

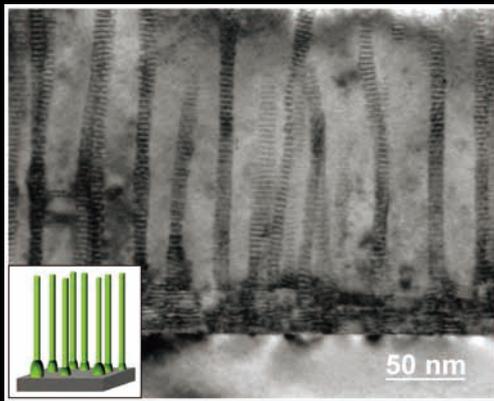
Materia Japan

まてりあ Vol.63

MTERE2 63 (5) 289 ~ 362 (2024)

No.5

2024



・ 金属素描 ~シリコン~

巻頭
記事

AI × 材料研究

表彰

受賞者紹介 (春)

記念
講演

金属材料の組織制御と高性能化

記念
講演

先進構造材料の結晶塑性における新展開
—ハイエントロピー合金を中心に—

・ 新進気鋭

・ 思い出の教科書, この一冊!

・ はばたく

ASTAR / TopSpin

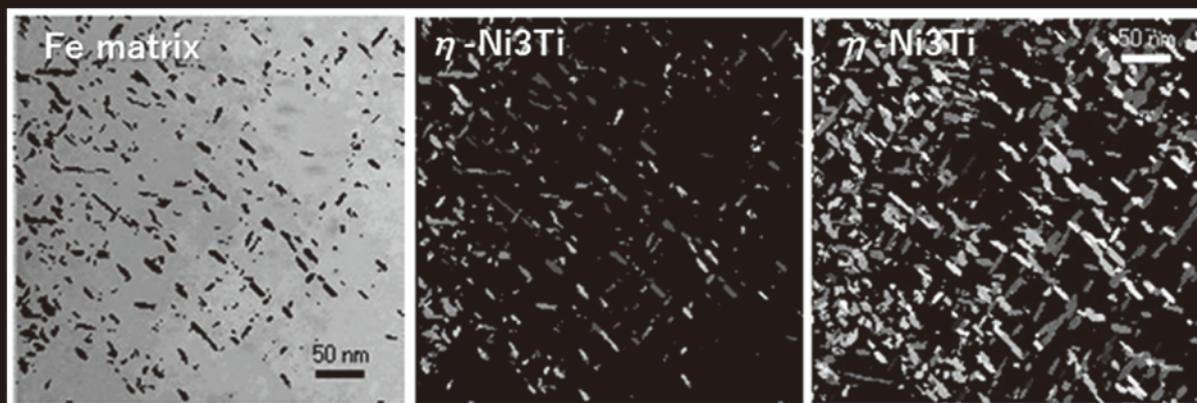
TEM Orientation Image Analysis

NanoMegas社では、電子線の走査とプリセッション照射法を組合せ、安定した回折パターンを連続的に取得し、テンプレートマッチング法による指数付けでTEMによる結晶方位マップを可能にしました。TEM の優れたファインプローブの使用により、従来のEBSD法では考えられないような、高分解能結晶方位マップを実現しました。

テンプレートマッチング法による指数付けは、SEM/EBSD法よりも相分離性に優れ、また複数の結晶粒が重なった多重回折パターンの分離も可能にしました。従来のIndex法では、試料の厚さに対して優位な大きさの結晶粒の結晶方位が採用されます。しかしMulti-Index法では、最初の指数付けで使用した回折スポットを取り除いて指数付けすることが可能となりました。これにより従来は困難であったMatrix中に埋もれていた析出物等を抽出し指数付けすることが可能となりました。

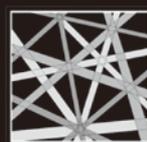
従来のIndex法

Multi Index法



η-Ni₃Ti 析出物を含むFe合金試料の測定例。従来のIndex法ではη-Ni₃Tiの析出物の検出は限られているが、Multi-Index法による指数付けでは、はるかに多くの析出物が検出できていることが判る。

 **NanoMEGAS**
Advanced Tools for electron diffraction

 **TSL**
Solutions

株式会社 TSL ソリューションズ

252-0131 神奈川県相模原市緑区西橋本5-4-30 SIC2-401
e-mail: info@tsljapan.com, Homepage: www.tsljapan.com

5

2024
Vol.63
No.5

まてりあ

金属素描	No. 34 シリコン(Silicon) 永井 崇	289
巻頭記事	AI×材料研究	290
表彰	第69回学会賞受賞者	295
	第65回技術賞受賞者	296
	第30回増本量賞受賞者	296
	第63回谷川・ハリス賞受賞者	296
	第82回功績賞受賞者	297
	第55回研究技能功労賞受賞者	298
	第74回金属組織写真賞受賞者	300
	名誉員推戴者	302
	第7回フェロー認定者	303
	第42回優秀ポスター賞受賞者	304
	第32回奨学賞受賞者	307
	第74回金属組織写真賞受賞作品	308
	選評	310
学会賞受賞記念講演	金属材料の組織制御と高性能化 堀田善治	311
本多記念講演	先進構造材料の結晶塑性における新展開 —ハイエントロピー合金を中心に 乾 晴行	321
新進気鋭	有限要素解析と実験を併用した自動車用マルチマテリアル部材の腐食解析 門脇万里子	328
思い出の教科書、この一冊!	Magnetism in Condensed Matter (Oxford Master Series in Physics) 圓谷貴夫	333
はばたく	モリブデン濃化組織を有する高耐食性ステンレス鋼の開発 齋藤 遥	334
スポットライト	重金属イオンの吸着効果を高めるポリグルタミン酸の架橋構造について 安達柚葉 小川藍 藤井乃瑠 藤澤めばえ	335
本会記事	会告	337
	次号予告	357
	掲示版	355
	新入会員	357
	書評	355
	訂正	357
	会誌・欧文誌5号目次	356
	行事カレンダー	361

まてりあ・会誌・欧文誌の投稿規定・投稿の手引・執筆要領，入会申込書，刊行案内はホームページをご参照下さい。
<https://jim.jp/>

今月の表紙写真 断面 TEM 明視野像とナノロッド形態の模式図。
(黒木優成 阿内三成 堀出朋哉 松本 要 石丸 学 著 308頁 図1より掲載)

表紙デザイン：ビーコン コミュニケーションズ株式会社 グラフィックスタジオ
複写をご希望の方へ 本会では、複写複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています。日本を除く国・地域で当該利用をご希望の方は、学術著作権協会ホームページ (<https://www.jaacc.org/en/>) にて、申請先をご確認下さい。複写以外の許諾 (著作物の引用、転載、翻訳等) に関しては、本会へ直接お問い合わせ下さい。

Materia Japan

Volume 63 Number 5 May 2024

Contents

Sketch of Metals No. 34 Silicon	Takashi Nagai	289
Top Article AI × Materials Research		290
Spring Awards		
69th The Japan Institute of Metals and Materials Gold Medal Award		295
65th The Japan Institute of Metals and Materials Industrial Achievement Award		296
30th The Japan Institute of Metals and Materials Masumoto Hakaru Award		296
63rd The Japan Institute of Metals and Materials Tanikawa-Harris Award		296
82nd The Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award		297
55th The Japan Institute of Metals and Materials Technical Skill Award		298
74th The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award		300
Honorary Member Recommendation of 2024		302
7th Fellow Certification		303
42nd The Japan Institute of Metals and Materials The Metals Best Poster Award		304
32nd The Japan Institute of Metals and Materials & The Iron and Steel Institute of Japan Young Student Award		307
Photography Works of 74th The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award		308
Comments on Photography Works of the 74th Metallography Award		310
Commemorative Lecture of 69th The Japan Institute of Metals and Materials Gold Award		
Microstructural Control for High Performance of Metallic Materials	Zenji Horita	311
Commemorative Lecture of 69th Honda Memorial Award		
New Perspective and Development in Understanding Crystal Plasticity in Advanced Structural Materials —With Special Reference to High-Entropy Alloys	Haruyuki Inui	321
Emerging Young Researchers		
Corrosion Analysis of Automotive Multi-material Components Using Finite Element Method and Experimental Data	Mariko Kadowaki	328
My Memorial Text Book Magnetism in Condensed Matter(Oxford Master Series in Physics)	Takao Tsumuraya	333
Portrait of Young Researcher		
Fabrication of High Corrosion Resistant Stainless Steel Containing Mo-rich Grain	Haruka Saito	334
Spotlight		
Bridged Structure of Polyglutamic Acid for Enhanced Adsorption of Heavy-metal Ions	Yuzuha Adachi, Aoi Ogawa, Nairu Fuji and Mebae Fujisawa	335

Published by THE JAPAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

1-14-32, Ichibancho, Aoba-ku, Sendai 980-8544, Japan

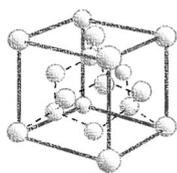
<https://www.jim.or.jp/journal/m/> (in Japanese)

©2024 The Japan Institute of Metals and Materials

How to Obtain Permission

The Japan Institute of Metals and Materials authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<https://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations.

For obtained permission to quote, reproduce; translate, etc., please contact the Japan Institute of Metals and Materials directly in advance.



シリーズ「金属素描」

No. 34 シリコン (Silicon)

千葉工業大学 永井 崇



元素名：Silicon，原子番号：14，原子量：28.09，電子配置： $[\text{Ne}]3s^2 3p^2$ ，密度： $2.329 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (293 K)，結晶構造：ダイヤモンド形構造($\sim 1687 \text{ K}$)⁽¹⁾，融点： 1687 K ⁽²⁾，地殻存在量： $60.6 \text{ mass}\%$ (SiO_2 換算)⁽³⁾ 【写真】金属シリコン(田鍋恭大写真提供)

シリコンは、地球地殻の質量の27.72%を占め、酸素に次いで2番目に多く、シリカ(二酸化ケイ素)などとして地殻を形成する主要な物質となっている。1787年にフランスの化学者 Antoine-Laurent de Lavoisier がシリカを単一物質の一つとしてラテン語の「silex」あるいは「silicis」(火打石)にちなんで「Silicon」とした。のちに、イギリスの化学者 Sir Humphry Davy によりシリカが化合物であることが示され、1811年に、フランスの化学者 Joseph Louis Gay-Lussac と Louis Jacques Thénard がアモルファスシリコンの分離に成功したとされている。

シリコン単体は、光沢のある灰色の物質で、二酸化ケイ素の結晶である石英などととも、パワーストーンの一つとしても一般に販売されているため、入手することは容易である。シリコンは、標準状態では 1.12 eV のバンドギャップを持つ半導体であり非金属元素であるが、加圧すると構造相転移して $\beta\text{-Sn}$ 構造の金属になる。高純度シリコンはホウ素やリンを微量添加することで p 型、n 型半導体のいずれにもなる。

シリコンの用途は多岐にわたる。工業的には、シリコンは珪石中のシリカを還元して金属シリコンとした後、これに用途に応じて精製して利用する。精製の程度により、金属級シリコン(MG-Si)、太陽電池級シリコン(SOG-Si)、半導体級シリコン(SEG-Si)に分類される。SOG-Si および SEG-Si は、シリコンの半導体としての特性を利用するため高純度化されている。

SOG-Si は、99.99999% (7N) 程度まで精製したシリコンで、太陽電池パネルに利用される。太陽電池にはシリコン系、化合物系(CIS, CdTe など)、有機系、量子ドット系などがあるが、シリコン系は最も一般的で、太陽光発電が開発された当時から使われており、実用化されているものでは発電効率がよく、経年劣化に強い。

SEG-Si は、99.999999999% (11N) 以上まで精製されたシリコンで、半導体チップの原料として使用される。半導体チップは、パソコンやスマートフォンをはじめとする電子機器、自動車、家電製品、事務機器などに内蔵され、デジタル社会を支える重要な部材となっている。SEG-Si は、MG-Si

を塩化水素と反応させ、シリコンを塩化トリクロロシラン(SiHCl_3)とし、副生物との沸点の差を利用した蒸留により不純物を除去、トリクロロシランを高温で熱分解・水素還元して高純度シリコンとするシーメンズ法により生産されている⁽⁴⁾。

MG-Si は、99~99.9% 程度の純度まで精製されたシリコンで、鉄鋼材料、アルミニウム材料などの各種合金の添加物として利用される。鉄鋼材料では電磁鋼板(電気機器の鉄芯材料など)、アルミニウム材料では4000系アルミニウム合金(鍛造ピストン材料など)、6000系アルミニウム合金(建設用サッシ材料)などに添加されている。

シリコンを使用した化学原料としては、シリコンが有名である。シリコンは、金属シリコンと各種有機物に複雑な化学反応を加えて生成する合成樹脂である。ケイ素と酸素が交互に結び付いたシロキサン結合からなるシリコンに有機基を結びつけることで、耐熱性、耐冷性、化学的安定性、絶縁性など様々な特性を発生させることができる。また、オイル、樹脂、ゴムなど多様な形態のシリコンが製作可能であるため、機械、自動車、電気電子、化学、食品、建築、医療、化粧品、繊維などあらゆる分野で広く利用されている。身近なものでは、調理器具、文房具、スポーツ用品、スマートフォンケースなどがある。実験室で使用するゴム栓やオイル、グリスなどもシリコン製のものがある。シリコンの他にも、ガラス、ゼオライト、シリカゲルなどシリコンが原料のひとつとなっている製品は多い。

シリコンは、地球地殻にたっぷり存在し、我々の身近にたっぷり利用されており、我々はその恩恵をたっぷり受けているということである。

文 献

- (1) 金属データブック改訂4版：日本金属学会，丸善，(2004)。
- (2) A.T. Dinsdale：Calphad，**15** (1991)，317-425。
- (3) R. L. Rundnick and S. Gao：“The Crust”，Elsevier Ltd.，(2004)，1-64。
- (4) 佐藤修彰，柴田浩幸，柴田悦郎編：乾式プロセス，内田老鶴圃，(2021)。

次回！ 金属素描 No. 35 錫

AI

材料研究

優れた材料を探索する。最適なプロセスを見出す。
材料研究の様々な局面でAIの活用が広がっている。
最近注目された研究事例を通して、
AI時代の材料研究のこれからを考える。

AIとデータ科学の進展

産業や社会のあらゆる場面でAI(Artificial Intelligence, 人工知能)の活用が進められている。AIとは一般的に、人間の言葉の理解や認識、推論などの知的行動をコンピュータに行わせる技術と理解されている。AIの言葉の生みの親であるジョン・マッカーシー教授は、AIを「知的な機械、特に知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術」⁽¹⁾と説明しているが、その定義は研究者によって異なる。

AIは先端科学や特殊な分野だけのものではなく、私たちの身近な生活でも活用されるようになった。2023年にOpenAI社から発表されたChatGPTは、人間の質問にフレキシブルに対応してくれる夢のような機能を持っている。

AIの中には、「大きいAI」「強いAI」と呼ばれるような人間の知的活動をそのまま再現できるようなAIや、「小さいAI」「弱いAI」と呼ばれるような個々の局面のみで使われるAIも含まれる。このように、AIという言葉は非常に範囲が広く、一般的な言葉として使われるようになった。

データ科学の時代にあって最近使われるようになった言葉に「データ駆動」があるが、これはデータに基づくサイエンスや研究の進め方を意味する言葉である。日本では2021年3月に政府が発表した第6期科学技術・イノベーション基本計画に「データ駆動という新しい科学手法を大胆に取り入れ、社会の課題に答えたいこう」という考え方が盛り込まれている⁽²⁾。データ駆動の対象はあらゆる産業や社会であり、材料研究において、データ駆動は、第1の実験、第2の理論、第3の計算シミュレーションに続く「第4のパラダイム」として注目されている。材料研究でAI活用を進めるためのアプローチの一つに、MI(Materials Informatics, 材料情報学)がある。MIは物質探索を対象とし、材料研究を情報統計学的に行う学問分野であり、データ駆動の手法を取り入れた新しい学問としてとらえられている。

現在、AI技術の進歩は目覚ましく、いまや材料研究にAIを使うという流れは当然のことと受け止められている。これまでに思いもかけない材料を発見できるのではないかと、もっと早く最適なプロセス条件にたどり着けるのではないかなど、AIの活用は、材料研究者に大きな期待を抱かせてくれる。

それでは、実際にAIは材料研究にどのよ
うに役立つのだろうか。

データが少なくても AIは活用できる

AI活用を進める上で、多くの人が「データを握るものが材料開発を制す」と考えており、AIを使うためには膨大なデータが必要不可欠と思われる。

材料研究でAIを活用しようとするに当たっては、ビッグデータをAI技術で解析するというイメージが浮かぶが、対象となる材料の複雑さに比べて材料データは必ずしも十分ではないという問題がある。

企業や研究機関において、材料データは時として機密案件や知的財産に該当するものであることから、これまで外部に対して公開されることは稀であった。一方で、論文や特許に掲載されている公知のデータを集めたデータベースサービスが行われ、多くの研究者が利用する国際的なビジネスとなっている。この状況に対し、物質・材料研究機構(NIMS)では、日々の研究活動から得られる実験・計算データを再利用できる形で蓄積しておき、これを研究に役立てることを目指している。

本編では、NIMSから発表された様々なAI活用の事例を紹介する。1例目は、実験データが少ない中であって、AI活用の成果が得られた研究に関する事例である。

【事例1】少ない実験回数で、ネオジム磁石の高特性化に成功⁽³⁾

電気自動車などで需要が高まるネオジム磁石において、磁石の特性を改善するには、材料の合金組成、および製造工程での温度や加工条件の組み合わせを最適化する必要がある。NIMSの研究チームは、熱間押出加工ネオジム磁石の作製条件と特性データにAIを適用することにより、優れた磁気特性の発現が期待される作製条件を予測し、この条件で作製することで最高水準の保磁力を示す磁石が得られることを実証した(図1)。

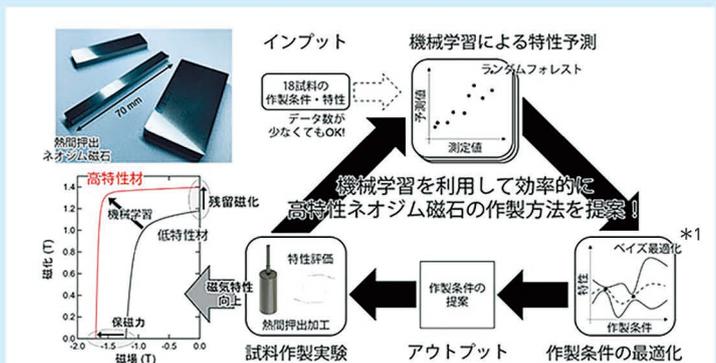
初期の実験データこそ18点と少なかったが、その後AIの提案に従って40点の追加実験を行った結果、初期条件で作製した場合と比べて約1.4倍高い保磁力を示す磁石を得ることができた。この研究成果は、限られた実験データ数から最小限の実験データを追加することによって、ネオジム磁石の最適な作製条件を見出した例といえるだろう。

ロボット活用で 材料探索を効率よく

AIを用いることによって、材料探索の作業を効率的に行うことができる。2例目として、ロボットとデータ科学とを連携させることでリチウム空気電池の電解液の材料探索を極めて効率良く行うことができた事例を紹介する。

図1 作製した熱間押出ネオジム磁石の外観および機械学習前後の試料の磁気特性と、アクティブラーニングによる実験条件最適化プロセス⁽³⁾

製品化されている熱間加工ネオジム磁石に比べて、機械学習適用前の磁石の特性は低かった(保磁力1.2 T, 残留磁化1.2 T, 最大エネルギー積250 kJ/m³)が、機械学習適用後は同じ組成の磁石の中で最高クラスの特性を得ることができた(保磁力1.7 T, 残留磁化1.4 T, 最大エネルギー積380 kJ/m³)。



*1 ベイズ最適化: ブラックボックス最適化問題を解決することを目的とした機械学習の手法。

【事例2】自動実験ロボットとデータ科学の連携により、リチウム空気電池のサイクル寿命の向上に資する電解液の開発に成功⁽⁴⁾

リチウムイオン電池に替わる次世代の電池として、より高いエネルギー密度を実現できるリチウム空気電池が期待されている。しかし、この電池には充放電サイクル寿命の面で課題があり、その改善のために高い充放電反応効率を引き出す電解液材料が求められている。電解液の機能発現には極低濃度の添加剤が重要な役割を果たすが、その構成成分候補や組み合わせの数が膨大であるに加え、電解液中に生成される化合物の機能発現機構は複雑であり

添加剤の選定は、これまで研究者の経験や勘に頼ってきた。

これを解決する方法として、ロボットとデータ科学的手法の連携が模索された。人力の100倍以上の速度で電解液の調合とその電池性能評価を行う電気化学自動実験ロボットを開発し、実験を行った。これによって得られたデータに対し、ベイズ最適化^{*1}などの科学的手法を適用し、材料探索の効率化を試みた。この結果、1万種以上の電解液材料の評価を実施し、リチウム空気電池の充放電サイクル特性の向上を実現する電解液材料を発見することができた(図2)。

電解液材料の開発は従来は試行錯誤的

に行われてきたが、今回の研究を通じて、AI駆動ロボットの活用により材料探索の効率が飛躍的に高まることが示された。

AIと研究者の共同作業の成果

AIがあれば、あらゆる材料研究は人の手を借りずに行えるのだろうか。3例目として、最近の研究成果で、AIの発見したパターンと材料研究者の知識のコラボレーションによって新たな知見が得られた例を紹介する。

【事例3】AIと材料研究者の共同作業で耐熱合金の高温強度を高める熱処理法を考案⁽⁵⁾

耐熱材料であるNi-Al合金の金属組織は γ 相と γ' 相で構成され、高い高温強度を得るためには γ' 相のサイズと体積率を制御することが必要となる。例えば、全時間を10等分し、温度を9水準とした場合、熱処理のパターンは 9^{10} (約35億)通りになり、これをすべて検討することは現実的でなかった。

この中から最適パターンを探索するため、モンテカルロ木探索^{*2}を用いた。これは、将棋や囲碁などで有望な手を探索するために利用されている最新のAIアルゴリズムである。熱処理パターンを一つ進めるごとにAIが次のパターンを提案するという試行錯誤を実施し、110個の有望な熱処理パターンが提示された。これらのパターンはジグザグと昇温と降温が組み合わせられた複雑なもので、人間にはとても思いつかないようなものであった。

そこで、このパターンがなぜ優れているのかを材料研究者が分析したところ、共通する特徴を見出した。それは、まず高温域で γ' 相を急速に成長させ、結晶粒径が適正サイズを超える前に降温し、その後、低温域で長時間維持して、 γ' 相の成長を抑えつ

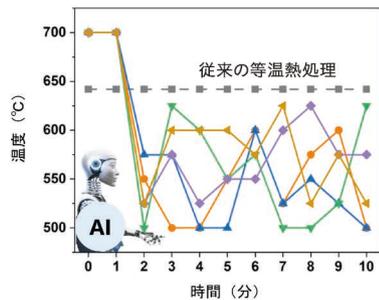
図2 研究に用いた電気化学自動実験ロボットの概要⁽⁴⁾

- (a) 注液部：様々な組成の電解液を自動でセルに注入し、ロボットアームで電極部へと運ぶ。
- (b) 全体像。
- (c) 電極部：上下の電極がセルを挟み、電解液の特性を一度に評価する。

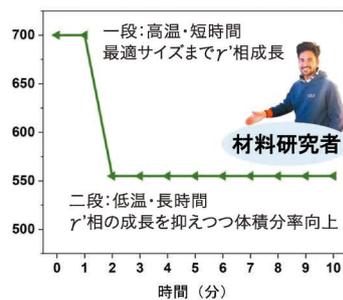


図3 AIと材料研究者の共同作業で考案した新しい二段熱処理法⁽⁵⁾

AIが提案した有望な熱処理パターンの例



材料研究者がエッセンスを抽出



*2 モンテカルロ木探索：枝分かれする組み合わせを効率的に探索するAIアルゴリズム。スコアに基づいて有望な枝を選択して深掘りし、検証結果からスコアを更新するということを繰り返して、より優れたパターンを探索する手法。

AIで加速する

INTERVIEW

AIの時代、より重要になる専門家の役割

材料研究の目的は人間が決めるものであり、ゴールを目指すための道にはいろいろな手段や道具がある。AIをうまく活用することによって、面白いものを素早く見つけることができる。AIはまさに夢のような道具である。

今後、AI技術が進歩すると、いずれChatGPTのような汎用的でフレキシブルなAIが、製造業や材料開発業に進出するかもしれない。AI同士が会話して目標を決め、その方向にどんどん進んでいくようになるかもしれない。また、AIが提案する最適化の対象は、部分最適からより広い全体最適へと変わっていくだろう。

例えば、AIが自動車を作ろうとして、予想外のデザインを提案したとする。その時、なぜこのデザインなのか、この材料でこの作り方をするのか。その理由が人間に理解できなくなるようなことはないか。万一トラブルが起こっても人間には対処ができず、トラブル対応さえもAIに頼らざるを得ないようなことにはならないかと思

出村 雅彦さん

国立研究開発法人物質・材料研究機構
技術開発・共用部門 部門長

うことがある。

これからの研究者には、AIが出した回答に対して、なぜ良いのか良くないのかを説明することが求められる。言い換えれば、AIの回答の背後にあるメカニズムや理屈を解き明かすのは人間の役割ということである。これまで、人間がすべてのメカニズムを把握できてきたわけでは必ずしもないが、それでも、トラブルが起こった時には材料研究者は過去の経験に学び、問題点を一つ一つ解決してきた。これからも専門家としての責任は重いものになる。「本当にわかる」ことがますます重要になると思う。

つ体積分率をゆっくり増加させる、というものであった。つまり、この熱処理条件のポイントは、AIが見出した熱処理パターンに見られる昇温・降温の繰り返しではなく、高温・短時間と低温・長時間を適切に組み合わせることにあることが明らかになったのである (図3)。

この二段熱処理法はAIの発見の提案を材料研究者が実証・解析することにより初めてとどりに着いたものであり、AIと人間の共同作業から新しい考え方が生まれたことを示す好事例だといえる。

日本の材料研究の
優位性を生かす

今回紹介した事例のように、AIはうまく活用すれば今後の材料研究に大いに役に立ち、様々な課題解決に活用されていくと

思われる。

今後、AIの活用が期待されるテーマの一つに、金属積層造形用材料の開発がある。金属積層造形は、2次元断面を造形、積層させて3次元製品を得る技術だが、3次元データから直接製品を造形でき、従来の製造プロセスでは難しかった複雑構造の製品が製造できる。外形が複雑構造というだけでなく、金属材料の結晶組織やその異方性などの制御が可能と期待されている。しかし、金属積層造形が普及すると、鍛造、鍛造、切削などこれまでの金属製造・加工技術がなくても、材料やプロセスの“レシピ”さえあれば誰でもどこでも同じ製品を製造できる。これまで日本が蓄積してきた金属製品製造技術から見れば、ある意味で破壊的なイノベーションとも言える。日本のものづくり技術の優位性を保つためには、材料とプロセスの優れたレシピ作りが必須であり、そこでのAIの活用は強力なツールとして

大いに期待されている。特に金属材料は、温度によって状態や結晶構造が変化するため、最適な材料を設計して狙った特性を得るには、金属材料研究に関する膨大な知識が欠かせない。ここで期待されるのが、これまで日本に蓄積されてきた金属の深い知識や研究のバックグラウンドを生かした展開である。膨大なデータを蓄積・処理できるAIの活用、あるいはAIとの協同はそのための有力な方法の一つとなる。同時に、AIを実践できる人材育成が重要であり、AIが導き出した“仮想”の結果を“実体”に仕上げる技術も求められる。

道具としてのAIを人間がどう使いこなすか。日本のものづくり技術の優位性を今後とも保つために、AIとのより良い関わり方が求められている。

文 献

- (1) <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/Alfaq.html> (2024年2月20日閲覧)
- (2) <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html> (2024年2月20日閲覧)
- (3) G. Lambard, T. T. Sasaki, K. Sodeyama, T. Ohkubo and K. Hono: Scr. Mater., **209**(2022),114341.
- (4) S. Matsuda, G. Lambard and K. Sodeyama: Cell Rep. Phys. Sci., **3**(2022),100832.
- (5) V. Nandal, S. Dieb, D.S. Bulgarevich, T. Osada, T. Koyama, S. Minamoto and M. Demura: Sci. Rep., **13**(2023), 12660.

材料研究の進化



世界は
 鉄で
 できている



 **NIPPON STEEL**

日本製鉄



大会レポート（付設展示会、学生キャリアサポート企画編）

日本金属学会2024年春期講演大会は、3月12日から15日まで東京理科大学・葛飾キャンパスにて、ポスターセッション、贈呈式・記念講演、一般講演、シンポジウム、共同セッションを開催した。3月19日にはオンラインにて高校生・高専学生ポスターセッションを開催した。

大会参加登録者数は1,262名、講演発表件数は685件であり、盛会であった。講演会場5Fにて、付設展示会を開催し、機器展示17社、カタログ展示2社の出展があった。講演会場が一つの棟にまとまっており、その一角に展示会場を設定できたことで多数の来場があり、多くの商談の機会を創出できた。また、ポスターセッションも活況で、参加者数500名程、発表件数179件と、こちらも盛会であった。会場内では、学生キャリアサポート企画として、企業展示会とカタログ展示を実施し、5社の参加があった。ポスターセッション会場に隣接していた為、各ブース共に多くの学生が立ち寄り、活発な情報交換がなされた。以下、付設展示会の出展内容を紹介する。

・アイエムティー㈱

自社開発（国産）の試料研磨機と各種研磨剤や研磨布等の消耗品を展示した。

・㈱アカデメイア

赤井久純博士（現アカデメイア所属）によって開発された第一原理計算ソフトウェアと時間依存密度汎関数法を用いたシミュレーションソフトを紹介した。

・㈱アントンパール・ジャパン

全自動多目的X線回折装置を展示し、In-situ XRD用の高温チャンバー60周年を記念したキャンペーンの紹介をした。

・㈱池上精機

研磨面積や試料にかかる負荷など、様々な試料研磨の課題を克服する研磨機を実機展示した。

・オックスフォード・インストゥルメンツ㈱

BEXイメージング検出器、CMOS搭載EBSD検出器、最新EBSDデータ解析ソフトウェア、ライブEDS分析システムを紹介した。ランチョンセミナーでは、パターンマッチングを使ったEBSDマップ解析の応用例を解説した。

・㈱キューミックス

材料計算プラットフォーム、磁性材料シミュレーターを紹介した。

・㈱サーモ理工

赤外線加熱装置3機種を展示した。赤外線を使った独自の「導入加熱」技術をPRした。

・㈱新興精機

全自動シリアルセクションング3D顕微鏡、材料情報統合システムを紹介した。

・㈱TSLソリューションズ

SEM/EBSD法およびTEM/ASTAR法を用いた結晶方位をベースにした材料の組織観察装置およびその解析技術に関連した製品の紹介した。また、ランチョンセミナーでは、TEMを用いた結晶方位マップの作製について解説があった。

・テガラ㈱

研究開発者様に向けた専門的な製品の調達販売や情報提供、サポートなどのサービスをPRした。展開しているサービスとして、研究開発者向け海外製品調達、研究用・産業用PCの製作・販売サービス、「ターン・キー」で使える研究開発・実験用機材一式構築サービスを紹介した。

・東芝ナノアナリシス㈱

金属・半導体・液晶・新素材を中核とした幅広い分野の受託分析業務の紹介に加え、国内受託会社として唯一導入している3次元アトムプローブを用いた、セラミックスやNb₃Al超電導体の分析事例を紹介した。

・NISSHAエフアイエス㈱

昇温離脱型水素分析装置とセンサーガスクロマトグラフを展示した。

・ニューメタルス エンド ケミカルス コーポレーション㈱

透過型電子顕微鏡（TEM）用試料を作製するためのイオンミリング装置と、光学顕微鏡や電子顕微鏡による分析用試料の埋め込み・研磨に適した常温硬化型樹脂を紹介した。

・ヴァーダー・サイエンティフィック㈱

30℃から3000℃までの幅広い温度帯の電気炉とオープンを提供するブランドの製品を紹介した。

・ブルカー・ジャパン㈱

硬さ・ヤング率・耐スクラッチ性をはじめとする様々なナノ・マイクロスケール力学特性を定量的に評価できるナノインデントを紹介した。ランチョンセミナーでも詳細な解説があった。

・㈱モルシス

材料設計支援統合システムを中心に分子シミュレーションソフトウェアを紹介した。

次頁からは、「誌上展示会」として、材料研究に役立つ機器等の情報を掲載する。是非ご一読頂き、今後の研究開発にお役立て頂きたい。

付設展示会・出展社一覧

<https://confit.atlas.jp/guide/event/jimm2024spring/exhibitorslist/ja>

まてりあ「誌上展示会」



最先端ナノインデンテーションシステム Hysitron TI 990 TribolIndenter

材料革新を推進する世界で最も包括的なナノ力学試験機

- ・押し込み試験圧子を用いた表面形状観察と世界最高レベルの $\pm 10\text{nm}$ の測定箇所指定
- ・従来比50倍のノイズ耐性を実現した剛直なプラットフォーム
- ・60%拡大(従来モデル比)した大型サンプルステージによる利便性の向上
- ・業界最高速度の12点/秒のハイスループット試験
- ・ナノスクラッチ機能を用いたナノトライボロジー評価や薄膜剥離試験
- ・0.1から300Hzをカバーする新機能搭載動的粘弾性nanoDMA IV
- ・xSol環境ステージによる最高温度800度、最低温度 -120 度、温湿度制御下でのナノインデンテーション試験

ブルカー・ジャパン株式会社 ナノ表面計測事業部

〒104-0033 東京都中央区新川1-4-1 TEL.03-3523-6361 FAX.03-3523-6364
URL : <https://www.bruker-nano.jp/> E-mail : info-nano.bns.jp@bruker.com



EBSD 分析システム【AZtecHKL/AZtecCrystal】

EBSD データ収集ソフトウェア AZtecHKL

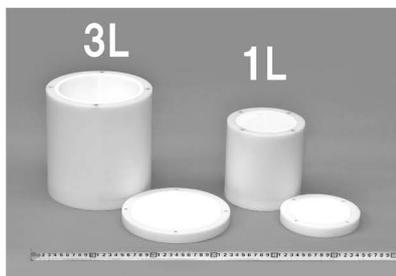
- ・走査電子顕微鏡(SEM)に搭載するEBSD分析システム
- ・EBSD検出器「SymmetryS3」と組み合わせ、最速毎秒5700ポイントの高速分析を実現
- ・高解像度パターン(1244x1024)の収集に対応
- ・蛍光スクリーンとCMOSセンサーをファイバーカップリングしたSymmetryS3の高感度キクチパターン収集性能により、低加速電圧・低ビーム電流でのマップ分析を実現
- ・独自の指数付けアルゴリズム「Tru-I」により、正確な結晶方位解析と結晶相の識別が可能
- ・複数視野を自動で分析・モニター可能な大面積マッピング機能

EBSD データ解析ソフトウェア AZtecCrystal

- ・大容量のデータでも高速処理
- ・マップ、極点図、グレイン、ODF等の解析機能に加え、ひずみ解析や転位解析、親粒子解析に対応
- ・パターンマッチングによる指数付け「MapSweeper」機能で、不明瞭なパターンの指数付けや方位解析精度を向上

オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社

〒141-0001 東京都品川区北品川5-1-18 住友不動産大崎ツインビル東館 URL : nano.oxinst.jp
TEL/FAX : 03-4510-3527 / 03-4510-3518 E-Mail : na-mail@oxinst.com



内面ジルコニア製 ナイロンポットミル容器

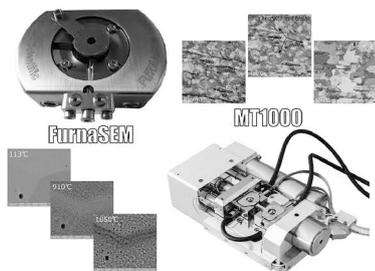
ナイロン製容器内側の接粉面にジルコニアの内張りを施し、強度と耐久性を強化した粉砕用ポットです。

ポットの両端は取り外し可能な蓋になっており、使用後の洗浄が極めて容易です。

容量：300ml用、500ml用、1L用、3L用
※特注サイズのご要望についてはご相談ください。
《各種粉砕機のレンタルもごさいます。》

株式会社伊藤製作所

〒103-0022 東京都中央区日本橋室町4-6-71 TEL.03-3270-9901 FAX.03-3270-9906
www.itoh-mill.com E-mail:itousei@itoh-mill.com



環境制御型SEM向け材料特性試験ステージ

SEMを用いた高温下観察、引張試験向けの製品です。1000℃を超える加熱実験をご検討の方、引張・圧縮・屈曲試験を加熱しながら行なう方のご希望に添える製品です。

- | | | |
|------------------|----------------------|------------------|
| ●加熱ステージ | ●引張ステージ | ●そのほかに |
| ・1000℃または1200℃まで | ・牽引力5kN(オプション10kNまで) | ・実験支援ソフトウェア |
| ・熱電子軽減フィルター | ・圧縮、屈曲変換ツール | ・ガス注入キット、冷却キット |
| ・EBSD観察対応 | ・ダブルオープンによる温度勾配 | ・予備実験用真空チャンバーセット |
| | ・SEM内試料光学観察キット | |
| | ・EBSD観察対応 | |

株式会社アド・サイエンス 営業部

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-7-2 ステージビルディング13階 TEL.03-6824-4510
URL : <https://www.ads-img.co.jp/> E-mail : ads-contact@ads-img.co.jp

まてりあ「誌上展示会」



書籍：第3巻「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」

第1巻、第2巻に引き続きモータ技術者、磁気測定技術者向けの永久磁石の第3巻技術図書。今回は元日立金属勤務で電気学会マグネティックス調査専門委員会等で長年磁石業界に従事されてきた徳永雅亮氏に共著頂いた。

【主な内容】

- ・保磁力の結晶粒径依存性
- ・永久磁石の着磁性
- ・異方性磁界と保磁力
- ・残留磁束密度と保磁力の角度依存性
- ・保磁力と結晶粒界
- ・電気抵抗と渦電流

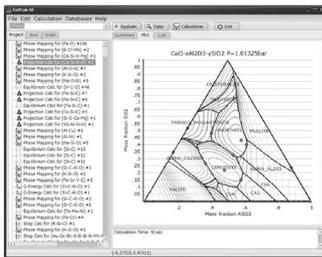
著者：徳永雅亮、山本日登志

B5版：118頁 価格：¥2,300+送料 ご注文はHPの書籍注文書から申し込みをお願いします。

ネオジコンサル(京都市内在)

TEL.090-2204-7294

URL : <https://hitoshiad26.sakura.ne.jp> E-mail : hitoshiad_0330@yahoo.co.jp



熱力学平衡計算・状態図計算ソフト CaTCalcSE

【CaTCalc】純物質熱力学データベースやCALPHAD系の溶体熱力学データベースに基づいて化学反応計算、熱力学平衡計算や状態図計算を行うソフトです。最新のアルゴリズムにより、金属、金属間化合物、セラミックスやガスを含む複雑な系の計算も安定して計算できます。

【専用データベース】標準添付のRICT-Pure(純物質)の他、Sol(汎用合金系)、Cerm(硬質材料・サーメット系)、Ceram(セラミックス)、Salt(塩類)などの各種溶体データベースを用意しています。詳細は下記サイトをご参照ください。

【仕様】動作環境：Windows11以降の64bit版OS

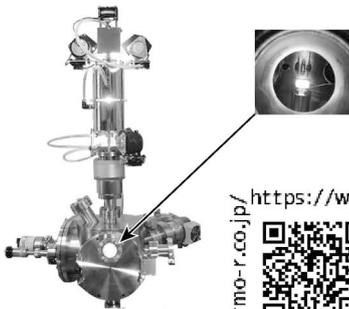
計算に考慮する元素数、相の数などに制限は無く、大局的最小化機能も装備。データベースからデータを読み込んで最小限の設定で計算結果が得られます。



株式会社 計算熱力学研究所

〒841-0016 佐賀県鳥栖市田代外町674-18 TEL.0942-80-0547 FAX.0942-82-9217

URL : <https://www.rictsystems.com> E-mail : mail@rictsystems.com



赤外線導入加熱装置 GVH298

試料のみにピンポイントで赤外線を照射し非接触で急速加熱

- ・真空用・大気用・加圧用有り
- ・到達温度 1000℃~1500℃
- ・真空システムや分析装置に簡単に取り付けできます



株式会社サーモ理工

〒181-0013 東京都三鷹市下連雀8-7-3 三鷹ハイテクセンター

TEL.0422-76-2511 FAX.0422-76-2514

URL : <https://www.thermo-r.co.jp/> E-mail : sekigai@thermo-r.co.jp

次回予告

まてりあ11月号・広告特集「誌上展示会」

材料研究に関わる製品やサービスの情報を
資料形式で一挙掲載します。

1枠 ¥28,000 (税別)

【お問合せ・お申込み】(株)明報社 TEL:03-3546-1337 www.meihosha.co.jp



公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

公益社団法人日本金属学会は、本多光太郎先生のご提唱により1937年2月14日に創設され、金属及びその関連材料分野の学術および科学技術の振興を目的として、学術誌や学術図書の刊行、講演会や講習会の開催、調査・研究、表彰・奨励の事業を行っています。社会基盤材料をはじめエネルギー材料、エコマテリアル、電子・情報材料、生体・福祉材料、材料と社会等の分野でご活躍の研究者、技術者、学生の皆様、当該分野に関心のある方の入会をお待ちしております。

会報「まてりあ」は、会員のみを提供されます。さらに、会員には、講演大会への会員参加費での参加及び登壇費の免除、刊行物の会員価格での購入、本会主催のセミナー・シンポジウム・講演発表会等への会員割引価格での参加特典があります。

