

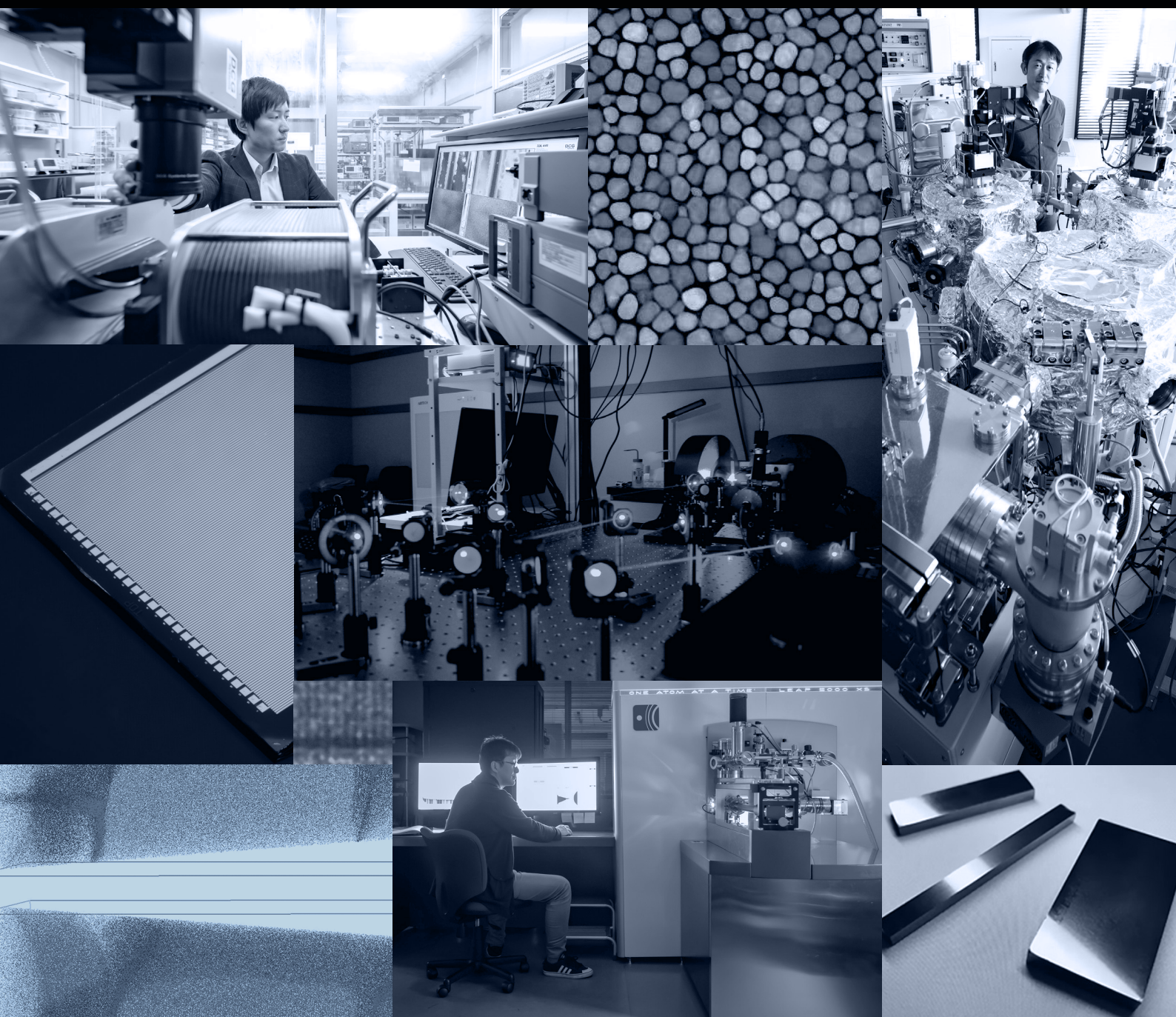
National Institute for Materials Science



Research Center for Magnetic and Spintronic Materials

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

磁性・スピントロニクス材料研究センター



磁性・スピントロニクス材料研究センター

概要

持続可能社会のための磁性・スピントロニクス材料の基盤研究

持続可能社会の実現に磁性材料やスピントロニクス素子は大きく貢献します。エネルギー関連では、モーターやハイブリッドカーに用いられる永久磁石材料が、電子情報分野では磁気記録媒体材料や不揮発磁気メモリに使われる磁気抵抗材料・素子が代表例となります。

磁性・スピントロニクス材料研究センター（CMSM）では、必要な基礎研究や新規手法開拓を行い、新規磁性・スピントロニクス材料の開発に資する多彩な基盤研究を展開します。近年の新しい取り組みとして、磁気と熱、磁気と光に関するトピックにも注力しています。それによってグリーン磁性材料と呼ばれる高性能永久磁石や磁気冷凍材料等、および、デジタルイノベーションに必要な次世代情報ストレージ・磁気メモリ用の新規材料・素子の研究を推進し、その実用化に貢献していきます。

CMSMでの人材育成

CMSMでは人材育成のため国内外の大学院生、学部生を受け入れています。

■NIMS大学院プログラム

NIMSが大学と協定を締結し、物質・材料研究分野を牽引する世界トップクラスの研究現場と経済サポートで学位取得を目指すプログラムです。

■NIMSジュニア研究員

優れた大学院生を研究スタッフとして雇用し経済的にサポートします。

■インターンシップ制度

国内外の大学、大学院又は国内の高等専門学校（本科4年次以上又は専攻科）に在籍中の学生に対し、NIMSにおいて最先端の物質・材料研究に携わる機会を提供するとともに、連携大学院制度を広く知っていただくことを目的としています。

各制度の募集等最新情報についてはホームページをご覧ください。



センター長

高橋有紀子 (たかはし ゆきこ)

筑波大学 国際マテリアルズイノベーション学位プログラム 教授(連携)

東北大学 多元物質科学研究所 無機材料部門
ナノスケール磁気デバイス分野 教授(クロスアポイントメント)

中央大学 兼任講師

2001 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了 博士(工学)
物質・材料研究機構 ポストク

