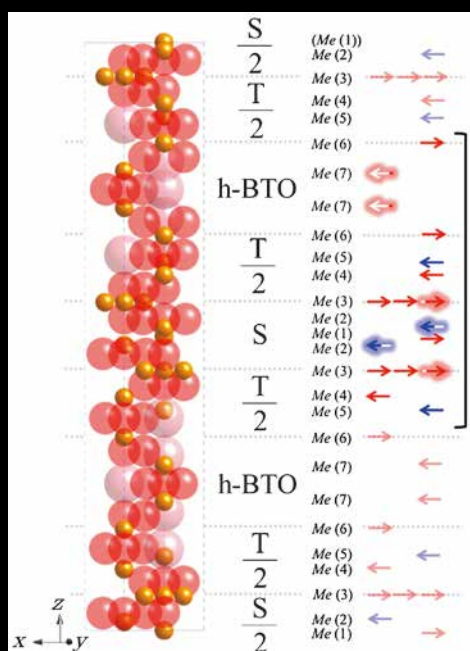


Materia Japan

まてりあ Vol.62

MTERE2 62 (9) 575 ~ 644 (2023)

No.9
2023



・ 金属素描 ～鉛～

特集

「EV 化社会に向けた
パワーエレクトロニクス用
軟磁性材料研究」

・ 学会・研究会だより

・ “あのころ” のまてりあ

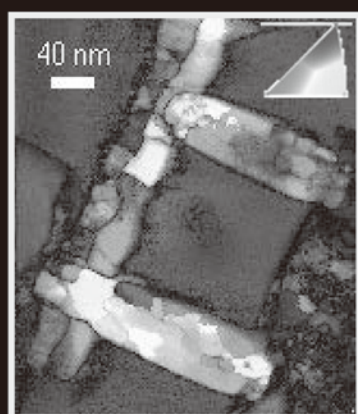
付録 2023 年秋期講演大会プログラム

ASTAR / TopSpin

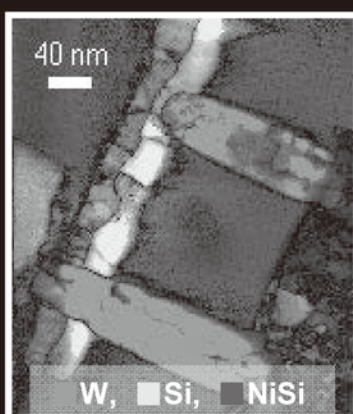
TEM Orientation Image Analysis

NanoMEGAS社では、電子線の走査とプリセッション照射法を組合せ、安定した回折パターンを連続的に取得し、テンプレートマッチング法(NanoMEGAS社特許の)による確実な指数付けの確立でTEMによる結晶方位マップ/相マップ等の取得法を提供しています。TEM の優れたファインプローブの使用により、従来のSEM/EBSD法では考えられない、高分解能 結晶方位マップを実現しました。またプリセッション照射角を大きくすることで、ダイナミカルな効果を低減した回折パターンの取得が可能となり、試料を連続的に傾斜させながら回折パターンを所得することで、ディフラクシントモグラフィを実現しています。これによりTEMを用いた結晶構造解析が大きく進展しています。

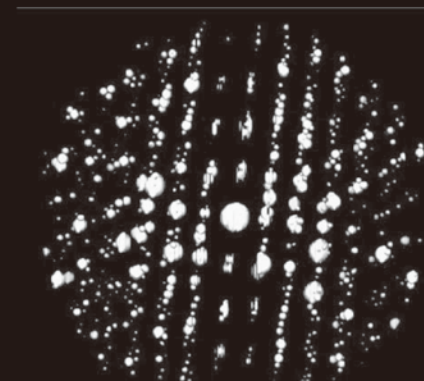
IPF 結晶方位マップ



相マップ



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



ディフラクシントモグラフィの例:
試料傾斜角 $\pm 60^\circ$ で連続的に取得し、3次元に再構築した例。

Workshopのご案内:

NanoMEGAS/TSLソリューションズでは、S.Nicolopoulos博士(NanoMEGAS CEO)、E.Ranch博士(NanoMEGAS技術責任者)および国内のユーザーの方々をお招きしWorkshopを開催いたします。TEMを用いた結晶方位マップ/相マップの取得から最新の応用例等をご紹介します。

日時: 2023年11月 8日 10:00 ~ 17:00

場所: 東京都内

詳細およびお申し込みは、TSLソリューションズ HP よりお願いいたします。

株式会社 TSL ソリューションズ

252-0131 神奈川県相模原市緑区西橋本5-4-30 SIC2-401
e-mail: info@tsl-japan.com, Homepage: www.tsl-japan.com

9

2023
Vol.62
No.9

まてりあ

金属素描 No. 30 鉛(Lead) 太田洋文.....575

特集「EV 化社会に向けたパワーエレクトロニクス用軟磁性材料研究」

企画にあたって

三井好古 齊藤雄太 宇部卓司 岡田周祐 Mark Chang

豊木研太郎 春本高志 細川明秀 松浦昌志.....577

高 B_s ナノ結晶材料の開発 太田元基.....578

圧粉磁心と純鉄粉 ～鉄損に及ぼす粉末特性の影響～

高下拓也 平谷多津彦 宇波 繁.....582

フェライトめっき磁性金属微粒子を圧粉成型したコアの MHz 帯域以上における

高周波磁気特性 松下伸広588

新規18H型フェライト化合物結晶の発見 神島謙二594

高耐食性ナノ結晶合金のコンビナトリアル合成 山崎貴大600

学会・研究会だより TMS2023 Annual Meeting & Exhibition への参加および Acta Student Award 受賞
に関する報告 田畑千尋606

"あのころ"のまてりあ 『金属学の進歩と本誌』（談話室） 須藤欣吾(著) 近藤亮太608

研究助成成果報告 第1回日本金属学会フロンティア研究助成成果報告(1)611

本会記事	会告.....620	次号予告.....637
	掲示板.....631	新入会員.....638
	会誌・欧文誌9号目次.....635	行事カレンダー.....640

付録 2023年秋期講演大会プログラム別冊

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

今月の表紙写真 $\text{Ba}_5\text{Fe}_{14}\text{Ti}_2\text{ZnO}_{31}$ ($x=1.0$) のスピン配列モデル(太線片かっこで括弧しているところが1化学式に相当).
(神島謙二著 598頁 図12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。

Materia Japan

Volume 62 Number 9 September 2023

Contents

Sketch of Metals No. 30 Lead

Hirobumi Ohta 575

Special Issue on Soft Magnetic Materials for Power Electronics toward EV Society

Preface	Yoshifuru Mitsui, Yuta Saito, Takuji Ube, Shusuke Okada, Mark Chang, Kentaro Toyoki, Takashi Harumoto, Akihide Hosokawa and Masashi Matsuura	577
Development of High B_s Nanocrystalline Materials	Motoki Ohta	578
Influence of Powder Properties on Iron Loss of Soft Magnetic Composite Cores	Takuya Takashita, Tatsuhiko Hiratani and Shigeru Unami	582
Ferrite/Metal Composite Magnetic Cores Exhibiting $\mu' > 50$ at Higher than MHz	Nobuhiro Matsushita	588
Uncovering a New Crystal Structure: 18H-type Ferrite Compounds	Kenji Kamishima	594
Combinatorial Evaluation of Nanocrystalline FeSiBPCuC Soft Magnetic Alloys with Enhanced Corrosion Resistance	Takahiro Yamazaki	600

Regular Articles

News · Report

Report on Participation in the TMS 2023 Annual Meeting & Exhibition and Receiving the Acta Student Award	Chihiro Tabata	606
--	----------------	-----

Materia Japan in Those Days

Advances in Metallurgy and Materia Japan (Kingo Sudo)	Ryota Kondo	608
---	-------------	-----

Research Grant Report

Report on the Results of the 1st JIMM Frontier Research Grants (1)	611
--	-----

Published by THE JAPAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

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

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

©2023 The Japan Institute of Metals and Materials

Notice for Making a Copy of This Publication

Please obtain permission from the Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC) to which the copyright holder has consigned the management of the copyright regarding reprographic reproduction.

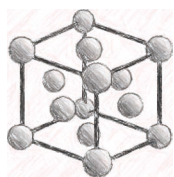
Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

Website <https://www.jaacc.org> E-mail info@jaacc.jp FAX +81-33475-5619

Users in countries and regions of which Reproduction Rights Organizations (RROs) are listed on the above website are requested to contact the respective RPOs directly to obtain permission.

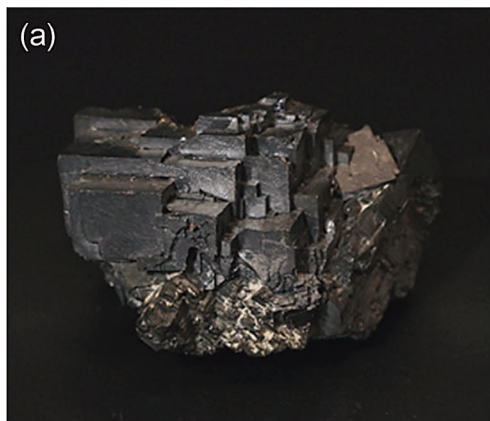
For obtained permission to quote, reproduce; translate, etc., please contact the Japan Institute of Metals and Materials directly.



シリーズ「金属素描」

No. 30 鉛(Lead)

三井金属鉱業株式会社 太田 洋文



元素名：Lead，原子番号：82，原子量：207.21，電子配置： $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$ ，密度： $11.34 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (298 K)，結晶構造：面心立方(～融点)，融点：600.6 K，沸点：2028 K⁽¹⁾，地殻存在量： $11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1(2)}$ 【写真】(a) 方鉛鉱(若林標本，東京大学総合研究博物館写真提供)，(b) 鉛地金(純度99.99%以上，神岡鉱業株式会社写真提供)，(c) 製錬所での鉛の溶解鑄造(神岡鉱業株式会社写真提供)

鉛は古代から身近に使われてきた金属であり，紀元前3000年頃にメソポタミアから出土した銅製の鹿の角が鉛で接合されていた⁽³⁾．天然での自然鉛の産出がほぼ考えられないことから，この頃には既に方鉛鉱を焙焼還元して鉛を得る技術が確立していたと考えられている．現代の乾式法は焙焼還元して得られた熔融状態の粗鉛から脱銅→柔鉛→脱銀→脱亜鉛→脱ビスマス→仕上げ精製の工程が一般的であるが，鉛の特性を理解するために基礎的な3つの乾式製錬技術を以下に記す．

- (1) 南蛮吹き：銀や不純物を含有した粗銅に鉛を加えて熔融し急冷して得られた合金を銅の融点以下で加熱し，銀やその他不純物を伴った含銀鉛を溶け出させ純度の高い銅を得る技術．
- (2) ISP製錬：亜鉛・鉛主体の溶体を温度低下させ鉛浴中の亜鉛溶解度が低下する原理を利用して亜鉛を回収する技術．
- (3) 灰吹法：含銀鉛をカルシウム主成分の灰の上で加熱し，酸化した鉛や他の卑金属を灰に吸い込み，金と銀を残す乾式製錬法．

筆者は地質屋なので上記製錬技術と対比させて，日本列島の地下でのスカルン鉱床形成プロセスを説明する．橄欖岩質の根源マグマが分化して鉄が分離された鉱液は，かなり窮屈な断層の中を，周辺の母岩と反応し冷却しながら上昇する．鉱液が石灰岩と出会うと中和急冷し，銅が南蛮吹きのように分離する．次に亜鉛と鉛が主体となった鉱液がISP製錬のように冷却過程で亜鉛が絞り出され周辺の母岩と反応し，閃亜鉛鉱となる．最後に残った含金銀鉛は灰吹法のように反応し，鉛が方鉛鉱となって結晶化する．最終的に残った金銀を伴った熱水は更に上昇し冷却され，液中に残存していた石英や方解石成分が脈石状に結晶化して流動性を失い銀や金を伴った鉱脈として固定される．このため一般的なスカルン鉱床での有用金属種の胚胎順序は，下部から上部に向かって，鉄，銅，亜鉛，鉛，銀，金となっていることが多い．

鉛とカルシウムの親和性は脳，神経，腎臓，肝臓，血液，消化管，生殖器など，様々な部分に悪影響を与える．発達中

の神経系は鉛による損傷を最も受けやすいため⁽⁴⁾，特に小児は影響を受けやすく注意が必要である．鉛を扱う事業場においては，労働安全衛生法等に沿って鉛を職場で洗い流し，家庭に持ち込まないよう安全な労働環境の下で日々の業務を行っている．

鉛は取り扱いに注意が必要だが，他の材料では代替し得ない重要な特性がある．代表的なものはX線等の高エネルギー電磁波の遮蔽効果である．鉛は放射線吸収後において新たな放射線発生源となりにくい．また，二酸化鉛のアノード特性も見逃せない特徴で，白金と同程度の酸素過電圧を有し，安価で最高の電極材料である．二酸化鉛の抵抗率は $1\sim 4\times 10^{-3} \Omega\cdot\text{cm}$ で，鉛の抵抗率 $2.12\times 10^{-5} \Omega\cdot\text{cm}$ よりやや大きい程度．この二酸化鉛のアノード特性を最大限に活かしているのが鉛蓄電池である．鉛蓄電池はアノードに二酸化鉛(PbO_2)，カソードに鉛(Pb)，電解液に希硫酸という単純な構成である．鉛蓄電池の短所はエネルギー密度が低くて重いことで，ここについては圧倒的にLiBが有利である．ただし，据置型用途での利用価値は十分にあり，SDGs, CE, CNを考慮すると，鉛蓄電池が圧倒的に優位となる．鉛蓄電池の鉛についてだけ考えると日本においては，不正な海外流出防止策も講じられており，回収から再生までのリサイクルネットワークが整備されている．

我々は環境に配慮したクローズドシステムで鉛を活用し続け，鉛の特性を活かした新たな鉛の用途開発も期待しながら，電磁波が飛び交うような宇宙空間での活動の時代が来た時に，全宇宙において材料供給面でも心配のない鉛が主役となることを夢見つづ筆を置くこととする．

文 献

- (1) 金属データブック改訂4版：日本金属学会，丸善，(2004)．
- (2) R. L. Rundnick and S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd., (2004), 1-64.
- (3) 中島信久：金属資源レポート(2007)，185-195.
- (4) B. A. Simms and G. W. Zamponi: Neuron, 82(2014)，24-45.

次回！ 金属素描 No. 31 バナジウム

未来を先導する
領域を開拓し、
世界に発信する

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

日本金属学会

2023年
秋期
講演大会
(第173回)

ポスターセッション

会期

2023年 **9/19** 火

会場

とやま自遊館

〒930-0805 富山県富山市湊入船町9番1号

記念講演、一般講演、公募シンポジウム、
企画シンポジウム、共同セッション

2023年

会期

9/20 水 ~ **22** 金

会場

富山大学 五福キャンパス

〒930-8555 富山県富山市五福3190

公募シンポジウム

S1: 材料変形素過程のマルチスケール解析 (VI)

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

S2: 水素エネルギー材料X

Hydrogen Energy Materials-X

S3: ハイエントロピー合金の材料科学(X)

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

S4: 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成IV

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

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

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

S6: 機能コアの材料科学 IV

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

S7: データ創出・活用による磁性材料の研究開発

Digital Transformation Initiative R&D for Magnetic Materials

S8: 極限環境対応構造材料のためのマテリアルDX (I)

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

S9: ワイドギャップ結晶の材料科学と高温プロセスングV

Materials Science and high temperature processing of widegap materials V

企画シンポジウム

K1: 自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・

第5回自動車関連材料合同シンポジウム

「モビリティの革新に貢献する材料技術の最新動向」

Recent Trends in Materials Technology Contributing to Mobility Innovation

K2: 若手科学者へ贈る研究のヒントVI~未踏領域へ到達するために~

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

K3: 中学高校生向け金属体験学習

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

K4: 国内のマテリアル戦略とインフォマティクス応用

Materials Informatics and Materials Strategies

講演申込締切

●共同セッション

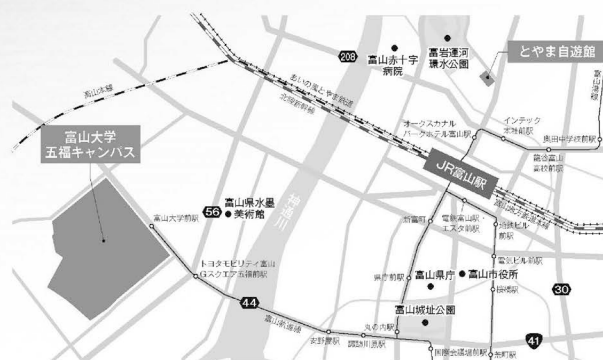
2023年 **6/26** 月 17時

●一般

●公募シンポジウム

●ポスターセッション

2023年 **7/7** 金 17時



◇ 詳細は、本号会告、同封プログラムまたは本会ホームページを
ご覧下さい。

～ 皆様のご参加をお待ちしております。～

問合先

公益社団法人日本金属学会 講演大会係

TEL 022-223-3685

annualm@jimm.jp

<https://jimm.jp/>



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

知財経験不問
先端技術リサーチャー募集!

ポスドクやPh.D取得者の 次の活躍の場として!

あなたの技術知識を 活かしてみませんか?

先端技術リサーチャー3つの注目ポイント

- 01 自身の研究で培った知識を最大限発揮できる!
- 02 最先端技術に触れ、さらなるスキルアップができる!
- 03 長く安定して働くことができる!

約140名の
Ph.D取得者
在籍

※2023年4月1日現在



勤務地	木場オフィス:東京メトロ東西線「木場駅」〈東京(大手町駅から徒歩)7分〉 ※在宅勤務も一部可 ※転勤なし
勤務時間	フレックスタイム制
処遇等	①年収約630万円(標準業務量を達成した入団3年目の年収) ②通勤手当(新幹線通勤可)、単身赴任手当、住宅手当 ③社会保険・労働保険 完備 ④休日・休暇【年間休日120日以上】
問合せ先	人材開発センター 開発部 採用課 TEL 03-6665-7852 E-mail ipcc-jin@ipcc.or.jp

採用情報は
こちら
↓



HSC Chemistry トレーニングクラス(講習会) のお知らせ (日本語逐次通訳付き)

HSC Chemistryユーザーの他、ご使用を検討されている方も歓迎です。トレーニング用として期間限定ですがフルライセンスが用意されますので有用性の判断になります。

■日 時：11月7日、8日、9日
3日間とも昼食をご用意いたします。

■会 場：九段会館(東京都千代田区)

■参加費用(税込)：

- ① 143,000円／1～3日間
- ② 99,000円／1～2日目のみ
- ③ 99,000円／2～3日目のみ



※ご参加の際は、WindowsがインストールされたノートPCをご持参ください。

お申し込みは弊社ホームページにあります申込書に、必要事項をご記入の上e-mailまたはfaxでご連絡ください。

化学プロセス用の物性データベース

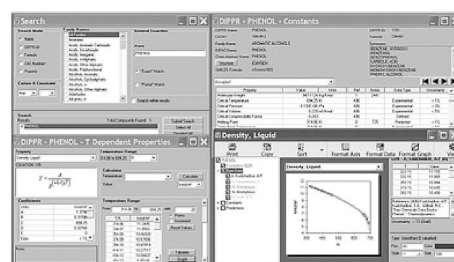
DIPPR with DIADEM pro (Design Institute for Physical Property Data)

価格 ¥434,500.-／¥74,800.- (一般／教育)

2,280化合物についての49種類の熱物性値(実測値)、複数の推算式、原文献データと15種類の温度依存物性には推算式の係数などのデータベースです。AIChE推奨のインターフェイスソフトウェア(DIADEM)付きのスタンドアロンシステムです。

おもな機能 (DIADEM)

- 検索対象：Name, Formula, CAS番号、物性データ
- 物性値：実測値、推算式による予測値
- データ表示：テーブルとグラフプロット
- 複数化合物データの重ね合わせプロット
- MDL Chimeプラグインによる構造式の立体表示
- ユーザーデータベースの作成



システムプラットフォーム：
Windows 8/10 (AIChE DIPPR Project 801)

30,000件のセラミックス状態図データベース Phase Equilibria Diagrams, Version 5.0 (ACerS-NIST)

新規購入価格 ¥319,000.-

(シングルユーザー用／マルチユーザー用)

Version 4.1/4.2/4.3/4.4/4.5からのアップグレード価格あり (¥242,000～¥82,000.-)

検索条件

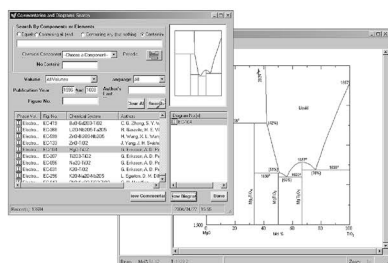
■元素記号、成分系 ■著者名、出版誌名、出版年 ■状態図番号

収録物質系

- 酸化物とその混合系 ■カルコゲナイド(硫化物、セレン化物、テルリド)
- ブニチド類(第15族元素) ■炭化物類、炭酸塩類、ケイ化物類、ケイ酸塩類
- アクチニドおよび希土類 ■半導体材料 ■第3族元素 ■塩類とその混合系

データソース／Phase Diagrams for Ceramists他の1898年以降のACerSとNISTの刊行物

*Version 5ではすべての図がPDFで収録され、このバージョンではJAVAは不要です。



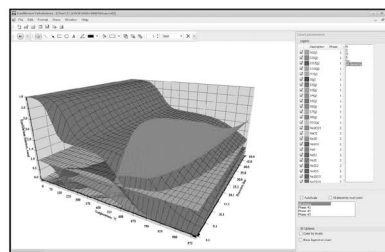
システム要件：Windows 7～10、2GB RAM、ディスク空き容量4GB 媒体：USB

化学反応／平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.10.x

年間使用料 ¥352,000.-／¥126,000.- (一般／教育)

約28,000種についてのエンタルピー、エントロピー、熱容量のデータベースを基に化学反応の計算やGIBBSまたはSOLGASMIXのルーチンによる化学平衡を計算します。反応、熱平衡、分子量計算などの一般的なモジュールの他、電気化学セル平衡と相安定性、腐食の研究に使われるEh-pH(プールベ)状態図の作成などユニークなモジュールを持ち合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコピーできます。SIM Flowsheetモジュールもあり、複数のユニットプロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリングができます。



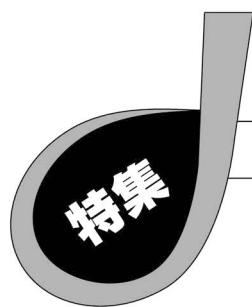
システムプラットフォーム：Windows /8/10
(Outototec Research Oy. 製作)

※表記の価格は税込です。

株式会社 デジタルデータマネジメント

東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル 〒103-0025

TEL.03-5641-1771 FAX.03-5641-1772 <http://www.ddmcorp.com>



企画にあたって

三井 好古¹ 齊藤 雄太² 宇部 卓司³ 岡田 周祐⁴ Mark Chang⁵
豊木 研太郎⁶ 春本 高志⁷ 細川 明秀⁴ 松浦 昌志⁸

喫緊の課題である脱炭素社会に向けて、今後20～30年での電気自動車のますますの需要・普及が予想されている。ハード磁性材料と軟磁性材料はともにモータに使用されることから、両方の材料の高性能化が重要である。永久磁石の研究開発の動向については、10年以上前から本会の講演大会においてはシンポジウムが定期的に開催されてきた。本誌「まてりあ」では、2011年に「磁性材料分野における脱希少元素の試み」、2015年に創立80周年企画特集の中で特集された⁽¹⁾⁽²⁾他、最近、2023年度においても、保磁力機構に関する入門講座が掲載されている⁽³⁾。

一方、軟磁性材料については、近年になって、講演大会においても公募・企画シンポジウムが企画されており、多くの注目を集めていることがうかがえる。「まてりあ」では、前述の80周年企画特集をはじめとして「新技術・新製品」としての記事が掲載されてきた^{(2)(4)–(6)}。今回、本特集では、軟磁性材料研究の最近の進展について紹介する。特に、パワーエレクトロニクスで使用されることを想定した、Fe基ナノ結晶材料や純鉄粉末、フェライト材料の作製法や特性評価、新規合金探索の最近の研究動向について、「EV化社会に向けたパワーエレクトロニクス用軟磁性材料研究」と題し5つの記事を集める。

まず、プロテリアル(兼：島根大学)の太田元基氏に「高 B_s ナノ結晶材料の開発」という題目で寄稿いただいた。パワーエレクトロニクスに使用されるために軟磁性材料に要求される物性について解説されている。また、高い飽和磁束密度のナノ結晶軟磁性材料を得るための添加元素や熱処理の役割について述べられた。

次に、JFE スチールの高下拓也氏、平谷多津彦氏、宇波繁氏に「圧粉磁心と純鉄粉～鉄損に及ぼす粉末特性の影響～」について寄稿いただいた。鉄粉の製造方法と、それぞれの製造方法によって得られる形状や物性について述べられた。また、原料粒子形状や粒径、密度といった組織と鉄損の関係に

ついて解説されている。

埼玉大学の神島謙二氏には、「新規18H型フェライト化合物結晶の発見」と題して、新規結晶構造のフェライト化合物の発見について寄稿いただいた。六方晶フェライト化合物の積層構造とその構成ブロックについて解説された。また、置換型化合物合成の過程での新たな化合物発見と、その構造決定に至るプロセスについて述べられている。

東京工業大学の松下伸広氏には「フェライトめっき磁性金属微粒子を圧粉成型したコアのMHz帯域以上における高周波磁気特性」について寄稿いただいた。低温でのフェライト薄膜成膜技術である、フェライトめっきについて、その利点や原理について解説されている。また、フェライトめっきによって被覆された金属微小球の結晶評価と、その高周波磁気特性について述べられている。

東京理科大学の山崎貴大氏には、「高耐食性ナノ結晶合金のコンビナトリアル合成」という題目で、ご寄稿いただいた。ナノ結晶合金の前駆体となるFe基アモルファス合金のコンビナトリアル成膜法による合成について解説されている。特に、コンビナトリアル成膜法と高温高湿試験を組み合わせたナノ結晶材料探索について述べられている。

本特集では、軟磁性材料の研究開発や新物質探索についての最新の動向について集めた。本会会員皆様のご参考となれば幸いである。最後に、本特集記事のためにご寄稿を快諾下さいました著者の皆様に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

文 献

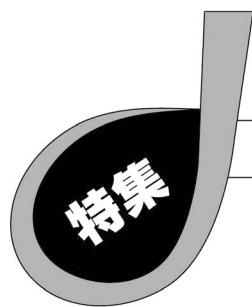
- (1) 三俣千春：まてりあ，**50**(2011)，373.
- (2) 藤枝 俊，大塚 誠，村石信二，山室佐益，梅津理恵，大場 洋次郎，寺西 亮：まてりあ，**56**(2017)，180.
- (3) 広沢 哲：まてりあ，**62**(2023)，307–313.
- (4) 太田元基，吉沢克仁：まてりあ，**48**(2009)，126–128.
- (5) 河野健太，丸山裕樹，折井庸亮：まてりあ，**61**(2022)，109–111.
- (6) 牧野彰宏，遠藤 孝，菅原沙矢香，小林 崇：まてりあ，**62**(2023)，55–57.

¹鹿児島大学大学院理工学研究科，²産業技術総合研究所デバイス技術研究部門，³JFE テクノリサーチ株式会社，⁴産業技術総合研究所極限機能材料研究部門，⁵東京工業大学科学技術創成研究院，⁶大阪大学大学院工学研究科，⁷東京工業大学物質理工学院材料系，⁸東北大学大学院工学研究科

Preface to Special Issue on Soft Magnetic Materials for Power Electronics toward EV Society; Yoshifuru Mitsui¹, Yuta Saito², Takuji Ube³, Shusuke Okada⁴, Mark Chang⁵, Kentaro Toyoki⁶, Takashi Harumoto⁷, Akihito Hosokawa⁴ and Masashi Matsuura⁸

Keywords: *soft magnetic material, decarbonization, power electronics, motor*

2023年7月25日受理[doi:10.2320/materia.62.577]



高 B_s ナノ結晶材料の開発

太 田 元 基*

1. 背 景

近年、モーターやインバーターなどのパワー系デバイスに使われる軟磁性材料に求められる性能が変化してきている。SiC や GaN などのパワー半導体の実用化が進み電源の周波数や電流に大きな変化が現れた。例えば、SiC などのパワー半導体を用いると Si の数倍の電流密度、200℃以上での動作が可能になるため⁽¹⁾、軟磁性材料が関わっているデバイスであるトランス、インダクターやモーターには中・高周波で大電流にも耐える仕様が求められるようになる。高周波化に対応するためには、優れた軟磁気特性による低鉄損が必須である。鉄損の構成要素は、磁性体の B - H 曲線で囲まれる面積に相当するヒステリシス損失と、磁束の変化を妨げるように発生する渦電流損失に分類される。特に渦電流損失は、周波数 f の 2 乗に比例して増加するため、中・高周波で使用する場合は比例係数が小さいことが求められる。渦電流を抑制するには、材料の電気抵抗を上げることが有効であり、磁束が通過する面積を狭くすることや電気抵抗率が高い材料を用いることで対策される。さらに電気自動車(EV)などで使われるサブ kHz~100 kHz 程度の中周波以下では大電流への対応も求められるため、高飽和磁束密度 B_s が求められる。 B_s が低い場合、大電流に対応するためには、より体積を増やす必要があり、結果的に軟磁性材料の使用量が増えるだけでなく、コイルの総延長も増え、導線の抵抗によって消費される電力損失、すなわち銅損の増加も余儀なくされ、デバイスとしての損失が増加するとともに重量も増加する。したがって B_s が高いという観点から、メタル系の材料が選ばれるケースが多い。メタル系材料の代表として Fe と Si の合金

である電磁鋼板が挙げられ、特に磁歪がほぼゼロとなり透磁率が高い 6.5 mass%Si 電磁鋼板が有力な候補材料となる。この材料の B_s は約 1.8 T であり、中周波で使われる材料としては高い部類に属する。メタルであるがゆえに電気抵抗率が低いため、形状的に電気抵抗を増やし、渦電流損失低減を目的に 0.05 mm 厚の極薄電磁鋼板が開発されている⁽²⁾。他方、Fe 基アモルファス合金リボンは、 B_s が 1.6 T 程度ではあるが、ランダム原子構造により、結晶磁気異方性がないことに由来して良好な軟磁気特性を示す。加えて Fe 基アモルファス合金リボンは、電気抵抗率が電磁鋼板の 2 倍以上であり、さらに、板厚が 0.025 mm 程度であるため、電気抵抗が高く、渦電流の発生が抑制されやすい⁽³⁾⁽⁴⁾。板厚に関しては液体急冷 casting 時の冷却速度の制約を受けており、 casting 効率としては落ちるが、圧延等の工程がないことにより、コスト面だけでなく、加工ひずみが入ることもないため、高周波化対応の薄肉化の潮流にあっては有効な性質となっている。この特徴を活かして、例えば、モーターの極数を増やすなど設計の工夫を加え高周波化することで、 B_s の不足に伴うトルクの不足分を補う方法がある。また、他の候補材料として Fe 基ナノ結晶材料も中周波帯域の軟磁性材料候補として挙げられる。Fe 基ナノ結晶材料はアモルファスリボンと同様に、液体急冷 casting により、リボン状の材料を得た後、熱処理を施すことにより、平均粒径が 10~20 nm 程度のナノ結晶相を得る。ナノオーダーの結晶粒がアモルファス相中に析出した組織となっており、磁壁幅よりも小さな粒径であるため、結晶相でありながら、強い結晶磁気異方性を有さず、磁氣的に柔軟な性質を有する⁽⁵⁾。従来の Fe 基ナノ結晶材料はパーマロイに置き換わるような優れた軟磁気特性を目指し開発されており、磁歪がゼロに近い組成が主であった。ナノ結

* 株式会社プロテリアルグローバル技術革新センター、(兼務)島根大学次世代たたら協創センター；主任研究員，教授(〒690-8504 松江市西川津1060)

Development of High B_s Nanocrystalline Materials; Motoki Ohta*(*Global Research & Innovative Technology Center, Kumagaya/Next Generation Tatara Cocreation Center Shimane University, Matsue)

Keywords: soft magnetic materials, medium frequency, rapid quenching, amorphous ribbon, nanocrystalline ribbon, nanocrystalline powder

2023年4月13日受理[doi:10.2320/materia.62.578]

晶相の実現のため、結晶粒の核生成のアシストや結晶粒成長の抑制を目的に Cu や Nb 等の元素が多く入っており、 B_s は 1.2~1.7 T 程度となる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。この中で高 B_s 側の材料は、Zr を多く含み、大気中での casting に課題がある。大気中での casting も考慮すると、Fe 基アモルファス合金と同程度の B_s が上限となる。液体急冷 casting 合金リボンは、良好な軟磁気特性とともに薄肉であることが、中周波帯域の軟磁性体に求められる要素に適合しているが、リアクトルやモーター等のパワーエレクトロニクスデバイスで使うには、高 B_s 化による大電流密度への適応が求められてきている。本稿では、Fe を高濃度に含有する液体急冷合金リボンのナノ結晶化技術について紹介する。

2. 高 B_s ナノ結晶合金リボンの開発

(1) Fe-B 系合金における Cu 置換の効果

Fe 基ナノ結晶材料の高 B_s 化の指針としては、 B_s を低くしている要因となる元素を極力少なくし、磁性の担い手となる Fe の含有量を多くする必要がある。図 1 には (a) トランス等で使われている Fe-Si-B アモルファス合金、(b) 従来の Fe 基ナノ結晶合金、および (c) 新しいコンセプトによる高 Fe 含有量のアモルファス合金の熱処理に伴う、核生成および結晶粒成長過程のイメージ図を示す。まず、(b) の従来型

の Fe 基ナノ結晶では、Cu はナノ結晶の核生成の基点となり、Nb などの原子量の大きい遷移金属元素はアモルファス相の熱的安定性の向上を目的に加えられている元素であり、析出した結晶粒の成長を抑制する働きがあると考えられる。これらの元素を含まない (a) の Fe 基アモルファス合金の組成では、不均一に起きる核生成により、結晶粒の成長に差が生じ、先に結晶粒成長が始まった結晶粒が粗大化し、アモルファス相中に分布する。そのため目的とするような良好な軟磁気特性が得られなくなる。そこで、結晶粒の粗大化が始まる前から結晶粒の種が存在する状態を実現させる必要がある。(c) の方法では、Cu を過剰に加えることで、冷却過程で過飽和となった Cu が Fe-B アモルファス相から析出し、急冷直後の作製状態 (AS-Q) で既にナノ結晶の種が存在する条件が発見された。その結果、Cu を 1.5% 含む、Fe-Cu-B アモルファス合金リボンを 390°C で 1 h の熱処理を施すことにより、平均結晶粒径が約 20 nm のナノ結晶相が得られた⁽⁷⁾。このようなナノ結晶の発現機構を本稿では初期微結晶型と呼ぶ。この初期微結晶型ナノ結晶材料では、 B_s が 1.82 T で保磁力 (H_c) が 7 A/m であり⁽⁷⁾、目標とする電磁鋼板と Fe 基アモルファス合金の中間的軟磁気特性を有する材料が得られる。また、飽和磁歪係数が約 30×10^{-6} のアモルファス相中に、飽和磁歪係数が 10×10^{-6} 以下の bccFe(Si) 結晶相が分布することにより、平均の飽和磁歪係数が 15×10^{-6} 程度と約半分になる利点も確認された⁽⁷⁾。しかしながら、長時間にわたる連続 casting を制御することでナノ結晶の種の数密度を一定の状態に維持するのは非常に難易度が高く、また、AS-Q リボンが脆化しており、切断等に課題があり、ハンドリングを困難にしていた。