最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

- 会報「まてりあ」が毎月無料で配付されます(電子ジャーナルも閲覧できます)。まてりあでは、専門外の方のための入門講座や講義ノート、解説記事で分野の基礎を学ぶことができます。
- 機関誌や教科書等の刊行物を会員価格で購入できます。
- 英文論文誌「Materials Transactions」の投稿料の割引(刊行半年後からの電子ジャーナル閲覧は無料です。)
- 最新の研究成果が発表される年2回の講演大会に会員参加費で参加できます。
- 最新の研究や技術に関するシンポジウムに参加できます。
- 最先端の研究を討議する研究会が開催する研究集会に参加できます(新たな研究会を設立することも可能です)。

多様な研究者や技術者と交流ができます

- 様々な場で大学や企業の研究者や技術者と学術・技術の交流ネットワークを作ることができます。
- 各分野の専門家集団で構成される分科の活動に参加することができます。
- 最新の研究成果を発表する、春と秋の年2回開催される講演大会へ会員価格で参加できます(参加費には講演概要が含まれています)。
- 全国に8つの支部があり、身近な研究者や技術者と交流できます。

研究成果を発表、討議して、研究を深めることができます

- 講演大会で研究成果を発表して、分野の専門家と討議できます(非会員が講演するには大会参加費および登壇料が必要になります)。
- 研究成果を論文として日本金属学会誌や Materials Transactions 誌に発表できます。投稿された論文は分野の権威による査読を受けることができます。
- Materials Transactions の投稿料の割引が受けられます(日本金属学会誌の投稿は無料です)。

技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

- 教科書、データブック、セミナーテキスト等の学術図書類を会員価格で購入できます。
- 本会主催または本会協賛のセミナーや講習会、見学会等に会員価格で参加できます。
- 学生員は本会主催の企業説明会に参加できます。

表彰を受けられます

- 表彰・奨励制度があります。
- 本会外の表彰へ推薦することができます(各種の学術賞や奨励、助成等の候補の推薦団体に指定されています)。

[入会するには(入会手続き)]

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい。

https://jimm.jp/member/member_info.html

©2024年3月13日(水), 東京理科大学葛飾キャンパスにおいて下記の方々が本会の賞を受賞されました。
～おめでとうございます。～

第69回 日本金属学会賞 受賞者

(2024年3月13日)



九州工業大学特任教授, 熊本大学特任教授, 佐賀大学特命教授, 九州大学名誉教授
堀田善治君

堀田善治君は, 金属材料の変形や組織制御・解析に関する研究分野において, 巨大ひずみ加工法を開発し, 組織の超微細化を図り, 機械的特性や機能特性の向上を果たしてきた。被引用数100件以上の学術論文(解説論文含む)は, Scopusによれば, 104編にのぼり, h-indexは103で高く, 関連分野の発展に貢献している。同君の研究成果は, 以下のようまとめることができる。

(1) 巨大ひずみ加工による結晶粒超微細化の確立

ECAP(Equal-Channel Angular Pressing)法やHPT(High-Pressure Torsion)法と呼ばれる巨大ひずみ加工による結晶粒超微細化を日本で最初に取り組み, ECAP法では加工時に導入できるひずみ量を定量的に評価できる理論式を導出した。さらに, 透過電子顕微鏡による組織解析によって, 結晶粒超微細化が再現性をもって実現できることを示した。Al合金やCu合金とともに, 脆性的なMg合金でも結晶粒超微細化は効果的であることを示し, その組織制御技術と応用に関する論文は現在でも高頻度で引用されている。

(2) 超塑性合金の開発

巨大ひずみ加工で作成した超微細組織の結晶粒界構造を高分解能電子顕微鏡により原子の尺度で構造解析し, 結晶粒界はエネルギーの高い非平衡状態にあることを明らかにした。さらに, 結晶粒の超微細化とともに高温安定性を確保することにより, 合金種を問わず400%を超える超塑性伸びが $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の高ひずみ速度で達成できることを示した。最近では, Al合金やMg合金において室温でも超塑性現象が発現することを確認し, さらに, Ni基耐熱合金では800°Cという低温度かつ高ひずみ速度で超塑性を発現させ, 脆性的あるいは難加工性合金で成形性が向上できることを示した。

(3) 高強度合金の開発

超微細結晶粒内に時効処理でナノ粒子を析出させることに成功し, 結晶粒微細化強化と析出強化が同時に実現できることを示した。超ジュラルミンと呼ばれる時効硬化性Al合金(A2024)では, 引張強度が1GPaに達することを確認した。また, この合金は高温で変形すると超塑性が発現し, 超々ジュラルミンと呼ばれるAl合金(A7075)よりも高強度が達成されることから, トリプルスーパー(超々々)ジュラルミンとして注目されている。

(4) 巨大ひずみ加工法の開発

HPT加工が線状試料にも適用でき, しかも連続的に利用できる装置を考案した。さらに, 高圧スライド(HPS: High-Pressure Sliding)法と称する新たな加工法を考案し, 企業と共同開発することで, 巨大ひずみ加工材の大量製造が実現可能になることを示した。最近では, 逐次に試料を送って巨大ひずみ加工領域が拡大できる逐送HPS(IF-HPS: Incremental Feeding HPS)法を新たに開発した。生産性に欠けると言われている巨大ひずみ加工技術の実用的展開が見込まれている。現在ではアップグレードリサイクル材の開発と実用化を目指している。

(5) 高機能性材料の開発

巨大ひずみ加工は, 磁気特性, 電気伝導性, 水素貯蔵特性, 超伝導特性, 熱電特性, 発光特性など機能性向上にも効果的であることを実証している。たとえば, 水素貯蔵合金の開発ではTiFe金属間化合物にHPT加工やHPS加工することで, TiFe合金の困難な初期活性化の問題を解決した。また, Mg系合金では水素化反応温度が低下できることを示した。さらにセラミックスや半導体材料にも適用できることを示し, 特性向上とともに, 新奇物性の合成に有効であることを示している。

上記の他に, 透過電子顕微鏡による組織解析に顕著な業績を残しており, 特に分析電子顕微鏡微小部分析では, 膜厚を要しない定量分析法の確立も行っている。2002年より「巨大ひずみナノ材料(NanoSPD)」の国際運営委員を務めており, 2008年よりほぼ毎年10年間にわたって「先端ナノ材料国際シンポジウム(GSAM)」の実行委員長を務めてきた。金属学会では理事を3期, 九州支部長を1期務めるとともに, 2018年より金属学会欧文誌(共同刊行誌)編集委員長として, Current Trends in Researchの新規カテゴリーを設けて掲載論文の被引用数増加や論文賞・新進論文賞受賞論文の広報拡大などMaterials Transactionsのインパクトファクター向上に努めている。2023年からは金属学会フェローとして, 当会の発展に貢献している。

第 65 回 日本金属学会技術賞 受賞者 (2名)

(2024年3月13日)

(50音順)

[新鋼種の開発支援に資する組織予測シミュレーション技術の構築]



日本製鉄株式会社技術開発本部 課長 諏訪 嘉宏 君

受賞者は、材料計算科学を専門とし、鉄鋼分野で新鋼種開発支援に資する計算技術を開発してきた。これまでの主要な研究業績は、鋼材の組織制御上で重要な冶金プロセスの一つである、再結晶・粒成長を中心とした組織形成シミュレーションシステム、および組織を考慮した特性予測シミュレーションシステムの開発を行い、鋼材設計への活用のための具体的な道を示した点にある。特に、フェーズフィールド法による再結晶・粒成長予測技術の開発を通じて、学術的にも鋼材開発にも大きく貢献した。

[環境負荷低減に貢献する棒鋼・線材の開発と快削鋼の切削機構に関する研究]



日本製鉄株式会社技術開発本部 室長 松井 直樹 君

受賞者は棒鋼・線材の研究開発に従事し、被削性に優れた鉛フリー快削鋼の開発、燃料噴射システム用高強度非調質鋼の開発等の研究開発成果をあげ、実用化に繋げた。また快削鋼の被削性に及ぼす介在物の微視的な作用機構に関する基礎研究にも取り組み、切削機構を解明する等、棒鋼・線材の高機能化・高品質化に繋がる成果を得た。これら研究開発成果は製品の使用時や製造時の環境負荷低減に貢献するものであり、鉄鋼・金属分野における工業技術の進歩・発展に貢献した。

第 30 回 日本金属学会増本量賞 受賞者 (1名)

(2024年3月13日)

[高機能を持つ軽量・高強度マグネシウム合金の開発]



熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 教授/センター長 河村 能人 君

受賞者は、合金設計とプロセス設計の両面から新しいマグネシウム合金の開発を進め、マグネシウムの沸点を超えても発火しない不燃性高強度マグネシウム合金の開発に成功するとともに、不燃化に効果がある添加元素を複数見出した。また、高熱伝導性・不燃性・高耐食性というマルチ機能を持つ高強度マグネシウム合金や生体親和性と生体吸収性を持つ医療機器用の高強度・高延性・高耐食性マグネシウム合金の開発に成功する等、機能性マグネシウム合金の研究開発に関して卓越した業績を挙げた。

第 63 回 日本金属学会谷川・ハリス賞 受賞者 1 (名)

(2024年3月13日)

[高温用形状記憶合金の開発および金属間化合物の高温プロセスに関する研究]



東京工業大学科学技術創成研究院 教授 細田 秀樹 君

受賞者は、相安定性や状態図の視点から、高温用形状記憶合金の開発や形状記憶合金を含む金属間化合物のプロセス研究を進めてきた。高温形状記憶合金では、AuTi等の金属間化合物で、熱処理を通じた構造制御により変態温度と機械的性質に優れた材料を開発し、またチタン基合金の開発も進めている。プロセスでは、Bi添加と熱処理で粒界脆性を促進し、機械粉碎でもほぼ欠陥のない合金粒子の製造と、それを用いた複合材料を開発する等、高温材料・プロセス・耐熱材料の発展に貢献をしている。

(部門別 50 音順)

[学術部門]

[新規高容量水素貯蔵材料のデザインと反応機構に関する研究]

北海道大学大学院工学研究院 准教授 儀部 繁人君



受賞者は、高容量水素貯蔵材料の動力学特性・熱力学特性に関する研究、高容量水素貯蔵材料の水素化・脱水素化反応機構に関する研究、および水素貯蔵材料に担持された触媒のキャラクタリゼーションとその機構解明に関する研究を多角的な実験手法を駆使して進めてきた。それらの研究を通じて得られた知見は、新規な高容量水素貯蔵材料のデザインへと活かされており、今後、新規で高容量な水素貯蔵材料の実用化に向けた研究の展開が期待される。

[バイオセラミックスを利用した表面創製および血管治療用合金・プロセス構築に関する研究]

東北大学大学院工学研究科 准教授 上田 恭介君



受賞者は、生体内溶解性リン酸カルシウムや光触媒活性チタニアといったセラミックス系材料によるチタン系硬組織代替デバイスの表面創製プロセス構築、ステント用チタン系合金の晶析物制御による疲労強度向上、コバルト基合金の加工熱処理による強度・延性両立等、金属系生体材料の組織制御プロセス構築に関する研究に従事してきた。さらに、抗菌・抗ウイルス性評価手法の確立等、異分野との共同研究にも挑戦しており、今後の幅広い研究展開と発展が期待される。

[界面組織制御に基づくマルチマテリアル化のための高信頼性異材接合に関する研究]

大阪大学大学院工学研究科 准教授 小椋 智君



受賞者は、マルチマテリアル化の重要技術である異材接合において、界面組織解析を基盤として信頼性の高い異材接合技術を確立してきた。特に、Al 合金/鋼をはじめとした異材接合界面の組織形成過程を金属学的に解明して構造制御し、その接合界面構造と微小領域での継手特性をマクロ強度まで展開して、異材接合技術の工業的な高信頼化と実用化に発展させた。今後も金属工学と溶接工学を融合させた先進的な研究開発により、溶接・接合分野においてさらなる研究発展が期待される。

[物質内部の点欠陥の高精度計算とその応用]

東北大学金属材料研究所 教授 熊谷 悠君



受賞者は、物質内部の点欠陥に関する理論研究で特筆すべき成果をあげてきた。とりわけ、物質中の点欠陥エネルギーを高精度に算出する手法の開発や、点欠陥の計算材料データベース開発を世界で初めて行っている。また、これらの計算技術やデータベースを基盤として、機械学習を用いた酸素空孔形成エネルギーの予測や、新たな p 型透明導電酸化物、太陽電池材料等の探索も行っており、今後ますますの研究成果が期待される。

[構造用金属材料の力学特性と組織解析に関する研究]

九州大学大学院総合理工学研究院 准教授 光原 昌寿君



受賞者は、鋼、ニッケル、チタン、アルミニウム、マグネシウムおよびそれらの合金の力学特性と微細組織に関わる研究を行い、材料強度に関連する組織因子の抽出と定量化、変形中の格子欠陥構造の発達や材料組織変化に基づく変形・破壊機構の解明、耐熱材料を中心とした新規材料の開発に貢献してきた。多角的・多面的電子顕微鏡組織解析により、金属・合金の力学特性発現機構に直結する特徴を的確に捉えた多くの研究業績は国内外で高く評価されており、今後のさらなる発展が期待される。

[技術部門]

[ホットスタンピングプロセスによる高強度薄鋼板の成形技術に関する研究]

日本製鉄株式会社技術開発本部 課長 楠見和久君



受賞者は、自動車の燃費向上と安全性確保の両立に貢献する超高強度部材の新工法として注目されているホットスタンピング工法のプレス成形性について研究を進めてきた。板材成形の基本的な分類(曲げ性、張出し性、深絞り性)に沿って実験および計算(成形FEM解析と伝熱やマルテンサイト変態を連成)の両面から体系的に検討に取り組み、本工法のプレス成形性の基本原理を明らかにした。本工法の自動車部品製造への適用は今後も増大が期待され、学術的にも工業的にも本研究の貢献は大きい。

[高強度鋼材の拡散律速型組織制御に関する研究]

日本製鉄株式会社技術開発本部 主幹研究員 林 宏太郎君



受賞者は、高強度鋼材の合金設計と熱処理に関する研究開発に取り組み、拡散、相変態および熱力学理論を基に、高強度鋼材の組織制御技術を体系化し、特に、低合金鋼における熱処理中の脱炭反応に伴うフェライト層成長挙動を定式化し、その機構のみならず、フェライト層制御の指導原理を明らかにした。近年、データサイエンスをFe-C-Si-Mn多元合金の組織解析に展開し、データの新しい見方を提案し、鉄鋼材料の組織制御およびそのための基礎研究発展に貢献している。

第55回 日本金属学会研究技能功労賞 受賞者 (9名) (2024年3月13日)

(50音順)

旭川工業高等専門学校技術創造部 江口篤史君



受賞者は多くの実習・演習において金属製品の設計、作製の工程を熱心に指導し、学生から高い評価を受けている。また、一般の方々を対象とした公開講座を長年にわたり開催し、铸造を馴染みやすく伝える等、地域貢献活動にも積極的である。加えて、2020年度には「IoTの活用による铸造実習の可視化」のテーマで科研費奨励研究に採択される等、近年さらにその活躍の幅を広げている。現在は技術創造部技術長を務めており、部の運営、後進の育成においても本校の発展に貢献してきた功績は著しい。

東北大学金属材料研究所 菅原孝昌君



受賞者は、1987年に文部技官として東北大学金属材料研究所に入所以来、単体金属、合金、金属間化合物等の単結晶作製や溶解、精製、および酸化物の合成や単結晶作製等に従事した。これらの試料を、国内外の研究者等へ提供し、材料科学の発展に裏方の立場から貢献した。特に単結晶作製においては、るつぼを必要としない浮遊帯域熔融法において、加熱源の選択(赤外線、電子ビーム、高周波)や諸条件を適切に判断することで、不純物の少ない高品位な試料を作製・提供したことは高く評価できる。

JFE西日本ジーエス株式会社教育部 竹井豊明君



受賞者は、1981年に日本鋼管株式会社に入社、1996年より研究業務に携わる。製鉄分野では焼結・高炉の技術開発に従事し、高炉羽口部微粉炭吹込みでの吹込みランス形状の新規開発で実機への行程化に繋げ、高微粉炭化・低コークス比操業の達成に貢献した。また、製品開発分野では主に缶用鋼板の開発研究に尽力し、材質面では高強度化による新たな極薄缶用鋼板の開発、表面処理ではラミネート鋼板の早期商品化、またプレス成型では成形性評価の効率向上による研究開発のスピードアップに貢献した。

JFE テクノリサーチ㈱知多ソリューション本部 寺西秀男君



受賞者は、1982年に川崎製鉄株式会社に入社以来、鋼管製造の研究開発に携わり、新たな製造プロセスや新製品の開発に大きく貢献してきた。特に1997年に日本金属学会技術開発賞受賞のCBR成形ミルの研究開発では、一つのロールで多サイズの管を造管できる新技術の開発に寄与した。また、世界初の4ロール絞り圧延を駆使した“HISTORY®鋼管”の開発(2002年同賞受賞)にも大きく貢献した。現職への出向後を含め、長年培った知識と経験を活かし、後輩の育成に大きく貢献した。

㈱コベルコ科研 材料ソリューションセンター 中島直哉君



受賞者は、1986年の入社以来、神戸製鋼所の開発試験業務に従事。キャリアの中で得た知識、経験をもとに都度工夫をしながら適切な試験方法を考案してきた。プレス試験(鍛造試験)においては、自動車メーカ向け「かち割りコンロッド材の評価及びCH材の比較調査」、伸線試験においては「スチールコードの高強度化及び高強度懸架ばね用線材の開発」、熱処理試験においては「高強度歯車用鋼の開発」、多段フォーマ試験においては「非リン被膜の開発」に携わり、線材条鋼分野の開発に大きく貢献した。

JFE テクノリサーチ㈱ナノ解析センター 野口俊明君



受賞者は、1987年鋼管計測㈱入社し、一般材料試験や電子デバイス部門での品質保証部を経験した後、1996年より物理解析部門において試料調整と電子顕微鏡による観察・分析業務に従事してきた。材料の最表面構造や元素分布状態に敏感な極低加速電圧条件での走査電子顕微鏡法の有用性を最大限に引き出す超精密研磨技術を確立し、受託分析業務で扱う極めて多様な材料での最適化検討を継続するとともに、その技術の後進への教育を積極的に行ってきた氏の功績は大きい。

(公財)ふくい産業支援センターオープンイノベーション推進部 真柄宏之君



受賞者は、30年以上、福井県工業技術センター等で地元企業や大学からの技術相談、依頼試験に対応してきた。特に、福井県の代表的地場産業である「金属製眼鏡枠製造業」の中小企業における製品・技術開発とトラブル対策の支援に貢献するとともに、眼鏡素材研究会(福井県眼鏡工業組合の関連組織)の事務局を長年務め、企業の技術開発を牽引してきた。また、眼鏡材料を研究する大学・高専教員との連携への貢献等、産学官共同研究の推進に果たした役割は非常に大きく、その功績は顕著である。

JFE テクノリサーチ㈱西日本ソリューション本部 村上裕正君



受賞者は、1981年日本鋼管株式会社に入社以来、数々の実用鋼板の開発実験実務に取り組んできた。特に1991年~2013年の間、現在の自動車用の実用冷間プレス用鋼板として最高強度の1.5 GPa級鋼板の開発に従事し、遅れ破壊評価技術の基盤を確立した。また、開発で確立したマルテンサイトの硬さを正確に測定するための研磨方法は、現在においてもなくてはならない技術として伝承されている。以上を筆頭とする高性能自動車用鋼板開発への貢献は高く評価できる。

広島大学技術センター 矢吹祐司君



受賞者は、広島大学に任用後、40年以上にわたり、学内共同教育研究施設での技術指導、支援や施設の管理・運営を通して、大学における研究教育活動に貢献してきた。特に、全学を対象とした依頼工作与工学系の工作実習の技術指導を行ってきた。依頼工作では、金属を中心とした材料加工を行い、学内研究室や学生の課外活動の技術支援を行ってきた。これらの活動は、各種技術研究会にて報告を行っている。現在は、指導的立場で技術支援施設の統括を行う等、研究教育における功績は顕著である。

最優秀賞 1 件(5 名)

【第 2 部門】走査電子顕微鏡部門

[$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 超伝導薄膜中ナノロッド分布のマイクロスケールでの可視化]



九州工業大学
大学院生

黒木優成君



九州大学超顕微解析
研究センター
学術研究員

阿内三成君



名古屋大学大学院
工学研究科
准教授

堀出朋哉君



九州工業大学
名誉教授

松本 要君



九州工業大学大学院
工学研究院
教授

石丸 学君

優秀賞 2 件(9 名)

【第 4 部門】顕微鏡関連部門

[Ti-48Al-2Cr-2Nb 合金の凝固過程の時間分解 CT-XRD 観察]



京都大学大学院
工学研究科
助教

勝部涼司君



京都大学大学院
工学研究科
助教

鳴海大翔君



京都大学大学院
工学研究科
教授

安田秀幸君

【第4部門】顕微鏡関連部門

[Al-Zn-Mg合金における水素脆化発生挙動のマルチモーダル3Dイメージベース解析]



九州大学
大学院生

比嘉良太君



九州大学大学院
工学研究院
助教

藤原比呂君



九州大学大学院
工学研究院
主幹教授

戸田裕之君



豊橋技術科学大学
機械工学系
教授

小林正和君



日本原子力研究開発
機構システム
計算科学センター
研究主幹

海老原健一君



(公財)高輝度光科学
研究センター散乱・
イメージング推進室
主幹研究員

竹内晃久君

◇金属組織写真賞の受賞作品は308頁をご覧ください。◇

(50音順)



福井工業大学学長、大阪大学名誉教授 掛下知行君

掛下知行君は、1976年3月に北海道大学理学部物理学を卒業、1978年3月同大学大学院理学研究科物理学専攻を修了後、同年4月に大阪大学大学院基礎工学研究科物理学専攻博士後期課程に入学し、1979年4月に中退した。その後、同年4月に大阪大学産業科学研究科 文部科学教官、助手を経て、1987年に大阪大学工学部、助手、助教授となり、2000年4月に大阪大学教授(大学院工学研究科)に就任した。2009年8月に同大学教育研究評議員、2011年8月に工学研究科長・工学部長に就任した後、2018年3月に定年退職した(同年4月に大阪大学名誉教授を授与される)。2018年4月より福井工業大学の学長に就任し、現在に至っている。掛下知行君の研究業績は、材料科学の根幹をなす基礎研究で、①極限状態(強磁場・高圧)下での物性、②変位型相変態の組織・構造ならびにカイネティクスの解明、③d電子系セラミックス(マンガナイト)ならびにf電子系金属間化合物(DyCu, DyAg)の磁性と電気伝導特性、④相安定性の電子論的解釈の主に4つの分野に関連しており、同君はこの4分野を牽引する世界的研究者の一人である。以下にその研究業績を要約する。①本研究では、主に、変位型相変態の典型であり、かつ、機能の発現を担うマルテンサイトの強磁場下($\mu_0H=60$ T)ならびに高圧下(100 GPa)における相安定性を系統的に調査している。これら実験事実を考慮して、変態開始温度の磁場依存性ならびに圧力依存性を決める式を新たに導出している。これら実験事実を考慮して、変態開始温度の磁場依存性ならびに圧力依存性を決める式を新たに導出している。また、マルテンサイト組織のフラクタル次元は、拡散変態の組織のそれとは異なり1.8次元であることを示し、組織が応力に支配されていることを明らかにしている。②相転移のカイネティクスに関する研究では、等温変態と非等温変態過程を統一的に解釈し得る統計熱力学的手法に基づいた新しいモデルを構築し、その妥当性を多くの合金等を用いて実験的に確かめるとともに、未解決な課題である核生成について考察している。③ペロブスカイト型マンガン酸化物の磁氣的・電氣的性質について調査し、それらの性質は、公差因子のみならずMn-O-Mnの結合角の分散にも強く依存することを明確にしている。また、磁気冷凍材料として有望視されているDyCuでは、四極子相互作用が交換相互作用と同程度の役割を果たすことを定量的に示し、それらをもとに多段階メタ磁性転移の結晶方位依存等を明確にしている。④2次に近いマルテンサイト変態(TiNi, Fe₃Pt等)の電子論的起源を第一原理計算により明らかにしている。また、2次変態に近いマルテンサイト変態を示すFe-Pd合金は、弾性定数C'が変態温度付近でゼロ近くになる。このソフト化と変態の関係を調査し、新規な現象である巨大ひずみの出現(6%)と水の3態で知られている臨界点の存在を予測し、実験的に明らかにしている。

以上の業績により、同君は、国内外問わず数多くの物質・材料研究者から高い評価を得ている。具体的には、日本金属学会より、3度の論文賞と功績賞、谷川・ハリス賞、学術功労賞、学会賞等を受賞している。また、2014年度の本多記念講演の講演者に選考されている。さらに、2011年にはマルテンサイト変態の国際会議(ICOMAT-2011)の議長ならびに2012年のPRICM8(環太平洋材料国際会議)の議長を務めており、学術分野の発展に貢献している。また、同君は、日本金属学会会長、副会長、理事等を務め、本会の発展に貢献している。



北海道大学名誉教授 毛利哲夫君

毛利哲夫君は、1982年カリフォルニア大学バークレー校でPhDを取得後、同大学ローレンスバークレー研究所、材料科学科でポストドクトラルフェローを務め、1985年に北海道大学工学部講師に採用され、助教授を経て、1996年同大学工学研究科教授に就任した。2013年に東北大学金属材料研究所に異動し、2017年に定年退職の後、引き続き同研究所特任教授として計算材料科学関連のプロジェクトを推進するとともに、2019年から2023年まで内閣府SIPのサブプログラムディレクターを務めた。

この間、金属材料の相平衡・相変態の理論研究の分野において、菊池良一博士によって開発されたクラスター変分法(Cluster Variation Method, CVM)を核として、これに電子、原子、そして組織レベルで個々に発展してきた手法を融合したマルチスケール計算材料科学、材料数理学の研究を展開してきた。電子論計算から求めた原子間相互作用エネルギーをCVMと組み合わせる第一原理相平衡計算はその代表的なものであり、貴金属系、Fe系二元合金、III-V族半導体の有限温度における相安定性の起源を、原子間相関と原子間相互作用力の及ぶ範囲、さらには電子の状態密度にまで遡って明らかにした。離散格子のkineticsに関してもCVMを時間軸に拡張した経路確率法をfcc系合金の計算に適用し、長距離規則度のみならず短距離秩序の緩和挙動を含めて、L1₀相やL1₂相の規則化の変態経路を詳細に解析した。また、CVMと電子状態計算、フェーズフィールド法を融合した第一原理フェーズフィールド法を開発し、Fe-PtやFe-Pdの逆位相規則ドメイン構造や組織の時間発展過程を原子番号のみから計算することに成功した。さらに近年では、CVMを連続体に拡張した連続変位クラスター変分法に取り組み、格子緩和の微視的機構を明らかにするとともに、合金の内部自由度を配列エントロピーにmappingする計算に取り組んでいる。これらの功績に対して本会より学会賞、功績賞、論文賞等が授与されており、また、同君は本会の理事を務め、本会の発展に寄与した。



東京工科大学教授, 学長, 東京大学名誉教授

香川 豊君



◇日本金属学会春賞の概要◇

学会賞 The Japan Institute of Metals and Materials Gold Medal Award	金属及びその関連材料の学術および科学技術の振興に顕著な貢献をした国際的学者に対する授賞。
技術賞 The Japan Institute of Metals and Materials Industrial Achievement Award	金属及びその関連材料に関する工業技術の進歩発展に貢献した者に対する授賞。
増分量賞 The Japan Institute of Metals and Materials Masumoto Hakaru Award	機能材料分野で卓越した新素材の創出又は発明により貴重な研究業績を上げて, 同分野の学理又は技術の進歩発展に貢献することが大であると認められたものに授賞する。
谷川・ハリス賞 The Japan Institute of Metals and Materials Tanikawa-Harris Award	構造材料分野又は高温プロセスに関連する金属及び関連材料分野の学術又は工業技術の発展に貢献することが大であると認められたものに対する授賞。
功績賞 The Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award	金属学及びその関連材料分野の学術又は工業技術の進歩発展に寄与する有益な論文を発表したものの又は有益な特許を取得したもので, 将来を約束されるような新進気鋭の研究者, 技術者に対する授賞。 対象: 技術部門を除いて5月末時点で45歳以下の研究者 部門: 学術部門, 技術部門
研究技能功労賞 The Japan Institute of Metals and Materials Technical Skill Award	多年にわたり卓越した技術により金属の試験及び研究上欠くべからざる装置の製作, 資料調整, 測定及び分析などを通じて他の方々の研究成果に大いに貢献した, いわゆる「かげの功労者」に対する授賞。 対象: 授賞時に満50歳以上で通算30年以上実務に従事したもの。
金属組織写真賞 The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award (Best Prize, Excellent Prize, Fine Work Prize)	金属および周辺材料に関する学術上または技術上有益と認められる組織写真に対する授賞(最優秀賞, 優秀賞, 奨励賞)。 1. 光学顕微鏡部門 2. 走査電子顕微鏡部門(分析, EBSD等を含む) 3. 透過電子顕微鏡部門(STEM, 分析等を含む) 4. 顕微鏡関連部門(FIM, APFIM, AFM, X線CT等)部門
日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 The Japan Institute of Metals and Materials & The Iron and Steel Institute of Japan Young Student Award	材料分野の発展への貢献が期待できる学生(大学は学士課程4年に在学する学生, 高等専門学校は専攻科2年に在学する学生)の奨励を目的に日本金属学会・日本鉄鋼協会が奨学賞を設け, 授賞。
優秀ポスター賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best Poster Award	ポスターセッション発表者を対象に, 優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。
高校・高専学生ポスター賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best High School Poster Award	高校生・高専学生ポスターセッション発表者を対象に優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。

第42回 優秀ポスター賞受賞者 37名

(2024年3月13日授賞決定)(五十音順)



Ba₂Y₂CuPtO₈ 型新物質の発見と電気伝導性 (P8)

東京工業大学 青木 望君, 矢口 寛君, 藤井孝太郎君, 八島正知君



Air/Ar-15% H_2 -15% H_2O 二相環境における Fe-10Ni 合金の高温酸化挙動 (P131)

北海道大学 阿部颯太君, 米田鈴枝君, 林 重成君,
東芝エネルギーシステムズ 川田康貴君, 今井 潔君



Mg-Co-Zn-Y 合金における LPSO 相の高温相安定性 (P70)

千葉大学 岩瀬広也君, 半田優斗君, 山形遼介君, 糸井貴臣君,
北海道科学大学 堀内寿晃君, 北海道大学 三浦誠司君



Fe-x%Cr合金 (x=0, 10, 20) の磁性に与える He イオン照射効果 (P79)

岩手大学 梅山大輝君, 鎌田康寛君, 清水一行君, 村上 武君,
九州大学 渡辺英雄君



金属溶湯脱成分法を応用した非混和性純 Ti/純 Mg の機械的接合 (P52)

東北大学 大橋勇介君, 倉林康太君, 和田 武君, 加藤秀実君



Ti-N 合金の熱的安定性と変形挙動に関する調査 (P73)

京都大学 片山智貴君, 崇 巖君, 辻 伸泰君



自動微分を活用した複相組織における材料パラメータの逆問題解析 (P14)

名古屋大学 川本玲央君, 塚田祐貴君, 小山敏幸君



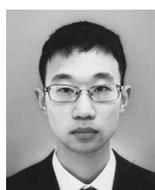
分子動力学凝固計算に基づく phase-field 法を用いたデータ同化による純金属の固液界面物性値の推定 (P57)

京都工芸繊維大学 神吉俊輔君, 山村彩乃君, 坂根慎治君,
北海道大学 大野宗一君,
東京大学 澁田 靖君,
京都工芸繊維大学 高木知弘君



Ti-Cr-Sn 合金単結晶の応力誘起マルテンサイト変態挙動 (P21)

東京工業大学 金 奕霖君,
野平直希君, 邱琬婷君, 海瀬 晃君,
田原正樹君, 細田秀樹君



準粒子自己無撞着 GW 法に基づく Cr³⁺ 発光中心の圧力依存性の解析 (P7)

大阪大学 齋藤悠宇君,
新居浜高等専門学校 鈴木雄大君,
大阪大学 佐藤和則君, 小谷岳生君



L-PBF 法により作製したインバー合金における熱膨張率の変化 (P151)

大阪大学 清水佑太君,
Gokcekaya Ozkan 君, 小笹良輔君,
寺井智之君,
日本鑄造 蓮見侑士君, 大山伸幸君,
大阪大学 中野貴由君



アルミドロスの焼結における MgO および CaO 成分の影響 (P138)

長岡技術科学大学 鈴木海渡君,
スズムラ 鈴木隆広君,
長岡技術科学大学 郭 妍伶君, 南口 誠君



Zr 系金属ガラスの力学特性に及ぼす HPT 加工温度の影響 (P23)

豊橋技術科学大学 鈴木隆之君,
足立 望君, 戸高義一君,
安部洋平君, 藤井洸太君, 榎園知弥君



焼入れまま低炭素フルマルテンサイト鋼の脆性破壊挙動と粒界偏析 S に及ぼす Ca の影響 (P130)

九州大学 高木優朋君, 森川龍哉君,
山崎重人君, 田中將己君,
神戸製鋼所 井元雅弘君, 高嶋康人君,
難波茂信君



L-PBFによって作製したTi-Cr-Sn合金の内部組織と超弾性特性 (P61)

東京工業大学 陳 成君, 田原正樹君, 金 奕霖君, 野平直希君, 海瀬 晃君, 邱 琬婷君, 大阪大学 小笹良輔君, 富山大学 石本卓也君, 大阪大学 小泉雄一郎君, 中野貴由君, 東京工業大学 細田秀樹君



低温におけるバイラメラ組織の形成メカニズムの解明 (P156)

熊本大学 角田昂駿君, 白石貴久君, 木口賢紀君



LiBH₄の薄膜合成と薄膜型全固体Li電池への応用 (P90)

芝浦工業大学 戸澤拓海君, 鷺谷俊輔君, 鈴木聡一郎君, 石田恵梨君, 新妻 涼君, 岩崎 慧君, 磯 啓一朗君, 大口裕之君



Ti-Zr合金の炉冷によって形成する周期構造の解析 (P162)

熊本大学 永井直久君, 武田莉花君, 白石貴久君, 木口賢紀君



キンク変形を伴う複相ハイエントロピーミルフィューユ合金の開発 (P75)

名古屋工業大学 中田龍之介君, 徳永透子君, 萩原幸司君



La₂SnO₂S₃における点欠陥及び自己束縛電子に関する第一原理計算 (P16)

東京工業大学 長藤瑛哉君, 我毛智哉君, 裴星旻君, 高橋 亮君, 大場史康君



レーザー粉末床熔融結合法を用いたCuO添加生体用Ti合金の作製 (P63)

東北大学 新村 彩君, 董 明琪君, 陳 鵬君, 周 偉偉君, 野村直之君



最適なFAST材料探索のための熱浸透率測定 (P145)

茨城大学 西場穂佳君, 河野紗佳君, 池田輝之君, 西 剛史君, 太田弘道君



降雨による接触帯電を利用したアルミニウム製水滴発電機の作製 (P134)

北海道大学 長谷川哲也君, 葛貫桃子君, 菊地竜也君



交換相互作用の温度依存性を取り入れた磁気熱量効果シミュレーション手法の開発と磁気冷凍材料のデザイン (P97)

大阪大学 藤原由鵬君, 佐藤和則君



Ti-4Fe合金の結晶相と微細組織に及ぼす酸素添加効果 (P74)

熊本大学 増見威臣君, 白石貴久君, 木口賢紀君



熱処理したサブミクロンFe-B微粒子の静的・動的磁気特性 (P95)

東北大学 増本千裕君, 宮崎孝道君, 室賀 翔君, 遠藤 恭君



B1型Ti(C,N,O)_xの物性に対する非化学量論効果 (P17)

東北大学 松浦紘夢君, 井田駿太郎君, 吉見享祐君



高周波マグネトロン放電Heプラズマ処理による工業用Ti材料の表面硬化 (P133)

香川大学 丸山万葉君, 平野満大君



Al-Fe-Mn-Ti4元系合金粉末を用いたレーザー粉末床熔融結合法の造形性に及ぼすレーザー条件の影響 (P26)

名古屋大学 南瀨光希君, 宮脇孝暢君, 高田尚記君, 鈴木飛鳥君, 小橋 眞君, あいち産業科学技術総合センター 梅田隼史君



Ge 表面構造の形態変化に対する低エネルギー重畳イオンビーム照射の影響 (P169)

高知工科大学 **宮田 滯君**,
大石脩人君, 新田紀子君



るつば回転粘度計を用いた溶融球状黒鉛

鑄鉄 (FCD) の粘度測定 (P148)
茨城大学 **山本泰生君**, 西 剛史君,
太田弘道君



ラジカル水素反応性赤外レーザー蒸着法を用いた 1 族・2 族金属水素化物のエピタキシャル薄膜合成および元素置換 (P86)

芝浦工業大学 **宗房幸太君**,
福士英里香君, 田中淳也君,
物質・材料研究機構 原田尚之君,
芝浦工業大学 大口裕之君



不均一組織を有する Mg-Zn-Y 系合金押

出材の構成領域の力学特性解明 (P160)
熊本大学 **吉田那優君**, 西本宗矢君,
郭 光植君, 峯 洋二君, 山崎倫昭君



金属 3D 積層造形製 Ni 基超合金の階層組織と力学特性 (P30)

大阪大学 **山下葵平君**, 趙 研君,
安田弘行君,
物質・材料研究機構 斎藤拓馬君,
佐々木泰祐君,
大阪大学 奥川将行君, 小泉雄一郎君,
中野貴由君



ブリッジマン法で作製した多孔質 Si に

おける移動速度と孔の生成形態の関係 (P91)
茨城大学 **渡部善貴君**, 太田将悟君,
池田輝之君



AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr 耐熱ハイエントロピー合金の相変態挙動と高温力学特性 (P29)

大阪大学 **山田眞子君**, 安田弘行君,
趙 研君



Influence of Processing Parameters on

Printability of a CrMnFeCoNi High Entropy Alloy via Multi Beam Laser Directed Energy Deposition (P144)

金沢大学, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Kholqillah Ardhan Ilman 君,
福井大学 山下 順広君,
金沢大学 國峯 崇裕君

～ おめでとうございます。～

◇2024年春期講演大会時の高校生・高専学生ポスター賞の受賞者のご紹介は次号になります。

第32回 日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 受賞者 43名 (2024年3月)

(50音順)



京都大学工学部
新井 敦郎 君



香川大学創造工学部
池田 凱琳 君



早稲田大学基幹理工学部
石田 凜太郎 君



熊本大学工学部
石嶺 伝秦 君



兵庫県立大学工学部
稲村 慧 君



名古屋工業大学工学部
江田 登和 君



名古屋大学工学部
大井 脩司 君



東北大学工学部
岡崎 由芽 君



芝浦工業大学工学部
小川 晃弘 君



東北大学工学部
折原 周平 君



東京工業大学物質理工学院
加賀 大暉 君



九州工業大学工学部
神谷 大輝 君



名古屋大学工学部
川本 玲央 君



東北大学工学部
姜 明均 君



関西大学化学生命工学部
岸本 桜司郎 君



東京大学工学部
許 マイケル 君



茨城大学工学部
佐藤 李行 君



芝浦工業大学工学部
下津曲 響 君



九州大学工学部
白澤 桃花 君



東海大学工学部
須永 健斗 君



近畿大学理工学部
高瀬 和人 君



長岡技術科学大学工学部
竹内 克成 君



愛媛大学工学部
中江 友哉 君



群馬大学理工学部
長竹 真吾 君



横浜国立大学理工学部
中野 智哉 君



東京工業大学物質理工学院
西井 涼音 君



東京理科大学先進工学部
西岡 宏祐 君



豊橋技術科学大学工学部
西中 悠真 君



金沢工業大学工学部
西峰 大暁 君



東京大学工学部
西村 有紗 君



千葉工業大学工学部
西村 美咲 君



金沢大学理工学域
二宮 凜太郎 君



島根大学総合理工学部
野津 直人 君



富山大学都市デザイン学部
藤村 彩和 君



大阪府立大学工学域
藤原 照巳 君



岩手大学理工学部
北條 大輝 君



九州大学工学部
松尾 泰之介 君



北海道大学工学部
宮坂 郁之祐 君



大阪大学工学部
宮澤 啓太郎 君



北海道大学工学部
矢澤 智也 君



京都大学工学部
山田 隼哉 君



大阪大学工学部
山野 大陸 君



秋田大学理工学部
吉田 祐梨 君

〔第2部門〕 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 超伝導薄膜中ナノロッド分布のマイクロスケールでの可視化

九州工業大学大学院工学府 黒木 優成 君 九州大学超顕微解析研究センター 阿内 三成 君
名古屋大学大学院工学研究科 堀出 朋哉 君 九州工業大学大学院工学研究院 松本 要君 石丸 学君

$\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 超伝導薄膜の臨界電流密度(J_c)の向上のため、量子化磁束を固定する「人工ピンニングセンター」の導入が試みられている。ピンニングセンターの異常成長や欠如は J_c 低下を引き起こす可能性があるため、マイクロスケールにわたる不均一分布に関する情報が求められている。本研究では走査型電子顕微鏡(SEM)の二次電子像を用いて、人工ピンニングセンターの一種であるナノロッドを広く捉える方法を確立した。

図1は、 SrTiO_3 単結晶基板上に堆積した $\text{Ba}_2\text{YbNbO}_6$ 添加 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 超伝導薄膜の断面透過電子顕微鏡像である。膜成長方向に伸びたナノロッドがモアレ縞として確認できる。平面試料の元素マッピング(図2)より、 $\text{Ba}_2\text{YbNbO}_6$ ナノロッドの導入が示唆された。観察により得られたナノロッド形態の模式図を、図1の挿入図に示す。

ナノロッドの分布をマイクロスケールで調査するため平面SEM観察を行なった。集束イオンビーム(FIB)により表面をわずかに削り、 SrTiO_3 単結晶基板を残した状態の二次電子像では、ナノロッドの観察は困難である(図3(a))。試料内部からの後方散乱電子により発生した二次電子が像質の劣化を導いていると考えられる。図3(b)は、後方散乱電子を低減するためにFIBで100 nm以下に薄片化した試料を観察した結果である。ナノロッドに相当する明るいドットの分布が鮮明に確認できた。図4は、 $2.6 \times 6.0 \mu\text{m}$ 領域の二次電子像にヒートマップを重ねた結果である。 $200 \text{ nm} \times 200 \text{ nm}$ 領域内ナノロッド数の大小によって色分けしている。図より、マイクロスケールでのナノロッド分布を初めて可視化することが出来た⁽¹⁾。

文 献

(1) M. Kuroki, T. Horide, K. Matsumoto and M. Ishimaru: J. Appl. Phys., **134**(2023), 045302.

