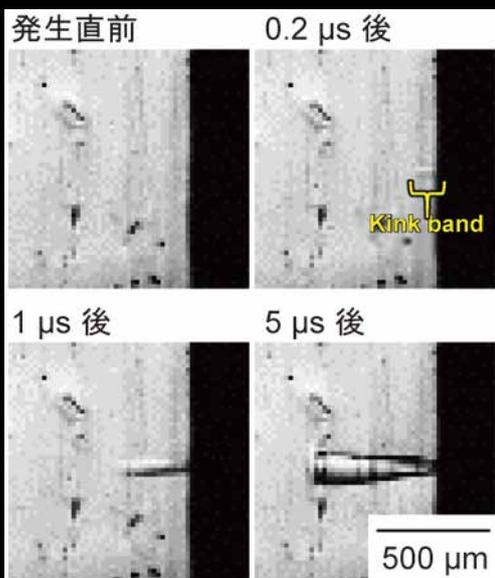


Materia Japan

まてりあ Vol.61

MTERE2 61 (8) 465 ~ 538 (2022)

No.8
2022



巻頭
記事

電気自動車に使われる二次電池

- 金属なんでもランキング! 月の元素組成
- 先端材料開発に向けた, AI 先端計測技術の多角的視点からの考察 (第1回)
- モルフォチョウに学ぶ透過光拡散板・採光窓

材料
教育

連載: 金属鑄造と砂型:

3. 大学における砂型の実習

実学
講座

金属材料実験の手引き 1. 組織観察
1-7 透過型電子顕微鏡を用いた組織観察

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。



www.retsch.jp



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

▶ 粉砕ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

パワー重視



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

長時間粉砕（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

▶ 粉砕ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（少）重視



複数サンプル同時粉砕
レッチェ ミキサーミル MM500 VARIO

* 2 個架けタイプの MM400/200 もございます

粉砕ジャーを最大 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。

▶ 粉砕ジャーのサイズ：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

▶ 粉砕ジャーのサイズ：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。

▶ 粉砕ジャーのサイズ：50 ml ~ 125 ml

処理量（中〜多）重視



ボールミルのクラシック
レッチェ 遊星ボールミル PM 100

* 2 個架け PM200、4 個架け PM400 もございます

公転と自転を組み合わせた遠心力で、従来のボールミルでは実現不可能な強力な粉砕力

▶ 粉砕ジャーのサイズ：12 ml ~ 500 ml

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、大型サンプルで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上型の頑丈な平坦（面出し）研磨専用装置です。

< 主な特徴 >

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



Q ポル XL



Q ポル XL

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

< 主な特徴 >

- Φ 300~350mm 作業ホイールの使用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

8

2022
Vol.61
No.8

まてりあ

巻頭記事	電気自動車に使われる二次電池	465
金属なんでもランキング!	No. 19 月の元素組成	469
解説	先端材料開発に向けた、AI 先端計測技術の多角的視点からの考察(第1回) 岡本和也 杉山昌章 武藤俊介 青柳里果 富谷茂隆	470
	材料系の研究開発に不可欠な先端計測技術。ここに急速に組み込まれつつある人工知能・機械学習について、歴史観から将来の姿までを解説。第1回は多角的測定情報に基づき統合解析する、「マルチモーダル計測」を紹介。	
最近の研究	反射に加え透過でも役立つモルフォチョウの光学特性 齋藤 彰	479
	「生きた宝石」モルフォチョウの光特性を、反射だけでなく透過に転用したら凄かった:「明るく広角で色づかない」新たな光拡散板や採光窓が可能に。照明や省エネに「明るい」話題。	
新進気鋭	AE 法と数値解析による材料の微視変形解析 白岩隆行	488
材料教育	金属鑄造と砂型:3.大学における砂型の実習 浅野和典 永瀬丈嗣 柏井茂雄 兼吉高宏 北村一浩	493
実学講座	金属材料実験の手引き 1.組織観察 1-7 透過型電子顕微鏡を用いた組織観察 山本剛久 小平亜侑	499
科学館めぐり	愛媛大学ミュージアム(松山市) 佐々木秀顕	508
研究所紹介	島根大学次世代たたら協創センター 三浦哲也	510
スポットライト	電池型平面的スズ樹の研究II 石田俐瑠 川井結愛 高村美羽 安部紫乃 曾羽 蓮	511
美しい金属の写真	Mater. Trans., 57(2016), 973-977 ; Figure 4	513
本会記事	会告 514 新入会員 535 掲示板 530 次号予告 535 会誌・欧文誌8号目次 534 行事カレンダー 536	

今月の表紙写真 LPSO 相におけるキンク変形の高速撮影結果。
(白岩隆行 著 490頁図4(e)-(h)より掲載)

表紙デザイン:ビーコン コミュニケーションズ株式会社 グラフィックスタジオ

複写をご希望の方へ 本会は、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。

電気自動車に 使われる二次電池



EVプラットフォームの例（日産リーフ）⁽¹⁾
資料提供：日産自動車（株）

世界の自動車産業では現在、車両の電動化への流れが加速している。

次世代自動車の開発において重要な技術が凝縮された電気自動車（EV）は走行時にCO₂を排出しないことから、2050年ゼロカーボン実現のための切り札として期待されている。

これまで自動車には多くの金属が使われてきたが、

モータ、二次電池、インバータなど、電気自動車特有の部品や機構でも様々な形で金属の活躍の場が広がっている。今回は、普及のカギを握るといわれる二次電池について最近の動向を紹介する。

監修 名古屋工業大学大学院工学研究科 物理工学専攻 宮崎怜雄奈助教

自動車の大変革期の主役

2016年のパリモーターショーにおいて、フォルクスワーゲンは一度の満充電で400～600 km走行できるEVコンセプトカー「I.D.」を発表した。この発表は、電気自動車が新たな主役へと躍り出たとして、世界の注目を集めた⁽²⁾。

同年、ダイムラーが「CASE」という新しいビジョンを発表した⁽³⁾。CASEは4つのキーワードの頭文字をつなげたもので、外部・相互通信を表す「C: Connected」、自動運転の実現を目指す「A: Autonomous (Automated)」、カーシェアリングなどの多様なサービスを提供する「S: Shared & Services」、電動化を表す「E: Electric (Electrification)」の意味である。

今、自動車産業は100年に一度の大変革期といわれるが、その中心にあるのが電動化である。電動化とひと口に言ってもハイブリッド車(HV/HEV)や燃料電池車(FCV/FCEV)など様々な種類があるが、欧米や中国で市場が急拡大しているのが電気自動車(EV/BEV)である。

EVは電気エネルギーのみを動力源として走る自動車で、内燃機関を搭載しないため、走行中にはCO₂や排出ガスを一切出さない。このため、水しか排出しない燃料電池車と合わせて、「ゼロエミッションビークル(ZEV)」とも呼ばれる。世界がカーボンニュートラルに向かう動きの中で、EVへの期待は大きい。

EVが注目される理由としては、自動車のIT化に大きく貢献する点も挙げられる。自動車は移動手段としての価値だけでなく、IT化、ソフトウェア化したツールへと進化し、データサービスの特徴をも求められるようになった。蓄電池を擁するEVには、スマートコミュニティ構想の実現に貢献することも期待されている。

スマートコミュニティとは、電力の需要と

供給の状況をITを用いて双方向で情報共有することにより、賢く使う仕組みのことである。家庭で太陽光発電などから得た電力はこれまで、余剰分があっても貯めておくことができなかったが、EVがあれば蓄電することができる。災害時や非常時に電気が必要になれば、EVから給電すればよい。

電気というコントロールしやすいエネルギーを手に入れ、自動車はその姿を大きく変えようとしている。

EV普及の鍵を握る リチウムイオン電池

自動車メーカーがEVの開発を本格化するなか、注目されているのが車載用二次電池である。電池の性能によって走行可能距離(航続距離)が左右されるほど、鍵となる重要な要素技術となっている。

現在、EVの電源として使用されているのは、正極にコバルト酸リチウム(LiCoO₂)等、負極にカーボン等をそれぞれ電極活物質として使用したリチウムイオン電池である。金属リチウムは元素中で最も低い酸化還元電位を示し、かつ金属元素中で単位電気量当たりの質量が最も小さいことから、負極として優れた性質を持つ元素といえる。この電池は従来のハイブリッドカーに使用されてきたニッケル水素電池等と比べ、体積エネルギー密度(Wh/L)および重量エネルギー密度(Wh/kg)が高いことを特徴とする。また、小型・軽量であることから、車体の軽量化や居住性、収納スペースの向上に貢献する。ちなみに1991年、世界で初めてリチウムイオン電池の市販化に成功したのは日本のソニーであり⁽⁴⁾、これが現在のリチウムイオン電池の基本形となっている。

リチウムイオン電池の充電は、コバルト酸リチウムなど正極に含まれているリチウムイオンが放出され、そのリチウムイオンが電解

質を経由して負極のカーボンに取り込まれることによる。放電では、その逆の反応が起こる。このように正極と負極間をリチウムイオンが行き来することで、電気エネルギーを蓄えたり、放出したりということが行われる。

電池の形状には主に円筒型とラミネート型があり、内部は正極と電解液を含むセパレータ、負極とで構成されている。円筒型電池は、これら内容物を捲回して金属缶容器に密封したものである(図1)。一方、ラミネート型電池は、集電体上に塗布した正極・負極シートでセパレータを挟み、これを複数枚重ねて一体化させた構造になっている(図2)。円筒型電池の生産技術は既に日本で確立され、大量・安価に生産・供給できる態勢も海外への技術移転等により整っている。このため、米国のテスラ社のEVでは円筒型が採用されている。一方、電池の大型化にはラミネート型の方が適しているとされ、最近、中国系メーカーのEVではラミネート型電池が採用されている⁽⁷⁾。

リチウムイオン電池の特徴の一つとして、多様な電極材料の組み合わせが可能であることが挙げられ、特に、性能向上を図るには、適切な正極材料の選択・開発が重要

図1 円筒型リチウムイオン電池の構造⁽⁵⁾

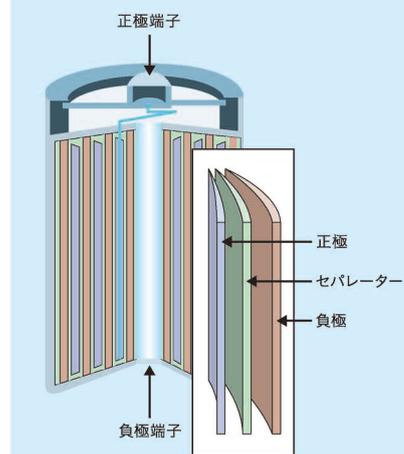


図2 ラミネート型リチウムイオン電池の構造⁽⁶⁾

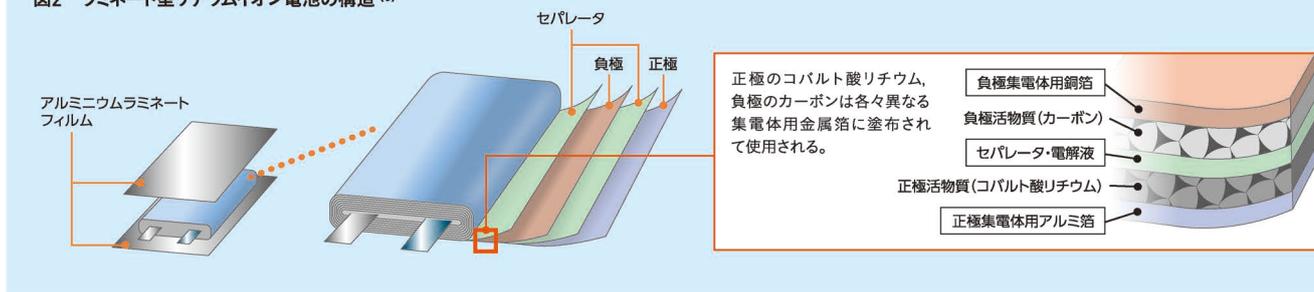




図3 最新型EVの例⁽⁶⁾

自動車メーカー各社はEVの開発を本格化している。例えば、2022年5月発売のトヨタbZ4Xは航続距離559 kmを確保。リチウムイオン電池を搭載し、世界トップレベルの電池容量維持率（10年後90%）を目標に開発された。また、低重心化、高剛性を推進したEV専用プラットフォームを採用している。

資料提供：トヨタ自動車（株）

となる。

正極活物質の構成元素として頻用されているコバルト等は、レアメタルに該当する。近年の需要増加や供給不安、さらに最近の円安により材料価格が高騰していることもあって、レアメタルフリー化が強く求められており、代替正極材料の探索が続けられている。例えば、マンガン酸リチウム（ LiMn_2O_4 ）、リン酸鉄リチウム（ LiFePO_4 ）、ニッケルとマンガンをコバルト酸リチウムにおけるコバルトの一部を置換した三元系正極材（ $\text{Li}(\text{Ni-Co-Mn})\text{O}_2$ ）等が開発されている。

進む次世代電池の研究開発

現在、二次電池のさらなる大容量化、安全性の向上、低コスト化を目指して、盛んに研究開発が進められている。リチウム空気電池やリチウム硫黄電池、ナトリウムイオン電池等々の研究開発が進むなか、世界中の自動車メーカー、電池メーカーが開発に注力しているのが全固体電池である。

全固体電池は電解質が液体ではなく固体のため（図4）、液漏れや温度上昇による発火の恐れが非常に少ないとされ、リチウムイオン電池の課題であった安全面で優位性を持つ。また、セパレータ（絶縁材）

が不要となったり、冷却系部品を軽減できることで、システムの小型化や軽量化、低コスト化を図ることができる。また、電池容量の大きさを示すエネルギー密度が高いことも特長で、EVの航続距離が大幅に伸びるなど、大きなメリットが期待されている。

このように多くのメリットを持つ全固体電池であるが、性能面や価格面で現状では課題も多い。これら課題の解決に向けた方策としては、固体電解質のリチウムイオン伝導性能の向上、電極と電解質界面の構造最適化、量産化技術の確立等が挙げられる。特に、電解質が固体であることから直感的にわかるように、リチウムイオンが高速で行き来できる電解質材料は限ら

次代を担う電気自動車

れている。さらに、求められる高速充電を実現するには、電極と電解質の間、あるいは電解質粒子同士の界面制御が必要となる。仮に電解質内をリチウムイオンが高速で移動できたとしても、電極/電解質界面が緻密でなければリチウムイオンはこの界面を行き来できない。また、たとえ密着していても、界面に不純物があればリチウムイオンの移動は阻害される。したがって、不純物が介在せず且つ緻密な電極/固体電解質界面を構築することが重要となる。例えば、硫化物系のガラス電解質は室温

プレス成型のみで正極材料と緻密な界面を構築できることが知られており、実用化の候補材料の一つとして注目されている(図5)。また、固体電解質には、正極や負極と意図しない副反応が生じないことも要求されている。

日本はこれまで、全固体電池関連の特許取得で世界をリードしてきたが、最近では他国の追い上げも勢いを増している。日本が全固体電池に関して蓄積してきた高い材料技術を活かし、いち早く実用化を達成できるか、大きな期待が集まっている。

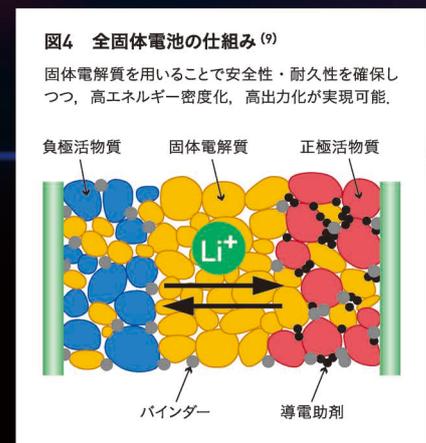
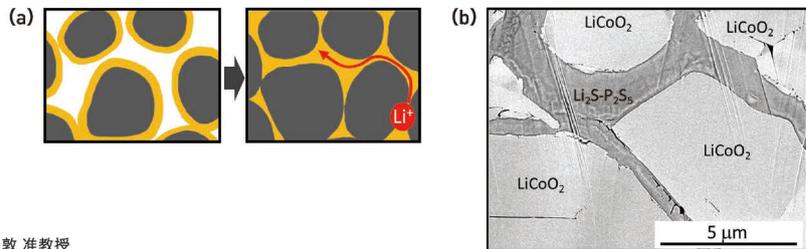


図5 全固体電池における緻密な界面を実現した例⁽¹⁰⁾

硫化物固体電解質で被覆された電極粒子からなる電極複合体 (a) は模式図、灰色の部分は電極活物質粒子、黄色の部分は固体電解質を示す。
(b) は電極複合体の断面SEM像、電極複合体層は非常に緻密であり、空隙がほとんどない。



資料提供：大阪公立大学大学院工学研究科 林 晃敏 教授 作田 敦 准教授

文 献

- (1) 日産自動車ホームページ https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/performance_safety/performance.html (accessed, Jul. 8th, 2022)
- (2) フォルクスワーゲングループジャパンホームページ <https://www.volkswagen.co.jp/ja/magazine/Volkswagen-ID1.html> (accessed, Jun. 23th, 2022)
- (3) 日経ビジネス (2016.10.19) <https://business.nikkei.com/atcl/opinion/15/221102/101800328/> (accessed, Jun. 23th, 2022)
- (4) 岡田重人: 学術の動向, 25 (2020), 8-15.
- (5) NEDOホームページ <https://www.nedo.go.jp/hyoukaku/articles/200905hitachi/index.html> (accessed, Jul. 4th, 2022)
- (6) アルミエージ, 182 (2015), 8-11.
- (7) 金村聖志: 日本エネルギー学会機関誌, 97 (2018), 335-343.
- (8) トヨタ自動車ホームページ <https://global.toyota/jp/newsroom/toyota/37136929.html> (accessed, Jul. 4th, 2022)
- (9) 経済産業省: 製造産業局資料「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装の方向性, (2021), 10.
- (10) A. Sakuda, A. Hayashi and M. Tatsumisago: Scientific Reports, 3 (2013), 2261.

支える高性能電池の開発

FRITSCH “NANO 領域”

遊星型ボールミル “PREMIUM LINE”

モデル P-7

新型

特色

1. 従来弊社 P-7 と比べて 250% の粉碎エネルギー UP。
自転公転比：1：-2. Max 1,100/2200rpm
粉碎エネルギー：Max 94G（現状 P-7：46.08G）
2. 容器は本体内に。
外部に飛び出す危険は無し。
3. 搭載容器も 20、45、80ml の 3 種類。
材質は従来どおり多様。
雰囲気制御容器も各種用意。



従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリッチュ社が開発した遊星型シリーズのバイオニア機種。

世界で初めて容器ひとつで遊星運動に成功したベストセラード機種

少量試料を対象にしたパワフルな機種

全機種共通の特長

- 雰囲気制御容器以外の通常容器、ボールの材質は、ステンレス、クロム、タングステンカーバイド、メノー、アルミナ、ジルコニア、窒化ケイ素、プラスチックポリアミドの 8 種類。
- 乾式、湿式の両粉碎も可能。
- ISO9001、CE、TÜV の国際基準をクリア



P5



P6



P7

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

URL <http://www.fritsch.co.jp>
E-mail info@fritsch.co.jp

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

TEL 045-641-8550 FAX 045-641-8364
TEL 06-6390-0520 FAX 06-6390-0521

金属なんでもランキング! No.19 月の元素組成

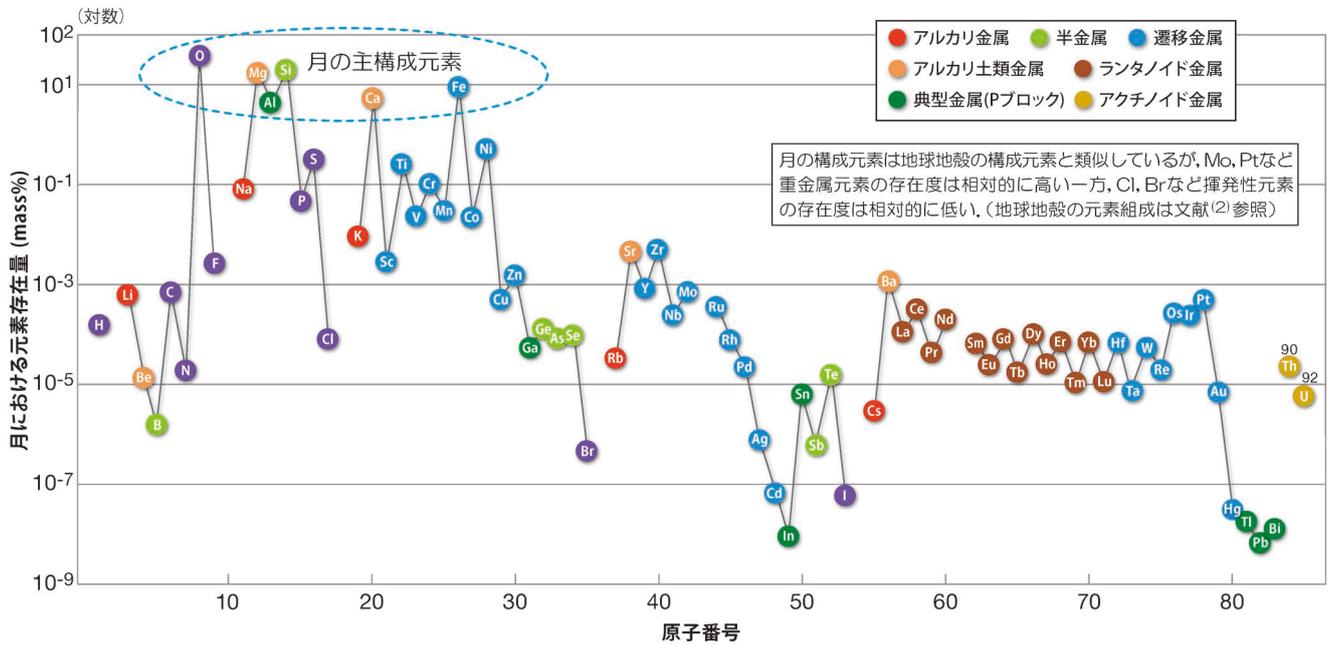


図1 月における各元素の存在量⁽¹⁾。

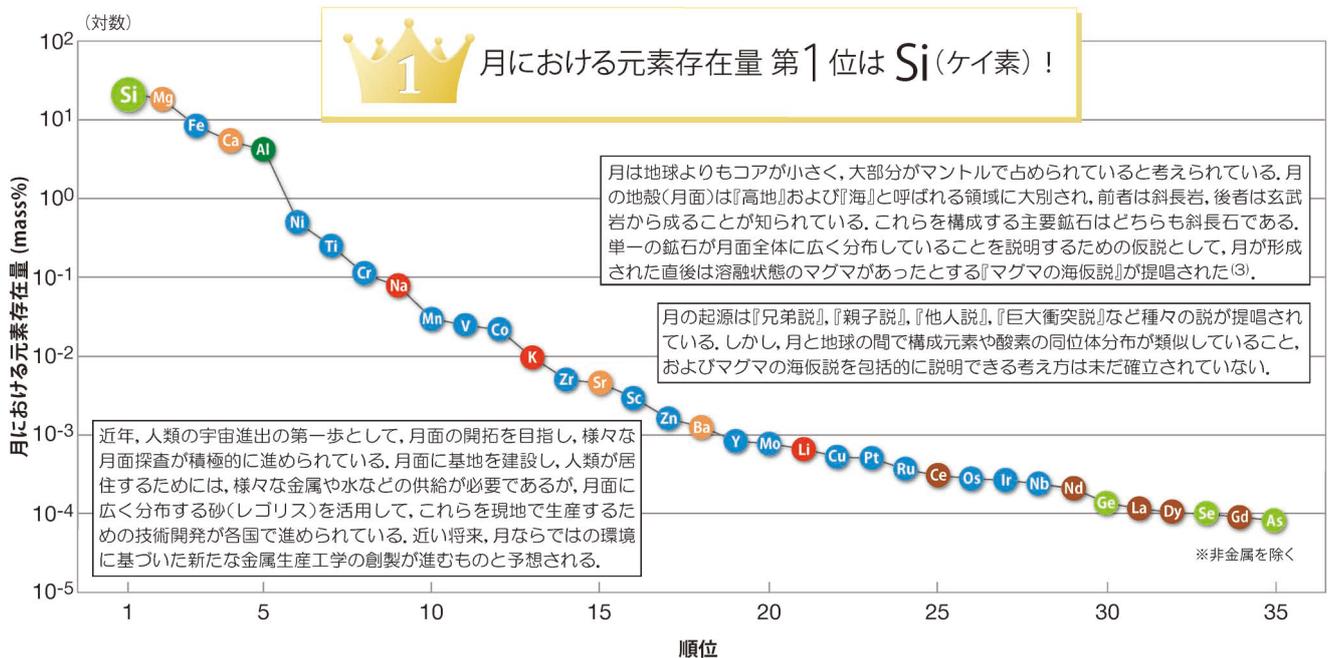
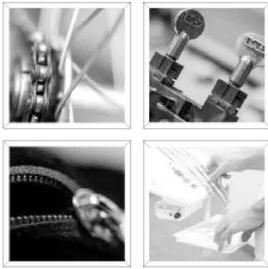


図2 月における金属元素の存在量ランキング(35位まで)。

参考文献：

- (1) S. R. Taylor: "Lunar Science: A Post-Apollo View", Pergamon Press Inc., (1975).
- (2) 日本金属学会：まてりあ, 58(2019), 65.
- (3) 佐伯和人：月はすごい 資源・開発・移住, 中公新書, (2019).

次号! 金属素描 No. 24 レニウム

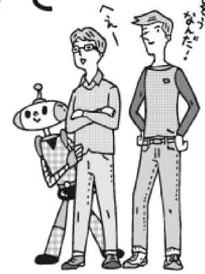


金属は身近なところで活躍しています

どこで?

どんなふう to ?

身の回りにあふれている金属製品。ただ、知っているようで知らない事が多いかも!? 一緒にのぞいてみよう!



金属の活躍現場
身近なところで活躍。え!こんなところにも! [もっと知りたい](#)

金属が製品になるまで!
鉱石 ▶ 板 ▶ 製品 [もっと知りたい](#)

性格いろいろ 金属大解剖
基礎編 金属って? 合金って? [もっと知りたい](#)
応用編 金属を調べてみよう [もっと知りたい](#)

現場の声を徹底取材
金属の仕事をしているのはこんな人 [もっと知りたい](#)

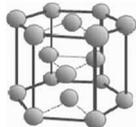
金属いろいろ 金属素描・金属何でもランキング

もっと金属について 詳しく知りたい [関連 HP へ](#)

「金属素描」「金属なんでもランキング！」

2019年1月から「まてりあ」にそれぞれ隔月で掲載している「金属素描」と「金属なんでもランキング！」が https://jim.or.jp/everyone/top_ranking.html より閲覧できます。

金属素描



金属の物理的・化学的特徴、製法、用途等について紹介しています。意外に知らない事実だけでなく、読んで楽しく、かつ、具体的に役立つ情報を纏めています。

- No.1 チタン
- No.2 ジルコニウム
- No.3 ハフニウム
- No.4 コバルト
- No.5 クロム
- No.6 マグネシウム
- No.7 ナトリウム
- No.8 マンガン
- No.9 ガリウム
- No.10 インジウム
- No.11 鉄
- No.12 アルミニウム
- No.13 銅
- No.14 タングステン
- No.15 ネオジム
- No.16 モリブデン
- No.17 白金
- No.18 ニオブ
- No.19 タンタル
- No.20 ルテニウム
- No.21 イリジウム
- No.22 パラジウム
- No.23 ニッケル

金属何なんでもランキング!



物性等、金属にまつわる様々な数値をグラフにして「見える化」しています。金属全体に渡ってデータを整理することによって、全体像がわかるようになっていきます。

- No.1 地殻存在量
- No.2 密度
- No.3 融点・沸点
- No.4 電気伝導度
- No.5 熱伝導度
- No.6 比熱
- No.7 デバイ温度
- No.8 イオン化エネルギー
- No.9 宇宙の元素組成
- No.10 磁化率
- No.11 電気陰性度
- No.12 電子半径
- No.13 超伝導転移温度
- No.14 中性子散乱長
- No.15 融解熱
- No.16 蒸発熱
- No.17 純物質液体の表面張力
- No.18 海水中の元素存在量
- No.19 月の元素組成

~ See you next metal! ~



公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

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

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

最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

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

多様な研究者や技術者と交流ができます

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

研究成果を発表、討議して、研究を深めることができます

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

技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

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

表彰を受けられます

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

[入会するには(入会手続き)]

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい。

<https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php>

先端材料開発に向けた、AI 先端計測技術の

多角的視点からの考察 (第1回)

岡本和也* 杉山昌章** 武藤俊介***
 青柳里果**** 富谷茂隆*****

1. 序 論

社会基盤を支える先端材料研究において、“優れた研究”は“優れた評価・分析装置”に支えられているという一つの事実がある。各装置の高度化が進み原子レベルから量子レベルに迫る先端的な検査・計測・分析技術(以下、「先端計測技術」と略す)に関する国の事業の歴史は古く、2004年のJST(科学技術振興機構)の「先端計測分析技術・機器開発事業」にさかのぼる。ここでは、最先端の研究ニーズに応えるため、将来の創造的・独創的な研究開発に資する先端計測分析技術・機器およびその周辺システムの開発を推進され、多くの研究成果を経て2021年3月に、全課題の研究開発期間が終了しプログラムを終結した⁽¹⁾。

現在、研究開発の進め方そのものに変革を迫る第3次AI(Artificial Intelligence: 人工知能)の大きな流れが押し寄せてきており、この技術に関わる各種データからの情報抽出によるインフォマティクス研究が活況にある。特に、様々な機能を生み出す先端材料の研究開発を効率的に進めようとする領域では、マテリアルズ・インフォマティクスという手法が注目され、材料特性のデータベース化やその統計学的な有効活用が研究されている。また民間企業においても、様々な製造プロセスデータを各社とも独自の方法でデータベース化

し、効率的な製造方法や生産安定化のためのプロセス制御の高度化に関する研究が進められている。同様に、先端計測技術にもこのAI/ML(Machine Learning: 機械学習)技術の視点を取り込まれようとしている。しかもこれはデータ駆動という新しい概念を含んでおり、従来のような単なるハードウェア開発やソフトウェア開発を主軸においた領域だけではなく、この概念を巧みに活用することで分析装置間の複合化が進み、装置開発や原理に関わる研究においても新しい糸口になり得る可能性を秘めている。

先端計測技術について産業という視座でみると、高度な要求仕様に基づき付加価値が高い存在であるにもかかわらず、市場集中性(高位集中寡占の状況)にあり依然として各機器固有の機能強化に注目するReactiveな形態にある。将来に向けては、各機器から出力される時間軸も考慮した各種データ(画像・波形・信号)に内在する従来は捉えきれなかった意味を複合的にAI/ML活用により見出し、さらに様々な計測機器の機能を統合した「自律的に考えるシステム」としてのProactiveな形態が期待される。そのためには実践的な人材育成のあり方についても議論すべき時であろう。

本解説は2回にわけて構成される。多岐に渡る先端計測技術の中で、材料研究によく使われ国内での研究者・技術者が多い電子顕微鏡分野、放射光やその他X線技術分野、二次イオン質量分析技術(SIMS: Secondary Ion Mass Spectro-

* 山口大学大学院; 教授・副研究科長(〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1), 大阪大学エマージングサイエンスデザイン R³ センター; 招聘教授

** 大阪大学大学院; 特任教授

*** 名古屋大学未来材料・システム研究所; 教授

**** 成蹊大学; 教授

***** ソニーグループ株式会社 R&D センター; 主幹研究員

Advanced Measurement and Analysis Systems Using AI/ML for Next Generation Materials Development —Multifaceted View 1—; Kazuya Okamoto*, Masaaki Sugiyama**, Shunsuke Muto***, Satoka Aoyagi****, Shigetaka Tomiya***** (*Graduate School of Innovation and Technology Management, Yamaguchi University, Ube. **Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. ***Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University, Nagoya. ****Faculty of Science and Technology, Seikei University, Tokyo. *****R&D Center, Sony Group Corporation, Atsugi)

Keywords: *measurement, metrology, electron microscopy, AI(artificial intelligence), machine learning, multimodal, operando, information entropy, innovation, intellectual property*

2022年1月18日受理[doi:10.2320/materia.61.470]

metry)に代表される質量分析分野における技術を中心に取り上げる。また、AI/ML活用の様々な検査・計測・分析技術を「AI先端計測技術」として提起し、考えておくべき論点について自然科学および社会科学の双方の広い視野まで拡張し考察する。

2. AI先端計測の意義と最新動向

2.1 AIの基礎となる機械学習と歴史観

AIの基礎となるML(機械学習)とは取得データから現象の傾向をとらえる手法の一つであり、入力データから予測出力を得るモデル(関数)の学習と捉えることができる。先端計測におけるデータ解析のフローを図1に示す。膨大な情報を有する実世界データ X を装置で計測(実験)すると、観測モデル $f(X)$ に従って変換された一部の情報がサンプリングされ、さらに計測器およびその制御系の物理的な状態の揺らぎに伴う雑音 N が付加されてデータ Y が取得される。データ解析とはデータ Y から逆問題を解きモデル $g(Y)$ を生成し、実世界における知りたい情報となる推定値 Z を得ることを目的とする。 Z を高精度に推定するためには、可能な限り雑音 N に惑わされることなく計測による実世界からのモデル $f(X)$ を人または機械が事前に理解しておくこと、もしくはデータから推察することが必要とされる。日本は質の良い膨大なデータを蓄積しており、かつその価値を理解している研究者・技術者も多いことから質の良いモデルを構築する機会が多く、AI先端計測という分野(産業および技術)は将来に向けての格好の成長領域となりえる。加えて、大量の高次元計測データに普遍的に内在するスパース(疎)性を利用し、計算量が次元数に対し指数関数的に増大する状況においても、実際の時間でデータから最大限の情報を効率よく抽出できるスパースモデリング(SM: Sparse Modeling)⁽²⁾手法の研究も進んでいる。これはAI先端計測技術にとって重要で検討すべき事案となっている。

次に、AIについて簡単に歴史的な俯瞰をする。2022年現在、第3次AIブームの中心となっているのはニューラルネットワーク(Neural Network: NN)である。NNは生物の脳の機能をモデル化したものであり、1943年にマカロックと

ピッツによって提案された神経細胞(ニューロン)モデルから派生し、現在の深層学習(DL: Deep Learning)に至っており以下のように纏められる。

(1) 第1次(1940年代から1960年代: 推論・探索の時代): 神経細胞モデルの提案後、識別問題に適用可能なパーセプトロンが開発され注目を集めるものの、線形分離不可能な問題を解けない欠点が指摘された。

(2) 第2次(1980年代: 知識表現・エキスパートシステムの時代): 誤差逆伝播法⁽³⁾による学習アルゴリズムが開発され、NNにより任意の関数が近似可能となった。しかしながら、当時はコンピュータ性能が劣り取得できるデータ数も限られ、さらには勾配消失問題といったNN自体の問題もあった。

(3) 第3次(2000年代後半から現在: 知識学習・表現学習の時代): 2006年に上記、勾配消失問題を解決するNNの事前学習⁽⁴⁾が提案され、深い層を持つNN構築が可能になり、その後、画像認識に対して高い性能を有する畳み込みNN(Convolutional NN: CNN)が2012年の世界的な画像認識コンテストImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge(ILSVRC)において優れた性能を示したことで、深層学習(DL)がブームとなった。

現在、CNNは医用画像診断等で実際に適用されている。このAIの具現化の背景には、微細化や3次元高密度実装技術による革新的な半導体デバイスの進化⁽⁵⁾、GPU(Graphic Processing Unit)の拡張適用性(nvidia A100⁽⁶⁾など)や様々なアルゴリズム、ソフトウェア開発の劇的な進化などがある。また、学習モデルの構築においても、従来の専門家知識に基づいて設計する必要があった特徴量抽出を機械が自動で行えるようになったため、幅広い分野への適用が可能になったといえる。

2.2 AI活用による先端計測技術

コンピュータの指数関数的な進化と個人レベルに浸透したネットワーク環境は、先述の第3次AI技術と融和し、産業構造に大きな変革を起こしている。事実、自動運転化技術やロボット化技術、画像および音声認識システムは人類の生活を変え、さらには産業界におけるモノづくりを変革させるだけでなく、デジタル技術を活用し顧客に付加価値を提供できる組織や文化を創り続けるDX(Digital Transformation)という概念生成に至っている。この大きな流れはBig Dataが得られる領域を中心に展開されているが、データ自身を生み出しかつ日本が高い競争力を誇る先端計測技術分野に対しては、AI技術との融合による研究開発そして価値創造に関する考察などは未だ萌芽期にあると考えられる。

先端計測技術を構成する代表的な3要素として、検査・計測・分析技術を考えてみる。検査技術では製造工程の欠陥検査や製品の品質検査、計測技術では環境計測や3次元形態計測、分析技術では物理分析装置や化学分析装置がある。現在、それぞれの技術から供給される膨大なデータに対し最適なAI技術の開発が求められ、さらにはAI技術が自然に