(2) 急速昇温によるナノ結晶相の実現

そこで、従来型のナノ結晶合金と同様に AS-Q リボンはアモルファス相となるような組成でナノ結晶相を得た後に、熱処理によってナノ結晶を得ることを目的に開発を行った。従来型のナノ結晶合金では、上述のように Nb などの Fe よりも原子量の大きい遷移金属が、アモルファス相の熱的安定性を高め、結晶粒成長を抑えられ、ナノ結晶相が得られる。他方、本合金開発の狙いは、高 B_s 化であるため、磁性の担い手である Fe 含有量を重量%で高める必要があり、原子量の大きい元素の含有量を低く抑える必要がある。これらの元素が担っていた、結晶粒の粗大化の抑制の効果を高い昇温速度で補うこととした。また、原子の拡散速度は、アモルファス相の熱的安定性が高いほど遅くなることが予想でき、Nb を減らし、B を増やすとともに、B とともに存在すれば相乗効果的に結晶化温度 T_x の上昇に寄与する Si をある程度含有する組成とした。また、Cu は安定的にナノ結晶粒の核生成を助ける働きがあり、昇温速度が多少ばらついても、品質に大きな影響が現れにくく、工業的観点から採用されている。当初の研究では、Fe 含有量が高い Fe-Si-B アモルファス合金に 1 at% 程度の Cu と Nb を Fe と置換した組成で、急速昇温型の高 B_s ナノ結晶合金の開発がなされた⁽⁸⁾。図 2

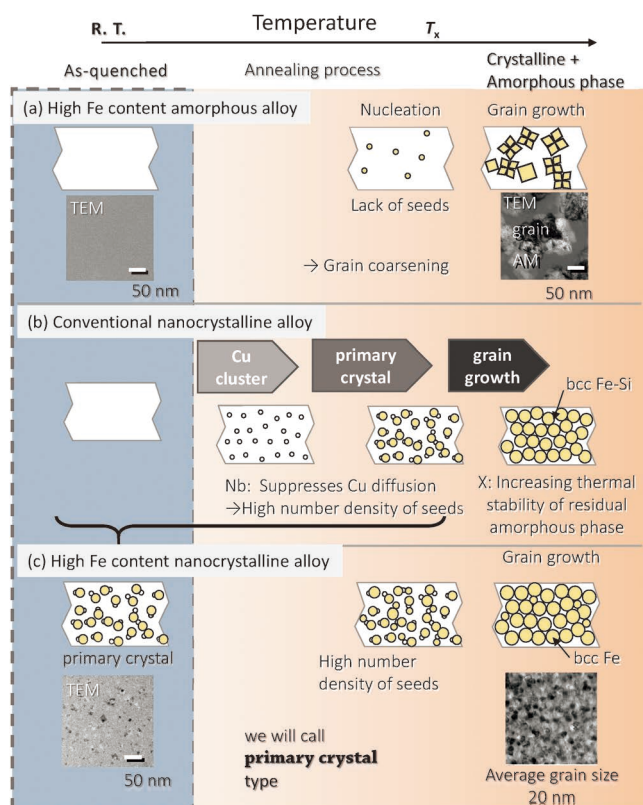


図 1 液体急冷リボンの熱処理に伴う結晶化過程。(a) 高 Fe 含有量の Fe-Si-B 合金。(b) 従来の Fe-Cu-Nb-Si-B 系ナノ結晶合金。(c) 高 Fe 含有量の Fe-B 合金に Cu を置換した組成系の合金。(オンラインカラー)

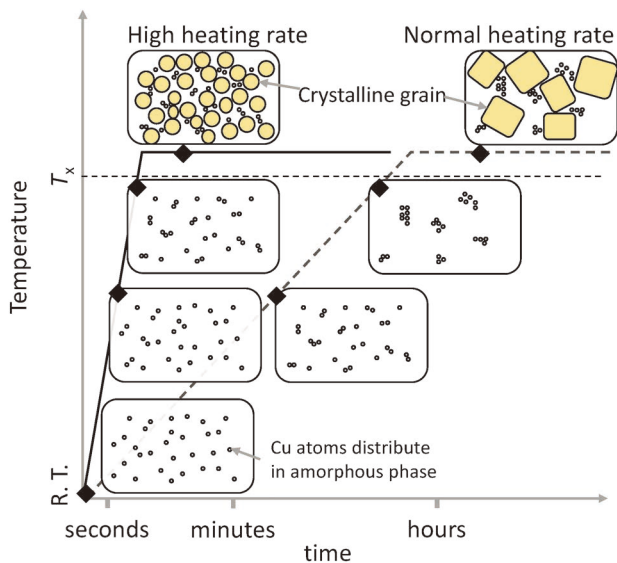


図2 アモルファス状態で得られたCuを含有するFe基液体急冷リボンの熱処理時の昇温速度の違いに伴う結晶化過程。(オンラインカラー)

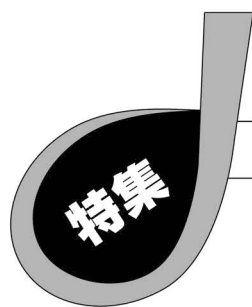
には急速昇温のコンセプトとともに、従来型の熱処理のイメージ図を示す。このような組成の合金は、AS-Qでアモルファス相が得られ、図2のHigh heating rateと記される3-10 K/s程度の比較的高い昇温速度で熱処理を施すことにより、ナノ結晶相が得られることが発見された。これらのナノ結晶合金は、 B_s が1.75-1.78 T程度で H_c が3 A/m程度である⁽⁸⁾。後に、2017年にZang等によりNb, Cu, SiフリーのFe-Bアモルファス合金でも、1000 K/sの高い昇温速度で熱処理を施すことにより、ナノ結晶相が得られることが報告されており、 B_s が1.92 T、 H_c が6.7 A/mの軟磁気特性を有することが確認された⁽⁹⁾。

(3) 高 B_s ナノ結晶リボンの応用例

中周波帯域の応用例として、リアクトルやモーターが挙げられる。特にモーターでは、 B - H ループが正の飽和から負の飽和まで全域で使われるため、コア材料の鉄損はモーター効率に大きく関わってくる。そこで今回開発した高 B_s ナノ結晶リボンを積層して含浸接着したブロックコアの開発がなされた⁽¹⁰⁾。この材料は複雑な形状の加工には課題もあるが、比較的単純なコア形状のアキシアルギャップ型で高 B_s ナノ結晶ブロックコアモーターの試作がなされた⁽¹¹⁾。このモーターでは3000 r/min, 11 kW定格駆動時のモーター効率が98.3%に達する⁽¹¹⁾。同じ構造のFe基アモルファスコアモーターの効率が96%であり、産業用モーターの国際高効率規格(IEコード)で現状のトップクラスであるIE5クラスに準拠するが、今回試作されたモーターはこの効率性能を大きく上回る⁽¹¹⁾。中周波帯域における鉄損特性が、Fe基アモルファス合金と同等以下で、一割程度高い B_s が得られる高Fe含有量のナノ結晶合金は次世代の有力候補と言える。

3. 高 B_s ナノ結晶粉末の開発

上述のように、中周波帯域では、リボン形状であることで渦電流損失が抑制されており、低鉄損と高 B_s の両立が達成されている。他方、100 kHz以上の高周波の領域になると、渦電流抑制のためにパウダー形態がより好ましくなってくる。今回発見した組成をそのまま適用してパウダーでナノ結晶組織を発現させようとした場合に障壁がいくつか存在する。ほぼ様な厚みのリボンとは異なり、アトマイズ法で作製されたパウダーは粒径の分布を有する。例えば、20 μm 程度の中央値に対して、分散を抑えたとしても、数-数十 μm の粒子が含まれる。サイズが異なる粉末の冷却履歴は様にはならず、一般的には小粒径ほど冷却速度が高く、大粒径ほど低くなる。そのため、例えば、上記で紹介した初期微結晶型の組成を用いると、粒径の小さいものでは急冷されすぎて初期微結晶が現れず、熱処理の際には均一核生成に近い形で結晶が析出し結晶粒の粗大化が起きる。他方、大粒径のものでは冷却過程で結晶化が進行しすぎて、粒径の粗大化や軟磁気特性の悪い化合物の析出が起きる。歩留まりは多少落ちるが、性能の劣化が著しい大粒径のパウダーは、スクリーニングして除去することも考えられるが、小粒径の除去は困難である。他方、急速昇温型を用いる場合でも昇温過程に課題があり、様に高い昇温速度の実現は現実的ではなくなってしまう。初期微結晶型を採用する場合でも、特に小粒径のパウダーに関しては従来型のナノ結晶合金のように、通常の熱処理過程でナノ結晶相を得ることが必要となってくる。上述のように高 B_s を目指す上では、アモルファス相の熱的安定性を高める元素の置換は難しく、ナノ結晶の核生成を助ける効果のある元素の少量置換が望ましい。FeとCuの混合熱は正であることから、Cuはナノ結晶の核生成を助ける働きがあるが、液相では混ざるため、高い冷却速度で得られる小粒径においてはCuクラスターの析出はほとんど起きない。目標としては、図2のNormal heating rateのような緩やかな昇温速度でも、ナノ結晶組織が得られるようにしたい。図3のように、AS-QからCuクラスターが析出するまでの比較的温度が低い熱処理過程の初期でCuクラスター形成を助ける元素としてSnに着目した。SnはCuと同様にFeに対する固溶度が低い元素である。また、Sn-Cuは代表的なPbフリーはんだにも用いられる成分であり、AS-Qで分散していたCuやSn元素が熱拡散を開始する際に結び付きクラスター形成を促進することが考えられる。実際に、ガスアトマイズとその後の急速液体冷却を組み合わせるFe_{bal}Cr₁Cu_{1.2}Si₄B_{15.5}Sn_{0.2}組成パウダーを得た⁽¹²⁾。図4はパウダー粒径が6 μm および20 μm のAS-Qと昇温速度約0.06°C/sで400°C-1800秒の熱処理を施した試料の組織のTEM写真を示す⁽¹²⁾。図4のように、6 μm のパウダー粒径ではAS-Qの組織で、ほとんど初期微結晶が観察されていないが、熱処理後には平均粒径が20 nm程度のナノ結晶組織が得られている。他方、20 μm のパウダー粒径ではAS-Qで、既にナ



圧粉磁心と純鉄粉

～鉄損に及ぼす粉末特性の影響～

高下拓也^{*1)} 平谷多津彦^{*2)} 宇波 繁^{*3)}

1. はじめに

カーボンニュートラル社会の実現へ向けた電力変換技術(パワーエレクトロニクス)の発展において、軟磁性材料はキーとなる素材である。軟磁性材料は主に巻線を施し磁心として用いられ、用途に応じ、電磁鋼板を積層した積層磁心、フェライト等の酸化物系焼結磁心、更に絶縁被覆を施した軟磁性金属粉末を加圧成形して製造される圧粉磁心等が用いられる。その中でも圧粉磁心は原料となる軟磁性粉末の粉末特性や組成を制御することで、幅広い周波数に対応可能な磁心である。純鉄粉を原料とする純鉄系圧粉磁心は、

- ・フェライト等の酸化物系焼結磁心に比べると飽和磁束密度が高い
- ・電磁鋼板等の積層磁心に比べると渦電流損が低い
- ・三次元的に等方的な磁気特性を有している

といった特長から、近年、高磁束密度化が指向され、かつ数kHz以上の高周波での低損失が要求されるインダクタやリアクトル⁽¹⁾、従来の鉄心では磁路形成が困難なアキシアルギャップモータ⁽²⁾等、幅広い領域での実用化が検討されている。

純鉄系圧粉磁心は上述のようなメリットを有する反面、その性能を最大限に引き出すためには、原料となる鉄粉の粉末特性を目的に応じて適正化することが必要となる。また、鉄粉の粉末特性はその製造方法と密接に関連していることから、目的の粉末特性の鉄粉を選定する上では、鉄粉の製造方法とそれによって得られる粉末特性についての理解が重要である。本報では、鉄粉の製造方法で最も一般的であるアトマイズ法に着目し、粉末特性に及ぼすアトマイズ製造条件の影響について概説する。更に、磁気特性のうち電力変換効率に直結する指標である鉄損に着目し、粉末特性と鉄損の相関について、いくつかの検討例を報告する。

2. 鉄粉の製造方法

(1) 鉄粉製造方法の分類

鉄粉の製造方法を表1にまとめて示すが、大きくは化学的反応法とアトマイズ法の2種類に大別される。化学的反応法には酸化鉄還元法、電気分解法およびカルボニル法がある。酸化鉄還元法で得られる鉄粉(還元鉄粉)は平均粒子径が数十 μm であり、かつ内部に数 μm の気孔を含む⁽³⁾。このような粉末を用いて作製した圧粉磁心は高周波のノイズフィルタリング用として使用されることがある⁽⁴⁾。しかしながら、多孔質であることに起因し、磁心の磁束密度を高めることが困難であるため、近年の小型・高磁束密度化ニーズに対応することが困難である。電気分解法で得られる粉末は樹枝状で、極めて粒子形状の異方性が高い。磁性材料として使用される例は少ないが、純度が高いため後述のアトマイズ法における原料として用いられることがある。カルボニル法で得られる鉄粉は粒子径が極めて小さく、球形状をしている。粒子径が小さいほど高周波での鉄損は小さくなることから、MHz帯でインダクタへの適用が検討されている⁽⁵⁾。一方で粗粒化が困難であるため、周波数が低い領域で用いるのは適切ではない。なお、鉄損に及ぼす粒子径の影響については後

表1 鉄粉の製造方法。

原理	手法
化学反応	酸化鉄還元法
	ミルスケール鉄鉱石
	電気分解法
	カルボニル法
アトマイズ	ガスアトマイズ
	水アトマイズ
	遠心アトマイズ

* JFE スチール株式会社スチール研究所(〒260-0835 千葉市中央区川崎町一番地)

1) ステンレス鋼・鉄粉研究部; 主任研究員 2) サステナブルマテリアル研究部; 主任研究員 3) ステンレス鋼・鉄粉研究部; 部長
Influence of Powder Properties on Iron Loss of Soft Magnetic Composite Cores; Takuya Takashita, Tatsuhiko Hiratani and Shigeru Unami
(*Stainless Steel & Iron Powder Research Dept., Steel Research Laboratory, JFE Steel Corporation, Chiba)

Keywords: iron powder core, soft magnetic composite (SMC), coercivity, iron loss, hysteresis loss, water atomized powder, eddy current loss
2023年4月25日受理[doi:10.2320/materia.62.582]

述する。

以上のように、化学的反応法で得られる粉末は多孔質である等、形状が特殊であるか、粒径を任意に制御するのが困難であるため、その適用先は限定的である。それに対し、アトマイズ法は製造条件の適正化により任意に粒径や形状が制御可能な技術である。以下では代表的なアトマイズ法であるガスアトマイズ法と水アトマイズ法について、その概要と得られる粉末の特長について述べる。

(2) ガスアトマイズ法

水アトマイズ法やガスアトマイズ法はタンディッシュに設置された溶湯ノズルより落下させた熔融金属を、高圧の水もしくはガスにより分断し金属粉末を得る手法である(図1)。ガスアトマイズ法の場合、金属粉末の酸化を防止するため、ガスにはArやN₂等の不活性ガスが用いられることが多い⁽⁶⁾。高圧ガスにより分断された熔融金属液滴は自由落下の過程で凝固するが、その過程で表面張力により球形化する。そのため、ガスアトマイズにより得られる粉末は図2に示すように粒子円形度が高いことが特徴である。

一方、ガスアトマイズによって得られる金属粉末の平均粒子径は種々の製造因子によって変化する。その関係はLubanska⁽⁷⁾によって実験的に以下のように整理されている。

$$d_{50} = K \cdot D_n \left\{ \frac{v_m}{v_g \cdot W_e} \left(1 + \frac{M_m}{M_g} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで、 d_{50} は金属粉末のメジアン径、 K は実験定数、 D_n は溶湯ノズル径、 v_m および v_g はそれぞれ熔融金属およびガスの動粘性係数、 M_m および M_g はそれぞれ熔融金属およびガスの流量、 W_e はウェーバー数である。ウェーバー数は更に以下のように表すことができる。

$$W_e = \frac{\rho_m D_n V_g^2}{\sigma_m} \quad (2)$$

ここで、 ρ_m は熔融金属の密度、 V_g は熔融金属に衝突する際のガス速度、 σ_m は熔融金属の表面張力である。任意の熔融金属を任意のガスにて分断し粉末を製造する場合、 v_m 、 v_g 、 ρ_m および σ_m は定数となると考えると、その微粒化には溶湯ノズル径の減少、ガス流量の増加、熔融金属流量の減少およびウェーバー数の増加を指向する必要があることが本式から分かる。

ガスアトマイズ法によって得られる鉄粉は、粒子円形度が高いことから、粉末の流動性が高い。そのため、近年急速発

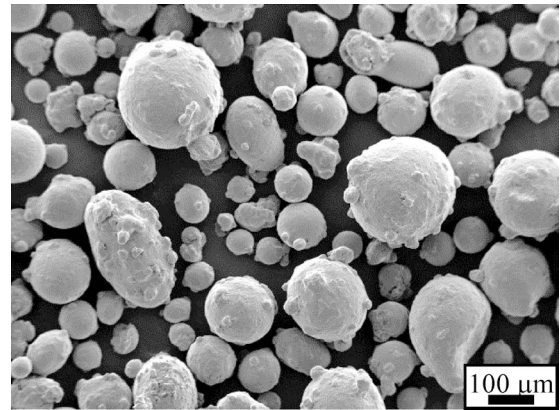


図2 ガスアトマイズ鉄粉。

展している積層造形技術⁽⁸⁾に用いられる例が増加している。また、粒子円形度が高い粉末を用いて作製した圧粉磁心は磁気飽和しにくい、高磁場下で使用されるインダクタやリアクトル等に用いられている⁽⁹⁾。一方で、後述する水アトマイズ法と比較すると得られる鉄粉の粒子径が粗い。詳細は後述するが、近年のインダクタやリアクトルは高周波での鉄損低減が求められており、高周波での鉄損低減のためには原料粉末微粒化が指向される。そのため、微粒粉末製造への対応が今後のガスアトマイズ法の課題となる。

(3) 水アトマイズ法

熔融金属の分断を高圧ガスで行うガスアトマイズ法に対し、水アトマイズ法では高圧水を用いる。高圧水を用いるため、ガスアトマイズ法と比較して、熔融金属の冷却速度が速くなる。そのため、分断された熔融金属液滴は表面張力で球形化する前に凝固し、粒子形状は図3に示すように不定形となる。

水アトマイズ法によって得られる金属粉末は一般にガスアトマイズ法で得られる粉末と比較して微粒である⁽¹⁰⁾が、以下の二点その理由である。一つ目の理由は熔融金属の分断に使用する流体の動粘性係数の違いである。Lubanskaの実験式(式(1))からも分かるように、金属粉末の粒子径は粉砕に用いる気体の動粘性係数によって変化する。液体の動粘性係数は気体の動粘性係数と比較すると高いため、式(1)におけるガスの動粘性係数項である v_g は水を用いることに

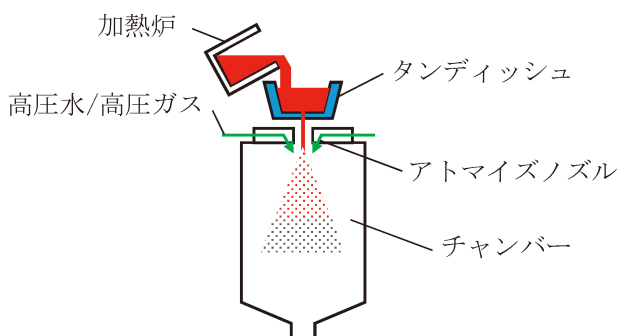


図1 水アトマイズ法およびガスアトマイズ法の概略。(オンラインカラー)

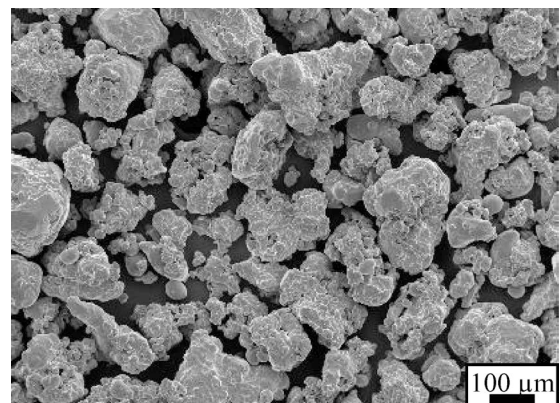


図3 水アトマイズ鉄粉。

より大きくなる。動粘性係数項 ν_g は右辺の分母に位置するため、水を用いることでガスに比べて動粘性係数項が大きくなり金属粉末の粒子径は減少する。

二つ目の理由はガスアトマイズ法と比較して水アトマイズ法の分断メカニズムが多岐にわたる点である。Hikita ら⁽¹¹⁾ は高速度カメラを用いた高圧水噴霧による熔融金属の分断挙動の可視化を行っているが、その分断メカニズムは(a) Bursting water, (b) Droplet ejection および (c) Ligament separation の3タイプに分類されるとしている。このうち、(c)はガスアトマイズにおける熔融金属の分断メカニズムと同じものであるが、(a)および(b)は高圧水を用いることによって生じる固有の現象である。さらに、(a)および(b)は(c)と比較して極めて微細な熔融金属液滴が生成される。Hikita らの検討では(a)および(b)によって生成される金属微粒子の生成量は(c)に比べて少量であり、金属粉末の平均粒子径に及ぼす影響は小さいとしているが、水アトマイズの条件によっては上記金属微粒子の生成が平均粒子径の減少に寄与することは十分に考えられる。仮に高圧水による熔融金属分断が主として(c)によって生じるとした場合の粒子径予測式は Hikita らによって下式のように導出されている⁽¹²⁾。

$$d_{32} \sim \frac{D_n}{\sin \theta} \left\{ \frac{\rho_m}{\rho_w} \cdot W_e \right\}^{-\frac{1}{3}} \quad (3)$$

ここで、 d_{32} はザウター径、 θ は熔融金属の落下方向と噴霧水の噴射方向がなす角度、 ρ_w は水の密度である。Lubanska の実験式(式(1))と比較すると用いる物性値はやや異なるものの、溶湯ノズル径の減少およびウェーバー数の増加に伴い粒子径が減少するという点は一致している。

水アトマイズ法によって得られる粉末の多くは焼結部品に使用されている。粉末冶金法は、粉末を加圧成形した圧粉体を融点以下の温度で焼結させることによりニアネットシェイプ形状の部品を製造する手法である。加圧成形後の圧粉体は焼結炉まで搬送されるが、圧粉体の強度が低いと搬送中に破損してしまう。粒子形状の不定形化により、成形時に粒子同士の絡み合いが生じ圧粉成形時の強度が高まる。そのため、焼結部品向けには水アトマイズ法で製造された金属粉末が使用されることが多い。このような高い圧粉体強度は、圧粉磁心をモータ鉄心のような可動部へ適用する場合に有効である。また、前述のように粒子の微粒化が可能のため、近年高周波向けの圧粉磁心への水アトマイズ法の適用が増加している。また、水アトマイズ法を発展させることで、ガスアトマイズ法に匹敵する粒子円形度の粉末も製造可能となっており⁽¹³⁾、ガスアトマイズ法に比べると、粒子形状や粒子径を制御する、という観点では汎用性が高い技術と言える。

一方で、その製法上、熔融金属が必ず水と接するため、水により金属粉末が酸化してしまうという課題がある。純鉄粉のような酸化物の還元が容易な金属粉の場合、水アトマイズ後に水素中で還元熱処理を行うことで酸素の低減が可能である⁽¹⁴⁾。しかしながら、軟磁気特性に優れた金属粉末である Fe-Si やセンダスト(Fe-Si-Al)のように合金組成に Si や Al が含まれる場合、酸化が生じるとその還元が困難となるため水アトマイズ法を適用した例は少ない。従って、金属粉末の酸化防止技術の発展による適用可能金属組成の拡大が水アト

マイズ法における今後の課題である。

3. 圧粉磁心の鉄損に及ぼす粉体特性の影響

(1) 圧粉磁心の製造工程と微視組織

圧粉磁心の製造工程を図4、微視組織の模式図を図5に示す。原料は絶縁被覆を施された鉄粉である。この絶縁被覆鉄粉を加圧成形し、蓄積された塑性ひずみを除去するためにひずみ取熱処理が施され、圧粉磁心となる。圧粉磁心は焼結部品と異なり、焼結による金属粒子同士の結合が生じないため、原料粉末の粉体特性が最終製品である圧粉磁心の磁気特性へ大きな影響を及ぼす。ここでは代表的な粉末特性である粒子径と粒子形状に着目し、圧粉磁心の鉄損へ及ぼすその影響について述べる。

(2) 粒子径の影響

鉄損とは磁性材料を交流磁界においた際に生じる損失であり、一般に以下のように表される。

$$W = W_{\text{hys}} + W_{\text{eddy}} \quad (4)$$

ここで W は鉄損、 W_{hys} はヒステリシス損、 W_{eddy} は渦電流損である。ヒステリシス損は更に以下のように表すことが出来る⁽¹⁵⁾。

$$W_{\text{hys}} = C_h f B^{1.6} \quad (5)$$

ここで、 f は励磁周波数、 B は励磁磁束密度、 C_h は材料係数である。 C_h は微視組織によって変化する。微視組織因子としては結晶粒径の寄与が最も大きく、また、ヒステリシス損は結晶粒径の逆数と線形関係にある⁽¹⁶⁾。更に、結晶粒径は粉末粒子径増加に伴い増加する傾向にある⁽¹⁷⁾ことから、 $C_h \propto 1/d_{50}$ とすると、式(5)は以下のように整理できる。

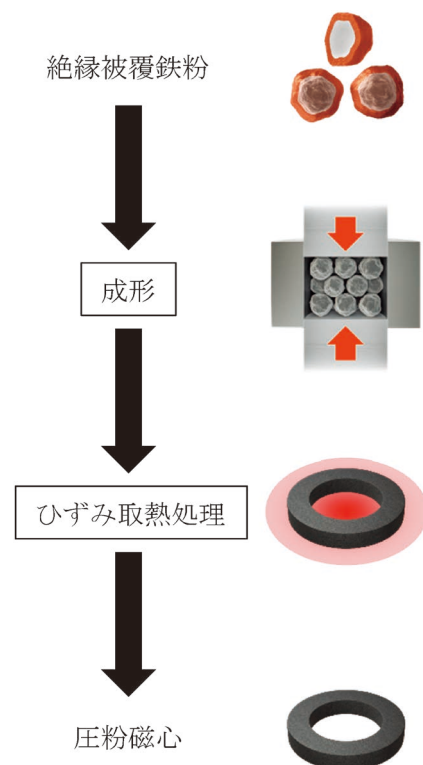


図4 圧粉磁心の製造工程。(オンラインカラー)

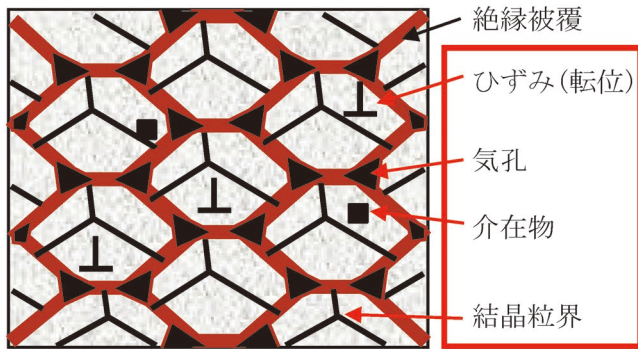


図5 圧粉磁心の微視組織。(オンラインカラー)

$$W_{\text{hys}} = C_h / d_{50} \cdot f \cdot B^{1.6} \quad (6)$$

一方、渦電流損は以下のように表すことが出来る。

$$W_{\text{eddy}} = W_{e_{\text{intra}}} + W_{e_{\text{inter}}} \quad (7)$$

ここで $W_{e_{\text{intra}}}$ は粒内渦電流損, $W_{e_{\text{inter}}}$ は粒間渦電流損であり, いずれも磁束密度および周波数の二乗に比例する。また, 粒内渦電流損は平均粒子径 d_{50} の二乗に比例し, 粒間渦電流損は圧粉磁心の比抵抗 ρ_{bulk} の逆数に比例する⁽¹⁸⁾ため, 式(7)は更に以下のように表すことが出来る。

$$W_{\text{eddy}} = (C_{e1} / \rho_{\text{bulk}} + C_{e2} \cdot d_{50}^2) \cdot f^2 \cdot B^2 \quad (8)$$

ここで C_{e1} は鉄心の断面積によって決まる定数, C_{e2} は粉末の比抵抗によって決まる定数である。式(6)および式(8)を式(4)に代入すると,

$$W = C_h / d_{50} \cdot f \cdot B^{1.6} + (C_{e1} / \rho_{\text{bulk}} + C_{e2} \cdot d_{50}^2) \cdot f^2 \cdot B^2 \quad (9)$$

上式より d_{50} 以外を定数とした場合, d_{50} が小さくなると W_{hys} を変形した右辺第一項が増加し, W_{eddy} を変形した右辺第二項が減少する, すなわち W は任意の粒子径で極小値を持つことが分かる。

以上のように鉄損が極小値をもつ一例として, d_{50} の異なる原料鉄粉を用いた圧粉磁心の鉄損(励磁磁束密度 1.0 T, 励磁周波数 400 Hz)を図6に示す。鉄損 W は d_{50} がおよそ 107 μm で極小値を示し, 更に d_{50} の減少により W_{eddy} が減少し, W_{hys} が増加していることが分かる。また, W_{hys} および W_{eddy} は励磁条件に対する依存性もそれぞれ異なることから, 励磁磁束密度や励磁周波数によっても鉄損が極小となる d_{50} は変化する。その例として, 励磁磁束密度を 1.0 T とし, 周波数を 50 Hz および 1 kHz とした際の平均粒子径 d_{50} と鉄損の関係を図7および図8に示すが周波数の増加に伴い, 鉄損が極小となる d_{50} が小さくなっていることが分かる。式(5)および式(8)からわかるように, ヒステリシス損 W_{hys} は周波数 f に比例するのに対し, 渦電流損 W_{eddy} は f の二乗に比例する。そのため, 周波数増加に伴う損失の増加量は渦電流損の方が大きく, これにより高周波側では渦電流損が小さくなる小粒子径側へ鉄損の極小値は変化する。近年, 半導体技術の発達により電子回路のスイッチング周波数は高周波化する傾向にある。これは励磁周波数の高周波化を示唆しており, 電子回路に組み込まれる磁気部品の損失低減の観点からは, 今後ますます圧粉磁心用原料鉄粉に対する微粒化ニーズは高まってくるものと予想される。

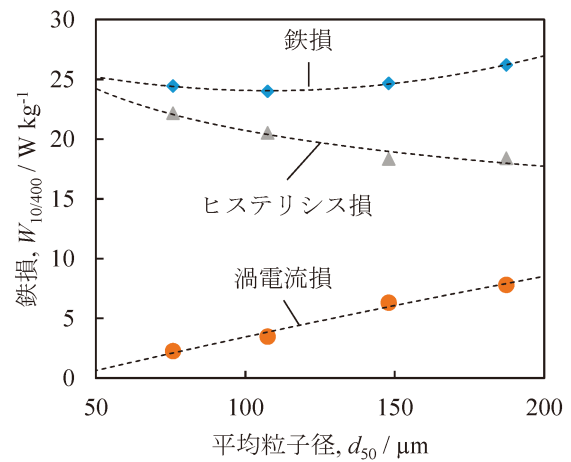


図6 原料鉄粉粒子径と鉄損の関係(400 Hz)。(オンラインカラー)

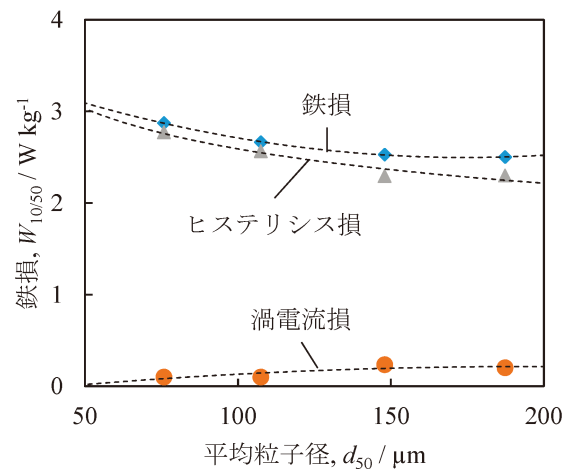


図7 原料鉄粉粒子径と鉄損の関係(50 Hz)。(オンラインカラー)

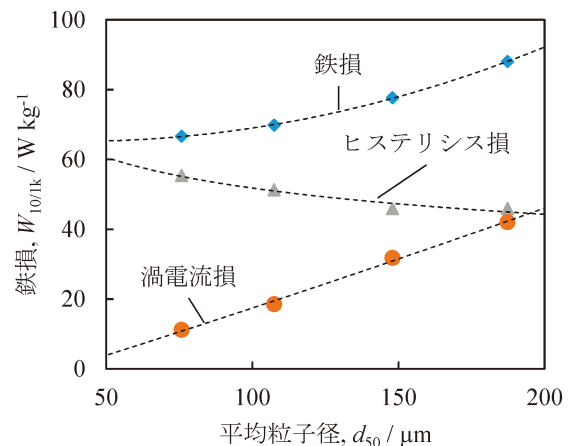


図8 原料鉄粉粒子径と鉄損の関係(1 kHz)。(オンラインカラー)

(3) 粒子形状の影響

鉄粉の粒子形状を示す指標は種々提案されているが, ここでは粉末特性の評価指標としてよく用いられる見掛け密度を粒子形状の指標とし, 圧粉磁心の鉄損との関係を調査した。調査に用いた原料鉄粉の粉末特性および粒子断面の光学顕微鏡写真を図9に示す。これらの鉄粉は全て水アトマイズ法により作製されたものとなる。粉末特性に着目すると, 粒度およ

粒子形状	見掛密度, $AD / \text{Mg m}^{-3}$	平均粒子径, $d_{50} / \mu\text{m}$
A	4.07	81
B	3.57	
C	3.19	

図9 粒子形状の異なる粉末の粒子断面と粉末特性.