2002 科学技術振興事業団 科学技術特別研究員、日本学術振興会 科学技術特別研究員

2005 物質・材料研究機構 若手国際拠点 研究員

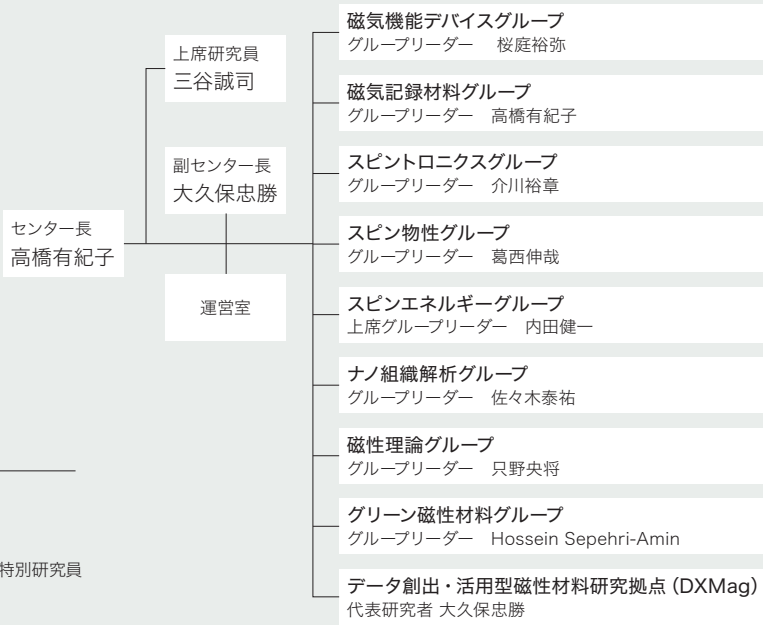
2006 同 磁性材料センター 磁性材料グループ 研究員

2007 同 磁性材料センター 磁性材料グループ 主任研究員

2010 同 磁性材料ユニット 磁性材料グループ 主幹研究員

2016 同 磁性スピントロニクス材料研究拠点 磁気記録材料グループ グループリーダー

2024 同 磁性スピントロニクス材料センター センター長



01

磁気機能デバイスグループ

磁性体の磁性やスピンに由来する様々な機能性を活用し、

2次世代の磁気記録技術や新規なセンサー技術の実現に貢献する材料とデバイスに関する研究を行っています。

次世代磁気記録の読込・書込技術に貢献する材料とデバイスの開発

磁気機能デバイスグループでは、磁性材料の有する磁化や磁気異方性、磁気緩和などの磁気的な特性、スピン分極電流や異常ホール効果、異常ネルンスト効果などのスピンの由来した輸送特性などを活用し、次世代のハードディスクドライブ(HDD)における読取・書込ヘッド、超高感度な磁気センサーや熱流センサ等、革新的デバイスの実現に向けた研究を進めております。例えば、究極のスピントロニクス材料「ハーフメタル」の開発は、グループの研究テーマの大きな柱となっています。ハーフメタルとは、図1に示す通り、上向きか下向きのどちらかの電子スピンの状態密度にエネルギーギャップを有する物質であり、理論的に100%にスピン分極した伝導電子を持つことが予測されています。これを磁気抵抗デバイスなどに用いると、FeやCoなどの一般的な磁性材料に比べて遥かに大きな磁気抵抗効果が得られます。既にCo基ホイスラー合金系ハーフメタルを用いた巨大磁気抵抗素子ではハーフメタル性を実証する大きな磁気抵抗比を観測しており、HDD用読取ヘッドとしての社会実装を目指し、企業連携を通じた取り組みを進めています。

3次元的現象 異常ホール・ネルンスト効果が広げる新規デバイスを目指して

磁性材料に電流や熱流を流すと、異常ホール効果や異常ネルンスト効果により、磁化と直交する方向に電界が生じます。この電流(熱流)・磁化・電界の3次元性は、従来デバイスの磁気抵抗効果などの1次元性の限界を超え、新しい革新的なデバイス構造の設計を可能にします。当グループでは、トポロジカルな電子構造を有する磁性体の巨大な異常ホール効果が、HDD用リードヘッドへの応用に有

望であることに早く注目し、有限要素法を用いたシミュレーションにより高い性能の可能性を示しました。また同様の材料で観測される巨大な異常ネルンスト効果を用いた熱流センサ応用を提案し、世界に先駆けて異常ネルンスト型熱流センサの動作実証をすることに成功しています。これらの新デバイスの社会実装に向けた大きな課題の一つは、更なる感度向上であるため、データ科学を活用し、機械学習と第一原理計算による新材料予測に基づいた材料創製、また組成傾斜薄膜の作製技術を活用したハイスループットな材料評価を進めています。

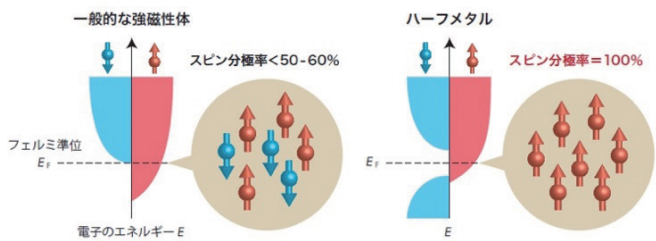


図1 一般的な強磁性体(左)とハーフメタル(右)の電子状態

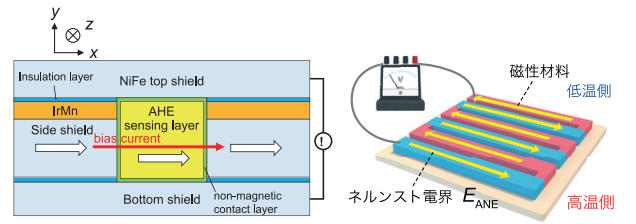


図2 研究を進める異常ホールリードヘッドと異常ネルンスト熱流センサーの構造



桜庭裕弥

(さくらば ゆうや)

グループリーダー・博士(工学)

2007年 東北大学大学院博士課程修了、東北大学助教、2013年 物質・材料研究機構主任研究員、2018年より現職。



首藤浩文

(すとう ひろふみ)

主任研究員・博士(工学)

2009年 大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 博士課程修了、2009年 東芝研究開発センター、2021年より現職。



中谷友也

(なかたに ともや)

主幹研究員・博士(工学)

2011年 筑波大学物質・材料工学専攻博士後期課程修了、2012年 HIGST、サノゼ研究所Principal Research Engineer、2016年 物質・材料研究機構主任研究員、2023年より現職。



周 偉男

(ジョウ ウェイナン)

主任研究員・博士(工学)

