



IMR NEWS

KINKEN Plus

For Society 5.0

2023
SPECIAL

Vol. 01

構造材料、 世界基準。

IMR NEWS

KINKEN

IMR ニュース KINKEN Plus
2023 SPECIAL vol.01



東北大学金属材料研究所

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

【発行日】令和5年3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



TOHOKU
UNIVERSITY

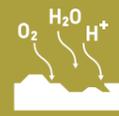
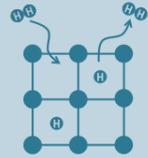
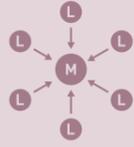
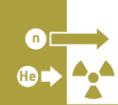
TARGETmap KINKEN

未来社会を革新するマテリアルサイエンス。

■ 構造材料

■ 機能材料

■ 量子物性

<p>耐環境材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 腐食 ■ 水素脆化 	<p>急冷材料・多孔質材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ アモルファス・金属ガラス ■ ナノ構造・複合材料 ■ デアロイング 	<p>電極材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 蓄電池 ■ リチウム ■ マグネシウム 	<p>結晶成長</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ その場観察 ■ 固液界面 ■ 新物質 	<p>薄膜界面物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ トポロジカル物質 ■ ナノ界面 ■ デバイス 	<p>有機量子物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 分子性導体 ■ バイ電子 ■ 有機エレクトロニクス 
<p>材料加工・プロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ コバルトクロム合金 ■ 積層造形 	<p>金属組織制御</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 鉄鋼材料 ■ 相変態 ■ 表面硬化材料 	<p>水素化物</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 水素貯蔵材料 ■ 高速イオン伝導材料 	<p>単結晶材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ シンチレータ結晶 ■ 酸化ガリウム ■ 融液成長法 	<p>金属錯体</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 電荷移動錯体 ■ 分子磁石 ■ 分子吸着材料 	<p>強相関スピン物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ スピン超構造 ■ 創発現象 
<p>格子欠陥分析・原子力材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 3次元アトムプローブ ■ 陽電子消滅 ■ 透過電子顕微鏡 	<p>核融合</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 核融合炉材料 ■ 粉末冶金 ■ ナノインデンテーション 	<p>先端エネルギー材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ スピン環境発電 ■ 全固体二次電池 ■ 高効率太陽電池 	<p>磁性材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ナノ磁性 ■ スピントロニクス ■ スピнкаロリトロニクス 	<p>強磁場物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 磁性 ■ 極端条件 ■ 相制御 	<p>超伝導物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 液体ヘリウム ■ 電場誘起超伝導 ■ 2次元超伝導 
<p>超大規模計算</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ スーパーコンピュータ ■ マルチスケール・マルチフィジクスシミュレーション 	<p>新素材</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 新材料の創製 ■ 材料評価と分析 	<p>セラミック材料設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 第一原理計算 ■ マテリアルズインフォマティクス 	<p>超伝導材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無冷媒マグネット ■ ハイブリッドマグネット 	<p>放射性・核燃料物質</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 放射性同位元素 ■ ホットラボ ■ 中性子照射 	<p>強相関アクチノイド物性</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ f電子系 ■ 超伝導 ■ 量子振動 
<p>産学官連携</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 大学シーズ技術移転 ■ 企業との共同研究 ■ 人材育成 	<p>材料分析支援</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 元素分析 ■ TEM解析 	<p>構造解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ シンクロトロン放射光 ■ 原子配列 ■ 非晶質・結晶質 	<p>量子ビーム計測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 中性子散乱 ■ X線散乱 ■ ミュオンスピン回転 	<p>分析・実験技術、計算科学</p>	

CONTENTS

構造材料、世界基準。 P04

01 SPECIAL P06

データ科学の知見を導入し、求められる金属材料を効率的に創製。

金属組織制御学研究部門
古原 忠教授 / 宮本 吾郎 准教授

Laboratories P09

水素脆化の克服に向けて
耐環境材料学研究部門 秋山研究室

安全性・信頼性の高い原子力発電、核融合炉の実現を目指して

原子力材料工学研究部門 笠田研究室
材料照射工学研究部門 永井研究室
附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