び平均粒子径はほぼ同等であるが、見掛密度が大きく異なっている。粒子断面に着目すると、見掛密度が高いほど粒子断面が真円形状に近づいていることが分かる。また、鉄粉中の平均結晶粒径は全て $39 \sim 41 \mu\text{m}$ の範囲内となっていた。このような3種類の鉄粉に対して絶縁被覆を施し、980 MPa にて加圧成形した後に 973 K でのひずみ取熱処理を行った際の鉄損を図10に示すが、見掛密度の増加に伴い鉄損が減少しており、これは渦電流損とヒステリシス損の両方の低減によるものであることが分かる。

粒子形状によって渦電流損が変化する理由は以下のように考えられる。粒子間が完全に絶縁されている場合、式(8)の右辺第一項の粒間渦電流損項はゼロとみなして無視することが出来るが、何らかの理由で絶縁被覆が破壊された場合、粒子間が短絡することにより圧粉磁心の比抵抗が低下、渦電流損は急激に増加する⁽¹⁸⁾。圧粉磁心の比抵抗と渦電流損の関係を図11に示すが、式(8)に示されたように、比抵抗の逆数に比例して渦電流損が増加していることが分かる。このような粒子形状による比抵抗の変化は、圧粉磁心の製造工程における加圧成形に起因していると推定される。見掛密度が低い粉末は、加圧成形時の粒子表面の塑性変形量が多いため、絶縁被覆が破壊され、成形体の比抵抗が低下し、結果として渦電流損が増加してしまうのである。

ヒステリシス損の低減についても、基本的には上記の塑性変形量の低減に起因するものである。本検討に用いた圧粉磁心の、未熱処理および 973 K 熱処理後の微視組織中のひずみ分布を可視化したものを図12に示す。未熱処理材のひずみ分布に着目すると、原料粉末の見掛密度が低いものほど高いひずみが蓄積されていることが分かる。また、973 K 熱処理材は成形時に蓄積されたひずみがほぼ低減されていることが分かる。また、973 K 熱処理材の光学顕微鏡による微視組織観察結果と、結晶粒径測定結果を図13に示すが、973 K 熱処理材では見掛密度の低い原料を用いたものほど結晶粒が小さくなっている。金属材料の熱処理中に生じるひずみの低減は、回復と再結晶の2段階に分けられる。再結晶は熱処理

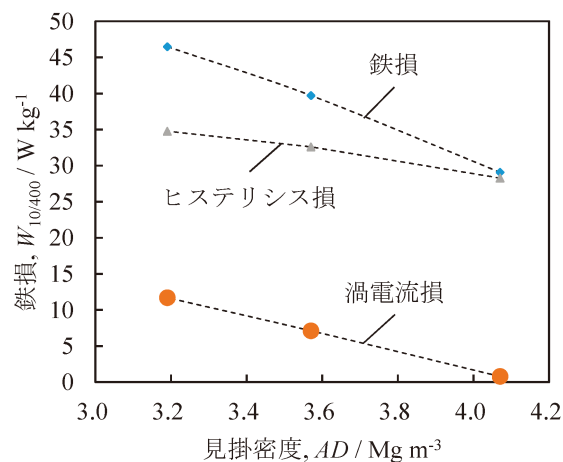


図10 原料鉄粉見掛密度と鉄損の関係(400 Hz)。(オンラインカラー)

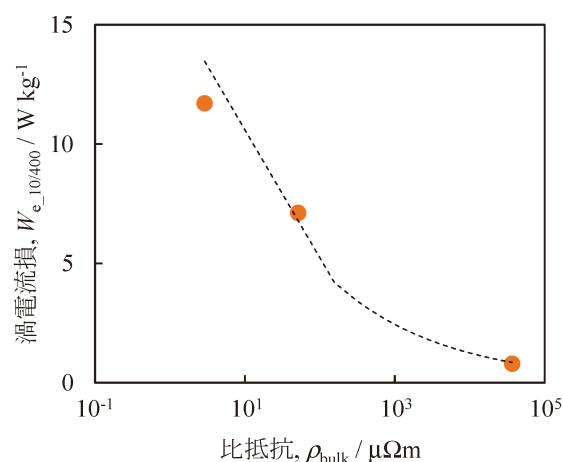
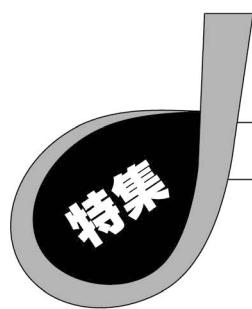


図11 圧粉磁心の比抵抗と渦電流損の関係(400 Hz)。(オンラインカラー)

中にひずみの無い新しい結晶が核生成、粒成長していく現象であるが、熱処理前のひずみが少ない方が再結晶中に生じる核の量が少なく、結晶が成長し易いため再結晶後の結晶粒径が大きくなることが経験的に言われている⁽¹⁹⁾。前述のようにヒステリシス損は結晶粒径の逆数と線形関係にあるため、このような再結晶後の結晶粒径差がヒステリシス損を低減したものと考えられる。

以上のように、鉄損低減の観点からは原料粉末の見掛密度の増加、すなわち粒子形状の球形化は極めて有効である。その一方で、一部の磁気部品においては必ずしも鉄損のみを優先しない例がある。例えば、車載リアクトル用の原料鉄粉の開発事例では、ガスアトマイズのような球形度の高い粉末ではなく、やや形状が不定形な粉末を採用している⁽¹⁾。粒子の球形化は鉄損低減に効果がある一方、鉄心中の粒子同士の絡み合いが弱いため、機械的な強度が低い。そのため、車載に耐え得る鉄心強度と鉄損低減の観点から上記のような粒子形状を原料粉末に採用しているのである。このように、粒子形状についても、鉄損低減のみを目指して球形化を志向するのではなく、それ以外の目標特性とのバランスを考慮して最適値を選定する必要がある。



フェライトめっき磁性金属微粒子を 圧粉成型したコアの MHz 帯域以上における 高周波磁気特性

松下 伸 広*

1. は じ め に

スピネルフェライトとは一般的に、主成分となる酸化鉄 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 粉末に、目的とする磁気特性に応じて、亜鉛 (Zn)、ニッケル (Ni)、マンガン (Mn)、コバルト (Co) などを含む原料粉末を混合し、それらの圧粉成型と $1,000\sim 1,300^\circ\text{C}$ の高温焼結によって作製される三次元のバルク磁性材料を指す。

これに対して、東工大の阿部と玉浦は水溶液中の鉄イオンの酸化反応 ($\text{Fe}^{2+}\rightarrow\text{Fe}^{3+}$) を利用することで、水の沸点である 100°C 以下の作製温度で後熱処理なしでも結晶性に優れるスピネルフェライトの薄膜を基板上に直接作製する技術を開発し、これを「フェライトめっき」(ferrite plating) と命名した⁽¹⁾。通常の金属めっきがイオンから金属への還元反応 ($\text{M}^{n+}\rightarrow\text{M}$) であるのに対して、逆の酸化反応を利用している点が大きく異なるが、通常の三次元バルクスピネルフェライトと比べて非常に低い温度で結晶化フェライト膜を作製可能とするなど、薄膜プロセスとして金属めっきと同様に多くの利点をもつ⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。それらのいくつかを以下に挙げる⁽⁷⁾。

- 1) 低温作製で優れた磁気特性： 100°C 以下での作製にもかかわらず、 $1,000^\circ\text{C}$ 以上で焼結されたバルクフェライトと同等の磁化特性やそれ以上の優れた高周波磁気特性を示す。
- 2) 低耐熱性基板が使用可能：親水性の基板表面に 100°C 以下で膜作製が可能であり、耐熱性のないプラスチックや半導体 IC の表面も基板となりうる。
- 3) 複雑形状面への堆積：溶液中でのイオン吸着を元にした反応であることから、親水性のある凹凸面や曲率のある球表面、チューブの外壁のみならず内壁面への堆積が

可能で、溶液が到達できるのであれば三次元複雑構造内部の奥深くへもフェライト膜の堆積が可能である。

- 4) 大気開放雰囲気での堆積：スパッタ法、PLD 法、CVD 法とは異なり、真空排気設備を必要とせず、さらには高温での基板加熱や後熱処理も不要な低環境負荷・低消費エネルギープロセスである。

フェライトめっきプロセスには、薄膜作製に適したスピンプレー法⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾などいくつかの種類があるが、本稿では特に超音波励起により水溶液中を浮遊する金属微小球の表面にフェライト層を被覆する超音波励起フェライトめっきに着目する。フェライト層を被覆した磁性金属微小球の結晶性評価、表面構造解析ならびにそれらをプレス成型して形成するコアの高周波磁気特性について紹介する。

2. フェライトめっきの原理と特徴

フェライトめっきは、①金属イオンの吸着、②一部の鉄イオンの酸化、③水酸化イオンの吸着の①→②→③→①…の繰り返しにより進行する⁽⁷⁾。図 1 にその概略図を示す。

フェライトめっきが可能な基板は親水性をもち、表面には多数の OH 基が並んでいるが、

- ① そこに 2 価鉄イオン Fe^{2+} が供給されると OH 基を吸着席としてそれが固体表面に吸着する。
- ② 反応溶液中の亜硝酸ナトリウム (NaNO_2) や溶存酸素 (O_2) などの酸化剤(または陽極電流)によって Fe^{2+} の一部を Fe^{3+} に酸化する。
- ③ それら Fe^{2+} や Fe^{3+} などの金属イオンに水中の OH 基が吸着する。

加水分解を伴いながら、これら①～③の反応を繰り返すことにより、スピネル生成が進行する。簡単化のために鉄イオ

* 東京工業大学；副学長，物質理工学院材料系；教授（〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1）
Ferrite/Metal Composite Magnetic Cores Exhibiting $\mu' > 50$ at Higher than MHz; Nobuhiro Matsushita (Department of Materials Science and Engineering, School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)
Keywords: ferrite plating, ferrite/metal composite, composite magnetic core, low core loss
2023年6月26日受理[doi:10.2320/materia.62.588]

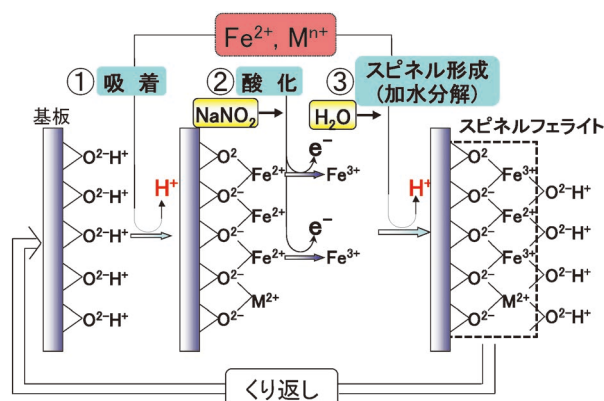
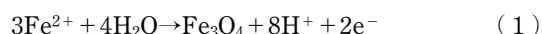


図1 フェライトめっき原理の概説図。(オンラインカラー)

ンのみからなるマグネタイト Fe_3O_4 の生成を化学式で表すと式(1)のようになる。



この式に示されている様に、 H^+ の放出によってフェライトめっき反応が進行するに伴って場の pH が低くなる。このためフェライトめっき反応の継続には、反応場を弱アルカリとするために NaOH などのアルカリあるいは pH 調整剤として作用しうる酢酸塩 ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$, CH_3COONa , CH_3COOK) などを供給する必要がある。また鉄イオンの酸化反応によって電子も放出されるため、 Fe^{2+} イオンの添加量の調整も必要となる。このようにフェライトめっきを効率よく進行させるには、 pH と酸化還元電位の制御がポイントとなる。

このフェライトめっきで作製したマグネタイト膜や微粒子は化学量論的組成をもたず、 Fe_3O_4 と $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の中間生成物である酸素過剰な化学組成の $(\text{Fe}_3\text{O}_{4+\delta} = (1-2\delta)\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\delta\text{Fe}_2\text{O}_3)$ を持つ⁽¹¹⁾。この式で表される様に、フェライトめっき膜は通常は酸素過剰な組成 ($\text{M}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}\text{O}_{4+\lambda}$) の膜または粒子となる。鉄イオン以外の2価の金属イオンの $\text{M} = \text{Ni}^{2+}$, Zn^{2+} , Co^{2+} などを原料液中に含む場合も、化学量論的な $\text{M}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$ ではなく、 M^{2+} の組成が1より小さい場合が多い。つまりフェライトめっきで作製されるスピネルフェライトの組成は $(1-x)\text{M}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4 + x\text{Fe}_3\text{O}_{4+\lambda}$ ($\lambda = \delta/x$) と通常のバルクフェライトの組成である (MFe_2O_4) と酸素過剰マグネタイト ($\text{Fe}_3\text{O}_{4+\delta}$) の中間生成物となっており、 Fe^{2+} を含むことから、抵抗率はバルクフェライトよりは低くなる。ただし、金属に比べれば桁違いに高い抵抗率 $\sim 10^{10} \mu\Omega \cdot \text{cm}$ を持ち、100 MHz 帯域の応用までは問題にならない場合が殆どである。

3. 磁性金属微粒子表面へのフェライトめっきと高周波電源コアへの応用

情報通信システムの高速化・高集積化が近年特に目覚しく進展しており、小型の高集積型電子機器に使われる高効率・超小型磁気コア材料の開発も急務である。現在磁気コアは様

々な周波数領域で用いられており、そのうち電源用コアは kHz $\sim$ 数十 kHz 領域で用いられていたが、近年では数 MHz $\sim$ 数十 MHz 領域を動作周波数とする小型の磁気コアが開発されてきた。電源用コアは大きな直流を重畳した状態で使用することから磁性材料自体が高磁束密度をもつ必要があり、かつ小型化で単位体積あたりの発熱量を低減するためにも、より低損失であることが要求される。現在、電源用コア材の軟磁性材料にはスピネルフェライトの氧化物磁性材料と鉄系の金属磁性材料とがある。NiZn フェライトと MnZn フェライトで代表されるスピネルフェライトは高電気抵抗のために高周波領域におけるコア損失は低いものの、飽和磁束密度 (B_s) が低く、大きな直流電流による磁気飽和が容易に起こるので、大電流動作のためにはコア体積を大きくして対応するしかない。一方、純鉄 (Fe)、珪酸鉄 (Fe-Si 合金)、センダスト (Fe-Si-Al 合金) に代表される鉄系の金属磁性材料は、飽和磁束密度 (B_s) が高く大電流を流すことができるが、低電気抵抗のために渦電流損失が高く、コア発熱が増大するために使用できない。このように、大飽和磁束密度と高抵抗という二つの特性を満たす単一材料は存在しなかった。このため、鉄系の金属磁性材料を絶縁性の樹脂に分散する圧粉コアが研究されてきた。これら圧粉コアでは磁性体粉末のまわりに非磁性体が介在するために磁気相互作用が切断されてしまい、透磁率値が低くならざるを得ず、1 MHz 以上の周波数帯域で実数の透磁率 μ' が50を超える報告例はなかった(ごく最近になってフェライト被覆した Fe-Si-Al 粒子を圧粉成型した材料の報告例⁽¹²⁾はある)。これより、筆者や従来の共同研究者らは高抵抗磁性体であるフェライト層を被覆した磁性金属微小球を圧粉成型したコアにより MHz 帯域でも $\mu' > 50$ の高透磁率特性と低コアロス特性を有する複合磁性コアの作製を目指すことにした。

(1) 超音波フェライトめっき法

図2に金属微小球表面へのフェライト層の被覆を可能とする超音波フェライトめっき法の概略図を示す。超音波励起が金属微小球を反応水溶液中で躍動し分散させながら、金属イオンを含む反応液と酸化液を一定の流量で水溶液に滴下することで球表面全体へのフェライトめっきが可能である。先述の様にフェライトめっき反応の進行は pH を下げるので、水酸化ナトリウムやアンモニア水などの注入により、溶液の pH を6 $\sim$ 9となるように制御する。

ここで注意すべきは超音波励起が単なる機械的攪拌では得られないソノケミストリー効果をもたらすことである。溶液に超音波を照射するとキャビテーションにより液体中に気泡が生じるが、これらが大きく成長し、ある臨界値を超えると破壊して、ホットスポット (hot spot) と呼ばれる 5000 K、1000 気圧以上にも達する高温・高圧の局部場を生じる⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。発生するマイクロジェット流は $1.5 \times 10^9 \text{ m/sec}$ (毎時 400 km) の速さにも達して、固体表面を浸食し、不活性被膜をはがすので、通常では起らない化学的および物理的な反応が固体表面で起こりうる。このような超音波励起によ

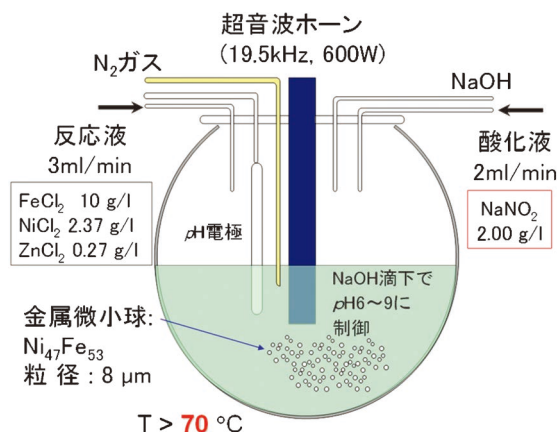


図2 超音波フェライトめっき法。(オンラインカラー)

る非常に高いポテンシャル場はフェライトめっき反応を促進する一方で、溶液中におけるフェライト微粒子や鉄系水酸化物微粒子の均一核生成を大幅に加速し、それらはフェライトめっきに寄与しないという負の側面も持ち合わせる点が要注意である。対象とする基板表面がフェライト被覆され易い場合は、本研究の様にあって超音波励起を用いずに原料液と酸化液を滴下し簡単に攪拌するのみの攪拌フェライトめっき法⁽¹⁵⁾の方が相応しい場合も少なくない。

(2) Ni-Fe 微小球表面へのフェライトめっきと圧粉コアの磁気特性・高周波特性

本研究ではまず、図2中に示した超音波励起フェライトめっき法と各種条件により8 μmのパーマロイ金属微小球(Ni含有量47%)にNiZnフェライト層を被覆した。図3(a)に示すのがpH 6~9でフェライトめっき被覆後のNi-Fe微小球のX線回折ダイアグラムである。pHが低いpH=6では鉄の水酸化物とみられる弱いピークからなるが、pH=7以上では基板のNi-Fe以外ではスピネルフェライト由来の回折ピークのみが観察されている。図3(b)に、基板のNi-Fe球とpH=6および9でフェライト被覆した試料の表面SEM像を示すが、pH=6では水酸化物相らしきシートが表面に付着しているだけであるのに対して、pH=9ではNi-Fe微小球表面が微小なフェライト結晶子が密に生成したフェライト層で均一に被覆されていることが分かる。

Ni-Fe微小球基板そのものやフェライトめっきNi-Fe微小球をトロイダルコア状にプレス成型し、マイナーループ測定やインピーダンスアナライザを用いた高周波透磁率特性の評価を行った。図4にフェライトめっき無しのNi-Fe微小球とpH 6~9でフェライトめっき後のNi-Fe微小球をプレス成型したトロイダルコア(内径3 mm×外径8 mm×高さ~2 mm)の高周波透磁率特性をインピーダンスアナライザ(HP E4991A)で測定した結果を示す⁽⁷⁾。

フェライトめっき無しのNi-Fe微小球コアは40を超える実数の透磁率 μ' を示すものの、微小球間に高抵抗相が介在しないためにMHz帯域で既に渦電流損失が大きく、大きな

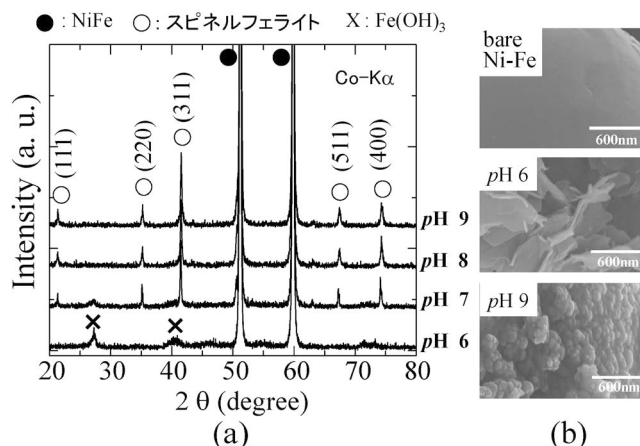


図3 pH=6~9でフェライトめっきしたNi-Fe微小球の(a) XRD ダイアグラム, (b) 表面SEM像。

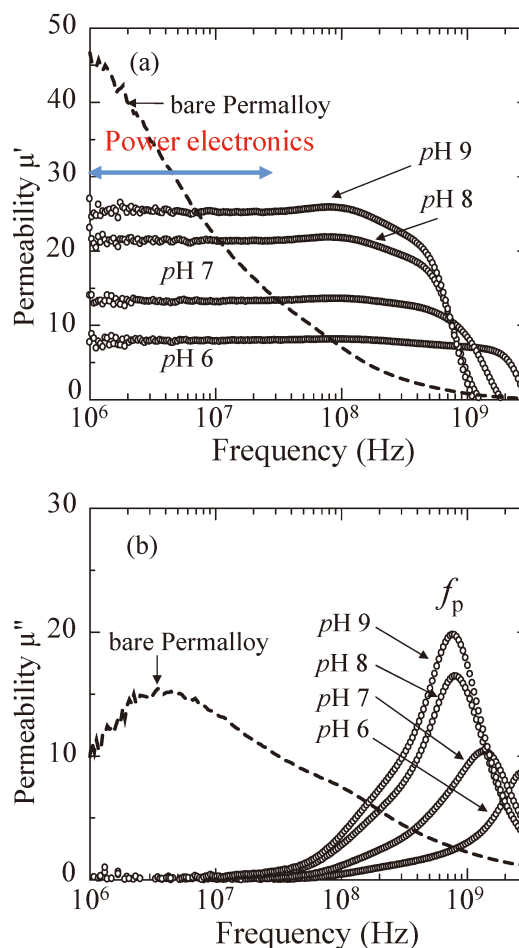


図4 pH=6~9でフェライトめっきしたNi-Fe微小球の透磁率の(a) 実数成分 μ' , (b) 虚数成分 μ'' ⁽⁷⁾。(オンラインカラー)

虚数成分の透磁率 μ'' を持つなど、高周波磁性コアとしては使い物にならない。これに対して、pH 9でNiZnフェライトをめっきしたNi-Fe微小球を成型してなるコアでは μ' が25程度と十分ではないものの、10 MHzを超える高周波数でも虚数成分の μ'' の増加がかなり抑制されていることが分かる。

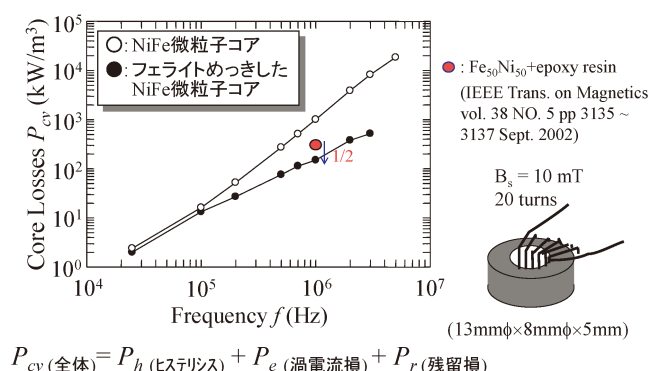


図5 Ni-Fe 微小球とNiZn フェライトめっき Ni-Fe 微小球をプレス成型してなるコアの高周波透コ損失特性(エポキシ樹脂被覆 Ni-Fe 微小球コアとの比較含む)。(オンラインカラー)

フェライトめっき無しの Ni-Fe 微小球と $pH=9$ でフェライトめっきした Ni-Fe 微小球をプレス成型したコアに導線を20ターン巻いた上で、直流磁界により 10 mT の磁束を印加した状態で測定した高周波コアロス P_{cv} の周波数依存性を図5に示す。ここでは比較として Ni-Fe 微小球周りに高抵抗で非磁性なエポキシ樹脂を被覆後にプレス成型したコアの 1 MHz における P_{cv} 値(赤丸)もプロットしている。ここでいう P_{cv} 値とはヒステリシス損、渦電流損、残留損などを含むトータルのコアロスからなる。フェライトめっきした Ni-Fe 微小球のコアの P_{cv} 値は 1 MHz において、フェライトめっきされていない Ni-Fe 微小球コアに比べて約一桁も低いのみならず、高抵抗で非磁性なエポキシ樹脂で被覆された Ni-Fe 微小球の圧粉コアと比べても約半分であることが分かる。

この様にフェライトめっきした Ni-Fe 微小球の圧粉コアがは通常のエポキシ樹脂を用いた圧粉コアよりも低損失であることが分かったので、次に高周波で低損失な MnZn フェライトおよび NiZn フェライトのコアとのコアロス特性の比較を行った。この際、イオン結晶であるフェライトは金属磁性材料と比べて磁束密度 B_s が低くならざるを得ないことから、磁束密度が異なる MnZn フェライトと NiZn フェライトのコア特性を比較する際に用いる測定周波数と磁束密度の積を一定とする方法にて測定し、比較を行った。測定周波数と磁束密度の積 2500 mT × kHz 一定として測定したそれぞれのコアロスの周波数特性を図6に示す。1 MHz ではフェライトめっき Ni-Fe コアは NiZn フェライトの約3倍、MnZn フェライトと比べると30倍程度の P_{cv} 値であるものの、高抵抗な NiZn フェライトコアが MnZn コアよりも優れた低コア損失となる 500 MHz を超えた周波数領域になると、フェライトめっき Ni-Fe コアが最小の低コア損失特性を示す画期的な特性が得られている。

フェライトめっき Ni-Fe コアの実数透磁率値 μ' は25程度と目標とする値の半分程度であったことからこれを改善するためのプロセスとしてコア成型後のアニール処理を検討し

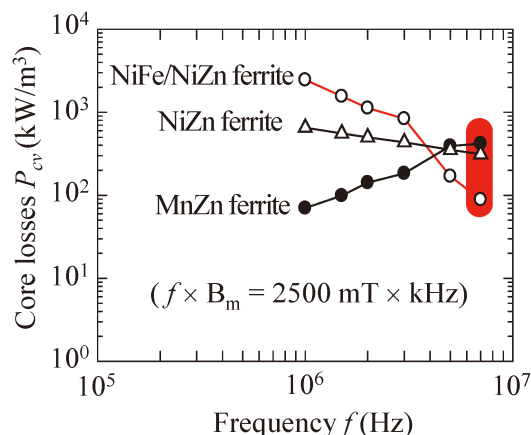


図6 MnZn フェライト、NiZn フェライト、Ni-Fe 微小球と Ni-Zn フェライトめっき Ni-Fe 微小球をプレス成型してなるコアの高周波透コ損失特性。(オンラインカラー)

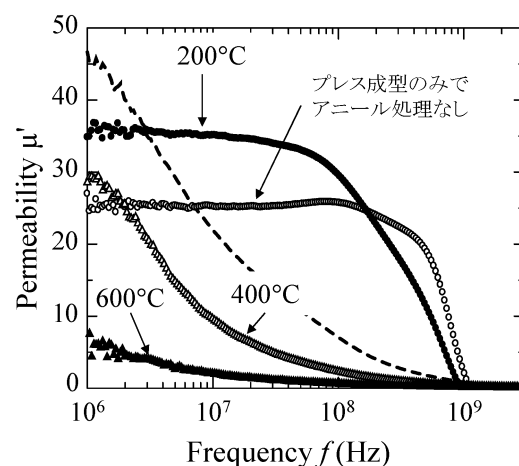


図7 $pH=9$ でフェライトめっきした Ni-Fe 微小球および 200～600°C でアニール処理後に測定した透磁率の実数成分 μ' 。

た。図7には到達温度200～600°Cで1時間の大気中アニール処理を行ったコアの透磁率特性を示す。アニール温度200°Cにおいて μ' が35程度まで向上するものの、アニール温度が400°C、600°Cと上昇するに従って μ' が逆に大幅に低下していた。アニール処理後のコアの断面 TEM 像観察や組成分析などから、比較的低温の<200°Cのアニール処理であれば、界面のフェライト層の密度が高くなることと金属微粒子へのアニール効果で透磁率の実数成分が $\mu' = 35$ まで向上するものの、更にアニール温度が上昇すると、Ni-Fe 表面のフェライト層中の酸素イオンが Ni-Fe 金属球内へと拡散することにより、フェライト層が高抵抗層としての役割りをなさなくなることによって結果として、渦電流損が増大し透磁率特性が劣化することが判明した。

(3) Fe-Si-Al 微小球表面へのフェライトめっきと圧粉コアの磁気特性・高周波特性

Ni-Fe 微小球を基板として用いた実験より、目標とする

MHz 帯域で $\mu' > 50$ で低損失な磁性コア特性を得るには、高温アニール処理後も金属微粒子中への酸素拡散を抑制し、フェライト層の抵抗率が維持される必要があることが分かった。そこで代表的な高透磁率金属材料の一つであるセンダスト Fe-Si-Al に着目した。Fe-Si-Al 微小球は表面に存在する Si, Al とそれらの酸化物相が酸素拡散に対するバリアの役割を果たすことが期待される。しかしながら、アニール処理に対して酸素バリアとして働く Si と Al ならびにその酸化物相の存在は Fe-Si-Al 微小球表面へのフェライトめっきを著しく困難にすることが分かった。この問題は FeCl_2 に加えて FeSO_4 を含む原料溶液を用いることで解決できた。その理由は明確には説明できていないものの、硫酸イオン SO_4^{2-} が存在する溶液の方が均一核生成も含めたフェライト生成が効率化に進み、フェライト層の被覆にプラスに働く傾向があることはこれまでも経験している。図 8 に (a) フェライトめっきなし、(b) FeCl_2 を原料溶液に用いたフェライト被覆、(c) $\text{FeCl}_2 + \text{FeSO}_4$ を原料溶液として用いた Fe-Si-Al 微粒子表面の SEM 像を示す。Ni-Fe 微小球表面をフェライトめっき出来た (b) の原料溶液では Fe-Si-Al 微小球の表面の一部しかフェライト層が被覆していないにも拘わらず、硫酸鉄も含む (c) であればフェライト層が Fe-Si-Al 微小球表面を完全に被覆できていることが分かる。

次に、図 9 には図 8(c) で示した $\text{FeCl}_2 + \text{FeSO}_4$ を原料溶液に用いてフェライトめっきした Fe-Si-Al 微小球の圧粉成型コア試料ならびに圧粉成型後に 200~600°C にて大気中で 1 時間アニール処理したコア試料の高周波透磁率特性の (a) 実数成分 μ' および (b) 虚数成分 μ'' を示す。600°C とかなりの高温でのアニール処理にも拘らず、透磁率実数成分 μ' がアニール温度と共に上昇し、600°C でアニールした試料では 10 MHz まで $\mu' = 53$ となっている上に 10 MHz でも $\mu'' < 10$ と十分に低い値となっている。これは高周波用電源コアとして画期的な透磁率特性が得られたことを示している。

この 600°C でアニール処理したコア試料の高い実数の透磁率 μ' が得られた理由としては、Fe-Si-Al 相表面における Si や Al 酸化物相の存在が界面における酸素イオン拡散を防いだのみならず、図 10 の XRD ダイアグラムに見られる様に Fe-Si-Al 微小球内において、 D0_3 規則相が構成された上で結晶磁気異方性 K と磁歪定数 λ が共に小さくなったことが

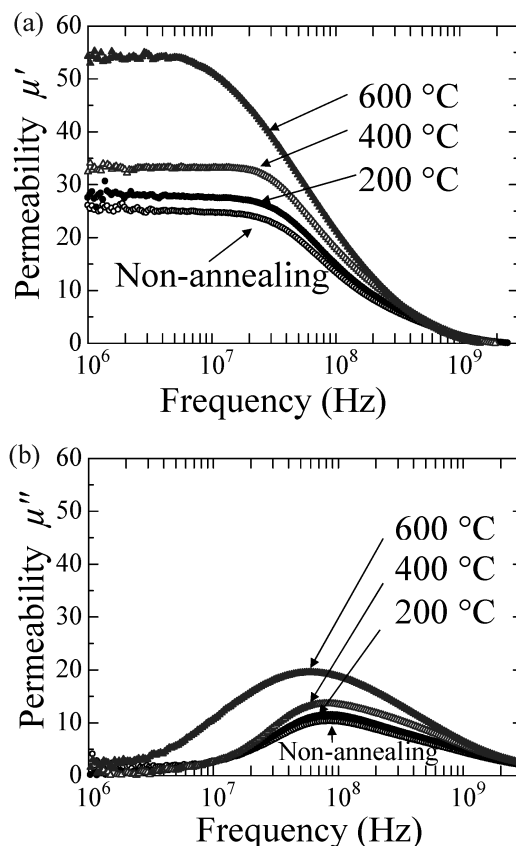


図 9 フェライト被覆センダスト微小球のプレス成型コアの各熱処理後の透磁率周波数特性 (a) 実数成分, (b) 虚数成分。

要因であると考えられた⁽¹⁶⁾。このようにフェライト層で被覆された磁性金属微粒子をプレス成型してなるコアが MHz 帯域以上において優れた高周波透磁率特性を示すには、アニール処理でフェライト層からの酸素イオン脱離が起きない様に高抵抗フェライト層自体が変性しないプロセス条件であることはもとより、そのプロセスがコア中の体積の多くを占める磁性金属微粒子の高周波透磁率特性の改善に資するものであることが重要であると示唆している。

フェライトめっきを発明された東京工業大学名誉教授の阿部正紀先生からは、私が研究室助手となった際に、プロセス

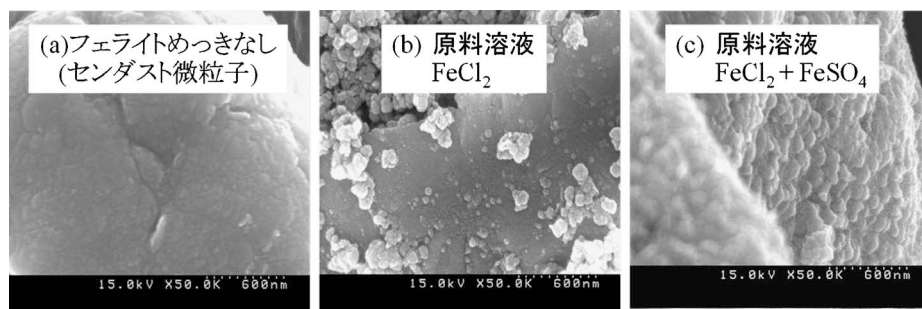
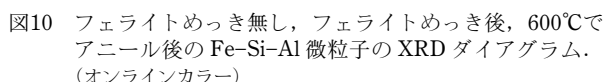


図 8 各フェライトめっき条件の Fe-Si-Al 微粒子の SEM 像 (a) フェライトめっき無し, (b) 原料溶液が FeCl_2 , (c) 原料溶液が $\text{FeCl}_2 + \text{FeSO}_4$ でフェライトめっき。



文 献

- (1) M. Abe and Y. Tamaura: Jpn. J. Appl. Phys., **22**(1983), L511.
- (2) M. Abe, T. Itoh and Y. Tamaura: Thin Solid Film, **216**(1992), 155.
- (3) 阿部正紀: 金属, **68**(1998), 290.
- (4) 阿部正紀: 科学と工業, **75**(2001), 342.
- (5) 阿部正紀: 粉体および粉末冶金, **49**(2002), 87.
- (6) 阿部正紀: 日本応用磁気学会誌, **22**(1998), 1225.
- (7) 阿部正紀, 松下伸広: 日本応用磁気学会誌, **27**(2003), 721-729.
- (8) N. Matsushita, T. Nakamura and M. Abe: IEEE Trans. Magn., **39**(2003), 3127-3129.
- (9) K. Kondo, T. Chiba, S. Yoshida, S. Okamoto, N. Matsushita and M. Abe: IEEE Trans. Magn., **41**(2005), 3463-3465.
- (10) 岡崎眞也, 竹内有沙子, 曽根原誠, 佐藤敏郎, 山沢清人, 三浦義正, 松下伸広: マグネティックス研究会資料, (2009), MAG-09-220.
- (11) M. Abe, Y. Kitamoto, K. Matsumoto, M. Zhang and P. Li: IEEE Trans. Magn., **33**(1997), 3649.
- (12) Meng Jin, Fan Zhao, Ming Liu: J. Magn. Magn. Mater., **574**(2023), 170677.
- (13) K. S. Suslick, D. A. Hammerton and R. E. Cline: J. Am. Chem. Soc., **108**(1986), 5641-5642.
- (14) W. B. McNamara, Y. T. Didenko and K. S. Suslick: J. Phys. Chem. B, **107**(2003), 7303-7306.
- (15) N. Matsushita, S. Hatanaka and M. Abe: IEEE Trans. Magn., **40**(2004), 2011-2013.
- (16) 宮崎 亨, 都築岳史, 小坂井孝生, 藤本靖孝: 日本金属学会誌, **46**(1982), 1111-1119.