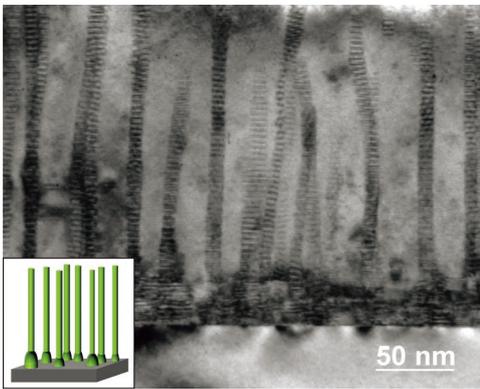


図1 断面TEM明視野像とナノロッド形態の模式図。

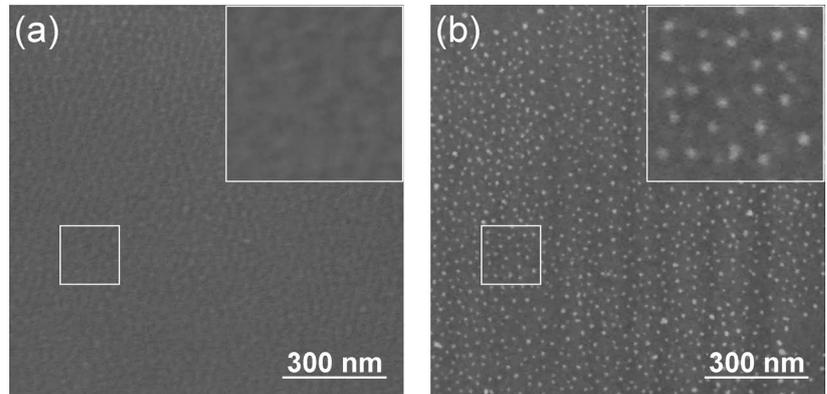


図3 (a)バルク, (b)薄片化平面試料の二次電子像。

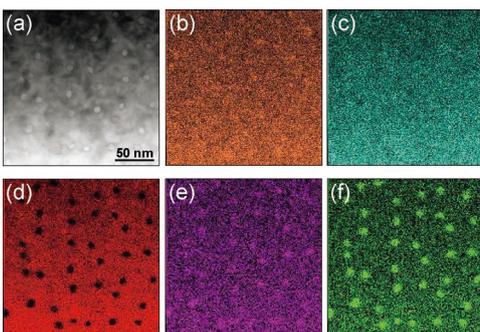


図2 (a)環状明視野像, (b-f)EDX元素マップ:
(b) Y, (c) Ba, (d) Cu, (e) Yb, (f) Nb.

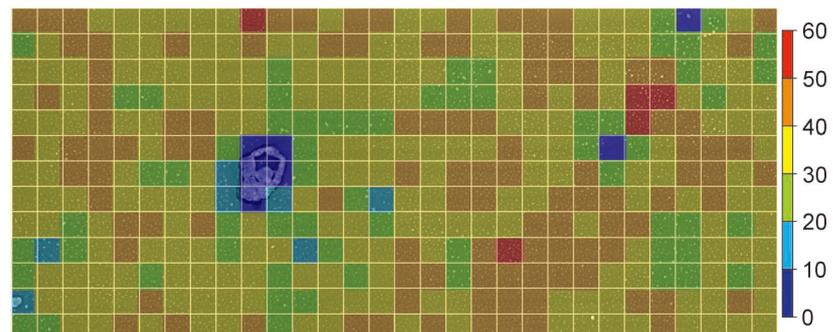


図4 $2.6 \times 6 \mu\text{m}$ 領域の二次電子像とヒートマップの重ね合わせ($200 \times 200 \text{ nm}$, 390領域カラーバーは領域内のナノロッド本数を示し, 黄色が平均値に相当する。

〔第4部門〕Ti-48Al-2Cr-2Nb 合金の凝固過程の時間分解 CT-XRD 観察

京都大学 勝部涼司君 鳴海大翔君 安田秀幸君

航空機の低燃費化に資する軽量耐熱合金であるTiAl基合金は、室温での加工性に乏しいために casting と熱処理により製造されることが多い。従って、TiAl合金の高性能化には凝固と固相変態過程の解明が求められるが、融点が高く活性も高いTiAl基合金の凝固・相変態過程のその場観察は困難であった。本研究では、化学熱力学的考察を基にTiAl基合金と反応しない Y_2O_3 を用いた観察容器を新たに開発し、実用合金であるTi-48Al-2Cr-2Nb合金の凝固・相変態過程の時間分解CT-XRD同時計測によるその場観察に成功した(図1, 2)。その結果、BCC構造をとる β 相とHCP構造をとる α 相が共存した特徴的な柱状デンドライトが成長することを見出した。さらに、「回転する試料からの回折X線を二次元検出器で検出する」という本システムの特徴を活かした時間分解正極点図解析の結果(図3)、デンドライトの主軸はBCC<100>方向であり、その周囲に α 相が成長することも分かった。以上の知見は状態図に基づく議論では得難く、本研究により時間分解CT-XRD計測による実証に基づくTiAl基合金の微細組織制御への道が拓かれた。

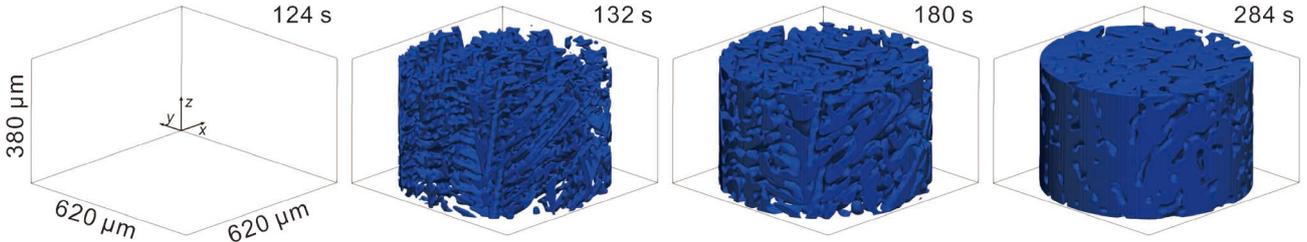
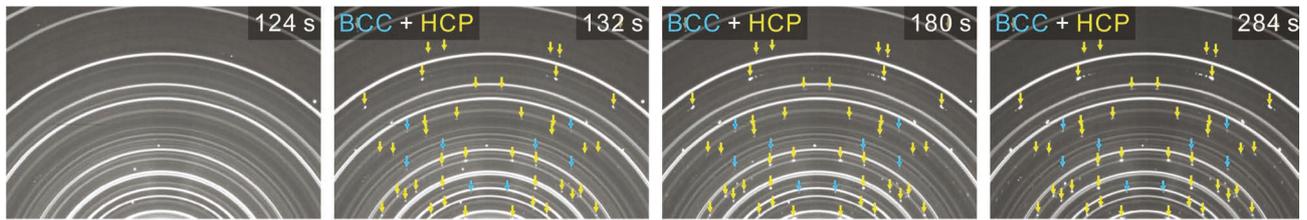


図1 時間分解CTのスナップショット。青い立体が古相を表している。8 sの間に柱状デンドライトが視野全体に形成した。



※リング状の回折: Al_2O_3

図2 時間分解XRDのスナップショット。凝固初期から末期までの間中、BCCとHCPに帰属できる回折線が観測された。

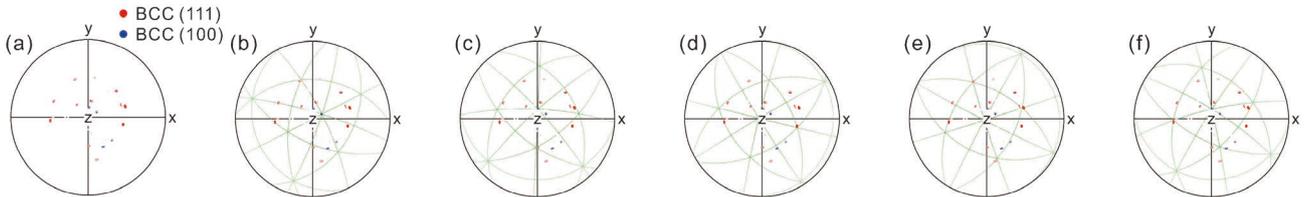


図3 (a) 128-132 sのBCC正極点図, (b-f) (a)に晶帯軸を引いたもの。いずれの結晶も[100]方向がz軸に近い。

〔第4部門〕Al-Zn-Mg合金における水素脆化発生挙動のマルチモーダル3Dイメージベース解析

九州大学 比嘉良太君 藤原比呂君 戸田裕之君 豊橋技術科学大学 小林正和君
日本原子力研究開発機構 海老原健一君 高輝度光科学研究センター 竹内晃久君

水素脆化亀裂が発生する場合には、多結晶体中の不均一な変形やそれに伴う局所的な水素濃化が重要である。本研究では、回折コントラストトモグラフィー(DCT)法による多結晶組織の3D可視化(図1)と、X線CTによる損傷・破壊の4D可視化を組み合わせた。得

られた画像を忠実に再現するイメージベースモデル(図2)を用いて、結晶塑性と水素拡散のマルチモーダルシミュレーション(図3)を行った。このようなアプローチにより、実験とシミュレーション結果を直接、精密に比較することができ、複雑な4D水素脆化亀裂進展挙動の解釈やシミュレーションの高精度な検証が可能になった。結果として、第一原理計算により求められたナノレベルの析出物損傷挙動からマクロな水素脆化の発生・進展挙動までを繋ぐ、トランススケールな現象の理解が得られた。一連の研究により、高い効率で水素脆化を防止できる水素脆化防止法も提案している。

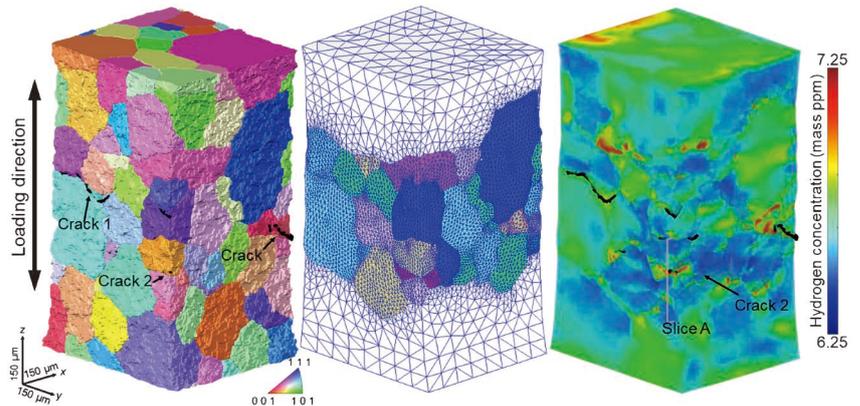


図1 3D結晶粒画像。 図2 イメージベースモデル。 図3 水素濃度分布。

文献

R. Higa, et al.: JILM, 73 (2023), 530-536.

〔第3部門〕環境制御型TEMホルダーを用いたFe-Zn合金化反応 *in-situ* 観察

JFE スチール㈱ スチール研究所 西山武志君 河野崇史君

高防錆を備えた合金化溶融亜鉛めっき鋼板の安定製造や品質確保のためには、合金化処理時のめっき合金相形成過程の理解が重要である。そのため、合金化反応の直接観察が渴望されているが、Znは容易に昇華してしまい、反応を捉えることが困難であった。そこで、大気圧下で高速加熱可能な環境制御型TEMホルダーに着目し、FeZn合金化反応直視を試みた。供試材はZn-0.19%Al/鋼板とした(図1(a))。加熱開始後、Znの融点付近でめっき部の回折コントラストが消失、次いでFeAl初期合金相が消失するが、残存するFeAl合金を起点にFeZn反応相が成長する様子が観察された(図1(b))。また電子線回折より、最終反応相は I_1 相と確認された(図1(c))。今回の観察結果は従来推定されている反応機構とよく一致し、かつこれまで直接確認されていないFeAl合金の消失やFeZn合金の成長起点を捉えており、本手法が高温反応素過程の解明に有用であると示されている。

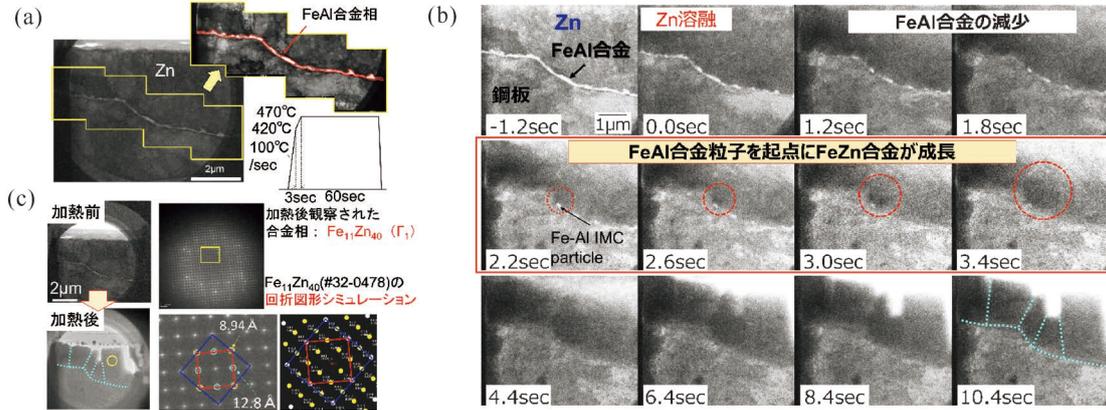


図1 (a) 加熱前のZnめっき/鋼板界面の断面像および熱処理履歴. (b) 加熱合金化反応中スナップショット. (c) 加熱前後のZnめっき層の変化.

第74回金属組織写真賞 選評

本年度の応募件数は、「1. 光学顕微鏡部門」は残念ながら無し、「2. 走査電子顕微鏡部門」3件、「3. 透過電子顕微鏡部門」2件、および「4. 顕微鏡関連部門」4件の計9件であった。

選考委員会での事前評価結果を理事会において報告し、金属組織写真賞規則に従って、最優秀賞1件、優秀賞2件、ならびに奨励賞1件の授賞を決定した。

今回もWeb審査を踏襲し、選考委員14名に順位点と評価点(5点満点)、および評価の高い作品については選定理由の記載をお願いした。部門も含めた内訳としては、走査電子顕微鏡部門から最優秀賞1件、顕微鏡関連部門から優秀賞2件、および透過電子顕微鏡部門から奨励賞1件となった。

最優秀賞「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 超伝導薄膜中ナノロッド分布のマイクロスケールでの可視化」(2. 走査電子顕微鏡部門)は、YBCO超伝導薄膜において、磁束の人口ピンニングサイトとして導入されたナノロッド組織のマイクロスケールにわたる広域可視化に、世界で初めて成功したものである。材料特性をその内部組織の視点から理解するためには、高い空間分解能を保ったまま低倍率広視野を必要とする場合も多く、本成果は学術的価値が高いだけでなく、他分野への波及効果の点でも優れている。またヒートマップ表現を用いて、ナノロッドの不均一分布を明確に示した点や、SEMの結像特性を考慮し、FIBで薄片化した試料を用いることで鮮明な可視化を実現した点も、技術的な面で高く評価された。

優秀賞(部門別、受付番号順) 1件目「Ti-48Al-2Cr-

2Nb合金の凝固過程の時間分解CT-XRD観察」(4. 顕微鏡関連部門)は、新たにTiAl基合金融液と反応しない容器を開発することにより酸素溶解量を低減させた上で、TiAl基の実用合金の一つであるTi-48Al-2Cr-2Nb合金において、その凝固組織の三次元形態の時間発展ならびに結晶方位の情報を同時取得し、BCCとHCPが共存したデンドライト組織の発達を明確にとらえた成果であり、学術的に高く評価された。

優秀賞2件目「Al-Zn-Mg合金における水素脆化発生挙動のマルチモーダル3Dイメージベース解析」(4. 顕微鏡関連部門)は、三次元的な結晶粒組織と亀裂の発生位置を、実験とFEM解析の両面から対応させ、粒界での亀裂発生挙動をマルチモーダルのとらえるだけでなく、変形・水素濃化挙動との比較を可能とした点が、学術的にも工学的にも大きく評価された。

奨励賞「環境制御型TEMホルダーを用いたFe-Zn合金化反応 *in-situ* 観察」(3. 透過電子顕微鏡部門)では、FeAl合金の溶解から、FeAl合金を核としたFeZn合金の生成および成長を *in-situ* でとらえることに成功しており、高温観察と時間分解能を両立させた技術が高く評価された。

惜しくも選に漏れた作品も含め今回もレベルの高い力作揃いであった。他の学会に例を見ない独自性と学術性を重んじてきた金属組織写真賞の継続と発展のために、今後もますます優れた金属・材料の組織写真が応募され続けることを期待したい。

金属組織写真賞委員会委員長 小山敏幸(名古屋大学)

金属材料の組織制御と高性能化*

堀田 善治**, ***, ***, ****

1. はじめに

金属材料の高性能化を図るには、機械的特性や機能特性にかかわらず、その組織や構造をいかに制御するかが鍵になる。筆者のグループでは、巨大ひずみ加工を施すことによって、転位や結晶粒界などの大量の格子欠陥を材料中に強制的に導入し、機械的特性にとっては強度や延性など、また機能特性にとっては電気・磁気特性、水素貯蔵特性、光触媒性などの向上につながることを示した。関連の研究動向やその成果については、別途解説記事にまとめ⁽¹⁾⁻⁽⁹⁾、また本会欧文誌の Materials Transactions で特集号を編集した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。巨大ひずみ加工という特殊な加工プロセスではあるものの、各特性に及ぼす格子欠陥の役割が基本となることには変わりはない。本講演では、筆者が関わったこれまでの研究から、高温・高圧を含む種々条件下での塑性変形中の格子欠陥挙動の評価・解析と関連特性について紹介する。

2. 金属や合金の高温変形機構

筆者の金属学会とのかかわりは、大学院生の時に初めて行った学会発表に始まる。指導いただいた吉永日出男教授(現九州大学名誉教授)から、学会発表を促され緊張の下に発表を行ったことを思い出す。「純アルミニウムの高温変形機構の解明」がテーマで、対象の金属は Al と、比較のための Al-Mg 合金であったが、金属材料の変形挙動について基礎から学ぶ経験となった。この時の研究結果は日本金属学会誌にまとめ、初めての論文発表となった⁽¹²⁾。

金属や合金の高温変形応力 σ は非熱活性化成分の内部応力と熱活性化成分の有効応力に分けられるが、bcc や fcc 純金属では、ほぼ100%の内部応力で決まるとするのは吉永教授の見解であった⁽¹³⁾。しかし、有効応力がかなりの割合で存在するという報告も多数あり⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁷⁾、その真意については議論されていた。筆者の課題は変形途中にひずみ速度を急変してこの問題に決着をつけることであった。

図1はひずみ速度急変後の変形挙動を模式的に示したものである。もし、内部応力100%の場合は、ひずみ速度急変後の応力変化は式(1)で与えられ、有効応力成分が存在する場合は式(2)となった⁽¹⁸⁾。

$$(d\sigma/d\epsilon_a)_f/E_a = (1 + E_a/h)^{-1}(1 - \dot{\epsilon}_{a0}/\dot{\epsilon}_{af}) \quad (1)$$

$$(d\sigma/d\epsilon_a)_f/E_a = 1 - \dot{\epsilon}_{a0}/\dot{\epsilon}_{af} \quad (2)$$

ここで、 ϵ_a は試験機系の弾性変形を含む見かけのひずみ、 $(d\sigma/d\epsilon_a)_f$ はひずみ速度急変後の応力-ひずみ曲線の傾き、 $\dot{\epsilon}_{a0}/\dot{\epsilon}_{af}$ はひずみ速度急変前後の見かけひずみ速度比である。

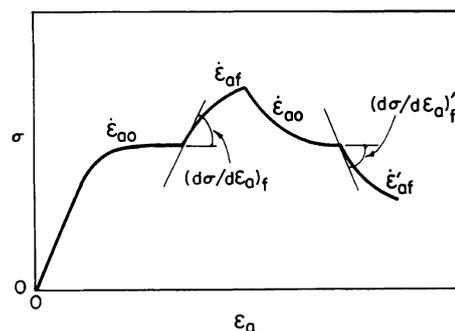


図1 ひずみ速度急変試験に伴う応力-ひずみ曲線の模式図⁽¹⁸⁾。

* 2024年3月13日、日本金属学会第174回春期講演大会にて講演。

** 九州大学；名誉教授(〒819-0395 福岡市西区元岡744) *** 九州工業大学大学院工学研究院基礎科学研究系；特任教授

**** 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター；特任教授 ***** 佐賀大学シンクロトロン光応用研究センター；特命教授

Microstructural Control for High Performance of Metallic Materials; Zenji Horita **, ***, ***, **** (**Kyushu University, Fukuoka.

School of Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu. *Magnesium Research Center, Kumamoto University,

Kumamoto. *****Synchrotron Light Application Center, Saga University, Saga)

Keywords: severe plastic deformation, microstructure control, structural properties, functional properties, high-temperature deformation, analytical electron microscopy, diffusivity

2023年11月28日受理[doi:10.2320/materia.63.311]

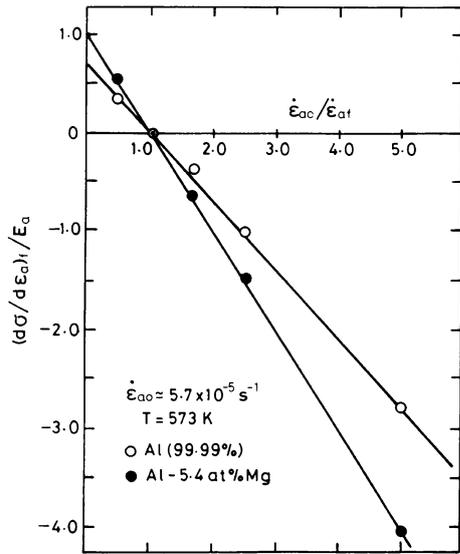


図2 ひずみ速度急変直後の勾配と急変前後のひずみ速度比との関係⁽¹⁸⁾⁽²⁹⁾.

E_a は試験機の弾性変形を含む試験片の見かけのヤング率で、 h は次の Orowan の式⁽¹⁹⁾で定義される軟化の影響を含まない純粋な加工硬化率である。

$$d\sigma = h d\varepsilon - r dt \quad (3)$$

なお、式(3)での r は加工硬化の影響を含まない純粋な軟化速度である。

図2は300°Cでひずみ速度急変試験を行った時の測定結果で、純Alの場合式(1)に従い、内部応力が100%占めることになった⁽¹⁸⁾⁽²⁹⁾。これに対して、有効応力成分が大きいAl-5%Mg合金では予測通りに式(2)に合致した⁽¹⁸⁾⁽²⁹⁾。したがって、純Alの高温変形は硬化と軟化によるバランスで決まり、転位は自由飛行的に動いており、懸案の問題に決着をつけることができた。本実験に関わった当事者として、試験機を固くして E_a を大きくすること、ひずみ速度が素早く変化することに特別注意を払った。 E_a が h に比べてかなり小さいと ($E_a/h \ll 1$)、式(1)の係数は $(1 + E_a/h) \sim 1$ となり、式(2)と判別できなくなるためである。 E_a を大きくすることは決して容易ではなかったと記憶する。

高温変形に関する研究は、吉永教授の紹介により引続き米国南カリフォルニア大学の Terence Langdon 教授のもとで継続し、Ph.D. の取得を目指した。対象の試料はAl合金で高温クリープ変形に及ぼす第2相粒子の影響や粒界すべりの影響であった。特に応力依存性や温度依存性を広範囲の条件で調べ、広く文献調査も含め、高温クリープ変形は応力の3乗則が基本であることを示した⁽²¹⁾。また、この基本的3乗則からのずれは、転位の形態や挙動に及ぼす内部組織の違いによるものと考えた。

3. 分析電子顕微鏡によるX線微小部分析と組織解析

南カリフォルニア大学でPh.D.取得後、同大学にて約1

年間、学術研究員(ポスドク)として研究を継続したのち、九州大学工学部冶金学科で研究できる機会を得ることができた。根本実教授の研究室で、透過電子顕微鏡(TEM)を使った組織制御と解析を専門とした研究室である。赴任当時に分析電子顕微鏡(AEM)が九州大学超高压電子顕微鏡室に設置され、これを利用した研究となった。AEMとはTEMにエネルギー分散型X線分光装置(EDS)やエネルギー損失電子分光装置(EELS)などの分析機器を搭載したもので、TEMによる組織観察とともに極微小領域の元素分析や電子状態解析ができるという特徴的な解析装置である。AEMが偉力的であることは認識されていたものの、九大設置のAEM-EDSは日本では初めての市販装置であり、精度の良い分析を行うには幾つか注意を必要とした。

AEM-EDSによる定量分析では、次のような比例法を用いて特性X線の強度を濃度に換算する⁽²²⁾。

$$(C_J/C_A) = k_{JA}(I_J/I_A)_m \quad (4)$$

$$C_A + \sum C_J = 1 \quad (5)$$

ここで、 $C_A, C_J, I_A, I_J, \dots$ はそれぞれ元素 $A, J (=B, C, \dots)$ の濃度(質量%)と特性X線強度で、 Σ は総和を表わす。また、 k_{JA} はA特性X線に対するJ特性X線の k 因子である。添字 m は測定値であることを意味する。

Ni基合金の状態図作成を目標に定量分析を試みたが、分析値にばらつきが多く、解決すべき問題点があった。まず、コンピュータに内蔵されている k 因子(理論値)は信頼性が低く、濃度既知の標準試料で実験的に求めること、また、実験値でも、図3に示すように測定日によって変化し、同一機種でも装置が違えば異なるために分析ごとに同じ装置で測定する必要があることである⁽²³⁾。さらに、特性X線のエネルギーが低い場合、試料での吸収が無視できなくなることである。したがって、吸収の影響を含まない特性X線強度 $(I_J)_0$ を求めるには次式のように吸収補正が必要となる。

$$(I_J)_0 = (I_J)_m A_J \quad (6)$$

ここで、 $(I_J)_0$ は吸収の影響を含まない特性X線Jの強度、

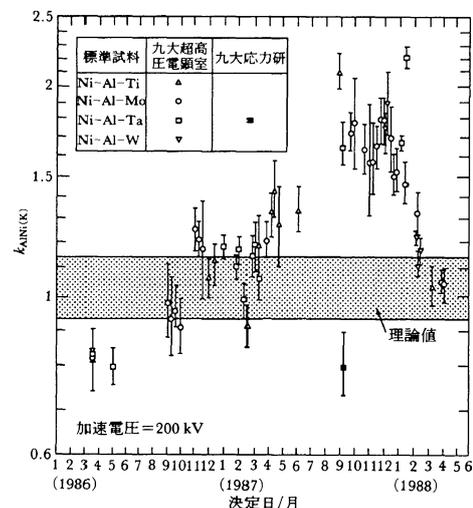


図3 k 因子($k_{AlNi(k)}$)の経時変化と検出装置による違い⁽²³⁾。

A_J は吸収補正因子であり、次式で与えられる⁽²⁴⁾。

$$A_J = \frac{[1 - \exp\{- (\mu/\rho)_S^J \rho t \cos \theta\}]}{\{ (\mu/\rho)_S^J \rho t \cos \theta \}} \quad (7)$$

なお、 θ は X 線の取り出し角であり、 $(\mu/\rho)_S^J$ 、 ρ 、 t はそれぞれ分析箇所の質量吸収係数、密度、膜厚である。

この吸収補正で厄介なのは分析箇所の膜厚 (t) を必要とすることである。たとえば、Al を含む Ni 基耐熱合金では、 AlK_α 線の吸収補正が不可欠となる⁽²⁵⁾。この問題を解消するために、膜厚測定が不要な外挿法を提案した⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。今、特性 X 線が膜厚の半分の位置で発生すると近似すれば、吸収の影響を含まない特性 X 線強度比 $(I_J/I_A)_0$ は、測定した特性 X 線の強度比 $(I_J/I_A)_m$ に対して次のように表される。

$$\log (I_J/I_A)_m = \log (I_J/I_A)_0 + (H_{JA}/\psi) (I_x)_m \quad (8)$$

ここで、

$$H_{JA} = 0.217 \{ (\mu/\rho)_S^J - (\mu/\rho)_S^A \} \rho \cos \theta \quad (9)$$

である。また、 $(I_x)_m$ は吸収が無視できる特性 X 線強度で、次のように膜厚に比例する。

$$(I_x)_m = \psi t \quad (10)$$

したがって、対数グラフ上で $(I_J/I_A)_m$ を縦軸に、 $(I_x)_m$ を横軸にプロットすれば、 $(I_N)_m \rightarrow 0$ の外挿値は吸収の影響を含まない特性 X 線強度比 $(I_J/I_A)_0$ となる。たとえば、図 4 は Ni 基の Ni-Al-Mo 三元合金における γ 、 γ' 相での結果である⁽²⁵⁾。この合金では NiK_α 線の吸収は無視できることから、横軸を I_{Ni} とし膜厚の代わりとした。図 5(a) は、合金中の α 相の分析結果も含めてプロットしたものである。既報の状態図と比較すると⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾、Nash と West の結果によく一致することが確認できる。もし、吸収補正をしないと図 5(b) に示すように、三相領域がずれることになり、吸収補正が重要であることが確認される⁽²⁵⁾。

外挿法による吸収補正では、膜厚測定に付随する煩雑さをなくすことができる特徴とともに、膜厚測定や質量数係数に含まれる誤差の影響をなくして精度向上を図ることができる。しかし、外挿を可能にするには、測定領域が十分に広く、少なくとも 2 点以上の測定が必要となる。したがって、濃度が連続的に変化している領域には外挿法は適用できない。単一箇所であっても測定ごとに吸収補正できる方法が必要となる。このような必要性を考量して、X 線吸収差法⁽³⁰⁾や ζ 因子法⁽³¹⁾を提案した。両方法については別途解説しているが⁽³²⁾、ここでは、後者の ζ 因子法を要約してその原理と応用例を紹介する。

ζ 因子法では、 ρt が ζ_j を比例定数として次式で表されることを利用する。

$$\rho t = \zeta_j (I_j)_m / C_j \quad (11)$$

したがって、式(7)の吸収補正因子における ρt を $\zeta_j (I_j)_m / C_j$ で置き換え、式(4)、(5)の比例法と組み合わせて、濃度の収束まで計算を繰り返すことにより、吸収補正を兼ねた濃度決定が可能となる。併せて、分析箇所の密度が分かれば、膜厚決定もできることになる。この ζ 因子法による局所分析は、当時大学院生であった渡辺万三志氏(現、米国リーハイ大学教授・東北大学教授)によりさらに進展し⁽³³⁾、現在では

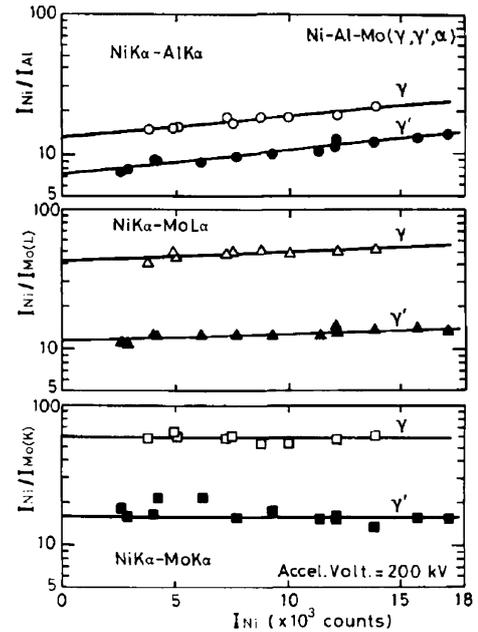


図 4 Ni 基 Ni-Al-Mo 三元合金の γ 、 γ' 相において測定した特性 X 線強度比と NiK_α 線強度との関係⁽²⁵⁾。

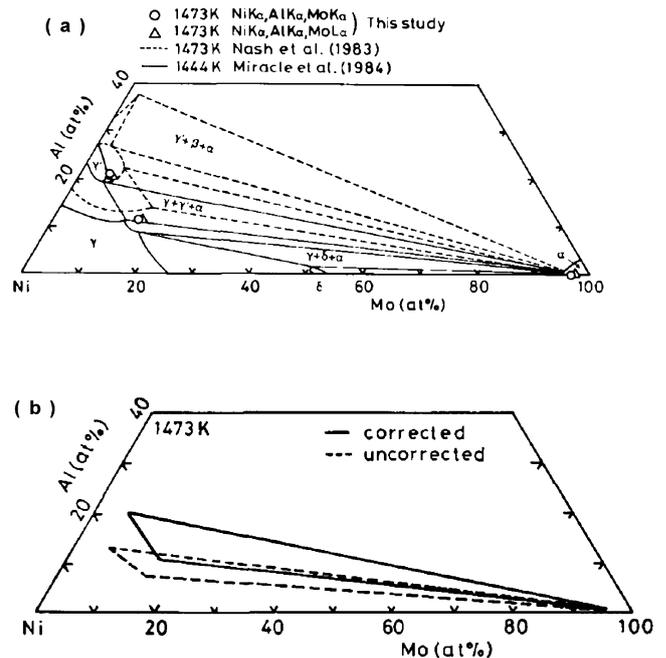


図 5 NiK_α 、 AlK_α 、 MoK_α 線を使って分析した Ni 基 Ni-Al-Mo 合金における γ 、 γ' 、 α 相の濃度分析結果。(a) Nash と West⁽²⁸⁾ および Miracle ら⁽²⁹⁾ の状態図との比較。(b) 吸収補正した場合としない場合の比較。

原子オーダーで軽元素も含めて実施できるようになっている。

図 6 は Ni と Ni-51.8 mol% Al 合金 (B2 型金属間化合物) より拡散対を作製し、接合界面を横切って分析した結果である⁽³⁴⁾。図 6(a) は濃度変化で、図 6(b) は膜厚変化である。吸収補正をしない場合は、B2 型化合物 (β 相) 側で Al の濃度が初期値の 51.8 mol% に達していない。また、Ni (α 相) と β 相との間に Ni_3Al の $L1_2$ 型金属間化合物 (γ' 相) が新たに生成

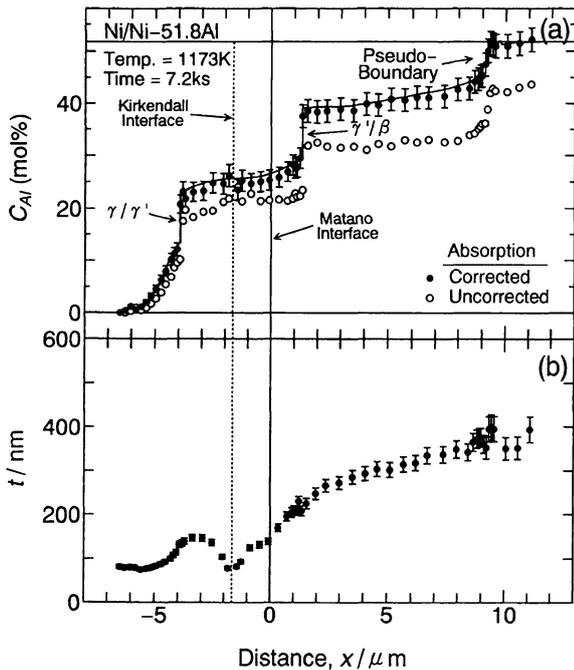


図6 NiとNi-51.8 mol% Al合金拡散対の接合界面分析結果⁽³⁴⁾. (a)濃度変化で吸収補正する前と後を含む. (b)膜厚変化.

しているが、Alの濃度が期待値より低くなっている。さらに、 β 相内には50 mol% Al付近で相互拡散係数が最小となることにより生じる急峻な濃度変化が観察される。しかし、やはりAlの濃度がかなり低くなっている。AlK α 線に対する吸収補正が重要であることが分かる。

4. 拡散係数の測定

図6で示すように、NiとNi-51.8 mol% Alの接合界面でNi₃Al金属間化合物が生成したことから、さらにこの化合物でのAlとNiの拡散挙動について調べる研究に展開した。L1₂型構造のNi₃Alでは、Al原子の最隣接サイトはすべてNi原子であることから、Al原子の拡散は規則性を壊すことになる。したがって、Al原子の拡散はこの影響がないNi原子よりも遅いのではないかと予測される。しかし、実際はこれに反する結果が報告されており⁽³⁵⁾⁻⁽³⁸⁾、またAlの放射性同位元素の入手が極めて困難であることから、直接的な判断はできない状況にあった。当時博士課程院生で研究に携わった藤原航三氏(現、東北大学教授)は、もしKirkendall界面(拡散対接合界面)がNi₃Al相内に存在すれば、Darkenの式⁽³⁹⁾とManningの式⁽⁴⁰⁾よりAlの自己拡散係数が求められると考え、 β 相の組成を少し減らしてKirkendall界面の位置を調整した⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。すなわち、Kirkendall界面をマーカとして利用し、このマーカ位置での濃度勾配とマーカの移動速度が測定できることになるからである。図7はこのようにして求めたAlの自己拡散係数をアレニウス関係でプロットし、他の報告値と比較したものである⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。Alの自己拡散係数はNiの自己拡散係数とほぼ同じであることを示すこと

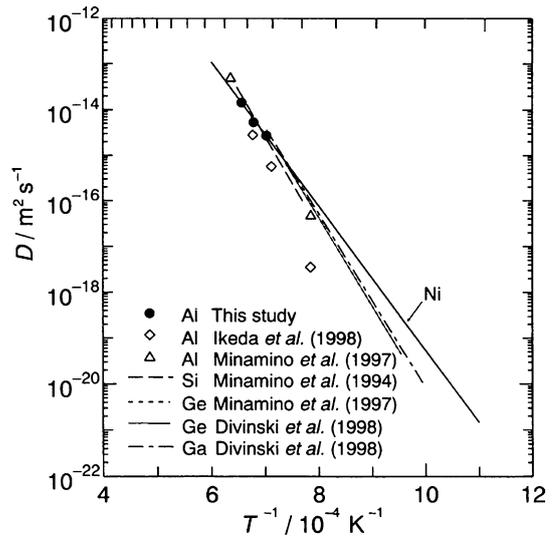


図7 Alの自己拡散係数のアレニウスプロット. Niの自己拡散係数, Alの自己拡散係数の推定値⁽³⁶⁾⁽³⁸⁾, Ni₃Al中のSi, Ga, Geの不純物拡散係数⁽³⁵⁾⁻⁽³⁷⁾を含む.

ができた。これより、Al原子は α 副格子空孔機構⁽⁴³⁾やAnti-Structure Bridge機構⁽³⁷⁾のもと、Niの副格子位置を移動して拡散することを確認した。

拡散対研究でもう一つ追記したいことは、後述の巨大ひずみ加工で結晶粒超微細化したAl合金より拡散対を作製し、相互拡散係数を求めたことである。当時博士課程院生の藤田武志氏(現、高知工科大学教授)は、大角粒界ばかりではなく亜粒界を含む場合でも測定を行った。図8に示すように、拡散距離が結晶粒の大きさや粒界角度の違いによって異なり、相互拡散係数のアレニウスプロットでは、予想通り粗大粒と大角粒界からなる微細粒の中間に位置した⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾。

5. 巨大ひずみ加工による結晶粒超微細化と特性向上

(1) 巨大ひずみ加工について

筆者が巨大ひずみ加工に関する研究を始めるきっかけになったのは、Equal-Channel Angular Pressing (ECAP)法と呼ばれる加工法⁽⁴⁶⁾で結晶粒径をサブミクロンレベルに微細化したAl-3%Mg合金試料を入手したことである。博士課程の指導教官であったLangdon教授より試料を受け取り、九州大学超高压電子顕微鏡室の透過電子顕微鏡(TEM)で観察することになった。当時3 μ m以下の微細結晶粒をバルク状Al合金で作ることは困難であったことから、図9に示すようなサブミクロンレベルの微細な結晶粒組織であることが分かったときは驚きであった。この観察結果は日本金属学会会報で公表し⁽⁴⁷⁾、日本では最初の公開情報となっている。

ECAP加工はバルク状で結晶粒をサブミクロンレベルに微細化できる方法として注目を集めた。しかし、評価は決してポジティブなものばかりでなく、金型準備が煩雑である割には結晶粒微細化が実現されないとの批判も多かった。この

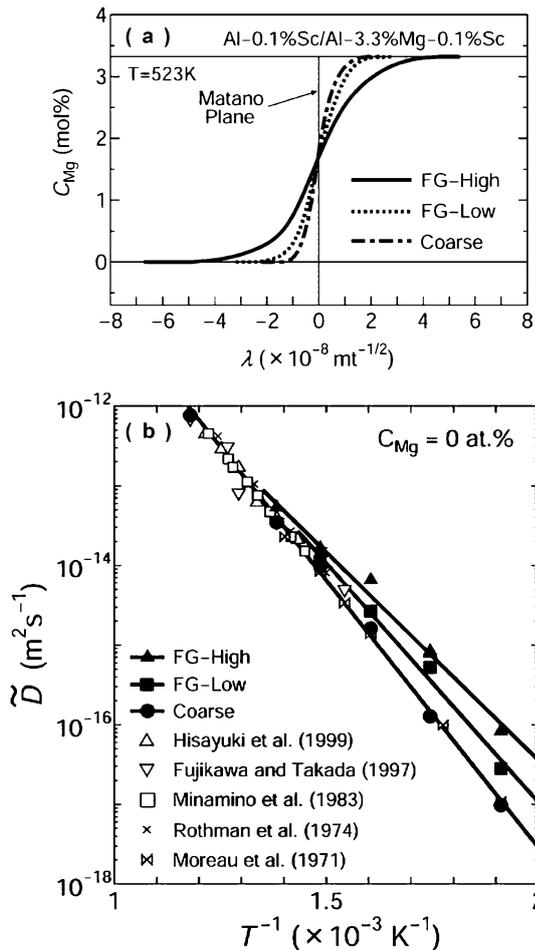


図8 (a) Al-0.1 mol%Sc と Al-3.3 mol%Mg-0.1 mol%Sc より作製した大角粒界微細粒拡散対, 小角粒界微細粒拡散対および粗大粒拡散対を 523 K で熱処理した時の濃度プロファイルをボルツマンパラメータ λ でプロットした結果⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾. (b) Al 中の Mg の相互拡散係数のアレニウスプロット⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾.