2016年 東北大学大学院博士課程修了、東北大学ポスドク研究員、2017年物質・材料研究機構ポスドク研究員、同ICYS研究員を経て、2024年より現職。

磁気記録材料グループ

爆発的に増加するデジタル情報を保存するための超高密度磁気ストレージデバイスを実現するための材料と新しい磁気記録方式についての研究を行っています。

データ科学を活用した 熱アシスト磁気記録FePt媒体の開発

IoTならびにDXの進展によるデジタル情報の爆発的な増加に伴い、デジタル情報を保存するデータセンターの大容量化が求められています。データセンターのメインストレージはハードディスクドライブ(HDD)で、現在の記録密度は1.5 Tbit/in²です。デジタル情報の爆発的な増加に対応するために、4 Tbit/in²のHDDが求められています。そのためには、現行の材料よりも磁気異方性が1桁高いL1₀規則構造を持つFePtを使った磁気記録媒体を実現する必要があります。4 Tbit/in²を実現するためには、粒子サイズが5 nm以下・ピッチサイズが6 nm以下・サイズ分散が15%以下の均一な微細組織を実現する必要があります。

私たちはこれまでに様々な非磁性材料を使って上記のようなFePt媒体の開発を行ってきました。FePt-C系で2 Tbit/in²を実現できるような微細組織と磁気特性を実現したものの、新材料を開発しなければ4 Tbit/in²に到達できません。そこで私たちは、これまで蓄積してきたスパッタプロセス・磁気特性・微細組織のデータを活用してデータ駆動型の研究により、最適な材料を見出すことに挑戦しています(図1)。

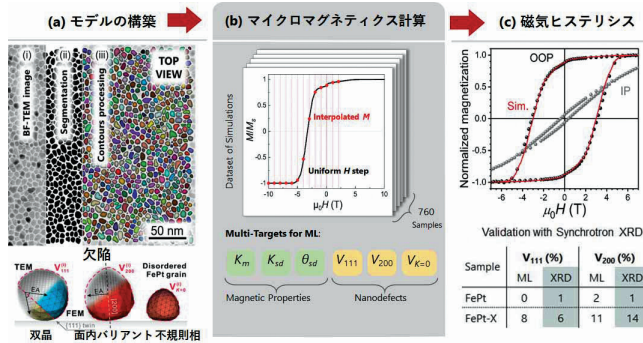


図1 データ駆動型手法を活用したFePt磁気記録媒体の開発。(a)実際の微細組織から有限要素モデルを構築、(b)マイクロマグネティクス計算により磁化曲線を計算し、微細組織から磁化曲線を予測するためのアルゴリズムを構築。(c)アルゴリズムの妥当性を検討。



高橋有紀子

(たかはし ゆきこ)
センター長・博士(工学)
グループリーダー (併)

2001年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了、物質・材料研究機構ポスドク、研究員、主幹研究員、グループリーダーを経て2024年より現職。



磯上慎二

(いそがみ しんじ)
主任研究員・博士(工学)

2007年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了、同産学官連携ポスドク研究員、2010年 国立高等専門学校機構福島工業高等専門学校准教授、2017年より現職。



佐々木悠太

(ささき ゆうた)
独立研究者・博士(工学)

2019年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了、物質・材料研究機構ポスドク、2021年 物質・材料研究機構ICYS研究員、2023年より現職。

スピントロニクスグループ

不揮発磁気メモリや高感度磁気センサーなどの応用を目指した薄膜材料、ナノ接合の研究開発を行っています。スピネルバリアなどの新材料の導入や単結晶薄膜の作製技術を用い、巨大な磁気抵抗比を示すトンネル磁気抵抗素子や垂直磁気異方性を用いた薄膜積層デバイスの創成に成功しています。また、量子井戸を介したスピン伝導や高効率なスピン流生成など基礎的研究にも取り組んでいます。

不揮発磁気メモリのための トンネル磁気抵抗素子

トンネル磁気抵抗素子は磁気的状態によって電気抵抗が変化する微細素子であり、情報不揮発性の磁気メモリをはじめとしてスピントロニクス応用の中心的な役割を担っています。スピントロニクスグループでは素子の高性能化のため新規材料や作製プロセスを開発してきました。単結晶薄膜の技術を駆使することで素子の電気出力の大きさを示すTMR比の増大に成功し、室温の世界最高記録となる631%を実現しています(図1左)。また、磁性層と完全な格子整合が得られる絶縁層材料である「スピネルバリア」を開発してきました。図1右にはスピネルバリアの一種であるMgGa₂O₄を用いた素子の断面電子顕微鏡写真です。欠陥がない理想的な界面が得られ、応用に向けた低抵抗素子が実現されました。

不揮発磁気メモリは、人工知能を含む次世代の情報技術において機器性能の向上や消費電力の削減に寄与すると期待されている重要デバイスの一つです。

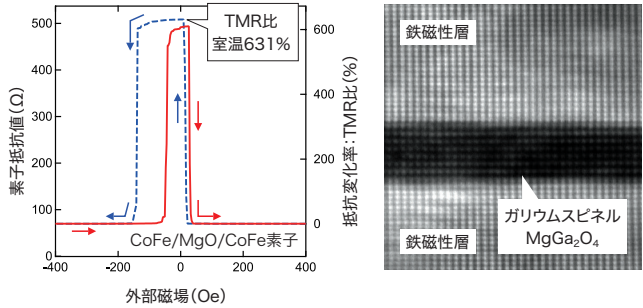


図1 (左)世界最高の室温TMR比を示すトンネル磁気抵抗素子の磁気抵抗曲線。(右)スピネルバリアを用いたトンネル磁気抵抗素子の断面電子顕微鏡写真。

新規磁性ヘテロ構造の創成

スピントロニクス素子は磁性体を含む異種材料薄膜の積層(ヘテロ構造)から構成されているため、素子の機能は材料の界面の状態によっても大きく左右されます。例えば、磁気メモリの高集積化に欠かせない重要な技術として、磁性層とバリア層の界面で現れる垂直磁気異方性が知られています。このように界面における基礎物性が素子応用に密接に結びついており、それら一連の研究を推進しています。例えば、Fe/MgO界面やCo₂FeAl合金/MgAl₂O₄界面における巨大な垂直磁気異方性やその微視的メカニズムを解明してきました。また、磁性層を数原子厚まで極薄化することにより発現する量子効果によって、その界面を介する磁気抵抗効果である「トンネル異方性磁気抵抗効果」が大きく増大することも見出しています。

また磁気メモリ動作の高速化の技術として期待される3端子型素子化のための新規ヘテロ構造の開発を行っています。図2にはワイル半金属と呼ばれる特殊な電子構造を持ったCo₂MnGa薄膜を用い、高効率な磁化反転を実証した例を示しています。

