

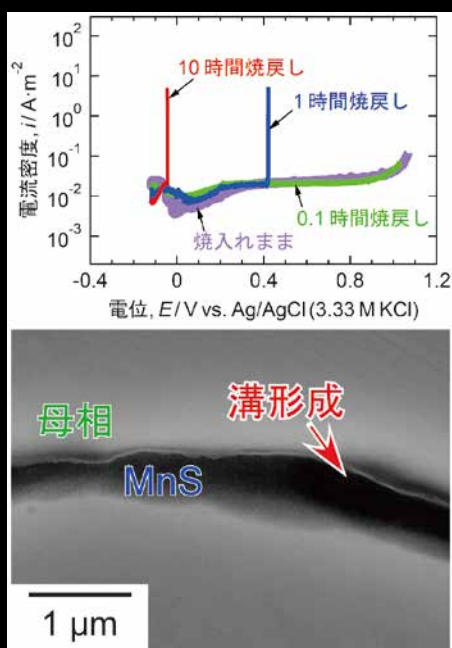
Materia Japan

まてりあ Vol.60

MTRE2 60 (12) 769 ~ 824 (2021)

No.12

2021



巻頭
記事

新世代の自動車で重要な役割を果たす
ワイヤーハーネス

- ・ 金属なんでもランキング! ~純物質液体の表面張力~
- ・ 析出物の安定形状の予測と組織データに基づく材料パラメータ推定
- ・ 炭素鋼のミクロ組織の電気化学特性解明と組織制御による高耐食化

実学
講座

まてりあ 60 巻記念企画

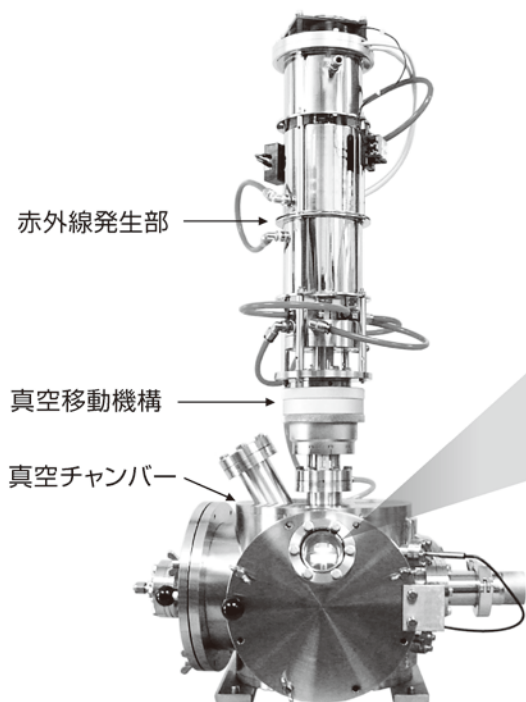
金属材料実験の手引き 1. 組織観察

1-3 走査型電子顕微鏡を用いた分析手法 (EBSD) (続き)

- ・ まてりあ 60 巻記念企画: 企画の終わりにあたって

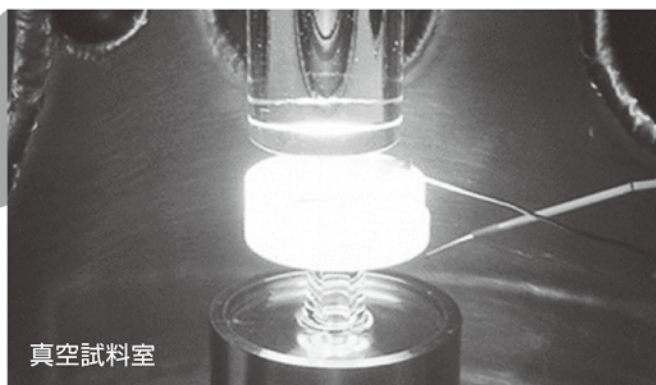
超高温・高速昇温・真空・ガス雰囲気中試料の加熱に！

赤外線導入加熱装置 GVL298



特長

- ◆急速昇温 1500℃まで1分で昇温
- ◆周りを加熱せず試料のみクリーン加熱
- ◆熱源と試料は非接触。強制冷却も可能
- ◆XPS等、研究室内真空システムに取付可能



【用途】

Si、SiC、カーボンナノチューブ等の清浄雰囲気中熱処理

均温熱処理装置 GFA430VN



特長

- ◆小型で広い均熱ゾーンの均温電気炉
- ◆昇降温速度が速い
- ◆真空中、不活性ガス雰囲気中で熱処理可



- 最高到達温度：1000℃ ±5℃
- 昇温速度：室温→1000℃ 約30分
- 降温速度：1000℃→100℃ 約60分
- 均温容積：約φ36×200mm
- 最高到達真空度： 5×10^{-4} Pa
- 所要電力：AC200V 15A(ヒーター用)

★昇温試験も受け付けております。詳細はホームページをご覧ください。

サーモ理工

熱と共に歩む

 株式会社 **サーモ理工**

〒181-0013

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



巻頭記事 新世代の自動車に重要な役割を果たすワイヤーハーネス769

金属なんでもランキング! No. 17 純物質液体の表面張力773

最近の研究 析出物の安定形状の予測と組織データに基づく材料パラメータ推定
塚田祐貴 小山敏幸775

Mg合金の析出物形状と材料パラメータ(格子ミスマッチ、界面エネルギー)の関係は? 析出物形状データから材料パラメータを推定した結果を紹介。

炭素鋼のミクロ組織の電気化学特性解明と組織制御による高耐食化
門脇万里子 武藤 泉 菅原 優 原 信義784

「炭素鋼の金属組織と耐食性との関係性」や、「金属組織制御による高耐食化手法」についての最近の研究知見を紹介。

まてりあ 60巻記念企画

実学講座 金属材料実験の手引き
1. 組織観察 1-3 走査型電子顕微鏡を用いた分析手法
1-3-2 後方散乱電子回折法(EBSD)による結晶方位解析(続き)
横江大作793

科学館めぐり 石炭産業科学館(福岡県大牟田市) 寺西 亮800

産官学交差点 貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(貴金属シンポジウム)
大内隆成 岡部 徹802

はばたく 学位留学を通して感じたこと 池田裕樹805

まてりあ 60巻記念企画

日本金属学会会報「まてりあ」60巻記念企画の終わりにあたって 竹田 修807

本会記事 会告808 次号予告821
支部行事808 新入会員821
掲示板813 行事カレンダー822
会誌・欧文誌12号目次820

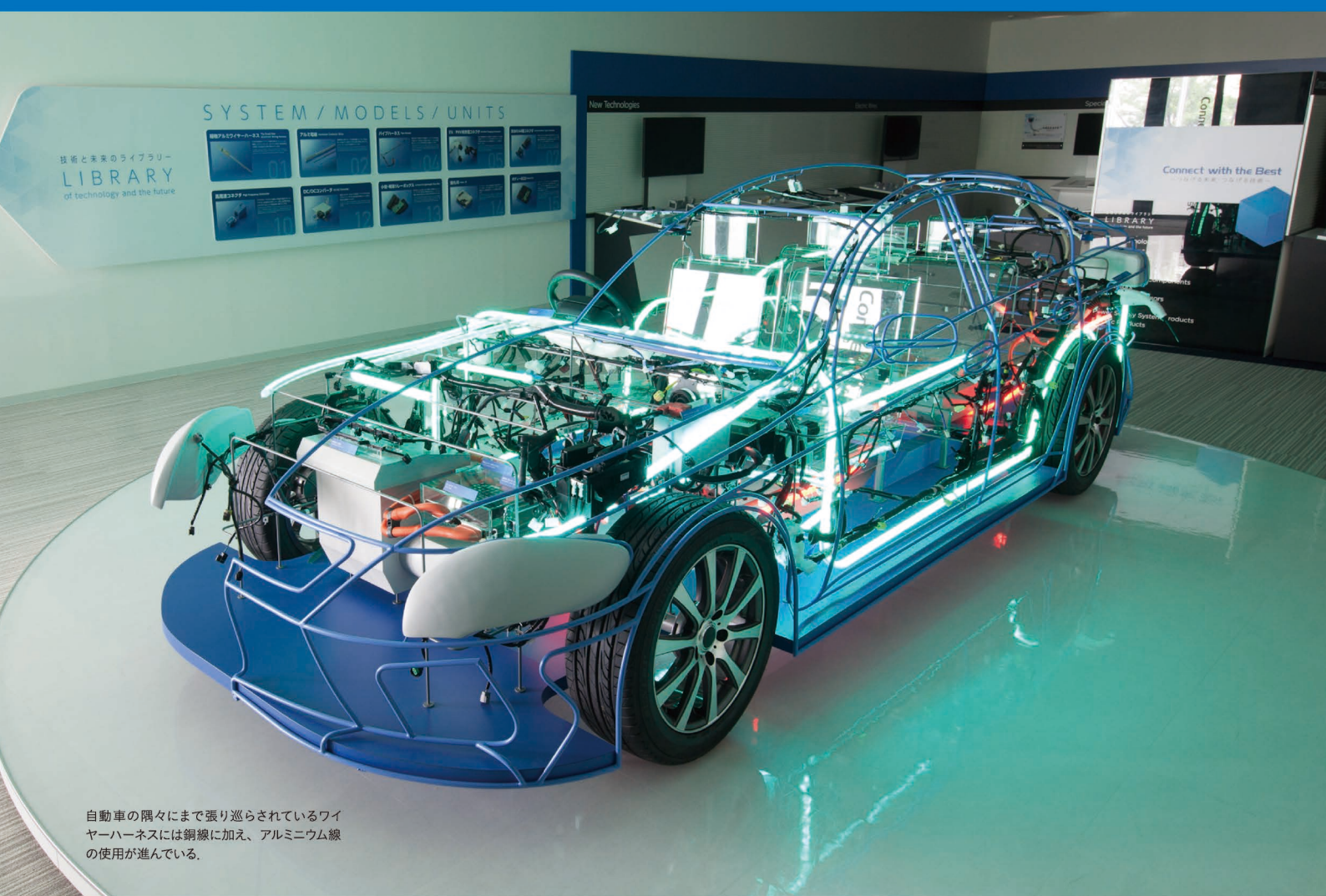
今月の表紙写真

マルテンサイト組織を有する炭素鋼 S45C の、焼戻し処理に伴う耐孔食性の変化(1 mM NaCl 含有ホウ酸緩衝液中でのマイクロアノード分極曲線)(上)と、0.1時間焼戻し試料に含まれる MnS 介在物の、分極後の SEM 画像(下)。
(門脇万里子 武藤 泉 菅原 優 原 信義 著 787頁 図 4(b)および図 5(b)より掲載)

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

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

新世代の自動車で 重要な役割を果たす ワイヤーハーネス



自動車の隅々まで張り巡らされているワイヤーハーネスには銅線に加え、アルミニウム線の使用が進んでいる。

「ワイヤーハーネス」は自動車の血管や神経に例えられる重要な部品である。自動車に搭載される電装品の増加とともに、ワイヤーハーネスの使用量も増加している。近年、地球温暖化対策としてのCO₂削減ニーズが世界的に高まっている。自動車においても燃費向上がこれまで以上の課題になっており、そのためには車体の軽量化が必要で、ワイヤーハーネスにも軽量化が求められている。また、自動運転への対応などでもワイヤーハーネスには新たな性能が求められている。ここでは、新世代の自動車でも重要な役割を果たすワイヤーハーネスについて紹介する。

安全で快適な走行を支える

エンジンやブレーキなど、「走る」、「曲がる」、「止まる」という自動車の基本性能の制御系機器、ヘッドライトや方向指示器などの安全系機器、エアコンなどの車内環境を快適にする機器に加え、カーナビゲーションシステムや後部座席のテレビなどの情報系機器など、自動車には多彩な電装品が搭載されている。これらの電装品に必要な電力を供給したり、モーターなどの制御、各種センサーとの信号のやり取りなどを担うワイヤーハーネスは、自動車の血管と神経に例えられる重要なパーツである（図1）。

このワイヤーハーネスは自動車の天井から床下まで、目に見えないさまざまな場所に張り巡らされている（図2）。

自動車の利便性と快適性を向上させるため、1950年代からスターター、ワイパー、パワーウィンドウなどの電動化が進んだ。さらに1960年代以降、トランジスタ、IC、マイコンなどが、レギュレーター、イグナイター（点火装置）のエレクトロニクス化や、ABS（Anti-lock Brake System）の搭載を実現した。これに伴いワイヤーハーネスの質量や搭載容積は増加し続け、設計上の課題になっていた。このため、1980年代からは車載LAN（Local Area Network）の導入による配線数の削減が進められている⁽¹⁾。

車種によって異なるが、1台の自動車に搭載されるワイヤーハーネスのケーブル数は2000本以上になるといわれている⁽²⁾。また、その総延長は2～3 kmにおよび、質量は合計20～30 kgになるといわれる⁽³⁾。



図1 ワイヤーハーネスの例。

ワイヤーハーネスは、電線、端子、コネクタ、結束帯などから構成されている。

高まるワイヤーハーネスの軽量化ニーズ

近年、SDGsや地球温暖化対策への関心が世界的に高まる中、運輸分野ではこれまで以上に燃費の向上が求められるようになっている。これに対応するためには車体の軽量化が有効な対策の一つであり、ワイヤーハーネスに対しても軽量化が求められている。ワイヤーハーネスの全質量に占める電線質量は一般的に60～70%といわれる（図3）。電線の軽量化としては従来から、システム統合により電線本数を削減する「省線化」、電線径を細くする「細線化」、電装部品間を最短で接続する「短線化」などの取り組み

が行われてきた⁽⁴⁾。また、ケーブルの絶縁体の薄肉化などによる軽量化も行われてきた。しかし、一層の軽量化を実現するためには、より軽量の導電材料を使用する必要があった。

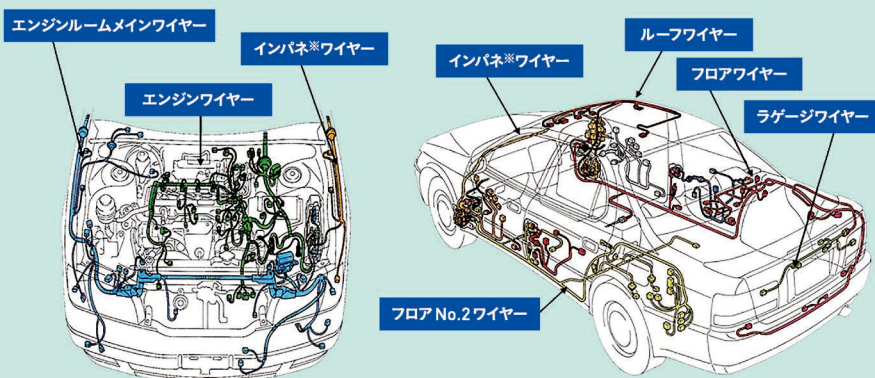
その他の車載部品の隙間を縫うように設置されるワイヤーハーネスは、取り付け時にはさまざまな形状に曲げられるため、電線（芯線）となる材料には十分な強度が求められる。さらに耐振動性や耐熱性なども要求されることから、電線やコネクタなどには銅合金が用いられてきた。

しかし、近年の銅価格の高騰を背景の一つとして、銅の使用量の削減や、代替材料への移行が推し進められている⁽⁵⁾。

そこで注目された素材が、導電率が銅の約60%であるものの、比重が銅の約半

図2 ワイヤーハーネスの種類。

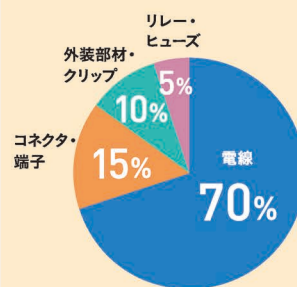
さまざまな機器を接続するために、ワイヤーハーネスは、自動車の隅々まで設置されている。



※インパネ：インストルメントパネル（instrument panel：計器盤）の略。

図3 ワイヤーハーネスの構成部品別重量比率の例⁽⁴⁾。

ワイヤーハーネスは、電線、コネクタ・端子、外装部材・クリップ、リレー・ヒューズから構成されている。



分で加工性にも優れているアルミニウムであった。

アルミニウム線を実装するための技術革新

アルミニウム線をワイヤーハーネスで使用するためには、銅線と同等の強度（引張強さ）と電気伝導性を両立したアルミニウム合金の開発、電線と端子の電気接続における信頼性の確保、異種金属の接触腐食への対策の3つを実現する必要があった。

ワイヤーハーネスでは細い金属線を束にしたものが電線として使用されることから、曲げに対する柔軟性と、振動に対する耐久性を兼ね備えた新たなアルミニウム合金が開発されている（図4）。

一般的な工業用純アルミニウム（1060：純度 99.6 mass%）は、導電率は 62 % IACS^{（注1）}であるが、軟化後の引張強さが 70 MPaと低い。ワイヤーハーネスに使用するアルミニウム線の実装においては、低圧電源に使用される 0.5 mm² サイズの銅電線を置換可能な物性として、0.75 mm² サイズで引張強さ 110 MPa、導電率 58 % IACSが目標値とされた^{（6）}。

この新しいアルミニウム合金の開発では、導電率低下を抑えながら強度を向上させるための添加元素として、鉄が選定された。しかし、鉄の添加量が増加すると加工性が低下するため、鉄の一部をマグネシウムで置換することにより、強度の向上が図られた。また、軟化処理によって導電率が低下することが分かったことから、処理条件の最適化が行われた。こうして、導電率 60 % IACS、引張強さ 120 MPaを実現したアルミ

ニウム合金、Al-1.05 mass% Fe-0.15 mass% Mgが完成した。

また、エンジンルームで用いられるものより高い引張強さである 250 MPa 以上と導電率 50 % IACS を達成した熱処理型（析出強化型）のアルミニウム合金、Al-0.5 mass% Mg-0.4 mass% Si も開発されており、室内やドアのハーネスにおいて用いられている（図5）^{（7）}。

ワイヤーハーネスにアルミニウム線を実装する際の2つ目の課題が、端子と電線の接触抵抗の高さであった。従来の銅線と銅合金の端子の接合には圧着が用いられ、電線表面の酸化銅（Cu₂O）の導電率が 10 S/cm であるのに対して、酸化アルミニウム（Al₂O₃）では導電率が 10⁻⁷ S/cm であり、そのままでは接触部分に十分な導電性を確保することが難しかった。従来の銅線には接触抵抗を軽減するために「セレーション」と呼ばれる細い溝加工が施されていたが、酸化銅の硬度が 160 Hv であるのに対して酸化アルミニウムは 1800 Hv である。このセレーションの形状に工夫を加えることで圧着時に酸化被膜が破壊されやすくなり、十分な導電率が得られる新生面を露出させるようになっている（図6）。

この方式では従来の端子形状を変更する必要が無いため、既存の製造ラインを使用できるメリットもあるという。

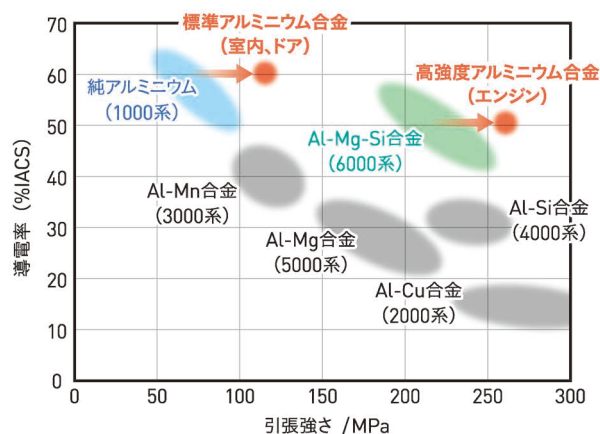


図4 アルミニウム線を使用したケーブルの例。

曲げやすさや耐久性を確保するため、ケーブルは細線を捻り合わせて構成されている。

図5
ハーネス用
アルミニウム合金の
引張強さと導電率^{（7）}。

アルミニウム線のワイヤーハーネスの実装に当たっては、2種類のアルミニウム合金が開発されている。



※文献（7）を元に作成

自動車の未来を支え

さらに、素線本数の多いアルミニウム電線には、超音波溶接や超音波半田を用いるなどして、十分な導電性を確保している。

3つ目の課題は、アルミニウムと銅という異種金属が接触する箇所^{おそれ}で生じる腐食である。これに対しては、塩水などの電解液の浸入を防ぐためにゲル状の新しい防食剤を開発したり、熱収縮チューブを使用することなどで対応している。

これらの技術開発の結果、アルミニウム線を用いたワイヤーハーネスは2010年頃から本格的に採用され始めている。国内外の自動車メーカーの多数の車種に搭載されているアルミニウムハーネスは、今後はワイヤーハーネスの主流になると予想されている。

新たなニーズに対応するワイヤーハーネス

今後のワイヤーハーネスへのニーズとしては、EVへの対応がある。バッテリーからモーターなどに大電流を安全・確実に供給するには、「太物電線」と呼ばれる断面積が大きい電線を使用し、高電圧にも対応したワイヤーハーネスが必要である。同時に、振動対策を新たに施した高圧コネクタの開発も求められる⁽⁸⁾。

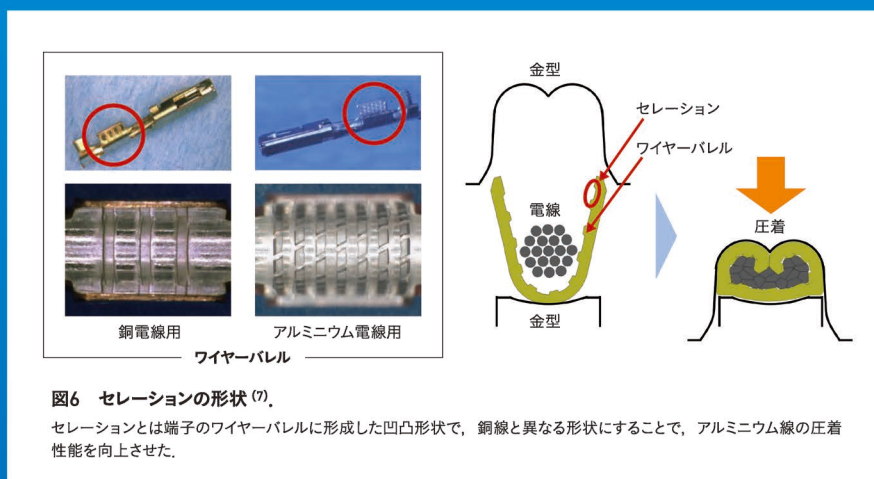


図6 セレーションの形状⁽⁷⁾。

セレーションとは端子のワイヤーパレルに形成した凹凸形状で、銅線と異なる形状にすることで、アルミニウム線の圧着性能を向上させた。

また、自動運転の実現のためには「X-By-Wire」への対応が重要である。「X-By-Wire」に明確な定義は無いが、一般的には「制御対象を電子信号を経由して制御すること」とされている。自動車におけるX-By-Wire技術はエンジンロットル(Driving by wire)、ブレーキ(Braking by wire)などに採用され、現在では一般的な技術になっているが、今後は自動運転などに必要となるステアリングシステム(Steering by wire)への対応が進められることになろう。

現在、CASE^(注2)やMaaS^(注3)の導入など自動車の在り方は大きく変わろうとして

いる。自動車内で電力と情報を担うワイヤーハーネスの果たすべき役割は今後、ますます増大すると予想されるが、同時にワイヤーハーネスにも新たな性能が求められている。例えばさまざまな信号を伝送するために搭載されている車内LANには、軽量化に加えて高速通信、ノイズ対策やセキュリティ対策が求められるようになっている。

持続可能な社会の実現のためにも、ワイヤーハーネスには一層の技術開発が求められている。

画像提供(タイトル写真、図1, 2, 4, 6): 住友電気工業株式会社、住友電装株式会社、株式会社オートネットワーク研究所。

(注1) IACS (International Annealed Copper Standard)

国際的に採用された焼鈍標準軟銅の導電率 5.8×10^7 S/m (体積抵抗率: 1.7241×10^{-2} $\mu\Omega\text{m}$) を100 %IACSとして、試験体の導電率を百分率で表現したもの。

(注2) CASE

Connected (コネクテッド)、Autonomous (自動運転)、Shared & Service (シェアリングとサービス)、Electric (電動化) の頭文字をとった造語。

(注3) MaaS (Mobility as a Service)

地域住民や旅行者一人一人のトリップ単位での移動ニーズに対応して、複数の公共交通やそれ以外の移動サービスを最適に組み合わせて検索・予約・決済などを一括で行うサービス。

文 献

(1) 杉村竹三, 杉本薫: 古河電工時報, 132 (2013), 2-9.

(2) 中村篤: 銅, 181 (2016), 3-4.

(3) 吉本潤, 高木英男, 大塚保之: SUS FA MAGAZINE シング, 40 (2020), 17-20.

(4) 三好俊充, 下河内次生: マツダ技報, 32 (2015), 167-172.

(5) 住友電気工業株式会社広報部: id住友電工グループ・未来構築マガジン2, (2017), 2-9.

(6) 山野能章, 細川武広, 平井宏樹, 小野純一, 大塚拓次, 田端正明, 大塚保之, 西川太郎, 北村真一, 吉本潤: 住友電工テクニカルレビュー, 179 (2011), 81-88.

(7) 小林宏平, 宮本賢次, 伊藤貴章, 高田裕, 大井勇人: 住友電工テクニカルレビュー, 194 (2019), 8-13.

(8) 水谷美生, 橋本大輔, 釣田聡史, 桑原正紀: 住友電工テクニカルレビュー, 194 (2019), 24-28.

るワイヤーハーネス

書籍ガイド

たたら製鉄の技術論

日本古来の鉄作りが現代によみがえる

永田和宏 著

A5判

2021年4月 定価3,080円(税込)

発行所名: アグネ技術センター

ISBN978-4-86707-004-8

〒107-0062

東京都港区南青山5-1-25 北村ビル

TEL: 03-3409-5329

FAX: 03-3409-8237

URL <https://www.agne.co.jp/books/>



砂鉄を原料に使う「たたら製鉄」は、世界でも非常にユニークな製鉄法で、溶けた銑鉄と鋼の塊をわずか30分で作る高速高純度銑鉄製造技術である。本書は「たたら製鉄」の技術を解明し、その理論を用いたカーボンニュートラルを実現するマイクロ波加熱による高速銑鉄法も紹介する。

フレットング摩耗・疲労・損傷と対策技術大系

～事故から学ぶ壊れない製品設計～

服部敏雄 著

B5判・約340頁

2021年12月 定価55,000円(税込)

発行所名: (株) エヌ・ティー・エス

ISBN978-4-86043-761-9

〒102-0091

東京都千代田区北の丸公園2-1

科学技術館2階

TEL: 03-5224-5430

FAX: 03-5224-5407

URL: <http://www.nts-book.co.jp/>



ジェットエンジン破損、新幹線ボルト落下など重大事故多発の原因にフレットング摩耗・疲労に伴う損傷が関わっているが、それを学術的かつ定量的に評価する事は難しい。本書は、事故事例を基に原因の解析、対策技術を解説。ものづくり設計技術者を中心とした幅広いエンジニアに役立つ技術大系となっている。

攪拌技術とスケールアップ、シミュレーションの活用

岩野 耕治、吾郷 健一 ほか79名

A4判・約500頁 2021年11月発刊

定価: 88,000円(税込み)

アカデミック割引価格: 33,000円(税込み)

発行所名: (株) 技術情報協会

ISBN: 978-4-86104-864-7

〒141-0031

東京都品川区西五反田2-29-5

日幸五反田ビル8F

TEL: 03-5436-7744

FAX: 03-5436-7745

URL: <http://www.gijutu.co.jp/>



試読可(約1週間)

攪拌翼、邪魔板、攪拌軸などの選定/気泡、異常発熱、スケールアップの原因と対策/分散のコントロールとコンタミ制御/目的に応じたスケールアップ手法/留流や温度ムラ、反応ムラの評価/攪拌翼に作用するトルクの解析/攪拌所要動力の予測/複雑な形状の流路や装置内のガスの可視化

第2巻 永久磁石の着磁と安定性

山本日登志、大橋健

B5判・118頁(カラー頁31頁)

2021年発刊

定価: 2,670円(税込み/送料込み)

ネオジコンサル社

お問い合わせは、TELまたはE-mail。

TEL: 090-2204-7294

E-mail: hitoshiad_0330@yahoo.co.jp

<http://hitoshiad26.sakura.ne.jp>

書籍内容抜粋は以下参照下さい;

山本HPメニュー ⇒ 書籍ご案内 ⇒ 書籍内容抜粋



第1巻「永久磁石の基礎と永久磁石測定方法」に続き、第2巻の出版販売開始中。

第2巻は山本日登志、大橋健の共著。永久磁石の応用上重要な着磁特性、また熱減磁などの安定性を詳しく解説。

目次と内容確認また購入の申し込みは弊社ホームページからお願いします。

永久磁石の基礎と永久磁石測定方法 (第3版)

著者 工学博士 山本 日登志

B5判 2019年発刊

定価: 2,300円(税込) ※送料別

ネオジコンサル社

お問い合わせは、TELまたはE-mail。

TEL: 080-2442-9009

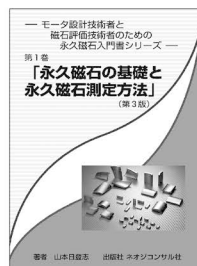
E-mail: hitoshiad_0330@yahoo.co.jp

書籍内容と購入方法:

ネオジコンサルHPから

初期画面 ⇒ メニュー ⇒ 書籍ご案内

<http://hitoshiad26.sakura.ne.jp>



永久磁石と磁気測定の入門書。

電気回路と磁気回路の類似と相違点解説。反磁場係数は実は変数である。磁石は各磁石体積の加算で考える。VSM標準校正Ni試料の値には注意が肝要。

書籍ガイド・広告募集!

かねてより会員読者より要望されておりました「書籍」情報を発信する広告特集です。

1コマ (1/6頁) ¥18,000 (税別)

次回は、6月号 (6/1発行) に掲載致します。

広告掲載のお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

E-mail: info@meihosha.co.jp

HP: <http://www.meihosha.co.jp>



金属なんでもランキング! No.17 純物質液体の表面張力

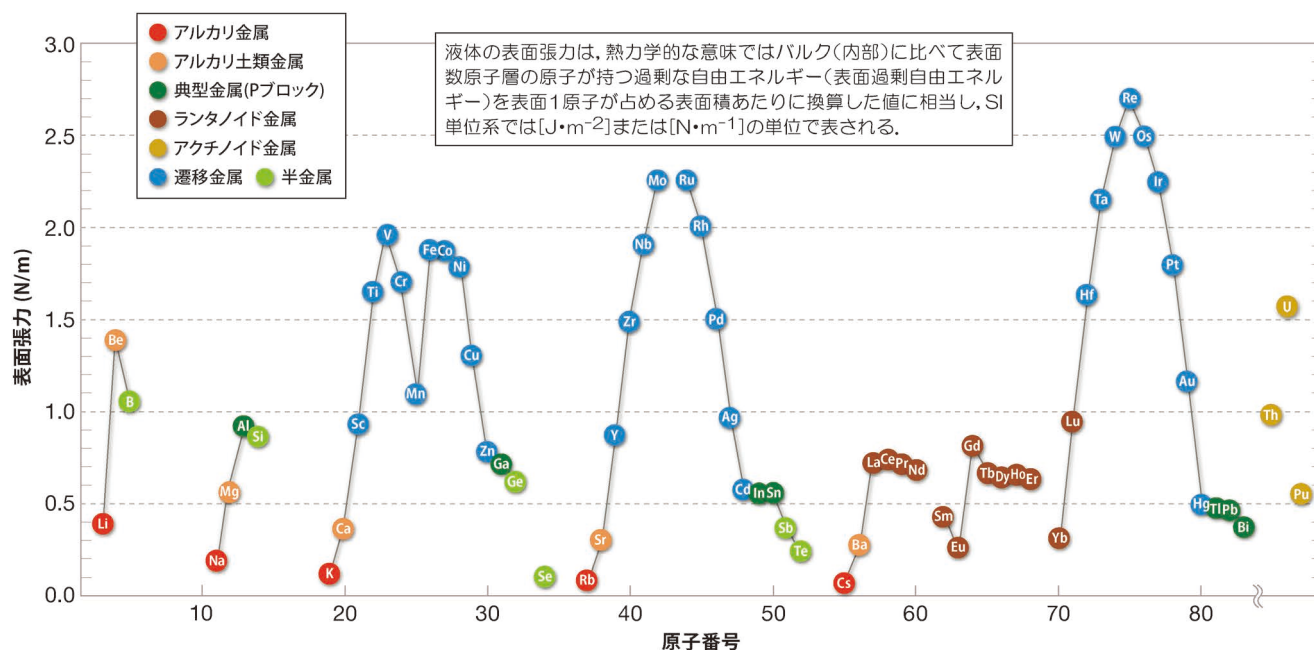


図1 各元素の純物質液体の表面張力(融点における値). ⁽¹⁾⁻⁽³⁾

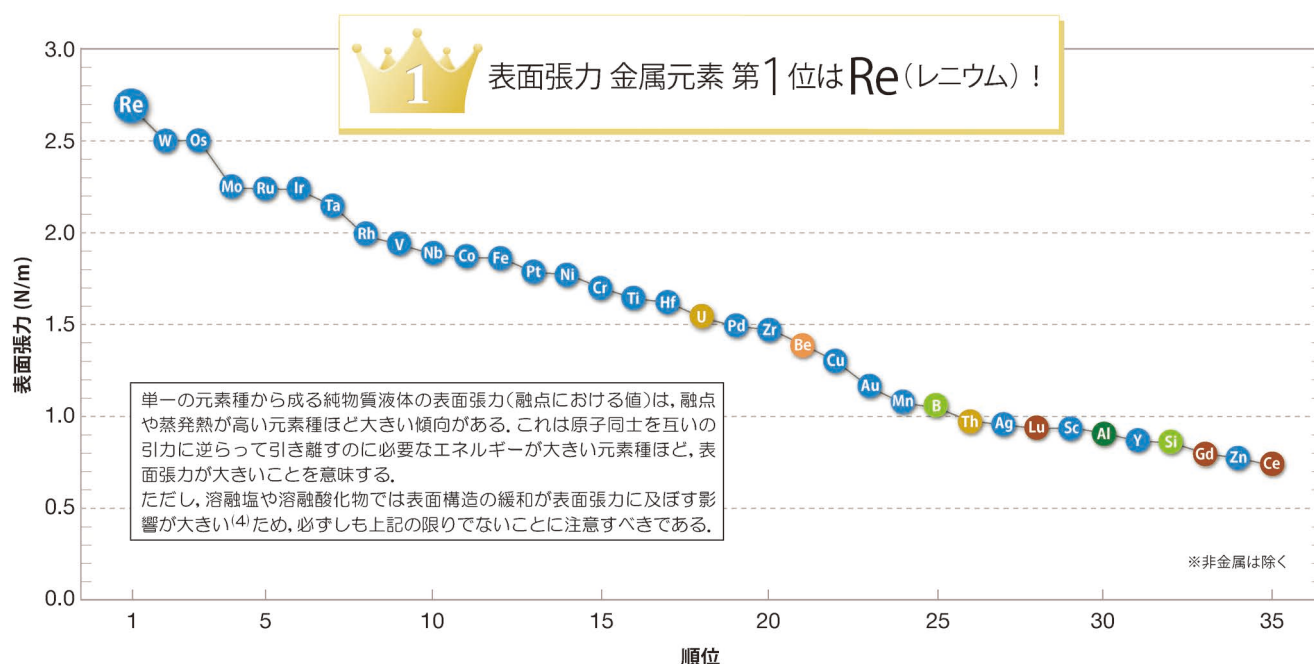


図2 純物質液体の表面張力ランキング(35位まで).

