

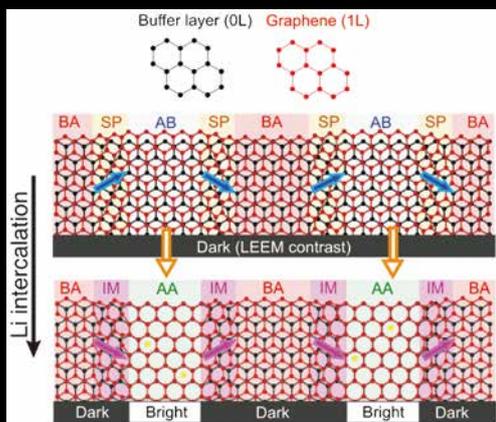
# Materia Japan

まてりあ Vol.63

MTERE2 63 (12) 823 ~ 890 (2024)

No.12

2024



・ 金属なんでもランキング! ビッカース硬さ

巻頭  
記事

金属学が支える半導体デバイス

表彰

受賞者紹介 (秋)

・ SiC 基板上のグラフェンへの Li インターカレーション過程での積層構造変化

・ 変形挙動解析と幾何学理論で迫るキンク強化機構

実学  
講座

金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価

2-3 磁気特性の計測と解析

2-3-2 磁気測定の実用: 動的磁化測定 (測定)

・ What's 技術士?

・ 科学館めぐり 北海道大学総合博物館 (札幌市)

・ はばたく

・ スポットライト

## 第3巻 「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」

徳永雅亮・山本日登志著  
B5判 2023年発刊  
定価：2,300円(税込) + 送料  
発行所名：ネオジコンサル

〒604-8127  
京都市中京区菊屋町524  
アビーロードハウス604  
E-mail：hitoshiad\_0330@yahoo.co.jp  
URL：https://hitoshiad26.sakura.ne.jp



第3巻は永久磁石特性で重要となる保磁力とその要因をデータに基づき考察解説している。また着磁特性などモータ特性に影響を及ぼす磁石の異方性(配向度)に関連する実測データを取り考察している。その他磁石別着磁特性、電気抵抗、渦電流他磁石損失特性に関連する要因も解説した。

## 続 金属学プロムナード

— セレンディビティの誕生そして迷走 —

小岩昌宏 著  
A5判  
2024年6月 定価2,860円(税込)  
発行所名：アグネ技術センター  
ISBN978-4-86707-017-8

〒107-0062  
東京都港区南青山5-1-25 北村ビル  
TEL：03-3409-5329  
FAX：03-3409-8237  
URL https://www.agne.co.jp/books/

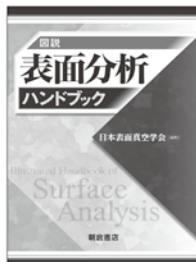


『金属学プロムナード』(2004年刊行)の続編。  
本書は、著者が研究者として歩んだ40年の間に、自然科学分野で興味を抱いた事柄、それを解明した人物などに関して調べたことを第1章から第15章に綴った。また、副題の“セレンディビティ”の語源とそのさまざまな解釈を第16章で紹介している。

## 図説 表面分析ハンドブック

日本表面真空学会 編  
B5判 576頁  
2021年6月 定価19,800円  
(本体18,000円)

発行所名：(株)朝倉書店  
ISBN：978-4-254-20170-3  
〒162-8707  
東京都新宿区新小川町6-29  
TEL：03-3260-7631  
FAX：03-3260-0180  
URL：https://www.asakura.co.jp/



約120の表面分析手法を取り上げ、見開き形式で解説。原理だけでなく実際の適用例を複数紹介し、また各項目の冒頭にはその手法の特徴や主な適用先などをまとめ、一目で概要がわかるよう工夫。試料の種類や性質、目的により適切な手法を選択するためのリファレンス。

## Primary大学テキスト これだけはおさえない化学 改訂版

大野公一・村田 滋・齊藤幸一 ほか著  
B5判  
2022年12月 2,530円(税込)

実教出版  
ISBN：978-4-407-35590-1  
〒102-8377  
東京都千代田区五番町5  
TEL：03-3238-7765  
FAX：03-3238-7770  
URL：https://www.jikkyo.co.jp/



理論化学を高校で学習する基礎から学べるテキスト。平易な言葉で基礎から解説しており、「電子軌道」「ギブズエネルギー」など。大学に必要な知識も学べる。「物質の構造」「物質の状態」「物質の変化と平衡」の章配列。フルカラー印刷で、物質の状態や色の変化を写真で見られ、概念図・モデル図も理解しやすい。

# 書籍ガイド・広告募集！

かねてより会員読者より要望されておりました「書籍」情報を発信する広告特集です。

**1コマ (1/6頁) ¥18,000 (税別)**

**次回は、6月号 (6/1発行) に掲載致します。**

広告掲載の  
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 : http://www.meihosha.co.jp

# Materia Japan

Volume 63 Number 12 December 2024

## Contents

### Ranking of Metals

No. 26 Vickers Hardness 823

### Top Article

Metallurgy Behind Semiconductor Devices 824

### Awards

12<sup>th</sup> The Japan Institute of Metals and Materials Poster Award for Student of Highschool and College of Technology 828

### Regular Articles

#### Recent Research

Stacking Structure Changes During the Li-intercalation Process in Graphene on SiC Substrates  
Yukihiro Endo, Ryota Akiyama, Rei Hobara and Shuji Hasegawa 829

#### Emerging Young Researchers

Study on Kink Strengthening Mechanism Based on Geometry and Deformation Behaviour Ryutaro Matsumura 836

#### Practical Courses

Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties  
2-3 Measurement and Analysis of Magnetic Properties : 2-3-2 Introduction of Advanced Magnetometry: Basic of Dynamic  
Measurement (Measurement Techniques) Reisho Onodera and Eiji Kita 842

#### Welcome to Science and Technical Museums

The Hokkaido University Museum Hiroshi Oka 852

#### What's the Professional Engineers?

Benefits in the Industrial World Which the Acquisition of the Professional Engineer Qualification Bring  
Kazumasa Yamazaki 855

#### Portrait of Young Researchers

Supported Alloy Catalysts for Diversification of Biomass Resources Katsutoshi Nomoto 858

#### Spotlights

Generating Artificial Rubies Using Microwave Oven Ryotaro Kido, Yuta Masunaga and Shiro Kononaga 860

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.

# Materia Japan

Volume 63 Number 12 December 2024

## Contents

### Ranking of Metals

No. 26 Vickers Hardness 823

### Top Article

Metallurgy Behind Semiconductor Devices 824

### Awards

12<sup>th</sup> The Japan Institute of Metals and Materials Poster Award for Student of Highschool and College of Technology 828

### Regular Articles

#### Recent Research

Stacking Structure Changes During the Li-intercalation Process in Graphene on SiC Substrates  
Yukihiro Endo, Ryota Akiyama, Rei Hobara and Shuji Hasegawa 829

#### Emerging Young Researchers

Study on Kink Strengthening Mechanism Based on Geometry and Deformation Behaviour Ryutaro Matsumura 836

#### Practical Courses

Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties  
2-3 Measurement and Analysis of Magnetic Properties : 2-3-2 Introduction of Advanced Magnetometry: Basic of Dynamic  
Measurement (Measurement Techniques) Reisho Onodera and Eiji Kita 842

#### Welcome to Science and Technical Museums

The Hokkaido University Museum Hiroshi Oka 852

#### What's the Professional Engineers?

Benefits in the Industrial World Which the Acquisition of the Professional Engineer Qualification Bring  
Kazumasa Yamazaki 855

#### Portrait of Young Researchers

Supported Alloy Catalysts for Diversification of Biomass Resources Katsutoshi Nomoto 858

#### Spotlights

Generating Artificial Rubies Using Microwave Oven Ryotaro Kido, Yuta Masunaga and Shiro Kononaga 860

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.

金属なんでもランキング！ No. 26	ビッカース硬さ	823
巻頭記事	金属学が支える半導体デバイス	824
表彰	第12回高校生・高専学生ポスター賞受賞者	828
最近の研究	SiC 基板上のグラフェンへの Li インターカレーション過程での積層構造変化 遠藤由大 秋山了太 保原 麗 長谷川修司	829
	Li インターカレーションのしやすさがグラフェンの積層構造に依存し、逆に Li インターカレーションが積層構造を変えていく様子の動的観察に成功！！トポロジーがそれらを支配する？！	
新進気鋭	変形挙動解析と幾何学理論で迫るキンク強化機構 松村隆太郎	836
実学講座	金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価 2-3 磁気特性の計測と解析 2-3-2 磁気測定の実用：動的磁化測定(測定) 小野寺礼尚 喜多英治	842
科学館めぐり	北海道大学総合博物館(札幌市) 岡 弘	852
What's 技術士？	産業界における技術士資格取得のメリット 山崎一正	855
はばたく	バイオマス資源の多様化に向けた担持合金触媒の研究 野本賢俊	858
スポットライト	電子レンジを用いたルビーの生成 城戸良太郎 増永優太 此永士朗	860
本会記事	会告	862
	次号予告	883
	支部行事	876
	2024年秋期(第175回)講演大会記録	884
	掲示板	880
	行事カレンダー	887
	会誌・欧文誌12号目次	882
	書評	890
総目次	<a href="https://jimm.jp/publication/materia/pdf/All-index.pdf">https://jimm.jp/publication/materia/pdf/All-index.pdf</a>	

## 今月の表紙写真

AB 積層領域への Li インターカレーションによる積層構造分布の変化。  
(遠藤由大 秋山了太 保原 麗 長谷川修司 著 833頁 図7(b)より改変掲載)

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。

# 金属なんでもランキング! No.26 ビッカース硬さ

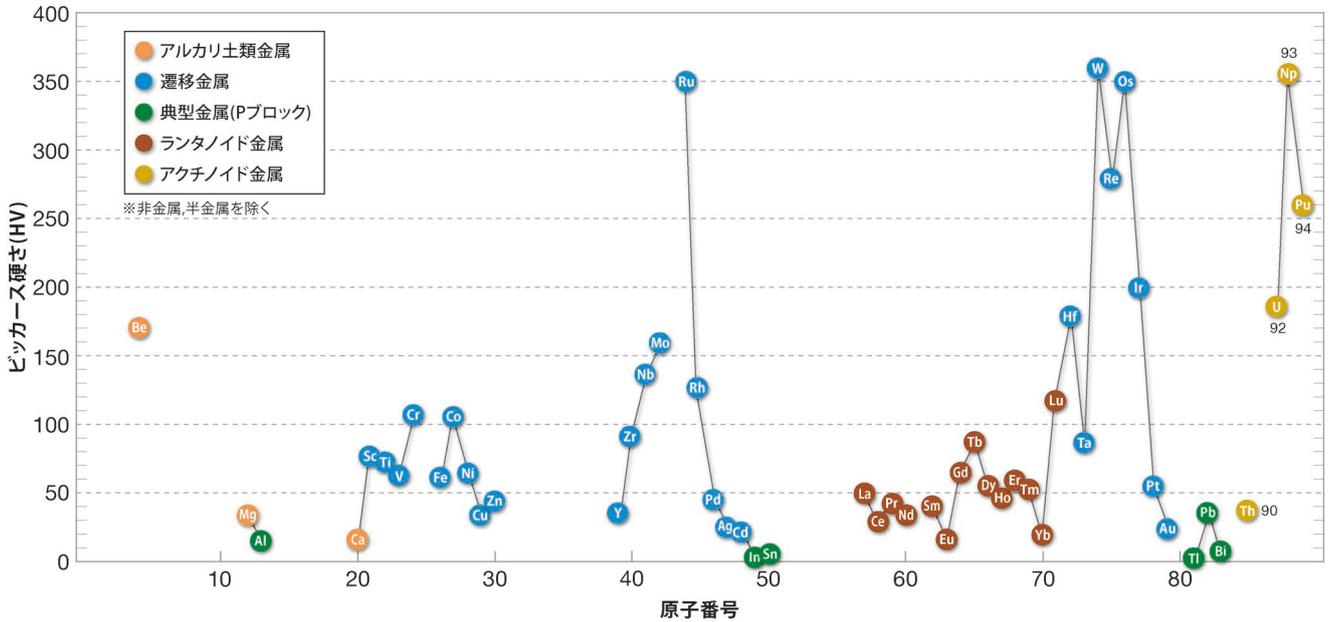


図1 各金属元素のビッカース硬さ(室温における値)。

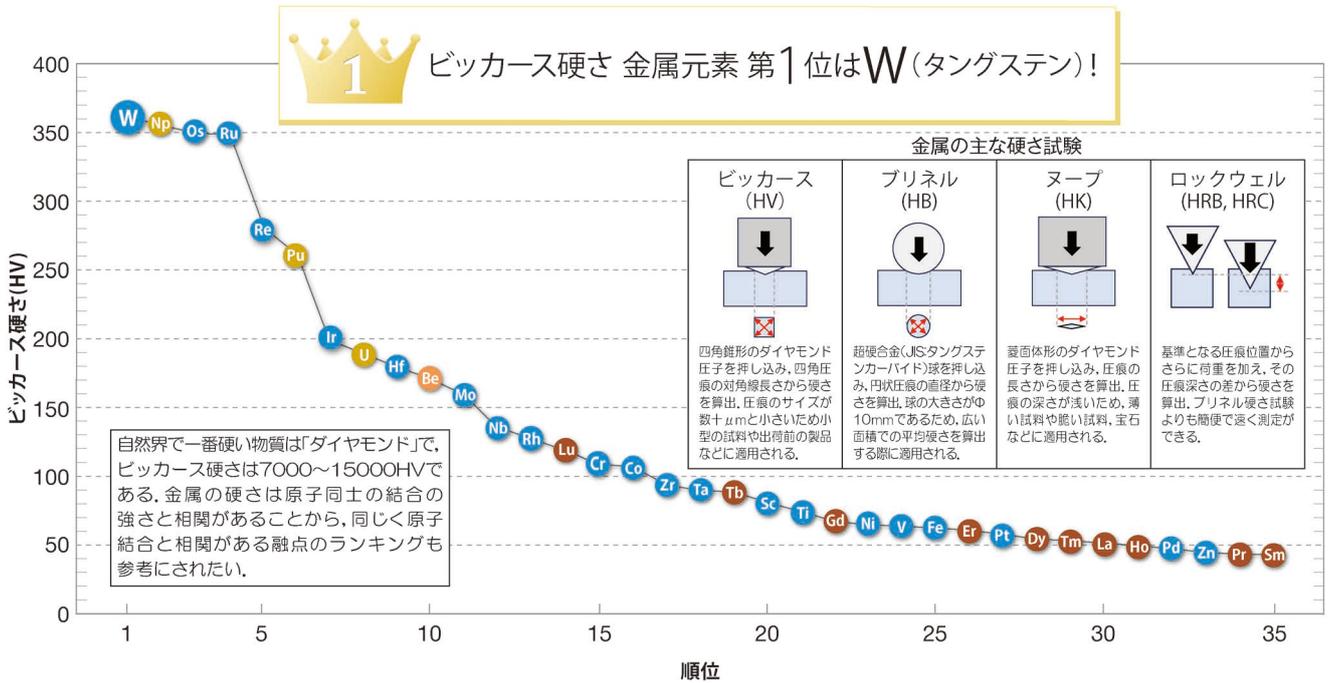
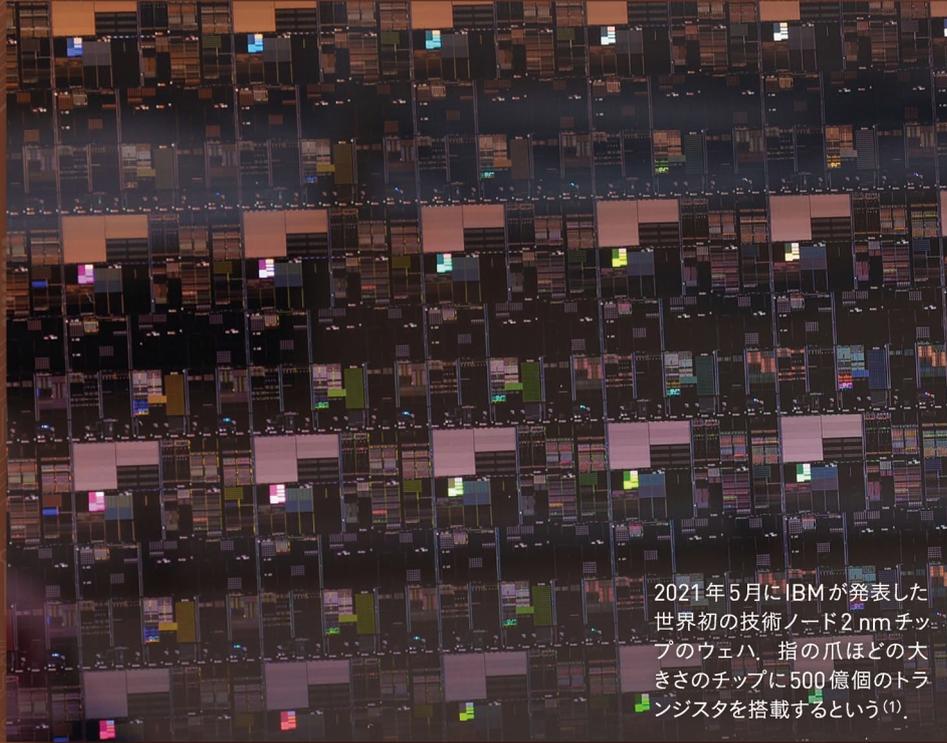


図2 各金属元素のビッカース硬さランキング(上位35位まで)。

参考文献：

- (1) 改訂4版金属データブック：日本金属学会編，丸善，(2004)。
- (2) Handbook of the physicochemical properties of the elements, edited by G. V. Samsonov, Springer (1968)。
- (3) 金属なんでもランキング No.3 融点・沸点：まてりあ，58(2019)，301。

次回！ 金属素描 No.38 カドミウム



2021年5月にIBMが発表した  
世界初の技術ノード2 nmチップ  
のウェハ。指の爪ほどの大  
きさのチップに500億個のトラ  
ンジスタを搭載するという<sup>(1)</sup>。

# 金属学が支える 半導体デバイス

私たちの社会生活がより便利で快適になるために、半導体技術の進化は不可欠である。  
半導体デバイスの飛躍的な性能向上の陰には、優れた材料技術の進化がある。

## 高く評価される 日本の半導体材料

日本の半導体産業は1980年代に世界市場でトップを走ってきたが、その後、次第に海外メーカーにシェアを奪われ、世界における日本のシェアは減り続けている。これに対し日本政府は、2021年に半導体・デジタル産業戦略<sup>(2)</sup>を発表し、半導体産業の復活に向けた取り組みを加速している。2024年には世界最大手の半導体ファウンドリである台湾積体回路製造(Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, TSMC)の熊本工場開所や、国産半導体の製造を目指した国内大手企業の共同出資によるRapidus(株)の設立も、官民が協力する半導体産業の一大事業として大きな注目を集めている。

世界的なシェアでは大きく水をあけられている日本の半導体産業だが、半導体デバイスに使われる材料に関しては、今も世界的に高い評価を得ている。今回は、半導体デバイスの微細化の進展に伴い新たな材料の開発が続けられてきた配線材料に注目する。

## 性能向上と微細化の歴史

半導体デバイスの進化は、微細化による高集積化と高速化の歴史である。半導体デバイスが微細化することによって、同じ面積に搭載できるトランジスタの数が多くなる。またトランジスタにおいて信号の伝わる距離

が短くなり、より高速に動作できるようになる。その結果、デバイスの処理能力が向上し、より複雑な計算とデータ処理が可能になる。

半導体デバイスの微細化には、「ムーアの法則」がよく知られている(図1)。これは、1965年にインテルの共同創業者の一人であるゴードン・ムーアが唱えた経験則で、「半導体の性能(集積度)は18~24か月で2倍になる」というものであり、実際、現在までほぼこの法則の通りに微細化が進んできた。

このような半導体デバイスの進化には、社会を根本から変革する大きな影響力がある。1991年にCERN(欧州原子核研究機構)において世界初のウェブサイトが誕生した当時、1000ドルで1秒間の計算回数は $10^4$ 程度であったが、1995年にWindows95が登場しInternet Explorerが普及し始めた頃には $10^6$ 程度にまで達した。その後、スマートフォンの普及、AIの開発などが進み、2022年には生成AIが登場し、計算能力は $10^{15}$ 程度で人間の脳と同レベルに達している。近い将来、人間の脳の能力を超えることが予想される。

## 多層配線構造と ノードの微細化

一般的なトランジスタであるMOS型電界効果トランジスタ(MOSFET)\*1の構造を図2に示す。トランジスタでは、ゲートに電圧を加えないとソースとドレインの間に電流は流れない。ゲートに電圧を加えるとゲート

酸化膜の直下のチャンネルと呼ばれる領域に電子(または正孔)が集まり、ソースとドレイン間に電流が流れる。チャンネルをより短く太くすることにより動作の高速化を図ることができる。しかし、この構造には問題があった。過度の微細化により、本来は電流が流れないはずの絶縁箇所にもリーク電流が発生してしまうのである。この課題はトランジスタの構造を変えることで克服した。

トランジスタ構造の変遷を図3に示す。従来のトランジスタは平面構造をしている。2011年に開発されたのがフィン構造(Fin FET)と呼ばれる構造である。この時点で、微細化の世代を表す技術ノード\*2は22 nmに達していた。このフィン構造は、ソースとドレインの間に流れる電流を制御するゲートが、チャンネルを周囲3方向から取り囲む立体構造をしている。これにより、リーク電流が抑制され、平面構造の限界であった低消費電力化と性能向上の両立を図っている。この構造により、10年くらいの期間は微細化が継続可能となった。

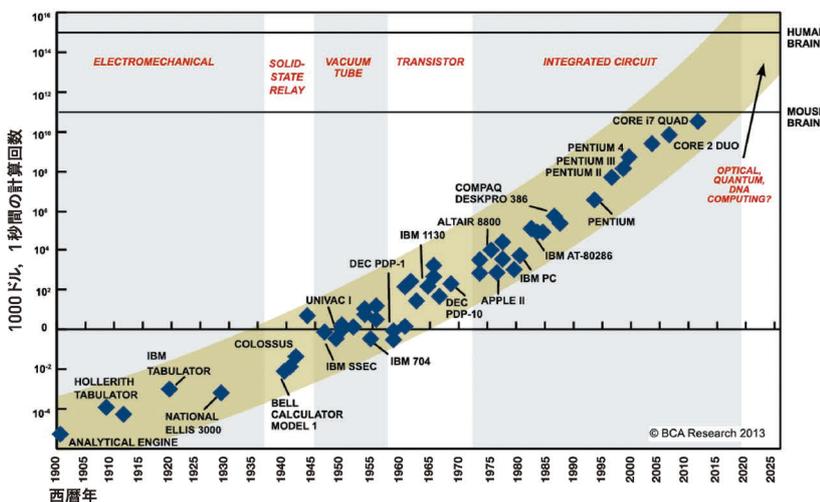
さらに新しい構造として考案されたのが、ナノシート構造である。この構造では、チャンネルを4方向からゲートで取り囲んだ構造になっている。全方位をゲートが取り囲むため、Gate All Around(GAA)構造ともいう。Fin FETよりもさらにリーク電流の抑制が可能となる。2022年に設立されたRapidus(株)が、次世代半導体として2027年に量産化を目指しているのが、このGAA FETである。

## 主役はアルミニウムから銅へ

このようにトランジスタが進化する環境において配線の微細化はどのように進んでいくのだろうか。配線材料は、ウェハ上に形成されたトランジスタ同士およびトランジスタと外部回路との接続をするために形成され、

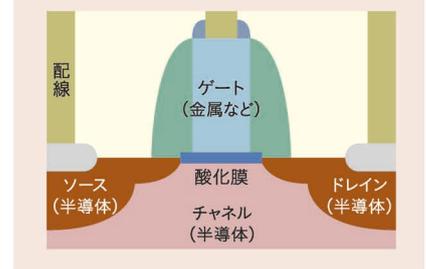
\*1 MOS:金属(Metal)-酸化膜(Oxide)-半導体(Semiconductor)の3層構造。  
\*2 技術ノード:トランジスタのゲート長あるいはM1配線という最も細い配線部分のハーフピッチの値であり、製造技術の世代を示す。ムーアの法則に従って世代毎に $1/\sqrt{2}$ を乗じる。45→32→22→15→10 nmのように推移する。22 nmノードでFin FETになってからは従来の定義が通用しない。

図1 ムーアの法則<sup>(3)</sup>



出典:R. Kurzweil: The Singularity Is Near, When Humans Transcend Biology, Viking Press, (2008).  
\*2000-2012の数値はBCAの推定値

図2 MOSFETの仕組み



\*FET:Field Effect Transistor, 電界効果トランジスタ。

十数層も重なった多層構造になっている(図4)。トランジスタは構造を変えて進化していくが、配線の構造は顕著には変わらず、配線材料を変えていくしかない。

微細化によって現れる配線の課題は、配線断面積が減少して電気抵抗が上昇すること、および電流密度が増加してエレクトロマイグレーション不良が発生することである。エレクトロマイグレーションとは、導電材料の中で電子の流れに押されて金属原子が移動し、配線の短絡や断線が発生する現象であり、エレクトロマイグレーションに対する耐久性が、半導体デバイスの長期信頼性を決める。

1990年代まで使用されてきた配線材料はAlである。Alは、AgとCuに次ぐ低い抵抗率を示し、薄膜の形成にスパッタ法、配線パターンの加工にプラズマによるドライエッチングを使うことができ、量産性が高い。しかし1990年代に線幅がサブミクロンになると、配線抵抗の急激な上昇によって配線

遅延が顕著になった。さらに、微細化による電流密度の増加がエレクトロマイグレーション耐性の低下をもたらすという問題も現れ、Al配線の限界が危惧されるようになった。

Alの次に登場したのがCuである。CuはAlに比べ抵抗率が低いため電気信号の伝達速度が速い。またエレクトロマイグレーション耐性に優れ、長期信頼性が高い。ただしCuでは、スパッタ法とドライエッチング法によるパターン加工が難しい、などの課題があった。

そこで開発されたのが、ダマシン法<sup>(5)</sup>による多層配線の形成技術である。層間絶縁膜に配線用の溝(トレンチ)と穴(ビア)を掘ってCuメッキを施し、化学的機械研磨(Chemical Mechanical Polishing, CMP)により平坦な層を形成する。この技術により、Cuの多層配線の量産化が可能となった。1990年代後半から2000年代初頭にかけて、Cuが導入され始めた頃は、ビアの断面積サイズは数百nmオーダーであった。その後、微細化の進展に伴いビアのサイズは縮小し、最近では、10nm以下のオーダーに達している。この限られたスペースの中で、Cuの抵抗上昇を抑制するには、どうしたらよのだろうか。材料の電気抵抗が高くなるのは、結晶粒界や表面で電子が散乱されるためである。このことから解決策の1つとして、Cuの結晶粒径を大きくする方法が挙げられる。熱処理により粒径を

大きくし、電子が粒界に衝突する頻度を減らすことにより、抵抗上昇を抑制する方法が考えられる。

これとは別の解決策として、ライナー層およびバリア層を薄くすることが考えられる。Cuは絶縁層中に容易に拡散するため、TaNを形成して拡散バリア層とする。これだけではCuとの化学的な相性が悪くCuが配線溝に入っていないため、バリア層の上にTaやCoを形成してライナー層とする。これらの2層の役割を維持しつつ極力薄くすることで配線の実効断面積を確保し、抵抗の上昇を抑えることができる。このための方法として、自己形成バリア層(Self-Forming Barrier, SFB)が提案されている<sup>(6)</sup>。自己形成バリア層とは、Cu配線中に合金元素を添加し、適切な熱処理を行って合金元素を界面に拡散させ、絶縁層と反応させることでできるライナー層およびバリア層の機能を有する界面層のことである(図5)。多数の合金元素が試されたが、Mnが最適であることが明らかになった。この自己形成バリア層の研究成果は、2006年に多層配線技術国際会議(IITC)で発表され、2012年にはIBMが実用化し、SamsungがAppleの製品で量産開始し、これ以降の微細配線の世界標準材料として利用され

図3 トランジスタ構造の変遷

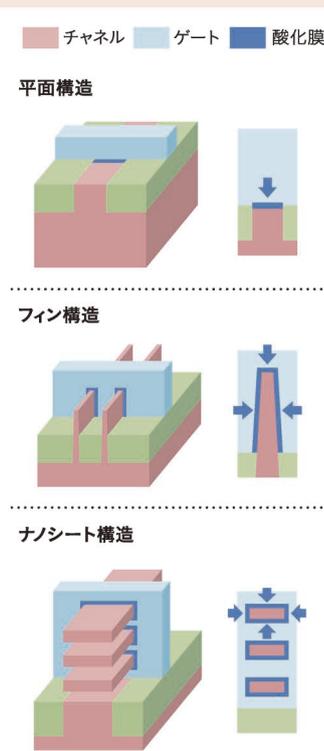


図4 多層配線構造<sup>(4)</sup>

Intelが開発した第3世代のFin FETの断面SEM写真。Mはメタル配線でありM10~M2層まではCuをM1, M0層はCoを使用。M7層, M2層はそれぞれピッチが112, 44 nm。

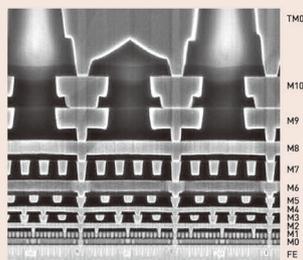
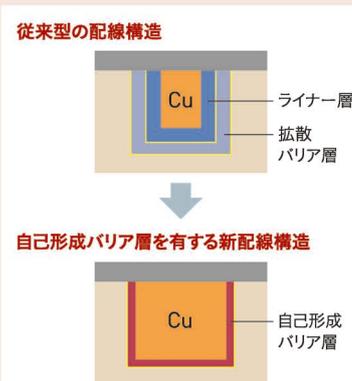


図5 Cu配線における新規バリア層の開発<sup>(6)</sup>

従来の拡散バリア層(TaN)とライナー層(Ta)に代わる自己形成バリア層を設け、Cu配線の断面積を確保した。



# ナノレベルの信頼性を実現する次世代配線材料

## INTERVIEW

## 研究領域を超えたところに新たなチャンスがある

新規配線材料の研究を通じて、それまでの自分の経験や知識に固執せずにいろいろな研究者の力を借りたほうが良いと思うようになった。半導体デバイスの製造には1000工程以上が関わっており、各工程で使う材料、装置、プロセス条件の中で最適なものを決めないといけない。そのために広範な学問領域に属する開発者が集まり、彼らの得意とする技術が駆使される。

大学の研究室で新しい材料開発をするのも、その複雑さ、困難さは半導体デバイスの製造に引けをとらない。例えば、Ruなどの金属基板の上にCu薄膜を形成し、真空中で加熱したときのCu薄膜の安定な形状を知りたい場合があると（実際にデバイスメーカーとの共同研究テーマであった）、この課題を解決するために、インド、アメリカ、日本の理論屋と実験

屋が集まった。各自の専門を駆使することで高いレベルの有用な成果を発信することができた。

最近の国際会議で参加者の一人から「この会議で状態図を使って発表しているのはお前だけだな」と冗談交じりに言われたことがある。これは金属屋である私への誉め言葉であり、彼らにはできないことを私がやっていることを高く評価しているのだと感じた。金属学という自分の得意分野で最大限の実力を発揮すれば、それに見合う研究者が集まってきて助けてくれるだろう。

それまでの自分の研究領域にこだわらず、必要とあれば協力してくれる仲間を見つけ、どんなことでも果敢にチャレンジしていけば、新しい材料や方法を見出だせると確信している。



小池淳一さん

東北大学 名誉教授  
未来科学技術共同研究センター  
特任教授

小池さんは、2024年秋の褒章において紫綬褒章を受章されました。

ることとなった。

## 次世代の配線材料の探索

2025年以降に到来する「Beyond 2 nm世代」の配線幅は5~10 nm以下になり、配線抵抗とエレクトロマイグレーション耐性に対して非常に厳しい要求があると予想される。この要求に応えるため、Cuに代わる新たな材料の探索が現在進められている。

1つの方法は、平均自由行程が短い金属の探索である。Cuの平均自由行程は40 nmであり、配線内の結晶粒径や配線幅が40 nm以下だと、電子の衝突頻度が増えるため抵抗が大きくなる。新しい配線材料には、抵抗が小さくかつ平均自由行程が40 nmより短いものが適している。Ru、Coなどがこの条件を満足する有望な材料と言われているが、これらを含め、低抵抗、ライナー層不要、バリア層不要の条件を満足する純金属は、現在のところ発見されていない。

これとは別に注目されるのが、金属間化合物の適用である。多くの金属間化合物の

うち、エレクトロマイグレーション耐性に優れた材料は拡散が起こりにくい材料であり、高温強度に優れる材料の可能性が高い。金属間化合物の中でも、例えばNiAlやCuAl<sub>2</sub>では、Alが絶縁層の酸素と強く結合するためSiO<sub>2</sub>との密着性が高まり、ライナー層が不要となる。また、絶縁層SiO<sub>2</sub>との界面にできたAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は高密度な非晶質であり、そこでは原子の拡散が遅くなるため、バリア層が不要となる。このような条件を満足する金属間化合物のうち、CuAl<sub>2</sub>の配線では配線幅7 nm以下のときに、抵抗がCuより低く、エレクトロマイグレーションはCuより100倍程度長寿命で信頼性が高いと報告されている<sup>(7)</sup>。また、Cu<sub>2</sub>Mgは双晶粒界という原子配列が整った結晶粒界を多数形成するので粒界で散乱される電子が少なく、微細化による抵抗上昇の程度が非常に小さいという特長が明らかになった。

金属間化合物は候補となる材料の数が多く、実験による検証も難しいが、現在、多くの研究者が配線材料としての可能性を探っている。これ以外にも、グラフェンやカーボンナノチューブなどの炭素系材料も候補に

挙がっている。

微細化の進展に伴い、新たな配線材料の探索は今後もさらに進む。しかし、ようやく研究者が最適な材料を開発し、特性や信頼性を評価したとしても、実用化するためには材料メーカーが量産向け材料を開発し、さらに成膜装置メーカーや研磨装置メーカーが量産向けのプロセスや装置を開発し、デバイスの基本構造体を作製した後に、デバイスメーカーにプレゼンテーションして評価されなければならない。このようなコンソーシアムの体制を整えた上で、世界のフロントランナーを目指して取り組むことによって、ようやく実用化が可能になる。

熾烈な開発競争の中で、日本の研究機関や関係メーカーの実力は、世界でも高い評価を得ている。この位置取りを今後も確保していくには、最先端デバイスメーカーと連携し、次世代の半導体デバイスにおける材料課題、すなわち、共通目標を明確化することが必須である。バリューチェーンの上流にある材料と下流にあるデバイスとの目標が合致していれば、実用化に向けた大きな前進に結び付く。

## 文 献

- (1) Nature Electronics, 4 (2021), 317.
- (2) [https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/joho/conference/semicon\\_digital/0001/03.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/semicon_digital/0001/03.pdf) (accessed, Oct. 10th, 2024)
- (3) <http://cassnewsletter.org/PDF/Heyns-Lausanne.pdf> (accessed, Oct.10th,2024)
- (4) C. Auth, et al., : Proceedings of the 2017 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), (2017), 673-676.
- (5) <https://semi-journal.jp/basics/process/beol.html> (accessed, Oct. 10th, 2024)
- (6) 小池淳一：応用物理, 90(2021),600-609.
- (7) L. Chen, S. Kumar, M. Yahagi, D. Ando, Y. Sutou, D. Gall, R. Sundararaman, and J. Koike-J. Appl. Phys., 129 (2021),035301.