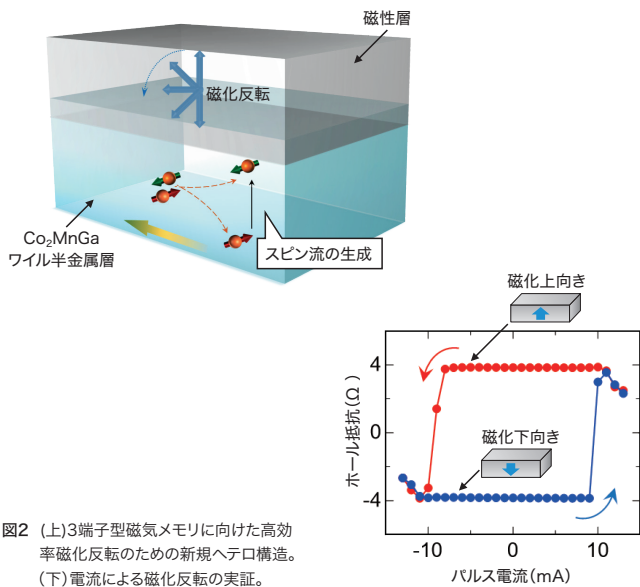


図2 (上)3端子型磁気メモリに向けた高効率磁化反転のための新規ヘテロ構造。(下)電流による磁化反転の実証。



介川裕章

(すけがわ ひろあき)
グループリーダー・博士(工学)

2007年 東北大学大学院博士課程修了、物質・材料研究機構・研究員、2014年 同主任研究員、2018年 同主幹研究員、2023年より現職。



三谷誠司

(みたに せいじ)
上席研究員・博士(工学)

1993年名古屋大学大学院博士課程修了、東北大学金属材料研究所助手、2001年同助教授、2008年物質・材料研究機構、2024年より現職。



温 振超

(ウェン ジェンチャオ)
主任研究員・Ph.D.

2010年 中国科学院物理研究所Ph.D.、物質・材料研究機構ポスドク研究員、2015年 東北大学博士研究員、同助教を経て、2018年より現職。

スピン物性グループ

現行コンピューティングのみならず、次世代コンピューティングに適用可能なスピントロニクス現象を開拓、そのデバイス機能の実証を目指します。

電流・スピン流相互変換機構の解明

強磁性体を用いたデバイスにおいて、磁化を電流によって制御することが可能です。当該原理は、スピントロニクス分野の代表的な要素素子である磁気トンネル接合に対して、不揮発性メモリ(MRAM)としての応用可能性を提供します。MRAMは原理的に待機電力がゼロであり、昨今問題となっているメモリクラスの消費電力、特に待機電力を低減するブレイクスルーになるものと期待されていますが、反面で書き込みに必要なエネルギーが大きいことが課題です。当該問題の解決のため、我々は電流による磁化制御の基礎となる、電流―スピン流相互変換についての基盤研究を行っています。

電流―スピン流相互変換には様々な方法がありますが、我々は特に異種材料からなるヘテロ接合における変換現象(スピンホール効果、Rashba-Edelstein効果)に注目して研究を行っています。変換効率の評価のためのスピントルク強磁性共鳴法の検討を出発点として、酸化物界面におけるスピン変換やトポロジカル半導体における非相反スピン変換の観測に成功しています。また、三端子デバイスを構築し、スピンホール効果による準安定状態の実現や、非線形自励発振の観測に成功しています。

トポロジカル磁区構造の制御と新規コンピューティング手法の検討

強磁性体の磁区構造は通常、交換相互作用エネルギー、異方性エネルギー、静磁エネルギーの三つの競合によって決定されます。近年、反転対称性が破れた強磁性体では、これら三つに加え、Dzaloshinskii-Moriya作用が重要となり、結果として磁気スキルミオンというトポロジカルな磁区構造が発現することが知られています。磁気スキルミオンは強磁性体に現れる極小の磁区構造であり、トポロジーに守られた高い熱安定性を有することに加え、極めて低い電流密度で駆動することができます。我々はスピントロニクス技

術が活用可能な薄膜ヘテロ接合系、特にIr/Co/Pt系材料、MgO/CoFeB系材料の二種に注目して研究を行っています。前者ではスキルミオンに特徴的なスキルミオンホール効果のみならず、スキルミオンの非局所蓄積、非線形増殖、表面弾性波によるスキルミオンの生成など、様々な新規現象の観測に成功しています。また、後者では、磁気トンネル接合を含むナノデバイスを構築、スキルミオンを用いたメモリ機能の実証を行っています。

また最近では、磁気スキルミオンの物理リザーバー応用についても検討を行っています。リザーバーコンピューティングは特に時系列パターン認識に優れたコンピューティング手法であり、その中核となるリカレントニューラルネットワークを材料や物理系で実現するものが物理リザーバーです。磁気スキルミオンの生成・消滅現象は非線形性など、物理リザーバーに必要な要件を多く満たしています。今後、実時間動作による機能実証へと展開します。

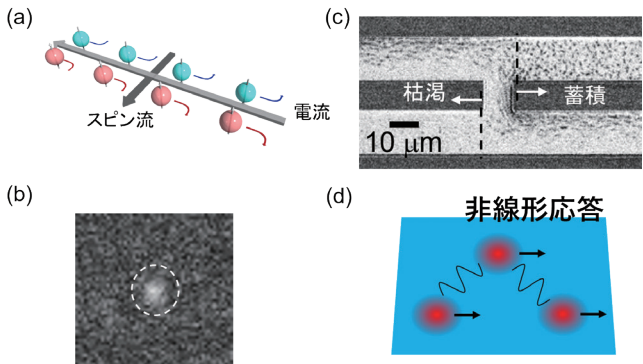


図 (a) 電流―スピン流相互変換。(b)磁気スキルミオンのスピン配置。(c)電流駆動スキルミオンの非局所応答 (S. Sugimoto et al., Sci. Rep. **10**, 1009 (2020))。 (d) スキルミオン間相互作用による非線形応答。物理リザーバー構築のための動作原理となる。

スピンエネルギーグループ

スピントロニクスと熱電・熱輸送物性の融合に基づく「スピнкаロリトロニクス」に関する研究を主に行っています。従来のスピнкаロリトロニクスの枠組みを超えた異分野の技術や知見を導入し、電子輸送・磁性(スピン)・フォノン・強誘電性等の協奏効果によって駆動される新しい熱変換・熱制御・熱移送現象や機能性の開拓、およびそれらのエネルギー変換効率を向上させるための物質・材料科学を推進しています。

スピнкаロリトロニクス分野の発展

スピンと熱の相互作用により、様々な物理現象や新機能が発現します。磁性体に温度勾配を与えることによりスピン流(スピン角運動量の流れ)が生成されるスピンゼーベック効果の発見を契機として、「スピнкаロリトロニクス」と呼ばれるスピントロニクスと熱の融合研究が世界中で急速に進展しています。スピンエネルギーグループでは、スピнкаロリトロニクスの基盤原理やそれに基づく新しい熱エネルギー制御・熱電変換機能を開拓しています。基礎研究用途の磁性薄膜材料から磁気抵抗素子・永久磁石材料などの実用に近い系まで幅広く研究対象に含め、これまでは磁気メモリ・センサーや情報伝送・演算が主な応用の候補であったスピントロニクスを、熱マネジメント技術やエネルギーハーベスティング技術にまで拡張することを目指しています。

