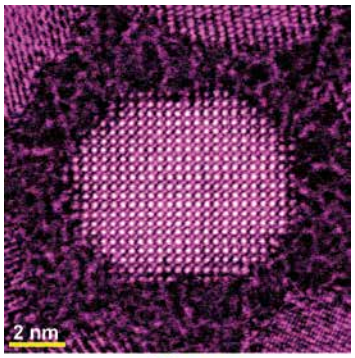
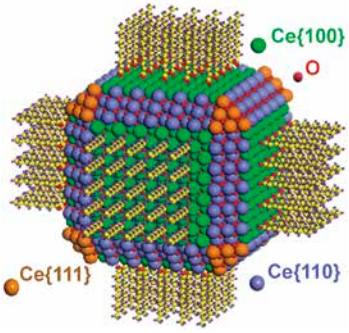
日本金属学会会報　2020年5月1日発行（毎月1回1日発行）　Vol.59 No.5 ISSN 1340-2625

- 金属素描
- 表彰　受賞者紹介（春）
- 記念講演　希土類鉄（R-Fe）磁石は世界を支える
- 記念講演　医療と金属材料

まてりあ

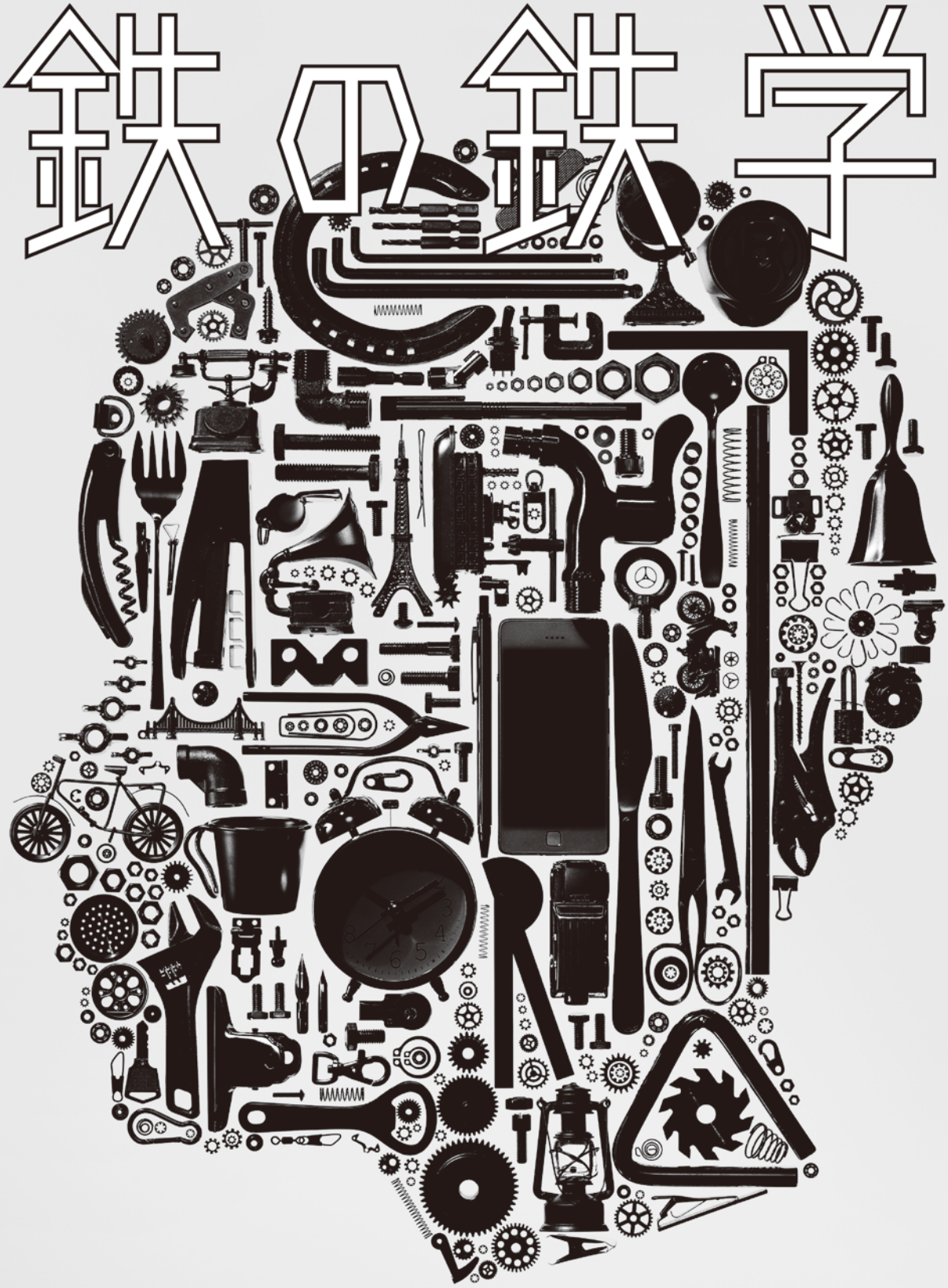
Vol.59 MTERE2 59 (5) 229～290 (2020)　2020 5





https://jim.or.jp/
https://www.jim.or.jp/journal/m/（←まてりあ記事オンライン）

鉄の鉄学



世界は鉄でできている。

NIPPON STEEL

あらゆるサイズ、あらゆる場所で活躍する私たち、鉄。実は私たちには
独自の“鉄学”があります。それは人の想像力をカタチにすること。
長い歴史の中で、人間のアイデアを実現する役割をずっと
鉄はしてきたのです。鉄とともに、進化してきた人々の暮らし。
さて、次はなにを想像し、一緒になにをつくりましょうか？

Materia Japan

https://www.jim.or.jp/journal/m/

5

2020
Vol.59
No.5

まてりあ

金属素描　No. 9　ガリウム(Gallium)　森戸春彦 ……229

表彰
第65回学会賞受賞者……231
第61回技術賞受賞者……232
第70回金属組織写真賞受賞者……232
第51回研究技術功労賞受賞者……234
第78回功績賞受賞者……236
第59回谷川・ハリス賞受賞者……238
第26回増本量賞受賞者……238
第32回若手講演論文賞受賞者……239
新名誉員……239
第３回フェロー認定者……240
第28回奨学賞受賞者……241
第70回金属組織写真賞受賞作品……242
選評……245

学会賞受賞記念講演　希土類鉄(R-Fe)磁石は世界を支える　佐川眞人……247

本多記念講演　医療と金属材料　塙　隆夫 ……252

新進気鋭　低炭素鋼におけるナノ合金炭化物の相界面析出におよぼす諸因子の影響解明
張　咏杰……260

トピックス　高校生を含めたポスターセッション第３弾　～第47回「若手フォーラム」報告～
竹元嘉利　上森　武　宮岡裕樹　清水一郎　金谷輝人　新垣之啓……265

思い出の教科書，この一冊！　初級金属学　大塚　誠 ……266

スポットライト
金属に学ぶ　梅山智行　川村陽大　小林一葵　橋本涼太 ……267
ステンレス電解研磨と加熱着色法の研究　中島泰輝……268
私の人生を変えた経験～高血圧と骨の関係解明～　近藤陽香……269

談話室　転位はナルシストそれともラガーマン？　坂　公恭……270

本会記事
2020年秋期講演大会募集……271
2020年春期講演大会記録……283
企業求人情報・掲示板……284
会誌・欧文誌５号目次……286
次号予告……288
新入会員……288
行事カレンダー……289

まてりあ・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.or.jp/

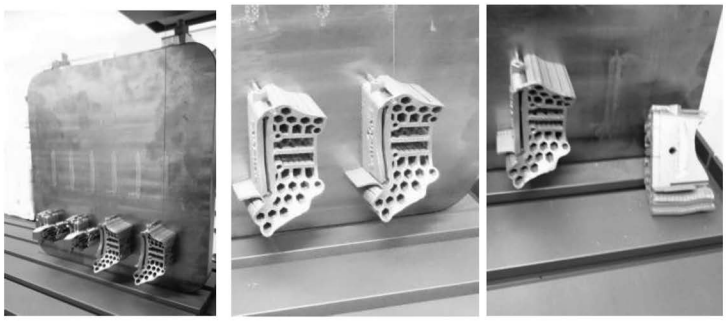
今月の表紙写真　CeO_2 触媒ナノ粒子を架橋する可視化した単一有機分子鎖．
（日本金属学会金属組織写真賞　最優秀賞受賞記事　242頁　図より改変掲載）

表紙デザイン：北野　玲

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

金属3Dプリンター造形物の取り外しに

ダイヤモンドワイヤーソー
DWS250



3Dプリンターで精密に作製された高価な3D金属造形物を
ベースプレートから安全に取り除くことが可能です。
造形物は損傷なく取り外すことが出来ます。
プレートの残渣はほとんどありません。

EiResearch

株式会社 栄(エイ)リサーチ
TEL：092-834-3477
https://www.eiresearch.co.jp

世界の材料科学・工学をリードする第一線の研究者・技術者に向けて

付設展示会
大会プログラム広告
ランチョンセミナー

募集のご案内

付設展示会（機器・ソフトウェア・書籍）
・1コマ ￥140,000（税別）
大会プログラム広告
・1色1頁 ￥70,000（税別）・1色1/2頁 ￥40,000（税別）
大会ホームページバナー広告
・1枠 ￥50,000（税別）
ランチョンセミナー
・1枠 ￥100,000（税別）

日本金属学会・講演大会 開催予定

2020年秋期（第167回）講演大会
9/16（水）～9/18（金）（予定）
富山大学・五福キャンパス

ご出展・広告掲載のお問い合わせ・お申込み

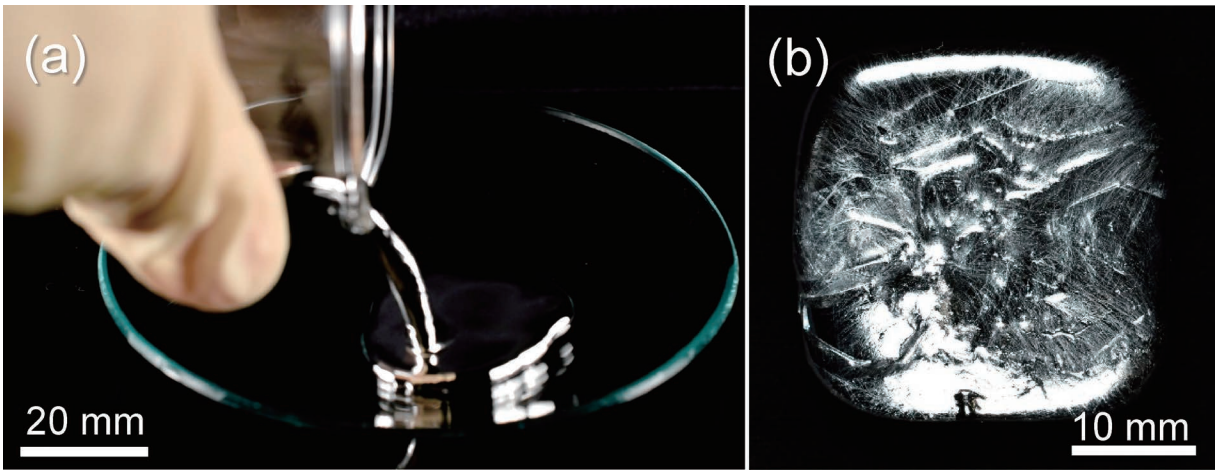
MEIHOSHA ADVERTISING AGENCY

株式会社 明 報 社
〒104-0061 東京都中央区銀座七丁目12-4 友野本社ビル
TEL（03）3546-1337 FAX（03）3546-6306
E-mail info@meihosha.co.jp ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞ www.meihosha.co.jp

シリーズ「金属素描」

No. 9 ガリウム(Gallium)

東北大学 森 戸 春 彦



元素名：Gallium，原子番号：31，質量数：69.72，電子配置：[Ar]3d10 4s2 4p1，密度：5.908 Mg·m^{-3}(293 K)，結晶構造：斜方晶(室温～融点)，融点：303 K，沸点：2676 K[1]，地殻存在量：16 μg·g^{-1}.【写真】(a)ガリウム融液(純度 6N)を注いでいる様子，(b)鋳込み後のガリウム

1869年，フランスの化学者メンデレーエフは，当時知られていた元素を原子量の順に配置し，元素の周期性を見出した．周期表が発表された当時，すべての元素が知られていたわけではなく，後に発見されると予測された元素は周期表の中で空欄になっていた．周期表の縦列の元素は似た性質を示すことが示唆されていたことから，未知元素に対しては周期表の一つ上の元素に「エカ」という頭文字を付けて呼んだ．その一つがエカアルミニウムであり，後のガリウムである．1875年，フランスのポール・ボアボードランは，分光学的手法によりガリウムの存在を明らかにし，その後，閃亜鉛鉱からガリウムを単離することに成功した．ガリウムはエカ元素の中で一番最初に発見された元素であり，ガリウムの発見により，メンデレーエフの周期表は世間に知れ渡った．また，ガリウムの発見当初，その密度の測定値はメンデレーエフが予測した値と異なっていたが，その後の再実験により，ガリウムの密度の実験値と予測値が見事に一致し，周期表の正当性が立証された[2]．

自然界にガリウムは単体で存在せず，鉱石中でアルミニウムや亜鉛と共存している．そのため，ガリウムはアルミニウム製錬や亜鉛製錬の副産物として得られる．半導体用のガリウム原料はゾーンメルト法やチョクラルスキー法などによって高純度化された物が利用されている[2]．

皆が良く知るガリウムの特性の一つとして，融点が低いことが挙げられる．体温で融けるので，化学実験で手の上にのせて融ける様子を観察したり，スプーン曲げの小道具に使われることがある．ガリウム自体には毒性はないので問題はないが，皮膚に対する濡れ性が良いため，手にシミができて水で洗ってもなかなか落ちないので，直接手で触る際には注意が必要である．ガリウム融液は水と同じように凝固に伴い体積が膨張する異常液体の一つであり，ガラス容器に保管すると容器が破損する恐れがあるため，ポリ容器に保管するのが一般的である．また，ガリウム融液は過冷却になる傾向が強く，その冷却過程を制御して凝固させると，$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ などの多形構造を示すことが知られている．通常の凝固では α 相が生成するが，この相は，対称性の低い斜方晶であり，ガリウムの融点が低い要因の一つである．また，ガリウムは原子半径が小さいことから他の元素の格子間に侵入しやすく容易に合金を形成する．アルミ箔の上に融けたガリウムを流すと，瞬く間に合金化してアルミ箔が粉々になる(著者の経験)．ガリウムは低融点金属であるにも関わらず，意外にも沸点が高く，融点と沸点の差は 2373 K にも及ぶ．広い温度範囲で融液状態を保つことができるため，中高温度領域の温度計媒体として使用することができる．

ガリウム単体としての用途はそれほどなく，その大半は GaAs や GaP, GaN などのⅢ－Ⅴ族化合物半導体として用いられている．近年ではパワー半導体として Ga_2O_3 も注目されている．磁性材料の分野におけるガリウムの使用例を紹介すると，ネオジム鉄ボロン磁石においては，ガリウム添加により非磁性粒界相を形成し，保持力を向上させる技術が報告されている[3]．最近では，振動発電用の磁歪材料として鉄ガリウム(Fe–Ga)合金の開発も行われている[4]．

日本では液晶用化合物 IGZO(Indium Gallium Zinc Oxide)や太陽電池用薄膜化合物 CIGS(Copper Indium Gallium di-Selenide)などガリウムを含んだ材料の開発が盛んに行われてきた経緯もあり，世界市場における日本のガリウム消費量は世界最大である(2018年，日本が世界需要の44％を占める)[5]．今後も世界に先駆けた材料開発が行われることが期待される．

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) 元素大百科辞典：渡辺正監訳，朝倉書店，(2007).
(3) 佐々木泰祐ら：日本金属学会誌，**81**(2017), 2–10.
(4) 南都十輝ら：まてりあ，**56**(2017), 27–29.
(5) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源情報，鉱物資源マテリアルフロー2018, 17.ガリウム(Ga).

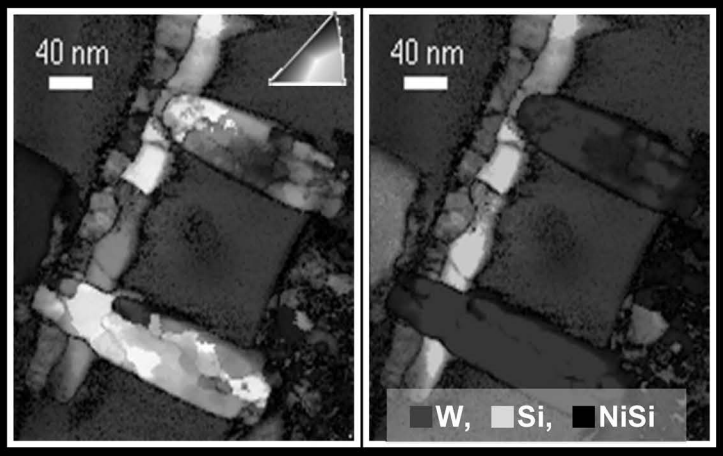
次号　金属なんでもランキング！ No. 9　宇宙の元素組成

ASTAR / TopSpin

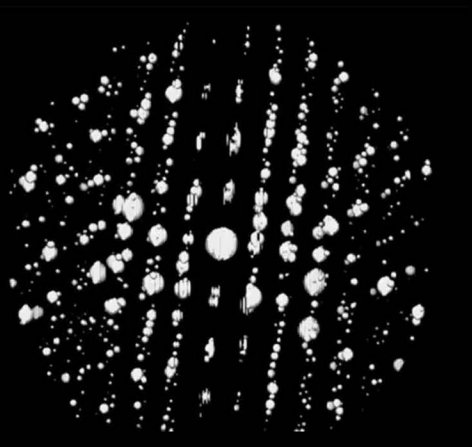
TEM Orientation Image Analysis

NanoMEGAS社では、電子線の走査とプリセッション照射法を組合せ、TEMによる結晶方位マップを可能にしました。連続的に得られた回折パターンは、テンプレートマッチング法により確実に指数付けされます。 このテンプレートマッチング法は、SEM/EBSD法よりも優れた相分離性を示し、触媒表面等の微小な結晶構造の変化も検出可能としました。またTEM の優れたファインプローブの使用により、従来のEBSD法では考えられない、高空間分解能の結晶方位マップを実現しています。プリセッション照射では、照射角を大きくすることで、ダイナミカルな効果を低減した回折パターンの取得が可能となります。 この状態で試料を連続的に傾斜させながら回折パターンを取得することで、ディフラクショントモグラフィも実現しています。これによりTEMを用いた結晶構造解析が大きく進展しました。

IPF 結晶方位マップ　　相マップ



半導体ビア部断面の測定例:
10nmφ 以下の結晶粒の指数付けや、相分離も正確に行われていることが判る。



ディフラクショントモグラフィの例:
試料傾斜角+/- 60°で連続的に取得し、3次元に再構築した例。

NanoMEGAS
Advanced Tools for electron diffraction

TSL solutions

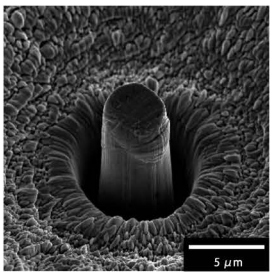
株式会社 TSL ソリューションズ　252-0131　神奈川県相模原市緑区西橋本5-4-30 SIC2-401
e-mail: info@tsljapan.com, Homepage: www.tsljapan.com

“はかる”技術で未来を創る

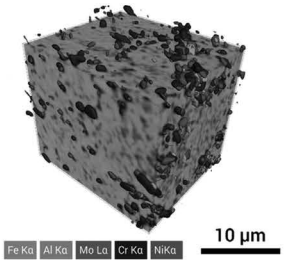
Xe プラズマ FIB-SEM システム

TESCAN AMBER X

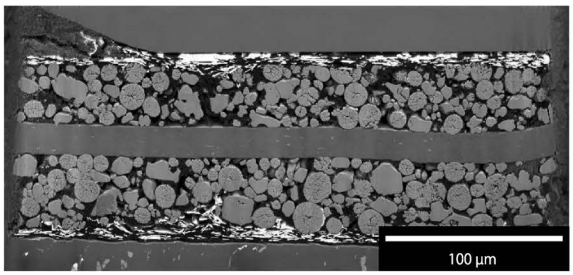
- 最大 1mm 幅の FIB 断面加工が高速で実現
- Ga フリーでの微小試料作製
- カーテニング等のアーティファクトを抑制する Rocking Stage をはじめとする独自技術
- 超高分解能、フィールドフリー SEM イメージング
- インカラム検出器による二次電子 / 反射電子検出
- ナビゲーションを容易にする広い観察視野
- FIB を一次イオン源とした ToF-SIMS を搭載可能
- 共焦点ラマン顕微鏡との融合が可能



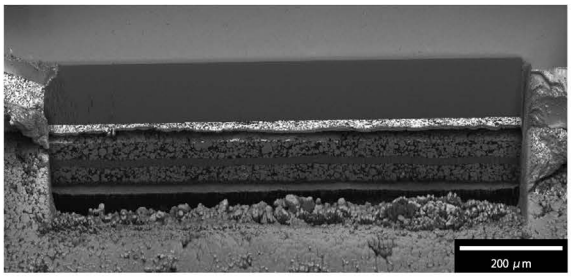
超微細粒アルミニウムから
微小化されたマイクロピラー



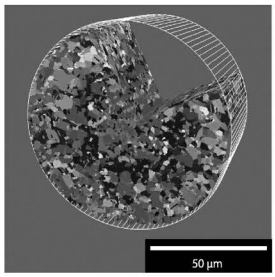
高合金鋼中の析出物の
3D-EDS 像



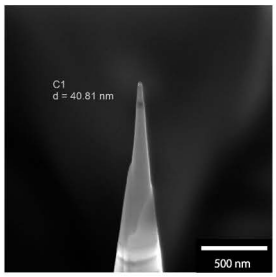
Rocking Stage を用いて研磨されたリチウムイオン電池電極断面



1mm 幅で作製されたリチウムイオン電池電極の加工断面



90μm 径の銅線断面
3D-EBSD 像



アトムプローブ用試料の作製

東陽テクニカ www.toyo.co.jp/microscopy TESCAN

株式会社 東陽テクニカ
ライフサイエンス&マテリアルズ
〒103-8284 東京都中央区八重洲 1-1-6
TEL.03-3279-0771 E-Mail : bunseki@toyo.co.jp

大阪支店	〒532-0003	大阪府大阪市淀川区宮原1-6-1（新大阪ブリックビル）	TEL.06-6399-9771
名古屋営業所	〒460-0008	愛知県名古屋市中区栄2-3-1（名古屋広小路ビルヂング）	TEL.052-253-6271
宇都宮営業所	〒321-0953	栃木県宇都宮市東宿郷2-4-3（宇都宮大塚ビル）	TEL.028-678-9117

公益社団法人 **日本金属学会** The Japan Institute of Metals and Materials

〈刊行物のご案内〉

●日本金属学会誌（月刊） https://www.jim.or.jp/journal/j/

オンラインジャーナルは，全論文フリーダウンロード可能．投稿・掲載費用無料．各種データベース搭載（Web of Science, CrossRef, Chemport..）．レビュー・オーバービューの定期的な掲載．エクスプレスラピッドパブリケーション等早期公開のカテゴリも充実（受付から掲載まで最短 42 日で公開）．

●共同刊行欧文誌：Materials Transactions（月刊） https://www.jim.or.jp/journal/e/

材料系 14 学協会での共同刊行を実施．公開から 6 ヶ月経過した論文は，フリーダウンロード可能（J-STAGE）．さらに，2018 年 2 月より，公開後すぐにフリーダウンロード可能となるサービスを開始．各種データベース登載（Web of Science, CrossRef, Chemport, Materials Journal Portal Site...）. Review･Overview の定期的な掲載．Express Rapid Publication 等早期公開のカテゴリも充実（受付から掲載まで最短 43 日で公開）．

●日本金属学会会報「まてりあ」（月刊） https://www.jim.or.jp/journal/m/

会員の情報交換や啓発・教育を目的とした会報誌「まてりあ」．啓発を促す「最近の研究」・「講義ノート」，若手の活躍を紹介する「新進気鋭」「はばたく」「スポットライト」記事，大学・企業の現場を紹介する「研究室紹介」などバラエティに富んだ内容を毎月お届けしております．その他，「金属素描」「金属なんでもランキング！」など『金属』に視点を当てた記事も掲載しております．オンラインジャーナルでの閲覧も出来ます．是非，ご活用下さい．

〈学術図書類出版案内〉

- ●金属化学入門シリーズ
- ●講座・現代の金属学 材料編
- ●講座・現代の金属学 製錬編
- ●金属工学シリーズ
- ●セミナーテキスト
- ●シンポジウム予稿集
- ●単行本

◇日本金属学会春秋講演大会　開催予定◇

★2020年9月16日（水）～18日（金）　富山大学～五福キャンパス～

〈多彩な学会活動〉

- ●講演大会（年２回）・調査研究活動
- ●セミナー/シンポジウム・研究会・若手研究グループ活動
- ●支部活動（全国７支部）
- ●表彰事業（論文賞/金属組織写真賞etc・・）
- ●World Materials Day Award 事業
- ●男女共同参画活動　　等

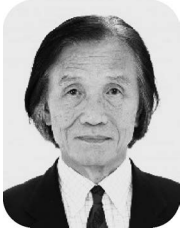
熱気溢れるポスター発表

～ ご入会をお待ちしております．https://jim.or.jp/ ～

表彰（日本金属学会）

～2020年3月17日（火），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．今回は賞状の発送をもって，贈呈式に代えさせていただきました．～

第65回　日本金属学会賞　（2020年3月17日）



大同特殊鋼株式会社 顧問　佐　川　眞　人 君

佐川眞人君が富士通研究所において磁石研究を開始した当時の最強磁石はSm–Co系であった．彼は，Sm–Co系磁石の研究を実施しながら，なぜ資源豊富で最大の磁気モーメントをもつ元素であるFeを主成分とする希土類化合物が硬質磁気特性を示さないのか疑問を抱いていた．

そうした中，1978年の日本金属学会主催シンポジウムにおける，浜野正昭氏の「R–Fe（Rは希土類元素）結晶においては隣接するFe–Fe間距離が短いことが硬質磁気特性を示さない原因である」との説明からヒントを得，「原子半径の小さなCやBをR–Fe合金の格子間に存在させ，Fe–Fe間距離を伸長させることで磁石特性を得ることができるのでは」との発想で探索研究を直ちに開始した．種々の組成からなるR–Fe–CおよびR–Fe–B系合金を作製し，その磁気特性および結晶構造を調査する試行錯誤実験を数多く繰り返した結果，1982年に希土類–鉄系としては世界初の永久磁石材料である新化合物Nd–Fe–Bの発見に到った．

佐川眞人君は住友特殊金属に移籍後，自ら発見した新化合物Nd–Fe–Bの永久磁石としての実用化に取り組んだ結果，粉末焼結法を用いて得られたNd–Fe–B焼結磁石の最大エネルギー積は，それまで最強磁石であったSm–Co系磁石の2倍もの値を記録した．実用上の最大の問題点とされた温度上昇時の保磁力低下についても，Ndの一部をDyで置換するという改良手段により解決した．その後工業化に成功し，1985年，量産が開始された．ハードディスク用磁石としての採用をきっかけに，医療機器MRI，各種AV機器，家電，携帯電話，産業機器，自動車用各種モータ，エレベータ，発電機等，現代社会を支える多くの用途に使用されてきており，その年間生産量は今や世界で10万トンレベルまで増大し，今後も大きな市場拡大が見込まれている．

さらに，1988年に自身で設立したインターメタリックス株式会社において，次世代Nd–Fe–B磁石の研究を実施した．資源リスクのあるDyの使用量を削減可能なPLP（プレス・レス・プロセス）法を開発し，大同特殊鋼による事業化につなげた．そして現在もさらなる新技術の開発を目指してNDFEB株式会社で努力を続けている．

佐川眞人君は，産業面だけでなく基礎的研究も重要視し，学界との共同研究を積極的に実施してきた．例えば，東北大学と共同で各種R–Fe–B系単結晶試料の強磁場磁化測定を実施し，その基本磁気特性を明らかにし，本化合物の磁気異方性の起源について解析を行った．また，永久磁石材料にとっては難問題である保磁力機構についての多くの研究を実施し，世界の研究者に刺激を与えた．金属間化合物の物性に関する学術分野の発展にもつながっている．最近では，基礎研究に関して，企業の枠にとらわれない研究コミュニティー構築にも参加し，永久磁石関連分野全体の研究推進にも多大な貢献をしてきている．結果，微細構造観察・解析技術，組織生成熱力学，基本磁気特性および磁化挙動に関する計算予測，あるいは材料合成新プロセスなどにおける先進的研究成果や優秀な研究者育成につながっており，その業績および活動は多くの尊敬を集めている．

Nd–Fe–B系磁石を用いたモータは，小型軽量で高い効率が得られる．世界の電力需要の中でモータの占める割合は半分以上と高く，したがってNd–Fe–B系磁石を用いた高効率モータの普及は大きな電力節約となる．また，新エネルギー技術として期待される風力発電やハイブリッド自動車・電気自動車に使用されることで，CO_2排出量削減・地球環境問題の解決にも多大な貢献をしている．このように環境保全のためには必須の存在であるNdFeB磁石について，上述のような産業・学術の両面に渡る佐川眞人君による業績は，日本金属学会にとっても多大なものである．加えて，若手研究者を対象とする啓発的な企画シンポジウム（2018年秋期講演大会）で基調講演を担当するなど，人材育成においても長年にわたり本会の発展に貢献している．

第 61 回　日本金属学会技術賞　受賞者(2 名)　(2020 年 3 月 17 日)

［集合組織制御による高加工性冷延鋼板の開発と高性能化］

JFE スチール㈱スチール研究所分析・物性研究部 部長　奥　田　金　晴 君

受賞者は，長く薄鋼板の研究者として従事し，金属組織的な視点を加えながら数々の新鋼板を開発した．自動車用パネル用鋼板では，さらなる高強度化のために，低炭素領域での複合組織化により，耐面歪性に優れ，時効劣化し難い 440 MPa 級外板パネル用高強度鋼板を開発，また，2 ピース飲料缶用鋼板では，炭素量の低減化や集合組織制御を行いながら，高強度化と成形性を両立するなど，この分野の発展に貢献している．

［中高炭素高性能鉄鋼材料に関する研究開発と実用化］

日本製鉄㈱技術開発本部君津技術研究部 上席主幹研究員　久保田　　学 君

受賞者は，中高炭素鉄鋼材料の高性能化に関する研究開発と実用化に従事し，優れた業績を挙げてきた．高強度ボルトの遅れ破壊を組織と析出物制御によって克服した土木・建築用及び自動車用高強度ボルトを実用化した．また浸炭などの高温・長時間熱処理における異常粒成長の抑制技術を開発し，省エネルギー化や生産性を向上する高性能浸炭用鋼を実用化した．さらに懸架ばねの腐食疲労の支配因子の明確化や加工硬化オーステナイトの再結晶に関する研究など，学術的にも価値の高い成果を挙げた．

第 70 回　日本金属学会金属組織写真賞　受賞者(16 名)　(2020 年 3 月 17 日)

最優秀賞　1 件(8 名)

【第 3 部門】透過電子顕微鏡部門

1.「CeO_2 触媒ナノ粒子を架橋する単一有機分子鎖の可視化」

東京大学・
日本電子産学連携室
副室長
斎 藤 光 浩 君

東北大学
材料科学高等研究所
郝　暁 東 君

東北大学
材料科学高等研究所
准教授
陳　春 林 君

東北大学
材料科学高等研究所
尹　徳 強 君

東北大学
材料科学高等研究所
講師
井 上 和 俊 君

名古屋大学
工学研究科
教授
高 見 誠 一 君

東北大学
材料科学高等研究所
教授
阿 尻 雅 文 君

東京大学大学院工学系研究科
総合研究機構
教授
幾 原 雄 一 君

優秀賞　2件(8名)

【第1部門】光学顕微鏡部門

1.「透明ダイヤモンド製 Vickers 圧子を用いた In-situ Vickers インデンテーション」

北海道大学大学院
工学院

仲 野 暁 登 君

北海道大学大学院
工学研究院
教授

三 浦 誠 司 君

北海道大学大学院
工学研究院
准教授

池 田 賢 一 君

【第3部門】透過電子顕微鏡部門

2.「N 極性 GaN の貫通転位と InGaN 量子井戸との弾性相互作用」

東北大学
金属材料研究所
准教授

木 口 賢 紀 君

東北大学
金属材料研究所

兒玉裕美子 君

大阪大学大学院
工学研究科
准教授

谷 川 智 之 君

東北大学
金属材料研究所
助教

白 石 貴 久 君

東北大学
金属材料研究所
教授

今 野 豊 彦 君

第 51 回　日本金属学会研究技術功労賞　受賞者(11 名)　(2020 年 3 月 17 日)

日立金属㈱冶金研究所　青　戸　保　夫 君

受賞者は，1985 年に入社し冶金研究所に配属以来 34 年に渡り，一貫して研究開発支援に従事してきた．その間，主にスパッタリングターゲット材や粉末材料の研究開発に携わり，試作実験・材料特性評価試験・材料の組織観察/分析など多岐にわたる業務を担当し，新製品・新プロセスの開発に大きく貢献した．その後も，研究の要となる合金溶解/熱処理や，更には労務・設備・安全等，研究所の基幹職全体の取り纏めも担い，研究開発の支援に多大に貢献した実績は顕著である．

日鉄テクノロジー㈱八幡事業所研究試験部　江　本　康　雄 君

受賞者は，入社後，製鋼プロセスに従事した後，30 年間，表面処理鋼板の研究開発支援を担当し自ら工夫を加えた試験実験で多くの研究成果に貢献した．例えばスズめっき鋼板のめっき層の構造制御試験を高精度化し，ブリキ新商品の実用化に大きく貢献した．また，溶融スズ−亜鉛めっきの凝固組織制御試験方法を考案し，自動車燃料タンク用鋼板の実用化に大きく寄与した．現在も新規試験の考案・検討や，これ迄の経験知識を基に後継者の育成に携わるなど多岐にわたる研究開発支援への功績は顕著である．

日鉄テクノロジー㈱富津事業所テクニカルサービスセンター　小　尾　厚　司 君

受賞者は，1975 年に新日本製鐵に入社し，君津製鉄所熱技術課，設備技術のエンジニアリング室等における実績を評価され，1991 年に技術開発本部・研究試験室(TS センター)の創立メンバーとして参画．1996 年からは大型構造実験の現場リーダーとして土木建築用鋼材の研究開発と商品化，および現場の安全確保に大きく貢献してきた．特に①大型構造実験の安全維持，②挑戦的な構造実験の遂行とそれを実現する設備導入，③組織運営と育成に注力し，長年にわたる献身的なサポートは，研究開発に創意工夫をもたらした．

㈱日本製鋼所新事業推進本部　河　合　政　征 君

受賞者は，開発部門に配属後 30 年以上にわたり，水素吸蔵合金(MH)を応用した水素貯蔵タンクおよびシステム開発に貢献してきた．特に，燃料電池用の水素貯蔵容器の開発では，水素貯蔵量を約 100 Nm^3/基とした大型の MH 容器を開発し，国内では過去最大級となる信頼性の高い水素貯蔵システムを確立した．これらの設計および製造技術の改善に大きく携わり MH 製品の商品化に大きく貢献した．また，その長年に培った経験知識を基にして次世代の若手技術員・研究員へと伝承し，高品質な製品実用化に貢献した実績は顕著である．

日本製鉄㈱広畑製鉄所設備部　黒　田　義　昭 君

受賞者は，入社以来 43 年間にわたり製鉄プロセスの開発・改善業務に携わり，制御工学・電磁気学の知識やプログラミング技能を活かした試験装置の製作，実験に従事し，製鋼スラブナンバーマーキングロボット開発，薄鋼板電気加熱技術開発，表面検査装置機能改善など多くの技術確立に貢献してきた．現在もエキスパートとして多数の薄鋼板製造工程の開発・改善業務に取り組むとともに後進の育成指導にあたっており，鉄鋼プロセスの電気制御装置や品質計測装置の発展への功績は顕著である．

