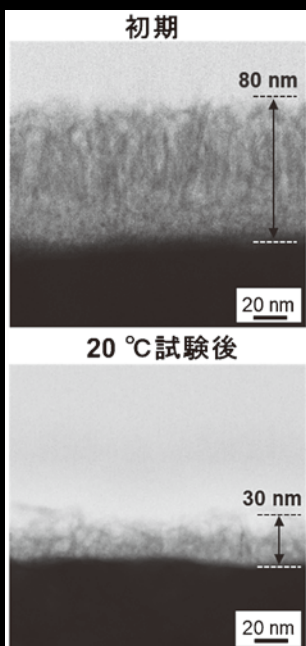


Materia Japan

まてりあ Vol.62

MTERE2 62 (6) 349 ~ 426 (2023)

No.6
2023



・ 会長就任のご挨拶

紹介 2023 年, 2024 年度役員・各支部

インタビュー 未来を担う研究者たち

・ 新しい水素脆化防止法の提案

・ 水電解電極としてのステンレス鋼

入門講座 永久磁石の保磁力メカニズム
第 2 回 熱緩和過程と保磁力

実学講座 金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価
2-1 力学特性 2-1-2 クリープ試験

・ 先達からのお便り

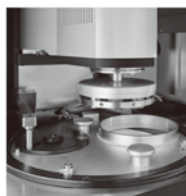
・ 科学館めぐり 竹中大工道具館 (神戸市)

大型サンプル用研磨 ポリッシング装置 XL シリーズ

QATM の製品ラインナップの中には、大型サンプルを処理できる製品が充実しています。

QATM
QUALITY ASSURED

Q グラインド XL



Q グラインド XL

Q グラインド XL は、研磨砥石で効率よく平面研磨を行う床上型の頑丈な平坦（面出し）研磨専用装置です。

< 主な特徴 >

- 床上型の頑丈な粗研磨専用装置
- 強力な中央荷重研磨ヘッド
- 研磨ヘッドの回転数を選択可能
- 研削量制御：0.1 ~ 5mm（表示精度：0.1mm）
- 砥石を定期的に自動ドレッシング
- プロセスの効率化を推進する自動サンプル洗浄システム（オプション）
- タッチパネル式ユーザーインターフェイス
- 強固なアルミニウム筐体と粉体塗装

Q ポル XL



Q ポル XL

Q ポル XL は、Φ 300~350 mm の作業ホイールが使用できる自動研磨・ポリッシング装置です。特に大型サンプルの研磨・ポリッシング作業に適した構造および機能が充実しています。

< 主な特徴 >

- Φ 300~350mm 作業ホイールの使用が可能なパワフルな駆動
- ステンレス鋼で保護された作業領域
- 正確で効率の良い作業を可能にする研削量測定システム
- プロセス中に左右に往復移動可能なポリッシング・ヘッド
- 最適な研磨剤供給システムの構築が可能なモジュール方式
- 大型サンプルに対応できる広範囲の荷重（50 ~ 750N）
- プロセスの効率化を推進する自動サンプル洗浄システム（オプション）
- 研磨剤を均一に供給する可動式供給アーム

ボールミルといえば、レッチェ 全13種類

レッチェでは掲載製品のほかに多数のボールミルを取り扱っております。必要な容量や粒度に合わせてお選びいただけます。

Retsch
MILLING SIEVING ASSISTING

NEW

微量 / 少量粉碎

レッチェ ミキサーミル MM400

コンパクトな卓上型で、従来のホモジナイザー処理だけでなく、DNA/RNA やタンパク質抽出のための細胞破碎にも適しています。

最大 99 時間という長い粉碎時間が設定可能になりメカノケミストリーなどの研究用途にも幅広く対応できます。

▶ 粉碎ジャーのサイズ：1.5 ml ~ 50 ml



温度重視



冷却も加熱もできる
レッチェ ミキサーミル MM500 コントロール
-100℃ ~ 100℃の温度コントロール

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

パワー重視



ミキサーミル最大級 35Hz の粉碎力
レッチェ ミキサーミル MM500 NANO
長時間粉碎（最長 99 時間）にも対応しメカノケミストリー、メカノケミカルなどの反応系の用途に最適

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（少）重視



複数サンプル同時粉碎
レッチェ ミキサーミル MM500 VARIO
* 2 個架けタイプの MM400/200 もございます
粉碎ジャーを最大 6 個同時にセット。生体試料や細胞破壊にも適しています。

▶ 粉碎ジャーのサイズ：1.5 ml ~ 50 ml

温度重視



凍結粉砕に特化
レッチェ 凍結粉砕機 クライオミル
液体窒素中で常に -196℃ の凍結粉砕

▶ 粉碎ジャーのサイズ：5 ml ~ 50 ml

パワー + 温度重視



メカニカルアロイングやナノレベルの微粉砕に最適
レッチェ 高エネルギーボールミル Emax
水冷式クーリングシステムの採用で、試料の過熱を防ぎながら、強力なエネルギーで連続的に粉砕。

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（中〜多）重視



ボールミルのクラシック
レッチェ 遊星ボールミル PM 100
* 2 個架け PM200、4 個架け PM400 もございます
公転と自転を組み合わせた遠心力で、従来のボールミルでは実現不可能な強力な粉砕力

▶ 粉碎ジャーのサイズ：12 ml ~ 500 ml

VERDER
scientific

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

東京本社 〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8
TEL: 03-5367-2651 FAX: 03-5367-2652
info@verder-scientific.co.jp

大阪営業所：〒559-0031 大阪市住之江区南港東8丁目2番52号
TEL: 06-6655-0003 Fax: 06-6629-8080

名古屋営業所：〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-9-14 伏見スクエアビル5F
TEL: 03-5367-2651（東京本社）Fax: 03-5367-2652（東京本社）

6

2023
Vol.62
No.6

まてりあ

巻頭言	会長就任のご挨拶 榎 学	349
紹介	2023年, 2024年度役員 351 2023年, 2024年度会長, 副会長, 理事, 監事, 副委員長 354 代議員 352 2023年度支部長, 支部事務所 355 2023年度任意合議機関の委員長, 副委員長 354	
インタビュー	未来を担う研究者たち 井田駿太郎	356
最近の研究	水素の局所分配制御によるアルミニウム合金の水素脆化・応力腐食割れ防止 戸田裕之 清水一行 藤原比呂 平山恭介 Yafei Wang Yuantao Xu Jiangwei Tang 359 力学特性を低下させかねないと思われた粗大な脆性粒子, 実用合金で利用されていないナノ粒子にも, 水素脆化や応力腐食割れの防止という機能性があることを発見! ステンレス鋼上へのナノ構造触媒層の形成とアルカリ水電解用酸素発生電極への応用 轟 直人 368 表面処理によるステンレス鋼上へのナノ構造触媒層形成とアルカリ水電解水素製造装置用酸素発生電極としての応用に関する研究について紹介.	
入門講座	永久磁石の保磁力メカニズム 第2回 熱緩和過程と保磁力 広沢 哲 375 永久磁石の保磁力について, 材料畑の直感的視点で解説. 連載第2回は磁化反転過程のエネルギー障壁と保磁力との関係について.	
実学講座	金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価 2-1 力学特性 2-1-2 クリープ試験 森田孝治 381	
先輩からのお便り	退職して19年・普通の老人生活 北野保行 392	
科学館めぐり	竹中大工道具館(神戸市) 田中秀明 396	
スポットライト	ダニエル電池の負極に Mg を用いると? 山本大樹 三浦幸太 曾田旺宏 藤原悠太郎 399	
本会記事	会告 401 2022年度事業報告 411 2022年度決算 411 2023年度事業計画 416 2023年度収支予算書 416 掲示板 420 会誌・欧文誌 6 号目次 421 次号予告 422 新入会員 423 行事カレンダー 424	

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

【今月の表紙写真】 ステンレス鋼上に生成した水酸化ナノフェイバ触媒の耐久性試験前後の STEM 像. (轟 直人著 372頁 図 5(c)より改変.)

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 本会は, 本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております. 本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は, (一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい. 但し, 企業等法人による社内利用目的の複写については, 当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては, その必要はありません.(社外頒布目的の複写については, 許諾が必要です.)
 権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
 〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <http://www.jaacc.jp/>
 複写以外の許諾(著作物の引用, 転載, 翻訳等)に関しては, 直接本会へご連絡下さい.

Materia Japan

Volume 62 Number 6 June 2023

Contents

Opening Statement

In an Appointment of President for JIMM Manabu Enoki 349

Introductions

Board Members for 2023 & 2024 351

Interview Article Researchers Bearing the Future Shuntaro Ida 356

Recent Research

Suppressing Hydrogen Embrittlement and Stress Corrosion Cracking in Aluminum Alloys via Local Hydrogen Partitioning Hiroyuki Toda, Kazuyuki Shimizu, Hiro Fujihara, Kyosuke Hirayama, Yafei Wang, Yuantao Xu and Jiangwei Tang 359

Fabrication of Nanostructured Catalyst Layers on Stainless Steel and Its Application to the Oxygen Evolution Electrode for Alkaline Water Electrolysis Naoto Todoroki 368

Introduction Lectures to Beginners

Mechanisms of Coercivity of Permanent Magnets: 2. Thermal Relaxation and Coercivity Satoshi Hirosawa 375

Practical Courses

Experimental Guides for Metallic Materials : 2. Measurement and Evaluation of Material Properties: 2-1 Mechanical Properties : 2-1-2 Creep Tests Kouji Morita 381

Letters from Seniors

19 Years after Retirement; Ordinary Elderly Life Yasuyuki Kitano 392

Welcome to Science and Technical Museums

TAKENAKA CARPENTRY TOOLS MUSEUM in Kobe city Hideaki Tanaka 396

Spotlights

What If Mg Is Used for the Negative Electrode of the Daniel Cell ? Taijyu Yamamoto, Kota Miura, Akihiro Soda and Yutaro Fujiwara 399

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)

©2023 The Japan Institute of Metals and Materials

Notice for Making a Copy of This Publication

Please obtain permission from the Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC) to which the copyright holder has consigned the management of the copyright regarding reprographic reproduction.

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

Website <https://www.jaacc.org> E-mail info@jaacc.jp FAX +81-33475-5619

Users in countries and regions of which Reproduction Rights Organizations (RROs) are listed on the above website are requested to contact the respective RPOs directly to obtain permission.

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

会長就任のご挨拶

公益社団法人 日本金属学会 第71代会長 榎 学

このたび皆様方のご推挙により、中野貴由博士の後を引き継ぎ、日本金属学会の会長を務めさせていただく事になりました。本会の有する長い歴史と輝かしい実績を考えますと、大変光栄に存じるとともに、責任の重さに身が引き締まる思いです。本会副会長の河村能人博士、加藤秀実博士、吉永直樹博士をはじめとして、理事、代議員、委員、支部および会員の皆様、ならびに山村英明事務局長および事務局の皆様のお力をお借りし、金属および関連材料分野の発展のために、微力ながら全力を尽くす所存です。皆様方のご支援とご鞭撻を心よりお願い申し上げます。



本会は1937年に本多光太郎先生のご提唱により創設され、定款に謳われているように「金属及びその関連材料の学術及び科学技術の振興に関する事業を行い、不特定かつ多数の者の利益の増進に寄与することを目的」としております。現在に至るまで、金属材料を中心として、セラミックス材料や高分子材料、複合材料などの周辺材料も含む材料全般に関する研究成果を国内外に向けて発信してきました。特に近年では、材料の基礎学理や基盤技術を一層深めながら、社会ニーズの劇的な多様化に対応すべく、社会基盤材料、環境・エネルギー材料、電子・情報・通信材料、生体・医療・福祉材料など、産業応用を見据えた基礎から応用まで多岐に渡る材料科学・工学の研究発信の場として貢献しております。

またこのような新しい時代の要請に基づく本会の変革は、歴代会長によって行われて参りました。新たな維持員制度による財政基盤の強化、学会ビジョンの設定による将来像の提示、時流に即した講演大会セッションおよび分科の大幅改変、役員選出制度と表彰制度の抜本的改革、広報推進WG(後に広報委員会)の設置による情報発信強化、など本会の活動の活性化のための改革が順次進められて参りました。さらに中野前会長の主導のもとに、新たなロゴマークの制定等による広報活動の強化、時代を先取りした産学協創研究会の創設、講演大会における国際セッションによる国際的ハブ機能の強化など、様々な新たな施策も進めております。

一方最近では、脱炭素社会の実現に向けた取り組みを通じた経済社会システム全体の変革であるGX(グリーントランスフォーメーション)、ビッグデータなどのデータとAIやIoTを始めとするデジタル技術を活用した業務全般の変革であるDX(デジタルトランスフォーメーション)など、大幅な社会変革の流れが生じております。2050年カーボンニュートラルは材料研究者に突き付けられた壮大なチャレンジでもあり、一方材料工学の新たな飛躍のチャンスでもあると認識しております。またデータサイエンスも取り込んだ新たな学際融合領域における材料科学・工学研究の推進も強力に求められているかと思えます。そこで研究開発・イノベーション・社会貢献・人材育成の協業の観点から、本会の学会としてのエコシステムの実現の在り方を皆様と一緒に探索していきたいと存じます。With/post コロナ時代において、会員の皆様とともに材料分野の新たな時代を構築すべく、改めて中長期的な展望に立って本会のさらなる飛躍のための具体的なアクションに向けて、皆様のご理解とご協力をお願いする次第です。

○ 刊行事業におけるプレゼンスの向上

会報、会誌、欧文誌の刊行は学会活動の根幹をなすものであり、今後も会員サービスの柱として高い水準を維持していく必要があります。また、外部に向けて学会のプレゼンスを強く示すものともなります。堀田善治欧文誌編集委員長のご尽力により Materials Transactions のインパクトファクターは近年上昇しておりますが、他競合誌との熾烈な競争に打ち勝って、本会の世界に向けた情報発信力を将来にわたって維持するためには、会員各位からのさらなる良質な論文の投稿がどうしても不可欠です。一層のご協力を切にお願いする次第です。

○ 講演会・講習会事業の一層の拡充

2022年秋期、2023年春期講演大会を皆様のご協力のもと対面で実施することができました。ご尽力いただいた各位に改めて感謝する次第であり、またこのようなオンサイトでの交流は学術の発展においては不可欠なものと改めて認識させられました。引き続き講演大会が魅力的なものとなるように、順次新たな企画の拡充を検討していきます。他方、オンラインを活用した講習会の有用性も明らかになってきており、適宜オンサイトとオンラインを併用して、会員の活発な交流と教育講座等の実施による人材育成を一層推進いたします。

○ 調査・研究事業におけるプレゼンスの向上

材料科学・工学分野における研究の先導を産・学・官が連携して取り組んでいくことを目的とした産学協創研究会の活動を開始していますが、規模を拡大して次世代を担う若手研究者の一層の活性化を目指します。また、国際情勢を鑑みると国際学術交流はやや難しい時代ですが、従来から行ってきた TMS との若手研究者の相互派遣や KIM とのシンポジウム共催による連携強化を一層進めるとともに、秋期講演大会の国際セッションの拡充に努めて、本会の特にアジアでのプレゼンスの一層の向上を図ります。

○ 人材育成と他学協会との連携強化

会員数減少は本会の継続的な活動にとって危機的な状況をもたらすことが懸念されており、様々な対策が講じられてきました。これまでに金属および関連材料に興味を持つ若い世代を育てることを目指し、学校教育の支援や青少年向けイベントの開催、若手交流等の人材育成に関する事業を行っており、これらをさらに拡充いたします。また、ダイバーシティの促進も重要課題であり、男女ともに学会で活躍できる環境作りのための男女共同参画事業の推進に向けて、これまで以上に対策を講じる必要があります。また、中長期的な視点に立って、例えば子供やその保護者に向けた材料科学・工学のアピール等を検討していきます。同様な課題を抱える他学協会とも強力に連携して課題に取り組みます。

○ 広報活動の拡充

以上のアクションを広く周知するためには、新たに導入したロゴマークの普及、SNS 等による情報発信がより重要になります。広報委員会による IT 広報活動の推進を引き続き行うとともに、アウトリーチ活動も含めた広報活動の一層の拡充を図ります。

以上、これまでの改革をもとに本会の活動を新たな時代に対応した形で活発化し、材料科学・工学を代表する学会としてプレゼンスを示し、今後の世界の材料研究の発展に貢献できるよう努力して参ります。会員各位ならびに事務局さらには各支部の皆様のご理解、ご協力、ご鞭撻をお願い申し上げます。

2023年4月21日

紹介(2023年, 2024年度)

(2023年4月21日)

公益社団法人日本金属学会2023年, 2024年度役員(会長, 副会長, 理事, 監事)

(50音順)

会長



榎 学
東京大学教授

副会長



加藤 秀実
東北大学教授

副会長



河村 能人
熊本大学センター長・教授

副会長



吉永 直樹
日本製鉄㈱フェロー

理事



枝川 圭一
東京大学教授



及川 勝成
東北大学教授



大野 宗一
北海道大学教授



茅野 林造
㈱日本製鋼所副本部長



木村 好里
東京工業大学教授



兒島 洋一
㈱UACJ 副所長



小山 敏幸
名古屋大学教授



高村 仁
東北大学教授



長滝 康伸
JFE スチール㈱研究技監



中野 貴由
大阪大学教授



波多 聡
九州大学教授



林 重成
北海道大学教授



松田 健二
富山大学教授



松本 洋明
香川大学教授



安田 秀幸
京都大学教授



安田 弘行
大阪大学教授

専務理事



山村 英明
日本金属学会事務局長

監事



後藤 光宏
住友電気工業㈱所長



正橋 直哉
東北大学教授

公益社団法人日本金属学会 2023年、2024年度会長、副会長、理事、監事、代議員 (50音順、敬称略)

会長(代表理事)

榎 学 東京大学大学院工学系研究科 教授

副会長

加 藤 秀 実 東北大学金属材料研究所 教授

河 村 能 人 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長・教授

吉 永 直 樹 日本製鉄㈱ フェロー

理 事 (21名)

枝 川 圭 一 東京大学生産技術研究所 教授

榎 学 東京大学大学院工学系研究科 教授

及 川 勝 成 東北大学大学院工学研究科 教授

大 野 宗 一 北海道大学大学院工学研究院 教授

加 藤 秀 実 東北大学金属材料研究所 教授

茅 野 林 造 ㈱日本製鋼所新事業推進本部 副本部長

河 村 能 人 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長・教授

木 村 好 里 東京工業大学物質理工学院 教授

兒 島 洋 一 ㈱UACJ R&D センター 副所長

小 山 敏 幸 名古屋大学大学院工学研究科 教授

高 村 仁 東北大学大学院工学研究科 教授

長 滝 康 伸 JFE スチール㈱スチール研究所 研究技監

中 野 貴 由 大阪大学大学院工学研究科 教授

波 多 聡 九州大学大学院総合理工学研究院 教授

林 重 成 北海道大学大学院工学研究院 教授

松 田 健 二 富山大学学術研究部 教授

松 本 洋 明 香川大学創造工学部 教授

安 田 秀 幸 京都大学大学院工学研究科 教授

安 田 弘 行 大阪大学大学院工学研究科 教授

吉 永 直 樹 日本製鉄㈱ フェロー

専務理事

山 村 英 明 日本金属学会事務局長

* 理事の任期：2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

監 事 (2名)

後 藤 光 宏 住友電気工業㈱アドバンストマテリアル研究所 所長

正 橋 直 哉 東北大学金属材料研究所 教授

監事の任期：*2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

代議員 (84名)

北海道地区 (3名)

大 野 宗 一 北海道大学大学院工学研究院教授

橋 本 直 幸 北海道大学大学院工学研究院教授

林 重 成 北海道大学大学院工学研究院教授

東北地区 (7名)

及 川 勝 成 東北大学大学院工学研究科教授

加 藤 秀 実 東北大学金属材料研究所教授

亀 岡 聡 東北大学多元物質科学研究所教授

齋 藤 嘉 一 秋田大学大学院理工学研究科教授

高 村 仁 東北大学大学院工学研究科教授

野 村 直 之 東北大学大学院工学研究科教授

平 塚 貞 人 岩手大学理工学部教授

関東地区 (31名)

石 橋 良 ㈱日立製作所研究開発グループ主任研究員

伊 藤 公 久 早稲田大学理工学術院基幹理工学部教授

韋 富 高 日本冶金工業㈱技術研究所部長

上 路 林太郎 物質・材料研究機構構造材料研究拠点主幹研究員

枝 川 圭 一 東京大学生産技術研究所教授

榎 学 東京大学大学院工学系研究科教授

大 村 朋 彦 日本製鉄㈱技術開発本部主席研究員

長 田 俊 郎 物質・材料研究機構構造材料研究拠点主幹研究員

梶 谷 敏 之 日本製鉄㈱技術開発本部部長

苅 谷 義 治 芝浦工業大学工学部教授

北 蘭 幸 一 東京都立大学大学院システムデザイン研究科教授

木 村 好 里 東京工業大学物質理工学院教授

小 山 和 也 千葉工業大学工学部教授

佐 藤 成 男 茨城大学大学院理工学研究科教授

重 里 元 一	日本製鉄(株)技術開発本部部長	林 幸	東京工業大学物質理工学院教授
柴 田 曉 伸	物質・材料研究機構構造材料研究拠点グループリーダー	平 田 秋 彦	早稲田大学大学院基幹理工学研究科教授
多 田 英 司	東京工業大学物質理工学院教授	廣 澤 涉 一	横浜国立大学大学院工学研究院教授
田 村 隆 治	東京理科大学先進工学部教授	松 野 泰 也	千葉大学大学院融合理工学府教授
土 屋 由美子	東芝エネルギーシステムズ(株)横浜事業所シニアエキスパート	宮 澤 靖 幸	東海大学工学部教授
堤 祐 介	物質・材料研究機構構造材料研究拠点主席研究員	遊 佐 覚	(株)IHI 技術基盤センター主幹
寺 前 俊 哉	(株)プロテリアルグローバル技術革新センター技師長	横 田 毅	JFE スチール(株)薄板セクター部主任部員(部長)
仲 道 治 郎	JFE スチール(株)スチール研究所部長	吉 田 英 弘	東京大学大学院工学系研究科教授
野 田 和 彦	芝浦工業大学工学部教授		

東海地区 (9名)

東 昌 史	日本製鉄(株)技術開発本部室長	濱 田 典 彦	愛知製鋼(株)開発本部主査
井 手 信 介	JFE スチール(株)スチール研究所グループリーダー	前 嶋 貴 士	(株)豊田中央研究所データ駆動型プロセス研究領域主任研究員
小 山 敏 幸	名古屋大学大学院工学研究科教授	松 本 章 宏	産業技術総合研究所磁性粉末冶金研究センター主任研究員
嶋 陸 宏	岐阜大学工学部教授	渡 辺 義 見	名古屋工業大学物理工学科教授
戸 高 義 一	豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授		

北陸信越地区 (5名)

大 鳥 範 和	新潟大学理学部教授	松 田 健 二	富山大学学術研究部教授
榑 和 彦	信州大学学術研究院(工学系)教授	渡 邊 千 尋	金沢大学理工研究域教授
福 元 謙 一	福井大学附属国際原子力工学研究所教授		

関西地区 (15名)

岸 田 恭 輔	京都大学大学院工学研究科准教授	藤 原 弘	立命館大学理工学部教授
佐 野 恭 司	福田金属箔粉工業(株)技術本部部長	村 上 俊 夫	(株)神戸製鋼所技術開発本部室長
瀧 川 順 庸	大阪公立大学大学院工学研究科教授	安 田 秀 幸	京都大学大学院工学研究科教授
鳥 塚 史 郎	兵庫県立大学大学院工学研究科教授	安 田 弘 行	大阪大学大学院工学研究科教授
仲 井 正 昭	近畿大学理工学部教授	山 本 正 敏	山陽特殊製鋼(株)粉末事業部事業部長
中 野 貴 由	大阪大学大学院工学研究科教授	山 本 隆 一	三菱重工業(株)総合研究所主席研究員
西 山 佳 孝	日本製鉄(株)技術開発本部部長	横 田 明 善	(株)島津製作所分析計測事業部課長
春 名 匠	関西大学化学生命工学部教授		

中国四国地区 (5名)

岡 田 達 也	徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授	松 木 一 弘	広島大学大学院先進理工系科学研究科教授
陳 中 春	鳥取大学大学院工学研究科教授	松 本 洋 明	香川大学創造工学部教授
濱 田 純 一	日鉄ステンレス(株)研究センター室長(部長)		

九州地区 (5名)

河 村 能 人	熊本大学先進マグネシウム国際研究センターセンター長・教授	宮 原 広 郁	九州大学大学院工学研究院教授
高 須 登実男	九州工業大学大学院工学研究院教授	村 上 恭 和	九州大学大学院工学研究院主幹教授
波 多 聡	九州大学大学院総合理工学研究院教授		

本部枠代議員 (4名)

茅 野 林 造	(株)日本製鋼所新事業推進本部副本部長	長 滝 康 伸	JFE スチール(株)スチール研究所研究技監
兒 島 洋 一	(株)UACJ R&D センター副所長	吉 永 直 樹	日本製鉄(株)フェロー

代議員の任期：2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

任意の合議機関の委員長，副委員長(2023年度)

*は理事以外.

委 員 会	委 員 長	副委員長	業 務 概 要
1. 刊行事業に係る委員会 (1) 会報編集委員会 (2) 会誌編集委員会 (3) 欧文誌編集委員会 (4) 学術図書類刊行委員会	田 中 秀 明* 佐 藤 英 一* 堀 田 善 治* 枝 川 圭 一	鈴 木 真由美* — — —	会報の刊行に関する業務 会誌の刊行に関する業務 欧文誌の刊行に関する業務 学術図書類の刊行に関する業務
2. 講演会・講習会事業に係る委員会 (1) 講演大会委員会 (2) 講演大会企画委員会 (3) 本多記念講演委員会 (4) セミナー・シンポジウム委員会	林 重 成 林 重 成 林 重 成 及 川 勝 成	安 田 弘 行 安 田 弘 行 安 田 弘 行 土 谷 博 昭*	講演大会の実施に関する業務 講演大会の企画に関する業務 本多記念講演に関する業務 セミナー・シンポジウム・講習会に関する業務
3. 調査・研究事業に係る委員会 (1) 企画委員会 (2) セルフガバナンス委員会* (3) 長期展望委員会 (4) 調査・研究委員会 (5) 調査・研究推進委員会 (6) 戦略推進委員会 (7) 人材育成委員会 (8) 男女共同参画委員会 (9) 国際学術交流委員会	榎 学 榎 学 杉 本 諭* 木 村 好 里 木 村 好 里 木 村 好 里 中 野 貴 由 上 田 正 人* 河 村 能 人	河 村 能 人 山 村 英 明 — 大 野 宗 一 大 野 宗 一 大 野 宗 一 — 西 畑 ひとみ* 安 田 秀 幸	事業に関する重要な企画に関する業務 セルフガバナンスに関する業務 事業に係る長期展望に関する業務 調査・研究事業に関する業務 調査・研究事業の企画に関する業務 材料戦略活動に関する業務 人材育成活動に関する業務 男女共同参画活動に関する業務 国際学術交流・国際会議に関する業務
4. 表彰・奨励事業に係る委員会 (1) 名誉員検討委員会 (2) 学会賞委員会 (3) 各種賞検討委員会 (4) フェロー選考委員会	吉 永 直 樹 榎 学 小 山 敏 幸 榎 学	加 藤 秀 実 河 村 能 人 松 田 健 二 —	名誉員に関する業務 学会賞に関する業務 各種賞に関する業務 フェローに関する業務
5. 庶務に係る委員会 (1) 広報委員会	宮 本 吾 郎*	—	広報に関する業務

他団体との任意の合議機関の委員長，副委員長

委 員 会	委 員 長	副委員長	事 業 概 要
1. 刊行事業に係る委員会 (1) Materials Transactions 編集委員会	堀 田 善 治*	—	Materials Transactions の共同刊行に関する業務
2. 講演会・講習会に係る委員会 なし	—	—	
3. 調査・研究事業に係る委員会 (1) 材料連合協議会 (2) 材料戦略(企画)委員会 (3) 男女共同参画委員会(合同)	— — 上 田 正 人*	— — 西 畑 ひとみ*	材料系学協会と日本学術会議との連携活動に関する業務 材料戦略委員会の企画に関する業務 日本鉄鋼協会との連携による男女共同参画活動に関する業務

2023年度支部長，支部事務所

1. 北海道支部

支 部 長 上田幹人
(北海道大学大学院工学研究院 教授)
副 支 部 長 林 重成
(北海道大学大学院工学研究院 教授)
支部事務所 〒060-8628 札幌市北区北13条西 8 丁目
北海道大学大学院工学研究院
☎/FAX 011-706-6345
E-mail: jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp
山田 亮

2. 東北支部

支 部 長 福山博之
(東北大学多元物質科学研究所 教授)
支部事務所 〒980-8579 仙台市青葉区片平 2-1-1
東北大学多元物質科学研究所
☎ 022-217-5178
E-mail: miwa.sasaki.d1@tohoku.ac.jp
佐々木美和

3. 関東支部

支 部 長 藤居俊之
(東京工業大学物質理工学院 教授)
副 支 部 長 木村好里
(東京工業大学物質理工学院 教授)
支部事務所 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 S8-4
東京工業大学物質理工学院
☎ 03-5734-3141
E-mail: fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp
福島 彩

4. 東海支部

支 部 長 上岡悟史
(JFE スチール(株)鋼管・鋳物研究部 部長)
支部事務所 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
名古屋大学大学院工学研究科マテリアル工学系
専攻内
☎ 052-789-3372
E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp
堀田依里

5. 北陸信越支部

支 部 長 武田雅敏
(長岡技術科学大学大学院工学研究科 教授)
副 支 部 長 井藤幹夫
(福井工業大学工学部 教授)
支部事務所 〒930-8555 富山市五福3190
富山大学大学院理工学研究部
☎/FAX 076-445-6839
E-mail: matsuda@eng.u-toyama.ac.jp
松田健二(教授)

6. 関西支部

支 部 長 宇都宮 裕
(大阪大学大学院工学研究科 教授)
支部事務所 〒550-0004 大阪市西区靱本町 1-8-4
(一財)大阪科学技術センター
ニューマテリアルセンター
☎ 06-6443-5326
E-mail: n-kansai@ostec.or.jp
八尾秀樹/森 知佐子

7. 中国四国支部

支 部 長 岡田達也
(徳島大学大学院社会産業理工学研究部 教授)
支部事務所 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1
徳島大学大学院社会産業理工学研究部 理工学
域 機械科学系
E-mail: hisazawa.hiromu@tokushima-u.ac.jp
久澤大夢

8. 九州支部

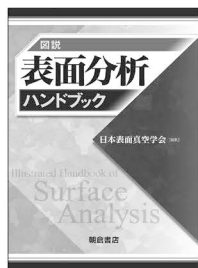
支 部 長 河村能人
(熊本大学先進マグネシウム国際研究センター
センター長・教授)
副 支 部 長 石丸 学
(九州工業大学大学院工学研究院 教授)
副 支 部 長 金子賢治
(九州大学大学院工学研究院 教授)
支部事務所 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1
熊本大学先進マグネシウム国際研究センター
☎/FAX 096-342-3506
E-mail: tkiguchi@kumamoto-u.ac.jp
木口賢紀(教授)

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。

生産プロセスにおけるIoT、ローカル5Gの活用

三瓶 政一、阪田 史郎、ほか70名
A4判・約500頁 2023年6月発刊
定価：88,000円(税込み)
アカデミック割引価格：33,000円(税込み)

発行所名：(株)技術情報協会
ISBN：978-4-86104-954-5

〒141-0031
東京都品川区西五反田2-29-5
日幸五反田ビル8F
TEL：03-5436-7744
FAX：03-5436-7745
URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

歩留まり改善、稼働率改善に向けた要因分析、機械学習、ディープラーニングに必要なデータ処理、データ活用注目した改善活動、活用と仕組み化、現場設備の「つなぐ」と「見える化」、製造現場のIoT導入の課題と解決例、製造DX・GX等の取り組みを解説。

次世代高速通信に対応する光回路実装、デバイスの開発

並木周、村上 雅之、ほか62名
A4判・約628頁 2022年11月発刊
定価：88,000円(税込み)
アカデミック割引価格：33,000円(税込み)

発行所名：(株)技術情報協会
ISBN：978-4-86104-901-9

〒141-0031
東京都品川区西五反田2-29-5
日幸五反田ビル8F
TEL：03-5436-7744
FAX：03-5436-7745
URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

光導波路材料向け感光性樹脂の設計・応用、省エネ・高速通信に向けたシリコン導波路-ポリマー導波路間の光接続、シリコン光導波路と高効率な光ファイバ接続を実現する変換光ファイバ、光電変換デバイス、シリコン集積デバイスなど、次世代光通信に向けたデバイス開発と通信技術動向を一冊に凝縮。

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、12月号(12/1発行)に掲載致します。

広告掲載の
お問い合わせ・お申込み

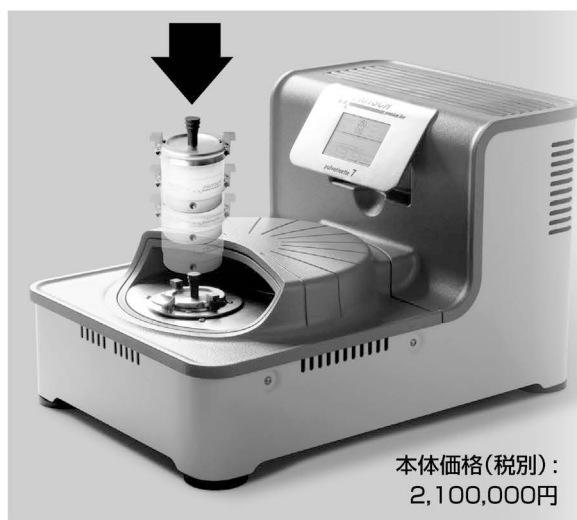
株式会社 明 報 社

〒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

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.



本体価格(税別):
2,100,000円

容器がセットされる様子。

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。



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):
2,600,000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):
1,150,000円

微量の試料を 対象に



本体価格(税別):
1,270,000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。メノー、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ド、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

ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
純 金 属			高 純 度 金 属			中 間 合 金		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	銅	P>14.5%	粒 状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒 状	マンガン	Mn 25%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉 末	ビスマス	99.999%	粒状100g入	マグネシウム	Mg 50%	約800gインゴット
銀	99.99%	粒 状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム	Cr 10%	約1kgインゴット
ポロнокリスタル	99.4%	3~8mm小塊	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄 片 状	テルル	Te 50%	〃
ポロノアモルファス	95~97%	粉 末	無 酸 素 銅	99.99%	10×10×1mm	コバルト	Co 10%	〃
ビスマス	99.99%	針 状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25×25×2mm	ニッケル	Ni 30%	〃
コバルト粒(ロシア産)	99.3%	粒 状	ガリウム	99.9999%	粒状25g入	鉄	Fe 10%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25×25×10mm	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	チタン	Ti 50%	〃
金属クロム	99%	塊 状	インジウム	99.999%	粒状100g入	ジルコニウム	Zr 50%	〃
電解クロム	99%	薄 片 状	インジウム	〃	約100g塊	ボロン	B 2%	粒 状
クロム粉	99%	粉末500g入	マンガン	99.999%	薄 片 状	アルミ	Cu 40%	約5~7kgインゴット
電気銅	99.99%	約25×50×10mm	錫	99.999%	粒状100g入	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小 片 状	ア ン チ モ ン	99.9999%	約100g塊	アルミマンガン	Mn 10%	約5kgインゴット
電解鉄(アトミロンYL)	〃	〃	ア ン チ モ ン	〃	約100g塊	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テ ル ル	99.9999%	粒状100g入	アルミニウム	Cr 5%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	テ ル ル	〃	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kgインゴット
電 解 鉄 粉	99%	粉末1kg入	亜 鉛	99.999%	粒状100g入	アルミシリコン	Si 25%	〃
ハフニウム	99.6%	スポンジ小塊	亜 鉛	〃	約100g塊	アルミコバルト	Co 5%	〃
インジウム	99.99%	塊 状	亜 鉛	99.9999%	粒状100g入	アルモリブデン	Mo 5%	〃
マグネシウム200	99.9%	約200g塊	亜 鉛	〃	約100g塊	アルミタングステン	W 2.5%	〃
マグネシウム100(プリン型)	99.9%	約100g塊	チ タ ン	99.8%	5φ×150mm	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
電解マンガン	99.9%	薄 片 状	高純度シリコンスクラップ	99.999%	塊 状	アルミ鉄	Fe 50%	塊 状
モリブデン粉	99.9%	粉 末	レアアースメタル			アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
ニオブグラニュー	99.9%	3~10mm小塊	イ ッ ト リ ウ ム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
ニオブ粉	〃	粉 末	ラ セ オ ジ ム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	3~10mm小塊状
電気ニッケル	99.99%	25×25×10mm	ネ オ ジ ム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
ニッケルペレット	99.97%	6~12mm球状	サ マ リ ウ ム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
レニウム粉	99.99%	粉 末	イ ッ テ ル ビ ウ ム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	1~30mm小塊状
ルテニウム粉	99.9%	〃	テ ル ビ ウ ム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	塊 状
アンチモン	99.9%	塊 状	ジ ス ブ ロ シ ウ ム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	塊 状
金属シリコン(中国産)	99%	〃	ホ ル ビ ウ ム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	1~30mm小塊状
金属シリコン(ブラジル産)	〃	〃	エ ル ビ ウ ム	〃	〃	燐	P 5%	インゴット
錫インゴット	99.99%	約1kgインゴット	ガ ド リ ニ ウ ム	〃	〃	Uアロイ(低融点合金)		
錫 粒	〃	粒 状	ツ リ ウ ム	〃	〃	Uアロイ 47	融点47±2°C	約500gインゴット
タンタル塊	99.9%	3~10mm小塊	ル テ チ ウ ム	〃	〃	Uアロイ 60	60±2°C	〃
タンタル粉	〃	粉 状	セ リ ウ ム	〃	塊 状 の み	Uアロイ 70	70±2°C	〃
テルル	99.99%	小 球 状	ユ ー ロ ピ ウ ム	〃	〃	Uアロイ 78.8	78.8±2°C	〃
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ミ ッ シ ュ メ タ ル	TRE>97%	5.4φ×6mm 200g入	Uアロイ 91.5	91.5±2°C	〃
チタン板	JIS 1種	250×250×1mm	フェロアロイ			Uアロイ 95	95±2°C	〃
バナジウム粉	99.7%	3~10mm小塊	フェロモリブデン	Mo 60%	3~10mm小塊状	Uアロイ 100	100±2°C	〃
バナジウム	〃	粉 末	フェロニオブ	Nb 60%	10~30mm 〃	Uアロイ 124	124±2°C	〃
タングステン粉	99.9%	〃	フェロバナジウム	V75~85%	10~30mm	Uアロイ 150A	150±2°C	〃
タングステンスクラップ	99%	板 状	(太陽鋳工製品)	B 20%	1~30mm 〃			
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット	フェロボロン	Ca30%Si60%	小 塊 状			
亜鉛 粒	〃	粒 状	カルシウムシリコン	P20~28%	塊 状			
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊	フェロホスホル(リン鉄)					

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

「社名」または「大学名」、および「所属と名前」、個人の方は「名前」
「郵便番号・住所・電話・FAX」・「商品名・純度・形状・希望数量」
見積・注文でお急ぎの場合は「至急」と明記して下さい。

FAX (03)
3294-9336

株式会社 **平野清左衛門商店**
〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL(03)3292-0811

商品の詳細はホームページでご覧になれます。
<http://1921seizaemon.jp/>

●土曜・日曜・祭日休業 ●手形取引はいたしません
●輸出はせず国内取引のみ

未来を担う研究者たち

vol.1

次世代超高温材料の 創生を目指して

井田 駿太郎 Shuntaro Ida

東北大学大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻
助教 (2022年11月時点)



インタビュー動画は
こちら



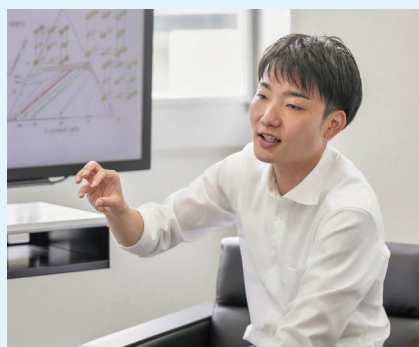
優れた超高温材料を目指して、B1型炭化物である炭化チタン(TiC)の靱性向上のための研究をしています。TiCは低密度(約5 g/cm³)であるにも関わらず、融点が3000℃以上であることから超高温材料として有望ですが、室温における脆さが大きな課題です。現在、TiCは切削工具やサーメットの材料の硬化相(強化相)としても使用されていますが、TiCを大量に導入すると材料が脆くなってしまいます。その結果、TiCの使用範囲は大幅に制限されています。一方で、現在最も広く使われている高温材料であるNi基超合金のNi₃Alは材料中に70%程度まで多量導入が可能です。これはNi₃Al自体に変形能があり、脆くないことに起因します。したがって、TiCの脆さを克服できれば、これからのCO₂ゼロエミッション社会に向け抜本的なエネルギー源の変化が予想される中で、それに耐えることのできる超高温材料の開発につながるのではないかと考えています。

私はこのB1型炭化物の脆さの克服を目指して、非化学量論性をキーワードに研究を進めています。TiCは異種金属の占有や空孔を形成することができるため、これらに伴い物性(融点、弾性率など)が変化します。私はこの変化を利用し、物性を制御できれば、脆さを克服する炭化物の設計ができるのではないかと考え、実験だけではなく、第一原理計算などの計算科学を合わせて研究を進めています。

現状ではTiCは靱性が低いと考えられていますが、当研究室で研究開発を進めているMoSiBTiC(モシブチック)合金はTiCを混ぜることにより靱性が高くなるという結果が得られています。もしかすると、TiCはそれほど靱性が低いのではないのかもしれませんが、他の金属の合わせ方次第なのかもしれません。非化学量論性をもったTiCの物性や機械的性質をさらに解明することで、超高温材料への道が拓けるのではないかと考えています。次世代材料として活用されるまでにはまだまだ長い道のりかもしれませんが、この挑戦を続けていきます。

さまざまな金属材料研究者との出会いを通じて

日本金属学会では日本中の金属材料研究者と交流をすることができます。日本金属学会の最大のメリットは金属学をベースとしつつ、研究内容が異なる研究者が相互理解を深められると感じています。また、若手にもさまざまなチャンスを多くいただき、名前や研究内容を広く知っていただける機会は若手研究者にとって非常に貴重です。例えば、学生時代に金属間化合物のセッションに参加した際には多大な功績を残した研究者や若手の研究者と熱のあるディスカッションをさせていただきました。そして、その後の交流会では同世代の研究者とのつながりを持つことができました。



このような日本金属学会での交流を通じ、構造金属材料の若手研究グループ「CO₂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」を日本金属学会の支援で発足できました。本研究グループでは力学特性と耐環境特性それぞれの学術バックグラウンドを持つ若手研究者が、同じテーマを異なる視点で議論することにより、新しい発想や課題を見出す機会とし、新たな観点からの共同研究を進めています。今後のCO₂ゼロエミッション社会に向けてインフラの劇的な変化が求められる中、構造材料の抜本的な見直しも必要になります。例えば、CO₂排出量削減のためには構造金属材料の見直しが不可欠です。日本において主なCO₂排出は発電(4.2億トン)や自動車(1.8億トン)および鉄鋼(1.4億ト

ン)で、全体の65%を占めます。2050年カーボンニュートラル達成に向けた発電の脱炭素化においては、エネルギー源の置き換えに伴う構造金属材料の抜本的な見直しがなされるはずですが、また、水素などの新しいエネルギー源の置き換えや使用環境の極限化が進行することにより、材料への環境負荷はますます厳しくなっていきます。



例えば、水素を貯蔵する水素タンクは水素脆化が懸念され、材料の変形や破壊、疲労等がどのように進むのか、そしてそれらの現象にどのように対処するのが求められています。また、水素燃焼時に材料は、高温高压の水蒸気環境下で長時間使用されるため、化石燃料を燃焼させる場合よりも材料への環境負荷が大きくなるはずですが、したがって、CO₂ゼロエミッション社会の実現には力学特性分野と耐環境分野の連携と融合がこれまで以上に必要となると考えています。本若手研究グループのメンバーには私のように力学特性の研究をしている者のほか、高温酸化など耐環境性を研究している者がいます。彼らは皆、学生の頃に日本金属学会を通じて知り合ったメンバーで、それぞれ北海道大学、東京工業大学、東北大学、京都大学やNIMS(国立研究開発法人物質・材料研究機構)などで活躍しています。また、本グループではアカデミックな研究者と企業の研究者とが連携し、研究機関、大学に在籍する研究者が企業の工場を視察させていただくことにより、現場から新たな課題を見出すなどの活動を行う予定です。CO₂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という目的を同じくするものが切磋琢磨しながら、研究現場と産業の現場をつなぐことで、さらなる議論と共同研究に励みたいと思います。

研究会ではすでに耐熱鋼に窒素を材料表面から加える共同研究を開始しています。表面から導入した窒素による傾斜機能化により耐環境性だけでなく、機械的性質も改善できるのではないかと期待に胸を膨らませています。

未来へ向かって 金属研究にかける夢

私にとって、金属研究は楽しいことも苦しいこともあります。仲間とともに取り組んでいける野球のようなチーム競技だと思っています。個人プレーももちろん重要ですが、チームで取り組み、一つの目標に向かい達成をしていく要素も多くあると感じます。どんな研究も一人で目標を達成することはできません。したがって、材料分野における研究者として世界をリードできる人材となることを目指すと同時に、教育者として学生を引っ張っていきながらも一緒に学びを深め、共に成長し、優れた人材を輩出していくことに寄与したいと思っています。また、今後も日本金属学会を通じて様々な研究者と共に金属材料分野の発展に貢献するため努力していきます。

(取材：2022年8月 東北大学にて)



Profile 井田 駿太郎 博士(工学)

