自然の姿に還るのをおいそれと見逃せば、缶コーヒーはさびの味がし、橋も怖くて渡れまい。実際はさまざまな防食法が施されているが、それでも、腐食による損害額は年間数兆から数十兆とも見積もられているほどだ。防食のためには、腐食の原因を詳細に理解する必要がある。しかし、同じ材料でも腐食の仕方は環境によって大きく違いが出るため、

原因を探るのはそう簡単ではない。そのため腐食研究が進展する以前は「腐食とは一種の災難必然悪であり、制御も理解もできない疫病のようなもの」とすら考えられていた^[1]。

金研から始まった日本の腐食研究

複雑すぎる!という理由で積極的に行われていなかった腐食研究だが、20世紀初頭、腐食による鉄鋼の損耗が社会的にも経済的にも世界で大きな影響を及

ぼすようになったことを機に、科学研究の対象として注目されるようになる^[2]。国内では1920年頃から金研の遠藤彦造博士が緻密かつ膨大な腐食・防食の研究に取り組み、外国の腐食関係書籍には博士の研究結果が掲載されるなど、その成果は世界でも高く評価された^[3]。写真は遠藤博士の成果の一つ、高クロムステンレス鋼の防食法として、数%のモリブデンを添加して焼き入れる方法を見出した時の試料である^[4]。

複雑さを紐解く地道な研究の積み重ね

遠藤博士は自身の著書で腐食現象の複雑さに言及しながらも「広く深く研究を積みさえすれば、(一見複雑に見える)腐食現象のごときは皆どんな原因によって起こったものであるか容易に説明しえられる^[5]」と述べている。到底理解できないとされた腐食現象に、徹底した観察と理論で立ち向かう。まさに、金研に受け継がれる実証主義の精神が勝ち得た成果といえるだろう。



「耐蝕試験試料クロム-モリブデン鋼」は金研の資料展示室に展示されています。

本多記念室・資料展示室案内

金研がこれまでに携わった50点以上の発明品をご覧ください。ぜひお気軽にお立ち寄りください。

●見学可能時間: 9:00~16:30

●予約・見学方法: 新型コロナウイルスによる感染症対策により、見学の休止または制限をしている場合があります。

詳細は金研ウェブサイトにてご確認ください。メールにてお問合せください。

●申込み・問い合わせ先: 情報企画室広報班 pro-adm@imr.tohoku.ac.jp

※「1枚の写真」では、本多記念室・展示資料室の展示品にまつわるエピソードを紹介していきます。紹介してほしい展示品がありましたら、ぜひ広報班までご連絡ください。



参考資料: [1] 岡本剛: 日本金属学会会報12巻p151 (1973) [2] 多賀谷正義: 防蝕技術8巻p47 (1959) [3] 遠藤彦造: 日本金属学会誌6巻p60 (1942)

[4] 遠藤彦造「鉄鋼の腐食と防錆の研究」東京: 内田老鶴園p4 (1930)

受賞

2020年4月7日

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

加工プロセス工学研究部門 教授 千葉 晶彦 東北大学名誉教授(元金属材料研究所長) 中嶋 一雄
結晶物理学研究部門 教授 藤原 航三

2020年4月29日

令和2年春の叙勲 瑞宝中綬章

東北大学名誉教授(元金属物性論研究部門 教授) 立木 昌

研究者紹介

つとめてやむな

垣根のない研究環境に身を置き 未知の物性を果敢に探る

私が所属する先端萌芽研究部門独立研究グループでは、若手研究者の萌芽研究挑戦を推進するため、研究テーマの設定から実験、共同研究に至るまで、研究室の枠を超えて高い自主性のもと進めることができます。こうした自由度の高い研究環境はアメリカの大学と似ていて、リスクもある一方、自分に向いた環境だとも感じています。金研では主に、メンターである塚崎教授の研究室で実験をしています。共同利用などを通じて金研が持つ多様な実験装置も活用しながら研究に取り組んでいます。

私の研究テーマはトポロジカル絶縁体薄膜の物性解明です。トポロジカル絶縁体は、内部は電気を通さない絶縁体、表面は電気を流す金属の性質が現れるという変わった性質を持ち、この特長を利用した革新的な情報処理デバイスの実現が期待されています。さらに興味深いことに、トポロジカル絶縁体に異種材料を組み合わせると、新奇性の高い現象がみられるようになります。例えば超伝導体とトポロジカル絶縁体の接合素子には「マヨラナ粒子」と呼ばれる奇妙な性質を持つ粒子が現れ、この粒子を巧みに操作することで、エラーが起こりにくい量子情報処理が実現できると考えられています。

歴史の浅い材料であるトポロジカル絶縁体をデバイスに応用するためには、物性解明は欠かせません。薄膜はバルクとはまた違った性質を示す上、形状的にも扱いやすいため応用の期待も高く、物事の仕組みを知り、その知識を使って新たなものを作りたいと思う私にとって興味の尽きないテーマです。自分の発見が将来の新しい素子の開発につながるかもしれない、そんな無限の可能性を糧に、今後も研究に励んでいきたいと思います。

先端萌芽研究部門

助教 井上 悠

(学際科学フロンティア研究所)

【略歴】2010年北海道大学工学部卒業後、東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻修士課程修了、スタンフォード大学にて博士号を取得。2016年からMIT博士研究員を経た後、2019年より現職。学際科学フロンティア研究所では、他研究所に席を置きながら各々の研究を進めつつ、異分野研究者と積極的に交流することで学際的研究を促進している。

表紙について

2020年4月より古原忠教授が第22代所長に就任いたしました。IMRニュースも気持ちを新たに表紙などをリニューアル。今号の表紙は金研周辺の桜と新緑です。編集作業開始時期は新型コロナウイルス感染症が日本各地に広がった3~4月頃でした。コロナウイルスによってお花見どころではなく、見逃してしまった方も多くいるかと思ひこの写真を選びました。桜はいつもと変わらず美しく咲いていました。そして今、季節は緑ゆたかな夏へと移り変わっています。生活ががらりと変わってしまったニューノーマルにおいても、季節はいつもと変わらず私たちの生活の中にある“日常”なのだと思ひ改めて感じさせられます。(情報企画室広報班)

編集後記

新型コロナウイルス感染症の拡大というリスクを前にして、金研は対策チームを中心とする危機管理体制を速やかに構築するとともに、教職員、学生には新しい生活様式あるいは勤務・学習様式を取り入れることを推奨して、研究教育を中心とする諸活動を継続可能としました。金研の情報公開やアウトリーチに対応することを責務とする情報企画室広報班としても、これまで以上にリスク対策を考慮して諸事業を実施する必要があります。また、従来のホームページに加えて、インターネットの多様なメディアを通じた広報を、感染症リスクに対する一時の代替手段というよりも、恒常的な主力のひとつとして考える必要があるかもしれません。広報班のメンバーとともに、リスクに対応するとともに、金研と金研の生み出す価値を社会と共有できるような新しい金研広報様式を考えていきたいと思います。(笠田 竜太)

IMR NEWS

KINKEN

IMR ニュース KINKEN vol.92
(2020 SUMMER)

東北大学金属材料研究所

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

【発行日】令和2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.tohoku.ac.jp



このパンフレットは環境に配慮した「水なし印刷」により印刷しております。

環境にやさしい植物油インキ「VEGETABLE OIL INK」で印刷しております。