02 SPECIAL P10

求められる形状と優れた特性の両立を目指し、最新技術の活用や先端分野の融合に挑戦。

加工プロセス工学研究部門
山中 謙太 准教授

Laboratories P13

産学官の協創で新材料の創出と産業界の発展を目指す

附属産学官広域連携センター

計算科学シミュレーションによる効率的な物質・材料設計

計算材料学研究部門 久保研究室
計算材料学センター

受け継がれる金研DNA P14

最先端構造材料研究プロジェクト in KINKEN P15

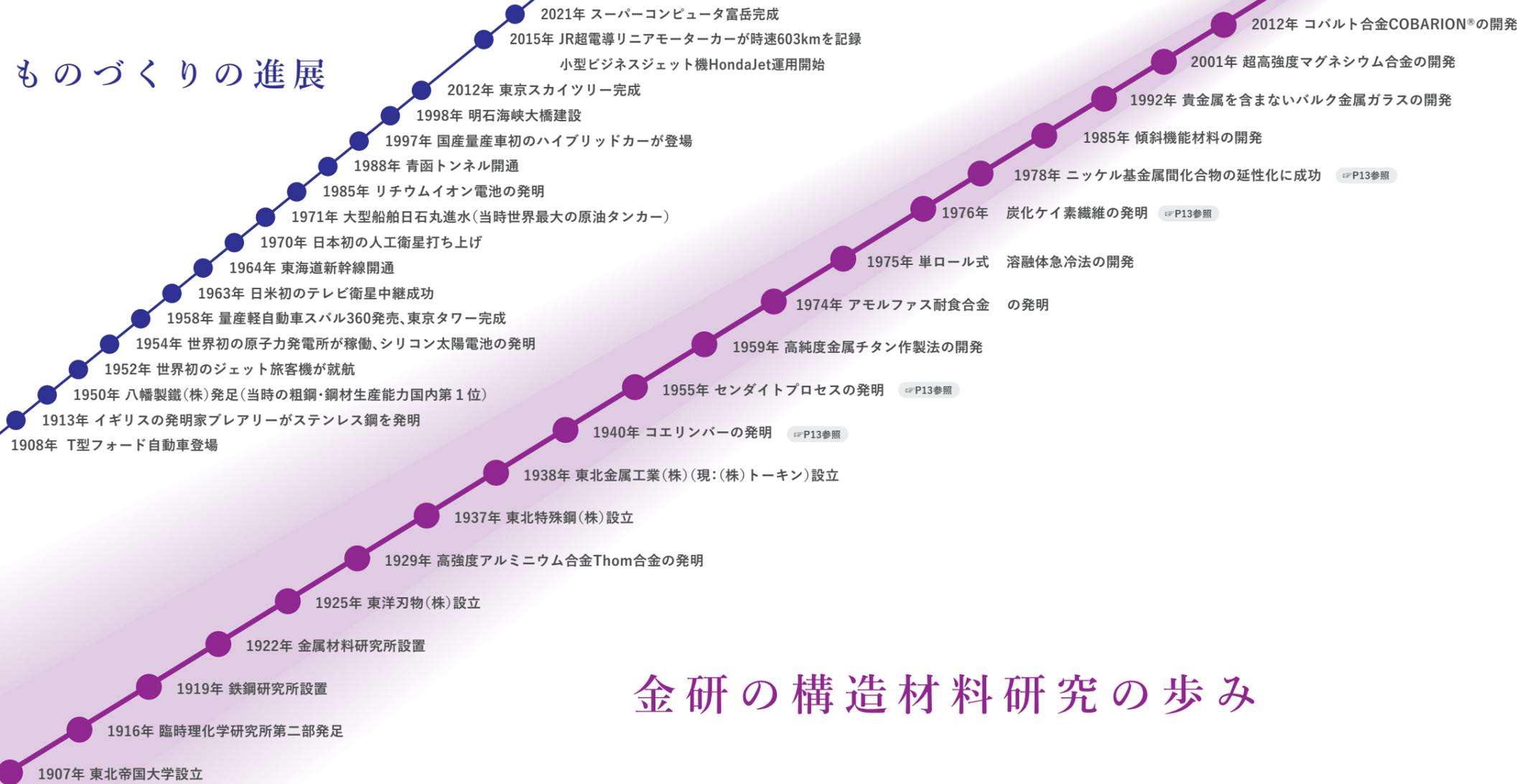
構造材料、世界基準。

材料は用途により「構造材料」と「機能材料」に分類できる。

構造材料は、強度を中心とする力学的性質を利用する材料で、ビルや橋梁、高速道路などの建築物、航空機や自動車、また小さな機械部品などのかたちを支える要素として使用されるものである。1989年のパリ万博では、モニュメントとしてエッフェル塔が建設され、巨大な鉄鋼構造物建設の時代の到来を告げた。その約1世紀後、日本では本州と四国を結ぶ長大な橋梁が次々に架けられたが、その実現を可能にしたのが、構造材料の高強度ワイヤーだった。

1916年に東北帝国大学理科大学臨時理化学研究所第二部として発足した金属材料研究所は、鉄鋼の研究をミッションとしてスタートし、その成り立ちから現在まで構造材料と深く関わり続けてきた。世界の構造材料研究を牽引する中核的研究組織として、次の100年を見据えた革新的な材料科学研究に取り組んでいる。

ものづくりの進展



金研の構造材料研究の歩み

Society 5.0

Society 5.0とは
 仮想空間と現実空間の高度な融合により、
 経済発展と社会的課題の解決を両立する社会
 狩猟社会(Society 1.0)、農耕社会(Society 2.0)、工業社会
 (Society 3.0)、情報社会(Society 4.0)に続く、新たな社会を
 指すもので、第5期科学技術基本計画において我が国が目指す
 べき未来社会の姿として初めて提唱。



- 2022年 ロシアのウクライナ侵攻
- 2021年 東京2020オリンピック
- 2020年 新型コロナウイルス感染症流行
日本「2050年カーボンニュートラル」を表明
- 2015年 国連サミットで持続可能な開発目標(SDGs)を決定
- 2013年 小型家電リサイクル法施行
- 2011年 東日本大震災
- 2007年 世界金融危機、iPhone登場
- 2001年 アメリカ同時多発テロ
- 1997年 地球温暖化防止京都会議にて京都議定書採択
- 1995年 阪神・淡路大震災、Microsoft Windows 95発売
- 1991年 バブル崩壊
- 1982年 東北新幹線開通(大宮～盛岡)
- 1979年 第2次オイルショック、省エネ法施行
- 1973年 第1次オイルショック
- 1968年 日本のGNP世界第2位に
- 1966年 3Cブーム(カー・クーラー・カラーテレビ)
- 1964年 東京オリンピック
- 1955年 三種の神器ブーム(電気冷蔵庫・電気洗濯機・白黒テレビ)
- 1945年 第二次世界大戦終結
- 1929年 世界恐慌
- 1923年 関東大震災
- 1914年 第一次世界大戦