スピンがもたらす新しい熱エネルギー制御機能

スピンエネルギーグループは、最先端の熱計測技術を駆使することで、様々なスピнкаロリトロニクス現象の観測・解明や、スピン自由度がもたらす新しい熱エネルギー制御機能の実証に次々と成功してきました。例えば、磁性体中で電流を曲げるだけで加熱や冷却ができる熱電変換現象「異方性磁気ペルチェ効果」(図1)、非線形領域の磁気熱電効果である「磁気トムソン効果」および「異方性磁気トムソン効果」、新機構の横型熱電変換「ゼーベック駆動横型熱電効果」を世界で初めて観測しました。磁性体における基本的な熱電変換現象であるにもかかわらず未観測であった現象群が初めて観測されたことで、スピントロニクスや熱電分野の基礎科学・応用研究がさらに活性化していくことが期待されています。さらに、2022年よりJST ERATO「内田磁性熱動体プロジェクト」において、各種スピнкаロリトロニクス現象によるエネルギー利用効率を向上させるために、新材料・新デバイス開発にも取り組んでいます(図2)。

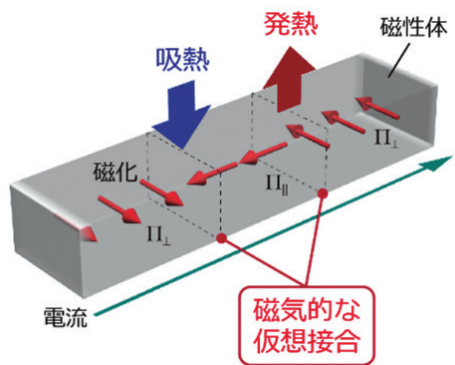


図1 異方性磁気ペルチェ効果の模式図(K. Uchida et al., Nature **558**, 95–99 (2018)).

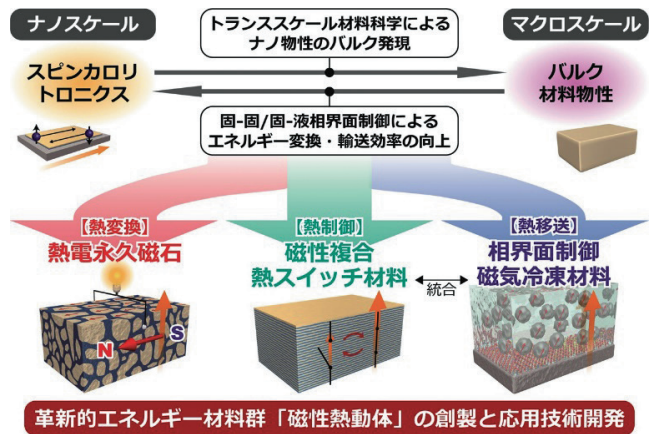


図2 JST ERATO内田磁性熱動体プロジェクトの概念図。



葛西伸哉

(かさい しんや)

グループリーダー・博士(理学)

2004年 慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了、博士(理学)、京都大学化学研究所助教、2009年 物質・材料研究機構主任研究員、2019年より現職。



杉本聡志

(すぎもと さとし)

主任研究員・博士(科学)

2014年 東京大学大学院新領域創成科学研究科博士後期課程修了、博士(科学)、英Leeds大学リサーチフェロー、2017年 東京大学物性研究所特任研究員、2018年 物質・材料研究機構ポスドク研究員、2019年同研究員、2022年より現職。



内田健一

(うちだ けんいち)

上席グループリーダー・博士(理学)

2012年 東北大学大学院理学研究科 博士課程修了、東北大学金属材料研究所助教、2014年 同 准教授。2016年より物質・材料研究機構グループリーダー、2023年 現職、2024年より 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授。



井口 亮

(いぐち りょう)

主任研究員・博士(工学)

2013年 慶應義塾大学大学院理工学研究科総合 博士課程修了、東北大学原子分子材料科学高等研究機構 助教、東北大学金属材料研究所助教、2017年 物質・材料研究機構研究員、2020年より現職。



平井孝昌

(ひらい たかまさ)

研究員・博士(工学)

2020年 東京大学大学院工学系研究科 博士課程修了、日本学術振興会 特別研究員 (PD)、2021年より現職。

ナノ組織解析グループ

電子顕微鏡や3次元アトムプローブなどの高度なナノ組織解析技術を活用してさまざまな磁性材料の組織解析を進め、応用上重要な特性を向上させるための組織設計指針の提案を目指しています。また、得られた知見を生かして高性能永久磁石などの開発も進めています。

磁性・スピントロニクス材料の微細組織解析

実用上重要な材料の特性は、物質に固有の物性のみならず、材料やデバイスを作製する過程で形成する微細組織により大きく変化します。ナノ組織解析グループでは、センター内の材料開発を加速する基盤研究の一つとして、走査型電子顕微鏡(SEM)、(走査)透過型電子顕微鏡((S)TEM)、3次元アトムプローブ(3DAP)など最先端の組織解析手法を駆使した微細組織解析研究を進め、さらには解析手法の高度化に向けた研究や、組織解析により得た知見をもとにした高特性材料の開発を進めています。

たとえば、ハードディスクドライブ(HDD)のリードヘッドなどへの応用が期待される「面直通電型巨大磁気抵抗(CPP-GMR)素子」では、～数 nmの強磁性層と非磁性金属相の界面の構造や元素の分布が特性発現のキーとなるように、多くの磁性・スピントロニクス材料では、ナノ～原子レベルで微細組織の詳細な理解が特性の発現メカニズムを解き明かす上で重要となります。図1に示すように、CPP-GMR素子の強磁性層と非磁性金属相の界面の構造などを走査透過電子顕微鏡法(STEM)やエネルギー分散型X線分光法(EDS)を用いて原子種を識別しながら原子レベルで解析することで、高特性化に向けた組織の設計指針を得ることができました。

永久磁石の微細組織解析と高特性化

ネオジム磁石に代表される希土類永久磁石は、その優れた特性から、モーターの小型化や高性能化に不可欠な材料で、電気自動車や風力発電機をはじめ、電子機器や家電製品などに使われています。当グループでは、詳細な微細組織解析によりネオジム磁石に優れた特性を発現させるための組織設計指針を提案するのみならず、その知見をもとにして高特性磁石の開発まで進めています。例えば、重希土類金属を使った粒界拡散法と呼ばれるプロセスを適用したときの組織の形成過程を解明し、その知見から重希土類金属を拡散させる基材や拡散源の検討を行い、Dyを合金化する場合に比べてわずか10分の1程度のDy添加量で、高い保磁力の発現を実証しました。

