

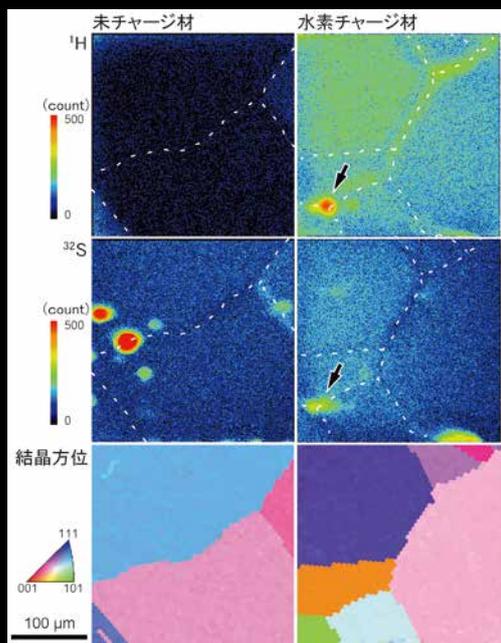
Materia Japan

まてりあ Vol.62

MTERE2 62 (12) 771~838 (2023)

No.12

2023



・ 金属なんでもランキング!
純金属の拡散係数の活性化エネルギー

巻頭
記事 月探査に挑む

表彰 受賞者紹介 ポスター賞 (秋)

- ・ リラクサー型強誘電体における極性ナノ構造
- ・ 高圧水素ガスによる純ニッケルおよび銅ニッケル合金の水素脆化

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 2-1-5 ビッカース硬さ試験

- ・ 科学館めぐり 島根のたたら関連施設 (島根県)
- ・ 研究所紹介 島根大学 材料エネルギー学部

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、クロム、タングステンカーバイト、プラスチックポリアミド ●容器のサイズ。500, 250, 80, 45, 12cc。 ●乾式のみならず湿式での粉碎が可能。またISO9001, TUEV, CE等の国際安全基準をクリアー

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

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

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

金属なんでもランキング！ No. 23 純金属の拡散係数の活性化エネルギー	771
巻頭記事 月探査に挑む	772
表彰 第41回優秀ポスター賞受賞者	776
第10回高校生・高専学生ポスター賞受賞者	779
最近の研究 リラクサー型強誘電体における極性ナノ構造 佐藤幸生	781
数十年来議論されてきた「リラクサー型強誘電性」の微視的起源に関するこれまでの知見を総括し、その全容に迫る。	
新進気鋭 高圧水素ガスによる純ニッケルおよび銅ニッケル合金の水素脆化 和田健太郎	789
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 2-1-5 ビッカース硬さ試験 谷垣健一	793
科学館めぐり 島根のたたら関連施設(島根県) 大庭卓也	802
はばたく 計算機を用いた材料設計に向けて 齋藤悠宇	806
研究所紹介 島根大学 材料エネルギー学部 森戸茂一	808
スポットライト 外部磁場の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか 志村実咲 菅原 楓 陰山麻愉 松田理沙	809
水酸化鉄(Ⅲ)コロイドにおけるガラス着色の研究について 工藤優之介	812
美しい金属の写真	807, 814
本会記事 Mater. Trans. 投稿の手引き	815
会誌・欧文誌12号目次	834
会告	816
次号予告	835
支部行事	827
書評	836
掲示板	828
追悼	836
新入会員	828
行事カレンダー	837
総目次	https://jimm.jp/publication/materia/pdf/All-index.pdf

今月の表紙写真

二次イオン質量分析により取得した、純ニッケルの未チャージ材・水素チャージ材における¹Hおよび³²Sのマッピングと結晶方位マッピングとの比較(和田健太郎 著 790頁 図2より改変掲載)

表紙デザイン: ビーコン コミュニケーションズ株式会社 グラフィックスタジオ

複写をご希望の方へ

本会は、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 12 December 2023

Contents

Ranking of Metals

No. 23 Activation Energy of Diffusion Coefficient on Pure Metal 771

Top Article

Challenging of Space Probe on Moon Exploration 772

Awards

41st The Japan Institute of Metals and Materials The Best Poster Award 776

10th The Japan Institute of Metals and Materials Poster Award for Student of Highschool and College of Technology 779

Regular Articles

Recent Research

Nanostructures in Relaxor Ferroelectrics Yukio Sato 781

Emerging Young Researchers

High-pressure Gaseous Hydrogen Embrittlement of Pure Nickel and Copper-nickel Alloys Kentaro Wada 789

Practical Courses

Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties:
2-1 Mechanical Properties: 2-1-5 Vickers Hardness Testing Kenichi Tanigaki 793

Welcome to Science and Technical Museums

Tatara and Its Related Facilities in Shimane Prefecture Takuya Oba 802

Portrait of Young Researchers

Toward the Computational Materials Design Harutaka Saito 806

Welcome to My Laboratory

Faculty of Materials for Energy, Shimane University Shigekazu Morito 808

Spotlights

How Does the Shape of Magnetic Fluid Spikes Change Depending on the Strength of the External Magnetic Field?
Misaki Shimura, Kaede Sugawara, Mayu Kageyama, Risa Matsuda 809

Study of Glass Coloring in Iron(III) Hydroxide Colloids Yunosuke Kudo 812

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.



金属なんでもランキング!

No.23 純金属の拡散係数の活性化エネルギー

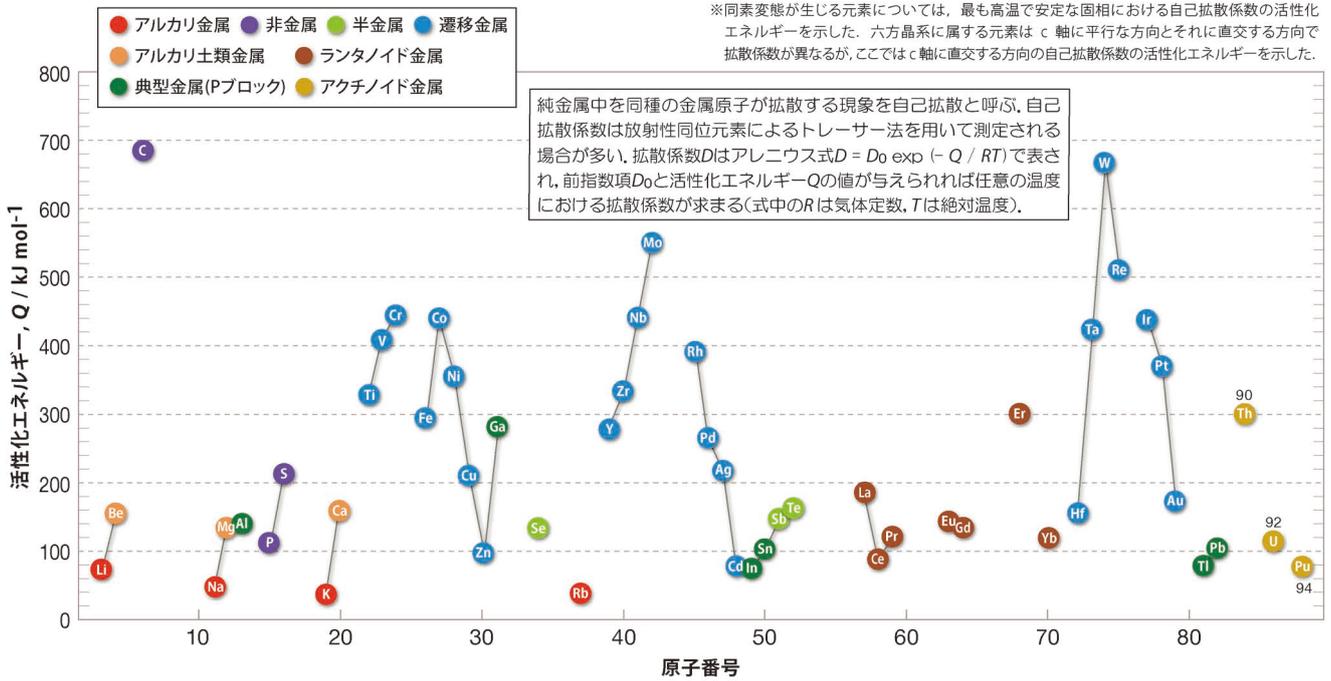


図1 各元素の自己拡散係数の活性化エネルギー。

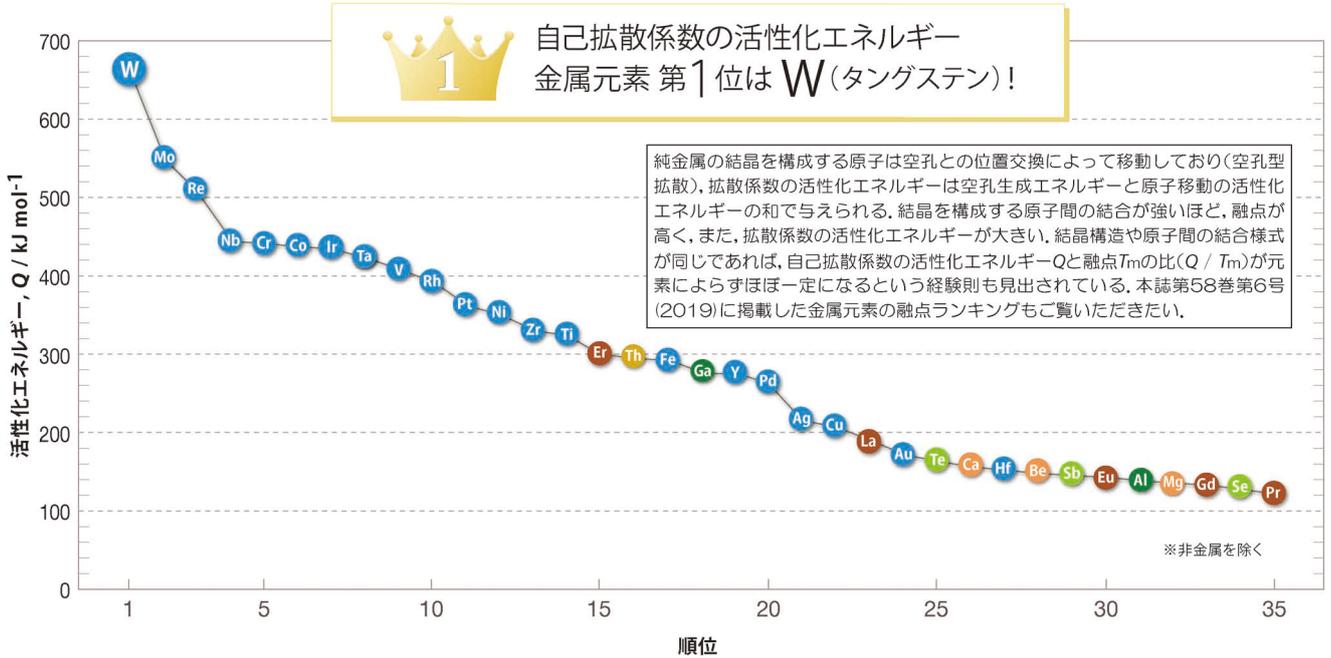


図2 金属元素の自己拡散係数の活性化エネルギーランキング(上位35位まで)。

参考文献：

- (1) 金属データブック改訂4版, 日本金属学会, 丸善, (2004).
- (2) G. Neumann and C. Tuijn: Self-diffusion and impurity diffusion in pure metals, Elsevier, (2009).
- (3) Landolt-Börnstein, Group III, Vol. 26, Diffusion in solid metals and alloys, ed. by H. Mehrer, Springer-Verlag, (1990).
- (4) D. A. Porter, K. E. Easterling and M. Y. Sherif: Phase transformations in metals and alloys, third edition, CRC Press, (2009).

次号! 金属素描 No.32 カルシウム

月探査に挑む



将来の月面基地（イメージ）

月面に到達し活動することは、今や夢物語ではない。
世界が注目する月探査の取り組みと、
最新の探査ミッションについて紹介する。



探査機「SLIM」と月面探査ローバ「LEV-1」
(SLIM左側にLEV-1が放出される)

© JAXA

月面探査がブームに

地球に住む我々人類にとって、月は最も身近な天体である。人類が月に到達し、基地を建設し、生活する。昔から多くの人々が描いてきた夢に関しては、最近になって世界各国が具体的な提案を発表し、計画が開始されている。今、月探査計画は世界中でブームといえるような盛り上がりを見せている。科学的には月面に存在する水や資源の探査など、また民間ビジネスでは月面輸送サービスや月探査計画など、様々な分野で月への関心が高まっている。

数ある計画の中でよく知られているのが、アメリカ航空宇宙局（NASA）が主導している「アルテミス計画」である（2019年計画発表）⁽¹⁾。アメリカが人類を月に送ったのは1972年のアポロ17号が最後であり、すでに50年以上が経過している。アルテミス計画では、2025年以降に月面に人類を送り、その後、ゲートウェイ（月周回有人拠点）計画などを通じて、月に物資を運び、月面基地を建設し、月での人類の持続的な活動を目指している。

日本でも、月探査へのチャレンジは続けられてきた。日本における最初の本格的な月探査機は、2007年に打ち上げられた月周回衛星「かぐや」である⁽²⁾。月の起源と進化

の解明のための科学データを取得すること、月周回軌道への投入や軌道姿勢制御技術の実証を行うことが目的であった。「かぐや」には14種類のミッション機器が搭載され、本格的な月の探査が行われてきた。しかし、これまで月面に着陸することはできなかった。

月面へのピンポイント着陸を実証

宇宙科学の立場では、月を研究することは太陽系の起源を知り、地球がどのように誕生したのかを解明することにつながる。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）では、日本が取り組むべき月面での宇宙科学探査として、3つの科学テーマを設定している。それは、月面天文台の設置、月震計のネットワーク化、サンプルリターンである。月面天文台とは、月面の裏側に多くのアンテナを設置し、宇宙を観測する施設である。月面の裏側は、人間の活動によって発せられる人工電波が届かず、最適な観測環境になる。これにより宇宙が誕生した初期の様子を知ることができると期待されている。月震計は、月で発生する地震を詳しく観測することで、月の内部構造を明らかにするものである。サンプルリターンとは、月面の目的地をピンポイントで狙い、砂や石などのサンプル

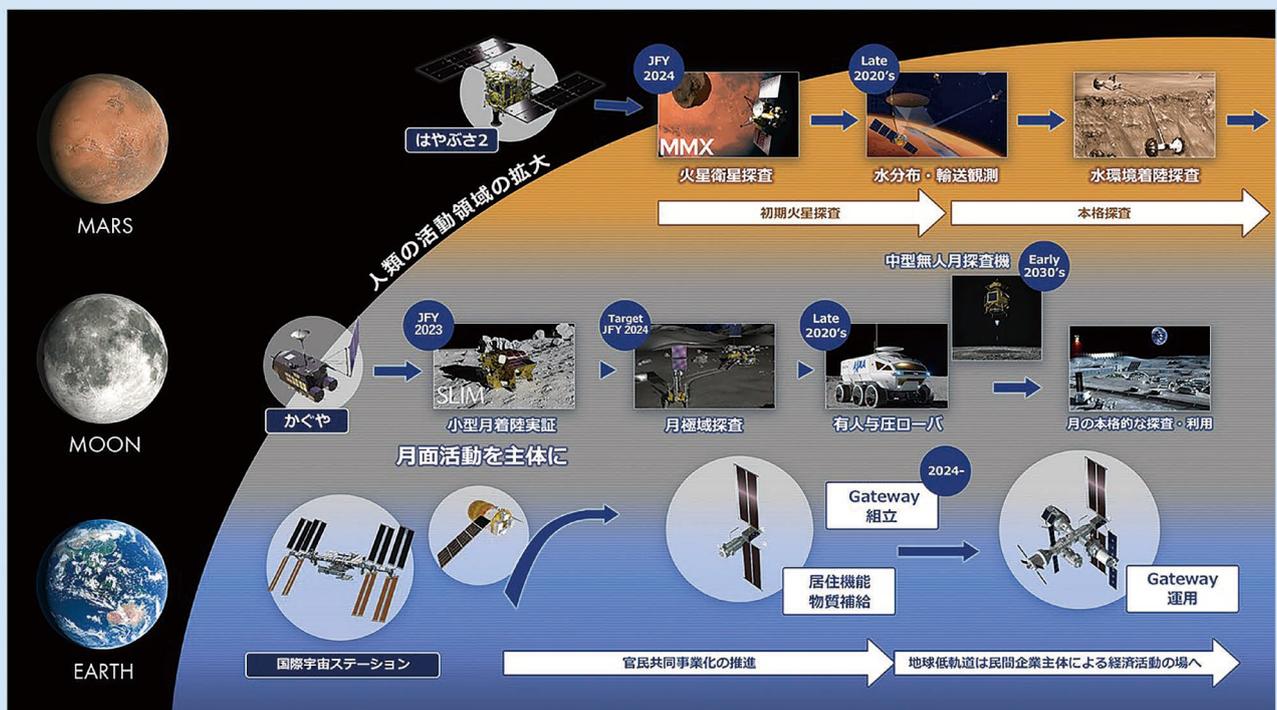
をそこから採取して持ち帰ることである。

これらのテーマを実現するためには、ピンポイント着陸技術が欠かせない。この技術により、従来の「降りやすいところに降りる」から、「降りたいところに降りる」探査へと大きな転換を果たすことになる。

そこで、小型の月着陸機によってピンポイント着陸の技術実証を行うミッションが計画され、2023年9月に月面探査機「SLIM（Smart Lander for Investigating Moon）」が打ち上げられた⁽³⁾。SLIMで実証される技術は、今後の月惑星探査に継承されていくことになる（図1）。

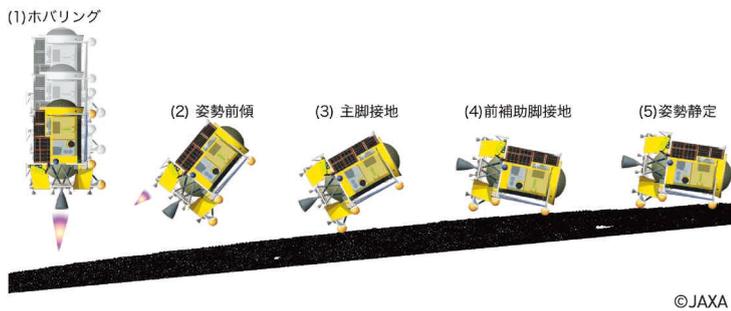
SLIMの目的地は赤道付近であるが、これは搭載したカメラで科学観測して新規の知見が得られそうな地点が赤道付近にあったためである。これに対して、各国の月面探査ミッションの多くは南極付近を目的地としているが、これは月の他の地域に比べ、南極が活動しやすいからである。月の1ヶ月は公転周期と自転周期がほぼ同じで、昼が14日続き、次は夜が14日続く。赤道付近は昼が110℃以上、夜は-170℃以下という過酷な環境⁽⁴⁾である。一方、南極では太陽光は横から当たり、地球の極地における白夜のように長期間、昼が継続する。このように、南極は環境が短期で大きく変化しないため、人間が長期間活動するうえで適した条件が揃っているといえる。

図1 JAXAの月惑星探査の中でのSLIMの位置付け⁽³⁾ SLIMは技術実証機であり、様々な技術は火星衛星探査計画や月極域ミッションに継承されていく。



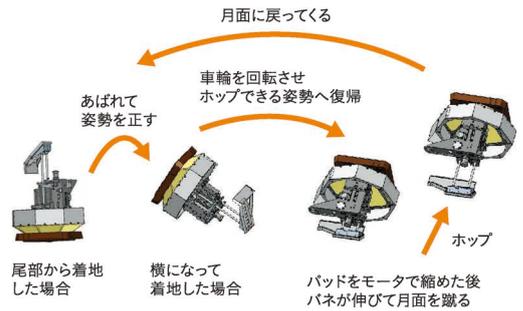
©JAXA

図2 SLIMで採用された二段階着陸方式 (3)



©JAXA

図3 LEV-1のホップ式の動き ©LEV-1/SLIM/ISAS/JAXA



安定して着陸するための機構

SLIMプロジェクトにおける最新成果のうち、探査機および探査ローバの特徴ある機構について紹介する。

SLIMでは、これまでのリモートセンシングによる観測で集められた月面の画像データを元に目的地を決め、ピンポイントで着陸し、カメラによる目的地形の観測を行う。

着陸精度は、目的地から誤差100 m以内を目指している。

月面は全球に渡ってリモートセンシングで観測されているが、その解像度は最大でも50 cm程度である。探査機の着陸にとって危険な大きさ数10 cm程度の岩がどの程度分布しているかが不明なため、最終着陸フェーズでは、カメラに映った画像から障害物を見極めながら安全な領域に着地する。

また、着陸には「二段階着陸方式」が採用された(図2)。これまでの探査機では着陸時、概ね3本以上の脚で機体を支えていた。しかし、目的地に障害物があると脚が接触したり、傾斜地では姿勢が傾いたりして、破損・転倒のおそれがある。数多くの着陸シミュレーションによる検討から生まれたのが、まず一本脚で月面に接地し、次に機体を前方に回転させる「二段階着陸方式」である。この機構によって、安定した姿勢で着陸を行うことが可能となる。

された。質量2.1 kg、大きさは20 cm角程度と小さいが、機体には地球と直接通信できる通信機が付いている。

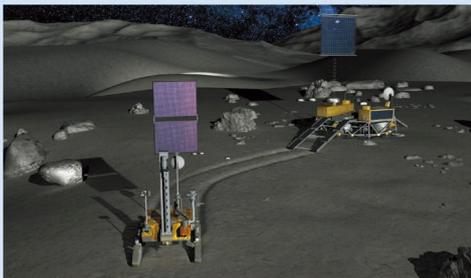
SLIM探査機に格納されたLEV-1は、月面着地直前に探査機外へ放出される。そして、カメラで面白そうな目的地を見つけ、その方向に自分で移動する。

移動の方法は「ホップ式」である(図3)。LEV-1は、ばねの力で月面を蹴り、上空に跳び上がる(ホップする)。この方法は、小型でありながら大きな障害物を越えて移動できることから採用された。LEV-1がホップして月面に戻ってきた時の姿勢は一定でなく、上下逆であったり横倒しであったりする。そこで、車輪を回転させて正しい姿勢にしてから、ホップする。これらの一連の動作は自律的に行われる。

月面探査機というと、月面を走行する大型のローバを想像する。JAXAでも、現在計画されている月惑星探査ミッションで、各種の大型ローバの開発に取り組んでいる(図4、5)。

図4 月極域探査ミッション「LUPEX」(5)

JAXAとインド宇宙研究機関(ISRO)との国際協働ミッションである「LUPEX」では、月の南極に着陸して、水資源の量と質に関するデータの取得を目指している。JAXAが開発を担当する探査車はソーラーパネルを高い位置に設置し、太陽光を有効に受けられるようになっている。



©JAXA

図5 有人と圧ローバ(6)

JAXAとトヨタ自動車は、有人と圧ローバの共同研究を進めており、アルテミス計画への採用を目指している。燃料電池で走行し、マイクロバス2台程度の大きさで2人搭乗を想定している。開発されているタイヤには、骨格にオーステナイト系ステンレス鋼のコイルスプリング、表面にオーステナイト系ステンレス鋼ワイヤが使われている(7)。



©ブリヂストン

©JAXA/TOYOTA

月面をホップする探査ローバ

SLIMに搭載された月面探査ローバ「LEV-1」は、月面における移動を想定して新たに開発

宇宙機に使われる金属

探査機や探査ローバなどに使われる材料は、ほとんどが金属と言っても過言ではない。宇宙空間で使える材料は地球上で使える材料と基本的には変わらず、アルミニウム合金や鉛などの金属材料、カーボンファイバーやMLI(多層断熱材)などの非金属材料

人類は

INTERVIEW

月面探査機に不可欠な金属材料の役割

月面探査機LEV-1は、月面で自ら奇異な地形を見つけて移動し、画像を撮影して地球に送信できるロボットである。これらの一連の作業を、遠隔操作でなく自律的に行えることが特長である。

月面探査機で使用される金属材料には、宇宙空間の放射線から機器を守るのに必要な密度と、構造上の強度が求められる。そして、これらの要求を満たす材料として、アルミニウム合金や鉛、チタン、そしてステンレス鋼などの鉄系材料などが使われる。

LEV-1ではアルミニウム合金を多く使用している。アルミニウム合金はめっきやアルマイトなどの表面処理がしやすいことから、使いやすい材料だといえる。LEV-1ではこれ以外にも、ホップ機構を可能にする軽量なチタン製ばね、ステンレス鋼製ねじ、二次電池などにおいて金属材料が使われている。

宇宙機の強度が最も問題となるのはロケット打ち上げから大気圏脱出までの間、つまり地球から出る段階である。材料には、このときに受ける衝撃と振動に耐え得る強度が求められる。宇宙空

吉光 徹雄さん

宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
宇宙機応用工学研究系 教授



間に達すると、月などに着陸する際の衝撃はあるものの、移動にはあまり力がかからないので、材料強度はさほど問題にはならない。現在検討されているような宇宙エレベーター構想⁽⁸⁾などが将来的に実用化すれば、この状況は劇的に変わるかも知れない。



探査ローバ「LEV-1」の外観

が使われる。

宇宙で使われる材料には、どのような特性が求められるのだろうか。重要な特性の一つに、密度が高いことが挙げられる。機体は宇宙空間に曝露されるため、アルファ粒子や重粒子などの荷電粒子が電子回路に入ると誤動作の原因となる。電子回路を保護するためには、密度の高い鉛などの材料で防御することで小型化が可能となる。

また、構造材料としては軽くて強い材料であることが必要である。この点で、金属材料は強度が高いことから宇宙機の小型化を図ることができるうえ、製法が工業的に確

立されているため品質が安定しているというメリットがある。そして、軽量化を図るために、機体の外側や構造部にはアルミニウム合金などの金属材料、放射線のレベルが十分に低下した機体内部にはカーボン材料、といった使い分けがなされることも多い。

将来、月ではどのような探査機が活躍するのだろうか。月面探査機を月に送るためにはまず、地球上で製作した機体を宇宙空間まで輸送しなくてはならない。現在の日本のロケットの積載能力で、質量450 kg程度の探査ローバLUPEX⁽⁵⁾を月面に輸送しようとしている。LUPEXを月面まで輸送する

ためには着陸機が必要であり、月面に着陸する質量は1 t以上になる。もっと重い与圧ローバや居住モジュールを月面に輸送するためには、もっと大きなロケットが必要となる。月面で部品を組み立てることも考えられるが、月面で組み立てるには、人やロボットが作業しなければならず、実現までには多くのハードルを越えなければならない。

宇宙開発は、人類にとって最大のフロンティアだといえる。サイエンスの夢が花開くことを、今から心待ちにしたい。

(取材協力：JAXA)

文 献

- (1) JAXAホームページ <https://humans-in-space.jaxa.jp/future/> (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (2) JAXAホームページ <https://www.isas.jaxa.jp/missions/spacecraft/past/kaguya.html> (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (3) JAXA SLIM-Project 概要説明資料 https://fanfun.jaxa.jp/countdown/xrism-slim/files/SLIM-presskit-JP_2308.pdf (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (4) JAXAホームページ https://fanfun.jaxa.jp/countdown/moon-mars/index_j.html (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (5) JAXAホームページ <http://www.exploratien.jaxa.jp/program/lunarpolar/> (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (6) TOYOTAホームページ <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/39537608.html> (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (7) ブリヂストンホームページ https://www.bridgestone.co.jp/technology_innovation/moon_tires/ (accessed, Oct. 30th, 2023)
- (8) (一社)宇宙エレベーター協会ホームページ <https://www.jsea.jp/about-se> (accessed, Oct. 30th, 2023)

まだ見ぬ光景を目指す

第3巻 「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」

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

〒604-8127
京都市中京区菊屋町524
アビーロードハウス604
E-mail：hitoshiad_0330@yahoo.co.jp
URL：https://hitoshiad26.sakura.ne.jp



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

図説 表面分析ハンドブック

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

発行所名：(株)朝倉書店
ISBN：978-4-254-20170-3

〒162-8707
東京都新宿区新小川町6-29
TEL：03-3260-7631
FAX：03-3260-0180
URL：https://www.asakura.co.jp/



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

Primary大学テキスト これだけはおさえたい化学 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

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	磷	銅	P>14.5%
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン	銅	Si 15%
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒状	マンガン	銅	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	銅	Mg 50%
銀	99.99%	粒状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム	銅	Cr 10%
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	銅	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	銅	Co 10%
電解鉄(アトミロン)	99.99%	針状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25×25×2mm	ニッケル	銅	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	銅	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	銅	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	銅	Zr 50%
電解クロム	99%	薄片状	インジウム	〃	約100g塊	ボロン	銅	B 2%
クロム粉	99%	粉末500g入	マンガン	99.999%	薄片状	アルミニウム	銅	Cu 40%
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5~7kgインゴット
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	錫	〃	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)	〃	小片状25kg入	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	アンチモン	〃	約100g塊	アルミニウム	Cr 5%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	テール	99.9999%	粒状100g入	アルミクロム	Ti 5%	約4~5kgインゴット
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	テール	〃	約100g塊	アルミシリコン	Si 25%	〃
ハフニウム	99.6%	スポンジ小塊	亜鉛	99.999%	粒状100g入	アルミコバルト	Co 5%	〃
インジウム	99.99%	塊状	亜鉛	〃	約100g塊	アルミモリブデン	Mo 5%	〃
マグネシウム200	99.9%	約200g塊	亜鉛	99.9999%	粒状100g入	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	亜鉛	〃	約100g塊	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	チタン	99.8%	5φ×150mm	アルミ鉄	Fe 50%	塊状
モリブデン粉	99.9%	粉末	高純度シリコンスクラップ	99.999%	塊状	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
ニオブグラニール	99.9%	3~10mm小塊	レアアースメタル			アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
ニオブ粉	〃	粉末	イットリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	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	ランタニウム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
ニッケルベレット	99.97%	6~12mm球状	プラセオジウム	〃	〃	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	ネオジウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	1~30mm小塊状
ルテニウム粉	99.9%	〃	サマリウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	塊状
アンチモン	99.9%	塊状	イッテルビウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	塊状
金属シリコン(中国産)	99%	〃	テルビウム	〃	〃	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)	〃	〃	ジスプロシウム	〃	〃	磷	P 5%	インゴット
錫インゴット	99.99%	約1kgインゴット	ホルミウム	〃	〃	Uアロイ(低融点合金)		
錫粒	〃	粒状	エルビウム	〃	〃	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	ガドリニウム	〃	〃	Uアロイ 60	60±2°C	〃
タンタル粉	〃	粉末	ツリウム	〃	〃	Uアロイ 70	70±2°C	〃
テルル	99.99%	小球状	ルテチウム	〃	〃	Uアロイ 78.8	78.8±2°C	〃
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	セリウム	〃	〃	Uアロイ 91.5	91.5±2°C	〃
チタン板	JIS 1種	250×250×1mm	ユーロピウム	〃	〃	Uアロイ 95	95±2°C	〃
バナジウム粉	99.7%	3~10mm小塊	ミッシュメタル	TRE>97%	5.4φ×6mm200g入	Uアロイ 100	100±2°C	〃
タングステン粉	99.9%	〃	フェロアロイ			Uアロイ 124	124±2°C	〃
タングステンスクラップ	99%	板状	フェロモリブデン	Mo 60%	3~10mm小塊状	Uアロイ 150A	150±2°C	〃
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット	フェロニオブ	Nb 60%	10~30mm			
亜鉛粒	〃	粒状	フェロバナジウム(太陽鋳工製品)	V75~85%	10~30mm			
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊	フェロボロン	B 20%	1~30mm			
			カルシウムシリコン	Ca30%Si60%	小塊状			
			フェロホスホル(リン鉄)	P20~28%	塊状			

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
 ●輸出は必ず国内取引のみ

第41回 優秀ポスター賞受賞者 54名

(2023年9月21日授賞決定) (五十音順)

～ おめでとうございます ～

◇2023年秋期講演大会時の優秀ポスター賞および高校生・高専学生ポスター賞受賞の皆様です。◇



Al-Zn-Mg 合金中の析出物界面におけるトラップ水素の3DAP解析(P176)
岩手大学 **阿部李音君**, 清水一行君,
物質・材料研究機構 佐々木泰祐君,
九州大学 戸田裕之君,
岩手大学 鎌田康寛君



BZ 反応における時空間パターン形成のモデリング(P151)
東京大学 **大井 峻君**, 吉田 亮君,
澁田 靖君



Ti-Cr-Sn 超弾性合金の機械的性質に及ぼす低温時効の影響(P162)
東京工業大学 **五十嵐壮日子君**,
野平直希君, 邱 琬婷君, 海瀬 晃君,
田原正樹君, 細田秀樹君



原子間ポテンシャルの形状によるポリタイプ相安定性への影響(P15)
東北大学 **大金真也君**, 森口晃治君



凍結乾燥パルス圧力印加オリフィス噴射法を用いた Al₂O₃-ZrO₂ 球状粉末の作製と複合セラミックスコーティング(P80)
東北大学 **石村太世君**, 周 偉偉君,
野村直之君



多様な組織形態を呈す Ti-6Al-5.5V-(0.5Ni, 0.5Cu) 合金の室温・高温塑性(P118)
香川大学 **葛西慶久君**, 松本洋明君



Ti-Mo-Al 合金単結晶における応力誘起マルテンサイトの結晶学的特徴に及ぼす応力負荷方向の影響(P107)
東京工業大学 **泉 圭君**, 宮川靖弥君,
野平直希君, 邱 琬婷君, 海瀬 晃君,
田原正樹君, 細田秀樹君



第一原理計算による Li_xZn_{1-x}O: Nd³⁺ における機械的特性の評価(P235)
九州大学 **川名惣一郎君**,
産業技術総合研究所 平田研二君,
藤尾侑輝君,
東北大学 徐 超男君



TiNiCuHf 形状記憶合金におけるマルテンサイト変態過程のその場観察(P23)
東京工業大学 **井上ひかり君**,
平間 慧君, 篠原百合君, 稲邑朋也君



Cu-Al-Mn 合金における極低温弾性熱量効果の直接測定(P159)
東北大学 **許 勝君**, 宋 雨鑫君,
原子力研究開発機構 伊東達矢君,
川崎卓郎君, Stefanus HARJO 君,
GONG Wu 君,
東北大学 許 晶君, 大森俊洋君,
貝沼亮介君



Ti-Mo-Sn-Al 合金における α-β 変態を利用した形状回復現象と二方向自発変形(P30)
東京工業大学 **江頭亨侍君**,
安藤一斗君, 野平直希君, 邱 琬婷君,
海瀬 晃君, 田原正樹君, 細田秀樹君



ECCI による低炭素鋼ラスマルテンサイトにおける塑性変形中の転位構造解析(P104)
東京大学 **GONG Shuang 君**,
井上純哉君, Zhang Meng 君