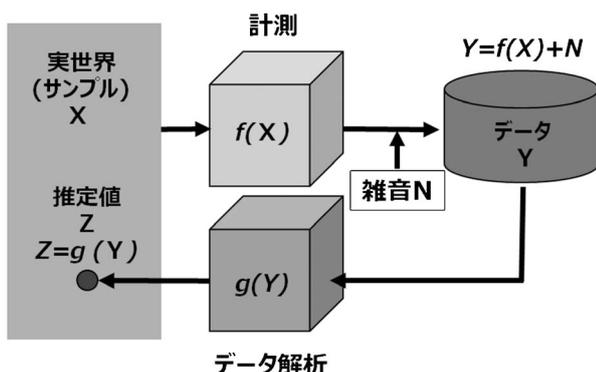


図1 先端計測におけるデータ解析のフロー。

先端計測装置の中に組み込まれた形で運用するための開発も重要となっている。その多くは解像度や検出感度の向上、微小試料など極限条件での計測・情報処理を主たる目的とし、複雑な計測や計算の原理を必要とする傾向が強い。そのため出力される測定情報は種々のノイズを含み、計測対象に関する不完全な情報しか含まないことも多い。さらに、機械学習は人間の学習とは根本的に異なるものであり、機械学習の場合にはコンピュータがどのように学習したのかが未知な部分が現状では含まれる。この場合、「見ると測るは科学の原点」などと言われていた従来の先端計測装置が持っている「正しさ」を、未知の部分を含む機械学習と組み合わせると良いのか、という根源的な問題が浮上してくる。その結果、現在の「AI 先端計測技術」の主たる技術論点は、得られた画像データ、スペクトルデータ、信号データなどをどのように機械学習させていくか、という事案が多く、先端計測装置自体が出してくるデータ部分までは、従来通りの原理原則を重視した正確なデータに基づくという立場を残している。このような前提をおくと、全く新しいアプローチが今後可能になりえる。すなわち、これらのデータを取り扱う時にその画像データが例えば、透過電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)、走査電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)、3次元アトムプローブ(3DAP: 3 Dimensional Atom Probe)のいずれかで得られた画像であっても、データのデジタル化処理(例えば前処理や特徴量抽出など)を施すことで異なる装置間であっても各種データのデジタル融合が容易となり、計測目的(対象)に対し単体装置では困難な新たな特性指標を得ることが可能となりえる。もちろん、分光学という視点でみれば、TEMで得られるEELS(Electron Energy-Loss Spectroscopy)データと放射光で得られるXAFS(X-ray Absorption Fine Structure)データとは原理的にはほぼ等価な方法であり、このような観点でも新しいデータの融合が可能であり、これらを総称してデータ駆動と捉えて

いる。

一般にAI先端計測というと、アルゴリズムに判断を委ねるような活用法が想定されるであろう。しかし実際に求められる重要な概念は、多角的な測定情報に対し異なる技術の組み合わせ・複合化によるデータの記述座標軸を増加、そして変数相互の相関関係を巧みに取り入れ、高効率かつ高精度に物理量を統合解析する「マルチモーダル」にあると言える。AI技術は不完全情報から高い精度や信頼性を有する推定を行うことに長けている。すなわち、従来は個別装置の極限性能への向上が競争軸であったが、自動化や学習機能、さらには従来見えなかった領域のデータ抽出など、新しいユーザビリティ(ユーザの利便性)を主体としたソリューションとして新しい価値創造の世界で競争優位を發揮する時代が到来している。これはまさに、先端計測分野でのパラダイムシフトのトリガーを与えるものといえる。このためには当該産業の本質を見出す必要性もあり、AI先端計測の本質に関わる社会科学的研究も重要な因子となる。

この先端計測技術に関わる産業はどのようなものか。序論で述べたように計測機器分野の市場集中度は高く(高位集中寡占の状況にある)、多くの場合、産業分野ごとにその企業のセグメンテーションが明確であり新規参入は容易ではない。すなわち、現在のDX(およびIoT)社会のコアとなるのが先端計測技術であるにも関わらず、異なる視野での新しい産業分野としての創出は難しい。もちろん、GAFAM(Big Tech)のように独占企業や寡占企業こそがイノベーションを起こす場合もあるが、先端計測技術分野ではそのようなことは難しいであろう。

これまでの議論をもとにAI先端計測技術の将来像を描くと、それは「未来型運用システム」の創成とその具体化にある。その方向性を3つの視点から解いたものを図2に示す。第1に、先端計測技術の重要性の拡大である。例えば、半導体製造プロセスにおける計測は過去には付加価値の

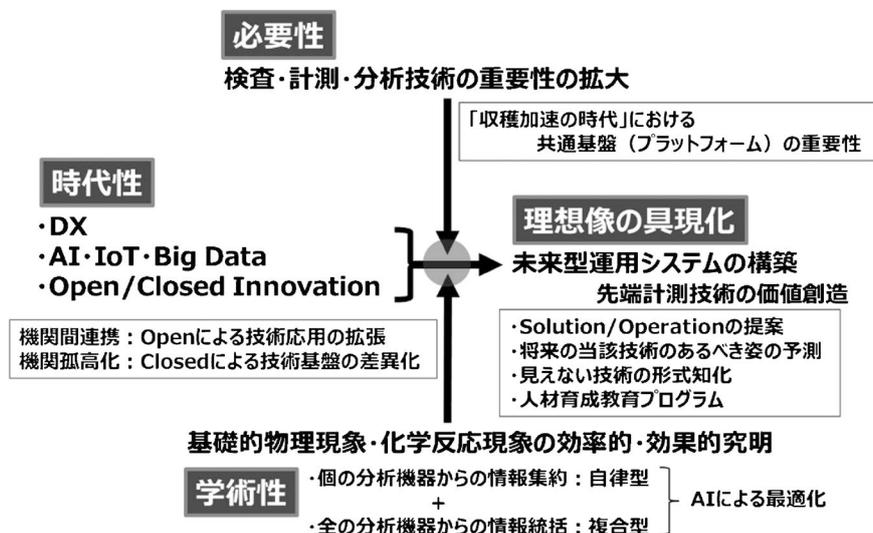


図2 AI 先端計測技術の将来像「未来型運用システム」。

ない工程とされていたが、現在では例えば Virtual Metrology という概念のもと製造プロセスに積極的に先端計測技術を適用し、高度な半導体 Chip コスト低減に至っている。とはいえ、これは半導体リソグラフィ分野であれば歴史的にはパターン計測からレチクルパターンを変更する光効果近接補正(OPC: Optical Proximity Correction)がその創発ともいえ、一つの技術的な進歩から次の進歩までの期間が指数関数的に短縮され、イノベーションが加速する収穫加速の時代⁽⁷⁾における共通基盤(プラットフォーム)の重要性という視点からも「必要性」が認知されていることである。第2が様々な分野へのAI活用という「時代性」である。DXは単なる対象やデータのデジタル化だけでなく産業や企業の事業構造をも変革する概念であり、先端計測はその基盤となり得る。イノベーションの視点からは様々なステークホルダーと連携して市場を創出する「Open Innovation」と個々の機関が独立して先行技術を創出する「Closed Innovation」の2つのイノベーションの両立による新しい世界観が重要であり、特にデータを生み出す先端計測技術においてはこの議論が重要である。なお、このイノベーションマネジメントのあり方もガイダンスとしてISO標準化されている⁽⁸⁾。第3が基礎現象の究明の「学術性」による差異化である。ここでの主題は、基礎的物理現象・化学反応現象の効率的・効果的の究明であり、「自律型」と「複合型」の2つの概念を考える。AI活用の視点から整理すると、自律型(Independent)とは「各機器にAIを活用し性能・ユーザビリティを向上させる」こと、複合型(Comprehensive)とは「単体もしくは繋がる複数の機器情報にAIを活用し新しい領域を発見すること」と本稿では定義する。以上、3つの方向性の融合により、未来型運用システムのあり方が明確にできる。それは、装置の枠を超えた課題解決と実行(Solution/Operation)の提案、将来の当該技術のあるべき姿の予測、見えない技術(暗黙知など)の見える化(形式知・デジタル化)ということにつながり、今後の展開に期待がかかる。

2.3 AI 先端計測の価値の議論

AI 先端計測において大切なことは、正しい答え・解釈、真実の提示である。例えば、電子顕微鏡技術などのデータ解析には多くの機械学習が適用され、その技術検討が行われている。しかし、検出原理である物理、また観察対象の中で起きている物理現象を正しく理解していない場合には誤った解釈や回答が生じている。この領域において、ものごとの真理を追究する学問に強い日本は最適なプレイヤーともいえ、AIによる自律的な新たな物理現象・科学的原理の発見と学理構築もあり得るだろう。他方、自動化に向かう過程で、技術的には画像や分析対象の三次元計測(3D)、時間軸でのダイナミック計測(4D)、さらには多数軸での計測が必要になる。それは空間的データと時間的データが揃うことで、我々が住んでいるリアルな3D/4Dの世界の現象と、分析・計測している対象とを完全に結びつけることができるからである。

このような背景のもと、日本学術振興会研究開発専門委員

会(2019年~2021年)⁽⁹⁾において、マルチモーダル計測(3.1節)、オペランド計測(3.2節)の視点が生み出された。そしてその先に、情報科学やシミュレーション技術と融合することにより、バーチャルな世界での分析・計測技術の必要性さえも議論として起きてくるかもしれない。もう一つの視点がデータの取扱いである。現在、インターネット、計算機、計測技術の急速な進化により膨大なデータ蓄積があること、そして、AI、データ科学の進化によりこれらのデータの潜在的価値抽出の必要性が増している。統計力学と情報科学に基づく量子情報科学分野はシグナル検出が関係する計測分野にとって大きな影響を及ぼす可能性を含み、その一つとして、本稿では情報エントロピー計測(3.3節)としての考察を試みた。

人材開発や科学技術の世界における日本の予算配分の様子をみると、先端計測技術は常に縁の下の力持ち的な立場であり、またその役割で良しとする文化がある。事実、JAIMA(日本分析機器工業会、2018)によると、国内製造業生産額124.3兆円に対してその産業を支える分析機器市場は2,162億円程度(~0.2%)に過ぎない。それは例えば、半導体製造工程においては、設計(論理からレイアウトまでの一連)が確実になされ、装置が安定に稼働し(工程能力指数 $C_p \geq 1.67$)、製造プロセスが安定に構築されていれば検査計測分析といった本質的に付加価値のつかないとされる工程はそもそも不要である、との風土が根付いていることにも起因しているであろう(注: デバイスノード100 nm以降は状況が変化し、当該工程を積極的に取り入れた全体最適の視点から、半導体チップの製造歩留まりを上げるのが主流である。現在はDRAM ハーフピッチ17 nm(ノードレンジラベル3 nm)まで到達し、計測の重要性は自明である)。

しかしながらデータ駆動型社会において世界的に状況が変化している中、先端計測技術の開発データの取り扱い(所有権など)に関わるデータ契約(データの利用、加工、譲渡その他取扱いに関する契約)も重要な要素と認知され、日本でもそのガイドラインが構築され始めた⁽¹⁰⁾。さらにはそこからどのように融合し展開をすれば良いのか、という議論が欧米では盛んに行われている。そのうえで、知的財産権にも配慮しデータのオープン化を唱えている。データベース拠点の構築はそのような議論の上で成り立つものであり、先端計測という日本人の器用さとデータの信頼性を重視する文化に適した技術領域においては、日本は今後、世界のオープン化に対応し備えなければ孤立化していく可能性がある。このことから、AI 先端計測において重要となる技術として、(1)機能性暗号とプライバシー保護型機械学習のあり方、(2)プラットフォームにおけるブロックチェーンのあり方が重要となる。(1)として、機能性暗号技術が注目される。これはDX時代環境の制約・要件と新たに生ずるニーズ(データ保護と利活用の両立など)に応える機能を備えた暗号(プロキシ暗号、秘密計算など)である。これらは日本でも例えば、CRYPTEC(Cryptography Research and Evaluation Committees)主体で進められてきており、暗号化したままのBig Data分類や

プライバシー保護 DL といったシステムへ展開している (NICT・情報通信研究機構)⁽¹¹⁾。

次に、後者(2)ブロックチェーン (BC: Blockchain) は仮想通貨の基盤技術として広く知られているが、その優れた耐改ざん性、透明性等の特性を背景として広範なビジネス分野への応用が進められている。BC がビジネス変革の原動力とされるのは、従来の「中央集権的データベース」では実現困難であった様々な機関間でのデータ共有が可能となる非中央集権的なデータ構造にある。この BC を構成する主要な要素技術として、分散型台帳技術、P2P (Peer to Peer) ネットワーク、暗号化技術、合意形成アルゴリズム、スマートコントラクトの 5 つがあり、これらの技術が統合的に利用されることによって、非中央集権性、耐改ざん性、ゼロ・ダウンタイムといったブロックチェーンの特性が実現されている。そのデータ構造は極めて独特なものであり、過去のデータに新たなデータがチェーン状に連なることによって、完全なデータトレーサビリティと高度なセキュリティが実現される。事実、国内製薬業界では「Healthcare Blockchain Collaboration」が組織された。これにより、解決すべき課題である「疾患レジストリー」を非中央集権的に一元集約することによって、統合的で組織横断的な利活用を可能とされ、医薬品開発期間の短縮により医療の質向上に繋がることが期待される。この 2 つの観点の周辺技術は、AI 先端計測においても Data の取扱いの点で今後、学際的に重要となり得る。

3. AI 先端計測技術の具体例

3.1 マルチモーダル計測

3.1.1 マルチモーダル計測の意義と潜む課題

一般に科学計測は影絵に例えることができる。測定によって得られるデータとは計測対象物の全てではなく計測装置を通して特定の性質または応答を得たにすぎず、通常得られた情報に基づきその対象を特徴づける物理量を算出する。影絵も同様に 3 次元立体物にある方向から光を当てて特定の方向へ投影された形により、対象物が何であるかを観測者 (観客) は想定する。しかし、狐や犬に見える形は単なる手指の組み合わせを特定の方向から見た輪郭のみで模倣したものである。これはもちろん現代の科学計測に対しては単純すぎるものの、複数の違った角度 (多角的) から見ることで対象物を正しく理解する意義のメタファーとしては分かりやすい。これを AI 先端計測技術分野で考えてみる。一般に想定されがちなアルゴリズムだけに判断を委ねるような応用法でなく、先述の通り多角的な測定情報、例えば複数の異なる分光データの同時収集、時間軸追加 (次回 3.2 節のオペランド計測など)、データの S/N 比またはノイズモデルがそれぞれ異なる複数のテクニックの組み合わせなどを考える。これにより、これまで個別に測定・解析・解釈されていたデータを記述する座標軸を増やし、変数相互の相関関係をうまく取り入れ、効率よくかつより高精度に物理量を統合解析することが可能となる。よく言われている「マルチモーダル」というキーワ

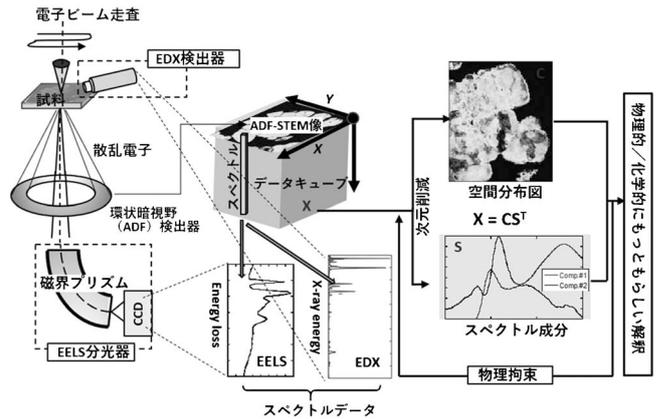


図 3 走査透過型電子顕微鏡 (STEM) によるスペクトラムイメージデータ取得とそのデータ解析のための次元削減法の模式図。

ードに、これらの視点が含まれることの重要性を提唱する。

まずデータ解析によく使われる代表的な広義の ML (機械学習) テクニックを例にとり、計測という観点から十分に考えておかなければいけない課題について、以下に具体的な Case として記述する。

【Case 1】 ブラインド信号源分離、スペクトル分解などの次元削減 (DR: Dimension Reduction) 法: 図 3 に走査透過電子顕微鏡 (STEM: Scanning Transmission Electron Microscope) とそれに付随した代表的な分光法であるエネルギー分散 X 線分光 (EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) と電子エネルギー損失分光 (EELS) におけるスペクトラムイメージデータから DR 法によって内在するスペクトル成分を分離し、それぞれの空間分布を可視化する「化学イメージング」の模式図を示す⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾。図に示すように、データキューブを展開した実験データ行列を X とし、 X を成分スペクトル行列 S とそれぞれの成分の空間濃度分布を表す行列 C の積に分解する⁽¹²⁾。ここで注意が必要な問題となる点について記述する。①アルゴリズムが排出した解答の正否を誰がどう保証するか: 分離された未知の相に対するスペクトル成分が解釈可能かどうかを判断することは一般に簡単ではない。②現実のデータに含まれるノイズをどのようにモデリングするか: 例えば、データのカウンタ数に依存しガウスノイズを仮定するか、ポアソンノイズの仮定によって結果が大きく変わりうる⁽¹⁵⁾。さらに非統計ノイズが含まれる場合はより複雑になる。③スパース (疎) でないデータにおけるクロストーク問題が発生する。すなわち、位置空間およびスペクトル空間でオーバーラップの大きいデータでは、成分間クロストークが生じることが多い。一例を図 4 に示す⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾。半導体メモリ断面の暗視野 STEM 像である (a) の枠線部から取得したスペクトラムイメージデータを DR 法によって三成分分解した際の各成分の空間分布マップを (c) に示している。(d) の各スペクトル成分にみるように、↓の部分でスペクトル成分間のクロストークが生じている。これに対応して (c) の空間分布は (a) の相分布を正しく反映していない⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。この

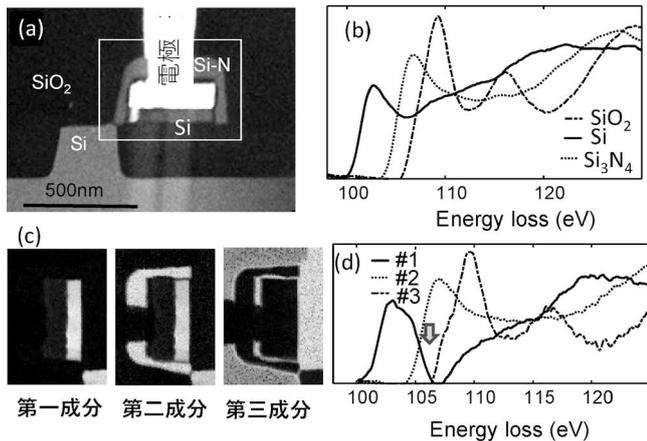


図4 (a) 半導体メモリ断面の暗視野STEM像. (b) (a) の各シリコン化合物部のSi-L_{2,3}参照スペクトル. (c) (a) の枠線部から取得したスペクトラムイメージデータを次元削減法によって三成分分解した際の各成分空間分布マップ. (d) 各成分のスペクトル成分.

ように、行列分解法は成分スペクトル行列と重み行列が単純な行列積としてカップルしているため、一方のエラーは他方に伝搬する。事実このような誤った適用例が散見される。

【Case 2】 深層学習(DL)：①一般にニューラルネットワーク(NN)を使った解析には、まず訓練データとして大量(通常数十万件以上)の正解/不正解のタグのついた教師データを集める必要がある。この事実が正答率に深刻な制限を与える。また、実際の未知試料の結果において正答率がどの程度かは実は不明である。最近、Noise2Noise という「対象に対する正しい答えが不明な場合でも、同一対象に関する多数回の独立なノイズ付き計測結果が得られればDLによってノイズ低減器を得ることができる方法」が提案された⁽¹⁶⁾。しかし、実際の非統計ノイズが含まれる場合の有効性については不明である。②畳み込みNN(CNN)に代表される画像認識では、アルゴリズムが一体何をもって画像認識したか一般に知ることはできない。コンピュータは本当に画像データの本質を切り分けて判断したのか、あるいはまったく物理情報と関係のない些末な特徴を基に判断を下したかは全く闇の中である。もちろん、この説明可能AI(XAI: eXplainable Artificial Intelligence)実現への努力は続けられているが⁽¹⁷⁾、最終解答の選択肢に限られるTEM像分野におけるこのブラックボックスは後に大きな問題となりかねないと考えられる。

【Case 3】 ベイズ予測の適用：事前確率または事後確率モデルをどう取るべきかが論点となる。自明な場合を除き、多くの場合対象をどのような目で捉えるかという本質に関わり、予測結果はモデル依存であることは意外と見逃されている。モデルの選び方によっては、本質的に予測計算が収束しない場合もある。

【Case 4】 スパースモデリング(SM)および圧縮センシング(CS: Compressed Sensing)：次のような論点がある。実際のデータに特有のスパースな解を保証する適切なデータの変換をどのように選ぶか、選ばれたデータ変換空間において果

たして未知解は同様にスパース性を満たしているか。換言すると、圧縮処理後の逆変換によって元のデータの情報が保存されているか。さらには、正解が既知であるモデルデータで確認された場合においても、未知の構造が含まれた現実のデータではどのようにそれを保証するのが重要となる。

なお、昨今の急速なAIの活用事情を眺めてみると、上記Case 1から4のデータ処理法に限らず、AIが質の悪いデータをあたかも魔法のように甦らせるかもしれないという大きな誤解を生んでいる場面がある。これは計測技術においてはさらに深刻な問題である。いかなる種類のデータであってもそこにある種の変換を施すことによって元のデータから不可逆的に情報が失われていくことは、数学的に証明されている⁽¹⁸⁾。元々そこに含まれていない、あるいは失われた情報はいかなる手段をもって復活させることは不可能である。また、一つのスペクトルデータ(あるいは一枚の画像)から「ノイズのみ」を正しく切り分けて除去することは殆ど見込みがない。なぜなら統計ノイズは確率的に生成されるものであり、データ全体としての分布確率のみが与えられているため、ある特定の画素を取り出してその信号強度のうちノイズが占める割合を先験的に知ることはできない。実はこの問題は誤差論における精度と確度の関係に似ていて、このような課題を議論できる場が必要である。

3.1.2 広義のマルチモーダル計測の提案

計測とは、(おそらく多変数関数である)目的の物性の計測機器のもつ特定の物理変数への投影とみなすことができる。したがって、目的の物理量を陰に含んだ別の計測を組み合わせる(変数座標軸を増やす)ことはその物性本来の姿を浮かび上がらせることに他ならない。これらを踏まえたうえで、「計測現場から機械学習をどのように取り入れるか」という問いに対し「広義のマルチモーダル解析」を提案し、さらにこれを梃子としてこれまで進まなかった異分野融合を促進させる効果にも言及する。

「マルチモーダル」とは「複数の形式の、複数の手段による」などの意味に過ぎない。一方、「マルチスケール」解析ではマクロからマイクロへ異なる階層構造へと順次分け入っていくイメージであるが、マルチモーダルはそれも包含しかつ同じ階層の中でも多角的に同時に観ること(データの多次元化)を目指している。以下、網羅的でなくSTEMスペクトラムイメージを主軸としていくつかの具体的な事例で、本解説で提案するマルチモーダル解析を緩やかに定義することに

(a) 複合分光(データ軸の多次元化)

図3のように同一場所(条件)から異なる種類の分光データ(この場合はEELSとEDSデータ)を取得する。この場合の最も簡単な取り扱い方は図5に示すようなConcatenation(連結)による次元削減である⁽¹⁹⁾。図5からわかるように、濃度行列Cを共通にとることで、分離された各相の化学状態(EELS)と元素組成(EDS)が一組のスペクトルとして行列Sの各行に格納される。連結処理における行列Cの共通化は強い拘束として働くため、信号雑音比(S/N比)の良い方

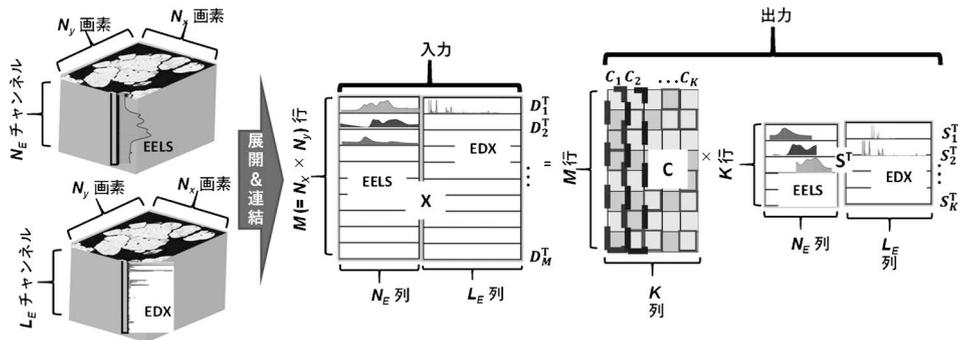


図5 二つの同時計測データを連結して次元削減する方法の模式図。

のスペクトルデータに重みをつけることにより、単独ではS/N比の良くないデータのスペクトル分離性能を向上させる効果も期待できる。

複合分光データのもう一つの有効な活用法として構造化データ融合(SDF: Structured Data Fusion)法が挙げられる⁽²⁰⁾。連結法と異なり、それぞれの分光データに対応する二つの行列方程式

$$\mathbf{X}_1 = \mathbf{C}_1 \mathbf{S}_1^T, \quad \mathbf{X}_2 = \mathbf{C}_2 \mathbf{S}_2^T \quad (\square^T: \text{行列転置}) \quad (1)$$

において行列 $\mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2$ 間に $\mathbf{C}_1 = \mathbf{A} \mathbf{C}_2$ (\mathbf{A} は任意の行列) で表される相関関係を設定することができる。このような一般的取り扱いの応用例は広く、高角度分解電子チャネリング X線/電子分光法(HARECXs/HARECES)として知られているサイト選択的要素分析/化学分析法に適用されている。図6に示すように特定のブラッグ反射列に対して試料への電子入射角度を連続的に変化させてEDS/EELSスペクトルを同時に取得することで、添加不純物の各ホスト元素サイトへの占有

率とサイト毎の不純物の化学状態(価数など)を定量的に求めることができる⁽¹²⁾。ここではMn, Niが二つのサイトにまたがって分布していることが判る。さらに理論計算とのフィッティングによって各サイトの元素占有率が求められる⁽²¹⁾。このスキームは上で次元削減法と称した行列分解法を一般次元に拡張したテンソル分解法と呼ばれる手法の一つである⁽²²⁾。二種の計測複合の例で取り扱うデータは3階テンソルであるが、テンソル化によってデータ種の数には制限がなくなり、任意の異なる指標間で個別に関係性を設定できる。したがって例えばナノビーム走査による束東電子回折収集データセットに代表される四次元(4D)-STEMデータ⁽²³⁾や、さらに他の分光データも同時に取り込んだ高次STEMデータへの有効利用が期待される。

(b) 時間軸の導入によるデータ軸次元拡張

最近特に注目されているオペランド計測(3.2節で議論)などの場合は、通常の計測変数軸に時間軸が加わる。データ構造としては前項と等価な形式になる。数学的な観点からは、単純にTwo-way解析の繰り返しと捉えることができ、上記連結データとほぼ同じテクニックが適用できる。ある時刻のデータセットについて次元削減によって基底ベクトルを求めることを繰り返し、二次元座標-時間という三次元空間での各基底の時間発展をマッピングする、もしくは各エネルギーチャンネルの強度時間変動パターンとしての基底分解、という二種類の解析・可視化が考えられる。計測手段の複合化と併せることによりテンソル分解の手法がさらに柔軟な数学的取り扱いを与え得る。

(c) 異種計測情報結合、マルチスケールへの拡張

上記(a), (b)を更に拡張し、複数検出器で同時測定という制限も取り払い、各計測機器のデータをそれぞれAI活用によって数値化する。図7にAIを使った異種計測情報結合による物性解析のスキームを示す。同図で外側の円矢印上の各装置は共通した試料・物質測定で結ばれている。これらの中心にあるAIの様々なテクニックから各装置に伸びる矢印が各データの処理テクニックの適用を示している。こうして数値化されたデータは水平な右向き矢印によって示されるように統合され、物理的な拘束条件により複数の支配方程式に結び付けられている。すなわちこれにより多次元情報空間を構成し、そこにさらに別のAI技法による変数間の相関関係や拘

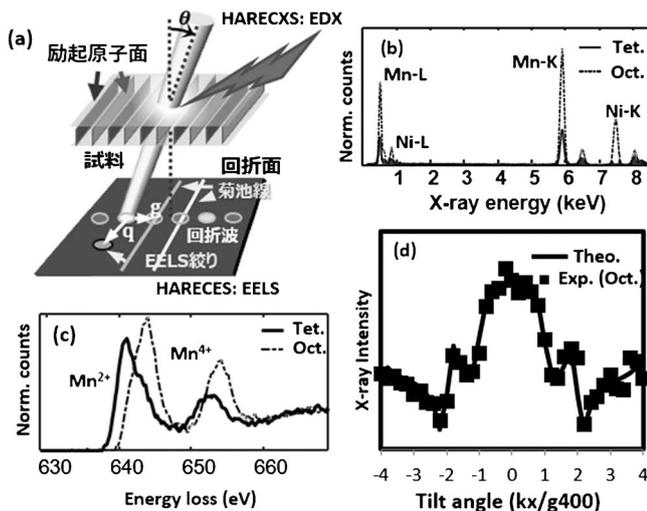


図6 (a) 高角度分解電子チャネリングX線/電子分光(HARECXs/HARECES)の模式図、(b)スピネル構造における酸素4配位四面体サイトと6配位八面体サイトの二つをMn, Niが占めている構造において、HARECXsデータから得られた二種類の原子サイトの元素ピーク群、(c) HARECXsデータから二つのサイトを占有するMnの価数状態を示すEELスペクトルの分離、(d) Mnスペクトル強度のビーム傾斜角度依存性。

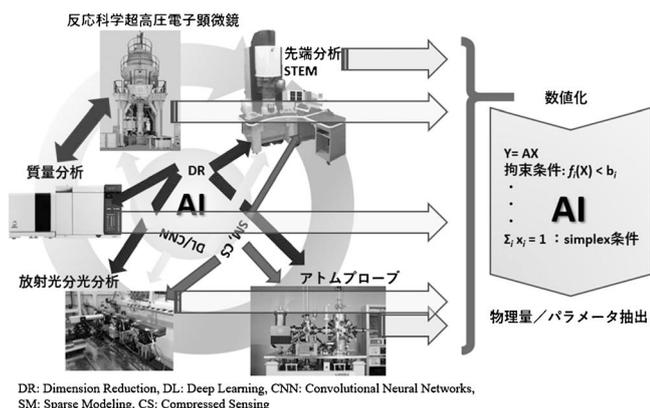


図7 AIを使った異種計測情報結合による物性解析のスキーム。

束条件を設定(あるいはそれらを最適化の解として導出)することにより特定の物性を立体的に浮かび上がらせるような試みをさらに提案する。この場合、標本点数、座標は必ずしも共有されていないため、大きな枠組みとしてのターゲット情報(求められる解)は設定されているものの、上記のような次元削減法をデータ全体に適用することはできない。そこで各データ(画像、スペクトル、数値表データ)あるいはその一部に対して、適切な情報整理・抽出処理を行った上でこれらを改めて融合することになる。最も簡便な方法は各情報を異なる軸の変数と捉えて、K-means法⁽²⁴⁾、サポートベクターマシン(SVM)⁽²⁵⁾などの良く知られている汎用クラスター解析を適用することであろうが、そこから意味を読み取るためには何らかのモデルシミュレーション、教師付きデータなどの経験によるタグ値が必要となろう。その点において結果の信頼性を担保しつつ自動化を図るためには、ハイスループット計測の成否がボトルネックとなることが容易に考えられる。

もう一つの方向性として、さらに進んだ手法としてマルチモーダル深層学習があげられる。このような試みはすでに医療分野で多くの事例が報告されており、解析のためのコードも公開されている⁽²⁶⁾。計測分野への応用として、例えばTEM/SEM像、スペクトラムイメージデータ、試料作製・熱処理条件などの情報を統合し機械特性や電気特性の経年劣化予測などが考えられる。ここでも十分な量の良質のデータが得られるかどうか、あるいは時間軸外挿のための適切な物理モデルを構築できるかどうかは鍵となる。

マルチスケール/マルチモーダルという観点では、データ解析を行う上での物理が共通である放射光分光/顕微鏡とTEM分光の連携が有効な事例の一つになると考えている。実はこのような戦略的・系統的な連携は世界的に見てもあまり進んでおらず、この点において、両分野でハードウェアリソースの豊富な日本が先端計測技術分野で世界をリードするチャンスがあると見ている。

3.1.3 マルチモーダル計測からみた新しい世界観

マルチモーダル科学計測へのAI応用の将来展望を探ってみると、以下のような可能性と問題点が考えられる。(1)測定と解析の自動化：すでに単体の計測機器では各メーカーで自

動化が進みつつある。複数機器間の直接連携のためにはデータフォーマットの統一化・共通化が必要なため、異なるメーカー間では進みにくい。(2)データ駆動による新たな科学法則発見：量子力学の誕生から100年以上経った現在、未だ基礎方程式の有効性を破る実験事実は見出されていない。マルチモーダルという観点では計測変数間の相関をデータ駆動で見出すという未開拓領域が残されている。歴史的に物性物理学における大きな発見は、従来の法則で外挿できない性質の発見から始まる。大量の実験データのAI/ML処理過程でデータ群から弾き出され通常捨てられるアウトライヤー(外れ値)が新たな発見の契機となる可能性を感じる。そこでは依然として深い洞察と経験によってシステムをコントロールするエキスパート(人間の)の存在が、実は本質的な要素となっていることが多い。

以上、これまで学際研究、異分野融合などのスローガンが叫ばれてから久しいが、現状では分野の縦割りやガラパゴス化は残念ながらさらに進んでいるのではないだろうか。そこで最近の計測DX化の動きは、ここで述べたような異分野間の垣根を取り払って必然的に連携を促す良い契機であると捉えたい。

第1回のまとめ

第1回はAI先端計測技術に関わる背景と概要を述べた。第3次AIの大きな流れにおいて、各種データからの情報抽出による様々なインフォマティクス研究が活況にあり、先端計測技術の領域にもこのAI/ML技術の視点が大きく取り込まれようとしている。ここにはデータ駆動という新しい概念を含んでおり、従来のような単なるハードウェア開発を主軸においた領域だけではなく、この思想を巧みに活用することで新しい装置開発や原理に関わる研究への新しい糸口さえも見え隠れしている。今回は多岐に渡る先端計測技術の中で、先端材料研究に多用される電子顕微鏡分野における「マルチモーダル計測」を取り上げた。これは、多角的な測定情報に対し異なる技術の組み合わせ・複合化によるデータの記述座標軸を増加、かつ変数相互の相関関係を巧みに取り入れ、高効率かつ高精度に物理量を統合解析する概念である。次回は、これを時間軸に展開した「オペランド計測」、スペクトルにおけるピークの多様性を数値化する「情報エントロピー計測」について述べる。さらに、先端計測分野の産業状況を知的財産情報等の視座から捉え、「AI先端計測技術」について包括的に解説する予定である。(つづく)

文 献

- (1) <https://www.jst.go.jp/sentan/gaiyou.html>
- (2) <http://sparse-modeling.jp/>
- (3) D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Williams: Nature, **323** (1986), 533-536.
- (4) G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov: Science, **313**(2006), 504-507.