M/A、エネルギー関連材料、機能性セラミックス、環境リサイクル、電気電子材料等の開発に不可欠な

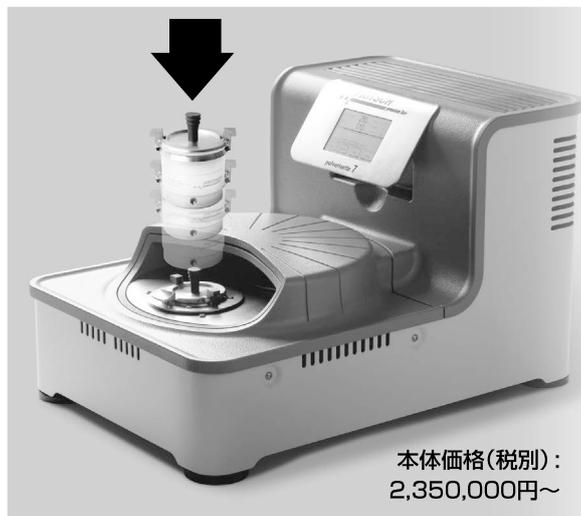
# ドイツ フリッチュ社製遊星型ボールミル

## “NANO領域” PREMIUM LINE P-7.

明日の遊星型ボールミルはこれだ。

### 特色

1. 弊社Classic Line P-7と比べて250%の粉碎パワーUP  
自転：公転比率：1：-2. MAX 1,100/2,200rpm  
粉碎エネルギー：MAX 94G(Classic Line P-7では46G)
2. 容器を本体に内蔵。  
外部に飛び出す危険性は皆無に。
3. 容器のサイズは20, 45, 80ccの3種類。  
雰囲気制御容器も多数用意。
4. 容器のセット、取り出しも極めて容易に。



本体価格(税別)：  
2,350,000円～

容器がセットされる様子。

## CLASSIC LINE 遊星型ボールミル P-5/4, P-6, P-7

premium lineと並んで従来どおりの遊星型ボールミルトリオも併せてご提供いたします。



CLASSIC LINE 雰囲気制御容器一例

### 遊星型ボールミルの パイオニア



本体価格(税別)：  
3,000,000円～

### フリッチュ社の技術で 容器1個で遊星型に



本体価格(税別)：  
1,350,000円～

### 微量の試料を 対象に



本体価格(税別)：  
1,450,000円～

●通常の容器、雰囲気制御容器ともボールも含めて次ぎの材質を御使用いただけます。メノウ、アルミナ、ジルコニア、チッカ珪素、ステンレス、クローム、タングステンカーバイト、プラスチックポリアミド ●容器のサイズ。500, 250, 80, 45, 12cc。 ●乾式のみならず湿式での粉碎が可能。またISO9001, TUEV, CE等の国際安全基準をクリアー

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

## フリッチュ・ジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252  
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7  
福岡営業所 〒819-0022 福岡市西区福重5-4-2

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>

Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364  
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521  
Tel (092)707-6131 Fax (092)707-6131

**研磨機・切断機  
期間限定キャンペーン中!!**

詳細はお問い合わせください。



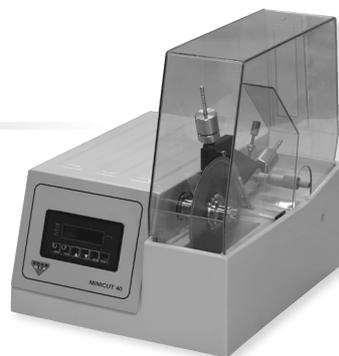
**自動研磨機 SCANDIMATIC 33305**

ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。

- φ200mmの研磨盤対応
- 重錘はφ25mm、φ30mmの試料で3個、φ38mmの試料には2個一度に研磨可能
- 研磨盤回転数は40~600rpm、1rpm毎に設定可能
- 本体、PVC製研磨盤、バフを含めて定価100万円(税別)

**精密切断機 MINICUT 4000**

- 低速で試料にストレスを与えず
- 50~1,000rpmの広い範囲での設定可能
- 切断位置はマイクロメーターで±0.01mmで設定可能
- ダイヤモンド、CBN、SIC製の切断刃を用意



**試料埋め込み材料、アクセサリ**



SCANDIA社の消耗品は極めて高い評価をいただいております。その代表作がSCANDIQUICKです。

- 試料への密着性が高い常温硬化剤。硬化時間はわずか5分
  - 構成は粉末硬化剤と液体硬化剤。これを10:6の比率で混合
- その他各種有効な消耗品を用意してございます。

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

**フリツシュ・ジャパン株式会社**

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252  
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7  
福岡営業所 〒819-0022 福岡市西区福重5-4-2

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>  
Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364  
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521  
Tel (092)707-6131 Fax (092)707-6131

第12回高校生・高専学生ポスター賞受賞者(日本金属学会賞1件, 最優秀賞1件, 優秀賞8件)

(2024年9月26日発表 講演番号順)

高校生ポスター日本金属学会賞(1件)



和包丁の構造研究(HSP6)

愛知県立半田高等学校

國吉悠介君, 山下剛弘君,  
田村二三代君(指導教員)



天然多糖類による電池の固体化—二次電池化を目指して—(HSP7)

兵庫県立宝塚北高等学校

高野悠惺君, 高橋夢南君,  
宇野遼太郎君, 下村隼舞君, 船津大翔君,  
近藤みなみ君, 波田崇陽君,  
浅原素紀君(指導教員)

高校生ポスター最優秀賞(1件)



天然多糖類による金属イオンの捕捉とその応用(HSP11)

兵庫県立宝塚北高等学校

田中 楓君, 藤井紀奈乃君,  
浅原素紀君(指導教員)



Cu-Zn合金の組成の違いと音色の関係(HSP8)

佐賀県立佐賀高等学校

松高和奏君, 九州大学 松野真樹君,  
齋藤直也君, 河邊崇徳君,  
森下浩平君(指導教員)

高校生ポスター優秀賞(8件)



リグニンとデンプンからなる代替プラスチックの開発と特性評価(HSP1)

仙台高等専門学校

武田芽依君, 河西琴美君,  
菱沼侑太郎君, 渥美慧流君, 及川友花君,  
佐々木ゆい君, 早坂美尋君,  
熊谷 進君(指導教員),  
松原正樹君(指導教員),  
森 真奈美君(指導教員)



卑な元素を添加した際のミディアムエントロピー合金の耐食性変化(HSP9)

兵庫県立夢野台高等学校

柴田萌愛君,  
神戸大学 池尾直子君(指導教員),  
田中克志君(指導教員)



カイロの温度を効率よく上げる方法(HSP4)

神戸市立六甲アイランド高等学校

池田彩乃君, 石坂文香君, 横山奏平君,  
玉木由香梨君(指導教員)



水切りにおける液体の密度と跳躍確率の関係(HSP15)

北海道北見北斗高等学校

大関健斗君, 木村颯翔君, 佐野匠飛君,  
西村颯泰君, 高田恵吾君



架橋ポリグルタミン酸による銅イオンの吸着と回収について(HSP5)

滋賀県立虎姫高等学校

中村 倅君, 杉江 遙君, 藪中楓人君,  
山本惺太君, 松本千佳君,  
堀 浩治君(指導教員)



電池型金樹作成への挑戦(HSP16)

東京都立小石川中等教育学校

三宅明信君, 加藤優太君(指導教員)

～ おめでとうございます。 ～

# SiC 基板上的グラフェンへの Li インターカレーション過程での積層構造変化

遠藤由大<sup>1)</sup> 秋山了太<sup>2)</sup> 保原 麗<sup>3)</sup> 長谷川修司<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイド、六方晶窒化ホウ素など、いわゆる van der Waals (vdWs) 2次元物質は、単層から数層の厚みの原子層がユニットになって積層された構造をもつ。各層はダングリングボンドを持たないため、結合力の弱い vdWs 力で層間が結合されているので容易に劈開できるだけでなく、原子層の相対的な積層の仕方(積層構造)が多様になり、それが物性制御の新しい自由度となって電子物性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなっている。例えば、2015年に Long Ju らにより、2層グラフェンの異なる2つの積層構造(AB積層とBA積層)ドメインの境界でトポロジカルに保護されたエッジ伝導チャンネルが生じることが報告された<sup>(1)</sup>。また2016年には我々のグループで Ca 原子を2層グラフェンの層間に挿入(インターカレーション)することで超伝導を実現した<sup>(2)-(4)</sup>。続いて2018年には Yuan Cao らが、2層グラフェンを約1.1°の相対回転角をつけて積層したときにも超伝導が発現することを報告した<sup>(5)</sup>。これらの研究をはじめとして、vdWs 2次元物質における原子層の積層構造の自由度を利用した物性制御は一つの研究領域となりつつある<sup>(6)-(13)</sup>。

一方で産業利用の観点では、vdWs 2次元物質の層間は古くから注目され利用されている<sup>(14)-(16)</sup>。その代表例として、リチウムイオン電池の負極として使われるグラファイト電極が挙げられる。グラファイトは多層のグラフェンが積層された物質であるが、その層間に Li イオンを出し入れすることでバッテリーの充放電を行っている。

また、グラフェン層間に Li イオンが入り込むと積層構造

が変わることが知られている<sup>(17)-(19)</sup>。図1(a)に示すように上下のグラフェン層が面内に半周期ずれて入れ子状に積層する AB 積層(もしくは BA 積層)がグラファイトにおいては最安定であるが、Li イオンが層間にインターカレーションされると AA 積層と呼ばれる、上下の炭素原子が同じ位置で重なる構造が安定となる。

これまでに vdWs 2次元材料の積層構造を操作する方法として、剥離転写技術が広く用いられてきた<sup>(20)-(22)</sup>。この手法では、vdWs 2次元物質をポリマーなどで接着して劈開

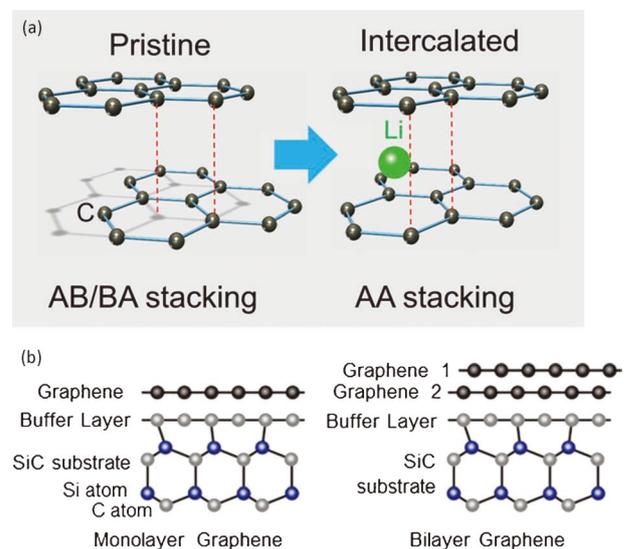


図1 (a) Li イオンのインターカレーションによる2層グラフェンの積層構造の変化。(b) SiC(0001)結晶表面上に成長した単層(1L+B)および2層グラフェン(2L+B)の積層構造。(オンラインカラー)

\* 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻; 1) 博士学生(現; NTT 物性科学基礎研究所多元材料創造科学研究部低次元構造研究グループ(研究員)) 2) 助教 3) 特任研究員 4) 教授(〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)

Stacking Structure Changes During the Li-intercalation Process in Graphene on SiC Substrates; Yukihiko Endo, Ryota Akiyama, Rei Hobara and Shuji Hasegawa (\*Department of Physics, Faculty of Science, The University of Tokyo, Tokyo)

Keywords: graphene, intercalation, lithium, low-energy electron microscopy (LEEM), topological protection, van der Waals material, low-dimensional material

2024年7月4日受理[doi:10.2320/materia.63.829]

し、一定の角度だけ回転させてから貼り付けることを繰り返す、任意の面内角度で原子層を積み重ねることができる。さらに、異なる vdWs 物質のバルク結晶から原子層を剥離して積層したヘテロ構造試料も作製可能となり、物性探索を可能にしている。一方、単一原子層を得るためには一般に数十～数百回の劈開操作が必要であり、劈開するたびに試料サイズが小さくなる。その結果、最終的に得られる試料サイズは  $\mu\text{m}$  スケールと小さくなることが多く、また試料形状が不均一であったり、デバイス特性の再現性が乏しいなど、この方法には課題もある。

本研究では vdWs 2次元物質へのインターカレーションに着目した。インターカレーションはサンプルサイズに制限のない手法であり、挿入した原子や分子(インターカラント)の電荷を利用することで電場による制御も可能であるため、デバイス応用にも適している<sup>(23)</sup>。また、上述のようにインターカレーションの前後でエネルギー的に安定な積層構造が変わることが知られているが<sup>(17)</sup>、どのように積層構造が変わっていくのかその詳細なダイナミクスはこれまで不明であった。そのダイナミクスを明らかにすることは、インターカレーションによる積層構造制御の具体的な指針を立てる際に必須である。また、インターカレーションによる積層構造制御において、特に魅力的なのは積層構造の面内分布が示すトポロジー(積層トポロジー)を利用できる点である。この詳細については、後に本稿の実験結果をもとに詳しく述べる。

本稿では、SiC 結晶基板表面上に成長させたグラフェンの層間に Li イオンがインターカレートする際に生じる積層構造変化を、高分解能低速電子顕微鏡(Low-Energy Electron Microscopy, LEEM)を用いてナノスケールで実時間観察し、積層構造の変化とインターカレーションの関係性を紐解いた研究成果を紹介する<sup>(24)</sup>。そして、その構造変化がどのようなルールに基づいて起こるのかを解説する。

## 2. グラフェン/バッファ層の積層構造

本研究では SiC(0001) 基板上に熱脱離法によって成長させたグラフェンを舞台とした。この系は、図 1(b) 左に示すように、上からグラフェン層/バッファ層/SiC 基板のように構成される。バッファ層はグラフェンのようなハニカム格子状に炭素原子が並びつつも、SiC 結晶基板の最表面層の Si 原子と共有結合して絶縁化した炭素単原子層であり、これは Si 終端 SiC(0001) 面上には必ず形成される。したがって、ここではグラフェン層とバッファ層の 2 枚の炭素原子層(1L+B)が存在する。熱脱離時間を延ばして 2 層グラフェンを成長させた場合にも、図 1(b) 右に示すようにバッファ層を入れると 3 層の炭素原子層(2L+B)から構成される。

そこで Li イオンがグラフェン/バッファ層間にインターカレートする様子を、表面感度の高い LEEM で観察した。ここで、LEEM 観察がなぜ表面敏感な観察法であるか簡単に説明する。LEEM は、まず 15 keV 程度の高エネルギーに加速された電子線を照射レンズ系に通した後、試料直前で数

eV～数十 eV の低エネルギーまで減速して試料にほぼ垂直に入射させる。試料表面で反射や回折されて弾性後方散乱した電子を、再び 15 keV まで加速して拡大レンズ系を通してスクリーンに実空間拡大像を得る電子顕微鏡である<sup>(25)</sup>。試料に照射される電子線の波長は数 Å 程度であり、結晶の原子間距離と同程度であるため、干渉効果により原子層の積層構造や原子配列を反映した顕微鏡像が得られる。

まずは、インターカレーションを行う前の pristine グラフェンを明視野観察した結果を図 2(a) に示す。大部分の灰色の領域がグラフェン/バッファ層(1L+B)、黒色のコントラストの領域がバッファ層(B)のみ、白色のコントラストの領域が 2 層グラフェン/バッファ層(2L+B) 構造である。グラフェン層数が異なると電子線の干渉条件が変わって、コントラストが大きく変化している。細い暗線は SiC 基板結晶表面でのステップに起因する。図 2(b) は図 2(a) と同一領域の暗視野像である。グラフェンからの回折パターン(図 2(c)) の 1 0 スポットのみ絞り孔を通過させて結像したものである。Free-standing な単層グラフェンだけなら 6 回対称性をもつが、バッファ層や SiC 基板結晶のために全体で 3 回対称性となるため、AB 積層構造と BA 積層構造ドメインでは異なる回折強度となり、暗視野像においてはその違いを反映したコントラスト差が生じる<sup>(26)</sup>。1L+B の領域において、2 種類のコントラストが観察されており、図 2(b) の赤枠および青枠で示した領域を拡大したものが図 2(d) である。ストライプ状および三角形に AB 積層と BA 積層ドメインが交互に配列していることが観察できる。

グラフェン/バッファ層間、または 2 層グラフェン層間の積層構造について、後の議論のために理解を深めておく。層間での相対的なシフトにより積層構造が決定されるため、原子層間で定義される面内方向の変位ベクトル  $\mathbf{u}$  を用いると、図 2(e) に示すように整理することができる(例として、図 2(e) で示す変位ベクトルと図 2(d) の積層ドメインの対応を①～③として記載)。炭素原子層のハニカム格子の六員環の 1 辺の長さで  $[11\bar{2}0]$  方向のベクトルを  $\mathbf{a}$ 、 $[2\bar{1}\bar{1}0]$  方向のベクトルを  $\mathbf{b}$  とする。2 枚の原子層間に相対的なシフトのない AA 積層( $\mathbf{u}=\mathbf{0}$ )を原点にとると、AB 積層の変位ベクトルは  $\mathbf{u}=\mathbf{a}$ 、BA 積層の変位ベクトルは  $\mathbf{u}=\mathbf{b}$  と表すことができる。さらに、変位ベクトル  $\mathbf{u}=(\mathbf{a}+\mathbf{b})/2$  では SP(saddle-point) 積層が、変位ベクトル  $\mathbf{u}=\mathbf{a}/2$  (もしくは  $\mathbf{u}=\mathbf{b}/2$ ) では IM(intermediate) 積層が形成される。重要なことは、これら積層構造と変位ベクトルが一意的に対応付けられ、炭素原子層が破けたり、穴が開いたり、シワが寄ったりしない限り、各積層構造の相対関係が崩れることはない。

図 2(f) は分子動力学シミュレーションを用いて、図 2(d) 右に示すような三角形の AB 積層および BA 積層ドメインが形成されるときに積層構造分布を再現している。2 つのグラフェン間、またはグラフェン/バッファ層間では、AB 積層と BA 積層がエネルギー的に最安定であるため、これらの積層構造ドメインが可能な限り大面積に広がる。しかし、AB 積層ドメイン( $\mathbf{u}=\mathbf{a}$ )と BA 積層ドメイン( $\mathbf{u}=\mathbf{b}$ )は直接

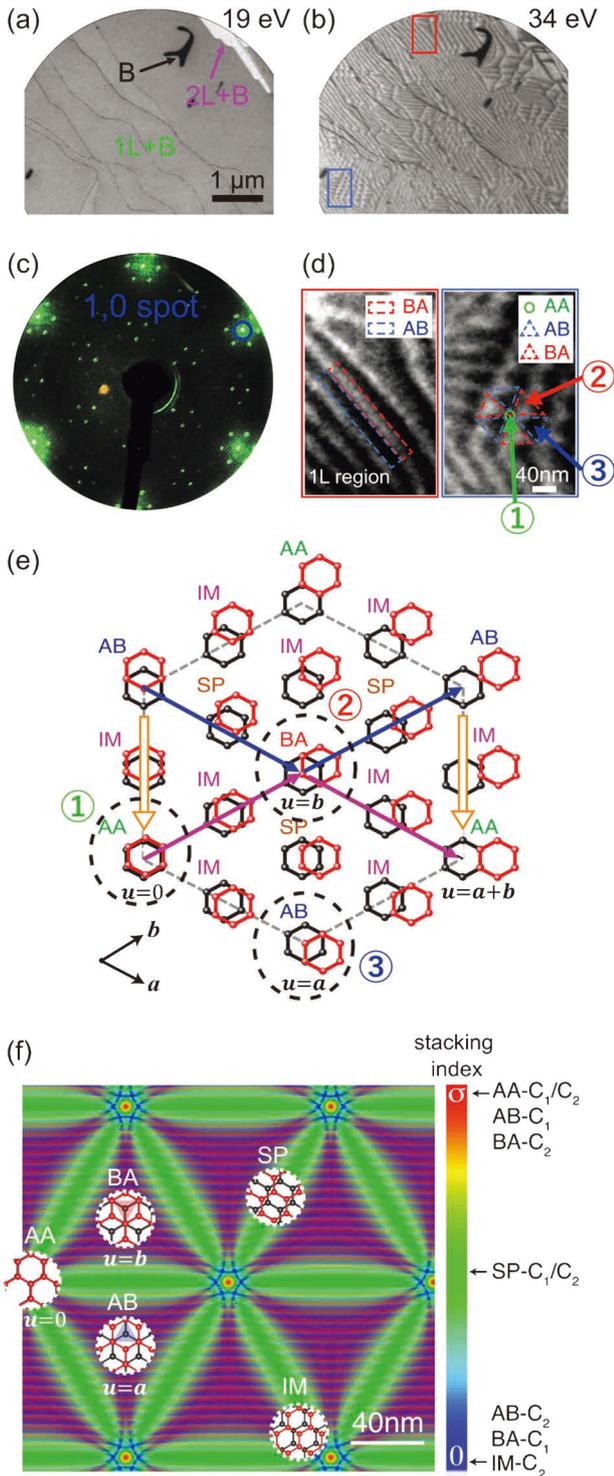


図2 SiC(0001)上グラフェンのLEEMの (a) 明視野像, (b) 暗視野像, (c) 電子回折パターン. (d) (b)の赤枠および青枠の拡大と積層構造分布. (e) 変位ベクトルと積層構造の関係. (f) 積層分布のMDシミュレーション<sup>(24)</sup>. (オンラインカラー)

繋がることはできないので、その間にはそれらを繋ぐような変位ベクトルをもつSP積層構造ドメイン( $u = (a + b)/2$ )が必要となる。つまり、異なる積層構造のドメイン間の境界に必ずできるので、積層トポロジーに保護されたドメイン壁と

という意味で「トポロジカルドメインウォール(TDW)」と呼ぶことにする。さらに、そのドメインウォールが交差する点(トポロジカルクロッシングポイント, TCPと呼ぶ)では、 $u = a + b$ なので積層トポロジーの制約によって必ずAA積層を形成する。したがって、図2(d)の緑丸で囲った点はTCPであり、AA積層をもっていることが分かる。

### 3. Liインターカレーションダイナミクス

ここでLiインターカレーションと積層構造の関係を見ていく。まず、室温に保ったグラフェン上にLiを超高真空中で蒸着すると、層間へインターカレートされていくが、その様子をLEEMにより観察した。本実験では、Liインターカレーションの動的変化を観察するために、低いフラックスレート( $\sim 0.001$  Li/C/min)でLi蒸着を行い、0.018 Li/C程度のLi濃度までインターカレーションを行った。このLi濃度はグラフェン層間へのインターカレート可能な最大濃度(0.083 Li/C)<sup>(17)</sup>より少ない。図3(a)に、1L+Bおよび2L+Bの領域におけるLiインターカレーション前後でのLEEM-IV(反射強度( $I$ )対電子線エネルギー( $V$ ))曲線を示す。それぞれ、1L+B(水色線)の領域では1つ、2L+B(赤線)の領域では2つのディップ構造がLEEM-IVカーブに見られ、これはグラフェン層数に依存した反射電子波の干渉によるものである。このような層数とディップの数に対応する

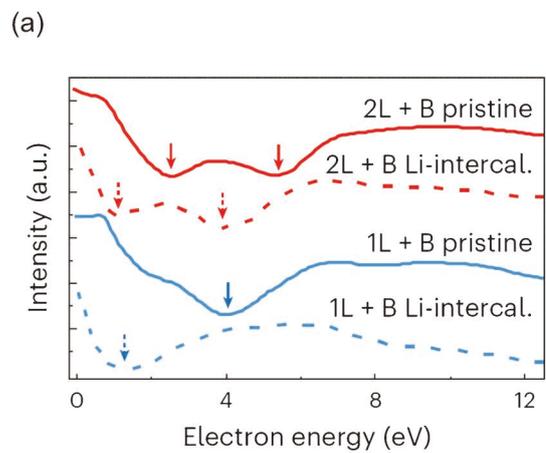


図3 Liインターカレーション前後での (a) LEEM-IV 曲線<sup>(24)</sup>と、(b) グラフェン/バッファ層間距離の変化の様式図. (オンラインカラー)

ことは先行研究で明らかにされている<sup>(27)</sup>. 各色の点線から分かるように, Li インターカレート後の LEEM-IV カーブにおいてもディップの数は変わっていないため層数は変化していないことが分かる. さらに, ディップ位置が Li インターカレーションによって低エネルギー側にシフトしており, これは図 3(b)の模式図に示すように, Li インターカレーションにより層間距離が広がり, 干渉条件が変化したことによるものと解釈できる.

上述した Li インターカレーションにより生じる干渉条件の変化を利用すると, Li イオンがインターカレートした領域とそうでない領域が LEEM 観察により明瞭に見分けられる. これを利用して Li インターカレーションダイナミクスを詳細に見ていく. 図 4(a)-(d)に, Li インターカレーションの最中を LEEM 観察した動画からとったスナップショットと, 対応する積層構造の模式図を示す<sup>(9)</sup>. 図 4(a)は, 図 2(d)と同様に, Li イオンをインターカレートする前の LEEM 暗視野像である. 暗い領域(青線で囲った領域)が AB 積層, 明るい領域(赤線で囲った領域)が BA 積層であり, これらの間に生じる TDW が交わる点(TCP)が AA 積層となる(図 4(b)). 続いて Li イオンの蒸着を開始し, 約 7 分経過後, 図 4(c)の stage 1 に示すように, LEEM の明視野像(BF)において輝点が現れる. これらは, 図 4(a)の暗視野像(DF)と比較すると, はじめから AA 積層であった TCP 領域であることが分かる. 図 4(d)のように Li イオンがまず

その AA 積層の層間に入ることにより電子線の反射強度が変わり, 明るい点として現れている. さらに, Li イオンの蒸着を続けていくと, 9 分後には図 4(c)の stage 2 のように AB 積層だった領域に Li イオンがインターカレートし, 明るいコントラストのドメインが成長する. AB 積層だった領域への Li インターカレーションが完了すると, その後, stage 3(18分後)のように BA 積層だった領域にも Li イオンのインターカレーションが進み, 殆どの領域が明るいコントラストに変わる. しかし, 各ドメインは互いに結合することなく, 黒い細い線状の境界で隔てられている様子が見てとれる. すなわち, Li インターカレーションが生じていない領域がドメイン間に残っている. このメカニズムについては, 5 章で詳細を述べる.

Li インターカレーションが, AA 積層(TCP)→AB 積層→BA 積層ドメインの順番に生じる理由を明らかにするため, 密度汎関数法(DFT)計算を行った. 図 5(a)-(c)に示すように, グラフェン-バッファ層間に Li イオンを挿入したときのエネルギー利得(Li 吸着エネルギー,  $E_{\text{ads}}$ )を計算した結果,

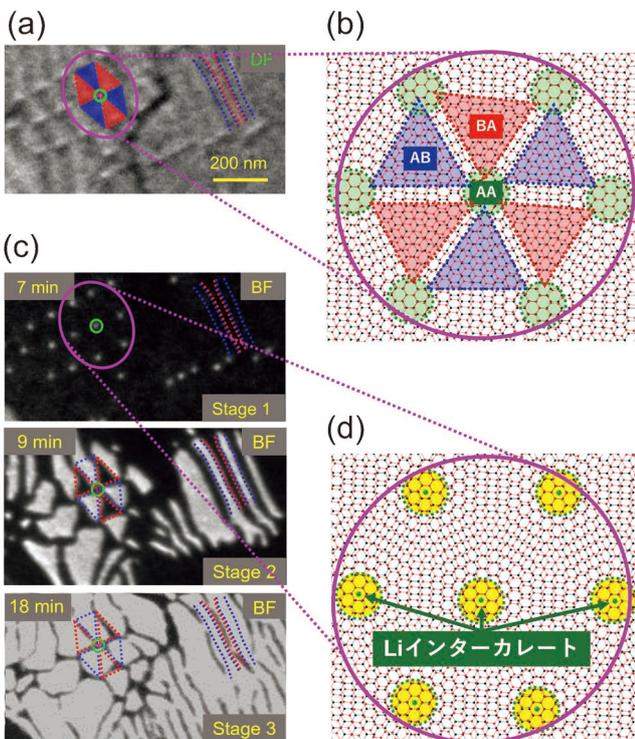


図 4 (a) Li インターカレーション前の LEEM 暗視野像, (b) グラフェンの AB, BA, AA 積層の分布, (c) Li インターカレーションの最中の LEEM 明視野像, (d) まず最初に Li イオンが AA 領域にインターカレーションする様子<sup>(24)</sup>. (オンラインカラー)

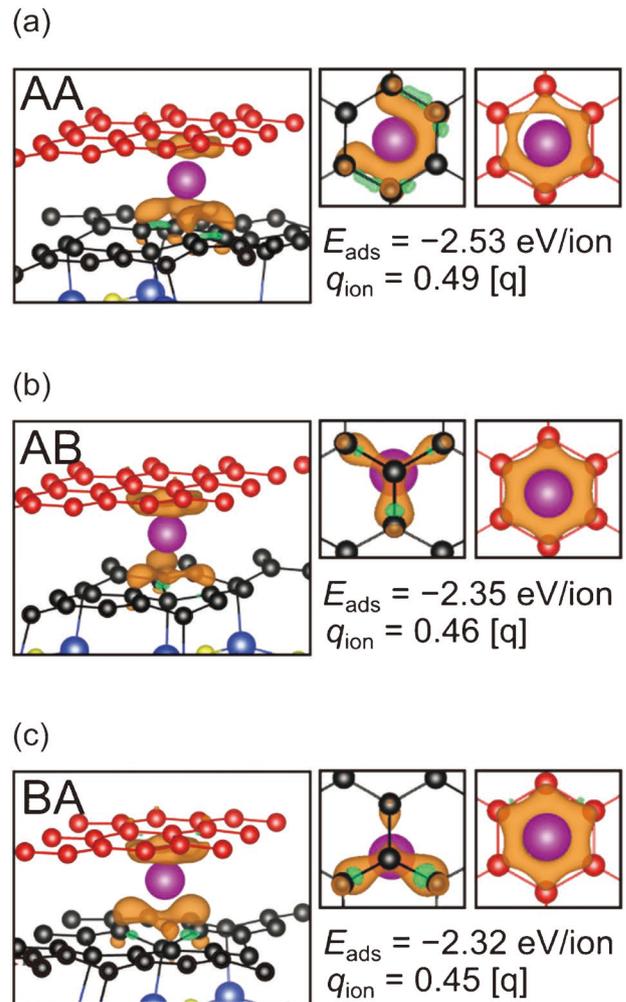


図 5 (a) AA, (b) AB, (c) BA 積層の SiC 上グラフェンへ Li イオンを挿入したときのエネルギー利得(Li 吸着エネルギー,  $E_{\text{ads}}$ )<sup>(24)</sup>. (オンラインカラー)

$E_{\text{ads}}(\text{AA}) < E_{\text{ads}}(\text{AB}) < E_{\text{ads}}(\text{BA})$ となることが分かった. したがって, エネルギー利得が大きい順番に Li イオンがインターカレートされると言える.

#### 4. TCP のピンング効果

図 6(a)左上に Li インターカレーションの初期で, AA 積層である TCP だけにインターカレートされた状態の LEEM 像を示す. さらに, 図 6(a)の他の LEEM 像は, 時間が経過して Li インターカレートされたドメインが成長していく様子である. これらの LEEM 像の中の TCP を緑色点でマークした. 観察結果から, インターカレートされたドメインそれぞれに 1 個の TCP が存在することが分かる. また, 図 6(a)の赤の点線に沿って, TCP を跨ぐように LEEM コントラストのラインプロファイルを取った結果を図 6(b)に示す.

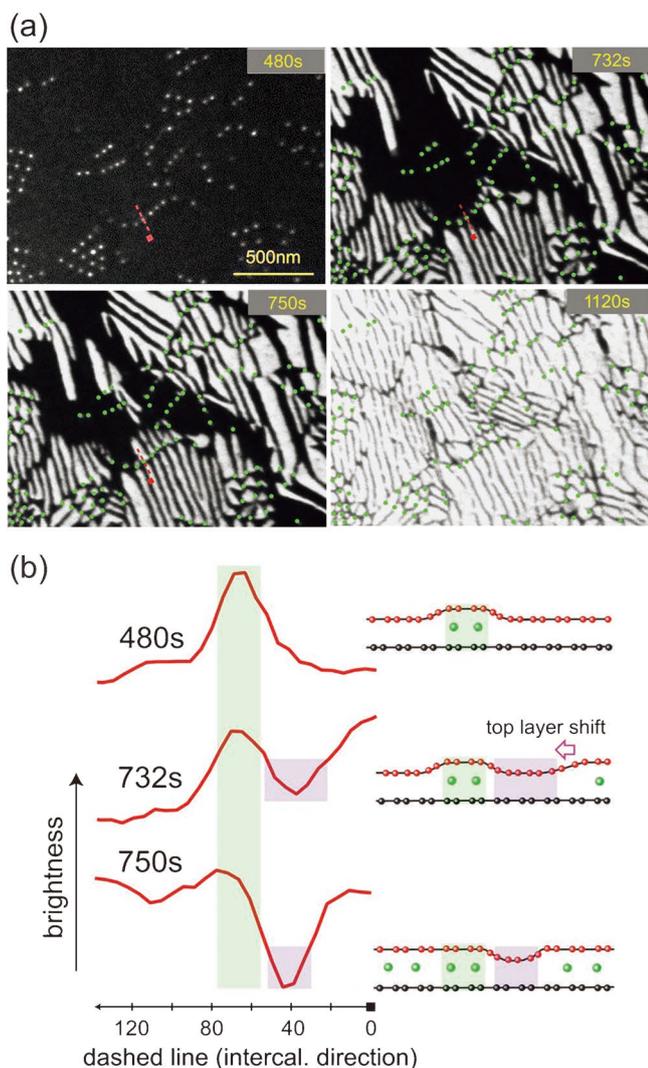


図 6 (a) Li インターカレーションは TCP (輝点) から始まり, それ(緑色点)を起点にして広がっていく. (b) Li インターカレーションの最中での TCP 付近の LEEM コントラストの, (a)の赤点線に沿ったラインプロファイル<sup>(24)</sup>. (オンラインカラー)

す. 輝度のピークが TCP の位置に対応するが, そのすぐ右側はインターカレーションが進んでも常に暗いコントラストを維持しており, これが TDW に対応する. すなわち, TCP から Li インターカレートドメインが広がるが, TDW をまたいで広がることができず, また, その TDW は TCP と常に隣接している(ピンングしている). これは積層トポロジーの保護によって起こっており, その説明をするために, まずは Li インターカレーションによって生じる積層構造変化の詳細を見ていく.