松下伸広

★★

1990年 早大理工学部電気工学科卒業後に東工大工学部教務職員奉職，後に助手

1998年 論文提出により東工大博士(工学)を取得

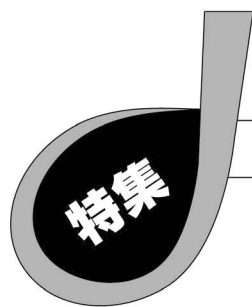
2005年 東工大応用セラミックス研究所講師，後に助教授，准教授

2018年 東工大物質理工学院材料系教授-現職

専門分野：セラミックス開拓，磁性材料

◎先進材料プロセスの開始に従事。特に低環境負荷・低エネルギー消費なプロセスをエレクトロニクス/バイオ/環境・エネルギー応用する研究開発を中心に活動。

★★



新規 18H 型フェライト化合物結晶の発見

神 島 謙 二*

1. は じ め に

酸化鉄(ヘマタイト)を主成分とする磁性酸化物であるフェライトは、その室温での自発磁化、低い導電性、および高い耐食性のために、応用上重要な位置を占めている。立方晶スピネル、ガーネット、および六方晶マグネプランバイト(M型六方晶フェライト)は、フェライトの最も一般的なグループである。六方晶フェライトは、結晶構造に依存して一軸異方性または面内異方性を示し、永久磁石およびマイクロ波吸収体の用途において重要な役割を果たす。

歴史的には、フェライトの本格的な研究は我が国の加藤、武井らによって始められた。彼らは立方晶スピネル型フェライトであるコバルトフェライトを磁場中冷却することで保磁力が著しく向上することを発見し、鉄リッチな組成にすることで残留磁化も増大させることに成功した。また同じく立方晶スピネル型フェライトである銅フェライトと非磁性の亜鉛フェライトを混合して焼成することで透磁率が著しく向上することを発見した。前者は永久磁石材料として、後者は磁芯材料として第二次大戦前から実用化が始まった⁽¹⁾。その後、オランダのフィリップス社の研究者らによりマンガン亜鉛及びニッケル亜鉛フェライトに関する基礎研究が精力的に進められ、フランスのネルによりフェリ磁性理論が確立された。

このようにフェライトの当初の発見の過程は、実用化に至るほどの性能の材料の探索・発見が先であり、その後に基礎研究が行われたものである。従って「実験が先であり理論が後である」と言う実験科学の発展の順番に沿った歴史となっている。これはとりまなおさず「実験的に物質を探索する」ということが、いかに重要であるかということを示している。この材料科学の業界の末席にいる者として、このような

実験的な発見の過程を経験したのでそれを本稿で報告する。

2. 六方晶フェライトの結晶構造と化学的安定性

フェライトの結晶構造はイオン半径の大きい酸素イオンの最密充填が基本であり、その大きいイオンの隙間に小さいイオン半径の遷移金属イオンが入る構造となっている。均質な球の最密充填が面心立方格子をとりうることから、立方格子の立方晶スピネル型フェライトが生成することが理解できる。一方、均質な球の最密充填が六方最密格子を取り得ることから、六方晶構造のフェライトも生成しうる。

六方晶フェライトの代表格は、永久磁石材料であるマグネプランバイト型バリウムフェライト $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ である⁽²⁾。大きいイオンの配列は六方最密充填配列である R ブロック ($\text{BaFe}_6\text{O}_{11}$) と立方最密充填配列である S ブロック (Fe_6O_8) の交互積層になっている。S ブロックは立方晶スピネル型構造と等価である。R ブロックでは六方最密充填の大きいイオンのうち一部の酸素イオンが $\text{O}:\text{Ba}=3:1$ の割合でバリウムイオンと置き換わっている。この R ブロックの中心に、酸素 5 つに囲まれた三方両錘型 5 配位サイトが存在する。この 5 配位サイトが一軸磁気異方性の原因になると考えられている。

より長周期の積層構造の六方晶フェライトも存在する。基本となるのは 3 つの積層単位の、スピネル様 S ブロック ($[\text{Me}_2\text{Fe}_4\text{O}_8]^{0\pm}$ または $[\text{Fe}_6\text{O}_8]^{2+}$ 、ここで Me は Zn , Cu , Ni , Co , Fe , Mn , Mg などの二価金属陽イオン)、R ブロック ($[\text{BaFe}_6\text{O}_{11}]^{2-}$)、および T ブロック ($[\text{Ba}_2\text{Fe}_8\text{O}_{14}]^{0\pm}$) であり、それらの積層構造となる(図 1)⁽³⁾。六方晶 c 軸に沿った R ブロックおよび S ブロックの交互の積み重ねにより、マグネプランバイト M 型 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (RSR* S^*)、W 型

* 埼玉大学大学院理工学研究科; 准教授(〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255)

Uncovering a New Crystal Structure: 18H-type Ferrite Compounds; Kenji Kamishima*(*Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, Saitama)

Keywords: synthesis of new materials, quaternary oxides, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}-\text{TiO}_2$ system, 18H-type hexaferrite, "all or something".

2023年4月28日受理[doi:10.2320/materia.62.594]

$\text{BaMe}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}(\text{RS}_2\text{R}^*\text{S}^*_2)$, および X 型 $\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{28}\text{O}_{46}([\text{RS}_2\text{R}^*\text{S}^*]_3)$ 構造が出来る. ここでアスタリスクを有するブロックは c 軸の周りに 180° 回転したことを表す. 同様に, T ブロック, S ブロック, および R ブロックの組み合わせで積層することにより, Y 型 $\text{Ba}_2\text{Me}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}([\text{TS}]_3)$, Z 型 $\text{Ba}_3\text{Me}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}(\text{RSTSR}^*\text{S}^*\text{T}^*\text{S}^*)$, および U 型 $\text{Ba}_4\text{Me}_2\text{Fe}_{36}\text{O}_{60}([\text{RSTSR}^*\text{S}^*]_3)$ 構造が生成する. これらの構造は $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}$ の 3 元系相図(図 2)にまとめられる.

一方, BaO と, 別の遷移金属酸化物である TiO_2 を組み合わせると, キャパシタに広く使用される強誘電性チタン酸バリウムが得られる. これを鉄酸化物と組み合わせることにより, 高い誘電率, 低い誘電損失, および高い自発磁化を有する多機能材料を得ることができないか期待され, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 相図が調査された. この相図は非常に複雑であり, 少なくとも 16 の三元相の存在が示唆された⁽⁴⁾. これらの相の大部分の結晶構造は, 比較的大きなイオン(O^{2-} , $[\text{Ba}^{2+}, \text{O}^{2-}]$)の層から構成されるブロックの積層を示す. この特徴は, S-ブロック, R-ブロック, および T-ブロックからなる上述の六方晶フェライトと類似している. これらの構造では, Ti^{4+} イオンが強く八面体部位を指向し, 一方,

Fe^{3+} イオンは, 四面体部位および八面体部位の両方を占有する. これは, 局所電荷平衡の原理(ポーリングの第 2 法則)と一致する.

しかしながら, 六方晶バリウムフェライトとチタン酸バリウムとの間の関係は判然としない. 現在まで, M 型フェライトの磁気異方性を制御する目的で, 2 つの Fe^{3+} イオンを, Me^{2+} および Ti^{4+} イオンで置換した系を除いて, 限られた数の $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}-\text{TiO}_2$ 系しか研究されていない. 2 つの Fe^{3+} イオンを Me^{2+} および Ti^{4+} イオンで置換することでさえ, 主に安定な M 型構造に限られてきた. おそらく他の六方晶フェライトの構造が M 型フェライトの構造よりも不安定であるためだと考えられる. ここで, 不安定であるがゆえに, 置換により分解し, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}-\text{TiO}_2$ 系の未報告化合物を生成しうる. これにより, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系と $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}$ 系との間の関連をさらに理解することができる.

この研究では, $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{ZnO}-\text{TiO}_2$ 系における未報告の結晶相に関連する磁性酸化鉄の形成を調査した.

3. 置換系フェライト作製の試み

自発磁化の向上を狙い, Zn_2Y 型フェライト $\text{Ba}_2\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ の亜鉛チタン置換を試みた⁽⁵⁾. 図 3 に $\text{Ba}_2\text{Zn}_{2+x/2}\text{Ti}_{x/2}\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{22}$ の X 線回折図を示す. $x=0.5$ までは Y 型構造を維持したものの, それ以上ではスピネル相と未知相のピークが現れた. $x=2.0$ ではスピネル相ピークと未知相のピークのみとなった.

図 4 に $\text{Ba}_2\text{Zn}_{2+x/2}\text{Ti}_{x/2}\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{22}$ の熱磁気曲線を示す. $x=0$ から 0.5 までの置換によりキュリー点が低下した. その後 x

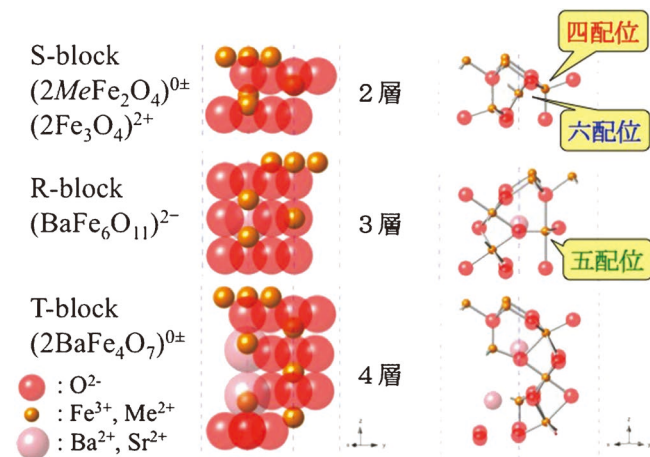


図 1 六方晶フェライトの基本積層ブロック構造. (オンラインカラー)

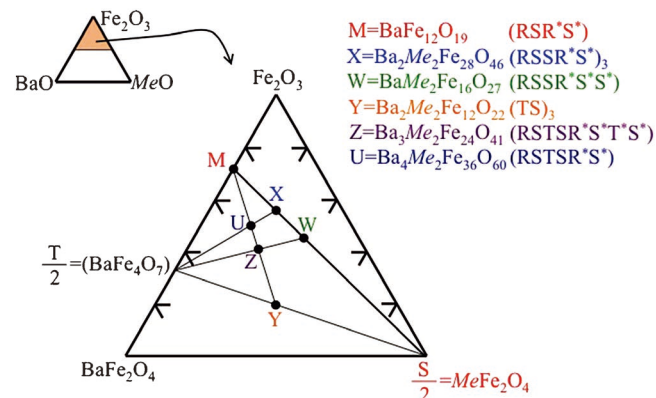


図 2 $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MeO}$ 相図と六方晶フェライトの組成. (オンラインカラー)

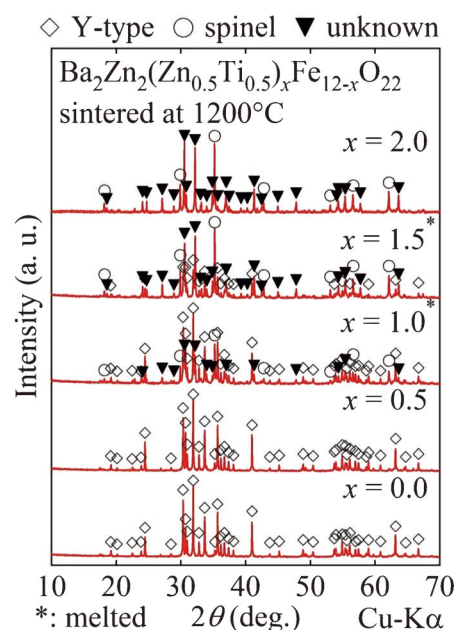


図 3 1200°C で焼成した $\text{Ba}_2\text{Zn}_{2+x/2}\text{Ti}_{x/2}\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{22}$ の X 線回折図. (オンラインカラー)

=1.5 までの置換ではキュリー点は変化しなかった．これは $x=0.5$ が Y 型フェライトの Zn-Ti 置換の置換限界であることを示している．ところが $x=2.0$ になるともう一段下に新たなキュリー点が現れた．従って，このキュリー点は未知相に由来するものと考えられる．

この $x=2.0$ 組成の試料について，EDX による点分析を試みたところ，組成比が Ba:Zn:Ti:Fe=2.00:1.20:0.94:5.74 $\approx$ 2:1:1:6 という結果が得られた．これは，元の仕込み比 Ba:Zn:Ti:Fe=2:2+x/2:x/2:12-x=2:3:1:10 ($x=2.0$) で亜鉛フェライトの組成 (Zn:Fe=2:4) 分過剰であると考えられる．

ここで組成の仕込み比を Ba:Zn:Ti:Fe=2:1:1:6 に変更してこの未知相の作成を試行した．図 5 に各温度で調整し

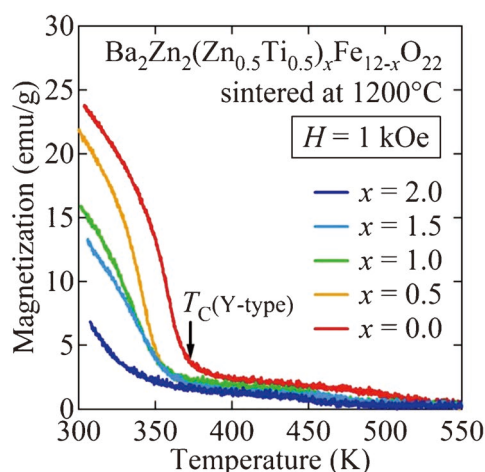


図 4 1200°Cで焼成した $\text{Ba}_2\text{Zn}_{2+x/2}\text{Ti}_{x/2}\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{22}$ の熱磁気曲線．(オンラインカラー)

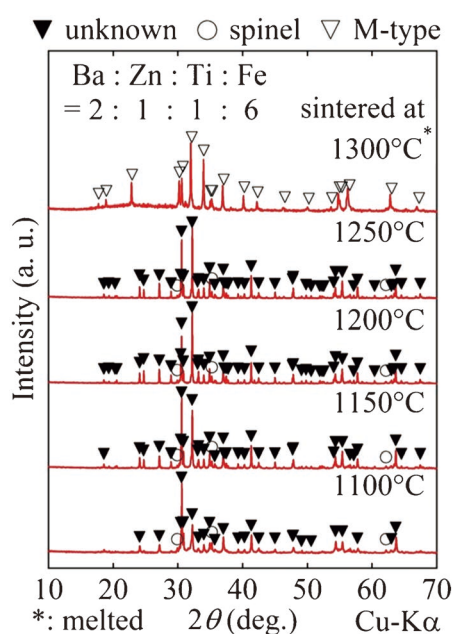


図 5 初期組成 Ba:Zn:Ti:Fe=2:1:1:6 で焼成した試料の X 線回折図．(オンラインカラー)

た X 線回折パターンを示す．1250°C までの焼成ではこの未知相が主相で得られた．これよりこの組成比がこの未知相の組成に近いと考えられる．しかし，結晶構造や正確な組成は不明である．そこで単結晶の育成を試みた．

4. 新構造の発見

Ba:Zn:Ti:Fe=2:1:1:6 の組成比の原料粉とフラックス原料の B_2O_3 を混合して白金坩堝に入れ焼成し，単結晶の育成を試みた．固化したフラックスを塩酸で溶かし単結晶を回収したところ，それらの単結晶は全て M 型フェライトであった．これは B_2O_3 フラックスによってバリウムが奪われて，単結晶の組成がずれたためと考えられる．そこで BaO- B_2O_3 の 2 元系相図⁽⁶⁾を確認したところ，融点 1105°C の BaB_2O_4 という酸化物が存在することを確認した．そのため，この BaB_2O_4 をフラックスとして採用し，バリウムを多くした組成の混合粉で，再度単結晶を育成した．

得られた単結晶の SEM 像を図 6 に示す．この単結晶の組成は Ba:Zn:Ti:Fe=2:0.55:1.0:4.7 になっており，この亜鉛と鉄の仕込み組成からのずれはフラックスと反応したためだと考えられる．この単結晶を粉碎して粉末 X 線回折測定をしたところ，図 7 に示す通り，固相反応で得られたサンプルと同じパターンが得られた．従ってこの単結晶は未知相の単結晶だと考えられる．

この単結晶の単結晶 X 線回折実験をしたところ格子定数が $a=5.838 \text{ \AA}$ (0.5838 nm), $c=43.14 \text{ \AA}$ (4.314 nm) と求められた．典型的な六方晶フェライト中の O^{2-} イオンおよび Ba^{2+} イオンの最密充填により， $a \approx 5.9 \text{ \AA}$ (0.59 nm) および $c \approx 2.4 \text{ \AA}$ (0.24 nm) $\times$ (整数) の格子定数を与える傾向があるので，単位格子が 18 ($\approx 43.14/2.4$) 層の最密充填 O^{2-} または $[\text{Ba}^{2+}, 3\text{O}^{2-}]$ イオンからなると解釈できる．これは， $(\text{Ba} + \text{O})_{72}$ に相当する．ここから単位胞あたりの化学式を，組成分析からチャージバランスを考慮し推測すると， $\text{Ba}_{10.6}\text{Fe}_{24.8}\text{Ti}_{5.30}\text{Zn}_{2.90}\text{O}_{61.4}$ となった．ここで単結晶構造解析ソフト Olex2 を用いて解析したところ電子密度の大きい原子が単位胞内に 10 個あることが判明した．この電子密度が大きい原子がバリウムに相当すると考えられるためバリウムを配置した．その後，各原子の位置関係を考慮した上で，次に電子密度の大きい遷移金属イオン(鉄)を配置し，そして残りの酸素

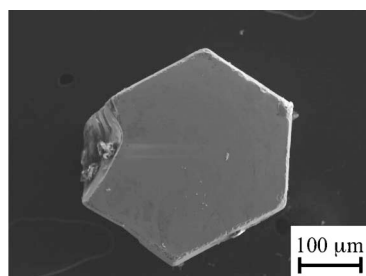


図 6 BaB_2O_4 フラックスで育成した未知相単結晶⁽¹⁰⁾．

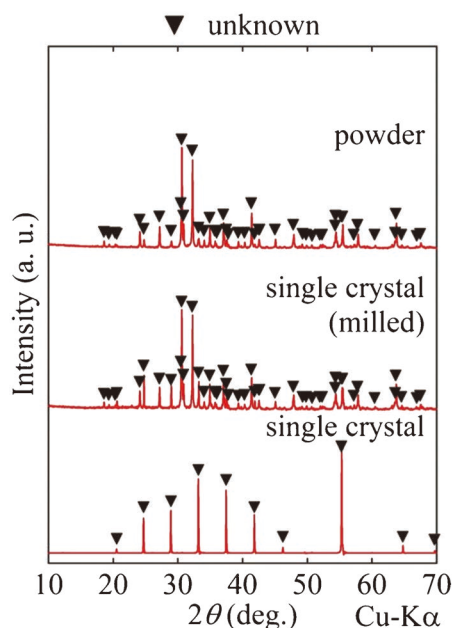


図7 2:1:1:6多結晶試料と粉碎単結晶試料の粉末X線回折図。(オンラインカラー)

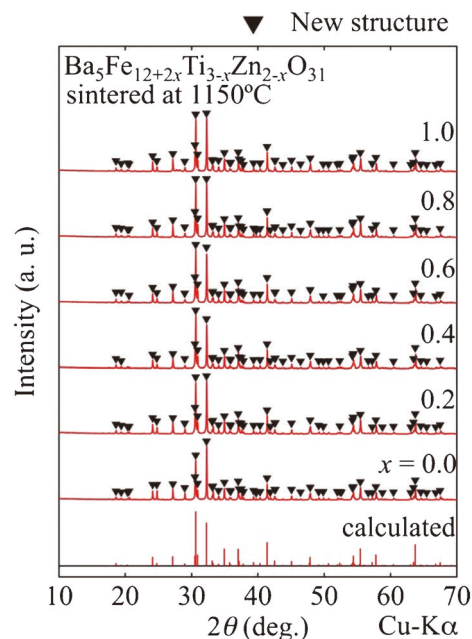


図9 1150°Cで焼結した $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ ($0 \leq x \leq 1.0$) のX線回折パターン⁽¹⁰⁾。(オンラインカラー)

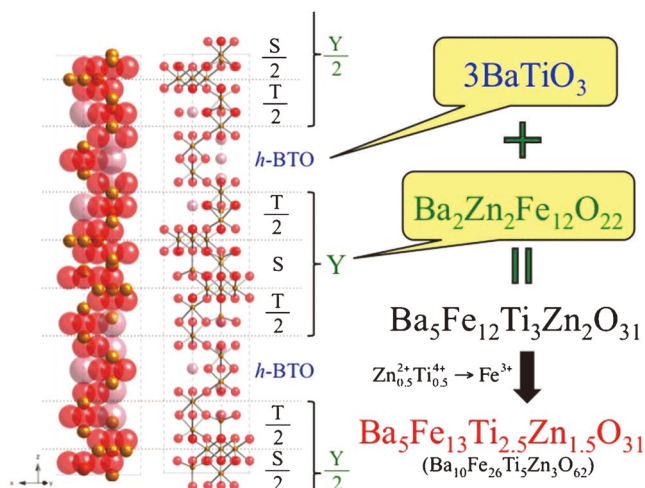


図8 未知相酸化物の結晶構造と化学式⁽¹⁰⁾。(オンラインカラー)

を62個配置した。この段階では亜鉛とチタンと鉄の区別はしなかった。この初期構造の化学式は $\text{Ba}_{10}\text{Fe}_{34}\text{O}_{62}$ であり、R値は9.54%であった。

この初期構造を最適化することで未知相酸化物の結晶構造を決定した。結晶構造解析から決定した化学式は $\text{Ba}_{10}\text{Fe}_{26}\text{Ti}_5\text{Zn}_3\text{O}_{62}$ であり、空間群 $P6_3/\text{mmc}$ の六方晶構造を取る。格子定数は上と同じで、R値は4.97%まで収束した。図8に示すとおり、この構造はY型フェライトのTブロックの間に六方晶チタン酸バリウム構造が挟まった形となっていることが判明した。組成としては Zn_2Y 型フェライト $\text{Ba}_2\text{Zn}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ に 3BaTiO_3 を加え、そこで $\text{Zn}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}$ をFe1個で置き換えた組成に対応する ($\text{Ba}_5\text{Fe}_{13}\text{Ti}_{2.5}\text{Zn}_{1.5}\text{O}_{31}$)。

図9は、1150°Cで焼結した $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ ($0 \leq x \leq 1.0$)

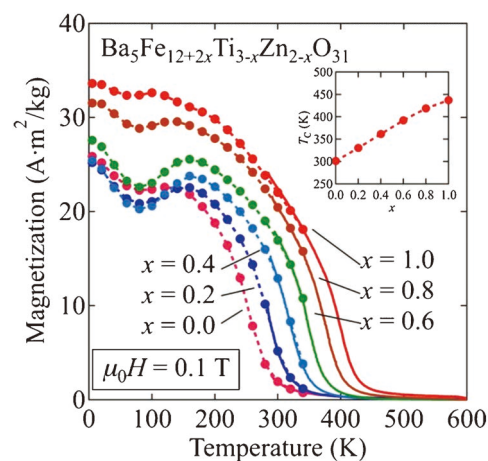


図10 1150°Cで焼結した $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ ($0 \leq x \leq 1.0$) の熱磁気曲線⁽¹⁰⁾。(オンラインカラー)

≤ 1.0)多結晶サンプルのX線回折パターンを示す。単結晶構造解析で見出した組成は $x=0.5$ に相当するが、この組成範囲で作製した多結晶は単相となった。なお、鉄イオンが少ない $x < 0$ でチタンおよび亜鉛イオンが過剰であると、立方晶 BaTiO_3 ($c\text{-BTO}$) が生成した。一方、鉄イオンが過剰であり、 $x > 1.0$ でチタンおよび亜鉛イオンが不足していると、単斜晶 $\text{Ba}_3\text{Fe}_{10}\text{Ti}_{20}$ が生成した。したがって、限られた組成範囲でこの構造は安定である。

図10にこれらの $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ ($0 \leq x \leq 1.0$) の熱磁気曲線を示す。このサンプルのキュリー点は鉄の量に応じて変化し、置換が成功していることを示している。なお100 K前後で磁化のくぼみは、より強磁場を印加することで消失した。そのため磁気異方性の温度依存性によるものと

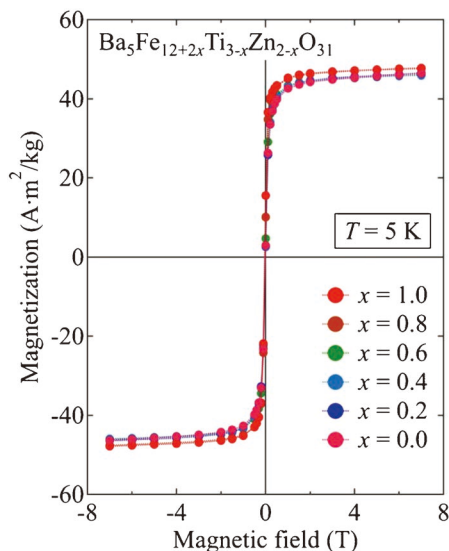


図11 1150℃で焼結した $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ ($0 \leq x \leq 1.0$) の磁化曲線⁽¹⁰⁾。(オンラインカラー)

考えられる。

図11は、 $T = 5 \text{ K}$ での $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12+2x}\text{Ti}_{3-x}\text{Zn}_{2-x}\text{O}_{31}$ の磁化曲線を示す。最大磁場 $\mu_0 H = 7 \text{ T}$ において、 $x = 0$ の $\text{Ba}_5\text{Fe}_{12}\text{Ti}_3\text{Zn}_2\text{O}_{31}$ の磁化は、 $17.6 \mu_B/\text{f.u.}$ ($46.3 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$) であり、 $x = 1.0$ の $\text{Ba}_5\text{Fe}_{14}\text{Ti}_2\text{ZnO}_{31}$ の磁化は、 $18.2 \mu_B/\text{f.u.}$ ($47.8 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$) であった。

Y型フェライトと結晶構造が類似していることから、図12に示すようなコリニアスピン配置モデルを想定した。このスピン配置は、Y型六方晶フェライトのスピン配置を参考にしたものである⁽⁷⁾。h-BTOブロック内では、遷移金属イオン間がほぼ90度の結合を伴うため、グッドイナフ-金森則⁽⁸⁾によって、強磁性相互作用を伴うと仮定した。これより単位胞の半分で1化学式に相当し、9つの上向きスピンサイト、8つの下向きスピンサイトを含む形になる。 $\text{Ba}_5\text{Fe}_{14}\text{Ti}_2\text{ZnO}_{31}$ ($x = 1.0$) で具体的な配置を考えると、 Zn^{2+} イオンはSブロック中の四面体 $\text{Me}(2)$ サイトを指向し、 Ti^{4+} イオンはh-BTOブロック中の $\text{Me}(7)$ サイトを指向することが単結晶構造解析から示唆されている。磁化の実測値 $18.2 \mu_B/\text{f.u.}$ からすると、チタンが $\text{Me}(7)$ サイトに91%配置して、残りが上向きスピンの $\text{Me}(3)$ サイトに配置していると考えるとこの磁化値を説明できる。したがって、単結晶構造解析で得られたイオンのサイト指向性と、この磁気配列モデルと、巨視的な磁化は互いに矛盾しない。

一方、 $x = 0$ まで Zn^{2+} および Ti^{4+} イオンの量を増加させても、化学式あたりの磁気モーメントは低温では大きく変化しなかった。これは、非磁性 Zn^{2+} イオンが主に下向きスピン四面体サイトである $\text{Me}(2)$ サイトに入り、非磁性 Ti^{4+} イオンが上向きスピン八面体サイトである $\text{Me}(3)$ サイトに入ること、上向き・下向きスピンの数の差を相殺する傾向があったものと考えられる。このようにスピン配列のモデルも想定しているため、中性子回折実験による磁気構造の決定を

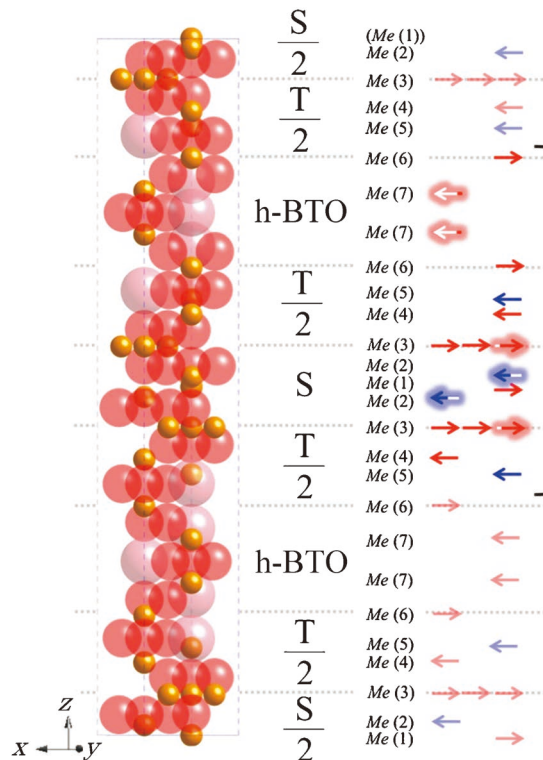


図12 $\text{Ba}_5\text{Fe}_{14}\text{Ti}_2\text{ZnO}_{31}$ ($x = 1.0$) のスピン配列モデル(太線片かっことで括れているところが1化学式に相当)⁽¹⁰⁾。(オンラインカラー)

今後行えたらと考えている。

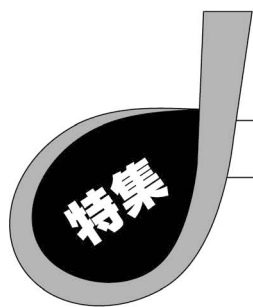
5. おわりに

本研究では未知相酸化物磁性体を見出し、その構造を決定した。しかし、このようにY型フェライトの構造と六方晶チタン酸バリウムブロックの構造が積層する可能性について既に予想されていたことが、結晶構造・化学式決定後に判明した。当該論文ではX線回折実験データがなく、ブロックの積層の予想だけされており、18個の大きいイオンが積み重なって単位胞を形成することから18H型と命名していた⁽⁹⁾。それに倣い、本研究でも18H型と呼称する(未知相発見当初、K型フェライトと我々のグループ内で呼称していたが、残念ながら命名権は失った形となった)。

とはいえ、我々もこの仕事をした甲斐があり、我々の構造解析データ発表⁽¹⁰⁾後、その応用の可能性について示された。Liらは、多結晶Mg-Zn系18H型六方晶フェライトのZn:Mgの原子比を変更することにより、Mg-Zn系18H型六方晶フェライトのマイクロ波特性を調整できることを示した⁽¹¹⁾。彼らは、この18H型六方晶フェライト基板を用いたパッチアンテナを試作し、アンテナの小型化と帯域幅が拡張できることを実証したため、今後の応用展開が期待される。

これまで未知相の発見の経緯について述べたが、このような流れの研究を本グループでは別の系でも行ってきた。リチウム系のY型フェライトおよびその置換系の作成を試みた

本稿で述べた研究の一部は，JSPS 科研費 (16K04925, 21K04862) の支援を受けて行われたものである．また，試料の組成分析については理化学研究所・渡邊剛氏に，単結晶



高耐食性ナノ結晶合金のコンビナトリアル合成

山 崎 貴 大*

1. は じ め に

高い飽和磁束密度 (B_s) や低い磁気損失を兼ね備えたナノ結晶軟磁性材料は、モータやトランス、電源などのエネルギー関連産業機器への応用に加え、近年では GHz オーダーの高周波帯域での利用拡大が期待されている⁽¹⁾⁽²⁾。特に、Fe 系 ナノ結晶 FeSiBPCu (NANOMET[®]) 合金⁽³⁾ は、FeSiBNbCu (FINEMET[®]) 合金⁽⁴⁾ や他の合金系⁽⁵⁾⁽⁶⁾ よりも高い B_s を示すことがメリットとして挙げられる。さらに近年では、NANOMET をベースとした FeCoSiBPCu, FeNiSiBPCu, FeSiBPCu などの様々な多元系 NANOMET 系合金が開発され、ナノ結晶材料としての要求特性である磁気機能やアモルファス形成能、熱安定性の向上などが報告されている⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾。

