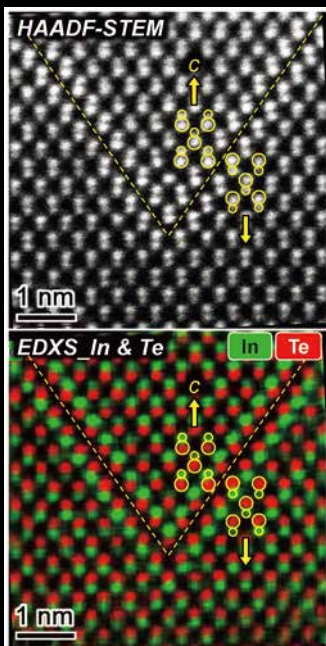


Materia Japan

まてりあ Vol.64

MTERE2 64 (5) 285 ~ 366 (2025)

No.5
2025



・ 金属素描 ～イットリウム～

表彰 受賞者紹介（春）

記念講演 転位とクラック：
強靱化メカニズムのさらなる理解に向けて

記念講演 異方性材料デザインにより材料を主役に
～耐熱性金属間化合物から，骨組織，
金属 3D プリンティングによる生体材料まで～

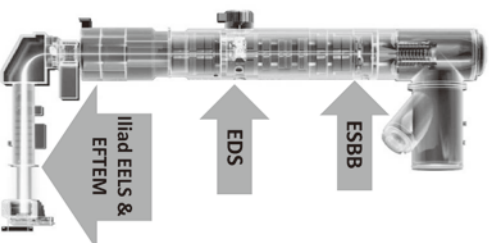
・ 新進気鋭

・ はばたく

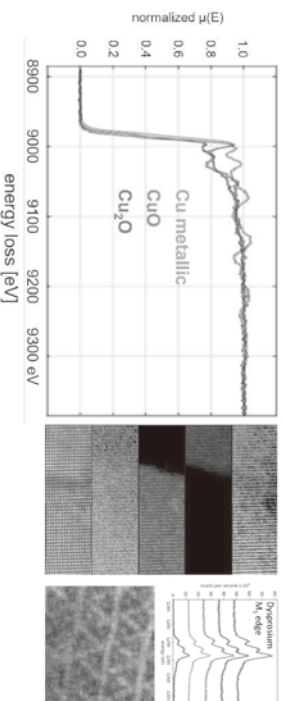
完全に統合されたEELSで常識を変える



- TEMカラムとEELSシステムが初めて完全統合
- 10個の多極レンズによる自動高次収差補正
- MultiEELSで最大 5 つのエネルギー範囲を同時取得
- 常にフオーカスにあったスベクトル取得により、超高エネルギー領域でのスベクトルも明瞭に（下図）
- 優れた自動調整により、生産性を向上
- ナパルサー 超高速静電ビームブランク（ESBB）による電子線照射量の制御および試料ダメージの低下
- 観測結果とEELSおよびEDS分析結果、すべての情報をVeloxソフトウェア上で一元化。新しい知見を見逃しません。



thermofisher.com/Apreo-ChemISEM
詳細はこちらから。



thermo scientific

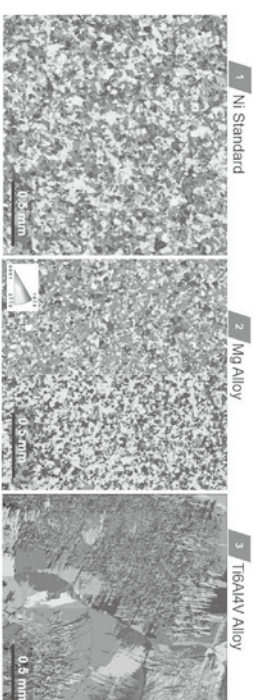
SEM/EDS/EBSD すべての機能が自社開発



- ビーム減速機能により、低加速電圧観察も詳細に
- EDSは常にON。シームレスなEDS組成分析が可能
- SEM像を参照しながらクラストリングし、マップング結果を迅速に表示
- EDSスベクトルを用いた多変量解析で相マップング可能
- ライフ定性マップングはもちろん、ライフ定量マップングとライフ相マップングも可能
- 直接検出型EBAD検出器によって、低電子線量でのEBSD分析を実現
- 2K x 2K pixelの領域を約30分で測定可能（下図参照）。
- SEM, EDS, EBSDが一つのベンダーなので、問い合わせや修理も楽々



thermofisher.com/Apreo-ChemISEM
詳細はこちらから。



5

2025
Vol.64
No.5

まてりあ

金属素描	No. 40 イットリウム(Yttrium) 竹田 修	285
表彰	第70回学会賞受賞者	287
	第66回技術賞受賞者	288
	第31回増本量賞受賞者	288
	第64回谷川・ハリス賞受賞者	288
	第83回功績賞受賞者	289
	第56回研究技能功労賞受賞者	290
	第72回論文賞受賞者	292
	第75回金属組織写真賞受賞者	296
	名誉員推戴者	298
	第8回フェロー認定者	299
	第44回優秀ポスター賞受賞者	300
	第33回奨学賞受賞者	301
	第75回金属組織写真賞受賞作品	302
	選評	305
学会賞受賞記念講演	転位とクラック：強靱化メカニズムのさらなる理解に向けて 東田賢二	307
本多記念講演	異方性材料デザインにより材料を主役に～耐熱性金属間化合物から、骨組織、金属 3D プリンティングによる生体材料まで～ 中野貴由	317
新進気鋭	セミソリッド発泡法による発泡アルミニウム合金のセル壁安定化メカニズム 高松聖美	331
はばたく	いろいろな視点からアルミニウムに触れた学生生活 栗原健輔	337
本会記事	会告	338
	掲示版	358
	会誌・欧文誌 5 号目次	359
	新入会員	360
	次号予告	360
	行事カレンダー	364

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

<https://jim.jp/>

今月の表紙写真 In_2Te_3 結晶中に生じた180度ドメイン境界の HAADF-STEM/EDXS マッピング像 ([110] 晶体軸入射).
(齋藤嘉一 早坂祐一郎 平賀賢二 著 302頁図(a)(b)より改変掲載)

表紙デザイン：ビーコン コミュニケーションズ株式会社 グラフィックスタジオ

複写をご希望の方へ

本会では，複写複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています。日本を除く国・地域で当該利用をご希望の方は，学術著作権協会ホームページ (<https://www.jaacc.org/en/>) にて，申請先をご確認下さい。複写以外の許諾（著作物の引用，転載，翻訳等）に関しては，本会へ直接お問い合わせ下さい。

Materia Japan

Volume 64 Number 5 May 2025

Contents

Sketch of Metals	No. 40 Yttrium	Osamu Takeda	285
Spring Awards			
70th The Japan Institute of Metals and Materials Gold Medal Award			287
66 th The Japan Institute of Metals and Materials Industrial Achievement Award			288
31st The Japan Institute of Metals and Materials Masumoto Hakaru Award			288
64th The Japan Institute of Metals and Materials Tanikawa – Harris Award			288
83rd The Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award			289
56th The Japan Institute of Metals and Materials Technical Skill Award			290
72nd The Japan Institute of Metals and Materials The Best Paper Award			292
75th The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award			296
Honorary Member Recommendation of 2025			298
8th Fellow Certification			299
44th The Japan Institute of Metals and Materials The Metals Best Poster Award			300
33rd The Japan Institute of Metals and Materials & The Iron and Steel Institute of Japan Young Student Award			301
Photography Works of 75th The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award			302
Comments on Photography Works			305
Commemorative Lecture of 70th The Japan Institute of Metals and Materials Gold Award			
Dislocations and Cracks: Toward Further Understanding of Toughening Mechanism		Kenji Higashida	307
Commemorative Lecture of 70th Honda Memorial Award			
Anisotropic Materials Design —From Heat-resistant Intermetallic Compounds to Bone Tissue Microstructure and Biomaterials via. Metal 3DP—		Takayoshi Nakano	317
Emerging Young Researcher			
Stabilization Mechanism of Cell Walls in Aluminum Alloy Foam through Semi-Solid Route		Satomi Takamatsu	331
Portrait of Young Researcher			
My Student Life Exploring Aluminum from Various Perspectives		Kensuke Kurihara	337

Published by THE JAPAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

1-14-32, Ichibancho, Aoba-ku, Sendai 980-8544, Japan

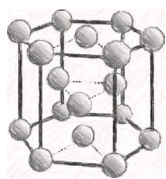
<https://www.jim.or.jp/journal/m/> (in Japanese)

©2025 The Japan Institute of Metals and Materials

How to Obtain Permission

The Japan Institute of Metals and Materials authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<https://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations.

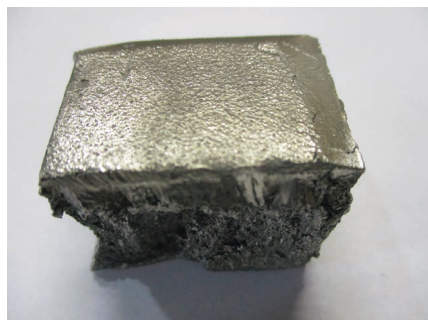
For obtained permission to quote, reproduce; translate, etc., please contact the Japan Institute of Metals and Materials directly in advance.



シリーズ「金属素描」

No. 40 イットリウム (Yttrium)

東北大学 竹 田 修



元素名: Yttrium, 原子番号: 39, 原子量: 88.91, 電子配置: $[\text{Kr}]4d^1 5s^2$, 密度: $4.475 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (293 K), 結晶構造: 六方最密 ($\sim 1783 \text{ K}$), 融点: 1783 K, 沸点: 3610 K⁽¹⁾, 地殻存在量: $19 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ⁽²⁾ 【写真】金属イットリウム (資料提供: 株式会社三徳)

本誌60巻3号で原子番号60のネオジウム(Nd)⁽³⁾, 63巻3号で原子番号62のサマリウム(Sm)⁽⁴⁾, 63巻11号で原子番号21のスカンジウム(Sc)⁽⁵⁾を取り上げた。今回は、同じ希土類金属(Rare earth metal)の一つであるイットリウム(Y)を取り上げる。

Yは、1787年、ストックホルム郊外のイッテルビーにある長石の採石場において、スウェーデンのアマチュア鉱物学者(本職は軍人)Carl Axel Arrheniusによって、これまで知られていない黒色の石として発見された。その後、1794年、フィンランドの化学者 Johan Gadolin が化学分析で黒色石に未知元素の酸化物が含まれていることを明らかにした。Yの発見の栄誉は、Arrhenius と Gadolin の両者に与えられている。その後、パリの Louis-Nicolas Vauquelin, René-Just Haüy, ベルリンの Martin Heinrich Klaproth による追試を経て、鉱物はガドリナイト(Gadolinite)とされ、未知の酸化物はイットリア(Yttria), 新元素はイットリウム(Yttrium)と命名された。

金属Yは、銀白色で、化学的に活性であり、その化合物は光学的、電気的に顕著な特徴がある。融点(1783 K)は、希土類金属の中で最も高い部類に入る(スカンジウム1810 K, ルテチウム1934 K)。酸化物(Y_2O_3)の標準生成ギブズエネルギーは希土類酸化物の中で最も低く、化学的に安定である。

希土類金属は、お互いに化学的性質が似ており、一般的に地殻中に共存して賦存する。イットリウムは、重希土に近い化学的特徴を有するが、比較的多種の希土類鉱石に含有される。資源量は希少とされているが、地殻存在量は19 ppm程度でベースメタルである鉛(Pb)や錫(Sn)よりも多い。

金属Yの製造のためには、 Y_2O_3 をフッ化してフッ化イットリウム(YF_3)を得る。それを金属カルシウム(Ca)で還元し、粗金属Yを得る。さらに再溶解や真空蒸留を行い、高純度Yを得る。Yは高融点であるので操作温度を高くせざるを得ない。そこで、操作温度の低下も試みられた。金属マグネシウム(Mg)を添加してCa熱還元を行い、低融点のY-Mg合金として分離、回収した例もある⁽⁶⁾。得られた合金は、真空蒸留によってMgを蒸発除去し、Yスポンジを得て、それを再熔融してインゴットとされた。

Yの用途として、耐酸化性を高めるために耐熱ステンレ

ス鋼に添加されることがある。また、酸化物分散強化(Oxide dispersion strengthened, ODS)鋼に用いられる⁽⁷⁾。例えば、12Cr ODS フェライト鋼では、 Y_2O_3 粉末と合金粉末をボールミルでメカニカルアロイング処理した後、熱間押出で固化成形する。その後、冷間圧延や熱処理を繰り返して部材にする。材料内部では、微小な Y_2O_3 粒子が転位の移動を阻害して、高温でのクリープ強度を高める。

酸化ジルコニウム(ZrO_2)に Y_2O_3 を添加し、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)を形成することも行われる。YSZは、高強度セラミクスとして構造物材料に使われると共に、発電機やジェットエンジンのタービンブレードのコーティング材料(トップコート)としても使われる⁽⁸⁾。また、酸化物イオン伝導体として酸素分圧測定素子などの機能性材料にも使われる。

電気的機能性材料としては、超電導材料の $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$ の構成成分として使われている。液体窒素の沸点(77 K)を初めて越える転移温度(90 K)を有する超電導材料として発見され⁽⁹⁾、高温超電導の分野が切り拓かれた。

Yは、非常に強い還元力を利用した脱酸剤としても研究されている。チタン(Ti)にYおよび YF_3 を添加・溶解することで、Ti中の酸素が極低濃度(200 mass ppm 水準)まで除去されている⁽¹⁰⁾。ここでは、Yの酸化フッ化物(YOF)の形成が低酸素化の重要な役割を担っている。

文 献

- (1) 金属データブック改訂4版: 日本金属学会, 丸善, (2004).
- (2) R.L. Rundnick, S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd. (2004), 1-64.
- (3) 竹田修: まてりあ, **60**(2021), 145.
- (4) 竹田修: まてりあ, **63**(2024), 151.
- (5) 竹田修: まてりあ, **63**(2024), 751.
- (6) 小西功: 資源と素材, **4**(2019), 75.
- (7) 鶴飼重治: 日本原子力学会誌, **61**(2019), 38.
- (8) 松本一秀, 川岸京子, 原田広史: まてりあ, **52**(2013), 469-474.
- (9) M.K. Wu, et al.: Phys. Rev. Lett., **58**(1987), 908.
- (10) T.H. Okabe, G. Kamimura, T. Ikeda and T. Ouchi: Nat. Commun., **15**(2024), 5015.

次回! 金属なんでもランキング! No. 28 引張強さ

鉄は、未来を生みだす。
何度でも何にでも生まれ変わって。



私たちの社会と暮らしを支える鉄。じつは、循環し続けるエコな素材です。
つくる、使う、使い終わる、そしてまた何度でも何にでもリサイクルできる。

ライフサイクル全体で環境負荷を評価する「LCA」では、
鉄はCO₂の排出量も少なく、他の素材に比べて地球にやさしい。
いままでも、いつまでも、豊かな未来を生みだし続けます。

 **NIPPON STEEL** | **日本製鉄**

0 **NIPPON STEEL**
NET ZERO **Green Transformation**
Initiative

大会レポート（付設展示会、学生キャリアサポート企画編）

日本金属学会2025年春期講演大会は、3月8日から10日まで東京都立大学・南大沢キャンパスにて、贈呈式、記念講演、ポスターセッション、公募シンポジウム、一般講演、共同セッション、企業によるランチョンセミナー（3社）を開催した。また、3月13日にはオンラインにて高校生ポスターセッションを開催した。

大会参加登録者数は1,199名、講演発表件数は636件、ポスター発表件数は146件であり、盛会であった。講演会場にて、付設展示会を開催し、機器展示14社、カタログ展示3社の出展があった。講演会場に隣接した会場であった為多くの来場があった。また、ポスターセッション会場では、学生キャリアサポート企業展示を開催し、企業展示3社、カタログ展示1社の出展があった。こちらも600名程の参加者があった為、各ブースに多くの参加があった。

本大会の付設展示会は、例年通り、金属材料を中心とした研究開発に関連する幅広い分野の企業や研究機関が出展しており、シミュレーションソフトウェア、分析機器、受託解析サービス、および研究支援プラットフォームの紹介があった。具体的には、第一原理計算、分子動力学、電子顕微鏡分析、X線解析などの技術やサービスが紹介され、材料開発や評価における多様なニーズに対応する展示内容であった。特に、以下の点が今回の展示の特徴である。

・材料計算、シミュレーション：

第一原理計算ソフトウェア（AkaiKKR、SALMONAdvance/PHASE、Quantum ESPRESSOなど）や分子動力学計算ソフトウェア

（LAMMPSなど）、さらにこれらの計算を支援するGUIやクラウドプラットフォームを提供する企業の出展があった。中には、AIや機械学習を活用した新しい計算手法（深層学習 Orbital Free DFT、ニューラルネットワーク分子動力学）や、材料情報統合システムなども紹介されていた。

・材料解析：

電子顕微鏡（SEM、TEM）に関連する分析装置（EDS、WDS、EBSD、オージェマイクロプローブ、光電子分光装置など）や、3次元アトムプローブといったナノレベルでの元素分析が可能な装置、さらには粉末X線回折解析ソフトウェアなど、多様な材料の組成や構造を評価するための技術やサービスが紹介されていた。特に、その場観察や三次元解析といった最新技術に力を入れている企業も見られた。

・研究支援：

海外製品の調達代行、研究用PCの製作・販売、実験装置のターンキーソリューションの提供など、研究開発をサポートする企業も出展しており、研究者が研究に集中できるような環境構築を支援するサービスの紹介があった。

・特殊な技術：

中性子ビームを用いた材料構造解析、赤外線加熱装置、全自動シリアルセクションング3D顕微鏡など、特定の用途や材料に特化した技術も紹介された。

材料開発や分析手法の最新動向を知りたい研究者や技術者にとって、有益な機会となった。展示企業は、以下の通りであった。

機器展示：アカデメイア/アドバンスソフト/茨城県中性子ビームライン/オックスフォード・インストルメンツ/Quemix/サーモ理工/新興精機/テガラ/東芝ナノアナリシス/日本電子/ニューメタルスエンドケミカルスコポーレーション/ブルカージャパン/モルシス/ライトストーン

カタログ展示：ARIM（文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ）/ジャパンマシナリー/山本科学工具研究社

また、学生キャリアサポート展示会をポスターセッションと併設して開催し、各社が学生参加者に向けて自社の会社概要、今後の採用情報、インターンシップ情報、研究開発動向等のPRをした。展示企業は、以下の通りであった。

企業展示：産業技術総合研究所/徳力本店/豊田中央研究所
カタログ展示：合同製鐵

次頁からは、「誌上展示会」として、材料研究に役立つ機器等の情報を掲載する。是非ご一読頂き、今後の研究開発にお役立て頂きたい。

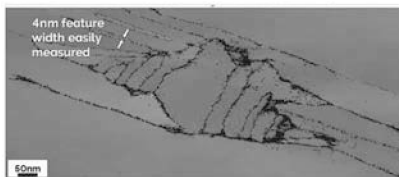


付設展示会・出展社一覧

<https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/jimm2025spring/content/exhibition>



まてりあ「誌上展示会」



高感度TKD分析システム「Near-Axis TKD」

EBSD分析の分析能力をさらに拡張する高感度TKDソリューション

- ・ TKDに最適な蛍光スクリーンで、従来型のTKDと比較して10倍の感度を実現
- ・ オックスフォード・インストルメンツCMOS搭載EBSD検出器に対応
- ・ より低いビーム電流測定により、空間分解能を向上
- ・ 電子線に弱い試料の分析が可能
- ・ 既設検出器のスクリーン交換も可能
- ・ TKDに対応した収集ソフトウェア「AZtecHKL」で、高い信頼性のデータを収集

オックスフォード・インストルメンツ株式会社

〒141-0001 東京都品川区北品川5-1-18 住友不動産大崎ツインビル東館 URL: nano.oxinst.jp
TEL/FAX: 03-6744-4702/03-3446-8320 E-Mail: na-mail@oxinst.com



研究開発を加速するお手伝い



研究開発者向けプラットフォームサービス

テガラは「研究開発者向けプラットフォーム」として、研究開発に関する様々なニーズをワンストップで解決致します。

研究開発者さまのニーズ、お困りごとに応じ、「研究開発者向け海外製品調達・コンサルティングサービス-UNIPOS」、「研究用・産業用PC製作サービス-TEGSYS」、「研究開発向けのターンキーシステム構築サービス-TKS」の他、各種製品導入・技術サポート、研究開発者さまのための情報等のご提供が可能ですので、是非お問い合わせください。

テガラ株式会社

〒433-8104 静岡県浜松市中央区東三方町211-17 TEL/FAX: 053-543-6688/053-543-6689
URL: https://www.tegara.com/ E-mail: sales@tegara.com



ナイロン製 内壁ジルコニア 山型邪魔板(バッフル)付きポット

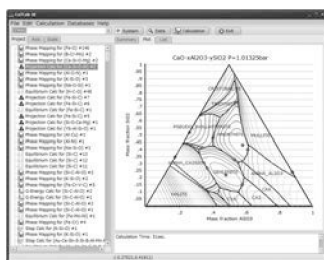
ジルコニア製の内壁2カ所に粉砕効率を上げる為の山型邪魔板(バッフル)を施したジルコニア製ポットです。ポットの両端が取り外しのできる蓋になっているので、使用後の洗浄が簡単です。容量300mlと500mlの2種類があります。

容量	外径	内径	全高	内高
300ml	φ140mm	φ90mm	90mm	50mm
500ml	φ140mm	φ90mm	120mm	80mm

《各種粉砕機のレンタルもごさいます。》

株式会社伊藤製作所

〒101-0037 東京都千代田区神田西福田町 2-5 TEL.03-6285-2408 FAX.03-6285-2409
www.itoh-mill.com E-mail: itousei@itoh-mill.com



熱力学平衡計算・状態図計算ソフト CaTCalc

【CaTCalc】純物質熱力学データベースやCALPHAD系の溶体熱力学データベースに基づいて化学反応計算、熱力学平衡計算や状態図計算を行うソフトです。最新のアルゴリズムにより、金属、金属間化合物、セラミックスやガスを含む複雑な系の計算も安定して計算できます。

【専用データベース】標準添付のRICT-Pure(純物質)の他、Sol(汎用合金系)、Cerm(硬質材料・サーメット系)、Ceram(セラミックス)、Salt(塩類)などの各種溶体データベースを別売で用意しています。詳細は下記サイトをご参照ください。

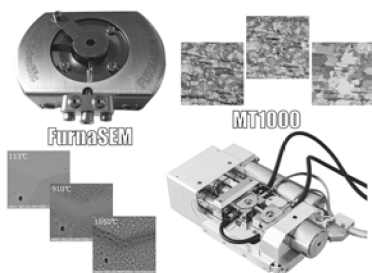
【仕様】動作環境: Windows11以降の64bit版OS

計算に考慮する元素数、相の数などに制限は無く、大局的最小化機能も装備。データベースからデータを読み込んで最小限の設定で計算結果が得られます。

株式会社 計算熱力学研究所

〒841-0016 佐賀県鳥栖市田代外町674-18 TEL.0942-80-0547 FAX.0942-82-9217
URL: https://www.rictsyste.ms.com E-mail: mail@ricsyste.ms.com

まてりあ「誌上展示会」



環境制御型SEM向け材料特性試験ステージ

SEMを用いた高温下観察、引張試験向けの製品です。1000℃を超える加熱実験をご検討の方、引張・圧縮・屈曲試験を加熱しながら行なう方のご希望に添える製品です。

●加熱ステージ

- ・1000℃または1200℃まで
- ・熱電子軽減フィルター
- ・EBSD観察対応

●引張ステージ

- ・牽引力5kN（オプション10kNまで）
- ・圧縮、屈曲変換ツール
- ・ダブルオープンによる温度勾配
- ・SEM内試料光学観察キット
- ・EBSD観察対応

●その他に

- ・実験支援ソフトウェア
- ・ガス注入キット、冷却キット
- ・予備実験用真空チャンバーセット



株式会社アド・サイエンス 営業部

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-7-2 ステージビルディング13階 TEL.03-6824-4510
URL: <https://www.ads-img.co.jp/> E-mail: ads-contact@ads-img.co.jp



精密試料作製システム IS-POLISHER 「ISPP-1000」

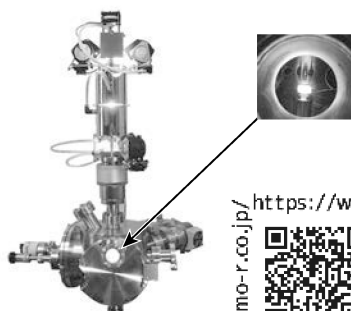
IS-POLISHERは、研磨でEBSD用観察試料が作製できます。「IS-POLISHER」の7つの機能で、今まで難しかった試料作製ができるようになりました。

【7つの機能】

- ①低荷重研磨で試料表面の加工歪を抑え、EBSD観察が可能です
- ②荷重設定が25gから行えます
- ③研磨量を2μm単位で設定できます
- ④試料の角度を0.01度単位で変えられます
- ⑤メモリ機能で再現性を向上させます
- ⑥試料を外さずに顕微鏡観察ができます
- ⑦ホルダを使用するので樹脂包埋が不要

株式会社 池上精機

〒224-0021 神奈川県横浜市都筑区北山田1-2-5-201 TEL.045-717-5136 FAX.045-717-5137
URL: <https://is-polisher.com/sk/> E-mail: ispp-toiwase@ikegamiseiki.com



赤外線導入加熱装置 GVH298

試料のみにピンポイントで赤外線を照射し非接触で急速加熱

- ・真空用・大気用・加圧用有り
- ・到達温度 1000℃～1500℃
- ・真空システムや分析装置に簡単に取り付けできます



株式会社サーモ理工

〒181-0013 東京都三鷹市下連雀8-7-3 三鷹ハイテクセンター
TEL.0422-76-2511 FAX.0422-76-2514
URL: <https://www.thermo-r.co.jp/> E-mail: sekigai@thermo-r.co.jp

次回予告

まてりあ11月号・広告特集「誌上展示会」

材料研究に関わる製品やサービスの情報を
資料形式で一挙掲載します。

1枠 ￥28,000（税別）

【お問合せ・お申込み】(株)明報社 TEL:03-3546-1337 www.meihosha.co.jp

～日本金属学会 ユース会員のご案内～



若い世代の皆さんに金属材料に関する研究や開発の世界に触れてもらい、金属材料の面白さを知ってもらうことを目的に、次世代を担う若い人たちを対象とした会費無料の「ユース会員」を設けています。

会員の皆様のご子弟の方々にお知らせしていただき、ユース会員になっていただけるようにお勧めいただければ幸いです。

対象

中高校生

高専専科1年生以下

大学3年生以下

※対象上限の学年になるまで自動継続されます。

入会金・会費

不要

※入会には保護者または教員の同意が必要です。

特典

- ・ユース会員証の発行
 - ・金属学会特製バッジの贈呈
 - ・まてりあ電子ジャーナルの無料閲覧
 - ・金属学会刊行の電子書籍の無料閲覧
 - ・講演大会への無料参加（発表は有料）
- 講演大会とは？→
- ・ユース会員向けイベントの無料参加
 - ・会員価格でのイベント参加や書籍購入



申し込み方法

ユース会員への入会は随時受け付けています。

入会するには、本会ホームページの「新規入会申込み」ページから申し込んでください。

お問い合わせ

公益財団法人 日本金属学会 会員サービス係
TEL : 022-223-3685
E-mail : member@jimm.jp

～次世代を担う若い人たちを対象とした会費無料の「ユース会員」を設けています。～
<https://jimm.jp/youth/index.html>

◎2025 年 3 月 8 日(土), 東京都立大学南大沢キャンパスにおいて下記の方々が本会の賞を受賞されました。
～おめでとうございます。～

第 70 回 日本金属学会賞 受賞者

(2025 年 3 月 8 日)



九州大学 名誉教授 東 田 賢 二 君

東田賢二君は主に結晶性材料の力学的性質に関する基礎研究に尽力してきた。その業績の
大要は、(1)変形の不均質性に着目した加工硬化機構の研究、(2)転位論と破壊力学とを融
合した高靱性化機構の研究、(3)強度と延性の両立を目指した新たな材料と加工組織に関す
る研究にある。同君の研究成果は以下のとおりである。

(1) 金属結晶の加工硬化機構の研究

金属結晶の加工硬化機構は、G. I. Taylor らが転位の概念を提唱して以来、結晶塑性分野の懸案の 1 つである。当研究は、転位蓄積機構の本質は何かを究明したもので、主な成果として、(a)変形帯と呼ばれる転位組織形成の必然性、(b)加工硬化に果たす変形帯の本質的役割の解明が挙げられる。これらの成果は、低エネルギー転位構造国際会議(LEDS1986)等を通じ発表され、D. Kuhlmann-Wilsdorf や F. R. N. Nabarro らから高い評価と論文引用を受けると共に、2 度の日本金属学会論文賞(1986, 1989)を受賞した。さらに近年、計算力学の研究者と連携し、ナノスケール材料での新たな加工硬化機構の研究も展開した。

(2) 結晶性材料の破壊靱性の研究

靱性に果す塑性変形の材料科学的意味を明確化すべく、転位論と破壊力学を融合した転位遮蔽効果と呼ばれる考え方に着目し、理論と実験の両面から研究を進めた。主な成果として、(a)き裂先端応力場の光弾性法による可視化と転位遮蔽効果の実証、(b)超高压電顕法によるき裂先端転位群の解析とその破壊靱性への寄与の定量評価、(c)脆性-延性遷移(BDT)の転位遮蔽理論に基づく理解等が特記される。これらの成果は、R. Thomson, P. B. Hirsch, A. S. Argon らの評価を得ると共に、材料強度国際会議(ICSMA2006, Xi'an)での基調講演や、破壊基礎国際会議(ICFF2001, Oxford)等で注目された。さらに機械工学や計算力学の研究者とも連携し、疲労き裂伝播のモデル構築(2002, 機械学会論文賞)にも取り組んだ。また水素脆性の研究を進め、村外志夫の業績を記念した Mura Memorial Symposium(2010)では基調講演を行った。超高压電顕のエネルギーフィルターを活用し、厚さ 10 μm の極厚膜試片の 3 次元転位構造解析を成功させたことも特筆される。

(3) 強度と延性の両立を目指した新たな材料と加工組織の研究

鉄鋼材料の強度と延性に関連し、微細格子マーカーを用いた不均質変形解析や BDT 挙動の機構解明にも尽力した。また長周期積層構造 Mg 合金のキンク帯形成に基づく高強度・高延性や超強加工材の研究も展開した。再結晶・粒成長国際会議(Rex2007)招待講演者、超強加工材料国際シンポジウム(GSAM2008)招待講演者、鉄鋼材料科学国際シンポジウム(ISSS2009)議長、PRICM-10(2019)基調講演者、TMS2022 指定講演者等として組織と強度分野を牽引した。

以上の業績により、日本金属学会論文賞(2 回)、同功績賞、同谷川ハリス賞、同まてりあ論文賞、同功労賞、同学術貢献賞、日本鉄鋼協会論文賞、同学術功績賞、日本機械学会論文賞等、多くの受賞歴がある。また日本金属学会、日本鉄鋼協会の論文誌編集委員、Mater. Sci. Eng. A 誌の編集委員を務めると共に、「金属材料の加工と組織」(共立出版)、「鉄の辞典」(朝倉書店)、「鉄鋼便覧第 5 版」(レタープレス)、「鉄鋼材料と合金元素」(日本鉄鋼協会)等、当該分野の執筆を担当した。さらに、日本金属学会理事、同代議員、同九州支部長、日本鉄鋼協会理事、同材料の組織と特性部会長を歴任し、2021 年からは日本金属学会フェロー、日本金属学会オンライン教育講座「材料強度の基礎」の講師を務める等、学術・教育の振興にも貢献している。



第 66 回 日本金属学会技術賞 受賞者(2名)

(2025 年 3 月 8 日)

(50 音順)

[Cu-Al-Mn 超弾性合金部材の基本特性評価と機械式接合技術の開発]



株式会社日本製鉄技術開発部 部長 喜瀬 純 男 君

受賞者は、形状記憶・超弾性合金の研究開発に従事し、これまで超弾性合金の耐震分野への応用が期待されながら、多くの実用化製品のある Ni-Ti 合金では、加工性と温度依存性に課題があり実用化は難しかったが、加工性が良好で温度依存性が小さい新合金 Cu-Al-Mn 合金の粒界破壊リスクの克服、耐震部材に適した変形挙動を示す結晶方位の特定、超弾性部材と異種部材との接合技術開発等の研究開発成果を挙げ、実用化に繋げた。これら成果は国内外で発生する巨大地震に対し、安全安心社会の実現に貢献できるものであり、金属・耐震分野における工業技術の進歩・発展に貢献した。

[省エネルギー社会の構築に貢献する電磁鋼板製品の研究開発と実用化]



日本製鉄技術開発本部九州技術研究部 部長 藤村 浩志 君

受賞者はステンレス鋼板や電磁鋼板の研究開発に従事し、自動車排気系部品に適用される高成形性ステンレス鋼板、高効率モータに適用される高磁束密度型無方向性電磁鋼板の開発等の研究開発成果をあげ、実用化に繋げた。また電磁鋼板からモータを製造する過程で生じる様々な磁気特性影響を明らかにする基礎研究を行い、高効率モータの高機能化に繋がる成果を得た。これら成果は製品の製造時や使用時の環境負荷を低減するものであり、鉄鋼・金属分野における工業技術の進歩・発展に貢献した。

第 31 回 日本金属学会増本量賞 受賞者(1名)

(2025 年 3 月 8 日)

[表面微細構造を制御した金属材料を活用する高機能触媒の創製]



大阪大学大学院工学研究科 教授 山下 弘 巳 君

受賞者は、表面ナノ構造を制御した金属材料を活用することで、世界に先駆けた高機能触媒の創製とカーボンニュートラルへの応用を行った。メソポーラスシリカなどの細孔空間やアモルファス合金薄膜界面などの特殊反応場を利用して、ポーラス金属、プラズモン微粒子、ハイエントロピー合金微粒子、半導体微粒子、シングルサイト光触媒など、特異表面構造を持つ新しい触媒材料を開発し、水素・炭素循環、空気・水浄化などの環境調和型反応へ利用することで、機能材料分野の発展に大きく貢献した。

第 64 回 日本金属学会谷川・ハリス賞 受賞者(1名)

(2025 年 3 月 8 日)

[レア金属の製錬・リサイクルに関する研究]



東京大学 副学長、生産技術研究所 教授 岡部 徹 君

受賞者は、35 年以上、一貫してレア金属の研究に取り組んできた。具体的には、チタンなどの分離・精製が難しいレア金属について、革新的な製造プロセスや環境調和型のリサイクル技術を開発した。最近では、有害な廃液を出さないレアアースの分離抽出法や、環境負荷を低減する白金の新溶解法など、新たなリサイクル技術の開発にも力を入れている。受賞者は、レア金属が現在のように注目を集める以前より、その将来性やリサイクルの重要性などを一般社会に対して訴え続けており、産学官の垣根を越えた啓発活動への貢献も特筆すべきものがある。

(部門別 50 音順)

〔学術部門〕

〔データ駆動型予測技術を活用した自己治癒セラミックスおよび耐熱超合金の創製〕

物質・材料研究機構構造材料研究センター グループリーダー 長 田 俊 郎 君



受賞者は、航空機エンジンの高圧タービン部材の軽量化・高強度化を目指した、新規耐熱材料の創製に関する研究において成果を挙げてきた。特に、骨から着想する自己治癒セラミックスの設計に関する成果は国内外で高い評価を得ている。さらに、Ni-Co 基ディスク超合金の開発においては、合金設計、組織制御、特性予測、ハイスループット評価法等に関する幅広い研究を推進してきた。これら研究は、耐熱材料の発展・実用化に大きく貢献するものであり、今後の更なる研究展開が期待される。

〔準安定 β 型チタン合金のマルテンサイト変態と形状記憶効果に関する研究〕

東京科学大学総合研究院フロンティア材料研究所 准教授 田 原 正 樹 君



受賞者は、チタン合金の β 相から α'' 相へのマルテンサイト変態における添加元素および加工熱処理の効果を系統的に解明するとともに、それらが形状記憶・超弾性特性に及ぼす影響を明らかにしてきた。また、単結晶を用いて様々な in-situ 測定・観察を複合的に行うことで応力誘起マルテンサイト変態の基礎的研究にも従事している。応力誘起マルテンサイトの結晶学的解析から超弾性の機能向上に向けた新たな材料設計指針の確立に取り組んでおり、今後更なる研究の発展が期待される。

〔表面・界面構造制御を基軸とした電解電極の高機能化に関する研究〕

東北大学大学院環境科学研究科 准教授 轟 直 人 君



受賞者は、水電解水素製造法をはじめとした電解デバイス用電極材料について、表面・界面構造制御に基づく高機能化指針を提示してきた。特に、単結晶薄膜を用いたモデル触媒研究を通じ、金属酸化物表面の原子配列に電極性能が著しく依存することを明らかにした。また、腐食現象や異相界面反応を利用した新規プロセスによる電極材料の開発にも成功し、現在実用化検討を進めている。今後も、表面科学的観点に基づく独創的な研究により、基礎・応用の両面で更なる発展が期待される。

〔固体内移動現象の理論解析手法の開発と応用〕

京都大学大学院工学研究科 准教授 豊 浦 和 明 君



受賞者は、固体内における原子やイオンの移動現象に対する精緻な第一原理解析手法を開発し、エネルギー関連材料の探索・設計指針構築に取り組んできた。近年は、第一原理計算技術に機械学習の技法を組み合わせることで、移動原子・イオンのポテンシャルエネルギー曲面評価の高効率化に成功している。現在、これらの計算技術を基盤として独自の計算材料データベースを構築しており、今後、広範な多元系空間を対象とした理論計算主導の材料探索を実現することが期待される。

〔構造材料の高性能化を実現する組織制御と異材接合に関する研究〕

東京大学大学院工学系研究科 准教授 南 部 将 一 君



受賞者は、構造材料の更なる高性能化を実現するために、金属材料の組織制御と力学特性ならびに異種材料の接合とその界面制御に関する研究を行い、優れた成果を挙げてきた。特に強度と延性を両立する次世代の構造材料として複層型金属材料の研究開発や、複層型材料の特性向上の鍵である金属界面の組織や力学的挙動をマルチスケールな視点から解明してきており、今後さらに強く求められる構造体の環境や安心・安全への対応、軽量化や高性能化に向けた革新的な材料の創成において、更なる研究発展が期待される。

[技術部門]

[鉄道車両用車輪の疲労強度評価技術の高度化に関する研究]

日本製鉄㈱技術開発本部 室長 加藤 孝憲 君



受賞者は、鉄道車輪の板部と呼ばれる部位と踏面(レールとの接触面)と呼ばれる部位について、疲労強度評価技術の高度化に取り組み、特に踏面では、フラットはく離とシェリングと呼ばれる異なる損傷形態について、各々に適した評価手法を検討した。板部の疲労強度とフラットはく離では、それぞれに異なる多軸疲労強度評価手法を適用し、シェリングについては、き裂進展挙動を評価可能なモデルを構築した。これにより、従来に比べ高精度に疲労強度を評価可能にし、疲労強度に優れた車輪の開発に貢献した。

[ステンレス鋼の高温酸化に関する研究]

日鉄ステンレス㈱研究センター 主幹研究員 林 篤 剛 君



受賞者は、ステンレス鋼の高温酸化に関する研究開発に従事し、レアメタル削減、燃費改善、省エネ化に資する自動車排気系部品や燃料電池用改質器等の耐熱部材に適用されるステンレス鋼を開発してきた。特に、フェライト系ステンレス鋼においては添加元素や浸炭が生じるような雰囲気の影響で相安定性が低下すると酸化過程でのCr消費と相重なりオーステナイト変態が生じ異常酸化が促進される機構を明確にし、材料開発を通じた環境負荷低減と共に当該分野の基礎研究の発展に貢献した。

第56回 日本金属学会研究技能功労賞 受賞者(12名) (2025年3月8日)

(50音順)

㈱UACJ R & D センター 研究業務部 浅居 竜二 君



受賞者は、1985年に住友軽金属工業㈱技術研究所に入社以来、アルミニウムの表面処理研究、トライボロジー研究、プロセス研究、ならびに自動車材料開発、押出材開発と多岐の分野にわたり試験・評価に従事し、評価試験の基盤確立、生産性向上および新規材料開発に貢献してきた。その後、現職の管理部門に移り、研究所全体の安全管理に従事し、職場長として安全な職場環境を作ることに貢献してきた。これらアルミニウム材料の研究開発支援業務における貢献は高く評価できる。

北海道大学工学研究院工学系技術センター 大久保 賢二 君



受賞者は、昭和61年に北海道大学工学部技官として採用以来、金属の組織観察などの実験作業および各種治具の作製に従事し、それを通じて幅広く材料系の研究者、学生および留学生の実験指導をしてきた。また超高圧電子顕微鏡室において先進的観察手段の開拓に大きく貢献するとともに技術専門員として、技術部の運営、若手技術職員の育成も担当し、令和3年から文部科学省マテリアル先端リサーチインフラの業務を行うなど本学の材料系の研究教育への貢献および功績は非常に大きい。

日鉄テクノロジー㈱ 東日本事業所 小高 浩孝 君



受賞者は、1981年に住友金属工業㈱(現日本製鉄㈱)に入社、鹿島製鉄所技術部に配属、溶接試験や金相試験等の研究開発支援業務に従事し、材料開発・試験効率向上に貢献した。例えば、国内実績の少ない溶接技術を習得し大径鋼管の周方向溶接性評価技術確立した。また、多くの材質と板厚の組合せごとの最適条件を調査し、研磨中の条件調整が不要な国産全自動研磨機を完成させた。さらに、長きにわたり職場の自主管理活動を通じ、職場の活性化、後進育成に寄与した。

㈱プロテリアル品質保証本部安来品質保証部 梶 公平 君



受賞者は、1985年に入社、1988年より品質保証部門に配属以来30年以上に渡り試験および計測管理に関わる開発や管理業務に従事してきた。計測機器類の安定した管理の方法を確立し定着させるために計測器毎の標準器を整え、計量標準供給のトレーサビリティ体系図を制定し、公共規格や計量法に準拠した校正手順および管理方法を安来工場標準規格として基準化した。これらの成果は金属事業の研究、製造の発展を支えてきており、この功績は大変大きなものである。

日鉄テクノロジー㈱研究試験事業所 川 北 信 一 君



受賞者は、1982年に新日本製鐵㈱(現日本製鐵㈱)に入社し広畑製鐵所を経て83年に中央研究本部に異動以来、研究開発支援業務に従事した。特に、構造用セラミックスの開発ではクリープ試験中の微小な変形を測定する新たな非接触測定技術を導入し、測定誤差を飛躍的に低減させた。また、自動車用薄鋼板の開発では、冷却ガスノズル位置や通電電極の試料支持機構の改良により試料歩留を向上させた。さらに、試験工程管理の仕組みを改革し、研究開発の加速と実用化に大きく寄与した。

東北大学材料科学高等研究所 齊 藤 今朝美 君



受賞者は、東北大学技術職員として、金属材料研究所に在職、定年退職後は同材料科学高等研究所(AIMR)にて12年間にわたり、研究機器作製、研究試料作製、X線回折による構造解析、原子間力顕微鏡による表面観察等について実験支援を行ってきた。豊富な経験・知見に基づく独自の考案によって研究者の様々なニーズに応え、その卓越した技術を惜しみなく研究者に提供した他、50%以上が外国人研究者となるAIMR共通機器室では、自ら英語研鑽に励みつつ機器の管理、使用法の指導、解析サポートを行ってきた。

㈱大同分析リサーチ受託事業部分析部 庄 司 光 明 君



受賞者は、1986年に大同特殊鋼㈱に入社以来、数々の自動車向け特殊鋼鋼材の塑性加工技術を中心に鍛造用潤滑剤の評価試験開発業務に従事してきた。特に、試験の再現性と信頼性の高いデータ採取するため、丁寧な事象解析とともに数多くの現場アイデアを盛り込んだ改善提案を実現した。これらの成果は、実生産現場への応用による実用的な生産性向上とともに、学術面でも学会発表や論文投稿に貢献してきた。現在は、㈱大同分析リサーチにて現場の労務および安全の統括を行いその功績は大きい。

㈱コベルコ科研技術本部材料ソリューションセンター 竹 内 啓 治 君



受賞者は、1992年の入社以来、神戸製鋼所の製鉄・製鋼工程の開発において、鉄鉱石、製鉄ダストなどを原料とした還元鉄の製造プロセスの基礎研究から操業改善までの各フェーズで開発業務に従事し、横型電気炉を使用した炭材内装ペレットの還元解析や、各種鉄鉱石・石炭の熱分解解析等の実験において、製鉄技術の開発に大きく貢献した。さらに、製鉄所内の加熱炉を模擬した燃焼実験においても、副生ガスを利用した燃焼実験やバーナノズルの改良により、燃料転換に貢献した点も大いに評価できる。

㈱神戸製鋼所技術開発本部開発業務部 野 原 正 美 君



受賞者は、1993年に㈱神戸製鋼所に入社以来、30年間にわたりチタンを始めとする各種金属の溶解・铸造実験業務に従事してきた。実験技術の高度化や装置・治具の改善・改良を積極的に推し進め、研究開発業務に大きく貢献した。特に、コールドクルーシブル誘導溶解によるチタンアルミ基金属間化合物の鋳塊溶製技術を確立し、航空宇宙分野でニーズのある軽量耐熱材料開発に寄与した。また、長年培った知識と経験を活かし、後輩の育成を積極的に行ってきた氏の功績は顕著である。

福井県工業技術センター機械・金属部 野 村 光 司 君



受賞者は、大学院修了後すぐに福井県に採用され、福井県工業技術センター等の部署で、大学で学んだ「機械工学」を活かして地元の企業や大学研究者からの技術相談に対応してきた。特にこれまで県内の眼鏡枠製造企業、機械製造企業等を支援する福井県工業技術センターの担当部署にて、金属製眼鏡材料の物性・分析評価や機械構造部材の強度試験等を行ってきた。企業、大学・高専の金属材料研究者の支援も行い、地域の産学官連携推進に果たした役割は非常に大きく、その功績は顕著である。

日本顕微鏡学会九州支部 宮 崎 伸 介 君



受賞者は、電子顕微鏡の維持管理に一貫して従事しつつ、現場の声に真摯に耳を傾け、研究・技術者が抱える様々な課題の克服に貢献してきた。2007年、日英国際共同研究の下で結晶欠陥の三次元電子線トモグラフィ観察を可能とする高傾斜三軸試料ホルダーを開発し、合金ドメイン構造や転位の三次元観察の実現に貢献した。これを機に、先端材料研究開発を推進する様々な機能を有する試料ホルダーの開発にも多数貢献し、教育研究機関やメーカーの垣根を越え多くの研究・技術者を支えている。



東北大学金属材料研究所 村 上 義 弘 君

受賞者は、1984年に文部技官として東北大学金属材料研究所に入所以来、実験機器の製作や材料分析業務に従事し、教育・研究活動に貢献してきた。加工機器を用いて依頼者からの独創的なアイデアを具現化した実験装置の製作や、分析機器を用いた分析業務においては、長年の経験による複雑な形状に合わせた材料固定と、その最適な測定条件を組み合わせることにより多くのデータを提供してきた。これらは全国の共同利用者に提供され、材料分野の研究発展に大きく貢献した。

第 72 回 日本金属学会論文賞 受賞論文 (7 編 31 名)

(2025 年 3 月 8 日)

(部門別)

[物性部門] 1 編 (5 名)

Implementation of Atomic Stress Calculations with Artificial Neural Network Potentials

(Materials Transactions Vol.64 No.10)



日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター
研究員

Ivan Lobzenko 君



日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター
研究主席

都 留 智 仁 君



産業技術短期大学
機械工学科
准教授

森 英 喜 君



信州大学
工学部機械システム工学科
教授

松 中 大 介 君



豊田工業大学
大学院工学研究科
准教授

椎 原 良 典 君

[組織部門] 1 編 (12 名)

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

(Materials Transactions Vol.64 No.6)



名古屋大学
大学院工学研究科
特任准教授

孫 飛 君



愛知工業大学
工学部機械学科
准教授

小 川 登 志 男 君



名古屋大学
大学院工学研究科
教授

足 立 吉 隆 君



大阪大学
超高压電子顕微鏡センター
准教授

佐 藤 和 久 君



大阪大学
超高压電子顕微鏡センター
特任研究員
高木 空 君



東北大学
金属材料研究所
教授
宮本 吾郎 君



名古屋大学
大学院工学研究科
准教授
鈴木 飛鳥 君



東京農工大学
大学院工学研究院
教授
山中 晃徳 君



東京科学大学
物質理工学院
教授
中田 伸生 君



富山大学
先進アルミニウム国際研究センター
教授
石本 卓也 君



大阪大学
大学院工学研究科
教授
中野 貴由 君



大阪大学
大学院工学研究科
教授
小泉 雄一郎 君

[力学特性部門] 1 編(8 名)