- 参考文献 : (1) T. Iida and R. L. Guthrie: The Physical Properties of Liquid Metals, Oxford Science Publications, (1988).
 (2) B. J. Keene: Int. Mat. Rev., **38**(1993), 157-192.
 (3) I. Egry, E. Ricci, R. Novakovic and S. Ozawa: Adv. Colloid Int. Sci., **59**(2010), 198-212.
 (4) T. Tanaka and S. Hara: Z. Metallkd., **90**(1999), 348-354.

次号! 金属素描 No.20 ルテニウム

**研磨機・切断機
期間限定キャンペーン中!!**

詳細はお問い合わせください。



自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

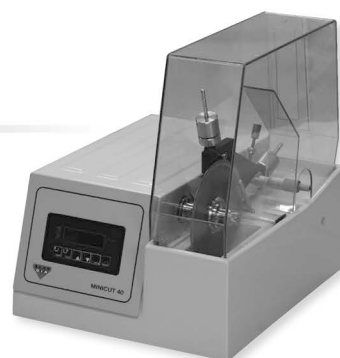
ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。



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

精密切断機 MINICUT 4000

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



試料埋め込み材料、アクセサリ



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

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

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

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

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

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

FRITSCH “NANO 領域”

遊星型ボールミル “PREMIUM LINE”

モデル P-7 **新型**

特色

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



従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリッチュ社が開発した
遊星型シリーズの
パイオニア機種。

世界で初めて容器ひとつで
遊星運動に成功した
ベストセラー機種

少量試料を対象にした
パワフルな機種

全機種共通の特長

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



P5



P6



P7

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュジャパン株式会社

本 社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7

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

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

未来を先導する
領域を開拓し、
世界に発信する

演題
登録締切

2022年
1/7(金)
17:00まで

事前参加
予約締切

2022年
2/25(金)

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

日本金属学会

2022年 春期 第170回講演大会

2022年
会期 3/15(火)~17(木)

3/22(火) 高校生・高専学生ポスターセッション
オンライン開催

会場 東京大学駒場Ⅰキャンパス
〒153-0041 東京都目黒区駒場3丁目8-1
状況によりオンラインに変更になる可能性があります。



主なシンポジウムテーマ

- S1 プラストンの材料科学 IX
Materials Science on Plaston IX
- S2 ハイエントロピー合金の材料科学 VII
Materials Science and Technology in High-Entropy Alloys VII
- S3 エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(II)
Evaluation, analysis, and prediction of energy related materials performance (II)
- S4 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムIII
—凝固および固相変態で造り込む構造と材料特性の関係—
Architecture construction for functions and properties of materials III —Relationship between Materials Properties and Fabricated Structures through Solidification and Solid Phase Transformation—
- S5 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成
Tailoring of novel-structured materials using spatio-temporal responses under exotic reaction fields
- S6 生体用金属・セラミックス系材料の実用化に向けた評価方法開発・標準化
Development of evaluation methods and standardization of metallic and ceramic materials for biomedical application
- S7 永久磁石開発の元素戦略9 一次世代新材料に向けた基礎・基盤研究—
Element strategy for high performance permanent magnets 9 —Fundamental and basic research toward next-generation novel materials—
- S8 金属表面の材料化学V—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
Materials Science in Surface Chemistry on Metals
- S9 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術
Crystallographic orientation analyses of metallic, inorganic and organic materials and their applied techniques
- K1 工業製品における材料選択とマルチマテリアル構造—建築構造物—
Materials selection and multi-material structure in commercial products ~architectural construction~
- K2 材料技術史から見るこれからの技術展開IV 分析機器・評価装置
Future growth expected from technological history of materials IV
—Analytical and evaluation instruments

問合せ

公益社団法人 日本金属学会 講演大会係

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

詳しくはホームページをご覧ください

<https://jim.or.jp/>



析出物の安定形状の予測と 組織データに基づく材料パラメータ推定

塚 田 祐 貴¹⁾ 小 山 敏 幸²⁾

1. は じ め に

六方最密充填構造を有する α -Mg 合金は、時効処理によって板状や棒状の析出物(または Guinier-Preston ゾーン)が形成する⁽¹⁾⁻⁽³⁾。 α -Mg 合金は(0001) $\langle$ 2 $\bar{1}\bar{1}0$ $\rangle$ 底面すべりの臨界分解せん断応力が非底面すべりに比べて2桁ほど低いため、塑性変形において底面すべりが優先的に活動する⁽⁴⁾。したがって、 α -Mg 合金の時効硬化性を高めるためには、分散強化(オロワン機構)の観点から、析出物の体積率および数密度が同じ条件であれば、 α -Mg 母相の(0001) $_{\alpha}$ に垂直な $\{01\bar{1}0\}_{\alpha}$ または $\{2\bar{1}\bar{1}0\}_{\alpha}$ 板状析出物を形成させることが重要である⁽⁵⁾。実際、 $\{01\bar{1}0\}_{\alpha}$ 板状析出物が形成する合金が優れた時効硬化性を示すことが報告されている⁽²⁾。

析出物の安定形状は、析出に起因する弾性ひずみエネルギーと界面エネルギーのバランスによって決まる⁽⁶⁾。特に、 α -Mg 母相と析出相の整合ひずみに起因する弾性ひずみエネルギーの異方性が析出物形状に大きな影響を及ぼす⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。したがって、析出物形状を制御する上で、 α -Mg 母相と析出相の格子ミスマッチ条件と析出物の晶癖面や安定形状の関係を理解することが重要である。一方、ナノスケールの析出物については、析出物形状予測に不可欠な格子ミスマッチや界面エネルギーなどの材料パラメータに関するデータが不足している。析出物形状の予測と制御を実現するためには、既存の実験データ(析出物形状データなど)から材料パラメータを推定する方法論を整備し、材料パラメータのデータベース構築につなげていくことも重要と思われる。

本稿では、著者らの最近の研究において、 α -Mg 母相と析出相の格子ミスマッチ条件と析出物の晶癖面の関係を整理した結果を示すとともに、エネルギー計算によって材料パラメ

ータから板状や棒状の析出物の形成を予測できることを示す。さらに、析出物形状の計算モデルと機械学習を用いて、少ない計算コストで析出物形状の実験データから材料パラメータを効率的に推定した結果を紹介する。

2. α -Mg 母相と析出相の格子ミスマッチ条件と析出物の晶癖面

まず、弾性ひずみエネルギーに基づき、 α -Mg 母相と析出相の格子ミスマッチ条件と析出物の晶癖面の関係を整理する。母相中の整合析出物の弾性ひずみエネルギーは

$$E_{\text{strain}} = \frac{1}{2} \int_{\mathbf{k}} B(\mathbf{n}) |s(\mathbf{k})|^2 \frac{d\mathbf{k}}{(2\pi)^3} \quad (1)$$

によって計算される⁽¹⁰⁾。 $B(\mathbf{n})$ は弾性関数、 $s(\mathbf{k})$ は析出物の形状関数である。また、 $\mathbf{k}$ は波数ベクトル、 $\mathbf{n} = \mathbf{k}/|\mathbf{k}|$ である。 $B(\mathbf{n})$ を最小にする $\mathbf{n} = \mathbf{n}_0$ が法線ベクトルとなる晶癖面をもつ薄板状析出物の弾性ひずみエネルギーが最も低くなる。 $B(\mathbf{n})$ は弾性率 C_{ijkl} と母相と析出相の格子ミスマッチ ε_{ij}^0 を用いて

$$\begin{aligned} B(\mathbf{n}) &= C_{ijkl} \varepsilon_{ij}^0 \varepsilon_{kl}^0 - n_i \sigma_{ij}^0 \Omega_{jl}(\mathbf{n}) \sigma_{lm}^0 n_m \\ \sigma_{ij}^0 &= C_{ijkl} \varepsilon_{kl}^0 \\ \Omega_{ij}^{-1}(\mathbf{n}) &= C_{ijkl} n_k n_l \end{aligned} \quad (2)$$

によって計算される。ここで、格子ミスマッチが

$$\varepsilon_{ij}^0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11}^0 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22}^0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33}^0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

によって与えられるとき、格子ミスマッチ条件と析出物の晶癖面の関係を解析する。デカルト座標の x 軸、 y 軸、 z 軸をそれぞれ α -Mg 母相の $[2\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha}$ 、 $[01\bar{1}0]_{\alpha}$ 、 $[0001]_{\alpha}$ に対応さ

* 名古屋大学大学院工学研究科；1) 准教授 2) 教授(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
Prediction of Precipitate Shape and Estimation of Material Parameters Based on Microstructure Data; Yuhki Tsukada, Toshiyuki Koyama
(Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya)
Keywords: *magnesium alloy, habit plane, precipitate shape, parameter estimation, Gaussian process*
2021年8月6日受理[doi:10.2320/materia.60.775]

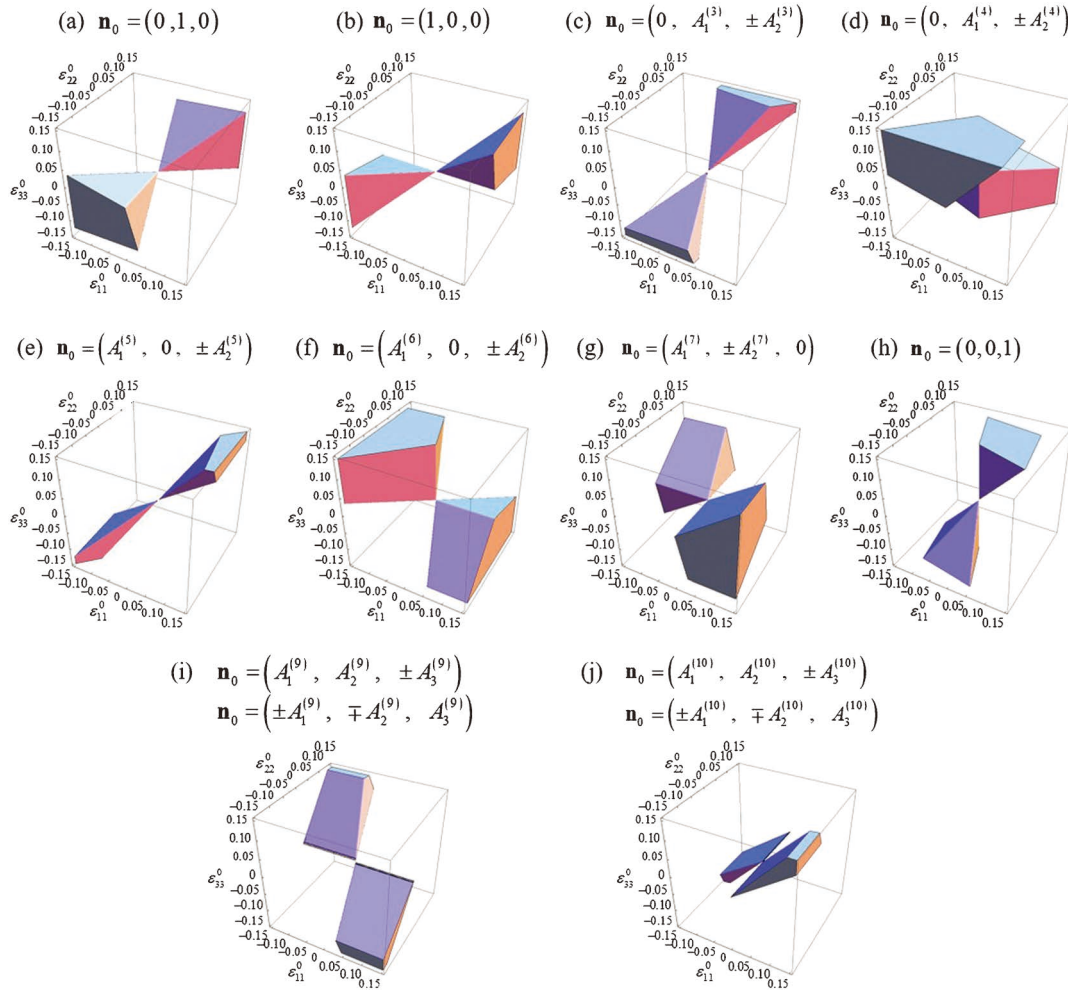


図1 α -Mg母相中の析出物の格子ミスマッチ条件($\epsilon_{11}^0, \epsilon_{22}^0, \epsilon_{33}^0$)と晶癖面(法線ベクトル $\mathbf{n}_0$)の関係。晶癖面により(a)から(j)の10通りに分類される。(図中の A は格子ミスマッチから計算される定数である。詳細は文献⁽¹²⁾を参照されたい。)

せる。また、計算には純Mgの弾性率⁽¹¹⁾を用いる。図1に解析結果を示す。解析結果は晶癖面に基づいて図1(a)–(j)の10通りに分類することができ、それぞれの晶癖面が形成する格子ミスマッチ条件を $\epsilon_{11}^0 - \epsilon_{22}^0 - \epsilon_{33}^0$ のパラメータ空間に色付けして示してある。(図中の A は格子ミスマッチから計算される定数である。詳細は文献⁽¹²⁾を参照されたい。)図1(a)と図1(b)がそれぞれ析出物の晶癖面が $(01\bar{1}0)_\alpha$ と $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ となる格子ミスマッチ条件であり、 α -Mg母相の $(0001)_\alpha$ に垂直な板状析出物が形成する。また、 α -Mg合金において頻繁に観察される $(0001)_\alpha$ 板状析出物の形成条件は図1(h)に対応する。

3. 析出物の安定形状

析出物の安定形状は、析出に起因する弾性ひずみエネルギーと界面エネルギーの和が最小になるように決定される。ここでは、析出物形状を回転楕円体 $((x^2 + y^2)/a^2 + z^2/c^2 = 1)$ にて近似する。アスペクト比 $p = c/a$ を変化させることで、板状(扁平楕円体)から棒状(偏長楕円体)の析出物を表現することができる。回転楕円体状析出物の全エネルギー(弾性ひず

みエネルギーと界面エネルギーの和)は

$$E_{\text{total}}(p) = E_{\text{strain}}(p) + E_{\text{interface}}(p) \\ = \frac{V_0}{2} C_{ijkl} \epsilon_{kl}^0 (\epsilon_{ij}^0 - S_{ijmn}(p) \epsilon_{mn}^0) + A(p) \gamma \quad (4)$$

によって計算される⁽¹²⁾。 V_0 は析出物の体積、 $S_{ijmn}(p)$ はエシェルビーテンソル⁽¹³⁾、 $A(p)$ は界面積、 γ は単位面積あたりの界面エネルギーである。(ここでは界面エネルギーの異方性は考慮しない。 $S_{ijmn}(p)$ と $A(p)$ の計算式については文献⁽¹²⁾を参照されたい。)非等方弾性体については、 $S_{ijmn}(p)$ の解析解が無いため、 $S_{ijmn}(p)$ を数値計算する必要がある。

例として、格子ミスマッチが $\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0 = 0.01$ 、 $\epsilon_{33}^0 = 0.002$ 、界面エネルギーが $\gamma = 0.10 \text{ J m}^{-2}$ 、析出物体積が $V_0 = 4\pi r_0^3/3$ ($r_0 = 50 \text{ nm}$) の条件における全エネルギー計算の結果を図2に示す⁽¹²⁾。図の横軸にアスペクト比 $p = c/a$ をとっており、 $p < 1$ が板状、 $p = 1$ が球状、 $p > 1$ が棒状に対応する。($p > 1$ (棒状) の条件では横軸に $1/p = a/c$ の値をとっている。) 図の縦軸は析出物の全エネルギーを同体積の球状析出物の全エネルギーで規格化した値を示している。回転楕円体の回転軸を $[2\bar{1}\bar{1}0]_\alpha$ にした場合の結果(赤色)を見ると、 $p < 1$ の $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物の全エネルギーが最も低くなる。ま

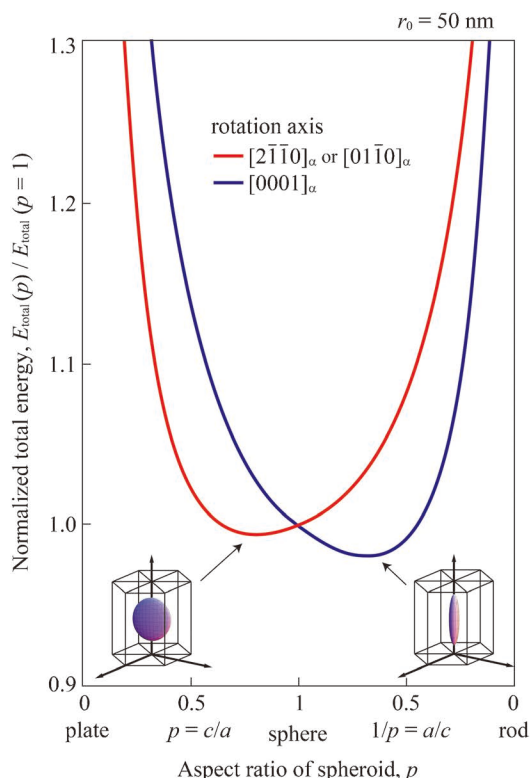


図2 α -Mg 母相中の回転楕円体状析出物の全エネルギーのAspect ratio 依存性⁽¹²⁾. 格子ミスマッチは $\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0 = 0.01$, $\epsilon_{33}^0 = 0.002$, 界面エネルギーは $\gamma = 0.10 \text{ J m}^{-2}$, 析出物体積は $V_0 = 4\pi r_0^3/3$ ($r_0 = 50 \text{ nm}$) とした. 縦軸は回転楕円体状析出物の全エネルギーを同体積の球状析出物 ($p = 1$) の全エネルギーで規格化した値を示している.

た, 回転楕円体の回転軸を $[01\bar{1}0]_\alpha$ にした場合の結果は, 回転軸を $[2\bar{1}\bar{1}0]_\alpha$ にした場合の結果 (赤色) と一致し, $p < 1$ の $(01\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物の全エネルギーが最も低くなる. この計算に用いた格子ミスマッチ条件 ($\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0 = 0.01$, $\epsilon_{33}^0 = 0.002$) は図 1(a) (析出物の晶癖面が $(01\bar{1}0)_\alpha$ となる条件) と図 1(b) (析出物の晶癖面が $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ となる条件) のちょうど中間に位置するため, $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物と $(01\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物のどちらの全エネルギーも低くなることと解釈することができる. 一方, 回転楕円体の回転軸を $[0001]_\alpha$ にした場合の結果 (青色) を見ると, $p > 1$ の $[0001]_\alpha$ 棒状析出物の全エネルギーが最も低い. 興味深いことに, この $[0001]_\alpha$ 棒状析出物の全エネルギーは $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物または $(01\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物の全エネルギーよりも低くなる. なお, 図 2 は析出物体積を $V_0 = 4\pi r_0^3/3$ ($r_0 = 50 \text{ nm}$) に設定した場合の計算結果を示しているが, 析出物体積を変更した場合も同様に $[0001]_\alpha$ 棒状析出物の全エネルギーが最も低くなる計算結果が得られる. したがって, この格子ミスマッチ条件においては $[0001]_\alpha$ 棒状析出物が最も安定である.

以上の結果を踏まえて, 板状析出物や棒状析出物の形成条件について整理する. 上述の格子ミスマッチ条件では, $[0001]_\alpha$ 晶帯に属する面がすべて晶癖面になる. このとき, 図 3(a) に示すように, $[0001]_\alpha$ 晶帯軸方向の棒状析出物が

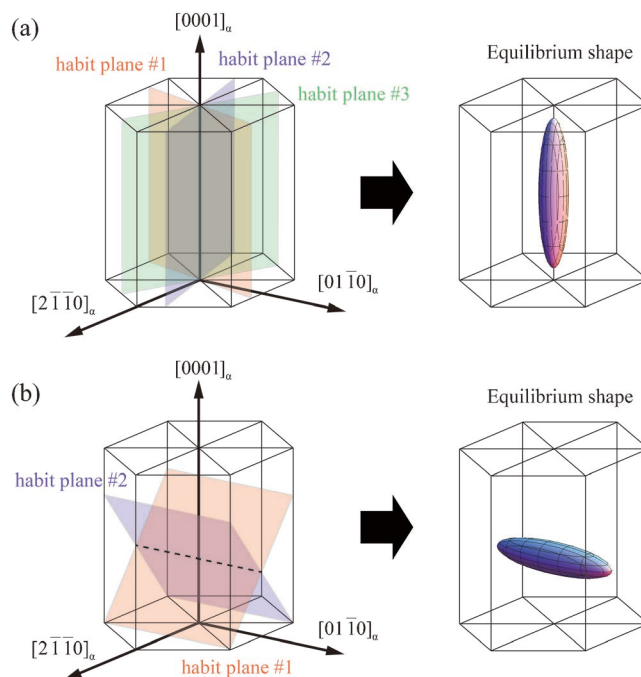


図3 α -Mg 母相と析出相の格子ミスマッチ条件から複数の晶癖面が存在するときの析出物安定形状の模式図.

最も安定となる. この考え方に基づくと, α -Mg 合金における $[01\bar{1}0]_\alpha$ 棒状析出物または $[2\bar{1}\bar{1}0]_\alpha$ 棒状析出物の形成についても理解することができる. 例えば, 図 1(e) や図 1(f) の格子ミスマッチ条件においては, $[01\bar{1}0]_\alpha$ 晶帯に属する 2 つの晶癖面が存在するため, $[01\bar{1}0]_\alpha$ 晶帯軸方向の棒状析出物がエネルギー的に安定である (図 3(b)). 同様に, 図 1(c) や図 1(d) の格子ミスマッチ条件においては, $[2\bar{1}\bar{1}0]_\alpha$ 晶帯に属する 2 つの晶癖面が存在するため, $[2\bar{1}\bar{1}0]_\alpha$ 晶帯軸方向の棒状析出物がエネルギー的に安定である. このように, 晶癖面が複数存在する格子ミスマッチ条件では, それらの晶癖面の晶帯軸方向の棒状析出物が形成すると予想される. 一方, 図 1(a), 図 1(b), 図 1(h) のように晶癖面が 1 つのみとなる格子ミスマッチ条件では, 板状析出物のエネルギーが最も低く, それぞれ $(01\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物, $(2\bar{1}\bar{1}0)_\alpha$ 板状析出物, $(0001)_\alpha$ 板状析出物が形成すると予想される.

析出物の安定形状のAspect ratio p は弾性ひずみエネルギーと界面エネルギーの比

$$K = \frac{E_{\text{strain}}}{E_{\text{interface}}} = \frac{e_{\text{strain}} V_0}{A \gamma} = \frac{e_{\text{strain}} L}{\gamma} \quad (5)$$

$$e_{\text{strain}} = \frac{1}{2} C_{ijkl} \epsilon_{kl}^0 (\epsilon_{ij}^0 - S_{ijmn} \epsilon_{mn}^0)$$

によって決まる. $L = V_0/A$ は析出物の特徴サイズである. 前述の計算条件 (格子ミスマッチ $\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0 = 0.01$, $\epsilon_{33}^0 = 0.002$, 界面エネルギー $\gamma = 0.10 \text{ J m}^{-2}$) において, 回転楕円体状析出物の特徴サイズ (析出物体積を $V_0 = 4\pi r_0^3/3$ とした場合の r_0 の値) を変えて全エネルギーを計算した結果を図 4 に示す. 前述のとおり, この格子ミスマッチ条件では $[0001]_\alpha$ 棒状析出物が安定であるが, 析出物の特徴サイズが

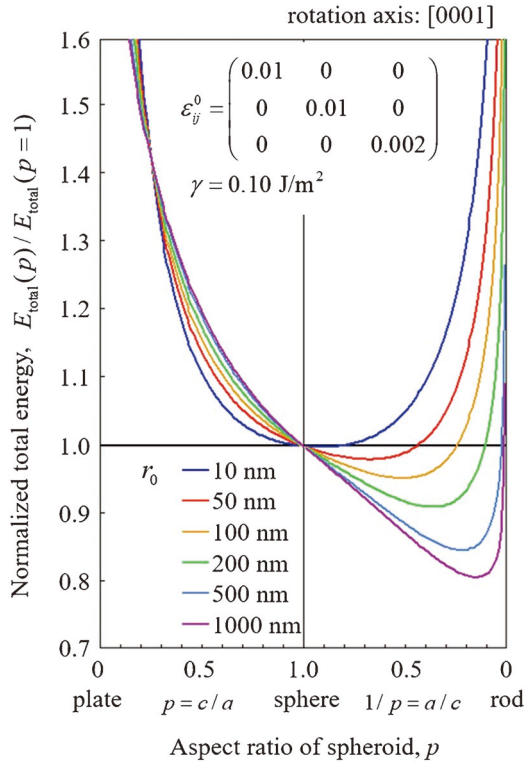


図4 α -Mg 母相中の回転楕円体状析出物の全エネルギーのアスペクト比依存性．格子ミスマッチは $\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0 = 0.01$, $\epsilon_{33}^0 = 0.002$, 界面エネルギーは $\gamma = 0.10 \text{ J m}^{-2}$ とし, 析出物の特徴サイズ(析出物体積を $V_0 = 4\pi r_0^3/3$ とした場合の r_0 の値)を変化させている．縦軸は回転楕円体状析出物の全エネルギーを同体積の球状析出物 ($p=1$) の全エネルギーで規格化した値を示している．

小さいときは界面エネルギーの寄与が大きいため, 安定形状は球状に近くなる ($p \sim 1$)．析出物の特徴サイズが大きくなるにつれて, 弾性ひずみエネルギーの寄与が大きくなり, アスペクト比が高い棒状析出物が安定になる．

4. 析出物形状データに基づく材料パラメータ推定

格子ミスマッチや界面エネルギーなどの材料パラメータの値が既知であれば, 式(4)により全エネルギーを数値計算して析出物形状を予測することができる．しかし, α -Mg 合金の時効処理中に析出するナノスケールの化合物について, 全エネルギー計算に必要な材料パラメータの値(計算モデルの入力値)が全て既知であることはほとんどない．一方, 時効処理中の析出物形状に関する実験データが得られている場合, その実験値を計算モデルの予測値と比較することで, 計算モデルに含まれる材料パラメータの値を推定できると考えられる．ただし, 1つの材料パラメータ条件について析出物形状を計算する(析出物の全エネルギーのアスペクト比依存性を計算する)コストが高いため, 少ない計算回数で実験データから材料パラメータを効率的に推定するための工夫が必要である．

ここで, 析出物形状の実験データから母相と析出相の格子

ミス-match ϵ_{ij}^0 と界面エネルギー γ を推定する問題を考える．式(5)に示した通り, 析出物のアスペクト比は弾性ひずみエネルギーと界面エネルギーの比で決まるため, 析出物形状の実験データから ϵ_{ij}^0 と γ の値を一意に決めることができない．しかし, サイズが異なる析出物の形状データがあれば, ϵ_{ij}^0 と γ の値が一意に決まる可能性がある．例として, Mg-Zn-Ca-Ag 合金の時効処理における MgZn_2 の形状データ ($[0001]_\alpha$ 棒状析出物のサイズとアスペクト比の変化)⁽³⁾ を用いて, α -Mg 母相と MgZn_2 の ϵ_{ij}^0 と γ を推定する． α -Mg 母相と MgZn_2 の結晶方位関係⁽¹⁴⁾, 各相の格子定数⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾ から, $[0001]_\alpha$ 方向の格子ミス-match は $\epsilon_{33}^0 = 0.00182$ と計算される．また, $[0001]_\alpha$ 棒状析出物が安定であるので, 前章の結果を踏まえ, $\epsilon_{11}^0 = \epsilon_{22}^0$ とおくことができる．したがって, 格子ミス-match を

$$\epsilon_{ij}^0 = \begin{pmatrix} \epsilon_{11}^0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{11}^0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00182 \end{pmatrix} \quad (6)$$

とおき, 材料パラメータ $\mathbf{x} = (\epsilon_{11}^0, \gamma)^T$ を推定する．それぞれのパラメータの値域は $\epsilon_{11}^0 \in [-0.250, -0.001]$, $\gamma \in [0.001, 0.250] \text{ J m}^{-2}$ とし, ある材料パラメータ条件 $\mathbf{x}_i (i = 1, \dots, 62500)$ における実験と計算モデルの差を表す関数を

$$y_i = \frac{1}{2} \sum_t (p_{\text{expt}}(t) - p_{i, \text{comput}}(t))^2 \quad (7)$$

によって定義する． p_{expt} と $p_{i, \text{comput}}$ はそれぞれ析出物のアスペクト比 p の実験値と計算モデルの予測値である．ここでは, 時効処理時間 $t = 2, 8, 24 \text{ h}$ における MgZn_2 のアスペクト比の実験データ⁽³⁾ を用いる．図5に材料パラメータ空間における y の値を示す⁽¹⁶⁾．析出物形状の実験データ⁽³⁾ に誤差が含まれることから, ここでは, y の値が最小となる材料パラメータ条件を求める代わりに, y の値がある閾値 (h) 以下となる材料パラメータ条件 (Low-Error Region, LER と呼ぶ) を推定する．閾値 h の値は実験データの誤差から $h = 1 \sim$

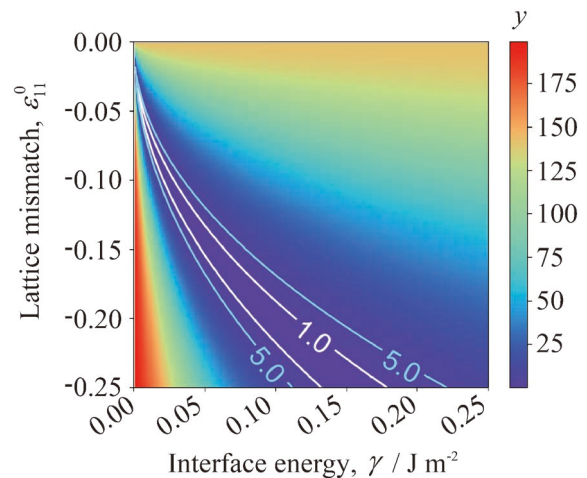


図5 格子ミス-match ϵ_{11}^0 と界面エネルギー γ のパラメータ空間における実験と計算モデルの差 (y) の値⁽¹⁶⁾．青および白の等高線で囲まれた領域がそれぞれ $y \leq 5$ および $y \leq 1$ の LER に対応する．

5と見積もられる．図5において青または白の等高線で囲まれた領域がLERである．

図5を得るためには，62500通りの材料パラメータ条件において y の値を評価する必要があり，計算コストが非常に高い．効率的なLER推定を実現するために，まず，真の関数 f_i を想定し， $y_i=f_i+e$ (e はガウス型の誤差)とモデル化する．LERは $f_i \leq h$ を満たすパラメータ条件である．ガウス過程⁽¹⁷⁾を用いると， $\mathbf{x}_i (i=1, \dots, N)$ に対する y_i が得られたときの任意の材料パラメータ条件における関数値の予測分布が得られる(予測分散はガウスクERNELによって定義する．詳細は文献⁽¹⁶⁾を参照されたい)．この予測分布に基づいて次に関数値を計算する材料パラメータ条件を決定する方法を図6を用いて説明する．(図6は説明図であり，真の関数は適当に設定している． MgZn_2 の形状データを用いたLER推定とは無関係である点に注意されたい)．図6(a) (Iteration 0)は2つの材料パラメータ条件で関数値が得られたときの予測分布を示している．図中の黒の破線が真の関数であり，青線が予測平均である．関数値が閾値(赤の破線)以下となるLERを推定することが目的である．ここで， $f_i > h$ のとき $z_i=0$ ， $f_i \leq h$ のとき $z_i=1$ の値をとる変数 z_i を導入する．関数値の予測分布を用いると，標準正規分布の累積分布関数から z_i の