ナノ結晶軟磁性材料に関する基礎研究では、その取扱いの容易さから主にリボン材が使用されるが、高周波用デバイスへの応用はその低渦電流損の性質から磁性粉体が利用される。NANOMET[®] 粉体は、水アトマイズ法を用いて製造され、様々な形状への適用可能なネットシェイプ成形や、高周波で動作する通信機器用の磁心材料へ適用されている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。水アトマイズ法は熔融金属に高圧水を噴射し、霧化急速冷却により微細な金属粉体を製造する手法である。しかし、熔融金属が水と接触する際に生じる酸化や腐食が原因で、アモルファス合金粉体におけるアモルファス形成能や磁気性能が劣化してしまうという問題を有する。これらを防ぐためには、防錆効果を有する元素添加や構成元素の再調整による原料自体の耐食性の向上が必要となる。

組成改良による耐食性向上に関する先行研究として、金属

バルクガラスへの元素添加に関する研究がいくつか報告されている⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾。例えば、Ni 添加はガラス自体の耐食性を大きく向上させるものの、 B_s も大幅に減少してしまう。さらには、Ni 元素の存在により、面心立方 (fcc)-Fe 相が析出しやすくなることに加え、炭素の存在下で Ni 含有量が 4-5 at% 以上になるとアモルファス形成能が急激に低下することが報告される⁽¹⁶⁾。一方で、一般に合金の耐食性向上に寄与するとされる Cr, Nb, Mo, Si などの防錆元素のアモルファス金属への添加効果については、今回想定している高温高湿下での腐食挙動については十分に明らかになっていない。また、これらの元素は非磁性であるため、添加に伴い B_s が低下してしまうという懸念点も残る。このように、磁気性能と耐食性はトレードオフの関係を有することから、添加元素の選定と濃度の最適設計が重要な課題であることがわかる。しかし、膨大な数の元素候補の中から、耐食性向上を実現する適切な元素と適切な添加量を決定するには、従来の逐次手法では限界がある。また、これらの元素の共添加による防錆効果のメカニズムについてもあまり報告されていない。

本稿では、ナノ結晶合金の前駆体であるアモルファス合金の耐食性向上に向けた最近の取り組みを紹介し、コンビナトリアル合成と高温高湿試験を組み合わせたナノ結晶合金探索に関する課題と研究成果について述べる。本稿で紹介する研究は、筆者の前籍におけるナノ結晶合金を開発する企業との共同研究により得られた研究成果⁽¹⁹⁾の一部であり、筆者のこれまでの軟磁性材料研究に関連して、まてりあに寄稿する機会を頂戴した。この場をお借りして関係の先生方に心より御礼申し上げます。

* 東京理科大学研究推進機構総合研究院；嘱託助教(〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1)

Combinatorial Evaluation of Nanocrystalline FeSiBPCu Soft Magnetic Alloys with Enhanced Corrosion Resistance; Takahiro Yamazaki (Research Institute for Science and Technology, Tokyo University of Science, Tokyo)

Keywords: nanocrystalline soft magnetic alloys, corrosion resistance, combinatorial sputtering, thin film, high-temperature/high-humidity test
2023年4月28日[doi:10.2320/materia.62.600]

2. コンビナトリアルスパッタ成膜

(1) コンビナトリアル成膜プロセス

アモルファス合金薄膜に添加する防錆元素を高効率にスクリーニングするコンビナトリアル成膜プロセスを提案し、高温高湿環境下での高耐食性を持つFeSiBPCCuアモルファス薄膜の組成最適化に向けた実験手法を検討する。コンビナトリアルスパッタ成膜とは、マグネトロンスパッタリング法を利用し、単一の基板上に組成が連続的に変化したサンプル群（組成傾斜膜）を一括成膜する手法である。筆者らの研究グループは、金属ガラスや磁歪材料などの機能性材料の開発やハイスループット評価のため、組成傾斜膜のコンビナトリアル合成を実施してきた^{(17)–(19)}。本稿で紹介する研究では、FeSiBPCCu合金に0–10 at%程度のNi元素および微量のNb, Mo, Si元素を共添加した組成傾斜膜を製膜し、その耐食性への影響を高温高湿試験により評価した。

FeSiBPCCu組成傾斜膜は、図1に示すようなRFマグネトロンスパッタリングシステム(SP-3500; Sanvac Co.Ltd.)を用いて作製した。Arガス圧1.0 Pa、ベース圧力($<5.0 \times 10^{-4}$ Pa)の条件下で、3つのターゲット; FeSiBPCCu, Ni, Nb/Mo/Siの同時スパッタリングを実施した。この際、基板温度は室温で、マスクで覆われたカソードに対して基板を貼り付けたステージが回転することにより、ステージ半径方向に組成傾斜を有する薄膜が作製された。

ターゲットに用いたFeSiBPCCu合金および成膜したFeSiBPCCuアモルファス薄膜の組成は、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)、炭素/硫黄(CS)分析器、酸素/窒素(NO)分析器により、ほぼ同一組成であることを確認した(表1)。FeSiBPCCu系組成傾斜膜は、 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ のアルミナ基板上に成膜した。その後、組成傾斜方向に10 mm幅で切り欠きを入れることで、1枚の組成傾斜膜から5つのサンプルを取得し、以下の評価を実施した。

(2) 膜評価

NANOMET組成をベースとしてNiおよびNb, Mo, Si

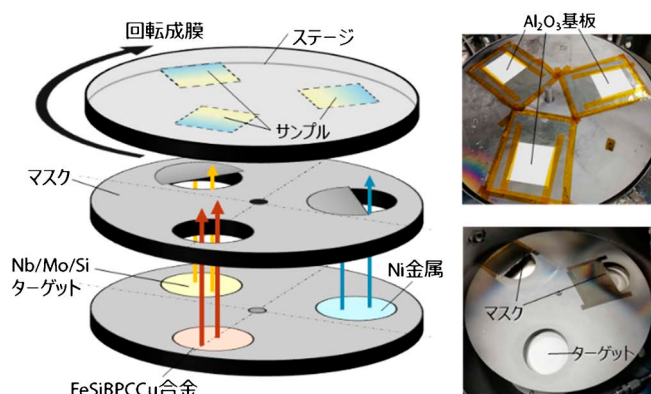


図1 コンビナトリアル成膜プロセスのためのスパッタリング装置の構成図。(オンラインカラー)

表1 今回使用したターゲットおよび成膜したアモルファス膜の化学組成.

Sample, at%	Fe	Si	B	P	Cu	C	O	Total
Target	81.8	0.5	13.3	1.0	0.7	2.1	0.5	99.9
Thin film	82.5	0.5	13.3	1.0	0.7	—	—	100

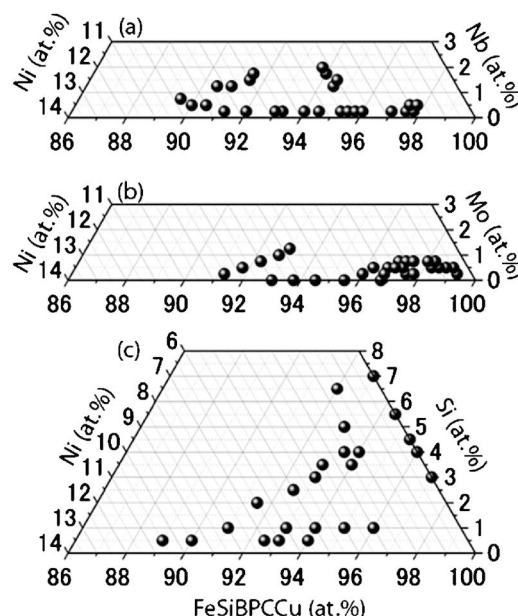


図2 コンビナトリアル成膜により取得した(a) Ni-Nb, (b) Ni-Mo, (c) Ni-Si添加したFeSiBPCCu合金組成.

を含む3種類の組成傾斜膜をコンビナトリアルスパッタ成膜で合成した。膜の厚さは $750 \pm 80 \text{ nm}$ で、FeSiBPCCu–Ni–Nb, FeSiBPCCu–Ni–Mo, FeSiBPCCu–Ni–Si薄膜の19枚(それぞれ6枚, 7枚, 6枚)の組成傾斜膜を成膜した。それらの切り欠きにより95個の単一サンプルを取得した。しかし、その中で組成誤差が0.25 at%以内のものは排除し、最終的に78個のサンプルを本研究に使用した。これらのサンプルについて、以下の評価を行った。膜厚は白色光干渉計(Nikon Corp., BW-S507)を用いて測定し、構成元素の組成濃度は、走査電子顕微鏡(SEM; TM3030Plus, Hitachi High-Tech Corp.)およびエネルギー分散型X線分析法(EDS)で5回ずつ測定した結果を平均化して、0.25 at%の範囲で定量分析した。図2に今回作製した元素添加NANOMET薄膜の組成分布を示す。このように、一部組成の偏りはあるものの、網羅的に所望組成の薄膜が成膜できていることが確認できる。

(3) FeSiBPCCuアモルファス合金の膜評価

コンビナトリアルスパッタ成膜で作った薄膜がリボン材と同様なナノ結晶化挙動を示すのか確認する必要があるため、まずはこれらの基礎特性を無添加材と比較検証を行った。図3は、高真空スパッタしたアモルファスFeSiBPCCu薄膜とアニール薄膜のX線回折(XRD)パターンを示し、ロールク

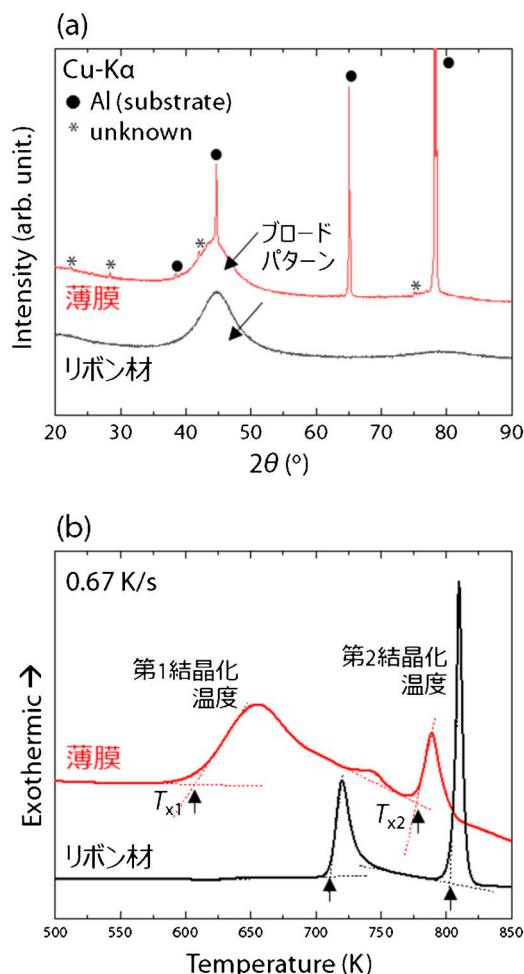


図3 FeSiBPCCu合金のリボン材および成膜した薄膜試料の (a) XRD測定と (b) DSC解析の結果. (オンラインカラー)

エンチによる FeSiBPCCu リボン材の XRD パターンと比較している。スパッタ膜の基板には、構造・組成分析への影響がないことを考慮し、Al 箔を選定した。XRD パターンは、Cu-K α 線源と D/teX Ultra 1D シリコンストリップ検出器を備えた X 線回折装置 (Rigaku, MiniFlex600) を用いて 0.01° ステップサイズで取得した。FeSiBPCCu 薄膜の XRD パターンから、リボンと一致するアモルファス構造を示すブロードパターンが観察された。図 3(b) の示差走査熱量計 (DSC) 曲線から、薄膜とリボンの第一結晶化温度 (T_{x1}) と第二結晶化温度 (T_{x2}) が決定される。FeSiBPCCu 薄膜の相転移は、熱示差走査熱量測定 (DSC8500; PerkinElmer Inc.) を用いて、Ar 雰囲気下、試料を 0.67 K/s の昇温速度で測定した。DSC 分析は、質量 10.0 mg の剥離した薄膜フレークに対して行われた。薄膜の T_{x1} は 700 K 以下であり、リボンよりも低い温度でナノ結晶化が起こることが示された。また、薄膜の T_{x2} はリボンの T_{x2} よりも 27 K 低かった。

アモルファス膜とリボン材の結晶化温度 T_{x1} と T_{x2} の違いは、スパッタ後の内部応力に起因すると推測される。この内部応力は、非晶質相から結晶質相への相変態の駆動力の元となり、ナノ結晶の析出が促進される。これまでの研究から、

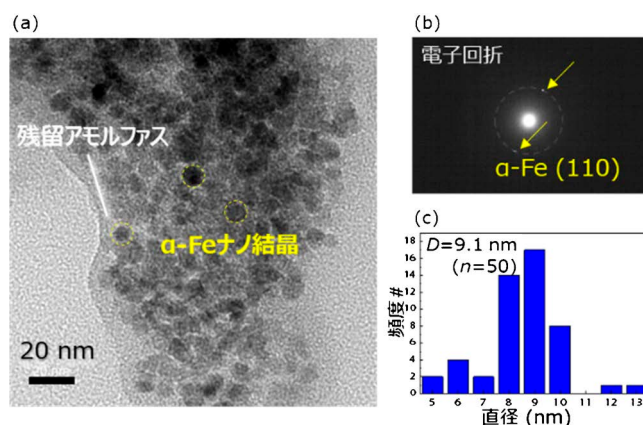


図4 (a) 成膜した薄膜サンプルの熱処理後の TEM 画像。ナノ結晶を視野に撮像した (b) 電子回折像および (c) ナノ結晶の頻度分布. (オンラインカラー)

アモルファス合金は圧縮応力下でアモルファスから結晶への相転移が起こることが示されており、内部応力が FeSiBPCCu 薄膜のナノ結晶化を促進し、 T_{x1} が低温側にシフトすることを説明できる⁽²⁰⁾。 T_{x2} 値はリボンとほぼ同じであった理由は、薄膜の内部応力が構造緩和により 773 K 以上の温度で解放されるためであると考えられる。

さらに、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて FeSiBPCCu アモルファス膜の熱処理後の組織観察を行った結果、bcc-Fe ナノ結晶が残留アモルファス相中に分散している様子を確認できた (図 4)。このナノ結晶の粒径は、頻度分布から平均直径は 9.1 nm であることが判明した。この平均直径や分布は熱処理条件により左右される。

さらに、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察により、薄膜はスパッタリング金属クラスターに起因して、結晶粒が面直方向に伸びたような柱状構造であることが明らかになった (図 5 (a) (b))。この結果は、RF マグネトロンスパッタリングに関する過去の研究と一致する⁽²¹⁾。さらに、Amano らは、マグネトロンスパッタリング法により形成された FeNbBP 薄膜が、シングルローラーのメルトスピニング法によって生成されたリボンとほぼ同じアモルファス構造を形成する傾向を示すことを実証している⁽²²⁾。

以上より、無添加 NANOMET 合金の各種膜特性はリボン材と比較して、第 1 結晶化温度がわずかに低いものの、合金組成やナノ結晶の構造、形態に大きな違いはないことを確認できた。そのため、NANOMET 合金組成探索に関して、コンビナトリアルスパッタ成膜による本手法の妥当性は担保できるものと考えられる。

3. アモルファス合金膜の耐食性評価

(1) 高温高湿試験

NANOMET 前駆体のアモルファス合金膜の耐食性を加速的に評価するため、水アトマイズ法の環境を模倣した高温高湿試験を実施した。高温高湿度下で腐食挙動を観察すること

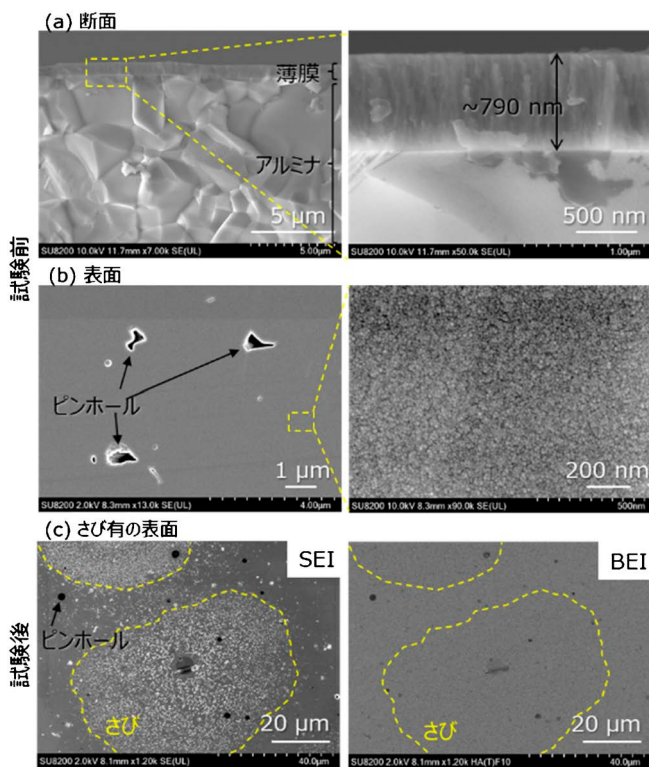


図5 高温高湿試験前後のアモルファス合金膜の(a)断面および(b), (c)表面におけるSEM画像。黄色の領域で示されたさびのコロニーが観察される。(オンラインカラー)

で、腐食速度を増大させた疑似環境を再現できる。本手法および測定条件は、水アトマイズ工程に近い環境で耐食性試験が可能であり、大面積の薄膜試料に対して電極が不要なハイスループット評価が可能であることから選定された。

腐食試験の前処理として、試料表面に結露を防ぐために333 K オープンで30分間予備加熱を行った。その後、試料をオープンから取り出し、高温(358 K)・高湿度(85%RH)チャンバーで1000時間保持し、最後に333 K オープンで30分間再加熱を行った。本試験は、ESPEC 社製の環境チャンバー(PH-2K)を用いて実施された。高温高湿試験前後のFeSiBPCCu 薄膜の表面構造を電界放出型走査電子顕微鏡(FE-SEM; SU-8230, Hitachi High-Tech Corp.)で観察した。二次電子イメージング(SEI)によりトポグラフィ像を得て、後方散乱電子イメージング(BEI)で試料の組成情報を取得した(図5(c))。続いて、光学顕微鏡(VHX-7000, KEYENCE 社製)を用いて表面生成物のデジタル画像を取得し、そのさび面積を算出した。さび面積は、試験後に収集した各試験片の2値化像から、平均化された表面積比を定量的に算出した。

(2) 耐食性に及ぼす添加元素の効果

FeSiBPCCu-Ni-(Nb, Mo, Si) 薄膜表面において、部分的なさびの生成が確認された。図5(c)は高温高湿試験後における薄膜表面の典型的なSEM画像であり、さびの核生成と広範囲なコロニーの形成が明らかになった。図6には、

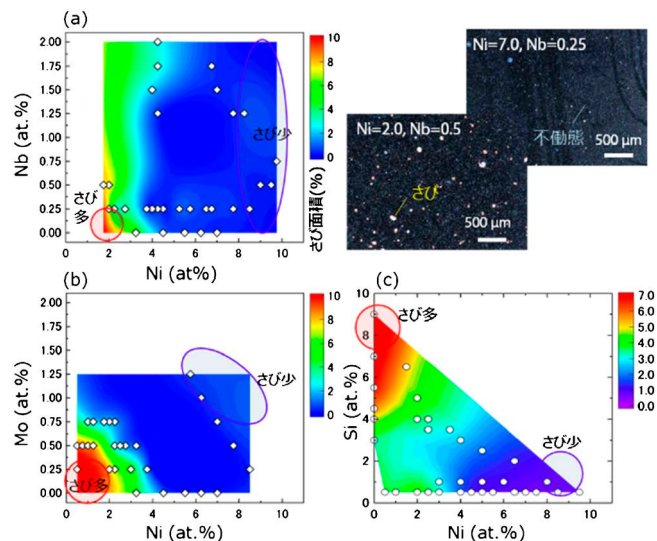


図6 高温高湿試験後に観察されたさび面積の添加元素依存性とその時に観察されたアモルファス膜表面のさびの光学顕微鏡写真。(オンラインカラー)

FeSiBPCCu-Ni-Nb および FeSiBPCCu-Ni-Mo, FeSiBPCCu-Ni-Si アモルファス薄膜の各添加組成を軸としたプロットでさび面積を示している。特に、このカラーマップは、総点増加係数1000, 平滑化パラメータ0.001にて補間と外挿で埋めてスムージング処理したものである。

まず、Ni 添加効果について、2 at%以上のNiを添加すると、耐食性が大幅に向上した。光学顕微鏡を用いて観察した薄膜表面のさびの様子を確認すると、Niが少ない領域では、赤茶色のさびが生成され、Niが多い領域ではさびの生成が確認できず、青白い不動態膜が確認された。先行研究によれば、Ni 添加が保護的なさび層(NiFe_2O_4)の形成を促進し、耐食性を向上させることが示唆されている⁽²³⁾。FeSiBPCCu スパッタ前駆体におけるさび層は、主にFe酸化物で構成されていると推測される。一方、多量のNi(>2 at%)が薄膜中に存在する場合、耐食性が向上することが示された。これは、腐食による生成物層全体がNi酸化物で構成されるためであると考えられる。

次に、Nb 添加効果について、耐食性の向上を確認するためには、3 at%以上のNb 添加が必要であり、その効果はあまり大きくない。先行研究⁽²⁴⁾によるFe系金属ガラスへのNb 添加においても添加量4 at.で最大の防錆効果を確認していることから、本研究での結果は妥当であるといえる。

一方、Mo 添加効果については、Nb よりも少ない添加量1-2 at%において、優れた耐食性が得られた。金属合金の耐食性に及ぼすMoのメカニズムについては議論がある⁽²⁵⁾が、Mo 元素が酸化に対してより良い保護を与える層を形成する傾向があることと推察される。

最後に、Siの添加効果について、添加量3 at%付近でわずかに耐食性向上が確認できるものの、添加量が大きくなるにつれて、耐食性が劣化していくことが判明した。また、Ni との共添加によるシナジー効果として、Ni と Si がともに

2 at%付近においてもっと少ない添加量で耐食性が向上したといえる。

以上より、本研究で試みた添加元素の中では、Ni と Mo を含む NANOMET アモルファス薄膜において、もっとも優れた耐食性を示した。本研究の結果は、最適な添加元素を決定することで耐食性を向上させ、 B_s の減少の直接的な原因である Ni の使用量の減少に寄与する高 B_s を有する NANOMET 系合金の設計に重要な情報を提供することが期待される。本研究では、合金の形態としてリボンや粉体が薄膜と同じ傾向が示すと仮定しているため、今後の研究でこれらの耐食性に及ぼす添加効果を比較検証する必要がある。

4. 高耐食性ナノ結晶合金の構造評価・磁気特性

最後に、今回作製したアモルファス合金膜のうち、特に高耐食性を示す $(\text{FeSiBPCCu})_{95.5}\text{Ni}_{4.0}\text{Nb}_{0.5}$ および $(\text{FeSiBPCCu})_{97.0}\text{Ni}_{2.0}\text{Mo}_{1.0}$ に対し、従来の無添加 NANOMET リボン材と比較して、磁気軟性とナノ結晶化挙動を検討した。1×1 mm² の Si(001) 基板上に、各薄膜をマスク無しスパッタリング法により同一組成膜として成膜した。自動保磁力計 (K-HC1000, 東北電機株式会社) を用い、保磁力を評価した (図 7)。最大印加磁場は 150 kA/m で測定した。飽和磁束密度の評価には、成膜領域の僅かな違いが影響を及ぼすため、本研究では保磁力のみの報告とし、 B_s 変化については別の機会で報告したい。

保磁力測定の結果、いずれの薄膜についても 673 K 付近でアニールされたサンプルが最も低い H_c 値を示した。FeSiBPCCu リボン材および Nb 添加薄膜、Mo 添加薄膜の H_c は、それぞれ 7, 26, 67 A/m であった。これらの結果から、Ni および Nb/Mo の添加レベルの増加と膜厚の増加が、 H_c の悪化に寄与していると考えられる。これまでの研究では、Ni または Nb/Mo 置換による H_c の劣化が確認されている⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。最も低い H_c を示す FeSiBPCCu-Ni-(Nb, Mo) 薄膜の熱処理温度は、FeSiBPCCu リボンのそれ

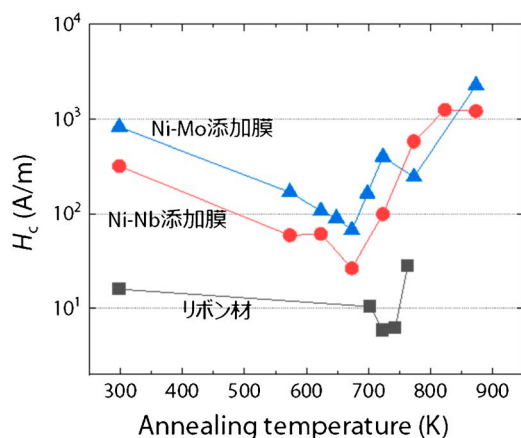


図 7 共添加後の FeSiBPCCu 合金薄膜とリボン材の保磁力の比較結果。(オンラインカラー)

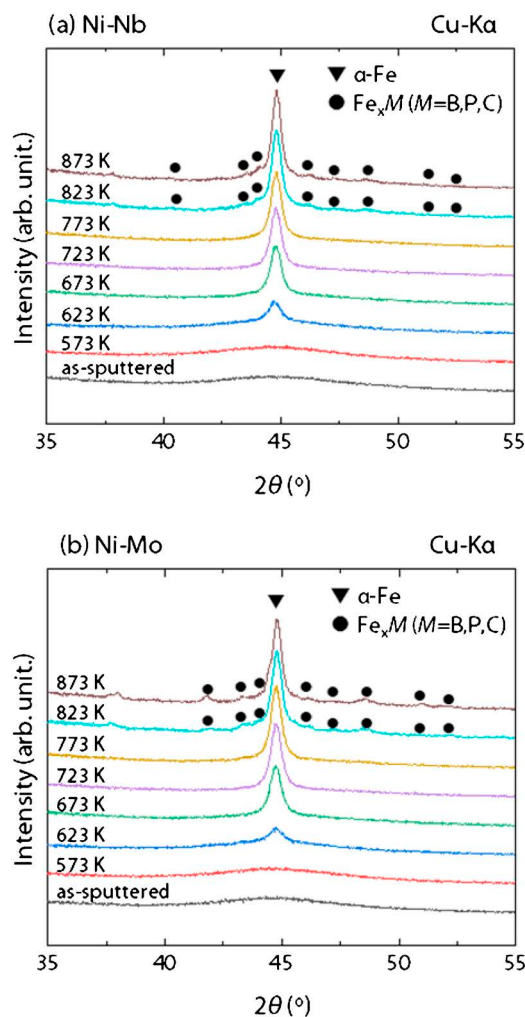


図 8 共添加後の FeSiBPCCu 合金薄膜の XRD パターン。(オンラインカラー)

よりも低い温度にシフトしていることがわかった。最適なアニール温度の差は、DSC 曲線で観察された温度シフトとはほぼ同じであり、主に薄膜の残留応力に起因すると考えられる。このように、磁気特性は若干悪化しているものの、微量元素の添加によって、ナノ結晶/アモルファス構造が不均一な薄膜で高い耐食性を示す可能性があることが明らかとなった。

図 8 に示すのは、上記薄膜の XRD パターンである。この薄膜は 573–873 K で 10 分間アニールされ、最大アニールレートは 40 K/min であった。α-Fe のナノ結晶化は約 623 K で始まり、 Fe_xM ($M=\text{B}, \text{P}, \text{C}$) 化合物は 823 K 以上で生成した。アニールされた薄膜は、リボン材とほぼ同じナノ結晶化挙動を示した。本研究で調査した添加元素の腐食挙動と耐食性向上のためのシナジー効果を明らかにするためには、さらなる研究が必要である。本研究で得られた知見は、高性能な Fe 系ナノ結晶軟磁性合金の大規模生産と長期利用への道を拓くものであり、様々な産業応用に貢献できる。

5. お わ り に

本稿では、高耐食性を有するナノ結晶合金 FeSiBPCCu の創製に向けて、コンビナトリアル合成と高温高湿試験を組み合わせた耐食性評価法を紹介した。Ni, Nb, Mo, Si 元素の添加がアモルファス合金膜の耐食性に与える影響を明らかにし、効率的なナノ結晶合金探索が期待できることを示唆した。今後の課題として、酸化被膜や腐食後生成物の特定、共添加による腐食メカニズムの解明が挙げられる。

ナノ結晶軟磁性材料の研究開発には、磁気特性以外にもアモルファス形成能、熱安定性、機械的脆性など多面的な評価が必要であり、従来の逐次の評価手法では現実的ではない。網羅的・効率的な評価手法の提案が引き続き重要な研究課題となる。本研究は、コンビナトリアルスパッタリング法によるスクリーニングを通じて耐食性向上を目指す Fe 系ナノ結晶合金開発に貢献し、エネルギー関連産業や環境負荷低減に寄与する新しい軟磁性材料の創出への貢献が期待できる。

文 献

- (1) M. Ohta and Y. Yoshizawa: J. Phys. D: Appl. Phys., **44**(2011), 064004.
- (2) C. Jiang, X. Li, S. S. Ghosh, H. Zhao, Y. Shen and T. Long: IEEE Trans. Power Electronics **35**(2020), 10821–10830.
- (3) A. Makino, H. Men, T. Kubota, K. Yubuta and A. Inoue: IEEE Trans. Magn., **45**(2009), 4302–4305.
- (4) Y. Yoshizawa, S. Oguma and K. Yamauchi: J. Magn. Magn. Mater., **401**(2016), 479–483.
- (5) K. Suzuki, A. Makino, N. Kataoka, A. Inoue and T. Masumoto: Mater. Trans. JIM, **32**(1991), 93–102.
- (6) M. A. Willard, D. E. Laughlin, M. E. McHenry, D. Thoma, K. Sickafus, J. O. Cross and V. G. Harris: J. Appl. Phys., **84**(1998), 6773–6777.
- (7) T. Liu, F. Kong, L. Xie, A. Wang, C. Chang, X. Wang and C. T. Liu: J. Magn. Magn. Mater., **441**(2017), 174–179.
- (8) E. Dastanpour, M. H. Enayati, A. Masood and V. Strom: J. Alloys Compd., **815**(2021), 156727.
- (9) K. Takenaka, A. D. Setyawati, P. Sharma, N. Nishiyama and A. Makino: J. Magn. Magn. Mater., **401**(2016), 479–483.
- (10) K. Yoshida, M. Bito, J. Kageyama and Y. Shimizu, M. Abe and

A. Makino: AIP Adv., **65**(2016), 055933.

- (11) J. Luan, P. Sharma, N. Yodoshi, Y. Zhang and A. Makino: AIP Adv., **65**(2016), 055934.
- (12) X. Jia, Y. Li, H. Wang, G. Xie, S. Yamaura and W. Zhang: Phys. B, **476**(2015), 141–146.
- (13) J. Jayaraj, Y. C. Kim, K. B. Kim, H. K. Seok and E. Fleury: J. Alloys Compd., **434**(2007), 237–239.
- (14) S. Pang, T. Zhang, K. Asami and A. Inoue: J. Mater. Res., **17**(2002), 701–704.
- (15) H. Zohdi, H. R. Shahverdi and S. M. M. Hadavi: Electrochem. Commun., **13**(2011), 840–843.
- (16) H. Okamoto and T. B. Massalski: ASM International, Materials Park, OH, USA, (1990).
- (17) R. Yamauchi, S. Hata, J. Sakurai and A. Shimokohbe: Jpn. J. Appl. Phys., **45**(2006), 5911.
- (18) Y. Aono, J. Sakurai, A. Shimokohbe and S. Hata: Jpn. J. Appl. Phys., **50**(2011), 055601.
- (19) T. Yamazaki, T. Tomita, K. Uji, H. Kuwata, K. Sano, C. Oka, J. Sakurai and S. Hata: J. Non. Cryst. Solids, **563**(2021), 120808.
- (20) B. Varga, A. Lovas, F. Ye, X. J. Gu and K. Lu: Mater. Sci. Eng. A, **286**(2000), 193–196.
- (21) H. N. Shah, R. Jayaganthan and D. Kaur: Mater. Chem. Phys., **121**(2010), 567–571.
- (22) H. Amano, A. Hasegawa, K. Ara, K. Horino and H. Matsumoto: AIP Adv., **93**(2019), 035027.
- (23) H. Cano, D. Neff, M. Morcillo, P. Dillmann, I. Diaz and D. de la Fuente: Corros. Sci., **87**(2014), 438–451.
- (24) H. Zohdi, H. R. Shahverdi and S. M. M. Hadavi: Electrochem. Commun., **13**(2011), 840–843.
- (25) S. Pang, T. Zhang, K. Asami and A. Inoue: J. Mater. Res., **17**(2002), 701–704.
- (26) X. B. Zhai, Y. G. Wang, L. Zhu, H. Zheng, Y. D. Dai, J. K. Chen and F. M. Pan: J. Magn. Magn. Mater., **480**(2019), 47–52.
- (27) L. Wu, Y. Li, K. Yubuta, A. He, Y. Zhang and W. Zhang: J. Magn. Magn. Mater., **497**(2020), 166001.