Ni-Mn-Ga/ポリマー複合材料の変形挙動に及ぼす Fe 粒子添加の影響(P164)
東京工業大学 **王 成蹊君**, 邱 琬婷君,
Volodymyr CHERNENKO 君,
田原正樹君, 細田秀樹君



機械学習を利用した MoSiBTiC 合金のミクロ組織に対する画像セグメンテーション解析(P39)
東北大学 **工藤千英君**, Yan Xinyu 君,
吉見享祐君



Ni 基超合金の粉末床溶融結合における種々の界面偏析のフェーズフィールド解析 (P84)
大阪大学 澤泉克彦君, 奥川将行君, 小泉雄一郎君, 中野貴由君



生理活性物質を介した耳小骨アパタイト配向化による聴覚機能制御機構 (P88)
大阪大学 田中謙次君, 大原秀真君, 松坂匡晃君, 松垣あいら君, 石本卓也君, 慶応大学 黒田有希子君, 松尾光一君, 大阪大学 中野貴由君



分子動力学法を用いた粒界三重線周りのエネルギー解析 (P43)
東京工業大学 清水健太郎君, 京都大学 宮澤直己君, 東京工業大学 尾中 晋君



Cu-Al-Mn 合金単結晶におけるサブグレインが超弾性疲労特性に与える影響 (P56)
東北大学 谷川由果君, 許 勝君, 大森俊洋君, 貝沼亮介君



Mg-Y-Zn マルチモーダル押出材の圧縮変形機構解析 (P154)
名古屋工業大学 杉田三佳君, 萩原幸司君, 徳永透子君, 熊本大学 眞山 剛君, 山崎倫昭君



グリコール溶液中のアノード溶解によるマグネシウムの高平滑化 (P211)
北海道大学 富田駿介君, 菊地竜也君



DFT 計算による有機分子複合リン酸カルシウム結晶の最安定構造探索 (P182)
名古屋大学 須崎成央君, 横井達矢君, 小椋 優君, 松永克志君



Fe-Co/Fe-Co-Pt ナノコンポジット薄膜の急速熱処理と磁気特性 (P144)
名古屋工業大学 中村周平君, 石川蓮太君, 宮崎怜雄奈君, 日原岳彦君



Na₂O-SiO₂-B₂O₃ 系ガラスマトリックスに対する TiO₂ の含有限界濃度 (P87)
東北大学 高草木寧緒君, 助永壮平君, 篠田弘造君, 柴田浩幸君



事前学習済みグラフニューラルネットワークを活用した小規模データセットに対する材料物性予測 (P37)
東京大学 西尾健人君, 柴田基洋君, 溝口照康君



分子動力学計算における多体効果のガラス形成への影響 (P102)
早稲田大学 高橋幸輝君, 平田秋彦君



レーザー粉末床溶融結合法を用いた Ni 基合金の結晶集合組織制御による水素脆化の抑制 (P230)
大阪大学 二斗蒔田達也君, Ozkan Gokcekaya 君, 小笹良輔君, 中野貴由君



β -Ti 合金における非等温 ω 変態に及ぼす添加元素の影響に関する第一原理計算 (P166)
九州大学 田代隼斗君, 赤嶺大志君, 飯久保智君



fcc-bcc 相境界の Fe-Cr-Ni 合金の構造と磁性に及ぼす He イオン照射効果 (P131)
岩手大学 畠山将人君, 清水一行君, 村上 武君, 鎌田康寛君, 九州大学 渡辺英雄君



ジェットめっきによるアルミニウム合金 A6061T6 の高速めっき接合 (P218)
京都大学 立入稜也君, 袴田昌高君, 馬淵 守君



Sm(Fe-Co) 正方形ドット配列パターンの高保磁力化 (P147)
東北学院大工 畑中辰汰朗君, 中塚奏賀君, 伊藤慎悟君, 土井正晶君, 嶋 敏之君



水酸/炭酸アパタイト被覆 Mg 合金の引張り特性に及ぼす培養液浸漬の影響 (P62)

早稲田大学 物質・材機研究機構 羽富圭祐君,
廣本祥子君,
物質・材機研究機構 土井康太郎君,
早稲田大学 山本知之君



L-PBF の超急冷による β 型チタン合金の偏析抑制と力学特性 (P90)

大阪大学 堀尾尚平君, 小笹良輔君,
佐藤和久君, 奥川将行君, 小泉雄一郎君,
中野貴由君



純銅の高温圧縮変形に対する中性子回折を用いたマイクロ組織形成観察 (P237)

茨城大学 馬場可奈君,
東京電機大工 小貫祐介君,
三菱マテリアル 長岡佑磨君, 伊東正登君,
東北大学 鈴木 茂君,
茨城大学 佐藤成男君



τ - $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3$ 熱電変換材料への環境親和性元素のドーピング (P277)

茨城大学 真家拓海君,
岡野利哉君, 阿部龍清君, 池田輝之君



Ag-Bi 合金めっき膜の硬度の耐熱性 (P73)

信州大学 原 弥仁君, 堀田将臣君,
南澤比佳理君, 清水雅裕君, 新井 進君



Sn を利用した Al-Si 合金からの Si の分離 (P77)

富山大学 前田健二郎君, 水谷翔哉君,
加藤謙吾君, 小野英樹君



マルチモーダル組織を有する Mg-Zn-Y 合金の 500 K 近傍における圧縮クリープ挙動 (P256)

弘前大学 坂東 航君, 高橋大佑君,
佐藤裕之君,
名古屋工業大 萩原幸司君,
熊本大学 山崎倫昭君,
弘前大学 峯田才寛君



その場中性子回折法による超微細粒ステンレス鋼の極低温での優れた強度と延性の研究 (P192)

日本原子力研究開発機構 毛 文奇君,
京都大学 Gao Si 君,
日本原子力研究開発機構 Gong Wu 君,
Stefanus Harjo 君, 川崎卓郎君



ペロブスカイト水素化物のエピタキシャル薄膜合成と元素置換 (P134)

芝浦工大学 福士英里香君,
森 史弥君, 風間敦夫君, 宗房幸太君,
物質・材料研究機構 原田尚之君,
芝浦工業大学 大口裕之君



変形組織観察によるマイクロ領域における応力・ひずみ分布の解析 (P185)

九州大学 松尾啓史君, 森川龍哉君,
山崎重人君, 田中将己君



Ta 添加 MoSiBTiC 合金のマイクロ組織と機械的性質 (P262)

東北大学 Blanchard Clara 君,
井田駿太郎君, 吉見享祐君



無添加 ZnS 結晶におけるメカノルミネッセンス特性評価 (P189)

名古屋大学 三品海渡君, 大島 優君,
横井達矢君, 松永克志君



逆ペロブスカイト窒化物 Co_3GaN の高温高圧合成と磁性 (P141)

名古屋大学 細江信吾君,
佐々木拓也君, 丹羽 健君,
長谷川 正君



Pd/V/Pd 複合膜における相互拡散層の形成と水素透過能の劣化挙動 (P272)

名古屋大学 村上賢太君, 湯川 宏君,
君塚 肇君



面心立方構造, 体心立方構造, およびダイヤモンド構造を有する格子構造体と結晶性材料の弾性異方性 (P52)

大阪大学 細田昌希君, 鐘ヶ江壮介君,
奥川将行君, 尾方成信君, 小泉雄一郎君



三元系 Fe-Mn-Ga 合金における FCC 相の相安定性と磁気特性 (P3)

東北学院大学 山内達寛君, 岡田宏成君,
東北大学 梅津理恵君



量子モンテカルロ法による Si 結晶中の点欠陥形成エネルギー計算 (P42)
名古屋大学 **山田将広君**, 横井達矢君, 小椋 優君, 松永克志君



等原子比組成 ZrCu 形状記憶合金の引張変形と熱サイクルによる組織変化 (P161)
熊本大学 **吉岡徹郎君**, 尾中晃生君, 松田光弘君, 京都大学 平山恭介君



デンドライト成長の高精度予測に向けた X 線観察と phase-field 計算を融合するデータ同化の開発 (P225)
京都工芸繊維大学 **山村彩乃君**, 坂根慎治君, 京都大学 安田秀幸君, 京都工芸繊維大学 高木知弘君



異なる塑性加工法が Mg 合金の機械的性質に及ぼす影響 (P48)
同志社大学, 物質・材料研究機構 **吉澄大雅君**, 湯浅元仁君, 同志社大学 宮本博之君, 物質・材料研究機構 染川英俊君



Mg/LPSO 複相合金における組織と引張変形挙動の相関 (P113)
名古屋工業大学 **山本和輝君**, 杉田三佳君, 徳永透子君, 萩原幸司君, 熊本大学 眞山 剛君, 山崎倫昭君, 日本原子力研究開発機構 Stefanus Harjo 君, Gong Wu 君



Chemical order promoted vacancy and interstitial sluggish diffusion in CrCoNi medium-entropy alloy (P41)
大阪大学 **Yangen Li 君**, 尾方成信君



ナノポーラス金アクチュエータを使った細胞配向とそのメカニズム (P89)
京都大学 **横田一樹君**, 呉 裴征君, 袴田昌高君, 馬淵 守君



マルチ元素ナノ酸化物の一括水中結晶光合成 (P150)
北海道大学 **林 學毅君**, 張 麗華君, 渡辺精一君

第10回高校生・高専学生ポスター賞受賞者(日本金属学会会長賞1件, 最優秀賞3件, 優秀賞1件)
(2023年10月2日発表 講演番号順)

高校生ポスター-日本金属学会会長賞 (1件)



1. イチゴによるアルミニウムの溶解 (2) (HSP7)
兵庫県立宝塚北高等学校
○**山脇佳奈君**, 藤井妃奈乃君, 田中 楓君, 金古雄大君, 川口拓真君, 上田悠人君, 浅原素紀君(指導教員)



3. 煮色着色をする前に金属を大根おろしにつける理由の考察 (HSP6)
東京都立日比谷高等学校
依田明理君, 加戸百合君(指導教員)

高校生ポスター-最優秀賞 (3件)



1. レーザー照射に伴う Co-Cr 合金の凝固組織形成過程 (HSP3)
嘉穂高等学校
福本 泉君, 九州大学 近藤謙太郎君, 藤原 陸君, 森下浩平君(指導教員)



高校生ポスター-優秀賞 (1件)
1. 醤油粕と α 化米を用いた食器素材作成 (HSP1)
中央大学附属中学校・高等学校
竹村知夏君, 元山敬太君(指導教員)



2. 金属イオンの吸着効果を高めるポリグルタミン酸の架橋構造について (HSP4)
滋賀県立虎姫高等学校
安達柚葉君, 小川 藍君, 藤井乃瑠君, 藤澤めばえ君, 堀 浩治君(指導教員)

公益社団法人

日本金属学会

2024年 春期
第174回
講演大会

会期

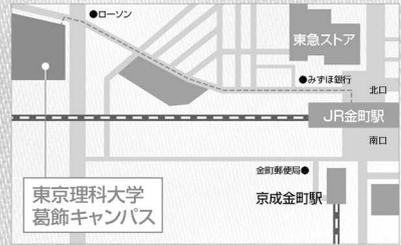
2024年

3月12日(火)~15日(金)

会場

東京理科大学 葛飾キャンパス

〒125-8585 東京都葛飾区新宿6丁目3-1



公募シンポジウム

S1: マルテンサイト変態「温故知新」

Martensite: Discover the future by studying past and present

S2: 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V

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

S3: 超低損失軟磁性材料の開発動向

Trends in the development of ultra-low loss soft magnetic materials

~パワー半導体との共創による革新的なパワーエレクトロニクスの実現に向けて~

Toward realization of innovative power electronics technologies by co-creation with power semiconductors

S4: 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムV

~さまざまな格子欠陥・相界面のアナロジー体系化による学理の再認識~

Architecture construction for functions and properties of materials V

~ Reconsidering the principles for various lattice defects and phase interfaces based on systematic classification by analogy ~

S5: 材料表面の化学I -めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開-

Chemistry on Material Surfaces I

The state-of-the-art research in plating, aqueous and high temperature corrosion, and photocatalysis

企画シンポジウム

K1: 生体界面での材料の分解・劣化・安定化

Degradation and Stability of Materials at biointerfaces

K2: 産学共創シンポジウム・カーボンニュートラルを目指して1

Symposium Toward a Carbon Neutral Society 1

講演申込締切

- 一般
- 公募シンポジウム
- 共同セッション

2024年
1月10日(水) 17時

- ポスターセッション

2024年
1月17日(水) 17時

事前参加申込締切: 2024年 2/22(木)

参加方法の詳細はホームページで公開



未来を先導する領域を開拓し、
世界に発信する



問合せ先



公益社団法人
日本金属学会 講演大会係

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1丁目14-32
TEL:022-223-3685 E-mail: annualm@jimm.jp

詳しくはホームページをご覧ください

<https://jimm.jp/>



◇ 詳細は、本号または11号会告、ホームページ
(講演大会 → イベント) をご確認ください。

~ 皆様のご参加をお待ちしております。~

リラクサー型強誘電体における 極性ナノ構造

佐藤 幸生*

1. はじめに

結晶性固体材料が示す物理的な特性は、結晶構造に由来することが多いが、付随して生じる各スケールの構造や組織にも影響を受ける。そのような構造の複雑性・多様性は多くの実用的に重要なあるいは科学的に興味深い物性の起源となっている。よって、複雑かつ多様な構造・組織の理解は非常に重要であるが、構造の自由度が増せば増すほど、その理解は大きなチャレンジとなる⁽¹⁾。本稿では、興味深い物性をもたらす構造・組織の一例として、「リラクサー型強誘電性」の起源となっているナノ構造について、微構造解析の視点からまとめた現状の理解について概説する。

2. リラクサー型強誘電体

(1) リラクサー型強誘電体

リラクサー型強誘電体は、典型的な強誘電体(代表的な物質の例は BaTiO₃)とは異なり、比誘電率が高く、その周波数依存性が緩やかで、かつ、比誘電率が最大を示す温度が周波数に依存するという性質(図1)を示す⁽²⁾⁻⁽⁵⁾。実用化に向けた材料開発の視点ならびに構造-物性相関に関する科学的興味から、長年にわたって研究の対象になっていて、Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃(PMN)や Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃などのペロブスカイト型結晶構造を有する化合物が代表的な物質である。リラクサー型強誘電性の構造的な起源とされる「ポーラーナノリージョン(Polar Nano Region (PNR))」という概念は Smolenskii⁽⁷⁾や Burns ら⁽⁸⁾によって提唱された。PNRが存在する証拠は、X線回折や中性子線回折における散漫散乱の観測⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、中性子線動径分布関数(PDF)の測定⁽¹¹⁾や透過

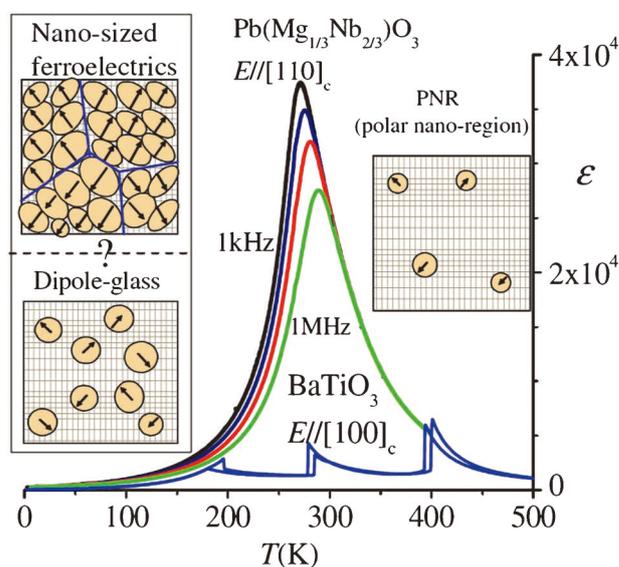


図1 PMNおよびBaTiO₃における比誘電率の温度特性とPMNにおけるナノ構造の模式図⁽⁶⁾。American Physical Societyより許可を得て転載。(オンラインカラー)

型電子顕微鏡(TEM)観察におけるナノスケールのコントラスト⁽⁶⁾⁽¹²⁾などとして得られている。リラクサー型強誘電体の内部構造については、PNRが無極性のマトリックス中に分散しているダイポールガラス的な描像⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾⁽¹³⁾や、全ての領域が極性で大きさ数ナノメートル程度のナノドメインが形成されているとする描像⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁶⁾がある⁽⁶⁾(図1)。

一方で、リラクサー型強誘電性がPNRやナノドメインに起因するという数十年来の定説に異を唱える実験結果も近年、報告されている。KrogstadらはPMNにx%のPbTiO₃(PT)を固溶させたPMN-xPTにおいて、リラクサー強誘電

* 熊本大学半導体・デジタル研究教育機構; 教授(〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)
 Nanostructures in Relaxor Ferroelectrics; Yukio Sato(Research and Education Institute for Semiconductors and Informatics, Kumamoto University, Kumamoto)
 Keywords: polar nano region, domain, relaxor ferroelectrics, transmission electron microscopy
 2023年9月29日受理[doi:10.2320/materia.62.781]

性が最も顕著な $x=0$ で、X線散漫散乱の強度が最大ではないことを示した⁽¹⁷⁾。代わりに、 $x=0$ で最大なのは反強誘電的秩序構造由来の回折点強度であり、これらの結果から、強誘電的秩序と反強誘電的秩序の競合が重要な役割を果たしていると指摘している。また、Kumarらは反強誘電的秩序の存在ならびに化学的秩序領域(後述)⁽¹⁸⁾⁻⁽²¹⁾に関連した酸素八面体の回転および歪みの存在を報告しており、Emerenkoらは複数のPNRの凝集からなる階層構造の存在を報告している⁽²²⁾。これらの新たな知見は、リラクサー型強誘電体におけるナノ構造の全貌や強誘電性との関連が未解明であることを示している。

(2) モルフォトロピック相境界型の強誘電体

リラクサー型強誘電体のPMNと典型的な通常の強誘電体であるPTを $x\%$ 固溶させた $(1-x)\text{PMN}-x\text{PT}$ では、 $x=0.3$ 程度の組成で圧電特性が非常に高くなり(圧電定数 d_{33} : 2000程度)⁽²³⁾、医療用超音波画像診断装置の圧電プローブに用いられている⁽²⁴⁾。 $x=0.3$ 付近を境に低 x 側では菱面体晶(R)、高 x 側では正方晶(T)の結晶相が安定で、 $x=0.3$ 付近の組成領域は長年、 R 相と T 相の境界(モルフォトロピック相境界(MPB: Morphotropic Phase Boundary))と理解されてきた。しかしながら、2000年頃にMPB組成で、より低対称の単斜晶(M)相が存在すると報告されて(図2)⁽²⁵⁾以来現在まで、高い圧電特性の起源は M 相の形成によるとの解釈が主流となっている。特に近年では、Smの添加で圧電特性がさらに向上することや⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾、交流分極処理による性能向上⁽²⁸⁾、交流分極処理による「透明な圧電単結晶」の実現⁽²⁹⁾などが報告されており、科学的興味ならびに製品応用の両面で、精力的な研究が続けられている。

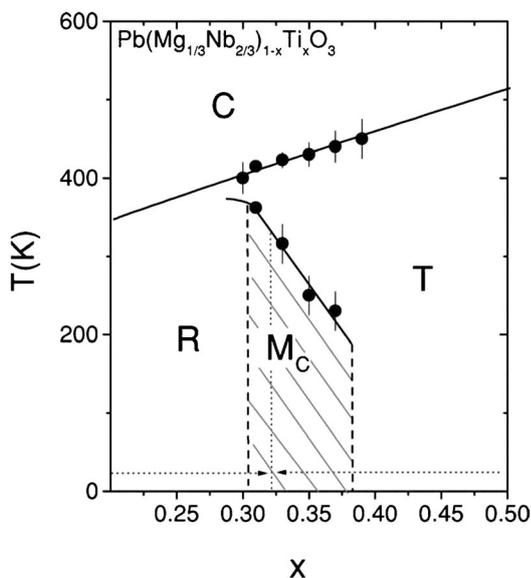


図2 PMN- x PTの状態図⁽²⁵⁾。American Physical Society より許可を得て転載。

3. PMNおよび0.68PMN-0.32PTのナノ構造

本章では、典型的なリラクサー型強誘電体のPMNとMPB型強誘電体の0.68PMN-0.32PTにおけるナノ構造を対比させながら説明する。

(1) 結晶構造

結晶性固体の強誘電性は多くの場合、単位胞中の原子配列が中心対称で無いため起こる正負イオンの相互変位に由来するため、平均の結晶構造から議論を始める。低温(5 K)から高温(800 K)までのX線および中性子線回折によるPMNの結晶構造がBonneauらによって報告されている⁽³⁰⁾。菱面体晶相(空間群 $R3m$)を仮定した場合の格子ひずみは 0.016° 程度と非常に小さく、単位胞の形はほぼ立方体である。しかしながら、立方晶(C)相(空間群 $Pm\bar{3}m$)を仮定してRietveld解析をした結果の R 因子は30%程度と大きく、理想的な C 相モデルでは、構造を説明するには至らなかった。 C 相モデルをベースにPbイオンを特殊位置(単位胞頂点)から8つの等価な $\langle 111 \rangle$ 方向に36 pm程度ランダムに変位させ、Oイオンを特殊位置(単位胞の面心位置)から $\langle 331 \rangle$ 方向にランダムに19 pm程度変位させたモデル(図3)が5 K~307 Kより R 因子の低い結晶構造として得られた。(本稿では全ての場合でミラー指数を C 相モデルに基づいて付ける。)これらの結果は、PMNの結晶構造は「平均としては立方晶相だが、局所的には極性構造であり」、PNRやナノドメインの存在を考

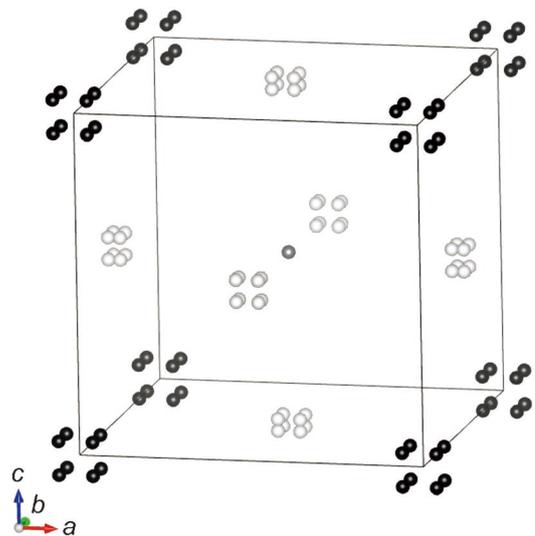


図3 5 KにおけるPMNの結晶構造モデル⁽³⁰⁾。図は文献(30)を参考に著者が作成した。その際、描画にはVESTA⁽³¹⁾を用いた。黒丸がPbイオン、灰色がMg/Tiイオン、白丸がOイオンをそれぞれ示す。単位格子 ab 面内のOイオンは $[331]$, $[33\bar{1}]$, $[3\bar{3}1]$, $[3\bar{3}\bar{1}]$, $[\bar{3}31]$, $[\bar{3}3\bar{1}]$, $[\bar{3}\bar{3}1]$ の8方向、 ac 面内のOイオンは $[313]$, $[3\bar{1}3]$, $[31\bar{3}]$, $[3\bar{1}\bar{3}]$, $[\bar{3}13]$, $[\bar{3}\bar{1}3]$, $[\bar{3}1\bar{3}]$, $[\bar{3}\bar{1}\bar{3}]$ の8方向、 bc 面内のOイオンは $[133]$, $[\bar{1}33]$, $[1\bar{3}3]$, $[\bar{1}\bar{3}3]$, $[13\bar{3}]$, $[\bar{1}3\bar{3}]$, $[13\bar{3}]$, $[\bar{1}3\bar{3}]$ の8方向に変位するモデルとなっている。(オンラインカラー)

0.68PMN-0.32PT

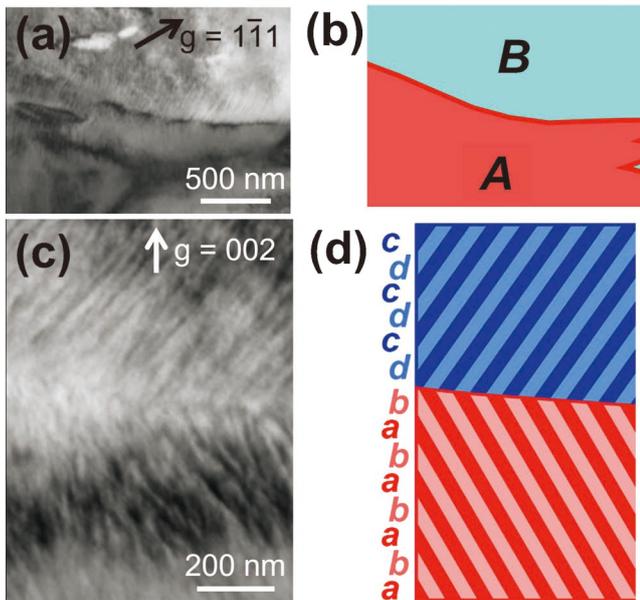


図4 0.68PMN-0.32PTにおける(a)マイクロドメインバンドの暗視野TEM像と(b)ドメイン構造の模式図、および(c)ラメラ状ナノドメインの暗視野TEM像と(d)ドメイン構造の模式図⁽³⁵⁾。異なる方位のマイクロドメインバンドをA, B, 異なる方位のラメラ状ナノドメインをa~dでそれぞれ示している。(オンラインカラー)

慮しなければならないことを示唆している。

2.(2)節で述べたように、MPB組成における $(1-x)$ PMN- x PTの結晶構造はM相とされる。M相の中でも、空間群Cmの「 M_B 」相や空間群Pmの「 M_C 」相があり⁽³²⁾、それぞれにおいて、分極方向は鏡映面内に乗っている $[uvw]$ ($u > v$)ないし $[0uv]$ であり⁽³³⁾、 u や v は一定の値を取らず分極方向には自由度がある。しかしながら一方で、電気分極と自発歪みの方向が揃った領域であるドメインが非常に微細である⁽³⁴⁾こともPMN-PTの構造的特徴である。図4にその一例を示すが、幅が数100 nm程度のマイクロドメインバンド(A, B)があり(図4(a), (b))、各バンドの中が更に細かいラメラ状のナノドメイン(Aの中はaとbの積層構造、Bの中はcとdの積層構造)で構成されている(図4(c), (d))⁽³⁵⁾。このようなラメラ状ナノドメインの存在は結晶子のサイズ(幅)が10 nmオーダーと非常に小さいことを示しているが、この点から、JinらはX線などによる回折実験の解釈が正しく行われていない可能性を指摘した。彼らの「adaptive phase」理論⁽³⁶⁾では、単一のナノドメインでは結晶相がT相であり、積層構造の平均としてM相が得られていると解釈されている。

著者らは単一ドメインレベルでの結晶相がM相であるかT相であるかを検証するために、0.68PMN-0.32PTについて電子回折パターン(図5(a))の測定を行った⁽³⁵⁾。図4(d)に示すようなa~d種類のドメインを含む領域から、晶帯軸 $[110]$ で撮影した電子回折パターン(図5(a))における個々の回折点を

0.68PMN-0.32PT

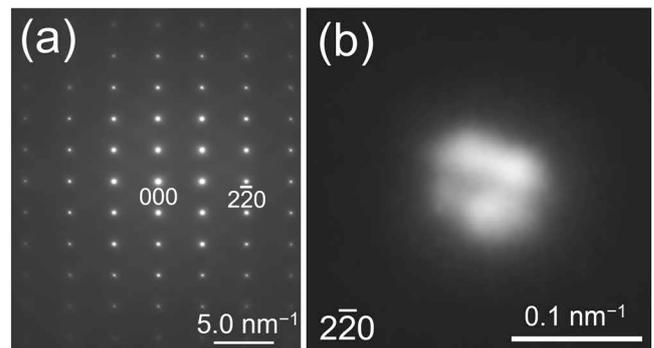


図5 (a)0.68PMN-0.32PTの制限視野電子回折パターンおよび(b) $2\bar{2}0$ 回折点の拡大図⁽³⁵⁾。

詳細に分析した。例えば $2\bar{2}0$ 回折点は4つに分裂しており(図5(b))、図4(d)に示すa~dそれぞれのラメラ状ナノドメインからの回折点が独立に得られている。さらに、回折点の位置をガウシアンフィッティングにより求め($2\bar{2}0$)面の格子面間隔($d_{2\bar{2}0}$)の比を算出すると、右下のスポットが示す $d_{2\bar{2}0}$ との比で、残りの3つの回折点が示す $d_{2\bar{2}0}$ は -0.12% 、 $+0.24\%$ 、 -0.29% となっており、4つの異なる d 値を持つことが分かった。T相では、異なる $d_{2\bar{2}0}$ を2つしか持ち得ないため、この電子回折パターンからは単一ドメインレベルにおいてもM相とするモデルが支持された。

(2) 化学秩序領域

PMNは $A(B', B'')X_3$ 型のペロブスカイト型化合物である。Aサイトイオンは Pb^{2+} 、陰(X)イオンは O^{2-} であるため、電気的中性の観点からBサイトの平均価数は+4価である。そのため、B'の Mg^{2+} イオン、B''の Nb^{5+} イオンは1:2の組成比で存在する。 Mg^{2+} と Nb^{5+} は局所的な規則構造(化学的秩序領域(COR: Chemically Ordered Region))を形成している⁽¹⁸⁾⁻⁽²¹⁾ことが知られる。CORの大きさは数nm程度であり⁽¹⁸⁾、Mgリッチな(111)とNbリッチな(111)が交互に積層した構造となっていて⁽²⁰⁾、 $Mg:Nb=1:2$ の組成比から、Mgリッチな(111)は $Mg_{0.5}Nb_{0.5}$ 、Nbリッチな(111)は $Nb_{1.0}$ に近い組成と考えられている。CORは0.68PMN-0.32PTでも存在することが報告されている⁽³⁷⁾。 $[110]$ 入射の電子回折パターン(図6(a))から、規則構造の存在を示す $(h/2, k/2, l/2)$ 回折点(h, k, l は奇数、通称、Fスポット)が確認された。また、Fスポットの1つを使って結像された暗視野TEM像(図6(b))において、数nm程度の大きさは等方的な明るいコントラストが見られ、CORの大きさが数nm程度であり、等方的な形状であることが示された。また、図6(c)に示す高角度環状暗視野STEM像において、Bサイトイオンのカラムが示す像強度の変化は統計誤差レベル(参考文献⁽³⁷⁾)では約20%、議論の詳細は同文献を参照されたい。)より大きい。高角度環状暗視野STEM像の強度はカラムを構成する元素の原子番号の約2乗に依存す

0.68PMN-0.32PT

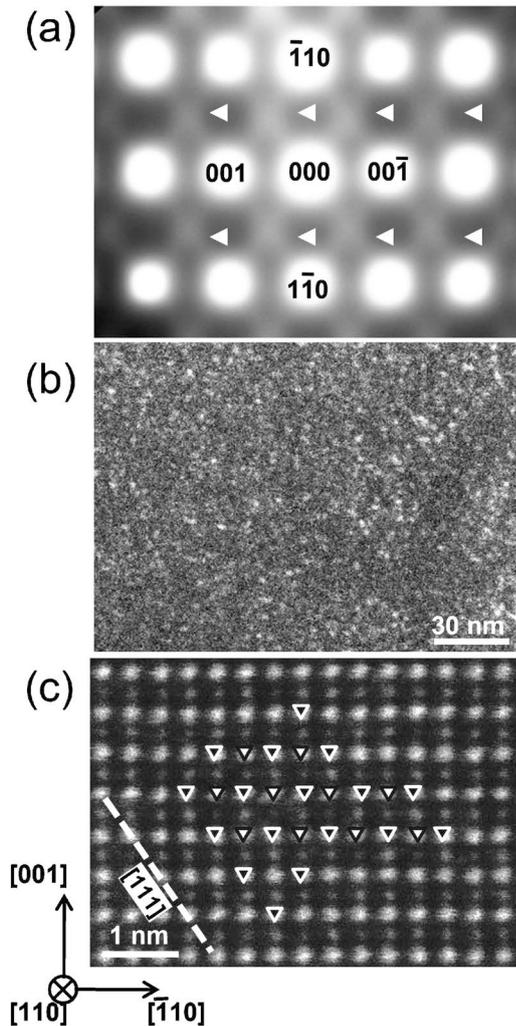


図6 (a) 0.68PMN-0.32PTの制限視野電子回折パターン、(b) F スポットの1つを用いて結像された暗視野TEM像ならびに(c)高角度環状暗視野STEM像⁽³⁷⁾。

る⁽³⁸⁾とされ、Mg、Nb、Tiの原子番号がそれぞれ12、41、22であることから、より強度の高い▼で示されるBサイトカラムは、原子番号の大きなNbリッチ、強度の低い▽で示されるBサイトカラムは、原子番号の小さなMgリッチであることが分かる。図6(c)から、Mgリッチな(111)とNbリッチな(111)の積層構造が認められ、これはPMNと類似の傾向であった。PMN-PTでは、 Ti^{4+} イオンが Mg^{2+} 、 Nb^{5+} サイトの両方を置換しており、CORの大きさはPMN中のものより小さいと考えられている。

(3) ラメラ状ナノ構造とラメラ状ナノドメイン

3.(1)節で述べたように0.68PMN-0.32PTでは、ラメラ状のナノドメインが形成されている。これが電気分極と相関する「強誘電ドメイン」であることは原子分解能STEM観察から直接確認されている⁽³⁹⁾。図7に(a)STEM像とそれから得られた(b)Pbイオンの変位マップを示す。上半分の視