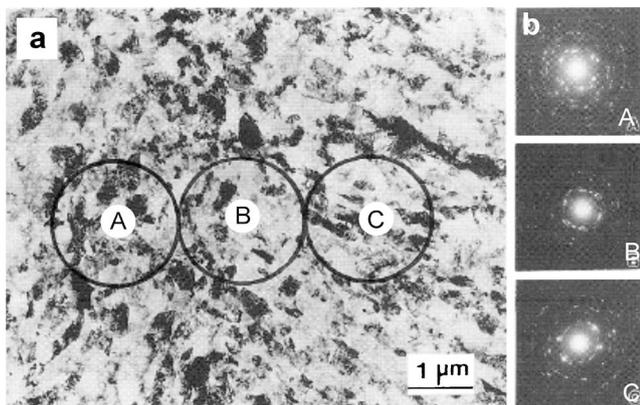


図9 (a) ECAP 加工した Al-3%Mg 合金の微細粒組織, (b) A, B, C 領域の制限視野回折パターン⁽⁴⁷⁾.

ような問題を解決すべく, 筆者らは, 次のような点から研究に取り組んだ.

ひとつは加工時に導入されるひずみ量を定量的に算出できるようにしたことである⁽⁴⁸⁾. 図10に示すようにチャンネル

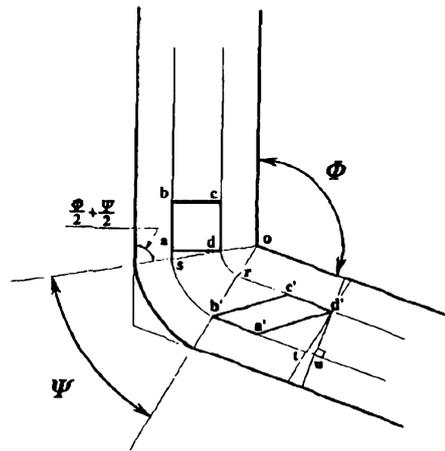


図10 ECAP 加工におけるチャンネル屈曲角 Φ と屈曲部外周角 Ψ の定義, およびプレス変形に伴う試料形状変化⁽⁴⁸⁾.

の屈曲角を Φ , チャンネル屈曲部の外周角を Ψ とした時, 1 回のパスで導入される相当ひずみ量 ε を導出し, N 回パスでは次式で表わされることを示した⁽⁴⁸⁾.

$$\varepsilon_N = (N/\sqrt{3}) [2 \cot \{(\Phi/2) + (\Psi/2)\} + \Psi \operatorname{cosec} \{(\Phi/2) + (\Psi/2)\}] \quad (12)$$

これより, チャンネル角やパス回数に応じた相当ひずみが定量的に評価できるようになり. 組織や特性の相互評価が可能になった. この論文は, Scopus によれば, 公開から現在まで1897件引用された状況にある.

第2の取り組みとしては, 試料へのせん断ひずみ導入方向と組織の微細化度との関係を TEM により明らかにしたことである⁽⁴⁹⁾. 図11はその結果で⁽⁴⁹⁾, これによって, パスごとに試料を長軸廻りに 90° ずつ同一方向に回転して行う Route Bc が, 最も効率よく等軸状の大角粒界を有する結晶粒に微細化できることを示した. 当時, 福岡教育大学の古川稔助教授(現, 同大学特命教授)の協力のもとに, この Route Bc による効率的な結晶粒微細化は, せん断ひずみが異なる方向から効果的に入ることによって達成されたと解釈した⁽⁵⁰⁾. 現在のところ, 前者の論文の被引用数は1311件, 後者は1031件となっている.

その他の取り組みとして, チャンネル角 Φ の結晶粒微細化に及ぼす影響を調べたことである. チャンネル角 Φ を 90° から 112.5° , 135° , 157.5° と変えたところ, 同量の相当ひずみを加えても, 90° の場合が大角粒界の微細粒組織の形成に最も効果的となった⁽⁵¹⁾. また, 純 Al に Mg を 1% と 3% 添加して固溶元素の結晶粒微細化に及ぼす影響を調べたところ, Mg の添加量が大きいほど結晶粒は微細化した⁽⁵²⁾. 平均結晶粒径は, 純 Al も含めてそれぞれ 1.3 , 0.45 , $0.27 \mu\text{m}$ となり, 固溶元素の添加は結晶粒の超微細化に効果的となった⁽⁵²⁾. これらの論文も比較的引用され, 現在では, それぞれ452件と312件になっている.

このような結晶粒の超微細化が, 巨大ひずみ加工によってどのように実現されるのかそのメカニズムについて調べた.

図12は, 99.99%の純 Al を高圧下でねじり (HPT: High-

Pressure Torsion) 加工し、ひずみ量に応じた硬度変化を測定し、走査電子顕微鏡による電子線後方散乱回折法 (EBSD) で結晶方位の変化を観察したものである⁽⁵³⁾。図中右上に微細粒化モデルを描いている。まずは転位の蓄積から亜結晶粒が形成する。結晶粒界で転位が消滅し粒界角度が大角化する

る。このような大角粒界では転位は消滅し易くなり、転位の増加と消滅がバランスし、ひずみをさらに導入しても、一定の結晶粒径とこれに応じた強度 (硬度) が一定となる定常状態になると考えた。この論文の被引用は現在205件となっている。

(2) 巨大ひずみ加工による高強度化

結晶粒微細化が注目されるのは、ホール・ペッチの関係⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾より、金属材料の効果的な強化手段となるからである。その他、代表的な強化法として、加工 (転位) 強化、固溶強化、析出 (粒子分散) 強化が挙げられる。したがって、金属材料の高強度化を一層図るには、これらの強化機構を同時に利用することが考えられる。しかし、結晶粒微細化強化と析出強化を併用することは、実際には難しい。これは、加工と熱処理による再結晶を利用した結晶粒微細化では、まず固溶原子の過飽和状態を保つことができにくいこと、さらに微細粒を保ちながら粒内析出を狙うことが困難なことによる。巨大ひずみ加工法によれば、合金種や試料状態によらず結晶粒を超微細化することができる。問題は微細粒状態でしかも大量格子欠陥を含むなかで、いかに均一に微細粒子を結晶粒内に析出させることができるかである。筆者はこのような課題に対して、横浜国立大学の廣澤渉一准教授 (現、同大学教授) を代表とした JST 産学共創基礎基盤研究事業のもと、次のような3つの方策で取り組んだ⁽⁵⁶⁾⁻⁽⁵⁸⁾。ひとつは時効温度を下げることで、二つ目は Cu や Ag などの元素を微量添加 (マイクロアロイング) すること、そして三つ目は合金元素を適量添加してスピノーダル分解を活用することである。これより、結晶粒微細化強化と析出強化の両立は、合金種によって難易はあるものの、基本的に実現可能であることを示した⁽⁵⁶⁾⁻⁽⁵⁸⁾。

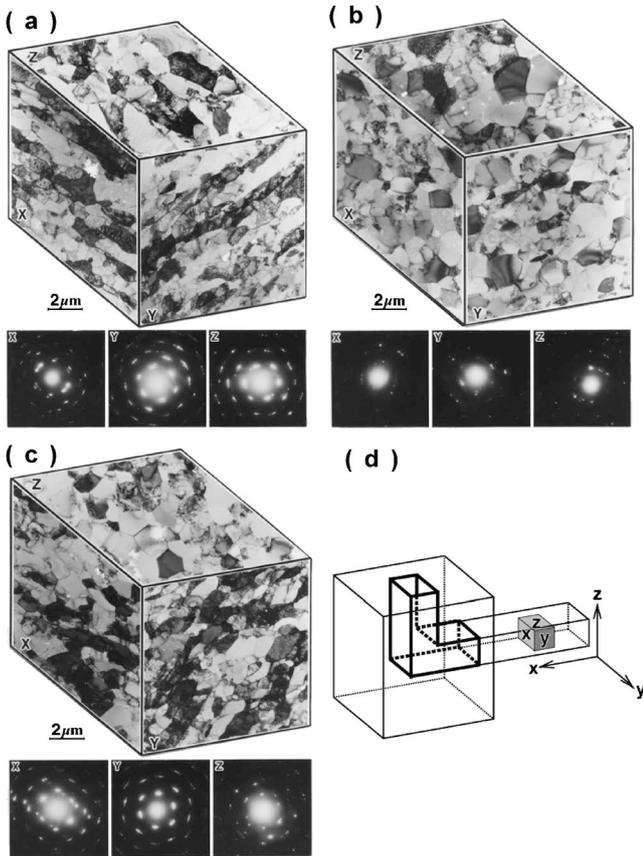


図11 純Al (99.99%) を ECAP 加工で4回プレスした時のTEM組織と各観察面での制限視野回折パターン: (a) Route A (長軸周りに回転なし), (b) Route Bc (長軸周りに90°ずつ同一向きに回転), (c) Route C (長軸周りに180°ずつ回転), (d) 観察面の定義⁽⁴⁹⁾。

図13は代表的な析出強化合金である超ジュラルミン (A2024) を溶体化処理後、高圧下でスライド (HPS: High-Pressure Sliding) 加工し、結晶粒を超微細化 (~130 nm) した後に 423 K で時効した時の硬度変化である⁽⁵⁹⁾。HPS 加工

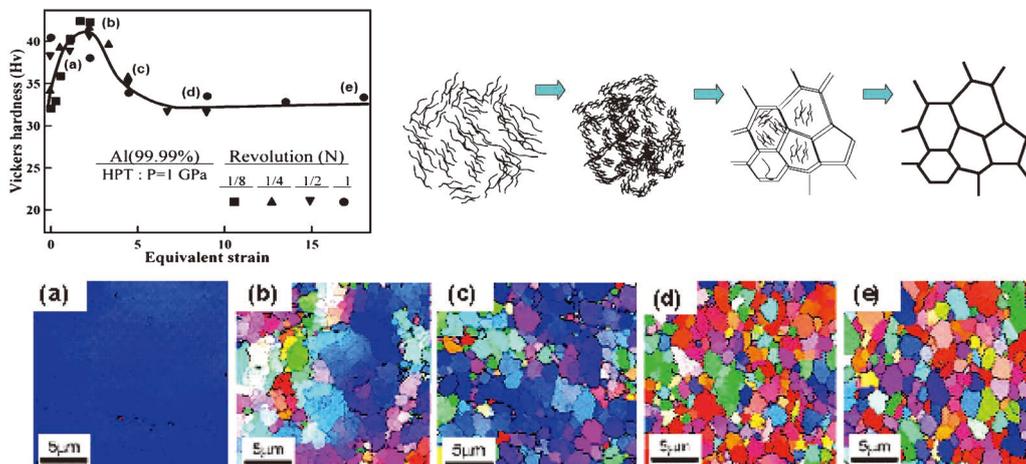


図12 純Al (99.99%) を HPT 加工した時のひずみ導入に伴う硬度変化と結晶粒微細化過程、および (a)-(e) における EBSD による結晶方位像 (下) と微細粒化モデル (右上)⁽⁵³⁾。(オンラインカラー)

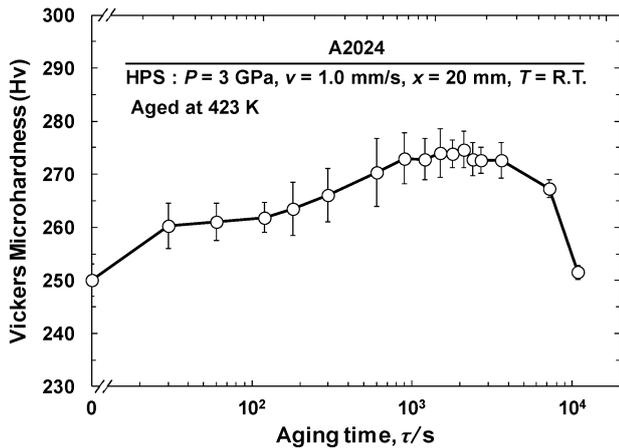


図13 A2024合金を3 GPaでHPS加工した後、423 Kで時効した時の硬度変化⁽³⁰⁾。

でピッカース硬度は250 Hvに上昇し、さらに時効することで274 Hvの最高硬さに達した。TEMで組織観察すると時効後でも平均結晶粒径は130 nmと小さく、加工方向に伸張した超微細粒組織となった。室温での引張試験によれば、引張強度はピーク時効で970 MPaに達した⁽⁵⁹⁾。HPT加工でさらに導入ひずみ量を増やすことで引張強度は1 GPaに達することを確認した⁽⁶⁰⁾。A2024合金は、超々ジュラルミンと呼ばれるA7075合金に次ぐ高強度Al合金である。HPT加工とその後の時効処理により、既存の強度を遥かに超える数値となっており、さらに後述するように超塑性も発現することから、超々々ジュラルミン(いわゆるトリプルスーパージュラルミン)と称した⁽⁶⁰⁾。なお、室温での延性向上についてはMaがまとめた八つの方策があるものの⁽⁶¹⁾、今後の課題となる。

(3) 高ひずみ速度・低温度における超塑性

結晶粒微細化は高強度化に効果的ばかりではなく、高温度で変形すると超塑性現象がしばしば発現することである⁽⁶²⁾。結晶粒がサブミクロンレベルに超微細化すれば、この超塑性の発現は高ひずみ速度で、あるいは低温度で生じることになる⁽⁶³⁾。筆者らは、Al-3 mass % Mg合金に0.2 mass % Scを添加するとAl₃Scの微細粒子が粒界移動をピン止めし、高温度まで微細粒を保つことを観察した⁽⁶⁴⁾。したがって、図14に示すようにECAP加工したAl-3 mass % Mg-0.2 mass % Sc合金は1000%を超える超塑性伸びが発現した⁽⁶⁵⁾。しかも $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ という、いわゆる高ひずみ速度領域⁽⁶⁶⁾で発現した。市販のA2024やA7075の高強度アルミニウム合金でも、HPTやHPS加工することで超塑性現象が発現することを確認した⁽⁶⁷⁾⁻⁽⁶⁹⁾。また、Mg合金⁽⁷⁰⁾⁻⁽⁷⁴⁾、Cu合金⁽⁷⁵⁾⁻⁽⁷⁷⁾、Ti合金⁽⁷⁸⁾⁻⁽⁷⁹⁾、Ni合金⁽⁸⁰⁾⁻⁽⁸⁴⁾など、HPT加工やHPS加工することで、超塑性の発現を確認している。特に、HPT加工したMg-8 mass % Li合金では、水の沸点(373 K)以下でも超塑性が発現し⁽⁸⁵⁾、さらに、導入ひずみ量を多くすることで室温でも超塑性が発現することを確認した⁽⁸⁶⁾。

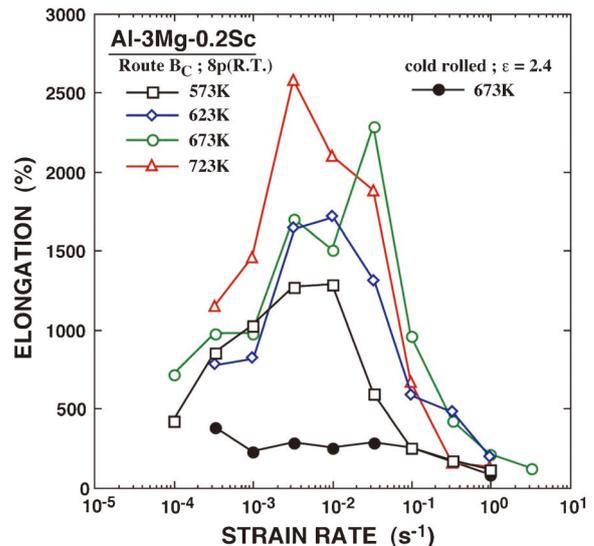


図14 ECAP加工および冷間圧延したAl-3 mass % Mg-0.2 mass % Sc合金の破断伸びと初期ひずみ速度との関係⁽⁶⁵⁾。(オンラインカラー)

(4) 機能性材料の高性能化

巨大ひずみ加工は、機械的特性の向上とともに、機能性の向上にも効果的である。筆者が所属した九州大学では、2010年に世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)に採択され、カーボンニュートラルエネルギー国際研究所(ICNER)が設置された。これより、カーボンニュートラルに直結する研究テーマとして、水素貯蔵合金の高性能化を目指す研究を進めることになった。水素貯蔵合金は、水素を吸収して貯蔵し、必要に応じて取り出すことが可能な合金である。圧縮の気体状態はもちろん、液体や固体状態の水素よりも単位体積当たりの水素量は水素貯蔵合金の方が多くなる⁽⁸⁷⁾。実用的には、室温付近で、大量に、コンパクトでそして迅速かつ安全に、繰り返し水素の吸収・放出が可能であることが望まれる。いろいろな水素貯蔵合金の中でもTiFe合金は身近な金属元素からなり最も安価である。ただし、水素貯蔵合金として活用するには、使用前に約450°Cの高温でしかも30気圧ほどの高圧水素雰囲気曝すという過酷な条件での活性化処理が必要となる。このTiFe合金はB2型構造の金属間化合物できわめて硬い材料であるが、HPTやHPS加工で塑性ひずみを導入することにより、事前の活性化処理をしなくても、水素の吸収・放出が室温で可能になった⁽⁸⁸⁾⁻⁽⁸⁹⁾。図15はHPT加工したTiFeとそうでないTiFeを比較したものである⁽⁹⁰⁾。HPT加工することで、水素化が起こり、しかも繰り返し吸蔵・脱蔵を繰り返した。このTiFe合金は一旦大気中に曝すと、再度活性化処理が必要となるが、HPT加工で巨大ひずみを付与した場合、大気に曝したあとでも活性化処理を要せずに利用できる状態にすることができた⁽⁹⁰⁾。燃料電池自動車には水素補給のためのステーションが必要となる。本開発は安全で安価な水素ステーションの設置に繋がるものと期待している。

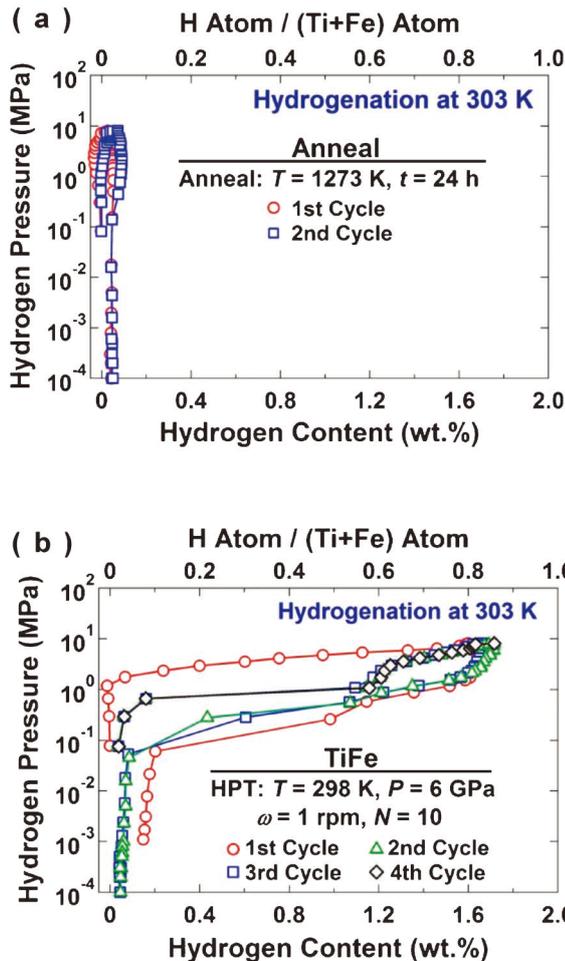


図15 TiFeにおける水素貯蔵特性(水素圧力と水素吸収放出量の関係)：(a)未加工(焼鈍)材，(b)HPT加工材⁽⁹⁰⁾。(オンラインカラー)

一方、燃料電池自動車搭載用としては軽量のMg系合金が注目される。しかし、水素の吸脱反応速度が遅く、300°C以上の高温にしなければならない問題が残る。Niを添加したMg₂Niはこのような問題を緩和するものの、さらに反応温度を下げる必要があるとされており、筆者らはHPT加工によって反応温度を150°C以下にできた⁽⁹¹⁾。当時当研究室助教であったKaveh Edalati氏(現、九大准教授)は、MgZr合金やMg₄NiPd合金にHPT加工することで、室温でも反応可能であることを示した⁽⁹²⁾⁽⁹³⁾。このようにHPT加工は水素貯蔵合金の高性能化に効果的であることが分かったが、これは、TiFe合金の場合もMg系合金の場合も、転位や結晶粒界のような格子欠陥を大量導入することで水素の移動が容易になり、あるいは捕獲サイトになって水素の出し入れに効果的になったためと解釈している⁽⁹⁰⁾⁽⁹¹⁾。

その他機能性材料の向上に対して電気伝導率の向上⁽⁹⁴⁾⁽⁹⁵⁾、超伝導転移温度の上昇⁽⁹⁶⁾、光触媒の高性能化⁽⁹⁷⁾など、を確認している。

(5) 巨大ひずみ加工プロセスの大型化と連続化

巨大ひずみ加工により、材料特性の高性能化が達成できる

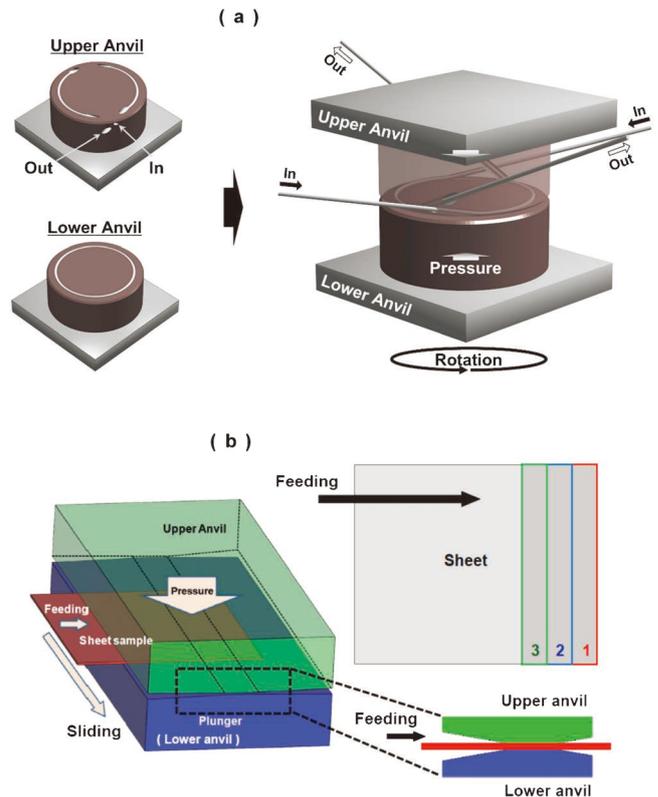


図16 (a)2本のワイヤーを用いた連続HPT加工の模式図⁽¹⁰³⁾。(b)IF-HPS加工法による巨大ひずみ加工領域の大量積化の模式図⁽⁸³⁾⁽⁸⁴⁾。(オンラインカラー)

ことを示した。しかし、実用面からの研究開発は限られており、これからの重要課題である。どこまで試料サイズを大きくできるか、どのくらい迅速にできるかがその要点となる。

ECAP法に対しては、筆者らはこれまでに直径40mmの工業用純アルミニウムA1100丸棒材を加工した⁽⁹⁸⁾。組織や力学特性に関しては直径10mmの通常サイズと変わらないことを確認した⁽⁹⁸⁾。HPT法ではおもに直径10mmの円盤状試料を対象としたが、リング状試料にも適用し⁽⁹⁹⁾、直径100mm、幅3mmまで大きくできた⁽¹⁰⁰⁾。さらにワイヤー状で連続的に利用できることを示し⁽¹⁰¹⁾⁽¹⁰²⁾、最近では、図16(a)に示すように、固定したアンビル内にワイヤー試料の移動路を設け、連続加工が効果的に実施できることを報告した⁽¹⁰³⁾。HPS加工では短冊状試料⁽⁸¹⁾の他に、棒状試料⁽¹⁰⁴⁾⁽¹⁰⁵⁾やパイプ状試料⁽¹⁰⁶⁾にも大量ひずみが導入できることを確認した⁽⁵⁾。さらには長野鍛工(株)の協力のもと、図16(b)に示すように平型アンビルを使用し、加工と試料送りを交互に行うことで、巨大ひずみ加工領域の大量積化を図ることができた⁽⁸³⁾⁽⁸⁴⁾。この方法はIF-HPS(Incremental Feeding HPS)法と呼んでおり、巨大ひずみ領域の大型化や長尺化が、装置の容量を大きくすることなく実現できた⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

(6) 巨大ひずみ加工の今後

前述したように、実用性を目指した巨大ひずみ加工の開発は今後の大きな課題となる。連続HPT加工⁽¹⁰³⁾やIF-HPS

加工⁽⁸³⁾⁽⁸⁴⁾は実用化に近い加工技術として期待するところである。一方では、HPS加工を利用したX線その場観察への展開も図ることができ⁽¹⁰⁷⁾、高圧下で巨大ひずみが導入できるため新たな学術的知見を得る機会が見込まれる。特に高圧下で巨大ひずみを付与することで、相変態を誘起し、しかも常圧化にもたらしることができるなど、特徴的な組織制御が可能になりつつある。

本研究紹介では、主に金属材料を対象にしたが、HPT加工やHPS加工では、高圧下の拘束状態で実施できることから、セラミックス⁽⁹⁷⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹⁰⁹⁾や半導体材料⁽¹¹⁰⁾⁻⁽¹¹³⁾にも適用でき、既存特性の向上や新奇物質の合成など、さらなる展開が期待できる。

この度は、「日本金属学会賞」という大変名誉ある賞をいただくことができました。ご指導いただいた恩師の先生方(吉永日出男九州大学教授, Terence G. Langdon 南カリフォルニア大学教授, 根本實九州大学教授)には深く感謝申し上げます。本受賞は、多くの共同研究者や研究支援者の方々の惜しみないご協力の賜物です。さらに、当研究室を卒業した多くの学生諸君の努力のお蔭です。ここに記して心より感謝申し上げます。

文 献

- (1) R. Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T. G. Langdon, M. J. Zehetbauer and Y. T. Zhu: *Mater. Res. Lett.*, **4**(2016), 1-21.
- (2) K. Edalati, E. Akiba and Z. Horita: *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **19**(2018), 185-193.
- (3) 堀田善治: 學士會報, **930**(2018), 71-76.
- (4) 堀田善治: 軽金属, **68**(2018), 407-417.
- (5) Z. Horita, Y. Tang, T. Masuda and Y. Takizawa: *Mater. Trans.*, **61**(2020), 1177-1190.
- (6) 李谷成道, 唐永鵬, 美藤正樹, 松本要, 村山光宏, 堀田善治: までりあ, **61**(2022), 870-877.
- (7) 瀧沢陽一, 堀田善治: ぶらすとす(日本塑性加工学会会報誌), **5**(2022), 137-142.
- (8) T. Takizawa and Z. Horita: *Mater. Trans.*, **64**(2023), 1364-1375.
- (9) 堀田善治: 軽金属, **73**(2023), 印刷中(DOI: 10.2464/jilm.73.1).
- (10) Z. Horita and K. Edalati: *Mater. Trans.*, **61**(2020), 2241-2247.
- (11) Z. Horita and K. Edalati: *Mater. Trans.*, **64**(2023), 1271.
- (12) 堀田善治, 吉永日出男: 日本金属学会誌, **44**(1980), 1273-1281.
- (13) 吉永日出男, 当摩健, 諸住正太郎: 日本金属学会誌, **39**(1975), 626-634.
- (14) M. Bocek and H. Schneider: *Scr. Metall.*, **4**(1970), 369-374.
- (15) C. N. Ahlquist and W. D. Nix: *Acta Metall.*, **19**(1971), 373-385.
- (16) 菊池潮美, 梶谷幹男, 圓城敏男, 足立正雄: 日本金属学会誌, **37**(1973), 228-234.
- (17) 及川 洪, 前田正昭, 辛島誠一: 日本金属学会誌, **37**(1973), 599-603.
- (18) H. Yoshinaga, Z. Horita and H. Kurishita: *Acta Metall.*, **29**(1981), 1815-1824.
- (19) E. Orowan: *Z. Phys.*, **9**(1934), 614-633.
- (20) Z. Horita, H. Yoshinaga and T.G. Langdon: *Mater. Trans. JIM*, **32**(1991), 339-344.
- (21) Z. Horita and T. G. Langdon: *Scr. Metall.*, **17**(1983), 665-670.
- (22) G. Cliff and G. W. Lorimer: *J. Microsc.*, **103**(1975), 203-207.
- (23) 堀田善治, 佐野毅, 根本實: 日本金属学会会報, **28**(1989), 742-752.
- (24) J. I. Goldstein, J. L. Costley, G. W. Lorimer and S. J. B. Reed: *Scanning Electron Microscopy/1977, Vol. I*, Ed. by O. Johari, IITRI, Chicago, (1977), 315.
- (25) Z. Horita, T. Sano and M. Nemoto: *ISIJ Int.*, **29**(1989), 179-190.
- (26) Z. Horita, T. Sano and M. Nemoto: *J. Electron Microsc.*, **35**(1986), 324-334.
- (27) Z. Horita, T. Sano and M. Nemoto: *Ultramicroscopy*, **21**(1987), 271-276.
- (28) P. Nash and D. R. F. West: *Met. Sci.*, **17**(1983), 192-194.
- (29) D. B. Miracle, K. A. Lark, V. Srinivasan and H. A. Lipsitt: *Metall. Trans. A*, **15**(1984), 481-486.
- (30) Z. Horita, K. Ichitani, T. Sano and M. Nemoto: *Phil. Mag. A*, **59**(1989), 939-952.
- (31) M. Watanabe, Z. Horita and M. Nemoto: *Ultramicroscopy*, **65**(1996), 187-198.
- (32) Z. Horita: *Mater. Trans. JIM*, **39**(1998), 947-958.
- (33) M. Watanabe and D. B. Williams: *J. Microsc.*, **221**(2006), 89-109.
- (34) M. Watanabe, Z. Horita and M. Nemoto: *Proceedings of Microscopy and Microanalysis 1996* (G. W. Bailey, J. M. Corbett, R. V. W. Dimlich, J. R. Michael and N. J. Zaluzec, eds.), San Francisco, Press, San Francisco (1996), 580-581.
- (35) 南埜宣俊, 山根壽巳, 佐治重興, 平尾桂一, 鄭承富, 小平孝: 日本金属学会誌, **58**(1994), 397-403.
- (36) Y. Minamino, H. Yoshida, S. B. Jung, K. Hirao and T. Yamane: *Defect and Diffusion Forum*, **143-147**(1997), 257-262.
- (37) S. V. Divinski, S. T. Frank, U. Sodervall and C. R. Herzog: *Acta Mater.*, **46**(1998), 4369-4380.
- (38) T. Ikeda, A. Almazouzi, H. Numakura, M. Koiwa, W. Sprengel and H. Nakajima: *Acta Mater.*, **46**(1998), 5369-5376.
- (39) L. S. Darken: *Trans. Am. Inst. Min. Eng.*, **175**(1948), 184-201.
- (40) G. S. Manning: *Acta Metall.*, **15**(1967), 817-826.
- (41) 藤原航三, 堀田善治: までりあ, **39**(2000), 507-510.
- (42) K. Fujiwara and Z. Horita: *Acta Mater.*, **50**(2002), 1571-1579.
- (43) H. Numakura, T. Ikeda, M. Koiwa and A. Almazouzi: *Phil. Mag. A*, **77**(1998), 887-909.
- (44) T. Fujita, Z. Horita and T.G. Langdon: *Mater. Sci. Eng.*, **371**(2004), 241-250.
- (45) 藤田武志, 堀田善治: 金属, **74**(2004), 1024-1028.
- (46) V. M. Segal, V. I. Reznikov, A. E. Drobyshevskiy and V. I. Kopylov: *Russian Metall.*, **1**(1981), 99-105.
- (47) 堀田善治, 王経涛, 古川稔, 根本實, R. Z. Valiev, Y. Ma and T. G. Langdon: 日本金属学会会報, **32**(1993), 898-900.
- (48) Y. Iwahashi, J. Wang, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon: *Scr. Mater.*, **35**(1996), 143-146.
- (49) Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon: *Acta Mater.*, **46**(1998), 3317-3331.
- (50) M. Furukawa, Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon: *Mater. Sci. Eng. A*, **257**(1998), 328-332.
- (51) K. Nakashima, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon: *Acta Mater.*, **46**(1998), 1589-1599.
- (52) Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon: *Metall. Mater. Trans. A*, **29**(1998), 2503-2510.
- (53) Y. Ito and Z. Horita: *Mater. Sci. Eng. A*, **503**(2009), 32-36.
- (54) E. O. Hall: *Proc. Ry. Soc. B*, **64**(1951), 747-753.
- (55) N. J. Petch: *J. Iron Steel Inst.*, **174**(1953), 25-28.
- (56) 堀田善治: 公益財団法人軽金属奨学会「60年の足跡と未来への歩み」設立60周年記念特別寄稿, (2015), 46-60.
- (57) 廣澤渉一, 濱岡 巧, 堀田善治, 李昇原, 松田健二, 寺田



先進構造材料の結晶塑性における新展開—ハイエントロピー合金を中心に*

乾 晴 行**

1. はじめに

転位論を基に結晶の塑性変形挙動を理解する「結晶塑性学」という学問分野は、1960~70年代にかけて最盛期を迎えた。結晶構造ごとに変形応力の結晶方位依存性や温度依存性が明らかになり、それを担うすべり系、転位の特徴との関連が次々と解明された。また、加工硬化や固溶硬化、析出硬化についても次々と理論が提案され、「結晶塑性学」という学問分野の大枠がこの時期に構築されたといえる⁽¹⁾。学部の講義で転位論に興味を持ち、「結晶塑性学」の研究室の門をたたいたのは1980年代前半であったが、既にその最盛期は過ぎており、修士課程の2年間を除いて、博士課程修了まで「結晶塑性学」とは関連するものの異なる学問分野の研究に従事した。大学に教員として奉職した頃、幸いにもTiAlをはじめとする新しい構造材料としての金属間化合物が世界的に注目され⁽²⁾、それ以降、「結晶塑性学」の観点から色々な結晶の塑性変形挙動に関する研究を行うことができた。前述の通り1960~70年代にかけて「結晶塑性学」の大枠が構築されているが、特に2000年代以降の電子顕微鏡をはじめとした精密実験機器や第一原理計算などの理論計算手法の発達が目覚しく、原子スケールでの既存理論の検証や新たな理論の提案など「結晶塑性学」に関する新たな知見が次々と追補されている。近年でも脆性材料における室温近傍の低温での変形能の発現を含むミクロンサイズの微小体積での塑性変形機構や塑性異方性の強い材料で見出されるキンク帯形成など新たな展開が見られる。これらに関する解説は別稿⁽³⁾⁽⁴⁾に譲るとして、本稿では、現在、世界的に最も盛んに研究がなさ

れている先進構造材料の一つであるハイエントロピー合金について、最近の筆者の研究成果を中心にその結晶塑性に関する新展開を纏めてみたい。

2. ハイエントロピー合金の強度とその温度依存性

ハイエントロピー合金とは、一般的には、相分離や化合物形成をもたらす混合のエントロピー項Hに比して構成元素の配置のエントロピー項S(1.5R程度; Rは気体定数)の大きな寄与のため安定化された固溶体合金を指す⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。このような大きなエントロピー項は、等原子量合金を考えると構成元素数が5以上で達成される。実際に、CrMnFeCoNi 5元系等原子量合金がFCC単相である事が発見され、その後のFCCハイエントロピー合金研究のプロトタイプ合金となった⁽⁸⁾。その後、サブシステムの4, 3元系等原子量合金が同定され、3~5元系等原子量合金について降伏応力の温度依存性、引張特性などが系統的に調べられた⁽⁹⁾。この中で、Ni基超合金並みの高強度を持ちつつ、金属系材料で最大級の破壊靱性を示すCrCoNi 3元系等原子量合金などが見つかり⁽¹⁰⁾、新規な構造材料としてのハイエントロピー合金研究に火がついた。しかし、これらの研究は多結晶でなされたもので、定性的な傾向は解明されたものの、転位運動のための臨界分解せん断応力(CRSS: Critical Resolved Shear Stress)などを定量的に議論することはできなかった。そのため、3~5元系等原子量合金すべてについて単結晶を作製し、その塑性変形挙動を系統的に調べた。ここでは、CrMnFeCoNi 5元系⁽¹¹⁾、CrFeCoNi 4元系⁽¹²⁾、CrCoNi 3元系⁽¹³⁾等原子量合金単結晶の研究成果を中心に述べるが、他の等原子量合金

* 2024年3月13日、日本金属学会第174回春期講演大会にて講演。

** 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻; 教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
New Perspective and Development in Understanding Crystal Plasticity in Advanced Structural Materials—With Special Reference to High-Entropy Alloys; Haruyuki Inui (Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto)
Keywords: high-entropy alloy, atomic structure, short-range order, strength, ductility, solid-solution strengthening, lattice distortion, dislocation, stacking-fault energy
2023年12月7日受理[doi:10.2320/materia.63.321]

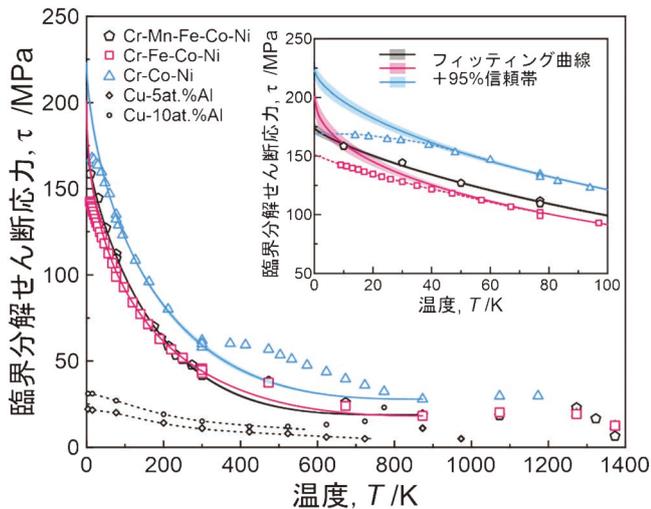


図1 5, 4, 3 元系ハイエントロピー合金の臨界分解せん断応力(CRSS)の温度依存性⁽¹²⁾。(オンラインカラー)

単結晶については文献⁽¹⁴⁾を参照されたい。

図1にCrMnFeCoNi 5元系, CrFeCoNi 4元系, CrCoNi 3元系等原子量合金単結晶のCRSSの温度依存性を示す⁽¹²⁾。いずれも $[123]$ 方位の単結晶に対して $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の歪速度で行った圧縮試験で得られたデータである。活動すべり系は他のFCC合金と同様に $\{111\}\langle 110 \rangle$ である。比較のため, Cu-5at.%AlおよびCu-10at.%Al合金のCRSSの温度依存性も示してある。CRSSは室温以下で温度低下とともに急激に増加し, 室温以上であり強い温度依存性を見せなくなるが, 高温(3種のハイエントロピー合金の場合, 873 K以上)で温度上昇とともに増大し, 小さなピークを示したのち再び低下に転じる。このCRSSの温度依存性は, ハイエントロピー合金に特有のものではなく, Cu-Al合金をはじめ多くのFCC合金で見られる。ハイエントロピー合金の低温でのCRSSの温度依存性はCu-Al合金など普通のFCC合金に比べると非常に強く, 結果として0 Kに外挿したCRSSは桁違いに大きくなる。CRSSの温度依存性の実験データを以下の経験式でフィッティングして0 KのCRSS(τ_0)を求めることができる。

$$\tau(T) = \tau_{\text{ath}} + \tau_{\text{th}} \left[1 - \left(\frac{T}{T_a} \right)^{1/q} \right]^{1/p} \quad (1)$$

ここで τ , T はそれぞれせん断応力, 絶対温度, T_a はそれ以上でCRSSが温度に依存しなくなる非熱的温度(873 Kとした), τ_{ath} は非熱的応力(つまり T_a でのCRSS), τ_{th} は熱的応力, p, q はフィッティング・パラメーターである。ただし, 後述するように77 K以下のCRSSは慣性効果の影響を受けるためフィッティングから除外している。フィッティングの結果を表1に纏めて示す。3種のハイエントロピー合金では, τ_0 はCr濃度の増大とともに増加する。著者らは, 原子半径の異なる多種の構成元素からなるハイエントロピー合金の格子の乱れ(lattice distortion)を簡便に表すパラメータとして, 構成元素位置のFCC格子点からのズレの平均値として

表1 5, 4, 3 元系ハイエントロピー合金のCr濃度(c_{Cr}), 0 KでのCRSS(τ_0), 比熱的温度(T_a), フィッティング・パラメーター($1/p, 1/q$)⁽¹²⁾。

	c_{Cr}	τ_0 (MPa)	T_a (K)	$1/q$	$1/p$
Cr-Mn-Fe-Co-Ni	0.20	174	873	0.82	3.56
Cr-Fe-Co-Ni	0.25	200	873	0.50	2.20
Cr-Co-Ni	0.33	225	873	0.66	2.66

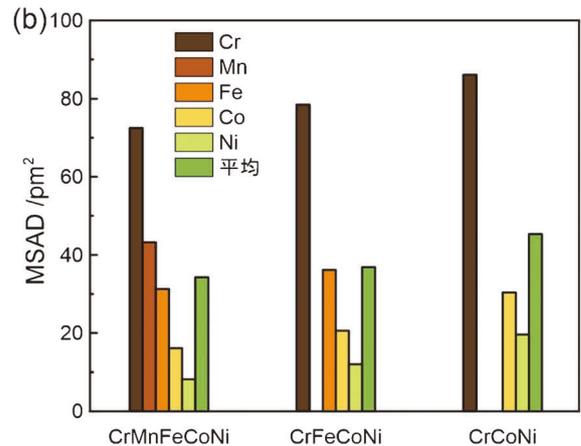
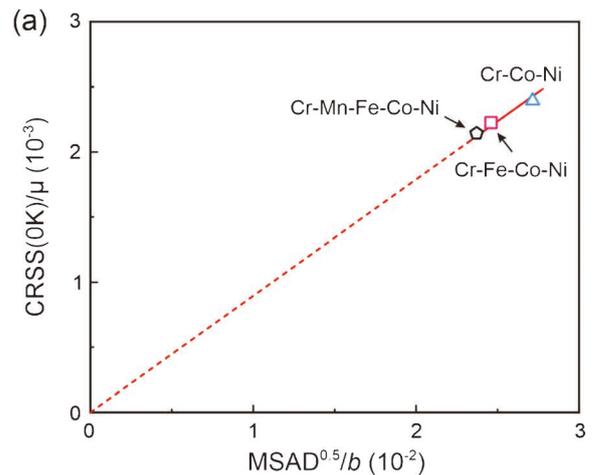


図2 5, 4, 3 元系ハイエントロピー合金の(a)0 KでのCRSSのMSAD依存性と(b)各合金の構成元素ごと及び平均MSAD⁽¹²⁾。(オンラインカラー)

平均原子変位(MSAD: Mean Square Atomic Displacement)を提案し, 強度と線形関係があることをハイエントロピー合金多結晶について示したが⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁷⁾, 3種のハイエントロピー合金単結晶の τ_0 もMSADと線形関係があり(図2(a)), MSADが種々のハイエントロピー合金の τ_0 を予測・記述できることが分かる。ハイエントロピー合金の τ_0 を増加させるのにCrが最も効果的であるのは, 構成元素中でCrの原子半径が最も大きく, 元素別のMSADでも最大であることに起因する(図2(b))⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁷⁾。なお, MSADが構成元素の原子サイズミスフィットとその濃度の積の総和と等価であることが理論的にも示されている⁽¹⁸⁾。構成元素の原子サイズおよび剛性率ミスフィットを用いてハイエントロピー合金

の強度を表現するモデルが Curtin ら⁽¹⁹⁾, Toda-Caraballo ら⁽²⁰⁾により提案されており, その妥当性についても議論されている. 興味のある読者は文献⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾を参照されたい. 図1のCRSSの温度依存性のフィッティングに話を戻すと, CrFeCoNi 4元系ハイエントロピー合金のCRSSは, 0 KではCrMnFeCoNi 5元系ハイエントロピー合金のそれよりも大きい, 室温ではわずかではあるが逆転している. 即ち, CrFeCoNi 4元系ハイエントロピー合金の方が, $(1/p)$ 値が小さく, 強いCRSSの温度依存性を示すことが分かる. 勿論, 両合金について Basinski らが提案した固溶体合金の77 Kと室温のCRSSに関する Stress Equivalence の概念⁽²¹⁾は成立するが, 対数プロットでの誤差も少なからずあり, 「固溶強化が単一の機構によって支配される」との記述の厳密性には大きな疑問が残る. このような例外もあるが, CrMnFeCoNi 5元系およびその派生4, 3元系等原子量合金単結晶では, 一般論として, Crを含むハイエントロピー合金はより強いCRSSの温度依存性を示し, $(1/p)$ 値は小さい⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾.