#### 5. トポロジーに保護された積層構造変化

図 7(a)は, Li イオン濃度を系統的に変えながら, DFT 計算によりグラフェン/Li/バッファ/SiC 基板の多層構造の全エネルギーを計算した結果である. 積層構造は, AB 積層から AA 積層に連続的に変化させて計算しており, 積層構造の安定性を Li イオン濃度の依存性として示している. Li イオン濃度を 0 から 0.012 Li/C に増加させるにしたがって, AA 積層の方が AB 積層より全エネルギーが低くなるのがわかる. 実験における Li イオン濃度は  $\sim 0.018$  Li/C と見積もられており, Li インターカレーションにより積層構造が AB 積層から AA 積層へと変化していると考えられる. 図 7(b)に Li インターカレーション前後での積層構造分布の

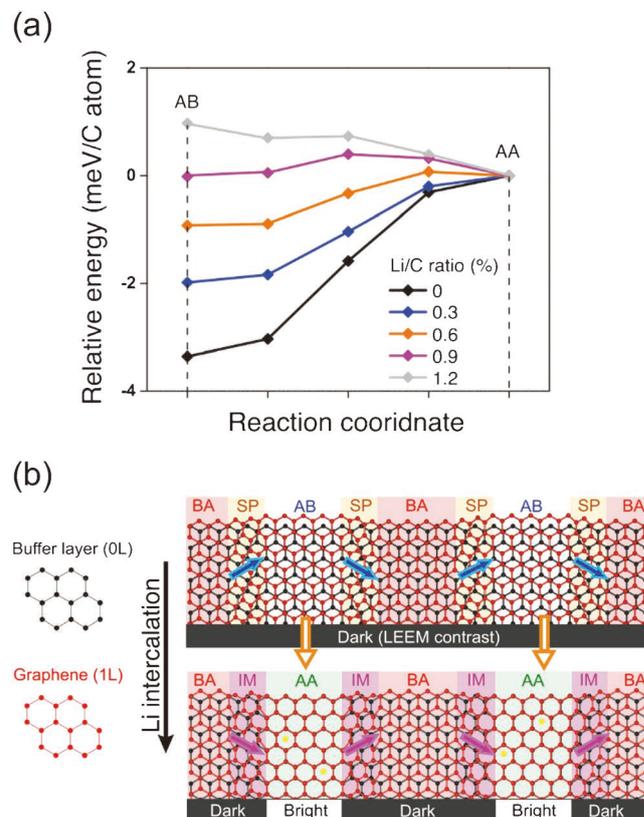


図 7 (a) Li イオン濃度に依存した積層構造の安定性に関する計算. (b) AB 積層領域への Li インターカレーションによる積層構造分布の変化<sup>(24)</sup>. (オンラインカラー)

模式図を示す。Li インターカレーションにより、AB 積層が AA 積層へと変化すると、BA 積層ドメインとの間に生じる TDW が持つ積層構造も同時に SP 積層から IM 積層へと変化する。これは、AA/BA 積層ドメイン間の積層構造が積層トポロジーの要請から必ず IM 積層になるためである (図 2 (e) 参照)。

さらに詳細な積層構造分布の変化を理解するため、LEEM 観察像 (図 8 (a)) と分子動力学シミュレーションの結果 (図 8 (b), (c)) を比較する。図 8 (a) 左上の暗視野像 (DF) において、特に AB 積層ドメイン (青マーカー) と BA 積層ドメイン (赤マーカー) がストライプ状に配列している箇所に注目する。図 8 (a) の明視野像 (BF) では Li インターカレーション過程の特徴的なシーンを Stage 1 ~ Stage 5 として切り出している。観察箇所はすべて同一である。Region A において、図 8 (a) の stage 1 から stage 3 へと Li インターカレーションが進むと、AB 積層ドメインの形状に沿って Li インターカレートドメインが成長している様子が観察される。図 8 (b) の分子動力学シミュレーションでも同様に、AB 積層ドメインの形状を保ったままに Li インターカレーションが進

み、AB 積層領域が AA 積層へと変化している。また、それと同時に Stage 1 の SP 積層が Stage 3 では IM 積層に変化している。次に Region B に注目すると、Stage 3 から Stage 5 になる過程で、LEEM 像において BA 積層領域にも Li インターカレーションが進んでいる。このときの積層変化に対応する分子動力学シミュレーションの結果が図 8 (c) である。Li インターカレーションが進むにつれて、AA 積層の領域が拡大してきて、BA 積層の領域が縮小する。そして、AA 積層ドメインの間に TDW として IM 積層-BA 積層-IM 積層が介在することになる。異なる AA 積層ドメインがそれぞれ異なる変位ベクトル  $\mathbf{u}$  を持つ場合 (たとえば  $\mathbf{u} = \mathbf{0}$  と  $\mathbf{u} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$ , 図 2 (e) 参照), これらが同一の AA 積層ドメインとなることはない。それと同時に、AA 積層ドメイン間の TDW は AA 積層となることができないため、Li イオンがインターカレートされないまま IM 積層-BA 積層-IM 積層ドメインであり続けるので (図 2 (e) の  $\mathbf{u} = \mathbf{0}$  と  $\mathbf{u} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$  の AA 積層の間の構造), 黒いコントラストとして LEEM 像に現れる。この IM 積層-BA 積層-IM 積層構造をもつ黒いドメインウォールが TDW である。さらに、4 章で述べたピニング効果について、既述のように TCP は AA 積層をもつため、TDW の通過を許すことができず、これにより Li インターカレートドメインが TCP とそれに隣接する TDW によってピニングされると理解できる。

## 6. おわりに

本研究では、Li インターカレーションによりグラフェン/バッファ層間に生じる積層構造の変化を、積層トポロジーと紐づけて明らかにすることができた。Li インターカレーションにより、安定な積層構造は AB/BA 積層から AA 積層へと変化するが、全領域を AA 積層にすることはできない。その理由は、インターカレーションによる積層構造変化が、ドメイン分布のために必然的に表れる積層トポロジーの制約のもとで起こるためである。積層構造は 2 枚の原子層間の変位ベクトルにより定量的に規定されており、AA 積層になることがトポロジカル的に許される領域のみ Li インターカレーションが進むが、AA 積層になれない TDW が Li インターカレートドメイン間に介在して消滅することはない。すなわち、インターカレーションによって、積層トポロジーによる保護を利用した積層構造の操作が可能になる。今後、これらの知見をもとにインターカレーションを新たな積層構造制御技術として応用していくことで、例えば電場や電流によって Li の動きを操作することで不揮発な TDW を制御し、磁気ドメインウォールのように状態を記録する位相メモリーが開発できるかもしれない。また、インターカレーションによって積層構造分布を変化させることで、例えば AB/BA 積層間の TDW に生じるドメインエッジ状態を制御し演算に応用するカイラルエッジコンピューティングや、TDW でのプラズモン反射を利用した可変 2 次元プラズモン導波路への展開など、様々な未来も期待できると考えている。

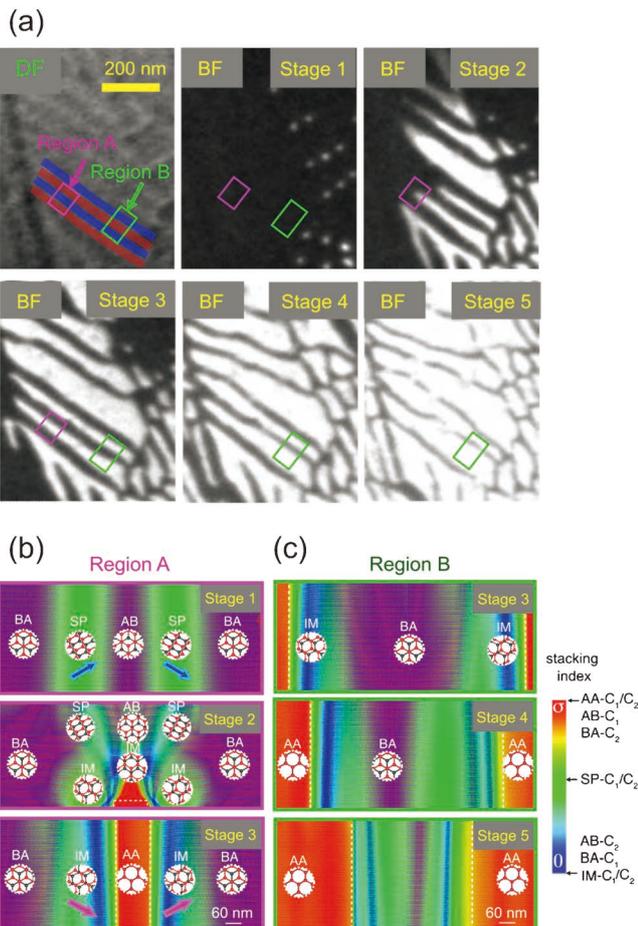


図 8 ストライプ形状の AB/BA 積層ドメインへの Li インターカレーションダイナミクスの (a) LEEM 観察結果と (b), (c) 分子動力学シミュレーションの結果<sup>(24)</sup>。(オンラインカラー)



# 変形挙動解析と幾何学理論で迫る キンク強化機構

松村 隆太郎\*

## 1. はじめに

この度はこのような寄稿の機会をいただき、大変光栄です。私は幾何学理論と変形挙動解析を軸に、キンク組織の形成・強化に関する研究を行っております。2023年に東京工業大学(現 東京科学大学)で博士号を取得し、同大学の科学技術創成研究院で研究員を務めたのち、現在は同大学総合研究院で助教を務めております。本稿では、次世代軽量金属材料として期待される長周期積層型(LPSO)Mg合金におけるキンク組織による強化に関する研究成果について、ご紹介いたします。

## 2. 背景

キンク変形は、活動するすべり系が層面上のただ一つに限定される層状構造材等において均一なすべり変形と層自体の剛体回転が同時に起こる塑性変形である<sup>(1)-(3)</sup>。以後、層面上のすべり変形を“底面すべり”とよぶ。キンク変形により塑性座屈に類似した形態であるキンクが発生・連結し、キンク組織が形成される<sup>(3)</sup>。ここでキンクはキンクバンド、リッジキンク、オルソキンクを指す<sup>(3)</sup>。キンク変形は1942年にOrowan<sup>(1)</sup>によって金属材料のCd単結晶においてはじめて発見された。その後、岩石、木材、雲母、グラファイト、ポリマーなどの様々な材料で発見されてきたが<sup>(4)-(8)</sup>、材料工学的な価値は見出されていなかったことから、キンク変形に関する研究は活性化されることはなかった。ところが近年、熱間押し出しによって多量のキンクが導入された長周期積層型(LPSO)Mg合金が異常に高い強度を持つことが発見さ

れ<sup>(9)-(11)</sup>、キンクが再注目されている。LPSO-Mg合金の容易すべり系は六方最密充填(hcp)構造の底面である(0001)底面に限定されているため、キンク変形が生じる<sup>(12)</sup>。予変形によりキンクを形成させたLPSO-Mg合金を用いて、外力によりキンクをすべり変形させる実験では、キンクやキンクバンド間の界面であるキンク界面がすべり変形に対して変形抵抗として働いており、キンクの存在自体が強化に寄与することが明らかにされている<sup>(13)-(15)</sup>。こうした多量のキンクの導入により降伏応力が顕著に上昇する現象は「キンク強化」と呼ばれている。LPSO-Mg合金を社会実装するためや層状構造を有するあらゆる材料群に対してキンク強化を応用展開するために、キンクによる強化原理の解明が強く望まれている。

これに対して著者は、強化原理を構築する際の土台となる強化機構の幾何学的側面を明らかにするために、連続体力学を基盤とする変形の連続性を表すrank-1接続を用いてキンクの形成・強化に関する研究を行ってきた<sup>(16)-(19)</sup>。Rank-1接続とは、物体に相異なる均一な変形勾配 $A, B$ が施されたときの界面 $\hat{l}$ において変形の連続性を保つための必要十分条件 $A - B = \mathbf{c} \otimes \hat{l}$ ( $\mathbf{c}$ は変形勾配の不連続性を表すベクトル)である<sup>(20)</sup>。Rank-1接続を用いたキンクの幾何学解析はInamura<sup>(21)</sup>によってすべり系が一つに限定された場合のキンク形成を対象としてはじめて行われ、キンク形成の幾何学が体系的に定式化された。解析の結果、キンクバンドどうしが結合すると結合面の端部に回転型の格子欠陥である回位が形成され、さらに回位が強化機構として働くことが示された。Rank-1接続を用いたキンクの幾何学解析の妥当性は著者によって実験的に示されており<sup>(17)</sup>、回位の存在も実験的に示唆されている<sup>(22)</sup>。Rank-1接続を用いたキンクの幾何学解

\* 東京科学大学総合研究院フロンティア材料研究所; 助教(〒226-8501 横浜市緑区長津田町4259 J3-22)  
Study on Kink Strengthening Mechanism Based on Geometry and Deformation Behaviour; Ryutaro Matsumura (Institute of Integrated Research, Institute of Science Tokyo, Yokohama)  
Keywords: *kink microstructure, kink strengthening, LPSO-Mg alloy, rank-1 connection*  
2024年10月31日受理[doi:10.2320/materia.63.836]



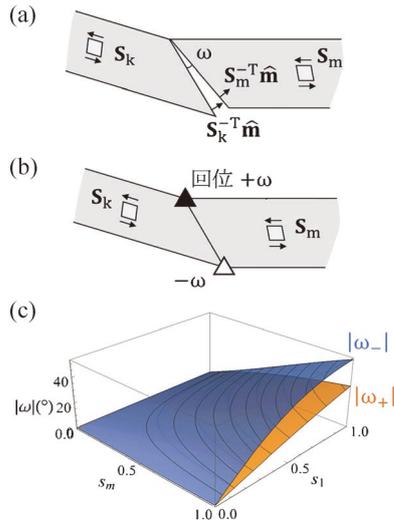


図2 衝突してくるせん断領域とキックバンドを貫通するせん断領域の模式図。(a) せん断領域どうしの結合部で角度 $\omega$ の隙間が生じる。(b) 隙間を埋めるために結合面の端部に回位が形成される。(c) 回位強度の $s_1, s_m$ 依存性。(オンラインカラー)

せん断領域どうしが結合すると、結合部で剛体回転 $\mathbf{W}$ の回転角 $\omega$ に相当する回転性の隙間が生じる。この隙間を埋めるためには、図2(b)に示すように回位強度 $\omega$ の回位対が生じなければならない。 $\mathbf{W}$ の回転軸に角 $\omega$ を掛けたベクトルはフランクベクトルである。フランクベクトルは $s_1, s_m$ に依らず $\mathbf{e}_x$ に平行であるため、形成される回位の種類は楔型である。図2(c)に $|\omega_+|, |\omega_-|$ の $s_1, s_m$ 依存性を示す。 $s_1 \neq 0, s_m \neq 0$ であるとき、 $|\omega_+|, |\omega_-|$ は常にゼロでない値であった。これはせん断領域どうしの結合面の端部には回位対が必ず形成されることを示している。

図3(a)はせん断領域がキックバンドを貫通した模式図である。現配置での結合面の法線( $\hat{\mathbf{m}}_k$ )は $\hat{\mathbf{n}}_1$ と角度 $\delta$ をなすため、図3(a)の点線部においてキック界面は途切れる。キック界面が途切れることなく繋がるためには、図3(a)の矢印が示すように、せん断領域より下側の既存のキック界面に平行移動が要求される。以後、このキック界面の移動をもたらす変形を連携変形と呼ぶ。 $\delta$ は $\hat{\mathbf{m}}_k, \hat{\mathbf{n}}_1$ を用いると

$$\delta = \cos^{-1} \left( \frac{\hat{\mathbf{n}}_1 \cdot \hat{\mathbf{m}}_k}{|\hat{\mathbf{n}}_1| |\hat{\mathbf{m}}_k|} \right) \quad (8)$$

である。図1で示すキック界面とせん断領域の交差部の長さ( $d/\cos \phi$ )が $\delta$ 角変化するため、連携変形によるキック界面の移動量(x)は、

$$x = \frac{d \tan \delta}{\cos \phi} \quad (9)$$

で与えられる。 $d$ は変数であり、 $\phi$ は $s_1$ により一意的に定ま

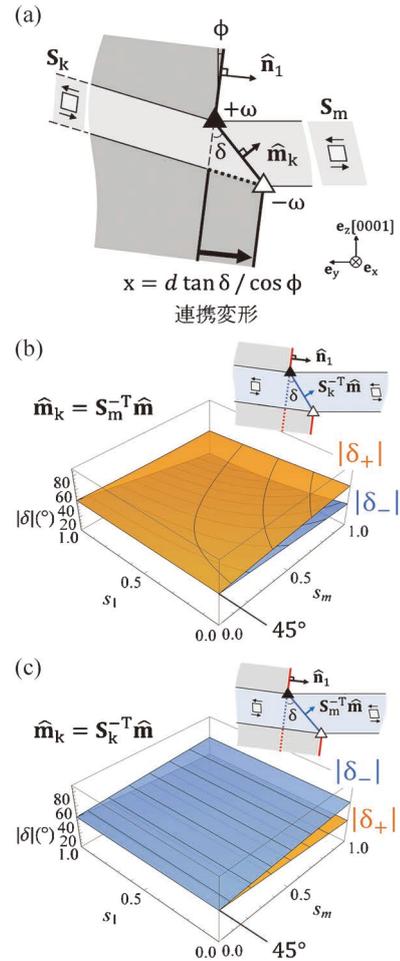


図3 (a) せん断領域とキック界面の交差部の模式図。キック界面が途切れることなく繋がるためには、キック界面が結合面の下端まで平行移動する(連携変形)。 $\mathbf{S}_k^{-T} \hat{\mathbf{m}}$  (b),  $\mathbf{S}_m^{-T} \hat{\mathbf{m}}$  (c)のときの $|\delta_+|, |\delta_-|$ の $s_m$ と $s_1$ 依存性。(オンラインカラー)

るため、 $s_m$ と $s_1$ に依存する項は $\delta$ のみである。図2(a)に示すように、せん断領域どうしの隙間が回位によって埋められるとき、 $\hat{\mathbf{m}}_k$ は $\hat{\mathbf{m}}_k$ のとりえる範囲の両端である $\mathbf{S}_k^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ と $\mathbf{S}_m^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ とみなした。図3(b), (c)はそれぞれ、 $\mathbf{S}_k^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ および $\mathbf{S}_m^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ のときの $|\delta_+|, |\delta_-|$ の $s_m, s_1$ 依存性を示している。 $\hat{\mathbf{m}}_k$ が $\mathbf{S}_k^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ と $\mathbf{S}_m^{-T} \hat{\mathbf{m}}$ のどちらの場合でも、 $s_m$ が十分に小さな値では $|\delta_+|, |\delta_-|$ はほぼ $45^\circ$ であり、 $s_1, s_m$ が増加すると $|\delta_+|, |\delta_-|$ は緩やかに単調に変化した。そのため、式(9)より衝突してくるせん断領域のせん断量 $s_m$ が極めてわずかであっても、キック界面の移動量はせん断領域の厚み程度になる。

キック界面とせん断領域の交差部で回位と連携変形が発生することを明らかにした。回位の周りの弾性場の存在により回位は弾性エネルギーを蓄える<sup>(24)</sup>。連携変形では、キック界面の移動による塑性仕事が生じる。回位や連携変形が生じるためにはこれらエネルギーに相当する仕事が外部から供給されなければならない。よって回位と連携変形は変形応力の上昇をもたらすことになる。回位の弾性エネルギーは回位強

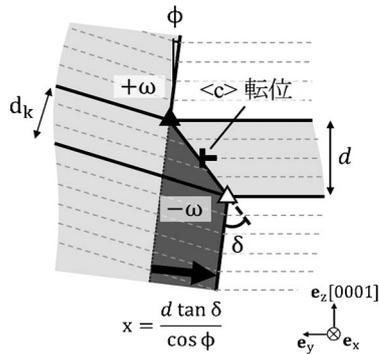


図4 せん断領域とキンク界面の交差部の模式図。連携変形が発生するためには、 $\langle c \rangle$ 転位が発生しなければならない。

度の二乗に比例するため、回位による強化量は必ずゼロでない値になる。一方、連携変形に必要な塑性仕事は、キンク界面が移動した領域の面積とキンク界面の移動に必要な応力( $\tau_k$ )を掛けることで求められる。連携変形が生じる場合、図4に示すようにキンクバンド内部を貫くせん断領域の厚み( $d_k$ )は衝突してくるせん断領域の厚み( $d$ )と一致しない。これは、各々のせん断領域で層面の数が一致しないため、結合面において $\langle c \rangle$ 転位が発生しなければならないことを示している。LPSO-Mg合金において $\langle c \rangle$ 転位を発生させるためには、硬質層を切断する変形が生じなければならない。硬質層を切断する変形は容易に生じないため<sup>(10)(25)(26)</sup>、 $\tau_k$ は底面 $\langle a \rangle$ すべりの室温での臨界分解せん断応力と比較して非常に大きな値であると推測される。 $s_m$ がわずかな値でもキンク界面の移動量が大きくなることも踏まえると、連携変形による塑性仕事は莫大になると考えられる。最新の研究では、キンクバンド内部に働くせん断量が減衰することで連携変形が生じず、回位のみが強化に寄与する状況が存在することが明らかにされている<sup>(27)</sup>。どちらの状況も発生しうると考えられるが、いずれもすべり変形とキンク界面の交差部に生じる回位と連携変形が強化機構として寄与する。

#### 4. 外力によりすべり変形されたキンク組織の変形挙動解析

Rank-1 接続を用いたキンク形成の幾何学解析では、ひとたび形成されたキンク組織に対して外力を負荷し、高いシュミット因子をもつキンクバンド内部ですべり変形が生じた場合、変形の連続性を保つためにキンクバンドどうしは連携的に変形せざるを得ないことが示唆されている<sup>(21)</sup>。この連携変形は連結する全てのキンクバンドに波及する。すべり係が一つに限定されたLPSO-Mg合金においてキンク界面で割れや剥離を生じさせないためには、連結したキンクバンドのうち一部のキンクバンドでは外力に逆らった変形(逆変形)が強制されると考えられる。こうしたキンクバンドが存在するならば、逆変形を生じさせるために外部から余分な仕事を供給する必要があるため、これもまた変形応力の上昇をもたらす

強化機構として働くと考えられる。本節では、外力によってすべり変形されたキンク組織において各キンクバンドで生じる変形を、電子線後方散乱回折(EBSD)測定によるキンクバンドの結晶方位および集束イオンビーム(FIB)加工によって試料表面に導入したメッシュ痕を用いて定量的に評価することで、逆変形したキンクバンドが存在することを実証した研究について紹介する。なお詳細な実験条件や結果については原著論文<sup>(19)</sup>を参照いただきたい。

本実験では、18R LPSO 相単相から構成された公称組成  $Mg_{85}Zn_6Y_9$ (at%) の一方向凝固(DS)材を使用した<sup>(28)</sup>。DS材は Ar 雰囲気下でブリッジマン法を用いて誘導溶解によって作製されたインゴットを再凝固させることによって作製された。このとき(0001)面は成長方向と平行になっている。底面にはほぼ平行な方向に圧縮荷重が負荷されると(0°方向圧縮)、キンク変形が生じる。一方で、底面に45°傾いた方向から試料が圧縮されると(45°方向圧縮)、シュミット因子がほぼ最大となるため底面すべりが生じる。これらの特徴を利用して、図5に示すようにLPSO相で形成されたキンク組織をすべり変形させる二重圧縮試験をDS材に施した。

EBSD測定を用いた結晶方位解析では、45°方向圧縮前後で同一箇所において未変形部に対するキンクバンドの結晶回転の変化量( $\Delta\theta$ )、キンク界面法線の回転量( $\Delta\phi$ )を求めた。このとき、紙面奥行き方向に右ねじが進む方向を回転の正方向とした。さらに、45°方向圧縮前にFIB装置を用いてメッシュの水平方向が底面に沿って平行になるようにメッシュ加工を施した。メッシュの水平方向はLPSO相での主要な変形モードである底面すべりに平行になっている。45°方向圧縮前後における各メッシュの辺の長さとの相対的な角度からせん断ひずみ量( $\epsilon$ )を微小変形近似で求めた。

図6(a)~(c)は、0°方向圧縮後の注目するキンクのIQ(Image Quality)マップ、未変形部に対する結晶回転量の分布、模式図である。図6(c)に示すようにキンク界面をK1, K2、未変形部をM1, M2、キンクバンド部をKB1, KB2としている。各キンクバンドはそれぞれ紙面内の単一の底面すべりで形成されていた<sup>(19)</sup>。この場合、せん断変形のシュミット因子も紙面内でのせん断が最大となるため、変形は観察面内の平面歪となる。図6(d)~(f)は注目しているキンクの

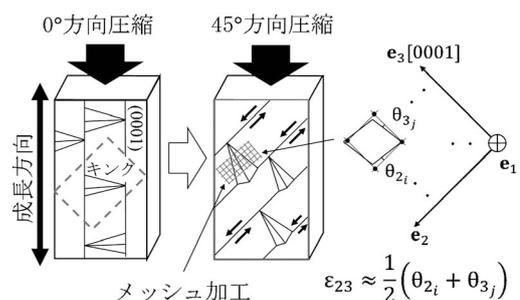


図5 二重圧縮試験の模式図。45°方向圧縮前にメッシュ加工を施し、45°方向圧縮により働いたせん断ひずみ量を評価した。

45°方向圧縮後のIQマップ，未変形部に対する結晶回転量の分布，模式図である．図6(d)，(f)の右上に圧縮時にシュミット因子が0.5となる底面すべり方向が示されている．0°方向圧縮により形成されたKB1は上下方向に三分割されており，45°方向圧縮によりKB1の結晶回転量とK1のキンク界面の法線はそれぞれ，上部では $\Delta\theta = -12^\circ$ ， $\Delta\phi = -6^\circ$ ，中央部では $\Delta\theta = -13^\circ$ ， $\Delta\phi = -12^\circ$ ，下部では $\Delta\theta = -12^\circ$ ， $\Delta\phi = -6^\circ$ 変化した．詳細は文献<sup>(19)</sup>を参照いただきたいが，これらの変化をrank-1接続により半定量的に評価すると，KB1において $\Delta\theta$ と $\Delta\phi$ が負の値であるためには45°方向圧縮によって未変形部に働くせん断とは逆方向のせん断がKB1で生じなければならなかった．

図7(a)，(b)はそれぞれ45°方向圧縮前後におけるメッシュ痕のBSE像，図7(c)は $\epsilon$ の分布である．図7(c)の左上に圧縮時にシュミット因子が0.5となる底面すべり方向が示されている．M1，M2とKB2における $\epsilon$ はいずれも0.05以上であった． $\epsilon$ の平均値はM1，M2では0.149，0.11であり，KB2においては0.109であり，働いたせん断は外力によるせん断方向と一致していた．一方，KB1における $\epsilon$ の平均値は0であった．図7(c)の拡大図が示すように，部分的に $\epsilon$ が負となるせん断が生じた領域が存在していた．すなわちKB1で働いたせん断は部分的に外力によるせん断方向とは逆であり，実際に逆変形が生じていたことが確認された．

結晶方位解析とメッシュ痕によるせん断ひずみ量の解析結果から，キンク組織を外力によってすべり変形させると一部のキンクバンドでは外力に逆らった変形が生じることが明らかにされた．こうした変形はすべり系が一つに限定されたキンク組織において剥離や割れを生じさせないために生じていると考えられる．Rank-1接続を用いた最新の研究では，キ

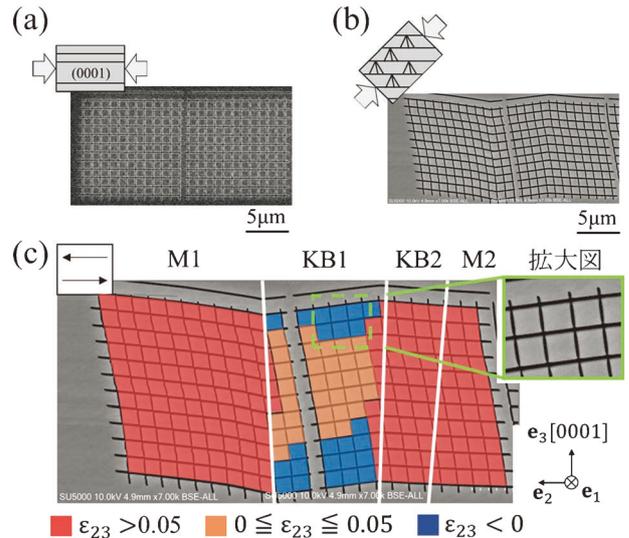


図7 メッシュ痕のBSE像．(a)，(b) 45°方向圧縮前と後．(c) せん断ひずみ量のマッピング．赤色は $\epsilon > 0.05$ ，オレンジ色は $0.05 \geq \epsilon \geq 0$ であり外力によるせん断応力と同符号，青色は $\epsilon < 0$ であり，外力によるせん断応力と逆符号である．(オンラインカラー)

ンク組織が変形の連続性を保ったまま外力によりすべり変形されるためには，外力に逆らった変形が一部のキンクバンドで生じる必要があることが理論的に示されている<sup>(29)</sup>．外力に逆らった変形が強制されたキンクバンドは変形応力の上昇をもたらすため，このようなキンクバンドはキンク強化の一因になると考えられる．

## 5. ま と め

Rank-1接続を用いたキンクの幾何学解析と変形挙動解析により，①キンク界面とすべり変形の交差部に回位が形成される，②それら交差部ではキンク界面の平行移動が強制される，③外力に逆らった変形を強制されるキンクバンドが存在する，ことの3つを見出し，さらにそれらが強化機構として働くことを明らかにした．この強化は材料組織の構成単位(本研究ではキンクバンド)の形状変化に依存する強化であり，塑性変形素過程の障害による強化とは別物で共存し得るので，従来の転位論的強化に重畳して発現することは強調しておきたい．これらの強化機構は，いずれもすべり系が限定され，層面の切断が容易でない層状構造物において変形の連続性を保つために課される変形の拘束に起因して発生する．この共通点は，キンク強化をもたらす条件を考察する上で重要な特徴であると考えられる．現在は，rank-1接続を用いた幾何学理論とデジタル画像相関法を用いた変形挙動解析によりこれら強化機構の解明を目指している．

本稿で紹介した研究は東京科学大学，稲邑朋也教授のご指導，ご助言のもと院生の上田佑理氏，鞆嶋春輝氏と共同で遂行されました．また，電気通信大学の篠原百合准教授にも多

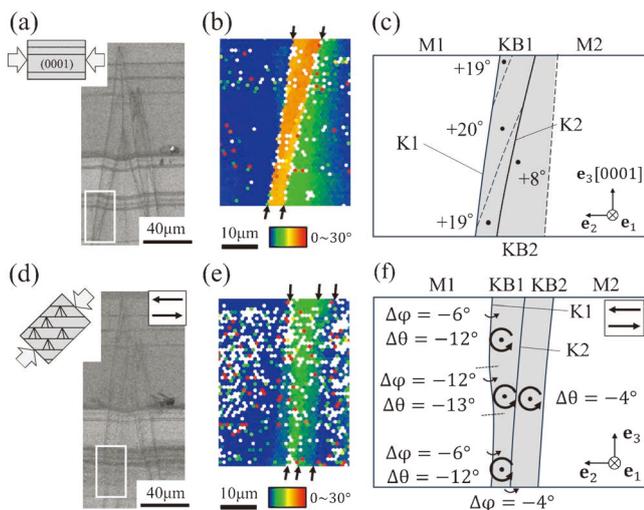
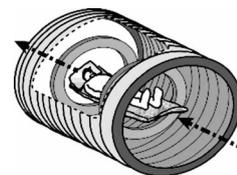


図6 圧縮試験後のキンク組織．(a)–(c)は0°方向圧縮後の注目するキンクのIQマップ(a)，未変形部に対する結晶回転量の分布(b)，模式図(c)である．(d)–(f)は45°方向圧縮後のキンクのIQマップ(d)，未変形部に対する結晶回転量の分布(e)，模式図(f)である．(オンラインカラー)





2. 特性の計測評価

2-3 磁気特性の計測と解析

2-3-2 磁気測定の実用：動的磁化測定(測定)

小野寺 礼 尚\* 喜 多 英 治\*\*

2-3-2-4 はじめに

63号10号<sup>(19)</sup>掲載の「2-3-2 磁気測定の実用：動的磁化測定(原理)」では、交流(AC)の磁気測定を実施する意義、測定での評価対象および、明らかになるAC特性について説明をしました。その続きとして今回は測定編をお届けします。今回は、前半で市販されているAC磁気特性評価装置についていくつか簡単に説明し、後半ではAC磁気計測の一例として、著者らが開発している装置と得られるデータの解析について紹介します。最後にこれまで取り上げてこなかった磁化に関わる重要な計測についてその他の磁気計測として簡単に説明します。

2-3-2-4 一般的な交流磁気測定装置

2-3-4-1 交流磁化率測定装置

海外メーカーが販売している物理特性測定システム(PPMS: Physical property measurement system)と呼ばれる超伝導マグネットを利用した磁気測定装置で提供されているオプションにAC磁化率測定があります<sup>(20)</sup>。前回<sup>(19)</sup>、「2-3-2-3-2 磁化が線形応答する領域での緩和の取り扱い」で述べた複素磁化率の実数部 $\chi'$ および虚数部 $\chi''$ の周波数特性を評価するもので、主に、物性研究で用いられる傾向があります。

磁化率測定では一般に、図12のような同心の1次コイル、2次コイルを用い、2次コイルの内側に測定試料を挿入します。1次コイルでAC磁場を発生させ、試料に誘起される磁化を2次コイルで検出します。2次コイルは磁場をキャンセルするように2つの反対向きのコイルで構成され磁化だけを検出するようになっているため、片方のコイルの中心に試