日本製鉄㈱技術開発本部尼崎研究支援室　上　月　康　裕 君

受賞者は入社以来 38 年にわたり研究試験業務に従事し，Ti 合金等の各種金属材料に関する数々の実験や評価手法の考案を通じて研究開発へ多大な貢献をしてきた．例えば，TiAl 系金属間化合物の耐酸化特性の新たな評価手法を考案し，新成分系の開発に大きく寄与した．また，酸化物界面の TEM 観察手法を確立し，現象解明を通じて研究を大きく前進させた．現在は組織を束ねる立場に立ち，豊富な経験と高度な知識を活かし，研究環境の整備や後進の育成に力を注いでいる．長年研究開発を支えてきたその功績は顕著である．

茨城大学工学部技術部　佐久間　隆　昭 君

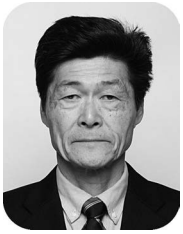
受賞者は，着任以来30年以上にわたり茨城大学工学部で，教育面で実験や実習の補助を行ってきた．一方，例えば研究用試験片加工では，そりや多量の残留応力を有する厚板材からの試験片の切出しを依頼した大学院生・教員に，切出し後の形状不整が予測されることを予め伝えつつ，少量ずつ丁寧に切削することにより形状不整を最小限にとどめるなど，外注ではなしえない卓越した技術を駆使して，かげの功労者として研究を支えてきた．このように受賞者の学術研究の進展に貢献した功績は顕著である．

トヨタ自動車㈱モノづくり開発・PJT推進部　白　石　峰　則 君

受賞者は，入社以来42年間にわたり様々な生産技術開発業務において，特に開発材料・工法の金属組織調査業務で多大な貢献を果たした．特に新しいクランクシャフト開発では開発材料の金属組織観察方法を考案し，開発加速に大きな貢献を果たした．また，他の開発材料においても従来の手法では困難であった金属組織観察を豊かな経験と知恵で可能とする事により，開発の加速に大きく貢献した．現在も実務をこなしながら後輩後進の育成に努め，多くの改善や工夫で作業効率の向上を図る等，研究開発に顕著な功績を残している．

信州大学基盤研究支援センター　山　上　朋　彦 君

受賞者は，着任以来34年間にわたり，教員の研究の技術支援業務に精励し，さらに分析機器の操作・技術支援に貢献してきた．特に，電子顕微鏡関連装置の管理者として，学生，教員等に操作指導，技術提供を行い，中でも透過電子顕微鏡の試料作製においては様々な試料作製・分析に携わり，その成果として共著論文は17報ある．また，大学行事での一般向けや小中高教員研修で，“ミクロの世界を探求”を企画・実施してきた．加えて，若手の技術職員を指導し，優秀な後進の育成にも大きく貢献している．



JFEスチール㈱スチール研究所　山　下　和　美 君

受賞者は，入社以来42年間にわたり，表面処理鋼板開発のための各種実験，材料評価，評価装置の製作を担当し，広く新技術・新商品の開発に貢献してきた．例として，逆電解法を取り入れた高密着性接着缶用TFS，自動車用の有機複合被覆鋼板，家電分野ではリン酸塩処理鋼板の開発に従事し，数々の商品化に繋げてきた．その後，長年培った経験知識を伝承すべく後輩・部下を熱心に指導し，また安全管理，資産・設備管理のレベルアップにも大きく貢献し，表面処理鋼板開発進展への功績は顕著である．

東北大学マイクロシステム融合研究開発センター　渡　邉　　拓 君

受賞者は1979年財団法人半導体研究振興会半導体研究所に入所以来，高抵抗Si単結晶エピタキシャル成長技術開発と各種静電誘導型デバイスへの適用などに携わってきた．1990年には世界最高のキャリア密度をn型Si単結晶成長層で達成するなど学術研究の発展に多大な貢献をした．2008年に東北大学マイクロシステム融合研究開発センターに移籍・転属後も一貫してドーピングPoly Si CVDおよび単結晶成長装置などに取り組む一方，施設利用者の技術相談に対応するなど，学術研究の進展に貢献した功績は顕著である．

◇　◇　◇

第 78 回　日本金属学会功績賞　受賞者(8 名)　(2020 年 3 月 17 日)

[物性部門]

[半導体量子構造のスピン軌道相互作用が生み出すスピン物性開拓と金属スピントロニクスへの展開]

東北大学大学院工学研究科 准教授　好　田　　誠 君

受賞者は，半導体量子構造のスピン軌道相互作用が生み出す有効磁場を精密制御し，スピントロニクスデバイスを実現する上で必要不可欠な電気的スピン生成・スピン制御・スピン検出の基盤技術を創製してきた．特に，有効磁場の空間制御を用いたスピンフィルタや長距離スピン輸送が可能な永久スピン旋回状態を実現している．さらに半導体で得たスピン物性の知見を最大限活用し，エピタキシャル金属薄膜における効率的スピン軌道トルクの実現や磁化反転を実施しており，今後の幅広い研究展開が期待される．

[組織部門]

[アモルファス材料の構造抽出手法の開発]

早稲田大学理工学術院 教授　平　田　秋　彦 君

受賞者は，これまで実験・計算の両面からアモルファス材料の構造抽出手法の開発を行ってきた．実験では，走査型透過電子顕微鏡を用いたオングストロームビーム電子回折法によりアモルファスの局所構造を原子クラスターレベルで観測した．計算では，回折データから局所構造モデルを直接導出する局所逆モンテカルロ法を開発し，さらには位相不変量であるホモロジーに着目した局所構造の解析手法も考案した．これらの成果はアモルファスの構造科学に寄与するものであり，今後の発展が期待される．

[力学特性部門]

[微視的弾性理論の構築を基軸とした生体および構造用金属材料の弾性特性の解明]

大阪大学産業科学研究所 准教授　多　根　正　和 君

受賞者は，「不均質材料の弾性特性を高精度で計算可能なマイクロメカニックス理論」と「多結晶弾性率から単結晶弾性率を決定するための独自手法」の構築を基軸として，金属材料の弾性特性を中心とした力学特性および相転移挙動に対して研究を行ってきた．主な成果として，生体用 Ti 合金の低弾性率化メカニズム，LPSO 構造を有する Mg 合金および炭素繊維の弾性特性の支配因子，さらには凍結された合金組成ゆらぎに起因した新たな相転移である無拡散等温オメガ変態の相転移機構を解明しており，今後の研究に対して更なる発展が期待される．

[材料化学部門]

[高温融体の物理化学的性質の解明と高温化学プロセスの開発]

東北大学大学院工学研究科 准教授　竹　田　　修 君

受賞者は，金属製錬，リサイクル，表面改質のための融体物性研究および高温化学プロセス開発に取り組んできた．溶融金属，溶融塩，溶融スラグを対象とし，回転振動法粘度計，回転法粘度計，二球型アルキメデス密度計，最大泡圧法表面張力計を開発して融体物性を高確度で決定，融体構造の理解に貢献した．また，融体物性の理解に基づきチタンの新規製錬プロセスやレアアースの環境調和型リサイクルプロセス，耐熱材料の表面改質法の開発等を展開しており，今後のさらなる発展が期待される．

［材料化学部門］

［電気化学的手法に基づく金属および金属酸化物の液相合成とエネルギー変換・貯蔵材料への応用］

東京大学生産技術研究所 准教授　八　木　俊　介 君

受賞者は，金属および金属酸化物の液相合成反応場における電位を，混成電位の概念を発展させて解釈し，これまで試行錯誤により開発されてきた液相合成プロセスに明確な設計指針を与えた．またこの指針に基づき，銅，鉄，コバルト，ニッケル，錫，金，白金およびこれらの合金や酸化物の高効率液相合成プロセスを確立した．受賞者はさらに，次世代蓄電池や，水素および酸素製造のための電気化学触媒の研究に本技術を応用し，優れた材料を数多く創出しており，今後エネルギー関連材料の分野において，更なる活躍が期待される．

［材料プロセシング部門］

［塑性加工を利用した鋼の組織制御による力学的特性向上に関する研究］

物質・材料研究機構構造材料研究拠点 主幹研究員　上　路　林太郎 君

受賞者は，塑性加工を利用した鋼の組織制御による力学的特性向上に関する研究に従事してきた．主な功績として，微細粒組織化プロセスによる高強度・高延性のみならず高衝撃吸収エネルギーを兼ね備えた高マンガン鋼の試作に関して展開された一連の研究があげられる．近年では，高温圧縮接合により試作できる日本刀型鋼板を新たに提案し，メゾスケールにおける組織設計に関し，異種組織界面形態と相変態挙動ならびに強度・延性について系統的な研究成果をあげており，今後の更なる発展が期待される．

［工業材料部門］

［金属工学に根差した骨機能解明とそれに基づく骨生体材料創製に関する研究］

大阪大学大学院工学研究科 准教授　石　本　卓　也 君

受賞者は，高機能骨インプラント材料の創製を目指して，金属工学を基軸とし，生体組織ならびにインプラント素材としての金属材料の組織・機能の解明・制御を両輪とし精力的に研究に取り組んでいる．金属工学的アプローチが，金属材料のみならず生体骨の機能の解明や制御に極めて有効であることを証明し，金属工学の新たな可能性を開拓するとともに，生体組織，金属材料の両者に関する研究において優れた業績を挙げている．今後のさらなる飛躍と金属学への貢献が期待される．

［工業技術部門］

［二次元層状半導体の液相成長とテラヘルツ非破壊検査応用］

東北大学大学院工学研究科 准教授　田　邉　匡　生 君

受賞者は，テラヘルツ光を発生する材料を結晶成長法から検討し，キャリア密度を低減した２次元層状半導体によるテラヘルツ光の高効率発生を実現するとともに，テラヘルツ光の小型光源と分光装置を実用化した．さらに，テラヘルツ光の非金属を透過しながら直進する特性を活かして，目視できない塗膜下やコンクリート中にある金属表面に対する非破壊イメージングを世界に先駆けて実証した．また，層状半導体について層間結合力を直接測定することに世界で初めて成功し，層状構造の脆さを克服する製造プロセス指針を提供するものと期待されている．

第 59 回　日本金属学会　谷川・ハリス賞　受賞者(3 名)　(2020 年 3 月 17 日)

［金属材料への第一原理熱力学の展開］

京都大学大学院工学研究科 教授　田　中　　功 君

受賞者は，量子力学に基づいた第一原理計算を金属学に応用する研究で顕著な貢献を果たした．とくに熱力学・統計力学と第一原理計算を連携させた第一原理熱力学を推進し，同分野に飛躍をもたらした．具体例としては，第一原理フォノン計算により，物質の自由エネルギー等を，温度効果を含めて実験と比肩する精度で得ることに成功した．またクラスター展開法などを適用することで，固溶体や欠陥構造に関する熱力学物性値について，第一原理計算での評価に成功した．一連の成果は世界的に高く評価されている．

［耐熱材料の組織制御と変形機構に関する研究］

物質・材料研究機構構造材料研究拠点 副拠点長　御手洗　容　子 君

受賞者は，耐熱材料の組織制御と高温における変形機構の解明を推進してきた．例えば，白金族金属基合金では 1500℃ 以上で優れた高温強度を示す材料を提案し，通常 200℃ 以下でしか完全回復しない高温形状記憶合金では，300℃ 以上で完全回復する合金を提案し，耐熱 Ti 合金では，組織因子がクリープ特性に及ぼす効果を明らかにし，Ti 合金の使用限界である 600℃ を超える材料設計に挑戦するなど，それぞれの材料にとって「超高温」における材料設計原理を追求し，耐熱材料の創製と発展に大いに貢献した．

［金属精製・資源循環プロセスの物理化学に関する研究］

東京大学大学院工学系研究科 教授　森　田　一　樹 君

受賞者は，鉄やシリコンを中心とする金属の精製・リサイクル，副生物の高付加価値化などの資源循環に関わる物理化学研究に携わってきた．特に，種々の製精錬スラグの相平衡や成分活量の測定，種々の高温界面反応速度の新手法による解析等を通して，鋼の高効率精錬や清浄度鋼溶製の指針となる多くの物理化学的知見を示した．また，同手法を応用し，太陽電池級シリコン精製のための斬新な冶金学的プロセスを開発・提案するなど，金属精製・資源循環プロセスに関する分野の発展に大いに貢献してきた．

第 26 回　日本金属学会増本量賞　受賞者(1 名)　(2020 年 3 月 17 日)

［ニッケルフリー生体用形状記憶合金の研究開発］

東京工業大学科学技術創生研究院 教授　細　田　秀　樹 君

受賞者は，医用機器に広く用いられている NiTi 合金よりさらに安全な材料として，Ni などの生体アレルギー元素を使用しない Ni フリー生体用形状記憶・超弾性合金を提唱し，また，長年にわたり実際に無害元素のみを用い，特にチタンや金を基調とする多くの新しい生体用形状記憶・超弾性合金を開発してきた．また，それらの材料設計，形状記憶・超弾性挙動，相安定性，変形挙動，組織形成などの基礎物性から組織制御やプロセッシング，生体適合性や医用応用展開まで幅広い研究を行い，本材料分野の開拓に大きく貢献した．

第 32 回　日本金属学会若手講演論文賞　受賞者（3 編 3 名）（2020 年 3 月 17 日）

［Al–Cu–Mg 3 元系状態図の熱力学的解析］（日本金属学会誌 83 巻 10 号）

東北大学大学院工学研究科 ◯林　直　宏 君
九州工業大学大学院工学府（現在㈱UACJ）中　島　一　喜 君
東北大学多元物質科学研究所 助教 榎　木　勝　徳 君
東北大学多元物質科学研究所 教授 大　谷　博　司 君

［*In–Situ* Observation and Acoustic Emission Monitoring of the Initiation–to–Propagation Transition of Stress Corrosion Cracking in SUS420J2 Stainless Steel］（Materials Transactions Vol. 60 No. 10）

東京大学大学院工学系研究科 ◯武　凱　歌 君
東京大学大学院工学系研究科 Fabien Briffod 君
物質・材料研究機構統合型材料開発・情報基盤部門 主任研究員 伊　藤　海　太 君
㈱IHI 基盤技術研究所材料研究部 篠　崎　一　平 君
東京大学大学院工学系研究科 Pornthep Chivavibul 君
東京大学大学院工学系研究科 教授 榎　学 君

［Microstructure Evolution and Creep Behavior of Near–α Ti Alloy Produced by Thermomechanical Processing］（Materials Transactions Vol. 60 No. 11）

芝浦工業大学大学院理工学研究科 ◯増　山　晴　己 君
芝浦工業大学大学院理工学研究科/物質・材料研究機構構造材料研究拠点 島　上　溪 君
物質・材料研究機構構造材料研究拠点 主幹研究員 戸　田　佳　明 君
物質・材料研究機構構造材料研究拠点 主任研究員 松　永　哲　也 君
富山県立大学工学部 准教授 伊　藤　勉 君
芝浦工業大学工学部 教授 下　条　雅　幸 君
物質・材料研究機構構造材料研究拠点 副拠点長 御手洗　容　子 君

日本金属学会新名誉員（2 名）（2020 年 3 月 17 日）

東北大学
総長・プロボスト室
特任（客員）教授
東北大学
名誉教授
岡 田 益 男 君

京都大学構造材料
元素戦略研究拠点
特任教授
京都大学
名誉教授
落合庄治郎 君

第３回　日本金属学会フェロー認定者（2 名）　（2020 年 3 月 17 日）

岡山理科大学
名誉教授
金 谷 輝 人 君

超々ジュラルミン研究所
代表
吉 田 英 雄 君

◇　◇　◇

日本金属学会各賞の概要

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	工業技術の改良進歩に貢献した現場技術者に対する授賞.
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
研究技術功労賞 The Japan Institute of Metals and Materials Technical Skill Award	学校，研究所，工場において，多年にわたり卓越した技術により他の方々の研究成果に大いに貢献した，いわゆる「かげの功労者」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方.
功績賞 The Japan Institute of Metals and Materials Meritorious Award	金属学または金属工業技術の進歩発達に寄与する有益な論文を発表した方で，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：工業技術部門を除いて 5 月末時点で 45 歳以下の研究者. 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，工業技術.
谷川・ハリス賞 The Japan Institute of Metals and Materials Tanikawa–Harris Award	高温における金属学の基礎的分野または工業技術分野の発展に貢献した研究者，技術者に対する授賞.
増本量賞 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発明発見ならびに貴重な研究業績を残され，同分野に関する学理または技術の進歩発展に貢献した方に授賞する.
若手講演論文賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best Paper Award（Young Best Paper）	会誌，Materials Transactions の特集「講演精選論文」に掲載された学術上または技術上特に優秀な論文に対する授賞. 対象：年齢 35 歳以下の春秋一般講演発表者およびポスター発表者.

第28回　日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 受賞者　49名　（2020年３月）

北海道大学工学部
橋本菜々君

北海道大学工学部
沙魚川拓生君

室蘭工業大学工学部
畑野宅海君

岩手大学理工学部
浅川周平君

秋田大学理工学部
船津和哉君

東北大学工学部
東　料太君

東北大学工学部
平野　樹君

東北大学工学部
村上　諒君

茨城大学工学部
百合嶋隆太君

茨城大学工学部
坂本瞭太君

筑波大学理工学群
落合祐介君

東京大学工学部
小池　健君

東京大学工学部
綿貫裕介君

東京工業大学物質理工学院
田村純子君

東京工業大学物質理工学院
徳富可子君

横浜国立大学理工学部
渡邉周太郎君

長岡技術科学大学工学部
青木優馬君

富山大学工学部
田中渓太君

豊橋技術科学大学工学部
上野春喜君

名古屋大学工学部
大野健太君

名古屋大学工学部
加藤大雅君

名古屋工業大学工学部
上田悠乃君

京都大学工学部
金山侃生君

京都大学工学部
松村実典君

大阪大学工学部
小林周平君

大阪大学工学部
林　竜弘君

島根大学総合理工学部
梨本舞奈君

香川大学工学部
森下修平君

愛媛大学工学部
安部博幸君

九州大学工学部
笹岡陸人君

九州大学工学部
古川友貴君

九州工業大学工学部
橋本壮紀君

長崎大学工学部
宇都宮　貢君

熊本大学工学部
坂本雅史君

大阪府立大学工学域
丸山　琢君

兵庫県立大学工学部
橋野　開君

千葉工業大学工学部
森安海斗君

東京理科大学基礎工学部
太田智成君

芝浦工業大学工学部
豊田彩詠君

東海大学工学部
林　裕司君

金沢工業大学工学部
山本浩司君

関西大学化学生命工学
濱島　隼君

近畿大学理工学部
平野　涼君

早稲田大学基幹理工学部
小川　俊君

仙台高等専門学校
島　遼翔君

群馬大学理工学部
神谷恭平君

金沢大学理工学域
中村祐太君

鹿児島大学工学部
北嶋　柾君

鈴鹿工業高等専門学校
白數祐哉君

第70回　日本金属学会金属組織写真賞　最優秀賞（2020年３月17日）

第１部門：光学顕微鏡部門　第２部門：走査電子顕微鏡部門　第３部門：透過電子顕微鏡部門　第４部門：顕微鏡関連部門

〔第３部門〕CeO_2 触媒ナノ粒子を架橋する単一有機分子鎖の可視化

東京大学・日本電子産学連携室　斎藤光浩君
東北大学材料科学高等研究所　郝暁東君　陳春林君　尹徳強君　井上和俊君　阿尻雅文君
名古屋大学　高見誠一君
東京大学　幾原雄一君

環境・エネルギー・医療問題等の解決の糸口として，ナノ粒子触媒の重要性が年々増してきている．特に優れた酸素吸放出特性を示すセリア（CeO_2）は，環境触媒，固体電解質，医療応用等，広い分野で注目を集めている．これまでの理論計算によれば，（100）結晶面を表面に露出させることで，高い触媒機能の発現が予測されていた．しかしながら，より安定な（111）面が露出し易く，（100）面が露出したナノ粒子触媒の合成は不可能と考えられてきた．近年，高温高圧の超臨界場を用いた有機修飾ナノ粒子合成法により，最も不安定な（100）面上に鎖状の有機高分子を修飾することで，不要な面成長を抑制できるようになってきた．同時にナノ粒子同士の凝集・粒子成長も抑制するため，（100）面が発達した数 nm の均一粒径の立方体ナノ粒子の合成が可能となった．これら一連のメカニズムを解明するためには，ナノ粒子表面の有機分子の可視化が必要となる．

本研究では，セリアの立方体ナノ結晶粒子（約 5～7 nm）を合成し，数 nm 厚のアモルファスカーボン膜またはシリコン膜上に均一に分散させた．球面収差補正走査透過型電子顕微鏡（Cs-STEM JEOL JEM-ARM200F）および電子エネルギー損失分光法（EELS）を用いて，ナノ粒子表面の有機分子鎖の直接観察を試みた．**図**(a)はカーボン膜上のセリアナノ粒子の TEM 像であり，ほぼ同じサイズの粒子同士が一定の距離を保って均一に分散している様子が分かる．また，シリコン膜上に分散させた試料の EELS マッピング（図(b)）では，炭素原子が粒間にのみ分布しており，有機分子鎖がナノ粒子表面近傍に存在していることが明らかになった．さらに STEM 像観察では，電子線の収束角，デフォーカス，環状暗視野検出器の検出角（17～34 mrad）等，単一の有機分子鎖の撮像に最適な観察条件を系統的に検討した．その結果，セリアナノ粒子の（100）面表面に吸着している有機分子鎖が，他のセリア粒子との間（約 2 nm）を架橋する様子を直接撮影することに成功した（図(c)，(d)）[1]．図(e)，(f)は，シミュレーション像と構造モデルである．今後イメージングの可能性が新たな分野にも広がり，ナノ粒子の触媒活性化プロセスの機構解明が期待される．

文　献

(1) X. Hao, C. Chen, M. Saito, D. Yin, K. Inoue, S. Takami, T. Adschiri and Y. Ikuhara: Small, **14**(2018), 1801093/1-7.

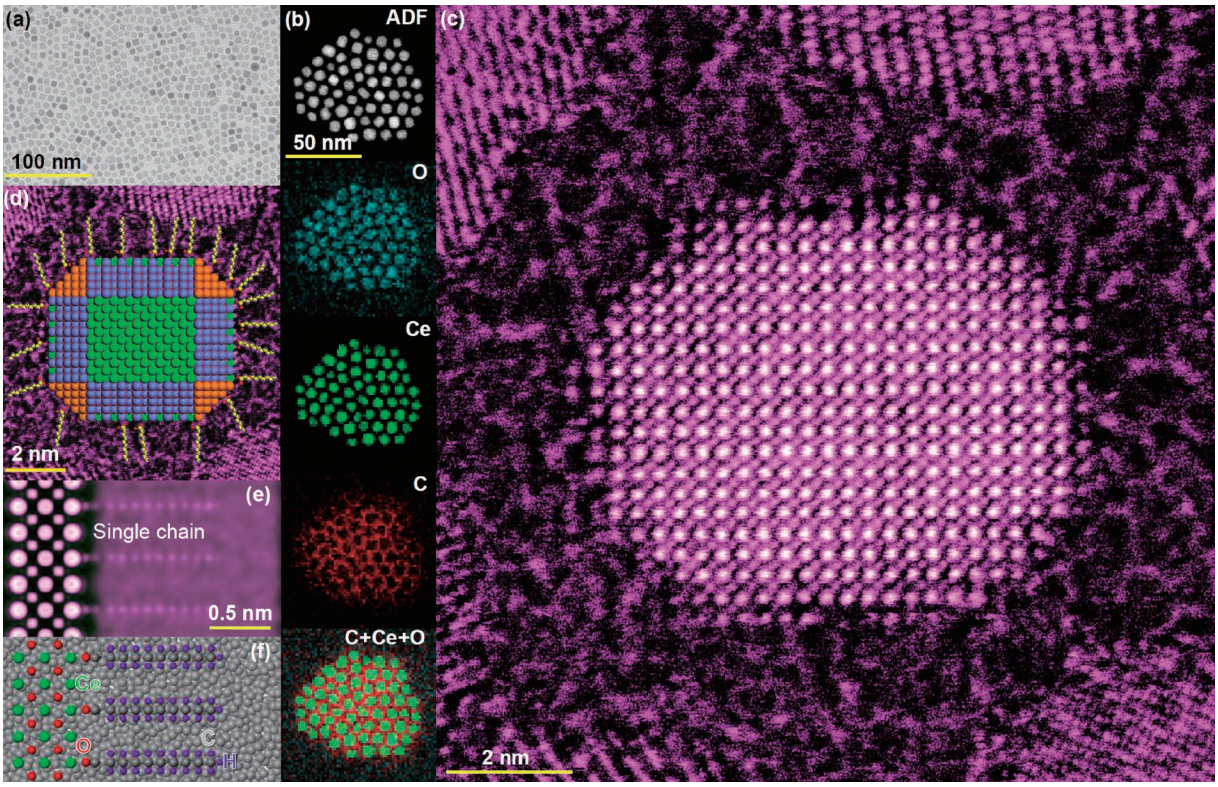


図　(a)シリカ膜上に分散させたセリアナノ粒子の TEM 像，(b)ADF-STEM 像と EELS マッピング，(c)セリア粒子表面に吸着している有機高分子鎖の LAADF-STEM 像，(d)緑色のドットは(100)面上の Ce 原子，紫と橙色のドットはそれぞれ(110)，(111)面上の Ce 原子を示す，(e)計算像，(f)構造モデル．

第70回　日本金属学会金属組織写真賞　優秀賞 （2020年３月17日）

〔第１部門〕透明ダイヤモンド製 Vickers 圧子を用いた *In-situ* Vickers インデンテーション

北海道大学　仲野暁登君　三浦誠司君　池田賢一君

Vickers 試験は試験装置の構造上，試験前後の試料表面変化のみが観察可能であり，試験中の試料表面変化は観察不可能である．本研究では光学的に透明な Vickers 圧子を用いた Vickers 試験の「その場」観察法（以下，*In-situ* Vickers インデンテーション）の確立を目的とした．*In-situ* Vickers インデンテーション実施のため，透明 Vickers 圧子を固定し，試料を昇降させることにより圧子圧入を行い，その様子を圧子裏から光学的に観察する方法を採用した．試料は単結晶 Si 板を使用した．透明圧子と試料表面間の屈折率の違いを縮小するために圧子-試料表面間をシリコーンオイルで満たし，光学顕微鏡（Hirox，RH-2000）を使用して観察した．

下図(a)～(c)に，透明 Vickers 圧子を通して観察した試料表面を示す．(a)は負荷前(0N)，(b)は最大負荷時(30N)，(c)は完全除荷後(0N)を表している．また，図(d)は試験終了後の表面を，圧子を通さずに観察した結果である．(a)内の十字状の点線は実際の圧子稜線部位置である．また，図(b)，(c)中にはそれぞれ，負荷中に進展した亀裂と除荷中に進展した亀裂の近傍に黒点線，白点線を配した．*In-situ* Vickers インデンテーションにより，負荷過程に比べて除荷過程で大規模な亀裂の進展や破壊が観察された．

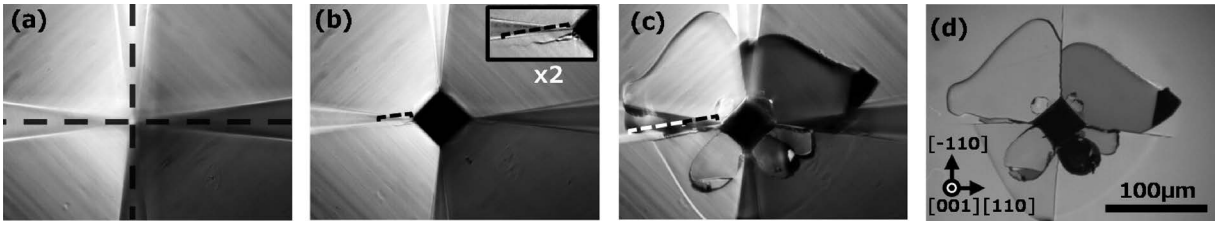


図　(a)～(c)圧子越しの表面観察像：(a)負荷前(0N)，(b)最大負荷時(30N)，(c)完全除荷後(0N)
(d)除荷後の表面観察像（圧子を通していない）．

第70回　日本金属学会金属組織写真賞　優秀賞 （2020年３月17日）

〔第３部門〕N 極性 GaN の貫通転位と InGaN 量子井戸との弾性相互作用

東北大学金属材料研究所　木口賢紀君　兒玉裕美子君
大阪大学　谷川智之君
東北大学金属材料研究所　白石貴久君　今野豊彦君

窒化物半導体の結晶成長はその極性の影響を強く受ける．N 極性表面上では In が取り込まれやすい性質を利用した高 In 組成 InGaN 層の成長によるオール窒化物の LED の実現や，車載パワートランジスタにおける逆 HEMT 構造など，Ga 極性よりも優れた機能が期待される．N 極性 GaN の成長表面は荒れやすく実用化への課題の一つであったが，表面窒化した微傾斜サファイア(0001)基板上を利用して，従来作製が困難であった平滑な成長表面を持つ N 極性 GaN の成長が可能になった[1]．我々は，N 極性 GaN/InGaN/GaN ダブルヘテロ(DH)構造における貫通転位の性格が Ga 極性の場合と大きく異なることを見出すとともに，InGaN 層との弾性相互作用の視覚化を試みた．**図**(a)(b)に GaN の $\mathbf{g}_{10\text{-}10}/3\mathbf{g}_{10\text{-}10}$，$\mathbf{g}_{0002}/4\mathbf{g}_{0002}$ 励起の weak beam 像を示す．$\mathbf{g}\cdot\mathbf{b}$ 解析より，観察された貫通転位は a 転位($\mathbf{b}=\mathbf{a}/3[11\text{-}20]$)が支配的であった．基板の表面窒化と薄い低温バッファ層により，面外方向の結晶方位の乱れが少なく，結晶成長核の合体の際に面内回転による歪み緩和と刃状転位の導入が起こったものと考えられる．次に，InGaN 量子井戸構造と貫通転位との弾性相互作用について解析した結果を図(c)-(e)に示す．n-GaN 層から p-GaN 層へ向かって InGaN を貫通している(c) LAADF-STEM 像と同一視野の(d)面内，および(e)面外方向の垂直歪みマップを示す．InGaN は GaN より格子定数が大きく，n-GaN に対して面内方向に整合，面外方向に伸張していることから，InGaN 層は面内圧縮状態にある．さらに，膜厚方向に歪み量の分布が見られる．貫通転位は，InGaN 層の圧縮応力場により余剰原子面側に転位が上昇運動を起こし，p-GaN 層では相対的に逆向きに上昇運動することで貫通転位の湾曲を説明できる[2]．さらに，貫通転位近傍では InGaN 層が 1 nm 厚いことから転位芯の弾性場による In の引き込み効果を示唆している．

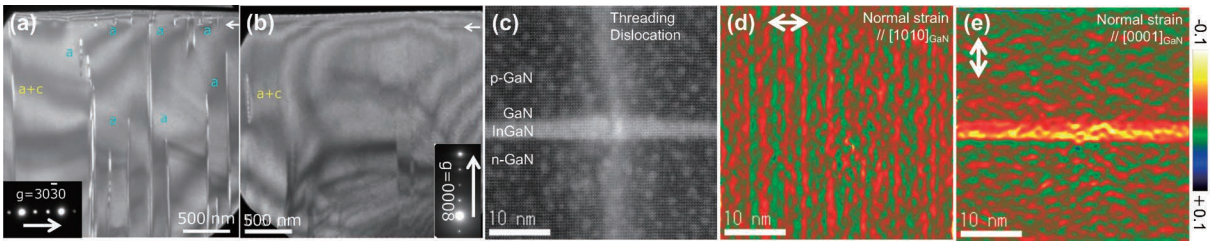


図　N 極性の p-GaN/InGaN/n-GaN DH 構造断面の weak　beam 像：(a)$\mathbf{g}=3030$励起条件，(b)$\mathbf{g}=0008$励起条件，(c)LAADF 像，(d)(c)の内面垂直歪みマップ，(e)(c)の面外垂直歪みマップ．

文　献

(1) T. Matsuoka, Y. Kobayashi, H. Takahata, T. Mitate, S. Mizuno, A. Sasaki, M. Yoshimoto, T. Ohnishi and M. Sumiya: Phys. Stat. Sol. B, **243**(2006), 1446-1450.
(2) N. Kuwano, Y. Kugiyama, Y. Nishikouri, T. Sato and A. Usui: J. Cryst. Growth, **311**(2009), 3085-3088.

〔第３部門〕Co/Co_6W_6C ヘテロ構造ナノ粒子の原子分解能構造解析

東京大学・日本電子産学連携室　熊本明仁君　幾原雄一君
東京大学　項栄君　安華君　丸山茂夫君

単層カーボンナノチューブ（SWCNT）のカイラリティ制御のメカニズムは明らかになっていない．我々は Co–W–C 系 SWCNT 触媒ナノ粒子について，高角環状暗視野走査透過型電子顕微鏡法（HAADF–STEM）とエネルギー分散型 X 線分析（EDS）を併用し構造解析を実施した．**下図**(a)のナノ粒子は，左下と右上で異なる原子構造像であり，それぞれ hcp–Co と Co_6W_6C 結晶であることが HAADF–STEM 像と像シミュレーション，STEM–EDS より明らかになった[1]．これらの結晶は，$[11\bar{2}0]$hcp–Co // $[111]Co_6W_6C$ および $[0001]$hcp–Co // $[1\bar{1}0]Co_6W_6C$ の方位関係であったことから，Co_6W_6C 結晶場の拘束によって，SWCNT 触媒として活性な金属 Co が特定の結晶面から出現したシナリオを顕現化している．そのようなナノ粒子が見つかる基板からは，カイラリティ選択性を有する SWCNT が形成されている．

文　献

(1) H. An, *et al.*: Sci. Adv., **5**(2019), eaat9459.