反射に加え透過でも役立つ モルフォチョウの光学特性

齋藤 彰^{*,**}

1. はじめに

我々はモルフォチョウの不思議な発色に魅せられ、長年さまざまな方向で研究を続けてきた。はじめに実作・実証により発色原理解明を行ったのは20年近く前である⁽¹⁾。そこにはナノスケールの規則性と不規則性(乱雑さ)という相矛盾する性質をうまく組み合わせた、自然の奥深い匠の技があった。その後すぐ、応用上の特異な利点が多いことに気づき、工学的な研究を開始した。しかし、本種の光学特性はナノ構造に起因するため、現実味のある生産技術には多くの課題があった。それらの課題を1つずつ解決しつつ、5年ほど前までには特性制御から量産プロセス、乱雑さを含む設計法、さらに形状の自由化(フレキシブル等)に至るまで、多くの課題を解決してきた⁽²⁾。

ところがここ数年で、それまでとは全く異なる方向で、新たな応用価値を見出すに至った。それは、反射でなく透過という逆の方向性である。上記の乱雑さとナノ構造の特異性をうまく利用することで、反射における構造発色と同様、「従来に無い」光学特性を発現できるのである。端的に言えば、反射では「高反射率の干渉色ながら、広角で視野角依存性(角度による色分散)のない単色」が実現できる。一方、透過では「高透過率で、広角に拡散できて色分散がない」採光窓ひいては光拡散板が可能になるのである。ここで本稿の主眼は、透過における新たな展開の解説である。反射はこれまで様々な媒体で解説しており、それらとの重複は避けたいが、透過を語る上で原理として反射の前提は不可避である。そこで、まず次項で反射のモルフォ発色原理について述べ、そこから透過への展開について詳述する。なお、反射と透過の原

理は共通点が多いものの、対応はすれども考察には注意を要することをはじめに記しておきたい。

2. モルフォ発色の原理(反射)

モルフォチョウ(図1(a))は南米~中米に産する蝶で、うちいくつかの種では特徴的な青色の光輝色が目立つ。輝ききらめきゆえ生きた宝石と呼ばれ、土産物や装飾に珍重される。その色合いから、発色原理は干渉に基づく機構が容易に想像され、構造色の代表とも言われる。たしかにその翅上に並ぶ鱗粉(図1(b))を拡大すると、上面(図1(c))では筋状で回折格子の様相を呈し、一方その断面(図1(d))では樹状構造が見え、樹の各々は多層膜に見える。回折格子・多層膜のいずれも干渉色の基になる微細周期構造である。

ここで干渉ならば、見る角度で光路差が変わるのだから、色も変わるのが必然である。ところが本種はどこから見ても青く、物理法則に矛盾するのである。この不思議さは、一度本文から離れて考えみて下さいと申し上げたいほどで、すぐに解を提示するのは勿体なくもあるが、以下に簡単に要点を述べる⁽³⁾。謎を解く鍵は乱雑さである。つまり、青色自体は多層膜干渉(の垂直入射条件)で作る一方、多層膜ならば本来発現する別の色(斜めの干渉条件)を、樹状構造配列の乱雑さで回避しているのである。では青色は垂直方向(真上)でしか見えないかということ、青色は回折広がりの効果で広く見えるのである。回折は「直進する波が波長サイズの構造に当たると、回り込んで広がる」現象で、進行波(たとえば水面の波)の進路上に波長サイズの障害物(水面ならば杭)を置いた状況を考えると分かりやすい。以上をまとめると図2のようになる。前述の通り、規則性(多層膜干渉)と不規則性(乱雑

* 大阪大学大学院工学研究科; 准教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 M1 棟)

** 理化学研究所/SPring-8

Optical Properties of *Morpho* Butterflies that are Useful not only for Reflection but also for Transmission; Akira Saito>(*Department of Precision Engineering, Osaka University, Suita. **RIKEN/SPring-8, Sayo, Hyogo)

Keywords: structural color, Morpho butterfly, transmission, diffuser, daylight window, disorder, nanostructure

2022年4月11日受理[doi:10.2320/materia.61.479]

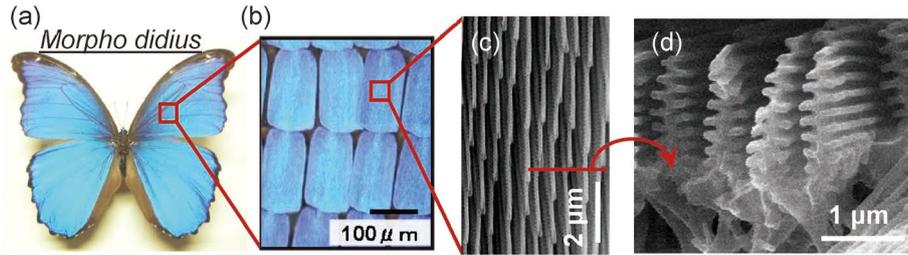


図1 (a) モルフォチョウの全体像と、(b) 翅上の鱗粉列. (c) 鱗粉の拡大SEM像(上面図)と(d) 断面のSEM像. (オンラインカラー)

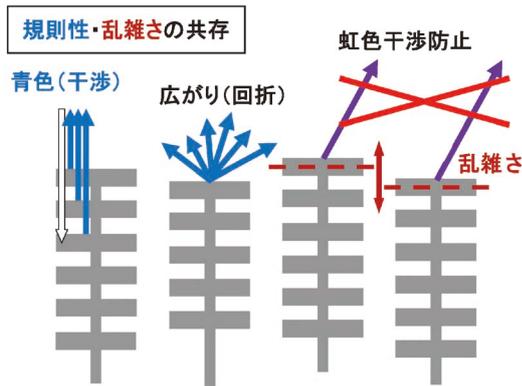


図2 モルフォ発色機構の原理. (オンラインカラー)

さ)の巧みな組み合わせである。

ただし上記はあくまで理屈であり、正しさを証明するには実証が必要である。一方、図1(c)(d)のような複雑な3D構造を光学測定に便利な数mm以上のサイズで作るのは現代のナノテクでも困難である。そこで、原理を抽出して「多層膜と乱雑さ、さらに狭い幅(による回折広がり)」を同時に満たす構造(図3(a))を設計した⁽¹⁾。作製プロセスの便宜から、はじめに基板の上に乱雑さと狭い幅を同時に満たす設計・加工を施し(図3(b))、最後に多層膜を蒸着した(図3(c))。光学薄膜なので真空蒸着で精度を担保し、かつ多層膜の屈折率比は大きくし(反射率を稼ぐため)、応用を考えて安価・安全で普遍的な材質を用いた(TiO_2 と SiO_2)。

結果はモルフォチョウの発色をよく再現し、「干渉色だが広角で高反射率の青」が実現できた。実証のための光学測定では絞った白色光を試料に入射し、反射光の角度分布を光ファイバで得た上、分光器で波長分布も測定する。本稿の主眼

は透過の応用にあるので、詳細は他の文献をご参照頂きたい⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

3. モルフォ発色(反射)の応用と生産技術

特異な発色の原理が実証できてみると、我々はその応用価値に改めて目を見張った。そもそも構造色は色素によらない物理的な効果に起因し、UVや酸化で物質変化があっても色の劣化つまり色褪せが無い。そして色素では不可能なきらめきを伴う光輝色が出せる。また色素フリーとなると毒性や環境負荷も低く、高反射率ゆえ光利用効率が高いので、環境・エネルギーに有利な側面がある。加えて、材料2種だけの膜厚変化でRGBが作れるため(実証済み)、省材料でもある。一方、光輝色の利点から装飾に有利でも、通常の構造色は「見る角度で色が変わる」特徴から、ディスプレイやポスターなどの用途には困難がある。ところが本発色は「広角で単色」なので、魅力的である。

そこで生産技術に目を移すと、上述の通り「乱雑な」「ナノ構造」がネックとなる。要するに、図3(b)の構造をいかに「大面積で」「量産」するか、である。半導体プロセスに依拠する当初の方法では、スループットに限界がある。そこでナノインプリントによる大量複製により、生産の効率は1000倍以上改善できることがわかった⁽⁵⁾。ところが次に、複製してもモールド(鋳型)自体が小面積では限界が見えてきた。この点はレーザー加工による大面積化の工夫で解消できることがわかった⁽⁶⁾。ところが大面積のナノインプリントは離型に困難が伴う(モールドと複製用樹脂との接着力が面積比で増大するため)。そこで、インプリントした複製をモールドとして使うことで、モールド自体を曲げられる樹脂にし

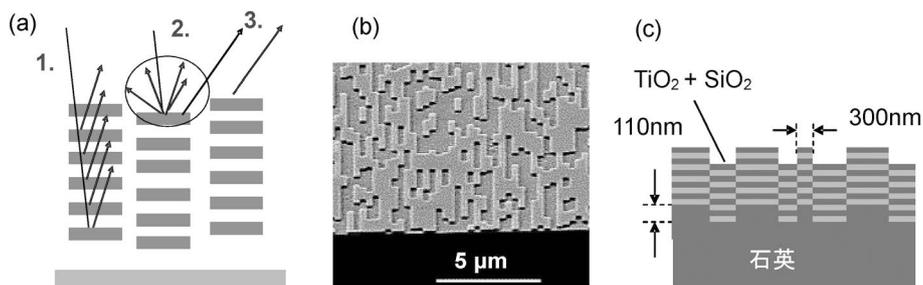


図3 (a) モルフォ発色体の構造モデル(断面図). (b) 多層膜蒸着前の基板表面SEM像. (c) 多層膜蒸着後の断面概念図.

て、少しずつ剥がすことで離型が容易にできるようになった⁽⁷⁾。

それでもまだハードルは残っており、特に発色膜のフレキシブル化が問題だった。これが実現できないと、自由形状での発色応用ができない。その時点で発色体は固い基板に限られており、理由は多層膜形成が真空蒸着に基づいており、熱輻射と均一成膜のため固い基板上への成膜が前提だったからである。そこで、多層膜の成膜後に膜全体を樹脂で包埋して保護し、その状態で基板から容易に剥離できる工夫を行った。これは基板と多層膜の間にあるUV硬化樹脂が湯浸で膨潤し、自発的に離型するプロセスである⁽²⁾。このフレキシブル化工程は、部分的には粉体化にも役に立つ⁽⁸⁾。

こうして、発色体の生産過程で生じる様々な困難を克服しつつ、現状ではフレキシブル発色フィルムが100 mm四方程度で比較的容易に作製可能である。

4. 透過への展開

ところが、上に述べた「モルフォチョウの知恵」について、思わぬ使い道が最近わかってきた。それは従来の反射とは逆方向で、透過つまり「窓」ひいては「光拡散板」である⁽⁹⁾。反射に基づく発色体では「高反射率、広角、単色(虹色でない)」の特長があったのに対し、透過では「高透過率、広角(拡散)、虹色でない」特長があり、従来に無い高性能の採光窓ができる。この特長がなぜありがたいのか。反射と透過の対応関係に注意しつつ、以下のように説明できる。

まず採光窓に望ましい条件は何か。それはi. 高透過率(窓が明るい)、ii. 広角拡散(広く照らす)、iii. 虹色でない、という点である。どれも効率的な採光に必須なことは明らかであろう。一方で通常、窓を通る光は直進してしまうので、太陽光があっても室内の上部は暗くなり照明が要る。そこで、光の経路を曲げる、もしくは広げることができれば照明を減らすことができ、省エネ効果はきわめて大きい。しかし、それには散乱(透過率は低下する)や回折格子・屈折(透過率は保てるが虹色になってしまう)を使うか、光ダクト(図4)など大規模設備が必要になる。

現在、こうした「光拡散板」の主流は散乱体埋込フィルムなどの「散乱」に基づいている(図5)。しかし、多重散乱による光損失が大きく、透過率と拡散広がりにはトレードオフの関係がある(図6(b))。つまり明るさが欲しくて散乱を減らすと入射光は直進してしまい、逆に拡散を増やすために散乱を増やすと多重散乱で光が散ってしまい、明るさが犠牲になる。さらにこの方式は、散乱体が球状なので原理的に拡散方向(光軸を法線とする面内での異方性)も制御できない。

次に、回折を使って光路を曲げるには、典型的な方法として「回折格子」を思い浮かぶが、それでは角度により色が変わって虹色になってしまう。だからといってプリズム的に光を曲げる屈折では、なおさら色分散が生じてしまう。

以上を考えると、窓では通常「高透過率、広角、色づかない」3条件の並立は不可能である(図6)。よって現行の窓で

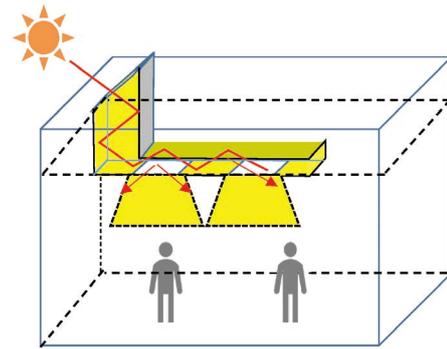


図4 光ダクトの概念図。(オンラインカラー)

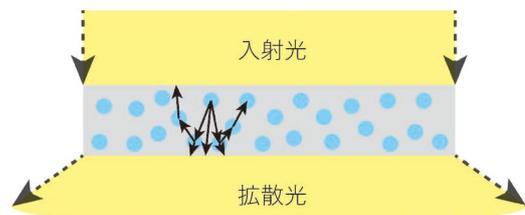


図5 多重散乱を用いる光拡散板の概念図⁽⁴⁾。Copyright (2022), The Japan Society of Applied Physics. (オンラインカラー)

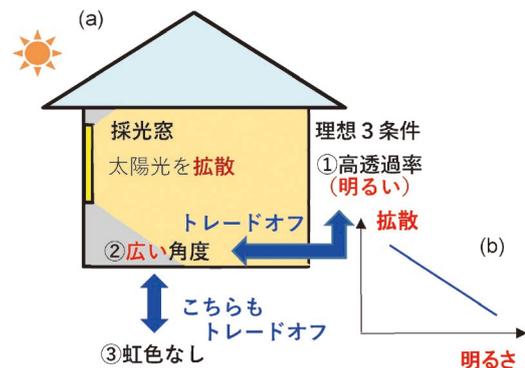


図6 (a) 採光窓・理想3条件の概念と(b)「透過率」と「拡散」のトレードオフ。(オンラインカラー)

は、光を曲げずに透過率を稼ぐか、散乱により拡散して透過を犠牲にする。しかしモルフォ蝶の発色特性「高反射率・広角拡散・単色」を使うと、上の3条件は並立可能なのである。つまり「微細な幅で光を広角回折し、乱雑さで虹色(回折格子)を防ぐ」原理を透過に転用すればよい(図7)。このとき回折広がりが入射界面でのみ起きるので多重散乱がなく、高透過率も実現できる。したがって透過型モルフォ採光窓の構造モデルは、反射型モルフォ発色体から青色反射を作る多層膜を除去した形になる。

ここで1つ補足を述べると、図7(b)のデザインから「結局、すりガラスが良いのでは」と言われることが多い。しかし、すりガラスはスケールが全く異なり、凹凸が μm スケールでアスペクト比が低い。凹凸自体はすりガラスだとRMS粗さで言えば1~数 μm 程度が多いが、この点はあまり重要でなく、重要なのはアスペクト比に関わる幅つまり、回折広

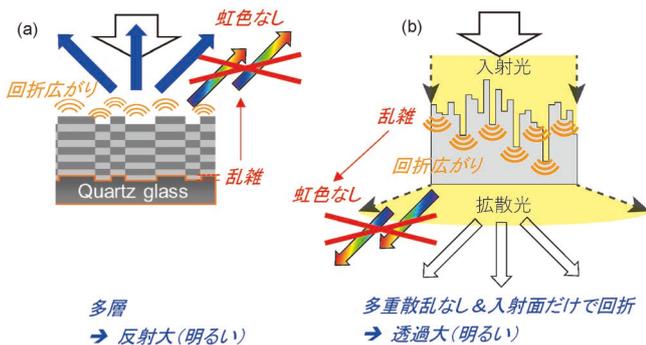


図7 反射型モルフォ発色から透過への転換と、原理的な対応関係⁽⁴⁾. Copyright (2022), The Japan Society of Applied Physics. (オンラインカラー)

がりに寄与する単位構造の幅(反射では樹状構造1本の幅, 透過では1本のピラー幅)である. すりガラスではこの幅が大きく, 回折広がりにはほぼ寄与しないレベルである. したがって「回折でなく屈折」で光を散らすことになり, 乱雑さゆえ虹色にはならないが, 角度広がり小さい. この点, 原理から違うものであることは留意されたい.

5. 設計と最適化デザイン

上記の発想に基づき, まず必要なのは図7(b)にある構造の最適化である. この構造は図6(a)のように面内(紙面内)で2次元的な光拡散を前提とするため, 断面図を示しており, 紙面の奥行き方向には均一な厚みをもつ. 換言すれば, 図7(b)の構造は, 紙面内では棒状(縦長の長方形)構造を横に並べた構造と考えることができる(図8). ここでパラメータは, 単位構造である長方形について, 横幅 w と深さの乱雑さ σ である. 横幅 w は回折広がりを決める重要な役割を持つが, 次段の作製と絡んで設計と構造のシンプルさが担保される必要があるため, 一定値である. また乱雑さは平均高さからの正規分布(標準偏差 σ)で定義される. 平均高さ $4 \mu\text{m}$ は, 一般的なPCプラットフォーム(後述)で数時間の現実的な時間で問題なく計算できる最大深さとして選んでいる. これより高くても計算エリアが増えるだけで, 計算時間はかかるが結果に影響がないことは確認済みである(光学特性は入射界面の特徴的な構造で支配されるため, 平均深さは $4 \mu\text{m}$ 以上でも影響しない).

この2パラメータ w と σ を振って, モルフォ発色研究で培った数値計算による構造最適化を行った. 解析的手法でなく数値計算なのは, マクスウェル方程式で電磁場を扱う際, 構造が複雑ゆえ解析的に扱えないためである. 手法はFDTD(Finite-Difference Time-Domain)法で, 空間を微小メッシュで分割して計算を容易にしつつ, 各メッシュ間の接続と境界条件を適切に処理しつつ試料全体での電磁場を取り扱えるように工夫している. 計算環境に一般性をもたせるため, 市販ソフト(Ansys Lumerical社のFDTDパッケージ)とデスクトップPC(3.80 GHzの8コアプロセッサ, 32 GB

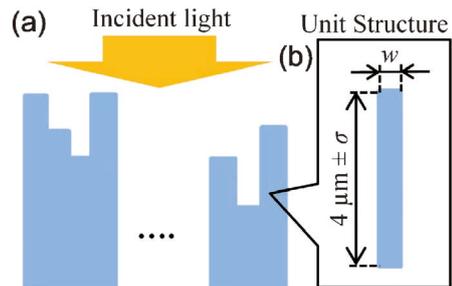


図8 採光窓デザインの断面図. (a) 乱雑高さをもつ全体像. (b) 幅 w と高さ $4 \mu\text{m} \pm \sigma$ をもつ棒状単位構造. Reproduced with permission from (9), (c) The Optical Society. (オンラインカラー)

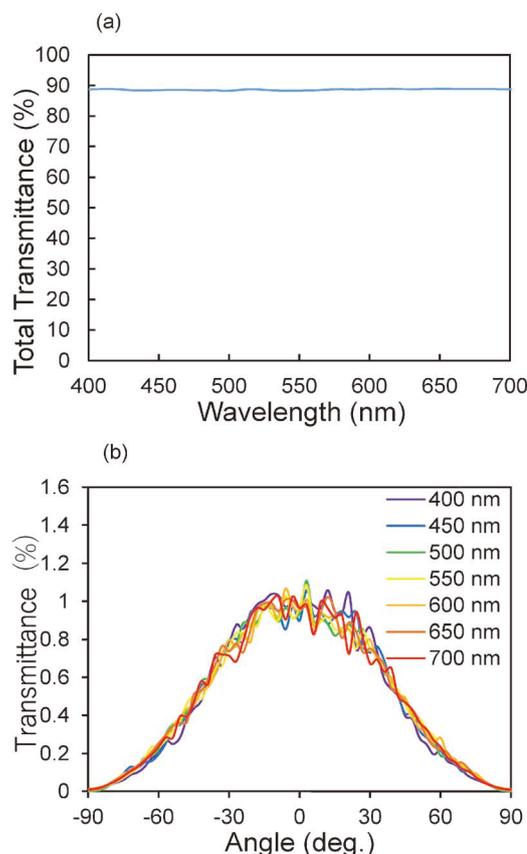


図9 図8の構造の最適値($\sigma=1000 \text{ nm}$, $w=300 \text{ nm}$)に対するシミュレーション結果. (a) 波長依存性のない全透過率($\sim 90\%$). (b) 異なる波長(400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 nm)に対する透過率の角度分布. 色分散がなく, 広角(半値幅で $\sim 90^\circ$). Adapted with permission from (9), (c) The Optical Society. (オンラインカラー)

メモリ)を使用した.

最適化の判断指標は, 先述した3条件つまり, 全透過率と角度広がり, そして波長分散である. パラメータによる結果比較やFDTD計算の設定など詳細の途中過程は省略するが, 最適化で得られた結果を図9に示す. パラメータの最適値はそれぞれ w が 300 nm , σ が 1000 nm である. 詳細は文献に詳しいが⁽⁹⁾, 直感的な根拠は以下の通りである. まず,

w の 300 nm は反射型のモルフォ発色でも近い値であり、可視光波長に近くサイズの小さい幅で最も回折広がり効果が大きいことから妥当であろう。一方、虹色防止に必要な乱雑さ σ でここまで大きなアスペクト比が必要なのは、透過と反射の光路差が効いている。つまり反射(オリジナルの鱗粉棚構造)ならば、隣り合う高さの差 h は、反射の光路差では $2h$ に対応する。一方、透過だと構造体の屈折率 n に対して光路差が $(n-1)h$ だけとなり、代表的な n の値 ~ 1.5 を考えても反射の 4 分の 1 程度になってしまう。加えて、反射では青色 450 nm 付近のみが対象なのに対し、透過では最大 780 nm 付近までの可視全域を対象とするため、必要な σ がさらに 2 倍近く、つまり反射型に比べて 8 倍近い値が必要になる。したがって 1000 nm という結果は直感とも相容れる結果である。図 9 を見ると、「全透過率 90%」「角度広がり半値幅 90° 」「色分散なし」が証明できている⁽⁹⁾。ここで入射光は白色の垂直入射を前提としている。

こうして、モルフォ蝶の「明るく広角で、(単色で)色分散が無い」反射原理を透過に転用し、「明るく広角で、(白色で)色分散が無い」採光窓が可能なが証明された。同時にこれは、先述した 3 条件すべてを同時に満たすコンパクトな窓の条件を明らかにしたことになる。

6. 作 製

次に必要なのは、実証である。しかし、実作にあたっては、構造の微細さ ($w=300$ nm) と高アスペクト比 ($\sigma=1000$ nm) に加え、乱雑さ付与のため、ナノ構造作製が困難である。ところがここでも反射型モルフォ発色体での知見が役立った。じつは、深さ方向の「乱雑さの光学効果」は、面内の乱雑さで同じ効果が出せるのである。これはモルフォ発色体

の再現プロセスを注意深く見るとよくわかる。2 章で述べた通り、乱雑さは干渉による虹色を防ぐ上、シャープな干渉縞を防ぐことから角度広がりにも有効である。そしてその乱雑さの方向は主に、断面図(図 1(d))で樹状構造の配列における深さ方向であった。一方、この方向の乱雑さを人工的に作るのは、半導体のナノテク(リソグラフィ)でも至難の業である。実際、モルフォ再現基板でも樹状構造は形成したが、深さ方向は 1 段だけで済ませている(図 3(c))。そのかわり、図 3(b)の通り、乱雑さは面内で担保しており、同時にこの面内の乱雑さはモデル上面図(図 1(c))から乱雑さのパラメータ抽出をした結果である。つまり、3D の乱雑さ(図 1(c)(d))のうち、2D(図 1(c))のみを利用しているのである。

これでなぜ干渉効果を防ぎ、「虹色防御」と「角度広がり」ができるのか。それは図 10 の通りである⁽¹⁰⁾。乱雑な面内パターン(図 10(a))は、 y 方向に異なるいくつかの xz 断面で見ると、それぞれ構造が違っている(図 10(a)点線)。これらの面は、各々が固有の干渉パターンを発生し(図 10(b)~(d))、この段階では各干渉パターンは鋭い干渉縞を持つ。しかし面内の(xy 面内の)乱雑さゆえ、各 xz 面の断面形状が乱雑に分布する以上、それらの総和としての反射パターンは干渉縞が平均化され、なだらかな角度分布になる、という理屈である⁽¹¹⁾。

この効果は重要である。まず、乱雑さの光学効果で「虹色防止」と「角度広がり」を実現するにあたり、1 段の深さは要るが、3D 加工が 2D 加工で済むので、大幅に加工の煩雑さが軽減される。のみならず、量産化や大面積にとって極めて有望なナノインプリントに相性が良いからである。

この独自技術を利用し、今度は透過型で図 7(b)の 3D 構造を 2D 構造に焼き直し、ごく最近、実作と実証を行った(図 11(a))⁽¹²⁾。なお透過型の設計では、反射型のようにモ

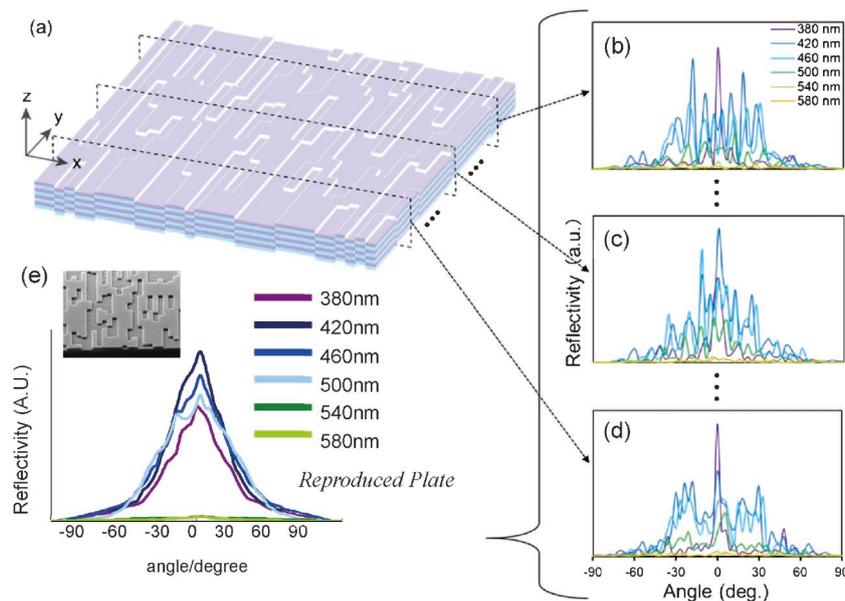


図 10 (a) 反射型モルフォ発色体の構造概念図。 y 軸方向の複数断面に分割できる。(b), (c), (d) 3 つの独立な断面に対する反射率角度分布シミュレーション結果。(e) 人工モルフォ発色体の反射率角度分布の測定結果(白色の垂直入射光)。干渉ながら鋭いフリンジが無い。Adapted with permission from (10). (オンラインカラー)

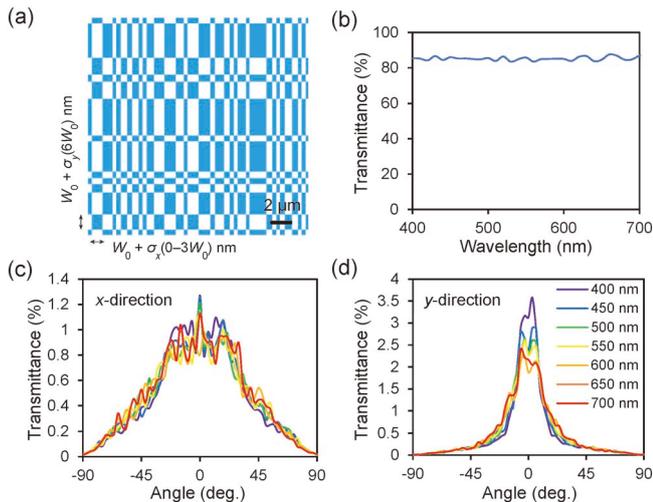


図11 (a) モルフォ型光拡散板(2D)の設計概念図. 異方性が見て取れる. 1枚の上面下面で意匠が異なるが, ここでは下面のみを示す. (b) 全透過率のシミュレーション結果. (c)(d) 透過率角度分布のシミュレーション結果. x 方向(広角)と y 方向(狭角)の異方性がわかる. Reproduced with permission from (12), (c) The Optical Society. (オンラインカラー)

デル構造(図1(c))から直接パラメータ抽出を行うのではなく, より概念的な考察をもとに設計を行い, いくつかのステップで反射型と異なるアプローチを含んでいる. まず反射型では, 異種断面が xy 面内に多数存在するため3Dシミュレーションが必須で, 計算の負担が大きい. そこで, 透過では2Dシミュレーション可能な「乱雑幅から成る格子状パターン」にしている. ここで, 単位長方形の乱雑幅は $W = W_0 + f(W_0)$: 最小幅, f : 分布関数)で定義でき, 凹凸深さを d とする.

次に, 拡散角の制御と異方拡散ができるよう, 分布関数 f は x, y 方向で独立にし, 個別な最適化を行った. 実際, 光拡散の用途では全方位の均一拡散(図5の従来型)でなく, 「横方向メインで広げたい(その分, 単位立体角での明るさも稼げる)」等の場面があり, こうした制御性も本構造の特徴として, 当初の3条件(明るい, 広角, 虹色でない)に続く4番目の長所である. ここでは x 方向で広角拡散, y 方向で狭角拡散にしている. また反射型と異なる点として, 全可視光を均等に拡散する必要もある. そこで下面は短波長, 上面は長波長を主に拡散する両面構成である.

分布関数 f はやはり正規分布に基づくが, W_0 を平均幅でなく最小幅としたため, 正確には正規分布を平均値から折り返した半正規分布関数である. イメージとしては横軸を分布値 W (幅の値), 縦軸を頻度(確率密度)としたとき, 分布関数の形状は正規分布の「釣鐘型」でなく, それを中央で割って右半分にした形である. したがって f の値は最小値が0(このとき W の最小幅が上述の通り W_0)であり, 図12のようになる. またこの際, f の標準偏差 σ は W_0 に対して「微小なゆらぎ」というレベルではなく, 回折ピークを抑制する十分な乱雑さが必要なので $3W_0$ や $6W_0$ という値も取り得る.

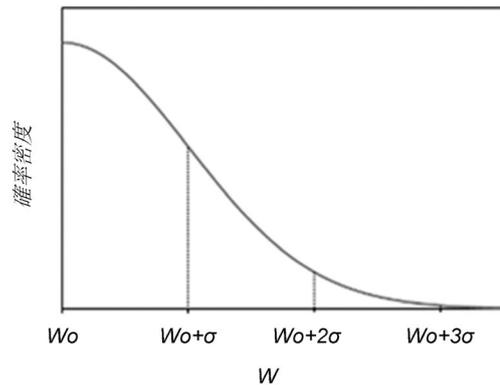


図12 半正規分布の概念.

試行錯誤の結果, f の標準偏差 σ について, 狭角拡散(y 方向)だとある一定値($\sigma = 6W_0$)で色分散のない透過特性を実現できるが, 広角拡散(x 方向)だとまだ乱雑さが不足するとわかった(具体的には, 回折ピークが生じてしまい「色がつく」). そこで, σ を $6W_0$ のような一定値でなく, さらに乱数で乱雑に取ることで問題を解消した. そもそも乱雑さの指標である σ をさらに乱雑に取る, とは混乱しそうだが, 話が入れ子(二重構造)になっており, 要するに乱雑な幅 W を置く際, そのつど毎回異なる半正規分布を使うと考えればよい. 特に σ の選択幅を $0-3W_0$ に設定すると十分な乱雑さが確保でき, 広角拡散(半値幅 $\approx 75^\circ$)でも回折ピークがなく波長分散なしが可能だとわかった.

可視光全域で尖った回折ピークがなく光を均質拡散するには, 深さ d の制御も重要である. 紙幅の関係上詳細は割愛するが, 検討の結果, 最終的に最適値として下面で $W_0 = 300$ nm, $d = 440$ nm, 上面で $W_0 = 470$ nm, $d = 690$ nmとした. 詳細は文献に詳しいが⁽¹²⁾, 直感的な根拠は以下の通りである. まず下面の(短波長側) $W_0 = 300$ nmは青色450 nmに対して回折広がり効果の大きい幅である(前項で述べた3Dモデルの幅 w における議論と同じ). 一方, $d = 440$ nmは正透過の光路差(やはり3Dモデルで既述)が青色の半波長となり, 青色を打ち消せるように考えている. 上面の $W_0 = 470$ nmと $d = 690$ nmは, 赤色700 nmに対して同様の考察を行った結果である.

これらの最適条件とその光学特性はシミュレーションの結果, 図11のとおりである. 透過率は約85%と高く, x 方向で広角拡散(半値幅 $\approx 75^\circ$), y 方向で半値幅 $\approx 30^\circ$ の異方拡散を示す. 色分散も広角側では全く見られず, 狭角側で若干残るものの, 回折ピークのような鋭い分布は見られない. したがって基本3条件に加え, 拡散光の異方性形状制御もできることがわかる.

では, シミュレーションでなく実測ではどうか. 作製にはやはり反射型モルフォ発色体の研究で培ったナノ加工プロセスが役立った. まず始めに図11(a)の構造をフォトリソグラフィとドライエッチングでSi基板に作製し, それにナノインプリントを施す. 採光窓や光拡散板となると, 応用を見据えた見映えも判断材料になるため, パターン面積は100 mm

と比較的大面積で実施した。なお、反射型発色体と違い、透過型の窓ではナノ凹凸構造形成後の多層膜形成プロセスは無いが、Si モールドは2枚必要である。これは先述のとおり、上面・下面(窓と言えば表面・裏面)にそれぞれ長波長・短波長仕様の異なるパターンが必要なためである。透過窓を形成するにあたっては、ナノインプリント用基板にPMMA フィルムを用いる(透過率や汎用性、強度に加え、屈折率も要考慮で約1.5)。このフィルム上にUV 硬化樹脂を塗布し、Si 基板上のナノパターンをUV ナノインプリントで転写する。フィルム両面に異なるパターンを施すことで、試料が完成する。

光学特性の結果は、シミュレーションに近い条件として白色コリメート光(垂直入射)を用いると、透過した拡散光を投影するスクリーン上にダイレクト光の輝点を生じ、また十字模様の輝線が生じていた⁽¹²⁾。十字模様は長方形ベースの構造ゆえの回折で、設計段階での空間対称性の問題であり、輝点は作製時のエラー(凹凸比ずれ)などが考えられる。これら

は別途、設計変更や作製プロセスの検討で改善の余地がある。一方、実用上の光源は、LED や太陽光などさほど指向性のない場合が多い。そこで、LED に対する光拡散性を調べるべく、ハンドライト型 LED について照射パターンを拡散板の有無で比べると、**図13**の通りである。

拡散板が無いと光分布は等方的で絞られているが、拡散板を通すと広く拡散し、分布は異方的である(図13(a, b))。さらにコリメート光源で見られた輝点も十字パターンも無く、分布は滑らかである。角度分布は半値幅の値で見ると、拡散板の未使用時は約 21°で鋭く、使用時は x, y 方向でそれぞれ 63°, 30°と、異方性が実現できている(図13(c))。

これらの結果は、市販品との性能比較で評価するのは価値があろう⁽¹³⁾⁻⁽¹⁶⁾。図6のように横軸に全透過率、縦軸に光拡散係数をとってトレードオフ関係を見やすくプロットし、市販品とこれまでの我々の結果を比べたのが**図14**である。ここで光拡散係数は、試料への垂直入射をそのまま延長した下流方向(試料窓に対しては法線)を 0°とし、小さい拡散(20°)



図13 (a, b) LED 光源のスクリーン投影像で光拡散板の有無の比較。(c) (a, b) で透過率の角度分布測定結果。Reproduced with permission from (12), (c) The Optical Society. (オンラインカラー)

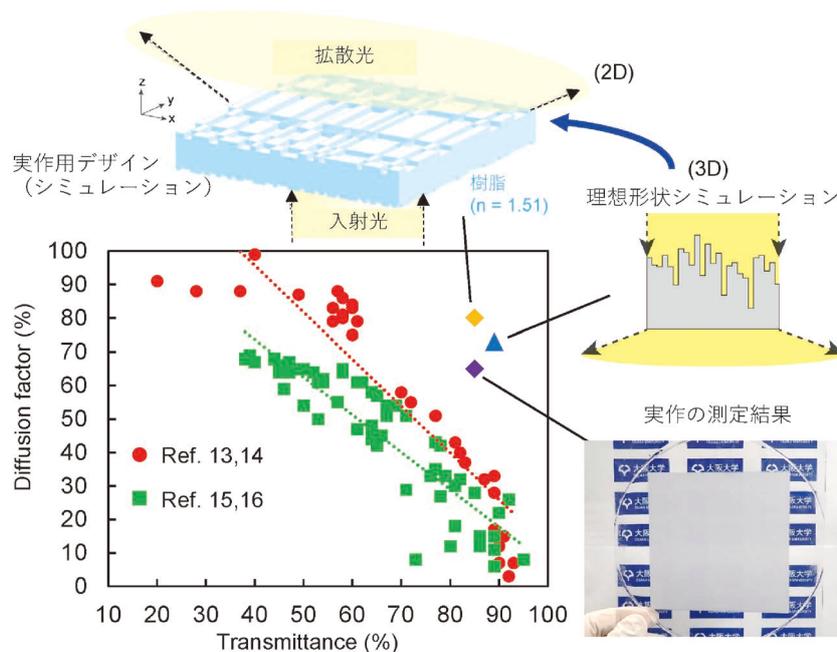


図14 異なる光拡散板について、拡散係数と透過率の比較。赤○と緑□のプロットはそれぞれ市販品の結果で、補助線(点線)の通り、トレードオフの関係がわかる。他のプロットで青△は当初の理想形状(3D)の計算結果、黄色◇はそれを実作用に2D化したモデルの計算結果、紫◇は実作の測定結果である。Adapted with permission from (12), (c) The Optical Society. (オンラインカラー)

と大きい拡散(70°)の平均輝度を直入射に近い下流(5°)の輝度で規格化した値である。従来の市販品に対しては、先述したトレードオフ関係がよく見て取れる。一方、理想構造(図7(b))のシミュレーション結果(図9)はそこから大きく外れ、さらに3D→2Dの簡易化で設計した場合(図11)のシミュレーション結果も同様である。最終的に実作の結果も、シミュレーションに比べれば特性低下が見られるものの、従来のトレードオフ関係を破る性能は発揮できている。

このように、3条件「高い透過率、広角、虹色でない」を並立するモルフォ型採光窓は、基本設計と原理実証について、基礎的な確認ができたと考えられる。加えて、拡散光の形状制御という従来不可能だった付加価値もある。考察と検討に際し、ナノ加工技術(リソグラフィとエッチング)・シミュレーション・光学測定と制御は、反射型発色体で培った多くのノウハウが役立った。さらに今後の応用・高度化の展開では、ナノインプリントによる量産技術とフレキシブルフィルム化など、共通して役立つ点も多い⁽⁴⁾。一方、トレードオフ離脱の限界値、つまり「高透過率と広角拡散」の極限の両立がどこまで可能かはまだ未知数であり、加工自体にも課題が残るのは先に述べた通りである。また実用レベルの量産化とコストについてはむしろこれからの課題であろう。

7. 光拡散板(ディフューザ)

これまで「採光窓」と「光拡散板」の話を、明確な区別なしに用いてきた。確かに採光窓は光拡散板の一種であり、両者の正確な峻別は難しい。しかし用途という点では、光拡散板には太陽光を前提とする「窓」以上に、「照明」への大きな可能性がある⁽⁴⁾。ここでは太陽光に対する「窓」と対照して、人工照明に対する「光拡散板」を前提に、その価値について述べる。

青色LEDの急速な普及に見られる通り、照明は視覚を支える肝であり、演色性(色の再現性)の高い光は常に希求されている。ゴールは、あらゆる対象で本来の色彩が、天空下の太陽光で見たように再現できることである⁽¹⁷⁾。現在普及している青色LEDは明るい反面、赤色成分が不足するため、演色性の不足、つまりその照明下では本来の色が再現されない課題がある。そこで紫色LEDにより、全可視域の光で太陽光下の演色性を可能にする照明の変革が叫ばれている。

しかし変革にはピースが1つ欠けており、それが拡散である。屋内で対象を見るとき、天空の太陽光のような拡散光源がないため、照明を用いる。しかしその拡散性には限界がある。そこで現状は、反射板で光束を広げるか、光拡散板を通すのが普通である。ところが反射板では、光源と対象以外に反射のための余計なスペースが必要になり、設置の自由度に制限が大きい。一方、拡散板では上述の困難(透過率低下、拡散不足)があり、拡散板で光を拡散できても、暗くなったり色温度が変わったりしてしまえば、演色性は損なわれる。つまり仮にLED光源のスペクトルが太陽光と同じになっても理想的な拡散光源からは遠く、自然光を理想とする多

様な用途に使えないのである。換言すれば、演色性自体はLED本体で解決できても、拡散しないと灯体は使えないことになる。

その訴求は大きく、たとえば工芸分野では日本刀の展示を例に挙げると「いかに刀身の姿、地鉄の肌合いや刃文、地刃・刃境・刃中の微妙な景色を展示の形態で提供できるか、視覚に認識されるか、見えなければただの鋼棒となる。」が代表的な意見である⁽¹⁸⁾。一方、そのために自然光を天空光のように拡散し利用しようとする、現状では建築構造に関わる大型設備を要する上、天候に左右され、多くの場面で適切な拡散照明がない⁽¹⁹⁾。鑑定のように「正しく物を見る」必要性は、工芸・美術に限らず、手術・診断、精密加工技術、各種の撮影、など実に多くの場面で現れる。