社会の変化

構造材料、 世界基準。

SPECIAL



Society5.0の視点

- 安全・安心を確保する強靱性等に優れた構造材料の創製
- データの活用による効率的なマテリアル創出
- カーボンニュートラルに向けた新しい鉄鋼製造技術の確立

研究の力点

鉄鋼材料における
微細組織制御を
現象と学理の両面から探究。

古原

「構造材料研究は、ビルや橋などの大型構造物や車両・船舶の骨格など、安全安心な社会インフラを支える分野。その中でも鉄鋼材料が日本の経済力や国際的な競争力を支えてきたのは間違いない」。そう語るのは、金属材料研究所で金属組織制御学研究部門を担う古原忠教授だ。

古原教授の主たる研究対象は鉄鋼材料。鉄は地球上に最も多く存在し、かつ精錬のしやすさから構造材料として幅広く活用され続けている。金研でも創立当初から研究されている伝統的な分野だが、合金となる際にみられる鉄の構造変化はまだ未知の領域だ。「鉄は基本的には原子が規則的に並んだ結晶です。そこに炭素や窒素などの元素を添加すると、元素間の複雑な相互作用により多彩な微細組織が生まれます。こうした組織の複雑さが合金の特性につながります」。この多様な構造変化とその結果生まれる幅広い材料特性が、鉄の魅力だともいう古原教授。「より優れた特性を持つ鉄鋼材料を開発するには、特性を支配する微細組織を適切に制御することが必要不可欠なのです」(古原)。

鉄鋼材料に求められる「強さ」は一筋縄ではない。力がかかっても形を維持できる「硬さ」と、力に対して破断せずに変形する「粘り強さ」(延性や韌性)の両立が構造材料のあるべき姿だが、両特性はトレードオフの関係にあるからだ。さらには表面だけを硬く、内部は高靱性にする傾斜機能が求められる材料もある。そうした複雑な特性を実現するため、古原研究室では微細組織制御を現象と学理の両面から探究してきた。「鉄鋼材料の結晶構造は、添加元素だけでなく加熱冷却のプロセスでも大きく

変わります。変化を支配している学理を追求していくのが我々大学の研究の役割。その中でも当室では、組織制御に研究の主体を置いているのが大きな特徴です。加工熱処理や添加元素が微細組織に及ぼす影響を詳細に理解しながら、材料特性を最大限に引き出すための適切な制御方法について深く追求しています」(古原)。

マテリアルDX研究

充実した装置群とデータ活用で
次世代自動車を支える表面硬化材料の
メタラジーを確立したい。

宮本

古原研が目指す「組織制御による材料特性の最適化」を実現するのが充実した解析装置だ。「研究室発足当初は電子顕微鏡が主力装置でしたが、元素添加による組織構造の詳細な変化を追うには限界がありました」(古原)。契機となったのが国の元素戦略研究促進による最先端の解析装置の導入だ。古原研では2011年に戦略的創造研究推進事業CREST^{*1}などに参画し、より高度な研究環境が整ったことで組織制御の研究が格段に進展する。

「微細組織をより詳細に解析するために3次元アトムプローブが導入されました。この装置を使うと、金属材料中のひとつひとつの原子の3次元的位置だけでなく、その原子の種類までわかる。組織構造がナノレベルで理解できるようになったことで、その後の材料研究にも大きな飛躍をもたらしました」。そう語るのは古原研究室立ち上げの翌年、研究室の一員となった宮本吾郎准教授だ。

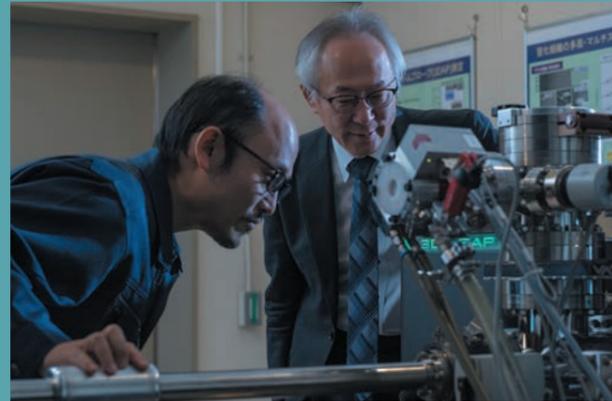
宮本准教授は2020年に科学技術振興機構(JST)の創発研究者にも採択され、分野横断を含めたイノベティブな研究にも挑戦している。彼が取り組む研究課題の一つに「耐疲労表面硬化材料プロジェクト^{*2}」がある。研究の背景にあるのが、電気自動車(EV)をはじめとする次世代自動車の普及である。「EV化に際しては、モーターの小型化と軽量化が課題です。モーターを小型化するとトルクが小さくなるため、高速回転させることで出力を維持します。そこで問題になるのが、モーターにかませるギアの耐久性で、数倍の長寿命化が必要といわれます。また、エンジン音のない静かなEVではこれまで気にならなかったギアノイズの低減も課題です。ノイズの原因に