Unified Understanding of Strengthening Mechanisms Acting in Mg/LPSO Two-Phase Extruded Alloys with Varying LPSO Phase Volume Fraction
(Materials Transactions Vol.64 No.4)



名古屋工業大学
大学院工学研究科
教授
萩原 幸司 君



名古屋工業大学
大学院工学研究科
助教
徳永 透子 君



名古屋工業大学
大学院生
(現：日本ガイシ㈱)
山本 和輝 君



熊本大学
先進マグネシウム国際研究センター
教授
山崎 倫昭 君



熊本大学
大学院先端科学研究部
教授
眞山 剛 君



大阪大学
学生
塩山 拓海 君



熊本大学
先進マグネシウム国際研究センター
教授/センター長
河村 能人 君



大阪大学
大学院工学研究科
教授
中野 貴由 君

[材料化学部門] 1編(4名)

Suppressed Hydrogen Peroxide Generation and Enhanced Electrochemical Hydrogen Oxidation Activity for Tungsten-Oxide-Modified Platinum Surface Model Catalyst System
(Materials Transactions Vol.64 No.10)



東北大学
大学院生
(現：㈱豊田中央研究所)
林 謙汰 君



東北大学
大学院生
上川 洸瑠 君



東北大学
大学院環境科学研究科
准教授
轟 直人 君



東北大学
大学院環境科学研究科
教授
和田山智正 君

[材料プロセッシング部門] 1編(5名)

Fabrication and Process Monitoring of 316L Stainless Steel by Laser Powder Bed Fusion with μ -Helix Scanning Strategy and Narrow Scanning Line Intervals
(Materials Transactions Vol.64 No.6)



大阪大学
大学院工学研究科
特任助教
柳 玉恒 君



大阪大学
大学院生
(現：㈱クボタ)
能勢和史 君



大阪大学
大学院工学研究科
助教
奥川将行 君



大阪大学
大学院工学研究科
教授
小泉雄一郎 君



大阪大学
大学院工学研究科
教授
中野 貴由 君

[工業材料部門] 1編(8名)

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

(Materials Transactions Vol.64 No.12)



九州大学
大学院工学研究院
主幹教授
戸田 裕之 君



香川大学
創造工学部材料物質科学領域
准教授
平山 恭介 君



九州大学
大学院生
(現：日本アイ・ビー・エム(株))
山口 翔吾 君



九州大学
大学院工学研究院
助教
藤原 比呂 君



九州大学
大学院生
比嘉 良太 君



鳥取大学
工学部機械物理系学科
准教授
清水 一行 君



(公財)高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
主幹研究員
竹内 晃久 君



(公財)高輝度光科学研究センター
放射光利用研究基盤センター
主幹研究員
上 梶 真之 君

[環境・教育・歴史および新領域部門] 1編(2名)

Extraction of Local Structure Information from X-ray Absorption Near-Edge Structure: A Machine Learning Approach

(Materials Transactions Vol.64 No.9)



大阪公立大学
大学院生
東 愛恵 君



大阪公立大学
大学院工学研究科
准教授
池野 豪一 君

◇金属組織写真賞の受賞作品は302頁をご覧ください. ◇

最優秀賞 1 件(3 名)

【第 3 部門】透過電子顕微鏡部門

[In_2Te_3 結晶中の原子空孔の秩序配列と 180 度ドメイン形成]



秋田大学
大学院理工学研究科
教授
齋藤 嘉一 君



東北大学
先端電子顕微鏡センター
技術専門職員
早坂 祐一郎 君



東北大学
名誉教授
平賀 賢二 君

優秀賞 2 件(10 名)

【第 1 部門】光学顕微鏡部門

[蛍光イメージングを用いたモデル材料の凝固過程のその場観察]



京都大学
大学院エネルギー科学研究科
准教授
川西 咲子 君



東北大学
大学院生
(現: AGC 株)
塚原 優希 君



東北大学
大学院生
(現: 日本製鉄株)
寺島 慎吾 君



京都大学
大学院生
中尾 温斗 君



東北大学
多元物質科学研究所
准教授
助 永 壮平 君



大阪大学
大学院工学研究科
特任研究員
江 阪 久雄 君



東北大学
多元物質科学研究所
教授
柴田 浩幸 君

【第2部門】走査電子顕微鏡部門

[Ti-Fe 花状共晶組織を利用した、キンク帯強化「ミルフィーユ条件」の解明]



名古屋工業大学
大学院工学研究科
教授
萩原 幸司 君



名古屋工業大学
大学院工学研究科
助教
徳永 透子 君



名古屋工業大学
大学院生
米村 拓哉 君



◇日本金属学会春賞の概要◇

学会賞 The Japan Institute of Metals and Materials Gold Medal Award	金属及びその関連材料の学術および科学技術の振興に顕著な貢献をした国際的学者に対する授賞。
技術賞 The Japan Institute of Metals and Materials Industrial Achievement Award	金属及びその関連材料に関する工業技術の進歩発展に貢献した者に対する授賞。
増分量賞 The Japan Institute of Metals and Materials Masumoto Hakaru Award	機能材料分野で卓越した新素材の創出又は発明により貴重な研究業績を上げて、同分野の学理又は技術の進歩発展に貢献することが大であると認められたものに授賞する。
谷川・ハリス賞 The Japan Institute of Metals and Materials Tanikawa-Harris Award	構造材料分野又は高温プロセスに関連する金属及び関連材料分野の学術又は工業技術の発展に貢献することが大であると認められたものに対する授賞。
功績賞 The Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award	金属学及びその関連材料分野の学術又は工業技術の進歩発展に寄与する有益な論文を発表したもの又は有益な特許を取得したもので、将来を約束されるような新進気鋭の研究者、技術者に対する授賞。 対象：技術部門を除いて5月末時点で45歳以下の研究者 部門：学術部門，技術部門
研究技能功労賞 The Japan Institute of Metals and Materials Technical Skill Award	多年にわたり卓越した技術により金属の試験及び研究上欠くべからざる装置の製作，資料調整，測定及び分析などを通じて他の方々の研究成果に大いに貢献した，いわゆる「かけの功労者」に対する授賞。 対象：授賞時に満50歳以上で通算30年以上実務に従事したもの。
論文賞	前年1ヵ年の日本金属学会誌またはMaterials Transactionsに掲載された論文の中から特に優秀な論文に対して授賞する。 部門：物性，組織，力学特性，材料化学，材料プロセッシング，工業材料，環境・教育・歴史および新領域
金属組織写真賞 The Japan Institute of Metals and Materials Metallography Award (Best Prize, Excellent Prize, Fine Work Prize)	金属および周辺材料に関する学術上または技術上有益と認められる組織写真に対する授賞(最優秀賞，優秀賞，奨励賞)。 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)部門
日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 The Japan Institute of Metals and Materials & The Iron and Steel Institute of Japan Young Student Award	材料分野の発展への貢献が期待できる学生(大学は学士課程4年に在学する学生，高等専門学校は専攻科2年に在学する学生)の奨励を目的に日本金属学会・日本鉄鋼協会が奨学賞を設け，授賞。
優秀ポスター賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best Poster Award	ポスターセッション発表者を対象に，優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。

(ABC順)



National Science Chair of India, Emeritus Professor, Indian Institute of Science(IISc)
Kamanio Chattopadhyay 君

Kamanio Chattopadhyay 君は、1973年インド・バナラス・ヒンドゥ大学(Banaras Hindu University) Department of Metallurgyにおいて Master of Science(Eng.)を修了後、1978年に同学で PhD を取得し、1976年から同学にて講師を務めた。その後、1983年にインド理科大学院大学(Indian Institute of Science/IISc)助教となり、1989年同学准教授を経て、1994年同学教授に就任した。2000年には同学 Material Research Center の Chairman に任命され、2004年より Department of Materials Engineering の Chairman、2009年から2015年の退職まで同学 Engineering (Mechanical Sciences) の学部長を歴任した。2016年 The Indian National Academy of Engineering (INAE) 卓越教授に任命され、2019年インド国内で最大20名にしか与えられないインド Science and Engineering Research Board (SERB) Distinguished Fellow を授与され、2023年インド国内5名にしか与えられないインド SERB National Science Chair に任命され現在に至っている。

同君は、準結晶とその結晶近似体との関係や、準結晶構造における短距離秩序に関する主要な研究を行っており、Decagonal 準結晶の発見と準結晶の理解への貢献で国際的に知られている。また、現在のナノ結晶研究の潮流に先駆けて、埋め込みナノ結晶に関する先駆的な研究を行ったことでも知られている。さらに、クライオミリングによるナノ粒子の合成に成功し、この技術を利用して電子廃棄物の回収技術を開発した。異種金属のレーザークラディングと接合における相選択に関する彼の研究は、積層造形における現在の活動よりも先行しており、加工中の成長界面における複雑な化学的勾配の効果を浮き彫りにした。最近では、エネルギー用途の新しい耐熱合金の開発に注力し、タングステンを含まないコバルト基超合金や、遷移金属をわずかに添加した新しい耐熱アルミニウム合金を開発して、社会的に大きな注目を集めた。現在は、熱電材料の研究を進めている。

カーネギーメロン大学、東北大学、京都大学、熊本大学の客員教授を歴任するとともに、英国のオックスフォード大学、ケンブリッジ大学、ドイツのクラウスタール大学、カールスルーエの KFA、米国のイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校など、世界各地の研究機関で客員研究員を務めた。急速急冷・準安定材料委員会、ナノ構造材料国際委員会、準結晶国際委員会など、いくつかの国際委員会の委員長を務めている。また、Springer 社発行の Journal of Materials Science の元編集委員であり、Taylor and Francis 社発行の Materials Science and Technology の編集委員、Elsevier 社発行の International Journal of Materials Science and Engineering のゲスト編集委員でもある。インド金属学会会長、米国 TMS 賞委員を歴任し、現在、国際顕微鏡学会の執行委員を務め、ユネスコ国際科学評議会のメンバーでもある。

日本の科学者との共同研究は、JSPS Senior Fellow として1986年に来日したのが始まりであり、その後1994-1995年、2003年、2007年および2023年に客員教授や卓越教授として招へいされた。これらの共同研究成果は、インパクトの高い学術誌に24編の論文として掲載されており、金属材料に関する日印連携の推進に大きく貢献している。さらに、2022年には、日本金属学会講演大会の国際セッションでの招待講演(インド金属学会 IIM からの派遣)や日本金属学会九州支部主催の湯川記念講演を行うとともに、IIM と日本金属学会との共同企画による Mater. Trans. 特集号(2025年春に発行予定)の企画世話人を務めるなど、IIM と日本金属学会の国際学術交流の発展にも貢献している。



九州工業大学特任教授、熊本大学特任教授、佐賀大学特命研究員、九州大学名誉教授
堀田 善治 君

堀田善治君は、1979年3月九州大学大学院工学研究科材料開発工学専攻を修了後、1983年5月に米国南カリフォルニア大学で PhD を取得し、引き続き同学にて学術研究員(ポスドク)を務めた。その後、1984年7月に九州大学工学部助手となり、1990年4月同学助教授を経て、2001年4月同学教授に就任した。2009年5月には同学主幹教授に任命され、2019年3月に同学を定年退職した。この間、2002年3月より3年間文部科学省科学技術調査委員(プログラムオフィサー)を務め、2012年4月より3年間日本学術振興会学術システム研究センター研究委員を務めた。2019年4月には九州大学名誉教授が授与され、現在に至っている。

同君は、金属材料の変形や組織制御・解析に関する研究分野において業績を残し、高く評価されている。特に、巨大ひずみ加工に関する研究では、組織の超微細化を図り、機械的特性や機能特性の向上を果たしてきた。関連論文の被引用数は極めて高い状況にある。ECAP(Equal-Channel Angular Pressing)法やHPT(High-Pressure Torsion)法と呼ばれる巨大ひずみ加工については日本で最初に取り組み、ECAP法では加工時に導入されるひずみ量を定量的に評価するとともに、透過電子顕微鏡による組織解析によって、結晶粒超微細化が再現性をも

って実現できることを示した。また、結晶粒の超微細化とともに高温安定性を確保することにより、合金種を問わず400%を超える超塑性伸びが高ひずみ速度で達成できることを示した。さらに、超微細結晶粒内に時効処理でナノ粒子を析出させることに成功し、結晶粒微細化強化と析出強化を同時に実現し超高強度化を実現した。また、巨大ひずみ加工は、磁気特性、電気伝導性、水素貯蔵特性、超伝導特性、熱電特性、光触媒性など機能性向上にも効果的であることを実証した。一方、高圧スライド(HPS: High-Pressure Sliding)法や逐送HPS(IF-HPS: Incremental Feeding HPS)法を新たに開発し、巨大ひずみ加工材の大量製造が実現可能になることを示し、生産性に欠けると言われる巨大ひずみ加工技術の実用的展開が見込まれている。

このような同君の業績は、国内外で高く評価され、海外では宗宮賞(国際材料科学会 IUMRS)や NanoSPD Achievement 賞(NanoSPD 運営委員会)などが授賞され、国内では文部科学大臣科学技術賞(文部科学省)や紫綬褒章(内閣府)が贈られている。本会からは学会賞、増本量賞、村上記念賞、谷川・ハリス賞、学術功労賞、功績賞が授賞されている。また、同君は本会の理事やフェローを務め、さらに Materials Transactions 編集委員長を務めて、本会の発展に貢献している。

第8回 日本金属学会フェロー認定者

(2名)

(2025年3月8日)

(50音順)



東北大学
大学院工学研究科
特任教授,名誉教授,副理事
杉本 諭 君



東北大学
金属材料研究所
教授
杉山 和正 君



受賞者の皆様、おめでとうございます！

第44回 優秀ポスター賞受賞者 15名

(2025年3月9日授賞決定)(五十音順)



骨粗鬆症による骨基質配向性への影響 (P117)
大阪大学 **磯谷太一 君**, 松垣あいら 君,
中野貴由 君



L-PBF により造形した LPSO 型 Mg 合金の力学特性 (P120)
大阪大学 **大川翔 君**, 小笹良輔 君,
名古屋工業大学 徳永透子 君, 萩原幸司 君,
戸畑製作所 松本敏治 君,
大阪大学 中野貴由 君



Mn, Ca, Ti をドーピングした τ_1 - $\text{Al}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3$ 熱電変換材料の熱浸透率分布測定 (P73)
茨城大学 **小澤杏佳 君**, 西場穂佳 君,
工藤直人 君, 阿部龍清 君, 西剛史 君,
太田弘道 君, 池田輝之 君



PBF-LB/M を利用した人工界面の形成と高強度化の機序解明 (P44)
大阪大学 **菊川泰地 君**,
大阪大学, 富山大学 石本卓也 君,
熊本大学 眞山剛 君,
大阪大学 小笹良輔 君, 中野貴由 君



レーザー粉末床溶融結合法による CuCrZr 合金造形体の組織と強度に及ぼす熱処理の影響 (P50)
名古屋大学 **KIM Dasom 君**,
高田尚記 君,
あいち産業技術センター 梅田隼史 君,
ティーケーエンジニアリング 清水稔彦 君,
名古屋大学 小橋眞 君



LPBF における TiC ヘテロ凝固核を添加した Ti-6Al-4V の溶融挙動その場観察 (P40)
早稲田大学, 産業技術総合研究所 **櫛舎祐太 君**,
若井悠貴 君, 平沼拓也 君,
産業技術総合研究所 瀬渡直樹 君,
佐藤直子 君, Jodi Dennis 君,
名古屋工業大学 渡辺義見 君,
早稲田大学 鈴木進補 君



Mo-Ti 合金の高温酸化ならびに機械的特性に対する組成依存性 (P63)
東北大学 **窪田大起 君**, 吉見享祐 君



単純液体の体積粘性率に対する三体相互作用の効果 (P91)
新潟大学 **小林寛武 君**, 青木美穂 君,
北里大学 石井良樹 君,
新潟大学 大鳥範和 君



キネティックモンテカルロ法を用いた予備時効における Al-Mg-Si 合金中のクラスタリング挙動の解明 (P129)
芝浦工業大学 **東海林瑞希 君**,
栗原健輔 君, 大阪大学 Jun-Ping Du 君,
尾方成信 君,
日本原子力研究開発機構 Ivan Lobzenko 君,
都留智仁 君,
芝浦工業大学 芹澤愛 君



銀ナノ粒子を用いた n 型シリコンの金属援用エッチング—過酸化水素濃度の影響— (P107)
兵庫県立大学 **橋口達希 君**, 松本歩 君,
八重真治 君



Deformation behavior of NiFeCoGa ferromagnetic shape memory alloy single crystals (P12)
東京科学大学 **Yiming FAN 君**,
Naoki Nohira 君,
東京科学大学, BCMaterials Volodymyr Chernenko 君,
東京科学大学 Masaki Tahara 君,
Hideki Hosoda 君



β 型 Ti 基合金の固溶強化および B2 規則相析出による高強度化挙動 (P52)
富山大学 **藤村彩和 君**, 真中智世 君,
大阪大学 佐藤和久 君,
富山大学 石本卓也 君



5 元系合金 $\text{MnCo}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}_{1-y}\text{Si}_y$ の安定な結晶構造 (P77)
鹿児島大学 **村上聖弥 君**, 尾上昌平 君,
恒松泰成 君, 三井好古 君, 小山佳一 君



Ti-Zr 系合金の組成変調組織に与える Fe, V の添加効果 (P126)
熊本大学 **森園明凱 君**, 白石貴久 君,
木口賢紀 君



メタダイナミクス法に基づく合金系自由エネルギー曲面の理解 (P99)
東京大学 **山村拓夢 君**, 佐藤龍平 君,
澁田靖 君

第33回 日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 受賞者 (47名)(2025年3月)

(50音順)



名古屋工業大学工学部
浅田 竜生 君



熊本大学工学部
安倍 颯人 君



東北大学工学部
荒木 大騎 君



芝浦工業大学工学部
猪股 潮 君



横浜国立大学理工学部
今村 圭佑 君



東京大学工学部
内田 千香子 君



群馬大学理工学部
江原 大貴 君



東北大学工学部
大塚 光陽 君



九州工業大学工学部
奥園 洸樹 君



関西大学化学生命工学部
小畑 奈々 君



金沢大学理工学域
金布 涼介 君



大阪大学工学部
上村 文哉 君



東京理科大学先進工学部
河合 永里佳 君



愛媛大学工学部
河部 貴浩 君



名古屋大学工学部
木下 和哉 君



近畿大学理工学部
木下 椋太 君



京都大学工学部
黒木 雄斗 君



香川大学創造工学部
佐川 祐幹 君



長岡技術科学大学工学部
咲本 裕哉 君



東京科学大学物質理工学院
佐藤 公 君



九州大学工学部
佐藤 美菜 君



熊本大学工学部
志賀 春日 君



金沢工業大学工学部
芝川 幸慶 君



豊橋技術科学大学工学部
関原 舜仁 君



北海道大学工学部
高橋 英寿 君



東京大学工学部
高久 理名 君



芝浦工業大学工学部
田部 良芽 君



島根大学総合理工学部
塚本 浩人 君



千葉工業大学工学部
戸田 梨香子 君



早稲田大学基幹理工学部
土橋 真紀 君



産業技術短期大学機械工学科
中村 空 君



東京科学大学物質理工学院
滑川 勇太 君



九州大学工学部
榎崎 淳也 君



秋田大学理工学部
橋本 航 君



大阪府立大学工学域
不破 俊祐 君



大阪大学工学部
星野 壮希 君



京都大学工学部
堀池 大輝 君



名古屋大学工学部
松井 孝矢 君



東海大学工学部
松井 椋音 君



北海道大学工学部
松宮 竜海 君



大阪大学工学部
松本 義人 君



富山大学都市デザイン学部
水野 樹 君



滋賀県立大学工学部
水野 晴斗 君



茨城大学工学部
村上 翔涉 君



東北大学工学部
八重樫 樹 君



岩手大学理工学部
吉田 萩 君



兵庫県立大学工学部
吉山 祐一 君

〔第3部門〕 In_2Te_3 結晶中の原子空孔の秩序配列と180度ドメイン形成

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤嘉一 君

東北大学先端電子顕微鏡センター 早坂祐一郎 君

東北大学金属材料研究所名誉教授 平賀賢二 君

本研究で注目する III_2VI_3 化合物半導体は、 III 族元素として Ga または In 、 VI 族元素として Se または Te の組み合わせから成り、次世代の光・熱エネルギー変換材料としての応用が期待されている。一般に、 III_2VI_3 結晶には複数の構造多形の存在が知られる中で、代表的な構造は共有結合性の正四面体ブロックを基本とする閃亜鉛鉱型構造である。このとき、分子式中のカチオン (Ga^{3+} or In^{3+}) とアニオン (Te^{2-} or Se^{2-}) の比は 2 : 3 であるにもかかわらず、単位胞中の副格子点の数比は 1 : 1 であることから、理論上はカチオンサイトの 3 分の 1 が原子空孔 (Vacancy) となる。この化合物中の空孔は結晶の電気的中性を保つうえで必須なもので、結晶構造の安定化に重要な役割を担うことから、普通の原子空孔と区別して構造空孔と呼ばれる。筆者のグループでは In_2Te_3 結晶の高温相 (650°C 時効材; $\beta\text{-In}_2\text{Te}_3$) を例に、その材料評価の際にこれまでに試されたことのなかった最新の電子顕微鏡技術、つまり球面収差補正機能付きの走査透過型電子顕微鏡法 (Cs-STEM/EDXS) の適用を試みたところ、果たして In カチオンと Te アニオンの元素識別と構造空孔分布の可視化に成功し、従来説を覆す以下のナノ構造の実態が明らかになった。つまり、

- (1) $\beta\text{-In}_2\text{Te}_3$ 結晶中のドメイン境界は、閃亜鉛鉱型構造 ($a=0.6153\text{ nm}$; $F=43\text{ m}$) の $\{111\}$ 副格子面に相当する 180 度ドメイン壁から成り、これを境に隣接ドメイン間で結晶構造の極性は反転する (図 1(a)(b))。
- (2) 構造空孔はドメイン内部の In サイトに不規則に分布するが、一定の空間的秩序を有する。これを受けて、ドメイン内部は In 原子 (もしくは構造空孔) の占有率と結晶方位が $\langle 001 \rangle$ 方位に沿って徐々に変化する構造傾斜領域から成り、ドメイン中央部に境に極性は反転する (図 1(e)~(g))。

このような構造空孔の自己組織化ともいえる現象が関与したドメイン形成の観察は過去に前例がなく、 III_2VI_3 化合物半導体の学理を追究するうえで重要な発見となった。

文 献

K. Saito, Y. Hayasaka and K. Hiraga: Phys. Rev. B, **184**(2024), 184110.

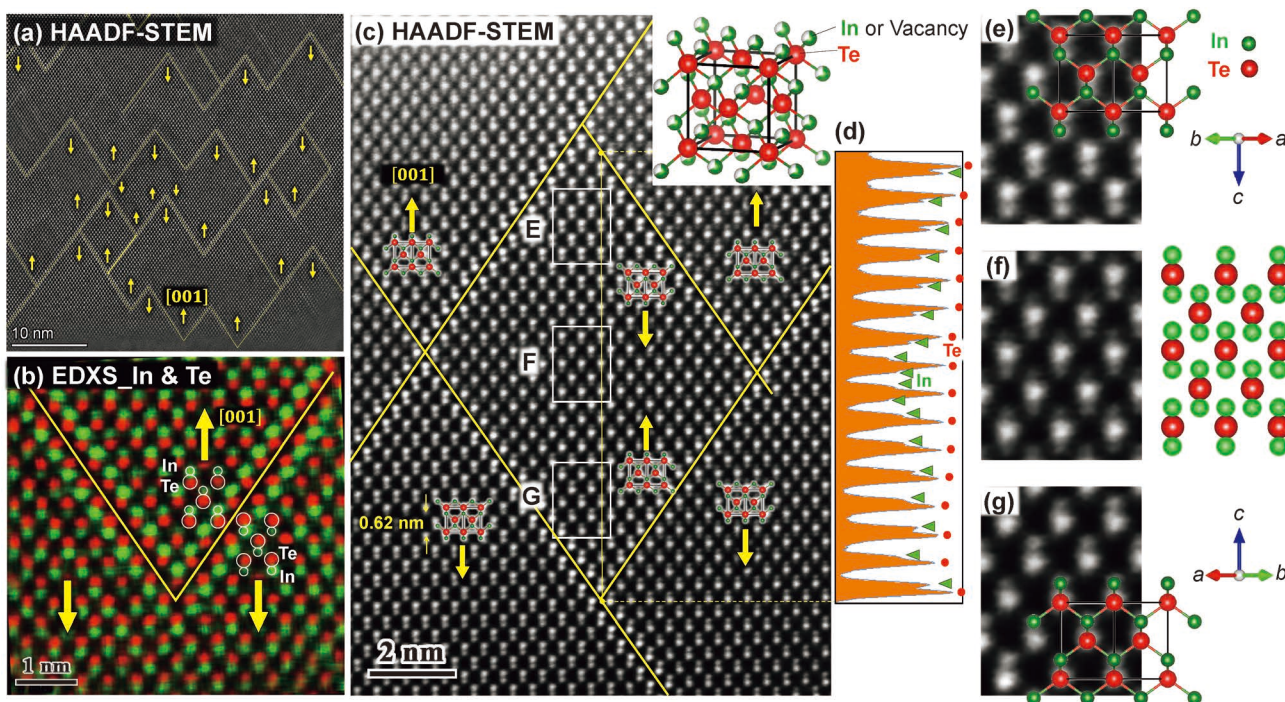


図 1 (a)(b) : $\beta\text{-In}_2\text{Te}_3$ 母相を $[110]$ 方位から撮影した HAADF-STEM/EDXS マッピング像 ; (c)~(g) : シングルドメインを $[110]$ 方位から撮影した HAADF-STEM 像 (c) と同図中の矩形域 E~G の拡大像 (e)~(g)、ならびに当該ドメイン内部における In と Te の各原子カラムに相当する輝点コントラストの強度分布 (d)。HAADF-STEM 像の In 輝点の強度は電子線入射方向に存在する In 原子と原子空孔 (構造空孔) の割合によると考えられる。

〔第1部門〕 蛍光イメージングを用いたモデル材料の凝固過程のその場観察

京都大学 川西 咲子 君 中尾 温斗 君
東北大学 塚原 優希 君 寺島 慎吾 君 助永 壮平 君 柴田 浩幸 君
大阪大学 江阪 久雄 君

溶融合金の凝固過程に晶出する介在物は、材料の品質を大きく左右する。この晶出現象に深く関与する凝固過程のマイクロ偏析をモデル材料により評価する方法として、我々はレーザー共焦点蛍光顕微鏡を用いた溶質濃度分布の蛍光イメージング法を開発した。代表的なモデル材料であるサクシノニトリルを溶媒とし、蛍光試薬であるルモゲンイエローと水を溶質とする三元系を用いたところ、図1に示す溶質濃度分布のカラーマップが得られた。図2に示すデンドライトの三次元形状より固相率を評価した結果、マイクロ偏析の進行を説明する凝固モデルの詳細が解明された。さらに、図3に示すように、マイクロ偏析により過飽和となったルモゲンイエローが晶出する様子が捉えられた。モデル材料を用いて介在物の晶出を再現できたことから、介在物の晶出現象への理解が深まり、その制御に繋がること期待される。

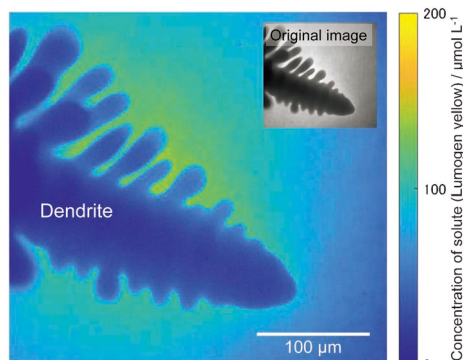


図1 溶質濃度分布のカラーマップ。

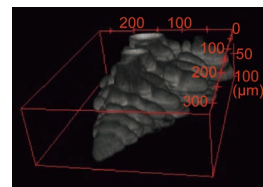


図2 デンドライトの三次元形状。

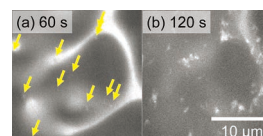


図3 介在物が晶出する様子。

文 献

S. Kawanishi, S. Terashima, Y. Tsukahara, S. Sukenaga, H. Esaka and H. Shibata: Tetsu-to-Hagané, **111**(2025), 75–84.
S. Kawanishi, Y. Tsukahara, S. Terashima, H. Nakao, S. Sukenaga and H. Shibata: Tetsu-to-Hagané, **111**(2025), 85–94.

〔第2部門〕 Ti-Fe 花状共晶組織を利用した、キンク帯強化「ミルフィーユ条件」の解明

名古屋工業大学 萩原 幸司 君 徳永 透子 君 米村 拓哉 君

キンク変形帯は近年 Mg 合金の強度を大きく向上する新たな機構(キンク帯強化)を担う因子として注目されている。その導入には複相材料では、硬質相と軟質相が「交互積層」すること(ミルフィーユ条件)が重要ではないか、と推察されていたが、詳細は不明であった。本写真はこの解明を図1(a)に示す Ti-Fe 二元合金(β -Ti/B2-FeTi)における特徴的な「花状共晶組織」に着目することで、初めて実現したものである。変形組織を観察したところ、図1(b), (c)に見られるように、共晶組織が折れ曲がった「キンク帯」と共晶組織を横切る「せん断帯」が観察された。この両者がどのような場所に形成されているのかを明らかにすべく、FIB法を用いて変形帯導入部を切断し、観察した結果が図1(d), (e)である。この図から「キンク帯」は放射状板状組織に、一方「せん断帯」はロッド状組織部分に選択的に導入されることがわかり、キンク帯の導入には「板状組織」の交互積層が必要であることを明快に示している。

文 献 T. Tokunaga, T. Yonemura and K. Hagihara: Mater. Sci. Eng. A, **900**(2024), 146505.

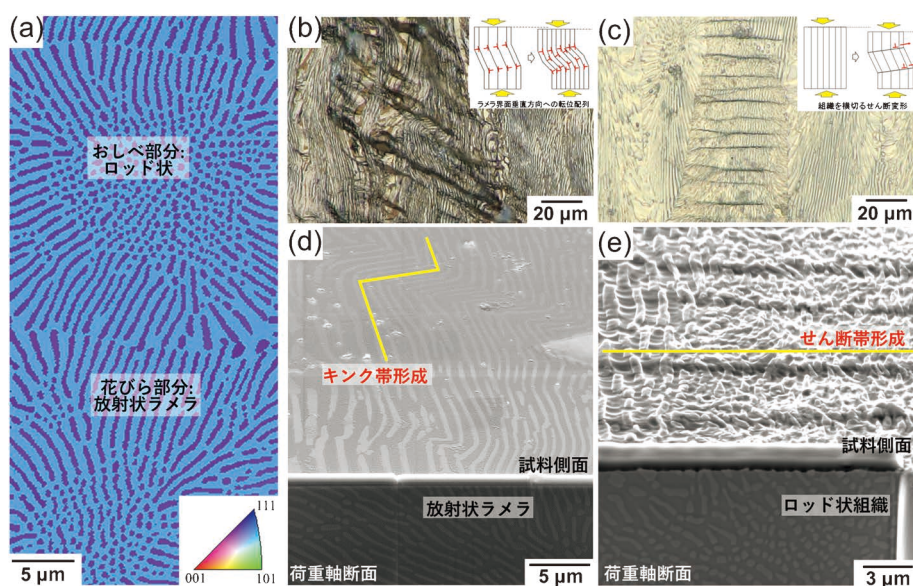


図1 (a) Ti-Fe 合金が示す特徴的な花状共晶組織の SEM-EBSD 結晶方位マップ [熱流平行方向(//圧縮荷重軸)から観察]。
(b, c) 特徴的な変形組織の発達を示す光学顕微鏡像 (b) キンク帯, (c) せん断帯。
(d, e) FIBにより切り出した、(b, c)部分に対応したような場所における、表面・断面の同時観察二次電子像。この図より、(d) キンク帯は「花びら部分」、(e) せん断帯は「おしべ部分」に、それぞれ選択的に導入されていることがわかる。

〔第2部門〕 粒界を跨ぐ塑性すべり

大阪大学名誉教授, 信州大学, 長崎大学 渋谷陽二 君
三菱UFJモルガン・スタンレー証券(株) 西川幸次郎 君
大阪大学大学院工学研究科 松田匠弥 君

粒界を跨ぐ塑性挙動のメカニズムは, 金属組織学的, 固体力学的に多様な組み合わせの下での最小化原理で決定され, 一般には観察が困難である⁽¹⁾。本作品は, 再結晶された無酸素銅の一つの結晶粒界と, それを介した2つの結晶粒から構成される, 長方形断面のマイクロメータサイズのピラー試験片を用いた単軸圧縮試験結果である(図1と図2参照)。まず, 表面ステップの任意な応力集中源から, 各結晶のSchmid因子に応じた転位が初期すべり(sp1)として射出される(図3と図4の単結晶参照)。2結晶と1粒界の結晶学的情報から求められる結晶粒界指数⁽²⁾に応じて, 堆積した転位と粒界の反応と, 粒界からの射出を最小応力で許容するすべり系(sp2)が選択され(図3のPillar4参照), その予測された粒界を跨ぐ塑性すべりが観察された。組み合わせの大半は, 2結晶それぞれのsp1のすべりのみで, 双結晶全体として塑性変形が進行する転位の結合となる(図3のPillar1とPillar2参照)。

文 献

- (1) T. Hirouchi and Y. Shibutani: Mater. Trans., **55** (2014), 52–57.
(2) Y. Shibutani, T. Hirouchi and T. Tsuru: J. Solid Mech. Mat. Eng., **7** (2013), 571–584.

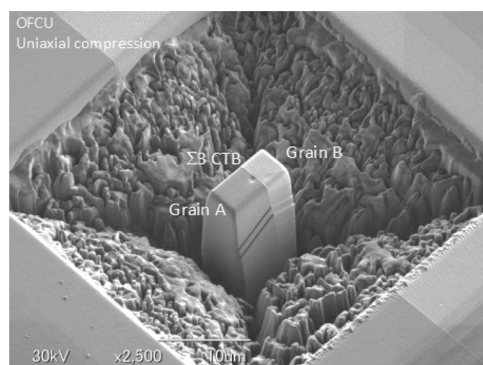


図1 長方形断面のマイクロピラーに見られる塑性すべり。

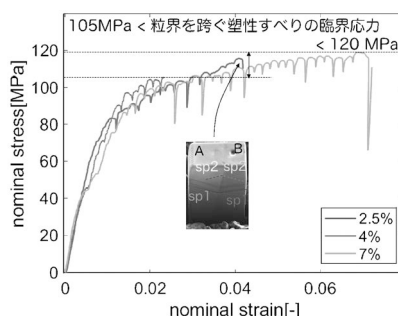


図2 双結晶の応力-ひずみ曲線。

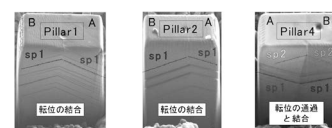


図3 双結晶の粒界に見られる転位間の結合 (Pillar1とPillar2)と粒界を跨ぐ転位の通過と結合 (Pillar4)。

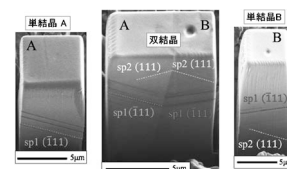


図4 図3のPillar4の長方形型双結晶ピラーとそれを構成する2結晶の正方形型単結晶ピラーに見られるすべり。

〔第4部門〕 フェーズフィールドモデルに基づく画像処理によって実現された高速4D-CT観察

京都大学 鳴海大翔 君(現在:東京大学) 下川貴大 君 中埜創太 君 勝部涼司 君(現在:名古屋大学) 安田秀幸 君

可視光に対して不透明な金属材料内部の凝固組織形成を三次元・時間分解観察できる手法として, 大型放射光施設の硬X線領域の高輝度X線放射光を利用した時間分解X線トモグラフィー(4D-CT)がある。4D-CTの時間分解能と空間分解能はトレードオフの関係にあり, さらに実用合金の多くは溶質濃度が低く, 固液間のX線吸収コントラストが小さくなって再構成像の質の低下を招くため, 高輝度の放射光を用いたセットアップでも凝固現象を観察できる条件は限られているのが現状である。本研究では, 時間分解能の追求により生じる画像の質の低下を凝固・結晶成長シミュレーションで利用されるフェーズフィールドモデルに基づいた画像処理によって復元(図1および2)させ, 凝固組織形成の定量評価が可能な高速4D-CTを実現し, 実用合金であるアルミニウム2000系合金の組成範囲であるAl-5 mass%Cu合金(TiB₂添加)の凝固過程における等軸晶の成長・運動の定量評価(図3)に利用した。凝固初期は融液中に核生成した等軸晶が密度差によって沈降(速度: 50–150 μm/s)し, 観察視野の下部に堆積して移動が停止した。堆積後に等軸晶間の液相において新たな等軸晶の核生成は確認されず, 堆積した等軸晶の1次・2次アームが発達する様子が確認された。つまり, 堆積した際の等軸晶の数と配置が凝固後組織の結晶粒サイズに対応していることが実証された。

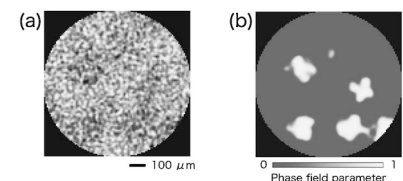


図1 (a) Al-5 mass%Cu合金の再構成像。
(b) 画像処理によって復元された等軸晶。

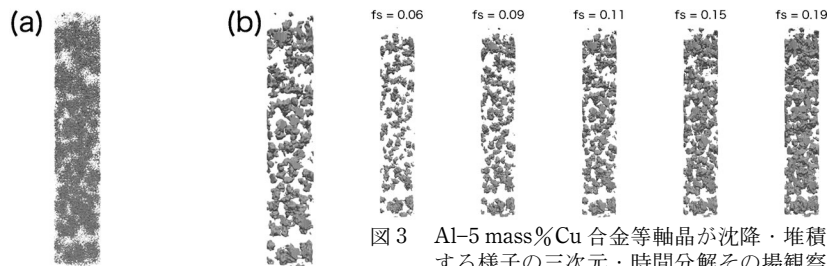


図2 データセットから抽出した三次元像。
(a) 画像処理前, (b) 画像処理後。

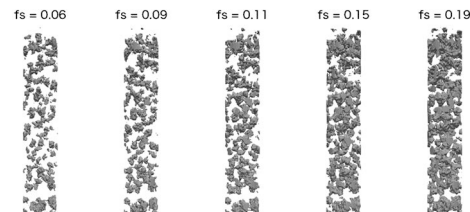


図3 Al-5 mass%Cu合金等軸晶が沈降・堆積する様子の三次元・時間分解その場観察(時間分解1 s)。

第75回金属組織写真賞 選評

本年度の応募件数は、「1. 光学顕微鏡部門」2件、「2. 走査電子顕微鏡部門」3件、「3. 透過電子顕微鏡部門」1件、および「4. 顕微鏡関連部門」3件の計9件であった。

選考委員会での事前評価結果を理事会において報告し、金属組織写真賞規則に従って、最優秀賞1件、優秀賞2件、ならびに奨励賞2件の授賞を決定した。

今回も Web 審査を踏襲し、選考委員19名に順位点と評価点(5点満点)、および評価の高い作品については選定理由の記載をお願いした。部門も含めた内訳としては、透過電子顕微鏡部門から最優秀賞1件、光学顕微鏡関連部門と走査電子顕微鏡部門からそれぞれ優秀賞1件、および走査電子顕微鏡部門と顕微鏡関連部門からそれぞれ奨励賞1件となった。

最優秀賞「 In_2Te_3 結晶中の原子空孔の秩序配列と180度ドメイン形成」(3. 透過電子顕微鏡部門)は、カチオン(In)とアニオン(Te)の原子識別と構造空孔分布の可視化に成功し、ドメイン内部が In 原子(もしくは構造空孔)の占有率と結晶方位が $\langle 001 \rangle$ 方位に沿って徐々に変化する構造傾斜領域から成ること、およびドメイン中央部に境に極性が反転するナノ構造を取ることを明らかにした研究である。これまでの常識を覆し、最先端の電子顕微鏡技術を用いて新たなドメイン壁の局所構造を解明した点が、学術的に高く評価された。

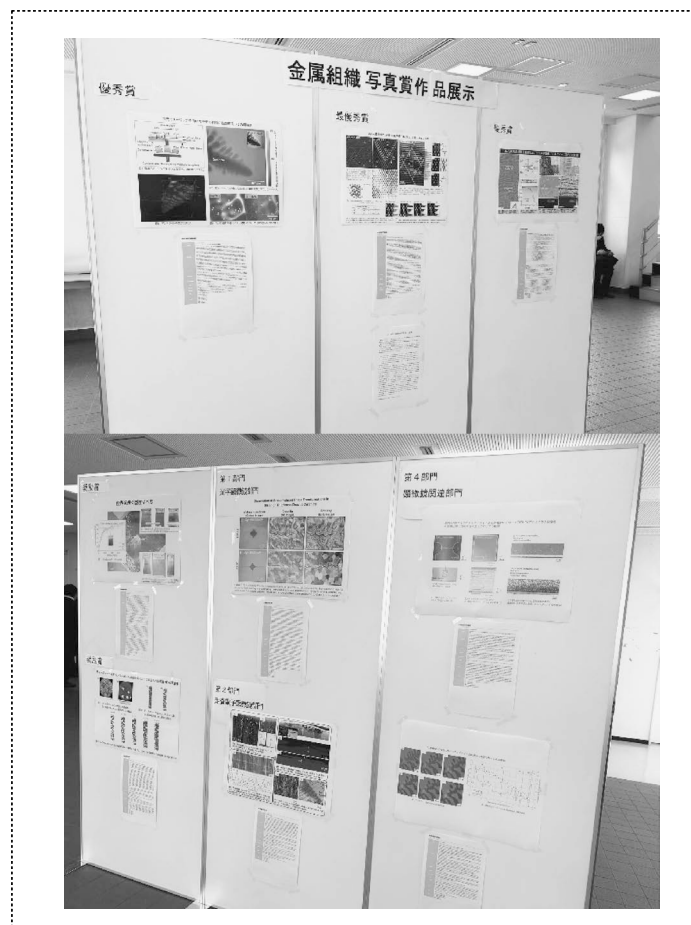
優秀賞(部門別、受付番号順) 1件目「蛍光イメージングを用いたモデル材料の凝固過程のその場観察」(1. 光学顕微鏡部門)は、レーザー共焦点蛍光顕微鏡を用いた凝

固プロセス観察で、従来手法では困難であったマイクロ偏析の定量評価を実現した点が革新的と判断された。また蛍光イメージング法を凝固研究に応用する新規性とその技術的な完成度も大きく評価された。優秀賞2件目「Ti-Fe 花状共晶組織を利用した、キンク帯強化「ミルフィーユ条件」の解明」(2. 走査電子顕微鏡部門)では、花状共晶組織を利用し層状にひずみ分布を与えることでキンクを導入する「拡張ミルフィーユ制御」という新概念を実証した点が、その波及効果も含め、学術的に高く評価された。

奨励賞「粒界を跨ぐ塑性すべり」(2. 走査電子顕微鏡部門)では、粒界を跨ぐ塑性すべりのメカニズムを詳細に観察し、特に粒界での転位の堆積とその後の塑性すべりの発生を実験的に解明した研究である。金属材料の加工硬化メカニズムの理解を深めるだけでなく、結晶塑性構成式の基礎データとしても重要な貢献と判断された。奨励賞2件目「フェーズフィールドモデルに基づく画像処理によって実現された高速 4D-CT 観察」(4. 顕微鏡関連部門)は、時間分解 X 線トモグラフィー(4D-CT)における時間分解能の追求に伴う再構成像の劣化を、フェーズフィールドモデルに基づく画像処理を通じて復元した研究である。凝固現象の実証的理解や理論体系の構築などへの学術的波及効果が大きいと判断された。

惜しくも選に漏れた作品も含め今回もレベルの高い力作揃いであった。他の学会に例を見ない独自性と学術性を重んじてきた金属組織写真賞の継続と発展のため、今後もますます優れた金属・材料の組織写真が応募され続けることを期待したい。

金属組織写真賞委員会委員長 小山敏幸(名古屋大学)



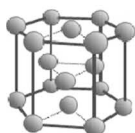
(2025.3.8~10 東京都立大学南大沢キャンパス12号館1Fに展示)

までりあ企画

「金属素描」「金属なんでもランキング！」

2019 年 1 月から「までりあ」に掲載している「金属素描」と「金属なんでもランキング！」が https://jimm.jp/around_metal/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
- No.24 レニウム
- No.25 亜鉛
- No.26 金
- No.27 銀
- No.28 ロジウム
- No.29 ビスマス
- No.30 鉛
- No.31 パナジウム
- No.32 カルシウム
- No.33 サマリウム
- No.34 シリコン
- No.35 ストロンチウム
- No.36 錫
- No.37 スカンジウム
- No.38 カドミウム
- No.39 ゲルマニウム

金属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
- No.20 純金属液体の粘度
- No.21 酸化物の標準生成ギブス自由エネルギー
- No.22 窒化物の標準生成ギブス自由エネルギー
- No.23 純金属の拡散係数の活性化エネルギー
- No.24 硫化物の標準生成ギブス自由エネルギー
- No.25 銅における不純物拡散係数の活性化エネルギー
- No.26 ビッカース硬さ
- No.27 融解時のモル体積変化

転位とクラック：強靱化メカニズムのさらなる理解に向けて*

東 田 賢 二**

1. はじめに

結晶性材料の力学的性質を考えると、その基本的問題の多くは弾塑性変形と破断の挙動に帰着する。そしてそれらは、材料の組織・構造そして置かれた環境により大きく変化するが、その研究の基盤はいずれも、20世紀前半に提唱された「転位論」と「クラック(き裂)論」にある。この2つの研究の流れを顧みると、両者はその研究の黎明期より深く結びつき、そこには強い相関性が存在する。なかでも破壊靱性に果たす塑性変形の役割に関する研究には、転位論とクラック論との融合が必須であり、それは材料科学と固体力学とが強く連携し挑まねばならない学際研究領域と言えよう。

著者はこれまで、破壊靱性に果たす塑性変形の役割を明らかにすることを目的として、「転位によるクラック先端局部応力遮蔽効果(転位遮蔽効果)」と呼ばれる理論⁽¹⁾に着目し、材料強靱化メカニズムに関する基礎研究を行なってきた。転位遮蔽効果は転位とクラックを同等の格子欠陥と見做し、破壊靱性を定量的に予測しようという基礎理論であるが、理論登場後、その実験的検証は全くなされていなかった。そこで著者らは、モデル結晶を用いて「光弾性法による遮蔽応力場の可視化」^{(2)–(4)}、そして「き裂先端近傍の転位の超高压電子顕微鏡解析」^{(5)–(8)}を行い、この効果の実証を試みた。さらに高靱性化の基本因子について考察し、それを基に実用材料への展開も図った。本稿ではそれらの研究を振り返り、改めて転位論を通して強靱化の意味を再考したい。これにより、クラック論と転位論そしてそれらを融合した学際研究が、将来に渡り材料科学・工学上の重要なテーマであることを少しでも浮かび上がらせることが出来れば幸いである。

2. 塑性変形と破壊研究の歴史的繋がり

塑性変形と破壊の研究の歴史については、別途2つの記事^{(9)–(10)}で述べたところであるが、ここでは両者の繋がり of 必然性と意義を今一度考えて見たい。

E. Schmid と W. Boas による「結晶の塑性」と題するテキスト⁽¹¹⁾によれば、塑性変形の基本メカニズムであるじり変形と双晶変形の発見者は E. Reusch (1867)⁽¹²⁾であると記述されており、19世紀から塑性変形に関する学術研究がなされていたことが分かる。一方破壊の研究では、20世紀初頭、鉄道レールの破損原因究明や事故対策など実用的な要求⁽¹³⁾から、衝撃抵抗に関する G. Charpy の研究⁽¹⁴⁾や B. Hopkinson の仕事⁽¹⁵⁾が先行したようである。しかし、20世紀に入って基礎物理の発展、特にラウエ⁽¹⁶⁾やブラッグ親子⁽¹⁷⁾による X 線回折現象の発見に伴う結晶の概念が一般化すると共に、この分野においても数理物理を基盤とする原子論的研究に目が向けられるようになった。

