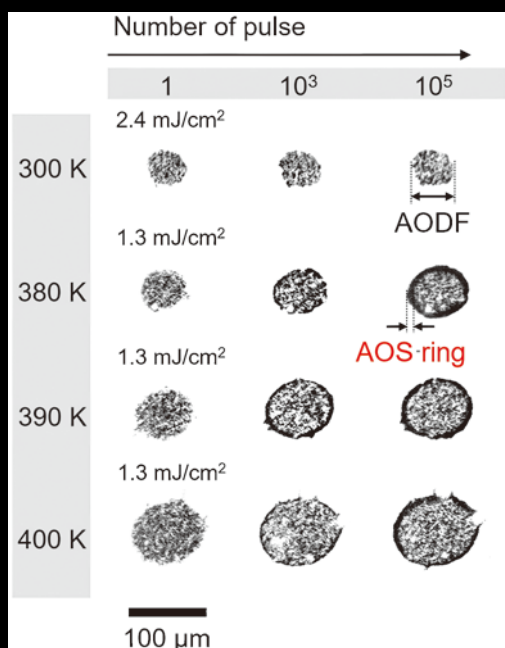


Materia Japan

まてりあ Vol.62

MTERE2 62 (8) 507~574 (2023)

No.8
2023



• 金属なんでもランキング!
窒化物の標準生成ギブス自由エネルギー

巻頭記事 楽器と金属 心に響く音を求めて

• ハーフメタルとしてのスピネル酸化物 NiCo_2O_4
• 層状カルコゲナイドが拓く電子デバイス材料の新展開

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 2-1-3 疲労試験

• 先達からのお便り

• 科学館めぐり 燕市産業史料館 (新潟県燕市)

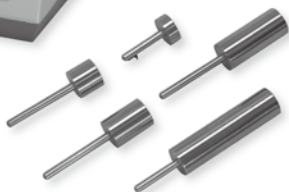
• JIM/TMS Young Leader International Scholar
出張報告

**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

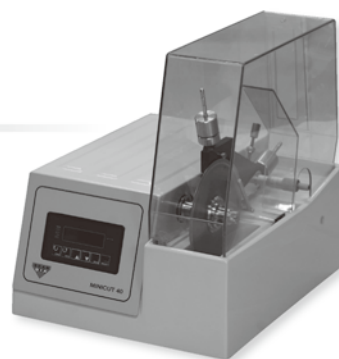
ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。



- 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

8

2023
Vol.62
No.8

まてりあ

金属なんでもランキング! No. 22 窒化物の標準生成ギブス自由エネルギー507

巻頭記事 楽器と金属 心に響く音を求めて508

最近の研究 スピネル型ハーフメタル NiCo_2O_4 のエピタキシャル薄膜の作製と磁性制御
菅 大介513

ハーフメタル電子状態および垂直磁気異方性をもつスピネル酸化物 NiCo_2O_4 のエピタキシャル薄膜の作製と磁性制御について紹介。

層状カルコゲナイドが拓く電子デバイス材料の新展開
齊藤雄太 畑山祥吾 張 文馨 岡田直也 入沢寿史520

層状結晶構造を有するカルコゲナイドの電子デバイスへの新展開を紹介。原子層を制御したファンデルワールス界面実現によるトランジスタ特性の向上や、準安定層状半導体を発見! 将来の超微細集積回路への応用に期待。

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 2-1-3 疲労試験 兼子佳久527

先達からのお便り 独創的研究を目指して 中嶋英雄537

科学館めぐり 燕市産業史料館(新潟県燕市) 本間智之541

学会・研究会だより 第15回本会派遣 JIM/TMS Young Leader International Scholar 出張報告
小嶋隆幸545

はばたく これまでの研究活動を振り返って 西本宗矢546

スポットライト アルミ缶を用いた人工ルビーの合成 大内葵衣 遠藤滉祐547

植物由来の生分解性素材の作製—植物廃棄物からプラスチック代替品へ—
枝松野花 永木妃菜 横川慈樹 笹山裕翔 梶野義貴 白石暁良549

本会記事 会告551 会誌・欧文誌 8 号目次569
新入会員563 次号予告570
掲示板564 行事カレンダー571

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

今月の表紙写真 パルスレーザー照射した NiCo_2O_4 薄膜の磁気光学カー効果顕微鏡像。全光型磁化スイッチングを示す AOS リングを観測。
(菅 大介著 518頁 図 8(a)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 8 August 2023

CONTENTS

Ranking of Metals	No. 22 Standard Gibbs Free Energy of Formation of Nitrides	507
Top Article	Metals and Musical Instruments	508
Recent Research		
Epitaxial Growth and Magnetic Property Engineering of Half-metallic Spinel Oxide NiCo_2O_4	Daisuke Kan	513
Recent Development of Layered Chalcogenides for Electronic Devices Applications	Yuta Saito, Shogo Hatayama, Wen-Hsin Chang, Naoya Okada and Toshifumi Irisawa	520
Practical Courses		
Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Materials Properties:		
2-1 Mechanical Properties: 2-1-3 Fatigue Test	Yoshihisa Kaneko	527
Letters from Seniors		
Challenge to Originative Research	Hideo Nakajima	537
Welcome to Science and Technical Museums		
Tsubame Industrial Materials Museum in Tsubame city	Tomoyuki Homma	541
News · Report		
15th JIM/TMS Young Leader International Scholar	Takayuki Kojima	545
Emerging Young Researchers		
Looking Back on Past Research Activities	Soya Nishimoto	546
Spotlights		
Artificial Ruby Synthesis from Aluminum Cans	Aoi Ouchi and Kosuke Endo	547
Preparation of Biodegradable Materials as Plastic Substitutes Using Plant Waste		
Nonoka Edamatsu, Hina Nagaki, Itsuki Yokogawa, Yuto Sasayama, Yoshiaki Togano and Akira Shiraishi		549

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.22 窒化物の標準生成ギブス自由エネルギー

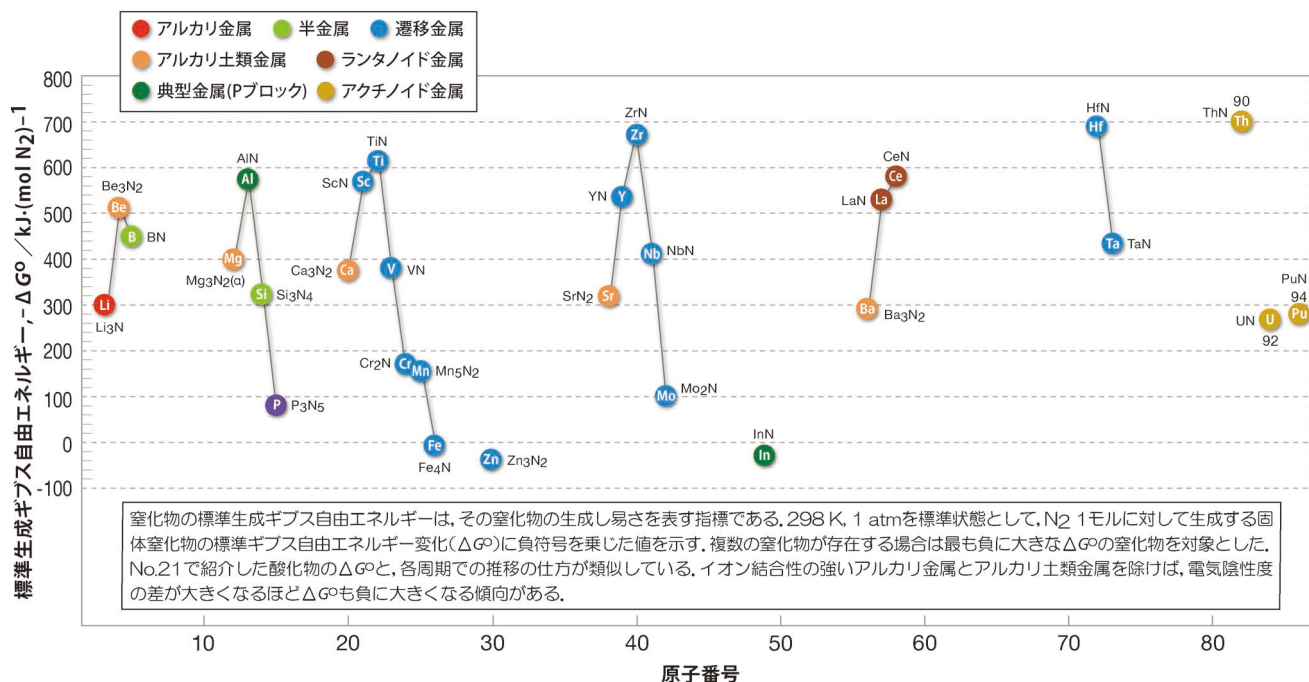


図1 各元素の窒化物に対する標準生成ギブス自由エネルギー⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。

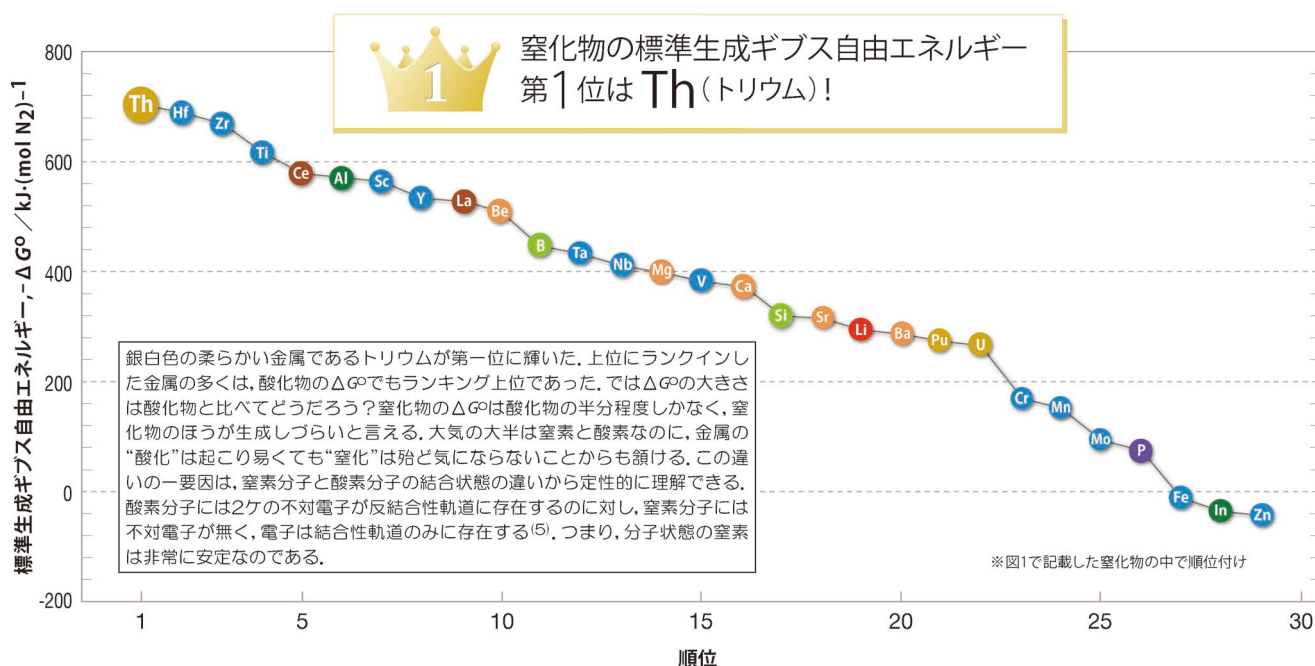


図2 窒化物の標準生成ギブス自由エネルギーに対するランキング(上位29位まで)。

参考文献:

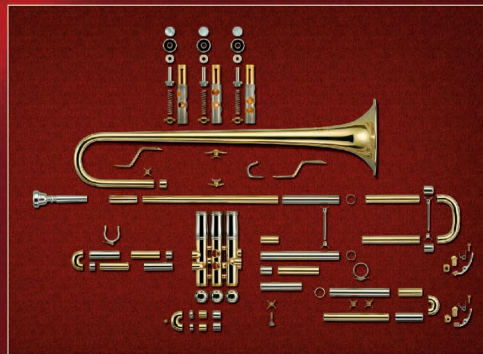
- (1) O. Kubaschewski and C. B. Alcock: Metallurgical Thermochemistry, 5th ed., rev. and enl. Pergamon Press, (1979).
- (2) I. Barin: Thermochemical Data of Pure Substances, (1989).
- (3) JANAF Thermochemical Tables, NIST Standard Reference Database, (1998).
- (4) E. T. Turkdogan: Physical Chemistry of High Temperature Technology, Academic Press, (1980).
- (5) 柴田茂雄: 物理化学の基礎, 共立出版株式会社, (1999).

次号! 金属素描 No.30 鉛

心に響く音を求めて

楽器と金属

音楽は、古来から私たちの生活や社会と
深い関わりを持ってきた。
多くの人に親しまれている金管楽器にスポットを当て、
製作工程や金属材料について紹介する。



トランペットの部品の数々

原始時代に始まった 楽器の歴史

楽器は、原始時代に魔術や宗教における音楽と結び付いて生まれたと考えられている。初期の楽器の多くはリズムを奏でるものが多く、石器や動物の骨、太鼓や鈴などであったという。すでに紀元前3000年頃のメソポタミアやエジプトでは、信仰や儀式のために笛やラッパ、ギター、ハープなどの原始形が演奏されていたと思われる⁽¹⁾。

楽器の歴史を見ると、誕生してからそれほど大きな変化をしていない民族楽器もあるが、使われる目的などによって大きく変化したものも多い。

楽器が大きく発達したのは14～16世紀のルネサンス期以降のことで、教会音楽や軍楽などの中で器楽の重要性が高まったためであった。より均一で美しい音色や大きな音量が求められるようになり、18～19世紀には楽器の改良が盛んに行われた。楽器の進化においては、産業革命も大きく影響した。金属加工や木材加工などの技術が飛躍的に進歩したことで、より精密な楽器製作が可能になった⁽²⁾。

現在、世界にはいろいろな楽器があるが、概ね弦楽器、管楽器、打楽器、鍵盤楽器の4種類に分類される。今回は金管楽器に注目して、楽器の特徴や金属との関わりを紹介する。

金管楽器が音を出す仕組み

管楽器には、木管楽器と金管楽器があ

る。木管楽器にはフルート、クラリネット、サクソフォン、オーボエ、ファゴットなどがあり、金管楽器にはトランペット、トロンボーン、ホルン、チューバなどがある。木管と金管の区分は単に材質の違いによるように思えるがそうではなく、楽器が音を出す仕組みに基づく。木管楽器は、主にリードを使って音を出す。リードとは植物の葦のことで、管に吹き込まれる空気を振動させる発音源となる。一方、金管楽器は、リードではなく唇を震わせることで音を出す（演奏される）。

管楽器は、演奏者が唄口（マウスピース）に空気を吹き込むことで、楽器の管内の空気が振動して音が出る。管内の空気の部分は「気柱」と呼ばれ、音の高低は気柱が短ければ高く、長ければ低くなる。管の長さや内径によって決まるので、直管か曲管かは関係ない。気柱の長さを変えるには、例えばトロンボーンのように管をスライドすることで長さを変えたり、クラリネットなどのように音孔を塞いだりする。

トランペットでは、気柱の長さを確保するため、管を巻いてコンパクトな形となっている。さらに、ピストンバルブなどで気柱の長さを切り替えることにより、正確な音階の音を出すことができる（図1）。

多くの部品から構成される トランペット

代表的な金管楽器であるトランペットを例に、構造や製造方法を紹介する。

真鍮などの材料から成形、接合、研磨、表面処理などの工程を経てそれぞれのパーツが製作され、これらを組み立てて1本のト

ランペットが完成する（図2）。

●ベル（朝顔）

先端部のベルは音を放射する部分であり、その形状は音色に大きく影響する。材料の板をイチョウ型に切って曲げ、端部を溶接またはろう付けする。これをハンマーで叩いて、先端が開いた形に成形し、へら絞り加工（金属板を回転させながら棒状のへらを押し当てて変形させる加工）によって形を整える。

直管を曲げる際は、管の断面形状が変化しないように管内に低融点金属（低温はんだ）を詰めて固めて曲げ、その後、中身を溶融させて取り出している。

●バルブケーシングとピストンバルブ

バルブケーシングとはその内側をピストンが上下する管であり、音の高さを切り替えるスイッチの役目をする。植込管（ピストンバルブを差し込む部品）をろう付けした後、バルブケーシングの内側を研削する。バルブケーシングの内壁とピストンの側面の隙間は、僅か10 μmもの高精度に仕上げられる。

管状のピストンは、所定の位置に孔を開け、内部に音の通り道になる管を挿入してからろう付けされる。

●マウスパイプ

マウスパイプとは、息を吹き込むマウスピースに続く管の部分に当たり、その内壁の加工には高い寸法精度が求められる。真っ直ぐな部分に対しては、管材の内側に鋼製の芯金を入れ、外側をダイスでしごく「管引き加工（引き抜き加工）」が施される。曲げ加工をした部分に対しては、管内に内径と同サイズの鋼球を通し、管をダイスに密着させて曲げ、内径を正確に整えて成形する「玉通し加工」が施される。

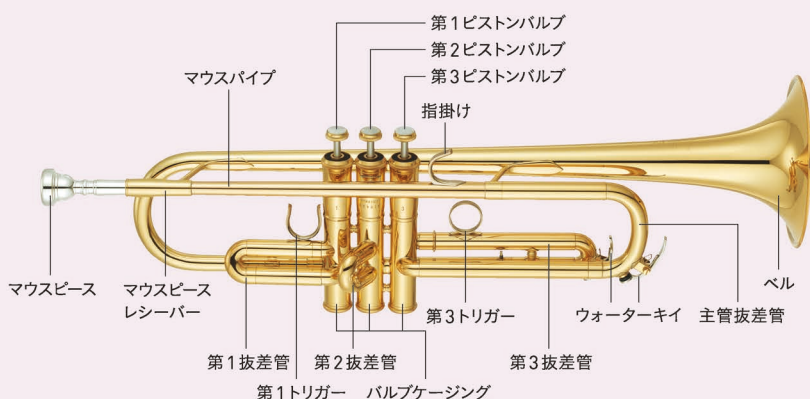
音色を左右する要素

トランペットの音色を決める上で、設計で重要なポイントは何であろうか。

まず挙げられるのは、管の内径の最適化である。トランペットでは、管に吹き込まれた息は先端に向かって振動波を起こす。これが先端のベルに達すると、内部に向かって戻ってくる。これらの波が共鳴して強まった波は「定在波」と呼ばれ、その波形を決めるのが管の内径である。これを調節することによって、最適な音程や吹奏感を得ることができる。管の内径は、先端のベルに向かって徐々に拡大している。内径寸法が僅か

図1 トランペットの構造⁽³⁾

吹きこまれた空気は、マウスパイプから拔差管とピストンを通し、先端が広がったベルから外に放射される。

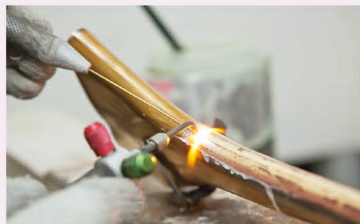


資料提供：ヤマハ（株）

図2 トランペットの主な製造工程

ベルの製作

切り出した板を曲げて、端部をはんだ付けする。
外側からハンマーで叩いて成形し、へら絞りにより形を整える。



研磨

毎分約2,000回転する布製のパフに研磨剤を塗布して研磨する。



バルブケーシングのろう付け

部品を組み付けて、ろう付けする。可動するピストンとの隙間はわずか10 μm程度しかない。



塗装

洗浄・乾燥させて表面の傷や汚れを検査し、塗装する。



資料提供：ヤマハ（株）

0.1 mm違うだけでも音色が変わるので、内壁の加工には高い精度が求められる。

金管楽器の中でもトランペットは鋭く明るい音色が特徴であるが、これはベルが先端で急に広がる形状だからである。ベルが緩やかに広がると音色はより柔らかに変化する。

楽器の構造や形状も、音色を決める重要なポイントである。一般的なトランペットの形状は図1の通りであるが、全体の構造や各部分の形状や寸法を変化させることによって、音色に変化を付けることができる。例えば、ベルとマウスパイプの間の距離を狭くすると、まとまりのある、おとなしい音色になり、逆に広くすると、広がりのある音色になる。また、管が曲がる部分では、屈曲を緩くすると音が柔らかくなり、吹いた時に

抵抗感が少ない。逆に、角ばっていると、輝かしい明るい音色になるが、吹いた時の抵抗感が大きくなる。

さらに、管と管をつなぐ支柱の本数を増やすほど音が広がりにくくなるが、その分抵抗感も増える。

設計の際にはこのような特徴を把握し、これらをバランスよく調整することにより、ようやく演奏者が求める音色が得られるという。

豊かな音と加工性に優れた真鍮

空気の震え方によって決まる管楽器の音色は、振動する管の材質によっても微妙に

変わる。金管楽器に最もよく使われる材料は真鍮であり、一説では15世紀後半頃から使われたとされている。銅と亜鉛の合金である真鍮は優れた成形加工性や耐食性を持ち、外観が美しいことから、古くから金管楽器の材料に使われてきた。また、一口に「真鍮」と言っても銅と亜鉛の成分比が異なる材料が知られ、各々音色が異なる。例えば、イエローブラス（七三黄銅，70 mass%Cu-30 mass%Zn）は明るく、張りのある音色であり、ゴールドブラス（丹銅，85 mass%Cu-15 mass%Zn）は幅のある豊かな音色である（表1）。銅の比率が増えると、豊かな柔らかい音色になっていく傾向にある。また、唾液の影響を受けやすい口元近くには、耐食性に優れるゴールドブラ

表1 金管楽器に使われる主な金属材料

材 料	化学成分	音 色
イエローブラス（黄銅）	70 mass%Cu-30 mass%Zn	明るく、張りのある音
ゴールドブラス（丹銅）	85 mass%Cu-15 mass%Zn	幅のある豊かな音
ニッケルシルバー（洋白）	64 mass%Cu-18 mass%Ni-18 mass%Zn	深く重厚な音

ヤマハ（株）資料を元に作成

最高の音色は丹念な

SCIENCE & INNOVATION

官能評価と金属材料との関連を明らかにしたい

金管楽器にはイエローブラスが多く使われているが、部品によって各々加工方法や熱処理方法が異なるため、最終的な金属組織や結晶構造はそれぞれに異なる。これをいかに音響的に最適化した状態に制御するかが、技術的なポイントである。例えば、熱処理工程においては加工途中で何回か焼鈍を行うことがあるが、製作の最終段階でも音響目的で焼鈍をさらに追加する場合もある。これらの焼鈍の過程を材料工学的に把握する一方で、音響的な



現在、音響調整には現行材料の改質が適用されている。将来的には、音響性能と材料特性の関係の体系的な説明付けが期待される。「こういう（音色を奏でる）楽器がほしい」との注文を受けたときに、最適レシピを即座に提示できるようになればよいと思う。

振動伝播速度
 $\uparrow$
 小 $\leftarrow E/\rho$ (ヤング率/密度)
 $\rightarrow$ 大

音の伝播速度が速い

スピーカー振動板
 ベリリウム
 ジュラルミン
 タタン

防振材
 ミュージックワイヤー
 スピーカーフレーム

マグネシウム
 鋼
 アルミニウム
 錆物

ステンレス
 鉄鉄

ピアノフレーム

黄銅
 洋白
 キュプロニックル

管楽器材

白金
 銀
 金

貴金属

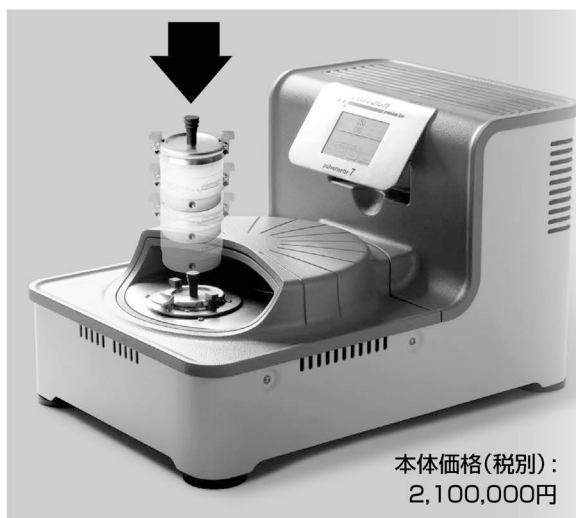
大 $\leftarrow$ 音の減衰 $\rightarrow$ 小
 音の内部減衰率

ものづくりから

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。メノウ、アルミナ、ジルコニア、チッカ珪素、ステンレス、クローム、タングステンカーバイト、プラスチックポリアミド ●容器のサイズ。500, 250, 80, 45, 12cc。 ●乾式のみならず湿式での粉碎が可能。またISO9001, TUEV, CE等の国際安全基準をクリアー

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

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

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

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

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	P>14.5%	粒 状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン銅	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒 状	マンガン銅	Mn 25%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉末	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	マグネシウム銅	Mg 50%	約800gインゴット
銀	99.99%	粒 状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム銅	Cr 10%	約1kgインゴット
ポロニクリスタル	99.4%	3~8mm小塊	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄片状	テルル銅	Te 50%	〃
ポロニアモルファス	95~97%	粉末	無酸素銅	99.99%	10×10×1mm	コバルト銅	Co 10%	〃
ビスマス	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	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	99.99%	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%	粒 状
クロム粉	99%	粉末500g入	マンガン	99.999%	薄片状	アルミ銅	Cu 40%	約5~7kgインゴット
電気銅	99.99%	約25×50×10mm	錫	99.999%	粒状100g入	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	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%	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kgインゴット
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	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
ニオブグラニュー	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
ニッケルペレット	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antal塊	99.9%	3~10mm小塊	ガドリニウム	〃	〃	Uアロイ 60	60±2°C	〃
タantal粉	〃	粉末	ツリウム	〃	〃	Uアロイ 70	70±2°C	〃
テルル	99.99%	小球状	セチウム	〃	〃	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	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	〃
バナジウム粉	〃	粉末	フェロアロイ			Uアロイ 124	124±2°C	〃
タングステン	99.9%	〃	フェロモリブデン	Mo 60%	3~10mm小塊状	Uアロイ 150A	150±2°C	〃
タングステンスクラップ	99%	板 状	フェロニオブ	Nb 60%	10~30mm			
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット	フェロバナジウム	V75~85%	10~30mm			
亜鉛粒	〃	粒 状	(太陽鋳工製品)					
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
●輸出はせず国内取引のみ



未来を先導する
領域を開拓し、
世界に発信する

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

日本金属学会

2023年
秋期
講演大会
(第173回)

ポスターセッション

会期

2023年 **9/19** 火

会場

とやま自遊館

〒930-0805 富山県富山市湊入船町9番1号

記念講演、一般講演、公募シンポジウム、
企画シンポジウム、共同セッション

2023年

会期

9/20 水 ~ **22** 金

会場

富山大学 五福キャンパス

〒930-8555 富山県富山市五福3190

公募シンポジウム

S1: 材料変形素過程のマルチスケール解析 (VI)

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

S2: 水素エネルギー材料X

Hydrogen Energy Materials - X

S3: ハイエントロピー合金の材料科学(X)

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

S4: 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成IV

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

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

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

S6: 機能コアの材料科学 IV

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

S7: データ創出・活用による磁性材料の研究開発

Digital Transformation Initiative R&D for Magnetic Materials

S8: 極限環境対応構造材料のためのマテリアルDX (I)

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

S9: ワイドギャップ結晶の材料科学と高温プロセスングV

Materials Science and high temperature processing of widegap materials V

企画シンポジウム

K1: 自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・

第5回自動車関連材料合同シンポジウム

「モビリティの革新に貢献する材料技術の最新動向」

Recent Trends in Materials Technology Contributing to Mobility Innovation

K2: 若手科学者へ贈る研究のヒントVI~未踏領域へ到達するために~

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

K3: 中学高校生向け金属体験学習

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

K4: 国内のマテリアル戦略とインフォマティクス応用

Materials Informatics and Materials Strategies

講演申込締切

●共同セッション

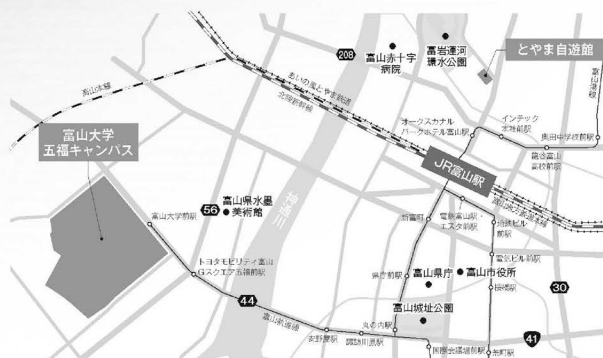
2023年 **6/26** 月 **17** 時

●一般

●公募シンポジウム

●ポスターセッション

2023年 **7/7** 金 **17** 時



◇ 詳細は、本号会告 (551 頁) または本会ホームページをご覧ください。
~ 皆様のご参加をお待ちしております。~

問合先

公益社団法人日本金属学会

講演大会係

TEL 022-223-3685

annualm@jimm.jp

<https://jimm.jp/>

スピネル型ハーフメタル NiCo_2O_4 の エピタキシャル薄膜の作製と磁性制御

菅 大 介*

1. は じ め に

遷移金属のサイト占有や価数状態を制御することは、機能性材料の開発に有用なアプローチである。「機能の宝庫」と称されるように多様な物性を示す遷移金属酸化物においては、その結晶中に異なる価数状態をもつ様々なカチオンを収容することができ、その組み合わせに応じて機能特性が発現する。また近年の研究からは、エピタキシャル薄膜成長技術といったナノレベルでの材料技術を活用することで、酸化物を構成する遷移金属の配置(サイト占有)や価数状態を制御できることが明らかにされつつある。準安定相の酸化物成長やヘテロ界面の形成など、バルク材料では見られないようなカチオン配置や価数状態を実現することで、興味深い物性や機能特性が見出されている⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾。

本稿では、近年我々が取り組んできた、ハーフメタル電子状態を有するスピネル酸化物 NiCo_2O_4 のエピタキシャル薄膜作製と磁性制御について紹介する。ハーフメタル⁽⁸⁾⁽⁹⁾とは、伝導電子が完全スピン偏極し、+100%または-100%のスピン分極率を有する磁性体のことである。スピン分極率は、磁気抵抗メモリ(MRAM)の中核素子であるトンネル磁気抵抗素子⁽¹⁰⁾⁻⁽¹⁶⁾など、電子スピンの方向に依存した抵抗変化を利用したスピントロニクスデバイスの特性に直結する重要なパラメータとなる。ハーフメタルといった高スピン偏極材料を、磁気トンネル接合素子などのスピントロニクスデバイスに組み込むことで、その抵抗変化量を増大させることができる。そのためハーフメタル電子状態(高スピン分極率)を有する材料の開発やその磁性制御は重要な研究課題である。しかしながら、実際に高スピン偏極を実現する電子状態を持

つ材料は希少であり、またその特異な電子状態は、格子欠陥やカチオン分布など結晶の構造特性にも強く影響されるため、ハーフメタル電子状態を実現する材料の開発はいまだチャレンジングな課題といえる。これまでも、第一原理計算による電子状態予測から、酸化物に限らず様々な物質がハーフメタルとして提案されているが、実際に作製可能でかつ高スピン分極率が実験的に観測できる物質は非常に少ない。これらのこともハーフメタルという電子状態の特異性を示唆しており、ハーフメタル材料開発の難しさを物語っている。

図1(a)に示すのは、本稿で着目した NiCo_2O_4 (NCO)⁽¹⁷⁾⁻⁽²¹⁾の結晶構造である。NCOはスピネル型の結晶構造を持ち、カチオン配置は逆スピネル型である。つまり、Coは四面体サイトと八面体サイトを均等に占有し、Niは八面体サイトを占有する。四面体サイトを占有するCoのスピンと八面体サイトを占有するNiのスピン(後述するように、八面体サイトを占有するCoは+3の価数状態を持ち低スピン状態にあるため、磁化には寄与しない)とが反強磁性的に結合するために、NCOはフェリ磁性を示し、その転移温度はバルク試料では約400 Kであることが知られている。また第一原理計算から得られるフェルミレベル近傍の電子状態⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾を模式的に示したのが図1(b)である。多数スピンと少数スピンのサブバンドはそれぞれCoとNiに由来しており、フェルミレベルにおける状態密度は少数スピンバンドのみで形成されており、多数スピンバンドはバンドギャップを有している。つまり、NCOは-100%のスピン分極率を持つハーフメタルであることが分かる。本稿では、NCOエピタキシャル薄膜の作製とその磁気・輸送特性について述べた後に、NCOを磁性電極層とした磁気トンネル接合における巨大トンネル磁気抵抗効果について紹介する。ま

* 京都大学化学研究所；准教授(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

Epitaxial Growth and Magnetic Property Engineering of Half-metallic Spinel Oxide NiCo_2O_4 ; Daisuke Kan*(*Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji)

Keywords: *spinel oxides, NiCo_2O_4 , half-metals, epitaxial films, perpendicular magnetic anisotropy, magnetic tunnel junctions, optical magnetization switching*

2023年4月6日受理[doi:10.2320/materia.62.513]

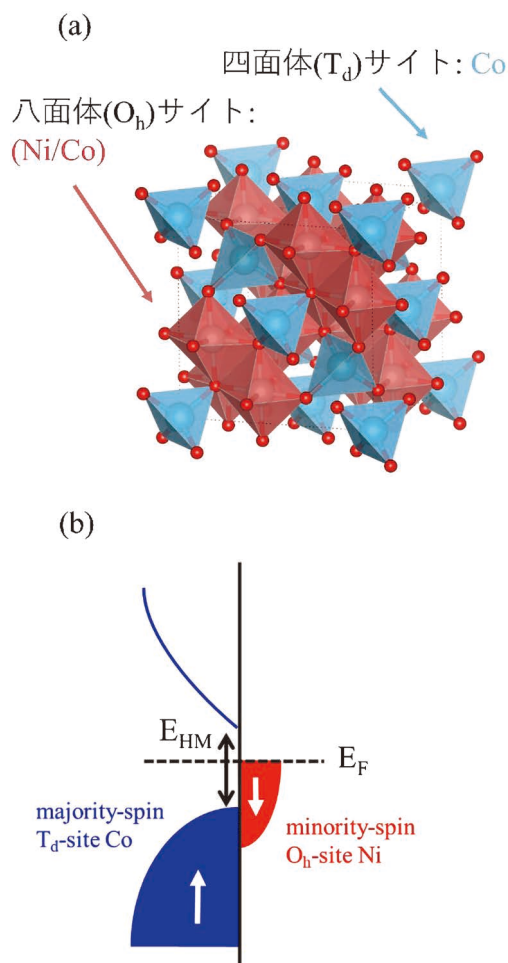


図1 (a) NiCo_2O_4 の結晶構造. (b) フェルミレベル近傍のバンド構造の模式図. (オンラインカラー)

た, NCO の全光型磁化スイッチングについても研究成果を紹介する.

2. NiCo_2O_4 エピタキシャル薄膜の作製と磁気・輸送特性

NCO エピタキシャル薄膜試料はパルスレーザー堆積法で $(100)\text{MgAl}_2\text{O}_4$ (MAO) 単結晶基板上に作製した. MAO は NCO と同じスピネル型の結晶構造を有し, また NCO に対する格子ミスマッチは約 0.4% と非常に小さい. そのため MAO 基板には高品質な NCO 薄膜が成長できると期待できる. 実際, 作製条件を検討したところ, 350°C 程度の比較的低い基板温度で高品質な薄膜が作製可能であることがわかった⁽²⁵⁾⁻⁽²⁷⁾. 図 1(a) に示すのは, 作製した NCO 薄膜試料の放射光 X 線 (00L) 回折パターンである. 薄膜層からは (004) 反射が観測され, NCO は (001) 配向でエピタキシャル成長していることがわかる. また測定を行った逆格子空間に渡ってラウエ振動も明瞭に観測され, 作製した薄膜が平坦でかつ均一なものであることも見て取れる. 逆格子マッピング測定からは NCO 薄膜層が基板格子に対して格子整合してエ

ピタキシャル成長していることも確認した. つまり, 基板からの圧縮ストレインによって, NCO 薄膜の構造対称性はバルクの立方晶から正方晶へと変化している.

NCO 薄膜中の八面体 (O_h) サイトと四面体 (T_d) サイトにおける Co と Ni の組成に関しては, 共鳴 X 線回折測定から評価を行った⁽²⁵⁾. スピネル構造においては, (022) 反射強度は四面体サイトを占有するカチオンからの散乱のみが寄与し, (222) 反射は八面体サイトを占有するカチオンのみが寄与する. そこで, Co および Ni の K 吸収端で (022) および (222) 反射強度を測定し, これらの反射強度を再現するように構造モデルを構築することで, 薄膜中の八面体サイトと四面体サイトにおける Co と Ni 組成を決定した. 図 2(b) にその結果を示す. 薄膜中の Co と Ni のサイト占有は成膜時の酸素分圧に応じて変化することが見て取れる. 100 mTorr の酸素分圧下で作製した薄膜の組成は $(\text{Ni}_{0.12}\text{Co}_{0.88})_{\text{Td}}(\text{Ni}_{0.98}\text{Co}_{1.02})_{\text{Oh}}\text{O}_4$ であり, 比較的高い酸素分圧下で作製した場合には八面体サイトおよび四面体サイトともに定比に近いカチオン組成をもつ薄膜試料が得られることが分かる. 一方で, 30 mTorr といた低い酸素分圧下で作製した薄膜では, 四面体サイトにおける Ni 量がわずかに増加 (Co 量が減少) し, また八面体サイトにおける Ni 量が減少 (Co 量が増加) した. これらの結果は, 高酸素分圧下において酸素が八面体配位した Ni を安定化することが, 定比組成を有する NCO 薄膜の作製に重要であることを示している.