2009年3月 私立穎明館高等学校卒業
2013年3月 東京工業大学金属工学科卒業
2015年3月 東京工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻修士課程修了
2018年3月 東京工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻博士課程修了
2018年4月 東京工業大学物質理工学院研究員
2018年5月 東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻助教
現在に至る
専門分野 超高温材料, TiC, 高温材料, 金属間化合物

〈日本金属学会活動〉

2019年4月-現在 日本金属学会 までりあ編集委員
2021年3月-現在 日本金属学会東北支部 支部委員
2022年4月-2024年3月 日本金属学会 若手研究グループ「CO₂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」代表者

本インタビューは2022年8月の内容で、本会ホームページにも掲載されております。 <https://jimmm.jp/wakate/ida.html>
本内容に関するお問い合わせは日本金属学会までご連絡をお願いいたします。



未来を先導する
領域を開拓し、
世界に発信する

公益社団法人 The Japan Institute of Metals and Materials

日本金属学会

2023年
秋期
講演大会
(第173回)

ポスターセッション

会期

2023年 **9/19** 火

会場

とやま自遊館

〒930-0805 富山県富山市湊入船町9番1号

記念講演、一般講演、公募シンポジウム、
企画シンポジウム、共同セッション

2023年

会期

9/20 水 ~ **22** 金

会場

富山大学 五福キャンパス

〒930-8555 富山県富山市五福3190

公募シンポジウム

S1: 材料変形素過程のマルチスケール解析 (VI)

Multi-scale analysis of elementary processes in plasticity (VI)

S2: 水素エネルギー材料X

Hydrogen Energy Materials - X

S3: ハイエントロピー合金の材料科学(X)

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

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IV

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

S5: Additive Manufacturingの材料科学II:超温度場材料創成学

Materials Science of Additive Manufacturing II: Creation of Materials by Superthermal Field

S6: 機能コアの材料科学 IV

New Materials Science on Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores, IV

S7: データ創出・活用による磁性材料の研究開発

Digital Transformation Initiative R&D for Magnetic Materials

S8: 極限環境対応構造材料のためのマテリアルDX (I)

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

S9: ワイドギャップ結晶の材料科学と高温プロセスングV

Materials Science and high temperature processing of widegap materials V

企画シンポジウム

K1: 自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・

第5回自動車関連材料合同シンポジウム

「モビリティの革新に貢献する材料技術の最新動向」

Recent Trends in Materials Technology Contributing to Mobility Innovation

K2: 若手科学者へ贈る研究のヒントVI~未踏領域へ到達するために~

Gifts from pioneers to young scientists VI~ To hitch your wagon to star ~

K3: 中学高校生向け金属体験学習

Hands-on learning on metals and materials for junior high and high school students

K4: 国内のマテリアル戦略とインフォマティクス応用

Materials Informatics and Materials Strategies

講演申込締切

●共同セッション

2023年 **6/26** 月 **17** 時

●一般

●公募シンポジウム

●ポスターセッション

2023年 **7/7** 金 **17** 時



◇ 詳細は、本号会告（401 頁）または本会ホームページをご覧ください。
～ 皆様のご参加をお待ちしております。～

問合先

公益社団法人日本金属学会

TEL 022-223-3685

講演大会係

annualm@jimm.jp

<https://jimm.jp/>

水素の局所分配制御によるアルミニウム合金の水素脆化・応力腐食割れ防止

戸田 裕之^{*1)} 清水 一行^{**} 藤原 比呂^{*2)} 平山 恭介^{***}
Yafei Wang^{*3)} Yuantao Xu^{*4)}, **** Jiangwei Tang^{*4)}

1. アルミニウムの水素脆化・応力腐食割れ防止法

アルミニウム合金では、固相と液相との間に20倍近い水素溶解度のギャップがある。また、固相表面の自然酸化膜は、金属アルミニウムより水素透過性が100～2000倍低いとされる⁽¹⁾。これらを主な要因として、加工熱処理を経たアルミニウム合金製品には、固溶限をはるかに超える水素が液相から持ち来される⁽²⁾。また、アルミニウムの新生面が大气に露出すると、大气に含まれる水蒸気から水素が侵入する⁽³⁾。さらに、アルミニウムの弾塑性変形に高弾性係数を有する表面酸化物膜の弾性変形は追従できず、その様な新生面露出は容易に起こり得る。特に、腐食や金属疲労などによる亀裂が発生すると、亀裂先端では常に外部環境から水素が供給されることになる。

ところで、アルミニウム合金の中でも高強度なAl-Zn-Mg系(7000系)では、第二次世界大戦直前の開発当初から応力腐食割れ(以下、SCC)が最大の懸案とされた。実験的な探索により、CrやCuを添加するとSCCを抑制できることがわかり、超々ジュラルミンとして零式艦上戦闘機等に採用された話はよく知られている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。Al-Zn-Mg系では水素脆化も問題となる⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾が、この合金系のSCCは、水素脆化の機構で生じることが知られている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。Al-Zn-Mg系合金の高い水素脆化・SCC感受性と実用合金の比較的高い水素濃度や使用中の水素侵入のため、現在でも、高強度アルミ

ニウム合金を利用するためには、十分な水素脆化・SCC防止策を講じる事が欠かせない。例えば、過時効処理⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾やRRA(復元再時効)処理⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾は、効果的で実用的なSCC防止法として知られている。他にも、粒界の形状制御⁽¹⁶⁾、粒界・粒内の析出物の制御⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾、粒界ポア⁽¹⁸⁾、CuやAgの添加(粒界の電気化学的性質を制御するとされる)⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽¹⁹⁾、Sc, Cr, Zr, Yb, Pr等の微量添加による再結晶抑制⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽¹²⁾⁽²⁰⁾⁻⁽²⁹⁾などが報告されている。

ところが、たとえこれらの処理を施したとしても、水素濃度が高い場合や応力集中部が存在する場合には、水素脆化・SCCが生じるとの報告がある⁽¹¹⁾⁽³⁰⁾。過時効処理では12～20%程度の強度低下を伴うにも拘わらず、Knightらは、条件によってはその効果は乏しいとしている⁽³¹⁾。また、RRA処理はより有効な方法ではあるが、これもSCC等を完全に防止できるものではない⁽¹⁴⁾。つまり、上述の各種水素脆化・SCC防止法は決して特効薬ではなく、それらが有効に機能する内在および侵入水素量やミクロ組織、力学条件等の限度や範囲が存在する。それらの多くは、経験的・実験的に見出されたもので、物理的な機構は学術的に解明されているとは言い難い。水素は、最も小さな元素であり、局所的な水素分布を可視化したり分析するのは現在でも容易ではない。これがその様な学術的理解を妨げている様に思われる。そこで本報では、アルミニウムの水素脆化挙動の理解とその防止法に焦点を絞って解説したい。

* 九州大学大学院工学研究院機械工学部門；1)主幹教授 2)助教 3)特任准教授 4)特任助教(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

** 岩手大学理工学部物理・材料理工学科；助教

*** 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻；助教

**** 上海交通大学先進鉄鋼・材料院；准教授

Suppressing Hydrogen Embrittlement and Stress Corrosion Cracking in Aluminum Alloys via Local Hydrogen Partitioning; Hiroyuki Toda*, Kazuyuki Shimizu**, Hiro Fujihara*, Kyosuke Hirayama***, Yafei Wang*, Yuantao Xu**** and Jiangwei Tang* (*Department of Mechanical Engineering, Kyushu University, Fukuoka. **Department of Physical Science and Materials Engineering, Iwate University, Morioka. ***Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto. ****Institute of Advanced Steels and Materials, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai)

Keywords: *hydrogen embrittlement, hydrogen trapping, T phase, aluminum alloys, microtomography, stress corrosion cracking*

2023年1月25日受理[doi:10.2320/materia.62.359]

2. アルミニウム中の水素分配および水素脆化機構の推定

既報で紹介した様に⁽³²⁾、我々は、転位、原子空孔、粒子、結晶粒界など、Al-Zn-Mg合金で水素をトラップし得る全てのナノ・マイクロ構造のバルク試験片中の3D/4D分布をX線イメージングにより直接・間接に計測・解析した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。さらに、山口と都留等は、各トラップサイトの水素トラップ能を第一原理計算により求めている⁽³³⁾⁻⁽³⁸⁾。 η' -MgZn₂析出物の内部は、最高でも0.08 eV/atomの水素結合エネルギーしかなく、水素をトラップしない⁽³²⁾。一方、析出物とアルミニウム母相との界面は、整合界面で0.35 eV/atom、半整合界面で0.55 eV/atom(最大値)の水素結合エネルギーを持つ。整合ないし半整合の析出物/母相界面には自由体積がほとんどなく、これまで、その水素トラップ能は低いと見られていた。しかし彼らの計算により、整合・半整合界面は、意外にも強い水素トラップ能を有することが明らかになった⁽³³⁾。一方、結晶粒界や転位などの格子欠陥は、0.08~0.25 eV/atom等と比較的小さな結合エネルギーを持つ。Al-Zn-Mg合金中の各種水素トラップサイトの水素結合エネルギーおよび単位体積辺りのトラップサイト密度は、既報の表1にまとめられているので参考にされたい⁽³²⁾。

ところで、各水素トラップサイトの密度の3D/4D分布と水素結合エネルギーの情報を用い、格子間と各トラップサイトとの熱平衡、ポア表面に吸着した水素の配置エントロピー分の表面エネルギー低下を見積もることで、各トラップサイトのトラップ量やトラップサイトのトラップによる占有率が3D/4Dマッピングできる。この結果として、アルミニウムに含まれる全水素量の9割以上は、析出物とアルミニウムの界面に集中するという予想外の知見が得られている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

さらに興味深いことに、都留等は、複数の水素を界面に置く第一原理計算を行い、界面凝集エネルギーが水素の濃化と共に低下し、最終的にゼロになる事を示した⁽³⁹⁾。計算結果を見ると、界面水素濃度の上昇とともに析出物/母相界面が徐々に開口し、ついには剥離に至る様子が再現されている⁽³⁹⁾。アルミニウムでは析出物/母相界面の結合エネルギーが鉄鋼など他の金属と比較しても低いため、水素の解離吸着による高い表面トラップエネルギーにより破面形成エネルギーが相殺されることでこのような自発的界面剥離が生じる。また、同じような水素濃化による自発的剥離は、アルミニウムの結晶粒界でも生じることが示されている⁽³⁴⁾。

3. 局所水素分配を考慮した水素脆化防止

(1) Al₇Cu₂Fe 粒子

前報では、非整合界面を有する分散粒子に水素トラップ能の高いものがあることを「非整合界面を持つ比較的大な粒子による水素トラップの正の効果」として紹介した⁽³²⁾。前報の段階では、Al-Zn-Mg合金にCuおよびFeを添加した場合に、マイクロメートルレベルの粒子として生成するAl₇Cu₂Feが0.56 eV/atomと高い水素結合エネルギーを持

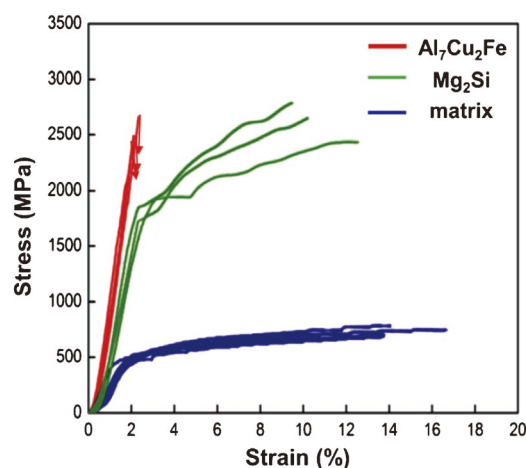


図1 7075-T73合金中に分散するAl₇Cu₂Fe粒子とMg₂Si粒子、およびアルミニウム基地のマイクロピラーによる圧縮試験結果⁽⁴¹⁾。(オンラインカラー)

ち、水素を比較強くトラップすることを報告した⁽³²⁾⁽³⁷⁾⁽⁴⁰⁾。これは、MgZn₂析出物の半整合界面と比べてもわずかに高い値である。前報⁽³²⁾の図6では、Fe添加量を実用合金の10倍~1/10程度まで大きく変化させた場合、Fe添加量の増加と共に水素脆化による擬へき開破壊が抑制された。これは、Fe添加で生成したAl₇Cu₂Feが水素を強くトラップし、析出物界面の水素量が最大で1/10程度と大きく減少したためである。また、Al-Zn-Mg合金にSiが混入した場合によく見られるMg₂Si粒子は、その内部が水素トラップ能を有しないことも合わせて報告した⁽³⁷⁾。

ところで、Singhらは、マイクロピラーを用いた材料試験により、アルミニウム合金中に分散するAl₇Cu₂Fe粒子は、元来脆性であることを示した(図1)⁽⁴¹⁾。Suらも、Al₇Cu₂Fe粒子の存在によりAl-10Zn-2.4Mg-1.5Cu合金の水素脆化は有効に抑制できるものの⁽⁶⁾⁽⁴²⁾、平均直径4.6 μmと粗大なAl₇Cu₂Fe粒子の損傷により、アルミニウム合金としての延性はかえって低下する事を示している⁽⁶⁾。したがって、Al₇Cu₂Fe粒子を実用的に利用するためには、その十分な微細化が欠かせない。また、Al₇Cu₂Fe以外に高い水素トラップ能を持つマイクロ・ナノ構造の探索も期待される。

(2) Al₇Cu₂Fe 以外の分散粒子

図2は、金属間化合物粒子の体積率が0.28%となる様に、Al-10Zn-1.06Mg (mass%)合金に様々な第4元素を微量添加した4元合金で、2元ないし3元系金属間化合物粒子内部の水素結合エネルギーを第一原理計算で計算したものである⁽⁴³⁾。下段には、参考までにAl-Zn-Mg合金の主要な水素トラップサイト(転位、粒界、時効析出物やポアなど)の水素結合エネルギーも掲載している。ここでは、最高時効状態で現れる析出物とアルミニウム母相との半整合界面の水素結合エネルギーである0.55 eV/atomが目安となり、それと同程度、ないしはそれ以上の水素結合エネルギーを有する金属間化合物が水素脆化・応力腐食割れ防止法の候補となる。この図を見ると、Al₇Cu₂Fe以外にもその様な金属間化合物が複数存在することが分かる。その中でも、最も強く水素をトラ

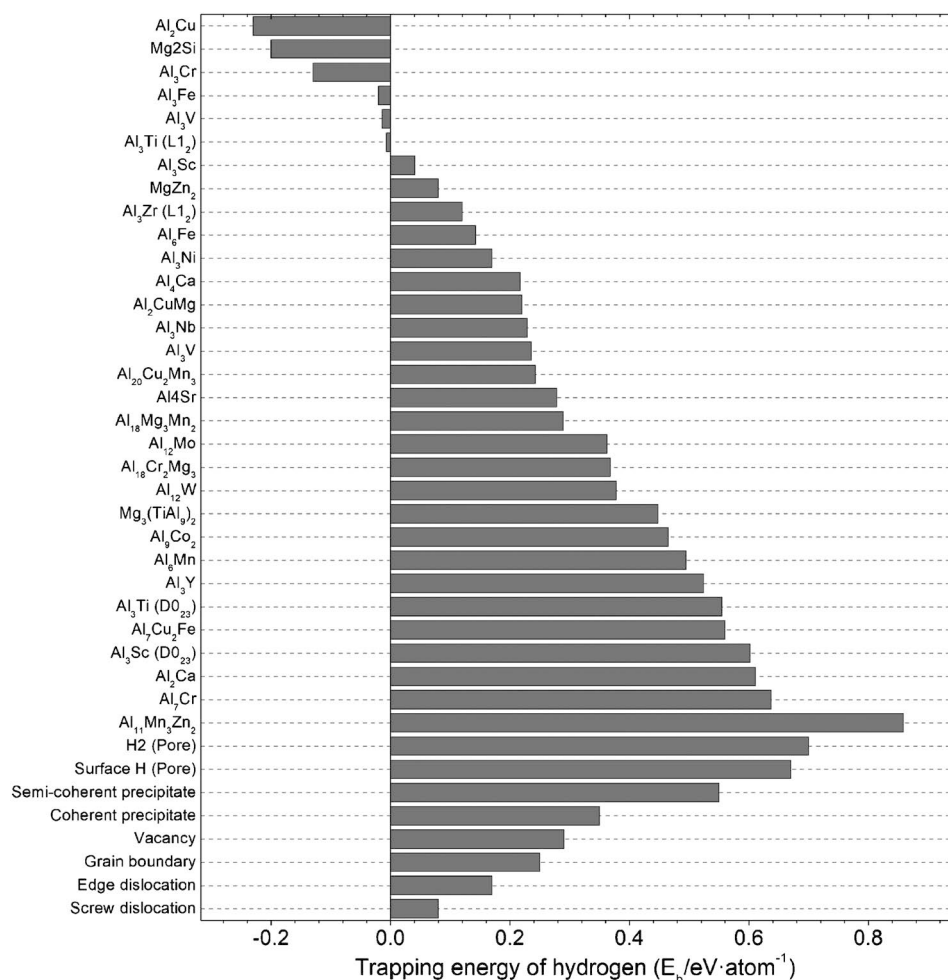


図2 Al-10Zn-1.06Mg (mass%) 合金に様々な第4元素を微量添加した4元合金で生成する2元ないし3元系金属間化合物粒子内部の水素トラップエネルギーを第一原理計算で計算したもの⁽⁴³⁾。参考までに、下から8段目まではAl-Zn-Mg合金の主要な水素トラップサイト(転位、粒界、時効析出物やポアなど)の水素トラップエネルギーを挙げている。

ップする Al₁₁Mn₃Zn₂ の最大水素結合エネルギーは、純3元系では最大となる原子状水素のポア表面吸着の 0.67 eV/atom、およびポアを考えた分子状水素の溶解エネルギー 0.70 eV/atom よりも数割高い 0.86 eV/atom にも達する。

図3は、同じ Al-10Zn-1.06Mg 合金に14種の第4元素を微量添加した4元合金を引張試験した結果である⁽⁴³⁾。この場合の試験は、中断引張試験とし、(a)の応力歪み関係で定期的に応力低下の見られる各位置でそれぞれ15分間変位を保持した。この様な繰り返し変位保持により、水素脆化が顕著に促進されることがこれまでの研究により明らかにされている⁽⁷⁾⁽⁴⁴⁾。図3(c)(水素濃度が 6.97 massppm と高い場合の結果)では、純3元系(図中 Standard 等と表記)と比べ、Mn, Sc, Co, Ti等を添加した場合に結晶粒内の擬へき開破壊(図中 QCF: 緑)が有効に抑制されている。粒内の擬へき開破壊面積率と水素結合エネルギーの間には、図3(d)に示す様に、有意な相関が認められる。また、粒界破壊(図3(c)黒)に関しても、第4元素添加により抑制されているものがある。擬へき開破壊が抑制された Mn, Sc, Co, Ti 添加材では、粒界破壊も有効に抑制ないし防止されている。上杉等によれば、第一原理計算により求めた粒界偏析エネルギーと表面偏析エネルギーの差である粒界強化・脆化エネルギーは、

Mn, Sc, Co, Ti について、それぞれ -0.60, -1.16, 0.04, -1.37 eV/atom であり、ほぼ中立の Co を除き、比較的強い粒界強化元素と位置づけられる⁽⁴⁵⁾。これが、それら4つの元素を添加した場合、粒界、粒内の水素脆化破壊の両方を抑制できた理由である。

図3(a)は、中断引張試験時に得られた応力-歪み関係の代表例として、Sc 添加材、Mn 添加材、および純3元系標準材を高水素濃度(HH: 6.97 massppm)および低水素濃度(LH: 1.40 massppm)で比較したものである。また、図3(b)は、それらの破面 SEM 観察例である。ここでの低水素濃度は、実用的には十分に高い水素濃度と言える⁽²⁾。標準材では、最大荷重以降の伸びがほぼ失われているのに対し、Mn, Sc 添加材では、水素結合エネルギーの高さ(Mn: 0.86 eV/atom, Sc: 0.60 eV/atom)に応じて延性が高くなっている。さらに水素濃度を高くすると(HH 材)、標準材および Co 添加材では延性が低下し、破面上の擬へき開面積率も増加している(図3(b): 46.0%)。一方、Mn 添加材では延性低下は見られず、擬へき開破壊も抑制的である(擬へき開破壊面積率 11.5%)。これは、Mn 系金属間化合物には、後で図5で見る様に、この程度の水素濃度では未だ粒子の H トラップ能に十分な余裕があるためと考えられる。

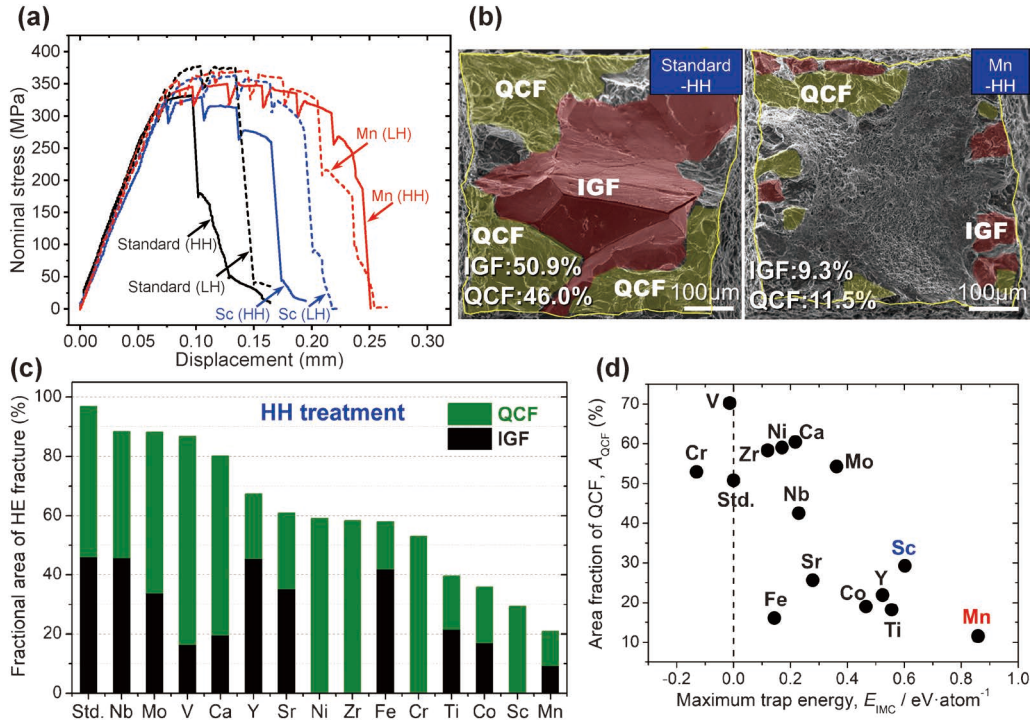


図3 Al-10Zn-1.06Mg (mass%) 合金に様々な第4元素を微量添加した4元合金の水素脆化挙動のまとめ。(c)は、破面上の擬へき開面積率と粒界破壊面積率を純3元系合金(Std.)と比較したもの⁽⁴³⁾。(d)は、擬へき開面積率と水素トラップエネルギーの関係。(a)は、代表的なSc, Mn添加材の応力歪み関係(中断引張試験: 応力低下の見られる各位置で15分間変位を保持し、水素脆化を促進)を高水素(HH)および低水素(LH)状態で比較したもので、(b)は、高水素Mn添加材の破面を純3元系合金と比較したもの。(オンラインカラー)

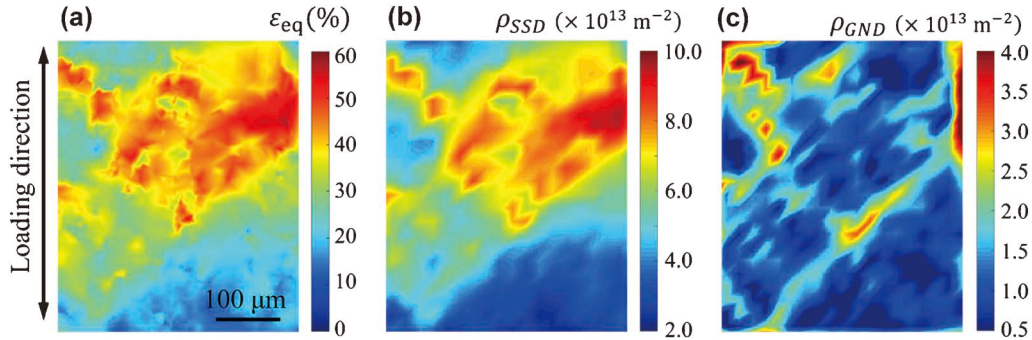


図4 X線CTによる3D連続観察で得られた画像から求めた相当塑性歪み⁽⁴⁸⁾、およびGND, SSD密度の分布。3Dデータを仮想断面上で表示したもの。材料は、A7075-T651。

これを定量的に評価するため、4D画像中の高密度粒子追跡の技法⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾を用い、塑性歪みの4Dマッピングをしたのが図4である⁽⁴⁸⁾。これを解析し、塑性歪み勾配から幾何学的に必要な転位(GND)を式(1)の様に⁽⁶⁾⁽⁴⁸⁾,

$$\rho_{\text{GND}} = \bar{\epsilon} \frac{\eta_p}{b} \quad (1)$$

また、塑性歪みから統計的に必要な転位(SSD)⁽⁶⁾⁽⁴⁸⁾と原子空孔⁽⁴⁹⁾の4D分布を式(2)と(3)の様に、

$$\rho_{\text{SSD}} = \frac{\sqrt{3} \epsilon_p}{bl} \quad (2)$$

$$C_v = \chi \frac{\sigma \Omega_0}{Q_f} \epsilon_{\text{true}} + C_0 \quad (3)$$

それぞれ図4(b), (c)の様に計算することで、各種水素トラップサイトへの局所的な水素分配を見積もることができる。

ここで、 $\chi=0.1$, σ は流動応力, ϵ_{true} は真歪み, Q_f は空孔形成エネルギー, Ω_0 はアルミニウムの原子容, C_0 は初期空孔濃度, ρ_{GND} と ρ_{SSD} はそれぞれSSDとGNDの密度, $\bar{\epsilon}$ はNye因子(1.9), η_p は塑性歪み勾配, b はバーガースベクトル, ϵ_p は相当塑性歪み, l は平均自由行程である。

この様に、引張試験片内部全体に対し、各種水素トラップサイトの密度の3D/4D分布を求め、既報の表1にまとめられているそれらの水素結合エネルギー⁽³²⁾を組み合わせることで、各水素トラップサイトの水素トラップ量やトラップサイトの水素による占有率を3D/4Dマッピングできる。格子間と各トラップサイトとの熱平衡式(4)⁽⁵⁰⁾にポア中の分子状水素の存在を加味し式(5)⁽⁵¹⁾、さらにポア表面に吸着した水素の配置エントロピー分の表面エネルギー低下式(6)⁽⁵²⁾を見積もることで、これが可能になる。

$$\frac{\theta_{Ti}}{1-\theta_{Ti}} = \theta_L \exp\left(\frac{E_{bi}}{RT}\right) \quad (4)$$

$$C_H^T = \theta_L N_L + \sum \theta_{Ti} N_{Ti} + 2N_A \frac{4\gamma V}{dRT} \quad (5)$$

$$\gamma = \gamma_0 - (E_S + RT \ln(\theta_L)) \frac{N_S \theta_S}{N_A A} + \frac{N_S}{N_A A} RT \{ \theta_S \ln(\theta_S) + (1 - \theta_S) \ln(1 - \theta_S) \} \quad (6)$$

ここで、 θ_L , θ_{Ti} は、格子間と i 番目のトラップサイトの水素による占有率、 E_{bi} は、 i 番目のトラップサイトの水素結合エネルギー、 θ_L , θ_{Ti} は、格子間と i 番目のトラップサイトの密度、 C_H^T は全水素濃度、 N_A はアボガドロ数、 γ と γ_0 はそれぞれ水素吸着がある場合とない場合の表面エネルギー、 V と d はポアの体積と直径、 R はガス定数、 T は絶対温度、 E_S , θ_S , N_S は、それぞれ表面吸着水素のエネルギー、占有率、トラップサイト密度である。

図5は、Al-10Zn-1.06Mg-1.91Mn(mass%)合金高水素材の水素脆化破壊挙動、亀裂先端近傍の $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子の損傷挙動、および各種トラップサイトへの局所水素分配の解析結果である⁽⁴³⁾。図5(g)と(h)の高分解能結像型X線CT(空間分解能100 nmレベル)像によれば、表示領域内の $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子の損傷は7%(h)の負荷歪み5.7%の段階)に過ぎず、粒子への水素吸蔵による粒子損傷は認められない。図5(j)では、亀裂先端前方の領域(断層像図5(i)の青丸内部)、

亀裂に沿うウェイク(図5(e)に黄色点線で図示)、および負荷をかける前の試験片全体で各種水素トラップサイトの水素による占有率を比較できる。水素脆化の起源となる η_2 相の占有率は、亀裂進展経路(黄色棒)では材料全体(黒色棒)より5桁以上高く、一方で亀裂先端前方(青色棒)では逆に材料全体より3桁以上低い。図5(i)では、亀裂進展経路の $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子体積率が全体平均の1/6以下と低いことから、亀裂は $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子の体積率が低く、 η_2 相の水素濃度が高い領域を選択的に伝播したものと示唆される。しかし、亀裂先端前方の粒子体積率は高く、 $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子トラップサイト占有率が低いことから、たとえこのような粒子分布の粗密があったとしても、亀裂は破壊抵抗の低い領域のみを伝播することができず、 $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 粒子は十分な水素脆化防止効果を発揮したものと結論される。

(3) 析出物ナノ粒子

Al-Zn-Mg合金は、通常 η' -MgZn₂ ないし η -MgZn₂ 析出物により強化される。しかし、高温時効の場合や Zn/Mg 比が小さい場合、Cu 添加の場合には、T-Al₂Mg₃Zn₃ と呼ばれる析出物が η' や η と同様に、微細かつ高密度に生成することが知られている⁽⁵³⁾。我々は、図6(f)に示す様に⁽⁵⁴⁾、このT相の内部が η' -MgZn₂ や η -MgZn₂ の整合・半整合界面と同等かそれ以上の高い水素トラップエネルギーを持ち、トラ

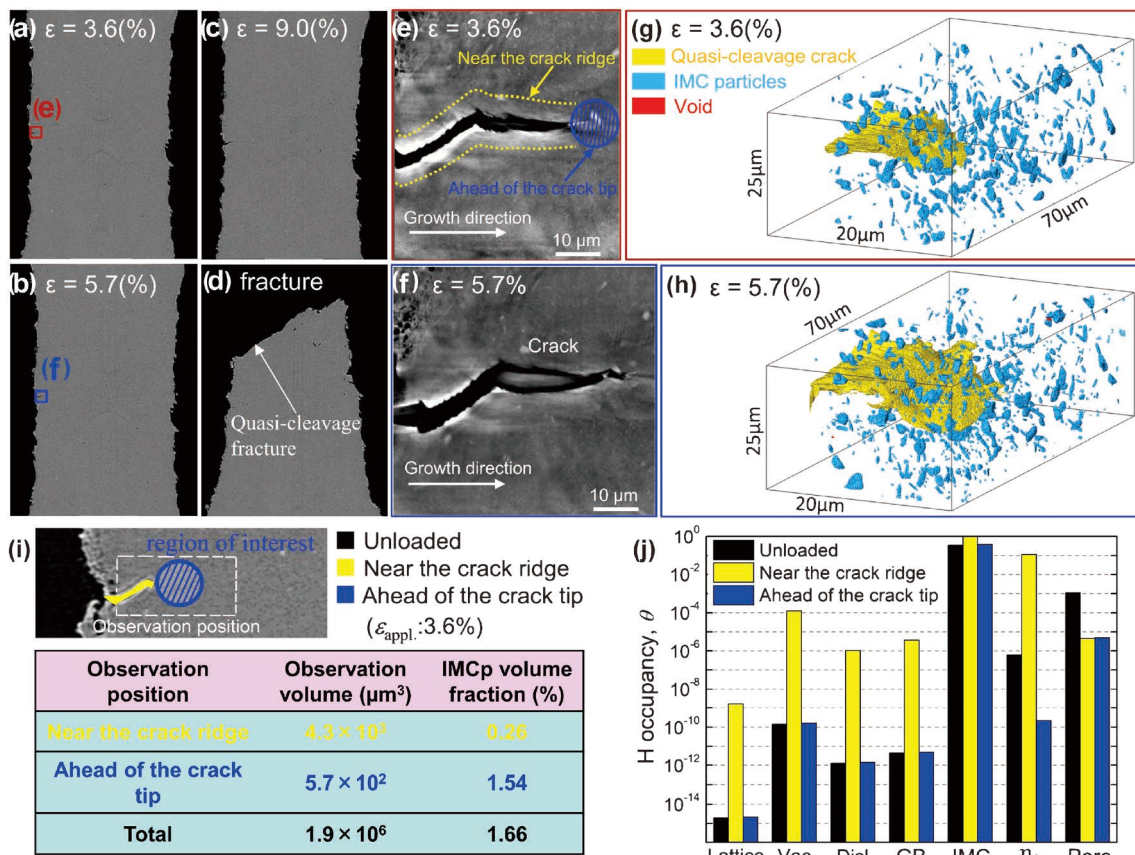


図5 Al-10Zn-1.06Mg(mass%)合金に第4元素としてMnを1.91mass%添加した4元合金の水素脆化挙動および局所水素分配⁽⁴³⁾。(a)–(d)は、各負荷歪みにおけるX線CTによる断層像。(e)と(f)は、(a)と(b)の枠内の拡大図。(g)と(h)は、亀裂先端近傍の結像光学CTによる高分解能3D像。(i)は、局所水素分配を解析した亀裂先端の領域(断層像の青丸内部)、亀裂のウェイク((e)に図示)、および材料全体での金属間化合物粒子の体積率。(j)は、それら3領域での各種水素トラップサイトの水素による占有率。

ップサイト密度も比較的高いことを最近見出した⁽⁵⁴⁾。

図6は、Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu (mass%) 合金に120°C (LT 材)と150°C (HT 材)の2水準の時効温度で時効硬化処理を施した場合の析出物を示したものである⁽⁵⁴⁾。図6の(a)–(d)に示す様に、時効温度の制御だけで、析出物が100% η 相からなるLT 材、および η 相と T 相がほぼ同分率のHT 材を作製することができた。図6(e)のHAADF-STEM 画像から分かるように、T 相は球形に近い形を呈する。T 相の同定は、その形状以外にも、図6(g)–(i)の元素分布およびFFT 解析によった⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾。T 相も η 相と同じく平均7 nm 以下のナノ粒子として析出しており、時効硬化能は十分にあると思われる。また、図6(f)の第一原理計算モデルを用いることで、同図中に赤・青矢印で示す最大0.6 eV/atom の強い水素トラップサイトが確認できた。

図3と同様の中断引張試験結果を図7に示す⁽⁵⁴⁾。図7(b)に示す様に、両材料の水素濃度はほぼ同等であるが、図7(a), (h), (m)に示す様に、T 相の存在により水素脆化は強力に抑制され、破断歪み38%増加と水素脆化破面率60%低下が認められた。外部水素によると思われる水素脆化亀裂の発生は、いずれの材料でも見られるものの、図7(c), (d)–(g), (i)–(l)に見られるように、その後の伝播はT 相によって強力に抑制されている。そのため、T 相の存在により、破断直前の亀裂長さも500 μm 程度から200 μm 程度へとか

なり短くなっている。ここで、亀裂先端前方の80×80×80 μm^3 の領域(図8(a), (c))での水素トラップサイトへの局所水素分配を図4と同様な塑性歪みマッピング(図8(b), (d))を利用して求めたのが図8(e), (f)である⁽⁵⁴⁾。図8(e)は、HT 材の変形前、亀裂先端前方の局所水素分配を示す。いずれの場合にも、T 相の存在により、ほとんどの水素はT 相とボイドにトラップされる事が分かる。図8(f)では、近傍にボイドがある場合、T 相の存在により η 相の水素量は数分の一に減少するが、ボイドから離れた領域では、その減少量は数百分の一以上にも達することが分かる。これがT 相の存在により水素脆化が強力に抑制された理由と考えられる。

4. 水素脆化防止の実現可能性

比較的大きな粒子が分散することで水素脆化破壊抵抗に局所的なムラができ、水素脆化が有効に機能しない事が考えられる。これは、既に図5でAl₁₁Mn₃Zn₂粒子については検証した。図9は、高水素濃度のA7075-T651材中に分散するAl₇Cu₂Fe粒子について、これを検証したものである⁽⁴⁸⁾。Al₇Cu₂Feの不均一分散によるその局所的なトラップサイト密度の増加は、 η 相の半整合界面のトラップサイトの水素による占有率を2~3桁減少させる。一方、Mg₂Si非整合界面の水素による占有率は、その高い水素結合エネルギーに起因

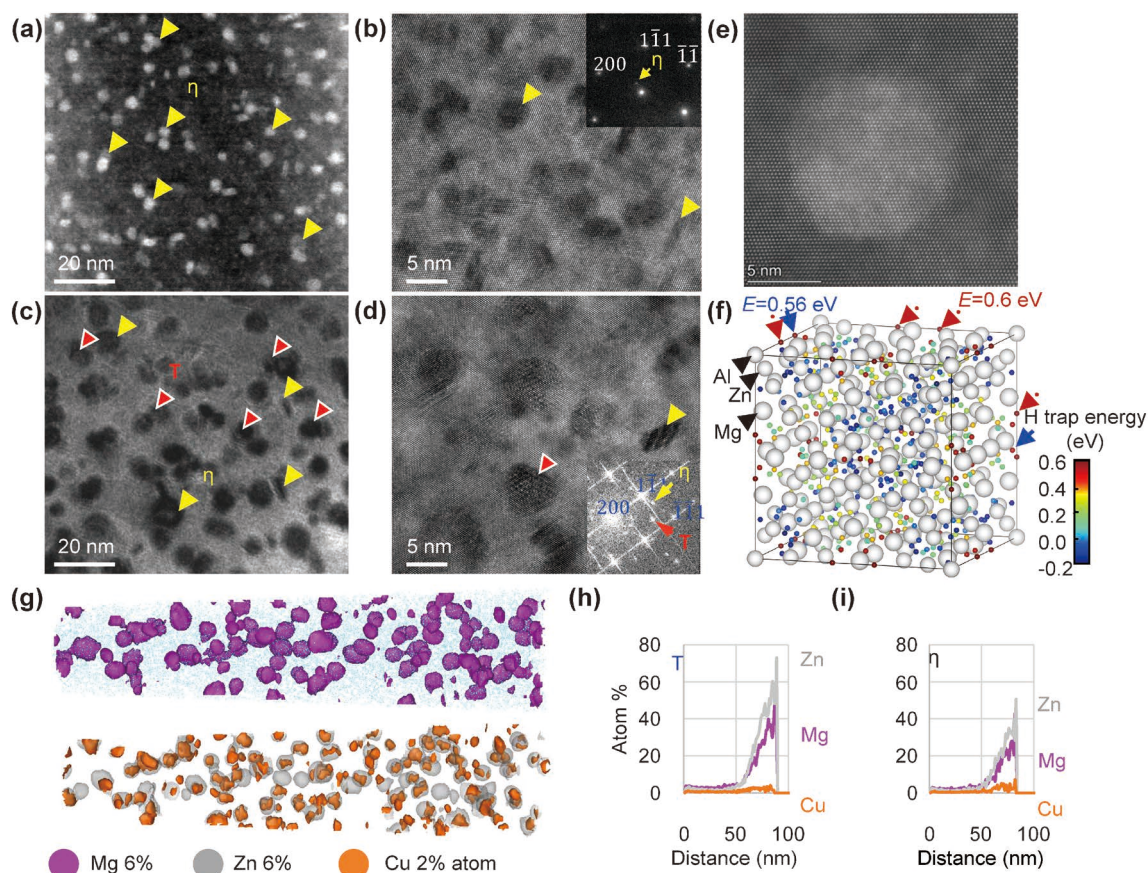


図6 Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu (mass%) 合金に120°C (LT), 150°C (HT) 2 水準の時効温度で時効硬化処理を施した場合の LT 材 (a), (b), HT 材 (c), (d) の析出組織⁽⁵⁴⁾。LT 材は、 η 相100%。HT 材は、 η 相と T 相がほぼ同分率。(e) は、T 相の拡大 HAADF-STEM 画像。(f) は、報告されている T 相の原子モデル(第一原理計算)とその内部の水素トラップサイト(赤・青矢印)。(g) は、APT で計測した HT 材の Zn, Mg, Cu 元素マップ。(h) と (i) は、APT による T 相と η 相内部の原子分率。

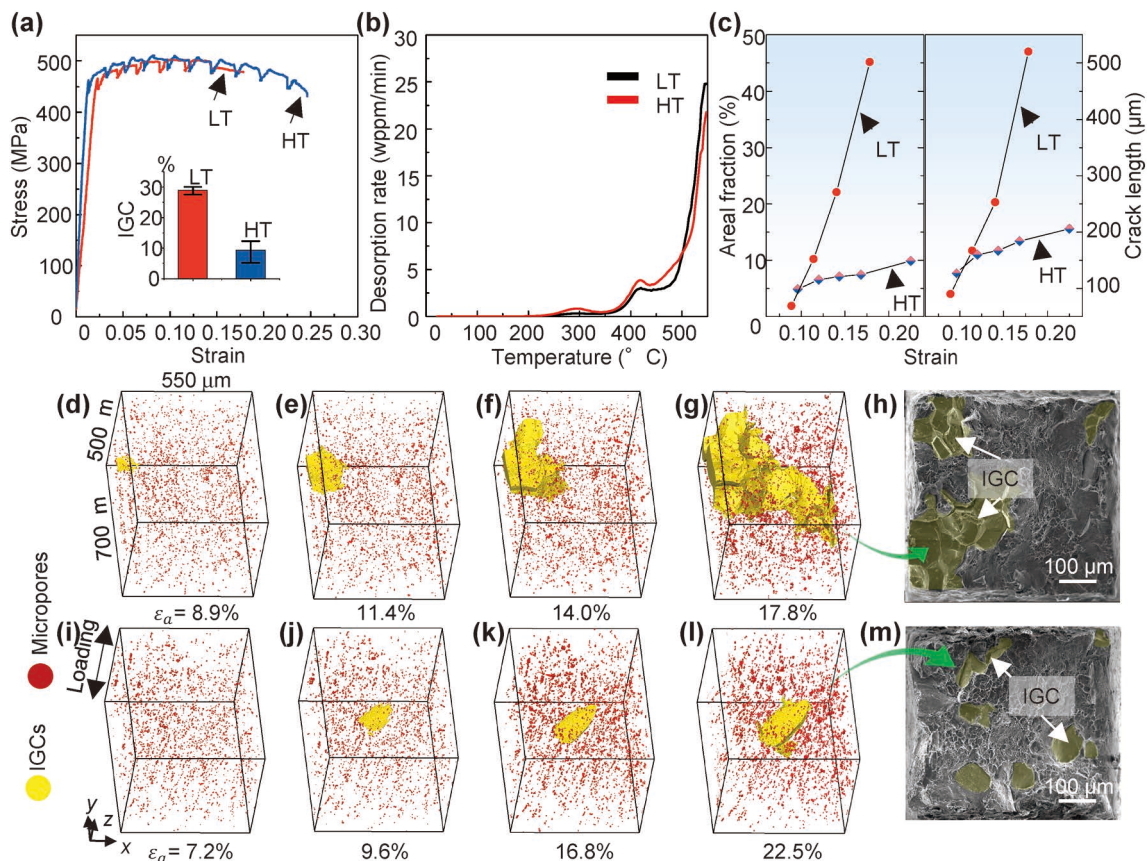


図7 Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu (mass%) 合金に120°C (LT), 150°C (HT) 2水準の時効温度で時効硬化処理を施した場合のLT材, HT材の水素脆化試験結果 (a) (54). (b) は, 両材料の水素濃度のTDAによる計測結果. (d)-(h) および (i)-(m) は, それぞれLT材とHT材の4D水素脆化亀裂進展挙動と破面SEM像. (c) は, 亀裂進展挙動をこれらの4D画像から定量的に計測したもの.

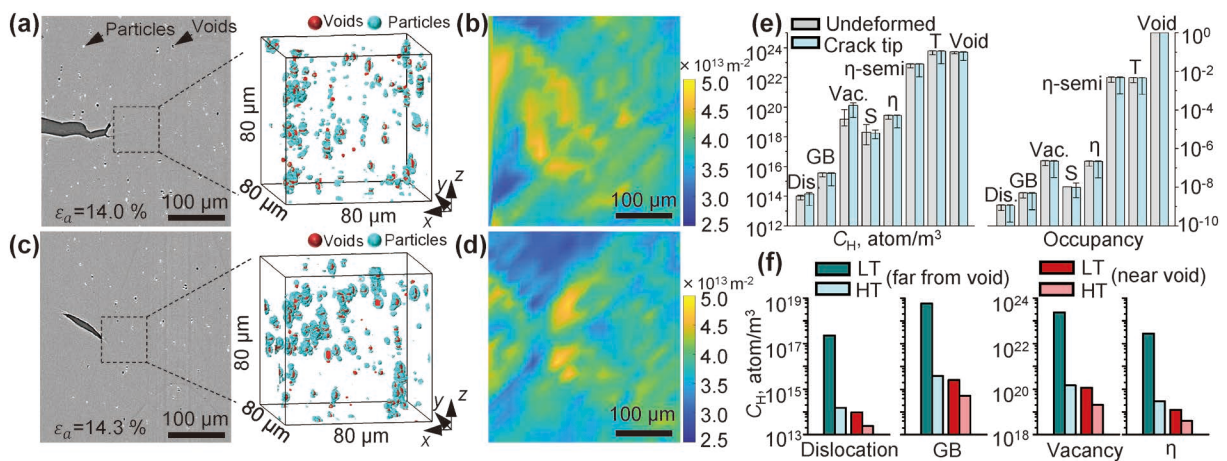


図8 Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu (mass%) 合金に120°C (LT), 150°C (HT) 2水準の時効温度で時効硬化処理を施した場合のLT材 (a), (b), HT材 (c), (d) の亀裂断層像, ボイドと粒子の3D像, および転位密度の3D分布 (断層面上) (54). (e) は, 各水素トラップサイトの水素量と水素による占有率 (HT材). (f) は, ボイドの近傍と遠方で転位, 結晶粒界, 空孔, η 相析出物の水素濃度をLT材とHT材で比較したもの.