確率 $P(z_i=1)$ および $P(z_i=0)=1-P(z_i=1)$ を計算することができる．図6(c)が $P(z_i=1)$ を示しており， $P(z_i=1) \geq 0.5$ の領域が推定されたLERに対応する．この $P(z_i)$ から情報エントロピー $H=-P(1)\log P(1)-P(0)\log P(0)$ を計算することができ⁽¹⁷⁾，これが z_i の不確かさに対応する．情報エントロピーから，新しく関数値が得られた場合に z_i の不確かさがどれほど減少するか(Information Gain, IGと呼ぶ)を評価することができる．図6(b)にIGの値を示す．このIGが最大となる材料パラメータ条件で新しく関数値を得ることでLER推定の不確かさを最も減少させることができる．新しく関数値が追加されると，予測分布が更新され，それに伴い $P(z_i=1)$ やIGも更新される．(図6のIteration 1に対応する)この過程を繰り返すことで，少ない計算回数でLERを推定する．

上述の手法に基づき， MgZn_2 の形状データを用いてLERを推定した結果を図7に示す⁽¹⁶⁾．(a)はガウス過程における関数値の予測平均，(b)は情報獲得量(IG)，(c)は推定されたLER(青で示された $P(z=1) \geq 0.5$ の領域)を示している．(a)における青点は関数値が計算された点を示しており，最初にランダムに選んだ10点で関数値を計算してLER推定を開始している(Iteration 10)．この時点ではLERはほとんど

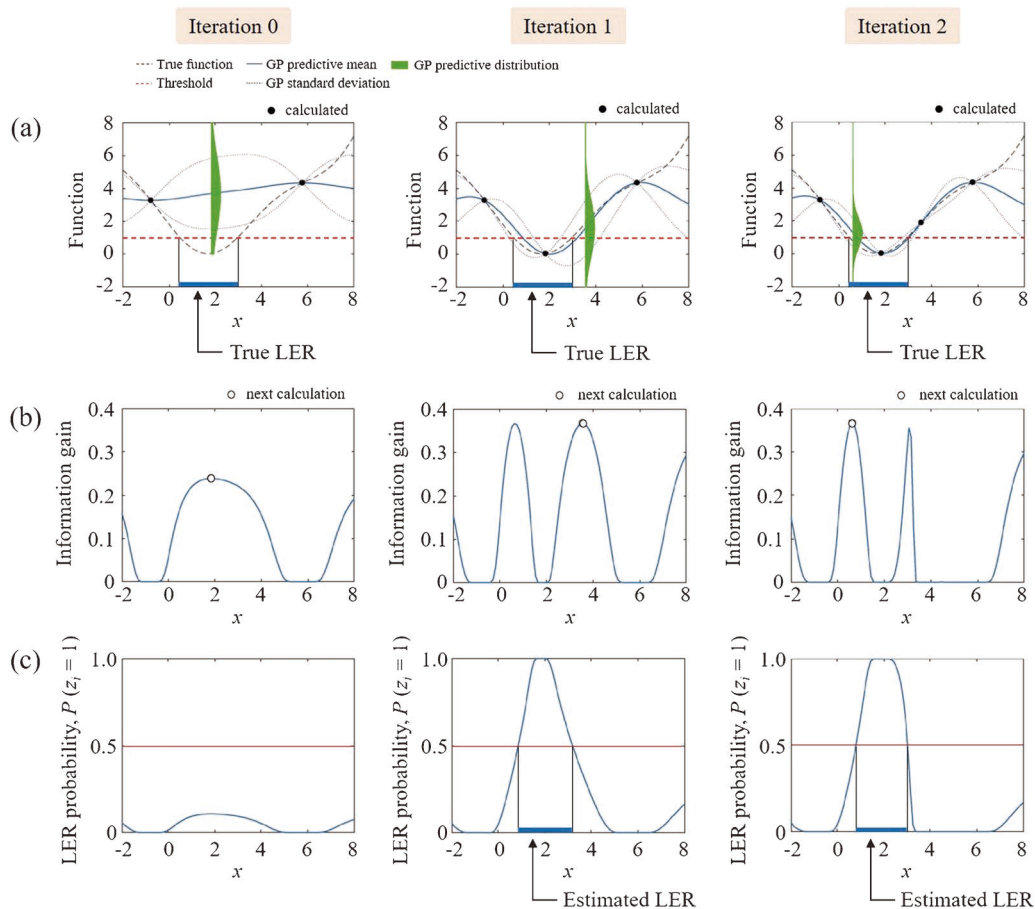


図6 ガウス過程による関数値の予測分布と LER 推定のための計算点の決定についての説明図：(a) 予測分布，(b) 情報獲得量(IG)，(c) LER の確率．(a)には IG の値が最大となる x における関数値の予測分布を緑で示してある．なお，図中の真の関数は適当に設定しており， MgZn_2 の形状データを用いた LER 推定とは無関係である．

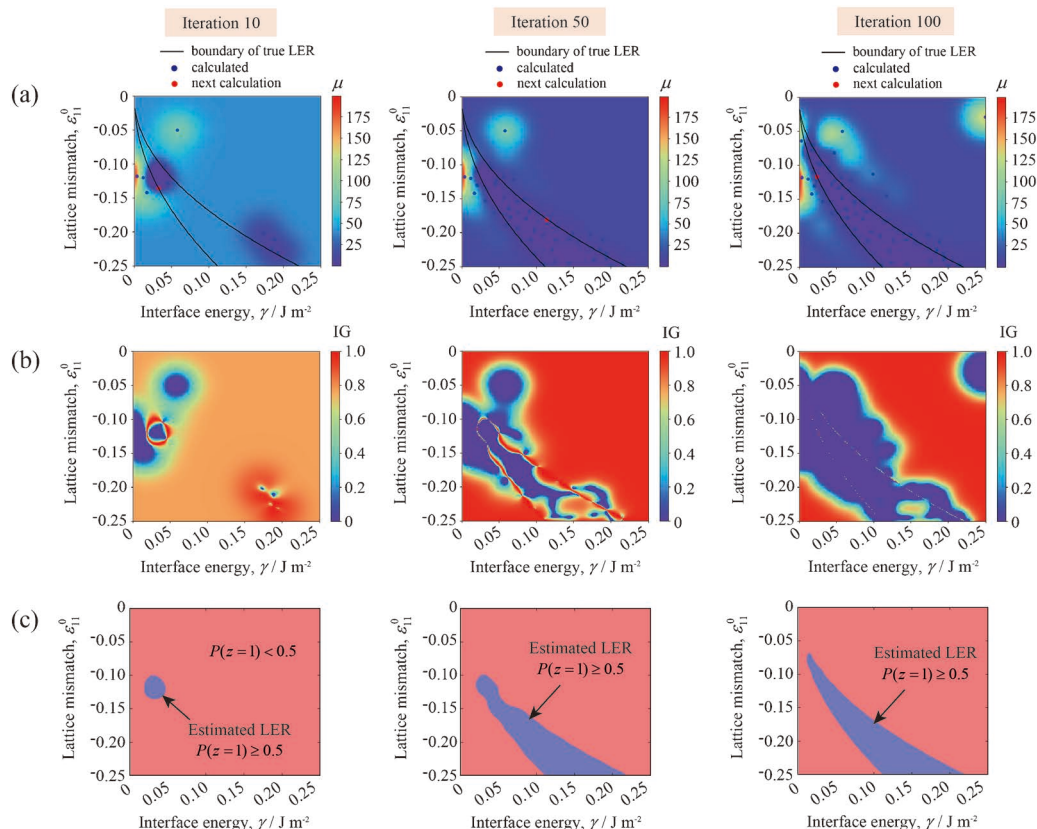


図7 MgZn_2 の形状データを用いた LER 推定⁽¹⁶⁾: (a) 関数値の予測平均, (b) 情報獲得量 (IG), (c) 推定された LER (青の領域). (a) における黒線は真の LER の境界を示している.

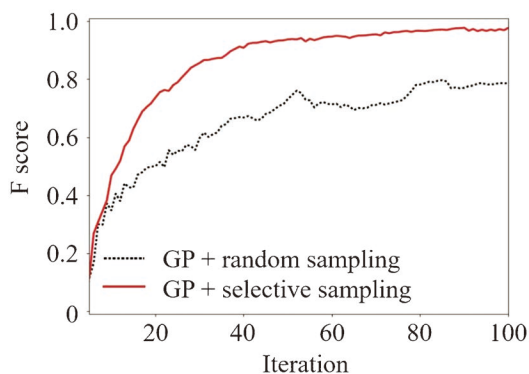


図8 計算回数に対する F 値の変化⁽¹⁶⁾. 赤線が提案した推定手法を用いて計算点を選んだ場合の結果, 黒の点線が計算点をランダムに選んだ場合の結果.

推定できていない(図 7(c)). また, (a) における赤点は次の計算点 (IG が最大となる点) を示している. 50 点で関数値が計算された時点 (Iteration 50) で LER の概形が出現し, 100 点で関数値が計算された時点 (Iteration 100) で LER をほぼ推定できている. また, 図 7(a) から関数値の計算点は LER の内部や境界近傍に集中していることがわかる. 二値分類の評価指標を用いて, 提案した LER 推定手法の有用性を評価する. 二値分類の評価指標に再現率 (Recall) と適合率 (Precision) があるが, 両者は互いにトレードオフの関係にあるこ

とから, それらの調和平均である F 値 (F score) を用いる⁽¹⁸⁾. 図 8 に F 値を示す. 赤線が提案手法を用いて計算点を選んだ場合の結果, 黒の点線が計算点をランダムに選んだ場合の結果である. 両者を比較すると, 提案手法によって少ない計算回数で効率的に LER を推定できていることがわかる.

5. 精度・コストが異なる計算モデルの活用

組織の計算モデルを構築する過程で, 精度が低く計算コストが低い計算モデルが得られることがある. 例えば, 前章で用いた析出物形状計算モデルにおいて, 析出物の全エネルギーのアスペクト比依存性を計算する際のアスペクト比刻みを粗くすれば, 精度は下がるが, 低コストの計算モデルが得られる. この低コストの計算モデルを LER 推定に活用することを考える. 計算モデルの精度レベルを $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ とし (m が大きいほど精度が高い), それぞれの精度レベルで計算される析出物形状 (アスペクト比) を $p_{i,\text{comput}}^{(m)}$ とする. また, 1 回の計算コストは $\lambda^{(1)} \leq \lambda^{(2)} \leq \dots \leq \lambda^{(M)}$ とする. 前章と同様に, 実験と計算モデルの差を表す関数を

$$y_i^{(m)} = \frac{1}{2} \sum_t (p_{\text{expt}}(t) - p_{i,\text{comput}}^{(m)}(t))^2 \quad (8)$$

にて定義し, $y_i^{(m)} = f_i^{(m)} + e$ (e はガウス型の誤差) とモデル化する. また, LER は $f_i^{(M)} \leq h$ を満たすパラメータ条件であ

る。ガウス過程の定義より、 $\mathbf{f}^{(M)}$ はガウス分布に従うものとし、その共分散を決めるカーネル関数としてガウスカーネルを用いる。ここで、異なる精度レベルの計算モデルを統合するために、 $f_i^{(M)}$ を起点として精度レベルの低い計算モデルを

$$f_i^{(m)} = f_i^{(m+1)} + g_i^{(m+1)} \quad (9)$$

によってモデル化する。 $g_i^{(m+1)}$ は $f_i^{(m)}$ と $f_i^{(m+1)}$ の差を表現している。ガウス過程の定義より、 $\mathbf{g}^{(m+1)}$ はガウス分布に従うものとし、その共分散を決めるカーネル関数としてガウスカーネルを用いる。式(9)は、異なる精度レベルの計算モデル間の差がガウス過程で表現されており、精度レベルが低いほど加えられる $g_i^{(m)}$ の数が増えることを表している⁽¹⁹⁾。通常のガウス過程と同様に、 $\mathbf{x}_i (i=1, \dots, N)$ に対する $y_i^{(m)}$ が得られたとき、任意の材料パラメータ条件における関数値の予測分布が得られる。前章と同様に、 $f_i^{(M)} > h$ のとき $z_i = 0$ 、 $f_i^{(M)} \leq h$ のとき $z_i = 1$ の値をとる変数 z_i を導入すると、

z_i の確率から情報エントロピーを計算することができ、新しく $y_i^{(m)}$ の計算値が得られた場合の情報獲得量 $\text{IG}(z_i; y_i^{(m)})$ を評価することができる。ここではコスト効率を考慮して、計算コストあたりの IG

$$\frac{\text{IG}(z_i; y_i^{(m)})}{\lambda_i^{(m)}} \quad (10)$$

が最大となるよう計算モデルと計算点を選ぶ⁽¹⁹⁾。

析出物形状計算モデルについて、精度レベルが異なる3つの計算モデルを用意し ($\lambda^{(1)} = 5$ 分, $\lambda^{(2)} = 10$ 分, $\lambda^{(3)} = 60$ 分), MgZn_2 の形状データ⁽³⁾ を用いて LER を推定した結果を図9に示す⁽¹⁹⁾。ここでは、最初にランダムに選んだ10点で $m=1$ の精度レベルで関数値を計算して LER 推定を開始している。(a), (b), (c) がそれぞれ $m=1, m=2, m=3$ の精度レベルにおける関数値の予測平均を示しており、図中の白点は関数値が計算された点を示している。また、(d) は推定された LER (青で示された $P(z=1) \geq 0.5$ の領域) である。

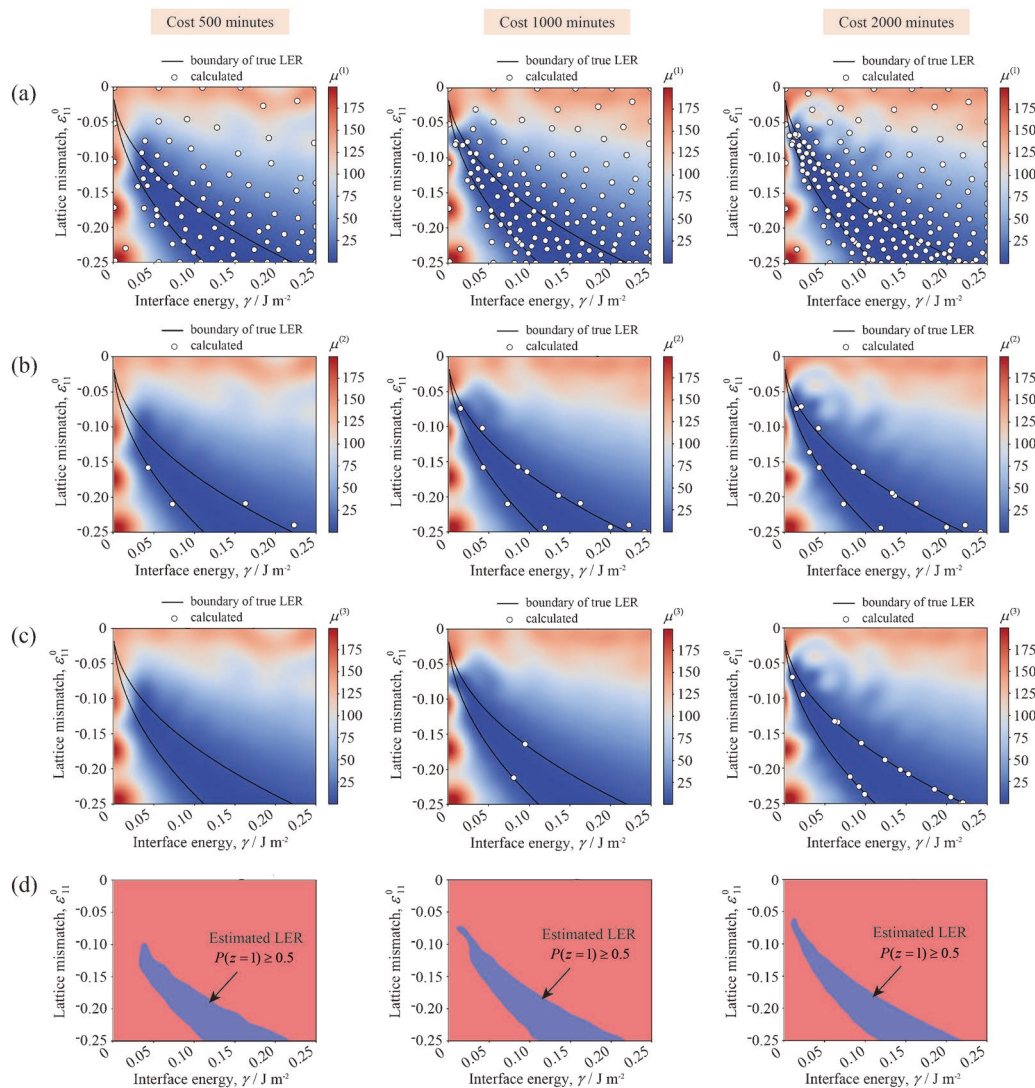


図9 精度レベルの異なる3つの計算モデルを用いて MgZn_2 の形状データから LER を推定した結果⁽¹⁹⁾: (a) 精度レベル低の関数値の予測平均, (b) 精度レベル中の関数値の予測平均, (c) 精度レベル高の関数値の予測平均, (d) 推定された LER (青の領域)。 (a)–(c) における黒線は真の LER の境界を示している。

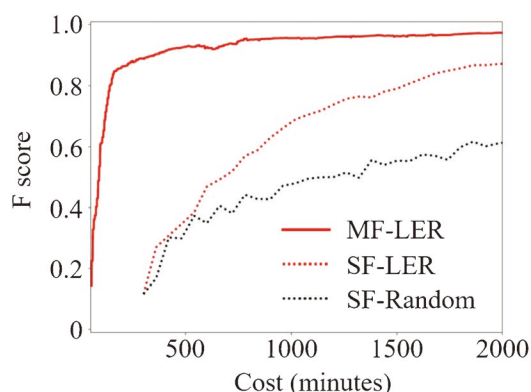


図10 全計算コストに対するF値の変化⁽¹⁹⁾．赤線が精度レベルの異なる3つの計算モデルを用いて計算コストあたりのIGに基づいて計算モデルと計算点を選んだ場合の結果、赤の点線が精度レベルの最も高い計算モデルのみを用いてIGに基づいて計算点を選んだ場合の結果、黒の点線が精度レベルの最も高い計算モデルのみを用いて計算点をランダムに選んだ場合の結果．

全計算コスト500分の時点で、すでにLERの概形が出現している(図9(d))．この時点までに、最も精度レベルの低い $m=1$ の計算モデルが多用されており、最も精度レベルの高い $m=3$ の計算モデルは一度も使われていない(図9(a)–(c))．この結果は、コスト効率を考慮した場合、LER推定の初期には精度レベルの低い計算モデルが有用であることを示唆している．全計算コスト1000分から2000分にかけては、精度レベルの低い $m=1$ の計算モデルだけでなく $m=2$ や $m=3$ の計算モデルが使われており、それらの計算点はLERの境界近傍に集中している．全計算コストが2000分の時点でLERをほぼ推定できている．

全計算コストに対するF値の変化を図10に示す⁽¹⁹⁾．赤の実線は、提案手法を用いて、計算コストあたりのIGに基づいて計算モデルと計算点を選んだ場合の結果である．赤の点線は $m=3$ の計算モデルのみを用いて、IGに基づいて計算点を選んだ場合の結果である(前章の結果に対応する)．また、黒の点線は $m=3$ の計算モデルのみを用いて計算点をランダムに選んだ場合の結果である．($m=3$ の計算モデルのみを用いた場合は最初にランダムに選んだ5点で関数値を計算してLER推定を開始している)精度レベルの低い計算モデルの活用により、LER推定に必要な計算コストを大幅に下げることができている．

6. おわりに

析出物形状を回転楕円体近似した計算モデルにより、 α -Mg母相と析出相の格子ミスマッチや界面エネルギーの値から α -Mg合金における棒状や板状の析出物の方位やアスペクト比を予測できることを示した．また、本稿では詳述しなかったが、界面エネルギーの異方性が析出物形状に及ぼす影響が大きい場合や析出物形状を回転楕円体で近似できない場

合は、弾性ひずみエネルギーと界面エネルギーの異方性を考慮したフェーズフィールドモデルにより析出物形状を予測することができる⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽²⁰⁾．いずれの析出物形状計算モデルを用いる場合も、材料パラメータの値がモデルの入力値として必要であり、計算コストも高い．今後、これらの高度な計算モデルの活用法を考えたとき、モデルを析出物形状の実験データにフィッティングしてモデルパラメータを推定する方法論は重要であり、そこでボトルネックとなる計算コストを下げるためには、機械学習やデータ同化の手法の活用が不可欠である．本稿では、ガウス過程を用いてMg合金の析出物形状データから材料パラメータを効率的に推定する研究を紹介したが、他にも、データ同化の手法を用いて組織データからフェーズフィールドモデルのパラメータを推定する研究が盛んに行われている^{(21)–(26)}．実験、計算、機械学習・データ同化の融合により、近い将来、材料パラメータのデータベース化が進み、高精度の材料組織予測が実現することが期待される．

本稿で紹介した研究の一部は、JST PRESTO (JPMJPR15NB)、JST ALCA (JPMJAL1202)の支援を受けて実施した．研究の遂行にあたり、名古屋工業大学大学院生(現在：日本製鉄株式会社)の紅谷祐貴氏、名古屋大学大学院生(現在：日立金属株式会社)の福岡準史氏にご協力いただいた．また、材料パラメータ推定の結果は、名古屋工業大学大学院生の竹野思温氏、名古屋工業大学准教授の鳥山昌幸氏、岐阜大学准教授の志賀元紀氏との共同研究により得られたものである．ここに謝意を表す．

文 献

- (1) J. F. Nie: Metall. Mater. Trans. A-Phys. Metall. Mater. Sci., **43**(2012), 3891–3939.
- (2) C. L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo and K. Hono: Scr. Mater., **64**(2011), 137–140.
- (3) T. Bhattacharjee, C. L. Mendis, K. Oh-ishi, T. Ohkubo and K. Hono: Mater. Sci. Eng. A-Struct. Mater. Prop. Microstruct. Process., **575**(2013), 231–240.
- (4) P. G. Partridge: Metall. Rev., **12**(1967), 169–194.
- (5) J. F. Nie: Scr. Mater., **48**(2003), 1009–1015.
- (6) Y. Wang, L. Q. Chen and A. G. Khachaturyan: Scr. Metall. Mater., **25**(1991), 1387–1392.
- (7) Y. Gao, H. Liu, R. Shi, N. Zhou, Z. Xu, Y. M. Zhu, J. F. Nie and Y. Wang: Acta Mater., **60**(2012), 4819–4832.
- (8) H. Liu, Y. Gao, J. Z. Liu, Y. M. Zhu, Y. Wang and J. F. Nie: Acta Mater., **61**(2013), 453–466.
- (9) A. Issa, J. E. Saal and C. Wolverton: Acta Mater., **65**(2014), 240–250.
- (10) A. G. Khachaturyan: Theory of Structural Transformations in Solids, Dover, New York, (2008).
- (11) 金属データブック，改訂4版，日本金属学会編，丸善，(2004)．
- (12) Y. Tsukada, Y. Beniya and T. Koyama: J. Alloy. Compd., **603**(2014), 65–74.
- (13) T. Mura: Micromechanics of Defects in Solids, second, revised ed., Martinus Nijhoff, Dordrecht, (1987).
- (14) J. S. Chun and J. G. Byrne: J. Mater. Sci., **4**(1969), 861–872.
- (15) T. Ohba, Y. Kitano and Y. Komura: Acta Crystallogr. Sect. C-

- Struct. Chem., **40**(1984), 1–5.
- (16) Y. Tsukada, S. Takeno, M. Karasuyama, H. Fukuoka, M. Shiga and T. Koyama: Sci. Rep., **9**(2019), 15794.
 - (17) C. E. Rasmussen and C. K. I. Williams: Gaussian Processes for Machine Learning, The MIT Press, Cambridge, (2006).
 - (18) C. D. Manning, P. Raghavan and H. Schütze: Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press, Cambridge, (2008).
 - (19) S. Takeno, Y. Tsukada, H. Fukuoka, T. Koyama, M. Shiga and M. Karasuyama: Phys. Rev. Mater., **4**(2020), 083802.
 - (20) Y. Z. Ji, A. Issa, T. W. Heo, J. E. Saal, C. Wolverton and L. Q. Chen: Acta Mater., **76**(2014), 259–271.
 - (21) S. Ito, H. Nagao, A. Yamanaka, Y. Tsukada, T. Koyama, M. Kano and J. Inoue: Phys. Rev. E, **94**(2016), 043307.
 - (22) S. Ito, H. Nagao, T. Kasuya and J. Inoue: Sci. Technol. Adv. Mater., **18**(2017), 857–869.
 - (23) K. Sasaki, A. Yamanaka, S. Ito and H. Nagao: Comput. Mater. Sci., **141**(2018), 141–152.
 - (24) A. Yamanaka, Y. Maeda and K. Sasaki: Mater. Des., **165**(2019), 107577.
 - (25) M. Ohno, Y. Oka, S. Sakane, Y. Shibuta and T. Takaki: Phys. Rev. E, **101**(2020), 052121.
 - (26) Y. Matsuura, Y. Tsukada and T. Koyama: Phys. Rev. Mater., **5**(2021), 113801.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

塚田祐貴

2011年3月 名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了
 2011年8月 名古屋工業大学大学院工学研究科 助教
 2015年4月 名古屋大学大学院工学研究科 助教
 2016年11月 現職

専門分野：計算材料組織学

◎主にフェーズフィールド法による材料組織形成モデリングに関する研究に従事。最近は機械学習やデータ同化による組織の計算モデルと実験データの融合に関する研究も行っている。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



塚田祐貴



小山敏幸

炭素鋼のミクロ組織の電気化学特性解明と組織制御による高耐食化

門脇万里子* 武藤 泉¹⁾* 菅原 優²⁾* 原 信義³⁾*

1. はじめに

炭素鋼は、産業・社会を支える重要な基盤材料であるが、耐食性が比較的低く、克服すべき課題の一つである。腐食による鋼材の劣化は、構造物の大規模な破壊を引き起こす場合もある。腐食機構を正しく理解し、高耐食化の技術を確立することは、安全性・信頼性を確保する上で重要である。自動車や橋梁、構造物など、炭素鋼は、塩化物イオン(Cl^-)を含む海浜大気環境において使用される場合が多い。そのような Cl^- を含む環境での炭素鋼の腐食形態は、主に孔食⁽¹⁾⁽²⁾である。孔食とは、材料表面に孔(ピット)状の侵食が生じ、その孔が起点となり局部的に腐食が進行する現象である。炭素鋼は、孔食の発生を防ぐため、Znめっきなどの表面処理を施して用いられることが多い。しかし、切断端面やめっき欠陥部においては下地鋼が露出する。そのため、炭素鋼の孔食発生と成長メカニズムの解明は重要な研究対象となっている。

炭素鋼は鉄(Fe)と炭素(C)の合金であり、熱処理により、フェライト、パーライト、ベイナイト、マルテンサイトなどの多様な金属組織を得ることができる。そして、そのような多様な金属組織を使い分けることで、用途に応じた機械的特性が確保されている。さらに、金属組織は、耐食性にも大きな影響を及ぼすことが知られている⁽³⁾⁻⁽⁸⁾。例えば、酸性環境での炭素鋼の耐食性はフェライトとパーライトで異なり、金属組織中のセメンタイト(Fe_3C)の量が多いパーライトの方が全面溶解の腐食速度が高い⁽⁴⁾。これは、 Fe_3C が水素イオンの還元反応を促進し、その結果、腐食反応が活発になるためである。

ところで、近年、マイクロ電気化学計測システム⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾や第一原理計算⁽¹¹⁾⁻⁽¹³⁾などの比較的新しい研究手法により、従来にはない新しい知見が得られている。例えば、酸性環境では鋼の耐食性を低下させる Fe_3C も、pHが中性付近の塩化物水溶液中では、孔食の抑制に寄与することが明らかにされている⁽¹⁴⁾。本稿では、著者らの研究を中心に、炭素鋼における金属組織と耐孔食性との関係に関する最近の研究を概観するとともに、今後を展望したい。

2. 炭素鋼の金属組織と耐孔食性との関係性

(1) マイクロ電気化学計測

炭素鋼の金属組織と孔食との関係を解析する際に、マイクロ電気化学計測システムは有効である⁽¹⁵⁾⁻⁽²⁶⁾。従来の一般的な電気化学計測手法が10 mm四方ほどの電極面を使用するのに対し、マイクロ電気化学計測では約100 μm 四方の電極面を使用する。腐食は金属が溶解するアノード反応と水溶液中の化学種によるカソード反応の複合電極反応であり、材料の耐食性を評価する上で、電気化学計測は不可欠である。特に、電位と電流密度の関係を分極曲線として計測することは有効である。炭素鋼の金属組織は多くの場合、最大でも100 μm オーダー程度であるのに対して、一般的な電気化学計測での電極面はそれよりも格段に大きい。そのため、電気化学計測では、電流が金属組織のどの部分の溶解に対応しているのか不明確である。しかも、複相鋼や複合組織鋼の場合、電極面には複数の相や組織が存在することとなり、個々の組織の耐食性を知ることはできない。また、炭素鋼などの鉄鋼材料ではMnSなどの非金属介在物が孔食の起点となり

* 国立研究開発法人物質・材料研究機構；研究員(〒305-0047 つくば市千現 1-2-1)

** 東北大学 1)教授 2)准教授 3)参与, 名誉教授

Electrochemical Properties of Microstructures of Carbon Steels and Metallurgical Approaches for Improving Corrosion Resistance; Mariko Kadowaki*, Izumi Muto**, Yu Sugawara**, Nobuyoshi Hara** (*National Institute for Materials Science, Tsukuba. **Tohoku University, Sendai)

Keywords: corrosion, carbon steel, microstructure, martensite, interstitial carbon, interstitial nitrogen, micro-scale polarization, first-principles calculation

2021年 8月30日受理[doi:10.2320/materia.60.784]

やすいが⁽²³⁾⁻⁽²⁶⁾，その影響を排除して，金属組織そのものの耐食性を評価することも不可能である．さらに，異なる組織の境界部も特異な腐食挙動を示す⁽²⁷⁾といわれているが，大きな試験面では相境界などに対する計測感度も不十分である．一方，マイクロ電気化学計測では電極面が微小なため，単一の組織のみから構成される電極面の作製が可能である．さらに，電極面の作製方法を工夫することで，MnS など特定の腐食起点を狙った電極面を作製することも可能であり，耐食性に及ぼす MnS や金属組織境界部の影響も解析することができる．

マイクロ電気化学計測システムの代表的なものとしては，Suter らが1990年代に開発したキャピラリー型マイクロ電気化学セルが挙げられる⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾．これは，先端部を内径 100 μm 程まで細く引き伸ばしたガラスキャピラリーを用いる手法である．キャピラリー先端部を試料表面に押し付けることで微小な電極面を作製し，キャピラリー内部を溶液で満たした状態で電気化学計測を行う．このキャピラリー型マイクロ電気化学セルの開発により，従来と比較して非常に微小な領域を対象とした電気化学計測を実施することが可能となり，MnS を起点とする孔食発生機構が解明された．その後，Chiba らによって，その場観察機能付きマイクロ電気化学計測システムが開発された⁽²³⁾⁻⁽²⁶⁾．これは，試料表面のうち，電極面としたい領域を残し，それ以外の部分を樹脂により被覆することで微小電極面を作製する手法である．この手法では，高分解能光学顕微鏡と水浸対物レンズを併用し，電気化学測定中の電極面をその場観察することが可能で，電位や電流などの電気化学データと腐食による侵食形態を一对で結びつけて解析することができる．

(2) 代表的な炭素鋼組織の耐孔食性の比較

上述の Chiba らが開発したマイクロ電気化学計測技術を利用して，機械構造用炭素鋼 S45C (規格値：0.45 mass% C) の代表的な金属組織の耐食性の比較が行われている⁽²⁸⁾⁻⁽³¹⁾．図 1 は，熱処理条件を変化させることで初析フェライト-パーライト組織とマルテンサイト組織を作製し，介在物が存在しない 100 μm 四方の領域を電極面として計測した動電位アノード分極曲線である⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾．この際は，23 mV min^{-1} で電位を貴な方向に掃引している．初析フェライト-パーライト組織の場合には，初析フェライトのみを含む電極面とパーライトのみを含む電極面を作製し，測定を実施している．溶液には 100 mM または 500 mM の NaCl を含むホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) を使用している (M は mol/L を示す，以下同様)．鉄鋼材料では MnS などの非金属介在物が孔食の起点となりやすいが⁽²³⁾⁻⁽²⁶⁾，図 1 に示す分極測定では金属組織由来の耐孔食性の違いを解析するため，介在物の存在しない微小領域を電極面としている⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾．

図 1(a) の NaCl 濃度が 100 mM の場合，パーライトでは 0 V (電位基準：Ag/AgCl, 3.33 M KCl, 以下同様) で急峻な電流密度の上昇がみられる．これは孔食が発生したことを示している．Fe₃C とフェライトのラメラ構造から構成される

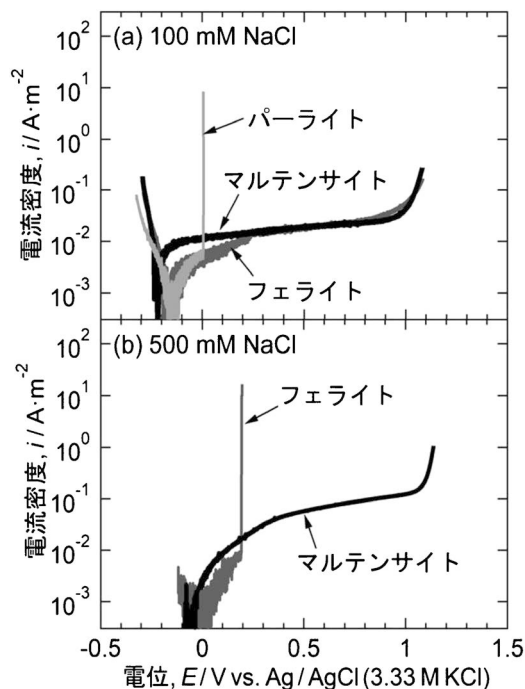


図 1 炭素鋼 S45C (規格値：0.45 mass% C) の代表的な金属組織の NaCl 含有ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中での動電位マイクロアノード分極曲線．NaCl 濃度：(a) 100 mM および (b) 500 mM⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾．

パーライトでは，ラメラ構造の境界部に S や P などが偏析しやすく，それらの偏析が起点となって孔食が発生したものと考えられている⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾．一方，初析フェライトとマルテンサイトにおいては，孔食が発生しない．これらの試料では 1 V 付近で電流密度が大きく増加しているが，これは水の電気分解に起因するものであり，孔食の発生によるものではない．図 1(b) に示す NaCl 濃度が 500 mM の場合は，初析フェライトでは 0.2 V 付近で孔食が発生するが，マルテンサイトでは孔食は発生しない．このように，炭素鋼の耐孔食性はその金属組織に大きく依存することが近年の研究で解明されている．代表的な金属組織の中でも，特にマルテンサイトは他の組織と比較して耐孔食性に優れており，工業的にも着目される研究成果となっている⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾．

3. マルテンサイト中の固溶 C と耐孔食性との関係性

(1) マルテンサイトの耐溶解性

マルテンサイトは，鋼をオーステナイト域から急冷 (焼入れ) した際に得られる金属組織であり，C などの侵入型元素が Fe 格子中に過飽和固溶体として存在しているのが特徴である．焼入れ後に焼戻しを行うと，炭素鋼の場合には炭化物 (Fe₃C など) が析出し固溶 C 濃度が低下する．図 2 は，炭素鋼 S45C を 1523 K から焼入れすることで作製した焼入れままマルテンサイト試料と，これを 923 K で 20 時間保持した焼戻しマルテンサイト試料の 1 mM NaCl 含有ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) での動電位アノード分極曲線であ

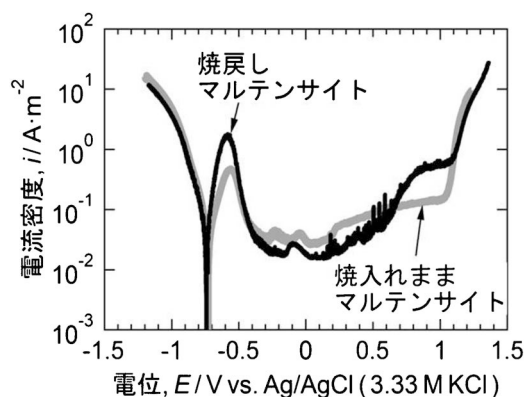


図2 焼入れままおよび焼戻しマルテンサイトの1 mM NaCl 含有ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中での動電位アノード分極曲線⁽²⁹⁾.