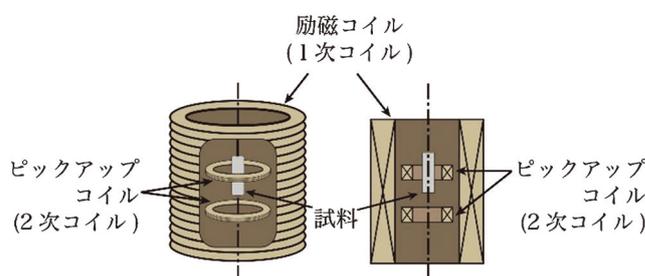


図12 AC磁化率測定用コイルの概念図とその断面図。

表1 PPMSのAC磁化率測定仕様<sup>(19)</sup>。

温度範囲	1.9-350 K
周波数範囲	10-10 kHz
交流振幅	0.005-1.5 mT
測定感度	$1 \times 10^{-11} \text{ Am}^2 (10 \text{ kHz})$
試料形状	粉末, バルク, 薄膜

料を置きます。この装置は、VSM(試料振動型磁力計)と併用できることが特徴です。表1には、この測定装置で可能なAC磁化率測定の仕様をまとめました。

AC磁化率の測定に特化したコンパクトな装置もいくつか市販されています。試料の $\chi'$ 、 $\chi''$ の周波数特性を容易に計測できる反面、磁場振幅が小さいため、基本的には飽和領域を含めたM-H(B-H)ループを取得することはできず、主として線形領域での計測となります。

\* 茨城工業高等専門学校 国際創造工学科；准教授(〒312-8508 ひたちなか市中根866)

\*\* 筑波大学名誉教授

Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties

2-3 Measurement and Analysis of Magnetic Properties: 2-3-2 Introduction of Advanced Magnetometry: Basic of Dynamic Measurement (Measurement Techniques); Reisho Onodera\* and Eiji Kita\*\* (\*National Institute of Technology, Ibaraki College, Hitachinaka. \*\*University of Tsukuba, Tsukuba)

Keywords: dynamic magnetization measurement, dynamic hysteresis loop, magnetic relaxation, energy loss, soft magnetic materials, magnetic nano-particles

2024年8月19日受理[doi:10.2320/materia.63.842]

### 2-3-2-4-2 交流 $B-H$ ループ測定装置

ここで紹介する装置は、 $B-H$ アナライザ、 $B-H$ ループトレーサー、AC磁化特性評価装置、鉄損計測システムなどの名称で販売されているものです。いずれも軟磁性材料および成形されたコアや部品などの $B-H$ ループを測定し、コアロス(鉄損)、磁束密度、保磁力、複素透磁率、損失係数、インダクタンスなどを評価できる装置として販売されています<sup>(21)</sup>。

それぞれの特性評価装置に適した試料形状、測定温度、周波数帯、AC振幅などがあり、測定感度や分解能も異なります。それらの装置ごとの特徴を説明することはできないため、ここでは多くの装置に共通すると思われる磁場、磁化(磁束密度)の検出方法、試料形状と、損失の評価について説明します。

#### 2-3-2-4-2-1 $B-H$ ループ測定の特徴

軟磁性コア材料のAC磁化特性評価では、 $B-H$ ループを計測することが求められます。前述のAC磁化率測定とは異なり、印加磁場 $H$ を打ち消す必要がありません。 $B-H$ ループ計測では材料単体というよりは、コイルとコアで構成されたインダクタを特性評価する意味合いが大きく、磁化 $M$ ではなく磁束密度 $B$ を、磁化率 $\chi'$ 、 $\chi''$ ではなく透磁率 $\mu'$ 、 $\mu''$ を評価する必要があるためです。このことについては、63号10号掲載<sup>(19)</sup>の動的磁化測定(原理)、「2-3-2-2-3 交流磁化測定で評価する特性」でも説明を行いました。

透磁率あるいは $B-H$ 特性評価の際には、図13(a)に示すようなリング状のコア(トロイダルコア)に成形して用いることが多くあります。リング状のコアに巻いたコイルをトロイダルコイルと呼びますが、電気・電子回路の高周波フィルターや、スイッチング電源の平滑化回路などに幅広く用いられる代表的なインダクタです。円周方向に磁化したトロイダルコアでは、生じた磁束が閉回路を作るため磁極が発生せず、63号8号掲載<sup>(1)</sup>の「2-3-1 磁気測定の基礎：静的磁化測定」で説明した反磁場が生じません。したがって、磁性材料は反磁場に依存しない磁化過程を経て、僅かな磁場印加で飽和に至ります。その際得られる $B-H$ ループの傾きが透磁率 $\mu'$ を反映しています。

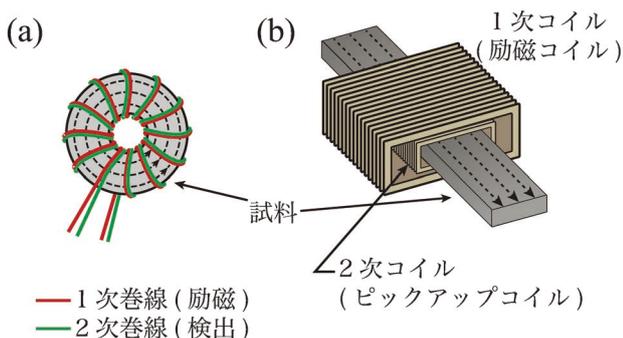


図13 (a) 巻線法と(b)ピックアップコイル法。

一方、棒状に成形したコアを測定する場合、アスペクト比によっては磁化過程に反磁場の影響が大きく出てしまい、飽和までの磁化過程の傾きが反磁場係数 $N$ によって決まってしまう。反磁場の影響が強い試料形状では、この反磁場を補正しなければコアの本質的な透磁率を得ることができません。測定に用いる試料に反磁場の影響がなければ、飽和に要する磁場振幅を小さく、周波数を高くすることができます。

実用材料としての特性を評価する場合には、国際電気標準会議(IEC)、日本産業規格(JIS)、推奨性国家標準(GB/T、中国)などで定められている測定・評価方法に準拠している装置を用いて定められた方法で評価する必要があります。材料や用途によってIEC62044-3やIEC60404-6、JIS C 2535、JIS C 2550などが挙げられます<sup>†1(22)(23)</sup>。

#### 2-3-2-4-2-2 検出方法(巻線法とピックアップ法)

図13に交流 $B-H$ ループ測定で一般に使われている2種類の計測方法である巻線法とピックアップコイル法の試料と検出部の概略を示します。いずれの方法でも1次巻線(コイル)に励磁電流を通電することで磁場を発生させ、2次巻線(コイル)で1次巻線によって生じた磁場の磁束とコアが磁化して生じた磁束の両者を検出します。図13(a)に示す2巻線法の場合、試料ごとに巻線を施す必要があります。

ピックアップコイル法の場合は励磁コイルと磁束用ピックアップコイルの計2つのコイルを用います。図13(b)に示したように空芯励磁コイルの内側に同心のピックアップコイルを配置します。巻線法と同様にピックアップコイルを鎖交する磁場由来の磁束と試料の磁化由来の磁束の両者を検出します。ただし、巻線法のように試料ごとに巻線を施す必要がなく、励磁コイル、ピックアップコイルの空間配置が固定されているため、比較的高い再現性を有しています。この方法は単板試料の測定に用いられます。

#### 2-3-2-4-2-3 損失の評価法

前回、緩和の説明の際に述べましたが、ヒステリシスループの面積からエネルギー損失を得ることができます。この損失をどのように評価するのか簡単に紹介します。ヒステリシスループの面積は

$$S_{\text{loop}} = \oint HdB = E_{\text{loss}}[\text{J}/\text{m}^3] \quad (22)$$

と表され、ループ1周あたり消費する単位体積あたりのエネルギー $E_{\text{loss}}[\text{J}/\text{m}^3]$ となります。1sあたりの損失にするためにはこれに周波数をかけます。

一方で、図13(a)の1次巻線(励磁コイル、ターン数 $N_1$ )に通電するAC電流を $I_1(t)$ とすると、励磁コイルによって発生されるAC磁場 $H(t)$ と $I_1(t)$ は実効磁路長 $l_e$ (リングコアの外・内径の平均の円周の長さ)を用いて、

<sup>†1</sup> JIS C 2550-1~5は、電磁鋼帯の試験方法を、JIS C 2534は鉄基アモルファス帯についての規格となっています。また、IEC 62044-3は軟磁性コアの測定方法、IEC 60404-6はリング試料を用いた磁気特性の測定方法の規格です。

$$l_e H(t) = N_1 I_1(t) \quad (23)$$

と比例関係にあります。また、2次巻線(ターン数  $N_2$ )に鎖交する磁束  $\Phi$  の変化  $d\Phi(t)/dt$  は誘導起電力  $V_2(t)$  と比例関係にあり、磁束密度の変化  $dB(t)/dt$  と巻線1ターンが囲む面積  $S_2$ 、巻数  $N_2$  を用いて、

$$N_2 S_2 \frac{dB}{dt} = V_2(t) \quad (24)$$

と表せます。これらの関係式を利用すると式(22)は、

$$E_{\text{loss}}[\text{J/m}^3] = \oint H dB = \frac{N_2 S_2 l_e}{N_1 T} \int_0^T H(t) \frac{dB}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_2(t) I_1(t) dt \quad (25)$$

となり、電圧×電流の一周期分を積分することでヒステリシスループの面積を計算することができます。ただし、ここで  $T$  は周期を表しています。

#### 2-3-2-4-2-4 市販装置の特徴

国内で販売されている装置のうち2つの仕様を表2にまとめました<sup>(21)(24)</sup>。市販の装置では、一般に粉末状、単板状、リング状のコアを計測可能です。単板試料の場合は、ピックアップ法で測定するためのオプションが用意されています。粉末状試料の場合はコアの形状の容器に粉末を充填します。粉末を充填したリング状の容器や単板状、リング状コアに対して巻線法で測定を行います。フレーク状や粉末状の材料を圧縮整形したコアと、リング状容器に充填しただけのコア形状の材料では、密度(充填率)や、絶縁コーティングの有無による耐圧なども異なるため、得られる特性は別物として扱う必要があることに注意してください。

コアに成形しないで測定する場合、試料形状によって反磁場の影響が大きくなり透磁率を評価することが難しくなります。また、反磁場が大きい試料形状では出力に対して実効磁場強度が低下するため、飽和させるために大きな磁場を要するというデメリットにつながります。大振幅(～10 kA/m)

表2 B-H 特性の測定範囲。

	岩崎通信 B-H アナライザ <sup>(21)</sup>	メトロン技研 鉄損計測システム <sup>(24)</sup>
準拠規格	IEC 62044-3	IEC 60404-16 JIS C 2535等
温度範囲	-55～180°C[218～453 K] (オプション使用時)	室温 (温度制御記載なし)
周波数範囲	10-10 MHz	40-10 kHz
交流振幅	最大 6 A (巻線数, コイル径に依存)	900 VA (巻線数, コイル径に依存)
AD 変換* (分解能)	16 bit	16 bit
試料形状	粉末 バルク(リング, 単板)	単板(薄帯)

\* 分解能は AD 変換の精度で決まります。16 bit の場合、1/65536 の分解能となります。

を発生可能な AC 磁気測定装置として商用 30 Hz-20 kHz までの周波数帯に対応したものが市販されています<sup>(25)</sup>。

#### 2-3-2-5 交流磁化過程測定装置

前述した交流 B-H ループ測定装置は B-H ループの測定を通じた、透磁率や損失の評価を目的としており、材料磁化に注目した交流 M-H 評価装置の市販品は見当たりません。この測定を必要とする研究者は、自作した装置で特性評価をしていると思われます<sup>(26)(27)</sup>。

同様に著者らは、医療応用を目的とした磁性ナノ粒子の特性評価の一環として開発した AC 磁化過程測定装置を、軟磁性材料の特性評価に応用するために分解能向上など開発を継続しています。この装置の特徴は後述しますが、トロイダルコア形状に成形しない粉末試料やバルク試料の M-H ループを測定できるメリットがあります。

本節では著者らの自作装置を例に、装置の特徴や構成、測定からデータ解析までの一例を紹介します。装置を自ら構築し特性評価に挑戦したい方だけでなく、市販装置で測定を実施している方々にとっても、装置の構成要素やデータの処理過程について理解を深めることは得られた結果のより深い理解に繋がると考えられますので、参考にしていただけたらと思います。

##### 2-3-2-5-1 本装置の特徴

ここでは、著者らが開発をしている装置の概要について説明します。表3に現在の仕様をまとめました。ここで紹介する装置<sup>(11)(28)(29)</sup>が市販装置と大きく異なる点は、

- 磁束密度ではなく、材料の磁化を測定対象としている
- 任意の試料形状で測定可能(リング形状への成形必要なし)
- 磁性流体の測定が可能
- 印加 AC 磁場の振幅が大きい(任意形状の試料でも磁化が飽和する)
- 独立して DC 磁場を印加できる

が挙げられます。

B-H ループ測定ではコア材料のインダクタとしての特性評価が目的でした。一方、その前段階として軟磁性材料の開発をする上での基礎研究では、材料磁化  $M$  を評価する必要があります。また、磁化の線形応答領域を超えた非線形領域での特性を評価するためには、磁化を飽和させることができ

表3 AC 磁化過程測定装置の仕様<sup>(28)(29)</sup>。

温度範囲	室温
周波数範囲	20 k-1 MHz
交流振幅	5-70 mT
測定感度(分解能)	$2 \times 10^{-7} \text{ Am}^2$ 程度(12 bit)
試料形状	粉末, 液体 バルク(ロッド他)

る大振幅の磁場を印加する必要があります。このように、材料の開発・研究に用いることを前提に本装置を開発しています。

### 2-3-2-5-2 装置の構成

本装置における磁場は、空芯ソレノイドコイルに高周波電源とLC回路(ソレノイドコイル+コンデンサ)の共振を利用して生じる大電流を通电して発生させます。発生した磁場や材料磁化の検出にはピックアップコイル法を採用しており、空芯ソレノイドコイルの内部にピックアップコイルを設置しています。ピックアップコイルで磁束 $B$ ではなく材料磁化 $M$ を検出する方法については後述します。ピックアップコイルに生じた誘導起電力を、オシロスコープで計測後、データ処理して $M-H$ ループを得ています。

測定の概略は図14に示しています。また、励磁コイルを電磁石の磁極間に配置することで、DC磁場バイアス下でのAC磁化特性を評価することも可能です<sup>(11)(29)</sup>。以下に、それぞれの構成要素について簡単に説明します。

#### (a) 励磁コイル

励磁コイルは内径14 mm、長さ約50 mmの空芯ソレノイドコイルとなっており、線径0.04 mmの素線660本が束ねられたリッツ線(外径約1.6 mm)を巻いて作製しています。コイルのインダクタンスは約10  $\mu\text{H}$  となっています。コイルの形状と概要を図15に示します。

#### (b) 共振用コンデンサ

本装置は、図14に示すように励磁コイルのインダクタンス $L$ 、コンデンサ回路のキャパシタンス $C$ の直列共振回路を構成しています。コンデンサ回路中には、複数の高耐圧フィルムコンデンサ(各40 nF)と1台の真空可変コンデンサがあり、それらを複数のスイッチで切替え、回路の静電容量を変更し共振周波数を設定できます。

#### (c) 高周波電源

1 kW の出力を持つThamway T142-6013を使用しています。発振周波数は20 kHz-1 MHzの範囲で設定可能です。電源の出力インピーダンスが50  $\Omega$  のため、負荷回路(コンデンサ回路+励磁コイル)とのインピーダンス整合をとるために、500 kHzでインピーダンス50  $\Omega$  となるように設計されたトランスを介して磁氣的に接続します。

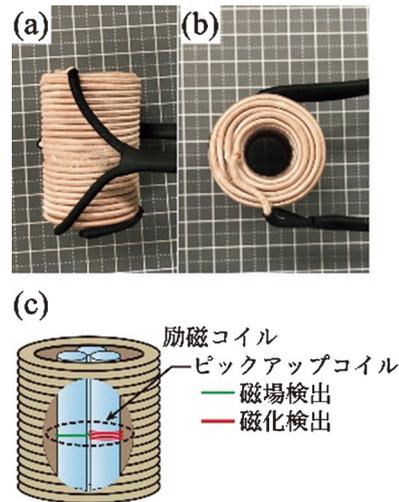


図15 励磁コイルの(a)側面と(b)上面、および(c)励磁コイル内ピックアップコイルの配置概略。

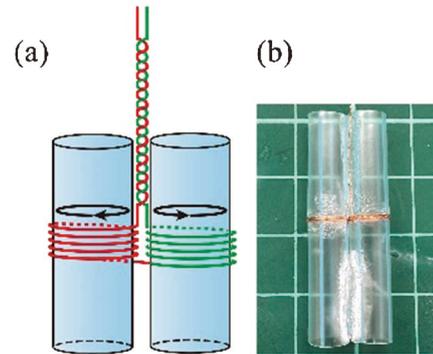


図16 磁化用8の字ピックアップコイルの(a)概念図と(b)その写真。

#### (d) ピックアップコイル

磁場、磁化の検出用ピックアップコイルは、線径0.06 mmの銅線を、外径6 mmのストローに巻いて作製しています。磁場用は巻数1のシングルターンコイル、磁化用は右・左回りにそれぞれ5巻を直列接続した8の字ピックアップコイルとして作製しています。

図16に磁化用8の字コイルの概念図と写真を示します。右回り・左回りのコイルの両者に同じ数の磁束が鎖交し時間変化する場合、それぞれのコイルに生じる起電力は相殺されます。測定時には片方のコイルにのみ試料を挿入し、磁化による磁束の変化分だけ検出することができます。ピックアップコイルを巻いたあと、配線部分で閉回路を作り磁束が鎖交しないよう撚り線にしてBNCコネクタに接続し、オシロスコープに入力します。

測定できる試料の形状はこのピックアップコイルに収まる範囲で任意ですが、著者は、おおむね直径5 mm、長さ20 mm以内の形状で測定を実施しています。

#### (e) オシロスコープ

$H$ ,  $M$ それぞれの誘導起電力をテレダイン・レクロイ社の

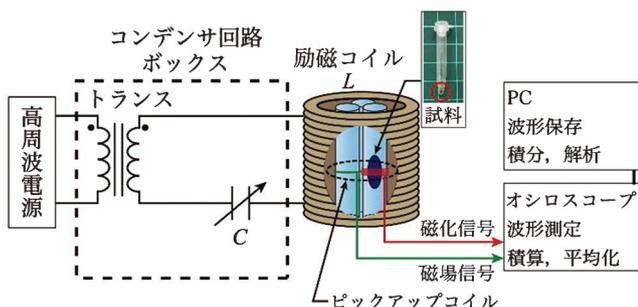


図14 装置の概略図。

HDO 4034A を用いて測定しています。プリアンプの帯域は 350 MHz で、AD 変換の精度は 12 bit です。また、入力カップリングは DC 50  $\Omega$  としています。実際の測定では約 1 周期分の波形を 1 セグメントとし、125 セグメントを積算し平均化した波形を測定結果として採用しています。この処理はオシロスコープ内で実施できます。測定のトリガーには、 $H$  の信号を用いています。そのほか、磁化信号の高調波成分の測定や積分の精度向上のため、1 波形あたりのデータ点が設定できる最大値となるように測定条件を選択しています。

(f) データ解析用 PC

オシロスコープで測定したデータは、PC に取り込みデータ処理後ヒステリシスループとなります。ピックアップコイルで検出できる誘導起電力 ( $V_H$ ,  $V_M$ ) は磁場、磁化によって生じる磁束の微分信号 ( $\Phi_H$ ,  $\Phi_M$ )

$$V_H = \frac{d\Phi_H}{dt} = A \frac{dH}{dt}, V_M = \frac{d\Phi_M}{dt} = B \frac{dM}{dt} \quad (26)$$

であるので、それぞれの信号強度をエクセルなどで数値積分し  $H(t)$  および  $M(t)$  を得ます。ただし、測定時には比例係数  $A, B$  は不明ですので、較正をする必要があります。

2-3-2-5-3 測定例(生データからループ作成まで)

実際の測定手順および、測定データを  $M$ - $H$  ループに変換し、データ解析を行うまでの手順について紹介します。

(a) 励磁周波数と磁場振幅

電源の出力周波数を設定し、共振周波数に対応したコンデンサ回路のスイッチ切替を行います。測定したい磁場の振幅を設定します。上述したように、磁場、磁化の微分信号を積分する時点では、式(26)の比例係数は未知です。後ほど、較正用の試料を用いてこれらの係数を実験的に決定します。概算でこの値を決定する場合、ピックアップコイルの断面積  $S[\text{m}^2]$ 、出力する磁場振幅の磁束密度  $B_0 = \mu_0 H_0 [\text{Wb}/\text{m}^2]$  を用いて、

$$\Phi(t) = \mu_0 H_0 S \sin \omega t \quad (27)$$

とコイルに鎖交する磁束  $\Phi$  を求めます。また、角振動数  $\omega$  は測定周波数  $f[\text{Hz}]$  を用いて  $\omega = 2\pi f$  です。これらから、磁場信号  $V_H$  を、

$$V_H = 2\pi f S \mu_0 H_0 \cos \omega t = V_{\text{peak}} \cos \omega t \quad (28)$$

と求めることができ、 $V_{\text{pp}}$  (peak to peak)  $= 2 V_{\text{peak}}$  を見積もることができます。この  $V_{\text{pp}}$  が得られるように電源の出力を調整します。コイルへ通電する電流から直接  $H$  を計算することもできます。

(b) 磁場およびバックグラウンドの測定

磁化の検出に用いる 8 の字ピックアップコイルは、磁場による誘導起電力をキャンセルしますが、2 つのコイルの出力は完全には一致せず、僅かに誘導起電力が生じてしまいます。著者らはこれをバックグラウンド ( $V_{\text{BG}}$ ) と呼び、測定後に補正しています。 $V_{\text{BG}}$  信号は、 $H_0, f$  によって異なるため、試料を挿入する前にその都度測定を行います、これをブランク測定と呼んでいます。

(c) 試料磁化の測定

ブランク測定で  $V_{\text{BG}}$  信号を得たのちに、試料を 8 の字コイルの一方に挿入し、磁化信号  $V_M$  の測定を行います。図17に、磁性ナノ粒子懸濁液(リゾビスト®)を  $f = 58 \text{ kHz}$ 、振幅  $\mu_0 H_0 = 20 \text{ mT}$  で測定した際の  $V_H(t), V_M(t), V_{\text{BG}}(t)$  を示します。

(d) データ解析

(d-1) バックグラウンド(BG)の補正

測定で得られるデータは、 $V_H(t), V_M(t), V_{\text{BG}}(t)$  の 3 系列になります。このうち、 $V_M(t)$  には磁化  $M$  による起電力  $V_{M_0}(t)$  とピックアップコイルの BG 信号  $V_{\text{BG}}(t)$  の両者が含まれます。そのため、 $V_{M_0}(t) = V_M(t) - V_{\text{BG}}(t)$  と差分をとります。

(d-2) 積分および補正

BG の処理をした  $V_{M_0}(t)$  および、 $V_H(t)$  をそれぞれ積分します。図18に積分後の各波形を示しています。 $V_{M_0}(t)$  の積分では、信号電圧に重畳している磁化のシグナルではない DC 成分も含めて積分されるため、積分後に DC 成分の効果を差引き補正します。

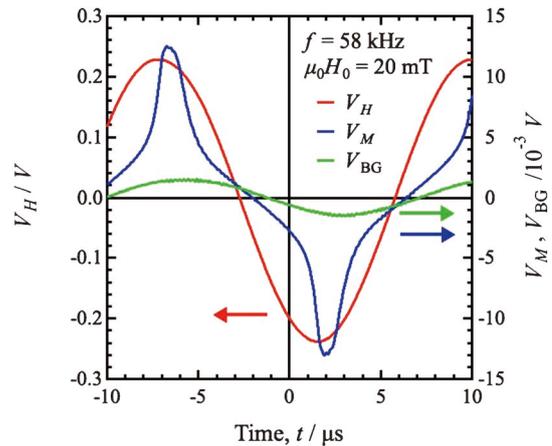


図17 磁性ナノ粒子(リゾビスト®)を  $f = 58 \text{ kHz}$ 、振幅  $\mu_0 H_0 = 20 \text{ mT}$  で測定した際の  $V_H(t), V_M(t), V_{\text{BG}}(t)$ 。

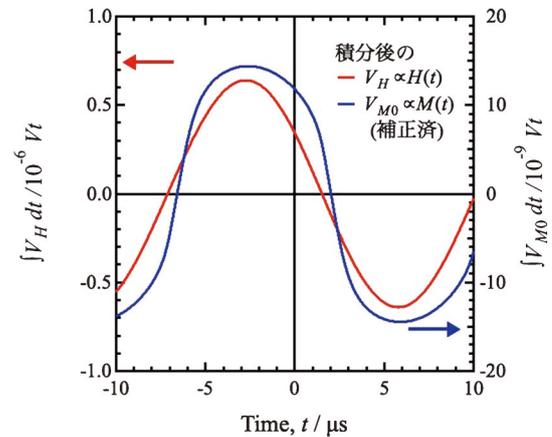


図18 積分後の  $V_H(t), V_{M_0}(t)$ 。さらにオフセット補正後の  $V_{M_0}(t)$  を右軸に示す。

### (d-3) ヒステリシスループの描画

積分後の  $V_H$ ,  $V_{M0}$  を用いてループを描かせたものが図19になります。縦・横軸の単位は変換前ですが、ヒステリシスループとして最終形状が得られています。AC 磁場によるループ形状の変化(損失の発生)を比較するため、VSM で測定した DC ループも併せて示しています。

縦・横軸を正しい単位に変換するためには、ピックアップコイルごとに、式(26)の比例係数  $A$ ,  $B$  を求めておく必要があります。解析的に計算もできますが、実際にはピックアップコイルの歪み、微小な不均一など様々な要因で誤差が生じるため、実験的に求める必要があります。

### (d-4) 縦・横軸の較正

較正係数を実験的に決めるために、損失のない標準試料の測定を用います。図20に示したヒステリシスループは、イットリウム鉄ガーネット ( $Y_3Fe_5O_{12}$ : YIG) の単結晶を直径 3 mm の球状に成形した試料の AC 測定の結果です<sup>(11)</sup>。試料を球状にすることで反磁場係数は 1/3 と厳密に定まります。63号 8号掲載<sup>(1)</sup>の「2-3-1 磁気測定の基本：静的磁化測定」において、「2-3-1-4-1 磁化曲線に影響を及ぼす因子(A)反磁場」でも説明しましたが、試料の磁化が既知であれば反磁場係数を用いて、試料が飽和する磁場(飽和磁場,  $H_s$ )を計算することができます<sup>(1)</sup>。

YIG は保磁力が非常に小さく、うず電流損失もほとんどなく、DC 測定と AC 測定で同じヒステリシスループが得られるため、較正試料として最適であると言えます。実際には、この試料の飽和磁化  $M_s$  および、飽和磁場  $H_s$  を DC 測定(VSM)から求め、AC 測定で得られた  $M_s$ ,  $H_s$  がその値に一致するように係数を定めました<sup>(11)(27)</sup>。このような測定で、横軸と縦軸を同時に較正することができます。図19の反対軸が較正後の値になります。

以上のような手順で、実験解析を実施し磁性体の AC ヒステリシスループを測定することができます。

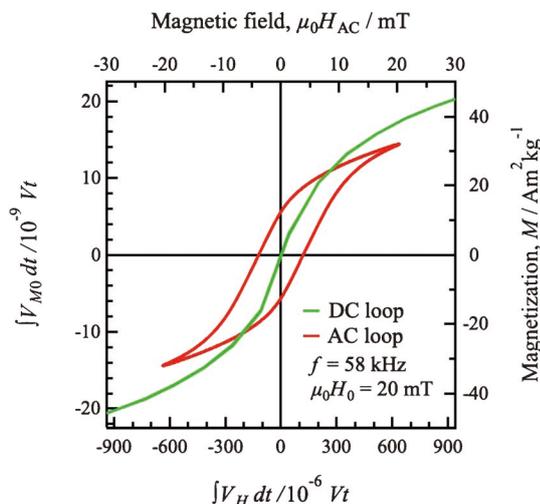


図19 磁性ナノ粒子(リゾビスト®)の  $M$ - $H$  ループ。積分後の  $V_H(t)$ ,  $V_{M0}(t)$  で描画。右縦軸は較正後の値<sup>(11)</sup>を示す。緑実線で DC 測定で得られた  $M$ - $H$  ループを示す。

### (e) 測定上の問題点

ピックアップコイルを用いた AC 磁気測定で問題となるのが、磁化の絶対値です。ピックアップコイルでは磁束(磁場, 磁化)の時間あたりの変化 ( $d\Phi/dt$ ) を検出します。これは、相対的な磁化の変化量を測定することになるため、 $M$ - $H$  ループの原点を原理的に決定できません。ただし、AC 磁場のみを用いて測定する場合、信号電圧の振幅中心がゼロであるとして、(d-2)で説明した積分を実施する際の積分定数をゼロとするのが一般的です。

一方、磁化の DC 重畳特性を評価する際に行われるように、1次コイル(1次巻線)に通電している DC 電流に対して AC 変調を重畳させて磁場発生させる場合、あるいは AC 磁場とは別に独立した外部磁場として DC 磁場(DC バイアス磁場)が印加されている場合、DC 磁場で誘起された静的な磁化はピックアップコイルで検出することができません。したがって、積分定数を決定することが困難であり、 $M$ - $H$  ループの原点を決定することができません。

以上のことから、一般にピックアップコイルを用いた計測では、ループ測定から損失を評価できますが、得られる磁化は絶対値ではなく、相対的な変化量として得られることを理解しておく必要があります。

### 2-3-2-6 その他の磁気計測

これまで材料の磁気的測定として、基本的な物理量である磁化の測定方法について述べてきました。しかし磁気のかかわる物理現象の計測は多岐にわたります。この章では、これまで紹介した磁化測定に加えて他の磁化測定や材料評価に重要な磁気測定について簡単に紹介します。

#### 2-3-2-6-1 その他の磁化測定

ここまでは VSM を中心として SQUID 磁束計など、一般

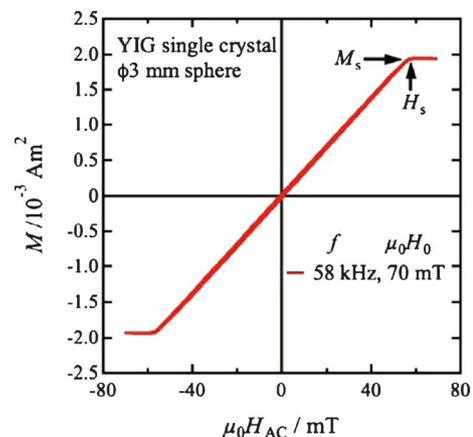


図20 較正用 YIG 球の  $f=58$  kHz での AC ヒステリシスループ<sup>(11)</sup>。ループの傾きは反磁場係数を反映しており、飽和磁化  $M_s$  と反磁場係数で定まる飽和磁場  $H_s$  を明瞭に観察することができる。

によく用いられる磁化測定について紹介してきました。ただし、場合によってはこれらの測定だけでなく他の方法も利用されます。ここで代表的な幾つかの手法について紹介します。

### 2-3-2-6-1-1 強磁場パルス磁化測定

この手法は、磁化過程測定に強磁場が必要な場合に短時間だけ強い磁場を発生させるパルス磁場<sup>(7, p.119)</sup>を用いて測定する方法です。パルス磁場法では $10^{-3} \sim 10^{-6}$  s程度の短時間だけ磁場を作り出し、その磁場強度は30~100 Tに及びます<sup>(30)</sup>。時間変動する磁場によって誘起される試料の磁束を検知する方法は、外部磁場を打ち消して試料の磁束だけを検出するAC測定と同様であり、ピックアップコイルからの磁化信号を積分して試料の磁束を得ています。この方法は主に磁気物性の計測に用いられ、磁気秩序の磁場強度依存性などの情報が得られますが、電気伝導性のある試料では高速の印加磁場変化の影響がわず電流を引き起こすため、試料形状などに配慮が必要となります。

### 2-3-2-6-1-2 磁気天秤法<sup>(2)</sup>

この手法は歴史的に最も古くから磁化測定に用いられた方法で、ファラデー法(Faraday Balance)とも呼ばれます。原理は非常に基本的で、磁石が磁場(正確には磁場の勾配)によって力を受けることを利用します。磁化 $M$ は磁場勾配(磁場の場所依存性)の存在する空間では力 $F$ を受けます。図21では $z$ 軸方向に沿って磁束密度の変化が生じており、磁場勾配 $dH/dz$ が生じています。すると、磁化 $M$ に働く力 $F$ は、

$$F = Mv\mu_0 \frac{dH}{dz} \quad (29)$$

と表すことができます。ただし、 $v$ は試料の体積です。式(29)から磁化 $M$ に対して一様な磁場中では力が働かず、不均一な磁場中で力が働くことがわかります。この力を力学的に測定する手法が磁気天秤法です。図21に示すように電磁石の磁極の中心(a)では磁場は一様であり、磁場勾配がないため力は働きません。一方、磁極片の端(b)では磁場勾配があり、磁化が存在すれば磁場の強い方に力が働きます。

力の測定には多くの手法が考えられますが、主に化学天秤が用いられてきました。実際に、電磁石の上方に置いた天秤

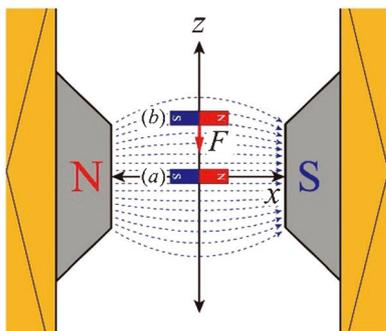


図21 磁気天秤の原理(電磁石の磁場分布と磁気力の概念図)。

から石英棒などで試料をつるして図21中の位置(b)に試料をおいて力の変化を観測します。試料の保持には石英のバスケットなどを使うため、高温での測定が容易となり、熱磁化曲線の測定が可能となります。電磁石を用いる方法では、磁場ゼロ付近で磁気勾配も小さくなるため、磁化曲線の測定は困難で、磁化率の測定に利点があります。

超伝導マグネットを磁場発生装置に用いる場合、独立した磁場勾配用コイルを用いると磁場と磁場勾配が独立して変えられるようになり、磁場ゼロ付近でも測定が可能で、いずれにしても力学的測定は天秤のような機械的測定装置によるため、振動や試料の設置などに高度な熟練が必要となります。

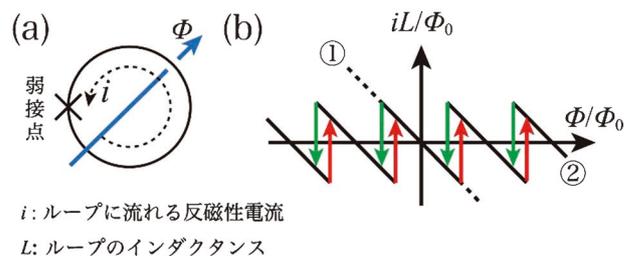
### 2-3-2-6-1-3 SQUID 磁力計の動作原理<sup>(7, p.113-114)</sup> (31)