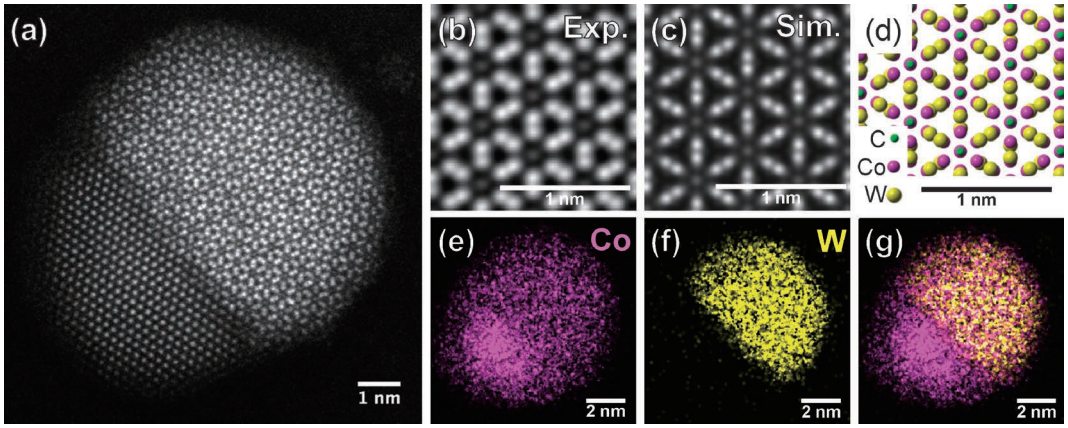
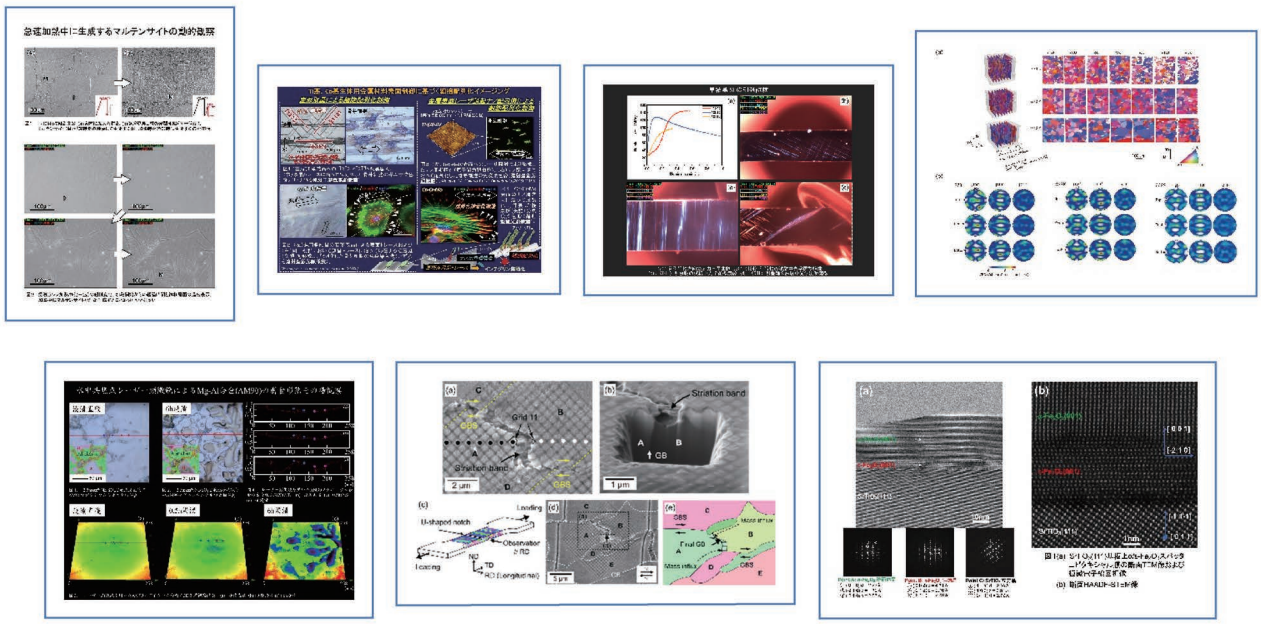


図　(a)Co/Co_6W_6C 触媒ナノ粒子の原子分解能 HAADF–STEM 像．(b)HAADF–STEM 像の平均像，(c)$[111]Co_6W_6C$ のシミュレーション像，(d)構造モデル，(e)同一粒子から取得した Co 元素（ピンク色），(f)W 元素（黄色），(g)それぞれを重ね合わせた STEM–EDS マップ．

～第70回日本金属学会組織写真賞　その他の応募作品～



第70回　日本金属学会金属組織写真賞　奨励賞 （2020年３月17日）

〔第４部門〕　石英ガラス板の超高速衝突（内部損傷進展過程の実時間光弾性撮影）

首都大学東京/JAXA 宇宙科学研究所　長 野 幹 雄 君　熊本大学 IPPS　川 合 伸 明 君
首都大学東京　北 薗 幸 一 君　JAXA 宇宙科学研究所　長谷川　直 君　佐 藤 英 一 君

脆性透明材料である石英ガラスにおいて，直径１mm，速度2.0 km/s の鋼球の超高速衝突により発生した内部亀裂が，弾性応力波の通過により断続的に進展する様子を，シャドウグラフと光弾性の超高速ビデオカメラ２台により直接観察した（**図１**）[1]．特に**図２**の進展挙動の後半の（ii）（iii）段階では，モード変換を伴う裏面での反射により縦波と横波の二つに分離した応力波が段階的に損傷先端へ到達し，損傷進展が一旦停滞した後に再度急速に進展するという損傷進展プロセスが明瞭に観察された（**図３**）．

文　献　（1）長野幹雄，川合伸明，長谷川直，北薗幸一，佐藤英一：日本機械学会論文集，**84**（2018），18–00012.

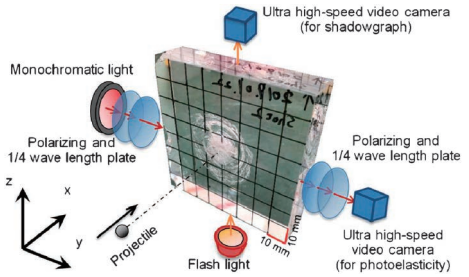


図１　２方向撮影の配置図.

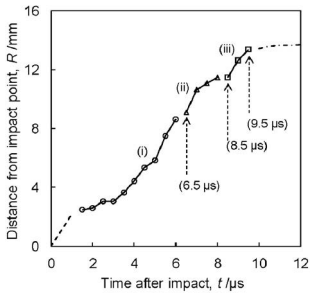


図２　内部損傷先端の進展挙動.

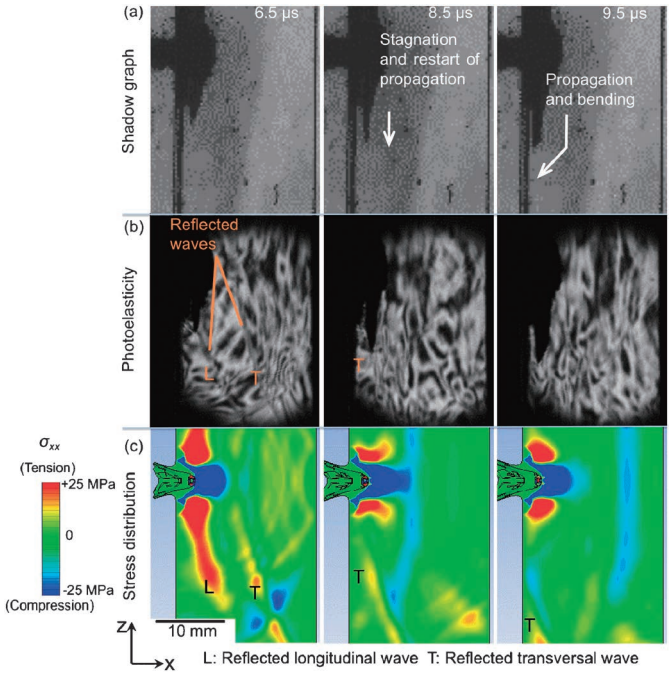


図３　その場観察：（a）シャドウグラフ，（b）光弾性観察，（c）応力伝搬解析.

第70回　金属組織写真賞応募作品選評

本年度応募があった計12件の作品から，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，奨励賞２件の受賞を決定した．部門の内訳は光学顕微鏡部門５件，走査電子顕微鏡部門１件，透過型電子顕微鏡部門４件，顕微鏡関連部門２件であった．

最優秀賞に選ばれた作品「**CeO_2 触媒ナノ粒子を架橋する単一有機分子鎖の可視化**」（透過電子顕微鏡部門）は，CeO_2 触媒ナノ粒子を架橋していることに起因する炭素を可視化させている点が極めて優れており，観察に関する高いノウハウが伺えると複数の委員から高い評価を受けた．

優秀賞の２件（「**透明ダイヤモンド製 Vickers 圧子を用いた *In-situ* Vickers インデンテーション**」（光学顕微鏡部門）および「**N 極性 GaN の貫通転位と InGaN 量子井戸との弾性相互作用**」（透過電子顕微鏡部門））については，前者は透明圧子を使った観察方法の独自性が高く評価され，後者は N 極性 GaN/InGaN/GaN ダブルヘテロ（DH）構造で TEM および収差補正 STEM 観察により，貫通転位の性格や積層欠陥との相互作用，InGaN 量子井戸発光層と貫通転位との弾性相互作用により上層の HaN 相に a 転位が生成することを明らかにした点が評価された．

奨励賞の２件（「**Co/Co_6W_6C ヘテロ構造ナノ粒子の原子分解能構造解析**」（透過電子顕微鏡部門），「**石英ガラス板の超高速衝突（内部損傷進展過程の実時間光弾性撮影）**」（顕微鏡関連部門））については，単一のナノ粒子に対してその内部界面の原子分解能 STEM 観察および EDS マッピングを行っている点，高速度カメラを用いて測定した光弾性から石英ガラスの変形・破壊挙動を解析し，瞬間的な応力状態の変化を精緻に実測している点が評価された．

いずれの受賞作品も抜きんでた高度な撮影技術とともに，その学術的意味が評価された結果となった．今後の本賞の検討課題としては，昨今急速に進展しているコンピュータビジョン，バーチャル画像の評価について，検討を次期委員会に委ねたい．

金属組織写真賞選考委員会委員長　足立吉隆（名古屋大学）

公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

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

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

最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

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

多様な研究者や技術者と交流ができます

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

研究成果を発表，討議して，研究を深めることができます

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

技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

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

表彰を受けられます

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

［入会するには(入会手続き)］

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい．

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

第65回日本金属学会賞
受賞記念講演

希土類鉄（R-Fe）磁石は世界を支える*

佐　川　眞　人**

1. はじめに

筆者は1982年の初めにNd–Fe–B焼結磁石の小片を世界で初めて作製した．この小片を核として，R–Fe磁石の新研究分野が発展した．それは，R–Fe磁石の基礎研究の発展と工業化である．本稿では，R–Fe磁石誕生の経緯，R–Fe磁石は世界を支えていること，R–Fe磁石が世界を支え続けていくために工業的に必要な研究，およびR–Fe磁石に関する基礎研究の発展について述べる．

2. R–Fe磁石の誕生

筆者は1977年にサマリウムコバルト（Sm–Co）磁石についての研究テーマを与えられた．磁石の研究について，筆者は初心者であった．一生懸命にSm–Co磁石の勉強をし，研究テーマの目標達成を目指して，Sm–Co磁石の研究に没頭した．

ところがある日，疑問が浮かんだ．なぜ希土類鉄（R–Fe）磁石は存在しないのだろうか．FeはCoよりもはるかに資源が豊富である．FeはCoよりも大きな磁気モーメントをもっている．筆者は確信した．「R–Fe磁石は人類の強いニーズである．」

筆者は何とかしてR–Fe磁石を実現したいと思った．どうしたら，R–Fe磁石ができるだろうか．くる日もくる日も考え抜いたが，良いアイデアが浮かばなかった．1978年1月31日に開催された日本金属学会主催のシンポジウムに出席している時にアイデアが浮かんだ．そのシンポジウムの題目は「希土類磁石の基礎から応用まで」で，R–Fe磁石やR–Fe化合物の研究も含まれるが，すべての講演はR–Co磁石やR–Co化合物についての発表であった．その中で，最初の講演者である浜野正昭氏が講演の最後の方で，数分間，なぜR–Fe化合物が強い磁石にならないのかについて触れた．浜野氏はR_2Fe_{17}化合物の結晶構造を示して，「この化合物の中のFe–Fe原子間距離が小さすぎるので，強磁性状態が不安定である．これが磁石にならない理由である．」と説明した．筆者はこの時，「それでは，CやBを格子間に入れてやれば，Fe–Fe原子間距離が伸びて，強磁性状態が安定化するのではないか」というアイデアが浮かんだ．筆者はその翌日からたくさんのR–Fe–CやR–Fe–B合金をアーク溶解炉で作製して磁気測定を行っていった．

Nd–Fe–B磁石発明までの年表は次の通りである．(1) R–Fe磁石の候補として，R–Fe–CおよびR–Fe–B合金のアイデアを持った（1978年1月）．(2) Nd–Fe–Bの組み合わせが有望であることに気づいた（1978年末）．(3) Nd–Fe–B焼結磁石の小片を作製した（1982年1月）．(4) $(BH)_{max} = 270$ kJ/m^{3}のNd–Fe–B焼結磁石を作製した．これは当時の世界最強磁石である（1982年7月）．(2)と(3)の間，組成と製法を工夫してNd–Fe–B合金に保磁力を持たせる微細構造の開発に3年を要した．

Nd–Fe–B焼結磁石についての最初の学術発表を1983年10月に秋田大学で開催された日本金属学会秋期講演大会で発表し，引き続き翌月にアメリカ，ピッツバーグで開催されたConference on Magnetism and Magnetic Materialsにて次の内容の発表をした[1]．

① Nd–Fe–B磁石の主相について

- 結晶構造は正方晶で，格子定数$a = 0.880$ nm, $c = 1.221$ nmである．
- およその組成は$Nd_{12}Fe_{82}B_6$（at%）である．

* 2020年3月17日に予定していた日本金属学会第166回春期講演大会での口頭講演は中止したが，本概要掲載により，本会第166回春期講演大会で発表したものとみなす．

** 大同特殊鋼株式会社；顧問（〒457–8545 名古屋市南区大同町2–30）

Rare–earth Iron Magnets Sustain the World; Masato Sagawa（Daido Steel Co. Ltd., Nagoya）
Keywords: *Nd–Fe–B magnet, rare earth iron magnet, hard disc drive, voice coil motor, $Nd_2Fe_{14}B$, $Sm(Fe_{0.8}Co_{0.2})_{12}$, electric vehicle, air conditioner*
2019年11月22日受理［doi:10.2320/materia.59.247］

- キュリー温度 $T_C = 585$ K，飽和磁化 $J_s = 1.35$ T，磁化容易方向は c 軸方向で，異方性磁界 $H_a = 8.8$ MA/m である．

② Nd–Fe–B 焼結磁石の製法について

- Nd–Fe–B 焼結磁石は合金の高周波溶解・鋳造，粗粉砕，ボールミルによる微粉砕，横磁場配向プレス成型，Ar ガス中焼結，焼結後熱処理によって作製された．
- Nd–Fe–B 焼結磁石の磁気特性の組成依存性，焼結温度依存性，熱処理温度依存性が示された．

③ Nd–Fe–B 焼結磁石の磁気特性と微細構造

- $Nd_{15}Fe_{77}B_8$(at%)の組成をもつ標準的な Nd–Fe–B 焼結磁石の磁気特性と密度は次のとおりである．
  $B_r = 1.23$ T，$H_{cJ} = 960$ kA/m，$(BH)_{max} = 290$ kA/m^3，焼結体密度 = 7.4 Mg/m^3
- $Nd_{15}Fe_{77}B_8$ 焼結磁石の微細構造は主相と Nd–rich 副相からなる．
- $Nd_{15}Fe_{77}B_8$ 焼結磁石の磁化曲線は次の特徴を持っている．すなわち，初磁化曲線は印加磁界の増大によって急激な立ち上がりを示し，最大印加磁界の大きさによって，磁化曲線の角形性と保磁力が変化する．印加磁界が大きいほど，この角形性と保磁力が増大する．これはこの磁石が典型的なニュークリエーション型磁石であることを示している．

この Nd–Fe–B 焼結磁石の最初の論文[(1)]では，最後にこの磁石の短所として温度特性が悪いことを指摘している．そして，それに対する対処の方法として，合金組成として，Co の添加と重希土類の添加が有効であることを指摘している．

3. R–Fe 磁石は世界を支える

R–Fe 磁石は世界を支えている．R–Fe 磁石が出現し，その最初のそして最も重要な役割は，IT 社会への貢献である．IT 社会の発展にハードディスク装置(HDD)の性能向上が不可欠であった．その HDD の性能向上はハードディスク記録媒体(HD)の性能向上と磁気ヘッドの性能向上だけによるものではない．これらの性能向上以前に，磁気ヘッドの位置決め機構の発展が不可欠であった．HDD の中で，磁気ヘッドの位置決めはボイスコイルモータ(VCM)によって行われる．この VCM にはニッケル被覆 Nd–Fe–B 焼結磁石が不可欠である．

HDD の中の VCM 用磁石として，もし Nd–Fe–B 磁石が出現していなかったら，Sm–Co 磁石しか選択肢がない．VCM 用磁石として，Sm–Co 磁石の決定的な問題点は，$SmCo_5$ 型磁石も，Sm_2Co_{17} 型磁石も，極めて脆いということである．VCM の組み立てはクリーンルーム内で行われる．VCM 組み立て作業中に，磁石に加えられる小さな衝撃で，または作業者の小さな誤作業で，磁石にひびが入る可能性がある．あるいは，組み立て終了後，磁石にパルス磁界を印加して磁石を着磁するときに，磁石にひびが入る可能性がある．磁石にひびが入ると，割れ目から磁粉が噴出してクリーンルームを汚染してしまう．HDD 内部には一粒のほこりも許されない．一粒のほこりでも，HD に書き込まれた情報が消されてしまう．Sm–Co 磁石は金属間化合物だけで構成されているために脆い．これは，HDD 用 VCM の用途には不適である．

これに対して，Nd–Fe–B 磁石は比較的靱性が高い．これは，Nd–Fe–B 磁石が，主相の金属間化合物 $Nd_2Fe_{14}B$ とそれを取り囲んでいる Nd–rich 合金粒界相で構成されていて，この Nd–rich 合金粒界相が高靱性であるためだと推定される．そのため Nd–Fe–B 磁石は，筆者が発明した Nd–Fe–B 焼結磁石も，J. Croat らが発明した熱間加工磁石も，高い機械的強度を持っている．特に，VCM に使われているニッケル被覆 Nd–Fe–B 焼結磁石は高い機械的強度と耐環境性を併せ持つ．VCM 組み立て作業中に誤って落下させても壊れることはない．またパルス磁界印加による磁石の着磁中にひびが入ることも決して起こらない．

Nd–Fe–B 焼結磁石は，極めて精密に機械加工が出来て，その表面に光沢のあるニッケルメッキを施すとその表面はいつまでも清浄さを維持する．また，Nd–Fe–B 焼結磁石の $(BH)_{max}$ が抜きんでて大きいこと，さらに，磁石の主成分が豊富で安価であることなどの特徴を持ち，Nd–Fe–B 焼結磁石は，高性能 HDD の VCM を実現するために生まれてきたと言っても過言ではない．

Nd–Fe–B 焼結磁石が出現していなかったら，HDD は工業的に発展していなかったと言える．Nd–Fe–B 磁石が発明された1982年頃の HDD は極めて大型で，一人の人間が持ち上げることは不可能であった．それが，手のひらに乗るくらいに小さくなったのは，HD や磁気ヘッドの発展だけによるものではない．これらの媒体や素子は，Nd–Fe–B 焼結磁石の出現があったから性能を発揮できたのである．HDD が発展していなかったら，IT 社会の発展は大きく遅れていたと推測される．Nd–Fe–B 焼結磁石の出現が，HDD の高性能化を可能にし，IT 社会を発展させた．現在も，HDD は Big Data を支えている．Nd–Fe–B 磁石は IT 社会を支えているのである．

Nd–Fe–B 磁石は，世界のエネルギー消費を低減させることによっても社会を支えている．その代表的な応用は空調機である．鉄心に薄い Nd–Fe–B 焼結磁石を差し込んだ回転子が高速で回転する IPM(Interior Permanent Magnet)モータによって駆動されるコンプレッサーが開発されて，空調機の効率は格段に向上した．高効率空調機の発展によって，空調機は世界中に普及したといっても過言ではない．Nd–Fe–B 焼結磁石は，世界中の人々の快適な生活を支えている．また，Nd–Fe–B 磁石は，ハイブリッド自動車，プラグインハイブリッド自動車，純粋の電気自動車，燃料電池車のすべてのタイプの電気自動車用主機モータ，発電機に使われて，これらの自動車の高効率化に貢献している．地球温暖化低減のために電気自動車の普及と高効率化は極めて重要な人類の課題である．Nd–Fe–B 磁石は，電気自動車の高効率化に貢献することによって世界を支えている．

4. R-Fe 磁石が世界を支え続けていくために工業的に必要な研究開発

Nd-Fe-B 磁石によって世界を支え続けていくために，Nd-Fe-B 焼結磁石の製造プロセスを改良して，次の研究課題を成功させることが必要である．

課題(1) 薄い板上の Nd-Fe-B 焼結磁石を焼結後，機械加工なしで直接作るニアネットシェイププロセスの開発．

課題(2) Dy を使わずに高保磁力の Nd-Fe-B 焼結磁石を作ることができる製造プロセスの開発．

現行の Nd-Fe-B 焼結磁石製造プロセスでは，横磁場プレス成型法(Transverse Die Pressing＝TDP)が用いられる．TDP 法では大きいブロック状の圧粉体を焼結してブロック状の焼結体を作り，これを薄切りにして薄板状磁石を製造する．TDP 法では，薄板磁石を直接生産することができない．この工程ではブロック状焼結体の薄切りの時に，多量の切りくずが出ることが大きな問題である．

TDP 法のもう一つの問題は，微細な粉末を使うことが困難であることである．TDP 法では粉末が微細になるほど，成形と磁場配向が難しくなる．Nd-Fe-B 焼結磁石では，使用する粉末の粒径が小さいほど，高い保磁力が得られることが知られている．しかし，TDP 法では，小さい粉末を使って，高い保磁力の Nd-Fe-B 焼結磁石を作ることが困難である．できる限り小さい粉末を使って Nd-Fe-B 焼結磁石を作り，資源希少な Dy に依存しないで高保磁力を達成することが人類のニーズである．

TDP 法の問題に対して筆者のグループは，新しい磁石粉末配向成形法を提案してきた．それらは，プレスをしないで粉末を配向成形する Pressless Process[2] (PLP 法と略す)と New Pressless Process[3] (NPLP 法と略す)である．PLP 法と NPLP 法の概略図を図 1 と図 2 に示す．PLP 法では，グラファイト製の底の浅い容器に粉末を充填して，パルス磁界をかけて粉末を配向する．次に，配向した粉末を容器ごと焼結炉に入れて焼結すると，薄板状 Nd-Fe-B 焼結磁石が直接

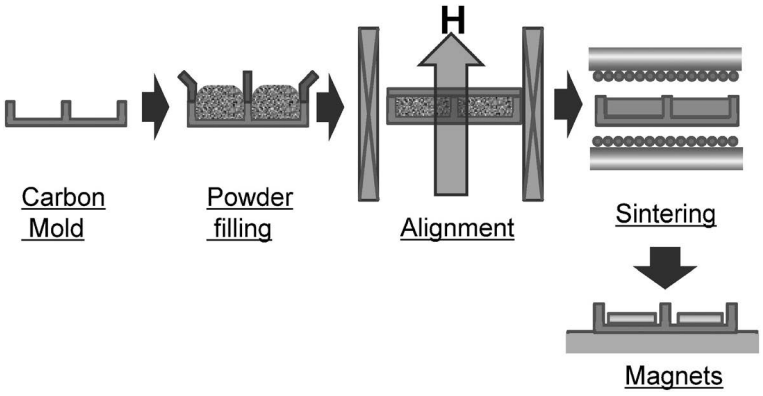


図 1　PLP 工程の模式図．

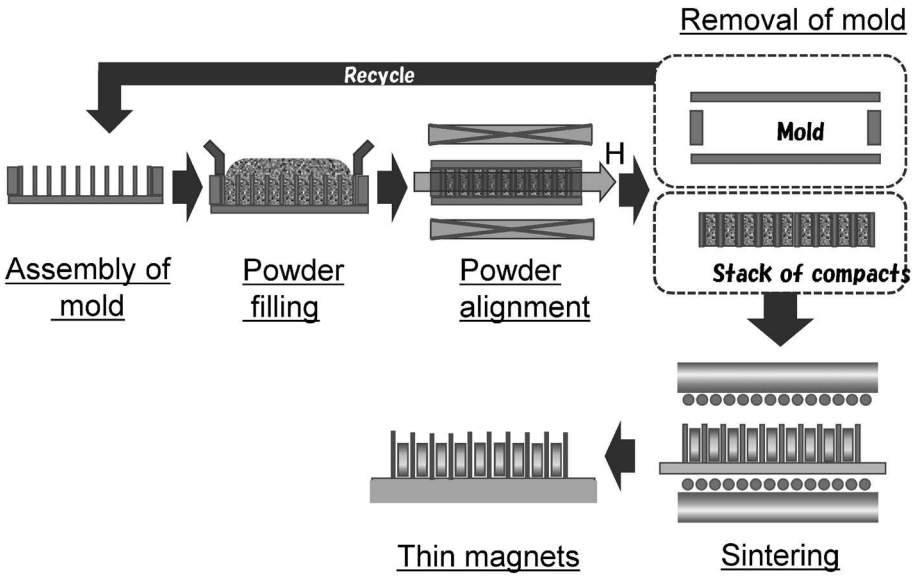


図 2　NPLP 工程の模式図．

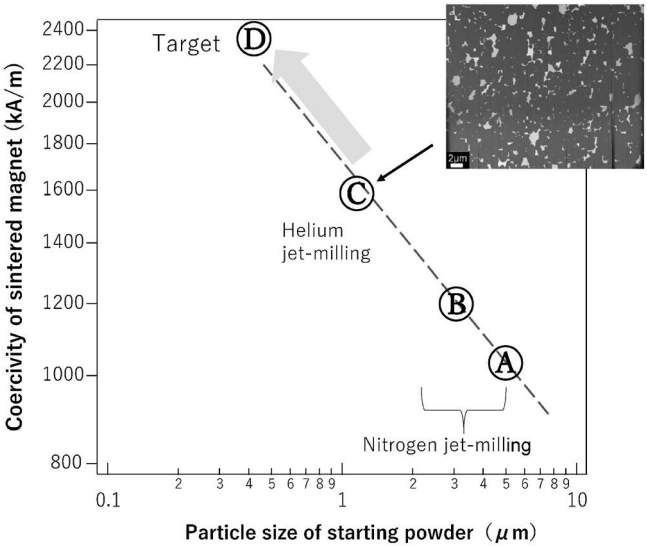


図 3　Dy を含まない標準材質 Nd–Fe–B 焼結磁石の保磁力の原料粉末粒径依存性.

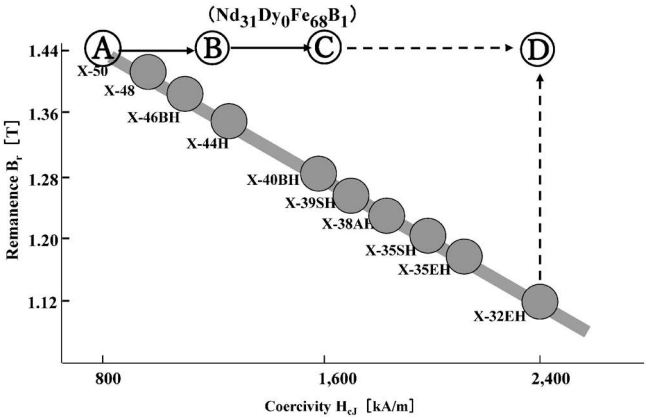


図 4　Nd–Fe–B 焼結磁石の材質別特性マップと新規開発磁石の磁気特性.

作製できる．PLP 法では，出発の粉末がどんなに小さくても，成形配向に問題はない．PLP 法の特徴はその名前の通り，粉末をプレスしないことが特徴である．これによって，TDP 法の欠点である薄い板を直接成形，配向できないこと，および微細な粉末の成形配向が困難であることを同時に回避している．PLP 法でも TDP 法でも焼結体の密度は，ほぼ100％に達して変わらない．PLP 法の問題は，グラファイト製粉末容器の必要数が量産では1000個以上になり，容器の費用がかかることである．

NPLP 法は PLP 法の改良である．NPLP 法では図 2 に示すように，粉末容器は金属製で，多数の仕切り板によって仕切られた多数の空洞を持っている．これらの空洞に均一に粉末を充填して，磁界配向をする．印加磁界の方向は，仕切り板に垂直な方向である．その次のステージで，粉末配向積層体から，周囲の金属容器を取り外して，粉末配向積層体だけを焼結炉に入れる．焼結後，多数の薄板状焼結体が，焼結台板の上に立った状態で出てくる．NPLP 法の利点は，金属容器を使い回すのでその必要数が少ない(3 個で良い)ことと，生産性が良いことである．PLP 法，NPLP 法によって，課題(1)の目標は達成された．

次に粉末粒径微細化による，Nd–Fe–B 焼結磁石の高保磁力化の研究結果について述べる．**図 3** は Nd–Fe–B 焼結磁石の保磁力の粉末粒径依存性を示す．使用する粉末の組成はすべて Dy を含まない標準的な組成，$Nd_{31}Dy_0Fe_{68}B_1$ (mass％)である．出発点は粉末粒径 $D = 5$ μm のⒶの材質で，$H_{cJ} =$ 1040 kA/m である．この材質の Nd–Fe–B 焼結磁石が TDP 法で生産され，X–50材(X は材質名)として商品化されている．この粉末を使って PLP 法，NPLP 法で焼結磁石を作っても TDP 法によるのと同じ大きさの保磁力が得られる．

$D = 3$ μm，さらに $D = 1.2$ μm の粉末を作って PLP 法により焼結磁石を作ると，図 3 のⒷの材質，およびⒸの材質の Nd–Fe–B 焼結磁石ができた[2]．$H_{cJ} =$ はそれぞれ，1240 kA/m および1600 kA/m である．目標はⒹの材質，$D = 0.5$ μm で，$H_{cJ} = 2400$ kA/m であるが，Ⓒの材質のレベルを超える Nd–Fe–B 磁石を作ることはできなかった．

図 4 に Nd–Fe–B 焼結磁石について，市販の材質，および PLP 法によって開発された新材質の磁気特性をまとめて示す．図 4 の斜めの線上の材質は TDP 法によるもので，Nd＋Dy＝31 mass％一定として，Dy 量を増やしていくことによって高保磁力化をしている．これに対して X–50を通る水平線上の材質は，PLP 法によって実現した Dy を含まない新材質である．目標はⒹの材質，$H_{cJ} = 2400$ kA/m であるが，未達の目標である．課題(2)の目標はまだ達成される見通しが得られない．

5.　R–Fe 磁石に関する基礎研究の発展

Nd–Fe–B 磁石，Sm–Fe–N 磁石は，工業的に発展して人々の役に立っているが，基礎研究の発展が遅れている．Nd–Fe–B 磁石で B はどんな役割をしているのか，Nd–Fe–B 磁石を超える R–Fe 磁石はできないのか，Nd–Fe–B 磁石の保磁力は微細構造とどのように関係しているのか，Nd–Fe–B 磁石の微細構造はどのような金相学的メカニズムで形成されるのか，もっと保磁力を上げる金相学的メカニズムはないのか，今後，近未来に至るまで，R–Fe 磁石が世界を支え続けていくために，基礎研究の発展が不可欠である．

最近，第一原理計算技術が格段の進歩を遂げて，R–Fe 化合物の安定性や磁気特性を予言できるようになった．Tatetsu ら[4]は，この第一原理計算により，$Nd_{12}Fe_{14}B$ 構造をもつ仮想的な Nd_2Fe_{14}，および $Nd_2Fe_{14}X$(X＝B, C, N, O, F, X_0)化合物について化合物の磁化と安定性を計算した．X_0 は空孔を意味し，結晶構造と格子定数を維持したままの仮想

的な化合物である．この計算から分かったことは，化合物の中で，Bの存在は磁化を低下させる役割をすることである．そしてBの重要な役割は$Nd_2Fe_{14}X$化合物を安定化していることである．筆者はR–Fe化合物で，Fe–Fe原子間距離を広げてやれば，強磁性状態が安定するというアイデアから$Nd_2Fe_{14}B$に行きついた．筆者の功績は新磁石探索を目指して，世界で初めてNd–Fe–B合金を作り，磁気特性を測定したことである．

Harashimaら[5]は$NdFe_{11}M$（M＝Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn）について，$NdFe_{12}$化合物の安定性と磁化の大きさを計算した．その結果，化合物が安定で，かつ磁化が最大になるのはM＝Coであることが判明した．この結果と，永久磁石材料として必要な強い一軸異方性を持つという条件を合わせて，Hirayamaら[6]はNd–Fe–B磁石を超える高$(BH)_{max}$新磁石材料の候補として$Sm(Fe_{80}Co_{20})_{12}$を見つけた．この化合物は，$Nd_2Fe_{14}B$より磁化も異方性磁界も大きく，キュリー温度も高いので，この化合物を基に良い微細構造を形成する合金組成と製法が見つかれば，Nd–Fe–B磁石より大きい$(BH)_{max}$を持つ新磁石が誕生する．筆者のNd–Fe–B磁石開発の過程と比較すると，Nd–Fe–B合金が有望であると確信した1978年末の段階と同じである．筆者は，それから3年後にNd–Fe–B焼結磁石に到達した．Nd–Fe–B焼結磁石を超える高特性を持つ$Sm(Fe_{80}Co_{20})_{12}$新磁石の誕生が待たれる．

Nd–Fe–B焼結磁石に関する最初の論文で，筆者ら[1]は，この磁石が主相とNd–rich相から主としてなり，ニュークリエーション型磁石の磁化曲線を示すことを発表した．最近，佐々木ら[7][8]はIn–Lens SEM法により，10種類もあるNd–rich相を区別して観察することに成功した．さらに，Nd–rich粒界の構造と元素分布を原子スケールで解明した．このように，放射光施設を含めた高度な最先端分析機器を駆使して，Nd–Fe–B磁石の微細構造の研究が大きく進展している．これまで保磁力と微細構造を関係づける理論は連続体モデルによるものであったが，原子スケールでの構造や元素分布と保磁力を関係づける理論が出始めている．近い将来，R–Fe磁石の微細構造から保磁力を予言し，所望の保磁力を得るために必要な微細構造の算出が出来るようになることを期待する．

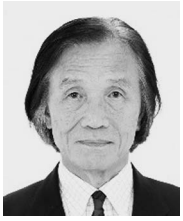
6. おわりに

近未来はロボットの時代である．自動車もドローンもロボットである．ロボットの手，足，翅はもちろん，声帯にもR–Fe磁石が使われる．小さい声帯（スピーカー）で大きく，美しい声を出すためにはR–Fe磁石が使われる．稼働しているロボットの数が膨大なので，ロボットに使われるR–Fe磁石も膨大である．

人類は時代を代表する材料で時代の名前を付けてきた．これまで石器時代，青銅器時代，鉄器時代を過ぎ，現在はシリコン時代である．IT時代を代表する材料はシリコンである．近未来はロボットの時代，その時代を代表する材料はR–Fe磁石である．そのため，近未来，ロボットの時代は希土類鉄時代と呼ばれる．この予言は，世界が平和であるということを仮定している．平和な世界で膨大な数のロボットが，幸福な人々にかしずいている．R–Fe磁石の研究者はそんな社会をめざしている．

文　献

（1）M. Sagawa, S. Fujimura, N. Togawa, H. Yamamoto and Y. Matsuura: J. Appl. Phys., **55**（1984）, 2083–2087.
（2）M. Sagawa and Y. Une: Proc. of 20th Int. Workshop on Rare Earth Permanent Magnet & Their Applications（2008）, 103–105.
（3）M. Sagawa: Proc. of 24th Int. Workshop on Rare–Earth and Future Permanent Magnets and Their Applications（2016）, 52–54.
（4）Y. Tatetsu, Y. Harashima, T. Miyake and Y. Gohda: Phys. Rev. Mater., **2**（2018）, 074410-1–074410-9.
（5）Y. Harashima, K. Terakura, H. Kino, S. Ishibashi and T. Miyake: J. Appl. Phys., **120**（2016）, 203904-1–203904-6.
（6）Y. Hirayama, Y. K. Takahashi, S. Hirosawa and K. Hono: Scri. Mater., **138**（2017）, 62–65.
（7）T. T. Sasaki, T. Ohkubo, K. Hono, Y. Une and M. Sagawa: Ultramicroscopy, **132**（2013）, 222–226.
（8）T. T. Sasaki, T. Ohkubo and K. Hono: Acta Mater., **115**（2016）, 269–277.