★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
山崎貴大
2019年 横浜国立大学大学院工学府博士後期課程修了
2019年4月–2022年3月 名古屋大学工学研究院日本
学術振興会特別研究員 PD
2021年3月–2022年3月 米国メリーランド大学客員
研究員
2022年4月–現職
専門分野：軟磁性材料、磁気物理、機械学習
◎磁歪合金やナノ結晶合金を中心とする軟磁性材料の
創製や磁気機能解析、マイクロ磁気シミュレーショ
ンに関する研究に従事。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



TMS2023 Annual Meeting & Exhibition への参加および Acta Student Award 受賞に関する報告

早稲田大学大学院基幹理工学研究科材料科学専攻；博士課程
国立研究開発法人物質・材料研究機構
田畑千尋

2023年3月19日から23日にかけて、米国カリフォルニア州サンディエゴの Hilton San Diego Bayfront と San Diego Convention Center の2か所にて国際会議 The Minerals, Metals and Materials Societies 152nd (TMS2023) Annual Meeting & Exhibition および Acta Student Award 授賞式が開催された。TMS の Annual Meeting は毎年米国の各所にて開催される、材料分野で権威ある会議である。本稿では、TMS2023参加報告と合わせ、Acta Student Award の受賞者として現地で実際に式典に出席した筆者より、それらの様子について報告する。

本学会は70ヵ国、4000人以上の研究者やエンジニア、企業の方々が参加する学会である。参加者は学会専用のアプリを通じて、講演の開始時間や内容、会場、欠講情報を迅速かつ簡便に確認できた。また、このアプリは異なる言語圏からの参加者間でのコミュニケーションツールとしても活用できることから、参加者が互いに連絡を取り合う上で非常に便利であった。筆者は自身の研究分野のみならず、専門外の発表も聴き、知見を大いに広げることができた。

Acta Materialia Symposium—Acta Materialia Award セッションの一部として、3月21日に Acta Student Award 2021 の授賞式が開催された。この賞は Acta Materialia, Scripta Materialia, Materialia, Acta Biomaterialia の4つの雑誌において、優秀と判断される論文への貢献度が高いことで授賞候補者として推薦された学生(筆頭著者であるなど)が第1段階の審査でカバーレター、第2段階で履歴書(Curriculum Vitae: CV)および推薦書2通を提出し、その中から審査を経て、各雑誌から最大4名ずつ、計16名の受賞者が決定された。TMS2023 Annual Meeting での授賞式に招待された Acta Student Award 受賞者は壇上に呼ばれ、受賞者名と論文題名が読み上げられ、1件当たり\$2000の小切手が副賞として授与された。

続いて、Acta Materialia の授賞式および受賞者による Invited Talk が行われた。以下に、その賞名、講演題名および講演者(受賞者)を示す。

- Acta Materialia Gold Medal Lecture:
Have Alloy Design and Discovery Fundamentally Changed?
Tresa Pollock, University of California, Santa Barbara

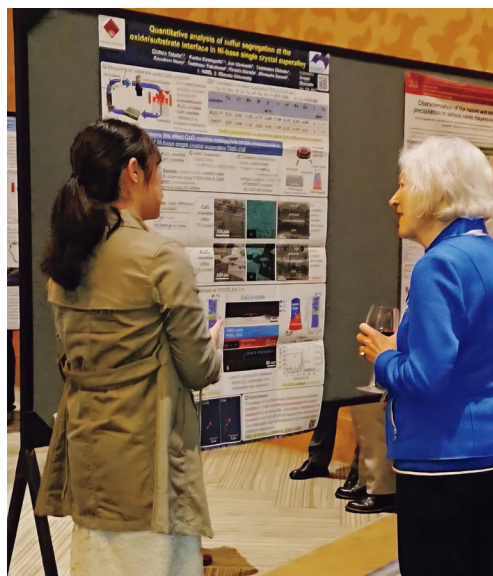


図1 ポスターセッションの様子((左)筆者)。(オンラインカラー)

- Acta Materialia Silver Medal Lecture:
Multi-Disciplinary Systems Optimization Approaches to Alloy Design
Raymundo Arroyave, Texas A&M University
- Acta Materialia Hollomon Award for Materials and Society:
Bringing Materials and Manufacturing Technology Together
Charles Ward, US Air Force Research Laboratory
- Acta Materialia Mary Fortune Global Diversity Lecture:
Diversity & Diffraction
Ben Britton, Imperial College London

この Invited Talk では、受賞者の研究内容や経験談など、貴重な話を数多く聴くことができた。うち、Dr. B. Britton の講演は研究に関する内容とは異なり、LGBTQ+ コミュニティーの博士学生がより良い環境で研究に打ち込む上で必要な活動に関する内容であり、考えさせられた。日本では未だこのような活動が行われておらず、全ての博士学生が安心して研究に専念できる環境が広がることを願い、筆者もその手助けをしたいと思う。

上記受賞記念講演に続き、筆者を含めた Acta Student Award 受賞者(16名中7名が参加)らを囲む1時間の Wine and Cheese Reception with Posters セッションが開催され、受賞者と参加者の間での交流が図られた(図1)。以下に、このレセプションに参加していた受賞者名およびポスター題名を示す。

- Glenn Balbus—Disordered Interfaces Enable High Temperature Thermal Stability and Strength in a Nanocrystalline Aluminum Alloy
- Bárbara Bellon—Directional Solidification and Microstructure Length Scale Predictions in Binary Alloys

- Avanish Chandan—Temperature-dependent Deformation Behavior and Stacking Fault Energy of Fe₄₀Mn₄₀Co₁₀Cr₁₀ Alloy
- Chuchu Li—Biomechanical Strategies to Reach a Compromise between Stiffness and Flexibility in Specialized Femoral Cuticle
- Mackenzie Perry—Tracing Plastic Deformation Path and Concurrent Grain Refinement during Additive Friction Stir Deposition
- Gabriel Spartacus—Characterization of the Nature and Morphology of Coarse Precipitation in Various Oxide Dispersion Strengthened Steels
- Chihiro Tabata—Quantitative Analysis of Sulfur Segregation at the Oxide/Substrate Interface in Ni-base Single Crystal Superalloy

学会の後、筆者と同じ超合金分野にあって Gold Medal を受賞された Prof. Dr. T. Pollock のご厚意により、University of California, Santa Barbara にある研究室の訪問と合わせ、筆者の研究発表の機会をいただき、交流を深めた。

国際学会の授賞式への参加は初めてであったが、多くの優秀な学生との交流をはじめ、貴重な体験をした。本賞の日本人受賞者が10年以上出ていなかった中、自身がこのような栄えある賞をいただくことができ、光栄に思う。この結果に恥じることはないよう日々精進し、引き続き研究に励んでいきたいと思う。

次回 TMS2024は2024年3月3日から7日にかけて、米国フロリダ州オーランドにて開催される予定である。

(2023年7月14日受理)[doi:10.2320/materia.62.606]

(連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 59号館305)

“あのころ”のまてりあ

『金属学の進歩と本誌』

談話室 須藤欣吾 著 日本金属学会会報 第1巻(1962)第1号 28頁, 44頁

案内人 関西大学 化学生命工学部 近藤亮太

日本金属学会会報の通称が“まてりあ”に代わってからもう30年弱である(1994年～2022年現在)。今回紹介するのは「金属学の進歩と本誌」金属学会会報1巻(1962年)であり、紹介するにあたり原文をオンライン上でダウンロードしてみた。現在ではオンラインでダウンロードして様々な記事を閲覧でき、とても便利な環境になったと思うし、それは日常でもインターネット上で検索すれば、ほぼほぼ検索ワードがヒットしないことが無いことから感じている。一方で、「辞書は手で引きなさい」と言われた人は多いのではないだろうか。私もその一人で、辞書は手で引くことで周辺の情報も頭の中に入ってくることの重要性も理解している。「まてりあ」は毎回雑誌として送られてくるので、一目通すだけでも新たな情報が手に入れられ、本当にありがたい存在であることを実感している。

さて、紹介記事のダウンロードの話に戻るが、紹介記事は談話室となっており、いくつかのページにまたがって掲載されている(p. 28, 44)。併載記事のタイトルは「爆発加工」⁽¹⁾と「鋳鉄の黒鉛組織を変ぼうさせるものは何か」⁽²⁾となっており、これもまた目を引くタイトルである。紹介記事内では、技術進歩による高純度化や耐熱材料の進化について紹介されており、多岐にわたって進歩、進化する技術に対して研究者間で連携し、データや事象を検討する必要があると述べられている。他にも細分化する研究分野となる一方、研究に対しては、概括をもっておく必要があることも提言されている。自身の研究を概括するには、周辺の状況や技術についても知っておく必要があり、それが紹介記事内でも書かれている「研究者間の連携」にもつながると思う。耐熱材料につ

いても最近では、「Anelasticity induced by AC flash processing of cubic zirconia」⁽³⁾のように電気エネルギーを利用したセラミック材料の機械的性質の変化(通電することで弾性率が低下すること)について成果発表が報じられたりと、常に新たな情報を手に入れつつ古くからある技術や情報についても注視しなければならないことを日々痛感させられる。前半記事「爆発加工」では超高圧、高速状態での成型方法について広くまとめられており、記事内でも言及されている耐熱材料の加工法として当時普及してきたアーク溶解法や電子ビーム溶解法について触れられ、記事をめくっているだけでも面白いと感じるであろう。また、後半の「鋳鉄の黒鉛組織を変ぼうさせるものは何か」についても“ああ、確かにそうやって組織が形成されることは習ったなあ”と多くの方が感じるかと思う。学生にとっても研究者にとっても古い会報を手取ることは、自身の研究を概括する上で大切な一時になるのではないだろうか。

読者にはオンラインでも過去の「まてりあ」の記事は手に入る環境にあるので、今回紹介した談話室の話だけでなく、タイトルを見て気になった記事も手に取ってみてはどうだろうか。

文 献

- (1) 野村羊観：日本金属学会会報，**1**(1962)，20-28.
- (2) 丸山益輝：日本金属学会会報，**1**(1962)，39-44.
- (3) H. Masuda, K. Morita, T. Tokunaga, T. Yamamoto and H. Yoshida: Acta Mater., **227**(2022)，117704.

(2022年3月29日受理)[doi:10.2320/materia.62.608]

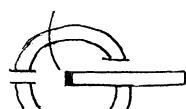
が減少し、同じ工具材料でも切削が可能になることが 1931 年独乙特許として Salomon によって提示されていた。第 4 図はその関係を示すものである。このような飛翔体切削法ともいべき方式においては被切削試料の形状や大小に制限はあるが、かかる型やぶりの切削法が実用面から再発見された理由は、航空機材料として好ましい性質をもつてはいるが、現用切削機で切削困難な材料を切削するために新しい切削原理の確立が要求されるためである。DeGroat ら⁽⁶⁷⁾の報文においては熱処理した 4340 鋼、インコネル X、6 Al-4V チタン合金などについての実験結果が述べられている。4340 鋼の場合音速の 3.5 倍の切削速度を実現している。

V. 結 言

爆発加工は元来が少数個生産技術であつて、このことは火薬類の爆発が 1 回毎に行なわれることに由来する。もちろん同一装置を多数個揃えて一斉に爆発を起して多数個生産を行なうこともできるが、現代生産工業の一つの特徴である自動化による流れ作業のような工程にはいまのところ不向きとされている。しかし小銃から機関銃に発展した如く、火薬法においては連続生産方式が不可能ではない。爆発加工法が研究室の実験規模を出て技術として成長するためには、爆発加工によって得られる製品の実用性を示さなければならない。少数個生産技術で

あるため実用性があつても、それぞれ単独で大規模の企業性は得難いのが一般である。爆発成型法の実用性は充分確立され、殊に大型の成型品ならびに小型であつても複雑な形状の成型品については、機械成型法の及び得ない有利さをもっている。これに対して種々の機械的接合、溶接、硬化、粉末圧搾、その他は全く今後育成して実用と結びつけなければならない分野である。にもかかわらず実用の可能性が日本特許として次ぎ次ぎに外国より提出されている。本邦においてもおくれをとらないよう爆発加工技術の進歩することが望まれる。

なお、爆発加工のうち火薬ガスによる加工法が、火薬を使用しない方式では及ばない高速加工を実現し得て、独自の立場を占め得るか否かは、機械における高速駆動方式の進歩如何による。機械方式による高速加工機であるダイナパックのラムの運動の秒速は 100 m を越えているが、その速さは機械方式の範囲内でもさらに増進されて、火薬を使用する加工機が無意味になるのか、或いはダイナパックを加速するのにやはり火薬を使用しなければならないのかは今後の問題である。押出し加工は爆薬および火薬いづれの方法によつても充分実験が行なわれないうちに、ダイナパック法が高速押出しの主役を占めた感がある。火薬法による加工の大部分は、その本質からいつて爆薬法と異なり、高速機械加工機の充分な発達までの過渡的技術となる可能性がある。



談 話 室

金属学の進歩と本誌

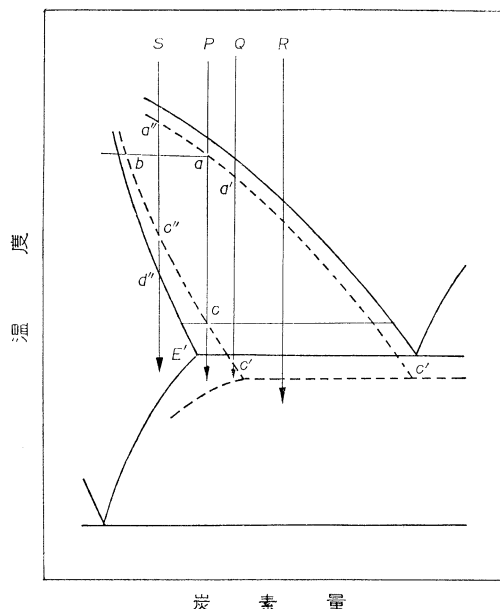
1950 年代は Ti が脚光を浴びたが、1960 年代は refractory metals の時代といわれている。従来学術的研究の対象に過ぎなかつた種々の refractory metals が新用途を見出されて次々と登場している。すなわち Re は W 合金として電子管、超高温測定用熱電対、ジェットエンジン用タービンブレードなどに使用され、Cb(Nb) も耐酸化材、ことに耐熔融塩材および原子炉材に、また Ta は酸化、還元いずれの媒質にも耐える装置材、あるいは electronic capacitors として使用されつつある。このような用途が見出された大きな原因は何かというと、高純度金属の製錬および熔解技術が進歩したことで、なかんづく後者の進歩は著しく、

これまで粉末の焼結によるしかなかった高融点金属の熔解が真空熔解法、アーク熔解法、電子衝撃熔解法の出現により容易になつたためである。最近はさらに高温発生用としてプラズマが利用され、実に 50,000°C の高温が達せられるに至り、また太陽炉による熔解法も採用されている。この熔解技術の進歩に伴い、これまで加工性がないとされて来たいわゆる refractory metals が粘性、加工性を持ち、さらに熔接法、加工法の進歩と相待つて種々の精密機械部品が製作されるに至っている。

他方、電子工業材料としての Ge、Si などは超高純度を要するため、単結晶引揚法、帯熔法などが開発されたが、最近の電子工業界の進歩は著しく、次々と超高純度金属への要求が増大して来ている。もちろん合金の方面でも高純度合金が製造されるようになり、新しい用途が見出されている。また将来宇宙開発を実現するために要望されている金属として超音速 re-

(44 頁へつづく)

ステナイトは単に全体として過飽和であるばかりでなく、異常に過飽和度の高い部分が発生し、ここを中心にして黒鉛がオーステナイト中より析出する。この析出は炭素の固体内拡散によるため、その形態は球状となる。



第8図 低炭素 Fe-C 系合金における球状黒鉛析出過程説明図

Q 組成の熔湯のように炭素量が高くなると、初晶オーステナイトの過冷晶出温度およびオーステナイト化温度がそれぞれ a' , c' のごとく低温に移行するため炭素の拡

散速度は減少し、異常過飽和オーステナイトの生成は困難になつてくるので黒鉛化は減退する。

炭素量がさらに高く、たとえば R 組成になると、オーステナイトの晶出温度はますます低下し、黒鉛化は一層低下するが、さらに共晶融液を残すので片状黒鉛の晶出をみるに至る。

一方炭素量がオーステナイトの炭素飽和固溶点 E' より低い。たとえば S 組成の熔湯になると、オーステナイト化温度が非常に高温になるので、一たん過飽和の状態が生成されるが、炭素の拡散が速く、平衡化反応が速やかに進み、過飽和状態はくずれる。またたいて過飽和状態でそのまま冷却したとしても、 d'' 点に達すれば過飽和状態を消失するから、黒鉛核の発生は甚だしく困難となる。すなわち球状黒鉛核の発生は E' 点を極限として急減する。

5. む す び

以上の考察を要約すると次のごとくなる。球状黒鉛の生成過程には2つあり、1つは熔湯から直接晶出するものであり、他は炭素過飽和オーステナイトから析出するものである。いずれの過程を通るにせよ Fe-C 系熔湯が全く純粋であれば黒鉛は常に球状に生成され、これをくずすものは酸素、硫黄などの諸成分である。このような諸成分を含むネズミ鉄において黒鉛は片状形をとるが、この形状、大きさ、分布は共晶集団の生成の仕方によつて支配される。

(28頁からつづく)

entry vehicles, 宇宙船, ロケット, ミサイル用の耐熱材料があり、世界的にも多岐の研究が行なわれ、国際的なシンポジウムが開かれていることは衆知の通りである。

最近の科学の進歩は目ざましく、明日は予測できないほどで、この基盤をなす金属材料に対する要望も長期予測ができない状態である。この進歩に対応するためには研究者はお互いに連繋を保つて、緊要データを集め、また検討し合う場をもつ必要が生ずる。他方不測の金属材料に対する要望に備え、また未知の特性を見出すため、現在注目されていないような金属自身はもちろんそれらの合金の諸性質に関する研究も怠るこ

とはできない。これらの研究はいわゆる日蔭の研究として世の脚光を浴びる機会は少ないかも知れないけれども、得られた結果は貴重な存在となる。ここに金属学会誌の存在意義があると思われる。

今日、研究分野はますます細分化されて行く傾向にあるにも拘わらず、研究者自身は自己の研究の意義を知るため、学界、業界の動きを知る必要がある。また高度の製品が要求される技術者にとっては研究成果を極度に活用する必要が生じて来ている。この目的達成には研究成果の概括を常に知つていなくてはならず、広く金属に関する研究事情を知る手段として本会報の存在意義があると思われる。この意味で今後本誌が広く読まれるよう切望してやまない。(須藤欽吾)

第1回日本金属学会フロンティア研究助成成果報告(1)

日本金属学会フロンティア研究助成は、教育・研究機関での金属及びその関連材料分野の学術研究及び技術研究の発展や若手研究者の育成や奨励を目的で2020年度に設立されました。第1回フロンティア研究助成受給テーマ10件の研究期間終了に伴い、その成果をまてりあ9号および10号で報告します。

「金属/酸化物異相界面を利用した面欠陥導入による
水電解触媒の高機能化」

1. 研究期間：2020年9月～2022年9月(2年間)

2. 研究の概要

本研究では、水電解反応に用いられる IrO_2 触媒の高活性化・使用量削減を見据え、触媒活性支配する構造因子として面欠陥を新たに提示し、その制御による触媒高機能化原理を創出することを目的とする。

面欠陥の影響を明確化するため、よく構造が規定された単結晶薄膜モデル触媒を作製する。貴金属単結晶を基板とし、その上に IrO_2 ナノ薄膜をエピタキシャル成長させ、金属基板/酸化物薄膜間の格子ミスフィットを利用し薄膜中への面欠陥導入を試み、その触媒特性への影響を明らかにする。酸化物の触媒特性に対し面欠陥の影響を調べた実験報告例はこれまで無く、その新規性・独自性は極めて高い。本研究で目標とした「面欠陥の導入による触媒特性の向上」が実証された際には、世界的競争分野である水素エネルギー関連触媒材料の開発に大きなインパクトを与えることが期待される。また、面欠陥が触媒作用に与える影響は金属・化合物に限らず他の触媒分野においても未だ議論の中にある。したがって、期待される成果が得られた場合の触媒材料研究に対する学術的波及効果は大きい。

3. 研究実施の概要(実施状況・研究成果等)

本研究では当初の目的通り、まず各種貴金属単結晶基板上へのアークプラズマ蒸着(APD)法による IrO_2 単結晶薄膜の形成を試みた。しかし、貴金属単結晶上にエピタキシャル薄膜は得られず、面欠陥を観察することもできなかった。そこで、基板を貴金属から酸化物に変更し、 IrO_2 単結晶薄膜の形成を試みた。酸化物基板として用いた TiO_2 (110)は IrO_2 と同じルチル型構造を有するため、エピタキシャル成長が可能であると判断した。

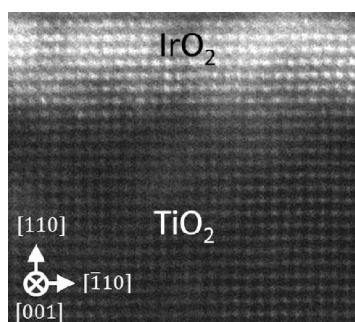


図1 TiO_2 (110)単結晶基板上に成長した IrO_2 薄膜の HAADF-STEM 像。

図1に TiO_2 (110)基板上にAPD法により作製した IrO_2 薄膜の走査透過電子顕微鏡像を示す。 TiO_2 基板上に IrO_2 薄膜が基板の原子配列を保ってエピタキシャル成長していることがわかる。目的とした明瞭な面欠陥は確認されなかったものの、 IrO_2 層の表面側では一部原子配列がずれた箇所が観察された。

図2に IrO_2 (110)表面モデル、膜厚4 nm および6 nm の IrO_2 薄膜の in-plane XRD パターンを示す。図2(a)に示すようにルチル型構造の(110)面は[001]方向と $[\bar{1}10]$ 方向で異なる原子配列を取り、異方性を有する。そこで、それぞれの方角についてXRDパターンを測定した。(b)の[001]方向について測定したXRDパターンから4 nm, 6 nmのいずれの試料においても、バルクの IrO_2 に対し高角側に(002)面の回折ピークが現れ、膜厚が薄いほど高角シフトした。回折ピーク位置より見積もった4 nm, 6 nm 試料に加わる格子ひずみはそれぞれ-3.6%, -2.7%であった。一方、 $[\bar{1}10]$ 方向では、6 nm 試料でバルクの IrO_2 とほぼ一致し、4 nm 試料はわずかに低側にシフトし、格子ひずみは+0.5%であった。 TiO_2 に対し IrO_2 はa(b)軸(図2(a)中 $[\bar{1}10]$ から45度ずれた方向)のバルク格子定数が約2%小さく、c軸(図2(a)中[001]方向)の格子定数は6%大きい。in-plane XRDの結果はこのバルクの格子定数差をよく反映しており、 TiO_2 基板上にエピタキシャル成長した IrO_2 (110)薄膜には[001]方向に異方的な圧縮ひずみに加わり、膜厚が薄くなるほどひずみ量が増加することがわかった。

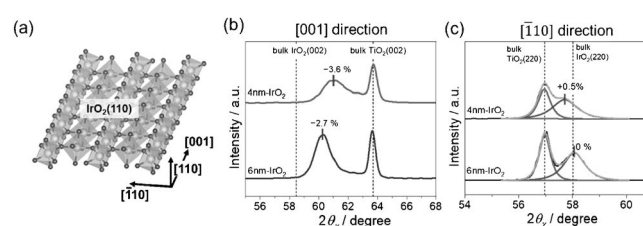


図2 (a) IrO_2 (110)表面モデル。(b, c) [001]および $[\bar{1}10]$ 方向について測定した in-plane XRD パターン。

図3(a)に N_2 脱気した0.1 M HClO_4 中で測定した IrO_2 (110)薄膜の分極曲線を示す。サイクリックボルタモグラムから表面積の指標となる表面吸着OH種の電荷量を算出し、規格化している。図から明らかなように、4 nm 試料は6 nm 試料に対し低電位側から酸素発生反応に起因する電流が立ち上がっており、高活性であることがわかる。図(b)に1.0 V-1.8 V間の電位サイクル耐久性試験を3000サイクル施した際の $5 \mu\text{A}/\text{cm}_2$ における酸素発生過電圧の変化を示す。いずれの試料もサイクル数の増加に伴い徐々に電位が上昇す

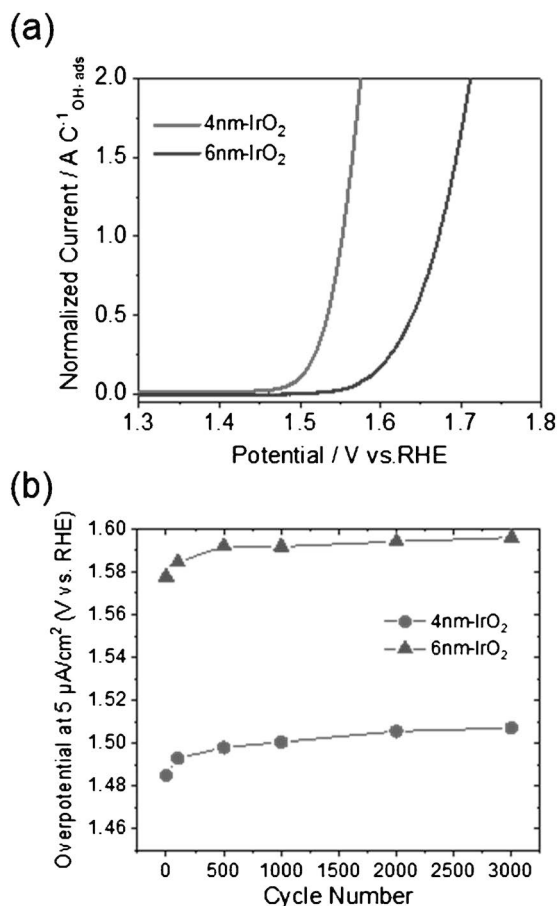


図3 (a) IrO₂/TiO₂(110)試料の分極曲線. (b) サイクル試験下における過電圧の推移.

るものの、顕著な劣化は見られず、4 nm 試料が 6 nm 試料に対し約 90 mV 低い電位を維持した。6 nm 試料の過電圧は既報の 8 nm 試料の値(J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 3473)にほぼ一致したことから、より大きな異方ひずみが加わっている 4 nm 試料が優れた酸素発生触媒活性、耐久性を有することが明らかになった。

更に、IrO₂ 触媒で得られた知見を元に、触媒を RuO₂ に変え SnO₂ を中間層とした RuO₂/SnO₂/TiO₂(110) 積層構造を作製し、触媒特性を評価したところ SnO₂ 層の存在により飛躍的に触媒活性および耐久性が向上することがわかった。以上より、IrO₂ および RuO₂(110) 表面に異方ひずみを加え、ひずみ量を制御することにより触媒特性を向上できることが明らかになった。当初目的であった面欠陥の導入は叶わなかったものの、「異方ひずみ」という酸素発生触媒特性向上のための新たな構造因子を発見するに至った。本研究で得られた成果を進展させることにより、異方ひずみの制御に基づく触媒開発へと繋がることが期待される。

4. 成果の発表(例：大会発表、会誌、Materials Transactions 投稿、特許出願等)

1. 林 謙汰, 横井瑞穂, 轟 直人, 和田山智正, TiO₂(110) 基板上にアークプラズマ堆積した IrO₂ の酸素発生特性, 日本金属学会2021年春期講演大会, 2021年 3 月16日
2. 轟 直人, 林 謙汰, 横井瑞穂, 和田山智正, 気相法により作製した IrO₂/TiO₂(110) 表面系の酸素発生反応特性, 電気化学会第88回大会, 2021年 3 月22日

3. Naoto Todoroki, Ryutaro Kudo, Kenta Hayashi, Mizuho Yokoi, and Toshimasa Wadayama, Oxygen Evolution Activity of RuO₂/MO₂/TiO₂(110) (M=Ir, Sn) Surfaces in Acidic Electrolyte, 242nd ECS meeting, 2022年10月 9 日
4. 轟 直人, 工藤龍太郎, 林 謙汰, 横井瑞穂, 和田山智正, RuO₂/MO₂/TiO₂(110) (M=Sn, Ir) 積層構造の酸素発生反応活性, 第46回電解技術討論会, 2022年11月17日
5. 植木奈桜美, 轟 直人, 和田山智正, Ti ドープ RuO₂(110) 薄膜電極の酸素発生反応特性, 日本金属学会2023年春期講演大会, 2023年 3 月 7 日
5. 本研究終了後の計画等(今後の計画, 本研究に関連した今後の助成の申請予定等)

本研究助成によって得られた成果の一部をもとにした研究テーマ「ルチルヘテロ構造を利用した異方歪みの導入による水電解触媒の高活性化」が科研費挑戦的研究(萌芽)に採択され、現在実施中である。また、異種元素ドーピングが RuO₂ の酸素発生特性におよぼす影響を明らかにするため、本助成で得られた試料作製法のノウハウを活かし、異種元素ドーブ RuO₂(110) 単結晶薄膜モデル触媒を用いた研究を平行して行っている。更に、関連研究については各種国プロジェクトや科研費などの研究助成に応募予定である。

6. 研究代表者：轟 直人(所属)東北大学大学院環境科学研究科

7. 共同研究者(研究実施者)

和田山智正, 東北大学大学院環境科学研究科, 教授

林 謙汰, 東北大学大学院環境科学研究科, 博士後期課程学生

横井瑞穂, 東北大学工学部材料科学総合学科, 学部学生(研究当時)

工藤大輔, 東北大学工学部材料科学総合学科, 学部学生(研究当時)

植木奈桜美, 東北大学工学部材料科学総合学科, 学部学生

「輸送機器の画期的軽量化を実現する新次元軽量ハイエントロピー鑄造合金の開発」

1. 研究期間：2021年 3 月～2023年 2 月(2 年間)

2. 研究の概要

超軽量構造材料の社会実装、とりわけ新次元の超軽量ハイエントロピー鑄造合金の創成による自動車を中心としたモビリティの画期的な重量軽量化の実現は、温室効果ガス CO₂ の低減を実現する切り札となる。本研究では、第一原理計算データベース・電子状態計算・CALPHAD・プロセス指向型合金設計法を複合した新規合金設計と、既存汎用装置を用いた鑄造法の適用という独自の視点から、軽量ハイエントロピー鑄造合金の開発を行う。軽量ハイエントロピー合金開発の最大の問題点は、鑄造法による試料作製法が確立されていないことにある。本研究より獲得・蓄積される合金設計・プロセス両面からの超軽量ハイエントロピー鑄造合金の開発に向けた世界初の基礎知見は、我が国における軽量ハイエントロピー合金開発の起点となる。さらに「既存汎用装置を用いた鑄造法の適用」という概念にもとづく研究により、

単純な革新的新材料開発だけではなく、新材料開発を通じた地方創生という材料科学のフロンティアを切り開く。

3. 研究実施の概要(実施状況・研究成果等)

これまで開発してきた真空雰囲気を利用しなくても铸造可能な Al-Mg-Li-Ca 合金では Al_2Ca 金属間化合物が形成し固溶体の形成が困難であることが明らかとなっていた (T. Nagase et al., Mater. Trans., 61 (2020), 1369–1380.)。この問題を克服するため、図 1 に示すハイエントロピー合金の固溶体形成傾向を予測する経験的パラメーターである ΔH_{mix} および $\delta(\Delta H_{\text{mix}})$ をもとに、3d 遷移金属元素からなるハイエントロピー合金 (3d-HEA)、4~6 族元素を主要構成元素とする耐火ハイエントロピー合金 (RHEA) および生体用ハイエントロピー合金 (BioHEA)、金属ガラス (MG)、液体分離型金属ガラス (LPS-MG)、軽量ハイエントロピー合金 (LW-HEA)、および等原子組成比 Al-Mg-Li 合金 (Al-Mg-Li) の特徴を検討し、Al-Mg-Li 合金系をベースとした Al 系ミディアムエントロピー合金 (Al-MEA) を検討した。新たな合金設計指針として、(a) HEA ($\Delta S_{\text{mix}} \geq 1.5R$) (R は気体定数) は難易度が高いのでまずは MEA ($\Delta S_{\text{mix}} \geq 1.0R$) とする、(b) Al-rich 合金とする、(c) Al-rich 合金では化合物の形成は不可避であると考えられるので、「FCC-Al 主相+化合物マイナー相」となる合金を目指す、とした。Al と、Al 以外の元素 M を等原子組成比とする、下記の (1) 式で表される n 系合金を考えた。

$$\text{Al}_{100-x} \cdot \left(\sum_{i=1}^n M_{(x/n)} \right) \quad (1)$$

ここで、 M は Al 以外の元素である。図 2 に、(1) 式で示される合金の $\Delta S_{\text{mix}}/R$ を示す。 $x=50$ の合金では、 $n=2$ となるインデックス A で示す $\text{Al}_{50}(\text{M1})_{25}(\text{M2})_{25}$ 合金 (M1 と M2 は Al 以外の異なる元素) ではじめて $\Delta S_{\text{mix}}/R \geq 1.0$ となることが分かる。 x の値が小さくなるほど、すなわち Al 濃度が増加するほど、 $\Delta S_{\text{mix}}/R \geq 1.0$ の条件を満たすために必要な n は大きくなる。本研究では、インデックス B に相当する

① $\text{Al}_{60}\text{Mg}_{13.3}\text{Li}_{13.3}\text{Zn}_{13.3}$ (at%)、Cni 相当する② $\text{Al}_{70}\text{Mg}_{7.5}\text{Li}_{7.5}\text{Cu}_{7.5}\text{Zn}_{7.5}$ 、D に相当する③ $\text{Al}_{75}\text{Mg}_{4.16}\text{Li}_{4.16}\text{Cu}_{4.16}\text{Zn}_{4.16}\text{Ni}_{4.16}\text{Si}_{4.16}$ の 3 合金、比較材として LPS-MG である④ $\text{Al}_{83.3}\text{Co}_{9.8}\text{La}_{4.9}\text{Bi}_2$ 合金も比較材として設計した。Al-MEA インゴットは広島県立総合技術研究所・西部工業技術センターにて、Al-Bi 系 LPS-MG は大阪大学にて作製した。図 3 に、Al-Mg-Li-Zn ①合金インゴットの外観写真を示す。真空雰囲気を利用することなく、溶解-铸造法によるインゴットの作製が達成された。図 3 に Al-Mg-Li-Zn ①合金インゴットの内部組織写真を示す。Al-rich FCC 固溶体デンドライトと、デンドライト樹間における微細共晶組織からなる組織が

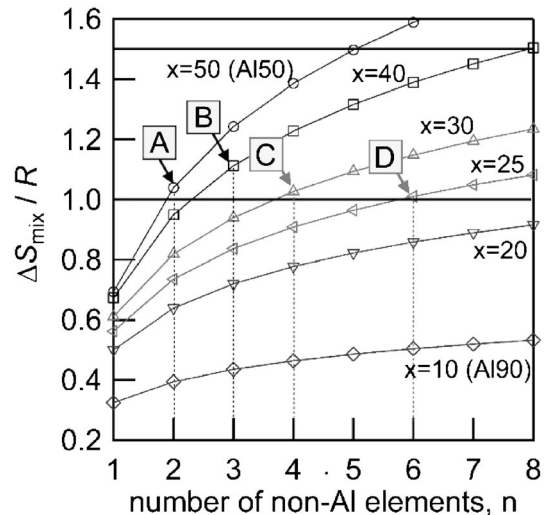


図 2 $\Delta S_{\text{mix}}/R$ of Al-based alloys represented by the equation (1).

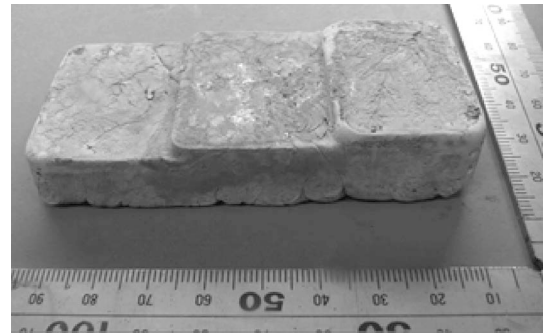


図 3 Outer appearance of Al-Mg-Li-Zn LW-MEA ingots.