し, そう大きくは変化しないことが分かる.

ところで, $\text{Al}_{11}\text{Mn}_3\text{Zn}_2$ 等の分散粒子やT相が水素を吸蔵した場合, η' -MgZn₂ や η -MgZn₂ の整合・半整合界面と同様に, それらの分散粒子や析出物粒子自体も水素脆化により損傷するかという懸念がある. ある種の分散粒子や析出物の存在により, 実際に強い水素脆化防止効果が得られていることから, これは杞憂にも思える. それを実験的に検討したの

が図10である (48). 水素脆化による粒子損傷が生じる場合, 金属間化合物中の水素拡散速度に律速され, 小径粒子ほど水素脆化傾向が強まるものと予測される. しかし, 図10では, 通常の延性破壊時と同様, 粗大で形状の歪な粒子が優先的に損傷している. これは, 粒子が水素の影響を受けず, Weakest-link 機構や形状による応力集中の影響を強く受けて破壊することを意味している. 実際, 図8(e)右側のT相

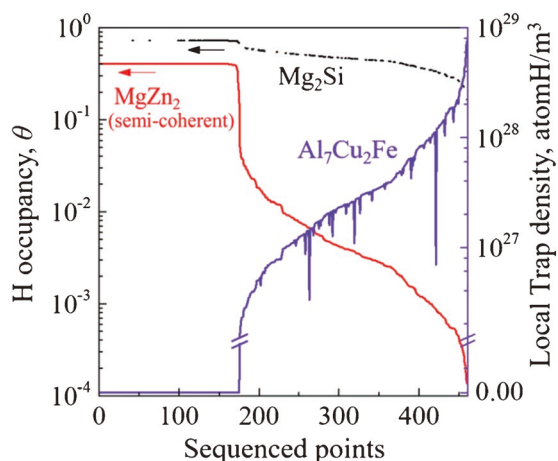


図9 高水素濃度のA7075-T651材の中断引張試験(繰り返し10分間変位保持して水素脆化促進)で水素脆化および局所水素分配を調べたもの⁽⁴⁸⁾。試験片全体を20×20×20 mm³のユニットボックスで分割した時の、各ユニットボックス内のAl₇Cu₂Fe粒子の水素トラップサイトの局所密度(右軸)、および水素脆化をもたらす析出物(MgZn₂)およびMg₂Siの水素トラップサイトの占有率。ユニットボックスサイズは、10分間の変位保持中の水素拡散距離を考慮して設定。(オンラインカラー)

の占有率を見ると、1/100に満たず、水素吸蔵にはかなり余裕があることが分かる。これは、 η' -MgZn₂や η -MgZn₂の整合・半整合界面が2次元的なトラップサイトであるのに対し、Al₁₁Mn₃Zn₂等の分散粒子やT相はその内部が3次元的なトラップサイトになっているため、トラップサイト密度が大きいことにも起因する。本稿では、内在水素に対する水素脆化感受性を見る研究を多く紹介したが、これは腐食や外部の水・湿気などによるアルミニウム使用中に侵入する水素に対しても3章の手法が有効に機能することを期待させる。

その他、金属間化合物粒子中の水素の拡散速度にも注意を払う必要がある。これに関しては、現在拡散速度の実測と拡散シミュレーションによる検討を鋭意進めている。しかし、粒子への水素吸蔵に必要な拡散距離は粒子径の半分程度(T相で数nm、分散粒子で1μm程度)と短くて良い。したがって、保持時間が10分レベルのラボ実験ではともかく、数ヶ月、数年というアルミニウム製品の長期信頼性を念頭に置けば、金属間化合物粒子中の水素の拡散速度の高低は、問題にはならないと思われる。

5. さ い ご に

一連の研究では、金属材料中に分散するナノ～マイクロオーダーの各種粒子がもつ整合、半整合、非整合界面の物理を追求し、水素のトラップや水素による界面剥離という観点で眺めている。比較的粗大な分散粒子、介在物粒子は、界面剥離や粒子破断によりボイドの発生、成長、合体による延性破壊を引き起こす。また、塑性加工時の粒子損傷や疲労破壊の起点となるなど、これまでその負の効果ばかりが注目されてきた。化学的に活性で粒子数が非常に多いアルミニウムでは、なおさらである。ところが、一部の粒子は、たとえば比較的粗

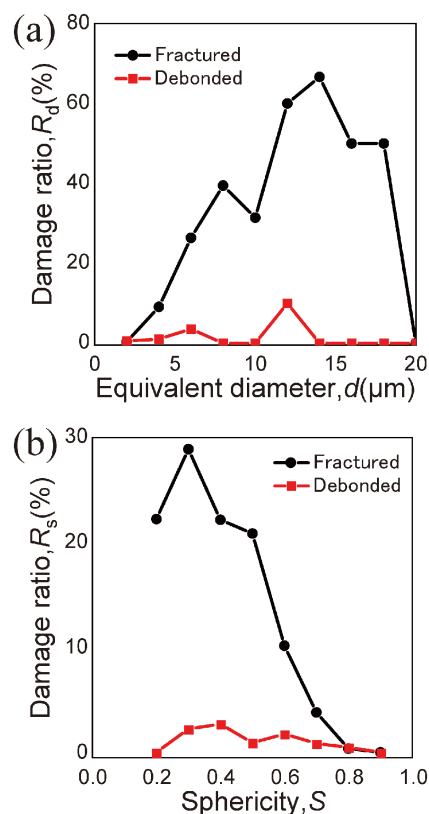


図10 高水素濃度のA7075-T651の中断引張試験(繰り返し10分間変位保持して水素脆化促進)でAl₇Cu₂Feの損傷挙動を調べたもの⁽⁴⁸⁾。粒子サイズ、および形状毎に損傷割合を表示したもの。(オンラインカラー)

大であっても水素を積極的に吸蔵することで水素脆化やSCCを防止できるという正の効果を有する事が明らかになってきた。また、T相のように実用合金では利用されて来なかったナノレベルの粒子にも、これまで知られていなかった水素脆化防止という機能性があることが明らかになった。これを利用するため、これまであまり用いられなかった組成、加工熱処理条件などの採用により、特殊で高価な製造装置や添加元素を用いずとも、強度と長期信頼性や耐環境性を兼ね備えた材料が創製できるものと期待される。つまり、高強度アルミニウム合金の長期信頼性や耐環境性をこれまでより飛躍的に向上させたり、現状と同程度の長期信頼性や耐環境性を維持しながら、さらなる高強度化を志向できることを意味している。一連の研究成果が工業的にも波及することを願いながら筆を置きたい。

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業(CREST)「革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明」による。また、放射光実験は、SPring-8の課題(2019B2046, 2020A1084, 2020A1796, 2021A1002, 2021B1123, 2022A1005)である。これらを記して深く感謝する。

文 献

- (1) W. Song, J. Du, Y. Xu and B. Long: J. of Nucl. Mater., **246**

- (1997), 139-143.
- (2) アルミニウムの組織と性質，軽金属学会編，軽金属学会，東京，(1991).
- (3) 鹿川隆廣，伊藤吾朗：軽金属，**60**(2010)，433-437.
- (4) 吉田英雄：住友軽金属技報，**54**(2013)，264-326.
- (5) 吉田英雄：UACJ Tech. Rep., **3**(2016)，57-73.
- (6) H. Su, H. Toda, K. Shimizu, K. Uesugi, A. Takeuchi and Y. Watanabe: Acta Mater., **176**(2019)，96-108.
- (7) H. Su, H. Toda, R. Masunaga, K. Shimizu, H. Gao, K. Sasaki, M. Bhuiyan, K. Uesugi, A. Takeuchi and Y. Watanabe: Acta Mater., **159**(2018)，332-343.
- (8) R. G. Song, W. Dietzel, B. J. Zhang, W. J. Liu, M. K. Tseng and A. Atrens: Acta Mater., **52**(2004)，4727-4743.
- (9) 大西忠一：日本金属学会報，**26**(1987)，389-395.
- (10) N. J. H. Holroyd and D. Hardie: Corros. Sci., **21**(1981)，129-144.
- (11) M. B. Kannan and V. S. Raja: J. Mater. Sci., **41**(2006)，5495-5499.
- (12) G. A. Young and J. R. Scully: Metall. Mater. Trans. A, **33**(2002)，101-115.
- (13) T. Ashish, R. Raman and S. N. Malhotra: Mater. Chem. And Phys., **101**(2007)，441-447.
- (14) 大崎修平，伊藤大介，中井 学：軽金属，**51**(2001)，222-227.
- (15) G. Peng, K. Chen, S. Chen and H. Fang: Mater. Sci. Eng. A, **528**(2011)，4014-4018.
- (16) G. Itoh, K. Hiyaama, B. Lyu, J. Kobayashi and S. Kuramoto: Mater. Sci. Forum, **1016**(2021)，1811-1815.
- (17) Y.-L. Wu, F. H. Froes, C. Li and A. Alvarez: Metall. Mater. Trans. A, **30**(1999)，1017-1024.
- (18) L. Christodoulou and H. M. Flower: Acta Metall., **28**(1980)，481-487.
- (19) 平松剛毅，筑田昌宏，宮木美光：軽金属，**23**(1973)，210-217.
- (20) M. K. B. Day, A. J. Cornish and T. P. Dent: Mater. Sci. J., **3**(1969)，175-182.
- (21) S. Chen, K. Chen, P. Dong, S. Ye and L. Huang: J. Alloy. Compd., **581**(2013)，705-709.
- (22) M. B. Kannan, V. S. Raja, A. K. Mukhopadhyay and P. Schmuki: Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci. **36**(2005)，3257-3262.
- (23) Y. Shi, Q. Pan, M. Li, X. Huang and B. Li: J. Alloy. Compd., **612**(2014)，42-50.
- (24) H. C. Fang, H. Chao and K. H. Chen: J. Alloy. Compd., **622**(2015)，166-173.
- (25) K. H. Chen, H. C. Fang, Z. Zhang, X. Chen and G. Liu: Mater. Sci. Eng. A, **497**(2008)，426-431.
- (26) M. Yu, Y. Zhang, X. Li, K. Wen, B. Xiong, Z. Li, L. Yan, H. Yan, H. Liu and Y. Li: Mater. Lett., **275**(2020)，128074.
- (27) M. Wang, L. Huang, K. Chen and W. Liu: Micron., **104**(2018)，80-88.
- (28) G. Li, N. Zhao, T. Liu, J. Li, C. He, C. Shi, E. Liu and J. Sha: Mater. Sci. Eng. A, **617**(2014)，219-227.
- (29) Y. Deng, Z. Yin, K. Zhao, J. Duan and Z. He: J. Alloy. Compd., **530**(2012)，71-80.
- (30) M. A. Krishnan and V. S. Raja, Corros. Sci. **152**(2019)，211-217.
- (31) S. P. Knight, K. Pohl, N. J. H. Holroyd, N. Biribilis, P. A. Rometsch, B. C. Muddle, R. Goswami and S. P. Lynch: Corros. Sci., **98**(2015)，50-62.
- (32) 戸田裕之，山口正剛，都留智仁，清水一行，松田健二，平山恭介：まてりあ，**60**(2021)，13-18.
- (33) T. Tsuru, M. Yamaguchi, K. Ebihara, M. Itakura, Y. Shiihara, K. Matsuda and H. Toda: Comput. Mater. Sci., **148**(2018)，301-306.
- (34) M. Yamaguchi, K. Ebihara, M. Itakura, T. Tsuru, K. Matsuda and H. Toda: Comput. Mater. Sci., **156**(2019)，368-375.
- (35) M. Yamaguchi, M. Itakura, T. Tsuru and K. Ebihara: Mater. Trans., **62**(2021)，582-589.
- (36) L. Ismer, M. S. Park, A. Janotti and C. G. Van de Walle: Phys. Rev. B, **80**(2009)。184110.
- (37) M. Yamaguchi, T. Tsuru, K. Ebihara, M. Itakura, K. Matsuda, K. Shimizu and H. Toda: Mater. Trans., **61**(2020)，1907-1911.
- (38) M. Yamaguchi, T. Tsuru, K. Ebihara and M. Itakura：軽金属，**68**(2018)，588-595.
- (39) T. Tsuru, K. Shimizu, M. Yamaguchi, M. Itakura, K. Ebihara, A. Bendo, K. Matsuda and H. Toda: Sci. Rep., **10**(2020)，1998.
- (40) 特開2021-188102，出願者：九州大学，国立研究開発法人日本原子力研究開発機構，発明者：戸田裕之，山口正剛，清水一行。
- (41) S. S. Singh, E. Guo, H. Xie and N. Chawla: Intermetallics, **62**(2015)，69-75.
- (42) 及川涼一，清水一行，鎌田康寛，戸田裕之，藤原比呂，上相真之，竹内晃久：軽金属，**72**(2022)，411-419.
- (43) Y. Xu, H. Toda, K. Shimizu, Y. Wang, B. Gault, W. Li, K. Hirayama, H. Fujihara, X. Jin, A. Takeuchi and M. Uesugi: Acta Mater., **236**(2022)，118110.
- (44) K. Shimizu, H. Toda, K. Uesugi and A. Takeuchi: Metall. Mater. Trans. A, **51**(2020)，1-19.
- (45) 大手里奈，山田貴洋，上杉徳照，瀧川順庸，東 健司：軽金属，**69**(2019)，457-464.
- (46) 戸田裕之：X線CT，産業・理工学でのトモグラフィ実践活用，共立出版，(2019)。
- (47) H. Toda: X-ray CT: Hardware and Software Techniques, Springer, (2021)。
- (48) Y. Wang, H. Toda, Y. Xu, K. Shimizu, K. Hirayama, H. Fujihara, A. Takeuchi and M. Uesugi: Acta Mater., **227**(2022)，117658.
- (49) M. Militzer, W. P. Sun and J. J. Jonas: Acta Metall. Mater., **42**(1994)，133-141.
- (50) R. A. Oriani: Acta Metall., **18**(1970)，147-157.
- (51) H. Toda, H. Oogo, K. Horikawa, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Nakazawa, Y. Aoki and M. Kobayashi: Metall. Mater. Trans. A, **45**(2014)，765-776.
- (52) 山口正剛，都留智仁，海老原健一，板倉充洋：軽金属，**68**(2018)，588-595.
- (53) Y. Zou, X. Wu, S. Tang, Y. Wang, K. Zhao and L. Cao: Mater. Sci. Eng. A, **830**(2022)，142331.
- (54) Y. Wang, B. Sharma, Y. Xu, K. Shimizu, H. Fujihara, K. Hirayama, A. Takeuchi, M. Uesugi, G. Cheng and H. Toda: Nature Commun., **13**(2022)，6860.
- (55) Y. Zou, X. Wu, S. Tang, Q. Zhu, H. Song and L. Cao: Mater. Charact., **169**(2020)，110610.



戸田裕之

Yafei Wang

ステンレス鋼上へのナノ構造触媒層の形成とアルカリ水電解用酸素発生電極への応用

轟 直 人*

1. はじめに

この度は、村上奨励賞という大変身に余る名誉ある賞を授与頂き心より感謝の意を表したい。著者は燃料電池用白金触媒をはじめ、二酸化炭素電解用触媒、水電解用貴金属酸化物触媒などの電気化学的エネルギー変換デバイスに用いる電極触媒を対象として、真空蒸着法により作製した単結晶薄膜モデル触媒を用いた基礎研究を行ってきた^{(1)~(4)}。触媒反応は材料最表面の原子上で起こる化学反応であるため、触媒活性と表面構造の関係を理解する上で単結晶モデル触媒は極めて重要なツールとなる。このような比較の実用材料から離れた研究を推進する一方で、基礎研究を通じて得られた表面科学的知見を活かし、ステンレス鋼の表面構造や化学組成を制御することにより水電解用電極として機能させる、実用を指向した研究開発を行ってきた。本誌読者の多くにとってステンレス鋼はなじみ深い材料であり、主な用途における機械特性や腐食特性については広く知られているが、水電解用電極としての特性は未だ明らかになっていない点が多く、実用化に向け課題が山積している。本稿では、ステンレス鋼のアルカリ水電解用酸素発生電極への応用に関する研究について、著者らの最近の成果を中心に概説する。

2. 水電解法による水素製造と電極材料

二酸化炭素に代表される温室効果ガスの排出量削減、エネルギー資源の枯渇および偏在の世界的課題を背景として、次世代のエネルギー源として水素が注目されている。太陽電池や風力発電などの再生可能エネルギーに由来する電力を用いて水電解法により製造される水素は“グリーン水素”と呼ば

れ、製造時に二酸化炭素の排出をほとんど伴わないクリーンエネルギーとして化学工業、鉄鋼業、モビリティなど様々な分野への活用が期待されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

室温近くで動作する水電解法はプロトン交換膜型水電解(PEMWE)、アルカリ水電解(AWE)、アニオン交換膜型水電解(AEMWE)に大別される⁽⁷⁾。PEMWEは小型化、大電流密度での電解が可能であることを特徴とするが、強酸環境であるため触媒に貴金属を必要とする。一方、AWEはPEMWEに対し電解スタックが大型ではあるが、強アルカリ環境であるため触媒・電極をはじめとした多くの部材に卑金属を利用できるため、スタックコストに優れる⁽⁸⁾。AEMWEは小型化可能かつ卑金属触媒が利用可能というPEMWEとAWEの両者の利点を併せ持つことから次世代の水電解法として期待されているが、電解質膜などに課題があり、市販装置は一部のスタートアップに留まる⁽⁹⁾。

水電解反応はカソードで進行する水素発生反応(HER)に対しアノードで進行する酸素発生反応(OER)の過電圧が大きいため、水素製造のエネルギー効率を高めるためには、高活性なOER触媒の開発が鍵を握る。現在の商用AWEに使用されている電極は純NiメッシュもしくはNiメッシュにNiCo酸化物などの卑金属酸化物触媒を塗布したものである⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾。これらのNi基材料は長らく実用電極として用いられてきたが、グリーン水素製造の低コスト化に向け、よりOER過電圧が小さい材料の開発が求められている。これまで金属・合金⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、酸化物⁽¹⁾⁽¹³⁾、水酸化物⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、硫化物⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾などのOER触媒が報告されており、これらの多くはメッシュ状、多孔体状のNi集電体に担持して評価されている。

近年、ステンレス鋼が従来のNi基電極を代替するアノード用電極材料として注目されている(図1)^{(18)~(21)}。特に、構

* 東北大学大学院環境科学研究科；准教授(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02)
Fabrication of Nanostructured Catalyst Layers on Stainless Steel and Its Application to the Oxygen Evolution Electrode for Alkaline Water Electrolysis; Naoto Todoroki (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai)
Keywords: stainless steel, alkaline water electrolysis, oxygen evolution reaction, catalyst layer, surface treatment, renewable energy
2023年2月21日受理[doi:10.2320/materia.62.368]

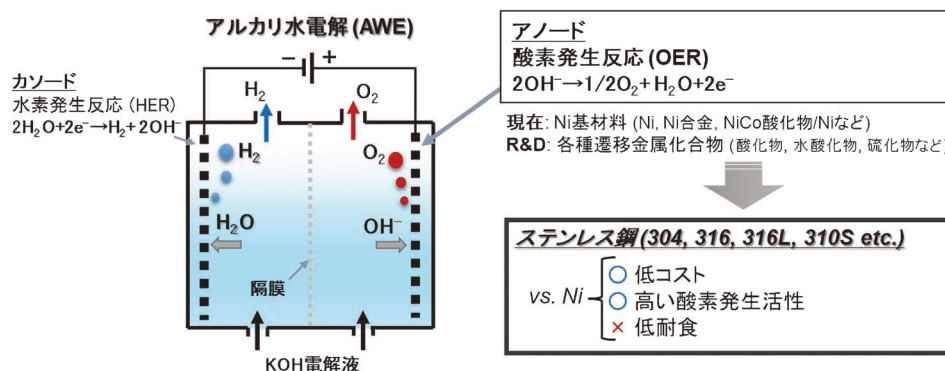


図1 アルカリ水電解の模式図とステンレス鋼電極の特徴。(オンラインカラー)

成元素としてNiを含むオーステナイト系ステンレス鋼がAWEアノードの強アルカリ、高電位環境での耐食性の面から好ましく、304鋼、316鋼を中心として集電体電極として用いられている⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽²²⁾⁽²³⁾。更に、オーステナイト系ステンレス鋼は化学的および電気化学的な表面処理によりNiFe水酸化物などの高活性な触媒層を生成することから、触媒合成のための前駆体としても検討されている^{(24)–(28)}。近年、様々な表面処理法によるステンレス鋼表面への触媒層形成、そのOER活性の起源に関する報告があり、この分野の進展は著しい。また、AWE用電極では、実用環境を想定した高電流密度での長期電解試験⁽²⁹⁾や再生可能エネルギー由来の変動電力を用いた際の加速劣化試験が重要視されている⁽³⁰⁾、ステンレス鋼電極についてもこれらの実用模擬環境下での耐久性が報告され始めている⁽²²⁾⁽²⁵⁾⁽³¹⁾。

次項より、ステンレス鋼上への触媒層形成とその高いOER活性の起源について概説し、その後実用模擬環境下での耐久性について述べる。最後に、今後の課題についてまとめる。

3. ステンレス鋼上に生成する触媒層の高い酸素発生反応活性の起源

アルカリ水電解用アノードとして広く検討されているオーステナイト系ステンレス鋼はNiを含有し、その組成は鋼種に応じて4–20 mass%程度と幅がある。Niはアルカリ環境で水酸化物もしくはオキシ水酸化物として安定であるため、化学的・電気化学的処理によりオーステナイト系ステンレス鋼を前駆体として触媒層を形成する際に、酸化皮膜として残存する。このとき、Feなどのステンレス鋼構成元素が酸化皮膜中に取り込まれ高活性触媒層として機能することが知られている⁽²²⁾⁽²⁴⁾⁽³²⁾。

NiFeの両者を含む化合物、特にNiFe層状水酸化物(NiFe-LDH、図2(a))は極めて高いOER活性を示す化合物として知られており、これまで数多くの報告例がある^{(14)(33)–(35)}。現在、金属水酸化物や酸化物上における強アルカリ環境下での酸素発生反応は図2(b)に示す金属サイト上での吸着物の酸化によるadsorbate evolution mechanism

(AEM)もしくは水酸化物中の格子酸素が関与するlattice-oxygen participation mechanism (LOM)によって進行すると考えられている⁽¹⁴⁾⁽³³⁾。AEMで進行するOERでは、Niに隣接したFe原子の直上サイト(on-top)もしくはNiとFeの隙間サイト(bridge)が低いOER過電圧(高いOER活性)を示すことが第一原理計算によって示唆されている⁽³⁶⁾。このため、NiFe水酸化物の触媒活性はNiとFeの原子比に強く影響される⁽²⁴⁾⁽³²⁾⁽³⁵⁾。近年、Zhangらは γ 相を有するNiFe-LDHでは基底面である(001)に対し、シート状構造のエッジに相当する(010)、(100)、 $(\bar{2}10)$ 面で低いOER過電圧を示すことを第一原理計算で予測し(図2(c), (d))、実際にエッジサイトの割合を増加させることによりNiFe-LDHの高活性化に成功した⁽³⁷⁾。一方、Dionigiらは γ 相NiFe-LDHのエッジサイトではLOMでOERが進行すると報告している⁽¹⁴⁾。LOMの律速段階は吸着OHが吸着Oに酸化する素過程であり、NiとFeが隣接したbridgeサイトでOERが高活性化することが予測されている。いずれのメカニズムでOERが進行するにせよ、NiFe水酸化物系触媒のOER活性には金属元素の組成やマイクロ構造が大きく影響することから、表面処理によるステンレス鋼上への触媒層形成においてもこれらの要素の制御が高いOER活性の発現に繋がることが示唆される。

4. 表面処理によるステンレス鋼上への触媒層形成

触媒層形成のための表面処理法は研究者によって様々であるが、代表的な手法として酸・アルカリ中でのエッチングや雰囲気ガス中での熱処理などの化学処理法とカソード・アノード分極などの電気化学処理法が挙げられる。例えば、Zhongらは316鋼板を出発物質として用い、アンモニア水溶液中での水熱処理により表面を腐食させ、その後電気化学的な酸化処理により腐食表面を活性化させ、触媒層を作製し、OER特性を評価した⁽³⁸⁾。腐食および活性化処理の両方を施した試料はこれら単独の処理を施した試料に対し高活性であり、腐食処理による高表面積化と電気化学酸化処理による活性化が高活性触媒層形成に有効であることを示している。

一方、電気化学処理のみでもステンレス鋼上に高活性な触

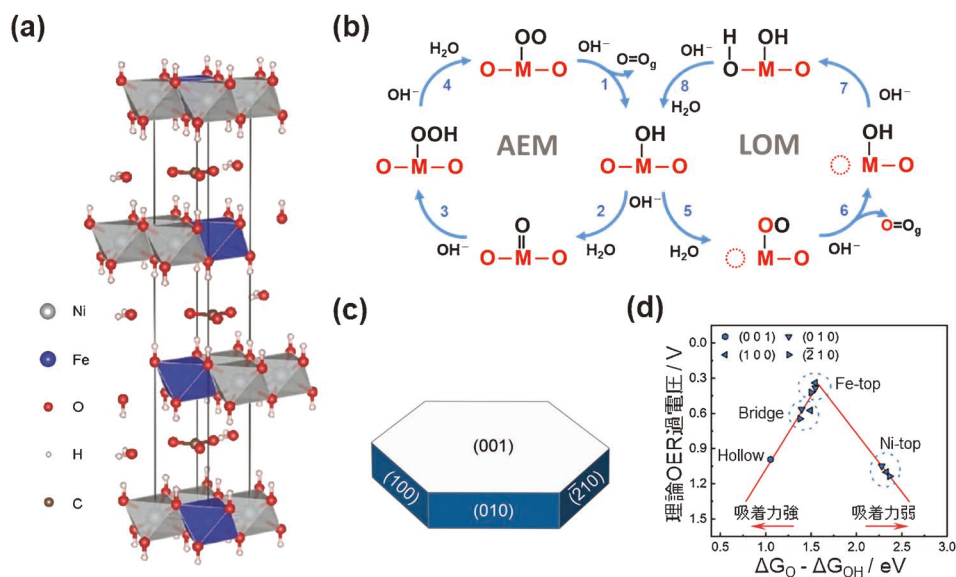


図2 (a) NiFe 層状複水酸化物(NiFe-LDH)の結晶構造. (b) 強アルカリ電解液中における酸素発生反応の反応機構の一例(図中赤字のMおよび赤点線の丸はそれぞれ金属元素サイト, 酸素空孔サイトを示す): Adsorbate Evolution Mechanism (AEM, 左)とLattice-Oxygen participation Mechanism (LOM, 右). (c) AEMで酸素発生反応が進行する際のNiFe-LDH触媒の火山型活性序列. (d) 第一原理計算で求めたOER過電圧と反応中間体の標準生成自由エネルギー変化の差分の関係⁽³⁷⁾. Wiley-VCHより許可を得て転載. (オンラインカラー)

媒層を形成することが可能である. 我々の研究グループでは, 316鋼を出発材料に用い, 75°Cの1M KOH溶液中で30 mA cm⁻²の条件で定電流密度電解による電気化学的表面酸化処理を行い, 特異なナノ構造を有する触媒層を形成することに成功した⁽³²⁾. 5時間の電気化学処理を施した試料の断面STEM像を図3(a)に示す. 厚さ30 nm程度の緻密なバッファ層を介し, 太さ3-5 nm, 長さ約50 nmのナノファイバ組織が形成されている. 高分解能電子顕微鏡像より, ナノファイバ組織の格子縞の間隔はNiFe LDHの面間隔に一致した(図3(b)). また, STEM-EDS分析から, ナノファイバに含まれる金属元素はNi, Feのみであり, ステンレス鋼の主要添加元素であるCr, Mnは含まれていないことがわかった. ナノファイバ層を形成したステンレス鋼電極の酸素発生反応特性を評価したところ, 処理時間が増加するにつれ徐々にOER過電圧が低下し, 高活性化した. 電気化学的処理を施した316鋼試料は, 標準触媒として用いられるイリジウム酸化物(IrO_x)⁽³⁹⁾や他研究者が報告したステンレス鋼電極(316SS)⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾の値よりも50 mV以上低い過電圧であった(図3(c)). 更に, 最も高活性な酸素発生触媒の1つであるNiFe-LDH⁽⁴¹⁾に匹敵した. 以上より, 簡易な電気化学処理により316鋼上に高い酸素発生活性を有するナノ構造触媒層を形成できることが示された.

電気化学処理によるナノファイバ層の形成メカニズムを図4に模式図で示す. 本処理条件では, CrやFe, Mnがステンレス鋼中から選択的に溶出する. このとき, Niは水酸化物もしくはオキシ水酸化物が安定であるため, 処理時に(オキシ)水酸化物として酸化析出し, ステンレス鋼表面に残存する. 一方で, Feの多くは溶出するものの, ナノファイバ層に含まれていることから, その一部はNi水酸化物中

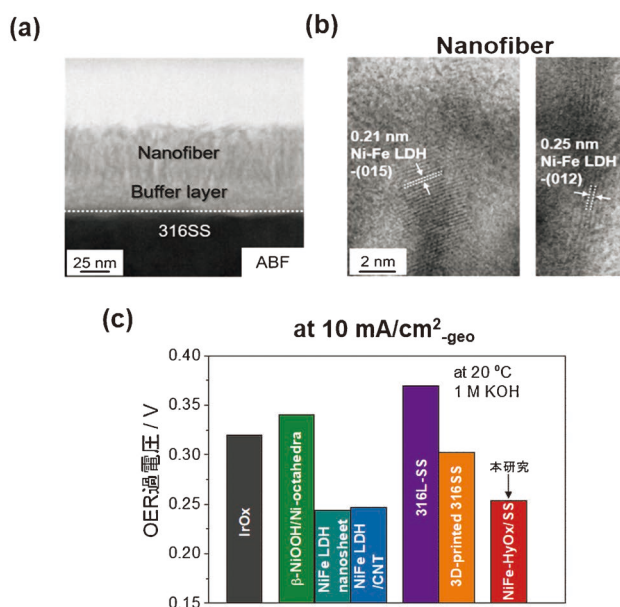


図3 (a), (b) 電気化学酸化処理を施した316SS試料の断面STEM像. (c) 電気化学処理後316SS試料のOER過電圧の既報試料との比較⁽³²⁾. ACSより許可を得て転載. (オンラインカラー)

に取り込まれるようにして存在すると考えられる. 最後に, 処理中には電極表面より微細な酸素ガスの気泡が生成しており, これにより析出する水酸化物の間にナノスケールのギャップを生成し, 垂直配向したナノファイバ組織が形成されていると推測される. この電気化学処理は303鋼や310S鋼などのオーステナイト系ステンレス鋼にも有効であり, 基板Fe/Ni比に依存した組成を有するナノ構造触媒層が生成することがわかっている⁽²⁴⁾.

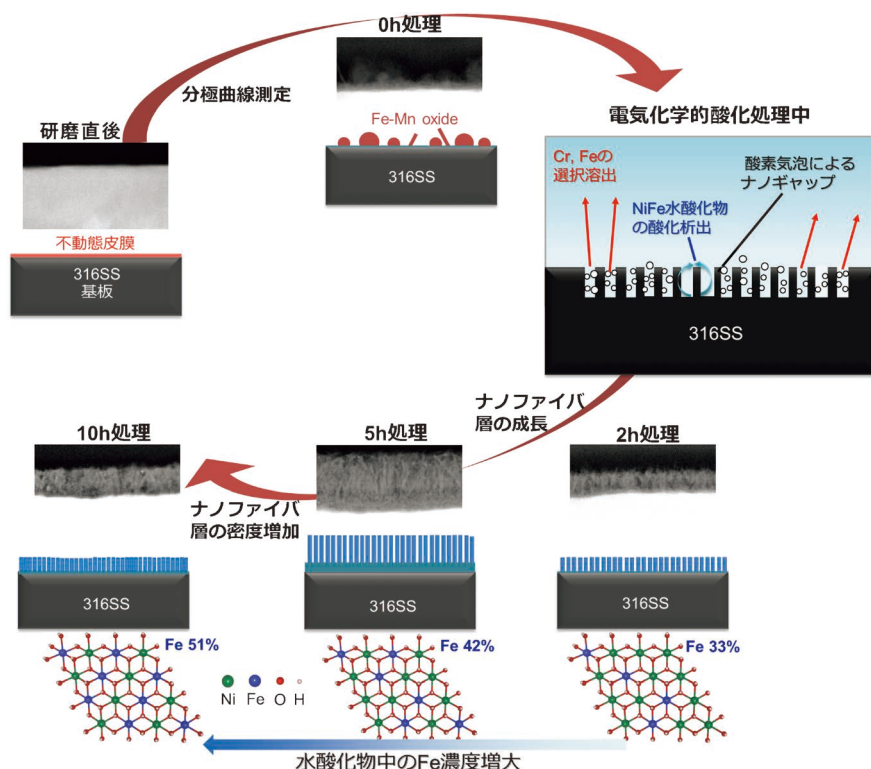


図4 電気化学的酸化処理によるSS表面へのナノファイバ構造形成過程の模式図⁽³²⁾。ACSより許可を得て転載。(オンラインカラー)

5. 高電流密度電解におけるステンレス鋼電極の耐久性

水素製造速度を考慮すると、アルカリ水電解は 400 mA cm^{-2} 以上の電流密度で電解反応を進行させることが望ましい⁽⁸⁾。これまで多くのアルカリ水電解用触媒の報告の多くでは数十 mA cm^{-2} 程度の比較的低い電流密度領域でしか活性、耐久性を評価していなかったが、近年は実用に近い $400\text{--}1000 \text{ mA cm}^{-2}$ の高電流密度で評価する例が報告され始めている⁽¹⁷⁾⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾。一方、表面処理により触媒層形成したステンレス鋼電極については、そのほとんどは 10 mA cm^{-2} 程度の低電流密度で耐久性が評価されており^{(44)–(47)}、AWE アノードとしての実用化に向け、高電流密度での耐久性評価が求められる。

我々は、NiFe 水酸化物/酸化物ナノ構造触媒層を形成した 316 鋼(図 3(a))について、 20°C および 75°C の 1 M KOH 中で、 400 mA cm^{-2} での定電流密度電解試験を行なった。図 5 (a) に示す通り、 20 h の電解において、電解初期を除きほぼ一定の電位を保持しており、安定して電解ができていることがわかる。電解前後での分極曲線の比較から、 20°C および 75°C 試験後に 100 mA cm^{-2} での過電圧がそれぞれ 30 mV 、 80 mV 上昇しているものの、継続的な電解が困難になるほどの顕著な劣化は見られなかった(図 5(b))。しかしながら、図 5(c) に示す電解前後の断面 STEM 像から明らかなように、電解後には触媒層の厚さが減少し、ナノファイバ構造の空隙が増加している。よって、 20 h の高電流密度電解中

に激しい気泡生成による触媒層の物理的脱着や電気化学的な酸化溶出が起こったと考えられ、高電流密度電解時には触媒層の耐久性に課題がある。最近、Xiao らは 304 鋼を出発物質として用い、表面をセレン化した後、電気化学的酸化処理により作製した Se ドープ NiFe 水酸化物触媒層が高い OER 活性を示すことを報告した⁽⁴⁸⁾。更に、 500 mA cm^{-2} 、 95 h の定電流密度電解においてはほぼ一定の電位を維持しており、NiFe 水酸化物への Se ドーピングが OER 活性と耐久性の向上に有効な手法であることが示唆される。

6. 再生可能エネルギー由来の変動電力がステンレス鋼電極に及ぼす影響

グリーン水素の製造を念頭に、水電解装置は再生可能エネルギー由来の電力を用いた運転が想定されている。再生可能エネルギーは気候に応じて発電電力量が変動することから、投入する変動電力に対する応答性が水電解装置には求められる⁽⁴⁹⁾。また、アルカリ水電解では変動電力使用時に起きる装置の起動停止に起因した逆電流現象により電極および触媒材料が著しく劣化することが知られている⁽⁵⁰⁾。このため、市販のアルカリ水電解装置は起動停止時に電極電位を電解反応の開始電位近くに維持するための微弱な電流(保護電流)を流すように設計されている。しかしながら、保護電流の使用は設備コストの増大に繋がるため、保護電流を必要としない、すなわち逆電流耐性の高い電極・触媒材料の開発が進められている⁽³⁰⁾。これまで、変動電力がアノード性能におよぼす影響は主に Ni 電極や Ni 系触媒層について調査されて

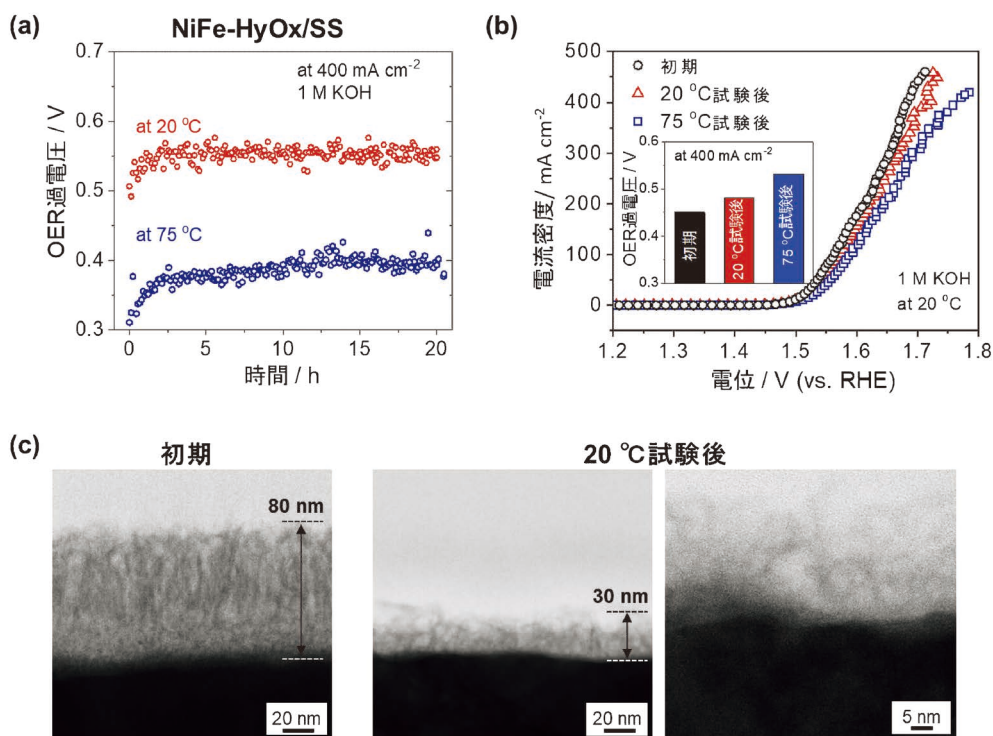


図5 (a) 400 mA cm^{-2} で定電流密度電解試験を行なった際の OER 過電圧の変化. (b) 試験前後に溶液温度 20°C で測定した分極曲線の変化. 挿入図: 分極曲線から見積もった 400 mA cm^{-2} の OER 過電圧. (c) 試験前後の断面 STEM 像⁽³²⁾. ACS より許可を得て転載. (オンラインカラー)

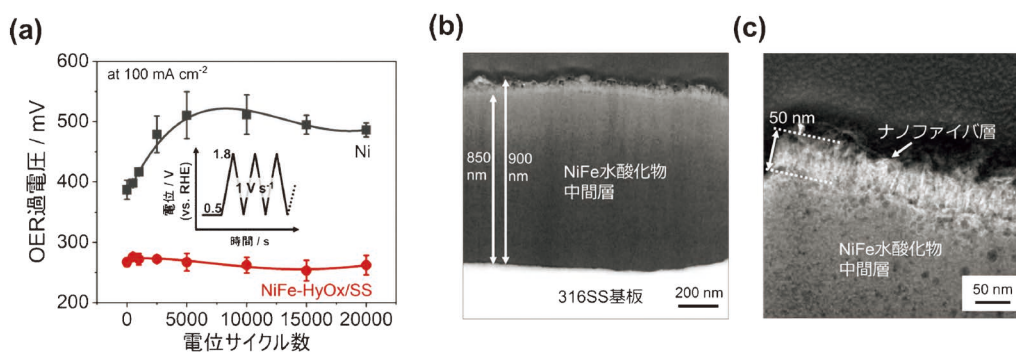


図6 (a) NiFe-HyO_x/SS および Ni の電位サイクル試験における OER 過電圧の推移. (b) 試験後 NiFe-HyO_x/SS 試料の断面 STEM 像. (c) (b) の最表面近傍拡大像⁽²⁵⁾. Elsevier より許可を得て転載. (オンラインカラー)

きた⁽³⁰⁾が, ステンレス鋼電極については検討されていなかった.

我々は NiFe 水酸化物/酸化物ナノ構造触媒層を形成した 316 鋼電極 (図 3(a)) に対し, 変動電力使用時の電位変動を模擬した 0.5 V – 1.8 V 間のサイクル耐久試験を行い, その際の酸素発生過電圧の変化を調査した⁽²⁵⁾. 図 6 (a) に示すように Ni 電極は既報の通りサイクル数の増加にともない急激に過電圧が上昇し, 劣化した. 一方, 触媒層を形成した 316 鋼電極は 20,000 サイクルまで過電圧の変化はほぼ無く, 極めて安定であることがわかる. サイクル試験後試料の断面 STEM 像を図 6(b), (c) に示す. 表面処理により生成した約 50 nm 厚さのナノファイバ層が試験後に維持されていることから, 316 鋼電極の高いサイクル試験耐性はナノファイバ層の高い

電気化学的安定性に起因することが示唆された. 一方, ナノファイバ層と 316 鋼基板の間には約 850 nm 厚さのアモルファス状の NiFe 水酸化物が形成されていた. よって, サイクル試験の電位変動, すなわち酸化還元繰り返しにより基板が腐食し, 腐食生成物として中間層が生成したことが推測される. この中間層中には 316 鋼の主要構成元素である Cr が検出されず, ほとんどが電解液に溶出したと考えられる.