0.68PMN-0.32PT

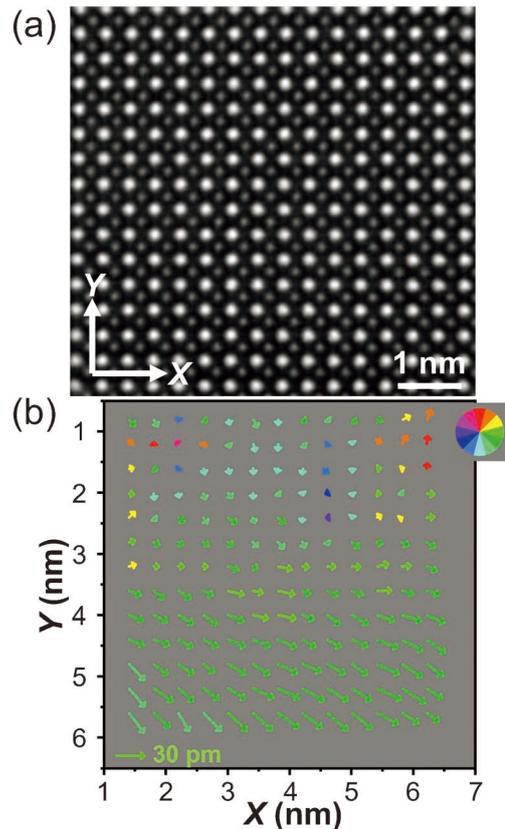


図7 0.68PMN-0.32PTの(a)環状暗視野STEM像および(b)Pbイオンの変位マップ⁽³⁹⁾。左下矢印の長さが30 pmの変位量に対応する。

PMN

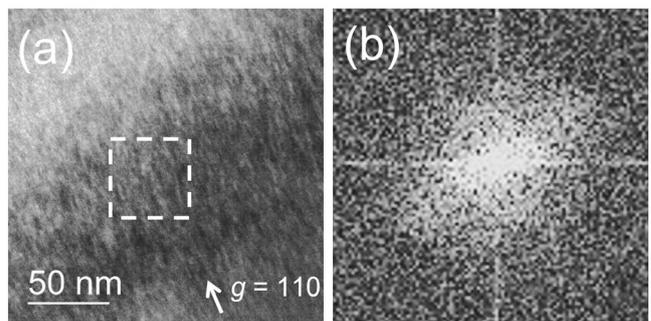


図8 (a) PMNの暗視野TEM像および(b)像中点線の領域から得たFFTパターン⁽³⁹⁾。

野では、Pbイオンの変位が紙面垂直方向であるため、投影での変位量がゼロに近いのに対して、下半分ではおおよそ右方向に一樣に変位している。境界部分はドメイン壁であり、ドメイン壁は平坦である。複数視野の解析から、ドメイン壁は10 nmオーダーの間隔で見られ、形状や間隔からラメラ状ナノドメインに対応することが確認された。また、Singhらが報告した結晶構造パラメータ⁽³²⁾を用いて M_C 相の分極方向を計算してみると $[1\ 0\ 5.32]$ と、 c 軸方向に近い方向と

なっているが、これも図の下半分で c 軸が右方向に向いているとすると良く解釈できる。

PMN においては、従来、ラメラ状の構造は確認されていなかったが、著者らによってその存在が発見された⁽³⁹⁾。図 8(a)に PMN の暗視野 TEM 像を示すが、わずかにラメラ状のコントラストが認められる。また、この像に FFT 処理をすると(図 8(b))ラメラ状コントラストと垂直方向にストリークパターンが見られ、ラメラ状ナノ構造の存在が確認された。ラメラの幅は PMN-PT の場合より細く、数 nm 程度であると思われる。このラメラ状ナノ構造をもたらしている構造的な原因はまだ明らかになっていないが、微小な自発歪み (a 軸長 : b 軸長 : c 軸長 $\neq 1.00 : 1.00 : 1.00$ となるような格子定数の変化)や格子の回転によるものではないかと推測される。また、このラメラ状ナノ構造はより長距離秩序が発達する前段階の「予兆」的なものと推測される。

(4) ポーラーナノリージョンないしナノドメイン

2.(1)節で述べたように、リラクサー型強誘電性の微視的起源は PNR ないしナノドメインと考えられており、その存在は X 線や中性子線の回折パターンにおける散漫散乱から確認されている。回折パターンにおける散漫散乱は電子回折でも認められ(図 9(a))⁽³⁹⁾、散漫散乱成分を優先的に取り込ん

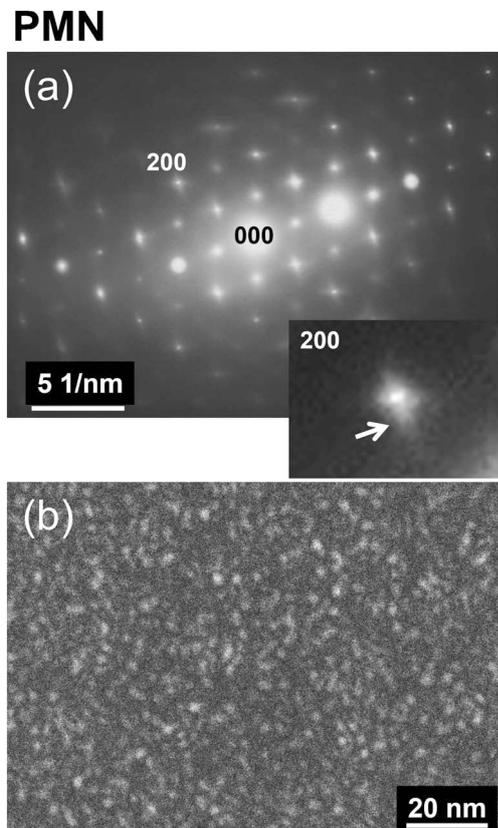


図9 PMN の(a)制限視野電子回折パターンおよび(b)散漫散乱成分を主にして結像された暗視野 TEM 像⁽³⁹⁾。(a)の右下に200回折点の拡大図を示す。図中の矢印は散漫散乱を示す。

で撮影した暗視野 TEM 像から(図 9(b))、これが大きさ数 nm 程度の PNR ないしナノドメインによることが明らかとなった。また、PNR ないしナノドメインと強誘電性との相関性は、0.68PMN-0.32PT の場合と同様に原子分解能 STEM 観察から確認された(図 10(a)および(b))⁽³⁹⁾。Pb イオンの変位方向は等方的な大きさ数 nm の範囲内で方向が揃っており、PNR ないしナノドメインの大きさ、形状と整合する。併せて行った STEM 像シミュレーションの結果から、無極性のように見える PNR ないしナノドメインの「間」の領域が実際に無極性なのかドメイン壁となっているかは判別できず、ダイポールガラス的な描像なのか、ナノドメイン構造的な描像なのかは未解明である。

(5) 電場に対する応答

PMN や 0.68PMN-0.32PT に電圧を加えた時の構造変化は電場印加その場 TEM 法で調べられている⁽⁴⁰⁾⁻⁽⁴²⁾。0.68PMN-0.32PT では、強誘電性を担うラメラ状ナノドメインが電場に対して応答することが可視化された。主要なドメイン応答はナノドメインの方位変化であり⁽⁴²⁾、それに伴い、上位の階層構造であるマイクロドメインも大きさを変える。未分極処理試料に対して、直流電圧をしばらく印加するとドメイン構造が変化して、電圧開放後も元には戻らな

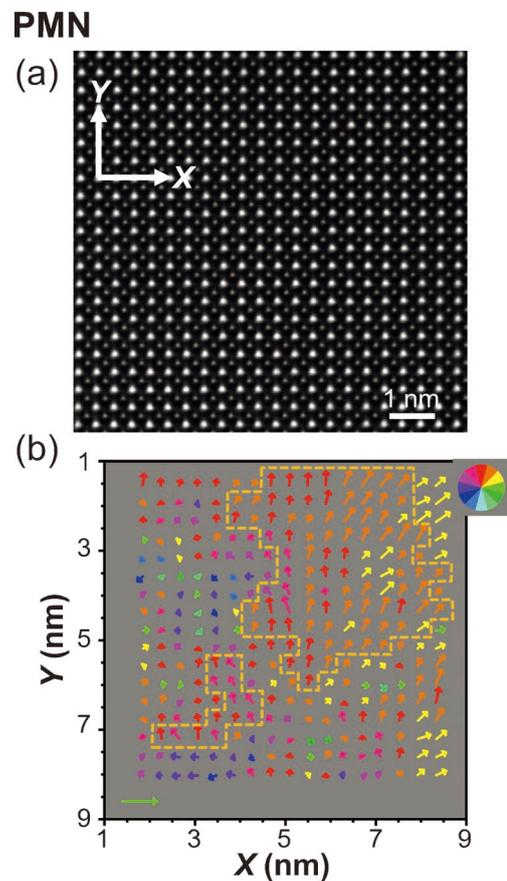


図10 PMNの(a)環状暗視野 STEM 像および(b) Pb イオンの変位マップ⁽³⁹⁾。左下矢印の長さが30 pm の変位量に対応する。

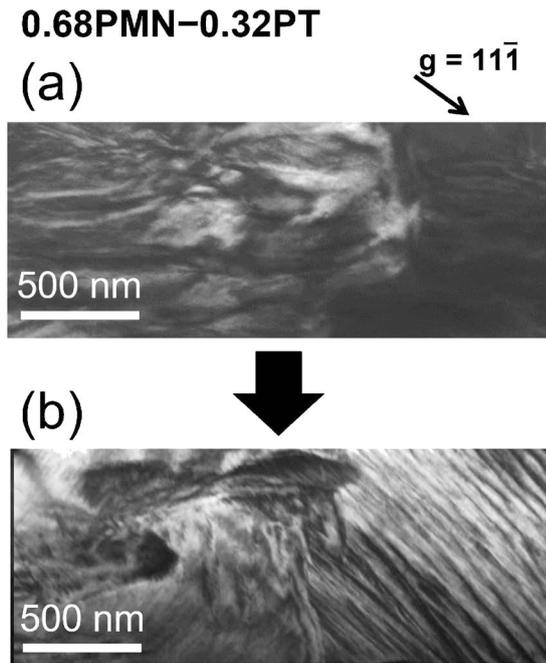


図11 0.68PMN-0.32PTの暗視野TEM像⁽⁴¹⁾。(a)直流電圧印加前(未分極処理試料)に対応のものおよび同じ試料に(b)2.9 kV/cmを35分印加した後のものをそれぞれ示す。電圧は紙面横(およそ $\langle 110 \rangle$)方向に印加された。

い⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾。例えば、図11において、電圧印加前後の構造を比べると、電圧印加前で右から1/3程度のところにあるマイクロドメインバンドの境界(図11(a))は、電圧印加で中央付近に移動し、右のマイクロドメインバンド内ではラメラ状ナノドメインが整列し明瞭なコントラストを示している(図11(b))。一方で、分極処理後の試料に電圧を印加すると、やはりナノドメインの方位が変化するが、電場を開放するとほぼ元の構造に戻る可逆的な応答を示した⁽⁴²⁾(図12)。ラメラ状ナノドメインの可逆的な応答はAdaptive phase理論⁽³⁶⁾によっても予測されていたものであり、 $(1-x)$ PMN- x PTの電圧-歪み曲線がしばしばスリムなヒステリシス曲線を示す⁽²³⁾こととも整合する。

PMNについて同様の観察を行った結果、20 kV/cm程度の電界を印加しても、ラメラ状ナノ構造の電場応答が認められなかった(図13)⁽³⁹⁾。この結果はラメラ状ナノ構造が強誘電性の直接の起源ではないことと整合しており、電場応答はより微小なスケールで起きていることが示唆される。X線回折実験では、散漫散乱の電場応答が観察されており、電圧印加でPNRの分極方向が変化すると考えられている⁽⁴³⁾。今後、更に微視的なスケールの電場応答観察により、リラクス-強誘電性の発現メカニズム解明が期待される。

4. さ い ご に

3章で解説したPMNと0.68PMN-0.32PTのナノ構造をまとめた模式図を図14(a)および図14(b)に示す。PMNの「平均」構造はC相的だが、微視的には、数nm程度の大き

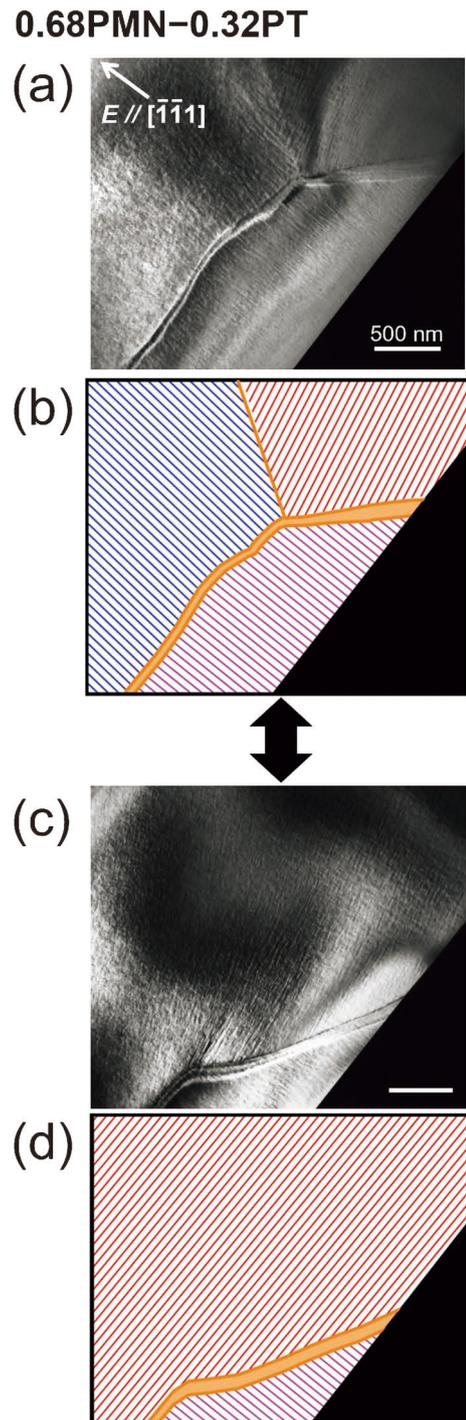


図12 分極処理を行った0.68PMN-0.32PTの電場印加その場TEM観察⁽⁴²⁾。電圧印加前の(a)暗視野TEM像および(b)ドメイン構造、電圧印加中の(c)暗視野TEM像および(d)ドメイン構造をそれぞれ示す。(オンラインカラー)

さのCOR、PNRないしナノドメインが形成されており、強誘電性の担い手はPNRないしナノドメインである。また図示はしていないが、反強誘電的秩序的な構造の存在⁽⁴⁴⁾やCORとの相関も報告されている⁽¹⁶⁾。さらに、極性構造が長距離秩序に発達する予兆としてのラメラ状ナノ構造が弱く存在していることが新たに発見された。電場に対するナノ構造

PMN

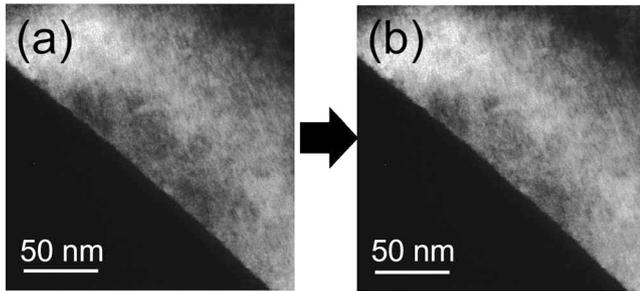


図13 PMNの電場印加その場 TEM 観察⁽³⁹⁾. (a)電圧印加前および(b)電圧印加中の暗視野 TEM 像をそれぞれ示す.

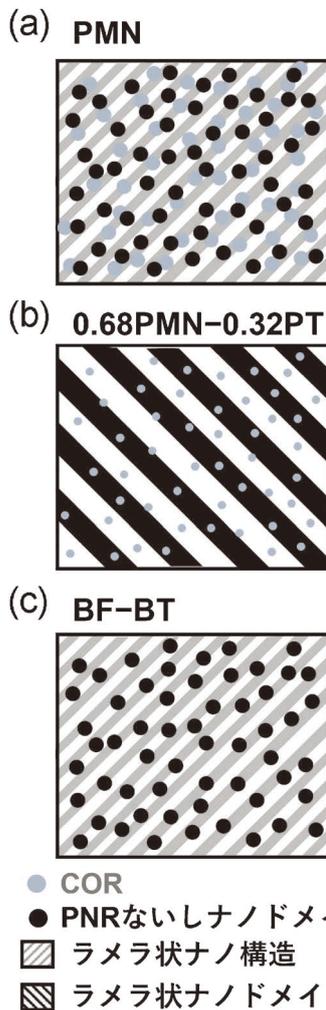


図14 (a) PMN, (b) 0.68PMN-0.32PT, (c) BF-BT のナノ構造の模式図。(オンラインカラー)

の応答の詳細は未解明であり、今後の研究の進展が待たれる。

0.68PMN-0.32PT では、PNR のような等方的なナノ構造は観察されていない。Ti の添加で COR が小さくなることでその影響が弱まり、長距離秩序が発達したからであると考えられる。その結果として形成されたラメラ状ナノドメインは *M* 相と考えられ、電場に対して応答を示す強誘電性を担う

構造である。主要な電場応答のメカニズムはナノドメインの方位変化であり、MPB 型強誘電体が示す高い圧電特性の発現と密接に関連していると考えられる。これはいわゆる「外因性の圧電効果」とされるものであり、例えば、ナノドメインの方位変化で *M* 相 PMN-PT の *b* 軸が *c* 軸と入れ替わると、約0.4%の電界誘起歪みが生じうる⁽³⁵⁾。

最後に、今回紹介したナノ構造は PMN や 0.68PMN-0.32PT に固有なものではない、つまり、リラクサー型強誘電体に共通の特徴である可能性について言及して本稿の締めくくりとする。BiFeO₃ と BaTiO₃ はいずれも強誘電体であり、それらの固溶体である BF-BT (BiFeO₃-BaTiO₃) はリラクサー型強誘電性や高い圧電特性を示す⁽⁴⁵⁾。我々の最近の研究で、BT を20~40%固溶させた BF-BT において、Bi イオンの変位に由来する PNR ないしナノドメインのような極性ナノ構造が存在していることやラメラ状ナノ構造が存在していることが明らかとなった⁽⁴⁶⁾。得られたナノ構造の模式図を(図14(c))に示すが、COR の存在を除くと、構造および特性において、PMN と BF-BT に類似点は多い。また、PMN における COR の役割は、Bi イオンが果たしている可能性がある。BF-BT においては、Ba²⁺ と Bi³⁺ がペロブスカイト型構造の A サイト位置をランダムに占める。Ba²⁺ は単位格子の頂点に位置して変位していないのに対して、Bi³⁺ は<001>方向に変位している「Partial Ordering」の構造となっている⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾。20~40%存在する Bi³⁺ は均一に分布しているが、80~60%存在する Ba²⁺ によって長距離秩序の発達を阻害されており、極性構造の発達がナノスケールに留められていると考えられる。今後、様々なりラクサー型強誘電体における系統的なナノ構造の解析が特性発現メカニズムの全貌解明、ひいては、新規誘電体や圧電体の材料設計指針をもたらすと期待される。

文 献

- (1) A. L. Goodwin: Nat. Commun., **10**(2019), 1-4.
- (2) R. Cohen: Nature, **441**(2006), 941-942.
- (3) R. A. Cowley, S. N. Gvasaliya, S. G. Lushnikov, B. Roessli, G. M. Rotaru: Adv. Phys., **60**(2011), 229-341.
- (4) L. E. Cross: Ferroelec., **76**(1987), 241-267.
- (5) A. Bokov, Z. -G. Ye: J. Mater. Sci., **41**(2006), 31-52.
- (6) D. Fu, H. Taniguchi, H. M. Itoh, S. Koshihara, N. Yamamoto, S. Mori: Phys. Rev. Lett., **103**(2009), 1-4.
- (7) G. A. Smolenskii: J. Phys. Soc. Jpn., **28**(Suppl) (1970), 26-37.
- (8) G. Burns, F. H. Dacol: Phys. Rev. B, **28**(1983), 2527-2530.
- (9) K. Hirota, Z. -G. Ye, S. Wakimoto, P. M. Gehring, G. Shirane: Phys. Rev. B, **65**(2002), 1-7.
- (10) G. Xu, Z. Zhong, H. Hiraka, G. Shirane: Phys. Rev. B, **70**(2004), 1-10.
- (11) I. -K. Jeong, T. W. Darling, J. K. Lee, Th. Proffen, R. H. Heffner, J. S. Park, K. S. Hong, W. Dmowski, T. Egami: Phys. Rev. Lett., **94**(2005), 1-4.
- (12) C. A. Randall, D. J. Barber, R. W. Whatmore: J. Micro., **145**(1987), 275-291.
- (13) R. Blinc, V. Laguta, B. Zalar: Phys. Rev. Lett., **91**(2003), 1-4.
- (14) A. Bosak, D. Chernyshov, S. Vakhrushevc, M. Krisch: Acta. Cryst. A, **68**(2012), 117-123.
- (15) H. Takenaka, I. Gringberg, S. Liu, A. M. Rappe: Nature, **546**

- (2017), 391–395.
- (16) A. Kumar, J. N. Baker, P. C. Bowes, M. J. Cabral, S. Zhang, E. Dickey, D. L. Irving, J. M. LeBeau: *Nat. Mater.*, **20** (2021), 62–67.
- (17) M. J. Krogstad, P. M. Gehring, S. Rosenkranz, R. Osborn, F. Ye, Y. Liu, J. P. C. Ruff, W. Chen, J. M. Wozniak, H. Luo, O. Chmaissem, Z. -G. Ye, D. Phelan: *Nat. Mater.*, **17** (2018), 718–724.
- (18) A. D. Hilton, D. J. Barber, C. A. Randall, T. R. Shrout: *J. Mater. Sci.*, **25** (1990), 3461–3466.
- (19) J. Chen, H. M. Chan, M. P. Harmer: *J. Am. Ceram. Soc.*, **72** (1989), 593–598.
- (20) Y. Yan, S. J. Pennycook, Z. Xu, D. Viehland: *Appl. Phys. Lett.*, **72** (1998), 3145–3147.
- (21) M. J. Cabral, S. Zhang, E. C. Dickey, J. M. LeBeau: *Appl. Phys. Lett.*, **112** (2018), 1–5.
- (22) M. Eremenko, V. Krayzman, A. Bosak, H. Y. Playford, K. W. Chapman, J. C. Woicik, B. Ravel, I. Levin: *Nat. Commun.*, **10** (2019), 1–9.
- (23) S. -E. Park, T. R. Shrout: *J. Appl. Phys.*, **82** (1997), 1804–1811.
- (24) S. Zhang, F. Li, X. Jiang, J. Kim, J. Juo, X. Geng: *Prog. Mater. Sci.*, **68** (2015), 1–66.
- (25) B. Noheda, D. E. Cox, G. Shirane, J. Gao, Z. -G. Ye: *Phys. Rev. B*, **66** (2002), 1–10.
- (26) F. Li, D. Lin, Z. Chen, Z. Cheng, J. Wang, C. -C. Li, Z. Xu, Q. Huang, X. Liao, L. -Q. Chen, T. R. Shrout, S. Zhang: *Nat. Mater.*, **17** (2018), 349–354.
- (27) F. Li, M. J. Cabral, B. Xu, Z. Cheng, E. C. Dickey, J. M. LeBeau, J. Wang, J. Luo, S. Taylor, W. Hackenberger, L. Bellaiche, Z. Xu, L. -Q. Chen, T. R. Shrout, S. Zhang: *Science*, **364** (2019), 264–268.
- (28) Y. Yamashita, N. Yamamoto, Y. Hosono, K. Itsumi: US patent, (2015) US 2015/0372219 A1.
- (29) C. Qiu, B. Wang, N. Zhang, S. Zhang, J. Liu, D. Walker, Y. Wang, H. Tian, T. R. Shrout, Z. Xu, L. -Q. Chen, F. Li: *Nature*, **577** (2020), 350–354.
- (30) P. Bonneau, P. Garnier, G. Calvarin, E. Husson, J. R. Gavarrri, A. W. Hewat, A. Morrel: *J. Solid State Chem.*, **91** (1991), 350–361.
- (31) K. Momma, F. Izumi: *J. Appl. Crystallogr.*, **44** (2011), 1272–1276.
- (32) A. K. Singh, D. Pandey: *Phys. Rev. B*, **67** (2003), 1–12.
- (33) D. Vanderbilt, M. H. Cohen: *Phys. Rev. B*, **63** (2001), 1–9.
- (34) H. Wang, J. Zhu, N. Lu, A. A. Bokov, Z. -G. Ye, X. W. Zhang, *Appl. Phys. Lett.*, **89** (2006), 1–3.
- (35) Y. Sato, T. Hirayama, Y. Ikuhara: *Appl. Phys. Lett.*, **104** (2014), 1–4.
- (36) Y. M. Jin, Y. U. Wang, A. G. Khachatryan, J. F. Li, D. Viehland: *J. Appl. Phys.*, **94** (2003), 3629–3640.
- (37) Y. Sato, T. Mizoguchi, N. Shibata, H. Moriwake, T. Hirayama, Y. Ikuhara: *Appl. Phys. Lett.*, **95** (2009), 1–3.
- (38) S. J. Pennycook, D. E. Jesson: *Ultramicroscopy*, **37** (1991), 14–38.
- (39) Y. Sato, S. Fujinaka, S. Yamaguchi, R. Teranishi, K. Kaneko, T. Shimizu, H. Taniguchi, H. Moriwake: *J. Mater. Sci.*, **56** (2021), 1231–1241.
- (40) Y. Sato, T. Hirayama, Y. Ikuhara: *Appl. Phys. Lett.*, **100** (2012), 1–4.
- (41) Y. Sato, T. Hirayama, Y. Ikuhara: Unpublished work.
- (42) Y. Sato, T. Hirayama, Y. Ikuhara: *Phys. Rev. Lett.*, **107** (2011), 1–5.
- (43) G. Xu, Z. Zhong, Y. Bing, Z. -G. Ye, G. Shirane: *Nat. Mater.*, **5** (2006), 134–140.
- (44) A. Tkachuk, H. Chen: *AIP Conf. Proc.* **677** (2003), 55–64.
- (45) S. Kim, G. P. Khanal, H. -W. Nam, I. Fujii, S. Ueno, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, S. Wada: *J. Appl. Phys.*, **122** (2017), 1–8.
- (46) S. Kim, R. Miyauchi, Y. Sato, H. Nam, I. Fujii, S. Ueno, Y. Kuroiwa, S. Wada: *Adv. Mater.* **35** (2023), 1–11.
- (47) Y. Kuroiwa, S. Kim, I. Fujii, S. Ueno, Y. Nakahira, C. Moriyoshi, Y. Sato, S. Wada: *Commun. Mater.*, **1** (2020), 71 1–8.



佐藤幸生

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

2006年 東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了。博士(科学)

2010年 東京大学大学院工学系研究科 助教, 2014年九州大学大学院工学研究院 准教授

2023年4月-現職

専門分野: 電子デバイス, 誘電体, 半導体, 電子顕微鏡

◎透過型電子顕微鏡法を中心とした手法で半導体デバイスなどの微構造解析に従事

E-mail: sato-yukio@kumamoto-u.ac.jp

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

高圧水素ガスによる純ニッケル および銅ニッケル合金の水素脆化

和田 健太郎*

1. はじめに

このたびは、私がこれまで取り組んできた研究および将来展望を紹介する機会を与えていただきましたこと、この場を借りて心よりお礼申し上げます。私は2020年3月に九州大学にて博士学位を授与された後、福岡大学での助教を経て、2022年4月より国立研究開発法人物質・材料研究機構に所属しています。博士課程在学中からこれまで、材料の強度特性に及ぼす水素の影響に注目して研究を行ってきました。今回は、博士論文のテーマであり、学位授与後にも継続して取り組んできた研究である、純ニッケルおよび銅ニッケル合金の水素脆化に関する研究についてご紹介させていただきます。もしご関心をお持ちいただけましたら、文献⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾もご参照いただければと存じます。

2. 研究の背景

カーボンニュートラルの実現に向け、今後ますます水素エネルギーの利活用が広がる見込みである。さらなる低コスト化や利用範囲の拡大にあわせて、水素利用機器の使用材料が曝される環境(温度・圧力など)や材料に求められる特性が多様化している。

一方、水素環境において金属材料を使用するには水素脆化に留意する必要がある。金属材料を水素ガスに曝露すると、材料内部に水素原子が固溶する。固溶した水素原子は他の原子と同様に金属原子と相互作用し、材料特性を種々に変化させる。金属材料において固溶水素は悪い方向に作用することが多く、延性を低下させたり、疲労特性を悪化させたりする⁽⁶⁾。こうした水素脆化が生じるメカニズムとして、固溶

水素により転位の性質が変化すること⁽⁷⁾や原子間結合力が低下すること⁽⁸⁾、原子空孔やそのクラスターが安定化すること⁽⁹⁾などが提案されている。また、材料への水素侵入や材料内部における水素トラップなど、各メカニズムの発現に至るまでの素過程についても鋭意的に研究され、多くの理論が確立されている。これらに基づき、様々な金属の水素脆化が説明される。

本論文で紹介する純ニッケルは、水素により粒界破壊が助長されて延性低下することが知られている⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾。一方、同じく fcc 構造を有する純銅はほとんど延性低下しない⁽⁸⁾。「同一の結晶構造を持ちながらもニッケルと銅で水素適合性が大きく異なるのはなぜか」という疑問が、本稿で紹介する研究の出発点である。この疑問に答えるため、本研究ではこれら両極端の耐水素脆化特性を有する金属の合金である銅ニッケル二元合金に注目した。銅とニッケルが全率固溶体を形成し、なおかつすべての合金比率において安定な fcc 構造を有することも、この合金系を研究対象に選択した理由の一つである。本稿の前半では議論の軸となる純ニッケルの水素脆化メカニズムを紹介する。後半では、そのメカニズムを基に、銅ニッケル合金の水素脆化について議論する。

3. 純ニッケルにおける水素脆化

少量溶解および熱間圧延により作製した純ニッケルの板材を対象とし、低ひずみ速度引張(slow strain rate tensile: SSRT)試験を行った。SSRT 試験前に試験片を100 MPa、270°Cの水素ガスに曝露することで材料に水素を固溶させる処理(水素チャージ)を施している。これにより延性に及ぼす水素の影響を調査した。

図1(a)に、応力-クロスヘッド変位線図を示す⁽¹⁾。水素チ

* 国立研究開発法人物質・材料研究機構；研究員(〒305-0047 つくば市千現1-2-1)
High-pressure Gaseous Hydrogen Embrittlement of Pure Nickel and Copper-nickel Alloys; Kentaro Wada (Cryogenic Fatigue Property Group, National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba)
Keywords: hydrogen embrittlement, pure nickel, copper-nickel alloys, slow strain rate tensile tests, high-pressure hydrogen gas
2023年10月2日受理[doi:10.2320/materia.62.789]

ャージを行っていない材料(未チャージ材)はネッキングを伴い延性的に破断したのに対し、水素チャージ材はネッキングを伴わずに早期破断した。図1(b-1)および(b-2)に破面写真を示すが、水素により破面形態がディンプル(b-1)から粒界ファセット(b-2)へと遷移したことが分かる。このような現象は、結晶粒界へ水素が集積し、集積した水素が粒界破壊を助長することによって生じたと考えられる。ここでは特に結晶粒界に水素が集積する過程に注目し、そのメカニズムを議論する。結晶粒界へ水素が集積するメカニズムとして、転位による水素の運搬⁽¹¹⁾⁽¹²⁾および熱力学的な水素トラップ⁽¹⁰⁾が候補となる。

まず転位による水素の運搬⁽¹¹⁾⁽¹²⁾について議論する。有限要素解析を行った先行研究において、刃状転位の周辺に形成される弾性応力場に水素が濃化することが示されている⁽⁷⁾。形成された水素雰囲気は転位とともに移動できると考えられており、これが転位による水素の運搬メカニズムである。ただし、このメカニズムが作用する温度域は限られている。転位が水素原子を引きずっているときにはセレーションが発生することが報告されている⁽¹¹⁾。このセレーションは -120°C 以下の温度域で消失する⁽¹¹⁾ことから、この温度以下では転位運動に対して水素拡散が追いつかず、転位による水素の運搬が生じなくなると推察される。そこで、 -196°C にてSSRT試験を行ったところ、常温同様、水素チャージにより純ニッケルの延性が低下した⁽¹⁾。このことから、転位による水素の運搬は純ニッケルの水素脆化において必ずしも必要で無いと結論づけた。

次に、熱力学的平衡による水素トラップ挙動を調査した。調査において重要となるのは、結晶粒界にトラップされた水素を可視化することおよびトラップされた水素量を定量的に

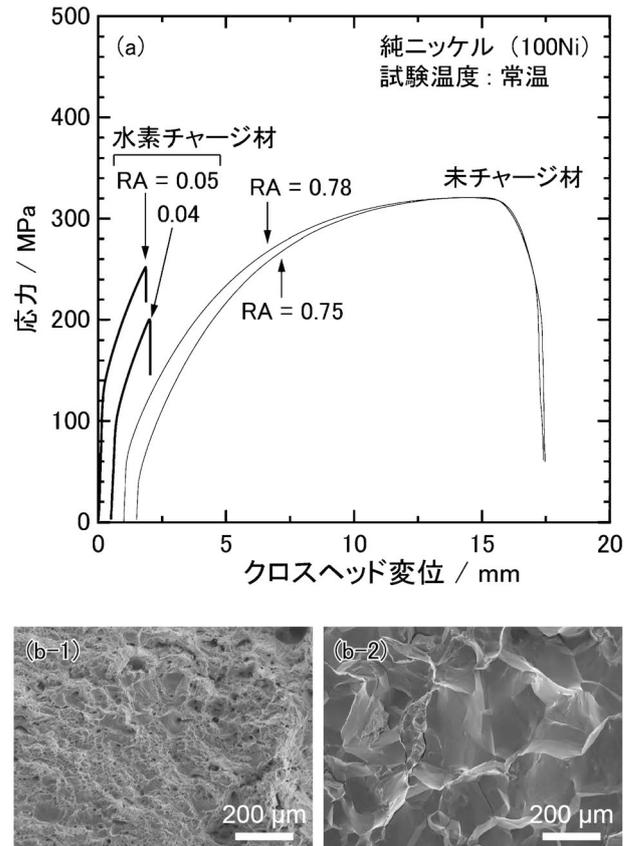


図1 常温における純ニッケル(100Ni)の(a)応力-クロスヘッド変位線図および(b-1)未チャージ材と(b-2)水素チャージ材の破面写真⁽¹⁾⁽⁴⁾。グラフ中の数値は絞り(relative reduction in area: RA)を示す。

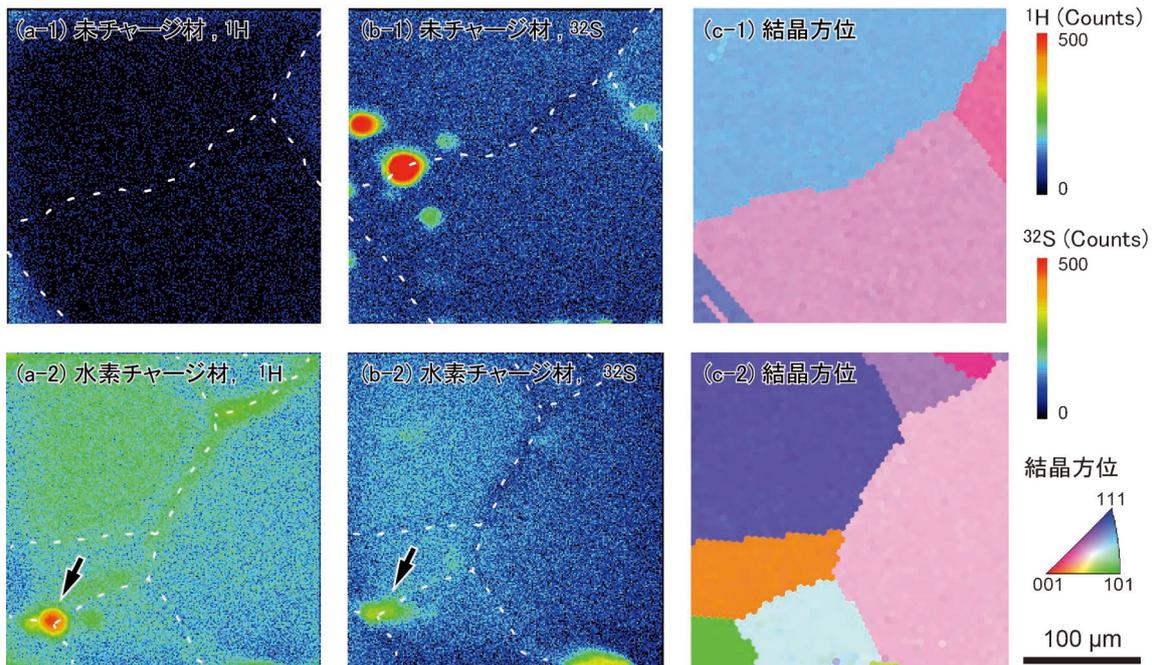


図2 二次イオン質量分析により分析した純ニッケル(100Ni)の(1)未チャージ材および(2)水素チャージ材における、(a) ^1H および(b) ^{32}S のマッピングと(c)結晶方位マッピングとの比較⁽²⁾。図中の白破線は結晶粒界を示す。

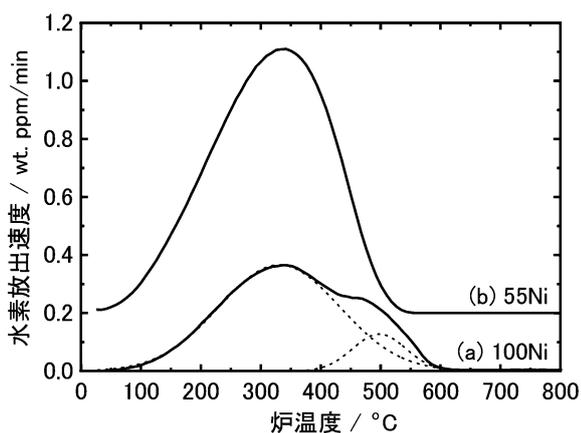


図3 (a)100Niおよび(b)55NiのTDSプロファイル⁽¹⁾⁽⁴⁾.