理想的な拡散板を使用すると、こうした大規模設備は不要となり、広範囲の訴求に耐える照明が可能になる。コストや運用面において圧倒的な優位性があり、工学・技術、美術・工芸から多様な撮影現場など、それぞれの分野で有効な解決法になる。

上記の現状を受け、照明に向けた光拡散板の開発例は学術的にも多く見られる。樹木の繊維構造や、高分子由来のしわによる新技術の報告もあるが(文献(12)に引用多数)、いずれもトレードオフ打破には厳しく、しかも前者(樹木)のように固定形状だと、拡散光の形状制御の自由度に制限がある。一方、本件のモルフォ型拡散板では、構造パターン次第で異方性制御も可能である。

8. ま と め

モルフォチョウの矛盾に満ちた構造色の解明に端を発した本研究は、実証研究を皮切りに、その応用研究や多方面の生産技術開発を経て、「反射」から「透過」へと新たな展開を迎えている。

反射型発色体の技術開発では、大面積のフレキシブル化を実現した段階⁽²⁾で2002年以降15年ほどの研究歴があり、もうモルフォチョウの話が続けるのもどうか、の思いが正直なところ、筆者にはあった。しかしそれは不遜な勘違いで、自然界の奥行はまだ深かった。透過への応用という発想自体はすでに10年ほど前にあったが、技術・知識の機が熟してまともにアプローチできるまでに時間がかかったこともある⁽²⁰⁾。

自然に学んだ最大のポイントは、反射型同様、透過型でも「ナノスケール」の「乱雑さ制御」に基づく光学特性である。その結果、入射光を「高透過率で」「広角に」通し「色づかない」理想的な光透過材が可能とわかった。光学的には「回折広がり」によるモルフォ型光拡散板は、多重散乱がないため高透過率で、ナノの幅で広角に広がり、乱雑さゆえ色分散がない。さらに回折広がりを与える微細構造の制御により、拡散光の異方性制御ができる(ディスプレイなど横方向に選択的に広い光が必要な例は多い上、立体角当たりの輝度を稼げる)。技術的にも、反射型でノウハウを蓄積したナノ加工

技術が役立ちナノインプリントでフィルム化もできるので、窓ならば既存の窓をそのまま活用でき、光拡散板でもコンパクトなため、広い波及効果が望める。

モルフォ型光拡散板は、オリジナルなテーマであり始まったばかりである。本稿でも述べた、輝点や十字線といった改善点(コリメート光源に限るが)や、性能向上による高度化(透過率・拡散度とも)、量産化やコスト低下など、今後の課題はまだ多い。光拡散板としての見えざる用途もまだ潜在的に多くあるであろう。そうした出口から見た意見も参考にしつつ、今後の研究を発展的に進めてゆきたい。

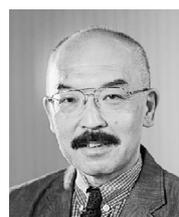
特に省エネルギー・省材料と環境対応の長所は重要である。その意味でバイオミメティクス(生物模倣)という視野も、本研究には価値がある。モルフォ発色体以前に、ハスの葉の撥水効果に基づくヨーグルト容器の蓋や、流体抵抗の低いサメ肌水着、ひっつき虫(ゴボウの種)に学んだマジックテープなど、例には事欠かない⁽²¹⁾。しかし昨今、より広範な生態系システムを模倣した大規模なバイオミメティクスが、特に欧州で盛んに研究されている⁽²²⁾。つまり、海洋や森林といった広域の循環システム(エネルギー・物質・資源など)に学び、それらを建築・都市計画に生かす試みである。そうした「広域バイオミメティクス」は、上に挙げた個別の材料に比べ、社会全体への影響という点で遙かに広く、価値も大きい。むしろこれを「持続可能性への鍵」と位置づける視点もある一方⁽²³⁾、我が国ではその観点での集約的なネットワークが少なく、限られた組織が孤軍奮闘している状況で⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾遅れている。個人的には、生物界面(小は細胞膜から大は皮膚・毛皮や羽・殻まで)のもつ多機能性は、注目に値すると考えている。そこはエネルギー交換、熱交換、物質交換、ガス交換など種々のやりとりを支える現場であり、これを建築に生かさぬ手はない、という考えである⁽²⁶⁾。生物界面は、したがって上記の広域バイオミメティクスに位置付けられると同時に、個別の従来型バイオミメティクスとの橋渡しにもなる。本稿の窓も光学的な「界面」素子であり、上に述べた「界面と広域バイオミメティクス」という意味での発展性も個人的には強く意識している。筆者は長らく、原子スケールから構造色に至る「表面科学」研究に従事してきたこともあり、「表面界面」の視点による将来展望を述べて、本稿を終える次第である。

最後に、これまでお世話になった方々は大勢いるが、阪大(工)桑原裕司研究室の諸氏、とりわけ光拡散板では山下和真氏の尽力が大きい。また、ナノインプリント技術に関しては大阪府立大・平井義彦名誉教授、基板ナノ加工プロセスでは京大ナノテクノロジーハブ拠点の方々、灯体としての応用面ではNPO法人フィールド・堀内保彦代表にお世話になった。ここに感謝の意を表する。

本研究はJSPS 科研費 JP26289249, JP19K22062の助成を受けた。

文 献

- (1) A. Saito, S. Yoshioka and S. Kinoshita: Proc. SPIE, **5526** (2004), 188.
- (2) A. Saito, K. Ishibashi, J. Ohga, Y. Hirai and Y. Kuwahara: J. Photopolym. Sci. Technol., **31**(2018), 113.
- (3) S. Kinoshita, S. Yoshioka and K. Kawagoe: Proc. R. Soc. Lond. B, **269**(2002), 1417.
- (4) A. Saito, K. Yamashita, T. Hattori and Y. Kuwahara: Jpn. J. Appl. Phys., **61**(2022), SD0801.
- (5) A. Saito: in “Biomimetic Photonics”, O. Karthaus, Ed., CRC Press (2012), 96–115.
- (6) A. Saito, J. Murase, M. Yonezawa, H. Watanabe, T. Shibuya, M. Sasaki, T. Ninomiya, S. Noguch, M. Akai-Kasaya and Y. Kuwahara: Proc. SPIE, **8339**(2012), 83390C.
- (7) A. Saito, K. Ishibashi, J. Ohga, Y. Hirai and Y. Kuwahara: Proc. SPIE, **10593**(2018), 105930C.
- (8) A. Saito, K. Ishibashi, M. Akai-Kasaya and Y. Kuwahara: Proc. SPIE, **9429**(2015), 942912.
- (9) A. Saito, K. Yamashita, T. Shibuya and Y. Kuwahara: J. Opt. Soc. Am. B, **38**(2021), 1532.
- (10) K. Yamashita, Y. Kuwahara and A. Saito: Proc. SPIE, **11374**(2020), 1137406.
- (11) K. Yamashita, M. Fukihara, Y. Hirai, Y. Kuwahara and A. Saito: Jpn. J. Appl. Phys., **59**(2020), 052009.
- (12) K. Yamashita, K. Kunitsu, T. Hattori, Y. Kuwahara and A. Saito: Opt. Express, **29**(2021), 30927.
- (13) 住化アクリル販売株式会社, 技術情報, <https://www.sumikacryl.co.jp/tech/tech04.html>.
- (14) 住化アクリル販売株式会社, 技術情報, <https://www.sumikacryl.co.jp/tech/tech05.html>.
- (15) 三菱エンジニアリングプラスチックス株式会社 <https://www.m-ep.co.jp/product/youto/led/point.html>.
- (16) 三菱エンジニアリングプラスチックス株式会社 <https://www.m-ep.co.jp/product/youto/led/point02.html>.
- (17) S. Nakamura: Color-with Soraa Founder Shuji Nakamura, <https://www.soraa.com>
- (18) 久保恭子: 照明学会誌, **101**(2017), 543–548.
- (19) 小林 仁: 国際博物館の日記念シンポジウム 予稿集 2012.5.28, 1–11.
- (20) 齋藤 彰, 渋谷拓人, 森本健太, 桑原裕司: 特開2015-166753.
- (21) 下村政嗣: 高分子学会 バイオミメティクス研究会(編集), トコトンやさしい バイオミメティクスの本, 日刊工業新聞社, (2016).
- (22) J. Knippers, U. Schmid and T. Speck: Biomimetic architecture. Learning from nature, Birkhäuser, (2019).
- (23) E. Blanco, E. Cruz, C. Lequette, K. Raskin and P. Clergeau: Biomimetics, **6**(2021), 27.
- (24) NPO 法人バイオミメティクス推進協議会 <http://www.biomimetics.or.jp/>
- (25) 高分子学会バイオミメティクス研究会 <https://main.spsj.or.jp/c12/gyoji/biomimetics.php>
- (26) E. Cruz: Ph.D. Thesis, Muséum national d’Histoire naturelle (2022).



齋藤 彰

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1994年3月 東京大学工学系研究科博士課程修了
 1994年7月 フランス政府給費留学生(欧州放射光施設)
 1995年8月 高エネルギー物理学研究所 非常勤講師
 1997年3月 大阪大学工学研究科 助手
 2008年5月 現職
 専門分野: 表面科学, 応用光学, 放射光
 ◎放射光(硬X線)とプローブ顕微鏡による表面科学研究から発展し, 光とナノ構造の相互作用に基づく構造色・応用光学の研究に従事。ナノ構造による機能・特性の評価・設計・制御を中心に活動。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

AE法と数値解析による 材料の微視変形解析

白岩 隆行*

1. はじめに

この度、日本金属学会奨励賞をいただいた。これまでにご指導ご鞭撻いただいた先生方や企業・研究機関の研究者、学会関係者の方々、研究室の学生諸君に深く感謝申し上げます。今後の研究活動の励みにしたいと思う。それと同時に、本賞はきちんと研究に向き合うようにとの先生方からの厳しい叱咤激励であると受け止めている。一層身を引き締めて、研究に取り組もうと思う。本受賞は、アコースティック・エミッション(AE)法と数値解析によるものであった。数値解析については優れた論文がいくつもあり、本稿の著者はほとんどそれらを利用しているに過ぎない。本稿では著者が最近取り組んでいるAE法を用いた材料評価について紹介するのが適切であると思った。AE法はそのユニークな特徴から魅力的な計測手法であると認識されながらも、計測や解析にノウハウが多く存在し、手を出しにくいと思われる材料研究者も多いようである。浅学の著者がこのような題目で執筆することはおこがましいことであると思いつつも、AE法の有用性や今後の材料研究における使い道について議論するきっかけになればと思う。以下では著者が最近取り組んできた研究例を2, 3取り上げた後に、現在取り組んでいる数値解析とAE法の融合研究について述べる。個々の研究の詳細については著者らの原著論文⁽¹⁾⁻⁽³⁾を参照いただければ幸いである。

2. 高強度鋼の水素脆化割れのクライテリオン導出

非破壊検査法としてのAE法は、欠陥の生成や変形・破壊といった動的な現象を検出する手法として利用される。材料

中で欠陥や微視的な変形が生じると、弾性波が生じる。その弾性波が材料中を伝わって表面に設置された圧電素子等のセンサにより電気信号に変換されたものがAE信号である。そのような異常を検出する手法としてAE法を利用した例が、本章で述べる高強度鋼の水素脆化割れの評価である。

近年、鋼構造物や輸送機器の軽量化のために高強度鋼の需要が高まっているが、高強度鋼の溶接においては信頼性の観点で大きく二つの課題が残されている。ひとつは溶接継手の疲労強度が母材よりも著しく低いこと、もうひとつは水素感受性が高く溶接部において低温割れが起きうることである。疲労に関しては有限要素法(FEM)やマイクロメカニクスを用いた数値解析により溶接継手の疲労性能を予測する枠組みを提案した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。開発した計算モジュールはMIIntシステム⁽⁶⁾において稼働中である。一方で、低温割れに対する実用的な予防策は、溶接前に予熱を与えることで水素拡散を促進させ、局所的な水素の集積を防ぐことである。過剰な予熱は製造コストや微視組織への影響の観点から望ましくないため、低温割れを防ぐための限界予熱温度の予測が必要である。炭素当量(Pcm, CEN等)を用いた限界予熱温度決定法では十分な予測精度が得られないため、近年、数値解析手法により溶接部の伝熱・応力場・水素拡散挙動を計算する試みが行われている⁽⁷⁾。さらに低温割れを予測するためには、有効なき裂発生クライテリオンの導出が求められる。そこで著者らは、高強度鋼の水素脆化割れをAE法を用いて検出し、き裂生成のクライテリオンを導出することを試みた⁽¹⁾。図1は980 MPa級鋼について、熱処理条件や初期水素量を変化させて、SSRT(Slow Strain Rate Test)試験中のAE測定を行ったものの一例である。図に示すように、試験片中央に導入したノッチ近傍で振幅の大きなAE信号が検出され、矢印

* 東京大学大学院工学系研究科；講師(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

Microscopic Deformation Analysis of Materials by AE Method and Numerical Analysis; Takayuki Shiraiwa (School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo)

Keywords: Acoustic emission, fracture, finite element analysis, machine learning, inverse analysis, hydrogen embrittlement, composite, dislocation, data assimilation

2022年6月6日受理[doi:10.2320/materia.61.488]

で示すようにき裂発生応力(σ_{AE})を推定できた。き裂発生応力は初期水素濃度の増加とともに減少することを確認した。さらに、FEMによりSSRT試験中の局所水素濃度を計算することで、き裂生成の限界条件を局所水素濃度と最大主応力の関数として整理した。関数の形は津崎らのグループが提案しているもの⁽⁸⁾を利用した。導出されたクライテリオンが有効であるか確認するために、実際にy形溶接割れ試験を行い、溶接直後から48時間AE計測を行った。AEセンサはマグネット式のものを用いることで、溶接後に簡便に取り付けることができた。溶接後の累積AEエネルギー及びエネルギーレートの例を図2に示す。低温割れが生じた条件では、いずれの条件でもAEエネルギーレートに明らかなピークが見られ、き裂発生時刻を推定することができた。FEMにより溶接ルート部における最大主応力と局所水素濃度の変化を求め、SSRT試験から得られたクライテリオンに代入したところ、き裂発生時刻は最大主応力-局所水素濃度曲線がき裂生成限度曲線を越える時刻と概ね一致し、SSRT試験から導出されたき裂発生クライテリオンの有効性が示された。さらにその結果をもとに、溶接継手の割れ率や限界予熱温度を予測する手法を提案した。

以上のようにAE法を用いることで材料内部の破壊を検知し、数値解析により応力や水素濃度といった状態量を計算することで、破壊のクライテリオンを導出することができた。低温割れに関連する計測技術として、X線回折や中性子回折による残留応力測定、y割れ試験後の割れ率計測、昇温脱

離ガス分析法(TDS)や二次イオン質量分析法(SIMS)による水素分析技術があるが、いずれも基本的には静的な計測手法である。これらの計測ではいつ・どこで事象が発生したか特定することが容易ではない。一方、AE法では現象を直接見ることができないが、いつ事象が起きたか知ることができ、ある程度の位置標定もできる。上記のような計測とAE法を組み合わせることで相補的な解析を行うことで破壊現象の全容がわかるのではないかと思う。

3. LPSO型Mg合金の変形機構解析

前章の研究では、AE信号の発生タイミングのみに注目して解析を行った。我々が音を聞いて、その音の高低や強弱を感じ取るように、AE信号にも周波数特性や強弱の時間変化の情報が含まれる。これらAE波形の特徴は、AE波を放出する現象と関係しているはずである。従って、AE波形の周波数特性や波形の形状を解析することで、AEを放出する現象(AE源)の分類ができると考えられる。このような考えのもとに、材料試験中に発生するAE信号の周波数スペクトラムを教師なしクラスタリング手法(k-means法等)に適用することでAE信号を分類することがよく行われる。このような手法は簡便であり何も考えずに実施できるという利点があるが、一般に時系列データの解析においてk-means法による分類自体が失敗することはよくある⁽⁹⁾。それに気づかずAE信号をクラスタリングした結果だけを採用して、研究者の直感や判断によって都合のよい解釈をすることもあってはならないかと懸念する。AE法は間接的な手法であるので、他の観測手法により各AEクラスタの物理的意味を注意深く考える必要があるだろう。また計測される周波数特性は、AEセンサの種類や試験片形状によって変化することにも注意が必要である。以上のことから、多くの材料研究において、AE信号を教師なし学習により分類することに対して、疑問に思うところがあった。そのような中、近年熊本大学で開発されたLPSO型Mg合金の変形機構解析に取り組む機会に恵まれた。この合金では、従来のMg合金とは異なり、キンク変形が生じることにより強化されると言われている⁽¹⁰⁾。高強度を示すMg₈₉Zn₄Y₇押出材は α -Mg相とLPSO相の二相から構成される。そこで著者らは、 α -Mg単相とLPSO単相の材料をそれぞれ準備し、圧縮試験中にAEを放出する現象を超高速度カメラにより直接観察し、得られたデータを教師データとして「教師あり」学習することで、二相の押出材中のAE信号を分類することを検討した。

圧縮試験装置の計測系を図3に示す。AE波形を連続的に取得するために、伊藤らの開発したCWM⁽¹¹⁾を用いた。前述の水素脆化割れの実験を含め、著者らのAE計測ではもっぱらこの装置を利用させていただいている。高速度カメラは島津製作所のHPV-X2を使用した。一般的な高速度カメラは画像を記録するメモリがイメージセンサの外部にあるため、撮影速度は信号線による制約を受ける。ここで使用した高速度カメラは、イメージセンサにメモリを内蔵させ、撮影中はチップ内部に映像信号を記録し、撮影後に外部に読み出

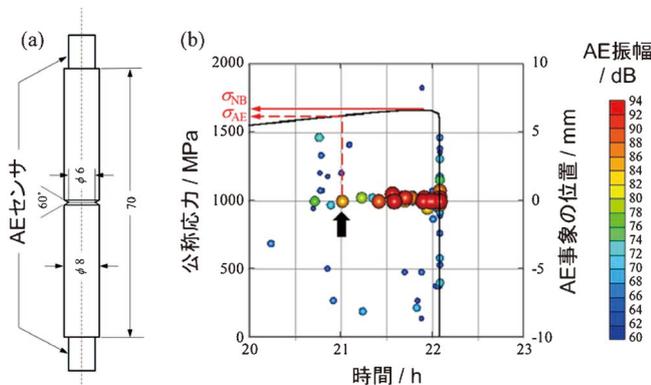


図1 (a) SSRT試験片の形状, (b) AE位置標定の結果。(オンラインカラー)

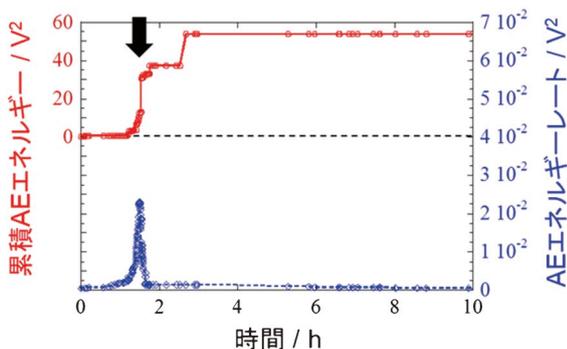


図2 y形溶接割れ試験中のAEエネルギーの変化。(オンラインカラー)

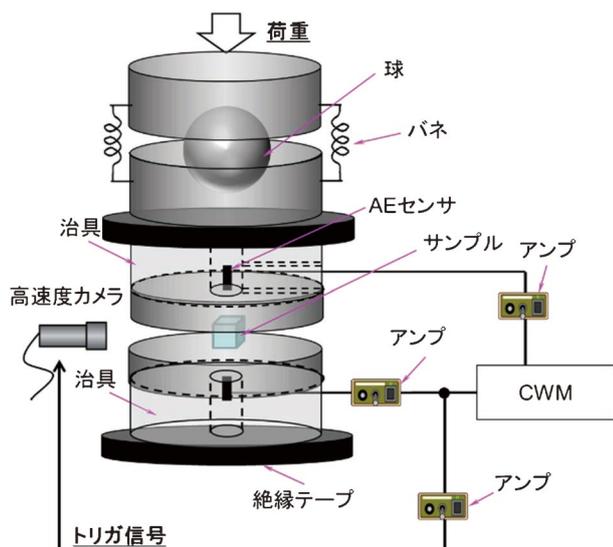


図3 AE センサと高速度カメラを備えた圧縮試験装置. (オンラインカラー)

すことにより1000万FPSの超高速撮影を実現したものである⁽¹²⁾. AE信号の周波数帯は通常100kHz-数MHzであり10MHz程度のサンプリングレートで計測するため、AE計測と同様の時間分解能を持つことになる. ただし、その構成上、記録可能な画像枚数が限られるという欠点がある(高解像度モードで256枚). そこで試験中に得られるAE信号を増幅し、高速度カメラに撮影のトリガとして入力することとした. AEは発生からセンサ表面への伝播、センサによる圧電変換、アンプによる増幅を経て高速度カメラに入力される. ここから高速度カメラ内部のディレイを差し引くと、一連の動作に10 μ s程度かかることを確認した. したがって、AE信号をトリガ入力することで、高速度カメラの内蔵メモリに格納されている画像を取り出せば、AE発生の約10 μ s前から25.6 μ s間の映像を0.1 μ sの時間分解能で撮影できる. 実際に撮影した画像を図4に示す. α -Mg相の双晶変形と、LPSO相のキンク変形を明瞭に観察することができた. 双晶は瞬時に生成した後に幅方向に成長するのに対し、キンク帯はくちばしの先端から生成し、数 μ sかけて長手方向と幅方向の両方に成長した. 同様の観察を繰り返し行うことで、AE波形と双晶/キンク変形を1対1に結びつけたデータを収集した. 双晶によるAEは特定の周波数帯にピークを持つが、キンクによるAEはブロードな周波数特性を持つことがわかった. 双晶またはキンクにラベル付けされたAE波形を教師データとして、機械学習によりAE信号を分類する分類器を作成した. オーバーフィッティングに注意しつつ、いくつかの機械学習手法を比較したところ、サポートベクトルマシン(SVM)が最も分類性能が高いことがわかった. 機械学習の手順を図5に示す. このような分類器を用いて、高強度を示すMg₉₇Zn₁Y₂押出材及びMg₈₉Zn₄Y₇押出材の圧縮試験中のAE信号を分類した. 分類結果は、途中止め試験においてSEM-EBSD解析によりキンク帯や双晶の観察をした結果と矛盾しないものであった. したがってAE法により試験中の双晶・キンク発生挙動を連続的に捉えることができた

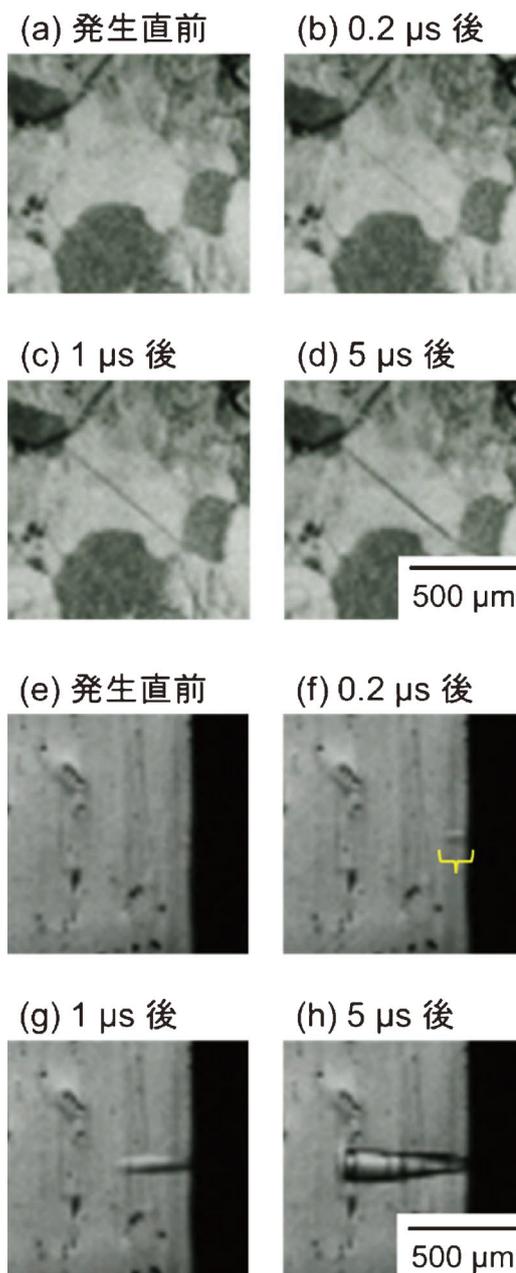


図4 (a)-(d) 純Mgにおける双晶変形, (e)-(h) LPSO相におけるキンク変形の高速度撮影結果. (オンラインカラー)

言える. また各クラスターのAE事象の発生時刻を点過程モデルにより解析したところ、双晶・キンク変形ともに非ポアソン過程であることがわかった. すなわち、各AE事象は独立ランダムに発生しているのではなく、過去の事象に何らかの影響を受けていることを示唆するものであった. 最近地震学で用いられる点過程モデルを用いて、各事象間の相互作用をより詳しく解析している⁽¹³⁾. 以上のように、光学的な観察手法により材料表面においてAE源を特定し、それを教師データとして用いることで材料内部を含めて試験片全体で発生したAE事象を分類することを提案した. AEと物理現象を紐付けられるという点で強力な手法である.

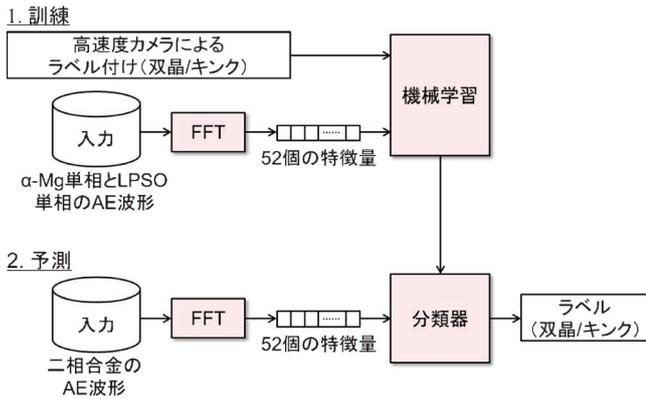


図5 教師あり学習による AE 信号の分類. (オンラインカラー)

4. SiC/SiC 複合材料の破壊機構解析

前章のように AE 源を直接観察できるケースはまれである。実際に高速度カメラによる撮影と AE 信号を対応づける作業は大変なものであった。計測される AE 信号の多くは材料の内部の現象により発生するので、高速度カメラによる表面観察は空振りすることの方が多かった。1回の圧縮試験で数百回のトリガ撮影が行われるように調整すると、表面にキンクや双晶が出てくれるのが数回という程度の成功率であった。そこで本章で述べる研究では AE 以外の観測データがない状態で、観測者によらず AE のデータを分類するにはどのようにすればよいか考えた。

SiC 繊維強化 SiC マトリックス複合材料は、従来の耐熱合金 (Ni 基合金) の限界使用温度よりも約 200°C 高い耐熱性を示し、重量は約 1/3 である。航空機エンジンの高温部用材料として期待されている。一方で、材料の信頼性確保と検査技術確立のためには、その複雑な破壊挙動を定量的に評価することが必要である。そこで SiC/SiC 引張試験中に発生した AE について、累積 AE イベント数を以下の混合ガウス分布及び混合ワイブル分布で表現した。

$$G_K(\sigma) = \sum_{i=1}^K \frac{a_{Ki}}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\sigma - b_{Ki}}{\sqrt{2c_{Ki}^2}} \right) \right\},$$

$$W_K(\sigma) = \sum_{i=1}^K p_{Ki} \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma}{q_{Ki}} \right)^{r_{Ki}} \right\} \right] \quad (1)$$

ここで σ は正規化応力、 K は混合分布の要素数、 a_{Ki} , b_{Ki} , c_{Ki} は K 個のガウス分布から構成される混合分布の定数、 p_{Ki} , q_{Ki} , r_{Ki} は K 個のワイブル分布から構成される混合分布の定数である。解析者によらず、観測データから K を決めるために、要素数が $K=1$ から 8 の場合について、各パラメータの推定をマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法により行った。パラメータ数が多いため、局所解へトラップされることを避けるために、逆温度を導入したレプリカ交換 (RE) MCMC 法⁽¹⁴⁾を用いた。また解析後に各パラメータの事後分布から確率的複雑さ⁽¹⁵⁾を算出しモデル選択を行った。RE-MCMC による解析とモデル選択を 100 回行った結果を図 6 に示す。要素数 2 の混合ワイブル分布が適切なモデルであることが示唆された。一方で、各応力において試験を中断し

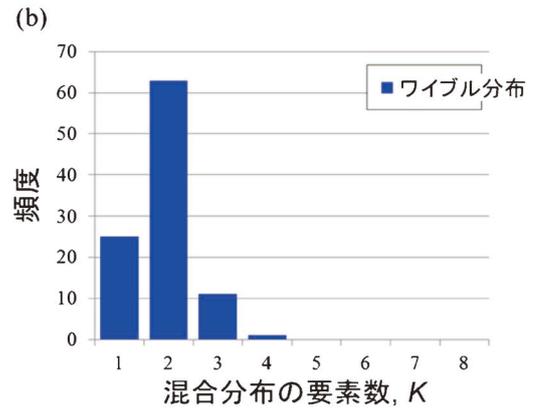
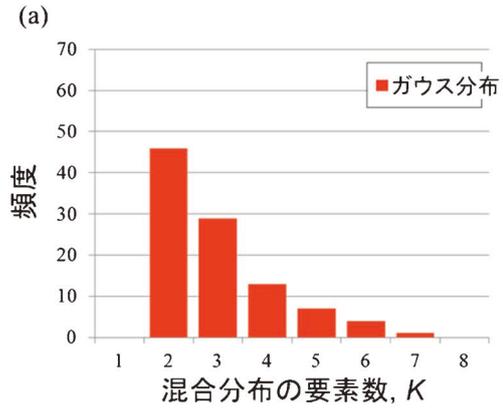


図6 SiC/SiC 複合材料の引張試験において計測された AE 信号のモデル選択結果 (試行回数 100 回). (オンラインカラー)

た試験片について、断面のき裂を観察したところ、き裂は縦方向繊維束内のき裂、横方向繊維束内のき裂、マトリックス割れの 3 種類に大別された。各き裂の増加傾向と比較することで、混合ワイブル分布の 2 つの要素分布のうち、ひとつはマトリックス割れと横方向繊維束内のき裂、もうひとつは縦方向繊維の破断に対応することが示された。以上のように、教師データとなる AE 信号がない場合にも、情報量規準を適用することで、AE イベントを複数の分布に分類できることが示された。しかしながら、各要素分布がどのような現象に対応するかを検討するためには断面観察などの他の計測が必要であることが課題である。最近鉄鋼材料や Mg 合金の疲労き裂進展にも同様の解析手法を適用している⁽¹⁶⁾。

5. AE 信号と数値解析モデルのデータ同化

前章では、AE 信号と結びつく観測データがない場合について考えた。この場合、得られる結論は定性的なものに限られる。一方で、著者らは近年、マテリアルズ・インテグレーションの開発というテーマにおいて、疲労破壊や延性破壊の数値解析を行ってきた。数値解析は定量的な結果を出すことができるが、境界条件や構成則の選択、パラメータ較正が解析結果に大きく影響を与えることを勉強した。最近計算機性能が著しく向上しており、複雑な数値解析モデルを用いることはそれほど難しくないので、モデルが複雑になるほど、モ

金属鑄造と砂型：3. 大学における砂型の実習

浅野和典* 永瀬丈嗣** 柏井茂雄***
 兼吉高宏**** 北村一浩*****

1. はじめに

「砂型鑄造」を体験することは、鑄造技術の基本を理解する上でたいへん有用である。かつては多くの大学や高等専門学校、工業高等学校などの教育機関において砂型鑄造による鑄造実習が行われていた。一方で、砂型を用いる実習は大きな労力と手間を必要とすることから、砂型鑄造の実習を行う教育機関が減少していることも事実である。

「金属鑄造と砂型」の解説記事として、第1報⁽¹⁾では金属歴史地理学の観点からみた鑄造と砂型の歴史について、第2報⁽²⁾では洗濯のりをを用いた砂型実習教材の開発について報告した。ここでは、第3報として、大学における砂型鑄造による鑄造実習の例として、主に近畿大学における鑄造実習の概要を紹介する。

2. 関西の教育機関における鑄造教育の現状と日本鑄造工学会の関わり

関西では古くから河内国丹南(現在の堺市)を中心として鑄物師が多数の工房を設置し、こしき炉(銑鉄や鑄物の再溶解に使われた銑鉄用融解炉, ミニキューポラのようなもの)を用いて鉄や銅の金属製品を多数鑄造していた。本解説論文にて紹介する砂型を用いた鑄造実習がおこなわれている近畿大学理工学部がある東大阪市は堺市に近く、多くの工場が密集するモノづくりの街である。近畿大学における鑄造実習については後述することとし、ここでは関西の教育機関、および日本鑄造工学会関西支部で行われている鑄造教育の現状⁽³⁾⁽⁴⁾

について簡単に述べる。

大学における鑄造実習を組み込んだ教育については、近畿大学以外では、例えば関西大学化学生命工学部化学・物質工学科が必修科目「マテリアル工学実験Ⅱ」で3年生を対象に銑鉄の溶解・鑄造実習を行っている。ここでは砂型作製から銑鉄の溶解・鑄込みまでを実習するとともに、凝固時の体積変化や冷却曲線の解析を行っているとのことである。兵庫県立大学では、工学部機械・材料工学科・機械工学コースの3年生を対象に、必修科目「創造設計工作実習」の中で、アルミニウム合金(Al-Si合金)の砂型鑄造に関する実習が行われている。ここでは、機械工学専攻の教員だけではなく、工学研究科工作センターのスタッフの支援のもと、工作センターの鑄造室を利用して実習が行われているとのことである。

いくつかの高等専門学校や工業高校、工科高校では、これまでは銑鉄の溶解・鑄造実習などを実施し、ハイスや減速機などの実用品までの一連の製造実習(素材の鑄造から加工、組立てまで)を通してモノづくり教育を実施していたが、最近では溶解・鑄造の実習自体ははされていても最終の実用製品まで完成製作するという実習までは行われていない傾向がある。日本鑄造工学会では、高校生にもものづくりを体験させ、より多くの理系を目指す人材を育成する目的で「理系応援プロジェクト」を展開している。このプロジェクトの一環として、日本鑄造工学会関西支部では、(1)高校生を対象とした鑄物教室および工場見学、(2)工業高校や工科高校への授業・実習支援、といった活動が行われている。(1)の活動については2014年から実施され、これまでに関西地区における鑄造工場敷地内にて造型作業を行い、各生徒が各自の鑄型に溶湯を鑄込むという作業を7校・64名の生徒が体験した

* 近畿大学; 教授(〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

** 兵庫県立大学; 教授

*** 公益財団法人 新産業創造研究機構; 技術コーディネーター

**** 兵庫県立工業技術センター; 部長

***** 愛知教育大学; 教授

Metal Casting and Sand Mold: (3) Sand Casting Practice at University; Kazunori Asano*, Takeshi Nagase**, Shigeo Kashiwai***, Takahiro Kaneyoshi**** and Kazuhiro Kitamura***** (* Kindai University, Higashi-Osaka. **University of Hyogo, Himeji. ***The New Industry Research Organization (NIRO), Kobe. ****Hyogo Prefectural Institute of Technology, Kobe. *****Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: *university education, sand casting, practice, white metal, sprit pattern, finishing*

2022年1月6日受理[doi:10.2320/materia.61.493]

(ピューター合金溶湯・13名、鋳鉄溶湯・51名)⁽³⁾⁽⁴⁾。(2)は、工業高校・工科高校の中にはこしき炉が設置され、鋳鉄の溶解を含む本格的な鋳造実習が可能であるが、溶解作業を指導できる教員が年々減少する、あるいは情報・プログラム・3DCAD/CAM・レーザ加工などの別の実習に置き換わるなどの理由により、鋳造実習に充てる時間が少なくなっているという現状に対応した活動である。大阪府立城東工科高校の例を紹介すると、工科高校側から日本鋳造工学会関西支部に自校で保有するこしき炉操業に立ち会い意見をいただきたいという希望があり、日本鋳造工学会関西支部の支援によって、こしき炉の築炉や操業条件・溶解温度・成分・機械的性質などの確認検討作業を工科高校と日本鋳造工学会関西支部の協同行い、次年度以降の鋳造実習をさらに充実した内容にしていく、といった活動がある。このような工業高校や工科高校での授業・実習への直接的な支援は、日本金属学会では皆無であるように思われる。日本鋳造工学会では、工業高校や工科高校との連携を活かして、実際の「鋳造」の体験だけではなく、授業・実習を大きく支援することまでも含めて、「鋳造」の魅力を高校生に発信するというプロジェクトが進行している。

3. 近畿大学における実習内容

近畿大学理工学部では、昭和37年(1962)に金属工学科が設置された。設置当初から鋳造を専門とする教員が多数おり、関西において鋳造に関する教育と人材の輩出に大きな役割を担っていた。平成14年(2002)の理工学部改組に伴って金属工学科は廃止され、著者を含めて5名の鋳造を専門とする教員は機械工学科へ異動となった。当時の機械工学科では機械工学の4力学(材料力学、熱力学、流体力学、機械力学)を中心とした教育を行っていたが、実験・実習に鋳造はもとより、材料試験も組み込まれていなかった。新機械工学科カリキュラム編成の際には、旧金属工学科の教員が機械工学における金属材料工学の重要性を強く主張したことが功を奏し、新機械工学科のカリキュラムには金属材料工学に関連する複数の科目が学年をまたいで組み込まれることとなった。

現在の機械工学科は「ものづくりの中核を担う機械技術者の育成」を教育目標に掲げ、カリキュラムは4力学に「材料工学」「制御工学」を加えた基幹6分野を機械工学の基礎として、これら複数の基幹教科目を束ねるための機械設計・製図・機械工作法関連科目を土台に編成されている⁽⁵⁾。材料工学の観点からカリキュラムマップを眺めると、「工業材料」(2年生前期)、「材料工学演習実験」(2年生後期)、「材料組織学」(3年生前期)、「鋳造工学」(3年生後期)のフローを形成している。「材料工学演習実験」以外は選択科目であるが、学科の大半の学生が受講している。これが「機械工作法」「機械加工実習」「金属加工実習」「機械加工学」「塑性加工学」といった加工系科目や4力学など他科目群のフローと4年生でつながる形となっている。このうち、「機械加工実習」(2年生前期、必修1単位)では汎用旋盤、鋳造・手仕上げ、

CAD/CAMの3つの実習が行われている。機械工学科1学年は200名弱在籍しているが、これを1班あたり約16名に班分けし、各班に対して教員1名と大学院生のティーチングアシスタント2名が指導に当たる。これらの実習を班に分かれて順に行っていく。著者は鋳造・手仕上げ実習を担当しており、鋳造1日(2コマ)、手仕上げ1日(2コマ)が割り当てられている。手仕上げは学生自身が鋳造した鋳物から湯口、湯道などを切り離し、製品本体(プレート部)のヤスリがけを行うほか、工具を用いて手作業でアルミニウム合金板を指定形状・寸法に仕上げる実習も行っている。

鋳造実習では、OBBサンドを鋳物砂に用いて造形し、ホワイトメタルを鋳造している。OBBサンドとは油分を含んだ特殊砂で、学会などが主催して行っている小中学生向けの鋳物教室でホワイトメタルの鋳造に多用されているものである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。実際の鋳造工場では、天然または人工砂に粘結剤(粘土と水など)を混ぜて成型する生型などが用いられるが、水分量の調整や砂の再生など品質を保つための管理が難しい。OBBサンドは油分が粘結剤の役割を果たすこと、特殊な処理を施さなくてもほぼそのまま再利用が可能なこと、鋳物教室でもよく用いられている。油粘土に比べて砂の粒子は大きく、手触りで粒状であることを認識できる。粒子があまり細かいと、成型した鋳型に注湯した際に鋳型内の空隙部(キャビティ)内のガスを外へ逃がすことができず、湯廻り不良など鋳造欠陥の原因になる。逆にあまり粗いと模型の形状(とくに表面の細かい文様)が砂型にうまく転写されない。これらの点を考慮し、OBBサンドは鋳造しやすいように適度な粒径のものを選定しているようである(なお、このOBBサンドは輸入品で、2015年にインターネットを通じて60kgを約115,000円で購入したものである。現在は販売されていないようであるが、他の団体でも鋳物教室などで使用している様子がWEBで紹介されている)。小中学生向けの鋳物教室では、湯口や湯道などを設けずに開放型を成型し、簡単な形状の鋳物を作製することも多いようであるが、大学生対象ではもう少し踏み込んだ内容にしたいと考え、開放型でなく上下分割型とし、湯口、湯口底、短い湯道(堰(せき))、ガス抜きを設けることにした。製品本体は、大学ゆかりのデザインが彫り出された板状の模型(図1)(アルミニウム合金製、長さ100、幅75、厚さ4mm)(厚さ方向に“抜け勾配”を設けているので、ここではおよその寸法を示している)を使って、薄肉のプレート状鋳物を作製することとした。ちなみに模型はデザインの異なる5種類を作製し、学生に好きなデザインを選ばせている。大学2年生とはいえ、機械工学科の学生はこの時点で鋳造についてはよく理解していないので、「鋳造とは？」から説明する必要がある。とはいえ、実習に割り当てられた時間は限られており、説明に十分な時間を割くことは困難である。そこで「鋳造とは？」などの基本的なことは授業1回目の全体ガイダンスで説明し、実習当日は実習作業における注意事項に加えて鋳造方案などガイダンスから一步踏み込んだ内容について説明している。例えば、先述したOBBサンドの概要に加え、以下のようなことである。



図1 模型(アルミニウム合金).