図 3 は, 異なる酸素分圧下で成膜した八面体サイトの Ni 量 $y_{\text{Ni-Oh}}$ が異なる NCO 薄膜の, 磁気および輸送特性をまとめたものである. 薄膜中のカチオン組成, 特に $y_{\text{Ni-Oh}}$ は, 磁気および輸送特性に影響を及ぼすことが見て取れる. 図 3(a) は, 室温における面直方向に沿って測定した磁化曲線である. $y_{\text{Oh-Ni}}$ が 1.02 とほぼ定比組成の薄膜においては, 飽和磁化および残留磁化がともに約 $1\text{ }\mu\text{B}/\text{f.u.}$ であり, また急峻

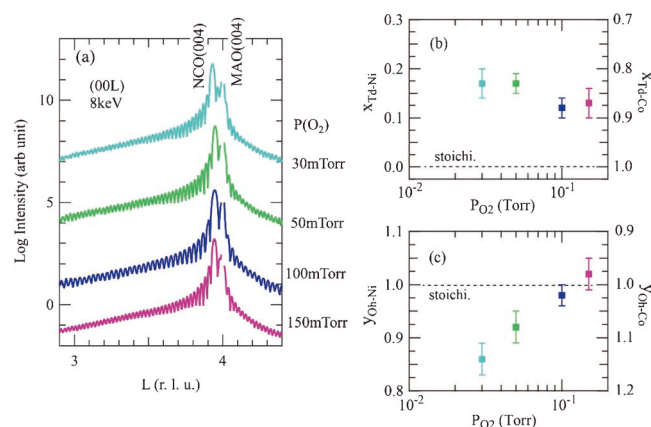


図2 (a) 異なる酸素分圧下で作製した NiCo_2O_4 薄膜の放射光 X 線 (00L) 回折パターン. 8 keV の X エックス線を入射して室温で測定した. (b), (c) NiCo_2O_4 薄膜における四面体サイトと八面体サイトにおけるカチオン組成と成膜時の酸素分圧との相関. 薄膜組成は $(\text{Ni}_{x_{\text{Td}}}\text{Co}_{1-x_{\text{Td}}})_{\text{Td}}(\text{Ni}_{y_{\text{Oh}}}\text{Co}_{1-y_{\text{Oh}}})_{\text{Oh}}\text{O}_4$ と定義した. (オンラインカラー)

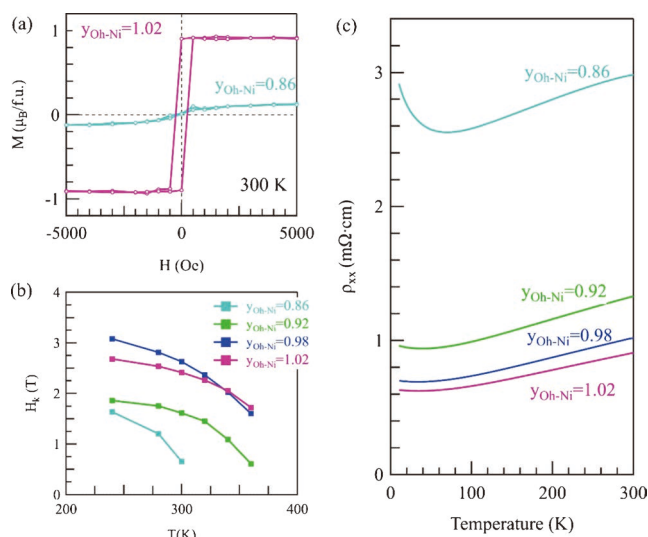


図3 (a) NiCo_2O_4 薄膜の面直方向の磁化の磁場依存性. (b) 垂直磁気異方性磁界 H_k の温度依存性. (c) 電気抵抗率 ρ_{xx} の温度依存性. 図中の $y_{\text{Oh-Ni}}$ は NCO 薄膜中の八面体サイトの Ni 量を示す. (オンラインカラー)

な磁化反転も観測できる. これらの磁化曲線の特徴は定比組成の NCO 薄膜が十分な垂直磁気異方性を有していることを示している. 一方で, $y_{\text{Oh-Ni}} = 0.86$ の薄膜では, 残留磁化がほぼゼロであり, 飽和磁化も $0.2 \mu_B/\text{f.u.}$ と非常に小さい. これらの結果は, $y_{\text{Oh-Ni}}$ が, NCO 薄膜のフェリ磁性や垂直磁気異方性に影響を及ぼす要因であることを示している. 図3(b)に示すのは, 異常ホール抵抗率の面内磁場依存性から決定した, NCO 薄膜試料の磁気異方性磁界 H_k の温度依存性である. $y_{\text{Oh-Ni}}$ に依らずどの薄膜試料においても, 温度がフェリ磁性転移温度に近づくにつれて H_k は減少するが, $y_{\text{Oh-Ni}}$ が大きいほど H_k が大きくなる. また $y_{\text{Oh-Ni}}$ が1に近くカチオン組成がほぼ定比の薄膜試料においては, 高温領域まで2テスラ程度の比較的大きな H_k が維持されている. 磁化と H_k から, 定比組成の薄膜試料の垂直磁気異方性エネルギーは約 0.2 MJ/m^3 と見積もられ, NCO 薄膜は室温においても十分な垂直磁気異方性を有していることがわかる. また, $y_{\text{Oh-Ni}}$ の減少とともに, 垂直磁気異方性エネルギーは減少することもわかった. 薄膜中のカチオン組成が磁気異方性に与える影響は磁気トルク測定からも確認している⁽²⁸⁾. $y_{\text{Oh-Ni}}$ が NCO 薄膜特性に影響を及ぼすことは, 図3(c)の電気抵抗率の温度依存性からも見て取れる. どの薄膜試料においても, 金属的な電気抵抗の温度変化が観測されるものの, $y_{\text{Oh-Ni}}$ の増加に応じて電気抵抗率の大きさは減少することが分かる. この結果は, フェルミレベルの電子状態が八面体サイトのカチオンに由来することと合致するものであり, 八面体サイトの Ni が NCO の電気伝導性に重要な役割を果たしていることを示している.

NCO の構成元素である Co や Ni は異なる原子価数を取りうる. そのため, 薄膜中のカチオン組成(サイト占有)に加えてそれらの価数状態も薄膜特性を決定する要因となる. そこ

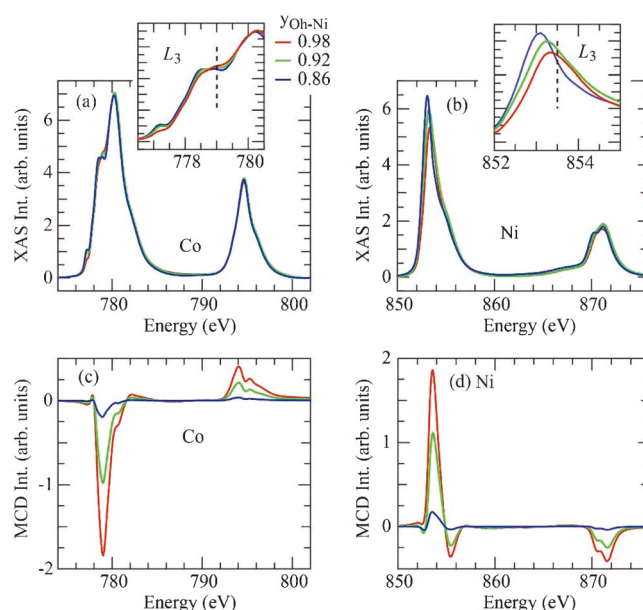


図4 NiCo_2O_4 薄膜の (a), (b) XAS および (c), (d) XMCD スペクトル. データは (a), (c) Co および (b), (d) Ni の $L_{2,3}$ 吸収端のエネルギー領域で測定した. XMCD スペクトルは 1.9 T の磁場を面直方向に印加した状態で取得した. (a) および (b) の挿入図は Co および Ni の L_3 吸収端ピークを拡大したものであり, 点線は XMCD ピーク位置を示す. (オンラインカラー)

で, 我々は X 線吸収分光 (XAS) と X 線磁気円二色性分光 (MCD) によってカチオンの価数状態と軌道磁気モーメントの評価を行った⁽²⁹⁾. 蒸着時の酸素分圧によって, $y_{\text{Oh-Ni}}$ を変調した薄膜試料から得られた XAS および MCD 曲線を図4に示す. 得られたスペクトルと標準試料スペクトルとの比較を含めた詳細な解析から, 次のことを見出した.

- (1) 四面体サイトおよび八面体サイトを占有する Co はそれぞれ +2 および +3 に近い価数状態である.
- (2) 八面体サイトを占有する Ni は, +2 価と +3 価との混合原子価状態となるが, その価数は作製時の酸素分圧に依存し, 薄膜作製時の酸素分圧が低くなるほど +2 に近い価数状態となる. 100 mTorr の酸素分圧で作製した $y_{\text{Ni-Oh}} = 0.98$ の薄膜における Ni 価数はおおよそ +2.5 と見積もられる.
- (3) Co の MCD 信号は四面体サイトを占有する Co^{2+} ($S = 3/2$) に由来する. また八面体サイトを占有する Co^{3+} は低スピン状態 ($S = 0$) であり, MCD 信号には寄与しない.
- (4) Ni の MCD 信号は, 八面体サイトを占有する混合原子価状態の $\text{Ni}^{(2+\delta)}$ ($\delta \sim 0.5$) に由来する.

これらの結果からは, 八面体サイトの Ni と四面体サイトの Co とが NCO 薄膜の磁気・輸送特性を決定する重要な役割を果たしていることが分かる. 混合原子価状態の $\text{Ni}^{(2+\delta)+}$ においては, e_g 軌道の一部は非占有となっており, このことは e_g 電子の非局在化さらには, そのスピン磁気モーメントの整列を促進する. 一方で, Ni^{2+} (d^8) が多くなると伝導電子が局在化してしまうために, 電気抵抗率が増加してしまい,

また磁気相互作用も弱くなり磁気転移温度も低下したと理解できる。

また MCD 信号の符号に着目すると、磁場と平行なのは四面体サイトの Co のスピン磁気モーメントであり、八面体サイトの Ni のスピン磁気モーメントは四面体サイトの Co のモーメントに対して反平行に整列していることが分かる。総和則⁽³⁰⁾⁽³¹⁾を利用して軌道磁気モーメントを評価したところ、定比組成をもつ NCO 薄膜においては、四面体サイトの Co に由来する軌道磁気モーメントが $+0.14 \mu_B/\text{CoTd}$ であったのに対して、八面体サイトの Ni に由来するモーメントは $-0.07 \mu_B/\text{NiOh}$ と小さかった。XMCD スペクトルの角度依存性からは、面直方向の軌道モーメントの方が大きいこともわかった。これらの結果は、NCO 薄膜の垂直磁気異方性は主に四面体サイトの Co によって決定されており、八面体サイトの Ni の寄与は小さいことを示している。また低い酸素分圧下で作製した薄膜において、垂直磁気異方性が弱くなるのは、四面体サイトへの Ni の混入も影響していると考えられる⁽²⁸⁾。

図 2(b) および 2(c) に示した薄膜中のカチオン組成と成膜中の酸素分圧との相関は、出発原料を変えることなく、成膜時の酸素分圧を変調するだけで、薄膜中のカチオン組成を変調できることを意味する。つまり、図 5(a) の挿入図に示す

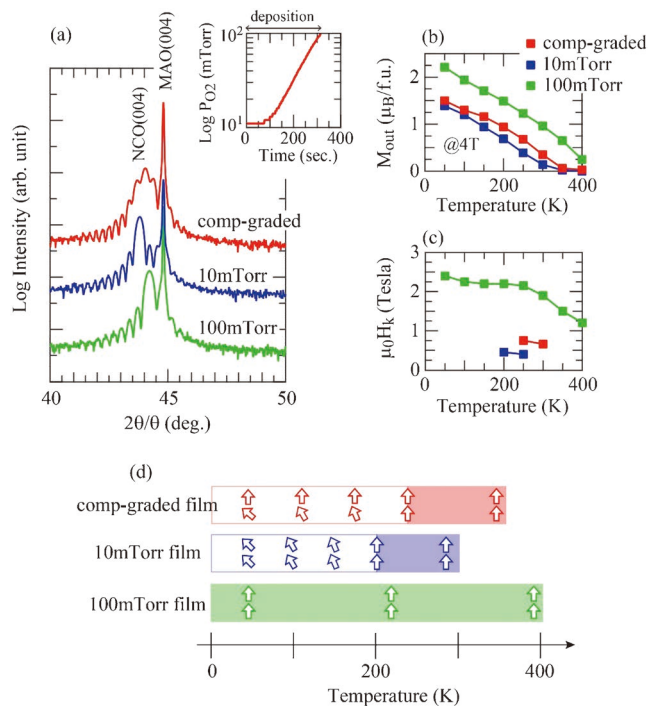


図 5 (a) 組成傾斜を導入した NCO 薄膜の X 線 $2\theta/\theta$ 回折パターン。比較のため一定の酸素分圧下(100 mTorr と 10 mTorr)で作製した均一組成を持つ薄膜の回折パターンも示した。挿入図に示すのは、組成傾斜膜の作製時における酸素分圧の変化である。(b), (c) 組成傾斜膜の (b) 面直方向の飽和磁化と (c) 異方性磁界の温度依存性。(d) 組成傾斜膜中における磁化配置の温度変化。(オンラインカラー)

ように、酸素分圧を 10 mTorr から 100 mTorr へと増加させながら成膜することで、膜厚方向に対して組成傾斜を導入することができる⁽³²⁾。実際、酸素分圧を変化させながら作製した薄膜の(004)回折ピークは、均一組成を持つ薄膜のそれよりもブロードになっており、組成傾斜が導入されていることが確認できる(図 5(a))。また、図 5(b) および 5(c) に示す磁化測定の結果などから、組成傾斜の導入によって NCO 薄膜の磁化の大きさや磁気異方性が制御でき、組成傾斜膜は均一組成膜とは異なる物性を示すことが分かった。詳細は割愛するが、均一組成膜とは対照的に、組成傾斜膜の磁気異方性は膜厚方向に対して不均一になる。その結果、図 5(d) に示すように、組成傾斜膜中の磁化配置は、均一組成膜中のそれとは異なるものとなり、特異な磁気輸送現象が誘起されることも見出している⁽³²⁾。

3. NiCo_2O_4 を磁性電極層とした垂直磁化型磁気トンネル接合

これまでの結果から、MAO 基板上に作製した NCO エピタキシャル薄膜は、金属伝導そして垂直磁化を持つフェリ磁性体(フェリ磁性転移温度は 400 K 程度)であることが分かった。このような NCO 薄膜の物理特性と、バンド計算から予想されるハーフメタル電子状態は、磁気トンネル接合デバイスなどのスピントロニクスデバイスへの応用が期待されるものである。そこで NCO 薄膜を磁性電極とし、MAO をトンネルバリアとした磁気トンネル接合 NCO/MAO/NCO を作製しその特性を調べた⁽³³⁾。また磁気トンネル接合の磁気抵抗比から NCO 薄膜のスピン分極率も評価した。

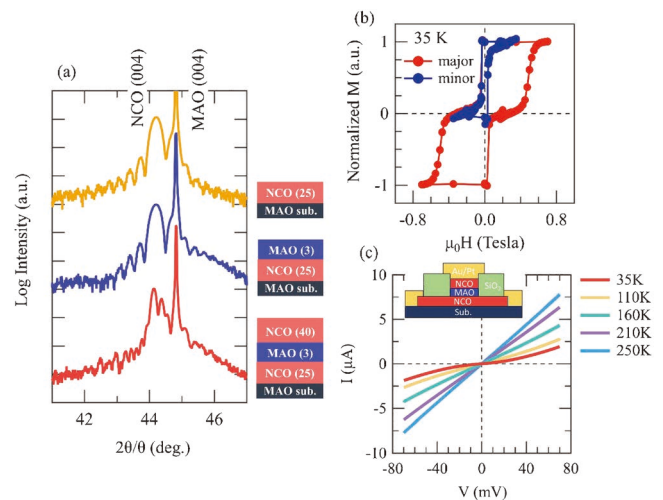


図 6 (a) $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{MgAl}_2\text{O}_4/\text{NiCo}_2\text{O}_4$ 積層構造(NCO/MAO/NCO)の X 線 $2\theta/\theta$ 回折パターン。比較のために NiCo_2O_4 単層薄膜と $\text{MgAl}_2\text{O}_4/\text{NiCo}_2\text{O}_4$ 積層構造の回折パターンも示した。図中の積層構造中の () 内の数値は各層の膜厚を示す。(b), (c) NCO/MAO/NCO 積層構造における (b) 面直方向の磁化の磁場依存性および (c) 電流-電圧特性。(c) の挿入図には測定に用いた素子構造を示した。(オンラインカラー)

NCO/MAO/NCO 積層構造は、(100)MAO 基板上に NCO 層および MAO 層をそれぞれエピタキシャル成長させることで作製した。図 6(a)には積層構造の X 線 $2\theta/\theta$ 回折パターンを示す。(004)NCO 反射が 2 本に分裂していることが分かる。この結果は、積層構造における上部および下部 NCO 層において回折した X 線が互いに干渉した結果であると理解でき、積層構造全体がエピタキシャル成長していることを示している。図 6(b)には、積層構造の面直方向の磁化の磁場依存性を示す。磁化反転が二段階で進行していることが分かる。この磁化反転過程は、初めに下部の NCO 層の磁化のみが反転し、上部と下部 NCO 層の磁化とで反平行配置が形成された後に、上部 NCO 層の磁化が反転したと理解できる。この磁化反転過程は、マイナーループ曲線における、下部 NCO 層の磁化のみの急峻な反転の観測からも確認できる。これらの結果は、MAO バリア層を介した上部と下部 NCO 層における磁化の交換結合はそれほど強くないために、弱い磁場印加で上部 NCO 層の磁化方向を変えることなく、下部 NCO 層の磁化のみを反転することで磁化の平行および反平行配置を作り出すことができることを示している。

積層構造におけるトンネル磁気抵抗を評価するために、図 6(c)の挿入図に示すようなピラー構造 ($8\ \mu\text{m} \times 8\ \mu\text{m}$) を作製した。面直方向に沿って測定した電流-電圧 (I-V) 曲線を図 6(c)に示す。室温近傍の高温領域では、リーク電流の寄与が大きく、直線的な I-V 曲線が観測された。一方で、35 K といった低温においては非線形な I-V 曲線が観測され、リーク電流が抑制され、MAO バリアを介したトンネル過程に由来する電流の寄与が大きくなることが分かる。図 7 には、積層方向に対して面直および面内方向に磁場を印加した場合の、接合抵抗の磁場依存性を示す。面直方向に磁場掃引した場合には、230% にもおよぶ大きな磁気抵抗が観測された。また磁化が平行配置において接合抵抗は低抵抗状態にあり、反平行配置において高抵抗状態となることが分かる。この観測された正の磁気抵抗は、上部および下部 NCO 層のどちらにおいても、少数スピンのサブバンドの伝導電子がトンネル

伝導に関与しており、NCO のスピン分極率は負であることを示唆するものである。一方で、面内磁場を掃引した場合には (図 7 下図)、接合抵抗はほぼ一定で磁気抵抗は観測されなかった。つまり、NCO 層の垂直磁気異方性に由来して、NCO/MAO/NCO 接合は垂直磁化型の磁気トンネル接合として機能することを意味している。観測された磁気抵抗に対して、上部および下部 NCO 層におけるスピン分極率が同一であると仮定して、Julliere モデル⁽¹⁶⁾を適用すると、NCO のスピン分極率は -73% と見積もられる。実際には、磁化測定の結果からは、上部と下部 NCO 層の磁気特性は同一ではなく、カチオン分布の変調や格子欠陥などのために、上部 NCO 層の磁化は定比組成薄膜のそれよりも小さいことが判明している⁽³³⁾。つまり、NCO 薄膜の実際のスピン分極率は Julliere モデルから見積もられた値よりも大きくなると考えられる。これらの結果は、バンド計算から予想されるハーフメタル電子状態から期待されるように、NCO 薄膜は高いスピン分極率を持つことを示すものである。

4. NCO 薄膜の全光型磁化スイッチング

磁場を用いない磁化制御技術の開発はスピントロニクス研究において重要な研究課題である。ここでは、超短パルスレーザーを用いた NCO 薄膜の磁化スイッチングについて紹介する⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾。図 8(a)に示すのは、パルス幅が 200 フェムト秒で波長が 1030 nm の超短パルスレーザーを照射した NCO 薄膜における磁気光学カー効果顕微鏡像である。顕微鏡像の白および黒のコントラストは、それぞれ磁化が面直方向上向きおよび下向きに整列した状態に対応する。300 K でレーザーパルスを照射した領域では、白と黒のコントラストが複雑に混合された顕微鏡像が観測された。詳細なコントラストの解析から、この状態は上向きおよび下向きの磁化を持つドメインがランダムに存在し、正味の磁化がゼロの状態であることが分かった。つまりレーザーパルスの照射によって、磁気ドメインが形成され消磁されたと理解できる (AODF: all-optical domain formation)。また 300 K での AODF はパルス数にも依存しないこともわかった。

一方、380 K 以上 (かつフェリ磁性転移温度以下) の温度領域においてレーザーパルスを照射した場合には、AODF に加えて、もう一つの磁化スイッチング現象が誘起されることを見出した。1000 個以上のパルスを照射した場合には、照射領域の外周に沿って下向きの磁化を持つ磁区に対応する黒いリング状のコントラストが出現した。つまり、レーザー照射するだけで、磁化方向が上向きから下向きへとスイッチされたことが分かる (AOS: all-optical switching)。NCO 薄膜における AOS は磁化が小さくなる高温領域のみで観測されることから、AOS の発現には磁化の減少に伴う静磁エネルギーの低減による磁区の安定化が関係していると考えられる。しかしながら AOS の発現メカニズムについてはよくわからない点も多く、その解明には薄膜特性と AOS との相関関係の検討やさらなる高度計測が必要である。

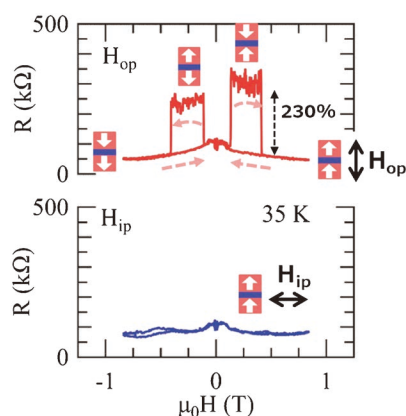


図 7 (上図)面直方向および(下図)面内方向の磁場掃引に対する $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\text{MgAl}_2\text{O}_4/\text{NiCo}_2\text{O}_4$ 接合抵抗の変化。(オンラインカラー)

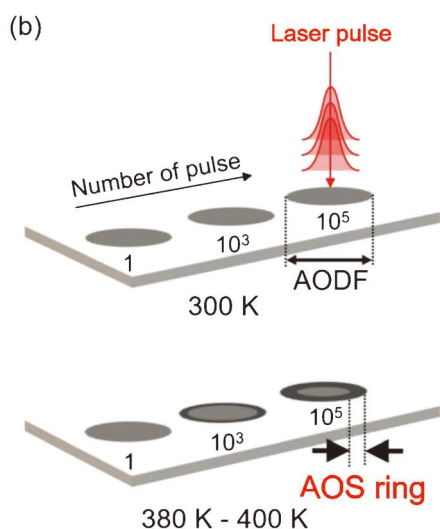
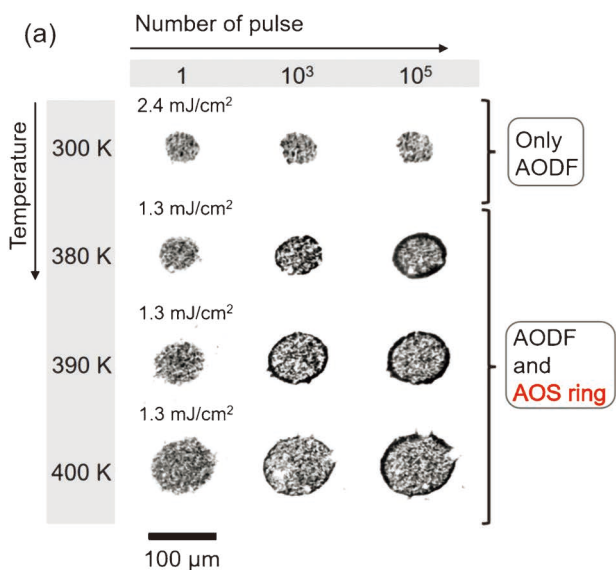


図8 (a) パルスレーザー照射した NiCo_2O_4 薄膜の磁気光学カー効果顕微鏡像。(b) パルスレーザー照射による磁気ドメイン形成(AODF)と磁化スイッチング(AOS)現象の模式図。(オンラインカラー)

5. おわりに

我々が近年取り組んできた NiCo_2O_4 エピタキシャル薄膜の作製および磁化制御について紹介した。これまでにハーフメタルとして研究されてきた面内磁気異方性を持つマグネタイトやペロブスカイトマンガン酸化物などとは対照的に、 NiCo_2O_4 薄膜は垂直磁気異方性を兼ね備えたハーフメタルとしてのポテンシャルを持っている。今後、スピン軌道相互作用といった電子的効果や水素などの軽元素の脱挿入⁽²⁴⁾⁽³⁶⁾を活用して薄膜特性の電界制御を実現し、 NiCo_2O_4 薄膜のポテンシャルをさらに引き出したいと考えている。

また、本稿で紹介した研究成果は、スピネル酸化物のような古くから研究されてきた材料群であっても、構成元素の価数や配置(サイト占有)の制御によって、いまだ新しい機能特

性を生み出せる可能性を示している。今後、非平衡条件や極限環境を利用して、通常の合成条件では安定化できないような価数状態や元素配置を実現することで、機能性材料の開発につながると期待している。

本研究を実施するにあたり、多くの共同研究者からの支援を賜りました。本稿で紹介した放射光実験は東北大学の若林裕助教授、高輝度光科学研究センター(現: 熊本大学)の水牧仁一朗博士、高エネルギー加速器研究機構(現: 量子科学技術研究開発機構)の北村未歩助教と共同で PF BL-4C, 6A(課題番号2018G533, 2019PF-29)および SPring-8 BL25SU(課題番号2019B1266)において実施したものです。全光型磁化スイッチングに関しては、兵庫県立大学の和達大樹教授と高橋龍之介氏との共同研究の成果となります。また本研究の一部は科学研究費助成事業に支援頂きました。ここに感謝申し上げます。

文 献

- (1) M. Lorenz *et al.*: J. Phys. D: Appl. Phys., **49**(2016), 433001.
- (2) D. Oka and T. Fukumura: CrystEngComm, **19**(2017), 2144–21262.
- (3) F. M. Chiabrera, S. Yun, Y. Li, R. T. Dahm, H. Zhang, C. K. R. Kirchert, D. V. Christensen, F. Trier, T. S. Jespersen and N. Pryds: Annalen der Physik, **534**(2022), 2200084.
- (4) I. Fina and F. Sánchez: ACS Appl. Electr. Mater., **3**(2021), 1530–1549.
- (5) D. Li, K. Lee, B. Y. Wang, M. Osada, S. Crossley, H. R. Lee, Y. Cui, Y. Hikita and H. Y. Hwang: Nature, **572**(2019), 624–627.
- (6) Y. Wei, P. Nukala, M. Salverda, S. Matzen, H. J. Zhao, J. Momand, A. S. Everhardt, G. Agnus, G. R. Blake, P. Lecoeur, B. J. Kooi, J. Íñiguez, B. Dkhil and B. Noheda: Nat. Mater., **17**(2018), 1095–1100.
- (7) K. Kaminaga, D. Oka, T. Hasegawa and T. Fukumura: J. Am. Chem. Soc., **140**(2018), 6754–6757.
- (8) J. M. D. Coey and C. L. Chien: MRS Bull., **28**(2003), 720–724.
- (9) M. I. Katsnelson, V. Y. Irkhin, L. Chioncel, A. I. Lichtenstein and R. A. de Groot: Rev. Modern Phys., **80**(2008), 315–378.
- (10) S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno: Nat. Mater., **9**(2010), 721–724.
- (11) N. Nishimura, T. Hirai, A. Koganei, T. Ikeda, K. Okano, Y. Sekiguchi and Y. Osada: J. Appl. Phys., **91**(2002), 5246–5249.
- (12) H. Ohmori, T. Hatori and S. Nakagawa: J. Appl. Phys., **103**(2008), 07A911.
- (13) G. Kim, Y. Sakuraba, M. Oogane, Y. Ando and T. Miyazaki: Appl. Phys. Lett., **92**(2008), 172502.
- (14) J.-G. Zhu and C. Park: Mater. Today, **9**(2006), 36–45.
- (15) A. Hirohata, K. Yamada, Y. Nakatani, L. Prejbeanu, B. Diény, P. Pirro and B. Hillebrands: J. Magn. Magn. Mater., **509**(2020), 166711.
- (16) M. Julliere: Phys. Lett. A, **54**(1975), 225–226.
- (17) J. F. Marco, J. R. Gancedo, M. Gracia, J. L. Gautier, E. Ríos and F. J. Berry: J. Solid State Chem., **153**(2000), 74–81.
- (18) J. F. Marco, J. R. Gancedo, M. Gracia, J. L. Gautier, E. I. Ríos, H. M. Palmer, C. Greaves and F. J. Berry: J. Mater. Chem., **11**(2001), 3087–3093.
- (19) D. Pyke, K. K. Mallick, R. Reynolds and A. K. Bhattacharya: J. Mater. Chem., **8**(1998), 1095–1098.
- (20) O. Knop, K. I. G. Reid, Sutarno and Y. Nakagawa: Can. J. Chem., **46**(1968), 3463–3476.
- (21) P. D. Battle, A. K. Cheetham and J. B. Goodenough: Mater. Res. Bull., **14**(1979), 1013–1024.

- (22) P. F. Ndione, Y. Shi, V. Stevanovic, S. Lany, A. Zakutayev, P. A. Parilla, J. D. Perkins, J. J. Berry, D. S. Ginley and M. F. Toney: *Adv. Funct. Mater.*, **24**(2014), 610–618.

(23) R. Zhang, M. Liu, W. Liu and H. Wang: *Mater. Lett.*, **199**(2017), 164–167.

(24) M. Wang, X. Sui, Y. Wang, Y.-H. Juan, Y. Lyu, H. Peng, T. Huang, S. Shen, C. Guo, J. Zhang, Z. Li, H.-B. Li, N. Lu, A. T. N'Diaye, E. Arenholz, S. Zhou, Q. He, Y.-H. Chu, W. Duan and P. Yu: *Adv. Mater.*, **31**(2019), 1900458.

(25) Y. Shen, D. Kan, Z. Tan, Y. Wakabayashi and Y. Shimakawa: *Phys. Rev. B*, **101**(2020), 094412.

(26) I. Suzuki, D. Kan, M. Kitamura, Y. Shen, K. Horiba and Y. Shimakawa: *J. Appl. Phys.*, **127**(2020), 203903.

(27) D. Kan, L. Xie and Y. Shimakawa: *Phys. Rev. B*, **104**(2021), 134407.

(28) H. Koizumi, I. Suzuki, D. Kan, J.-i. Inoue, Y. Wakabayashi, Y. Shimakawa and H. Yanagihara: *Phys. Rev. B*, **104**(2021), 014422.

(29) D. Kan, M. Mizumaki, M. Kitamura, Y. Kotani, Y. Shen, I. Suzuki, K. Horiba and Y. Shimakawa: *Phys. Rev. B*, **101**(2020), 224434.

(30) B. T. Thole, P. Carra, F. Sette and G. van der Laan: *Phys. Rev. Lett.*, **68**(1992), 1943–1946.

(31) P. Carra, B. T. Thole, M. Altarelli and X. Wang: *Phys. Rev. Lett.*, **70**(1993), 694–697.

(32) D. Kan, I. Suzuki and Y. Shimakawa: *J. Appl. Phys.*, **129**(2021), 183902.

(33) Y. Shen, D. Kan, I.-C. Lin, M.-W. Chu, I. Suzuki and Y. Shimakawa: *Appl. Phys. Lett.*, **117**(2020), 042408.

(34) R. Takahashi, T. Ohkochi, D. Kan, Y. Shimakawa and H. Wadati: *ACS Appl. Electr. Mater.*, **5**(2023), 748–753.

(35) R. Takahashi, Y. Tani, H. Abe, M. Yamasaki, I. Suzuki, D. Kan, Y. Shimakawa and H. Wadati: *Appl. Phys. Lett.*, **119**(2021), 102404.

(36) T. Wada, W. Namiki, T. Tsuchiya, D. Kan, Y. Shimakawa, T. Higuchi and K. Terabe: *Japan. J. Appl. Phys.*, **61**(2022), SM1002.

菅 大介

層状カルコゲナイドが拓く 電子デバイス材料の新展開

齊藤雄太¹⁾ 畑山祥吾²⁾ 張 文馨³⁾
岡田直也³⁾ 入沢寿史⁴⁾

1. はじめに

近年の半導体デバイスの発展はとどまるところを知らず、スマートフォンやパソコンが年々高性能化していることは誰もが実感していることである。周知のように、半導体デバイスの性能向上はSiの微細化によるところが大きいが、ロジック半導体と呼ばれる演算を行う素子に使われるトランジスタは、現行のデバイス構造では物理的な限界に到達することがわかっており、新構造・新原理のデバイス開発が世界中で行われている。その中でも、材料、特に微細化しても性能が劣化しない2次元層状物質が注目を集めている⁽¹⁾。ここでいう層状物質とは、面内方向に共有結合やイオン結合した原子単一または複数原子により構成された層を1ユニット(単層)とし、それら単層が弱いファンデルワールス(van der Waals: vdW)力によって結びついている材料群を指す。最も有名な例として知られるのが、層状物質グラファイトの単層であるグラフェンである⁽²⁾。また、組成MX₂(M: 遷移金属, X: カルコゲン, S, Se, Te)で表されるTMDC(Transition metal dichalcogenide, 遷移金属ダイカルコゲナイド)も代表的な層状物質であり、5 nm以下の極薄でもチャンネルを形成できることから、Siを超える次世代のFET(Field effect transistor, 電界効果トランジスタ)用材料として期待されている⁽³⁾。

著者らはこれまで、相変化メモリと呼ばれる次世代不揮発性メモリ向けの材料研究を行ってきた。相変化メモリに使

われる相変化材料は、Teを主成分とするカルコゲナイド系(GeTeやSb₂Te₃, Ge₂Sb₂Te₅等)で、アモルファス相と結晶相をジュール加熱によって可逆的に相変化でき、相による電気抵抗の違いで情報を記録する⁽⁴⁾⁽⁵⁾。カルコゲナイドの中には層状結晶構造を示すものが多く存在するが、通常、相変化メモリにおけるカルコゲナイドの結晶相は無配向な多結晶薄膜であった。著者らは、高い配向性、すなわち各層(またはvdWギャップ)が基板表面に対して平行に形成されるような成膜技術を開発し、不揮発性メモリの低消費電力化を実現してきた⁽⁶⁾。一方で、このような配向したカルコゲナイド薄膜は、不揮発性メモリとは異なる電子デバイス応用例があることを最近見出し、また、アモルファスを結晶化させるという手法を駆使することで、準安定な層状物質を作製できることも明らかにしてきた。本記事では、著者らが最近取り組んでいる一連の層状カルコゲナイド材料と、デバイス応用を見据えた研究について紹介する。なお、この度は村上奨励賞という名誉ある賞を授与いただき、また本記事執筆の機会を頂戴できたこと、大変光栄に思うとともに、関係者各位に御礼申し上げます。

2. X₂Te₃化合物薄膜の層状成膜

Sb₂Te₃は空間群166の三方晶系の結晶構造を有し、…Te-Sb-Te-Sb-Te…(-は共有結合, …はvdW結合)の5原子層の1ユニットがvdW力によって弱く結びついた層状物質である⁽⁷⁾。Sb₂Te₃は様々な応用があり、相変化材料以外にも

* 国立研究開発法人産業技術総合研究所デバイス技術研究部門；

1)研究グループ長 2)研究員 3)主任研究員 4)上級主任研究員(〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1)

Recent Development of Layered Chalcogenides for Electronic Device Applications; Yuta Saito, Shogo Hatayama, Wen-Hsin Chang, Naoya Okada and Toshifumi Irisawa (Device Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba)

Keywords: layered chalcogenides, transition metal dichalcogenides (TMDCs), Sb₂Te₃, GeTe₂, van der Waals contact, amorphous, crystallization, field effect transistor (FET), electronic devices

2023年6月12日受理[doi:10.2320/materia.62.520]

熱電材料としても広く知られている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。熱電材料はバルクで用いられることが多く、また相変化メモリでは、多結晶薄膜の Sb_2Te_3 が重要な構成化合物として用いられている。著者はこれまで、スパッタリング法による層状構造を生かした高配向成膜の研究を進めてきた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。図1(a)はスパッタ Sb_2Te_3 薄膜の断面TEM(Transmission electron microscopy, 透過電子顕微鏡)像である⁽¹¹⁾。水平方向に走る黒い線がvdWギャップと呼ばれる空隙で、5原子層ごとの単位層が周期的に面直方向に配列していることがわかる。図1(b)はHAADF-STEM(High-angle annular dark-field scanning TEM, 走査透過電子顕微鏡法の円環状検出器による暗視野法)像とEDX(Energy dispersive X-ray spectroscopy, エネルギー分散型X線組成分析法)による元素マッピングである。Te-Sb-Te-Sb-Teの5原子層とともに、やや距離の離れたTe...TeのvdWギャップが明瞭に観察されている。成膜手法の詳細は過去の論文に譲るが⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、開発した方法によって様々な下地材料や基板への高配向層状薄膜の成膜が可能となった。

Bi_2Te_3 は Sb_2Te_3 と同じ結晶構造を有し、格子定数も非常に近いことから Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3 擬二元系は全率固溶系の状態図となる⁽¹²⁾。図2(a)左に示すように、SbとBiは擬二元

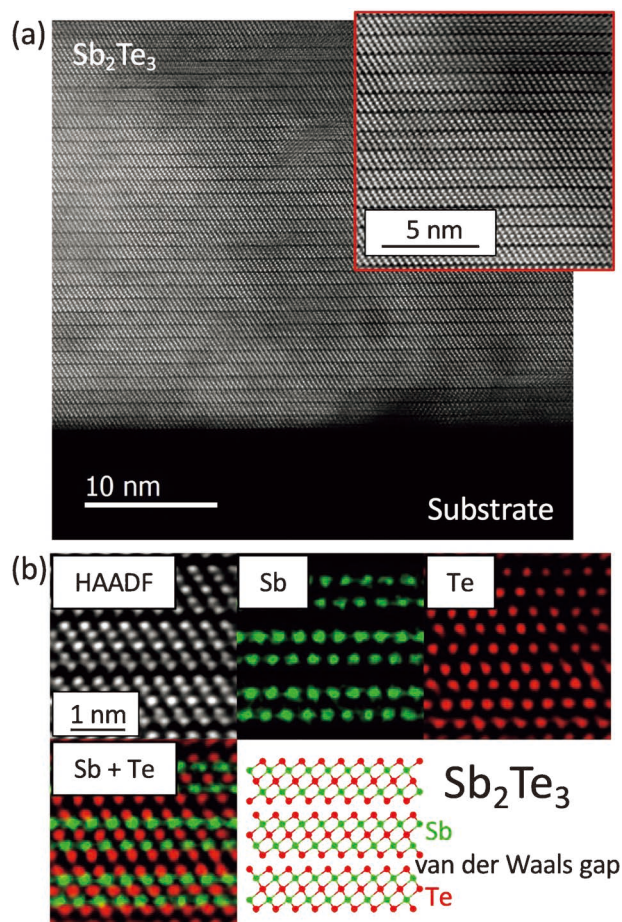


図1 (a) スパッタ法により高配向成膜した Sb_2Te_3 薄膜の断面TEM組織。(b) HAADFによる拡大組織とSTEM-EDXマッピング。(11)から許可を得て転載。