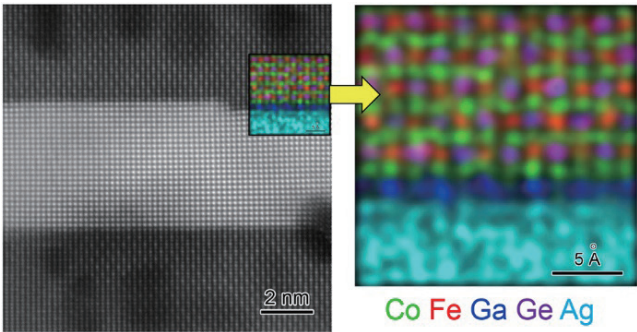


図1 CPP-GMR素子の強磁性相($\text{Co}_2\text{FeGa}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$)と非磁性金属相(Ag)界面付近のHAADF-STEM像とEDS元素マップ。

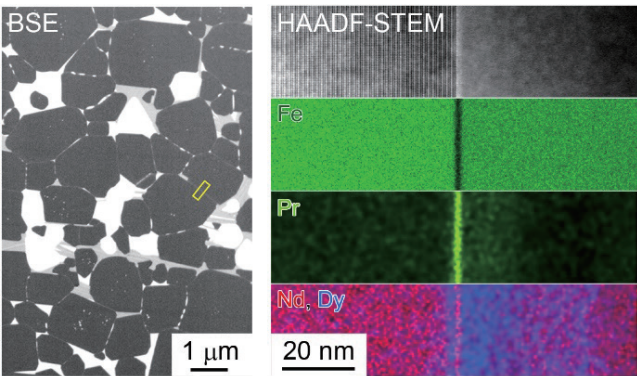


図2 Dy粒界拡散を施した焼結磁石の反射電子SEM像と結晶粒界付近のDyの分布を示すHAADF-STEM像とEDS元素マップ。

磁性理論グループ

基本的な物理法則のみを出発点とした経験的パラメータフリーの物性理論計算を用いて、磁性・スピントロニクス材料の理論研究を行っています。その役割は、実用化できる磁性・スピントロニクス材料を見出すための“指針”を提示し、研究開発の効率を大幅にアップすることです。

有限温度磁気物性の理論予測

荷電粒子のプラスとマイナスは引き合い、マイナス同士、プラス同士は反発する、といったような基本的な物理法則のみを用いて固体の性質(物性)を計算する手法を第一原理計算といいます。物質を原子核と電子の集まりというレベルから捉え、量子力学を用いてその微視的な振舞いを求め、物性を予測します。これまで、第一原理計算は、主に絶対零度での物性予測のみが可能でしたが、近年、量子多体理論や熱統計力学と組み合わせて、有限温度での物性予測が可能となりました。特に、磁性材料の物性は、磁化のゆらぎの効果によって、温度によって大きく変化します。当グループでは、有限温度での原子核の位置や磁化の揺らぎの効果を取り入れた磁気物性や輸送特性の理論計算を用いて、実際に材料やデバイスが動作する温度領域での物性理論研究を行っています。

スピン機能材料の機械学習とデータベース構築

実用化される磁性・スピントロニクス材料には、さまざま物性が要求されます。磁気メモリや磁気センサーの出力性能を決める電流のスピン偏極率、永久磁石やスピンドバイスの熱安定性を高める磁気異方性、磁化反転のエネルギー消費と関連する磁気ダンピング、軟磁性材料の損失と関連する磁歪、横熱電効果と関連する異常ホール効果、スピントルクの起源となるスピンホール効果などです。また、結晶構造を安定に保つための自由エネルギーや、磁性の転移温度を決める交換相互作用も重要です。当グループでは、これら磁気物性を有限温度第一原理計算によって解析するとともに、材料グループごとに分けてデータベース化することを試みています。また、材料探索の効率化を図るために、機械学習や量子計算機と組み合わせ、新材料の予測を行っています。

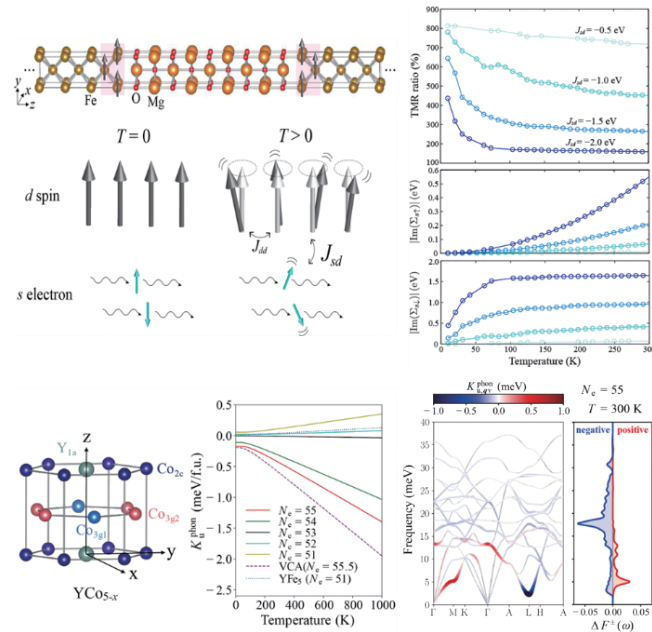


図1 (上) 界面s-d交換相互作用がトンネル磁気抵抗効果の温度依存性の起源であることを示した研究例。(下) フォノン(原子振動)によって YCo_{5-x} の磁気異方性が有限温度でどのように変化するかを示した研究例。

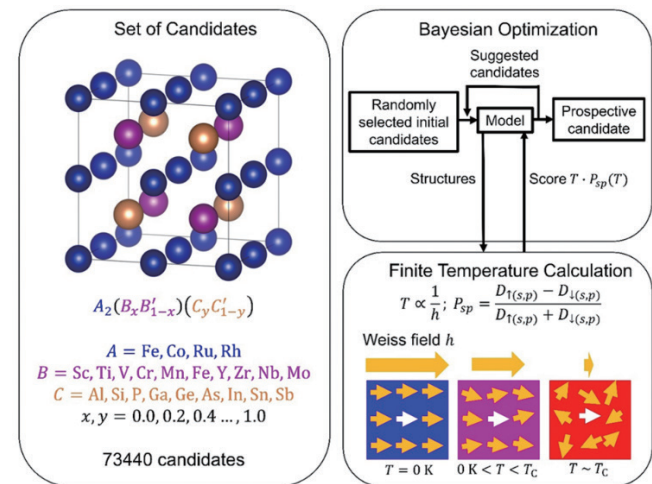


図2 (左) 高いスピン機能特性を示す強磁性金属の結晶構造と材料探索における元素と組成の組み合わせ。(右)有限温度第一原理計算と機械学習による材料探索のイメージ図