る⁽²⁹⁾. この際は、 23 mV min^{-1} で電位を貴な方向に掃引している. 焼入れままマルテンサイトと焼戻しマルテンサイトのいずれも、 -0.6 V 付近に活性溶解にともなう電流密度の上昇がみられる. しかし、二つの試料では、電流密度のピークの値に違いがみられる. 固溶C濃度の高い焼入れままマルテンサイトの方が、固溶C濃度の低い焼戻しマルテンサイトよりも電流密度が低い. この結果などから、固溶Cはマルテンサイトの活性溶解を抑制する作用があると考察されている⁽²⁹⁾. -0.6 V より貴な電位域では、電位の掃引に伴って電流密度が低下し、不動態化がみられるが、 0 V より貴な電位域では電流密度の振動や緩やかな電流密度の増加が観察される. これは、溶液に添加された NaCl の影響で孔食が発生したことに起因している. 固溶C濃度の高い焼入れままマルテンサイトでは、焼戻しマルテンサイトと比較して、電流密度の振動が軽微であり、 0.7 V よりも高い電位での電流密度の上昇も抑制されている. 孔食は不動態皮膜が Cl^- により局所的に破壊されることで生じるが、その後は鋼素地の活性溶解により成長する. 固溶C濃度の高い焼入れままマルテンサイトでは、活性溶解が抑制されることで、孔食の成長が抑制されたものと考えられる⁽²⁹⁾. このように、近年の研究により、マルテンサイト組織は優れた耐孔食性を有し、それは固溶Cによるものであることが明らかとなってきた^{(30) (32) (33)}. ところで、焼入れままマルテンサイトは靱性が低く、実用鋼は多くの場合焼戻し処理を行った後に使用される. 焼戻しにより、炭化物の析出が起こり固溶C濃度は低下する. このため、耐孔食性と靱性はトレードオフの関係にあり、耐孔食性を確保するために必要な固溶C濃度の把握が重要となるが、これに関しては後述する. なお、炭素鋼だけではなく、Type 304 ステンレス鋼などオーステナイト組織を有する鋼においても固溶Cが活性溶解を抑制し、耐孔食性を向上させることが報告されている^{(34)–(41)}.

(2) 第一原理計算によるマルテンサイトの電子構造解析

固溶Cによる鋼の活性溶解抑制機構を解明するため、第

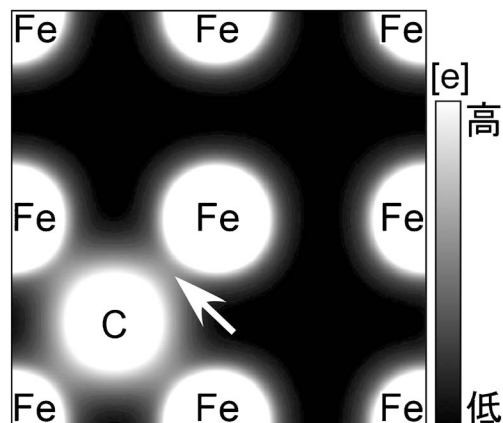


図3 マルテンサイト中の固溶Cを含む格子面での電荷密度分布⁽³³⁾.

一原理計算を用いたマルテンサイト鋼の電子構造解析が行われている^{(32) (33)}. 図3は、第一原理計算として密度汎関数理論に基づき、Vienna Ab-initio Simulation Package (VASP) を用いて行われた解析例である^{(32) (33)}. マルテンサイトと同じ bct 型の Fe 結晶構造 (バルク相) から構成されるモデルを使用し、固溶Cを含有する格子面での電荷密度分布を解析した結果である. この研究では、固溶Cの影響を明確にするため、固溶C濃度は S45C よりも高い $5.88 \text{ at\%}$ ($1.33 \text{ mass\%}$) としている.

図3では、固溶Cとそれに隣接する Fe 原子との間に、Fe 原子-Fe 原子間と比較して電荷密度の高い領域が存在していることがわかる (図中に矢印で示した領域). これは、固溶Cの存在により、Fe 原子の周りの電子密度に変化が生じることを意味している. 第一原理計算に基づき、各原子の価電子数が算出されており、図3のC原子の価電子数は5.6で、Cに最近接している Fe 原子の価電子数は7.8であることが示されている^{(32) (33)}. これに対して、純 Fe および純 C の価電子数は8.0および4.0である. これらのことより、固溶C周辺では Fe 原子から C 原子に価電子が移行し、その結果、Fe 原子の価電子数が減少していることが明らかになった.

Fe の活性溶解など金属の電気化学反応 (酸化・還元反応) には、電子伝導を担うフェルミ準位近傍の価電子が関与している^{(42)–(44)}. Fe の価電子数が減少するということは、Fe の電気化学反応を担う電子の数が減少するということであり、反応速度定数が小さくなることに相当している⁽⁴²⁾. 電荷密度分布に加え、Fe の電子状態密度⁽³²⁾ や仕事関数⁽⁴⁵⁾ など、鋼の電子構造に由来する様々な表面特性も固溶Cの存在により変化することが報告されている. このような固溶Cによる Fe の電子構造の変化が、マルテンサイトの活性溶解を抑制し、優れた耐孔食性をもたらす要因の一つであると考えられている. C などの軽元素は、遷移金属である Fe とは、電気陰性度に大きな差異がある. しかも、侵入型の元素であるため、置換型の元素に比べ Fe 原子により近接できる. その結果、比較的少ない添加量でも Fe の電子構造を大きく変

えることが可能で、うまく利用することで、耐食性を大きく向上させることも可能であると思われる。

4. マルテンサイト鋼の耐食性と靱性の両立

(1) 焼戻しにともなう耐孔食性の変化

前節までに示したマルテンサイト鋼のように、Fe への固溶 C の添加は、耐孔食性を向上する有効な手段の一つであることがわかってきた。しかし、固溶 C 濃度が過度に高いと靱性が低下する。そのため靱性と耐食性の両立は、工学的には重要な研究課題である。このような理由から、焼戻し処理にともなう固溶 C 濃度の変化と、耐孔食性および靱性の関係が系統的に解析されている⁽³⁰⁾。図 4 は、炭素鋼 S45C を 1123 K から水焼き入れした焼入れままマルテンサイトと、それを 873 K で焼戻した焼戻しマルテンサイトについて、NaCl を含有するホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中で動電位アノード分極曲線を測定した結果である⁽³⁰⁾。この際は、 23 mV min^{-1} で電位を貴な方向に掃引している。この図から、耐孔食性に及ぼす焼戻し時間の影響を把握することができる。鉄鋼材料では MnS などの介在物が起点となり孔食が発生することが知られている⁽²³⁾⁻⁽²⁶⁾。このため、図 4 では、MnS を含有しない微小領域と MnS を含有する微小領域について測定を実施し、孔食発生挙動を解析している。

図 4(a) は MnS を含有しない約 $100 \mu\text{m}$ 四方の領域を電極面として、500 mM NaCl を含有するホウ酸-ホウ酸塩緩衝液中で測定した分極曲線である⁽³⁰⁾。ここでは、焼入れまま

マルテンサイト試料と 1 時間、10 時間および 15 時間の焼戻しを行った試料が比較されている。15 時間焼戻し試料では、0.05 V で孔食の発生による電流密度の上昇がみられる。これに対して、焼戻し時間が 10 時間以内の場合と焼入れままの場合では、孔食発生に伴う電流密度の上昇はみられない。1 V より貴な電位での電流密度の上昇は酸素発生によるものである。この結果から、焼戻し時間が短い試料は、焼戻し時間が長い試料と比較して耐孔食性に優れることがわかる。

図 4(b) は長さ約 $15 \mu\text{m}$ の MnS を一個のみ含む約 $100 \mu\text{m}$ 四方の領域を電極面として、1 mM NaCl を含有するホウ酸-ホウ酸塩緩衝液中で測定した分極曲線である⁽³⁰⁾。MnS が存在する場合は、比較的容易に孔食が発生するため、図 4(a) よりも NaCl 濃度が低い溶液が使用されている。試料として焼入れままマルテンサイトと、0.1 時間、1 時間および 10 時間の焼戻し処理を行ったものが用いられている。10 時間および 1 時間焼戻し試料では孔食発生にともなう電流密度の上昇がみられ、孔食電位はそれぞれ -0.04 V および 0.42 V である。1 時間焼戻し試料の方が 10 時間焼戻し試料より孔食電位が貴であることから、MnS 起点での孔食の場合も、短時間の焼戻し処理が高耐食化には有効である。なお、いずれの場合も、孔食は MnS を起点として発生したことが確認されている⁽³⁰⁾。興味深い点としては、焼戻し時間が短時間である 0.1 時間の場合には、MnS を含む電極面であっても孔食が発生していないことである。さらに、焼入れままの試料でも、孔食は発生していない。

図 5 は、図 4(b) の分極曲線測定終了後に、0.1 時間の焼戻

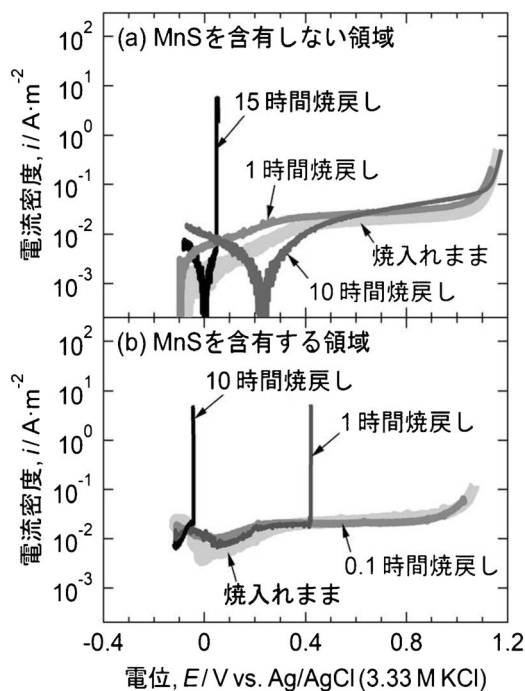


図 4 焼入れままおよび焼戻しマルテンサイトの NaCl 含有ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中での動電位マイクロアノード分極曲線。(a) MnS を含有しない電極面を使用、NaCl 濃度：500 mM。(b) 一つの MnS を含有する電極面を使用、NaCl 濃度：1 mM⁽³⁰⁾。

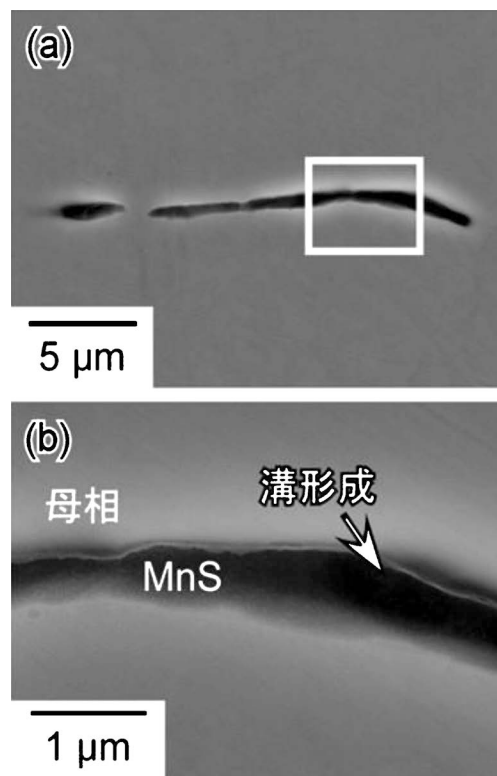


図 5 図 4(b) の 0.1 時間焼戻したマルテンサイト試料に含まれる MnS 介在物の、分極測定後の SEM 観察画像⁽³⁰⁾。

しを行った試料の MnS を SEM で観察した結果である⁽³⁰⁾。拡大画像である図 5(b)の矢印の位置に、MnS/母相境界部が溶解して形成された溝が存在している。鉄鋼材料の孔食は、介在物/母相の境界部に形成した溝が起点となって生じ、母相の活性溶解により成長することが知られている⁽²³⁾⁻⁽²⁶⁾。しかしながら、固溶 C 濃度が比較的高い 0.1 時間の焼戻し材では、鋼の活性溶解の速度が低く、MnS の一部が溶解したとしても、鋼母相の溶解は実質的に起こらず、孔食にはならなかったものと考えられる。図 4(b)に示した焼入れままマルテンサイト試料でも SEM 観察が実施されており、MnS/母相境界部には溝が形成されているが、孔食発生には至らなかったことが確認されている⁽³⁰⁾。

(2) 靱性と耐食性を両立する焼戻し条件

上述の実験結果に基づき、靱性と耐孔食性を両立するための熱処理の指針が提案されている⁽³⁰⁾。図 6 は、図 4 および図 5 の解析に用いた炭素鋼 S45C のマルテンサイト組織について、874 K で焼戻した際のビッカース硬さと孔食電位を整理したものである⁽³⁰⁾。孔食電位としては、MnS を含まない微小領域(図 4(a))と、長さ約 15 μm の MnS を一個のみ含む領域(図 4(b))での分極測定で得られた値を示している。

図 6 において、ビッカース硬さは 0.1 時間の焼戻し処理を行うことで、630 Hv から 300 Hv まで大きく低下している。その後は焼戻しの時間と共に、硬さは緩やかに低下する。10 時間の焼戻しで、硬さが約 200 Hv となり、それよりも長時間では、ほとんど変化しない。鉄鋼材料において、ビッカース硬さは靱性や引張強さなどの機械的特性と線形的な関係にあることが知られており⁽⁴⁶⁾、図 6 での硬さの低下はマルテンサイトの靱性が向上したことを意味している⁽³⁰⁾。また、マルテンサイト中の固溶 C 濃度も、ビッカース硬さと線形的な関係にあることが知られている⁽⁴⁶⁾。したがって、硬さから固溶 C 濃度を推定することが可能であり、図 6 には硬さから推定した固溶 C 濃度も示してある⁽³⁰⁾。

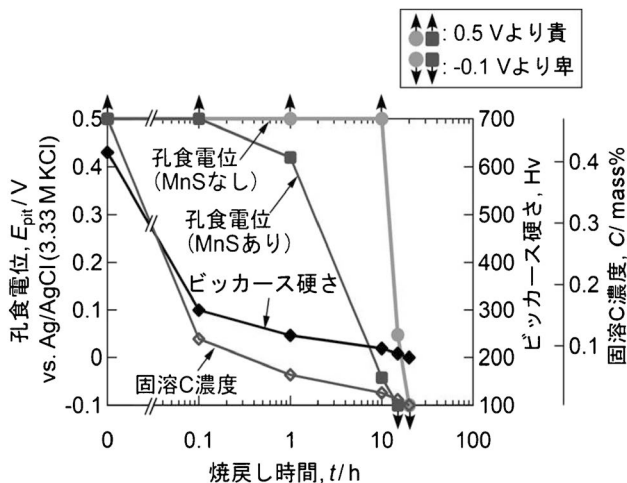


図 6 マルテンサイトの焼戻し時間に対するビッカース硬さおよび孔食電位の変化⁽³⁰⁾。

図 6 において、孔食電位は、焼戻し処理の時間に伴い低下しており、焼戻しによる固溶 C 濃度の低下は耐孔食性を低下させることが理解される。しかし、硬さが 0.1 時間の焼戻しで大きく低下しているのに対し、孔食電位が低下するのは、より長時間の焼戻しである。0.1 時間の焼戻し試料は靱性に優れ、しかも、MnS を含む領域においても優れた耐孔食性を有していると判断される。0.1 時間程度の短時間の焼戻しにより、耐孔食性と靱性を両立した炭素鋼を得ることができるものと結論付けられる。硬さから推定した固溶 C の濃度から、おおむね 0.1 mass% の固溶 C が確保されていれば、靱性を確保しつつ、介在物起点の孔食発生も抑制できる可能性がある。このような短時間焼戻しが、ハイテン鋼などの実用鋼において、靱性と耐食性を両立する有効な手法の一つであると考えられる。

5. C 以外の固溶元素に着目した鋼の高耐食化

(1) 固溶 N による耐食性の向上

固溶 C 以外の侵入型元素についても、鋼の耐食性に対する作用が研究されている。特に、固溶 N は、鉄鋼材料の高耐食化に非常に効果的であることが明らかとなっている⁽³³⁾⁽⁴⁷⁾。N は C と同様に侵入型として Fe 格子に固溶する元素であり、マルテンサイト組織中に過飽和に存在することが可能である。以下に、固溶 N を添加した鉄鋼材料の腐食挙動に着目した研究例を紹介する。

C または N を 0.3 mass% 添加したマルテンサイト鋼を用いて、固溶 C と固溶 N が腐食挙動におよぼす影響を比較した研究が実施されている⁽³³⁾。図 7 は C または N を 0.3 mass% 添加したマルテンサイト鋼と、C および N を含有しない鋼(図中では“C・N 無添加”と記載)について、ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液(pH 8.0)中での動電位アノード分極曲線を測定した結果である⁽³³⁾。この際は、23 mV min^{-1} で電位を貴な方向に掃引している。C および N 添加鋼については、金属組織中に炭化物や窒化物は存在せず、添加された C と N

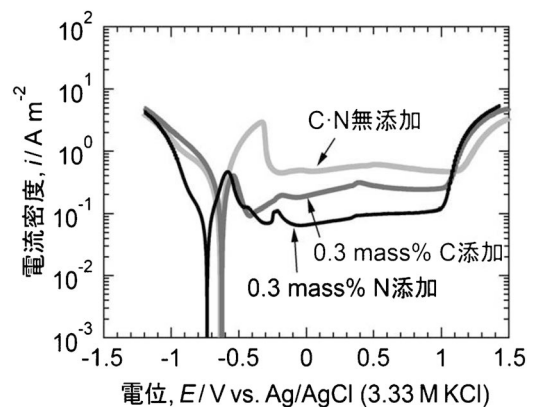


図 7 0.3 mass% 固溶 C 添加鋼、0.3 mass% 固溶 N 添加鋼、および C・N 無添加鋼のホウ酸-ホウ酸塩緩衝液(pH 8.0)中での動電位アノード分極曲線⁽³³⁾。

はすべて固溶 C および固溶 N として鋼中に存在していることが確認されている⁽³³⁾。すべての試料で、 -0.8 V から -0.3 V での電位域にて活性溶解にともなう電流密度の上昇がみられる。この際の電流密度の最大値を比較すると、N および C 添加鋼は、C・N 無添加鋼と比較しておよそ一桁低い。これは、固溶 C および固溶 N が鋼の活性溶解を抑制することを意味している。 0.3 V より貴な電位域では活性態-不動態遷移がみられる。不動態維持電流密度に着目すると、(低)N 添加鋼<C 添加鋼<N・C 無添加鋼(高)の順である。この結果から、固溶 C および固溶 N は、どちらも活性態域だけでなく不動態域においても鋼の耐食性を向上させる効果があることがわかる。特に不動態域での耐食性向上に関しては、固溶 N の方が固溶 C よりも効果的である。このような固溶 N による高耐食化には、1)N 添加にともなう Fe の電子構造の変化と、2)N の溶解イオン種による腐食抑制の二つの作用が寄与していると推定される⁽³³⁾。次節では、上記の二つの観点それぞれについて関連する研究事例を紹介する。

ところで、C と N に加え、B も Fe 格子中に侵入型に固溶する可能性のある元素である⁽⁴⁸⁾。しかしながら、B は C や N と比較して Fe への固溶度が低く、B の添加は局部腐食の起点となるホウ化物(Fe_2B など)の形成を引き起こすことから、耐食性を低下させる場合があることが報告されている⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾。

(2) 固溶 N による鋼の電子構造の変化

固溶 N の添加にともなう鋼の高耐食化には、N による Fe の電子構造の変化が関連していると考えられており、第一原理計算に基づく N 添加マルテンサイト鋼の電子構造の解析が実施されている⁽³³⁾。図 8 はマルテンサイトと同じ bct 型の Fe バルク相を模擬したモデルを用い、固溶 N を含む格子面での電荷密度分布を解析した結果である⁽³³⁾。図 3 に記載の固溶 C 含有マルテンサイトの場合と同様の計算条件が用いられており、固溶 N 濃度は $5.88\text{ at}\%$ ($1.54\text{ mass}\%$)である。

図 8 より、固溶 N を含有するマルテンサイトにおいても、固溶 N 原子とそれに隣接する Fe 原子との間に、電荷密

度が比較的高い領域が存在することがわかる。これは、図 3 に示した固溶 C を含有するマルテンサイトの場合と同じ傾向である。さらに、図 8 中の N 原子の価電子数は通常の N の価電子数である 5.0 より 1.6 大きい 6.6 である。また、N に最近接している Fe 原子の価電子数は純 Fe の価電子数である 8.0 より 0.2 小さい 7.8 であると算出されている⁽³³⁾。固溶 C の場合と同様に、固溶 N を添加した場合も Fe から N に価電子が移行することで、電気化学反応を担う Fe の価電子数が減少する。このように、固溶 N においても、Fe の電子構造の変化が、N 添加鋼の優れた耐食性をもたらす要因の一つであることが最近の研究により解明されている。

(3) N の溶解イオン種の影響

固溶 N 添加にともなう鋼の耐食性の向上には、N の溶解イオン種も影響をおよぼしていると考えられている⁽³³⁾⁽⁴⁷⁾。

図 9 は N- H_2O 系について計算された電位-pH 図である⁽³³⁾。図中に斜線で示した中性付近の pH 領域では、電位によって NH_4^+ 、 NO_2^- 、および NO_3^- の異なるイオンが安定であることがわかる。すなわち、固溶 N が腐食反応にともなって水溶液中に溶け出した場合、電位に応じてこれら三種類のイオンのいずれかが生成すると考えられる。鋼中の N が溶液中に溶け出すことで、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、および NO_3^- といったイオン種が形成されることは広く知られており、溶液のラマン分光分析⁽⁵¹⁾や吸光度分析⁽⁵²⁾⁽⁵³⁾により、それらのイオン種の存在が確認されている。馬場らは、固溶 N を $0.7\text{ mass}\%$ 含むオーステナイト系ステンレス鋼について、NaCl 含有溶液にて 72 時間定電位分極を実施し、その後の溶液中の NH_4^+ 、 NO_2^- 、および NO_3^- 量を吸光度法により定量している⁽⁵³⁾。その結果、鋼の溶解に伴って上記三種類のイオンが溶液中に形成し、分極電位が卑であるほど NH_4^+ の生成量が、分極電位が貴であるほど NO_3^- の生成量が多くなることを報告している⁽⁵³⁾。

図 10 は、 NH_4^+ 、 NO_2^- および NO_3^- について、鋼の耐食性におよぼす影響を解析した結果である⁽³³⁾。この図は、純 Fe 試料について定電位分極測定を行った結果である⁽³³⁾。測定

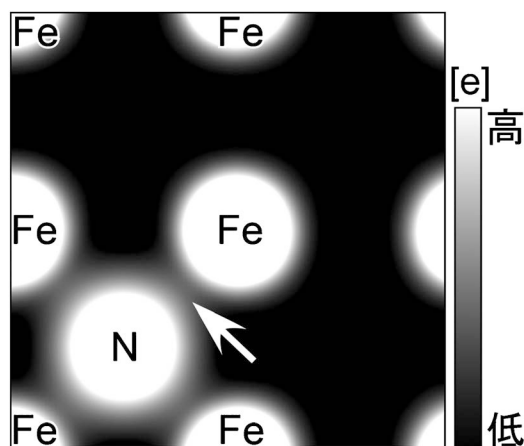


図 8 N 添加鋼中の固溶 N を含む格子面での電荷密度分布⁽³³⁾。

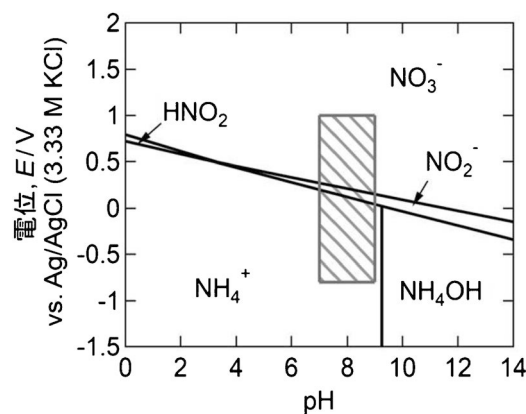


図 9 N- H_2O 系の電位-pH 図(溶解イオン種の濃度を 1 mol/kg として計算)⁽³³⁾。

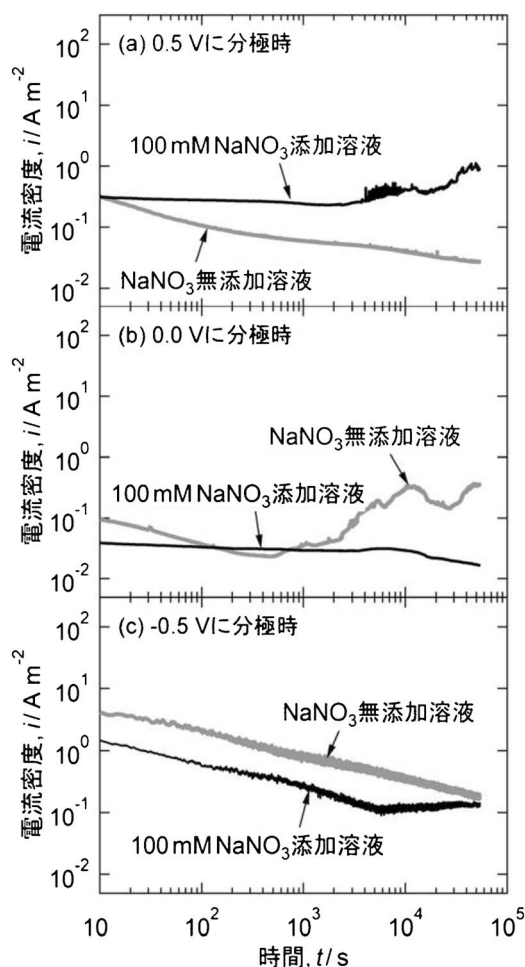


図10 Fe 試料を 100 mM NaNO₃ 添加ホウ酸-ホウ酸塩緩衝液 (pH 8.0) 中で定電位分極した際のアノード電流密度の経時変化. 分極電位: (a) 0.5 V, (b) 0.0 V, および (c) -0.5 V⁽³³⁾.

には 100 mM NaNO₃ を添加したホウ酸-ホウ酸塩緩衝液および NaNO₃ 無添加のホウ酸-ホウ酸塩緩衝液の二種類の溶液を使用している. それらの溶液中で純 Fe を 0.5 V, 0.0 V および -0.5 V に定電位分極した際のアノード電流密度の経時変化を解析している. 図 9 に示す N-H₂O 系の電位-pH 図において, 0.5 V, 0.0 V および -0.5 V は, それぞれ NO₃⁻, NO₂⁻ および NH₄⁺ の安定域である. すなわち, 溶液に添加した NaNO₃ は, 0.5 V では NO₃⁻ として, 0.0 V では NO₂⁻ として, -0.5 V では NH₄⁺ として電極面直上の溶液中に存在することになる.

図10(a)は, 0.5 V に定電位分極した際のアノード電流密度の経時変化である. NaNO₃ 無添加溶液では電流密度が時間経過とともに低下するのに対して, NO₃⁻ が存在すると, 分極開始からおよそ 4×10^3 秒経過した後に孔食発生に伴う電流密度の上昇がみられる. このように, NO₃⁻ は鉄鋼材料において孔食の発生を誘発する場合があります⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾, 耐食性を低下させると考えられる. 一方で, 図10(b)の 0.0 V に分極した場合には, NaNO₃ 添加溶液中では NO₂⁻ が形成していると考えられる. そして, アノード電流密度は NaNO₃ 添加

溶液の方が無添加溶液中よりも低い. この際に分極前後の試料表面観察も実施されており, NaNO₃ 添加溶液中で分極した試料表面では NaNO₃ 無添加溶液で分極した試料表面に比較して腐食の発生が抑制されることが報告されている⁽³³⁾. 試料表面での腐食の発生が抑制されていたことから, NO₂⁻ は Fe のアノード反応を抑制すると判断される. 図10(c)の -0.5 V に分極した場合には, NaNO₃ 添加溶液中では NH₄⁺ が形成していると考えられる. そして, アノード電流密度は NaNO₃ 添加溶液中の方が無添加溶液中よりも低い. すなわち, NH₄⁺ もまた Fe のアノード反応を抑制すると判断される. このように, N の溶解イオン種のうち NH₄⁺ と NO₂⁻ は鋼の耐食性の向上に効果的である⁽⁵⁶⁾⁻⁽⁵⁸⁾. Mustafa らや Ali らは, pH が 4.5 よりアルカリ側の環境にて, NO₂⁻ は炭素鋼の腐食を抑制する作用を有すると報告している⁽⁵⁶⁾⁽⁵⁷⁾. また, Aoyama らは, 1 M NaCl 溶液中で Type 316L ステンレス鋼の活性溶解が NH₄⁺ により抑制されることを明らかにしている⁽⁵⁸⁾. 以上のように, N 添加鋼の優れた耐食性には, NH₄⁺ あるいは NO₂⁻ の防食作用も深く関与していると考えられる. このように, N や C などの軽元素は, 鋼中から水溶液中に溶解した際に, H₂O 分子と反応し, NH₄⁺ や CO₃²⁻ などのイオン種になる. したがって, これらイオンが鋼表面で生成する際に, 溶液中にあらかじめ添加しておいたインヒビター(腐食抑制)と反応させ, さらに高い防食効果を発揮させるなどの新技術の開発も考えられる. 溶液反応や界面反応の観点から, 軽元素の役割に着目することも興味深い研究である.

6. 鋼への固溶元素添加に向けた表面処理

以上のように鉄鋼材料中に固溶 C や固溶 N を添加することで, 耐食性を向上できることが明らかとなっており, このような固溶 C や固溶 N を鋼に効果的に添加するための表面処理技術にも注目が集まっている.

固溶 C に関しては, ガス浸炭を行うことで鋼表面へ過飽和に添加できることが知られている⁽³⁴⁾⁻⁽³⁹⁾. Martin らは “Low-Temperature Colossal Supersaturation (LTCSS)” と呼ばれる低温浸炭処理により, Type 316L ステンレス鋼表面へ固溶 C を添加することに成功し, この処理を行うことで 0.6 M NaCl 中での孔食電位が未処理材のものよりも貴に移行することを報告している⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾. さらに, Heuer らは Type 316L ステンレス鋼にガス浸炭を施すことで, 0.6 M NaCl 中での耐摩耗性および耐食性が向上することを報告している⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾.