合金では不規則配置(化学的無秩序)となってカチオンサイトを占有し、Teは常にアニオンサイトを占める。このような擬二元組成の高配向薄膜を、Sb-TeとBi-Teのそれぞれの二元合金ターゲットの同時スパッタにより成膜した結果を図2(a)右に示す⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。 $(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{100-x}(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_x$ の組成 $x=\text{Bi}/(\text{Bi}+\text{Sb})$ (%)によらず、 c 軸に垂直な $00l$ ($l=3n$, n は整数)面のピークのみが観察された。また、組成によるピークシフトも確認でき、合金化による格子定数の変化を反映していることがわかる。図2(b)は作製した擬二元合金薄膜の電気抵抗率、ホール移動度、キャリア濃度の組成依存性である⁽¹⁴⁾。電気抵抗率はBi濃度とともに増加するが、65%程度で最大となり、その後は Bi_2Te_3 に向けて減少した。キャリア濃度は逆の傾向を示し、 Sb_2Te_3 が最も高く、Bi 65%で最小値を取りその後は再び増加している。移動度も低Bi濃度では同様の傾向を示すが、Bi 65%付近で一時的に最も大き

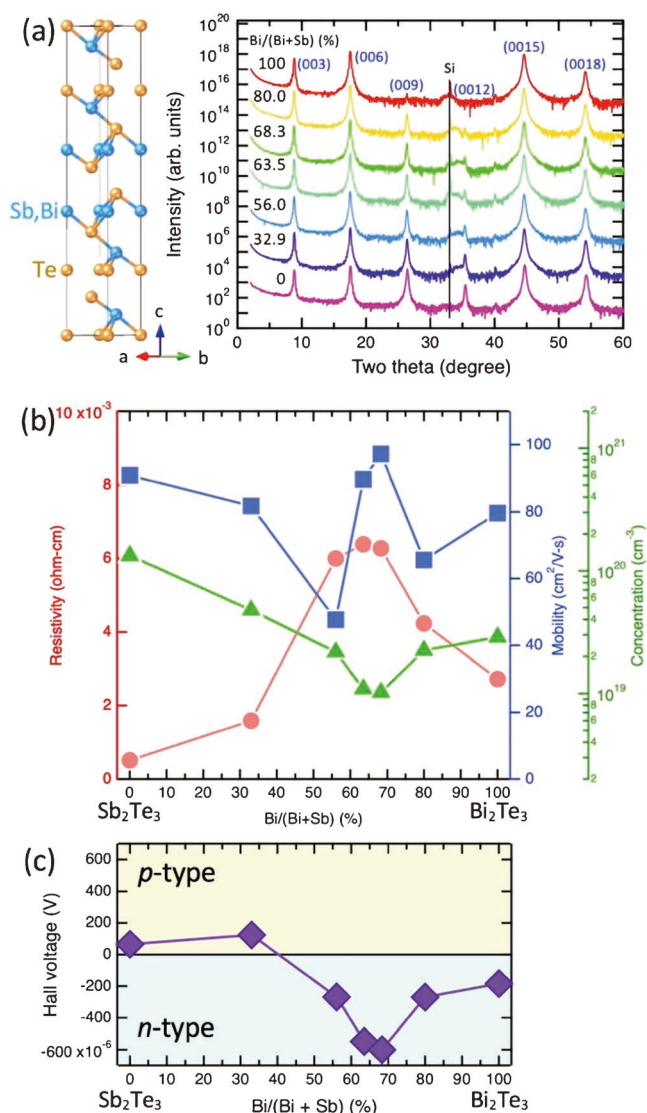


図2 (a) $(\text{Sb, Bi})_2\text{Te}_3$ の結晶構造とXRDの組成依存性。(b) 電気抵抗率、移動度、キャリア濃度の組成依存性。(c) ホール起電力の組成依存性。(14)から許可を得て転載。

くなっておりキャリア濃度と逆の傾向を示した。図2(c)はホール電圧の組成依存性であるが、Bi低濃度ではホール電圧の符号が正、すなわち正孔が多数キャリアのp型半導体であることがわかる。ここで、SbとBiは同じ第15族元素であり、 Sb_2Te_3 も Bi_2Te_3 もバンド構造としては似た特徴を有している。一方で、 Sb_2Te_3 ではSbのアンチサイト(Sb'_{Te})、 Bi_2Te_3 ではTeのアンチサイト(Te'_{Bi})の熱力学的な形成エネルギーが低く、点欠陥を生じやすい。これらはそれぞれアクセプター、ドナーとなるため、 Sb_2Te_3 はp型、 Bi_2Te_3 はn型の半導体になりやすいことが知られている⁽¹⁵⁾。つまり、図2(b)において、正孔が主体であった Sb_2Te_3 にBiを添加することで、電子のキャリアが増え、電子と正孔が相殺することでキャリア濃度が1桁程度減少したと考えられる。これは、フェルミレベルが価電子帯近傍にある Sb_2Te_3 から、Bi添加によって伝導帯近傍までシフトしたと言い換えることもできる。実際、両物質はトポロジカル絶縁体としても知られるが⁽¹⁶⁾、ディラックコーンと呼ばれる表面電子状態とフェルミレベルの相対位置が $(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{100-x}(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_x$ の組成によって変化することが報告されている⁽¹⁷⁾。このような高配向構造を保ったままの電気特性の変調は様々な応用の可能性を秘めていると考えられる。特に、トポロジカル絶縁体の表面には純スピン流が流れていることから、無損失なトランジスタの実現が期待される⁽¹⁸⁾。

3. vdW コンタクト

上述の高配向成膜した Sb_2Te_3 薄膜を次世代トランジスタのコンタクト電極に応用した例を紹介する。2次元層状物質の電子デバイス応用において最も期待されているものの一つが、原子層厚の半導体チャネルを有するトランジスタである。 MoS_2 に代表されるTMDCは、極薄膜(≤ 5 nm)においても移動度が低下しないため、既存のSiを凌駕するポテンシャルを秘めている⁽¹⁹⁾。一方で、実用化までの課題は山積しており、その一つがソースやドレインといった金属電極とのコンタクト抵抗が高いことである⁽²⁰⁾。トランジスタにおいて、微細化すればするほど全体に占めるコンタクト抵抗の比率が大きくなり、オン電流が不十分になるという問題があ

る⁽²¹⁾。Siの場合は、金属電極と反応させることでシリサイドを形成させたり、電極成膜箇所をハイドロプにしたりといった手法がとられていたが、原子層厚の2次元物質ではそのような方法が適用できない。最近、半金属であるBiを電極として使うことで、コンタクト抵抗を大幅に減少させることができるという報告があった⁽²²⁾。通常の金属はフェルミレベルの状態密度が大きく、それが半導体である MoS_2 側のフェルミレベルピンングに影響を与えるが、電極の状態密度を低減させることでピンングの影響を最小限にできるためと考えられている。著者らは、2で紹介したように Sb_2Te_3 や Bi_2Te_3 の高配向成膜の研究を行っていた。これらは半金属ではないが、ナローギャップ半導体であり、実際、 10^{19} – 10^{20} cm^{-3} 程度のキャリア濃度を有するため、電気的には縮退半導体的な振る舞いを示す。そのため、フェルミレベルにおける状態密度、という観点からも半金属に近い性質を示すと考えた。また、図1に示したように、スパッタ法によって高い配向性を持たせた結晶膜の成長技術を確立していたが、 MoS_2 との異種層状物質同士の界面はお互いがvdWギャップを形成しているため、いわゆる半導体/金属界面に見られる欠陥由来のコンタクト抵抗の上昇は防げると期待した。化学気相蒸着(CVD)法によって成膜した単層 MoS_2 と⁽²³⁾、その上にスパッタ成膜した Sb_2Te_3 の断面TEM組織を図3(a)に示す⁽²⁴⁾。 Sb_2Te_3 薄膜はSi基板等に成膜した時と同じように、vdWギャップが基板表面に平行に配列している、すなわち高い配向性を有していることがわかる。 MoS_2 層との界面の拡大組織について[210]方向と[110]方向から観察した結果を図3(b)、図3(c)にそれぞれ示す。図3(b)の角度では、 Sb_2Te_3 はSbとTeが面直方向に一直線に並んだ配列として観察される。 MoS_2 もS-Mo-Sが真っ直ぐに並んでいることがわかる。また、図3(c)では、SbとTeがいわゆる最密充填におけるA-B-C-A-Bの並びで観察され、 MoS_2 はA-B-Aのスタッキングとなっている。 Sb_2Te_3 のx軸方向の格子定数 a は $4.26 \text{ \AA}$ (0.426 nm)、 MoS_2 は $3.16 \text{ \AA}$ (0.316 nm)であり、どちらも底面は6回対称である。そのため、 Sb_2Te_3 は3倍、 MoS_2 は4倍周期ごとにそれぞれの終端カルコゲンであるTeとSの位置が一致することになる。通常の三次元的に結合した化合物半導体のエピタキシャル成長で

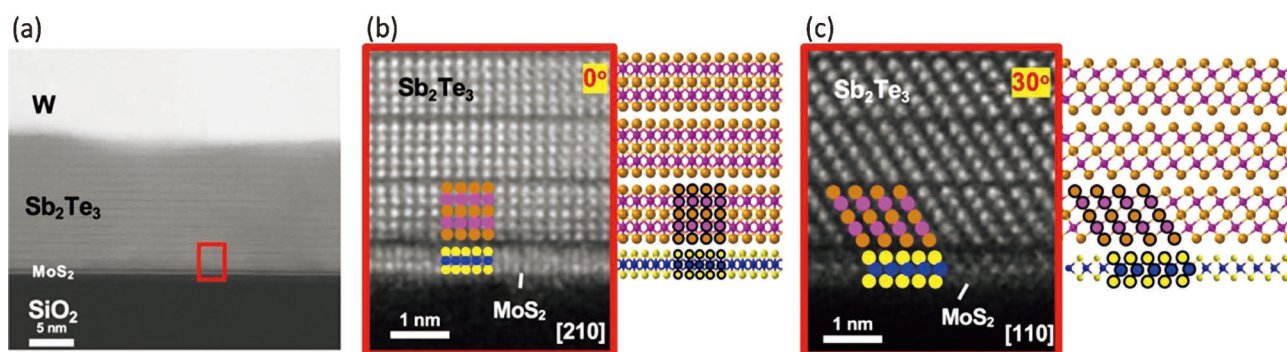


図3 (a) 単層 MoS_2 上にスパッタ成膜した Sb_2Te_3 の断面TEM組織。(b) [210]方向と(c) [110]方向から観察した MoS_2 / Sb_2Te_3 界面の拡大組織と原子モデル。(24)から許可を得て転載。

あれば、このような格子ミスマッチは歪みや欠陥を生じさせる原因となりうるが、 Sb_2Te_3 や MoS_2 といった層状物質では、異種物質界面間における相互作用が vdW 力と非常に弱いいため、お互いの格子定数に左右されないヘテロ構造の形成が可能となる⁽²⁵⁾。

実際に作製したトランジスタデバイスの模式図を図 4(a) に示す。チャンネルとして単層の MoS_2 を熱酸化 SiO_2 つき Si 基板上に形成した。ソース、ドレインの電極として Sb_2Te_3 (20 nm), W (30 nm) を大気解放せずに連続成膜した。ゲート電極としては Si 基板裏面から Au 膜を成膜し、バックゲート型の構造を採用した。図 4(b) にソース-ドレイン間の電流 (I_D) とゲート電圧 (V_G) の関係を示す。なお、チャンネル長は 5 μm 、ソース-ドレイン間の印加電圧 (V_D) は 50 mV である。また、一般的に使われる Ni や W といった金属電極の結果も比較している。電極材料にかかわらず、 V_G が正の時に I_D がオンになることから、nFET としての特性を示していることがわかる。これは MoS_2 が n 型の伝導を示すためであり、文献とも一致する⁽¹⁹⁾。注目すべきは、 Sb_2Te_3 電極のデバイスにおいてオン電流の値が Ni に比べて 3 倍程度、W と比較して 15 倍程度上昇していることである。このようなオン電流の向上は金属/半導体間のコンタクト抵抗の低減が大きな要因であると考えた。実際にコンタクト抵抗の値を算出した結果、これまで報告のある半金属電極とも遜色がない低さを示すことがわかった。また、半金属電極として報告のある Bi は融点が 271°C と半導体プロセスに必要とされる 400°C に満たない。一方で、 Sb_2Te_3 の融点は 618°C に達するため、低コンタクト抵抗、高耐熱性が期待できる新規電極材料となりうると考えている。低コンタクト抵抗の起源について、バンドアライメントの観点で考察する。図 4(c) に示すように、 MoS_2 の伝導帯端のエネルギーと Sb_2Te_3 の仕事関数の値は非常に近いことがわかる⁽²²⁾⁽²⁶⁾。TMDC もフェルミレベルピニングが大きい半導体であることは理論計算によって報告されているが⁽²⁷⁾、図 3 で示したように、形成した vdW 界面において欠陥等が少なく、それによりフェルミレベルピニングの影響が小さくなっていると仮定すると、こ

のようなバンドアライメントは nFET にとっては理想的な関係であり、ショットキー障壁を最大限に抑制した特性が期待される。今後は界面の電子状態についても計測、理論計算の双方から詳細に検討していく。また、実際にロジックデバイスとして応用するには、p 型のチャンネル材料も不可欠となるため、今後は pFET の二次元層状物質とともに、それに最適なコンタクト電極材料の探索が重要になると考えている⁽²⁸⁾。

4. 準安定層状カルコゲナイド半導体

最後に、著者らが最近見出した準安定層状カルコゲナイド半導体について紹介する。図 5(a) は Ge-Te の二元系状態図である⁽²⁹⁾。この二元系では組成比 1:1 の GeTe が安定化合物であり、GeTe と Te は共晶型の状態図となっている。スパッタ成膜によって作製されるアモルファス相は、非化学量論化合物でも広範な組成範囲にわたって準安定的に形成できる。Ge₃₃Te₆₇ という 1:2 比のアモルファス薄膜を Si 基板上に成膜し、異なる温度で熱処理した試料の XRD (X-ray diffraction, X 線回折) 結果を図 5(b) に示す⁽³⁰⁾。成膜まま (as-depo.) から 220°C 熱処理までは回折ピークが見られずアモルファス相であることがわかる。230°C になると 4 本のピークが観察され、240°C でさらに強度が強くなった。250°C になると強度は大きく減少し、新たに GeTe と Te の結晶相由来のピークが現れた。260°C 以上では GeTe と Te のみが存在し、これは図 5(a) の状態図から予想される二相共存に対応している。この 240°C 前後で観察されているピークが準安定結晶相である GeTe₂ 由来のピークである。図 5(b) の各 XRD パターンの強度は規格化していないため、GeTe₂ のピーク強度が安定相である GeTe と Te に比べて著しく高いことは注目すべき点である。後述するように、これは GeTe₂ が層状物質であり、かつ、これまで出てきた Sb_2Te_3 等と同様に vdW ギャップが基板に平行に形成した高配向膜になっていることに起因する。なお、GeTe₂ 自体は 30 年以上前に日本の研究者によって存在が確認されていたが、当時は

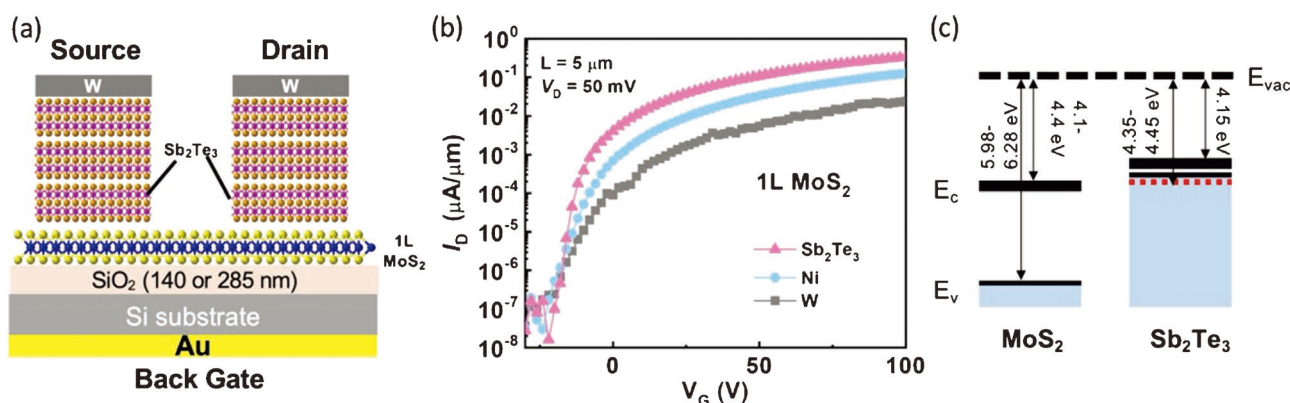


図 4 (a) Sb_2Te_3 をソース、ドレイン電極に用いた単層 MoS_2 トランジスタデバイスの断面模式図。 (b) I_D - V_G 特性の電極材料依存性。 (c) MoS_2 と Sb_2Te_3 のバンドアライメント。 (24) から許可を得て転載。

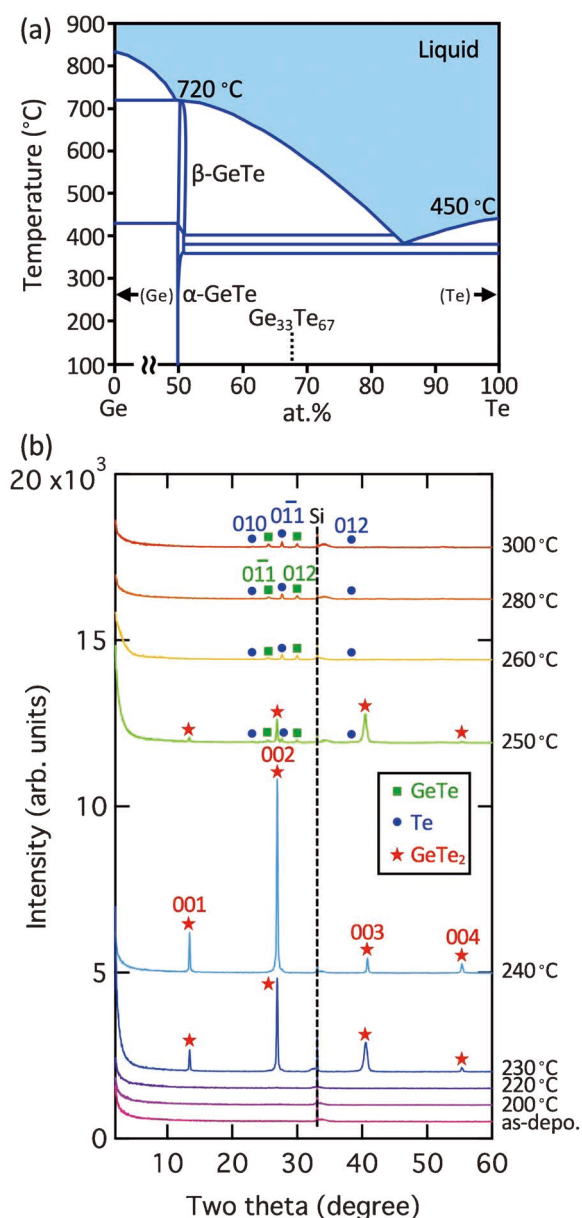


図5 (a) Ge-Te 二元系状態図. (b) $\text{Ge}_{33}\text{Te}_{67}$ 薄膜の XRD の加熱温度依存性. (30)から許可を得て転載.

SiO_2 と同じ結晶構造であると考えられており、本研究のような層状物質や半導体デバイスとしての研究は行われてこなかった⁽³¹⁾⁽³²⁾.

このように作製した GeTe_2 薄膜の断面 TEM 組織を図 6(a)に示す. 層状構造に由来する等間隔のモアレ模様が基板に平行に観察されていることがわかる. 膜厚は 50 nm であるが、基板直上から膜表面まで一つの結晶粒であることがわかった. このような高配向組織が高い XRD 強度に繋がっていると考えられる. HAADF-STEM 像を図 6(b)に示すが、面直方向で三原子ごとに黒い線(原子が存在しない空間)が明瞭に見られ、これが vdW ギャップに対応する. 図 6(c)と(d)は HAADF-STEM 像と対応する EDX マッピング結果である. vdW ギャップの上下はどちらも Te 原子層であり、その間に Ge が挟まれたような、 $\cdots\text{Te-Ge-Te}\cdots$ (-は共

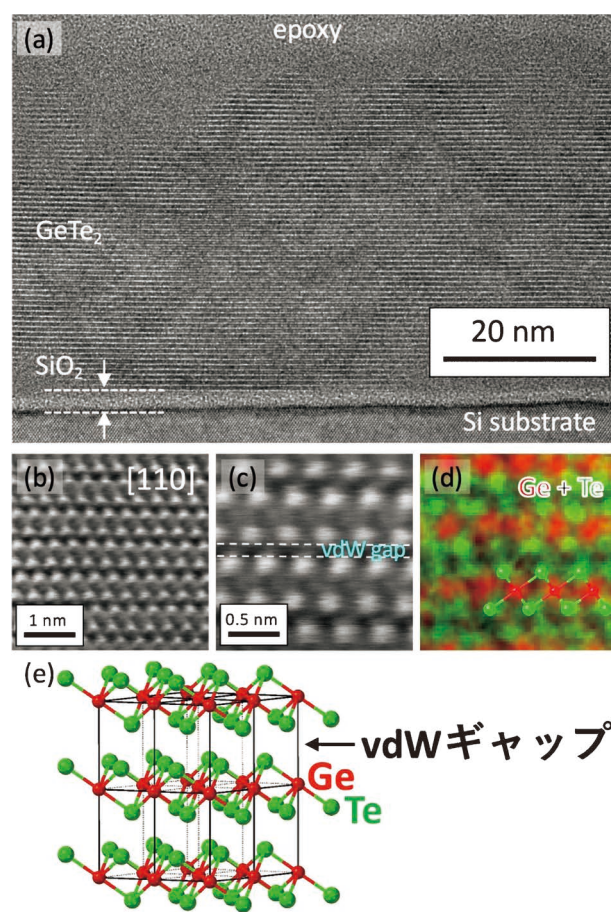


図6 (a) GeTe_2 薄膜の断面 TEM 組織. (b) (c) HAADF 拡大図と (d) STEM-EDX マッピング. (e) GeTe_2 の結晶構造モデル. (30)から許可を得て転載.

有結合, $\cdots$ は vdW 結合)をユニットとしていることがわかる. これは典型的な TMDC である MX_2 の遷移金属 M を Ge で置換した構造と考えることができる. Ge : Te が 1 : 2 であることから MX_2 組成の TMDC と準安定的に同じ構造を取りうることも納得できる. XRD や TEM の結果から推定された結晶構造を図 6(e)に示す. 薄膜試料でしか得られない相であるため粉末 X 線回折による構造同定は簡単ではないが、今後はこの新たに発見された準安定層状物質の構造を含め諸物性の評価が期待される.

図 6(e)の結晶モデルを用いてバンド構造計算を行なった結果を図 7(a)に示す. A 点において 1.15 eV 程度の直接遷移型のバンドギャップを有することがわかった. なお、本計算では DFT (Density functional theory, 密度汎関数理論) の GGA (Generalized gradient approximation, 一般化勾配近似)を用いているため、バンドギャップを過小評価している可能性がある⁽³³⁾⁽³⁴⁾. また、厳密にはバンドギャップが価電子帯端から形成していない、すなわち、フェルミレベルが価電子帯内部に存在していることもわかった. 一方で、光学特性の実験から、バンドギャップは 1.7 eV 程度であることがわかっていた. 第一原理計算は理想的な結晶モデルによる計算であるが、実際の試料では、欠陥等により多くのキャリア

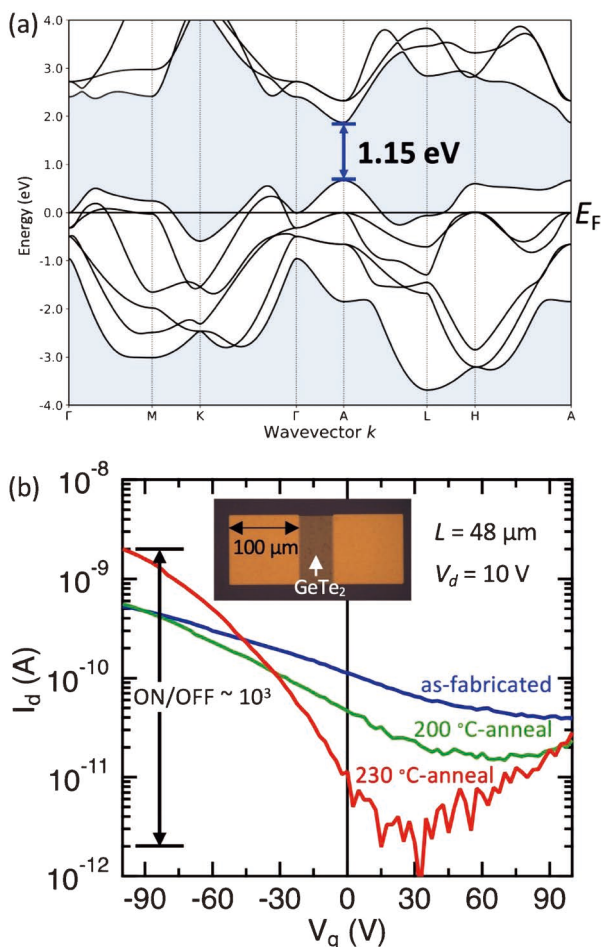


図7 (a) 第一原理計算による GeTe_2 のバンド構造. (b) GeTe_2 のトランジスタ特性. (30)から許可を得て転載.

が存在し、フェルミレベルの位置が変化する⁽³⁵⁾. そのため、計算上は p 型に縮退した半導体のような振る舞いであるが、実際の試料では Te 空孔や Ge のアンチサイトに起因したドナー型欠陥により生み出された電子によって、フェルミレベルが価電子帯を越えてバンドギャップ内に入り込んでいるものと考えている.

GeTe_2 をチャンネルとして作製したトランジスタデバイスの電気特性を図 7(b)に示す. デバイス作製時はオン/オフ比が低かったが、熱処理を行うことで 3 桁程度の電流比が得られることがわかった. また、ゲート電圧が負の時にオンになることから、p 型伝導をしていることがわかる. これは、(a)で示したバンド図において、フェルミレベルが価電子帯上部にシフトしていると考察した結果とも一致する. 3 章で示した MoS_2 に代表される TMDC は n 型伝導を示す材料が大多数であるので、このような p 型動作を示す新規層状半導体は、今後応用的な観点でも重要であると考えられる. また、準安定的に得られる層状物質によるトランジスタデバイスの実現は、まだ見ぬ多くの未知層状物質への材料展開の可能性も秘めており、今後の研究の発展が期待される.

5. おわりに

元々著者は、相変化メモリ用の材料として Sb_2Te_3 などの高配向成膜に関する研究を進めてきた. 配向制御することにより面直方向の熱伝導率が低下し、メモリ駆動に不可欠なジュール熱を効果的に相変化に使用できるため低消費電力化できる. 一方で、別の側面から見ると、 Sb_2Te_3 などのテルライドの結晶薄膜は、バンドギャップが小さく半金属的であり、また、層状構造であるため、同じく層状のチャンネル材料である MoS_2 等の TMDC と相性が良いと考えた. さらに、アモルファスを結晶化する、という相変化材料研究では一般的な手法により、準安定な層状半導体を発見することができた. 奇しくも現在は半導体デバイスへ新材料、特に二次元層状物質の導入への期待が世界中で高まりを見せているところであり、今後も常識に囚われない材料設計・デバイス高性能化を目指していく.

本研究の一部は、JSPS 科研費 18K14306, 19H02619, 21H05009, および JST-CREST (JPMJCR16F3) の助成を受けたものです.

文 献

- (1) D. Akinwande, C. Huyghebaert, C.-H. Wang, M. I. Serna, S. Goossens, L.-J. Li, H. S. P. Wong and F. H. L. Koppens: *Nature*, **573**(2019), 507-518.
- (2) K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva and A. A. Firsov: *Science*, **306**(2004), 666-669.
- (3) S. Das, *et al.*: *Nat. Electro.*, **4**(2021), 786-799.
- (4) M. Wuttig and N. Yamada: *Nat. Mater.*, **6**(2007), 824-832.
- (5) P. Noé, C. Vallée, F. Hippert, F. Fillot and J.-Y. Raty: *Semicond. Sci. Technol.*, **33**(2018), 013002.
- (6) Y. Saito, P. Fons, A. V. Kolobov and J. Tominaga: *Phys. Stat. Sol. (b)*, **252**(2015), 2151-2158.
- (7) T. L. Anderson and H. B. Krause: *Acta Cryst. B*, **30**(1974), 1307-1310.
- (8) R. Venkatasubramanian, E. Siivola, T. Colpitts and B. O'Quinn: *Nature*, **413**(2001), 597-602.
- (9) F. Rieger, K. Kaiser, G. Bendt, V. Roddatis, P. Thiessen, S. Schulz and C. Jooss: *J. Appl. Phys.*, **123**(2018), 175108.
- (10) 齊藤雄太: まてりあ, **59**(2020), 387-392.
- (11) Y. Saito, M. Morota, K. Makino, J. Tominaga, A. V. Kolobov and P. Fons: *Mater. Sci. Semicond. Process.*, **135**(2021), 106079.
- (12) T. Caillat, M. Carle, D. Perrin, H. Scherrer and S. Scherrer: *J. Phys. Chem. Sol.*, **53**(1992), 227-232.
- (13) Y. Saito, P. Fons, K. Makino, K. V. Mitrofanov, F. Uesugi, M. Takeguchi, A. V. Kolobov and J. Tominaga: *Nanoscale*, **9**(2017), 15115-15121.
- (14) Y. Saito, P. Fons, A. V. Kolobov, K. Mitrofanov, K. Makino, J. Tominaga, S. Hatayama, Y. Sutou, M. Hase and J. Robertson: *J. Phys. D Appl. Phys.*, **53**(2020), 284002.
- (15) M. Eschbach, *et al.*: *Nat. Commun.*, **6**(2015), 9816.
- (16) H. Zhang, C.-X. Liu, X.-L. Qi, X. Dai, Z. Fang and S.-C. Zhang: *Nat. Phys.*, **5**(2009), 438-442.
- (17) J. Zhang, C.-Z. Chang, Z. Zhang, J. Wen, X. Feng, K. Li, M. Liu, K. He, L. Wang, X. Chen, Q.-K. Xue, X. Ma and Y. Wang: *Nat. Commun.*, **2**(2011), 574.

- ★★
齊藤雄太

2013年4月 産業技術総合研究所・産総研特別研究員

2017年4月 ケンブリ

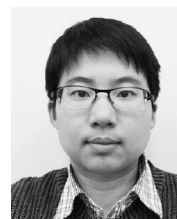
2022年4月 同・企画主幹を経て

2023年4月= 現職
車門公野：半道休

◎カルコゲナイトを中心に半導体デバイス材料の研究に従事。薄膜作製と材料分析、等価原理計算およびイオン特性評価を中心に活動。

E-mail: yuta-saito@aist.go.jp

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



張文馨



入沢寿史



2. 特性の計測評価

2-1 力学特性

2-1-3 疲労試験

兼 子 佳 久*

2-1-3-1 はじめに

金属材料に繰返して負荷を与えると、最大応力が巨視的な降伏応力以下でも破断することがあります。この現象は金属疲労と呼ばれ、摩耗や腐食と並んで金属材料の代表的な損傷です。実用に耐えうる信頼性を検証するためには疲労試験を実施し、その材料の疲労特性を把握することが不可欠です。本項では種々の疲労の概要を述べたのち、室温・大気中における高サイクル疲労および低サイクル疲労の試験方法、一般的なデータの整理方法を基礎から説明するとともに、疲労試験後の試験片の観察・解析例について紹介いたします。

2-1-3-2 種々の環境下における疲労

疲労試験は典型的には室温・大気中の条件で行なわれますが、疲労特性は周囲環境などの種々の要因の影響を受けます。本項では説明は省略いたしますが、温度、腐食環境、摩擦などの影響も幅広く確認されています。クリープが生じるような高温環境における疲労は高温疲労と呼ばれます⁽¹⁾⁽²⁾。高温での疲労では、疲労損傷、クリープ損傷、表面酸化などが複雑に関与することになります。また、部材が拘束されていると熱膨張にともなって材料に熱応力が作用します。温度の上昇と下降が繰返されると、熱疲労が生じます⁽³⁾⁽⁴⁾。腐食性環境中における疲労は腐食疲労と呼ばれます⁽⁵⁾⁽⁶⁾。表面に作用する摩擦も疲労特性に影響を及ぼします。フレットングとは接触する2つの表面に接線力が繰返して作用する際に生じる損傷で⁽⁷⁾、その結果疲労特性が低下することはフレットング疲労⁽⁸⁾と呼ばれます。

本項で取り扱う疲労試験は室温・大気中での試験を前提といたします。高温疲労や熱疲労などについては日本産業規格

(JIS)で試験方法等が示されています。例えば「金属材料の高温低サイクル疲労試験方法」JIS Z2279、「金属材料の熱疲労試験方法」JIS Z2278、「金属材料の高温回転曲げ疲労試験方法」JIS Z2286などを参照してください。

2-1-3-3 疲労試験の分類

室温・大気中における疲労試験は、目的に応じて高サイクル疲労試験(High-cycle fatigue test)と低サイクル疲労試験(Low-cycle fatigue test)に分類されます。高サイクル疲労試験は、破断までの繰返し数が 10^4 サイクル程度以上となるものが相当します。負荷する繰返し応力の最大値は静的な引張試験で得られる降伏応力付近かそれ以下であることが多いです。ただし、疲労破壊する試験片では微視的には不可逆的な過程が生じていることになります。高サイクル疲労試験では応力振幅が一定となる条件で比較的速い繰返し周波数において実施されます。

それに対し低サイクル疲労試験では、 10^4 サイクル程度以下で生じる疲労の現象を取り扱うことになります。応力の最大値は降伏応力を超えることが多く、試験片には巨視的な塑性変形が生じ、応力-ひずみ線図上ではヒステリシスループが描かれます。短いサイクル数での疲労現象を取り扱うので遅い繰返し周波数で実施されることが一般的です。高サイクル疲労試験では応力振幅が一定であるのに対し、低サイクル疲労試験ではひずみ振幅一定の条件がしばしば利用されます。

2-1-3-4 高サイクル疲労

かつてはJIS Z2273「金属材料の疲れ試験方法通則」に室温・大気中における金属材料の高サイクル疲労試験の標準的な実験方法やデータ整理について示されていました。しかし

* 大阪公立大学大学院工学研究科機械系専攻；教授(〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties: 2-1 Mechanical Properties: 2-1-3 Fatigue Test; Yoshihisa Kaneko(Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University, Osaka)

Keywords: *fatigue, S-N curve, Weibull distribution, cyclic deformation, fractography, persistent slip band*

2023年3月17日受理[doi:10.2320/materia.62.527]

ながら、国内にニーズがなくなったとの理由からこの通則は2021年に廃止されました。以下には室温・大気中における一般的な試験方法とその特徴について述べます。

(1) 単軸の引張-圧縮疲労試験

疲労特性には力学的、金属学的、環境的要因が関与する非常に複雑な現象です。どの要因が疲労特性に対し強い影響を及ぼすのかを調査していくためには、力学的条件はできるだけ単純化させることが望めます。したがって高サイクル疲労試験では、単軸方向に引張と圧縮の垂直荷重を交互に作用させる方法が採用されることが多いです。疲労試験には、油圧サーボ型疲労試験機や電磁サーボ型疲労試験機が用いられます。疲労試験機の構造の例を図1に示します。試験片にはピストンを介して引張や圧縮の荷重が負荷されます。この例ではアクチュエーターが試験片の下側に設置されていますが、クロスヘッドの上側に設置されているものもあります。ネジ駆動式の万能試験機は、負荷速度の問題や歯車の隙間(バックラッシ)に起因する反転時のクロスヘッド移動の遅れの問題から荷重方向が頻繁に変化する疲労試験では通常使われません。

図2は単軸引張-圧縮試験で用いられる代表的な試験片形状です。図2(a)は円柱型の試験片で、試験片の中央部付近に断面が減少した平行部(ゲージ部)を有しています。両端のつかみ部およびゲージ部の断面は円形です。軸方向の荷重を P 、ゲージ部の直径を ϕd とすると、作用する垂直応力は $\sigma = 4P/(\pi d^2)$ となります。ゲージ長さ L は少なくとも $3d$ が望めます⁽⁹⁾。ただし、ゲージ部が長く縦横比が高くなると、圧縮負荷時に座屈しやすいので注意が必要です。正方形・長方形断面とは異なり表面のどの位置でも形状は同じなので、断面隅部の影響を受けないという特徴があります。

図2(b)はいわゆる砂時計型試験片と呼ばれます。基本的には円柱型ですが、試験片表面に平行部がなく、緩やかな曲率を有し、中央部で断面が最も細くなっています。最も細い位置での直径を d とすると、曲率半径 R は少なくとも $8d$ が望めます⁽⁹⁾。試験片に作用する応力は最も細い位置での断面積を基準に算出します。この形状は平行部を有していないので、圧縮負荷時の座屈が生じにくいという特徴があります。円柱型に比べ高い応力が作用する領域が少なく、き裂発生可能な表面部が相対的に減少するので注意が必要です。

図2(c)は幅 w で厚さ t の長方形の断面を有する角柱型試験片です。ゲージ部に作用する応力は $\sigma = P/wt$ となります。幅 w と厚さ t の差が大きい(幅厚比が高い)と同じ断面積でも断面二次モーメントが低下し、圧縮時に座屈しやすくなるので注意が必要です。角柱型試験片の利点は平坦な表面を有していることです。表面が平坦である場合、2-1-3-6節で説明する精密な研磨が可能で電解研磨などを組み合わせると鏡状の表面を得ることができます。試験片表面にはすべり帯や微小き裂など疲労により引き起こされる様々な痕跡が現れます。表面を精密に研磨した角柱状試験片では、疲労試験後にそのような痕跡を詳しく観察することができます。