01 データ科学の知見を導入し、
求められる金属材料を効率的に創製。

古原 忠 教授 宮本 吾郎 准教授 金属組織制御学研究部門

なるギアの歪みは、現在の加工方法では避けられません。これらの課題を解決するため、ギアの表面硬化処理を従来の炭素から窒素に置き換えるための研究を進めています。高強度かつ歪みのないギアを低コストで作るべく、添加元素と加工プロセスの最適条件を示す高精度な予測モデルを確立することが一つの目標です。そのために当室の研究装置と併せて、放射光などの大型研究施設や計算科学ともタッグを組み、次世代自動車の普及に貢献していきたいです」(宮本)。



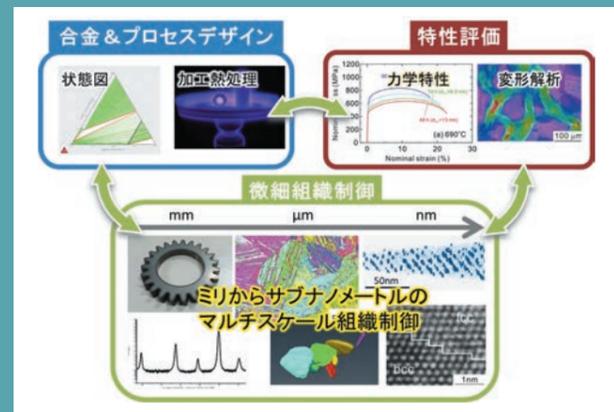
「例えば、現在の鉄鋼材料研究は、国内の高炉で作られる純度の高い鋼をもとに研究が進められていますが、今後はカーボンニュートラルに準じた新しい技術で得られた鉄を基準とする必要があります。最も有力なのがリサイクル原料由来の鉄スクラップです。高炉で得られる鋼に比べ、どうしても不純物が多くなるので、それらを組織制御によってどう解決していくかが課題です。実は20年以上前から関連学協会でも議論してきたテーマですが、今まさにその重要度は増えています。不純物は結晶の間にたまるため、ナノレベルの解析が不可欠。私たちの果たす役割は大きく、今後より一層研究を進展させたいと思います」(宮本)。

※ 1 JSTの戦略的創造研究推進事業CREST「軽元素戦略による鉄鋼のマルチスケール設計原理の確立(2011-2016)」

※ 2 文部科学省が2021年度からスタートさせた「データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト」事業の一環。マテリアルを効率的に創出し、迅速に社会実装するための新たなモデルの確立を目的としている。

これからの構造材料
持続可能な社会に根差した
鉄鋼材料研究の進展を目指す。
古原

カーボンニュートラルなど国際情勢の急激な変化によって、これまで日本のものづくりを支えてきた製鉄業は大きな変化を迫られている。「革新的な技術発展のためにも、学術基盤の飛躍的進展が望まれている」と古原教授は語る。「鉄鋼の原料となる鉄鉱石や石炭は100%海外から輸入され、さらに鋼に還元する際に大量のCO₂を排出します。これは持続可能な社会を目指す日本にとって大きな課題です。いかに省資源で高性能な構造材料を作るかが今後の材料研究に求められており、大学や研究所、そして業界が一体となったオールジャパンで取り組むべき課題です」(古原)。



マルチスケール組織制御による構造用金属材料の高機能化
先端ナノ組織解析手法を駆使したマルチスケール解析により多様な鉄鋼材料の微細組織を明らかにし、組織形成原理を熱力学や結晶学に基づき理解することで、高強度・高延性を発現させるための合金・プロセス設計の指針を確立する。



古原 忠 教授

1985年工学修士(京都大学)、1989年Ph.D(金属工学・材料科学)(カーネギーメロン大学)。2005年東北大学金属材料研究所教授、2020年から2023年3月まで同研究所長。現在(一社)日本鉄鋼協会会長。



宮本 吾郎 准教授

2006年博士(工学)(京都大学)。2005年日本学術振興会特別研究員(京都大学大学院工学研究科材料工学)を経て、2006年東北大学金属材料研究所助教に就任。2012年同准教授。

Society5.0 多様なエネルギー源の活用等のための研究開発・実証等の推進

水素脆化の克服に向けて

耐環境材料学研究部門 秋山研究室

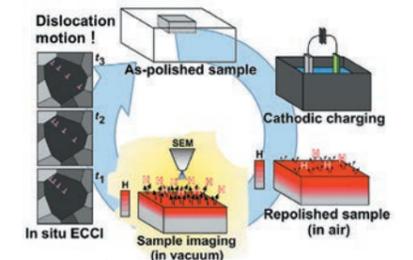
水素利用の普及が時代のトレンドとなる中、水素燃料電池車や水素ステーションに用いられる材料の信頼性確保が大きな課題となっています。それは、水素が金属を弱くするから。特に高強度金属では水素の影響が顕著で、金属部材が水素ガスに曝されると水素原子が金属中に侵入し、金属が壊れやすくなってしまいます。微量水素が引き起こす水素脆化のメカニズムを明らかにするため、秋山研究室では、水素が金属組織内で及ぼす役割や、腐食反応に