ところで転位論の提唱に関しては、1934年、G. I. Taylor⁽¹⁸⁾、E. Orowan⁽¹⁹⁾、M. Polanyi⁽²⁰⁾が独立に論文を発表したこと、またそれに先行して1929年日本の山口珪次の研究^{(21)–(22)}が有ったこと、さらに遡って1907年の連続弾性体における V. Volterra のモデル⁽²³⁾等が良く知られている。一方クラック論については、上記のような実用上の問題を動機としながらも、それを超えて新たな見地から、1921年 A. A. Griffith が時代を画する理論を発表する⁽²⁴⁾。これらの研究の歴史的意義については、それぞれの原著論文と共に、後年の彼ら自身或いは、近しく彼らに接した人々の回想録^{(25)–(32)}が有用である。そのなかで Griffith と Taylor の関係は、クラック論と転位論の結び付きを考える上で興味深い。

Griffith 理論を世に知らしめた“The Phenomena of Rupture and Flow in Solids”と題する論文⁽²⁴⁾でまず目に留まる

* 2025年3月8日、日本金属学会第176回春期講演大会にて講演。

** 九州大学；名誉教授(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

Dislocations and Cracks: Toward Further Understanding of Toughening Mechanism; Kenji Higashida (Professor Emeritus, Kyushu University, Fukuoka)

Keywords: *dislocations, cracks, fracture toughness, plastic deformation, lattice defects, crystal plasticity*

2024年11月28日受理[doi:10.2320/materia.64.307]

ことは、著者名 A. A. Griffith のすぐ下に Communicated by G. I. Taylor と記されていることである。すなわちこの研究には、後年転位論創始者の一人となる Taylor が深く関わっていたことが分かる。ところでこの理論に先立つ1913年、C. Inglis が楕円孔端に集中する応力を定式化し、連続体ではき裂先端で応力が無限大に発散することを明示した⁽³³⁾。すなわち破壊におけるき裂と応力集中の重要性は Griffith 理論以前に十分に認識されていた。それでは Griffith の独創性はどこにあったのか？ それは、彼が物質表面の原子論的意味を熟考し、固体にも液体と同じように表面張力が存在することに気付く⁽³⁴⁾、き裂の進展による系のエネルギー変化を歪みエネルギー減少と表面エネルギー増加の和として定式化したことであろう。Griffith はその論文⁽²⁴⁾の冒頭で、「固体強度に対する表面傷の効果は工学的には破壊の問題に直結するが、同時に分子間結合の本性というより大きな問題にも結びついている」と述べ、さらに“Molecular theory of strength phenomena”と題する節も設けて、結合性を強く意識した考察を展開している。それでは何故、当時まだ駆け出しの若手技術者であった Griffith が、日々表面傷を無くす研磨に明け暮れるなかで、今日なお材料科学の重要テーマである結合性の問題に気付けたのか？ そこには、Cambridge 大学 Trinity College の講師として、Rutherford から現代物理学を創始した偉大な物理学者達の知遇を受けていた Taylor(1921年当時35歳)の存在があったに違いない。

一方 Taylor にとっても、Griffith の存在は極めて重要であった。Taylor が転位論の提唱に至るまでには Griffith 理論からなお13年の歳月を要しているが、その原点と言えるものは、この Griffith 理論において他にあるまい。Taylor は、結晶のじり変形にも、き裂先端と同様に応力集中を持った特異な原子構造が必要であることを、Griffith の研究から強く認識したのである。すなわち、もし Griffith が居なければ、Taylor は元来彼の専門であった流体力学の研究に専念し、転位論の研究をなすことは無かったであろう。そして、このような Griffith と Taylor との強い繋がりは、Griffith 理論発表の7年前、彼が勤務していた Royal Aircraft Establishment に Taylor が Cambridge から出向し、2人で始めた共同研究⁽³⁵⁾のなかで育まれたものに違いない。クラック論と転位論の誕生は、それに先立つ提唱者2人の強い結び付きがあったからこそであり、同時にこのとは、分野や境遇の異なる研究者と技術者が、確かな信頼関係を以て結びついたときの大きな可能性を示すものと言える。なお我が国では前述の山口桂次の研究の独創性が傑出しているが、そこにも山口と Taylor との繋がりがあったことは既報⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾で述べた通りである。また三谷裕康によれば⁽³¹⁾、山口は1923年から2年間、京大で西村秀雄と机を並べていたが、その関係がその後の京大での結晶塑性研究に繋がっていくようにも思われる⁽³⁶⁾。また第二次世界大戦前の日本での材料強度や結晶塑性に関する研究状況を知る上では、寿時富彌⁽³⁷⁾、谷安正⁽³⁸⁾、村川契⁽³⁹⁾らの記事も興味深い。

Griffith 理論以降、クラック論における目立った研究は、

転位論に比べ少ない。その一因は Griffith 理論が完全脆性体を前提とし、その適用範囲が限られたことにあろう。この問題を解決すべく G. R. Irwin⁽⁴⁰⁾ と Orowan⁽⁴¹⁾ はそれぞれ Griffith 理論に修正を施した。すなわちクラック進展に伴う塑性仕事 γ_p を表面エネルギー γ_s と同じ抵抗項と見做すことで塑性変形の効果を Griffith 理論に取り込んだのである。その後、第2次世界大戦における戦時標準船の破壊等の問題を受けて、き裂の力学への要求が急速に高まり、Irwin を中心に破壊力学が体系化されて行く⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾。そこでは前述のき裂先端での応力発散の問題が、応力拡大係数 K の概念により物理的明快さをもって解決された。さらに1970年代後半に入り、塑性緩和について、破壊力学と転位論との融合とも言えるべき精緻な理論が登場する⁽⁴⁴⁾⁻⁽⁴⁶⁾。次節以降、これについて少し詳しく述べていく。なお、20世紀中期から始まった計算力学⁽⁴⁷⁾⁻⁽⁴⁹⁾の発達も注目されるもので、今後も実験系と連携した研究の進展が期待される。また数学者の転位への関心も付記しておきたい⁽⁵⁰⁾。

3. 転位論とクラック論の相関性

上述のように、破壊と塑性変形の研究は、その黎明期において深く結び付いていたが、その後クラック論は破壊力学に基づいた、どちらかと言えば巨視的問題の解析を中心に発展したのに対して、転位論に関する研究は総じて電子顕微鏡レベルでの微視的観察や議論を主に研究が進み、両者間の交流は必ずしも充分でなかった憾みがある。このような状況に新たな変化を呼び起こす契機となったのが、1980年前後、R. Thomson を中心に提案された「転位遮蔽効果 (Crack-tip Shielding by Dislocations)」と呼ばれる理論の登場である⁽¹⁾⁽⁴⁴⁾⁻⁽⁴⁶⁾⁽⁵¹⁾⁻⁽⁵³⁾。この考えの最大の特徴は、クラックを転位と同等の格子欠陥と見做し、破壊靱性値への個々の転位の寄与を定量的に記述したことにある。Thomson はその理論研究の集大成として著した“Physics of Fracture”⁽¹⁾(1986)の序文のなかで「転位とクラックは双子の格子欠陥であり、これらを組み合わせることで、材料破壊における第一の基本的問題(延性か脆性か)に答えることが出来る」と述べている。以下ではクラックと転位の相関性を示すことで、クラックを格子欠陥と見做すことの妥当性を検証したい。

表1は、(a)から(f)の各項目について、転位論とクラック論を対比させたものである。まず表1(a)の理想強度について、20世紀初頭、種々の材料が結晶であるとの認識が広まるなかで、その強度への関心が高まり、へき開、せん断、それぞれの理想強度の評価がなされた。へき開の理想強度については、Griffith⁽²⁴⁾がガラスや幾つかの金属の結合性の研究⁽⁵⁴⁾から論じており、Polanyie⁽⁵⁵⁾、F. Zwicky⁽⁵⁶⁾の研究も有る。一方、じりの理想強度については、J. Frenkel(1926)⁽⁵⁷⁾のものが代表的と言われている⁽⁵⁸⁾。そして周知のように、いずれの理想強度も現実の強度に比べ桁違いに高くなる矛盾を克服すべく、クラック論と転位論それぞれが出現したことは、全く同じ研究の流れと言えよう。表1(b)の転位芯構造は、

表1 転位論とクラック論の相関性.

	転位運動	クラック進展
(a)	せん断の理想強度	破壊の理想強度
(b)	Peierls potential 転位芯	格子トラップ障壁 Crack-tip core
(c)	転位の性格(刃状, ラセン)	クラックのモード I, II, III
(d)	Peach-Koehler 力	クラック進展力
(e)	転位 - 溶質原子, 転位 - 転位相互作用など	クラックと結晶欠陥 との相互作用
(f)	材料強度と組織	破壊靱性と材料組織

結晶構造やその物質の結合性由来して変化し、それは転位運動の基本的障害である Peierls 障壁⁽⁵⁹⁾と深く結びついている。一方、原子的に鋭いへき開き裂先端でも芯構造が考えられ⁽¹⁾、き裂の進展時に原子間結合を切っていく際のエネルギー障壁を格子トラップ障壁⁽⁶⁰⁾と呼び、これは転位の Peierls 障壁に対応する。表1(c)の刃状、ラセンといった転位の性格⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾は、き裂のモード I(開口型)、II(面内せん断型)、III(面外せん断型)⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾に良く対応している。表1(d)の転位に作用する力として、 $\mathbf{F} = (\sigma \mathbf{b}) \times \mathbf{t}$ で表される Peach-Koehler 力⁽⁶³⁾があるが(σ : 応力テンソル, $\mathbf{b}$: burgers vector, $\mathbf{t}$: 転位線ベクトル)、その大きさはき裂先端に作用する力としてのき裂進展力(エネルギー解放率) g ⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾に相当するものと言える。なお g は次式で与えられる。

$$g = \{(\kappa + 1)/8G\} (K_I^2 + K_{II}^2) + \{1/(2G)\} K_{III}^2 \quad (1)$$

(ここで K_i : 各モードの応力拡大係数($i = \text{I, II, III}$), $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面ひずみ), $\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ (平面応力), ν : ポアソン比 G : 剛性率)

さらに表1(e)(f)に示すように、固溶強化、加工硬化など高強度化を考えると、溶質原子と転位、転位同士など種々の格子欠陥と転位との相互作用として議論するが、これを破壊靱性にも適用するならば、き裂を格子欠陥の1つと見做し、き裂とその他の格子欠陥との相互作用として高靱性化を議論することも可能であろう。そこには転位-転位相互作用で加工硬化が起こると同様に、き裂-き裂相互作用による Micro-crack toughening も含まれる⁽⁶⁴⁾。それは岸輝雄が提唱する Fail Safe Materials にも繋がるものと考えられる⁽⁶⁵⁾。以上、クラック論と転位論の相関性は、き裂を転位と同様に格子欠陥の1つと見做すことの妥当性を保証するものと言える。

4. 転位とクラックとの相互作用について

(1) 転位によるクラック先端局所応力遮蔽効果(転位遮蔽効果)

塑性変形が破壊を抑制する原因として、前述の塑性変形に

よるエネルギーの吸収⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾、そしてクラック先端の鈍化による応力集中低下⁽³³⁾が良く知られている。しかし、前者のエネルギー吸収を定量的に扱うことは容易ではなく、また鈍化の効果は、開口型の Mode I クラックに限定されてしまう。それらの効果だけでは、塑性変形の破壊靱性に果たす本質的役割を見落としてしまうのではないかと。このような問題意識のもと、前述のように転位遮蔽効果の考え方が Thomson⁽⁴⁴⁾そして少し遅れて J. Weertman⁽⁴⁶⁾により提案され、それが基軸となって破壊物理の研究が活性化した。そこでこの転位遮蔽効果について今少し述べたい。なお式の導出など詳細は既報⁽²⁾⁽³⁾や文献⁽¹⁾⁽⁶⁶⁾に委ね、以下その要点を記す。

き裂が応力に晒されると、その先端には式(1)に示すき裂進展力が作用する。その作用力は、応力の湧源が外部応力か内部応力か、いずれに起因するかには影響されないはずである。しかし従来、外力がき裂先端に作用することは当然とされる一方、転位内部応力も同様にき裂先端に作用力を生み出すことは見逃されて来た。転位遮蔽理論の特徴である前述の「き裂先端と転位とを同格の格子欠陥と見做す」とは、き裂先端に作用する応力場として、「転位内部応力も外部負荷応力と同等に扱う」ことである。すなわち転位遮蔽理論では、き裂先端に実際に作用する局所応力拡大係数 k_i というコンセプトを持ち込み、それを次式のように、外部応力からの寄与 K_{iA} と転位内部応力からの寄与 k_{iD} の和として表す(k_{iD} は複数の転位が存在する場合その総和を取るという意味で Σ を付す)。

$$k_i = K_{iA} + \Sigma k_{iD}, \quad (\text{添字 } i: \text{モード I, II, III}) \quad (2)$$

ここで右辺第1項 K_{iA} を外部応力拡大係数、第2項 k_{iD} を転位による局所応力拡大係数と呼ぶ。そして式(2)左辺の局所応力拡大係数 k_i が Griffith 条件 $g = 2\gamma$ (g : き裂進展力, γ : 表面張力)を満足させる臨界値に達したときき裂進展が起こる。議論簡素化のためモード I 平面歪み条件とすると、 k_I が Griffith 条件を満足するときの外部応力拡大係数として、破壊靱性値 K_{IC} が次式のように表される。

$$K_{IC} = 2\{\gamma G/(1 - \nu)\}^{1/2} - \Sigma k_{iD} \quad (3)$$

上式(3)の右辺第1項は、表面エネルギーと弾性定数だけから構成されており、原子間結合切断に要する応力拡大係数である。つまりこれは完全脆性体での破壊靱性値で、本稿ではこれを Griffith Level と呼ぶ。次に右辺第2項は転位の内部応力による破壊靱性値への寄与を示す項であり、これこそ前述の転位遮蔽効果に対応するものである。この第2項は、2次元問題の場合、転位のバーガースベクトルと存在位置が決まれば文献(2)の式(5)を用いて一義的に計算出来る。ここで導入される転位は、後述するように、外力による応力集中を抑制する働きを持つもので、例えば外力が引張である場合、この項は圧縮、つまりその符号は負となり、式(3)の右辺第2項は破壊靱性値 K_{IC} を増加させる。

図1はこの転位遮蔽効果を、より分かり易く、応力分布として表したものである⁽²⁾。図1(a)はその計算モデルで、簡素化のため、き裂先端から引張外力で導入される2つの刃

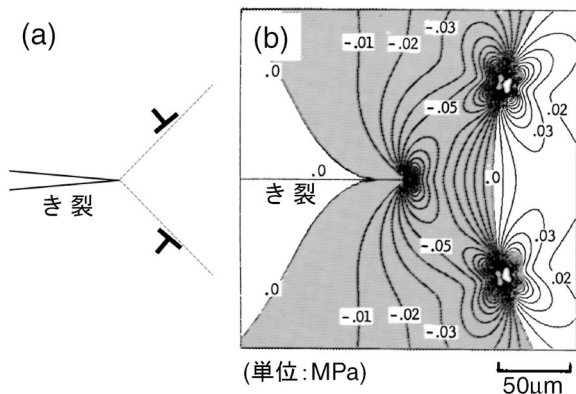


図1 き裂先端から生成された転位の内部応力の分布⁽²⁾。(a) 転位モデル、(b) き裂面に垂直な法線応力分布。岩塩結晶を想定。

状転位を仮定した(弾性定数は後述の岩塩を想定)。外部応力は完全に除き、ここに現れる応力場はすべて転位の内部応力に起因する。応力成分はき裂面に垂直な法線応力で、白色領域は引張応力、陰影領域は圧縮を意味する。図中の注目点は、応力集中が2つの転位だけでなく、き裂先端にも発生し、しかもそれが圧縮場となっていることである。すなわちこの2つの転位は、圧縮の応力集中を発生することで、外部引張応力集中を低減し、き裂を進展させまいとする。これは恰も、き裂先端への外部応力集中を転位内部応力場が遮蔽しているかのように見えるため、転位遮蔽効果と呼ぶ。

(2) 応力集中の塑性緩和の意味

そこで、転位遮蔽効果による応力集中の緩和の意味について今少し考えてみたい。図2は、モードIき裂の存在する無限媒体に外部負荷応力 σ_0 を負荷したときの転位生成前後の応力分布を模式的に比較したものである。黒曲線が生成前、赤曲線が生成後である。ここでは長さ $2a$ のき裂がX軸に沿いき裂中心位置を原点($X=0$)として、 $-a \leq X \leq a$ の範囲に存在するものとする。図は $0 < X$ の領域での、き裂面に垂直な法線応力 σ_N の変化を表している(σ_0 で規格化)。なお外部負荷応力は転位生成前後で変化しないものとする。まず、モードIき裂の存在する $0 \leq X \leq a$ では当然、自由表面の境界条件のもと $\sigma_N=0$ となる。そして黒線で示す転位生成前、き裂先端前方、 $a < X$ で発生する集中応力の分布は、次式で表される⁽⁶⁷⁾。 r はクラック先端からの距離($r=X-a$)である。

$$\sigma_N = \sigma_0 \{1 + (a/r)\} / \{1 + (2a/r)\}^{1/2} \quad (4)$$

これより、き裂先端の近傍領域($r \ll a$)では、式(4)は $\sigma_N = K_I / (2\pi r)^{1/2}$ となる。ここで K_I は応力拡大係数($K_I = \sigma_0 (\pi a)^{1/2}$)である。そこで $r \rightarrow 0$ のとき、 σ_N は $1/\sqrt{r}$ の形で無限大に発散する(なお原子結合性を考えると、へき開理想強度が上限値となる)。一方き裂先端から離れた領域($a \ll r$)では、式(4)は $\sigma_N = \sigma_0 \{1 + (1/r^2)\}$ となり、先端から遠ざかるにつれ σ_N は外部応力 σ_0 に漸近する。次に図2中の赤線は転位生成後の応力分布である。ここで引張の外部応力拡大係数 K_I に対して、転位による局部応力拡大係数 k_D は圧縮で

負の値を取るの、トータル応力拡大係数($K_I + k_D$)は低下し、き裂先端近傍では、赤曲線は黒曲線を下回る。しかし前述のように、転位生成前後で外部負荷は変化しないので、その低下分は必ず別の場所で補償されねばならない。それはき裂先端から離れた領域での σ_N の増加で賄われる。すなわち黒曲線と赤曲線との交差点を境に、陰影を施した領域Aの負担減少は、同一面積を持つ領域Bの負担増加に置き換えられる。このように、き裂先端から生成された転位は、その内部応力により、き裂先端近傍に集中する外部負荷を、き裂先端から離れた領域に広く分散させることで、応力拡大係数を低下させる。これによりき裂進展力は低減され、破壊靱性値は増加する。以上、転位遮蔽効果による塑性緩和の本質は、決して外部負荷そのものの軽減にあるのではなく、外部負荷による集中応力を、転位の内部応力によって出来るだけ広く薄く分散させようとする材料側の応答にある。

(3) 光弾性法による転位遮蔽効果の可視化

上記、転位遮蔽応力場の存在を検証するため、著者らは透光性のNaCl結晶をモデル結晶として、き裂先端近傍の応力場を光弾性法により可視化した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾⁽⁶⁸⁾⁻⁽⁷⁰⁾。図3(a)はモードI引張で発生したき裂と、その先端から導入された転位列を示す模式図である。これは平面ひずみ状態で現れるヒンジ型塑性域に対応する。図3(b)はそのエッチピット観察結果で、 $\{001\}$ 面に沿うき裂先端前方に、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0 \rangle$ 系の転位が生成されている。図3(c)はその光弾性像である。詳細は既報⁽³⁾⁽⁶⁸⁾⁽⁷⁰⁾に委ねるが、本研究の光弾性観察では鋭敏色板を用いることで像の色で応力の符号を判別した⁽³⁾。応力ゼロのとき赤紫となる。図3(c)の光弾性で、き裂先端の上下に黄と青の像が見られるが、これが応力集中場に対応する。またその前方に斜めに見える青と黄の像は $\{110\}$ 面に沿う迂り帯の像である。なおここで、青と黄の色がき裂面を境に上下反転している。これは観察条件が $\beta=0$ (β :き裂面と偏光子のなす角度)で、この条件下では主にき裂面に平行(或いは垂直)なせん断応力が像に寄与するためである。次に図4(a)(b)は $\beta=(\pi/4)$ radでの光弾性像である。この条件下では主にき裂面に垂直な法線応力が像に寄与し、無負荷では赤紫、引張応力は黄色、圧縮は青色となる。図4(a)は室温でモードI引張負荷をかけたときの像で、き裂先端周辺に引張応力に対応する黄色の像が広がっている。一方図4(b)は、後述するようにNaCl結晶の靱性値が大きく増加する503 Kで変形後、除荷しき裂先端近傍を観察したものである⁽⁶⁸⁾。き裂先端周辺に強い青色の像、つまり図4(a)とは逆に大きな圧縮応力場が形成されている。変形後、無負荷状態で観察されるこの青色像は、き裂先端近傍に生成された転位群による内部圧縮応力場に他ならず、この観察結果は転位遮蔽効果の存在を実証するものである。

(4) クラック先端から生成された転位群の超高圧電子顕微鏡による観察

上記の転位遮蔽効果を生み出す転位群の様相を観察すべ

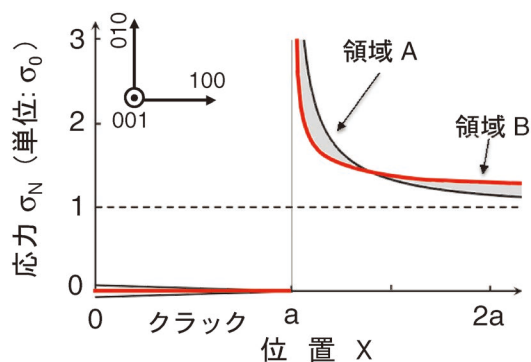


図2 転位生成前後のクラック前方の応力集中の変化の模式図．黒曲線：転位生成前，赤曲線：転位生成後． σ_0 は無限遠方での引張外力， σ_N はクラック面に垂直な法線応力， a はクラック長さの(1/2)．

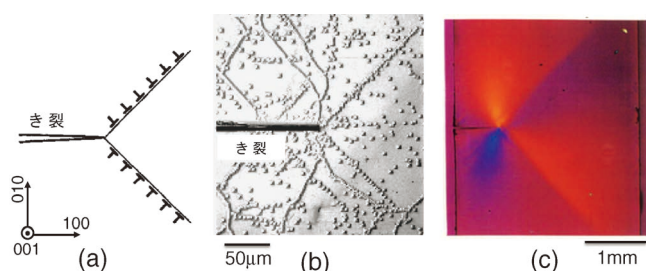


図3 クラック先端近傍の転位分布と応力場の可視化．(a) 模式図，(b) エッチピット分布，(c) 光弾性像($\beta=0$)．

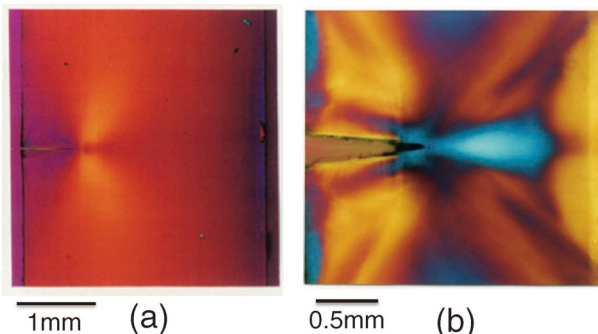


図4 クラック先端近傍の応力場の光弾性像($\beta=\pi/4$)．(a) 外部負荷による引張応力場，(b) 転位遮蔽による圧縮応力場．

く、著者らは岩塩と同じ NaCl 構造を有する MgO 結晶を用いて超高压電子顕微鏡(HVEM)観察を行った⁽⁵⁾⁽⁷⁾⁽⁷¹⁾⁽⁷²⁾．図5(a)がその観察像で、(010)き裂の先端(写真右端)から左に向かって多くの計30本の転位が生成されている．像解析の詳細は既報⁽⁷¹⁾に委ねるが、観察されたすべての転位の回り面、性格、符号を決定した．ここで特に重要なことは、遮蔽転位か反遮蔽かを決定する符号の解析であり、このため図5(b)に示すような転位像計算を行った⁽⁷³⁾．観察された転位はほぼラセン転位であるが、右巻ラセンか左巻かで、白黒のジグザグ像が左右逆転する．これにより符号を確定した．その結果、図5(a)中の1～15の番号を付した転位はすべて(0 $\bar{1}$ 1)面上の右巻ラセン転位、1～15は(011)面上の左巻ラセン転

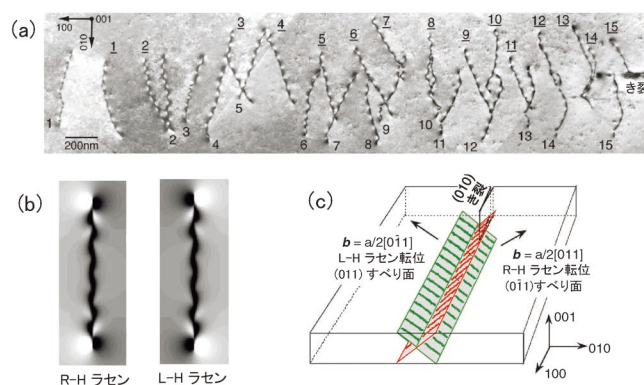


図5 (a) クラック先端近傍の転位分布のHVEM像⁽⁵⁾，(b) 符号の異なるラセン転位の計算像，(c) 転位分布の模式図．(オンラインカラー)

位と決定された．以上の解析結果を纏めた模式図を図5(c)に示す．そこでこの構造に関して、H. Gao の提案した転位遮蔽効果に関する3次元解析法⁽⁷⁴⁾を用いて、転位による局部応力拡大係数 k_D を評価した．その結果、観察された30本の転位の k_D の総和は純粋なモードI遮蔽となり、この転位構造がき裂先端近傍に圧縮場を生成するものであることが明らかとなった⁽⁷²⁾．以上、HVEMによる転位構造解析からも転位遮蔽効果の存在が証明された．なお当観察では加速電圧1000 kVのHVEMを用いたが、それでも試料膜厚は約1 μm 程度であり、そのためこの観察試料では平面応力状態となり、図3、4とは異なる、45°せん断型の塑性域が形成されたと考えられる(なお今日、エネルギーフィルターを完備したHVEMを用いれば10 μm 厚さのSi結晶の観察も可能である⁽⁷⁵⁾)．

5. 脆性-延性遷移と材料の強靱化に向けて

(1) 脆性-延性遷移

材料が脆性的か延性的かに影響を与える因子には、材料組織、環境など様々あるが、或る1つの因子に関して、その値が変化することで、その挙動が脆性から延性に移行することを脆性-延性遷移(Brittle-to-ductile transition: BDT)と呼ぶ．なかでも環境因子としての温度は、その代表的なものである．温度変化に伴うBDTは、転位のPeierls障壁が高い材料において一般的に見られるが、体心立方(BCC)構造を持つ金属材料でも、ラセン転位の芯構造に由来する高いPeierls障壁⁽⁷⁶⁾のため、低温脆化が起こる．周知のように鉄鋼材料を中心に、高強度を保ちながら靱性を如何に改善して行くかは、今日なお大きな課題である．以下では、破壊靱性に影響を及ぼす因子について幾分かの考察を加えると共に、これまで著者らの行って来た実用材料に関する幾つかの研究成果についても紹介したい．

(2) 破壊靱性を決定づける因子

破壊靱性は、4.(1)節式(3)に従えば、原子間結合性と転

位遮蔽効果の2つを基に考えることが出来る．そこで、この2つの事象がどのようなメカニズムで靱性に関わっているのか、項目別に検討してみたい．

(a) 原子間結合力の影響

原子間結合の強さの靱性への寄与を考えるにあたり、まず結合性だけから導かれる K_{IC} の値、すなわち Griffith Level を、式(3)の右辺第1項、 $2\{\gamma G/(1-\nu)\}^{1/2}$ から求めると、例えば鉄の場合、その値は大凡 $1 \text{ MPam}^{1/2}$ となる．鉄鋼材料は一般に数 $10 \text{ MPam}^{1/2}$ から $100 \text{ MPam}^{1/2}$ を超える靱性値を持っており、Griffith Level の値はそれに比べ桁違いに小さい．このことは前述の Orowan や Irwin による Griffith 理論の修正⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾を促したが、一方、単に γ_s を $(\gamma_s + \gamma_p)$ で置き換えるだけでは解決しない次のような問題が浮かび上がる．すなわち、上記 γ_s と γ_p の2つの項がそれぞれ独立で、靱性が両者の単純な和で表されるならば、結合性 γ_s の寄与は塑性仕事 γ_p のそれに比べ桁違いに小さいため、結合性の大小は靱性に殆ど影響しないはずである．しかし言うまでもなく、これまでの多くの研究が示すように、結合性は靱性を左右する極めて重要な因子の1つである．この一見矛盾する事実をどのように理解するか？ 結合性の靱性への寄与を明らかにするには、従来の理論が放置してきたこの素朴な問いに答える必要がある．

図6(a)は、外部からの負荷、すなわち外部応力拡大係数(applied K)を一定速度で①②③と増加させたときの、局部応力拡大係数(local k)の時間変化を模式的に示したものである．転位がき裂先端から次々生成されるとき、その遮蔽効果により local k はギザギザと急減を繰り返すが、全体としての増加速度は applied K のそれに比べ大きく低減され、図中①④⑤と漸増するに留まる．そして local k が前述の Griffith Level に達するとき原子間結合が切断され破壊が起きる．そこで図6(a)において2つの原子間結合の強さ、つまり Griffith Level として K_G^* と K_G^{**} を想定する．まず Griffith Level が K_G^* のとき、local k が図中の①から出発し Griffith Level の④に達したときき裂進展が起こる．このときの applied K は②となっており、これに対応する破壊靱性値は K_{IC}^* となる．次に、原子間結合が強化され、Griffith Level が K_G^* から K_G^{**} に増加すると、より多くの転位が生成される猶予が生ずるため遮蔽効果が増し、local k が Griffith Level の⑤に達するまで破壊は起きない．この間に applied K は③にまで増大し、その結果、破壊靱性値は K_{IC}^* から K_{IC}^{**} に大きく増加する．すなわち、原子間結合力の僅かな増加が、転位遮蔽効果によって大きく増幅され、破壊靱性に大きな影響を及ぼす．このように、結合性と破壊靱性との結び付きは、転位遮蔽効果を通して初めて理解できる．著者らは、極低炭素鋼への Mn 添加の効果を研究する中で、Mn 添加量を 2 mass% まで増やすと BDT 温度が上昇するという結果を得たが、その原因が Mn 添加に伴う結合強度の低下(この場合は粒界強度)にあることを示した⁽⁷⁷⁾⁽⁷⁸⁾．また上記の考えに基づいた離散型転位動力学シミュレーションにより、

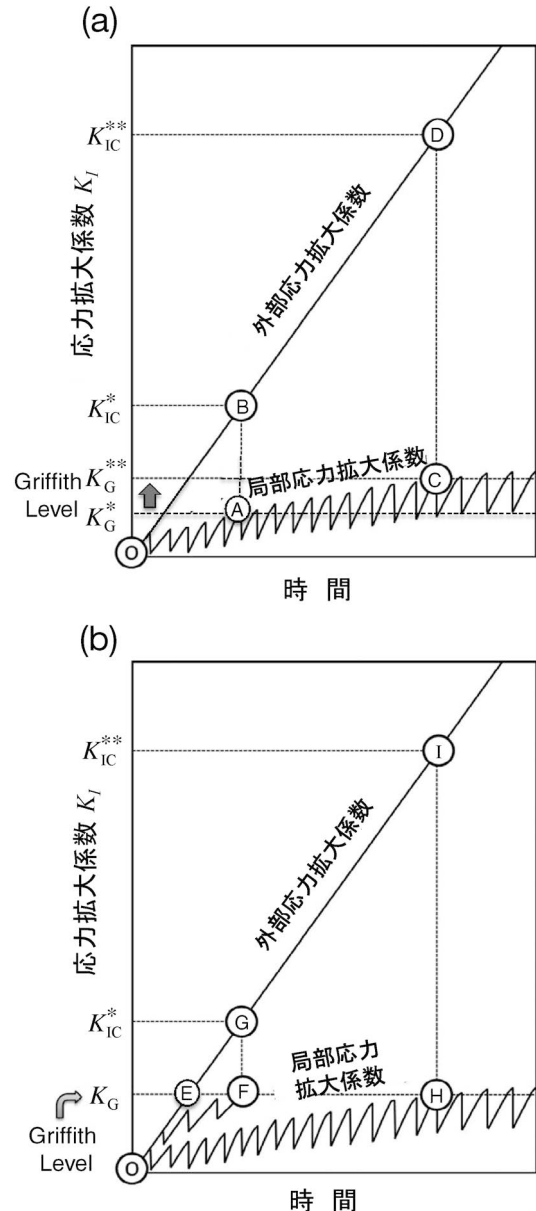


図6 外部応力拡大係数と局部応力拡大係数の時間変化の模式図．Griffith Level と転位移動度の破壊靱性値への影響：(a) Griffith Level の変化、(b) 転位移動度の変化．

結合強度の低下が BDT 温度を上昇させることも確認した．

(b) 応力緩和に及ぼす因子

〔転位移動度〕

St. John は1975年、Si をモデル結晶として用い、BDT が転位移動度により決定付けられることを示した⁽⁷⁹⁾．Si の BDT 温度の変形速度依存性から求められた BDT の活性化エネルギーと転位移動のそれとが良く一致したのである．その後、複数のグループが Si を用いて BDT の研究を始めたが^{(80)–(82)}、BDT の活性化エネルギーはいずれも上記 St. John の値⁽⁸⁰⁾と一致した．さらに、BDT と転位移動の活性化エネルギーの一致は Si だけでなく、パイエルズ障壁が高い他の材料にでも見出され⁽⁸³⁾、BDT を律速する素過程が転

位移動にあることが立証された。

それでは何故 BDT が転位移動度に決定付けられるか？
ここでも図 6(b) で示すように、転位遮蔽効果が重要な役割を果たしている。もし転位生成が全く無ければ、外部負荷がそのままクラック先端に集中する。このため local K は㉔から㉕まで Applied K と同様に増加し、Griffith Level K_G がそのまま破壊靱性値となる。一方温度が上昇し転位生成が始まると、㉔㉕のように遮蔽効果を通して local k の増加は抑制され、Griffith Level ㉕に達したときには Applied K は㉔まで増加する。さらに温度が上昇し転位速度が増せば、その運動距離の増加によって back stress が低減され、より多くの転位が生成される。その結果遮蔽効果も増大し、local k が Griffith Level ㉕に到達するまでに Applied K は㉔にまで達し、靱性値は大きく上昇する。以上のことを踏まえ、著者らは、Si 結晶の BDT 温度へのボロン(B)とアンチモン(Sb)の添加効果を測定した。その結果 B の影響は殆ど無いのに対し、Sb 添加では BDT 温度は低下することを見出した⁽⁸⁴⁾。その原因を究明するため転位移動の活性化エネルギーを測定したところ、Sb 添加でのみ活性化エネルギーが低下した。すなわち Sb 添加による転位移動度の増加が BDT 温度の低下を引き起こしているのではないかと考えられる。またその BDT 曲線の転位動力学シミュレーションによって⁽⁸⁵⁾、転位移動度の増大や Applied K 負荷速度の低減により BDT 温度が低下することも再現された。さらに、良く知られる鋼の低温靱性改善に有効な Ni 添加の効果に着目し、極低炭素鋼を用いて Ni 濃度の増加に伴う転位移動の活性化エネルギーの変化を測定した。そしてここでも Ni 濃度増加に伴う活性化エネルギーの低下が見出され、BDT 温度低下の原因が転位移動度増加にあることが示唆された⁽⁸⁶⁾。

【結晶粒径】

結晶粒微細化は高強度化と低温靱性の改善とを両立させる手法として良く知られている。著者らは ARB (Accumulative Roll Bonding) 処理で粒径をサブ μm に微細化した低炭素鋼を用いて 77 K での靱性試験を行い、通常材 (粒径 0.8 mm) に比べ低温靱性が大きく改善されることを明らかにした⁽⁸⁷⁾。そしてその原因として粒界を転位源と見做すことが有効であることを示した。すなわち粒微細化により転位源密度が増加すれば、き裂先端を遮蔽するのに必要な転位移動距離は小さくて済むため、温度低下で転位移動度が低下しても遮蔽効果は維持出来ると考えられるからである。転位源間隔の減少による BDT 温度の低下はシミュレーションでも確認された⁽⁸⁷⁾。さらに分子動力学法によるシミュレーションでも、粒界が転位源になることで靱性が向上することが明らかになった⁽⁸⁸⁾。また新たな軽量高強度材料として近年注目されている LPSO 型 Mg 合金^{(89)–(91)}において、急冷凝固により結晶粒を微細化すると、高強度に加え優れた靱性も持つことが見出されており⁽⁹²⁾、結晶粒微細化は今後の新材料開発分野でも重要な役割を果たすものと考えられる。

【塑性変形の自由度】

図 7 (a) (b) は NaCl 結晶を用いた結果⁽⁶⁸⁾で、(a)破壊靱性

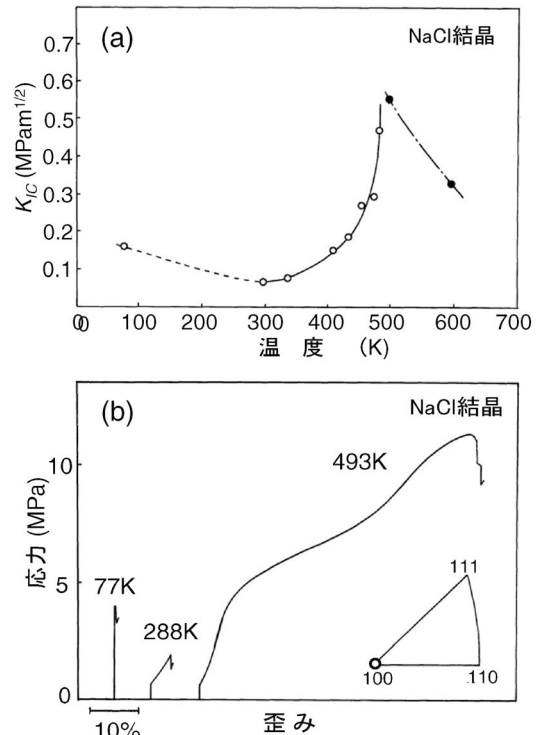


図 7 岩塩結晶における (a) 破壊靱性値 (K_{IC}) の温度依存性、(b) 応力-歪み曲線の温度依存性⁽⁶⁸⁾。

の温度依存性、(b) 応力-歪み (S-S) 曲線の温度依存性を示している。NaCl 結晶は充分な可塑性と著しいへき開性という相反する性質を同時に持っているが、室温では後者が前者に勝り、塑性変形はするが靱性値は全く増加しない。しかし 400 K 付近から靱性値は急激に上昇し始め明確な BDT を示す (図 7(a))。また図 7(b) に示すように、493 K ではそのへき開性を完全に克服して大きな延性と加工硬化を示し、最終的にナイフエッジでネッキングするまでに至る。このようなへき開性と可塑性の顕著な逆転は何故起こるのか？ その原因は独立な迂り系の数にある。NaCl 結晶の室温での迂り系は $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 系に限定されるが、400 K 付近から $\{001\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 系の活動も加わる。 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 系の独立な迂り系の数は 2 であるが、それに $\{001\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 系が加わると von Mises の条件 (任意の変形には 5 つ以上の独立な迂り系が必要) を満足する。すなわち、図 4(b) で観察された NaCl 結晶中の強力な転位遮蔽場は、単に強いというだけでなく、不均質な変形で生ずる多様な応力集中成分を緩和出来る柔軟な対応性を持つものと言える。セラミックス材料など、塑性変形機構に制約が多い場合、独立な迂り系の数に代表される変形の自由度の確保も重要となる。

なお、鉄鋼材料に代表される実用材料では結合性と塑性緩和の効果がいずれも寄与することも多く⁽⁹³⁾、また塑性緩和機構として近年、 β 型 Ti 合金において変態誘起塑性の効果も見出されている⁽⁹⁴⁾。詳細は文献を参照されたい。

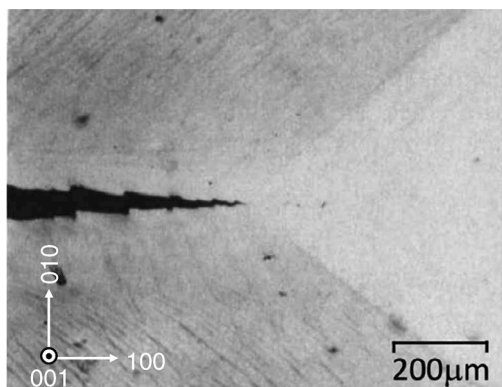


図8 水素チャージ下でのFe-Si単結晶でのクラック進展の様相。

(3) 水素脆化について

材料の強靱化を考えると、水素脆化は大きな課題である。周知のように、これまで多くの学説が提案されているが⁽⁹⁵⁾、ここでは、水素脆化と低温脆性とを隔てる相違・着目点として、「塑性変形と脆性的き裂進展の同時発生」を挙げたい。著者らはFe-Si合金結晶を用いて、き裂進展に及ぼす水素の影響を観察した⁽⁹⁶⁾⁽⁹⁷⁾。その特徴は、き裂進展中その先端は極めて鋭利であるにも拘らず、その進展速度は非常に遅く、且つ周囲に多くの塑性変形を伴っていることである。図8はその観察結果の一例で、{001}き裂の先端は極めて鋭利である一方、その周辺に多くの{110}面に沿う迂り帯が観察され、き裂進展中もその先端から迂りが継続的に活動したことが分かる。低温脆化は、転位移動度低下により、き裂先端局部応力集中を、緩和出来なくなった結果起こるといふ理論的にも明快な現象である。それに対し水素環境下では、塑性変形がこれほど起きているにも拘らず、何故鋭利なき裂進展が可能なのか？ 独立な迂り系の数は保証されているにも拘らず、何故延性と脆化が同居出来るのか？ この問いに答えることが、水素脆化機構解明の1つの鍵になるように思われる。現状、その解を示すことは著者には出来ないが、これまでの議論に基づけば、水素添加に伴う結合性の低下、そして転位遮蔽効果の低下が考えられよう。本稿で述べてきた転位遮蔽効果に着目するならば、転位への水素集合に伴う転位の内部応力場の減衰といった見地からの議論も可能かもしれない。なお最近、水素添加に伴いむしろ延性が増すという結果も示されており⁽⁹⁸⁾、力学的性質に対する水素のポジティブな寄与も期待される。今後材料科学と固体力学とが協調して挑むべき課題と考える。

6. おわりに

A. H. Cottrellによる名著“Dislocations and Plastic Flow in Crystals”⁽⁹⁹⁾の序文冒頭の言葉、“When a large force is applied to a crystal two things may happen: the atoms in the crystal may slide past one another; and they may pull apart.”の通り、結晶性材料の力学的挙動は塑性変形と破断の問題に

帰せられる。本稿では、まず塑性変形と破壊に関する研究の歴史、そして転位とクラックの関わりについて小論を紹介させて頂いた。そのなかで、破壊靱性に果たす塑性変形の役割を改めて考えるとき、それなりの普遍性を持った理が浮かび上がって来るように思われる。

強い材料とするためには、まずは外部負荷に対する高い耐力を具備しておくことは勿論大切である。しかし材料は必ず不均質で、き裂や欠陥の存在はむしろ当然のことである。そしてそこに集中する「ストレス」は、理想強度など直ちに凌駕してしまう。そのような状況のもとでは、耐力に代わって、集中するストレスの緩和能力がより肝要となる。その要点はひとえに、容赦無く集中しようとするストレスを材料の中で広く分かち合い、支え合うことにある。換言すれば、ストレス緩和とは決して外部負荷から逃れることではなく、分散させることにある。壊れにくい「タフ」な材料の真髄はまさにこのストレス分散能力すなわち、互いに協力してストレスに立ち向かうその姿勢にこそあると言えよう。そしてストレス集中に対するこのような材料の振る舞いは、「タフな心の持ちようとは?」「人間社会の強さや脆さとは?」というもう1つの問いかけへの答えにも相通ずる所が有るのではなかろうか。

このたびの学会賞受賞は、著者にとって真に身に余る光栄である。本稿を終えるに当たり、これまでの教育研究生活を顧みて、すべてのことにわたりご指導を賜った恩師故高村仁一先生、故成田舒孝先生に深い謝意を表する。また暖かく見守りご指導下さった小野寺龍太先生に深く感謝する。故三浦精先生、吉永日出男先生には、ここに至るための唯一無二の機会を与えて頂いたことに深謝する。美浦康宏先生、故森勉先生はじめ多くの先生方、先輩、知友からのご支援に感謝の念を禁じ得ない。さらに、田中將己教授を初め研究室を支えて貰ったスタッフならびに今や社会の第一線で活躍する当時の学生諸君との自由闊達な議論が今更ながら尊く思われる。プロジェクトや共同研究に参画させて頂くことで、力不足ではあったが実用材料に目を向ける機会を下さった大学・企業の皆様にも深く感謝申し上げる。今後将来に渡り厳然として社会の基盤たる金属や様々な材料の研究に従事する会員諸賢の一層のご鑽鑽と、本学会の隆盛を祈念して謝辞とする。

文 献

- (1) R. Thomson: Physics of Fracture, F. Seitz and D. Turnbull (Eds.), Solid State Physics, **39**, Academic Press, INC., (1986), 1-129.
- (2) 成田舒孝, 東田賢二: 日本金属学会会報, **27**(1988), 615-622.
- (3) K. Higashida, N. Narita, K. Matsunaga and R. Onodera: Phys. Stat. Sol. (a), **149**(1995), 429-443.
- (4) K. Higashida, M. Tanaka, A. Hartmaier and Y. Hoshino: Mater. Sci. Eng. A, **483-484**(2008), 13-18.
- (5) 東田賢二, 成田舒孝: まてりあ, **37**(1998), 991.
- (6) 東田賢二: まてりあ, **39**(2000), 990.
- (7) K. Higashida, N. Narita, S. Asano and R. Onodera: Mater. Sci.