佐川眞人

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1968年神戸大学大学院修士課程修了，電気工学研究専攻，1972年東北大学大学院博士課程修了，金属材料工学専攻，1972年に富士通入社，富士通在職中にNd–Fe–B磁石の構想をもち，1982年住友特殊金属に入社して，Nd–Fe–B焼結磁石の発明と工業化を実現した．1990年朝日賞，1991年応用磁気学会賞，2003年本多記念賞，2012年日本国際賞などを受賞．現在，大同特殊鋼顧問，2019年10月に東北大学特別招聘プロフェッサーの称号を得た．
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

第65回本多記念講演

医療と金属材料*

塙　　隆　夫**

1. はじめに

診断や治療といった医療行為に使用される材料や生物学研究に使用される材料を総称して「生体材料(バイオマテリアル)」という．生体材料の研究開発が他の材料と大きく異なるのは，その評価に細胞や動物を使用した生物学的評価が必須である点，また使用用途によっては国の機関(独立行政法人医薬品医療機器総合機構(PMDA))の承認認証が必要になる点である．そのため研究プロセスに占める生物学的評価の比重が大きいが，逆に言えば材料工学的視点による評価は最小限に止め，新規開発材料の生体組織適合性・生体機能性を，細胞評価や動物実験による評価で研究開発の成功をアピールできる分野とも言える．もちろん，このような材料は実用化研究の段階で淘汰される．翻って，金属を生体材料として研究する場合には，生物学的評価以前に，耐久性と安全性，つまり機械的性質と耐食性の確保が必須であり，上述のように生物学的評価のみで研究開発を進める例はほとんどない．これは，金属生体材料の研究者が誇ってよいことであろう．本稿では，医療応用を目的とした金属生体材料の研究開発とその将来について考える．

2. 生体材料としての金属

図1に示すように，ヒトを含めた生物の基本構成要素は高分子であり，生体機能を司る酵素，糖鎖，脂質，核酸なども高分子である．そのため，人体中に存在する高分子を模した分子を合成できれば，生体機能を持つ分子を作ることができる．また，ヒトの硬組織(骨，軟骨，歯質)の無機成分の基本は，リン酸カルシウム(Ca–P)の一形態であるハイドロキシアパタイト(HA)であり，Ca–P は骨形成や骨結合を促進する代表的な無機材料として活発に研究されている．一方，人体の中には，生体必須元素として機能する金属元素が存在するが金属材料はない．つまり，生体機能を示す金属材料を開発するためのモデルは人体内には存在しない．このことは，生体材料としての金属の魅力を低減させている．さらに，水俣病やイタイイタイ病などの重金属による環境汚染(公害病)が金属の有害性を一般に知らしめ，生体材料としても金属材料はできるだけ使用しない方がよいとの誤解を生むに至っている．

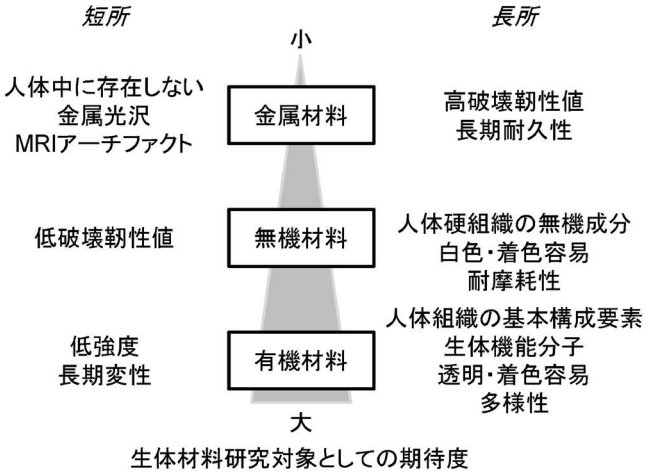


図1　各材料の生体材料としての特徴と生体材料研究対象としての期待度．

そのため，セラミックス，ガラス，合成高分子の進歩に伴

* 2020年3月17日に予定していた日本金属学会第166回春期講演大会での口頭講演は中止したが，本概要掲載により，本会第166回春期講演大会で発表したものとみなす．

** 東京医科歯科大学生体材料工学研究所；教授(〒101–0062 東京都千代田区神田駿河台2–3–10)
Medicine and Metals; Takao Hanawa(Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo)
Keywords: *biomaterial, dental material, surface treatment, new alloy, new manufacturing process*
2019年11月25日受理[doi:10.2320/materia.59.252]

って，金属製医療デバイス(薬事法では『医療機器』と呼ぶ)は，セラミックス製や高分子製に置き換わってきた．ところが，このような推移にも拘わらず，体内埋植デバイス(インプラント)の約80%，整形外科デバイスに限れば約95%が金属製であり，金属材料は依然として医療で重要な地位を占めている．ただし，歯科材料においては，金属光沢は歯科審美における致命的欠陥であり，白色や透明なセラミックスや高分子の使用が優先される．

金属生体材料の詳細については，単行書[(1)-(4)]を参考にしていただきたい．また，生体用 Ti 合金についても単行書[(5)]と総説がある[(6)(7)]．

3. 金属生体材料の課題

金属生体材料の研究は，金属材料と生体組織との界面での反応の解明，表面処理法の開発，新合金の開発，合金製造プロセスの開発に大別できる．医療用途で金属材料に求められるのは，Mg 合金のような生体内溶解性金属を別とすれば，材料の形態が変化しないことで，①使用中に大きく変形しないこと，②使用中に破壊しないこと，③長期間に渡って固体のまま使用できることが要求される．つまり，高い破壊靱性値，疲労強度，耐食性などが求められる．一方，その製造プロセス，すなわち溶解，鋳造，鍛造，加工，熱処理といった工程で金属に生体機能を付与することはできない．これは，生体材料としての金属の最大の弱点であり，金属に生体適合性や生体機能性を付与するためには，表面処理，表面改質が必要になる．以上の要求から，現在行われている金属生体材料の研究開発は，以下の項目に分類できる．

1. 金属材料と生体組織との界面反応解明(安全性評価，耐食性評価も含む)．
2. 新表面処理技術の開発(表面形態制御を含む)．
3. 新合金の開発．
4. 新製造プロセスの応用・開発．

4. 金属材料―生体組織界面反応

(1) 生体適合性と生体機能性

金属材料が生体組織と接すると，生体内イオン・分子の吸着，材料表面の変化，細胞接着などが起こり，材料周囲で生体組織の形成が行われる(**図 2**)．この一連のプロセスを阻害せずに材料自身がその性能を発揮する性質を「生体適合性」と定義している．また生体機能性は「生体機能を促進する性質」と定義できる．生体適合性の発現機構を解明しようとする基礎的研究は一時期活発に行われたものの，生命現象の複雑さ故の困難・行き詰まりと臨床応用への即時的成果がアピールできる材料上の組織形成促進を目的とした表面処理技術開発への移行で，下火になってしまった．そのため，現在でも，材料表面と生体組織との界面反応は脆弱な科学的基盤の上で語られているに過ぎない．

(2) 耐食性

金属材料から溶出した金属イオンが生体分子あるいは細胞と結合し生体機能を阻害した場合には毒性を示す(**図 3**)．そのため，生体金属材料では高耐食性が必要であり，貴金属や不働態合金が使用されている．また，摩擦摩耗によって発生する摩耗粉も毒性に影響する．一方，金属材料の腐食環境での疲労は人体中での破壊の原因とされている．したがって，金属材料の耐食性と機械的性質は，その毒性と破壊に直結する重要な因子である．

10～30年間体内に埋植されていた316L ステンレス鋼製胸

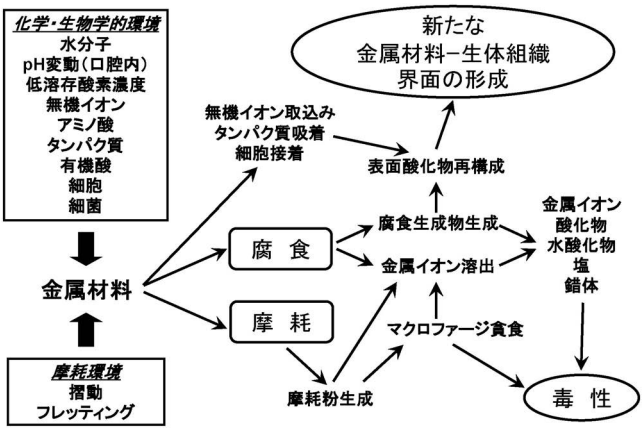


図 3 生体中において金属材料表面で起こる反応とその影響．

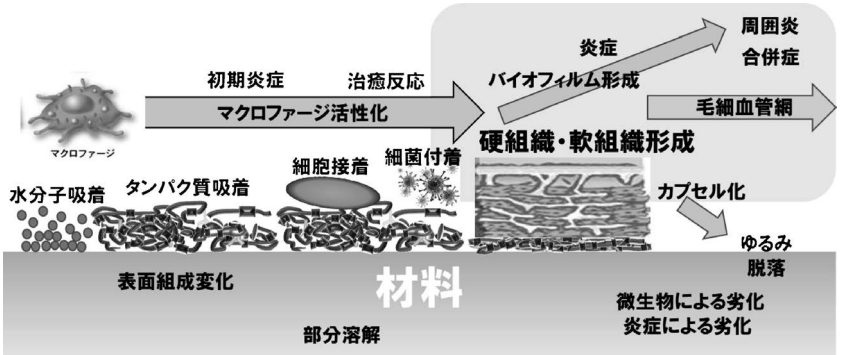


図 2 材料が人体に埋植されたときに起こる界面反応．

骨ワイヤーの表面では，腐食孔がワイヤーの線引き方向に配向して現れ，埋植期間とともに深く大きくなる[8]．また，患者から摘出された316Lステンレス鋼製脊柱固定ロッドには，フックとの接触部で隙間腐食が観察される[9]．このように，ステンレス鋼製の部材では，腐食が起こりうる．

一方，Co–Cr合金およびTi合金の体内での腐食損傷に関する報告は極めて少ない．それにも拘わらず，しばしばインプラント周囲の組織からTiが検出される．材料を体内に埋植すれば必ず炎症が起こるため，マクロファージが材料表面に集積しその活動によって活性酸素が産生され，金属を腐食させる[10]．細胞培養下で電気化学的測定を行えるユニットによる評価では，Tiでは腐食電位の低下がみられるものの細胞の存在はほとんど影響しないが，ステンレス鋼では細胞が細胞外マトリックスとしての生体分子を放出し，細胞自体が溶存酸素の拡散障壁となることで腐食が促進される[11]–[13]．タンパク質の存在は，Tiの再不働態化を促進する[14]．一方，インプラントの埋植や摘出といった手術操作だけでも，相当量の金属元素が微小粉，金属イオンの状態で放出される[15]．

(3) 表面酸化皮膜とリン酸カルシウム形成

上記の反応は金属材料表面で起こるため，金属材料の表面状態がその反応を支配することになる．そのため，CP Ti[16]，Ti–Ni合金[17]，Ti–Zr合金[18]，Ti–Nb–Ta–Zr合金[19]，Co–Cr–Mo合金[20]，Co–Ni–Cr合金[21]，SUS316Lステンレス鋼[22]の大気中での自然形成皮膜について詳細な解析が行われている．

硬組織適合性を支配する因子として体液との間で起こる物理化学的なCa–P形成が挙げられる．Hanks溶液にTiおよびTi合金を浸漬するとCa–Pが析出し[23][24]，細胞培養下ではCa–Pに加えて亜硫酸塩または硫化物も生成する[25]．Ca–P形成は，Co–Cr–Mo合金[20][21]，316Lステンレス鋼[22]でも起こるが，CP TiやTi合金と比較するとその生成速度と量は小さい．一方，ZrはHPO_4^{2-}（他の形態のリン酸イオンも存在するが中性で最も存在確率が高いためこう表記する）と結合して安定化してCa^{2+}を取り込まず，Ca–P形成は起こらない[19][26]．これは，Tiの表面酸化皮膜がある程度の反応性を持っているのに対してZrのものは安定性が高いためである[26]．NbとTaはTiとZrの中間の性質を示す[27]．

このCa–P形成は，髄内釘や骨固定スクリュウ周囲の仮骨形成および骨癒合の原因と考えられる．Ti表面に骨形成を阻害するZrを被覆することでCa–P形成を抑制でき[28]，ラットの脛骨に埋植したときに骨形成を抑制する[29]．

5. 表 面 処 理

(1) 表面処理の変遷と将来

医療応用を目的とした表面処理については多くの解説がある[7][8][30]–[33]．現在までに金属生体材料に対して行われている表面処理法を**図4**にまとめる．

一方，表面処理法を形成される表面の種類と機能によって分類すると**図5**のようになる．現在実用化されているのは，表面に凹凸を付けるか多孔質化する形態制御表面がほとんどであり，その進化形として微細加工，微細周期構造の生物機能誘導形態表面が無機的に生体機能を発現できる手段として期待されている．

(2) 骨形成・骨結合

TiにCa^{2+}を注入すると，CaOおよび$CaTiO_3$からなる表面改質層が形成され[34]．擬似体液中[35]，MC3T3–E1細胞

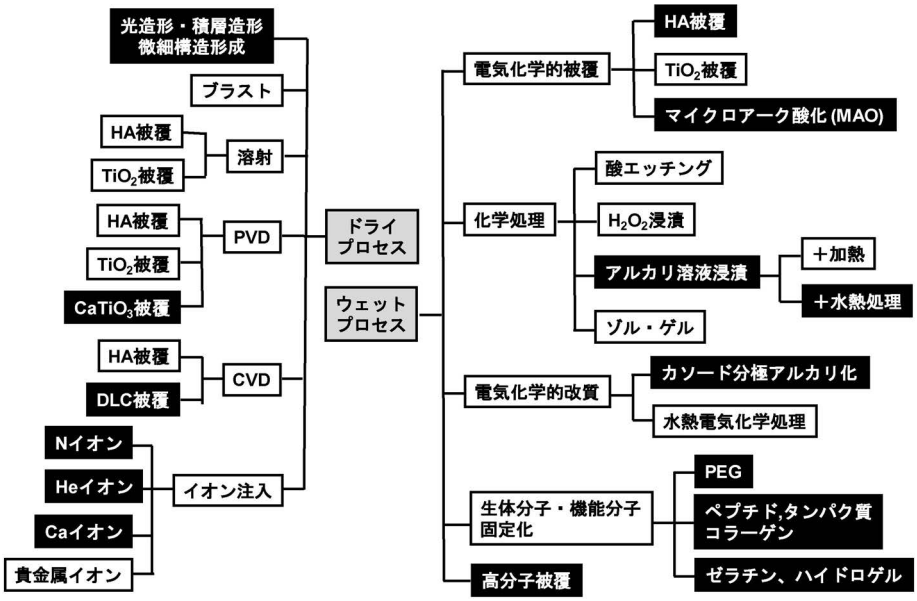


図4　医療応用を目指した金属材料の表面処理・改質技術
（文献(33)を改変．黒地に白抜きの処理法は，これまでに筆者が実施したもの．）

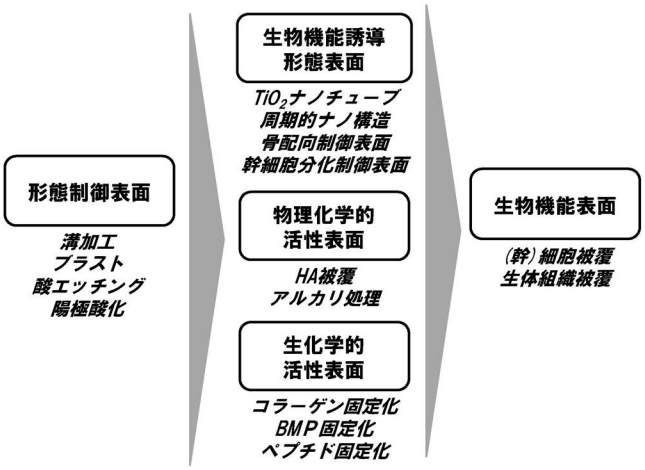


図5　形成表面とその機能による表面処理法の分類.

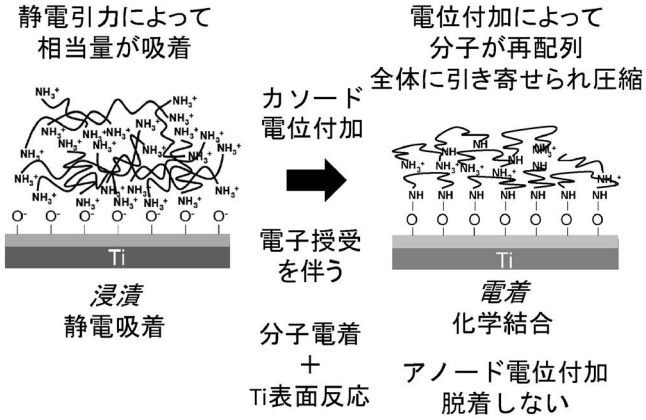


図6　PEG電着過程の模式図.

培養中[36]のCa–Pの析出は急激に加速され，細胞による骨様組織の形成が速くなる．また，ラット脛骨に埋植した場合にはCa^{2+}注入面は非注入面と比較して骨組織の形成が速く新生骨は材料表面に密着する[37]．これらの結果は，Ca^{2+}注入によって生成した$CaTiO_3$の零電荷点，表面電荷の多さから説明できる[38][39]．$CaTiO_3$をスパッタ蒸着しながらTiイオンを注入する方法も考案されている[40]一方，$CaTiO_3$の結晶性が高くなると骨形成促進効果が大きい[41]．$Ca(OH)_2$溶液への浸漬[42]とオートクレーブ[43]，擬似体液中での再不働態化[44]などが研究されている．また，TiにCa–P形成処理を施すことで歯根膜由来細胞シートによってラット脛骨で歯根膜形成が可能である[45]．

Zrをカソード分極することで極表面をアルカリ環境として，アルカリ溶液に浸漬するよりも効率的にアルカリ処理を行うことができる．これによりZr表面がOH基で覆われ，OH基がタンパク質吸着，細胞接着の反応サイトとなり，Zr表面の骨形成能が促進される[46]．

ポリエチレングリコール(PEG)は，タンパク質の吸着を抑制する性質を持ち，そのため固体表面に固定化できれば，細胞接着抑制など多くの波及的効果が期待できる機能分子である．末端にアミノ基とカルボキシル基を修飾したPEG(NH_2–PEG–COOH)をTi表面に電着し，それを介して細胞接着に関与するRGD(アルギニン–グリシン–アスパラギン酸の順の配列で細胞接着活性がある)ペプチドをpH12のときに最も安定に固定化できる[47]．MC3T3–E1細胞による石灰化量は未処理のTiと比較して，RGDを固定化したTiの方が多く，特にRGD/PEG/Ti上の細胞の石灰化量が顕著に多い[48]．NH_2–PEG–COOH直鎖状分子が溶液中で揺らいでいるために骨芽細胞がRGDを認識しやすくなったと考えられる．この試料をウサギ脛骨中に埋植すると骨形成が促進される[49]．

(3)　軟組織接着性・抗菌性・抗血栓性

軟組織接着向上を目的としてⅠ型コラーゲンを正負の電位をサイン波でTi表面に電着すると，網目状に強固に電着できる[50]．

両末端をアミンで修飾したPEG(NH_2–PEG–NH_2)を電着するとU字形に固定化される(**図6**)[51][52]．電着にはTi表面酸化物上の活性なOH基が重要な役割を果たしており，OH基濃度の増加に伴ってPEG固定化層厚さも増加する[53]．PEGを電着固定したTi上では，タンパク質の吸着が抑制され，抗血栓性の指標となる血小板粘着が抑制され[54]，また細菌付着およびバイオフィルム形成も抑制される[55]．PEGの電着は摩擦の制御と材料間の接着にも有効である[56]．

電着は他の分子にも有効で，細胞膜と類似の構造を持つ2–メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン(MPC)ポリマーをTi表面に電着すると血小板粘着が抑制される[57][58]．

一方，Ti表面の血小板粘着はHe^{+}注入によって抑制される[59]．陽極酸化によっても血小板粘着抑制が可能である[60]．

(4)　デュアルファンクション表面

マイクロアーク酸化(MAO)は，バルブ金属に対して多孔質酸化物を表面に形成するために有効な方法であり，歯科インプラントで実用化されている．Ti–24Nb–13Ta–4.6Zr合金表面にCa^{2+}とHPO_4^{2-}を含有する多孔質TiO_2層を形成することで骨形成能が向上する[61]．MAOはZrに対しても有効で多孔質ZrO_2層を形成することで骨形成を促進できる[62]．MAOと化学処理の組み合わせも有効であり[63]，Srの添加は骨形成を促進し[64]ぬれ性も向上させる[65]．

TiにMAO処理を行う際に電解液にAgを加え，Ca^{2+}やHPO_4^{2-}に加えて，ある濃度以上にAgを酸化層に含有させると抗菌性を示し，この濃度範囲と骨芽細胞様細胞が石灰化を示す濃度範囲が重なるため，抗菌性と骨形成促進を両立するデュアルファンクションを示すことになる(**図7**)[66]．Znも抗菌元素として有効であり，その作用機構が明らかになっている[67]．また，Ti合金の成分元素の抗菌の程度が明らかになっている[68]．今後は，歯科インプラントの周囲炎防止のために，軟組織接着と抗菌性の同時発現が必要になるであろう．

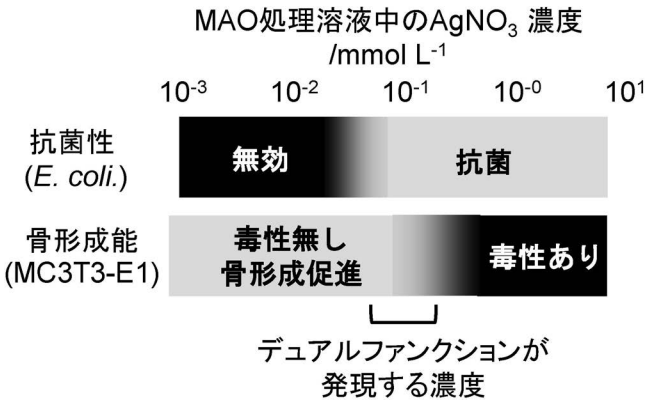


図7　骨形成能と抗菌性の同時発現（デュアルファンクション）の概念.

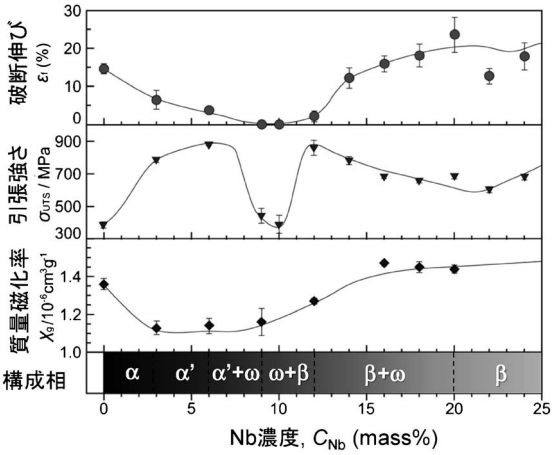


図8　Zr–Nb 合金における Nb 濃度，機械的性質，質量磁化率，構成相の関係.（塑性加工学会誌「ぷらすとす」3巻1号5頁より転載.）

(5)　金属–高分子複合化

高分子と金属を複合化すれば，高分子の機能性と金属の強度とを併せ持つ材料の開発が可能である．シランカップリング剤 γ–MPS を介して，Ti とセグメント化ポリウレタン（SPU）を複合化でき[69]，接着力に及ぼす UV 照射[70]，表面水酸基[71]の影響が明らかになっている．また，Ti–29Nb–13Ta–4.6Zr 合金と SPU との接合も可能である[72]–[74].

(6)　耐食性・耐摩耗性・潤滑性

Ni–Ti 形状記憶・超弾性合金をグリセロール，乳酸，硫酸，エタノールの混合液中で電位を負荷すると，Ni を含まない酸化チタン皮膜を形成でき，耐食性，安全性が確保される[17]．また，N^+ 注入による Co–Cr 合金の耐摩耗性向上[75]–[77]，Ti 表面への DLC の成膜による潤滑性を向上が可能である[78].

(7)　幹細胞接着・分化促進

材料の表面形態は，組織の接着に重要な因子である．材料表面にフェムト秒レーザーで微細周期構造を形成すると，Ti 表面の骨形成促進[79]，Ni–Ti 合金の抗血栓性[80]，Ti 表面の細胞伸張[81][82]に加えて，幹細胞の接着と分化を促進できる[83][84]．この技術は，幹細胞を被覆する次世代インプラントの開発に必要となる.

6.　新合金・新製造プロセス

(1)　MRI アーチファクト低減ジルコニウム合金

通常使われる金属の磁化率は周囲の生体組織よりも大きいため，磁気共鳴造影（MRI）の強磁場下で金属材料が磁化し，器官や組織の像は金属材料の周囲で乱れたり欠損したりする．これをアーチファクトと呼ぶが，MRI アーチファクトの体積は形状に依存する[85]上に，磁化率に比例する[86]．そのため，MRI アーチファクトを防止するために，周囲生体組織の磁化率に近い低磁化率の金属材料の開発が求められる．Zr は Ti 合金，Co 合金，Fe 合金よりも磁化率が小さく，Nb，Mo，Ta は Zr の固溶強化元素であり安全性が高い．Zr–Nb 合金[87]–[89]は低磁化率であるが，**図8** に示すように磁化率の極小値では ω 相が形成され機械的性質が劣る．そのため，磁化率と機械的性質とのバランスを考慮する必要がある．Pd や Pt の添加には Zr–Nb 合金の耐食性改善に有効である．Zr–Mo 合金では，0.5–1 mass%Mo の範囲で低磁化率と機械的性質のバランスが良好である[90]–[92]．また，Zr–1Mo 合金の大量溶解，熱間鍛造，冷間スウェージングに成功しており[93][94]，84%減面率での冷間スウェージング後の引張強さは1001 MPa，破断伸びは10%であり，質量磁化率は 13.85×10^{-9}～4.87×10^{-9} $m^3\,kg^{-1}$ とバランスがよい．冷間スウェージングによって，α 相と β 相の縞状組織は大きくうねるように変形する（**図9**）[94]．Zr–1Mo 合金では，積層造形によってさらに優れた機械的性質を得ることができる[95]．一方，Zr–Ag 合金ではさらに磁化率が低くできる[96].

Zr–14Nb 合金は高温酸化によって表面を白色化でき，歯科インプラントのアバットメントへの応用が可能である[97]．また，歯科鋳造によっても十分な機械的性質を示し[98]，陶材との接合強度も大きい[99]ため，歯科修復・補綴材料としての応用が可能である.

(2)　窒素吸収によるニッケルフリーステンレス鋼製造

Ni は金属アレルギーの原因物質となりやすく，Ni を含有しない生体用ステンレス鋼の開発が必要である．オーステナイト系 Ni フリーステンレス鋼を製造するためには，Ni の代わりに C，Mn，N，Co，Cu などのオーステナイト形成元素を含有させる必要がある[100]．Ni フリーステンレス鋼は耐食性がよい[101][102]ものの，加工性はきわめて悪く製造コストが高い．そこで，N を含有する前のフェライトの状態で加工し，その後1473 K で N を吸収させオーステナイト化する製造プロセスを開発した[103]–[106]．この合金の焼鈍後の引張強さは931 MPa，破断伸びは49%以下である．また細胞適合性に優れる[107].

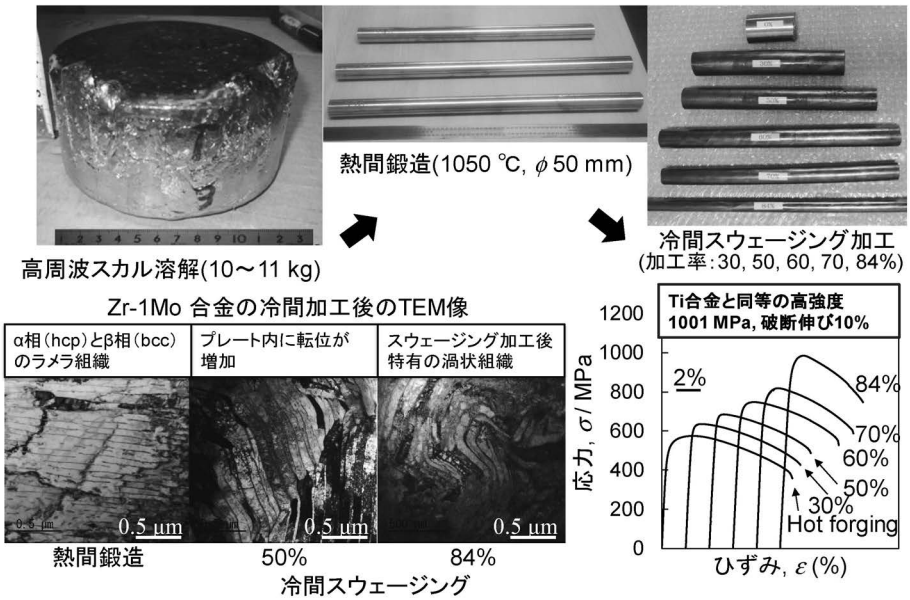


図 9　Zr–1Mo 合金の大量溶解と加工による高強度化[94].

⑶　高圧ねじり加工・高圧スライド加工

顎骨の骨量が足りない患者に適用するために直径の小さいナローインプラントが製造されている．直径を小さくするためには強度を増加させる必要があるが，通常の加工では強度を増加させると破断伸びが低下する．伸びを維持したまま強度を上げるために，Ti–6Al–7Nb 合金に対して高圧ねじり(HPT)加工を施すと，引張強さは1200 MPa に上昇するが伸びは19％とほぼ元の値を維持できる[108](**図10**)．実際の歯科インプラントに応用するためには棒材の加工が必要であるため，高圧すべり(HPS)加工を試み HPT 加工と同様の効果が得られている[109].

⑷　積層造形

積層造形の医療用途として，個人に適応した大きさと形状のテーラーメード医療デバイス作製，表面微細構造の作製などに期待が広がっている．Co–Cr 合金の積層造形体の組織と耐食性との関係[110]，Co–Cr 合金の部分床義歯のクラスプを積層造形で作製する際の積層方向の異方性との関係[111]，疲労強度[112]，熱処理の効果[113]–[115]が明らかになっている．また，オーステナイト系ステンレス鋼の結晶組織，機械的性質と耐食性の関係[116]が研究されている.

7.　金属生体材料研究の未来

生体材料における材料設計，製造プロセス，生物学的評価では，各分野の科学や技術を利用しており，「生体材料学」という学術分野が存在するわけではない．かつて日本は生体材料研究において，米国，欧州と 3 極を形成し，新材料の開発，新概念の提案などで国際的にも評価が高かったが，過去20年の間に中国，韓国の台頭によって，日本の相対的地位は低下している．これは材料科学の分野と同じ状況である．今後，真の生体材料学を創出できるかどうかが，国際的優位性確保と次世代の医療デバイス開発のイノベーション創出の鍵と思われる．生体材料のような実学では，開発された技術からそのメカニズムを解明する過程で新たな科学が発生する可能性がある．我が国では科学の基盤の上に技術が演繹的に生まれるという誤解があるが，生体材料では個々の技術から統一的理論・一般的原理を見い出す帰納的アプローチも可能である.

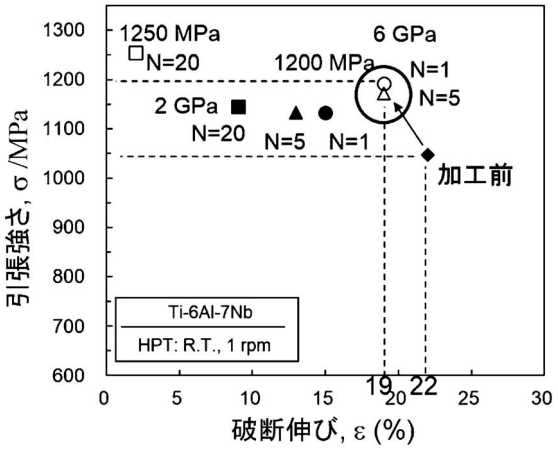


図10　HPT 加工による Ti–6Al–7Nb 合金の強度と伸びの変化[108].

文　　献

（１）塙　隆夫，米山隆之：金属バイオマテリアル，コロナ社，(2007).
（２）日本金属学会編：医療用金属材料概論，日本金属学会，(2010).
（３）岡野光夫監修：バイオマテリアル―その基礎と先端研究への

展開，東京化学同人，(2016).
(4) M. Niinomi ed.: Metals for Medical Devices, 2nd Ed., Woodhead Publishing, Duxford, UK, (2019).
(5) 塙　隆夫：軽金属，**68**(2018), 494–500.
(6) T. Hanawa: Front. Bioeng. Biotechnol., **7**(2019), 170.
(7) M. Niinomi: J. Biomed. Mater. Res., **107A**(2019), 944–954.
(8) Y. Tomizawa, T. Hanawa, D. Kuroda, H. Nishida and M. Endo: J. Artif. Organs, **9**(2006), 61–66.
(9) T. Akazawa, S. Minami, K. Takahashi, T. Kotani, T. Hanawa and H. Morita: J. Orthop. Sci., **10**(2005), 200–205.
(10) Y. Mu, T. Kobayashi, M. Sumita, A. Yamamoto and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res., **49A**(2000), 238–243.
(11) S. Hiromoto and T. Hanawa: J. Royal Soc. Interface, **3**(2006), 495–505.
(12) S. Hiromoto, K. Noda and T. Hanawa: Corros. Sci., **44**(2002), 955–964.
(13) S. Hiromoto, S. K. Noda and T. Hanawa: Electrochim. Acta, **48**(2002), 387–396.
(14) T. Hanawa, Y. Kohyama, S. Hiromoto and A. Yamamoto: Mater. Trans., **45**(2004), 1635–1639.
(15) Y. Mu, T. Kobayashi, K. Tsuji, M. Sumita and T. Hanawa: J. Mater. Sci. Mater. Med., **13**(2002), 583–588.
(16) T. Hanawa, K. Asami and K. Asaoka: J. Biomed. Mater. Res., **40**(1998), 530–538.
(17) O. Fukushima, T. Yoneyama, H. Doi and T. Hanawa: Dent. Mater. J., **25**(2006), 151–160.
(18) 塙　隆夫，奥野　攻，浜中人士：日本金属学会誌，**56**(1992), 1168–1173.
(19) Y. Tanaka, M. Nakai, T. Akahori, M. Niinomi, Y. Tsutsumi, H. Doi and T. Hanawa: Corros. Sci., **50**(2008), 2111–2116.
(20) T. Hanawa, S. Hiromoto and K. Asami: Appl. Surf. Sci., **183**(2001), 68–75.
(21) A. Nagai, Y. Tsutsumi, Y. Suzuki, K. Katayama, T. Hanawa and K. Yamashita: Appl. Surf. Sci., **258**(2012), 5490–5498.
(22) T. Hanawa, S. Hiromoto, A. Yamamoto, D. Kuroda and K. Asami: Mater. Trans., **43**(2002), 3088–3092.
(23) T. Hanawa and M. Ota: Biomaterials, **12**(1991), 767–774.
(24) T. Hanawa and M. Ota: Appl. Surf. Sci., **55**(1992), 269–276.
(25) S. Hiromoto, T. Hanawa and K. Asami: Biomaterials, **25**(2004), 979–986.
(26) Y. Tsutsumi, D. Nishimura, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Mater. Sci. Eng. C, **29**(2009), 1702–1708.
(27) Y. Tsutsumi, T. Nishisaka, H. Doi, M. Ashida, P. Chen and T. Hanawa: Surf. Interface Anal., **47**(2015), 1148–1154.
(28) E. Kobayashi, M. Ando, Y. Tsutsumi, H. Doi, T. Yoneyama, M. Kobayashi and T. Hanawa: Mater. Trans., **48**(2007), 301–306.
(29) R. Takada, T. Jinno, Y. Tsutsumi, H. Doi, T. Hanawa and A. Okawa: Mater. Trans., **58**(2017), 113–117.
(30) 塙　隆夫：表面技術，**63**(2012), 733–738.
(31) T. Hanawa: J. Royal Soc. Interface, **6**(2009), S361–S369.
(32) T. Hanawa: Jpn. J. Dent. Sci. Rev., **46**(2010), 93–101.
(33) 塙　隆夫：表面技術，**69**(2018), 318–322.
(34) T. Hanawa, H. Ukai and K. Murakami: J. Electron Spectrosc., **63**(1993), 347–354.
(35) T. Hanawa, S. Kihara and M. Murakami: Characterization and Performance of Calcium Phosphate Coatings for Implants, ASTM STP 1196, eds. by E. Horowitz & J. E. Parr, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1994), 170–184.
(36) 塙　隆夫，野田坂佳伸，鵜飼英實，村上晃一，浅岡憲三：生体材料，**12**(1994), 209–216.
(37) T. Hanawa, Y. Kamiura, S. Yamamoto, T. Kohgo, A. Amemiya, H. Ukai, K. Murakami and K. Asaoka: J. Biomed. Mater. Res., **36**(1997), 131–136.
(38) T. Hanawa, K. Asami and K. Asaoka: Corros. Sci., **38**(1996), 1579–1594.
(39) T. Hanawa, K. Asami and K. Asaoka: Corros. Sci., **38**(1996), 2061–2067.
(40) N. Ohtsu, K. Sato, K. Saito, T. Hanawa and K. Asami: Mater. Trans., **45**(2004), 1778–1781.
(41) N. Ohtsu, K. Saito, K. Asami and T. Hanawa: Surf. Coating Technol., **200**(2006), 5455–5461.
(42) T. Hanawa, M. Kon, H. Doi, H. Ukai, K. Murakami, H. Hamanaka and K. Asaoka: J. Mater. Sci. Mater. Med., **9**(1998), 89–92.
(43) T. Ichikawa, T. Hanawa, H. Ukai and K. Murakami: Int. J. Oral Maxil. Implant., **15**(2000), 231–238.
(44) T. Hanawa, M. Kon, H. Ukai, K. Murakami, Y. Miyamoto and K. Asaoka: J. Biomed. Mater. Res., **34**(1997), 273–278.
(45) K. Washio, Y. Tsutsumi, Y. Tsumanuma, K. Yano, S. S. Srithanyarat, R. Takagi, S. Ichinose, W. Meinzer, M. Yamato, T. Okano, T. Hanawa and I. Ishikawa: Tissue Eng. A, **24**(2018), 1273–1282.
(46) Y. Tsutsumi, D. Nishimura, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Acta Biomater., **6**(2010), 4161–4166.
(47) Y. Tanaka, H. Saito, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura, H. Imai and T. Hanawa: J. Colloid Interface Sci., **330**(2009), 138–143.
(48) K. Oya, Y. Tanaka, H. Saito, K. Kurashima, K. Nogi, H. Tsutsumi, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Biomaterials, **30**(2009), 1281–1286.
(49) J. W. Park, K. Kurashima, Y. Tustusmi, C. H. An, Y. J. Suh, H. Doi, N. Nomura, K. Noda and T. Hanawa: Acta Biomater., **7**(2011), 3222–3229.
(50) H. Kamata, S. Suzuki, Y. Tanaka, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura, T. Hanawa and K. Moriyama: Mater. Trans., **52**(2011), 81–89.
(51) Y. Tanaka, H. Doi, Y. Iwasaki, S. Hiromoto, T. Yoneyama, K. Asami, H. Imai and T. Hanawa: Mater. Sci. Eng. C, **27**(2007), 206–212.
(52) Y. Tanaka, H. Doi, E. Kobayashi, T. Yoneyama and T. Hanawa: Mater. Trans., **48**(2007), 287–292.
(53) Y. Tanaka, H. Saito, Y. Tsutsumi, H. Doi, H. Imai and T. Hanawa: Mater. Trans., **49**(2008), 805–811.
(54) Y. Tanaka, Y. Matsuo, T. Komiya, Y. Tsutsumi, H. Doi, T. Yoneyama and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res., **92A**(2010), 350–358.
(55) Y. Tanaka, K. Matin, M. Gyo, A. Okada, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura, J. Tagami and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res., **95A**(2010), 1105–1113.
(56) Y. Fukuhara, M. Kyuzo, Y. Tsutsumi, A. Nagai, P. Chen and T. Hanawa: Appl. Surf. Sci., **355**(2015), 784–791.
(57) Y. Fukuhara, M. Kyuzo, Y. Tsutsumi, A. Nagai, P. Chen and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res. Appl. Biomater., **104**(2016), 554–560.
(58) J. H. Seo, Y. Tsutsumi, A. Kobari, M. Shimojo, T. Hanawa and N. Yui: Soft Mater., **11**(2015), 936–942.
(59) S. Nakajima, T. Tusukamoto, Y. Suzuki, M. Iwaki, T. Hanawa and A. Yamamoto: Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., **28**(2003), 499.
(60) A. Nagai, Y. Suzuki, Y. Tsutsumi, K. Nozaki, N. Wada, K. Katayama, T. Hanawa and K. Yamashita: J. Biomed. Mater. Res. Appl. Biomater. B, **102**(2014), 659–666.
(61) Y. Tsutsumi, M. Niinomi, M. Nakai, H. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Appl. Surf. Sci., **262**(2012), 34–38.
(62) M. Nyan, Y. Tsutsumi, K. Oya, H. Doi, N. Nomura, S. Kasugai and T. Hanawa: Dent. Mater. J., **30**(2011), 754–761.
(63) J. Y. Ha, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura, K. H. Kim and T. Hanawa: Surf. Coat. Technol., **205**(2011), 4948–4955.
(64) C. Ma, A. Nagai, Y. Yamazaki, T. Toyama, Y. Tsutsumi, T. Hanawa, W. Wang and K. Yamashita: Acta Biomater., **8**(2012), 860–865.
(65) M. Sato, P. Chen, Y. Tsutsumi, T. Hanawa and S. Kasugai: Dent. Mater, J., **35**(2016), 627–634.
(66) M. Shimabukuro, Y. Tsutsumi, R. Yamada, M. Ashida, P. Chen, H. Doi, K. Nozaki, A. Nagai and T. Hanawa: ACS Biomater. Sci. Eng., **5**(2019), 5623–5630.