求めることの2点である。まずは前者を解決するため、二次イオン質量分析により、結晶粒界近傍における水素トラップ挙動の解明を試みた。図2(a)に、未チャージ材および水素チャージ材における¹Hのマッピングを示す⁽²⁾。図中には白破線にて結晶粒界を重ねてプロットしている。未チャージ材では¹Hがほとんど検出されなかったのに対し、水素チャージ材では明瞭な¹Hの信号が検出された。結晶粒によって¹Hの信号強度が異なるが、これは結晶方位によりエッチングレートが異なるためである。結晶粒ごとのコントラスト以外に、結晶粒界に沿った信号の立ち上がりが認められる。これは結晶粒界にトラップされた水素による信号である。これにより、平衡状態で結晶粒界への水素トラップが存在することが示された。また、³²Sのマッピング(図2(b))と見比べると、³²Sが偏析しているのと同じ箇所(図中黒矢印)に¹Hの信号が認められる。このことは、硫黄にも水素をトラップする効果があることを示唆している。本稿では割愛するが、文献⁽³⁾では粒界偏析した硫黄と水素の相互作用をより詳細に調査している。

続いて、結晶粒界にトラップされた水素濃度の分析を行うため、昇温脱離分析(thermal desorption spectrometry: TDS)を行った。図3に、水素チャージ材を一定速度で昇温した際に放出される水素量を、放出温度で整理したグラフ(TDSプロファイル)を示す⁽²⁾。(a)100Niのグラフに示すように、ピーク分離を行うことで、固溶水素と結晶粒界にトラップされた水素を分離することができる。TDSプロファイルをピーク分離した結果、75.7 wt. ppmのバルク水素濃度に対し、7.7 wt. ppm程度のトラップ水素が存在することが分かった。

4. 銅ニッケル合金における水素脆化

3章にて使用した純ニッケル(100Ni)と同等のプロセスにより、ニッケル量が質量比で90%(90Ni)、70%(70Ni)、55%(55Ni)、30%(30Ni)、10%(10Ni)となる銅ニッケル合金および純銅(0Ni)を作製した。試験手順については3章と同様である。

図4に、55Niの応力-クロスヘッド変位線図を示す⁽¹⁾⁽⁴⁾。

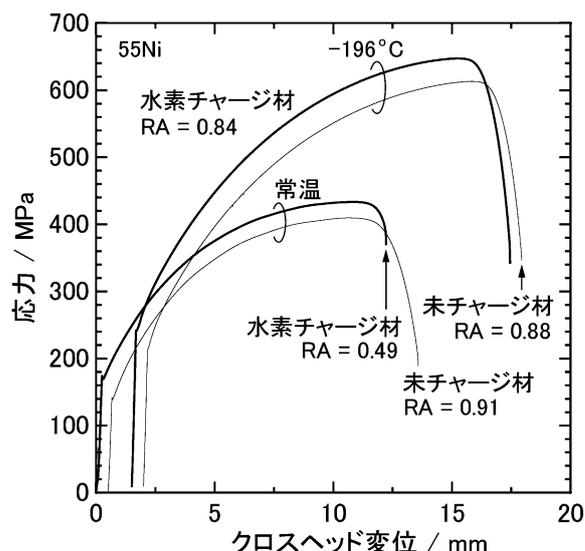


図4 常温および-196°Cにおける55Niの応力-クロスヘッド変位線図⁽¹⁾⁽⁴⁾。

100Niの場合と異なり、-196°Cにおいて55Niの延性に対する水素の影響はほとんど確認されなかった。本稿では紙面の都合上割愛するが、破面形態に対しても水素の影響は認められなかった⁽¹⁾。このことから、55Niの水素脆化においては、転位による水素の運搬が必要であると考えられる。この理由を考察するため、TDSによる水素トラップ挙動の分析を行った。図3(b)に、55Ni水素チャージ材のTDSプロファイルを示す⁽⁴⁾。100Niの場合には結晶粒界にトラップされた水素に対応するピークが確認できたのに対し、55Niの場合にはそのピークが確認されなかった。すなわち、55Niでは結晶粒界への水素トラップが存在しないか非常に弱いと考えられる。以上の結果を総括すると、55Niにおいては結晶粒界の水素トラップ能が小さく、熱力学的平衡により結晶粒界に存在する水素量は粒界破壊を生じるのに不十分であるとされる。この場合には、転位による結晶粒界への水素の追加供給が、粒界破壊を引き起こすのに必要である。

ここまでで100Niと55Niの水素脆化メカニズムが異なることが明らかとなったが、次の関心は「どのくらいのニッケル/銅比率のときにメカニズムが切り替わるか」である。そこで、冒頭に示した銅ニッケル合金を対象にSSRT試験を実施した。それぞれの試験結果の詳細については、文献⁽⁴⁾を参照いただきたい。図5に、試験結果を総括したグラフを示す。縦軸の変数である相対絞り(relative reduction in area: RRA)は水素脆化の程度を示す指標の一つで、(水素チャージ材の絞り/未チャージ材の絞り)により計算している。この調査の難しい点として、水素の固溶度がニッケル/銅比率に大きく依存することが上げられる。最も水素を固溶するのが55Niであり、100 MPa、270°Cにて水素チャージした際の飽和水素濃度は139.0 wt. ppmである。一方、最も水素を固溶しないのは0Niで、上記条件での飽和水素濃度は1.3 wt. ppmであり、55Niにおける飽和水素濃度の1/100程度である。これでは延性低下量の比較が公平にできないため、固溶水素濃度とRRAとの間に直線的な関係があるという少々強

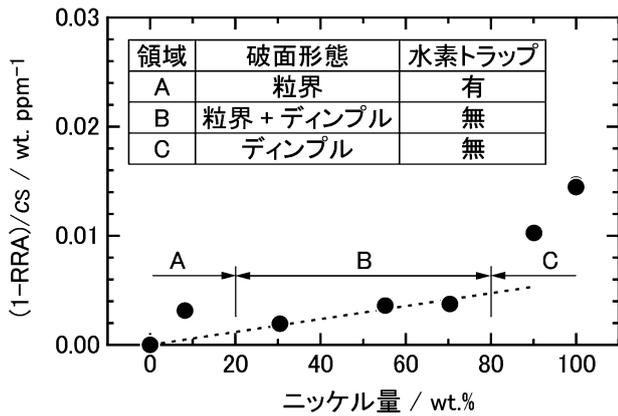


図5 延性低下量とニッケル量の関係⁽⁴⁾。

引な仮定の元, RRA を飽和水素濃度で正規化した. さらに延性低下量を示すパラメータとするための指標の修正を行い, 最終的に図5の縦軸には(1-RRA)/ c_s を採用した.

グラフを確認すると, ニッケル量80%付近を境に回帰線の傾きが変化することが分かる. 加えて, TDS プロファイルを確認すると, ニッケル量80%を超えた場合にのみ水素トラップに対応するピークが存在した⁽⁴⁾. さらに, 100Ni と 90Ni の破面は全面が粒界ファセットで覆われていたのに対し, ニッケル量80%未満ではデンプルが混在する破面であった⁽⁴⁾. これらの結果は, 水素脆化に至るプロセスがニッケル量80%を境に変化することを示している. TDS プロファイルのニッケル量依存性を踏まえると, 結晶粒界の水素トラップ能の違いが, 水素脆化メカニズムの変化に影響を及ぼしたと考えられる.

5. 将来展望

今後の展望として, 大きく2つの方向性を考えている. まず, 純ニッケルやニッケル合金において水素による粒界破壊を抑制するための方策を確立する. そのためには, 結晶粒界への水素集積の阻害と, 結晶粒界の強化の両方を検討する必要がある. これまで積み上げてきた測定手法と現所属の研究環境を生かし, 材料の調製~力学試験~各種分析を一貫して行うことで, この課題を解決していく.

2つめの方向性として, 粒界拡散に注目する予定である. 純ニッケルの結晶粒界は, 水素のトラップサイトおよび高速拡散経路⁽¹³⁾の2つの性質を持っている. これまでの研究では主に前者に注目してきたが, 純ニッケルの水素脆化メカニズムを完全に理解するためには後者についても解明する必要がある. 現在, 粒界拡散による水素侵入と破壊が同時に起こる場合の破壊挙動調査を進めており, トラップ水素が存在しない場合にも粒界破壊が助長され延性低下することが分かっている⁽⁵⁾. このことは, 従来提案されてきたものとは別のメカニズムにより純ニッケルが水素脆化することを示唆している. 今後, 温度とひずみ速度依存性をキーワードに, さらなる現象の解明を計画している. 現状では中空試験片⁽¹⁴⁾を用いた高圧水素環境中での力学試験を計画しているが, それに

加えて結晶粒界に沿った水素の拡散係数を正確に測定する必要があるとも考えている. 特に合金元素が変化した場合や粒界析出元素が存在する場合にこの拡散係数がどのように変化するかという点に関心を持っている. 測定手法として透過法が最適であると考えているが, 著者のみでは実施困難なため, ご協力いただける方を探しているところである.

6. おわりに

本稿では, 私がこれまで取り組んできた純ニッケルと銅ニッケル合金の水素脆化に関する研究を紹介させていただきました. これら金属の水素助長破壊は特徴的な形態を伴うことから, 水素脆化に関する基礎研究の対象として大きな魅力を持っています. 今後もこの魅力的な金属の研究を続けつつ, より幅広い材料へ関心を広げていきたいと考えておりますので, 本稿で紹介した試験や分析手法などでご協力できることがありましたら, ご連絡いただけますと幸甚です.

末筆ながら, 本研究遂行にあたりご指導いただきました九州大学の松永久生教授, 福岡大学の山辺純一郎教授, 研究室の先輩方, そして試験や観察をご支援いただきました方々に心よりお礼申し上げます. なお, 本研究の一部は JSPS 科研費 21K14049 の助成を受けて遂行いたしました.

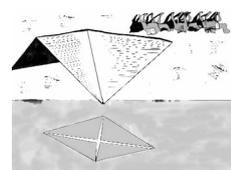
文 献

- (1) K. Wada, J. Yamabe, Y. Ogawa, O. Takakuwa, T. Iijima and H. Matsunaga: *Mat. Sci. Eng. A*, **766**(2019), 138349.
- (2) K. Wada, J. Yamabe and H. Matsunaga: *Materialia*, **8**(2019), 100478.
- (3) 和田健太郎, 柴田千博, 山辺純一郎: *材料*, **72**(2023), 453-459.
- (4) K. Wada and J. Yamabe: *Int. J. Hydrogen Energy*, **46**(2021), 39577-39589.
- (5) K. Wada, C. Shibata, H. Enoki, T. Iijima and J. Yamabe: *Mat. Sci. Eng. A*, **873**(2023), 145040.
- (6) 秋山英二: *まてりあ*, **56**(2017), 230-233.
- (7) H.K. Birnbaum and P. Sofronis: *Mat. Sci. Eng. A*, **176**(1994), 191-202.
- (8) A.R. Troiano: *Transactions of ASM*, **52**(1960), 54-80.
- (9) M. Nagumo: *Mat. Sci. Tech.*, **20**(2004), 940-950.
- (10) D.H. Lassila and H.K. Birnbaum: *Acta Metall.*, **34**(1986), 1237-1243.
- (11) T. Boniszewski and G.C. Smith: *Acta Metall.*, **11**(1963), 165-178.
- (12) M.L. Martin, B.P. Somerday, R.O. Ritchie, P. Sofronis and I.M. Robertson: *Acta Mater.*, **60**(2012), 2739-2745.
- (13) T. Tsuru and R.M. Latanision: *Scr. Metall.*, **16**(1982), 575-578.
- (14) 緒形俊夫: *日本金属学会誌*, **72**(2008), 125-131.



和田健太郎

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 2020年3月 九州大学大学院工学府博士後期課程修了
 主な略歴
 2020年4月 福岡大学工学部助教
 2023年4月- 現職
 専門分野: 水素脆化, 金属疲労
 ◎ニッケル合金やステンレス鋼の水素脆化に関する研究に従事.
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



2. 特性の計測評価

2-1 力学特性

2-1-5 ビッカース硬さ試験

谷 垣 健 一*

2-1-5-1 はじめに

硬さ試験は材料の微小部分における力学特性を評価する手法として、大学の研究室から産業界は製造の現場まで幅広く用いられています。本稿では数多く存在する硬さ試験法の中でも特にビッカース硬さ試験を中心に、測定の考え方から実際の試験における注意点、結果の解釈や利用法などについて解説します。

2-1-5-2 硬さとは⁽¹⁾⁻⁽³⁾

材料の「硬さ」とは、小さな測定子によって材料表面に外力を加えた際に、材料が示す変形抵抗のことを指します。材料の変形は、荷重を除荷した際に回復する弾性変形と、永久的に変形が残ってしまう塑性変形に大別されますが、本稿で中心的に取り上げるビッカース硬さ試験を始め、現在使用される多くの硬さ試験は材料に残った小さな傷のような変形痕をもとに評価を行うため、このような試験では実質的に塑性変形に対する評価を行っていると理解できます。

材料の力学特性を調査する手法として最も基本となるのは引張試験と考えられますが、これは試料中央に設けられた平行部を均一に変形させているため、材料の平均的な力学特性を取得することができます。一方、硬さ試験は材料表面の局所的な変形から力学特性を評価できるという特徴があります。このため、表面近傍の力学特性に着目したい場合、例えば表面焼き入れ硬化の評価手法として広く用いられています。また、硬さ試験では一つの試料に対して複数回の試験を行うことが容易なため、例えば熱や加工などの履歴にともなう材料の力学特性の変化を、単一の試料を用いて個体差を気にすることなく調査することが可能になります。別の例を挙げると、例えば先進の半導体材料は大型の試料の製作が難し

く、制作費が非常に高価になることも多い研究対象です。脆性材料の場合は引張試験ではなく圧縮試験が用いられることが多いですが、やはり力学的評価のために試料を毎回破壊しては試験コストが高くなります。このような場合にも、硬さ試験によって小さな傷で評価できれば合理的に研究を進めることができます。

硬さ試験は他の試験法と比べて試験対象を大きく損壊することなく力学特性を評価できるので、分野によっては非破壊的検査に分類されることもあります。例えばものづくりの現場においては、製品の性能に差し支えない程度の小さな圧痕で評価できることが大きな意味を持ち、硬さ試験は品質検査のための重要な手法の一つとなっています。

ここではいくつかの例を挙げるにとどめますが、硬さ試験にはわずかなダメージだけで材料の表面における力学特性を比較的簡便に評価できるという強みがあります。また他の力学的試験と比較して比較的荷重が小さいことから装置もコンパクトに納まることが多く、導入のハードルが比較的低いことも手伝って産学問わず幅広い場面で用いられています。

一方で、硬さは物理量ではなく工業量であり、今日において統一的な数値的定義が存在しないという点には注意が必要です。このことから、硬さと他の力学的指標との関係は曖昧なままの点が多く残されています。また、これまで多くの研究者が独自に様々な硬さ試験法を提案してきた結果、異なる硬さ指標の間の変換についての理論式が存在することはほとんどなく、基本的には数値表を用いて参照することになります。さらに言えば、同じ硬さ指標の中でも実験条件によって直接比較できないこともあり、得られた結果の扱いには注意を要します。

2-1-5-3 ビッカース硬さ試験の原理⁽⁴⁾

ビッカース硬さ試験法は、Vickers社のSmithとSan-

* 大阪電気通信大学；准教授(〒572-0833 寝屋川市初町18-8)

Experimental Guides for Metallic Materials 2. Measurement and Evaluation of Material Properties 2-1 Mechanical Properties 2-1-5 Vickers Hardness Testing; Kenichi Tanigaki* (*Osaka Electro-Communication University, Neyagawa)

Keywords: Vickers hardness, Brinell hardness, Knoop hardness, Rockwell hardness, Shore hardness, tensile strength, mechanical properties

2023年10月13日受理[doi:10.2320/materia.62.793]

dlandによって1925年に発表されました。この手法はピラミッド状のダイヤモンド製圧子(図1)を材料表面に一定荷重で押しつけ、取り除いた後に表面に残された圧痕の大小により硬さを評価するというものです(図2)。

ビッカース硬さHVの値は、具体的には荷重と圧痕表面積によって次のように定義されます。

$$HV = \frac{1}{g_n} \frac{F}{A} \quad (1)$$

ここで、 g_n [m/s²]は標準重力加速度(Nとkgfの変換係数)であり、 F [N]は押し込み荷重、 A [mm²]は圧痕の表面積です。係数を乗じることによって荷重をNからkgfに変換して計算していますが、これはビッカース硬さの開発がSI単

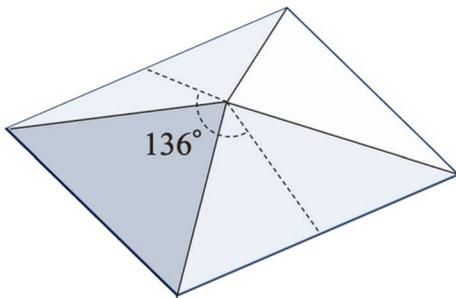


図1 ビッカース圧子の模式図。ビッカース圧子はダイヤモンド製の正四角錐であり、通常は頂点を下に向けて上方より試料表面に押し付けられます。対面角 $\alpha=136^\circ$ は正対する二つの面の開き角であり、峰に沿った開き角ではないことに注意してください。

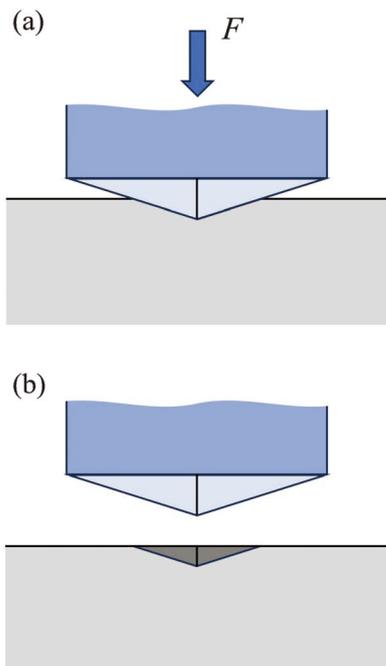


図2 ビッカース硬さ試験の模式図。(a) 圧子を試料表面に荷重 F で押し付け、(b) 一定時間保持後に圧子を取り除くことで試料表面に圧痕(永久くぼみ)が残ります。この圧痕の表面積と荷重からビッカース硬さが算出されます。

位系の成立時期よりも古いために、本来の定義では荷重の単位としてkgfを用いることになっていたことに起因しています。同様に、規定の荷重においてもkgf単位時代に定められているため、N単位ではキリの悪い数字が使われています(例えば、 $0.1 \text{ kgf} = 0.9807 \text{ N}$ など)。現在の視点においてはややスマートではないように感じるかもしれませんが、これにより過去の膨大なデータとの一貫性が保持されているとも考えられます。

ビッカース圧子の形状は、対面角 136° の正四角錐と定められています。圧子が材料表面に対して垂直に押し付けられた時、圧痕の形状を圧子と同じ正四角錐と仮定することにより、表面観察による圧痕寸法から表面積を計算できます。ビッカース圧痕の表面における形状は正四角錐の底面に相当するため正方形となります(図3)。その対角線長さ d_1 [mm]および d_2 [mm]を計測することにより、圧痕の平均対角線長さ d [mm]を算出します。

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2)$$

この時、圧痕の表面積は対面角 α を用いて次のように示されます。

$$A = \frac{d^2}{2 \sin(\alpha/2)} \quad (3)$$

以上より、ビッカース硬さHVは押し込み荷重 F [N]と表面における圧痕の平均対角線 d [mm]から次のように求められます。

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (4)$$

ここで、標準重力加速度 g_n およびビッカース圧子の対面角 α の具体的な数値はそれぞれ、 $g_n = 9.80665$ [m/s²]および $\alpha = 136^\circ$ です。

2-1-5-4 硬さの相似則

四角錐圧子は押し込み荷重に対する圧痕形状が一定となる

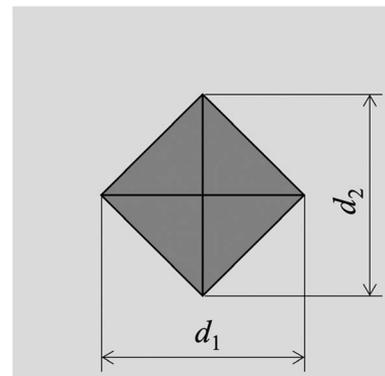


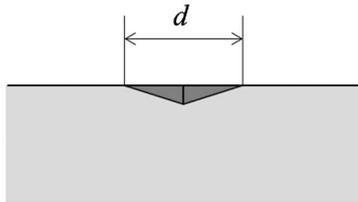
図3 ビッカース圧痕の模式図。ビッカース圧子の形状は正四角錐ですので、試料表面に対して垂直に押し付けた場合の圧痕を真上から観察すると正方形に見えます。圧痕の寸法は二つの対角線長さ d_1 および d_2 から算出される平均対角線長さ $d = (d_1 + d_2)/2$ となります。

ため、押し込み荷重と圧痕表面積が比例します(図4)。このことから異なる荷重を用いたとしても、同じ硬さを持つ材料に対してビッカース硬さは原理的に同じ値を示します。これは硬さの相似則と呼ばれ、ビッカース硬さ試験以外にも、後述するスnoop硬さ試験などをはじめ、似たような角錐または円錐形状の圧子を用いる試験法に共通する性質です。硬さ試験において圧痕寸法を厳密に制御することは一般的に容易ではないため、この性質は硬さ値を利用する上では大変便利な性質です。

ただし、式(4)の通り、同じ硬さが得られた場合であっても荷重レベルが大きく異なれば圧痕寸法は大きく異なります。特に小さい荷重を用い圧痕寸法が μm オーダーともなると、材料の状態や微細構造などの要因により、仮に同一の材料に対する試験であっても硬さ試験の結果に影響が出る可能性があります。結果を常に比較可能であるということが保証できません。そこで、ビッカース硬さ試験に関するJIS規格⁽⁴⁾では、硬さ記号HVの後ろに荷重(kgf単位)を続けて示すよう定められています。例えば、荷重 $F=294.2\text{ N}$ (30 kgf)で計測されたビッカース硬さが640 HVであった場合は640 HV 30という表記となります。

また、JIS規格⁽⁴⁾においてHV 5以上はビッカース硬さ試験、HV 0.2以上HV 5未満は低試験力ビッカース硬さ試験、HV 0.2未満はマイクロビッカース硬さ試験と分類されます。通常のビッカース硬さ試験はマクロビッカースと呼ばれることもあり、圧痕寸法が比較的大きいことが特徴です。こ

(a)



(b)

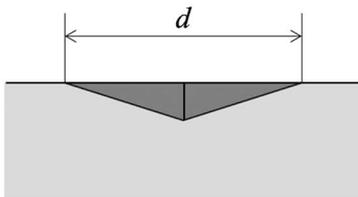


図4 ビッカース硬さ試験における荷重と圧痕形状の関係。(a)低荷重の場合、(b)高荷重の場合。押し込み硬さ試験において荷重が変化すると、荷重にもなって圧痕の深さも変化します。ビッカース圧子のような角錐状の圧子を用いる場合、圧痕の深さが変わってもその圧痕形状が相似形となります。このことから、硬さの測定結果が荷重に依存しないことを硬さの相似則と呼んでいます。

のため試験時に応力場が及ぶ範囲が大きく、圧痕形成において材料中の微細組織が多数関与することから、材料の巨視的な力学特性を得ることが期待できます。一方でマイクロビッカース硬さ試験では材料中の欠陥や空隙、微細な析出物や表面に露出している結晶粒の方位差などの情報を大きく反映させた試験結果を得ることができます。このように、材料の平均的な力学特性(マクロ)から局所的な特性(マイクロ)まで単一の試験機で統一的に評価することが可能な点は、ビッカース硬さ試験の大きな利点の一つとしてあげることができます。

2-1-5-5 ビッカース硬さ以外の代表的な硬さ指標

これまでに多くの硬さ試験法が提案され現在も用いられている理由は、それぞれの手法にそれぞれの良さがあるためです。硬さ試験法はその形式から押し込み硬さ、反発硬さ、引っかかり硬さの大きく三つに分類されていて、ビッカース硬さ試験は材料表面に圧子を押し込み、荷重と圧痕寸法より硬さを評価することから押し込み試験法のカテゴリーに入ります。

• ブリネル硬さ

ブリネル硬さはビッカース硬さに先立ち1890年に開発された押し込み硬さ試験法で、工学分野において現在実用的に用いられている、最も古い硬さ試験法の一つとして知られています。ブリネル硬さ試験では金属球を押し込み圧子として用います(図5)。圧子を材料表面に一定荷重で押し込んだ後に表面に残された圧痕の寸法を二方向から計測し、その平均を圧痕の直径とします(図6)。このとき、ブリネル硬さは押し込み荷重と、圧痕の直径から計算される圧痕表面積によって次式で定義されます。

$$HB=0.102 \frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \quad (5)$$

ここで、 $F[\text{N}]$ は押し込み荷重、 $D[\text{mm}]$ は圧子の直径、 $d[\text{mm}]$ は圧痕の直径です。硬さを圧子の押し込み荷重と圧痕表面積の比として定義するブリネル硬さの考え方は、ビッカース硬さを始め現在用いられているいくつかの硬さ試験法の基礎となっています。また、ビッカース圧子の対面角は 136° と定められていますが、この角度はブリネル硬さ試験においてよく用いられる条件である $d/D=3.75$ の時の材料表面における圧痕の接線角度より決定されたもので、ここもまた、ビッカース硬さとブリネル硬さとの関連を感じさせる設計となっています(図5(b))。

ブリネル圧子の材質は鉄、鋼、超硬合金が使われ、それぞれの圧子に対して硬さの記号もHB、HBS、HBWと異なり、圧子が違えば別の硬さスケールとして扱わなくてはなりません。これは材質によって圧子の変形の影響が異なるためで、現在のブリネル硬さに関するJIS規格⁽⁵⁾では最も変形の影響が小さくなる超硬合金圧子によるHBWのみが規定されています。

また重要な点として、ブリネル硬さ試験においては圧痕の形状が圧子の直径や押し込み荷重に依存するため、硬さの相

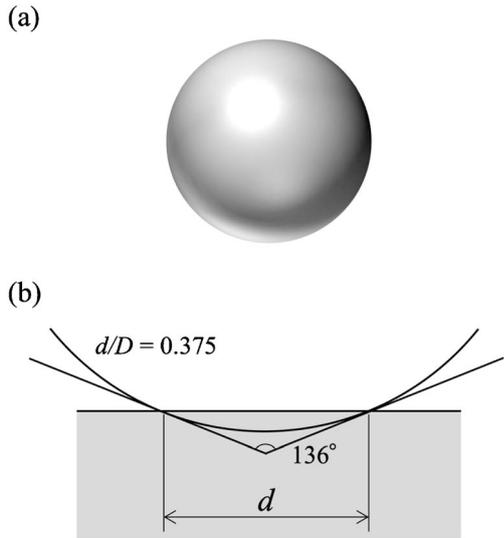


図5 (a)ブリネル圧子の模式図および(b)ビッカース圧子の形状との比較。ブリネル圧子は金属製の球で、ビッカース硬さ試験よりもより大きな圧痕がつくことが特徴です。ビッカース硬さの対面角 136° は、ブリネル硬さ試験でよく用いられる $d/D=0.375$ (d : 圧痕の直径, D : 圧子の直径)の時の表面における接線角度と等しくなるように決定されました。

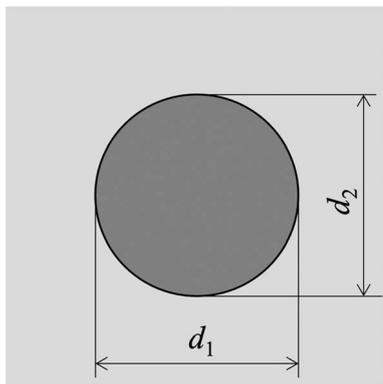


図6 ブリネル圧痕の模式図。ブリネル圧子の形状は球なので、真上から観察した圧痕の形状は円になります。計測時には二方向から寸法を計測し、その平均値 $d=(d_1+d_2)/2$ を圧痕の直径とします。

似則が成立しません(図7)。ブリネル圧子の直径は10 mm, 5 mm, 2.5 mm, および1 mm から選択し、荷重は9.807 N (1 kgf) から29.42 N (3 kgf) の範囲において段階的に定められた中から、圧痕と圧子の直径の比 d/D が0.24~0.6となるように選択することになっていますが、これらの情報も硬さ値に付属して表記しなければ情報としては不正確になってしまいます。そのため前述のJIS規格⁽⁵⁾では、硬さ記号(HBW)の後ろに続けて圧子の直径と荷重を記載するように指定されています。例えば $D=1$ mm, $F=294.2$ N (30 kgf) で計測したブリネル硬さが600 HBWであった場合は、600 HBW 1/30 という表記となります。このことはブリネル硬さの比較を一見複雑にしますが、適切な実験条件を選択することにより幅広い材料に対する試験が可能である試験法とも

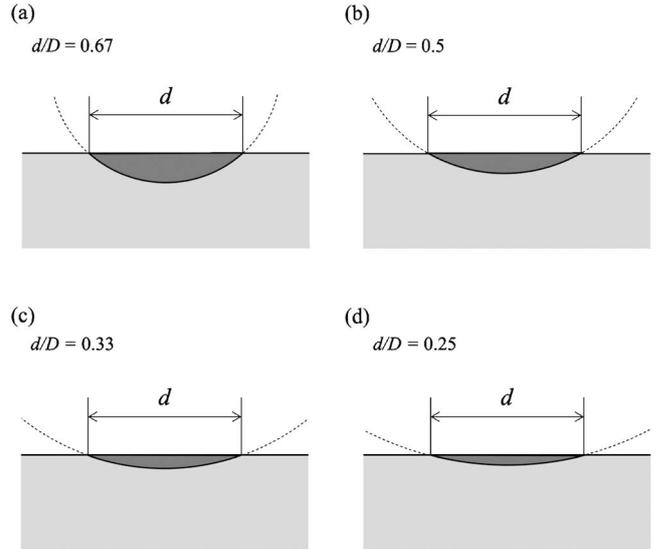


図7 ブリネル硬さ試験における圧痕圧子直径比 d/D と圧痕形状の関係。(a) $d/D=0.67$, (b) $d/D=0.5$, (c) $d/D=0.33$, (d) $d/D=0.25$ 。ビッカース圧子などと異なり、ブリネル圧子は押し込み深さによって圧痕の垂直断面形状が変化します。図は d を一定とした時の模式図ですが、 D が大きいほど圧痕が浅くなり、表面積が異なることがわかります。

言えます。またビッカース硬さ試験法と比較すると圧痕が大きいため、不均一な材料であっても十分に平均化した力学特性が計測できるという利点もあります。

・スnoop硬さ

ビッカース硬さ試験を受けて1939年に開発されたスnoop硬さ試験では、非対称のダイヤモンド四角錐を圧子として用います。スnoop圧子の形状は対稜角 172.5° および 130° で、圧痕の形状は細長い菱形になります(図8)。スnoop硬さ試験はビッカース硬さ試験と比較して同荷重条件での圧痕が小さく浅くなることから、脆性材料の硬さ評価により適していると

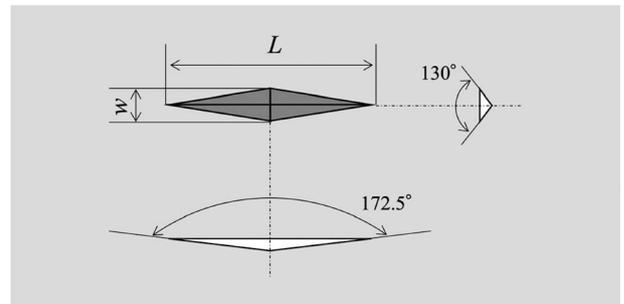


図8 スnoop圧痕の模式図。スnoop硬さ試験では非対象の四角錐ダイヤモンド圧子を用います。その形状はビッカース圧子とは異なり、対面角ではなく対稜角として指定されます。圧痕形状は細長い菱形形状となり、圧痕の寸法計測には長い方の対角線長さ L のみを用います。また、スnoop硬さではビッカース硬さ試験やブリネル硬さ試験と異なり、圧痕の表面積ではなく投影面積を用いて硬さを算出します。

されています。

スnoop硬さは圧痕の表面積ではなく、投影面積で押し込み荷重を除することで次式により硬さが定義されます。

$$HK = 1.451 \frac{F}{L^2} \quad (6)$$

ここで、 F [N]は押し込み荷重で、 L [mm]は圧痕の長い方の対角線長さです。スnoop硬さでは圧痕の短い方の対角線長さを使用しないため、小さい圧痕に対しても寸法をより正確に計測しやすいという利点があります。