室温以下の低温でCRSSは強い温度依存性を示すが, いずれの合金も77 K以下の低温ではCRSSの温度依存性が緩慢になるのが分かる. これは古くから知られている慣性効果によるもので, 溶質元素濃度の増加とともに顕著さを失い, 高濃度合金では消滅するとされていた従来の常識を打ち破るものである⁽¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾. 慣性効果による強度の低減は図1の3種のハイエントロピー合金ではCr濃度の増加とともに大きくなり, CrCoNi 3元系ハイエントロピー合金で最大となる. MnもCr同様に構成元素の中では大きな原子半径を持つが慣性効果の発現には支配的な役割を果たしていない. 文献⁽¹⁴⁾では, 転位運動に関する慣性効果をフォノンドラッグによるものとして論じ, Crが慣性効果の発現に支配的な役割を果たす説明を行っている.

高温でCRSSが小さなピークを示す温度領域では, ハイエントロピー合金でも応力-歪み曲線にセレーションが現れ, 運動転位と溶質原子の相互作用によるポートヴァン・ルシャトリエ効果によるものである. この高温でのCRSSのピークの大きさは, 図1の3種のハイエントロピー合金ではCrMnFeCoNi 5元系で最大であり, これと一致してCrMnFeCoNi 5元系およびその派生4, 3元系等原子量合金単結晶では, Mn(+Fe)濃度の増加とともに大きくなる⁽¹⁴⁾. Mnが最も速い拡散を示す元素である⁽²⁴⁾ことを考慮すると, ハイエントロピー合金ではどの構成元素がポートヴァン・ルシャトリエ効果を引き起こすかは, 転位との相互作用力の大きさというより, 元素の拡散速度の大きさが支配的な因子となることを示すものである.

3. ハイエントロピー合金の積層欠陥エネルギーと引張延性

FCC金属・合金の引張延性は積層欠陥エネルギーと強く相関することが古くから知られている⁽¹⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾. ハイエント

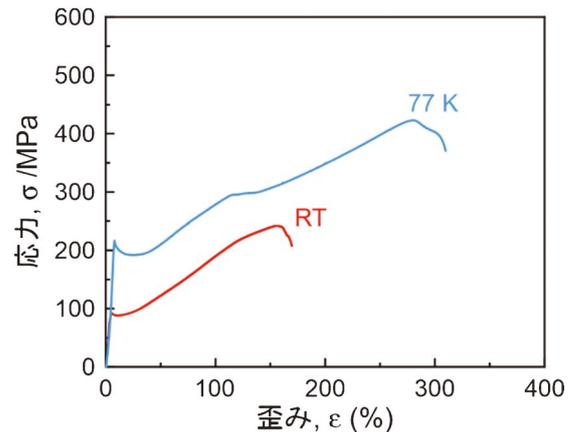


図3 CrFeCoNi 4元系ハイエントロピー合金単結晶([123]方位)の室温及び77 Kにおける引張応力-歪み曲線⁽¹²⁾. 矢印は図4の組織観察を行ったひずり量を示す.(オンラインカラー)

ロピー合金も例外ではなく, 他のFCC合金と同様に積層欠陥エネルギーが引張延性を支配する因子となる. 図3にCrFeCoNi 4元系ハイエントロピー合金の室温及び77 Kにおける引張試験で得られた応力-歪み曲線を示す⁽¹²⁾. いずれも[123]方位の単結晶に対して $1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の歪速度で引張試験を行った. 室温, 77 Kのいずれの温度でも, 降伏点降下を伴う降伏が起こり, 加工硬化が顕著でないステージIを経て, 直線硬化が起こるステージIIへと移行する. 室温から77 Kに変形温度が低下すると, 圧縮変形の場合と同様に0.2%耐力として定義する降伏応力は2倍程度増加する. また, 降伏点降下も大きくなり, ステージIの長さも長くなる. 多くのFCC合金では, 殆どの場合, ステージIは僅かとも言えども加工硬化が生じるが, ハイエントロピー合金ではCrFeCoNi 4元系に限らず, 多くの場合, 下に凸の放物線を描く. この応力-歪み曲線上の特徴の起源は未だ説明されていない. 直線硬化域ステージIIの加工硬化率は殆ど温度に依存せず, 室温ではネッキング・破断へと繋がるが, 77 Kでは共役系の変形双晶がリューダース変形の形態で生じ(図4), 結果として室温よりも大きな引張延性を生じる. より低温で変形双晶が生じやすい, 変形双晶が発生するには相当量の主すべりによる変形量が必要であるなどの特徴は, 多くのFCC合金での報告と一致する⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾. CrMnFeCoNi 5元系, CrCoNi 3元系ハイエントロピー合金多結晶でも, 室温より77 Kでの引張延性が高く, 低温で導入される変形双晶による動的Hall-Petch効果すなわちTWIP効果のためとされている⁽⁹⁾⁽²⁷⁾.

FCC合金では, 合金組成の関数として積層欠陥エネルギーを表す試みが古くからなされてきた. 積層欠陥エネルギーが予測できれば, 引張延性など力学特性の予測が可能となるからである. 今日では, 多元系の高濃度合金でも第一原理計算などにより積層欠陥エネルギーの算出が可能である. 実験から積層欠陥エネルギーを求める方法にも種々あるが, 電子顕微鏡法により転位の分解幅を求めて弾性論計算から積層欠

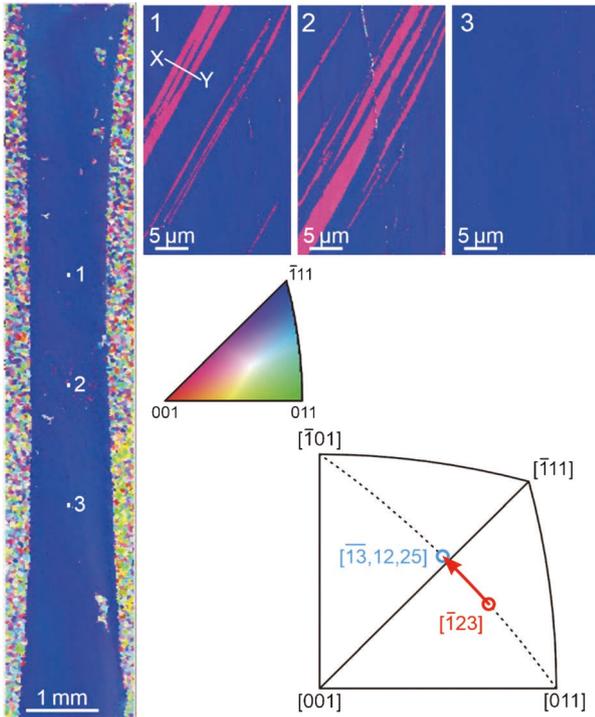


図4 CrFeCoNi 4 元系ハイエントロピー合金単結晶([112]方位)の77 Kにおける引張試験で観察された変形組織⁽¹²⁾. (オンラインカラー)

陥エネルギーを求めるのが最も直接的である⁽²⁸⁾. 多くの場合, 観察が室温で行われるため, 求める事ができる積層欠陥エネルギーは変形温度によらず室温のものとなる. Cu や Ag 合金の場合, 周期表の右側に配列する元素を添加すると1原子あたりの電子濃度の増加とともに積層欠陥エネルギーが単調に減少する事が知られている⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾. CrMnFeCoNi 5 元系およびその派生 4, 3 元系ハイエントロピー合金の場合, 個々の構成元素に電子濃度をあてがうのが困難なため, 価電子濃度 (VEC: Valence Electron Concentration) を代用して種々の組成の CrMnFeCoNi 5 元系ハイエントロピー合金で積層欠陥エネルギーの組成依存性を調査したが, 平均価電子濃度との相関はあまり高くない⁽³¹⁾ (図 5(a)). これは, Cu や Ag 合金に周期表の左側に配列する元素を添加した場合, 積層欠陥エネルギーの組成依存性が非常に複雑になることに対応するものと考えられる⁽³⁰⁾. 結果的には, 得られた積層欠陥エネルギーを合金組成で回帰分析する (図 5(b)) ことにより以下のような積層欠陥エネルギーの組成依存性を表す式が得られた⁽³¹⁾.

$$SFE(mJ/m^2) = -0.78c_{Cr} + 0.91c_{Mn} - 0.43c_{Fe} - 0.15c_{Co} + 2.19c_{Ni} \quad (2)$$

c_i ($i = Cr, Mn, Fe, Co, Ni$) は構成元素の濃度 (at%) を表す. この式は理論的に導かれたものではないが, CrMnFeCoNi 5 元系のみならず, その派生 4, 3 元系ハイエントロピー合金の積層欠陥エネルギーの組成依存性もかなりの精度で表すことができる⁽³¹⁾. Cr と Co, 中でも Cr が積層欠陥エネルギーを低下させるのに最も効果的な元素であることが分かる.

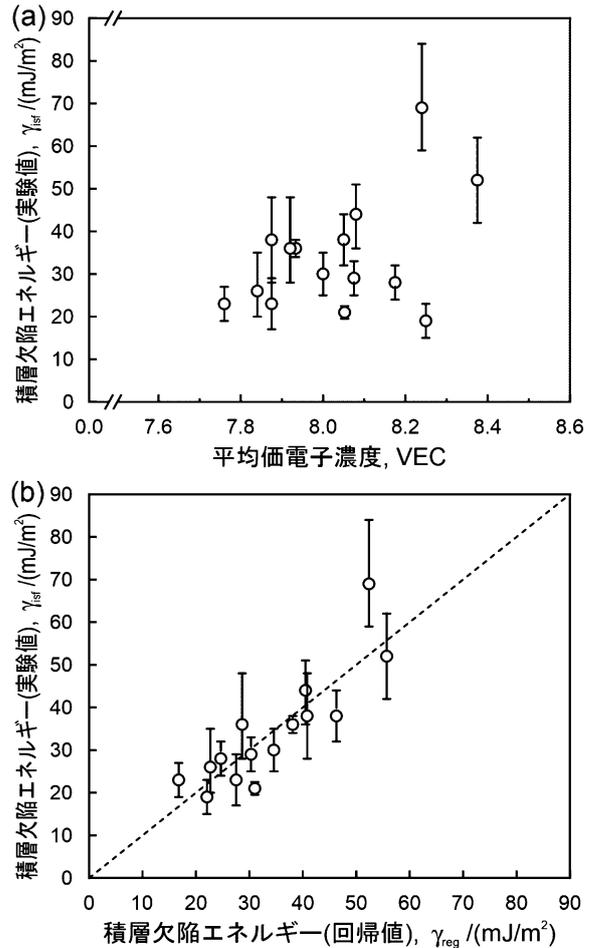


図5 CrMnFeCoNi 5 元系ハイエントロピー合金の積層欠陥エネルギーの (a) 平均 VEC 依存性と (b) 組成に関する回帰分析⁽³¹⁾.

FCC 合金では, 双晶変形を開始する応力 (以下, 双晶応力と省略) は積層欠陥エネルギーの増加とともに増大すると考えられてきた⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾ (図 6). 特に, Venables⁽²⁵⁾ による結論は, FCC 合金における変形双晶研究の黎明期に下されたもので, 色々な研究グループによる色々な手法の研究結果 (多くの場合, 結晶粒径なども揃っていない多結晶データ) を纏めたものであることに留意が必要である. 先に述べたように, FCC 合金で変形双晶が発生するには相当量のすべりによる変形量が必要であり, 単結晶を使った実験でも, 変形双晶が発生する直前のすべりによる変形量は, 試料の種類 (積層欠陥エネルギー) だけではなく, 変形温度, 初期結晶方位によっても大きく異なる. また, 変形双晶が発生するモード (共役系あるいは主すべり系) も異なる場合が頻繁に生じる⁽¹¹⁾⁻⁽¹³⁾. CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金の場合, 同一の変形温度でも初期結晶方位を変化させれば双晶応力は 2 倍以上変化する⁽¹³⁾. このことは, 双晶応力はそれまでの変形履歴を含めて決定されるものであり, 積層欠陥エネルギーのような単一の材料パラメータのみで記述できるものではないことを示唆する. にも拘らず, 5, 4, 3 元系ハイエントロピー合金の双晶応力を, 同一変形温度 (77 K), 同一初期結

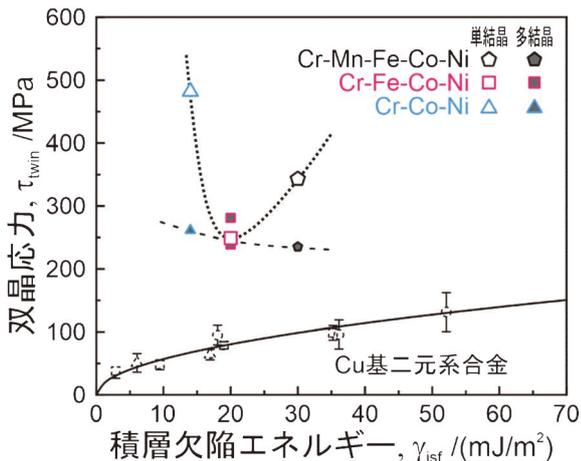


図6 ハイエントロピー合金の双晶応力の積層欠陥エネルギー依存性⁽¹²⁾。(オンラインカラー)

晶方位([1̄23]方位)での引張変形で得られた結果をもとに論じてみたい。いずれの場合も、共役系で変形双晶が生じている。双晶応力を積層欠陥エネルギーの関数としてプロットすると、双晶応力が積層欠陥エネルギーの増加に対して単調に増加するというのではなく、20 mJ/m²程度の積層欠陥エネルギー(CrFeCoNi 4 元系ハイエントロピー合金に対応)で極小値を示すことが判る⁽¹²⁾(図6)。つまり、これより小さな積層欠陥エネルギーでは、その増大とともに双晶応力は減少することになる。さらに詳細な調査が必要であるが、双晶の厚さ方向の成長における分解転位の収縮過程が関与し、この応力成分が積層欠陥エネルギーに逆比例することによると推定されている⁽¹²⁾。近年、ハイエントロピー合金多結晶でも同様の報告がなされている⁽³²⁾⁽³³⁾。

4. ハイエントロピー合金の短範囲規則化と力学特性

ハイエントロピー合金は、構成元素の配置のエントロピー項の大きな寄与により安定化された固溶体であるが、混合に関するエンタルピー項は構成元素の組み合わせにより異なり、このエンタルピー項の寄与により原子配列は、完全なランダム構造から偏倚し、何らかの短範囲規則構造を持つと考えられる。これは、ハイエントロピー合金に特有の話ではなく、通常の FCC 合金でも起こり、長年、その原子構造およびその力学特性に及ぼす影響が議論されてきた⁽³⁴⁾⁻⁽³⁶⁾。完全なランダム構造と比較すると、短範囲規則構造では強固な原子間の結合がより多く形成されていると考えられるため、その結合を切るためより多くの応力が必要となる、すなわち、不規則状態と比較して短範囲規則化によるすべり面上の単位面積当たりのエネルギーの増大、転位のバーガースベクトルをそれぞれ γ_{SRO} 、 b と表せば、短範囲規則化により γ_{SRO}/b の硬化が生じると多くの教科書に記述されている(例えば文献⁽¹⁾⁽²²⁾)。近年、これと合致する結果が CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金で見出され、所謂、ハイ・インパクト雑誌に掲載されたため⁽³⁷⁾、「単純な熱処理により短範囲規

則構造を調整するだけで合金強度を大きく増大できる」との趣旨で、短範囲規則化が学術的な大混乱を伴って世界のハイエントロピー合金研究の主要なテーマの一つとなった。この研究グループによれば、CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金多結晶を1000°Cで熱処理して炉冷すれば、短範囲規則化により積層欠陥エネルギーは24 mJ/m²へと3倍増加し、降伏応力も24%もの増大を示す⁽³⁷⁾。また、短範囲規則化は<111>方向に伸びたストリークとして電子回折で観察される⁽³⁷⁾。これに追従する形で、CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金あるいは他のハイエントロピー合金で、短範囲規則化により強度が大きく増大する、あるいは、その可能性があるという多くの実験・理論研究の成果が報告された。しかし、大半の実験研究の論文には、短範囲規則化が起こったことを示す確たる証拠は無く、電子回折で1/2{311}あるいは1/3{422}位置に現れる散漫散乱をその証拠とする報告が散見された⁽³⁸⁾⁻⁽⁴²⁾。ところが、Cr, Co, Niの原子散乱因子の差は非常に小さく通常のX線や電子回折で短範囲規則化の証拠を見出すのは非常に困難で、1/2{311}、1/3{422}位置の散漫散乱も薄膜効果による第1ラウエゾーンの{111}反射のスパイクによるもので、短範囲規則化とは無関係である⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾。興味深いことに、<111>方向に伸びたストリークをCrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金の短範囲規則化の証拠としていた研究グループは、後にこれを自ら否定し⁽⁴⁵⁾、1/2{311}位置の散漫散乱がその証拠であると新たに提案するが⁽⁴²⁾、さらにこれも自ら否定している⁽⁴⁶⁾。結局、現状では、CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金の短範囲規則化の証拠は通常のX線や電子回折では得られておらず、その原子配列も実験的には解明されていない。

古くから FCC 合金の短範囲規則化の実験研究は、X線や電子回折のみならず電気抵抗測定を通して行われてきた⁽⁴⁷⁾。電抵抗測定からCrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金の短範囲規則化は873 K以下で起こり、673 Kでピークを示す(図7(a))ことが解明された⁽⁴³⁾。ギブスの自由エネルギーの表式からも明らかのように、短範囲規則度は低温ほど高いが、原子拡散が下限値、すなわち、ピーク温度を決定する。先述の研究グループは、最近、ナノインデンテーションにおけるポップ・イン荷重の焼鈍温度依存性から短範囲規則化のピーク温度を1173 Kとしているが⁽⁴²⁾、ピーク温度が原子拡散により決定されるとするならば、あまりに高温である。[1̄23]方位のCrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金単結晶を用いて、室温あるいは77 Kで圧縮試験により降伏応力(CRSS)に及ぼす焼鈍温度(168時間の等時焼鈍)の効果を調べた結果を図7(b)に示す⁽⁴³⁾。短範囲規則度は673 Kでピークを示しているはずである。1473 Kからの水冷材と比べると、1273 Kから炉冷しても、短範囲規則度を増大させる熱処理をしても、降伏応力(CRSS)は殆ど変化を受けることは無い⁽⁴³⁾。勿論、転位の分解幅から見積もる積層欠陥エネルギーにも殆ど変化は無い⁽⁴³⁾。このような著者らの結果が報告された後、ハイエントロピー合金の強度に短範囲規則度の変化は殆ど影響しないとの報告が相次ぎ⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾、ハイエント

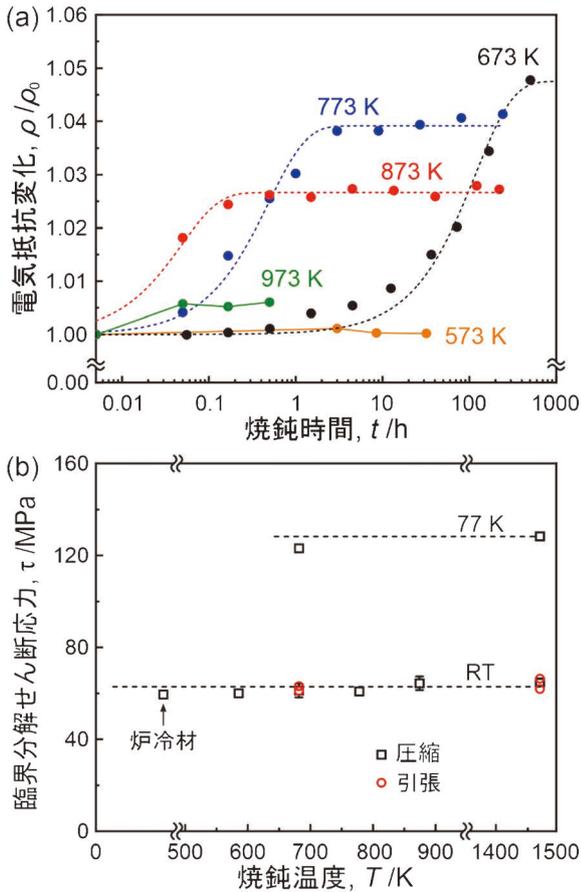


図7 CrCoNi 3 元系ハイエントロピー合金の等時焼鈍による (a)電気抵抗変化と(b)室温及び77 KでのCRSSの変化⁽⁴³⁾。(オンラインカラー)

ロピー合金の強度に及ぼす短範囲規則化の影響に関する大混乱は収束に向かってるように思われる。更に興味深いことに、短範囲規則化により24%もの強度の増加があると報告した先述の研究グループは、その後、ハイエントロピー合金バルク材の強度に短範囲規則化が影響することは無いと、自らを否定した⁽⁴²⁾。結果的に、この研究グループは、ハイ・インパクト雑誌に報告したCrCoNi 3元系ハイエントロピー合金の短範囲規則化の電子回折による証明、24%もの降伏強度の増加のいずれも自ら否定することとなった。

短範囲規則化により強固な原子間結合がより多く形成されていると考えられるため、 γ_{SRO}/b の硬化が生じると教科書には記述されているが、これはすべり面を通過する最初の2, 3本の転位についての話であり、降伏が多数の転位が運動してはじめて計測されることを考えれば、その時点ですべり面は既に不規則化しているはずである。また、少なくともハイエントロピー合金のように短範囲規則化が均一に起こる場合、短範囲規則化による原子配列の変化のスケールは、転位が線張力に抗して曲がるスケールに比べてあまりに小さく、転位はその運動に際して原子配列の変化を感じていないのではないかと考えている。更なる実証が必要であることは言うまでもない。

5. おわりに

本稿では、現在、世界的に最も盛んに研究がなされている先進構造材料の一つであるハイエントロピー合金について、最近の筆者の研究成果を中心にその結晶塑性に関する新展開を述べた。「結晶塑性」は古くに確立された学術体系であるが、本稿に記したように、格子の乱れの程度に着目した固溶体の強度の記述方法、変形双晶の活動応力の異なる積層欠陥エネルギー依存性、短範囲規則化による原子構造の変化とその力学特性への影響など、これまで教科書に記述されていた常識とは異なる研究結果もまだまだ多数見出される可能性が高い。しかし、本稿でも取り上げたが、「熱処理により原子配列を調整し強度を飛躍的に増大させた」などで、学術的な裏打ちも殆ど無く出版される論文が多いように感じている。新しい事実を発見したとき、「転位論」や「結晶塑性」の知識を用いてその理解・解明ができれば、更に力学特性を向上させることも可能になるだろう。学術は日進月歩で進化しているが、確立された学術体系を維持・強化することも真の学術の進歩に大変重要と思われる。結晶塑性に関する研究がさらに活発になることを願うばかりである。

本稿は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「ハイエントロピー合金：元素の多様性と不均一性に基づく新しい材料の物理」のもとに行われた研究成果の一部を纏めたものであり、京都大学岸田恭輔教授、陳正昊助教、李楽博士をはじめとする多くの研究者、学生諸君との共同研究の成果によるものであり、心より感謝申し上げます。

文 献

- (1) 角野浩二(編)：結晶の塑性，丸善(1977)。
- (2) M. Yamaguchi, H. Inui and K. Ito: *Acta Mater.*, **48**(2000), 307.
- (3) K. Kishida, Y. Shinkai and H. Inui: *Acta Mater.*, **187**(2020), 19–28.
- (4) M. Higashi, S. Momono, K. Kishida, N.L. Okamoto and H. Inui: *Acta Mater.*, **161**(2018), 161–170.
- (5) E.P. George, D. Raabe and R.O. Ritchie: *Nature Rev. Mater.*, **4**(2019), 515.
- (6) H. Inui, K. Kishida, L. Li, A.M. Manzoni, S. Haas and U. Glatzel: *MRS Bull.*, **47**(2022), 168.
- (7) H. Inui, K. Kishida and Z.H. Chen: *Mater. Trans.*, **63**(2022), 394–401.
- (8) B. Cantor, I. Chang, P. Knight and A. Vincent: *Mater. Sci. Eng. A*, **375**(2004), 213.
- (9) Z. Wu, H. Bei, G.M. Pharr and E.P. George: *Acta Mater.*, **81**(2014), 428–441.
- (10) B. Gludovatz, A. Hohenwarter, D. Catoor, E.H. Chang, E.P. George and R.O. Ritchie: *Science*, **345**(2014), 1153.
- (11) M. Kawamura, M. Asakura, N.L. Okamoto, K. Kishida, H. Inui and E.P. George: *Acta Mater.*, **203**(2021), 116454.
- (12) L.Li, Z.H. Chen, K. Yuge, K.Kishida, H. Inui, M. Heilmaier and E.P. George: *Int. J. Plasticity*, **169**(2023), 103732.
- (13) L.Li, Z.H. Chen, S. Kuroiwa, M. Ito, K.Kishida, H. Inui and E.P. George: *Int. J. Plasticity*, **148**(2022), 103144.
- (14) L. Li, Z.H. Chen, S. Tei, Y. Matsuo, R. Chiba, K. Yuge, H. Inui and E.P. George: 投稿中。

有限要素解析と実験を併用した自動車用 マルチマテリアル部材の腐食解析

門 脇 万里子*

1. 緒 言

自動車産業分野では、二酸化炭素の排出量を抑制するための燃費の向上が急務とされており、そのための一つの方針として車体の軽量化に注目が集まっている。鉄鋼材料などの重いが強度に優れる材料と、軽量材料を適所に応じて組み合わせて使用する「マルチマテリアル化」は車体の軽量化を実現するための有効な手法である⁽¹⁾⁻⁽³⁾。様々な軽量材料の中でも特に、アルミニウム合金は安価かつ比強度に優れることから、車体への適用が最も期待される材料の一つである⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾。しかし、鉄鋼材料とアルミニウム合金が共存すると、腐食が進行しやすくなることが課題である。

図1はアルミニウム合金と鉄鋼材料の共存部で生じる腐食現象の模式図である。腐食は電子を放出するアノード反応と

電子を消費するカソード反応の組み合わせで進行する。アルミニウム合金と鉄鋼材料が腐食環境中で共存すると、主にアルミニウム合金上でアノード反応が、鉄鋼材料上でカソード反応が生じる“ガルバニック腐食(異種金属接触腐食)”が進行する⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾。さらに、アノード反応とカソード反応の両方が鉄鋼材料上で生じる“鉄鋼材料の自己腐食”も同時に進行する場合があることが知られている⁽¹¹⁾。実験による腐食評価では、これら二つの腐食現象を同時に解析することが難しいため、アルミニウム合金および鉄鋼材料それぞれの腐食量を正確に把握することが困難とされてきた。

そのような異種材料共存部の腐食解析について、有限要素法による数値シミュレーションの活用は非常に有効である。有限要素法とは、解析対象を有限個の微小要素に分割し、支配方程式を各要素内で近似的に解く数値解析の手法である⁽¹²⁾。アルミニウム合金/鉄鋼材料の共存部の腐食解析に適用した場合、それぞれの材料上での腐食による電位・電流値を算出することや、pHや化学種濃度の空間的な分布を求めることが可能であり⁽¹³⁾⁻⁽¹⁷⁾、そのデータを基にするとガルバニック腐食挙動および自己腐食挙動を同時に、かつ定量的に推定することができる。本稿ではそのような有限要素法を活用したアルミニウム合金/鉄鋼材料共存部での腐食解析結果について、著者らの研究成果を中心に紹介する。

2. 有限要素法によるシミュレーションモデルの構築

AA6016 アルミニウム合金とSM490 炭素鋼の突き合わせ構造について、有限要素法により腐食挙動を解析した研究例を紹介する⁽¹⁸⁾。この研究ではソフトウェアとしてCOM-SOL Multiphysicsを使用している。図2は解析に用いたシ

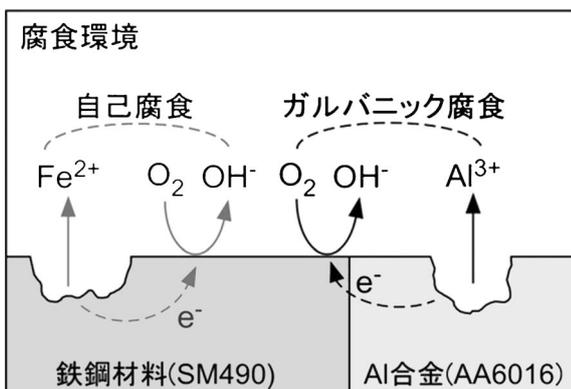


図1 アルミニウム合金と鉄鋼材料の共存部での腐食挙動。

* 国立研究開発法人 物質・材料研究機構；主任研究員(〒305-0047 つくば市千現 1-2-1)
Corrosion Analysis of Automotive Multi-material Components Using Finite Element Method and Experimental Data; Mariko Kadowaki (National Institute for Materials Science, Tsukuba)
Keywords: corrosion, aluminium alloy, steel, finite element method, electrochemical measurement, localized corrosion, rust
2024年2月2日受理[doi:10.2320/materia.63.328]

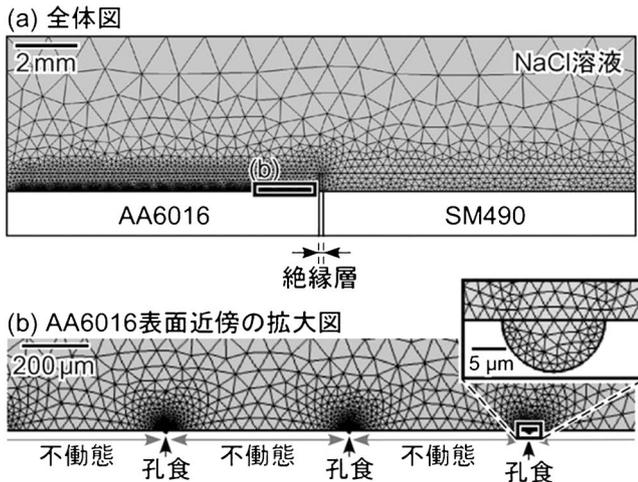


図2 有限要素解析の計算モデル：(a)全体像および(b) AA6016表面近傍の拡大画像⁽¹⁸⁾。

ミュレーションモデルの模式図である⁽¹⁸⁾。このモデルでは幅 10 mm の AA6016 板と SM490 板が厚さ 100 µm の絶縁層を介して隣り合っており、その上に厚さ 10 mm の NaCl 溶液層が存在する状況を想定している。解析対象となるのは NaCl 溶液層で起こる物理化学現象(腐食現象)であり、この解析対象の領域を微小な三角形要素に分割している。

有限要素法を異種金属共存部の腐食解析に使用するにあたり、(1)腐食部の形態情報、(2)計算に使用する支配方程式、および(3)電気化学反応とその境界条件を適切に設定する必要がある。まず、腐食部の形態情報について、一般的に Al 合金は金属組織中に多数の金属間化合物を含有しており⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾、NaCl 溶液中での主要な腐食形態は金属間化合物を起点とする孔食(材料表面に孔状の侵食が生じ、その孔が起点となり局部的に腐食が進行する現象)であることが知られている⁽²¹⁾⁻⁽²⁵⁾。この知見に基づき、図2のシミュレーションモデルにおいても AA6016 表面は孔食部と不動態部(孔食が発生していない領域)から構成している(図2(b)参照)。孔食部の直径は約 15 µm で、これは実験値を基に設定した値である。AA6016 全体に占める孔食部の面積率についても、実測値と合致するように設定している。

次に支配方程式について、まず溶液中の化学種輸送を定義する方程式として下記の Nernst-Plank の式を使用している。

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \nabla \cdot (-D_i \nabla c_i - z_i u_{m,i} F c_i \nabla \Phi_i + c_i u) = 0 \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 F はファラデー定数、 D_i 、 c_i 、 z_i 、および $u_{m,i}$ は化学種 i の拡散係数、濃度、価数、および移動度である。 Φ_i は電解質電位であり、下記の式(2)から導出される。溶液中での電位勾配を定義する支配方程式として、下記の Laplace の式を用いている。

$$i_l = \sigma_l \nabla \Phi_l \quad (2)$$

ここで、 σ_l は溶液の導電率である。

次に電気化学反応に関する境界条件について、この研究では、SM490 表面で生じる電気化学反応として Fe の溶解反応(アノード反応： $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$)と溶存 O_2 の還元反応

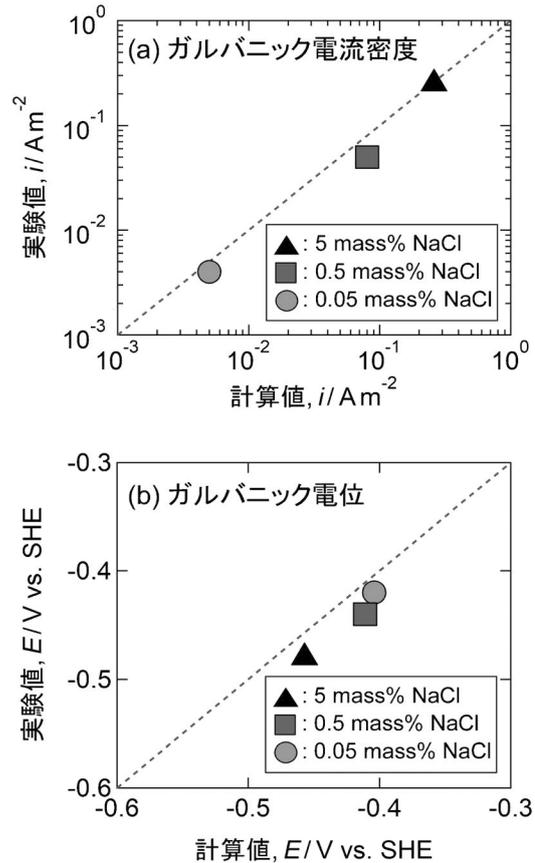


図3 計算値と実験値の整合性の検証：(a)ガルバニック電流および(b)ガルバニック電位の比較⁽¹⁸⁾。

(カソード反応： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$)を、AA6016 表面で生じる電気化学反応として Al の溶解反応(アノード反応： $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e^-$)と溶存 O_2 の還元反応(カソード反応： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$)を定義している。これらの電気化学反応速度に関する境界条件として、反応の電流-電位依存性を設定する必要がある。それについては、実験で測定した分極曲線を基に設定している⁽¹⁸⁾。

上述の手順で構築したシミュレーションモデルについて、得られる計算結果の妥当性を確認するため、様々な濃度の NaCl 溶液中での AA6016/SM490 間のガルバニック腐食により生じる電流値(以降は“ガルバニック電流”と呼称)と電位(以降は“ガルバニック電位”と呼称)を算出し、実測値と比較した結果を図3に示す⁽¹⁸⁾。ガルバニック電流とガルバニック電位の両方について、シミュレーションで得られた計算値は実験値とはほぼ一致している。すなわち、このシミュレーションモデルを用いることで、現実の腐食挙動を高精度に再現・解析することが可能であると言える。

3. 有限要素法によるガルバニック腐食および自己腐食挙動の解析

緒言で述べたように実験による解析では、アルミニウム合金/鉄鋼材料のガルバニック腐食挙動と鉄鋼材料の自己腐食

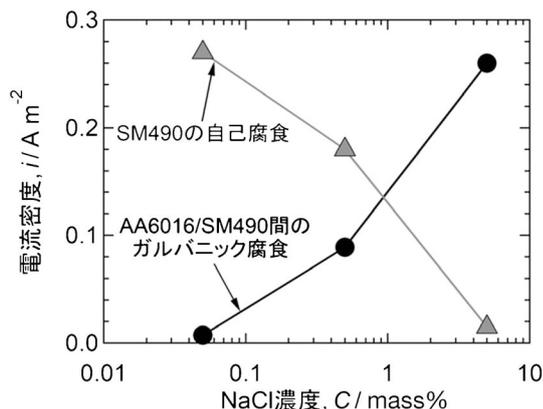


図4 有限要素解析結果：NaCl濃度にもなうAA6016/SM490間のガルバニック腐食およびSM490の自己腐食による電流値の変化⁽¹⁸⁾。

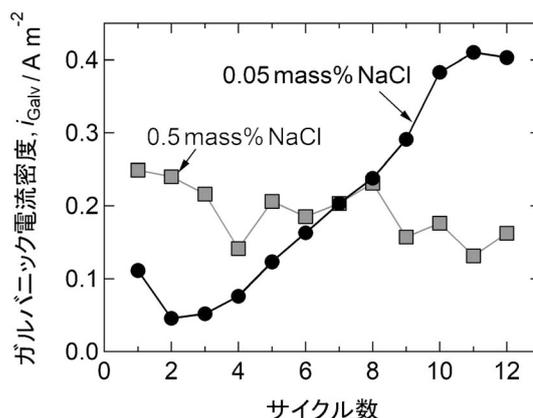


図5 NaCl含有環境にて乾湿繰り返し時のAA6016/SM490間のガルバニック電流の変化⁽¹¹⁾。

挙動を同時に解析することが困難である。しかし、有限要素解析の計算上では上記2種類の腐食現象にもなう電流値を個別に、かつ同時に算出することが可能である。図4は有限要素解析により、様々な濃度のNaCl溶液中でのAA6016/SM490間のガルバニック腐食電流とSM490の自己腐食電流を算出した結果である⁽¹⁸⁾。この電流値が高いほど腐食反応が顕著に生じていることを意味している。

AA6016/SM490間のガルバニック腐食電流は、NaCl濃度の増加にもなう上昇している。すなわち、ガルバニック腐食はNaCl濃度が高いほど生じやすいと考えられる。AA6016/SM490共存部ではAA6016にてアノード反応が、SM490にてカソード反応が生じることでガルバニック腐食が生じる(図1参照)。NaCl濃度が高いほど、AA6016での孔食の発生(アノード反応)が促進され、その結果としてAA6016/SM490のガルバニック腐食が促進されると考えられている⁽¹⁸⁾。

ガルバニック腐食とは対照的に、SM490の自己腐食による電流はNaCl濃度の増加にもなう減少している。すなわち、SM490の自己腐食はNaCl濃度が低いほど生じやすいと考えられる。NaCl濃度の変化に対してAA6016/SM490間のガルバニック腐食挙動とSM490の自己腐食挙動がこのように逆の傾向を示すのは、NaCl濃度の変化に伴いAA6016/SM490の系全体でのアノード電流とカソード電流の収支バランスが変化するためであると考えられている⁽¹⁸⁾。

4. 計算知見を基にした耐食性低下因子の特定

前節のシミュレーションでの知見は、AA6016/SM490共存部の腐食促進をもたらす要因の特定に役立てられている⁽¹¹⁾⁽²⁶⁾。図5はAA6016/SM490の共存部に0.5 mass%または0.05 mass% NaClを含有する水膜を滴下し、水膜の乾燥-湿潤サイクルを合計12回繰り返しながらAA6016/SM490間のガルバニック電流を測定した結果である⁽¹¹⁾。初期サイクルではNaCl濃度が高い0.5 mass% NaClでのガルバニック電流が0.05 mass% NaClでの電流値よりも大き

い。前節で述べたように、NaCl濃度が高いほどAA6016にて孔食の発生(アノード反応)が生じやすいためガルバニック腐食が促進されることを考慮すると、この結果は妥当である。

ここで着目すべきは、0.5 mass% NaClではその後乾湿サイクルを繰り返してもガルバニック電流はあまり変化していないが、0.05 mass% NaClではサイクル数が増すごとにガルバニック電流が連続的に増加している点である。その結果、8サイクル以降はNaCl濃度の低い0.05 mass% NaClでのガルバニック電流が0.5 mass% NaClでの電流値を上回っている。すなわち、0.05 mass% NaClでははじめはガルバニック腐食が生じにくいですが、乾湿を繰り返すごとに何らかの要因でガルバニック腐食が促進されることを示している。

図4のシミュレーション結果を基に、この0.05 mass% NaClでの腐食促進をもたらした要因を推測することができる。図4より、SM490の自己腐食はNaCl濃度が低いほど生じやすい。すなわち、図5の乾湿繰り返し環境においても、0.05 mass% NaClの方が0.5 mass% NaClよりもSM490の自己腐食が生じやすかったと考えられる。そのSM490の自己腐食の結果、0.05 mass% NaClでは環境中に多量のFe系化学種(FeイオンやFeさび等)が発生したと推定される。これらのFe系化学種はAlのアノード反応を促進させることが様々な先行研究で報告されている⁽²⁷⁾⁻⁽³⁰⁾。すなわち、0.05 mass% NaClでは、SM490の自己腐食により生じた多量のFe系化学種がAA6016のアノード反応を促進したことで、結果としてAA6016(アノード)/SM490(カソード)間のガルバニック腐食の促進をもたらしたと考えられる。このようなFe系化学種によるAlのアノード反応の促進には、Fe系化学種がAl表面皮膜を劣化させることが関連していると考えられている。そこで最後に、Fe系化学種のうちFeさびに着目して、Al合金の皮膜特性におよぼす影響を解析した事例を次節で紹介する。

5. FeさびがAlの耐食性におよぼす影響

図6は表面にFeさびが付着したAA6016と付着していな

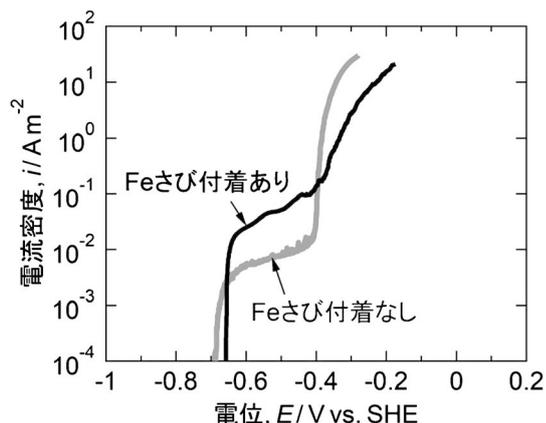


図6 Fe さびの有無によるAA6016の動電位アノード分極挙動の変化⁽¹¹⁾.