(67) M. Shimabukuro, Y. Tsutsumi, K. Nozaki, P. Chen, R. Yamada, M. Ashida, H. Doi, A. Nagai and T. Hanawa: Coatings, **9**(2019), 705.
(68) M. Shimabukuro, H. Ito, Y. Tsutsumi, K. Nozaki, P. Chen, R. Yamada, M. Ashida, A. Nagai and T. Hanawa: Metals, **9**(2019), 1145.
(69) H. Sakamoto, H. Doi, E. Kobayashi, T. Yoneyama, Y. Suzuki and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res., **82A**(2007), 52–61.
(70) H. Sakamoto, Y. Hirohashi, H. Saito, H. Doi, Y. Tsutsumi, Y. Suzuki, K. Noda and T. Hanawa: Dent. Mater. J., **27**(2008), 81–92.
(71) H. Sakamoto, Y. Hirohashi, H. Doi, Y. Tsutsumi, Y. Suzuki, K. Noda and T. Hanawa: Dent. Mater. J., **27**(2008), 124–132.
(72) J. Hieda, M. Niinomi, M. Nakai, H. Kamura, H. Tsutsumi and T. Hanawa: Surf. Coat. Technol., **206**(2012), 3137–3141.
(73) J. Hieda, M. Niinomi, M. Nakai, H. Kamura, H. Tsutsumi and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res. Appl. Biomater. B, **101**(2013), 776–783.
(74) J. Hieda, M. Niinomi, M. Nakai, K. Cho, T. Mohri and T. Hanawa: Mater. Sci. Eng. C, **36**(2014), 244–251.
(75) N. Maruyama, H. Kawasaki, A. Yamamoto, S. Hiromoto, H. Imai and T. Hanawa: Mater. Trans., **46**(2005), 1588–1592.
(76) T. Hanawa, K. Nakazawa, K. Kano, S. Hiromoto, Y. Suzuki and A. Chiba: Mater. Trans., **46**(2005), 1593–1596.
(77) S. Hiromoto, K. Kano, S. Suzuki, K. Asami, A. Chiba and T. Hanawa: Mater. Trans., **46**(2005), 1627–1632.
(78) S. Liza, J. Hieda, H. Akasaka, N. Ohtake, Y. Tsutsumi, A. Nagai and T. Hanawa: Sci. Technol. Adv. Mater., **18**(2017), 76–87.
(79) T. Shinonaga, M. Tsukamoto, A. Nagai, K. Yamashiata, T. Hanawa, N. Matsushita, G. Xie and N. Abe: Appl. Surf. Sci., **288**(2014), 649–653.
(80) K. Nozaki, T. Shinonaga, N. Ebe, N. Horiuchi, M. Nakamura, Y. Tsutsumi, T. Hanawa, M. Tsukamoto, K. Yamashita and A. Nagai: Mater. Sci. Eng. C, **57**(2015), 1–6.
(81) T. Shinonaga, M. Tsukamoto, T. Kawa, P. Chen, A. Nagai and T. Hanawa: Appl. Phys. B, **119**(2015), 493–496.
(82) M. Tsukamoto, T. Kawa, T. Shinonaga, P. Chen, A. Nagai and T. Hanawa: Appl. Phys. A, **122**(2016), 120.
(83) P. Chen, T. Aso, R. Sasaki, Y. Tsutsumi, M. Ashida, H. Doi and T. Hanawa: J. Biomed. Nanotechnol., **13**(2017), 324–336.
(84) P. Chen, T. Aso, R. Sasaki, M. Ashida, Y. Tsutsumi, H. Doi and T. Hanawa: J. Biomed. Mater. Res. A, **106**(2018), 2736–2743.
(85) I. Kawabata, H. Imai, Z. Kanno, A. Tetsumura, Y. Tsutsumi, H. Doi, M. Ashida, T. Kurabayashi, T. Hanawa, T. Yamamoto and T. Ono: Dent. Mater. J., **38**(2019), 638–645.
(86) H. Imai, Y. Tanaka, N. Nomura, Y. Tsutsumi, H. Doi, Z. Kanno, K. Ohno, T. Ono and T. Hanawa: Acta Biomater., **9**(2013), 8433–8439.
(87) N. Nomura, Y. Tanaka, Suyalatu, R. Kondo, H. Doi, Y. Tsutsumi and T. Hanawa: Mater. Trans., **50**(2009), 2466–2472.
(88) R. Kondo, R. Shimizu, N. Nomura, H. Doi, Suyalatu, Y. Tsutsumi, K. Mitsuishi, M. Shimojo, K. Noda and T. Hanawa: Acta Biomater., **9**(2013), 5795–5801.
(89) R. Kondo, N. Nomura, H. Doi, H. Matsumoto, Y. Tsutsumi and T. Hanawa: Mater. Trans., **57**(2016), 2060–2064.
(90) R. Kondo, Suyalatu, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Mater. Sci. Eng. C, **31**(2011), 900–905.
(91) Suyalatu, N. Nomura, K. Oya, Y. Tanaka, R. Kondo, H. Doi, Y. Tsutsumi and T. Hanawa: Acta Biomater., **6**(2010), 1033–1038.
(92) Suyalatu, R. Kondo, Y. Tsutsumi, H. Doi, N. Nomura and T. Hanawa: Acta Biomater., **7**(2011), 4259–4266.
(93) M. Ashida, T. Sugimoto, N. Nomura, Y. Tsutsumi, P. Chen, H. Doi and T. Hanawa: Mater. Trans., **56**(2015), 1544–1548.
(94) M. Ashida, M. Morita, Y. Tsutsumi, N. Nomura, H. Doi, P. Chen and T. Hanawa: Metals, **7**(2017), 454.
(95) X. Sun, W. Zhou, K. Kikuchi, N. Nomura, A. Kawasaki, H. Doi, Y. Tsutsumi and T. Hanawa: Metals, **7**(2017), 501.
(96) H. Imai, Y. Tanaka, N. Nomura, H. Doi, Y. Tsutsumi, T. Ono and T. Hanawa: J. Mech. Behavior Med. Mater., **66**(2017), 152–158.
(97) M. Yu, P. Chen, Y. Tsutsumi, H. Doi, M. Ashida, S. Kasugai and T. Hanawa: Dent. Mater. J., **33**(2014), 490–498.
(98) Y. Kajima, H. Doi, A. Takaichi, T. Hanawa and N. Wakabayashi: Dent. Mater. J., **33**(2014), 631–637.
(99) Y. Kajima, A. Takaichi, T. Yasue, H. Doi, H. Takahashi, T. Hanawa and N. Wakabayashi: J. Mech. Behavior Biomed. Mater., **53**(2016), 131–141.
(100) M. Sumita, T. Hanawa and S. H. Teoh: Mater. Sci. Eng. C, **24**(2004), 753–760.
(101) D. Kuroda, S. Hiromoto, T. Hanawa and Y. Katada: Mater. Trans., **43**(2002), 3100–3104.
(102) D. Kuroda, T. Hanawa, S. Hiromoto, Y. Katada and K. Asami: Mater. Trans., **43**(2002), 3093–3099.
(103) D. Kuroda, T. Hanawa, T. Hibaru, S. Kuroda, M. Kobayashi and T. Kobayashi: Mater. Trans., **44**(2003), 414–420.
(104) D. Kuroda, T. Hanawa, T. Hibaru, S. Kuroda, M. Kobayashi and T. Kobayashi: Mater. Trans., **44**(2003), 1363–1369.
(105) D. Kuroda, T. Hanawa, T. Hibaru, S. Kuroda and M. Kobayashi: Mater. Trans., **44**(2003), 1577–1582.
(106) D. Kuroda, T. Hanawa, T. Hibaru, S. Kuroda and M. Kobayashi: Mater. Trans., **45**(2004), 112–118.
(107) A. Yamamoto, Y. Kohyama, D. Kuroda and T. Hanawa: Mater. Sci. Eng. C, **24**(2004), 737–743.
(108) M. Ashida, P. Chen, H. Doi, Y. Tsutsumi, T. Hanawa and Z. Horita: Mater. Sci. Eng. A, **640**(2015), 449–453.
(109) K. Watanabe, M. Ashida, T. Masuda, P. Kral, Y. Takizawa, M. Yumoto, Y. Otagiri, V. Sklenicka, T. Hanawa and Z. Horita: Mater. Trans., **60**(2019), 1785–1791.
(110) D. X. Wei, Y. Koizumi, A. Chiba, K. Ueki, K. Ueda, T. Narushima, Y. Tsutsumi and T. Hanawa: Additive Manufact., **24**(2018), 103–114.
(111) Y. Kajima, T. Nakamoto, M. Ashida, H. Doi, N. Nomura, H. Takahash, T. Hanawa and N. Wakabayashi: J. Mech. Behavior Biomed. Mater., **59**(2016), 446–458.
(112) Y. Kajima, A. Takaichi, T. Nakamoto, T. Kimura, N. Kittikundecha, Y. Tsutsumi, N. Nomura, A. Kawasaki, H. Takahashi, T. Hanawa and N. Wakabayashi: J. Mech. Behavior Biomed. Mater., **78**(2018), 1–9.
(113) Y. Kajima, A. Takaichi, N. Kittikundecha, T. Nakamoto, T. Kimura, N. Nomura, A. Kawasaki, T. Hanawa, H. Takahashi and N. Wakabayashi: Mater. Sci. Eng. A, **726**(2018), 21–31.
(114) E. Seki, Y. Kajima, A. Takaichi, N. Kittikundecha, H. H. W. Cho, H. L. Htat, H. Doi, T. Hanawa and N. Wakabayashi: Mater. Lett., **245**(2019), 53–56.
(115) N. Kittikundecha, Y. Kajima, A. Takaichi, H. H. W. Cho, H. L. Htat, H. Doi, H. Takahashi, T. Hanawa and N. Wakabayashi: J. Mech. Behavior Biomed. Mater., **98**(2019), 79–89.
(116) S. H. Sun, T. Ishimoto, K. Hagihara, Y. Tsutsumi, T. Hanawa and T. Nakano: Scripta Mater., **159**(2019), 89–93.

塙　隆夫

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1981年　北海道大学工学部金属工学科卒業
　　歯学博士，博士(工学)
1993年　徳島大学歯学部助教授
1998年　科学技術庁金属材料技術研究所室長，部長を経て，物質・材料研究機構生体材料研究センター副センター長
2004年７月―現職(この間生体材料工学研究所所長，副理事，東京大学大学院工学系研究科教授(併任)など)
専門分野：生体材料学，歯科材料学，表面工学
◎医療用金属材料および表面処理法の研究開発，材料―生体組織界面反応の解明に従事．
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

低炭素鋼におけるナノ合金炭化物の相界面析出におよぼす諸因子の影響解明

張　　咏　杰*

1. はじめに

相界面析出とは，通常の過飽和固溶体からの時効析出と異なり，V，Nb，Ti などの強炭化物生成元素を含む鋼がフェライト変態時に移動するフェライト/オーステナイト（α/γ）界面で合金炭化物が繰り返し核生成する現象であり，典型的な組織は α/γ 界面に平行なシート上に析出物が配置するものである．1960年代に発見されて以来[1]，その生成メカニズムなどについて，透過型電子顕微鏡（TEM）観察を中心に研究が広く行われてきた[2]．その後は一旦落ち着いたが，2000年代冒頭に JFE スチール社は高強度と優れた穴広げ性を両立した Ti, Mo 複合添加熱延鋼板（Nano ハイテン）を開発し，その強化の主因である相界面析出現象が近年再び注目を集めるようになった[3]．

相界面析出により生成した B1 型の合金炭化物（MC）はナノレベルのサイズを有し，約 300 MPa 程度まで強化に寄与することができると報告されている[4]．Orowan 型の硬質粒子として，析出物の分布をより微細に制御することでさらなる高強度を得ることが可能である[5]．その影響因子として，これまで相変態の温度[6]や合金組成[7]など工業プロセス的なパラメータに関する研究が多いが，析出物の核生成サイトとなる相界面の整合性や移動速度，さらに局所的な化学組成など本質的な因子の影響は未だに不明であった．

そこで筆者は，近年金属材料の組織解析に活用されており，サブナノレベルの空間分解能かつ優れた質量分解能を持つ三次元アトムプローブ（3DAP）[8]を用いることで，低炭素鋼における相界面析出の分布におよぼす諸因子の影響を解明することに取り組んできた．本稿では，その一部を紹介する．

2. 実験方法

本研究で用いた合金の組成を**表 1** に示す通りである．Fe–0.1C–1.5Mn–0.05Si–0.4V（mass%）をベース組成として，V や C，Mn，Si の添加量をそれぞれ変化させることで析出の駆動力と相界面の移動速度（α の成長速度）を調整した合金を比較材として用いた．Mn の凝固偏析を 1423 K，345.6 ks の均質化処理で除去した各合金から，10 mm × 5 mm × 3 mm の熱処理試験片を切出した．各合金におけるバナジウム炭化物（VC）が固溶する 1323 K～1473 K，0.6 ks で溶体化処理を行い，γ 粒径を～200 μm で揃えた．その後，試料をソルトバスで 873 K～993 K の温度域において 60 s からの各時間で等温保持した後，水冷で組織を凍結した．得られた変

表 1　本研究で用いた合金の化学組成（mass%）．

	C	Mn	Si	V	Nb	Ti	N
0.1C	0.08	1.50	0.05	**<0.003**	<0.003	<0.002	0.0009
0.1C–0.1V	0.08	1.51	0.05	**0.10**	<0.003	<0.002	0.0007
0.1C–0.2V	0.08	1.50	0.05	**0.20**	<0.003	<0.002	0.0008
0.1C–0.4V (Base)	0.07	1.49	0.05	**0.43**	<0.003	<0.002	0.0010
0.2C–0.4V (High C)	**0.17**	1.47	0.05	0.41	<0.003	<0.002	0.0011
0.1C–0.4V (Low Mn)	0.07	**0.69**	0.05	0.43	<0.003	<0.002	0.0011
0.1C–0.4V (High Si)	0.07	1.30	**0.41**	0.43	<0.003	<0.002	0.0011

* 東北大学金属材料研究所　金属組織制御学研究部門；助教（〒980–8577 仙台市青葉区片平 2–1–1）
Effects of Various Factors on Interphase Precipitation of Nano–Sized Alloy Carbides in Low–Carbon Steels; Yongjie Zhang（Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai）
Keywords: *interphase precipitation, alloy carbide, alloying element, atom probe tomography, steel*
2020年 1 月14日受理［doi:10.2320/materia.59.260］

態組織を光学顕微鏡で観察を行い，VCの析出による強化をビッカース硬度(9.8N)またはナノインデンテーション(500 μN)を用いて評価した[9]．また，部分変態材について電子線後方散乱回折法(EBSD)測定を行った後，水冷で生成したマルテンサイトの方位からγの方位を再構築し[10]，α/γ相界面の整合性をα/γ間の結晶方位関係がKurdjumov–Sachs(K–S)関係からのずれ角(Δθ)を用いて評価した．その後，集束イオンビーム(FIB)を用いて特定のα粒から三次元アトムプローブ(3DAP)用の針状試料を作製し，VC相界面析出の分布解析を行った．

3. α/γ結晶方位関係の影響

相界面析出におよぼすα/γ結晶方位関係の影響を，0.1C–0.4Vのベース合金を用いて調査した．**図1**に各温度1.8 ksで等温変態した試料の光顕組織を示す[11]．高温の993 Kにおいて，等軸粒界α(GBF)のみが生成しており(図1(a))，温度の低下に伴いウィドマンシュテッテンα(WF)やベイニティックα(BF)に変化している様子が見られる(図1(b)(c))．各試料において一部未変態の部分はマルテンサイト(M(γ))として存在するが，ほぼα単相組織になっていることがわかる．図1(d)に各温度1.8 ks変態材のビッカース硬さを示しており，いずれの温度においても破線で示された0.1C合金におけるVCフリーのαよりも顕著に硬くなっている．また，GBFが支配的に生成した高温において温度の低下につれて硬さが上昇するが，αの形態がWF/BFに変化すると軟化が起こり，923 Kにおいて最高硬さが得られた．

図2(a)(b)に923 K，60 sの部分変態材のα方位マップと対応する001bcc極点図を示す[9]．旧γ粒界(PAGB)からGBFとWF両方生成しており，WFの方位はマルテンサイトの方位とほぼ一致していることから，γに対してK–S関係を持って成長していることが明白である．一方，GBFの方位はマルテンサイトから大きくずれており，K–S関係を持たないことがわかる．両者に対して定量解析を行った結果，K–S関係からのずれ角(Δθ)はそれぞれ0.8°と19.2°であることが確認された．図2(c)(d)に3DAP測定で得られたVの原子マップを示しており，粒子状のものはVとCの濃化領域，つまりVCの析出物を表している[12]．WFには析出物がほとんど存在しないのに対して，GBFには高密度のVCが平行なシート上に並んでおり，相界面析出が生じていることが明らかとなった．

同様の解析を複数のα粒に対して行った結果を**図3**にまとめており，それぞれ3DAP解析で得られたVCの数密度，平均半径とナノインデンテーションで測定したα粒のナノ硬さがΔθに対する変化を示す[13]．Δθが5°以上の場合にはVCの数密度はほぼ一定であるが，5°以下では著しく低下する(図3(a))．一方，ΔθがVCのサイズにおよぼす影響は比較的に小さく(図3(b))，その結果ナノ硬さも数密度と同様なΔθ依存性が見られる(図3(c))．Δθが5°以下で相界面析出が起こりにくい理由として，移動するα/γ相界面におけるVの動的偏析が，K–S関係に近づくことで界面整合性の改善により抑制されるためであると考えられる[14]．

以上の結果より，図1に示した温度の低下に伴った軟化は，変態組織がγに対してK–S関係を持たずに成長するGBFから，K–S関係を持つWFやBFへ変化することでVCの相界面析出が起こらなくなるためであると考えられる．合金炭化物の相界面析出を利用した低炭素鋼の高強度化では，K–S関係を持たない整合性が悪いα/γ界面が析出物の微細分散に必要であることが明らかとなった．

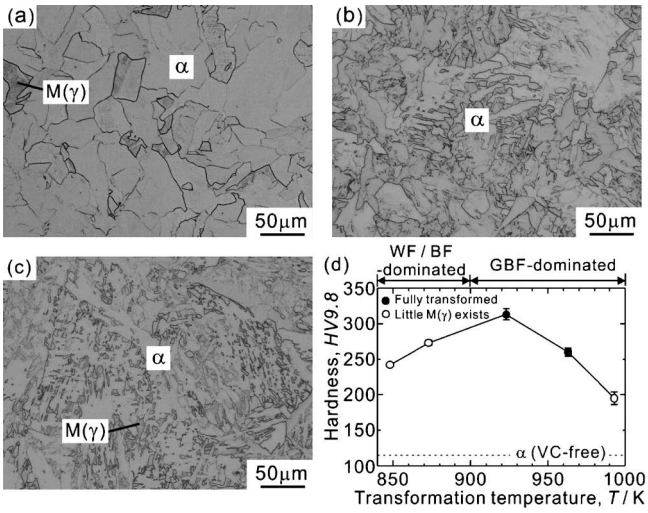


図1　0.1C–0.4V合金の等温変態組織：(a)993 K，1.8 ks；(b)923 K，1.8 ks；(c)873 K，1.8 ks．(d)1.8 ks変態材(ほぼ変態完了)の硬さの変態温度依存性[11]．M(γ)は水冷中未変態γから生成したマルテンサイトを表す．

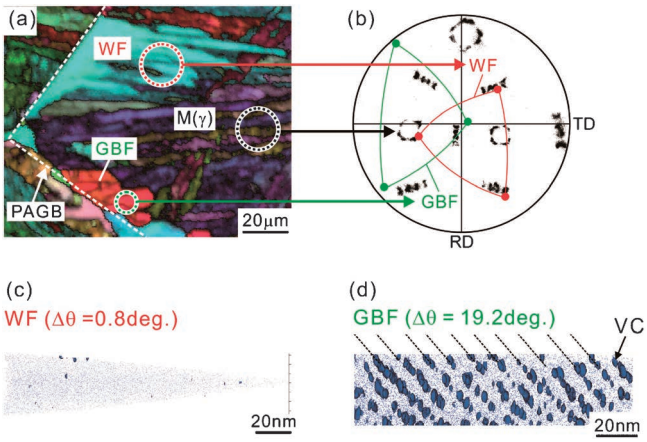


図2　0.1C–0.4V合金の923 K，60 s変態材の(a)α方位マップ，(b)001bcc極点図，(c)WFおよび(d)GBFの三次元V原子マップ[9]．PAGBやWF，GBFはそれぞれ旧γ粒界，ウィドマンシュテッテンα，粒界αを表しており，Δθはα/γ間の結晶方位関係がK–S関係からのずれ角である．
(オンラインカラー)

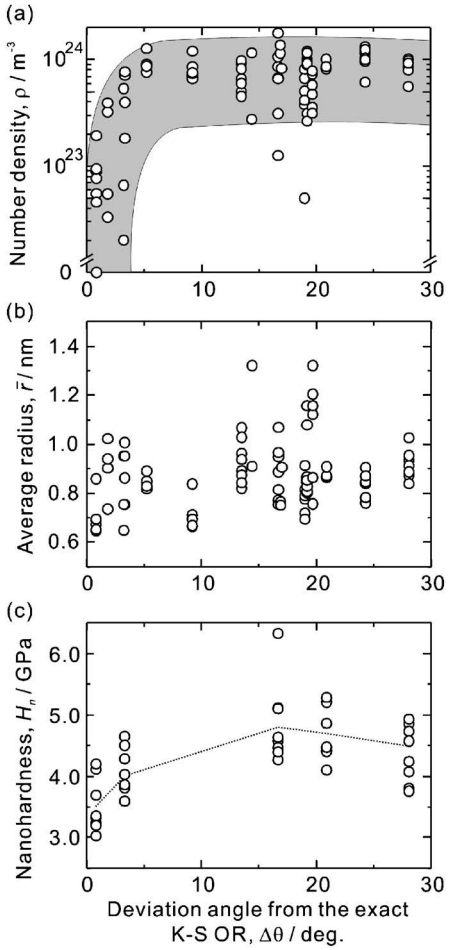


図3　0.1C–0.4V 合金の 923 K，60 s 変態材における VC 析出物の(a)数密度，(b)平均半径および(c)α粒のナノ硬さの $\Delta\theta$ 依存性[13].

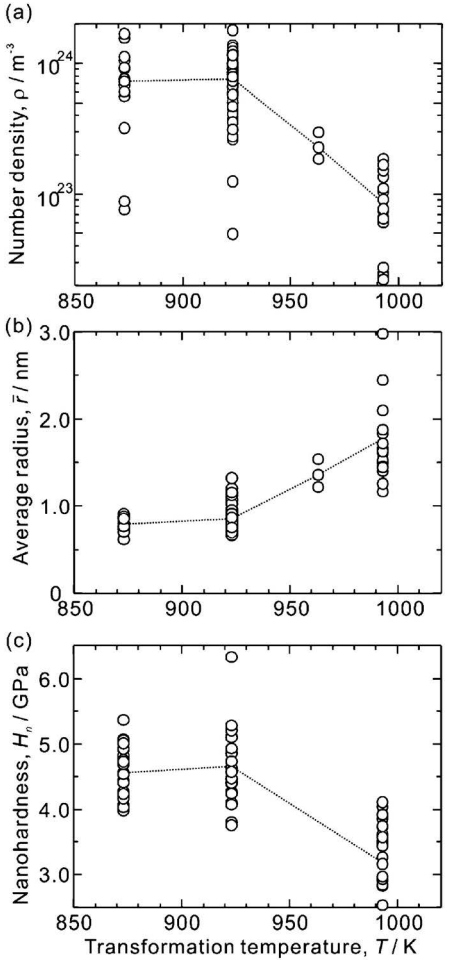


図4　0.1C–0.4V 合金の 60 s 変態材において，K–S 関係を持たないα粒における VC 析出物の(a)数密度，(b)平均半径および(c)ナノ硬さの変態温度依存性[11].

4.　界面の移動速度と析出駆動力の影響

相界面析出におよぼす界面の移動速度と析出駆動力の影響を，合金組成および変態温度を変化させることで調査した．前節で述べた α/γ 結晶方位関係の影響をなくすため，試料間の比較を K–S 関係を持たないα粒($\Delta\theta$ が 5°以上)のみに対して行った．3DAP 測定より得られた原子マップについては，以前の報告[11][14][15]を参照されたいが，ここでは VC の分布を定量評価した結果のみについて紹介する．

図 4 に 0.1C–0.4V 合金における VC 相界面析出の数密度，平均半径とナノ硬さの変態温度依存性を示す[11]．過去の報告[6][7]と同様に温度の低下につれて数密度の上昇とサイズの減少といった分布の微細化(図 4(a)(b))，また析出強化の増加による硬度の上昇が見られる(図 4(c))．

図 5 に 0.1C–0.4V 合金に加えて高 C および低 V 合金の解析結果により，VC 相界面析出の分布におよぼす C および V 添加量の影響を示す[14]．0.4V を添加した合金において，C 添加量を0.1から0.2まで増やしても VC の分布がほとんど変化しないことがわかる(図 5(a))．一方，0.1C を添加した合金においては，V 添加量を0.4から減らすと VC の数密度が

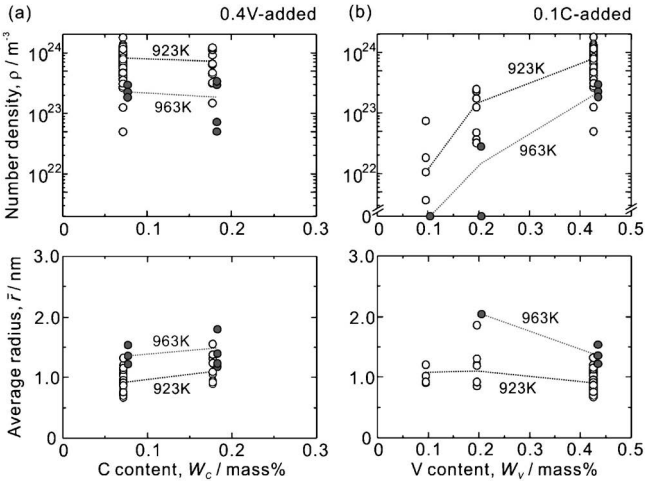


図5　各合金の 60 s 変態材において，K–S 関係を持たないα粒における VC 析出物の数密度，平均半径の(a)C 添加量および(b)V 添加量依存性[14].

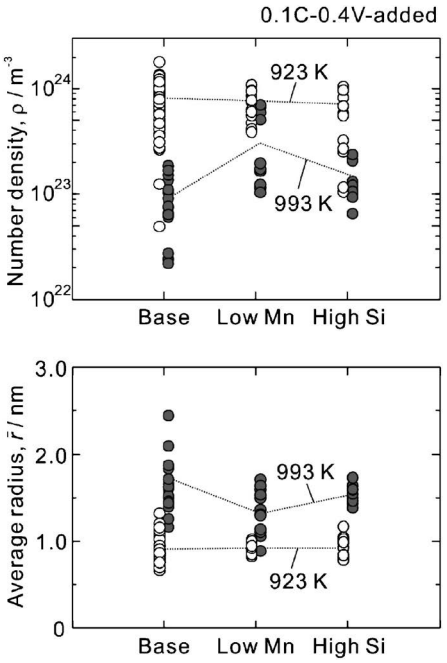


図6　各合金の60 s変態材において，K–S関係を持たないα粒におけるVC析出物の数密度，平均半径のMn，Si添加量依存性[15]．

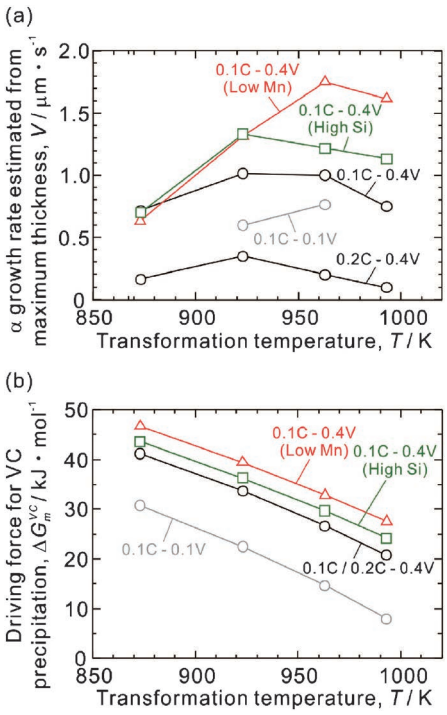


図7　各変態材における(a)α粒の最大厚さから見積もったαの成長速度および(b)α/γ間の局所平衡組成から見積もったVC相界面析出の駆動力[15]．
(オンラインカラー)

著しく低下し，サイズが大きくなる傾向がある(図5(b))．これらの変化は963 Kおよび923 K両方において見られ，0.1C–0.1V合金の963 K変態材においてはVCの相界面析出が生じていないことは特筆すべき点である．また，図5より0.1C–0.4V以外の合金においても，前述の温度依存性が確認できる．

図6にVC相界面析出におよぼすMnおよびSi添加量の影響を示す[15]．993 Kにおいて0.1C–0.4Vのベース合金よりもMn量が低いまたはSi量が高いほど，VCの分布が微細になることがわかる．一方，923 KにおいてはMnとSi添加量の影響がほとんど見られない．

これまで述べたVC相界面析出の分布におよぼす諸因子の影響を，本質的には相界面の移動速度および局所的な化学組成の変化によるものであると考えることができる．界面組成によってVC核生成の駆動力が決められ，相界面でVCが核生成できる時間はαの成長速度によって影響される．各変態材における平均のα成長速度は，旧γ粒界から生成したα粒の最大厚さから見積もることができるが，相界面におけるVC核生成の駆動力は，α/γ間に局所平衡が成り立つと仮定するとVとCの化学ポテンシャルから定量評価できる[14]．**図7**に示した解析結果から，各合金におけるαの成長速度がα変態の駆動力および律速過程であるC拡散のバランスで，中間の温度において最大となることがわかる(図7(a))[16]．また，0.1C–0.4V合金と比べてMn量の低下とSi量の増加によって速くなり，V量の低下とCの増加によって遅延されることが確認された．前者は低Mn量または高Si量でγに対するα相安定性の増加，また後者はVによりCが完全に消費されずにソフトインピンジメントの発現でそれぞれ理解できる[17]．一方，VC相界面析出の駆動力ついては低温ほど大きくなるが，VよりもCが過剰になる場合にはC量に依存せず，低Mn量または高V，Si量ほど大きくなることがわかる(図7(b))．これは，変態温度の低下および合金元素添加量の変化によるα/γ相平衡でVとCの化学ポテンシャルの変化で説明できる[15]．

以上を踏まえ，各試料で相界面析出より生成したVCの分布を，αの成長速度とVC析出の駆動力に対してそれぞれプロットした結果を**図8**にまとめる[15]．全体的な傾向として，明瞭な成長速度依存性が確認できず(図8(a))，分布と析出駆動力の間に非常に良い相関が見られ，駆動力が大きくなるのにつれてVCが高密度かつ微細に分散できることが明らかとなった(図8(b))．成長速度依存性が弱い理由として，α変態時に移動するα/γ相界面における合金炭化物の核生成kineticsが極めて速く，本研究で議論している相界面の移動速度が速くなっても十分に核生成できるためであると考えられる[15]．

以上の結果より，変態温度や合金組成の調整で析出駆動力を変化させることで，相界面析出ナノ合金炭化物の分布を制御することが可能であり，特性の改善も期待できる．

5. おわりに

本稿では，低炭素鋼における相界面析出の影響因子という

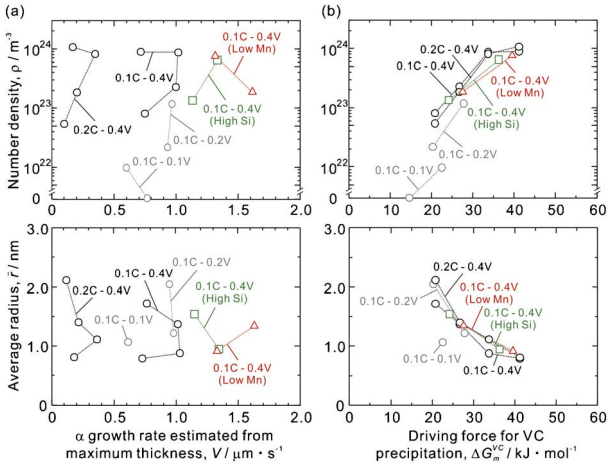


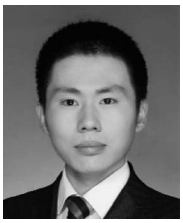
図８　各変態材における相界面析出で生成したVC析出物の分布の(a)α成長速度および(b)析出駆動力の依存性[15]．（オンラインカラー）

従来からの課題を，3DAPなどの先端技術を用いることで定量的な調査を行い，これまでに得られた知見を紹介させていただいた．今後は相界面析出で生成するナノ合金炭化物の分布をより微細に分散させ，工業的にその析出強化をさらに有効利用するためには，合金設計または熱処理条件の制御によるα/γ方位関係のランダム化や析出駆動力の増加などを検討していく必要がある．

この度研究紹介の機会をいただき，関係者の皆様に深く御礼申し上げる．本稿で述べた内容は著者の博士論文の一部であり，恩師である東北大学金属材料研究所　古原忠先生，宮本吾郎先生の御指導のもとに遂行され，ここに深く感謝申し上げる．本研究はJST-CREST研究領域「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機構の創出」における研究課題「軽元素戦略に基づく鉄鋼材料のマルチスケール設計原理の創出」（平成23～27年度），またJSPS特別研究員奨励費(14J02944，平成26～28年度))の支援を受けて行われた成果の一部である．本紙面を借りて，心より御礼申し上げる．

文　　献

(1) W. B. Morrison: J. Iron Steel Inst., **201**(1963), 317–325.
(2) R. W. K. Honeycombe: Metall. Trans. A, **7**(1976), 915–936.
(3) Y. Funakawa, T. Shiozaki, K. Tomita, T. Yamamoto and E. Maeda: ISIJ Int., **44**(2004), 1945–1951.
(4) N. Kamikawa, K. Sato, G. Miyamoto, M. Murayama, N. Sekido, K. Tsuzaki and T. Furuhara: Acta Mater., **83**(2015), 383–396.
(5) T. Gladman: Mater. Sci. Technol., **15**(1999), 30–36.
(6) T. Sakuma and R. W. K. Honeycombe: Met. Sci., **18**(1984), 449–454.
(7) A. D. Batte and R. W. K. Honeycombe: J. Iron Steel Inst., **211**(1973), 284–289.
(8) K. Hono, D. Raabe, S. P. Ringer and D. N. Seidman: MRS Bull., **41**(2016), 23–29.
(9) Y.-J. Zhang, K. Shinbo, T. Ohmura, T. Suzuki, K. Tsuzaki, G. Miyamoto and T. Furuhara: ISIJ Int., **58**(2018), 542–550.
(10) G. Miyamoto, N. Iwata, N. Takayama and T. Furuhara: Acta Mater., **58**(2010), 6393–6403.
(11) Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, K. Shinbo, T. Furuhara, T. Ohmura, T. Suzuki and K. Tsuzaki: Acta Mater., **84**(2015), 375–384
(12) Y.-J. Zhang, G. Miyamoto and T. Furuhara: Micros. Microanal., **25**(2019), 447–453.
(13) Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, K. Shinbo and T. Furuhara: Scr. Mater., **69**(2013), 17–20.
(14) Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, K. Shinbo and T. Furuhara: Acta Mater., **128**(2017), 166–175.
(15) Y.-J. Zhang, G. Miyamoto, K. Shinbo and T. Furuhara: Acta Mater., **186**(2020), 533–544.
(16) M. Hillert: Metall. Trans. A, **6**(1975), 5–19.
(17) H. I. Aaronson and H. A. Domian: Trans. AIME, **236**(1966), 781–796.