- Eng. A, **285**(2000), 111–121.
- (8) K. Higashida, N. Narita, M. Tanaka, T. Morikawa, Y. Miura and R. Onodera: *Phil. Mag.*, **82**(2002), 3263–3273.
 - (9) 東田賢二, 大橋鉄也: 日本金属学会誌, **88**(2024), 91–105.
 - (10) 東田賢二, 金子賢治, 波多 聡, 田中將己: 熱処理, **64**(2024), 78–84.
 - (11) E. Schmid and W. Boas: *Plasticity of crystals*, F. A. Hughes & Co. Limited, London, (1950) (原典: *Kristallplastizität*, Springer, Berlin (1935)).
 - (12) E. Reusch: *Ann. Phys.*, **132**(1867), 441–451.
 - (13) T. Tóth, H.-P. Rossmanith and T. A. Siewert: *European Structural Integrity Society*, **30**(2002), 3–19.
 - (14) G. Charpy: *Note sur L'essai des métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés*, Soc. Ing. Civ. de Français, (1901), 848–877.
 - (15) B. Hopkinson: *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*, **213**(1914), 437–456.
 - (16) <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1914/summary/>
 - (17) <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1915/summary/>
 - (18) G. I. Taylor: *Proc. Roy. Soc. A*, **145**(1934), 362–387.
 - (19) E. Orowan: *Z. Phys.*, **89**(1934), 634–659.
 - (20) M. Polanyi: *Z. Phys.*, **89**(1934), 660–664.
 - (21) K. Yamaguchi: *Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res.*, **11**(1929), 223–241.
 - (22) 山口桂次: 理化学研究所彙報, 第9輯第4號(1930), 260–286.
 - (23) V. Volterra: *Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure, Série 3*, **24**(1907), 401–517.
 - (24) A. A. Griffith: *Phil. Trans. Roy. Soc. London Ser. A*, **221**(1921), 163–198.
 - (25) G. K. Batchelor: *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, **22**(1976), 565–633.
 - (26) G. I. Taylor: “Note on the Early Stages of Dislocation Theory” in *The Sorby Centennial Symposium on the History of Metallurgy* (1965), ed. C. S. Smith, 355–358.
 - (27) F. R. N. Nabarro and A. S. Argon: *Egon Orowan, Biographical Memories*, **70**(1996), 261–318.
 - (28) M. Polanyi: “My Time with X-Rays and Crystals” in *Fifty Years of X-Ray Diffraction* (1962), ed. P. P. Ewald, 629–636.
 - (29) 大塚明郎: 創発の暗黙知: マイケル・ポランニーその哲学と科学, 青玄社(1987).
 - (30) 鉛市太郎, 西村秀雄他: 軽金属時代, **120**(1941), 15–34.
 - (31) 三谷裕康: 日本金属学会会報, **30**(1991), 839–845.
 - (32) J. P. Hirth: *Metal. Trans. A*, **16A**(1985), 2085–2090.
 - (33) C. Inglis: *Trans. Inst. Naval Archit.*, **55**(1913), 219–224.
 - (34) I. N. Sneddon: *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, **187**(1009), 229–260.
 - (35) A. A. Griffith and G. I. Taylor: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, **93**(1917), 755–809.
 - (36) 西村秀雄, 高村仁一: 電子顕微鏡, **1**(1950), 42–47.
 - (37) 寿時富彌: 日本金属学会誌, **1**(1937), A463–A467.
 - (38) 谷安 正: 可塑性論, 岩波講座 物理學, (1939).
 - (39) 村川 梨: 日本数学物理学会誌, **15**(1941), 96–118.
 - (40) G. R. Irwin: *Fracture Dynamics, Fracturing of Metals*, ASM, Cleveland (1948), 152–166.
 - (41) E. Orowan: *Trans. Inst. Eng. Shipbuilders, Scotland*, **89**(1945), 165–215.
 - (42) G. R. Irwin: *J. Appl. Mech.*, **24**(1957), 361–364.
 - (43) G. R. Irwin: *Fracture, Elasticity and Plasticity*, Springer, Berlin (1958), 551–590.
 - (44) R. Thomson: “Some Microscopic and Atomistic Aspects of Fracture”, *The Mechanics of Fracture*, Ed. F. Erdogan, ASME Winter Annual Meeting, (1976), 1–21.
 - (45) R. Thomson: *J. Mater. Sci.*, **13**(1978), 128.
 - (46) J. Weertman: *Acta Metall.*, **26**(1978), 1731–1788.
 - (47) M. J. Turner R. W. Clough, H. C. Martin and L. J. Topp: *J. aeronautical sciences*, **23-9**(1956), 805–823.
 - (48) B. J. Alder and T. E. Wainwright: *J. Chem. Phys.*, **27**(1957), 1208–1209.
 - (49) V. Bulatov, F. Abraham, L. Kubin, B. Devincere and S. Yip: *Nature*, **391**(1998), 669–672.
 - (50) 松谷茂樹: 現代数学, **675**(2023), 86–87.
 - (51) B. S. Majumdar and S. J. Burns: *Acta Metall.*, **29**(1981), 579–588.
 - (52) R. Thomson and J. Sinclair: *Acta Metall.*, **30**(1982), 1325–1334.
 - (53) J. Weertman, I.-H. Lin and R. Thomson: *Acta Metall.*, **31**(1983), 473–481.
 - (54) I. Traube: *Zeitschrift für anorganische Chemie*: **34**(1) (1903), 413–426.
 - (55) M. Polanyi: *Z. Phys.*, **7**(1921), 323–327.
 - (56) F. Zwicky: *Z. Phys.*, **24**(1923), 131–137.
 - (57) J. Frenkel: *Z. Phys.*, **37**(1926), 572–609.
 - (58) J. P. Hirth and J. Lothe: *Theory of Dislocations* (**2nd ed.**), Wiley, New York, (1982), 6.
 - (59) R. E. Peierls: *Proc. Phys. Soc.*, **52**(1940), 34–37.
 - (60) E. Bitzek, J. Kermode and P. Gumbsch: *Int J Fract.*, **191**(2015), 13–30.
 - (61) J. M. Burgers: *Proc. R. Neth. Acad. Sci.*, **42**(1939), 293–325, 378–399.
 - (62) J. M. Burgers: *Proc. Phys. Soc.*, **52**(1940), 23–33.
 - (63) M. Peach and J. S. Koehler: *Phys. Rev.*, **80**(1950), 436–439.
 - (64) J. W. Hutchinson: *Acta Metall.*, **35**(1987), 1605–1619.
 - (65) 岸 輝雄: まてりあ, **42**(2003), 356–361.
 - (66) J. Weertman: *Dislocation Based Fracture Mechanics*, World Scientific Pub, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, (1996).
 - (67) 村上裕則, 大南正英共編: 破壊力学入門, オーム社, (1979), 41.
 - (68) N. Narita, K. Higashida, T. Torii and S. Miyaki: *Mater. Trans. JIM*, **30**(1989), 895–907.
 - (69) K. Higashida and N. Narita: *JJAP, Ser.2*, (1990), 39–43.
 - (70) K. Higashida and N. Narita: *Mater. Trans.*, **42**(2001), 33–40.
 - (71) K. Higashida, N. Narita, R. Onodera, S. Minato and S. Okazaki: *Mater. Sci. Eng. A*, **237**(1997), 72–78.
 - (72) K. Higashida, S. Okazaki, T. Takahashi, N. Narita, T. Morikawa and R. Onodera: *Mater. Sci. Eng.*, **234-236**(1997), 537–540.
 - (73) K. Higashida, S. Okazaki, T. Morikawa and R. Onodera: *Mater. Trans. JIM*, **39**(1998), 967–974.
 - (74) H. Gao: *J. Mech. Phys. Solids*, **9**(1991), 157–172.
 - (75) S. Sadamatsu, M. Tanaka, K. Higashida and S. Matsumura: *Ultramicroscopy*, **162**(2016), 10–16.
 - (76) 鈴木秀次: 格子欠陥と金属の機械的性質, 日本金属学会編, 丸善, (1967), 7 章, 163–174.
 - (77) 田中將己, 前野圭輝, 吉村信幸, 星野 学, 植森龍治, 潮田浩作, 東田賢二: 鉄と鋼, **100**(2014), 1267–1273.
 - (78) M. Tanaka, K. Matsuo, N. Yoshimura, G. Shigesato, M. Hoshino, K. Ushioda and K. Higashida: *Mater. Sci. Eng.*, **A682**(2017), 370–375.
 - (79) C. St. John: *Philos. Mag.*, **32**(1975), 1193–1212.
 - (80) M. Brede and P. Haasen: *Acta Met.*, **36**(1988), 2003–2018.
 - (81) A. George and G. Michot: *Mater. Sci. Eng.*, **A164**(1993), 118–134.
 - (82) B. Hirsch and S. G. Roberts: *Philos. Trans. R. Soc. London*, **A355**(1997), 1991–2002.
 - (83) 田中將己, 定松 直, 東田賢二: まてりあ, **56**(2017), 597–603.
 - (84) M. Tanaka, K. Maeno and K. Higashida: *Mater. Trans.*, **51**(2010), 1206.
 - (85) K. Higashida and M. Tanaka: *ISIJ Int.*, **52**(2012), 704–709.
 - (86) 前野圭輝, 田中將己, 吉村信幸, 白幡浩幸, 潮田浩作, 東田賢二: 鉄と鋼, **98**(2012), 667–674.
 - (87) M. Tanaka, N. Fujimoto and K. Higashida: *Mater. Trans.*, **49**(2008), 58–63.
 - (88) T. Shimokawa, M. Tanaka, K. Kinoshita and K. Higashida: *Phys. Rev. B – Condensed Matter and Materials Physics*, **83**

- Noguchi: Scripta Mater., **64**(2011), 537–540.
- (98) Y. Ogawa, M. Tanaka, T. Fujita and A. Shibata: Int. J. Hydrog. Energy, **74**(2024), 170–182.
- (99) A. H. Cottrell: Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Oxford, At the Clarendon Press, (1953). Preface.



東田賢二

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1980年 京都大学大学院工学研究科博士課程単位修得退学

1982年 京都大学工学部助手

1992年 九州大学工学部助教授

2007年 九州大学工学研究院教授

2016年 佐世保工業高等専門学校校長(2018年高専機構理事兼任)

2021年 九州大学鉄鋼リサーチセンター特任教授

2023年 3月 同上退職-現在に至る
専門分野：結晶性材料の力学的性質
◎強度と靱性の研究をさらに続けて行きたいと思ひます。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



異方性材料デザインにより材料を主役に*

～耐熱性金属間化合物から、骨組織、金属3Dプリンティングによる生体材料まで～

中 野 貴 由**

1. はじめに

筆者は異方性/等方性という観点から、これまで結晶性材料を中心に材料科学・材料工学研究を進めてきた⁽¹⁾。完全等方性を示す材料はほとんどないことから、それぞれ低対称性/高対称性と表現したほうが適切かもしれない。

材料の多くは、多結晶体に代表されるように等方的な材質が好まれ、形状設計により部材に特性を与えるのが一般的である。ミクロな立場から塑性変形を考えた場合でも、結晶粒界を通じて均一なひずみの伝播が可能になるように、結晶対称性の高い結晶構造が好まれる。その結果として、Fe, Al, Cuといった立方晶系を結晶系にもつ比較的シンプルな原子配列を示すものが社会基盤材料として多用されている。これは、加工による任意の形状付与を容易とする、すなわち、結晶対称性の高さゆえ、5つ以上の独立したすべり系をもち von Mises の条件を満足しやすいためであることは自明である⁽²⁾⁽³⁾。

しかしながら、大きな安全係数を見込みつつ、いずれの方位にも均一な特性を発揮するように材料開発を進めることは、材料研究者にとって最善の策であるかどうかをこれまで常に自問自答してきた。材質は常に等方性を前提とし、形状設計で部材を最適機能化、時として異方性を与えるという現状の製品設計法は、形状設計者があくまでも主役であり、材料研究者、そして材料そのものはあくまでも陰の功労者にしかならない。

一方で、自然界の創成物に目を向けると、骨に代表される生体組織や植物などは極めて理にかなった異方性階層構造と、その結果としての異方性機能を発揮するように構成されている場合⁽⁴⁾がほとんどである(図1)。約38億年前に地球上に生命が誕生し、進化や多様化を経た結果⁽⁵⁾、自然界の創成物は、異方性の形状とともに異方性の材質を勝ち取っている。少なくとも筆者が知る限り、我々の生体組織の中には全ての階層で等方性をもつ部位は存在しない。すなわち異方性材質の積極的活用が自然界の創成物における機能設計のスタンダードであり、自然界では材料、そして材料の異方性が主役である。

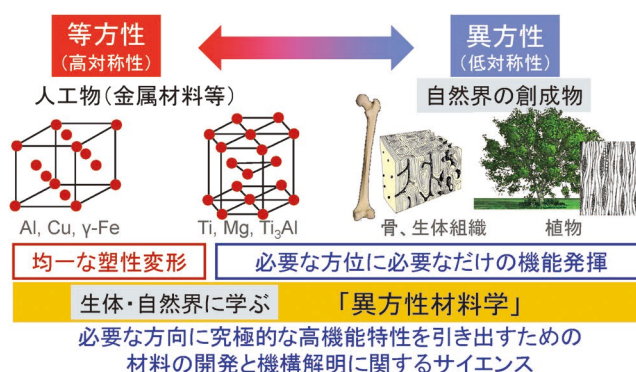


図1 等方性を示す人工物と、極めて異方的な材質・形状とそれらに由来する卓越した機能性を示す自然界の創成物との対比。

* 2025年3月8日、日本金属学会第176回春期講演大会にて講演。

** 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，大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM研究開発センター；センター長(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

Anisotropic Materials Design —From Heat-resistant Intermetallic Compounds to Bone Tissue Microstructure and Biomaterials via Metal 3DP—; Takayoshi Nakano (Division of Materials and Manufacturing Science & Anisotropic Design and Additive Manufacturing Research Center, Graduate School of Engineering, The University of Osaka, Suita)

Keywords: *anisotropy, heat resistant materials, intermetallics, bone microstructure, preferential alignment of collagen and apatite, additive manufacturing (AM), powder bed fusion (PBF), biomaterials, morphology and microstructure, bone medical device, dental implant, spine spacer*

2025年1月14日受理[doi:10.2320/materia.64.317]

材料の異方性は特定の方向に究極の最適な機能を発揮するために活用されるべきであると、筆者は考えている。人工物においても、非常に過酷な環境下や高機能性を発揮しなければならない場合には材料の異方性は欠かせない。

本稿では、材料の異方性/等方性という観点から、材料を主役にするための異方性材料デザインについて紹介したい。とりわけ異方性材料という統一的視点から、筆者らがこれまでに進めてきた研究を中心に、耐熱性金属間化合物であるTiAlの研究から、骨基質配向性組織研究、さらには金属3DP(3Dプリンティング、AM(Additive Manufacturing))による形状と組織・結晶配向性の人為的同時制御と新規生体材料の開発、さらには骨医療デバイスの臨床応用に至った経緯について言及する。こうした異方性材料デザインが、筆者がこれまでに推進してきた材料の異方性に着眼した材料研究である『異方性材料学』、すなわち、必要な方向に究極的な高機能性を引き出すための材料の開発と機構解明に関するサイエンス(図1)の基盤上に成り立つことをご理解頂ければ幸いである。

2. 耐熱性金属間化合物における異方性の重要性

筆者の材料研究は、耐熱性金属間化合物の塑性挙動、とりわけTi-rich TiAl(γ/α_2)層状TiAlの変形機構の解明に始まる。この新材料⁽⁶⁾は1990年代に日本がその基礎・応用研究を先導し、研究開発が続けられていた⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。筆者は結晶塑性学や結晶学に基づき、この材料のもつ特徴的な層状組織の変形機構に注目し研究を進めた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

図2に示すように、層状TiAlは比較的対称性の高い原子配列を示すL1₀型構造をもつ γ (TiAl)相と異方性の強い六方晶系DO₁₉型構造をもつ α_2 (Ti₃Al)相から構成される。強度と延性のバランスが取れた層状TiAlでは、 γ 相は90 vol%とその体積の大部分を占めるため、塑性挙動の研究はこの γ 相内で活動する、1/2<110>普通転位、<101>超格子転位、1/6<112>変形双晶に注目して推進されていた。層状組織を一方方向に制御したTiAl結晶では、層界面に平行にすべり変

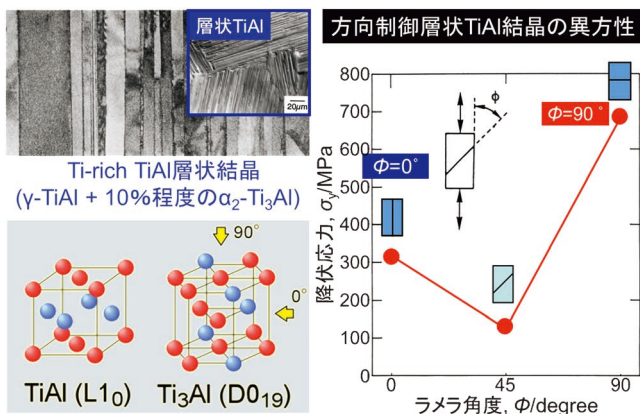


図2 L1₀型構造をもつ γ 相と六方晶系DO₁₉型構造をもつ α_2 相から構成される層状TiAlと降伏応力の方位依存性。文献⁽¹⁰⁾より引用。

形が進行する $\Phi=45^\circ$ 付近にて、脆性材料とされる金属間化合物であっても、実に低い降伏応力にて10%を大きく超える伸びが示されることが見出されている⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

一方、層界面に対して荷重軸を平行($\Phi=0^\circ$)もしくは垂直($\Phi=90^\circ$)とし、塑性変形が層界面を横切る場合には、高い降伏応力を示すが、その応力値は、 $\Phi=90^\circ$ にて $\Phi=0^\circ$ の約2倍を示し(図2右)、この現象を対称性の高い γ 相内の塑性挙動では説明することができなかった⁽⁷⁾⁻⁽¹¹⁾。そこで僅か10 vol%程度含まれる異方性 α_2 相に注目したところ、図3に示すように、荷重軸は $\Phi=0^\circ$ と $\Phi=90^\circ$ にて、それぞれ α_2 相の c 軸に垂直と平行になることから活動可能なすべり系は、それぞれ、 $\{10\bar{1}0\}<\bar{1}210>_{\alpha_2}$ 柱面すべり系と $\{11\bar{2}1\}<11\bar{2}\bar{6}>_{\alpha_2}$ 錘面すべり系となり、結晶方位異方性の影響を強く受ける可能性を見出した⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾。実際に α_2 相を単独で取り出し単結晶化したTi₃Al結晶では、図4に示すように、A($\Phi=90^\circ$)、B、C、D($\Phi=0^\circ$)方位から荷重負荷した場合には、降伏応力の大きな結晶方位異方性と温度依存性を示す⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。A($\Phi=90^\circ$)とD($\Phi=0^\circ$)を比較すると、室温にて前者は後者の9倍程度の降伏応力を示すことから、Ti-rich TiAl(γ/α_2)層状TiAlの $\Phi=90^\circ$ と $\Phi=0^\circ$ との結晶方位依存性は、僅かに存在する異方性 α_2 相に由来する。

すなわち、既にBoeing787でタービンプレードとして実用化されたTi-rich TiAl結晶に含まれる層状TiAlは、まさに異方性 α_2 相によって強化されていることを意味する。さらに高温でも異方性 α_2 相が高強度化に寄与⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾するとともに、破壊特性⁽¹⁷⁾や疲労特性⁽¹⁸⁾⁻⁽²³⁾に対してもその異方性を発揮する。加えて、Al-rich TiAl結晶における主すべり系の遷移や脆化は、 γ 相内の(002)Ti層に形成されるAl₅Ti₃、Al₃Ti₂、Al₂Tiといった長周期規則相もしくはその短・中範

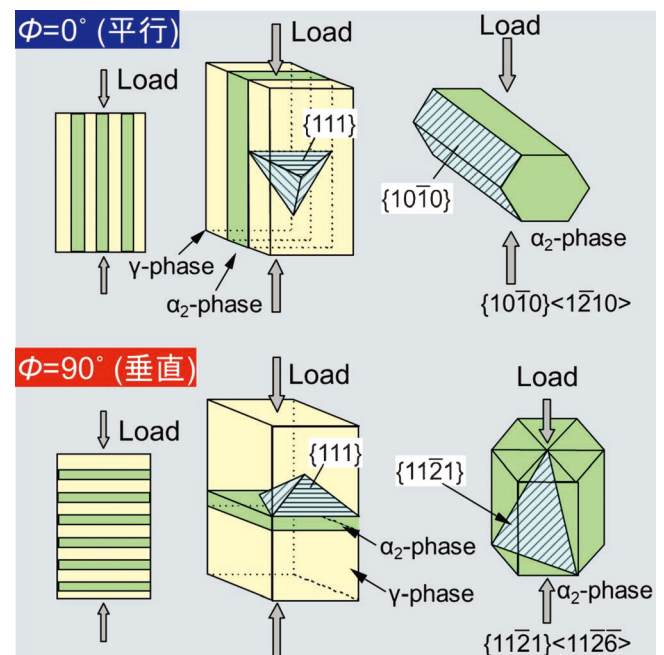


図3 層状TiAlにおいて層界面に対して荷重軸を平行($\Phi=0^\circ$)もしくは垂直($\Phi=90^\circ$)としたときの α_2 相内でのすべり系の模式図。文献⁽¹³⁾より引用。

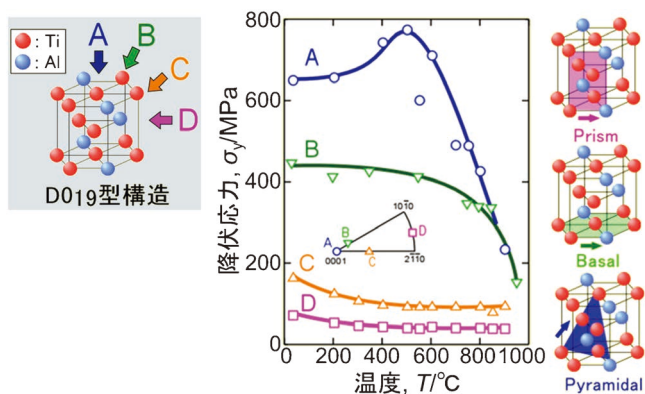


図4 Ti₃Al 結晶 (α_2) 相における降伏応力の結晶方位異方性と温度依存性. 文献(14)より引用.

囲規則相の存在による異方性発現に起因することが判明している (24)–(34).

こうした異方性塑性挙動の発現は、結晶構造の対称性、構造安定性、組織形態などに着目した「異方性機能制御」の重要性を強く示唆している. こうした成果に基づき、各種 Ni 基化合物 (35)–(41)、さらには 1400°C 以上のより高温での使用に耐え得る (C11_b/C40) 複相異方性シリサイド合金の開発 (32)–(53)、六方晶系 C40 型シリサイドでの異常強化現象の発見と発現メカニズムの解明、制御法の理解 (54)–(57) 等、数々の耐熱性構造材料の研究・開発において、原子配列・結晶構造における異方性材料デザインの重要性を強く認識するに至った.

3. 自然界の創成物としての生体骨基質異方性

異方性材料デザインにヒントを得て、人工物から自然界の創成物に視点を移し、 α_2 相と類似の六方晶系の結晶系をもつ、生体骨組織中のアパタイト結晶ならびにそのテンプレートとしてのタイプ I コラーゲン (以降、コラーゲン) の走行に注目した. 筆者らは材料科学的手法を駆使することで、生体骨内には解剖学的部位に依存したコラーゲン/アパタイト結晶からなる骨基質の異方性が存在し、それが生体骨の力学機能、生物・化学的機能に重要な役割を果たすことを明らかにしてきた. 長年の進化・多様化の中で獲得された骨組織においても異方性材料デザインは極めて重要である (4) (58)–(63).

(1) 生体骨部位に依存したアパタイト配向性

生体骨基質の主要成分であるコラーゲンとアパタイト結晶は、コラーゲン走行に対して、六方晶系のアパタイト結晶子の c 軸がほぼ平行に配列することが知られている (64)–(67). さらに骨のコラーゲン/アパタイト配向化構造は、解剖学的部位に応じた *in vivo* での 3 次元応力分布、とりわけ主応力ベクトル群により大きく異なる.

図 5 に示すように、生体骨は部位に応じたユニークなアパタイト c 軸配向性を示すこと、すなわち異方性材質を保有・維持することを見出している (68) (69). その重要な知見として

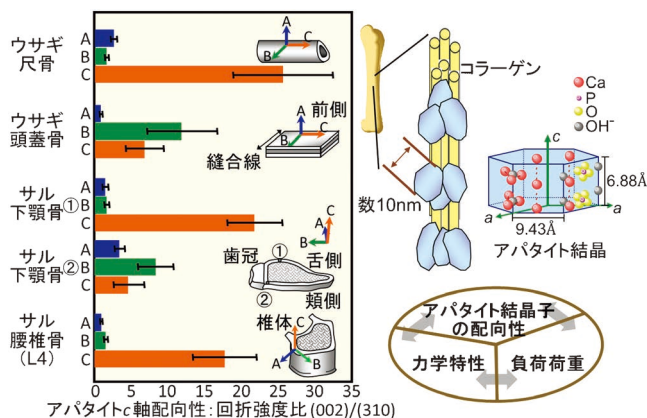


図5 皮質骨における特異なアパタイト結晶 c 軸配向性の解剖学的部位依存性. 文献(68)より引用.

は、(1) 尺骨、下顎骨、腰椎骨は、それぞれ、骨軸方向、近遠心方向、頭尾軸方向に沿った 1 軸配向性を示すこと、(2) 頭蓋骨は、骨面に沿った 2 次元配向性を示し、骨成長にも支配されること、(3) 咀嚼荷重の負荷される歯冠直下の下顎骨部での配向性は、咀嚼にともなう局所応力分布を反映し、局所的に変化すること、(4) 海綿骨は、骨代謝回転に応じて骨梁に沿ったパケットと関連し、 c 軸配向化が達成されること、などが挙げられる. つまり正常な皮質骨や海綿骨では、*in vivo* (生体内) 応力に適応したコラーゲン/アパタイト優先配向性を示し、局所的な力学機能の必要性に応じた骨微細構造を構築する. 特に、最大主応力ベクトルがその配向化を強く支配することから、配向性は応力成分の影響を強く反映する“骨質 (Bone Quality) 指標”となる. ここで“骨質”とは、骨密度以外の骨強度を決定する因子として、NIH (米国国立衛生研究所) により定義されたものである (70).

(2) アパタイト配向性を指標とした異方性骨基質再生過程の解明

アパタイト配向性解析は、再生骨の機能評価法としても有効な手段である (71)–(74). 図 6 に示すように (74)、骨形成タンパク rBMP-2 (recombinant Bone Morphogenetic Protein-2) を徐放した最先端の再生医療による長管骨の大欠損部再生過程において、アパタイト配向性を指標とすることで初めて、(1) 骨配向性指標は骨密度の再生に大きく遅れるため、骨密度指標では代替することはできない、(2) 骨力学機能 (例えばヤング率) は、骨密度よりも、骨基質配向性との間で強い相関を示す、などが理解できる. この場合、力学機能はおおよそ 7 割がアパタイト配向性で決定されることから、骨代謝回転速度の影響を強く受けない新生骨形成過程にて、アパタイト配向性の重要性は特に大きい.

以上より、“*in vivo* 応力分布 ⇔ アパタイト配向化 ⇔ 骨力学機能の異方化”という関係が成り立つ. すなわち、応力分布を感知する役割をもつメカノセンサー細胞としてのオステオサイト (OCY: Osteocyte) が、骨基質異方性の制御に不可欠であることを意味する (4) (75)–(77). ただし骨再生初期では周囲の骨基質が未熟であるため、OCY による 3 次元応力分布

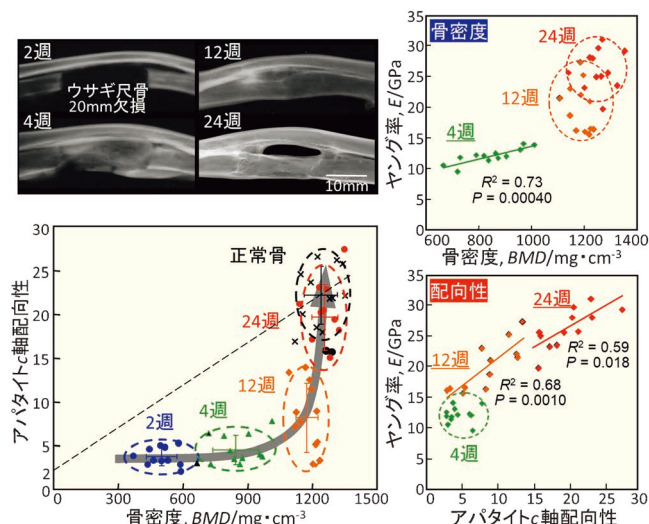


図6 ウサギ尺骨大欠損(20 mm 欠損)でのrBMP-2を担持した分解性ゼラチンハイドロゲル足場の導入による骨再生におけるレントゲン像と骨密度、骨配向性の変化過程およびヤング率の相関. 文献(74)より引用.

の感知ができず、正常な骨配向性の形成を促すことができない。そのため、高度な骨再生医療を用いて高速に欠損部に骨充填しても、再生骨の機能性は回復せず、骨再生医療の限界が見える。この克服には、5.(2)節で述べる無荷重下で異方性骨基質を誘導可能な人為的な骨医療デバイスが必要となる⁽⁷⁸⁾。さらに再生医療に不可欠なツールとなった幹細胞治療の観点からも、筆者らのグループでは、iPS細胞(induced pluripotent stem cells)を起点に人工的に分化誘導した骨芽細胞(OB: Osteoblast)には、生体内分化OBと同様に配向性骨基質産生能が備わっていることを証明している⁽⁷⁹⁾。

(3) 疾患骨における異方性骨基質の変化

様々な疾患骨においても、アパタイト配向性が多様に変化することが解明されつつある⁽⁸⁰⁾⁻⁽⁹⁸⁾。変形性膝関節症では、軟骨消失部での関節面法線方向への骨基質配向性は有意に上昇する⁽⁸⁵⁾。骨粗鬆症では、原発性骨粗鬆症と続発性骨粗鬆症(Ca 欠乏食)のラット椎骨は同様に骨密度低下を示すものの、配向性の変動方向が異なる⁽⁸⁷⁾。こうした知見は、骨粗鬆症治療薬等の薬効評価にも有効であり、薬剤投与後の骨質改善効果の検証が可能である^{(80) (81) (84) (88)-(91) (93)-(95)}。

さらに重要な発見として、代表的な難治疾患のがんに由来する骨脆弱化が骨基質異方性の異常に起因することを明らかにしている。がん転移による骨機能脆弱化は、現在の骨医学における最も大きな課題の一つであると言える。骨はがん転移の主要標的臓器であり、乳がんや前立腺がんの実に75%以上で骨転移を生じる。特に造骨性転移は骨形成促進により高骨密度骨を示すにも関わらず非常に脆く、易骨折性の難治疾患である⁽⁹⁶⁾。そのため、がん転移による骨の脆弱化は骨密度では説明不可能であり、骨密度に基づいた既存のがん研究・転移医療の限界を意味していた。筆者らのグループでは、材料工学と細胞・分子生物学との融合的視点・手法によ

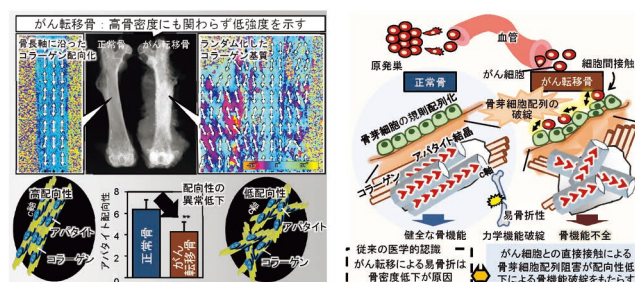


図7 がん骨転移による骨基質異方性の変異に伴った骨の脆弱化. 文献(96)より引用.

り、骨基質異方性の変異が骨がん脆弱化の主要因であることを解明し、既存の骨医療の限界を打破する重要な知見を得ている⁽⁹⁶⁾⁻⁽⁹⁸⁾。正常骨では骨表面に規則配列したOBが骨形成、配向性骨基質形成の重要な駆動因子となる一方、転移骨ではがん細胞は細胞間相互作用を介してOBとの分子授受を行い、その細胞規則性・配向性劣化をもたらす。さらにその要因として可溶性タンパク質を介したケモタキシスが作用することを発見した。これらは*in vitro*(培養系)細胞間相互作用の経時的解析に基づく細胞遊走の数理モデル解析からも明らかとなり、がん-骨の空間的・時間的相互作用とその関連制御因子を同定している。特に、がん細胞はOB間でのCx43(Connexin 43)発現制御により細胞規則化を阻害し、骨基質配向性劣化に関与することが見出された(図7)。材料学的アプローチにより裏付けられたこうした成果は骨がんにおける骨機能破壊の新機序を解明し、骨転移をターゲットとしたがん治療薬の提示や骨デバイス開発につながっている。

(4) *in vivo* 外部応力負荷による異方性骨基質形成機構

健康骨の異方性骨基質配向性はOCYを起点とした*in vivo* 応力分布と密接に関わっているとの仮説から、図8に示すような疲労試験機を適用してのラット尺骨への*in vivo* 人為的繰り返し強制負荷モデルを構築することで以下に示す重要な知見を得ている⁽⁹⁹⁾⁻⁽¹⁰¹⁾。(1) 骨は人為的に負荷した最大主ひずみ方向に沿ってアパタイト優先配向性構造を構築し、その配向度はひずみの大きさと正相関する。(2) 人為的負荷により生理的負荷を超えるひずみを負荷した場合でも、一定の閾値まで配向性は上昇する。(3) アパタイト配向性に比例して、力学機能は上昇する。(4) 骨量や骨密度も増加するが、その上昇率は配向性の上昇に比べ相対的に低く、負荷ひずみ量の依存性はほとんど認められない。(5) 人為的な応力刺激は一日あたり10分程度でも効果的に働き、骨細管内の液体流動の変動と深く関係している。

こうした知見は、荷重負荷量に合わせた緻密な機能調整が、骨密度ではなく骨基質配向性によって担われていることを示唆する。さらに、緻密な骨機能調整のためには、骨の負荷状態をその異方性まで含めて3次元的に精密に検知可能なセンサーと、それを配向性組織の形成につなげるための仕組みが必須となる。その役割を骨中OCYが担い、骨基質異方性のトリガーとして働いている。例えば、OCYの異方性形態や

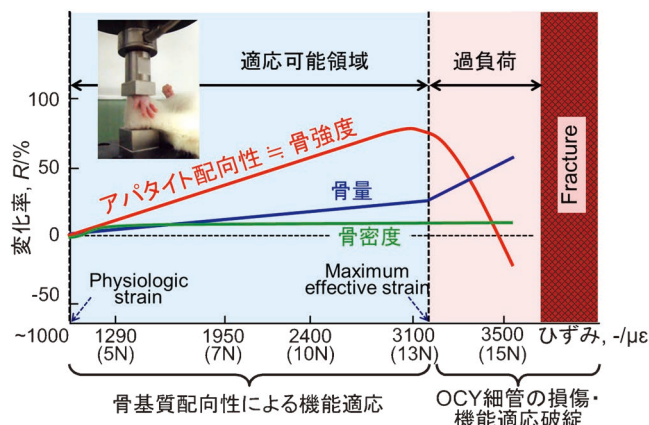


図8 ラット尺骨への人為的負荷ひずみに対するアパタイト配向性変化を介した力学的機能適応。文献(101)より引用。

配列化は、アパタイト配向度合と密接に関係している(4)(75)(77)。

(5) 細胞の規則配列と骨基質異方性制御

応力に対するOCYの骨配向性調節機構は、配向化コラーゲン構築の起点となるOB配列の規則性と関連する。骨基質配向性は、OB伸展方向へと優先配向化するとともに、細胞配列度に相関して変化する(102)。骨形成活性を有するOBは*in vivo*では立方体様形状を示し規則的配列性を有し、*in vitro*では伸展度からその活性を評価できる(103)–(106)。さらには応力負荷異方性モデル化培養により、OCYの応力感受とOBの規則性の両者を再現しその相互作用理解が可能となる(図9(a))。

骨細管中の流体流動、インテグリンによるOB接着および両細胞間での生体分子のやり取りを模擬し静的・動的荷重を負荷すると、応力場に応じた興味深い細胞の規則化応答が理解される。OCYへの一定流速の流体刺激負荷はOB配列に影響を与えない一方で、流速変化を有する振動流刺激は、OBの高配列化を導いた(図9(b, c))。

これは、OCYが衝撃運動などの強度に対応する骨細管中の流体加速度を感受することで、OBへの指令伝達により骨基質配向化を促すことを意味している。加えて、次世代シーケンシング解析により、振動流刺激が骨の異方性を決定する分子として、Prostaglandin E₂ (PGE₂)の同定に至った(図9(d))(107)。PGE₂を起点とした骨配向化機序は、配向性(同時に骨強度)劣化をもたらす異常状態の骨(骨折時の再生骨、骨粗鬆症・関節リウマチなどの疾患骨、寝たきりなどによる免荷骨)(89)(96)(98)の配向性向上や維持を可能とする新規骨治療法の創出、医療デバイス開発へとつながる。

(6) 遺伝子変異による骨系細胞レベルでの異方性骨基質の制御機構

異方性六方晶系構造をもつアパタイト配向性はコラーゲン線維の走行方向に対応しつつ敏感に変化(68)する。図10に示すように、疾患、骨再生、遺伝子変異等の様々な要因が、骨

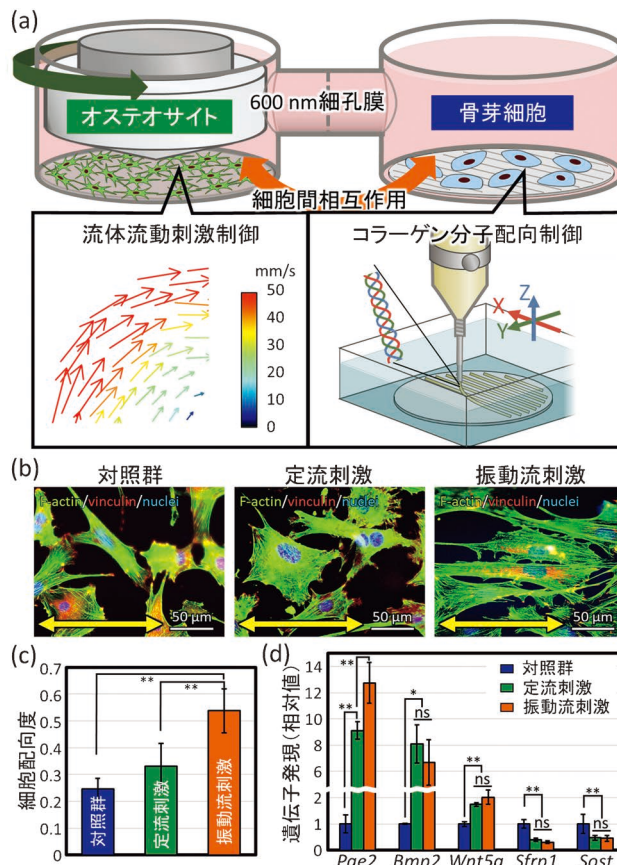


図9 流体刺激に応じたPGE₂発現によるOB配列制御。(a) 流体刺激負荷と異方性培養を組み合わせた骨模倣培養システムの構築。(b), (c) OCYの流体流動感受に応じたOBの配列変化。(d) OCYの流体刺激に応答したPGE₂発現変化。文献(107)より引用。*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

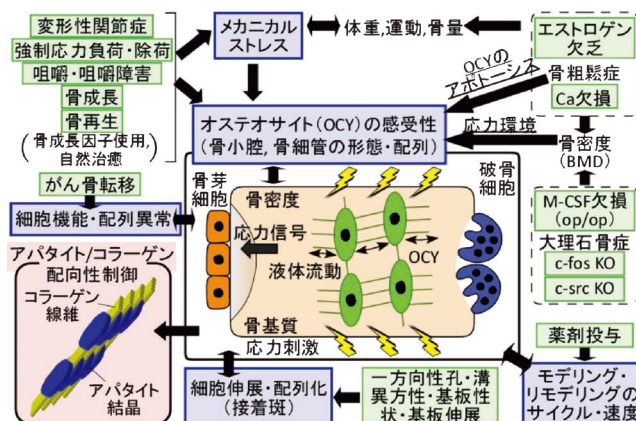


図10 骨基質配向性に影響する疾患、骨再生、遺伝子変異等の様々な要因。

基質配向性に影響することが判明してきた(73)(74)(85)–(89)(108)–(110)。骨基質配向化は、応力をはじめとする外部環境や生体内環境と密接に関係し、骨形成を担うOB、骨吸収を担う破骨細胞(OC: Osteoclast)、*in vivo* 応力

を感受する OCY の細胞レベルの働きに強く支配されることが明らかになり、現在では情報伝達をつかさどる分子レベル、遺伝子レベルからの配向化機序の解析や配向化の支配因子の解明へと研究が進んでいる。とりわけ遺伝子機能を変異させたノックアウト (KO)、トランスジェニック (Tg) 動物などを用いることで、骨系細胞レベルでの骨基質配向化制御機構の解明が可能となる。KO や Tg 動物の作製によって各骨系細胞の機能や発現を制御し、配向化に及ぼす遺伝子や骨系細胞の役割の一端がすでに理解されている。中でも、M-CSF (Macrophage Colony-Stimulating Factor)、OPG (Osteoprotegerin)、c-fos、c-src などの OC の分化・機能化制御遺伝子を欠損した骨の解析により、骨基質配向化には、骨吸収を担う OC の役割が極めて重要であることが明らかとなった⁽⁸⁵⁾⁽⁸⁷⁾⁽¹⁰⁸⁾。OC 分化異常はヒト指定難病のひとつである大理石骨病の原因であり、骨吸収不全による高骨密度化にもかかわらず非常にもろく、易骨折性の病態をもたらす。OC 分化・活性化系譜のどの段階を不活化した場合においても配向性、骨強度がともに著しく低下することから、単に OC の分化・活性化を調整するものと従来認識されてきた因子が、実は骨配向化・機能化に深く関与することを明らかにし、骨基質配向化を通して遺伝子・分子の未知の機能性が理解されつつある。これまでの OB による骨形成、OC による骨吸収で画一的に理解されてきた骨リモデリング研究とは一線を画す、筆者らによる材料学的観点から基質異方性を主役とした骨研究の新展開は、骨医療に新たなページを刻んでいる。

近年は骨基質のうちテンプレートとしてのコラーゲン線維の走行方向とアパタイト結晶の *c* 軸配向方向との関係が注目されている⁽⁸⁸⁾⁽¹⁰⁹⁾。図10に示す諸因子は、ほとんどの場合、OB の異方的な配列とその接着斑の分布⁽¹⁰⁵⁾⁽¹⁰⁶⁾、さらにはそれに基づき産生されるコラーゲンの3次元走行方向を規定することでアパタイト配向性に影響を及ぼす。配列化 OB はインテグリンを介した基質との接着機構に基づき緻密にコラーゲン産生プロセスを統制しており、OB 配列の異方性に応じた配向化コラーゲン基質を構築する。その結果、コラーゲン線維の走行方向が石灰化球を通じて自己組織化的に形成されるアパタイト結晶の *c* 軸配向性を決定する。

ところが、図11に示すように、石灰化の1つの指標として知られる OCN (Osteocalcin) に注目した場合、OCN の KO により、コラーゲン線維の走行度合いには変化が見られない一方で、アパタイト結晶の *c* 軸配向性は大きく低下する⁽¹⁰⁹⁾。このことはコラーゲンホールゾーンもしくはコラーゲン線維そのものとアパタイト結晶の *c* 軸との方位関係を OCN が決定していることを意味する。つまりコラーゲン線維上へのアパタイト結晶の核形成には非コラーゲン性タンパク質である OCN の存在が不可欠である。同時にコラーゲン優先走行方向に沿った弾性率は OCN-KO で低下することから、アパタイト結晶の配向性が骨の力学強度の異方性を決定する最重要因子の1つであることを示している⁽¹⁰⁹⁾⁽¹¹¹⁾。

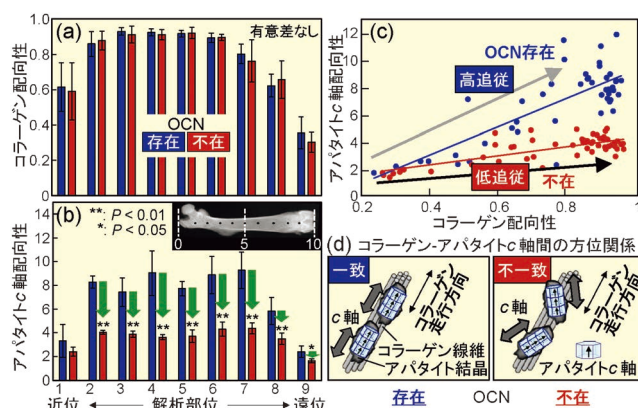


図11 非コラーゲン性タンパク質オステオカルシン (OCN) によるコラーゲン/アパタイト *c* 軸間の方位制御。文献⁽¹⁰⁹⁾より引用。

4. 金属 3D プリンティング (3DP) による異方性/等方性制御

(1) 粉末床溶融結合 (PBF) 法

3DP は、切削加工による材料の成形が引き算によるモノづくりであるとすれば、材料を付加することによる足し算のモノづくりである⁽¹¹²⁾⁻⁽¹¹⁷⁾。

図12(a)には、粉末床溶融結合 (PBF: Powder Bed Fusion) 法により格子形状の金属造形体を作製する手順を示した模式図を示す⁽¹¹⁷⁾⁽¹¹⁸⁾。本手法は、最終形状の設計図である 3D-CAD データから作成した2次元スライスデータに基づいて、レーザビーム (図12(b)) や電子ビーム (図12(c)) を走査し、一層分の金属粉末を選択的に溶融/凝固させ、その繰返しにより多層を積み上げることで、3次元構造体を造形可能とする。同時に PBF 法は、比較的精度が高く、材質 (組織、結晶配向) の制御をも可能とすることから、金属材料造形に対して幅広く利用され始めている。加えて、超急速昇温・超急冷 (例えば、レーザを熱源とする場合に、 $10^6 \sim 10^7$ K/s となることもある) により非平衡相や準安定相を有するバルクを獲得する手段としても期待されている⁽¹¹⁹⁾⁻⁽¹²³⁾。

プロセスパラメータは、単位体積当たりのエネルギー密度 (E) で表現されることが多く、出力 (P)、ビームの走査速度 (v)、走査間隔 (w)、積層厚さ (h) の関数として、式(1)で表される⁽¹¹²⁾⁽¹¹⁴⁾⁻⁽¹¹⁷⁾⁽¹²⁴⁾。

$$E = \frac{P}{v \cdot w \cdot h} \quad [\text{J/m}^3] \quad (1)$$

エネルギー密度は最適な造形体を作製するためのプロセスパラメータ選択の一つの手がかりになる。ただし、エネルギー密度はあくまでも単位体積に投入されるエネルギー量であり、周囲への放熱は考慮されていない。実際の造形物の形状・組織設計には熱伝導・熱伝達を考慮した熱分布を制御する必要があり、特に熱源の走査により形成される溶融池形状、さらにはその周囲の熱勾配を含む温度分布の管理が特に重要となる。

さらに電子ビームを熱源とする場合には、式(1)の P は、加速電圧 (V) と電流値 (I) で以下のように表される。

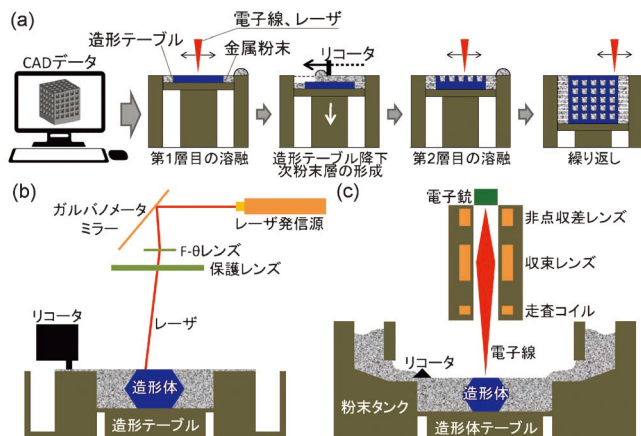


図12 金属3DPの代表例であるPBF法の模式図。(a)造形工程の模式図、(b)レーザーPBF装置の概略図、(c)電子ビームPBF装置の概略図。

$$P = V \cdot I \quad (2)$$

エネルギー密度の低い領域では不定形状ポアからなる多孔質化が認められ、液相焼結もしくは固相焼結の状態を呈する。一方、エネルギー密度が高くなると、明瞭な溶融池跡が認められるようになる。ポアはエネルギー密度が高い場合でも低い場合でも発生することから、相対密度はエネルギー密度に対して中間部で最適値を示すとともに、ほぼ100%に近い相対密度を示すようになる。

図13の組織観察に示す通り、電子ビームPBFによるTi-6Al-4V合金の造形体は、高温 β 相のマルテンサイト変態、さらにはそれに続く予加熱による焼鈍により、残留 β 相とラス状の α' (hcp)相からなる複合組織となる。ラス状 α' 相は β 母相に対し、以下のようなバーガースの方位関係を示し、等価な12種類のバリエーションが形成される。

$$\{1\bar{1}0\}_{\beta} // \{0001\}_{\alpha'}, \langle 111 \rangle_{\beta} // \langle 11\bar{2}0 \rangle_{\alpha'} \quad (3)$$

この際、液相から固相への変態時に形成される β 相は、造形面に平行な断面におけるFE-SEM-EBSD組織観察(図13)から、積層方向に対して平行方向に柱状晶組織として伸長している様子が観察される⁽¹²⁵⁾。こうして形成されたTi-6Al-4V合金造形体組織は、鋳造材に比べて微細であるため、高強度を示す。加えてHIP処理によりポアを消滅させた後のTi-6Al-4V合金造形体の疲労強度は、鋳造材と展伸材の間に位置する。つまり、Ti-6Al-4V合金造形体は、ポアの消滅によるクラック形成確率の低減により、造形体の室温での疲労特性は医療用ステムや輸送機器部品などでの使用にも耐えられるものであり、もはや試作品の域を越え、工業製品化が急速に進んでいる。

(2) 最適条件探索のための計算機シミュレーション

3DP造形体の作製には前節に示すプロセスパラメータの最適化が重要となる。しかしながら、最近の計算機シミュレーション技術の発達や計算速度の高速化により、機能発揮する組織の構築までを包含した、パラメータ予測・設計が必要とされている。レーザービームや電子ビームを熱源として考えた場合においても、レーザーでは粉末と液相の溶融池部分で