いAA6016を用いし、0.5 mass% NaCl 溶液中で動電位アノード分極曲線を測定した結果である⁽¹¹⁾。Fe さびの付着が無い試料では、 -0.7 から -0.4 Vの電位域において電流値が $1 \times 10^{-2} \text{ A m}^{-2}$ 以下の低い値に保たれている。このことは、この電位域にてAA6016試料表面が安定な保護皮膜(不働態皮膜)により覆われており腐食による損傷がほぼ生じていないことを意味している。一方、Fe さびが表面に付着している場合は、この本来不働態化している電位域での電流値が約1桁上昇している。これは、Fe さびの付着によりAA6016での不働態皮膜が劣化し耐食性が低下したことを示唆している。

Fe さびによる皮膜劣化挙動をより詳細に解析した結果を図7に示す⁽²⁶⁾。図7は表面にFe さびが付着した純Alと付着していない純Alを0.5 mass% NaCl 溶液に1週間浸漬後、試料を断面方向にFIBで切断しSTEMにより観察した結果である⁽²⁶⁾。図中の表面皮膜上部の領域はFIBで切断時に試料のダメージを低減するために形成したカーボン保護膜である。図7(a)のFe さびの付着が無い場合は、欠陥の無い均一な表面皮膜がAl表面全体を覆うように形成している。一方、図7(b)のFe さびが付着した試料の場合は、皮膜厚さは図7(a)と比較して増加しているが、皮膜構造が不均一かつ図中に白色の矢印で示すように皮膜が多数の欠陥を含有しており、この欠陥付近ではAl母相が露出している。以上のことから、Fe さびの付着の有無によりAlの表面皮膜の構造が顕著に変化し、Fe さび存在下では皮膜の保護性が低下することが明らかである。この表面皮膜の保護性の低下が、図6の分極曲線での不働態域での耐食性低下を引き起こすと考えられる。

Fe さびを構成する成分のうち $\gamma\text{-FeOOH}$ などは還元反応を生じやすい。このFe さびによる還元反応により周囲のpHがアルカリ化することや、還元反応の対となる酸化反応としてAlの溶解が促進されたことなどが表面皮膜の劣化を引き起こした要因であると考察されている⁽²⁶⁾。皮膜劣化のより詳細なメカニズムの解明には今後更なる解析が必要である。

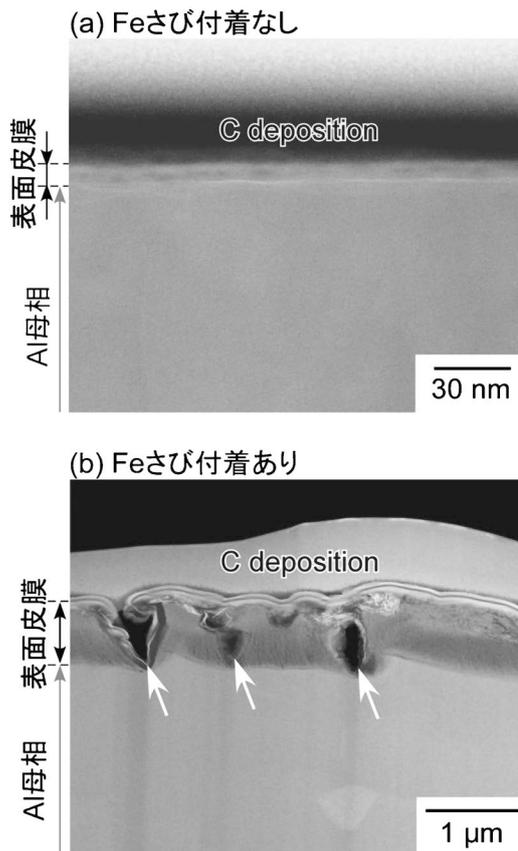


図7 Fe さびの有無による純Alの表面皮膜構造の変化⁽²⁶⁾.

6. おわりに

本稿では著者らの研究成果を中心にして、鉄鋼材料とアルミニウム合金共存部の腐食挙動についての研究知見を紹介してきた。アルミニウム合金の他にもマグネシウム合金、樹脂、炭素繊維強化プラスチックなど、近年、自動車の軽量化を実現するための多種多様な材料の適用が進められており^{(31)–(33)}、今後はそのような多様な材料それぞれについて正確に腐食挙動を把握することが求められる。また、海浜環境では海塩由来の腐食が問題になる一方、寒冷地では融雪剤成分に由来する腐食が深刻であるなど、自動車が用いられる環境・地域によっても対象とすべき腐食現象は変化する。すなわち、自動車材料の腐食解析には、材料側×環境側の膨大な条件での調査を行う必要があり、実験による手法では多大なコストと時間を要する。一方、有限要素解析などの計算科学の手法を活用すれば、計算条件を制御することで、材料や環境の違いにともなう腐食挙動の変化を効率的かつ系統的に推定可能である。さらに、本稿で紹介したように実験では得難いデータを得ることも可能であり、それを腐食機構の解明に活かすこともできる。腐食リスクを正確に予測し安全性の高い材料の選定を実現するため、計算科学を効果的に取り入れた腐食研究の更なる展開が期待される。

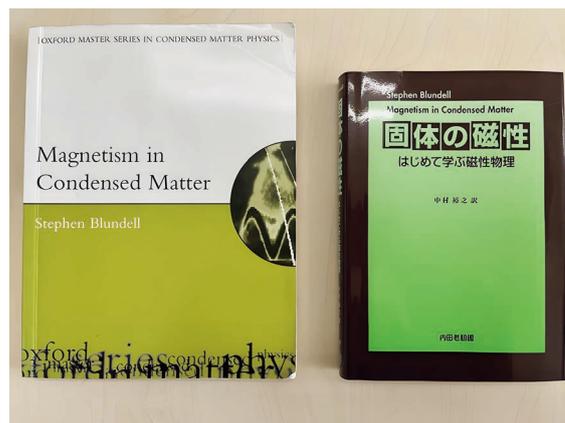
本稿で紹介した著者らの研究は国立研究開発法人物質・材



“Magnetism in Condensed Matter” (Oxford Master Series in Physics)

Stephen Blundell (著)
OXFORD UNIVERSITY PRESS 2001年

熊本大学 圓谷 貴夫



■日本語版も出版されております(右側).

思い出の教科書として“Magnetism in Condensed Matter”を紹介させていただきたいと思います。この本は Oxford Master Series in Physics シリーズの一巻で、著者はオックスフォード大学の Stephen Blundell 教授です。私は、大学院修士1年生時の「磁性物理学」の授業の指定教科書として出会いました。当時は原著のみが出版されている状況でしたが、2015年に内田老鶴圃から京都大学 中村裕之先生の訳で「固体の磁性 はじめて学ぶ磁性物理」という日本語版が出版されています。

磁性は、超伝導などの量子物理学の分野だけでなく、永久磁石やスピントロニクスなどの材料研究でも重要な役割を果たしています。さらに、セラミックスや誘電体材料における3d 遷移金属を含む結晶場の理解は、構造相転移や磁気秩序の変化などを説明するために欠かせない知識となっています。当時、筆者は第一原理計算手法を用いて高い飽和磁化をもつ窒化鉄 Fe_{16}N_2 や CrN といった3d 遷移金属窒化物の磁気的秩序の安定性の研究をしていたため、磁性物理学の授業を興味深く聴講していたことを思い出します。

この本の特長は、基本を押さえつつ、多くの磁気的現象について詳しく説明し、必要な内容が過不足なくバランスよく構成されていることです。また、豊富なグラフや図解が掲載されているため、読者は説明を読みながらイメージをもつことができます。さらに章末問題が豊富にあり、解答も記載されているため、研究室の輪講で使っている研究室もあると聞きます。この本は初歩的な内容から最新の磁性研究までがコンパクトにまとまっており、理学系、工学系を問わず磁性を初めて学ぶ人におすすめの一冊です。

第1章では、磁気モーメントの概念とスピンの関連する量子力学(角運動量、スピン角運動量演算子)の復習に焦点を当てています。また、付録には電磁気学、量子力学、統計力学の基礎的な内容が詳細に記載されているため、これらの科目を学部で履修していなかった方でも概念を習得できます。第2章では、磁場中の孤立した原子の磁気モーメントに焦点を当てて展開されています。反磁性という負の磁化率の概念が量子論で理解できること、さらに孤立原子内で、エネルギー準位が最小となるようなスピン角運動量と軌道角運動量

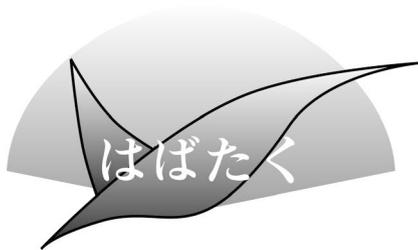
の合成方法(フント則)について学びます。第2章の内容は磁性物理学を学ぶ上で特に重要と認識しています。

第3章は「Environment(環境)」というタイトルで、結晶内の近接原子が作る電場(結晶場)の概念について学びます。遷移金属のd軌道の形状と、酸素などのイオンが八面体配置や四面体配置をした場合の軌道の分裂の仕方の違いが明確に説明されています。さらに、八面体配置が自発的に歪むヤーン・テラー効果のメカニズムについても触れられています。この章では、S. Blundell 先生が精力的に取り組んでいるミュオンスピン回転(μSR)法についても述べています。この測定方法は、分子性結晶などの微小結晶の磁性を調べる強力な測定方法です。私が理化学研究所で特別研究員をしていたとき、イギリスのラザフォード・アップルトン研究所のミュオンスピン回転のビームラインで研究室のメンバーが分子性結晶の μSR 測定を行っていました。比較的大きな結晶に対しては磁気構造を中性子散乱実験で特定できますが、微小結晶に対しては難しく、 μSR がスピン配列の次元性を明らかにする手段として用いられています。

第4章では磁気交換相互作用について、第5章では強磁性、反強磁性、フェリ磁性といった磁気秩序のタイプとその測定方法について解説しています。第6章から第8章では、磁性に関連する様々な現象について、最新の研究事例を交えて説明しています。特に金属、合金の磁性を扱う研究者にとっては、第7章の「金属の磁性」に関する記述が有益だと思います。

最後に個人的なエピソードを一つ。2016年の夏に米国で開かれた分子磁性に関するゴードン会議に参加した際、会場へ向かっていたところ、この本の著者である S. Blundell 先生に突然話しかけられ、戸惑ったことがあります。今思えば、先生は若手研究者との交流を求めて声をかけてくださったのだと思います。当時はその教科書の著者であることを理解していましたが、嬉しさと緊張であまり話せなかったことが少し残念です。再びお会いする機会があれば、もっと話ができればと思っています。

(2024年1月9日受理)[doi:10.2320/materia.63.333]



モリブデン濃化組織を有する 高耐食性ステンレス鋼の開発

東北大学大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻；博士後期課程3年
(現在；日本製鉄株式会社)

齋藤 遥

1. はじめに

私は東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻博士後期課程に在籍しており、ステンレス鋼の腐食に関する研究に取り組んでおります。この度、本稿執筆という貴重な機会を頂きましたので、これまでの研究について振り返るとともに、今後の抱負について述べたいと思います。

2. これまでの研究について

ステンレス鋼は高い耐食性を有していますが、塩化物イオンの存在などにより腐食の起こりやすい環境下では、孔食などの局部腐食が発生する場合があります。ステンレス鋼の高耐食化の手法としては従来、Mo などの高耐食化元素を添加して、溶解－凝固－圧延による高合金化や均一固溶体化が行われてきましたが Mo が母相に均一に固溶してしまい、Mo 濃化組織のような不均一な組織を得ることができないうえに、希少な資源を多量に消費するなどの経済的損失が生じます。そのため、添加元素をより効果的に活用するための新たな手法の確立が求められています。

そこで私たちはこれまでに、耐食化性が高いとされる元素 Mo に着目し、防食機能が集約された Mo 濃化組織を母材であるステンレス鋼中に形成・分散させることによる高耐食化に取り組んできました。本研究では放電プラズマ焼結法に着目し、ステンレス鋼粉末 (Type 304L) と純 Mo の粉末を混合したものに対して、融点以下の温度で焼結を行いました。なお、放電プラズマ焼結は低温かつ短時間での焼結が可能である一方で、粉体間での固相拡散が進みにくいという特徴があります。そのため、Mo が母相に均一に固溶することがなく、独立した Mo 濃化組織が得られると考えました。その結果、BCC 相 (Mo および Cr 濃化) と FCC 相 (Mo および Ni 濃化) の二相から構成される Mo 濃化組織を鋼中に形成させることに成功しました。Mo 濃化組織を構成する両相の 0.1

M NaCl 溶液および 0.1 M HCl 溶液に対する溶解挙動を評価した結果、両相ともに母相と比較して高い耐溶解性を示すことが分かりました。特に、BCC 相は非常に高い耐溶解性を示しました。そして、この相の存在が母材表層部における孔食の成長を抑制する、すなわち、耐孔食性の向上に寄与することを見出しました⁽¹⁾⁽²⁾。この Mo 濃化組織を有するステンレス鋼は、0.1 M NaCl 溶液に対して、同程度の Mo が固溶した Type 316L 焼結鋼と比較して高い孔食電位を示しました。以上の結果から、均一固溶体ではなく、Mo を Mo 濃化組織としてステンレス鋼の母相中に分散させることによって十分な耐食性が得られることが明らかになりました。

このような、ステンレス鋼母材に不均一組織を形成させることによる高耐食化は、従来の母材の均一固溶体化による方法とは異なる、新しいアプローチです。今後、Mo 以外の元素による添加や置換によって、防食機能が集約された濃化組織 (BCC 相) の組成やステンレス鋼中での分散状態を最適化することで、均一固溶体を形成させる方法を上回る防食効果が得られると期待されます。

これまでの研究室生活を通じて、材料の切断や研磨方法といった試料加工技術をはじめ、腐食の研究を進めるうえで必要となる多くの基礎を懇切丁寧にご指導いただきました。自分で手を動かして実験することの重要性や、一つの結果だけで判断せず多面的に考察すること、そして、得られた結果を踏まえて次につなげる姿勢を学びました。研究室生活で学んだ経験は、今後研究を進めるうえでも大事にしていきたいと思っています。

3. おわりに

本稿を執筆するにあたり、これまでの研究生活を振り返りますと、様々な経験をさせていただいたことを実感します。博士後期課程への進学は大いに迷った末の決断でしたが、進学しなければできなかった経験や分からなかったことが多くあり、そのような機会をいただけたことに感謝しております。また、人々の生活の基盤となる材料の世界は非常に魅力的であると感じております。特に、腐食・防食の技術は金属材料にとって必要不可欠であり、これまで腐食の研究に取り組んできたことを誇りに感じています。日々の研究では実力不足を痛感することも多々ありますが、今後も真摯に研究に取り組んでまいりたいと思います。

最後になりましたが、本稿執筆の機会をいただきました日本金属学会関係者の皆様、ご指導いただいております先生方をはじめ、日頃よりお世話になっております皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) H. Saito, I. Muto and Y. Sugawara: Mater. Trans., **61** (2020), 2248–2251.
- (2) H. Saito, I. Muto, M. Nishimoto and Y. Sugawara: Mater. Today Commun., **33** (2022), 104211.
(2024年2月28日受理) [doi:10.2320/materia.63.334]
(連絡先：〒660-0856 尼崎市東向島西之町)

スポットライト

第10回「高校生・高専学生ポスター発表」最優秀賞

重金属イオンの吸着効果を高める ポリグルタミン酸の架橋構造について

滋賀県立虎姫高等学校

安達柚葉 小川藍 藤井乃瑠 藤澤めばえ

1. はじめに

現在、SDGsの目標6-3において、汚染を減らし水質を改善するなど安全な水の確保が求められているが、今もなお、鉱山周辺には重金属イオンを含む有害物質が残されており、また発展途上国では工場排水からの重金属イオンの流出についても危惧されている。河川などの環境汚染を防ぎ、持続可能な開発を行うためにも、私達は重金属イオンを吸着する取組に着目した。

納豆の粘り成分であるポリグルタミン酸(polyglutamic acid, PGA)は高分子の一種で、カルボキシ基によるイオン交換やその分子構造により、水中の有害なイオンをよく吸着するため、PGAは水環境を保全する物質として期待されている⁽¹⁾。

またPGAはエタンジオールなどの添加物でエステル結合による架橋構造をつくと吸着効果が高まることがわかっている⁽²⁾。岸田・曾根・伏木・三俣(2023)は、添加物にp-フェニレンジアミン(p-phenylenediamine, PPD)を用いたアミド結合による架橋構造についても吸着能力が高まることを示した⁽³⁾。しかしPGAとPPDとの配合比や適切な架橋構造については十分に解明されていない⁽³⁾。

2. 目的

本研究では、PGAとPPDの配合比を変えることで、アミド結合による架橋構造の数を増やし、PGAの吸着能力をさらに高めることを目的とする。図1のように、トリアジン

系縮合剤であるDMT-MMを用いて、PGAのカルボキシ基とPPDのアミノ基をアミド結合させることで、図2のようなカルボキシ基(-COOH)とPPDのモル比が8:4となる構造A、モル比が8:2となる構造B、モル比が8:1となる構造Cの吸着剤をそれぞれ合成し、銅(II)イオン(Cu²⁺)の吸着能力の差を検証する。

3. 実験方法

【実験1】吸着能力の検証

構造Aについては、水85 mLにPGA 1.70 gを加えて溶かした溶液に、水中でも縮合反応を問題なく行うことができるDMT-MMを1.88 g、添加剤のPPDを0.736 g加えて3時間攪拌して合成した。反応後の溶液について、半透膜の袋に反応溶液を入れ、1500 mLの純水に袋を8時間浸けて透析を3回繰り返した。不純物を除いた溶液について全量が200 mLとなるまで純水を加えて調整した。構造B、構造Cの吸着剤についても、PPDの量をそれぞれ0.368 g、0.184 gと変えて同様の手順で合成した。

合成した吸着剤の効果を検証するために、PGAや岸田他(2023)の吸着剤⁽³⁾と吸着能力を比較する。①純水、②PGA、③岸田他(2023)の吸着剤(なお図2において③岸田他(2023)をR04と記載する)、④構造Aの吸着剤、⑤構造Bの吸着剤、⑥構造Cの吸着剤を含む各溶液15 mLを半透膜の袋にそれぞれ入れた。その後、図3のように、20 ppmのCu²⁺が含まれる硫酸銅(II)水溶液30 mLに①~⑥の袋を、それぞれ入れて20時間静置した。吸着前後における硫酸銅(II)水溶液中のCu²⁺の濃度変化を調べるために、銅イオン選択性の高いバソクプロイン試薬を用いた比色法である共立理化

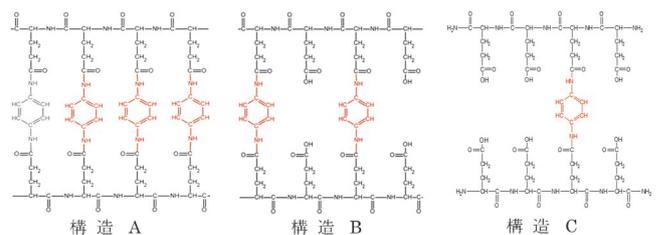


図2 PGAとPPDとの架橋構造。(オンラインカラー)

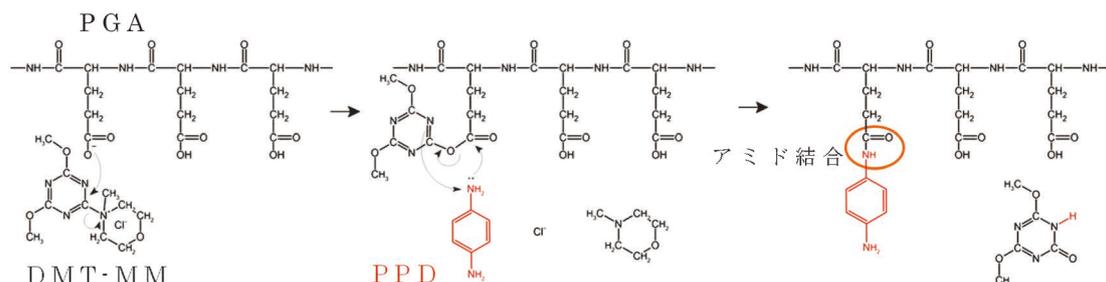


図1 DMT-MMを用いたアミド結合の生成過程。(オンラインカラー)

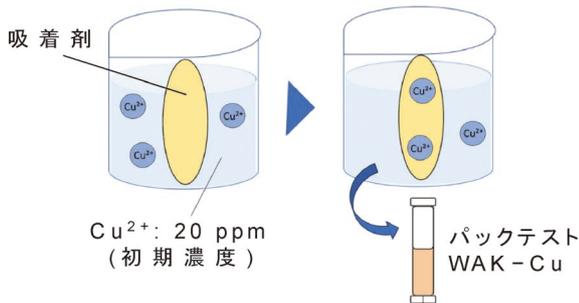


図3 各吸着剤①～⑥における吸着量の測定方法の概要。(オンラインカラー)

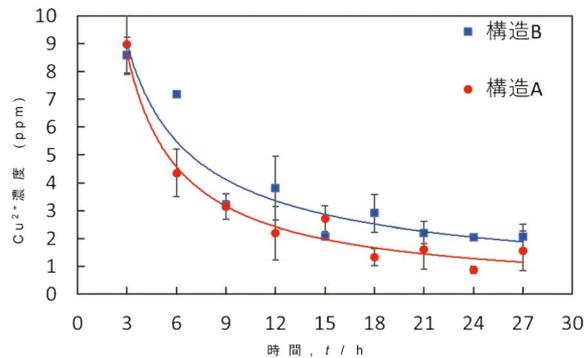


図4 溶液中におけるCu²⁺濃度の時間変化。(オンラインカラー)

学研究所製のパックテスト WAK-Cu を用いた。試薬との反応の際の発色したものを、分光光度計で 456 nm における吸光度を測定し、事前に作製した検量線から Cu²⁺ の濃度を求めた。

架橋構造による吸着能力の向上の有無を調べるために、②の PGA による吸着後の Cu²⁺ の濃度と、④の構造 A、⑤の構造 B、⑥の構造 C による吸着後の Cu²⁺ の濃度を比較し、②の Cu²⁺ の濃度との平均値の差について *t* 検定を行った。なおサンプル数は *n* = 7 である。また、③岸田他 (2023) の吸着剤との違いについて調べるために、同様に③と④、⑤、⑥とそれぞれ平均値の差について *t* 検定を行った。

【実験 2】吸着速度の検証

構造 A の吸着剤④と構造 B の吸着剤⑤について、Cu²⁺ の吸着速度を検証する。実験 1 と同様に吸光度を 3 時間おきに測定し、Cu²⁺ の濃度変化を調べた。なおサンプル数は *n* = 7 である。

4. 実験結果

【結果 1】

①～⑥について、20 時間静置前後の Cu²⁺ の濃度の平均値を表 1 に示す。また *t* 検定により得られた *t* 値と有意確率 *p* 値を示す。

【結果 2】

27 時間までの各溶液中における Cu²⁺ 濃度の時間変化を図 4 に示す。

表 1 架橋構造の違いによる吸着に伴う Cu²⁺ 濃度 (ppm) の変化。

	①water	②PGA	③R04	④構造A (8:4) COOH : PPD (mol比)	⑤構造B (8:2) COOH : PPD (mol比)	⑥構造C (8:1) COOH : PPD (mol比)
Cu ²⁺ 濃度, <i>t</i> = 0 h	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Cu ²⁺ 濃度, <i>t</i> = 20 h	13.0	7.26	4.58	1.46	1.90	3.72
標準偏差	—	1.68	1.55	0.65	0.55	0.71
②との差 <i>t</i> 値	—	—	3.09**	7.08**	8.15**	6.39**
③との差 <i>t</i> 値	—	—	—	4.51**	4.44**	2.21*
	<i>n</i> = 7			* <i>p</i> < 0.05		** <i>p</i> < 0.01

5. 考 察

表 1 のように、各吸着剤の吸着量は③ < ⑥ < ⑤ ≒ ④ の順となり、本研究で合成した吸着剤④～⑥は岸田他 (2023) の吸着剤③よりも吸着量がいずれも多かった。また図 4 のように構造 A の吸着剤④は、6 時間までの間で濃度変化が大きく、構造 B の吸着剤⑤よりも Cu²⁺ を速く吸着することが明らかとなった。しかし、吸着量については有意な差が見られなかった。

Cu²⁺ は酸素原子よりも窒素原子に配位結合しやすく、アミド結合の数が多い構造 A の吸着剤は構造 B の吸着剤よりも Cu²⁺ を速く吸着したと思われる。また吸着量に有意な差がない理由として、構造 B ではカルボキシ基が残っており、Cu²⁺ のキレート構造の形成に関わっているためと考えた。

6. 結 論

構造 A の吸着剤は、構造 B の吸着剤よりも銅 (II) イオンを速く吸着することができるが、吸着量については有意な差が見られなかった。構造 A は使用する PPD の量が構造 B よりも 2 倍必要となり、グリーンケミストリーの観点からも PPD や DMT-MM の使用量を減らすことができる構造 B の吸着剤が実用性に優れていると言える。

文 献

- (1) 田島武治, 鋤柄佐千子: 繊維学会誌, **67** (2011), 266-272.
- (2) 松本幸三, 徳 都, 藤井政三, 七戸 誠, 遠藤 剛: ネットワークポリマー, **30** (2009), 136-141.
- (3) 岸田紗季, 曾根優夏, 伏木みずほ, 三俣凜奈: 滋賀県立虎姫高等学校令和 4 年度究理 II 課題研究論文集, (2023), 7-12.

(2024 年 1 月 30 日受理) [doi:10.2320/materia.63.335]
(連絡先: 〒529-0112 滋賀県長浜市宮部町 2410)

本 会 記 事

会 告	2024年秋期(第175回)講演大会参加および講演申込について	337
	第12回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内	350
	日本金属学会オンライン教育講座開催案内	351
	日本金属学会オンデマンド配信：オンライン教育講座案内	353
	第19回 TMS Young Leader International Scholar Award 募集	354
	2024年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	354
	日本金属学会主催国際会議企画提案募集	354
	各賞推薦(自薦)のお願い	354
	2024年春期講演大会記録	358
掲示板	新入会員	355
会誌・欧文誌5号目次	行事カレンダー	356
まてりあ次号予告		357

◎本会へのお問合せは下記URLをご利用下さい。

<https://jimm.jp/contact/>

- ・投稿規程・出版案内・入会申込はホームページをご利用下さい。
- ・支部行事、掲示板、研究集会等の情報はホームページにも掲載しております。

会 告(ホームページもご参照下さい)

2024年秋期(第175回)講演大会参加および講演申込について

2024年秋期講演大会を、9月18日(水)から20日(金)まで、大阪大学豊中キャンパスで開催します。

(会期は9月18日からの3日間になりましたので、ご留意下さい。)

高校生・高専学生ポスターセッションは、9月18日(水)に大阪大学豊中キャンパスで、9月25日(水)にオンラインで開催します。(選択された発表方法により開催日が変わります。)

参加申込みは、すべてインターネットでの申込みです。詳細は、下記参加申込要領をご確認下さい。

なお、今回から優秀ポスター賞の選考方法が変わります。詳細は「ポスターセッションについて」(本号340頁)をご確認下さい。

～ 講演大会日程(会期は3日間になります。) ～

日 時	行 事
9月18日(水) 9:00～9:40 10:00～17:30 10:00～17:30 18:30～	開会の辞、贈呈式 ポスターセッション、高校生・高専学生ポスターセッション シンポジウム講演(一般講演は行いません) 懇親会(会場検討中)
9月19日(木) 9:00～18:00	学術講演
9月20日(金) 9:00～17:00	学術講演
9月25日(水)午後	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

◆懇親会

開催日時：2024年9月18日(水)18:30～(予定)

開催場所・料金：詳細が決まり次第案内いたします。

講演大会の参加申込について

◆申込の種別と申込期間

- (1) 事前申込(8月30日(金)をもって事前参加申込完了となります)
 申込期間：2024年5月27日(月)～2024年8月30日(金)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/
 決済方法：クレジットカード，コンビニ支払，銀行振込
- (2) 後期(当日)申込
 申込期間：2024年9月6日(金)～9月25日(水)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn_after/
 決済方法：クレジットカード
- (3) 相互聴講(鉄鋼協会に参加する本会非会員のみ 現地申込のみ)
 申込期間：2024年9月18日(水)～20日(金)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn_after/
 決済方法：クレジットカード



問合せ先 講演大会係 E-mail: annualm@jimm.jp

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)および登壇費 ※年会費とは異なります。

参加費・懇親会の消費税の取扱いは、ホームページ(一覧表 PDF)をご参照下さい。

会 員 資 格	事前参加申込	後期(当日)申込	相互聴講	登壇費
正員	10,000円	13,000円	—	—
非会員の維持員会社社員	10,000円	13,000円	—	10,000円
非会員のシンポジウム共催・協賛の学協会会員	10,000円	13,000円	—	10,000円
2024年3月1日時点で65歳以上の個人会員*1	無 料	無 料	—	—
学生員*2	6,000円	7,000円	—	—
ユース会員*3(中高生会員，高専専科1年生以下，大学3年生以下)	無 料	無 料	—	—*3
非会員*4 一般	24,000円	27,000円	—	10,000円
非会員*4 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円	—	5,000円
鉄鋼協会講演大会参加者(一般学生問わず) 講演者は選択できません。	—	—	6,000円	—

- お支払後の取消は、ご返金できませんのでご了承下さい。
- 領収書は、決済完了後に申込画面(「講演大会 MyPage」)からダウンロードし、印刷して下さい。

- *1 **65歳以上の個人会員**：会員情報に生年月日の登録がない場合は課金されます。会員情報に生年月日を登録していない方は、参加申込みの前に annualm@jimm.jp まで会員番号・氏名・連絡先・生年月日をお知らせ下さい。
- *2 **学生員**：卒業予定変更等により登録されている会員種別が実際と異なる場合は、事前に会員種別の変更手続きを行ってから，大会参加を申込み下さい。会員情報に登録された卒業年次を超えると、自動で正員に変更されます。
- *3 **ユース会員が高校生ポスター発表以外で発表する場合は、登壇費5,000円が必要です。**
- *4 非会員は講演申込サイトの各講演種別の「非会員はこちら」をクリックして、講演申込みして下さい。非会員の参加申込者には、1年間の会員資格を付与します。ただし特典は重複して付与しません。

◆参加証

「講演大会 MyPage」で「参加証」を印刷し、当日持参して会場に入ってください(受付は不要です)。

- *「日本金属学会ロゴ入りストラップ付参加証ケース」をお持ちの方はご持参下さい。ケースが必要な方には受付で配布します。

◆講演概要の閲覧・ダウンロード

公開場所：講演大会ウェブサイト(ログイン必要)

公開日：大会2週間前の**2024年9月4日(水)**(特許関係の手続きは、公開日までに済ませて下さい。)

ログイン：ログイン用の ID とパスワードが必要です。

(事前参加申込の方) 参加費を納入済みの方に、概要公開日にログイン用の ID とパスワードを配信します。

(後期(当日)申込の方) 参加申込受理通知に記載の「登録番号」および「パスワード」がログイン用の ID とパスワードです。

◆講演概要集の購入

講演概要集は作成していません。全ての講演概要は、講演大会ウェブサイトで公開をします。これまで概要集のみを購入されていた場合は、大会への参加登録をして、講演大会ウェブサイトから概要を閲覧して下さい。

◆相互聴講について

本会非会員で鉄鋼協会の講演大会に参加された方は、相互聴講料金で本会の講演大会を聴講できます。

申込方法：講演大会当日に鉄鋼協会講演会場の受付で参加証を受け取った後に、金属学会相互聴講申込サイトで申込みおよび決済完了後、決済済み画面と鉄鋼協会講演大会の参加証を日本金属学会受付に提示して下さい。確認後、参加証に「相互聴講」の押印をします。

(注) 鉄鋼協会講演大会の相互聴講は事前申込みとなっています。金属学会の講演大会参加申込を完了した後、鉄鋼協会の相互聴講申込サイトで相互聴講の申込みと決済を行って下さい。

講演の申込について

◆申込期間(締切厳守！)

(1) 一般、公募・企画シンポジウム、共同セッション、ポスターセッション：

2024年5月27日(月)～**2024年7月5日(金)17時**

(2) 高校生・高専生ポスター：2024年5月27日(月)～**2024年7月12日(金)17時**

*講演申込と同時に参加申込が必要です。

*大会申込受付ホーム URL：<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>



講演を申込む前に下記を確認して下さい

- 非会員も大会参加費と登壇費を支払えば、講演申込ができます(詳細は「講演申込要領」の「講演資格」参照.)。
- 講演申込と同時に大会参加申込が必要です。参加申込後、期日までに参加費と必要に応じて登壇費を納入下さい。期日までに参加費を納入しない場合は講演を認めず、欠講として取り扱います。
- 講演申込と講演概要提出は同時に行ってください。(同時に行わないと、講演申込は受理されません)
- 原則、講演申込者＝講演発表者であること。(「講演申込要領」5.を参照)
- 会員資格での申込みには会員番号とパスワードが必要です。**パスワードを紛失または忘れた方は、本会ホームページより再発行を行って下さい。**セキュリティ上、電話やメールでの発行は出来ません。

これから入会して講演申込をする方へ

- 下記の入会申込期限までに入会申込を行い、納入期限までに年会費を納入して下さい。
- 年会費納入期限までに会費の払込がない場合は講演を認めません。
- 下記の入会申込みサイトから入会を申込んで下さい。入会申込すると ID(会員番号)とパスワードが即日メールで送信されます。

入会申込 URL：<https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php>

入会申込期限：2024年7月3日(水)

年会費納入期限：2024年7月31日(水)

入会・会費の問合せ先 会員サービス係 **E-mail: member@jimm.jp**

講演申込要領

- ◆申込方法：大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>)から申込みをして下さい。
一般講演およびポスターセッションの申込みでは、セッションキーワード一覧から第1希望および第2希望のセッションキーワードを選択すること。講演セッション決定の参考にします。
- ◆講演概要：大会申込受付ホームから最新のMS-Wardのテンプレートをダウンロードして作成すること。
分量はA4縦1頁とする。
作成後にフォント埋め込みのpdfに変換して、アップロードする。
- ◆講演件数：一人2件以内。ただしポスターのみ2件は不可。
(受賞講演、基調講演、招待講演等の特殊講演は上記の適用外) 同一研究室の3件以上の連続講演は不可。
- ◆講演時間：一般講演：講演10分、討論5分
公募シンポジウム：講演10～20分、討論5～10分
共同セッション：講演15分、討論5分
(講演時間は講演者自身が管理し、厳守すること。)

1. 発表内容

原則として未発表で講演としてまとめたもの。

2. 講演資格

会員は年会費および参加費を、非会員は参加費および登壇費を納入済であること。

3. 講演者変更および講演取消しについて

- (1) 申込後の安易な講演者変更や取り消しは認めない。
- (2) やむを得ない理由により講演者を変更する場合は、事前に事務局に連絡する。(当日、変更になる場合は必ず座長の了解を得ること。)
- (3) 変更可能な講演者は概要の共著者でかつ会員であること。

4. 連続講演

下記の条件を全て満たす場合のみ配慮するが、希望に添えない場合があることを承諾すること。

- (1) 同一のセッション名で講演申込されていること。
- (2) 講演申込時に備考欄に連続希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入していること。
- (3) 申込締め切後の申請でないこと。
- (4) 同一研究室内で3件以上の連続講演でないこと。

5. 講演日の希望

講演申込時に備考欄に記入すること。

申込締め切後は受け付けない。

希望に添えない場合があることを承諾すること。

6. プログラム

プログラムは、8月初旬頃、講演大会ウェブサイトに掲載予定です。

ポスターセッションについて

1. 発表方法：8月にホームページに掲載する最新の「ポスター発表資料作成要領」を参照のこと。
2. 優秀ポスター賞へのエントリー：講演申し込み時に「優秀ポスター賞にエントリーする」にチェックして下さい。
3. 優秀ポスター賞の授賞要件：①発表時点で30歳以下の学生および30歳以下の若手研究者。
②過去にこの賞を授賞していない者。
③代理発表者ではないこと。
4. ポスター賞の選考：(1)講演概要査読(1次審査)および当日発表審査(2次審査)で行う。
(2)概要の要件および査読基準
概要中に以下の項目が読者に分かるように明確に記載されていること。
 - ①研究の位置づけと目標、それらの重要性・新規性・独創性・発展性
 - ②研究目的
 - ③実験方法およびその妥当性
 - ④結果(および考察)の論理構成
 - ⑤結果(および考察)の新規性・発展性・重要性

*発表を審査員が審査採点して優秀ポスターを選出し、「優秀ポスター賞」を贈呈します。

講演概要原稿作成・投稿方法

- 大会申込受付ホーム (<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>) から最新のテンプレート (MS-Word) をダウンロードして下さい。
- ダウンロードしたテンプレートを用いて講演概要を作成して下さい。
- 講演の題名、著者・所属、本文のすべてを記入した完成版の講演概要ファイルを PDF に変換して下さい。
- 講演申込と同時に PDF ファイルをアップロードして、講演概要を提出して下さい。(※同時に行わない場合は、講演申込は受理されません)
- 使用言語：日本語または英語
- 原稿サイズ：A4 判縦 1 頁
- 原稿作成時の注意事項：
 - MS-Word のファイルを PDF に変換する際は、フォント埋め込みを必ず行うこと。
 - 発表者氏名の前に必ず○印を付けること(申込画面上で講演者にチェックを入れる)。
 - アップロードの前に文字、図表等の品質を確認してから、アップロードすること。
- 提出原稿の修正：講演申込期間内のみ差し替えが可能。原則として提出期限後の原稿の差替えは認めない。