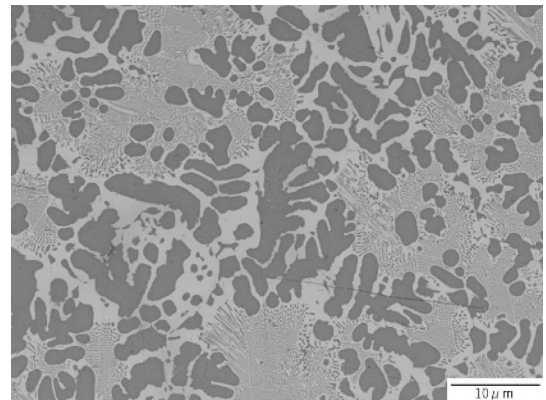


図 4 SEM images of Al-Mg-Li-Zn LW-MEA ingots.

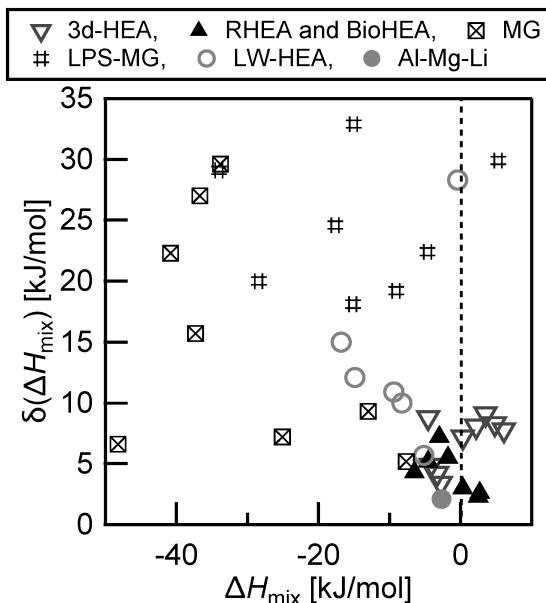


図 1 $\Delta H_{\text{mix}} - \delta(\Delta H_{\text{mix}})$ maps for various multi-component alloys.

得られた。固溶体単相の形成は困難であったが、Al-rich FCC 相を主相とする合金インゴットの作製が達成された。比較材として急速凝固リボンを作製した Al-Co-La-Bi(④) 合金急速凝固材では、Al 系アモルファス相と Bi-rich 球状分散物からなる LPS-MG が形成されていた。①～④の合金における組織観察結果から、図 1 に示す $\Delta H_{\text{mix}} - \delta(\Delta H_{\text{mix}})$ Map は、Al-MEA および Al 系 LPS-MG の合金設計に有用であることが確認された。

4. 成果の発表(例：大会発表、会誌、Materials Transactions 投稿、特許出願等)

【大会発表】

1. Solidification microstructure in a multicomponent Al-Co-La-Bi alloy with an amorphous phase 日本金属学会 2022 年春期講演大会(第170回), 2022.03.15-03.22

【会誌, Materials Transactions 投稿】

1. Design and characterization of Al-Co-La-Bi multicomponent immiscible alloys with liquid phase separation and an amorphous phase formation, Materials Transactions, 64 (2023), 1655-1662.

【特許出願等】

無し

5. 本研究終了後の計画等(今後の計画、本研究に関連した今後の助成の申請予定等)

真空雰囲気を利用しなくても铸造可能な Al-MEA 合金(①～③)の凝固組織を、FCC-Al 系デンドライト形成の有無の点に注目して調べることで、Al-MEA 铸造合金における凝固現象の特徴を明らかにする。Si を含む合金である③の凝固組織と、一般的な Al 系铸造合金である Al-Si 系合金(シリミン)と比較することで、Al-Si 系合金をベースとする Al-MEA 铸造合金の合金設計につなげる。

6. 研究代表者：永瀬丈嗣(兵庫県立大学)

7. 共同研究者(研究実施者)：阪本辰顕(愛媛大学)

「マイクロ金属単結晶の強度に及ぼす材料強化因子の役割」

1. 研究期間：2020年9月～2022年9月(2年間)

2. 研究の概要

ナノ・マイクロ金属の強度は、従来のバルク金属(ミリメートルサイズ)のものより高い(強度のサイズ効果)。「強度のサイズ効果」はバルク金属の「転位源枯渇硬化」として作用し、超微細粒材料等の特異な高強度化の要因として学術的に注目されている。しかし、従来の材料強化因子(転位、固溶元素、析出物、結晶粒界)が強度のサイズ効果(転位源枯渇硬化)に及ぼす役割は不明である。本申請研究では、マイクロ金属の室温強度に及ぼす材料強化因子(転位、固溶元素)の役割の実験的解明を目標とし、意図的に強化因子として作用する転位や置換型固溶元素を導入したマイクロ単結晶試験片を作製し、圧縮試験による系統的な強度測定及び変形後の試験片の転位線観察を行う。本実験アプローチは、国内外に類を見ない新規性・独自性を有する。本申請研究で得られた成果は、微細粒組織を有するマクロ材料の更なる高強度化・高延

性化に有効な強化機構を提示し、学術的に意義の高い「転位源枯渇硬化」を内包するナノ・マイクロ金属の強化機構学理の体系化に資する。

3. 研究実施の概要(実施状況・研究成果等)

(1) マイクロ単結晶の強度のサイズ効果に及ぼす初期転位の影響

純度99.99%のアルミニウムの焼鈍材(低い転位密度)、15%圧延材、30%圧延(結晶粒内に転位が存在する)を準備した。Fig. 1 に、純アルミニウムの焼鈍材、15%圧延材、30%圧延材の異なる試料から作製した単結晶マイクロピラーの圧縮試験によって得られた応力-ひずみ曲線を示す。焼鈍材から作製したマイクロピラーの変形応力は円柱状試験片直径(d)の減少に伴って著しく上昇する(Fig. 1(a))一方、30%冷間圧延材から作製したマイクロピラーは $d = 1.7 \mu\text{m}$ において焼鈍材のものと同等の変形応力を示すが、 d が約 $2 \mu\text{m}$ 以上の試験片の変形応力はほぼ同一である。

Fig. 2 に圧縮後の単結晶マイクロピラー試験片を示す。

Fig. 2(a)は焼鈍材の Fig. 2(b)は30%冷間圧延材の SEM 像

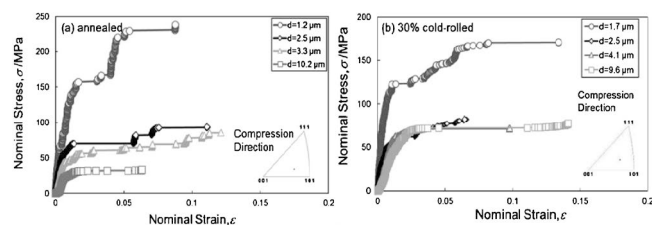


Fig. 1 Nominal stress-strain curves of single-crystal micropillars of (a) annealed and (b) 30% cold-rolled pure aluminum samples.

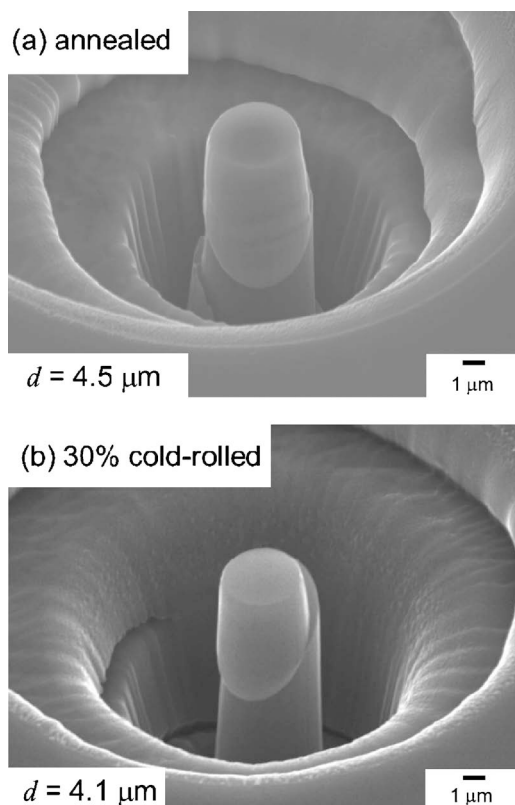


Fig. 2 SEM images showing compressed single-crystal micropillars.

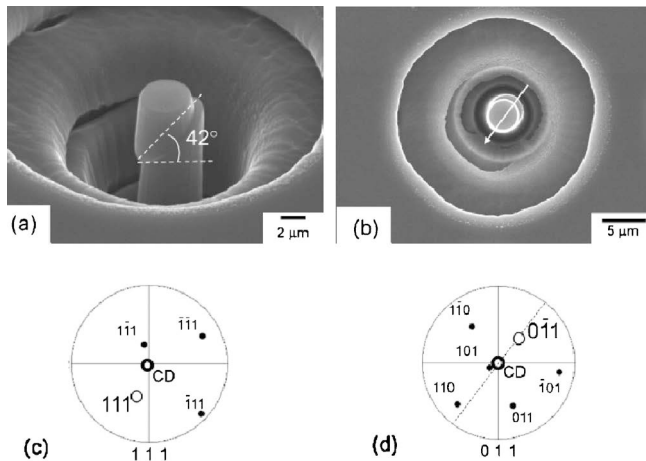


Fig. 3 (a) 45° tilted view and (b) top view of compressed single-crystal micropillars prepared on the sample surface of 30% cold-rolled 4N-purity-aluminum and corresponding (c) 111 and (d) 011 pole figures for the determination of activated slip system.

である。両試料の試験片表面において平行なすべり痕が観察され、単一すべり系の活動が明らかとなった。これらの結果は、 d が異なるマイクロピラーにおいても観察された。Fig. 3 にマイクロピラーの圧縮後の SEM 像を、その圧縮方位を示す 111 及び 011 正極点図と併せて示す。Fig. 3(a) は試料を 45° 傾斜させ、すべりによる段差が明瞭に観察できる側面に回転させて撮影したものである。この SEM 像より、すべり面法線方向と圧縮軸が成す角は約 42° であることが分かった。111 正極点図 (Fig. 3(c)) より、圧縮方位 [11 3 9] と成す角度が SEM 像から求めた角度に最も近い (111) 面がすべり面だと考えられる。また、Fig. 3(b) はマイクロピラーを真上から撮影した SEM 像である。011 正極点図 (Fig. 3(d)) より、Fig. 3(b) で観察されるすべり方向は [0-11] と考えられる。これら (111) と [0-11] は互いに垂直な指数であり、すべり面とすべり方向の関係を満足する。以上の手法を用いてすべり系を同定し、活動すべり系のシュミット因子を算出した。得られた結果から試験片の剪断応力を求めた。

Fig. 4 に Fig. 1 及び Fig. 3 の結果から求めた臨界剪断剪断力 τ_i と試験片直径 (d) の関係を示す。圧延率増加に伴い、高純度アルミニウム単結晶マイクロピラーの強度 τ_i は上昇するが、そのサイズ依存性は低減されることがわかる。

以上のように冷間圧延による単結晶アルミニウムマイクロピラーの強度のサイズ依存性の低減機構は、マイクロメートルサイズの微小体積結晶の変形機構の一つとして提案されている転位源存在確率の観点から説明できることがわかった。

(2) マイクロ単結晶の強度のサイズ効果に及ぼす置換型固溶元素の影響

ここでは、420°C 24 h の焼鈍を施した純 Al、Al-1%Mg 及び Al-2%Mg 2 元系合金試料 (結晶粒径 300 μm 以上の再結晶組織) を準備した。Fig. 5 に、純 Al、Al-1%Mg 合金及び Al-2%Mg 合金試料から作製した単結晶マイクロピラーの臨界剪断せん断応力を剛性率で規格化したもの (τ_i/G) と試験片直径をバーガースベクトルで規格化したもの (d/b) の関係を示す。併せて測定値を基にした近似直線と図中の式に基づいた直線の傾き (m) と切片 (A) を示す。固溶 Mg 濃度の増

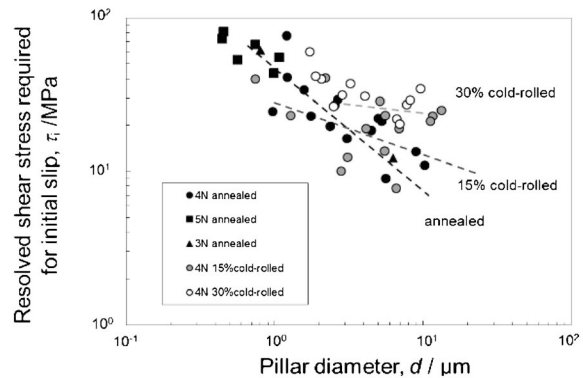


Fig. 4 Change in the resolved shear stress required for an initial slip of pure Al single-crystals as a function of pillar diameter (d).

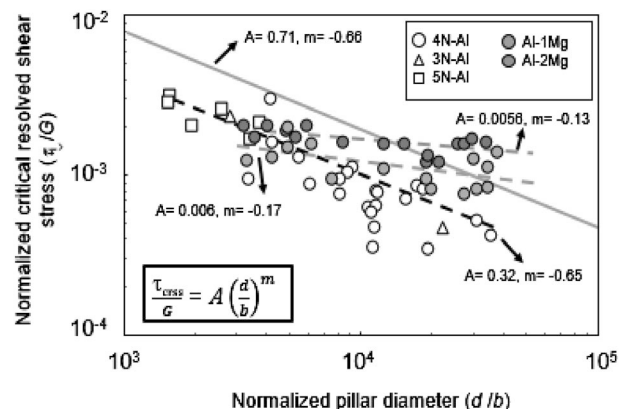


Fig. 5 Change in the normalized resolved shear stress required for initial slip (τ_i/G) of Al single-crystal micropillars as a function of normalized pillar diameter (d/b).

加に伴い α -Al (fcc) の単結晶マイクロピラーの臨界剪断せん断応力 (τ_i) は上昇するが、そのサイズ依存性 (m) は低減されることが分かる。また、単一すべり系の活動はすべてのマイクロピラー試験片に確認され (Fig. 2 と同じ結果が得られた)、固溶 Mg 量に依存しない。したがって、fcc 格子中に置換型固溶元素として存在する Mg による臨界剪断せん断応力の増大が、強度のサイズ依存性の低減の要因のひとつとして考えられる。また、透過型電子顕微鏡 (TEM) の観察結果から Al-Mg 合金中にはやや高い密度の転位 (約 $4 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$) が観察された。これは、固溶 Mg による回復の抑制によるものと推察される。これらの転位源存在確率と固溶 Mg による臨界剪断せん断応力の増大の観点から Al-Mg 合金におけるマイクロピラーの強度のサイズ依存性の低減機構が説明できることがわかった。

(3) マイクロ単結晶を用いた塑性変形の熱活性化過程の測定

これまで、fcc 金属のアルミニウムを用いて単結晶マイクロピラーの強度の試験片サイズ依存性とそれに及ぼす材料組織因子 (転位、固溶元素) の影響を調べてきた。一方、フェライト鋼に代表される bcc 金属の強度はひずみ速度依存性を示すが、そのひずみ速度依存性の試験片サイズ依存性は不明である。本研究では、18Cr フェライト系ステンレス鋼から作製した単結晶マイクロピラーの強度のひずみ速度依存性を測定し、活性化体積の観点から塑性変形の熱活性化過程に及

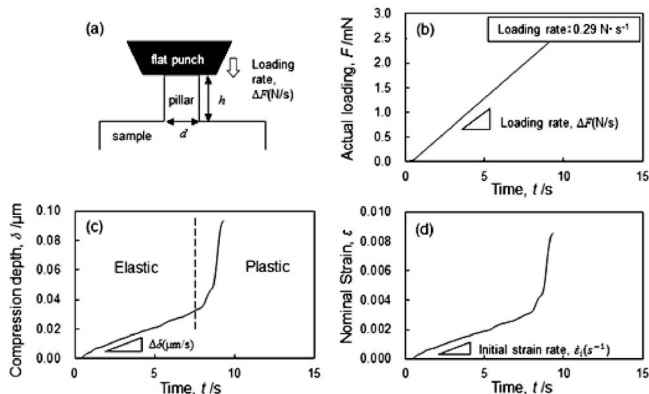


Fig. 6 (a) Schematic showing the applied compression test for micropillar specimens prepared on the sample surface, (b) applied load (F), (c) change in the compression depth (displacement, δ) and (d) corresponding nominal strain (ϵ) of the micropillar specimen in loading.

ばす試験片サイズの影響を検討した。

ここでは、電解研磨を施した18%Cr鋼の試料表面にFIB加工を用いて試験片直径の単結晶マイクロピラーを作製した。圧縮試験には直径20 μm の平面圧子が装着された荷重制御型ダイナミック超微小硬度計(DUH-211S, 株式会社島津製作所製)を用いた。本研究では荷重負荷速度を制御し、試験片の塑性変形時の初期ひずみ速度を変化させた(Fig. 6)。試験片の圧縮時(Fig. 6(a)), 荷重負荷速度は一定である(Fig. 6(b))。一方、試験片の変位速度は試験片の弾性・塑性域の領域で大きく変化する(Fig. 6(c))。本研究では変位速度が著しく増大する時間を塑性変形開始(すべり変形開始)と判断し、その直前の弾性域のひずみ速度を初期ひずみ速度として定義した(Fig. 6(d))。以上のように、本研究ではマイクロ単結晶の塑性変形開始時における強度のひずみ速度依存性を測定する方法を確立した。

4. 成果の発表(例：大会発表，会誌，Materials Transactions 投稿，特許出願等)

(1) 大会発表

○上杉真太郎，竹安崇一郎，高田尚記，鈴木飛鳥，小橋眞，単結晶アルミニウムマイクロピラーの強度に及ぼす固溶Mg元素の影響，日本金属学会 秋期講演大会，2020年9月17日

○李 鴻美，朱 天齊，高田尚記，小橋 眞，吉野正崇，Effect of Pre-strain on Compression Response of α -(Fe, Cr) Single-Crystal Micropillars, 日本金属学会 秋期講演大会，2020年9月17日

○高田尚記，朱 天齊，李 鴻美，鈴木飛鳥，小橋 眞，吉野正崇，マイクロピラー圧縮試験を利用した塑性変形の熱活性化過程の測定，日本金属学会 秋期講演大会，2021年9月17日

○朱 天齊，李 鴻美，高田尚記，小橋 眞，吉野正崇，Niを固溶した18Crフェライト系ステンレス鋼から作製した単結晶マイクロピラーの圧縮特性，日本金属学会 秋期講演大会 2021年9月17日

○李 鴻美，朱 天齊，高田尚記，小橋 眞，吉野正崇，Nb添加したFe-18Cr単結晶マイクロピラーの塑性変形に及ぼ

す固溶元素と析出物の影響，日本金属学会 秋期講演大会 2021年9月17日

○朱 天齊，李 鴻美，高田尚記，小橋 眞，吉野正崇，Fe-18Cr単結晶マイクロピラーの塑性変形の熱活性化過程に及ぼす固溶Niの影響，日本金属学会 春期講演大会 ポスターセッション，2022年3月22日

(2) 会誌，Materials Transactions 投稿

N. Takata, S. Uesugi, T. Zhu, S. Takeyasu, A. Suzuki and M. Kobashi: Influence of Dislocation Substructure on Size-Dependent Strength of High-Purity Aluminum Single-Crystal Micropillars, Materials Transactions, Vol. 64, No. 8 (2023), 1952–1958.

(3) 特許出願等 無し

5. 本研究終了後の計画等(今後の計画，本研究に関連した今後の助成の申請予定等)

本研究では、マイクロ金属の室温強度とその試験片寸法依存性(size effect)に及ぼす材料強化因子(転位，固溶元素)の役割を明らかにした。今後、本研究で独自に確立したマイクロ単結晶の強度のひずみ速度依存性を調べる試験を通じて、bcc金属を中心に、転位運動の熱活性化過程とそれに及ぼす初期転位や固溶元素の影響を調査する予定である。また、本手法を金属3Dプリンタによる金属積層造形体にも適用し、新たなプロセスで製造された材料が示す強度の本質的な理解に向けた研究を実施する予定である。

6. 研究代表者：高田尚記(名古屋大学)

7. 研究実施者：上杉真太郎，朱 天齊，李 鴻美(名古屋大学)

「省エネルギー化，高機能化を目指した新規合金触媒一体ワイヤーの創製」

1. 研究期間：2020年9月～2022年9月(2年間)

2. 研究の概要

本研究では、省エネルギー化，高機能化を目指した新規合金触媒の創成を目的とした。Ti-Pd合金のワイヤーを用いた抵抗加熱法による金属ワイヤー上での一連工程で化学反応を完了させることを目指し、様々な金属塩核種で触媒を調製したところ、DMFで保護されたFe塩とPt塩の組み合わせでアルケンおよび第3級シランのヒドロシリル化を促進した⁽¹⁾。またTi-Pd合金に関しては、水素移動反応による β -アシルメチル化反応を促進することを明らかにした⁽²⁾。Fe-Pt触媒の結果を受け、Feの効果を MgH_2 生成速度の観点から調べたところ、Fe界面上で Mg_2FeH_6 が生成することによる水素吸蔵量の増加することがわかった⁽³⁾⁽⁴⁾。水素移動反応を合金中に取り込まれたHの観点から研究を展開したところ、 Ti_2Ni と $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{O}$ を比較し、Oのサイト占有によりHのサイトが埋められることを報告した⁽⁵⁾。本研究助成により、水素に関わる反応は、合金触媒の表面のみならず金属内部でのHの移動とサイト，材料界面が反応速度として寄与していることが明らかになった。

3. 研究実施の概要(実施状況・研究成果等)

触媒は化学製品の製造には欠かせない存在である一方，分

離・精製が必要となるため、一連工程で反応・分離・精製まで可能なモジュール型触媒が必要とされている。そこで、Ti-Pd 合金ワイヤーを電熱線として扱い、ワイヤーを表面処理、触媒担持によって一体型モジュールの創製を目指した。この触媒ワイヤーはワイヤー表面と金属塩ナノ粒子分散液を使った触媒相の成長、合金化を組み合わせることによって、新たな合金触媒一体ワイヤーを創成する。抵抗加熱によるワイヤーの加熱、様々な金属塩核種中での触媒層形成を試みた結果、DMF を溶媒とした Fe, Pt 塩中での合金触媒が高い触媒活性を示すことが見いだされた。そこで、DMF 溶液中で Fe 塩と Pt 塩を調製し、その触媒能を評価したところ、アルケンおよび第 3 級シランのヒドロシリル化を促進することがわかった。この触媒では、反応前後で Pt の酸化状態は変わらないが、Pt 単体では還元状態に変わることを明らかにした (Fig. 1) ⁽¹⁾。

Ti-Pd 合金上での Pd の触媒能についても調査を進めた。Ti-Pd 合金は、一級アルコールとの間で、水素のスピルオーバーを介した β -アリルメチル化反応を促進することが明らかとなった (Fig. 2)。特に、Ti-Pd 合金上での Pd の価数は反応前後で変わることなく、Ti との結合を保つことがわ

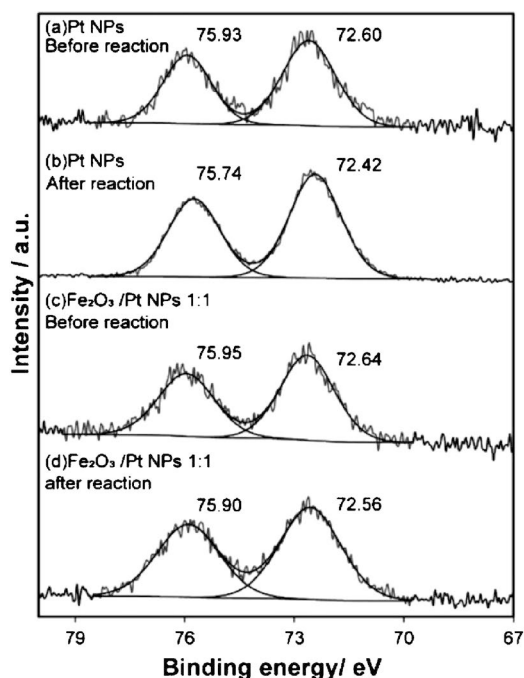


Fig. 1 XPS profiles of the Pt 4f region for (a) Pt NPs before reaction, (b) Pt NPs after reaction, (c) Fe_2O_3 /Pt NPs before reaction, and (d) Fe_2O_3 /Pt NPs after reaction.

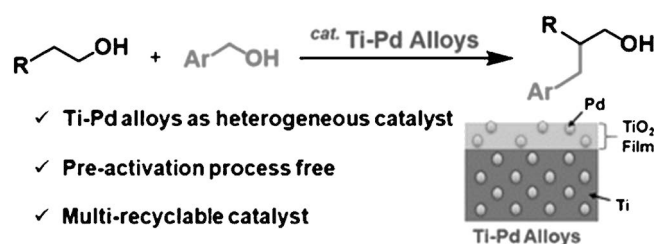


Fig. 2 A cross β -arylmethylation between arylmethylalcohols and different primary alcohols via a hydrogen autotransfer mechanism on Ti-Pd alloy catalysts.

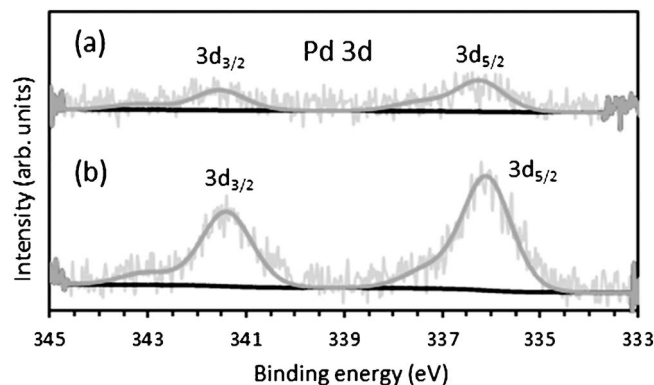


Fig. 3 Pd XPS spectra obtained from a Ti-Pd alloy (a) before use and (b) after five reactions.

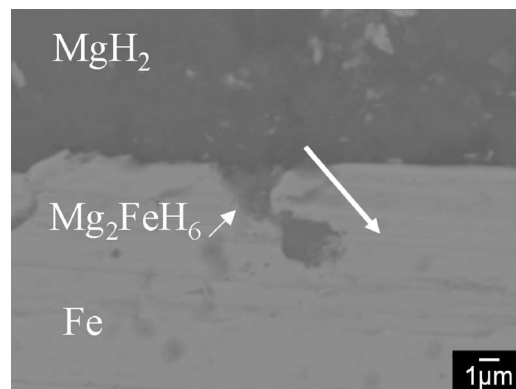


Fig. 4 SEM-BSE image at MgH_2 /Fe interface of Mg/MgH_2 /Fe/ Mg composite sample after hydrogenation.

かり、高い耐久性を有していることを報告した (Fig. 3) ⁽²⁾。

Feに着目し、Mgの水素化反応についても調べた。Feは MgH_2 生成の触媒としても知られている。Mgシート上にFeを無電解メッキにより晶出させ、Mg/Fe複合材を作製した。この複合材の MgH_2 生成速度を容量法により調べたところ、Mg粉末よりも早いことがわかった。また、Mg上に晶出したFeは MgH_2 に対し圧縮応力をかける効果があり、Fe表面で MgH_2 が結合していることを示唆された結果を得た⁽³⁾。そこで、Mg/Fe/Mg、Mg/ MgH_2 /Fe/Mg複合材のモデル実験を進めた。 MgH_2 /Fe界面では Mg_2FeH_6 が生成していることが明らかとなり、この Mg_2FeH_6 がFeと MgH_2 の結合を媒介しているものと予測される (Fig. 4) ⁽⁴⁾。

Ti表面上での水素移動反応を第一原理計算の観点から調べた。 Ti_2Ni と $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{O}$ を比較して調べたところ、Oのサイト占有によりHのサイトが埋められ、Hの位置がサイトの重心位置からずれることによって水素の平衡圧力が上昇することを明らかにした。この結果からもTi表面上で空位サイトを酸素などによって埋められることで水素の移動反応が可能であることがわかった⁽⁵⁾。

4. 成果の発表

【学術論文】

- (1) T. Nagata, T. Tanaka, X. Lin, R. Kondo, T. Suzuki, Y. Kanda, T. Toyao, K. Shimizu and Y. Obora, *Chem-CatChem*, 2022, **14**, e202101672.
- (2) M. Utsunomiya, R. Kondo, T. Oshima, M. Safumi, T.

Suzuki and Y. Obora, *Chemical Communications*, 2021, **57**, 5139–5142.

- (3) R. Kondo, Y. Myokai, Y. Obora and H. T. Takeshita: *Materials Transactions*, 2023, **64**, 11 (in press).

【学会発表】

- (3) 宮武 護, 竹下博之, 近藤亮太: “水素化した Mg/Fe 積層体の組織と相構成”, 日本金属学会2021年春期(第168回)講演大会(2021).
- (4) 宮武 護, 近藤亮太, 竹下博之: “Mg/Fe 積層体における Mg_2FeH_6 の生成機構”, 日本金属学会2021年秋期(第169回)講演大会(2021).
- (5) 笠原大樹, 竹下博之, 近藤亮太: “電子状態計算による Ti_2Ni および $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{O}$ の水素化特性の初期的検討”, 日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会(2022).

5. 本研究終了後の計画等

水素に関わる反応が触媒表面のみならず担体, 界面での生成物, 金属内部に関わることがわかった. 特に反応界面で新たに生成した生成物によって反応が促進されることが明らかになったため, 複合生成物に関しても視野を広めた高機能材料の創成を目指す.

6. 研究代表者

近藤亮太(関西大学 化学生命工学部)

7. 共同研究者(研究実施者)

大洞康嗣(関西大学 化学生命工学部)

竹下博之(関西大学 化学生命工学部)

「めっき接合技術の開拓」

1. 研究期間: 2020年9月~2022年9月(2年間)

2. 研究の概要

金属による新接合法として, 「めっき接合」の技術を開発する. 2つの部材の間にめっき(電析)を施して接合し, 接合界面の強度をせん断試験・引張試験等により評価する. 接合対象としてアルミニウム合金を選び, 陽極酸化処理によって被接合材の表面にナノ構造を形成させ, めっきとのアンカー効果(ナノアンカー効果)による接合強度向上を狙う.

マルチマテリアル化の進む電子機器や輸送機器の接合技術への適用もにらみ, 異種材との接合にも挑戦する.

3. 研究実施の概要(実施状況・研究成果等)

(1) アルミニウム合金板材同士の接合

端部を斜めに開先加工した A6061T6 アルミニウム合金板の表面をリン酸浴中での陽極酸化処理によってポーラス化した. そののちに開先加工した端部を突き合わせて陰極とし, 一般的な硫酸銅浴による銅めっきを行った(Fig. 1). 接合後, Fig. 1の矢印に示す引張方向への引張試験(室温, クロスヘッド速度 5 mm/min)により接合強度を評価するとともに, 走査電子顕微鏡(SEM)等によって界面の陽極酸化ポーラス構造を観察し(板表面および断面), 接合強度とポーラス構造の関係を調べた. なお接合強度は引張方向に垂直な断面の試験片面積で破断時荷重を除いた値で示す. SEM観察はエネルギー分散型X線分光(EDXS)分析とともに, 破面の観

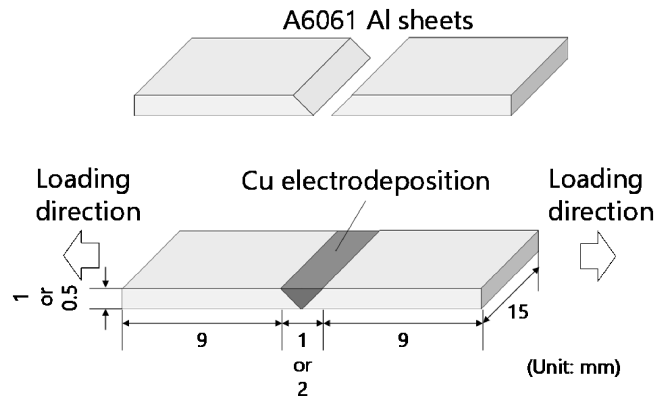


Fig. 1 Schematic illustration of electrodeposition joining of A6061 Al sheets and loading directions for joining strength tests.

察・分析にも適宜用いた.

以下, 結果を述べる. まず, 開先加工を行った端部の開口側からめっきを行うことで, めっき液・銅イオンを継続的にめっき部に供給でき, 板間に緻密な銅めっきを析出できた.

接合強度は陽極酸化電圧に依存し, 陽極酸化電圧が 40 V のとき, 接合強度は最大 179 MPa となった. 陽極酸化被膜の構造(気孔率・孔径・被膜厚さ)を SEM 観察により調べた結果と照合すると, 実験の範囲内では陽極酸化被膜の厚さが接合強度に大きく影響することが分かった. このことは陽極酸化被膜と銅めっきの間にナノアンカー効果が働くことを強く示唆する.

また, 銅めっき時に結晶粒を微細化する効果のあるチオ尿素をめっき浴に添加した結果, 接合強度は最大 214 MPa まで向上した. 接合強度が低い試料は陽極酸化被膜/銅めっき界面で破断する一方で, 接合強度が高い試料は銅めっき内で破断する傾向があった.

界面の観察によれば, 銅めっきは陽極酸化被膜内ではしご状構造をもって複合化していた. 通常, 陽極酸化被膜は表面に垂直な筒状の孔からなるポーラス構造を有することが知られており, その孔に充填される銅めっきもロッド状になるものと思われたが, より複雑に複合化していた. はしご状に複合化する正確な理由は現段階では明らかではないが, 陽極酸化時の前処理の違いによるものと推測される. このはしご状構造は界面の強度をより高めるものと考えられる.

上記のほか, 銅線どうしの筆めっきによる高強度接合にも取り組んだ.

(2) アルミニウム合金と炭素繊維強化樹脂板材同士の異種接合

(1) 同様に, A6061T6 アルミニウム合金板の表面をリン酸浴中での陽極酸化処理によってポーラス化した. また, 炭素繊維強化樹脂(CFRP, 東レ製, 炭素繊維 T300-3000 の 90°平織りプリプレグを 130°C 硬化エポキシ樹脂中でバキュームバッグ加圧下オープン成型)に, 以下 3 段階の前処理を行った. それぞれの前処理の後には純水およびアセトンで試料を洗浄し, 自然乾燥した.