よる水素侵入挙動の解明などの研究に取り組んでいます。

■水素が金属を弱くする仕組みを“見る”手法を開発

秋山研究室では、水素の動きに合わせて、刻一刻と変化する金属の“内部構造”を、“ナノスケール”で“時間”を気にしながら見ることに初めて成功(2020年)。採用した電子チャネリングコントラストイメージング法は他の手法と比べ対象とする試料形状の制約が小さく、さまざまな形状の金属

片中および負荷環境での水素の影響を見ることができると、より高強度で水素に強い材料の開発など水素関連研究全般への寄与が期待されています。



Electron Channeling Contrast Imaging (ECCI)法による水素助長転位運動のその場観察プロセス

■ M. Koyama et al., Science Advances 6 (2020) eaaz1187

Society5.0 多様なエネルギー源の活用等のための研究開発・実証等の推進

安全性・信頼性の高い原子力発電、核融合炉の実現を目指して

原子力材料工学研究部門 笠田研究室

材料照射工学研究部門 永井研究室

附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

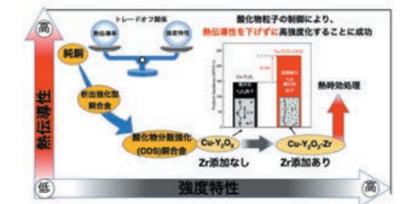
資源小国の日本において、持続可能で強靱な社会を実現するための次世代エネルギーの確保は重要な課題のひとつです。笠田研究室では、基幹エネルギー源として期待される核融合炉の実現に向けた耐極限環境材料の研究開発を、また永井研究室では、原子力関連の鉄鋼や半導体を対象に、材料中の照射欠陥などの本質的解明に取り組んでいます。茨城県大洗町にある附属量子エネルギー材料科学国際研究センターは、全国大学共同利用施設として放射化試料やアクチ

ノイド元素の実験場所を提供、海外の研究用原子炉と学術協定を結ぶなど、最新の材料研究拠点としての役割を強化しています。

■高い強度と熱伝導性を併せ持つ複合酸化物分散強化銅合金の開発

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す。笠田研究室では、高い強度と熱伝導性を併せ持つ、ジルコニウムとイットリウム

の複合酸化物分散強化銅合金の開発に成功(2021年)。核融合炉に必要な高温作動ヒートシンク等への適用に向けて、大量製造技術開発の進展が期待されます。



熱伝導性と強度特性のトレードオフを克服する複合酸化物分散強化銅合金

■ Z. Gao et al., Journal of Alloys and Compounds 899 (2022) 163328

構造材料、 世界基準。

SPECIAL



Society5.0の視点

- 安全・安心を確保する強靱性、生体適合性等に優れた構造材料の創製
- サイバー空間とフィジカル空間の融合による新技術の開拓
- 産学官連携による価値共創型の新たな産業の創出

研究の力点

伝統的な鋳造・塑性加工から最先端の3Dプリンタまで、多様な加工プロセスを研究対象に。

金属材料の製造と加工には、液体の金属を型に流し込む鋳造や部材を変形させる塑性加工、金属粉末を焼結する粉末冶金などさまざまな方法がある。求められる形状と優れた特性を両立させるにはどの方法で製造するのが最適か、製造プロセスという視点から研究を進めるのが金属材料研究所の加工プロセス工学研究部門だ。

「鋳造や鍛造といった伝統的な手法から、3Dプリンタを取り入れた最先端加工技術の開発まで、幅広い加工プロセスを対象に構造材料の研究を行っているのが当室の特色」と話すのは研究室メンバーの山中謙太准教授だ。「強度を追究するのはもちろん、強度と延性のようにトレードオフの関係にある特性の両立を、加工プロセスによって実現するのが私たちの研究の基本です。そのひとつとして、加工が困難な生体材料の研究にも取り組んできました」。

研究室では10年以上にわたりCo-Cr-Mo合金を用いた金属系生体材料の開発に取り組む。Co-Cr-Mo合金は耐摩耗性・耐食性が高く人工関節に適した材料だが、金属アレルギーの原因となるニッケルが、加工性を改善する添加元素として、あるいは不純物として含まれているため、生体への安全性に課題があった。当室では、製造プロセスの研究開発によって、ニッケル含有量が極めて少なく人体に安全なCo-Cr-Mo合金の製造技術を確立、国や自治体の支援を受けて実用化に成功した^{※1}。骨との結合性・親和性は、同じく生体材料に使用される

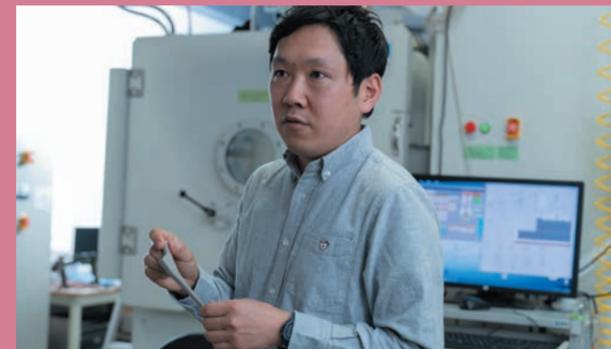
チタン合金に比べ課題があったが、塑性加工や微量の添加元素によって向上することも示している。

「強度に加え、体に入れた際の安全性が何より求められる生体材料の場合、組成を大きく変えると、新たに薬事承認などが必要となり、実用化まで多くの時間が必要です。組成は変えず、加工プロセスを変えるだけで強度や特性を向上させることができないか。種々の加工プロセスを研究することで、特性を最大限に引き出す最適解を求めるのが当室の目標です」。