題目は Web 登録と同一の題目を記載すること。

講演題目(日本語題目)
Presentation Title(英語題目)
所属 A¹, 所属 B², 所属 C(現〇〇)³ ○発表者氏名¹, 共著者氏名², 共著者氏名³(日本語所属、氏名)
Affiliation A¹, Affiliation B², Affiliation B(Present:****)³:Speaker¹, coauthor², coauthor³(英語所属、氏名)

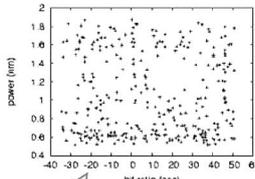
所属、著者名は Web 登録と同一のものを記載すること。 学生の表記方法:学部(B)、修士(M)、博士(D)、ポスドク(P)
記載例:氏名(M)¹

【結語】

・原稿は A4 サイズ 1 ページにまとめること。
・フォントの種類やサイズは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。ただし、特殊フォントは使用しないこと。

【実験方法】

段組み不可



・図・表の大きさは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。
・図・表のキャプションは日本語・英語のいずれか。
・図・表には番号を付け、本文中で説明すること。

【結果】

概要作成に当たっては、以下の注意事項を遵守してください。
・原則として未発表でかつオリジナリティがあること。
・軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと
・宣伝や商用目的とする内容でないこと。
・研究不正行為及び不適切行為をしていないこと。
・誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

【結語】

・講演概要はカラー表示されます。
・フォント埋め込み PDF ファイルに変換して、アップロードしてください。
・アップロードしたファイルはそのまま公開されますので、アップロードする前に印刷して、正しく表示されているか、鮮明であるかを確認してください。

原稿作成時には、上の作成要領は削除してください。

講演概要の要件と査読

講演大会に投稿された全ての講演概要は、下記の査読基準に基づき、その分野の専門家が査読し、採否を判定する。査読に結果、「掲載不適当」と判定された場合は、理由を示して著者に返却します。

(講演概要の要件および査読基準)

- 概要のテンプレートに基づいた概要であること。
- 講演内容を的確に表す題目であること。
好ましくない題目例：〇〇に関する研究、〇〇〇〇について
- 未発表であること。
- 金属およびその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- 内容に誤りがないこと。
- 研究不正行為または不適切行為に該当する内容を含まないこと。
- 宣伝や営利目的の内容を含まないこと。
- 誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

講演申込・概要原稿提出手順

入力された情報および登録された概要原稿は、プログラムにそのまま反映されますので、お間違のないようにご登録下さい。

*申込者は、講演者本人に限ります。

*申込締切直前はアクセスが集中してサーバーに負荷がかかり遅れが生じることがありますので、早めに申込み下さい。

(会員)

- (1) 金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>)」から、各講演区分の「会員申込」をクリックする。
- (2) 認証画面が表示されたら、ID(会員番号)、パスワードを入力してログインする。
- (3) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要のpdfをアップロードする。
*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (4) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (5) 申込が完了すると、受付完了通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。
*「講演大会 MyPage」のログインIDとパスワードは、会員ID(会員番号)とパスワードです。
- (6) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (7) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

(非会員)

- (1) 金属学会「大会受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>)」から、各講演区分の「非会員申込」をクリックする。
- (2) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要のpdfをアップロードする。
*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (3) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (4) 申込が完了すると、申込受理通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。
*「講演大会 MyPage」のログインIDとパスワードは、申込受理通知に記載された、秋期講演大会用の参加登録番号、パスワードです。
- (5) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (6) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

講演内容の確認・修正

講演申込期間内のみ、大会 My ページで登録内容の確認と修正(差し替え)が可能です。

金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024spring/>)」から、「講演大会 MyPage」にログインし(ID、パスワード必要)、内容確認・修正後、登録を行って下さい。修正登録後、修正受理通知のメールが届きます。

☆すべての講演申込がインターネット申込となりますので、
ご協力をお願い申し上げます。ご不明な点はお問合せ下さい。

連絡・問合せ先：TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: annualm@jimm.jp
(公社)日本金属学会 講演大会係

《登録画面入力の際の注意事項》

入力項目	注 意 事 項
セッションキーワード (一般、ポスターのみ)	まてりあ第63巻第5号344頁の講演セッションキーワード一覧から 第1希望(必須) および 第2希望(必須) のセッションキーワードを選択する。
公募シンポジウム	まてりあ第63巻第5号347頁のテーマ要旨を参照の上、申し込むシンポジウム番号を選択する。
共同セッション	まてりあ第63巻第5号343頁に掲載のテーマから、申し込むセッションの番号を選択する。
キーワード	キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可.) 特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中に含める。
共同研究者数 所属機関数	共同研究者人数：最大15名まで 所属機関数：10施設まで
申込者氏名	姓・名の順で、漢字、かなで入力する。 「申込者」が「講演者」となるようにチェックを入れる。共同研究者は非会員でも可。
ローマ字氏名	名・姓の順で、半角英字で入力する。
所属機関略称	慣用の略称で記入 する。研究時所属と現所属が異なる場合は両方記入する。 [例：東北大工(現日立中研)] 大学院生と学生の区別：それぞれ(院生)、(学生)と所属の後に表示する。 [例：東北大工(学生) 東北大工(院生)]
講演題目	和文題名は全角75文字まで、英文題名は100文字まで。 講演概要原稿の題名と一致させること。
要旨	講演概要の要旨を記入する。全角100文字以内。
概要原稿	講演概要原稿作成要領に従って作成した pdf ファイル。 アップロードする概要原稿の内容と申込欄に入力した題目・著者名が同一であることを確認すること。 変更がある場合は概要原稿の修正版を期日内に再提出する。
その他・備考欄	連続講演を希望する場合は、講演申し込み要領の4.連続講演を参照して申し込むこと。申込締切後の希望は受付けない。その他の講演希望日等があれば備考欄に記入すること
会員番号	講演者は必ず会員番号(ID)を記入する。共著者はわかる範囲で可。
著作権	同意できない場合は申込できない。
プログラム公開	同意できない場合は申込できない。
講演概要の WEB 公開	講演概要の WEB 公開に同意できない場合は、申込できない。 講演概要は、開催日 2 週間前に参加申込者のみに公開。

公募シンポジウム

2024年秋期講演大会では下記の公募シンポジウムを実施します。別紙のテーマ要旨を参照の上、申し込み下さい。

- S1 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成Ⅵ
- S2 ハイエントロピー合金の材料科学(XI)
- S3 計算科学および新規腐食解析に基づく腐食現象の解析・可視化と機械学習による腐食予測Ⅱ
- S4 極限環境対応構造材料のためのマテリアル DX(Ⅱ)
- S5 材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅶ)
- S6 超温度場材料創成学Ⅱ Additive Manufacturing による材料科学の新展開
- S7 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセスⅥ
- S8 機能コアの材料科学Ⅴ
- S9 データ創出・活用による磁性材料の研究開発Ⅱ

日本鉄鋼協会との共同セッション

日本金属学会と日本鉄鋼協会は下記の共同セッションを実施します。

日本金属学会、日本鉄鋼協会のいずれかの講演大会に参加申込をした方は下記の聴講が可能です。

- ① 「チタン・チタン合金」(2024年秋の会場は日本金属学会)
- ② 「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」(2024年秋の会場は日本金属学会)

講演大会セッション（委員専門分野）

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
1分野	1.材料と社会	材料と社会	1.1	教育	専門教育、共通教育、企業での教育、生涯教育、小・中・高校生への教育、カリキュラム、授業の実際、教材・教育の評価、社会人教育
			1.2	歴史・材料考古学	金属学・材料科学の歴史、金属技術の歴史・変換、材料考古学、文化財保存
			1.3	技術革新・技術伝承	IoT、メテリアルインターフェース、メテリアルソフトウェアエンジニアリング、材料情報、知的所有権、その他の金属学・材料学に関連した新分野・境界分野
			1.4	環境	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、環境低負荷材料、易リサイクル材料・設計、易解体設計、メテリアルセレクトジョン、省材料設計、高寿命材料・設計、材料のリサイクルシステム、材料資源環境システム、再資源化用途開発、土壌浄化、環境修復
			1.5	ダイバーシティ	男女共同参画、LGBTI、国際化、学際協力、世代間・業種間融合
			1.6	新領域・その他	
	12.先進機能材料	先進機能材料	12.1	萌芽材料	
			12.2	新領域・その他	
2分野	2.物性	物性	2.1	磁気機能・磁気物性	磁気的性質、磁気光学的性質、電子状態、熱磁気効果（スピンゼーベック効果、異常ネルスト効果、磁気熱量効果、磁気ハイパーターミア等）、核物性等
			2.2	半導体機能・電気物性	誘電的性質、光学的性質、電子輸送、薄膜・表面・界面物性、熱的性質（ゼーベック効果、ペルチェ効果等）、原子輸送、金属絶縁体転移等
			2.3	構造物性	結晶成長、結晶構造、準結晶構造、非晶質固体構造、格子ダイナミクスと安定性、相転移（変態）、不整合・整合構造、格子欠陥、粒界等
			2.4	物性評価	照射効果、ナノスケール量子効果、トンネル効果、メスハウアー効果、核磁気共鳴、分光・発光・回折一般等
			2.5	新領域・その他	
	9.電気・磁気関連材料	電気・電子・光関連材料	9.1	伝導・実装材料	電気伝導材料、電極材料、電子実装材料、配線材料、マイクロ接合材料、フラーレン、カーボンナノチューブ、熱伝導材料等
			9.2	半導体・誘電体材料	半導体材料、誘電体材料、圧電体材料、センサー材料、太陽電池、High-k材料、低次元物質、ナノ粒子・（超）微粒子、原子クラスター等
			9.3	光・電磁波関連材料	光学結晶材料、光記録材料、液晶材料、光ファイバー材料、光学ガラス材料、テラヘルツ等
			9.4	強相関電子系材料	超伝導材料、トポロジカル絶縁体、強相関電子系材料、マルチフェロイック材料等
		磁性材料	9.5	ソフト・ハード磁性材料	ソフト磁性材料（高透磁率材料（合金系、フェライト系、アモルファス、ナノ結晶等）、永久磁石材料（希土類系、合金系、フェライト系等）、電波吸収体・ノイズ抑制体材料等
			9.6	スピントロニクス・ナノ磁性材料	磁気抵抗効果（AMR、GMR、TMR等）材料、スピンメモリ・センサー材料、スピンカロリトロニクス材料、スピン注入技術、スピン流制御技術、スピン（軌道）トルク制御技術、磁気記録・磁気デバイス用材料、磁性（超）薄膜・多層膜・磁性金属人工格子、磁気スカルミオン等
			9.7	磁気機能材料	磁歪材料、磁気冷凍材料、フラストレーション材料、反強磁性材料、相転移誘起材料（磁場誘起相変態等）等
			9.8	新領域・その他	
			9.9	新領域・その他	
3分野	3.組織	相安定性・相変態	3.1	熱力学・状態図・相平衡	熱力学、状態図、相平衡、準安定、非平衡、相転移、金属間化合物、規則-不規則転移、磁気転移等
			3.2	拡散・相変態	拡散、偏析、析出、拡散変態、規則-不規則変態、不連続析出、粒界・相界面上析出等
			3.3	マルテンサイト変態・変位型相変態	マルテンサイト変態、変位型相変態（ベイナイト変態含む）、形状記憶・超弾性材料、磁性形状記憶合金、TWIP・TRIP、エージング・テンパリング、双晶変形、熱・応力・磁場・電場誘起相変態、組織制御、組織形成と機械的性質、プロセス（粉末冶金・複合材料含む）、SMAアクチュエータ・応用、マルテンサイト変態に関わる材料機能（ダンピング、磁気・弾性熱量効果等）
			3.4	合金・アモルファス・準結晶	アモルファス、金属ガラス、準結晶、高エントロピー材料等
	組織制御	3.5	組織制御技術	時効・析出、熱処理、加工、加工熱処理、合金元素添加、急冷凝固、メカニカルアロイング、界面接合強さ、複合化、多層化、薄膜、積層造形、ミルフィコ構造、コーティング、シミュレーション等	
		3.6	再結晶・粒成長・集合組織	回復・再結晶、集合組織、粒成長、粒界、異相界面、双晶等	
		3.7	組織観察・分析	電子顕微鏡、STM、AFM、FIM、3次元アトムプローブ、X線・中性子線回折、EPMA、XPS、イメージング・マッピング技術、放射光等	
	分析・解析・評価	3.8	計算材料科学・材料設計	理論、シミュレーション等	
		3.9	新領域・その他		
		3.9	新領域・その他		
11.計算科学	構造・組織・特性・物性	11.1	計算材料科学・材料設計	計算材料科学・材料設計、第1原理電子論計算、分子シミュレーション、分子動力学法、モンテカルロ法、CALPHAD法、フェーズフィールド法、有限要素法、境界要素法、セルラーオートマトン、マルチスケール解析、マルチフィジックス解析等	
		11.2	データ科学	メテリアルズインフォマティクス、メテリアルズインテグレーション、機械学習、深層学習、強化学習、転移学習、逆問題、データ同化、ニューラルネット、最適化、データベース、ビッグデータ、人工知能等	
	11.3	新領域・その他			

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
4分野	4.力学特性	力学特性の基礎	4.1	強度・力学特性	力学（格子欠陥、弾性、塑性、破壊力学、有限要素法、分子動力学、マイクロメカニクス等）、転位の基本的特性（運動、増殖、相互作用等）、転位と各種格子欠陥の相互作用、変形（弾性、擬弾性、塑性、粘性、粒界、変形双晶等）、各種強化機構、破壊機構（き裂やポイド発生・成長・合体等）
			4.2	塑性・疲労・破壊	延性、韌性、静的および動的破壊、破壊靱性値、疲労、応力腐食割れ、水素脆性、遅れ破壊、寿命
			4.3	高温変形・クリープ・超塑性	高温変形、クリープ、クリープ疲労、超塑性
			4.4	力学特性評価	力学特性の評価法、力学的挙動の予測（応力-ひずみ曲線、クリープ曲線等の予測、寿命予測等）、合金設計、複合材料（材料システム）設計、データベース
		力学特性と組織	4.5	欠陥と組織	転位組織、転位セル、変形帯、強加工、双晶、ポイド、亀裂
			4.6	多結晶組織	粒成長、再結晶、双晶、偏析、粒界析出、粒界反応型析出
			4.7	金属間化合物	金属間化合物、規則相、高温変形
			4.8	超微細粒組織	微細粒、バルクナノメタル、強化機構
			4.9	新領域・その他	プラストン、キック変形、ディスクリネーション、ミルフィーユ構造
5分野	5.材料化学	耐食性・耐酸化性	5.1	腐食・防食	水溶液腐食、電気化学測定、表面皮膜、腐食環境解析、孔食、すき間腐食、応力腐食割れ、大気腐食、高温高圧水腐食、水素脆化、異種金属接触腐食、エロージョン・コロージョン、腐食事例、耐食合金、耐食コーティング、腐食抑制・防錆剤、電気防食、等
			5.2	高温酸化・高温腐食	高温ガス腐食、溶融塩腐食、水蒸気酸化、エロージョン・コロージョン、超臨界環境等、耐熱材料、耐熱コーティング、超合金、金属間化合物、セラミクス材料、酸化物の特性
		表面・界面・触媒	5.3	湿式表面処理・湿式めっき	電解・無電解めっき、アノード酸化、エッチング、化成処理、イオン液体、電気化学的な成膜、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.4	気相プロセス・薄膜・厚膜作製技術	PVD、CVD、スパッタリング、プラズマプロセス、イオン注入・イオン打込み、イオンミキシング、コーティング、クラスター制御、表面処理、表面改質等、エッチング、アッシング、リソグラフィ、マイクロ・トライボロジー、マイクロ・マシニング、マイクロ・ボンディング、ケミカルメカニカルポリッシング（CMP）、溶射、肉盛り、拡散浸漬処理、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.5	表界面反応・分析	表面物性・反応、表面の構造と結晶学、吸着・脱離、表面の熱・統計力学、表面の電子状態およびエネルギー・計算科学、電気化学反応、表面・界面の作製技術、表面分析法（各種化学分析・機器分析、極微量分析、極小領域分析、状態分析、プローブ顕微鏡、顕微分光、環境やプロセスのその場分析、成分画像解析等、各種分析装置の開発、化学センサー、モニタリング法等）、コロイド材料
			5.6	触媒材料・触媒反応	触媒材料（貴金属・卑金属触媒、金属間化合物触媒、ナノ構造触媒、規則性多孔体、有機金属、光触媒等）、触媒反応（酸化、水素製造、C-H活性化、クロスカップリング、界面分子変換、排気ガス浄化等）、触媒技術と反応プロセス開発、触媒理論
			5.7	新領域・その他	
6分野	6.材料プロセス	環境・リサイクルプロセス	6.1	環境・リサイクル技術	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、事故解析、材料安全など、環境低負荷材料、易リサイクル材料、易リサイクル設計、易解体設計、マテリアルセレクション、省材料設計、高寿命材料、高寿命設計など、分離プロセス、再資源化プロセス、材料のリサイクルシステム、材料資源循環システム、リサイクル化学、クローズドプロセス、再資源化用途開発など、
		溶融・凝固プロセス 高温プロセス	6.2	製・精錬の物理化学	資源・原料、各種および新製・精錬法、冶金熱力学、化学反応工学、移動速度論、高温プロセス解析、数値流体力学、高純度化、分離・回収・精製、環境・リサイクル等
			6.3	融体・高温物性	熱力学的諸量、融体物性、モデリング等
			6.4	凝固・結晶成長・ casting 技術	結晶成長、過冷却、非晶質、準結晶、輸送現象、高純化、鑄造、鋳物、ダイキャスト、単結晶製造技術、半溶融加工、溶射、反応性溶射、溶射素過程、等
		固相プロセス 固相・溶接プロセス	6.5	塑性変形・塑性加工技術	塑性加工、高ひずみ速度加工、強加工プロセス、極限環境プロセス等
			6.6	粉末・焼結・造形技術	粉体製造、超微粉、粉体成形・粉末冶金（焼結プロセスを含む）、メカニカルアロイング、焼結合成プロセス、粉末射出成形（金属射出成形、セラミック射出成形）、3次元造形（3Dプリンター）、コールドスプレー、スプレーフォーミング、エアロソルデポジション、アトマイズ等
			6.7	接合・溶接・実装・接着・複合技術	メカニカルプロセス、常温接合、拡散接合、超音波接合、摩擦圧接、摩擦攪拌接合、爆発圧接、電磁圧接、溶接、ろう付け、接着、精密接着、メッキ・プロセス、はんだ付け、実装、マイクロ接合、力学特性、信頼性 等
		材料評価、プロセス評価技術	6.8	材料評価技術	非破壊検査、非破壊定量評価、残留応力解析、センシング技術、信頼度評価等、各種プロセス・シミュレーション、テラヘルツ
		6.9	新領域・その他		

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
7分野	7.生体・医療・福祉	生体材料基礎・生体応答	7.1	細胞機能・組織再生	細胞機能、細胞間相互作用、シグナル伝達、細胞・生体組織評価、細胞増殖・分化、組織修復（Tissue Engineering）、DDS（Drug Delivery System）、ゲノム解析・編集、細胞適合性、細胞配向、代謝回転、恒常性、石灰化、各種臓器、骨・歯牙、血管、骨芽細胞、破骨細胞、OCY（オステオサイト）、骨系細胞、細胞外基質、がん、細胞小器官、RNA、DNA、遺伝子組み換え、細胞培養、骨形態計測法、染色法、足場材料、機能性タンパク質等
			7.2	構造生体機能化	機能発現、バイオメカニクス、計算科学、金属組織・組織制御、弾性・塑性変形機構、力学機能発現（弾性率、強度、延性、疲労、破壊）、スキャフォールド、インプラント、双晶変形、生体組織、組織配向性、人工関節、人工歯根、熱処理、多孔化、機能・組織評価法、Co-Cr合金、ステンレス鋼、生体用セラミックス、リン酸カルシウム系材料、PEEK、整形外科用材料等
			7.3	表界面生体機能化	生体/材料界面、表面修飾、ナノ表面・界面、感染防御・制御、表界面機能、骨伝導・骨誘導、バイオセンサー、抗菌性、タンパク質吸着、コーティング、化学処理、表面分析・評価、PVD、CVD、コーティング材料等
		生体材料設計開発・臨床	7.4	生体・医療・福祉材料	バイオマテリアルサイエンス、生体情報・計測、リハビリテーション医学、ユニバーサルデザイン、バリアフリー、生体機能代替、福祉用具・支援機器、ウェアラブル、IoT、AI、非磁性・低磁性、低弾性・高弾性、生体活性ガラス、生分解性材料、耐摩耗性材料、歯科用合金、生体用ハイエントロピー合金等
			7.5	生体用Ti・Ti合金	Ti・Ti合金、低弾性率、形状記憶、超弾性、オッセオインテグレーション、集合組織、人工骨・関節、相変態・組織制御、機能評価法、電子顕微鏡、β型Ti合金、ユビキタス元素、計算機シミュレーション等
			7.6	Additive Manufacturing・テラメード医療材料	付加製造、3Dプリンタ、金属積層造形、金属粉末、異方性/等方性、形状/組織制御、力学特性、残留応力、生体モデリング、形状計測、格子構造、薬物送達システム、マイクロマシン、マスカスタマイゼーション、テラメード医療、遠隔地診療、レーザービーム、電子ビーム、順シミュレーション・逆問題解析、溶融池シミュレーション、リアルタイムモニタリング等
			7.7	生体安全性・有効性評価	医用画像・バイオイメージング、生体シミュレーション、レギュラトリーサイエンス、生体情報・計測、医療技術倫理、細胞毒性、疾病、代謝異常、骨吸収、金属アレルギー、耐食性、疲労、疾病治療、医療機器、臨床研究、臨床応用、GLP等
			7.8	新領域・その他	
8分野	8.構造材料	金属材料	8.1	Fe・Fe合金	Fe・Fe合金の原理・原則、鉄鋼材料、ステンレス合金、相変態（パーライト、ベイナイト、マルテンサイト、マッヅ等）、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.2	Cu・Cu合金	Cu・Cu合金の原理・原則、配線材料、熱伝導材料、相変態、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.3	Ti・Ti合金	Ti・Ti合金の原理・原則、相変態、組織制御、強化機構、成型性、ゴムメタル、耐食性、表面処理、計算材料科学
		軽金属材料	8.4	Mg・Mg合金	Mg・Mg合金の原理・原則、相変態、長周期積層構造、組織制御、強化機構、シグナル変形、ミルフィュー構造、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
			8.5	Al・Al合金	Al・Al合金の原理・原則、相変態、GPゾーン、クラスター、組織制御、強化機構、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
		セラミックス材料	8.6	セラミックス材料	セラミックス材料の原理・原則、相変態、構造転移、焼結、組織制御、機能材料、強化機構、破壊、成型性、耐熱性、計算材料科学
		耐熱材料	8.7	ジェットエンジン・ガスタービン耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、高融点金属、金属間化合物、セラミックス、超高温材料、金属基複合材料、金属間化合物基複合材料、セラミックス基複合材料、プラスチック基複合材料、炭素繊維強化型複合材料、SiC繊維強化型複合材料、ジェットエンジン、ガスタービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.8	蒸気発電耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、蒸気タービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.9	耐熱特性	耐熱合金、耐熱セラミックス、超高温材料、耐熱複合材料、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、熱機関、燃焼、熱伝導、熱膨張、熱衝撃、熱遮蔽、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
		機能性構造材料	8.10	機能性構造材料	アモルファス材料、金属ガラス材料、準結晶材料、制振材料、インテリジェント・スマートマテリアル、積層造形、計算材料科学
		複合材料	8.11	複合材料	複合材料、スポーツ用品材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
			8.12	ポーラス材料	ポーラス材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
		8.13	新領域・その他		
9分野	10.エネルギー関連材料	原子力材料	10.1	原子力材料	原子炉材料、核融合炉材料、ビーム関連材料、照射損傷、照射効果
		熱電材料	10.2	熱電材料	熱電変換、熱電素子、ゼーベック効果、ペルチエ効果、熱伝導、電気伝導、など
		水素・電池関連材料	10.3	電池材料・イオン伝導材料	電極材料、電解質材料、イオン伝導材料、電池設計、電池関連物性、など
			10.4	水素化合物・水素貯蔵・水素透過・水素関連物性	金属水素化合物、錯体水素化合物、水素貯蔵、水素透過、水素脆化、水素利用、水素関連物性、機能・プロセッシング、金属-水素相互作用、同位体効果、など
		新領域・その他	10.5	新領域・その他	センサー材料、熱伝導材料、など

2024年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨

2024年秋期講演大会では、下記9テーマの公募シンポジウムを実施します。
講演を申込む場合は、希望するシンポジウムを選択の上、お申込み下さい。

S1 特異反応場における時間/空間応答を利用した 新奇材料構造創成Ⅵ

Tailoring of novel-structured materials using spatio-temporal responses under exotic reaction fields Ⅵ

非平衡状態を利用したナノ・マイクロ組織を有する材料の開発や物性探索では、極限反応場や特殊環境下の非平衡励起状態、緩和過程に代表される時間変化を利用した*エキゾチックな*時間的・空間的応答の理解・制御が重要である。同趣旨にて開催した過去5回のシンポジウムでは2件の基調講演に加え、常に15件程度の一般講演があった。このように会員の興味が高いことを踏まえ、2024年秋期講演大会でも継続開催する。基調講演にて高エネルギー線照射利用による半導体デバイス開発や非平衡反応場を利用した複合アニオン系化合物の新規創製に関する実験成果を発表して頂き、特異反応場での時間/空間応答を利用したナノ・マイクロ組織形成過程をキーワードとする一般講演も交えて新規材料開発に向けた課題などを討論する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

筑波大学数理物質系物質工学域准教授 谷本久典

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 森戸春彦 illuminus 中村貴宏

大阪公立大 堀 史説 東北大 田中俊一郎

大阪公立大 岩瀬彰宏

S2 ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅻ)

Materials Science and Technology in High-Entropy Alloys (Ⅻ)

2018年秋期講演大会より継続的に同一テーマにてシンポジウムを開催しており、今回がその第11弾となる。この研究分野は、現在世界的にも活況を呈しており、ハイエントロピー合金に関するシンポジウムがTMSやMRSなどの定期大会だけでなく独立な国際会議としても多数開催されている。本シンポジウムでは、ハイエントロピー材料の基礎及び応用に関する実験・理論計算からの研究に関する講演を広く募り、大学・企業・研究所の研究者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者の有機的連携を促進しつつ、ハイエントロピー合金に関する科学的な疑問を解明すべく企画した。我が国においても、科研費・新学術領域研究「ハイエントロピー合金」(2018-2022年度)において数多くの有意義な研究成果が得られた他、そこから派生した研究プロジェクトが現在も国内で多数進行中である。この分野における最新知見の共有および幅広い議論を行うことにより、これまでに行われてきた研究のさらなる進展が期待される。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

京都大学大学院工学研究科助教 吉田周平

(シンポジウム co-chairs) :

名大 塚田祐貴 弘前大 峯田才寛 島根大 榎木勝徳

京大 勝部涼司 京大 陳 正昊 阪大 新里秀平

東北大 西本昌史

S3 計算科学および新規腐食解析に基づく腐食現象の解析・可視化と機械学習による腐食予測Ⅱ

Analysis, Visualization and Prediction of Corrosion Phenomena via Computational Science, Machine Learning and Novel Characterization Techniques Ⅱ

腐食は関与する因子が多く、現象が複雑であるため、数値計算が腐食現象の予測や測定結果の検証に応用されている例は限られている。しかしながら計算機技術の発展や計算手法の開発によって、近年、腐食・防食の分野においても数値計算や機械学習の活用がなされるようになった。本公募シンポジウムでは腐食による損傷の程度や腐食環境における金属材料の寿命に関する数値計算や機械学習による腐食寿命予測、腐食反応の根幹をなす電気化学反応の第一原理計算など計算科学と腐食現象のミクロ・マクロ計測の両輪から腐食現象の解析・可視化と腐食予測を深化させる機会としたい。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学教授 土谷博昭

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 武藤 泉 東工大 多田英司

JFE スチール 大塚真司 名工大 星 芳直

物・材機構 土井康太郎

S4 極限環境対応構造材料のためのマテリアル DX (Ⅱ)

Materials DX for the research and development of structural materials for extreme environment (Ⅱ)

優れた産業基盤に支えられた我が国のマテリアル分野は、我が国の強みであると考えられてきた。しかしながら、米国などが、いち早くデジタル・トランスフォーメーション(DX)を材料開発ツールとして活用し始め、構造材料分野においても徐々に成果を生み出しつつある。一方、我が国でのDXへの取り組みは思うように進んでおらず、新規材料開発に向けたシーズ活用への挑戦が減速している。そのため、我が国の構造材料分野においても、産と学の双方が利便性を享受できるデータ創出や利活用の方法を整備し、データ駆動型

材料設計を可能とするマテリアル DX の加速を早急に図っていかねばならない。このような背景のもと、金属材料を含む構造材料の研究開発に向けたマテリアル DX の構築を目的に、2023年秋期講演大会において学界と産業界が連携し議論する場を創成する公募シンポジウムを開催した。そこで前回に引き続き、構造材料におけるマテリアル DX の最新の知見を共有し議論ができるよう本シンポジウムを提案する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東北大学准教授 宮本吾郎

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 吉見享祐 古原 忠

九大 松永久生 阪大 尾形成信 物・材機構 出村雅彦

S5 材料変形素過程のマルチスケール解析(VI) Multi-scale analysis of elementary processes in plasticity (VI)

近年、材料の変形・破壊を支配する転位や変形双晶といった塑性変形の素過程に関して、最新の実験手法や理論計算手法を駆使した多くの研究がなされ、これまでは十分に理解されていなかった様々な新しい知見が報告されるようになった。本シンポジウムは、塑性変形に関する最新の知見の共有と、材料変形素過程に関する新しい学理構築に向けた実験および理論両者の積極的な融合・連携の促進を目指して企画したものであり、2018年秋期大会から継続的に開催しているものの第7弾にあたる。本シンポジウムでは材料の塑性変形の素過程に関する最新の実験・理論研究に関して特に若手研究者を中心に広く講演を募り、大学、研究所、企業の研究者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者間の新たな連携の促進を図る。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

京都大学教授 岸田恭輔

(シンポジウム co-chairs) :

名大 君塚 肇 金沢大 下川智嗣 九大 田中将己

名大 高田尚記

S6 超温度場材料創成学Ⅱ：Additive Manufacturing による材料科学の新展開 Creation of Materials by Super-Thermal Field II: Innovation in Materials Science through Additive Manufacturing

レーザーや電子ビームを用いた局所加熱により生じる熔融と凝固は、粉末床熔融結合(Powder Bed Fusion: PBF)法に代表される付加製造(Additive Manufacturing: AM)などにおける結晶成長や材料組織形成に重要な役割を果たしていることが注目されている。特に、107 K/m 以上にもおよぶ極めて大きな温度勾配(超温度場)の発現は、冷却速度 106 K/s 以上の超急冷、成長速度 1 m/s におよぶ高速結晶成長を可能にし、絶対安定性などの特異現象の発現を伴うことから、

従来プロセスでは困難であった組織制御などによる新材料創成の基盤としての多様な可能性を有している。本シンポジウムでは、この可能性に注目した学術変革領域研究「超温度場材料創成学」の研究を中心に、AM で発現する特異現象の解明や、AM による新材料創成など、広く AM による材料科学の新展開に関する議論と討論を行う。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学教授 小泉雄一郎

(シンポジウム co-chairs) :

名大 足立吉隆 九大 森下浩平 阪大 佐藤和久

物・材機構 戸田佳明 富山大 石本卓也

JFCC 木村禎一

S7 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセスⅥ Materials Science and high temperature processing of widegap materials VI

ワイドギャップ結晶は、省エネ・環境負荷低減に寄与するパワーデバイスや短波長光デバイスへの応用・開発が進められている。特に SiC パワーデバイスは本格的量産が進み、GaN も LED のみならずパワーデバイス用基板の生産が進められつつある。さらなる発展には各材料の高品質結晶の育成技術の確立や、高効率ウェハー化やデバイスプロセスの開発が望まれている。講演大会では、これまで5回の公募シンポジウムを開催し、で研究・開発の最新動向を議論してきた。

本シンポジウムでも引き続き、SiC や窒化物材料、酸化物材料等ワイドギャップ結晶の育成技術や再加工程技術、欠陥低減技術について、金属材料学や冶金学や半導体工学、またそれらの融合分野の最新の研究を議論する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学教授 吉川 健

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 福山博之 名大 宇治原徹

信越化学工業 美濃輪武 京大 川西咲子

S8 機能コアの材料科学Ⅴ New Materials Science on Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores, V

多くの先進材料において、材料内部に存在する点欠陥や粒界、界面、転位等の結晶欠陥が、機能発現の起源となっている。したがって、結晶欠陥を高度に制御し、その機能を最大限に引き出すことができれば、材料研究における大きなブレークスルーとなると期待できる。また、近年のナノ計測技術や理論計算における分解能や精度の著しい進歩により、結晶欠陥の電子・原子レベル構造とそこに局所する機能に関する新規な知見が次々と得られるようになってきた。この流れを受け、結晶欠陥の特異な機能と各種外場との相互作用に着目

し、令和元年から新学術領域「機能コアの材料科学」が立ち上がっている。関連するシンポジウムである本「機能コアの材料科学V」では、機能コアに関する最新の研究成果を議論し、今後の課題と方向性について意見交換する場としたい。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学大学院工学研究科教授 吉矢真人

(シンポジウム co-chairs) :

名大 松永克志 東大 柴田直哉 溝口照康

阪大 中村篤智 東工大 平山雅章

名大 丹羽 健 東大 馮 斌

たな挑戦が始まっている。DX的手法により磁性材料マップを創製し、計測DXを活用した材料開発でそれをサポートしつつ、常にユーザーの立場でのデバイス開発とDXの視点が求められる。

本シンポジウムでは、データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト(DxMT)が構築している磁性材料マップやそれを支えるDX手法、材料研究などをいかに活用してデータ駆動型研究開発手法につなげるのかに主眼を置く。産業界における製品のブレークスルーにつながる磁性材料への期待も踏まえつつも、磁性材料を本シンポジウムにおける議論の具体的な題材、実例と位置づけることで、国内外の社会実装、産業振興に資する、幅広い材料への展開も見据えた広範なデータ創出・活用型磁性材料研究の発表と活発な討論、情報交換を期待する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

物質・材料研究機構グループリーダー 高橋有紀子

(シンポジウム co-chairs) :

物・材機構 大久保忠勝 東北大 岡本 聡

物・材機構 袖山慶太郎 プロテリアル 西内武司

S9 データ創出・活用による磁性材料の研究開発 II Digital Transformation Initiative R&D for Magnetic Materials II

データサイエンス的手法を用いたデータ駆動型の先進的新規材料創製技術により、革新的な機能、従来を上回る性能強調を発現する、永久磁石、軟磁性材料、機能性磁性物質等の多種多様なエネルギー変換マテリアルを効率的に創出する新

会誌2024年秋期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIMM Autumn Meeting (2024)原稿募集

下記の投稿論文を募集いたします。多くのご投稿をお待ちしております。

◎日本金属学会誌「2024年秋期大会講演精選論文」89巻4号および5号(2025年)掲載

◎Materials Transactions「Selected Papers from JIMM Autumn Meeting (2024)」66巻4号および5号(2025年)掲載

原稿締切 **2024年11月11日(月)**

予備登録、投稿および審査方法は、一般投稿論文に準ずる(ホームページ:会誌・欧文誌投稿の手引き・執筆要領参照)。欧文誌掲載論文は投稿掲載費用を必ず負担する。(会誌掲載論文は投稿掲載費用無料)

問合せ (公社)日本金属学会 会誌・欧文誌編集委員会 E-mail: sadoku@jimm.jp



日本金属学会2024年秋期(第175回)講演大会 第12回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2024年7月12日(金)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋2回の「講演大会」を開催しています。この講演大会では、若い生徒や学生に金属および材料学分野に対して興味や理解を高めてもらうため「高校生・高専学生ポスターセッション」を開催しています。2024年秋期講演大会では、2024年9月18日(水)に「大阪大学豊中キャンパス」で、9月25日(水)に「オンライン」で、「第12回高校生・高専学生ポスターセッション」を開催します。

発表者は、2024年9月18日(水)に「大阪大学豊中キャンパス」での現地発表または9月25日(水)にオンライン発表のいずれかで発表をしていただきます。

ポスターセッションでは、研究成果の発表を大学の教授や企業の研究者等の専門家に直接聞いてもらい、質疑応答が受けられる貴重な機会であり、さらにポスターの内容や発表の応答などを審査して、優秀な発表には会長による賞を授与します。金属および材料学分野に興味があり、本講演大会でポスター発表していただける生徒は奮ってご応募下さい。

発表者と指導教員は講演大会に無料で参加でき、研究者の最新の研究成果の発表を無料で聴講いただけます。詳細は、「高校生・高専学生ポスター発表要領」でご確認下さい。

また、高校生・高専学生ポスター発表された方全員に、ユース会員の資格を贈ります。

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2024年秋期(第175回)講演大会

行 事 名 「第12回高校生・高専学生ポスター発表」

開催方法 9月18日(水)大阪大学豊中キャンパスおよび9月25日(水)オンライン

開催日時 2024年9月18日(水)午後または9月25日(水)午後に2時間程度を予定

対 象 者 高校生および3年以下の高専学生

発表方法 9月18日(水)に大阪大学豊中キャンパス、または9月25日(水)にオンラインのいずれか一方で発表

テ ー マ 材料に限定せず、フリーテーマです。(課題研究の成果、科学技術の取組等)

ポスター発表資料：作成要領は別途連絡

講演申込 <https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn>

講演概要原稿 不要

参加費および講演聴講

- ① 発表者、共同研究者および指導教員の参加費を免除し、講演大会の発表を聴講できる。
- ② 希望があれば、高校生・高専ポスター発表の関係者(親、友人)5名程度までの参加費を免除し、講演大会の発表を聴講することができる。
- ③ (現地開催の場合)指導教員は、事前に参加者リストを提出する。(別途用紙を送付予定)それをもとに参加証を作成し、現地でお渡しします。
- ④ 指導教員宛てに、参加者用IDとパスワードおよびプログラム1部を事前送付する。
- ⑤ 発表者全員に本会ユース会員の資格を贈呈する。

優秀ポスター賞 優秀な発表には最優秀ポスター賞および優秀ポスター賞を授賞します。

問合せ・連絡先：公益社団法人日本金属学会 講演大会係

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312 E-mail: annualm@jim.jp

オンライン発表でのリスクについての注意

下記の注意事項をご確認の上で講演のお申込みをお願いいたします。

講演大会での発表には、現地開催とオンライン開催とによらず、以下のようなリスクがあります。特にオンライン開催では、密室から参加することが可能で講演会場のような衆人監視が行われないこと、および講演がWeb上で配信されることから、これらのリスクが高まる懸念があります。本会では、リスクを低減するために、考えうる対策を取りますが、最後は参加者のモラルに訴えざるを得ません。これらを理解の上、十分に注意して講演の申し込み及び発表をしていただきますようお願いいたします。

〈発表に伴うリスク〉

1. 研究情報を不正に取得される
不正聴講、講演の録画・録音・撮影(スクリーンショットを含む)が行われてしまう
※パスワード発行によって参加者を限定するとともに、録画・録音・撮影等の禁止を周知徹底しますが、最終的には参加者にモラルを守っていただくこととなります。
※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。
2. 著作権を侵害してしまう
他人が著作権を持つ音声、映像、画像、写真の安易な使用(引用)により、著作権を侵害してしまう
※文献などはこれまでの講演大会と同様、適切な引用がされていれば問題ありません。

日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

New!!