63号8号掲載<sup>(1)</sup>の「2-3-1 磁気測定の基礎：静的磁化測定」で紹介したように、SQUIDは超伝導ループの量子効果を利用した計測素子です。超伝導ループの中には量子磁束( $\Phi_0 = h/2e = 2.07 \times 10^{-15}$  Tm<sup>2</sup>)の整数倍の磁束しか存在しない性質があります。SQUIDの動作はジョセフソン効果で説明されますが、ここではよく利用されるRF-SQUIDの動作を、単純化した弱接点モデルにより説明します<sup>(31)</sup>。

RF-SQUIDで用いられる超伝導ループは、弱い臨界電流で超伝導が壊れる部分(弱接点)を一つ有し、図22(a)に示すように簡略化して表されます。このループに外部から磁場を印加するとループには図22(b)のように外部からの磁束 $\Phi$ を完全に打ち消す反磁性電流( $i$ )が流れます。もし弱接点がないとき $i$ は①のように原点を通る電流として流れます。弱接点のある回路では $i$ がある大きさ(臨界電流)に達するとループ内に1量子磁束を取り込んで $i$ は減少し、図22(b)②のようにノコギリ状に変化します。

このような性質を持つ弱接点回路に20 M~200 MHzのRF磁場を印加する使い方をRF-SQUIDと呼び、概略図を図23に示します。点線で囲まれたSQUID素子(リング状の超伝導ループ)、動作コイル(右)と計測用のDC磁束超伝導トランスのコイル(左)は液体ヘリウム中に置かれています。

超伝導ループ内の動作コイルにRF電流を流して磁場を発生させたときのSQUID素子の挙動を図24に示します。RF磁場の振幅を増加させていくとRF磁場コイルの両端の電圧振幅は直線的に増加しますが、弱接点で反磁性電流が変



$i$ : ループに流れる反磁性電流  
 $L$ : ループのインダクタンス

図22 (a) 弱接点をもつ超伝導ループの概略図と(b) ループに流れる反磁性電流( $iL/\Phi_0$ )の外部磁束( $\Phi$ )依存性。

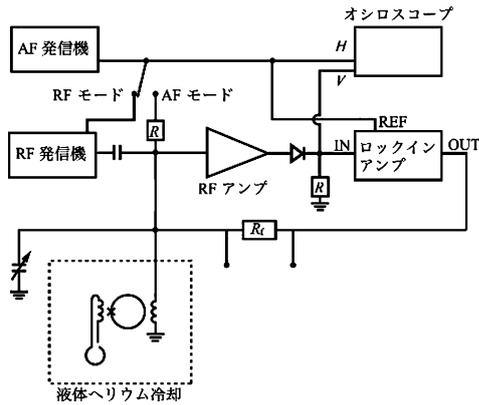


図23 SQUIDによる磁束変化測定用回路の基本図<sup>(32)</sup>。スイッチの切り替えによって、RFモードで図24(a)、AFモードで図24(b)の波形が得られる。

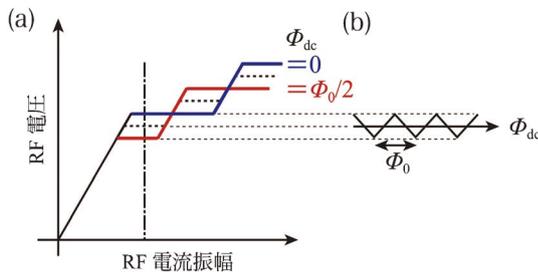


図24 (a) RF電圧のRF電流振幅に対する変化。(b) RF電圧のDCバイアス磁束( $\Phi_{dc}$ )に対する変化。(b)の波形を得るためには、RF電流振幅を一点鎖線の大きさに固定する。

化するまでに達すると、磁束のジャンプによるエネルギー損失が起りコイル両端の電圧は、エネルギー損失を十分に補充するまでは変化せず一定になります(図24(a))。さらに電流を増加させると、2番目の磁束ジャンプに至るまでは直線的に電圧が増加して、次々とステップ状の変化をすることになります。このステップは超伝導ループ内に存在するDC磁束により位置と高さが変化して、RF磁場の値を適当に設定するとDC磁束に対してRF電圧はDC磁束に対して三角波状の周期的な変化をします(図24(b))。この一周が1量子磁束( $\Phi_0$ )に相当します。

このDC磁束の変化を三角波の数を数えて測る方法が考えられますが、通常はDC磁束を低い周波数( $f_0$ , 1k~100kHz)でAF変調し、測りたいDC磁束を負帰還(ネガティブ・フィードバック)電流による磁束で打ち消すゼロ点法が用いられます。図23の回路では、外部磁束が図24(b)の三角波の谷底ではAF周波数 $f_0$ でのロックイン検波後の出力がゼロになる事を利用して、ロックインアンプの出力を負帰還電流としてSQUID素子にもどすと、計測対象の磁束は負帰還電流に比例することになります。計測対象の磁束の変化は超伝導トランスによりDC電流としてSQUID素子内のコイルに伝達します。このようなRF-SQUIDの磁束分解能は(1/1000) $\Phi_0$ 以下となり、高感度な測定が可能となります。

## 2-3-2-6-2 磁気異方性の測定(トルク測定)

### 2-3-2-6-2-1 磁気異方性<sup>(12)</sup>

磁性材料の特性を表す物性に磁気異方性があります。強磁性材料の用途は磁気異方性の大きさで分類することが多く、磁気異方性の大きな材料は磁石材料、小さな材料は軟磁性材料、磁化方向の制御が可能な磁気異方性を有する磁気記録材料のようにまとめられます。この磁気異方性は材料の結晶対称性と試料形状に大きく依存し、磁気異方性エネルギー $E_a$ は次式で与えられます。

$$E_a = K_u \sin^2 \theta \quad (\text{一軸異方性}) \quad (30)$$

$$E_a = K_1(\alpha_1^2 \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \alpha_3^2 + \alpha_3^2 \alpha_1^2) + K_2(\alpha_1^2 \alpha_2^2 \alpha_3^2) \quad (\text{立方異方性}) \quad (31)$$

式(30)は対称性の低い一軸性結晶の異方性を表し、 $K_u$ は一軸磁気異方性定数と呼ばれます。 $\theta$ は一軸磁気異方性主軸からの磁化の角度を示します。形状による磁気異方性もこの中に含まれます。式(31)は立方対称性を持つ結晶の持つ磁気異方性エネルギーを示し $K_1, K_2$ は立方対称磁気異方性定数と呼ばれ、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ は結晶の立方軸([100], [010], [001])に対する磁化の方向余弦を表しています。それぞれエネルギーの次元(J/m<sup>3</sup>)をもっています。

### 2-3-2-6-2-2 磁気異方性の測定方法(トルク測定)<sup>(2)</sup>

磁気異方性エネルギーを決定するには、試料を磁場中に置いて磁場を回転させてトルクを測定する手法があります。例えば一軸異方性のある試料を一様磁場中に固定して異方性主軸を含む面内で磁場を回転させるとします。その時の主軸と磁化の角度を $\theta$ とすると、試料には次式のようなトルク $L(\theta)$ が発生します。

$$L(\theta) = -\frac{dE_a}{d\theta} = -K_u \sin 2\theta \quad (32)$$

このトルクを測定すれば磁気異方性エネルギーの大きさが決定できます。また次節で述べる磁気共鳴にも磁気異方性は大きな影響を与えます。

磁気トルクの測定にはいくつかの方法が使われていますが、主にはリン青銅線などのバネ材料のねじり剛性を用いるねじり法、ひずみゲージを用いる方法が使われます。古典的なねじり法(図25)では、電磁石上部から10cm程度のリン青銅線、石英棒などを介して試料を磁極中心に置きます。電磁石を回転させると試料にはトルクが発生しますが、試料の回転角を光学的に検知してその出力を引き戻しコイルに流し、逆トルクを作って試料を回転しないようにします(ゼロ点法)。この時の逆トルクを作る引き戻しコイルに流れる電流を測定すれば磁気異方性が求められます。

超伝導磁石を用いると強い磁場下での磁気異方性エネルギーが測定可能となります<sup>(20)</sup>。トルクの検知にはひずみゲージを用い、ゲージを試料に貼り付けます。この場合、磁場を回転させることは困難で測定系を磁場中で回すことになりません。

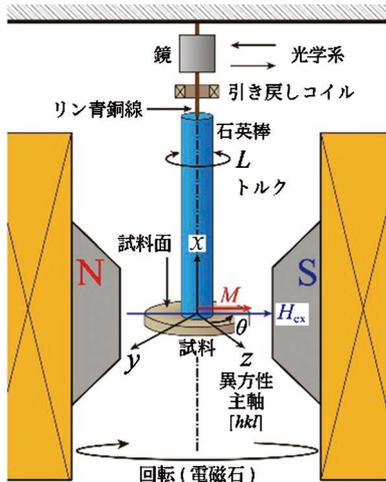


図25 トルク法の概念図。異方性主軸を含む面に磁場印加した場合、異方性主軸を印加磁場方向に向けるトルクが生じる。

### 2-3-2-6-3 共鳴法(強磁性共鳴)<sup>(12)(33)</sup>

磁化や核磁気モーメントの源である角運動量は、磁場が存在すると磁場の周りに歳差運動を起こし、磁気共鳴と呼ばれています。水素原子の核磁気モーメントの磁気共鳴は、化学分析や磁気共鳴イメージング(MRI)に利用されて役に立っています。電子の場合、共鳴周波数(ラーモア周波数)は外部磁場を  $B_0 = \mu_0 H_0$  と表して、

$$f_L = \gamma B_0 = \left( \frac{ge}{4\pi m_e} \right) B_0 = 28.03 [\text{GHz T}^{-1}] \quad (33)$$

と表せます。ここで  $e$  は素電荷、 $m_e$  は有効質量を表し、 $g$  (電子の  $g$  因子) は磁気モーメントと角運動量の比例定数となっています<sup>(13)</sup>。

強磁性体などでは磁気共鳴は電子の集団運動として取扱(キッテルモード)が可能で、共鳴周波数  $\omega_0$  は飽和磁化  $M_s$  と磁場振幅  $H_0$ 、異方性磁場  $H_{ax, az, ay}$  や反磁場係数  $N_{x, y, z}$  を使って、

$$\omega_0^2 = (\gamma\mu_0)^2 \left\{ H_0 + \frac{1}{\mu_0} (N_x - N_z) M_s + (H_{ax} - H_{az}) \right\} \times \left\{ H_0 + \frac{1}{\mu_0} (N_y - N_z) M_s + (H_{ay} - H_{az}) \right\} \quad (34)$$

と表せます。球状試料の場合は簡単に、

$$\omega_0 = \gamma\mu_0 \left( H_0 + \frac{2K_1}{\mu_0 M_s} - M_s \right) \quad (35)$$

と表せます<sup>(12)</sup>。この共鳴周波数は反磁場の影響と磁気異方性の項を含み、磁化や磁気異方性の情報を得ることに利用されています。

フェライトなどの軟磁性体では外部磁場( $H_0$  や  $B_0$ ) がゼロでも磁気異方性の存在に依って自然共鳴と呼ばれる磁気共鳴が起こり、透磁率の低下を引き起こします。透磁率はやはり複素透磁率で表され、前出の表式と類似の式で表せます。また透磁率の高い材料では共鳴周波数が低下することになり、この透磁率と周波数の関係はスヌークの限界として知られて

います<sup>(8)</sup>。

### 2-3-2-6-4 さらに発展的な測定法<sup>(2)(33)</sup>

これまで磁気的性質の中で重要で基本的な物理量である磁化の測定方法を紹介してきました、ここで紹介した方法以外にも磁化や磁気モーメントを反映する測定方法があります。代表的なものとして中性子回折<sup>(2)</sup>とメスbauer分光<sup>(33)</sup>が挙げられます。いずれも粒子線や放射線源を利用するので、簡単に測定することはできませんが、得られる情報は磁気秩序や内部磁場など非常に有益なものです。

中性子回折は原子核を構成する中性子が電荷を持たずスピンを持っていることから磁気に関する情報を与えてくれます。中性子の波動的性質によって結晶格子による回折現象が起こりますが、それらは核由来(核散乱)と磁性由来(磁気散乱)の散乱がふくまれます。磁気散乱を分離することによって磁気構造や磁気モーメントの大きさなどの非常に有益な情報が得られます。

メスbauer効果は、特定の原子核が示すエネルギー損失のないガンマ線の放出・吸収現象です。磁性材料に多く含まれる鉄原子が計測対象となっているため、磁性材料の研究には好都合です。固体中の原子でしか計測できませんが、磁気モーメントの大きさや結晶対称性の影響を核位置から観測できる特徴を持っています。

本講座は、磁気測定の入門であることからこれらの発展的な測定について詳しい解説は省略しますが、物質の磁気的情報を得る手段としては有効な手段です。興味のある方は、チャレンジしてはいかがでしょうか。全国共同利用施設での共同研究・委託測定などで利用することができます<sup>11</sup>。

### 2-3-2-7 まとめ

本稿では、発展的な磁気特性評価方法として物質のAC磁気特性について紹介しました。AC特性は静的特性と異なり、磁場の時間変化やそれに伴う磁化の緩和、損失など少し難しい概念を取り扱うことになります。ここで紹介したことは基礎中の基礎であり、AC磁気測定の入口でしかありません。学生読者のみなさんが必要に応じてここから発展的内容をさらに勉強できるように、基礎を省かず説明してきたつもりです、少しでもみなさんの理解につながれば幸いです。

全3回にわたり材料の磁気特性評価について紹介してきました。物質の磁気特性は奥が深く、多くの専門書が出版されています。一方で、それらの本の内容は初学者にとっては難しく感じることも多くあります。読者のみなさんが、それらの専門書にトライし実践する前の準備として、この講座が少しでも役に立てば幸いです。

<sup>11</sup> 中性子実験は、茨城県東海村にある実験施設J-PARCの物質・生命科学実験施設(MLF)に課題を申請することができます。メスbauer分光については大学連携研究設備ネットワークで共同利用設備が検索でき、名古屋工業大学などで共用利用ができます。それ以外に筑波大学などでも受託測定を実施しています。



# 科学館めぐり

## 北海道大学総合博物館(札幌市)

文責：北海道大学 岡 弘  
(2023年11月訪問)

### 1. 開かれた博物館

北海道大学総合博物館は、北海道大学札幌キャンパス内に位置し、JR札幌駅から徒歩15分程度と非常にアクセスのよい立地である。本博物館は、大学関係者に限らず、誰でも自由に無料で入館できる。北大のキャンパスが観光地化していることもあり、キャンパス内では人種・年齢問わず世界中からの様々な観光客の方々を見かけるが、そうした方々にも気軽に観覧いただけるようになっている。



図1 北海道大学総合博物館 本館正面玄関。

本館の建物(図1)は、北大の旧理学部本館として使われていたモダン・ゴシック風の建物であり、1929年に完成した鉄筋コンクリート建築である<sup>(1)</sup>。内部を改装して博物館化し、1999年に開館した。館内には充実の展示物とともに広々としたミュージアムカフェが併設されており、飲み物や食事などを頂きながら座って休憩できるように配慮され、特に子供連れの家族にはありがたい設備となっている。今回は北海道大学総合博物館の結晶、機械、金属に関する展示を紹介したい。

### 2. 地質・鉱物関連の展示

総合博物館という名が示すとおり、展示内容は考古遺物、生物・古生物標本、医学標本、鉱物・岩石標本など多岐にわたっており、北大の前身である札幌農学校の開校以来約150

年の研究成果としての学術標本・資料が中心である。中でも、地質・鉱物関連の展示では、道産を含む多様な鉱物そのものの展示はもちろんの事、その結晶学的な側面に対する解説も併記されている(図2)。



図2 多様な鉱物の展示(下段)とともに、結晶学的な解説も併記(結晶モデルがぶら下がっている)。

“鉱物の鑑定”コーナーでは、鑑定に用いる種々の専門器具の一つとして、初期の엑스線回折装置である Norelco 엑스線回折装置の展示がある(図3, 4)。この装置は、엑스線回折装置の普及の先駆けとなった装置で、日本では1952年に東京大学に導入され、1955年に大阪大学、次いで北海道大学に導入されたそうである。엑스線回折装置が発明されるまでは、鉱物の主な鑑定手段は熟練の専門家による鑑定であり、肉眼やルーペによって結晶の形態・色艶・硬さなどから鑑定したが、装置登場後は専門知識なしの鑑定が可能となった。また、엑스線回折パターンは原子配列に由来することから、同装置の登場により鉱物研究は形態的



図3 Norelco 엑스線回折装置 測定部。



図4 Norelco エックス線回折装置 データ記録部.

研究から原子レベルでの研究へ急激に関心が移った。さらに、それまでのエックス線回折データは、写真による回折リングの記録であったが、回折パターンによる記録に置き換わったことにより、結晶学的データ解析が飛躍的に進んだ、との解説であった<sup>(2)</sup>。

### 3. 北大のいま

北大のいまと題し、北海道大学の現在の姿を、全12学部の教育と研究を中心に、附置研の活動内容、さらに北大のいまイチョシの研究も交えて展示している。工学部の展示では、傘下の全4学科15コースがそれぞれの展示品を展開しており、例えば永田晴紀教授(工学研究院 機械・宇宙航空工学部門)のCAMUI ロケット(燃料にプラスチック、酸化剤に液体酸素を用いた安全性の高いアルミニウム製ロケット、北海道大樹町で打ち上げ実験を実施)の実物や、実験失敗時の残骸は、見る者に強い印象を残す(図5, 6)。



図5 CAMUI ロケット(アルミニウム製).



図6 異常燃焼により破断したフライトエンジン(アルミニウム製).

### 科学館で見つけた金属材料!“金属の音色”

工学部の展示のうち、我が応用マテリアル工学コース(旧材料工学科)では、物質の音色と特性をテーマに、真鍮、銅、アルミニウム、共析鋼、ステンレス鋼、チタン、ニッケル基合金(インコネル600)製の鉄琴(図7)を体験展示しており、各金属が奏でる音の高さ、つまり固有振動数 $f$ が、金属の物性(ここではヤング率 $E$ と密度 $\rho$ の比)で決まっていることを音によって体験できる( $f$ は $\sqrt{E/\rho}$ に比例)。また各金属製で同一形状に加工された重りも展示されており、手に取ること各金属の密度の違いを直感的に知ることができる。



図7 金属の音色と特性の関係を学ぶことができる鉄琴。

### 4. 最後 に

国立大として最多の12学部を有する北大の、唯一の総合博物館である本館は、ここでは紹介しきれないほど多彩な分野の常設展示があり、季節ごとの企画展や学内歴史資料なども含め、その充実度からして無料であることに驚く。人文・社会・自然科学のほぼ全ての領域を網羅する展示からは、金属学分野に限らず、ご自身の興味が向く展示が必ずや見つかるであろう。また、前述のミュージアムカフェでは、夏はソフトクリームで涼を、冬はホットコーヒーで暖をとることができ、学内オアシスの一つとなっている。札幌にお越しの際は、ぜひ立ち寄られてはいかがでしょうか。



図8 もちろんマンモスもいます(写真はチレフチャフマンモス).

北海道大学総合博物館へのアクセス

(〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学構内)

\*JR 札幌駅北口より徒歩13分

\*札幌市営地下鉄北12条駅より徒歩9分

\*北海道大学正門より徒歩7分

\*北海道大学北13条門より徒歩8分

\*クラーク像とポプラ並木のちょうど中間にあります。

URL: <https://www.museum.hokudai.ac.jp/>



## 文 献

- (1) 北海道大学総合博物館. <https://www.museum.hokudai.ac.jp/outline/building/>
- (2) 北海道大学総合博物館 展示パネル.  
(2024年10月21日受理)[doi:10.2320/materia.63.852]

## 産業界における技術士資格取得のメリット

株式会社 MTS 山崎技術士事務所 代表取締役； 山崎 一 正



### 1. はじめに

本稿では、産業界における技術士資格取得のメリットについて、私の意見を述べたい。

本誌2024年4月号で田中氏が述べている<sup>(1)</sup>ように、弁護士や弁理士などの他の士業においても、資格をただ取得しただけでは暮らして行けない。ましてやそれらに比べて格段に知名度が劣る技術士の場合、資格を取得したところで、独立して事業を始めるのはさらに難しい。しかし、技術者としてのその資格を取得するための努力は、取得後に自身の技術を活かした活動をする場合において大いに役立つと、私は考えている。

日本金属学会(以下、金属学会)は学術界であり、学者、すなわち学問の研究や教育を専門職とする人、または、豊富な専門知識のある人が大半を占める集まりである。しかしながら、産業界から参加している技術者も決して少なくはない。このような人の集まりの中で、技術士資格を取得することのメリットについて触れていきたい。

### 2. 研究と開発

金属学会を構成するほとんどの会員は、研究に従事していると考えられる。では、研究とは何か。極めて多くの定義があるが、「未知の内容を含む特定の問題に具体的な解決を与えるために行われる学術的な活動」、あるいは「物事を学問的に調べて、真実を明らかにすること」などと言われている。そして研究者とは、簡単に言えば、新しい技術や知識を発見するために研究を行う人のことである。研究活動の中で特に重要なのは、新規性である。過去の事例、理論に対して、研究者はその内容を超える成果を示さなければならない。論文を書くにしても、査読によってその新規性が審査される。研究者は過去の成果を否定、あるいは乗り越えることによって初めて、その人の成果が認められるのである。

多少脱線するが、研究者はこのような世界で生きているため、他人を批判する、あるいは乗り越えることが必須であり、これは、理系の人間の性(さが)である。もちろん他人の成果を褒めることはあるが、同じ分野で成果を出そうとすれば、その人を乗り越える必要がある。

では、以上のように描写される研究に対して、開発とは何

であろうか。その語の意味は広く、例えば田畑を開発する、アプリを開発するなど、多くの分野で使用される。しかし、ここでは技術系分野における開発として、新しい技術や商品を実用化するという意味で用いることにする。この定義を用いると、開発とは研究によって得られた成果を商品化する段階を指すことになる。製品を生み出す多くの企業では、研究—開発—事業化—上市という段階を踏む。そして、この過程において、出川通氏<sup>(2)</sup>が NIST(National Institute Standards and Technology: 米国標準技術局)の説明を元に生み出した「魔の川」「死の谷」「ダーウィンの海」という概念を越えなければならないと言われている。「魔の川」とは研究から開発に至るまでの難所、「死の谷」とは開発から事業化するまでの難所、「ダーウィンの海」とは市場化からさらに市場で広めるための難所をそれぞれ意味する。「魔の川」を乗り越える役割が求められるのは主に、金属学会に所属しているような研究者である。これに対して、研究者の成果を製品化する際の「死の谷」を越える役割を果たすのが企業の技術者である。しかし、すべての開発・製品化がこのような分類で単純に分けられるのではなく、通常はかなり複雑な経緯を経て研究・開発が進む。これらの過程を乗り越えるにはいろいろな状況に対応できる能力を若いうちから身に付けることが重要であり、そして、この能力を身に付ける手助けとなるのが技術士資格を取得する行為であると、私は考えている。

本誌2024年2月号で渡邊氏が説明している<sup>(3)</sup>ように、技術士は「科学技術の高度な専門応用能力を必要とする事項について、計画・研究・設計・分析・試験・評価、またはこれらに関する指導業務を行う者」と定義されている。では、技術士資格を取得すると、どのようなメリットがあるのだろうか。ここで、技術者が活躍する産業界を日本統計協会の大分類から選んでみると、製造業、建設業、電気・ガス・熱供給・水道業、情報通信業、専門・技術サービス業などが挙げられる。この中で、特に本学会の会員が技術者として所属しているのは、製造業であろう。次項では製造業を例に、技術士資格の取得がもたらすメリットについて触れたい。

### 3. 産業界における技術士資格取得のメリット

本学会に属する金属関連の研究・教育を行う専門家の多くは、技術士試験を受けるとした場合、金属に関連する部門を選択するであろう。そして、技術士資格を取得し、さらに日

本技術士会の会員になると、田中氏が紹介しているように<sup>(1)</sup>、部会ははじめ各専門部会の活動やCPD(Continuing Professional Development: 継続研鑽)行事を通じて、自らの技術力の維持および向上の機会を継続的に得ることができる。では、産業界において活躍するうえで、技術士資格を取得することにはどのようなメリットがあるのだろうか。私の経験を例に挙げていえば、以下のようなことが考えられる。

私は企業に勤務していたそのほとんどの期間において研究所に在籍し、研究・開発に従事していた。そこでは、ターゲットとした製品の上市を実現するための基礎研究(と言っても既存の知識の寄せ集めかも知れないが)から、工場での試作、製品の評価を担当していた。前述の「魔の川」を越える役割を担っていたわけである。さらに、開発した製品を市場に出していたことから、「死の谷」も越える役割も果たしていたことになる。この時期は、冶金的な知識にとどまらず、溶接、疲労、表面処理、材料力学の知識をも活かして、部品としての品質・性能の評価、顧客の要望に応えるための品質や工程の改善、製品開発スケジュールの調整など、多岐に亘る仕事をこなしていた。技術士資格を取得して日本技術士会に参加している今になって顧みれば、技術士としての資質向上に努めれば、このような多岐に亘る能力をより早く身に付けることができたのではないかと思う。この資格の取得が退職間際であった私としては、もう少し早くこの資格を取得できていたら、それら仕事の進め方も変わっていたのではないかと後悔している。

私はある学会の会長を務めていた時期に、コラムを書く機会があった。その際に私がテーマとしたのが、「理想とする技術者のタイプとそこへの到達法」についてである<sup>(4)</sup>。これは、私が学生時代にある教授から学んだ内容に関して述べたものである。

技術者の技術力を深める方法を穴を掘ることに例え、一人で穴を掘っていると、ある程度の深さまでは掘った土を地上に放り出せるが、そのうち深くなると土を出せなくなり、掘り進むことができなくなる(図1(a))。さらに深く掘ろうとすれば、梯子を準備して、これを使って何回も穴の底と地上とを往復すれば、できないことはない(図1(b))。このように一つの穴を縦に掘り進むのが、**I型技術者**である。しかしこの方法は効率が悪く、地上に出て中心の穴の周りを掘った方が効率が上がる。つまり、知識が広がるので、本人においては効率の良いキャリア・アップに繋がる。こうして生まれるのが**T型技術者**である(図1(c))。要は、まずは深く掘り進むことで**I型技術者**となる道が拓け、そこでさらなる深さを求めれば、やがて横に拡げざるを得なくなり、**T型技術者**への道も拓ける。

このような考え方が最近では世間に広まり、T型技術者を目指すのが良いとされるようになってきている。近年では上述の**I型**、**T型**に加え、 **$\pi$ 型**、**H型**など種類が増えてきている。Websiteでは各タイプの特徴が述べられ、それぞれの置かれた立場からキャリア・アップの方向として何型を目指せばよいのかなどをよく理解して成長すべきなどと書かれている。

しかし、そのキャリア・アップの具体的方法について言及している記事は少ないように思う。「若いうちはまずとにか

く深く掘れ」と先ほど述べたが、そのためには、目指す深さに応じた梯子を設置して、何回も上がり降りして運び出すしかない。続いてT型技術者になってからも中心の穴(自分の専門分野)をさらに深くしたければ、引き続き梯子を使って土を出さなければならない。とはいえ、いつまでも梯子に頼るのは効率が悪い。

私は最近になって、更なる高み(ここでは深み)を目指すには、技術士になることが有効なのではないかと考えるようになった。すなわち、自分の能力を縦に深く、横に広くするための効率的な方法の一つが技術士資格の取得ではないかと考えている。図2のように、横の拡げ方を階段状にすれば、穴の中心部でも周辺部でも、自分に必要なスキルの部分を容易に掘ることができる。私はこのような形の技術者を逆ピラミッド型技術者と称して、この型を目指すのが理想ではないかと考えている。

この横の拡がりについては、必ずしも技術部門でなくても構わない。というのは、別の経験談として、私が中堅の管理職になった際に、ある学会の大御所から、「(あなたが)もうこれ以上技術力を深めることは難しくなるので、そろそろ学会の活動にある程度の力を注ぎなさい」と言われた。そして、実際に学会活動に携わってみると、未知の技術にも触れることができ、知識を深めることができた。これによって、研究・開発の能力に加えて、マネジメント・スキルも身に付けたのである。そうは言っても、まだ十分ではないと考えているが。

技術士資格を取得することは、私が理想とするこの逆ピラミッド型技術者になるための近道ではないかと、私は考えている。他の技術士との交流や継続的な研鑽を通じて、自分の専門知識の横の領域を拡げる助けになる。私にとって金属部会や日本技術士会での活動は、人とのつながり、ネットワークの拡大、同じ業界内の技術士とのつながりなどを通じて、

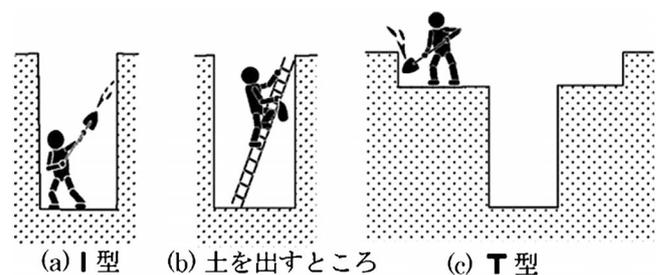


図1 I型技術者, T型技術者。

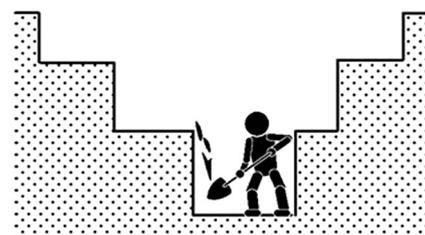
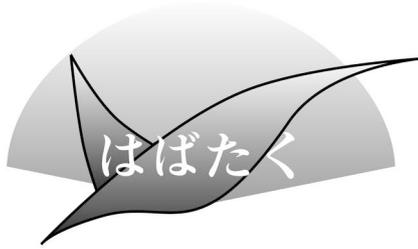


図2 逆ピラミッド型技術者。





## バイオマス資源の多様化に向けた担持合金触媒の研究

東京都立大学大学院 都市環境科学研究科  
環境応用化学域 博士後期課程3年  
野本賢俊

### 1. はじめに

私は東京都立大学の宍戸哲也教授の下で、2019年4月の学部4年生から現在の博士後期課程3年まで、担持金属触媒ならびに担持合金触媒を用いた触媒化学について研究しています。加えて、2020年4月から現在まで、文部科学省卓越大学院プログラム「早稲田大学パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム」に在籍し、自身の専門分野に加えて電力工学系や人文社会学系について学んでいます。この度は本稿を執筆する機会をいただきましたので、これまでの研究活動について記載させていただきます。

### 2. これまでの研究活動

私は、バイオマス資源の多様化に向けたメタノール改質反応の新規高機能触媒について研究しています。カーボンニュートラルの観点から、非可食性を含めた全てのバイオマス資源から製造できるメタノール(バイオメタノール)の利用が望まれています<sup>(1)</sup>。しかし、バイオメタノールには不純物が含まれており、これを取り除くためにはエネルギー多消費かつ多段階の精製処理が必要です。メタノールと分離が特に困難な低級アルコールを含むメタノールを直接利用する手法を確立できれば、省エネルギー化できるため、バイオマス利用資源の多様化に貢献できると考えました。

メタノール改質反応は、工業的な化成品や燃料の製造ならびに燃料電池への水素供給に利用される重要な反応です。しかし、反応系における低級アルコールの存在がメタノール改質に与える影響に関しては、これまでに検討例がほとんどなく、その詳細は不明でした。かかる状況下、私は博士前期課程において汎用的な改質触媒であるCZA(Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)触媒によるメタノールの改質反応を検討していたところ、メタノールに微量に含まれる低級アルコールが触媒の活性および耐久性を低下させることを見出しました。そして、この触媒

の耐久性が低下するメカニズムについてさらに詳細に調べた結果、低級アルコール由来の炭素種の触媒表面への蓄積が原因であることを明らかにしました。

そこで、不純物存在下でも機能する新規触媒の開発を目指し研究を行いました。高いC-C結合解離能を有するとされる金属種をCZA触媒に対して添加することで、炭素種の析出を抑制できると着想しました。検討の結果、CZAにRuやRhを添加することで炭素種の析出が抑制され、触媒性能の耐久性が改善されることを見出しました。一方で、PdやPtを添加した場合は、炭素種が析出し、耐久性は改善されませんでした。このように、C-C結合解離能を有するとされる金属種であっても、CZAとの組み合わせによっては耐久性の向上に寄与し得ないものがあることを明らかにしました。

添加金属の効果を調べるために、放射光施設SPring-8でのX線吸収分光分析などを通じ、種々の構造解析を行いました。その結果、優れた耐久性を示した触媒においては、添加金属が触媒表面に局在し、且つCuと合金構造を形成していることが分かりました。ところで、Cu-PdとCu-Ptはランダム固溶合金を形成する一方で、Cu-RuとCu-Rhは形成しにくいと報告されています<sup>(2)</sup>。したがって、Cuと固溶しない金属種がCuナノ粒子表面に存在し、それが迅速に低級アルコールを分解した結果、炭素種の析出が抑制されたと考えられます。これらの研究成果は、カーボンニュートラル社会実現に向けてバイオメタノールの高度利用に必要な触媒の機能の劣化抑制に寄与し得るものと考えています。

### 3. おわりに

これまで私は、構造解析が比較的難しい“合金ナノ粒子”に着目して研究してきました。その過程で外部施設での実験や国際会議(図1)等での発表・議論を含めた数多くの貴重な

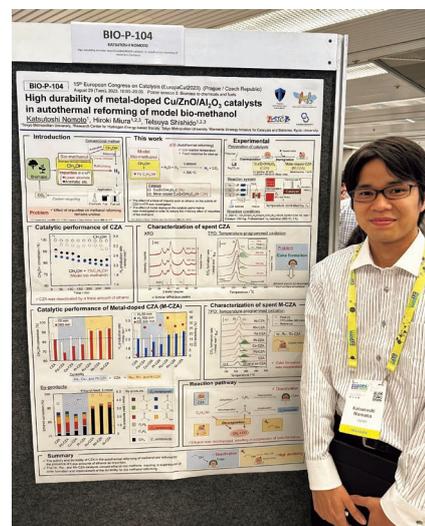


図1 国際会議(15th European Congress on Catalysis (EuropaCat2023), チェコ)に参加した筆者。(オンラインカラー)

経験を積み重ねたことで上述の研究成果を上げるに至りました。これらの経験を活かして、脱炭素社会の実現に貢献できるような研究者となれるように今後も精進していく所存です。

最後になりますが、東京都立大学の宍戸哲也教授ならびに三浦大樹准教授には終始ご指導いただき、数々の有益な御助言を賜りました。早稲田大学パワー・エネルギー・プロフェッショナルでは、早稲田大学の関根泰教授をはじめとした多くの先生方に、実用化に必要な俯瞰的かつ貴重な知見を御教授いただきました。また、東京科学大学の石川理史准教授に加え、日本金属学会の編集委員の方々には本稿の執筆という