圧子の形状から、スnoop硬さにおいても硬さの相似則が成立しますが、やはりピッカース硬さと同様の理由で JIS 規格⁽⁶⁾では硬記号 HK に続いて荷重(kgf 単位)を示すように定められています。例えば、荷重 $F = 9.8062 \text{ N}$ (0.1 kgf) で計測されたスnoop硬さが 640 HK であった場合は 640 HK 0.1 という表記となります。

・ロックウェル硬さ

1919年に開発されたロックウェル硬さは、圧子を材料表面に押し込むという意味ではこれまでにご紹介してきた押し込み試験法と同様ですが、圧痕寸法を計測するための表面観察が不要である点が異なります。ロックウェル硬さ試験ではまず基準荷重 F_0 で圧子を押し付け、初期深さを計測します。その後荷重 F_1 を追加した全試験荷重 $F = F_0 + F_1$ で材料表面を塑性変形させた後にもう一度荷重を基準荷重に戻すと、塑性変形の影響により初期深さよりも圧子の位置が下がります。この深さ方向の変位 h [mm]により、硬さを評価します(図9)。

ロックウェル硬さの基本式は次式で与えられます。

$$HR = N - \frac{h}{S} \quad (7)$$

ここで、 N および S はともにスケールに依存した係数です。

ロックウェル硬さにおけるスケールとは、圧子の種類と試験荷重の組み合わせによって定められた種別です。ロックウェル硬さに関する JIS 規格⁽⁷⁾では A スケールから K スケールまで 9 種類が定められており、さらに通常のロックウェル硬さよりも低い荷重のロックウェルスーパーフィシャル硬さについても 6 種類のスケールが定められています。

ロックウェル硬さで最もよく使われる C スケールでは、圧子は先端角 120° かつ先端の曲率半径 0.2 mm である円錐状ダイヤモンド圧子であり、全試験荷重 F は 1471 N (150 kgf) とされます。このとき式(7)における係数は $N = 100$ および $S = 0.002$ となり、ロックウェル C スケール硬さ HRC は次式で与えられます。

$$HRC = 100 - 500 h \quad (8)$$

ロックウェル硬さは圧痕の寸法を計測する他の押し込み試験法と比較して、光学顕微鏡を用いた圧痕の観察が求められないことから計測手法がシンプルであること、また実験初期に基準荷重で押し込んだ状態から試験を開始するため試料表面の状況に大きな影響を受けないことなどがメリットとされています。反面、深さの読み取り精度に強く依存するため様

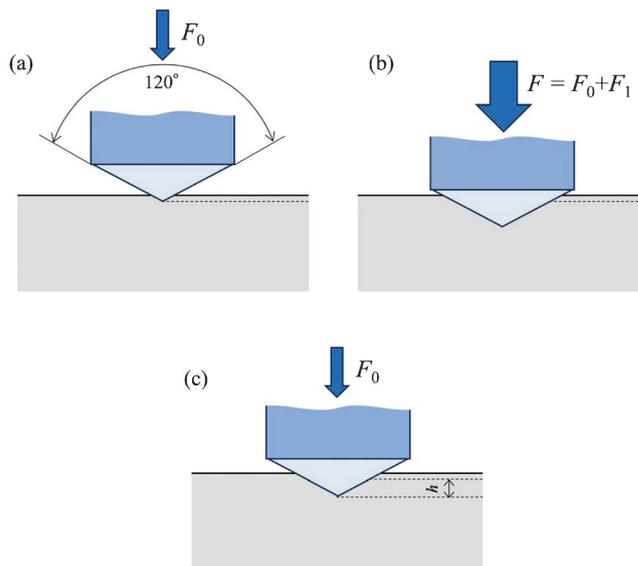


図9 ロックウェル硬さ試験の模式図。ロックウェル硬さ試験では、開き角 120° のダイヤモンド円錐を圧子として用います。(a)まず基準荷重 F_0 で圧子を押し付け、(b)次に荷重 F_1 を追加した全試験荷重 F でさらに押し込みます。(c)再び荷重を基準荷重 F_0 に戻した時、圧子の位置は初期状態よりも深いところで止まりますので、その深さ方向変位 h からロックウェル硬さが求められます。

々な理由により精度が悪化することや、異なるスケール間で値を直接比較することができない点については注意を払う必要があります。

・ショア硬さ

ショア硬さは定められた高さからダイヤモンドハンマーを落下させ、跳ね上がった高さによって硬さを求める手法です。ピッカース硬さを始めとする押し込み硬さ試験法が静的な硬さとすれば、ショア硬さのような反発硬さ試験では動的な硬さが計測されます。

ショア硬さは次式で求められます。

$$HS = k \frac{h}{h_0} \quad (9)$$

ここで h [mm]はハンマーの跳ね上がり高さ、 h_0 [mm]はハンマーの初期高さであり、 k は試験機に依存する係数です。ショア硬さの試験方法に関する JIS 規格⁽⁸⁾ではショア硬さ試験機として C 型(目測型)および D 型(指示型)が定められており、それぞれの試験機型に対する k の値はショア硬さの試験機に関する JIS 規格⁽⁹⁾に 10000/65 および 140 と示されています。

ショア硬さはその仕組みや装置が特に簡便であり、電源も不要であることから持ち運びも可能です。また押し込み硬さ試験法と比較してもほとんど傷が目立たないことから、比較的大きな構造物の健全性試験などで広く活用されています。

• モース硬さ

モース硬さは最も一般的な知名度がある硬さの指標といえるかもしれませんが、モース硬さは硬さ試験の分類としては引っかき硬さ試験法に分類されます。これは「滑石(モース硬さ1)からダイヤモンド(モース硬さ10)まで、10種の代表的な鉱物を互いに擦り付けた時にどちらが傷つくか」という視点によって定められたランキングのようなものであって、定量的な硬さの値を与えるものではありません。したがってモース硬さは工学的な硬さの指標としてはほとんど扱われていませんが、この手法を1812年に発表したモースはドイツの鉱物学者であり、当時の鉱物学者が屋外において鉱物を簡易的に鑑定するにはこの手法は大変有用だったのではないかと考えられます。なお、モース硬さで用いられる10種の鉱物のビッカース硬さを計測するとその関係は直線的ではなく、後半になるほど差が大きくなっていく傾向があることが知られています。のちに提案された修正モース硬さでは、モース硬さの10種に加えてジルコニアや炭化ケイ素などの硬質なセラミックスが主に追加され15段階に拡張されています。

2-1-5-6 ビッカース硬さ試験における圧痕

• 圧痕の形状と寸法

ビッカース硬さ試験における圧痕は、圧子の押し込みによって材料表面が塑性変形した結果と言えます。圧痕の形状は圧子の形状(対面角136°の正四角錐)と同じと仮定されているため、表面の観察時には正方形となります。寸法の正確な計測を容易にするため、通常は観察時に正方形の辺が45°傾くように圧子の取り付け角度が調整されます。この場合、圧痕の対角線の長さ d_1 および d_2 はそれぞれ、圧痕の縦および横の幅を計測した値となります(図3)。

• いびつな圧痕

実際の圧痕を観察すると、形状が正方形ではなく縦横の長さが明らかに異なる場合があります(図10)。これは試験箇所およびその周囲の面内における力学特性の異方性を反映している可能性があります。試験対象が多結晶材料であり、また圧痕が十分に大きく平均的な力学特性が反映されていると考えられるのであれば、集合組織のような巨視的な異方性などがその理由として考えられます。圧痕が小さく結晶粒のサイズに近い、またはそれ以下の場合は、圧痕直下の結晶の方位に依存した力学特性の差が現れている可能性があります。もちろん単結晶試料であれば、圧痕の寸法に関係なくこのような現象が発生する可能性があります。

似たようなケースとして、対角線が交差する位置が中心からずれている場合がありますが、こちらは表面と圧子軸が垂直でないことによって発生します(図11)。傾きが大きくなると式(4)における仮定が崩れるため、圧痕表面積の計算誤差がそのまま硬さの値に影響してくることに注意が必要です。これは試料の材料特性による現象ではないため、このような要因による圧痕形状の異常はなるべく解消するべきです。

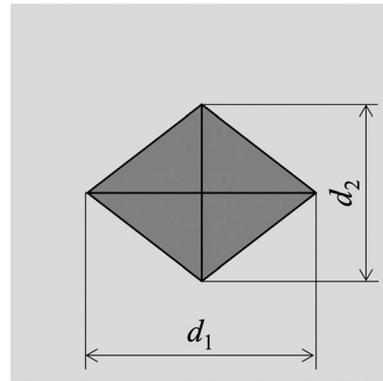


図10 縦横の対角線長さが異なるビッカース圧痕の例。ビッカース圧痕における対角線長さ d_1 および d_2 は理想的には等しくなりますが、材料の異方性などの要因によって異なる場合もあります。

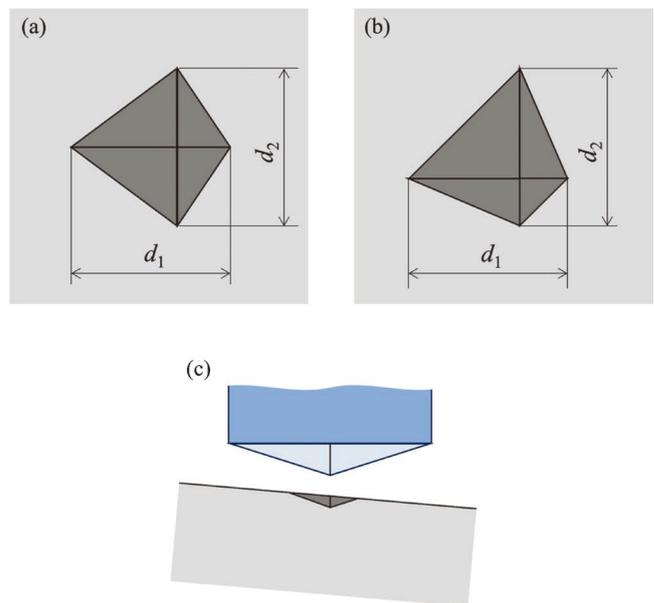


図11 いびつなビッカース圧痕の例。二つの対角線長さに大きな差がない場合でも、圧痕の形状が(a)や(b)のように観察されることがあります。これは、(c)に示すように試料表面と圧子の押し込み軸が垂直でなく傾いている場合に起こります。傾きが大きい場合は表面積の計算結果に影響が出るほか、圧子にも負担がかかるため注意が必要です。

よう。

また、圧痕のそれぞれの辺が直線にならず太鼓型に膨らんだり、逆に糸巻型に痩せていたりすることがあります(図12)。これは圧子の押し込みによって発生する塑性流れに関連すると理解されています。押し込みによって圧子先端の直下に大きな応力が作用するため、先端近傍の材料は早期に降伏し塑性ひずみが発生します。圧子の押し込みと共に塑性ひずみ場は発達しますが、そのさらに外側に広がる弾性変形場によってある程度は周囲に逃がされます。しかし限度を超えた塑性変形の一部は圧子の脇を流れ、表面に盛り上がり形成します。この時、塑性流れはビッカース圧子の面に拘束さ

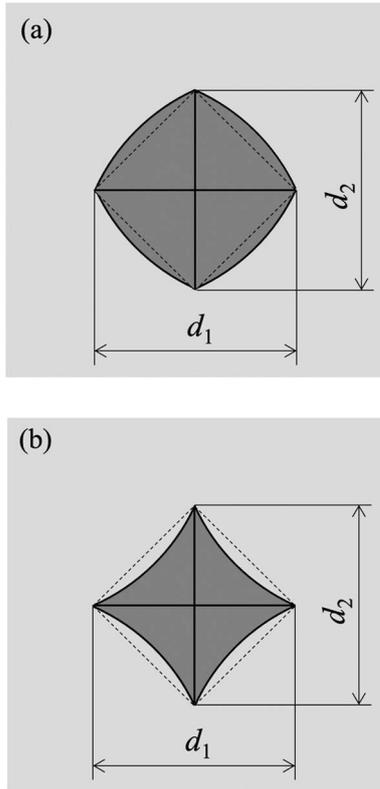


図12 (a) 太鼓型および (b) 糸巻型のビッカース圧痕。材料の塑性変形量や加工効果率などの影響により、圧痕周辺が盛り上がる場合には正方形から各辺が膨らんで太鼓型に、逆に沈み込む場合には瘦せて糸巻型に観察されることがあります。いずれも対角線長さには大きな変化がないため、圧痕形状を正四角錐と仮定した硬さの算出に影響を及ぼします。

れ、圧痕の辺の中央が太鼓型に膨らんで観察されます。また、加工硬化が強く現れる材料では、押し込みにともなって大きな塑性ひずみを受ける圧子近傍の材料強度が向上するため塑性流れが制限され、圧痕の辺の中央部分が沈み込むことで糸巻型に観察されることがあります。太鼓型・糸巻型いずれの場合も対角線方向には大きな影響が出ないため、真の圧痕表面積は式(4)を用いた場合よりも太鼓型の場合は大きく、糸巻型の場合は小さいこととなります。このことは、材料の押し込み抵抗としての硬さと、計測値としてのビッカース硬さの差異を生む原因となります。

その他、明確な法則性や一貫性がなく一見ランダムに感じられる圧痕形状の異常については、材料の不均質性が影響している可能性があります。このような場合には同じ材料の中で場所や圧痕の寸法を変えながら実験を行うことで、原因を探るための情報を得られることがあります。局所的な力学特性が本質的にばらついている材料については、硬さの値がばらつくということ自体が時に有力な実験事実となることもあるため、データの分布の扱いには細心の注意を払う必要があると言えます。

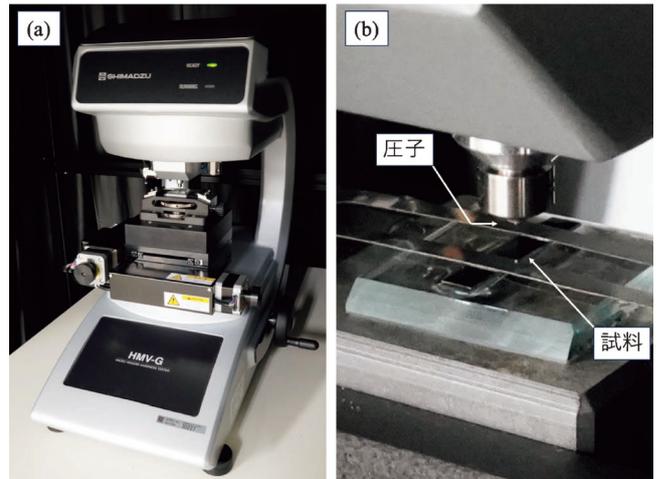


図13 (a) ビッカース硬さ試験機の外観および (b) 試料設置部。本装置(島津製作所 HMV-G31-FA)は試料台に PC 制御による電動 XYZ ステージを備えています。試料はステンレスバンドによって上から試料台に押さえつけられて固定されますが、固定方法は試験機によって異なります。

2-1-5-7 実験上の注意点

• 試験機

ビッカース硬さ試験機(図13)は、試料を固定する台、圧子、荷重負荷用の機構、圧痕観察用の顕微鏡などで基本的に構成されています。観察用の対物レンズは通常の光学顕微鏡のようにレボルバー式となっていることが多く、この場合対物レンズと同じ並びで圧子も固定されます。これにより、レボルバーを回すだけで圧子の押し付けと圧痕の観察を切り替えられ、また倍率を変更しても常に圧痕が視界の中心に位置することから圧痕を探す手間が省けて観察が容易です。近年では接眼レンズ部分をデジタルカメラとし画像を PC に取り込むだけでなく、画像解析ソフトウェアにより圧痕寸法を自動で読み取り硬さ値を算出するもの、さらには電動ステージを備えて大量の試験を全自動でこなし、得られたデータを統計処理するものも販売されています。このように電動化、自動化が進んだ近年では、付属マニュアルを読むことにより未経験者であっても容易に試験を行うことが可能です。一方で、不適切なセッティングに対して機械がエラーを返さず、何も言わずに何らかの値を出してくる可能性は常にありますので、正しい条件設定と結果の確認には実験者が注意を払い続ける必要があると言えるでしょう。

• 試料の表面

試験面となる試料表面は十分に平滑である必要があり、一般的には回転式研磨機を用いたエメリー研磨やバフ研磨によって表面を平面に仕上げ、圧子と表面の関係を理想的なものに近づけます。

特にマイクロビッカース硬さ試験では非常に小さい圧痕を扱うため、圧痕に対する表面粗さや研磨傷の影響が相対的に

増大することから試験面の研磨は特に丁寧に行う必要があります。さらに、機械式研磨においては表面近傍のごく浅い部分に対する塑性加工の影響を免れることができないため、表面直下に転位が導入されることが知られています。圧痕寸法が小さいということは圧痕の深さも浅く、表面の加工硬化の影響が無視できなくなるほど大きくなる可能性があります。この場合は電解研磨などの非機械的研磨を利用することがあります。

また研磨剤の残存を含む異物の付着は試験結果を不正確にするだけでなく、ダイヤモンド圧子の先端を傷つける可能性があるため、注意を払う必要があります。したがって試験前の試料は超音波洗浄を行うことが好ましいと言えます。

もう一つ試験面に求められる条件として、圧子の軸に対して垂直であることが挙げられます。もし圧子の軸と試験面が垂直でない場合、圧痕形状が正方形ではなくなることから式(4)の仮定が崩れ、硬さの算出結果に悪影響が出る可能性があります。通常、圧子の軸は試験機のメンテナンスにより試料台に対して垂直であるように調整されるため、この条件は試料の上下面が並行であると読み替えても多くの場合差し支えありません。

研磨も含め、試料寸法や形状の都合によりこれらの準備が困難な場合には、樹脂埋め込みや貼り付け板に固定するなどの手法を活用することを検討します。また、試料の下に空間があったり柔らかい物体が存在したりすると、試験時の押し込み荷重によって試料自体が沈み込むことにより結果に悪影響が及ぼされる可能性があります。そのため試料の固定には粘着テープなどは用いず、土台となる試料台などに試料裏面が直接接するようにしっかりと固定する必要があります。

• 試験条件

① 荷重

硬さの相似則により、荷重そのものはビッカース硬さの値に直接的に影響を及ぼさないとされているため、試験時の荷重は自由に選んで構わないはずですが、実際にはいくつか考慮すべき点があります。一つ目は圧痕の寸法で、試料の寸法や微細組織に影響を受ける可能性があるため、目的に応じて適切な圧痕の寸法をよく考えて荷重を決定する必要があります。また、圧痕寸法が $20\ \mu\text{m}$ 以下になると通常の光学顕微鏡による観察では正確に読み取ることが困難になってくるため、これ以上小さくならないようにするか、もしくはより分解能が高い顕微鏡を併用するなどの工夫が必要になります。

② 保持時間と負荷速度

圧痕を基準の荷重で押し込み切った後の保持時間の長さは材料のクリープや緩和に関する特性を硬さに影響させるため、標準の保持時間は10~15秒と定められています。標準の保持時間を適用できずこれ以外を設定を用いる場合には、新たに設定した保持時間が硬さにどのような影響を及ぼすかに注意する必要があります。

また、材料の中にはひずみ速度によって力学特性が変化する

材料もあり、このような材料では荷重の負荷速度についても注意を払う必要があります。しかし、圧痕によって発生するひずみ場は一様ではないため、硬さ試験におけるひずみ速度の検討は一般的に容易ではありません。標準の荷重負荷速度は $0.2\ \text{mm/s}$ 以下(ただしマイクロビッカース硬さ試験においては $70\ \mu\text{m/s}$ 以下)とされています。

• 圧痕の間隔

圧痕の周囲には一般的に塑性変形領域が広がっているため、複数の圧痕を試料につける場合には他の圧痕の及ぼした影響を排除するために間隔を空けて実験を行います。また、試料の外周に近い部分では力学的条件が異なることから、こちらも試験対象から除外する必要があります。

JIS規格⁽⁴⁾では圧痕の平均対角線長さ d を基準とし、隣り合う圧痕の中心間距離を鋼、ニッケル合金、チタン合金、銅および銅合金に対しては $3d$ 、チタンを除く軽金属、鉛、すずおよびこれらの合金に対しては $6d$ 以上とし、圧痕の中心と試料の縁の間の距離はそれぞれに対して $2.5d$ および $3d$ 以上とすることように指定されています。

• 圧痕寸法の読み取り

圧痕の平均対角線長さ d の誤差の2倍がビッカース硬さ HV の計算結果の誤差になることから、 d_1 および d_2 の計測は可能な限り正確に行う必要があります。観察は光学顕微鏡を用いたアナログ的な観察であっても、デジタル撮影画像からの読み取りであっても、明るさやフォーカスなどを正しく調整した上で可能な限り高倍率にして丁寧に行うべきです。また、寸法の読み取り時に問題となりやすい事柄の一つが、計測のための標線が圧痕の角を隠していることに気づかずに対角線長さを過小評価することです(図14)。圧痕と標線の間に隙間があることは容易に認識できますが、両者が重なっていると低倍率では判断が困難な場合があるため注意します。

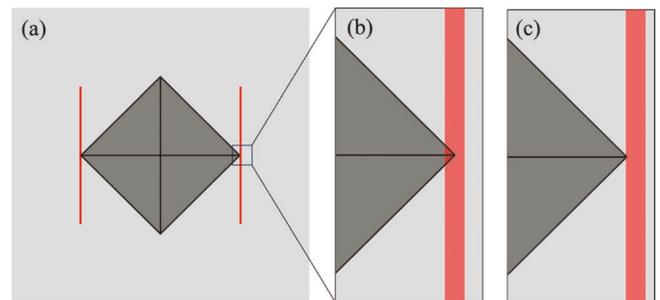


図14 圧痕の寸法計測における標線の食い込み。圧痕の寸法を計測するために圧痕の角に標線を合わせます(a)。隙間が空いていることは比較的認識しやすいですが、標線を狭めすぎて圧痕の角を覆い隠すように重なっている場合(b)は判別しにくいので注意が必要です。圧痕の角と標線が点で接する状態(c)が理想的です。

2-1-5-8 ビッカース硬さ値の利用

• 他の硬さとの比較

ビッカース硬さ試験を行った結果を文献と比較しようとしたところ、他の硬さ試験の結果しか載っていなかったという事態はしばしば起こります。しかし、異なる硬さの値を直接比較することは一般的にできません。

このような場合は硬さの換算表を参考にすることができず。たとえば ISO 規格⁽¹⁰⁾には、いくつかの金属種におけるビッカース硬さ、ブリネル硬さおよびロックウェル硬さの複数のスケールをそれぞれ対応づける換算表が示されています。また ASTM 規格⁽¹¹⁾には鋼のロックウェル C 硬さに近似的に対応するビッカース、ブリネル、スnoop硬さなどの換算値がまとめられています。これら換算表は硬さの情報を活用する上で大変便利です。あくまでも特定の材質の特定の条件における値をまとめたものであることを忘れずに利用することが重要です。

• 引張強さとの関係

引張強さ σ_b は、引張試験における単軸応力状態において材料が破断するまでに発生し得る最大の公称応力を意味します。一方でビッカース硬さ試験をはじめとする押し込み硬さ試験で発生する変形は一様ではなく、圧子直下から3次元的に分布するため、その比較は単純ではありません。このような強さと硬さの関係について初期の重要な研究を行った Tabor は、ビッカース硬さ HV は、引張試験で公称ひずみ $\epsilon = 0.08$ における変形応力 $\sigma_{0.08}$ と多くの材料において比例関係にあることを示しました⁽¹²⁾。これが硬さと強さを結びつける基礎的な考えになっています。ただし、 $\sigma_{0.08}$ と σ_b の関係は加工硬化率などによって変化するため、結局引張強さとビッカース硬さの比は材料ごとに異なるのが実情です。

前述の硬さ値の換算表⁽¹⁰⁾には鉄鋼材料の引張強さも合わせて示されていて、引張強さとビッカース硬さの比を実際に計算すると概ね3.1から3.4の範囲となります。この関係は鋼種や熱処理などに大きく依存せず、ほぼ似たような値となることが知られています⁽²⁾。

一方、アルミニウム合金に関しては調質により大きく性質が異なることから、ビッカース硬さと引張強さの比を一つの値で代表させることが困難であり、数ある合金に対して軟質材、加工硬化材、熱処理材と加工硬化率の大きさに応じた3つのグループに分類して考える必要があることが示されています⁽¹³⁾。

2-1-5-9 おわりに

ビッカース硬さ試験法の原理から実験上の注意点、また他の硬さ試験法との違いや値の比較などについて解説してきました。ビッカース硬さ試験は数多くある硬さ試験法の中においても現象が比較的明確であり、シンプルでありながらそれゆえに非常に使い所の多い魅力的なツールであると言えます。その原理は古い時代に完成されたものですが、本稿で引用した規格に示された値などに関しては、今後の改訂によって変更が加えられる可能性があることにはご注意ください。

文 献

硬さ試験全般に関する書籍

- (1) 中村雅勇著：硬さ試験の理論とその利用法，森北出版，(2012)。
- (2) 吉沢武男編：硬さ試験法とその応用，裳華房，(1967)。
- (3) 寺沢正男，岩崎昌三共著：硬さのおはなし 改訂版，日本規格協会，(2001)。

ビッカース，ブリネル，スnoop，ロックウェル，ショアの各硬さ試験に関する JIS 規格

- (4) ビッカース硬さ試験—第1部：試験方法 (JIS Z 2244-1:2020)。
- (5) ブリネル硬さ試験—第1部：試験方法 (JIS Z 2243-1:2018)。
- (6) スnoop硬さ試験—第1部：試験方法 (JIS Z 2251-1:2020)。
- (7) ロックウェル硬さ試験—試験方法 (JIS Z 2245:2021)。
- (8) ショア硬さ試験—試験方法 (JIS Z 2246:2022)。
- (9) ショア硬さ試験—試験機の検証 (JIS B 7727:2000)。

硬さ値の換算に関する国際規格

- (10) Metallic materials—Conversion of hardness values (ISO 18265:2013)。
- (11) Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness (ASTM E140-12B(2019))。

ビッカース硬さと引張強さに関する文献

- (12) D. Tabor: Proc. Roy. Soc. A, **192**(1948), 247-274。
- (13) 佐藤四郎，遠藤 隆：軽金属，**36**(1986)，29-35。



谷垣健一

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
2011年3月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期
課程修了
2012年4月 大阪大学大学院基礎工学研究科助教
2023年4月 現職
専門分野：材料力学
◎金属粉末焼結体や半導体結晶の力学特性評価のほか、
金属の高速変形試験やバイオメダイクス技術を
を中心に活動。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

科学館めぐり

島根のたたら関連施設(島根県)

文責：島根大学名誉教授 大庭卓也

今回の科学館めぐりは島根県のたたら製鉄の博物館をまとめて紹介したいと思います。近世において日本の鉄製品の7割以上は島根県を中心とした、たたら製鉄で作られた鉄素材を用いていたと言われていました。農機具や寺社の建築に使われた釘、包丁などの鉄製品、たたら製鉄で作られた玉鋼は日本刀を作るには欠かせない素材であると言われていました。日本刀にはマルテンサイトの利用というすぐれた技術が詰まっています。たたら製鉄は技術のみならず、産業を創り出し、文化をも伝えてきたものでした。島根県のたたら関連施設を地図と一緒に示しますので、ぜひ訪ねてください(図1)。

10月は神無月と言われますが、島根県では八百万の神が出雲大社に集まって会議を開くので神在月といわれます。神話は古事記、日本書紀、出雲国風土記に書かれたもので、このうち出雲神話と言われているものが半分以上あると言われています。神話とともに島根県を代表するものに、たたら製鉄があります。総括的にたたら製鉄について簡単に説明します。たたら製鉄は釜土、木炭、砂鉄を使った日本古来の製鉄法です。6世紀には行われていたと考えられています。たたら場は古代には山陽側に多く見つかっており、岡山県総社市にある千引カナクロ谷遺跡が最古のたたら場として知られています。このころは鉄鉱石を原料にしたと考えられます。中世までは「野たたら」といわれる移動式の製鉄法が行われていました。近世になると組織的に行われるようになり、山陰側に多くなり、産業として成り立っていたと思われます。明治になり西洋の製鉄法が導入され、生産効率が悪かった

め、次第に廃れていきました。しかし、戦後、日本刀の刀匠たちから、たたら製鉄による鋼がないと良い日本刀ができないとの声上がり、1977年(昭和52年)、文化庁の後援を受け、日本美術刀剣保存協会、日立金属の技術的支援のもと復活しました。現在、島根県で唯一、日刀保たたらとして、冬場に数度たたら製鉄が行われています。作られた「鋳」から玉鋼がとられ、全国の刀匠へ配られ、日本刀の素材になっています。コロナ禍でたたら操業が困難であった時に、NHKでたたら操業の話が放送になりました。ご覧になった方もおられるのではないかと思います。(2022年9月3日放送「NHKスペシャル 玉鋼に挑む 日本刀を生み出す奇跡の鉄」)

現代の製鉄法では、高炉で高温にして鉄鉱石を溶かし、転炉で不純物を取り除き鉄素材にしていきますが、たたら製鉄は砂鉄と木炭と釜土を使った直接精錬といわれ、砂鉄を完全に溶かしてしまわずに、鉄素材にしていきます。よい鋼を得るには「一土、二風、三村下」と言われています。土とは炉を作る釜土を言い、風とは風を起こしてよい火加減で製鉄を行うこと、それらを仕切るのが村下といわれる技術責任者です。炎の色、炎の出方、ノロと言われるスラグの出方、砂鉄の下がり方など多くのことに注意を向けながら、操業を行っています。村下の経験がものをいう技術です。

現在の製鉄技術ではできるだけ不純物を取り除き、目標の性質を出すために必要な元素を加えていきます。しかし、純度を上げる技術が十分でなかった時代では、元となる鉄鉱石や砂鉄に含まれる成分が、製鉄でできた鉄素材の性質を左右したと考えられます。山陰地方にはチタンの含有量の少ない良質な砂鉄が多くありました。砂鉄を採取するのに現在では電磁石で集めることもできますが、近世では鉄穴流と言われる方法で選別して行きました。山を一つ崩してしまうほどの土を水路に流します。鉄を含んだものは重いので、沈殿させて採取する、比重選鉱法と言われる方法です。山を丸々崩していましたが、ご神木や墓は残しましたので鉄穴残丘と呼ばれる独特の地形ができます(図2)。山を崩し、削った後を農地として転用するため、土壌改良などを行い稲田にしていきました。日当たりのよい稲田なので人によっては天空の棚田と呼ぶ方もあるようです。



図1 島根県のたたら関係の博物館(open street map)に書き込み。



図2 鉄穴残丘。

釜土で一つ一つ煉瓦状のものを作り、それらを積み重ねて、たたら炉を作っていきます。炉は砂鉄と反応して操業の終わりころになると底の方は薄くなります。単に砂鉄を溶かす容器ではなく、^{けら}鋳を育てる重要な役割も担っていました。したがって操業の都度に炉を新しく作り、最後には壊して鋳を取り出します。村下は釜土の選択にも気を配らなければなりません。炉の構造は炉内の様子を確認するため中をのぞいて観察するホド穴、ノロを流し出す穴がつくられ、底の部分は反応によって薄くなってしまいますので炉を作る際には厚めにしています。さらにたたら炉は長年の経験から、多くの工夫がなされた地下構造を持っています。「まてりあ」の科学館めぐりの和鋼博物館を紹介した記事⁽¹⁾で述べられています。操業の都度作るのは炉の地上部分です。

さらには、大量の木炭が必要になります。そのためには豊富な森林が必要です。近世のたたら操業では一度の操業^{ひと}(一代と呼ばれます)に使われる砂鉄、木炭の量は、砂鉄10トン、木炭13トンといわれます。森林を無計画に切つては山林が荒れるだけですが、計画的な伐採を行い、何年か後にはふたたび木々が生い茂り、木材が取れるようにしていました。

砂鉄採取後の土地の利用、森林の計画的な伐採などは、ある意味SDGsの先駆的な考えだったかもしれません。もちろん、山を崩すことによって下流に多量の土砂が流れるなどの弊害もあったのは確かなようです。一方で、出雲平野や地図には示していませんが鳥取西部のたたら場によりできた弓ヶ浜半島などの形成もなされたわけですが。

たたら経営を行っている経営者を鉄師と呼んでいます。田部家、^{たなべ}糸原家、^{いとはら}櫻井家、^{ぼくの}卜藏家、^{めずりは}杠家などがありました。図3は吉田町にある田部家の土蔵群です。「鉄の歴史博物館」(図4)はこの通りにあり、たたら製鉄に使われた道具や、働く人々の生活もうかがい知ることができます。奥出雲町には「奥出雲たたらと刀剣館」があり、日本刀の展示やたたら製鉄に使われる道具など全般に展示されています。奥出雲の鉄師の記念館としては国登録有形文化財になっている「糸原家住宅」があります。糸原家が伝えてきた伝統工芸品などを見ることができます。秋の紅葉の時期にライトアップされた様子の写真を掲載しておきます(図5)。奥出雲町の広島県との県境の近くには櫻井家の「可部屋集成館」がありま

す。広島近郊に可部と言う地名がありますが、起源はその地にあるようです。櫻井家の住宅も国指定重要文化財になっています(図6)。鉄師は都の文化などを地域に紹介しました。記念館には、たたら製鉄資料などとともに、日本画や美術工芸品、茶器なども展示されています。たたらなことなど全く知らなかった筆者が、島根に来て初めて訪ねた記念館を見学して、なぜこんな素晴らしいものがこんな山の中にあるのだろうと思いましたが、このような背景があったのです。多くの鉄師は武家を発祥としているようで、代々伝わる日本刀の展示もなされています。最近、民放のテレビドラマ、



図4 鉄の歴史博物館。



図5 糸原家の秋のライトアップ。



図3 吉田町の田部家の土蔵群。



図6 可部屋集成館。

「VIVANT」の登場人物の実家として櫻井家がロケに使われたとのこと。

たたら製鉄に従事していた人々が生活していた集落^{さんない}と称していました。そこには砂鉄の洗い場、今で言う工場である高殿、元小屋と呼ばれる事務所、働く人々の住宅などがありました。現在でもその姿をうかがい知ることのできる施設として、「菅谷たたら山内」があります(図7)。近世のたたらは、たたら製鉄に携わる人だけでなく、砂鉄の採取、木を伐採して木炭にする、出来上がった鉄素材を馬や牛などで日本海側の港に運搬し、北前船で日本各地に運ぶといった大きな産業でした。運ばれた先には現在でも金属産業が盛んな新潟県の三条、大阪府の堺などがあります。新潟県には出雲崎と言うところがありますが、三条にも近く何か関係があるのででしょうか。

たたら製鉄の神様は金屋子神で、播磨の国から白鷺に乗って桂の木に降り立ち「たたら」を始めたと言われています。金屋子神を祀ったのが「金屋子神社」(図8)です。神話の中でイザナミの神が火の神を生んだ時にうまれた鉦山の神、金山彦、金山姫はたたらとつながりがあるのでしょうか。金屋子神と金山彦、金山姫とかかわりがあるような記述も中世にはあったようですが、後付けのようです。金屋子神についてのもっと詳しいことは角田氏の「たたら製鉄の歴史」⁽⁴⁾などを読んでいただければと思います。つながりがあると言えば