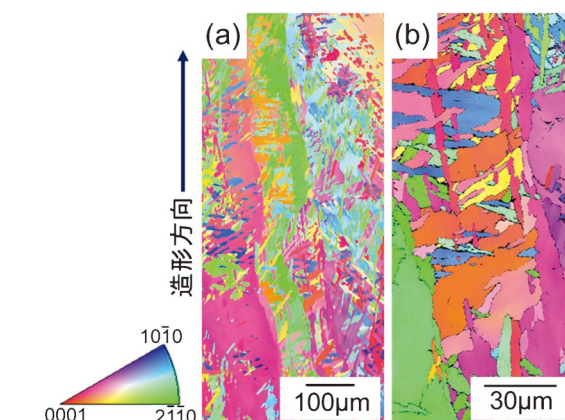


図13 電子ビームPBFによるTi-6Al-4V(mass%)合金造形体の微細組織。

エネルギー吸収率は異なり⁽¹²⁶⁾、電子ビームでは80%を超える高い吸収率を示すため、計算は複雑になる。

溶融池形状は組織形成や結晶方位制御と深く関わっており、走査速度が高い場合には、溶融池は長いテールを引きつつ凝固が進行する。正確なシミュレーションは組織予測をも可能とする。さらに、造形形状が不均一な場合には、プロセスパラメータを制御することで最適な造形を可能とする。この際、最も注目し制御すべき物理量は温度分布であり、温度分布の制御が溶融池形状や最終的な金属組織を決定する。式(1)で示したエネルギー密度は入熱のみを考慮しており、熱伝導や熱伝達による放熱は考慮されていない。したがって、プロセスパラメータを決定するための一つの目安にはなるが、決して十分であるとはいえない。そこで、溶融/凝固解析による溶融池近傍の温度分布や熱勾配、さらには固相/液相界面の移動速度等を見積もると同時に、フェーズフィールドシミュレーション等により組織の形成過程を予測することが有効である。加えて、計算時に必要とされる未知の物性値については、第一原理計算等を用いることで、最終的にはプロセスパラメータを実験的手法だけでなく計算機を用いたシミュレーションによりあらかじめ計算することが、3DPプロセス設計において必要とされている。

例えば、溶融池周囲の温度分布を計算するための支配方程式は、固相/液相変化に伴う潜熱の発生を考慮した固体の熱伝導方程式を用いて式(4)で表すことができる。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - k \nabla^2 T = Q_{in} + Q_{lat} \quad (4)$$

ここで、 ρ は密度、 C_p は比熱、 T は温度、 k は熱伝導率、 Q_{in} はレーザー入熱量、 Q_{lat} は潜熱を表す。ここで、 Q_{lat} は凝固速度 V に比例するものとし、式(5)となる。

$$Q_{lat} = CV = C \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (5)$$

ただし、 C は比例定数であり、 ϕ は溶融パラメータ(0:液相, 1:固相)を示す。

$$\phi = f(T) \quad (6)$$

溶融パラメータ ϕ は、融点 T_m よりも小さい場合は1、大きい場合は0を取るものとし、融点近傍でこれらを滑らか

につなぐステップ関数 $f(T)$ で表されるものとする。

図14には、熱源のレーザビームをスキャンした際の温度分布を示す。繰り返しスキャンされるため、過熔融の場合には同一箇所が繰り返し熔融を受けることになる。一方でエネルギー密度が不十分な場合には、熔融温度まで粉末温度が到達しない。こうした計算機シミュレーション結果を用いることで、造形体の形状と組織制御の同時制御が可能になる。

さらに、計算機シミュレーションから得られた固相/液相界面の移動速度 (R) と温度勾配 (G) を用いることで凝固時に形成される組織が等軸晶から柱状晶、そして単結晶へと変化する境界をマップとして示すことができる。これは3DPが熱拡散挙動を幅広い範囲で制御できることに起因する。合金の凝固マップではそれぞれの軸を R と G で描き、組成的過冷条件を考慮することで、平滑な固相/液相界面が維持される、もしくは液相中にて固相核が発生するかを判別でき、 G/R は式(7)で表される。

$$\frac{G}{R} = m_L C_0 \frac{k_0 - 1}{k_0} \frac{1}{D_L} \quad (7)$$

m_L は状態図の液相線勾配、 C_0 は溶質の初期濃度、 k_0 は平衡分配係数、 D_L は液相中の溶質元素の拡散係数である。 G/R が大きいほど、さらに左辺より右辺が小さいほど組成的過冷は発生し難い。つまり、組織形成は平衡分配係数や液相中の溶質元素の拡散係数からも影響を受けることから、3DP時の完全な平衡状態ではない急冷状態でのシミュレーションには注意が必要である。ただし、こうした計算機シミュレーションによる組織予測はあらかじめプロセスパラメータを設定する基準を示唆するため、計算機シミュレーション技術の進歩は設計段階からの組織形成・機能発現の予測を通じ、3DP装置と協調して3DP技術を発展させることが期待される。

(3) 異方性/等方性材質の制御

金属3DPは自由自在な形状制御を得意とする一方で、熔融池単位での熱流束の特異な方向性や、layer-by-layerでの造形ならではの繰返し熔融/凝固と熱履歴による材質パラメータの制御をも可能とする。とりわけ、単結晶化を含む結晶集合組織制御は、近年の金属3DPでの注目すべきトピックの一つである⁽¹²⁷⁾⁻⁽¹⁶²⁾。単結晶化によりヤング率をはじめとする力学特性の方位依存性を生じ、同一素材であるにも関わらず用途に応じた物性値を選択することが可能となる。単結晶は従来法では作製に長時間を必要とするが、十分な形

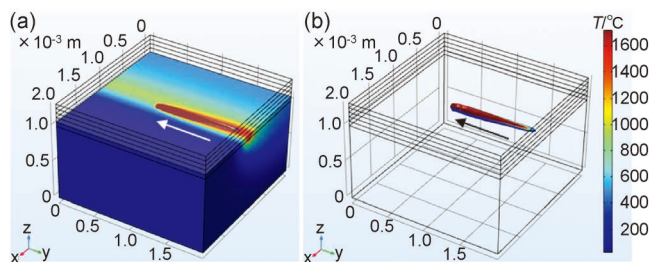


図14 有限要素計算により解析した、熱源ビームをスキャンした際の(a)温度分布と(b)熔融池形状。

状・サイズが得られず、製品化には限界があったが、金属3DPの出現により単結晶製品実現への期待が高まってきた。

例えば、単結晶化の実現は、応力遮蔽を抑制可能な低弾性骨インプラントを創製できる。bcc構造を有する β 型チタン合金は、多結晶体においても比較的低いヤング率を示すが、単結晶化により結晶方位に依存したヤング率の異方性を発現し、図15に示すように、 $\langle 100 \rangle$ にて最小のヤング率値となる⁽¹⁶³⁾⁽¹⁶⁴⁾。さらに、ヤング率値 E_{100} とその異方性 E_{111}/E_{100} は1原子あたりの平均価電子数 e/a に依存し、次式のように算出される。 e/a が減少し、4に近づくにつれて E_{111}/E_{100} は大きくなり、 E_{100} は小さくなる(図15)。

$$E_{100} = \frac{9}{(1/B) + (3/c')} = \frac{(c_{11} - c_{12})(c_{11} + 2c_{12})}{c_{11} + c_{12}} \quad (8)$$

$$\frac{E_{111}}{E_{100}} = \left\{ 1 + \frac{3}{(1/B) + (3/c')} \left(\frac{1}{c_{44}} - \frac{1}{c'} \right) \right\}^{-1} \quad (9)$$

$$c' = 1.391 \times (e/a - 2)^{3.34} \quad (10)$$

e/a が4.10と小さく、ISOにより薬事認可(ISO 5832-14)⁽¹⁶⁵⁾されたTi-15Mo-5Zr-3Al(mass%)合金は多結晶体にて約85 GPaと低ヤング率を示す。さらに単結晶化により E_{100} は44.4 GPaまで低下する⁽¹⁶⁴⁾。これは皮質骨のヤング率(〜30 GPa)に匹敵する低値であり、 $\langle 100 \rangle$ を長管骨長軸と平行方向に設置する場合においても応力遮蔽の抑制効果が期待される。

レーザPBFを本合金に適用し、スキャンストラテジーによる結晶成長方位の選択性制御は、図16に示すように、造形体中での結晶方位制御を実現し、造形体の特定方向に低ヤング率の $\langle 100 \rangle$ を優先配向させることを可能とする⁽¹²⁷⁾。この場合、 $\langle 100 \rangle$ が優先結晶配向した方位においては、約69 GPaの低ヤング率を示している。一方、 $\langle 011 \rangle$ 優先結晶配向方向でのヤング率は約100 GPaであり、金属3DPによる材質異方性を有する部材の造形が可能になる。さらなる結晶配向性の高集積化と軽元素の蒸発を考慮した最適組成制御により、ヤング率は単結晶の理論値に近づき、骨に類似したヤング率が達成できるものと期待される。

さらに、金属3DP特有の凝固後の熔融池直下での熱影響は、局所的な繰返し熱処理効果を生じ、これを巧みに利用することで铸造などでは得られない特異な金属組織を形成する。図17には、電子ビームPBFにて造形したTi-48Al-

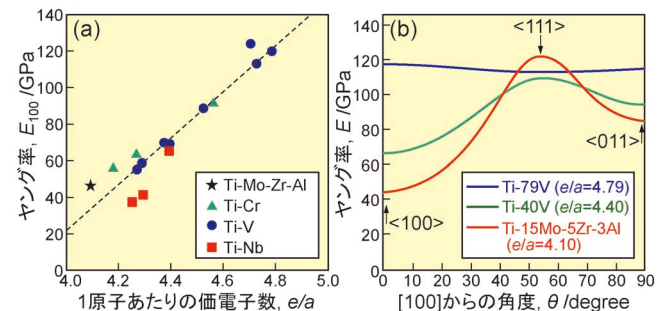


図15 (a) $\langle 100 \rangle$ に沿ったヤング率値 E_{100} の価電子濃度 e/a 依存性。文献(163)より引用。(b) ヤング率異方性の価電子濃度 e/a 依存性。

2Cr-2Nb(at%)金属間化合物の光学顕微鏡写真を示す。造形体中では、等軸 γ 粒と γ/α_2 ラメラ組織からなるduplex組織とバンド状のニア γ 組織(γ バンド)からなる層状構造が発達し、その周期性は造形時の積層厚さと一致する。さらに、特異層状組織形成の結果、力学特性は強い異方性を示し、duplex/ γ バンド界面に対して荷重軸が45°の角度を有するとき、 γ バンド部分がせん断変形を担うことで550 MPa以上の高い引張降伏応力と、鋳造材では困難な2%を超える大きな室温伸びの両立が達成される⁽¹⁶⁶⁾。

このように、金属3DPはチタン合金の材質制御においても極めて有効な手法であることが示されつつあり、形状の自在造形能力と合わせて、形状・材質同時制御による高機能製品の創製に大きく貢献する可能性を秘めている。

(4) 金属3DPによる形状と異方性/等方性材質の同時付与による機能化

3DPは3次元形状を制御するための手段として見なされがちであるが、金属材料に対する3DPは、材質パラメータと形状パラメータを同時に制御することができる画期的な手法である。これは選択的溶解/凝固を行う際の走査パラメータ(スキャンストラテジー(層毎のレーザ走査方向の組合せ))などを制御できることに由来する。材質と形状はいずれも金属材料の機能を決定するための最重要因子であり、特に両者の異方性・等方性を考慮しつつ機能制御することは、特定の方に高機能性を発揮する製品の創製を可能とする。

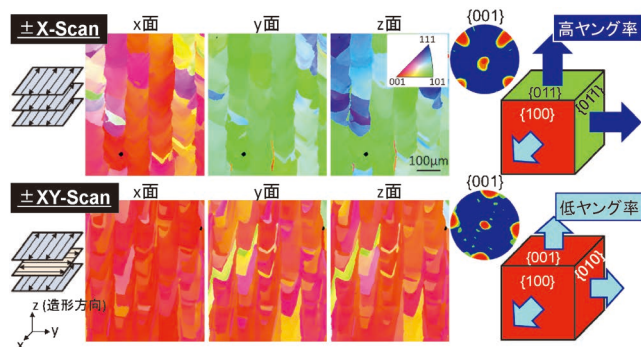


図16 レーザPBFによるTi-15Mo-5Zr-3Al(mass%)合金における2種のスキャンストラテジーを用いた結晶集合組織制御。文献(127)より引用。

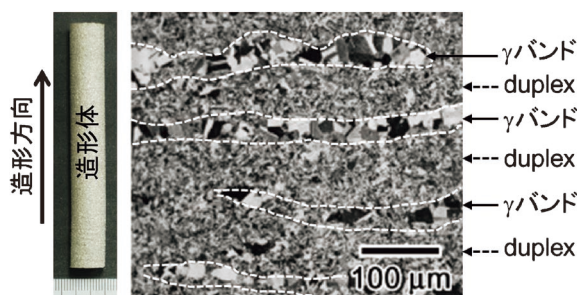


図17 電子ビームPBFにて造形したTi-48Al-2Cr-2Nb(at%)合金造形体中に形成される特異な層状構造。文献(166)より引用。

図18には、立方晶系において近年可能になった造形方向に $\langle 100 \rangle$, $\langle 011 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ が優先配向化した単結晶様組織を獲得するためのスキャンストラテジーを示す⁽¹⁶²⁾。それぞれの方位は、弾性率で極値を示す特徴的な方位であり、3つの方位を高配向化できることで、この材料が示し得る全ての弾性率を人為的に網羅できるようになった。単結晶様組織形成の鍵になるのは結晶対称性であり、それぞれ造形方向に対し、4回回転軸、2回回転軸、3回回転軸をもつことから、 $\pm XY$ -Scan, $\pm X$ -Scan, $+120^\circ$ Rot-Scanにより達成される。こうした単結晶様組織に加えて、層状組織、多結晶組織の形成も可能であることから、金属3DPにより自在な材質制御が可能となる⁽¹⁶²⁾⁽¹⁶⁷⁾⁽¹⁶⁸⁾。

さらに、形状は3次元パズルのように27個の立方体の配置を自由にコントロールできるため⁽¹⁶²⁾、両者を組み合わせることによって図19に示すように、人為的に形状と材質の自在な組み合わせから、異方性/等方性制御が可能になる。図中の矢印に沿って形状と材質の両者からの異方性を重畳し高めることが可能となる。図20には計算機シミュレーションによる設計値と実際に造形した結果を示すが、両者は良い一致を示すとともに、形状のみ、材質のみの制御に加えて、形状

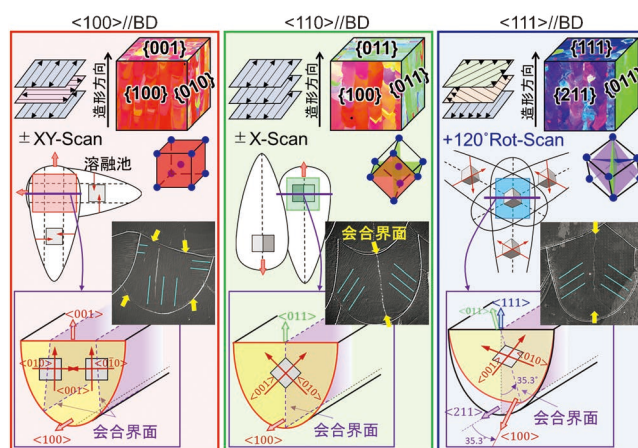


図18 造形方向に $\langle 001 \rangle$, $\langle 011 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ を優先配向化するためのスキャンストラテジーと結晶対称性。文献(162)より引用。

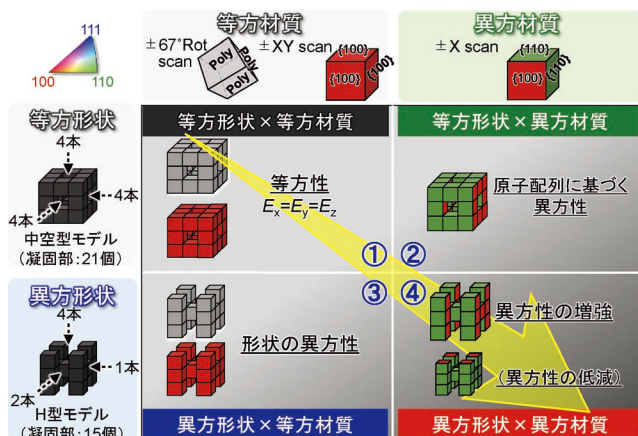


図19 形状と材質の自在な組み合わせによる力学機能の等方性/異方性制御。

と材質の制御によって、この場合、約6倍の異方性を示すことが証明された⁽¹⁶²⁾。このことは、金属3DPならではの形状・材質の同時制御が力学機能(この場合は、弾性率)を自在に制御できることを意味している。これまでの加工法では、一定の材質を仮定して3D-CADによる形状設計によって部材の機能を設計しているのに対して、金属3DPは材質まで制御できることから、図21に示すように設計手法まで変革され、形状とともに材質を場所ごとに最適化するような形状と材質の両者の最適化を行うことが可能となる。このことは、金属3DPによって、まさに、材料が設計の主役になることを意味している。

5. 異方性骨基質配向化を促す骨医療デバイスの臨床応用

(1) 異方性骨基質を誘導するデンタルインプラント (FINESIA®)

3章で詳述したように、骨は部位に適したアパタイト/コラーゲンからなる異方性骨基質を維持することで、骨本来の機能を発揮する。したがって、骨デバイスを開発する場合には、骨置換(インプラント)部、さらにはその周囲骨の配向性を考慮し、骨基質誘導するための仕組みが不可欠となる。

こうした骨配向化を促すためのデンタルインプラントとしては、異方性を意識した医療デバイスが、京セラ㈱からFINESIA®として筆者らのグループとの共同研究の成果として2017年より臨床応用されている⁽¹⁶⁹⁾⁻⁽¹⁷⁴⁾。この場合は、本来は対称形状のスクリュー部分を非対称形状に設計・加工す

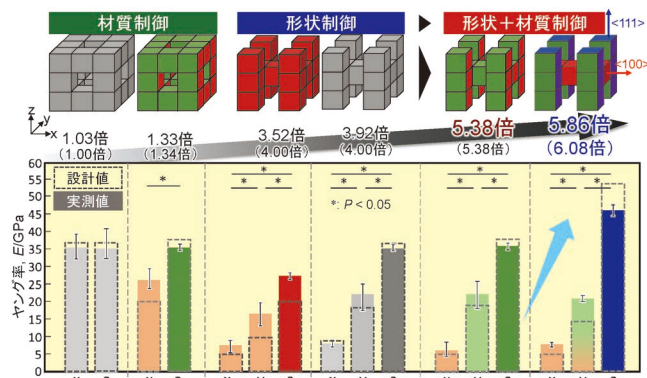


図20 形状・材質を同時に制御した造形体のヤング率の実測値と計算機シミュレーションによる設計値。文献⁽¹⁶²⁾より引用。

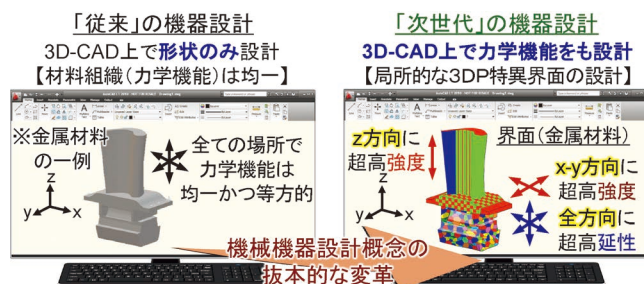


図21 局所的材料物性値までも設計要素とする革新的製品設計。材料が主役となる次世代設計手法。

ることで、咀嚼に基づく最大主応力をインプラントから下顎骨に連続的に伝達する仕組み(図22)をもたせることで早期に異方性骨基質を形成することができる。

(2) 金属3DPによる世界初の異方性骨基質を誘導する椎間スパーサー (UNIOS® PL スパーサー)

脊椎は、体幹を支持する極めて重要な骨部位であり、椎間スパーサーには疾患や外傷によって不安定化した椎体間を迅速に、力学的に固定化することが要求される。すなわち、スパーサー内部に優れた力学機能をもつ骨組織を迅速に誘導し、長期間維持する仕組みを、スパーサー自体に導入する必要がある。従来、臨床で使用されているスパーサーは、中央部に空洞が設けられたボックス型であり、隣接する椎体との骨癒合を促進するために空洞部に自家骨(患者自身の腸骨等から別途採取された骨)を移植する術式が長年ゴールドスタンダードとして世界的に定着している。しかしながら、健全な部位からの自家骨の採取を要するにもかかわらず、必ずしも良好な術後成績は得られておらず、初期固定不足によるスパーサーの沈み込み等の不具合報告が多数報告されている。

高度な骨再生医療においても骨基質配向化誘導は不可能であるため⁽⁵⁸⁾⁽⁷¹⁾⁻⁽⁷⁴⁾、こうした配向化特性を椎間スパーサーに実装するには、脊椎周辺環境下において骨基質配向化誘導を実現するための多孔体デザインの最適化が不可欠となる。筆者らは、配向溝を付与した基板上において溝に沿ったOBが遊走・伸展し、骨基質の優先配向性が決定されることを実証している⁽¹⁰¹⁾⁽¹⁰⁴⁾。さらに、表面最適化された多孔体構造によって、応力負荷作用による骨基質配向性が向上し、骨が健全に保たれることを発見している⁽¹⁷⁰⁾。そこで、デバイス埋入初期には非荷重下でOBを伸展・配向化誘導し、骨髓液の流動性を制御し、中長期では健全な骨質維持が可能となる階層性骨構造配向化設計により、図23に示す階層型一方配向溝構造として“Honeycomb Tree Structure®(HTS)”を考案した⁽¹⁷⁵⁾⁽¹⁷⁶⁾。金属3DPを活用することで、空隙の構造制御と連通性、および力学強度も考慮した自由度の高い形状設計が可能となる。本デザインは、異方性基板上でのOB配列化とアパタイトを含む骨基質配向化、さらには骨中の応力感受細胞であるOCYの応力シグナルの受信機構の基礎的知見を生かした原理に基づいており、骨基質(コラーゲン/アパタイト)配向化誘導の可能性を証明するため、ヒツジを用いた

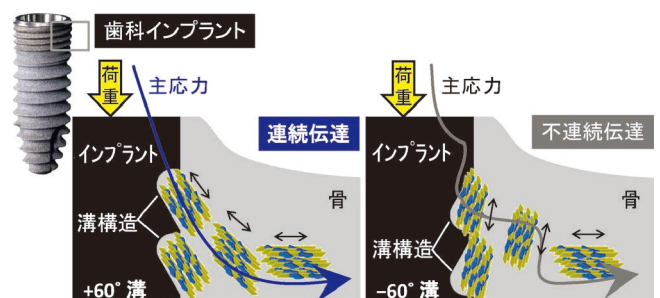


図22 下顎骨の応力伝達に基づく異方性骨基質形成を誘導可能な歯科インプラント。文献⁽¹⁷²⁾より引用。

大型動物試験によって、その有効性を確認した。その結果、HTS 内包の試験体は、従来型の約 5 倍程度の押出強度を発揮した。カルセイン蛍光染色による新生骨分布からは、HTS の試験体内部にまで誘導された新生骨組織が見られ、HTS の配向溝構造に沿って骨形成がなされており、かつ正常骨と類似した海綿骨の梁様形態であった。一方、自家骨埋入の従来型試験体では、新生骨は自家骨表面に局在しており、試験体内部には充填した自家骨が残存し、ランダムな骨配向となっていた(図24)。さらに、HTS では頭尾軸方向にコラーゲンが一軸優先走行しており、健常骨に類似した頭尾軸方向への強い骨基質配向化誘導を呈していることが確認された。HTS では、試験体内部も外部の正常骨と同程度のアパタイト配向度を示しており、HTS の優れた骨基質の配向化誘導能が実証された。骨質治療用椎間スパーサーの原理が構築され、あたかも生体組織として振る舞う世界初の骨質制御型デバイスの誕生となった。

2021年4月に厚生労働省の薬事承認を取得し、2021年6月に保険収載され、初期臨床では良好な骨癒合性が確認されている。2022年9月より大規模臨床応用を開始し、既に6000個以上(2025年2月初旬時点)の金属 3DP 製椎間スパーサーが患者へ埋入されている。

この世界初日本発の配向化誘導設計スパーサーは、「UNIOS® PL スパーサー」⁽¹⁷⁷⁾⁽¹⁷⁸⁾としてPMDA認可を受け、帝人ナカシマメディカル(株)から販売され、臨床適用されている。

金属材料の異方性に関するサイエンス、骨材料の異方性に関するサイエンス、そして、3DP での材料異方性形成に関

するサイエンスを基礎として、『異方性材料デザインにより材料が主役に』なった成功例と自負している。

6. お わ り に

本稿では、異方性材料デザインによる高機能化と金属 3DP によって材料が設計の主役になることを提案した。異方性/等方性と少し視点を変えるだけで、材料は全く異なる新しいものとして見えてくる。当然と思われるものは当然ではなく、必然と思われるものは必然ではない。こうした中、今後の先進材料の研究・開発すべき方向性があり、今後のマテリアル革命が次々と現れるものと期待している。

本稿の内容は、多くの共同研究者によって遂行され、謝辞には書ききれないことから、文献の引用によって謝辞に代えさせていただきました。さらに本稿で紹介した研究は、内閣府が主導する SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術(佐々木直哉PD)(管理法人:NEDO)、SIP/統合型材料開発システムによるマテリアル革命(三島良直PD)(管理法人:JST)、ならびに、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(S)「骨異方性誘導のための「異方性の材料科学」の構築」(JP18H05254)、基盤研究(A)(JP18H03844, JP23H00235)、AMED戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)(JP20im0502002)、学術変革領域(A)「超温度場材料創成学:巨大ポテンシャル勾配による原子配列制御が拓くネオ 3DP(21H05192)」, JST-CREST ナノ力学(伊藤耕三PD)「カスタム力学機能制御学の構築 ~階層化異方性骨組織に学ぶ~」(JPMJCR2194)等の支援を受けて実施されました。

文 献

- (1) 中野貴由, 石本卓也, 萩原幸司, 井手拓哉, 中本将嗣, 蘇亜拉図, 孫世海, 荒木秀樹, 玉岡秀房: 異方性カスタム材質・形状制御について, まてりあ, **54**(2015), 502-504.
- (2) R. von Mises: ZAAM, **8**(1928), 161-185.
- (3) G. W. Groves and A. Kelly: Philo. Mag., **8**(1963), 877-887.
- (4) T. Nakano: Bone tissue and biomaterials design based on the anisotropic microstructure advances in metallic biomaterials: Tissues, materials and biological reactions (edited by M. Niinomi et al.), Springer, (2015), 3-30.
- (5) ニュートン別冊 生命の誕生と進化の38億年, ニュートンプレス, (2012), 1-176.
- (6) H. A. Lipsitt, D. Shechtman and R. E. Schafrik: Metall. Trans., **6A**(1975), 1991-1996.
- (7) T. Fujiwara, A. Nakamura, H. Hosomi, S. R. Nishitani, Y. Shirai and M. Yamaguchi: Phil. Mag. A, **61**(1990), 591-606.
- (8) H. Inui, M. H. Oh, A. Nakamura and M. Yamaguchi: Acta Metall. Mater., **40**(1992), 3095-3104.
- (9) Y. Umakoshi, T. Nakano and T. Yamane: Scr. Mater., **25**(1991), 1525-1528.
- (10) T. Nakano, A. Yokoyama and Y. Umakoshi: Scr. Mater., **27**(1992), 1253-1258.
- (11) Y. Umakoshi and T. Nakano: Acta Mater., **41**(1993), 1155-1161.
- (12) Y. Umakoshi, T. Nakano and T. Yamane: Mater. Sci. Eng. A,



図23 骨芽細胞の配向化誘導と長期的な骨質維持により優れた椎体固定能を発揮する Honeycomb Tree Structure® (HTS)の考案。文献(175)より引用。

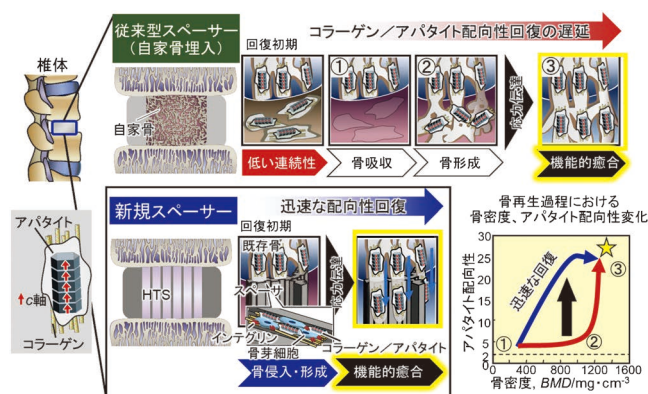


図24 Honeycomb Tree Structure®(HTS)により異方性骨基質(コラーゲン/アパタイト)を誘導する骨質治療用椎間スパーサー。文献(176)より引用。

- A24**(1992), 1599–1603.
- (13) T. Nakano and Y. Umakoshi: *Intermetallics*, **2**(1994), 185–191.
 - (14) Y. Umakoshi, T. Nakano, K. Takenaka, K. Sumimoto and T. Yamane: *Acta Mater.*, **41**(1993), 1149–1154.
 - (15) T. Nakano and Y. Umakoshi: *J. Alloys Compd.*, **197**(1993), 17–20.
 - (16) Y. Umakoshi and T. Nakano: *ISIJ Inter.*, **32**(1992), 1339–1347.
 - (17) T. Nakano, K. Kawanaka, H. Y. Yasuda and Y. Umakoshi: *Mater. Sci. Eng. A*, **A194**(1995), 43–51.
 - (18) Y. Umakoshi, H. Y. Yasuda and T. Nakano: *Mater. Sci. Eng. A*, **A192/193**(1995), 511–517.
 - (19) H. Y. Yasuda, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. A*, **71**(1995), 127–138.
 - (20) T. Nakano, H. Y. Yasuda, N. Higashitana and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **45**(1997), 4807–4821.
 - (21) T. Nakano, H. Biermann, M. Riemer, H. Mughrabi, Y. Nakai and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. A*, **81**(2001), 1447–1471.
 - (22) T. Nakano, B. Ogawa, Y. Koizumi and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **46**(1998), 4311–4324.
 - (23) Y. Koizumi, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **46**(1998), 4743–4754.
 - (24) T. Nakano, K. Matsumoto, T. Seno, K. Oma and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. A*, **74**(1996), 251–268.
 - (25) T. Nakano, K. Hagihara, T. Seno, N. Sumida, M. Yamamoto and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. Lett.*, **78**(1998), 385–391.
 - (26) T. Nakano, A. Negishi, K. Hayashi and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **47**(1999), 1091–1104.
 - (27) K. Hayashi, T. Nakano and Y. Umakoshi: *STAM*, **2**(2001), 433–441.
 - (28) S. Hata, K. Higuchi, M. Itakura, N. Kuwano, T. Nakano, K. Hayashi and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. Lett.*, **82**(2002), 363–372.
 - (29) T. Nakano, K. Hayashi and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. A*, **82**(2002), 763–777.
 - (30) Y.-L. Chiu, H. Inui, T. Nakano and P. Veyssi re: *Philos. Mag. Lett.*, **83**(2003), 485–493.
 - (31) S. Hata, K. Shiraishi, M. Itakura, N. Kuwano, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. Lett.*, **85**(2005), 175–184.
 - (32) T. Nakano, K. Hayashi, Y. Umakoshi, Y.-L. Chiu and P. Veyssi re: *Philos. Mag.*, **85**(2005), 2527–2548.
 - (33) U. D. Kulkarni, S. Hata, T. Nakano, M. Mitsuhashi, K. Ikeda and H. Nakashima: *Philos. Mag.*, **91**(2011), 3068–3078.
 - (34) T. Nakano, K. Hagihara, S. Hata, H. Shigyo, H. Nakashima, Y. Umakoshi, A. Arya and U. D. Kulkarni: *Philos. Mag.*, **93**(2013), 22–37.
 - (35) K. Hagihara, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **48**(2000), 1469–1480.
 - (36) K. Hagihara, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **51**(2003), 2623–2637.
 - (37) K. Hagihara, T. Tanaka, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **53**(2005), 5051–5059.
 - (38) K. Hagihara, T. Tanaka, H. Fujimoto T. Nakano and Y. Umakoshi: *Intermetallics*, **14**(2006), 1332–1338.
 - (39) K. Hagihara, T. Tanaka, T. Nakano, P. Veyssi re and Y. Umakoshi: *Philos. Mag. Lett.*, **87**(2007), 705–712.
 - (40) K. Hagihara, H. Fujimoto, T. Nakano and Y. Umakoshi: *Intermetallics*, **18**(2010), 434–440.
 - (41) K. Hagihara, T. Tanaka, H. Izuno, Y. Umakoshi and T. Nakano: *Acta Mater.*, **61**(2013), 4365–4373.
 - (42) T. Nakano, M. Azuma and Y. Umakoshi: *Intermetallics*, **6**(1998), 715–722.
 - (43) T. Nakano, Y. Nakai, S. Maeda and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **50**(2002), 1781–1795.
 - (44) T. Nakano, K. Hagihara, Y. Nakai and Y. Umakoshi: *Intermetallics*, **14**(2006), 1345–1350.
 - (45) K. Hagihara, T. Nakano, S. Hata, O. Zhu and Y. Umakoshi: *Scr. Mater.*, **62**(2010), 613–616.
 - (46) O. Zhu, L. T. Zhang, J. X. Yu, A. D. Shan, J. S. Wu and T. Nakano: *Intermetallics*, **18**(2010), 2328–2332.
 - (47) K. Hagihara and T. Nakano: *Acta Mater.*, **59**(2011), 4168–4176.
 - (48) K. Yuge, Y. Koizumi, K. Hagihara, T. Nakano, K. Kishida and H. Inui: *Phys. Rev. B*, **85**(2012), 134106.
 - (49) K. Hagihara, Y. Hama, K. Yuge and T. Nakano: *Acta Mater.*, **61**(2013), 3432–3444.
 - (50) K. Yuge, K. Kishida, H. Inui, Y. Koizumi, K. Hagihara and T. Nakano: *Intermetallics*, **42**(2013), 165–169.
 - (51) K. Hagihara, T. Fushiki and T. Nakano: *Scr. Mater.*, **82**(2014), 53–56.
 - (52) K. Hagihara, H. Araki, T. Ikenishi and T. Nakano: *Acta Mater.*, **107**(2016), 196–212.
 - (53) K. Hagihara, T. Ikenishi, H. Araki and T. Nakano: *Sci. Rep.*, **7**(2017), 3936.
 - (54) T. Nakano, M. Kishimoto, D. Furuta and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **48**(2000), 3465–3475.
 - (55) T. Nakano, M. Azuma and Y. Umakoshi: *Acta Mater.*, **50**(2002), 3731–3742.
 - (56) T. Nakano, Y. Omomoto, K. Hagihara and Y. Umakoshi: *Scr. Mater.*, **48**(2003), 1307–1312.
 - (57) T. Nakano and K. Hagihara: *Scr. Mater.*, **68**(2013), 313–316.
 - (58) T. Nakano, T. Ishimoto, N. Ikeo and A. Matsugaki: *Advanced Analysis and Control of Bone Microstructure Based on a Materials Scientific Study Including Microbeam X-ray Diffraction in Progress in Advanced Structural and Functional Materials Design*, Springer, (2012), 155–167.
 - (59) 吉川秀樹, 中野貴由, 松岡厚子, 中島義雄(編著): *未来型人工関節を目指して*, 日本医学館, (2013).
 - (60) 成島尚之, 中野貴由(編集): *バイオマテリアル研究の最前線*, 日本金属学会, (2014).
 - (61) 中野貴由: *バイオマテリアル: その基礎と先端研究への展開*(岡野光男 監修, 東京化学同人, (2016)).
 - (62) 山岡哲二, 大矢裕一, 中野貴由, 石原一彦(編著): *バイオマテリアルサイエンス 第2版—基礎から臨床まで*, 東京化学同人, (2018).
 - (63) T. Nakano and K. Hagihara: *Addit. Manuf. of Medical Devices*, ASM Handbook, Volume 23A, *Addit. Manuf. in Biomedical Applications* (Edited by Roger J. Narayan), ASTM International, (2022).
 - (64) N. Sasaki, N. Matsushima, T. Ikawa, H. Yamamura and A. Fukuda: *J. Biomech.*, **22**(1989), 157–164.
 - (65) W. J. Landis: *Bone*, **16**(1995), 533–544.
 - (66) T. Nakano, T. Awazu and Y. Umakoshi: *Scr. Mater.*, **44**(2001), 811–815.
 - (67) T. Nakano, Y. Tabata and Y. Umakoshi: *Texture and Bone reinforcement*, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (Second Edition), Elsevier, (2005), 1–8.
 - (68) T. Nakano, K. Kaibara, Y. Tabata, N. Nagata, S. Enomoto, E. Marukawa and Y. Umakoshi: *Bone*, **31**(2002), 479–487.
 - (69) Y. Shinno, T. Ishimoto, M. Saito, R. Uemura, M. Arino, K. Marumo, T. Nakano and M. Hayashi: *Sci. Rep.*, **6**(2016), srep19849.
 - (70) NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy, *Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy*. JAMA, **285**(2001), 785–795.
 - (71) T. Nakano, K. Kaibara, Y. Tabata, N. Nagata, S. Enomoto, E. Marukawa and Y. Umakoshi, *Analysis of hydroxyapatite (HAp) texture in regenerated hard tissues using micro-beam X-ray diffractometer technique*, *Proceedings of TETU-6* (Y. Ikada et al. eds.), Elsevier, (2002), 95–104.
 - (72) T. Ishimoto, T. Nakano, M. Yamamoto and Y. Tabata: *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, **22**(2011), 969–976.
 - (73) T. Nakano, K. Kaibara, T. Ishimoto, Y. Tabata and Y. Umakoshi: *Bone*, **51**(2012), 741–747.
 - (74) T. Ishimoto, T. Nakano, Y. Umakoshi, M. Yamamoto and Y. Tabata: *J. Bone Miner. Res.*, **28**(2013), 1170–1179.
 - (75) A. Matsugaki, T. Matsuzaka, A. Murakami, P. Wang and T.

- Nakano: *Int. J. Bioprinting*, **6**(2020), 293.
- (76) A. Matsugaki, D. Yamazaki and T. Nakano: *Mater. Sci. Eng. C*, **108**(2020), 110391.
- (77) T. Ishimoto, K. Kawahara, A. Matsugaki, H. Kamioka and T. Nakano: *Calcif. Tissue Int.*, **109**(2021), 434–444.
- (78) T. Nakano and T. Ishimoto: *KONA Powder Part. J.*, **32**(2015), 75–84.
- (79) R. Ozasa, A. Matsugaki, T. Matsuzaka, T. Ishimoto, H.-S. Yun and T. Nakano: *Int. J. of Mol. Sci.*, **22**(2021), 6232.
- (80) M. Kashii, J. Hashimoto, T. Nakano, Y. Umakoshi and H. Yoshikawa: *J. Bone Mineral Metab.*, **26**(2008), 24–33.
- (81) A. Shiraishi, S. Miyabe, T. Nakano, Y. Umakoshi, M. Ito and M. Mihara: *BMC Musculoskelet. Disord.*, **10**(2009), 66.
- (82) A. Shimomura, I. Matsui, T. Hamano, T. Ishimoto, K. Takehana, K. Inoue, Y. Kusunoki, D. Mori, C. Nakano, Y. Obi, N. Fujii, Y. Takabatake, T. Nakano, Y. subakihara, Y. Isaka and H. Rakugi: *J. Am. Soc. Nephrol.*, **25**(2014), 1954–1965.
- (83) Y. Iwasaki, J. J. Kazama, H. Yamato, A. Matsugaki, T. Nakano and M. Fukagawa: *Bone*, **81**(2015), 247–254.
- (84) M. Tanaka, A. Matsugaki, T. Ishimoto and T. Nakano: *J. Bone Miner. Metab.*, **34**(2016), 234–241.
- (85) J.-W. Lee, A. Kobayashi and T. Nakano: *J. Bone Miner. Metab.*, **35**(2017), 308–314.
- (86) T. Ishimoto, B. Sato, J.-W. Lee and T. Nakano: *Bone*, **103**(2017), 216–223.
- (87) R. Ozasa, T. Ishimoto, S. Miyabe, J. Hashimoto, M. Hirao, H. Yoshikawa and T. Nakano: *Calcif. Tissue Int.*, **104**(2019), 449–460.
- (88) K. Kitaguchi, M. Kashii, K. Ebina, T. Kaito, R. Okada, T. Makino, Y. Etani, T. Ishimoto, T. Nakano and H. Yoshikawa: *Bone*, **130**(2020), 115077.
- (89) Y. Etani, K. Ebina, M. Hirao, K. Kitaguchi, M. Kashii, T. Ishimoto, T. Nakano, G. Okamura, A. Miyama, K. Takami, A. Goshima, T. Kanamoto, K. Nakata and H. Yoshikawa: *Bone*, **139**(2020), 115525.
- (90) A. Matsugaki, S. Matsumoto and T. Nakano: *Int. J. Mol. Sci.*, **21**(2020), 6659.
- (91) M. Wada, Y. Shimada, S. Iizuka, N. Ishii, H. Hiraki, T. Tachibana, K. Maeda, M. Saito, S. Arakawa, T. Ishimoto, T. Nakano, H. Ida, T. Ohashi and H. Kobayashi: *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development*, **19**(2020), 261–274.
- (92) T. Wakamatsu, Y. Iwasaki, S. Yamamoto, K. Matsuo, S. Goto, I. Narita, J. J. Kazama, K. Tanaka, A. Ito, R. Ozasa, T. Nakano, C. Miyakoshi, Y. Onishi, S. Fukuma, S. Fukuhara, H. Yamato, M. Fukagawa and T. Akizawa: *J. Bone Miner. Res.*, **36**(2021), 67–79.
- (93) R. Ozasa, A. Matsugaki, T. Ishimoto, S. Kamura, H. Yoshida, M. Magi, Y. Matsumoto, K. Sakuraba, K. Fujimura, H. Miyahara and T. Nakano: *Bone*, **155**(2022), 116261.
- (94) T. Ishimoto, M. Saito, R. Ozasa, Y. Matsumoto and T. Nakano: *Calcif. Tissue Int.*, **110**(2022), 736–745.
- (95) R. Ozasa, M. Saito, T. Ishimoto, A. Matsugaki, Y. Matsumoto and T. Nakano: *Bone*, **157**(2022), 116309.
- (96) A. Sekita, A. Matsugaki and T. Nakano: *Bone*, **97**(2017), 83–93.
- (97) Y. Kimura, A. Matsugaki, A. Sekita and T. Nakano: *Sci. Rep.*, **7**(2017), 44824.
- (98) A. Sekita, A. Matsugaki, T. Ishimoto and T. Nakano: *J. Struct. Biol.*, **197**(2016), 260–270.
- (99) J. Wang, T. Ishimoto and T. Nakano: *Mater. Trans.*, **54**(2013), 1257–1261.
- (100) J. Wang, T. Ishimoto and T. Nakano: *Calcif. Tissue Int.*, **100**(2017), 87–97.
- (101) J. Wang, T. Ishimoto, T. Matsuzaka, A. Matsugaki, R. Ozasa, T. Matsumoto, M. Hayashi, H. S. Kim and T. Nakano: *Bone*, **181**(2024), 117024.
- (102) A. Matsugaki, G. Aramoto and T. Nakano: *Biomaterials*, **33**(2012), 7327–7335.
- (103) A. Matsugaki, N. Fujiwara and T. Nakano: *Acta Biomater.*, **9**(2013), 7227–7235.
- (104) A. Matsugaki, Y. Isobe, T. Saku and T. Nakano: *J. Biomed. Mater. Res. A*, **103**(2015), 489–499.
- (105) A. Matsugaki, G. Aramoto, T. Ninomiya, H. Sawada, S. Hata and T. Nakano: *Biomaterials*, **37**(2015), 134–143.
- (106) Y. Nakanishi, A. Matsugaki, K. Kawahara, T. Ninomiya, H. Sawada and T. Nakano: *Biomaterials*, **209**(2019), 103–110.
- (107) T. Matsuzaka, A. Matsugaki and T. Nakano: *Biomaterials*, **279**(2021), 121203.
- (108) J.-W. Lee, T. Nakano, S. Toyosawa, Y. Tabata and Y. Umakoshi: *Mater. Trans.*, **48**(2007), 337–342.
- (109) T. Moriishi, R. Ozasa, T. Ishimoto, T. Nakano, T. Hasegawa, T. Miyazaki, W. Liu, R. Fukuyama, Y. Wang, H. Komori, X. Qin, N. Amizuka and T. Komori: *PLoS Genet.*, **16**(2020), e1008586.
- (110) K. Hirose, T. Ishimoto, Y. Usami, S. Sato, K. Oya, T. Nakano, T. Komori and S. Toyosawa: *Bone*, **138**(2020), 115414.
- (111) 中野貴由, 石本卓也, 松垣あいら, 小笹良輔: *BIO Clinica*, **35**(2020), 651–657.
- (112) 中野貴由: レーザ積層造形法, 多次元アディティブ・マニュファクチャリング, 日本溶接協会, (2018), 1–25.
- (113) 中野貴由: テクノロジー・ロードマップ全産業編, 日経 BP 社, (2020), 392–395.
- (114) T. Nakano: *Selective laser Melting, Multi-dimensional Addit. Manuf.*, Springer, (2020), 3–26.
- (115) 中野貴由, 桐原聡秀, 近藤勝義, 西川宏, 田中学(編著): デジタル化時代の Additive Manufacturing の基礎と応用, スマートプロセス学会, (2022).
- (116) 新家光雄, 池田勝彦, 成島尚之, 中野貴由, 細田秀樹(編著): チタンの基礎と応用, 内田老鶴圃, (2023).
- (117) 中野貴由, 桐原聡秀, 近藤勝義, 西川宏, 田中学(編著): デジタル化時代の Additive Manufacturing の基礎と応用 (第2版), スマートプロセス学会, (2023).
- (118) K. Hagihara and T. Nakano: *J. Met.*, **74**(2022), 1760–1773.
- (119) S.-H. Sun, T. Ishimoto, K. Hagihara, Y. Tsutsumi, T. Hanawa and T. Nakano: *Scr. Mater.*, **159**(2019), 89–93.
- (120) T. Ishimoto, S. Wu, Y. Ito, S.-H. Sun, H. Amano and T. Nakano: *ISIJ Inter.*, **60**(2020), 1758–1764.
- (121) Y. Miyata, M. Okugawa, Y. Koizumi and T. Nakano: *Crystals*, **11**(2021), 856.
- (122) Y. Tsutsumi, T. Ishimoto, T. Oishi, T. Manaka, P. Chen, M. Ashida, K. Doi, H. Katayama, T. Hanawa and T. Nakano: *Addit. Manuf.*, **45**(2021), 102066.
- (123) M. Okugawa, Y. Ohigashi, Y. Furishiro, Y. Koizumi and T. Nakano: *J. Alloys Compd.*, **919**(2022), 165812.
- (124) 中野貴由: 軽金属, **67**(2017), 470–480.
- (125) X. Tan, Y. Kok, Y. J. Tan, M. Descoins, D. Mangelinck, S. B. Tor, K. F. Leong and C. K. Chu: *Acta Mater.*, **97**(2015), 1–16.
- (126) 池庄司敏孝: スマートプロセス学会誌, **6**(2017), 109–114.
- (127) T. Ishimoto, K. Hagihara, K. Hisamoto, S.-H. Sun and T. Nakano: *Scr. Mater.*, **132**(2017), 34–38.
- (128) T. Morita, C. Tsuda and T. Nakano: *Mater. Sci. Eng. A*, **704**(2017), 246–251.
- (129) S.-H. Sun, K. Hagihara and T. Nakano: *Mater. Des.*, **140**(2017), 307–316.
- (130) K. Hagihara, T. Nakano, M. Suzuki, T. Ishimoto, S. Yalatu and S.-H. Sun: *J. Alloys Compd.*, **696**(2017), 67–72.
- (131) 中野貴由, 石本卓也: 応用物理, **10**(2018), 759–763.
- (132) 中野貴由, 石本卓也: ふえらむ, **24**(2019), 687–696.
- (133) 中野貴由: 機械技術, **67**(2019), 21–27.
- (134) T. Nakano: *Mechanical behavior, degradation, and testing of metals for biomedical devices, Metals for Biomedical Devices—Second Edition* (M. Niinomi eds.), Elsevier, (2019), 97–126.
- (135) T. Nagase, T. Hori, M. Todai, S.-H. Sun and T. Nakano:

- Mater. Des., **173**(2019), 107771.
- (136) 中野貴由：溶接学会誌, **89**(2020), 27–37.
- (137) O. Gokcekaya, N. Hayashi, T. Ishimoto, K. Ueda, T. Narushima and T. Nakano: Addit. Manuf., **36**(2020), 101624.
- (138) T. Ishimoto, R. Ozasa, K. Nakano, M. Weinmann, C. Schnitter, M. Stenzel, A. Matsugaki, T. Nagase, T. Matsuzaka, M. Todai, H. S. Kim and T. Nakano: Scr. Mater., **194**(2021), 113658.
- (139) A. Takase, T. Ishimoto, R. Suganuma and T. Nakano: Scr. Mater., **201**(2021), 113953.
- (140) T. Ishimoto, K. Hagihara, K. Hisamoto and T. Nakano: Addit. Manuf., **43**(2021), 102004.
- (141) K. Cho, H. Kawabata, T. Hayashi, H. Y. Yasuda, H. Nakashima, M. Takeyama and T. Nakano: Addit. Manuf., **46**(2021), 102091.
- (142) K. Hagihara, T. Ishimoto, M. Suzuki, R. Ozasa, A. Matsugaki, P. Wang and T. Nakano: Scr. Mater., **203**(2021), 114111.
- (143) O. Gokcekaya, T. Ishimoto, S. Hibino, J. Yasutomi, T. Narushima and T. Nakano: Acta Mater., **212**(2021), 116876.
- (144) A. Takase, T. Ishimoto, R. Suganuma and T. Nakano: Addit. Manuf., **47**(2021), 102257.
- (145) S. Hibino, T. Todo, T. Ishimoto, O. Gokcekaya, Y. Koizumi, K. Igashira and T. Nakano: Crystals, **11**(2021), 1064.
- (146) S.-H. Sun, K. Hagihara, T. Ishimoto, R. Suganuma, Y.-F. Xue and T. Nakano: Addit. Manuf., **47**(2021), 102329.
- (147) O. Gokcekaya, T. Ishimoto, T. Todo, P. Wang and N. Takayoshi: Addit. Manuf. Letters, **1**(2021), 100016.
- (148) H. Amano, T. Ishimoto, R. Suganuma, K. Aiba, S.-H. Sun, R. Ozasa and T. Nakano: Addit. Manuf., **48**(2021), 102444.
- (149) T. Todo, T. Ishimoto, O. Gokcekaya, J. Oh and T. Nakano: Scr. Mater., **206**(2022), 114252.
- (150) D. E. Jodi, T. Kitashima, Y. Koizumi, T. Nakano and M. Watanabe: Addit. Manuf. Lett., **3**(2022), 100066.
- (151) T. Nakano, T. Ishimoto, R. Ozasa and A. Matsugaki: Mater. Trans., **64**(2023), 2361–2367.
- (152) H.-J. Kim, K. Mori, T. Nakano and H. Yamashita: Chem-CatChem, (2023), e202301380.
- (153) O. Gokcekaya, T. Ishimoto, Y. Nishikawa, Y. S. Kim, A. Matsugaki, R. Ozasa, M. Weinmann, C. Schnitter, M. Stenzel, H. S. Kim, Y. Miyabayashi and T. Nakano: Mater. Res. Lett., **11**(2023), 274–280.
- (154) H. Amano, T. Ishimoto, K. Hagihara, R. Suganuma, K. Aiba, S.-H. Sun, P. Wang and T. Nakano: Virtual Phys. Prototyp., **18**(2023), 1–16.
- (155) H.-J. Kim, K. Mori, T. Nakano and H. Yamashita: Adv. Funct. Mater., **33**(2023), 2303994.
- (156) T. Ishimoto, R. Suganuma and T. Nakano: Mater. Lett., **349**(2023), 134835.
- (157) K. Mori, T. Fujita, H. Hata, H.-J. Kim, T. Nakano and H. Yamashita: ACS Appl. Mater. Interfaces., **15**(2023), 51079–51088.
- (158) S.-H. Park, O. Gokcekaya, R. Ozasa, M.-H. Oh, Y.-W. Kim, H. S. Kim and T. Nakano: Met. Mater. Int., **30**(2023), 1–15.
- (159) 中野貴由, 石本卓也, 松垣あいら, 小笹良輔, ゴクチェカヤオズカン, 安田弘行, 趙研, 小泉雄一郎, 奥川将行, 吉矢真人, 藤井進, 多根正和, 三好英輔, 東野昭太：まてりあ, **63**(2024), 36–41.
- (160) T. Nakano: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., **1310**(2024), 012013.
- (161) P. V. Cobbinah, S. Matsunaga, Y. Toda, R. Ozasa, M. Okugawa, T. Ishimoto, Y. Liu, Y. Koizumi, P. Wang, T. Nakano and Y. Yamabe-Mitarai: Smart Materials in Manufacturing, **2**(2024), 100050.
- (162) T. Ishimoto, N. Morita, R. Ozasa, A. Matsugaki, O. Gokcekaya, S. Higashino, M. Tane, T. Mayama, K. Cho, H. Y. Yasuda, M. Okugawa, Y. Koizumi, M. Yoshiya, D. Egusa, T. Sasaki, E. Abe, H. Kimizuka, N. Ikeo and T. Nakano: Acta Mater., **286**(2025), 120709.
- (163) M. Tane, S. Akita, T. Nakano, K. Hagihara, Y. Umakoshi, M. Niinomi and H. Nakajima: Acta Mater., **56**(2008), 2856–2863.
- (164) S.-H. Lee, M. Todai, M. Tane, K. Hagihara, H. Nakajima and T. Nakano: J. Mech. Behav. Biomed. Mater., **14**(2012), 48–54.
- (165) ISO 5832-14 : 2007, Implants for surgery –Metallic materials– Part 14: Wrought titanium 15–molybdenum 5–zirconium 3–aluminium alloy, (2007).
- (166) M. Todai, T. Nakano, T. Liu, H. Y. Yasuda, K. Hagihara, K. Cho, M. Ueda and M. Takayama: Addit. Manuf., **13C**(2017), 61–70.
- (167) T. Mayama, T. Ishimoto, M. Tane, K. Cho, K. Manabe, D. Miyashita, S. Higashino, T. Kikukawa, H. Y. Yasuda and T. Nakano: Addit. Manuf., **93**(2024), 104412.
- (168) M. Okugawa, K. Saito, H. Yoshima, K. Sawaizumi, S. Nomoto, M. Watanabe, T. Nakano and Y. Koizumi: Addit. Manuf., **84**(2024), 104079.
- (169) FINESIA BL フィクスチャー ファイナフィックス(医療機器製造販売承認番号：22800BZX 00034000).
- (170) Y. Noyama, T. Nakano, T. Ishimoto, T. Sakai and H. Yoshikawa: Bone, **52**(2013), 659–667.
- (171) M. Yasutake, S. Kuroshima, T. Ishimoto, T. Nakano and T. Sawase: Implant Dent., **25**(2016), 171–178.
- (172) S. Kuroshima, T. Nakano, T. Ishimoto, M. Sasaki, M. Inoue, M. Yasutake and T. Sawase: Acta Biomater., **48**(2017), 433–444.
- (173) Y. Uto, S. Kuroshima, T. Nakano, T. Ishimoto, N. Inaba, Y. Uchida and T. Sawase: PLoS ONE, **12**(2017), e0189893.
- (174) 黒嶋伸一郎, 中野貴由, 澤瀬隆：日本口腔インプラント学会誌, **34**(2023), 224–231.
- (175) T. Ishimoto, Y. Kobayashi, M. Takahata, M. Ito, A. Matsugaki, H. Takahashi, R. Watanabe, T. Inoue, T. Matsuzaka, R. Ozasa, T. Hanawa, K. Yokota, Y. Nakashima and T. Nakano: Spine J., **22**(2022), 1742–1757.
- (176) A. Matsugaki, M. Ito, Y. Kobayashi, T. Matsuzaka, R. Ozasa, T. Ishimoto, H. Takahashi, R. Watanabe, T. Inoue, K. Yokota, Y. Nakashima, T. Kaito, S. Okada, T. Hanawa, Y. Matsuyama, M. Matsumoto, H. Taneichi and T. Nakano: Spine J., **23**(2023), 609–620.
- (177) UNIOS PL スペース (医療機器製造販売承認番号：30300BZX00111000).
- (178) 高橋広幸, 井上貴之, 中島義雄, 横田勝彦, 伊東学, 松垣あいら, 中野貴由：まてりあ, **62**(2023), 58–60.



中野貴由

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1992年3月 大阪大学大学院工学研究科 博士前期課程修了

1992年4月 大阪大学工学部 助手

1996年3月 博士(工学)(大阪大学)取得

1999年4月 大阪大学大学院工学研究科 講師

2001年6月 大阪大学大学院工学研究科 助教授

2008年4月 大阪大学大学院工学研究科 教授(現職)

2017年4月 大阪大学 栄誉教授 (Distinguished Professor)

2021年4月 (公社)日本金属学会会長(2023年4月まで)

2023年10月 日本学術会議 会員(26期・27期)

現在, 大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM 研究開発センターセンター長などを兼任

専門分野：生体材料学, 結晶塑性学, 金属 3DP 学

◎高温耐熱材料の塑性変形機構の解明に端を発し, 「異方性材料学」の学理構築のため, 多様な骨基質配向化機構研究, 金属 3D プリンティングによる異方性形状・材質制御に関する研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

セミソリッド発泡法による発泡アルミニウム合金のセル壁安定化メカニズム

高 松 聖 美*

1. は じ め に

近年、環境負荷低減のため軽量でありながら機能的、かつ耐久性のある材料が強く求められている。発泡アルミニウム合金は、内部に多数の気孔を持つ金属材料である。熱制御機能や高い衝撃吸収性を持ち、また、非常に軽量でありながら高い剛性を持つ⁽¹⁾。そのため、上記に述べた近年の需要に合致し、現在は建材や自動車の衝撃吸収部材などとしての工業利用が進められている⁽²⁾。

溶湯に熱分解で H_2 ガスを発生させる TiH_2 を添加すると内部で気泡が発生し、そのまま凝固させることで発泡アルミニウム合金(以降、発泡体と呼称)を作製することができる。しかし、発泡中、泡と泡の間(セル壁)から重力によって下方へ溶湯が流出してしまう。これを排液現象と呼ぶ。排液が進行するとセル壁が破膜して泡が結合し、作製される発泡体内部の気孔は粗大で不均一になる。このような不安定な発泡体は前述の特性が低く、工業利用に向かないばかりか、再現性も低下する。微細で均一な気孔を持つ安定な発泡体を作製することは、製品の信頼性を向上させることに繋がる。

従来法である溶湯発泡法は、増粘剤を添加することで排液現象を抑制する⁽³⁾。増粘剤は溶湯の見かけ粘度を増大し、排液を抑制することが明らかにされている⁽⁴⁾。しかし、増粘剤として通常添加するカルシウムやアルミナは、もとの合金においては不純物である。そのため、合金組成を変化させてしまい、合金強度を低下させるなどの課題がある。

ここで、固液が共存する平衡状態(セミソリッド状態)において発泡させ、保持後に凝固させるセミソリッド発泡法の開

発が進められている⁽⁵⁾。セミソリッド発泡法においては、添加物ではなく、本来合金に存在する組成で構成される初晶粒子を増粘剤として利用する。本方法の産業利用には、気孔を安定化させるメカニズムや最適な初晶分率を明らかにする必要がある。溶湯発泡法における気孔の安定化メカニズムや最適な分率はすでに明らかにされている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾。セミソリッド発泡法においても同様のメカニズムが働くと考えられたが、初晶粒子の平均粒径は溶湯発泡法における増粘剤の最適な粒径より10倍程度大きい。そのため、溶湯発泡法とは異なる安定化メカニズムによって排液が抑制されると考えられる。同様の理由から、最適な初晶分率も異なると考えられる。

セル壁を模擬した合金膜を用いた先行研究によると、排液現象に伴って初晶粒子が合金膜内で集まり、初晶分率が45%を超えると、排液を物理的に抑制するせき止め効果が発現することが実験的に明らかにされた⁽⁷⁾。しかしながら、本効果の発泡体全体への適用可否、排液抑制に必要な初晶分率は不明である。

よって、本稿で紹介する研究ではセミソリッド発泡法の安定化メカニズムを明らかにすることを目的とした。これを解決するため、浸透理論に基づいた発泡体におけるせき止め効果の発現可否、最適な初晶分率の解明に取り組んだ⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

2. 浸透理論に基づいた発泡体の安定性評価

セミソリッド発泡法の安定化メカニズムと考えられるせき止め効果をセル壁を模した合金膜から発泡体全体に拡張し、浸透理論に基づいて発泡体の安定性を評価することを目的とした。

* 早稲田大学大学院 基幹理工学研究科材料科学専攻; 助教(現: 千葉工業大学工学部先端材料工学科; 助教)(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 59号館305室)

Stabilization Mechanism of Cell Walls in Aluminum Alloy Foam through Semi-Solid Route; Satomi Takamatsu (Department of Materials Science, Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University, Tokyo) (currently Department of Advanced Materials Science and Engineering, Chiba Institute of Technology, Narashino)

Keywords: aluminum silicon, aluminum alloy foam, semi-solid, porous metal, stabilization, percolation, fabrication method

2025年1月6日受理[doi:10.2320/materia.64.331]

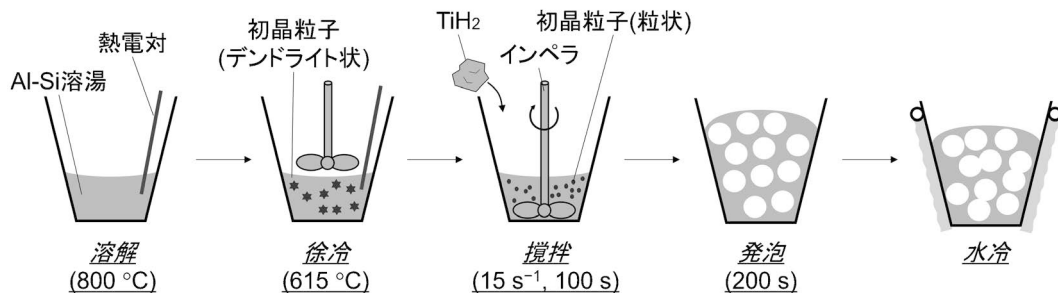


図1 セミソリッド発泡法による発泡アルミニウム合金の作製方法.

表1 使用した各合金の成分表(mass%).

成分	Si	Fe	Cu	Al
Al-25.3 Si	25.3	0.15	0.00	Bal.
純Al	0.004	0.003	0.0001	Bal.

(1) 実験方法

(a) 発泡アルミニウム合金の作製方法

図1にセミソリッド発泡法による発泡体の作製方法を示す. まず, Al-25.5 mass% Si 合金ならびに純Alを用いて, Si濃度が6.4 mass%となるように母合金を溶製した. 用いた各合金の組成を表1に示す. 母合金を70 g計量し, 内側を主成分がアルミナであるアロンセラミックD(東亜合成株式会社)でコーティングしたステンレスのつぼ($\phi 73 \text{ mm} \times 65.5 \text{ mm}$)に設置後, 完全に溶解するまで電気炉内で加熱した. 状態図から計算した固相率 f_s が12%となるように初晶粒子を晶出させるため, 溶湯温度 T_m が615°Cとなるまで徐冷した⁽¹⁰⁾. ここで, 溶湯に浸けた熱電対は発泡中の気孔形成を阻害する恐れがある. そのため, 溶湯温度 T_m が $615 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の範囲で5 min維持されたことを確認後, 熱電対を取り除いた. 以降は熱電対を取り除いた時点での炉内温度が一定となるようにヒーターを制御した. その後, 純Al箔($100 \times 100 \text{ mm}^2$)に包んだ0.7 gの TiH_2 をセミソリッドスラリーに添加した. TiH_2 を分散させるため, インペラを用いて 15 s^{-1} で100 s, セミソリッドスラリーを攪拌した. その後, 発泡のため200 s保持し, 炉内から取り出して水冷凝固により発泡体を得た.

(b) 気孔構造の測定

As-cast 材のAl-6.4 mass% Si 合金の密度 ρ_{np} と, 得られた発泡体の密度 ρ_p をアルキメデス法で測定した. 気孔率 p を式(1)から算出した.

$$p = \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_{np}}\right) \times 100 \quad (1)$$

気孔率 p の算出後, 発泡体の中央を通る面で切断した. 断面を観察し, 画像解析ソフトを用いて気孔の面積 A_p , 円相当径 d_p を測定した. また, ポロノイ解析を用いて各気孔に

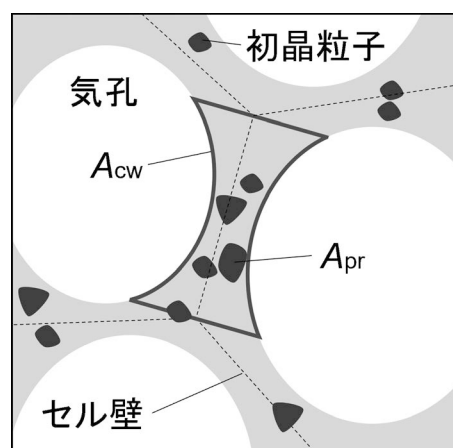


図2 セル壁と初晶粒子の面積.

ついてどの部分がセル壁であるかの判定を行った.

(c) ミクロ組織観察

切断した発泡体の片方のみをさらに6つに分割した. 試験片を樹脂埋め, 研磨し, 水冷凝固中に発生する凝固偏析を可視化するためWeck試液でエッチングした. Weck試液は100 gの純水に, 4 gの KMnO_4 , 1 gの NaOH を添加して作製した⁽¹¹⁾. エッチングで黒く変色した部分を凝固偏析部とし, その部分を除いた範囲を発泡中に初晶粒子だった部分と判断した. 光学顕微鏡で初晶粒子を観察し, 画像解析ソフトを用いてすべての初晶粒子について面積を測定した. また図2に示すように, 各セル壁中の初晶粒子の面積割合 p_{cw} を式(2)から算出した. ここで, A_{pr} はセル壁中に含まれる各初晶粒子の面積, A_{cw} はセル壁の面積である.

$$p_{cw} = \frac{\sum A_{pr}}{A_{cw}} \quad (2)$$

(2) 結果

(a) 気孔の分布

図3(a)に示すのは作製された発泡体の断面写真である. 気孔率 p は30.2%であった. 図3(b, c)に示すのは, 高さ0.5 mmごとにおける発泡体断面を占める気孔の割合を示した気孔面積率 A_p/A および気孔径 d_p の分布図である. 気孔面積率は, 発泡体の面積 A に対する気孔面積 A_p の割合とし

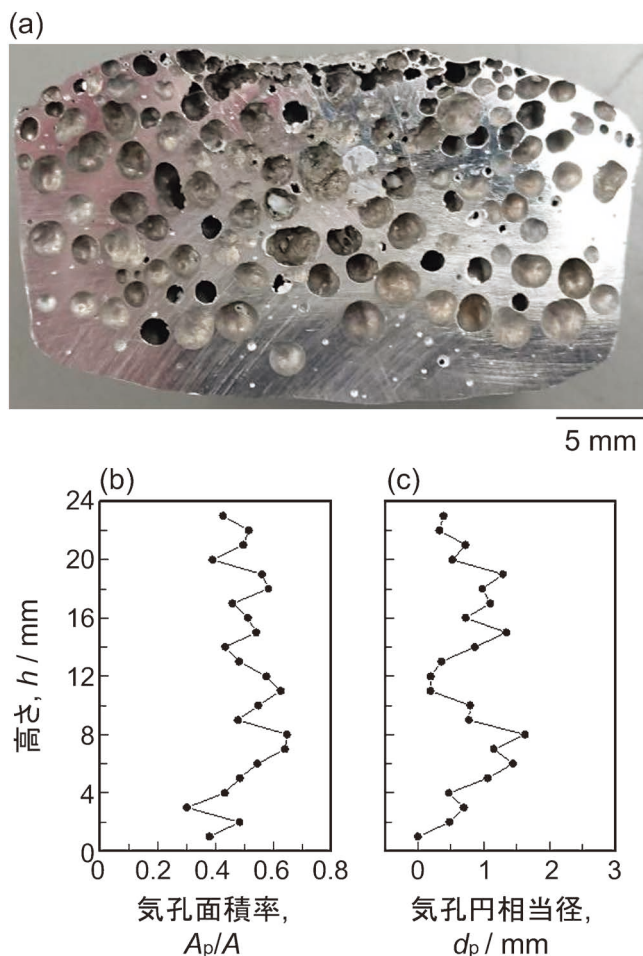


図3 セミソリッド発泡法で作製した発泡アルミニウム合金.
(a) 断面写真. (b) 断面写真から算出した高さ 0.5 mm
ごとの気孔面積率, および (c) 気孔径の分布図⁽⁸⁾.

て算出した. これより, 発泡体の気孔性状は微小かつおおむね均一であり, 安定な発泡体を得たと評価できる.

(b) 初晶粒子の分布

図4(a)に示すのは光学顕微鏡で観察した, Weck 液によるエッチング前の発泡体の断面写真である. 図4(b)に示すのは簡単のため, 初晶粒子のみを赤く塗りつぶした光学顕微鏡写真の一部である. おおむね発泡体全体で均一に初晶粒子が存在していることが明らかになった.

(3) 考察

(a) 安定化メカニズムにおける浸透理論の利用

浸透理論とは, 障害物によって完全に流路が塞がれていないにも関わらず, 流れが抑制される現象を示すものである. この理論では, 浸透確率は流れの中の障害物の割合として定義される. 浸透確率が浸透閾値を超えると, 流れが抑制される. また, 浸透閾値は流れの構造によって変化する.

本研究では, 浸透理論を発泡体の安定化メカニズムに適用した. まず, セル壁を排液という流れの通り道であるチューブだと考えた. ここで, 初晶粒子は排液を抑制する障害物で

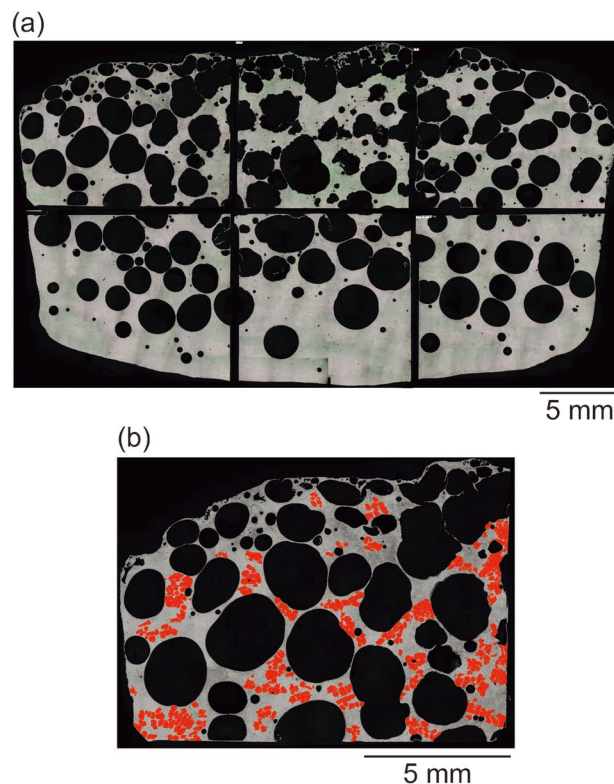


図4 セミソリッド発泡法で作製した発泡アルミニウム合金の光学顕微鏡写真. (a) 断面全体. (b) 初晶粒子のみを赤く塗りつぶした, 光学顕微鏡写真の一部⁽⁸⁾.

あり, チューブ固有の浸透閾値 p_{cw}' を超える初晶粒子が存在するセル壁は, 排液が抑制されていると見なした. 次に, 発泡体をセル壁を辺とした格子構造であると考えた.

さらに, 初晶粒子により排液が抑制されたセル壁そのものを発泡過程における排液の障害物であると考えた. 加えて, 排液が抑制されたセル壁の割合が格子構造固有の浸透閾値 p_t' を超えるとき, 発泡体の排液が抑制されていると見なした.

(b) セル壁と発泡体全体への浸透理論の適用

すべてのセル壁について, 含まれる初晶粒子の面積率を測定し, セル壁における浸透確率 p_{cw} とした. チューブ状の流れが持つ固有の浸透閾値 p_{cw}' は先行研究より 0.58 である⁽¹²⁾. すべての浸透確率 p_{cw} を浸透閾値 $p_{cw}' = 0.58$ と比較し, $p_{cw} \geq p_{cw}'$ となったセル壁を排液が抑制されたセル壁と判定した. 図5に, 各セル壁の浸透確率 p_{cw} に対する個数のヒストグラムならびに累積割合のグラフを示す. グラフ中にて灰色で示される領域は, 排液が抑制されたセル壁を示している. 排液が抑制されたセル壁の割合は, すべてのセル壁のうち 0.34 と計算され, この値を格子構造における浸透確率 p_t とした. ここで, 格子構造の流れが持つ固有の浸透閾値 p_t' は先行研究より 0.33 である⁽¹³⁾. よって, 浸透確率 $p_t = 0.34$ を浸透閾値 $p_t' = 0.33$ と比較し, $p_t \geq p_t'$ となったため, 発泡体全体の排液が抑制されたと明らかにした. 以上から, 初晶粒

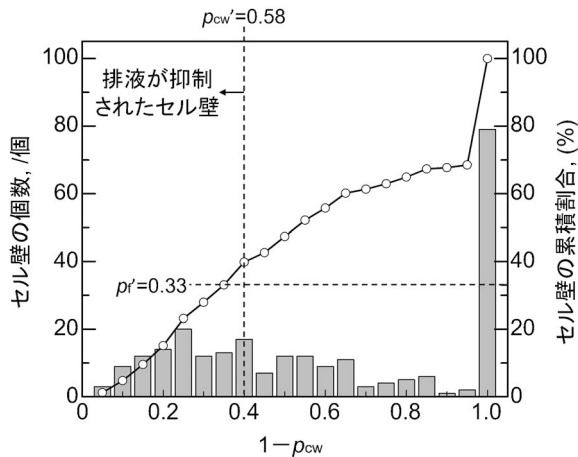


図5 浸透確率 p_{cw} におけるセル壁のヒストグラムおよび累積割合のグラフ。灰色の領域はセル壁の排水が抑制されたことを示す⁽⁸⁾。

子によるせき止め効果は発泡体でも発現することが明らかになった。

3. 比較実験による作製に最適な固相率の解明

前節にて、せき止め効果が発泡体でも発現し排水を抑制することを明らかにしたが、せき止め効果の発現に最適な固相率はいまだ不明である。よって、最適な固相率の範囲を明らかにすることを目的とした。

(1) 実験方法：発泡アルミニウム合金の作製と解析

図1で示した手順で、セミソリッド発泡法により発泡体を作製した。加えて、るつぼ底面の温度 T_c を溶湯温度 T_m と同時に測定し、ヒーターは T_c をフィードバック値としてPID制御した。2.(1)(a)でも記載の通り、発泡中の溶湯温度は直接測定をしなかった。しかし、間接的に測定するため、発泡中の溶湯温度を T_m' として、るつぼの底面温度 T_c から逆算した。また、発泡中の固相率 f_s が15%となるように、熱力学計算ソフトウェア Thermo-Calc から算出した温度

613℃まで溶湯を徐冷し、発泡、保持中も溶湯温度 T_m を維持した。以上の設定条件を同一にし、3つの発泡体を作製した。

また、2.(1)(b, c)で示したように、気孔率 p を計測し、ミクロ組織観察を行った。各セル壁に対して浸透理論を適用し、排水が抑制されたセル壁の判定を行った。

(2) 結果

図6に示すのは、作製された3つの発泡体の断面写真および気孔率 p である。同一設定条件で作製したにも関わらず、発泡体Cは気孔率、気孔径ともに、発泡体AおよびBと比較し大きくなった。さらに、発泡体Cでは各気孔径のばらつきが大きく、発泡体中央下部では気孔の結合による粗大化が観察された。このことから、発泡体AおよびBは気孔が微細かつ均一である安定な発泡体となったが、発泡体Cは安定化しなかったと考えられる。

図7に示すのは、各発泡体の作製中における溶湯温度 T_m の履歴を示したグラフである。発泡中とその直前の温度履歴のみを表示した。熱電対で直接測定した溶湯温度 T_m を細線、るつぼ底面の温度 T_c から逆算した発泡中の溶湯温度 T_m' を太線で示した。各発泡体は同一設定条件下で作製されたにも関わらず発泡中の溶湯温度 T_m' が異なった。この原因は本実験で使用した設備上、必ず発生する温度のばらつきによると考えられ、凝固直前における発泡中の溶湯温度 T_m' はそれぞれ613.8℃、611.5℃、616.3℃であった。Thermo-Calcを用いて T_m' から計算した各発泡体の凝固直前における固相率 f_s を、図6にあわせて示す。図6および図7より、発泡中の溶湯温度 T_m' が高い、つまり固相率 f_s が低いほど、気孔率、気孔径が大きくなり、安定でなくなることが明らかになった。

(3) 考察

前節において、発泡体Cは気孔の粗大化が観察されたため安定でないと評価したが、定量的な評価のため、各発泡体に対して浸透理論を適用した。各発泡体のセル壁について、セル壁の面積 A_{cw} と初晶粒子の面積 A_{pr} から、各セル壁中の

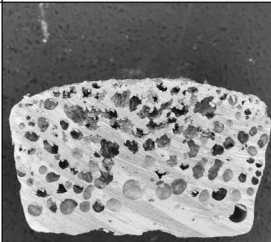
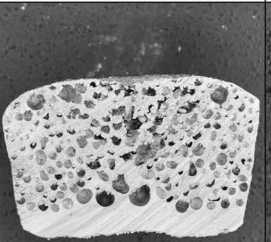
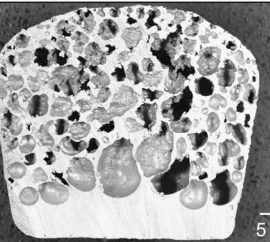
発泡体	A	B	C
断面			
p (%)	40.6	43.5	65.1
f_s (%)	14	19	9.2

図6 セミソリッド発泡法において同一設定条件で作製された発泡アルミニウム合金の断面写真、気孔率 p 、および凝固直前の固相率 f_s ⁽⁹⁾。

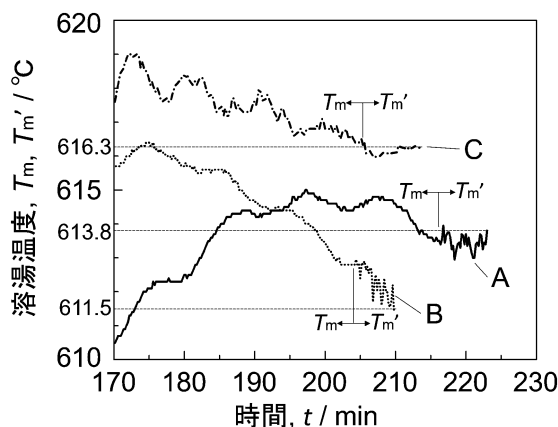


図7 作製中における各発泡体の溶湯温度履歴。発泡中とその直前を切り出し、熱電対で直接測定した溶湯温度 T_m ならびに、るつば底面の温度から逆算した発泡中の溶湯温度 T_m' を示した⁽⁹⁾。

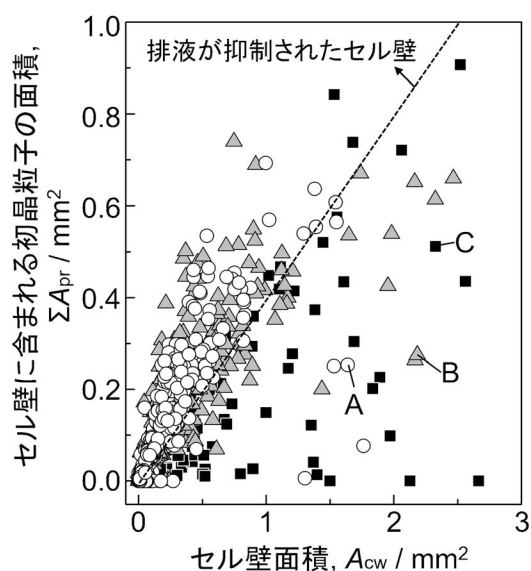


図8 同一設定条件で作製された発泡体における、セル壁面積 A_{cw} と、セル壁に含まれる初晶粒子の面積 ΣA_{pr} の関係。破線より左上の領域は、浸透確率が浸透閾値を超えて、排水が抑制されたセル壁を示す⁽⁹⁾。

初晶面積率、つまり浸透確率 p_{cw} を算出した。図8は、各セル壁について、セル壁面積 A_{cw} とセル壁に含まれる初晶粒子の面積 ΣA_{pr} の関係を表したグラフである。ここで、破線より左上の領域は、浸透確率 p_{cw} が浸透閾値 $p_{cw}' = 0.58$ を超えている箇所である。そのため、この領域では排水が抑制されたセル壁のみがプロットされる。

図8より、各発泡体 A, B, C における排水が抑制されたセル壁の割合は、それぞれ0.34, 0.45, 0.12であった。浸透理論に基づく、排水が抑制されたセル壁の割合は発泡体における浸透確率 p_f であるため、浸透閾値 $p_f' = 0.33$ を超えていない発泡体 C は排水が抑制されなかったと考えることができる。以上から、固相率 f_s が9.2%となる616.3°Cでは、気孔が微細で均一になる安定な発泡体は作製できないことが、

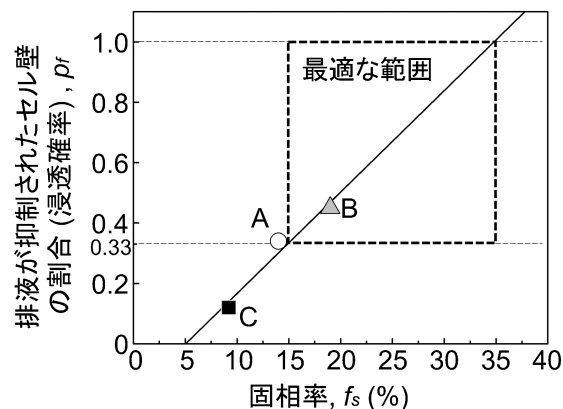


図9 排水が抑制されたセル壁の割合(浸透確率) p_f と発泡中の固相率 f_s の関係。黒い直線は近似線を示す。破線で囲んだ領域は最適な固相率の範囲を示す⁽⁹⁾。

断面観察および浸透理論を用いた定量評価から明らかになった。

ここで、3つの発泡体について、浸透確率 p_f と発泡中の固相率 f_s の関係を明らかにすることで、安定な発泡体作製に最適な固相率の範囲を算出できると考えた。

図9に示すのは、排水が抑制されたセル壁の割合(浸透確率) p_f と発泡中の固相率 f_s の関係である。グラフ中に示した黒の直線は、3つのプロットの近似線である。ここで、近似線と浸透閾値 $p_f' = 0.33$ の交点から、固相率の下限は15%程度と判断できる。また、浸透確率 p_f は1を超えないため、固相率の上限は35%程度である。よって、図9に示された破線で囲んだ領域は、せき止め効果によって安定になった発泡体を作製するための最適な範囲であると考えられる。

4. おわりに

本稿では、セミソリッド発泡法で作製された発泡体の安定化メカニズムについて、せき止め効果が発泡体でも発生すること、また作製に最適な固相率が15~35%であることを紹介した。特に、せき止め効果は先行研究で示された固相率45%よりも低い固相率でも発現することが明らかになった。これは、浸透理論から示される、必ずしもすべてのセル壁における排水が抑制される必要はない、という事実と一致する興味深い結果となった。

これまで、発泡体の安定性は気孔率や気孔径といったマクロ的指標でのみ評価されていた。その中で、本稿が取り上げた浸透理論による定量的な安定性評価法は、発泡アルミニウム合金の工業的信頼性を高める足掛かりになることが期待される。今後は、最適な発泡時間や最適な初晶粒径を明らかにすることで、より確固たる安定化メカニズムに結び付けたい。

本稿で紹介した内容は、著者に対する公益社団法人 軽金属奨学会 特別奨学生奨学金ならびに助成金の支援を受けて行われた。また使用した供試材は株式会社 UACJ よりご提

供いただいた. ここに謝意を表す.

文 献

- (1) J. Banhart: Prog. Mater. Sci., **46** (2001), 559–632.
- (2) F. García-Moreno: Metals, **9** (2016), 85–1–27.
- (3) T. Miyoshi, M. Itoh, S. Akiyama and A. Kitahara: Adv. Eng. Mater., **2** (2000), 179–183.
- (4) K. Heim, G. S. Vinod-Kumar, F. García-Moreno and J. Banhart: J. Mater. Sci., **52** (2017), 6401–6414.
- (5) 花房龍男, 大石 郁: 広島権利湯総合技術研究所東部工業技術センター研究報告, **23** (2010), 28–29.
- (6) I. Jin, J. D. Kenny and H. Sang: U. S. Patent 4,973,358, (1990).
- (7) T. Kuwahara, A. Kaya, T. Osaka, S. Takamatsu and S. Suzuki: Metals, **10** (2020), 333–1–13.
- (8) S. Takamatsu, T. Kuwahara, R. Kochi and S. Suzuki: Metals, **10** (2020), 847–1–13.
- (9) S. Takamatsu, T. Arai, A. Savama and S. Suzuki: Metals, **13**

- (2023), 1654–1–16.
- (10) J. L. Murray: Bull. Alloy Phase Diagrams, **5** (1984), 74–84.
- (11) L. Gao, Y. Harada and S. Kumai: J. Mater. Sci., **47** (2012), 6553–6564.
- (12) L. N. Smith and C. J. Lobb: Phys. Rev. B, **20** (1979), 3653–3658.
- (13) D. Stauffer and A. Aharony: Introduction to percolation theory 2nd Ed., Taylor & Francis, (1994), 26–34.



高松聖美

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

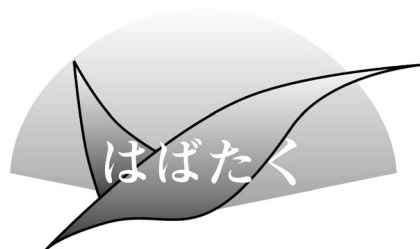
2024年 早稲田大学大学院基幹理工学研究科材料科学専攻博士課程修了

2024年4月ー 早稲田大学大学院基幹理工学研究科材料科学専攻；助教

2025年4月 千葉工業大学工学部先端材料工学科；助教

専門分野：発泡アルミニウム合金の材料プロセス工学
◎セミソリッド発泡法の安定化メカニズム解明を行っている。
ミクロな組織観察からマクロな構造解析を組み合わせた研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



いろいろな視点からアルミニウムに触れた学生生活

芝浦工業大学大学院理工学研究科
機能制御システム専攻；博士後期課程2年
栗原 健輔

1. はじめに

私は現在、芝浦工業大学大学院機能制御システム専攻に在籍しています。この度は「はばたく」執筆の貴重な機会を頂戴しましたので、これまでに私が取り組んだ研究内容や、研究活動を通して感じたことを紹介いたします(図1)。

2. これまでの研究内容

私は2021年度に芹澤愛准教授(現・教授)の下で、Al-Mg-Si合金における溶質原子のクラスタリングに関する研究を開始しました。本合金は溶体化処理を施した後、熱処理前に保持していた温度によって熱処理後の硬さが変化するという、非常に興味深い特性を持っています。これは溶体化処理後に形成されるナノクラスタ(溶質原子の微小な集合体)が温度によって異なるためであり、室温では強化相である β'' 相へ遷移しにくいCluster (1)が、100℃近辺では β'' 相へ遷移しやすいCluster (2)がそれぞれ形成されると考えられています⁽¹⁾。しかし、Cluster (1)とCluster (2)が析出挙動に対して各々異なる影響を及ぼす原因、そして形成温度によって異なるナノクラスタが形成される原因については、ともにいまだ解明されていません。また、3次元アトムプローブや透過型電子顕微鏡(TEM)はナノクラスタを直接観測することができる非常に強力な手法である一方で、ナノクラスタの形成、成長および安定性に対して大きく影響を与えていると考えられる空孔を捉えた例は過去にありません。これに対し、第一原理計算では溶質原子および空孔間の結合を再現した原子モデルを用いることで熱力学的な観点からの評価が可能になります。そこで、私は第一原理計算を用いて溶質原子および空孔間の結合エネルギーを評価することで溶質原子および空孔間の結合がナノクラスタの熱的安定性や形成過程に及ぼす影響の解明を試みました。その結果、空孔は溶質原子間の結合を安定化させること、そして、ナノクラスタはその内部で溶質原子と空孔との結合が形成されることで安定化していることを明らかにすることができました⁽²⁾。こうした時効析出挙動に及ぼす影響に加え、転位との相互作用もナノクラスタの種類によって異なることが提案されており、修士課程からはナノクラスタと転位との相互作用の解明を目指して研究を行ってきました。大規模なシミュレーションが可能な分子動力学法を適用した結果、ナノクラスタにおけるMg/Si比によって転位との相互作用が異なることが見出されてきており、今後さらに解析を進めていきたいと考えています。

このように、修士課程まではAl-Mg-Si合金に形成される



図1 2024年6月にアメリカ・アトランタで開催されたThe 19th International Conference on Aluminum Alloys(ICAA19)に臨む筆者(向かって左側)。(オンラインカラー)

ナノクラスタについて計算科学的手法を用いた研究を行っていました。一方で、これまでの研究を通して実際に材料に触れて研究を行う経験を積むことが必要だと考えていたことに加え、研究室内でたびたび行っていた議論を通して興味を持ったことから、博士課程に進んでからはこれまでのテーマに加え、水蒸気を活用したアルミニウム合金上への耐食性皮膜形成に関する研究にも挑戦しています。水蒸気プロセスと呼ばれるこの技術は、160~280℃程度の水蒸気と金属基材を直接反応させることで、基材由来の水酸化物で構成された耐食性皮膜を形成させる技術であり、アルミニウム合金の場合、二層構造のAlO(OH)皮膜が形成されます。純水のみを使用するこの表面処理は極めて環境にやさしい技術であるといえますが、皮膜形成の反応場や皮膜が二層構造を呈するメカニズム、皮膜形成に対し基材の溶質原子が及ぼす影響など未解明な部分が数多く残っています。私は現在、これらの解明に取り組んでおり、反応場におけるH₂Oの状態や各層が成長していく方向など、これまでブラックボックスになっていた皮膜形成過程が少しずつ明らかになってきています。

3. おわりに

博士課程に進んでからは、研究分野や手法を修士課程までに取り組んだものから大きく変えてアルミニウム合金に関する研究を行ってきました。しかし、これまでのナノクラスタに関する数々の研究報告や、自身で行ってきた耐食性皮膜形成の実験結果を解釈するに当たっては、極めて微細な組織の安定性や溶質原子間の相互作用について、熱力学的な観点からの裏付けが必要となる場面が非常に多く、この点で実験と計算科学的手法とを両輪で行っていくことの重要性を強く実感してきました。実験と計算の双方に深い見識を持ち、両方を相補的に使いこなせるような研究者を目指して、今後も挑戦する姿勢を忘れず研究に取り組みたいです。

最後になりますが、本稿執筆の機会をくださいました日本金属学会の皆様、ご指導いただいております芝浦工業大学の芹澤愛教授、日本原子力研究開発機構の都留智仁研究主席ならびにIvan Lobzenko研究員をはじめ、これまでお世話になった多くの方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) A. Serizawa, S. Hirose and T. Sato: Metall. Mater. Trans. A, **39**(2008), 243-251.
- (2) K. Kurihara, I. Lobzenko, T. Tsuru and A. Serizawa: Mater. Trans., **64**(2023), 1930-1936.
(2024年12月9日受理)[doi:10.2320/materia.64.337]
(連絡先: 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5)

本 会 記 事

会 告	2025年秋期(第177回)講演大会参加および講演申込について	338
	会誌・欧文誌(2025)秋期大会講演精選論文原稿募集	345
	第14回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内	351
	第20回 JIMM/TMS Young Leader International Scholar Award 募集	353
	2025年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	353
	日本金属学会主催国際会議企画提案募集	353
	各賞推薦(自薦)のお願い	353
	会報編集委員会からのお知らせ	354
	欧文誌編集委員会からのお知らせ	354
	日本金属学会オンライン教育講座：オンデマンド配信案内	355
	・オンライン教育講座ご案内	355
	2025年春期講演大会記録	361
掲示板		358
新入会員		360
会誌・欧文誌 5 号目次		359
行事カレンダー		364
まてりあ次号予告		360

◎本会へのお問合せは下記URLをご利用下さい。
<https://jimm.jp/contact/>

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

会 告 (ホームページもご参照下さい)

※秋期講演大会参加をご検討の方へお願い

◎昨今のオーバーツーリズムと9月の連休の影響により、札幌市内のホテル予約が取り難い状況になっております。各自において、お早めにホテル予約をお手配くださいますようお願い申し上げます。尚、本会では宿泊手配の補助などは行っておりませんので予めご了承下さい。

2025年秋期(第177回)講演大会参加および講演申込について

2025年秋期講演大会を、9月17日(水)から19日(金)まで、北海道大学で開催いたします。

高校生・高専学生ポスターセッションは、9月17日(水)に北海道大学で、9月25日(木)にオンラインで開催します。(選択された発表方法により開催日が変わります。)

参加申込みは、すべてインターネットでの申込みです。詳細は、下記参加申込要領をご確認下さい。前回から優秀ポスター賞の選考方法が変わりました。詳細は、ポスターセッションの項目をご確認下さい。

～ 講演大会日程(会期は3日間になります。) ～

日 時	行 事
9月17日(水) 9:00～ 9:40 午後(予定) ※応募件数によっては午前開始となる場合もございます。 10:00～17:00 18:30～20:30	開会の辞、贈呈式 ポスターセッション、高校生・高専学生ポスターセッション シンポジウム講演(一般講演は行いません) 懇親会(サッポロビール園(予定))
9月18日(木) 9:00～18:00	学術講演
9月19日(金) 9:00～17:00	学術講演
9月25日(木)午後	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

◆懇親会

開催日時：2025年9月17日(水) 開催場所・料金：詳細が決まり次第案内いたします。

講演大会参加申込

◆申込の種別と申込期間

- (1) 事前申込(8月29日(金))をもって事前参加申込完了となります
 申込期間：2025年5月27日(火)～2025年8月29日(金)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/
 決済方法：クレジットカード，コンビニ支払，銀行振込
- (2) 後期(当日)申込
 申込期間：2025年9月8日(月)～9月25日(木)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn_after/
 決済方法：クレジットカード
- (3) 相互聴講(鉄鋼協会参加者 現地申込のみ)
 申込期間：2025年9月17日(水)～19日(金)
 ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn_after/
 決済方法：クレジットカード



問合せ先： 講演大会係 annualm@jimm.jp

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

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

会 員 資 格	事前参加申込 (締切：8月29日)	後期(当日)申込 (受付期間： 9月8日～25日)	相互聴講 (会期中のみ)	登壇費
正員	10,000円	13,000円	—	—
非会員の維持員会社社員	10,000円	13,000円	—	10,000円
非会員のシンポジウム共催・協賛の学協会会員	10,000円	13,000円	—	10,000円
2025年3月1日時点で65歳以上の個人会員 ^{*1}	無 料	無 料	—	—
学生員 ^{*2}	6,000円	7,000円	—	—
ユース会員 ^{*3} (中高生会員，高専専科1年生以下，大学3年生以下)	無 料	無 料	—	5,000円 ^{*3}
非会員 ^{*4} 一般	24,000円	27,000円	—	10,000円
非会員 ^{*4} 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円	—	5,000円
鉄鋼協会講演大会参加者(一般学生問わず) 講演者は選択できません。	—	—	6,000円	—

- ・お支払後の取消は，ご返金できませんのでご了承下さい。
- ・領収書は，決済完了後に申込画面(「講演大会 MyPage」)からダウンロードし，印刷して下さい。

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

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

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

^{*4} 非会員は講演申込サイトの各講演種別の「非会員はこちら」をクリックして，講演申込みをして下さい。
 非会員の参加申込者には，春期大会への参加の場合は当該年の3月から12月末まで，秋期大会への参加の場合は当該年の9月から翌年6月末までの会員資格を付与する。ただし特典は重複して付与しません。

◆参加証

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

*「参加証ケース」をお持ちの方はご持参下さい。ケースが必要な方には受付で配布します。

◆講演概要の閲覧・ダウンロード

公開場所：講演大会ウェブサイト(ログイン必要)

公開日：大会2週間前の**2025年9月3日(水)**(特許関係の手続きは，公開日までに済ませて下さい。)

閲覧のためのログイン方法

① confit 共通アカウントを作成(初回のみで OK. すでに取得済みの方は不要)

→② 学会で配信する「参加者個別認証コード」と結びつける作業をする.

※参加者個別認証コードは会員番号や会員パスワードではありません.

参加者個別認証コード:

(事前参加申込の方) 参加費を納入済みの方に、概要公開日に「参加者個別認証コード」を配信します.

(後期(当日)申込の方) 参加申込受理通知に記載の「参加者個別認証コード」をお使い下さい.