また, 固溶 N についても, プラズマ窒化などの表面処理技術を利用することで鋼表面へ効果的に添加することが可能である⁽⁴⁷⁾. Chiba らは, 603 K で 12 時間, 50 vol% N₂-50 vol% H₂ 環境下で SM490 炭素鋼表面にプラズマ窒化処理を行うことで, 鋼表面に N 固溶層を作製することに成功している⁽⁴⁷⁾. 図11はプラズマ窒化後の炭素鋼断面の光学顕微鏡画像である⁽⁴⁷⁾. この事例では, プラズマ窒化を行うことで

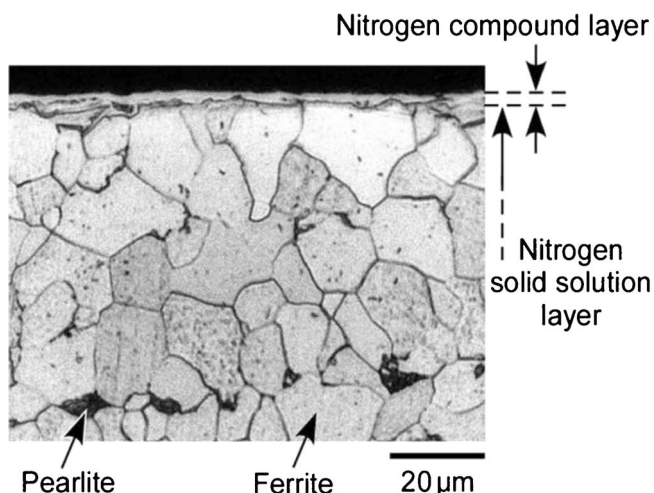


図11 プラズマ窒化後の炭素鋼断面の光学顕微鏡画像⁽⁴⁷⁾。

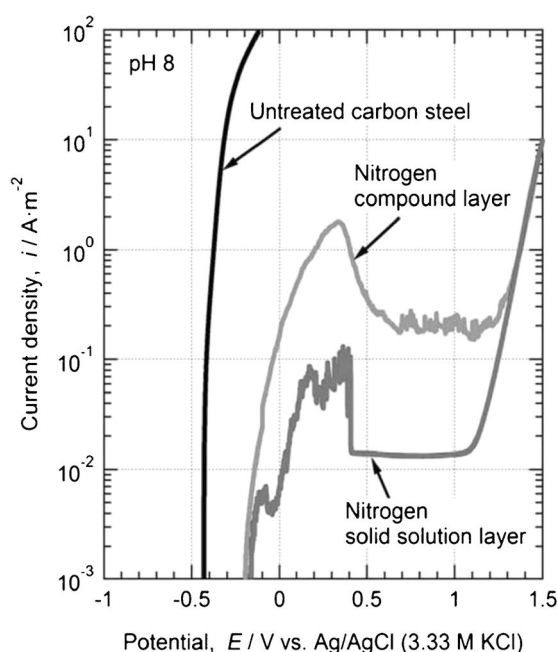


図12 プラズマ窒化後の炭素鋼およびプラズマ窒化していない炭素鋼の0.1 M Na₂SO₄ 中での動電位アノード分極曲線⁽⁴⁷⁾。

最表層に窒素化合物層(Fe₄N と Fe₁₆N₂ から構成される層)が形成され、その下に厚さ約 15 μm ほどの N 固溶層が形成されている。N 固溶層中の N 濃度はおよそ 0.1 mass% である。図12はプラズマ窒化した炭素鋼とプラズマ窒化していない炭素鋼に対して、pH を8.0に調節した0.1 M Na₂SO₄ 中で計測した動電位アノード分極曲線である⁽⁴⁷⁾。この際は、24 mV min⁻¹で電位を貴な方向に掃引している。プラズマ窒化した炭素鋼では窒素化合物層と N 固溶層の分極曲線が別々に測定されている。プラズマ窒化していない炭素鋼では電流密度が様に上昇する活性溶解の挙動がみられる。これに対して、N 固溶層は不働態化しており、プラズマ窒化していない炭素鋼より格段に耐食性に優れることが明らかである。

このように、ガス浸炭やプラズマ表面処理などの技術を用いることで、固溶元素を利用した鉄鋼材料の高耐食化を実現することが可能になってきている。今後のさらなる発展が期待される技術である。

7. お わ り に

炭素鋼の金属組織は、機械的特性や耐食性など、鋼の様々な特性と密接に結びついている。本稿では著者らの研究を中心に、特に C や N などの固溶元素を含有するマルテンサイトに焦点を当てながら、金属組織と腐食挙動との関係に関する研究を概観した。一般的に、鉄鋼材料を高耐食化するために Cr, Mo などのレアメタルを用いた高合金化や、鋼の高純度化などの手法が用いられることが多い。しかし、それらの高耐食化技術には資源の消費や製造コストの面で課題があるのが現状である。一方、C や N などは資源量の豊富ないわゆるユビキタス元素である。これらの元素を利用して鋼の高耐食化を実現することができれば、省資源で低コストな耐食鋼の開発も可能であると考えられる。

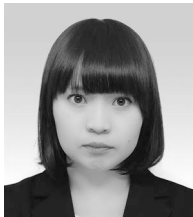
また、C や N に限らず鉄鋼材料へ添加することのできる固溶元素の種類や組み合わせは無数に存在する。今後は高耐食化に有効な新たな固溶元素や相乗効果を見出すことも重要であると考えられる。本稿で紹介したように、第一原理計算などの計算科学の手法を用いれば、実験に基づく材料作製と比較して短時間かつ効率的に、添加元素が鋼の電子物性や耐食性におよぼす影響を解析できる。さらに、それらの計算科学の手法では、現在は存在しない未知な合金系も候補に入れた幅広い解析を行うことも可能である。将来的には、そのような計算科学を腐食科学に効果的に取り入れた、新規高耐食鋼開発に向けた研究展開が期待される。

文 献

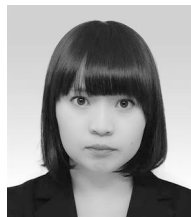
- (1) G. S. Frankel: J. Electrochem. Soc., **145**(1998), 2186–2198.
- (2) H. H. Strehblow: Corrosion Mechanisms in Theory and Practice (2nd. Ed., Revised and Expanded), ed. by P. Marcus, Marcel Dekker, New York, (2002), 243.
- (3) Z. A. Foroulis and H. H. Uhlig: J. Electrochem. Soc., **111** (1964), 522–528.
- (4) N. D. Tomashov: Theory of Corrosion and Protection of Metals, Macmil-lan, New York, (1966), 515.
- (5) H. J. Cleary and N. D. Greene: Corros. Sci., **9**(1969), 3–13.
- (6) J. Sanchez, J. Fullea, C. Andrade, J. J. Gaitero and A. Porro: Corros. Sci., **50**(2008), 1820–1824.
- (7) X. Hao, J. Dong, I.-I. N. Etim, J. Wei and W. Ke: Corros. Sci., **110**(2016), 296–304.
- (8) S. Xiang, Y. He, W. Shi, X. Ji, Y. Tan, J. Liu and R. G. Ballinger: Corros. Sci., **141**(2018), 221–229.
- (9) P. Guo, E. C. La Plante, B. Wang, X. Chen, M. Balonis, M. Bauchy and G. Sant: Sci. Rep., **8**(2018), 7990.
- (10) M. A. Hafeez, A. Inam, M. Ul Hassan, M. A. Umer, M. Usman and A. Hanif: Crystals, **10**(2020), 265.
- (11) V. G. Gavriljuk, B. D. Shanina and H. Berns: Acta Mater., **56** (2008), 5071–5082.
- (12) W. Lv, W. Jin, L. Yan, X. Pang, H. Yang and K. Gao: Appl. Surf. Sci., **471**(2019), 425–434.

- (13) H. Ma, L. Wu, C. Liu, M. Li, C. Wang, D. Li, X.-Q. Chen, J. Dong and W. Ke: *Acta Mater.*, **183**(2020), 377–389.
 - (14) M. Kadowaki, I. Muto, K. Takahashi, T. Doi, H. Masuda, H. Katayama, K. Kawano, Y. Sugawara, and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **166**(2019), C345–C351.
 - (15) T. Suter and H. Böhm: *Electrochim. Acta*, **42**(1997), 3275–3280.
 - (16) T. Suter, E. G. Webb, H. Böhm and R. C. Alkire: *J. Electrochem. Soc.*, **148**(2001), B174–B185.
 - (17) E. G. Webb and R. C. Alkire: *J. Electrochem. Soc.*, **149**(2002), B272–B279.
 - (18) E. G. Webb and R. C. Alkire: *J. Electrochem. Soc.*, **149**(2002), B280–B285.
 - (19) E. G. Webb and R. C. Alkire: *J. Electrochem. Soc.*, **149**(2002), B286–B295.
 - (20) I. Muto, Y. Izumiyama and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **154**(2007), C439–C444.
 - (21) I. Muto, D. Ito and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **156**(2009), C55–C61.
 - (22) J. Shinozaki, I. Muto, T. Omura, M. Numata and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **158**(2011), C302–C309.
 - (23) A. Chiba, I. Muto, Y. Sugawara and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **159**(2012), C341–C350.
 - (24) A. Chiba, I. Muto, Y. Sugawara and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **160**(2013), C511–C520.
 - (25) A. Chiba, I. Muto, Y. Sugawara and N. Hara: *Mater. Trans.*, **55**(2014), 857–860.
 - (26) 武藤 泉, 千葉重耶, 東城雅之, 菅原 優, 原 信義: *鉄と鋼*, **105**(2019), 207–214.
 - (27) M. Kadowaki, I. Muto, H. Katayama, H. Masuda, Y. Sugawara and N. Hara: *Corros. Sci.*, **154**(2019), 159–177.
 - (28) M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, T. Doi, K. Kawano and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **164**(2017), C261–C268.
 - (29) M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, T. Doi, K. Kawano and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **164**(2017), C962–C972.
 - (30) M. Kadowaki, I. Muto, Y. Sugawara, T. Doi, K. Kawano and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **165**(2018), C711–C721.
 - (31) 門脇万里子, 武藤 泉, 菅原 優, 原 信義: *材料と環境*, **67**(2018), 497–501.
 - (32) M. Kadowaki, A. Saengdeejing, I. Muto, Y. Chen, H. Masuda, H. Katayama, T. Doi, K. Kawano, H. Miura, Y. Sugawara and N. Hara: *Corros. Sci.*, **163**(2020), 108251.
 - (33) M. Kadowaki, A. Saengdeejing, I. Muto, Y. Chen, G. S. Frankel, T. Doi, K. Kawano, Y. Sugawara and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **167**(2020), 081503.
 - (34) F. J. Martin, E. J. Lemieux, T. M. Newbauer, R. A. Bayles, P. M. Natishan, H. Kahn, G. M. Michal, F. Ernst and A. H. Heuer: *Electrochem. Solid State Lett.*, **10**(2007), C76–C78.
 - (35) F. J. Martin, P. M. Natishan, E. J. Lemieux, T. M. Newbauer, R. J. Rayne, R. A. Bayles, H. Kahn, G. M. Michal, F. Ernst and A. H. Heuer: *Metall. Mater. Trans. A*, **40**(2009), 1805–1810.
 - (36) Y. Sun: *Surf. Coat. Technol.*, **204**(2010), 2789–2796.
 - (37) Y. Sun: *Corros. Sci.*, **52**(2010), 2661–2670.
 - (38) A. H. Heuer, H. Kahn, L. J. O'Donell, F. Ernst, G. M. Michal, R. J. Rayne, F. J. Martin and P. M. Natishan: *Electrochem. Solid-State Lett.*, **13**(2010), C37–C39.
 - (39) A. H. Heuer, H. Kahn, F. Ernst, G. M. Michal, D. B. Hovis, R. J. Rayne, F. J. Martin and P. M. Natishan: *Acta Mater.*, **60**(2012), 716–725.
 - (40) A. Chiba, S. Shibukawa, I. Muto, T. Doi, K. Kawano, Y. Sugawara and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **162**(2015), C270–C278.
 - (41) Y. Sugawara, W. Inoue, I. Muto and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **165**(2018), C441–C449.
 - (42) A. J. Bard and L. R. Faulkner: *Electrochemical Method, Fundamentals and Applications Second Edition*, John Wiley & Sons, New York, (2001), 124–130.
 - (43) P. C. Seanson, P. V. Nagarkar and R. M. Latanision: *Int. J. Hydrog. Energy*, **14**(1989), 131–136.
 - (44) L. M. C. Pinto, P. Quaino, E.Santos and W. Schmickler: *Chem-PhysChem*, **15**(2014), 132–138.
 - (45) A. Chiba, M. Koyama, E. Akiyama and T. Nishimura: *J. Electrochem. Soc.*, **165**(2018), C19–C26.
 - (46) B. Lišić, H. M. Tensi and W. Luty: *Theory and Technology of Quenching*, Springer-Verlag, Berlin (1992), 4–29.
 - (47) A. Chiba, A. Nagasaki and T. Nishimura: *J. Electrochem. Soc.*, **164**(2017), C17–C26.
 - (48) M. Souissi, Y. Chen, M. H. F. Sluiter and H. Numakura: *Comput. Mater. Sci.*, **124**(2016), 249–258.
 - (49) T. Y. Chen and Z. Szklarska-Smialowska: *Corros. Sci.*, **28**(1988), 97–107.
 - (50) T. Takeji, M. Yabe, A. Ooi, E. Tada and A. Nishikata: *J. Electrochem. Soc.*, **166**(2019), C375–C381.
 - (51) 大野平祐, 田辺博義, 酒井 彰, 三澤俊平: *材料と環境*, **47**(1998), 584–590.
 - (52) 馬場晴雄, 小玉俊明, 宇野秀樹, 片田康行: *材料と環境*, **50**(2001), 570–576.
 - (53) 馬場晴雄, 片田康行, 木村寿夫: *日本金属学会誌*, **71**(2007), 570–577.
 - (54) J. W. Congdon: *Mater. Performance*, **27**(1988), 34–38.
 - (55) J. Leifer, P. E. Zapp and J. I. Mickalonis: *Corrosion*, **55**(1999), 31–37.
 - (56) C. M. Mustafa and S. M. Shahinor Islam Dulal: *Corrosion*, **52**(1996), 16–22.
 - (57) M. R. Ali, C. M. Mustafa and M. Habib: *J. Sci. Res.*, **1**(2009), 82–91.
 - (58) T. Aoyama, Y. Sugawara, I. Muto and N. Hara: *J. Electrochem. Soc.*, **166**(2019), C250–C260.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 門脇万里子
 2021年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了
 2021年4月- 現職
 専門分野：腐食・防食学
 ◎鉄鋼材料など金属材料の水溶液腐蝕と高耐食化に関する研究に従事。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

	
門脇万里子	武藤 泉

	
菅原 優	原 信義



門脇万里子



菅原 優

実学講座

金属材料実験の手引き



1. 組織観察

1-3 走査型電子顕微鏡を用いた分析手法

1-3-2 後方散乱電子回折法 (EBSD) による結晶方位解析 (続き)

横江大作*



1-3-2-5 測定および解析手順

それでは、実際の EBSD 測定の測定手順および解析にて得られる代表的な情報について Cu 試料を例として説明します。以下、マッピング測定を前提とします。なお、今回、EBSD 測定ソフトとして「OIM データ収集 (OIM Data Collection ver7.3 : TSL ソリューションズ)」、EBSD 解析ソフトは「OIM 解析 (OIM Analysis ver7.3 : TSL ソリューションズ)」を使用しました。測定および解析ソフトによっては、調整項目や測定領域の XYZ 方向の表記が異なる場合がありますので注意してください。

① 試料調製

まずは測定を行うための試料調製を行います。1-3-2-3 に記述したように、試料表面は可能な限り平坦であることが望ましく、試料最表面は加工歪み層や酸化層等が形成されていない正常な面で行う必要があります。また、測定中のドリフトを抑えるため、帯電対策を行った上で試料を導電テープや固定治具等にて試料台にしっかり固定します。

② 測定最適位置への試料移動

試料を測定に適した位置に移動させます。通常、最適位置は WD : 15 mm, 試料傾斜角度 70° になります。この位置に移動可能であれば問題はないのですが、試料形状の関係で最適位置での測定が困難な場合には、可能な範囲で最適位置に近づけ、その位置を測定ソフトへ登録します。試料を測定位置へ移動させたら、EBSD 検出器を挿入します。

③ EBSD パターン取込条件設定⁽⁶⁾

試料の測定位置調整が完了した後、EBSD パターン取込条件の設定を行います。まず、信号が飽和しない適切な輝度のパターンになるようおおよその Gain, Exp の調整を行います。次に、EBSD パターンのバックグラウンドを除去します。EBSD パターンは電子線照射点から発生する散乱回折電子の他に、回折信号を持たない反射電子信号も重畳されて

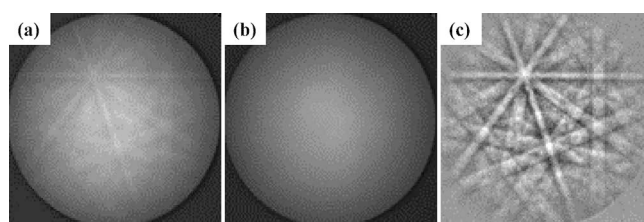


図19 バックグラウンド処理前後の EBSD パターン比較。

(a) 取得したままの EBSD パターン, (b) バックグラウンド, (c) バックグラウンド除去後の EBSD パターン。

EBSD パターン(a)は、電子線照射点から発生する回折信号の他に、回折信号を持たない反射電子信号も重畳された状態で蛍光板に投影されます。そこで、回折信号を持たない反射電子信号をバックグラウンドとして除去し、EBSD パターンの画像改質を行います。多数の結晶粒が含まれるような低倍にして、EBSD パターンの重なりによるパターン輝度の平均化されたものを(b)バックグラウンドとして用います。画像処理にてこのバックグラウンドを除去して鮮明な(c)EBSD パターンとします。

います(図19(a))。そこで、反射電子の強度をバックグラウンドとして除去して、EBSD パターンの画像改質を行います。実際の手順としては、多数の結晶粒子が画面上に表示されるように低倍率に設定して、電子線を走査する (SEM 観察時の高速スキャンモード (視野探しの時に用いるモード)) ことで、画面上に存在する結晶粒子から発生した多数の EBSD パターンが重なることにより輝度が平均化されたパターンをバックグラウンド (図19(b)) として登録します。これ以降は、各測定点より取得した EBSD パターンから、この登録されたバックグラウンドが自動的に除去された鮮明なパターンでの測定が可能となります (図19(c))。次に再度 Gain と Exp を調整します。1-3-2-2③で説明したように、EBSD パターンの IQ 値を確認しながら、Gain および Exp を調整します。この際、CCD カメラによるパターン取得および処理時間は測定時間に影響しますので、Exp を不必要に小さ

* 非営利・一般財団法人フラインセラムックスセンター (JFCC) ナノ構造研究所電子顕微鏡基盤 G ; 上級技師 兼) 材料技術研究所材料評価・試作 G ; 1 級技能技師 (〒456-8587 名古屋市熱田区六野 2-4-1)

Keywords: scanning electron microscope, electron backscattered diffraction, Euler angles, orientation imaging microscopy (走査型電子顕微鏡, 後方散乱電子回折法, オイラー角, OIM)

2021年9月30日受理 [doi:10.2320/materia.60.793]

く設定する必要はありません。Expの有効最低値は検出器によって異なりますので、確認してください。今回はGain: 0, Exp: 4.5 msの時にIQ: 117989であったEBSDパターンに対してGain: 30%, Exp: 1.35 ms条件でIQ: 104700の高いIQ値が維持できていたので、これ以降は、この条件でEBSDパターン取得を行っています。次に、取得したEBSDパターンが正しく指数付けできているかを確認します。1-3-2-2④で説明したHough変換後の θ - ρ 画像において、パターン中の主要なバンドが検出されているか否かを確認します。正しくバンドが認識されていない場合はHough変換のパラメータ[†]を調整します。

④ 測定条件設定

EBSD測定時の測定面は70°傾斜した状態のため、その高低差に起因して部分的にしかピントが合わない状態となります。現在はこのようなピントのズレを補正する機能が多くのSEMに搭載されています。しかし、この補正を使用した場合、SEM像の外周近くが僅かに歪む場合があります。その影響を除外できるよう、SEM観察領域の1/3~1/2程度となるようにEBSDマッピング領域を設定することが適しています。次に、SEM画像の信号を測定ソフトへ転送し、ソフト上でマッピング領域の指定、測定点間隔の設定、参照データとして使用する結晶情報の選択を行い、測定を開始します。測定が終了した後、測定データは自動的に保存されます。

[†] Hough変換にて正しくバンドが認識されていない場合は主に以下のパラメータを調整する必要があります。

- Hough Resolution: 通常は“Low”に設定されています。バンド幅が広く、バンドとして認識されない場合は“High”に変更します。
- Min Peak Magnitude: 検出すべきピーク強度の閾値を設定します。通常は“5~10”程度で設定しています。
- Min Peak Distance: Hough空間上で検出されるピーク間の最小距離を設定します。結晶系によって検討する必要があります。立方晶の場合は“20~25”程度に設定します。対称性の低い結晶系の場合、この値を小さくする必要があります。
- Peak Symmetry: Hough空間上での上下方向のピークの対称性を示します。通常は“0.7~0.8”程度に設定します。数値を大きくするとピークの対称性が悪いピークも検出します。
- Binned Pattern Size: 取り込んだEBSDパターン画像を圧縮する設定値です。通常は“96×96”もしくは“120×120”程度に設定します。パターンがあまり鮮明でない場合は140×140程度まで増やしてみましょう。この値は大きくすると計算量が非常に大きくなってしまい、全体の処理速度が遅くなりますので注意しましょう。
- Theta Step Size: 何度毎に三角関数 θ の計算をするかを指定します。通常は“1°”に設定します。
- Rho Fraction: EBSDパターンを取り込んだ際に、周辺部は投影されたバンドが短く、Hough変換によるピーク形成が困難です。そのため、周辺部のどの程度の領域までをピークの検出対象から外すかを設定する必要があります。通常は“90%”程度に設定します。ピークの検出状況により調整してみると良くなる場合があります。
- Max Peak Count: 検出するピークの最大数の設定値です。対称性の高い結晶系では“7~8本”程度で十分ですが、対称性の低い結晶系の場合は設定値を大きくする必要があります。
- Min Peak Count: 検出するピークの最小数の設定値です。この設定値の数だけのピークを検出できない場合、指数付け不能と判断されます。通常は“3本”に設定されています。この値は変更する必要はありません。

⑤ 測定結果の確からしさ評価⁽⁶⁾

測定が終了した後、測定結果の確からしさを評価します。1-3-2-2④で説明したIQ, CI, Fitの値をマッピング表示させた画像を表示して、その確認を行います。試料表面に故意に傷を残したCu試料を例にして各値を表示させた結果を図20に示します。図20(a)のSEM像中には研磨傷が確認できます。この場所ではEBSDパターンの画質が劣化しているはずですから、IQ値, CI値, Fit値は大きく低下します。それぞれのマッピング画像では、IQ値, CI値, Fit値の値がコントラストの強度として表示されます。図20(b)-(d)を確認すると、傷に相当する箇所において、暗い領域が確認されているのが確認され、IQ値, CI値, Fit値ともに低いことが分かります。これは試料凹凸の影響で信号が遮断されEBSDパターンの一部が欠落したこと(1-3-2-3および図6を参照)や、加工歪みにより結晶性が低下していることに起因しています。また、傷の他にも、結晶粒界と思われる箇所も暗く確認されています。これは、隣り合う結晶粒の情報が重畳したために、パターン画質が不鮮明(ノイジー)と認識されたことに相当します(1-3-2-4①および図16を参照)。その他、図20(c)に示すCI画像において、結晶粒ごとに明暗が認められます。これは、結晶の方位によってはEBSDパターンに多数のバンドが現れて複雑になるため、バンド数の少ない単純なEBSDパターンとなる結晶粒方位に比べてCI

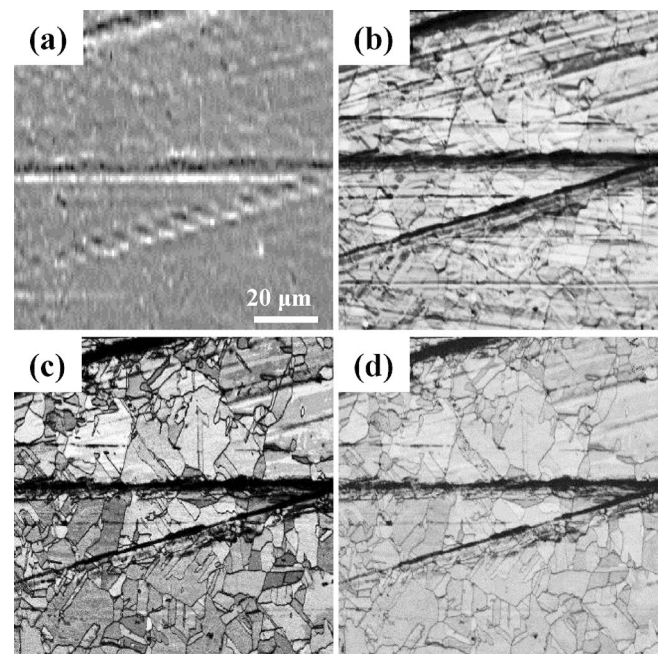


図20 Cu試料のEBSD解析結果。(a) SEM像, (b) IQマップ, (c) CIマップ, (d) Fitマップ。

(a)にて確認された傷に対応する領域が、(b)-(d)においてコントラストの低下(IQ値, CI値, Fit値の低下)が確認されます。また、傷の他にも結晶粒界と思われる部分も暗く確認されています。これは、隣り合う結晶情報が重畳して不鮮明と認識された領域です。その他、(c)では結晶粒ごとに明暗が認められます。これは、方位によってはEBSDパターンが複雑になり、単純なEBSDパターンの結晶粒と比べてCI値が低下したためと思われます。

値が低下することによって起因しています。IQ, CI, Fit 画像の検討は、得られたデータの確からしさを知る上で重要な画像ですが、その解釈には様々な要因が関係しますので、経験が必要です。

⑥ 結晶方位解析⁽⁶⁾

IQ 画像などによる確からしさの評価、確認が完了した後、いよいよ結晶方位の解析を行います。EBSD マッピングで得られた方位情報は、オイラー角によって固定座標系と関係付けされています。そのため、解析ソフト上で結晶粒の方位関係が、測定領域の XYZ 方向とどのように対応しているかなどを知ることができます。この表示方法や意味を理解しておくことが必要です。「OIM Analysis ver7.3」を用いて解析を行ったときの表示内容を図21に示します。マッピングで得られた各測定点における結晶粒の方位は、試料に固定された座標系である X, Y, Z に対応する RD, TD, ND[†]や A1 (Axis 1), A2 (Axis 2), A3 (Axis 3) に対して示されます。

⑥-1 マッピング形式(測定領域の各測定点に対応)で表示される画像

逆極点図方位 (Inverse Pole Figure : IPF) マップ : IPF マップは、後述する逆極点図を基にした方位マップに相当します。ある試料方位 [XYZ]^{††} から試料を眺めた時に、結晶粒のどの面がその方向に向いているかを、結晶方位に依存した色で表した画像となります。図22にて、試料を眺める方向を図22(a)では [100], (b)では [010], (c)では [001] としたときに、それぞれの方向に向いている結晶面がどのように分布しているかを (d) で定義した色を用いてカラー表示しています。機種にもよりますが、測定面法線方向が Z 軸、傾斜方向下向きが X 軸、その直角方向が Y 軸です。そのため、試料の [100] とは、傾斜方向下向きの方向ということとなります。図22(a)において矢印で示した結晶粒の色は赤色です。つまり、試料の [100] 方向 (傾斜した向きの方向) に対して、この結晶粒は (001) (に近い方位) が向いていることを意味し

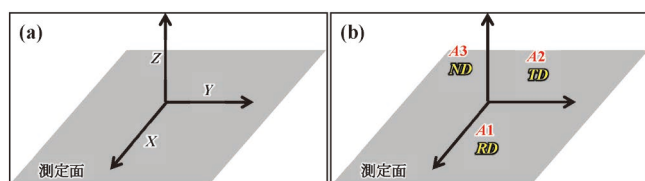


図21 「OIM 解析」にて表示される XYZ 軸の表記内容。それぞれ試料座標系 X, Y, Z 方向は、A1, A2, A3 や RD, TD, ND といった表記で示されます。

[†] EBSD 法が主に金属材料を対象としてきた際に、金属圧延材料の圧延方向を EBSD 測定の縦方向とすることから設定された表記であり、下記の略称です。

- RD : Rolling Direction または Reference Direction
- TD : Transverse Direction
- ND : Normal Direction

最近では簡単に A1 (Axis 1), A2 (Axis 2), A3 (Axis 3) と表記されるものもあります。

^{††} 試料方位 [XYZ] の記述ですが、結晶の方位に用いられる [uvw] と同じ括弧「[]」が使われていますので、混合されないよう注意してください。

ています。一方、この同じ結晶粒は、試料の [010] (傾斜方向に対して垂直方向) に対してオレンジ色に相当する結晶面が向いていることが分かります。この IPF マップを用いると、例えば、試料内である方向に結晶粒が配向しているとか、その配向方向に対して結晶粒が回転分布しているなどの情報を知ることができます。もし、試料の [100] 方向に対して結晶粒が配向している場合には、その IPF マップでは同じ色もしくは近い色で表されます。この時の色が単色であるときには配向度が完璧であり、ある色を中心色として色が少し変化している場合には、配向性が少し低下していることとなります。

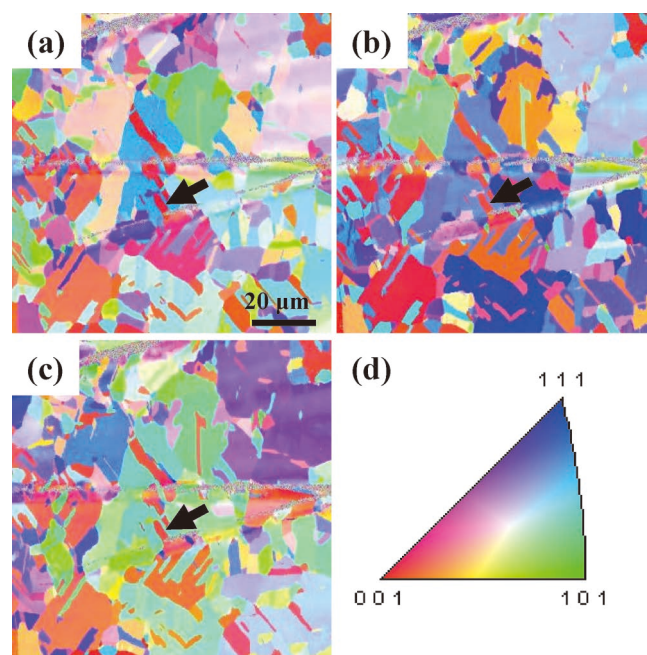


図22 Cu 試料の逆極点図方位 (IPF) マップ。(a) 試料方位 [100] 方向, (b) 試料方位 [010] 方向, (c) 試料方位 [001] 方向, (d) カラーズケール。(a)~(c) はそれぞれ [100] (試料面縦) 方向, [010] (試料面横) 方向, [001] (試料面法線) 方向にどのような結晶面が向いているかを示しています。

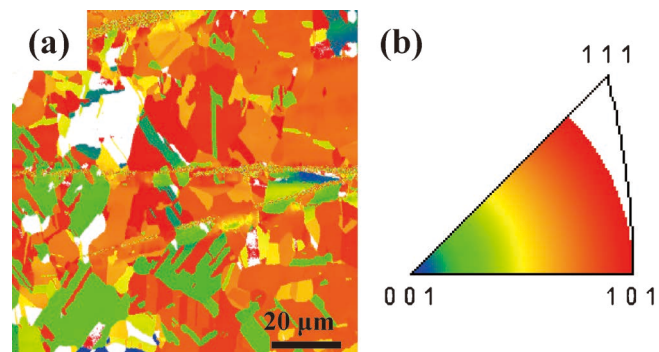


図23 Cu 試料の結晶方位 (CD) マップ。(a) 試料方位 [100]-(001) 結晶面 CD マップ, (b) カラーズケール。(a) は [100] (縦) 方向に対して (001) 面が 45° の角度範囲でどの程度傾斜しているかを (b) カラーズケールで示しています。白領域は (001) 面が 45° 以上傾斜した方位を有していることを示しています。

結晶方位 (Crystal Direction : CD) マップ : CD マップは、指定した結晶面が、試料方位 [XYZ] に対してどの程度傾いているかを表します。図23は、結晶粒の (001) を指定して、試料方位は [100] を指定した時の CD マップの例です。結晶粒の (001) が試料方位の [100] から傾いている角度を (b) のようにカラーで定義します。001 を中心として円状に色変化して表されています。白の部分は、45°以上の角度に相当しています。色が赤色に近づくにつれて、結晶粒の (001) が、試料方位 [100] 方向から傾いている角度が増加するということとなります。(b) の画像にて、001 を基準とした際に表示されている 111, 101 の指数には意味はありません。

⑥-2 各測定点からのデータを解析した画像

極点図 (Pole Figure : PF) : 極点図は、指定した特定の結晶面 (等価なすべての面を含む) が、試料面のどの方向 (XY) に対して、どの角度で分布しているかを表しています。画像の中心は試料面法線 (Z) 方向に対する傾斜角度 0° とし、最外周を傾斜角度 90° と定義しています。解析結果を図24に示します。まず、この画像では XYZ 方向は A1, A2, A3 と表記されます。図24(a) は結晶粒の (001) を指定し、(d) で示すカラーで強度を表示しています。極点図は、特定方向に配向していた場合、規則的に強度の大きな領域が確認されます。例えば、試料面法線方向に対して (001) 結晶面、縦方向に対して (100) 面が配向した立方晶 (Cu 試料) の場合、001 では、測定面法線方向に対して傾斜角度 0° の (001) 面、縦 (A1) および横 (A2) 方向に測定面法線方向に対して 90° の傾斜を持った (001) 面と等価な面である (100), ($\bar{1}00$), (010), (0 $\bar{1}0$) が向いているため、(e) のように規則的な強度の分布が現れます。111 では A1 方向より 45° 回転した方向に測定面法線方向に対して 58° の傾斜を持った (111) 面および等価な ($\bar{1}\bar{1}1$), (1 $\bar{1}\bar{1}$), ($\bar{1}\bar{1}1$) が向いているため、(f) のような強度の分布になります。110 では、A1 方向より 45° 回転した方向に測定面法線方向に