佐々木泰祐

(ささき たいすけ)

グループリーダー・博士(工学)

2008年 筑波大学大学院博士課程修了、物質・材料研究機構、アラバマ大学ボストク、2011年物質・材料研究機構、2023年より現職。

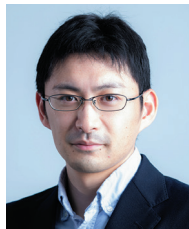


大久保忠勝

(おおくぼ ただかつ)

副センター長・博士(工学)

1992年長岡技術科学大学助手、1994年大阪大学助手、2002年物質・材料研究機構主任研究員、2022年より副センター長とDXMag代表研究者を併任。



只野央将

(ただの てるまさ)

グループリーダー・博士(理学)

2013年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、同大特任研究員、物質・材料研究機構ポスドク研究員、同ICYSフェロー、研究員、主任研究員を経て2024年より現職。



増田啓介

(ますだ けいすけ)

主任研究員・博士(理学)

2014年 早稲田大学大学院先進理工学研究科博士課程修了、早稲田大学先進理工学部助教、物質・材料研究機構ポスドク研究員、研究員を経て2022年より現職。

グリーン磁性材料グループ

グリーンエネルギー変換のためのバルク永久磁石、高周波パワーエレクトロニクスのためのソフト磁性材料、室温および極低温磁気冷凍のための磁気熱量効果材料の設計・開発を中心に研究を行っています。私たちは、材料の持続可能性を考慮しながら要求される磁気特性を実現するために、高度なプロセスルート、微細構造に基づくマイクロマグネティックシミュレーション、微細構造の特性評価、データサイエンスを駆使しています。

グリーンエネルギー用磁性材料

磁性材料はグリーンエネルギー変換に不可欠であり、カーボンニュートラルの実現のために重要な役割を果たします。私たちは、永久磁石、ソフト磁性材料、磁気熱量効果材料の3つを主要なトピックとして、バルク磁性材料の研究開発を行っています。

要求に合わせた高性能な磁性材料の設計と開発、希少元素への依存の排除、材料の持続可能性、そしてこれまでにない優れた性能を持つ新規化合物の探索が、私たちの研究テーマです。これらの目的のために、先端材料プロセス、マイクロマグネティックシミュレーション、データサイエンス、及び物性・微細構造評価などの複合的な研究アプローチを用いています。

磁性材料の機能設計

磁性材料の機能性は磁気ヒステリシスによって決まります。永久磁石の場合、希少元素を使用せずに磁気ヒステリシスを増大させるとともに、使用希土類元素の多様化を目指します。これは材料の持続可能性のために重要なことです。これに対しソフト磁性材料や磁気熱量効果材料の場合は、ヒステリシスを最小化する必要があります。

このような所望の磁気特性を実現するため、私たちはマイクロマグネティックシミュレーションとデータサイエンスを

駆使して、材料、微細構造、そして最適なプロセスを設計し、これに従って磁性材料を開発します。開発した材料について、物性と微細構造の高度な評価を行い、ヒステリシスと磁気特性の起源について理解を深めます。

私たちのチームは幅広い研究専門知識を有し、グリーンエネルギー用の高性能磁性材料の開発をリードしています。

持つ新規化合物の探索が、私たちの研究テーマです。これらの目的のために、先端材料プロセス、マイクロマグネティックシミュレーション、データサイエンス、及び物性・微細構造評価などの複合的な研究アプローチを用いています。

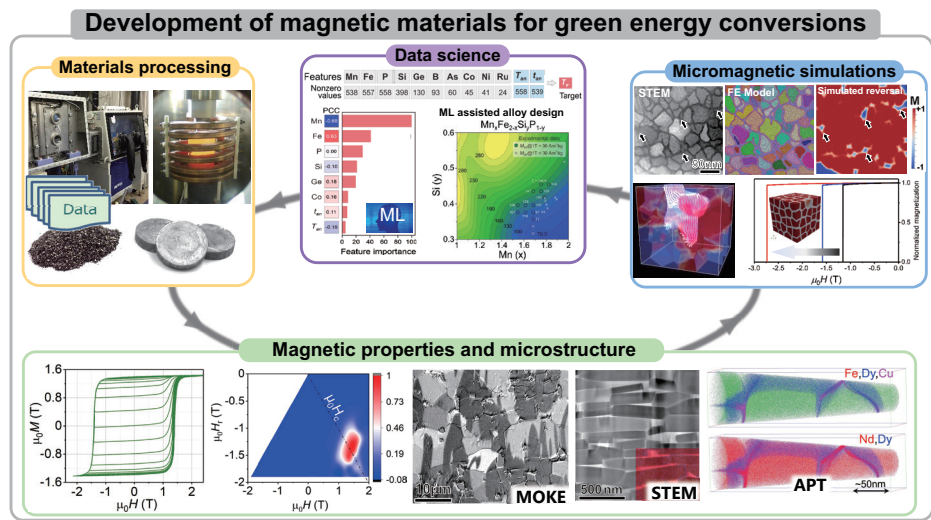


図 グリーンエネルギー変換のためのバルク磁性材料の複合的な研究アプローチによる開発。



Hossein Sepehri-Amin
(セペリ アミン ホセイン)

グループリーダー・博士(工学)

2011年 筑波大学大学院博士課程修了、物質・材料研究機構ポスドク、同ICYSフェローを経て2014年 物質・材料研究機構研究員、2022年より現職。



齋藤明子
(さいとう あきこ)

主席研究員・博士(工学)

1990年 北海道大学大学院理学研究科博士前期課程(物理学専攻)修了、株式会社東芝 研究開発センター、産業技術総合研究所を経て、2019年 物質・材料研究機構、2023年より現職。



間宮広明

(まみや ひろあき)

主席研究員・博士(工学)

1994年筑波大学大学院博士課程中退、科学技術庁金属材料技術研究所を経て、2001年 物質・材料研究機構、2023年より現職。



寺田 典樹

(てらだ のりき)

主席研究員・博士(理学)

2006年 東京理科大学大学院博士課程修了、理化学研究所 基礎科学特別研究員、2007年 物質・材料研究機構 研究員、2023年より現職。



Tang Xin

(タン シン)

主任研究員・博士(工学)

2018年 筑波大学大学院博士課程修了、物質・材料研究機構ポスドク、同ICYSフェローを経て、2023年より現職。



Anton Bolyachkin

(アントン ボリャチキン)

研究員・Ph.D.