貴重な機会をいただきました。これまでお世話になった多くの方々に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) P. Gautam, Neha, S. N. Upadhyay and S. K. Dubey: *Fuel*, **273** (2020), 117783–117794.
- (2) R. Fukuda, N. Takagi, S. Sakaki and M. Ehara: *J. Phys. Chem. C*, **121** (2017), 300–307.  
(2024年10月23日受理) [doi:10.2320/materia.63.858]  
(連絡先: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)



# スポットライト

～第11回 「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

## 電子レンジを用いたルビーの生成

福井県立武生高等学校

城戸良太郎 増永優太 此永士朗

### 1. はじめに

ルビーとは、組成式  $\text{Al}_2\text{O}_3$  で表される鉱物で、コランダム中の Al の一部が Cr に置き換わることで赤色になったものである。ルビーはサファイアとほぼ同じ組成を有する物質で、赤色はルビー、それ以外の色はサファイアと定義されている。ルビーのモース硬度は 9 であり、モース硬度が最大であるダイヤモンドについてモース硬度が高い。そのため、摩擦係数が小さく、耐摩耗性に優れる。ルビーの融点は  $2050^\circ\text{C}$  であり、優れた耐熱性を有する。また、熱伝導性が高い、化学的安定性が高い、紫外光を受けても劣化しづらく、耐プラズマ性が高い、誘電率が高いといった特性も有する。そのため、ルビーは工業的に利用価値が高い鉱物とされ、医療用レーザーや腕時計の部品として使われている。ルビーは限られた地域でしか産出しない。加えて、鉱産資源の枯渇が危惧され始め、天然のルビーの希少性は今後高くなることが予想される。

人工ルビーの性質は、天然ルビーと変わらないが、モース硬度においては天然ルビーよりも人工ルビーのほうが高い値を示すことが多い。それはルビーに含まれる不純物量の差によるものと言われている。ルビーは紫外線を照射すると蛍光を発する性質を持ち、その強弱で不純物量を定性的に推定することができ、天然ルビーかどうかの識別が可能である。人工ルビー最大の特長は安価であることで、天然ルビーと比較するとその価格は 1000 分の 1 程度である。

これらを踏まえ、本研究では人工ルビーを合成する実験を通し、人工ルビー回収率を高める方法を検討した。

人工ルビーの合成方法はベルヌーイ法とフラックス法が知られているが、これらの方法は専用設備が必要であるためコストがかかる。そこで、身近な家電である電子レンジに着目した<sup>(1)</sup>。電子レンジ内部でアーク放電を起こし、酸化アルミニウムを融解させることで、人工ルビーの合成が可能であると考えた。

### 2. 検証方法

#### (1) 手順

まず  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  を質量比  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}_2\text{O}_3 = 100 : 1$  で混合粉末(以下、混合物)を作成する。混合物と導体(シャープ

ペンシルの芯・アルミホイル)を交互に磁製のつぼに入れ、混合物の層間を導体で仕切る。混合物は下から順に 8 g, 2 g, 2 g と入れる。これを電子レンジ内のマイクロ波が集中する箇所に置き加熱する。この位置は電子レンジ毎の特性により異なるため、最適な位置を予備実験で決める必要がある。加熱後、メッシュ(100メッシュ(目開き 0.15 mm))で混合物からルビーを分離する。このとき、ブラックライトで蛍光する性質を利用した。分離したルビーと、るつぼの質量を測定し、人工ルビー回収率を算出する。人工ルビー回収率は以下の式を用いて算出した。

(人工ルビー回収率)

$$= (\text{ルビーの質量}) / \{ (\text{総質量}) - (\text{るつぼの質量}) \} \times 100 (\%)$$

#### (2) 条件

##### (a) 導体の種類依存性

シャープペンシルの芯(黒鉛)のみ、アルミホイル(アルミ)のみ、両方の 3 通りを行う。

##### (b) 入熱量依存性

電子レンジの出力を 500 W で統一して、加熱時間を 30～150 s まで 30 s ずつ変化させる。

##### (c) 電子レンジの高周波出力依存性

総入熱量が 60000 J になるように出力と加熱時間を変化させる。高周波出力は 500 W, 600 W, 700 W とし、加熱時間をそれぞれ 120 s, 100 s, 85.7 s とする。

### 3. 結果

#### ・条件(a)の結果

表 1 において、成功しやすさは複数回実験を行い、すべての実験でルビーが確認できた場合「○」とした。大きさはメッシュで落ちないサイズの人ルビーが生成されていた場合「○」とした。導体が黒鉛のみのとき、黒鉛の黒色がルビーに汚れとして残った。アルミのみのときはルビーが生成されなかった。そのため、条件(b)以降の実験ではアルミと黒鉛の両方を導体として用いる。

#### ・条件(b)の結果

図 1 より人工ルビー回収率は加熱時間と比例関係になり、加熱時間が増えると回収率が多くなっていくことがわかる。加熱時間を増やすことは加える熱量を増やすことであるので、加える熱量が増えるほど回収率が増えることが明らかとなった。

#### ・条件(c)の結果(図 2)

表 1 導体の種類と回収された人工ルビーの関係。

	成功しやすさ	色	大きさ
黒鉛	○	×	○
アルミ	×		
両方	○	○	○

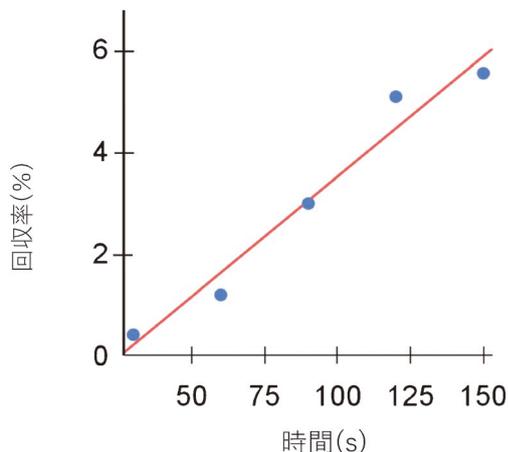


図1 ルビーの回収率と加熱時間の関係。(オンラインカラー)

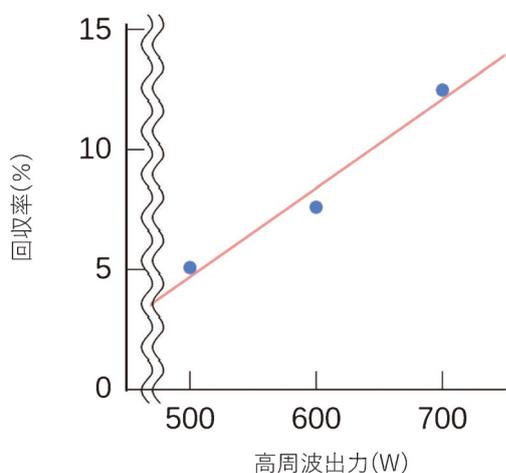


図2 ルビーの回収率と出力(W)の関係。(オンラインカラー)

図2よりルビーの回収率は出力と比例関係になり出力(ワット数)が増えると回収率が多くなっていくことがわかる。加える熱量は変えていないことから、加えた総熱量が同じでも出力が異なると人工ルビー回収率が変化すると考えられる。

#### 4. 考察

アルミだけのときも混合物の溶融反応は起きていたので、加える熱量が多ければ、ルビーが生成されると考えられる。また、ルビーは導体や導体付近に生成されていたことから、導体の間隔が狭ければルビーが生成されやすく、結晶が大きくなりやすいと考えた。本実験の結果より、高ワット数かつ高熱量であるほど人工ルビー回収率が高まると考えられる。

#### 5. 今後の課題

混合物の割合が人工ルビー回収率および生成された人工ルビーの色や大きさに与える影響を調査するとともに、黒鉛による汚れがつかない方法の検討をする。また、サファイアを生成する実験も行いたいと考えている。

#### 文献

- (1) 平松優太, 苔縄直樹, 山野井雄理, 越智輝耶, 池田文智, 石埜文椰, 加藤良輔, 早川匡生: 第41回兵庫県高等学校総合文化祭自然科学部門発表会発表論文集, (2017), <https://www.hyogo-c.ed.jp/~sizenkagakubu/cn3/hyogo2017.html>

(2024年7月31日受理)[doi:10.2320/materia.63.860]  
(連絡先: 〒915-0085 越前市八幡 1-25-15)

# 本 会 記 事

会 告	各賞推薦(自薦)のお願い(村上記念賞, 村上奨励賞, 奨励賞, 貢献賞, 新進論文賞, まてりあ賞) ……	862
	2025年度会費納入のお願い ……	866
	事務局: 年末・年始休業のお知らせ ……	866
	各種学術賞・奨励金等候補者推薦について ……	866
	2025, 2026年度の代議員候補者, 代議員選挙中止および 2025, 2026年度の監事選挙中止のお知らせ ……	867
	2025年春期講演大会参加および講演申込の募集 ……	869
	欧文誌・会誌講演精選論文原稿募集 ……	872
	2025年春期講演大会第13回「高校生・高専学生ポスター発表」 募集案内 ……	873
	2025年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウム ……	873
	2025年秋期講演大会公募・企画シンポジウムテーマ提案募集 ……………	874
	2023年度に活動終了した若手研究会成果報告 ……	878
	日本金属学会オンライン教育講座開催案内 ……	879
	2024年秋期(第175回)講演大会記録 ……	884
支部行事	……………	876
次号予告	……………	883
掲示板	……………	880
行事カレンダー	……………	887
会誌・欧文誌12号掲載目次	……………	882
書評	……………	890

◎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)

## 各賞推薦(自薦)のお願い

◎下記の各賞のご推薦をお願い申し上げます。ご推薦方法は、すべて **Web フォームによる推薦** です。是非、ご利用の上、ご推薦下さい。

**問合せ先** 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 (公社)日本金属学会 各種賞係  
☎ 022-223-3685 E-mail: award@jimm.jp

### 第22回村上記念賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属および関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格別の功績を挙げたものに対する「日本金属学会村上記念賞」を2004年より設けており、第22回の授賞式を2025年の秋期講演大会の折に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

#### ■推薦要領

**候補者の対象** 金属および関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格別の功績を挙げた、2025年4月1日時点で46歳以上の研究者を対象とします。

**推薦資格** 本会代議員による推薦

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、日本語もしくは

は英語で入力して下さい。なお、字数制限がある項目があります(英語の場合も単語数ではなく、スペースを除いた字数での制限となります)ので、ご注意願います。

1. 推薦フォーム
  - 入力項目は、全て必須。
  - 最終学歴: 卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。
  - 本会活動への貢献: 本会委員会, シンポジウム, セミナー企画等の活動実績を300字以内(英語の場合800字以内)で入力する。
2. 業績の大要と推薦理由
  - 1,000字以内(英語の場合3,000字以内)にまとめ、入力する。
3. 論文リスト
  - 特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論

文」に分別し、計30編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、全ての著者を記載し、A4判のPDFファイルとして作成する。

**推薦数の要件** 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る候補者数は、1名である。

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り

- 1) 金属および関連材料の工学分野における先駆的な研究または先端技術の開発に格段の業績をあげたか
- 2) 学術上または技術上の業績が顕著か
- 3) 学術上の意義が大きい論文を発表したか
- 4) 技術上の効果が大きい重要な発明をしたか
- 5) 金属学会の活動に貢献しているか

**登録完了** 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

**推薦締切** 2025年2月28日(金)

**推薦 URL** <https://data.jimm.jp/jim/shou/mrk/sui/>

### 第22回村上奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある若手研究者を奨励するため「日本金属学会村上奨励賞」を設けており、第22回の授賞式を2025年の秋期講演大会の折に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

#### ■推薦要領

**候補者の対象** 金属および関連材料の工学の分野で卓越した業績を挙げつつある、2025年4月1日時点で40歳以下の若手研究者を対象とします。

**推薦資格** 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、日本語もしくは英語で入力して下さい。なお、字数制限がある項目があります(英語の場合も単語数ではなく、スペースを除いた字数での制限となります)ので、ご注意願います。

#### 1. 推薦フォーム

- 推薦者資格を選択する。
- 入力項目は、全て必須。
- 最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。
- 本会活動への貢献：本会の委員会、シンポジウム企画、セミナー企画、論文投稿等の活動実績を300字以内(英語の場合800字以内)で入力する。

#### 2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内(英語の場合3,000字以内)にまとめ、入力する。

#### 3. 論文リスト

- 特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、計15編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、全ての著者を記載し、A4判のPDF ファ

イルとして作成する。

**推薦数の要件** 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る候補者数は、1名である。

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り

- 1) 意欲的かつ主体的に粘り強く研究や開発に取り組んでいるか
- 2) 創造性・独創性が高い研究や開発に取り組んでいるか
- 3) 意義の大きい新たな発見や発明があるか
- 4) 今後の発展が見込まれる研究や開発か
- 5) 金属学会で活動しているか(金属学会で論文や発表をしているか、委員会委員として活動しているか)

**登録完了** 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

**推薦締切** 2025年2月28日(金)

**推薦 URL** <https://data.jimm.jp/jim/shou/murasho/sui/>

### 第35回奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では次世代を託する優れた若手研究者を顕彰するために1991年から「日本金属学会奨励賞」を設けており、第35回の授賞式を2025年の秋期講演大会の折に行います。

歴史の転換期にある今日、若い世代の意識の高揚こそが何よりも望まれております。

金属・材料工学ならびに関連分野で活躍しつつある若手研究者の中から将来性豊かな人材をご推薦下さいますようお願いいたします。

#### ■推薦要領

**候補者の対象** 2025年4月1日時点で35歳以下の方で、金属・材料工学並びに関連分野において優れた業績を挙げつつある将来性豊かな研究者・技術者を対象とします。

**対象部門** 学術部門、技術部門※の2部門

※技術部門は企業の研究者または技術者を対象とします。

**推薦資格** 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、日本語もしくは英語で入力して下さい。なお、字数制限がある項目があります(英語の場合も単語数ではなく、スペースを除いた字数での制限となります)ので、ご注意願います。

#### 1. 推薦フォーム

- 推薦者資格を選択する。
- 入力項目は、全て必須。
- 部門：2部門から該当する部門を選択する。
- 最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。
- 本会活動への貢献：本会の委員会、シンポジウム企画、セミナー企画、論文投稿等の活動実績を300字以内(英語の場合800字以内)で入力する。

## 2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内(英語の場合3,000字以内)にまとめ、入力する。
- 技術部門は企業人としての実績(特許・社内表彰等)も入力する。

## 3. 論文リスト・取得済特許リスト

### 論文リスト

- 特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、論文題目、発表誌名、巻号頁、全ての著者を入力する。

### 取得済特許リスト

- 特に主要な取得済特許の番号、題目、発明者、登録日を入力する。

学術部門は、論文リスト計15編以内を選び、A4判のPDFファイルとして作成する。

技術部門は、論文リスト、取得済特許リスト計15編以内を選び、A4判のPDFファイルとして作成する。

**推薦数の要件** 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る候補者数は、1部門につき1名である。

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り

### 学術部門

- 1) 意欲的かつ主体的に研究に取り組んでいるか
- 2) 創造性・独創性が高い研究に取り組んでいるか
- 3) 新たな発見や発明があるか
- 4) 今後の発展が見込まれる研究か
- 5) 金属学会で活動しているか(金属学会で論文や発表をしているか、委員会委員として活動しているか)

### 技術部門

- 1) 意欲的かつ主体的に研究開発に取り組んでいるか
- 2) 新規性・進歩性の高い研究開発に取り組んでいるか
- 3) 新たな発見や発明があるか
- 4) 今後の発展が見込まれる研究開発か
- 5) 金属学会で活動しているか(金属学会で論文や発表をしているか、委員会委員として活動しているか)

**登録完了** 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

**推薦締切** 2025年2月28日(金)

**推薦 URL** <https://data.jimm.jp/jim/shou/shourei/sui/>

## 第1回貢献賞 候補者推薦のお願い

**主旨** 支部講演会・表彰等の支部事業および支部会計・庶務業務等につき、長年にわたり特別な貢献や功労のあった者に授賞するものです。受賞対象者には年齢制限が設けられております。

**候補者の対象** 2025年の4月1日時点で60歳以上かつ支部の運営等に特別な貢献のあった会員、または支部の運営等に10年以上特別な貢献のあった会員。

学会賞、村上記念賞、技術賞、増分量賞、谷川・ハリス賞、功績賞、特別功労賞、研究技能功労賞、貢献賞を過去に受賞した方は対象

となりません。

**推薦資格** 本会支部長(自薦は不可)

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、入力して下さい。なお、字数制限がある項目がありますので、ご注意願います。

### 1. 推薦フォーム

- 最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。

### 2. 貢献の詳細・推薦理由

- 本会支部事業の執行等への貢献等(研究業績ではなく支部の運営や啓発活動等への寄与)を1,000字以内にまとめ、入力する。

**推薦数の要件** 1名の推薦者が複数の候補者を推薦する場合には、順位を付けて推薦する。

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り

下記本会支部の運営等に長年にわたり顕著な貢献をしたか。

- 1) 講演会・講習会の企画・開催
- 2) 研究会の企画・開催
- 3) 表彰・奨励事業の推進
- 4) 庶務・会計業務の遂行
- 5) 広報・啓発活動の推進

**登録完了** 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

**推薦締切** 2025年2月28日(金)

**推薦 URL** <https://data.jimm.jp/jim/shou/kouken/sui/>

## 第5回新進論文賞 候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では秋の大会で前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された若手の著者による論文の中から、学術上または技術上特に優秀な論文に対し、「日本金属学会新進論文賞」を授賞しており、第5回の授賞式を2025年の秋期講演大会の折に行います。

新進論文賞候補論文の推薦は会誌、欧文誌の「編集委員」または「当該論文の査読者」あるいは「代議員」の方々をお願いいたします。また、より広く推薦していただくため、「著者本人」からの自薦も認めております。つきましては、下記ご参照の上、奮ってご応募をお願いいたします。

### 第5回新進論文賞の対象論文

日本金属学会誌：第88巻1～12号(2024年)掲載分

Materials Transactions: Vol. 65 No. 1～12(2024年)掲載分

注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

- (1) 2025年4月1日時点で、第1著者が35歳以下の日本金属学会誌及びMaterials Transactions掲載論文を対象とする。
- (2) 対象部門は「日本金属学会誌」「Materials Transactions」の2部門とする。
- (3) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」又は「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。
- (4) Materials Transactions掲載論文は、「Regular Article」又は「Technical Article」のカテゴリーに属す

る論文であること。

- (5) Materials Transactions に英文発表後に和訳して日本金属学会誌に投稿された論文、もしくは日本金属学会誌に発表後に英訳して Materials Transactions に投稿された論文ではないこと。
- (6) コピーライトが本会に帰属していること(本会が著作権を保有している論文)。

**推薦数の要件** 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る論文数は、一部門につき1論文である。

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り。

- (1) 科学的・技術的に質の高い、新規な興味ある内容(結果、理論、手法等)が十分含まれているか。
- (2) 当該分野の研究の発展に貢献しうるものであるか。

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、日本語もしくは英語で入力して下さい。なお、字数制限がある項目があります(英語の場合も単語数ではなく、スペースを除いた字数での制限となります)ので、ご注意願います。

- (1) 論文題名
- (2) 著者名
- (3) 掲載巻・号・頁
- (4) 対象部門(日本金属学会誌, Materials Transactions から選択)
- (5) 推薦理由(400字以内, 英語の場合1,000字以内)
- (6) 推薦者名(勤務先・連絡先 TEL・E-mail も記入下さい)

**登録完了** 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

**推薦締切**: 2025年2月28日(金)

**照会先** 会誌・欧文誌編集委員会

E-mail: sadoku@jimm.jp

**推薦 URL** <https://data.jimm.jp/jim/shinshin/>

### 第15回まてりあ賞 推薦(自薦)のお願い

会報編集委員会では毎年、会報「まてりあ」に論文または記事を掲載し、金属およびその周辺材料の学術および科学技術の振興に顕著な貢献をしたと思われる方に授賞をする「日本金属学会まてりあ賞」を設けており、第15回の授賞式を2025年の秋期講演大会の折に行います。

会報「まてりあ」に掲載された記事(過去3ヵ年)の中から、授賞候補論文および記事を「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「一般会員(正員3名以上の連名)」から推薦してもらい選考の上、授賞いたします。下記推薦要領により、皆様からの積極的なご推薦をお願いいたします。

#### ■第15回「まてりあ賞」推薦要領

##### (1) まてりあ論文賞

日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した論文で、学術または科学技術上優秀でかつ金属およびその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。

##### (2) まてりあ啓発・教育賞

日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した記事で、まてりあ記事の特徴を活かし、金属およびその周辺材料に係る啓発や教育に顕著な貢献をした記事に対し授賞する。

**授賞対象記事** 2022年～2024年掲載済記事(授賞済記事は除く: 授賞済記事はホームページに掲載します。)

- 記事種別**
- (1) まてりあ論文賞: 解説, 最近の研究, 技術資料, 集録, 新進気鋭, 特集記事, 物性・技術データ最前線, プロジェクト報告
  - (2) まてりあ啓発・教育賞: 講義ノート, 入門講座, プロムナード, 実学講座, 材料教育, 材料科学のパイオニアたち

**審査基準** この賞の審査基準は下記の通り。

##### まてりあ論文賞

- (1) 研究者および技術者の理解度: 読みやすさ, 分かりやすさ, 簡潔さ等
- (2) 研究者および技術者の関心度: 話題性, 核心性, 革新性等
- (3) 論文の独創性: 問題の抽出およびその解析・解説の適切さと独創性等
- (4) 研究および技術の振興への貢献度: 当該分野の研究の指針の提供等
- (5) 情報発信度および注目度: マスコミ報道, 本会の講演大会や学術誌での発表(自己申告), まてりあデータベースアクセス件数(事務局調査)等

##### まてりあ啓発・教育賞

- (1) 一般読者の理解度: 読みやすさ, 分かりやすさ, 簡潔さ等
- (2) 一般読者の関心度: 話題性, 核心性, 革新性等
- (3) 記事の独創性: 問題の抽出およびその解析・解説の適切さと独創性等
- (4) 啓発又は教育への貢献度: 社会への材料の重要性の啓発または高等教育機関における教育への貢献度
- (5) 情報発信度および注目度: マスコミ報道, 本会の講演大会や学術誌での発表(自己申告), まてりあデータベースアクセス件数(事務局調査)等

**推薦資格** 「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「正員3名」

**推薦方法** 下記 URL の推薦フォームにより、①種別②タイトル③著者名④掲載巻号頁⑤推薦理由(300～400字)⑥推薦者名を入力する。

**推薦数の要件** 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る数は、1部門につき2編以内である。

**推薦締切** 2025年2月28日(金)

**推薦 URL** まてりあ論文賞

<https://data.jimm.jp/jim/materiashou/ronbun/>  
まてりあ教育・啓発賞

<https://data.jimm.jp/jim/materiashou/kyouiku/>

**照会先** 会報編集委員会

E-mail: materia@jimm.jp

## 2025年度会費納入のお願い

2025年の会費納入時期となりました。皆様、ご確認の上、ご継続の手続きをお願いいたします。

### 会費のお支払い確認

ホームページ→入会・変更・会員制度→会員マイページ→(ID・パスワード入力)でお支払いと確認ができます。

問合せ先 会員サービス係 E-mail: member@jimmm.jp

## 事務局：年末・年始休業のお知らせ

事務局は、下記日程で休業いたします。宜しくお願ひいたします。

2024年12月29日(日)～2025年1月5日(日)



## 各種学術賞・奨励金等候補者推薦について

本会は下に示す各種の学術賞や奨励、助成等の候補の推薦者に指定されており、積極的な推薦を行っております。会員各位にはこれらの候補として適当と思われる方の推薦または自薦をお願いいたします。

推薦または自薦は次の各号によるものとします。

- (1) 推薦または自薦の資格は、本会会員とする。
- (2) 推薦または自薦に際しては、各学術賞等の所定の書式の推薦書及び資料を提出する。
- (3) 推薦または自薦の期限は、原則として各学術賞等の推薦締切の2ヶ月前とする。

推薦又は自薦しようとするときは「○○賞に推薦(自薦)」と明記の上、上記(3)の期限までに、各学術賞等の所定の推薦書及び資料を添えて、本会事務局までお申し出下さい。書類審査の後、理事会で推薦を決定いたします。

井上学術賞 <a href="http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html">http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html</a>	井上科学振興財団	9月18日
井上春成賞 <a href="http://inouesho.jp/">http://inouesho.jp/</a>	科学技術振興機構	2月29日
岩谷直治記念賞 <a href="http://www.iwatani-foundation.or.jp/">http://www.iwatani-foundation.or.jp/</a>	岩谷直治記念財団	8月31日
浅田賞、三島賞 <a href="https://www.isij.or.jp/commendation/">https://www.isij.or.jp/commendation/</a>	日本鉄鋼協会	9月28日
風戸賞 <a href="http://www.kazato.org/application/">http://www.kazato.org/application/</a>	風戸研究奨励会	10月11日
風戸研究奨励賞 <a href="http://www.kazato.org/application/">http://www.kazato.org/application/</a>	風戸研究奨励会	12月2日
グリーン・サステイナブルケミストリー賞 <a href="http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html">http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html</a>	新化学技術推進協会	11月15日
工学教育賞 <a href="https://www.jsee.or.jp/award/">https://www.jsee.or.jp/award/</a>	日本工学教育協会	1月10日
KONA賞、研究助成、援助 <a href="http://www.kona.or.jp/jp/">http://www.kona.or.jp/jp/</a>	ホソカワ粉体工学振興財団	6月28日
サー・マーティン・ウッド賞 <a href="http://www.msforum.jp/about_sir_martin/">http://www.msforum.jp/about_sir_martin/</a>	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	7月8日
機械振興賞 <a href="http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html">http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html</a>	機械振興協会	5月31日
素形材産業技術賞 <a href="https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html">https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html</a>	素形材センター	5月19日
日本塑性加工学会賞 <a href="http://www.jstp.jp/about/award/">http://www.jstp.jp/about/award/</a>	日本塑性加工学会	8月31日
日本溶接協会 貢献賞、技術賞、溶接注目発明賞 <a href="https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html">https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html</a>	日本溶接協会	11月8日
熱・電気エネルギー技術に関する研究助成 <a href="http://www.teet.or.jp/08_4.html">http://www.teet.or.jp/08_4.html</a>	熱・電気エネルギー技術財団	10月28日
藤原賞 <a href="http://www.fujizai.or.jp/index.htm">http://www.fujizai.or.jp/index.htm</a>	藤原科学財団	12月15日
報公賞、工学研究奨励援助金 <a href="http://www.hattori-hokokai.or.jp/">http://www.hattori-hokokai.or.jp/</a>	服部報公会	5月10日
睦賞 <a href="http://www.jsndi.jp/honor_award/">http://www.jsndi.jp/honor_award/</a>	日本非破壊検査協会	12月31日
山崎貞一賞 <a href="http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html">http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html</a>	材料科学振興財団	4月15日
山田科学振興財団研究援助 <a href="http://www.yamadazaidan.jp/jigyo/kenkyu.html">http://www.yamadazaidan.jp/jigyo/kenkyu.html</a>	山田科学振興財団	2月28日
江崎玲於奈賞 <a href="https://www.i-step.org/prize/esaki/">https://www.i-step.org/prize/esaki/</a>	茨城県科学技術振興財団	3月15日

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2024年の例)(本会締切は2ヶ月前)
科学技術に関する黄綬、紫綬、藍綬褒章	文部科学省	6月30日
文部科学大臣表彰 科学技術賞、若手科学者賞 <a href="http://www.mext.go.jp/">http://www.mext.go.jp/</a>	文部科学省	7月22日
文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 <a href="http://www.mext.go.jp/">http://www.mext.go.jp/</a>	文部科学省	9月24日
日本学術振興会賞 <a href="https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/">https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/</a>	日本学術振興会	4月8日
育志賞 <a href="http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/">http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/</a>	日本学術振興会	5月28日
朝日賞 <a href="http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/">http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/</a>	朝日新聞社	8月25日
日本産業技術大賞 <a href="http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou">http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou</a>	日刊工業新聞社	1月31日
東レ科学技術賞、東レ科学技術研究助成 <a href="http://www.toray-sf.or.jp/">http://www.toray-sf.or.jp/</a>	東レ科学振興会	10月10日
本多記念賞、本多フロンティア賞、本多記念研究奨励賞 <a href="http://hondakinenkai.or.jp/">http://hondakinenkai.or.jp/</a>	本多記念会	9月8日
大河内賞 <a href="http://www.okochi.or.jp/hp/top.html">http://www.okochi.or.jp/hp/top.html</a>	大河内記念会	8月10日
全国発明表彰 <a href="http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html">http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html</a>	発明協会	8月31日
地方発明表彰 <a href="http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html">http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html</a>	発明協会	3月29日

# 2025, 2026年度の代議員候補者, 代議員選挙中止および2025, 2026年度の監事選挙中止のお知らせ

正 員 各 位

定時社員総会(2025年4月25日予定)で選任される本会代議員立候補者を求めたところ, 下記の立候補がありました。

全ての地区, 本部枠とも立候補者数が改選数以下でしたので, 本会定款および細則に基づき, 2025, 2026年度の代議員候補者選挙を中止し, 定時社員総会(2025年4月25日予定)において選任いたします。

また, 定時社員総会(2025年4月25日予定)で選任される本会監事立候補者を求めたところ, 立候補がありませんでしたので, 本会定款および細則に基づき, 2025, 2026年度の監事候補者選挙を中止し, 2025年4月開催予定の定時社員総会において選任いたします。

2024年12月1日  
公益社団法人 日本金属学会  
会長 榎 学

## 公益社団法人日本金属学会 2025, 2026年度代議員候補者

役職等は届出書に基づいて記載しています。

(敬称略: 受付順)

<b>北海道地区(改選数: 3名)</b>		<b>高木周作</b> JFE スチール(株)スチール研究所部長	
<b>上田幹人</b> 北海道大学大学院工学研究院教授		<b>田口謙治</b> 日本製鉄(株)技術開発本部室長	
<b>林重成</b> 北海道大学大学院工学研究院教授		<b>多田英司</b> 東京科学大学物質理工学院教授	
<b>安藤哲也</b> 室蘭工業大学大学院工学研究科准教授		<b>田村洋介</b> 千葉工業大学先端材料工学科教授	
<b>東北地区(改選数: 10名)</b>		<b>田村隆治</b> 東京理科大学先進工学部教授	
<b>及川勝成</b> 東北大学大学院工学研究科教授		<b>堤祐介</b> 物質・材料研究機構構造材料研究センターグループリーダー	
<b>亀岡聡</b> 東北大学多元物質科学研究所教授		<b>寺前俊哉</b> (株)プロテリアルグローバル技術革新センター技師長	
<b>野村直之</b> 東北大学大学院工学研究科教授		<b>西剛史</b> 茨城大学応用理工学野教授	
<b>平塚貞人</b> 岩手大学理工学部教授		<b>根石豊</b> 日本製鉄(株)技術開発本部部長	
<b>市坪哲</b> 東北大学金属材料研究所教授		<b>乗松航</b> 早稲田大学基幹理工学部電子物理システム学科教授	
<b>上野俊吉</b> 日本大学工学部生命応用化学科教授		<b>林幸</b> 東京科学大学物質理工学院教授	
<b>大口健一</b> 秋田大学大学院理工学研究科教授		<b>廣澤涉一</b> 横浜国立大学大学院工学研究院教授	
<b>鎌田康寛</b> 岩手大学理工学部教授		<b>藤居俊之</b> 東京科学大学物質理工学院教授	
<b>佐藤裕之</b> 弘前大学大学院理工学研究科教授		<b>正木匡彦</b> 芝浦工業大学工学部教授	
<b>吉見享祐</b> 東北大学大学院工学研究科教授		<b>松永康夫</b> (株)IHI 技術基盤センター主査	
<b>関東地区(改選数: 31名)</b>		<b>松野泰也</b> 千葉大学大学院融合理工学府教授	
<b>青木里紗</b> 東芝エネルギーシステムズ(株)材料技術開発部スペシャリスト		<b>宮澤靖幸</b> 東海大学工学部機械工学科教授	
<b>阿部英司</b> 東京大学工学系研究科教授		<b>山本知之</b> 早稲田大学理工学術院教授	
<b>石橋良</b> (株)日立製作所研究開発グループ主任研究員		<b>東海地区(改選数: 11名)</b>	
<b>上路林太郎</b> 物質・材料研究機構構造材料研究センターグループリーダー		<b>渡辺義見</b> 名古屋工業大学大学院工学研究科教授	
<b>章富高</b> 日本冶金工業(株)技術研究所部長		<b>鷺見芳紀</b> 大同特殊鋼(株)技術開発研究所室長	
<b>枝川圭一</b> 東京大学生産技術研究所教授		<b>加茂祐一</b> JFE スチール(株)スチール研究所主任研究員	
<b>遠藤理恵</b> 芝浦工業大学工学部教授		<b>前嶋貴士</b> (株)豊田中央研究所データ駆動型プロセス研究領域リーディングリサーチャー, 主任研究員	
<b>大村朋彦</b> 日本製鉄(株)技術開発本部主席研究員リーディングリサーチャー		<b>足立望</b> 豊橋技術科学大学機械工学系准教授	
<b>奥田金晴</b> JFE スチール(株)スチール研究所主席研究員		<b>高田尚記</b> 名古屋大学大学院工学研究科准教授	
<b>小澤俊平</b> 千葉工業大学工学部教授		<b>濱田典彦</b> 愛知製鋼(株)開発本部主査	
<b>川岸京子</b> 物質・材料研究機構構造材料研究センターグループリーダー		<b>東昌史</b> 日本製鉄(株)技術開発本部部長	
<b>柴田暁伸</b> 物質・材料研究機構構造材料研究センター上席グループリーダー		<b>椎原良典</b> 豊田工業大学大学院工学研究科准教授	
<b>澁田靖</b> 東京大学大学院工学系研究科教授		<b>妹尾剛士</b> (株)デンソー材料技術部長	
		<b>渡津章</b> 産業技術総合研究所マルチマテリアル研究部門主任研究員	