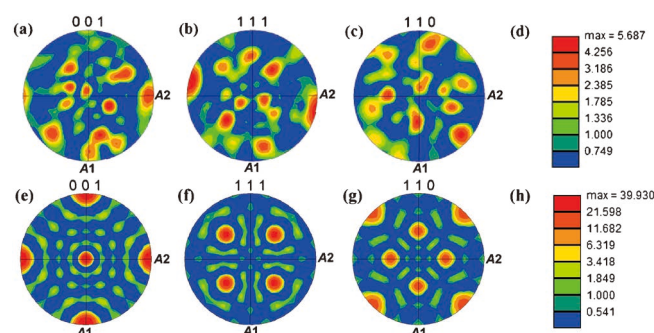


図24 今回測定を行った Cu 試料および配向した立方晶 (Cu 試料) の極点図強度分布。(a), (e) (001) 結晶面, (b), (f) (111) 結晶面, (c), (g) (110) 結晶面, (d), (h) カラースケール。

極点図は、特定の結晶面 (等価なすべての面を含む) が試料面方向に対してどの角度に多く分布しているかを示しています。(a)~(c) より、今回測定を行った Cu 試料はどの結晶面もランダムに分布していることがわかります。仮に立方晶である Cu 試料が A3 (試料面法線) 方向に対して (001) 面、A1 (縦) 方向に対して (100) 面が配向していた場合、(e)~(g) のように規則的な強度分布が確認されます。

対して 90° の傾斜を持った (110) 面および等価な ($\bar{1}10$), (1 $\bar{1}0$), ($\bar{1}\bar{1}0$) が向いており、さらに、A1 および A2 方向に測定面法線方向に対して 45° の傾斜を持った (101), (011), ($\bar{1}01$), (0 $\bar{1}1$) が向いているため、(g) のような強度の分布になります。それを踏まえて、今回測定を行った Cu 試料の極点図である図24(a)~(c)を確認しますと、不規則な強度分布になっており、Cu 試料の結晶方位はランダムであることがわかります。

逆極点図 (Inverse Pole Figure : IPF) : 前述した逆極点図方位マップと同様な内容を、試料方位を基準とした基本方位三角形を用いて表した画像です。ある試料方位 [XYZ] に対して、どのような結晶面の情報を持った測定点が多く分布しているかを示しています。例えば、立方晶 (Cu 試料) で [001] 方向に対して (001) 面、[100] 方向に対して (100) 面が配向していた場合、図25(e)~(g) のように、(001) のみに高い強度分布が確認されます。逆極点図では、画像中の一点に強度分布が集中していると、その試料方位 [XYZ] に対して特定の結晶方位が向いていることを意味します。それを踏まえて、図25(a)~(c)に示すように今回測定した Cu 試料の逆極点図を確認すると、どの試料方向に対しても強度分布の集中は確認できません。この結果より、Cu 試料は配向していないことがわかります。

結晶方位分布関数 (Orientation Distribution Function : ODF) マップ : ODF は 1-3-2-2⑤で説明したオイラー角 (ϕ_1 , Φ , ϕ_2) で表現された結晶方位を、 ϕ_1 , Φ , ϕ_2 を座標軸とする三次元空間にプロットしたものです。ただ、一般には三次元では表示しにくいので ϕ_2 を一定間隔とした断面として表します。今回測定を行った Cu 試料の ODF マップを図26に示します。今回は ϕ_2 を 10° 刻みとしています。各測定点のオイラー角を ODF マップ上で X 軸は ϕ_1 , Y 軸は Φ としてそれぞれプロットしています。今回測定した Cu 試料は局所的

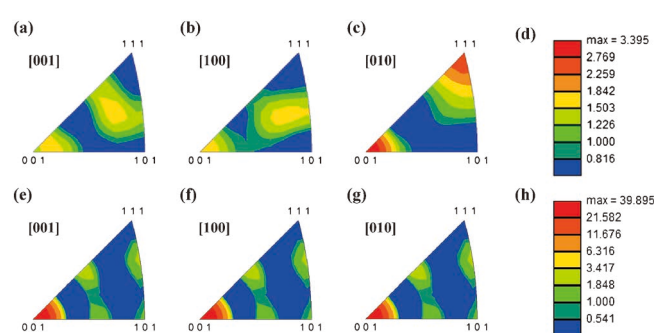


図25 今回測定を行った Cu 試料および配向した立方晶 (Cu 試料) の逆極点図強度分布。(a), (e) 試料方位 [001] 方向, (b), (f) 試料方位 [100] 方向, (c), (g) 試料方位 [010] 方向, (d), (h) カラースケール。

逆極点図は、試料面の特定方向に対して、その方向にどのような結晶面を持った粒子が多く分布しているかを示しています。(a)~(c) より、今回測定を行った Cu 試料はどの方向に対しても結晶面はランダムに分布していることがわかります。仮に立方晶である Cu 試料が [001] (試料面法線) 方向に対して (001) 面、[100] (縦) 方向に対して (100) 面が配向していた場合、(e)~(g) のように強度分布の集中が確認されます。

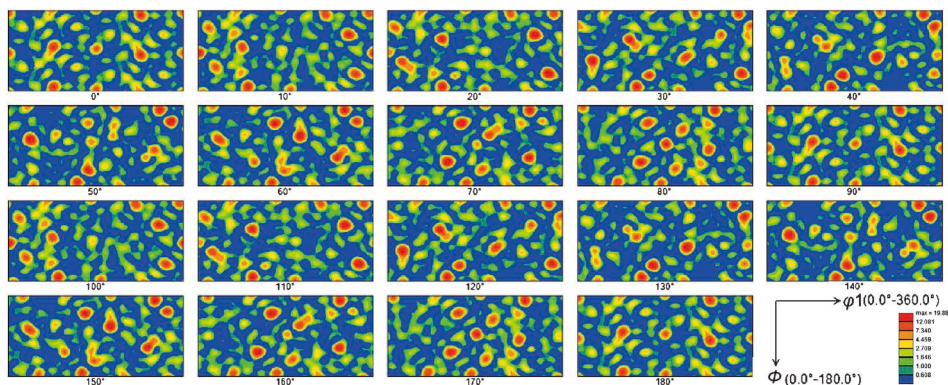


図26 今回測定を行った Cu 試料の ODF マップ。

オイラー角(ϕ_1 , Φ , ϕ_2)で表現された結晶方位を、 ϕ_1 , Φ , ϕ_2 を座標軸とする三次元空間にプロットしたものです。一般には三次元で表しにくいので ϕ_2 を一定間隔で断面にして表します。今回は ϕ_2 を 10° 刻みで切ったマップを示します。各測定点のオイラー角(1-3-2-2⑤記述)をマップ上に X 軸は ϕ_1 , Y 軸は Φ にそれぞれプロットします。今回測定した Cu はランダムのため、局所的に強度の高い領域は存在していません。

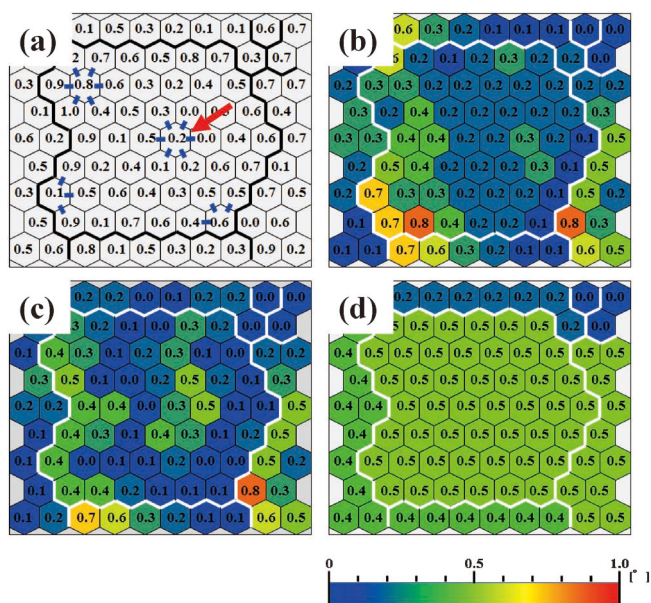


図27 EBSD-歪み解析例。(a) 各測定点の方位値、(b) KAM 解析結果、(c) GROD 解析結果、(d) GOS 解析結果。

KAM 解析は、(a)の青色線で示すように、隣り合う測定点との平均方位差を中心のKAM値として解析を行います。GROD 解析は、粒子内の平均方位を算出して、それぞれの測定点での方位差を GROD 値として解析を行います。GOS 解析は、粒子内のある測定点の方位と他の測定点との方位差の平均値を算出し、その値をその粒子のGOS値として解析を行います。

に強度の高い領域は存在していないため、結晶方位はランダムであると言えます。

⑦ 結晶歪み解析⁽⁶⁾

EBSD 測定では、前述した結晶方位解析以外にも、結晶粒内の歪み解析を行うことが可能です。以下に、EBSD 解析で行われる代表的な歪み解析法を説明します。

KAM (Kernel Average Misorientation) マップ：結晶粒内の各測定点において、互いに隣接する測定点間の方位差の平均値を算出し、その分布を KAM マップとして表示します。例えば、図27(a)矢印で示した測定点では、その周囲に

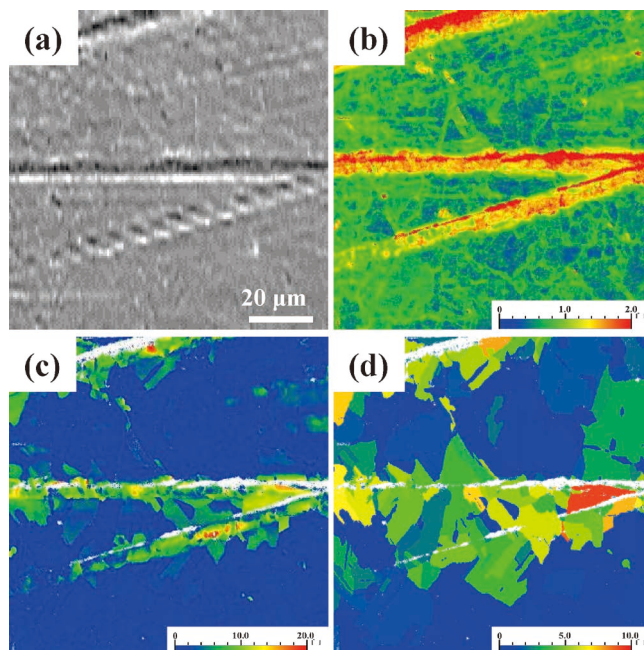


図28 Cu 試料の EBSD-歪み解析結果。(a) SEM 像、(b) KAM マップ、(c) GROD マップ、(d) GOS マップ。

(a) SEM 像にて確認された傷に対応する領域にて (b) KAM マップで大きな歪みが検出されています。また、(c) GROD マップおよび (d) GOS マップにて傷を有する領域周辺の結晶粒内で歪みによる方位のばらつきが生じていることがわかります。

隣接する測定点との方位差の平均値は、 $(0.1 + 0.2 + 0.2 + 0.0 + 0.1 + 0.3) / 6 \approx 0.2^\circ$ と算出されます。この値をこの測定点での KAM 値と呼称します。このように各測定点の KAM 値を算出し、カラー表示したものが図27(b)で示す KAM マップとなります。今回測定を行った Cu 試料の KAM マップを図28(b)に示します。図28(a) SEM 像で確認された研磨傷に対応する領域が赤色で表示されており、KAM 値が大きくなっていることがわかります。これは研磨傷が存在する領域では大きな歪みが存在することを意味しています。なお、結晶粒内を対象とした解析なので、粒界を超えて解析を行な

いように予め方位差に閾値を設定し、この値を超えた方位差はカウントされないようにしています。

GROD (Grain Reference Orientation Deviation) マップ：結晶粒内における各測定点の平均方位もしくは KAM 値が最小値となる測定点の方位を基準として、その基準方位に対する粒内の他の測定点における方位差を表示したものが図 27(c) で示す GROD マップになります。今回測定を行った Cu 試料の GROD マップを図 28(c) に示します。図 28(a) SEM 像の研磨傷に対応する領域にて黄色～赤色での表示がされ、GROD 値が大きくなっていることがわかります。これも KAM マップで得られた結果と同様に研磨傷が存在する領域では大きな歪みが存在することを意味しています。

GOS (Grain Orientation Spread) マップ：結晶粒内のある測定点の方位と、その他全ての粒内の測定点間における方位差の平均値を算出し、その値をその結晶粒の代表値として表示します(図 27(d))。そのため、GOS マップでは、どれくらい結晶粒内で方位差が生じているかを知ることができます。今回測定を行った Cu 試料の GOS マップを図 28(d) に示します。図 28(a) SEM 像の研磨傷近傍の結晶粒において比較的大きな GOS 値を有する結晶粒が確認できます。

以上の歪みマップである図 28(b)–(d) から、測定面の傷およびその周辺の結晶粒がどのように歪んでいるかを知ることができます。EBSD 歪み解析は EBSD パターンを Hough 変換し、指数付けを行った後、測定点間の方位差を歪みとして解析しています。KAM, GROD, GOS 解析の測定精度は測定で得られた EBSD パターンの像質にもよりますが、方位

差が $0.1 \sim 0.5^\circ$ 程度以上の違いと認識された歪みであれば信頼できるとされています。

近年、より小さな歪みを検出する手法として、wilkinson 歪み解析法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が利用されています。この手法は、各測定点の EBSD パターンを直接比較して歪を算出します。基準として設定した EBSD パターンにおける注目する領域を指定し、各測定点におけるその領域の画像とを比較して、バンド交点等の位置ズレ量を結晶歪みとして解析します。この手法は通常の EBSD 歪み解析である KAM や GROD, GOS 解析では困難であった歪みの方向(縦方向、横方向、試料面深さ方向)や種類(引張り、圧縮)の分離が可能です。また、検出精度も理論上 $\pm 0.01\%$ の結晶格子の変化まで捉えることが可能⁽⁹⁾とされており、半導体分野等で用いられています。詳細は、参考文献を参照してください。

1-3-2-6 EDS-EBSD 複合解析

1-3-2-6-1 EDS-EBSD 複合解析の有効性

EBSD 法は異なる結晶構造を有する場合であれば、その分布状態の把握が可能です。異なる構成元素で同一の結晶構造を有する箇所が混在している場合、その分布を把握することはできません。そこで、EDS 分析による元素情報を反映させて EBSD 解析を行う試みがなされています。例として、Cu と Ni および Cu-Ni 合金シートを樹脂で張り合わせた試料の EDS-EBSD 総合解析を示します。まず、Cu と Ni および Cu-Ni 合金はどれも格子定数は異なるものの結晶構造は同一(fcc 構造：立方晶、空間群 $Fm\bar{3}m$)であり、通常の



図29 Cu と Ni および Cu-Ni 合金シートを樹脂で張り合わせた試料の EBSD-相分離解析結果。
Cu と Ni および Cu-Ni 合金はどれも格子定数は異なるものの結晶構造は同一(fcc 構造：立方晶、空間群 $Fm\bar{3}m$)です。通常の EBSD 解析では、結晶の格子定数に対応するバンド幅の解析は行わないものが多いです。そのため、それぞれの相を分離することができず、「どの領域」に「どの化合物(結晶相)」が「どの結晶方位」で存在しているかを判断するのは困難です。

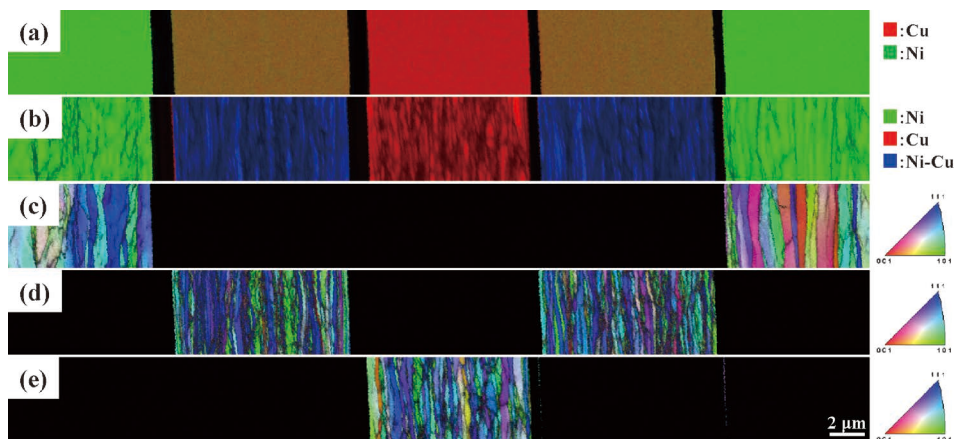


図30 Cu と Ni および Cu-Ni 合金シートを樹脂で張り合わせた試料の EDS-EBSD 総合解析結果。(a) EDS 元素マッピング結果、(b) 相分離マップ、(c) Ni IPF マップ、(d) Ni-Cu IPF マップ、(e) Cu IPF マップ。
(a) の EDS 分析で得られた情報を用い、Cu の特性 X 線が検出された領域では Cu の結晶情報を、Ni の特性 X 線が検出された領域では Ni の結晶情報を、Cu と Ni 両方の特性 X 線が検出された領域では Cu-Ni 合金の結晶情報をそれぞれ与えて再解析を行うことで、(b) 各相の分布状態および(c)–(e)結晶方位解析を行うことが可能となります。

石炭産業科学館(福岡県大牟田市)

文責：九州大学 寺西 亮

(2021年3月訪問)

今回は、福岡県大牟田市にある石炭産業科学館を紹介する(図1)。この科学館は、日本の近代化の原動力となった三池炭鉱(1997年に閉山)に関する資料を展示しており、有明海の三池港から北に僅か2kmの位置にあることから、2015年に「明治日本の産業革命遺産 製鉄・製鋼、造船、石炭産業」が世界文化遺産に登録されて以降は、三池エリアのガイダンス施設としての役割も担っている。館内には、地下の採炭現場を再現した模擬坑道のほか、炭鉱技術や石炭の歴史紹介、暮らしの中のエネルギーを学ぶ体験コーナー、炭鉱の歴史や近代化遺産を映像で学べるホールなどがある。

ここで石炭について概説すると、石炭とは植物が地下に埋没し、地熱や地圧の作用によって分解・縮合などの反応を経て石炭化したものとされる⁽¹⁾。石炭化の度合いによって、主に、褐炭、(亜)瀝青炭、無煙炭に分類され、この順に水素および酸素の含有量が減って炭素の含有量が増し、発熱量が増

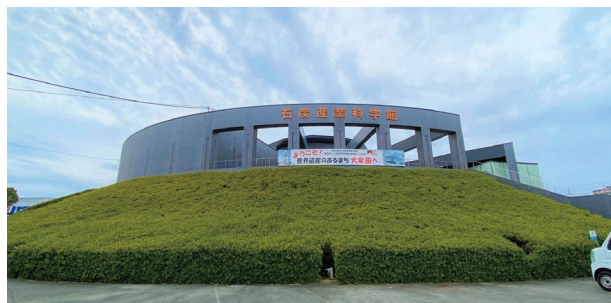


図1 石炭産業科学館の外観。

大する(図2)⁽²⁾。基本構造は縮合多環芳香族から成る単位構造が繰り返された高分子化合物で⁽²⁾、一つの単位構造に含まれる芳香族環の数は、褐炭で3~4、瀝青炭で7~8と推定されている⁽¹⁾(図3)。三池炭鉱では発熱量の多い良質な瀝青炭が採れることで知られていた。

この科学館で深く学べることの一つは、石炭産業が間違いなく我が国の工業の土台になっていたという歴史である。三池で石炭が初めて発見されたのは1469年(室町時代)で、農夫の伝治左衛門が燃える石を発見したと伝えられている。江戸時代に入り1721年の柳川藩による開坑、明治時代に入り1873年の三池炭鉱官営化、1893年には当時最新の水汲み装置(デビーポンプ)が導入された。その後は国内最大の炭鉱に成長し、1970年度には年間657万トンの出炭量を記録した。坑道は地下600m以上あり有明海中央部付近にまで伸びるなど、三池は豊富な石炭と三池港を背景にして石炭からコークスや肥料、染料などの化学製品を製造する国内初の石炭化学コンビナートにまで成長した⁽³⁾。

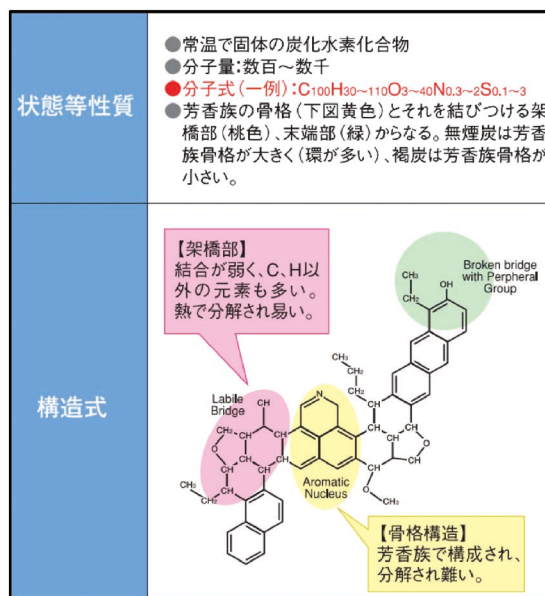


図3 石炭の性質および構造⁽²⁾。

■石炭化度による分類

分類	褐炭	亜瀝青炭	瀝青炭	無煙炭
石炭化度	低 高			
発熱量(kcal/kg)	2,500~4,000	4,000~6,000	4,500~7,000	4,500~8,000
水分(%)	60~30	30~15	15以下	10以下

※発熱量や水分は、おおまかな目安。

■分類ごとの主な用途

分類	無煙炭	原料炭	一般炭
用途	焼結用、練炭	製鉄、コークス原料	発電、セメント燃料

図2 石炭の分類と用途⁽²⁾。製鉄で用いられるコークスの原料は原料炭、石炭火力発電等の燃料は一般炭と呼ばれる。

科学館で見つけた金属材料！ “大革命を支えたのは超硬合金”

三池炭鉱の石炭は良質な瀝青炭で知られていたが、地下水が多いことから採炭現場は常に坑内水との闘いで、石炭の増産には機械設備の導入が必要であった。1889年(明治22年)に三井組が明治政府から三池炭鉱の払下げを受けて間もなく、米国 MIT を卒業した三井の団 琢磨が世界最新のデビーポンプを導入して坑内排水を可能とした。

また、それまで人が鋤やつるはしなどで強固な石炭の壁(炭層)を壊して採掘していたため増産が困難であったが、機械化により回転式カッターが導入されると、一気に増産が可能となった。図4の外観写真にあるように回転式カッターの先端には鋭い刃が多数付いており、ドラムの回転によって強固な炭層を掘削する。この刃の材質について、科学館の方に尋ねたり科学館資料を調べてみたりしたが、確実な情報は得られなかった。そこで当時の年代の超硬材料について文献を少し調べてみると、1800年代は主に炭素工具鋼が用いられ、1900年代になると合金工具鋼が登場し、その後、高速度工具鋼、タングステンカーバイド系超硬合金、そして1950年頃にはこれとチタンカーバイドとの複合系超硬合金が登場し、その後はチタンナイトライド系なども開発されていった⁽⁴⁾⁽⁵⁾。このように、掘削機械の導入(超硬合金材料の開発)により、人はもとより爆薬による発破など行わずとも硬い岩盤を掘り進められるようになり、生産力が飛躍的に向上した。

本科学館の特長は、説明用のパネルがイメージ図やキーワードが伴った簡潔な表現であることや、多数の展示物が設置され訪問者の理解を助ける工夫が随所に凝らされていることである。そして、これらに加えて訪問者にとって有難いのは、展示解説ボランティアの存在である。筆者が訪問した際には、入館して間もなくボランティアの方から「もしよろしければ滞在時間のご予定に合わせてご説明いたします」との声掛けがあり、お願いすると一緒に巡回して丁寧に説明して下さった(入館パンフレットを確認したら、土日祝日の特定の時間帯にガイドが行われているとのこと)。

また、本科学館にはエレベーターで有明海の地下400mまで移動して坑内探索ができる「ダイナミックトンネル」なる模擬坑道がある(図5)。見学エリアが広く、石炭を運ぶ坑内電車や坑道掘進機器などの実物が多数展示されているのは圧巻で、坑内作業の迫力を体感できる(図6)。

三池エリアは、石炭を掘り出した坑口、運搬した鉄道、海外にまで積み出した港湾が、線状の炭産産業景観を形成しており、市内には世界文化遺産を含む多数の近代化産業遺産がある。大牟田駅のレンタサイクル(2021年10月現在で1日500円)を利用すれば、駅から本科学館まで約20分、世界遺産群の一つである宮原坑(みやのはらこう)まで約15分であり、自由気ままな遺産めぐりができる。



図4 超硬合金の刃先のついた回転式カッターの外観。



図5 秒速10mで降下するエレベーターの入口外観。



図6 石炭を運搬した坑内電車の展示物外観。

文 献

- (1) 化学辞典, 東京化学同人第7刷(2003)。
- (2) 一般社団法人石炭フロンティア機構ホームページ,
<http://www.jcoalorjp/> (2021年10月29日閲覧)。
- (3) 大牟田市石炭産業科学館配布資料。
- (4) 望月照一: 粉体および粉末冶金, 12(1965), 7-21。
- (5) 津田圭一: SEI テクニカルレビュー, 188(2016), 10-14。
(2021年11月1日受理)[doi:10.2320/materia.60.800]

石炭産業科学館へのアクセス

* JR 鹿児島本線もしくは西鉄天神大牟田線の電車を利用して大牟田駅下車(博多・天神エリアから大牟田駅まで快速で約1時間)。大牟田駅の駅西口バス停留所から、西鉄バスの「イオンモール大牟田行き」、又は「帝京大学行き」に乗車。いずれも終点の「イオンモール大牟田」、又は「帝京大学」で下車。所要時間は、前者が約6分、後者が約2分。バス下車後は、前者が徒歩約8分、後者が徒歩約2分。

(〒836-0037 福岡県大牟田市岬町 6-23)

<http://www.sekitan-omuta.jp/topic/index.html>



貴金属の製錬・リサイクル技術の 最前線(貴金属シンポジウム)

大内 隆成¹⁾ 岡部 徹²⁾

1. はじめに

金、銀、および白金族金属を含む貴金属は、先端デバイスや環境技術のキーマテリアルである。最近では持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)ならびにカーボンニュートラルへの世界的な動向が後押しし、その需要が益々増加している。日本は、貴金属の生産・消費大国であり、その製錬・リサイクル技術において世界を先導している。一方で、それらの技術の多くは、各企業や工場単位でガラパゴス的に進化したものであり、その詳細やノウハウは相互的に共有されてこなかった。

このような背景のもと、著者らは、2014年より、貴金属の最新の製錬・リサイクル技術に焦点を当てた、世界的にも極めて珍しいシンポジウム「貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(貴金属シンポジウム)」を毎年開催している。

本稿では、テーマを絞ったシンポジウムの開催を通じた産学官連携の一例として、貴金属シンポジウムの内容を紹介する。また、コロナ禍の下で主流となった、オンラインの研究会・交流会の特徴および課題を紹介し、今後の産学官連携の活発化に向けた問題提起をさせていただく。

2. 貴金属シンポジウムの概要

貴金属シンポジウムは、東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)、東京大学生産技術研究所持続型エネルギー・材料統合研究センター、およびレアメタル研究会(主宰者:岡部 徹)が共同で開催している。レアメタル研究会については、過去に本誌に紹介記事があるので参考にされたい⁽¹⁾。レアメタル研究会ならびに貴金属シンポジウムは、情報共有のみならず、人的交流に重点を置いている点を特徴としている。

表1に貴金属シンポジウムのこれまでの開催日、開催場所、および参加人数を示した。驚くことに、第1回から200名を超える産学官の貴金属関係者が集った。参加人数から見ても、このような情報共有や人材交流の場が業界から切望されていたことがわかる。第7回貴金属シンポジウムの様子を図1に示す。講演会では、毎回充実した講演と質疑応答が実現しており、交流会も盛況である。

3. オンライン会議ツールの導入の効果と課題

2021年1月8日にコロナ禍の下で開催された第8回貴金属シンポジウムでは、オンライン会議ツールの一つであるZoom Webinar(講演会システム)を使用した。Zoom Meeting(会議用システム)が双方向のコミュニケーションを可能とするのに対して、Zoom Webinarは一方の配信に特化し、視聴者数が多い大規模イベントに適している。

著者の一人である岡部による開会の挨拶の後、黒川 晴正 東京大学生産技術研究所 特任教授と、中村 崇 東京大学生産技術研究所 シニア協力員(2020年3月まで同所特任教授)による司会で進行し、貴金属製錬・リサイクルの現状や展

表1 貴金属シンポジウムの回次、開催日、開催場所および参加人数の推移。

回次	日 付	開催場所	参加人数(人)			
			企業	大学	官庁他	計***
第1回(第59回)*	2014年1月10日(金)	東京大学生産技術研究所	151	40	24	215
第2回(第64回)*	2015年1月9日(金)	東京大学生産技術研究所	126	42	21	189
第3回(第69回)*	2016年1月8日(金)	東京大学生産技術研究所	176	45	33	254
第4回(第74回)*	2017年1月26日(金)	東京大学生産技術研究所	192	62	19	273
第5回(第79回)*	2018年1月12日(金)	東京大学生産技術研究所	151	55	28	234
第6回(第84回)*	2019年1月11日(金)	東京大学生産技術研究所	181	59	30	270
第7回(第89回)*	2020年1月10日(金)	東京大学生産技術研究所	201	56	36	293
第8回(第94回)*	2021年1月8日(金)	オンライン形式	304	42	37	383
第9回(第99回)*	2022年1月7日(金)予定	ハイブリッド形式**	—	—	—	—

* カッコ内はレアメタル研究会の開催回。

** 講演会場での講演とオンライン配信を組み合わせた形式

*** 累計参加人数2111人

* 東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター; 1)講師 2)教授
非鉄金属資源循環工学寄付研究部門; 1)特任講師(兼務) 2)特任教授(兼務)(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)



図1 第7回貴金属シンポジウムの様子。(a)講演会(東京大学医学部教育研究棟14階鉄門記念講堂に約300名の参加者が一堂に会した), (b)交流会(東京大学医学部教育研究棟13階カポ・ベリカーノ)。



図2 第8回貴金属シンポジウムの様子(左上から右下へ岡部徹, 黒川 晴正, 川谷 哲也, 渡邊 寛人, 高橋 宏幸, 木村 隆典, 中村 崇, 八木 良平, 伊藤 順一, 大内 隆成, 鈴木 岳彦, 所 千晴, 藤井 輝夫, 敬称略)(一部の写真は東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門パンフレットより引用)。

望, さらには貴金属の利用について, 8名の講師により講演が行われた(図2)。

神岡鉱業株式会社 代表取締役社長 川谷 哲也 講師, 住友金属鉱山株式会社 技術本部新居浜研究所 主任研究員 渡邊寛人 講師, 株式会社アステック入江 FM 事業部 マネジャー 高橋 宏幸 講師, 田中貴金属工業株式会社 化学回収カンパニー 湘南工場マネジャー 木村 隆典 講師, Umicore, Corporate Research & Development, Associate Scientist (Recycling & Extraction Technologies) 八木 良平 講師, JX 金属株式会社 技術本部 技術戦略部 LiB リサイクル事業推進室 技師 伊藤 順一 講師, 著者の一人である大内, 松田産業株式会社 貴金属材料事業部 アシスタントマネジャー 鈴木 岳彦 講師による発表があった。オンラインでの講演はスムーズに進行し, 視聴者から文字入力(チャット)形式で質問を受け付け, 司会が読み上げてそれに対して講演者が回答する形式で, 例年にも増して充実した質疑討論が実現した。今回の貴金属シンポジウムでは, 貴金属製錬・リサイクルプロセスに関する講演だけではなく, Umicore 社と JX 金属株式会社の二社のリチウムイオン電池 (LiB) のリサイクルプロセスに関する発表があり, そのアプローチの違いについて大学

人も加わって白熱した議論を交わした。この議論が発展し, 2021年7月30日に開催された第96回レアメタル研究会では「総合討論 LIB のリサイクルはどうあるべきか?」という討論会が行われた。このような, 産学での自由闊達な議論の場は, 今後のリサイクル技術の発展に大きく貢献するものと期待される。会の最後には, 所 千晴 東京大学生産技術研究所特任教授による講評, および藤井 輝夫 東京大学理事・副学長(現東京大学総長)からの挨拶があった(以上, 所属および肩書は2021年1月6日当時のものである)。

遠隔地からの参加が可能になったことで, 参加者数が400名近くまで増えた。400名近い参加者を収容する会場を手配することは容易ではないが, オンライン形式であったため, 小規模の会議室にいる配信チーム(図3(a))により, このような大規模会合が容易に開催可能となった。参加者からも, 移動時間を短縮できる点, 雑音などに遮られることなく講演に集中できる点, 手元にクリアな資料を表示できる点等, オンラインならではの利点も感想として聞こえてきた。

講演会の後には Remo(オンライン交流会ツール)を用いて



図3 第8回貴金属シンポジウム。(a) オンライン配信チームの様子，(b) Remoを用いた交流会の様子。(一部の写真は東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門パンフレットより引用)。

オンラインに限定した交流会を開催した(図3(b))。例年であれば，図1(b)の様に会場を埋め尽くすほどの大人数が交流会に参加していたが，オンライン上で交流を図る不自由さなどが認知されつつあるのか，今回は参加者数が激減してしまった。

貴重な情報はむしろ交流会の場で共有されることが多かった過去の経験から考えると，オンライン交流会には，技術的にも，参加者意識的にも，未だに大きな課題がある。

4. お わ り に

表1に示すように，第8回までの貴金属シンポジウムの累計参加者数は2000名を超え，貴金属関連分野の「知と人の交流拠点」としての役割を担ってきた。特に企業からの参加者数が年々増加している。元来，貴金属業界は精錬やリサイクルに関するプロセス技術などの情報共有には消極的であったため，情報共有の場として活用いただけていることは大変うれしい。

最近では，このシンポジウムの運営や，話題提供を含めて，若手の活躍が見られる。第8回の貴金属シンポジウムは，主に著者の一人である大内(30代)が運営を担い，また発表者の多くが30代～40代であった。2022年1月7日開催の第9回貴金属シンポジウムは，大内と九州大学工学研究院材料工学部門 谷ノ内 勇樹 准教授(30代)の二人でプログラム構成を行っている。

これまでは，特に産官においては，研究会などに自由に参加できる立場の人は限定されていたが，オンライン会議ツールの導入により，若手も容易に参加可能となった。現場で活躍中の若手が，勉強をして，交流を図り，人的ネットワークを構築していくことで，日本の貴金属業界の発展に大きく寄与すると考えている。

コロナ禍収束後においても，オンライン会議ツールを用いる講演会の需要が継続すると予想される。筆者らはすでに，講師および一部の関係者のみに講演会場にお越しいただき，会場での講演をオンライン配信する「ハイブリッド講演会」も行っている⁽²⁾。講演会のオンライン配信は，情報発信の範囲が広がるなど多くの利点がある一方で，その場限りの情報交換などは難しい。したがって，個別の会話を自然に実現するオンラインツールの導入や，イベント構成の工夫(名刺交換の機会を設ける，グループワークを要する企画を入れるなど)により，交流会のような場での相互コミュニケーションの一層の充実化を図る必要があると考えられる。

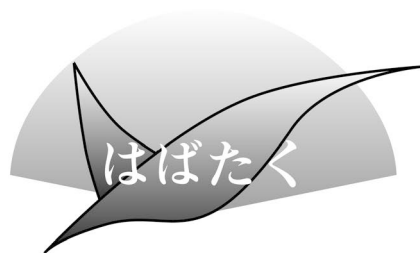
今後も新しい技術を取り入れ，従来にないスタイルの研究会の運営に挑戦し，次世代の産学連携シンポジウムの形を創っていきたいと考えている。皆様方のお力をお借りできれば幸いである。

本稿執筆にあたっては，九州大学工学研究院材料工学部門 谷ノ内 勇樹 准教授および東京大学生産技術研究所 上村 源博士に貴重なアドバイスをいただいたのでここに感謝申し上げます。最後に，貴金属シンポジウムにおいて，貴重な話題提供して下さった講師の方々，並びに当日ご参加いただいた全ての方々に深く感謝申し上げます。

文 献

- (1) 岡部 徹：まてりあ，**60**(2021)，125-128.
- (2) 大内 隆成：チタン，**69**(2021)，70-73.