Cr は強アルカリ環境下で有毒な六価クロム (CrO_4^{2-}) として安定に存在する⁽⁵¹⁾ため, 廃液処理などの観点からステンレス鋼電極の実用化に向け大きな課題となる. そこで, サイクル試験下におけるステンレス鋼の腐食挙動について基礎的知見を得るため, 各種オーステナイト系ステンレス鋼からの金属溶出について調査した⁽³¹⁾. 図 7 (a) に示す通り, 301 鋼

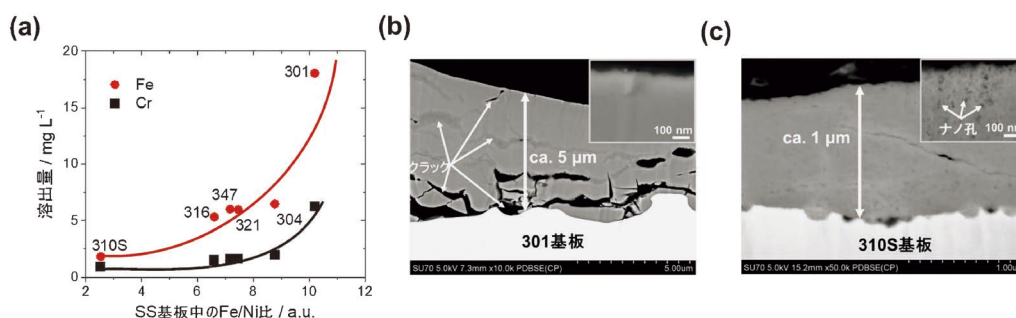


図7 (a) 電位サイクル試験後における各種オーステナイト系ステンレス鋼からのFeおよびCrの溶出量とステンレス鋼中Fe/Ni比との関係。(b) 電位サイクル試験を施した301および310S鋼の断面SEM像⁽³¹⁾。Elsevierより許可を得て転載。(オンラインカラー)

から310S鋼にかけてステンレス鋼基板中のFe/Ni比が小さくなるほどFe, Crの溶出量が減少する傾向が見られた。更に、図7(b), (c)に示すように、ステンレス鋼基板中の301鋼ではクラックやボイドを多く伴う5 μm程度のFeリッチな水酸化物および酸化物で構成される被膜が生成したのに対し、310S鋼ではナノ孔を有するNiリッチな水酸化物被膜が生成しており、その厚さは1 μm程度であった。このことから、ステンレス鋼種の違いによる金属溶出量の違いは、鋼中のFe/Ni比に依存した腐食生成物として生成する被膜のミクロ構造の違いに起因することが示唆された。よって、被膜形成過程の理解が変動電力下での腐食抑制に向け重要であると考えられる。

7. まとめと今後の展望

本稿ではアルカリ水電解のアノードとして検討されているステンレス鋼電極について、最近の研究結果、特に触媒層形成のための表面処理法、実用模擬環境での耐久性に着目した著者らの研究を中心に概説した。ナノ構造触媒層を形成したオーステナイト系ステンレス鋼電極は従来のNi系電極に対し大幅に低い酸素発生過電圧を示すことから、アルカリ水電解による水素製造コストの低減に向け、有望なアノード材料であるといえる。一方、再生可能エネルギー由来の変動電力使用を模擬した電解環境ではステンレス鋼基板の腐食が激しく進行することが著者らの研究から明らかになった。したがって、ステンレス鋼をアノード材料として用いたアルカリ水電解によるグリーン水素製造を実現するためには、変動電力下でのステンレス鋼の腐食機構を明らかにする必要がある。その上で、表面に形成した触媒層が酸素発生反応に対する高い活性および酸素発生環境における高い耐食性を有し、かつ基板の腐食進行を妨げる被膜の開発が望まれる。

水電解法による工業的水素製造は100年近く前に開始されているが、再生可能エネルギー由来の電力を用いたグリーン水素製造の技術開発は近年始まったばかりであり、課題が山積している。本稿で述べたステンレス鋼電極に限らず、水電解水素製造装置には触媒、電解質膜、セパレーター⁽⁸⁾⁽⁵²⁾⁽⁵³⁾など、新規材料開発によるブレークスルーを起こせる研究開

発対象が数多くある。一若手研究者の立場から僭越ではあるが、水素エネルギーの普及、ひいてはカーボンニュートラルの実現に向け、多くの材料科学者が本分野に参入し、水電解技術が飛躍的に発展することを願い、本稿を閉じる。

本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、科研費基盤研究(B)21H01661、トヨタモビリティ基金「水素社会実現のための革新研究助成」の助成により実施した。関係各位に感謝申し上げる。

文 献

- (1) N. Todoroki, H. Tsurumaki, A. Shinomiya and T. Wadayama: *Electrochem. Sci. Adv.*, (2022), e2200007.
- (2) N. Todoroki, H. Tei, H. Tsurumaki, T. Miyakawa, T. Inoue and T. Wadayama: *ACS Catal.*, **9**(2019), 1383–1388.
- (3) M. Asano, R. Kawamura, R. Sasakawa, N. Todoroki and T. Wadayama: *ACS Catal.*, **6**(2016), 5285–5289.
- (4) N. Todoroki, Y. Iijima, R. Takahashi, Y. Asakimori and T. Wadayama: *J. Electrochem. Soc.*, **160**(2013), F591–F596.
- (5) A. Velazquez Abad and P. E. Dodds: *Energy Policy*, **138**(2020), 111300.
- (6) A. H. Schrottenboer, A. A. T. Veenstra, M. A. J. uit het Broek and E. Ursavas: *Renew. Sust. Energ. Rev.*, **168**(2022), 112744.
- (7) D. Li, E. J. Park, W. Zhu, Q. Shi, Y. Zhou, H. Tian, Y. Lin, A. Serov, B. Zulevi, E. D. Baca, C. Fujimoto, H. T. Chung and Y. S. Kim: *Nat. Energ.*, **5**(2020), 378–385.
- (8) M. David, C. Ocampo-Martínez and R. Sánchez-Peña: *J. Energy Storage*, **23**(2019), 392–403.
- (9) Q. Xu, L. Zhang, J. Zhang, J. Wang, Y. Hu, H. Jiang and C. Li: *EnergyChem.*, **4**(2022), 100087.
- (10) A. Abdel Haleem, K. Nagasawa, Y. Kuroda, Y. Nishiki, A. Zaenal and S. Mitsushima: *Electrochemistry*, **89**(2021), 186–191.
- (11) P. Zhang, L. Li, D. Nordlund, H. Chen, L. Fan, B. Zhang, X. Sheng, Q. Daniel and L. Sun: *Nat. Commun.*, **9**(2018), 381.
- (12) J. Park, J. Kim, Y. Yang, D. Yoon, H. Baik, S. Haam, H. Yang and K. Lee: *Adv. Sci.*, **3**(2016), 1500252.
- (13) A. R. Burton, R. Paudel, B. Matthews, M. Sassi, S. R. Spurgeon, B. H. Farnum and R. B. Comes: *J. Mater. Chem. A*, **10**(2022), 1909–1918.
- (14) F. Dionigi, *et al.*: *Nat. Commun.*, **11**(2020), 2522.
- (15) N. Todoroki and T. Wadayama: *ECS Trans.*, **86**(2018), 569–574.
- (16) C. Xuan, W. Lei, J. Wang, T. Zhao, C. Lai, Y. Zhu, Y. Sun and

永久磁石の保磁力メカニズム

第2回 熱緩和過程と保磁力

広 沢 哲*

本講座の第1回⁽¹⁾では、多結晶材料である永久磁石の保磁力を理解するためには単純化した回転楕円体孤立粒子の一斉回転モデルでは不十分で、磁壁幅程度の領域での磁化反転で生じる磁気的な構造まで理解する必要があるという点を議論した。今回は、磁壁が材料内の磁気的な不均質に補足される場合の議論から始め、前回示した模式図(図2)のように、結晶粒界を挟んで隣の粒子に磁化反転が伝搬していく過程のエネルギー障壁の問題であることを念頭に、測定時間に依存する動的現象である保磁力の性質をとりあげる。最後に、磁性体の磁化が原子磁気モーメントの集団運動の巨視的な表れであることを想起して、第3回に続けたい。なお、本稿では、図および数式の番号は前回からの通し番号とし、文献番号は新たに付し直している。

5. 磁壁捕捉がある場合の保磁力

結晶粒界などの平板上の構造が磁壁を捕捉(ピンニングともいわれるが、近代磁石では粒界や相境界などの面欠陥で止まる場合を想定)する場合を想定し、磁壁を平面状として磁壁の中心位置の関数として磁壁の捕捉と離脱を取り扱うことは多くの読者にもなじみ深い議論と思われる。例えば、簡素化したモデルでは磁壁を厚みのない面と考えてその位置 x の関数 $E_{DW}(x)$ とし、磁界 H を印加してブロッホ磁壁を駆動する際のエネルギー

$$E = E_{DW}(x) + M_s H \cos \phi \quad (11)$$

の障壁がなくなる磁界の大きさ H_c を保磁力と考える(図12)。ここで ϕ は印加磁界と磁化容易方向(すなわちブロッホ磁壁面)との角度である。保磁力は関数 $E_{DW}(x)$ の微分が最大になる点を磁壁が越えるときの磁界の大きさなので、 $E_{DW}(x)$ の微分 $dE_{DW}(x)/dx$ の最大値(絶対値)に比例する。

磁壁をピン止めする平面上の構造周辺での磁気物性値の局所的な変化に対する表現式を仮定してマイクロマグネティックス理論を用いた磁壁離脱の臨界磁界(保磁力)の理論式としては、磁石分野の研究者の間ではクロンミュラー(Kronmüller)の式と呼ばれている式 $H_c = \alpha_K H_A - N_{eff} M_s$ が良く知られている(前回稿の式(9)と同じであるが、以下の議論には磁壁が補足される機構も含むので、第1項の係数は α_N ではなく主相の結晶磁気異方性定数 K_u に依存する係数という意味で、 α_K とした)。この式の第一項は反磁界を考慮しない場合の臨界磁界、その係数 α_K は異方性磁界に対する減少比率、第二項は磁化反転が起こる箇所に働いている局

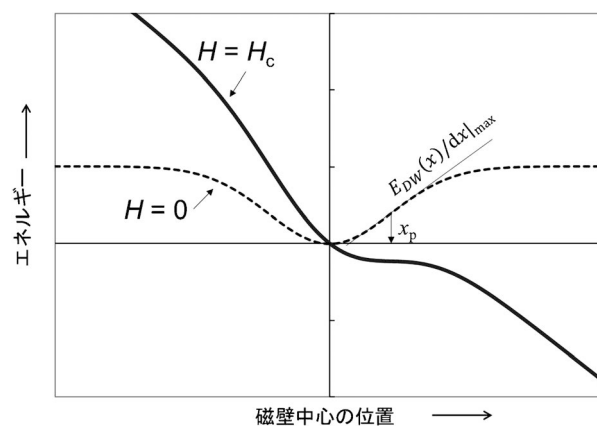


図12 一枚の磁壁を挟んだ仮想的な系に印加磁界(H)を印加した場合の磁壁位置とエネルギーの関係。破線は印加磁界(H)が零の場合、実線はエネルギー障壁が零になる印加磁界(H_c)を印加した場合に対応する。欠陥層の厚み(または幅)は磁壁幅より十分大きいとして描画している。ここで x_p はその時式(11)の x に対する変化率が0となる)の磁壁の位置である。

* 物質・材料研究機構；特別研究員(〒305-0047 つくば市千現 1-2-1)

Mechanisms of Coercivity of Permanent Magnets : 2. Thermal Relaxation and Coercivity; Satoshi Hirosewa*(*Materials Open Platform for Permanent Magnets, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: energy barrier, nucleation, pinning, thermal fluctuation, activation, magnetic viscosity

2022年9月29日受理[doi:10.2320/materia.62.375]

所的な反磁界を表している。実験家はこれらの係数に材料組織によって決まる因子が隠れていると考えて、上式の両辺を M_s で除して、 H_c/M_s を H_A/M_s に対してプロットして得られる直線の傾きと切片から係数 α_K と N_{eff} を実験的に決定して組織因子と関連付ける手法を考え出したが、以下に述べるマイクロマグネティックスモデルでは、これらは温度に依存する因子をその中に含むので、そのようなプロットでは厳密には組織に依存する部分だけを分離することはできない。

第一項の H_A は異方性磁界、その係数 α_K は局所的な磁気物性値の変化の仕方(すなわち局所的な構造)によって決まる因子で、磁気物性値の地形図を適切に仮定すると解析的な式で表現できる。例えば、佐久間らは欠陥層で階段状に交換スティフネス係数 A と磁気異方性定数が変化する場合について保磁力と欠陥層の厚みの関係について論じ⁽²⁾、クロンミュラーらは交換スティフネス係数が主相と同じで結晶磁気異方性のみが関数

$$K_u(z) = K_u - \frac{\Delta K}{\cosh^2(z/r_0)} \quad (12)$$

に従ってなめらかに変化する層状の不均質帯が磁壁を捕捉する場合の係数 α_K^{pin} 、および、その不均質帯自身が逆磁区核生成サイトとなる場合の係数 α_K^{nc} の値について論じている⁽³⁾。大雑把に述べれば、それらの係数は主相および不均質帯の磁性とその地形図パラメータ(例えば式(12)の K_u 、 ΔK と r_0)の関数であり、磁壁捕捉の効果は欠陥層が磁壁幅より薄い場合は、磁壁補足過程に対応する係数 α_K^{pin} は欠陥の幅に比例して増加するが、磁壁幅程度の領域では欠陥幅の逆数に従って減少する。したがってこのモデルでは、 α_K^{pin} は欠陥層がある厚みのときに最大になる。式(12)のモデルの場合、その最大値は核発生過程に対応する係数 α_K^{nc} よりも小さい。これは佐久間らのモデルの場合も同様である。したがって、欠陥層で逆磁区核が発生すればその表面境界である磁壁はその欠陥層に捕捉されることなく、磁化反転領域が拡大する。すなわち、磁気異方性の小さな欠陥層を仮定した上述の1次元モデルでは、逆磁区核の生成が保磁力の値を決定づける。

マイクロマグネティックスを用いることにより、係数 α_K^{pin} や α_K^{nc} の値を欠陥層の厚みと磁気物性値に関連付けて保磁力が異方性磁界に比較して非常に小さくなる要因を説明することができるが、連続体の描像を用いている限り、欠陥層の磁気物性値をその構造に基づいて直接導き出すことはできない。それを行うためには、材料の結晶構造や原子尺度での欠陥の構造から材料をモデル化する手法が必要となる。そのような原子描像の考え方については本講座の次の回のテーマとする。

一方、逆磁区が容易に生成する欠陥が他の場所にあるような場合には、磁壁捕捉能力が高い欠陥がその磁石の保磁力を決めることになる。保磁力が核発生支配型か磁壁捕捉(ピンニング)支配型かの実験的な判別方法として、保磁力の磁界印加角度依存性がしばしば取り上げられる。前回稿で孤立した単磁区粒子の磁化が一斉回転する場合は磁界印加角度が増加

すれば保磁力が急激に低下することを見たが、磁壁捕捉支配型では

$$H_c(\phi) = \frac{\partial E_{\text{DW}}(x_p)}{\partial x} (M \cos \phi)^{-1} \quad (13)$$

に従って保磁力が磁界印加角 ϕ の方向余弦に逆比例して増加する。この方位依存性はコンドルスキー(Kondorsky)型と呼ばれている。前回、図6に示した実際のNd-Fe-B異方性磁石の保磁力の角度依存性はStoner-WohlfarthとKondorskyの両曲線のいずれとも合致せず、両者の中間に位置している。その原因として、粒子間の磁氣的結合による局所的な有効磁界の方位および大きさの非一様性が考えられることを前回議論した。

これまでの議論から推察されるように、実際の磁石の、例えばNd-Fe-B磁石の結晶粒界の構造欠陥や2-17型Sm-Co磁石のセル壁における保磁力の温度依存性や角度依存性を議論するためには、ナノメートル領域の組織と磁気物性値の解析と計測を欠かすことができない。Nd-Fe-B磁石については、最近までの研究結果をNIMSのLiらがオープンアクセス文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾にまとめているので、読者はそれらを参照頂きたい。本講座に関連が深いところでは、保磁力の測定における磁界の方位に対する依存性と粒界相の物性値との関係⁽⁶⁾や、保磁力の温度依存性と粒界相の磁性との関係⁽⁷⁾などが、組織情報に基づいたマイクロマグネティックス・シミュレーションによって議論されている。

6. 磁壁の離脱における逆磁区核の生成

現実の磁石材料の組織サイズが磁壁幅などと比較して数桁も大きいことを考えると、結晶粒界のような面状の構造欠陥に捕捉された磁壁が離脱するプロセスを単純な一次元モデルで記述することでは不十分である。一次元モデルは磁壁がリジッドな平面状の形状のまま一斉に離脱する過程に相当しているが、実際には、部分的に離脱した領域(すなわち逆磁区)が生成し、その境界が構造欠陥に沿って移動することによって離脱領域が拡大する方が、小さな磁界で済むはずである。したがって、磁壁の離脱においても、初期の過程は図13に模式的に示すように、局所的な離脱部の核生成(nucleation)に続いて、その領域の拡大による磁壁の離脱が進行するものと考えられる。この離脱過程は慣習に従ってデピンニング(depining)と呼ばれている。少し補足すると、図13はハード磁性相の表面部分に磁壁幅よりも厚い低磁気異方性の欠陥層(結晶粒界相などを想定)が存在し、そこで磁化反転が既に起こった後、主相の表面部にトラップされた磁壁が主相内部側に侵入するという、Givordらが提唱したプロセス⁽⁸⁾を想定した模式図⁽⁹⁾である。主相表面に磁気物性値が主相の磁気物性値と強い相関を持つ磁壁幅程度の厚みの磁気的変質層があるという模式図になっているが、この磁気的変質層は必ずしも存在すると仮定する必要はない。

この場合、主相表面に生成した反転核の表面エネルギー(磁壁エネルギー)の増加分と磁化反転に伴う静磁気エネルギー

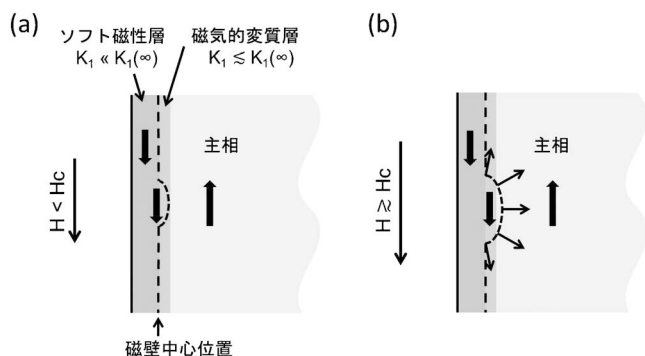


図13 大きな結晶粒の表面に形成された磁気的にソフトな磁性層(欠陥層)で形成された逆磁区が磁気的にハードな主相に侵入する過程の概念図(Used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 license. 文獻(9)の図を日本語にしたものである.)

ーの低下とのバランスで臨界磁界を定義することができる。磁壁エネルギーの増加分は、軟磁性欠陥部での磁壁エネルギーと硬磁性の主相での磁壁エネルギーとの差と考えられるが、その具体的な見積りには、磁壁の内部構造を原子配列にまで立ち入って理解する必要がある。

そのためには、原子の磁気モーメントが実際の結晶構造や欠陥構造の中で相互に強く相互作用しながら集団運動している様子を我々が磁化測定をしている時間のスケールで見た場合の挙動として表現する必要がある。これには連続体のマイクロマグネティクスとはかなり異なる手法を要するが、これまで考慮していなかったような種々の課題に注意を向けることもできるようになる。例えば、有限温度では原子磁気モーメントが熱揺動によって向きを時々刻々ランダムに変えていると考えた場合、磁化が磁化容易方向を向いた場合よりも磁化困難方向に向いた場合の方が、原子磁気モーメントがその方向にある確率が小さいため、磁化の大きさの期待値が方位に依存する。実際、例えば $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の磁化の大きさには方位依存性があり、磁化容易方向を向いているときの飽和磁化は困難方向のそれよりも室温で約3~4%大きい⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。さ

らに、局所的な領域の磁化の熱平均値が周囲との強磁性的交換結合の強さに依存していることを考えると、古典的なマイクロマグネティクス理論では考慮されていない磁化の伸び縮みを考慮する必要があるかもしれない。したがって、磁気的な相関長の範囲で磁化の平均の方向が少しずつ変化している磁壁のような構造が出現する際の、エネルギー障壁の地形図を実際に計算するにはどうすればよいかが問題となる。これらは次回のテーマとし、ここではもっとマクロな観点から、過渡現象としての保磁力の性質について整理し、エネルギー障壁についてどのように理解してきたかを見ておきたい。

7. 過渡現象としての保磁力の性質

(1) 熱活性化過程

ストーナー-ウォールファースのマイクロマグネティクス理論では印加磁界下での磁化反転過程の最低エネルギーの経路を計算し、エネルギー障壁がなくなる印加磁化の大きさが保磁力を与える。一方、有限の温度では障壁の高さが有限であっても熱のエネルギーをもらってその障壁を超えることができる。この問題の基本的な議論はブラウン(W. F. Brown, Jr.)によって、すでに1960-1970年代になされている⁽¹²⁾⁽¹³⁾ので、それらを参考にしつつ、ここでは次回への準備として一部を説明するにとどめる。

正方向を向いた磁化に逆磁界を印加して生じた準安定状態が、どのように障壁を乗り越えて磁化反転に至るのか、その過程を確率的過程として理解する必要がある。一斉回転モデルや平面磁壁がピニング面から一様に離れる1次元モデルのような単純なモデルの場合なら図14のような概念図を示すことができ、このエネルギー障壁(E_B)を熱エネルギーによって乗り越えるとして議論することができる。ただし、有限温度ではエントロピーの効果も含む自由エネルギーとする必要がある。次に、エネルギー障壁と緩和時間の関係について少し整理してみよう。

準安定状態にある系がエネルギー障壁を越えてより安定な

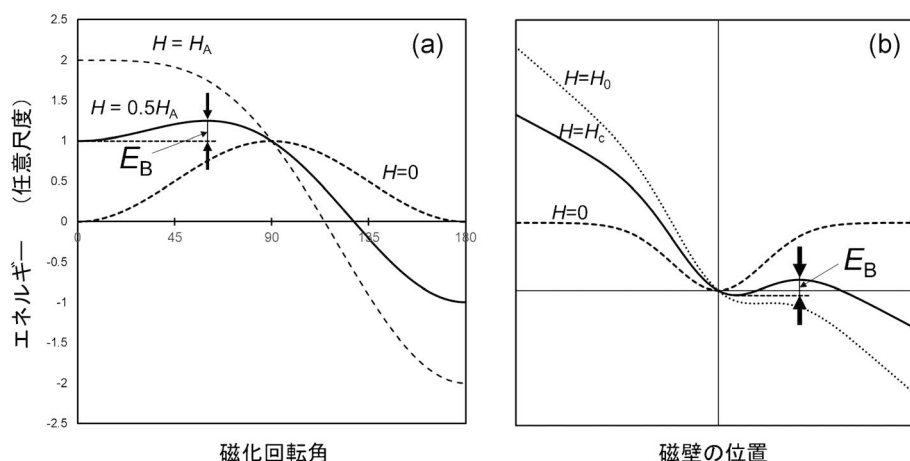


図14 一斉回転モデル($\phi=0$) (a) と磁壁離脱モデル(b)の保磁力付近の磁化反転に対するエネルギーとエネルギー障壁(E_B)の概念説明図。

状態に遷移する速さ r は、系の状態がエネルギー障壁の山の頂上になる頻度に等しいとすると、エネルギー障壁の高さを F_B として

$$r = f_0 \exp\left(-\frac{F_B}{k_B T}\right) \quad (14)$$

と表わされる。 f_0 は1秒間の試行回数であり、 $10^{10} \sim 10^{12}$ である。準安定状態が安定状態に向けてエネルギー障壁 F_B を越えて緩和する時の緩和時間(の平均値)は一般に $\tau_0 = f_0^{-1}$ を $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 秒オーダーの因子(ミクロな試行時間)として

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{F_B}{k_B T}\right) \quad (15)$$

で与えられる。緩和時間が1秒となる磁界の強さを、通常測定される保磁力とみなせる。 τ_0 をどのように設定するかで実際の値が多少変化するが、 10^{-11} 秒とすると、

$$F_B = (\ln 10^{-11}) k_B T = 25.3 k_B T \quad (16)$$

となる時の印加磁界 H を保磁力と見なせる。室温(300 K)での F_B の値は 1.05×10^{-19} J (6.54 eV) となる。このエネルギーを担っているのはどの程度の数の原子なのか、あるいは、どの程度の大きさにまたがる範囲が成長を始めた逆磁区核と見なせるのだろうかということについて、次に考えてみよう。

磁化反転の素過程で一つの局所領域(磁化反転核)の磁化が回転して磁化反転が開始するという前回の図9の描像に基づくと、磁化が反転した局所領域の体積 V_a と、その体積分の磁化減少 ΔM との関係は、

$$V_a = \Delta M / M_s \quad (17)$$

であり(M_s は単位体積当たりの自発磁化の大きさ)、それによるエネルギーの利得は $\Delta M \cdot H$ である。したがって、 ΔM と印加磁界 H との関係が分かれば磁化反転がどの程度のミクロな領域で始まるのかが分かる。前回議論した図9や図11の、磁化反転核の大きさは磁壁幅と同じ桁のサイズ領域という描像が正しいとすれば、 ΔM は保磁力の近傍ではあまり大きく印加磁界に依存せず、準安定状態のエネルギーが逆方向の印加磁界の増加と共にどんどん高くなる(不安定になる)(図15(a))ことによって、エネルギー障壁が低くなっていく(図15(b))。この障壁がなくなる臨界磁界が熱活性化過程を考えない場合の保磁力 H_0 になる。

ここまでの議論は概念的なものであるが、マイクロマグネティックスを用いて磁化反転核の生成過程の最もエネルギーが低い磁気構造を数値的に算出して終状態に至るまでのエネルギー地形図を知ることができる。研究例としてバンス(Bance)らの直径約50 nmの表面に軟磁性層を配した多面体 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 孤立粒子に対する計算の例⁽¹⁴⁾があり、エネルギー障壁の高さが $25 k_B T$ になる印加磁界を保磁力とみなした場合、その値は室温でエネルギー障壁がなくなる印加磁界(熱活性化過程がない時の保磁力)よりもおよそ15%小さいことが示されている。結晶格子点に配置した原子磁気モーメント集団の熱揺らぎも考慮した議論は次回の本講座で紹介する。

(2) 磁化の時間依存性

ここで議論している磁化反転過程は熱活性化過程による非

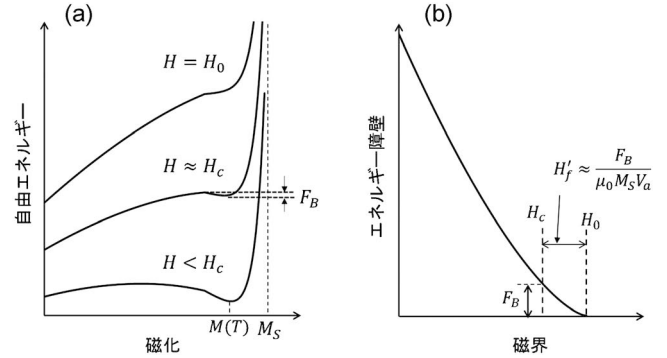


図15 緩和過程がある場合のエネルギー障壁と磁化(a)、および、これと逆向きの印加磁界(b)との関係を示す概念図。一定の緩和時間(本稿では1秒)で緩和する障壁の高さを F_B 、その時の磁場を保磁力 H_c 、エネルギー障壁がなくなる磁界の大きさを H_0 、 H_0 と H_c との差を H'_f と表記した(この記号のプライム記号は伝統による)。図(a)は系の体積よりも非常に小さく整合回転ができる程度の領域の磁化回転によって保磁力が支配される状況を想定したもので、一斉回転や1次元の磁壁補足の場合(図14)とは異なることを強調しているが、曲線の形状は概念的である。図中の M_s は全ての原子の磁気モーメントが完全に平行配列した状態に対応し、 $M(T)$ が温度 T での磁化に対応する。

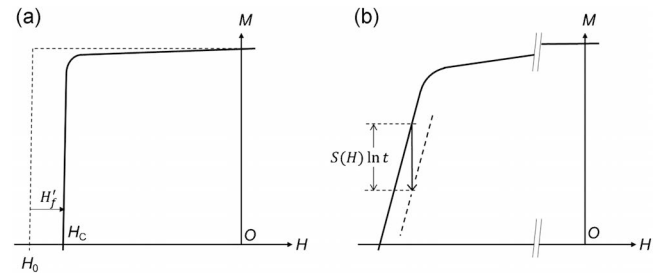


図16 有限の緩和時間(例えば1秒)の減磁曲線(実線)と緩和時間が零の場合に対応する仮想的な減磁曲線(点線)および熱揺動磁界の概念図(a)、および、測定時間が長い(例えば1000秒)の減磁曲線(破線)に向かう磁化の緩和の概念図(b)。

平衡状態から平衡状態に向けての遷移の速さ(式(14))の問題であり、図16に模式的に示すように、磁化変化 ΔM は測定時間に依存する。これは磁力測定の際の測定機器の待定数や試料に流れる渦電流効果による磁界侵入の遅れなどで発生する見かけ上の時間依存性ではなく、準安定状態の緩和に関係する本質的なものである。この時間依存性は、磁気粘性、あるいは、磁気余効と呼ばれており、これを測定して V_a の大きさを推定することが古くから行われている。ネオジム磁石については Givord らの研究⁽¹⁵⁾などが知られている。以下に磁化の時間依存性の表現式について少し整理する。

実験事実として、印加磁界を段階的に変化した後の磁化の時間応答が時間の対数にほぼ比例して変化することが知られており、磁化の平均の時間依存性は、

$$M(H, t) = M(H, t_0) - S \ln(t/t_0) \quad (18)$$

の形の式で与えられる。

一方、ひとつのスピンの磁化が準安定状態から緩和する過程を考えると、緩和の速さが式(14)で与えられ、緩和時間 τ を持つ緩和過程に対する一般的な形の式

$$M(H, t) = M_s - 2M_s \exp(-t/\tau) \quad (19)$$

に従って磁化が時間的に変化する(単位体積当たりの飽和磁化を M_s とする)。この関数は緩和時間の近傍では時間の対数に対してほぼ直線となるが、 τ のエネルギーバリア依存性(式(15))を入れて、個々のスピン間に強い相互作用がないとして全体の平均が系の磁化の変化を与えると考える。

エネルギーバリアの分布関数 $f(E)$ を考えると式(19)の全エネルギー範囲に亘る平均値は

$$M(H, t) = M_s - 2M_s \int_0^\infty f(E) \exp\left[-\left(-t/\tau_0\right) \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)\right] dE \quad (20)$$

と表される。分布関数 $f(E)$ が緩和時間 τ に係る緩和過程のエネルギーの近傍ではほぼ一定の値 $f(F_B)$ とすると、その幅にわたる積分操作によって $\exp(-t/\tau_0)$ 項が現れ、係数 S は

$$S = 2M_s k_B T f(F_B) \quad (21)$$

であることが導かれる⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。 S は磁化 M と同じ次元を持つ量で、磁気粘性係数または磁気余効定数と呼ばれている。 F_B は、永久磁石の保磁力の測定において、典型的には $25.3k_B T$ である。

磁気予効の測定では磁界を少し(ΔH)だけ変化させた時の緩和時間 τ の間に見られる磁化の変化 ΔM を測定し、測定結果は両者の比、すなわち帯磁率、

$$\chi_{\text{irr}} = \frac{dM}{dH} \quad (22)$$

として整理される。 χ_{irr} は緩和現象による不可逆的な変化なので、不可逆帯磁率と呼ぶ。

一方、この緩和に関与するスピンの割合は F_B 近傍の $f(E)$ dE なので磁化変化は、

$$\Delta M = -2M_s f(E) dE \quad (23)$$

と表現することができ($E = F_B$)、磁界の変化 ΔH と関連付けると、

$$\Delta M = -2M_s f(F_B) \frac{dE}{dH} \Delta H = \chi_{\text{irr}} \Delta H \quad (24)$$

と表すことができる。式(24)を使って不可逆磁化率とエネルギーバリアの分布関数とを関連付けると、

$$\chi_{\text{irr}} = -2M_s f(F_B) \frac{dE}{dH} \quad (25)$$

であり $dE/dH = -\mu_0 V_a M_s$ なので、磁気粘性係数(磁気余効定数)は

$$S = \frac{k_B T \chi_{\text{irr}}}{\mu_0 M_s V_a} = S_v \chi_{\text{irr}} \quad (26)$$

と表すことができる。ここで、 S_v は

$$S_v = \frac{k_B T}{\mu_0 M_s V_a} \quad (27)$$

であり、磁界の次元を持つ。したがって、現象論的に熱活性化プロセスを磁化に働く有効磁界として表現できることが示唆され、 S_v は熱揺動磁界 H_f と呼ばれる項と関連付けられる。

熱揺動の保磁力への影響をその効果を表す磁界成分 H_f として表現すると、保磁力の表現式(9)が、

$$H_c(T) = \alpha_K H_A(T) - N_{\text{eff}} M_s(T) - H_f'(T) \quad (28)$$

となる。右辺第3項の $H_f'(T)$ が温度 T における熱揺動効果による保磁力の低下を表す。ヒステリシスは緩和現象なので、 H_f' は磁界の掃引速度に依存するが、本稿では立ち入らない。上述の磁気粘性の説明は磁界を段階的に変化させた後、一定磁界の下で緩和する場合に対応している。 H_f' と S_v の関係は、緩和時間1秒の場合、

$$H_f' = 25.3 S_v \quad (29)$$

である。 S_v を H_f と表記して熱揺動磁界とする伝統があるので、本稿では我々が測定する保磁力への影響をこれと区別するため、プライム記号を付けて H_f' と表記している($H_f' = 25.3 H_f$)。なお、 H_f は、式(18)の磁化の時間依存性を磁界の時間変化に帰着して、 $H(t) = \text{定数} + H_f \ln t$ と表現する現象論(減磁方向を正としている)において、時間依存項の磁界の次元を持つ係数である。

要するに、磁化 M_s 、磁気予効定数 S 、および、 χ_{irr} を測定すれば、活性化体積 V_a が分かる。永久磁石材料の測定では保磁力近傍の磁界に対して S_v がほぼ一定の範囲があり、その値を用いて V_a が決定される。適正な熱処理がされた焼結 Nd-Fe-B 磁石では室温付近で S_v の測定結果はおおよそ 7 kA/m であり⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾、 $\mu_0 M_s = 1.61 \text{ T}$ とすると、 $V_a \approx 3.7 \times 10^{-25} \text{ m}^3$ である。球換算すると半径が約 4.5 nm となる。これは、磁化反転の開始時点で磁壁幅(Nd₂Fe₁₄Bでは室温で約 4.2 nm)程度の領域の磁化が反転し始めるという、前回稿の図9および11に示した直感的な描像を支持している。

$H_f' = 25.3 S_v$ の値は約 180 kA/m であり、Nd-Fe-B 三元系の焼結磁石の典型的な保磁力を仮に 800 kA/m とすると、熱緩和の無い保磁力 H_0 の値は 980 kA/m となり、その約 18% が H_f' として失われていることになる。仮に緩和時間を 0.01 秒と短くした測定(パルス磁界による測定など)の場合は $H_f' = 20.7 S_v \approx 150 \text{ kA/m}$ で保磁力の測定値はわずかに(約 30 kA/m)増加する。これらの数値は組成が同じでも、もちろん材料組織によって異なり、組成が同じで高保磁力の材料では V_a が大きく、低保磁力の材料では V_a が小さく見積もられる。すなわち、逆磁区核の生成あるいは磁壁の離脱が小さな活性化体積で起こる材料は保磁力が小さい。活性化体積程度のサイズの領域の磁気物性値がそれを許す程度に劣化していると考えられることもできるが、上記の議論ではその根拠が明白ではなく、もっと徹底的な議論が必要である。

(3) 多粒子系のマクロな磁化反転過程

焼結 Nd-Fe-B 磁石の結晶粒径は小さなものでも約 $1 \mu\text{m}$ 、通常は数 μm 程度であり、また、熱間塑性加工法により製造される異方性 Nd-Fe-B 磁石ではこれよりも約一桁小さく、数百 nm である。本稿でここまで見てきた磁化反転過程は単一の過程をミクロなスケールで見ただけで、膨大な数の結晶粒からなる実際の磁石の保磁力を理解するには不十分である。とはいえ、多粒子磁石の磁化反転カスケードが開始

する臨界現象をミクロなスケールで記述しておけば、磁石の保磁力の本質的な部分を理解したことになり、材料の改善につなげていくことも可能であると考えられる。隣接粒子との相互作用がある場合、一つの粒子で逆磁区が生成拡大して粒子内全域に磁化反転が進行するとその隣接粒子に働く磁界がそれに応じて変化する結果となり、変化後の有効磁界が隣接粒子の逆磁区生成の臨界磁界よりも大きければ、磁化反転過程が決定論的に進行し始める。これが磁化反転カスケードである。

隣接粒子の影響については、前回、保磁力の粒径依存性の議論の中で、磁気双極子相互作用による静磁界の影響を考察した。焼結磁石のように主相粒子が密に詰まった材料ではこの双極子相互作用を始めとする隣接粒子間の磁気結合が存在する。その結果、一般に減磁曲線の保磁力近傍の角型性が良く、マクロな磁化が急激に反転するようにふるまう。これに対して、結晶粒界に非強磁性を析出させた材料も提案され、主相比率が減少する分だけ残留磁束密度が低下するが保磁力が高くなっていることを前回紹介した。Nd-Fe-B系焼結磁石の粒界相を非強磁性相にした材料について、粒子間の強磁性的磁気結合を切断すると保磁力が増加するが減磁曲線の保磁力近傍の傾きが大きくなり角型性が低くなる傾向にあることが、磁化反転過程のカー(Kerr)顕微鏡による磁区観察およびマイクロマグネティックシミュレーションによる解析により理解できることが報告されている⁽²⁰⁾。

8. 第2回まとめ

今回は磁化の緩和過程という観点で磁石の保磁力について考察した。熱活性化過程による緩和がある場合、すなわち通常の使用環境では保磁力の表式には熱揺動の効果を表す磁界 H_f が含まれる(式(28))。緩和過程は磁石の結晶粒と比較するとはるかに小さな数nm程度の領域の磁化が熱活性化過程によって反転することによって開始する。

次の課題は、このような、主相の結晶格子と同程度の小さな領域における磁化反転核の生成と実際の材料の構造とがどのように結びつけられるかという、保磁力理論の根幹的な課題である。これは、最近の原子解像度の組織解析の技術や、結晶界面の原子構造の大規模第一原理計算の情報を駆使して、材料の保磁力を解析したり、特性改善の具体的な方法を提案したりするために、理解しておくことが必要な点である。次回は、準安定状態からエネルギー障壁を超えるときに、磁壁幅程度の領域の原子磁気モーメントが反転するとい

う過程について、原子解像度の視点で見ればどのような議論が可能なのか、最近の進歩を踏まえて述べる。

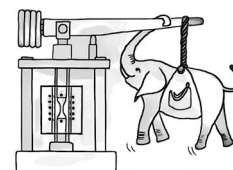
文 献

- (1) 広沢 哲：まてりあ, **62**(2023), 307-313.
- (2) A. Sakuma, S. Tanigawa and M. Tokunaga: J. Magn. Magn. Mater., **84**(1990), 52-58.
- (3) H. Kronmüller, K.-D. Durst and M. Sagawa: J. Magn. Magn. Mater., **74**(1988), 291-302.
- (4) J. Li, H. Sepehri-Amin, T. T. Sasaki, T. Ohkubo and K. Hono: Sci. Tech. Adv. Mater., **22**(2021), 386-403.
- (5) J. Li, H. Sepehri-Amin, 佐々木泰介, 大久保忠勝, 宝野和博：粉体および粉末冶金, **69**(2022), S38-S51.
- (6) J. Li, Xin Tang, H. Sepehri-Amin, T. T. Sasaki, T. Ohkubo and K. Hono: Acta Mater., **187**(2020), 66-72.
- (7) J. Li, Xin Tang, H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hioki, A. Hattori and K. Hono: Acta Mater., **199**(2020), 288-296.
- (8) D. Givord, M. Rossignol and V. M.T.S. Barthem: J. Magn. Magn. Mater., **258-259**(2003), 1-5.
- (9) S. Hirose, M. Nishino and S. Miyashita: Adv. Nat. Sci. Nanotechnol., **8**(2017), 013002 (1-12).
- (10) D. Givord, H. S. Li and R. Perrier de la Bâthie: Solid State Commun., **51**(1984), 857-860.
- (11) H. Sato, Y. Kubo, T. Yoshioka, H. Tsuchiura, Y. Mizuno, K. Koike, K. Takahashi and H. Kato: AIP Adv., **11**(2021), 025224 (1-4).
- (12) W. F. Brown, Jr.: Phys. Rev., **130**(1963), 1677-1686.
- (13) W. F. Brown, Jr.: IEEE Trans. Magn., MAG-15 (1979), 1196-1208.
- (14) S. Bance, J. Fischbacher, A. Kovacs, H. Oezelt, F. Reichel and T. Schrefl: JOM, **67**(2015), 1350-1356.
- (15) D. Givord, Q. Lu, M. F. Rossignol, P. Tenaud and T. Viadieu: J. Magn. Magn. Mater., **83**(1990), 183-186.
- (16) R. Street and J. C. Woolley: Proc. Phys. Soc. A, **62**(1949), 562-572.
- (17) R. Skomski: J. Phys.: Condens. Matter., **15**(2003), R841-R896.
- (18) D. Givord, A. Lienard, P. Tenaud and T. Viadieu: J. Magn. Magn. Mater., **67**(1987), L281-L285.
- (19) 西尾博明：日本応用磁気学会誌, **13**(1989), 209-212.
- (20) M. Soderžnik, H. Sepehri-Amin, T. T. Sasaki, T. Ohkubo, Y. Takada, T. Sato, Y. Kaneko, A. Kato, T. Schrefl and K. Hono: Acta Mater., **135**(2017), 68-76.



広沢 哲

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1981年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了
 1984年 住友特殊金属(株)(現 日立金属(株))入社
 2012年4月- 現職
 専門分野：希土類磁石材料
 ◎Nd-Fe-B系焼結磁石、および、ナノコンポジット
 磁石の研究開発等に従事。元素戦略プロジェクト
 の磁石分野研究代表者として活動後、その成果を
 基盤とする産学連携マテリアルズオープンプラッ
 トフォームの企画運営に2022年から従事。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



2. 特性の計測評価

2-1 力学特性

2-1-2 クリープ試験

森 田 孝 治*

2-1-2-1 はじめに

材料に対して外力を作用させると、その外力の大きさに応じた変形が生じるようになります。室温などの低温では、作用させる外力を材料の降伏応力以上に大きくしないかぎり、それ以上の連続した変形の進行は起こりません。一方、高温では、たとえ降伏応力以下の低応力でも、一定の外力を作用させると時間経過とともに材料は徐々に変形するようになります。高温におけるこのような変形をクリープ(creep)と言います。このような現象が起こるのは、高温では、低温とは異なり物質の拡散現象が変形に関与するようになるからです。クリープ変形における低温と高温の明確な線引きはありませんが、拡散現象が変形に寄与するか否かで議論されます。一般的には、材料の融点の絶対温度 T_m に対する変形試験の絶対温度 T の比で定義され、その比が $T/T_m > 0.5$ での試験が高温(クリープ)変形とされています。そのため、クリープ変形が起こる温度は一様ではなく、材料ごとに当然異なります。

この様なクリープ変形は、特に、長期間にわたって使用されるジェットエンジンや火力発電などの燃焼機関で使用されるタービン翼などの高温機器部材の余寿命設計において重要な現象となります。そのため、クリープ試験による材料評価は、これまでに国内外のプラントメーカーや素材メーカーで長年取り組まれてきました。著者が所属している物質・材料研究機構(NIMS)が取り組んでいるクリープデータシートプロジェクトもその一つです。高温機器の安全性の確保と信頼性の向上に向けたクリープ試験が現在も進められており、実際の使用時間を想定し、設計に必要な10万時間を超える長時間のクリープ試験が実施されています⁽¹⁾。なおかつ、その結果を広く公表することによって、われわれの身の回りで使用さ

れる高温機器の安全性と信頼性の確保に貢献しています。この様な長時間のデータ取得が重要な理由は、後述するように、クリープ変形が組織に敏感に依存して変化するためです。長年高温環境にさらされると、様々な組織変化が生じるため、短時間データから外挿される予測値と異なる挙動となることも確認されています。物材機構におけるクリープ試験は、その前身である金属材料技術研究所において、1966年に降先人達から脈々と受け継がれてきました。その結果、その取り組みを通じて得られた最長時間は356,463時間(1969年6月に試験を開始し、14,852日と15時間の試験で、41年に相当)にもおよぶクリープ変形データとなり、長時間クリープデータの世界最長記録を更新するに至っています(図1⁽²⁾)。皆さんの生まれ年のビンテージワインならぬ、ビンテージクリープ試験片も見られるかも知れません。

高温機器部材においては、耐熱性、耐クリープ特性が求められます。その一方で、構造部材を使える形に加工して製品化する上では、高温において最終形状にニアネットシェイプ成型する技術も必要になってきます。その様な形状を付与す

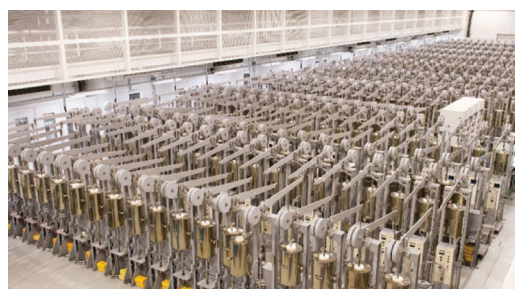


図1 NIMSのクリープ試験施設; NIMS HPより⁽¹⁾⁽²⁾。空調が管理された室内で、数百台のレバー式の単軸引張クリープ試験機が様々な試験条件下で絶え間なく稼働しています。

* 物質・材料研究機構 電子・光機能材料研究センター光学材料分野多結晶光学材料グループ; グループリーダー

Experimental Guides for Metallic Materials : 2. Measurement and Evaluation of Material Properties : 2-1-2 Creep Tests; Kouji Morita (Polycrystalline Optical Material Group, Optical Materials Field, Research Center for Electronic and Optical Materials, National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba)

Keywords: *diffusion, dislocation, grain boundary sliding (GBS), stress, strain, high temperature*

2023年2月7日受理[doi:10.2320/materia.62.381]

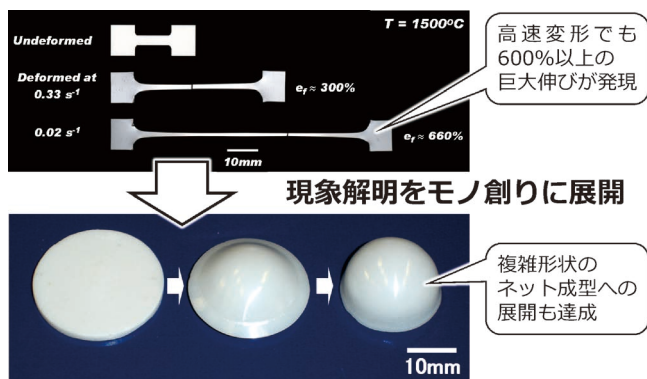


図2 ジルコニアセラミックス(3Y-ZrO₂)の超塑性変形前・後の試験片⁽³⁾(上)と超塑性を利用したネットシェイプ成型のデモ(下)。(上)MgAl₂O₄スピネル相を体積比で30%分散させることで、ジルコニアセラミックスはひずみ速度0.02 s⁻¹の高速変形でも660%もの金属並みの超塑性変形を発現するようになります。(下)セラミックスのような脆性材料でも、板状から半球状にネットシェイプ成型することができるようになります。組織調整により十分な超塑性変形が実現できれば、亀裂や損傷を生じることなく、滑らかな表面状態の加工品の実現も可能になります。

るために必要な高温変形モードの1つとして、超塑性変形が知られています。超塑性変形に適した組織調整を行うと、セラミックスの様な脆い材料でも巨大な引張伸び⁽³⁾⁽⁴⁾を発現するだけではなく、ニアネットシェイプ成形も可能な可塑性を示すようになります(図2)。耐熱特性と正反対のそのような特性が得られるのは、高温(クリープ)変形の挙動が、上述した温度条件のみではなく、材料が有する組織に強く影響されるためであり、評価・解析や設計を行う上で注意すべき点となります。超塑性変形は、比較的短時間、なおかつ限られた条件下(敢えて言うならば、超塑性領域)で発現する現象ですが、その変形機構を理解する上では、超塑性領域から外れた領域まで含めて、広範囲でそのクリープ変形挙動の評価・解析を行った上で整合性の取れた議論が必要になります。

高温(クリープ)変形については、これまでも既に多くの著書や解説⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾が報告されており、その中で様々なケースを対象にして変形機構に関する詳細な解説が成されています。クリープ変形機構そのものに関する詳細な議論に関してはそれら先行報告やテキストをご参照ください。本稿では、変形機構に関する記載はクリープ変形を理解する上で必要最低限の内容に留め、クリープ試験の測定方法や解析時の注意点など、初歩的な事柄を中心に概説させていただくこととします。

2-1-2-2 クリープ曲線

材料に対して $T/T_m > 0.5$ の高温下で一定の外力を作用させると、僅かな変位が瞬間的に生じた後、温度と外力に応じて種々の挙動を示します。図3の模式図において実線で示すように、一般的には、まず変形開始直後は、ひずみ速度($\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$)が時間とともに徐々に減少する一次クリープ(I: 遷移