図2 模型の設置.

●湯口と湯口底の役割；湯口は重力を利用して溶湯を上から注ぐ。溶湯をスムーズに落とし込むため、湯口は流体の自由落下を近似した形状をしていること、上から注ぐことで乱れた溶湯の流れを湯口底(湯だまり)で整え、その後湯道(堰)を横方向に取り付けることで溶湯流の乱れが少ない状態で製品本体部のキャビティへ流し込むことで製品本体への空気の巻き込みや鑄型の欠損を低減できる。

●キャビティのうち、肉厚部は最終凝固部になりやすく、そこに引け巣(凝固収縮による鑄造欠陥)が発生しやすいので、通常の砂型鑄造では製品本体とは別の厚肉な空隙部(押湯)を設け、ここに引け巣を意図的に発生させる手法が用いられる。本実習で用いる製品は本体が薄く、最終凝固部になりにくいことから、引け巣などの鑄造欠陥が本体に発生しにくいことが想定されるので、湯口・湯口底が押湯の役割を果たし得る。

●抜型しやすいよう、模型には抜け勾配を設ける必要がある。

このような鑄造方案の基本的な考え方を理解させながら、得られた鑄造品の仕上がりを考察させることが大学生対象の鑄造実習ならではのポイントの1つと考えている。

最初に鑄造方案の基本的な考え方を交えて造型や注湯、型ばらし作業の注意点を説明した後、実習作業を行う。作業の概要は以下の通りである。

(1) 造型

造型作業は2名1組で行う。鑄型は2名で2つずつ作製するので、全員が1回は注湯作業を行うことができる。作業台上に置いた下型用の木枠に、製品本体、湯口底、堰それぞれの模型を設置する(図2)。製品本体の模型はアルミニウム合金製であるが、それ以外は木製であり、近隣の模型製作業者に依頼して準備したものである。ここへOBBサンドを詰め、木製の角棒を使って突き固めた後(図3)、枠からはみ出した余分な砂をきれいに取り除く。

裏返して作業台上に置き、その上に上型用の木枠を置いて、湯口を設置して砂を詰め、突き固める。その後模型を鑄型から取り出して完成(抜型後の下型の外観を図4に示す)。造型作業は時間のかかる工程であるが、学生たちは実習内容とは関係ない話(?)も交えながら和気あいあいと作業している。



図3 突き固め作業.



図4 抜型後の下型の外観.

(2) 注湯

鑄造実習最大の醍醐味の1つであり、学生が最も緊張する瞬間である。用いた材料は軸受用のホワイトメタル(JIS-WJ2, Sn-Sb-Cu合金)である。人体に有害な鉛やカドミウムなどは含まれていない。ホワイトメタルインゴットを取手付きのホーロー鍋に入れ、ガスコンロで約350℃に加熱・溶解、溶湯表面に残存する酸化皮膜などを取り除いた後、学生が鑄型に注湯する(図5)。

(3) 型ばらし、仕上げ

数分静置した後、製品を取り出すために型ばらしを行う(図6)。素手で触ると火傷や切傷の危険があるので、必ず手袋をはめるよう注意する。ばらした砂は金属片やゴミを取り



図5 注湯の様子.



図8 模型(左)と鋳物(右)の外観.



図6 型ばらし作業の様子.



図9 湯廻り不良.



図7 型ばらし, 砂除去後の鋳物の外観.

除いた後, 再度利用する. 取り出して余分な砂をブラシで除去した鋳物の外観を図7に示す. 湯口, 湯口底, 堰, ガス抜きが製品本体に着いた状態なので, 弓のこで切断(あるいはペンチで折り曲げる), ヤスリがけを行って仕上げる. 造型の際に上下の型合わせが不十分で見切り面(分割面)の隙間から溶湯が漏れ, 大きなバリが発生することもある. バリが発生すると仕上げ作業に手間がかかるが, 素手で触ってもけがをしない程度にヤスリがけした後, ノギスで寸法を測定し, アルミニウム合金製の本体模型のそれと比較する(図8).

大半の学生が1回の注湯できれいな製品を作るが, 中には湯廻り不良が生じるなどでうまくできない場合もある(図9). うまく铸造ができなかった場合には学生とともに原因を考え, レポートにまとめさせる. 作製した製品は各自持ち帰ってもらうので, よりよい作品を持ち帰りたいと考え, 2回

目, 3回目の铸造を申し出る学生もいる. 造型作業から行うので時間はかかるが, 時間の許す限り気の済むまで再チャレンジをさせている.

「機械加工実習」の成績は「製品の完成度」と「レポート」で評価している. レポートについては内容や体裁などの細かい評価項目を設けて評価しているが, 「製品の完成度」の評価が難しく, 大きな問題なく完成させていれば満点としているのが現状である. よりの確なルーブリックも取り入れながら, 客観的・定量的な評価を行うことが今後の課題と考える.

4. コロナ下での実習

新型コロナウイルスの感染拡大によって, 近畿大学でもキャンパス内への学生の入構が制限され, 緊急事態宣言発出期間中は原則 Zoom を用いた遠隔授業を行うこととなった. 講義・演習科目はともかく, 実験・実習科目については, 学習・教育目標をどのように達成させるか, 苦慮された先生も多いと思う. 「機械加工実習」のシラバスでは「実習を通して, 加工方式を“体験的に”学習・理解できる.」という学習・教育の到達目標を掲げており, 遠隔授業のみでこの到達目標を達成することは困難である. そこで, まず緊急事態宣言発出中は遠隔授業によって以下のように進めた.

① 実習で行う作業の説明と実演を授業時間内にライブ配信(図10)

② ライブ配信は録画し, 9分程度の動画に編集して YouTube に限定公開(学生には後の「補足実習」の前に再度視聴し, 内容を把握しておくよう指示)

テキストや資料, 課題の配布, レポート提出, 出欠チェッ



図10 遠隔授業の様子(ライブ配信と編集動画の提供を併用)。

ク、質問受付などは大学の基本方針に従い、Google Classroom を用いた。

緊急事態宣言が解除され、入構人数制限のもと実験・実習科目が対面形式で行うことができるようになったタイミングで、“体験的”学習をさせるための「補足実習」を設定した。補足実習は正規の授業時間とは別に放課後や土曜日に設定し、前期試験直前と試験期間中には設定しないよう配慮した。時間が限られている上に、三密を避けるために通常よりさらに少ない人数でおこなう必要があったため、通常の半分程度の人数(約8名)に班分けし、通常1日2コマ連続で各班1つの実習を行うところ、1コマで終わるようにした。通常行う実習前の説明は先述の①②で理解させ、実習当日の説明は最小限とした。このようにして、前期試験が終了し、夏期休暇に入る前にすべての班が予定通りの補足実習を終え、レポートを提出できるようにした(これより遅くなると前期成績の提出に間に合わず、「製品の完成度」を成績に加味することが困難であった)。

5. 授業評価(アンケート)

レポートの最後に感想を書かせていたので、主なものを以下に示す。学生の感想を率直に伝えるため、ほぼ原文のまま読みづらいことをご了承いただきたい。

- ①造型作業は説明を聞くと簡単な作業だと思っていたが、実際行くと特に砂の突き固めは思ったより力加減が難しく、うまくいかなかった。繊細な作業が必要であることを経験できて良かった。
- ②鋳型がうまく製作されていないと鋳物の出来もよくないので、造型の重要性を痛感した。
- ③鋳型作製、とくに上型の作製に時間がかかったが、実際に自分で行ってみて鋳造の手軽さに驚いた。
- ④注湯によって鋳型が膨張し、模型より厚い鋳物ができてしまったので、鋳型の強度が必要であることがわかった。
- ⑤砂型は一度鋳造してしまうと型を崩さないといけな。つまり、できたものはオンリーワンのものである。そう思う

と気になっていた鋳物のわずかな凹凸に愛着がわいてきた。

- ⑥型に流し込むだけなのでそこまで差は出ないかと思っていたが、流し込むのにも技術が必要であり、その技術がないと綺麗な鋳物ができないということがわかった。
 - ⑦CAD/CAM 実習や汎用旋盤実習とは全く異なる加工法なのであわせて学習できて理解の幅が広がり、有意義な実習となった。
 - ⑧模型には小さな文字や装飾が含まれていたが、鋳型に問題なく反映され、複雑な形状の加工に適する鋳造の長所を実感することができた。溶湯を流し込む作業は湯口を整えることで容易に、スムーズに行うことができた。完成した製品には凹凸が認められたが、鋳造の特徴を鑑みて十分評価できるものとなったのではないと思う。
 - ⑨砂を使って型を作り、そこに溶湯を流し込むというのは去年の機械工作法で学んで知っていた。しかし、「本当に砂で型を作れるのだろうか?」、「湯道はどうやって確保するのだろうか?」という疑問があった。今回、実際に材料や道具に触れ、鋳物を作ることでそれらを解決できた。
 - ⑩大量生産可能であり、複雑な形状のものも製作可能という点から、現在でも広い分野において使用されていることに納得した。この利点は鋳造にしかないと思うので、将来的にも広く役に立つ加工方法であると思う。
 - ⑪現代では機械などを使って簡単に短い時間で大量にものづくりをすることが簡単になってきているが、昔の人はこれを全部手作業でやっていたのを考えると鋳造工程の大変さと現代がいかに便利な世の中なのかを実習を通して感じる事ができた。
 - ⑫他の実習と比べて力が必要でたいへんだったが、やりがいもあり楽しかった。
 - ⑬手作業だけで完成度の高い製品が短時間で作れることを肌で感じる事ができた。
 - ⑭これまで2人で金属を加工する作業はしてこなかったもので、新鮮で、協力することで自分の気も引き締めりととてもよい体験になった。
 - ⑮今、コロナでオンライン授業が中心に行われている中で、実際に触れて作業してみることによって、画面越しの説明だけではわからないことも感じ取れて、すごく意味のあるものだった。
 - ⑯楽しかったが、もっと融点が高い金属で実験してみたいと思った。
 - ⑰今回はうまく成形できなかったのですが、機会があればきれいな鋳物を作りたい。
 - ⑱鋳物を作ったことで改めてモノづくりの楽しさを知れたので良かった。
 - ⑲人生で初めての経験だったので緊張したが、とてもわくわくした。
 - ⑳映像等でしか見たことがない鋳造を自ら体験でき、貴重な経験ができ、よかったと思う。
- アンケートの結果をまとめると、「鋳造の難しさ」を挙げた感想が7件、「楽しかった」など、好意的な感想が7件、

鋳造の長所がわかったという感想が2件あった。本稿の主テーマは「砂型」であるため、多くの学生が関心を持ったであろう注湯作業ではなく造型作業に関する感想を抜き出そうと考えていたが、むしろ造型作業に関する感想が多かったのは意外であり、抜き出しの必要はなかった。時間と手間がかかり、力加減とチームワークも必要な造型作業を手作業で行うことは、こちらの考えている以上に学生にとって印象深かったのだと思う。特にコロナ禍で共同作業が制限される中、協力して造型作業を行うことができたことで楽しさは倍増したのであろう。鋳造実習における造型作業の意義と重要性を改めて痛感した。

6. おわりに

今回用いた OBB サンドは取り扱いが容易であることも手伝って、限られた時間で多くの学生一人一人が造型・鋳造作業を行うことに多大な役割を果たしていると感じた。一方、実際の鋳造現場で用いられる生型あるいはそれに近い砂型(CO₂型など)を用いて、アルミニウム合金や鋳鉄の鋳造実習を行うことができれば、学生にとっても機械部品などをよりイメージしやすくなるかと考えられる。この場合は、限られた時間で多くの学生全員に造型・鋳造を体験させるのは困難であることに加え、砂の管理や廃棄の問題も考慮しなければならない。現在のカリキュラムにおいては、これまで行ってきた OBB サンドを用いた造型・鋳造作業を個々に体験させつつ、数個のアルミニウム合金(あるいは鋳鉄)鋳物の作製(多くの学生にとっては見学のみになる)を組み合わせるのが現実的かと考えている。現在は仕上げ実習にも2コマ設けているが、今後は鋳物の仕上げのみとし、アルミニウム合金板の仕上げはやめても良いと考えている。最近、大学に砂

型作製の3Dプリンタが導入された。今後は、中子を用いた通常の砂型に加え、3Dプリンタによる中子や抜け勾配の不要な砂型を作製し、これを用いてアルミニウム合金(あるいは鋳鉄)鋳物を作製し、比較することで、中子の重要性和、中子や抜け勾配の必要がない最新の鋳造技術を体験させたいと考えている。合わせて、大学のオープンキャンパスや学会のイベントにおける鋳造技術の啓発活動をより積極的に行い、関西以外の地方との連携を強化して全国的な活動推進につなげていければと考えている。

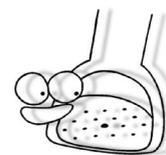
文 献

- (1) 永瀬丈嗣, 柏井茂雄, 兼吉高宏, 浅野和典, 北村一浩: までりあ, **61**(2022), 340-345.
- (2) 柏井茂雄, 兼吉高宏, 永瀬丈嗣, 浅野和典, 北村一浩: までりあ, **61**(2022), 437-442.
- (3) 道浦吉貞: 鋳造工学, **91**(2019), 125-127.
- (4) 例えば, 日本鋳造工学会関西支部通信, **3**(2016), 10-13., **4**(2017) 11-13, **5**(2018), 25-30, **6**(2019), 25-30.
- (5) 近畿大学理工学部・大学院総合理工学研究科ホームページ <https://www.kindai.ac.jp/science-engineering/education/>
- (6) 安斎浩一, 及川勝成, 板村正行, 平田直哉, 後藤育壮: 素形材, **52**(2011), 46-49.
- (7) 唐田裕介: までりあ, **58**(2019), 158.



浅野和典

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1994年 近畿大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2005年 博士(工学)(近畿大学)
 1994年4月-2006年3月, 近畿大学理工学部助手
 2006年4月-2012年3月, 近畿大学理工学部講師
 2010年9月-2011年8月, シェフィールド大学客員研究員。2012年4月-2018年3月, 近畿大学理工学部准教授。2018年4月-現職
 専門分野: 鋳造, 金属基複合材料
 ◎鋳鉄, アルミニウム合金, マグネシウム合金鋳物を中心に, 鋳造技術を用いた異種材料の複合化などによる材料の高付加価値化に関する研究を行っている。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



1. 組織観察

1-7 透過型電子顕微鏡を用いた組織観察

山本 剛久¹⁾ 小平 亜侑²⁾

1-7-1 はじめに

前回は⁽¹⁾、透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope; TEM)の構造と像を観察できる仕組みについて基本的な内容を概説しました。本稿では TEM を用いた組織観察法やその実例を二回に分けて概説します。前回も述べましたが、TEM は様々な優れた観察方法を有しています。ここで紹介する内容はそのごくごく一部でしかありません。前回⁽¹⁾も紹介した参考文献等を必ず参考してください。

1-7-2 試料ホルダーへの TEM 試料の設置

1-7-2-1 試料ホルダーの概要と注意点

様々な仕様の試料ホルダー(以下、ホルダー)が用意されています。基本的なホルダーは、一軸(傾斜)ホルダー(図 1(a))と二軸(傾斜)ホルダー(図 1(b))です。図 1(c)に示すように、一軸ホルダーはホルダー軸(X 軸)を中心とした回転方向のみに試料を傾斜させることができ、図 1(d)に示す二軸ホルダーでは、さらにその直角方向(Y 軸)へも傾斜させることができます^{†1}。試料を特定の結晶方位へ回転させる必要があるときには、二軸ホルダーを使用します。また、試料を複数設置できる図 1(g)に示すような便利な特殊一軸ホルダーなども用意されています。基本的な取り扱いについては使用している TEM の取扱説明書を参考にしてください。ここでは、その他に配慮すべき点について説明していきます。

TEM 試料(以下、試料)をホルダーに設置するときには、いくつかの注意点があります。まず、試料の汚染を防ぐためにホルダーを前にして話さないようにしましょう。マスクを

つけて作業するのが簡単で確実です。作業時の服装にも配慮が必要です。糸くずの飛散を防ぐためにも作業着などの着用を勧めます(毛糸のセーターなどは避けましょう)。当然ですが、真空内に挿入される部分(図 1(a), (b)に示した O リングから先端までの範囲)には直接触れないようにしてください。試料を設置する前に、実体顕微鏡を用いて O リングに付着した埃や試料設置箇所の汚れを取り除きます。他の利用者が用いた試料の汚れなどが、付着していることがありますので要注意です。

前回説明したように、ホルダーは数 mm 程度の空間(対物レンズのギャップ)に挿入されていきます⁽¹⁾。試料が平板状であればいいのですが、そうでない場合には思わぬ故障を招

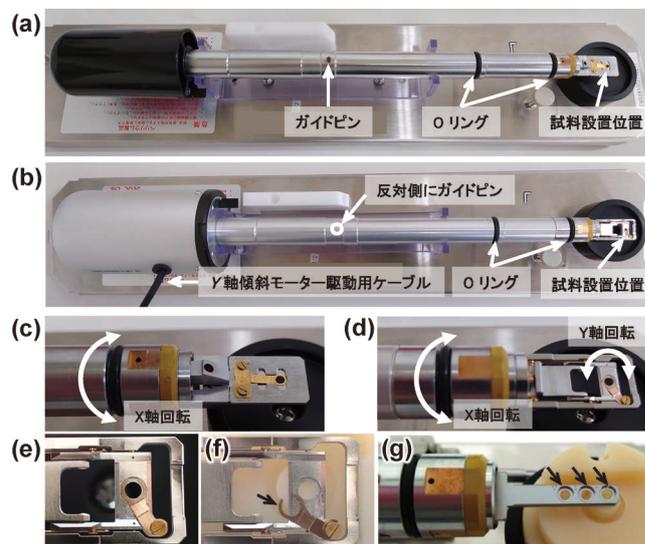


図 1 (a), (c) 一軸ホルダーの外観と試料設置部の拡大写真, (b), (d), (e), (f) 二軸ホルダーの外観と試料設置部の拡大写真. (f) は試料押さえ(図中矢印)をずらしている状態. (g) は試料を 3 個(図中矢印位置)設置できる一軸特殊ホルダー.

^{†1} 図 1(b)に示すように二軸ホルダーには Y 軸傾斜のためのモーター駆動用ケーブルが付属しています。このコードに不必要なねじりを与えてコネクタに挿入すると、試料がドリフトする原因になりますので注意してください。

* 名古屋大学大学院工学研究科; 1)教授 2)技術補佐(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
 Keywords: transmission electron microscope, bright field image, dark field image, electron diffraction, selected area diffraction
 (透過型電子顕微鏡, 明視野像, 暗視野像, 電子線回折, 制限視野回折)
 2022年 5月30日受理[doi:10.2320/materia.61.499]

いたり、傾斜角度が大きく制限されたりする原因にもなります。また、試料端部(観察に使用する薄片化された箇所)が湾曲している場合には、試料位置を適切な観察位置に移動できなくなることも生じます。金属系試料では、薄片箇所の変曲が生じやすいため、試料の準備段階から配慮が必要となります。特に、試料調整時に打ち抜き機を使用した時には、試料外周部のバリに注意ください(図4(d)参照)。

1-7-2-2 ホルダーに試料を設置する時に知っていると便利なこと

観察される方の多くは特に考えることもなく試料をホルダーに設置されているかと思いますが、以下のことを考慮すると意外と役に立ちます。

試料上下面の反転について：仕様にもよりますが、TEMへのホルダー挿入は以下のような手順で行います。ホルダーには挿入時の回転位置を合わせるためのガイドピンがついています(図1(a))。ホルダーをTEMに挿入するときには、このガイドピンをゴニオに設置されている挿入口位置に合わせて挿入します(図2(a))。その後、予備排気を行い、図2(b)に示すように、二段階の回転操作を行いながらホルダーを挿入します。一段階目の回転を行うと、ガイドピンが内部のガイドに当たり回転が止められます。この回転位置では、ガイドピンがさらに奥に進めるような構造になっているため、ホルダーは大気圧に押されて鏡筒内へと自動的に引き込まれます。そして二段階目の回転を行い、所定の角度になると、一段階目と同様に鏡体内へ引き込まれ、ホルダー先端部が対物レンズのギャップ内へ引き込まれます(二段階目のホルダー回転時には、ガイドピンで内部のバルブを回転させます。このため一段階目よりも、ホルダー回転時に抵抗を感じま

す)¹²。この時に挿入される長さは一段階目よりも長いいため、ホルダーが一気に引き込まれないように力加減を工夫しながら慎重に、かつ、真っすぐに挿入していきます。ホルダーは大気圧で押されていますので、油断しているとガツンと引き込まれて故障の原因となります。コツとしては、図2(c)に示すように、片方の手(指)でホルダー軸を押さえながら挿入すると、ホルダー軸のプレも抑えられます。参考にしてください。

さて、挿入時にホルダーを回転させますので、ガイドピンの位置によっては、試料設置面が反転するホルダーも存在します。例えば、図1(a)に示した一軸ホルダーの場合には、ガイドピンが試料上面方向についています。このガイドピンを図2(a)のガイドピン挿入口の位置に合わせてホルダーを挿入する時点で、ホルダーの試料上面は、図2(a)の写真に向かって左側を向いた状態です。この状態から上述した二段階の回転操作を図2(b)に示すように行くと、ホルダーの試料上面は右回りに最終的に90°回転しますので、挿入前と挿入後では試料設置面の上下方向は変わりません(試料面上方は電子銃の方を向いています)。一方、図1(b)に示した二軸ホルダーの場合には、ガイドピンがホルダー軸の裏面についています(一軸ホルダーのガイドピンの位置に対して180°反対側です)。そのため、ホルダーの試料上面は、ゴニオメーターに挿入する時点で、右方向を向いていることとなります。その結果、挿入後には試料上面が下方向に向くこととなります¹³。試料の観察方向(試料に対する電子線の入射方向)が重要である場合は、試料の上下面(表と裏)を考慮して設置する必要があります。

試料薄片部の形状を記録しておく：実体顕微鏡の撮影機能を用いたり、スマホで撮影したりと方法はいくらかでも考えられますが、薄片化されている周辺部を含めて、試料の形状を記録しておくことで観察時に役立ちます。集束イオンビーム(Focused Ion Beam: FIB)を用いて準備した試料の場合には、TEMグリッドのどのピラーにTEM薄片が固定されているのか、ジェット研磨やArイオン研磨を用いて作製した試料の場合には、薄片化された穴の位置や、また、どのあたりが薄くなっているのかなどの全体像をメモしているとあとで困ることがありません¹⁴。分析する場合には、試料のどこの領域を分析するのかなどの情報も予め確認しておくといでしょう。このメモ書きですが、上述したように、ホルダーが挿入時に上下反転する仕様の場合には、そのメモも反転させて



図2 (a)ホルダー挿入口の拡大写真、(b)ホルダー挿入時に行う二段階の回転方向(この二段階の回転で、ホルダーは最終的に右回り方向に90°回転します)、(c)ホルダー挿入時に軸プレなどを防ぐための方法の一例。(b)に赤矢印で示す挿入工程では、大気圧に押されてホルダーが引き込まれますので、注意してください。(c)に示す写真では、左手の指(図中矢印)で、ホルダー軸を抑えています。強制的に引き込まれるホルダーを抑えることや挿入時に生じやすいホルダー軸のプレを抑えることができます。ぜひ参考にしてください。

¹² ホルダーを挿入するときには、真空漏れに十分気を付けてください。真空計を確認しながら、ホルダーに余計な力がかからないように操作してください。図2(c)を参照ください。

¹³ カーボンメッシュなどを用いて粉末状試料などを観察、分析するときには、特に、ホルダー試料設置面の上下反転に注意してください。試料の落下などへの配慮だけではなく、EDS分析時の検出効率にも影響します。

¹⁴ 薄片部が十分薄く調整できているか否かは、薄片端がリアス式海岸のようにギザギザな形状になっているかどうかで大よそ判断できます。また、セラミック材料などの絶縁体試料の場合には、薄片端に生じる干渉縞の間隔を目安にすることもできます。これらは、光学顕微鏡で十分確認できます。

おくことを忘れないようにしてください。

ホルダーへの試料設置方向について：TEM 観察の時には、同時に EDS を用いた組成分析を行うことが多いと思います。図 3 は、ホルダーと EDS 検出器の位置関係を示しています。EDS 検出器は、ホルダー軸に対して直角となる位置に配置されています。この位置関係を覚えておくことは、EDS 分析時に役に立ちます。TEM の操作モニター上に試料位置を表示する機能が用意されている機種では、その表示上で、ホルダーの移動方向や、EDS 検出器の位置を確認しておくといいでしょう。EDS は、1-3-1 エネルギー分散形 X 線分光法 (EDS) による元素分析の章で説明したように、試料から発生した特性 X 線を検出します。当然、検出素子に取り込まれる X 線量が多いほど検出効率は高くなります。例えば、図 4(a) に示した分析用二軸傾斜ホルダーの場合には、試料設置箇所裏面には EDS 検出器方向に向けたザグリ加工 (矢印 B) やテーパー加工 (矢印 A) が施されています (仕様はホルダーによります)。これは、試料から発生した X 線をできるだけ多く EDS 検出素子に取り込むための工夫です。このような EDS 検出器への X 線取り込みへの配慮は、試料を設置するときにも必要です。図 4(b) には FIB 加

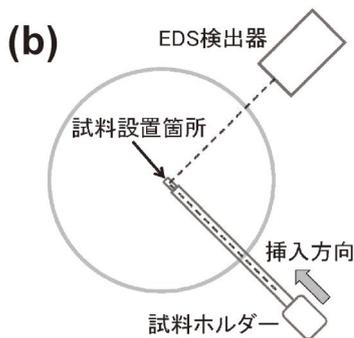


図 3 (a) ホルダー挿入口と EDS 検出器の位置関係を示す写真、(b) 電子銃側から見下ろした時のホルダーと EDS 検出器の位置関係の模式図。EDS 検出器の方向は、(b) に示すようにホルダーに対して右側 90 度方向に位置しています。この位置関係は、図 1 に示したホルダー写真において、一軸ホルダーの場合には下方 (図 1(a))、二軸ホルダーの場合には上方 (図 1(b)) になります (ただし、用いている機種や仕様によります)。試料設置箇所から EDS 検出器に向けた方向に、X 線を遮るような障害物などが無いように配慮することが必要です。

工で仕上げた TEM 薄片を取り付けた TEM グリッドを模式的に示しています。TEM 薄片が固定されている TEM グリッドのピラー部分の厚さと TEM 薄片の厚さとを比較すると、TEM 薄片が EDS 検出器方向へ向くように TEM グリッドを設置することの必要性が理解できるかと思います。また、ジェット研磨を用いて試料を調整するときには、しばしば、薄片化された複数の穴が開きます (図 4(d))。この時には、できるだけ試料の中心位置に近い穴を、観察や分析に用いることも工夫の一つです。薄片部が湾曲している場合には、その箇所を確認し、X 線取り込みに対して障害とならないように、試料設置時に上下方向や傾斜方向を考慮してください。この時にもホルダーの上下反転に注意してください。

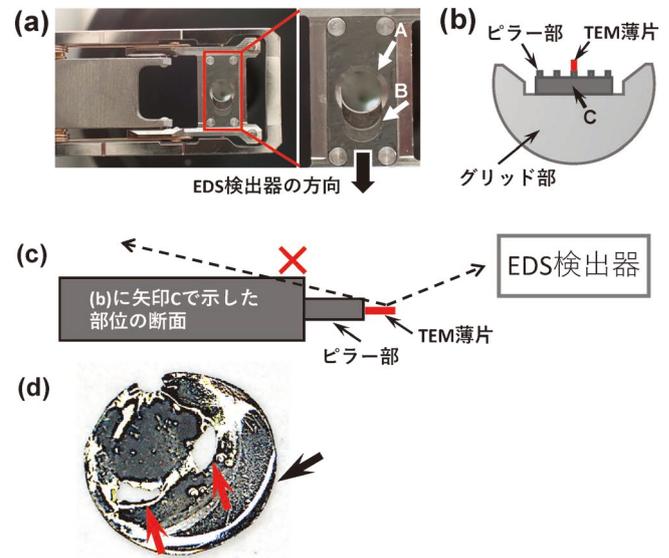


図 4 (a) 分析用二軸ホルダーの試料設置面裏側、および、その拡大写真。拡大写真において、矢印 A はテーパー加工されている箇所、矢印 B は EDS 検出器方向に処理されているザグリ加工を示しています。(b) FIB で加工した TEM 薄片を取り付けた TEM グリッドの模式図 (図中のピラー部は、TEM 薄片を取り付けるための突起部分)、(c) EDS 検出器への X 線取り込みの模式図。(c) において、TEM 薄片から発生した X 線を効率よく EDS 検出器に取り込むためには、TEM 薄片を EDS 検出器方向となるように、ホルダーに設置することが重要であることが分かります。TEM グリッドを図(c)とは左右逆に設置してしまうと、図中バツ印を付けた方向に EDS 検出器が位置することになります。X 線の取り込み効率が低下するだけでなく、例えば、ピラー部などからの X 線も検出されてしまいます。(d) ジェット研磨によって調整した TEM 試料の一例。図中赤矢印で示すように複数の穴が開いていますが、できるだけ試料の中心位置に近い穴を、観察に用いることが適しています (もちろん、薄く仕上げられていることが優先ですが)。また、試料の外周部 (黒矢印) が湾曲している様子が見えます。これは、打ち抜き機を用いた加工時に試料の外周部が変形したことに起因しています (適切ではない例として示しています)。薄片化された穴の位置、その端部や試料自体の湾曲具合を確認して、上述したように試料から発生する X 線が遮られることなく EDS 検出器に向かうように、試料設置時には十分注意することが肝要です。

1-7-3 観察を行うための準備

加速電圧の印加と電子線の発生：鏡筒内が既定の真空度であること、各絞りが引き抜かれていること、対物レンズの Focus 値が基準値(基準値に設定するスイッチが用意されています)であることなどを確認します。特に対物絞りが対物レンズのギャップ内に挿入される仕様の 경우에는、ホルダー挿入時に互いに干渉することが考えられますので、必ず対物絞りが引き抜かれていることを確認してください。また、操作モニターを確認して、TEM 観察モードであること、スポットサイズ(Spot Size)の値^{†5}、などを確認します。その後、加速電圧の印加、フィラメント電流の調整を行います。ただし、この方法は機種によって大きく異なりますので取扱説明書などを参考にして設定してください^{†6}。操作モニター上に表示されるフィラメント電流値が規定値に到達したら、電子銃から電子が放出されています。倍率を低倍(1000倍程度)に変更し、Brightness ダイヤルを回転させて蛍光板上まで電子線が来ているか(明るい部分が見えるかなど。図5の蛍光板上に見える明るい領域を参照)をまず確認してください。上記の操作を行っても蛍光板上に明るい領域が現れない場合には、試料の厚い箇所が電子線を遮っている可能性がありますので、試料位置を変更しながら、試料の無い(穴が開いている)箇所を探してください。試料を移動させるときには、蛍光板がより明るくなる方向へ動かしていくと、意外と簡単に穴の位置を探せます。また、100倍程度まで倍率を下げて観察ができる Low Mag モードを使用することもできます^{†7}。試料設置時に記録したメモはこのようにときにも役に立ちます。それでも蛍光板上に明るい領域が現れない場合には、光軸が大きく狂っていることが考えられます。近年の TEM では、電磁レンズや偏向コイルなどの設定値が記録されていて、その記録ファイルを PC 上で再度読み込むことで、光軸を初期状態に戻すことができます。慌てずにこれを試してみるとよいでしょう。

電子銃の調整：電子銃から発せられた電子線を正しく電磁レンズ群へ導くための調整を最初に行います(光軸調整)。光軸の調整は、必ず、一番上、すなわち、電子銃から行っていきます。前回⁽¹⁾説明したようにまず電子銃で最初につくられる光源(Gun crossover)の位置と軸(傾き)を調整します。ただし、この調整を間違えると以下すべての調整が台無しになりますので、TEM 操作に慣れるまでは熟練者もしくは管理者にお願いすることが無難です。簡潔には、フィラメント電流を規定値よりも少し下げたフィラメント像が見えるようにし

ます。その後、Gun tilt を調整してフィラメント像が対称形状もしくは、最も明るくなるように調整します。その後、スポットサイズを大きくしてから、Gun shift ダイヤルで電子線を蛍光板の中心位置^{†8}へ移動させます。次に、スポットサイズを小さくして、Beam shift ダイヤルで中心位置へ移動させます。

集束絞り位置の調整と集束レンズ非点の修正：Brightness ダイヤルを用いて電子線を広げてから、集束絞りを挿入します。絞り径が小さいほど明るさは暗くなりますが、電子線の

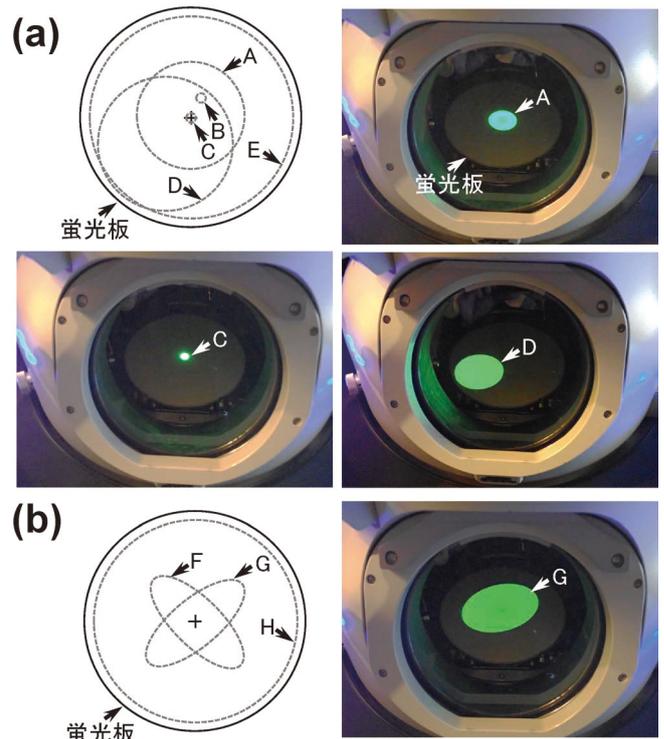


図5 (a) は集束絞りの位置調整に関する模式図と蛍光板を見下ろす方向からの写真(各写真は、模式図中に示す矢印 A, C, D の状態を示しています)。(b) は、集束レンズの非点調整に関する模式図と蛍光板を見下ろす方向からの写真(写真は、模式図中に示す矢印 G の状態を示しています)。