金属3Dプリンタ

創れないものを創れる技術、
電子ビーム積層造形(EBM)の
開発に挑む。

「我々は現在、生体材料の分野と親和性の高い積層造形法(Additive Manufacturing:AM)についても研究を進め、材料開発や装置開発に力を入れています」。AMは3Dプリンタを用いて材料を積層する最新鋭の加工プロセス技術だ。医療機器のほか、航空宇宙、自動車製造などを中心に実用化が進みつつある。研究室では2010年に金属3Dプリンタの一種、電子ビーム積層造形(EBM)を全国の大学に先駆け導入する。EBMは電子ビームによって金属粉末を選択的に熔融・凝固させ、その層の積み重ねで3次元構造を造形する技術である。金型を必要とせずにメッシュ加工など複雑な形状にも対応できるのが大きな特徴だ。「金属3Dプリンタには、当室が研究している電子ビーム方式のほか、広く普及しているレーザー方式があります。電子ビーム方式は、レーザーに比べ歪みや亀裂が少なく、エンジン部品に用いられる耐熱合金の製造にも電子ビームのほうが向いています。チタンやタングステンのように融点が高い金属も造形できます。一方、真空チャンバーや高度な電子ビーム技術が必要なため、研究開発しにくいという難点がありました」。そのため研究を始めた当時、EBM装置を製造している企業は世界でも一社のみだったという。導入した海外製のEBM装置にも課題が多かったため、山中准教授の学生時代からの恩師でもある千葉晶彦教授が中心となり、約10年かけて高精度な国産EBMの開発に成功する。



02

求められる形状と優れた特性の両立を目指し、
最新技術の活用や先端分野の融合に挑戦。

山中 謙太 准教授

加工プロセス工学研究部門

「飛行機や生体材料に使われる金属は、そもそも加工に向かない硬い材料。その上、複雑かつ高精度な形状が求められるため、既存の加工プロセスではいくつにもパーツを分けたり、実現不可能な形もありました。金属3Dプリンタでは設計図さえあれば、高精度な材料が製品に近い形で作れます。コスト面にはまだ課題がありますが、EBMという加工技術の登場は、これまで創れなかったものが創れるようになる日本の新たなものづくり技術として進展するでしょう」。



や航空機などの軽量化手段として注目されているが、現段階ではその設計手法はまだ確立されていない。「私たちはEBMだけでなく、レーザー方式やコールドスプレーなど多様なAM技術を取り入れながらマルチマテリアルの実現に挑戦しています。一体成形すれば部品の数も製造工程も大幅に減らすことができます。それによるCO₂削減や省資源化といった社会的な課題の解決にも、AMは大きく貢献するはずで」。

AMが普及すれば社会構造は大きく変わるだろう。粉末原料を供給する新たな産業の創出、Well-beingの実現を可能にする個人に最適化された製品の提供など、まさにAMによる科学イノベーションだ。「AMの普及には課題が多くありますが、原料から造形までの工程、特性の評価、さらに実用化に至る一連の流れを理解している我々だからこそ、提案できることがあると強く感じています。千葉教授が世界をリードし積み上げてきたEBM研究を、今後いかにつなげて発展させていくか。多くの企業や大学、意欲ある学生たちとも協力しながらEBMの可能性に幅広くトライしていきたいです」と山中准教授は意気込みを語る。

※1 文科省地域イノベーション戦略支援プログラム(グローバル型)へ参画。開発された高付加価値コバルト合金は(公財)いわて産業振興センターにより「COBARION(コバリオン)」として商標登録されている。

山中 謙太 准教授

2013年博士(工学)(東北大学)。株式会社神戸製鋼所研究員を経て、2013年日本学術振興会特別研究員(東北大学金属材料研究所)、2014年同助教、2018年同准教授。



加工プロセスの発展

積層造形法(AM)で広がるものづくりの未来。

従来の加工技術と全く異なるEBMは、材料科学の新たな学理の追求にも貢献している。「金属粉末の溶融・凝固の過程や得られた造形体を、シミュレーションや放射光・中性子などの先端的な解析技術によって詳細に調べることで、これまでの伝統的な加工プロセスでは不可能であった材料開発ができるようになってきました。当室では機械学習を取り入れた条件最適化にも取り組み、高度な組織制御の実現を目指しています。造形プロセスをモニタリングし、温度や欠陥形成の基礎データを蓄積することで、より精度の高い材料設計やDX化が可能になります」。

AMには、プラスチックと金属、鉄鋼材料とアルミ合金のように異なる材料を一体に成形するマルチマテリアルの分野でも大きな可能性があるという。マルチマテリアルは自動車



マルチマテリアル金属積層造形による実寸サスペンションタワー(約40cm四方)の試作品

天板部分に鋼材(S25C)、その他の部分にアルミ合金(Al3Si1Mn)を使用。従来の技術では困難だった鉄とアルミの強固な結合を実現。レーザー方式の金属積層造形を採用。高密度で欠陥の無い大型の積層造形品を得ることができた点でも注目すべき成果。

Society5.0 産学官連携による新たな価値共創の推進

産学官の協創で新材料の創出と産業界の発展を目指す

附属産学官広域連携センター

国民の安全と安心を確保する強靱な社会の実現には、産学官による新技術創造に加え、国民の高い素養が不可欠です。附属産学官広域連携センターは、大学の研究成果の社会活用を目的に、産業界の技術力強化、イノベーション創出、産業界が抱える課題解決、大学シーズの技術移転、人材教育に取り組んでいます。産業界、行政機関、他学や学内他部局と連携し、迅速かつ有機的な活動を目指しています。