張　咏杰

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
2016年９月　東北大学大学院工学研究科博士課程修了
2014年４月-2016年９月　日本学術振興会　特別研究員DC1
2016年10月-　現職
専門分野：鉄鋼材料の組織制御
◎三次元アトムプローブを用いた鉄鋼材料の組織解析に関する研究に従事．
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

トピックス

高校生を含めたポスターセッション 第3弾
～第47回「若手フォーラム」報告～

岡山大学准教授；竹元嘉利，上森　武
広島大学准教授；宮岡裕樹
岡山理科大学教授；清水一郎
岡山理科大学名誉教授；金谷輝人
JFE スチール㈱；新垣之啓

2020年2月15日(土)に岡山市のピュアリティまきびにて第47回「若手フォーラム」を開催しました．例年通り午前中に中国四国支部の若手研究者による講演を2件行い，午後から高校生を含めたポスターセッションを行いました．2019年9月に岡山大学で全国大会が開かれたことから，ポスターは合計39件で昨年(53件)より大幅に減少しましたが，高校生の発表は昨年(15件)並みの14件でした(**表1**)．参加者は88名で，うち高校関係者は43名でした．ポスター発表は80分ずつの2部構成で行い，大学生の発表にも高校生が熱心に聞き入る光景も印象的でした(**図1**)．高校の先生から，「生徒さんの方がこのフォーラムに積極的に参加したい」と申し出ているとのお話を伺い，驚きと同時に高校生に定着してきたことを大変うれしく思いました．ポスター第2部終了時には高校生の発表に対して，支部より認定証を授与し閉会しました．参加者の約30％が女子学生や女子生徒であることから，女性の金属材料への興味・関心を持っていただく目的で，来年度は若手女性研究者による講演も計画しています．最後に本フォーラムを実施するにあたりご協力いただいた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます．

表1　高校生のポスター発表題目．

1	トレハロースを用いた電気泳動の変化	岡山一宮高等学校
2	ゴミ受けの形状による排水性	岡山一宮高等学校
3	階段清掃ロボットの機構についての考察	岡山一宮高等学校
4	おがくずを用いた新しい耐火性および断熱性素材の開発	岡山一宮高等学校
5	水平維持運搬ロボットの考案	岡山一宮高等学校
6	岡山産の果物による水素発酵の可能性に関する研究2	岡山県立玉野高等学校
7	紙粘土と天然樹脂を用いたモデルロケットの軽量化	岡山県立玉野高等学校
8	水平鉛直どちらでも自由に作動するブラインドの製作	岡山県立玉野高等学校
9	身近なものを用いた熱音響デバイスの作成	岡山県立玉野高等学校
10	飲料が及ぼす ω-3 リノレン酸への酸化抑制効果	清心女子高等学校
11	ローズマリーの抗酸化能を有効活用する調理方法	清心女子高等学校
12	リンゴが受けたストレスの数値化を目指して	清心女子高等学校
13	固相抽出キットへの糖と抗酸化物質の吸着	清心女子高等学校
14	大気雰囲気，大気圧中の誘電体バリア放電で発生したプラズマの発光パターン特性に関する研究	岡山県立倉敷天城高等学校

(2020年3月11日受理)[doi:10.2320/materia.59.265]
(連絡先：〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1)

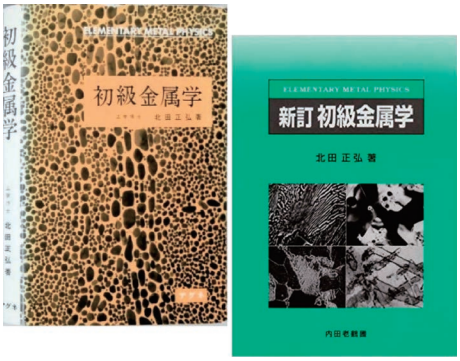
図1　ポスターセッション風景．昨年からの継続課題や新規課題の研究成果を熱心に説明していました．うまく動かない装置もありましたが，終始活発な意見交換が行われました．

思い出の教科書，この一冊！

“初級金属学”

北田正弘(著)　アグネ　1978年

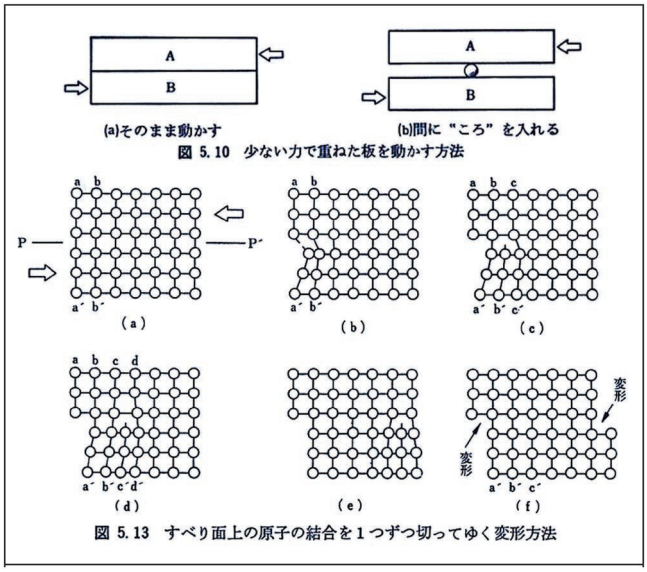
東北大学多元物質科学研究所　大 塚　　誠



■現有の教科書の表紙(左)とその後に出版された新訂版(右).
持ち歩くことが多かった初版本(左)ですが，ボロボロになったブックカバーを外した表紙はきれいでした.

筆者がこの教科書に出会ったのは大学１年生の春でした．東北大学工学部金属系への入学が決まり，大学ではどんなことが学べるのか興味津々の時期でした．４月に学部オリエンテーションがあり，初めて学部のある青葉山キャンパスにお邪魔しました.「金属系ってどんなところ？ 何をしているの？」と思いながら学部概要の説明を聞き，施設を見学させていただきました．その時，担当されていた須藤一教授より「金属学ゼミナール」というサークルを紹介いただき，金属学という分野に足を踏み入れたことが思い出されます．今回紹介する「初級金属学」は，このサークルの輪講で用いたもので，金属学の基礎を勉強した思い出の教科書です.

本書の構成は，歴史のなかの金属に始まり，金属結晶，結晶中の点欠陥，拡散，変形と転位，破壊，焼きなまし・回復と再結晶，変態と状態図，析出と時効，電子のふるまいと内容が多岐にわたっていることであり，当時の入門書では珍しく生体反応と金属(金属の生体への有用性と毒性)，社会での役割についても記述されています．本書では初めて金属学に触れる読者が興味を持てるように，また，より深く金属を知るとりかかりとして，金属が示す現象の物理的意味について数式を使わずに多数の図面や写真を用いてわかりやすく解説されています．さらに深く掘り下げて理解したい読者に対してはいくつかの参考書が末尾にまとめて掲載されています.



■教科書に掲載された「金属の変形」を説明する概念図.
転位という概念を感覚的に理解するのに役に立った.

金属の変形挙動については『転位』という独特な概念が導入されます．本書では『転位』について解説する前に，左下に挿入した**図5.10**(b)に示す“ころ”の概念を用いて向かい合った板(原子面)の移動を容易にできることを示し，現実の結晶に対しては原子の結合を１個ずつ順次切ってゆくことで結晶を容易に変形できることを図解しています(**図5.13**).『(刃状)転位』とは，原子の結合が切れて結晶の中に原子列が１枚余分に入ったような構造であり，金属の変形機構の説明に必要な概念を感覚的に理解できるように工夫されています．この『転位』という概念は金属の変形機構だけでなく強化機構(加工硬化，固溶強化，析出強化)や破壊のメカニズム(応力集中，疲労破壊)などの様々な現象にも重要な役割を果たしており，それらの解説に度々登場しています.

旧版[1]は1978年に出版されており，四半世紀が過ぎた2006年には新訂版[2]が出版されています．この間，「金属学に関する基礎的な学問はほとんど変化してはないが，新材料，ナノ技術，各種デバイスあるいはシステム面の進歩は目まぐるしく，旧版の内容を取捨選択して，その後の材料分野の発展などを付け加えて新訂版とした」と著者は前書きで述べています．新訂版ではいくつかの図面や写真が新たに挿入されてさらに分かりやすくなっています．また，旧版にあった金属の振動・音に関する記述を削除し，新訂版では金属が示す機能として輸送機能，発光・放射機能，磁気機能，機械機能について新たな章が追加されています．さらに，最近話題となっているリサイクルや環境負荷についても追記されました.

これから金属・材料を学ぼうとしている大学・高専の学生や若い技術者にとって，本書は感覚的に金属学を理解できる入門書であり是非手にしてもらいたい一冊です.

文　　献

(1) 初級金属学：北田正弘，アグネ，(1978).
ISBN コード：978-4-7507-0504-0(4750705047)
(2) 新訂 初級金属学：北田正弘，内田老鶴圃，(2006).
ISBN コード：978-4-7536-5551-9(4753655512)
http://www.rokakuho.co.jp/data/books/5551.html

(2019年８月19日受理)[doi:10.2320/materia.59.266]

スポットライト

～第２回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞 受賞～

金属に学ぶ

栃木県立栃木高等学校
梅山智行　川村陽大　小林一葵　橋本涼太

栃木高校は文部科学省からSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の指定を受けています．本校のSSHでは課題を設定する力やその課題を解決する力を養うために全ての生徒が個人研究として課題研究を行います．私たちは課題研究とは別に科学系課外活動を行う目的で組織されたSSHクラブの化学班に所属し，さらに貴重な体験をしています．

化学班にもいくつかの研究グループがありますが，私たちは金属表面積グループに属し，化学反応と金属の表面積との関係について研究しています．具体的にはアルミニウムの単体を塩酸と反応させ，金属表面の溶解による表面積変化を追っています．本グループは2018年度の10月に発足しました．以下これまでの軌跡を振り返りたいと思います．

まず，研究をするにあたって，簡単に表面積を測定する方法を考えることからはじめました．始めに考えた手法は，金属に微小な金属粉末を付着させ，その付着した金属粉末の質量を表面積の指標とする方法です．この方法では，反応後の金属表面に金属粉末をまんべんなく付着させることが極めて困難であるとわかりました．その後，表面積の測定に関する文献などを調べた結果，共焦点レーザー顕微鏡の存在を知ることになりました．共焦点レーザー顕微鏡は，**図１**のように物体の表面をレーザー光の反射などから解析し，表面の微少な起伏を測定することができます．しかし，その機材は高額でした．偶然ですが，学校の周辺のとある企業がその機材を所有していることを聞きつけ，お借りすることができないかと依頼しました．その企業の社長は私たちの申し出を快く引き受けてくださり，研究を開始することができたのです．

次は，金属の調達と加工を考えました．金属は加工しやすく，比較的安価なアルミニウムを選びました．実験では複数の金属片の表面の状態を同じ状態にする必要があると考えていましたので，鏡面加工を試みました．部員全員で金属片を手作業で研磨しました．サンドペーパーの400番から15000番まで徐々に番手を上げ，文字通り手のみで研磨したり，研磨機を用いたりしましたが，手作業ではどうしても個人差が出てしまいました．また時間的なコストもかかってしまいました．そこで，金属表面の研磨も企業に依頼することで，表面粗さの規格の一つである最大高さ Rz を 0.8z 以下の鏡面仕上げ状態を実現いたしました．

最後に確立したのが実験方法でした．研究初期の頃は3.0 mol/L塩酸にアルミニウム片を浸し，１サンプルごとに30秒ずつ反応時間を伸ばし，反応させたアルミニウム片の表面積を測定しました．すると，反応時間の経過と表面積の間に，なんとなくですが周期性のようなものが見られました．私たちはここから金属が溶解する際にその表面積変化にはなんらかの周期性が見られるのではないかと仮説をたてました．

また，空気中で反応性やアルミニウムとの結晶格子の相違点などから，鉄や亜鉛を使って同様の実験をしたり，反応時間を変化させたりしました．現在では，先行研究の調査から，アルミニウム単体表面に生じやすい酸化アルミニウムの存在が無視できないのではないかと考え，酸化アルミニウム除去の目的で，サンプルと塩酸を20分反応させた後に，実験を行う方法をとっています．この実験方法で反応時間とアルミニウム片の表面積との関係を表したものが**図２**になります．図２からは反応時間とアルミニウム片の表面積の間に明確な周期性が見られます．私たちは，この結果から格子欠陥によって，反応しやすい部分と反応しにくい部分が交互に溶けていくことで周期が現れるのではないかと考え，その検証方法を考えているところです．また，この結果を得るに至った実験方法も，反応中に起こる反応系全体の温度変化の管理，塩酸の濃度変化の管理ができておらず，今後の課題として捉えていますので改善してゆかねばならないと考えております．

私たちは研究を通して仲間の存在がいかに重要であるかということ強く感じました．実験方法を確立するまではもちろんですが，実験の結果が，想定していた結果とは異なるものも当然出てきます．このように行き詰まった時，私たちはグループのメンバー全員で頭を悩ませました．さらに，栃木高校のSSHクラブでは，全ての研究班が一堂に会し，進捗状況を報告し合う場があります．同じ研究グループに所属しているわけではありませんが，ここでも栃木高校の仲間から有用な意見をもらい，自分たちの研究をレベルアップすることができるのです．今回，私たちの研究の成果を日本金属学会で発表させていただき，優秀賞をいただけたのも，仲間たちのお陰なのです．

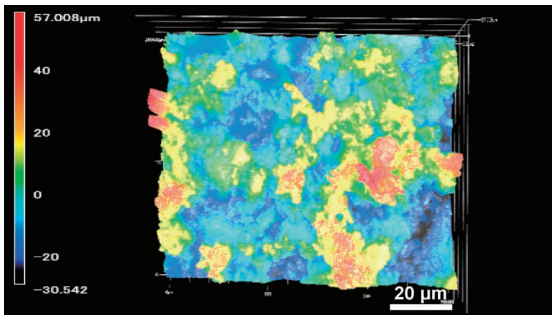


図１　共焦点レーザー顕微鏡を用いた表面積測定の様子．（オンラインカラー）

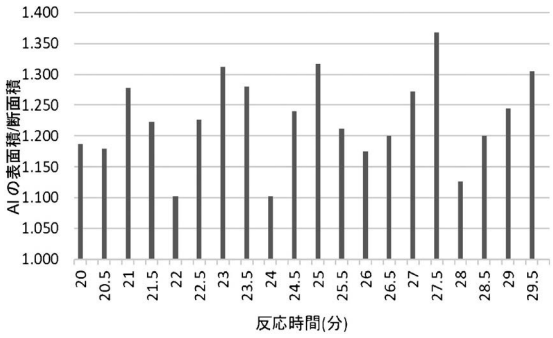


図２　塩酸によるAlの溶解反応における「反応時間」と「Alの表面積/断面積」との関係．

（2020年１月６日受理）[doi:10.2320/materia.59.267]
（連絡先：〒328-0016 栃木市入舟町12-4）

スポットライト

～第２回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞 受賞～

ステンレス電解研磨と加熱着色法の研究

岡山県立水島工業高等学校工業化学科３年

中 島 泰 輝

私たち水島工業高校工業化学科は，１年生の授業で「ヒイラギ」を用い，葉脈に無電解銅めっきを施した後，一連のストライク銅めっき，光沢銅めっき，光沢ニッケルめっきを施す技術を学んでいる．この技術を活かし，化学部の活動の中でも，「ホオズキ」や「セミ」など様々なものにめっきをして文化祭を盛り上げている．また工業化学科の生徒の中には，技能検定３級（電気めっき作業）を受験する生徒も多く，毎年全員が合格している．このたび，他の金属表面処理技術を学び，新たなものづくりに発展したいと思い，ステンレス鋼の表面処理技術について取り組んだ．その成果として様々なものづくりができないかと考えた．

金属の研磨法のなかでも電解研磨は，研磨物を陽極として電解溶液中で電気分解し，陽極溶解作用により金属表面を光沢化（鏡面化）させる方法として知られている．研究では材料の表面状態を見ながら，電圧と電解時間を調整し目視によって鏡面状態を判断した．

予備実験として，電解槽はビーカーを使用し，電極は陽極・陰極ともにステンレス鋼板（50 mm×50 mm, SUS304）を用い，電解液は硫酸−リン酸水溶液（体積比，硫酸６：リン酸３：水１）とした．ステンレス鋼の電解研磨時には，ステンレス鋼表面のクロムが濃縮されることで，より強固な不動態皮膜が形成されるため，鏡面化されるとともに耐食性も著しく改善されることが知られている．**図１**は電解研磨前後のステンレス鋼板の違いを表す．電解条件は，電圧８V，電解時間10分間，液温は室温から100℃とした．

電解研磨されたステンレス鋼板は水洗後に，電気炉に入れて様々な熱処理を行い色の変化を観察した．熱処理温度は700℃～800℃の範囲として30秒から２分間の加熱を行った結果，複数の色の変化を見ることができた．**図２**は700℃で熱処理時間を変化させ，得られたステンレス鋼板で，金・赤・青色に変化している様子がわかる．

今回の研究で得たデータから，工業化学科の１年生が，板状の材料でキーホルダーを作り，文化祭の景品として来校者に配ったところとても好評であった．また，特別教室名の看板製作など，生徒だけでも取り組める内容であったため，とても興味や関心をもって取り組むことができた．**図３**は完成した看板．ケヤキの板材を彫り，ステンレス鋼板を埋め込んで作製した．

特に特別教室名の看板製作においては，デザインから木材の加工と設置まで，建築科の生徒が担当をしてくれた．お互いに学校で学んで身に付けた技術が，得意分野として協力することで，学校に貢献することができたのはとても良かったと思う．化学部の取り組みだけではなく，工業化学科の３年生が授業で取り組んでくれたおかげで，データの共有もでき，電解研磨と着色の再現性もほぼ同じようにできるようになった．

今後は平面だけでなく，立体的な物等のさらにグレードアップした内容の研究を行い，校外で行われる体験型イベントに参加するなどして，学校で研究した技術を広め，一般の皆様方にも，少しでも技術を活かしたものづくりを体験してもらうようにしたい．特に中学生には，工業化学科の特色を理解していただき，少しでも化学に興味を持ってくれることにつながることを期待している．

今回の研究は，以前よりオーエム産業株式会社さんよりご指導をいただいています．このように研究成果を残すことができたことに，とても感謝しています．

（2020年２月13日受理）［doi:10.2320/materia.59.268］

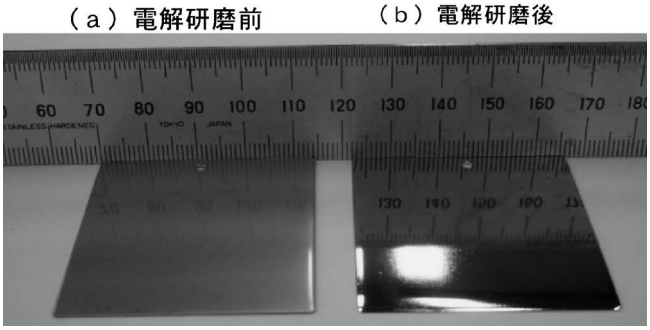


図１　電解研磨前後のステンレス鋼板の比較．

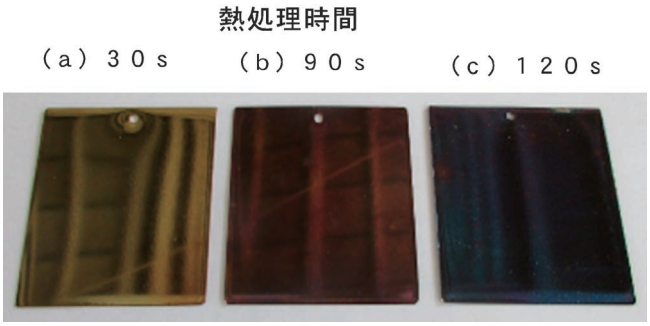


図２　熱処理時間によって変化したステンレス鋼板の様子．（熱処理温度：700℃）（オンラインカラー）

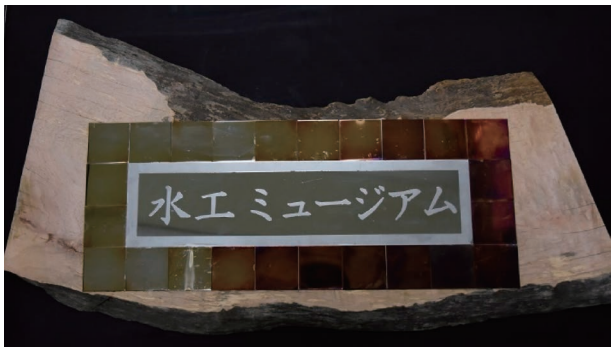


図３　完成した看板．（オンラインカラー）

スポットライト

～第２回「高校生・高専学生ポスター発表」最優秀賞 受賞～

私の人生を変えた経験
～高血圧と骨の関係解明～

尼崎稲園高等学校３年（現在：京都大学；学部生） 近 藤 陽 香

私は，大阪大学の主催する高大連携教育のためのSEEDSプログラムに2018年７月から2019年９月まで所属させていただきました．

SEEDSプログラムは２つのコースに分かれており，一年目の体感コースでは，大学で講義を受け，他の受講生とディスカッションをし，さらにいくつかの研究室で「体感科学研究」として研究を体験させていただきました．講義の内容は難解でしたが，講義後のディスカッションは毎回とても楽しく，レポート課題も大変だった分，最後まですべてやり切ったことで自信がつきました．体感科学研究やディスカッションで思う存分質問し，他の受講生と話し合ったことは，今まで私が質問することに対して無用な遠慮をしてしまっていたことや，ディスカッションの楽しさに気付かせてくれました．

二年目の体感コース受講生の中の希望者が進む実感コースは，希望の研究室にお世話になり，「実感科学研究」を行わせていただくものでした．私が選んだ実感科学研究のテーマは，「高血圧と骨の関係」でした．私は高校では生物と化学を選択している生粋の生物好きであり，鳥の手羽や脚，魚を食べるときなどに観察する機会が多く，不思議に思っていたことが多かった骨に興味がありました．当時，私は生物についての研究は理学部の生物科か農学部で行われているものだと考えていたので，「骨」という生物系の分野であるにもかかわらず，その研究が工学研究科で行われているということを不思議に感じつつ，「融合分野」という言葉にも強く惹かれたためそのテーマを選びました．

お世話になった中野研究室は，“大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻材料機能化プロセス工学講座生体材料学領域”で，骨そのものや骨を代替し，置換するインプラントについての研究を行っている研究室でした．骨は体の中にあり，細胞によって日々造り替えられているものですが，コラーゲンという天然高分子と，アパタイトというセラミックス結晶からできた材料としてとらえることもできます．そのため，異方性をもつアパタイト結晶の配列方向を微小領域X線回折で解析することにより，骨強度につながる原子配列を評価することができます．骨強度の指標として有名なのは骨密度ですが，その骨密度よりもアパタイト配向性の方が骨の強度にかかわっていることが骨再生時には既に明らかになっている[(1)(2)]そうです．このように，材料科学の観点から骨の仕組みを理解することで，より良い生体材料を開発できると伺って，初めて「融合分野」とは何かがわかったように感じ，改めてそのテーマに興味を持ち始めました．その後，先生からお借りした本をもとに骨について学び，実験からデータを収集・解析したところ，高血圧動物モデルでは骨のアパタイト配向性を低下させることがわかりました．ところが私にとって，今まで学校などで行ってきた実験は，結果がはじめからわかっているものだったせいもあり，世界初の発見だ，といわれてもあまりピンときませんでした．しかし，考察について深く考えているうちに世界初ということを実感し，後から感動が押し寄せてきました．考察について頭を悩ませることはとても楽しく，やりがいを感じました．

図１　第２回「高校生・高専学生ポスター発表」でのポスター発表の様子．最優秀ポスター賞を受賞．
（オンラインカラー）

SEEDSプログラム内での研究発表時には，骨について学び始める前の私でもわかるように，ということを念頭に置き，私がどこに疑問を抱いたかを参考にしつつ説明しました．私も最初は全く骨について詳しくなかったことで，より分かりやすい発表にできたのではないかと思います．加えて，発表のためにも遠慮なく細かいところまでたくさん質問したことにより理解が深まっていたため，精神的に余裕を持って質疑応答にも臨めました．そして，日本金属学会での発表当日は，先生方の多大なるご助力によって完成したポスターで本番に臨みました（**図１**）．背景の色や図の配置，字体など，細かなところまで気を配ってポスターが作られることに驚き，このポスターに恥じぬよう頑張らねば，とそれまでの発表の反省をもとに練習に励みました．スライドでの発表とは異なり，ポスター発表では聞き手との距離が近く，いつでも話しかけられるため，常に質疑応答をしている緊張感がありました．しかし，最初こそ緊張していましたが，聞き手によって発表内容が柔軟に変化し，気兼ねなくたくさん質問できるポスター発表は，発表者としても聞き手としてもとても楽しく，参加できて本当に良かったです．

日本金属学会の「高校生・高専学生ポスター発表」にて最優秀ポスター賞を受賞したことをきっかけに，こうした経験を活かせるような入試を受けたいと考え，急遽AO入試での受験を決意しました．時間的に厳しい時期からのスタートでしたが，無事に第一志望の大学に合格できました．

SEEDSプログラムに参加したことは，私の人生にとても大きな影響を与えてくれました．今後もSEEDSプログラムで学んだこと，得たものを活かして研究者になるべく努力を続けていきます．

最後になりましたが，この場をお借りして，このような素晴らしい機会を与えてくださったSEEDS事務局の皆様，私を受け入れてくださった中野研究室の皆様，中でも特に中野貴由教授，小笹良輔助教に感謝の意を表します．本当にありがとうございました．

文　　献

（１）T. Nakano, K. Kaibara, T. Ishimoto Y. Tabata and Y. Umakoshi: Bone, **51**(2012), 741–747.
（２）T. Ishimoto, T. Nakano, Y. Umakoshi, M. Yamamoto and Y. Tabata: JBMR, **28**(2013), 273–282.

（2020年３月16日受理）[doi:10.2320/materia.59.269]

談話室

転位はナルシスト それともラガーマン？

名古屋大学エコトピア科学研究所；特任教授
名古屋大学名誉教授
坂　公恭

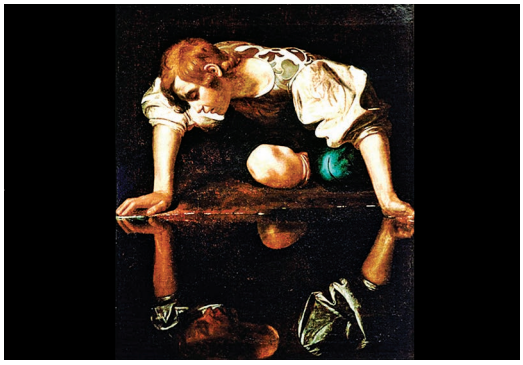


図1　カラヴァッジオによって描かれたナルキッソス．
（オンラインカラー）

2019年は日本中がラグビーワールドカップ（Rugby World Cup, RWC）で沸き立った．ラグビーの中でも華がスクラムであろう．スクラムでは8人のフォワードが押し合う．これを転位論的に考察してみよう．8人の力が全く拮抗していたら，スクラム（即ち，転位）は移動しない．転位論では「*何かの弾み*」で押し合っているスクラムの一方がより強くなると転位（スクラム）が移動する．そのための力は，左右の押し合いの力の和（力→＋力←）ではなく，その差（力→－力←）であり，それが，転位の運動によって引き起こされる塑性変形の開始応力（降伏応力）が，理論値（力→＋力←）よりも遙かに低い理由とされている†．問題は「*何かの弾み*」の実体が何かということである．両チームのフォワードが全く同じ力量であればその内の一人が急に弱くなるとは考えられない．

ここまでがラグビーへの比喩の限界である．実際の結晶内では8人のフォワードの後には多数のプレーヤー（原子）が押し合いに参加している．今，左側の選手（原子）の総数をn人，右側をn人としよう．この場合は完全に拮抗していて転位は動かない．仮に右側の数がn－1とすると，左側が一人分だけ優勢になり転位は右に移動する．すると，右側の数はn－2となり，左側はn＋1となり，左右の差はますます拡大し，転位は右側に移動する．つまり一旦，左右のバランスが崩れると転位はとどまることなく右側に移動する．最終的には，転位は右側の結晶表面に達して結晶から抜け出す．すなわち，崖っぷちから転落する．（あるいはトライが成立する．）

転位が結晶のちょうど中央に位置する確率はほとんどない．つまり，ほとんどの転位は左右いずれかの結晶表面に吸い寄せられ，消える運命にあるはずであるが，実際には転位は結晶内に留まっている．これはラグビーに例えればフォワードが前進するのに一歩一歩と進まなければならないからである．仮に氷上でのスクラムであれば，強い方が一方的に押しまくり，転位は直ちに崖っぷちから転落する．この一歩一歩の前進に必要な（余分の）力がPeierls力である．そのため転位は結晶からは簡単には抜け出せない．温度を上げると熱エネルギーの援けでPeierls力を超えることがより容易になるので，転位は結晶から抜け出すことができる．

一方，転位の弾性論では転位による応力場が，結晶表面ではゼロになることが要請される．もし応力場が存在すれば結晶表面が弾性変形するからである．このためには，結晶の表面が鏡のようになり，マイナスの符号を持った転位があたかも存在するように見える．これを鏡像転位という．これはギリシャ神話のナルシス（ナルキッソス）が水に映った己の姿に恋をして，それに引き寄せられ命を失った話を連想させる（**図1**）．鏡像転位は英語ではimaginary dislocationであり，想像上の産物である．転位が結晶のちょうど中心に位置していると，ナルシス（転位）は左右の2枚の鏡に映った己の姿にともに惹かれるであろう．しかし，実際は右顧左眄することはない．迷わず，1原子距離でもより近い鏡の方にまっしぐらに突き進み，哀れ，池に落ちて命を落とす．スクラムのたとえと全く同じことがいえる．ここでも，もちろんPeierls力が最後には実際の転位の動きを支配している．

† オックスフォード大学名誉教授のPeter Hirsch卿は，転位の存在こそが，現在の文明の礎であると喝破している．
I have a comment regarding your statement on page 1 ‘‘Metals and alloys.....variety and flexibilities.’’ (in *Introduction to Phase Diagrams in Materials Science and Engineering*, World Scientific Publishing, 2020, Jan.)（私信）．That is only possible because of the existence of dislocations, which make metals ductile. If dislocations did not exist, our civilisation would be quite different. Usually defects are detrimental, but dislocations are beneficial!

（2020年2月7日受理）［doi:10.2320/materia.59.270］

本　会　記　事

会　　告　2020年度秋期講演大会講演募集および参加募集 ……271
2020年春期講演大会記録 ……283

企業求人情報・掲示板 ……284　新入会員 ……288
会誌・欧文誌５号目次 ……286　行事カレンダー ……289
まてりあ次号予告 ……288

• 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.

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

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

会　告（ホームページもご参照下さい）

2020年秋期（第167回）講演大会講演募集

◎2020年秋期講演大会を下記の通り開催いたします.
会　期：2020年９月16日（水）～９月18日（金）
会　場：富山大学五福キャンパス（〒930-8555 富山市五福3190）

下記の点にご注意およびご理解頂き，お申込下さいますようお願い申し上げます.

① 「一般講演」に限り，2件申込することができます.
② 最新の概要原稿フォーマットを利用し，PDF変換後，アップロード下さい.
③ 公開後，講演概要はWEBからのダウンロードとなります.
（講演概要公開日に，参加申込者のみにダウンロード用パスワード発行.）
④ 同一研究室の3件以上の連続講演は認められておりません.
⑤ 「参加証引換券」は郵送いたしません．各自「大会マイページ」から印刷し，金属学会大会受付で参加証と引き換えて下さい.（懇親会参加証は郵送いたします.）

講演申込受付・概要原稿提出を下記日程で行います.

講演を申込される前に下記をご確認下さい

非会員でも大会参加費と登壇費を前納すれば，講演申込ができます（詳細は「申込要領」の「講演資格」参照.）.