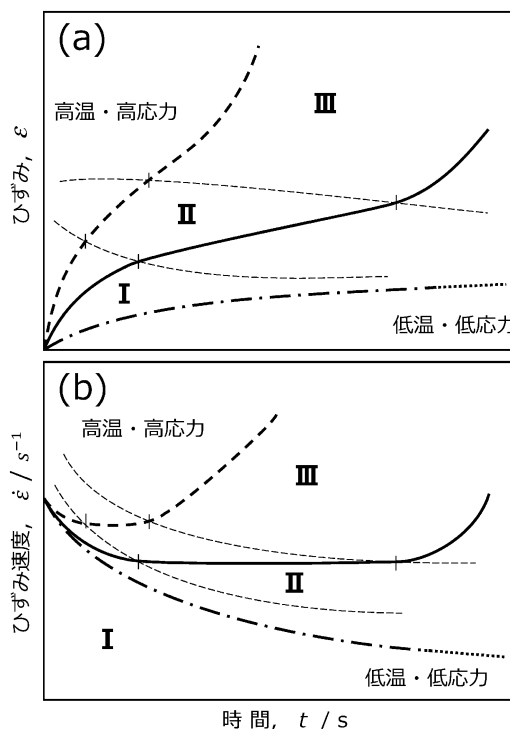


図3 (a)クリープ曲線と(b)ひずみ速度の時間変化の模式図。高温・高応力になるほど、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は増加し、遷移クリープ領域Iから、直ちに定常クリープ領域IIを経て、加速クリープ領域IIIへと遷移します。逆に、低温・低応力になると、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は遅くなり、遷移クリープ領域Iと定常クリープ領域IIが長時間側まで拡張されるようになります。

クリープ)領域、その後ひずみ速度が一定となる二次クリープ(II: 定常クリープ)領域を経て、ひずみ速度が増加し始める三次クリープ(III: 加速クリープ)領域が現れ、いずれ破断に至ります。ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は、温度と作用させる外力の大きさによって当然変化し、それに伴いこのクリープ曲線の形状も変わってきます。高温・高応力になるにつれて、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は増加し、遷移クリープ領域を経て、直ちに定常・加速クリープ領域へと変わるため、定常クリープ領域は小さくなっていきます。一方、低温・低応力になると、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ は急激に遅くなるため、遷移クリープ領域と定常クリープ領域がより長時間側まで拡張され、加速クリープ領域への変化は場合によっては現れなくなります。負荷する外力が更に小さくなると、一定以上変形が起こらなくなるクリープ限界が出現します。

遷移クリープ領域では、変形に伴い転位が増殖すると、転位同士が互いの運動を妨げるようになり変形が徐々に停滞してくるため、変形速度が遅くなっていきます。拡散が十分起こるような高温では、転位の増殖と同時に拡散による転位の消滅や回復も起こるようになってきます。そのため、転位の増殖が進み飽和状態に達すると、消滅や回復の影響が徐々に大きくなります。やがて増殖と回復が同程度で、バランスが保たれた状態となると、クリープ曲線に定常状態が現れるようになります。その後、変形がさらに進むと、回復が十分に

起こらなくなり、バランスが破綻し、粒界多重点や第二相などにおいて空隙やき裂が形成されるようになるため、変形速度が急激に増加し始めます。そのような状態になると、クリープ曲線は加速クリープ領域へと遷移し、空隙やき裂が連結し始めて最終的には破断に至ります。

2-1-2-3 クリープの構成方程式

クリープ変形機構は、上記の3つの変形領域の内、変形の進行と回復のバランスが維持された定常状態におけるひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ と、変形応力 σ および試験温度 T の関係を示す半経験的なクリープの構成方程式(式(1))を用いて議論されます。なお、これ以降の説明に用いる応力とひずみは、それぞれ真応力(true stress)と真ひずみ(true strain)で定義します。

$$\dot{\epsilon}=A\frac{DGb}{kT}\left(\frac{b}{d}\right)^p\left(\frac{\sigma}{G}\right)^n \tag{1}$$

ここで、 A は定数、 D は拡散係数、 G は材料の横弾性係数(剛性率)、 b はバーガースベクトルの大きさ、 k はボルツマン係数、 T は絶対温度(K)、 d は結晶粒径、 σ は真応力です。また、拡散係数 D は、振動数項 D_0 、拡散の活性化エネルギー Q 、気体定数 R を用いて次式で表されます。

$$D=D_0\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \tag{2}$$

ここで、式(1)中の n 、 p および Q は、それぞれ応力指数、粒径指数、および変形の活性化エネルギーで、変形機構の議論に用いられることから、クリープパラメータと呼ばれます。Dornの式ともいわれる式(1)は⁽⁵⁾、温度や応力によって変化する変形機構に応じて、表1のような組み合わせで記述されます⁽⁷⁾。拡散係数 D の添字は、格子拡散(l : lattice diffusion)、粒界拡散(gb : grain boundary diffusion)および転位芯拡散(p : pipe diffusion)係数を意味し、変形の活性化エネルギー Q も格子拡散、粒界拡散および転位芯拡散を反映した値となります。

例えば、温度が高く、応力が低い条件下では、主に拡散に

表1 クリープ変形機構とクリープパラメータ(応力指数 n 、粒径指数 p)と拡散係数 D の関係。

変形機構	応力指数 n	粒径指数 p	拡散係数 D
拡散クリープ			
格子拡散(Nabarro–Herring クリープ)	1	2	D_l
粒界拡散(Coble クリープ)	1	3	D_{gb}
粒界すべり(超塑性変形)	2	2~3	$D_{gb} \text{ or } D_l$
転位クリープ			
低温べき乗則	5~7	0	D_p
高温べき乗則	3~5	0	D_l

拡散係数 D の添字は、格子拡散(l : lattice diffusion)、粒界拡散(gb : grain boundary diffusion)および転位のパイプ拡散(p : pipe diffusion)係数を意味します。

よる原子の移動によって変形が起こります。これを拡散クリープ(diffusional creep)と呼びます。この拡散クリープは、温度や結晶粒組織に依存して、格子拡散が支配的な格子拡散クリープ(lattice diffusion creep)と粒界拡散が支配的な粒界拡散クリープ(grain boundary diffusion creep)に大別されます。それぞれ提唱者の名前で、Nabarro–Herring クリープ^{(10) (11)}とCoble クリープ⁽¹²⁾とも呼ばれています。

図4(a)は、拡散クリープを説明するため、多結晶体中の結晶粒を模式的に示したものです。物質の拡散は、系が平衡状態となるように、つまり原子の化学ポテンシャルが高い方向から低い方へ拡散します。 σ の応力条件下では、負荷応力は $\sigma\Omega$ (ここで、 Ω は原子容)の仕事をするため、原子の化学ポテンシャルは応力が無い場合に較べて変化します。例えば、材料に対して上下方向に引張の応力(➡)を作用させると、結晶粒の上下の粒界では引張応力が作用して化学ポテンシャルは $\sigma\Omega$ だけ減少するため、空孔濃度が高くなります。これに対して、逆に結晶粒の左右の粒界では圧縮応力が作用することで化学ポテンシャルが $\sigma\Omega$ だけ増加するため、空孔濃度が低くなります。その結果、高温では応力に誘起された化学ポテンシャル差に起因して形成される空孔濃度の勾配をなくすように、空孔の流れ(図4(a)の点線矢印)とは逆方向への原子の拡散が起こるようになります(図4(a)の実線矢印)。図4(a)中に点線の矢印で示すような空孔の流れと、その逆方向に実線の矢印で示すような原子の流れ、つまり拡散が起こるようになります。応力軸方向に物質の移動が生じ

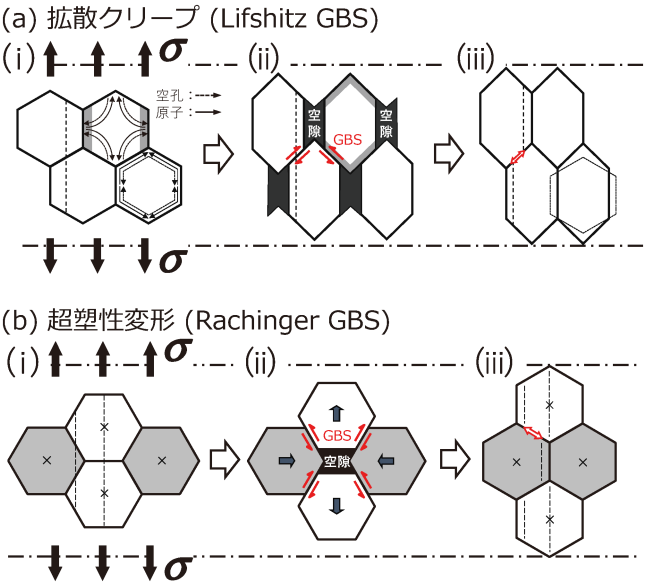


図4 (a) 格子・粒界拡散クリープと(b)粒界すべり機構の模式図。(a)の拡散クリープでは、格子あるいは粒界に沿った物質移動(実線矢印)にともなう結晶粒の形状変化と⇔で示すような粒界すべり(Grain Boundary Sliding : GBS)が付随的に起こることで、ひずみが生じます。(b)の超塑性変形では、結晶粒の等軸粒形状を維持したまま、粒界すべり(GBS : ⇔)により互いの位置を交換(スイッチング機構)することでひずみが生じます。図中の両矢印(⇔)は、すべり量を意味しています。

る結果、ハッチング部分の原子が結晶粒の左右面(図4(a)-(i))から上下面(図4(a)-(ii))に移動するため、結晶粒は応力軸方向に伸長することで材料にひずみをもたらします。また、拡散クリープによる変形では、物質の移動により幾何学的には空隙が発生してしまうこととなりますが、実際には材料の連続性を維持できるように粒界すべり(Grain Boundary Sliding: GBS)も付随して起こるため、空隙の形成が抑えられます。これは Lifshitz 型の粒界すべりと呼ばれています⁽¹³⁾。

Nabarro と Herring らは、空孔の濃度勾配に起因した物質拡散の経路が結晶粒内を経由するモデル(格子拡散クリープ)を提唱したのに対し、Coble は結晶粒界を経由するモデル(粒界拡散クリープ)を提唱しました。格子拡散クリープと粒界拡散クリープのいずれの場合も、それらのひずみ速度 $\dot{\epsilon}_l$ と $\dot{\epsilon}_{gb}$ は応力に比例する粘性的挙動を示します。そのため、応力指数はともに $n=1$ となります(ここで、ひずみ速度の $\dot{\epsilon}$ の添字 l と gb は、それぞれ lattice diffusion creep と grain boundary diffusion creep を意味します)。しかし、変形の活性化エネルギーはそれぞれの拡散経路に関連するため異なります。格子拡散クリープの活性化エネルギーは格子拡散の拡散係数(D_l)のそれと等しく、結晶粒径の 2 乗に反比例すること、一方、粒界拡散クリープの活性化エネルギーは粒界拡散の拡散係数(D_{gb})のそれと等しく、結晶粒径の 3 乗に反比例する以下の式でそれぞれ表されます⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾。

$$\dot{\epsilon}_l = A_l \frac{D_l \Omega}{k T d^2} \sigma \quad (3)$$

$$\dot{\epsilon}_{gb} = A_{gb} \frac{\delta_{gb} D_{gb} \Omega}{k T d^3} \sigma \quad (4)$$

ここで、 A_l と A_{gb} は定数、 Ω は原子体積、 δ_{gb} は粒界厚さで、添字 l と gb は、それぞれ lattice diffusion と grain boundary diffusion を意味します。欠陥である粒界に沿った粒界拡散の活性化エネルギーは、格子拡散よりも小さいため、クリープ変形は粒界拡散 D_{gb} が支配的です。しかし、結晶粒径が大きくなる程、拡散経路となる粒界の材料中に占める割合が小さくなります。そのため、活性化エネルギーの大きな格子拡散が十分起こるような高温では、格子拡散が支配的($D_l \gg D_{gb}$)となります。つまり、結晶粒径が大きくなる程、格子拡散クリープが支配的になります。ただし、活性化エネルギーが大きい格子拡散による拡散量が減少($D_{gb} \gg D_l$)する低温では、結晶粒径が小さくなる程、相対的に粒界拡散クリープが支配的に起こるようになります。

一方、応力が高くなると、変形の担い手として転位が活動するようになります。物質移動による拡散クリープよりも十分に速い変形速度を与える程にまで転位が活動するようになると、変形は転位支配のクリープ変形(dislocation creep)へと移行します。転位が運動するようになると、絡み合いなどにより加工硬化が生じて変形は停滞し始めるため、遷移クリープに見られるようにひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{disl}$ は減少します(ここで、添字 disl は、dislocation creep を意味します)。ただし、拡散が十分に起こるような高温条件では、転位の上昇運

動などによる対消滅や回復が起こるため、転位の増殖と回復が同程度でバランスが保たれた状態になり、その結果、定常クリープ領域が現れます。転位クリープの場合、そのひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{disl}$ は結晶粒径に依存しないこと(式(1)で $p=0$)、また、応力に強く依存し大きな n 値($n>3$: 律速過程に依存します)を示すことが特徴で、以下の式で表されます⁽¹⁴⁾。

$$\dot{\epsilon}_{disl} = A_{disl} \frac{D_{eff} G b}{k T} \left(\frac{\sigma}{G} \right)^n \quad (5)$$

ここで、 A_{disl} は定数、 D_{eff} は有効拡散係数で、転位密度 ρ と格子拡散係数 D_l と転位芯拡散係数 D_p を用いて以下のように表されます(ここで、添字 p は、pipe diffusion を意味します)。

$$D_{eff} = D_l + b^2 \rho D_p \quad (6)$$

また、結晶粒径が小さくなり、粒界すべり(GBS)が起こり易く、なおかつ変形に対する寄与が大きくなってくると、上述した 2 つの変形機構に加え、粒界すべりを主たる変形機構とする超塑性変形(superplastic)が発現します。この超塑性変形は、図4(b)中に $\equiv$ で示す様に、結晶粒間の粒界ですべることにより、隣接する結晶粒の位置を相互に変えることで、材料にひずみがもたらされます⁽¹⁵⁾。これはスイッチング機構とも呼ばれていますが、図4(b)の幾何学モデルに示す様に、粒同士がスイッチングする過程で空隙の形成や粒の重なりが生じてしまいます。粒界すべりによる変形を連続して起こすためには、空隙の形成や粒の重なりにより生じる応力集中を緩和する機構(整合過程)が必要となります。緩和機構が粒内拡散支配で起こるか、あるいは粒界拡散支配で起こるかにより以下のような構成式で表されています⁽¹⁶⁾、いずれの場合も超塑性変形のひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{sp}$ は応力の 2 乗に比例することが特徴です。

$$\dot{\epsilon}_{sp} = A_{sp} \frac{D_l G b}{k T} \left(\frac{b}{d} \right)^2 \left(\frac{\sigma}{G} \right)^2 \quad (7)$$

$$\dot{\epsilon}_{sp} = A_{sp} \frac{D_{gb} G b}{k T} \left(\frac{b}{d} \right)^3 \left(\frac{\sigma}{G} \right)^2 \quad (8)$$

ここで、 A_{sp} は定数で、添字 sp は superplastic を意味します。前述の拡散クリープや転位クリープでは、個々の結晶粒はその位置関係を変えることなく伸長することでひずみを生じさせます。これに対し、スイッチング機構による粒界すべりにより発現する超塑性変形では、個々の粒の位置関係を変えることでひずみを与えることが特徴です。空隙の形成や応力集中を緩和する十分な整合過程が働けば数百パーセントもの巨大な引張伸びを示すことがあります。先の拡散クリープの変形では、応力方向に結晶粒が伸長するのに対し、この超塑性変形では、結晶粒は大変形後もほぼ等軸組織(伸長していない結晶粒組織)を有していることが特徴で、Rachinger 型の粒界すべりと呼ばれています⁽¹⁷⁾。

2-1-2-4 クリープ変形の応力依存性

クリープ変形機構は、図5の模式図に示すような真応力 σ と真ひずみの定常ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の両対数プロットから導かれ

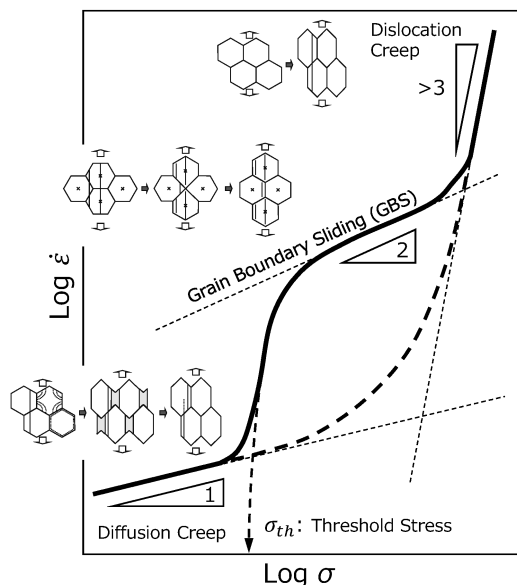


図5 各変形機構における真応力 σ と真ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関係の模式図⁽¹⁸⁾。細い破線は、転位クリープ(dislocation creep)、粒界すべり(GBS)変形および拡散クリープ(diffusion creep)が単独で発現することを想定した場合のひずみ速度の応力依存性を表しています。ただし、実際には、各変形機構がそれぞれ独立に起こって、加算的にひずみ速度に寄与すると考えられます。そのため、粗粒材の場合のひずみ速度は、太い破線で示したように連続的に変化し、応力に対してべき乗則の関係を示します。一方、結晶粒径が小さくなると、中間の応力域で粒界すべりの寄与が大きくなるために、太い実線で示したような応力依存性を示すようになります。応力の減少にともない、粒界すべり変形から拡散クリープへ遷移する際に大きな応力指数を示す領域を示します。これは、粒界すべり変形が起こらなくなる臨界の応力(しきい応力 σ_{th} : threshold stress)が存在するため、急激にひずみ速度が減少し、拡散クリープが支配的な変形へと遷移するためと考えられます。

る応力指数 n を用いて議論されます。また、ひずみ速度に対する応力の両対数プロットの関係より求められるひずみ速度感受性指数 m 値($=1/n$)の関係から議論される場合もあります。高温においては、2-1-2-3項で紹介した各変形機構がそれぞれ独立に起こって、加算的にひずみに寄与すると仮定すると、高温におけるクリープ変形速度 $\dot{\epsilon}$ は、拡散($\dot{\epsilon}_{diff}$)、転位($\dot{\epsilon}_{disl}$)および超塑性変形機構($\dot{\epsilon}_{sp}$)の総和として以下で表されます。

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_{diff} + \dot{\epsilon}_{sp} + \dot{\epsilon}_{disl} + \dots \quad (9)$$

低応力域では、ひずみ速度が応力に対して比例関係を示す $n=1$ の拡散クリープ領域となります。応力が増加して運動する転位密度が増加してくると、ひずみ速度の応力依存性は $n=1$ から $n>3$ の転位クリープ領域へと連続的に変化します。その結果、比較的結晶粒径の大きい材料では、点線で示したように、全体としてべき乗則と呼ばれる応力依存性を示します。ただし、結晶粒径が小さく、材料に占める粒界の割合が多い材料では、拡散クリープ領域と転位クリープ領域の中間領域に、粒界すべりが支配的となる領域が出現するよう

になります。この領域では、ひずみ速度が応力に対して $n=2$ の依存性となります。そのため、微細粒材の高温変形挙動を広い応力にわたって評価すると、そのクリープ変形速度 $\dot{\epsilon}$ は、図5中に太い実線で示したような応力依存性を示すと考えられます⁽¹⁸⁾。

2-1-2-5 クリープ試験において注意すべき事項

クリープ変形を議論する場合にまず重要なことは、材料に外力を作用させて変形によって生じるひずみの時間変化、いわゆるクリープ曲線を正確に取得することです。「正確に」とは、クリープ変形に影響を及ぼす温度と外力を正確に制御し、その結果生じるひずみを正確に計測することを意味しています。

2-1-2-5-1 試験方法とアライメント調整

クリープ変形を評価するための試験法は、一般的には単軸引張クリープ試験で実施されますが、これ以外に目的や用途に応じて圧縮クリープ試験⁽¹⁹⁾、曲げクリープ試験⁽²⁰⁾、振りクリープ試験⁽²¹⁾、スモールパンチクリープ試験⁽²²⁾など様々な装置・手法が用いられています。単軸引張のクリープ試験には、図6に示すような機械試験機かレバー式の単軸引張クリープ試験機(以後、レバー式クリープ試験機)が広く用いられています。比較的短時間の場合は、機械試験機が用いられます。機械試験機には機械式と油圧式がありますが、サーボモーターでボールネジを回転させて試験治具を取り付けたクロスヘッドと呼ばれる部分を上下に移動させることで試験片に荷重をかけるインストロン型(機械式)の試験機が広く利用されています。その場合の荷重計測にはロードセルと呼ばれる計測機器を用いますが、その計測精度を維持するためには、基準となる分銅などを用いた定期的な検定が必要となります。一方、レバー式クリープ試験機は、事前に検定された分銅をレバーの受け皿に乗せることで、装置のレバー比に応じ、てこの原理で発生する力を試料に引張荷重として作用させる試験方法です。動力を必要とせず、比較的シンプルな方法であるため、長期間安定した試験が不可欠な長時間クリープ試験に広く用いられています。

正確な試験を行うためには、いずれの場合も、引張軸方向のアライメント調整が重要となります。一般的には、引張治具の上部にユニバーサルジョイント(自在継手)と呼ばれる接続部材を取り付けることで軸方向荷重のアライメントを維持することが可能となります。もし、試験目的に合わせて独自に設計した機器を利用する場合には、引張ロッドに意図的に幾つかのつなぎ目を作り、なおかつ連結させる際に使用するピンを90°ずつ方向を変えて連結させて自由に可動できる機構を取り入れることでアライメントを維持する工夫がなされます(図7)。また、機械的に上下にクロスヘッドを移動させて引張の力を作用させる機械試験機に比べ、レバー式クリープ試験機の場合には、構造上曲げのモーメントが加わってしまう恐れがあるためアライメントの調整は重要です。

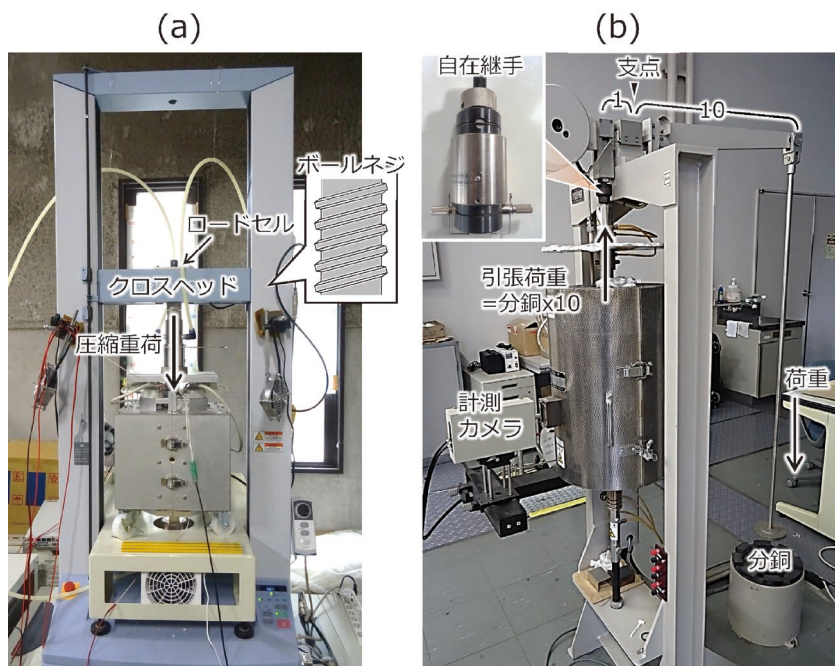


図6 (a)インストロン型機械試験機と(b)レバー式単軸引張クリープ試験の外観。(a)の機械試験機では、支柱内のボールネジを回転させることで、クロスヘッドと呼ばれる部分を上下に移動させることができます。試験治具とロードセルを取り付けたクロスヘッドを上下に移動させることで、試験片に荷重を負荷します。一方、(b)のレバー式引張クリープ試験では、右側の受け皿に分銅を乗せることで、試験片に引張荷重を負荷します。写真の装置は10対1のレバー比であることから、この原理で分銅の10倍の引張荷重を試験片に負荷することができます。

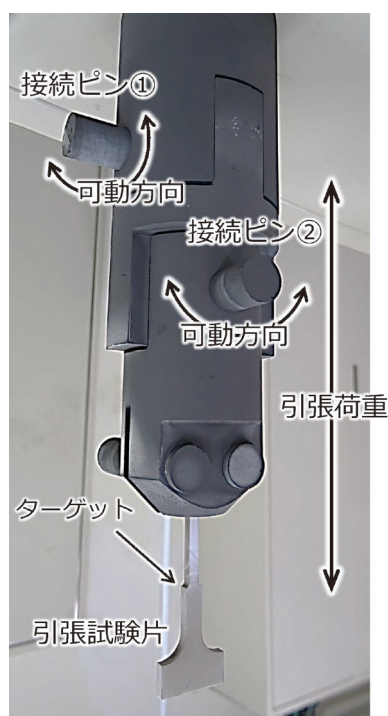


図7 引張軸方向荷重のアライメント調整のための引張治具の例。正確なアライメント調整には接手部の角度を自由に变化させることが可能な自在継手が理想的ですが、引張治具の連結部を90°ずつ方向を変えた接続ピン①と②を連結させることで回転の可動が可能となり、アライメントが維持できます。

2-1-2-5-2 クリープひずみの計測

レバー式クリープ試験機の場合には、伸び計を試験片の平行部両端に取り付け、これを加熱炉外に設置したダイヤルゲージなどで正確に読み取る方法が用いられています。ただ

し、対象材料がセラミックスの場合には、試験温度が1000℃以上となるため、伸び計の利用が困難となる場合があります。その様な場合には、図7に示すように、試験片の平行部両端にターゲットとなる突起物を予め作って置いて、その変位を加熱炉の外からカメラやレーザー変位計で間接的に計測(図6(b))することで平行部の変形を正確に評価することが可能になります。一方、機械試験機の場合は、クロスヘッドの変位を試験片の変形とみなして評価が行われることが一般的のように思われます。この場合注意が必要なのは、その計測精度の妥当性が試験片の取り付け方法によって影響を受ける点です。例えば、丸棒であれば平行部両端の固定部にネジ加工を施すか(図8(a)), 板状試験片であればその固定部をチャック式の掴み治具で挟みこむことで(図8(b)), 固定部でずれが生じないような機構にすることが理想的です。その様な方法を用いて取り付け部でのずれを抑えることができれば、クロスヘッドの変位量が平行部の変形量として見なすことができます。しかし、ネジ加工が難しいセラミックスのように脆性な材料の場合には、いずれの方法も現実的には容易ではありません。そこで、ダンベル型(あるいは、ドッグボーン形状)と呼ばれる形状の試験片が用いられます。引張試験の際は、ダンベル型試験片の平行部両端の肩部分を引張治具にフックさせて引張荷重を作用させます(図8(c))。この場合、図2の変形材でみられるように、引張治具と接触する肩部分で変形が生じるため、これが平行部の変形に加算されてひずみが評価されてしまい、誤差の原因となります(事例を後述)。

2-1-2-5-3 圧縮試験

さらに脆く、引張試験に向かない材料や、大型サンプルの作製が困難な希少材料の場合には、小型サンプルでも試験可

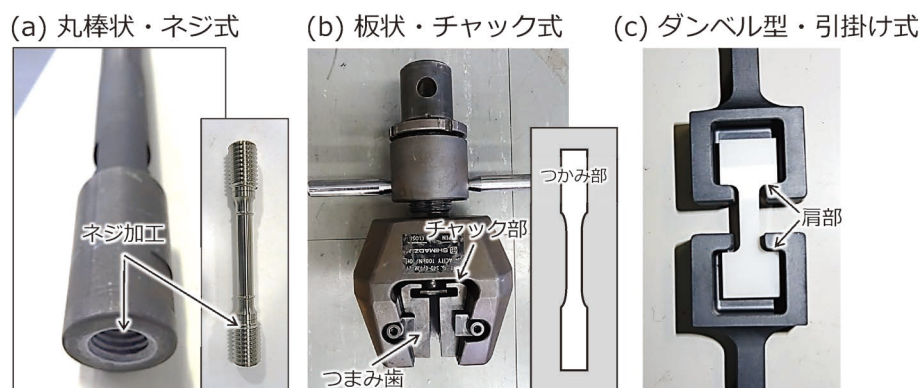


図8 単軸引張クリープ試験に用いられる試料つかみ部と試験片形状の例；(a)丸棒状・ネジ式，(b)板状・チャック式，および(c)ダンベル型・引掛け式。(a)のネジ式では，丸棒試験片両端のネジ加工部を引張治具で締め付けることで固定します。(b)のチャック式では，表面にやすり目加工を施したつかみ歯で板状試験片両端のつかみ部を挟んで固定します。(c)の引掛け式では，ダンベル型試験片の肩部を引張治具の突起部に引掛けて引張試験を実施します。

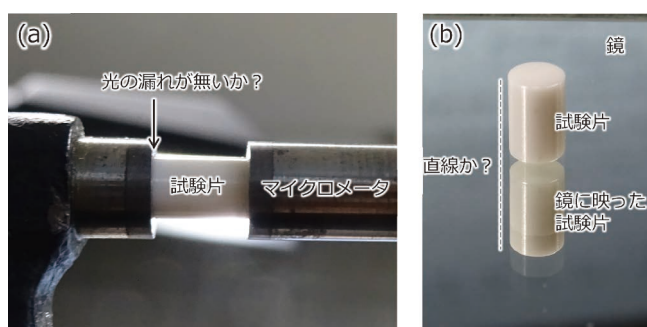


図9 圧縮試験片の(a)マイクロメーターを用いた平行性と(b)鏡を用いた垂直性の確認方法の例。圧縮試験片の上下面の平行性が実現できていれば(a)のように光の漏れは確認できないはず。さらに，圧縮試験片の上下面と側面の垂直性も実現できていれば，鏡上の試験片と鏡に映った試験片の側面は(b)のように一直線になるはず。

能な機械試験機を利用した圧縮試験が用いられます。圧縮試験の場合のアライメント調整において重要なことは，如何に正確な直方体もしくは円柱状形状の試験片を実現するかにあります。高精度の加工機を利用せず，手作業の研磨処理でひとつひとつ自作する場合，圧縮試験片の上下面の平行性と上下面と側面の垂直性に注意しなければいけません。実際に作製した圧縮試験片の形状精度を確認する最も手軽な方法としては，身近にあるマイクロメーターや鏡を使った方法があります。平行性に関しては，マイクロメーターで圧縮面を挟み込んで，これを光にかざした際に，試験片端面とマイクロメーターの隙間から光が漏れていないかで確認することができます(図9(a))。また，垂直性に関しては，圧縮試験片を鏡の上に直接乗せた際に，鏡上の試験片自体と鏡に映された試験片の側面が一直線になっているか否かで，かなり雑な方法ではありますが，ある程度の検証は可能になります(図9(b))。

アライメント調整においては，圧縮試験治具に関しても工夫が必要です。引張試験と異なり，圧縮試験では自在継手を

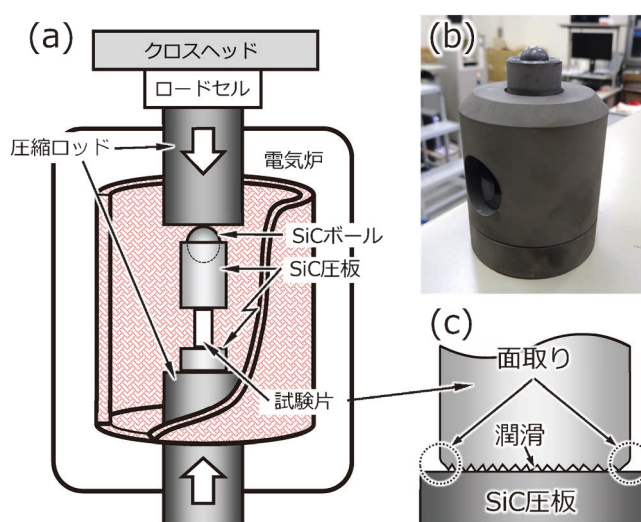


図10 (a)圧縮試験の模式図，(b)ガイド付圧縮治具の例，および(c)圧縮試験片と治具の拘束を低減するための面取りと端面処理の模式図。圧縮試験の場合，上下の圧縮ロッドは試験機とクロスヘッドに固定されるため，(a)のようにボールもしくは半球状の治具を用いることでアライメントの調整を行います。セッティングが不安定な場合は，(b)のようなガイドを利用することで安定した試験が可能になります。圧縮試験の場合，(c)のように圧板と接する試験片上下面の面取りを施すとともに，上下面の研磨の際，あえて傷を残すことでBNなどの潤滑剤を残すようにすることで圧縮治具の拘束の影響を低減することが可能になります。

利用したアライメント調整ができません。そのため，固定した圧縮ロッドを試験片に押し当てることで圧縮変形を行うのが一般的です。その際，上部の押棒と圧板の接点にボールを用い，点接触で荷重を伝達させることで，正確に圧縮荷重を作用させることができるようになります(図10(a))。圧縮試験にボールを用いる場合は，圧板の転倒や試験片の座屈防止のために，図10(b)に示したようなガイドを利用すると安定した試験が期待できます。

また，圧縮試験においては，試験片の上下部が圧縮治具の

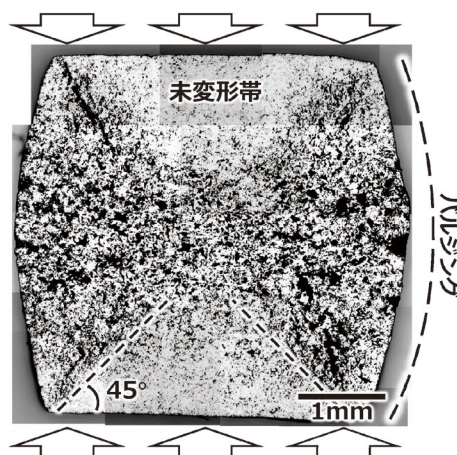


図11 治具の拘束の影響により圧縮試験によりバルジ形状に変化した試験片の断面光学写真； Ti_3SiC_2 -MAX 相多結晶材の例。圧縮試験片の上下面が圧縮治具の拘束の影響を受けると、圧縮治具と接する部分に変形が起こらない未変形帯が形成されることがあります。

拘束を受けるため均一変形が妨げられる点に注意が必要になります。拘束の影響を抑えるために、圧縮治具の表面に BN (窒化ホウ素) などの潤滑剤を塗布する、治具と接する圧縮試験片の端面の面取りを施す、治具と接する圧縮試験片の上下面の研磨を鏡面仕上げまで行わず、意図的に粗目の耐水ペーパーなどで留めることで潤滑性をもたせる、座屈が生じない範囲内で幅 w に対する高さ h のアスペクト比 (h/w) を大きく (望ましくは 1.7 以上程度) して拘束の影響を小さくするなど工夫が必要です。

このような配慮をしても、試験片中央部付近が大きく張り出した樽形状の変形 (バルジ) が生じてしまいます⁽²³⁾。図 11 はバルジを起こしたサンプルの断面を示しています。黒いコントラストで見える部分は、変形により形成された欠陥 (空隙) に対応しています。断面組織の両端には、圧縮治具の拘束の影響を受けて未変形となるデッドゾーン (未変形帯) と呼ばれる領域が形成されており、変形は中央部分に集中して均一変形が実現できていないことを意味しています。

ここでは圧縮試験を紹介しましたが、長時間のクリープ試験において引張試験が採用されている理由の一つは、計測部となる平行部において均一変形下でより正確にクリープ特性が評価できるためです。もう一つは、材料にとってより過酷な引張条件下でクリープ寿命が評価できる点です。圧縮試験の場合、図 11 のような空隙が形成されても試験は継続できますが、引張試験では、空隙が連結してより早期の破断となるため、より正しい寿命評価ができると考えられます。

2-1-2-5-4 試験温度の評価

変形に対する温度の影響を議論するクリープ試験においては、サンプル温度を正しく計測することが重要です。温度計測に電気炉の制御用熱電対を利用する場合には、サンプル位置の温度との差を予め調べておく必要があります。サンプルに熱電対を取り付けるなどの方法を用いて、事前に補正を行っ

ておくことが不可欠です。さらにクリープ試験は、均一な温度帯での試験が不可欠です。引張試験の場合は、試料の長さ方向に温度分布が生じることは好ましくありません。最低数℃程度の誤差内に収まることが必要になりますが、試験に用いる電気炉の構造や特性に応じては、電気炉中心部とその上下で数度程度の温度勾配が発生することもあります。炉に使用する加熱部を分割型にして、炉の中心部と上下の温度を個別に制御することが有効ですが、経済的な点で現実的ではないため、十分な断熱を図ることで対処することが一般的と思われる。

また、温度制御・計測は、熱電対による直接計測が一般的です。正しく準備された熱電対による計測は、放射温度計などによる間接計測よりも信頼性は高いと期待することができます。しかし、温度計測部となる熱電対の溶接部を作製する際に不純物等が混入すると誤差を招く原因になります。そのため、基準となる熱電対を用いた定期的な検証なども場合によっては必要となります。見落とされがちなのは、熱電対も経年劣化により年単位で数度程度の誤差が生じる点です。長時間の試験あるいは長年交換していない熱電対の利用には注意が必要で、定期的な検定が不可欠です⁽²⁴⁾。

熱電対以外に放射温度計による間接計測が使用される場合もありますが、計測の際の放射率の設定や、計測の際の窓材の材質による影響を受け、正確な温度評価ができない可能性があります。そのため、融点が分かっている金属などを炉内に設置して、金属が溶融する温度と放射温度計による測定温度を比較・確認することで、予め温度補正を行っておくことが重要です。

最後に、肝心のひずみ計測に関する注意点ですが、高温試験においては、昇温に伴う熱膨張の影響を完全に排除する必要があります。特に、変形速度が遅い場合は、熱膨張によって生じる変位がひずみに加算されて計測されてしまう恐れがあります。熱膨張の影響は、温度や電気炉のサイズ、試験治具の容量などによるため一概には決められませんが、無視できる程度になるまでに 1~2 時間程度保持する必要があります。熱膨張の影響を無視できるかを判断するためには、試験片が変形しない微小荷重を荷した状態で昇温時から計測部の変位量を計測し、変位量が計測装置で無視できるようになることを確認してから試験を開始すると試験片のひずみを計測していると考えられます。

2-1-2-5-5 クリープ組織の解析

クリープ変形機構を検討するうえで、クリープ挙動のみだけでなく、変形後の材料組織の評価も以下の点において重要となります。まず、上述したように、クリープ機構を議論する場合の応力指数 n 、粒径指数 p 、および変形の活性化エネルギー Q などのクリープパラメータの評価は、一定の応力、温度、組織条件下において、定常クリープ領域におけるひずみ速度と変形応力、結晶組織や温度との関係をもとに議論する必要があります。この関係は、2-1-2-3 項で記載した様に、結晶粒径や析出粒子などの内部組織の影響を受けてク

リープ変形挙動が敏感に変化するためです。そのため、組織変化のない条件でクリープ挙動を評価し、議論する必要があります。条件によっては組織変化を避けることができない場合があります。仮に組織変化が生じてしまう場合には、後述するように式(1)を利用して変化分を補正して評価することも可能です。

次に、クリープ機構を議論する場合には、表1に示すクリープパラメータの組み合わせをもとに変形機構をおおよそ類推することは可能です。しかしながら、より正確に理解するためには、結晶粒の形状、粒界すべりの有無や、転位が関連する場合には変形後の転位下部組織の特徴を確認することも不可欠になります。特に、転位組織の評価を行う際に注意すべきことは、試験終了後に室温まで冷却する際、可能ならば試験荷重を作用させた状態で早期に冷却し、組織凍結を図った上で評価することです。なぜならば、拡散が顕著に起きている高温では、転位の対消滅や回復が常に起こるため、冷却中に転位密度や変形組織が変形中と大きく異なってしまうことを避ける必要があるためです。

2-1-2-6 クリープデータの解析例

ここからは、微細粒($d=0.3\ \mu\text{m}$)のジルコニアセラミックスの高温引張試験で得られた結果を紹介しながら、上記で述べてきた注意点がどのように影響するかを示した事例⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾をご紹介します。今回例として挙げるクリープ試験の結果は、図12に示すレバー式クリープ試験を用い、一定荷重条件下で評価した例を示しています。クリープひずみは、CCDカメラを用い、平行部両端のターゲット間隔を非接触で連続計測することにより評価したのになります。また、試験中の温度は、3つの熱電対を用い(図12

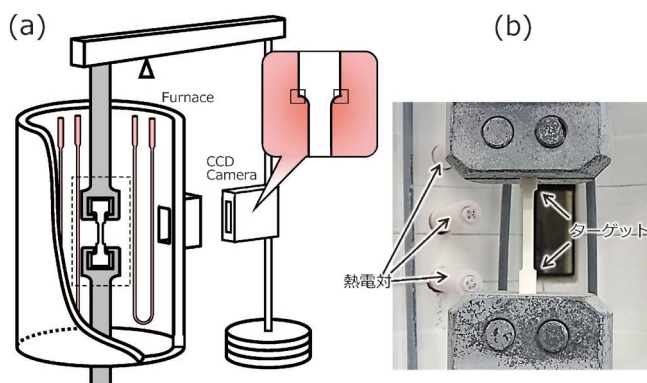


図12 微細粒ジルコニアセラミックス(粒子径 $d_0=0.35\ \mu\text{m}$)の単軸引張クリープ試験に用いたレバー式クリープ試験機の(a)模式図と(b)つかみ部と試験片の写真。試験温度が高温の場合は、試験片に伸び計を取り付けることが困難になることもあるため、(a)のように炉外からCCDカメラやレーザー変位計を用いて(b)に示した試験片平行部両端のターゲットの変位を計測する方法が採用されます。また、試験片が大型の場合は、平行部の上下の温度分布や温度変動を(b)のように試験片近傍に設置した複数の熱電対で測定しておくことが重要です。

(b)), 試験中に変化しないことを確認しています。さらに、比較のため、ダンベル型の試験片(図8(c))を用いて、機械試験機のクロスヘッドの変位を計測することでクリープ変位の評価も行ってみました。

レバー式クリープ試験機と機械試験機を用いて得られた単軸引張クリープ試験結果は、図13に示したようになります。図13(a)の試験条件は、いずれも温度 1400°C 、初期応力 $30\ \text{MPa}$ です。CCDカメラでモニタリングして得られたひずみ速度 $\dot{\epsilon}_m$ は、短い遷移クリープ領域を示した後、徐々に増加に転じます。ただし、モニタリングして得られたひずみ速度 $\dot{\epsilon}_m$ は、あくまで見掛けの速度であることに注意してください。レバー式クリープ試験機による試験は事前に設定した分銅の重さを利用した「定荷重」であるため、実際の「真応力」はひずみの増加に伴う断面積の減少により徐々に増加しています。例えば、引張試験片の変形前の平行部の初期長さを L_0 、初期断面積を S_0 と仮定します。これに引張荷重 F を作用させて、試験片が体積一定、かつ均一変形を保持しながら

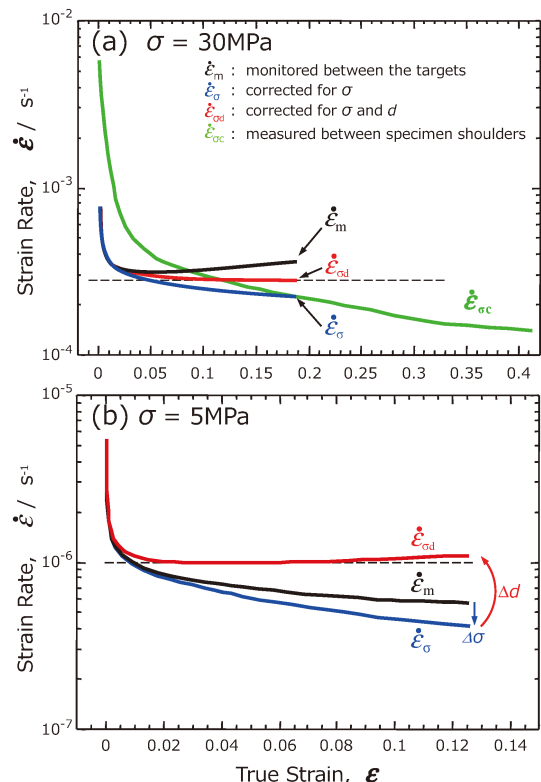


図13 レバー式クリープ試験機と機械試験機を用いて得られた微細粒ジルコニアセラミックス(3Y-ZrO_2)の単軸引張クリープ試験の結果；試験温度 1400°C 、初期応力(a) $\sigma_0=30\ \text{MPa}$ と(b) $\sigma_0=5\ \text{MPa}$ で実施⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾。 $\dot{\epsilon}_m$ はCCDカメラでモニタリングして得られたひずみ速度、 $\dot{\epsilon}_\sigma$ は $\dot{\epsilon}_m$ に対して応力変化分の補正を行った定応力条件下のひずみ速度、そして $\dot{\epsilon}_{\sigma d}$ は $\dot{\epsilon}_m$ に対して応力変化分に加え、変形中の結晶粒径 d の増加分の補正を行った定応力+一定粒径($d_0=0.35\ \mu\text{m}$)条件下のひずみ速度です。また、(a)に示した $\dot{\epsilon}_{sc}$ は、機械試験機のクロスヘッドの変位から評価した定応力条件におけるひずみ速度を比較のために示しました。

ε_t の真ひずみが生じた場合の真応力 σ_t は、次式に従い徐々に増加します。

$$\sigma_t = (F/S_0) \cdot \exp(\varepsilon_t) \quad (10)$$

詳細な解析法に関しては、既報⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾を参照いただきたいのですが、この応力の増加分を式(1)を用いて補正すると、応力変化の補正後のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_\sigma$ は、シャープな遷移クリープ領域後もひずみの増加とともに徐々に減少する挙動を示すようになります。本試験で対象としたジルコニアは微細粒組織であるために、高温下において変形中に結晶粒径 d が徐々に増加します。そのため、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_\sigma$ は式(1)の粒径依存性の関係に従い、粒径の増加とともに徐々に減少していると考えられます。そこで、組織の変化(d の増加)分を式(1)を用いて補正すると、粒径補正後のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma d}$ は、遷移クリープ領域後にひずみ速度一定の定常クリープ領域を示すことが確認できます。