■人体に安全な高性能インプラントチタン合金の開発

花田修治東北大学名誉教授と産学官広域連携センターの正橋直哉教授のグループは、企業との共同研究により新規チタン合金製人工股関節ステムを開発し、厚生労働大臣から薬事承認を得ました(2021年)。本合金(TiNbSn)はTi合金としては人骨に最も近いヤング率36GPaを示し、ステムへの荷重偏りを低減することで骨萎縮を抑制できます。大阪公立大学との共同研究では、関節炎や骨融解をおこす

金属粉等の生成を防ぐために、陽極酸化を施すことで耐摩耗性の改善に成功。また本学医学部との共同研究により、骨伝導性と抗菌性の付与に成功し、安全安心なインプラント治療への貢献が期待されます。



人工股関節インプラント用TiNbSn合金: near β相のため冷間でスウェーピング・溝ロール圧延等の成型加工が可能

- M. Hatakeyama et al., Materials Science and Engineering: A 825 (2021) 141898
- Y. Mori et al., Materials 15 (2022) 5116

Society5.0 研究DXを支えるインフラ整備と高付加価値な研究の加速

計算科学シミュレーションによる効率的な物質・材料設計

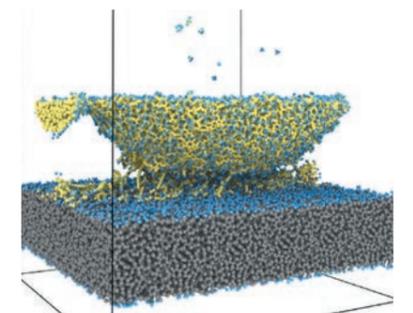
計算材料学研究部門 久保研究室 | 計算材料学センター

近年、現実世界を高精度に反映した計算科学シミュレーションが急速に進展し、材料研究においてもその重要度は増しています。久保研究室では、エネルギー問題などの世界規模課題の克服のため、計算科学シミュレーション技術の開発と、効果的なシステム・材料設計の実現を目指しています。国際共同利用・共同研究施設の計算材料学センターは、材料科学に特化したスーパーコンピュータ「MASAMUNE-IMR」を運用し、物質・材料設計の支援やソフト開発を行っています。

■世界初、微小機械システムの摩耗量予測式を提案

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、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ます。久保研究室を初めとする研究グループは、「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(2021年)。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・事故防止など信頼性向上への貢献が期待されます。



摩耗量の予測シミュレーション

- Y. Wang et al., Advanced Science 8 (2021) 2002827

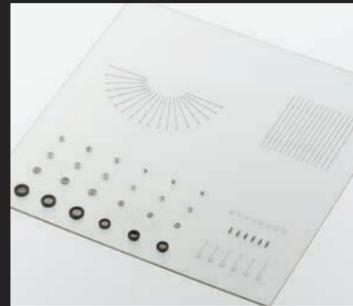
受け継がれる金研DNA

金研オリジナルの構造材料

1940 コエリンバー

機械式時計の動力源は「ひげぜんまい」と呼ばれる小さな金属部品だ。このぜんまい状に加工された金属が規則正しく伸び縮みすることで、時計は正確に時を刻む。しかし金属が熱膨張すると、ぜんまいの伸縮スピードも変化する。

そこで増本量博士は温度による熱膨張率・弾性率の変化が極めて低く、かつ高強度で錆びにくいコエリンバー合金を発明。日本の高精度な時計づくりに貢献し、精密機器用材料として今も広く使用されている。



1955 センダイトプロセス

溶かした鉄を型に流し込んで作る鋳鉄は、最も基本的な構造材料の製造法の一つだ。本間正雄博士らは鋳鉄に含まれるわずかな酸素の増減がその特性を大きく左右することを解明。この成果に基づいて開発された鋳鉄

の製造方法は「センダイトプロセス」と命名され、国内・国外を問わず多くの工場で実施されることとなった。耐摩耗性に優れた薄肉鋳物の製造にも応用され、ピストンリングなどの自動車用鋳鉄物の軽量化に貢献した。



1976 炭化ケイ素繊維

次世代航空機エンジンの部材として世界的に注目を集める炭化ケイ素(SiC)繊維。この繊維を世界に先駆けて発明したのが矢島聖使博士だ。セラミックスの一種である炭化ケイ素繊維は、熱には強いものの脆く、構造材料には

適さないとされていた。その概念を一変させたのが、「矢島法」と呼ばれる独創的な熱処理。ジェットエンジン部材の合金を炭化ケイ素繊維に代替できれば、航空機の耐久性と燃費の飛躍的な向上が期待される。



1978 ニッケル基金属間化合物の高延性化

車や航空機のエンジン部などに使用される金属間化合物の中には、温度が高くなるほど硬くなり強度が上がるものがある。ニッケル(Ni)とアルミニウム(Al)からなるNi₃Alもそのひとつだが、脆く加工が困難という課題が