□講演申込は同時に大会参加の事前予約が必要です．期日までに参加費を納入下さい.
□原則，講演申込者＝講演発表者であること.（「申込要領」5. を参照）
□本会の会員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うこと．セキュリティ上，電話やメールでの発行は出来ません.

講演申込ホームページアドレス	https://www.jim.or.jp/convention/2020autumn/
講演申込および概要原稿提出期限（締切厳守！） 講演申込と講演概要提出は同時に行う.（同時に行わない場合は，講演申込として受理されない）	
講演種別	全講演（公募シンポジウム，一般，ポスター，共同セッション）
講演申込・大会参加事前予約期間	5月25日（月）13時～7月3日（金）17時
講演についての問合先：公益社団法人日本金属学会　講演大会係　annualm@jim.or.jp 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32	

これから入会して講演申込をされる方へ

□会員認定：期限内に入会手続きを行い，年会費を納入下さい．

□年会費納入期日までに会費の払込がない場合は，プログラムに掲載されていても，講演不許可の措置をとります．

□インターネットで入会申込み下さい．入会申込確認後はID(会員番号)とパスワードが即日メール返信されます．

入会申込 URL	https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php
講演種別	全講演(公募シンポジウム，一般，ポスター，共同セッション)
入会申込期限	7月1日(水)
年会費納入期限	7月31日(金)
入会・会費の問合せ：会員サービス係　**member@jim.or.jp**	

講演申込要領

※一般講演およびポスターセッションの申込は，講演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．キーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定します．

※申込方法について

すべて **WEB** 申込です．

※講演時間・概要サイズについて

すべての概要原稿のサイズは **A4** 版縦1ページです．

講演種別	概要サイズ	申込方法	発表件数	講演資格	講演時間	討論時間
公募シンポジウム	A4版　1頁	WEBのみ	一般講演のみ2件可．それ以外は全種別のうちで1件※	• 個人会員 • 非会員は登壇費が必要	10分～20分	5分～10分
一　　般					10分	5分
ポスターセッション					…	…
共同セッション					15分	5分

※ 発表件数：公募シンポジウム，ポスターセッション，共同セッションの講演発表は，1人1件です．一般講演に限り1人2件応募可とし，講演種別を選択し申込をする．
ただし，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とする．

1. 発表内容
   (1) **内容**：未発表のもので，講演としてまとまったものに限る．
   (2) **言語**：日本語もしくは英語．
2. 講演資格

講演者は，**年会費および参加費納入済の本会個人会員**(登壇費不要)，非会員および個人会員ではない維持員会社社員は下記大会参加費と登壇費の前納を条件とし，講演申込ができる．ただし，期日までに年会費の支払いのない場合は，申込の講演を不許可とする．

非会員の申込方法：

「講演申込」の各講演メニューにある「新規登録」の「非会員の方はこちらからお申込み下さい」から講演申込ができます．

		年　会　費	大会参加費	**1講演登壇費**	合　　計
非会員	一　般	—	前納　**24,000円**	**10,000円**	**34,000円**
	学　生	—	前納　**14,000円**	**5,000円**	**19,000円**
非会員(個人会員ではない維持員会社社員)	一　般	—	前納　**10,000円**	**10,000円**	**20,000円**

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，変更が生じる場合は，座長の了解を得ること．
   ただし，変更する講演者は概要著者(共同研究者で且つ会員)であること．
4. 連続講演の希望について(下記条件全てを満たす申込のみ配慮する．)
   (1) 同一のセッション名で申込みすること．
   (2) 申込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)を記入する．
   (3) 申込締切前の希望であること．(備考欄に記入であること．)
   (4) 原則，**同一研究室内で3件以上の連続講演は認めない．**
5. 講演日の希望

申込時に備考欄に記入のこと．ただし，セッションの日程上，希望に添えないこともある．申込締切後の希望は受付けない．

6. 講演発表の際の注意事項
   (1) プロジェクターは全会場に設置する．ただし，**パソコンは講演者で用意し，操作する．**
   (2) プロジェクター接続ケーブルはRGBのみ用意あり，**それ以外の接続コードは発表者で用意する．**
   (3) 講演時間は厳守する．
7. プログラム

プログラムは**8月3日頃**ホームページに掲載予定です(会報付録は9月1日発行号)．

ポスターセッションについて

1. **展示方法**：ポスター１発表につきパネル１枚を準備します．ポスターボードのサイズなどは８月にホームページに掲載の「ポスター作成要領」参照．
2. **優秀ポスター賞：エントリー制です．エントリーした発表を審査員が採点して優秀ポスターを選出し，「優秀ポスター賞」を贈呈する．**

エントリーの要件

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．（年齢はポスター発表時点で，30歳以下の者）

②過去のこの賞の受賞の有無は問わない．

3. **選考対象外のポスター：①発表者が病欠等の場合，申し出があれば代理発表は可能．**
②ポスターのみの掲示も可能だがその旨を事前に事務局へ連絡する．
上記の場合，優秀ポスター賞の授賞対象から外れる．

鉄鋼協会との共同セッションについて

本会と日本鉄鋼協会では下記の共同セッションを実施している．

発表に際しての注意：相互聴講参加申込による講演発表は不可．

プログラムは両会のプログラムに掲載．

①「チタン・チタン合金」(2020年秋の会場は鉄鋼協会会場)

②「超微細粒組織制御の基礎」(　〃　金属学会会場)

③「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」(　〃　金属学会会場)

講演概要原稿作成方法と公開について

題目・著者・本文の完成版 PDF でのアップロードとなります．
(大会受付システムトップページ(WEB 画面)のテンプレートの最新版をご利用下さい.)
講演申込と講演概要原稿は同時提出する．
(※同時に行わない場合は，講演申込として受理されない)
言語：日本語または英語．
原稿分量：A4 判縦１頁(最新のテンプレートをご利用下さい.)
講演概要公開日：**2020年９月２日(水)**

※提出された概要原稿分量が規定サイズより大小する場合は，上記サイズに縮小または拡大して掲載いたします．

(1) PDF 形式の原稿で提出(画面上でテンプレートを利用し作成下さい)．ファイルを PDF 形式へ変換する際は，フォント埋め込み作業を必ず行って下さい．
(2) 発表者氏名の前に必ず○印を付ける(WEB 申込では画面上で講演者をチェックする)．
(3) 原稿修正：原則，提出期限を過ぎた原稿修正・差替は出来ない．
(4) アップロードの際，文字，図表等の品質を確認する．
(5) **原稿のサイズ：A4 縦１頁**(別記参照)

【留意点】本留意点は，作成の際は削除下さい．Please delete unnecessary words from template.
日本語の方は見出しの英訳(Introduction など)を削除して下さい．If you would write in English, please remove heading Japanese words like“緒言，実験方法，結果”.

- タイトル，著者名は Web 入力の登録データと同一のものを入力して下さい．
- タイトル，著者名，所属は可能な限り日本語・英語併記が望ましい．
- キャプションは日本語・英語どちらかで結構です．
- ポイントサイズは自由ですが，タイトル，著者，所属，本文，図面を A4 縦サイズ１枚に収めて下さい．
- 本文フォントは明朝と Times Roman を推奨します．
- 図面のカラー作成可能です．
- 最終的には PDF ファイルに変換しアップロードして下さい．
- アップロードされたまま公開されますので，PDF 作成の際はご注意下さい．
- ファイルを PDF 形式へ変換する際は，フォントの埋め込み作業を必ず行って下さい．

サンプル：概要原稿テンプレートで作成できます

日本金属学会講演題目

Title of Abstract of The Japan I nstitute of Metals and Materials

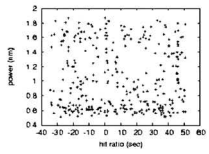
勤務先所属略称[1]**、勤務先所属略称**[2]　**○発表者氏名**（M2）[1]**、共同研究者氏名**[2]･･･

Kinzoku Univ. [1], Inst. of Kinzoku [2], ○Speakaer （M2）[1], co-author [2], ･･･

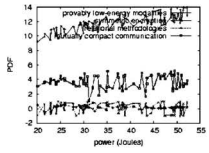
※学生表記区分（記載例：姓名(M2)[1]**）**

学部生：B、**修士課程**：M、**博士課程**：D、**ポスドク**：P

【緒言 Introduction】＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊



【実験方法 Experimental】＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊



【結果 Results】＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊

インターネットによる講演申込・概要原稿提出手順

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．

インターネット申込者は，講演者本人に限る．ID（会員番号），パスワードを使用して，金属学会「大会受付システムトップページ（https://www.jim.or.jp/convention/2020autumn/）から申込みする．なお，申込締切日の3日前から申込みが集中殺到し，回線が混雑するので，早目に申込み下さい．

秋期講演大会受付システムトップページ → ID認証画面※1 → 講演申込 → 内容確認・修正 → 登録 → メール通知（申込受理通知）

※1：**本会会員のID**（会員番号），パスワード

《講演内容の確認・修正》

概要提出日までにWEB画面の内容確認・修正で変更した場合，講演大会プログラムに反映される．

秋期講演大会受付システムトップページ → 講演大会MyPage → ID認証画面※2 → 内容確認・修正 → 登録 → メール通知（修正受理通知）

※2：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

講演の分類	
セッションキーワード（一般，ポスターのみ）	セッション名はまてりあ第59巻第5号275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． セッションキーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定する．
シンポジウム講演	まてりあ第59巻第5号279頁のテーマ要旨を参照の上，応募するシンポジウム番号を選択する．
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．
申込研究者数 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
申込研究者一覧	インターネット申込は，「申込者」が「講演者」となるようにチェックする． 共同研究者は非会員でも可．
ローマ字氏名	名姓の順で，フルネームで記入する．
所属機関略称	**慣用の略称で記入**する．研究場所と現勤務先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	和文題目は150バイト（全角75文字）まで，外国人講演の英文題目は200バイトまで． 概要原稿の題目と同一のもの．
要旨	プログラム編成の参考となる内容を記入する． 要旨欄に入力できるのは100文字（全角）まで．
概要原稿	**全講演A4版1頁．PDF（雛形あり）で作成し，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・著者名が同じになるようにすること．ファイルをPDF形式へ変換する際は，フォント埋め込み作業を必ず行って下さい．** 内容変更の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（条件有り）は，連続を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，同一のセッションキーワード名で申込みをする．申込締切後の希望は受付けない． • その他の連絡事項など．
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出来ない．
プログラム公開	同意できない場合は申込出来ない．
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，申込出来ない． 公開は開催日2週間前に参加申込者のみに公開．

講演大会　セッションキーワード・キーワード

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、授業の実際、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、リスクマネージメント、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、マテリアルセレクション、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、スピンメモリー・センサー材料，スピンカロリトロニクス材料、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，磁気スキルミオン等
			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分野	3.組織	相安定性・相変態	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，プロセッシング（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
		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、ミルフィーユ構造、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
		分析・解析・評価	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
			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、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、マイクロメカニックス等）、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、靭性、静的および動的破壊、破壊靭性値、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、ミルフィーユ構造
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	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、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、リソグラフィー、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	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.材料プロセシング	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・鋳造技術	結晶成長、過冷却、非晶質、準結晶、輸送現象、高純化、鋳造、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，エアロゾルデポジション，アトマイズ等
			6.7	接合・溶接・実装・接着・複合技術	メカノケミカルプロセス、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，テラヘルツ
			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、ユビキタス元素、計算機シミュレーション等
			7.6	Additive Manufacturing・テーラーメード医療材料	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、テーラーメイド医療、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、マッシブ等）、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、ミルフィーユ構造、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、プラスチックス基複合材料、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、鋳造、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、鋳造、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、鋳造、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、ペルチェ効果、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	水素化物・水素貯蔵・水素透過・水素関連物性	金属水素化物、錯体水素化物、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

講演概要の WEB 公開

事前予約し，参加費を納入された方へは，概要公開日に概要ダウンロード用パスワードをメール配信いたします．当日申込者は，講演大会受付で概要ダウンロード用パスワードをお渡しいたします．特許関係のお手続きは，公開日までにお済ませ下さい．

講演大会概要の投稿要領

講演大会概要への投稿を公正かつ適切に行うため，投稿要件に従って講演概要を作成願います．

(投稿の要件)

(1) 未発表でかつオリジナリティがあること．
(2) 金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること．
(3) 軍事研究であること判断される内容を含んでいないこと．
(4) 作成方法に基づいて作成された原稿であること．
(5) 著作権をこの法人に帰属することに同意すること．
(6) ミスコンダクトをしないことおよびミスコンダクトをした場合は，この法人の定めるところにより処分または措置を受けることに同意すること．
(7) 宣伝や商用目的とする内容でないこと．

講演大会概要の査読

講演大会概要に投稿された全ての概要は，査読基準に基づき，その分野の専門家が査読する．査読者は次の項目を考慮し，採否を判定する．査読結果が「掲載不適当」に該当する場合は，理由を示して著者に返却する．

(査読の基準)

(1) 講演大会概要の投稿の要件に準拠していること．
(2) 内容が正確で，記述に問題がないこと．
(3) 軍事研究であること判断される内容を含んでいないこと．
(4) 題目が妥当であること．
(5) 研究不正行為及び不適切行為をしていないこと．
(6) 誹謗中傷に類する内容を含まないこと．

会誌2020年秋期大会講演精選論文原稿募集
欧文誌 Selected Papers from JIM Fall Meeting (2020)原稿募集

◎日本金属学会誌「2020年秋期大会講演精選論文」85巻4号および5号(2021年)掲載
◎Materials Transactions「Selected Papers from JIM Autumn Meeting(2020)」62巻4号および5号(2021年)掲載
◎原 稿 締 切 **2020年11月12日(木)**
◎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です)

日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会の
相互聴講のお知らせ

本会と日本鉄鋼協会との相互聴講を実施しています．

申込方法：当日受付

鉄鋼協会の講演を聴講する場合は，金属学会で従来の参加受付を済ませた後，鉄鋼協会受付で相互聴講の申込をする．

鉄鋼協会で発表し，金属学会で聴講のみされる場合は，鉄鋼協会で従来の参加受付を済ませた後，金属学会受付で相互聴講の申し込みをして下さい．

(註)金属学会で**講演発表(共同セッション含む)する場合**は，金属学会の**正規大会参加申込が必要**です．

発表は(鉄鋼)で　かつ　(金属の聴講)のみの場合
↓
参加登録は(鉄鋼)でする．
相互聴講手続きは(金属)でする．

発表は(金属)で　かつ　(鉄鋼の聴講)のみの場合
↓
参加登録は(金属)でする．
相互聴講手続きは(鉄鋼)でする．

聴講のみ	3,000円
聴講と概要(アクセス権)	6,000円

☆すべての講演申込がインターネット申込となりますので，
ご協力をお願い申し上げます．ご不明な点はお問合せ下さい．

連絡先：TEL 022-223-3685　FAX 022-223-6312
E-mail: annualm@jim.or.jp
(公社)日本金属学会 講演大会係

2020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(富山大学)におけるテーマ公募によるシンポジウム講演は，下記7テーマで実施することになりました．講演申込要領は前記のとおりです．多数の有益な講演と活発な討論を期待いたします．

S1　ミルフィーユ構造の材料科学Ⅲ　Materials Science of Mille-feuille Structure III

協賛：繊維学会

LPSO相を含むMg合金で発現が認められた「キンク強化」は，Mg合金のみならず，硬質層と軟質層が積層した「ミルフィーユ構造」を有する金属・高分子・セラミックス材料を広く対象として，新規強化手法になり得る期待が高まってきた．各種材料におけるミルフィーユ構造を制御して，「キンク形成」に伴った「キンク強化」を図るには，それぞれの材料における層状構造のキンク形成機構解明とともに，あらゆる材料に共通するキンク形成の普遍原理の抽出が必要となる．

本シンポジウムでは，研究対象とする材料を金属のみならず高分子およびセラミックス材料へと拡大して，ミルフィーユ構造を有する多様な材料のキンク形成およびキンク強化を深く議論したい．そこで，本シンポジウム開催にあたり，繊維学会の協賛を得て，高分子材料に関わる講演も広く募集することとする．そして，本シンポジウム開催を，分野の垣根を越えた新たな学際領域創出の好機としたい．

テーマ責任者

（シンポジウムchair）：
北海道大学大学院工学研究院教授　三浦誠司
E-mail: miura@eng.hokudai.ac.jp
（シンポジウムco-chairs）：
東大　阿部英司　熊本大　河村能人　九大　中島英治
JAEA　相沢一也　東工大　藤居俊之　稲邑朋也

S2　機能コアの材料科学Ⅰ

New Materials Science On Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores, I

多くの先進材料において，材料内部に存在する点欠陥や粒界，界面，転位等の結晶欠陥が，機能発現の起源となっている．したがって，結晶欠陥を高度に制御し，その機能を最大限に引き出すことができれば，材料研究における大きなブレークスルーとなると期待できる．また，近年のナノ計測技術や理論計算における分解能や精度の著しい進歩により，結晶欠陥の原子レベル構造と局所機能に関する新規な知見が次々と得られるようになってきた．この流れを受け，令和元年，新しい新学術領域「機能コアの材料科学」が立ち上がった．そこで，本シンポジウムでは，結晶欠陥(機能コア)に関する最新の研究成果を議論し，今後の課題と方向性について意見交換する場としたい．

テーマ責任者

（シンポジウムchair）：
大阪大学大学院工学研究科准教授　吉矢真人
E-mail: yoshiya@ams.eng.osaka-u.ac.jp
（シンポジウムco-chairs）：
名大　松永克志　東大　柴田直哉　溝口照康　東工大　平山雅章
名大　丹羽　健　中村篤智

S3　ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅳ)

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

2018年秋期講演大会より，系統的に同一テーマにてシンポジウムを開催しており，今回がその第4弾となる．この分野は，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などの定期大会だけでなく独立な国際会議としても多数開催されている．本シンポジウムでは，ハイエントロピー合金の基礎及び応用に関する実験・理論計算からの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とともに，これら研究者の有機的連携を促進しつつ，ハイエントロピー合金に関する科学的な疑問を解明すべく企画させていただいた．我が国においても，新学術領域研究「ハイエントロピー合金」が継続中であり，この分野における最新知見の共有および情報発信は，日本金属学会の会員にとって有益と考える次第である．特に今回は，新学術領域研究「ハイエントロピー合金」の研究期間の中間点にあたることから，これまでの研究成果の集約，ならびに今後の展開について，幅広い議論を想定している．(第3分野，第4分野，および第8分野共催)

テーマ責任者

（シンポジウムchair）：
名古屋大学大学院工学研究科教授　小山敏幸
E-mail: koyama@material.nagoya-u.ac.jp
（シンポジウムco-chairs）：
京大　乾　晴行　東北大　古原　忠　京大　辻　伸泰
阪大　尾方成信　東北大　加藤秀実

S4　材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅲ)

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

近年，ナノ・マイクロ機械試験法や原子分解能電子顕微鏡法をはじめとする最先端の実験手法，第一原理計算を中心とした計算材料科学の急速な発展により，材料の変形・破壊挙動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ついて，実験，理論の両面においてマルチな時間・空間スケールでの横断的な解析が行われ，様々な興味深い現象が見出されるようになっている．本公募シンポジウムは2018年秋期大会(第1回)および2019年秋期大会(第2回)において開催され，大変好評であったため，同テーマに関する第3回シンポジウムを企画する．本シンポジウムは，前々回，前回に引き続き各種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，企業の研究者間の塑性変形に関する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を促進することを目的とする．

テーマ責任者

（シンポジウムchair）：
大阪大学准教授　君塚　肇
E-mail: kimizuka@me.es.osaka-u.ac.jp
（シンポジウムco-chairs）：
京大　岸田恭輔　金沢大　下川智嗣　九大　田中將己
名大　高田尚記

S5　ナノ・マイクロスペーステイラリングⅣ
Tailoring of Nano/Micro-Space for Advanced Functions IV

極限場を用いた非平衡状態や散逸構造化などを駆使し，ナノ～マイクロオーダーで空間制御した材料の創成・特性評価を進めてきた．これまでにも，高エネルギー線照射によるナノ構造体形成や物理的化学的にナノスペース/層間へ原子を挿入する技術を通じて特徴的なナノ・マイクロ構造創成について討論してきており，これまで４回継続した開催においても基調講演を合わせて常に10件以上の講演申し込みがあり，会員の本分野への興味の高さをうかがわせる．今回のシンポでは，異種材料の超音波接合や層状・カゴ状物質の創成に関する基調講演から，新規構造創成に向けた技術に関して細心の知見を得る．これらに加え，種々の材料におけるナノ・マイクロ構造体形成・特性・機能制御について引き続き情報交換し，これまでの議論を深化させることで，ナノ・マイクロスペーステイラリング技術やその機能制御の更なる発展につなげる．

テーマ責任者

（シンポジウム chair）：

筑波大学数理物質系物質工学域准教授　谷本久典

E-mail: tanimoto@ims.tsukuba.ac.jp

（シンポジウム co-chairs）：

東北大　森戸春彦　中村貴宏　大阪府立大　堀　史説

東北大　田中俊一郎

S6　材料技術史から見るこれからの技術展開Ⅲ―アルミニウム合金
Future growth expected from technological history of materials III ― Aluminum alloys

持続可能な社会の実現には，材料特性の向上だけではなく，高効率・低環境負荷プロセスの開発が必要であり，それらの新しいプロセスに適した合金開発や応用展開も期待される．これからの材料研究の新展開を考えるために，基調講演にて今までのプロセス研究や材料開発，特性向上の歴史を振り返るとともに，公募講演でこれから期待される新しいプロセスや材料開発，実用分野などについて議論する．第１回：チタン材料（2018年秋期），第２回：製錬およびリサイクル技術（2019年春期）に続き，第３回目として，多くの関係企業が立地する富山県での学会開催に合わせて『アルミニウム合金』の技術史と今後の展望について議論する．

テーマ責任者

（シンポジウム chair）：

物質・材料研究機構主幹研究員　戸田佳明

E-mail: TODA.Yoshiaki@nims.go.jp

（シンポジウム co-chairs）：

横国大　廣澤渉一　奈良女子大　松岡由貴　東京海洋大　盛田元彰

愛知教育大　北村一浩

S7　超高温材料の科学技術Ⅰ
Science and Technology of Ultra-High Temperature Materials

高融点金属やその金属間化合物，耐熱セラミックス，さらにそれらをベースとした複合材料などのいわゆる「超高温材料」は，極限耐環境性能が求められる究極の材料システムの一つである．それ故に超高温材料は，未来の高効率エネルギー変換や宇宙航空技術の鍵を握る．そこで本シンポジウムでは，学協会の壁を越え，超高温材料の合成や材料プロセス，原子からミクロ構造，材料特性，さらに超高温環境下での材料特性測定・計測・評価方法等について，実験・理論・計算研究からの多角的視点で課題を洗い出し，その解決策と特性や現象の解明について議論する場を創成する．また，求められる出口特性の明確化や，新規超高温材料システムの創造にも議論を広げることによって，「超高温科学」を創成し体系化するための礎となる材料科学を，日本金属学会を中心に他の学協会にも協力を要請しながら展開していく．

テーマ責任者

（シンポジウム chair）：

東北大学大学院工学研究科教授　吉見享祐

E-mail: yoshimi@material.tohoku.ac.jp

（シンポジウム co-chairs）：

東北大　福山博之　物材機構　下田一哉　熊本大　連川貞弘

東北大　関戸信彰

◇　◇　◇

日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
第４回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2020年７月10日(金)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋２回の「講演大会」を開催しており，2020年９月16日(水)～18日(金)に富山大学五福キャンパス(富山市五福)において2020年秋期(第167回)講演大会を開催します．

この講演大会に於いて，若い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(３年生以下)学生ポスター発表」のセッションを開催いたします．

ポスター発表は，生徒の研究成果の発表を大学の教授や企業の研究者等の専門家に直接聴いてもらい，質疑応答が受けられる貴重な機会であり，さらにポスターの出来栄えや発表の受け答えなどを審査して，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がおられましたら，奮ってご応募下さい．

発表者と指導教員には本大会の参加費を無料で参加いただき，研究者の最新の研究成果の発表を聴講いただけます．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．

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名　日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
行 事 名　「高校生・高専学生ポスター発表」
開催場所　富山大学「学生会館」
開催予定日時　2020年９月16日(水)　14：30～17：00(予定：応募多数の場合は開始時間前倒の可能性あります.)
対 象 者　高校生および３年以下の高専学生
発表方法　パネル(幅 900 mm×高 2100 mm)へのポスター掲示および説明
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)
ポスター作成について
A0 サイズで作成し，文字は３m 離れたところからでも判読可能な大きさにする．ただし，実験条件などの補足事項は小さい文字でも良い．研究の目的，背景を緒言，概要として最初の10行程度にまとめること．
講演申込　https://www.jim.or.jp/convention/2020autumn
講演概要原稿　不要
参加費および講演聴講

① 発表者，共同研究者および指導教員の参加費を免除し，講演大会の発表を聴講できる．
② 希望があれば，高校生・高専ポスター発表の関係者(親，友人)５名程度までの参加費を免除し，講演大会の発表を聴講することができる．
③ 指導教員は，事前に参加者リストを提出する．(別途用紙を送付予定)
④ 指導教員宛てに，参加証およびプログラム(参加者リスト数)各１部を事前送付する．

問合せ・連絡先：公益社団法人日本金属学会　講演大会係
〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
☎ 022-223-3685　FAX 022-223-6312　E-mail: annualm@jim.or.jp

〈2019年秋期講演大会より〉

2020年秋期(第167回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

秋期講演大会は，9月16日(水)から18日(金)まで富山大学五福キャンパス(〒930-8555 富山市五福3190)を会場に開催します．鉄鋼協会との合同懇親会は9月16日(水)に行います．以下のご案内と申込要領をご参照の上，お早めにお申込み下さい．

尚，**参加申込みは，すべてインターネット申込**となります．詳細は，下記申込要領をご覧下さい．

日　　程

日　　時	行　　事	場　　所
9月16日(火)		
9:00～ 9:40	各賞贈呈式	工学部総合教育研究棟1階多目的ホール
10:00～17:00	学術講演会	工学部総合教育研究棟，都市デザイン学部実験実習棟
12:30～17:00	ポスターセッション	学生会館
18:30～20:30	懇親会	ANA クラウンプラザホテル富山
9月17日(水)		
9:00～17:00	学術講演会	工学部総合教育研究棟，都市デザイン学部実験実習棟
12:05～12:45	企業ランチョンセミナー	〃
9月18日(金)		
9:00～16:30	学術講演会	工学部総合教育研究棟，都市デザイン学部実験実習棟

懇親会会場：ANA クラウンプラザホテル富山(〒930-0084 富山県富山市大手町2番3号　☎ 076-495-1111)

参加申込要領

インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み：〈登録期間〉5月25日(月)～8月31日(金)

大会参加申込み URL　https://www.jim.or.jp/convention/2020autumn/

予約申込締切後，大会参加証，講演概要ダウンロードについては，下記をご参照下さい．なお，**領収書や参加証引換券は，決済完了後に申込画面から各自印刷して下さい(WEB 画面：講演大会 MyPage よりダウンロード)**．9月1日以降は当日申込となります．

当日申込をご希望の方は，**会場受付にて直接お申込**下さい．

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります．

参加費・懇親会の消費税扱については，ホームページ(一覧表 PDF)をご参照下さい．

予約申込締切日	8月31日(月)(申込および入金期日)	
会員資格	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
正員・維持員会社社員	10,000円	13,000円
個人会員で2020年3月1日時点で65歳以上の方*	無　料	無　料
学生員**	6,000円	7,000円
非会員***　一般	24,000円	27,000円
非会員***　学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円

• **お支払後の取消は，準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい．**

* **65歳以上の個人会員**：会員情報に生年月日のご登録がない場合は，課金されますのでご注意下さい．会員情報に生年月日をご登録させて頂きますので，大会参加登録の前に annualm@jim.or.jp まで会員番号・お名前・ご連絡先・生年月日をお知らせ下さい．

** 学生員：卒業予定変更等により会員種別に相違がある場合，事前に**会員種別の変更手続きを行ってから**，大会参加をお申込下さい．

*** 非会員の(有料)参加申込者には，1年間「まてりあ」を寄贈するとともに，会員価格でイベント等(講演大会以外)に参加できる特典を付与いたします．ただし特典は重複して付与いたしません．

◆懇親会費(消費税込み)　(会場：ANA クラウンプラザホテル富山)

予約申込締切日	8月31日(月)(申込および入金期日)	
種　　別	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	8,000円	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

• **お支払後の取消は，準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい．**

• 懇親会ご参加申込の方へは，9月上旬に懇親会参加証を郵送申し上げます．

◆支払方法

事前予約のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます．また，入金後のご返金は致しかねます．8月31日(月)の入金日をもって予約申込完了となります．

◆参加証

事前予約された際の大会マイページにて「参加証引換券」をダウンロード印刷し，会期当日受付で参加証とお引換え下さい．

◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は，大会 2 週間前の2020年 9 月 2 日(水)です．事前予約をされ，参加費を納入された方へは，概要公開日に概要ダウンロード用パスワードを配布いたします．当日申込の方へは申込の際に概要ダウンロード用パスワードをお渡しいたします．特許関係のお手続きは，公開日までにお済ませ下さい．

◆講演概要集購入について

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

参加申込・問合先　〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32　(公社)日本金属学会
☎ 022-223-3685　FAX 022-223-6312　E-mail: annualm@jim.or.jp

2020年春期(第166回)講演大会記録

日本金属学会は，新型コロナウイルス(COVID-19)感染の拡大を鑑み，会員および関係各位の健康と安全を第一として，2020年春期講演大会(3 月17日～19日，東京工業大学大岡山キャンパス)の開催を中止いたしました．講演者及び参加予定者の皆様にはご不便，ご迷惑をお掛けいたしますが，ご理解，ご了承の程よろしくお願い申し上げます．

2020年 2 月28日　講演大会委員長　中野貴由

各受賞贈呈式(3 月17日)　を中止とし，受賞者の賞状等は後日送付した．
第65回学会賞，第78回功績賞，第59回谷川・ハリス賞，第26回増本量賞，第61回技術賞，第51回研究技術功労賞，第70回金属組織写真賞，第32回若手講演論文，第 3 回フェロー認定式
名誉員推戴

学術講演会(3 月17日～19日)　すべて中止した．
講演総発表件数798題(欠講10題除く)
⑴学会賞授賞記念講演　1 題
⑵本多記念講演　1 題
⑶公募シンポジウム講演 7 テーマ145題
内訳：応募講演109題，基調講演34題，授賞記念講演 1 題，TMS Young Leader Scholar 講演 1 題
⑷企画シンポジウム講演 5 テーマ35題
⑸一般講演　425題
内訳：応募講演410題，授賞記念講演13題，外国人特別講演 1 題，外国人招待講演 1 題
⑹ポスターセッション　156題
⑺高校生・高専学生ポスターセッション　12題
⑻共同セッション(日本鉄鋼協会と共同)
①「チタン・チタン合金」　18題(金属11題，鉄鋼 7 題)
②「超微細粒組織制御の基礎」　11題(金属 8 題，鉄鋼 3 題)
③「高温溶融体の物理化学的性質」　13題(金属 4 題，鉄鋼 9 題)
欠講10題(公募シンポジウム S6. 27，一般講演　42, 141, 195, 346, 406，ポスターセッション P45, P48, P49, P50)

懇親会(於：八芳園)(3 月17日)　中止した．
第47回付設機器展示会(3 月17～19日)　中止した．
第70回金属組織写真賞展示(3 月17日～19日)　中止した．
第12回男女共同参画ランチョンミーティング(3 月19日)　中止した．
第 9 回企業ランチョンセミナー(3 月18日)　中止した．
第 6 回企業説明会(3 月19日)　中止した．

―2020年春期講演大会(第166回)開催中止に伴う講演発表および概要等の取り扱いについて―

1.　講演大会について
講演大会の開催中止により口頭発表(ポスター発表を含む)および質疑応答は行われませんが，講演概要(Web 公開)を 3 月 3 日付で発行することにより公知となることから，本講演大会での講演発表は成立いたします．これにより，他の論文等での引用，研究業績などへの記載等は可能となります．また，特許法第30条 1 項の発明の新規性の喪失の例外が適用されます．

2.　春期講演大会の講演概要内容を秋期講演大会で再発表することについて
本会の講演大会の講演は「未発表のもので，論文としてまとまったものに限る」としていることから，同一内容の再発表はできません．但し，春期講演概要に記載されていない新たな内容を追加し，再構築して新しい講演題目とすれば，オリジナルなものとして，秋期講演大会で発表することができます．

3.　2020年秋期講演大会の公募シンポジウムについて
春期大会公募シンポジウム講演は，講演概要が公開されており，公開発表したものとみなされるため，秋期大会では春期大会の公募シンポジウムテーマと同一内容のシンポジウムは行わないこととします．

企業求人情報

掲載料金　会員：20,000円(税別)(一般：40,000円(税別))
原稿締切・掲載号　毎月１日締切で翌月号に１回掲載.
原稿字数　840字程度
掲載内容　求人側の必要事項：会社概要・職種・資格・待遇・勤務地・応募方法・応募締切日・問合先・書類提出先・ホームページアドレスなど求職者の知りたい情報.
原稿提出先　FAX と E-mail の両方(受け取りのメールの確認をして下さい)
FAX 022-223-6312　E-mail: materia@jim.or.jp

High Purity Materials
KOJUNDO CHEMICAL LABORATORY CO.,LTD.
株式会社 高純度化学研究所

◇株式会社　高純度化学研究所　技術顧問　募集◇

株式会社高純度化学研究所では，金属(合金)の溶解・鋳造の開発・製造の指導を行う**技術顧問**を以下の条件で募集しています.

年齢は，本技術分野における通常の知識や経験を有する方ゆえ50～60歳を想定しています.
居住地については，弊社に通勤できる範囲であること.
弊社は東武東上線若葉駅から徒歩15分の所にあります．東武バス，工業団地バスもあり.
東上線は池袋発で若葉駅までは急行で40～45分間かかります.
職務は，若手技術者が新材料・新形状の材料製造・開発を出来るように技術的に支援する事です.

弊社の開発・製造材料は多岐に渡り，技術課題が多く，技術的な面白みが詰まっています.
小職がそうですが冶金技術者としてこれほど面白い仕事は他にはないと思います.

業務上の特典は，学会や各種講演会の参加が比較的自由に出来，保有技術を洗練出来る事です.
勤務地，所属の変更はありません．同じ場所で同じ仕事を続けて頂くことになります.

会社の詳細については，下記ホームページを参照願います.
https://www.kojundo.co.jp/

条件等を含めて委細面談
興味のある方は，採用担当(柴山)まで連絡願います.
E-mail: sibayama@kojundo.co.jp
☎ 049-284-6661　一旦は，総務部に繋がります.