(2021年9月3日受理)[doi:10.2320/materia.60.802]



学位留学を通して感じたこと

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
ドイツ連邦材料評価試験研究所 (BAM)；博士課程
池田 裕樹

はじめに

私は2017年3月に東北大学材料科学総合学科の吉見研究室を卒業し、2019年3月に東北大学金属材料研究所の今野研究室で修士課程を修了しました。その後2019年8月よりイリノイ大学アーバナシャンペーン校(UIUC)材料科学科の博士課程に入学し、現在の指導教員である R. Maaß 先生のグループに所属しました。その後、同指導教官の異動に伴う形で UIUC を修士で修了した後、ドイツ連邦材料評価試験研究所(BAM)の博士課程に所属しております。この度は本稿を執筆する機会を頂けたことに感謝致しますと共に、留学半ば2年という未だ短い期間ですが、留學生活を通してこれまで感じたことを簡潔に述べさせていただきます。(図1)

1. これまでの研究活動

私は、透過電子顕微鏡観察を主たる研究手法として金属材料の研究、具体的には高温構造材料、鉄基磁性材料、銅基形状記憶合金⁽¹⁾や銅-アルミ化合物⁽²⁾、金属ガラス⁽³⁾の研究に

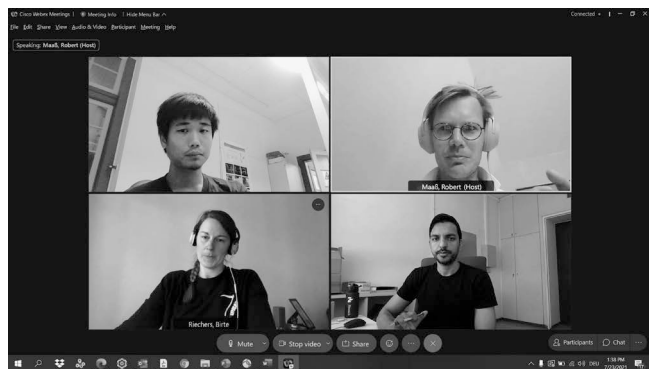


図1 グループミーティングに参加する筆者、BAMにて(画面左上)。

携わってきました。現在は先進高強度鋼の液体金属割れの研究に取り組んでいます。先進高強度鋼には防食目的で亜鉛コーティングが施されますが、溶接時の入熱によってコーティングの亜鉛が溶け出し、それが高強度鋼と反応することによって粒界に沿った液体金属割れを起こすことが知られております。この現象が応用上の課題となっているのですが、割れ抑制を試みる上で重要となる割れ発生・進展メカニズムに関する理解が未だ不十分です。私達のグループでは、先端電子顕微鏡技術を用いてメカニズムの更なる理解を試みています。

2. 留学を志したきっかけ

私は大学からの経済的なサポートはもとより(もちろんサポートに見合った成果も要求されますが…)、特に様々な国籍の人たちと共に博士号取得という共通の目標を目指して研究に専念できる環境に惹かれ、学位留学を志しました。東北大学は金属材料を研究するうえで恵まれた環境であることは言うまでもなく、その見解は留学開始後2年経過した今でも変わりません。ですが Maaß 先生のグループからオファーを頂いたこと、加えて海外留学奨学金の奨学生に採用された幸運も重なり、思い切って学位留学を決意するに至りました。当初は身近に頼れる先輩や情報が少ない中、修士研究課題に取り組みながら、国内外の研究室のアポイントメントや、奨学金への応募、英語試験対策、志望動機書の準備等忙しい思いをしましたが、奨学金に合格したことを皮切りに、海外の博士課程に在籍されている先輩方のご助力を頂く機会に恵まれ、その甲斐あってか苦しいながらも非常に有意義な経験となりました。

3. 留学中に感じたこと

東北大学時代と比較した際の違いとして、まず UIUC での学部・大学院の授業は、課題など量的な面で非常に重かったことが挙げられます。そして内容も実際の実験データを用いた解析、プロジェクトのプロポーザルやレビュー論文の執筆といった実践的な内容が学部・大学院問わずほぼ全ての専門授業で課され、留学開始の最初の1年間は実験との両立で苦しい思いをしました。ですが一方で得られるものも多く、実験データとその解析に基づき考察する能力、英文執筆の能力に関しては論文を書く際にかかなりの伸びを実感しました。また、研究室に所属する学生のバックグラウンドが多彩で、学部からそのまま大学院に入学する人は少なく、大抵は米国外からの様々な出自・年齢・国籍の人が在籍しています。例えば私の UIUC での研究室の内訳はスウェーデン人1名、フランス人1名、中国人1名、インド人1名、日本人(私)1名で、アメリカ人は学部から雇われたリサーチアシスタントのみでした。そのため、基本的に同じ大学内の研究室で学部から博士を過ごす場合が多い環境にいた私にとって、この構成はとても新鮮に感じられました。またそれぞれの研究背景も異なりましたので、研究を進める上での議論で貴

重な意見を頂くこともしばしばありました。学位留学という選択が私にとって最終的に吉と出るか凶と出るかは現時点では分かりかねますが、少なくともここに述べた経験と環境は国内に留まっていたら非常に得難いものだったと思われます。

4. お わ り に

ちょっとした興味から留学を志した私の様な留学生が増えることで、卒業後の進路選択を控えている方々にとって少しでも学位留学に対するハードルが下がり、国内進学や就職と並んでより身近なキャリアパスの一つになれば幸いです。学位留学という選択が他と比較して優れているわけではなく、むしろ就職・博士課程支援が充実してきている現状を鑑みると、手間も暇もかかる学位留学は一見魅力的に映らないかも知れません。しかし、普段はネットでしか見聞き出来ない海外での研究環境に身を置き学位取得を目指すという経験が、結果的に良いものであれ悪いものであれ、その後の人生で選

択をする際の非常に重要な要因の一つになる筈です。また、僭越な物言いかもかもしれませんが、学位留学を通して異なる研究背景を持つ人が増えることで、将来的に人材の裾野が広がるのではないのでしょうか。本稿を通して、既に学位留学に興味を持たれている方々、またこれから留学されるかもしれない方々の一助となれば幸いです。最後に、私が留学をするに当たりご支援を頂いている公益財団法人竹中有英会⁽⁴⁾に深く感謝申し上げ、本稿の締めくくりとさせていただきます。

文 献

- (1) Y. Ikeda, M. Nishijima, T. Kiguchi and T. J. Konno: *Intermetallics*, **137**(2021), 107286.
- (2) Y. Ikeda, J. Mancias, B. Gan and R. Maaß: *Scr. Mater.*, **190**(2021), 126–130.
- (3) C. Liu, Y. Ikeda and R. Maaß: *Scr. Mater.*, **190**(2021), 75–79.
- (4) <https://www.takenaka-ikueikai.or.jp/>

(2021年9月22日受理)[doi:10.2320/materia.60.805]
(連絡先: Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Germany)

日本金属学会会報「まてりあ」60巻記念企画の 終わりにあたって

会報編集委員会委員長 竹 田 修*

本企画の冒頭に申し上げました通り、日本金属学会会報「まてりあ」が、本年(2021年)60巻を迎えました。それを記念しまして、通年で60巻記念企画を実施いたしました。本企画は、60という数字が東洋圏(中華文化圏)において特別に大事にされてきたことを踏まえた田中 秀明 前委員(現 副委員長)の発案が基になっています。2020年から、大塚 誠 前委員長によって立ち上げられた編集チームを中心に、編集委員会・事務局一丸となって企画立案、編集を行ってまいりました。まてりあが積み重ねてきた長い歴史と、日本金属学会が誇る多様な人材のおかげで、貴重な記事を多数掲載することができました。会員の皆様方、一連の記事はいかがでしたでしょうか?執筆者の皆様方には、本企画への多大なるご貢献に深く感謝申し上げます。

以下に本企画を簡単に振り返らせていただきます。

1号では、昨秋に実施しました審査を経て、表紙デザインを20年ぶりに更新いたしました。また、高梨 弘毅 本会前会長から、「年頭のご挨拶」において、まてりあとの関わりのエピソードと、今後の期待をお寄せいただきました。「あのことろ」のまてりあにおいては、山本 剛久 元委員長より本会創立時の逸話に関する記事を紹介いただきました。2号では、実学講座「金属材料実験の手引き」の掲載を開始しました。初めて金属学に触れる方にもわかりやすく図や写真を用いて解説することを狙った連載記事であり、隔月で連載を継続しています。初学者の方だけでなく、学び直す方にも目から鱗の解説がなされていますので、ぜひご覧ください。「先達からのお便り」では、増本 健 本会元会長より金属材料の発展の歴史と将来について解説いただくとともに、会員への温かいエールをいただきました。3号の「プロムナード」においては、齋藤 理一郎 氏より C₆₀・ナノチューブの研究の歴史と展望について解説いただきました。5号では、「Back to 1962」と題し、会報が創刊された年の社会状況、国産旅客機 YS-11の完成や、米国初の有人地球周回飛行の成功について紹介しました。同企画は、9号においても、国産初の研究用原子炉が臨界に到達したことや、当時東洋一の吊橋であった若戸大橋の完成について紹介しました。6号では、及川 洪 元委員長および山村 力 元委員長より、会報の変革期における編集活動について振り返っていただきました。7号では、会員歴60年を数える会員の皆様から会報との関わりや思い出を披露いただきました。9号では、本会各委員会よりこれまでの活動を説明いただくと共に、今後の本会発展への力強いメッセージを頂きました。10号では、本会各支部よりこれまでの活動と今後の展開についてお寄せいただきました。11号では、還暦の会員の皆様から本会での活動を中心にご自身の活動を紹介いただきました。

以上、足掛けで、内容も十分にご紹介できず心苦しい限りですが、どの記事も含蓄に富み、一読に値します。ぜひ、バックナンバーを手にとってみてください。

60年前も今も、金属を主体とする材料が私たちの社会にとって非常に重要なものであることは変わっていません。そして、60年後も、非常に重要なものであり続けると信じます。その礎を作るために、「まてりあ」に何ができるのか?一つには、次代のリーダーの育成が挙げられます。まてりあは、本会の情報のプラットフォームとしての機能を拡張・充実させることで、若手人材の育成に貢献したいと考えています。これからも充実した紙面をお届けするために、会員の皆様のご指導、ご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

最後に、会報編集委員会を代表しまして、本企画に関わってくださいました全ての方々に心より御礼申し上げます。

* 東北大学大学院工学研究科
2021年10月26日受理[doi:10.2320/materia.60.807]

本 会 記 事

会 告	2022年度会費納入のお願い	808
事務局	年末・年始休業のお知らせ	808
村上記念賞(第19回)候補者推薦依頼		809
村上奨励賞(第19回)候補者推薦依頼		809
奨励賞(第32回)候補者推薦依頼		810
論文賞(第70回)候補論文推薦(自薦)のお願い		810
新進論文賞(第2回)候補論文推薦(自薦)のお願い		811
まてりあ賞(第12回)推薦(自薦)のお願い		811
各種学術賞・奨励金等候補者推薦について		812
2022年春期(第170回)講演大会講演募集		814
2022年春期(第170回)講演大会高校生・高専学生ポスター発表募集		815
2022年春期(第170回)講演大会参加募集		816
2022年秋期講演大会公募・企画シンポジウムテーマ提案募集		818
支部行事	808 次号予告	821
掲示板	813 新入会員	821
会誌・欧文誌12号目次	820 行事カレンダー	822

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

・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。

2022年度会費納入のお願い

2022年の会費納入時期となりました。下記いずれかの方法にてお払い込み下さいますようお願い申し上げます。

- ◎自動払込 2021年12月12日予定でご登録の口座から引き落としされます。
 ◎郵便振込み:
 上記以外の方は、本年11月中旬頃、「ゆうちょ銀行郵便振込み用紙」を郵送いたしました。ゆうちょ銀行にてお支払い願います。
 ◎クレジットカード・コンビニ支払
 会員マイページにログインの上、お手続きして下さい。領収書もホームページで発行できます。

会費のお支払い確認

ホームページ→入会・変更・会員制度→会員マイページ→
 (ID・パスワード入力)でお支払いと確認ができます。
 問合せ先 会員サービス係 E-mail: member@jim.or.jp

事務局：年末・年始休業のお知らせ

事務局は、下記日程で休業いたします。宜しくお願いいたします。

2021年12月29日(水)～2022年1月5日(水)

支部行事



2021年度日本金属学会・日本鉄鋼協会
 両北海道支部合同冬季講演大会のお知らせ

日本金属学会および日本鉄鋼協会両北海道支部共催の合同冬季講演会を下記のように開催いたしますので、会員各位の活発な討論の機会となりますよう多数のご参加をお願い申し上げます。

会 期 2022年1月20日(木)～21日(金)
 会 場 オンライン(Zoom)
 発表申込 口頭発表のみ申込を受けつけます。
 ウェブシステム
<https://pcat.cat.hokudai.ac.jp/winterMS> から
 2021年12月17日(金)までにお申し込み下さい。
 参加登録費 無料(参加登録が必要です)
 問合せ先 日本金属学会北海道支部事務局 石田洋平
 E-mail: jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp

各賞推薦(自薦)のお願い

◎下記の各賞ご推薦を申し上げます。ご推薦方法は、すべて **Web フォームによる推薦**です。是非ご利用の上、ご推薦下さい。

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

第19回村上記念賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属および関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格別の功績を挙げたものに対する「日本金属学会村上記念賞」を2004年より設けており、第19回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

■推薦要領

候補者の対象 金属および関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格段の功績を挙げた、2022年5月31日時点で46歳以上の研究者を対象とします。

推薦資格 本会代議員による推薦

推薦方法 下記 URL の推薦フォームにより入力して下さい。

1. 推薦フォーム

- 入力項目は、全て必須。
- 最終学歴：卒業年次および学校名(学部名)を入力、また、大学院修了者は修了年次と大学名も併せて入力する。
- 本会活動への貢献：本会委員会、シンポジウム企画、セミナー企画、論文投稿等の活動実績を300字以内で入力する。

2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内にまとめ、入力する。

3. 論文リスト

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2022年2月28日(月)

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

第19回村上奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある若手研究者を奨励するため「日本金属学会村上奨励賞」を設けており、第19回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

■推薦要領

候補者の対象 金属および関連材料の工学の分野で卓越した業績を挙げつつある、2022年5月31日時点で40歳以下の若手研究者を対象とします。

推薦資格 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

受賞人数 若干名

推薦方法 下記 URL の推薦フォームにより入力して下さい。

1. 推薦フォーム

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

2. 業績の概要と推薦理由

- 1,000字以内にまとめ、入力する。

3. 論文リスト

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2022年2月28日(月)

推薦 URL <https://murasho.jim.or.jp/entry>

第32回奨励賞 候補者推薦のお願い

本会では次世代を託する優れた若手研究者を顕彰するために1991年から「日本金属学会奨励賞」を設けており、第32回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。

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

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

■推薦要領

候補者の対象 2022年5月31日時点で35歳以下の方で、金属・材料工学並びに関連分野において優れた業績を挙げつつある将来性豊かな研究者・技術者を対象とします。

対象部門 学術部門、技術部門※の2部門

※技術部門は企業の研究者または技術者を対象とします。

推薦資格 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦

推薦方法 下記URLの推薦フォームにより入力して下さい。

1. 推薦フォーム

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

2. 業績の概要と推薦理由

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

3. 論文リスト

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

4. 取得済特許リスト

- 特に主要な取得済特許の番号、題目、発明者、登録日を入力する。

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

学術部門

- 1) 意欲的かつ主体的に研究に取り組んでいるか
- 2) 創造性・独創性が高い研究に取り組んでいるか
- 3) 新たな発見や発明があるか
- 4) 今後の発展が見込まれる研究か

- 5) 金属学会で活動しているか(金属学会で論文投稿や発表をしているか、委員会委員として活動しているか)

技術部門

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

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切 2022年2月28日(月)

推薦URL <https://shourei.jim.or.jp/entry>

第70回論文賞 候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された論文の中から特に優秀な論文に対し、「日本金属学会論文賞」を授賞しており、第70回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。

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

第70回論文賞の対象論文

日本金属学会誌：第85巻1～12号(2021年)掲載分

Materials Transactions: Vol. 62 No. 1～12(2021年)掲載分

注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

- (1) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」または「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。
Materials Transactions 掲載論文は、「Regular Article」または「Technical Article」のカテゴリーに属する論文であること。
- (2) Materials Transactions に英文発表後に和訳して日本金属学会誌に掲載された論文、もしくは日本金属学会誌に掲載後に英訳して Materials Transactions に掲載された論文ではないこと。
- (3) コピーライトが本会に帰属していること(本会が著作権を保有している論文)。

推薦数の要件

- ① 推薦者は、同じ論文を複数の部門に推薦することはできない。
- ② 1名の推薦者がこの賞に推薦出来る論文数は、一部門につき1論文である。

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

- (1) 独創性に富んでいるか
- ① 研究方法が独創性に富むか
- ② 問題の取上げ方、考え方が独創性に富んでいるか

③新しい境地を開拓しているか

④精緻な方法で行われているか

(2) 発展性があるか

①方法、測定装置が他に広く利用されているか

②得られた結果が他の問題に大きく影響するか

③その方法をもってすれば新しい発展が期待されるか

(3) 長年の懸案を解決したか

(4) 他の追従を許さないほど広く深く研究されているか

推薦方法 下記 URL のフォームにより推薦内容を入力して下さい。

(1) 論文題名

(2) 著者名

(3) 掲載巻・号・頁

(4) 対象部門(物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセス、工業材料の中から選択) 掲載された部門で選考されます

(5) 推薦理由(400字以内)

(6) 推薦者名(勤務先・連絡先 TEL・E-mail も記入下さい)

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切：2022年2月28日(月)

照会先 会誌・欧文誌編集委員会

E-mail: sadoku@jim.or.jp

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

第2回新進論文賞 候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された若手の著者による論文の中から、学術上または技術上特に優秀な論文に対し、「日本金属学会新進論文賞」を授賞しており、第2回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。

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

第2回新進論文賞の対象論文

日本金属学会誌：第85巻 1～12号(2021年)掲載分

Materials Transactions: Vol. 62 No. 1～12(2021年)掲載分

注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

(1) 2022年5月31日時点で、第1著者が35歳以下の日本金属学会誌及び Materials Transactions 掲載論文を対象とする。

(2) 対象部門は「日本金属学会誌」「Materials Transactions」の2部門とする。

(3) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」又は「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。

(4) Materials Transactions 掲載論文は、「Regular Arti-

cle」又は「Technical Article」のカテゴリーに属する論文であること。

(5) Materials Transactions に英文発表後に和訳して日本金属学会誌に投稿された論文、もしくは日本金属学会誌に発表後に英訳して Materials Transactions に投稿された論文ではないこと。

(6) コピーライトが本会に帰属していること(本会が著作権を保有している論文)。

推薦数の要件

①推薦者は、同じ論文を複数の部門に推薦することはできない。

②1名の推薦者がこの賞に推薦出来る論文数は、一部門につき1論文である。

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

(1) 科学的・技術的に質の高い、新規な興味ある内容(結果、理論、手法等)が十分含まれているか。

(2) 当該分野の研究の発展に貢献しうるものであるか。

推薦方法 下記 URL のフォームにより推薦内容を入力して下さい。

(1) 論文題名

(2) 著者名

(3) 掲載巻・号・頁

(4) 対象部門(日本金属学会誌、Materials Transactions から選択) 掲載された部門で選考されます

(5) 推薦理由(400字以内)

(6) 推薦者名(勤務先・連絡先 TEL・E-mail も記入下さい)

登録完了 推薦者のメールアドレス宛に登録完了通知を送信します。

推薦締切：2022年2月28日(月)

照会先 会誌・欧文誌編集委員会

E-mail: sadoku@jim.or.jp

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

第12回までりあ賞 推薦(自薦)のお願い

会報編集委員会では毎年、会報「までりあ」に論文または記事を掲載し、金属およびその周辺材料の学術および科学技術の振興に顕著な貢献をしたと思われる方に授賞をする「日本金属学会までりあ賞」を設けており、第12回の授賞式を2022年の秋期講演大会(福岡工業大学)の折、9月21日に行います。

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

■第12回「までりあ賞」推薦要領

(1) **までりあ論文賞**

日本金属学会会報「までりあ」に掲載した論文で、学

術または科学技術上優秀でかつ金属およびその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。

(2) まてりあ啓発・教育賞

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

授賞対象記事 2019年～2021年掲載済記事(授賞済記事は除く：授賞済記事はホームページに掲載します。)

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

審査基準 この賞の審査基準は下記の通り。

まてりあ論文賞

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

まてりあ啓発・教育賞

- 一般読者の理解度：読みやすさ、分かりやすさ、簡潔さ等
- 一般読者の関心度：話題性、核心性、革新性等
- 記事の独創性：問題の抽出およびその解析・解説の適切さと独創性等
- 啓発又は教育への貢献度：社会への材料の重要性の啓発または高等教育機関における教育への貢献度
- 情報発信度および注目度：マスコミ報道、本会の講演大会や学術誌での発表(自己申告)、まてりあデータベースアクセス件数等

推薦資格 「会報編集委員」または「著者ご本人」あるいは「正員3名」

推薦方法 ①種別②タイトル③著者名④掲載巻号頁⑤推薦理由(300～400字)⑥推薦者名をオンラインで入力する。または、郵送・FAX、E-mailで送信する。

推薦締切 2022年2月28日(月)

推薦 URL

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

申込問合先 会報編集委員会

E-mail: materia@jim.or.jp

各種学術賞・奨励金等候補者推薦について

本会は下に示す各種の学術賞や奨励、助成等の候補の推薦者に指定されており、積極的な推薦を行っております。会員各位にはこれらの候補として適当と思われる方の推薦または自薦をお願いいたします。

推薦または自薦は次の各号によるものとします。

- 推薦または自薦の資格は、本会会員とする。
- 推薦または自薦に際しては、各学術賞等の所定の書式の推薦書及び資料を提出する。
- 推薦または自薦の期限は、原則として各学術賞等の推薦締切の2ヶ月前とする。

推薦又は自薦しようとするときは「〇〇賞に推薦(自薦)」と明記の上、上記(3)の期限までに、各学術賞等の所定の推薦書及び資料を添えて、本会事務局までお申し出下さい。書類審査の後、理事会で推薦を決定いたします。

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2020年の例)(本会締切は2ヶ月前)
科学技術に関する黄綬、紫綬、藍綬褒章	文部科学省	5月28日
文部科学大臣表彰 科学技術賞、若手科学者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	7月27日
文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	9月30日
日本学術振興会賞 http://www.jsps.go.jp/jsps-prize/	日本学術振興会	4月12日
育志賞 http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/	日本学術振興会	6月9日
朝日賞 http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/	朝日新聞社	8月25日
日本産業技術大賞 http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou	日刊工業新聞社	1月31日
東レ科学技術賞、東レ科学技術研究助成 http://www.toray-sf.or.jp/	東レ科学振興会	10月10日
本多記念賞、本多フロンティア賞、本多記念研究奨励賞 http://hondakinenkai.or.jp/	本多記念会	9月16日
大河内賞 http://www.okochi.or.jp/hp/top.html	大河内記念会	8月12日
全国発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	8月31日
地方発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	3月31日
井上学術賞 http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html	井上科学振興財団	9月20日
井上春成賞 http://inouesho.jp/	科学技術振興機構	3月31日
岩谷直治記念賞 http://www.iwatani-foundation.or.jp/	岩谷直治記念財団	8月31日
浅田賞、三島賞 https://www.isij.or.jp/commendation/	日本鉄鋼協会	9月30日
風戸賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	10月21日

本会が推薦者に指定 されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切 (2020年の例) (本会締切は 2ヶ月前)
風戸研究奨励賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	12月9日
グリーン・サステナブルケミストリー賞 http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html	新化学技術推進協会	11月18日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	7月13日
KONA 賞, 研究助成, 援助 http://www.kona.or.jp/jp/	ホソカワ粉体工学振興財団	7月20日
サー・マーティン・ウッド賞 http://www.msforum.jp/about_sir_martin/	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	8月1日
機械振興賞 http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html	機械振興協会	5月31日
素形材産業技術賞 https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html	素形材センター	5月19日
日本塑性加工学会賞 http://www.jstp.jp/about/award/	日本塑性加工学会	8月27日
日本溶接協会 貢献賞, 技術賞, 溶接注目発明賞 https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html	日本溶接協会	11月10日
熱・電気エネルギー技術に関する研究助成 http://www.teet.or.jp/08_4.html	熱・電気エネルギー技術財団	10月28日
藤原賞 http://www.fujizai.or.jp/index.htm	藤原科学財団	12月20日
報公賞, 工学研究奨励援助金 http://www.hattori-hokokai.or.jp/	服部報公会	5月10日
睦賞 http://www.jsndi.jp/honor_award/	日本非破壊検査協会	12月31日
山崎貞一賞 http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html	材料科学振興財団	4月30日
山田科学振興財団研究援助 http://www.yamadazaidan.jp/jigyo/kenkyu.html	山田科学振興財団	2月23日
江崎玲於奈賞 https://www.i-step.org/prize/esaki/	茨城県科学技術振興財団	3月10日
薄膜技術に関する研究助成 https://www.samco.co.jp/foundation/recruitment/	サムコ科学技術振興財団	4月30日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月12日

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。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jim.or.jp

集 会

◇レアメタル研究会◇

- 主 催 レアメタル研究会
- 主 宰 者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
- 共 催 東京大学マテリアル工学セミナー
レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会
東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター
東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協 賛 (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (一社)新金属協会, (公社)日本化学会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会(五十音順)
- 開催会場 ZOOM 等で行う「リアル講演会＋講演のネット配信のハイブリッド研究会」
- 参加登録・問合わせ：岡部研 レアメタル研究会事務担当
宮寄智子
(mailto:okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)

■第99回 2022年1月7日(金) 14:00～

An 棟 2F コンベンションホール
リアル講演会＋講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会

★貴金属シンポジウム(第9回)＋新年会★(合同開催)

テーマ：貴金属の製錬・リサイクル

午後2:00～

例年どおり，貴金属の製錬・リサイクル技術に関する講演会を行う予定

※詳細はホームページをご参照下さい。

■第100回 2022年3月11日(金) 14:00～ 開催予定

レアメタル研究会ホームページ

https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html

2022年春期(第170回)講演大会講演募集

©2022年春期講演大会を下記の通り開催いたします。

会 期：

一般講演・各種シンポジウム・共同セッション：2022年3月15日(火)～3月17日(木)

ポスターセッション・高校生ポスターセッション：2022年3月22日(火)

開催方法：

一般講演・各種シンポジウム・共同セッション：

東京大学駒場キャンパス(状況によりオンライン開催に変更になる場合もございます。(Zoom利用))

ポスターセッション・高校生ポスターセッション：オンライン開催(Zoom 利用)

オンライン開催の場合、通常とは異なる発表形式となります。

下記注意事項をご確認頂き、十分ご注意ください講演のお申込みをお願いいたします。

オンライン開催に伴うリスクについての注意

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

・発表に伴うリスク

1. 研究情報を不正に取得される

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

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

※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。

2. 著作権を侵害してしまう

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

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

下記事項もご確認頂き、お申込下さい。

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 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。

④ 事前参加申込者(講演者含む)へは参加申込み締切後に、講演概要ダウンロード ID とパスワードを配信いたします。

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となります。

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/2022spring/
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・大会参加申込期間	11月25日(木)13時～2022年1月7日(金)17時
講演についての問合せ先：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2022年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。
- ☐ インターネットの入会申込み下さい。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	1月5日(水)
年会費納入期限	1月31日(月)
入会・会費の問合せ: 会員サービス係 member@jim.or.jp	

**日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会
第7回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内**

申込締切日: 2022年1月14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、2022年3月22日(火)にオンラインにて2022年春期(第170回)講演大会高校生・高専学生ポスターセッションを開催します。

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。

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会

行 事 名 「高校生・高専学生ポスター発表」

開催方法 オンライン

開催予定日時 2022年3月22日(火) 13:00~17:30の間で2時間程度を予定

対 象 者 高校生および3年以下の高専学生

発表方法 オンライン(Zoom 使用)

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

ポスター発表資料作成について: 別途連絡

講演申込 <https://www.jim.or.jp/convention/2022spring>

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・高専学生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 (現地開催の場合)指導教員は、事前に参加者リストを提出する。(別途用紙を送付予定)
- ④ 指導教員宛てに、参加者用 ID とパスワードおよびプログラム1部を事前送付する。

優秀ポスター賞 優秀な発表には最優秀ポスター賞および優秀ポスター賞を授賞します。

問合せ・連絡先 公益社団法人日本金属学会 講演大会係

〒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

2022年春期(第170回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

春期講演大会は、3月15日(火)から17日(木)まで東京大学駒場キャンパス(状況によりオンライン)にて開催いたします。
ポスターセッションおよび高校生・高専学生ポスターセッションは、3月22日(火)にオンラインで開催いたします。
尚、参加申込みは、すべてインターネット申込となります。詳細は、下記申込要領をご覧ください。

日 程	
日 時	行 事
3月15日(火)	
9:00～9:40	贈呈式
9:50～10:40	学会賞記念講演
10:50～11:40	本多記念講演
13:00～17:00	学術講演
3月16日(水)	
9:00～17:00	学術講演
3月17日(木)	
9:00～17:00	学術講演会
3月22日(火)	
	ポスターセッション(オンライン) 高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

《2022年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウム》

公募シンポジウム9テーマ

- S1 プラスチックの材料科学 IX
- S2 ハイエントロピー合金の材料科学 VII
- S3 エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(II)
- S4 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムIII
- S5 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成
- S6 生体用金属・セラミックス系材料の実用化に向けた評価方法開発・標準化
- S7 永久磁石開発の元素戦略9 ―次世代新材料に向けた基礎・基盤研究―
- S8 金属表面の材料化学V―めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開―
- S9 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術

企画シンポジウム2テーマ

K1 工業製品における材料選択とマルチマテリアル構造～建築構造物～

Materials selection and multi-material structure in commercial products～architectural construction～

ものづくりの基盤形成を担う第8分科発案のシンポジウムで、身の回りの工業製品がどのような材料からできているか、また材料選択やマルチマテリアル構造についてどのように考えるべきなのかを、広く議論する場を提供することを目的とする。前回の「航空機機体」に引き続き、2回目の今回は「建築構造物」を取り上げ、建築構造材料の企業研究者だけでなく、建築家や建築士などにも講演を依頼し、業界の動向や課題、各材料の強みや弱み、新材料の開発ならびに適用可能性について情報提供を頂くことを計画している。これまでの講演大会にはなかった『材料を横断的に捉えるシンポジウム』として、シリーズ化していくことを考えている。