一方、機械試験機を用いた試験では、クロスヘッドの変位からひずみ速度を評価しています。ここでは、試験中のひずみの増加に従って機械的に作用させる荷重を制御し、定応力条件下で引張クリープ試験を実施してあります。つまり、応力変化の補正後のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_\sigma$ と同じ条件で評価していることになります。図13(a)にこのクロスヘッドの変位から評価した定応力条件におけるひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma c}$ をプロットすると、レバー式試験機を用いて平行部の変位のみから求めたひずみ速度の特徴と大きく異なっていることが分かります。特に、遷移クリープ領域が高ひずみ域まで続いており、ひずみの増加とともにひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma c}$ の減少が継続していることが分かります。

クリープ挙動を正確に評価するには、平行部のみの伸びを正確に評価する必要があります。そのためには、図8で説明したように試験片の固定部の形状が重要となります。ネジ加工が難しいセラミックスなどのような脆性な材料の場合は、ダンベル形状と呼ばれる平行部両端に作製した肩部分を引張治具にフックさせて引張試験されます。そのため、肩部分で変形が生じると平行部の変形に加算される形でひずみが評価されるため、誤差の原因となっていると考えられます。さらに、ここでは定応力で試験していますが、肩部の変形を平行部の変形に加算し、過大評価しているために、応力値を誤って制御していると思われます。本来ならば定常クリープのはずの挙動が別の結果を示すことに繋がってしまうことを示唆しています。

上記でも問題になりましたが、変形中の組織変化も結果に誤差を生じさせる大きな要因になることがあります。このような問題は、図13(b)に示した低応力、長時間の試験で顕著になります。レバー式クリープ試験機を用いて同じ温度1400℃で平行部のひずみを計測しても、初期応力5 MPaで試験すると、見掛けのひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_m$ は、30 MPaの場合と同様の短い遷移クリープ領域を示しますが、その後もひずみの増加とともに連続的に減少し続けます。上述と同様に変形中の応力と粒径の増加分を補正すると、補正後のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma d}$ は、定常状態を示すようになります。このことは、カメ

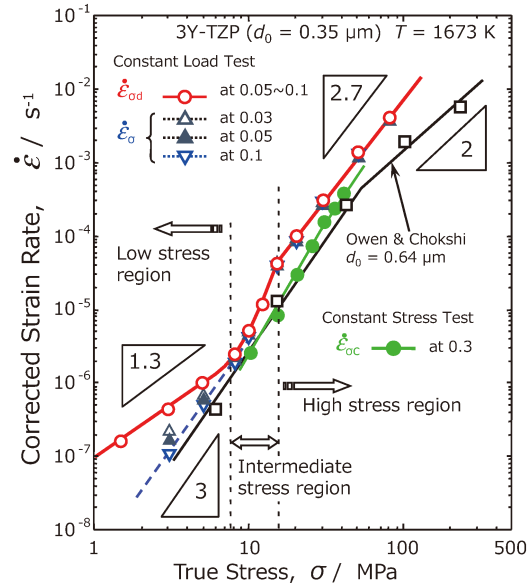


図14 試験温度1400℃における微細粒ジルコニアセラミックス(3Y-ZrO₂; $d_0 = 0.35 \mu\text{m}$)の応力とひずみ速度の両対数プロット⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾。比較のため、OwenとChokshiにより報告されたジルコニアセラミックス(3Y-ZrO₂; $d_0 = 0.64 \mu\text{m}$)のデータ⁽²⁷⁾を式(1)を用いて1400℃に規格化して表示しました。変形中の応力変化分と結晶粒径 d の増加分の補正を行い定応力+一定粒径($d_0 = 0.35 \mu\text{m}$)条件で評価したひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma d}$ の応力依存性には、応力が減少するにしたがって、 $n \approx 2$ の粒界すべり、大きな n 値のしきい応力、ならびに $n \approx 1$ の拡散クリープ領域が確認できます。その特徴は、図5に示した模式図と類似した応力依存性を示すようになります。

ラでモニタリングされたひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_m$ は見かけのものであり、補正後に得られた定常クリープ速度が材料本来のクリープ挙動を反映している、と考えることが妥当であろうと思われます。

このようにして得られた微細粒のジルコニアセラミックスの真応力と真ひずみ速度の関係を両対数のグラフにまとめると図14のようになります。ここでは、比較のため、粒成長の影響を補正せずに $\varepsilon = 0.03 \sim 0.1$ の真ひずみにおけるひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_\sigma$ の結果もプロットしました。さらに、図13(a)で紹介したクロスヘッドの変位量から評価したひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma c}$ に加え、他のグループの先行研究の結果⁽²⁷⁾も比較のために合わせてプロットしました。

定常状態で評価したひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma d}$ (図中の赤丸)は、低応力、中応力および高応力域で異なる応力依存性を示し、応力に対して「S字型」の依存性を示すことが分かります。そのひずみ速度をクロスヘッドの変位量から評価したひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_{\sigma c}$ と先行研究⁽²⁷⁾の結果と比較すると、ひずみ速度の絶対値に関しては、辛うじて実験誤差範囲内と言ってもよい程度の違いにとままっているようにも見えます。しかし、応力に対する依存性、つまり応力指数 n に関しては、同じと判断してよいか疑問が残ると言わざるを得ません。もう一つ注目していただきたいのは、低応力域でのひずみ速度の相関です。粒成長の影響を補正する前のひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_\sigma$ (図中の青い▽マ

最後に、定常状態で評価したひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{od}$ の応力依存性 (図中の赤丸) を注意してみると、各変形挙動が独立に活動し、加算的に変形が起こる際に予想される変形挙動の模式図 (図5) を再現しているようにも見えます。残念ながらより高応力域の転位クリープに対応する $n > 3$ の領域が確認できていないこと、いくつかの仮定の下に補正を行って得られた定常ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{od}$ で評価していることは念頭に置いておくべきかも知れません。しかし、考えられる範囲でクリープ挙動の評価における課題点をクリアにした結果、最終的に理想的なモデルと同じような結果が得られたことは興味深く、今後さらに検討を進める必要があるように思われます。

ここでは、クリーブ試験を実施するうえで、注意すべきこと、事前に準備ならびに対処しておくべき極めて初歩的な事柄を中心にご紹介させていただきました。そのほとんどが、多少の実験経験がある方々にとっては、ご存じの内容が多く、不要な情報ばかりであると思われますが、どうかご容赦ください。ここでご紹介させていただいた内容は、著者がNIMSに着任以降に、クリーブに関する実験に携わるようになってから実際に経験し、それを踏まえて取り組んできたごく限られた情報です。ただ、当たり前のように聞こえる事柄でも、論文を読む中で見落とされている事柄も散見されました。また、受け入れている学生の方々に接する際に、伝えている事柄を思い出しながら記載させていただきました。クリーブ変形を深く理解するには冒頭で挙げさせていただいたテキストを参照いただきたいですが、本稿の記載内容がクリーブ試験に初めて取り組む方々に僅かばかりでも参考になれば幸いです。

(1) 澤田浩太：火力原子力発電，(2020)，399-400。
(2) <https://www.nims.go.jp/news/archive/2020/02/202002280.html>

- (3) F. Wakai, S. Sakaguchi and Y. Matsuno: Adv. Ceram. Mater., **1**(1986), 259-263.
- (4) K. Morita, K. Hiraga and Y. Sakka: J. Am. Ceram. Soc., **85**(2002), 1900-1902.
- (5) A. K. Mukherjee, J. E. Bird and J. E. Dorn: Trans. ASM, **62**(1969), 155-179.
- (6) F. R. N. Nabarro and F. de Villiers: The Physics of Creep, CRC Press, (1995).
- (7) T. G. Langdon: J. Mat. Sci., **41**(2006), 597-609.
- (8) 丸山公一, 中島英治: 高温強度の材料科学, 内田老鶴圃, (1997).
- (9) 北蘭幸一: 軽金属, **59**(2009), 458-464.
- (10) F. R. N. Nabarro: Phys. Soc., London (1948).
- (11) C. Herring: J. Appl. Phys., **21**(1950), 437-445.
- (12) R. L. Coble: J. Appl. Phys., **34**(1963), 1679-1682.
- (13) I. M. Lifshitz: Soviet Phys. JETP, **17**(1963), 909-920.
- (14) L. G. Harper, L. A. Shepard and J. E. Dorn: Acta Mater., **6**(1958), 509-518.
- (15) M. F. Ashby and R. A. Verrall: Acta Metall., **21**(1973), 149-163.
- (16) H. Lüthy, R. A. White and O. D. Sherby: Mater. Sci. Eng., **39**(1979), 211-216.
- (17) W. A. Rachinger: J. Inst. Metals, **81**(1952-1953), 33-141.
- (18) T. G. Nieh, J. Wadsworth and O. D. Sherby: Superplasticity of Metals and Ceramics, Cambridge University Press, (1997).
- (19) 連川貞弘, 長谷川雄一, 吉永日出男, 幾原雄一: 日本金属学会誌, **59**(1995), 263-270.
- (20) Y. Motohashi, K. Watanabe, M. Ohmori, M. Kubota: Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., **56**(1990), 1876-1884.
- (21) 上田太郎, 松尾哲夫: 材料, **14**(1965), 62-66.
- (22) 小林謙一, 金子将大, 小山秀夫, Gavin C. Stratford, 田淵正明: 日本機械学会論文集, **77**(2011), 2046-2053.
- (23) J. M. Birch, B. Wilshire, D. J. R. Owen and D. Shantram: J. Mat. Sci., **11**(1976), 1817-1825.
- (24) 門馬義雄, 伊藤 弘, 江頭 満, 馬場栄次, 宮崎秀子, 田中千秋: 鉄と鋼, **75**(1989), 665-672.
- (25) K. Morita and K. Hiraga: Scr. Mater., **42**(2000), 183-188.
- (26) K. Morita and K. Hiraga: Acta Mater., **50**(2002), 1075-1085.
- (27) D. M. Owen and A. H. Chokshi: Acta Mater., **46**(1998), 667-679.



★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1997年 九州大学大学院総理工博士後期課程修了
博士(工学)

1997年 科学技術庁・金材技研(物質・材料研究
機構)入所

2023年 4月ー 現職

専門分野：酸化物を対象に、高温変形・クリープ、焼結、透明セラミックスなど、エンジニアリ
ングセラミックスの研究に従事。

◎現在は、高温におけるセラミックスの焼結、変形あ
るいは亀裂修復などに対する通電効果や蛍光体など
に関する研究を中心に活動中です。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

退職して19年・普通の老人生活

島根大学名誉教授 北野 保行*

1. はじめに

原稿を書く機会が与えられました。定年で島根大学理工学部を退職して19年が過ぎました。この間、何をして暮らしてきたか、若い方々に何か役に立つことがあるのか、紹介せよと言うことです。この時同時に、よいニュースがありました。投稿中の論文が、日本機械学会に採択され、掲載されるとの通知です。

この19年間を一言で言うと、「物理学の啓蒙」です。大学在職中に始めた、島根県仁多郡にある、リハビリテーション学園の、物理学非常勤講師を、2021年度まで続けました。講義のために、教科書「優しい物理学」を出版しました。副題は「物理学を習ったことのない人のための物理学」です。この副題が「ネットの検索でヒットした」と、購入希望があり、早速読んでもらいました。見ず知らずの人です。執筆の動機は「地球表面の温暖化」と「原子力発電による放射能」について、若い人に知ってもらいたかったことです。

島根県の高等学校の先生方の協力で始まった、幼小中高の先生方や生徒を対象とした物理学の研修や実験の催しは、広島大学理学部での、学生岩成唯夫氏の架橋によります。この高等学校の先生方との関係は、私の大阪大学理学部での友人佐々木祥介氏を助人として招き、今も佐々木さんを中心として、毎年研修会を開いています。その頃流行り始めた、喫茶店や公民館での物理講話を担当しました。

最後にまとめを兼ねて、老人として、今どんな日常を営んでいるか。本心を言うと、私の心の多くを占めるものは、大学在職中に成就できず、し残したことです。例えば広島大学では電子顕微鏡用の建物まで建ててもらいましたが中断しました。また、その頃、教養部廃止の波が寄せていました。私は「千年委員会」でも設立し、自分達の分野の歴史を学び、学問の今後を議論しよう、と提案しましたが、時の流れに押し流されてしまいました。

島根大学では、地場産業の「瓦」や「たたら」を、新しいモノづくりの発想を求めて、見学して回りました。島根県吉田町で、3日3晩砂鉄を放り込む、「玉鋼づくり」にも、学生とともに参加しました。村下(むらげ)さんや安来の研究者からも学びました。フィンランドでの教員養成制度を視察し

ました。この国の教員養成は、大学院で行われます。この制度は大いに参考にすべきです。しかし、どれもこれも、後に残すものを作り出すことができませんでした。私の知恵と実力のなさを思い返すばかりです。

2. 基礎物理学の復習を兼ねて、教育誌への論文投稿

基礎物理学の復習を兼ね、論文投稿を重ねています。大学の同級生、佐々木祥介氏の指導で始まりました。佐々木祥介氏のアイデアで、基礎物理学の、多少軽視されている領域、あるいは、複雑で理解しにくい部分を、思いつくままに選び、わかり易く(私は学び直して)、解説することを目的としています。学会が発行する教育誌に投稿します。

著者は、佐々木祥介氏(大阪大学先端強磁場センター)、島根県の高等学校物理学教諭：岩成唯夫氏、南波陽平氏、花岡和彦氏、田中正樹氏の諸先生と、私です。すべて、佐々木祥介さんが先導し、時には実験を行い、原稿を仕上げます。私は縁の下役割ですが、皆さんの足を引っばる、抵抗勢力ではないかと恐れつつ、協力しています。

「はじめに」で触れた、日本機械学会に投稿した論文は、「ころがり摩擦」の論文です。この問題は、南波先生の質問から始まりました。「円柱はどこまで転がるのか」です。こんなことが解らないはずはない、と、たかをくくっていました。しかし、調べると、世界中どこにも満足な答がありません。それに対して、素早く、佐々木祥介さんが見事に答を出しました。

「円柱の転がり運動(前半：回転摩擦トルクと接触応力)・(後半：運動方程式の解法と、高速鉄道での例)」です。ころがり摩擦の定性的な理解と、その応用例の提示です。皆で学び検討し、日本物理学会の「大学の物理教育」誌に投稿しました。しかし、読者から、前半・後半を一つにまとめるよう指示され、中途半端なものになりました。それでも、2021年第27巻 p26に掲載されました。

完全な形の論文は、「日本金属学会誌(和文誌)」に投稿しました。しかし、分野が異なるとして、受け付けられませんでした。余儀なく、これまで関係のなかった、日本機械学会に投稿し、ついに、日本機械学会論文集、2022年88巻916号に掲載されました。「ころがり摩擦トルクを基礎とした円柱の回転運動の分析」で、本文16頁の論文です。

この「ころがり摩擦」の論文は、アメリカ・イギリスにも投稿しましたが「この種の論文は捨てるほどある」「古典物

* 19 Years after Retirement; Ordinary Elderly Life; Yasuyuki Kitano

理学は時代遅れである」「レベルが低い」として、閲読さえしてもらえませんでした。が、Cornell大学のpreprint Journalに、題目Analysis of Rotational Motion based on Rolling Friction Torque, 2021 Nov.が掲載されました。佐々木祥介さんの知恵です。

この欧米による拒否で、佐々木さんのさらなる探求心に火がつけました。佐々木さんの自然科学に対する立ち向かい方を教えてもらいました。老いて学ぶことが多くありました。仲間に入れてもらえることの喜びを味わっています。その結果、ころがり摩擦のさらなる定量化理論作りに成功し、新たな論文を執筆しました。Cornell大学のpreprint Journalへの掲載と、専門分野の国際雑誌への投稿を予定しています。

これまでに、電磁気学分野で投稿した論文の題目は、以下の通りです。前出の「大学の物理教育」に、「コンデンサー内の誘電体のエネルギーとマックスウェルの応力」2020年26巻p66が掲載されました。この論文も半分しか受け付けられず、続きは、「誘電体中の点電荷間に働く静電気力」に関する論文を、日本物理教育学会に投稿しました。物理教育学会の編集委員会の指示に従い、修正を重ねましたが、今は、放置状態になっています。

よわく繋がれた2つの単振子(ふりこ)の連成運動はよく見かけます。実験の論文、「CL回路での連成振動と特徴的な電気振動現象」は、CL回路による連成振動の実現を目指した論文です。素性の良いCやLを入手し、部品を吟味し、ロスを抑え、ついに成功しました。佐々木氏のセンスの良さです。オシログラフに可視化し、交互に振幅が変化する連成電気振動の画像を論文にしました。「大学の物理教育」2021年第27巻p154に掲載されました。ここでも閲読者からの圧縮要請に苦勞しました。

電磁気学の基本問題では、「電磁気学で磁場BとHのどちらが基本量か(前半・後半)」は、前半では、マックスウェルの式から、Bが基本量であること、もし、Hが基本量とすると矛盾があることを解説しました。後半では、物質中に存在あるいは発生する電荷や電流を分析し、これらが普通の電荷や電流と同じ法則に従うはずであることから、Bが基本量でなければならないことを解説しました。諸外国ではBが、躊躇なく「Magnetic Field 磁場」と、されています。日本では「Bを磁場」とは言わず、別名称が与えられています。日本物理学会の編集委員会は、「論文の内容は正しいが、掲載はしない」という判断を下しました。

学会の会員は、会費を払い、論文を投稿します。論文は、投稿者の努力の結晶です。掲載されなければ無に等しいのです。閲読過程で、投稿者・閲読者の双方に、多大な努力が強いられます。投稿者は多少まげて、掲載を選びます。掲載されれば、もちろん、安くない投稿料を支払います。これからも、淡々と論文の投稿を続けようと思っています。

3. 物理学を専門にしない人のための教科書の執筆

執筆した教科書は「優しい物理学」です。1960年に世界

の英知を集めて考え出されたSI国際単位系(mメートル, kg キログラム, s 秒, A アンペア)に従いました。医療系や工学系では、圧力や力の単位がまちまちです。言葉もばらばらです。長さはcmが好みです。水の密度は「1」と信じていますが、水1 m³は1000 kgです。

また、「重さ」と「質量」の区別は、誰にとっても大問題です。英語ではWeightとMassと、はっきり区別されています。「Weight 重さ」は「地球が引っ張る力」のことで、単位は高等学校でも習う「N ニュートン」です。「Mass 質量」は「物質の量」のことで、単位は「kg」です。宇宙船の中で、飛行士の「重さ」はなくなりますが、「質量」はなりません。

物理学の基礎的な用語の正しい教育が必須だと思います。教科書を書いて多くのことに気が付きました。この教科書も、「力学」から始めました。「力」が重要です。そのうち「コリオリの力」をかみ砕いて説明しました。我々の生活に縁の深い「力」ですが、重視されません。地球上で、いたるところで受ける「力」です。台風の左回りがその代表です。ブランコを漕ぐときも「コリオリの力」を利用します。

ちょうどその頃、福島第一原子炉の事故が起きました。急遽、原子から原子核の話を書き下ろしました。原子核反応で、発生するエネルギーは桁外れの大きさです。アインシュタインの相対性理論の予想通りです。ありがたい話ですが、同時に発生する莫大な量の放射能は、予想もしなかったことでしょう。

その他の話題は、「われわれを取り巻くもの」と、ひっくりめました。A. 大気, B. 水, C. 熱と温度, E. 波・音・光, E. 電気・磁気そして電磁波, F. 太陽の温度・地球の温度に分けました。

他のどの教科書にも取り上げられない話題も含めました。「地球の温暖化の原因」を、理解できるように努めました。地球表面は、水蒸気に包まれています。水蒸気は温暖化気体であり、気温は本来あるべき値より、すでに33℃高くなっています。おかげで生物の生存に適した気温になりました。現在問題になっている温暖化は、その上加算される気温上昇です。大気中の二酸化炭素濃度の増加によります。

「優しい物理学」には、2011年の執筆当初から引用した研究論文があります。南極大陸氷柱に潜む気体の精密分析による、過去40万年に及ぶ大気中の二酸化炭素量の変動記録、真鍋淑郎博士の二酸化炭素濃度と大気温度のシミュレーション、過去60年間の大気上空での気温降下データ、などです。最後のデータは、地球表面の気温上昇の反動です。真鍋淑郎博士は2021年にノーベル物理学賞を受賞されました。

この「優しい物理学」は多くの方々の協力で、出来上がりました。大学院での恩師、後に豊田工業大学学長になられた、生嶋明先生が丁寧に読んで、表現方法や計算に間違いかななどを教えて下さいました。広島大学での学生遠山昭雄氏と松山和美氏は、誤字脱字、難解な表現を指摘してくれました。遠山氏は練習問題を解いて、不備な点も教えてくれました。山口県の高등학교教諭松田修司氏は、読んで、私の語

り口を思い出してくれました。そして、「物理学が当たり前の日常となって、人が物理学を通してその日常を見つめることができたときに、物理学は大きな力になる」だろうとの、感想をもらいました。教科書には数表が多くありますが、これらの入力は、広島工業大学の学生那須恭奈さんでした。

この教科書をリハビリテーション学園で使用したので、理学療法士・作業療法士の国家試験の問題を取り上げました。もちろん物理学分野に限ります。それらに優しい目で忠告を与えました。このことが、厚生労働省の国家試験問題作成委員会の目に留まり、この教科書を、当該委員会が購入してくれました。国会図書館には、ISBN 番号取得とともに、複数冊寄贈しました。ところが国会図書館関西館が、別途に購入を希望しました。購入してくれたことは望外でした。

私は、この教科書を専門学校で使用する際、学生価格1000円としました。社会とつながりができて、価格を算定し、最終版では3500円が妥当であることが分かりました。持ち出しばかりでした。現在、普通の読みものとして出版しようかと思ひ、そぎおとしています。

4. 一般社会とのかかわり

島根大学を定年になる少し前から高等学校の物理の先生方と交わるようになりました。高等学校での理科は、物理・化学・生物・地学に、分けて、理科の基礎として、すべての生徒がすべての分野を学ぶことが理想だと思います。幅の広い知識人の養成のためです。

私がかかわりを持ち始めたのは、島根県の高等学校の教諭岩成唯夫氏です。県教育委員会や高等学校で、先生方と一緒に「講演会」や「モノづくり教室」を開催しました。大学側では、教職「理科」の講義のあり方を議論しました。

物理学だけでなく、大学の化学・生物・地学の先生方も一緒になって、講演会を開きました。県内の松江、益田、津和野だけでなく、広島県神辺まで出向きました。島根県は東西に、100 km 以上広がります。広島県には曲りくねった山道

で繋がります。ドライブも楽しめました。

そのテーマを列挙すると、「質量とエネルギー」・「ガリレオの天秤はかり」・「回転運動の保存則とトルク」・「コマ回し、宙に浮くと歳差運動はしない」・「水について：教科別：物理・化学・生物・地学」・「地球温暖化の科学：教科別：物理・化学・生物・地学」ものづくり教室では：「鉱石ラジオ」・「楽器レインスティック」・「針穴写真機造り」・「風車づくり」や、昔のおもちゃ「ばたばた」の構造解析等です。対象は、幼稚園・保育園の先生方や小学生にまで広がりました。

「科学の祭典」への出展もありました。展示したものは、図1の鉛直回転軸の3枚羽ダリウス型風車です。私が設計し、松江の金型木工職人の協力を得て、作製したものです。上部に発電機を取り付けると発電します。

右下はブレードの断面図です。学生達の実験で得た最良の断面形状です。鳥や魚の頭の形、ひれ、羽、尻尾の繊細さを彷彿させます。自然に学ぶことの大切さを実感しました。

「風車」に興味を持ったきっかけは、風のエネルギーが、風速の3乗に比例すると知った時です。災害の大きさに驚きつつ合点し、水害も同じことです。エネルギーの取り出しについて、強い興味を持ちました。

広島工業大学では、大学主催の「コーヒ・イーブニング塾」の物理学の講師となりました。4年間、講話を続けました。テーマは以下の通りです。「サイホンでコーヒーを」・「水の不思議」・「光の屈折と虹」・「光の本質」・「太陽の温度と地球の温度」・「エネルギーとはなんだ」・「物理でいう仕事とは？」・「電気料金は単位ワット時 [Wh] で払う」・「莫大な原子核エネルギー」・「リングは木から落ちる」・「氷の上で湯が沸いたためしがない」・「自然の法則は全て平等に当てはまる」・「あらゆるものは石、水、空気、火からできているーデモクリトス原子論の正夢ー」・「あらゆる物体から光が出ている」・「地球の動きを決める自然の法則」・「水の惑星地球」・「1941年の著作：ミランコヴィッチの計算」などなどです。

楽しい夕方ひとときでした。多くの方に物理学を楽しんでもらえた、と自負しています。NHK 広島放送局にも取り上げられました。でも、セリフを決められるとうまくいかないものです。

5. おわりに：普通の老人生活

2007年15年前に、名古屋に孫ができ、家内を取られてしまいました。広島での一人暮らしの始まりです。当時、広島工業大学で講義をしていました。産総研関西センターから水素吸蔵合金開発の仕事も続いていました。旧広島県産業科学技術研究所の新鋭分析電顕を使わせてもらいました。技術は進歩し、Laves 相合金の原子配列を直視可能となり、試料を作り直して、日本電子が電顕写真を撮影してくれました。その写真を論文にするべきでしたが、怠っていました。ここに掲載しようと試みましたが、保存したはずのメモリから、読みとることができず復元できません。残念です。「パソコン文明の継承の危うさ」は、他人ごとではなかったのです。



図1 鉛直回転軸の3枚羽ダリウス型風車。(オンラインカラー)

源氏物語や万葉集は紙文化の力で継承されてきました。「タイムカプセルにパソコンや USB メモリを入れたいか？」答えは「否」です。

東欧での国際会議に参加させてもらいました。特にチェコやポーランドへは塩尻詢先生や松田健二先生のおかげです。東欧の素晴らしい文化を目にしました。最近、もっと東にウクライナ文化圏があることを知りました。人類の歴史を永く支配してきた、強権暴力主義が、消え去ることを祈ります。それは、観念的理想主義でしょうか。

名古屋では、名古屋大学未来研究所の武藤俊介教授に巡り会いました。コロナ騒動が起こるまで、幸運にも、電子顕微鏡学の最先端の研究成果に触れさせていただきました。名古屋で開かれる国際会議に参加しました。「磁場フリー電顕」が開発されたことに驚きました。その「磁場フリー電顕」が、**島根大学の「次世代たたら協創センター」**に設置され、荒河一渡教授を中心に、世界規模の研究が始まっています。2022年12月に、「鉄の塑性変形その場観察」の講演をネットを通して拝聴しました。絶え間なく進歩する姿を、目の当たりにしました。

さて、15年前に始まった、老人の一人暮らしの話に戻します。食事作りの実践の始まりです。ごはんを炊く、にぼしとこぶでだしを取る、味噌汁を作る、大根人参牛蒡も、よいだしが出ます。ホームベーカリーでパンを焼く、山中ドライブで購入した新鮮野菜のゆがき方も習得しました。

広島工業大学での2度目の定年退職、その時を境に、一人生活に終止符を打ち、名古屋で暮らすことになりました。それから10余年が経過しました。

この間、続けていることを羅列してみます。手作りパンを焼く、毎朝コーヒとニョロ芋サラダをつくる。ドレッシングは、柚子カボススダチだいたいなどの果汁が主成分です。サラダのメインは、山芋・長芋、これら子供たちはニョロ芋と呼びます。台所・食堂・居間の拭き掃除は私の運動です。

最近、家の近くに畑を借りました。10坪です。野菜を作ります。「肥やし」は、自作の「促成生ごみ」です。「生ごみ」はすべてミキサーで「液状」にします。野菜や果物の皮紅茶コーヒ緑茶カス魚の骨アラや鳥の骨、食物なら少々固いものも OK です。時々鷹の爪を混ぜます。ダメなものは紙プラスチック。梅干しのタネや落のスジも苦手です。

1 週間にバケツ 4 杯の「生ごみ」のおかげで、畑には冬も、ミミズやカエルが冬眠しています。暖かくなると蝶々も舞い、野菜が美味しく育ちます。昨年のハイライトはクレオパトラの好物「モロヘイヤ」でした。さすがに暑さには強く、大きな収穫がありました。ご近所様にはいつも、いただくばかりでしたが、差し上げることもできました。家内は暇を見つけて虫取り草ぬきです。

老後のボケ防止のために、ピアノレッスンを始めました。既に 6 年になろうとしています。バイエルの終了は 1 年前でした。孫たちの習う先生に、私も仲間入りをさせてもらい

ました。定番の「エリーゼのために」や「トルコ行進曲」は、やっとなんか弾くことができますが、思うように手が広がらず、指が早く動きません。老人でも弾ける曲を、先生は選んでくださいました。バッハのインヴェンションです。バッハが自分の子供のために作曲したものです。1 年かけて 1 曲ずつ練習しています。それが精一杯です。これまで、4 曲弾けるようになりましたが、すぐに弾けなくなります。維持するのにも努力が必要です。

松平不昧公の町松江で覚えた抹茶は、古見屋の田舎羊羹とともに、毎日孫と楽しんでいます。流派は北野流です。広島工大建築工学科学生山下恭奈(旧姓那須)さんは、茶道の名取りで、ヤマハピアノの先生です。研究室での抹茶点前の師匠でした。難解なインヴェンションの弾き方も相談に乗ってくれます。

老人の話題は、昔自慢、孫自慢、病氣自慢だそうです。ここまで、すでにたくさん自慢をしてしまいました。孫と暮らすことは老人の生きがいです。良きにつけ悪しきにつけ、自然な人間の営みであり喜びです。

病氣には事欠きません。内科はもちろん眼科、整形外科、その他、順不同に巡っています。今も、脊椎管狭窄症で首を支えています。左手がしびれます。ピアノ練習が過ぎたのだと子供は言います。確かに、指の付け根に**関節炎・腱鞘炎**を起こします。

体調の維持には気を使っています。悪くならないように、運動に心がけています。その一つは、週に 2 回の**ヨガ教室**です。1 回約 1 時間ですが、体調の維持に役立っています。コロナで断続的に休みつつ、10 年間続けています。

この記事を書きながら、久しぶりに雑誌「**まてりあ**」61, No.22 12号(2022)の頁をめくりました。懐かしい記事が目にとまりました。1980年代に私が行なった電子顕微鏡による金属間化合物 Laves 相構造中の欠陥構造です。私が提案した**複合的すべり構造**や、この構造に特有な**粒界構造**を思い出しました。多くの方々の研究によって発展し続けていることを知りました。MgCd 結晶中の回位を基礎にした、構造相転移や粒界構造も、役に立てていただけるのではないかと思います。思いつく、当時の私の、追求のあまさを思い返しています。

(2023年1月30日受理) [doi:10.2320/materia.62.392]



北野保行

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1964年 大阪大学理学部 物理学科卒業
1966年 同上大学院 基礎工学研究科 修士課程
材料工学科修了
広島大学 助手 助教授(理学部) 島根大学
教授(理工学部)
2004年 3月 退職 名誉教授(島根大学)
広島工業大学 物理学特任教授
2011年 3月 退職
2023年 1月 無職
専門分野: X線・電子線による結晶構造解析
◎金属間化合物(特に Laves 相)の構造欠陥の研究、
結晶の粒界構造の研究。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

科学館めぐり

竹中大工道具館(神戸市)

文責：産業技術総合研究所関西センター

田中 秀明
(2023年2月訪問)

神戸市中央区の山陽新幹線および神戸市営地下鉄の新神戸駅の東、徒歩数分の場所にある、竹中大工道具館を訪ねた(図1)。

鉋(かんな)、錐(きり)、鋸(のこぎり)、大鋸(おが)、鑿(のみ)、鑿(たがね)、鑿(やすり)、鉋(つち)、曲尺(さしかね)、釘、鉋(ちょうな(現代では“手斧”と書く方が主流))、鉋(まさかり)など、大工道具には「金偏」の漢字や、「かね」と名の付くものが多い。江戸時代までのこれら道具は全て、たたら製法で精錬された玉鋼(なお、この名称は明治以後のもので、それ以前は造鋼(つくりはがね)などと呼ばれていた。)や和鉄から作られていた。そして、伝統技術の粋を集めたとされる日本刀の作刀技術を背景に、工房・職人の中で経験が蓄積され、鍛造・熱処理技術(焼き入れ、焼き戻しなど)が磨かれ、組織や硬さの制御技術が向上した。

我が国における大工道具は、近世までは建築物(神社仏閣、公家・武家屋敷、城郭、橋、坑道補強など)や舟船、家具・調度品や醸造器具の製作などにおいて時代とともに手道具として用途独特の進化を遂げてきた。しかし、明治維新に伴う西洋式の道具の流入、さらに戦後の高度成長期を経て、コンクリートや鉄筋・鉄骨構造の建物の普及や製材加工の機械化、工具の電動化に伴って、昔ながらの大工道具を使用する職人は急速に減少し、並行して、伝統を受け継ぐ道具の需要も減ったことで、道具を作る技術や、その道具による木材加工技術を伝える機会も少なくなっている。

竹中大工道具館は昭和59(1984)年に設立され、平成26(2014)年に現在地に移転された、日本の木造建築を支えてきた工匠の技と心を伝える国内唯一の大工道具専門の博物館である。収蔵品は18,000点超もの大工道具、9,000点超の文献史料など総計35,000余りあり、そのうち約1,000点が常時展示されている。

床や壁に木材がふんだんに使用された館内には、歴史をたどっての国内外の数々の大工道具の他、その道具による造型物として、唐招提寺金堂の柱と組物模型(図2)、茶室の構造模型、木材(切り出し材各種、鉋屑、鉋屑等)の他、和洋の道具による多数の木材加工例が展示されている。また、実際の加工工程など静物を見るだけではイメージが掴みにくい場合の理解を助けるために、1点1分程度の動画資料が各コーナーに数点ずつ用意されている。

館内は地下1階と同2階が常設展スペースとなってお



図1 竹中大工道具館 入口。



図2 唐招提寺金堂組物模型。

り、大工道具の歴史や種類、仕組みを紹介する「歴史の旅へ」「道具と手仕事」「世界を巡る」、道具や手仕事の美を感じる「和の伝統美」「名工の輝き」、ものづくりの心を棟梁の仕事を通じて伝える「棟梁に学ぶ」、木材を十分に活かす知恵の数々を見る「木を生かす」の各コーナーが用意されている。特に順路が設定されているわけではないので、混み具合や時間に応じて、興味あるところを思い思いに鑑賞できる。

資料館で見かけた金属材料！“古今東西の大工道具”

「歴史の旅へ」では、大工道具の走りといえる石斧で立ち木を切り倒すときの打ち込み数や切り口の鉄斧との比較や、楔の挿し込みの違いが映像資料とともに展示されている他、国内で使われていた手斧(鉋)や、木目の風合いを豊かに表現し、古代には既に使われていたという檜鉋(やりがんな)を用

いて加工した木材と手斧で加工した木材などが比較・陳列されている(図3)他、室町時代に導入された大鋸での木挽きの様子を表す大型オブジェクト(図4)が展示されている。大鋸はかつては厚さが3mmほどもある重厚なものであったが、時代とともに熱処理技術が向上するなどして薄くなって軽量化し、機能が向上したことが分かる。また、元々は縦挽き用と横挽き用が別々であった鋸が、こちらも材質改良と熱処理技術の向上で1本の両刃鋸に進化していった様子も分かる。

「道具と手仕事」では、多様な形状や大きさの鑿や鉋など、大工が作業に応じて巧みに使い分け、日本独自の進化を遂げてきた道具の仕組みや使用方法が紹介されている。(図5、図6)そして圧巻は、大工が“標準装備”していたとされる道具一式の展示(図7)で、大工がこれだけの道具の特徴をつぶさに把握し、目的別に細かく使い分けることで、芸術的な造形物が完成される。また、鑿を例に、優れた大工道具ほど何度も研がれて使い続けられたことが実物を以て示され(図8)、優れていた道具ほど後世に遺っていないため、元々の姿が分からないことが実感として分かる。道具を大切にし、用を為すギリギリのレベルまで使い尽くす、古来の日本人の気質がよく表れていると思う。

「世界を巡る」では、柔質材を使う日本と硬質材を使う海外(中国、欧州)で各々用いられる大工道具の形や使用方法が

異なる様子が、動画や模型を使って展示・解説されている。歴史の中で建築物や工芸品の進化は木材とともにあり、大工道具は欠かせない。日本の大工道具の源流である中国では約60点、遠く離れたドイツでも同程度であるのに対し、日本は約180点。構造材に関して石材や煉瓦が多用されてきた大陸と異なり、木材が中心を占めてきたことや、用途の多様さ、職人のこだわりが表れているといえる。

「棟梁に学ぶ」では、江戸時代に大工が修行に用いた教科書(図9)や、デザイン考案の素となった図案集が展示されている。当時の大工が、棟梁一門の誇りを賭けて、木材加工の



図5 目的別の様々な鋸の展示と、縦挽き・横挽きの様子を
示す模型。

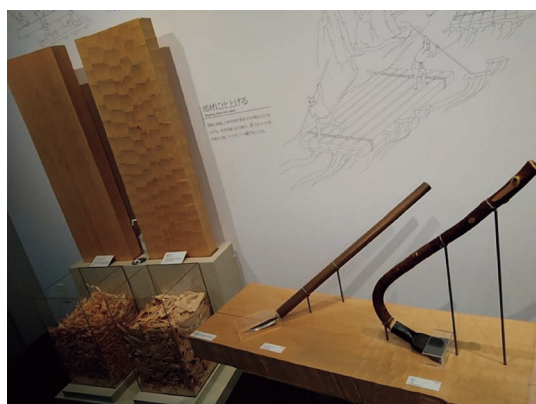


図3 左：削り出し材(左：手斧による、右：槍鉋による)
右：槍鉋(左)と手斧(鉋)(右)。



図6 用途に応じて使い分けられる様々な仕様の鉋。



図4 中世に用いられた大鋸による木挽きの様子。



図7 昭和18(1943)年の調査による、本格的な建物をつくる
のに必要な大工道具一式の展示。



図8 鑿(左:使い込まれて何度も研がれたもの, 右:新品)。

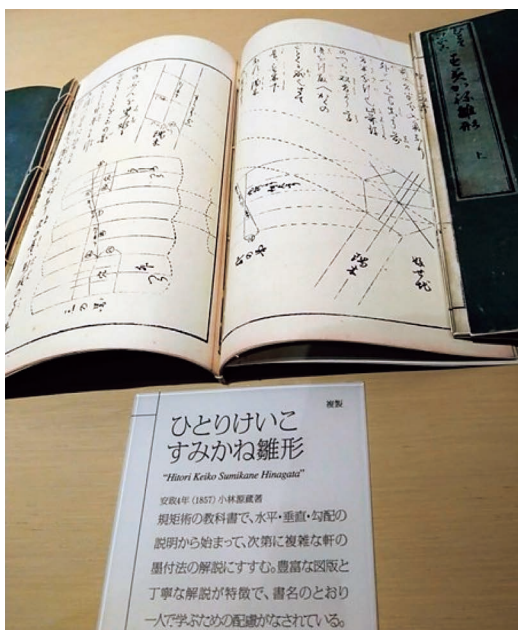


図9 大工の教科書「ひとりけいこ すみかね雛形」。

技術のみならず、用途に応じた木材の選定(「適材適所」という語はこれに由来)、工具の見極め、算術(構造設計やコスト計算)、作図、意匠といった幅広い能力を身に付けていたことが伺い知れる。

当館では展示のみならず、学識を深めたい方への講義型イ

ベントのほか、大工による実演や、来館者が参加できる工作教室など体験型イベントも用意されている。見学当日はまだコロナ禍にあったため、これらイベントの多くが開催を見合わせている状況であったが、遠からず復活するであろう。その他詳細については、ホームページ(<https://www.dougukan.jp/>)をご覧くださいくなり、実際に訪ねてみられることをお勧めする。

三宮の繁華街や北野の異人館街といった観光地からも遠くなく、ちょっとした空き時間に気軽に立ち寄ることができるので、衣・食・住の一つ、「住」を担う金属製品の代表である大工道具の歴史に是非触れられては如何だろうか。

参考資料

- (1) 公益財団法人竹中大工道具館ホームページ(<https://www.dougukan.jp/>)(閲覧日:2023年4月18日)
- (2) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第1回 竹中大工道具館が伝えるもの」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 6(2015), 32-35.
- (3) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第2回 挽き切る一鋸」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 7(2015), 32-35.
- (4) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第3回 うがつー鑿と鉋」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 8(2015), 32-35.
- (5) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第4回 削る一鉋」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 9(2015), 32-35.
- (6) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第5回 はかる, しるすー墨掛道具」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 10(2015), 42-45.
- (7) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第6回 口伝と五意達者」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 11(2015), 34-37.
- (8) 赤尾建蔵:CPD講座「大工道具とものづくりの心 第7回 大工の仕事とくらし」, 建築士 KENCHIKUSHI, **64**, 12(2015), 26-29.

(2023年4月12日受理)[doi:10.2320/materia.62.396]

竹中大工道具館へのアクセス

(〒651-0056 神戸市中央区熊内町 7-5-1)

- 山陽新幹線「新神戸」駅下車, 中央改札口より東に徒歩約3分
- 神戸市営地下鉄「新神戸」駅下車, 北出口1または2より東に徒歩約3分
- 神戸市営バス2系統・18系統「熊内6丁目」下車 徒歩約2分

URL <https://www.dougukan.jp/>



スポットライト

～第8回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

ダニエル電池の負極に Mg を用いると？

兵庫県立宝塚北高等学校グローバルサイエンス科 2年

山本大樹 三浦幸太 曾田旺宏 藤原悠太郎

1. 緒 言

私達は高校での化学実習でダニエル電池を用いて電流や電圧を測定しました。ダニエル電池とは、負極に亜鉛(Zn)、正極に銅(Cu)を用いた化学一次電池のことを指します。より深くダニエル電池について探究を行いたいと考え、金属板や電解液を変えて実験を行いました。今回、私たちは、ダニエル電池における Zn 板および $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2\text{aq}$ を Mg 板、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\text{aq}$ に置換した結果、Zn を用いたダニエル電池とは異なる以下の事象が確認できたため、この事象の原因について探究することにしました。

① Mg 板を負極に用いた電池は Zn を用いた場合と比較して時間経過に伴う電流量の変化が少なかった一方、電流が不安定であった。

② 電池を動作させると、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\text{aq}$ が塩基性を示した。

①、②の事象に関して原因不明かつ、電池作動時の挙動が Zn を負極に用いるダニエル電池では、確認できない事象であるため、ダニエル電池の原理を利用した電池の負極を Zn から Mg に置換した場合において、電流低下を及ぼした原因の解明を行うこととしました。

2. 実験方法

(1) Mg 板を用いた化学電池の作製

我々は負極に Mg 板(ケニス®製、型番：1-126-0207、純度：96.07 mass%)、正極に Cu 板(ケニス®製、型番：1-126-0201、純度：99.96 mass%)、負極側の電解質に 40 mL の 0.25 mol/L $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\text{aq}$ 、正極側の電解質に 40 mL の 1.0 mol/L $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\text{aq}$ を用いました。図1に示す化学一次電池を作製し、ケニス®製データロガー(サイエンスキューブ(1-109-900SB)(電流センサ(型番：1-109-0908)および電圧センサ(型番：1-109-0907))を用いて電流と電圧を測定し、負極側電解質の pH 測定には、ケニス®製 pH メーター(型番：1-109-0921)を用いました。

また、Cu と Mg では Mg の方がイオン化傾向は高いため、作製した電池は正極、負極で以下の化学反応が生じると考えられます。

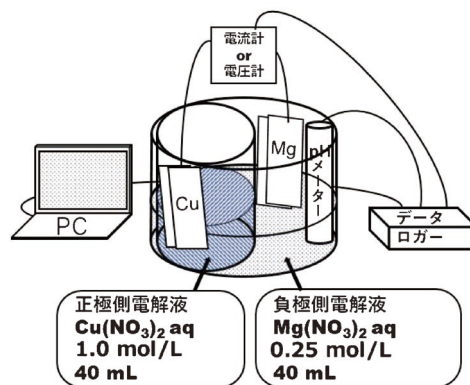


図1 作製した電池の模式図。(オンラインカラー)

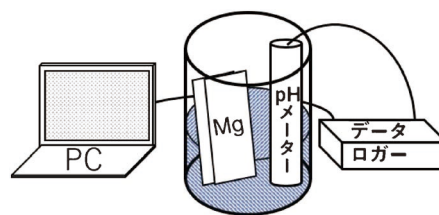
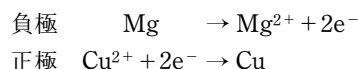


図2 pH 測定の様子。(オンラインカラー)



(2) Mg 板の純水への浸漬

用いた Mg 板表面に付着している不純物が原因で負極の電解液を塩基性にしたのではないかと考え、Mg 板表面を 200 番の紙やすりで全体を満遍なく研磨した後、純水で洗浄したものと、そうでない物を図2のように、それぞれ 40 mL の純水に浸漬させました。また、表面の不純物が、Mg 板表面の酸化被膜である MgO の影響によるもので $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2$ の反応により水溶液が塩基性を示した場合を考慮し、大気中で Mg 板(ケニス®製、型番：1-126-0207、純度：96.07 mass%)をガスバーナーで加熱し、表面酸化させたものと 40 mL の純水を混合しました。これら三種類の溶液を 20 時間放置した後それぞれ一部抽出し、フェノールフタレイン溶液を加えると同時に、pH メーターを用いて図2のように pH を測定しました。

(3) 化学電池作動時の負極の pH の時間変化

ダニエル電池と Mg を用いた本実験で用いる電池の比較について、本実験で作成する電池は作動させると負極側および正極側電解液が塩基性を示したことから、Mg を用いる電池に関して負極から析出する、負極側電解液に溶解する不純物が影響しているのではないかと考え、図1の装置のように Mg を負極に用いた電池の負極側電解液に pH メーターを入れ、pH の時間変化を約 22 時間放置し計測しました。

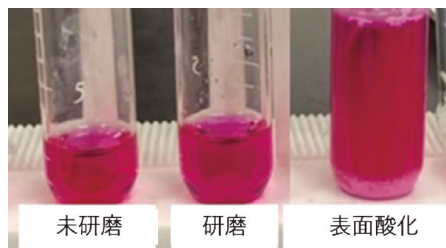


図3 3種類のMg板(未研磨, 研磨, 表面酸化)を純水に浸漬したものにフェノールフタレイン溶液を加えたときの様子. (オンラインカラー)

表1 3種類のMg板(未研磨, 研磨, 表面酸化)を純水に浸漬した時のpH値.

	pH 値
未 研 磨 の M g 板	10.3
研 磨 し た M g 板	10.2
表 面 酸 化 し た M g 板	10.2

3. 実験結果・考察

(1) Mg板の純水への浸漬

結果として, フェノールフタレイン溶液は, 3種類ともすべて赤色を示しました(図3). また, pH値に関しては, それぞれ表1に示される通りになりました.