図7 菅谷たたら山内の高殿。



図8 金屋子神社。

船通山に天下ったスサノオがヤマタノオロチ退治をして尻尾から天叢雲の剣が出てきたと言われ、これが現代につながる三種の神器の一つ、草薙剣と言われています。鉄素材の積出港の一つ、安来については和鋼博物館の記述にも紹介があります⁽¹⁾。オオクニスシの国譲りの神話で知られる美保神社のある美保関^{みほのせき}は、北前船の風待ちの港としてにぎわった港でした。青石畳通りはその雰囲気を残しています。

すぐれた鉄の生産だけでなく、原料砂鉄の採集跡地を稲田に再生し山林を循環利用するという、持続可能な産業として日本を支えてきたたたら製鉄は、2016年に日本遺産に選定されました。

日刀保たたらは、一般の方の見学には公開されていません。ですが、吉田町の高殿では伝統的なたたら操業とは少し異なりますが、たたらの体験操業も行われています⁽²⁾。また毎年10月初旬に和鋼博物館では、村下やその養成員の方々の協力を得て、「古代たたら復元操業」が行われます⁽³⁾。釜土をブロック状にした煉瓦造り、木炭を適度なサイズに割る、煉瓦を積み重ねる築炉などを通して見学すると一連の作業の様子が分かります。島根大学の学生も授業として参加しています。

以上島根県にあるたたらの関連施設の説明を行いました。この拙文がきっかけになり、関連施設を見学していただければ幸いです。

改めて地図に示されている施設は、次のものです。それぞれに工夫がされていますが、筆者の独断と偏見で一言添えてみました。

- 奥出雲たたらと刀の剣館：たたら炉の地下構造も含めた実物大の断面模型があります。日本刀鍛錬実演も見学できます。(実演をやっている日はご確認下さい)
- 鉄の歴史博物館：たたら製鉄で使う道具などの展示があり、たたらが復活した1977年(昭和52年)以前、昭和44年にたたら操業を行ったビデオが紹介されています。
- 菅谷たたら山内：実際に使われていた高殿がきちんとした形で残っており、元小屋(事務所)など街並みの雰囲気を味わえます。
- 可部屋^{かべや}集成館：狩野派の描いた絵や松平氏の愛でた茶器、美術工芸品などの展示がなされています。秋の紅葉の季節に訪れると特段素晴らしいです。
- 糸原^{いとはら}記念館：美術工芸品、茶器などの展示がされています。
- たたら角炉^{かくろ}伝承館：高殿のたたら炉で行われた製鉄が大正時代には下火になり、大正から煉瓦を用いて炉を作り連続操業ができるようにした炉が展示されています。本文では扱いませんでしたが、日本の鉄素材の生産という意味では重要だと思います。無人の施設です。
- 金屋子^{かなやご}神社：たたら製鉄の神様、金屋子神が祀ってあります。
- 日刀保^{にっとうほ}たたら：現在でも冬場に数度、たたら製鉄の操業を行い、刀匠へ供給している玉鋼を作っています。実際の操

業は一般に公開していないので見学は難しいです。

○和鋼博物館：2020年のまてりあの記事⁽¹⁾に紹介されています。

島根県観光ホームページから各施設へのアクセス

それぞれの施設に公共交通機関を使って行くと結構大変かもしれません。風景など楽しみながらレンタカーなどで回るのがお勧めです。ただし冬場は山中ですので雪にご注意下さい。一応、公共交通機関を利用した際のアクセスも記しておきます。

- * 奥出雲たたらと刀剣館：JR 出雲横田駅から車で約5分
- * 鉄の歴史博物館：松江自動車道雲南吉田 IC から車で約5分
- * 絲原記念館：JR 木次線出雲三成駅より車で約7分，バスまたはタクシー利用
- * 可部屋集成館：JR 木次線出雲三成駅から車で約20分，

松江自動車道高野 IC から車で10分

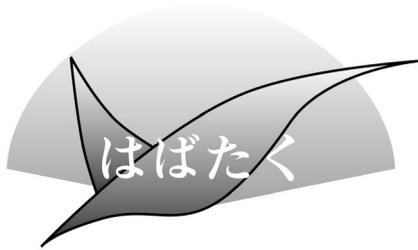
* 菅谷たたら山内：松江自動車道雲南吉田 IC から車で約10分

* たたら角伊伝承館：JR 木次線出雲三成駅から車で約20分，松江自動車道高野 IC から車で約15分

文 献

- (1) 小村滴水：科学館めぐり「和鋼博物館」，まてりあ，**59** (2020)，542-543.
- (2) 鉄の歴史村地域振興事業団 HP
(<http://www.tetsunorekishimura.or.jp/>)
- (3) 和鋼博物館，イベント
(<http://www.wakou-museum.gr.jp/2023-tatara/>)
- (4) 角田徳幸：たたら製鉄の歴史，吉川弘文館(2019).
(2023年10月4日受理)[doi:10.2320/materia.62.802]





計算機を用いた材料設計に向けて

大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻
マテリアル科学コース計算材料設計学領域；博士課程1年
齋藤悠宇

1. はじめに

私は現在、大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻マテリアル科学コース計算材料設計学領域の博士後期課程1年生、そして、博士課程教育リーディングプログラム及び大阪大学フェロシップ創設事業の履修生として研究活動に取り組んでいます。今回、「はばたく」での執筆という貴重な機会をいただきましたので、これまでの研究活動や今後の抱負について簡単に述べたいと思います。

2. 計算機を用いた物質設計

私は学部4年次から博士前期課程を通して現在までの約3年半の間、佐藤和則准教授、鈴木雄大特任助教、そして共同研究者である鳥取大学工学部の小谷岳生教授らの指導の下、第一原理計算を用いた物質設計の基礎となる研究を行ってきました。第一原理計算とは、原子番号と結晶構造を入力として物質の電子状態を計算する、原子スケールの量子シミュレーション手法です。電子状態はその物質が持つ磁氣的、電氣的、光学的特性、構造安定性などに深く関連しており、量子力学や統計力学の知識を用いて解析することで、物質の特性を調べることができます。そのため、第一原理計算は物質の特性を予測するために広く用いられています。

学部4年生当時、私は特定の材料よりも幅広い材料を扱って研究したいと考えており、元々理論研究に興味があったこともあり、理論的な計算のみを用いて実験的に観測される材料の特性を予測できるということに大きな興味を抱き、研究室を選びました。そして、元々発光材料に興味があり、実際の材料で理論的に発光特性を説明できたら面白そうと考えたことをきっかけとして、「希土類添加半導体の発光を第一原理計算の観点から研究する」というテーマで研究を行うことになりました。

ただ、いきなり希土類添加半導体を計算するのは難しいこ

とから、最初に取り組んだのは、磁性半導体として古くから知られるEuOの電子状態計算でした。希土類元素の場合、4f電子軌道は原子位置に局在し、電子間相互作用が強く非局所的であるため、電子間相互作用を平均的に取り込む一般的な固体の電子状態計算手法では正しい答えを得られません。そこで、一般的な手法を超えた、電子間相互作用を取り込むことができる準粒子自己無撞着GW(Quasiparticle self-consistent GW: QSGW)法⁽¹⁾を用いて計算を行うこととなりました。

希土類窒化物など一部の希土類化合物については、QSGW法で尤もらしい電子状態が得られることが確認されていましたが、私が計算したEuOでは実験による先行研究と異なる結果が得られ、QSGW法でも不十分であることが分かりました。そこで、希土類窒化物を対象を換え、磁氣的特性を計算しましたが、遷移金属化合物では高精度に計算できていた線形応答理論に基づく手法を用いても、希土類窒化物の場合には補正が必要となり、物質の特性を求める上で多くの問題があることを痛感しました。

そこで、博士前期課程では一旦、遷移金属元素の計算に取り組むことになり、本来の検討対象であった典型的な発光材料である $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ (ルビー)について計算を行いました。従来、発光特性に関しては分子や原子に対して主に量子化学的な手法による計算が行われてきましたが、固体中の不純物による発光を第一原理計算から議論することは未だに簡単な課題ではありません。さらに、3d遷移金属元素が持つ強い電子間相互作用の評価や、半導体のバンドギャップを過小評価する問題も存在し、これらを適切に扱うために引き続きQSGW法を用いました。

この時、希土類イオンに対して光学的励起準位を計算するために必要なCoulomb相互作用、結晶場、スピン軌道相互作用のパラメータをQSGW法の電子状態から見積もる方法⁽²⁾を鈴木特任助教が開発中でしたので、私はその手法を固体中の遷移金属不純物に拡張しました。この手法ではイオンのように電子が局在した状態を仮定しており、遷移金属元素が不純物として局在する場合には、実験の光学スペクトルと矛盾しない結果が得られることを確認できました⁽³⁾⁽⁴⁾。学部4年次には研究は思うように進みませんでした。このときにしっかり計算手法の基礎を身につけたことで、博士前期課程では光学的励起準位の計算という難しい課題に対して一定の成果を出すことができました。博士前期課程での研究は基礎的なものでしたが、今後、発光材料の計算機材料設計につながると思っています。

3. 終わりに

博士後期課程において私は、博士前期課程で取り組んだ手法の改良や開発した手法を応用した発光材料の計算を行うとともに、希土類永久磁石材料への展開も考えて研究を進めています。将来的に私は、計算機を用いた材料設計を行うために、材料の特性を高い信頼性で計算できる手法は重要となる

ので、コツコツと研究を進めていこうと考えています。

最後になりますが、この度「はばたく」への寄稿という大変貴重な機会を与えてくださいました会報編集委員の皆様
に、心から感謝申し上げます。

文 献

- (1) D. Deguchi, K. Sato, H. Kino and T. Kotani: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55** (2016), 051201.
- (2) K. Suzuki, T. Kotani and K. Sato: *Phys. Rev. Research*, **5** (2023), 013111.
- (3) H. Saito, K. Suzuki, K. Sato and T. Kotani: *Phys. Rev. B*, **108** (2023), 035141.
- (4) H. Saito, K. Suzuki, K. Sato and T. Kotani: *Mater. Trans.*, **64** (2023), 2185–2189.

(2023年9月11日受理) [doi:10.2320/materia.62.806]
(連絡先: 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 R2 棟218号室)



～美しい金属の写真～

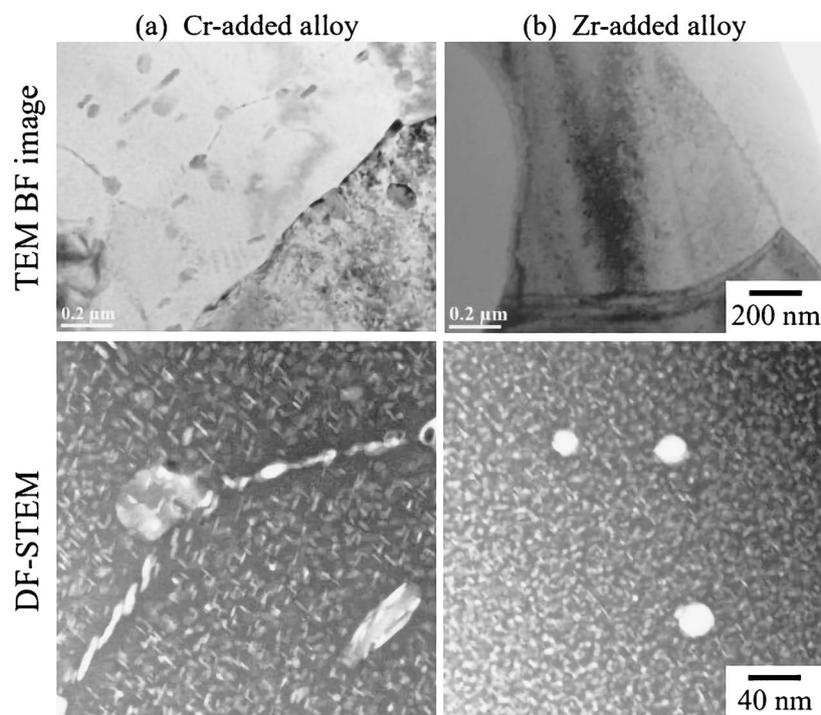


Fig. 3 TEM bright-field images and DF-STEM images of solution-treated samples (before HPT processing).

<Hiroyuki Kawabata, Ichiro Aoi, Keiichiro Oh-ishi, Takanori Nakagaki, Yoshihiro Shimizu and Shigeru Kuramoto: “Improved Combination of Strength and Ductility in Zirconium-Added Al-Zn-Mg-Cu Alloy Processed with High-Pressure Torsion” *Mater. Trans.*, **57** (2016), 1735-1740. より転載>

研究所紹介

島根大学 材料エネルギー学部

島根大学 材料エネルギー学部；教授 森戸 茂一

1. 材料エネルギー学部の発足

島根大学は昭和24年(1949年)に旧制松江高等学校、島根師範学校と島根青年師範学校を母体として発足しました。師範学校が基となっていたため「工学部」は無く、設立時に存在していた学部は文理学部と教育学部のみでした。平成15年(2003年)に島根医科大学と統合し、平成16年(2004年)に国立大学法人となった時点で総合理工学部、生物資源学部、教育学部、法文学部、医学部の5学部となりました。その後、平成29年(2017年)に人間科学部が発足しましたが、「工学部」は設立されませんでした。

そのような中、平成31年(2019年)に内閣府が募集をおこなった「地方大学・地域産業創生交付金」事業に採択され、「先端金属材料グローバル拠点の創出—Next Generation TATARA Project—」⁽¹⁾が動き出したことで状況が変わりました。この事業の中で、島根県や県内の産業界からの要請により、金属材料の教育が求められ、総合理工学部内に材料教育の特別コースが作られました。さらにこの特別コースが拡張および独立する形で、令和5年(2023年)に島根大学初の工学部「材料エネルギー学部」が発足しました(図1)。

2. 材料エネルギー学部の特徴

この材料エネルギー学部では、世界的なエネルギー問題を俯瞰的に理解し、材料分野から社会の構築に貢献できる開発型人材を育てることを目的としています。そのため幅広い領域を修得する必要があります。多くの学部では「化学系」や「機械系」等といった学部もしくは学科の専門分野に重きを置いた教育が行われ、その専門家が育つ傾向があります。材料エネルギー学部は新設学部ですので、既存の概念にとらわれない学部作りを行うことが出来ました。まず、化学や情報、社会学といった領域を最初から一つに統合し、一丸で「材料」という対象に進むことの出来る学部を設計しました。カリキュラム構築の際は、極端な偏りが生じないように必修教科を厳選してカリキュラムを構築しました。また、高校で



図1 材料エネルギー学部の教員とスタッフ。

物理や化学を履修していない入学者のために高校の授業を復習するよう必修科目も設けています。このようにカリキュラムを構築した結果、様々な分野の材料科学やそれらに対応したデータサイエンス教育を行えるようになりました。

この学部ではもう一つ研究の社会実装を見据えた教育も目指しています。カリキュラムの中で社会学を入れておりますが、もっと実践的な授業が必要と言うことで、1年通期に「新材料・エネルギー技術で新たな社会を作り上げるアントレプレナーシップの道」というプロジェクト型演習を作りました。この科目は必修授業で、5名程度の受講者に1名の教員が対応するグループ学習形式の授業です。この授業では各教員の持つシーズを基に、それを社会実装するためにはどうするかといったことを討論し、社会の課題解決に向けて何が重要であるかを見出すことを目的としています。また、社会課題を解決するビジネスプランを検討することも目的の一つとなっています。この授業に関しては教員自身も戸惑っているところもありますが、受講生のものの考え方に社会実装というものが芽生える方向に進展させるよう努力しています。

3. おわりに

材料エネルギー学部は入学定員が80名で単一学科という非常に小規模な工学部です。しかし、小さく新しいからこそ出来る教育があります。この教育を受けた学生が社会を動かしていくように我々も日々努力しております。

文 献

- (1) 三浦哲也：まてりあ, **61**(2022), 510.
(2023年10月23日受理)[doi:10.2320/materia.62.808]
(連絡先：〒690-8504 松江市西川津町1060)

スポットライト

～第9回「高校生・高専学生ポスター発表」～
日本金属学会会長賞

外部磁場の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部

志村実咲 菅原 楓 陰山麻愉 松田理沙

1. 動機と目的

磁性流体とは、流体でありながら磁性を帯び、砂鉄のように磁石に反応する性質を持つ機能性流体のひとつで、直径が10 nm程度の磁性超微粒子と、分散媒体である水、有機溶剤、さらに粒子を吸着して分散媒体中で安定に分散させるための界面活性剤からなるコロイド溶液です。磁性流体には、スパイクという特徴的な形状をなすことが知られています。一例として図1にスパイクが立ち上がっている磁性流体の様子を示します。スパイク現象とは、磁場の近くに置くと、その磁力線の流れに沿って磁性流体から角が生えたような突起が形成される現象をいい、他の磁性体にはない特徴的な現象です。

外部磁場を変化させることで、六角形や四角形のスパイクが生じることが知られています⁽¹⁾⁻⁽³⁾が、外部磁場強度とスパイクの形状およびスパイク間距離の関係についてはまだ説明されておらず、筆者らはスパイクの形状がどのように変化していくのかを明らかにすることを目的にしました。



図1 磁性流体のスパイク。(オンラインカラー)

2. 実験方法

磁性流体は、酸化鉄(マグネタイト)、イソパラフィン、イソステアリン酸を成分とする、シグマハイケミカル社製DS-50を用いました(20℃密度1.40 g/cm³, 20℃粘度97 mPa/s, 飽和磁化9 mT)。また、外部磁場として、縦100 mm×横100 mm×厚さ10 mmのケニス社製角形フェライト磁石(磁束密度140 mT)SQ 100を1～3枚重ねて用いました。磁性流体37 mlを内底面が86 mm×86 mmのスチロール樹脂製容器に入れると、5 mmの深さに溜まりました。フェライト磁石と容器底面の距離を変化させ、生じるスパイク

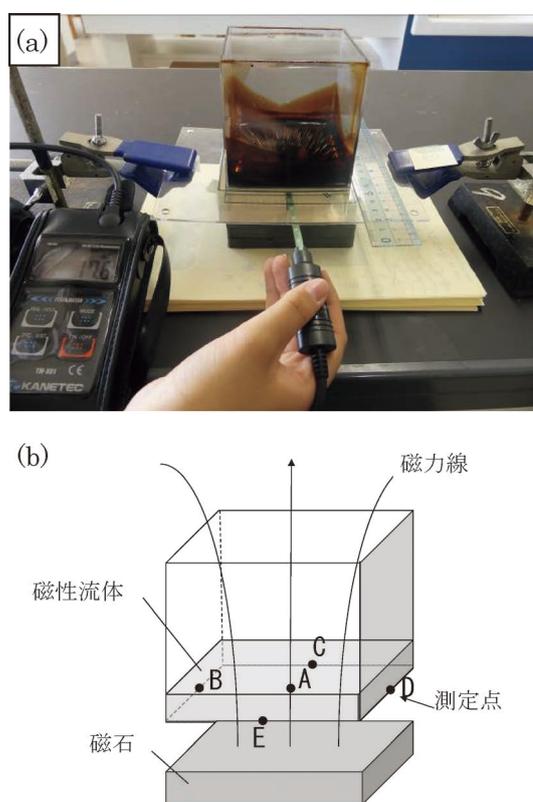


図2 (a)測定装置の外観図。(b)測定装置の模式図、A-Eは磁力の測定点。(オンラインカラー)

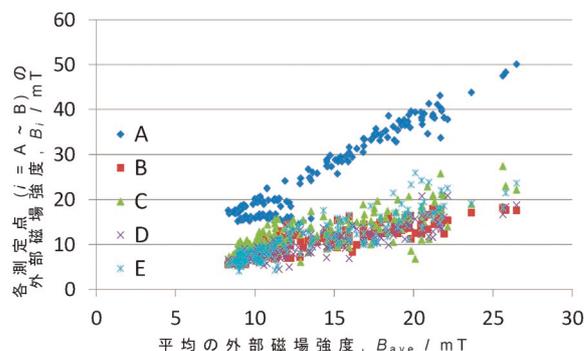


図3 容器底面5か所で測定された平均の外部磁場強度と各測定点における外部磁場強度の関係(測定168回)。(オンラインカラー)

を観察しました。図2に測定装置の外観図と磁束密度(外部磁場強度)の測定点を示します。外部磁場強度の測定は、カネテック社製ガウスメーター TM-801(分解能0.1 mT, 精度±5%)を用いました。容器底面5か所で測定し、その平均値を外部磁場強度としました。容器底面と磁石の距離をさまざまに変化させた時の、容器底面5か所で測定された平均の磁力の強さと各測定点における磁力の強さの関係を図3に示しました。いずれの測定点においても容器底面と磁石が近くなるほど外部磁場強度は大きくなっていきました。また、磁石の中央の測定点Aの外部磁場強度が最も大きかったです。

3. 結果

フェライト磁石と容器底面の距離が近くなるほど外部磁場強度も大きくなっていきますが、詳細な関係は不明です。

外部磁場強度を変化させると、スパイクの形状や高さ、数が変化しました(図4:スパイクの外観図, 図5:外部磁場強度とスパイクの数, 図6:外部磁場強度とスパイク1本あたりの底面積, 図7:外部磁場強度とスパイクの高さ)。また、磁性流体全体に現れるスパイクの形状の分布を観察し

ため、測定点全体の磁束密度の平均値を平均の外部磁場強度として、その大きさとスパイクの形状の関係を示しました。

磁性流体に外部磁場を加えると、7~8 mT付近で、底面が円形のスパイクが出現しました。円形のスパイクの間には多くの隙間が見られました(図4(a))。外部磁場を強めていくと、スパイクは底面積をほぼ一定に保ったまま次第に高くなり、数を増やしていくため、隣接するスパイクどうしが接着するようになり(図4(b)~(d))。接着面は最短距離の直線をなして、容易に底面が六角形をなすスパイクに変化

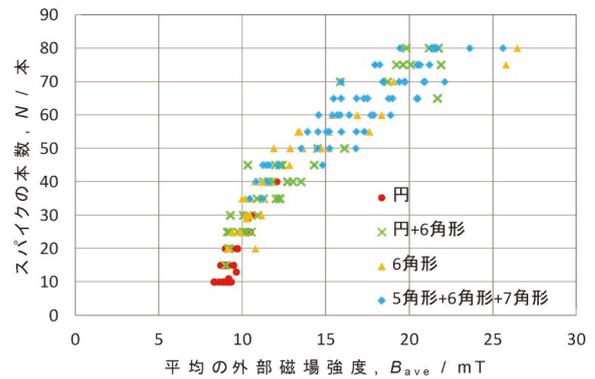


図5 平均の外部磁場強度とスパイクの本数(測定154回)。(オンラインカラー)

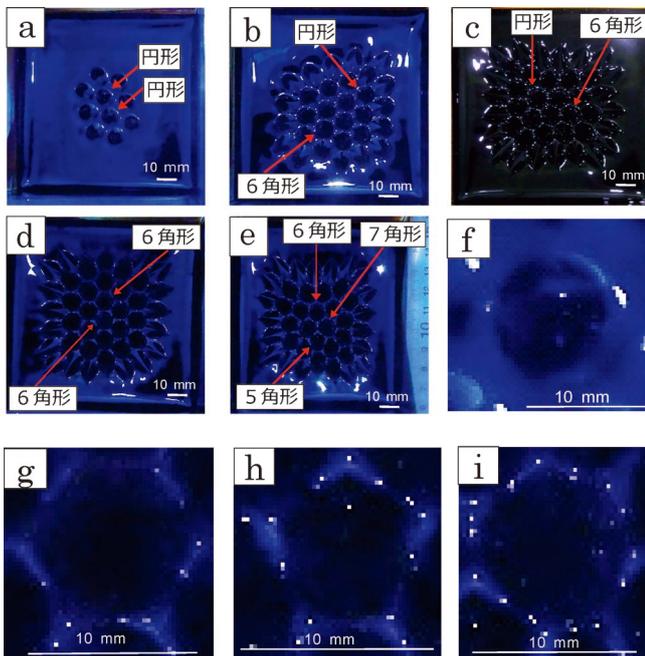


図4 平均の外部磁場強度と生じるスパイク形状。(オンラインカラー)
 (a) 円形で隙間が広い(7.8 mT)
 (b), (c) 円形の中に六角形のスパイクが現れる(9.2 mT)
 (d) 六角形で隙間がない(10.2 mT)
 (e) 五角形と七角形のスパイクが隣接して現れる(10.8 mT)
 (f) (a)で観察された円形のスパイクの拡大図
 (g) (d)で観察された六角形のスパイクの拡大図
 (h) (e)で観察された五角形のスパイクの拡大図
 (i) (e)で観察された七角形のスパイクの拡大図

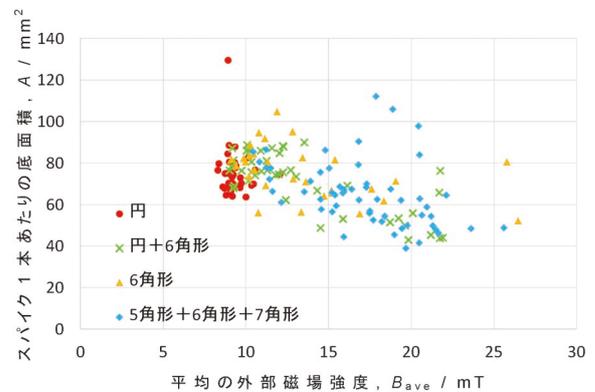


図6 平均の外部磁場強度とスパイク1本あたりの底面積(平均値)(測定154回)。(オンラインカラー)

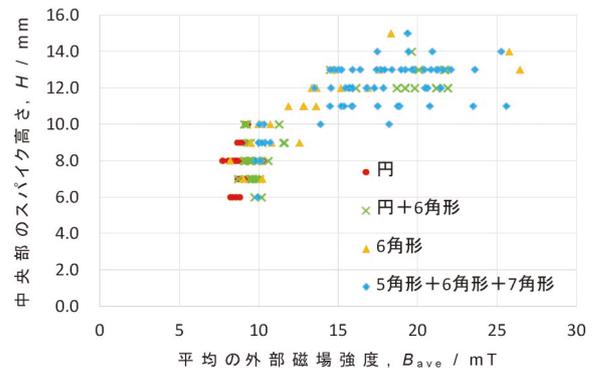


図7 平均の外部磁場強度と中央部のスパイクの高さ(測定168回)。(オンラインカラー)

しました。さらに外部磁場を強めると、10 mT 付近から、6 角形のスパイクの中に 5 角形と 7 角形のスパイクが出現しました。外部磁場を強めると、スパイクの本数は増えていきましたが、6 角形のスパイクが安定を失って、底面積が小さい 5 角形や底面積が大きい 7 角形(図 4(e))のスパイクに変化するものが現れるようになりました。また、外部磁場を強くしても、12~14 mm よりもスパイクが高くなることはほとんどありませんでした。磁性流体を入れる容器の形状や大きさは、スパイクの生成に影響を及ぼさないことがわかっています⁽³⁾。

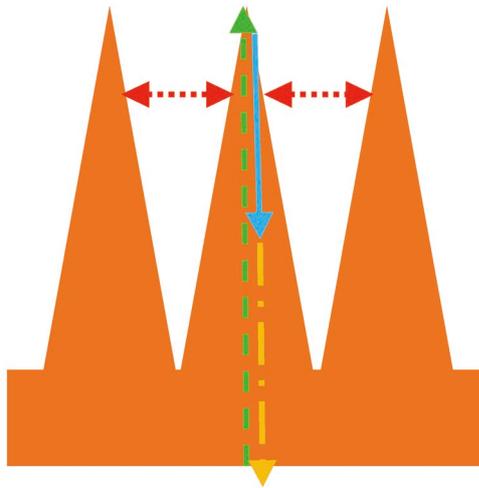


図 8 スパイクのモデル図。(オンラインカラー)
赤：(点線)スパイク間の斥力
緑：(破線)磁性超微粒子間の引力
青：(実線)表面張力
黄：(一点鎖線)重力

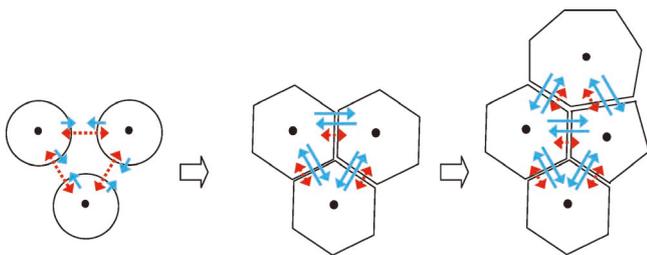


図 9 外部磁場を強くするとスパイク底面の形状が変化する。(赤(点線)：斥力, 青(実線)：表面張力)(オンラインカラー)

4. 考 察

磁性流体に外部磁場を加え、臨界磁場に達すると、磁場の方向に沿ってスパイクを形成します。スパイクの表面は、磁性流体内の磁性超微粒子どうしの引き合う力で盛り上がりませんが、磁性流体の表面張力および重力の合力とつりあった高さで安定となります。一方外部磁場に垂直な方向には斥力がはたらくため、スパイクは外部磁場を加えている平面全体に均一に分布すると考えられます(図 8)にスパイクのモデル図を示します。

スパイクが円形から 6 角形へと成長するにつれて、隣接するスパイクが磁性流体の表面張力によって接着します。表面張力が大きくなり、斥力を上回ると、接着面は最短距離の直線となり、6 角形をなすと考えられます。図 9 に外部磁力を強くしていく際のスパイクの形状変化のモデル図を示しています。さらに外部磁場を強めると、10 mT 付近でスパイクは不安定化して 5 角形や 7 角形に崩れていきます。

5. 結言と今後の課題

本研究では磁力を強くしていくことでスパイクの本数は増えますが、底面積はほとんど変化しないために隣接するスパイクが接着するようになり、スパイクの形状が変化していくということを明らかにしました。

磁性流体を利用した応用機器が多方面で開発されており、本研究はその基礎研究となると考えられます。現在スパイク底面の磁性超微粒子にどのような力が加わって形状が変化するのか、スパイク内の磁性超微粒子の密度分布はどうなっているのか、について研究を続けています。

本研究を行うにあたり、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には有意義な議論をしていただきました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- (1) A. Galitis : J. Fluid Mech., **82**(1977), 401-413.
- (2) 伊丹俊夫, 松本英明, 正木匡彦, 荒磯恒久: 日本マイクログラフィティ応用学会誌, **11**(1994), 101-106.
- (3) 福田芳行, 堂原教義: 日本機械学会論文集, **66**(2000), 139-146.