◆講演概要集の購入

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

◆相互聴講申込

鉄鋼協会の講演大会に参加された方は、相互聴講料金で本会の講演大会を聴講できます.

申込資格: 日本鉄鋼協会に参加登録された方. (会員資格問わず)

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

(注)鉄鋼協会講演大会の相互聴講は、金属学会の講演大会参加申込を完了した後、会期中鉄鋼協会の相互聴講申込サイトで相互聴講の申込みと決済を行って下さい.

講演申込

◆申込期間(締切厳守!)

(1) 一般、公募シンポジウム、共同セッション、ポスターセッション: 2025年5月27日(火)~7月1日(火)17時

(2) 高校生・高専生ポスター: 2025年5月27日(火)~7月8日(火)17時

*講演申込と同時に参加申込が必要です.

*大会申込受付ホーム URL: <https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>



講演を申込む前に下記を確認して下さい

☐ 非会員も大会参加費と登壇費を支払えば、講演申込ができます(詳細は「講演申込要領」の「講演資格」参照.).

☐ 講演申込と同時に大会参加申込が必要です. 参加申込後、期日までに参加費と必要に応じて登壇費を納入下さい. 期日までに参加費を納入しない場合は講演を認めず、欠講として取り扱います.

☐ 講演申込と講演概要提出は同時に行って下さい. (同時に行わないと、講演申込は受理されません)

☐ 原則、講演申込者=講演発表者であること. (「講演申込要領」5.を参照)

☐ 会員資格での申込みには会員番号とパスワードが必要です. パスワードを紛失または忘れた方は、本会ホームページより再発行を行って下さい. セキュリティ上、電話やメールでの発行は出来ません.

これから入会して講演申込をする方へ

☐ 下記の入会申込期限までに入会申込を行い、納入期限までに年会費を納入して下さい.

☐ 年会費納入期限までに会費の払込がない場合は講演を認めません.

☐ 下記の入会申込みサイトから入会を申込んで下さい. 入会申込すると ID(会員番号)とパスワードが即日メールで送信されます.

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

入会申込期限 : 2025年6月27日(金)

年会費納入期限: 2025年7月31日(木)

入会・会費の問合せ先: 会員サービス係 member@jim.jp

講演申込要領

- ◆申込方法：大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>)から申込み。
一般講演およびポスターセッションの申込みでは、セッションキーワード一覧から第1希望および第2希望のセッションキーワードを選択すること。講演セッション決定の参考にします。
- ◆講演概要：大会申込受付ホームから最新のMS-Wordのテンプレートをダウンロードして作成すること。
分量はA4縦1頁とする。
作成後にフォント埋め込みのpdfに変換して、アップロードする。
- ◆講演件数：一人2件以内。ただしポスターのみ2件は不可。
(受賞講演，基調講演，招待講演等の特殊講演は上記の適用外)
同一研究室の3件以上の連続講演は不可。
- ◆講演時間：一般講演：講演10分，討論5分
公募シンポジウム：講演10～20分，討論5～10分
共同セッション：講演15分，討論5分
(講演時間は講演者自身が管理し，厳守すること。)

1. 発表内容

原則として未発表で講演としてまとめたもの。

2. 講演資格

会員は年会費および参加費を，非会員は参加費および登壇費を納入済であること。

3. 講演者変更および講演取消しについて

- (1) 申込後の安易な講演者変更や取り消しは認めない。
- (2) やむを得ない理由により講演者を変更する場合は，事前に事務局に連絡する。(当日，変更になる場合は必ず座長の了解を得ること。)
- (3) 変更可能な講演者は概要の共著者でかつ会員であること。

4. 連続講演

下記の条件を全て満たす場合のみ配慮するが，希望に添えない場合があることを承諾すること。

- (1) 同一のセッション名で講演申込されていること。
- (2) 講演申込時に備考欄に連続希望する講演の順番，発表者名，タイトル，(可能なら受理番号)を記入していること。
- (3) 申込締め切後の申請でないこと。
- (4) 同一研究室内で3件以上の連続講演でないこと。

5. 講演日の希望

講演申込時に備考欄に記入すること。

申込締め切後は受付けない。

希望に添えない場合があることを承諾すること。

6. プログラム

プログラムは，7月末頃に2025年秋期講演大会ポータルサイトに掲載予定です。



ポスターセッションについて

1. 発表方法：8月にホームページに掲載する最新の「ポスター発表資料作成要領」を参照のこと。
2. 優秀ポスター賞へのエントリー：講演申し込み時に「優秀ポスター賞にエントリーする」にチェックして下さい。
3. 優秀ポスター賞の授賞要件：①発表時点で30歳以下の学生および30歳以下の若手研究者。
②過去にこの賞を授賞していない者。
③代理発表者ではないこと。
4. ポスター賞の選考：①講演概要査読(1次審査)および当日発表審査(2次審査)で行う。
②概要の要件および査読基準
概要中に以下の項目が読者に分かるように明確に記載されていること。
①研究の位置づけと目標、それらの重要性・新規性・独創性・発展性
②研究目的
③実験方法およびその妥当性
④結果(および考察)の論理構成
⑤結果(および考察)の新規性・発展性・重要性

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

New!!

～ポスター発表予定の学生の皆様へ、学生ポスター発表プレ討論会に参加しませんか?～

趣旨：金属及びその関連材料分野の学術研究と関連産業の将来を担う学生が、自身の研究に関する理解を深めるとともに、金属関連分野における学生同士のネットワークを形成するきっかけとなることを期待して、本年度、学生ポスター発表プレ討論会を開催します。

参加をご希望の方は、ポスター発表を申し込んだ際にお届けする受理通知メールに記載のURLより申し込み下さい。

行 事 名 「学生ポスター発表プレ討論会」

開催場所 北海道大学 詳細は参加者へ別途連絡(対面のみ)

開催日時 2025年9月16日(火)15時30分～18時00分

対 象 者 ポスター発表に申し込んだ学生(課程を問わない。社会人学生を含む。)

参 加 費 無料

定 員 30名程度(先着順)

内 容 グループワーク(1名あたりポスターに関する発表7分および質疑応答8分)、フリーディスカッションなどを予定しています。

持 参 物 ポスターセッションで使用するポスター内容を印刷したA4以上の大きさの紙5枚。(討論会終了後に各自回収していただきます。)

注 意 点 本プレ討論会への出席は優秀ポスター賞の評価には一切影響しません。

学生ポスター発表プレ討論会修了証書

本討論会にご参加の方には「学生ポスター発表プレ討論会修了証書」をお渡しいたします。

問合せ・連絡先 (公社) 日本金属学会 学生ポスター発表プレ討論会係

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

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

講演概要原稿作成・投稿方法

- 大会申込受付ホーム (<https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>) から最新のテンプレート (MS-Word) をダウンロードして下さい。
- ダウンロードしたテンプレートを用いて講演概要を作成して下さい。
- 講演の題名、著者・所属、本文のすべてを記入した完成版の講演概要ファイルを PDF に変換して下さい。
- 講演申込と同時に PDF ファイルをアップロードして、講演概要を提出して下さい。(※同時に行わない場合は、講演申込は受理されません)
- 使用言語：日本語または英語
- 原稿サイズ：A4 判縦 1 頁
- 原稿作成時の注意事項：
 - MS-Word のファイルを PDF に変換する際は、フォント埋め込みを必ず行うこと。
 - 発表者氏名の前に必ず○印を付けること(申込画面上で講演者にチェックを入れる)。
 - アップロードの前に文字、図表等の品質を確認してから、アップロードすること。
- 提出原稿の修正：講演申込期間内のみ差し替えが可能。原則として提出期限後の原稿の差し替えは認めない。

題目は Web 登録と同一の題目を記載すること。

講演題目(日本語題目)
Presentation Title(英語題目)

所属 A¹, 所属 B², 所属 C(現〇〇)³ ○発表者氏名¹, 共著者氏名², 共著者氏名³ (日本語所属、氏名)
Affiliation A¹, Affiliation B², Affiliation B(Present:****)³ Speaker¹, coauthor², coauthor³(英語所属、氏名)

所属、著者名は Web 登録と同一のものを記載すること。

学生の表記方法:学部(B)、修士(M)、博士(D)、ポスドク(P)
記載例:氏名(M)¹

【結言】

・原稿は A4 サイズ 1 ページにまとめること。
・フォントの種類やサイズは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。ただし、特殊フォントは使用しないこと。

【実験方法】

段組み不可

【結果】

・図・表の大きさは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。
・図・表のキャプションは日本語・英語のいずれか。
・図・表には番号を付け、本文中で説明すること。

概要作成に当たっては、以下の注意事項を遵守してください。
・原則として未発表でかつオリジナリティがあること。
・軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと。
・宣伝や商用目的とする内容でないこと。
・研究不正行為及び不適切行為をしていないこと。
・誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

【結言】

・講演概要はカラー表示されます。
・フォント埋め込み PDF ファイルに変換して、アップロードしてください。
・アップロードしたファイルはそのまま公開されますので、アップロードする前に印刷して、正しく表示されているか、鮮明であるかを確認してください。

原稿作成時には、上の作成要領は削除してください。

講演概要の要件と査読

講演大会に投稿された全ての講演概要は、下記の査読基準に基づき、その分野の専門家が査読し、採否を判定する。査読に結果、「掲載不適当」と判定された場合は、理由を示して著者に返却します。

(講演概要の要件および査読基準)

- 概要のテンプレートに基づいた概要であること。
- 講演内容を的確に表す題目であること。
好ましくない題目例：〇〇に関する研究、〇〇〇〇について
- 未発表であること。
- 金属およびその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- 内容に誤りがないこと。
- 研究不正行為または不適切行為に該当する内容を含まないこと。
- 宣伝や営利目的、軍事目的の内容を含まないこと。
- 誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

入力された情報および登録された概要原稿は、プログラムにそのまま反映されますので、お間違えのないようにご登録下さい。

*申込者は、講演者本人に限ります。

*申込締め切直前はアクセスが集中してサーバーに負荷が原因で遅れが生じることもございますので、早めに申込み下さい。

(会員)

- (1) 金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>)」から、各講演区分の「会員申込」をクリックする。
- (2) 認証画面が表示されたら、ID(会員番号)、パスワードを入力してログインする。
- (3) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要の pdf をアップロードする。
*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (4) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (5) 申込が完了すると、受付完了通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。
*「講演大会 MyPage」のログイン ID とパスワードは、会員 ID(会員番号)とパスワードです。
- (6) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (7) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

(非会員)

- (1) 金属学会「大会受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>)」から、各講演区分の「非会員申込」をクリックする。
- (2) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要の pdf をアップロードする。
*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (3) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (4) 申込が完了すると、申込受理通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。
*「講演大会 MyPage」のログイン ID とパスワードは、申込受理通知に記載された、秋期講演大会用の参加登録番号、パスワードです。
- (5) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (6) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

講演内容の確認・修正

講演申込期間内のみ、大会 My ページで登録内容の確認と修正(差し替え)が可能です。

金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn/>)」から、「講演大会 MyPage」にログインし(ID, パスワード必要)、内容確認・修正後、登録を行って下さい。修正登録後、修正受理通知のメールが届きます。

《登録画面入力の際の注意事項》

入力項目	注 意 事 項
セッションキーワード (一般、ポスターのみ)	まてりあ第64巻第5号346頁の講演セッションキーワード一覧から 第1希望(必須) および 第2希望(必須) のセッションキーワードを選択する。
公募シンポジウム	まてりあ第64巻第5号350頁のテーマ要旨を参照の上、申し込むシンポジウム番号を選択する。
共同セッション	まてりあ第64巻第5号349頁に掲載のテーマから、申し込むセッションの番号を選択する。
キーワード	キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可.) 特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中に含める。
共同研究者数 所属機関数	共同研究者人数：最大15名まで 所属機関数：10施設まで
申込者氏名	姓・名の順で、漢字、かなで入力する。 「申込者」が「講演者」となるようにチェックを入れる。 共同研究者は非会員でも可。
ローマ字氏名	名・姓の順で、半角英字で入力する。
所属機関略称	慣用の略称で記入 する。研究時所属と現所属が異なる場合は両方記入する。 [例：東北大工(現日立中研)] 大学院生と学生の区別：それぞれ(院生)、(学生)と所属の後に表示する。 [例：東北大工(学生) 東北大工(院生)]
講演題目	和文題名は全角75文字まで、英文題名は100文字まで。 <u>講演概要原稿の題名と一致させること。</u>
要旨	講演概要の要旨を記入する。全角100文字以内。
概要原稿	講演概要原稿作成要領に従って作成した pdf ファイル。 アップロードする概要原稿の内容と申込欄に入力した題目・著者名が同一であることを確認すること。 変更がある場合は概要原稿の修正版を期日内に再提出する。
その他・備考欄	連続講演を希望する場合は、講演申し込み要領の4.連続講演を参照して申し込むこと。申込締切後の希望は受付けない。 その他の講演希望日等があれば備考欄に記入すること
会員番号	講演者は必ず会員番号(ID)を記入する。共著者はわかる範囲で可。
著作権	同意できない場合は申込できない。
プログラム公開	同意できない場合は申込できない。
講演概要の WEB 公開	講演概要の WEB 公開に同意できない場合は、申込できない。 講演概要は、開催日2週間前に参加申込者のみに公開。

連絡・問合せ先：(公社)日本金属学会 講演大会係 ☎ 022-223-3685 E-mail: annualm@jimm.jp

会誌2025年秋期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIMM Spring Meeting (2025) 原稿募集

◎日本金属学会誌「2025年秋期大会講演精選論文」90巻4号および5号(2026年)掲載

Materials Transactions「Selected Papers from JIMM Autumn Meeting (2025)」67巻4号および5号(2026年)掲載

◎原 稿 締 切 **2025年11月10日(月)**

◎予備登録、投稿および審査方法は、一般投稿論文に準ずる(ホームページの会誌・欧文誌投稿の手引き・執筆要領参照)。

◎欧文誌掲載論文は投稿掲載費用を必ず負担する。(会誌掲載論文は投稿掲載費用無料)

問合先 (公社)日本金属学会 会誌・欧文誌編集委員会 E-mail: sadoku@jimm.jp

講演大会セッション（委員専門分野）

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
1分野	1.材料と社会	材料と社会	1.1	教育	専門教育、共通教育、企業での教育、生涯教育、小・中・高校生への教育、カリキュラム、授業の実践、教材・教育の評価、社会人教育
			1.2	歴史・材料考古学	金属学・材料科学の歴史、金属技術の歴史・変換、材料考古学、文化財保存
			1.3	技術革新・技術伝承	IoT、マテリアルインターフェース、マテリアルソフトウェアエンジニアリング、材料情報、知的所有権、その他の金属学・材料学に関連した新分野・境界分野
			1.4	環境	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、環境低負荷材料、易リサイクル材料・設計、易解体設計、マテリアルセレクト、省材料設計、高寿命材料・設計、材料のリサイクルシステム、材料資源環境システム、再資源化用途開発、土壌浄化、環境修復
			1.5	ダイバーシティ	男女共同参画、LGBTI、国際化、学際協力、世代間・業種間融合
			1.6	新領域・その他	
	12.先進機能材料	先進機能材料	12.1	萌芽材料	
			12.2	新領域・その他	
2分野	2.物性	物性	2.1	磁気機能・磁気物性	磁気的性質、磁気光学的性質、電子状態、熱磁気効果（スピンゼーベック効果、異常ネルンスト効果、磁気熱量効果、磁気ハイパーサーミア等）、核物性等
			2.2	半導体機能・電気物性	誘電的性質、光学的性質、電子輸送、薄膜・表面・界面物性、熱的性質（ゼーベック効果、ペルチェ効果等）、原子輸送、金属絶縁体転移等
			2.3	構造物性	結晶成長、結晶構造、準結晶構造、非晶質固体構造、格子ダイナミクスと安定性、相転移（変態）、不整合・整合構造、格子欠陥、粒界等
			2.4	物性評価	照射効果、ナノスケール量子効果、トンネル効果、メスバウアー効果、核磁気共鳴、分光・発光・回折一般等
			2.5	新領域・その他	
	9.電気・磁気関連材料	電気・電子・光関連材料	9.1	伝導・実装材料	電気伝導材料、電極材料、電子実装材料、配線材料、マイクロ接合材料、フラーレン、カーボンナノチューブ、熱伝導材料等
			9.2	半導体・誘電体材料	半導体材料、誘電体材料、圧電体材料、センサー材料、太陽電池、High-k材料、低次元物質、ナノ粒子・（超）微粒子、原子クラスター等
			9.3	光・電磁波関連材料	光学結晶材料、光記録材料、液晶材料、光ファイバー材料、光学ガラス材料、テラヘルツ等
			9.4	強相関電子系材料	超伝導材料、トポロジカル絶縁体、強相関電子系材料、マルチフェロイック材料等
		磁性材料	9.5	ソフト・ハード磁性材料	ソフト磁性材料（高透磁率材料（合金系、フェライト系、アモルファス、ナノ結晶等）、永久磁石材料（希土類系、合金系、フェライト系等）、電波吸収体・ノイズ抑制体材料等
			9.6	スピントロニクス・ナノ磁性材料	磁気抵抗効果（AMR、GMR、TMR等）材料、スピンメモリ・センサー材料、スピントロニクス材料、スピン注入技術、スピン流制御技術、スピン（軌道）トルク制御技術、磁気記録・磁気デバイス用材料、磁性（超）薄膜・多層膜・磁性金属人工格子、磁気スギルミオン等
			9.7	磁気機能材料	磁歪材料、磁気冷凍材料、フラストレーション材料、反強磁性材料、相転移誘起材料（磁場誘起相変態等）等
			9.8	新領域・その他	
		3.組織	3.1	熱力学・状態図・相平衡	熱力学、状態図、相平衡、準安定、非平衡、相転移、金属間化合物、規則-不規則転移、磁気転移等
			3.2	拡散・相変態	拡散、偏析、析出、拡散変態、規則-不規則変態、不連続析出、粒界・相界面上析出等
			3.3	マルテンサイト変態・変位型相変態	マルテンサイト変態、変位型相変態（ベイナイト変態含む）、形状記憶・超弾性材料、磁性形状記憶合金、TWIP・TRIP、エージング・テンパリング、双晶変形、熱・応力・磁場・電場誘起相変態、組織制御、組織形成と機械的性質、プロセス（粉末冶金・複合材料含む）、SMAアクチュエータ・応用、マルテンサイト変態に関わる材料機能（ダンピング、磁気・弾性熱量効果等）
			3.4	合金・アモルファス・準結晶	アモルファス、金属ガラス、準結晶、高エントロピー材料等
3分野	3.組織	組織制御	3.5	組織制御技術	時効・析出、熱処理、加工、加工熱処理、合金元素添加、急冷凝固、メカニカルアロイング、界面接合強さ、複合化、多層化、薄膜、積層造形、ミクロ構造、コーティング、シミュレーション等
			3.6	再結晶・粒成長・集合組織	回復・再結晶、集合組織、粒成長、粒界、異相界面、双晶等
			3.7	組織観察・分析	電子顕微鏡、STM、AFM、FIM、3次元アトムプローブ、X線・中性子線回折、EPMA、XPS、イメージング・マッピング技術、放射光等
		分析・解析・評価	3.8	計算材料科学・材料設計	理論、シミュレーション等
			3.9	新領域・その他	
	11.計算科学	構造・組織・特性・物性	11.1	計算材料科学・材料設計	計算材料科学・材料設計、第1原理電子論計算、分子シミュレーション、分子動力学法、モンテカルロ法、CALPHAD法、フェーズフィールド法、有限要素法、境界要素法、セルラーオートマトン、マルチスケール解析、マルチフィジックス解析等
		データ科学	11.2	データ科学	マテリアルズインフォマティクス、マテリアルズインテグレーション、機械学習、深層学習、強化学習、転移学習、逆問題、データ同化、ニューラルネットワーク、最適化、データベース、ビッグデータ、人工知能等
			11.3	新領域・その他	

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
4分野	4.力学特性	力学特性の基礎	4.1	強度・力学特性	力学（格子欠陥、弾性、塑性、破壊力学、有限要素法、分子動力学、マイクロメカニクス等）、転位の基本的特性（運動、増殖、相互作用等）、転位と各種格子欠陥の相互作用、変形（弾性、擬弾性、塑性、粘性、粒界、変形双晶等）、各種強化機構、破壊機構（き裂やボイド発生・成長・合体等）
			4.2	塑性・疲労・破壊	延性、靱性、静的および動的破壊、破壊靱性値、疲労、応力腐食割れ、水素脆性、遅れ破壊、寿命
			4.3	高温変形・クリープ・超塑性	高温変形、クリープ、クリープ疲労、超塑性
			4.4	力学特性評価	力学特性の評価法、力学的挙動の予測（応力-ひずみ曲線、クリープ曲線等の予測、寿命予測等）、合金設計、複合材料（材料システム）設計、データベース
		力学特性と組織	4.5	欠陥と組織	転位組織、転位セル、変形帯、強加工、双晶、ボイド、亀裂
			4.6	多結晶組織	粒成長、再結晶、双晶、偏析、粒界析出、粒界反応型析出
			4.7	金属間化合物	金属間化合物、規則相、高温変形
			4.8	超微細粒組織	微細粒、バルクナノメタル、強化機構
			4.9	新領域・その他	プラストン、キンク変形、ディスクリネーション、ミルフィユ構造
5分野	5.材料化学	耐食性・耐酸化性	5.1	腐食・防食	水溶液腐食、電気化学測定、表面皮膜、腐食環境解析、孔食、すき間腐食、応力腐食割れ、大気腐食、高温高圧水腐食、水素脆化、異種金属接触腐食、エロージョン・コロージョン、腐食事例、耐食合金、耐食コーティング、腐食抑制・防錆剤、電気防食、等
			5.2	高温酸化・高温腐食	高温ガス腐食、溶融塩腐食、水蒸気酸化、エロージョン・コロージョン、超臨界環境等、耐熱材料、耐熱コーティング、超合金、金属間化合物、セラミックス材料、酸化物の特性
		表面・界面・触媒	5.3	湿式表面処理・湿式めっき	電解・無電解めっき、アノード酸化、エッチング、化成処理、イオン液体、電気化学的な成膜、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.4	気相プロセス・薄膜・厚膜作製技術	PVD、CVD、スパッタリング、プラズマプロセス、イオン注入・イオン打込み、イオンミキシング、コーティング、クラスター制御、表面処理、表面改質等、エッチング、アッシング、リソグラフィ、マイクロ・トライボロジー、マイクロ・マシニング、マイクロ・ボンディング、ケミカルメカニカルポリッシング（CMP）、溶射、肉盛り、拡散浸漬処理、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.5	表界面反応・分析	表面物性・反応、表面の構造と結晶学、吸着・脱離、表面の熱・統計力学、表面の電子状態およびエネルギー・計算科学、電気化学反応、表面・界面の作製技術、表面分析法（各種化学分析・機器分析、極微量分析、極小領域分析、状態分析、プローブ顕微鏡、顕微分光、環境やプロセスのその場分析、成分画像解析等、各種分析装置の開発、化学センサー、モニタリング法等）、コロイド材料
			5.6	触媒材料・触媒反応	触媒材料（貴金属・卑金属触媒、金属間化合物触媒、ナノ構造触媒、規則性多孔体、有機金属、光触媒等）、触媒反応（酸化、水素製造、C-H活性化、クロスカップリング、界面分子変換、排気ガス浄化等）、触媒技術と反応プロセス開発、触媒理論
			5.7	新領域・その他	
6分野	6.材料プロセス	環境・リサイクルプロセス	6.1	環境・リサイクル技術	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、事故解析、材料安全など、環境低負荷材料、易リサイクル材料、易リサイクル設計、易解体設計、マテリアルセレクション、省材料設計、高寿命材料、高寿命設計など、分離プロセス、再資源化プロセス、材料のリサイクルシステム、材料資源循環システム、リサイクル化学、クローズドプロセス、再資源化用途開発など、
		溶融・凝固プロセス 高温プロセス	6.2	製・精錬の物理化学	資源・原料、各種および新製・精錬法、冶金熱力学、化学反応工学、移動速度論、高温プロセス解析、数値流体力学、高純度化、分離・回収・精製、環境・リサイクル等
			6.3	融体・高温物性	熱力学的諸量、融体物性、モデリング等
			6.4	凝固・結晶成長・ casting 技術	結晶成長、過冷却、非晶質、準結晶、輸送現象、高純化、鑄造、鋳物、ダイキャスト、単結晶製造技術、半溶融加工、溶射、反応性溶射、溶射素過程、等
		固相プロセス 固相・溶接プロセス	6.5	塑性変形・塑性加工技術	塑性加工、高ひずみ速度加工、強加工プロセス、極限環境プロセス等
			6.6	粉末・焼結・造形技術	粉体製造、超微粉、粉体成形・粉末冶金（焼結プロセスを含む）、メカニカルアロイング、焼結合成プロセス、粉末射出成形（金属射出成形、セラミック射出成形）、3次元造形（3Dプリンター）、コールドスプレー、スプレーフォーミング、エアロソルデポジション、アトマイズ等
			6.7	接合・溶接・実装・接着・複合技術	メカニカルプロセス、常温接合、拡散接合、超音波接合、摩擦圧接、摩擦攪拌接合、爆発圧接、電磁圧接、溶接、ろう付け、接着、精密接着、メッキ・プロセス、はんだ付け、実装、マイクロ接合、力学特性、信頼性 等
		材料評価、プロセス評価技術	6.8	材料評価技術	非破壊検査、非破壊定量評価、残留応力解析、センシング技術、信頼度評価等、各種プロセス・シミュレーション、デラヘルツ
			6.9	新領域・その他	

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
7分野	7.生体・医療・福祉	生体材料基礎・生体応答	7.1	細胞機能・組織再生	細胞機能、細胞間相互作用、シグナル伝達、細胞・生体組織評価、細胞増殖・分化、組織修復（Tissue Engineering）、DDS（Drug Delivery System）、ゲノム解析・編集、細胞適合性、細胞配向、代謝回転、恒常性、石灰化、各種臓器、骨・歯牙、血管、骨芽細胞、破骨細胞、OCY（オステオサイト）、骨系細胞、細胞外基質、がん、細胞小器官、RNA、DNA、遺伝子組み換え、細胞培養、骨形態計測法、染色法、足場材料、機能性タンパク質等
			7.2	構造生体機能化	機能発現、バイオメカニクス、計算科学、金属組織・組織制御、弾性・塑性変形機構、力学機能発現（弾性率、強度、延性、疲労、破壊）、スキャフォールド、インプラント、双晶変形、生体組織、組織配向性、人工関節、人工歯根、熱処理、多孔化、機能・組織評価法、Co-Cr合金、ステンレス鋼、生体用セラミックス、リン酸カルシウム系材料、PEEK、整形外科用材料等
			7.3	表界面生体機能化	生体/材料界面、表面修飾、ナノ表面・界面、感染防御・制御、表界面機能、骨伝導・骨誘導、バイオセンサー、抗菌性、タンパク質吸着、コーティング、化学処理、表面分析・評価、PVD、CVD、コーティング材料等
		生体材料設計開発・臨床	7.4	生体・医療・福祉材料	バイオマテリアルサイエンス、生体情報・計測、リハビリテーション医学、ユニバーサルデザイン、バリアフリー、生体機能代替、福祉用具・支援機器、ウェアラブル、IoT、AI、非磁性・低磁性、低弾性・高弾性、生体活性ガラス、生分解性材料、耐摩耗性材料、歯科用合金、生体用ハイエントロピー合金等
			7.5	生体用Ti・Ti合金	Ti・Ti合金、低弾性率、形状記憶、超弾性、オッセオインテグレーション、集合組織、人工骨・関節、相変態・組織制御、機能評価法、電子顕微鏡、β型Ti合金、コピキタ元素、計算機シミュレーション等
			7.6	Additive Manufacturing・テラード医療材料	付加製造、3Dプリンタ、金属積層造形、金属粉末、異方性/等方性、形状/組織制御、力学特性、残留応力、生体モデリング、形状計測、格子構造、薬物送達システム、マイクロマシン、マスカスタマイゼーション、テラード医療、遠隔地診療、レーザービーム、電子ビーム、順シミュレーション・逆問題解析、溶融池シミュレーション、リアルタイムモニタリング等
			7.7	生体安全性・有効性評価	医用画像・バイオイメージング、生体シミュレーション、レギュラトリーサイエンス、生体情報・計測、医療技術倫理、細胞毒性、疾病、代謝異常、骨吸収、金属アレルギー、耐食性、疲労、疾病治療、医療機器、臨床研究、臨床応用、GLP等
			7.8	新領域・その他	
8分野	8.構造材料	金属材料	8.1	Fe・Fe合金	Fe・Fe合金の原理・原則、鉄鋼材料、ステンレス合金、相変態（パーライト、ベイナイト、マルテンサイト、マッソ等）、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.2	Cu・Cu合金	Cu・Cu合金の原理・原則、配線材料、熱伝導材料、相変態、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.3	Ti・Ti合金	Ti・Ti合金の原理・原則、相変態、組織制御、強化機構、成型性、ゴムメタル、耐食性、表面処理、計算材料科学
		軽金属材料	8.4	Mg・Mg合金	Mg・Mg合金の原理・原則、相変態、長周期積層構造、組織制御、強化機構、キンク変形、ミルフィュー構造、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
			8.5	Al・Al合金	Al・Al合金の原理・原則、相変態、GPゾーン、クラスター、組織制御、強化機構、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
		セラミックス材料	8.6	セラミックス材料	セラミックス材料の原理・原則、相変態、構造相転移、焼結、組織制御、機能材料、強化機構、破壊、成型性、耐熱性、計算材料科学
		耐熱材料	8.7	ジェットエンジン・ガスタービン耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、高融点金属、金属間化合物、セラミックス、超高温材料、金属基複合材料、金属間化合物基複合材料、セラミックス基複合材料、プラスチック基複合材料、炭素繊維強化型複合材料、SiC繊維強化型複合材料、ジェットエンジン、ガスタービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.8	蒸気発電耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、蒸気タービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.9	耐熱特性	耐熱合金、耐熱セラミックス、超高温材料、耐熱複合材料、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、熱機関、燃焼、熱伝導、熱膨張、熱衝撃、熱遮蔽、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
		機能性構造材料	8.10	機能性構造材料	アモルファス材料、金属ガラス材料、準結晶材料、制振材料、インテリジェント・スマートマテリアル、積層造形、計算材料科学
		複合材料	8.11	複合材料	複合材料、スポーツ用品材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
			8.12	ポーラス材料	ポーラス材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
			8.13	新領域・その他	
9分野	10. エネルギー関連材料	原子力材料	10.1	原子力材料	原子炉材料、核融合炉材料、ビーム関連材料、照射損傷、照射効果
		熱電材料	10.2	熱電材料	熱電変換、熱電素子、ゼーベック効果、ペルチエ効果、熱伝導、電気伝導、など
		水素・電池関連材料	10.3	電池材料・イオン伝導材料	電極材料、電解質材料、イオン伝導材料、電池設計、電池関連物性、など
			10.4	水素化合物・水素貯蔵・水素透過・水素関連物性	金属水素化合物、錯体水素化合物、水素貯蔵、水素透過、水素脆化、水素利用、水素関連物性、機能・プロセッシング、金属－水素相互作用、同位体効果、など
		新領域・その他	10.5	新領域・その他	センサー材料、熱伝導材料、など

公募シンポジウム

2025年秋期講演大会では下記の公募シンポジウムを実施する。
別紙のテーマ要旨を参照の上、申し込み下さい。

- S1 極限環境対応構造材料のためのマテリアル DX(Ⅲ)
- S2 水素エネルギー材料Ⅹ
- S3 ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅶ)
- S4 界面ナノ構造と機能の材料科学
- S5 超温度場材料創成学Ⅲ：Additive Manufacturing による材料科学の新展開
- S6 原子力エネルギー用材料—持続的な原子力材料コミュニティ発展のための共通項—
- S7 高温プロセッシングが拓くワイドギャップ結晶の未来Ⅰ
- S8 材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅷ)

日本鉄鋼協会との共同セッション

日本金属学会と日本鉄鋼協会とは下記の共同セッションを実施する。
日本金属学会、日本金属学会のいずれかの講演大会に参加申込した方は聴講可能。

- ① 「チタン・チタン合金」(2025年秋の会場は日本金属学会)
- ② 「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」(2025年秋の会場は日本鉄鋼協会)

2025年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨

秋期講演大会では下記 8 テーマの公募シンポジウムを実施します。講演を申込み場合は、希望するシンポジウムを選択して申込下さい。

S1 極限環境対応構造材料のためのマテリアル DX (Ⅲ)

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

世界中でデジタル・トランスフォーメーション(DX)が材料開発のツールとして活用され始めており、構造材料分野においても徐々に成果が生まれつつある。一方で、我が国の DX への取り組みは遅れていると言われてきたが、データ駆動型材料設計を目指した DxMT プロジェクトが立ち上がり、極限環境対応構造材料拠点を中心に、構造材料研究・開発の DX 化が推進されている。この構造材料 DX の取り組みでは、産業界と学界の双方が利便性を享受できるデータ創出や利活用の方法を整備し、データ駆動型材料設計を可能にするマテリアル DX の加速が急務となっている。

そこで、本シンポジウムでは、金属材料を含む構造材料の研究開発に向けたマテリアル DX の構築を目指し、学界と産業界が連携して議論を深める場を創出する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東北大学 宮本吾郎

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 吉見享祐 東北大 古原 忠 東北大 及川勝成
九大 松永久生 阪大 尾方成信 NIMS 出村雅彦
NIMS 大村孝仁

S2 水素エネルギー材料Ⅹ Hydrogen Energy Materials-Ⅹ

カーボンニュートラルの実現やエネルギー安全保障の課題解決を目指し、水素エネルギーの有効利用に資する技術開発が進められている。これまで開催されてきた公募シンポジウム「水素エネルギー材料(Ⅰ～Ⅹ)」では、水素の製造・貯蔵・輸送・利用に関わる材料科学的な課題に加え、材料開発や機能設計のための水素も対象とし、多様な材料や技術に関する議論を深めてきた。本公募シンポジウムでは、これまでの成果を踏まえ、さらに多様な分野からの最新の研究成果を対象とした講演を広く募集する。基礎研究と応用研究の両面から活発な討論を行い、水素科学のさらなる発展を目指すとともに、本シンポジウムを通じて新たな学術的・技術的連携の可能性も模索する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

北海道大学 儀部繁人

(シンポジウム co-chairs) :

産総研 浅野耕太 鈴木商館 木村浩隆 量研 齋藤寛之
量研 高木成幸
早大 花田信子 東京科学大 春本高志
広島大 宮岡裕樹

S3 ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅶ)

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

2018年秋期講演大会から同一テーマにてシンポジウムを継続開催しており、今回は第12弾となる。本研究分野は、現在世界的にも活況を呈しており、ハイエントロピー合金に関するシンポジウムがTMSやMRSの定期大会のみならず、独立した国際会議としても多く開催されている。我が国においても、科研費・新学術領域研究「ハイエントロピー合金」(2018-2022年度)において数多くの有意義な研究成果が得られた他、そこから派生した研究プロジェクトが現在も国内で多数進行中である。本シンポジウムでは、ハイエントロピー材料の基礎や応用に関する実験・理論研究に関する講演を広く募り、大学・企業・研究所の研究者の活発な議論の場を提供する。さらに、これら研究者の連携を促進しつつ、ハイエントロピー合金に関する未解明の科学的課題への理解を深めるべく企画されるものである。この分野における最新知見の共有および幅広い議論を行うことにより、これまでに行われてきた研究のさらなる進展を目指す。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

島根大学 榎木勝徳

(シンポジウム co-chairs) :

弘前大 峯田才寛 名大 勝部涼司 京大 陳 正昊

阪大 新里秀平 東北大 西本昌史 京大 吉田周平

S4 界面ナノ構造と機能の材料科学

New Materials Science on Nanoscale Structures and Functions at Crystal Interface

結晶の界面・粒界は、先進材料の機械的・電氣的・化学的特性を支配する重要な要素であるため、その構造を高度に制御し、その潜在的な機能を最大限に引き出すことができれば、材料科学分野における革新的なブレークスルーが期待される。近年、ナノ計測技術や理論計算の分解能・精度が飛躍的に向上したことで、界面・粒界における電子・原子レベルの構造と局在する機能に関する新たな知見が次々と得られている。例えば、電子顕微鏡法の進化により、磁性材料の界面構造の解明が進んでいるほか、データ科学の活用によって、従来解析が困難であった複雑な構造の理解が可能になりつつある。また、外部場と欠陥の複合的な相互作用を利用することで、従来にない革新的な材料機能の発現も報告されている。本テーマでは、界面ナノ構造および界面機能に関する最新の研究手法や成果を議論し、今後の課題と方向性について意見交換を行う場としたい。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学 中村篤智

(シンポジウム co-chairs) :

阪大 吉矢真人 東大 柴田直哉 東大 溝口照康

東京科学大 平山雅章

東北大 熊谷悠 名大 松永克志 名大 丹羽 健

東大 馮 斌 東大 杉木栄太

S5 超温度場材料創成学Ⅲ：Additive Manufacturingによる材料科学の新展開

Creation of Materials by Super-Thermal Field Ⅲ: New Developments in Materials Science through Additive Manufacturing

レーザーや電子ビームを用いた局所加熱により生じる溶融と凝固は、粉末床溶融結合(Powder Bed Fusion: PBF)法に代表される付加製造(Additive Manufacturing: AM)などにおける結晶成長や材料組織形成に重要な役割を果たしていることが注目されている。特に、 10^7 K/m 以上にもおよぶ極めて大きな温度勾配(超温度場)の発現は、冷却速度 10^6 K/s 以上の超急冷、成長速度 1 m/s におよぶ高速結晶成長を可能にし、絶対安定性などの特異現象の発現を伴うことから、従来プロセスでは困難であった組織制御などによる新材料創成の基盤としての多様な可能性を有しており、研究報告も数多くされるようになった。本シンポジウムでは、2025年度が最終年度となる学術変革領域研究「超温度場材料創成学」の研究成果を報告するとともに、広く AM による材料科学の新展開について議論する場を提供する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学 小泉雄一郎

(シンポジウム co-chairs) :

名大 足立吉隆 九大 森下浩平 阪大 佐藤和久

NIMS 戸田佳明 富山大 石本卓也

ファインセラミックスセンター 木村禎一

S6 原子力エネルギー用材料—持続的な原子力材料コミュニティ発展のための共通項—

Nuclear energy materials —Common challenges for sustainable development in nuclear materials community—

原子力材料コミュニティは、軽水炉、核融合炉、高速炉、小型モジュール炉等の多様な炉型に関する材料開発を含有し、いずれも照射損傷、すなわち中性子照射による原子弾き出しを起源とする材料特性劣化や模擬照射手法(イオン照射)を活用した微小試験片技術を基盤とした議論を深めてきた。事故耐性燃料材料の登場や近年の核融合炉開発研究の活性化を踏まえ、研究トピック間の問題認識を共有化するとともに、学生を含む若手研究者の新規参加を促し、新展開が必要な時期に来ている。

本シンポジウムは、2025年2月まで活動した若手研究グループ「原子力エネルギー用材料研究グループ」を総括するとともに、原子炉炉型に関わらず原子力材料分野から照射損傷や微小試験片技術、材料開発に関する講演を広く募り、大学及び学生、国立研究所、民間企業を含む産学官の研究者間

での討論及び意見交換を行う場としたい。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

北海道大学 岡 弘

(シンポジウム co-chairs) :

量研 叶野 翔 量研 福田 誠

日本核燃料開発㈱ 瀬戸仁史

S7 高温プロセッシングが拓くワイドギャップ結晶の未来 I

Future of Widegap Crystals Opened by High-Temperature Processing I

ワイドギャップ結晶は、省エネ・環境負荷低減に寄与するパワーデバイスや短波長光デバイスへの応用で重要な役割を果たす材料である。特に SiC パワーデバイスは本格的量産が進み、GaN も LED のみならずパワーデバイス用基板の生産が進められつつある。さらなる発展には各材料の育成技術の確立、結晶の高品質化、およびデバイスプロセスの開発が望まれている。

本シンポジウムでは、これまでに 6 回開催した「ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシング I ~ VI」における議論を発展させ、高温プロセス学の最前線を踏まえた結晶成長・物性・応用技術を取り上げる。SiC や窒化物材料、酸化物材料等ワイドギャップ結晶の育成技術や欠陥低減技術について、基礎となる金属材料学や冶金学や半導体工学に加え、最先端シミュレーションとの融合、界面評価、過渡現象の評価に関する最新の研究について議論を交わす場とし、カーボンニュートラルの実現に貢献する技術革新を促進することを目指す。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

京都大学 川西咲子

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 安達正芳 名大 宇治原 徹

信越化学工業 美濃輪武久

S8 材料変形素過程のマルチスケール解析(VIII)

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

近年、材料の変形・破壊を支配する転位や変形双晶といった塑性変形の素過程に関して、最新の実験手法や理論計算手法を駆使した多くの研究がなされ、これまでは十分に理解されていなかった様々な新しい知見が報告されるようになった。本シンポジウムは、塑性変形に関する最新の知見の共有と、材料変形素過程に関する新しい学理構築に向けた実験および理論両者の積極的な融合・連携の促進を目指して企画したものであり、2018年秋期大会から継続的に開催しているものの第 8 弾にあたる。本シンポジウムでは材料の塑性変形の素過程に関する最新の実験・理論研究に関して特に若手研究者を中心に広く講演を募り、大学、研究所、企業の実験者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者間の新たな連携の促進を図る。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

名古屋大学 君塚 肇

(シンポジウム co-chairs) :

京大 岸田恭輔 金沢大 下川智嗣 九大 田中将己

名大 高田尚記

日本金属学会2025年秋期(第177回)講演大会 第14回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2025年7月8日(火)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋2回の「講演大会」を開催しています。この講演大会では、若い生徒や学生に金属および材料学分野に対して興味や理解を高めてもらうため「高校生・高専学生ポスターセッション」を開催しています。2025年秋期講演大会では、2025年9月17日(水)に「北海道大学」で、9月25日(木)に「オンライン」で、「第14回高校生・高専学生ポスターセッション」を開催します。

発表者は、2025年9月17日(水)の現地発表または9月25日(木)のオンライン発表のいずれかで発表いただきます。

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

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

加えて、9月17日に現地発表される発表者(連名の生徒さんを含む)と指導教員を対象に、今回から新たにランチョンセミナーを開催します。おいしいお弁当を食べながら、日本金属学会の活動内容を紹介します。さらに、ポスター会場に「缶バッジ作り」のブースを新たに用意しました。缶バッジ作りを通じて金属について一緒に学びませんか？

また、高校生・高専学生ポスター発表された方で希望者全員に、ユース会員の資格を贈ります。

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2025年秋期(第177回)講演大会

行 事 名 「第14回高校生・高専学生ポスター発表」

開催日時・方法 9月17日(水)午後 北海道大学現地発表

9月25日(木)午後 オンライン発表

対 象 者 高校生および3年以下の高専学生

発表方法 9月17日(水)現地発表または9月25日(木)オンライン発表のいずれか一方で発表

テ ー マ 材料に限定せず、フリーテーマです。(課題研究の成果、科学技術の取組等)

ポスター発表資料：作成要領は別途連絡

講演申込 <https://www.jim.or.jp/convention/2025autumn>

講演概要原稿 不要

参加要領(参加費および講演聴講、ランチョンセミナーへの参加)

- ① 発表者、共同研究者および指導教員の参加費を免除し、講演大会の発表を聴講できます。
- ② 希望があれば、高校生・高専学生ポスター発表の関係者(保護者、友人)5名程度までの参加費を免除し、講演大会の発表を聴講することができます。
- ③ (現地開催の場合)指導教員は、事前に参加者リストを提出する。(別途用紙を送付予定)
それをもとに参加証を作成し、現地でお渡しします。
- ④ 指導教員宛てに、参加者用IDとパスワードおよびプログラム1部を寄贈します。
- ⑤ 発表者全員に本会ユース会員の資格を贈呈します。
- ⑥ 昼食をとりながら、大学の先生のお話や学会についてお話が聞ける、ランチョンセミナー(無料、時間は11:30~12:30の予定)を開催いたしますので、ご参加頂きます。本ランチョンセミナーには、発表者、共同研究者、指導および発表関係者をご参加できます。なお旅程の都合でランチョンセミナーへ参加できない場合もポスター発表することは可能です。その場合は、申込の際に「備考欄」にその旨を記載頂くか、または事務局へ申込み締め切り日までにご連絡をお願いいたします。
- ⑦ ⑥の該当者は展示ブースにおいて、「缶バッジ作り」を体験できます。

優秀ポスター賞 優秀な発表には日本金属学会長賞、最優秀ポスター賞および優秀ポスター賞を授賞します。

問合せ・連絡先：公益社団法人日本金属学会 講演大会係 ☎ 022-223-3685 E-mail: annualm@jimm.jp

オンライン発表でのリスクについての注意

下記の注意事項をご確認の上で講演のお申込みをお願いいたします。

講演大会での発表には、現地開催とオンライン開催とによらず、以下のようなリスクがあります。特にオンライン開催では、密室から参加することが可能で講演会場のような衆人監視が行われないこと、および講演がWeb上で配信されることから、これらのリスクが高まることが懸念されます。本会では、リスクを低減するために、考えうる対策を取りますが、最後は参加者のモラルに訴えざるを得ません。これらを理解の上、十分に注意して講演の申し込み及び発表をしていただきますようお願いいたします。

〈発表に伴うリスク〉

1. 研究情報を不正に取得される

不正聴講、講演の録画・録音・撮影(スクリーンショットを含む)が行われてしまう

※パスワード発行によって参加者を限定するとともに、録画・録音・撮影等の禁止を周知徹底しますが、最終的には参加者にモラルを守っていただくことになります。

※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。

2. 著作権を侵害してしまう

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

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

第20回 JIMM/TMS Young Leader International Scholar Award 募集

本会では、若手研究者及び技術者の活動の活性化を図り、併せてTMSとの国際交流を促進させることを目的にJIMM/TMS Young Leader International Scholar Programを設けており、TMSへの派遣者を募集いたします。

決定した派遣者は、金属学会のYoung Leader International Scholar Award受賞者として、2026年TMS Annual Meeting (2026年3月15日～19日：米国California州San Diego)に派遣し、講演発表をするともにTMSから表彰を受けていただきます。また、大会前後に関連機関の訪問も可能です。募集要項は、まてりあ4号(272頁)または本会ホームページ表彰・本会賞の募集をご覧ください。

応募締切日 2025年5月8日(木)

問合先 (公社)日本金属学会「Young Leader」係

☎ 022-223-3685

E-mail: stevent@jimm.jp

2025年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

2025年秋期講演大会の特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。

特別講演

- ・講演者：著名な外国人研究者とする。
- ・講演時間：30分(討論10分)
- ・採択件数：3～4件
- ・滞在費補助：10,000円×5日(上限日数)
- ・その他：大会参加費免除、懇親会招待

招待講演

- ・講演者：有益な講演が期待される国内に滞在する外国人研究者とする。
- ・講演時間：15分(討論5分)
- ・採択件数：5件程度
- ・滞在費補助：なし
- ・その他：大会参加費免除

推薦用紙

所定様式(ホームページからダウンロード下さい)により、下記メールアドレス宛に「外国人特別講演推薦」と明記しお送り下さい。送信後2～3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。

推薦書提出期日 2025年5月9日(金)

照会・推薦書提出先

(公社)日本金属学会 国際学術交流委員会宛

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

日本金属学会主催国際会議企画提案募集

本会が主催する国際会議の企画提案を募集します。2026年度以降開催の国際会議が対象です。期日までにご提案下さいますようお願いいたします。

提案締切日 2025年5月30日(金)

提案要項 下記事項を記載した提案書(A4版、ホームページよりダウンロードして下さい)を、本会会長宛で申請して下さい。

- (1) 会議の名称(和文名・英文名)
- (2) 会期
- (3) 開催地・会場予定
- (4) 会議の目的・特徴
- (5) 日本開催の経緯と意義
- (6) 計画概要
 - a. 協賛、後援団体
 - b. 主要準備日程
 - c. 使用語
 - d. 参加予定国(国名・国数)
 - e. 参加予定者数(国内外)
 - f. 著名な国内外参加予定者(氏名・所属・役職)
 - g. パラレルセッション数およびポスターセッションの有無
 - h. プロシーディングスの出版(出版元・予定頁数、製作部数・頒価・配布方法)
 - i. 予算(収入・支出明細)
- (7) 準備委員会委員(氏名・所属・役職)
- (8) 提案(連絡)責任者(氏名・所属・役職・住所・電話・E-mail)

詳細はまてりあ3号211頁またはホームページをご確認下さい。<https://jimm.jp> →「イベント」→「国際会議」

提案書送付先 (公社)日本金属学会 国際会議募集係

E-mail: stevent@jimm.jp

各賞推薦(自薦)のお願い

日本金属学会技術賞、増本量賞、谷川・ハリス賞、功績賞、研究技能功労賞、論文賞の受賞候補者推薦を募集しております。詳細は、まてりあ4号269頁またはホームページ：各種賞→表彰・本会賞の募集をご覧ください。ご推薦は、すべてWebフォームからできますので是非、ご活用下さい。

推薦締切 各賞共通 2025年6月30日(月)

問合先 (公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 E-mail: award@jimm.jp

まてりあ特集企画：投稿募集 「顕微鏡法による材料開発のための微細構造研究最前線(12)」

応募締切：2025年7月15日(火)

テーマ：材料科学・材料工学の基礎基盤技術としての顕微鏡法

掲載号：第64巻12号(2025)，第65巻1号(2026)予定

日本金属学会は、金属材料だけではなく多様な材料と手法(材料と社会、先進機能材料、物性、電気・磁気関連材料、組織・計算科学、力学特性、材料化学、材料プロセッシング、生体・医療・福祉材料、構造材料、エネルギー関連材料)を扱う、材料科学・材料工学の中心的学会・リーディング学会です。7年ぶりの今回の特集では、初学者や材料開発の現場の研究者にも広く興味を持ってもらえるよう、「材料科学・材料工学の基礎基盤技術としての顕微鏡法」をテーマとして、様々な材料を取り上げ、汎用顕微鏡を用いた研究から先端顕微鏡法・最新装置による解析、実用合金における組織観察事例から最新の構造・機能材料の分析、計算科学的手法や画像解析・データベースと連動した解析・材料設計、電子顕微鏡だけではない様々な顕微鏡法や分光法、観察と画像解析に際しての創意工夫にも焦点を当て、広く会員の皆様にご紹介する予定です。応募原稿の中から、約30～40編(1編当たり1ページ)を審査の上掲載いたします。奮ってご応募下さい。

応募に当たっては、①著者名、②所属、③連絡先、④論文題目、⑤概要(300字)、⑥掲載予定の写真や図を、**応募用紙**(ダウンロードして下さい)に記入の上、下記まで提出して下さい。

同一第一著者の投稿は2件まで(類似内容は1件まで)、ファイルサイズは5MB程度でお願いします。応募締切は7月15日(火)です。審査の結果、採択となった原稿の著者には、別途、最終原稿用のフォーマットなどを送付いたします。

応募用紙 まてりあ Web ページから用紙をダウンロードの上、上記6項目を記入し、下記 E-mail アドレスにご送信下さい。

原稿送信先：公益社団法人日本金属学会 会報編集委員会

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

<https://jimm.jp/>→刊行物→会報・まてりあ→まてりあ関連のお知らせ

特集企画の投稿募集

■Frontiers in Hypermaterials Research(ハイパーマテリアル研究の最前線)

ハイパーマテリアルは、準結晶や近似結晶など、高次元空間で統一的に記述される物質群をさす概念として、2019年に我が国で命名された。最近、我が国を中心に、ハイパーマテリアルの超伝導や磁性、機械学習をはじめ、目覚ましい成果が挙がっており、ハイパーマテリアルの研究が新たなステージに入っている。本特集号では、近年のハイパーマテリアル分野の著しい発展を広く国内外に周知することを目的として、ハイパーマテリアル及び関連する超均質物質の構造、物性、応用に関する、様々な分野からの実験・理論・計算・データ科学の最新の論文を広く募集します。

Topics :

Magnetic hypermaterials, Semiconducting hypermaterials, Oxide hypermaterials, Superconducting hypermaterials, Quantum-critical hypermaterials, Inorganic Hypermaterials, Structure of hypermaterials, Hypermaterials informatics, Application of hypermaterials, Hyperuniform amorphous materials

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 67巻3号(2026年3月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいませようお願いいたします。

掲載予定号：第67巻第3号(2026年)

原稿締切日：2025年9月1日(月)

- ・投稿に際しては、日本金属学会欧文誌投稿の手引・執筆要領(本会 Web ページ)に従うこと。
- ・通常の投稿論文と同様の審査過程を経て、編集委員会で採否を決定する。
- ・著者は、投稿・掲載費用をご負担願います。

問合せ先 (公社)日本金属学会欧文誌編集委員会

☎ 022-223-3685 E-mail: sadoku@jimm.jp <https://jimm.jp>



オンデマンド配信：オンライン教育講座 「金属製錬の熱力学」

New!!