このことから, 私たちは塩基性を示したのはMg板にもともと存在するMgの酸化物が原因ではないかと考えました. また, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の飽和水溶液はpHが10.5を示すので, 反応した物質は $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ではないかと考えました.

(2) 化学電池作動時の負極のpHの時間変化

電池作動とpH変化の様子を時間経過とともに計測した結果, Mgを用いた電池の電流値とpH値の相関関係は図4のグラフになりました. また, 5ks付近から電流の増加量が減少すると同時に負極表面に黒色物質が露出しました(図5).

ここで, 電流値とpHの時間変化について比較すると, 計測開始から20ks付近までpHが上昇するにつれて電流値も上昇し, pHが安定した頃から電流値が減少し始めていることがわかりました. このことから図4よりpHの変化と電流値の変化には相関があり, 溶解した酸化物によってpHが上昇による液中のイオンの増加により, 溶液の電気伝導率が上

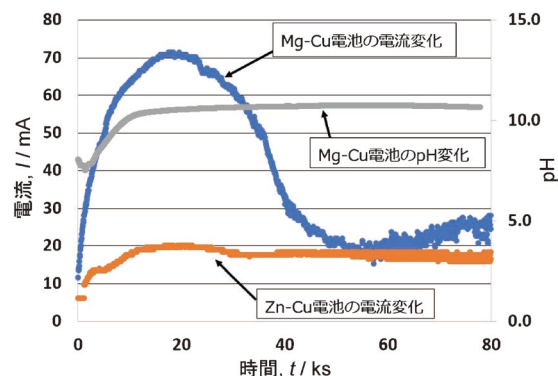


図4 電流とpHの経時変化. (オンラインカラー)



図5 5ks付近でのMg板表面の様子. (オンラインカラー)

昇し電流値は上昇するが, その後の電流値減少は図5の黒色物質が電流量の増加に負の相関関係を持たせることが原因ではないかと考えました.

4. 結論および今後の展望

これらの実験結果から, 負極をMgに変更したことで溶液のpHが変化し塩基性に傾いたこと, また同時に黒色物質が負極のMg板に析出したことが電流低下の原因となったことが考えられます. 今後の展望として, 検証で得た結果をもとにMgを用いた電池の開発に向け, 黒色物質の同定およびこの物質と電流, 電圧の関係をより深く突き詰める必要があると考えます. また, 本研究に協力してくださった皆様にこの場を借りて深く御礼申し上げます. ありがとうございました.

(2022年6月15日受理)[doi:10.2320/materia.62.399]
(連絡先: 〒665-0847 宝塚市すみれが丘4-1-1)

本 会 記 事

会 告	2023年秋期講演大会講演募集	401
	第10回「高校生・高専学生ポスター発表」募集	403
	2023年秋期講演大会ご案内および参加申込みについて	404
	第21回 World Materials Day Award 募集	406
	2023年秋期講演大会ホームページ・バナー広告、大会プログラム広告、付設展示会、誌上展示会各募集	407
	2022年度に活動終了した研究会成果報告	408
	2024年度金属学会シンポジウムのテーマ募集	409
	各種学術賞、奨励金等候補者推薦について	410
	2022年度事業報告および決算報告	411
	2023年度事業計画および収支予算書	416

掲示板	420	研究集会	423
会誌・欧文誌 6 号目次	421	新入会員	423
次号予告	422	行事カレンダー	424

事務局 渉外・国際関係: secgnl@jimm.jp
会員サービス全般: account@jimm.jp
会費・各種支払: member@jimm.jp
刊行物申込み: ordering@jimm.jp
セミナー・シンポジウム参加申込み: meeting@jimm.jp
講演大会: annualm@jimm.jp
総務・各種賞: award@jimm.jp
学術情報サービス全般: secgnl@jimm.jp
調査・研究: stevent@jimm.jp
まてりあ・広告: materia@jimm.jp
会誌・欧文誌: sadoku@jimm.jp

- ・出版案内、投稿規程、入会申込等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)

2023年秋期(第173回)講演大会講演募集

◎2023年秋期講演大会の講演を下記の通り募集いたします。
各種応募要項および締切日をご確認の上、お申込み下さい。

募集講演: 一般講演、公募シンポジウム、共同セッション、ポスター

募集期間: 一般講演、公募シンポジウム、ポスター: 5月25日(木)～7月7日(金)17時

共同セッション: 5月25日(木)～6月26日(月)17時

開催会期: 2023年9月19日(火)～9月22日(金)

開催場所: とやま自遊館(9月19日 ポスターのみ)(〒930-0805 富山市湊入船町9番1号)

富山大学五福キャンパス(9月20日～22日)(〒930-8555 富山市五福3190)

募集講演: 高校生・高専生(3年生以下)ポスターセッション

募集期間: 5月25日(木)～7月14日(金)17時

開催会期: 2023年9月19日(火)および9月26日(火)(発表者の希望によりどちらかで発表)

開催場所: とやま自遊館(9月19日)、オンライン(Zoom 利用)(9月26日)(発表者の希望によりどちらかで発表)

講演を申込みれる前に下記をご確認下さい

- ☐ 非会員も大会参加費と登壇費を前納すれば、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.)。
- ☐ 講演申込は同時に大会参加の事前予約が必要です。期日までに参加費を納入下さい。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。(同時に行わない場合は、講演申込は受理されません)
- ☐ 原則、講演申込者は講演発表者であること、「講演申込要領」5.を参照)
- ☐ 会員資格での申し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。

- ① 最新の概要原稿フォーマットを利用し、PDF に変換してアップロード下さい。
- ② 一人 2 件の講演を申込みできます。ただしポスター 2 件は不可。
- ③ 同一研究室の 3 件以上の連続講演は認められません。
- ④ 事前参加申込者(講演者含む)へは参加申込み締切後に、講演概要ダウンロード ID とパスワードを配信いたします。
- ⑤ 「参加証」は郵送いたしません。各自「大会マイページ」から印刷して下さい。

講演申込先及び申込期限

講演申込ウェブサイト URL	
https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn/	
講演申込みおよび概要原稿提出期限(締切厳守!)	
講演種別	講演申込期間
共同セッション	5 月 25 日(木)～6 月 26 日(月)17 時
一般,公募シンポジウム,ポスターセッション	5 月 25 日(木)～7 月 7 日(金)17 時
高校生・高専生ポスター	5 月 25 日(木)～7 月 14 日(金)17 時
講演についての問合せ先: 講演大会係 annualm@jim.jp	

これから入会して講演申込をされる方へ

- ☐ 下記の入会申込期限までに入会申込を行い、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、プログラムに掲載されていても、講演を認めません。
- ☐ 下記の入会申込みサイトから入会を申込んで下さい。入会申込すると ID(会員番号)とパスワードが即日メールで送信されます。

入会申込 URL	https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php
入会申込期限	共同セッションの講演: 6 月 23 日(金) その他の講演: 7 月 5 日(水)
年会費納入期限	7 月 31 日(月)
入会・会費の問合せ先	会員サービス係 member@jim.jp

オンライン発表(高校生ポスター発表)の注意

オンライン発表の場合、通常とは異なる発表形式となります。
下記注意事項をご確認頂き、十分ご注意頂き講演のお申込みをお願いいたします。

オンライン開催に伴うリスクについての注意

講演大会での発表には、現地開催とオンライン開催とにかかわらず、以下のようなリスクがあります。ところが、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及び講演が Web 上で配信されることから、これらのリスクが高まることが懸念されます。本会では、リスクの高まりに対処するために、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頂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になります。

※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。

2. 著作権を侵害してしまう

他人が著作権を持つ音声、映像、画像、写真の安易な使用(引用)により、著作権を侵害してしまう

※文献などはこれまでの講演大会と同様、適切な引用がされていれば問題ありません。

日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会 第10回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2023年7月14日(金)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋2回の「講演大会」を開催しています。この講演大会では、若い生徒や学生に金属および材料学分野に対して興味や理解を高めてもらうため「高校生・高専学生ポスターセッション」を開催しています。2023年秋期講演大会では、2023年9月19日(火)に「とやま自遊館」で、9月26日(火)に「オンライン」で、「第10回高校生・高専学生ポスターセッション」を開催します。

発表者には、2023年9月19日(火)の「とやま自遊館」での現地発表、または9月26日(火)のオンライン発表のいずれかを選んでいただきます。

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

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

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

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2023年秋期(第173回)講演大会

行 事 名 「高校生・高専学生ポスター発表」

開催方法 9月19日(火)「とやま自遊館」および9月26日(火)「オンライン」

開催予定日時 2023年9月19日(火)午後または9月26日(火)14:00~17:00の間で2時間程度を予定

対 象 者 高校生および3年以下の高専学生

発表方法 9月19日(火)とやま自遊館(オンサイト)または9月26日(火)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について：別途連絡

講演申込 <https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn>

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・高専学生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)
- ④ 指導教員宛てに、参加者用IDとパスワードおよびプログラム1部を事前送付する。
- ⑤ 発表者全員に本会ユース会員の資格を贈呈する。

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

問合せ・連絡先：(公社)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 FAX 022-223-6312

E-mail: annualm@jimmm.jp



2023年秋期(第173回)講演大会のご案内および参加申込みについて

2023年秋期講演大会を、9月19日(火)にポスターセッションを「とやま自遊館」で、20日(水)から22日(金)は「富山大学五福キャンパス」で開催します。

高校生・高専学生ポスターセッションは、9月19日(火)に「とやま自遊館」で、9月26日(火)に「オンライン」にて開催します。(選択された発表方法により開催日が変わります。)

尚、参加申込みは、すべてインターネット申込みとなります。詳細は、下記参加申込要領をご覧ください。

日 程	
日 時	行 事
9月19日(火) 13:00～16:30	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
9月20日(水) 9:00～9:40 10:00～17:00 18:30～	開会の辞、贈呈式 学術講演 懇親会：ANA クラウンプラザホテル富山
9月21日(木) 9:00～17:00	学術講演
9月22日(金) 9:00～16:30	学術講演
9月26日(火)午後	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

参加申込要領(参加申込みは全てウェブサイトからとなります)

大会参加申込期間および URL

(事前申込)2023年5月25日～9月1日

<https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn/>

(後期(当日)申込)2023年9月6日～9月26日

https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn_after/

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

参加費・懇親会の消費税抜については、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 (5月25日～9月1日)	後期(当日)申込 (9月6日～9月26日) クレジット決済のみ
正員・維持員会社社員、シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員 (本会非会員)	10,000円	13,000円
2023年3月1日時点で65歳以上の個人会員*	無 料	無 料
学生員**	6,000円	7,000円
ユース会員(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
非会員*** 一般	24,000円	27,000円
非会員*** 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円

- お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。
- 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。
- 参加方法や講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。

* **65歳以上の個人会員**：会員情報に生年月日のご登録がない場合は、課金されますのでご注意下さい。会員情報に生年月日をご登録されていない方は、大会参加申込みの前に annualm@jimm.jp まで会員番号・お名前・ご連絡先・生年月日をお知らせ下さい。

** **学生員**：卒業予定変更等により会員種別に相違がある場合、事前に**会員種別の変更手続き**を行ってから、大会参加をお申込下さい。会員情報に登録された卒業年次を超えると、自動で正員となっています。

*** 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いたしません。

◆懇親会費(消費税込み)

開催日時 2023年9月20日(水)18:30~20:30

開催場所 ANA クラウンプラザホテル富山(〒930-0084 富山市大手町2番3号)

- ・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。
- ・懇親会ご参加申込の方へは、現地懇親会会場にて、参加証をお渡し申し上げます。

予約申込締切日	9月1日(金)(申込および入金期日)	
種 別	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	8,000円	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

◆支払方法

事前申込のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、後期(当日)申込はクレジット決済のみとさせていただきます。事前予約申込は9月1日(金)の入金日をもって事前参加申込完了となります。

◆参加方法

大会マイページにて「参加証」を印刷し、来場下さい。

◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会2週間前の2023年9月5日(火)です。特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。
講演大会公開サイトにログイン後、講演概要の閲覧ができます。

(事前参加申込みの方)参加申込みをされ、参加費を納入された方へは、概要公開日に講演概要閲覧等に必要な参加者個別認証 ID とパスワードを配信いたします。

(後期(当日)申込の方)参加申込受理通知に記載の「登録番号」および「パスワード」が講演概要閲覧に必要な個別認証 ID とパスワードになります。

◆講演概要集購入について

講演概要集 DVD は作成いたしません。全講演概要は、本大会 Web サイトで公開をします。これまで概要集 DVD のみ購入をされていた方も、通常の参加登録をして頂き、概要の閲覧をお願いします。

2023年秋期講演大会 開催予定の各種シンポジウム

公募シンポジウム9テーマ

- S1 材料変形素過程のマルチスケール解析(VI)
- S2 水素エネルギー材料X
- S3 ハイエントロピー合金の材料科学(X)
- 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Ⅳ
- S5 Additive Manufacturing の材料科学Ⅱ：超温度場材料創成学
- S6 機能コアの材料科学Ⅳ
- S7 データ創出・活用による磁性材料の研究開発
- S8 極限環境対応構造材料のためのマテリアル DX(I)
- S9 ワイドギャップ結晶の材料科学と高温プロセッシングⅤ

企画シンポジウム4テーマ

- K1 自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・第5回自動車関連材料合同シンポジウム「モビリティの革新に貢献する材料技術の最新動向
- K2 若手科学者へ贈る研究のヒントⅥ～未踏領域へ到達するために～
- K3 中学高校生向け金属体験学習
- K4 国内のマテリアル戦略とインフォマティクス応用

参加申込・問合せ先

(公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312 E-mail: annualm@jimm.jp

第21回 World Materials Day Award 募集

応募期間：2023年7月1日～8月25日

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、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し (毎年11月の最初の水曜日)、この日に世界同時に、「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おります。日本では、11月1日(水)に顕彰いたします。尚、本年は下記日程にて展示および審査を行いますので、多数のご応募をお待ちしております。

募集要項

対象となる活動：次の3部門で募集します。

- 第1部門：社会における材料の重要性を示すホームページ
- 第2部門：学園祭やキャンパスオープンデー等での該当する展示物、作品等
- 第3部門：その他(材料教育プロジェクト、青少年対象の材料実験等)

応募資格者

日本在住の学部学生、修士課程大学院生(グループも可)、高校生・高専学生も可
日本金属学会の会員でなくても応募できるが授賞決定後には会員になることが望ましい。

展示方法

日本金属学会秋期講演大会(2023年9月19～22日、富山大学)において、応募作品を展示する。

- ・展示場への作品の搬入および搬出は応募者が行う。
- ・展示パネルと電源は準備しますがそれ以外の備品などは応募者各自が準備すること。

審査方法

- ・審査員は理事会で決定し、展示場で審査する。
- ・審査の観点：材料啓発活動への寄与度、内容の新鮮さ、表現力、意欲などの個別項目を5点法で採点し総合点で審査する。

授賞

- ① World Materials Day Award：優秀作品1作品(または1グループ) 副賞5万円
- ② 各部門賞：各部門1作品に表彰、賞状のみ。

贈呈は World Materials Day に受賞者の所属する機関で行う。

応募要領 メールによる申込み記載事項(応募者名、住所、所属、作品名、応募分野・部門、展示方法(Web、実物、写真、ビデオ等)、展示必要スペース・重量などを明記して応募下さい。(応募様式はホームページからダウンロードして下さい))

申込方法 下記アドレス宛にお申込下さい。

参考

過去の受賞者による体験記事を「まてりあ」に紹介しておりますので、ご参考にして下さい(まてりあ58巻1号～3号)。

申込・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 World Materials Day 募集係
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: stevent@jimm.jp

～ ご応募お待ちしております。～

2023年秋期講演大会
大会ホームページ・バナー広告、大会プログラム広告(まてりあ 9号付録)、
付設展示会、誌上展示会(まてりあ11号)各募集要領

本会2023年秋期講演大会は、9月19日(火)～22(金)の4日間、富山大学・五福キャンパスにて開催致します。本講演大会にて、各種広告、付設展示会の出展を募集致します。

■大会ホームページ・バナー広告

掲載期間 2023年7月～(会期終了後もアーカイブで閲覧できます)

アクセス数 200,000アクセス(約2ヶ月、前回参考値)

サイズ タテ80ピクセル×ヨコ160ピクセル(静止画)

データ形式 静止画のPNG(.png), JPEG(.jpg), GIF(.gif)

リンク先アドレスも合わせてご指定下さい。
バナーデータ(+リンク先指定)入稿後、1週間程度で掲載します。

掲載料金 1枠50,000円(税別)※バナーデータ制作費は別途です。
※本会維持員様、プログラム広告掲載会社様、付設展示会出展社様は50%OFF。

申込 随時受付

申込最終締切 8月17日(木)

■講演大会プログラム広告(冊子)

発行予定日 9月1日(金) まてりあ9号付録

原稿サイズ A4 1頁 天地 260mm×左右 180mm
1/2頁 天地 125mm×左右 180mm

入稿形態 完全データ(グレースケール)

掲載料金 後付モノクロ1頁 ¥70,000(税別)
後付モノクロ1/2頁 ¥40,000(税別)
※広告データ制作費は別途です。
※付設展示会出展社様は50%OFF。

申込締切 7月27日(木)

広告データ締切 8月3日(木)

※講演大会がオンライン開催となった場合でもキャンセルはできません。

■付設展示会

展示会会期 9月20日(水)～22日(金)
9:00～17:00(22日は、14:00まで)
搬入日:9月19日(火)14:00～16:00(予定)

展示会場 富山大学・五福キャンパス

〈機器・書籍展示〉

研究開発用機器、書籍、ソフトウェア等の出展を募集します。

1コマ 間口1,800mm、奥行き900mm(予定)
展示台(テーブル)、バックパネル(高さ2100mm×幅1800mm)、椅子をご用意します。
※電気使用容量を制限する場合がございます。(例:1コマ200Wまで)

出展料金 機器展示:1コマ 140,000円(税別)
書籍展示:1コマ 90,000円(税別) 出版社様限定

申込締切 8月17日(木)
※規定数に達し次第、先着順に締切ります。

〈カタログ展示〉

展示部数 2点(A4サイズ、8頁以内)につき、30部以内

出展料金 2点につき30,000円(税別)(1点増すごとに10,000円(税別)追加)

申込締切 8月17日(木)

■まてりあ11号・誌上展示会

付設展示会のフォローアップ広告を募集します。

発行予定日 11月1日(水)

掲載料金 1枠(1/4頁) ¥28,000(税別)

申込締切 9月28日(木)

広告原稿締切 9月28日(木)

※本広告企画は、付設展示会に出展されていない企業様も出稿できます。

ランチョンセミナー他の協賛メニューは、企画でき次第ご案内致します。下記までお問い合わせ下さい。

本講演大会がオンライン開催となった場合、諸事情により付設展示会が中止となった場合は、別途協賛メニューをご案内致します。

■申込・問合先

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4
友野本社ビル7F
株式会社 明報社 (担当:月岡太郎
または、営業担当者まで)
☎ 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306
E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp (または営業担当のアドレスまで)
URL: http://www.meihosha.co.jp

2022年度に活動終了した研究会成果報告

No. 72「水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会」成果報告書

- 活動期間：2014年3月～2023年2月(9年間)
※2020年活動休止のため1年間延長

2. 研究会活動目的

水素貯蔵・透過材料や燃料電池・蓄電池関連材料などの研究開発競争が世界的に激化しており、新たな科学的知見に立脚した研究開発指針の確立が望まれている。そのためには水素化物の新たな機能性の根源的探究や評価解析技術の高度化が不可欠であり、例えば中性子・放射光などの量子ビームを用いた局所構造・ダイナミクス解析などは水素化物の科学的知見を深化させる駆動力になることが期待される。そこで本研究会は、水素化物に関連する研究成果の社会への還元を目指し、本学会を中心とした研究者間の情報交換・研究協力体制をより強化しつつ水素化物の学術・応用展開の議論を深め、本分野の一層の活性化を図ることを目的として活動を行う。

3. 研究会活動概要

原則として年1回研究会を開催し、オーラルまたはポスターでの研究成果発表および議論を行った。下記に示す実績のとおり、合計8回開催し、毎回約30～40件の発表、45～67名の参加者があった。発表内容は、水素貯蔵・透過材料、水素利用技術、水素キャリア、固体イオニクス・電池関連材料、磁気特性、新たな評価手法開発など多岐にわたり、会員間での情報交換を行うとともにディスカッション・ポスターセッションの場で議論を深めた。また、本研究会では若手の研究奨励を目的として優秀なポスター発表に最優秀賞/優秀賞を授与し、若手研究者の育成にも寄与した。

	開催日	会 場	発表件数	参加者数
第1回	2014年 10月21-22日	東北大学金属材料研究所 (宮城県仙台市)	オーラル15 ポスター22	65
第2回	2015年 10月22-23日	金沢大学 (石川県金沢市)	オーラル14 ポスター22	55
第3回	2016年 10月27-28日	室蘭工業大学 (北海道室蘭市)	オーラル15 ポスター19	52
第4回	2017年 11月16-17日	沖縄産業支援センター (沖縄県那覇市)	オーラル15 ポスター30	67
第5回	2018年 11月21-22日	産業技術総合研究所 (茨城県つくば市)	オーラル11 ポスター17	46
第6回	2019年 11月14-15日	広島大学 (広島県東広島市)	オーラル8 ポスター28	45
第7回	2021年 11月8-9日	オンライン開催 (ホスト：関西大学)	オーラル10 動画*15	44
第8回	2022年 12月1-2日	早稲田大学 (東京都新宿区)	オーラル10 ポスター21	61

*) ポスターに代わる発表形式として、プレゼン動画配信+ショートプレゼンテーションを実施

4. 成果の公表先

研究成果は Materials Transactions に合計26報の学術論文として公表(2014年～2022年実績)。

- 研究会世話人：中村優美子(産総研)、折茂慎一(東北大)、亀川厚則(室蘭工大)、秋葉悦男(九州大)、大貫惣明(北京科技大/北大)、岡田益男(東北大)、栗山信宏(産総研)、小島由継(広島大)、森永正彦(豊田理研/名古屋大)、吉成修(名工大)

No. 78「触媒材料の金属学研究会」成果報告書

- 活動期間：2017年3月～2023年2月(6年間)
※2020年活動休止のため1年間延長

2. 研究会活動目的

触媒は SDGs ならびにカーボンニュートラル実現のためのキーマテリアルである。近年、脱貴金属化や貴金属代替合金触媒の開発は最重要課題になっている。触媒材料として金属・合金は古くから利用されている。特に、合金化による触媒性能の向上は枚挙に暇がない。しかし、意外なことにこれら合金化効果と触媒機能に関する原理・原則は未だ確立されていない。その最大の要因は、金属・合金触媒において金属学の視点で深く議論されることが無かったからである。そこで、本研究会では、金属・合金の触媒作用を金属学の観点から理解するとともに、新たな触媒材料の学理を構築し実際の調製法に繋げることを目的として設立された。金属材料分野を中心として幅広い分野(触媒化学、材料物性・解析、物性理論、表面・電気化学など)との融合を図り、研究者間での意見・情報交換、活発な議論を行うことを目指した。

なお、本研究会は金属材料と触媒化学の研究者コミュニティの交流を目指して2009年より活動してきた「触媒材料研究会」(2期計6年間：2009.03-2012.02(代表世話人：蔡安邦)、2012.03-2015.02(代表世話人：西村睦))が母体としてバルク型金属・合金触媒材料にフォーカスしその学理構築にこだわった比類のない金属学会ならではの活動を行ってきた。

3. 研究会活動概要

本研究会では合計6回のミニシンポジウム等を企画・開催した。各シンポジウムの概要は以下の通りである。

①公募シンポジウム(S2)「触媒材料の金属学」

第161回金属学会講演大会(北大)の2日目の平成29年9月7日(終日)に公募シンポジウムが開催した。本シンポジウムでは3つのトピックスを設定し、①新素材・材料：小嶋隆幸 助教(東北大学際センター)、②新規触媒反応：古川森也 准教授(北大触媒研)、③表面・理論：蔡安邦 教授(北大多元研)と有賀寛子 助教(北大触媒研)にそれぞれ基調講演(含受賞講演)をして頂いた。また、一般応募講演が11件あり合計15件で企画時予想の通りにほぼ行われた。聴講者数は概ね40名程度で比較的盛況であった。

② ミニシンポジウム「箔型金属触媒の現状と可能性」

本シンポジウムは、平成30年2月23日(13:30-17:00)に

NIMS(つくば市)で開催した。NIMS 平野敏幸氏(「金属系モノリス触媒の現状と可能性」)、熊本大学町田正人氏(「オーバーレイヤー構造を有する金属箔触媒の設計とメタルハニカムへの応用」)、NIMS 許亜氏(「組成・組織制御による金属箔の触媒特性の向上」)に各講演を行って頂き、講演内容に対し参加者と活発な討論をおこなった。参加者は10名であった。

③ 第3回ミニシンポジウム「金属触媒材料のキャラクター化(1)」

本シンポジウムは、平成30年12月14日(13:30-17:00)に東北大学東京分室(東京駅そば)で開催された。京都大学 辻伸泰氏(「金属材料における集合組織形成とEBSD解析—その原理と応用」)とNIMS 原徹氏(「電子顕微鏡による形態・組成評価の技術的進展—SEMでの三次元観察とS/TEMでの組成分析」)に各講演を行って頂き、研究会世話人(亀岡・許)からバルク型金属触媒材料に関する最近のトピックスを紹介し講演講師らと参加者との間で活発な総合討論をおこなった。参加者は10名(内 学生2名)であった。

④ 第4回ミニシンポジウム「金属触媒材料研究の最前線: 金属・触媒・表面科学の融合を目指して」

本シンポジウムは、令和元年12月9日(13:30-17:20)に北大東京オフィス(東京駅そば)で開催された。慶応大学 近藤寛氏(「金属触媒表面のin situ/オペランド計測」)、北海道大学 古川森也氏(「金属反応場の精密設計—現状と展望—」)、東北大学 小嶋隆幸氏(「ホイスラー合金の触媒特性」)、東京大学 小安喜一郎氏(「金属クラスターの化学反応性を用いた分子の活性化」)、大阪大学 森浩亮氏(「水素エネルギーの貯蔵・供給のための金属触媒ナノエンジニアリング」)に各講演を行って頂き、講演講師らと参加者との間

で活発な総合討論をおこなった。参加者は13名であった。

⑤ 特別講演会 「金属中の水素—拡散・透過、機械的性質への影響、触媒機能—」

本特別講演会は、令和2年2月28日(16:00-17:15)に物材機構千現地区研究本館8階中セミナー室(つくば)で開催した。長年にわたり水素吸蔵合金材料を研究されてきた西村睦博士(エネルギー・環境材料研究拠点 水素製造GL)に特別講演をして頂き、参加者との間で活発な議論が行われた。参加者は13名であった。

⑥ 第6回ミニシンポジウム「水素吸蔵合金と金属触媒材料の融合を目指して」

本シンポジウムは、令和4年2月18日(13:30-17:00)にZoom オンラインで開催された。量研機構 齋藤寛之氏(「水素化し難い金属から水素化合物を創る—高温高圧法と放射光その場観察による新規水素化合物探索研究」)、産総研 浅野耕太氏(「水素吸蔵合金の高性能化・多機能化を発現するナノ材料科学と触媒化学への期待」)、東北大 附田良太氏(「Ni基水素吸蔵合金触媒の不飽和炭化水素の水素化特性」)に各講演を行って頂き、その後自由討論時間を設け講演講師3名と参加者との間で活発な意見交換が行われた。参加者総数は41名であった。

4. 成果の公表先

Materials Transactions 第64巻第10号(2023年)

特集号 “Metallurgy for Advanced Catalytic Materials(触媒材料のための金属学)”

5. 研究会世話人: 亀岡聡(東北大)・許亜(NIMS)・田邊豊和(防衛大)・小嶋隆幸(信州大)

2024年度金属学会シンポジウムのテーマ募集

提案期限: 2023年9月1日(金) 厳守

シンポジウムの開催趣旨

金属学会シンポジウムは、話題性のあるトピックス等の特定のテーマに関心をもつ研究者が集まって、講演発表、相互討論を行い、問題への共通認識を深め、今後の研究の発展に資することを目的として実施する。

今回募集するシンポジウムの開催時期

2024年度(2024年3月1日~2025年2月28日)内に実施

応募要領

提出書類 提案書を下記提出先に送付して下さい。
(提案書の様式はHP(<https://jimm.jp/event/symposium/>)よりダウンロードして下さい。)

応募から実施までの流れ

募集締め切り(9月)⇒セミナーシンポジウム委員会にて採択決定(10月頃)⇒事務局から採択通知と具体的実施準備の連絡⇒講師・プログラム・会場の決定(開催6か月前に確定必要)・会告⇒講師依頼⇒テキスト作成(開催2か月前に原

稿必要)⇒参加者募集⇒開催

〈世話人〉

1. 講演者への内諾(内諾後、事務局から正式依頼いたします。)
2. プログラム日程案作成・会場手配(事務局と相談)
3. 開催当日の司会・進行

〈講師〉

事前の予稿集原稿(4頁程度)執筆と予稿

〈事務局〉

1. 費用支払い(会場費、旅費謝礼、昼食費等)
2. 予稿集編集・印刷
3. 講師依頼状配信
4. 関係学協会への協賛依頼

提案書提出先・問合先

下記宛てにE-mailで送付して下さい。

日本金属学会 セミナーシンポジウム委員会宛

E-mail: stevent@jimm.jp ☎ 022-223-3685

詳細 ホームページ/イベント まてりあ 5号333頁

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「〇〇賞に推薦(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。

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 (2022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	5月27日
文部科学大臣表彰 科学技術賞、若手科学者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	7月21日
文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	9月30日
日本学術振興会賞 https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/	日本学術振興会	4月4日
育志賞 http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/	日本学術振興会	5月31日
朝日賞 http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/	朝日新聞社	8月25日
日本産業技術大賞 http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou	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 http://www.toray-sf.or.jp/	東レ科学振興会	10月8日
本多記念賞、本多フロンティア賞、本多記念研究奨励賞 http://hondakinenkai.or.jp/	本多記念会	9月10日
大河内賞 http://www.okochi.or.jp/hp/top.html	大河内記念会	8月12日
全国発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	8月31日
地方発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	3月31日
井上学術賞 http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html	井上科学振興財団	9月17日
井上春成賞 http://inouesho.jp/	科学技術振興機構	2月28日
岩谷直治記念賞 http://www.iwatani-foundation.or.jp/	岩谷直治記念財団	8月31日
浅田賞、三島賞 https://www.isij.or.jp/commendation/	日本鉄鋼協会	9月30日
風戸賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	10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 (2022年の例) (本会締切は2ヶ月前)
風戸研究奨励賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	12月9日
グリーン・サステイナブルケミストリー賞 http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html	新化学技術推進協会	11月19日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月7日
KONA 賞、研究助成、援助 http://www.kona.or.jp/jp/	ホソカワ粉体工学振興財団	7月12日
サー・マーティン・ウッド賞 http://www.msforum.jp/about_sir_martin/	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	7月12日
機械振興賞 http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html	機械振興協会	5月31日
素形材産業技術賞 https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html	素形材センター	5月19日
日本塑性加工学会賞 http://www.jstp.jp/about/award/	日本塑性加工学会	8月27日
日本溶接協会 貢献賞、技術賞、溶接注目発明賞 https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html	日本溶接協会	11月13日
熱・電気エネルギー技術に関する研究助成 http://www.teet.or.jp/08_4.html	熱・電気エネルギー技術財団	10月28日
藤原賞 http://www.fujizai.or.jp/index.htm	藤原科学財団	12月15日
報公賞、工学研究奨励助成金 http://www.hattori-hokokai.or.jp/	服部報公会	5月18日
睦賞 http://www.jsndi.jp/honor_award/	日本非破壊検査協会	12月31日
山崎貞一賞 http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html	材料科学振興財団	4月30日
山田科学振興財団研究援助 http://www.yamadazaidan.jp/jigyo/kenkyu.html	山田科学振興財団	2月28日
江崎玲於奈賞 https://www.i-step.org/prize/esaki/	茨城県科学技術振興財団	3月15日
薄膜技術に関する研究助成 https://www.samco.co.jp/foundation/recruitment/	サムコ科学技術振興財団	3月15日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月12日
高分子学会賞 https://main.spsj.or.jp/c5/c15php	高分子学会	9月30日
ヒロセ賞 https://www.hirosw-isf.or.jp/	ヒロセ財団	11月30日
ATI 研究助成 https://www.ari.or.jp/	新世代研究所	6月17日

◇ ◇ ◇

2022年度の事業の概要は、次の通りである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①2022年度は公益社団法人に移行した10年目の事業年度であり、定款に定める公益目的事業を推進した。新型コロナウイルス感染症が平常化しつつあることから、秋期講演大会の現地開催、理事会を始めとした会議や研究会等のハイブリッド開催を含む現地開催を再開した。
- ②刊行事業では、会報は月平均65ページで、冊子体は5,300(第62巻1号から4,900)部を刊行するとともに、電子ジャーナルを刊行した。魅力ある会報に向けた多様な記事の掲載を継続した。会誌は月平均23ページで、オンラインジャーナルを刊行した。冊子体は290部を発行した。掲載論文数の減少により、冊子は2号ずつ合併して偶数月に発行した。欧文誌 Materials Transactions は平均169ページで、オンラインジャーナルを刊行した。冊子体は170部を発行した。インパクトファクター向上のため、「Current Trends in Research」カテゴリー論文の掲載を継続するとともに、被引用数の多い論文の著者への Top Cited Paper Certificate の発行を継続した。共同刊行学協会で一本化した編集システムを使用して投稿から査読・審査を実施した。理数探求用教材は、企業等に動画を依頼することとした。すべての既刊図書類の電子化を行い、一部を除いて会員に無料提供した。
- ③講演会・講習会事業では、2回の講演大会を開催した。春期講演大会はオンラインで開催し、講演件数685件、参加者1,227名であった。秋期講演大会は福岡工業大学で開催し、講演件数は996件、参加者数は1,500名であった。公募シンポジウムは春期9テーマ、秋期9テーマ、企画シンポジウムは春期2テーマ、秋期5テーマと活発に開催した。ポスターセッションは春期88件、秋期242件であった。高校生・高専学生ポスターセッションは春期47件、秋期23件で、いずれもオンラインで開催した。また、オンラインで機器展示および企業の技術セミナーを開催した。さらに、学生を対象とした学生キャリアサポートセミナー、企業技術セミナー、機器展示は、春はオンラインで、秋は現地で開催した。金属学会セミナーは1件をオンラインで、金属学会シンポジウムは2件を現地で開催し、新たにオンライン教育講座5件をオンラインで実施した。支部では昨年度より多い32件の講演会・講習会を開催した。
- ④調査・研究事業では、9分科で活動を実施した。10テーマの研究会と1テーマの若手研究グループが活動を行った。新たに4テーマの産学協創研究会が活動を開始した。第3回日本金属学会フロンティア研究助成10件を採択し、助成金を交付した。支部では18件の研究会を開催した。男女共同参画委員会では、女性会員の集いを秋期講演大会期間中に現地開催した。また、男女共同参画15周年ミニシンポジウムをオンライン開催した。国際連携活動では、3年ぶりに World Materials Day Award を授賞した。KIM との交流を再開し、KIM 年次大会へ表敬訪問するとともに、KIM-JIM Symposium を韓国で共催した。JIM/TMS Young Leader の相互派遣については、本会派遣者を決定し、昨年度の TMS 派遣者を秋期講演大会に受け入れた。ASM International との連携事業を継続した。第1回国際セッションをインド、中国、韓国、豪州、米国から参加して、秋期講演大会で開催した。
- ⑤表彰・奨励事業では春表彰10件、秋表彰9件を授賞した。名誉員2名を推戴し、フェロー1名を認定した。各賞の贈呈式は秋表彰のみで行った。特別功労賞、増本量賞、谷川・ハリス賞、研究技能功労賞、論文賞の対象等の改訂を行った。支部でも主に若手を対象とした17件の授賞を実施した。
- ⑥庶務では、定時社員総会を開催し、理事会はほぼ2ヶ月ごとに開催して業務執行理事による業務執行報告を行なった。法令で定められた申請書類や定期提出書類を提出した。シニア会員およびユース会員を新設した。広報活動を推進し、講演大会参加へのネックストラップや缶バッジの配付、会員へのカレンダーの送付等を行って新ロゴマークを周知するとともに、パンフレットの作成およびホームページのリニューアルを行った。会員へのインタビューを行ってホームページに掲載することを開始した。
- ⑦会計では、公益法人の財務3基準である、収支相償、公益目的事業比率、遊休財産額保有上限額をいずれも達成した。なお、本年度は会費収益の80%を公益目的事業に配賦した。また、研究助成事業のための調査・研究事業拡充資金1,000万円を積み増した。

公益社団法人 日本金属学会 2022年度決算

正 味 財 産 増 減 計 算 書

2022年3月1日から2023年2月28日まで

(単位:円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1)経常収益				
特定資産運用益	25,092,309	25,102,422	-10,113	
特定資産受取利息	25,092,309	25,102,422	-10,113	
退職給付引当資産	690,807	691,736	-929	
減価償却引当資産	86	80	6	
刊行事業資金	6,390,035	6,390,098	-63	
刊行事業拡充賛助寄付資金	733	591	142	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
講演会・講習会事業資金	5,990,054	5,990,330	- 276	
国際会議開催準備資金	0	82	- 82	
調査・研究事業資金	5,290,464	5,290,464	0	
調査・研究事業拡充資金	0	951	- 951	
国際学術交流資金	1,734,000	1,734,000	0	
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	235,500	235,500	0	
研究技能功労賞資金	119,000	119,000	0	
奨励賞・奨学賞等資金	841,590	841,590	0	
谷川・ハリス賞資金	255,000	255,000	0	
増量賞資金	595,000	603,000	- 8,000	
村上賞資金	1,900,040	1,900,000	40	
受取入会金	84,000	77,000	7,000	
受取入会金	84,000	77,000	7,000	
受取会費	64,467,191	67,310,796	- 2,843,605	
正員受取会費	31,232,087	32,033,550	- 801,463	
学生会員受取会費	3,483,871	5,326,834	- 1,842,963	2020年会費免除の影響
維持員受取会費	28,625,000	28,782,684	- 157,684	
外国会員受取会費	1,126,233	1,167,728	- 41,495	
事業収益	83,302,528	78,684,134	4,618,394	
刊行事業収益	47,970,706	51,006,681	- 3,035,975	
会報購読費収益	1,731,132	1,992,564	- 261,432	
会誌購読費収益	3,992,310	4,519,308	- 526,998	掲載論文数減少
欧文誌購読費収益	8,961,208	8,174,488	786,720	入金時期ずれ
会報別刷等収益	3,023,840	3,722,950	- 699,110	掲載論文数減少
会誌別刷・審査収益	464,970	583,000	- 118,030	
欧文誌別刷・審査収益	22,124,658	21,736,330	388,328	
刊行事業広告収益	4,319,480	6,035,480	- 1,716,000	会報広告減少
単行本収益	2,870,453	3,250,639	- 380,186	
著作権料収益	482,655	991,922	- 509,267	著作物転載等利用減
講演会・講習会事業収益	34,224,821	26,595,643	7,629,178	
講演大会参加費収益	22,855,000	22,698,000	157,000	
講演概要集収益	396,000	457,688	- 61,688	
講演大会懇親会参加費収益	478,209	0	478,209	
金属学会シンポジウム参加費収益	776,000	0	776,000	シンポジウム開催増
セミナー参加費収益	6,150,000	0	6,150,000	オンライン教育講座開始
セミナーテキスト収益	5,960	32,374	- 26,414	
講演会・講習会事業広告収益	2,110,733	1,960,200	150,533	
講演会・講習会事業委託収益	150,000	101,257	48,743	
支部講演会・講習会事業収益	1,302,919	1,346,124	- 43,205	
調査・研究事業収益	735,201	0	735,201	
調査・研究事業収益	735,201	0	735,201	研究集会現地開催増
表彰・奨励事業収益	371,800	1,081,810	- 710,010	
審査・投稿料収益	371,800	1,081,810	- 710,010	新技術・新製品投稿数減
受取補助金等	1,224,000	0	1,224,000	
受取地方公共団体助成金	1,224,000	0	1,224,000	秋期講演大会福岡コンベンション助成
雑収益	37,382	21,652	15,730	
受取利息	1,979	1,094	885	
雑収益	35,285	20,456	14,829	
支部受取利息・雑収益	118	102	16	
経常収益計	174,207,410	171,196,004	3,011,406	
(2)経常費用				
事業費	156,751,951	139,044,222	17,707,729	
刊行事業費	77,475,098	76,490,556	984,542	
給料手当	25,111,066	24,525,569	585,497	職員数増
退職給付費用	1,785,070	1,560,605	224,465	
福利厚生費	4,261,666	4,157,168	104,498	
会報刊行費	34,089,990	33,500,854	589,136	印刷費増
会誌刊行費	1,705,774	2,491,756	- 785,982	冊子の偶数月発行
欧文誌刊行費	9,830,795	8,424,654	1,406,141	投稿数増
学術図書類刊行費	690,737	1,829,950	- 1,139,213	既刊図書の電子化費用なし
講演会・講習会事業費	45,687,117	34,031,810	11,655,307	
給料手当	15,066,640	14,715,342	351,298	
退職給付費用	1,071,042	936,363	134,679	
福利厚生費	2,556,999	2,494,300	62,699	
講演大会開催費	21,270,410	13,097,236	8,173,174	秋期大会現地開催費増
講演大会懇親会費	847,954	3,000	844,954	秋期大会懇親会開催
本多記念講演開催費	64,640	61,680	2,960	
金属学会シンポジウム開催費	452,328	2,500	449,828	シンポジウム開催費
セミナー開催費	987,873	2,500	985,373	オンライン教育講座開始

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
国際会議開催費	172,940	7,500	165,440	
支部講演会・講習会開催費	3,196,291	2,711,389	484,902	
調査・研究事業費	25,161,445	19,738,018	5,423,427	
給料手当	2,511,107	2,452,557	58,550	
退職給付費用	178,507	156,061	22,446	
福利厚生費	426,166	415,717	10,449	
関連団体連携事業費	103,000	115,000	-12,000	
日本工学会費	100,540	105,125	-4,585	
材料戦略委員会費	2,500	2,500	0	
科研費委員会費	2,500	2,500	0	
人材育成委員会費	10,000	10,000	0	
男女共同参画委員会費	113,832	24,500	89,332	
調査・研究委員会費	2,472,663	1,096,509	1,376,154	委員会開催費増
研究会費	1,690,703	1,000	1,689,703	研究集会現地開催費
研究助成費	15,000,500	14,500,500	500,000	研究費申請額増
企画委員会費	5,000	5,000	0	
セルフガバナンス委員会費	2,500	2,500	0	
国際学術交流委員会費	1,616,396	15,000	1,601,396	TMS への渡航費
支部調査・研究事業費	925,531	833,549	91,982	
表彰・奨励事業費	7,906,744	8,317,462	-410,718	
給料手当	2,511,107	2,452,557	58,550	
退職給付費用	178,507	156,061	22,446	
福利厚生費	426,166	415,717	10,449	
名誉員費	338,670	131,100	207,570	
各種賞検討委員会費	988,965	1,170,013	-181,048	
学会賞費	542,550	1,045,200	-502,650	メダル仕様変更
学術貢献賞費	3,500	3,500	0	
学術功労賞費	3,500	3,500	0	
技術賞費	124,500	90,950	33,550	
技術開発賞費	31,507	83,078	-51,571	
金属組織写真賞費	112,537	69,500	43,037	
研究技能功労賞費	436,000	406,300	29,700	
功績賞費	154,750	175,100	-20,350	
功労賞費	3,500	3,500	0	
奨励賞・奨学賞等費	524,502	461,211	63,291	
谷川・ハリス賞費	64,000	60,700	3,300	
増本量賞費	207,500	207,500	0	
まてりあ賞	3,500	63,500	-60,000	
村上賞費	1,013,700	967,500	46,200	
論文賞費	76,319	111,499	-35,180	
フェロー費	2,500	15,637	-13,137	
支部表彰・奨励事業費	158,964	223,839	-64,875	
貸倒引当損	521,547	466,376	55,171	
管理費	16,040,992	15,025,304	1,015,688	
給料手当	5,022,212	4,905,112	117,100	
退職給付費用	357,014	312,120	44,894	
福利厚生費	852,333	831,433	20,900	
会議費	537,634	618,348	-80,714	
旅費交通費	873,380	227,980	645,400	理事会等現地出席費増
通信運搬費	804,749	743,473	61,276	
減価償却費	218,589	160,640	57,949	
消耗什器備品費	270,722	305,960	-35,238	
消耗品費	16,544	79,528	-62,984	
印刷製本費	468,550	236,905	231,645	
光熱水料費	40,684	30,528	10,156	
賃借料	528,000	528,000	0	
保険料	12,130	18,516	-6,386	
諸謝金	20,046	131,416	-111,370	
租税公課	2,732,000	3,175,200	-443,200	
送金手数料	166,597	151,171	15,426	
賞状・賞牌・副賞費	445,482	0	445,482	
支払負担金	36,200	0	36,200	
システム管理費	568,642	609,202	-40,560	
委託費	1,592,124	1,672,000	-79,876	
貸倒引当損	72,047	57,066	14,981	
雑費	405,313	230,706	174,607	
経常費用計	172,792,943	154,069,526	18,723,417	
評価損益等調整前経常増減額	1,414,467	17,126,478	-15,712,011	
評価損益等	0	0	0	
当期経常増減額	1,414,467	17,126,478	-15,712,011	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
経常外収益計	0	0	0	
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	1,414,467	17,126,478	-15,712,011	
一般正味財産期首残高	1,094,785,718	1,077,659,240	17,126,478	
一般正味財産期末残高	1,096,200,185	1,094,785,718	1,414,467	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,900,040	1,900,000	40	
未経過償還差額金の償却額	30,380	30,380	0	
刊行事業拡充賛助寄付金	50,000	50,000	0	
一般正味財産への振替額	1,900,040	1,900,000	40	
当期指定正味財産増減額	80,380	80,380	0	
指定正味財産期首残高	447,054,306	446,973,926	80,380	
指定正味財産期末残高	447,134,686	447,054,306	80,380	
III. 正味財産期末残高	1,543,334,871	1,541,840,024	1,494,847	