(2023年 7 月 7 日受理)[doi:10.2320/materia.62.809]
(連絡先: 〒670-0012 兵庫県姫路市本町68番地70)

水酸化鉄(Ⅲ)コロイドにおける ガラス着色の研究について

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班 2年

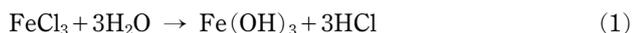
工藤優之介

1. 研究内容

(1) 背景

私は、水酸化鉄(Ⅲ)コロイドの生成実験で用いたビーカーの底面が着色する現象の原因を解明する研究を行っています。

沸騰水50 mLに1.0 mol/L塩化鉄(Ⅲ)水溶液2.0 mLを加えると、加水分解反応(反応式(1))が起こり、水酸化鉄(Ⅲ)コロイドが生成します。



この水酸化鉄(Ⅲ)コロイドの生成実験は、本校では高校2年生のときに化学の授業で行います。この実験に使用したビーカーの底面では、赤褐色に色つき、シャボン玉のような薄膜干渉が起こります(図1)。

この着色は、クレンザーをつけてブラシで擦っても取れることはなく、また、化学や実験助手の先生方に聞いたところ、現象としては知っているけれど、なぜ起こるのかわからないとのことでした。ただ、「塩酸でも溶けない。」という情報を教えてもらいました。

私はこの現象に興味を持ち、目的1として着色の原因物質の特定すること、目的2に着色のメカニズムの解明することとして本研究を行いました。

(2) 実験1

実験方法

ビーカー底面の着色は、ガラスの風化による青ヤケなどで

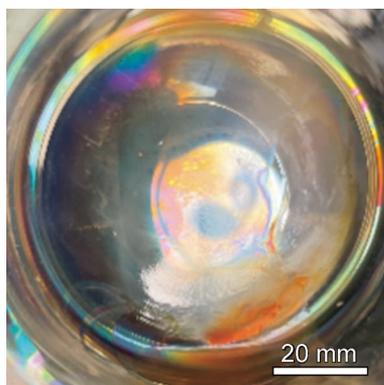


図1 水酸化鉄(Ⅲ)コロイドの生成実験で用いたビーカー。(オンラインカラー)

はなく、何らかの物質が付着したためと考えました。そこで、「塩酸には溶けない」といったことを先生方には言われましたが、鵜呑みにせずに実際に自分の手で、常温で3日間、様々な溶液中に浸しておき、着色物質の状態に溶解性が見られるかを確認しました。用いた溶液は濃塩酸、2.0 mol/L希硫酸、2.0 mol/L水酸化ナトリウム水溶液、エタノール、アセトンです。なお、今回実験に用いたビーカーは、普段用いているもので、濃塩酸に24時間浸して前処理したものです。

結果

結果は、酸性溶液である濃塩酸、希硫酸と、塩基性溶液である水酸化ナトリウム水溶液でビーカーの底面の着色は完全にとれました。またその際に黄褐色の溶液が得られました(図2)。このことより、やはりビーカーの底面には何らかの物質が付着して、着色が起こったと考えられます。

(3) 実験2

実験方法

着色の原因物質は、塩酸に溶けることが確認できたため、今度はどの程度の濃度の塩酸まで溶けるのかを確認しました。0.75 mol/L、0.50 mol/L、0.25 mol/L、0.10 mol/Lの各濃度の塩酸を用いて、常温で3日間浸しておきました。

結果

0.25 mol/L以上の塩酸では溶けましたが、0.10 mol/Lの塩酸では、着色物質は溶けませんでした。これによりビーカーの着色物質を溶かすには0.25 mol/L以上の塩酸の濃度が必要であることが判明しました。

(4) 実験3

実験方法

着色物質を塩酸に溶解させたとき、塩酸は黄褐色を示しました。一般的に黄褐色の溶液の色は、鉄(Ⅲ)イオンの色です。この水酸化鉄(Ⅲ)コロイドの生成実験で使用する薬品は塩化鉄(Ⅲ)水溶液と生成する物質は水酸化鉄(Ⅲ)コロイドです。このことより着色物質は、鉄(Ⅲ)イオン由来の化合物なのではないかと考え、フェロシアン化カリウム(K_4

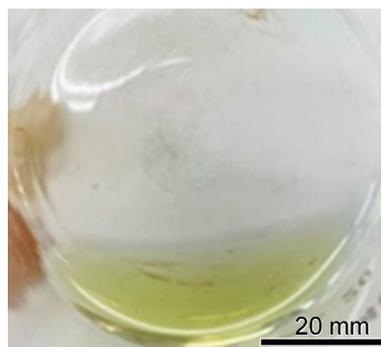


図2 濃塩酸で着色がとれたビーカーと黄褐色の溶液。(オンラインカラー)



図3 $K_4[Fe(CN)_6]$ により濃青色沈殿を生じた様子。(オンラインカラー)

$[Fe(CN)_6]$ を用いた呈色反応で確かめることとしました。 $K_4[Fe(CN)_6]$ は、鉄(III)イオンと反応して濃青色沈殿を生じ、鉄(III)イオンの検出反応として、よく用いられます。

結果

着色物質を溶解させた濃塩酸に $K_4[Fe(CN)_6]$ を加えたところ、濃青色沈殿が発生しました(図3)。このことから、着色物質には、やはり鉄(III)イオン由来の化合物が含まれていたと考えられました。

(5) 実験4

実験方法

着色物質が鉄(III)イオン由来の化合物であることまでは把握できました。その他に気になることがありました。それは薄膜干渉が観察されたことです。薄膜干渉とは、シャボン膜や、道路に溢れたガソリンなど緻密な膜が構成されることで、光の屈折が発生して、虹色に輝いているように見える現象のことです。そのため、ビーカー底面の着色物質は、薄膜としてビーカー底面に付着しているのではないかと考えました。そこで実験前の着色物質が付着していないビーカーと、実験後の着色物質が付着しているビーカーの底面を、それぞれ走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)を用いて確認しました。

結果と考察

SEM観察した結果、実験前のビーカーでは、ビーカー底面には多くの凹凸が存在していたのに対し(図4(a))、着色後のビーカーでは、なめらかな表面となっていました(図4(b))。このことから、ビーカー底面の凹凸が、実験後、やはり鉄(III)イオン由来の化合物によって薄膜が形成され、覆われたと考えました。

実験1から実験4までの結果より、ビーカー底面の着色現象は、鉄(III)イオン由来の化合物の薄膜であることが把握できました。これにより目的1は達成できました。

(6) 実験5

実験方法

次に、ではなぜビーカーの底面に鉄(III)イオン由来の化合物の薄膜が付着するのかということに疑問を持ちました。

そこで通常の実験条件である、沸騰水50 mLに1.0 mol/L塩化鉄(III)水溶液2.0 mLを加える以外に、①1.0 mol/L塩

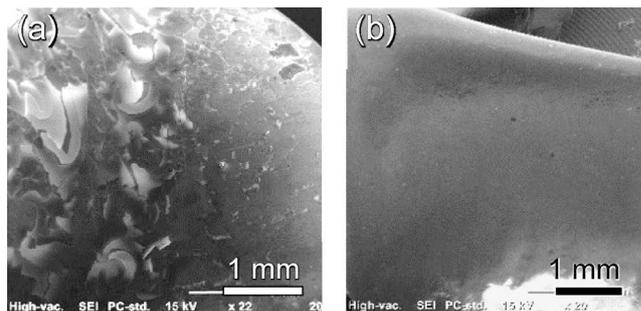


図4 ビーカー底面のSEM像。(a)実験前、(b)実験後

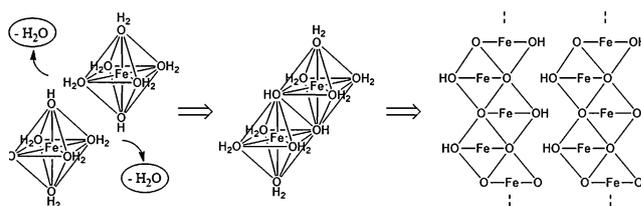


図5 酸化鉄(III)、酸化鉄(III)コロイド、酸化水酸化鉄。

化鉄(III)水溶液2.0 mLを蒸留水50 mLに加えてから加熱沸騰させる条件、②水酸化鉄(III)コロイドを透析し、加熱沸騰させる条件、③透析した水酸化鉄(III)コロイドに、1.0 mol/L塩化鉄(III)水溶液2.0 mLを蒸留水50 mLに加えてから加熱沸騰させる条件、の①から③のように、実験手順を変え、その際にもビーカーが着色する現象が起こるかを確認しました。

結果と考察

①から③のいずれの条件からもビーカーの着色は確認できませんでした。このことより、ビーカーが着色する条件は、通常の実験条件である、沸騰水50 mLに1.0 mol/L塩化鉄(III)水溶液2.0 mLを加え、反応式(1)で示す塩の加水分解が起こる過程によってのみ起こることが判明しました。

参考文献⁽¹⁾⁽²⁾より水酸化鉄(III)は正八面体構造(図5左)で $Fe(OH)_3(H_2O)_3 \rightleftharpoons [Fe(OH)_n(OH_2)_{6-n}]^{(3-n)+}$ の平衡状態で存在しており、縮合反応してコロイド粒子になること(図5中央)、コロイド粒子のOH基に Fe^{3+} が引き寄せられ正に帯電していること、縮合が進むと酸化水酸化鉄 $FeO(OH)$ (図5右)になることが報告されています。またガラス表面はシラノール基(SiOH)によって負に帯電していること⁽³⁾も報告されています。

これらの情報より、正に帯電した水酸化鉄(III)コロイドがガラス表面のシラノール基(SiOH)と結合し、さらに縮合が進むことで酸化水酸化鉄(III) $FeO(OH)$ の薄膜になるというメカニズムではないかと仮説を立てました。

今後はさらに定量的な実験データを得て考察を深めていきたいです。具体的には吸光度を測定して、ビーカー底面に付着した鉄(III)イオンの量を把握していきたいです。

2. 感 想

文 献

今回、金属学会で発表できたこと、審査員からの助言、激励などで徐々に研究を進展させることができ、このような成果を得るに至りました。

研究について多くのお手伝いをいただいた顧問の先生方、様々な助言をくださった大学の先生方、そして実際に研究を聞いていただいた皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

- (1) C. M. Flynn, Jr.: Chem. Rev., **84**(1984), 31-41.
- (2) F. A. コットン, ウィルキンソン: 基礎無機化学, 培風館, (1979), 394-395.
- (3) 土橋正二: 窯業協会誌, **62**, 691(1954), 53-56.
(2023年7月25日受理)[doi:10.2320/materia.62.812]
(〒981-0824 仙台市宮城野区鶴ヶ谷 1-19)



～美しい金属の写真～

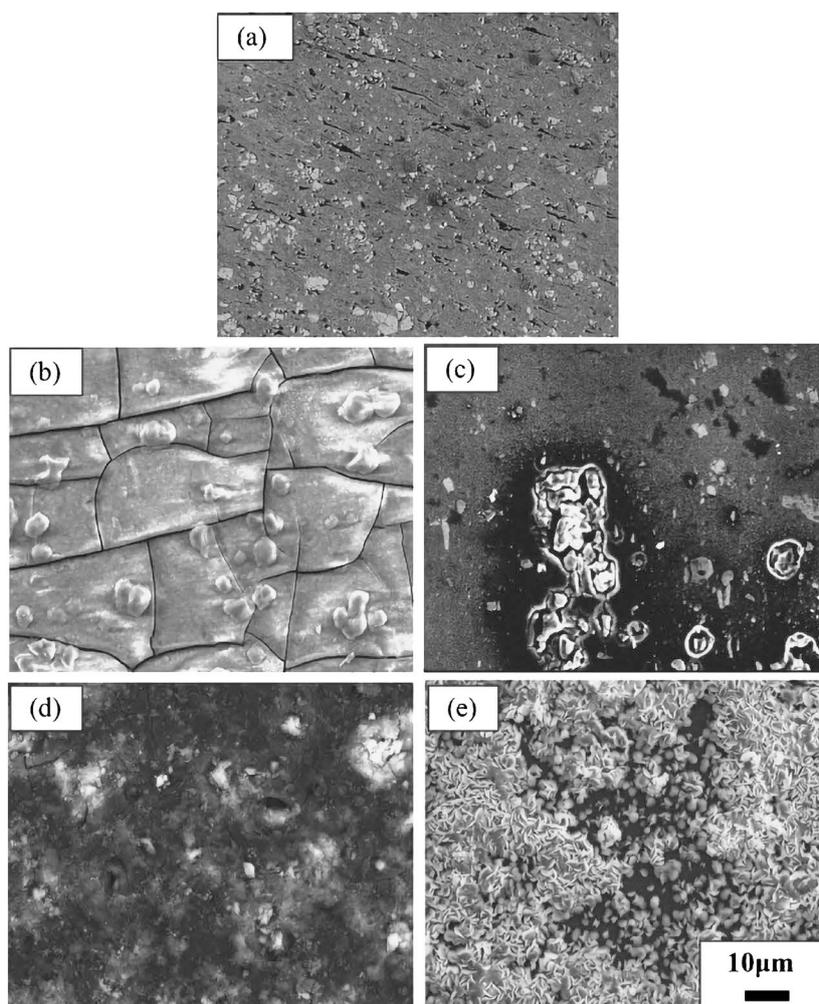


Fig. 2 Surface SEM images of the specimens (a) before immersion and after immersion for 30 d in (b) Na_{sol} , (c) Ca_{sol} , (d) Mg_{sol} , and (e) Zn_{sol} .

<Kyohei Otani, Masatoshi Sakairi and Akira Kaneko:
“Effect of a Kind of Metal Cation on Corrosion Mechanism of A3003 Aluminum Alloy in Tap Water”
Mater.Trans., **57** (2016), 1539-1546. より転載>

Materials Transactions 投稿の手引き

Materials Transactions (Mater. Trans.)への投稿は、次の要件を満たさなければならない。

- (1) 英文であり、未掲載および他のジャーナルに投稿中でないことかつオリジナリティがあること (Materials Transactions 審査及び査読規程に定める範囲において、重複を認める場合がある)。
- (2) 金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- (3) 軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと。
- (4) 投稿規程に合致するものであること。
- (5) 別に定める執筆要領に準拠して作成された原稿であること。
- (6) 論文の著作権を本会に帰属することに同意すること。
- (7) 掲載が決定した場合は、この規程に定める投稿・掲載料を支払うこと。
- (8) 研究不正行為および研究不適切行為をしないことならびに研究不正行為をした場合は本会の定めるところにより処分を、研究不適切行為をした場合は本会の定めるところにより措置を受けることに同意すること。
- (9) 投稿原稿を作成する基となった生データ、実験・観察・研究ノート、実験試料・試薬等の研究成果の事後の検証を可能とするものを論文掲載後5年間保存することに同意すること。

1. Mater. Trans. に投稿可能な論文

(1) Regular Article (10頁以内)

金属及びその関連材料の理論、実験並びに技術などに関する学術上の成果を報告し、考察した原著論文で、科学・技術的に質の高い、新規な興味ある内容(結果、理論、手法等)が十分含まれている論文。

日本金属学会誌の学術論文または速報論文に Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、英訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。

なお、著者が迅速掲載を希望し、追加費用を負担する場合は、査読期間短縮を含め迅速掲載のための処理を行う。

(2) Review (15頁以内)

各専門分野の研究開発の背景や最近の状況及び今後の展望等について、重要な文献を引用して、各専門分野の専門家のみならず他分野の専門家や学生等も対象に、その概要を公正にかつわかりやすく解説する論文。日本金属学会誌およびまてりあに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、日本金属学会誌およびまてりあに掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「レビュー」等を含めることが望ましい。

(3) Overview (15頁以内)

単なる一般的な review ではなく、執筆者独自の考えに立って review し、取り上げた問題点の中において自説の位置付けを明確にした論文。ただし、事前に「タイトル」「氏名」「要旨」を編集委員会に提出し、了承を得た後、投稿する方式とする。日本金属学会誌およびまてりあに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、日本金属学会誌およびまてりあに掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「オーバービュー」等を含めることが望ましい。

(4) Technical Article (10頁以内)

金属およびその関連材料の実験技術、製造技術、設備技術、利用技術など、技術上の成果、基準、標準化、データベースなど、および関連する事柄の調査、試験結果を報告した原著論文。

日本金属学会誌もしくはまてりあに Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、英訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。

(5) Current Trends in Research (10頁以内)

特集企画や受賞論文等を対象にした最近の研究動向について、関連論文を引用し、Graphical Abstract 等を利用しながらその概要をわかりやすく紹介する論文。

(6) Rapid Publication (4頁以内)

速報を要する短い論文。すなわち、新規性のある研究成果、技術開発に関する新発見、新アイデア、提案等。最短2週間で審査を完了する。迅速掲載のための費用を負担しなければならない。

(7) Opinion (2頁以内)

Materials Transactions に掲載された論文に対する意見、討論またはそれに対する著者からの回答とする。科学・技術的な発展に貢献できる内容であること。

(8) その他理事会で決議した分類

2. 投稿の方法

Mater. Trans. への投稿は <https://mc.manuscriptcentral.com/matertrans> にて原稿を提出する。

和文掲載済み論文の英訳論文の場合には、和文掲載済み論文 PDF も送付する。

3. 原稿

執筆要領に従って原稿を作成し指定のファイル形式に変換したものを提出する。

3.1 記載内容

①題目・著者名・研究機関、②英文概要・Keywords、③本文、④謝辞、⑤文献、⑥Appendix、⑦表・図説明一覧、⑧その後に各別紙の表・図を添付する。

3.2 単位

SI 単位を使用する。

3.3 引用文献・脚注

通し番号で^{1,2)}、あるいは³⁻⁶⁾のように表し、本文の末尾に一括記載する。著者名、誌名はすべて英語表記する(特に決まっていないものはローマ字表記する)。

4. 審査

投稿された論文は欧文誌編集委員会の独自の審査を経て欧文誌に掲載される。編集委員会から原稿の修正を求められ、あるいは返却されることがある。

5. 校正

初校は著者の責任で行う。著者校正は原則として1回とし、誤植の修正に限る。

6. 投稿者負担金

6.1 投稿・掲載費用を支払う(公開日から1年間有効の電子ジャーナル購読権 ID/Password を寄贈)。

6.2 カラー図表掲載を希望する場合は実費を負担する。(1図表当り1,100円(税込))

※オンラインジャーナルのみ(冊子・別刷はすべてモノクロ表示)。

6.3 Regular Article の迅速掲載費用: 11,000円(税込)。

本 会 記 事

会 告	事務局：年末・年始休業のお知らせ	816
	2024年度会費納入のお願い	816
	各賞推薦のお願い(村上記念賞, 村上奨励賞, 奨励賞, 新進論文賞, まてりあ賞)	816
	各種学術賞・奨励金等候補者推薦について	820
	2024年春期(第174回)講演大会参加ならびに講演申込の募集	821
	オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座開催案内	824
	2024年秋期講演大会公募・企画シンポジウムテーマ提案募集	825
	講演大会今後の開催予定	826
	2023年秋期(第173回)講演大会記録・開催報告	829
	会誌・Mater. Trans. の購読費改訂のお知らせ	835
支部行事		827
会誌・欧文誌12号目次		834
掲示板		828
次号予告		835
新入会員		828
行事カレンダー		837

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。(https://jimm.jp/)
- ・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)

事務局：年末・年始休業のお知らせ

事務局は、下記日程で休業いたします。宜しく願いいたします。

2023年12月29日(金)～2024年1月8日(月)

2024年度会費納入のお願い

2024年の会費納入時期となりました。皆様、ご確認の上、ご継続の手続きをお願いいたします。

会費のお支払い確認

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

問合せ先 会員サービス係 E-mail: member@jimm.jp

各賞推薦(自薦)のお願い

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

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

第21回村上記念賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属および関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格別の功績を挙げたものに対する「日本金属学会村上記念賞」を2004年より設けており、第21回の授賞式を2024年の秋期講演大会(大阪大学)の折、9月18日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

■推薦要領

候補者の対象 金属および関連材料の工学の分野における先

駆的研究および開発に格段の功績を挙げた、2024年4月1日時点で46歳以上の研究者を対象とします。

推薦資格 本会代議員による推薦

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

1. 推薦フォーム

- ・入力項目は、全て必須。
- ・最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、ま

た、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。

- 本会活動への貢献：本会委員会、シンポジウム、セミナー企画等の活動実績を300字以内(英語の場合800字以内)で入力する。

2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内(英語の場合3,000字以内)にまとめ、入力する。

3. 論文リスト

- 特に主要な論文を「原著論文」「解説論文」「国際会議論文」に分別し、計30編以内を選び、論文題目、発表誌名、巻号頁、全ての著者を記載し、A4判のPDFファイルとして作成する。

推薦数の要件 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る候補者数は、1名である。

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2024年2月29日(木)

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

第21回村上奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある若手研究者を奨励するため「日本金属学会村上奨励賞」を設けており、第21回の授賞式を2024年の秋期講演大会(大阪大学)の折、9月18日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

■推薦要領

候補者の対象 金属および関連材料の工学の分野で卓越した業績を挙げつつある、2024年4月1日時点で40歳以下の若手研究者を対象とします。

推薦資格 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

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

1. 推薦フォーム

- 推薦者資格を選択する。
- 入力項目は、全て必須。
- 最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。

- 本会活動への貢献：本会の委員会、シンポジウム企画、セミナー企画、論文投稿等の活動実績を300字以内(英語の場合800字以内)で入力する。

2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内(英語の場合3,000字以内)にまとめ、入力する。

3. 論文リスト

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

推薦数の要件 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る候補者数は、1名である。

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2024年2月29日(木)

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

第34回奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では次世代を託する優れた若手研究者を顕彰するために1991年から「日本金属学会奨励賞」を設けており、第34回の授賞式を2024年の秋期講演大会(大阪大学)の折、9月18日に行います。

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

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

■推薦要領

候補者の対象 2024年4月1日時点で35歳以下の方で、金属・材料工学並びに関連分野において優れた業績を挙げつつある将来性豊かな研究者・技術者を対象とします。

対象部門 学術部門、技術部門※の2部門
※技術部門は企業の研究者または技術者を対象とします。

推薦資格 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

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

ので、ご注意願います。

1. 推薦フォーム

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

2. 業績の概要と推薦理由

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

3. 論文リスト

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

4. 取得済特許リスト

- 特に主要な取得済特許の番号、題目、発明者、登録日を入力する。

5. 論文リストおよび取得済特許リストは、計15編以内を選び、A4判のPDFファイルとして作成する。

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り

学術部門

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

技術部門

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2024年2月29日(木)

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

第4回新進論文賞 候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では秋の大会で前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された若手の著者による論文の中から、学術上または技術上特に優秀な論文に対し、「日本金属学会新進論文賞」を授賞し

ており、第4回の授賞式を2024年の秋期講演大会(大阪大学)の折、9月18日に行います。

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

第4回新進論文賞の対象論文

- 日本金属学会誌：第87巻1～12号(2023年)掲載分
 - Materials Transactions: Vol. 64 No. 1～12(2023年)掲載分
- 注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

- (1) 2024年4月1日時点で、第1著者が35歳以下の日本金属学会誌及びMaterials Transactions掲載論文を対象とする。
- (2) 対象部門は「日本金属学会誌」「Materials Transactions」の2部門とする。
- (3) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」又は「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。
- (4) Materials Transactions掲載論文は、「Regular Article」又は「Technical Article」のカテゴリーに属する論文であること。
- (5) Materials Transactionsに英文発表後に和訳して日本金属学会誌に投稿された論文、もしくは日本金属学会誌に発表後に英訳してMaterials Transactionsに投稿された論文ではないこと。
- (6) コピーライトが本会に帰属していること(本会が著作権を保有している論文)。

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り

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

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

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切：2024年2月29日(木)

照会先 会誌・欧文誌編集委員会

E-mail: sadoku@jimm.jp

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

第14回までりあ賞 推薦(自薦)のお願い

会報編集委員会では毎年、会報「までりあ」に論文または記事を掲載し、金属およびその周辺材料の学術および科学技術の振興に顕著な貢献をしたと思われる方に授賞をする「日本金属学会までりあ賞」を設けており、第14回の授賞式を2024年の秋期講演大会(大阪大学)の折、9月18日に行います。

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

■第14回「までりあ賞」推薦要領

(1) までりあ論文賞

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

(2) までりあ啓発・教育賞

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

授賞対象記事 2021年～2023年掲載済記事(授賞済記事は除く：授賞済記事はホームページに掲載しません。)

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

までりあ論文賞

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

までりあ啓発・教育賞

- (1) 一般読者の理解度：読みやすさ、分かりやすさ、簡潔さ等
- (2) 一般読者の関心度：話題性、核心性、革新性等
- (3) 記事の独創性：問題の抽出およびその解析・解説の適

切さと独創性等

- (4) 啓発又は教育への貢献度：社会への材料の重要性の啓発または高等教育機関における教育への貢献度
- (5) 情報発信度および注目度：マスコミ報道、本会の講演大会や学術誌での発表(自己申告)、までりあデータベースアクセス件数(事務局調査)等

推薦資格 「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「正員3名」

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

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

推薦締切 2024年2月29日(木)

推薦 URL までりあ論文賞

<https://data.jim.or.jp/jim/materiashou/ronbun/materiashou>

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

照会先 会報編集委員会

E-mail: materia@jim.jp

お知らせ

※第72回論文賞の推薦募集は、2024年4月～6月に行い(2024年4号会告)、2025年春の授賞となります。

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(2023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7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9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16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14日
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18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(2023年の例)(本会締切は2ヶ月前)
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月13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20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11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11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17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/jigyoku/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



2024年春期(第174回)講演大会参加ならびに講演申込の募集

2024年春期講演大会を、3月12日(火)から15日(金)まで、東京理科大学葛飾キャンパスで開催します。ご講演ならびに皆様のご参加を下記の通り募集いたします。

高校生・高専学生ポスターセッションは、3月12日(火)に東京理科大学葛飾キャンパスで、3月19日(火)にオンラインで開催します。(選択された発表方法により開催日が変わります。)

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

講演大会日程

日 時	行 事
3月12日(火)午後	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
3月13日(水) 9:00~9:40 10:00~11:50 13:00~ 18:00~	開会の辞, 贈呈式 学会賞受賞記念講演, 本多記念講演 学術講演 懇親会(会場検討中)
3月14日(木) 9:00~17:00	学術講演
3月15日(金) 9:00~16:30	学術講演
3月19日(火)	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

◆懇親会

開催日時: 2024年3月13日(水)18:00~(予定)

開催場所・料金: 詳細が決まり次第ご案内いたします。

講演大会参加申込について

◆申込の種別と申込期間

(1) 事前申込(2月22日(木)をもって事前参加申込終了となります)

申込期間: 2023年11月27日(月)~2024年2月22日(木)

URL: <https://www.jim.or.jp/convention/2024spring/>

決済方法: クレジットカード, コンビニ支払, 銀行振込



(2) 後期(当日)申込

申込期間: 2024年2月29日(木)~3月19日(火)

URL: https://www.jim.or.jp/convention/2024spring_after/

決済方法: クレジットカード



(3) 相互聴講(現地申込のみ)

申込期間: 2024年3月12日(火)~15日(金)

URL: https://www.jim.or.jp/convention/2024spring_after/

決済方法: クレジットカード

問合せ先: 講演大会係 annualm@jimm.jp

~皆様のご参加をお待ちしております~

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

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

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

• お支払後の取消は、ご返金できませんのでご了承下さい。

• 領収書は、決済完了後に申込画面(「講演大会 MyPage」)からダウンロードし、印刷して下さい。

*1 **65歳以上の個人会員** : 会員情報に生年月日の登録がない場合は課金されます。会員情報に生年月日を登録していない方は、参加申込みの前に annualm@jimm.jp まで会員番号・氏名・連絡先・生年月日をお知らせ下さい。

*2 **学生員** : 卒業予定変更等により登録されている会員種別が実際と異なる場合は、事前に会員種別の変更手続きを行ってから、大会参加を申込み下さい。会員情報に登録された卒業年次を超えると、自動で正員に変更されています。

*3 **ユース会員が高校生ポスター発表以外で発表する場合は、登壇費5,000円が必要です。**

*4 非会員は、講演申込サイトの各講演種別の「非会員はこちら」をクリックして、講演申込みをして下さい。非会員の参加申込者には、1年間の会員資格を付与します。ただし特典は重複して付与しません。

◆参加証

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

*「日本金属学会ロゴ入りストラップ付参加証ケース」をお持ちの方はご持参下さい。ケースが必要な方には受付で配布します。無料のケースと有料のケース(ロゴ入り、価格500円(税込み))を受付で準備しています。

◆講演概要の閲覧・ダウンロード

公開場所：講演大会ウェブサイト(ログイン必要)

公開日：講演大会2週間前の**2024年2月27日(火)**(特許関係の手続きは、公開日までに済ませて下さい。)

ログイン：ログイン用のIDとパスワードが必要です。

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

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

◆講演概要集の購入

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

◆相互聴講について(会期中のみ受付)

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

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

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

講演の申込について

◆申込期間(締切厳守!)

- (1) 一般, 公募シンポジウム, 共同セッション: 2023年11月27日(月)~**2024年1月10日(水)17時**
(2) ポスター, 高校生・高専学生ポスター: 2023年11月27日(月)~**2024年1月17日(水)17時**

*講演申込と同時に参加申込が登録されます。

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

講演を申込み前に下記を確認して下さい

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

これから入会して講演申込をする方へ

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

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

入会申込期限: 2024年1月8日(月)

年会費納入期限: 2024年1月31日(水)

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

講演申込要領

まてりあ62巻11号会告またはホームページ(イベント→講演大会→講演登録・参加申込のご案内)をご確認下さい。

2024年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウム

公募シンポジウム

- S1 マルテンサイト変態「温故知新」
S2 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V
S3 超低損失軟磁性材料の開発動向~パワー半導体との共創による革新的パワエレシステムの実現に向けて~
S4 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムV—さまざまな格子欠陥・相界面のアナロジー体系化による学理の再認識—
S5 材料表面の化学I—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—

企画シンポジウム

- K1 生体界面での材料の分解・劣化・安定化
K2 産学共創シンポジウム・カーボンニュートラルを目指して1

日本金属学会2024年春期(第174回)講演大会 第11回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日: 2024年1月17日(水)

詳細は, まてりあ62巻11号会告(760頁)またはホームページ(イベント→講演大会)をご覧ください。

オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座開催案内 『結晶学の基礎』

New!!

配信：2024年1月9日(火)～2月4日(日)

本講座では、一定の周期で配列した原子あるいは分子からなる物質の構造、すなわち「結晶構造」を理解する上で必要な知識と、この結晶構造を明らかにするための最も一般的な実験ツールであるX線回折について学びます。

2022年に開催した当該講座の録画をオンデマンドで視聴いただきます。配信期間中は好きな時間に聴講できます。

講師 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構客員教授、京都大学名誉教授 松原英一郎先生
1977年3月京都大学工学部冶金学科卒業。1984年8月ノースウエスタン大学 Ph.D. 東北大学助手・同大学講師・京都大学助教授を経て、1999年9月東北大学金属材料研究所教授。2005年4月京都大学工学研究科教授。2020年4月より現職。

コーディネーター 株式会社プロテリアル 西内武司

カリキュラム

1時限目	結晶構造の分類と表し方
2時限目	結晶面・方位の表し方
3時限目	結晶構造とX線回折の関係
4時限目	X線の性質と吸収・散乱・回折
5時限目	結晶構造と回折の条件
6時限目	X線による粉末結晶の構造決定

*約6時間の講義です。

視聴期間 2024年1月9日(火)～2月4日(日)

視聴方法 オンデマンド配信システム UIshare から視聴いただきます。
資料は同システムのウェブサイトからダウンロードをしてご覧いただけます。
視聴方法および資料のダウンロードの方法は受講申し込み者にメールでご案内します。

受講料

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

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

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

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

申込締切 2024年1月12日(金)

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

協賛予定 応用物理学会、軽金属学会、資源・素材学会、自動車技術会、ステンレス協会、電気化学会、電気学会、日本MRS、日本化学会、日本機械学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本分析化学会、粉体粉末冶金協会(50音順)

問合せ先

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム係
〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
E-mail: meeting@jim.jp
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

2024年秋期講演大会公募シンポジウム テーマ提案募集

提案期限：2024年2月20日(火) 期日厳守

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

【募集対象の大会】

2024年秋期講演大会(開催会場：大阪大学)

【実施要領】

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

- 講演の種類：基調講演と応募講演
- 提案書の内容：①テーマ、②テーマ英語名、③趣旨、④基調講演の予定題目と講演者、⑤推定講演数、⑥希望会場広さ・開催希望日、⑦提案者所属・役職/氏名、⑧通信先住所・TEL・FAX、E-mail
- 提案書送付先：下記宛てE-mailで送付して下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。
- テーマの選定：講演大会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。
- 採択テーマの告知と講演募集：「まてりあ」5号2024年秋期大会講演募集会告ならびに本会ホームページで行う。
- 講演申込締切日：2024年7月初旬予定
- 講演プログラム：テーマ責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。
- 講演時間：応募講演：15～25分(+討論時間5～10分=合計20～35分)
基調講演：30分(+討論時間10分=合計40分)
- 講演概要原稿分量：A4判1ページ(応募講演、基調講演とも)

【公募シンポジウム企画の採択基準】

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

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

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

- (3) 継続テーマの採択条件(上記に追加)

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

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

[参考] 2023年秋期講演大会における公募テーマ

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スV

問合・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛

2024年秋期講演大会企画シンポジウム テーマ募集

提案期限：2024年2月20日(火) 期日厳守

最新の研究や技術を発信し、多くの研究者・技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、2017年秋期講演大会より企画シンポジウムを実施しています。従来の公募シンポジウムとは違い、企業の方に積極的に講演頂くため、講演概要原稿の提出は問いません。講演発表は、一般(応募)講演枠は設けず、依頼講演および基調講演に限定いたします。

次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマおよび他学会との連携企画等積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

【募集対象の大会】

2024年秋期講演大会(開催会場：大阪大学)

【実施要領】

1. 企画責任者：企画責任者は会員であること
2. 共同責任者：共同責任者は、公募シンポジウムの co-chair と重複してもよいが、同時期開催の企画責任者(代表者)と重複しないこと。
3. 講演の種類：依頼講演および基調講演(一般会員からの講演募集は行わない)
4. 講演時間：依頼講演(15分, 20分, 25分), 基調講演(25分~30分)
5. 質疑応答時間：5分または10分
6. 概要原稿：A4サイズ1枚(他の講演種別と同じ) または 提出不要
7. 非会員講演者の取扱い：参加費, 交通費, 謝金は公募シンポジウムに準ずる。
8. テーマの決定：講演大会委員会において採択を決定し、結果は提案者に通知します。
テーマ責任者(代理者可)は、講演大会委員会で企画提案の説明を行うこと。
9. 採択テーマの案内：「まてりあ」ならびに本会ホームページで行う。
10. 講演プログラム：企画責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。

11. 提案書送付先：(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛
下記あて E-mail で送付して下さい。2, 3日過ぎても受理通知のない場合は、ご連絡下さい。

各締切日等：下記表参照

	2024年秋期大会
企画募集案内	12月1日(12号会告)
応募締切	2024年2月20日
企画テーマの決定	2024年3月末までに
講演者リスト提出期日	2024年5月25日頃予定
プログラム提出期日(講演登録締切)	2024年7月初旬
講演大会企画委員会(会場決定)	2024年7月下旬予定
プログラム公開	2024年8月初旬予定

○講演時間(討論時間)：15分~30分(5分~10分)

○非会員の取扱い(参加費, 交通費, 謝金)：公募シンポジウムに準ずる

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

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛

日本金属学会講演大会 今後の開催予定

(2023年秋現在)

- ・2024年秋期(第175回)講演大会(まてりあ63巻5号会告予定)
開催日：2024年9月17日(火)~20日(金) 会場：大阪大学豊中キャンパス
- ・2025年春期(第176回)講演大会(まてりあ63巻11号会告予定)
開催日：2025年3月7日(金)~10日(日) 会場：東京都立大学南大沢キャンパス

支部行事

中国四国支部

第139回金属物性研究会ならびに 軽金属学会支部研究会

—中国四国支部 チタン・チタン合金研究最前線(6)—

チタンは高比強度や高耐食性などの優れた特性を有し、航空・宇宙産業をはじめ化学工業分野や生体材料分野等で活用されている。本第139回金属物性研究会では、中国四国支部においてチタン・チタン合金の研究を精力的に進めている研究室の研究者が集い、チタン研究の情報交換を行い深く議論する場を提供します。チタン・チタン合金の研究・開発にご興味のある方はぜひ積極的なご参加をお願い申し上げます。

日時 2023年12月14日(木) 13:00~17:30

場所 ピュアリティまきび2階小会議場

(<http://www.makibi.jp/>)

共催 日本金属学会・日本鉄鋼協会 中国四国支部および
軽金属学会 中国四国支部

プログラム

開催の挨拶(岡山大学 竹元嘉利)

13:00~13:05

研究会

座長:岡山大 竹元嘉利

13:10~13:40 Ti-4Mo合金の時効後期過程における相変態挙動に及ぼす酸素添加効果

愛媛大学大学院 ○江森希望(M2), 小林千悟, 岡野 聡

13:40~14:10 Ti-Mo-O合金の機械的特性に及ぼす組織形成ならびに組成成分の影響

愛媛大学大学院 ○芝田翔真(M1), 小林千悟, 岡野 聡

14:10~14:20 一休 憩一

座長:愛媛大 小林千悟

14:20~14:50 Ti-20Nb合金の相変化に及ぼす焼戻し速度の影響

岡山大学大学院 ○尾形陸斗(M2), 竹元嘉利, 岡山理科大学 清水一郎

14:50~15:20 Ti-10V-2Fe-3Al合金の焼戻しに伴う機械特性変化

岡山大学大学院 ○四宮大輝(M2), 石原大暉, 竹元嘉利

15:20~15:30 一休 憩一

招待講演

座長:岡山大 竹元嘉利

15:30~16:30 マルテンサイト組織を有するTi-NbおよびTi-18Nb-xAl合金の材料特性

鈴鹿工業高等専門学校 ○万谷義和

16:30~17:30 総合討論

チタン合金の相変態のパスと形成組織についての疑問:話題提供 愛媛大学 小林千悟

参加費 無料(事前申し込み不要)

世話人 竹元嘉利(岡山大学), 小林千悟(愛媛大学)

問合せ 岡山大学 竹元嘉利

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

北海道支部

2023年度 日本金属学会・日本鉄鋼協会 北海道支部合同冬季講演大会開催並びに 講演募集のお知らせ

日時 2024年1月18日(木)~19日(金)

会場 北海道大学大学院工学研究院フロンティア応用科学研究棟(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

申込方法 講演(口頭発表)希望者及び聴講希望者は、ホームページにある申込フォームからお申し込み下さい。講演概要原稿は「テンプレート.docx」を用いて作成し、Word形式のファイルとPDF化したファイルの双方を申込フォームにアップロードして下さい。

【申込フォーム】

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScpxUmoNk5TP2iRduJ7m-feMfyDMMokMwccXKDec0cUYfp08g/viewform?usp=pp_url