『電子顕微鏡と格子欠陥の基礎』

日時 一日目 2024年6月19日(水)13:00~16:30
二日目 6月20日(木)13:00~16:30

講義概要

本講座では電子顕微鏡による格子欠陥の解析を行うために必要不可欠な回折コントラストについて、結晶学の基礎から電子顕微鏡による実際の観察例までやさしく解説します。難解な数学は一切用いずに格子欠陥の回折コントラストに迫ります。各講義の内容は下に記載しています。

本講座では、当日に受講できない方や理解を深めたい受講者の方のために、開催後に講義録画のオンデマンド配信を行います。受講申し込み者は追加料金なしに視聴できます。

プログラム

一日目 2024年6月19日(水) 13:00~16:30

13:00~14:00 結晶学の基礎の基礎
14:00~14:15 一休憩—
14:15~15:15 ステレオ投影
15:15~15:30 一休憩—
15:30~16:30 転位論の基礎

二日目 2024年6月20日(木) 13:00~16:30

13:00~14:00 明視野(BF)像と暗視野(DF)像
14:00~14:15 一休憩—
14:15~15:15 転位のコントラスト
15:15~15:30 一休憩—
15:30~16:30 厚い試料を見る必要性

講師紹介

愛知工業大学客員教授 坂 公恭 先生

1964年3月名古屋大学工学部金属学科卒業、1969年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了、1970年11月名古屋大学工学部助手、1977年9月~1979年8月英国オックスフォード大学留学、1979年名古屋大学助教授、1988年名古屋大学教授、2005年3月名古屋大学名誉教授、2007年6月~2011年3月名古屋大学特任教授、2012年4月~2014年3月知の拠点あいち嘱託研究員、2014年4月愛知工業大学客員教授、現在に至る。

コーディネーター 名古屋工業大学准教授 宮崎秀俊

受講方法 オンライン(Zoom)

申込方法 <https://www.jim.or.jp/seminersymposium/> よりお申込み下さい。

申込締切 2024年6月11日(火)

受講料

対象者	受講料	2講座目以降の受講料
正員	20,000円	15,000円
学生	8,000円	6,000円
非会員	40,000円	30,000円

本会維持員会社社員、協賛学協会会員は正員扱い。
学生は会員、非会員の区別なし

※本年度開催のオンライン教育講座を2講座以上受講する場合、2講座目からは割引料金となります。

※本会の維持員社員は正員と同額の受講料です。さらに、維持員が同一講座に3名以上の申込みすると受講料がさらに25%オフとなります(申込前にご相談下さい)。ただし、複数受講との重複割引はありません。

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム参加係

E-mail: meeting@jim.or.jp ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

協賛予定

エネルギー資源学会、応用物理学会、金属材料研究開発センター、軽金属学会、軽金属製品協会、合金状態図研究会、資源・素材学会、自動車技術会、ステンレス協会、素形材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本自動車工業会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本分析化学会、粉体粉末冶金協会

各講義の内容

第一日目

「結晶学の基礎の基礎」

ここでは FCC, BCC, HCP を中心に結晶方向、結晶面の定義について述べるが、特に FCC, BCC に重点を置く。逆格子の概念は結晶学でも難解とされているが、逆格子は結晶面の法線方向に対応することを強調した。

「ステレオ投影」

ステレオ投影は本来、球状物体の表面の位置を平面上に投影する方法のひとつであり、地球上の地点を2次元に投影した地図に対応するものである。無味乾燥な結晶方位や面方位とは少し離れて、日常慣れ親しんだ地球上の都市を例にしてステレオ投影の操作の演習を試みよう。ロンドン-東京間が約1万キロであることがすぐわかる。また、結晶表面の情報(トレース)から内部の結晶面を決定するトレース解析についても詳述する。

「転位論の基礎」

転位の基礎はバーガース・ベクトルである。バーガース・ベクトルを定義するものがバーガース回路である。これが理解できれば転位論が理解できたといっても過言では無い。逆にバーガース回路が理解できないと転位論の理解はおぼつかない。拡張転位、部分転位、積層欠陥、トンプソンの四面体についても述べる。

第二日目

「明視野(BF)像と暗視野(DF)像」

結晶による回折について述べる。回折には Bragg の法則が適用されるが、Bragg の法則にドンピシャリあっているか、わずかにずれているか、全く離れているかによってコントラストがつくのが回折コントラストである。この理解には Ewald 球の理解が必須である。回折効果を最大限に活用するためには小さな(対物)絞りを用いなければならないことを強調したい。電子顕微鏡では電子回折図形(逆格子)と拡大像(実格子)が同時に観察できる。これらを結びつけるのが DF と制限視野回折である。電子回折図形の指数付けについても演習する。DF の有用性も強調したい。

「転位のコントラスト」

いよいよ本題である。転位のバーガース・ベクトルの決定法、積層欠陥の intrinsic と extrinsic の識別法、転位ループが格子間原子タイプか空孔タイプかの識別法など詳述する。回折コントラスト法での高分解能であるウィーク・ビーム(WB)法についても詳述する。STEM-LACBED についても簡単に述べる。

「厚い試料を見る必要性」

最近では電顕の高分解能化に伴い薄い試料を見ることが日常化している。しかしこれでは2次元に投影した情報しか得られず、3次元情報は得られない。この対処法としてはステレオ観察がある。超高圧電子顕微鏡(HVEM)はこれに最適であるが、最近厚い試料を観察することが決定的である事象に遭遇した。即ちレーザによる結晶内部の損傷で、薄い試料の観察では肝心のことが完全に欠落してしまう。最後にこの最新情報を提供して皆様の参考にした。

参考書 「結晶電子顕微鏡学」(内田老鶴圃)

「問題と解答 結晶電子顕微鏡学」(内田老鶴圃)

「結晶転位論」(丸善出版)



オンデマンド配信：オンライン教育講座 金属材料の耐環境性(2) 高温酸化・高温腐食の基礎「—熱力学・速度論・高温強度—」

配信：2024年7月1日(月)～7月31日(水)

耐熱金属材料の使用環境は近年、益々高温化し、金属材料にとって非常に厳しい環境となるため、材料の高温特性向上が強く求められています。また高温酸化・腐食の原理原則に基づき高温酸化・腐食現象を正しく把握して、適切な材料選定や防食対策に活かすことが要求されます。本講座では、熱力学、速度論及び高温強度を中心に、高温酸化・腐食の基礎を学習することで、業務で高温酸化・腐食に携わる研究者・技術者として必要な素養を醸成することを目標とします。

講師

東京工業大学物質理工学院准教授 上田光敏 先生

1999年3月東京工業大学工学部金属工学科卒業。2004年3月東京工業大学博士(工学)。東京工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻・助手・助教・准教授を経て、2016年4月より現職(改組)。

㈱荏原製作所 野口 学 先生

1991年3月北海道大学工学部金属工学科卒業。1996年3月北海道大学博士(工学)。1996年4月株式会社荏原製作所入社。2019年4月より現職。

長岡技術科学大学教授 南口 誠 先生

1990年3月長岡技術科学大学工学部創造設計工学科卒業。1995年3月長岡技術科学大学工学博士。東京工業大学助手・長岡技術科学大学助教授を経て、2018年4月より現職。

コーディネーター 北海道大学教授 林 重成、大阪大学教授 土谷博昭

カリキュラム 1 時限目：高温酸化・腐食の熱力学(上田光敏先生)

2 時限目：高温酸化の速度論(上田光敏先生)

3 時限目：高温腐食・溶融塩腐食(野口 学先生)

4 時限目：酸化物の高温強度と高温酸化皮膜の機械特性(南口 誠先生)

* トータルで約6時間の講義です。

視聴期間 2024年7月1日(月)～7月31日(水)

視聴方法 オンデマンド配信システム UIshare から視聴いただきます。

資料は同システムのウェブサイトからダウンロードいただけます。

視聴方法および資料のダウンロードの方法は受講申し込み者にメールで案内します。

受講料

対象者	1 講座基本料金	2 講座目以降割引料金
正員	20,000円	15,000円
学生	8,000円	6,000円
非会員	40,000円	30,000円

(本会維持員会社社員、協賛学協会会員は会員扱い。学生は会員、非会員の区別なし)

※本年度開催のオンライン教育講座を複数申込される場合、2講座目からは割引料金となります。

申込方法 WEB 申込 <https://www.jim.or.jp/seminersymposium/>

申込締切 2024年7月8日(月)

受講料支払方法 ①カード決済、②コンビニ決済、③銀行振込

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

公益社団法人日本金属学会 セミナー・シンポジウム係

E-mail: meeting@jimmm.jp ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

[協賛予定] エネルギー資源学会、応用物理学会、金属材料研究開発センター、軽金属学会、軽金属製品協会、合金状態図研究会、資源・素材学会、ステンレス協会、素形材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本分析化学会、粉体粉末冶金協会、腐食防食学会

第19回 JIM/TMS Young Leader International Scholar Award 募集

本会では、若手研究者及び技術者の活動の活性化を図り、併せてTMSとの国際交流を促進させることを目的にJIM/TMS Young Leader International Scholar Programを設けており、TMSへの派遣者を募集いたします。

決定した派遣者は、金属学会のYoung Leader International Scholar Award受賞者として、2025年TMS Annual Meeting(2025年3月23日～27日：米国Nevada州Las Vegas)に派遣し、講演発表をするとともにTMSから表彰を受けていただきます。また、大会前後に関連機関の訪問も可能です。募集要項は、まてりあ4号(280頁)または本会ホームページ表彰・本会賞の募集をご覧ください。

応募締切日 2024年5月8日(水)

問合せ先 (公社)日本金属学会「Young Leader」係

☎ 022-223-3685

E-mail: stevent@jim.jp

2024年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

2024年秋期講演大会の特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。

特別講演

- ・講演者：著名な外国人研究者とする。
- ・講演時間：30分(討論10分)
- ・採択件数：3～4件
- ・滞在費補助：10,000円×5日(上限日数)
- ・その他：大会参加費免除、懇親会招待

招待講演

- ・講演者：有益な講演が期待される国内に滞在する外国人研究者とする。
- ・講演時間：15分(討論5分)
- ・採択件数：5件程度
- ・滞在費補助：なし
- ・その他：大会参加費免除

推薦用紙

所定様式(ホームページからダウンロード下さい)により、下記メールアドレス宛に「外国人特別講演推薦」と明記しお送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。

推薦書提出期日 2024年5月9日(木)

照会・推薦書提出先

(公社)日本金属学会 国際学術交流委員会宛

☎ 022-223-3685 E-mail: stevent@jim.jp

日本金属学会主催国際会議企画提案募集

本会が主催する国際会議の企画提案を募集します。2024年度以降開催の国際会議が対象です。期日までにご提案下さいようお願いいたします。

提案締切日 2024年5月31日(金)

提案要項 下記事項を記載した提案書(A4版、ホームページよりダウンロードして下さい)を、本会会長宛で申請して下さい。

- (1) 会議の名称(和文名・英文名)
- (2) 会期
- (3) 開催地・会場予定
- (4) 会議の目的・特徴
- (5) 日本開催の経緯と意義
- (6) 計画概要
 - a. 協賛、後援団体
 - b. 主要準備日程
 - c. 使用語
 - d. 参加予定国(国名・国数)
 - e. 参加予定者数(国内外)
 - f. 著名な国内外参加予定者(氏名・所属・役職)
 - g. パラレルセッション数およびポスターセッションの有無
 - h. プロシーディングスの出版(出版元・予定頁数、製作部数・頒価・配布方法)
 - i. 予算(収入・支出明細)
- (7) 準備委員会委員(氏名・所属・役職)
- (8) 提案(連絡)責任者(氏名・所属・役職・住所・電話・E-mail)

詳細はまてりあ3号215頁またはホームページをご確認下さい。<https://jim.jp> →「イベント」→「国際会議」

提案書送付先 (公社)日本金属学会 国際会議募集係

E-mail: stevent@jim.jp

各賞推薦(自薦)のお願い

日本金属学会技術賞、増本量賞、谷川・ハリス賞、功績賞、研究技能功労賞、論文賞の受賞候補者推薦を募集しております。詳細は、まてりあ4号277頁またはホームページ：各種賞→表彰・本会賞の募集をご覧ください。ご推薦は、すべてWebフォームからできますので是非、ご活用下さい。

推薦締切 各賞共通 2024年6月28日(金)

問合せ先 (公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 E-mail: award@jim.jp

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員，締切日，問合せのみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

「まてりあ」とホームページに掲載；16,500円

ホームページのみ掲載；11,000円

〈新刊案内〉

会員による出版案内(書誌情報の掲載)

〈その他の記事〉原則として有料掲載。

原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jimm.jp

助 成

(公財)泉科学技術振興財団
2024年度研究助成等の募集

研究助成 (高度機能性材料およびこれに関連する科学技術の基礎研究分野における真に独自の発想に基づく新しい研究に対する助成)

助成金額：1件100万円以下，46件

研究集会スタートアップ及びその飛躍への助成：

助成金額：1件50万円以内/年，5件以内。

募集期間 2024年4月1日～2024年6月15日(必着)

応募方法 詳細は下記ホームページをご参照下さい。

連絡先 公益財団法人 泉科学技術振興財団

http://www.izumi-zaidan.jp/

☎ 06-6373-1811

E-mail: info@izumi-zaidan.jp

◇掲示板はホームページにも掲載をしております。

https://jimm.jp/bulletin_boad/index.html

書 評

技術大全シリーズ 金属材料の疲労破壊大全

林 眞琴 著

著者の林 眞琴氏は，大学時代より疲労に関する研究に携わり，株式会社日立製作所に入社後は，構造強度信頼性に関する研究部門において研究開発に従事してこられた。このようなバックグラウンドから，本書では疲労破壊の基礎から実機構造物の損傷評価・解析まで丁寧に解説している。

第1章「疲労破壊の基礎」と第2章「疲労強度に及ぼす各種因子の影響」では，疲労破壊の概要，すべりとき裂発生，疲労強度に及ぼす予加工や結晶粒径等の影響について記述されている。第3章では，降伏強度以上の応力の繰返しによる「低サイクル疲労」，第4章「疲労き裂」では，疲労き裂進展寿命，応力拡大係数といった疲労き裂進展特性について説明している。第5章「腐食疲労」では，腐食ピットからのき裂発生およびき裂進展挙動，カソード防食や画像処理による検出法について紹介している。第6章では，発電用ガスタービン等における「高温疲労」，さらにクリープが重畳した場合の損傷評価まで言及している。第7章では，電子機器や発電プラント等における，起動と停止，内部流体の温度差に伴う温度分布の

発生等による「熱疲労」について解説している。特に軽水炉における高温水と低温水の合流による配管での熱疲労き裂発生について，純水中熱疲労試験および純水中高サイクル熱疲労試験による解析列が詳細に示されている。第8章では，実機構造物における複雑に変化する変動荷重を荷重した「変動荷重による疲労」について説明している。第9章では，X線回折法やレプリカ法による「余寿命評価」について，第10章「フラクトグラフィ」では，種々の破面形態とその形成メカニズム，荷重応力の推定法について紹介している。

「まてりあ」読者には，“疲労破壊”に興味はあるが機械系分野ということで踏み出せない方も多いのではないだろうか。本書は写真やグラフだけでなく，図解も豊富である。また，日本語文献が多く引用されており，入手もしやすい。そのため本書は，疲労破壊の初学者から実機を扱う設計者・技術者まで好適な教科書であり，一読を薦めたい。

(熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 北原弘基)

[2023年 A5判 日刊工業新聞 424頁 定価 5,170円]

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 88, No. 5 (2024)

—オーバービュー—

面心立方金属結晶における加工硬化挙動

東田賢二 大橋鉄也

—論文—

多結晶 Ni-20 mass% Cr 系固溶体におけるクリープ
強化の原理

金尾悠平 寺田芳弘

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 65, No. 5 (2024)

—Review—

Review - Materials Design for Improving Mechanical Properties of Ultra-Lightweight Mg-Li Based Alloys

Takahiro Mineta

Severe Plastic Deformation of Light Metals (Magnesium, Aluminum and Titanium) and Alloys by High-Pressure Torsion: Review of Fundamentals and Mechanical/Functional Properties

Kaveh Edalati

—Regular Article—

Materials Physics

Temperature Dependence of Nanoindentation-Induced Deformation Dynamics in Zr-Based Bulk Metallic Glass

Silvia Pomes, Nozomu Adachi,
Masato Wakeda and Takahito Ohmura

Microstructure of Materials

Elucidation of Blade Curving Mechanism in Japanese Sword Quenching Using the Simulated Strains-Based Approach

Toshikazu Yoshii,
Muneyoshi Iyota and Kyozo Arimoto

Mechanics of Materials

Investigation of the Evolution of Plastic Anisotropy and Pile-Up of Al Single Crystal in Nanoindentation Using Different Crystal Plasticity Models

Hui Lin, Lidong Shao, Lin Lv and Jiusheng Bao

Surface Relief Formation of Cyclic-Loaded Coarse-Grained Aluminum Polycrystals with Point Defect Clusters

Kazushige Tokuno, Takayuki Yonezawa, Genichi Shigesato,
Hideo Tsutamori and Masahiro Hagino

Fatigue Limit Diagram for Ferritic Stainless Steels Subjected to Excess Deformation under Fixed Maximum Stress Conditions

Miu Hayashi, Takeshi Ando, Ryohei Gonda,
Keishi Kitabatake, Jinta Arakawa, Hiroyuki Akebono
and Atsushi Sugeta

Materials Chemistry

Intermetallic Catalysts Consisting of Early 3d Transition Metals and p-Block Metals for Ammonia Decomposition

Takayuki Kojima, Shunsuke Nakajima and Souta Tate

Distribution of Rhodium between SiO₂-CaO-CrO_x Slag System and Molten Copper

Yuki Takahashi,
Takashi Murata and Katsunori Yamaguchi

Catalytic Characteristics of Component Elements in Heusler Alloys for Hydrogenation of Propyne

Takayuki Kojima, Taihei Wakayama and Yusuke Oi

Materials Processing

Erosion Resistance of Heat-Treated Aluminum Cast Iron to Aluminum Alloy Melt

Kazunori Asano, Hiroshi Yamada and Seiji Sugimura

Observation and Numerical Prediction of Concentration Distribution at Cast Coating Interface of Solid Pt, Ir, Re Using Liquid Ni-Based Alloys

Machiko Ode, Hisao Esaka, Akira Ishida, Susumu Takamori
and Hideyuki Murakami

Carburization Ability of Novel Solid Carburizing Method Using a Mixture of Iron, Graphite and Alumina Powders

Yasuhiro Morizono, Takateru Yamamuro
and Sadahiro Tsurekawa

Effect of Acetate Ion on the Morphology of Zinc Oxide Obtained from Layered Zinc Hydroxide Chloride

Saeka Sano and Haruhisa Shiomi

Engineering Materials and Their Applications

Grain Boundary Segregation Behavior and Thermodynamic Analysis Based on CALPHAD Method for B Added High Carbon Steel

Hideaki Ikehata, Takashi Maeshima, Keiichiro Oh-ishi
and Shinji Mitao

Structure and Tunneling Magnetodielectric Effects of Cobalt-(Barium Fluoride) Lateral Nanogranular Films

Hanae Kijima-Aoki, Katsuhiro Uchikoshi,
Takamichi Miyazaki, Masato Ohnuma, Yoshiki Honda,
Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma
and Hiroshi Masumoto

Effect of Laves Phases on Creep Strength for a Mg-Al-Ca Alloy

You Yamashita and Yoshihiro Terada

A Comparative Investigation of Corrosion Behavior and the Concurrent Acoustic Emission of AZ31 Mg Alloy under NaCl and Na₂SO₄ Solution Droplets

Kaige Wu, Kaita Ito and Manabu Enoki

Influence of Substrate Preheating on the Formation of Cracks and Microstructure in Ti-48Al-2Cr-2Nb Alloy via Laser Directed Energy Deposition

Baolei Cui, Weijun Liu and Hongyou Bian

まてりあ 第63巻 6号 予告

[新役員紹介] 2024年度役員紹介

[最近の研究] 深層学習による材料分野の画像解析の発展大阪公立大 上杉徳照
[材料教育] 材料系教育のための教材研究の現状と展望愛知教育大 北村一浩
[実学講座] 2-2 X線回折を用いた構造設計と解析 X線回折を用いた様々な計測方法京大 奥田浩司
—他—



(2024年2月21日～2024年3月21日)

ユース会員

宇部 紘生 松戸市立六実第三小学校	杉村有里佳 芝浦工業大学	三原 菜花 啓晴高等学校
岡村 玄 芝浦工業大学	二宮 涼輔	渡邊 咲太 つくば市立二の宮小学校
此永 士朗 武生高等学校	増永 優太 武生高等学校	

正 員

奥田 裕也 ヤマハ発動機株式会社	篠宮 勝	古田 和久 日本コロライズ工業株式会社
篠原 靖周 MHI 原子力研究開発株式会社	田邊 充彦 株式会社カネダ	矢野 祥弘 株式会社高純度化学研究所

学 生 員

岡安 祥希 筑波大学	土合ゆりな 武蔵野大学	野津 直人 島根大学
小川 晃弘 芝浦工業大学	長竹 真吾 群馬大学	花谷 航汰 筑波大学
高田 梨乃 北見工業大学	西村 美咲 千葉工業大学	

訂 正

まてりあ 第63巻 第1号(2024) 60～62頁

新技術・新製品

低サイクル疲労特性に優れた Fe-Mn-Si 系合金の製造技術開発と建築用制振ダンパーへの応用
千葉悠矢, 大塚広明, 天野 智, 犬塚純平, 岩崎祐二, 井上泰彦, 本村 達, 櫛部淳道, 澤口孝宏, 中村照美

英文タイトルに誤りがございましたので, 下記の通り訂正いたします。

(誤) Development of Fe-Mn-Si Alloy Manufacturing Technology with Excellent Low Cycle Fatigue Characteristics and Application to Vibration Damping Dampers for Construction

(正) Development of Manufacturing Technology for Fe-Mn-Si Alloys with Excellent Low-Cycle Fatigue Properties and Application to Seismic Dampers for Buildings

2024年春期(第174回)講演大会記録

2024年春期講演大会を、3月12日から15日の期間に東京理科大学葛飾キャンパスにおいて開催した。また、3月19日にはオンラインで高校生・高専学生ポスターセッションを開催した。

- 3月12日 14:00~17:30 ポスターセッション, 高校生・高専学生ポスターセッション(図書館棟3階ホワイト)
- 13:00~17:00 学生キャリアサポート企業ポスター展示(図書館棟3階ホワイト)
- 3月13日 9:00~9:40 開会の辞, 大韓金属・材料学会会長挨拶, TMS Young Leader紹介, 各賞贈呈式(講堂)
- 9:50~11:45 学会賞受賞記念講演, 本多記念講演(講堂)
- 13:00~17:15 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演(講義棟)
- 18:00~20:00 懇親会(管理棟学生食堂2階)
- 3月14日 9:00~17:00 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演, 招待講演, 共同セッション(講義棟)
- 12:10~12:50 企業ランチョンセミナー(講義棟)
- 3月15日 9:00~16:30 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演, TMS Young Leader講演, 共同セッション(講義棟)
- 3月13日~3月15日 総合受付, 金属組織写真展示(講義棟4階), 付設機器・カタログ展示会(講義棟5階)

- 第65回技術賞贈呈式 2名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌296頁).
- 第30回増本量賞贈呈式 1名に対し賞状ならびに副賞贈呈(受賞者; 本誌296頁).
- 第63回谷川・ハリス賞贈呈式 1名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌296頁).
- 第82回功績賞贈呈式 7名(学術部門5名, 技術部門2名)に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌297頁).
- 第55回研究技能功労賞贈呈式 9名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌298頁).
- 第74回金属組織写真賞贈呈式 最優秀賞1件, 優秀賞2件に対し賞状ならびに楯贈呈(受賞者; 本誌300頁).
- 名誉員推戴式 新名誉員2名に対し推戴状ならびに名誉員章贈呈(推戴者; 本誌302頁).
- 第7回フェロー認定式 新しくフェローに認定された1名に対し認定証贈呈(認定者; 本誌303頁).



受賞者の皆様, おめでとうございます!

開会の辞

榎 学会長より開会の挨拶があった。

大韓金属・材料学会代表挨拶(3月13日)

本会と大韓金属・材料学会との学术交流協定にもとづき招待をした Se-Don Choo 会長からの挨拶があった。



開会の辞: 榎会長.

KIM: Se-Don Choo 会長のご挨拶.

TMS Young Leader 紹介(3月13日)

本会とTMSとの国際交流促進協定にもとづき, TMSから第18回 Young Leader International Scholar 受賞者として派遣された Jessica A. Krogstad 氏が紹介された。

贈呈式(3月13日)

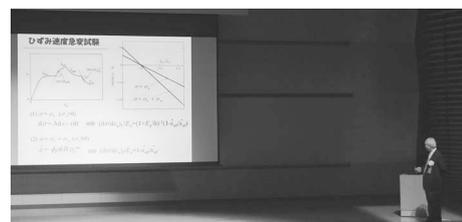
榎 学会長の式辞に続き, 下記の賞の贈呈式を行った。

第69回学会賞贈呈式 堀田善治君に対して賞状と賞牌ならびに副賞贈呈(受賞者; 本誌295頁)

第69回学会賞受賞記念講演(3月13日)

「金属材料の組織制御と高性能化」

九州工業大学特任教授, 熊本大学特任教授, 佐賀大学特命教授, 九州大学名誉教授 堀田善治 君

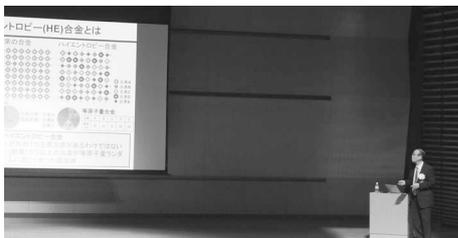


堀田先生のご講演.

第69回本多記念講演(3月13日)

「先進構造材料の結晶塑性における新展開 -ハイエントロピー合金を中心に」

京都大学大学院工学研究科教授 乾 晴行 君



乾先生のご講演.

日本金属学会・日本鉄鋼協会合同懇親会(3月13日)

日時: 3月13日(水)18時00分~20時00分

場所: 東京理科大学葛飾キャンパス 管理棟学生食堂 2階

参加者: 183名(本会への申込者・招待者56名)

開会の辞・司会	東京理科大学教授 田村隆治
来賓挨拶	東京理科大学学長 石川正俊
日本鉄鋼協会会長挨拶	東北大学教授 古原 忠
日本金属学会会長挨拶・乾杯	東京大学教授 榎 学
懇談	
閉会の辞	東京理科大学教授 田村隆治



東京理科大学 石川学長のご挨拶.

大会参加者

1,262名(事前: 1,110名, 後期(当日)103名, 相互聴講49名)

- 有料申込数1,090名
正員578名, 学生員332名, 非会員一般59名, 非会員学生15名
維持員会員社員48名, 協賛学協会会員一般4名, 協賛学協会会員学生5名, 日本鉄鋼協会との相互聴講49名
- 無料参加者数172名
受賞講演者13名, 高校生ポスター参加者・ユース会員72件,
65歳以上会員・名誉員70名, 非会員基調講演17名

学術講演会(3月12日~15日, 19日)

最終講演件数685件

欠講3件(講演番号: 一般講演No.50, 共同セッションJ3, 高校生・高専学生ポスターセッション: HSP38)

学会賞受賞記念講演1件

本多記念講演1件

公募シンポジウム講演5テーマ85題(谷川・ハリス賞受賞講演1題, 基調講演17題含む)

企画シンポジウム2テーマ 13題

一般講演333題(功績賞受賞講演6題, 技術賞受賞講演2題, 功績賞受賞講演2題, 増分量受賞講演1題, 招待講演1題, TMS ヤングリーダー scholar 講演1題含む)

共同セッション2テーマ11題

ポスターセッション179題

高校生ポスター 62題

講演会場 12会場

第42回ポスターセッション(3月12日)

日時: 3月12日 14:00~17:30

第一部 14:00~15:30

第二部 16:00~17:30

場所: 東京理科大学葛飾キャンパス 図書館棟3階ホワイエ
179件のポスター発表が行われ, 優秀ポスター賞審査対象となっている154件の内容・発表について審査が行われた. 多くの聴講者が来場し, ポスターセッション会場は大変盛況であった.

3月13日に「優秀ポスター賞」授賞者37名を決定し, 3月14日に受賞者を講演大会会場受付および本会講演大会ホームページで発表した.

第11回高校生・高専学生ポスターセッション

(3月7日, 3月15日)

日時・開催場所:

3月12日(火) 14:00~17:30 現地(東京理科大学葛飾キャンパス 図書館棟3階ホワイエ)

3月19日(火) 14:00~16:30 オンライン(zoom)

発表者の希望により, 現地23件とオンライン39件で合計62件の高校生・高専学生(3年生以下)ポスター発表が行われた. 発表を審査した結果, 日本金属学会賞2件, 最優秀賞2件, 優秀賞24件を決定し, 3月22日に講演大会ホームページにて発表した.

現地発表はポスターセッションと同じ会場でポスターを掲示して行い, オンライン発表はZoom ミーティングで発表資料を画面共有して行った. なお, オンライン発表では, 事前に提出されたポスター画像をポスター掲示システム上に掲載した. いずれも熱心に取り組んだ研究内容が発表され, 審査員や聴講者と活発に質疑する様子が見受けられた. 発表した学生は大学教員等からのアドバイスを熱心に聞き, 今後の研究に生かそうという意欲を見せていた. ポスターセッションや他校の発表を聴講する発表者もあり, また, オンラインでは他校の発表を聴講するなど高校生同士の交流も行われていた. 今回も指導教員交流会(17時~18時オンライン)を実施し, 教員との情報交換を行った.

金属学会・鉄鋼協会共同セッション

「チタン・チタン合金」13題(金属7題, 鉄鋼6題)は3月14日および3月15日, 鉄鋼協会第8会場で開催した.

「高温溶融体の物理化学的性質」8題(金属4題, 鉄鋼4題)は3月15日, 鉄鋼協会第1会場で開催した.

第18回 JIM/TMS Young Leader International Scholar Program(3月15日)

Joint JIM/TMS Young Leader International Scholar Program として, TMS から派遣された Young Leader の Jessica A. Krogstad 氏は一般講演「水素・電池関連材料」の中で講演発表後, 座長より賞状が授与された.



Thank you for coming.

付設機器・カタログ等展示会(第49回)

機器展示17社およびカタログ展示2社の出展があり、講義棟5階にて展示会を開催した。講演会場と隣接していることもあって、多くの来場者でにぎわった。

学生キャリアサポート企業ポスター(3月12日)

企業が学生会員に向けて、会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等を紹介する企業ポスター展示をポスターセッションの会場にて実施した。

- (株)豊田中央研究所
- 石福金属興業(株)
- (株)徳力本店
- 大和工業(株)
- (株)UACJ

第17回企業ランチョンセミナー(3月14日)

昼休み時間帯に昼食を提供して、講演大会参加者に最新の技術情報を聴講いただく30分程度のランチョンセミナーを開催した。

(3月14日)

- オックスフォード・インストゥルメンツ(株)(C会場)
- TSLソリューションズ(株)(D会場)
- ブルカージャパン(株)(G会場)

第15回男女共同参画ランチョンミーティング(3月15日)

「金属材料分野での多様なキャリアパス」をテーマに講演会を行った。

講演：「研究者夫婦の子育てと仕事：同じ研究分野で良かったこと、困ったこと」

講師：山中謙太先生 東北大学准教授

参加者：32名



山中先生のご講演。

託児室

3月12日(水)~15日(金)に託児室を開設した。

利用者数

3月12日 0名

3月13日 2名(6歳1名, 2歳1名)

3月14日 1名(2歳1名)

3月15日 1名(2歳1名)

【大会雑記】

東京理科大学では6回目の開催となり葛飾キャンパスでは2回目の開催であった。

日本金属学会と日本鉄鋼協会の会場が同じ講義棟の建物内であったため、両会へ参加する参加者には利便がよかった。また、今回から日本鉄鋼協会との相互聴講も再開した。

3月12日のポスターセッションの日は大雨に見舞われたが、3月13日からの会期中は概ね天候に恵まれ4日間の講演大会を無事に終了することができた。

東京理科大学の田村隆治先生およびアルバイト学生の皆様、事務関係者各位には、お忙しい中を諸般にわたり万端のご配慮とご協力をいただき、心から厚く御礼申し上げます。



行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2024年 5 月				
7~6.2	オンデマンド配信：オンライン教育講座「医療用金属材料の基礎」(3号218頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	5.13
10~12	軽金属学会第146回春期大会(名大)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	
14	腐食防食部門委員会 第354回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/	5.7
15~17	2024年度塑性加工春季講演会(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
15~31	第436回講習会「ものづくりにおける生成 AI の活用」(オンライン開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html	
16	第357回塑性加工シンポジウム「スマート工場に向けた DX」~センシング技術の最新活用事例~<2024年度塑性加工春季講演会併設企画>(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 90名
16~17	第40回希土類討論会(松山)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 office@kidorui.org http://www.kidorui.org/	
17~18	第9回岩崎コンファレンス(東京・オンライン)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com	4.18
18~11.2 全(7回)	セラミックス大学2024(CEPRO2024)(オンライン開催)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org https://www.ceramic.or.jp/ikyoku/cepro2024/index.html	
22~24	ナノ学会第22回大会(東北大)	ナノ学会	https://www.medphys.med.tohoku.ac.jp/nano22/index.html	
24, 31	第251・252回西山記念技術講座「今後激変することが予想される鉄源の確保に向けて」(大阪)(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/event/event2024/nishiyama251.html	
24	第9回マルチスケール材料力学シンポジウム(長崎)	日本材料学会	http://www.jsms.jp	
27~29	トライボロジー会議2024 春 東京(東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp https://www.tribology.jp/	
28~31	第59回真空技術基礎講習会(大阪)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/18/detail.php?eid=00006	5.20
2024年 6 月				
3~30	オンデマンド配信：オンライン教育講座「弾性異方性の考え方」(4号283頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
3~5	日本顕微鏡学会第80回学術講演会(千葉)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2024/	
10~12	第29回計算工学講演会(神戸)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jsces.org/koenkai/29/	
13~14	第15回核融合エネルギー連合講演会—フュージョンエネルギーによる脱炭素社会の実現—(八戸)	プラズマ・核融合学会、日本原子力学会	FAX 052-735-3185 plasma@jspf.or.jp	400名程度
13-14, 27-28	界面コロイドラーニング第40回現代コロイド・界面化学基礎講座(東京・大阪)	日本化学会コロイドおよび界面化学部会	https://colloid.csj.jp/202403/learning-40th-tokyo/ TEL 011-706-7110 jigyokikaku_01@colloid.csj.jp	
17~18	第28回動力・エネルギー技術シンポジウム(京都)	日本機械学会	TEL 03-4335-7615 https://www.jsme.or.jp/event/24-10	
18	機械材料・材料加工のシミュレーション・計測と力学(第4回：材料への治癒・修復機能付与)(オンライン開催)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/event/24-27/	
19~20	オンライン教育講座「電子顕微鏡と格子欠陥の基礎」(本号351頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
24	第93回技術セミナー「カーボンニュートラル実現に向けた環境・エネルギー関連装置における腐食問題と対策」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	6.18
27	第199回腐食防食シンポジウム「リスクベースマネジメント(RBM)の展開」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/199.html	6.21
2024年 7 月				
1~31	オンデマンド配信：オンライン教育講座「金属材料の耐環境性(2) 高温酸化・高温腐食の基礎-熱力学・速度論・高温強度-」(本号353頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
3~5	第61回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 happyoukai@jrias.or.jp https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/	
18~19	第58回 X 線材料強度に関するシンポジウム(名城大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/meeting/xsym_regist.html	
25-26	講習会「粉末 X 線解析の実際」(東工大)	日本結晶学会	crsj-xray@conf.bunken.co.jp http://analytsci.org/xrd2024/	定員 200名
26	第438回講習会「測長の基礎から応用-精密光計測技術」(中央大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form2.html	定員 60名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
29-31	第30回結晶工学スクール(2024年)(上智大)	応用物理学会	TEL 03-3828-7723 divisions@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho	参加 7.12
2024年 8 月				
2	第132回シンポジウム「カーボンニュートラルに対応する自動車へのアルミニウム活用最前線」(芝浦工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/	定員 120名
27	第8回統合的先端研究成果発表会(ハイブリッド開催)	軽金属奨学会	TEL 06-6271-3179 grant@lm-foundation.or.jp http://www.lm-foundation.or.jp/	
2024年 9 月				
6~8	2024年度工学教育研究講演会(九大伊都キャンパス)	日本工学教育協会 他	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp http://www.jfes.or.jp/	
17-19	日本実験力学会2024年度年次講演会(山形大学)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://jsem.jp/event/Annual24/index.html	事前 7.21
18-19	第36回疲労シンポジウム(函館)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://fatigue.jsms.jp	講演 6.14
18~20	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)(本号337頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	講演 7.5 高校生ポスター 7.12
26~28	第60回熱測定討論会(京都府立大)	日本熱測定学会	TEL 03-6310-6831 netsu@mbd.nifty.com https://www.netsu.org/60touron/index.html	
2024年10月				
8~9	第14回材料の衝撃問題シンポジウム(京都)	日本材料学会	http://www.jsms.jp impact14@office.jsms.jp	講演 6.28
16, 30	第253・254回西山記念技術講座「最新シミュレーション技術の進歩と鉄鋼業への展開」(大阪)(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/event/event2024/nishiyama253.html	
2024年11月				
8~10	第75回塑性加工連合講演会(琉球大)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
13~15	第65回高圧討論会(盛岡)	日本高圧力学会	TEL 070-5545-3188 touronkai65@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/65forum/	参加事前 9.13
15	第26回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 090-8024-7568 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
21	第75回白石記念講座 データ駆動型材料開発の最前線とその適用例(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/event/event2024/shiraishi75.html	
22	日本学術会議公開シンポジウム「サステナブル社会への移行における資源循環の役割」(東京)	日本学術会議 材料工学委員会, 合工学委員会, 境学委員会他	TEL 03-5286-3320 info@mmij.or.jp	
25~27	第45回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(東京)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 03-3259-0766 use-sponsor-app@iuse.or.jp https://www.use-jp.org/	
2024年12月				
11~13	Asian Thermal Spray Conference 2024(アジア溶射会議2024)(東北大)	日本溶射学会	TEL 06-6722-0096 jtss@jtss.or.jp	
2025年 3 月				
8~10	日本金属学会春期講演大会(東京都立大学南大沢キャンパス)予定	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	63-11 会告予定



～お知らせ～

- 2024年秋期講演大会講演および参加申込が今月末よりはじまります。尚、会期開催日が2024年9月18日から20日までの3日間になりましたので、ご確認をお願いいたします。(本号337頁会告)



まてりあ 第63巻 第5号(2024) 発行日 2024年5月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312

発行人 谷山 明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

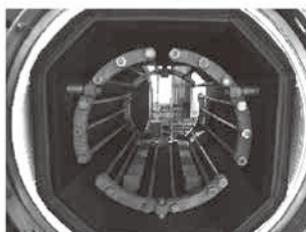
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

高断熱+省エネ

URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

- 高純度カーボングラファイト部品(純度5ppm以下)
- C/C(カーボン・カーボン)材による精密加工
- カーボン成形断熱材、カーボンフェルト
- 回転式アルミ脱ガス装置用ローター
- 高温真空炉 炉内メンテナンス、カーボンヒーター
- メカニカルシール、パッキン等の摺動部品修理・改造

高温真空炉



カーボンヒーター

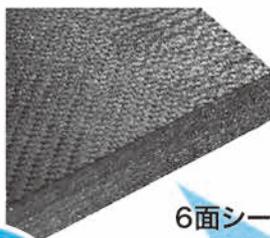


シール



CO₂削減

6面シート
貼り



カーボンフェルト



メカニカルカーボン工業株式会社

本社:247-0061 神奈川県鎌倉市台5-3-25 TEL.0467-45-0101 FAX.0467-43-1680

工場:新潟工場・本社工場・野村工場(愛媛)・広見工場(愛媛) 事業所:郡山・東京・大阪・松山・周南・福岡

お問い合わせEメール mck@mechanical-carbon.co.jp



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

前付) 1色1P ¥100,000 (税別) 1/2P ¥60,000 (税別)

後付) 1色1P ¥95,000 (税別) 1/2P ¥55,000 (税別)

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ¥70,000 (税別) 1/2P ¥40,000 (税別)

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

TEL (03) 3546-1337 FAX (03) 3546-6306

E-mail info@meihosha.co.jp HP www.meihosha.co.jp

顕微鏡 & 関連製品ガイド

電子顕微鏡・表面分析装置用周辺機器

クライオ装置



PP3006 CoolLok

- 迅速な試料交換
- 大気非暴露搬送可
- -190°Cまで冷却可
- off カラム冷却タイプ

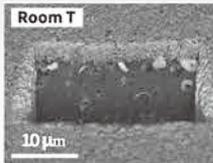
Quorum



MHCS Micro Heating & Cooling Stage

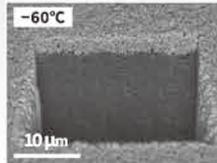
- -60°C～125°C(真空中)
- 安定度：0.01°C
- マニピュレータと併用可

kleindiek
microtechnology



Room T

10 μm



-60°C

10 μm

Liイオン電池の断面

クライオリフトアップ

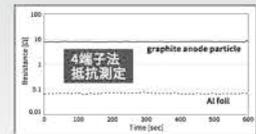


Cryo グリッパー

- マニピュレータ MM3 の Plug in ツール
- 開閉ステップ間隔 20nm
- -196°C～80°C
- 先端形状カスタム可



- 冷却加工したサンプルのピックアップに!
- 試料切片を TEM グリッドへ



Liイオン電池セル電気特性

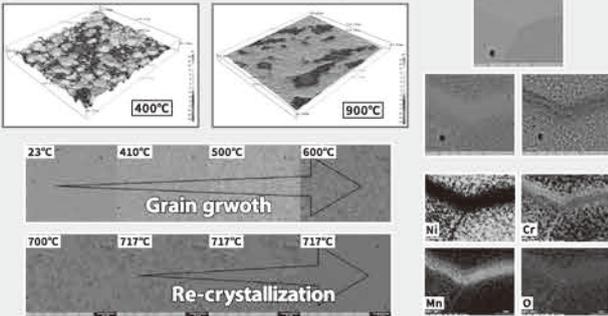


電子線に弱い試料 の観察・加工

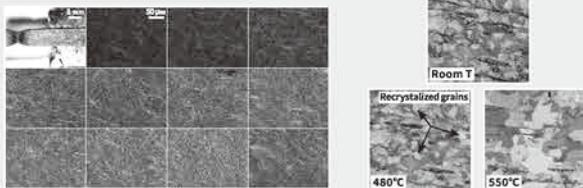
材料特性のその場観察

～化学反応・表面・組織～

表面形態・化学組成・粒成長



EBSD観察・変形試験



加熱ステージ



FurnaSEM1000

- 1000°Cまで
- EBSD 観察可
- ガス注入キット
- ソフトウェアなど

NewTec
Scientific

引張ステージ



MT1000

- 引張、圧縮、屈曲試験
- 温度勾配付加熱
- ガス注入キット
- ソフトウェアなど

NewTec
Scientific

BSE 検出器



高温・ガス雰囲気下での観察を可能にする BSE 検出器

- 熱電子をカット
- パイプ冷却

crytur

ADS 株式会社 アド・サイエンス

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-7-2ステージビルディング13階

☎ 03-6824-4510

✉ ads-contact@ads-img.co.jp

🌐 <https://www.ads-img.co.jp/>