- (注) 1. 小科目の対前年度比較30%超かつ50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。
2. 人件費の配賦率は、刊行事業50%、講演会・講習会事業30%、調査・研究事業5%、表彰・奨励事業5%、法人会計10%としている。

◇ ◇ ◇

2022年度決算 貸借対照表

2023年2月28日現在

(単位: 円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減
I. 資産の部			
1. 流動資産			
現金預金	77,655,985	98,468,628	-20,812,643
未収会費	3,093,331	2,650,833	442,498
未収金	2,909,842	3,933,662	-1,023,820
貸倒引当金	-180,087	-197,530	17,443
前払金	1,369,737	1,508,303	-138,566
棚卸資産	4,827,586	4,826,168	1,418
流動資産合計	89,676,394	111,190,064	-21,513,670
2. 固定資産			
(1)特定資産			
退職給付引当資産	82,492,734	78,922,594	3,570,140
減価償却引当資産	9,918,133	8,668,044	1,250,089
刊行事業資金	305,000,000	305,000,000	0
刊行事業拡充賛助寄付資金	128,650,000	128,600,000	50,000
講演会・講習会事業資金	306,500,000	306,500,000	0
国際会議開催準備資金	6,500,000	6,500,000	0
調査・研究事業資金	269,959,118	269,918,654	40,464
調査・研究事業拡充資金	85,000,000	75,000,000	10,000,000
国際学術交流資金	102,000,000	102,000,000	0
表彰・奨励事業資金	50,000,000	50,000,000	0
学会賞資金	11,510,000	11,510,000	0
研究技術功労賞資金	7,000,000	7,000,000	0
奨励賞・奨学賞等資金	54,000,000	54,000,000	0
谷川・ハリス賞資金	15,000,000	15,000,000	0
増本量賞資金	35,000,000	35,000,000	0
村上賞資金	103,974,686	103,944,306	30,380
特定資産合計	1,572,504,671	1,557,563,598	14,941,073
(2)その他固定資産			
什器備品	2,249,306	1,325,306	924,000
減価償却累計額	-1,112,278	-834,888	-277,390
リース 什器備品	4,665,624	5,279,904	-614,280
減価償却累計額	-3,237,936	-3,820,392	582,456
小計 什器備品	6,914,930	6,605,210	309,720
減価償却累計額	-4,350,214	-4,655,280	305,066
ソフトウェア	14,823,160	8,234,160	6,589,000
減価償却累計額	-8,751,622	-7,833,156	-918,466
リース ソフトウェア	0	1,185,840	-1,185,840
減価償却累計額	0	-1,067,256	1,067,256
小計 ソフトウェア	14,823,160	9,420,000	5,403,160
減価償却累計額	-8,751,622	-8,900,412	148,790
商標権	162,700	0	162,700
減価償却累計額	-54,233	0	-54,233
小計 商標権	162,700	0	162,700
減価償却累計額	-54,233	0	-54,233
電話加入権	50,300	50,300	0
敷 金	2,400,000	2,400,000	0
保証金	0	0	0
その他固定資産合計	11,195,021	4,919,818	6,166,736
固定資産合計	1,583,699,692	1,562,483,416	21,107,809
資産合計	1,673,376,086	1,673,673,480	-405,861
II. 負債の部			
1. 流動負債			
未払金	2,094,197	2,570,737	-476,540
前受金	39,728,167	44,284,000	-4,555,833
預り金	4,298,429	4,478,029	-179,600
リース債務	758,904	823,608	-64,704
その他流動負債	0	0	0
流動負債合計	46,879,697	52,156,374	-5,276,677
2. 固定負債			
リース債務	668,784	754,488	-85,704
退職給付引当金	82,492,734	78,922,594	3,570,140
固定負債合計	83,161,518	79,677,082	3,484,436
負債合計	130,041,215	131,833,456	-1,792,241
III. 正味財産の部			
1. 指定正味財産			
寄付金	447,134,686	447,054,306	80,380
(うち特定資産への充当額)	447,134,686	447,054,306	80,380
2. 一般正味財産			
一般正味財産	1,096,200,185	1,094,785,718	1,414,467
(うち特定資産への充当額)	1,096,200,185	1,094,785,718	1,414,467
	1,042,877,251	-1,031,586,698	2,074,463,949
正味財産合計	1,543,334,871	1,541,840,024	1,386,380
負債及び正味財産合計	1,673,376,086	1,673,673,480	-405,861

2023年度の事業の概要は、次のとおりである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①2023年度は公益社団法人としての11年目の事業年度であり、引き続きセルフガバナンスに基づいて、公益目的事業を公正かつ適切に推進するとともに、SDGs 達成に向けた体制強化と実践に向けた活動を推進する。
- ②刊行事業については、機関誌3誌の刊行を推進する。会報「まてりあ」においては、金属をはじめとする材料に関して学術的・技術的知見を幅広く得たいときに手軽に読め、かつ研究開発活動の一助となる情報誌であることを目指し、入門講座や講義ノートに加え、実学講座等の記事カテゴリーの一層の充実を図る。また、誌面や記事構成の改定等を推進する。日本金属学会誌は、日本語で書かれた最新知見の発信や高度な専門性のある提案・意見交流・学理追求の場として維持向上を図るために、積極的な投稿勧誘や Review や Overview の和訳掲載等を推進する。Materials Transactions は、日本の代表的な材料系英文論文誌でありつづけるよう、より一層高度化するとともに、インパクトファクターの更なる向上を目指し、特集や Review, Overview, Current Trends in Research の掲載や査読の厳格化等によって掲載論文の質を向上させる。さらに、質の高い論文が掲載されていることの周知や被引用数の多い論文の著者への認定等の掲載論文引用の促進、掲載論文引用の積極的な要請等の施策を推進する。また、共同刊行における編集の一体化を推進する。学術図書類は、理数探求科目履修支援のためのコンテンツの制作を推進する。
- ③講演会・講習会事業については、with/post コロナ時代に即した事業の形態を検討していく。最新の研究や技術を発信し、大学・企業・研究所を越えた多様かつ多くの研究者や技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、オンラインを活用した形式の講演大会等の開催を検討するとともに、魅力ある公募ならびに企画シンポジウムの開催や他学協会との連携企画の拡充等の施策を推進する。基礎から最新の研究や技術までを学べるセミナーやシンポジウムの開催や次世代を担う人材の教育と育成に貢献するオンラインの教育講座を開催するとともに、高校生・高専生が材料の魅力を理解するための機会を作る。また、会員の活発な交流や材料分野での人材育成をより一層推進する。
- ④調査・研究事業については、我が国の材料科学を先導していくことを目指し、再編した分科による活動を推進する。また、研究会や若手研究グループに加えて、分野を超えた取り組みを強化すべき課題に対して産・学・官が連携して取り組んでいくことを目的とした産学協創研究会の活動を開始する。若手研究者を対象として開始した研究助成事業の周知と活性化を図る。金属及び関連材料に興味を持つ若い世代を育てることを目指し、学校教育の支援や青少年向けイベントの開催、若手交流等の人材育成に関する事業を拡充する。国際学術交流は、従来からの取り組みに加えて、秋期講演大会における国際セッションの開催を推進する。男女ともに学会で活躍できる環境作りのために男女共同参画事業を行う。
- ⑤表彰・奨励事業については、若手や民間企業の研究者・技術者を含め多様な層への授賞を推進する。
- ⑥学会の活動を広く周知するために、新ロゴマークの普及、SNS や Web を用いた情報発信等の広報活動を推進する。ノベルティやパンフレット等によるアウトリーチ活動を推進する。
- ⑦庶務については、引き続き法令等および本会の定めに則り、公正かつ適切に行う。
- ⑧会計については、引き続き最新の公益法人会計基準および公益認定等ガイドライン等に則り、公正かつ適切に行う。

公益社団法人 日本金属学会 2023年度収支予算書

2023年3月1日から2024年2月29日まで

(単位: 円)

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1)経常収益				
特定資産運用益	21,577,114	25,105,198	- 3,528,084	
特定資産受取利息	21,577,114	25,105,198	- 3,528,084	
退職給付引当資産	693,369	693,338	31	
減価償却引当資産	87	82	5	
刊行事業資金	6,391,000	6,391,000	0	
刊行事業拡充賛助寄付資金	1,286	1,286	0	
講演会・講習会事業資金	5,991,625	5,991,625	0	
調査・研究事業資金	5,290,464	5,290,464	0	
調査・研究事業拡充資金	6,000	6,000		
国際学術交流資金	40,800	1,734,000	- 1,693,200	国債償還
国際会議準備資金	550	550		
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	210,018	235,503	- 25,485	
研究技術功労賞資金	70	119,000	- 118,930	国債償還
奨励賞・奨学賞等資金	945	841,950	- 841,005	国債償還
谷川・ハリス賞資金	150	255,000	- 254,850	国債償還

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
増大量賞資金	350	595,000	-594,650	国債償還
村上賞資金	1,900,400	1,900,400	0	
受取入会金	100,000	120,000	-20,000	
受取入会金	100,000	120,000	-20,000	
受取会費	61,910,000	64,990,000	-3,080,000	
正員受取会費	31,500,000	34,100,000	-2,600,000	会員減
学生員受取会費	3,200,000	3,080,000	120,000	
維持員受取会費	26,000,000	26,600,000	-600,000	口数減
外国会員受取会費	1,210,000	1,210,000	0	
事業収益	85,376,603	85,773,734	-397,132	
刊行事業収益	45,994,603	49,541,734	-3,547,132	
会報購読費収益	1,924,885	1,728,150	196,735	
会誌購読費収益	3,735,633	3,947,933	-212,300	
欧文誌購読費収益	9,689,373	9,796,073	-106,700	
会報別刷等収益	3,263,400	3,969,000	-705,600	別刷減
会誌別刷・審査収益	390,000	390,000	0	
欧文誌別刷・審査収益	20,040,000	21,912,000	-1,872,000	掲載論文数減
刊行事業広告収益	4,860,000	4,140,000	720,000	
単行本収益	1,091,312	3,158,578	-2,067,267	電子化による販売数減
著作権料収益	1,000,000	500,000	500,000	
講演会・講習会事業収益	38,710,000	35,560,000	3,150,000	
講演大会参加費収益	25,950,000	23,890,000	2,060,000	参加者増
講演大会懇親会参加費収益	1,050,000	1,050,000	0	
金属学会シンポジウム参加費収益	600,000	1,800,000	-1,200,000	シンポジウム開催減
金属学会シンポジウム予稿集収益	10,000	10,000	0	
セミナー参加費収益	5,590,000	3,590,000	2,000,000	オンライン教育講座開催
セミナーテキスト収益	30,000	30,000	0	
講演会・講習会事業広告収益	3,320,000	3,110,000	210,000	
支部講演会・講習会事業収益	1,600,000	1,600,000	0	
講演会・講習会事業委託収益	560,000	480,000	80,000	
調査・研究事業収益	0	0	0	
調査・研究事業収益	0	0	0	
表彰・奨励事業収益	672,000	672,000	0	
審査・投稿料収益	672,000	672,000	0	
受取補助金等	1,000,000	500,000	500,000	
受取国庫助成金	0	500,000		雇用助成金減
受取地方公共団体助成金	1,000,000	0	1,000,000	秋期講演大会助成金
受取負担金	0	0	0	
受取負担金	0	0	0	
受取寄付金	20,000,000	10,000,000	10,000,000	
受取寄付金	20,000,000	10,000,000	10,000,000	刊行事業拡充賛助寄付資金から振替
雑収益	21,100	151,070	-129,970	
受取利息	1,000	1,000	0	
雑収益	20,000	150,000	-130,000	
支部受取利息・雑収益	100	70	30	
経常収益計	189,984,817	186,640,002	3,344,814	
(2)経常費用				
事業費	175,246,906	171,790,972	3,455,934	
刊行事業費	78,202,897	80,009,402	-1,806,505	
給料手当	26,339,000	24,300,000	2,039,000	職員増
退職給付費用	1,686,500	1,561,000	125,500	
福利厚生費	4,161,461	4,031,500	129,961	
会報刊行費	33,191,646	33,698,206	-506,560	
会誌刊行費	2,300,037	2,452,024	-151,987	
欧文誌刊行費	9,150,253	12,592,672	-3,442,419	掲載数減
学術図書類刊行費	1,374,000	1,374,000	0	
講演会・講習会事業費	58,114,401	53,309,930	4,804,471	
給料手当	15,803,400	14,580,000	1,223,400	職員増
退職給付費用	1,011,900	936,600	75,300	
福利厚生費	2,496,877	2,418,900	77,977	
講演大会開催費	26,603,449	24,662,000	1,941,449	春期講演大会現地開催会場費
講演大会懇親会費	1,040,000	1,040,000	0	
本多記念講演開催費	132,300	128,800	3,500	
金属学会シンポジウム開催費	722,385	2,739,540	-2,017,155	シンポジウム開催減
セミナー開催費	1,835,090	1,835,090	0	
国際会議開催費	3,500,000	0	3,500,000	国際会議開催補助金
支部講演会・講習会開催費	4,969,000	4,969,000	0	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
調査・研究事業費	30,845,299	28,544,740	2,300,559	
給料手当	2,633,900	2,430,000	203,900	
退職給付費用	168,650	156,100	12,550	
福利厚生費	416,146	403,150	12,996	
関連団体連携事業費	21,500	21,500	0	
日本工学会費	347,540	247,540	100,000	
材料戦略委員会費	10,000	10,000	0	
科研費委員会費	1,000	1,000	0	
人材育成委員会費	140,000	140,000	0	
男女共同参画委員会費	100,000	100,000	0	
調査研究委員会費	1,979,563	2,918,450	- 938,887	会議費減
研究会費	4,500,000	3,500,000	1,000,000	若手研究グループ増
研究助成費	15,000,000	15,000,000	0	
企画委員会費	2,000	2,000	0	
セルフガバナンス委員会費	10,000	10,000	0	
国際学術交流委員会費	3,661,000	1,751,000	1,910,000	Young Leader 派遣, PRICM-11派遣
支部調査・研究事業費	1,854,000	1,854,000	0	
表彰・奨励事業費	8,084,309	9,926,900	- 1,842,591	
給料手当	2,633,900	2,430,000	203,900	
退職給付費用	168,650	156,100	12,550	
福利厚生費	416,146	403,150	12,996	
名誉員費	157,700	251,700	- 94,000	
各種賞検討委員会費	679,563	2,256,550	- 1,576,987	会議費減
学会賞費	587,850	583,850	4,000	
技術賞費	93,550	115,400	- 21,850	
技術開発賞費	326,100	321,900	4,200	
金属組織写真賞費	72,200	72,200	0	
研究技術功労賞費	721,900	693,900	28,000	
功績賞費	153,250	143,250	10,000	
奨励賞・奨学賞等費	330,900	330,900	0	
谷川・ハリス賞費	63,700	59,700	4,000	
増本量賞費	204,350	204,350	0	
まてりあ賞	5,100	5,100	0	
村上賞費	1,155,750	1,155,750	0	
論文賞費	96,350	525,750	- 429,400	
フェロー費	4,350	4,350	0	
支部表彰・奨励事業費	213,000	213,000	0	
管理費	18,378,718	21,123,800	- 2,745,082	
給料手当	5,267,800	4,860,000	407,800	
退職給付費用	337,300	312,200	25,100	
福利厚生費	832,292	806,300	25,992	
会議費	700,000	700,000	0	
旅費交通費	1,000,000	1,500,000	- 500,000	
通信運搬費	800,000	800,000	0	
減価償却費	189,900	161,000	28,900	
消耗什器備品費	45,000	280,600	- 235,600	
消耗品費	2,350,000	4,750,000	- 2,400,000	広報費用減
修繕費	10,000	10,000	0	
印刷製本費	500,000	500,000	0	
光熱水料費	35,726	41,500	- 5,774	
賃借料	528,000	528,000	0	
保険料	12,100	13,000	- 900	
諸謝金	20,000	20,000	0	
租税公課	3,200,000	3,200,000	0	
送金手数料	132,500	119,000	13,500	
支払負担金	50,000	50,000	0	
システム管理費	285,900	390,000	- 104,100	
委託費	1,582,200	1,582,200	0	
雑費	500,000	500,000	0	
経常費用計	193,625,624	192,914,772	710,852	
評価損益等調整前経常増減額	- 3,640,808	- 6,274,770	2,633,962	
評価損益等	0	0	0	
当期経常増減額	- 3,640,808	- 6,274,770	2,633,962	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
経常外収益計	0	0	0	
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	- 3,640,808	- 6,274,770	2,633,962	
一般正味財産期首残高	1,094,624,747	1,074,545,441	20,079,306	
一般正味財産期末残高	1,090,983,939	1,068,270,671	22,713,268	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,900,400	1,900,400	0	
未経過償還差額金の償却額	30,380	30,380	0	
刊行事業拡充賛助寄付金	50,000	50,000	0	
一般正味財産への振替額	21,980,780	11,980,780	10,000,000	20,000,000円を受取寄付金へ振替
当期指定正味財産増減額	- 20,000,000	- 10,000,000	- 10,000,000	
指定正味財産期首残高	437,054,306	436,923,926	130,380	
指定正味財産期末残高	417,054,306	426,923,926	- 9,869,620	
III. 正味財産期末残高	1,508,038,245	1,495,194,597	12,843,648	

- (注) 1. 小科目の対前年度予算額比50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。
2. 人件費の配賦率は、刊行事業50％，講演会・講習会事業30％，調査・研究事業 5％，表彰・奨励事業 5％，法人会計10％としている。

◇ ◇ ◇

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員，締切日，問合先のみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税

ホームページのみ掲載；10,000円＋税

〈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

集 会

◇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 持続型エネルギー・
材料統合研究センター

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 目黒区駒場 4-6-1

(最寄り駅：駒場東大前，東北沢，代々木上原)

<https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/access/>

■参加登録・お問い合わせ：岡部研 レアメタル研究会事務
担当 宮崎智子(okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)

■第106回 2023年7月28日(金)(2023年度 第1回)←次回
(関連イベント：寄付ユニット関連イベント 2023年9月
8日(金))(会場：生産技術研究所コンベンションホール)

■第107回 2023年9月29日(金) (2023年度 第2回)

■第108回 2023年11月24日(金) (2023年度 第3回)

★チタンシンポジウム(第7回)★(合同開催)

■第109回 2024年1月12日(金) (2023年度 第4回)

★貴金属シンポジウム(第11回)＋新年会★(合同開催)

■第110回 2024年3月1日(金) (2023年度 第5回)

または 2024年3月15日(金)

令和5年度 レアメタル研究会のご案内

(2023.4.1現在)

■第106回 2023年7月28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：非鉄金属の未来 午後2:00～

講演【敬称略】

・Battery Recycling at Umicore(仮) (60分)

Umicore, Corporate Research & Development,
Associate Scientist (Recycling & Extraction Technol-
ogies) 八木良平

・レアメタルに関する最近の話題 (45分)

東京大学 生産技術研究所

教授 岡部 徹

・非鉄金属材料の現状と未来展望(仮) (60分)

三菱マテリアル株式会社 執行役常務 金属事業カンパニー

プレジデント 伊左治勝義

午後6:00～ 研究交流会・意見交換会(開催未定)

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

公 募

◇東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点◇

募集人員 准教授，講師または助教(2名)

締 切 日 2023年7月31日(月)

問 合 先 東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点採用
チーム

crcms_recruit2023@grp.tohoku.ac.jp

https://www.crc-ms.tohoku.ac.jp/jp/news/2023/04/20_1_index.html

掲示板はホームページにも掲載されております。

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 87, No. 6 (2023)

——論文——

B添加高炭素鋼における旧オーステナイト粒界上への偏析挙動と CALPHAD 法に基づく熱力学解析

池畑秀哲 前嶋貴士 大石敬一郎 三田尾眞司

Cu-Ni-Si 合金の一方向凝固におけるミクロ組織に及ぼす冷却条件の影響

武藤有輝 冠 和樹 三宅淳司
倉敷哲生 森 裕章

レーザピーニングが浸炭鋼の表面特性および曲げ疲労特性に及ぼす影響

竹内悠太 松本伸彦 浅田崇史 大石敬一郎

——技術論文——

真空浸炭焼入環境下での長期間使用後のSUS304ステンレス鋼のミクロ組織

ゴフィンキンルアン 奥山哲也 小泉維昭

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 64, No. 6 (2023)

——Review——

Grain Refinement of Cast Aluminum by Heterogeneous Nucleation Site Particles with High Lattice Matching

Yoshimi Watanabe, Mami Mihara-Narita and Hisashi Sato

——Special Issue on Creation of Materials by Superthermal Field——

PREFACE Yuichiro Koizumi

Introducing Hatch Spacing into Deposited Energy Density toward Efficient Optimization of Laser Powder Bed Fusion Process Parameters

Mai Kunieda, Asuka Suzuki, Naoki Takata, Masaki Kato and Makoto Kobashi

High-Speed Epitaxial Growth of Terbium- and Europium-Doped Yttrium Aluminum Perovskite Thick Film Phosphors Using Laser-Assisted Chemical Vapor Deposition

Yuri Mitsunashi, Shogen Matsumoto and Akihiko Ito

Effect of Scan Speed on Microstructure and Tensile Properties of Ti-48Al-2Cr-2Nb Alloys Fabricated via Additive Manufacturing

Ken Cho, Masahiro Sakata, Hiroyuki Y. Yasuda, Mitsuharu Todai, Minoru Ueda, Masao Takeyama and Takayoshi Nakano

Effects of Plasma Spheroidization Treatment on the Characteristics of MoSiBTiC Powders Fabricated by Freeze-Dry Pulsated Orifice Ejection Method

Zhenxing Zhou, Shunpei Kato, Weiwei Zhou and Naoyuki Nomura

Hierarchical Analysis of Phase Constituent and Mechanical Properties of AlSi10Mg/SiC Composite Produced by Laser-Based Powder Bed Fusion

Yuta Yanase, Hajime Miyauchi, Hiroaki Matsumoto and Kozo Yokota

Fabrication and Process Monitoring of 316L Stainless Steel by Laser Powder Bed Fusion with μ -Helix Scanning Strategy and Narrow Scanning Line Intervals

Yuheng Liu, Kazufumi Nose, Masayuki Okugawa, Yuichiro Koizumi and Takayoshi Nakano

Modulated Structure Formation in Dislocation Cells in 316L Stainless Steel Fabricated by Laser Powder Bed Fusion

Fei Sun, Toshio Ogawa, Yoshitaka Adachi, Kazuhisa Sato, Shunya Takagi, Goro Miyamoto, Asuka Suzuki, Akinori Yamanaka, Nobuo Nakada, Takuya Ishimoto, Takayoshi Nakano and Yuichiro Koizumi

Multi-Phase-Field Framework for Epitaxial Grain Growth in Selective Laser Melting Additive Manufacturing with Multi-Track and Multi-Layer

Tomohiro Takaki, Yuki Takahashi and Shinji Sakane

Multi-Phase-Field Simulation of Non-Equilibrium Solidification in 316L Stainless Steel under Rapid Cooling Condition

Masahito Segawa and Akinori Yamanaka

Microstructure and Mechanical Property of MXene-Added Ti-6Al-4V Alloy Fabricated by Laser Powder Bed Fusion

Yu Zhang, Mingqi Dong, Weiwei Zhou and Naoyuki Nomura

Creep Behavior of Ti-6Al-4Nb-4Zr Fabricated by Powder Bed Fusion Using a Laser Beam

Yoko Yamabe-Mitarai, Takashi Inoue, Tomoki Kuroda, Sae Matsunaga, Yoshiaki Toda, Tetsuya Matsunaga, Tsutomu Ito, Ryosuke Ozasa, Takuya Ishimoto and Takayoshi Nakano

Direct Laser Sintering of Bulk Alumina Using 1070 nm Fiber Laser

Teiichi Kimura, Satoshi Suehiro, Kazuo Sadaoka, Tomomichi Nasu and Kousuke Uoe

Laser-Induced Melting and Crystal Growth of Sodium Ion Conductive β -NaFeO₂

Masafumi Hiratsuka, Tsuyoshi Honma and Takayuki Komatsu

——Regular Article——

Materials Physics

Investigation of the Electronic Structure of the Mg_{99.2}Zn_{0.2}Y_{0.6} Alloy Using X-ray Photoelectron Spectroscopy

Hidetoshi Miyazaki, Tatsuyoshi Akatsuka, Koji Kimura, Daisuke Egusa, Yohei K. Sato, Mitsuhiko Itakura, Yasumasa Takagi, Akira Yasui, Kenichi Ozawa, Kazuhiko Mase, Toko Tokunaga, Kouichi Hayashi, Koji Hagihara and Eiji Abe

Microstructure of Materials

Reaction Mechanism of Combustion Synthesized ZrC-2ZrB₂-Based Cu Cermets

Xunbai Du, Feng Xu, Xianrui Zhao, Yanchao Zhao,
Zhanjiang Li and Dunwen Zuo

Preparation and Thermal Conductivity of Copper Plated Carbon Fiber Dispersed Steel Matrix Composites

Di Wu, Takuro Morimoto, Kenjiro Sugio
and Gen Sasaki

Mechanics of Materials

Characterization and Modification of Tensile Strength Property of Cold-Sprayed Pure Iron Coating with Fine Crystal Grains

Kiyohiro Ito and Yuji Ichikawa

Strengthening Mechanisms of Tempered Martensite in Vanadium-Added Steels

Eriko Shimoda and Kengo Takeda

Effect of pH and Precipitations on Copper-Molybdenum Rougher Flotation in Seawater

Yoshiyuki Tanaka, Hajime Miki,
Gde Pandhe Wisnu Suyantara, Yuji Aoki,
Hideyuki Okamoto, Kumika Ura and Tsuyoshi Hirajima

Materials Chemistry

Rapid Formation of Calcium Hydroxy Zincate on Zinc by Hyperbaric-Oxygen

Kotaro Doi and Sachiko Hiromoto

High-Precision Prediction of Thermal Conductivity of Metals by Molecular Dynamics Simulation in Combination with Machine Learning Approach

Qi Kong and Yasushi Shibuta

Effect of Nb Content on Microstructure and Properties of Fe-20Mn Alloy Prepared by Ball Milling and Spark Plasma Sintering

Lin Huang, Ke Xiong, Xiaofeng Wang, Lin Yu
and Wei Feng

Materials Processing

Microstructure and Mechanical Properties of Dissimilar Friction-Welded Commercially Pure Ti and Ti-6Al-4V Alloy

Gyeong-Woo Kim, Se-Min Jeong
and Kuk-Hyun Song

Engineering Materials and Their Applications

Endothelium Cell Responses on Pulsed-Anodized NiTi Alloy with HNO₃, NH₄NO₃, H₂SO₄, and (NH₄)₂SO₄ as Electrolytes

Kasumi Tate, Yuya Matsui, Ryota Kawakami,
Akihiro Tsuruta and Naofumi Ohtsu



～欧文誌オンラインジャーナル フリーアクセスのお知らせ～

◆掲載後半年経過した論文のフリーアクセスのお知らせ

Materials Transactions 誌では、掲載後半年経過したすべての論文に会員、非会員を問わず誰でも無料でアクセスならびにダウンロードができるサービスを行っております。

◆Materials Transactions 論文フリーアクセス公開サービス(Open Choice)について

Materials Transactions 誌では、『公開後すぐに、できるだけ多くの読者に読んでもらいたい!!』というご要望に応えるため、投稿・掲載費用に、追加費用(33,000円(税込))をお支払いいただければ、半年間の認証期間を設けることなく、公開と同時にフリーダウンロードを可能とするサービス(Open Choice)がございます。



まてりあ 第62巻7号 予告

〔金属素描〕No. 29 ビスマス

〔特集〕「材料技術史から見るこれからの技術展開Ⅴ～鉄～」

〔新進気鋭〕機械学習を活用した金属積層造形のプロセスパラメータ設計

……………名大 鈴木飛鳥

〔入門講座〕永久磁石の保磁力メカニズム 第3回 原子描像のアプローチ ……………産総研 広沢 哲

—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

2023年度 高温材料の変形と破壊研究会

2023年度の「高温材料の変形と破壊研究会」を下記のとおりで開催いたします。本研究会は、様々な材料における高温変形と破壊、また、高い力学特性を生み出す材料の内部組織に注目し、実験的ならびに計算的研究成果について基礎的な観点から討論して、高温材料の長寿化・高強度化のための原理・原則を見直すことを目的としています。皆様どうぞ奮ってご参加下さい。

代表世話人 物質・材料研究機構 澤田浩太

日 時 2023年9月4日(月)15時00分～9月6日(水)12時00分

会 場 ホテル華乃湯(<https://www.hananoyu.com/>) 仙台市太白区秋保町湯元字除33-1 ☎ 022-397-3141

参 加 費 5,000円(税込)※定員に達した場合は申込をお断りさせていただく場合がございます

交流会費 3,000円(税込)

宿 泊 費 11,000円(税込)

講演申込 <https://forms.gle/nCUuNJiRD5R4dfQb9>

聴講申込 同上

申込締切 2023年7月28日(金)

問合せ先 物質・材料研究機構 クリープデータユニット 猿田真美子

E-mail: saruta.mamiko@nims.go.jp

※講演発表者以外の共同研究者(共著者)が研究会への参加を希望される場合は、別途参加申し込みが必要です。

※聴講のみのご参加も歓迎いたします。



(2023年3月21日～2023年4月20日)

ユース会員

棚 瀬 大 和 滝学園滝高等学校

正 員

市 川 絵 理 ダイキン工業株式会社

浦 中 祥 平 東京大学

風 間 武 長野県工業技術総合センター

梶 尚 生 近畿大学

栗 岡 智 行 東京工業大学

執 行 百 香 特許庁

鈴 木 崇 司 長野県工業技術総合センター

田 中 謙 次 大阪大学

長 岡 秀 英 愛媛大学

迫 間 保 弘 大同特殊鋼株式会社

三 木 寛 之 石巻専修大学

安井伸太郎 東京工業大学

学 生 員

芦 澤 来 虹 北海道大学

飯 塚 璃 子 九州工業大学

梅 山 大 輝 岩手大学

浦 中 智 貴 九州大学

江 口 溪 亮 関西大学

岡 田 拓 之 鳥取大学

川 上 晴 生 千葉工業大学

川 名 亮 平 横浜国立大学

小 原 拓 夢 大同大学

坂 口 裕 樹 群馬大学

佐 藤 銀 音 東北大学

須 崎 成 央 名古屋大学

高 橋 浩 輝 芝浦工業大学

知野見仁紀 大同大学

辻 篤 志 大同大学

都 築 佑 翔 大同大学

鳥 越 翔 真 大同大学

中 嶋 洋 介 大同大学

長 屋 亘 輝 名古屋工業大学

目 黒 雅 樹 長岡技術科学大学

森 本 憲 諒 島根大学

矢口慎之佑 富山大学

渡 邉 静 大同大学

外国一般会員

李 好 博 大阪大学

外国学生会員

張 涛 東北大学

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
2023年 6 月				
1～30	第75回表面科学基礎講座「表面・界面分析の基礎と応用」(Web開催)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 kain@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/04/detail.php?eid=00016	
6～7	2023年度 溶接入門講座(ハイブリッド開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp https://www.jweld.jp/	5.26
6～7	日本金属学会オンライン教育講座「金属材料の環境性(2)高温酸化・高温腐食の基礎—熱力学・速度論・高温強度—」(オンライン)(5号334頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	事前 5.26
9～11	2023年度塑性加工春季講演会(名工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
13	第111回アノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会—マグネシウム合金のアノード酸化—(東京)	表面技術協会・アノード酸化皮膜の機能化部会	ars_office@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	5.30
15～16	界面コロイドラーニング第39回現代コロイド・界面化学基礎講座(大阪)	日本化学会コロイドおよび界面化学部会	https://colloid-learning39osa.peatix.com/ jigyokukaku_01@colloid.csj.jp	
15～16	第63回塗料入門講座 前期(東大生産技研)	色材協会	TEL 03-3443-2811 admin@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
15, 30	熱測定オンライン講習会2023(オンライン)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com https://www.netsu.org/	
20	日本機械学会オンライン講習会「機械材料・材料加工のシミュレーションと計測(第3回:金属AMの応用と潮流)」(オンライン)	日本機械学会	ishizawa@jsme.or.jp https://www.jsme.or.jp/	定員 80名
22	第四回 状態図・計算熱力学研究会(オンライン)(5号336頁)	日本金属学会研究会 No. 85	abe.taichi@nims.go.jp	6.19
23	第90回技術セミナー(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	6.15
23～(全6回)	2023年度粉末冶金講座(オンライン開催他)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp https://www.jspm.or.jp/	
23～7.6	初心者のための電気化学測定法—基礎編(オンデマンド配信)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 seminar@electrochem.jp https://www.electrochem.jp/seminar/	
26～28	日本顕微鏡学会第79回学術講演会(松江)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2023/index.html	
27	第196回腐食防食シンポジウム「自動車腐食防食の現状と課題—第3回自動車腐食分科会の活動報告」(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/196.html	
2023年 7 月				
5～7	第60回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 happyoukai@jrias.or.jp http://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/	
10～14	第11回対称性・群論トレーニングコース英語(つくば)	日本結晶学会	TEL 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/	
13～14	第54回トライボロジー入門講座(東京+オンライン開催)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp/	6.30
14, 28	熱測定オンライン講習会2023(オンライン)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com https://www.netsu.org/	
20～21	第63回塗料入門講座 後期(東大生産技研)	色材協会	TEL 03-3443-2811 admin@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
20～21	第57回 X線材料強度に関するシンポジウム(甲府)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/meeting/xsym_regist.html	
21	第431回講習会「精密工学からものづくりを考える—MEMS/NEMS・ミリマシナー」(川崎)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html	定員 60名
23	公開シンポジウム「医工学シンポジウム2023」—医工連携の現在そして未来—(東北大)	日本学術会議機械工学委員会他	tadano@wb3.so-net.ne.jp	
24～26	第29回結晶工学スクール(2023年)(立命館大+ハイブリッド開催)	応用物理学会結晶工学分科会	TEL 03-3828-7723 divisions@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho/	参加 7.7
24～28	第11回対称性・群論トレーニングコース日本語(つくば)	日本結晶学会	TEL 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/	
24～8.7	2023年度 溶接工学夏季大学(オンデマンド開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	7.14

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
28	第91回技術セミナー「腐食を理解するための電気化学入門」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	7.20
28	第106回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)	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	
30~8.4	第26回IUPAC化学熱力学国際会議(ICCT-2023)(豊中)	日本熱測定学会他	icct2023_office@chem.sci.osaka-u.ac.jp https://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/ICCT2023/index.html	定員 500名
2023年8月				
7~8	第33回電顕サマースクール(川崎医科大)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp https://microscopy.or.jp/summerschool/	
12~18	9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems(9IDMRCS)(幕張メッセ)	Institute for Solid State Physics, University of Tokyo	TEL 04-7136-3374 info@9idmr.cs.jp https://9idmr.cs.jp/	
18	2023年度茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部	TEL 03-4335-7618 kt-staff@jsme.or.jp	
27	微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング2023(北海道科学大学)(5号336頁)	日本金属学会研究会 No. 82	micromech_jim@nims.go.jp http://nims.nims.go.jp/group/sdg/micromech-jim/	5.31
27~31	The International Conference on Sintering 2023(Sintering 2023国際会議)(岐阜)	日本セラミックス協会	info@sintering2021.org https://www.sintering2021.org/	参加 2.15
29~31	日本実験力学会2023年度年次講演会(和歌山)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://jsem.jp/event/Annual23/index.html	
2023年9月				
4~6	2023年度 高温材料の変形と破壊研究会(仙台)(本号423頁)	日本金属学会研究会 No.83	saruta.mamiko@nims.go.jp https://forms.gle/nCUuNJRd5R4dfQb9	7.28
6~8	2023年度工学教育研究講演会(広島大)	日本工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
17~22	The 21st international conference on Solid-State Protonic Conductors(SSPC-21)(福岡)	SSPC-21 組織委員会	https://q-pit.kyushu-u.ac.jp/yamazaki/sspc21.html	
19~22	日本金属学会秋期講演大会(富山大学五福キャンパス)(本号401頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn/	共同 6.26 講演 7.7 事前申込 9.1
20~21	第27回動力・エネルギー技術シンポジウム(東京海洋大)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/conference/pes27/index.html	
25~27	第20回日本熱電学会学術講演会(TSJ2023)(北九州)	日本熱電学会	TEL 06-4256-5530 jim@thermoelectrics.jp https://www.thermoelectrics.jp/conference.html	
25~30	ITC Fukuoka 2023 (9th International Tribology Conference, Fukuoka 2023)(福岡)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 https://www.itc2023.jp/	
26	日本金属学会秋期講演大会高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)(本号403頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	7.14
29	第107回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)	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	
2023年10月				
4	第51回日本ガスタービン学会定期講演会(福井)	日本ガスタービン学会	https://www.gtsj.or.jp/	
11~13	ADMETA Plus 2023 (Advanced Metallization Conference 2023 32nd Asian Session)(東大+オンライン開催)	ADMETA委員会	TEL 03-5821-7120 jimukyoku@admeta.org https://www.admeta.org/	
11~13	第42回電子材料シンポジウム(EMS-42)(檀原)	電子材料シンポジウム運営委員会	ems42-query@ems.jpn.org https://ems.jpn.org/	
13~17	2024年粉末冶金国際会議(略称: WORLD PM 2024)(横浜)	日本粉末冶金工業会, (一社)粉体粉末冶金協会	worldpm2024@jtbcom.co.jp http://www.worldpm2024.com/	
16~18	International Conference on Powder and Powder Metallurgy, 2023, Kyoto(JSPMIC2023)(同志社大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 jspmic2022@jspm.or.jp	
21~22	第59回X線分析討論会(東京都市大)	日本分析化学会X線分析研究懇談会	TEL 070-7667-9223 xbun59@tcu.ac.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no59.html	
25~27	第36回計算力学講演会(豊橋)	日本機械学会	TEL 03-4335-7610 https://www.jsme.or.jp/conference/cmdconf23/index.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
25～27	第10回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(東京)	日本学術会議	jcossar2023@ml-jsce.jp https://www.jcossar2023.jp/	
26～27	オンライン教育講座「工業材料の応力・歪測定」(オンライン)(4号264頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	事前 10.16
2023年11月				
1～3	第64回高压討論会(柏)	日本高压力学会	TEL 070-5545-3188 tounonkai64@highpressure.jp https://www.highpressure.jp/	参加事前 9.15
10	第25回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム運営委員会	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com https://www.msforum.jp	
12～16	2023 Joint Symposium on Molten Salts(京都)	電気化学会溶融塩委員会	TEL 0774-38-3500 ms12@msc.electrochem.jp	
13～15	第44回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(富山)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp	
13～16	28th IFHTSE Congress in Yokohama(横浜)	第28回熱処理国際会議組織委員会	TEL 03-6661-7167 ifhtse2023office@jsht.or.jp https://jsht.or.jp/ifhtse2023/index.html	
13～17	HYPERFINE2023(奈良)	HYPERFINE 2023実行委員会	https://confit.atlas.jp/guide/event/hfi2023/top?lang=en	
17～18	第74回塑性加工連合講演会(富山)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
19～23	PRICM-11 (The 11 th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing)	KIM	TEL +81-2-573-6207 info@pricm11.org	
24	第108回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)	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	
26～12.1	International Gas Turbine Congress 2023 Kyoto (IGTC2023 Kyoto)(京都)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.or.jp https://igt2023.org/	
28～29	溶接構造シンポジウム2023—「カーボンニュートラル社会を担う溶接構造化技術」—(阪大)	溶接学会溶接構造研究委員会	TEL 03-5822-4073 s_kogure@tt.rim.or.jp https://jweld.jp/seminars/wdsympo2023/	
29～12.1	第50回炭素材料学会年会(仙台)	炭素材料学会	FAX 03-5227-8632 http://www.tanso.org/contents/event/conf2023/index.html	
2023年12月				
7～8	日本金属学会オンライン教育講座「構造材料(1)鉄鋼材料編」(オンライン)(4号264頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	事前 11.27
11～16	The 3rd Materials Research Meeting (MRM2023) The 24th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA2023)(京都)	日本 MRS	TEL 03-6667-0922 info_mrm@jmru.org https://mrm2023.jmru.org/	
2024年1月				
12	第109回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)	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	
2024年3月				
1 or 15	第110回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)	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	
12～15	日本金属学会春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	
2024年9月				
17～20	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	

会報編集委員会より

今月は新企画として本会会員へのインタビュー記事を掲載いたしました。こちらは以前、本会ホームページに掲載されたものです。今後も不定期にて本企画を継続していきますので、お楽しみにして下さい。

まてりあ 第62巻 第6号(2023) 発行日 2023年6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 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

高断熱+省エネ

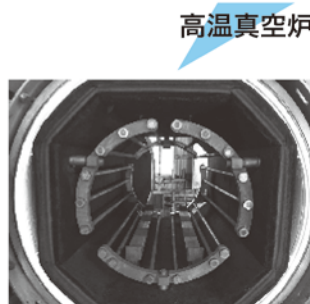
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



シール

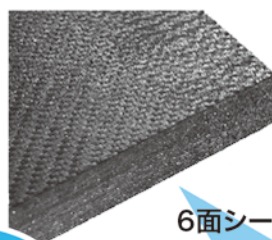
CO₂削減



高温真空炉



カーボンヒーター



6面シート
貼り



カーボンフェルト



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

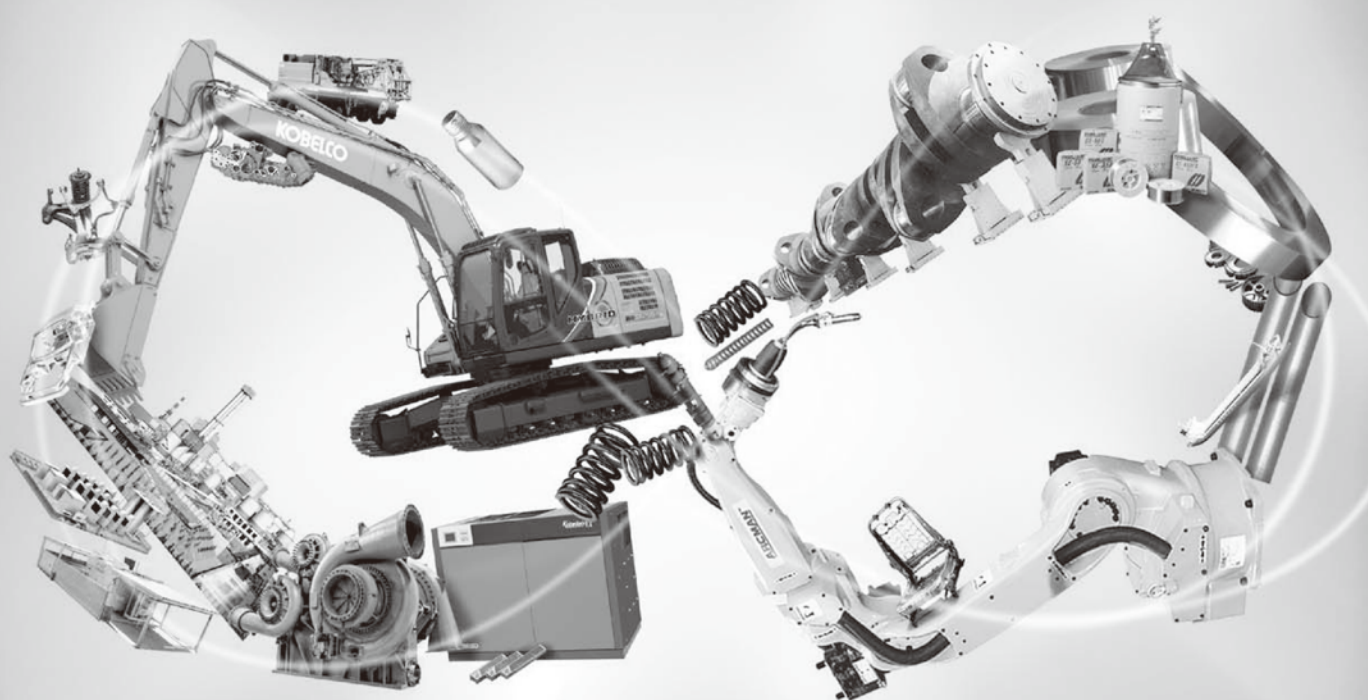
株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

領域を超えると、
可能性は無限大。



乗り物の軽量化。工場の省エネ化。水素ビジネスの推進。電力の安定供給。
人々の暮らしを支え、社会の課題に挑んできた私たちの独創的な「技術力」は、
幅広い事業分野それぞれが持つ、知見を掛け合わせることで磨かれてきました。
これからも、複合経営ならではの領域を超えた開発力を活かし、
「技術」の無限の可能性に挑んでいきます。

「素材」「機械」「電力」で、未来を切りひらく。

KOBELCO
神戸製鋼グループ