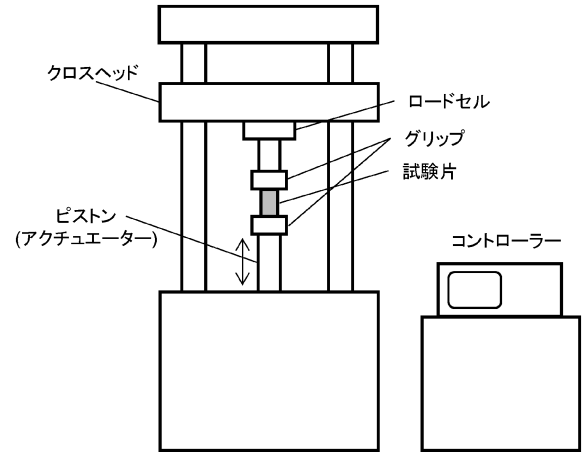


図1 疲労試験機の構造例。

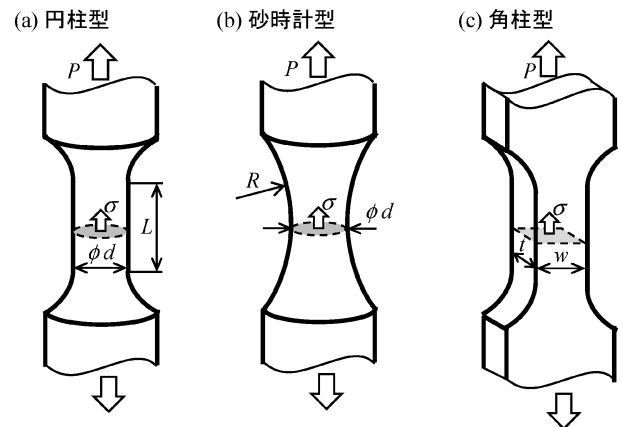


図2 単軸引張-圧縮用疲労試験片の形状。

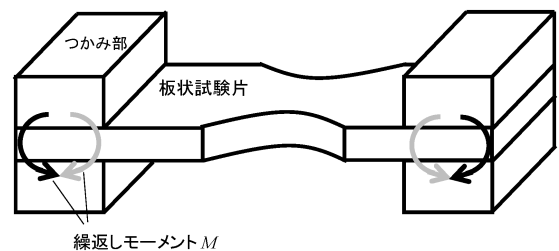


図3 平面曲げ疲労試験。

(2) 平面曲げ疲労試験

実用において繰返し曲げが作用する板材の疲労特性は、しばしば平面曲げ疲労試験で評価されます。図3は平面曲げ疲労試験の概略図です。板状の試験片の両端を固定し、繰返し曲げモーメント M を与えることにより、試験片に疲労負荷を与えます。曲げ試験なので、板表面に引張応力が作用する状況では板裏面では逆に圧縮応力が作用します。正負のモーメントを繰返し与えることにより、板の表裏面には引張と圧縮応力が交互に作用します。板の最も細い部分の幅を w 、厚さを t とすると、曲げモーメント M によって板表面に作

用する引張応力は $\sigma = 6M/wt^2$ で算出されます。なお、曲げ疲労試験には適用される規格「金属平板の平面曲げ疲れ試験方法」(JIS Z2275)があり、試験片形状や結果の取り扱いなどが記載されています。

(3) 回転曲げ疲労試験

回転曲げ疲労試験は、円柱材の半径方向に荷重が負荷されかつ回転する軸の疲労を想定した試験方法です。図4は回転曲げ疲労試験の概略図です。中央の細い円柱軸が試験片で、両端を回転できる軸に固定されます。軸はモーターによって回転させます。軸には軸受けを介して半径方向に荷重が負荷されます。図の例では4点曲げと同じ原理で円柱試験片に曲げモーメントが作用します。曲げモーメントによって、円柱試験片の下部および上部表面近傍には引張と圧縮応力がそれぞれ作用します。図5は軸の回転にともなう表面近傍での応力の変化を示しています。曲げモーメントが作用した状態で軸を1/4回転させると、最初は圧縮応力を受けていた上部表面には応力が作用しなくなります。さらに、1/4回転すると引張応力を受けることになります。したがって、軸を回転させることで図5(b)のように試験片表面は引張と圧縮の対象な応力を交互に受けることになります。直径 d の試験片に曲げモーメント M が作用すると、試験片表面に作用する引張応力の最大値は $\sigma = 32M/\pi d^2$ となります。なお、回転曲げ疲労試験には適用される規格「金属材料の回転曲げ疲れ試験方法」(JIS Z2274)があります。

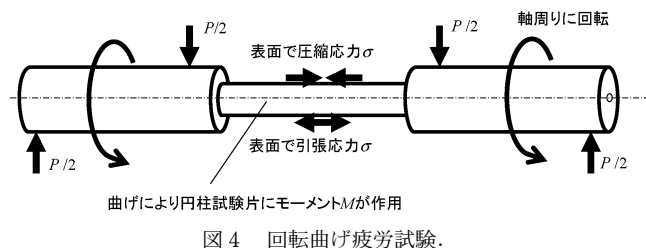
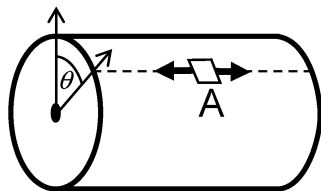


図4 回転曲げ疲労試験。

(a) 試験片の回転



(b) 表面Aに作用する応力

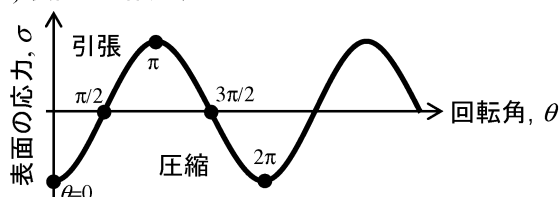


図5 回転曲げで作用する応力。

(4) 単軸疲労試験の荷重波形

図6(a)は単軸疲労試験において試験片に作用する応力と時間との関係を表しています。この例では応力波形は正弦波です。正弦荷重波は油圧サーボ型疲労試験機では10 Hz程度の繰返し周波数でも比較的安定して負荷できるので、高サイクル疲労試験で標準的に採用されます。他には低周波数での疲労試験などで三角波が採用されます。三角波では応力の変化速度が一定という特徴があります。図6(a)に示すように、平均応力 σ_{mean} は最大応力 σ_{max} と最小応力 σ_{min} との平均値で、応力振幅 σ_a は最大応力と平均応力との差であり、それぞれ以下の式で与えられます。

$$\sigma_{\text{mean}} = \frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2} \quad (1)$$

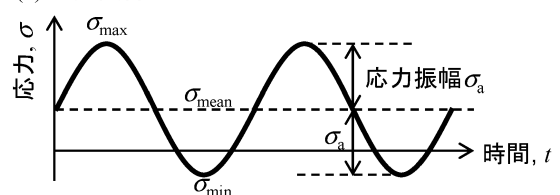
$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2} \quad (2)$$

疲労試験における荷重比 R は $R = \sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{max}}$ として定義されます。例えば図6(b)に示すような引張側と圧縮側を対称に負荷する両振り疲労試験では $R = -1$ となります。最大と最小応力の両方が正となる片振り疲労試験では荷重比 R は0以上1未満の値になります。図6(c)の例では $R = 0$ です。試験片に塑性加工の影響がなければ、 $R = -1$ の両振り疲労では繰返し数が増加しても試験片の平均ひずみは原則変化しませんが、応力振幅が高い片振り疲労では塑性変形の蓄積によって平均ひずみは増加します。

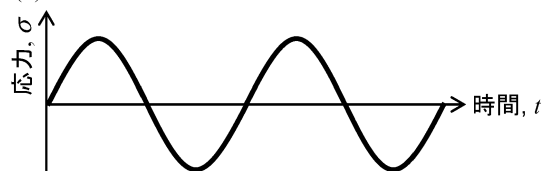
(5) S-N 線図

高サイクル疲労試験では種々の応力振幅条件で破断まで繰

(a) 疲労負荷



(b) 対称な両振り引張-圧縮疲労



(c) 引張の片振り疲労

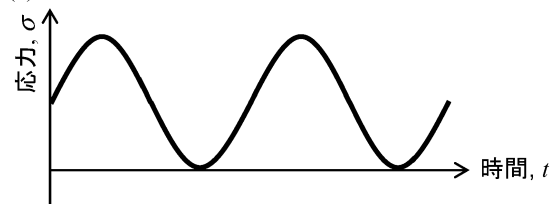


図6 単軸疲労試験における応力波形。

返し数を測定し、調査対象の材料の応力振幅と破断までの繰返し数(疲労寿命)との関係を得ます。実験結果は縦軸=応力振幅(Stress amplitude)、横軸=破断までの繰返し数(Number of cycles to failure)としたグラフ上に表示します。このグラフはS-N線図(またはWöhler線図)と呼ばれ、材料の疲労強度特性を示す最も基本的な関係となります。S-N線図では実験結果は片対数もしくは両対数グラフ上にプロットします。図7はS-N線図の例です。一般的な金属材料では、応力振幅の低下とともに破断までの繰返し数は増大します。低応力振幅の高サイクル疲労試験では、破断までの繰返し数が非常に多くなる場合があります。10 Hzの速度で 10^7 サイクルまで繰返し荷重を与えると一度の試験でおよそ12日間の実験期間を要します。したがって、繰返し数を増加させても破断しない場合は途中で疲労試験を中断します。中断する繰返し数は 10^7 サイクルなどがよく採用されます。図内の「→」は既定サイクル数で破断しなかった結果を示しています。S-N線図の凡例説明では「run out」と表記されます。図7の材料Aの短寿命域では応力振幅は破断までの繰返し数とともに減少しますが、高寿命域では応力振幅は低下しなくなります。このようなS-N線図の屈曲は鉄鋼材料でしばしば現れます。屈曲が生じる応力振幅以下では疲労破壊しないので、この応力振幅が疲労強度と見なされます。ただし、超音波試験機を用いた $10^9 \sim 10^{10}$ サイクルまで行う疲労試験(超高サイクル疲労試験)では⁽¹⁰⁾、 10^7 を超えるサイクル数でも材料内部を起点に疲労破壊することが報告されており、回転する軸などの負荷の繰返し数が多い部材では注意が必要です。材料Bでも応力振幅が低下するに다가破断までの繰返し数は増加しますが、材料Aとは異なりS-N線図に明確な屈曲が存在しません。このような明確な疲労強度を示さないS-N線図はアルミニウムなどの非鉄金属でしばしば見られます。

(6) 同じ応力振幅条件での破断確率⁽¹¹⁾

疲労き裂の核となる表面微小欠陥や内部介在物があると、同じ応力振幅で疲労試験を実施した場合でも破断までの繰返し数にはばらつきが生じます。破断までの繰返し数 N_f は確率変数と考えることができ、確率的な特性は分布関数 $F(N_f)$

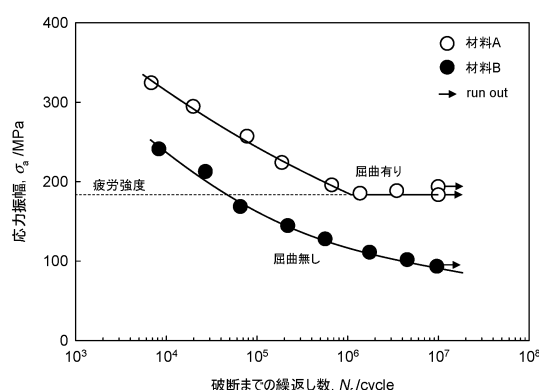


図7 S-N曲線の例。

で表現されます。同じ応力振幅での疲労試験での破断確率を示すためにワイブル分布がしばしば利用されます。3母数ワイブル分布の分布関数 $P(x)$ は次式で与えられます。

$$P(x) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right\} \quad (3)$$

ここで x は確率変数であり、 a は形状母数、 b は尺度母数、 c は位置母数と呼ばれます。ただし $a \leq x$ です。 $c=0$ となる分布関数は、2母数ワイブル分布と呼ばれます。繰返し数と破断確率との関係においては、繰返し数が x となります。

例として、ある一定の応力振幅で疲労試験10回行なうことで得られる疲労寿命からワイブル分布を作成してみます。ある範囲で乱数を発生させることで得られたばらつきのある破断までの繰返し数を表1に示します。表1には10個の破断までの繰返し数を短い順に並べ替えています。ワイブル確率紙にデータを記載する際は、 x_i に対する累積確率 P_i の代表値にはメディアンランクもしくはミーンランクが用いられます。メディアンランク $\tilde{F}_i$ については、標本数 n が十分大きい場合は $\tilde{F}_i = (i-0.3)/(n+0.4)$ の近似式が用いられることが多いです。ただし最小値と最大値については、それぞれ $\tilde{F}_1 = 1 - 0.5^{1/n}$ と $\tilde{F}_n = 0.5^{1/n}$ となります。表1に順位数と標本数から算出されたメディアンランクを百分率の形式で示します。順位数が1と10ではそれぞれ6.7%、93.3%となります。メディアンランクの最小値は $\tilde{F}_1 = 1 - 0.5^{1/n}$ であるので、 $P_{\min} \geq \tilde{F}_1$ の破断確率が必要な場合は少なくとも $n = \ln 0.5 / \ln(1 - P_{\min})$ の標本数が必要となります。

図8はワイブル確率紙に表1に示すメディアンランクと

表1 ワイブル分布におけるメディアンランクの計算例。

順位数	1	2	3	4	5
疲労寿命(cycle)	10,741	19,821	38,624	50,435	56,258
メディアンランク(%)	6.7	16.3	26	35.6	45.2
順位数	6	7	8	9	10
疲労寿命(cycle)	73,838	84,626	87,554	96,159	104,455
メディアンランク(%)	54.8	64.4	74	83.7	93.3

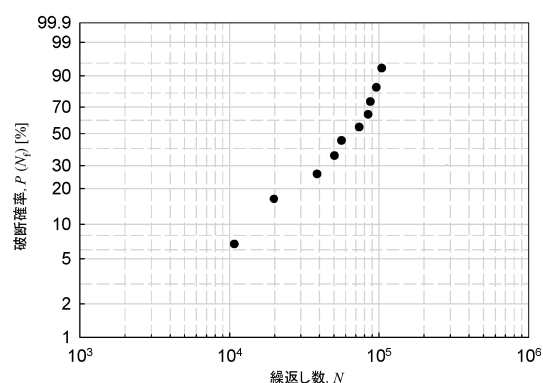


図8 ワイブル確率紙上にプロットした破壊確率。

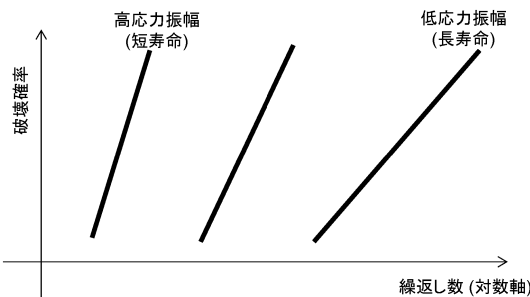


図9 ワイブル確率紙上にプロットした異なる応力振幅における破壊確率の模式図。

疲労寿命との関係をプロットしたものです。繰返し数が増加すると破断確率もほぼ線形的に増加しています。横軸は対数スケールですが、縦軸はやや複雑でプロット上の位置は $Y = \text{LnLn}\{1/(1-P)\}$ で与えられます。最近では確率紙ではなく、パーソナルコンピューターを用いて図8のようなワイブル分布を直接描画できます。グラフ作成ソフトで軸にワイブルが用意されているものもあり、容易に作成することができます。

破壊を確率的に検討する疲労試験では、異なる応力振幅ごとに複数の疲労試験を実施することになります。それぞれの応力振幅で得られるワイブル分布をまとめた模式図を図9に示します。短寿命である高応力振幅ではグラフの左側、長寿命である低応力振幅では右側にそれぞれ破断確率が現れることになります。

(7) P-N-S 線図と時間強度分布

図9に示されるように、ある応力振幅における疲労寿命はそれぞれの破断確率 $P(N)$ によって統計的に推測することができます。S-N 線図上に破断確率を等高線として表示されたものは P-S-N 曲線と呼ばれます。図10は異なる応力振幅での破断確率をもとに作成された P-S-N 曲線です。図10の左上に応力振幅 σ_{a1} における 10%、50%、90% の破断確率となる繰返し数を黒丸で示しています。白丸は黒丸の繰返し数を縦軸に沿って応力振幅 σ_{a1} の横軸上に移動させたもので、グラフ上のその位置が応力振幅 σ_{a1} におけるそれぞれの破断確率になる繰返し数を表しています。図10では σ_{a2} と σ_{a3} についても同様にそれらの確率になる繰返し数を白丸で示してします。同じ破断確率の白丸を滑らかな曲線で繋ぐことで、その破断確率の等高線を得ることができます。

図8のワイブル分布はある応力振幅での繰返し数と破断確率を与えますが、ある繰返し数での応力振幅と破断確率との関係は時間強度分布と呼ばれます。図11(a)は P-S-N 線図の例ですが、繰返し数 N_1 の位置に縦軸と平行に点線を引いています。その点線と破断確率のそれぞれ等高線との交点が繰返し数 N_1 における当該等高線の破断確率となる応力振幅になります。図11(a)には、例えば確率 50% の応力振幅は σ_{a50} として示しています。図11(b)は、破断確率をそれらの応力振幅に対して正規確率紙上にプロットした繰返し数 N_1

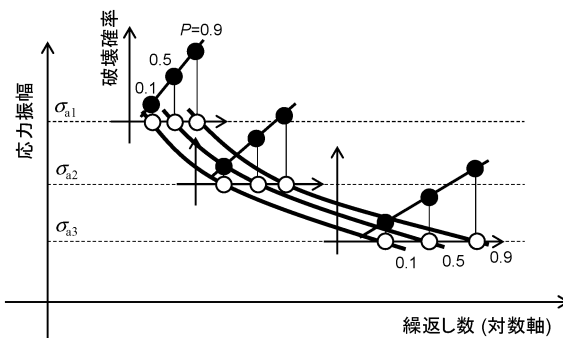
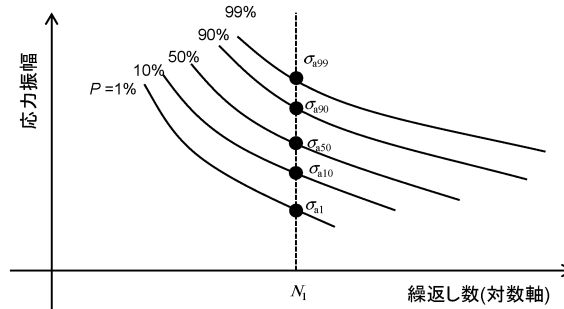


図10 P-S-N 線図。

(a) P-S-N 線図



(b) 時間強度分布(正規確率紙)

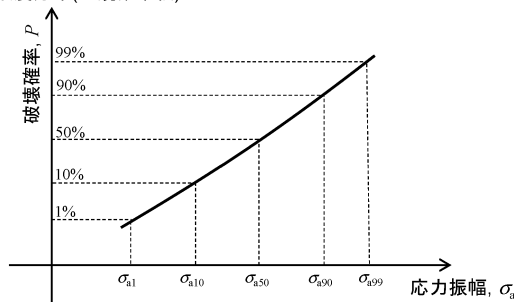


図11 繰返し数 N_1 における時間強度分布。

での時間強度分布になります。

2-1-3-5 低サイクル疲労

(1) 単軸引張-圧縮試験での応力-ひずみ応答

図12は高サイクル疲労試験と低サイクル疲労試験における典型的な応力-ひずみ応答を示しています。高サイクル疲労試験は、多くの場合巨視的な降伏応力以下の最大応力で負荷されますので、応力-ひずみ関係は図12(a)のように線形となります。一方、塑性変形が生じる低サイクル疲労では図12(b)のようなヒステリシスループを描きます。材料が同じ場合、高サイクル疲労に比べ応力振幅は高くなりますが、ピーク応力付近の応力-ひずみ線図の傾きは低下します。焼鈍された金属などの延性の高い材料ではあまり硬化せず塑性変形が進むため、荷重制御の疲労試験では動作が不安定になることがあります。また疲労初期に塑性ひずみが生じるような

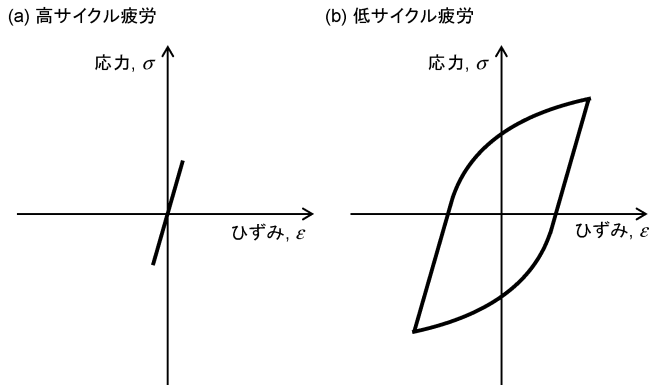


図12 高サイクル疲労と低サイクル疲労の応力-ひずみ応答。

負荷条件でも、応力振幅一定の疲労試験では繰返し硬化が進むにつれて塑性ひずみが減少するので、高サイクル疲労のように弾性変形が支配的な応力-ひずみ応答になってしまいます。このような理由から、低サイクル疲労試験では全ひずみ振幅一定(または塑性ひずみ振幅一定)の条件が採用されることが多いです。

(2) ひずみの測定

ひずみ振幅一定の条件で低サイクル疲労試験を実施するためには、試験片のひずみを試験中に計測する必要があります。試験片のひずみは、伸び計(Extensometer)やひずみゲージなどで計測します。伸び計を用いた計測では試験片ゲージ部の2箇所の標点を設け、そこに伸び計を取り付けます。標点間伸びを標点間距離で除した値がひずみとなります。この計測方法では伸び計をゲージ部に取り付ける必要があります。ひずみゲージを用いた計測では、直接ゲージ部にひずみゲージを貼付します。ただし、ひずみゲージを貼り付けた位置で疲労き裂が発生・成長するとひずみが正しく測れず、ひずみ振幅一定の試験条件が成り立たなくなります。ひずみゲージによる計測は、ひずみ振幅一定条件での低サイクル疲労の初期から中期にかけての繰返し硬化・軟化挙動の調査に適しています。

(3) 荷重軸の軸合わせ

試験機の上下の荷重軸の位置にオフセット(ずれ)がある場合、試験片を試験機に取り付ける際に曲げやそれに起因する軸方向以外の残留応力が発生してしまいます。このようなずれは試験結果に影響を及ぼします。また、荷重軸の位置にオフセットがあると圧縮時に座屈が発生しやすくなります。このような残留応力発生や圧縮時の座屈を防ぐためには、荷重軸の軸合わせが必要になります。荷重軸のオフセットを低減させるためには、ひずみゲージを複数貼付した検査用の試験片を用いて軸の水平位置を調整する方法などがあります。安価でかつ比較的容易に実現できる軸合わせには、例えば図13に示すような低融点合金を利用した方法があります⁽¹²⁾。図

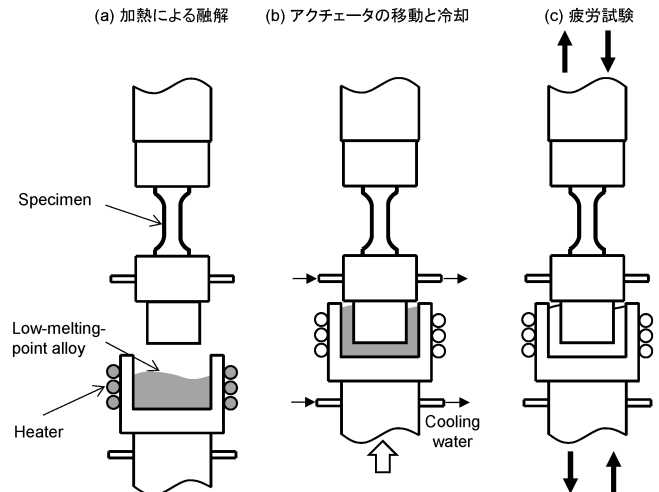


図13 低融点合金を利用した軸合わせ。

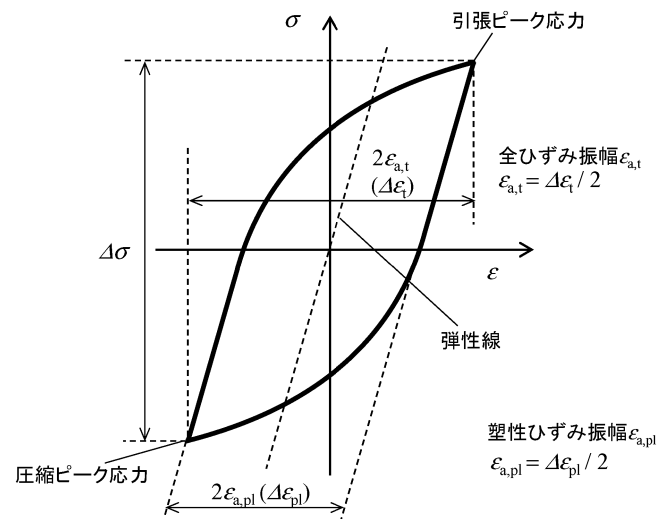


図14 ヒステリシスループ。

の例は、下部のグリップとその下の荷重軸とを低融点合金を用いて連結させています。下側の荷重軸には低融点合金を溜めるポットが設置されています。低融点合金には融点が100℃以下のウッド合金などが用いられます。まず下側のピストンを下げた状態で、電熱式ヒーターによって低融点合金を溶解させます。その後、ピストンを上方に移動させ、下部グリップを融解した合金に浸漬させます。グリップを冷却し低融点合金を凝固させることで、荷重軸方向以外の残留応力が低い状態で試験片を取り付けることができます。ただし、この方法は高温疲労試験には不向きで、また低融点合金の強度を超えるような負荷はできないという制約があります。

(4) ヒステリシスループ

図14は延性金属材料の低サイクル疲労で得られるヒステリシスループの典型的な形状です。全ひずみ振幅 $\epsilon_{a,t}$ は引張ピーク応力時と圧縮ピーク応力時とのひずみの差(全ひずみ幅 $\Delta\epsilon_t$)の半分で、 $\epsilon_{a,t} = \Delta\epsilon_t / 2$ となります。全ひずみは弾性ひず

み成分と塑性ひずみ成分から構成されます。全ひずみ振幅から弾性ひずみ振幅を減じたものが塑性ひずみ振幅 $\varepsilon_{a,pl}$ となります。すなわち、図14に示すように引張と圧縮ピーク応力のそれぞれの位置から弾性線と平行に引いた2本の線の水平方向の距離が塑性ひずみ幅 $\Delta\varepsilon_{pl}$ となり、その半分が塑性ひずみ振幅 $\varepsilon_{a,pl} (= \Delta\varepsilon_{pl}/2)$ となります。

ひずみ振幅一定条件の低サイクル疲労試験における応力振幅は、弾性率とひずみ硬化に依存します。ひずみ硬化の程度は繰返し変形によって発達する微視的組織の影響を強く受けるので、繰返し数によって変化します。図15(a)はよく焼鈍された金属材料を全ひずみ振幅一定の条件で低サイクル疲労させた場合に見られるヒステリシスループ形状の変化例を示しています。少ない繰返し数では転位密度が低いため応力振幅も低いですが、繰返し数が増えると転位増殖によって硬化します。応力振幅が高くなると全ひずみ振幅に占める弾性ひずみ振幅の比率が増加します。したがって、図15(a)に示されるように硬化すると塑性ひずみ振幅は減少してしまいます。転位の自己組織化を含む微視的構造の発達は、弾性ひずみ振幅ではなく塑性ひずみ振幅の影響を受けます。図15

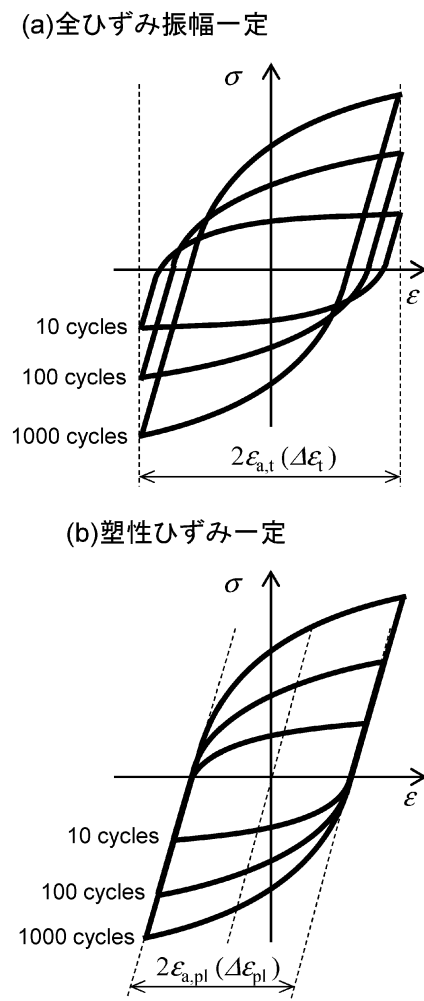


図15 全ひずみ振幅一定と塑性ひずみ振幅一定条件での低サイクル疲労におけるループ形状の変化。

(b)は塑性ひずみ振幅一定の条件で行なった低サイクル疲労におけるヒステリシスループ形状の変化を示しています。全ひずみ振幅一定条件と同様に繰返し数の増加とともに試験片は硬化しますが、この条件では全ひずみ振幅が増加します。このような塑性ひずみ振幅一定の低サイクル疲労試験は、パーソナルコンピュータを利用して半サイクルごとに塑性ひずみ振幅を見積もり、それが一定となるように試験機に設定する全ひずみ振幅を逐次修正していくことで実現できます。具体的には、引張側の塑性ひずみ振幅は $\varepsilon_{a,pl} = \varepsilon_{a,t} - \sigma_a/E$ で算出できます。ヤング率 E は低サイクル疲労試験開始前に低応力振幅で疲労負荷を与えることにより決定できます。応力振幅 σ_a は疲労試験中に半サイクルごとに求めます。

図15のように、ひずみ振幅を制御した低サイクル疲労試験ではヒステリシスループ形状が変化するので、荷重とひずみの信号は試験中記録しておきます。ロードセルアンプやひずみアンプから出力されるアナログ信号をデータロガーなどに記録することで、試験後に応力振幅の変化などを解析できます。

(5) 繰返し硬化曲線

低サイクル疲労試験で記録された応力-ひずみ応答を解析することで、繰返し数の増加にともなう応力振幅の変化を得ることができます。この関係は繰返し硬化曲線(もしくは繰返し軟化曲線)と呼ばれます。繰返し硬化曲線の例を図16に黒線で示します。横軸には繰返し数 N の他に累積塑性ひずみ $\varepsilon_{pl,cum}$ も用いられます。対称な引張-圧縮の低サイクル疲労では、 $\varepsilon_{pl,cum} = 4N\varepsilon_{a,pl}$ となります。よく焼鈍され初期転位密度が低い金属材料では繰返し塑性変形により転位密度が増加するので、疲労初期では急速にひずみ振幅が増加します。その後、転位の自己組織化が進み微視的構造が安定すると、応力振幅は飽和します。この応力振幅は飽和応力振幅 $\sigma_{a,sat}$ と呼ばれます。飽和応力振幅はひずみ振幅に依存します。なお、Cu-Al 合金⁽¹³⁾やオーステナイト系ステンレス鋼⁽¹⁴⁾などの積層欠陥エネルギーが低い材料では、焼鈍材でも初期の急速繰返し硬化を示さない場合があります。また、材料や疲労試験条件によっては比較的早期に疲労き裂が発

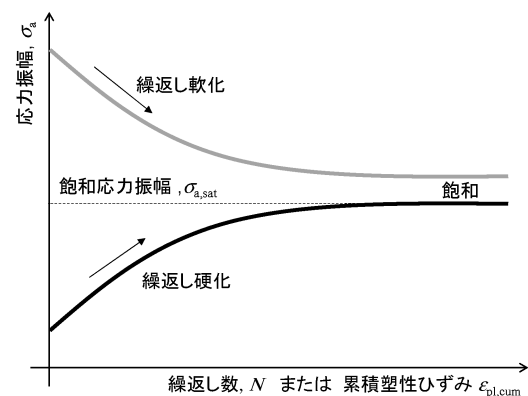


図16 全ひずみ振幅一定条件でのループ形状の変化。

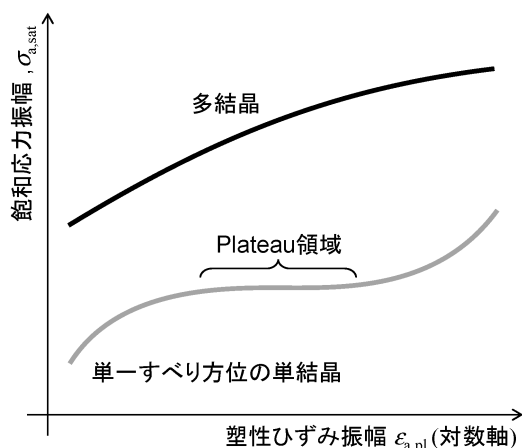


図17 塑性ひずみ振幅一定条件でのループ形状の変化.

生・進展する場合もあり，その場合は飽和挙動を示さずに応力振幅が低下しはじめます．

強い塑性加工を施された材料では疲労試験前ですでに転位密度が高くなっています．高転位密度の材料に繰返し変形を与えると増殖している転位同士で対消滅します．そのような試験片における低サイクル疲労では図16の灰色線のように，転位密度の低下にともなって疲労の初期から繰返し軟化を示します．

(6) 繰返し応力-ひずみ曲線

図17は塑性ひずみ振幅と飽和応力振幅との関係の模式図です．この線図は繰返し応力-ひずみ線図(Cyclic stress-strain curve: CSSC)と呼ばれます．多結晶材料では典型的には図の黒線のように塑性ひずみ振幅の増加にともない飽和応力振幅が増加します⁽¹⁵⁾．一方，単一すべり方位を有する単結晶材料では，灰色線のようにCSSCはいくつかの領域に分かれており，飽和応力振幅が塑性ひずみ振幅に依存せず一定となる領域(Plateau 領域)が現れます⁽¹⁶⁾．CSSCにおける各領域は材料内部で発達する転位構造と密接に関連しており，例えばPlateau 領域では疲労き裂の核となる固執すべり帯(Persistent Slip Band: PSB)が形成されることが知られています．このように，CSSCは延性金属材料の繰返し応力-ひずみ応答と内部で発達する構造とを関連付ける目的で用いられています．なお，単結晶材料では，縦軸にシュミット因子から算出した飽和せん断応力振幅，横軸に塑性せん断ひずみ振幅が用いられることが多いです．

2-1-3-6 疲労試験後の材料の観察

高・低サイクル疲労試験では対象とした材料の疲労強度や繰返し応力-ひずみ応答を調査し，得られた結果は機械部品などの設計指針に反映させることができます．一方で，疲労に対しより優れた特性を示す材料を開発していくためには，疲労の原因を明らかにしていくことが必要となります．疲労損傷評価や破壊原因の探求を目的とした疲労試験後の材料の

観察・解析は，疲労試験の一部と見なすことができます．

疲労破断後の材料の観察は，走査型電子顕微鏡法(Scanning electron microscopy: SEM)とともに発達した破断面の観察が主流でした．最近では，転位構造の発達や結晶方位の変化など様々な視点から疲労損傷が検討されています．本稿では試験片の準備方法や代表的な観察・解析方法を説明します．

(1) 表面仕上げ

代表的な疲労損傷に表面でのすべり帯の発達があります．疲労で形成されるすべり帯では表面に突出し・入込みが発達するので，疲労き裂の核になり得ます．このような表面損傷をSEM観察したり，原子間力顕微鏡法(Atomic Force Microscopy: AFM)で凹凸を評価⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾したりするためには，疲労試験前に平滑に表面仕上げしておく必要があります．また，疲労試験後に後方散乱電子回折法(Electron Backscatter Diffraction: EBSD)で結晶方位を解析する場合も同様な表面仕上げが必要になります．

まず，平滑な表面仕上げのためには角柱型試験片(図2(c))を用います．円柱型では後述の電解研磨による表面仕上げのみが可能です．機械加工後の表面は，まずは複数種のエメリ紙を用いて機械研磨します．研磨では砥粒の大きさを順に細かくし，最終的に#1500～#3000程度まで研磨します．その後，ダイヤモンド砥粒やコロイダルシリカを用いた研磨で鏡面状の表面を得ます．最近では研磨時に試験片に作用する力を精密調整できる研磨装置もあります．

機械研磨では十分な平滑性が得られなかったり表面に加工層が残ったりする場合は，さらに電解研磨を施します．電解研磨では図18のような電気化学装置を用いて金属材料表面を電気分解します．試験片をアノード電極とし，直流安定化電源から電力を供給することで，表面層が除去されます．機械的な力が作用しないので，機械加工層が形成されることなく研磨できます．鉄系および銅系の材料の電解研磨に使用される電解液の組成の例を表2に示します．電解研磨の条件については種々の金属材料についても数多く報告されており，詳しくは参考図書⁽¹⁹⁾を参照してください．

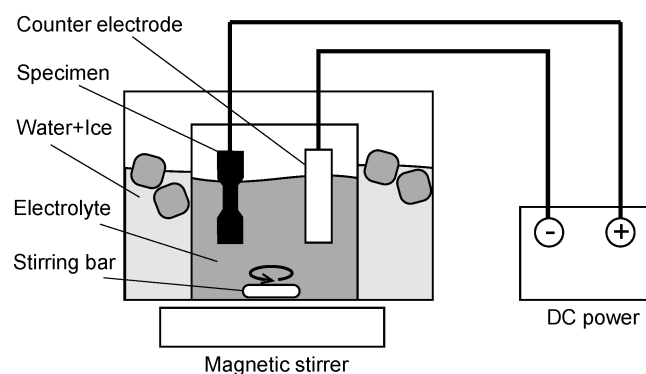


図18 電解研磨装置.

表2 鉄系および銅系材料の電解研磨に用いる電解液の例.