学生表彰 創意工夫にあふれた口頭発表を行った優秀学生に対して、鉄鋼協会北海道支部、金属学会北海道支部それぞれから「奨励賞」が授与されます。希望される方は申込フォームに必要な情報を入力して下さい。※ 申込み際は研究室の教員が事前登録をして、審査に協力頂けることが必須です。

一般表彰 創意工夫にあふれた口頭発表を行った若手技術者・研究者(発表日に35歳未満・学生は除く)の優れた研究発表に対して表彰を行います。希望される方は申込フォームに必要な情報を入力して下さい。

申込み締切日

講演申込(講演概要原稿提出締切) 2023年12月15日(金)

聴講事前申込 2023年12月15日(金)

参加費 事前申し込みの一般は2,000円(当日3,000円)、学生1,000円(聴講のみの学生は無料)の参加費を申し受けます。当日会場でお支払い下さい。

懇親会 1月18日(木)の講演後に開催します。

会費は事前申し込みの一般3,000円(当日4,000円)、事前申し込みの学生1,000円(当日2,000円)です。参加希望者は当日会場でお支払い下さい。

提出物の取扱い 提出いただいた講演概要原稿は、取り纏めてデータ(PDF)で参加者へ配布すると共に、科学技術振興機構の文献データベースに収録させていただきます。よって、申込み前に一般公開を前提とした諸手続きを済ませていただきますようお願いいたします。

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合せのみ掲載。
 有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。
 「まてりあ」とホームページに掲載；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@jimm.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・インテグレーション研究センター
 東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協 賛 (公社)日本金属学会 他
- 開催会場 東京大学生産技術研究所 An 棟 2 階
 コンベンションホール 〒153-8505 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・問い合わせ：岡部研 レアメタル研究会
 担当 宮崎智子(okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)

- 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10日(日) (2023年度 第5回)

- 第109回 2024年1月12日(金) 14:00～
 An 棟 2F コンベンションホール
 ★貴金属シンポジウム(第11回)+新年会★ (合同開催)
 テーマ：貴金属の製錬・リサイクル
 午後2:00～

講演【敬称略】

★プログラムの順番等は変更することがあります★

- 八戸製錬における貴金属の回収について
 八戸製錬株式会社 代表取締役社長 武田 哲
- 住友金属鉱山における最近の貴金属湿式プロセスについて
 住友金属鉱山株式会社 金属事業本部東予工場 精金課 課長 土岐典久
- Pb フリー抵抗ペーストの開発
 田中貴金属工業株式会社 湘南工場 機能膜開発セクション 岩野卓司
- JX 金属のサステナブル・カッパービジョンとグリーンハイブリッド製錬に向けた不純物対応(仮)
 JX 金属製錬株式会社 佐賀関製錬所 製造部精金銀課 課長 中嶋宏太
- 白金族金属リサイクルにおける化学的/物理的前処理の研究開発動向
 九州大学大学院 工学研究院 材料工学部門 准教授 谷ノ内勇樹

ポスター発表+研究交流会・意見交換会(+新年会)
 @An 棟 1F レストランアーベ

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

新 入 会 員

(2023年9月21日～2023年10月20日)

ユース会員

稲田 雅之
 西川 歩花 大阪教育大学附属高等学校

山本 大樹 兵庫県立宝塚北高等学校

正 員

菊池 義治 ユケン工業株式会社
 金 亨培
 石代 剛之 株式会社アイシン
 佐々木 健了 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社

徐 超男 東北大学
 玉田 和寛 名古屋市工業研究所
 藤田 工 NTN 株式会社

学 生 員

川住 聡 東京都市大学

外国学生会員

SK MD ARIF National Institute of Technology Durgapur, India

2023年秋期(第173回)講演大会記録

2023年秋期講演大会は、9月19日(火)から22日(金)の期間、とやま自遊館および富山大学五福キャンパスにおいて開催した。また、9月26日(火)にオンラインで高校生・高専学生ポスターセッションを開催した。

- 9月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(とやま自遊館)
キャリアサポート企業ポスター展示(とやま自遊館)
- 9月20日(水) 9:00~9:40 開会の辞, 各賞贈呈式(総合教育研究棟多目的ホール)
10:00~17:35 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション(総合教育研究棟および人文学部 16会場)
12:10~12:50 第16回企業ランチョンセミナー(1会場)
18:30~20:30 懇親会(ANAクラウンプラザホテル富山)
- 9月21日(木) 9:00~17:30 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション, 国際セッション(総合教育研究棟および人文学部 17会場)
12:10~12:50 第16回企業ランチョンセミナー(1会場)
- 9月22日(金) 9:00~17:35 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 国際セッション(総合教育研究棟および人文学部 16会場)
- 9月19日~9月22日 総合受付(総合教育研究棟1階) 付設機器・カタログ展示会(総合教育研究棟1階)
- 9月26日(火) 14:00~16:30 高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

開会の辞(9月20日)

松田健二実行委員長より挨拶があり, 続いて榎学会長より開会の挨拶があった。



榎会長の開会のご挨拶。

贈呈式(9月20日)

榎学会長の式辞に続き, 下記の贈呈式を行った。(まてりあ11号掲載済)

- 第20回村上記念賞贈呈式 1名に対し賞状, 賞牌ならびに賞金贈呈。(受賞者; 11号717頁)
- 第20回村上奨励賞贈呈式 3名に対し賞状ならびに賞金贈呈。(受賞者; 11号717頁)
- 第33回奨励賞贈呈式 6名(学術部門5名, 技術部門1名)に対し賞状ならびに賞牌贈呈。(受賞者; 11号718頁)
- 第46回技術開発賞贈呈式 1件7名に対し賞状ならびに楯贈呈。(受賞者; 11号719頁)
- 第71回論文賞贈呈式 5編31名(物性部門1編, 組織部門1編, 力学特性部門1編, 材料プロセッシング部門1編, 工業材料部門1編)に対し賞状ならびに楯贈呈。(受賞者; 11号720頁)
- 第3回新進論文賞贈呈式 6編6名に対し賞状贈呈。(受賞者; 11号722頁)
- 第13回まてりあ賞贈呈式 3編7名(まてりあ論文賞2編, まてりあ啓発・教育賞1編)に対し賞状贈呈。(受賞者; 11号724頁)



~受賞者の皆様, おめでとうございます。~

日本金属学会・日本鉄鋼協会合同懇親会(9月20日)

日時: 9月20日(水)18時30分~20時30分

場所: ANAクラウンプラザホテル富山「鳳」

(〒930-0084 富山県富山市大手町2-3)

参加者: 162名(本会への申込者・招待者113名)

開会の辞・司会 大平洋製鋼株式会社執行役員 山本有一
大会実行委員長挨拶 富山大学教授 松田健二
来賓挨拶 富山大学学長 齋藤 滋
日本金属学会会長挨拶 東京大学教授 榎 学
日本鉄鋼協会会長挨拶・乾杯 東北大学教授 古原 忠
懇 談
余 興 小きりこ節
閉会の辞 YKK株式会社執行役員 喜多和彦



松田実行委員長のご挨拶。

齋藤富山大学学長のご挨拶。



こきりこ節♪(富山民謡)。

富山の銘酒が沢山出ておりました。

大会参加者

1,560名(事前：1,438名，後期(当日)：122名)

- 有料申込数1,447名
正員644名，学生員631名，非会員一般64名，非会員学生32名，維持員会員社員45名，協賛学協会(鉄鋼協会)会員31名
- 無料参加者数113名
受賞講演者12名，高校生ポスター参加者11件，65歳以上会員・名誉員50名，非会員基調講演・招待講演者・国際セッション講演者40名

※相互聴講は実施しなかったが，日本鉄鋼協会会員の参加費は，本会会員と同額とした。

学術講演会(9月20日～23日)

最終講演件数 1,002件

欠講4件(講演番号：一般講演 No. 13, No. 177, No. 185, ポスターセッション：P244)

公募シンポジウム講演9テーマ217題(奨励賞受賞講演1題，村上記念賞受賞講演1題，基調講演50題含む)

企画シンポジウム4テーマ 21題

国際セッション22題

一般講演423題(奨励賞受賞講演5題，技術開発賞受賞講演1題，村上奨励賞受賞講演3題，招待講演2件含む)

共同セッション2テーマ19題

ポスターセッション277題

高校生ポスター 10題

講演会場 18会場(A～Q会場，ポスターセッション会場)

第41回ポスターセッション(9月19日)

日時：9月19日 13：00～16：30

第1部 13：00～14：30

第2部 15：00～16：30

場所：とやま自遊館「ホール」(〒930-0805 富山県富山市湊入船町9番1号)

過去最多の277件のポスター発表が行われた。新型コロナウイルスが5類へ移行して初めて制限のない中での開催で，大変多くの聴講者が来場し，ポスターセッション会場はいつもながら大変盛況であった。

優秀ポスター賞審査対象となっている253件の発表を審査した。審査の結果，優秀ポスター賞の受賞者54名を決定し，9月21日に受賞者を現地総合受付および本会講演大会ホームページで発表した。

第10回高校生ポスターセッション(9月19日および9月26日)

日時・開催形態：

9月19日(火) 13：00～16：30

於：とやま自遊館 第1部 13：00～14：30

第2部 15：00～16：30

9月26日(火) 14：00～16：30

於：オンライン 第1部 14：00～15：00

第2部 15：30～16：30

発表者が現地発表とオンライン発表のいずれかを選択し，現地発表5件，オンライン発表5件の合計10件の高校生・高専学生(3年生以下)ポスター発表および審査を行った。審査結果は10月2日に講演大会ホームページにて発表し，日本金属学会会長賞1件，最優秀賞3件，優秀賞1件を授賞した。

現地発表は第41回ポスターセッションと同じ会場で行い，オンライン発表では事前に発表者から提出されたポスター画像をポスター掲示システム上に掲載し，zoom ミーティング上で発表した。いずれの発表も熱心に取り組んだ研究を発表していた。発表した生徒は大学教員等からアドバイスを受け，今後の研究の参考や励みになると喜んでいて。現地発表では発表者が通常のポスター発表を聴講する姿があり，オンラインでも他校の発表を聴講する発表者もいて，発表者の意識の高さを感じられた。また，今回も指導教員交流会(17時～18時オンライン)を実施し，参加の感想や要望の聴取等の情報交換を行った。



活発な議論が飛び交うポスターセッション会場。

金属学会・鉄鋼協会共同セッション

「チタン・チタン合金」18題(金属11題, 鉄鋼7題)は9月21日に金属学会 Q 会場で開催した。

「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」27題(金属8題, 鉄鋼19題)は9月20日～21日に鉄鋼協会会場14で開催した。

国際セッション

第2回国際セッションを講演大会の3日目と4日目に、「Cutting-Edge Science and Technology in Additive Manufacturing」のテーマで、ハイブリッド形式で開催した。(KIM-JIMM 共同シンポジウムと合同開催)

日本から6名, 韓国から6名, インドから2名, インドネシアから1名, オーストラリアから2名, タイから1名(オンライン参加), 台湾から2名, 中国から2名の, 計22名の講演が行われた。国内外からのオンライン聴講者(最大5名, 延べ11名程度)を含めて, 聴講者数は最大で80名程度であった。また, 一日目終了後に, 講演者の懇親会を開催し, 交流を深めることができた。



国際セッションの講演者の方々。～Special Thanks～

付設機器・カタログ等展示会(第48回)

機器展示16社の出展の協力を得た。各社のご厚意に感謝いたします。

常時開設 オンライン機器展示会

第16回企業ランチョンセミナー(9月20日, 9月21日)

昼休み時間帯に昼食(軽食)をとりながら, 講演大会参加者に最新の技術情報を聴講いただく, ランチョンセミナーを開催し, 以下の企業が30分程度のセミナーを行った。

9/20(水)

●カールツァイス(株): 参加者50名

9/21(木)

●サーモフィッシャーサイエンティフィック: 参加者40名

●(株)TSLソリューションズ: 参加者40名

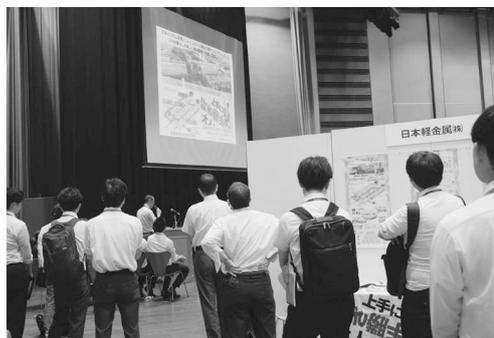
●オックスフォード・インストゥルメンツ(株): 参加者37名

学生キャリアサポート企業ポスター(9月19日)

企業が学生会員に向けて, 会社概要, 今後の採用情報, インターンシップ募集情報, 研究開発動向等を紹介する企業ポスター展示およびショートプレゼンテーションをポスターセッションの会場で実施した。

●(株)豊田中央研究所

- 石福金属興業(株)
- (株)徳力本店
- 三菱マテリアル(株)
- 大和工業(株)
- (株)UACJ
- 日本軽金属(株)



企業によるショートプレゼンテーションが行われました。

託児室

9月19日(火)～22日(金)に託児室を開設した。

(9月19日とやま自遊館, 9月20日～22日富山大学)

利用者数

9月19日 3名, 9月20日 4名, 9月21日 6名,

9月22日 4名

利用人数に応じてシッター1～2名体制で実施した。

第14回男女共同参画「女性会員の集い」(9月22日)

女性会員交流・人脈作り・キャリアデザイン・職場の環境や人間関係で困ったこと等の意見交換を行う集いが開催された。参加者14名



貴重な経験談を聞きながら。

第21回 World Materials Day Award

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

大会雑記

富山大学での講演大会は31年ぶり4回目の開催であった。

2020年に開催予定であったが、新型コロナウイルス感染症拡大のためオンライン開催に変更となり、当初より3年遅れての開催となった。

9月19日のポスターセッションは富山大学から離れた場所にある「とやま自遊館」で開催した。富山駅から徒歩圏内の施設であり、会場も広がったが、発表者および聴講者とも大変多くの来場があり熱気に溢れていた。

9月20日からの講演は富山大学総合教育研究棟および人文学部の17会場で開催した。最寄りの公共交通機関駐車場から会場までの距離が長く、会期中に雨が降ったこともあって、来場に不便をかけたが、台風などの天候悪化の影響を大きく受けることなく、終了することができた。

5月から新型コロナウイルス感染症の扱いが5類感染症に変更になってから、初の通常通りの立食形式での開催となった懇親会は、「ANAクラウンプラザホテル富山」で開催した。参加者は地酒や伝統芸能こきりこ節等を楽しみながら歓談が盛り上がり盛会裡に終了した。

富山大学での日本金属学会講演大会開催に当たって、松田健二実行委員長をはじめとして、池野進先生の他、多くの実行委員の皆様には準備開始より長期にわたり大変なご尽力とご配慮をいただき、そのおかげで大会を盛会裡に運営することができました。お忙しい中を本会のために長期間を割き、諸般について万端のご協力をいただいた実行委員やアルバイト学生の皆様、大学関係者各位に、衷心より厚くお礼申し上げます。



2023年9月富山大学にて。～お疲れ様でした～

2023年秋期講演大会開催報告(ホームページ版*のご紹介)

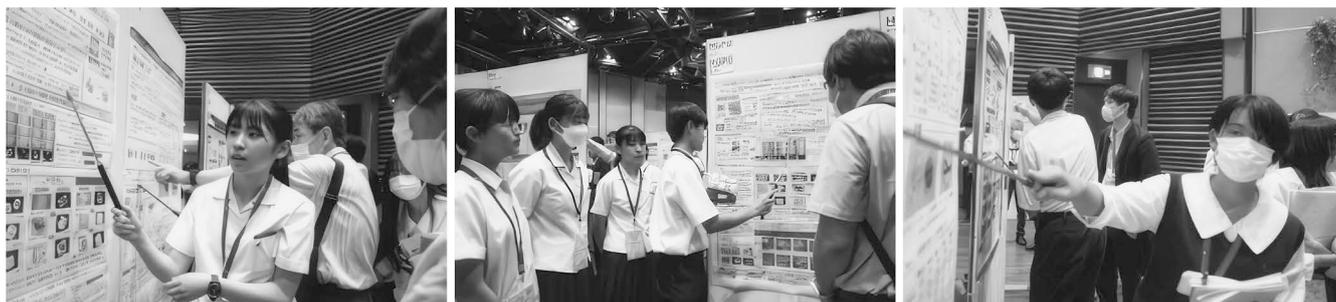
2023年9月19日から22日、2023年秋期講演大会(第173回)が富山で行われました。参加者は1,560名、講演件数は1,002件で、ポスターセッションは278件、高校生のポスターセッションは10件(うち5件はオンライン)となりました。

初日の9月19日は、とやま自遊館にてポスターセッションが行われ、研究者、大学生や大学院生からのポスター発表のほか、SSH(スーパーサイエンスハイスクール)に指定されている高校等も参加し、高校生たちによるポスター発表も行われました。また企業によるミニプレゼンが行われました。会場には多くの来場者と発表者、採点者であふれかえり、コロナ前の活気が戻りました。9月21日には優秀ポスター賞・高校生ポスター賞授賞者が発表されました。受賞者のご紹介は、[本号776頁](#)をご覧ください。
(*ホームページ: イベント→講演大会をご覧ください。)

◎ポスターセッションの様子



◎高校生によるポスターセッション



◎企業プレゼン



◎開会の辞と贈呈式



20日から22日は富山大学五福キャンパスに会場を移し、一般講演が行われました。20日には開会式が行われ、榎会長による開会の辞と各賞の贈呈式が行われました。村上記念賞、村上奨励賞、奨励賞技術開発賞、論文賞、新進論文賞、まてりあ賞が各受賞者に贈呈されました。

◎一般講演と企画シンポジウム



20日の午後からは一般講演が29のセッションテーマに分かれて行われ、【モビリティの革新に貢献する材料技術の最新動向】などの4つの企画シンポジウムが開催されました。

◎企業による展示

企業によるランチョンセミナーや企業展示にも多くの方が参加しました。



また本大会では、通常の形式での懇親会をコロナ禍後はじめて開催することができ、和やかな雰囲気の中で活発な意見交換や交流が行われました。

またお会いしましょう!!

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 87, No. 12 (2023)

—論文—

バイモダル Ti-6Al-4V 合金における Dwell 疲労中のき裂先端の変形とそのき裂・破面形態との関連

青木佑真 小山元道 田中將己 津崎兼彰

レーザー粉末床溶融結合法により作製された AISi10Mg/SiC 複合体の組織と機械的性質に及ぼす繰り返しビーム走査の影響

宮内 創 松本洋明 横田耕三

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 64, No. 12 (2023)

—Regular Article—

Microstructure of Materials

High-Resolution Digital Image Correlation Analysis of Layered α/β Two-Phase Ti-12Mo Alloy under Compressive Condition

Junyu Zhu, Fabien Briffod, Takayuki Shiraiwa, Manabu Enoki and Satoshi Emura

Effects of B Addition on Precipitation Behavior of β Phase in Al-Mn-Mg-B Alloys

Takashi Shinozaki, Jun Shimojo, Toshihiko Shinya and Katsushi Matsumoto

Influence of Reaction Parameters on the Structural and Morphological Properties of Carbon Nanocoils Synthesized Using Al_3Y and Effect of Rh Addition

I. Jenisha Daisy Priscilla, Sea-Fue Wang and Satoshi Kameoka

Mechanical Dissolution of Cu_5Zr Phase and Formation of Supersaturated Solid-Solution Nanocrystalline Structure by High-Pressure Torsion in a Hypoeutectic Cu-2.7 at%Zr Alloy

Kenta Miyamoto, Takahiro Kunimine, Chihiro Watanabe, Ryoichi Monzen, Reza Gholizadeh and Nobuhiro Tsuji

Mechanics of Materials

Effect of TaC Powder Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Ti-Nb-Mn Alloy via Vacuum Sintering Process

Kuo-Tsung Huang, Shih-Hsien Chang, Yi-Wen Huang, Cheng Liang and Chien-Lun Li

Compressive Strength of a Pliocene Sedimentary Soft Rock Retrieved from Nankai Trough Ocean Drillings

Weiren Lin, Toshiaki Nakamura, Nana Kamiya and Sumihiko Murata

Dominant Factors Controlling the Initiation of Hydrogen Embrittlement in Al-Zn-Mg Alloy

Hiroyuki Toda, Kyosuke Hirayama, Shogo Yamaguchi, Hiro Fujihara, Ryota Higa, Kazuyuki Shimizu, Akihisa Takeuchi and Masayuki Uesugi

Materials Chemistry

Facile Synthesis of Spherical Porous Tricobalt Tetroxide and Metal Cobalt for High Quality Cobalt Production and Recycling

Shohei Matsunaga, Takahiro Suzuki, Takeshi Hagio, Jae-Hyeok Park, Yuki Kamimoto, Ryoichi Ichino, Kyohei Takeshita, Fumiatsu Sato, Kazuo Sasaya, Takahisa Iguchi and Minoru Tsunekawa

Atomically Resolved Scanning Tunneling Microscopy of Cleaved Chalcopyrite Surface

Kenya Kikuchi, Shu Kurokawa and Yu-ki Taninouchi

Effect of Elemental Sulfur on the Reduction Process of Laterite Nickel Ore under the Action of Methane

Fei Liu, Bo Li, Yonggang Wei, Shiwei Zhou and Hua Wang

Predictive Model of Thermodynamic Properties and CO_2 Corrosion of Carbon Steels in CCS Environments

Masakatsu Ueda and Toshiyuki Sunaba

High-Temperature Oxidation Behavior of 10 vol% AlN/ Al_2O_3 Composites

Phanuwat Khlaisongkhram, Yen-Ling Kuo and Makoto Nanko

Effect of Contact Mode of $TiO_2/g-C_3N_4$ Heterojunction on Photocatalytic Performance for Dye Degradation

Zijian Deng, Ryota Osuga, Masaki Matsubara, Kiyoshi Kanie and Atsushi Muramatsu

Synthesis Process of Titanium Sulfides Suitable for the Manufacturing Process of Titanium via the Thermal Decomposition Process by Controlling Oxygen and Sulfur Partial Pressures in a Dilute Hydrogen Gas Flow

Ichiro Seki

Preparation of Titanium-Calcium Alloy Films and Evaluation of Hydroxyapatite Formation Ability

Junko Hieda, Atsushi Kato and Hiroto Kuroyanagi

Materials Processing

Influence of Joining Conditions on Residual Oxide in Joining with Induction Heating

Toshiro Okazaki, Masayasu Ueno, Hideo Kijima and Masaru Miyake

Manufacturing Conditions for Non-Melting Polycrystalline Translucency Ceramics Using Composite Quartz Materials

Kazuya Miyagi and Yosuke Fukano

Effects of Oxygen Partial Pressure and Tolerance Factor on Phase Selection of $DyMnO_3$

Kenta Shimomura, Kazuhiko Kuribayashi, Yusaku Seimiya, Suguru Shiratori and Shumpei Ozawa

Fabrication of CrFeCoNiSi High Entropy Alloys Dispersed with Silicon Compounds by Low-Pressure Plasma Spraying

Yasuhiro Hoshiyama, Daichi Hamamoto and Tomoki Maruoka



日本金属学会誌・Materials Transactions の購読費改定のお知らせ

送料の値上げに伴い、誠に不本意ながら2024年1月より本会機関誌(日本金属学会誌, Materials Transactions)の購読費を下記の通り改定いたします。購読者の皆様には大変恐縮ではございますが、何卒ご理解のほどよろしくお願い申し上げます。

◆個人購読(2024年1月より)

* 2024年は隔月で印刷

会員の区分	日本金属学会誌*	Materials Transactions
会員・非会員問わず一律	22,200円(税込) (本体19,800円+送料2,400円)	56,252円(税込) (本体51,500円+送料4,752円)

<海外発送>

送付方法	日本金属学会誌*	Materials Transactions
船 便	23,100円 (本体18,000円+送料5,100円)	56,200円 (本体47,000円+送料9,200円)
航 空 便	30,600円 (本体18,000円+送料12,600円)	65,000円 (本体47,000円+送料18,000円)

◆機関購読(2024年1月より)

* 2024年は隔月で印刷

分 類	日本金属学会誌*	Materials Transactions
大学, 企業等	53,900円(税込) (本体51,500円+送料2,400円)	56,252円(税込) (本体51,500円+送料4,752円)

<海外発送>

送付方法	日本金属学会誌*	Materials Transactions
船 便	56,200円 (本体47,000円+送料5,100円)	56,200円 (本体47,000円+送料9,200円)
航 空 便	49,600円 (本体47,000円+送料12,600円)	65,000円 (本体47,000円+送料18,000円)



まてりあ第63巻1号 予告

[金属素描] No. 32 カルシウム

特集「ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明2」

[講義ノート] 透過電子顕微鏡 1. 微細構造評価機能理化学研究所 進藤大輔

[新技術・新製品]

—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます)



これで書ける！ 理系作文の鉄則46

ぜひ知っておきたい最強のコツとテクニック

斎藤恭一 著

自ら文章を書く場合や指導学生や部下に文章を書かせる際、「果たして、この書き方で、書き手の意図が読者に正確に伝わるだろうか？」との不安に苛まれることはないであろうか。著者の意図が的確に示されないことで、残念な判断（門前払い、再提出指示、不採択）を受けることになりかねない。また、脈絡の無い短文の羅列や、「#」（ハッシュタグ）はじめ諸々の記号を交えて構成されたメッセージによるSNSでのやりとりが全盛の昨今にあって、自他の文章の乱れや表現したいことを的確且つフォーマルに伝えられないもどかしさを感じておられる方も多いのではないだろうか。

本書は、理系学部で過ごした著者自身や著者がそこで指導してきた学生にまつわる様々な場面を臨場感いっぱいで紹介することで、読者の身の回りに置き換えて理解しやすいように構成されている。研究者にとって不可避である学会発表の要旨、論文、申請書、解説記事を執筆する場合を例に、これら文章を書くときに心得ておきたい基本的な心構え、テクニ

ック、コツなどについて、カバー袖にて「超実践的」と謳っている通り、作文実務の場で心得るべき鉄則として46項目が説かれている。この46という数が多いか少ないかはともかく、実際に示されてみると身につまされることが大半である。読者各位がこれまで無意識に使ってきた“自分流の”作文技術の再確認あるいは反省にもなるし、今後に向けた改善のヒントになるかもしれない。著者の実体験に裏打ちされているだけに、重みがある。

本書の目的は「伝える技術の向上」にあることから、その内容は文章作成のみならず、効果的なプレゼン資料の作成などにも生きてくるはずである。更にいえば、本書は日本語での理系作文を想定した書であるが、ここに示された鉄則は英作文の作成にも十分通じるとと思われる。作文技術の改善を考えている研究者に対して、是非お勧めしたい一冊である。

（産業技術総合研究所関西センター 田中秀明）

〔2023年 A5判 化学同人 160頁 本体1800円+税〕



追悼 本会名誉員 Professor Erhard Hornbogen を偲んで



3年前の2020年4月16日、Erhard Hornbogen 先生が逝去されました。先生は西独ルール大学ポッフム校名誉教授で、機械工学部材料研究所の設立者でもあり、同年2月には満90歳の誕生日を祝われたばかりでした。最晩年は、ご子息のお住いの近くにあるポツダムのシニアホームで過ごされました。

先生は Clausthal 工科大学で、G.Wassermann 教授の許で金属学を学び、1956年に CuZn 合金の形状記憶効果に関し学位を取得されました。その後 US Steel, Max-Planck 研究所を経て、ノルウェー・オスロの工業中央研究所(1965-1967)にも滞在されました。1965-1967年には Goettingen 大学の金属学科教授も務められました。1968年-1995年迄はルール大学ポッフム校の材料講座を担当され、世界の研究機関との連携を確立されたのです。

先生の最大の功績は、金属、プラスチック、セラミックス、あるいはこれらの複合材料をミクロな構造の立場から統一的に扱い、共通の理解を深められた点にあり、世界的に高く評価されるものと考えます。ここに先生のご遺徳を偲び、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2023年12月				
1	関東支部講習会「機械学習と金属工学：最新動向と材料開発への応用」(オンライン)(11号762頁)	関東支部	TEL 03-5734-3141 fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp	
1	第25回生体関連セラミックス討論会(名工大)	日本セラミックス協会	TEL 052-735-5198 maeda.hiroataka@nitech.ac.jp https://www.ceramic.or.jp/bseitai/index_j.html	
1	第54回エンジニアリングセラミックスセミナー(東大)	日本セラミックス協会	encera@cersj.org https://www.ceramic.or.jp/	定員 100名
2	北陸信越支部「令和5年度総会・連合講演会」(福井工大)(11号762頁)	北陸信越支部	ito@fukui-ut.ac.jp	
4~6	第52回結晶成長国内会議(JCCG-52)(名古屋)	日本結晶成長学会	TEL 070-5047-3339 jacg-52@jacg.jp https://www.jacg.jp/jp/event/2023/jccg-52/	
5	マテリアル戦略総合シンポジウム2023(MatISS 2023)(一橋大+オンライン)	マテリアル戦略総合シンポジウム2023委員会	TEL 029-859-2777 MatISS@nims.go.jp https://nanonet.mext.go.jp/page/matiss_2023.html	
7	第434回講習会第29回最先端の研究室(工場)めぐり「最先端をリアルに学ぶ工作機械開発最前線—DMG 森精機」(東京)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www.jspe.or.jp/	定員 30名
7~8	第1回「水素が関わる材料科学の課題共有研究会」(東工大)(11号762頁)	研究会 No.87	k.asano@aist.go.jp	参加 11月中
7~8	第20回ノートパソコンで出来る原子レベルのシミュレーション入門講習会~分子動力学計算と電子状態計算~(京都+ハイブリッド)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	
7~8	第21回キャビテーションに関するシンポジウム(大阪大)	日本学術会議 第三部(予定)第21回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会	https://cav21-mech.eng.osaka-u.ac.jp/	
7~8	オンライン教育講座「構造材料(1)鉄鋼材料編」(オンライン)(11号761頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	12.1
8	セラミックス材料製造プロセスと多孔質材料(オンライン開催)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/event/23-106/	
11	第198回腐食防食シンポジウム「微生物腐食における最新のプロジェクト研究成果および事例紹介」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/198.html	定員 86名
11	関東支部講習会・本多光太郎記念講演会「これをマスターすれば物性計測の中級者になれる！」(川崎)	関東支部	fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp	
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/	
13	第197回腐食防食シンポジウム「設備管理(防食管理)のためのデータ取得・解析と活用」(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/197.html	定員 140名
14	中国・四国支部第139回金属物性研究会ならびに軽金属学会支部研究会「チタン・チタン合金研究最前線(6)」(岡山)(本号827頁)	中国・四国支部	tanutake@okayama-u.ac.jp	
14	第354回塑性加工シンポジウム「極限材料創製・加工技術の現状と展望」—衝撃・超高速・超高压力を用いる加工の世界—(熊大+ハイブリッド)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
15	2023年度早稲田大学各務記念材料技術研究所オープンセミナー(早大+ハイブリッド開催)	早稲田大学各務記念材料技術研究所	TEL 03-3203-4782 zaikenjimuj@list.waseda.jp http://www.waseda.jp/fsci/zaiken/news/7774	
15	第31回塑性加工基礎講座「入門 結晶塑性シミュレーション(実習付き)」(京大)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	12.1
15	(第95回塑性加工技術フォーラム)「カーボンニュートラルに向けた製造業の最前線」(東京)	日本塑性加工学会 他	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
19	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織—中級編」(時効析出)」(第12回)(オンライン)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=95	定員 40名
21	第4回MSJ講習会「脳・ロボット・コンピュータをつなぐ磁気センシング技術」(Web開催)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/education/msjworkshop_magneticsensors_4/	12.7
2024年1月				
5, 2.2, 3.1	関西支部2023年度第1回 On-demand 講座「粉体成形の力学とFEM解析事例」(オンライン)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	3.1
9~2.4	日本金属学会オンライン教育講座「結晶学の基礎」(本号824頁)(オンデマンド配信)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	1.12
12	第109回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号828頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
18	北海道支部2023年度日本金属学会・日本鉄鋼協会 両北海道支部合同冬季講演大会(北大)(本号827頁)	北海道支部	jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp	12.15
18	表面科学技術研究会2024 カーボンニュートラルを目指して—太陽光発電と風力発電の現状と将来展望—(大阪+オンライン開催)	表面技術協会関西支部・日本表面真空学会関西支部	表面技術協会関西支部 TEL 075-781-1107 kansai-office@sfj.or.jp https://www.jvss.jp/chapter/kansai/hyou-mengijutsu2024/	1.10
23~24	第31回超音波による非破壊評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 beppu@jsndi.or.jp https://sciences.jsndi.jp/	
23~24	第30回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(Mate2024)(横浜)	スマートプロセス学会	TEL 0725-90-6512 mate@awesomenet.co.jp https://sps-mste.jp/mate/	
25~26	第45回安全工学セミナー(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
26	第130回シンポジウム「軽量車両構体の信頼性を高めるための材料評価技術～難燃性マグネシウム合金を事例として～」(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/	定員 60名
26~27	第29回高専シンポジウム(長岡+オンライン)	高専シンポジウム協議会	TEL 0859-24-5162 https://kosen-sympo.org/	
2024年2月				
2	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織—応用編(加工・熱処理による組織変化)」(第10回)(オンライン)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/symposium/view?id=96	定員 40名
2024年3月				
4~5	ウィンタースクール「トポロジー最適化の基礎～積層造形によるものづくりへの応用～」(東京理科大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org https://www.jsces.org//	2.22
5~7	2023年度量子ビームサイエンスフェスタ(水戸)	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所他	TEL 029-219-5300(内3709) qbsf2023-office@cross.or.jp https://www2.kek.jp/imss/qbsf/2023/	
10	第110回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号828頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
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)(本号821頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp https://www.jim.or.jp/convention/2024spring/	事前参加 2.22 講演 1.10 ポスター 1.17
12, 19	日本金属学会春期講演大会高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)(11号760頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	1.17
2024年5月				
16~17	第40回希土類討論会(松山)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 office@kidorui.org http://www.kidorui.org/	
2024年7月				
3~5	第61回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 happyyoukai@jrias.or.jp https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/	
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	63-5 会告予定
2025年3月				
7~10	日本金属学会春期講演大会(東京都立大学南大沢キャンパス)予定	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	63-11 会告予定

◇ 事務局年末年始休業のお知らせ ◇

2023年12月29日(金)～2024年1月8日(月)

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

まてりあ 第62巻 第12号(2023) 発行日 2023年12月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 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

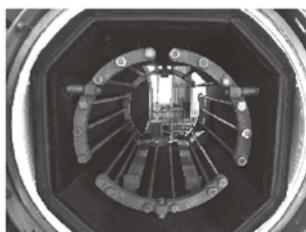
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町10-10

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

高温真空炉



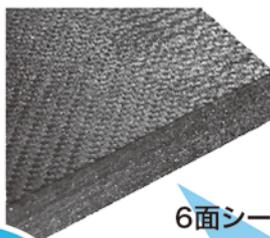
カーボンヒーター



シール



6面シート
貼り



カーボンフェルト



CO₂削減



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



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



**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