配信：2025年7月7日(月)～8月3日(日)

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ー金属－気体間平衡反応など製錬プロセス解析への化学熱力学の活用について解説します。これらは同様に化学熱力学を活用する湿式製錬や電解精錬を学ぶ上での基礎にもなります。

2022年11月17日および18日に開催した当該講座の録画をオンデマンドで視聴いただきます。配信期間中は好きな時間に聴講できます。

講師紹介

東京大学名誉教授 月橋文孝先生

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

コーディネーター 大阪大学教授 小泉雄一郎，東京大学准教授 松浦宏行

カリキュラム 1時限目：熱力学変数
2時限目：化学ポテンシャルと平衡
3時限目：状態図と相平衡
4時限目：製錬プロセスへの適用

視聴期間 2025年7月7日(月)～8月3日(日)

視聴方法 オンデマンド配信システム UIshare から視聴いただきます。

資料は同システムのウェブサイトからダウンロードいただけます。

視聴方法および資料のダウンロードの方法は受講申込者にメールでご案内いたします。

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

申込締切 2025年7月14日(月)

受講料

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

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

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

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

問合先 〒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@jimmm.jp ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

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



オンデマンド配信：オンライン教育講座

「金属材料の耐環境性(2) 高温酸化・高温腐食の基礎—熱力学・速度論・高温強度—」

配信：2025年6月2日(月)～6月29日(日)

耐熱金属材料の使用環境は近年、益々高温化し、金属材料にとって非常に厳しい環境となるため、材料の高温特性向上が強く求められています。また高温酸化・腐食の原理原則に基づき高温酸化・腐食現象を正しく把握して、適切な材料選定や防食対策に活かすことが要求されます。本講座では、熱力学、速度論及び高温強度を中心に、高温酸化・腐食の基礎を学習することで、業務で高温酸化・腐食に携わる研究者・技術者として必要な素養を醸成することを目標とします。

本講義は、2023年6月6日および7日に開催した当該講座の録画をオンデマンドで視聴いただきます。配信期間中は好きな時間に聴講できます。

講師紹介

東京科学大学物質理工学院 准教授 上田光敏 先生

1999年3月東京工業大学工学部金属工学科卒業。2004年3月東京工業大学博士(工学)。東京工業大学大学院理工学研究科材料工学専攻・助手・助教・准教授を経て、2016年4月より現職(改組)。

荏原製作所 野口 学 先生

1991年3月北海道大学工学部金属工学科卒業。1996年3月北海道大学博士(工学)。1996年4月株式会社荏原製作所入社。2019年4月より現職。

長岡技術科学大学 教授 南口 誠 先生

1990年3月長岡技術科学大学工学部創造設計工学科卒業。1995年3月長岡技術科学大学工学博士。東京工業大学助手・長岡技術科学大学助教授を経て、2018年4月より現職。

コーディネーター 北海道大学 教授 林 重成、大阪大学 教授 土谷博昭

カリキュラム 1時限目 高温酸化・腐食の熱力学(上田光敏先生)
2時限目 高温酸化の速度論 (上田光敏先生)
3時限目 高温腐食・熔融塩腐食 (野口 学先生)
4時限目 酸化物の高温強度と高温酸化皮膜の機械特性(南口 誠先生)

*トータルで約6時間の講義です。

視聴期間 2025年6月2日(月)～6月29日(日)

視聴方法 オンデマンド配信システム UIshare から視聴いただきます。

資料は同システムのウェブサイトからダウンロードいただけます。

視聴方法および資料のダウンロードの方法は受講申し込み者にメールで案内します。

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

申込締切 2025年6月9日(月)

受講料

対象者	受講料	2講座目以降の受講料※
正 員	20,000円	15,000円
学 生	8,000円	6,000円
非会員	40,000円	30,000円

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

※本年度開催のオンライン教育講座を2講座以上受講する場合、2講座目からは割引料金となります。

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

問 合 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

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、合金状態図研究会、資源・素材学会、ステンレス協会、素形材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本分析化学会、粉体粉末冶金協会、腐食防食学会

日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

『金属組織学の基礎』

日 時 一日目 2025年5月21日(水) 13:00~16:30 二日目 5月22日(木) 13:00~16:30

講義概要

金属材料の力学特性は、そのミクロ組織(Microstructure)と密接に関係しています。そして、ミクロ組織は加工熱処理プロセス中に起こる相変態現象を通して形成されます。本講座では再結晶・拡散変態・マルテンサイト変態の三現象を取り上げ、ミクロ組織の形成機構を基礎から理解することに重点を置きます。その上で、望みの力学特性を得るためのミクロ組織に注目して、そのミクロ組織を達成するための化学組成とプロセス条件について鉄鋼材料における具体例をあげながら説明します。

なお、本講座では、当日に受講できない方や理解を深めたい受講者の方のために開催後に講義の見逃し配信を行います。受講申し込み者は追加料金なしで視聴できます。見逃し配信のみの聴講もできます。

プログラム

2025年5月21日(水)

13:00-14:00 再結晶1 変形と回復
14:00-14:10 —休憩—
14:10-15:10 再結晶2 再結晶と粒成長
15:10-15:20 —休憩—
15:20-16:20 拡散変態1 変態の種類と核生成

2025年5月22日(木)

13:00-14:00 拡散変態2 析出物の成長と形態
14:00-14:10 —休憩—
14:10-15:10 マルテンサイト変態1
変態の特徴と速度論
15:10-15:20 —休憩—
15:20-16:20 マルテンサイト変態2
形状記憶効果と TRIP 効果

受講方法 オンライン(Zoom)

講師紹介 物質・材料研究機構名誉フェロー 九州大学名誉教授 津崎兼彰先生

1977年京都大学工学部金属加工学科卒業、1982年同大学院工学研究科博士課程修了、1983年米国マサチューセッツ工科大学博士研究員、1985年京都大学工学部助手、1991年同助教授、1996年同大学院工学研究科助教授(配置換)、1997年金属材料技術研究所ユニット・リーダー、2002年物質・材料研究機構超鉄鋼研究センター・副センター長、2006年同新構造材料センター・センター長、2011年同元素戦略センター・センター長、2013年九州大学大学院工学研究院教授、2016年同主幹教授、2020年同名誉教授、2020年物質・材料研究機構招聘研究員、2021年同フェロー、2025年同名誉フェロー、現在に至る。

コーディネーター 物質・材料研究機構 グループリーダー 上路林太郎

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

申込締切 2025年5月14日(水)

受講料

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

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

※本年度開催のオンライン教育講座を2講座以上受講する場合、2講座目からは割引料金となります。

○本会の維持員社員は正員と同額の受講料です。さらに、維持員が同一講座に3名以上の申込みをすると受講料がさらに25%オフとなります(申込前にご相談下さい)。ただし、複数受講との重複割引はありません。

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

問合先 (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

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、合金状態図研究会、資源・素材学会、ステンレス協会、素形材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、日本分析化学会、粉体粉末冶金協会、腐食防食学会、表面技術協会、日本チタン学会、日本バイオマテリアル学会

〈公募類記事〉

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

「まてりあ」とホームページに掲載；16,500円

ホームページのみ掲載；11,000円

〈新刊案内〉

会員による出版案内(書誌情報の掲載)

〈その他の記事〉原則として有料掲載。

原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jimmm.jp

公 募

◇大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学
専攻 助教公募(1名)◇

募集人員 助教 1名

材料エネルギー理工学講座 材料設計・プロセス
工学領域

応募締切 2025年6月15日(日)必着

着任時期 2025年10月1日(以降できるだけ早い日)

応募方法 郵送または電子メール

詳細については下記公募 URL を参照下さい。

材料エネルギー理工学講座 材料設計・プロセス工学領域助
教 公募

日本語

<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/topics/offering/24574/>
英語

<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/en/topics/offering/24578/>

助 成

◇(公財)泉科学技術振興財団
2025年度研究助成等の募集◇

研究助成 (高度機能性材料およびこれに関連する科学技術
の基礎研究分野における真に独自の発想に基づく
新しい研究に対する助成)

助成金額：1件100万円以下、46件

研究集会スタートアップ及びその飛躍への助成：

(高度機能性材料に関して新分野開拓を志向する
萌芽的な研究集会・セミナーを結成しようとする
若手研究者および既結成の萌芽的な研究集会・セ
ミナーの飛躍的發展を主導する研究者に対する助
成)

助成金額：1件50万円以内/年、5件以内。

募集期間 2025年4月1日～2025年6月15日(必着)

応募方法 詳細は下記ホームページをご参照下さい。

連絡先 公益財団法人 泉科学技術振興財団

<http://www.izumi-zaidan.jp/>

☎ 06-6373-1811

E-mail: info@izumi-zaidan.jp

集 会

◇東京大学 生産技術研究所◇
非鉄金属資源循環工学寄付研究部門
(JX 金属寄付ユニット)主催
産学連携と人材育成に関するシンポジウム

■主 催 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環
工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)

■協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)

■共 催 レアメタル研究会、東京大学マテリアル工学セ
ミナー、レアメタルの環境調和型リサイクル技
術の開発研究会、東京大学生産技術研究所 持
続型材料エネルギーインテグレーション研究セ
ンター

■協 賛 (一社)軽金属学会 (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 2F コンベンションホール
〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1

(最寄駅：駒場東大前、東北沢、代々木上原)

■会 費 参加費(シンポジウム)無料

■参加登録・問合せ

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

東京大学生産技術研究所 岡部研究室

特任研究員 池田 貴

E-mail: t-ikeda@iis.u-tokyo.ac.jp

2025年度 関連研究会の予定

★2025年9月26日(金)★寄付研究部門主催本イベント(今回)
(会場：生産技術研究所コンベンションホール)

産学連携と人材育成に関するシンポジウム (2025.3.9現在)

■2025年9月26日(金)An 棟 2F コンベンションホール
および Zoom Webinar + YouTube

13:30～受付開始 14:00～講演会

17:00～総合討論 18:00～研究交流会(要参加登録)

■講演会プログラム【敬称略】

司会 東京大学 生産技術研究所

非鉄金属資源循環工学寄付研究部門

特任教授 岡部 徹

・非鉄冶金研究の醍醐味(仮)(40分)

早稲田大学 理工学術院

教授 山口勉功

・非鉄冶金の醍醐味(仮)(40分)

東北大学 多元物質科学研究所 金属資源プロセス研究セン
ター 教授 柴田悦郎

・レアメタルの製錬・リサイクルの研究の醍醐味(仮)(30分)

東京大学 生産技術研究所

非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 岡部 徹

・産業界からみた非鉄冶金の重要性・将来性(仮)(30～40分)
東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究
部門 特任教授 黒川晴正

・非鉄製錬の醍醐味(仮)(30～40分)

JX 金属株式会社

常務執行役員 基礎材料事業本部長 技術本部審議役 安田 豊
午後5:00～ 総合討論

統括と講評

JX 金属株式会社 講評依頼中

写真撮影

午後6:00～ 研究交流会・意見交換会

@An 棟 1F レストラン・アーペ(予定)(要参加登録)

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 89, No. 5 (2025)

レーザー粉末熔融法により作製した 316L ステンレス鋼の転位セルにおける変調構造形成

孫 飛, 小川 登志男, 足立 吉隆, 佐藤 和久,
高木 空, 宮本 吾郎, 鈴木 飛鳥, 山中 晃徳,
中田 伸生, 石本 卓也, 中野 貴由, 小泉 雄一郎

1070 nmファイバーレーザーを用いたバルクアルミナのレーザー焼結

木村 禎一, 末廣 智,
貞岡 和男, 奈須 義総, 魚江 康輔

S50C 鋼および SCM440 鋼の表面焼入れ深さと磁気ヒステリシス特性

高橋 諒, 佐藤 大樹,
村上 武, 鎌田 康寛, 清水 一行, 赤瀬 善太郎

使用済み難燃助剤の再資源化に着目した日本国内におけるアンチモンの物質フロー分析

山崎 ゆきみ, 高橋 和枝

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 66, No. 5 (2025)

—Special Issue on Development and Functionality of Titanium and Its Alloys as Structural, Biocompatible, and Energy Materials—

PREFACE

Yoshihito Kawamura,
Takanori Kiguchi Alexey Vinogradov, Zenji Horita,
Tsuyoshi Mayama, Hiromoto Kitahara, Takahisa Shiraishi,
Dipankar Banerjee, Satyam Suwas
and Kamanio Chattopadhyay

Review of Advances in High-Pressure Torsion of Titanium and Ti-Based Materials (Alloys, Intermetallics, Oxides and High-Entropy Compounds) (Review)

Kaveh Edalati

On the Plasticity of Bimodal Structures in Titanium Alloys

Arunima Banerjee, Zhuowen Zhao,
Shanoob Balachandran, Philip Eisenlohr
and Dipankar Banerjee

High-Pressure Torsion Affects Mechanical Properties, Electrochemical Behavior, and Cellular Response to a Biomedical Ti-Nb-Zr-Ta Alloy

Saurish Sahay, Praveenkumar Kesavan,
Mayank Kumar Yadav, Sagar Nilawar,
Geetha Manivasagam and Kaushik Chatterjee

Micromechanical Response of Commercially Pure Titanium: Insights from Experiments and Crystal Plasticity Simulations

Sureddy Tejanath Reddy,
K.U. Yazar, Sita Choudhary and Satyam Suwas

Superplastic Behavior of β Rich ($\alpha + \beta$) Titanium Alloy SP-700 in Lower and Higher ($\alpha + \beta$) Regions (Technical Article)

Vivek Chandravanshi,
Vajinder Singh, Satyam Suwas and Amit Bhattacharjee

Deformation Behavior of Commercially Pure Titanium Subjected to Blast Assisted Deformation: New Insights on {11 $\bar{2}$ 1} Extension Twinning

Anuj Bisht, Janardhanraj Subburaj, Gopalan Jagadeesh
and Satyam Suwas

Elucidating the Fracture Toughness of Additively Manufactured and Thermo-Mechanically Treated Ti6Al4V

Vivek K. Sahu, Shirish Chandrakar,
Sumit Jha and N.P. Gurao

Effect of Grain Size on Slip System Activity and Room Temperature Strain Aging in Commercially Pure Titanium Rolled Sheets

Takuma Hirooka, Hiromoto Kitahara and Shinji Ando

Activation Enthalpy for Yielding in Fully-Lamellar Ti-6Al-4V

Bhargavi Rani Anne,
Tatsuya Morikawa, Shigeto Yamasaki and Masaki Tanaka

Application of Response Surface Methodology for Optimization the SPS Sintering Preparation Process of TiB₂ Base Composites with Ni

Qinyang Li, Kazuhiro Matsugi, Zhefeng Xu,
Yongbum Choi and Jinku Yu

Electrical Conductivity (Resistivity) Measurement of ω Titanium

Masaki Mito,
Kosuke Fukunaga, Norimasa Nishiyama, Kaishi Naragino,
Hiromoto Kitahara, Takahiro Masuda and Zenji Horita

Evaluating the Effect of Severe Plastic Deformation: High-Pressure Torsion and High-Pressure Sliding in Grade 2 Titanium

Kathy A. González-Jiménez,
Joaquín E. Gonzalez-Hernandez, Jorge M. Cubero-Sesin,
Manabu Yumoto, Yoichi Takizawa and Zenji Horita

Effects of Dimple Surface Texturing on Wear Characteristics of Commercially Pure Ti in Comparison with Ti-6Al-4V ELI and Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr Alloys for Dental Applications

Masaaki Nakai, Takeshi Iwasaki, Kosuke Kisaichi
and Kosuke Ueki

Effect of Shock Loading on ω Phase Formation in Pre-Strained Pure Titanium

Zenji Horita, Takahiro Masuda, Shigeru Tanaka,
Makoto Tokuda, Kazuyuki Hokamoto, Takahisa Shiraishi
and Takanori Kiguchi

Optimization of 75 mm Ultra-Thick Ti-6Al-4V Alloy Plates for Aerospace Applications: Microstructure and Mechanical Properties Analysis

Mahdi Aghaahmadi, Woo Hyeok Kim, Hyunseok Lee,
Mi-Seon Choi, Ji Soo Kim and Jeoung Han Kim

Formation of Compositional Modulated Microstructure in Ti-Zr Binary Alloys

Takahisa Shiraishi, Rinka Takeda, Naohisa Nagai
and Takanori Kiguchi

Influences of Process Parameters and Addition Elements on the Fabrication of TiC-Ti₃SiC₂ Composites by Spark Sintering

Jing Qu, Kazuhiro Matsugi, Yongbum Choi, Zhefeng Xu and Jinku Yu

High Compressive Strength of Bulk Polycrystalline ω Phase in Pure Titanium

Takashi Sawahata, Norimasa Nishiyama, Makoto Arita, Yuki Kawabata, Masafumi Matsushita, Koji Ohara, Yuji Higo, Fumihiro Wakai and Zenji Horita

Variation of Cu Distribution in Surface Oxide Layer of Ti-Cu Alloy with Heat Treatments

Satoshi Okano, Yuichiro Toshinari, Yuta Hisamori and Sengo Kobayashi

Spark Sintering Behaviors of TiB₂-10Ni with Elementary Bimodal TiB₂ Powders

Qinyang Li, Kazuhiro Matsugi, Hideaki Kuramoto, Yongbum Choi, Zhefeng Xu and Jinku Yu

—Regular Article—

Materials Chemistry

Influence of Nozzle Structure on Ultra-Wide Aluminum Cast-Rolling and Its Optimum Design by Numerical Simulation

Yiren Wang, Shichao Wang, Ruijiao Jia, Shiqing Xu and Tao Qu

Materials Processing

Carburizing Effect of Cast Iron in High-Frequency Induction Electric Furnace Melting by Bio-Coke

Yoshihiro Tomita, Kandai Shimada and Tamio Ida

—Rapid Publication—

High Critical Stress for Martensitic Transformation in <110> Oriented Single Crystal Cu-Al-Mn Superelastic Alloys with High Mn Content

Yuka Tanikawa, Sheng Xu, Ryosuke Kainuma and Toshihiro Omori

Announcement



まてりあ 第64巻6号 予告

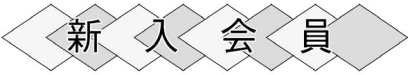
〔新役員紹介〕2025年度役員紹介

〔最近の研究〕過時効—強伸線加工プロセスによる引張強さ 1600 MPa 超級高強度 Cu-Ti 合金線材の開発 ……島根大 千星 聡

〔新 進 気 鋭〕イリジウム錯体を用いた金属中の水素拡散挙動の分布解析 ……東北大 味戸沙耶

〔実 学 講 座〕金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価 2-4 機器分析の概要 ……熊大 木口賢紀

—他—



(2025年2月1日～2025年2月28日)

正 員

Lobzenko Ivan 日本原子力研究開発機構
YIN Wujun 京都大学
池 田 達 ダイダン株式会社
石 島 政 直 東京都立大学
王 真 金 東北大学

大河原 遊 ミネベアミツミ株式会社
木 本 健 嗣 電子科学株式会社
藏 谷 元 紀 ダイダン株式会社
佐々木宏和 古河電気工業株式会社
永 田 雄 介 三菱重工業株式会社

藤 田 一 輝 マツダ株式会社
森山潤一郎
弓 削 光 裕

学 生 員

浅 岡 星 希 東京電機大学
小 川 康 誠 九州工業大学
齋 藤 圭 上智大学

高 木 一 生 千葉大学
徳 嶋 真 希 筑波大学
秦 昌太郎 筑波大学

正 木 翔 大 千葉大学

外国学生会員

Lee ByeongKwon
Korea Institute of Industrial Technology, Chonnam National University

ユース会員

大 坪 万 晏 北九州市立思永中学校
大 坪 隆 太 北九州市立思永中学校

平 山 智 晴 大分工業高等専門学校
南 一 紀 愛知教育大学

宮ノ内康太 大分工業高等専門学校

2025年春期(第176回)講演大会記録

2025年春期講演大会を、3月8日から10日の期間に東京都立大学南大沢キャンパスにおいて開催した。また、3月13日にはオンラインで高校生・高専学生ポスターセッションを開催した。

- 3月8日 9:00~9:40 開会の辞, 大韓金属・材料学会会長挨拶, TMS Young Leader 紹介, 各賞贈呈式(6号館110)
- 9:50~11:45 学会賞受賞記念講演, 本多記念講演(6号館110)
- 13:00~17:15 シンポジウム講演(11号館)
- 13:00~16:30 ポスターセッション, 高校生・高専学生ポスターセッション(8号館1階および9号館1階)
- 13:00~16:30 学生キャリアサポート企業展示(8号館1階)
- 18:30~20:30 懇親会(LINK FOREST)
- 3月9日 9:00~17:50 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演, 招待講演, 共同セッション(11号館, 12号館)
- 12:10~12:50 企業ランチョンセミナー(12号館)
- 3月10日 9:00~16:45 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演, TMS Young Leader 講演, 共同セッション(11号館, 12号館)
- 3月8日~3月10日 総合受付, 付設機器・カタログ展示会(11号館1階)
- 金属組織写真展示(12号館1階)

開会の辞

榎 学会長より開会の挨拶があった。

大韓金属・材料学会代表挨拶(3月8日)

本会と大韓金属・材料学会との学术交流協定にもとづき招待をした, Young Keun Kim 会長からの挨拶があった。



開会の辞: 榎会長。

KIM: Young Keun Kim 会長のご挨拶。

TMS Young Leader 紹介(3月8日)

本会とTMSとの国際交流促進協定にもとづき, TMSから第19回 Young Leader International Scholar 受賞者として派遣された Yue Fan 氏が紹介された。

贈呈式(3月8日)

榎 学会長の式辞に続き, 下記の賞の贈呈式を行った。尚, 贈呈式および記念講演の様子はオンライン会議システム Zoom で配信を行った。

- 第70回学会賞贈呈式 東田賢二君に対して賞状と賞牌ならびに副賞贈呈(受賞者; 本誌287頁)
- 第66回技術賞贈呈式 2名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌288頁)。
- 第31回増本量賞贈呈式 1名に対し賞状ならびに副賞贈呈(受賞者; 本誌288頁)。
- 第64回谷川・ハリス賞贈呈式 1名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌288頁)。
- 第83回功績賞贈呈式 7名(学術部門5名, 技術部門2名)に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌289頁)。
- 第56回研究技能功労賞贈呈式 12名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌290頁)。
- 第72回論文賞贈呈式 7編44名に対し賞状ならびに楯贈呈(授賞者; 本誌292頁)。
- 第75回金属組織写真賞贈呈式 最優秀賞1件, 優秀賞2件に対し賞状ならびに楯贈呈(受賞者; 本誌296頁)。
- 名誉員推戴式 新名誉員2名に対し推戴状ならびに名誉員章贈呈(推戴者; 本誌298頁)。
- 第8回フェロー認定式 新しくフェローに認定された2名に対し認定証贈呈(認定者; 本誌299頁)。



受賞者の皆様で記念写真。おめでとうございます!

第70回学会賞受賞記念講演(3月8日)

「転移とクラック: 強靱化メカニズムのさらなる理解に向けて」 九州大学名誉教授 東田賢二 君

第70回本多記念講演(3月8日)

「異方性材料デザインにより材料を主役に~耐熱性金属間化合物から, 骨組織, 金属3Dプリンティングによる生体材料へ~」 大阪大学教授 中野貴由 君

日本金属学会・日本鉄鋼協会合同懇親会(3月8日)

日時: 3月8日(土)18時30分~20時30分

場所: LINK FOREST(〒206-0034 多摩市鶴牧 3-5-3)

参加者: 213名(本会への申込者・招待者83名)

開会の辞・司会 東京都立大学助教 井尻政孝
来賓挨拶 東京都立大学学長 大橋隆哉
日本鉄鋼協会会長挨拶
日本製鉄株式会社代表取締役副社長 福田和久
日本金属学会会長挨拶・乾杯 東京大学教授 榎 学
懇談
閉会の辞 東京都立大学助教 井尻政孝



大会参加者

1,199名(事前：1,087名，後期(当日)74名，相互聴講38名)

・有料申込数1,042名

正員573名，学生員328名，非会員一般49名，非会員学生16名

維持員会員社員34名，協賛学協会会員一般2名，協賛学協会会員学生2名，日本鉄鋼協会との相互聴講38名

・無料参加者数157名

受賞講演者・非会員基調講演28名，高校生ポスター参加者・ユース会員49件，
65歳以上会員・名誉員80名

学術講演会(3月8日～10日，13日)

最終講演件数636件

欠講6件(講演番号：一般講演 No.171，No.228，No.287，No.330，ポスターセッション：P114，P137)

学会賞受賞記念講演1件

本多記念講演1件

公募シンポジウム講演4テーマ60題(基調講演19題含む)

企画シンポジウム3テーマ 20題

一般講演352題(名誉員推戴記念講演1題，功績賞受賞講演7題，技術賞受賞講演2題，増分量賞受賞講演1題，招待講演1題，TMS ヤングリーダー scholar 講演1題含む)

共同セッション2テーマ13題(谷川・ハリス賞受賞講演1題含む)

ポスターセッション145題

高校生ポスター 44題

講演会場 12会場

第44回ポスターセッション(3月8日)

日時：3月8日 13：00～16：30

第一部 13：00～14：30

第二部 15：00～16：30

場所：東京都立大学南大沢キャンパス 8号館1階廊下および9号館1階廊下

145件のポスター発表が行われ，優秀ポスター賞審査対象となっている117件の内容・発表について1次審査と2

次審査の2段階で審査が行われた．シンポジウム講演と併催であったが，多くの聴講者が来場し，ポスターセッション会場は大変盛況であった．

3月9日に「優秀ポスター賞」授賞者15名を決定し，3月10日に受賞者を講演大会会場受付および本会講演大会ホームページで発表した．

第13回高校生ポスターセッション(3月8日，3月13日)

日時・開催場所：3月8日(土) 13：00～16：30 現地
(東京都立大学南大沢キャンパス 8号館1階廊下および9号館1階廊下)

3月13日(木) 14：00～16：30 オンライン(zoom)

発表者の希望により，現地21件とオンライン23件で合計44件の高校生・高専学生(3年生以下)ポスター発表が行われた．発表を審査した結果，日本金属学会賞2件，最優秀賞2件，優秀賞15件を決定し，3月17日に講演大会ホームページにて発表した．

現地発表はポスターセッションと同じ会場でポスターを掲示して行い，オンライン発表は Zoom ミーティングで発表資料を画面共有して行った．なお，オンライン発表では，事前に提出されたポスター画像をポスター掲示システム上に掲載した．いずれも熱心に取り組んだ研究内容が発表され，審査員や聴講者と活発に質疑する様子が見受けられた．発表した学生は大学教員等からのアドバイスを熱心に聞き，今後の研究に生かそうという意欲を見せていた．ポスターセッションや他校の発表を聴講する発表者もあり，また，オンラインでは他校の発表を聴講するなど高校生同士の交流も行われていた．

金属学会・鉄鋼協会共同セッション

「チタン・チタン合金」12題(金属8題，鉄鋼4題)は3月9日，鉄鋼協会会場10で開催した．

「高温溶融体の物理化学的性質」9題(金属4題，鉄鋼5題)は3月9日，金属学会 E 会場で開催した．

第19回 JIMM/TMS Young Leader International Scholar Program(3月10日)

Joint JIMM/TMS Young Leader International Scholar Program として，TMS から派遣された Young Leader の Yue Fan 氏は一般講演「金属ガラス・アモルファス」の中で講演発表後，座長より賞状が授与された．



付設機器・カタログ等展示会(第51回)

機器展示14社およびカタログ展示3社の出展があり，11号館1階にて展示会を開催した．講演会場と隣接していることもあって，多くの来場者でにぎわった．

学生キャリアサポート企業展示(3月8日)

企業が学生会員に向けて、会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等を紹介する企業展示をポスターセッションの会場で実施した。

- ㈱豊田中央研究所
- 産業技術総合研究所
- ㈱徳力本店
- 合同製鐵(株)

第19回企業ランチョンセミナー(3月9日)

昼休み時間帯に昼食を提供して、講演大会参加者に最新の技術情報を聴講いただく、30分程度のランチョンセミナーを開催した。

- オックスフォード・インストゥルメンツ(株)(F会場)
- 産業技術総合研究所(I会場)
- ㈱新興精機(M会場)

第16回男女共同参画ランチョンミーティング(3月10日)

「金属材料分野での多様なキャリアパス」をテーマに、今回は企業の研究や製造で育児休暇取得を経験された3名の男性の育休中の経験や家族・職場同僚との協力などについて、パネルディスカッション形式で開催した。参加者の半数以上が男性で、男性の育児休暇取得経験について高い関心が伺えた。

参加者：31名

託児室

3月9日(日)、10日(月)に託児室を開設した。

利用者数

3月8日0名

3月9日6名(7歳2名、4歳1名、3歳2名、1歳1名)

3月10日3名(7歳2名、3歳1名)

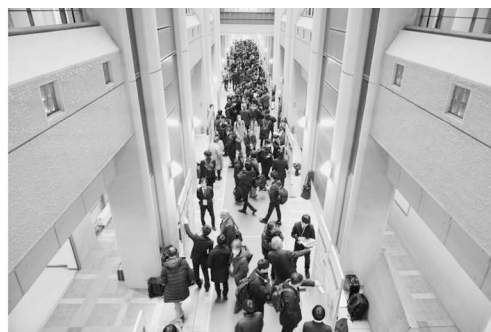
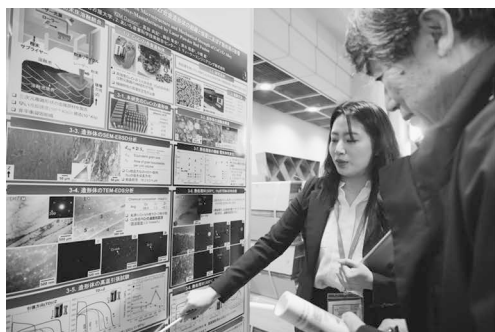
【大会雑記】

東京都立大学での開催は、2017年以来2回目の開催であった。

今回は、日本金属学会と日本鉄鋼協会の会場建物間が徒歩10分程度の距離があったため、両会へ参加する参加者にはご不便をおかけいたしました。

3月8日の初日は雪が舞う寒い日となったが、最終日の3月10日は春の日差しが暖かい日になるなど、寒暖差のある会期であったが、3日間の講演大会を無事に終了することができた。

東京都立大学の寛幸次先生、井尻政孝先生およびアルバイト学生の皆様、事務関係者各位には、お忙しい中を諸般にわたり万端のご配慮とご協力をいただき、心から厚く御礼申し上げます。



～中学生・高校生のポスター発表もあり、活気あふれる講演大会でした。～

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
2025年 5 月				
14～16	2025年度塑性加工春季講演会(姫路)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
14～30	第443回講習会「精密計測の基礎講座」(オンライン)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp https://www.jspe.or.jp/custom-event/event-12831/	
15	第361回塑性加工シンポジウム「スマート工場に向けたDX」～センシング技術の最新活用事例～(姫路)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
16～18	軽金属学会第148回春期大会(北九州)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 jilm-shomu@jilm.or.jp https://www.jilm.or.jp/	
17～11.8 (全7回)	セラミックス大学2025(CEPRO2025)(オンライン開催)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyoiku@cersj.org https://www.ceramic.or.jp/ikyoku/cepro2025/index.html	
20～23	第60回真空技術基礎講習会(和泉)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/18/detail.php?eid=00007	5.12
21～22	日本金属学会オンライン教育講座「金属組織学の基礎」(オンライン)(5号357頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	5.14
22～23	第41回希土類討論会(倉敷)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 office@kidorui.org http://www.kidorui.org/discussion.html	
23, 6.4	第255・256回西山記念技術講座「製鉄所における資源循環と廃熱利用」(大阪)(東京+オンライン)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/event/event2025/nishiyama255.html	
26～28	トライボロジー会議2025 春 東京(東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp https://www.tribology.jp/	
27	腐食防食部門委員会第360回例会(大阪)	日本材料学会	jimu@office.jsms.jp	5.20
2025年 6 月				
2～6.29	オンデマンド配信：オンライン教育講座「金属材料の耐環境性(2)」(オンライン)(5号356頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
2～6	The 20th International Conference on Strength of Materials (ICSMA20) (JIMIC-9)	ICSMA20	https://www.icsma20.com/index.html	
4～6	第30回計算工学講演会(埼玉)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org https://www.jcses.org/koenkai/30/	
5～6	第29回動力・エネルギー技術シンポジウム(金沢大)	日本機械学会	TEL 03-4335-7615 https://www.jsme.or.jp/conference/pes29/cosponsor.html	
6.6から6回	2025年度粉末冶金講座(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/	
9～11	日本顕微鏡学会第81回学術講演会(福岡)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2025/index.html	
12～13	第65回塗料入門講座 前期(東京)	色材協会関東支部	TEL 03-3443-2811 office@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
12～13	界面コロイドラーニング 第41回現代コロイド・界面化学基礎講座(大阪)	日本化学会コロイドおよび界面化学部会	jigyokikaku_01@colloid.csj.jp https://colloid.csj.jp/	
15～19	第41回熱電変換国際会議および第7回アジア熱電変換国際会議(仙台)	第41回熱電変換国際会議組織委員会他	ict2025@intergroup.co.jp https://ict2025.jp	事前 3.31
17	第96回技術セミナー「ビル建物およびプラント設備・配管の腐食診断技術」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/96.html	
27～28	第100回塑性加工技術フォーラム(諏訪圏工業メッセとの併催)「精密プレス加工技術の最前線」(岡谷)	日本塑性加工学会他	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
2025年 7 月				
1～4	COMPSAFE2025(第4回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	日本計算工学会他	compsafe2025@compsafe2025.org	
2～4	第62回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 happyokai@jrias.or.jp https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/	
3～4	界面コロイドラーニング 第41回現代コロイド・界面化学基礎講座(大阪)	日本化学会コロイドおよび界面化学部会	TEL 011-706-7110 jigyokikaku_01@colloid.csj.jp https://colloid.csj.jp/	
4	レアメタル研究会(東大生産技研/オンライン)(3号218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/rc40_j.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
7～8.3	オンデマンド配信：オンライン教育講座「金属製錬の熱力学」(オンライン) (5号355頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	7.14
7	第30回日本磁気学会初等磁気工学講座(ハイブリッド開催)	磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/education/fs_030/	
8～10	第48回日本磁気学会サマースクール(ハイブリッド開催)	磁気学会	TEL 03-5281-0106 msj@bj.wakwak.com https://www.magnetics.jp/education/ss_048/	
9	第26回課題研究成果発表会(ハイブリッド開催)	軽金属奨学会	TEL 06-6271-3179 grant@lm-foundation.or.jp	
10～11	第65回塗料入門講座 後期(東京)	色材協会関東支部	TEL 03-3443-2811 office@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
24～25	第59回 X 線材料強度に関するシンポジウム(名城大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/meeting/xsym_regist.html	
30	第445回講習会「最新の機械加工を支えるモニタリング技術-高精度加工から電力モニタリングまで」(ハイブリッド開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp https://www.jspe.or.jp/custom-event/event-13927/	60名 100名
2025年 8 月				
10～13	17th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids(PNCS17) (つくば)	第17回非晶質固体の物理に関する国際会議組織委員会	pncs17-committee-request@ml.nims.go.jp https://amorphous.tf.chiba-u.jp/pncs2025/index.html	
27～29	2025年度工学教育研究講演会(京大)	日本工学教育協会	2025_jsee_conference@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/event/conference/	
2025年 9 月				
3～5	第9回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.4
5	レアメタル研究会(東大生産技研/オンライン) (3号218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/rc40_j.html	
15～19	先進赤外線計測技術と応用に関する国際シンポジウム(AITA 2025) (神戸)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4011 aita2025@jsndi.or.jp https://english.jsndi.jp/aita2025/index.html	
17～19	第38回秋季シンポジウム(群馬大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall38@ceramic.or.jp https://fall38.ceramic.or.jp/	
17～19	第27回日本感性工学会大会(東京)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/conference/jske27/	
17～19	日本金属学会秋期講演大会(北海道大学) (5号338頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	64-5号 会告
24～25	第75回塑性加工連合講演会(茨城大)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
26	産学連携と人材育成に関するシンポジウム(東大生産技研+オンライン開催) (本号358頁)	東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 (JX金属寄付ユニット)	t-ikeda@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp	9.17
2025年10月				
7～8	第22回破壊力学シンポジウム(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.4
15～17	第44回電子材料シンポジウム(奈良)	電子材料シンポジウム	ems44-query@ems.jpn.org http://ems.jpn.org/	
27, 11.17	第257・258回西山記念技術講座「カーボンニュートラル社会実現のためのエネルギー材料における科学基盤と開発最前線」(大阪)(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/event/event2025/nishiyama257.html	
2025年11月				
4～7	IIIAE2025 (International Institute of Innovative Acoustic Emission2025) (名古屋)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 yasoshima@jsndi.or.jp https://2025.iiiae.org/	
12～14	EcoDesign 2025(早稲田大)	エコデザイン学会連合	TEL 03-5286-2147 ecodesign2025_secretariat@ecodenet.com https://ecodenet.com/ed2025/02/07	
14	第27回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム運営委員会	TEL 03-6744-4713 msf@oxinst.com	
25～27	第51回固体イオニクス討論会(東京)	日本固体イオニクス学会	TEL 022-217-5341 ssij@ssj-j.org https://www.ssi-j.org/symp/ssij51/	
27～28	第63回高温強度シンポジウム(萩)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	参加 10.17
28	レアメタル研究会(東大生産技研/オンライン開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 obatay@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2025年12月				
8～13	The 4th Materials Research Meeting (MRM2025) (横浜)	日本 MRS	TEL 03-6667-0922 info_mrm@jmru.org https://mrm2025.mrs-j.org/	
2026年 1 月				
9	レアメタル研究会(東大生産技研/オンライン開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 obatay@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
2026年 3 月				
13	レアメタル研究会(東大生産技研/オンライン開催)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 obatay@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
11～13	日本金属学会春期講演大会(千葉工業大学)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	
11月				
1～6	【lead-Zinc 2026】11 th International Symposium on Lead and Zinc Processing 第11回鉛-亜鉛製錬に関する国際シンポジウム(仙台)	資源・素材学会	TEL 03-3402-0541 lead-zinc2026@mmij.or.jp	



- ・2025年秋期講演大会および参加申込が今月末より始まります。会期開催日は2025年9月17日から19日までの3日間です。尚、宿泊手配は早目の対応をおすすめいたします。(本号338頁会告)
- ・今度の秋期講演大会学生ポスター発表を申し込まれた方を対象に「学生ポスター発表プレ討論会」を開催いたします。秋期講演大会の学生ポスター発表をご予定の皆さんのご参加をお待ちしております。(本号342頁会告)
- ・会報編集委員会より
先日は「まてりあ」に関するアンケートにご協力を頂き、ありがとうございました。



2025, 2026年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

編集委員長	鈴木真由美					
編集副委員長	上田 恭介					
委員	池 尾 直 子	井田駿太郎	井 上 晋 一	岩 岡 秀 明	植 木 洸 輔	宇 部 卓 司
	大 塚 誠	大 橋 勇 介	小 笹 良 輔	川 崎 由 康	川 西 咲 子	河 野 義 樹
	北 原 弘 基	北 村 一 浩	XU Xiao	小 嶋 隆 幸	國 枝 知 徳	小 畠 淳 平
	小 山 元 道	齊 藤 雄 太	佐 藤 和 久	佐 藤 幸 生	篠 原 百 合	佐々木秀顕
	嶋 田 雄 介	新 里 恵 多	鈴 木 常 生	鈴 木 賢 紀	高 橋 弘 樹	高 山 直 樹
	竹 田 修	田 中 秀 明	田 辺 栄 司	Chang Tso -Fu Mark	陳 鵬	塚 田 祐 貴
	土井康太郎	豊木研太郎	永 井 崇	永 瀬 丈 嗣	袴 田 昌 高	長谷川 誠
	八 田 武 士	平 野 満 大	平 山 恭 介	細 川 明 秀	松 垣 あ い ら	松 本 洋 明
	三 井 好 古	宮 崎 秀 俊	宮 部 さ や か	森 谷 智 一	諸 岡 聡	山 崎 重 人
	山 本 知 一	吉 年 規 治	米 田 鈴 枝	李 誠 鎬		

まてりあ 第64巻 第5号 (2025) 発行日 2025年5月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 谷山 明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

〒104-0033 東京都中央区新川 1-28-23

高断熱+省エネ

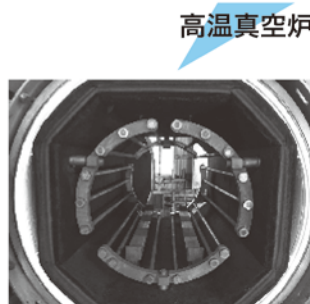
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



シール

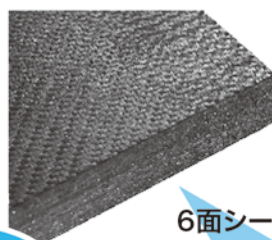
CO₂削減



高温真空炉



カーボンヒーター



6面シート
貼り



カーボンフェルト



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

材料特性のその場観察

化学反応・
表面組織

加熱ステージ

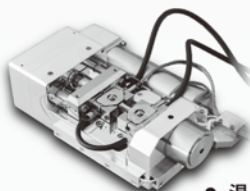


NewTec
Scientific

**FurnaSEM
1000**

- 1200℃まで
- ガス注入キット
- EBSD 観察可
- ソフトウェア など

引張ステージ



NewTec
Scientific

MT1000

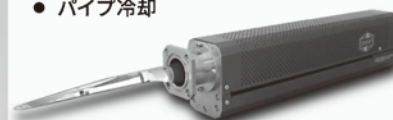
- 温度勾配付加熱
- ガス注入キット
- ソフトウェア など
- 引張、圧縮、
屈曲試験

BSE 検出器

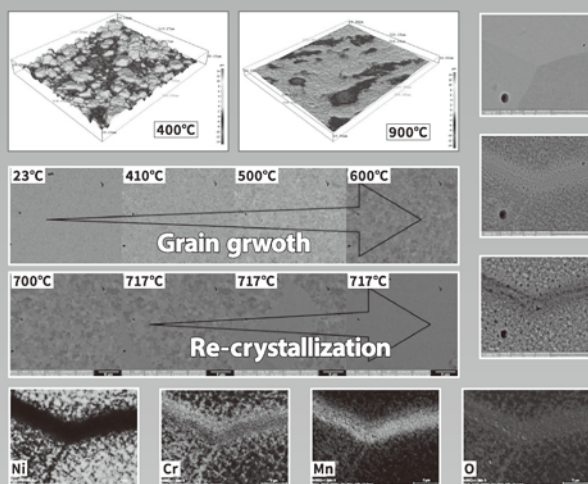
高温・ガス雰囲気下での
観察を可能にする BSE 検出器



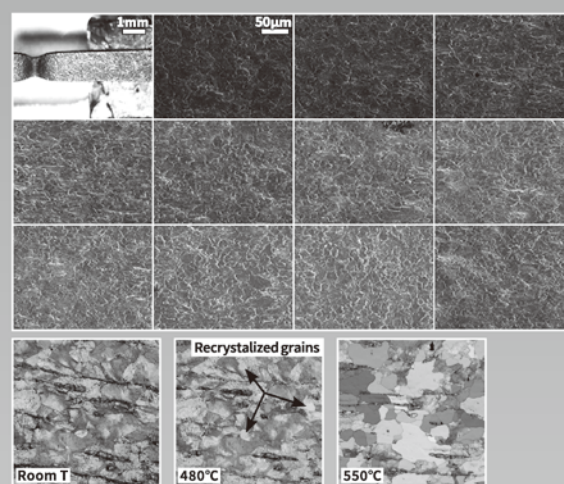
- 熱電子をカット
- パイプ冷却



表面形態・化学組成・粒成長



EBSD観察・変形試験



SEM/FIB 内での試料操作を可能に



**Gas Injection
System**



**Micro Gripper
System**



**Micro Injection
System**



**Force
Measurement
System**



デボやガス導入

試料をつかむ

液滴導入

力測定やマーキング

kleindiek
nanotechnik

コンタミネーション予防・除去

- SEM 内で除去・予防

リモートプラズマクリーナー
(プラズマソース分離型)



- 事前に除去・予防

卓上プラズマクリーナー
(スタンドアロン型)



ADS 株式会社 アド・サイエンス

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-7-2ステージビルディング13階

☎ 03-6824-4510

✉ ads-contact@ads-img.co.jp

🌐 <https://www.ads-img.co.jp/>