公益社団法人日本金属学会 2025, 2026年度代議員候補者

<b>北陸信越地区(改選数：6名)</b>		種池正樹 三菱重工業(株)総合研究所主席研究員	
福元謙一 福井大学附属国際原子力工学研究所教授		相川芳和 山陽特殊製鋼(株)粉末事業部部長	
松田健二 富山大学学術研究部教授		藤村明生 住友電気工業(株)アドバンストマテリアル研究所所長	
武田雅敏 長岡技術科学大学工学研究部教授		<b>中国四国地区(改選数：7名)</b>	
岸陽一 金沢工業大学高信頼理工学研究センター教授		竹元嘉利 岡山大学学術研究院准教授	
松中大介 信州大学学術研究院(工学系)教授		岡田達也 徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授	
喜多和彦 YKK(株)テクノロジイノベーションセンター執行役員・技術戦略室室長		小林千悟 愛媛大学大学院理工学研究科教授	
<b>関西地区(改選数：19名)</b>		森戸茂一 島根大学材料エネルギー学部教授	
辻伸泰 京都大学大学院工学研究科教授		音田哲彦 鳥取大学工学部機械物理系学科准教授	
邑瀬邦明 京都大学大学院工学研究科教授		田中康弘 香川大学創造工学部教授	
中村裕之 京都大学大学院工学研究科教授		松木一弘 広島大学大学院先進理工系科学研究科教授	
小泉雄一郎 大阪大学大学院工学研究科教授		<b>九州地区(改選数：6名)</b>	
土谷博昭 大阪大学大学院工学研究科教授		安藤新二 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター教授	
多根正和 大阪大学大学院工学研究科教授		村上恭和 九州大学大学院工学研究部教授	
春名匠 関西大学化学生命工学部教授		飯久保智 九州大学大学院総合理工学研究部教授	
仲井正昭 近畿大学理工学部機械工学科教授		宮原広都 九州大学大学院工学研究部教授	
池野豪一 大阪公立大学大学院工学研究科准教授		石丸学 九州工業大学大学院工学研究部教授	
藤原弘 立命館大学理工学部教授		峯洋二 熊本大学大学院先端科学研究部教授	
足立大樹 兵庫県立大学大学院工学研究科教授		<b>本部枠代議員候補者(改選数：4名)</b>	
西山佳孝 日本製鉄(株)技術開発本部部長		河野佳織 日本製鉄(株)技術開発本部フェロー	
山崎強 日本製鉄(株)技術開発本部部長		兒島洋一 (株)UACJ R&D センター部長	
渡部将平 (株)島津製作所分析計測事業部課長		長滝康伸 JFE スチール(株)スチール研究所研究技監	
石田峰央 福田金属箔粉工業(株)研究開発部室長		茅野林造 日本製鋼所 新事業推進本部副本部長	
村上俊夫 (株)神戸製鋼所技術開発本部所長			



## 2025年春期(第176回)講演大会参加および講演申込の募集

2025年春期講演大会を、3月8日(土)から10日(月)まで、東京都立大学南大沢キャンパスで開催します。

ご講演発表ならびに皆様のご参加を下記の通り募集します。

高校生・高専学生ポスターセッションは、3月8日(土)に東京都立大学南大沢キャンパスで、3月13日(木)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。前回から優秀ポスター賞の選考方法が変わりました。詳細は、ポスターセッションの項目をご確認下さい。

～講演大会日程(会期は3日間です。)～

日 時	行 事
3月8日(土) 9:00～9:40 9:50～11:50 午後 13:00～17:30 18:30～	開会の辞, 贈呈式 学会賞受賞講演, 本多記念講演 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)
3月9日(日) 9:00～18:00	学術講演
3月10日(月) 9:00～17:00	学術講演
3月13日(木)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：2025年3月8日(土)

開催場所・料金：詳細が決まり次第案内いたします。

## 講演大会参加申込

### ◆申込の種別と申込期間

1) 事前申込(2月19日(水)をもって事前参加申込完了)となります

申込期間：2024年11月15日(金)～2025年2月19日(水)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring/

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：2025年2月25日(火)～3月13日(木)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring\_after/

決済方法：クレジットカード



3) 相互聴講(鉄鋼協会参加者 現地申込のみ)

申込期間：2025年3月8日(土)～10日(月)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring\_after/

決済方法：クレジットカード



問合せ先：講演大会係 [annualm@jimm.jp](mailto:annualm@jimm.jp)

～ 各申込期日のご確認をお願いします。～

## ◆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
2025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	—	5,000円*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](mailto: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、講演申込みをして下さい。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して下さい(受付は不要です)。

\*「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(ログインが必要です)

公開日：大会2週間前の**2025年2月22日(土)**(特許関係の手続きは、公開日までに済ませて下さい。)

閲覧のためのログイン方法が変ります！

① confit 共通アカウントを作成(今回のみで OK。次回から不要)



②学会で配信する「参加者個別認証コード」と結びつける作業をする。

※参加者個別認証コードは会員番号や会員パスワードではなくなります。

参加者個別認証コード：

(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「参加者個別認証コード」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「参加者個別認証コード」をお使い下さい。

## ◆講演概要集の購入

講演概要集は作成しておりません。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行い、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

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。

資格：日本鉄鋼協会に参加登録された方(会員資格問わず)。

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」の押印をいたします。

(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。

## 講演申込

### ◆申込期間(締切厳守！)

- 1) 一般, 公募シンポジウム, 共同セッション, ポスターセッション:  
2024年11月15日(金)~12月26日(木)17時
  - 2) 高校生・高専生ポスター: 2024年11月15日(金)~2025年1月8日(水)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/2025spring/>



### 講演を申込み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ください。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手続きをして下さい。入会申込をすると 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12月24日(火)

年会費納入期限: 2025年1月31日(金)

入会・会費の問合せ先: 会員サービス係 [member@jim.jp](mailto:member@jim.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/2025spring/>)から申込み。

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-Word 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) 申込締切り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。

申込締切り後は受付けない。

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、2025年2月初旬頃に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：2025年2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

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

☆すべての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

### 会誌2025年春期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIMM Spring Meeting (2025)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「2025年春期大会講演精選論文」89巻9号および10号(2025年)掲載

Materials Transactions「Selected Papers from JIMM Spring Meeting (2025)」66巻9号および10号(2025年)掲載

◎原稿締切 2025年5月1日(木)

◎予備登録、投稿および審査方法は、一般投稿論文に準ずる(ホームページの会誌・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)

問合せ先 sadoku@jimm.jp

# 日本金属学会2025年春期(第176回)講演大会 第13回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2025年1月8日(水)

## 「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学会名 日本金属学会2025年春期(第176回)講演大会  
行事名 「第13回高校生・高専学生ポスター発表」  
開催方法 3月8日(土)東京都立大学南大沢キャンパスおよび3月13日(木)オンライン  
開催日時 2025年3月8日(土)午後または3月13日(木)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 3月8日(土)の東京都立大学南大沢キャンパス、または3月13日(木)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/2025spring/>  
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 優秀な発表には日本金属学会長賞、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](mailto: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、オンライン開催によらず、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。

## 2025年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウム

### 公募シンポジウム

- S1 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムⅥ—マルチスケール構造制御による材料設計の新展開—
- S2 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング
- S3 材料表面の化学Ⅱ—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
- S4 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Ⅶ

### 企画シンポジウム

- K1 What's 技術士? 国家資格技術士(金属部門)になりませんか?
- K2 生体機能を指向したバイオマテリアルデザイン
- K3 産学共創シンポジウム・カーボンニュートラルを目指して2

# 2025年秋期講演大会公募シンポジウム テーマ提案募集

提案期限：2025年2月14日(金) 期日厳守

会員の研究活動の一層の活性化を図ることを目的として、春秋講演大会において会員からの提案テーマによるシンポジウム講演を実施いたしており、状況を呈しております。秋期講演大会の公募シンポジウムテーマを募集いたします。次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマを積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

## 【募集対象の大会】

2025年秋期講演大会(開催会場：北海道大学)

## 【実施要領】

- 境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。
- 一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイデアによる提案を期待する。
- これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。
- 採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。
- 採択された場合、提案者(企画責任者)はテーマ責任者として、積極的に講演募集を行い、また講演プログラムを編成する。シンポジウムの企画に積極的な方々が将来、調査研究・講演大会などで主導的に活躍されることを期待する。

講演の種類 基調講演と応募講演

## 提案書の内容

①テーマ、②テーマ英語名、③趣旨、④基調講演の予定題目と講演者、⑤推定講演数、⑥希望会場広さ・開催希望日、⑦提案者所属・役職/氏名、⑧通信先住所・TEL・FAX、E-mail

提案書送付先 下記宛てE-mailで送付して下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。

テーマの選定 講演大会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。

採択テーマの告知と講演募集 「まてりあ」5号2025年秋期大会講演募集会告ならびに本会ホームページで行う。

講演申込締切日 2025年7月初旬予定

講演プログラム テーマ責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。

講演時間 応募講演：15～25分(+討論時間5～10分=合計20～35分)

基調講演：30分(+討論時間10分=合計40分)

講演概要原稿分量 A4判1ページ(応募講演、基調講演)

## 【公募シンポジウム企画の採択基準】

(1) 企画責任者(シンポジウム chair)およびテーマ責任者(シンポジウム co-chair)

- ①企画責任者は会員であること。
- ②テーマ責任者は複数テーマを兼任しないこと。
- ③企画責任者またはテーマ責任者には、了解を得た講演大会委員が入っていること。
- ④講演大会委員(専門分野)リストはHPに掲載し、連絡先等は事務局に問合せする。

(2) 講演大会委員会でテーマ責任者(代理者可)は企画提案の説明を行うこと。

(3) 継続テーマの採択条件(上記に追加)

今後も同一テーマのシリーズ化で公募シンポジウムを希望する場合は、会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的とした下記の採択基準の条件を満たす提案が求められます。

- ①全講演数の半数以上の応募講演数が見込まれること。
- ②基調講演の非会員枠は原則、1～2件とし、会員の発表の場とすること。
- ③提案書の趣旨にどのような科学的知見が得られるかの記載があること。
- ④継続テーマ提案が採択条件を満たさない場合、採択を否決する。  
否決テーマに対しては、一般講演を容認することもある。

## 【参考】2024年秋期講演大会における公募テーマ

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(Ⅷ)
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科学と高温プロセス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

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会講演大会委員会宛

# 2025年秋期講演大会企画シンポジウム テーマ募集

提案期限：2025年2月14日(金) 期日厳守

最新の研究や技術を発信し、多くの研究者・技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、2017年秋期講演大会より企画シンポジウムを実施しています。従来の公募シンポジウムとは違い、企業の方に積極的に講演頂くため、講演概要原稿の提出は問いません。講演発表は、一般(応募)講演枠は設けず、依頼講演および基調講演に限定いたします。次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマおよび他学協会との連携企画等積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

## 【募集対象の大会】

2025年秋期講演大会(開催会場：北海道大学)

## 【実施要領】

**企画責任者** 企画責任者は会員であること

**共同責任者** 共同責任者は、公募シンポジウムの co-chair と重複してもよいが、同時期開催の企画責任者(代表者)と重複しないこと。

**講演の種類** 依頼講演および基調講演(一般会員からの講演募集は行わない)

**講演時間** 依頼講演(15分, 20分, 25分), 基調講演((25分), 30分, 40分, 50分)

**質疑応答時間** 5分または10分

**概要原稿** A4 サイズ1枚(他の講演種別と同じ)または提出不要

**非会員講演者の取扱い** 参加費, 交通費, 謝金は公募シンポジウムに準ずる。

**テーマの決定** 講演大会委員会において採択を決定し、結果は提案者に通知します。

テーマ責任者(代理者可)は、講演大会委員会で企画提案の説明を行うこと。

**採択テーマの案内** 「まてりあ」ならびに本会ホームページで行う。

**講演プログラム** 企画責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。

**提案書送付先** 下記あて E-mail で送付して下さい。2, 3日過ぎても受理通知のない場合は、ご連絡下さい。

各締切日等：下記表参照

	2025年秋期大会
企画募集案内	2024年12月1日 (12号会告)
応募締切	2025年2月14日
企画テーマの決定	2025年3月末までに
講演者リスト提出期日	2025年5月23日頃予定
プログラム提出期日(講演登録締切)	2025年7月初旬
講演大会企画委員会(会場決定)	2025年7月下旬予定
プログラム公開	2025年8月初旬予定

○講演時間(討論時間)：15分, 20分, 25分, 30分, 40分, 50分  
(5分または10分)

○非会員の取扱い(参加費, 交通費, 謝金)：公募シンポジウムに準ずる

○プログラム編成および送付方法：テーマ責任者が Word で作成し事務局にメール添付で送付

「参考」2024年秋期講演大会における企画テーマ。

K1	材料化学におけるイノベーションの役割と工業製品への展開IV
K2	金属材料研究者のセカンドライフを考える
K3	自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・第6回自動車関連材料合同シンポジウム
K4	サーキュラーエコノミーの加速に必要な材料科学の課題
K5	構造材料開発のための精錬技術～カーボンニュートラル社会における構造材料発展～

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛





第140回金属物性研究会ならびに  
軽金属学会支部研究会

—中国四国支部 チタン・チタン合金研究最前線(7)—

チタンは高比強度や高耐食性などの優れた特性を有し、航空・宇宙産業をはじめ化学工業分野や生体材料分野等で活用されている。本第140回金属物性研究会では、中国四国支部においてチタン・チタン合金の研究を精力的に進めている研究室の研究者が集い、チタン研究の情報交換を行い深く議論する場を提供します。チタン・チタン合金の研究・開発にご興味のある方はぜひ積極的なご参加をお願い申し上げます。

日時 2024年12月23日(月) 13:00~17:30  
場所 愛媛大学工学部2号館3階PBL演習室345  
共催 軽金属学会 中国四国支部

〈プログラム〉

- 13:00~13:05 開催の挨拶(愛媛大学 小林千悟)
- 研究会  
座長:岡山大 竹元嘉利
- 13:10~13:40 Ti-Nb合金の $\alpha''$ 相昇温過程におけるその場TEM解析(仮題)  
愛媛大大学院 ○寶壽康太(院生), 小林千悟, 岡野 聡
- 13:40~14:10 Tiの $\alpha \rightarrow \beta$ 変態に及ぼす侵入型元素と格子欠陥の相互作用(仮題)  
愛媛大大学院 ○中村柊太(院生), 小林千悟, 岡野 聡
- 14:10~14:20 一休 憩一  
座長:愛媛大 小林千悟
- 14:20~14:50 Ti-10Mo-7Al合金の時効に伴う $\alpha_{iso}$ 相の生成と $\alpha$ 析出過程(仮題)  
岡山大学院 ○野島康平, 松田大生, 竹元嘉利
- 14:50~15:20 Ti-10V-2Fe-3Al合金の形状進展現象を利用した円管の作製(仮題)  
岡山大学院 ○石原大暉, 横田啓人, 中島千拓, 竹元嘉利
- 15:20~15:30 一休 憩一

招待講演

- 座長:岡山大 竹元嘉利
- 15:30~16:30 準安定 $\beta$ チタン合金における等温 $\alpha''$ 相の生成とその活用 東京科学大 ○田原正樹
- 16:30~17:30 総合討論  
Ti合金でよくわからない種々の現象について: 話題提供 岡山大 竹元嘉利

参加費 無料(事前申し込み不要)

世話人 竹元嘉利(岡山大), 小林千悟(愛媛大)

問合せ先 岡山大学 竹元嘉利

E-mail: tanutake@okayama-u.ac.jp

第73回材質制御研究会  
金属材料の高機能化を目指して~耐水素脆性~

カーボンニュートラル実現に向け、水素を2次エネルギーとして活用する動きが活発化しており、それに伴い水素の貯蔵・運搬・利用の各工程において、構造金属材料と水素が接触するケースの増加が予想される。本研究会では、高強度鋼、アルミニウム合金およびマグネシウム合金の高機能化技術を目指し、耐水素脆性に関する最新的话题を取り上げておりますので、奮ってご参加下さい。

日時 2025年1月29日(水)13:00~16:35

場所 広島工業大学 新8号館309室  
(広島市佐伯区三宅2-1-1)

共催 軽金属学会 中国四国支部

〈プログラム〉

- 13:00~13:05 開催の挨拶 広島工業大学 日野 実
- 研究会  
13:10~13:55 座長:広島工業大学 桑野亮一  
亜鉛系めっきによる高強度鋼の水素脆性  
広島工大 ○日野 実, 大阪大 堀川敬太郎
- 13:55~14:40 座長:大阪大学 堀川敬太郎  
マグネシウム合金の湿潤大気中での耐水素脆化特性に及ぼす合金組成や組織の影響  
新居浜高専 ○真中俊明, 岡田 樹, 篠永泰一
- 14:40~15:00 一休 憩一
- 15:00~15:45 座長:広島工大 日野 実  
Al-Zn-Mg合金における水素トラップと水素脆性  
鳥取大 ○清水一行
- 15:45~16:30 座長:広島大 宮岡裕樹  
放射光X線イメージングによるAl-Zn-Mg合金中の環境水素由来欠陥の解析  
大阪大 ○堀川敬太郎, 広島工大 日野 実, JASRI 星野真人, 上杉健太郎
- 16:30~16:35 閉会の挨拶(広島大 宮岡裕樹)
- 参加申込 氏名・所属・連絡先(電話番号・E-mailアドレスなど)を明記のうえ、**1月22日(金)までにFAX**またはE-mailなどで下記へお申込下さい。

参加費 無料

世話人 日野 実(広島工業大学), 市川貴之, 宮岡裕樹(広島大学)

申込・問合せ先 広島工業大学工学部機械システム工学科  
日野 実

☎ 082-921-4454 FAX 082-921-4454

E-mail: hino@me.it-hiroshima.ac.jp

アクセス 上記の「申込・問合せ先」にお問い合わせ下さい。  
所在地および交通案内は広島工業大学 HP (<http://www.it-hiroshima.ac.jp/>) をご参照下さい。

第57回「若手フォーラム」  
—ポスターセッション併催—



R6年度 学術討論会・技術交流フォーラム  
合同講演会 開催案内

日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部では、若手研究者および技術者の研究・開発への意欲向上ならびに議論を通じての支援のために、講演の場を提供することを実施しています。またポスターセッション(フリーテーマ)を開催しますので、意欲あふれる研究発表を期待しています。高校生や一般の方の発表や、聴講のみでも大歓迎です。

日時 2025年2月15日(土)10:00~16:00

場所 ビュアリティまきび3階 橋の間  
(<http://www.makibi.jp/>)

共催 軽金属学会 中国四国支部

<プログラム>

10:00~10:10 開会の挨拶 清水一郎(岡山理科大)

10:10~11:00 座長:清水一郎(岡山理科大)

切削加工のシミュレーションとデジタルツインへの取り組み  
岡山大 学術研究院 金子和暉

11:00~11:10 一休 憩一

11:10~12:00 座長:竹元嘉利(岡山大)

切削加工液としてのアルカリ電解水の有用性に関する研究  
—旋削作業における乾式・エマルジョン・アルカリ電解水条件下での検証—  
岡山理科大 研究・社会連携機構 篠原 隆

13:00~16:00

ポスターセッション(下記要領にてお申込下さい。件数により1~3部構成で行います。)

<ポスター発表募集>

申込方法 (a)題名、(b)所属・氏名(発表者に○印)を明記の上、E-mailで1月31日(金)までにお申し込み下さい。高校生の発表に対しては学会より認定書を発行いたします。

ポスターサイズ 横90cm×縦200cm以内

参加費 無料

企画世話人 竹元嘉利、荒川仁太(岡山大)、宮岡裕樹(広島大)、竹村明洋、清水一郎(岡山理科大)

申込・問合せ先 岡山大学工学部 竹元嘉利

☎ 086-251-8027 FAX 086-251-8266

E-mail: [tanutake@okayama-u.ac.jp](mailto:tanutake@okayama-u.ac.jp)



近年、ものづくりの新展開として、積層造形分野(3Dプリンティング)が世界的に発展中であり、その高度化を受けて、材料工学におけるプロセスおよび解析技術の進展が著しく加速している。またこれら技術の進展と同時に、カーボンニュートラル・水素活用に代表されるグローバルな課題解決研究の重要性も、ますます増大し、さらにAI分野の超進化が、科学技術全体の底上げに拍車をかけている。

そこで今回の合同講演会では、関連する分野の最新情報および今後の展開に関する知見を、異なる専門分野を横断して広く共有することにより、直近の様々な課題に対し、金属・鉄鋼分野が今後進むべき方向性と取り組むべきトピックについて理解を深めることを目的とした。そのため、重要項目に関連する横断的な内容についての討論会・講演会を企画させていただいた。ご興味ある方の多数のご参加を、心よりお待ちしております。

(企画世話人:上岡悟史(JFEスチール)、山崎歩見(大同特殊鋼)、原田 寛(名古屋大学)、小山敏幸(名古屋大学))

テーマ 「積層造形技術・水素活用技術(カーボンニュートラル)」

日時 2025年1月23日(木)、13:30~16:50

場所 オンライン講演会(zoom会議形式)

ご参加のご連絡を頂いた方に、後日、zoomの参加URLを連絡させていただきます。

<プログラム>

13:30~13:35 開会の挨拶

13:35~14:25 金属積層造形における複雑形状化および複合組織制御を活かした高機能材料創製

名古屋大学、大学院工学研究科、物質プロセス工学専攻 准教授 鈴木飛鳥

14:25~15:15 金属AMプロセスのデジタルツインを実現する技術

物質・材料研究機構、構造材料研究センター 副センター長 渡邊 誠

15:15~15:35 一休憩一

15:35~16:25 鉄鋼業のカーボンニュートラル実現に向けた水素製鉄プロジェクト(GREINS)の取り組み

金属系材料研究開発センター、カーボンニュートラル統括部長/環境・プロセス研究部長 加藤 徹

16:25~16:50 総合討論および閉会の挨拶

参加費 無料

定員 最大150名程度

参加申込・問合せ先 下記Googleフォームからお申し込み下さい [締切日:1月19日(日)].

<https://forms.gle/8pubgj7awuaFieDMA>

東海支部事務局 ☎ 052-789-3372(052-789-4640)

E-mail: [tokai@numse.nagoya-u.ac.jp](mailto:tokai@numse.nagoya-u.ac.jp)

※お使いのインターネット環境によりGoogleフォームを開くことができない場合は、電子メールにてお申し込み下さい。表題を「討論会・フォーラム申込み」とし、本文に「お名前、ご所属、連絡先(E-mail)」を明記して、上記の問い合わせ先メールアドレス宛にお申込み下さい。

## 2023年度に活動終了した若手研究会成果報告

### No. 7 若手研究グループ「CO<sub>2</sub>ゼロエミッション社会に向けた耐環境構造金属材料研究グループ」活動最終報告書

活動期間：2022年3月～2024年2月(2年間)

#### 活動目的

2050年のカーボンニュートラル達成を目指して、今後、CO<sub>2</sub>の収支がプラスマイナスゼロとなるCO<sub>2</sub>ゼロエミッション社会への移行に向けたインフラの劇的な変化に対応するために、構造金属材料の抜本的見直しが必要となる。しかし構造金属材料分野は、産業規模が大きいこともあり、簡単には材料特性の改質に迫ることが難しい。特に、学特性分野と耐環境分野の連携と融合が必要不可欠であるが、若手研究者の大半は、力学特性(物理的性質)か耐環境特性(化学的性質)のどちらかを専門とすることがほとんどであり、双方を並行して研究するだけの経験も知識も、資金も十分ではない。それを補うには、さまざまな学術的なバックグラウンドを持つ研究者が皆で協調し連携する必要がある。また、同じテーマでありながら異なる視点を持つ異分野の研究者との議論は、同分野の研究者同志では得られなかった発想や課題を見出す機会にもなる。

そこで本若手研究グループでは、CO<sub>2</sub>ゼロエミッション社会に向けた耐環境構造金属材料研究を目的として学界・産業界の若手研究者が、カーボンニュートラルの達成に向けて議論を深める場を創出し、耐環境構造金属材料に関する共同研究を開始・実施するための体制構築を目的とした。

#### 活動概要(実施状況・成果等)

活動期間内に計4回の研究会、勉強会を開催した。特に、2023年10月には溶接学会若手会員の会との共同研究会・施設見学会と題し、本研究グループの共同研究の成果等を発表し、溶接学会の若手研究者と議論および意見効果を行った。また、次世代放射光施設ナノテラスの見学会も行い、今後の研究に活かす方法などを議論した。これらの成果として、Mg-Li合金の機械的性質と耐食性に関する共同研究や溶接学会の若手研究者と本研究グループの構成員との共同研究が始まるなど当初の目的を達成する成果があった。

活動期間内に開始した共同研究のひとつとして、耐熱鋼Gr.91鋼の研究について紹介する。カーボンニュートラルの達成に向けた次世代エネルギーの一つである燃料アンモニアの実用化に向けた取り組みが進められている。例えば、アンモニアと石炭による混焼を利用した火力発電は既存設備を利用でき、2030年にも運用が開始される見通しとなっている。アンモニアを燃焼させると、高温環境下でアンモニアから乖離した窒素や水素が材料表面から侵入すると予想される。マルテンサイトやフェライトの窒素の固溶量は比較的小さいため、侵入した窒素の大半は窒化物として鋼中に存在する。もし窒化物の形成等により鋼の特性が下がるのであれば、アンモニア燃焼時の鋼の材料劣化は、これまでの大気雰

囲気で使用する場合に比べ、より早期に生じる可能性がある。そこで、固相窒素吸収法により窒素を導入したGr.91を作製し、そのマイクロ組織の解析や機械的性質、耐酸化性、水素透過性を調査した。その結果、Gr.91鋼に固相窒素吸収法を施すと、窒素がマルテンサイトに固溶し、強度や延性が向上した。これを焼き戻すと、窒化物が析出し、室温機械的性質や耐酸化性が低下した。これはマルテンサイトに固溶していた固溶強化元素や保護性酸化皮膜形成元素が窒化物に分配されたためと考えられる。また、この影響がクリープ強度にも表れており、クリープ強度は窒化物の形成により低下する傾向にあった。これら成果の一部を2023年秋期講演大会で報告し、論文を投稿した。

なお、クリープ試験片や透過型電子顕微鏡観察用試料の作製に本グループの予算を使用しました。感謝申し上げます。

若手研究グループ世話人 井田駿太郎  
(東北大学大学院工学研究科)

◇ ◇ ◇

#### 若手研究グループ

◎若手および調査・研究事業を活性化することを狙いとして、若手主体の研究グループを発足しています。研究会や(研究助成申請等を目指した)新規研究テーマの開拓に向けた課題の抽出や目標の明確化を狙いとした活動を行います。

(<https://jimm.jp/research/>)

# 日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

## 『結晶学の基礎』(開催延期再案内)

日時 一日目 2025年2月6日(木)13:00~16:30  
二日目 2月7日(金)13:00~16:30

### 講義概要

本講座では、一定の周期で配列した原子あるいは分子からなる物質の構造、すなわち「結晶構造」を理解する上で必要な知識と、この結晶構造を明らかにするための最も一般的な実験ツールであるX線回折について学びます。この講座では、2022年に開催した同タイトルの講座をブラッシュアップした内容で講義いたします。

本講座は、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

#### 2025年2月6日(木)13:00~16:30

13:00~14:00 結晶の幾何学(結晶系, 単位胞, ブラベー格子)  
14:00~14:15 一休憩—  
14:15~15:15 結晶構造と結晶面(ミラー指数)・結晶方位の記述法  
15:15~15:30 一休憩—  
15:30~16:30 X線の基本的性質(電磁波, X線発生, X線吸収)

#### 2025年2月7日(金)13:00~16:30

13:00~14:00 原子による散乱, 結晶からの回折強度  
14:00~14:15 一休憩—  
14:15~15:15 非結晶物質(気体, 液体, ガラス, アモルファス)への応用  
15:15~15:30 一休憩—  
15:30~16:30 その他の応用の紹介: 小角散乱・異常散乱

受講方法 オンライン(Zoom)

講師紹介 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構客員教授, 京都大学名誉教授 松原英一郎先生

1977年3月京都大学工学部冶金学科卒業。1984年8月ノースウエスタン大学Ph.D. 東北大学助手・同大学講師・京都大学助教授を経て、1999年9月東北大学金属材料研究所教授。2005年4月京都大学工学研究科教授。2020年4月より現職。

コーディネーター ㈱プロテリアル 部長 西内武司

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

申込締切 2025年1月30日(木)

### 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名以上の申込みを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銀行振込のいずれかをご利用下さい。

問合せ 〒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@jimmm.jp](mailto:meeting@jimmm.jp) ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

協賛予定 応用物理学会, 軽金属学会, 資源・素材学会, ステンレス協会, 電気化学会, 電気学会, 日本MRS, 日本化学会, 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

〈公募類記事〉

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@jimmm.jp

公 募

◇東北大学金属材料研究所  
アルファ放射体実験室准教授公募◇

公募人員 准教授1名

所 属 東北大学金属材料研究所アルファ放射体実験室

専門分野 様々な放射性同位元素や核燃料物質を取り扱うことのできるアルファ放射体実験室の施設を活用して自らの研究を行うとともに、アルファ放射体実験室を中核とする本所仙台地区の放射線管理業務と国内外の研究者の共同利用推進に熱意と意欲を持って取り組んでいただける方。本所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターと密接な連携が期待できる方。

応募資格 博士の学位を有する方

第一種放射線取扱主任者の資格を持つ方、もしくは、近い将来持つことが見込まれる方

勤務形態 常勤 任期あり

任期10年(審査後再任1回5年可)

待 遇 東北大学の規定による

公募締切 2024年12月27日(金)必着

着任時期 決定後なるべく早い時期

提出書類 ①履歴書(写真貼付)

②研究業績リスト(原著論文, プロシーディングス, 著書・解説, 招待講演, その他に分類)

③主要論文別刷5編(コピー可)

④これまでの研究業績概要(2000字程度)

⑤今後の研究展望(2000字程度)

⑥推薦書または照会可能者2名の氏名と連絡先

送付問合先 〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町 2145-2

東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー材料科学国際研究センター センター長 青木 大

☎ 029-267-3181 FAX 029-267-4947

E-mail: o-jime@grp.tohoku.ac.jp

※提出書類をPDFファイルとしてパスワード付きのオンラインストレージやファイル転送サービスを利用したメールで提出すること。あるいは、提出書類をUSBメモリに保存し簡易書留での送付も可。印刷書類は不要。「アルフ

ァ放射体実験室 准教授 応募書類」と朱書のこと。

履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報とは正当な理由なく第三者へ開示することは一切ありません。

◇東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー  
材料科学国際研究センター准教授公募◇

公募人員 准教授1名

所 属 東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

専門分野 原子炉照射試験をもちいた原子力材料の研究、アクチノイド元素を含む物理や化学の研究、核燃料やデブリの研究など。当該センターにおける、国内外の研究者の共同利用推進、安全管理、人材育成に熱意と意欲を持って取り組んでいただける方  
博士の学位を有する方

第一種放射線取扱主任者の資格を持つ方、もしくは、近い将来持つことが見込まれる方

勤務形態 常勤 任期あり

任期10年(審査後再任1回5年可)

待 遇 東北大学の規定による

公募締切 2024年12月27日(金)必着

着任時期 決定後なるべく早い時期

提出書類 ①履歴書(写真貼付)

②研究業績リスト(原著論文, プロシーディングス, 著書・解説, 招待講演, その他に分類)

③主要論文別刷5編(コピー可)

④これまでの研究業績概要(2000字程度)

⑤今後の研究展望(2000字程度)

⑥推薦書または照会可能者2名の氏名と連絡先

送付問合先 〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町 2145-2

東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー材料科学国際研究センター センター長 青木 大

☎ 029-267-3181 FAX 029-267-4947

E-mail: o-jime@grp.tohoku.ac.jp

\*提出書類をPDFファイルとしてパスワード付きのオンラインストレージやファイル転送サービスを利用したメールで提出すること。あるいは、提出書類をUSBメモリに保存し簡易書留での送付も可。印刷書類は不要。「附属量子エネルギー材料科学国際研究センター 准教授 応募書類」と朱書のこと。履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報は正当な理由なく第三者へ開示することは一切ありません。

◇レアメタル研究会◇

- 主 催 レアメタル研究会  
 ■主 宰 者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹  
 ■協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)  
 ■共 催 東京大学マテリアル工学セミナー  
 レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会  
 東京大学生産技術研究所 持続型材料エネルギーイン  
 テグレーション研究センター  
 東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付  
 研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協 賛 (公社)日本金属学会 他  
 ■開催会場 東京大学生産技術研究所  
 An 棟 2階 コンベンションホール  
 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1  
 (最寄駅：駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)
- 参加登録・問い合わせ：東京大学 生産技術研究所 岡部研  
 学術専門職員 宮寄智子  
 (参加登録：okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)  
 (問い合わせ：tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

2024年度レアメタル研究会等の今後の予定

- 第114回 2025年1月10日(金) (2024年度 第4回)  
 ★貴金属シンポジウム(第12回)+新年会★(合同開催)  
 ■第115回 2025年3月21日(金) (2024年度 第5回)

- 第114回 2025年1月10日(金) 14:00～  
 An 棟 2F コンベンションホール  
 【オンライン配信(Zoom Webinar, YouTubeなど)は行わな  
 い予定です】

- ★貴金属シンポジウム(第12回)+新年会★ (合同開催)  
 テーマ：貴金属の製錬・リサイクル  
 午後2:00～  
 講演【敬称略】

★プログラムの順番等は変更する可能性があります★

- JX 金属の貴金属回収工程における Se, Te 回収について  
 (30分)

- JX 金属株式会社 金属・リサイクル事業部 技術部 主任技師 山口陽介  
 • 貴金属湿式回収プロセスでの白金族回収について(30分)  
 住友金属鉱山株式会社 金属事業本部東予工場 精金課 課長 土岐典久  
 • 貴金属市場の動向(仮)(30分)

- 田中貴金属工業株式会社 貴金属市場部 副部長 岡 賢  
 • Technology for peeling rare metals from precious metals  
 and e-waste(仮)(30分)

- UWin Nanotech Ltd. Founder and CEO Mr. Kenny Hsu  
 • PGM Recycling and the Hydrogen Economy(仮)(30分)  
 Executive Vice President Business Line Hydrogen Systems,  
 Heraeus Precious Metals Dr. Philipp Walter  
 ショートプレゼンテーション  
 午後6:00～  
 意見交換会+ポスター発表(+新年会)

@An 棟 1F レストランアープ

- 第115回 2025年3月21日(金) 14:00～  
 An 棟 2F コンベンションホール  
 リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar &  
 YouTube)のハイブリッド研究会  
 テーマ：バッテリーメタルの現状と将来  
 午後2:00～  
 講演【敬称略】

- レアメタルフリーあるいはレアメタル使用を最小化する電  
 池の動向と展望(仮)(60分)

株式会社テクノバ OB 井田和彦

- レアメタルの最近の話題(仮)(30分)  
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹  
 (他の人に代わる可能性もあり)

- ニッケル資源、製錬と需要、将来展望(60分)  
 東京大学 生産技術研究所 特任教授 黒川晴正

- このあと総合討論を予定  
 午後6:00～  
 研究交流会・意見交換会 @An 棟 2F ホワイエ

レアメタル研究会ホームページ  
[https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40\\_j.html](https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html)



日本金属学会誌掲載論文

Vol. 88, No. 12 (2024)