Sample	Component	Concentration (vol%)
Iron, Fe-based alloy	Acetic acid, CH ₃ COOH	90
	Perchloric acid (60%), HClO ₄	10
Copper, Cu-based alloy	Phosphoric acid, H ₃ PO ₄	70
	Ethanol, C ₂ H ₅ OH	30

(2) SEM 観察⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

SEM は光学顕微鏡に比べて高倍率の観察が可能でかつ焦点深度も深いため、疲労破断した金属材料の観察には最もよく用いられています。図19は疲労破壊した二相ステンレス鋼の破面です。図19(a)は疲労き裂伝ばした領域の破面で、平行な線状の形態や破面から分岐した微小き裂などが確認されます。線状形態は結晶が繰返しせん断変形によって分離した痕跡、もしくは疲労き裂先端線の痕跡(ストライエーション)と解釈されています。図19(b)は同じ試料の最終破断部です。この位置では疲労破壊というより延性的に破断しており、破面にはディンプルの形成が確認できます。このような破面形態観察から、き裂発生箇所や伝ば方向などを推測することができます。図20は表面に形成されたすべり帯のSEM像です。すべり帯の傾斜が領域ごとに異なっていますがそれらは結晶粒に対応しており、同じ試料でもすべり帯が優先的に形成される結晶があることが分かります。試験前に表面を平滑に仕上げていますので、すべり帯の形成箇所の同定やすべり帯の密度なども測定できます。

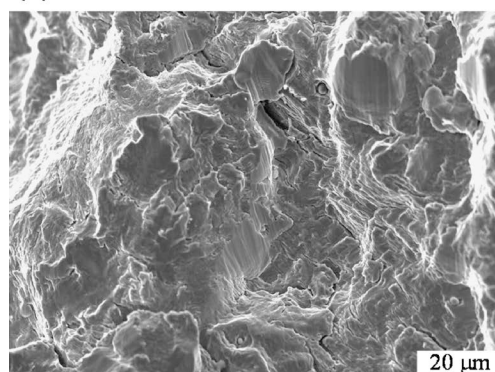
(3) 転位構造の観察

初期転位密度が低い金属材料が繰返し変形を受けると、転位密度が増加するとともに、転位が動的に安定な構造に自己組織化します。すべり帯の発達には転位の自己組織化が関連するので、転位構造の発達は疲労損傷の一種と見なすことができます。疲労した金属材料の転位構造は透過型電子顕微鏡法(Transmission Electron Microscopy: TEM)で観察することができます。TEM は高倍率で観察できる反面、電子線が透過可能な薄膜に加工する必要があり、観察できる範囲も限られてしまいます。一方、1990年代から発達してきた Electron Channeling Contrast Imaging(ECCI)法⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾は SEM を用いるので、表面近傍の転位組織を広範囲に観察することができます。ECCI 法では、反射電子の強度が入射電子線と格子面との角度が Bragg 角付近で急激に変化することを利用し、転位によるわずかな格子ひずみを画像化します。図21は疲労させた銅を ECCI 法で観察した例です。原理上、高い転位密度領域が明るい像として画像化されています。疲労によって形成される PSB に特有なはしご状転位構造を確認することができます。

(4) EBSD 法⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾

すべり帯形成(図20)や転位構造の自己組織化(図21)から

(a) 疲労き裂伝ば領域



(b) 最終破断部

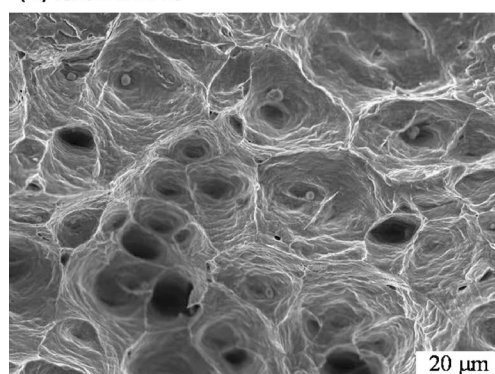


図19 二相ステンレス鋼の疲労破面.

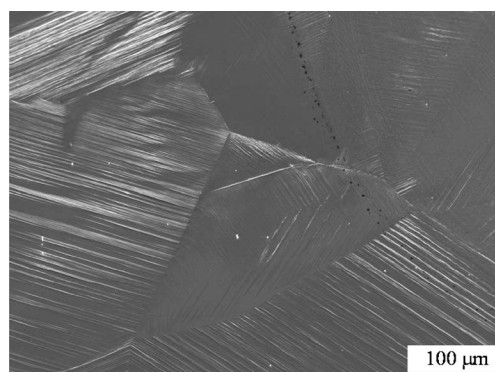


図20 疲労させたオーステナイト系ステンレス鋼表面に形成されたすべり帯.

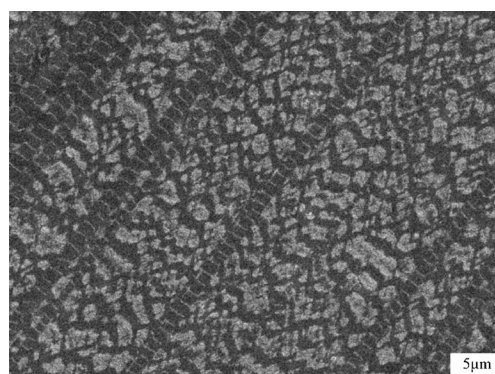


図21 ECCI 法で観察した銅で発達した転位構造.

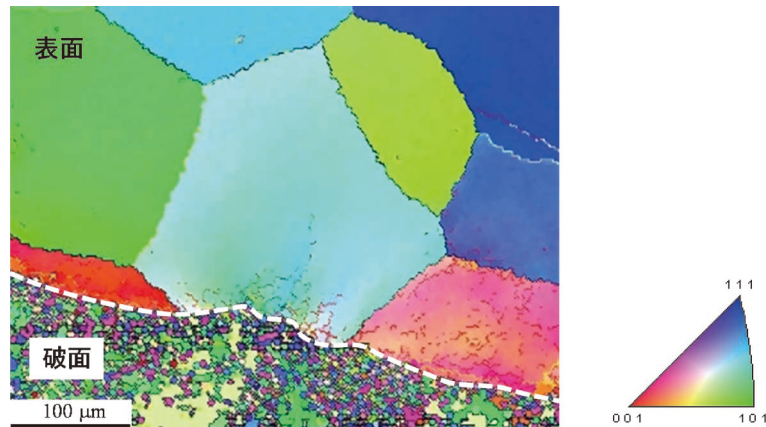


図22 疲労破壊した純鉄の破面近傍の IPF マップ．方位に対応する色は右側の標準ステレオグラフに記載．

も明らかのように，疲労損傷には転位運動が関与しており，微視的には結晶方位の影響を強く受けることになります．疲労負荷を受けた材料の構成結晶の方位は EBSD 法によって取得することができます．EBSD 法を利用すれば，疲労き裂が優先的に発生する結晶や粒界の結晶学的な情報を詳しく調査することができます．図22は EBSD 解析によって得られた疲労破壊した純鉄破面近傍の逆極点方位 (Inverse Pole Figure: IPF) マップです．この試料では破面近傍を保護するために破面をニッケルめっきしており，破面である白い破線より下の部分はニッケルです．破面近傍では疲労き裂伝播の痕跡としてわずかに格子回転したり，小角粒界が形成されたりしています．ただし，一方向変形における破面に比べて，格子回転の程度は低いです．このような破面近傍の情報から破壊の要因を検討することもできます．

2-1-3-7 おわりに

本項では，高サイクル疲労および低サイクル疲労の試験方法，データの整理方法，および疲労試験後の試料観察・解析について説明しました．疲労試験自体は古くからある試験ですが，新たに開発された材料の信頼性を検証するためには欠かせない試験でもあります．最近では EBSD 法などの新しい解析技術を組み合わせることで疲労損傷に関する新たな知見が得られるようになっております．筆者も疲労損傷の評価技術やその解釈は今後さらに発展が期待される分野と考えております．本項の内容が皆様の金属疲労や材料開発の研究に役立つことを願います．

文 献

- (1) 大谷隆一：鉄と鋼，**66**(1980)，2106-2118.
- (2) 大谷隆一：日本金属学会会報，**22**(1983)，190-196.
- (3) 鶴戸口英善：溶接学会誌，**37**(1968)，573-585.
- (4) 戸田裕之，小林正和：軽金属，**59**(2009)，312-319.
- (5) 遠藤吉郎：防食技術，**26**(1977)，583-592.
- (6) 駒井謙治郎：鉄と鋼，**69**(1983)，728-736.

- (7) 佐藤準一：日本機械学会誌 (C 編)，**64**(1998)，4109-4114.
- (8) 武藤睦治：材料，**46**(1997)，1233-1241.
- (9) P. P. Milella: Fatigue and Corrosion in Metals, Springer, (2013), 109-191.
- (10) 酒井達雄，上野 明：日本マリンエンジニアリング学会誌，**44**(2009)，48-54.
- (11) 西谷弘信：疲労強度学，オーム社，(1985)，281-316.
- (12) C. E. Feltner and R. Michell: Manual on Low Cycle Fatigue Testing ASTM STP465, American Society for Testing and Materials, (1969)，27-66.
- (13) B. D. Yan, A. S. Cheng, L. Buchinger, S. Stanzl and C. Laird: Mater. Sci. Eng., **80**(1986)，129-142.
- (14) J. Polak, K. Obrtlík and M. Hajek: Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., **17**(1994)，773-782.
- (15) P. Lukáš and L. Kunz: Mater. Sci. Eng., **74**(1985)，L1-L5.
- (16) H. Mughrabi: Mater. Sci. Eng., **33**(1978)，207-223.
- (17) J. Man, K. Obrtlík and J. Polak: Mater. Sci. Eng. A, **351**(2003)，123-132.
- (18) A. Schwab, O. Meissner and C. Holste: Phil. Mag. Lett., **77**(1998)，23-31.
- (19) Gunter Petzow：組織学とエッチングマニュアル，日刊工業新聞社，(1997)，66-201.
- (20) 徳永智春：まてりあ，**60**(2021)，225-233.
- (21) 徳永智春：まてりあ，**60**(2021)，351-358.
- (22) A. J. Wilkinson and P. B. Hirsch: Micron, **28**(1997)，279-308.
- (23) 兼子佳久，橋本 敏：日本金属学会誌，**66**(2002)，1297-1303.
- (24) A. Weidner and H. Biermann: Philos. Mag., **95**(2015)，759-793.
- (25) 横江大作：まてりあ，**60**(2021)，645-652.
- (26) 横江大作：まてりあ，**60**(2021)，793-799.



兼子佳久

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1996年 3 月 京都大学大学院工学研究科機械物理工学
 専攻博士後期課程中途退学
 1996年 4 月 金沢大学工学部機能機械工学科助手
 1999年 4 月 大阪市立大学工学部知的材料工学科助手
 2014年 4 月 大阪市立大学工学研究科機械物理系専攻
 教授
 2022年 4 月- 現職
 専門分野：材料工学，機械材料，走査型電子顕微鏡法
 ◎金属疲労やナノ構造金属材料の力学的特性に従事．
 金属疲労にともなう転位構造の自己組織化や電気め
 っき法を用いたナノ多層膜の成膜・強度評価を中心
 に活動．

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

独創的研究を目指して

岩谷産業株式会社中央研究所；技術顧問，大阪大学名誉教授 中嶋 英雄*

私は過去50年間，金属合金中の拡散を中心とする物性研究とポーラス金属のもの作り研究を行ってきた。この過程でいつも考えてきたことは独創的研究を行うにはどのようにすべきか，ということであった。本稿では私の経験から独創的研究を遂行するための試みをまとめた。若い研究者や大学院生が研究を進めるにあたり参考にしていただければ幸いである。

1. 人との出会いを大切に ―私が先人から学んだこと―

大学4年生の時に与えられた卒論テーマは電界下での原子輸送現象―エレクトロマイグレーション―であった。当時，我が国でこの種の研究をやっている人がいなかった。大学院修士課程1年になってこの分野の大家である米国レンスレー工科大学(Rensselaer Polytechnic Institute[†], RPI)教授のH. B. Huntington先生にいくつかの質問を書いた手紙を送った。世界的に極めて優れた大教授が日本の一学生に返事を下さることは期待できなかったが，決断して手紙を書いた。驚いたことにHuntington先生から明快な丁寧な回答をいただいた。それ以降博士課程修了まで6年間の長きにわたって文通をすることになり先生からのアドバイスに勇気づけられながら研究を行ってきた。博士課程修了後，ポストドクとして来ないかという誘いを受けてRPI物理学科Huntington研究室の博士研究員として赴任した。初対面だったが，6年間も多数の手紙での交信していたので，初対面という気がしなかった。しかしながら，①語学のハンディは一切考慮しない，②米国人と同等に扱う，③出来が悪ければ2か月前に解雇通知すると言われ，わが身に緊張が走った。初対面にもかかわらず，すぐ研究打ち合わせとなり10件以上の宿題事項が与えられた。私は「はい判りました。2週間以内に回答します」と返答すると，怪訝な顔つきをなされた。そして明日の朝，8時半から講義があるので，その1時間前に回答内容を聞きたいと言われ，驚いてしまった。米国勤務第一日は徹夜であった。先生の恩師(指導教授)E. P. Wigner博士は1963年に原子核と素粒子理論でノーベル物理学賞を受賞，(物性分野ではWigner-Seitz法^{††}で有名)，Huntington研究室の出身者(教え子)I. Giaever博士もその10年後の1973年に超伝導のトンネル効果発見でノーベル物理学賞を受賞し

ている。ノーベル賞受賞者を輩出した研究室はノーベル賞受賞者が出やすいと言われているが，研究室で研究活動をしているとわかるような気がする。Huntington先生は毎日朝夕の2回研究室に来て大学院生，研究員の全員と研究，実験の議論をする。大学院生がテーマが難しすぎると悲鳴を挙げても徹底して決して安直なテーマに変えることはなかった。そのために落伍者が出て，またチャレンジングな大学院生が入れ替わり入ってくる。その結果，優れた研究者に淘汰されてくるという言わば厳しい道場のような研究室であった。このように先生の指導は徹底してきめ細かく厳格であった。私も研究に対する意識の変革が求められ，3年間，厳しい研究訓練を受け研究者として強靱さを身に付けることができた⁽¹⁾(図1)。

ところで，E. O. Kirkendallは銅と黄銅との相互拡散実験によりKirkendall効果を発見し，金属結晶における金属原子の拡散がそれまで考えられていたような直接交換機構ではなく，空孔機構によることを解き明かした。第2次世界大戦前後の時期にKirkendallの主張は多くの研究者から非難されその解釈が認められるまでには苦悩が続いた。Kirkendall



図1 Huntington先生と中嶋(1988年ハンガリーバートン湖畔にて，拡散国際会議)。(オンラインカラー)

* Challenge to Originative Research; Hideo Nakajima
† 1824年に創立された米国における最古の理工系大学。
†† 結晶内の電子のバンド構造を計算する方法。



図2 Kirkendall 先生(1995年米国メリーランド州, ご自宅を中嶋が訪問して)。(オンラインカラー)

が如何に当時の常識を破る発見に至ったか, 私は米国のメリーランド州のご自宅を訪問し, 拝聴する機会を得た⁽²⁾⁽³⁾(図2). 黄銅に銅メッキして拡散対を作製し接合界面に Mo マーカーを挿入してそのマーカー間の距離を測定することによって格子面が移動したことを実証し空孔機構によることを突きとめた⁽⁴⁾. 拡散対のアニールに伴う体積変化を分離して説得力あるデータを得るために非常な苦勞をなされた. 当時, 拡散は隣接する原子が直接位置を交換する機構で起こると信じられており, 金属中に空孔が存在することも知られていなかった. この発見した結果を正当に認める研究者が少なく博士学位審査には指導教授の意向で格子面の移動は空孔機構ではなく拡散による体積変化であると妥協せざるを得なかったこと, それを空孔機構に覆した論文を投稿してもなかなか受理されず査読に長時間を要したこと, この混乱によって準教授への昇格審査に困難が生じたことなど, Kirkendall には苦難が続いたが, それを見事に克服したことに私は強い感銘を覚えた. 私は Kirkendall 先生から 8 時間にも及んだ話を伺い, 研究者は自らの手で正確な実験結果を取得し既存の学問や知識に惑わされることなく新学問領域を構築する勇氣を持たなければならないということを学んだ.

この二人の先生に共通することは, 当時, 金属中に空孔が存在することが知られていなかった時代に, 空孔が存在し, それが拡散を起こすことを明確に解明したことである. Huntington は, 量子力学電子論を用いて銅中の自己拡散の活性化エネルギーを計算し, 直接交換機構を否定し空孔機構で拡散が起こることを理論的に明らかにした⁽⁵⁾. 一方, Kirkendall はほぼ同時期に格子面移動実験から直接交換機構を否定し空孔機構で拡散が起こることを実験的に明らかにした⁽⁴⁾.

私はたまたま出会うことのできた偉大な研究者・教育者から研究に対する厳格な姿勢や研究哲学を直接学ぶことができ, その後の自分の研究活動の精神的基盤を築くことができたように思える. このように, 若い時に勇氣をもって貪欲に優れた研究者から多くを学び取る必要がある. 特に欧米には, 想像を絶するような素晴らしい研究者がいる. そのような研究者から研究哲学を学び取る姿勢が必要ではないか.

2. 物性研究からもの作り研究に転じるきっかけ

RPI 在職中, 東北大学金属材料研究所の増本健先生が Troy に立ち寄られた. 隣の Schenectady の General Electric 社の研究所で講演をなされるというので同行させていただいた. そこで先生が開拓されたアモルファス合金の研究の経緯を聞き, もの作りの研究の面白さを知ることができた. その後, 私のアパートの居間で, これまでやってきた鉄鋼の研究からアモルファス合金の研究にドラスティックに研究テーマを変えた決断の経緯と苦勞話を伺い感動した. 当時, 伝統を重んじる金研で, しかも基礎鉄鋼学部門担当者がアモルファス合金を手掛けるには勇氣と成功への読みがなければできないものではない. その後, D. Shechtman 博士は準結晶を発見し, 2011年にノーベル化学賞を受賞している. このアモルファス合金と準結晶金属は20世紀の金属構造体の最大の発明発見と位置付けることができる. また, この二人の先生に共通することは新しい構造を有する金属の発明と発見であり過去の経緯にとらわれない自由な発想の下での独自の信念に基づいた研究を行ったことである.

私は研究経歴の前半25年間は物性研究をしてきたが, 増本先生の鉄鋼→アモルファス合金の研究の大転換に啓発され, 後半25年間はポーラス金属の「もの作り研究」に転向した. 私の場合は物質を変えたのではなく物性→もの作り研究と手法での大きな転換の舵をきることになった. この転換でスタッフと大学院生を擁する研究室のアクティビティが低迷するリスクを回避するために数年間は私だけが先行研究と称してポーラス金属の研究を行ない, 「これならば行ける」と判断してから研究室のテーマに昇格させた⁽⁶⁾. もの作り研究をしていると想定したものができなかつたり, 予期しない珍現象に出くわしたりすることが多々ある. この種の失敗実験に落胆するのではなく, その究明こそがこの失敗を成功に導くことができる. 私は拡散や状態図に関する知識と経験があったので失敗の原因を多くの場合, 究明することができた. これまでの25年間の物性研究がその後のもの作り研究に役立つことになるとは予想もしなかったことである. 研究者として1つの研究分野一筋に研究を行うのも大切だが, 新分野開拓に果敢に挑戦していく姿勢も大きな価値がある.

3. 手作り実験の勧め

私は大学在職中に, 先行研究と称して研究室のスタッフや大学院生が行っている研究とは別に自分自身で実験をしてい

たが、その際は工場の技術職員に頻繁に工作を依頼することができた。しかし、最近は大学や研究所の工作センターは縮小されたり廃止されたりで実験に必要な部品や装置を外注しなければならないことが多くなってきた。ちょっとした工作も外注となると大学の工場と比較して1桁、あるいは数十倍も費用がかかってしまい、研究に大きな負担となってしまふ。私の場合、大学定年後に在籍した(公財)若狭湾エネルギー研究センター(エネ研)には一般工作を依頼できる技術部がなかったが、幸い旋盤、ボール盤、フライス盤、切断機などの一連の工作機械が揃っていたので、自分で操作して実験に必要な部品、簡単な装置を作製することができた。初めは不格好な工作物しかできず、実験に支障をきたすこともあったが、次第に工作が上手になって大学の技術職員レベル程度の技能を身に付けることができた。

実験に必要な工作物を外注すると、出来上がるのに時間がかかること、多大の費用を要することなどのデメリットがある。一方、自らの手作りで工作できると、安価で短時間で工作物を得ることができるというメリットがある。現在は企業の研究所において毎日、実験に専念しているが、エネ研での工作物作製の経験がものを言っている。例えば、発想に至ったアイデアを実験で試したいと思ったときに、簡単な工作物であれば翌日には自分で作ることができ、アイデアが正当であるかどうか、実験で判断することができる。もしこれをせずに外注となれば、多大の対価を支払って何か月も待たなければ試し実験を行うことができなくなる。そのうち着想したアイデアも陳腐になってしまうかもしれない、気が抜けてしまうかもしれない。アイデアがでた直後に実験で実証できるメリットは実に大きい。プロ野球の選手ならば打率3割が合格ラインとすれば私のアイデア着想の成功率はそれよりも低い。だからこそ長期に待つのではなく、即刻決着が付けられると、失敗実験の対策、アイデアの不備の軌道修正を短時間で実践することができる。その結果、修正が加えられたアイデアの成功率を大幅に引き上げることができた。

いまの大学院生や若手研究者は手を汚さない実験に走る傾向があり工作など面倒だと思ふかもしれないが、モノづくりや工作技術を習得して簡単な実験に必要な部品や装置を自分で作製することをお勧めしたい。そうすることによって、試行錯誤する研究や実験を迅速に実施でき研究の進捗度を飛躍的に加速することができる。気軽に試し実験ができれば、アイデアがどんどん出てくる。この繰り返しによって研究のレベルは向上する。

4. 技術要素の集合としての実験方法

実験方法は多くの場合、複数の実験技術要素から成り立っている。図3に示したように、実験プロセスを技術要素に細分化する。細分化された実験技術要素は既知の、既に確立された実験技術要素 K と未知の実験技術要素 M が混在して構成されている。実験技術要素 K は採用して無難に実施できるが、未知の実験技術要素 M は未知であるが故に採用して

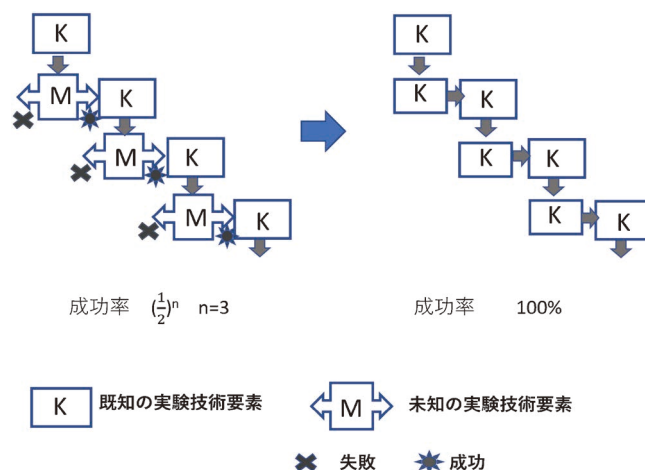


図3 実験方法の実験技術要素への細分化：(左図)KとMの混在した実験方法、(右図)Mを既知化した(M→K)場合の実験方法。(オンラインカラー)

成功するかもしれないし、失敗するかもしれない。その確率が半々であるとする1つのMを実施する成功率は50%、その後、2つ目のMを実施する成功率は $1/2 \times 1/2 = 1/4$ (25%)に減ってしまう。3つ目のMを実施しようとする、成功率は $(1/2)^3 = 1/8$ (12.5%)になってしまう。すなわち、多数の未知の実験手法を導入しようとする、成功率が急激に落ち込んでしまう。

そこで、手作り実験によって個々の未知の実験技術要素を予め成功に導いておけば、多数の実験技術要素から構成される実験を高い成功率で成功に導くことができる。細分化された未知の実験技術要素Mを手作り試し実験で短期間に迅速に解決しておけば、全工程の実験を長期を費やさずに成功に導くことができる。もしこのような技術要素の細分化を行わずに個々の実験技術要素Mを未達成のまま、実験を行うと、実験に失敗した場合、どのプロセスで失敗したのか特定が難しく、失敗実験を繰り返すうちに泥沼化し迷路に迷い込んでしまう。このような意味からも手作りの試し実験の効用は大きい。

5. おわりに

独創的研究に協同研究は必要か？

以前、NHKでプロジェクトXという番組があった。企業の研究者が自社の製品化のために集団体制を編成して、研究者、技術者がそれぞれの強みを出し合い、「補完して」目的の製品化を達成した成功シナリオである。この種の開発研究には集団体制が功を奏する場合が多い。しかしながら、基礎研究では、あるいは学術研究では個人的能力が発揮されるべきで、集団での協同研究は不向きであろう。独創的研究には「補完する」という概念はない。未解決課題に悩み続け、自己を律して困難との挑戦によって初めて血路が開けてくる。一匹狼の心構えで独創性を発揮すべきではないか。

我が国では生き抜くために多くの人と協調した精神を持つことが大切とされ、それが研究にも反映されている。我が国の研究者は流行の研究に迎合しやすい。皆がやっているから危なくない、石橋をたたいて失敗しないように橋を渡ろうとする傾向が強い。しかしながらチャレンジングな研究を行うには失敗と言うリスクが伴う覚悟が必要であり、そのような気構えで研究を進めないと独創的な研究はできない。むしろ非流行の研究を堂々とやる気構えが必要ではないか。独創的研究をやりたいと思うなら、非流行の分野を選び他の追随を許さないくらい独走することが大切だと思う。

文 献

- 日本金属学会会報, **34**(1995), 461-467.

- (2023年3月22日受理) [doi:10.2320/materia.62.537]



中嶋英雄

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

1977年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了

1977年 米国レンスレア工科大学・博士研究員

1980年 東北大学金属材料研究所助手，助教授，岩手大学教授を経て

1996年 大阪大学産業科学研究所・教授

2011-2017年 日本學術會議會員

2012年 大阪大学名誉教授，(公財)若狭湾エネルギー研究センター・所長

2019年 岩谷産業株式会社中央研究所・技術顧問、
現在に至る

専門分野：ポラス材料学、拡散

◎ロータス型ポーラス金属，オープンチャンネルアルミニウムの作製・応用開発，

[illegible]

科学館めぐり

燕市産業史料館(新潟県燕市)

文責：長岡技術科学大学 本間 智之
(2023年6月訪問)

新潟県燕市にある燕市産業史料館について紹介する(図1)。今回のレポートでは、燕三条地域(三条燕地域とも呼ばれるが、本稿では燕三条地域と記載する。)の成り立ちに関する情報を燕市産業史料館の展示を一部参考とし、新潟県内の中越地区の歴史も絡めて報告する。なぜ燕三条地域が金属製品で有名なのか、本レポートをご覧ください、読者の皆様にも燕市産業史料館に足を運んで頂き、ご理解頂けると喜ばしい限りである。

信濃川は長野県で千曲川と呼ばれ、新潟県に入るとその名



図1 燕市産業史料館の外観。



図2 甲武信ヶ岳辺りから流れ出る千曲川と信濃川⁽¹⁾。

称が替わり、十日町(とおかまち)盆地を通り、越後平野に出て新潟市まで流れ出る、言わずと知れた全長 367 km の日本最長の河川である(図2)。千曲川の源流は、山梨県(甲州)、埼玉県(武州)、長野県(信州)の県境に位置する甲武信ヶ岳(日本百名山、標高 2,475 m)の山頂直下であり⁽²⁾、ここから多くの川と合流しながら日本最長の大河が形成されていく。

私が勤務する長岡技術科学大学がある長岡市では、川西と川東(地域の俗称で、信濃川を基準として川の西側と東側の領域)を隔ててその中央を南から北に向かってこの大河が悠々と流れている(図3)。古来より、この信濃川は中越(長岡市周辺)から下越(新潟市周辺)地域に洪水による甚大な被害をもたらし、燕市(図3、4)もごたぶんに洩れず洪水に苦しんできた。現在の長岡駅が当時北陸戊辰戦争の主戦場となった長岡城跡地になるが、南北朝から安土桃山時代は、今より北側の信濃川沿いに位置する蔵王堂(さおうどう)城が中心で、上杉謙信に続く古志長尾氏の居城として利用されてき



図3 信濃川と長岡市周囲、大河津分水⁽¹⁾。



図4 新潟県燕市と弥彦山、大河津分水、信濃川⁽¹⁾。

た。しかし、度重なる水害に見舞われたため、江戸時代初期には堀直奇(なおより)により現在の長岡駅の位置に長岡城が築城され、すぐに徳川家の譜代大名牧野忠成(ただなり)がこの城を治め、江戸時代長岡藩が牧野氏により統治された。

この頃、燕市は江戸幕府の天領であった出雲崎(いずもさき)陣屋の直轄にあり、幾度も襲ってくる洪水により地域住民の生活は不安定であった。江戸時代初期の1625年頃、出雲崎は佐渡からの金銀荷揚げ港として栄え、その陣屋にあった代官大谷清兵衛は、稲作に加え、和釘の製造(図5)を農民に推奨したのが燕三条地域の金属製品の加工の原点だったと伝えられている(三条地域には1級河川五十嵐(いからし)川も流れており(図4)、五十嵐川と信濃川の氾濫等が人々を苦しめてきた。)。大谷は江戸から和釘鍛冶を招き農民に伝習させ、副業を奨励した。相次ぐ大規模洪水を何とか緩和しようと考え出された対策が、現在の燕市に「大河津(おおこうづ)分水」と呼ばれる信濃川を人工的に分流し、信濃川の水量を日本海側に逃がすことで川の氾濫を防ぐという大規模構想であった。しかし、当時この大規模プロジェクトを実現するだけの財源が確保できなかったこと、明治期にも外国人技師から大河津分水の分流により、信濃川河口の水深が浅くなり、下越地方の新潟港に影響が出ると指摘されたことなどにより、何度もこのプロジェクトの具現化が阻止されてきた。

元禄年間(1688～1704年)の頃、燕市の西方に、間瀬(まぜ)銅山(図4)と呼ばれる銅山が発見され、1701年に採掘が始められた(図6)。1904年に金融資本家に経営権が移り、1912～1915年を最盛期として銅がこの地域でも採掘された⁽³⁾。これにより燕地域でも銅器の加工が活発となり、以下に示す通り、鉋起(ついき)銅器の技術が深く根付いた。特に「緋色銅」と呼ばれる品質の良い銅がとれたため、燕は他の銅器の産地よりも有利だったという。

河川の影響は負の遺産のみならず、五十嵐川上流の下田郷(しただごう)から木炭も川船により運ばれていた⁽⁴⁾。これは和釘等を製造する際の鍛造工程の燃料として利用された(焼鈍し)。また、燕三条地域で生産された金属製品は、人々を

苦しめてきた信濃川が流通網を提供することになり、海路の物流を担った北前船の効果も相まって、全国に商品が届けられることになり、その名声が轟いたという。一方、1765年前後、仙台や会津地方、江戸から燕に職人が渡ってきたりまたは招かれ、技術の伝来が相次いだ。例えば先述の鉋起銅器(図7)ややすり、煙管などが生産されることになる。この頃から鍛冶専門業者も増加し、金属産業が益々発展していった。

1833年、粟生津(あおうづ)村(現燕市内)に中国の古典を中心に人材を育成することを目標として、長善館(ちょうぜんかん、燕市粟生津、長善館史料館)と呼ばれる私塾が設立された(図4、8)。設立者の鈴木文臺(ぶんたい)は幼少期から熱心に勉強し、地元の庄屋の支援と同じ地元の良寛(江戸時代後期、出雲崎出身の僧侶、国上山(くがみやま)の五合庵に住み(図4)、晩年里におりる。多くの誌や歌を詠んだ。良寛作の「天上大風」がスタジオジブリの映画「風立ちぬ」に登場する話は記憶に新しい。)の推薦も受け上京し、学問に励んだ。母の病気をきっかけに地元に戻り長善館を設立し、四書五経などを用いて指導者の心構えなどを中心に門下生に教えており、その後長善館では日本史、歴史、英語、数学などの教科も取り上げられた。良寛が存命した時代に2人は何



図8 長善館史料館(左)と長善館跡(右)。

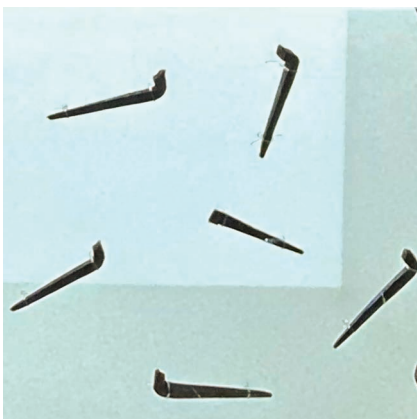


図5 燕市産業史料館で展示されている和釘。



図6 間瀬銅山で採取された銅鉱石。



図7 鉋起銅器の例。玉川堂3代目玉川寛平作「鳥鶯飾香炉」1890年。

度もコミュニケーションをとっており、良寛の慈悲の心、平等の心、公平無私の心を受け継ぎ、長善館の教育に影響を与えたと言われている⁽⁵⁾。幕末時代は西の松下村塾、東の長善館とも呼ばれ、幕末の人材育成および日本の近代の発展に大きな影響を及ぼした。長善館は鈴木文臺、惕軒(てきけん)、柿園(しえん)、彦嶽(げんがく)の4人の家族により1912年まで約80年間運営され、1,000人以上の塾生を世に送り出した。その制度は素読(そどく)を行い、輪講、輪読により先輩が後輩の面倒を見て、積極的に質疑を行い、師弟一体となって寄宿舎生活がともに行われていた。

1867年、徳川慶喜を中心とする江戸幕府は、薩長同盟側の要請に応じて、大政奉還を朝廷に上奏した。これにより王政復古の大号令が発出されるとともに新政府が樹立され、日本の統治体制が大変革された。しかし、この動きに抵抗した旧体制は奥羽越列藩同盟などを結成しながら新政府に反旗を翻した。この一連の戦争が戊辰戦争であり、長岡藩も薩長に抗し、河井継之助を中心として北越戦争が勃発した。この時長岡城はほぼ消失し、家老の河井継之助も深手を負い、会津へ八十里越えが行われたが⁽⁶⁾、その傍で長岡藩の藩医として従軍し、河井継之助の最期を看取ったのが長谷川泰(長岡出身)であり、長善館の出身者であった(後の日本医科大学(済生學舎)を創設)。

このような中越地区で行われた激戦から数十年後の1896年7月22日に、現在の燕市市内で横田切れと呼ばれる大洪水が発生した(図4)。長善館出身の大竹貫一(長岡市中之島出身)は衆議院議員として活躍し、大竹を含めた長善館出身者らが政府に大河津分水路計画の実現を働きかけ政府を動かし、1907年より欧米の大型機械・最先端技術を駆使して当時東洋一の大工事と言われた大河津分水路の工事が本格的に開始された(現在燕と長岡市の境界を流れている。図3, 4参照)。数々の苦難を乗り越え工事が進められ、1931年によりやく可動堰が完成し、これまで地域住民の生活を苦しめてきた洪水が収まり、燕市にも安定な生活をもたらした。

燕地域では生産は安定したが、大正時代に、銅器がアルミニウムやホーロー製品に市場を奪われていた。しかし、昭和に入り、金属ハウスウェアが燕の新しい産業となる。手動のプレス機を導入すると本格的な量産化が実現し、新潟県旧直江津市(現上越市)にあった日本ステンレス株式会社(現日本製鉄株式会社東日本製鉄所直江津地区)からステンレスを購入し、1935年頃からステンレス製品も製造されるようになった。錆びない鋼をカトラリーや包丁を含んだ金属洋食器などの燕の主要製品に利用していった。1991年に開催されたノーベル賞晩餐会において、燕のカトラリー(図9)が採用されたことはよく知られているが、その後も継続して利用されている。現在は産業用機械部品から自動車部品、金属雑貨、金属工芸、ゴルフクラブ、カーブミラー、農機具などの様々な金属製品が生産されている。



図9 ノーベル賞 晩餐会用のカトラリー。

産業史料館で見つけた金属材料！“チタン製スプーン酸化発色”

産業史料館には体験工房館が設置されている。錫ぐい呑み・小皿製作や彫金体験、鉋目入れ、鉋起銅器製作体験などを行うことができるが、今回はチタン製のスプーンの酸化発色を体験した。小学生の娘と息子がチタン製のスプーンに、各々好きな色を着色した。着色は陽極酸化処理で行われ、娘は酸化処理中にスプーンをゆっくりと上方に引き上げながら発色させ虹色にし、息子は電解液中にスプーンを固定し、酸化被膜の成長を待って、実験前に決めていた自分の気に入った色が出るまで保持していた(図10)。



図10 チタン製スプーン酸化発色の発色前後の様子。

燕市産業史料館は1973年に開館した施設である。この他館内には3つの展示棟に分かれており、燕の職人と銘品、燕の金属工芸銘品ギャラリー、鉋起銅器の美の世界、丸山コレクション矢立煙管館、企画展示室、日本の金属洋食器展示室、ものづくり発見室、伊藤コレクション世界のスプーン館

などの各コーナーが設けられている。様々な金属で造られた「鉄琴」も設置されており、老若男女が楽しめる学習・見学施設となっている。ぜひ燕三条地域を訪問される際には、お立ち寄り頂きたい。

文 献

- (1) 国土地理院地図 Vector による出力を加工して作成
<https://maps.gsi.go.jp/vector/#7/36.104611/140.084556/&ls=vstd&disp=1&d=1>
- (2) 深田久弥：日本百名山，新潮文庫，(1964)。
- (3) 岩室村役場：広報いわむろ，北洋印刷，(1993)，14。
- (4) 土田邦彦：新地理，**19**(1971-1972)，15-38。

- (5) 吉田 勝：長善館ものがたり，燕市教育委員会，(2013)。
- (6) 司馬遼太郎：峠(上，中，下)，新潮社，(2003)。
- (7) 齋藤優介：教育旅行，7号(2022)，26-27。

(2023年6月15日受理)[doi:10.2320/materia.62.541]

燕市産業史料館へのアクセス

(〒959-1263 新潟県燕市大曲4330-1)

- 上越新幹線「燕三条駅」より車で5分
- 北陸自動車道「三条燕インター」より車で5分

URL : <http://tsubame-shiryokan.jp/>



第15回本会派遣 JIM / TMS Young Leader International Scholar 出張報告

信州大学繊維学部；助教
小嶋 隆 幸

この度、JIM/TMS Young Leader International Scholar 制度によりアメリカ合衆国に派遣していただき、The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) の年次大会 TMS2023 (サンディエゴ, 2023年3月19~23日)への参加およびカリフォルニア大学デービス校 (University of California, Davis (UC Davis))への訪問を行ったので、ここに報告する。本来は TMS2021に派遣予定であったが、新型コロナウイルスの影響により2年連続でキャンセルとなり、今回ようやく参加できた。関連施設訪問先として2年前に希望したところはどこもコロナ等を理由に断られるか返事すらなかった。コロナ真っ只中の状況で訪問を希望すること自体失礼なんじゃないかと自分でも思っていたので仕方ない。そのような中、TMS事務局が訪問先を探してくださり、2021年11月というまだ世界的にもコロナの見通しが立たなかった頃にもかかわらず、UC Davis の Department of Materials Science and Engineering の Chair でもある Yayoi Takamura 教授が手を上げてくださった(図1)。日本人だから同情してくれたのかと思ったら、単に研究分野的に所属教職員たちにとって良い交流となると考えたからという理由であった。ちなみに教授は生来も育ちも北米とのこと。UC Davis には TMS2023の前週に訪問させていただいた。