集束絞りの位置調整：蛍光板の焼き付きを防ぐために、まず、集束絞りを挿入することを勧めます。電子線を少し収束させると、集束絞りの影が見えます(矢印 A)。この明るい領域が中心位置に来るように集束絞りの機械的な位置を調整します。次に電子線を収束させます。このときに矢印 B のように中心位置からずれている場合には、Beam shift ダイヤルを用いて、中心位置に来るように調整します(矢印 C)。再び、電子線を広げると、集束絞り位置が適切でない場合には、明るい領域が中心位置からずれていきます(矢印 D)。この位置が中心位置に来るように、集束絞りの機械的な位置を調整します。

集束レンズの非点調整：非点が存在するときには楕円状になります(矢印 G)。この状態で、Brightness ダイヤルを左右に回転させると、矢印 F や矢印 G のように形状が変化します。CL stigma ダイヤルを用いて円状になるように調整します(矢印 H)。関連する写真は前回の図 6(a)にも示しています⁽¹⁾。参照ください。

上記の調整終了後には、電子線を大きく広げると、蛍光板とほぼ同様の形状となります(矢印 E や H)。

†5 これらの初期設定値については、経験者の意見に従ってください。

†6 近年の TEM では、操作モニター上に加速電圧印加、フィラメント電流調整を自動で操作できるボタンが用意されています。この時には、設定値が大きく狂っていないかを必ず確認してください。

†7 LowMag モードにすると、レンズ条件が大きく変更されます。そのため、頻繁に利用することはあまりお勧めしません。

平行度は向上します。目的に応じて適宜選択してください。初心者には明るい方が操作しやすいと思いますので、大きい絞り径を勧めます。Brightnessダイヤルを用いて少し収束させると、集束絞りの影が見えます(図5矢印A)。この状態で、集束絞りの機械的な位置を調整するダイヤルを用いて、その影を中心位置へ大よそ移動させます。その後、Brightnessダイヤルを用いて電子線を収束させます。蛍光板に照射跡が残らないように気を付けましょう。この位置が蛍光板の中心位置となるように、Beam Shiftで移動させます。図5矢印Cは中心位置へ移動させた状態を示しています。次に、電子線を少し広げると、集束絞り位置が適切でない場合には、図5矢印Dのように明るい領域が中心位置からずれます。この明るい領域が蛍光板の中心位置となるように、集束絞りの位置を中心位置に移動させます。集束絞り位置が適切に調整されると、Brightnessダイヤルを回転させたときに、常に蛍光板の中心位置を基準として明るい領域が変化するようになります。電子銃の再調整、電圧中心や電流中心の調整、スポットサイズの変更などを行なわない限り、一度定めた集束絞りの位置は基本的にはこれ以降変更しません^{†9}。集束絞りの調整後に、集束レンズの非点調整を行います。図5(b)を参照ください。

双眼顕微鏡の調整：双眼顕微鏡のピント位置を、自身の目に合わせます。小蛍光板を挿入して、その中心にある黒点にピントが合うように片方の目で双眼顕微鏡の前後の位置を合わせます。次にもう片方の目で黒点にピントが合うように、接眼部のダイヤルを回します。この調整を忘れると、像撮影時などにピントがずれる原因となります。

観察場所の大よその選択：試料の高さ調整を行います。対物レンズのFocus値がリセット(基準値)されていることを確認してから、ホルダーのZ値(試料位置の機械的な高さ調整)を変えて大よそピントが合うように調整します。慣れてくると、この操作だけでピントをきっちりと合わせられるようになります。この時のZ値は、制限範囲内で変化させてください。この制限値を超えると、ホルダーが対物レンズのポールピース先端と接触します⁽²⁾。試料の薄片箇所が大きく湾曲しているときには、このZ値の制限範囲内でピントを合わせられない場合が生じます。このときには他の観察場所を選択することは当然ですが、Z値が制限値に近くなる観察場所も避けましょう。試料の傾斜角度が制限され、思わぬ事故の原因ともなります。

大よそのピントが合ったら、まずは試料全体を見渡しましょう。基本的には試料が適切に薄く調整されている場所を探します。十分に薄く仕上げられていることはもちろん重要ですが、湾曲ができるだけ少ない箇所であることや、この条件

を満たして、さらに、できるだけ試料の中心位置に近い箇所を選択することも重要です^{†10}。観察箇所が、中心位置から離れるほど、試料傾斜時に試料が大きく移動してしまうことになります。また、EDS分析を予定しているときには、EDS検出器側に試料薄片端が向くような箇所を選択することもコツの一つです。まずは慌てずに全体を確認することが肝要です。

対物絞りの挿入と調整：制限視野絞りを挿入し、Brightnessダイヤルで電子線を広げてから、回折モードに変更します。回折モードへ変更する前に電子線を広げておくのは、透過・回折斑点の強度を下げて、蛍光板の焼き付きを防ぐためです。回折図形の透過斑点が中心位置からずれているときには、PL alignmentダイヤル(中間レンズの偏向コイル)で中心位置へ移動させます。また非点が認められるときにはIL stigmaダイヤル(中間レンズの非点補正コイル)で調整します。非点調整は、電子線照射域に試料が存在しない状態にしてから、透過斑点だけを対象として行うことを勧めます。調整の方法は、図5に示した集束レンズの非点調整と同様です(調整に用いるダイヤルは異なりますが)。ただし、回折斑点の強度は非常に高いため、蛍光板を焼き付けないように十分注意してください。集束レンズの非点調整よりもやや調整しにくいと思いますが、コツとしては、IL stigmaダイヤルを回転させて透過斑点が最も小さく(点状)なるように調整します^{†11}。

対物絞りは、透過斑点が中心位置となるように対物絞りの機械的な位置を慎重に調整してください。この絞り位置のズレは、像質等に強く影響します。絞り径は各種用意されていますが、慣れるまでは複数の回折斑点が含まれる大きめの絞り径を用いると操作しやすくなります。調整が終わったら、像観察モードに戻して、制限視野絞りを解除します。

以上の調整は、文章で記述すると非常に手間がかかる作業のように感じられるかもしれませんが、慣れてくると自然とできるようになります。各種操作方法もここに記載した通りの順序で行う必要はありません。ここまで調整すれば基本的には観察が可能ですが、これ以外の調整については、以下の各項目において関連する箇所で説明します。

^{†10} FIB試料の場合にはTEMグリッドとの関係で必ずしも中心位置には来ません。例えば、より適切なTEMグリッドを選択するか、ホルダーに設置するときできるだけ試料位置が中心位置へ来るように調整してみるとよいでしょう。ジェット研磨で作製する場合には、円板状試料の中心部に必ずしも穴が開くとは限りません。試料設置時に位置調整が可能な場合には、できるだけ中心位置となるように設置しましょう。

^{†11} IL stigmaダイヤルに限らず、ダイヤル類を回すときには、指を離さないようにして回転させることがコツの一つです。大きくずらした場合にも、そのまま反対方向へ逆回しをすれば元の位置に戻すことができます。この操作法を身に付けておく、各種調整がとんでもない値にずれてしまうことも防げますし、ダイヤル変化に対する応答性の確認も容易になります。各ダイヤルは、回転に伴う変化量を調整できるCoarseとFineの設定ができます。指を離さずに片手で回すときに、その変化量が少ない場合にはCoarseボタンを押してから回転させてみるというでしょう。

^{†8} 中心位置は、蛍光板の中心位置を指しています。以下同様です。

^{†9} EDS分析時やNBDの時には適切な集束絞り径を選択しなければなりません。この時には再度集束絞り位置調整を行います。この調整が適切でない場合には、分析時のスポットサイズが想定されている大きさよりも大きくなってしまいます。

1-7-4 明視野観察

前回⁽¹⁾説明したように、正しくは、透過斑点のみが含まれるような対物絞り径を選択すべきですが、透過斑点に加えて複数の回折斑点が含まれていても構いません。初心者の場合には、対物絞り径が大きいほど観察が容易になります。図6に示すように、観察される像のコントラストは、対物絞り径が大きくなるほど低下します(同時に像の見え方も変化します)。像質は、コントラストが高いほど優れていますので、対物絞り径は小さいほど好ましいこととなります。ただし、コントラストが高くなりすぎると細い情報が潰れてしまうこともあります。適宜、選択してください。対物絞り径は、対物レンズの後焦点面位置に挿入されることになっていますが、その位置が大きくずれている機種や仕様もあります。この場合には、小さい対物絞り径を用いた低倍観察時において、観察される視野が制限されてしまうこともあります(対物絞り径にケラれると表現されることもあります。図7参照)。試料を適切に移動して目的とする組織を見つけたら、そのまま撮影しても構いません。ただ、少し慣れてきたら、ここで試料を傾斜させてみてください。すると、像のコントラストや見え方が変化することに気づきます(図8)。これは、試料が傾斜することで回折条件が変化するためです。目的としている組織(場所)が、最も鮮明に観察できるように傾斜させます。例えば、試料が少し厚い箇所ではあるが、どうしてもその箇所での撮影を行わなくてはならないときにも、この方法を試してみても良いでしょう。コントラストを適切な状態に調整することができる場合もあります。

目的とする箇所にピントを合わせたら撮影です。初心者でピントを合わせることに慣れていない場合には、一度、大きくFocusをずらし、次に逆方向へ戻してみてください。この時に、Focusダイヤルから指を離さずに、片手で左右の回転を連続して交互に回すと、ダイヤル回転にともなうFocus変化を視認しやすくなります。違いが分からない場合には、Focusダイヤルの変動量を増やしておいても構いません。ただし、Focusダイヤルは対物レンズの励磁を変えるため、対

物レンズに流れる電流量を変えています。コイルに流れる電流量が変化しますので、熱的な安定性の観点からは、Focusダイヤルを大きく頻繁に変化させることはあまり好ましくはありません(数千倍程度の低倍率観察ではそれほど気にする必要はありません)。慣れてきたら、以下のようにピントを

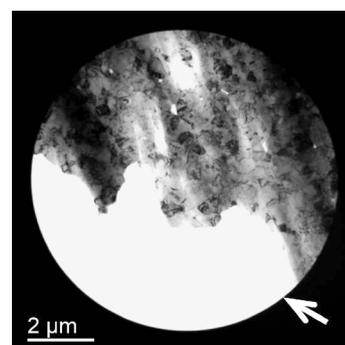


図7 図6(c)と同じ対物絞り径を用いた条件で倍率を低くすると、対物絞り径の影(矢印で示した円形の影)が像中に現れることがあります。図6(c)は、30000倍で撮影し、この像は8000倍で撮影しています。影が生じる原因は、対物絞り径の機械的な位置が、対物レンズの後焦点面位置からずれていることに起因します。対物絞り径が、対物レンズのギャップ内に挿入される仕様の場合には、ここに示すような対物絞り径の影が現れる倍率はより低倍となります。このような影が現れる倍率は、用いている機種の仕様によります。

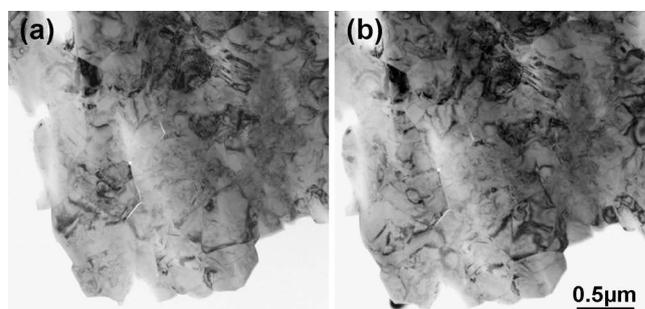


図8 数度程度、試料の傾斜を変えて撮影した明視野像の比較。僅かな傾斜でも像のコントラストは変化します。

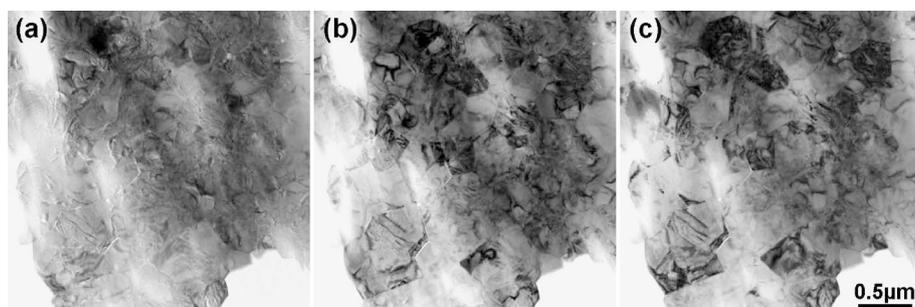


図6 対物絞り径を変化させたときの明視野像。用いた対物絞り径は(a) 120 μm 、(b) 60 μm 、(c) 20 μm 。絞り径が小さくなるほど像のコントラストが高くなります。像の印象を大まかに表現すると、絞り径が大きいときには、“もやっ”とした印象となり、径が小さいときには、“きりっ”とした印象となります。また、対物絞り径を変えると、対物絞り径に含まれる回折斑点の数も変化するので、単にコントラスト強度が変化するだけでなく、像の見え方自体も変化します。対物絞り径の選択や図8に示す傾斜などを工夫すると、組織の特徴などを適切に捉えることができます。

合わせる癖をつけましょう。まず、対物レンズを規定値にリセットします。この状態で、Z軸調整を用いてピントをできる限り合わせ(追い込み)、最後にFocusダイヤルで合わせます。要は、規定値からの対物レンズ電流値(Focus値)の変化が最小となるようにします。

1-7-5 回折図形の撮影

回折図形をどの範囲で取得するかを決めてから、その位置を中心位置へ移動させます。そして、制限視野絞りを挿入して、その範囲が含まれる絞り径を選択します(正しくは、その範囲内となる絞り径です)。絞りの位置を中心位置となるようにします。Brightnessダイヤルで調整して電子線を広げます。制限視野絞りが挿入されていますので、電子線の広がり具合は、像が暗くなることで確認できます。そして、Diff modeスイッチを押すと、回折モードに切り替わります。カメラ長を選択し、上述したように、透過斑点をPL alignmentダイヤルを用いて中心位置へと移動させてください。

前回⁽¹⁾も説明したように、回折図形撮影時には電子線が平行照射であることが必要です。電子線を少し収束させます。そして、電流中心の調整に使用するObjective lens wobblerを作動させると、電流中心の調整具合にも依存しますが、図9に示すように、円状の照射領域の径が変化しながら、振動する様子が観察されます。この状態からBrightnessダイヤルを使用して、照射領域をゆっくりと広げていき、照射領域の大きさの変化が最も小さくなるように調整します(電子線の位置は振動しています)。この時の集束レンズの条件が、平行照射に近い状態です。大きさの変化がよくわからない場合には、倍率を少し下げてください。変化や動きが分かりやすくなります。調整が終わったら、Objective lens wobblerを解除して、この照射領域のまま(Brightnessダイヤルは動かさずに)、制限視野絞りを挿入し、Diff modeスイッチを押して回折図形を確認します。回折斑点が点状でない場合には、Diff focusダイヤルで調整してピントを合わせます(最も小さい点状にします)。初心者の場合にはBrightnessダイヤルを用いて、電子線照射領域を十分に大きく広げるだけでも構いません(ただし、前回説明したようにBrightnessダイヤルの回転方向には気を付けてください⁽³⁾)。まずは、操作に慣れることが先決です。図10には回折図形の一例を示しています。参照ください。

ところで、回折図形撮影時に最も気を付けなければならないことは、蛍光板への焼き付き事故です。フィルムではなくてCCDカメラを用いるときには、さらにCCDカメラの焼き付きにも注意してください。回折図形の透過、回折斑点の強度は非常に高いことを忘れないようにしてください。CCDカメラの場合には、瞬時に焼き付きが生じます。初心者がCCDカメラを用いた回折図形の撮影を行うときには、必ず熟練者の指導の下で行ってください。

回折図形の撮影でしばしば問題となるのは、透過斑点と回

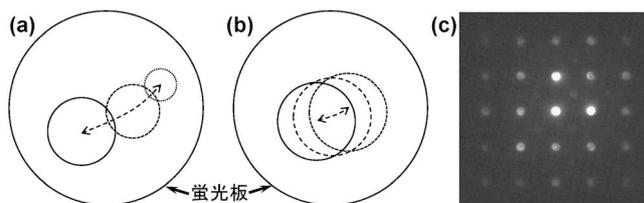


図9 集束レンズの平行照射条件設定に関する模式図。図(a)、(b)中に示した蛍光板上の円は、少し収束させた電子線の照射円を示しています(例えば、図5に示したような円状の明るい領域)。電子線を収束させて、Objective lens wobblerを作動させると、(a)に示すように、照射円の径が変化しながら矢印のように振動します(振動する方向は図に示した方向とは限りません)。この状態から、Brightnessダイヤルを回転させて電子線を広げ、(b)に示すように、その径の変化が最小となるように調整します(電子線の振動が止まる状態ではありません)。この条件を維持した状態で回折図形を観察したときに、(c)に示すように、斑点がディスク状(点状ではない)に見えるときには、Diff focusダイヤルで点状になるように調整します。TEM操作に慣れるまでは、照射領域を大きく広げて回折図形を撮影しても構いませんが、この時には、カメラ長の誤差が数%程度増加することを覚えておきましょう(透過波と回折斑点間距離の誤差が僅かに増加します)。

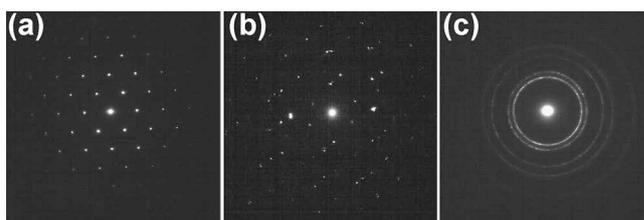


図10 制限視野回折図形の例。(a)は一つの結晶粒内に制限視野径が入っているとき、(b)は複数の結晶粒が含まれているとき、(c)は非常に多くの結晶粒(微粒子)が含まれているときの回折図形を示しています。

折斑点の強度差がありすぎて、回折図形全体を適切に撮影できないことです。透過斑点をカット(遮る)するためのビームカットが設置されている場合には、これを用いて透過斑点をカットしてください。設置されていない場合には、やや厚めの場所に試料を移動させて撮影することも方法の一つです。CCDカメラでの撮影時には、電子線の強度を十分に小さくし(電子線を大きく広げる、より小さな集束絞り径を用いる、スポットサイズを小さくするなど)、CCDカメラの撮影時間(取り込み時間)を短く設定してから、例えば撮影回数を100回程度にして蓄積していく方法もあります。

1-7-6 像や回折図形の画質の調整

撮影した像や回折図形は、目的とする内容が伝わるように必ず画質の調整を行います。画質の調整には市販の画像処理ソフトを用いても構いませんが、ここでは、多くのTEMにインストールされていることの多いDigital micrograph(以

下 DM)を例にして説明します†12。図11(a)は例としてやや厚すぎる試料を撮影した明視野像を DM に読み込んだ状態を示しています。撮影されたままの像は、全体的に暗く、また、結晶粒内部の組織などが不明瞭です。この像の画質調整を DM ソフト上で行います。矢印 A の Display Control をクリックします。すると矢印 B に示すようにヒストグラムが表示されます。このヒストグラムの下に、ブライトネス(矢印 C)、コントラスト(矢印 D)、 γ 値(矢印 E)の調整スライダーが表示されています。図11(b)は、 γ 値を調整後、さらに、ブライトネス、コントラストを僅かに調整したときの画像を示しています。全体的に明るく見やすい画像に調整できていることが分かるかと思いますが(ただし、結局は十分に薄い試料を用いて観察することが重要です)。図11(b)に示す調整後の像は、ややコントラストが低すぎるような印象を受けます。再度、コントラストを少し強くした方が良いでしょう。

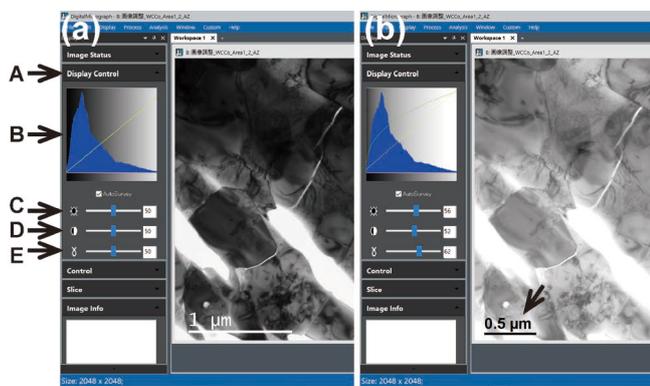


図11 Digital Micrograph の画面の一部と、その機能を使って行った画質調整の前後を示しています。(a)に示す画像に対して、C~E に示したブライトネス、コントラスト、 γ 値を調整し、さらに、スケールの表示を変更した結果を(b)に示しています。

れません。このような画質の調整は、伝えたい箇所が適切に見えるように視認しながら行えばそれで十分です。ところで、図11(b)の画像では、矢印で示すようにスケール表示も変更しています。このスケール表示の変更も簡単に行えます。図12に示すように、スケール近傍を右クリック(矢印 A)すると現れるコントロールパネル(矢印 B)で変更できます。図11(b)に示した例では、Foreground Color を黒色、Font は Arial に変更しました。さらに、矢印 A に示すスケールの四隅に現れる緑色の点をマウスでクリックしながらドラッグして少し縮めることで、スケールバーの大きさを $1 \mu\text{m}$ から $0.5 \mu\text{m}$ へと変更しました。図11(a)と(b)のスケール部分を確認してください。

また、画像を右クリックすると図13(a)のようなプルダウンメニューが現れます。例えば、この中の Image Info をクリックすると、図13(b)のようなコントロールパネルが現れます。このパネルは、Contrast(矢印 B)をクリックしたときに現れる表示です。矢印 D に示す Inverted をチェックすると、画像の白黒が反転します。この機能を利用して白黒反転

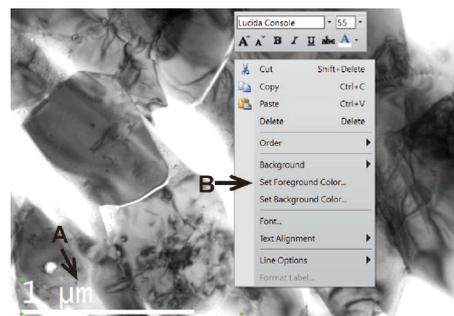


図12 図11(b)に示したスケール修正に関する方法。スケールを右クリックしたときに現れるプルダウンメニュー上で様々に変更できます。

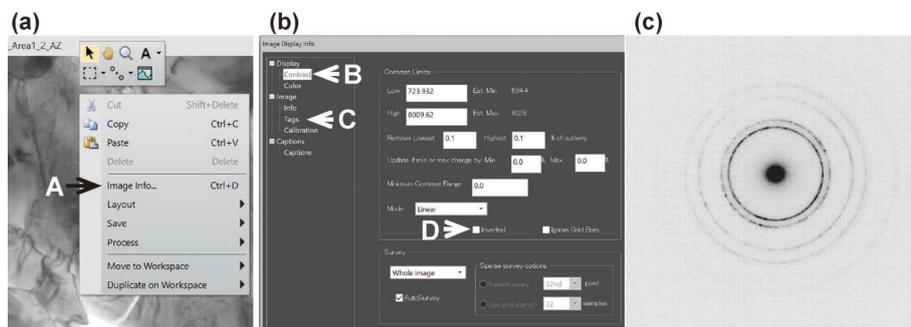


図13 (a) Digital Micrograph に読み込んだ画像を右クリックすると現れるプルダウンメニュー、(b) (a)に示したメニュー上の Image Info をクリックすると現れるメニュー、(c) は、(b)のメニューの矢印 D で示した Inverted 機能を用いて、回折図形のコントラスト(白黒)反転を行った例。

†12 Digital Micrograph のフリー版(GMS, Gatan Microscopy Suite)は、Gatan 社の HP (<https://www.gatan.com/installation-instructions>)からダウンロード可能です。これ以外のフリーソフトとしては、Image J (<https://imagej.nih.gov/ij/>), GIMP (<https://www.gimp.org/>)などをお勧めします。

させた回折図形を図13(c)に示します。この回折図形は、図11(c)に示した回折図形と同じです。白黒を反転させることで、回折リングがより明瞭に表示できることが分かります。DM フォーマットで記録された画像には、画像撮影時の条件など実に多くの情報が同時に記録されています。図13(b)に示す Tags(矢印 C)をクリックしてみてください。うっかりメモを忘れた時にも重宝します。

TEM の基本的な操作について概説しました。初心者の方は、必ず熟練者の指導の下で操作するようにしてください。特に、ホルダーの挿入操作、電子銃のアライメント調整、CCD カメラでの撮影などはくれぐれも事故が起こらないよう慎重に取り組みましょう。また、操作マニュアルを読みながら操作するときには、同じ状態の電子線を蛍光板や CCD カメラに長時間当て続けないよう注意しましょう。今回は、少し操作が難しくなる撮影方法や結晶方位の合わせ方などについて概説します。続きは次回61巻10号で！

文 献

- (1) 山本剛久, 小平亜侑: まてりあ, **61** (2022), 346-353.
- (2) (1)の「1-6-6-1対物レンズの構造」を参照.
- (3) (1)の「1-6-5照射系について」を参照.
以下の参考文献は、前回⁽¹⁾にも掲載しています。ぜひ参考にしてください。

- (4) David B. Williams and C. Barry Carter: Transmission Electron Microscopy, Springer, USA (2009).
この教科書は4分冊で構成されており、内容も豊富で説明も非常に平易に記述されています。また、原理だけではなく、本体の構造も含めた周辺機器類についても十分に説明されています。必ず所有すべき教科書の一つです。
- (5) 坂 公恭 著: 結晶電子顕微鏡学, 内田老鶴圃, (1997).
この教科書では、結晶を観察するときに必要な種々の知識が集約されています。
- (6) 田中通義, 寺内正己, 津田健治 著: やさしい電子回折と初等結晶学—電子回折図形の指数付け, 収束電子回折の使い方—, 共立出版, (2014).
結晶の構造決定についてわかりやすく解説されています。
- (7) 今野豊彦 著: 物質からの回折と結像—透過電子顕微鏡法の基礎, 共立出版, (2003).
物質において生じる電子線の回折現象について、詳細に、かつ、理解しやすく記述されています。回折を勉強したい場合には、必ず一読することを勧めます。

上記以外にも例えば電子顕微鏡メーカーの解説ページ <https://www.jeol.co.jp/words/> などが参考になります。



山本剛久

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1989年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
1997年 博士(工学)取得
2011年6月 現職
専門分野: セラミック材料学
◎セラミック材料の焼結・組織・機能制御や、結晶粒界・界面の原子構造・電子状態制御・解析に関する研究に従事。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

科学館めぐり

愛媛大学ミュージアム(松山市)

文責：愛媛大学 佐々木秀顕

(2022年5月訪問)

愛媛大学城北キャンパスの正門を入れてケヤキ並木のプロムナードを歩けば、キャンパスのほぼ中心に位置する総合教育棟「愛大ミュージアム」が見えてくる(図1)。愛媛大学ミュージアムは、愛大ミュージアの1階部分、北側の中庭を囲むように配置されている。

このミュージアムは、学術研究の営みと成果の公開、および地域の文化・社会教育の発展に寄与することを目的に2009年に設置された大学博物館である。最近是全国的な新型コロナウイルスの感染拡大により来場者を制限せざるを得ない状況にあったが、通常であれば学外者への公開やガイドツアーが行われ、勉強に疲れた学生も気分転換に訪れる憩いの場ともなっているミュージアムである。本稿では、金属と関連する展示に注目しながら愛媛大学ミュージアムの魅力を紹介したい。

図1中央に見える通路を通り抜けた先が、ミュージアムの入口となる(図2)。



図1 総合教育棟 愛大ミュージアム東面。



図2 愛媛大学ミュージアムの入口。



図3 (上)第1常設展示ゾーン入口、(中)陳列された鉱物標本、(下)古生物の化石と模型。

館内へ歩を進めると、4つに区切られた常設展示ゾーンを巡るコースとなっている。

「第1常設展示ゾーン：進化する宇宙と地球」には、金属の原料となる鉱石鉱物や、地質学的に重要な岩石標本、古生物の化石が展示されている(図3)。また、ガリレオが作製・使用した望遠鏡のレプリカが置かれるなど地球物理学や惑星科学に関連した展示品もある。超高圧実験が行われている本学の地球深部ダイナミクス研究センターで合成されたナノ多結晶ダイヤモンド(ヒメダイヤ)も目を引く。

本稿では説明を割愛するが、「第2常設展示ゾーン：愛媛の歴史と文化」では、文学の町として知られる松山の歴史と文化に触れることができる。また、「第3常設展示ゾーン：生命の多様性」では、農学部で収集された約150万点の規模を誇る昆虫標本や、体長2mを超えるウェッデルアザラシの剥製が展示されている。

科学館で見つけた金属材料！古代の鉄器と青銅器！

「第4常設展示ゾーン：人間の営み」には、文京遺跡と古代鉄文化の展示があり、古代の人々に使用された金属製の道具にもスポットが当てられている。文京遺跡とは、愛媛大学城北キャンパスがあるこの地で見つかった遺跡のことである。この地域一帯が戦後に文京地区として整備された際に、土器が出土した。その後の発掘調査により弥生時代の集落遺跡であることが明らかとなり、本ミュージアムに展示されている出土品から約2000年前の人々の生活を窺い知ることができる。出土品のほとんどが土器であるが、鉄製の鎌や青銅器の破片も見られる(図4上)。この時代は、人々の生活に少しずつ金属が普及してきた時期にあたり、外国から流入した金属を有効に活用していたとのことである。

この付近で出土したとされる平形銅剣は、弥生時代中期末から後期に製作された祭器であり、その薄さからも武器としての実用性はないことが想像できる(図4下)。同じ時代の青銅製祭器でも、その形状には地域ごとの特徴があり、銅矛が九州北部から中四国地方西半に分布し、銅鐸が近畿・東海から中四国地方東半に分布しているのに対し、平形銅剣の出土は瀬戸内地域に集中している。特に松山平野では道後城北地区で多く見つかっており、平形銅剣祭祀の中心地があったことや、稀少な青銅器を所有できる有力者がいた可能性を示唆している。

古代鉄文化の展示では、本学の旧 東アジア古代鉄文化研究センター(現 アジア古代産業考古学センター)によるフィールドワークの成果が紹介されている。このセンターでは、中国(後漢時代)やモンゴルなど海外の製鉄遺跡の調査



図4 (上)文京遺跡の出土品。ほとんどが土器であるが、手前側には青銅器や鉄器の破片も並んでいる。
(下)道後樋又付近で出土したと伝わる平形銅剣。



図5 (上)復元実験により得られた鋼を鍛えた日本刀。上段の展示品は日刀保たたらの木原明氏提供による玉鋼、
(下)白鷹幸伯氏により復元された古代の鉄器。

や、出土した炉壁や鋳滓、木炭の分析に基づく古代製鉄炉の復元実験を行ってきた。今治市で発見された古代製鉄炉(7世紀後半から8世紀にかけてのもの)の復元実験も行われ、生成した鋼を伊予市の刀匠 高市忠房氏が鍛えて製作した日本刀が展示されている(図5上)。弥生時代・古墳時代に使用された鉄器の復元品も展示されている(図5下)。これらの鉄器を作ったのは、地元の鍛冶職人であり、松山城や奈良薬師寺西塔の復元に使われた和釘を鍛造したことで知られる白鷹幸伯氏(1935~2017年)である。

以上、鉱物や古代に利用された金属に注目して常設展示ゾーンを簡単に紹介した。本ミュージアムは、自然史科学的な標本が展示されるとともに、古代の人々の暮らし・道具を想像させる出土品や復元品が考古学的な考察とともに紹介され、地域色と歴史ロマンの溢れる博物館になっている。本稿では紹介しきれなかったが、各展示ゾーンでは標本と関連の深い大学での先端研究も紹介され、科学的探究心も刺激するものともなっている。本学を訪れた方には、短い空き時間にも気軽に立ち寄っていただければ幸いである。なお、コロナ禍に応じた開館対応をしているので、来訪の際は以下のHPで開館状況を必ず確認されたい。

最後に、本稿を書くにあたりご助言を頂いた愛媛大学ミュージアムの吉田広教授(ご専門は考古学)に謝意を表す。

愛媛大学ミュージアムへのアクセス

伊予鉄道環状線「赤十字病院前駅」から
下車 徒歩3分



(2022年6月7日受理)[doi:10.2320/materia.61.508]
(〒790-8577 松山市文京町3)
<https://www.ehime-u.ac.jp/about/ehime-u-museum/>

島根大学 次世代たたら協創センター

次世代たたら協創センター；プロジェクト推進室長
三浦 哲也

1. はじめに

島根県には砂鉄と木炭を原料とした古代からの製鉄法「たたら製鉄」の伝統が残っている。この伝統が息づく島根の地に、2019年、金融を含めた産官学金を挙げて地方創成を推進するプロジェクトがスタートした。このプロジェクトと共にグローバルな先端素材研究所を目指すとして次世代たたら協創センター(Next Generation Tataro Co-creation Centre, NEXTA)が島根大学に設立された⁽¹⁾。現在は総合理工学部の教員も参画し、学生教育も連携して行っている。県内の金属材料および関連企業の技術拠点をめざすNEXTAについて紹介する。

2. NEXTA センター長の思い

NEXTAの立ち上げに強いダイレクションを發揮したのが超耐熱合金の第一人者であるオックスフォード大学教授のロジャー・リードNEXTAセンター長である。リードセンター長は、「サイエンス・ブッシュから、テクノロジー・ブルに軸足を移した先端金属素材の研究所」として、NEXTAを電気自動車や航空エンジンに必要な次世代材料の開発拠点にする構想を持って指導している。これらの目的を達成するために大切なことは、未来を担う若者の教育と考えており、県内の高校生を対象とした訪問や総合理工学部と連携して授業を実施している。NEXTAでも独自に中高生対象のプログラムを作成し実施している。これらの試みについて所長は「我々教育者が若者の持つそれぞれの個性や能力について理解し、若者の可能性を引き出せるような手を差し伸べることができれば彼らは成功できます。(中略)どこの出身であるとか、どんなに貧しい環境の出身であるかに関わらず、自分の夢にたどり着くことは可能です。」と話している。

3. NEXTAのもつ強み「Four Pillars(研究の柱)」

NEXTAでは、金属素材研究に集中・特化した国内有数の研究機関として、4つ領域(Four Pillars)の相互連携により、研究開発の問題解決につなげていく。Pillar1は、金属材料の微視的構造を視るCharacterizationである。原子～ナノ～ミクロンスケールの微視的構造は様々な金属材料物性の起源であり、NEXTAでは各種顕微鏡および分析装置を駆使して、複雑な合金の結晶学的特徴を明らかにするとともに、高温、変形、水素イオン照射などの極限環境下での金属材料の微視的振舞いを解明する。Pillar2は、金属材料の強さを測るMechanical testingである。材料の力学特性は、材料の組成だけではなく構成する組織にも支配される。NEXTAでは、金属材料組織解析と組み合わせ、高温や雰囲気等の様々な条件下における材料の変形・破壊過程をマイクロ～



図1 次世代たたら協創センター(NEXTA)研究棟とそのスタッフ。

マクロにわたるマルチスケールで評価することによって、力学特性発現機構を明らかにする。Pillar3は、金属材料を創るProcessingである。材料物性を最適化するため、鋳造法、焼結法などで材料を製造する技術、圧延・鍛造などの加工や熱処理などの技術を開発する。また、製造過程で発生する有価資源の回収などの環境調和型化学プロセス技術を開発する。3つのPillarを相互有機的につなげるためには計算機ベースの解析が必須となる。これが、最後の柱であるPillar4である。Pillar4は、金属材料を設計するComputational modelingである。物理学や数理学をベースとしたシミュレーション技術、理論的なアプローチで材料開発を推進するとともに、実挙動の検証を行う。

4. 各領域の連携による研究・開発

NEXTAでは、各Pillarを相互に関連させ、それぞれの研究装置を駆使することにより産学連携で先端金属材料の研究・開発を行っている。例としてNi基超合金の鋳造欠陥に関する研究がある。Ni基超合金の鋳造における極端な濃度偏析は避けなければならないものである。これを抑止するためにはその形成過程を知る必要がある。そのため、一方向凝固シミュレーターを使った凝固実験、電子線プローブ顕微鏡を用いた組成と組織の解析、流体シミュレーションを使った欠陥形成解析を行っている。

5. おわりに

2021年4月にNEXTA研究棟が竣工した(図1)。このように学生と研究者が共に学び研究する環境は着実に構築されている。今後もNEXTAは、企業や大学の研究者と学生がいつでも活発な意見交換や研究、情報発信ができるオープンイノベーション拠点として、国内外の研究機関と連携して先端金属材料の研究開発実績を蓄積していく。さらに、素材、加工、事業展開までの知識、スキルを有した専門人材を育成するプログラムを構築し、最先端の研究を通して材料工学に特化した教育を実現していく。

文 献

- (1) 次世代たたら協創センターホームページ：
<https://tatara.shimane-u.ac.jp/>
(2022年5月19日受理)[doi:10.2320/materia.61.510]
(連絡先：〒690-8504 松江市西川津町1060)

スポットライト

～第6回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

電池型平面的スズ樹の研究Ⅱ

都立小石川中等教育学校 化学研究会 高校1年

石田俐瑠 川井結愛 高村美羽
安部紫乃 曾羽 蓮

(1) 概要

私たちの研究している平面的な電池型スズ樹は、スズ(Ⅱ)イオン溶液に亜鉛板を入れて析出するスズ樹の7倍以上の速度で成長することをこれまでに報告しています⁽¹⁾。さらに先行研究⁽¹⁾で直径600 mm程度、本研究で直径800 mmまで大きくできることがわかってきました。

実験装置は図1のようなDaniell電池型で、ポイで固定された隔膜(図2)をイオンが移動します。同時に、食塩水中の負極の亜鉛板が酸化溶解され、 $(Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-)$ 、室温で塩化スズ(Ⅱ)水溶液($0.1 \sim 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)中の正極の銅線に移動した電子がスズ(Ⅱ)イオンを還元し($Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$)、図2のようにスズの金属結晶が樹木状に成長します。