2019年 ウラル連邦大学大学院博士課程修了、2020年物質・材料研究機構ポスドク、ICYSフェローを経て2024年より現職。



データ創出・活用型磁性材料研究拠点

Digital Transformation Initiative Center for Magnetic Materials (DXMag)

データサイエンス的手法を用いて革新的な磁性材料を創製する研究を行っています。

データ創出・活用型磁性材料研究拠点では、10年先の社会像・産業像を見据え、カーボンニュートラルの実現、Society5.0の実現、レジリエンス国家の実現、Well-Being社会に重要な役割を果たす革新的な機能を有するマテリアルを効率的に創出することを目的とし、以下の3課題に対して、最終的なアウトプットを創出する材料創製グループ、それに指導原理を与える理論計算グループ、微細構造と特性を評価する計測評価グループと、これらの連携を効率的に行わせるデータ活用促進グループが連携し、先駆的なデータ駆動型研究手法を活用し、関連するアカデミア、産業界との緊密な連携の下で、革新的な新規磁性材料を創製し、世界トップレベルの先端磁性材料研究をリードすることを目指していきます。

研究課題1

新規機能性磁性物質探索・材料設計

(プロジェクトリーダー: AIST 三宅隆)

マテリアルズ・インフォマティクス(MI)が急速に発展し、成功事例が積み上がる一方で、材料開発に利用できるデータが足りない「スモールデータ問題」が顕在化しています。また、考える材料の構造と組成には無限のバリエーションが存在し、広大なマテリアル空間を効率よく調べる材料設計手法が求められています。本課題では、以下の3つの要素技術を統合した物質探索・材料設計の方法論の確立を目的としています。

- 「富岳」上でのハイスループット計算、高速合成システムや先端計測設備で創出される実験データ、独自のテキストデータマイニングにより、マテリアルデータを大幅に拡充します。
- 各手段で得られる多様なマテリアルデータを一元的に管理し、機械学習手法や画像解析手法などの解析を全て一つのプラットフォームで実施できるようにします。
- 広範囲に及ぶ高次元のマテリアルデータをデータ科学を用いて解析し、材料設計に有用な情報を抽出します。

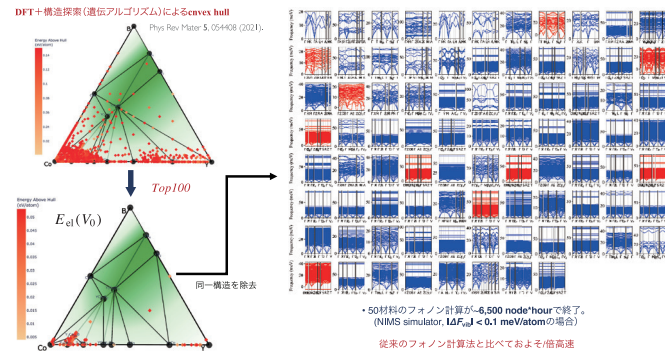


図1 第一原理フォノン計算による有限温度相図作成(NIMS 只野央将)

研究課題2

AI駆動型オンデマンド永久磁石開発

(プロジェクトリーダー: NIMS 高橋有紀子)

カーボンニュートラルなどの実現に向けた電動化社会の到来に伴い、駆動モータ用の永久磁石材料の需要は急速に拡大していきます。これに迅速に対応するには、資源的な観点で大量消費が可能なR₂Fe₁₄B系やRFe₁₂系

などのR-Fe系磁石に、用途に適した性能を持つ磁石をオンデマンドで迅速に開発する必要があります。そこで本課題では、データ駆動型研究を新たに取り入れて、求められる磁気特性を有する磁石の作製プロセスが迅速に得られる「データ駆動型(DD)磁石シミュレータ」を開発し、産業応用に適した磁石開発を加速する手法を開拓し、サプライチェーンに影響されない次世代高性能磁石材料を開発していきます。

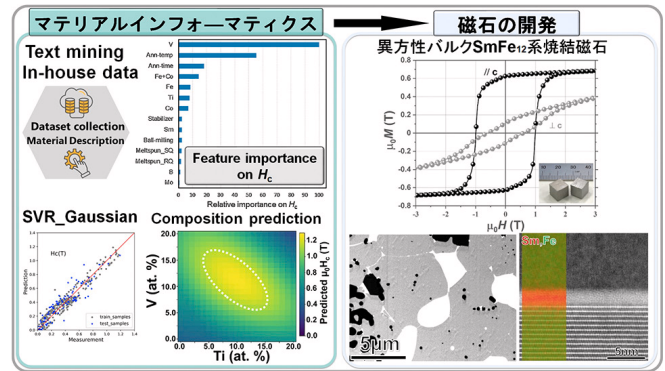


図2 機械学習による高性能磁石開発(NIMS H. SepehriAmin)

研究課題3

データ駆動設計に基づく軟磁性材料・デバイス開発

(プロジェクトリーダー: 東北大学 岡本聡)

軟磁性材料はモータコアやパワーエレクトロニクスにおけるインダクタ・トランスなどの受動素子、さらには移動高速通信の信号品質維持に不可欠なノイズ抑制素子など幅広い産業分野を通じて我々の社会生活を支えています。この軟磁性材料の磁気ヒステリシス(鉄損)は、その動作周波数によって物理起源が異なり、それぞれの物理起源に基づいた最適な材料およびデバイス設計が求められています。また高機能な軟磁性材料は微量元素を多く含む多元系であり、また非平衡相かつ複合組織形態であることも特徴です。従来の膨大な試行に頼る材料開発手法では探索可能なパラメータ空間は限られており、また開発スピードやコストなども問題となっていました。本研究では、データ駆動型研究を展開することによりこれら課題を解決し、従来手法では困難な各動作状態に最適化された軟磁性材料およびデバイス開発を目的としています。



大久保忠勝

(おおくぼ ただかつ)

DXMag拠点 代表研究者・博士(工学)

1992年 長岡技術科学大学助手、1994年 大阪大学助手、2002年 物質・材料研究機構主任研究員、2021年より副拠点長、2022年より副センター長と代表研究者を併任。



加藤 晃

(かとう あきら)

DXMag拠点 企画マネージャー・博士(工学)

1986年 トヨタ自動車、1990年東北大学民間等共同研究員、1998年マサチューセッツ工科大学客員研究員、2022年より現職。