UC Davis では8:30から16:45の間に、私の講演とランチを挟んで、30分ずつ教員1人ずつ計8人との議論とラボ等の見学2件を行った。前日の夜にこのスケジュールを知らされたときは驚き、また、時差ボケで2,3時間しか眠れなかったのが不安だったが、終わってみれば大変有意義な1日となった。最初に議論したのは教育指向ポジションの教員で、最近では多くの学生が途中で当該学科をやめてしまい(多くは他学科や他大学に行く)、また、鬱になる学生が多い、という相談を受けた。日本の大学と同じ悩みである。アメリカと日本の大学はいろいろな面でかなり異なるというイメージだったが、日本で特に顕著と思っていたこの問題が共通していたのは意外だった。地方大学に勤務する現在、研究だけでなく教育についても日々あれこれ考えていることを海外で議論できたのは大きな収穫だった。その後は、材料系だけでなく化学系学部の教員とも議論させていただいた。特に、私の学生時代の専門である磁性材料や現在の専門である触媒などを専門とする教員とは深い議論をすることができ、1名とは今後の共同研究に発展するかもしれない手応えが得られ

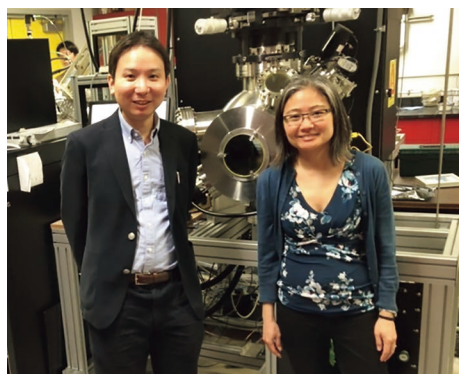


図1 UC Davis にて Yayoi Takamura 教授と。

た。講演ではチラシも作っていただき、教員だけでなく多くの学生に研究紹介をすることができた。いくつかのラボを見学させていただいた後、農学部が有名な UC Davis 内のワイナリーで試飲させていただこうと企んでいたところ、たまたま休業期間に入っていて見学できなかったのが唯一の心残りである。これまでアメリカでは都市部しか訪れたことがなかったが、平和で穏やかな学生街のデービスになら住んでもいいかなと感じた。

TMS2023では、ウースター工科大学 (Worcester Polytechnic Institute) の Adam Powell 准教授がホストとして学会を案内してくださった。日本語も堪能で、TMS の案内だけでなく研究についても詳しく議論させていただいた。TMS への参加は今回が初めてだったが、非常に大きな学会だという印象を受けた。材料に関して、多岐にわたる分野から構成されているが、細分化されすぎて各セッションの聴衆が少なすぎるということではなく、活気溢れる学会だと感じた。しかし、触媒材料に関するセッションが無いため、私の受賞講演は粉末冶金のセッションで実施した。冶金学者こそ触媒材料を研究すべきだという内容で講演したが聴衆は戸惑い気味だったように感じた。その点、触媒セッションを有する日本金属学会の門戸の広さと先進性を誇りに思う。講演した日の夜に会長交代や授賞のセレモニーが執り行われた(図2)。海外の授賞式で壇上に上がるのは初めてだったので、少し緊張した一方でより一層研究を頑張ろうと身の引き締まる思いを感じた。

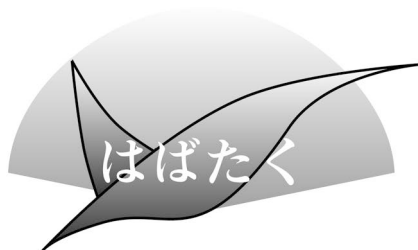
また、偶然にも同じホテルに共同研究者が宿泊しており、現在進行中の研究経過について議論できたのは幸運だった。完全ノーマスク生活で、密集したポスターセッションで議論するなどしていたため、帰国のための PCR 検査で陽性にならないかヒヤヒヤだったが陰性だったのも幸運だった。完全に余談だが、ホテルのフロントのお兄さんが日本のプロ野球に詳しく話が盛り上がったのも印象的な出来事の一つだった。研究者の視点から印象的だったのは、2035年のエンジン車新車販売禁止をいち早く掲げたカリフォルニア州における電気自動車(EV)の普及である。Uber などを利用した際にはよく特斯拉車に当たった。補助金もあり、運転手曰く200万円くらいで買えるとのことだった。EV シフトによりトータルの環境負荷が本当に低減するのかについてはいろいろ議論がある状況を鑑みると、技術や製品が普及するか否かは政治によるところが大きいことを実感した。工学分野の研究者としては、産業界だけでなく政治や国際社会の動向にも常に目を向ける必要があることを認識させられた。

最後に、今回大変貴重な経験をさせていただいたことについて、本会と TMS 関係者に深く御礼申し上げますとともに、UC Davis で私を受け入れてくださった Yayoi Takamura 教授に心より感謝を申し上げます。

(2023年6月6日受理) [doi:10.2320/materia.62.545]
(連絡先: 〒386-8567 上田市常田 3-15-1)



図2 授賞式にて2022年 TMS 会長の Jud Ready 博士と(Photo courtesy of TMS)。



これまでの研究活動を振り返って

熊本大学先進マグネシウム国際研究センター；助教
西本 宗矢

1. はじめに

私は2023年3月に熊本大学より博士(工学)の学位を取得し、現在は同大学先進マグネシウム国際研究センターの助教として勤務しております。このたび、本稿を執筆する貴重な機会をいただきましたので、これまでの研究を振り返るとともに、今後の抱負について述べさせていただきます。

2. これまでの研究活動

私は学部4年次から博士後期課程まで、熊本大学の河村・山崎研究室にて長周期積層構造(LPSO)構造相を強化相とするMg-Zn-Y系急冷合金の強靱化とそのメカニズムの解明に関する研究に携わってきました。マグネシウムは実用金属中最軽量であるため、輸送機器の軽量化を目的とした構造部材等への利用が期待されている金属材料ですが、一方で強度・延性が低いことや耐食性が低いことなど改善すべき課題が多く残っています。このような背景において、展伸加工を施すことで従来のマグネシウム合金と比較して高強度を示すLPSO型マグネシウム合金が開発され、学理構築を目指した基礎研究ならびに実用化を視野に入れた応用研究が国内外で活発に行われてきました。その中でMg-Zn-Y系合金は非平衡プロセスと相性が良く、単ロール式液体急冷法で作製した急速凝固薄帯を押出固化成形することによって作製されるバルク状合金は500 MPaを超える高い降伏強度に加え、高耐食性、高疲労強度を示すことから、アルミニウム合金に代わる航空機用構造部材としての適用が期待されています。強度、耐食性、疲労強度と順々に課題を克服してきた本合金ですが、ASTM規格E399に準拠した平面ひずみ破壊靱性の評価では、高強度アルミニウム合金と比較して予想以上に低いことが分かり、破壊靱性の改善が新たな課題として顕在化してきました。

LPSO型Mg-Zn-Y系合金急冷材の破壊靱性改善に向けて、まずは延性の向上を足掛かりにすべく、押出固化成形条件(押出温度、押出速度等)の精査、押出後熱処理の最適化を試みたところ強度、延性には変化があったものの、破壊靱性値はほとんど変化しませんでした。一方で、押出固化成形前に比較的高い温度で熱処理を施すことで破壊靱性が大きく改善されることが明らかとなりました⁽¹⁾⁽²⁾。押出固化成形前の熱処理を施さない場合、急冷薄帯固化成形材は高強度を示す

ものの、降伏後すぐに塑性不安定が生じる超微細結晶粒材料に特有の変形挙動を示します。一方で、熱処理を施した合金は、比較的高い降伏応力を維持したまま加工硬化能が改善され、大きな均一伸びを示すことが分かりました。重力铸造で作製されたMg-Zn-Y系铸造合金も展伸加工することで粗大加工粒と微細動的再結晶粒からなる不均一組織が形成され、強度と延性といった相反する特性が同時に向上することが知られていますが、結晶粒径のバイモダル化だけではなく、転位密度や結晶配向度、相構成といった複数の組織因子を階層的にバイモダル化することが強度、延性のみならず、加工硬化能、破壊靱性といった力学特性を同時に改善するのに有効であることが明らかとなりました。最近では急速凝固薄帯作製時の冷却速度や合金組成の最適化を行っており、降伏応力400~460 MPa、破壊靱性 K_{IC} 18~24 MPa $\cdot$ m^{1/2}の高強度と高破壊靱性、高耐食性を併せ持つ ϕ 20 mmを超える大型材の開発に至っています。冷却速度を最適化する過程でも意外な発見があり、冷却速度は速いほど良いわけではなく、急冷プロセスとしては比較的遅い冷却速度において強度、破壊靱性ともに最大となることが分かってきました。固化成形する前の急速凝固薄帯の組織形成にまでプロセスを遡り調べたところ、ロール接触面から厚さ方向にかけてチル層、柱状晶、デンドライト状等軸晶で複層化したもののほか複雑な凝固組織を有しており、急冷凝固時のロール周速と溶湯供給量によってそれらの体積率が制御されていることが明らかとなりました。現在は、急速凝固プロセスそのものに焦点を当てた研究を進めており、熱流体シミュレーションを導入して解析を行うなど、研究を深く掘り下げるとともに、その幅を広げることを意識して合金開発に取り組んでいます。

3. おわりに

博士号を取得するまでの間、自由に研究できる環境を与えていただけたことは、今になってみても非常にありがたいことだったと感じています。私の所属している研究室では合金を一から自分たちの手で作る場所から始めますので、大変ではありますが、その分、自分の作製した試料に愛着を持って大事に育てようという気持ちになります。学生のうちに合金設計から試料の特性・組織の評価まで一貫して経験できたことは現在でも研究を進める上で強みになっていると感じます。今後も、新規合金設計・プロセス設計による高性能Mg合金の創製に携わりながら、不均一組織における力学特性発現機構に加え、設計工学、安全工学に直結するような破壊靱性挙動やき裂進展挙動を明らかにしていきたいと考えております。最後になりましたが、これまでご指導いただきました熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長河村能人教授、同センター 山崎倫昭教授、本稿執筆の機会を設けていただいた編集委員の皆様、これまでお世話になった多くの方々にこの場をお借りして深く御礼申し上げます。

文 献

- (1) S. Nishimoto, Y. Koguchi, M. Yamasaki and Y. Kawamura: Mater. Sci. Eng. A, **832**(2022), 142348.
- (2) S. Nishimoto, M. Yamasaki and Y. Kawamura: Mater. Trans., **10**(2022), 1396-1405.
(2023年6月7日受理)[doi:10.2320/materia.62.546]
(連絡先: 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

スポットライト

第8回「高校生・高専学生ポスター発表」
～日本金属学会会長賞～

アルミ缶を用いた人工ルビーの合成

福島県立福島高等学校

大内葵衣 遠藤滉祐

1. 動機および目的

ごみとなるものをリサイクルすることは重要である。ルビーが酸化アルミニウムと微量の酸化クロムからなる鉱物であることから、身の回りに多く存在するアルミ缶⁽¹⁾⁽²⁾を原料として人工的にルビーを合成できるのではないかと考え、研究を行うことにした。また、ルビーの産出量はアルミニウムの原料のボーキサイトなどと比べても極めて少なく、モース硬度が高く研磨剤や時計の軸受けなど工業面にも需要があるため、ルビーとしてのアルミ缶の再利用に注目した。本研究ではアルミ缶から酸化アルミニウムを生成し、そこから人工的に、工業的な利用や装飾としての利用が可能なルビーを合成する方法を確立することを目的としている。

2. 方法

これまでの研究⁽³⁾では「アルミ缶から Al 以外の金属などの不純物を多く取り除けば、ルビーが合成されやすくなる」という仮説のもと、フラックス法とベルスーイ法で実験を行った。フラックス法⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾とは、融点が比較的低い物質(フラックス)を目的物と混合して加熱することで融点より低い温度で目的物を溶かし、結晶を合成する方法である。本研究ならびに先行研究⁽³⁾では、融点が約1000℃で Al_2O_3 の融点(2072℃)より1000℃程低い氷晶石(Na_3AlF_6)をフラックスとして使用した。またベルスーイ法とは、アーク放電の熱によって Al_2O_3 の融点まで加熱して溶かし、結晶を合成する方法である。ここでいう不純物とは、アルミ缶胴部分に使用されるアルミニウムマンガン合金(アルミニウム合金3000系)⁽²⁾に含まれる、Al 以外の元素である。これまでの研究において、フラックス法では使用したアルミナるつぽがフラックスに溶かされてルビーと見られる結晶がるつぽに分離困難な状態で付着してしまい、除去した不純物の量による生成物の比較ができなかった。一方、電子レンジ内でアルミホイルに Al_2O_3 と Cr_2O_3 の混合物を包んで加熱することによって発生するアーク放電の熱で結晶を合成するベルスーイ法では、除去したと思われる不純物の量が少ない時にはルビーが合成され、多い時では合成されないなど仮説の通りではない部分もあったが、アルミ缶原料の Al_2O_3 からルビーが合成されることは確認できた。そこで、本研究では、フラックス法を用いてアルミ缶原料の Al_2O_3 からルビーを合成するため次の2

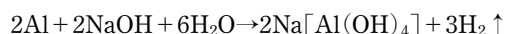
つの実験を行った。

(1) 白金るつぽを用いたフラックス法でのルビーの合成

準備物は、純粋な Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 Na_3AlF_6 、白金るつぽ、アルミナるつぽ、電気炉(ヤマト科学 FO200 型)である。酸化アルミニウムを主成分とするルビーやサファイヤなどの鉱物をコランダムと呼ぶが、微量の Cr_2O_3 が混合されることによって赤く発色し、それをルビーとしている。純粋な Al_2O_3 と Cr_2O_3 、質量比100:1で混合したものと、 Na_3AlF_6 を質量比1:4で混合し、混合粉末15gほどを白金るつぽに入れた。続いてアルミナるつぽの中に保温用の Al_2O_3 を数グラム入れ、その Al_2O_3 に周りを囲まれるように白金るつぽを図1に示したように置いた。アルミナるつぽごと電気炉の中に設置して設定温度1150℃で8時間加熱し、終了後はそのまま炉内で穏やかに冷却した。また、 Cr_2O_3 と混合する Al_2O_3 をアルミ缶原料のもの(アルミ缶を NaOH 水溶液に溶かして吸引濾過の後自然濾過し、残渣を2.0 mol/L の塩酸に溶かして $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ を加えて $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ の濃青色沈殿が検出されなくなるまで濾過を繰り返すことによって鉄を除去した、先行研究⁽³⁾と同じ製法)に変えて、同様に実験を行った。

(2) 水酸化ナトリウムの定量化

アルミ缶原料の Al_2O_3 を生成する際にアルミ缶や薬品を過不足なく使用するために、最初にアルミ缶を溶かす薬品である NaOH とアルミ缶の量の関係を調べた。アルミ缶を過剰の NaOH 水溶液に溶かすとすれば、



の反応が起こり、Al 1 mol に対して NaOH 1 mol が反応すると考えられるが、不純物への反応や実際にこの反応だけが起こるか確認するために、実験を行った。準備物は、アルミ缶、NaOH、純水である。初めに、アルミ缶をバーナーであぶり、紙やすりで塗装をはがして細かく刻み、NaOH 水溶液に溶かした。この際、塗装をはがしたアルミ缶2.7g(アルミニウム0.1 molと同じ質量)に対して、100gの純水にNaOHをそれぞれ2.0g(0.05 mol)、4.0g(0.1 mol)、8.0g(0.2 mol)、12g(0.3 mol)、16g(0.4 mol)ずつ溶かした溶液を作り、アルミ缶をそれぞれに入れて、ガラス棒でかき混ぜても気体の発生が見られなくなるまで一晩以上置いた。



図1 フラックス法に利用した蓋つき白金るつぽと酸化アルミニウムを入れたアルミナるつぽの様子。(オンラインカラー)

3. 結果と考察

(1) 白金るつぼを用いたフラックス法でのルビーの合成

図2には、左から順に、純粋な Al_2O_3 と白金るつぼを用いたフラックス法での生成物(a), aのブラックライトによる蛍光反応(b), アルミ缶原料の Al_2O_3 を用いたフラックス法での生成物(c), cのブラックライトによる蛍光反応(d)を示す。

図2(a), それにブラックライトを当てた様子の(b)に示すように純粋な Al_2O_3 , 白金るつぼ, 電気炉を用いた時には, 2 mm程度と微小であるが色, 蛍光反応ともにルビーとみられる結晶が確認された。先行研究⁽³⁾で問題となっていたるつぼへの付着は解消された。一方で, 図2(c)に示すようにアルミ缶原料の Al_2O_3 を用いた方では, フラックスがクリーム状になったものがそのまま固まったような状態で, ルビーと見られる結晶は確認されなかった。(c)にブラックライトを当てた様子である図2(d)で光を反射している部分や口部にみられるように, るつぼの内部や縁に蛍光反応を見せるきらきらした薄いラメ状のものが付着していたが, 白金るつぼ外部の Al_2O_3 由来のものか内部の Al_2O_3 由来のものかなどはわからなかった。

(2) 水酸化ナトリウムの定量化

NaOH を2.0 g溶かした溶液では, ほとんどのアルミ缶が刻まれた状態の原型を留めて沈んでいた。 NaOH を4.0 g溶かした溶液では, 2.0 g溶かした溶液よりは溶けていたが, まだ溶けていないアルミ缶も多く残っていた。 NaOH を8.0 g溶かした溶液では, 原型が留まったアルミ缶は見られず, 残った塗装や不純物とみられる黒色の泥状物質が沈殿しており, その上に粉末のような状態の白色の物質が沈殿していた。その様子を図3に示す。 NaOH を12 g, 16 g溶かした溶液では, 8.0 g溶かした溶液に見られたものと同じような黒色の泥状物質のみが沈殿していた。

この白色の物質は NaOH に溶けなかった $\text{Al}(\text{OH})_3$ であると考えられる。そのため, アルミ缶2.7 g(Al 0.1 mol と考える)に対して必要な NaOH は8.0 gから12 g(0.2 mol から0.3 mol)であると思われる。

予想ではアルミ缶と NaOH の反応には(アルミ缶を Al と見なした場合の)mol比で1:1必要だと考えられていたが, 結果は1:2から1:3であり, 予想に反していた。原因としては, 同物質量の, $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2 \uparrow$ の反応をする Al と比べて $\text{Zn} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{H}_2 \uparrow$ という反応のため水溶液に溶かすのに多くの NaOH を必要とする Zn などの不純物が含ま

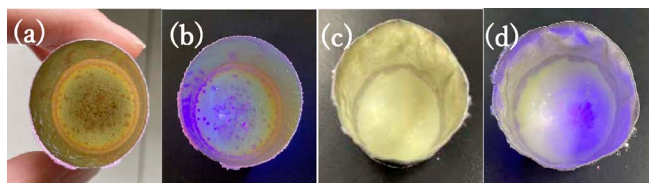


図2 フラックス法での生成物と蛍光反応の様子。(オンラインカラー)



図3 アルミ缶を溶かした水酸化ナトリウム水溶液の黒色沈殿と白色沈殿。(オンラインカラー)

れていたことが考えられる。したがって, 溶液から生成する Al_2O_3 の純度を高めるためには, NaOH 水溶液に可溶の不純物の除去を行う必要があると考えられる。

また, この後それぞれの溶液を濾過し, 6.0 mol/Lの HNO_3 , 6.0 mol/Lの NH_3 水を加えて Al_2O_3 生成時の操作を行ったところ, 今回の実験では正確な薬品の使用量は計測できなかったが, NaOH の量が多い溶液ほど多くの HNO_3 や NH_3 水を要することが分かった。

4. 結論と課題

今回使用したアルミ缶原料の Al_2O_3 では, ルビーを合成することはできなかった。 Al_2O_3 には α -アルミナや γ -アルミナといった結晶の型があるが, アルミ缶から Al_2O_3 を生成する際に, 天然のルビーを構成している Al_2O_3 と同じ α -アルミナにならなかったこと, 不純物が含まれていたことなどが原因として考えられるので, 今後の実験で Al_2O_3 の製法について詳しく調べていきたい。

フラックス法での最適なフラックス, 加熱方法や取り出し方を調べる。また, 白金線を用いたり種結晶の成長を行ったりして大きな結晶の合成を試みる。

今回の実験では, 単体の Al 0.1 molに相当する質量のアルミ缶を溶かすのに0.2~0.3 molの NaOH を溶かした水溶液が必要になることが分かった。

定量実験では計測しようとしていた HNO_3 や NH_3 水の量がわからなかったので, やり方を工夫する。

文 献

- (1) <https://yamaichi-metal.com/alumican>
- (2) <https://www.toishi.info/sozai/al/a3004.html>
- (3) 溝井敬大:「アルミ缶を原料とした人工宝石の合成」
http://www.gracon.jp/gc/gracon2020/wp-content/uploads/sites/10/2021/10/2021gracon_PP41.pdf
- (4) 大石修治, 近藤人資, 小林 壮, 渡辺章司, 若林信一, 住吉義博: 日本化学会誌, **2**(1997), 107-111.
- (5) 渡辺興一, 住吉義博: 宝石学会誌, **3**(1976), 147-156.
- (6) 吉川里奈, 伊藤 梓:「ルビーとブルーサファイアの合成」, 平成27年度岐阜県立恵那高等学校 課題研究論文, (2015).
- (7) 浜崎保則, 吉原直彦:「アルミ缶から宝石をつくる」, 東京工業大学附属科学技術高等学校 課題研究要旨集, (2001), 102-103.

(2023年3月10日受理) [doi:10.2320/materia.62.547]
(連絡先: 〒960-8002 福島市森合町5-72)

スポットライト

～第8回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

植物由来の生分解性素材の作製 —植物廃棄物からプラスチック代替品へ—

岡山県立岡山一宮高等学校(2023年3月卒業)

枝松野花 永木妃菜 横川慈樹
笹山裕翔 梅野義貴 白石暁良

1. 目 的

近年、海洋ごみの改善やカーボンニュートラルの実現などの環境に関する目標が国際的な会議で取り上げられている。図1に示すように人間活動によるCO₂排出がそれほど多くない時代までは炭素の自然界の流れ(サイクル①)および人の活動に関わる流れ(サイクル②)はカーボンニュートラルなサイクルを描いていた。ところが20世紀に入り、化石燃料から様々なプラスチックが作られ始め、人間生活に役立ってきたが、プラスチックは使用後には自然の力では分解不可能な廃棄物となり、蓄積されるため現在大きな問題となっている。またプラスチックを燃焼処理するときには発生する二酸化炭素および化石燃料を直接燃料とするときに発生する二酸化炭素は、左のカーボンニュートラルなサイクルに組み込まれることはなく、大気中に蓄積されることになり、これも大きな問題になっている。このような問題の改善のため、本研究では植物性の廃棄物を利用して海洋環境でも分解され、かつ撥水性を持つプラスチック代替品を作製したいと考えた。

2. 実 験 方 法

(1) 材料および薬品

素材：植物廃棄物としておがくず、トウモロコシの皮、ク

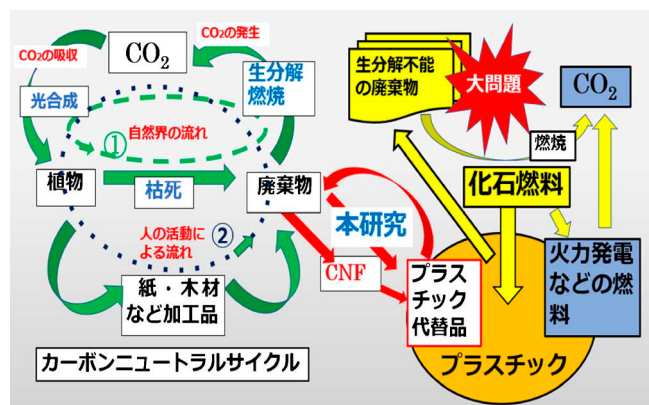


図1 自然界の中での炭素。(オンラインカラー)

ズの葉、塩素系漂白剤：市販の台所用塩素系漂白剤、デンプンのり：市販のコーンスターチの8%水溶液を加熱して調製、重曹：市販品、2,2,6,6-テトラメチルピペラジニル-1-オキシラジカル(TEMPO)：市販の1級試薬、NaBr：市販品、柿渋：市販の塗料用、亜麻仁油：市販の塗料用

(2) セルロースナノファイバー(CNF)の作製：おがくずからCNFの作製に関する報告

おがくずはコーヒー粕より廃棄量が多くセルロースの含有量が多いという特徴をもつ。なおコーヒー粕の脱脂にヘキサンを用いていたが⁽¹⁾、おがくずではヘキサンによる脱脂がうまくいかなかったため、ここでは塩素系漂白剤を用いた。おがくず10gに塩素系漂白剤を50%に希釈した水溶液200gを加えて室温で放置した。2日後におがくずを取り出し塩素系漂白剤の25%に希釈した水溶液200gを加え、さらに3日間放置した。これをもう一度繰り返した。おがくずを金網で濾別し、水道水でよく洗った。水切りをおこなった脱色おがくずを200mLの三角フラスコに入れ、1/4に希釈した塩素系漂白剤100mLを加えさらにNaBr2gを加えて図2のようにマグネチックスターラーの上にセットした。

反応液を攪拌しながらTEMPO0.2gを加えるとすぐにpHが低下し始めたので、pHが9以下にならないように2mol・L⁻¹の水酸化ナトリウム水溶液を少量ずつ加えた。ポリエチレン製の袋状の茶こしを用いて反応生成物を取り出した。これを三角フラスコに入れ、水100mLを加えて、マグネチックスターラーで激しく攪拌すると白濁液から半透明状態に変化した。

(3) 植物廃棄物からの素材作製

おがくずは目の粗い金網で濾して用いた。トウモロコシの皮とクズの葉は水を加えミキサーにかけ細かくしたのちに乾燥させた(図3左)。それぞれの材料30gに重曹5gを加え、8%のデンプンのり20gを加えて板状に成形した(図3右)。おがくずを用いる場合は先行研究⁽²⁾を参考にした。

(4) 植物廃棄物からの素材作製

容器用素材のトウモロコシの皮は繊維を切るようにはさみで切断した後、クズの葉は約2cm角になるように切断し、ミキサーでさらに細かくした。おがくずと前処理したトウモロコシの皮とクズの葉を塩素系漂白剤で脱色した(図4上)。

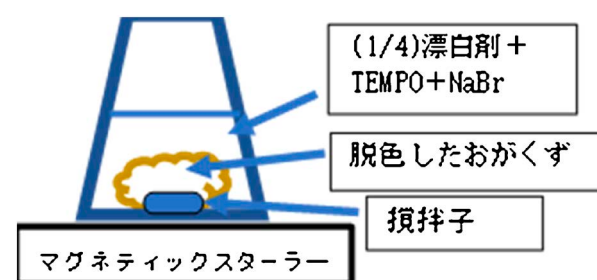


図2 TEMPO酸化の実験装置。(オンラインカラー)

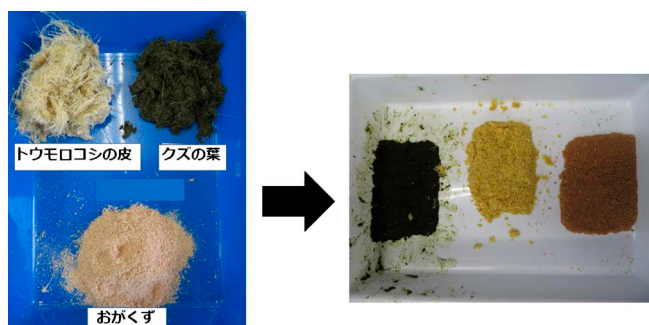


図3 前処理した材料と成形した素材。(オンラインカラー)



図4 漂白した材料と成形した素材。(オンラインカラー)

これらの材料に重曹を加えデンプンのりで固めて板状にした(図4下)。この方法の一部は論文⁽³⁾を参考にした。

(5) 紙と容器用素材の表面処理

CNF懸濁液、柿渋、亜麻仁油、CNFと柿渋、CNFと亜麻仁油の5種類を刷毛で、ろ紙、キムワイプ、おがくずからの素材、トウモロコシからの素材およびクズの葉からの素材に塗布して乾燥させた。

(6) 植物由来のフィルムの作製

大阪大学で開発された「海で溶けるプラスチック」⁽⁴⁾を参考に、CNF懸濁液と8%デンプンのりを混合し薄く延ばして乾燥させた。さらに柿渋および柿渋とCNF懸濁液の1:1混合液を薄く広げて乾燥させた。

3. 結 果

(1) おがくずを塩素系漂白剤で脱色(脱脂)し、TEMPOで酸化することにより⁽⁵⁾、セルロースナノファイバーを作製した。

(2) おがくずやトウモロコシの皮やクズの葉を細かくしたものをデンプンのりで固めて、断熱性をもつ建築用の生分解



図5 柿渋とCNFで作製したフィルム。(オンラインカラー)

表1 表面処理と撥水性。

素材	未処理	CNF	柿渋 +水	柿渋 +CNF	亜麻 仁油	亜麻仁油 +CNF
キムワイプ	×	×	○	○	○	○
ろ紙	×	×	△	○	○	○
おがくず	×	×	—	△	—	—
トウモロコシ	×	×	—	○	—	—
クズ	×	×	—	○	—	—

×：撥水性なし，△：撥水性不十分，○：撥水性あり，—：未実験

性の素材を試作した。

(3) おがくずやトウモロコシの皮とクズの葉を裁断したものを塩素系漂白剤で脱色し、さらにミキサーで細かくしたものをデンプンのりで固めることにより容器用の素材を試作した。

(4) 紙容器などのような生分解性の容器作製のための植物由来のコーティング剤としてCNFと柿渋や亜麻仁油の組み合わせを見つけた。撥水性は水を入れて放置したのち、質量変化を測定し吸収量を測定した。

(5) 植物由来のフィルムの作製に成功した(図5)。

文 献

- (1) コーヒー粕からセルロースナノファイバーを作成することに成功—ごみから作る次世代バイオナノ素材—横浜国立大学 Press Release https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/23838/34_23838_1_1_200402023653.pdf.
- (2) おがくずを用いた新しい耐火性および断熱性素材の開発と生分解性食器への応用：岡山一宮高校令和1年度理数科課題研究論文集，(2019)，45-51.
- (3) 小川 誠：身近な植物で紙を作る新手法，徳島県立博物館報告，No. 26，(2016)，87-96.
- (4) 海で分解されるプラスチック開発植物材料使い：日本経済新聞(nikkei.com).
- (5) 磯貝 明：TEMPO酸化セルロースナノファイバーの調製と特性解析：東京大学農学部演習林報告，126号，(2012)，1-43.

(2023年1月30日受理)[doi:10.2320/materia.62.549]
(連絡先：〒701-1202 岡山市北区植津221)

本 会 記 事

会 告	2023年秋期(第173回)講演大会ご案内および参加申込について	551
	2023年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	553
	第21回 World Materials Day Award 募集	553
	第12回女性会員のつどい開催のご案内	554
	2023年秋期講演大会関連広告募集	554
	新設 2024年度新規「産学協創研究会」の申請募集	555
	第47回技術開発賞記事募集	556
	第74回金属組織写真賞作品募集	557
	日本金属学会オンライン教育講座開催案内	558
	金属学会シンポジウム開催案内	559
	オンデマンド配信：オンライン教育講座	560
	2024年春期講演大会公募/企画シンポジウムテーマ募集	561
	2024年度金属学会シンポジウムのテーマ募集	561
	2024年度若手研究グループ新規申請募集	562
	「研究会」新規・更新申請募集	562
新入会員	次号予告	570
掲示板	行事カレンダー	571
会誌・欧文誌	8号目次	569

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

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

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2023年秋期(第173回)講演大会のご案内および参加申込について

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

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

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

日 程	
日 時	行 事
9月19日(火) 13:00～16:30	ポスターセッション、高校生・高専学生ポスターセッション(とやま自遊館)
9月20日(水) 9:00～ 9:40 10:00～17:00 18:30～	開会の辞、贈呈式 } (富山大学五福キャンパス) 学術講演 } 懇親会：ANA クラウンプラザホテル富山
9月21日(木) 9:00～17:00	学術講演(富山大学五福キャンパス)
9月22日(金) 9:00～16:30	学術講演(富山大学五福キャンパス)
9月26日(火)午後	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

◆ご協力願い◆

- 大会マイページにて「参加証」を印刷の上、ご来場下さい。
- 日本金属学会講演大会参加証用ストラップをお持ちの方はご持参願います。

参加申込要領(参加申込みは全てウェブサイトからとなります)

(事前申込)2023年 5 月 25 日～ 9 月 1 日

(後期(当日)申込)2023年 9 月 6 日～ 9 月 26 日

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

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

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

参加費・懇親会の消費税抜については、ホームページ(一覧表 PDF)をご参照下さい。

会 員 資 格	事前参加申込 (5 月 25 日～9 月 1 日)	後期(当日)申込 (9 月 6 日～9 月 26 日) クレジット決済のみ
正員・維持員会社社員、シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員 (本会非会員)	10,000円	13,000円
2023年 3 月 1 日時点で65歳以上の個人会員*	無 料	無 料
学生員**	6,000円	7,000円
ユース会員(中高生会員, 高専専科 1 年生以下, 大学 3 年生以下)	無 料	無 料
非会員*** 一般	24,000円	27,000円
非会員*** 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円

- ・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。
- ・領収書は、決済完了後に申込画面(講演大会 Mypage)からダウンロードし、印刷して下さい。
- ・参加方法や講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。

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

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

*** 非会員の参加申込者には、1 年間の会員資格を付与します。ただし特典は重複して付与いたしません。

◆懇親会費(消費税込み)

開催日時 2023年 9 月 20 日(水) 18 : 30～20 : 30

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

- ・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。
- ・懇親会ご参加申込の方には、参加証をお渡ししますので当日、懇親会の会場の受付にお立ち寄り下さい。

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

◆支払方法

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

◆参加方法

大会マイページにて「参加証」を印刷し、来場下さい。

◆講演概要の WEB 公開

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

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

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

◆講演概要集購入について

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

2023年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2023年秋期講演大会期間中、日本金属学会と日本鉄鋼協会が共同で託児室を開設いたします。利用ご希望の方はホームページ掲載の託児室利用規約をご確認の上「託児室利用申込書」に記入頂き、下記シッター会社へ直接お申し込み下さい。

■設置期間および利用時間(開始、終了時間は予定です)

設置期間	利用時間
2023年9月19日(火)	12:30~17:00
2023年9月20日(水)	8:30~18:00
2023年9月21日(木)	8:30~18:00
2023年9月22日(金)	8:30~17:00

■場所 9/19 とやま自遊館内(お申し込みの方へ直接ご連絡いたします)

9/20~22 富山大学五福キャンパス内(お申し込みの方へ直接ご連絡いたします)

■対象・利用料金

0歳~2歳 お子様1人につき 2,000円/1日

3歳~学童まで お子様1人につき 1,500円/1日

※利用時間外の場合 500円/1時間の追加料金がかかります。

※兄弟割引あり 下のお子さん(弟もしくは妹)は上記金額の半額

利用者は利用当日、シッターの方(保育スタッフ)に利用料金をお支払い下さい。

なお、申込締切後のキャンセルはキャンセル料を頂く場合がありますので、あらかじめご了承下さい。

■利用シッター会社：スマイルキッズ

■お申込み方法

・日本金属学会・日本鉄鋼協会ホームページ託児室案内の託児室利用規約をご確認の上、「利用申込書」をダウンロードし、必要事項を記入の上、下記シッター会社へメールにてお申し込み下さい。

・申込の際は、件名に「秋期講演大会の託児室予約」とご記入の上、利用申込書を添付して下さい。

※申込受領後3営業日以内に、スマイルキッズより返信メールをお送りします。

■申込期間：2023年8月1日(火)~9月11日(月)16:00

(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先：スマイルキッズ

(個別保育事業者協議会会員)

担当) 吉田直子

☎ 076-464-5102(代表)

FAX 076-471-8196

E-mail: smilekids@m5.dion.ne.jp

*託児室利用規約・託児室利用申込書はホームページよりダウンロードして下さい。

第21回 World Materials Day Award 募集

応募期間：2023年7月1日~8月25日

材料系国際学協会連携組織である IOMMMS(International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies)では、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し(毎年11月の最初の水曜日)本年は、11月1日(水)、この日に世界同時に「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰しております。下記日程にて展示および審査を行いますので、多数のご応募をお待ちしております。

募集要項

対象となる活動：次の3部門で募集します。

第1部門：社会における材料の重要性を示すホームページ

第2部門：学園祭やキャンパスオープンデー等での該当する展示物、作品等

第3部門：その他(材料教育プロジェクト、青少年対象の材料実験等)

応募資格者

日本在住の学部学生、修士課程大学院生(グループも可)。高校生・高専学生も可。

日本金属学会の会員でなくても応募できるが授賞決定後には会員になることが望ましい。

展示方法

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

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

審査方法

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

授賞

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

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

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

申込方法 下記アドレス宛にお申込下さい。

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

申込・問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
(公社)日本金属学会
World Materials Day 募集係
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: stevent@jimmm.jp



日本金属学会・日本鉄鋼協会 第12回女性会員のつどい開催のご案内

日本金属学会と日本鉄鋼協会は、2007年に男女共同参画合同委員会を設置し、学会期間中の託児室合同設置、若い会員向けのキャリアパスを考えるランチョンミーティング、合同ホームページや育児・男女共同参画等の情報交換をするためのメーリングリストの開設を行うなど、金属・材料分野における女性会員の活動を支援し、女性会員の増強を目指しています。

秋期講演大会期間中に開催していた、「女性会員の集い」を今年は2年ぶりにオンサイトでを行います。女性会員同士、気軽に意見交換をして楽しいひとときを過ごしませんか。

主催 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画委員会
日時 2023年9月22日(金)12:00~13:00

会場 富山大学(会場調整中)
内容 女性会員の交流・人脈作り。キャリアデザイン意見交換。職場の環境や人間関係で困ったこと等本音トーク。学会への要望。などなど

参加資格 金属学会・鉄鋼協会女性会員、学生さん

参加申込 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。
※お弁当やお茶のご用意はございませんのでご了承下さい。

問合せ先 三浦永理 E-mail: emiura@eng.u-hyogo.ac.jp

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

■大会ホームページ・バナー広告

掲載期間 2023年7月~(会期終了後もアーカイブで閲覧できます)
アクセス数 200,000アクセス(約2ヶ月, 前回参考値)
サイズ タテ80ピクセル×ヨコ160ピクセル(静止画)
データ形式 静止画のPNG(.png) JPEG(.jpg) GIF(.gif)
リンク先アドレスも合わせてご指定下さい。
バナーデータ(+リンク先指定)入稿後、1週間程度で掲載します。
掲載料金 1枠50,000円(税別)※バナーデータ制作費は別途です。
※本会維持員様、プログラム広告掲載会社様、付設展示会出展社様は50%OFF。
申込 随時受付
申込最終締切 8月17日(木)