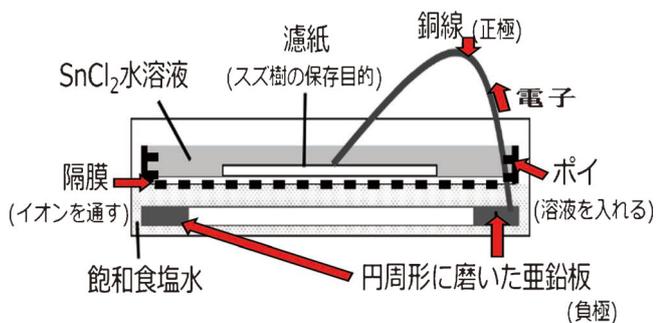


図1 銅線と円周形亜鉛板のポイ型半透膜型電池。(オンラインカラー)

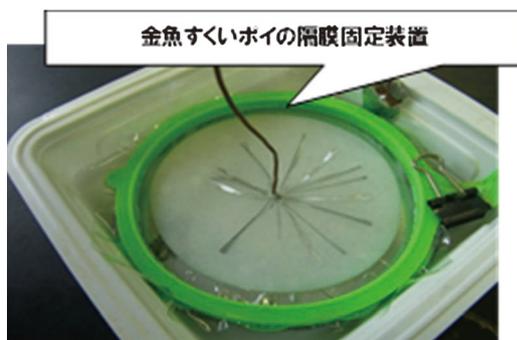


図2 ポイ型半透明のろ紙上に成長するスズ樹。(オンラインカラー)

私たちは中学1年時からミョウバンの再結晶などの研究をしていましたが、再結晶自体が成功しなかった上、コロナ禍による休校が相まって研究継続を断念しました。その時、私たちは先輩の直径600 mmのスズ樹⁽¹⁾を見て驚き、興味を持ちました。それを機に、先輩から電池型スズ樹の研究を継承し、更に発展させ続けています。

昨年度は、温度、溶液の濃度など反応条件と電池型スズ樹の伸長速度の関係を調べて、切断されたスズ樹が切断部分を補って成長することや、障害物を避けて成長できることを発見しました。さらに、研究で身につけた技術を利用し、スズ樹のアートを作製しました。

今年度は、電流と電圧の測定によって昨年より正確に反応条件とスズ樹の成長の関係を調べること、ここで分かったことを利用して先行研究⁽¹⁾を超える大型化や新たに形状のコントロールに挑戦することを目的として、研究を継続しました。

(2) 電流と電圧の測定

スズ樹の成長量を正確に調べるのは難しく、昨年はスズ樹の長さを測定しましたが、樹の枝分かれを考慮できませんでした。先行研究の面積比較は厚みが考慮できず、スズ樹1～10 mgの質量比較では測定誤差が無視できません。今年は電池型スズ樹が正極の銅線で電子を受け取り成長する点に着目し、電流(電気量)を電流計で測定することにより、正確に成長を比較することができました。

まず、反応温度0、20、40℃で塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度を0.10、0.20、0.30、0.40 mol・L⁻¹とした場合、どの条件でも反応初期では時間経過に伴い成長電流は増加しますが、その後電流の増加は緩やかになることがわかりました(図3)。一方、塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度が0.50 mol・L⁻¹では、反応初期に成長電流が増加しますが、10分間のうちに減少に転じました。さらに反応条件を変えて調べたところ、塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度が高いとき(図3)、反応温度が高いとき(図4)、イオンを通しやすい隔膜を使ったときに(イオンを通し難い隔膜に比べて)、より短時間で電流が増加しその後電流の増加は穏やかになる(場合によっては減少に転じる)ことがわかりました。

電流増加の原因は、スズ樹の成長により正極の面積、Sn²⁺が還元される場所が増えたためであり、増加が穏やか

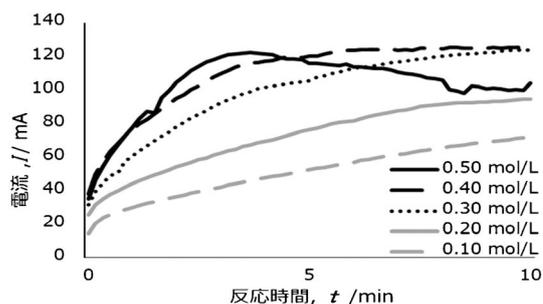


図3 いろいろな塩化スズ(Ⅱ)水溶液濃度における電流の変化(反応温度: 20℃)。

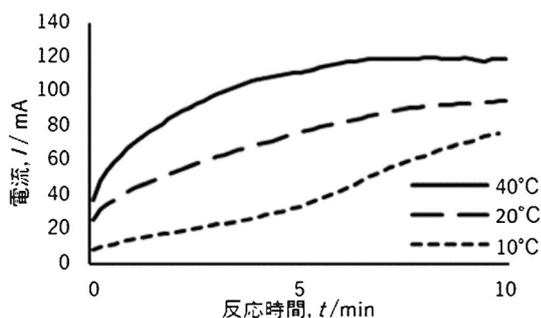


図4 いろいろな反応温度における電流の変化(塩化スズ(II)水溶液: $0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

になる原因は一部の Sn^{2+} が隔膜を通過して負極(亜鉛板)に析出し、電圧が低下したためと考えられます。実際に電流の増加が緩やかになったものほど実験開始10 minの電圧が低いことが確かめられています。

(3) スズ樹の大型化への挑戦

大型化では、先行研究⁽¹⁾の600 mmを超えるための課題を克服し、直径800 mmのスズ樹づくりに成功しました。

まず、巨大な装置を用いて、直径1200 mmのスズ樹に挑戦しましたが、電極や亜鉛電極付近の隔膜に大量のスズが析出し、スズ樹の成長が止まりました。その原因は Sn^{2+} が隔膜を通過して、亜鉛電極まで到達し、直接酸化還元反応を起こしたためと考えられました。

そこで Sn^{2+} と亜鉛電極の反応を制御する対策を考えました。第一は隔膜に防水スプレーをかけて Sn^{2+} の隔膜通過量を減らすこと。第二は別の網に入れた亜鉛板を負極の亜鉛板上に静置することで、隔膜を通過した Sn^{2+} を除くことです。結果、亜鉛電極がスズに覆われにくくなりました。

更に、濾紙の大型化のための接着方法を研究し、市販の直径600 mmの濾紙を1辺800 mmに切った布に縫い合わせて、この上にスズ樹を成長させました。これらの工夫により室温で $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 塩化スズ(II)水溶液を用いて目標を達成することができました(図5)。

(4) スズ樹の形状のコントロール

電池型の特徴を利用してスズ樹の形状のコントロールに挑戦しました。

これまでの研究から、正極と負極間で発生する電界の方向にスズ樹が成長することがわかっています。その電界の形を制御することでスズ樹の成長範囲をコントロールできると考え、実験装置を工夫しました。

まず、負極(亜鉛板)と隔膜に絶縁テープを貼って幅4 mmの直線形隔膜とし、正極(銅線)間に直線的にスズ樹を成長させることができました。ここで作ったスズ樹は葉にして先行研究の先輩方にプレゼントしました。(図6, 7)さらに、濾紙にクレヨンを塗って溶液を染み込みにくくする、銅電極の形を変えて Sn^{2+} が還元される場所を定めるといった工夫により室温で $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 塩化スズ(II)水溶液を用いて、そ

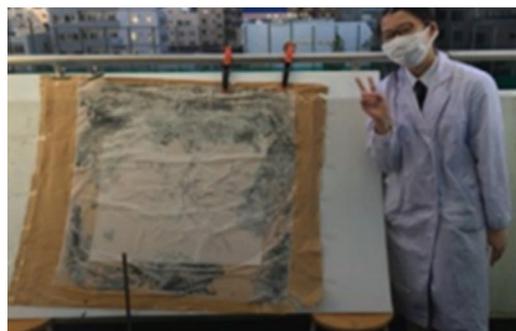


図5 直径800 mmの大型スズ樹づくりに成功。(オンラインカラー)



図6 スズ樹の葉。(オンラインカラー)

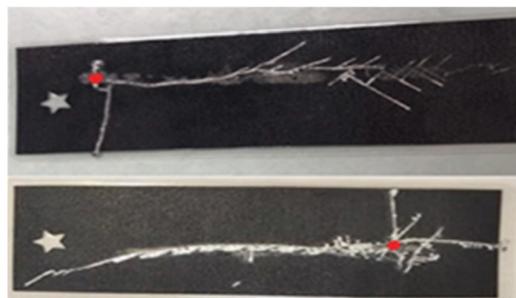


図7 直線形スズ樹の葉。(オンラインカラー)

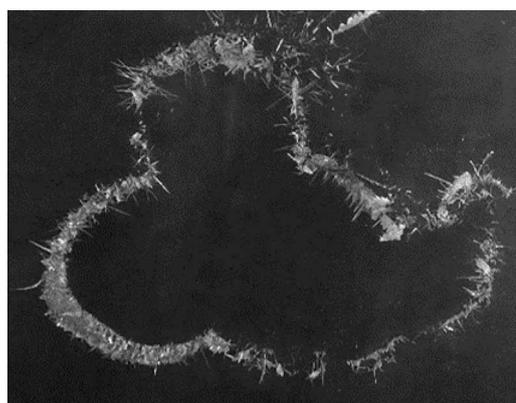


図8 ミッキー型のスズ樹。(オンラインカラー)

れぞれ星、丸形にスズ樹を成長させられました。さらに正極と負極、隔膜にテープを貼って同一形とし、ミッキー(図8)、ウサギなどの複雑な形のスズ樹も作ることができました。

(5) まとめ・謝辞

今年の研究では電気量の測定や大型化，形状のコントロールに成功しました．この成果は芸術，科学教育，金属材料の分野に生かせるのではないかと考えています．今後も，これらの応用のために研究を深めていきたいと思ひます．

金属学会の高校生ポスター発表では，高校生や高専生の方と研究発表させていただきました．大学の先生方からのアドバイスや質問を基に追加実験を行い，研究全体を考え直すことができました．優秀ポスター賞をいただいたことは大きな自信となり，日本学生科学賞中央審査で，本校の先生方，先

輩方からのアドバイスにより発表をブラッシュアップし，科学技術政策大臣賞を受賞することができました．

本研究とその発表を通して，私たちはひとまわり大きく成長できたと感じています．ありがとうございました．

文 献

- (1) 萩原千尋，口石美咲，興石真結子：平面的に成長するスズ樹の研究，第63回日本学生科学賞 東京都大会 最優秀賞受賞作品，2019年．
(2022年1月11日受理)[doi:10.2320/materia.61.511]
(連絡先：〒113-0021 東京都文京区本駒込 2-29-29)



～美しい金属の写真～

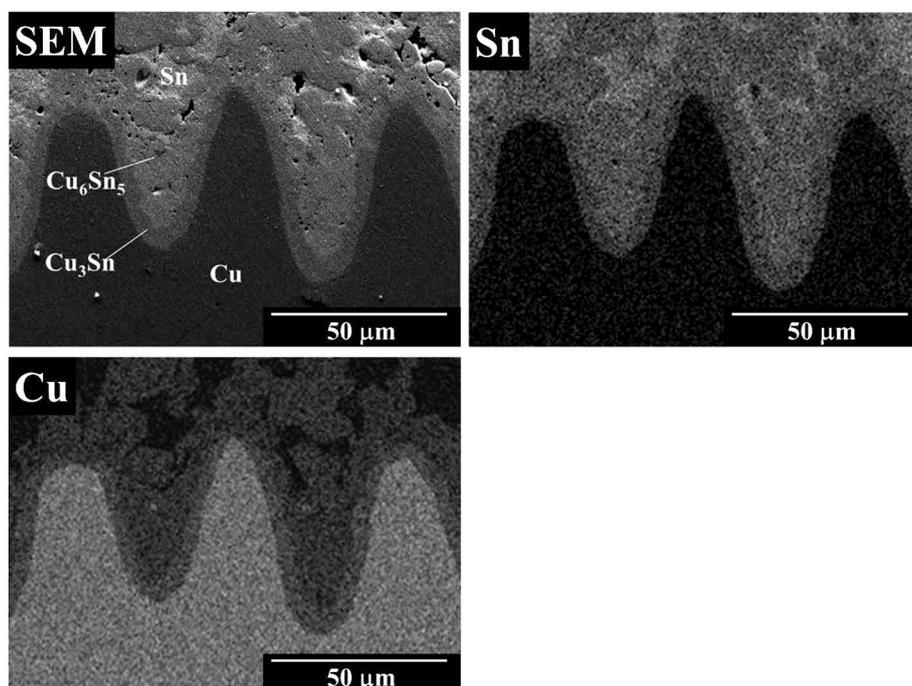


Fig. 4 SEM image of sample cross section for wetting experiment with Sn and mapping of Sn and Cu.

<Masashi Nakamoto, Atsushi Fukuda, Jenna Pinkham, Siboniso Vilakazi, Hiroki Goto, Ryo Matsumoto, Hiroshi Utsunomiya and Toshihiro Tanaka: “Joining of Copper Plates by Unusual Wetting with Liquid Tin and Tin-Lead Solder on “Surface Fine Crevice Structure””: Mater. Trans., **57** (2016), 973-977 より転載>

本 会 記 事

会 告	2022年秋期(第171回)講演大会ご案内と参加申込について	514
	2022年秋期講演大会懇親会参加募集案内	516
	2022年秋期講演大会新型コロナウイルス感染拡大防止対策と参加者へのお願い	517
	第11回女性会員のつどいのご案内	518
	第20回 World Materials Day Award 募集	519
	2022年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	519
	2022年秋期講演大会関連広告募集	520
	2023年春期講演大会企画/公募シンポジウムテーマ提案募集	521
	金属学会セミナー(特別講座)開催案内	522
	日本金属学会オンライン教育講座開催案内	523
	2023年度「若手研究グループ」新規申請募集	526
	「研究会」新規・更新申請募集	526
	シニア会員制度について	527
	永年会員制度について	527
	終身会員制度について	527
	第46回技術開発賞「新技術・新製品」記事募集	528
	第73回金属組織写真賞作品募集	529
掲示板	次号予告	530 535
会誌・欧文誌	8号目次	534
新入会員	行事カレンダー	535

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

公益社団法人日本金属学会
 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
 TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312
<https://jim.or.jp/>

本会のメールアドレスのドメイン変更のお知らせ
 2022年8月1日より、本会のメールアドレスのドメインを@jimm.jpに変更いたします。
 皆様にはお手数をおかけしますが、ご承知お願います。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2022年秋期(第171回)講演大会のご案内および参加申込みについて

2022年秋期講演大会は、9月20日(火)から23日(金・祝)まで福岡工業大学にて開催いたします。(新型コロナウイルス感染症の状況によってはオンライン開催に変更する場合があります。)高校生・高専学生ポスターセッションは9月28日(水)にオンラインにて開催いたします。

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

日 時	日 程 事
9月20日(火) 13:00~	ポスターセッション
9月21日(水) 9:00~ 9:40 10:00~17:00 18:30~	贈呈式 学術講演 懇親会
9月22日(木) 9:00~17:00	学術講演
9月23日(金・祝) 9:00~17:00	学術講演会
9月28日(水)	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

参加申込要領(参加申込みは全てウェブサイトからとなります)

大会参加申込期間および URL

(事前申込)2022年5月25日~9月2日

<https://www.jim.or.jp/convention/2022autumn/>

(後期(当日)申込)2022年9月8日~9月28日

https://www.jim.or.jp/convention/2022autumn_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 (締切日：9月2日)	後期(当日)申込 (9月8日～9月28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
2022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
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ください。会員情報に生年月日をご登録されていない方は、大会参加申込みの前に annualm@jimm.jp まで会員番号・お名前・ご連絡先・生年月日をお知らせ下さい。

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

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

◆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**となります。事前予約申込は9月2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

参加証

大会マイページにて「参加証」を必ず印刷し、来場の際提示下さい。(8月3日以降ダウンロード可)

◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会 2 週間前の**2022年9月6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。

◆懇親会について

日時 2022年9月21日(水) 18:30-20:30(予定)

*詳細は次頁をご覧ください。

参加申込・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

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: annualm@jimm.jp (8/1 からメールのドメインが変りました。)

2022年秋期講演大会懇親会参加募集案内

2022年秋期講演大会における懇親会を日本鉄鋼協会と合同で下記の通り開催いたします。お申込みにあたり、参加資格や注意事項がございますので、ご熟読し、ご了承の上でお申込み下さい。

開催日時 2022年9月21日(水) 18:30-20:30

開催場所 ザ・ルイガンズ・スパ&リゾート(〒811-0321 福岡市東区大字西戸崎18-25)

開催形式 屋内会場のGrand Gardenにおいて全員着席形式での飲食。

会場への移動 講演会場からシャトルバスを運行いたします。

参加資格 9月18日から当日までのPCR検査または9月20日から当日までの抗原検査(医療用、研究用を問わず)の陰性を確認できるものを、9月21日に懇親会受付に提示できる方。 ※検査費用はご負担下さい。

募集人数 40名 ※上限に達し次第締め切らせて頂きます。(招待者や関係者は申し込み不要です。)

注意事項 飲食時以外はマスクを着用し、席の移動やお酌はご遠慮下さい。また、大声を出しての会話は控えて下さい。シャトルバス乗車時の検温、入場前の手指の消毒にご協力願います。

留意事項 新型コロナウイルスの感染状況によっては、懇親会の中止やお酒の提供を中止することがあります。

申込期間 2022年8月1日(月)～9月9日(金)

※事前予約のみとなります。また、期間内であっても募集人数に達し次第締め切らせて頂きます。

参加費 8,000円

申込方法 <https://forms.gle/TxEEunJdMGvQPwcd7>(こちらからお申し込み下さい。8/1より受け付け開始)

当日の参加方法・参加費支払い方法

9月21日(水)午後12時からC棟1階金属学会受付に懇親会専用受付を設置します。

- ① 懇親会受付に9月18日から当日までのPCR検査陰性を確認できるもの、または9月20日から当日までの抗原検査陰性を確認できるものを提示下さい。(提示頂けない場合は、お申込みされていてもご参加頂けません)
- ② 検温を受け、参加費を現金でお支払い下さい。(37.5℃以上の方はご参加いただけません)
- ③ 領収書と懇親会参加証をお受け取り頂き、懇親会バス出発時間までにバスに乗車下さい。
- ④ シャトルバスの出発時間は当日受付でご確認下さい。

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 講演大会係

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



日本金属学会2022年秋期講演大会 新型コロナウイルス感染拡大防止対策と参加者へのお願い

新型コロナウイルスの感染拡大防止と参加者の安全のため、講演大会開催にあたり以下の対策を実施いたします。参加者の皆様にはご不便をおかけいたしますが、ご協力をお願いいたします。

なお、公的機関(保健所等)から法令や正当な理由に基づいた要請があった場合には、参加者の個人情報を提供することがあることをあらかじめご了承下さい。

参加者への要望事項

- ・新型コロナウイルスワクチンを3回接種するか、参加前の72時間以内のPCR検査で陰性を確認してご参加下さい。
- ・接触確認アプリ(COCOA)をインストールし、起動しておいて下さい。

当日の受付での参加申込の中止について

- ・受付での三密回避のため、受付での参加申込の受付は行いません。
- ・事前・当日に関わらず参加申し込みおよび参加費支払いはWeb上で行って下さい。

体調に不安のある方、新型コロナウイルス感染が疑われる症状のある方は参加の自粛をお願いします

- ・受付にて検温を実施いたします。体温が37.5℃以上の方は参加をご遠慮下さい。
- ・体温が37.5℃未満であっても下記へ該当する方は参加をご遠慮下さい。
- ・息苦しさや強いだるさ等の症状がある。
- ・発熱やせき、のどの痛みなどの風邪の症状や味覚や嗅覚の異常がある。
- ・身近に感染の疑いのある方がいる場合や濃厚接触者に指定されて7日経過していない場合。
- ・緊急事態宣言が発令されている地域の方。
- ・7日以内に感染が継続拡大している国・地域への渡航歴・滞在歴がある、または7日以内に入国制限等のある国・地域からの渡航者・在住者との濃厚接触がある。

毎日のチェックインと検温のお願い

- ・毎日、受付で参加者確認をします。
 - ・講演会場へ向かう前に、必ず受付にて参加証のバーコードでチェックインと検温をお願いします。
 - ・体温が37.5℃以下の方にのみ、参加証に貼付する検温済のシールをお渡しいたします。渡されたシールは必ず参加証にお貼り下さい。各講演会場にてシールの貼付を確認します。シールが貼付されていない方は講演会場に入室できません。
- ※来場者が集中した場合は、チェックインや検温に時間がかかる場合がありますので、余裕をもってお越し下さい。

マスク着用のお願い

- ・講演会場のある建屋内および講演会場内(講演中、質疑中、休憩時間中含む)では必ず常時マスクを着用して下さい。
- ・マスクを着用していない方は参加をお断りします。また、講演会場内でマスクを着用していない方は、講演会場から退出していただきます。

講演会場での消毒等のお願い

- ・受付および各講演会場入り口に消毒液を設置します。入室時には必ず手指の消毒をお願いします。
- ・こまめな手指消毒や手洗いをお願いいたします。

講演会場の換気と消毒について

- ・講演会場は定期的に換気を行います。また、入口ドアは常時解放いたします。
- ・講演者と聴講者の間へアクリルパーティションを設置します。
- ・会場係がマイクや演台、PCケーブル等の共用部分の定期的な消毒を行うほか、消毒用シートを設置し各自で消毒して頂けるようにいたします。
- ・出入口の制限や会場内の動線を制限している場合があります。
- ・質問者用マイクを利用する場合は会場係が都度消毒を行います。

講演会場内で感染防止への協力をお願いします

- ・講演発表および質疑応答などの際もマスクを着用したままご発言下さい。
- ・できるだけ席の間隔をあけて着席下さい。混雑する場合は、入場制限する場合がございます。

- ポスターセッションは下記の対応を行います。
 - ① ボード間および発表者と聴講者の間の距離確保：発表者一人当たり 4～6 m² を目安。
 - ② 発表者および聴講者ともマスク着用。
 - ③ 感染防止のため、ポスターの質疑応答は一人につき10分程度(長時間にならないよう)にして下さい。
 - ④ 混雑状況に応じて、入場制限を実施します。

飲食等についてのお願い

- 供用スペース(ラーニングコーナー等)や講演会場内での飲食は可能ですが、飲食する際にもマスクを外しての会話はお控えいただき、黙食またはマスク会食をお願いいたします。
- 講演中の講演会場内での飲食はご遠慮下さい。
- 昼食時の食堂の混雑を緩和するために、時差利用をお願いします。

体調に不安があり参加を見送られる場合の対応

- (座長) 代替え座長を事務局で依頼しますので、不参加の旨をお早めにご連絡下さい。
- (発表者) 体調不良や新型コロナ感染により欠講される場合は、参加者への欠講周知のため、その旨お早めにご連絡下さい。この場合は、講演概要の公開をもって発表とみなします。
- (聴講のみ参加) ご連絡は不要です。下記理由によりご返金はいたしません。

※参加申し込みされた方には、講演概要閲覧およびオンラインポスターセッション参加のための参加者個別認証 ID とパスワードを発行しておりますので、体調不良の理由で参加をお断りした場合も、お支払いいただいた参加費はご返金いたしません。悪しからずご了承下さい。

その他のお願い

- 講演会場以外の建屋や食堂以外の建屋以外には立ち入らないで下さい。
- 大声での会話はお控え下さい。
- 咳エチケットをお守り下さい。
- 会場外においても大人数での会食を避けるなど、国、福岡県、各所属組織のルールに従い、感染予防を心掛けていただきますようお願いいたします。なお会場外の行動につきましては、日本金属学会は責任を負いかねますので、悪しからずご了承下さい。
- 飲食店については、福岡県が提供している感染防止認証店のステッカーやポスターを掲示した店舗のご利用を推奨いたします。

※講演会会期中および講演会終了後 4 日以内に、新型コロナウイルス陽性と診断された場合は速やかに講演大会事務局にご連絡下さい。

連絡先 会期中：☎ 090-2792-9311 終了後：☎ 022-223-3685 E-mail: annualm@jimm.jp (8/1よりドメインが変わりました)



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 2022年9月23日(金)12:00～13:00
- 会 場 福岡工業大学(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。仕事場や上司・部下への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 先 (公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685

第20回 World Materials Day Award 募集

応募期間：2022年7月1日(金)～8月31日(水)

材料系国際学協会連携組織である IOMMMS(International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies)では、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し(毎年11月の最初の水曜日)、この日に世界同時に「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰しております。日本では、11月2日(水)に顕彰いたします。

募集要項

1. 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)
2. 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。
3. 展示方法
日本金属学会秋期講演大会(2022年9月20～23日、福岡工業大学)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。
4. 審査方法
 - 展示場で審査員が説明を受け審査する。
 - 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。
5. 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。
6. 応募要領 E-mail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。

申し込み 下記 E-mail アドレス宛にお申込下さい。
(応募様式はホームページからダウンロードして下さい)

7. 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 ☎ 022-223-3685

E-mail: gaffair@jimm.jp (8/1よりドメイン変更)

(公社)日本金属学会 World Materials Day 募集係

2022年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2022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「利用規約及び同意書・申込書」「連絡票」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
2022年9月20日(火)	12:30～18:00
2022年9月21日(水)	8:30～17:30
2022年9月22日(木)	8:30～17:30
2022年9月23日(祝・金)	8:30～16:30

■場所 福岡工業大学キャンパス内(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：(株)テノ・サポート

■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、「利用規約及び同意書・申込書」「連絡票」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。尚、ご利用にあたり「託児サービスをご利用のお客様へ」を必ずお読み下さい。
- 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、(株)テノ・サポートより返信メールをお送りします。

■申込期間

2022年8月1日(月)～9月6日(火)16:00まで

(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先

株式会社テノ・サポート 前田

☎ 092-263-3580(代表) ☎ 092-263-3581

E-mail: info@teno-support.co.jp

URL: <https://baby.teno-support.co.jp/>

*託児室利用規約・託児室利用申込者は本会託児室案内ホームページでダウンロードして下さい。

2022年秋期講演大会
大会ホームページ・バナー広告、大会プログラム広告(まてりあ9号付録)、
付設展示会、誌上展示会(まてりあ11号) 各募集

本会2022年秋期講演大会は、9月20日(火)～23(祝・金)の4日間、福岡工業大学にて、また、高校生ポスターセッションを9月28日(水)にオンラインにて開催致します。本講演大会にて、各種広告、付設展示会の出展を募集致します。(新型コロナウイルス感染症の状況次第では、オンライン開催に変更となる場合がございます)

■大会ホームページ・バナー広告

掲載期間 2022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 255,000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
程度で掲載させて頂きます。
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 随時受付致します。
申込最終締切 8月18日(木)
※講演大会がオンライン開催となった場合でもキ
ャンセルはできません。

■講演大会プログラム広告(冊子)

※オンライン開催となった場合でも発行されます。
発行予定日 9月1日(木) まてりあ9号付録
原稿サイズ A4 1頁 天地260mm×左右180mm
1/2頁 天地125mm×左右180mm
入稿形態 完全データ(グレースケール)
掲載料金 後付モノクロ1頁 ¥70,000(税別)
後付モノクロ1/2頁 ¥40,000(税別)
※広告データ制作費は別途です。
※付設展示会出展社様は50%OFF。
申込締切 7月28日(木)
広告データ締切 8月4日(木)
※講演大会がオンライン開催となった場合でもキ
ャンセルはできません。

■付設展示会

展示会会期 9月21日(水)～23日(祝・金)9:00～17:00
(23日は、14:00まで)
搬入日:9月20日(火) 14:00～16:00(予定)
展示会場 福岡工業大学

〈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致しま
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18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18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致します。
発行予定日 11月1日(火)
掲載料金 1枠(1/4頁) ¥28,000(税別)
申込締切 9月29日(木)
広告原稿締切 9月29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。

その他、ランチョンセミナー等各種セミナーは、企画でき次
第ご案内致します。下記までお問い合わせ下さい。
本講演大会がオンライン開催となった場合、諸事情により付
設展示会が中止となった場合は、別途協賛メニューをご案内
致します。

■申込・問合せ先

〒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 または、営業担当者まで)
☎ 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306
E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp
URL: http://www.meihosha.co.jp

2023年春期講演大会 企画シンポジウム
テーマ提案募集

提案期限：2022年9月1日(木) 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61巻7月号452頁またはホームページ→講演大会→2023春

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jimmm.jp
(8/1 からメールのドメインが変更しました。)
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
日本金属学会講演大会委員会宛

2023年春期講演大会 公募シンポジウム
テーマ提案募集

提案期限：2022年9月1日(木) 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61巻7月号451頁またはホームページ→講演大会→2023春

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jimmm.jp
(8/1 からメールのドメインが変更しました。)
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
日本金属学会講演大会委員会宛



2022年秋期講演大会 開催予定の各種シンポジウム

公募シンポジウム9テーマ

- S1 ハイエントロピー合金の材料科学(VIII)
- S2 計算科学および新規腐食解析に基づく腐食現象の解析・可視化と機械学習による腐食予測
- S3 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II
- S4 機能コアの材料科学III
- S5 Additive Manufacturing の材料科学
- S6 材料変形素過程のマルチスケール解析(V)
- S7 ソフト磁性材料研究の新たな展開—組織設計・制御による次世代材料開発に向けて—
- S8 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシングIV
- S9 ミルフィーユ構造の材料科学V

企画シンポジウム5テーマ

- K1 若手科学者へ贈る研究のヒントV～未踏領域へ到達するために～
- K2 材料化学におけるイノベーションの役割と工業製品への展開III
- K3 材料技術史から見るこれからの技術展開V —鉄
- K4 医用材料・医療機器開発の最前線(III)～光を用いる生体情報センシング～
- K5 モビリティの未来を支える材料技術の最新動向

～ ご参加をお待ちしております。 ～

拡散解析：基礎から最先端へ

New!!

日本金属学会「セミナー・シンポジウム委員会」企画

[協賛予定] 合金状態図研究会, エネルギー資源学会, 金属材料研究開発センター, 素形材センター, 資源・素材学会, 自動車技術会, 軽金属学会, 日本铸造工学会, 日本塑性加工学会, 日本鉄鋼協会, 日本チタン協会, 日本材料学会, 日本材料科学会, ステンレス協会, 日本アルミニウム協会, 軽金属製品協会, 日本ガスタービン学会, 日本機械学会, 日本 MRS, 日本物理学会

合金中の拡散は、ナノ・マイクロ組織の形成過程や合金間の反応を理解するための基盤となります。Fick の法則で記述される拡散の基本関係式は、多くの教科書で説明されていますが、異相間の拡散問題や多元系実用合金に対する取り扱いなどの記述、あまり見かけません。近年では、CALPHAD 法に代表される平衡熱力学計算法により多元・多相の相平衡を精度よく評価することが可能になりました。また、この計算法と多元系拡散方程式を組み合わせることにより、多元系・多相系における拡散現象をも容易に取り扱えるようになってきています。そこで今回は、合金中の拡散の基礎から応用までを学ぶことができるセミナーを企画させていただきました。当該分野における材料工学の基礎から応用までを効率的に学ぶよい機会ですので、多くの皆様のご参加をお待ちしております。

日時 2022年10月6日(木)10:00~17:30, 10月7日(金)10:30~17:00

場所 オンライン

募集定員 100名

受講料(★受講料に、以下のテキスト代は含まれませんので、ご注意ください)

受講資格	事前申込	テキスト(受講者は各自でご購入下さい)	
正員	15,000円	テキスト	金額
学生	8,000円	小山敏幸：材料設計計算工学(増補新版)―計算組織学編一, 内田老鶴圃(1999)	3,520円
非会員	23,000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)

申込締切(事前予約のみ) 2022年9月26日(月)

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

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 (公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム参加係

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

プログラム(予定)

◆【第1日目：10月6日 10:00~17:30】

10:00~11:00 「拡散律速型の界面移動」講師 梶原正憲

11:00~12:00 「反応拡散の基礎と応用」講師 梶原正憲

12:00~13:00 一昼食・休憩一

13:00~14:00 「エネルギー散逸関数と広義のフィックの法則」講師 小山敏幸

14:00~14:15 一休憩一

14:15~15:45 「CALPHAD法からフェーズフィールド法へ(拡散現象を対象に)」講師 小山敏幸

15:45~16:00 一休憩一

16:00~17:00 「スピノーダル分解理論」講師 小山敏幸

17:00~17:30 質疑応答

◆【第2日目：10月7日 10:30~17:00】

10:30~12:00 「CALPHAD法をベースとした拡散理論体系」講師 小山敏幸

12:00~13:00 一昼食・休憩一

13:00~14:30 「多成分系における拡散対解析」講師 小山敏幸

14:30~14:45 一休憩一

14:45~16:30 「拡散対シミュレーションと機械学習」講師 小山敏幸

16:30~17:00 質疑応答

講師：梶原正憲(東工大名誉教授), 小山敏幸(名大教授)

★テキスト：各講義の資料を、pdf ファイル(pptx ファイルの pdf も含む)にて配布予定です。また市販の教科書【小山敏幸：「材料設計計算工学(増補新版)―計算組織学編一」, 内田老鶴圃, (2019).】も使用します。

(注)受講者は、上記の教科書を事前に購入されることをお勧めします。なお受講料には、上記の教科書代は含まれておりませんので、ご注意ください。

New!!

『状態図・相平衡・拡散の基礎』

日 時 一日目 2022年10月4日(火) 10:30～16:30
 二日目 2022年10月5日(水) 10:30～16:30

状態図は、「材料設計の地図」とであると形容されるように、目的のマイクロ組織を得るため、製造プロセスの最適化のための重要な役割を担っています。現在では、カルファド法による状態図計算が広く行われており、多くの熱力学計算ソフトウェアや熱力学データベースが市販・公開され、材料開発に用いられています。本講座では、マイクロ組織の形成過程を理解するために必要となる状態図・相平衡・拡散理論に関してそれらの基礎から解説を行います。

講師：東京工業大学 梶原正憲先生

[講師紹介] 1978年3月 東京工業大学 工学部 金属工学科 卒業；1983年3月 東京工業大学 理工学研究科 金属工学専攻 博士課程 修了；1983年4月～2020年3月 東京工業大学 工学部，総合理工学研究科および物質理工学院で教育・研究活動に従事；2020年4月～ 東京工業大学 名誉教授

講師：物質・材料研究機構 阿部太一先生

[講師紹介] 1992年3月 東海大学大学院工学研究科修士課程終了，同年科学技術庁金属材料技術研究所(現物質・材料研究機構)入所。現在，同構造材料研究拠点主席研究員。この間2002-2003年スウェーデン王立工科大学客員研究員。博士(工学)。

講師：名古屋大学 塚田祐貴先生

[講師紹介] 2007年3月名古屋大学工学部物理工学科卒業。2011年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了，博士(工学)。2011年8月名古屋工業大学工学部助教。2015年4月名古屋大学工学部助教。2016年11月より現職。

講師：物質・材料研究機構 大沼郁雄先生

[講師紹介] 1993年3月 東北大学大学院工学研究科材料物性学専攻博士課程前期修了，2006年 東北大学大学院工学研究科金属フロンティア工学専攻准教授，2015年 物質・材料研究機構主席研究員，2016年 グループリーダー，現在，同上席研究員，博士(工学)。

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

参加方法 オンライン(Zoom)による講義。申込者へは3日前までに参加方法をご連絡いたします。

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。一日目，二日目の区分ではありません。

申込締切(事前予約のみ) 2022年9月26日(月)

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

事前配布資料 事前配布資料があれば，開催3日前頃までにメール配信いたします。

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 (公社)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 ☎ 022-223-6312

<プログラム>

一日目 10月4日(火)

- 10:30~12:00 相平衡の熱力学(1) 講師 梶原正憲
12:00~13:15 一休 憩一
13:15~14:45 相平衡の熱力学(2) 講師 梶原正憲
14:45~15:00 一休 憩一
15:00~16:00 CALPHAD 法による熱力学計算 講師 阿部太一
16:00~16:30 質疑応答

二日目 10月5日(水)

- 10:30~12:00 拡散の基礎(1) 講師 塚田祐貴
12:00~13:15 一休 憩一
13:15~14:45 拡散の基礎(2) 講師 塚田祐貴
14:45~15:00 一休 憩一
15:00~16:00 平衡化法および拡散対法による状態図実験 講師 大沼郁雄
16:00~16:30 質疑応答

★テキスト 以下の教科書、および各講義スライドの pdf ファイル(必要に応じて講義資料の pdf ファイル)を使用します。

- (1)梶原正憲：相平衡の熱力学 ―熱力学体系の理解のために―、コロナ社(2021)
(2)阿部太一：材料設計計算工学(増補新版) ―計算熱力学編一、内田老鶴圃(2019)

(注)受講者は、上記(1)と(2)の教科書を事前に購入されることをお勧めします。なお受講料には、上記の教科書代は含まれておりませんので、ご注意ください。

New!!