◇　◇　◇

掲示板

〈公募類記事〉
無料掲載：募集人員，締切日，問合先のみ掲載.
有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度.
- **「まてりあ」とホームページに掲載**；15,000円＋税
- **ホームページのみ掲載**；10,000円＋税

〈その他の記事〉　原則として有料掲載.
- **原稿締切・掲載号**：毎月１日締切で翌月号１回掲載
- **原稿提出方法**：電子メールと FAX 両方(受け取りメールの確認をして下さい)
- **原稿送信先**：FAX 022-223-6312　E-mail : materia@jim.or.jp

公　募

◇国立研究開発法人物質・材料研究機構 定年制職員(正職員)公募◇

公募人数
研究職
物質・材料一般(分野不問)　数名(女性枠あり)
分野指定公募　各１名(10分野)
エンジニア職
分野指定公募　各１名(2 分野)

専門分野
研究職
①物質・材料一般(材料工学(構造材料を含む)，応用物性学，材料化学，材料データ科学，他，物質・材料に関する分野)，②物質・材料一般(女性のみ応募可)，③半導体材料探索，④超伝導応用(線材・マグネット)，⑤熱電発電技術，⑥磁気ストレージ及び磁気センサー，⑦高性能鉄鋼材料，⑧量子マテリアル，⑨表面物理計測，⑩表面化学分析，⑪データ駆動材料研究，⑫材料データベース
エンジニア職
①ナノバイオ，②安全衛生・防火・防災

公募締切　2020年６月10日(水)
業務(研究)内容，応募資格，応募方法などの詳細は当機構のホームページを参照.
https://www.nims.go.jp/employment/permanent-researcher.html

問合せ先　〒305-0047 つくば市千現 1-2-1
国立研究開発法人物質・材料研究機構
人材部門　人材開発室
☎ 029-859-2555
E-mail: nims-recruit@nims.go.jp

公　募

◇大阪大学大学院工学研究科　教員公募◇

概　　要　大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻では，この度，先端分析・電子顕微鏡学を中心とした教育研究活動を担当いただける教授を募集します.
職名・人員　教授１名
募集人数　１名
所　　属　大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 構造機能制御学講座
勤務場所　吹田キャンパス(大阪府吹田市山田丘 2-1)
専門分野　先端分析・電子顕微鏡学
職務内容　教育・研究の内容
ハードマテリアルからソフトマテリアルにおける形態，組織，原子構造，電子状態，およびそれらの動的な挙動と力学的・磁気的・電気的・光学的性質等との関係

を，電子顕微鏡法や放射光分析法をはじめとする各種先端分析法を駆使して究明し，新材料創製に資する材料科学の基礎学理を構築する．さらに，新材料の探索のために必要な新規な先端分析法を開発し，材料工学の発展とイノベーションの実現に寄与する教育と研究を行う．

応募資格　［必須条件］
⑴　博士または Ph. D. の学位を有すること
⑵「6.　職務内容」に記載した専門分野に研究業績があり，大学院博士後期課程の教育・研究指導を担当できること

採 用 日　2021年１月１日（以降できるだけ早い日）

契約期間　期間の定めなし

試用期間　６か月

応募書類　応募書類は英語または日本語で記述のこと
⑴　履歴書（写真添付）
⑵　業績リスト（[1]査読付き研究論文（学術誌等に掲載），[2]国際会議論文，[3]総説・解説，[4]著書，[5]特許，[6]その他に分類すること．[1]～[3]については，全著者名・題目・雑誌名・巻号・発行年・ページを明記すること．また，h-index，総サイテーション数，および各論文のインパクトファクター，サイテーション数と FWCI を明記すること．（使用した検索ツールを明記すること．）
⑶　代表的な査読付き研究論文５編以内の別刷り，またはコピー
⑷　所属学会・国際会議・社会における活動状況
⑸　受賞とその内容・授与団体
⑹　最近５年間の各種研究助成金の取得状況（代表・分担の別を明記）
⑺　現在までの教育と研究の概要（A4 用紙２ページ以内）
⑻　着任後の教育に関する抱負と研究に関する構想（A4 用紙２ページ以内）
⑼　可能ならば，応募者についての参考意見を求めうる方３名とその連絡先リスト
※なお，応募書類による個人情報は，採用者の選考及び採用後の人事等の手続きを行う目的で利用するものであり，第三者に開示しません．
※応募書類については返却しません．

問合せ先　〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1
国立大学法人 大阪大学 大学院工学研究科
マテリアル生産科学専攻
小泉雄一郎
※応募用紙は，原則として A4 用紙を使用すること．
※封筒の表に，「教員応募書類」と朱書きすること．
※簡易書留にて送付すること．

応募期限　日本時間にて2020年７月31日必着

選考方法　書類審査による第一次選考の後，必要に応じて面接あるいはセミナーをお願いすることがあります．
※書類審査不合格の連絡はしませんので，ご了承下さい．
※面接のための旅費及び宿泊費等は応募者の負担とします．

詳細 URL　https://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/topics/offering/
https://www.eng.osaka-u.ac.jp/wp-content/uploads/2020/03/1585533323_1.pdf

そ の 他　上記の他の労働条件については国立大学法人大阪大学教職員就業規則等によります．
https://www.osaka-u.ac.jp/ja/guide/information/joho/kitei_shugyou.html
大阪大学では教員・研究員の公募において，意欲のある女性研究者の積極的な応募を歓迎しています．また，女性教職員のための様々な支援を実施しています．
http://www.danjo.osaka-u.ac.jp

公　募

◇広島大学大学院 先進理工系科学研究科 機械工学プログラム　助教公募◇

所属（配属）　広島大学学術院（大学院先進理工系科学研究科 機械工学プログラム）
※大学院工学研究科は，2020年４月から大学院先進理工系科学研究科となります．詳細は以下の URL をご確認下さい．
https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/52914

職名・人員　助教　１名

採用予定年月日　2021年４月１日

任期又は有期　（テニュアトラック期間）　５年

雇用契約期間　広島大学のテニュアトラック制に関する規則に基づき，テニュアトラック期間が満了する６月前までに准教授でのテニュアを付与するかどうかのテニュア審査を行い，これに合格すればテニュアを付与します．なお，最終審査の結果，テニュアを付与しなかったときは，テニュアトラック期間の満了をもって退職となります．
※テニュア審査基準の詳細については，お問い合わせ下さい．

専門分野　溶接・接合工学，レーザー加工，加工の計測・制御・自動化

担当科目　教養教育科目：教養ゼミ，技術英語演習　等
学部（専門教育科目）：機械創成実習，機械工学実験　等
大学院（博士課程前期）：機械物理工学講究・セミナー　等
大学院（博士課程後期）：機械物理工学講究　等
＊この他，教養教育科目や他の学部・大学院の専門教育科目，全学事業も担当することがあります．

応募資格　次の要件をすべて満たす者
⑴ 博士の学位（外国において授与されたこれに相当する学位を含む．）を有すること．（着任時までの取得見込みも含む．）
⑵ 専門分野における十分な研究業績があること．
⑶ 日本語及び英語で教育・研究指導ができること．

応募書類　⑴ 履歴書
⑵ 業績リスト
⑶ 最近10年間の科学研究費補助金・各種競争的外部資金の代表者としての取得状況
⑷ 現在までの研究の内容と成果（研究論文と対応させて記載すること）
⑸ 今後の研究計画（A4 用紙１枚程度）
⑹ 教育に対する抱負（A4 用紙１枚程度）
⑺ 主要原著学術論文の別刷５編以内（コピーも可）
⑻ 上記すべての書類は紙媒体と共に，CD-R/RW，DVD 等に記録したもの郵送すること
※応募書類の様式は，以下の URL からダウンロードすることが可能です．（様式の指定があるものについては，必ず指定様式を使用して作成して下さい．）
https://www.hiroshima-u.ac.jp/employment/kyoinkobo/eng

募集期限　2020年９月30日（水）17：00（日本標準時）（必着）

応募書類送付先　〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1
広島大学学術院（大学院工学研究科　機械物理工学専攻）
教授　山本元道
＊応募書類は簡易書留で，封筒表面に「機械物理工学専攻　教員応募書類在中」と朱書きの上，郵送して下さい．

選考方法　⑴ 書類選考の上，日本語または英語による面接と英語による模擬授業を行います（面接の旅費は，応募者の負担となります）．
⑵ 広島大学は，男女共同参画を推進しています．本学は，「男女共同参画社会基本法」の趣旨に則り，業績（研究業績，教育業績，社会貢献等）及び人物の評価

において同等と認められた場合は女性を採用します．

その他　試用期間：あり（6 月間）
詳細は，https://www.hiroshima-u.ac.jp/employment/kyoinkobo/eng　をご覧下さい．

問合せ先　広島大学学術院（大学院工学研究科　機械物理工学専攻）
教授　山本元道
☎/FAX　082-424-7815
E-mail: motoyama@hiroshima-u.ac.jp

助　成

（公財）泉科学技術振興財団 2020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，42件．

研究集会スタートアップ及びその飛躍への助成
助成金額：1 件20万円～80万円，5 件以内．

募集期間　2020年 4 月 1 日～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　〒531-0072 大阪市北区豊崎 3-9-7
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

日本金属学会誌掲載論文 Vol. 84, No. 5（2020）

――論　　文――

Al-Mg-Zn 3 元系状態図の熱力学的解析
林　直宏　中島一喜　榎木勝徳　大谷博司

鍛造 Ni 基超合金における γ' 析出粒子の形態変化
山口義矢　田島遼太郎　寺田芳弘

スプレードライ法による β-$Cu_{1.8}Zn_{0.2}V_2O_7$ セラミック微粒子の負熱膨張特性
竹中康司　佐藤みく　西川智洋　大村卓也　山田展也　横山泰範　片山尚幸　岡本佳比古

Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 合金および工業用純チタンのスパッタエッチングによる微細孔の形成
中佐啓治郎　山本旭宏　久保　隆　李木経孝

Materials Transactions 掲載論文 Vol. 61, No. 5（2020）

――*Overview*――

Alloy Design and Development of Advanced Materials Based on Phase Diagrams and Microstructural Control　K. Ishida

――*Special Issue on Materials Science on Mille-Feuille Structure*――

PREFACE　Seiji Miura and Hidetoshi Somekawa

Loading Orientation Dependence of the Formation Behavior of Deformation Kink Bands in the Mg-Based Long-Period Stacking Ordered (LPSO) Phase　Koji Hagihara, Takuya Okamoto, Ryohei Ueyama, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura and Takayoshi Nakano

Neutron Diffraction Monitoring of As-Cast $Mg_{97}Zn_1Y_2$ during Compression and Tension
Stefanus Harjo, Kazuya Aizawa, Wu Gong and Takuro Kawasaki

The LPSO Structure with an Extra Order beyond Stacking Periodicity
Daisuke Egusa, Hidetoshi Somekawa and Eiji Abe

Formation and Stability of Solute Enriched Stacking Fault in the Mg-Zn-Y, Mg-Co-Y and Mg-Zn-Ca Ternary Systems
M. Egami, I. Ohnuma, M. Enoki, H. Ohtani and E. Abe

Formation of LPSO Phases in As-Cast Mg-Al-Zn-Gd Quaternary Alloys
Kazuki Masaoka, Tadayuki Yamada, Toshiaki Horiuchi, Takaomi Itoi and Seiji Miura

Introduction of Mille-Feuille-Like α/β Layered Structure into Ti-Mo Alloy
Satoshi Emura and Xin Ji

Dislocation-Based Modeling and Numerical Analysis of Kink Deformations on the Basis of Linear Elasticity　Shunsuke Kobayashi and Ryuichi Tarumi

Rank-1 Connection of Kink Bands Formed by Non-Parallel Shears
Tomonari Inamura and Yuri Shinohara

Duality of the Incompatibility Tensor
Kazuhito Yamasaki and Tadashi Hasebe

――*Regular Article*――

Materials Physics

Inhibition of Electropulsing Nanocrystallization in Amorphous ZrCu under Helium Atmosphere
Hisanori Tanimoto, Keisuke Takeuchi, Tessei Ikegami and Toshiki Okazaki

Microstructure of Materials

Identification of Heat Transfer Coefficients and Simulation of Quenching Distortions on Disk Probe Hideo Kanamori and Dong-Ying Ju

Microstructure Evolution and Mechanical Properties of AZ31 Alloy with Accumulative Roll Bonding Liangshun Huang, Xiaobin Pei, Lan Luo, Xixin Rao, Yuhai Jing and Yong Liu

Investigation of the Effect of Preweld Heat Treatment on the Liquation Cracking of GTD-111 Superalloy H. Naseri, S. Mohsen Sadrossadat and E. Hajjari

Kinetic Analysis of Uphill Diffusion of Carbon in Austenite Phase of Low-Carbon Steels Toshinobu Nishibata, Takahiko Kohtake and Masanori Kajihara

Control of Solidification Structure of Stainless Steel in Additive Manufacturing Process Takahiro Ishizaki, Yusaku Maruno, Yingjuan Yang and Kinya Aota

Mechanics of Materials

Fracture Mechanics Based Analysis of the Fatigue Life of Defective Welded Joints L'ubomír Gajdoš and Martin Šperl

Effects of Yttrium Addition on Plastic Deformation of Rolled Magnesium Keisuke Takemoto, Hiroaki Rikihisa, Masayuki Tsushida, Hiromoto Kitahara and Shinji Ando

Time-Dependent Springback of Various Sheet Metals: An Experimental Study Takayuki Hama, Tomotaka Suzuki, Yuya Nakatsuji, Takeyuki Sakai and Hirohiko Takuda

Roles of Slip and Twinning on Indentation Formations in Magnesium Alloy Single Crystals Momoka Watanabe, Hiromoto Kitahara, Yohei Takamatsu, Masayuki Tsushida and Shinji Ando

Statistical Approach for Understanding the Effect of Specimen Size on the Yield Stress and Its Scattering in Mechanically-Alloyed Cu and ODS-Cu Obtained by Micro-Pillar Compression Test Yuchen Liu, Sosuke Kondo, Hao Yu, Kiyohiro Yabuuchi and Ryuta Kasada

Materials Chemistry

Electrorefining Behavior of Copper Shot-Shaped Anode Containing High Levels of Platinum Atsushi Iizuka, Akinori Sugiyama and Etsuro Shibata

Synergistic Effects of Additives on the Deposition Behavior, Throwing Power and Surface Roughness of Cu Obtained from Electrorefining Solution Atsuhiro Suzuki, Satoshi Oue and Hiroaki Nakano

High Toluene Dynamic Adsorption/Desorption Characteristics for Super-Microporous Silica Synthesized by Using Collagen Fibril as a Template Satoru Dohshi

Determination of Equilibrium Constant of Calcium Oxidation by Slag-Metal Equilibrium Distribution Method Ichiro Seki

Materials Processing

Semisolid Die Casting of Hypereutectic Al–25%Si Alloy Hiroshi Fuse, Sinjirou Imamura, Masaru Terao and Toshio Haga

Improvement of Forming Limit in Height with Alternating Tool Path in Penetrating Tool Friction Stir Incremental Forming Wei Jiang, Takuya Miura, Masato Okada, Ryo Matsumoto and Masaaki Otsu

Engineering Materials and Their Applications

Effect of Solidification Process on the Magnetic Properties of Samarium Cobalt Intermetallic Compounds Saleem Akhtar, A. Nusair Khan, Mushtaq Khan and Syed Husain Imran Jaffery

High Dimensionless Figure of Merit $ZT=1.38$ Achieved in p-Type Si–Ge–Au–B Thin Film Masahiro Adachi, Shunsuke Nishino, Kotaro Hirose, Makoto Kiyama, Yoshiyuki Yamamoto and Tsunehiro Takeuchi

Influence of a Ni Foil Interlayer on Interface Properties of Mg-Clad Al Materials by Vacuum Roll Bonding Jinfeng Shu, Tomiko Yamaguchi and Yuya Hara

Environment

Elementary-Volume-Scale Simulations of Inertial Flow in Sphere Pack: Improvement of Di Felice Drag Model in High Porosity Jun Katagiri, Naohito Hayashi and Shigeki Koyanaka

Technical Article

Preparing Hardness Prediction Data Using Carburized Jominy Bar for Carburizing Quenching Hiroyuki Akatsuka, Ryoji Chikugo and Michiharu Narazaki

Express Rapid Publication

Simple Chemical Synthesis of Ternary Intermetallic $RENi_2Si_2$ (RE = Y, La) Nanoparticles in Molten LiCl–CaH_2 System Yasukazu Kobayashi, Shohei Tada and Ryuji Kikuchi

Development of Carbon Short Fiber Reinforced Al Based Composite without Preform Manufacturing Xuan Meng, Yongbum Choi, Kazuhiro Matsugi and Wenchang Liu

Monolithic Micro/Nanoporous Copper: Preparation, Mechanical and Electrocatalytic Properties Qing Yang, Huan Lei, Yan Ma, Shaodong Sun and Shuhua Liang

Erratum

Announcement

まてりあ第59巻6号　予告

［新役員紹介］2020年新役員紹介
［巻　頭　言］会長就任のご挨拶
［金属なんでもランキング！］No. 9 宇宙の元素組成
［最近の研究］HCP 型および BCC 型 Mg 合金の機械特性
……峯田才寛
コンクリート中鉄筋の腐食診断技術
……土井康太郎
［新 進 気 鋭］Fe–Si 二元系合金の繰り返し変形に伴う転位組織の形成と発達 ……首藤洋志
―他―

（編集の都合により変更になる場合がございます）

◇　◇　◇

新入会員

（2020年2月21日～2020年3月19日）

正　員

小笠原多周　大平洋金属株式会社
鈴木勝也
塚原　宙

学生員

影山優輔　東京大学
加藤大雅　名古屋大学
河越大典　長岡技術科学大学
北村亮裕　関西大学
小林周平　大阪大学
笹岡陸人　九州大学
橋本菜々　北海道大学
林　竜弘　大阪大学
山田朋英　長岡技術科学大学
渡邉周太郎　横浜国立大学

外国一般会員

BO Zheng

◇　◇　◇

お知らせ　会報「まてりあ」編集委員会より：予告

本会報「まてりあ」は，来年(2021年)で創刊60年を迎えます．これを記念して，まてりあ編集委員会では，来年(60巻1号)から本誌の表紙を変更することを検討しております．表紙デザインは公募により多くの作品を募集したいと考えております．詳細は，本会ホームページ(https://jim.or.jp/)および次号会告などでご案内する予定です．皆様，ぜひともお見逃しなく！

◇　◇　◇

新刊紹介

『丸善　金属質量表　第3版』
菱田博俊　直井　久　渡邊　敏　編
2020年　ポケットサイズ　372頁　丸善出版　定価（本体2,000円＋税）

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	問合先	締切
2020年5月				
19～20	新時代 Active Materials　自己治癒するセラミックス・金属―その特性と応用（神奈川）	神奈川県立産業技術総合研究所	TEL 044-819-2033 ed@newkast.or.jp https://www.kanagawa-iri.jp/learn/researcher/edu_r02/ed02_seminar_2/	
19～20	第36回希土類討論会（札幌）	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	発表 1.24
16～11.7 （全7回）	セラミックス大学2020（CEPRO2020）（東工大他）	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/	定員 120名
21 開催中止	「介護・福祉工学の最前線―人の動作を知り，助ける！」（東大生産技研）	精密工学会他	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	定員 60名
22～24 開催中止	軽金属学会第138回春期大会（香川大）	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	参加 4.16
25～27	トライボロジー会議2020　春　東京（東京）	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926　jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	
25～27	日本顕微鏡学会第76回学術講演会（大阪）	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2020/index.html	
27～29	ナノ学会第18回大会（横浜国大）	ナノ学会	nano18@mtg-officepolaris.com http://mtg-officepolaris.com/nano18/	
28	腐食防食部門委員会第334回例会（大阪）	日本材料学会	TEL 075-761-5321　jimu@jsms.jp https://www.jsms.jp	
29	第5回マルチスケール材料力学シンポジウム（電気通信大）	日本材料学会	http://www.jsms.jp/	講演 2.3
2020年6月				
4	日本海水学会70周年記念「日本海水学会第71年会シンポジウム」（東京）	日本海水学会	TEL 0465-47-2439 office@swsj.org	
8～9	2020年度溶接入門講座（東京）	溶接学会	TEL 03-5825-4073　http://www.jweld.jp/ jws-info@tg.rim.or.jp	定員 80名
9	第24回課題研究成果発表会（東京）	軽金属奨学会	TEL 06-6271-3179 lm-foundation@nifty.com	
10～12	第25回計算工学講演会（北九州）	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957　office@jsces.org https://www.jsces.org/koenkai/25/	
11～12	第13回核融合エネルギー連合講演会（八戸）	プラズマ・核融合学会，日本原子力学会	TEL 0175-71-6690 http://rengo13.roku.qst.go.jp	
12	第81回技術セミナー　上下水道および工業用水道環境における設備機器・配管の腐食と対策（東京）	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	
12～14 開催中止	2020年度塑性加工春季講演会（名工大）	日本塑性加工学会	https://www.jstp.or.jp	
18～19	第25回動力・エネルギー技術シンポジウム（北大）	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 https://www.jsme.or.jp/	
26	第82回塑性加工技術フォーラム「塑性加工産業における AI/IoT 技術」（東京）	日本塑性加工学会他	http://www.jstp.or.jp	定員 150名
28～7.3 開催中止	炭素材料国際会議（CARBON2020）（京都）	炭素材料学会，日本学術会議	TEL 03-6824-9376 CARBON2020@bunken.co.jp http://www.tanso.org/carbon2020/	
29～7.3	PTM2020（8th International Conference on Solid-Solid transformations in Inorganic Materials）（中国西安）	中国金属学会	ptm2020@csm.org.cn http://www.ptm2020.com	
2020年7月				
2～3 開催中止	第30回電子顕微鏡大学（東大）	日本顕微鏡学会	jsm-denken@bunken.co.jp http://microscopy.or.jp/univ/	定員 150名
7～9 開催中止	第57回アイソトープ・放射線研究発表会（東大）	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081　gakujutsu@jrias.or.jp http://www.jrias.or.jp/	
10, 11.26～27	粉末冶金講座（名古屋大学，京都工芸繊維大）	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650	定員 各100名
13～15	第241回塑性加工技術セミナー「はじめての塑性力学　（準備編・基礎編・応用編）」（東京）	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 45名
16～17	第54回 X 線材料強度に関するシンポジウム（東北大）	日本材料学会	TEL 078-795-3212 nishida@kobe-kosen.ac.jp http://www.jsms.jp/	講演 3.27
28	腐食防食部門委員会第335回例会（大阪）	日本材料学会	TEL 075-761-5321　jimu@jsms.jp https://www.jsms.jp/	
2020年8月				
26～28	日本実験力学会2020年度年次講演会（都城）	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 annual20@jsem.jp http://www.jsem.jp/event/Annual20/index.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合先	締切
2020年 9 月				
1 ～ 3	第22回 X 線分析講習会　蛍光 X 線分析の実際（第11回）（相模原）	日本分析化学会 X 線分析研究懇談会	FAX 03-5227-8632 jsac-xray@bunken.co.jp https://xbun.jsac.jp/	
2 ～ 4	日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム（北大）	日本セラミックス協会	TEL 03-3662-5232　fall33@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/33/	
9 ～11	2020年度工学教育研究講演会（北大）	日本工学教育協会 北海道工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
14～16	第26回結晶工学スクール（2020年）（東大）	応用物理学会	TEL 03-3828-7723　igarashi@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho	8.31
16	The 15th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics（Slovenia）	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://www.jsem.si/15th-ISEM2020-Ljubljana/	
16～18	**日本金属学会秋期講演大会（富山大学五福キャンパス）（富山）（本号271頁）**	**日本金属学会**	**TEL 022-223-3685　FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp**	**講演　7.3 参加予約　8.31**
2020年10月				
14～16	VACUUM2020真空展（東京）	日本真空工業会他	TEL 03-3459-1228 autumnfair@media.nikkan.co.jp	
19～22	The 8th conference of Crystal Growth and Crystal Technology（CGCT8）第 8 回アジア結晶成長・結晶技術国際会議（宮崎）	アジア結晶成長および結晶技術学会他	TEL 06-6879-8730 yamanoi-k@ile.osaka-u.ac.jp https://www.opt.miyazaki-uac.jp/hikari/	
27～30	第 1 回地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム（奈良）	日本鉄鋼協会	TEL 075-223-2311 http://web.apollon.nta.co.jp/CUUTE-1/ cuute-1@nta.co.jp	
2020年11月				
14～15	第71回塑性加工連合講演会（鳥取大）	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp/	
15～19	The 9th International Symposium on Surface Science（ISSS-9）（高松）	日本表面真空学会	isss9@jvssjp https://www.jvss.jp/isss9/	参加 9.22
2020年12月				
7 ～11	Materials Research Meeting 2020（MRM2020）（横浜）	日本 MRS	TEL 03-6264-9071 info_mrm2019@jmru.org https://mrm2020.jmru.org	
8 ～11	COMPSAFE2020（第 3 回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議）（神戸）	COMPSAFE2020 実行委員会	secretary@compsafe2020.org http://www.compsafe2020.org	
2021年 2 月				
2 ～ 3	Mate2021第27回『エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム（横浜）	スマートプロセス学会他	TEL 06-6878-5628　mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/	
2022年 7 月				
5 ～ 8	The 7th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials（ICCCI2022）（富士吉田）	粉体工学会	http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.html iccci2022@ynu.ac.jp	

2019, 2020年度会報編集委員会　（五十音順，敬称略）

委員長　大塚　誠
副委員長　竹田　修
委員　池尾直子　石本卓也　井田駿太郎　上田恭介　梅津理恵　大石　郁
大野直子　小幡亜希子　木口賢紀　北村一浩　小畠淳平　小柳禎彦
近藤亮太　齊藤信雄　齊藤敬高　佐々木秀顕　佐藤紘一　佐藤豊人
杉浦夏子　芹澤　愛　髙島克利　高山直樹　田中秀明　趙　研
佃　諭志　堤　祐介　圓谷貴夫　寺西　亮　寺本武司　土井康太郎
徳永透子　轟　直人　永井　崇　長岡　亨　中村篤智　野山義裕
長谷川　誠　春本高志　藤枝　俊　細川裕之　本間智之　三井好古
宮崎秀俊　宮澤知孝　宮部さやか　盛田元彰　森戸春彦　諸岡　聡
山中謙太　山本剛久　横山賢一　吉矢真人　吉年規治　李　海文

まてりあ 第59巻 第5号（2020）　発行日　2020年5月1日　定価（本体1,700円＋税）送料120円

発行所　公益社団法人日本金属学会
〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32
TEL 022-223-3685　FAX 022-223-6312

発行人　山村英明
印刷所　小宮山印刷工業株式会社
発売所　丸善雄松堂株式会社
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

Materials Transactions 投稿の手引き※

※本会への投稿論文のみ，この手引きが適用されます．

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

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

1. Mater. Trans. に投稿可能な論文

(1) Regular Article（10頁以内）

金属及びその関連材料の理論，実験並びに技術などに関する学術上の成果を報告し，考察した原著論文で，科学・技術的に質の高い，新規な興味ある内容（結果，理論，手法等）が十分含まれている論文．
日本金属学会誌の学術論文または速報論文に Web 掲載後２年以内であれば，著者および内容が基本的に同一の場合に限り，英訳した論文を投稿できる．その事を脚注に明記する．ただし査読の結果，返却もあり得る．
なお，著者が迅速掲載を希望し，追加費用を負担する場合は，査読期間短縮を含め迅速掲載のための処理を行う．

(2) Review（15頁以内）

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

(3) Overview（15頁以内）

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

(4) Technical Article（10頁以内）

金属およびその関連材料の実験技術，製造技術，設備技術，利用技術など，技術上の成果，基準，標準化，データベースなど，および関連する事柄の調査，試験結果を報告した原著論文．
日本金属学会誌もしくはまてりあに Web 掲載後２年以内であれば，著者および内容が基本的に同一の場合に限り，英訳した論文を投稿できる．その事を脚注に明記する．ただし査読の結果，返却もあり得る．

(5) Current Trends in Research（10頁以内）

特集企画に掲載した内容について，特集掲載論文を引用した上で，Graphical Abstract を掲載して内容を紹介する等，その概要をわかりやすく解説する論文．

(6) Express Rapid Publication（4 頁以内）

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

(7) Opinion（2 頁以内）

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

(8) その他理事会で決議した分類

2. 投稿の方法

Mater. Trans. への投稿は https://mc.manuscriptcentral.com/matertrans にて原稿を提出する．
和文掲載済み論文の英訳論文の場合には，和文掲載済み論文 PDF も送付する．

3. 原稿

執筆要領に従って原稿を作成し指定のファイル形式に変換したものを提出する．

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

3.2 単位
SI 単位を使用する．

3.3 引用文献・脚注
通し番号で[1,2]，あるいは[3–6]のように表し，本文の末尾に一括記載する．著者名，誌名はすべて英語表記する（特に決まっていないものはローマ字表記する）．

4. 審査

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

5. 校正

初校は著者の責任で行う．著者校正は原則として１回とし，誤植の修正に限る．

6. 投稿者負担金

6.1 投稿・掲載費用を支払う（公開日から１年間有効の電子ジャーナル購読権 ID/Password を寄贈）．
6.2 カラー図表掲載を希望する場合は実費を負担する．
（1 図表当り1,000円）
※オンラインジャーナルのみ（冊子・別刷はすべてモノクロ表示）．
6.3 Regular Article の迅速掲載費用：１万円．
6.4 別刷購入希望の場合は，別途費用を負担する．

公益社団法人日本金属学会　欧文誌編集委員会

まてりあ「誌上展示会」

価格（税別）：2,980,000円～
※オプションは別途です。

精密試料の自動仕上げ専用機　IS-POLISHER　ISPP-1000

手研磨の作業負担を減らします

- ◆斜め研磨の角度が出しにくい
- ◆EBSD像を出すのに時間を要する
- ◆ミクロン単位で削りたいが、削り過ぎてしまう
- ◆手研磨をやめたい
- ◆人によって仕上がりの差が出る
- ◆技術継承、習得に時間を要する
- ◆包埋の時間を短縮したい
- ◆自動化したい

株式会社 池上精機

〒223-0057　神奈川県横浜市港北区新羽町 543-1-2Ｆ
TEL.045-717-5136　URL : http://www.ikegamiseiki.co.jp

CMOS 搭載高速 EBSD 検出器「Symmetry」

製品紹介

CMOSカメラを搭載した最新型超高速・高感度EBSD検出器です。
最速で毎秒3000ポイントの超高速でのマップ収集を実現します。
毎秒3000ポイント収集時でも156x128の高解像度でキクチパターンを収集でき、高いヒット率と高精度な方位解析を可能にします。
最高で1244x1024の高解像度キクチパターンを収集可能で、材料のひずみ解析にも最適です。
チルト機構を搭載し、サイズの大きい試料の測定や、ショートワーキングディスタンスの測定にも対応します。
近接センサーを内蔵しており、SEMステージや試料との衝突を未然に防ぐことができます。
Symmetryは最高の性能と革新的な機能で、効率的なEBSD分析を実現します。

オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社

〒140-0002 東京都品川区東品川3-32-42 ISビル5F　www.oxinst.jp
TEL.03-6732-8967　FAX.03-6732-8939　E-Mail : na-mail.jp@oxinst.com

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

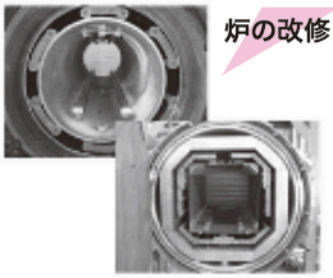
株式会社　明　報　社

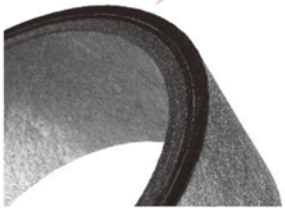
〒104-0061　東京都中央区銀座七丁目12-4　友野本社ビル
TEL（03）3546-1337　FAX（03）3546-6306
E-mail　info@meihosha.co.jp
ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞ　www.meihosha.co.jp

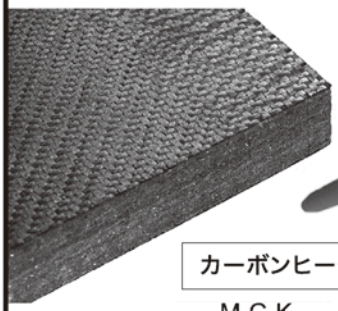
高温真空 3000℃への挑戦

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
■MGR回転式脱ガス装置用ローター
■高温真空炉　炉内メンテナンス
■メカニカルシール、パッキン等の摺動部品修理・改造


炉の改修

ハイブリット成形断熱材



6面シート貼り

カーボンフェルト

高断熱＋省エネ

カーボンヒーター、カーボン断熱材、高温真空炉内冶具、消耗品等のご相談はスペシャリストにお任せください。

M.C.K

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　１/２Ｐ　￥６０,０００
後付）１色１Ｐ　￥９５,０００　１/２Ｐ　￥５５,０００
※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　１/２Ｐ　￥４０,０００

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

文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」
nanoplat
微細構造解析プラットフォーム

新材料の観察・分析
技術課題解決のための支援を実施しています

ナノ構造解析は名古屋大学へ

http://nanoplat.nagoya-microscopy.jp

- 専任の電子顕微鏡技術者が観察を代行
- 学内の各専門分野の研究陣がサポート
- 万全の守秘体制で
  成果公開・非公開の観察支援を実施

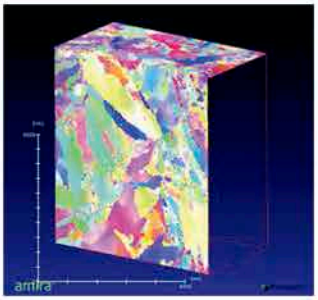
観察・分析支援手順

利用相談 ▶ 利用申請書提出 ▶ 課題選定・承認 ▶ 試料作製 観察・解析 コンサルティング ▶ 利用報告書

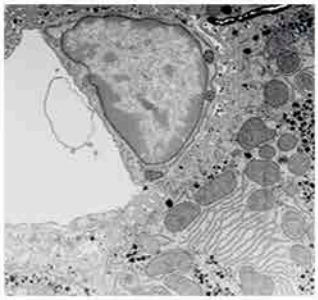
■集束イオンビーム加工機（FIB-SEM）MI-4000L

[仕様]
- FIB-SEM鏡筒：直交型
- FIB加速電圧：最大30kV
- SEM加速電圧：0.1～30kV
- Arイオンビーム：0.5～2kV
- マイクロサンプリング機能
- FE-SEM、EDS及びEBSD（OIM）機能
- STEM検出器装備

[用途]
- Cut & See（リアルタイムで実現）
- リアルタイムSEM・STEM観察
- リアルタイム3D-EDS、3D-EBSD



Cut & Seeによる3D-EBSD計測
鉄鋼材料（結晶粒・結晶方位分布）

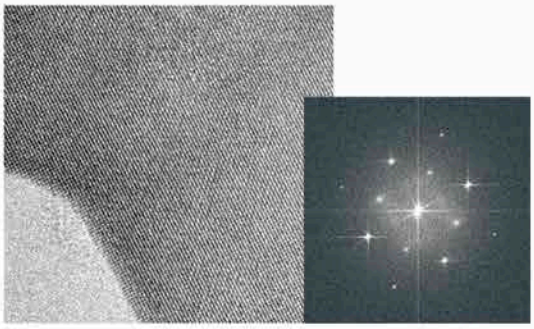


生物系試料の断面SEM観察
ラットの肝臓細胞

■反応科学超高圧走査透過電子顕微鏡 JEM-1000K RS

[仕様]
- 超高圧でのTEM/STEM観察
- TEM点分解能：0.15nm以下
- STEMプローブ径：1nm
- 加速電圧：1000、800、600kV
- 各種ガス環境雰囲気：最大0.1気圧
- EELSによる元素分析機能
- 各種特殊ホルダーを整備

[用途]
- ガス環境下でのその場観察
- 3D観察（生物系試料も可能）
- ハイコントラスト暗視野観察

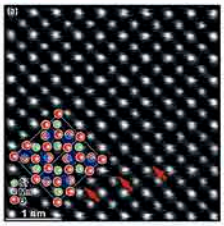


金単結晶のガス中観察（ガス圧 11,000 Pa）

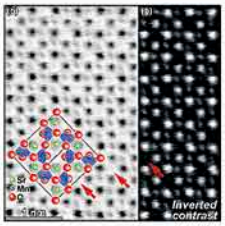
■超高分解能収差補正型 TEM/STEM JEM-ARM200FC

[仕様]
- TEM点分解能：110pm
- STEM-HAADF像分解能：78pm
- 加速電圧：200、80kV
- 照射レンズ系に収差補正機能を搭載
- 冷陰極電界放射型電子銃
- STEM：HAADF、LAADF、ABF
- EDS、EELS（Dual EELS）

[用途]
- 原子レベルでの構造観察、
  元素分析、電子状態分析

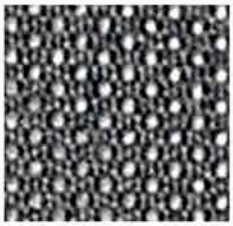


HAADF-STEM



ABF-STEM

$SrMnO_{2.5}$ 結晶の酸素欠損サイトの観察



ゼオライト結晶の構造像

■上記以外にも用途に応じた各種設備を整備

文部科学省　ナノテクノロジープラットフォーム　微細構造解析プラットフォーム
「高性能電子顕微鏡による反応科学・ナノ材料科学研究支援拠点」事務局
〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町　名古屋大学 未来材料・システム研究所 超高圧電子顕微鏡施設
Tel:052-789-3632 Fax:052-789-3174　E-MAIL : nanoplat@nagoya-microscopy.jp