——特集「チタンおよびチタン合金のプロセス、組織、特性の最近の研究と発展」——

整形外科インプラント用 Ti-6Al-4V ELI 合金, Co-Cr-Mo 合金, SUS316L 鋼および Zr-1Mo 合金間のガルバニ腐食  
真中智世 堤 祐介 高田雄京  
陳 鵬 蘆田茉希 土井康太郎 片山英樹 埜 隆夫

Au スパッタリングと熱酸化の組み合わせによる Au 添加 TiO<sub>2</sub> 膜の作製と可視光照射下における抗菌性  
上田隆統志 古泉隆佑 上田恭介 伊藤甲雄 小笠原康悦  
金高弘恭 成島尚之

Ti-(10-20) mass% Nb 合金における準安定焼入れマルテンサイト組織の加熱と応力負荷による構造変化  
万谷義和 竹元嘉利

希土類金属の蒸気を利用するチタン中の酸素の直接除去  
大内隆成 赤石謙太 上村 源 岡部 徹

Ti-Nb 合金の冷却過程における酸素添加による等温の相形成促進  
小林千悟 岡野 聡

選択的レーザー溶融法により作製した Ti-6Al-4Nb-4Zr の組織変化と高温力学特性  
黒田知暉 増山晴己 戸田佳明 松永哲也 伊藤 勉  
渡邊 誠 小笹良輔 石本卓也 中野貴由 下条雅幸  
御手洗容子

B 添加および B 無添加の直方晶 (O + α<sub>2</sub>) 型 Ti-27.5Nb-13Al 合金の高サイクル疲労・超高サイクル疲労および (α + β) 型 Ti 合金と比較した疲労ストライエーション解析  
萩原益夫 北嶋具教

部分的にヤング率が異なる脊椎固定用 β 型チタン合金ロッドのコンセプトと製造プロセス  
仲井正昭  
成田健吾 小林公一 笹川圭右 新家光雄 長谷川和宏

Duplex α + α' 組織を呈す Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-Si 合金の優れた引張強度-延性バランス：実験研究と機械学習を援用した組織因子の影響  
イルビン セシュペ ポール ポーラン 長崎由佳  
田中莉久 松本洋明 ピンセント プレイ

—— 論 文 ——

応力下における電磁鋼板の鉄損特性に対する機械学習アルゴリズムの選定  
早川恭平 松井 功 濱口 巧 前口貴治



Materials Transactions 掲載論文

Vol. 65, No. 12 (2024)

——Overview——

**Raft Structure of Nickel Base Single-Crystal Superalloys**  
Takuma Saito, Hiroshi Harada,  
Tadaharu Yokokawa, Makoto Osawa, Kyoko Kawagishi  
and Shinsuke Suzuki

——Regular Article——

**Materials Physics**  
**Fabrication and Evaluation of Particulate Matter Purification Filter Using Plasma-Sprayed Catalyst Film on SUS316 Mesh**  
Maki Nakamura, Takaharu Minami and Masakuni Ozawa

**Microstructure of Materials**  
**Numerical Analysis to Evaluate the Effect of Cooling Rates on Microstructures in Casted Cu-Ni-Si Alloys by Phase-Field Simulation**  
Yuki Muto, Kazuki Kammuri, Junji Miyake, Machiko Ode,  
Tetsusei Kurashiki and Hiroaki Mori

**Effects of Ni Content on Particle Size of Secondary Phase in Cu-Based Alloys with Liquid Immiscibility by Laser-Melting**  
Hajime Kato, Hideaki Ikehata, Shinji Mitao,  
Hironori Aoyama, Kouji Tanaka and Tadashi Oshima

**Morphological Evolution of Eutectic and Electrical Conductivity in a Hypoeutectic Cu-2.7 at%Zr Alloy Deformed by Unidirectional- and Cross-Rolling**  
Kaito Ebihara, Takeshi Inamura,  
Naokuni Muramatsu, Ryoichi Monzen  
and Takahiro Kunimine

**Mechanics of Materials**  
**A Full-Process Method from Composition Design to Glass Forming Ability Prediction in Zr-Al-Co-Cu Metallic Glasses**  
Xinyue Wang, Xinyue Jiang,  
Yaojie Chao, Weimin Hao, Ning Chen, Shuang Yu,  
Ke Yin, Yu Pang and Dechuan Yu

**Effects of Mn Content on Microstructure and Mechanical Properties of Co-Free Medium Entropy Alloys in the Cr-Fe-Mn-Ni System**  
Mengke Niu, Naoyuki Hashimoto, Hiroshi Oka  
and Haotian Sun

**Materials Chemistry**  
**Solubility of Silver in FeO<sub>x</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub> Slag Coexisting with Silver and Silver Bromide at 1473 K**  
Hideaki Mizuno, Takashi Murata and Katsunori Yamaguchi

**Materials Processing**  
**Joint Properties of Al-11%Zn-3%Mg-1.4%Cu Alloy by Friction Welding and the Effect of Heat Treatment**  
Tomo Ogura, Keisuke Miyoshi,  
Shotaro Yamashita and Kazuyoshi Saida

**Fabrication of Magnetic Pulse Welding Sheets of Aluminum Alloy and GA Steel Plates Subjected to Film Removal Treatment and Their Welding Property**

Ryo Kanematsu, Takashi Sakai,  
Yuki Mizunuma, Ryosuke Yamagata, Keigo Okagawa  
and Takaomi Itoi

**Effect of Heat Treatment Temperature on Carbon Flux Characteristics Using Ultra-Rapid Carburizing above Eutectic Temperature**

Ryosuke Yamamoto and Akio Nishimoto

**Effects of Tetramethyl Silane Concentration on Amorphous SiCN Films Deposited by Microwave Sheath-Voltage Combination Plasma at High Substrate Temperatures**

Ippe Tanaka, Yuki Hatae and Yasunori Harada

**JIS ADC12 Aluminum Alloy Semi-Solid Slurry Preparation Technology by Applying Mechanical Vibration**

Yuichiro Murakami, Kenji Miwa,  
Masayuki Kito, Takashi Honda and Naoki Omura

**Preparation of Magnetite-Silica Composite by Non-Firing Solidification Method and Its Microwave Heating Properties**

Kento Ishii, Yuuki Yoshida, Daisuke Hayano  
and Masayoshi Fuji

**Engineering Materials and Their Applications**

**Effect of Firing Temperature on The Structural, Optical, and Electrical Properties of VO<sub>2</sub> Thin Films Deposited by Chemical Solution Deposition**

Tomonori Yamada, Masahiro Tahashi and Hideo Goto

**Compositional and Structural Analysis of Iron Phosphate Conversion Coatings by Soft X-ray Emission Spectroscopy**

Koki Itamoto, Kakeru Ninomiya, Hidekazu Fukushi,  
Hideyuki Taguchi, Keiichi Nakajima, Ei Uchiyama,  
Yusuke Miyazawa, Miku Ando, Sota Fukushima  
and Maiko Nishibori

**Environment**

**Sensing Stress Corrosion Cracking in Phosphorus Copper Tubes**

Takahito Nakajima, Hiroshi Tanimura,  
Kazuhiro Fukami and Kuniaki Murase

**Fabrication of Open-Channel Aluminum Alloys and Its Application to Heat Exchangers**

Hideo Nakajima, Tetsuro Ogushi and Tsuyoshi Takeichi

—*Technical Article*—

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

Yuya Chiba, Hiroaki Otsuka,  
Satoshi Amano, Junpei Inutsuka, Yuuji Iwasaki,  
Yasuhiko Inoue, Susumu Motomura, Atsumichi Kushibe,  
Takahiro Sawaguchi and Terumi Nakamura

—*Current Trends in Research*—

**Best Papers Awarded in 2023 in *Materials Transactions***

Zenji Horita

**Recent Research and Development in the Processing, Microstructure, and Properties of Titanium and Its Alloy**

Mitsuo Niinomi, Takayuki Narushima  
and Takayoshi Nakano

—*Rapid Publication*—

**Effect of Cooling Rate after Solution Heat Treatment on Aging Properties of Al-Zn-Mg Alloy**

Shunsuke Araki, Tatsuya Aono, Tetsuya Ando,  
Mami Mihara-Narita, Hideo Yoshida, Ken-ichi Ikeda  
and Yoshinori Tayu

**Mechanical Properties of Sn58Bi-Cu Composite Solder Filled with Copper Particles**

Myeong Jin Jung, Jeong Il Lee, Jong-Min Kim  
and Byung-Seung Yim

Announcement



まてりあ第64巻1号 予告

特集「最先端量子ビームで切り拓く熱電変換材料の研究最前線」

〔講義ノート〕固体相転移の熱力学と熱問題への応用 第1回：固体1次相転移の熱力学再訪 ……産業技術総合研究所 藤田麻哉

〔新技術・新製品〕

—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます)

## 2024年秋期(第175回)講演大会記録

2024年秋期講演大会は、9月18日(水)から20日(金)の期間、大阪大学豊中キャンパスにおいて開催した。また、9月25日(水)に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。

- 9月18日(水) 9:00~9:40 開会の辞, 各賞贈呈式(大阪大学 大学会館講堂)  
12:00~17:30 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  
10:00~17:35 各種シンポジウム講演, 共同セッション(全学教育推進機構 9会場)  
18:30~20:30 懇親会(千里阪急ホテル)
- 9月19日(木) 9:00~18:00 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション, 国際シンポジウム(全学教育推進機構 18会場)  
12:10~12:50 第18回企業ランチョンセミナー(3会場)
- 9月20日(金) 9:00~17:15 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演(全学教育推進機構 18会場)
- 9月18日~9月20日 総合受付(全学教育推進機構講義A棟 1階)  
付設機器・カタログ展示会(全学教育推進機構講義B棟 1階)
- 9月25日(水) 13:30~17:00 高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

### 開会の辞(9月18日)

中野貴由実行委員長より挨拶があり, 続いて榎学会長より開会の挨拶があった。

### 贈呈式(9月18日)

榎学会長の式辞に続き, 下記の贈呈式を行った。

- 第21回村上記念賞贈呈式 1名に対し賞状, 賞牌ならびに賞金贈呈。(受賞者; 本誌11号753頁)
- 第21回村上奨励賞贈呈式 3名に対し賞状ならびに賞金贈呈。(受賞者; 本誌11号753頁)
- 第34回奨励賞贈呈式 7名(学術部門6名, 技術部門1名)に対し賞状ならびに賞牌贈呈。(受賞者; 本誌11号754頁)
- 第47回技術開発賞贈呈式 1件10名に対し賞状ならびに楯贈呈。(受賞者; 本誌11号755頁)
- 第4回新進論文賞贈呈式 6編6名に対し賞状贈呈。(受賞者; 本誌11号756頁)
- 第14回まてりあ賞 3編13名(まてりあ論文賞2編, まてりあ啓発・教育賞1編)に対し賞状贈呈。(受賞者; 本誌11号758頁)
- 第3回特別功労賞贈呈式 1名に対し賞状贈呈。(受賞者; 本誌11号759頁)



~受賞者の皆様, おめでとうございます~

### 日本金属学会・日本鉄鋼協会合同懇親会(9月20日)

日時: 9月18日(水)18時30分~20時30分

場所: 千里阪急ホテル「仙寿」

(〒560-0082 豊中市新千里東町2-1)

参加者: 233名(本会への申込者・招待者161名)

- 開会の辞・司会 大阪大学教授 安田弘行  
大会実行委員長挨拶 大阪大学教授 中野貴由  
来賓挨拶 大阪大学総長 西尾章治郎  
日本金属学会会長挨拶 東京大学教授 榎 学  
日本鉄鋼協会会長挨拶・乾杯 日本製鉄(株)代表取締役社長 福田和久  
懇談  
閉会の辞 大阪大学統括理事・副学長 田中敏宏



中野大会実行委委員長のご挨拶



西尾章治郎 大阪大学総長のご挨拶

### 大会参加者

1,772名(事前: 1,569名, 後期(当日): 140名, 相互聴講: 63名)

- 有料申込数1,626名

正員672名, 学生員666名, 非会員一般112名, 非会員学生45名, 維持員会員社員59名, 協賛学協会(鉄鋼協会)会員9名

• 無料参加者数146名

受賞講演者・非会員基調講演・招待講演者・国際シンポジウム講演者53名, 高校生ポスター参加者21件, 65歳以上会員・名誉員72名

### 【学術講演会】(9月18日～20日)

最終講演件数1,055件

欠講7件(講演番号: 一般講演 No. 233, No. 234 公募シンポジウム S1.10 国際シンポジウム IS7 共同セッション J14 ポスターセッション P16, P170)

公募シンポジウム講演9テーマ207題(奨励賞受賞講演2題, 村上奨励賞受賞講演1題, 基調講演44題含む)

企画シンポジウム5テーマ 26題

国際シンポジウム10題

一般講演449題(奨励賞受賞講演4題, 技術開発賞受賞講演1題, 村上記念賞受賞講演1題, 村上奨励賞受賞講演2題, 招待講演2件含む)

共同セッション2テーマ29題

ポスターセッション317題

高校生ポスター 17題

講演会場 18会場(A～R会場)

### 【第43回ポスターセッション】(9月18日)

日時: 9月18日(水) 12:00～17:30

第1部 12:00～13:30

第2部 14:00～15:30

第3部 16:00～17:30

場所: 大阪大学豊中キャンパス大学会館, サイエンスコモンズ(〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1)

過去最多の317件のポスター発表が3部制で行われた。会期が3日間となり初日午後の開催となりシンポジウム講演と併催であったが, 大変多くの聴講者が来場し, ポスターセッション会場はいつもながら大変盛況であった。

優秀ポスター賞は今回から1次審査と2次審査の2段階審査で行われ, 審査対象となっている278件を審査した。審査の結果優秀ポスター賞の受賞者42名を決定し, 9月20日に受賞者を現地総合受付および本会講演大会ホームページで発表した。

(第43回優秀ポスター賞受賞者: 本誌11号760頁)

### 【第12回高校生ポスターセッション】(9月18日および9月25日)

日時・開催形態:

9月18日(水) 12:00～17:30

場所: 大阪大学豊中キャンパス(アッセンブリーホール, サイエンスコモンズ)

第1部 12:00～13:30

第2部 14:00～15:30

第3部 16:00～17:30

9月25日(水) 13:30～17:00

場所: オンライン 第1部 13:30～14:30

### 第2部 16:00～17:00

発表者が現地発表とオンライン発表のいずれかを選択し, 現地発表12件, オンライン発表5件の合計17件の高校生・高専学生(3年生以下)ポスター発表および審査を行った。審査結果は9月26日に講演大会ホームページにて発表し, 日本金属学会長賞1件, 最優秀賞1件, 優秀賞8件を授賞した。(63巻12号に掲載)

現地発表は第43回ポスターセッションと同じ会場で行い, オンライン発表では事前に発表者から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, Zoom ミーティング上で発表した。いずれの発表も熱心に取り組んだ研究を発表していた。発表した生徒は大学教員等からアドバイスを受け, 今後の研究の参考や励みになると喜んでいて。現地発表では発表者が通常のポスター発表や他校の高校生ポスター発表を聴講する姿があり, 発表者の意識の高さを感じられた。また, 今回も指導教員交流会(14:45～15:45オンライン)を実施し, 参加の感想や要望の聴取等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」21題(金属15題, 鉄鋼6題)は9月19日に金属学会C会場で開催した。

「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」27題(金属14題, 鉄鋼13題)は9月18日, 19日に金属会場Q会場で開催した。

### 【国際シンポジウム】

第3回国際シンポジウムを講演大会の2日目に, 「Advanced science and technology in magnesium and magnesium alloys」のテーマで, ハイブリッド形式で開催した。

日本から2名, 韓国から2名, インドから2名, インドネシアから1名, オーストラリアから2名, 台湾から1名の計10名の講演が行われた。国内外からのオンライン聴講者(6名)を含めて, 聴講者数は最大で40名程度であった。また, 国際シンポジウム終了後に, 講演者の懇親会を開催し, 交流を深めることができた。



～国際シンポジウム講演者の皆さん～

### 【付設機器・カタログ等展示会】(第50回)

機器展示18社の出展の協力を得た。各社のご厚意に感謝いたします。

常時開設 オンライン機器展示会

### 【第18回企業ランチョンセミナー】(9月19日)

昼休み時間帯に昼食(軽食)をとりながら, 講演大会参加者

に最新の技術情報を聴講いただく、ランチョンセミナーを開催し、以下の企業が30分程度のセミナーを行った。

9/19(木)

- オックスフォード・インストゥルメンツ(株)：参加者36名
- 日本電子(株)：参加者40名
- 物質・材料研究機構：参加者46名

#### 学生キャリアサポート企業展示

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展示を実施した。

- (株)豊田中央研究所
- 石福金属興業(株)
- (株)大阪チタニウムテクノロジーズ
- 福田金属箔粉工業(株)
- 大和工業(株)
- 合同製鉄(株)
- 日本軽金属(株)
- 産業技術総合研究所

#### 託児室

9月18日(水)～20日(金)に託児室を開設した。  
利用者数  
9月18日 5名、9月19日 7名、9月20日 6名  
利用人数に応じてシッター3～4名体制で実施した。

#### 第14回男女共同参画「女性会員の集い」(9月20日)

女性会員が昼休みの時間に集い交流・人脈作り・キャリアデザイン・職場の環境や人間関係で困ったこと等の意見交換を行う集いが開催された。参加者13名



～和気あいあいと～

#### 第22回 World Materials Day Award

材料系国際学協会連携組織である IOMMMS (International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies) では、World Materials Day を制定し、11月の第一水曜日に世界同時に、「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰している。今回は作品の応募がなく実施しなかった。

#### 大会雑記

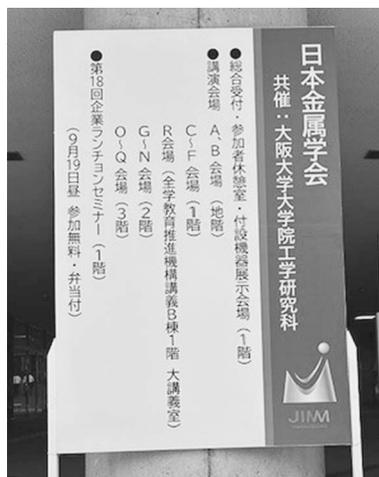
大阪大学豊中キャンパスでの講演大会は8年ぶり2回目の開催であった。今秋期講演大会から会期を3日間に戻しての開催となった。

9月18日のポスターセッションは過去最多の講演発表となり、2会場3部制で開催された。シンポジウム講演と併催であったが、大変多くの来場があり熱気に溢れていた。

講演は全学教育推進機構講義 A 棟および B 棟の18会場で開催した。共に開催した日本鉄鋼協会の会場は全学教育推進機構講義 C 棟での開催で隣接していたため、双方を行き来される参加者には便利であった。会期中は残暑大変厳しい天候でしたが、参加者の皆様におかれましてはご来場いただきましてありがとうございました。

懇親会は、「千里阪急ホテル」で開催した。近年減少傾向だった懇親会参加者は200名を超え、歓談で盛り上がりながら盛会裡に終了した。

大阪大学での日本金属学会講演大会開催に当たって、中野貴由委員長をはじめとして、安田弘行先生、土谷博昭先生、森浩亮先生の他、多くの実行委員の皆様には準備開始より長期にわたり大変なご尽力とご配慮をいただき、そのおかげで大会を盛会裡に運営することができました。お忙しい中を本会のために長期間を割き、諸般について万端のご協力をいただいた実行委員やアルバイト学生の皆様、大学関係者各位に、衷心より厚くお礼申し上げます。



# 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12月				
2～1.12	第15回社会人のための表面科学ベーシック講座(オンライン)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/04/detail.php?eid=00021	
2～4	The 22nd Asian BioCeramics Symposium (ABC2024) (第22回アジアバイオセラミックス会議)(北九州)	日本セラミックス協会生体関連材料部会	TEL 093-695-6025 tmiya@life.kyutech.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bseitai/ABC2024/index.html	
4～6	日本中性子科学会第24回年会(名古屋)	日本中性子科学会	jsns2024@phi.phys.nagoya-u.ac.jp https://www.jsns.net/jsns2024top	
5	日本表面真空技術部会2024年12月研究例会「金属積層造形の最新技術と適用検討」(東京+オンライン)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/41/index.php	60名 100名
5～6	第57回安全工学研究発表会(富山+ハイブリッド)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
5～6	第39回分析電子顕微鏡討論会(オンライン開催)	日本顕微鏡学会分析電子顕微鏡分科会	TEL 011-706-6768 bunseki.touron.39@gmail.com https://sites.google.com/view/bunseki-touron-39/	11.26
5～6	電気加工学会全国大会(2024)(姫路)	電気加工学会	TEL 086-251-8037 shinonaga@okayama-u.ac.jp http://www.jseme.or.jp/	
6	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	<b>fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/8GMnvbfTvFJBy1Mo8</b>	
9～11	第50回固体イオニクス討論会(豊中)	固体イオニクス学会	TEL 022-217-5341 ssij@ssj-j.org https://www.ssi-j.org/symp/ssij50/	
10	第133回シンポジウム「アルミニウム産業のCN・CEに向けた最新技術」(日大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=110	定員 60名
10～11	第50回腐食防食入門講習会(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/50.html	12.2
11	第441回講習会第30回最先端の研究室(工場)めぐり「精密測定機器開発の最前線—小坂研究所」(三郷)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp https://www.jspe.or.jp/custom-event/event-11722/	20名
11～12	第33回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム(FGMS-2024)(松山)	傾斜機能材料研究会	https://fgms.net/event-info/domestic-symposium/	10.11
11～13	2024年度 JCOM 若手シンポジウム(淡路島)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 JCOM2024wakate@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/index_4.html	
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	
12	関西支部材料セミナーテーマ3「金属材料の腐食損傷の基礎とその評価」(大阪大)(10号734頁)	日本金属学会関西支部	<b>TEL 06-6443-5326</b> <b>n-kansai@ostec.or.jp</b>	<b>募集 30名</b>
13	第55回 エンジニアリングセラミックスセミナー「エンジニアリングセラミックスの塑性変形・破壊の最新動向」(東大)	日本セラミックス協会	encera@cersj.org https://www.ceramic.or.jp/bkouon/index_j.html	定員 100名
13	第98回 塑性加工フォーラム「国産半導体技術を支えるものづくり」(東京+オンライン)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
13	関西支部第34回塑性加工基礎講座「入門 結晶塑性シミュレーション(実習付き)」(京大)	日本塑性加工学会関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	11.29
16	化学工学会エレクトロニクス部会シンポジウム(東京+オンライン)	化学工学会エレクトロニクス部会	https://scej-ele.org/contents/04.html	12.9
17	講習会「もう一度学ぶ機械材料学—金属材料の基礎—(オンライン)	日本機械学会	TEL 03-4335-7610 https://www.jsme.or.jp/event/24-136/	12.6
17	第5回 MSJ 講習会「脳磁計測装置の50年～SQUID 脳磁計から OPM 脳磁計まで～」(オンライン)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/education/msjworkshop_magneticsensors_5/	12.3
19	東海支部「本多光太郎および湯川記念特別合同講演会」(名大)(本号877頁)	東海支部	<b>tokai@numse.nagoya-u.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/bELFhnsi47ui9TZRA</b>	<b>12.11</b>
20	第32回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織」入門編(状態図と組織)(第14回)(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=115	定員 40名
20	2024年度 関東支部 見学会(千葉)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	<b>harumoto.t.aa@m.titech.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/3T9LmxqTKW3pM2mV9</b>	<b>12.2</b>
20～21	第35回信頼性シンポジウム—安心・安全を支える信頼性工学の新展開—(電通大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 RESYMPO2024@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
23	第140回金属物性研究会ならびに軽金属学会支部研究会(本号876頁)	日本金属学会中国四国支部	<b>tanutake@okayama-u.ac.jp</b>	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
<b>2025年1月</b>				
10	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号881頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
14	第6回MSJ講習会「モータ駆動システムの磁気工学」(オンライン)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/education/ msjworkshop_magneticsensors_6/	12.27
17	AM研究会第11回委員会・セミナー(阪大中之島センター)	日本金属学会AM研究会	https://ji-am.jp TEL 06-6879-4448	
21~22	第32回超音波による非破壊評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会(東京)	TEL 03-5609-4015 beppu@jsndi.or.jp https://sciences.jsndi.jp/	
23	R6年度 学術討論会・技術交流フォーラム合同講演会(オンライン)(本号877頁)	日本金属学会東海支部	TEL 052-789-3372(4640) tokai@numse.nagoya-u.ac.jp https://forms.gle/8pubgj7awuaFieDMA	1.19
23	腐食防食部門委員会第358回例会(大阪)	日本材料学会	jimu@office.jsms.jp	1.16
23~24	第30回電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(沼津)	応用物理学会 薄膜・表面物理分科会他	TEL 03-3828-7723 soka@jsap.or.jp http://www.edit-ws.jp/	200名
23~24	第46回安全工学セミナー(東京+オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
24	第61回X線材料強度に関する討論会「LabX線はどこまで進化するか」(草津)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
25	第30回高専シンポジウム(岡山)	高専シンポジウム協議会	https://kosen-sympo.org/	
28~29	第31回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(Mate2025)(横浜)	スマートプロセス学会他	TEL 06-4798-2078 mate@glm-p.com https://glm-p.com/mate2025/index.htm	
29	第73回材質制御研究会 金属材料の高機能化を目指して~耐水素脆性~(広工大)(本号876頁)	日本金属学会中国四国支部	TEL 082-921-4454 hino@me.it-hiroshima.ac.jp	1.22
30	第200回腐食防食シンポジウム「防食塗装の国際標準の重要性とその適用の現状」(東京)	腐食防食協会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/200.html	
30~31	第53回ガスタービンセミナー(東大+オンライン)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.or.jp http://www.gtsj.org/	
31	表面科学技術研究会2025 半導体産業の現状と課題—これからの日本を支える半導体技術—(大阪+オンライン)	表面技術協会関西支部・日本表面真空学会関西支部	TEL 075-823-1794 https://www.jvss.jp/chapter/kansai/hyou-mengijutsu2025/	1.24
31	マテリアル戦略総合シンポジウム2025(MatISS 2025)(東京)	物質・材料研究機構	TEL 029-859-2777 MatISS@nims.go.jp https://nanonet.mext.go.jp/page/matiss_2025.html	
<b>2025年2月</b>				
6~7	オンライン教育講座「結晶学の基礎」(本号879頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	1.30
15	第57回「若手フォーラム」-ポスターセッション併催-(岡山)(本号877頁)	日本金属学会中国四国支部	TEL 086-251-8027 tanutake@okayama-u.ac.jp	1.31
20	第442回講習会「技術のタスキで未来へつなぐ—JIMTOF2024に見るサステナビリティ」(中央大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp https://www.jspe.or.jp/custom-event/ event-12140/	60名
<b>2025年3月</b>				
4	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織」中級編(時効析出)(第13回)(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=116	定員 40名
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)(11号798頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	講演 12.26 参加事前 2.19
8, 13	第13回「高校生・高専学生ポスター発表」(11号809頁)	日本金属学会		1.8
12	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織」応用編(加工・熱処理による組織変化)(第11回)(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=117	定員 40名
12~14	2024年度量子ビームサイエンスフェスタ(つくば)	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所他	TEL 029-219-5300 qbsf2024-office@ml.j-post.kek.jp https://www2.kek.jp/imss/qbsf/2024/	
17	第28回 電磁気応用部門・磁粉・浸透・目視部門・濡れ試験部門合同シンポジウム「表面探傷技術による健全性診断, 品質検査」(東京)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp http://www.jsndi.jp/	
18	第50回組織検査用試料の作り方(組織の現出)講習会「鉄鋼材料・非鉄金属材料・表面改質処理および異常組織材」(東京)	材料技術教育研究会	TEL 047-431-7451 http://www.mskoshukai.jp jimukyoku@mskoshukai.jp	3.4
21	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド)(本号871頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2025年5月				
14～16	2025年度塑性加工春季講演会(姫路)	日本塑性加工学会	<a href="http://www.jstp.or.jp">http://www.jstp.or.jp</a>	
22～23	第41回希土類討論会(倉敷)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 office@kidorui.org <a href="http://www.kidorui.org/discussion.html">http://www.kidorui.org/discussion.html</a>	
2025年6月				
15～19	第41回熱電変換国際会議および第7回アジア熱電変換国際会議(仙台)	第41回熱電変換国際会議組織委員会他	ict2025@intergroup.co.jp <a href="https://ict2025.jp">https://ict2025.jp</a>	事前 3.31
2025年7月				
1～4	COMPSAFE2025(第4回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	日本計算工学会他	compsafe2025@compsafe2025.org	
2～4	第62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 happyokai@jrias.or.jp <a href="https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/">https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/</a>	
2025年8月				
10～13	17th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids(PNCS17)(つくば)	第17回非晶質固体の物理に関する国際会議組織委員会	pncs17-committee-request@ml.nims.go.jp <a href="https://amorphous.tf.chiba-u.jp/pncs2025/index.html">https://amorphous.tf.chiba-u.jp/pncs2025/index.html</a>	
2025年9月				
17～19	日本金属学会秋期講演大会(北海道大学)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	64-5号 会告予定



- 2025年度の会費納入をお願いする時期となりました。ご継続のお手続きをお願いいたします。
- 2025年春期講演大会講演申込締切りは、12月26日(木)17時です。年内中ですので、ご注意ください。(※講演申込と同時に参加申込が必要です)(本号869頁)



おめでとうございます

下記の会員の方々が、令和6年秋に受章されましたのでお知らせいたします。  
おめでとうございます。

**勲章 瑞宝章 中綬章**

- 教育研究功労 京都大学名誉教授 牧 正志 氏

**褒章 紫綬褒章**

- 材料工学研究功績 東北大学名誉教授 小池 淳一 氏
- 材料工学研究功績 現 (国研)物質・材料研究機構理事長 寶野 和博 氏
- 材料科学研究功績 現 京都大学教授 田中 功 氏

(都道府県順)

本書は1995年の初版、2008年の新版（改訂版）に続き、2024年に新版増補版が出版された、鑄造工学に関するロングベストセラーの教科書の最新版と言える。2024年新版では、最近の研究の流れに合わせ球状黒鉛鑄鉄に関する章（第4章 球状黒鉛鑄鉄）が追加されている。鑄造工学は様々な学問分野を集めた総合工学とされてきたが、本書は数度の改訂を経る中で、鑄造工学を総合工学から“理論学問という一つの学問体系”に高めた教科書であるとさえ言える。1995年に初版が出されてから鑄造を取り巻く状況が目まぐるしく変わる中であって、本書の基礎的な構成に大きな変化が無いことは、そのことを本書が実証している一つの顕れと言える。近年は、読書離れと出版不況、さらに学生の理系離れが指摘され、教科書でさえその出版が厳しい状況にある。経験工学の代表の一つとも言われる鑄造工学に関しては、さらに厳しい現実に直面しているといっても過言ではない。本書では、鑄造工学をめぐる現状を認識しつつ、学

生たちにも容易に受け入れてもらえるような理論学問としての入門に加え、若手の現場技術者がそのまま利用できるような現象を忠実に記述している。さらに、現場での理解の助けになるよう、温度の単位として「℃」と「K」を併用するなど、工夫が随所にみられる。本書は、単なる他書の寄せ集めやブラッシュアップではなく、いかに学生の学問的好奇心を満たすのか、現場の技術者にとっても分かりやすい記述とするか、という著者の思いが貫かれている。本書が鑄造工学に関する圧倒的な著者の知識量を背景としていることは言うまでもないが、かかる著者の思いと他に例を見ない工夫こそが、本書を材料工学・鑄造に関わる全ての者にとって必読の書と言えるロングベストセラーにしている要因と拝察される。

（兵庫県立大学大学院工学研究科 永瀬丈嗣）

〔2024年 A5判 産業図書株式会社 209頁, ISBN-10:4782843011, ISBN-13:9784782843017〕



◇ 事務局年末年始休業のお知らせ ◇

2024年12月29日(日)～2025年1月5日(日)

◇事務局より◇ 本年は大変お世話になりました。来年もどうぞ宜しくお願い致します。

2023, 2024年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

編集委員長	田中秀明					
編集副委員長	鈴木真由美					
委員	李誠鎬	池尾直子	石川史太郎	井田駿太郎	岩岡秀明	植木洸輔
	上田恭介	宇部卓司	大塚誠	岡弘	小笹良輔	川崎由康
	川西咲子	河野義樹	木口賢紀	北原弘基	北村一浩	國枝知徳
	小嶋隆幸	小島淳平	小山元道	齊藤雄太	佐々木秀顕	佐藤豊人
	篠原百合	新里恵多	鈴木賢紀	高橋弘樹	高山直樹	竹田修
	田辺栄司	Chang Tso-Fu Mark	塚田祐貴	圓谷貴夫	寺西亮	土井康太郎
	豊木研太郎	永井崇	永瀬丈嗣	袴田昌高	長谷川誠	八田武士
	藤井進	細川明秀	本間智之	松浦昌志	松垣あいら	松本洋明
	三井好古	宮崎秀俊	宮部さやか	森谷智一	諸岡聡	山田亮
	山中謙太	山本知一	横井達矢	吉年規治	米田鈴枝	

まてりあ 第63巻 第12号 (2024) 発行日 2024年12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

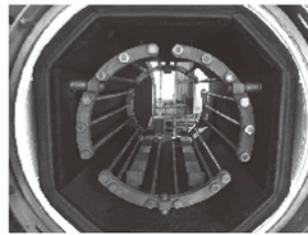
〒104-0033 東京都中央区新川 1-28-23

# 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

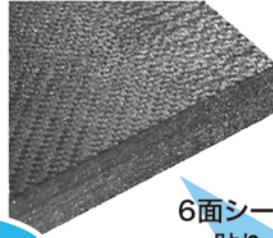
高温真空炉



カーボンヒーター



シール



6面シート  
貼り



カーボンフェルト

**CO<sub>2</sub>削減**



## 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](mailto:mck@mechanical-carbon.co.jp)



# チタンなど、 高融点金属の受託溶解は お任せください!

響いてこそ技術  
**SINFONIA**

## ガスアトマイズ受託溶解

高純度な金属粉末製造を実現

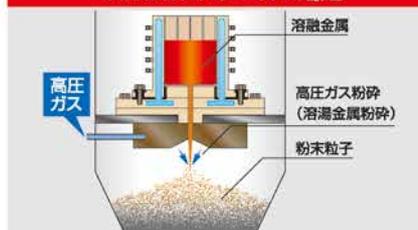
3種類のアトマイズ方式

### 3種類のアトマイズ方式をご用意!

- スカルガスアトマイズ方式
- 電極方式
- ディスクアトマイズ方式 **NEW**



### スカルガスアトマイズの原理



### 高融点金属粉末の用途例

金属3Dプリンタ

航空機部品にも活用可能



金属成膜

スパッタリング

各種粉末

冶金製品

シンフォニアテクノロジー株式会社

産業インフラ営業部

〒105-8564 東京都港区芝大門1-1-30 芝NBFタワー

☎03-5473-1832

受託溶解の  
詳細はこちら