■付設展示会

展示会会期 9月20日(水)~22日(金)
9:00~17:00(22日は、14:00まで)
搬入日:9月19日(火)14:00~16:00(予定)
展示会場 富山大学・五福キャンパス
〈機器・書籍展示〉
研究開発用機器、書籍、ソフトウェア等の出展を募集します。
1コマ 間口1,800mm、奥行き900mm(予定)
展示台(テーブル)、バックパネル(高さ2100mm×幅1800mm)、椅子をご用意します。
※電気使用容量を制限する場合がございます。(例:1コマ200Wまで)

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

申込締切 8月17日(木)
※規定数に達し次第、先着順に締切ります。

〈カタログ展示〉

展示部数 2点(A4サイズ, 8頁以内)につき30部以内
出展料金 2点につき30,000円(税別)(1点増すごとに10,000円(税別)追加)
申込締切 8月17日(木)

■まてりあ11号・誌上展示会

付設展示会のフォローアップ広告を募集します。
発行予定日 11月1日(水)
掲載料金 1枠(1/4頁) ¥28,000(税別)
申込締切 9月28日(木)
広告原稿締切 9月28日(木)
※本広告企画は、付設展示会に出展されていない企業様も出稿できます。

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

■申込・問合せ先

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4
友野本社ビル7F
株式会社 明報社 (担当:月岡太郎)
☎ 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306
E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp
URL: http://www.meihosha.co.jp

新設 2024年度新規「産学協創研究会」の申請募集

申請締切 2023年11月30日(木)

本会では、分野を超えた取り組みを強化すべき課題に対して産・学・官が連携して取り組んでいくことを目的とした「産学協創研究会」を新設いたしました。

登録を希望される方は下記の実施要領および規則を参照の上、申請書を提出して申請下さい。

【産学協創研究会実施要領】

1. 目的

分野を超えた取り組みを強化すべき課題に対して産・学・官が連携して取り組んでいくことを目的とする。

2. 組織・構成員

- 組織は以下の通りとする。
 - (1)代表世話人：1名
 - (2)副代表世話人：1名(必要に応じておくことができる)
 - (3)世話人：数名
 - (4)構成員：数名
- 代表世話人は会員の中から選任すること。
- 必要に応じて副代表世話人を置くことができる。
- 代表世話人、副代表世話人、世話人のいずれかは民間企業から選任すること。
- 構成員は主に会員の中から選任するが、必要に応じて外部の専門家から選任することができる。
- 原則として、構成員の三分の一以上を民間企業から選任すること。

3. 活動期間・構成員の任期

- 本研究会の活動期間は1期4年以内とする。
- 本研究会の構成員の任期は、当該研究会の活動期間とする。
- 必要に応じ、理事会の決議により、活動期間を1期4年間以内ずつ延長することができる。

4. 設置

- 本研究会は、理事会によって設置するもののほか、公募する。
- 応募されたものの審査は、企画委員会で第1次審査を行い、理事会で最終審査して、設置を決定する。
- 理事会によって設置するものは、理事会で審査して、設置を決定する。
- 審査基準
 - (1)目的が明確か
 - (2)分野を超えたテーマや取り組みとなっているか
 - (3)産・学・官が連携して取り組んでいるものとなっているか
 - (4)類似の研究会はないか
 - (5)代表世話人、副代表世話人、世話人のいずれかが民間企業から選任されているか
 - (6)構成員は適切か
 - (7)活動は適切か
 - (8)本会のシンポジウム等を開催できるか

5. 費用

- 年間500,000円を上限として、費用を負担する。
- 活動費の使途は、会議費(会場費、会議中のお茶代・弁当代)、旅費交通費、通信運搬費、消耗品費、印刷製本費、業務委託費等の運営費用とする。

6. 申請

- 新規申請書ならびに継続申請書は11月末までに企画委員会委員長に申請する。

*申請書は下記の問い合わせ先に請求下さい。

- 新規応募の申請書に記載する事項
 - (1)研究会の名称
 - (2)代表世話人(氏名、所属、役職名、TEL、E-mail)
 - (3)副代表世話人(選任した場合のみ)
 - (4)世話人の名簿
 - (5)構成員の名簿
 - (6)活動目的
 - (7)活動期間(1期4年以内)
 - (8)活動計画(活動の概要及び各年度の活動計画、活動案)
 - (9)予算(各年度の見込み)
 - (10)特記事項(申請者の要望等)
- 継続申請に記載する事項
 - (1)研究会の名称
 - (2)代表世話人(氏名、所属、役職名、TEL、E-mail)
 - (3)副代表世話人(選任した場合のみ)
 - (4)世話人の名簿
 - (5)構成員の名簿
 - (6)これまでの成果報告
 - (7)継続理由
 - (8)延長期間(1期4年以内)
 - (9)今後の活動計画(活動の概要及び各年度の活動計画、活動案)
 - (10)予算(各年度の見込み)
 - (11)特記事項(申請者の要望等)

7. 活動

- 研究集会の開催
- 金属学会のシンポジウム(公募、企画、金属学会)の開催
- 調査

8. 報告

- 毎年度末までに、活動報告書および収支報告書を提出する。
- 当該活動期終了ごとに(終了研究会は終了時、継続研究会は1期終了時)、成果報告を提出する。成果報告は、本会ホームページおよびまてりあに公表する。
- 成果報告には、研究集会やシンポジウム等の開催記録、得られた知見、今後の展開等を記載する。

9. 問合せ先・申請先

日本金属学会 事務局 局長 E-mail: secgnl[at]jimm.jp
※[at]は@に置き換えて下さい。

☎ 022-223-3685

第47回公益社団法人日本金属学会技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2023年11月1日(水)

〔本賞の趣旨〕

本会は創意あふれる開発研究を推奨する目的で、金属工業に関する独創性に富む新技術・新製品の技術開発に優れた実績を収めた技術者に対し、本賞を授賞するものである。

(注1)本賞は、当該年の日本金属学会会報「まてりあ」“新技術・新製品”の欄に掲載された記事が、選考対象となる。

技術開発賞募集要綱

1. 賞の名称 第47回公益社団法人日本金属学会技術開発賞 2. 対象となる業績と区分など

- (1) 次の部門およびそれらにまたがるものとする。
 - ①材料基礎技術部門
 - ②素材製造・評価技術部門
 - ③素材応用技術部門
 - ④新素材開発部門
 - ⑤その他
- (2) 評価は次の諸点について行われる。
 - ①独創性のある技術か
 - ②技術、システムあるいは製品に関する有用な発明、考案、改良(有用性)であるか
 - ③技術上の問題解決に役立ち、あるいは新製品の開拓をさらに促す可能性(将来性)があるか
 - ④新技術・新製品の開発に優れた実績があるか
 - ⑤生産実績や適用実績はあるか
- (3) いわゆる「金属」のみでなく、その周辺の材料、たとえば燃料、耐火物、半導体、複合材料などに関するものでもよい。
- (4) 応募の時点で、他の公募制の褒賞(発明協会賞、大河内賞など)を受けていない斬新な主題であることが望ましい。

3. 応募者の条件

- (1) 1件につき10名以内のグループまたは個人
直接開発に関与した技術者であって、単なる職制上の管理者や代表者を含まないことが望ましい。

4. 選考

- (1) 受賞者の選考は選考委員会で行う。選考委員は本会理事会が毎年選任し、会長が委嘱する。
- (2) 理事会が授賞該当無しと認めた場合は、その年度は授賞しない。
- (3) 選考に当たって、特許係争等が問題となった記事は授賞対象から除外する事がある。

5. 授賞

- (1) 2024年6月末日までに受賞者を内定する。
- (2) 2024年秋期講演大会において授賞する。
- (3) 受賞者には賞状と副賞(楯)を贈呈する。受賞者が非会員の場合には、会員資格を与える。

6. 技術開発賞受賞記念講演

技術開発賞受賞をより意義深いものとするため、受賞記念講演をお願いする。

第47回の受賞記念講演は2024年秋期講演大会(9月予定)の折りに行く。

7. 受賞決定までの流れ

応募(11月1日締切)→まてりあ掲載(63巻(2024年)1号から)→選考・受賞決定(2024年6月)→授賞(2024年9月)

まてりあ「新技術・新製品」記事への応募の方法

1. 応募・原稿締切

- (1) 2023年11月1日(水)
- (2) 申し込み受理順を参考に会報「まてりあ」に第1号から第3号まで(予定)掲載する。

2. 応募記事は編集委員会の査読を経て、日本金属学会会報「まてりあ」に掲載する。

掲載記事が技術開発賞の選考対象となる。

掲載が決まった場合には、刷り上がり1ページ当たり28,000円の投稿料を納入すること。

ただし、掲載号1冊、掲載記事のPDFファイルを無料とする。

3. 応募記事の記述の留意事項

- (1) 社名、商品名その他、商業用呼称を用いることは差し支えないが、その内容が一般に理解できるよう説明を付すこと。
- (2) know-howに属する事項を記述する必要はないが、新技術・新製品の特色などが理解できるようなデータを含めること。
- (3) 現在までの実績、経済性、特許関係など「技術開発賞」選考に参考となる項目をなるべく含めること。
- (4) 特許関係等についての記述は十分に注意すること。

4. 原稿作成について

- (1) 原稿は本文、図(写真)および表を含めて刷り上がり3頁以内(約6,700字)とする。
- (2) 原稿は図・表の説明を含めて全て日本語とする。物理量の単位はなるべくSI単位系による。
- (3) 原稿はレイアウトの体裁にあわせて作成する。
- (4) 応募は、下記Webサイトから申込む。

URL <https://data.jim.or.jp/jim/shou/gikai/sui/>
ホームページから直接入力→原稿をZip形式ファイルでアップロード→受理mailの発行→受付完了。

原稿ファイルの提出；本文、図表、レイアウトを別個に作成し、Zip形式(ファイルサイズ上限は50MB)でまとめる

① レイアウト用紙(Webサイトにてダウンロード可能)

② 図(写真)・表

- ・図と写真は区別せず図1、図2…のように、表は、表1、表2…のようにそれぞれ通し番号とする。
- ・写真にはスケールを入れる。
- ・それぞれキャプションを付すること。

(記述は横軸・縦軸・説明も含めすべて日本語とする。)

- ・カラー原稿にはカラー印刷の有無を必ず明記する。
- ・カラー印刷は刷り1頁あたり35,000円を著者が負担する。

5. 掲載された記事の著作権を本会に委譲すること。

6. まてりあ一般記事の要領に従うこと。(まてりあ掲載「新技術・新製品」記事を参考にすること)

7. 提出資料

- ①レイアウトされた原稿 ②本文テキスト ③図表原稿
④①～③のデータファイル(Zip形式でアップロードする。)

8. 申込・送付先

(公社)日本金属学会各賞係

☎ 022-223-3685 E-mail: award@jimm.jp

9. 「新技術・新製品」記事の問合先

まてりあ係 E-mail: materia@jimm.jp

Web フォームによる申込です !!

～ にとっておきの作品(一枚)を後世に ～

応募期間：2023年8月1日(火)～11月1日(水)

1. 募集部門

下記4部門で行っております。

各部門とも試料、方法、結果などにオリジナリティーのある高い学術的価値が認められるもの、試料処理、写真処理他において技術的価値が高く、また、オリジナルな技術が含まれるもの、教材や写真集の編集などの際に利用できるような典型的な組織写真であるものを選考対象とします。

それぞれ、優秀賞および奨励賞作品を選考授賞し、各部門の優秀賞から特に優れた作品について最優秀賞を贈ります。ただし、該当する作品がないときは授賞しないことがあります。

「写真賞部門」

1. 光学顕微鏡部門
2. 走査電子顕微鏡部門(分析, EBSD 等を含む)
3. 透過電子顕微鏡部門(STEM, 分析等を含む)
4. 顕微鏡関連部門(FIM, APFIM, AFM, X線CT等)

注：光学顕微鏡と透過電子顕微鏡写真、走査電子顕微鏡と透過電子顕微鏡写真等の組写真を応募する場合、応募者が最も適切と判断する部門を選択して下さい。

2. 申込要領

応募は、下記 URL の申込フォームにより説明文を入力し、写真作品データを提出して下さい。

【申込フォーム】

- ①応募部門：4部門の該当する部門を選択する。
- ②題目
- ③作品の説明
- ④学術的価値(新規性、波及効果について世界の情勢に照らして記入)
- ⑤技術的価値(試料、試料作製、写真処理において新規

性、独自性について記入)

⑥組織写真の価値(組織写真作品としての新規性や優れた点など、特記事項を記入)

⑦材料名

⑧試料作製法

⑨観察手法

⑩作品の出典(作品はオリジナルまたは本会帰属の写真で使用許可のあるものに限る。)

⑪応募者・共同研究者

⑫連絡先

【写真作品】

- ①写真作品データの解像度は、A2版サイズを前提に400dpi以上とする。
- ②写真作品データはPDFまたは画像ファイル(jpg, png, tiff, bmp)として作成したもの(ファイルサイズ上限は100MB)をアップロードする。
- ③写真と図の組み合わせでも提出は可(写真、図への挿入文字は小さすぎないこと)。
- ④作品には、応募者名、共同研究者名を記載しない。
- ⑤応募作品数には制限を設けない。
- ⑥他学協会等の同様の賞を受賞していない作品であること。
- ⑦作品を春期講演大会の会場等で展示すること、およびWebサイトで紹介することについて同意すること。

送付・問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
(公社)日本金属学会 金属組織写真賞係
☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312
E-mail: award@jimm.jp
URL : https://data.jim.or.jp/jim/shs/sui/

【作成例】写真解像度：A2版サイズを前提に400dpi以上

写真見本

申込フォーム：入力項目

〇〇観察による〇〇の評価

図1 ○○○○

図2 ○○○○

図3 ○○○○

- ①応募部門 (1. 2. 3. 4.)
- ②題目
- ③作品の説明
- ④学術的価値
- ⑤技術的価値
- ⑥組織写真の価値 (特記事項等)
- ⑦材料名
- ⑧試料作製法
- ⑨観察手法
- ⑩作品の出典
- ⑪応募者・共同研究者
- ⑫応募者連絡先

日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

New!!

『工業材料の応力・歪測定』

日 時 一日目 2023年10月26日(木) 13:00~17:00

二日目 2023年10月27日(金) 13:00~17:00

講義概要 製造工程、形状に起因する残留応力・歪及び集中応力は、物理・化学・機械的特性に大きな影響を与えることが多く、定量的に把握することが求められています。工業製品を構成する材料は、金属、無機・有機材料、半導体、結晶学的にも多結晶・単結晶と多様化し、大きさも極小化する時代となっています。万能な応力・歪測定法はなく、X線・電子線・中性子・放射光・レーザ光・超音波などを用いて個々考案し適用してきました。本講座ではこれらの手法を基礎から解説し測定事例とともに紹介します。Table-top型X線機器を用いた応力測定は実演も行います。

プログラム

一日目 10月26日(木) 13:00~17:00

13:00~14:30 応力・歪測定の意義と概要、破壊を伴う測定法

14:30~14:45 休憩

14:45~17:00 結晶材料の応力・歪測定

二日目 10月27日(金) 13:00~17:00

13:00~14:30 単結晶・ガラス・高分子材料の応力・歪測定

14:30~14:45 休憩

14:45~17:00 多様な場での応力・歪測定と卓上型X線機器での実演

受講方法 オンライン(Zoom)

講 師 東北大学名誉教授 田中俊一郎

1980年3月東北大学大学院工学研究科博士課程修了，工学博士。1993年10月-1999年3月JST-ERATO「田中固体融合プロジェクト」総括責任者。1999-2000年東京大学工学系研究科客員教授。2002年2月名古屋工業大学工学部教授。2005年7月東北大学多元物質科学研究所教授。2015年4月東北大学名誉教授，NICHe教授。2018年4月東北大学μSIC。現在に至る。

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

申込締切 2023年10月18日(水)

受講料

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

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

※本年度および次年度開催のオンライン教育講座を2講座以上受講する場合，2講座目からは割引料金となります。
お支払いは，①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込のいずれかをご利用下さい。

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

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 セミナー・シンポジウム係

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

カーボンニュートラル・水素社会実現に向けた触媒材料の研究・開発の最新動向

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーとともに大きな貢献が期待されているのは水素の利用である。水素は燃料電池に利用されるクリーンなエネルギー源としてだけでなく、二酸化炭素と反応させ合成燃料や有機化合物製造の原料としても期待されている。水素の製造や、水素と二酸化炭素からの有機化合物製造には必ず触媒が利用される。本シンポジウムではカーボンニュートラル・水素社会実現に向けた、触媒材料の研究・開発の最新動向を議論する。

なお本シンポジウムでは、講演をオンデマンドで視聴いただき、その後リアルタイムでの質疑をオンラインで行います。皆様のご参加をお待ちしております。

(企画世話人：大阪大 山下弘巳 東北大 亀岡 聡 大阪大 土谷博昭 森 浩亮)

開催日 2023年11月1日(水)～11月16日(木) 講演視聴(オンデマンド配信)

1. 辻口拓也(金沢大学)
直接ギ酸形燃料電池のアノード触媒および触媒層設計指針
2. 佐藤勝俊(名古屋大学)
再生可能エネルギーの利用を志向した非貴金属系アンモニア合成触媒の開発
3. 多田昌平(北海道大学)
触媒前駆体構造に着目した二酸化炭素水素化によるメタノール合成用銅触媒の開発
4. 森 浩亮(大阪大学)
次世代水素利用技術としてのスピルオーバー水素を駆動力とした多元系合金ナノ粒子触媒の合成
5. 日隈聡士(産業技術総合研究所)
カーボンフリー燃料アンモニアを選択的に燃焼する触媒材料の研究開発
6. 福原長寿(静岡大学)
革新的な触媒変換技術による CO₂ の資源化と固体 C 化

2023年11月17日(金)16:00～17:30 質疑応答(オンライン)

- ・各講演に対して10～15分の質疑応答を行います。
- (質問はオンデマンド配信期間も受け付けます。質問方法は視聴の案内でお知らせします。)

受講料(テキスト代含む・税込)

受講資格	受講料
正 員	10,000円
学 生	5,000円
非会員	15,000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)

お支払いは、①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込のいずれかをご利用下さい。

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

*テキストはオンデマンド配信のサイトからダウンロードして下さい。

申込締切 2023年10月31日(火)

協賛予定 (一社)日本鉄鋼協会、(一社)触媒学会、(一社)水素エネルギー協会、(公社)石油学会、
(公社)日本化学会、(公社)化学工学会、(一社)日本エネルギー学会、(公社)電気化学会、
(公社)日本材料学会、(一社)軽金属学会、(一社)資源・素材学会、(公社)日本工学会、
(公社)日本セラミックス協会

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 セミナー・シンポジウム参加係

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

オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座

これまでに開催したオンライン教育講座をオンデマンド配信いたします。配信期間中は好きな時間に聴講できます。是非ご活用下さい。

金属製錬の熱力学(配信：2023年8月1日(火)～8月31日(木))

金属製錬は、鉱石から酸素や硫黄、不純物を除去して目的の金属を得る技術として、現代社会の構築に大きく貢献してきました。資源の枯渇や地球温暖化が進み、低品位鉱石や都市鉱山の活用が求められ、カーボンニュートラルに向けて様々な取り組みがなされる中、その重要性はさらに高まっています。

本講義では、高温反応での乾式製錬に焦点をあて、その原理となる化学熱力学における化学ポテンシャル、相平衡、状態図などの基礎概念や法則について解説します。さらに、不純物除去のためのスラグ-金属-気体間平衡反応など製錬プロセス解析への化学熱力学の活用について解説します。これらは同様に化学熱力学を活用する湿式製錬や電解精錬を学ぶ上での基礎にもなります。

2022年11月17日および18日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 東京大学名誉教授 月橋文孝先生

1977年3月東京大学工学部金属工学科卒業。1982年3月東京大学大学院工学系研究科金属工学専門課程博士課程修了、工学博士。1982年4月東京大学工学部金属工学科助手、1986年10月東京大学講師、1988年1月東京大学助教授を経て、1999年4月東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻教授。2020年3月東京大学定年退職。2020年6月東京大学名誉教授。

コーディネーター 大阪大学教授 小泉雄一郎 東京大学准教授 松浦宏行

カリキュラム 1時限目：熱力学変数

2時限目：化学ポテンシャルと平衡

3時限目：状態図と相平衡

4時限目：製錬プロセスへの適用

視聴期間 2023年8月1日(火)～8月31日(木)

視聴方法 web上の動画ファイルを視聴いただきます。参加申込者には視聴方法を連絡します。

*動画ファイルのダウンロードはできません。

講義資料 資料はダウンロードしていただきます。参加申込者にはダウンロード方法を連絡します。

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)

※本年度および次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/> よりお申込み下さい。

申込締切 2023年8月24日(木)

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込のいずれかをご利用下さい。

協賛予定 エネルギー資源学会、エレクトロニクス実装学会、応用物理学会、化学工学会、環境資源工学会、金属系材料研究開発センター、軽金属学会、軽金属製品協会、合金状態図研究会、資源・素材学会、自動車技術会、ステンレス協会、スマートプロセス学会、素材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本混相流学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本伸銅協会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本熱物性学会、日本物理学会、日本分析化学会、日本マグネシウム協会、日本溶接協会、熱処理技術協会、廃棄物資源循環学会、粉体粉末冶金協会、溶接学会

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 セミナー・シンポジウム参加係

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

2024年春期講演大会公募シンポジウム テーマ募集

提案期限：2023年9月1日(金) 期日厳守

会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的として、春秋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、活況を呈しております。明年の秋期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 HP よりダウンロードして下さい。)

詳細 までりあ62巻7月号493頁またはホームページ→講演大会→2024春

問合・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会講演大会委員会宛

2024年春期講演大会企画シンポジウム テーマ募集

提案期限：2023年9月1日(金) 期日厳守

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

次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマおよび他学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)

詳細 までりあ62巻7月号494頁またはホームページ→講演大会→2024春

問合・照会先 E-mail: stevent@jimm.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会講演大会委員会宛

2024年度金属学会シンポジウムのテーマ募集

提案期限：2023年9月1日(金) 厳守

今回募集するシンポジウムの開催時期

2024年度(2024年3月1日～2025年2月28日)内に実施

応募要領

提出書類 提案書を下記提出先に送付して下さい。

(提案書の様式は HP (<https://jimm.jp/event/symposium/>) よりダウンロードして下さい。)

応募から実施までの流れ

募集締め切り(9月)⇒セミナーシンポジウム委員会にて採択決定(10月頃)⇒事務局から採択通知と具体的実施準備の

連絡⇒講師・プログラム・会場の決定(開催6か月前に確定必要)・会告⇒講師依頼⇒テキスト作成(開催2か月前に原稿必要)⇒参加者募集⇒開催

提案書提出先・問合先

下記宛てに E-mail で送付して下さい。

日本金属学会 セミナーシンポジウム委員会宛

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

詳細 ホームページ/イベント までりあ5号333頁

◎日本金属学会各種研究費申請比較表をまでりあ62巻7号(498頁)

およびホームページ https://jimm.jp/research/data/comparison_table.pdf

に掲載しております。

公益社団法人日本金属学会
「2024年度若手研究グループ」新規申請募集

申請締切：2023年9月1日(金)

若手および調査・研究事業を活性化することを狙いとして、若手主体の研究グループを2018年度より設置しております。若手研究グループの登録申請を希望される方は下記を参照の上、若手研究グループ申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい)

【実施要領】

- (1)概要 • 新たな研究会の設立、新規研究テーマの開拓やフロンティア助成研究の申請に向けた研究課題の抽出や研究目標の明確化のための調査の実施や構成員による討論会や会議の開催等を行なう。
- 本研究グループの活動を、日本金属学会フロンティア研究助成申請時の審査の参考情報とする。
- 目的・目標・活動計画を明確にし、機関誌等での活動報告を義務化した上で活動費を支給する。
- (2)対象者 • 申請者および構成員は申請時(9月1日時点)に40才以下の研究者であること。申請代表者は正会員であること。
- 申請時には、構成員は5名以上であり、非会員を構成員とすることができるが、過半数は正会員であること。
- 構成員に最低1名は産業界のメンバーが入っていること。(適当なメンバーがいない場合は、申請時に企業メンバーの推薦を該当分科の調査研究委員会委員等に依頼すること。)
- 活動開始時には、非会員の構成員は会員になること。
- (3)活動費 年間50万円を上限とする。(税金分を含む)
- (4)活動期間 2024年3月1日～2026年2月28日の2年間とし、原則として延長は認めない。
- (5)活動報告 • 研究成果報告として、講演大会において講演(若手研究グループの企画セッション等が望ましい)を行う。
- 1年経過後および活動終了後に報告書A4版1枚(2,200字程度)を調査研究委員会に提出する(必要な場合は説明いただく)。提出された報告書は、本会ホームページおよび会報「まてりあ」に掲載する。
- (6)採択件数 5件以内とする。
- (7)応募方法 名称、申請代表者、構成員、申請理由、活動の概要、活動計画、予算、成果の報告予定、関連分野を記載した申請書を下記申込専用サイトに必要事項を入力の上、アップロードし提出する。なお、ファイルはMS-Word形式として下さい。
- 申込専用サイト <https://data.jim.or.jp/jim/wakate/tou/>
- (8)審査 調査研究委員会が審査の後、理事会で決定する。必要に応じ、面談等を行うことがある。
- (9)備考 • その他は研究会の規程に準ずる。

- 活動費の使途は、会議費(会場費、会議中のお茶代・弁当代)、旅費交通費、通信運搬費、消耗品費、印刷製本費等の運営費用および分析や調査等の外注委託費とする。

本会規程に基づく旅費・交通費の支給は可とする。ただし、講演大会中および講演大会と連続する日程で開催される構成員の会議等の旅費は不可。

- 会計担当者を置き、年度予算の消化状況の管理を行なう。
- 会計担当は、活動費の残金および参加等収入等の現金ならびに領収書を管理する。
- 会計処理方法の詳細は会計マニュアルに定める
- (10)審査基準 • 研究会への発展や新規研究テーマの開拓に貢献できるか。
- 研究会に類似のテーマはないか。
- 構成員は適切であるか。
- 必要性が高いか。
- 目的や目標が明確にされているか。
- 成果を広く周知する活動報告が計画されているか

(11)問合・照会先 (公社)日本金属学会 若手研究グループ係
E-mail: stevent@jim.jp
☎ 022-223-3685

公益社団法人日本金属学会
「研究会」新規・更新申請募集

申請締切：2023年9月1日(金)

研究会の登録を希望される方は研究会実施要領および下記規則をご参照の上、お申込下さい。

新規申請の研究会は新規申請用紙、継続延長申請の研究会は継続更新申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい)

【実施要領】

研究会の目的 研究会は先端領域又は学術領域における研究会を効率的に推進するために活動することを目的とする。

- (1)年間運営費 100,000円
- (2)活動期間 新規申請の場合1期5年間以内、継続更新の場合は、延長期間1期3年以内。
最長活動期間は2期8年以内
- (3)新規申請書の内容 ①研究会名称、②活動目的、③活動期間、④代表世話人、⑤世話人(複数可)、⑥構成員名簿
- (4)継続更新申請書の内容 ①研究会名称、②継続理由、③延長期間、④代表世話人、⑤世話人、⑥構成員、⑦これまでの成果報告、⑧今後の活動計画書
- (5)年間採択数 新規2件以内、継続(延長)申請は2件以内
- (6)研究会の審査 調査研究推進委員会で1次審査をし、理事会で最終審査を行う。

(7) 審査基準

- 学術貢献出来る研究会が望ましい。
- 類似の研究会に属しない。
- 構成員は適切か。
- そのテーマの研究会が必要か。
- 研究会活動期間中に講演大会公募シンポジウムや金
属学会シンポジウムを計画しているか。

(8) 現在活動中の研究会の留意事項

- 2024年2月に終了する研究会で、過去に継続(延長)の申請をしている研究会は、現在の活動期間で終了となります。
- 2024年2月に終了する研究会で、これまで継続(延

長)の申請をしていない研究会は、1期3年の継続(延長)の申請が出来ます。ただし、研究会の審査により2件以内の採択となります。

(9) 申込方法

作成した申請書を下記申込専用サイトに必要事項を入力の上、アップロードし提出して下さい。なお、ファイルはMS-Word形式として下さい。

申込専用サイト <https://data.jim.or.jp/jim/kenkyukai/tou/>

(10) 問合せ・照会先

(公社)日本金属学会 研究会係

E-mail: stevent@jim.jp

☎ 022-223-3685

新 入 会 員

(2023年5月23日～2023年6月20日)

ユース会員

大小田拓生 鹿児島県立国分高等学校
岡村香佳 鹿児島県立国分高等学校

茅野亮太 北海道立室蘭栄高等学校
川崎拓真 鹿児島県立国分高等学校

中村鈴菜 鹿児島県立国分高等学校

正 員

新井悠希 近畿大学
金尾康平 金尾金属工業所

高島洋 株式会社プロテリアル
成田駿介 大同特殊鋼株式会社

松田朝彦 国立研究開発法人物質・材料
研究機構

学 生 員

青野竜也 室蘭工業大学
秋山裕登 金沢大学
浅尾優文 東京都立大学
阿部李音 岩手大学
荒木悠哉 上智大学
飯田慎也 長岡技術科学大学
石倉遼平 群馬大学
井上ひかり 東京工業大学
右近優成 千葉工業大学
枝川公香 東北大学
遠藤柊翔 室蘭工業大学
大谷良美 茨城大学
大宮光貴 名古屋大学
加藤逸紀 名古屋大学
金尾悠平 東京工業大学
金村稜 東北大学
神谷航平 名古屋大学
神山侑弘 東京工業大学
木下凌輔 大阪大学
串田隼人 東京理科大学
窪田翔 東京大学
黒澤大成 北海道大学

齋藤宏平 北海道大学
斎藤光 北海道大学
佐々木健斗 北海道大学
佐藤茉弥 秋田大学
三瓶柊希 東北大学
柴田皓平 東京都立大学
末広陸 関西大学
須貝龍太郎 長岡技術科学大学
杉本元樹 北海道大学
大後直樹 茨城大学
高橋浩介 千葉工業大学
高橋良輔 北海道大学
滝瀬陽斗 群馬大学
武部志帆 北海道大学
田代智也 名古屋大学
谷川泰亮 大阪大学
谷川由果 東北大学
角田昂駿 熊本大学
唐盛雄 熊本大学
富岡航太郎 東京理科大学
富田駿介 北海道大学
中居宏太 群馬大学

中牟田昂 千葉工業大学
西名竜哉 東北大学
野坂光 北海道大学
橋本主希 北海道大学
長谷川哲也 北海道大学
服部研佑 山梨大学
原弥仁 信州大学
久松美佑 大阪大学
平野義将 千葉工業大学
藤田恕誠 長岡技術科学大学,
藤田千穂 熊本大学
細島洋喜 秋田大学
正木熙 筑波大学
増見威臣 熊本大学
森村天音 大阪公立大学
柳川茜 上智大学
山内薫 名古屋大学
山崎大雅 名古屋大学
山室柊太 上智大学
山本歩夢 信州大学
郎澤昆 金沢大学
渡部祐大 北海道大学

外国一般会員

KIM HYoung Seop Pohang University of Science and Technology

外国学生会員

HUANG Jeff 大阪大学
LI XIANG 京都大学

Wang Xiuqun 京都大学
XU SHUO 京都大学

譚磊 早稲田大学
張晋嘉 東京大学

＜公募類記事＞

無料掲載：募集人員，締切日，問合せ先のみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

「まてりあ」とホームページに掲載：15,000円＋税

ホームページのみ掲載：10,000円＋税

＜その他の記事＞ 原則として有料掲載。

原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jimm.jp

公 募

◇物質・材料研究機構 若手国際研究センター
ICYS リサーチフェロー公募◇

募集人員 ICYS リサーチフェロー 若干名

所 属 若手国際研究センター

専門分野 独自の発想に基づき，NIMS の優れた研究環境のもと独立して様々な材料(量子材料，電池材料，磁性材料，構造材料，データ科学，有機材料，生体材料等)の研究に取り組む若手研究者を募集．国内最高ランクの給与(604万円～)と年間200万円の研究費を支給．NIMS 定年制研究員への応募時の優遇措置あり(概ね5割が採用)。

応募資格 博士学位取得後10年以内，または着任までに取得見込みの方

着任時期 2024年1月1日～2024年9月1日

任 期 当初3年，その後評価により1年毎更新，最長5年(NIMS 内から着任の場合，NIMS での職歴により異なる)．産休・育休あり。

提出書類 様式などの詳細は下記 URL をご参照下さい。
<https://www.nims.go.jp/icys/>

応募締切 2023年9月28日(木)必着

問合せ先 物質・材料研究機構 ICYS 採用担当

E-mail: icys-recruit@nims.go.jp

◇豊橋技術科学大学機械工学系 教員公募◇

募集人員 助教1名

所 属 機械工学系 材料・生産加工分野(材料機能制御)

専門分野 金属・鉄鋼材料における材料組織制御による構造・機能材料の特性制御および機能の精密な評価・解析技術に関する分野

担当科目 材料科学・工学に関する科目(例えば，機械工学実験，プロジェクト研究，設計製図)など

応募資格

(1)博士または Ph.D の資格を有するか採用までに取得見込みで，当該分野において優れた知識，能力および研究実績を有する方。

(2)機械工学に関連する実験・実習・演習科目を担当可能

で，学部生および大学院生の教育研究指導補助に創意と熱意を有する方。

(3)日本語を母語としない場合は，学内諸業務の遂行が可能な日本語運用能力を有する方。

(4)教育・研究のグローバル化を推進するため，英語による授業や学生指導補助のできる方が望ましい。

(5)本学のミッションを踏まえ，高専教育に対する理解を有する方が望ましい。

※男女共同参画の視点から，女性教員の採用を積極的に進めます。

勤務形態 常勤(任期あり)

任期：5年(採用後5年以内にテニュア審査を受け，合格すればテニュア助教(任期なし)となることできる。)

採用予定時期 2024年4月1日以降のできるだけ早い時期
提出書類

(1)履歴書(市販用紙で可，写真貼付，メールアドレス明記)

(2)研究業績リスト(著書，査読付き学術論文(インパクトファクター，被引用回数を明記)，国際会議論文，国内会議論文，総説・解説，招待講演，特許等に分類して記載)

(3)主要論文別刷(5編以内，コピー可)

(4)学会・社会における活動状況(所属学会，学会等における活動状況，受賞，実用化研究，国際会議以外の海外活動，社会貢献実績，その他アピールできる事項)

(5)外部資金獲得状況(科学研究費助成事業，産学連携プロジェクト，財団助成金，機関内競争経費など，代表者・分担者の別を明記．その他アピールできる事項)

(6)これまでの研究概要(A4判，2ページ以内)

(7)今後の研究計画(A4判，1ページ以内)

(8)教育についての実績と抱負(A4判，1ページ以内)

(9)応募者について所見を伺える方2名の連絡先(氏名，所属，職位，電話，電子メールアドレス)

※なお，選考状況により別途書類の提出を求められることがある。

応募締切 2023年10月23日(月)必着

応募書類の送付先および問合せ先

送 付 先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

豊橋技術科学大学 機械工学系

系長 柴田隆行 ☎ 0532-44-6693

問 合 先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

豊橋技術科学大学 機械工学系

教授 戸高義一 ☎ 0532-44-6704

※封筒に「材料・生産加工分野教員(助教)応募書類在中」と朱記し，書留で郵送すること。

※応募書類は原則として返却しません。

そ の 他 詳細は，豊橋技術科学大学 機械工学系 ホームページ <https://me.tut.ac.jp/> をご覧下さい。



◇大阪大学 産業科学研究所 教員公募◇

公募人員 教授 1 名

所 属 産業科学研究所 金属有機融合材料研究分野
専門分野 金属と有機物を融合させた骨格材料の研究を行い、その構造的特徴を利用した新たな機能創出と科学・技術革新により、持続可能な社会の実現に貢献する。

応募資格 (1)博士の学位を有すること(2)上記専門分野における顕著な研究実績があること(3)大学院学生への教育・研究指導が行える方(4)業務遂行に支障のないレベルの日本語及び英語の能力があること

任 期 なし

公募締切 2023年 8 月31日(木) 23 : 00(日本時間にて)

着任時期 2024年 2 月 1 日以降早期

提出書類 詳細は公募ホームページを参照して下さい
 (1)履歴書, (2)研究業績リスト, (3)従来の研究概要, (4)着任後の研究計画, (5)教育に対する抱負, (6)照会可能な方 2 名の氏名と連絡先, (7)5 編以内主要論文 PDF

書類送付先 上記書類を 1 つの PDF に結合し、メールタイトル「【応募】金属有機融合材料研究分野 教授」にて、下記アドレスにお送り下さい。

問合せ先 大阪大学産業科学研究所 所長 関野 徹
 ☎ 06-6879-8508
 E-mail: sanken-koubo-2023meta@sanken.osaka-u.ac.jp

詳 細

<https://www.sanken.osakau.ac.jp/jobs/e8bd91c8777ad697a11db5a0c2223fbc3fc92c90.pdf> をご覧下さい。

◇大阪大学大学院工学研究科 教員公募◇

概 要 大阪大学大学院工学研究科では、材料機能化プロセス工学、特に極限環境材料化学に関する教育研究活動を担当いただける教授を募集します。

職名(募集人数) 教授 1 名

所 属 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)

勤務場所 吹田キャンパス(大阪府吹田市山田丘 2-1)

専門分野 極限環境材料化学

職務内容 教育・研究の内容

材料電気化学、表面科学、反応速度論などに立脚し、極限環境下における耐久性向上、陽極酸化・エッチング・化学修飾などによる表面機能化、大容量・高出力二次電池の開発などを、先端計測・制御・解析技術を用いた実験研究と、高度計算材料科学との協働により実現することで、持続可能社会実現に資する新エネルギーの創製や貯蔵、カーボンニュートラル化に貢献するとともに、材料科学・工学の発展に寄与する教育と研究を行う。

担当科目

(学部)材料プロセス工学、材料物理化学など

(大学院)(博士前期)極限環境材料化学など
 (博士後期)材料機能化プロセス工学特論など
 大学における管理運営業務を行う。

応募資格

[必須条件]

- (1) 博士の学位またはそれと同等の能力あるいは業績を有すること
- (2) 「職務内容」に記載した専門分野に研究業績があり、大学院博士後期課程の研究指導を担当できること
- (3) 新分野の開拓に意欲を持つこと
- (4) 業務遂行に支障のないレベルの日本語及び英語の能力があること

[望ましい条件]

学部学生及び大学院生の指導経験を有すること

採 用 日 2024年 4 月 1 日(以降できるだけ早い日)

応募書類 応募書類は日本語または英語で記述のこと

①履歴書(写真添付)

※以下のサイトより、「教育研究系職用」の応募用履歴書をダウンロードしてお使い下さい。

<https://www.osaka-u.ac.jp/ja/news/employ/links>

②業績リスト([1]査読付き研究論文(学術誌等に掲載), [2]国際会議論文, [3]総説・解説, [4]著書, [5]特許, [6]その他に分類し, [1]~[3]については全著者名・題目・雑誌名・巻号・発行年・ページを明記. [1]については, それぞれに最新の掲載誌のインパクトファクターと Scopus による被引用数を明記).