『材料強度の基礎』

日時 一日目 2022年10月20日(木) 13:00~16:30,
二日目 2022年10月21日(金) 13:00~16:30

本講座ではまず、(1)結晶塑性学の基盤となる転位論の基礎、(2)種々の結晶構造における転位構造の特徴とその強度特性との関係、(3)各種強化機構の基礎等について述べる。さらに材料破壊の基礎についても材料科学的な立場から論述する。そこでは、(4)材料破壊の基盤としてのクラック論基礎、(5)転位-クラック相互作用を通して破壊靱性について考える。水素脆化の問題についても触れたい。

講師：九州大学名誉教授 東田賢二先生

[講師紹介] 1975年3月京都大学工学部金属加工学科卒業、1980年3月京都大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学、同年4月同研究科研究生、1982年6月京都大学工学部助手、1984年1月工学博士(京都大学)。1992年4月九州大学工学部材料工学科助教授、2007年1月九州大学大学院工学研究院材料工学科部門教授、2016年3月同退職(九州大学名誉教授)。同年4月国立高等専門学校機構佐世保工業高等専門学校校長、2018年4月-2020年3月国立高等専門学校機構理事(校長兼任)、2021年3月同退職(国立高等専門学校機構顧問)。同年4月九州大学鉄鋼リサーチセンター学術研究員(特任教授)、現在に至る。

[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

参加方法 オンライン(Zoom)による講義。申込者へは3日前までに参加方法をご連絡いたします。

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。一日目, 二日目の区分ではありません。

申込締切(事前予約のみ) **2022年10月11日(月)**

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

事前配布資料 事前配布資料があれば, 開催 3 日前頃までにメール配信いたします。

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム参加係

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

<プログラム>

一日目 10月20日(木)

13:00~14:00 結晶塑性(転位論)と破壊(クラック論)との結びつき

14:00~14:15 一休 憩一

14:15~15:15 FCC, BCC, HCP 構造をもつ材料の力学特性の特徴

15:15~15:30 一休 憩一

15:30~16:30 転位論の基礎(転位の概念は何故必要か)

二日目 10月21日(金)

13:00~14:00 FCC, BCC, HCP 結晶における転位構造の特徴と強度特性の関係

14:00~14:15 一休 憩一

14:15~15:15 クラック論の基礎(材料科学における破壊力学の重要性)

15:15~15:30 一休 憩一

15:30~16:30 転位-クラック相互作用を通じた破壊靱性の考え方(水素脆化の特徴にも触れる)

今後のオンライン教育講座 開催予定

金属製錬の熱力学(11月17日, 18日開催予定)

講師 東京大学名誉教授 月橋文孝

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。

金属材料の耐環境性(1)水溶液腐食の基礎—平衡論・速度論(12月開催予定)

講師 北海道大学名誉教授 大塚俊明, 東北大学教授 武藤 泉, 東京工業大学教授 多田英司

近年, 金属材料が使用される環境は多様化し, 使用環境と金属材料の相互作用により生じる腐食・劣化現象やその要因も複雑化する傾向にあります。様々な異なる腐食の要因を把握して適切な防食対策を施すためには, 腐食現象を基礎から理解することが必要とされます。本講座では水溶液が関わる腐食を理解するために不可欠な平衡論や速度論を中心とした基礎理論, ならびに鉄鋼材料や非鉄金属材料で生じる腐食の機構について学びます。

公益社団法人日本金属学会
2023年度「若手研究グループ」新規申請募集

申請締切：2022年9月1日(木)

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 2023年3月1日～2025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 2023年度の採択数は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用紙をE-mail添付で提出する。
- (8)審査 調査研究委員会での審査の後、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、収入および支出を現金出納帳に記載するとともに、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

問合せ・送信先 E-mail: stevent@jimm.jp
(8/1からメールのドメインが変りました.)
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
(公社)日本金属学会 研究会係



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：2022年9月1日(木)

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
 - 2023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。
 - 2023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) 申請書送付方法 下記送信先にE-mail添付で送付下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。

問合せ・送信先 E-mail: stevent@jimm.jp
 (8/1からメールのドメインが変りました.)
 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
 (公社)日本金属学会 研究会係

シニア会員制度について

65歳以上の正員の会費を半額とする「シニア会員」制度を設けることとしました。

シニア会員には「まてりあ」の冊子は送付せず, 電子ジャーナルの閲覧のみが可能ですが, 冊子希望者は実費相当額の3,000円をお支払いいただければ冊子を購読することができます。

シニア会員を希望される方は申し出が必要ですので, **11月30日**までに, 氏名, 会員番号, 生年月日を添えて下記問合せ先にお申し出下さい。

問合せ先 (公社)日本金属学会 会員サービス係
 ☎ 022-223-3685 E-mail: member@jimm.jp

永年会員制度について

本会では長年にわたり本会の発展に尽された会員の労に報いるため, 「永年会員」制度を設けております。自己申告制となっておりますので, 該当すると思われる方は, はがき, FAX 又は E-mail にて会員番号, 生年月日およびおおよその入会年を記入の上, 本会事務局宛お問い合わせ下さいませようお願いいたします。

申し出られた方について調査確認し, 該当者については理事会に諮り, 承認の上ご案内申し上げます。

永年会員制度 会員歴が継続して40年以上でかつ満71才以上の会員に対し「永年会員」の称号を贈る。
 永年会員は正員会費を免除する。

受付締切 毎年9月30日

永年会員資格付与 毎年1月1日

問合せ先 (公社)日本金属学会 会員サービス係
 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
 ☎ 022-223-3685 E-mail: member@jimm.jp

終身会員制度について

入会歴が40年に満たないために永年会員となっていた方ない方に, 満60歳以上満65歳以下の会員が70歳までの会費を前納いただくと「終身会員」の称号を贈り, 以降の会費を免除いたします。前納会費の額は70歳までの会費の総額に比べて割安となっておりますので, ぜひご利用下さい。

年齢(2023年1月1日時点)	前納会費	(70歳までの通常会費)
60歳	80,000円	(110,000円)
61歳	70,000円	(100,000円)
62歳	65,000円	(90,000円)
63歳	55,000円	(80,000円)
64歳	50,000円	(70,000円)
65歳	40,000円	(60,000円)

ご希望される方は, **11月30日**までに, 氏名, 会員番号, 生年月日を添えて下記連絡先にご連絡下さい。前納会費の請求書をお送りします。

問合せ先 (公社)日本金属学会 会員サービス係
 ☎ 022-223-3685 E-mail: member@jimm.jp

～ 各種ご確認の上, 申請して下さい。～

第46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：2022年11月1日(火)

[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46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

- 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
- 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
- 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。
- 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

- 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。
- 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。
- 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

- 2023年6月末日までに受賞者を内定する。
- 2023年秋期講演大会において授賞する。
- 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46回の受賞記念講演は2023年秋期講演大会(9月予定)の折りに行う。

7. 受賞決定までの流れ

応募(11月1日締切)→まてりあ掲載(62巻(2023年)1号から)→選考・受賞決定(2023年6月)→授賞(2023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

- 2022年11月1日(火)
- 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

- 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。
- 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。
- 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。
- 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

- 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。
- 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。
- 原稿はレイアウトの体裁にあわせて作成する。
- 応募は、下記Webサイトから申込む。

URL <https://gijutsu.jim.or.jp/entry>

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・説明も含め全て日本語とする)
- 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

- レイアウトされた原稿 ②本文テキスト ③図表原稿
◎①～③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@jim.jp

9. 「新技術・新製品」記事の問合せ先

まてりあ係 E-mail: materia@jim.jp

Web フォームによる申込です !!

～ とっておきの作品(一枚)を後世に ～

応募期間：2022年8月1日(月)～11月1日(火)

1. 募集部門

下記4部門で行う。

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する。

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る。ただし、該当する作品がないときは授賞しないことがある。

「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する。

URL <https://picture.jim.or.jp/entry>

【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】

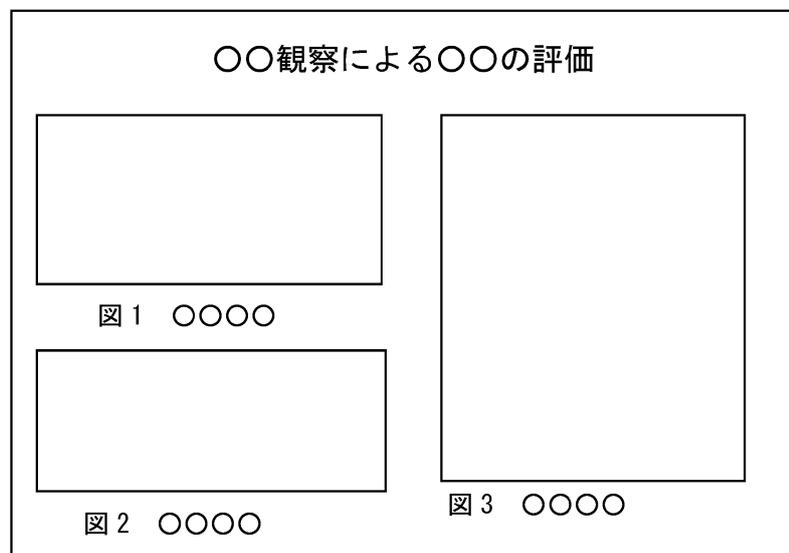
- ①写真作品データの解像度は、A2版サイズを前提に400dpi以上とする。
- ②写真作品データはPDFまたは画像ファイル(jpg, png, tiff, bmp)として作成したもの(ファイルサイズ上限は100MB)をアップロードする。
- ③写真と図の組み合わせでも提出は可(写真、図への挿入文字は小さすぎないこと)。
- ④作品には、応募者名、共同研究者名を記載しない。
- ⑤応募作品数には制限を設けない。
- ⑥他学協会等の同様の賞を受賞していない作品であること。
- ⑦作品を春期講演大会の会場等で展示すること、およびWebサイトで紹介することについて同意すること。

送付・問合せ 〒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://picture.jim.or.jp/entry>

【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



- 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

掲 示 板

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員，締切日，問合せのみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税

ホームページのみ掲載；10,000円＋税

〈その他の記事〉原則として有料掲載。

原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jimm.jp

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 2023年4月1日～2023年9月1日

任 期 当初契約2年．その後評価により1年毎更新．
最長雇用期間は応募者の職歴による．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/recruitment/>

応募締切 2022年9月29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

◇大阪大学大学院工学研究科 教員公募◇

職名人数 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 材料熱力学

職務内容

〈教育・研究の内容〉

持続可能社会実現に資する，「鉄鋼および非鉄金属の製精錬プロセスの先進化」，「エネルギーの創・蓄・省を支える半導体・セラミックス・各種化合物材料の製造プロセスの開発と効率化」，などの学術的基盤を，熱力学，融体物性，界面化学，反応速度論などの物理化学を基礎として，先端計測，

制御，解析技術を用いた実験中心の研究により構築し，材料工学の発展に寄与する教育と研究を行う。

〈担当科目〉

(学部) 熱力学，材料プロセス工学，先端・融合材料学，
材料物理化学

(大学院) (博士前期)材料熱力学特論など

(博士後期)材料エネルギー理工学特論など

〈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) 「上記の職務内容」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 2023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，それぞれに掲載誌のインパクトファクター(2021年か2022年のもの)と Scopus による引用数を明記.)
- 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 可能ならば，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

※なお，応募書類による個人情報，採用者の選考及び採用後の人事等の手続きを行う目的で利用するものであり，第三者に開示いたしません。

※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)応募書類を添付の上，下記の E-mail アドレスまで送付下さい。 yoshiya@mat.eng.osaka-u.ac.jp

※件名を「材料エネルギー理工学 教授 応募」とする
※添付ファイルにはセキュリティ対策を十分に施すこと
(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 吉矢真人

※封筒の表に、「材料エネルギー理工学 教授 応募書類」と朱書きすること。

※簡易書留にて送付すること。

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

問合せ先

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 吉矢真人 ☎ 06-6879-7473

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

応募期限 日本時間にて2022年9月20日(火)必着

選考方法

書類審査による第一次選考の後、書類審査通過者に面接を行います。追加でセミナー開催をお願いすることもあります。※書類審査不合格の連絡はいたしませんのでご了承下さい。※面接のための旅費及び宿泊費等は応募者の負担とします。

日本国外からの応募者は、オンライン面接を申請することが出来ます。

公 募

東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点
准教授、講師または助教
募集(4名程度)

締 切 日 2022年8月31日(水)

問 合 先 東北大学材料科学世界トップレベル研究拠点採用
担当

E-mail: crcms_recruit2022@grp.tohoku.ac.jp

◇掲示板は、本会ホームページにも掲載しておりますのでご利用下さい。

<https://jim.or.jp/> → 掲示板 です。

助 成

◇2023年度「教育研究資金・研究補助金」応募要領◇

公益財団法人 軽金属奨学会

1. 本事業の概要と目的

軽金属に関する学科目を教育・研究している大学・公的研究機関の研究グループ・研究者に教育研究資金・研究補助金を交付・助成奨励し、軽金属工学の進歩に寄与することを目的とする。

2. 応募資格

- (1) 教育研究資金の交付対象は、軽金属(アルミニウムあるいはマグネシウムやチタン等を主成分とする金属材料)に関する学科目を教授する日本の大学・公的研究機関の、原則として常勤の教授(特任を含む)とする。
- (2) 研究補助金の交付対象は、軽金属に関する、日本の教育機関又は公的研究機関の原則として常勤の研究者とする。
ただし大学にあっては准教授・講師・助教(特任を含む)、短期大学又は工業高等専門学校にあっては教授・准教授・講師・助教、公的研究機関にあっては無期雇用の研究員とする。
- (3) 教育研究資金及び研究補助金の交付は、1研究者に対していずれか1件とする。且つ、同一の研究室・研究グループから複数の研究者が申請をする場合、テーマはそれぞれ独立したものとする。
なお、当会事業「統合的先端研究」や「課題研究」に採択された場合は、「教育研究資金」や「研究助成金」との重複交付はしない。
- (4) 新規交付申込は60歳未満であること。
継続して交付申込の場合は、65歳未満であり、かつ所属機関の定年退職までに申込の研究が完了する見込みであること。

3. 募集課題

軽金属材料の組織や機能性など、その諸特性に関する研究。

4. 研究期間

同一テーマでの申込は原則3年、ただし継続でも毎年申請のこと。

5. 助成金額

- (1) 教育研究資金 [上記2-(1)] 年額 300,000円
- (2) 研究補助金 [上記2-(2)] 年額 200,000円
 - ① 応募者が所属する機関の間接経費・一般経費は助成の対象にならない。
 - ② 本助成金は原則として応募者の所属する機関に経理を委任し、経理報告は当人から受けるものとする。
 - ③ 本助成金の寄附事務における寄附申込書は、当会所定様式によるものとする。

6. 申込方法

- (1) 申込者 研究者本人
- (2) 申 込 当会ホームページにて研究者登録を行い、助成申請フォームよりお申込み下さい。

当会 HP の URL: <https://www.LM-foundation.or.jp>

- (3) 添付書類 新規交付申込者およびブランクにおいて申

しまれる方は、最近の軽金属に関する代表的な公表論文1~2編を添付する事。

(4) 申込期間

2022年10月10日~11月10日(期限厳守のこと)

(5) 決定通知時期 2023年3月頃

7. 選考

当会の選考委員会によって選考を行い、理事会において決定する。

8. 研究成果の公表

- ① 本資金による研究成果は、査読を要する権威ある学協会等の機関誌(軽金属に関する学協会が望ましい)あるいは権威ある国際学術誌等*に速やかに公表する。
- ② 公表された論文の英文アブストラクトを作成し、当会へ提出する。(※国際会議議事録で査読を受けているものを含む)
- ③ 2年間公表論文の英文アブストラクト提出がない時は、翌年度の資金交付の申込資格はないものとする。
- ④ 提出された英文アブストラクトの著作権は当会に帰属する。

9. 参考(昨年度交付者リスト)

当会ホームページを参照。

◇2023年度「軽金属奨学会特別奨学生」応募要領◇

公益財団法人 軽金属奨学会

1. 本事業の概要と目的

軽金属学術界の人材育成のため、軽金属に関する教育機関に在学する有為の学生に対し、研究に専念する時間を与え、創造性に富んだ研究者を育成することを目的に、学費及び研究費を交付する。(返済不要)

2. 応募資格

日本国籍を持ち、国内で軽金属(アルミニウムあるいはマグネシウムやチタン等を主成分とする金属材料)に関する学科目を専攻する大学院生

3. 交付対象

我が国の学術研究の将来を担う優れた大学院生で、かつ次の条件に該当し研究科長又は専攻長の推薦を受けた者

- 現在修士課程に在学中で、その後博士課程へ進学を希望する者
- 推薦人員は、1指導教員あたり1名とする。

※将来軽金属分野で中心となって教育及び研究に携わる強い志を持った学生の応募を期待している。

4. 交付期間

4年間(修士課程2年~博士課程3年)又は
3年間(博士課程3年間)

5. 採用人数 若干名

6. 交付金額

- (1) 学費補助(原則として毎月末に翌月分を支給)
 - ① 修士課程在学中 年額 120万円(10万円/月×12箇月)
 - ② 博士課程在学中 年額 300万円(25万円/月×12箇月)
- (2) 研究費補助(毎年進級当初に支給)
 - ① 修士課程及び博士課程ともに、年間150万円以内を

交付する。

- ② 応募者が所属する大学の間接経費・一般経費は助成の対象にならない。
- ③ 本助成金は原則として応募者の所属する大学に指導教員を経由して経理を委任し、経理報告は当人から受けるものとする。
- ④ 本助成金の寄附事務における寄附申込書は当会所定様式によるものとする。

(3) 奨学金の廃止または減額

他の団体から上記内容の奨学金等を交付されている場合は、原則としてその金額を差し引くものとする。(但し研究費補助は除く)

次の各号のいずれかに該当すると認められる時は、奨学金の交付を廃止または減額する。

- ① 博士課程への進学を取りやめたとき
 - ② 傷病のため成業の見込みがないとき
 - ③ 学業成績または操行が不良となったとき
 - ④ 休学をしたとき
 - ⑤ 奨学金を必要としない事由が生じたとき
- 理事会で必要と認めた場合、上記補助金額を増額することがある。

7. 申込方法

- (1) 申込者 交付対象者本人
- (2) 申込 当会ホームページにて研究者登録を行い助成申請フォームよりお申込み下さい。
当会 HP の URL: <https://www.LM-foundation.or.jp>
- (3) 添付書類 卒業論文、学業成績証明書、指導教員の推薦書及び本人と指導教員双方による博士課程進学同意書も併せて提出のこと
- (4) 申込期間
2022年9月15日~10月15日(期限厳守のこと)
- (5) 決定時期 2023年2月中旬

8. 選考

当会の選考委員会によって選考を行い、必要であれば面接を実施し、理事会において決定する。

9. 状況報告

- ① 奨学金受給者は、毎年度、確定進捗状況を報告する。
- ② 研究成果は、軽金属学会等の講演大会や国際会議及び最終研究発表会で発表する。
- ③ 「軽金属」誌や権威ある国際学術誌等で論文を発表すること並びに修士論文及び博士論文一部を当会へ寄贈することを要す。

◇ ◇ ◇

◇レアメタル研究会◇

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

令和 4 年度 レアメタル研究会のご案内 (2022. 6. 19現在)

- 第102回 2022年 9 月 9 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: 資源開発の課題と将来展望
 午後 2:00~講演(敬称略)
 • 希土類鉱床の特徴と資源開発の課題(仮)(60分)
 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター
 主任研究員 実松健造
 • レアメタルの光と影(45分)
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
 • ペグマタイトに伴うレアメタル: リチウムやタンタルなどの現状と未来について(仮)(60分)
 秋田大学大学院 国際資源学専攻 資源地球科学専攻
 准教授 越後拓也
 午後 6:00~ 研究交流会・意見交換会

■第103回 2022年11月 4 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
 ★チタンシンポジウム(第 6 回)★(合同開催)
 テーマ: チタンの未来
 午後 2:00~講演(敬称略)
 • 私の人生 ~Mining & Metals~(仮)(60分)
 東邦チタニウム株式会社 代表取締役社長 山尾康二
 • 大阪チタニウムテクノロジーズの生産力の変遷と今後への期待(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・チタン製造
 部長 荒池忠男
 • 東西分断後のチタンの商流と日本のポジションについて(仮)(45分)
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
 • 総合討論: チタンのサプライチェーンの未来について(仮)(45分)
 午後 6:00~ 研究交流会・意見交換会

■レアメタル研究会について

レアメタル研究会は、一般財団法人 生産技術研究奨励会の特別研究会(RC-40)の一つとして、2002年に発足し、これまでに合計 100 回開催しました。参加者の累計はおよそ 14000 名となり、今では、毎回 100~400 人の関係者が集まる極めて活発な研究会となっております。本研究会は、様々な重要な情報を社会に向けて発信し、また、レアメタルに関する産官学(+メディア)の交流の場として機能してきました。プロ集団からの情報発信源としての役割だけでなく、最近の社会的な関心の高まりをはじめとするレアメタルブームの一翼も本研究会は担っております。本研究会は、企業会員の会費により運営されているプライベート・インフォーマルな会合であり、学会等の学術的な研究会ではありません。企業会員向けの「勉強会・交流会」が主たる目的です。従いまして、研究会の内容は、レアメタルのプロに対する技術的な内容の講演や、最近のトレンドや問題点、さらには、将来展望などの話題が多くなります。大学・省庁・メディアの関係者の方には、ビジターあるいはオブザーバ・講師として、無料にてご参加いただけます。企業関係者は、最初の一回はビジターとして無料で参加できますが、継続的に参加する場合は、原則、入会して企業会員としてご参加ください。



会員情報のご変更手続きのお願い

本会への会員情報のご登録は、最新のものになっておりますでしょうか。

[本会ホームページ](#) → [入会・会員](#) → [会員マイページ](#)より確認ができますので、ご利用下さい。

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 86, No. 8 (2022)

—論文—

調和組織制御による高強度高延性マグネシウム合金
AZ31Bの創製 小川文男 片岡亮太 川畑美絵
伊藤隆基 飴山 恵

B2構造のPd-Cu合金の水素透過能, 水素溶解特性,
水素拡散性に及ぼす過剰Cuの影響
三津原晟弘 湯川 宏 君塚 肇

有機王水を用いたニッケル・コバルト混合硫化物の浸
出と二相分離による回収
宇田和樹 吉村彰大 松野泰也 浅野 聡

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 63, No. 8 (2022)

—Review—

The Current Status of Environmental Barrier
Coatings and Future Direction of Thermal Spray
Process Masato Suzuki, Mohammed Shahien,
Kentaro Shinoda and Jun Akedo

—Regular Article—

Materials Physics

Erosion Resistance of Iron-Boron Nitride Compo-
site Plating to Molten Lead-Free Solder

Jun Watanabe, Kenji Hatsuzawa, Shigeyuki Ogata,
Shinichi Yoshida, Dmitri Golberg and Ikuo Shohji

Mechanics of Materials

Comparative Analysis of Static and Fatigue
Strength of Carbon Fiber and Al 6061-T6 Double
Strap Joint

Shahid Iqbal, Adnan Tariq,
Wajid Ali Khan, Waseem Shahzad, Muhammad Azeem,
Waqas Javid, Haider Ali, Muhammad Yasir and
Muhammad Shakeel

Change in Electrochemical Impedance Spectrum
of Al/CFRP Adhesive Lap Joint by High Tempera-
ture, High Humidity-Cold Cycle Test

Toshio Horie and Gaku Kitahara

Creep Fracture of Copper Tricrystal along Grain
Boundaries

Tatsuya Okada, Hiromu Hisazawa,
Hiroki Morimoto, Kazuki Nakao, Ryuta Okubo and
Tomoyuki Ueki

Evaluation of Hydraulic Conductivity of Intact
Rocks Using Constant Head Permeability Appara-
tus

Masanori Kohno, Kotomi Sakata, Masaki Asano,
Masahiro Nonami, Yusuke Ono and Tsuyoshi Nishimura

Swelling Characteristics and Permeability of Ben-
tonite-Based Materials Immersed in Various Solu-
tions

Masanori Kohno and Tsuyoshi Nishimura

Materials Chemistry

Filling the Pores of Plasma Electrolytic Oxidation
Coatings on Titanium with Hydrothermal Synthe-
sized MoS₂: Coating Structure and Tribological
Performance

Zhaoxiang Chen, Huameng Huang,
Chen Chai and Limei Ren

Preparation and Electrochemical Properties of
LiCoO₂ Electrode Layer by Molten Salts on
Mechanical Machined Li_{0.29}La_{0.57}TiO₃ Solid Elec-
trolyte

Hijiri Oikawa, Takanori Yamamoto and Yoshinori Arachi

Reduction of Experimental Error by Surface
Treatment in the Measurement of Polarization
Curves of Magnesium Alloys

Kenichi Nakano, Masaki Naganawa, Ami Morihoro,
Satoshi Sunada and Masahiko Hatakeyama

Materials Processing

Thickening of S-Phase and α -Phase of Various
Stainless Steels Treated by Low Temperature
Plasma Nitriding Using Screen

Shun Hamashima and Akio Nishimoto

Research on the Application of Ductile Fracture
Criterion in Fracture Prediction during Sheet
Metal Deep Drawing

Duan Chen, Changcai Zhao,
Zhuoyun Yang, Xiaoyi Chen, Haoyang Li and Guang Chen

Environment

Photocatalytic Degradation of Methylene Blue
(MB) and Methyl Orange (MO) by the Highly Ox-
idative Properties of SnO₂-Sb₂O₃ Particles

Victor M. Rosas-García, Odin Rodríguez-Nava,
Ricardo Cuenca-Álvarez, Aristeo Garrido-Hernandez,
Margarita García-Hernández and
Ángel de J. Morales-Ramírez

—Technical Article—

Extraction of Ferronickel Concentrate by Reduc-
tion Roasting-Magnetic Separation from Low
Grade Laterite Nickel Ore under the Action of
Compound Additives

Zhaizhai Wang, Bo Li,
Zhi Feng, Shunyao Hui, Yindong Yang and Hua Wang

◇ ◇ ◇

◎日本金属学会誌では、新規論文の投稿を歓迎しております。

(1)投稿・掲載費用が無料、

(2)オンラインでの公開後、即時に無料で全文のダウンロードが可能、

(3)公開後2年以内であれば、欧文誌への英訳論文の投稿が可能

などの利点があります。是非ご検討下さい。

新 入 会 員

(2022年5月21日～2022年6月20日)

正 員

奥田一郎 京都大学
齊藤俊介 株式会社 NSC
藤井孝典 日本軽金属株式会社
三島泰信 DOWA エレクトロニクス株式会社
横田温貴 愛媛大学
横平綾子 北海道大学
吉田 祥 古河電気工業株式会社

学 生 員

赤木優作 名古屋大学
秋口諒盛 兵庫県立大学
雨塚秀一朗 東北大学
石ヶ守めぐみ 北海道大学
石澤寿将 東北大学
魚谷航平 岡山大学
海老原魁人 金沢大学
温 哲辰 横浜国立大学
川瀬 輝 東京都立大学
岸村 拓 大阪大学
公文康博 高知工科大学
薫田晃輔 名古屋大学
児玉雄大 東北大学
齊藤大輝 富山大学
佐々侑祐 名古屋大学
佐野光哉 名古屋大学
重松克典 岡山大学
高城杏奈 名古屋大学
高橋優輝 早稲田大学
高山大陸 東北大学
竹内開人 東北大学
田代知輝 芝浦工業大学
仲鉢優臣 東北大学
長子明弘 名古屋大学
土久里成弘 京都大学
長崎由佳 香川大学
中野 岳 筑波大学
中村友哉 兵庫県立大学
萩庭大樹 東京工業大学
橋本大二郎 香川大学
原 巧 東京工業大学
日向颯斗 北海道大学
藤原夏美 東北大学
細井大聖 京都大学
本田このみ 大阪公立大学
松浦久信 岡山大学
松浦茉耶 名古屋大学
松本孝輝 京都工芸繊維大学
三須俊幸 芝浦工業大学
宮脇孝暢 名古屋大学
村形周平 富山大学
村田理佳 東北大学
八重畑駿太 北海道大学
山内達寛 東北学院大学
山下大輝 東北大学

外国一般会員

DARAM Phuangphaga 国立研究開発法人物質・材料研究機構
PAUL Viola 国立研究開発法人物質・材料研究機構

外国学生会員

Jodi Dennis 九州大学
王 吟麗 東北大学
許 恒新 横浜国立大学
POMES Silvia National Institute for Materials
Science—Kyushu University



 住所変更等の手続きは、ホームページ：入会・会員→会員マイページをご利用下さい。



まてりあ 第61巻9号 予告

[金属素描] No. 24 レニウム

[講義ノート] 平面波基底の第一原理計算法(第一回)

特集「ミルフィーユ材料における多様なキンク現象」

—他—

[解説] 先端材料開発に向けた、AI先端計測技術の多角的
視点からの考察(第2回)

……………山口大 岡本和也 阪大 杉山昌章
名大 武藤俊介 成蹊大 青柳里果
ソニーグループ 富谷茂隆

……………産総研関西センター 香山正憲

—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
2022年8月				
3～6	ICYRAM2022(福岡)	MRS-Japan	TEL 092-802-2755 mtanaka@chem-eng.kyushu-u.ac.jp https://icyram2022.wixsite.com/official-site	
8～10	第19回日本熱電学会学術講演会(長岡)	日本熱電学会	TEL 093-884-3168 miyazaki.koji055@mail.kyutech.jp http://www.thermoelectrics.jp/conference2022.html	
10	表面分析実践講座2022～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 kaiin@jvss.jp https://www.jvss.jp	
19	2022年度茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部	TEL 0294-38-5043 kotaro.mori.1@vc.ibaraki.ac.jp	
22～26	第10回対称性・群論トレーニングコース(つくば)	日本結晶学会	TEL 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/	
22～24	第251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 45名
24～25	第44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/	
24～26	日本実験力学会2022年度年次講演会(鳥取大)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://jsem.jp/event/Annual22/index.html	5.10
25～26	第52回初心者のための有限要素法講習会第2部(演習付き)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/	定員 10名
25～26	日本金属学会オンライン教育講座「結晶学の基礎」(Web開催)(7号458頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	8.16
26～27	第32回電顕サマースクール in 東京 旗の台(昭和)ハイブリッド	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 https://www.em-summer-school.com/	
29	第252回塑性加工技術セミナー「有限要素法 入門セミナー」(名大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
31～9.1	初心者のための電気化学測定法-実習編(慶應義塾大/オンデマンド)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 seminar@electrochem.jp https://www.electrochem.jp/seminar/	定員 42名
31～9.1	第14回「役に立つ真空技術入門講座」(Web開催)	日本表面真空学会 関西支部	TEL 079-267-4909 syoiiin-yakunitatsu@jvss-kansai.jp https://www.jvss.jp/	定員 200名
31～9.2	第24回日本感性工学会大会(オンライン開催)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske24	
2022年9月				
2, 9, 16, 30	関西支部第26回塑性加工基礎講座「金属薄板の成形性試験」(京都工芸繊維大)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	8.12
4～8	第18回アルミニウム合金国際会議(ICA18)(富山)	軽金属学会	http://www.icaa18.org/	
4～9	第18回液体及びアモルファス金属国際会議(LAM18)(広島)	第18回液体及びアモルファス金属国際会議組織委員会	TEL 082-424-6555 masinui@hiroshima-u.ac.jp https://lam-18.hiroshima-u.ac.jp/	
6～8	2022年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(福岡工大)	資源・素材学会	TEL 03-3402-0541 info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2022b/top?lang=ja	
7～9	2022年度工学教育研究講演会(関東地区大学とWeb開催)	日本工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/event/conference/	
9	第102回レアメタル研究会(東大生産技研/Web開催)(7号459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	
11～13	第16回プラズマエレクトロニクス・インキュベーションホール(御殿場)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	TEL 0143-46-5560 ktakahashi@mmm.muroran-it.ac.jp http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2022	定員 60名
11～16	The 22nd International Vacuum Congress(IVC-22)(札幌)	日本表面真空学会 日本学術会議	TEL 03-3812-0266 ivec22@jvss.jp https://ivec22.org/	
14～16	日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム(徳島大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall35@ceramic.or.jp https://fall35.ceramic.or.jp/	
16	第109回 アノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会 —2022年度チュートリアル：アノード酸化の基礎—(オンライン開催)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会	TEL 079-267-4911 yae@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
20~23	日本金属学会秋期講演大会(福岡工業大学)(本号514頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	講演 7.8 参加予約 9.2
23	日本金属学会・日本鉄鋼協会第11回女性会員のつどい(本号518頁)(福岡工業大学)	日本金属・ 日本鉄鋼協会	TEL 022-223-3685	
25~26	SPring-8 シンポジウム2022(兵庫)	SPring-8 ユーザー 協同体 (SPRUC) 他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2022@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2022/sp8sympo2022/	
28	日本金属学会秋期講演大会第8回「高校生・高専学生ポスターセッション」(オンライン開催)(7号448頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	7.15
29~30	第54回溶融塩化学討論会(岩手大学+オンライン)	電気化学会溶融塩 委員会	TEL 019-621-6340 ms54.electrochem@gmail.com https://msc.electrochem.jp/touron.html	
30	第347回塑性加工シンポジウム「高強度材料の成形と高精度成形」(オンライン開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
2022年10月				
4~5	オンライン教育講座(状態図・相平衡・拡散の基礎)(オンライン開催)(本号523頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	9.26
6~7	第44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/	
6~7	金属学会セミナー「拡散解析：基礎から最先端へ」(オンライン開催)(本号522頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	9.26
7	第73回白石記念講座-攻めの操業を支えるシステムレジリエンス-環境の揺らぎへの対応力-(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
12~13	第50回日本ガスタービン学会(九大)	日本ガスタービン 学会	gtsj-office@gtsj.or.jp https://www.gtsj.or.jp/	
12~14	ADMETA Plus 2022(Advanced Metallization Conference 2022: 31st Asian Session)(東大/オンライン)	応用物理学会	TEL 03-5821-7120 jimukyoku@admeta.org http://www.admeta.org/	
16~21	ALC'22 (14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices, '22)(沖縄)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 alc@jvss.jp https://www.jvss.jp/division/mba/alc/alc22/	
19~21	第41回電子材料シンポジウム(EMS41)(榎原)	電子材料シンポジ ウム運営委員会	TEL 03-5841-3840 kazu-n@g.ecc.u-tokyo.ac.jp https://ems.jpn.org/	
20~21	オンライン教育講座(材料強度の基礎)(オンライン開催)(本号524頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	事前 10.11
25	第238回研究会「マテリアルズインフォマティクスの進展と磁性材料への応用」(オンライン開催)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/event/topical_238/	
25~27	第43回日本熱物性シンポジウム(和歌山)	日本熱物性学会	TEL 086-251-8046 jstp@okayama-u.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2022/	
2022年11月				
4	第103回レアメタル研究会(チタン関係シンポジウム)(東大生産技研/Web開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
7~9	第43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(同志社大)	超音波エレクトロ ニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp https://www.use-jp.org/	
10~11	第58回 X線分析討論会(姫路)	日本分析化学会 X線分析研究懇 談会	TEL 079-267-4005 nozaki@eng.u-hyogo.ac.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no58.html	
11	第24回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイ エンス・フォーラ ム	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11~13	軽金属学会第143回秋期大会(東工大)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	事前 10.7
15~16	第44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/	
16~18	第35回計算力学講演会(Web開催)	日本機械学会	https://confit.atlas.jp/cmd2022	
17~18	オンライン教育講座(金属製錬の熱力学)(オンライン開催)(7号457頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	
22~25	The 1st International Symposium on Iron Ore Agglomerates (SynOre2022)(第1回鉄鉱石塊成鉱に関する国際シンポジウム)(島根)	SynOre2022 組 織委員会, 日本鉄鋼 協会	TEL 03-6369-9984 synore2022@issjp.com https://synore2022.com/index.html	
24~25	電気加工学会全国大会(2022)(名工大)	電気加工学会	TEL 052-712-2323 Ukai.Yoshikazu@aj.MitsubishiElectric.co.jp http://www.jseme.or.jp/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2022年12月				
1～2	2022年度粉末冶金入門講座Ⅱ(ハイブリッド開催)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp https://www.jspm.or.jp/	11.10
6～8	第48回固体イオニクス討論会(仙台)	日本固体イオニクス学会	TEL 022-217-5832 ssij48@grp.tohoku.ac.jp https://www.ssi-j.org/symp/ssij48/	
7～9	第49回炭素材料学会年会(姫路)	炭素材料学会	tanso-desk@conf.bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2022/index.html	
13～15	第63回高压討論会(立命館大)	日本高压力学会	TEL 070-5545-3188 jimu@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/63forum/	参加事前 11.16
2023年1月				
6 or 13	第104回レアメタル研究会(貴金属シンポジウム)(東大生産技研/Web開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
7～8	第61回セラミックス基礎科学討論会(岡山大)	日本セラミックス協会基礎科学部会	kishim-a@cc.okayama-u.ac.jp	
26～27	第44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/	
2023年3月				
10	第105回レアメタル研究会(東大生産技研/Web開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
21～24	日本金属学会春期講演大会	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	
2023年9月				
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/	



本会のメールアドレスのドメイン変更のお知らせ

2022年8月1日より、本会のメールアドレスのドメインを**@jimm.jp**に変更いたします。皆様にはお手数をおかけしますが、ご承知おきくださいますようお願いいたします。

2021, 2022年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

委員長	竹田 修					
副委員長	田中秀明					
委員	池尾直子	石川史太郎	井田駿太郎	植木洸輔	宇部卓司	大塚 誠
	大野直子	岡田周祐	川西咲子	木口賢紀	北村一浩	國枝知徳
	小嶋隆幸	小島淳平	小柳禎彦	小山元道	齊藤雄太	近藤亮太
	齊藤信雄	篠原百合	佐々木秀顕	佐藤豊人	芹澤 愛	鈴木賢紀
	鈴木真由美	田辺栄司	高島克利	高山直樹	堤 祐介	趙 研
	塚田祐貴	寺本武司	圓谷貴夫	寺西 亮	轟 直人	土井康太郎
	徳永透子	長岡 亨	豊木研太郎	永井 崇	長谷川 誠	永瀬丈嗣
	袴田昌高	本間智之	春本高志	藤井 進	松本洋明	松浦昌志
	松垣あいら	宮崎秀俊	眞山 剛	三井好古	諸岡 聡	宮部さやか
	盛田元彰	山本剛久	山崎由勝	山中謙太	吉年規治	山本知一
	横井達矢	李 誠 鎬				

まてりあ 第61巻 第8号(2022) 発行日 2022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

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

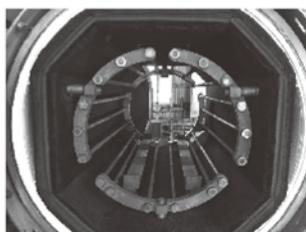
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町10-10

高断熱+省エネ

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

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

高温真空炉



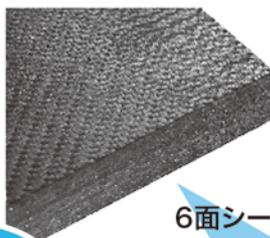
カーボンヒーター



シール



6面シート
貼り



カーボンフェルト



CO₂削減



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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



**研磨機・切断機
期間限定キャンペーン中!!**
詳細はお問い合わせください。



自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

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



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

精密切断機 MINICUT 4000

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



試料埋め込み材料、アクセサリ

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

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

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリツチュ・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