企画責任者：

横浜国立大学教授 廣澤 渉一

E-mail: hirosawa@ynu.ac.jp

共同責任者：

JFE テクノリサーチ 船川 義正 金沢大 渡邊 千尋 熊本大 山崎 倫昭

K2 材料技術史から見るこれからの技術展開Ⅳ―分析機器・評価装置

Future growth expected from technological history of materials IV―Analytical and evaluation instruments

金属材料技術の進展には、分析機器・評価装置の進化が欠かせない。本シンポジウムでは、多くの金属材料研究者・技術者が使用する分析機器・評価装置を取り上げ、各装置の開発・発展に長年携わってきた先生方に、分析・評価の原理から、装置の進化・発展の過程、最新機器・装置から得られた成果を解説していただく。そして、分析機器・評価装置の将来展望やそれに伴う材料研究の新展開について議論する。

企画責任者：

物質・材料研究機構主幹研究員 戸田 佳明

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

共同責任者：

奈良女子大 松岡 由貴 東北大 杉本 諭 東京海洋大 盛田 元彰 島根大 森戸 茂一

参加申込要領

インターネットによる大会参加申込期間および URL

(事前申込) 2021年11月25日～2022年 2 月25日

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

(後期(当日)申込) 2022年 3 月 3 日～3 月22日

https://www.jim.or.jp/convention/2022spring_after/

参加申込締切後、参加方法や講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。なお、領収書は、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)。

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

会 員 資 格	事前参加申込 (締切日：2月25日)	後期(当日)申込 (3月3日～3月22日) クレジット決済のみ
正員・維持員会社社員、シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員 (本会非会員)	10,000円	13,000円
個人会員で2022年 3 月 1 日時点で65歳以上の方*	無 料	無 料
学生会**	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ください。会員情報に生年月日をご登録させていただきますので、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。

** **学生会**：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。

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

◆支払方法

事前申込のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、後期(当日)申込はクレジット決済のみとさせていただきます。また、入金後のご返金は致しかねます。事前予約申込は 2月25日(金)の入金日をもって事前参加申込完了となります。

◆参加方法および講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会 2 週間前の2022年 3 月 1 日(火)です。

講演大会公開サイトにログイン後、講演概要の閲覧ができます。特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。

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

(※annualm@jim.or.jp のメールを受信できるようにしておいて下さい。)

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

◆参加証

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。

◆講演概要集購入について

講演概要集 DVD は作製いたしません。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。

◆日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会相互聴講申込は実施いたしません。

参加申込・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 (公社)日本金属学会

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

2022年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集

提案期限：2022年2月10日(木) 期日厳守

会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的として、春秋大会において会員からの提案テーマによるシンポジウム講演を実施いたしており、活況を呈しております。明年の秋期講演大会の公募シンポジウムテーマを募集いたします。次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマを積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

【募集対象の大会】

2022年秋期講演大会(福岡工業大学)

【実施要領】

- 境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。
 - 一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイデアによる提案を期待する。
 - これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。
 - 採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。
 - 採択された場合、提案者(企画責任者)はテーマ責任者として、積極的に講演募集を行い、また講演プログラムを編成する。シンポジウムの企画に積極的な方々が将来、調査研究・講演大会などで主導的に活躍されることを期待する。
1. 講演の種類：基調講演と応募講演
 2. 提案書の内容：①テーマ、②テーマ英語名、③趣旨、④基調講演の予定題目と講演者、⑤推定講演数、⑥提案者所属・役職/氏名、⑦通信先住所・TEL・E-mail
 3. 提案書送付先：下記宛てE-mailで送付してください。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。
 4. テーマの選定：講演大会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。
 5. 採択テーマの告知と講演募集：「まてりあ」5号2022年秋期大会講演募集会告ならびに本会ホームページで行う。
 6. 講演申込締切日：2022年7月上旬予定
 7. 講演プログラム：テーマ責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。
 8. 講演時間：応募講演：15～25分(+討論時間5～10分=合計20～35分)
基調講演：30分(+討論時間10分=合計40分)
 9. 講演概要原稿分量：A4判1ページ(応募講演、基調講演とも)

【公募シンポジウム企画の採択基準】

- (1) 企画責任者(シンポジウム chair)およびテーマ責任者(シンポジウム co-chair)
 - ①企画責任者は会員であること。
 - ②テーマ責任者は複数テーマを兼任しないこと。
 - ③企画責任者またはテーマ責任者には、了解を得た講演大会委員が入っていること。
 - ④講演大会委員(専門分野)は事務局に問合せする。
 - (2) 講演大会委員会でテーマ責任者(代理者可)は企画提案の説明を行うこと。
 - (3) 継続テーマの採択条件(上記に追加)
今後も同一テーマのシリーズ化で公募シンポジウムを希望する場合は、会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的とした下記の採択基準の条件を満たす提案が求められます。
 - ①全講演数の半数以上の応募講演数が見込まれること。
 - ②基調講演の非会員枠は原則、1～2件とし、会員の発表の場とすること。
 - ③提案書の趣旨にどのような科学的知見が得られるかの記載があること。
 - ④継続テーマ提案が採択条件を満たさない場合、採択を否決する。
- 否決テーマに対しては、一般講演を容認することもある。

【参考】2021年秋期講演大会における公募テーマ

S1	機能コアの材料科学Ⅱ
S2	ミルフィューク構造の材料科学Ⅳ
S3	ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅵ)
S4	材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅵ)
S5	超高温材料の科学技術Ⅱ
S6	ナノ・マイクロスペースステイラリングⅥ
S7	水素エネルギー材料Ⅸ
S8	コロナ禍の記録とポストコロナの材料戦略
S9	ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシングⅢ
S10	マテリアルズ・インテグレーション(Ⅳ)―社会実装に向けた取り組み―

問合・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312

日本金属学会 講演大会委員会宛

2022年秋期講演大会企画シンポジウムテーマ募集

提案期限：2022年2月10日(木)

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

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

【実施要領】

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

問合せ・照会先

E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛

各締切日等：下記表参照

	2022年秋期大会
企画募集案内	12月1日(12号会告)
応募締切	2022年2月10日
企画テーマの決定	2022年3月14日
講演者リスト提出期日	2022年5月25日頃予定
プログラム提出期日(講演登録締切)	2022年7月初旬
講演大会企画委員会(会場決定)	2022年7月下旬予定
プログラム公開	2022年8月初旬予定

○講演時間(討論時間)：15分～30分(5分～10分)

○非会員の取扱い(参加費、交通費、謝金)：公募シンポジウムに準ずる。

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



日 本 金 属 学 会 誌 掲 載 論 文

Vol. 85, No. 12 (2021)

— 論 文 —

ナノ多結晶粒界モデルを用いた粒界偏析予測の遷移金属溶質元素への適用: bcc-Fe 多結晶におけるMn及びCrの粒界偏析予測 伊藤一真 田中悠太 澤田英明

アクティブスクリーンプラズマ窒化に及ぼすニッケルスクリーンの影響 濱島 隼 西本明生

Ti_3SiC_2 -MAX相におけるクリープ変形に伴うキンク形成とキンク強化の可能性

松井大輝 森田孝治 寺田大将 池田賢一 三浦誠司

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 62, No. 12 (2021)

—Regular Article—

Microstructure of Materials

Effect of Aluminium Content on Microstructure and Mechanical Properties of $\text{Al}_x\text{CoFe}_{1.9}\text{Ni}_{2.1}$ High Entropy Alloys Lichong Niu, Jie Li, Sijie Zhao, Zhixuan Jia, Yanpeng Chu, Decheng Wan and Yunli Feng

Mechanics of Materials

Development of Hot Stamping for Automotive Panel Parts with Step-Shaped Wall

Kenichiro Otsuka, Masafumi Azuma, Yoshiaki Nakazawa, Riki Okamoto and Shunji Hiwatashi

Theoretical Investigation on New Analyzing Procedure of Anelastic Strain Recovery Method for Stress Measurements Based on Bayesian Statistical Modeling

Tatsuhiro Sugimoto, Kazuya Ishitsuka and Weiren Lin

Damage Evaluation of Thermal Barrier Coatings Subjected to a High-Velocity Impingement of a Solid Sphere under Room and High Temperature Conditions Kiyohiro Ito and Masayuki Arai

Effect of Thermo-Mechanical Treatment on Electrical Conductivity and Strength of Cu-0.29 mass%Zr Alloy Wires

Hikaru Watanabe, Kenta Miyamoto, Takahiro Kunimine, Ryoichi Monzen, Naokuni Muramatsu, Kazuhiro Nomura and Shinya Ueno

Materials Chemistry

Oxidation Behavior of Cu-Containing Concentrated Solid Solution Alloys under Steam Conditions

Peng Bi, Naoyuki Hashimoto, Shigenari Hayashi, Hiroshi Oka and Shigehito Isobe

Effects of Nanoporous Structure of Anodic Films on Adhesive Strength between Aluminum Alloys and Polyamide Resin

Kota Sato, Hidetaka Asoh and Hitomi Yamamoto

SrO Doping Effect on Fabrication and Performance of $\text{Ni/Ce}_{1-x}\text{Sr}_x\text{O}_{2-x}$ Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cell for Direct Methane Utilization

Nicharee Wongsawatgul, Shinichi Momiyama, Soamwadee Chaianansutcharit, Kenichi Yoshida, Makoto Nanko and Kazunori Sato

Organic-Inorganic Dual-Coated TiO_2 Nanoparticles for Regulation of Photocatalytic Activity

Masaki Matsubara, Ayame Sakonaka, Noa Meguro, Akiko Tokutake, Tetsuo Sato and Kiyoshi Kanie

Materials Processing

Estimation of Fatigue Limit of Spheroidal Graphite Cast Iron Using X-ray CT

Naoto Shiraki, Kaho Tanaka, Akira Sugawara, Ryosuke Fujimoto, Masami Tomizawa and Takumi Hara

Development of Forming Technology to Reduce Dimensional Scattering of Automotive Parts with Cambers by Using Bauschinger Effect

Shunsuke Tobita, Toyohisa Shinmiya, Yuji Yamasaki and Jiro Hiramoto

Engineering Materials and Their Applications

Preparation of $(\text{Sm}_{0.8}\text{Zr}_{0.2})_{1.05-1.10}(\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1})_{11.3}\text{Ti}_{0.7}$ Magnets by the Spark Plasma Sintering Method

Kurima Kobayashi, Tomoko Kuno and Takahide Yamamoto

Effect of Area Ratio on the Galvanic Corrosion of AZX611 Magnesium Alloy/A6N01 Aluminum Alloy Joint

Isao Nakatsugawa and Yasumasa Chino

Anisotropic Compression Behavior of Additively Manufactured Porous Titanium with Ordered Open-Cell Structures at Different Temperatures

Shiyue Guo, Xuezheng Yue and Koichi Kitazono

Fabrication of High-Density Zn-Bonded Sm-Fe-N Bulk Magnets via High-Velocity Compaction

Masaru Uenohara, Michihiro Sako, Masaya Arai, Yoshiaki Naoi, Yoshiaki Hiramoto and Shinichiro Fujikawa

Environment

High-Resolution Prediction for the Amount of Airborne Sea Salt by Multi-Scale Weather Simulation

Ryo Onishi, Keigo Matsuda, Hitoshi Suto, Yasuo Hattori, Hiromaru Hirakuchi, Shigeyuki Matsunami, Shinjiro Yagyu, Tadashi Shinohara and Hideki Katayama

Simultaneous Arsenic and Iron Oxidation for One-Step Scorodite Crystallization Using Mn Oxide

Ryohei Nishi, Santisak Kitjanukit, Taiki Kondo and Naoko Okibe

—Express Rapid Publication—

Vibration Power Generation Property of U-Shaped Unimorph Device Using Grain-Oriented Electrical Steel

Taku Okada, Shun Fujieda, Shuichiro Hashi, Kazushi Ishiyama, Shigeru Suzuki, Satoshi Seino, Takashi Nakagawa and Takao A. Yamamoto



◎日本金属学会誌では、新規論文の投稿を歓迎しております。

- (1) 投稿・掲載費用が無料,
 - (2) オンラインでの公開後、即時に無料で全文のダウンロードが可能,
 - (3) 公開後2年以内であれば、欧文誌への英訳論文の投稿が可能
- などの利点があります。是非ご検討下さい。



まてりあ第61巻1号 予告

〔金属素描〕No. 20 ルテニウム

特集「三次元組織解析の最前線 前編」

企画にあたって

トモグラフィ画像再構成の基礎とトレンド：解析的再構成法から
圧縮センシングを経て深層学習まで ……筑波大学 工藤博之
ポスト3Dイメージングのアプリケーション

……………日本ビジュアルサイエンス㈱ 滝 克彦他

FIB-SEMによる3次元構造解析 ……㈱日立ハイテク 仲野靖孝

TEM結晶方位マップの技術紹介

……………㈱TSLソリューションズ 鈴木清一

TEMトモグラフィ ……㈱システムインフロンティア 古河弘光
—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます)



(2021年9月22日～2021年10月20日)

正 員

石 飛 剛 新日本電工株式会社
内 山 宗 久 バルステック工業株式会社
加 藤 達 也 バルステック工業株式会社

後 藤 領 介 日立金属株式会社
財 前 善 彰 JFEスチール株式会社
相 良 明 男 核融合科学研究所

佐 藤 庸 平 東北大学
筒 井 明 子 株式会社希少金属材料研究所
西 田 純 一 株式会社アマダ

学 生 員

松 田 樹 大同大学

三 浦 涼 靖 大阪大学



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

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2021年12月				
1	経産省・文科省連携磁性材料・高効率モータープロジェクト「MagHEM・ESICMM 合同成果報告会」(東京)	経済産業省(次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発)	TEL 029-851-3354(内線3725) HIROSAWA.Satoshi@nims.go.jp https://biz.nikkan.co.jp/j-forum/maghem_esicmm/	
1～3	第48回炭素材料学会年会(那覇)	炭素材料学会	TEL 03-5389-6359 tanso-desk@bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2021/index.html	
1～3	EcoDesign2021(奈良)	エコデザイン学会連合	ecodesign2021_secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/ed2021/	
2～3	第54回安全工学研究発表会(Web開催)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
3	第58回 X 線分析討論会「燃料電池・固体電池など各種電池開発の現状と評価」(京都+Web開催)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://x-ray.jsms.jp/	
4～5	日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部 令和3年度総会・連合講演会(富山大)	日本金属学会北陸信越支部	committee@jim-isi-jhs2020.sakura.ne.jp https://jim-isi-jhs2020.sakura.ne.jp/	
7, 14	女子大学院生・ポスドクのための産総研所内紹介と在職女性研究者との懇談会(Web開催)	産総研 ダイバーシティ推進室	https://unit.aist.go.jp/innhr/diversity2020/ja/events/211126_event.html	
7～8	第107回 金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会ー2021年度チュートリアル:アノード酸化の基礎ーならびに ARS2021 研究発表会(Web開催)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)	TEL 079-267-4911 ars_office@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	11.26 参加
7～23	第420回講習会「目から鱗!最近のドローン応用技術」(Web開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	
8	第168回超塑性研究会「最近の金属超塑性成形」(Web開催)	研究会 No.77	kitazono@tmu.ac.jp http://www.superplasticity.jp	
8	早稲田大学各務記念材料技術研究所オープンセミナー(Web開催)	早稲田大学各務記念材料技術研究所	TEL 03-3203-4782 zaikenjimu@list.waseda.jp http://www.waseda.jp/fsci/zaiken/news	
8～10	第47回固体イオニクス討論会(徳島)	日本固体イオニクス学会	TEL 088-656-7577 nakamura.o.koichi@tokushima-u.ac.jp https://www.ssi-j.org/symp/ssi47/index.html	
9～10	第36回分析電子顕微鏡討論会(Web開催)	日本顕微鏡学会	TEL 011-706-6768 bunseki@eng.hokudai.ac.jp https://bunseki-denken.eng.hokudai.ac.jp/	11.30
9～10	2021年度 溶接入門講座～新入社員・構造部材設計技術者のための～(Web開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	
9～10	2021年度磁性流体連合講演会(Web開催)	磁性流体研究連絡会	TEL 052-735-7542 jsmfr@jsmfr.on.arena.ne.jp	
9, 10, 16	2021年度計算力学技術者(CAE技術者)1・2級の認定試験	日本機械学会	TEL 03-4335-7616 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/	
9～10	第20回キャビテーションに関するシンポジウム(Web開催)	日本学術会議 第三部(予定)第20回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会	TEL 022-217-5229(直通) cav20-sendai@grp.tohoku.ac.jp http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/cav20/index.html	
10	第24回生体関連セラミックス討論会(京大)	日本セラミックス協会	https://www.ceramic.or.jp/bseitai/symposium/24th_Symp.html	
11～12	第33回信頼性シンポジウムー安心・安全を支える信頼性工学の新展開ー(富山)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 RESYMPO2021@office.jsms.jp	
13～14	2021年度 JCOM 若手ウェビナー(Web開催)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 JCOM2021wakate@office.jsms.jp http://compo.jsms.jp/	定員 45名
13～17	Materials Research Meeting 2021(MRM2021)(横浜)	日本 MRS	TEL 03-6264-9071 info_mrm@jmru.org https://mrm2021.jmru.org/	
15～16	デジタルラジオグラフィに関する技術講習会(東京)	日本溶接協会	TEL 03-5823-6324 http://www.jwes.or.jp/	定員 36名
16	第18回材料セミナー「産業用ボイラ設備の管理の基礎と技術動向」(Web開催)	化学工学会関東支部	TEL 03-3943-3527 kanto@scej.org http://www.scej-kt.org/	
16	第17回 SPring-8 金属材料評価研究/第70回 SPring-8 先端利用技術ワークショップ「小角 X 線散乱による金属材料の組織評価技術」(Web開催)	SPring-8 利用推進協議会他	TEL 0791-58-2785 suishin@spring8.or.jp http://www.jasri.jp/iuss/	
17	東北支部地区研究発表大会(Web開催)	日本金属学会東北支部	https://jim.or.jp/INFO/pdf/info_507.pdf	
17	第88回 塑性加工技術フォーラム「先達に聞くー塑性加工技術, 塑性力学の歴史ー」(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
17	第32回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織ー入門編(状態図と組織)」(Web開催)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	定員 40名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
22	第344回塑性加工シンポジウム「デジタルエンジニアリングの最前線」-令和時代の生産技術の方向性-(富山市+Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
22~23	第18回ノートパソコンで出来る原子レベルのシミュレーション入門講習会〜分子動力学計算と電子状態計算〜(Web開催)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@office.jsms.jp http://www.jsms.jp	
2022年 1 月				
7	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演会「どこでも気軽にサイエンス」-オンライン社会の到来を受けて- (Web開催)	日本セラミックス協会他	sakamoto@fitc.pref.fukuoka.jp https://www.ceramic.or.jp/bgenryo/index_j.html	
7	表面分析実践講座2021〜実践!最新走査電子顕微鏡実習 実際の作業を通して身につける最新技術〜(東京)	日本表面真空学会	https://www.jvss.jp/jpn/activities/06/detail.php?eid=00006	
7	第99回レアメタル研究会(東大生産技研+Web開催)(本号813頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
8~9	第60回セラミックス基礎科学討論会(熊大)	日本セラミックス協会基礎科学部会	kiso60@chem.kumamoto-u.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bkiso	
11	MSJ 講習会「パワーマグネティクス基礎と応用」(Web開催)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 https://www.magnetics.jp/education/msjworkshop_powermagnetics/	
20~21	2021年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同冬季講演大会(Web開催)(本号808頁)	日本金属学会北海道支部	jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp	
21	関西支部第25回塑性加工基礎講座「入門 結晶塑性シミュレーション」(Web開催)	日本塑性加工学会 関西支部他	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	1.7
22	第27回高専シンポジウムオンライン(Web開催)	高専シンポジウム協議会	TEL 0859-24-5161 date@yonago.kosen-ac.jp https://kosen-sympo.org/	
24~25	第29回超音波による非破壊評価シンポジウム(Web開催)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp	
27	表面科学技術研究会2022 炭素材料の新展開-表面で造る・表面を造る・表面を使う-(大阪+Web開催)	日本表面技術協会 関西支部他	TEL 075-781-1107 kansai_office@stj.or.jp http://www.sssj.org/Kansai/goudou22127.html	参加 1.20
28	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織-中級編(時効析出)」(Web開催)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
28	第20回ナノテクノロジー総合シンポジウム(JAPAN NANO 2022)(東京+Web開催)	文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム, 物材機構	JAPANNANO@nims.go.jp TEL 029-859-2777 https://www.nanonet.go.jp/japannano/2022/	
28~29	第27回薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会共催特別研究会「電子デバイス界面テクノロジー研究会-材料・プロセス・デバイス特性の物理-」(Web開催)	応用物理学会薄膜・表面物理分科会他	fukui@jsap.or.jp http://www.edit-ws.jp/	
2022年 2 月				
1~14	Mate2022 28th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"(Web開催)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6879-7568 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate/	
4	第346回塑性加工シンポジウム「低炭素化社会への取り組み」-CO ₂ の回収, 利用, 排出減-(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
17	第2回次世代高性能磁性材料研究会(Web開催)	日本金属学会若手研究グループ	https://forms.gle/Nx91Cb79dHdTZoiQ6	
25	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織-応用編(加工・熱処理による組織変化)」(Web開催)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
2022年 3 月				
7	第47回「組織検査用試料の作り方(組織の現出)」講習会-鉄鋼材料・非鉄金属材料・表面改質処理および異常組織材-(Web開催)	材料技術教育研究会	TEL 047-431-7451 jimukyoku@mskoshukai.jp http://www.mskoshukai.jp	定員 100名
7~9	第13回日本複合材料会議(JCCM-13)(大阪+Web開催)	日本材料学会, 日本複合材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp	
7~9	2021年度量子ビームサイエンスフェスタ(Web開催)	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, J-PARCセンター他	qbsf2021-office@ml.j-parc.jp https://mlinfo.jp/sp/qbs-festa/2021/	
11	第100回レアメタル研究会(東大生産技研+Web開催)(11号760頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
15~17	日本金属学会春期講演大会(東京大学駒場キャンパス)(予定)(本号814頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	講演 1.7 参加予約 2.25

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
22	日本金属学会春期講演大会ポスターセッション 第7回「高校生・高専学生ポスターセッション」 (Web開催)(本号815頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jim.or.jp	ポスター 1.7 高校生ポスター 1.14
2022年5月				
11~12	第38回希土類討論会(熊本)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	発表 1.21
2022年6月				
3~5	2022年度塑性加工春季講演会(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
2022年9月				
4~8	第18回アルミニウム合金国際会議(ICA18)(富山)	軽金属学会	http://www.icaa18.org/	
4~9	第18回液体及びアモルファス金属国際会議(LAM18)(広島)	第18回液体及びアモルファス金属国際会議組織委員会	TEL 082-424-6555 masinui@hiroshima-u.ac.jp https://lam-18.hiroshima-u.ac.jp/	
21~23	日本金属学会秋期講演大会(福岡工業大学)(予定)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	



- ・まてりあ60巻(2021)の総目次はホームページに掲載となります。
- ・まてりあ60巻記念企画へのご協力をありがとうございました。

◇ 事務局年末年始休業のお知らせ ◇

2021年12月29日(水)~2022年1月5日(水)

◇事務局より◇

～ 本年は大変お世話になりました。来年もどうぞ宜しくお願い致します。～



2021, 2022年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第60巻 第12号 (2021) 発行日 2021年12月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
純 金 属			高 純 度 金 属			中 間 合 金		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	燐 銅	P>14.5%	粒 状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン 銅	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒 状	マンガン 銅	Mn 25%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉末	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	マグネシウム 銅	Mg 50%	約800gインゴット
銀	99.99%	粒 状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム 銅	Cr 10%	約1kgインゴット
ボロンクリスタル	99.4%	3~8mm小塊	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄 片 状	テルル 銅	Te 50%	〃
ボロンアモルファス	95~97%	粉末	無 酸 素 銅	99.99%	10×10×1mm	コバルト 銅	Co 10%	〃
ビスマス	99.99%	針 状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25×25×2mm	ニッケル 銅	Ni 30%	〃
コバルト粒(ロシア産)	99.3%	粒 状	ガリウム	99.9999%	粒状25g入	鉄	Fe 10%	〃
電解コバルト(従来品)	99.9%	フレーク状	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	チタン 銅	Ti 50%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25×25×10mm	インジウム	99.999%	粒状100g入	ジルコニウム 銅	Zr 50%	〃
金属クロム	99%	塊 状	インジウム	〃	約100g塊	ボロン 銅	B 2%	粒 状
電解クロム	99%	薄 片 状	マンガン	99.999%	薄 片 状	アルミ 銅	Cu 40%	約5~7kgインゴット
クロム粉	99%	粉末500g入	錫	99.999%	粒状100g入			
電気銅	99.99%	約25×50×10mm	錫	〃	約100g塊	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小 片 状	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	アルミマンガン	Mn 10%	約5kgインゴット
電解鉄(アトミロンYL)	〃	小片状25kg入	アンチモン	〃	約100g塊	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テルル	99.9999%	粒状100g入	アルミクロム	Cr 5%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	ル	〃	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kgインゴット
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	亜鉛	99.999%	粒状100g入	アルミシリコン	Si 25%	〃
ハフニウム	99.6%	スポンジ小塊	亜鉛	〃	約100g塊	アルミコバルト	Co 5%	〃
インジウム	99.99%	塊 状	亜鉛	99.9999%	粒状100g入	アルミモリブデン	Mo 5%	〃
マグネシウム200	99.9%	約200g塊	亜鉛	〃	約100g塊	アルミタングステン	W 2.5%	〃
マグネシウム100	99.9%	約100g塊	チタン	99.9%	5φ×150mm	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
マグネシウム100(プリン型)	99.9%	約100g塊	高純度シリコンスクラップ	99.999%	塊 状	アルミ鉄	Fe 50%	塊 状
電解マンガン	99.9%	薄 片 状	レアアースメタル			アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
モリブデン粉	99.9%	粉末	イットリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
ニオブグラニュー	99.9%	3~10mm小塊	ランタニウム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	3~10mm小塊状
ニオブ粉	〃	粉末	プラセオジウム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
電気ニッケル	99.99%	25×25×10mm	ネオジウム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
ニッケルペレット	99.97%	6~12mm球状	サマリウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	1~30mm小塊状
レニウム粉	99.99%	粉末	イッテルビウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	塊 状
ルテニウム粉	99.9%	〃	テルビウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	塊 状
アンチモン	99.9%	塊 状	ジスプロシウム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	1~30mm小塊状
金属シリコン(中国産)	99%	〃	ホルミウム	〃	〃	燐 錫	P 5%	インゴット
金属シリコン(ブラジル産)	〃	〃	エルビウム	〃	〃			
錫インゴット	99.99%	約1kgインゴット	ガドリニウム	〃	〃			
錫粒	〃	粒 状	ツリウム	〃	〃			
タンタル塊	99.9%	3~10mm小塊	ルテチウム	〃	〃			
タンタル粉	〃	粉 状	セリウム	〃	塊 状のみ			
テルル	99.99%	小 球 状	ユーロピウム	〃	〃			
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ミッシュメタル	TRE>97%	5.4φ×6mm 200g入			
チタン板	JIS 1種	250×250×1mm						
バナジウム	99.7%	3~10mm小塊						
バナジウム粉	〃	粉末						
タングステン	99.9%	〃						
タングステンスクラップ	99%	板 状						
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット						
亜鉛粒	〃	粒 状						
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊						

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

「社名」または「大学名」、および「所属と名前」、個人の方は「名前」
「郵便番号・住所・電話・FAX」・「商品名・純度・形状・希望数量」
見積・注文でお急ぎの場合は「至急」と明記して下さい。

FAX (03)
3294-9336

株式会社 **平野清左衛門商店**
〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL (03) 3292-0811

商品の詳細はホームページでご覧になれます。
<http://1921seizaemon.jp/>

●土曜・日曜・祭日休業 ●手形取引はいたしません
●輸出はせず国内取引のみ

「化学」分野

#素 材

#生命・環境

#応用化学

専 門 技 術 者

募 集

知財経験
不問



☆IPCCは、特許庁の登録調査機関です！

特許審査に必要な特許文献調査及び特許出願等への分類付与業務を行う専門技術者を募集しています。

IPCC 専門技術者



※ 処遇、募集技術分野等の詳細についてはHP参照



※化学部門では以下の技術分野で募集中。その他機械部門、電気部門など全技術区分でも募集中。

- 【区分20】 無機化学(触媒、無機化合物、蒸着・単結晶成長、コンクリート、セラミックス、ガラス等)
- 【区分21】 金属・金属加工(精錬・鑄造・圧延、合金製造、熱処理・炉、合金・溶接材料、表面処理等)
- 【区分22】 電気化学(燃料電池システム、電極、活物質、リチウム電池、アルカリ電池、燃料電池、電線、電線の製造等)
- 【区分24】 生命工学・医療(化合物含有医薬、蛋白・抗原抗体含有医薬、製剤・医療材料、バイオテクノロジー等)
- 【区分25】 有機化学(有機化合物の製法、農薬・染料、石油化学、応用有機材料、インク、接着剤、固体廃棄物等)
- 【区分26】 環境化学(膜、水処理、固体分離、濾過・液分離、排ガス、処理操作一般、混合等)
- 【区分27】 プラスチック工学(高分子処理、樹脂成形、タイヤ、発泡成形等)
- 【区分28】 高分子(縮合系高分子(熱可燃系、熱硬化系)、付加系高分子(特殊)、高分子組成物、重合・触媒等)
- 【区分29】 繊維・積層体(繊維、積層体、塗装、皮革、紙等)
- 【区分30】 有機化合物(有機化合物、医薬等)



一般財団法人
工業所有権協力センター
Industrial Property Cooperation Center

〒135-0042 東京都江東区木場一丁目2番15号
深川ギャザリア ウエスト3棟
採用担当: 人材開発センター 開発部 採用課
TEL 03-6665-7852 FAX 03-6665-7886
URL <https://www.ipcc.or.jp/>
e-mail: ipcc-jin@ipcc.or.jp

高断熱+省エネ

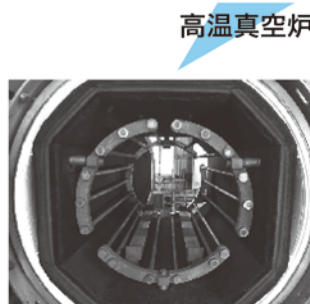
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



シール

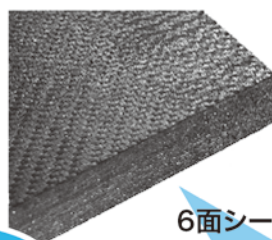
CO₂削減



高温真空炉



カーボンヒーター



6面シート
貼り



カーボンフェルト



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

切断・埋込・研磨 / ポリッシング・硬さ試験機のことなら



自動研磨機

Qポル XL

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

本体イメージ



特長

- Φ 300 ~ 350mm 作業ホイールの使用が可能なパワフルな行動
- ステンレス鋼で保護された作業領域
- 正確で効率の良い作業を可能にする研削量測定システム
- プロセス中に左右に往復移動可能なポリッシング・ヘッド
- 最適な研磨剤供給システムの構築が可能なモジュール方式
 - ・マグネチック・スターラー
 - ・研磨液量監視
- 大型サンプルに対応できる広範囲の荷重 (50 ~ 750N)
- プロセスの効率化を推進する自動サンプル洗浄システム (オプション)
- 研磨剤を均一に供給する可動式供給アーム
- 自動で開閉する安全フード
- 作業ホイールの汚れを低減させるスピン・サイクル機能
- 装置の状況をモニタリングできるシグナル・タワー (オプション)
- 管理が容易な循環冷却システム / 沈殿槽 (オプション)
- 作業領域内の清掃を容易にするスパイラル式洗浄ホース

仕様

作業ホイール寸法	Φ 300~350mm
作業ホイール数	1面
回転速度	作業ホイール：50~600rpm ポリッシングヘッド：50~350rpm
回転方向	反時計方向 (ポリッシングヘッドのみ時計方向可)
荷重	中央荷重：20~400N

サンプルホルダー (数)	Ø159 - 204 mm
研磨剤自動供給 (オプション)	4- ダイヤモンド懸濁液、1- 潤滑剤、1- 酸化物研磨剤
電源	三相 220-240V / 50/60Hz 接続ロード：6kVA
寸法 (W)x(D)x(H)	901x710x265mm
重量	~ 420kg

大型埋込プレス

オパール 480

オパール 480 は、サンプル作製時に必要な樹脂埋込みを行うための加熱加圧埋込プレスです。油圧及び水冷却の方式が採られており、埋込みは設定したプログラムに従って自動的に行われます。埋込リンダーは工具を使わずに簡単に交換できます。

本体イメージ



特長

- 加熱加圧埋込プレス
- 使いやすいスライド式開閉システム
- 大型液晶画面の付いた操作しやすいユーザーインターフェイス
- 埋込工程のプログラムを自由に設定して 18 件保存可能
- 4 種類から選択可能な加圧モード
- 油圧による加圧方式
- 水冷却による作業性の向上
- 工具を使用せずに行えるシリンダー交換
- 30x60 mm または 40x60 mm の四角柱成形が可能
- 強固なアルミニウム筐体と粉体塗装

仕様

加熱温度	20~200℃ (5℃毎可変) 4 x 630W
加圧方式	自動油圧 (加圧範囲：145~310bar (5bar 毎))
加圧時間	0~30 分 (15 秒毎可変)
加圧モード	4 種 (同時 / 段階 / 設定温度到達後 / 冷却開始前)
冷却方式	自動水冷 (冷却モード：通常 / 節水 (10~50%))

シリンダー有効寸法	80mm
開閉システム	スライド
シリンダー寸法 (mm)	Φ 50 / Φ 60 / Φ 70 / 30x60 / 40x60
電源	単相 220-240V / 50/60Hz 接続ロード：3.6kVA 毎
寸法 (W)x(D)x(H)	390x500x450mm
重量	約 68kg

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社



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

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

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