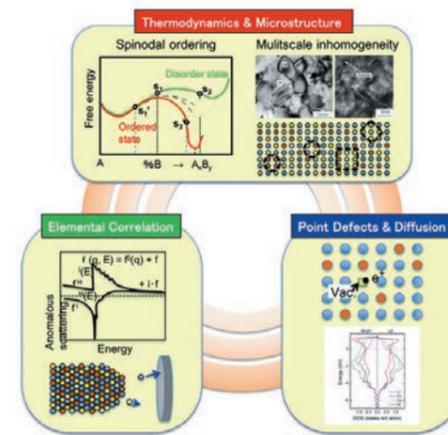
あった。脆さの原因が粒界脆性にあると考えた青木清・和泉修博士は、ボロン元素の添加によってNi₃Al延性の劇的な改善に成功し、その後の金属間化合物研究を牽引する成果となった。



最先端構造材料研究プロジェクト in KINKEN

ハイエントロピー合金に内在する元素間相互作用と相安定性原理の実験的解明

代表者 古原 忠 事業名 | 新学術領域研究(研究領域提案型)計画研究[2018-2022]



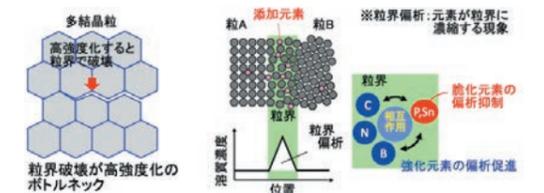
2018年度より科学研究費新学術領域において、新奇で特異な材料物性が発現する「ハイエントロピー合金」が示す元素の多様性と不均一性に注目し、物性解析、材料設計、材料創製の各項目で実験と理論の両面からの本質解明による、新たな材料科学の学術領域の構築を目指して研究が推進されています。ハイエントロピー合金の主な特徴は、多元化がもたらすエントロピー増大と固溶体の安定化ですが、実際の相安定性は構成元素の短距離—中距離間かつ多体間の相互作用(エンタルピー項)の影響を必然的に受けるために、合金設計では、ベースとなる合金系への添加元素種の影響の個別評価を丹念に行い、相安定性と組織形成の理解を深化させることが必要不可欠です。本計画研究では、多元系固溶体の不安定化要因となる規則化と相分離の重畳現象に注目し、ハイエントロピー合金の代表的な構成元素の多元化に伴う固溶体のナノ構造の変化を解明し、統計熱力学と原子・欠陥構造の学理に基づいた微細組織設計の原理確立を目指しています。

界面組成の高度制御法確立による構造用金属材料の力学特性向上

代表者 宮本 吾郎 事業名 | 創発的研究支援[2021-2027]

高効率・高信頼性社会の実現には、自動車をはじめとする輸送機器の軽量化・衝突安全性向上や建築構造物の高層化・耐震性向上を実現する構造用金属材料の高強度化が不可欠です。構造用金属材料を高強度化すると相対的に脆弱な粒界から破壊が生じるようになるため、高強度化のボトルネックとなっています。また、今後カーボンニュートラル達成のためにスクラップ材料が多量に再利用されるようになると、不純物が混入して粒界に濃縮し、現状以上に粒界を脆化させることが予想されます。そこで本研究では、粒界における元素間の相互作用を実験的に解明したうえで、計算状態図の考え方を粒界に適用し、粒界への元素濃化(粒界偏析)を設計する新たな粒界偏析設計の概念の有効性を実証し、力学特性を向上させる指導原理を確立します。

JST 創発的研究支援事業課題(2021~) 界面組成の高度制御法確立による構造用金属材料の力学特性向上

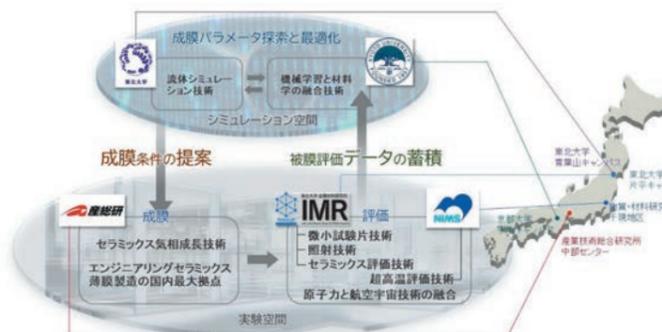


熱力学に基づく粒界偏析設計により、力学特性を向上させる指導原理を確立

フルセラミックス炉心を目指した耐環境性3次元被覆技術の開発

代表者 近藤 創介

事業名 | 令和4年度エネルギー対策特別会計委託事業[2022-2024]



原子炉や核融合炉を耐熱セラミックスで造る。中でもSiC/SiC複合材料(炭化ケイ素繊維強化型SiC基複合材料)の利用は、3Dプリント技術の発展により現実味を帯びています。しかし、構造材料は炉心冷却用の冷媒からの強い腐食環境に常にさらされ、SiC/SiCといえども被覆が必要です。本プロジェクトはセラミックスにセラミックスを被覆するためのプロセスインフォマティクスです。SiC原料を輸送ガス流に乗せ、材料内外の表面に運搬して被覆しますが膜質はガス流に左右されます。成膜時は経験を頼りに条件調整しますが、複雑形状へは対応できません。そこで、流体シミュレーションにより流れをモデル化し、実験では数μmの位置精度で対応箇所の被膜強度を測定します。この「ガス流」と「膜性能」の相関を機械学習させ、AIが提案した最適条件で作製した被膜の性能を耐食実験で証明する予定です。