③代表的な査読付き研究論文 5 編以内の別刷りまたはコピー

④所属学会・国際会議・社会における活動状況

⑤受賞とその内容・授与団体

⑥各種研究助成金の取得状況(代表・分担の別, 年度毎の総額, を明記).

⑦現在までの教育と研究の概要(A4 用紙 2 ページ以内)

⑧着任後の教育に関する抱負と研究に関する構想(A4 用紙 2 ページ以内)

⑨応募者についての参考意見を求めうる方 3 名とその連絡先リスト

※応募書類については返却いたしません。

送付先及び問合せ先

電子メールでの提出が困難な場合、郵送での送付も可能です。

(電子メールの場合)

応募書類(10 MB 以下)を添付し送付するか、ファイルをダウンロードできる URL を電子メールにて下記の E-mail アドレスまでご連絡下さい。

hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

※件名を「材料機能化プロセス工学講座 教授 応募」とすること

※添付ファイルにはセキュリティ対策を十分に施したうえで添付ファイルを送付すること

※応募書類を受け取りましたら、1 週間以内に受取完了連絡の電子メールを送りますので、それが届かない場合は問合せ先までご連絡下さい。

(郵送の場合)

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

国立大学法人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 安田弘行

※応募用紙は、原則として A4 用紙を使用すること。

※封筒の表に、「材料機能化プロセス工学講座 教授 応募」と朱書きし、簡易書留で送付すること。

※郵送の場合でも、応募書類の電子ファイルを保存したメディアを同封すること。

応募書類を送付した旨を下記の E-mail アドレスにご連絡下さい。hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

〈問い合わせ先〉

国立大学法人大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授 安田弘行 ☎ 06-6879-7497

E-mail: hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

応募期限 日本時間にて 2023年 9 月28日(木)必着

詳細

<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/wp-content/uploads/pdf/b5fbc10a8ff1b9b609007baccdd7812e3.pdf> をご覧下さい。

大阪大学は、男女共同参画を推進し、女性教職員のための様々な支援を実施しています。

◇大阪大学大学院工学研究科 教員公募◇

概要 大阪大学大学院工学研究科では、構造機能制御学、特に材料情報学に関する教育研究活動を担当いただける教授を募集します。

職名(募集人数) 教授 1 名

所 属 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)

勤務場所 吹田キャンパス(大阪府吹田市山田丘 2-1)

専門分野 材料情報学

職務内容 教育・研究の内容

材料情報学に立脚し、機械学習やデータマイニングを駆使した革新的新材料の高効率探索、膨大なデータからの構造-機能関係の法則の発見とその活用、プロセスパラメータと構造の関係の広範な探索空間からのハイスループットな最適決定などを実現するための教育と研究を行う。さらに、量子力学・統計力学・熱力学・固体物性論・転位論などの基礎理論、第一原理計算・分子動力学といった計算科学、先端計測・制御・解析技術を用いた実験研究とデータ科学の連携・融合により、新物質探索、革新的材料開発を行うための学術基盤を構築し、材料科学・工学の発展に寄与する教育と研究を行う。

担当科目

(学部)先端・融合材料学、結晶物理学など

(大学院)(博士前期)材料情報学など

(博士後期)構造機能制御学特論など

大学における管理運営業務を行う。

応募資格

[必須条件]

(1) 博士の学位またはそれと同等の能力あるいは業績を有

すること

- (2) 「職務内容」に記載した専門分野に研究業績があり、大学院博士後期課程の研究指導を担当できること
- (3) 新分野の開拓に意欲を持つこと
- (4) 業務遂行に支障のないレベルの日本語及び英語の能力があること

[望ましい条件]

学部学生及び大学院生の指導経験を有すること

採用日 2024年 4 月 1 日(以降できるだけ早い日)

応募書類 応募書類は日本語または英語で記述のこと

①履歴書(写真添付)

※以下のサイトより、「教育研究系職用」の応募用履歴書をダウンロードしてお使い下さい。

<https://www.osaka-u.ac.jp/ja/news/employ/links>

②業績リスト([1]査読付き研究論文(学術誌等に掲載)、[2]国際会議論文、[3]総説・解説、[4]著書、[5]特許、[6]その他に分類し、[1]～[3]については全著者名・題目・雑誌名・巻号・発行年・ページを明記。[1]については、それぞれに最新の掲載誌のインパクトファクターと Scopus による被引用数を明記)。

③代表的な査読付き研究論文 5 編以内の別刷りまたはコピー

④所属学会・国際会議・社会における活動状況

⑤受賞とその内容・授与団体

⑥各種研究助成金の取得状況(代表・分担の別、年度毎の総額、を明記)。

⑦現在までの教育と研究の概要(A4 用紙 2 ページ以内)

⑧着任後の教育に関する抱負と研究に関する構想(A4 用紙 2 ページ以内)

⑨応募者についての参考意見を求めうる方 3 名とその連絡先リスト

※応募書類については返却いたしません。

送付先及び問合せ先

電子メールでの提出が困難な場合、郵送での送付も可能です。

(電子メールの場合)

応募書類(10 MB 以下)を添付し送付するか、ファイルをダウンロードできる URL を電子メールにて下記の E-mail アドレスまでご連絡下さい。

hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

※件名を「構造機能制御学講座 教授 応募」とすること

※添付ファイルにはセキュリティ対策を十分に施したうえで添付ファイルを送付すること

※応募書類を受け取りましたら、1 週間以内に受取完了連絡の電子メールを送りますので、それが届かない場合は問合せ先までご連絡下さい。

(郵送の場合)

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

国立大学法人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 安田弘行

※応募用紙は、原則として A4 用紙を使用すること。

※封筒の表に、「構造機能制御学講座 教授 応募」と朱書きし、簡易書留で送付すること。

※郵送の場合でも、応募書類の電子ファイルを保存したメ

ディアを同封すること。

※応募書類を送付した旨を下記の E-mail アドレスにご連絡下さい。 hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

〈問合わせ先〉

国立大学法人大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授 安田弘行 ☎ 06-6879-7497

E-mail: hyyasuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp

応募期限 日本時間にて 2023年9月28日(木)必着

詳 細

<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/wp-content/uploads/pdf/6b08d2344d466bfa6eadcaf7abbc65f.pdf> をご覧下さい。

大阪大学は、男女共同参画を推進し、女性教職員のための様々な支援を実施しています

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107回 2023年9月29日(金) (2023年度 第2回)
- 第108回 2023年11月24日(金) (2023年度 第3回)
★チタンシンポジウム(第7回)★(合同開催)
- 第109回 2024年1月12日(金) (2023年度 第4回)
★貴金属シンポジウム(第11回)+新年会★(合同開催)
- 第110回 2024年3月1日(金) (2023年度 第5回)
または 2024年3月15日(金)

- 第107回 2023年9月29日(金)14:00～
(An 棟 2F コンベンションホール)
リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会
テーマ：岡部と行った仕事と今の状況

午後2:00～

講演【敬称略】

- 希土類金属の低酸素化に関する研究とその苦勞，そして今に至るまで(仮) (30分)

信越化学工業(株)磁性材料研究所 第二部開発室

室長 廣田晃一

- レアメタル学の勃興下に学び(仮) (30分)
東北大学大学院工学研究科 金属フロンティア工学専攻
先端マテリアル物理化学講座 材料物理化学分野
准教授 竹田 修
- 岡部研時代の研究や苦勞，そして今にいたるまで(仮) (30分)
School of Materials Science and Engineering, Pusan National University Assistant Professor Jungshin Kang
- 白金の新リサイクル技術の研究とその苦勞，そして今にいたるまで(仮) (30分)
関東化学株式会社 大阪支店
試薬事業本部 試薬学術部 学術二課
係長 衛藤(堀家)千代子
- 大学において時代を追う研究ではなく，時代が追いついてくる研究を行うべきである(仮) (45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹

午後6:00～ 研究交流会・意見交換会+岡部徹教授の紫綬褒章受章 祝賀会

- 第108回 2023年11月24日(金) 14:00～ An 棟 2F
コンベンションホール
リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会
テーマ：チタンの未来

午後2:00～

講演【敬称略】

- 私とチタンとの関わり ～新用途に向けたチタン多孔質体を中心に～(仮) (60分)
東邦チタニウム株式会社
取締役、副社長執行役員 結城典夫
- 脱炭素化の動きとチタン製造の実態(仮) (45分)
脱炭素産学協創コンサルティング 代表 高橋和彦
- チタンに関する最近の話題(仮) (45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 大阪チタニウムテクノロジーズ電解槽発展の歴史(仮) (60分)
株式会社大阪チタニウムテクノロジーズ
執行役員 中村宣雄

午後6:00～ 研究交流会・意見交換会

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



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)主催
◇国内製造業の人材確保・育成の課題と取組みに
関するシンポジウム◇

- 主 催 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 東北大学 多元物質科学研究所 非鉄金属製錬環境科学共同研究部門
(住友金属鉱山共同研究ユニット)
京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 非鉄製錬学講座, (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (公社)日本化学会, (一社)新金属協会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会(依頼予定)
- 協 力 東京大学 生産技術研究所 持続型材料エネルギーインテグレーション研究センター, レアメタル研究会
- 開催場所 東京大学 生産技術研究所 An 棟 2F コンベンションホールでのリアル講演会+講演のネット配信 (Zoom Webinar+YouTube)のハイブリッド形式
〒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)
- 参加登録・問い合わせ
東京大学 生産技術研究所 岡部研究室
学術専門職員 宮野智子
参加登録 E-mail: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp
問い合わせ E-mail: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
- 会 費 参加費(シンポジウム・交流会)無料
- 2023年9月8日(金)An 棟 2F コンベンションホールおよび Zoom Webinar+YouTube
- 13:30~受付開始
14:00~講演会
16:20~パネルディスカッション
17:30~技術交流会

(2023.6.27現在)

国内製造業の人材確保・育成の課題と取組み
—非鉄金属製錬業界における産学協業の取組み例紹介—

■講演会プログラム【敬称略】

- 総合司会 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 特任教授 菅野智子
- 14:00-14:05 開会の挨拶
- 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 特任教授 菅野智子
- 司会 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 特任教授 黒川晴正
- 14:05-14:35
- ・非鉄金属製錬業界の人材確保の現状, 企業と大学の連携による人材育成・確保と活性化 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 特任教授 黒川晴正

14:35-15:05

- ・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の活動と JX 金属
JX 金属株式会社

常務執行役員 技術本部副本部長 中村祐一郎

15:05-15:35

- ・三菱マテリアルによる京都大学大学院工学研究科の寄附講座「非鉄製錬学講座」の紹介
三菱マテリアル株式会社

金属事業カンパニー製錬事業部長 松谷輝之

15:35-16:05

- ・住友金属鉱山と東北大学多元物質科学研究所の非鉄金属製錬環境科学共同研究部門の取組み

住友金属鉱山株式会社執行役員 技術本部長 岡本秀征

16:05-16:20 —休憩—

16:20-17:00 パネルディスカッション

ファシリテーター

- 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 特任教授 菅野智子
- パネラー

JX 金属株式会社

常務執行役員 技術本部副本部長 中村祐一郎

- 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 特任教授 岡部 徹
- 三菱マテリアル株式会社 金属事業カンパニー

製錬事業部長 松谷輝之

- 京都大学大学院工学研究科 教授 宇田哲也
- 住友金属鉱山株式会社 執行役員 技術本部長 岡本秀征
- 東北大学 多元物質科学研究所 教授 福山博之

17:00-17:05 総括ならびに講評

JX 金属株式会社 取締役副社長執行役員 菅原静郎

17:05-17:10 写真撮影

17:30-19:30 技術交流会 東京大学 生産技術研究所
An 棟 1 階 レストラン アーベ(予定)

参加登録フォーム・講演会 URL 準備中

申込期限 2023年9月1日(金)15:00

*YouTube 配信については, 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門のホームページに掲載いたします。

*講演会に参加するための Zoom ウェビナーの URL は, 当日限定で非鉄金属資源循環工学寄付研究部門のホームページにもご案内いたします。

<http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/>



日本金属学会誌掲載論文

Vol. 87, No. 8 (2023)

—論文—

時効硬化した Mg-Ca 2 元系合金における高分解能透過電子顕微鏡特性
畝川真梨子 寺田芳弘

電界放出型走査電子顕微鏡および X 線光電子分光法によるりん酸鉄化成処理皮膜の微細構造解析

宮澤悠介 中島圭一 板本航輝 福島颯太 安藤美来
内山 瑛 二宮 翔 西堀麻衣子 福土英一
吉岡信明 田口秀之

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 64, No. 8 (2023)

—Special Issue on Superfunctional Nanomaterials by Severe Plastic Deformation—

Recent Progress on SPD Processes Empowered by Hydrostatic Pressure (Overview)

Mahdi Zohrevand, Ali Reza Rezaei,
Mohammad Reza Sabour, Erfan Taherkhani
and Ghader Faraji

Effects of Severe Plastic Deformation on Advanced Biomaterials for Biomedical Applications: A Brief Overview (Overview)

Ricardo Floriano and Kaveh Edalati

Synchrotron High-Energy X-ray & Neutron Diffraction, and Laser-Scanning Confocal Microscopy: *In-Situ* Characterization Techniques for Bulk Nanocrystalline Metals (Overview)

Megumi Kawasaki, Jae-Kyung Han, Xiaojing Liu,
Suk-Chun Moon and Klaus-Dieter Liss

Surface Severe Plastic Deformation for Improved Mechanical/Corrosion Properties and Further Applications in the Bio-Medical and Hydrogen Sectors (Overview)

Thierry Grosdidier, Marc Novelli and Laurent Weiss

Magnesium Alloys Processed by Severe Plastic Deformation (SPD) for Biomedical Applications: An Overview (Overview)

Krzysztof Bryła and Jelena Horky

An Overview of the Principles of Low-Temperature Superplasticity in Metallic Materials Processed by Severe Plastic Deformation (Overview)

Muhammet Demirtas and Gencaga Purcek

Mechanical Properties of Metallic Materials Processed by Surface Severe Plastic Deformation (Overview)

Zhidan Sun, Jianqiang Zhou and Delphine Retraint

Electrical Conductivity of Ultrafine-Grained Cu and Al Alloys: Attaining the Best Compromise with Mechanical Properties (Overview)

Joaquín E. González-Hernández and Jorge M. Cubero-Sesin

Severe Plastic Deformation of High-Entropy Alloys (Overview)

Werner Skrotzki and Robert Chulist

Effects of High-Pressure Torsion on Mechanical Properties of Biocompatible Ti-6Al-7Nb Alloy (Overview)

Maki Ashida

Microstructure Characterization of Metallic Materials Processed by Equal Channel Angular Pressing (ECAP): An Electron Backscatter Diffraction (EBSD) Analysis (Overview)

Jairo Alberto Muñoz, Tarek Khelfa, Diana Gheorghe,
Oscar Fabian Higuera, Pablo Rodriguez
and José María Cabrera

Cryo-Severe Plastic Deformation, Microstructures and Properties of Metallic Nanomaterials at Low Temperatures (Review)

Elena Tabachnikova, Tetiana Hryhorova, Sergii Shumilin,
Yuriy Semerenko, Yi Huang and Terence G. Langdon

Review - Phase Transitions in Ti Alloys Driven by the High Pressure Torsion (Review)

B. Straumal, A. Gornakova, G. Davdian, A. Mazilkin,
L. Gondek, M. Szczerba and A. Korneva

Potency of Severe Plastic Deformation Processes for Optimizing Combinations of Strength and Electrical Conductivity of Lightweight Al-Based Conductor Alloys (Review)

Maxim Yu. Murashkin,
Nariman A. Enikeev and Xavier Sauvage

Review on Grain Size- and Grain Boundary Phenomenon in Unusual Mechanical Behavior of Ultrafine-Grained Al Alloys (Review)

Nguyen Q. Chinh, Daniel Olasz, Anwar Q. Ahmed,
Elena V. Bobruk and Ruslan Z. Valiev

Some Unresolved Problems of High-Pressure Torsion (Review)

Yan Beygelzimer, Yuri Estrin and Roman Kulagin

Recent *In Situ* Experimental and Theoretical Advances in Severe Plastic Deformations, Strain-Induced Phase Transformations, and Microstructure Evolution under High Pressure (Review)

Valery I. Levitas

Effect of Cold Rolling on Magnesium-Based Metal Hydrides (Review)

Natalia Kudriashova and Jacques Huot

Severe Plastic Deformation by Fast Forging to Easy Produce Hydride from Bulk Mg-Based Alloys (Review)

Daniel Fruchart, Nataliya Skryabina,
Patricia de Rango, Marjan Fouladvind and Valery Aptukov

Microstructural Evolution in the Friction Stir Processed AA2024

Abdollah Lalpour,
Masoud Mosallaei, Ali Ashrafi and AliReza Zargaran

Comparison of Mechanical Properties in Ultrafine Grained Commercial-Purity Aluminum (A1050) Processed by Accumulative Roll Bonding (ARB) and High-Pressure Sliding (HPS)

Yongpeng Tang, Toshiki Fujii, Shoichi Hirosawa, Kenji Matsuda, Daisuke Terada and Zenji Horita

Unique Microstructure Evolution of HPT-Processed ($\alpha + \gamma$) Two-Phase Stainless Steel

Kentaro Nagano, Mie Kawabata-Ota, Daiki Nanya, Hiroshi Fujiwara, Kei Ameyama, Kaveh Edalati and Zenji Horita

Enhancement of Activation and Hydrogen Storage Kinetics of TiFe(Mn) Using High-Pressure Sliding (HPS) Process (*Express Rapid Publication*)

Zenji Horita, Yongpeng Tang, Motoaki Matsuo, Kaveh Edalati, Manabu Yumoto and Yoichi Takizawa

—Regular Article—

Materials Physics

Coercivity Enhancement of Sintered Nd-Fe-B Magnets by Intergranular Adding Micro-Structured Dy-Nd-Pr-Al-Cu Powder

Pham Thi Thanh, Nguyen Huy Ngoc, Kieu Xuan Hau, Nguyen Hai Yen, Truong Viet Anh and Nguyen Huy Dan

Microstructure of Materials

Effects of Local Bonding between Solute Atoms and Vacancy on Formation of Nanoclusters in Al-Mg-Si Alloys

Kensuke Kurihara, Ivan Lobzenko, Tomohito Tsuru and Ai Serizawa

Effect of CaO on Fluorine in Spent Cathode Carbon during Nickel Laterite Reduction

Shunyao Hui, Bo Li, Shiwei Zhou and Yonggang Wei

In Situ Scanning Electron Microscopy Observation of Sintering Process of Aluminum Alloy

Naoki Oya, Tatsuya Sato and Daichi Yamaguchi

Mechanics of Materials

Influence of Dislocation Substructure on Size-Dependent Strength of High-Purity Aluminum Single-Crystal Micropillars

Naoki Takata, Shintaro Uesugi, Tianqi Zhu, Soichiro Takeyasu, Asuka Suzuki and Makoto Kobashi

Effect of Grain Boundary Characters on Precipitation Behavior and Local Deformation Behavior in Al-Mg-Si Alloy

Takuya Hashimoto, Ken-ichi Ikeda and Seiji Miura

Development of Structural Design Method for Twisted Wires Suspension

Haruki Kumamoto, Kenji Saka, Kazunari Yoshida and Hiroaki Kubota

Materials Chemistry

Electrodeposition of Cobalt from LiCl-Based Highly Concentrated Aqueous Solution: Crystal Phase and Hydrogen Content

Ryutaro Miura, Tomoya Hashimoto, Kazuhiro Fukami, Naoki Fukumuro, Shinji Yae and Kuniaki Murase

Materials Processing

Alloy Design and Solidification Microstructure Analysis in Fe-P-C-Ag Immiscible Metallic Glass

Takeshi Nagase, Tomoyuki Terai, Mitsuaki Matsumuro and Mamoru Takemura

Engineering Materials and Their Applications

Large Magnetocaloric Effect in Cu-Doped $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ Compounds

T.A. Ho, T.L. Phan, W.B.K. Putri, S.C. Yu and P.D. Thang

Effects of Initial Texture on the Formation of Deformation Twins in a Cu-Zn System Alloy

Yanshuo Li, Norimitsu Koga, Chihiro Watanabe and Hiromi Miura

—Current Trends in Research—

Best Papers Awarded in 2022 by *Materials Transactions*

Zenji Horita

—Express Rapid Publication—

Enhancement of Magnetostrictive Properties of CoFe_2O_4 by Partial Substitution of Cu for Co

Shizuka Kosugi, Miu Hisamatsu, Yuji Ohishi, Hiroaki Muta, Satoshi Seino, Takashi Nakagawa and Shun Fujieda

Time-Temperature Dependent Short- and Long-Range Structural Transformation in Medium-Entropy Alloys

Yoshihiko Umemoto, Yoichi Ikeda and Masaki Fujita

Non-Stoichiometric *fcc*-Base GdO_x Precipitations in a Mg-Zn-Gd Alloy

Yuto Ito, Daisuke Egusa, Masatake Yamaguchi and Eiji Abe

Announcement

まてりあ第62巻9号 予告

〔金属素描〕 No.30 鉛(Lead)

特集「EV 化社会に向けたパワーエレクトロニクス用軟磁性材料研究」

—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

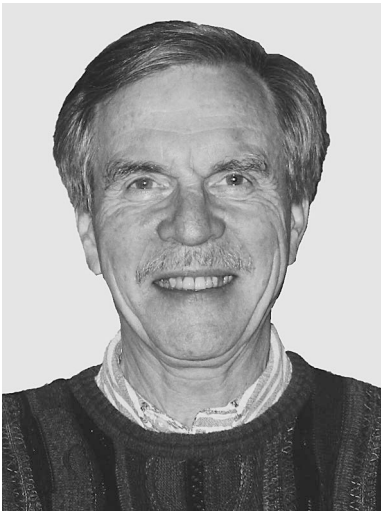
開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2023年 8 月				
1～31	オンライン教育講座「金属製錬の熱力学」(オンデマンド配信)(本号560頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	8.24
7～8	第33回電顕サマースクール(川崎医科大)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp https://microscopy.or.jp/summerschool/	
9～10	表面分析実践講座2023～実践! 最新走査電子顕微鏡実習 実際の作業を通して身につける最新技術～(東京)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp	7.13
9～10,21	サマースクール2023「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大+オンライン開催)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org https://www.jscs.org/	
12～18	9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems(9IDMRCS)(幕張メッセ)	Institute for Solid State Physics, University of Tokyo	TEL 04-7136-3374 info@9idmrscs.jp https://9idmrscs.jp/	
18	2023年度茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部	TEL 03-4335-7618 kt-staff@jsme.or.jp	
21～23	第255回塑性加工技術セミナー「はじめての塑性力学(準備編・基礎編・応用編)」(オンライン開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
23～24	第17回水素若手研究会(早稲田大)	水素若手研究会	hydrogen.wakate@gmail.com https://sites.google.com/view/hydrogen-wakate/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0	
24～25	第53回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)(第2部)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/	7.5
27	微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング2023(北海道科学大学)(5号336頁)	日本金属学会研究会 No. 82	micromech_jim@nims.go.jp http://nims.nims.go.jp/group/sdg/micromech-jim/	5.31
27～31	The International Conference on Sintering 2023(Sintering 2023国際会議)(岐阜)	日本セラミックス協会	info@sintering2021.org https://www.sintering2021.org/	
29	電気化学会関東支部第59回学際領域セミナー「脱リチウムに向けた次世代蓄電池の研究開発～Na, K, Mg, Al電池の実現に向けて～」(オンライン開催)	電気化学会関東支部	TEL 080-7165-6632 kanto@electrochem.jp https://kanto.electrochem.jp/pages/top/index.html	参加 8.9
29～31	日本実験力学会2023年度年次講演会(和歌山)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://jsem.jp/event/Annual23/index.html	
2023年 9 月				
1	第256回塑性加工技術セミナー「有限要素法 入門セミナー」(大阪工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
4～5	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/	
4～6	2023年度 高温材料の変形と破壊研究会(仙台)(7号499頁)	日本金属学会研究会 No.83	saruta.mamiko@nims.go.jp https://forms.gle/nCUuNjIRd5R4dfQb9	7.28
6～8	2023年度工学教育研究講演会(広島大)	日本工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
8	国内製造業の人材確保・育成の課題と取り組みに関するシンポジウム(東大生産技研)(本号568頁)	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)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/	参加 9.1
11	腐食防食部門委員会 第350回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	9.4
12～14	2023年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(松山)	資源・素材学会	TEL 03-3402-0541 info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2023b/top?lang=ja	
13～14	日本中性子科学会第23回年会(北大)	日本中性子科学会	https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/QBMA/JSNS2023/	
13～15	第48回コロージョンセミナー「様々な腐食・劣化に対応できる腐食防食研究者・技術者を狙って」(三条)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/48.html	
13～15	第8回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(兵庫県播磨町/オンライン)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.14
17～22	The 21st international conference on Solid-State Protonic Conductors(SSPC-21)(福岡)	SSPC-21 組織委員会	https://q-pit.kyushu-u.ac.jp/yamazaki/sspc21.html	
19～22	日本金属学会秋期講演大会(とやま自遊館, 富山大学五福キャンパス)(本号551頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn/	事前参加申込 9.1
20～21	第27回動力・エネルギー技術シンポジウム(東京海洋大)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/conference/pes27/index.html	
20～22	INCHEM TOKYO 2023(東京ビッグサイト)	化学工学会他	TEL 03-3434-1988 INCHEM@jma.or.jp	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
22	日本金属学会・日本鉄鋼協会「第12回女性会員のつどい」(富山大)(本号554頁)	日本金属学会・日本鉄鋼協会	emiura@eng.u-hyogo.ac.jp	
25	第112回アノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会—2023年度チュートリアル:アノード酸化の基礎—(工学院大)	表面技術協会・アノード酸化皮膜の機能化部会	ars_office@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	9.11
26~27	SPring-8 シンポジウム2023(阪大)	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2023@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2023/sp8sympo2023/	
25~27	第20回日本熱電学会学術講演会(TSJ2023)(北九州)	日本熱電学会	TEL 06-4256-5530 jimu@thermoelectrics.jp https://www.thermoelectrics.jp/conference.html	
25~30	ITC Fukuoka 2023 (9th International Tribology Conference, Fukuoka 2023)(福岡)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 https://www.itc2023.jp/	
26	日本金属学会秋期講演大会高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)(7号487頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	7.14
28~29	第15回「役に立つ真空技術入門講座」(大阪公大/オンライン)	日本表面真空学会関西支部	TEL 0791-58-0802(3913) syoin-yakunitatsu@jvss-kansai.jp https://www.jvss.jp/	定員 200名
29	第107回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号567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	
2023年10月				
2~3	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/	9.19
3	第352回塑性加工シンポジウム「トライボロジー技術と型表面微細テクスチャリング技術の最新動向」(名工大+web)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
4	第51回日本ガスタービン学会定期講演会(福井)	日本ガスタービン学会	https://www.gtsj.or.jp/	
10~13	第9回材料 WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
11~13	ADMETA Plus 2023 (Advanced Metallization Conference 2023 32nd Asian Session)(東大+オンライン開催)	ADMETA委員会	TEL 03-5821-7120 jimukyoku@admeta.org https://www.admeta.org/	
11~13	第42回電子材料シンポジウム(EMS-42)(榎原)	電子材料シンポジウム運営委員会	ems42-query@ems.jpn.org https://ems.jpn.org/	
13~17	2024年粉末冶金国際会議(略称: WORLD PM 2024)(横浜)	日本粉末冶金工業会、(一社)粉体粉末冶金協会	worldpm2024@jtbcom.co.jp http://www.worldpm2024.com/	
16~18	International Conference on Powder and Powder Metallurgy, 2023, Kyoto(JSPMIC2023)(同志社大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 jspmic2022@jspm.or.jp	
17	第74回白石記念講座 新たなものづくり:3D 積層造形(Additive Manufacturing)の技術開発動向(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
21~22	第59回 X 線分析討論会(東京都市大)	日本分析化学会 X 線分析研究懇談会	TEL 070-7667-9223 xbun59@tcu.ac.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no59.html	
25~27	第36回計算力学講演会(豊橋)	日本機械学会	TEL 03-4335-7610 https://www.jsme.or.jp/conference/cmdconf23/index.html	
25~27	第10回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(東京)	日本学会会議	jcossar2023@ml-jsce.jp https://www.jcossar2023.jp/	
26	第63回「現場の硬さ試験」講習会—基礎とその活用—(東京)	日本材料試験技術協会	TEL 047-431-7451 gyomu2@ystl.jp http://www.mtraj.jp	10.19
26~27	オンライン教育講座「工業材料の応力・歪測定」(オンライン)(本号558頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	10.18
30~11.1	第70回材料と環境討論会(姫路)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	
2023年11月				
1~3	第64回高圧討論会(柏)	日本高圧力学会	TEL 070-5545-3188 tounonkai64@highpressure.jp https://www.highpressure.jp/	参加事前 9.15
1~16, 17	金属学会シンポジウム「カーボンニュートラル・水素社会実現に向けた触媒材料の研究・開発の最新動向オンデマンド配信+(オンライン質疑応答)(本号559頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	10.31
2	第249回西山記念技術講座「環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開」(大阪)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/	
2~4	日本銅学会第63回講演大会(名古屋)	日本銅学会	TEL 03-6803-0587 dou-gakkai@copper-brass.gr.jp https://copper-brass.gr.jp/society/6095	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
7～8	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/	
7～9	第44回日本熱物性シンポジウム(日大)	日本熱物性学会	TEL 03-5452-6218 jstp@iis.u-tokyo.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2023/	
10	日本希土類学会第41回講演会(東大)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/lecture.html	参加 10.20
10～12	軽金属学会第145回秋期大会(東京都立大)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	
10	第25回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム運営委員会	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com https://www.msforum.jp	
12～16	2023 Joint Symposium on Molten Salts(京都)	電気化学会溶融塩委員会	TEL 0774-38-3500 ms12@msc.electrochem.jp	
13～15	第44回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(富山)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp	
13～16	28th IFHTSE Congress in Yokohama(横浜)	第28回熱処理国際会議組織委員会	TEL 03-6661-7167 ifhtse2023office@jsht.or.jp https://jsht.or.jp/ifhtse2023/index.html	
13～17	HYPERFINE2023(奈良)	HYPERFINE 2023実行委員会	https://confit.atlas.jp/guide/event/hfi2023/top?lang=en	
15～17	The 1st international conference on Creation of Materials by Super-Thermal Field 2023(略称: CMSTF2023)(豊中)	超温度場 3DP	TEL 06-6879-7477 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/super3dp/index.php/cmstf2023_jp/	
15～17	第49回固体イオニクス討論会(北大)	日本固体イオニクス学会	TEL 022-217-5341 ssij@ssi-j.org https://www.ssi-j.org/symp/ssij49/	
16～18	第61回高温強度・第21回破壊力学シンポジウム(新潟)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 9.1
17～18	第74回塑性加工連合講演会(富山)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
18～19	2023年度計算力学技術者(CAE技術者)1・2級認定試験	日本機械学会	TEL 03-4335-7616 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/	
19～23	PRICM-11 (The 11 th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing)	KIM	TEL +82-2-573-6207 info@pricm11.org	
20～22	第25回日本感性工学会大会(東京)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske25	
24	第108回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号567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	
26～12.1	International Gas Turbine Congress 2023 Kyoto (IGTC2023 Kyoto)(京都)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.or.jp https://igtc2023.org/	
28～29	溶接構造シンポジウム2023—「カーボンニュートラル社会を担う溶接構造化技術」—(阪大)	溶接学会溶接構造研究委員会	TEL 03-5822-4073 s_kogure@tt.rim.or.jp https://jweld.jp/seminars/wdsympo2023/	
29～12.1	第50回炭素材料学会年会(仙台)	炭素材料学会	FAX 03-5227-8632 http://www.tanso.org/contents/event/conf2023/index.html	
30	第250回西山記念技術講座「環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開」(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/	
2023年12月				
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)(4号264頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	11.27
11～16	The 3rd Materials Research Meeting (MRM2023) The 24th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA2023)(京都)	日本 MRS	TEL 03-6667-0922 info_mrm@jmru.org https://mrm2023.jmru.org/	
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・超高圧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
2024年1月				
12	第109回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号567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	
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/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2024年 3 月				
1 or 15	第110回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号567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)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	
2024年 9 月				
17~20	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	

追 悼 本会名誉員 Professor Terence E Mitchell を偲んで



本会名誉員 Terence E Mitchell 先生は2022年10月22日に逝去されました。謹んで哀悼の意を表します。Mitchell 先生は1937年のお生れで、享年85歳でした。1962年にケンブリッジ大学キャベンデッシュ研究所で物理学の学位を取得後、1963年に米国 Case Western Reserve 大学に移られ1975年に冶金学教室の教授に就任された後、1987年以降は Los Alamos 国立研究所で研究活動を継続されました。先生のキャベンデッシュ研究所時代の指導教官は透過電子顕微鏡(TEM)の権威である Peter Hirsch 先生で、Mitchell 先生のイニシャルも TEM ですが、先生のキャベンデッシュ研究所での研究は TEM とは全く関係はなく、博士号のテーマは「FCC 金属の流動応力と加工硬化」でした。その後、Mitchell 先生は BCC 金属である Nb の塑性変形の研究を開始され、当時漸く関心が高まってきた BCC 金属の塑性変形の研究に先鞭をつけられました。Case Western Reserve 大学に移られてからは、超高圧電子顕微鏡施設の施設長を務められ、BCC、金属間化合物、セラミックス材料の塑性挙動、相変態、電子線照射が析出・規則-不規則化に及ぼす影響、金属の酸化、腐食の研究などその研究対象は極めて多岐に亘っており、これは1987年に Los Alamos に移られた後も継続されました。このように、先生は綿密な機械的性質の測定と最新鋭の電子顕微鏡技術を駆使して、材料科学の新しい分野に果敢に挑戦され、その功績で Microscopy Society of America, Minerals, Metals and Materials Society, American Physics Society, American Ceramic Society から Fellow の称号を授与されました。先生は明るく快活な性格で、多くの方から敬意を表されました。ここに謹んで哀悼の意を表します。

2023, 2024年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

編集委員長	田中 秀明					
編集副委員長	鈴木真由美					
委員	李 誠 鎬	池 尾 直 子	石 川 浩 一	石 川 史 太 郎	井 田 駿 太 郎	岩 岡 秀 明
	植 木 洸 輔	上 田 恭 介	宇 部 卓 司	海 瀬 晃	大 塚 誠	岡 弘
	小 笹 良 輔	川 崎 由 康	川 西 咲 子	河 野 義 樹	木 口 賢 紀	北 原 弘 基
	北 村 一 浩	國 枝 知 徳	小 嶋 隆 幸	小 畠 淳 平	小 山 元 道	齊 藤 雄 太
	佐々木秀顕	佐 藤 豊 人	篠 原 百 合	新 里 恵 多	鈴 木 賢 紀	高 橋 弘 樹
	高 山 直 樹	竹 田 修	田 辺 栄 司	Chang Tso - Fu Mark	塚 田 祐 貴	圓 谷 貴 夫
	寺 西 亮	土 井 康 太 郎	豊 木 研 太 郎	永 井 崇	永 瀬 丈 嗣	袴 田 昌 高
	長谷川 誠	藤 井 進	細 川 明 秀	本 間 智 之	松 浦 昌 志	松 垣 あ い ら
	松 本 洋 明	三 井 好 古	宮 崎 秀 俊	宮 部 さ や か	森 谷 智 一	諸 岡 聡
	山 崎 由 勝	山 田 亮	山 中 謙 太	山 本 知 一	横 井 達 矢	吉 年 規 治
	米 田 鈴 枝					

まてりあ 第62巻 第 8 号 (2023) 発行日 2023年 8 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	発行人	山村英明
	〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32	印刷所	小宮山印刷工業株式会社
	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	発売所	丸善雄松堂株式会社
			〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

高断熱+省エネ

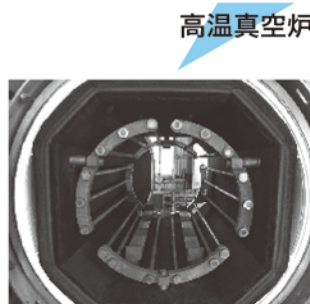
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



シール

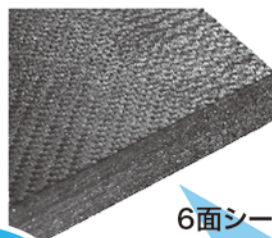
CO₂削減



高温真空炉



カーボンヒーター



6面シート
貼り



カーボンフェルト



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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



JASIS 2023 @ 幕張メッセ

出展します
9/6 水 ▶ 9/8 金

AM10:00 - PM5:00

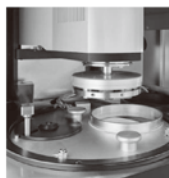
展示ブース：4A-801

大型サンプル用研磨 ポリッシング装置 XL シリーズ

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



Q グラインド XL



Q グラインド XL

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

< 主な特徴 >

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

Q ポル XL



Q ポル XL

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

< 主な特徴 >

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

ボールミルといえば、レッチェ 全 13 種類

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


NEW

微量 / 少量粉碎

レッチェ ミキサーミル MM400

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

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

▶ 粉碎ジャーのサイズ：1.5 ml ~ 50 ml


温度重視

 冷却も加熱もできる
レッチェ ミキサーミル MM500 コントロール

-100℃ ~ 100℃の温度コントロール

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

パワー重視

 ミキサーミル最大級 35Hz の粉碎力
レッチェ ミキサーミル MM500 NANO

長時間粉碎（最長 99 時間）にも対応しメカノケミストリー、メカノケミカルなどの反応系の用途に最適

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（少）重視

 複数サンプル同時粉碎
レッチェ ミキサーミル MM500 VARIO
※ 2 個装付タイプの MM400/200 に似ています

粉碎ジャーを最大 6 個同時にセット。生体試料や細胞破壊にも適しています。

▶ 粉碎ジャーのサイズ：1.5 ml ~ 50 ml

温度重視

 凍結粉砕に特化
レッチェ 凍結粉砕機 クライオミル

液体窒素で常に -196℃の凍結粉砕

▶ 粉碎ジャーのサイズ：5 ml ~ 50 ml

パワー + 温度重視

 メカニカルアロイングやナノレベルの微粉砕に最適
レッチェ 高エネルギーボールミル Emax

水冷式クーリングシステムの採用で、試料の過熱を防ぎながら、強力なエネルギーで連続的に粉砕。

▶ 粉碎ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（中〜多）重視

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

▶ 粉碎ジャーのサイズ：12 ml ~ 500 ml

VERDER
scientific

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

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

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

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