(1) エッチング(0.2 mol/L KMnO_4 + 4 mol/L NaOH 水溶液, 373 K, 45分)

(2) 陽極酸化(1 mol/L 希硫酸, 2 V(SUS 対極に対し),

室温, 1 時間)

(3) スルホン化(14 mol/L 濃硫酸, 333 K, 10 分)

長さ20 mm×幅4 mm×厚さ1 mmの短冊状に加工した A6061T6 アルミニウム合金板と CFRP 板の20 mmの辺同士を約200 μm の間隔で平行に並べ, その間に, 一般的な硫酸銅浴による銅めっきを行い, 銅めっき接合とした. 接合後, 長さ方向への引張試験(室温, クロスヘッド速度5 mm/min)により接合引張せん断強度(=最大荷重/接合面積)を評価した.

CFRPの前処理(1)~(3)後の試料表面・接合断面・引張試験後の破断面等を, 光学顕微鏡・走査電子顕微鏡(SEM)・X線光電子分光(XPS)分析・ラマン分光分析等で観察・分析した.

以下, 結果を述べる. エッチング前後のCFRP表面のSEM観察(Fig. 2)により, $\text{KMnO}_4 + \text{NaOH}$ 水溶液によるエッチングでエポキシ樹脂が部分的に除去され, 炭素繊維が露出していることがわかった. 絶縁性のエポキシ樹脂を除去し, 導電性のある炭素繊維を露出させることは, 銅めっきでの接合に有利であると考えられる.

また, 陽極酸化前後のCFRP(エッチング済)の炭素繊維のSEM観察より, 陽極酸化により, 炭素繊維の表面付着物(サイジング剤の残滓と思われる)が除去されていることがわかった. さらに, 陽極酸化前後のCFRP(エッチング済)のラマン分光分析およびXPS分析の結果から, 陽極酸化により炭素繊維の表面に結晶欠陥が導入されていることが示唆された. これらの結果は, 陽極酸化により炭素繊維への銅析出が促進される可能性を示す.

スルホン化前後のCFRP(エッチング・陽極酸化済)のXPS分析結果からは, 有意にスルホン化できていることが

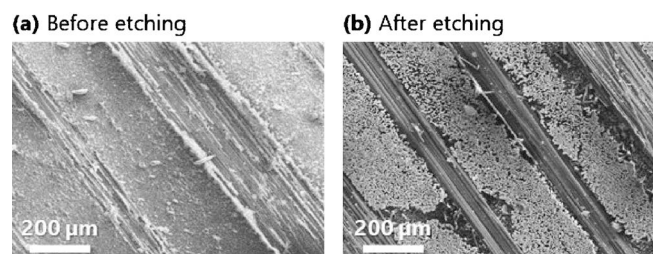


Fig. 2 SEM images of CFRP surface before (a) and after (b) etching in 0.2 mol/L $\text{KMnO}_4 + 4$ mol/L NaOH aqueous solution at 373 K for 45 minutes.

示唆され, スルホン化により銅とエポキシ樹脂の密着性が高められる可能性がある.

引張せん断試験の結果, 3段階の前処理を先に述べた順番で行ったあと銅めっきにより接合した A6061T6/CFRP 試料において, 最大137 MPaの高い引張せん断強度を得ることができた. 破断はCFRPと銅めっきの間で起こっていた. 従って, A6061T6/CFRP 試料の銅めっき接合による接合強度を上げるためには, CFRPと銅めっきの界面強度を上げる必要があると言える.

上記のほか, A6061T6 アルミニウム合金板とアルミナとの異材接合にも取り組んだ.

以上の研究は日本金属学会第1回フロンティア研究助成により大いに助成されて初めて推進できたことを, ここに謝辞として申し上げる.

4. 成果の発表(例: 大会発表, 会誌, *Materials Transactions* 投稿, 特許出願等)

学会発表

「アルミニウム合金のめっき接合」日本金属学会2021年秋期講演(第169回)大会, 2021年9月

「筆めっきによる銅線の高強度接合」日本金属学会2021年秋期講演(第169回)大会, 2021年9月

「陽極酸化アルミニウム合金板材のめっき接合」軽金属学会第143回秋期講演大会, 2022年11月

投稿論文

Dissimilar joining of alumina to aluminum at room temperature without applying a loading by two-step deposition, *Materials Letters* **286** (2020) 129245.

New Dissimilar Joining Method of CFRP/A6061 Al by Cu Electrodeposition, *Materials Transactions* **62** (2021) 688–690.

(ほか1件投稿中)

5. 本研究終了後の計画等(今後の計画, 本研究に関連した今後の助成の申請予定等)

異種接合, また接合の高速化の方法を種々模索してゆく予定であり, その過程で各種助成金への応募や企業との共同研究を実施したい.

6. 研究代表者: 袴田昌高(京都大学大学院エネルギー科学研究科)

7. 共同研究者(研究実施者): なし

本 会 記 事

会 告	秋期講演大会ご案内および参加申込みについて	620
	ランチョンセミナー開催のお知らせ	622
	学生キャリアサポート・企業ポスター展示	622
	付設展示会開催のお知らせ	622
	第12回女性会員のつどい開催のご案内	623
	秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	623
	令和5年秋季全国大学材料関係教室協議会講演会のご案内	623
	2024年度新規「産学協創研究会」の申請募集	624
	第47回技術開発賞「新技術・新製品」記事募集	625
	第74回金属組織写真賞作品募集	626
	日本金属学会オンライン教育講座 開催案内	627
	オンデマンド配信+オンライン質疑応答 金属学会シンポジウム開催案内	628
	会費自動振替制度のご案内	629
	シニア会員制度について	629
	永年会員制度について	629
	終身会員制度について	629
	ユース会員制度について	629
	2024年春期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	630
	研究集会	630
	2022年度オンライン教育講座実施報告書	634
支部行事	次号予告	637
掲示板	新入会員	638
会誌・欧文誌9号目次	行事カレンダー	640

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

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

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2023年秋期(第173回)講演大会のご案内および参加申込みについて

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

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

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

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

◆ご協力願い◆

- ・大会マイページにて「参加証」を印刷の上、ご来場下さい。
- ・昨年の講演大会の際にお渡しした日本金属学会講演大会参加証用ケースとストラップをお持ちの方はご持参願います。お持ちでない方は受付で配布いたします。(数量限定)

参加申込要領(参加申込みは全てウェブサイトからとなります)

(後期(当日)申込)2023年9月6日～9月26日

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

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

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

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

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

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

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

◆懇親会費(消費税込み)

開催日時 2023年9月20日(水)18:30～20:30

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

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

種 別	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円

◆支払方法

後期(当日)申込はクレジット決済のみとなります。

◆参加方法

大会マイページにて「**参加証**」を印刷し、来場下さい。

◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会2週間前の**2023年9月5日(火)**です。特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。

講演大会公開サイトにログイン後、講演概要の閲覧ができます。

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

◆講演概要集購入について

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

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

ランチョンセミナー開催のお知らせ

秋期講演大会にて、ランチョンセミナーを開催いたします。本セミナーは、参加者の皆様に講演大会の昼食時間を利用して昼食をとって頂きながら、企業による最新の技術情報を聴講いただく企画です。参加無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主催 公益社団法人 日本金属学会

企画 株式会社 明報社

日時 2023年9月20日(水)、21日(木)各日12:10~12:50

会場 富山大学・五福キャンパス 金属学会講演会場

参加費 無料 昼食(ドリンク付)を無料提供いたします。

参加方法 9月20日(水)8:30より参加券を「付設展示会場」にて配布いたします。

日本金属学会、または日本鉄鋼協会の大会参加証をご提示下さい。引き換えにご希望のセミナー参加券をお渡しいたします。時間になりましたら、参加券をご持参の上、セミナー会場までお越し下さい。

※予定数に達し次第、配布は終了いたします。(参加券をお持ちでない場合でもご聴講頂ける場合がございます。)

※ランチョンセミナーは同業者様等のご入場(セミナー参加券をお持ちの場合でも)をお断りする場合がございます。予めご了承下さい。

参加予定企業

9/20(水) 12:10~12:50

・カールツァイス㈱:L会場(総合教育研究棟3F)
(セミナータイトル調整中)

小田武秀(カールツァイス株式会社 プロダクトアンドアプリケーションセールススペシャリスト)他

9/21(木) 12:10~12:50

・オックスフォード・インストゥルメンツ㈱:H会場(総合教育研究棟2F)

「BSEとX線信号を一つの検出器で収集する革新的なBEXイメージングシステム「Unity」のご紹介」

五十嵐 誠(オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社)

・サーモフィッシャーサイエンティフィック:L会場(総合教育研究棟3F)

「ChemiSEMを用いた迅速かつ容易な金属合金の相マッピング」

竹内麻智(サーモフィッシャーサイエンティフィック)

・㈱TSLソリューションズ:M会場(総合教育研究棟3F)

「最新のOIM-Analysisソフトウェアを用いたデータ解析について」

~皆様のご参加をお待ちしております!!~

学生キャリアサポート・企業ポスター展示

秋期講演大会・ポスターセッション会場にて、学生キャリアサポート・企業ポスター展示会を開催いたします。本企画は、学生参加者の皆様に、各社の展示ブースにて、各社の会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等を紹介解説するものです。ポスターセッションの入れ替え時間には、参加各企業のショートプレゼンテーションを実施します。また、会場内には個別面談コーナーも開設致します。学生参加者の皆様には、是非ご来場頂き、リクルート活動にお役立て下さい。参加・見学無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主催 公益社団法人 日本金属学会

企画 株式会社 明報社

日時 2023年9月19日(火)

ポスター展示・個別面談 13:00~16:30

ショートプレゼン 14:30~15:00(各社2分程度)

会場 ポスターセッション会場(とやま自遊館)

※富山大学ではありませんのでご留意下さい。

参加・見学 無料

参加予定企業(7月末現在)

- ・石福金属興業㈱
- ・三菱マテリアル㈱
- ・㈱徳力本店
- ・大和工業㈱
- ・㈱豊田中央研究所
- ・㈱UACJ 他

付設展示会開催のお知らせ

秋期講演大会にて、付設展示会を開催いたします。金属材料関連各社の製品やサービスを紹介いたします。

また、展示会場では、ランチョンセミナーのチケット配布(無料)、コーヒー無料サービスも実施する予定です。

是非、展示会場へご来場下さい!(大会ホームページでも出展情報を掲載いたします)

開催期間: 2023年9月20日(水)~22日(金) 9:00~17:00
(22日は14:00まで)

展示会場: 富山大学・五福キャンパス 総合教育研究棟1階
出展予定企業(7月末現在)

- ・㈱アカデメイア
- ・茨城県中性子ビームライン
- ・SKメディカル電子㈱
- ・SCSK㈱
- ・オックスフォード・インストゥルメンツ㈱
- ・ゲルハルトジャパン㈱
- ・㈱新興精機
- ・新東工業㈱
- ・㈱TSLソリューションズ
- ・東芝ナノアナリシス㈱
- ・富山コンベンションビューロー
- ・ヴァーダー・サイエンティフィック㈱
- ・物質・材料研究機構
- ・㈱モルシス 他



日本金属学会・日本鉄鋼協会 第12回女性会員のつどい開催のご案内

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

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

主催 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画委員会
日時 2023年9月22日(金)12:00~13:00
会場 富山大学(人文学部1階第2講義室)
内容 女性会員の交流・人脈作り・キャリアデザイン意見交換・職場の環境や人間関係で困ったこと等本音トーク・学会への要望・などなど
参加資格 金属学会・鉄鋼協会女性会員、学生さん
参加申込 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。
 ※お弁当やお茶のご用意はございませんのでご了承下さい。
問合せ先 三浦永理 E-mail: emiura@eng.u-hyogo.ac.jp



2023年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

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

■設置期間および利用時間(開始、終了時間は予定です)

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

■場所 9/19 とやま自遊館内(お申し込みの方へ直接ご連絡いたします)
 9/20~22 富山大学五福キャンパス内(お申し込みの方へ直接ご連絡いたします)

■対象・利用料金

0歳~2歳 お子様1人につき 2,000円/1日
 3歳~学童まで お子様1人につき 1,500円/1日
 ※利用時間外の場合 500円/1時間の追加料金がかかります。
 ※兄弟割引あり 下のお子さん(弟もしくは妹)は上記金額の半額

利用者は利用当日、シッターの方(保育スタッフ)に利用料金をお支払い下さい。

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

■利用シッター会社：スマイルキッズ

■お申込み方法

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

てお申し込み下さい。

・申込の際は、件名に「秋期講演大会の託児室予約」とご記入の上、利用申込書を添付して下さい。
 ※申込受領後3営業日以内に、スマイルキッズより返信メールをお送りします。

■申込期間：2023年8月1日(火)~9月11日(月)16:00
 (定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先：スマイルキッズ
 (個別保育事業者協議会会員)
 担当) 吉田直子
 ☎ 076-464-5102(代表)
 ☎ 076-471-8196
 E-mail: smilekids@m5.dion.ne.jp

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



令和5年秋季 全国大学材料関係教室協議会 講演会のご案内

日時 2023年9月22日(金) 15:00~16:00
場所 富山大学人文学部3階第6講義室
 (鉄鋼協会会場14)
聴講料 無料
講演会
 構造材料研究のデジタル・トランスフォーメーション(DX)に向けた挑戦

東北大学大学院工学研究科教授 吉見享佑

新設 2024年度新規「産学協創研究会」の申請募集

申請締切 2023年11月30日(木)

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

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

【産学協創研究会実施要領】

1. 目的

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

2. 組織・構成員

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

3. 活動期間・構成員の任期

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

4. 設置

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

5. 費用

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

6. 申請

- 新規申請書ならびに継続申請書は11月末までに企画委員会委員長に申請する。
*申請書は下記の問い合わせ先に請求下さい。
- 新規応募の申請書に記載する事項
 - (1)研究会の名称
 - (2)代表世話人(氏名、所属、役職名、TEL、E-mail)
 - (3)副代表世話人(選任した場合のみ)
 - (4)世話人の名簿
 - (5)構成員の名簿
 - (6)活動目的
 - (7)活動期間(1期4年以内)
 - (8)活動計画(活動の概要及び各年度の活動計画、活動案)
 - (9)予算(各年度の見込み)
 - (10)特記事項(申請者の要望等)
- 継続申請に記載する事項
 - (1)研究会の名称
 - (2)代表世話人(氏名、所属、役職名、TEL、E-mail)
 - (3)副代表世話人(選任した場合のみ)
 - (4)世話人の名簿
 - (5)構成員の名簿
 - (6)これまでの成果報告
 - (7)継続理由
 - (8)延長期間(1期4年以内)
 - (9)今後の活動計画(活動の概要及び各年度の活動計画、活動案)
 - (10)予算(各年度の見込み)
 - (11)特記事項(申請者の要望等)

7. 活動

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

8. 報告

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

9. 問合せ先・申請先

日本金属学会 事務局 局長 E-mail: secgnl@jimm.jp
☎ 022-223-3685

第47回公益社団法人日本金属学会技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2023年11月1日(水)

[本賞の趣旨]

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

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

技術開発賞募集要綱

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

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

3. 応募者の条件

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

4. 選考

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

5. 授賞

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

6. 技術開発賞受賞記念講演

技術開発賞受賞をより意義深いものとするため、受賞記念講演をお願いする。

第47回の受賞記念講演は2024年秋期講演大会(9月予定)の折りに行く。

7. 受賞決定までの流れ

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

まてりあ「新技術・新製品」記事への応募の方法

1. 応募・原稿締切

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

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

掲載記事が技術開発賞の選考対象となる。

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

ただし、掲載号1冊、掲載記事のPDFファイルを無料とする。

3. 応募記事の記述の留意事項

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

4. 原稿作成について

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

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

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

①「レイアウト用紙」(Webサイトにてダウンロード可能)

②図(写真)・表

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

(記述は横軸・縦軸・説明も含めすべて日本語とする。)

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

5. 掲載された記事の著作権を本会に委譲すること。

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

7. 提出資料

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

8. 申込・送付先

(公社)日本金属学会各賞係

☎ 022-223-3685 E-mail: award@jimm.jp

9. 「新技術・新製品」記事の問合先

まてりあ係 E-mail: materia@jimm.jp

Web フォームによる申込です !!

～ とっておきの作品(一枚)を後世に ～

応募期間：2023年8月1日(火)～11月1日(水)

1. 募集部門

下記4部門で行っております。

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

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

「写真賞部門」

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

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

2. 申込要領

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

【申込フォーム】

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

性、独自性について記入)

- ⑥組織写真の価値(組織写真作品としての新規性や優れた点など、特記事項を記入)
- ⑦材料名
- ⑧試料作製法
- ⑨観察手法
- ⑩作品の出典(作品はオリジナルまたは本会帰属の写真で使用許可のあるものに限る。)
- ⑪応募者・共同研究者
- ⑫連絡先

【写真作品】

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

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

【作成例】写真解像度：A2版サイズを前提に400dpi以上

写真見本

〇〇観察による〇〇の評価

図1 〇〇〇〇

図3 〇〇〇〇

図2 〇〇〇〇

図3 〇〇〇〇

申込フォーム：入力項目

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

日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

『工業材料の応力・歪測定』

日 時 一日目 2023年10月26日(木) 13:00~17:00

二日目 2023年10月27日(金) 13:00~17:00

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

プログラム

一日目 10月26日(木) 13:00~17:00

13:00~14:30 応力・歪測定の意義と概要, 破壊を伴う測定法

14:30~14:45 休 憩

14:45~17:00 結晶材料の応力・歪測定

二日目 10月27日(金) 13:00~17:00

13:00~14:30 単結晶・ガラス・高分子材料の応力・歪測定

14:30~14:45 休 憩

14:45~17:00 多様な場での応力・歪測定と卓上型X線機器での実演

受講方法 オンライン(Zoom)

講 師 東北大学名誉教授 田中俊一郎

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

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

申込締切 2023年10月18日(水)

受 講 料

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

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

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

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

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム係

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

カーボンニュートラル・水素社会実現に向けた触媒材料の研究・開発の最新動向

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

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

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

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

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

2023年11月17日(金)16:00～17:30 質疑応答(オンライン)

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

受講料(テキスト代含む・税込)

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

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

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

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

*テキストはオンデマンド配信のサイトからダウンロードして下さい。

申込締切 2023年10月31日(火)

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

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム係

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

会費自動振替制度のご案内

2024年度会費自動振替のご案内を申し上げます。ホームページからのお手続きを宜しく願いいたします。

- ・ホームページ：入会・会員→会費支払方法
- ・2024年度会費自動振替申込締切 **2023年10月2日(月)**

問合せ・申込書送付先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 会員サービス係 宛
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: member@jimmm.jp

シニア会員制度について

65歳以上の正員の会費を半額とする「シニア会員」制度を設けています。

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

シニア会員を希望される方は申し出が必要ですので、**11月30日**までに、会員マイページで生年月日を登録していることを確認したうえで、「シニア層会員種別変更」から申請して下さい。

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

永年会員制度について

本会では長年にわたり本会の発展に尽された会員の労に報いるため、永年会員制度を設けております。自己申告制となっておりますので、該当すると思われる方は、会員マイページで生年月日を登録していることを確認したうえで、「シニア層会員種別変更」から申請して下さい。

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

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

受付締切 **毎年9月30日**

永年会員資格付与 毎年1月1日

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

終身会員制度について

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

年齢(該当する年の1月1日)	前納会費	70歳までの通常会費
60歳	80,000円	110,000円
61歳	70,000円	100,000円
62歳	65,000円	90,000円
63歳	55,000円	80,000円
64歳	50,000円	70,000円
65歳	40,000円	60,000円

ご希望される方は、お手元に届いた会費の請求書は使用せず、**11月30日**までに、会員マイページで生年月日を登録していることを確認してから、「シニア層会員種別変更」から申請して下さい。前納会費の請求書をお送りします。

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

ユース会員制度について

若い世代の皆さんに金属材料に関する研究や開発の世界に触れてもらい、金属材料の面白さを知ってもらうことを目的に、次世代を担う若い人たちを対象とした会費無料の「ユース会員」を設けています。会員の皆様のご子弟の方々にお知らせしていただき、ユース会員になっていただけるようにお勧めいただければ幸いです。

対象 中高生、高専専科1年生以下、大学3年生以下
※対象上限の学年になるまで自動継続されます。

入会金・会費 不要

※入会には保護者または教員の同意が必要です。

特典

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

入会申込 ユース会員への入会は随時受け付けています。本会ホームページの「新規入会申込み」ページから申し込んで下さい。

2024年春期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

- 特別講演**・講演者：著名な外国人研究者とする。
- ・講演時間：30分(討論10分)
 - ・採択件数：3～4件
 - ・滞在費補助：10,000円×5日(上限日数)(現地開催の場合)
 - ・その他：大会参加費免除、懇親会招待
- 招待講演**・講演者：有益な講演が期待される国内に滞在する外国人研究者とする。
- ・講演時間：15分(討論5分)
 - ・採択件数：5件程度
 - ・滞在費補助：なし
 - ・その他：大会参加費免除

推薦書提出期日 2023年11月17日(金)

推薦方法 所定様式(ホームページからダウンロードして下さい)により、stevent@jimm.jp宛に「外国人特別講演推薦」と明記しお送り下さい。受理メールをご確認下さい。

研究集会

研究会 No. 85

第五回 状態図・計算熱力学研究会

現在、状態図・相平衡の計算と実験は、材料開発やマイクロ組織形成の解析などを目的として広く行われるようになってきました。今回の研究会は、広がってきた状態図研究をとらえるために、広く周辺の関連したご講演を募集します。

また、試みとして講演者を学生に限定して募集いたします。

皆様の積極なご参加をお待ちしています。講演・参加申し込みなどの詳細は下記のウェブサイトをご覧ください。

(研究会代表世話人 物質・材料研究機構 阿部太一)

日時 2023年11月21日(火) 13:00-17:00(予定)

場所 オンライン開催(Teamsを予定)

参加費 無料

詳細 <https://comptd-jim.org/>

〈講演申込〉

締切 2023年10月16日(月)

方法 件名を「講演申込」として、①講演タイトル、②著者(講演者に○)、③所属、④概要(200字程度)を明記して下記(阿部)までE-mailにてお申し込み下さい。

詳細 状態図・計算熱力学研究会

<https://comptd-jim.org/> をご覧ください。

申込・問合せ先 物質・材料研究機構 阿部太一

E-mail: abe.taichi@nims.go.jp

支部行事



第20回 ヤングメタラジスト研究交流会開催のご案内

ヤングメタラジスト研究交流会は、関東支部内の大学や企業に所属する若手研究者の交流を目的とし2004年に第1回目が開催されて以降、今年で第20回目を迎えます。支部内の若手研究者と研究に熱意ある学生が研究活動の報告を通じて互いに交流し、連携を深めることで、関東支部の金属材料研究がより一層活性化することを目指しております。本年度は、国立研究開発法人 物質・材料研究機構(つくば市)を会場とし、招待講演とポスターセッション、研究施設見学を対面で開催いたします。皆様のご参加をお待ちしております。

日時 2023年11月8日(水)10:20~17:30

スケジュール (参加者数に応じ変更の可能性があります)

10:20-10:30 開会挨拶・諸連絡

10:30-12:30 招待講演

13:30-14:15 ポスターセッション(第1部)

14:15-15:00 ポスターセッション(第2部)

15:15-17:00 施設見学会

17:00-17:30 ポスター賞表彰式・閉会挨拶

18:00-20:00 懇親会

招待講演プログラム(講演題目は仮)：

10:30-11:10 高温クリープ挙動に及ぼす粒界析出相の役割とNi基合金における粒界と粒内の組織制御

東京工業大学物質理工学院材料系 永島涼太

11:10-11:50 β 型チタン合金の焼戻しで生じる奇妙な形状変化

東京都立大学システムデザイン学部機械システム工学科 井尻政孝

11:50-12:30 ジェットエンジン向け材料及びそのプロセスの研究・開発

株式会社本田技術研究所

先進パワーユニット・エネルギー研究所 GT開発室 森 雄飛

場所 物質・材料研究機構千現地区研究本館第1会議室(アクセス：TX「つくば駅」下車A3出口より徒歩15分)

https://www.nims.go.jp/nims/office/tsukuba_sengen.html

参加費 無料

参加申込方法

研究交流会に参加をご希望の方は**10/11(水)17:00**

までに氏名、所属、E-mailなどを下記リンクの登録フォームからご応募下さい。

<https://forms.office.com/r/QWBcyvb2ik>



ポスターセッションについては、運営の都合上、下記の通り別途締切を設けます。

・ポスターアブストラクト提出締切：**10/25(水)17:00**

申し込み後にフォーマット(A4の3分の1ページ分)をお送りします。実施方法の詳細については、改めて補足資料を配布する予定です。

問合せ先 E-mail: okuyama@d.kisarazu.ac.jp

木更津工業高等専門学校 電子制御工学科

奥山彫夢

第20回ヤングメタラジスト研究交流会 幹事

〈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@jimm.jp

公 募

◇国立研究開発法人物質・材料研究機構
定年制研究職(正職員・女性グループリーダー)公募◇

公募人数 若干名

専門分野 物質・材料に関する全ての研究分野

※参考：NIMSにおいて強化したい研究分野

- (1) 量子マテリアル
- (2) 水素関連材料
- (3) 蓄電池材料
- (4) 人工知能材料
- (5) データ科学
- (6) 金属・無機材料
- (7) 有機・高分子材料
- (8) バイオ関連材料
- (9) 計算材料科学
- (10) 先端材料解析技術

優遇措置・処遇

- (1) スタートアップ資金として3,000万円の研究費を配分。(運営費交付金プロジェクト研究費に加算)
- (2) 研究スペースを優先的に配分。
- (3) 定年制職員1名をグループ員として配属または必要に応じて採用。
- (4) NIMS 連携大学院の教員になることで、大学院生を受け入れることが可能。
- (5) 給与は定年制職員給与規程に基づき、業績・経験等に応じて理事長裁量により決定。
- (6) 定年制研究職(正職員)として雇用。定年は2031年度以降65歳。再任審査により、定年までグループリーダーを務めることが可能。尚、フェローは70歳までグループを継続可能。
- (7) デュアルキャリアパートナー支援(帯同支援)
- (8) 育児・介護中支援制度

公募締切

本公募がNIMS公式ホームページに掲載されている限り、申請を受け付けます。応募資格、応募方法などの詳細は当機構のホームページを参照。

<https://www.nims.go.jp/employment/data/tbpic000000823h.html>

問合せ先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

国立研究開発法人物質・材料研究機構

人材部門 人材開発室

☎ 029-859-2555

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

◇兵庫県立大学大学院工学研究科 教員(専任)公募◇

本学は積極的にダイバーシティの推進を努めており、多様な人材の採用に努めております。特に女性研究者の積極的な応募を歓迎しており、同等の能力があれば女性の採用を積極的に検討します。また、企業にお勤めの方からの応募も歓迎しております。

募集人員 教授1名

所 属 工学研究科 材料・放射光工学専攻

研究分野 金属材料学(教授)

金属材料学分野は、マテリアル/ものづくりの中心の一つであり、技術革新の基盤を構築し地域産業の発展を担う人材育成の観点からも極めて重要な分野である。構造材料、主に鉄鋼材料を対象とし、高強度、高靱性の新素材創製を目指して、ものづくり技術、加工技術、特性評価技術に関する教育と研究に携わる。

応募資格

- (a)上記専門分野の教育と研究に熱意と意欲をお持ちの方。着任時に博士の学位を有する。
- (b)国籍は問わない。ただし、学内の諸業務の遂行が可能な日本語能力を有すること。
- (c)英語講義が可能な英語能力を有すること。

着任時期 令和6年4月1日

提出書類

詳細は公募のURL：<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/out-line/koubo/index.html> をご確認ください。

応募締切 令和5年9月30日(土)(必着)

選考方法 書類選考の後、面接(模擬授業含む)を実施します。

応募書類提出先

(a)web 提出(JREC-IN 経由)

JREC-IN の Web 応募機能より全ての提出書類を1つのPDF ファイルにまとめて提出下さい。

(b)E-mail 提出(添付ファイル、ファイル転送サービスなど)

タイトルを「(第251号) 材料・放射光工学専攻教授 応募」とし、下記問い合わせメールアドレスに送付して下さい。

NII file sender を利用するなどセキュリティの確保は応募者自身でお願いします。

問合せ先 材料・放射光工学専攻 専攻長 住友弘二

☎ 079-267-4924(直通)

E-mail: koubo251@eng.u-hyogo.ac.jp



◇レアメタル研究会◇

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

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

- 第107回 2023年9月29日(金)14:00~ (2023.8.1 現在)
(An 棟 2F コンベンションホール)
リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar &
YouTube)のハイブリッド研究会
テーマ: 岡部と行った仕事と今の状況
午後2:00~
講演【敬称略】
- 希土類金属の低酸素化に関する研究とその苦勞, そして今
に至るまで(仮) (30分)
信越化学工業(株)磁性材料研究所 第二部開発室
室長 廣田晃一
 - レアメタル学の勃興下に学び(仮) (30分)
東北大学大学院工学研究科 金属フロンティア工学専攻
先端マテリアル物理化学講座 材料物理化学分野
准教授 竹田 修
 - 岡部研時代の研究や苦勞, そして今にいたるまで(仮)
(30分)
School of Materials Science and Engineering, Pusan Na-
tional University Assistant Professor Jungshin Kang
 - 白金の新リサイクル技術の研究とその苦勞, そして今に
いたるまで(仮) (30分)
関東化学株式会社 大阪支店
試薬事業本部 試薬学術部 学術二課

係長 衛藤(堀家)千代子

- 大学において時代を追う研究ではなく, 時代が追い付いて
くる研究を行うべきである(仮) (45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹

午後6:00~ 研究交流会・意見交換会+岡部徹教授の紫綬
褒章受章 祝賀会

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

午後2:00~

講演【敬称略】

- 私とチタンとの関わり ~新用途に向けたチタン多孔質体
を中心に~(仮) (60分)
東邦チタニウム株式会社

取締役, 副社長執行役員 結城典夫

- 脱炭素化の動きとチタン製造の実態(仮) (45分)
脱炭素産学協創コンサルティング 代表 高橋和彦
- チタンに関する最近の話題(仮) (45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 大阪チタニウムテクノロジーズ電解槽発展の歴史(仮) (60
分)
株式会社大阪チタニウムテクノロジーズ
執行役員 中村宣雄

午後6:00~ 研究交流会・意見交換会

レアメタル研究会ホームページ

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

◇ ◇ ◇

東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門
(JX 金属寄付ユニット)主催
◇国内製造業の人材確保・育成の課題と取組みに
関するシンポジウム◇

- 主 催 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協 賛 東北大学 多元物質科学研究所 非鉄金属製錬環境科学共同研究部門
(住友金属鉱山共同研究ユニット)
京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 非鉄製錬学講座, (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (公社)日本化学会, (一社)新金属協会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会(依頼予定)
- 協 力 東京大学 生産技術研究所 持続型材料エネルギーインテグレーション研究センター, レアメタル研究会
- 開催場所 東京大学 生産技術研究所 An 棟 2F コンベンションホールでのリアル講演会+講演のネット配信 (Zoom Webinar+YouTube)のハイブリッド形式
〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1
(最寄り駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)
- 参加登録・問い合わせ
東京大学 生産技術研究所 岡部研究室
学術専門職員 宮野智子
参加登録 E-mail: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp
問い合わせ E-mail: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
- 会 費 参加費(シンポジウム・交流会)無料
- 2023年9月8日(金)An 棟 2F コンベンションホールおよび Zoom Webinar+YouTube
- 13:30~受付開始
14:00~講演会
16:20~パネルディスカッション
17:30~技術交流会

(2023.8.1 現在)

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

■講演会プログラム【敬称略】

- 総司会 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 菅野智子
- 14:00-14:05 開会の挨拶
- 東京大学 生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 菅野智子
- 司会 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 黒川晴正
- 14:05-14:35
- ・非鉄金属製錬業界の人材確保の現状, 企業と大学の連携による人材育成・確保と活性化 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 黒川晴正

14:35-15:05

- ・東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門の活動と JX 金属
JX 金属株式会社

常務執行役員 技術本部副本部長 中村祐一郎

15:05-15:35

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

金属事業カンパニー製錬事業部長 松谷輝之

15:35-16:05

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

住友金属鉱山株式会社執行役員 技術本部長 岡本秀征

16:05-16:20 —休憩—

16:20-17:00 パネルディスカッション

ファシリテーター

- 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 菅野智子

パネラー

JX 金属株式会社

常務執行役員 技術本部副本部長 中村祐一郎

- 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 岡部 徹

三菱マテリアル株式会社 金属事業カンパニー

製錬事業部長 松谷輝之

京都大学大学院工学研究科

教授 宇田哲也

住友金属鉱山株式会社

執行役員 技術本部長 岡本秀征

東北大学 多元物質科学研究所

教授 福山博之

17:00-17:05 総括ならびに講評

JX 金属株式会社

取締役副社長執行役員 菅原静郎

17:05-17:10 写真撮影

17:30-19:30 技術交流会 東京大学 生産技術研究所

An 棟 1 階 レストラン アーベ(予定)

参加登録フォーム

<https://forms.gle/YQwa39LxXsA9p8uW8>

申込期限 2023年9月1日(金)15:00

講演会 URL https://u-tokyo-ac-jp.zoom.us/join/register/WN_c-6KBl6sRhK1LzMtnPHjtQ

ウェビナー ID: 846 0761 1644

パスコード: 758819

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

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

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

2022年度オンライン教育講座 実施報告書

(セミナー・シンポジウム委員会企画)

日本金属学会では with コロナ時代を見据えたセミナーやシンポジウム開催のあり方を検討し、会員向けサービスの向上や若手や学生の教育・育成への支援を目的とした基礎教育講座を完全オンラインで始動した。この講座では、原則として2日間にわたる集中講義を年間5講座から6講座を毎年シリーズで開催していく予定である。2022年度は以下に記載する5つの講座を開催した。

1. 結晶学の基礎(8月25日, 26日開催)

講師：早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構客員教授、
京都大学名誉教授 松原英一郎

世話人：日立金属(現プロテリアル)西内武司

参加登録者：92名

本講座では、結晶構造を理解する上で必要な知識と、この結晶構造を明らかにするための最も一般的な実験ツールとなるX線回折に関する内容を中心に講義が進められた。2日間にわたる単独の講師にご対応いただいたことで、フレキシブルな運用ができ、「逆格子」など初学者にとってハードルが高い概念についても、時間をかけて丁寧に解説いただけた。また、チャット機能を活用することで、30を超える質問が講義中に寄せられ、これらへの回答を通じて講義内容を深掘することができた点など、オンラインライブのメリットを活かした講座となった。

2. 状態図・相平衡の基礎(10月4日, 5日開催予定)

講師：物質・材料研究機構 大沼郁雄, 名古屋大学准教授 塚田祐貴, 東京工業大学名誉教授 梶原正憲, 物質・材料研究機構 阿部太一

世話人：物質・材料研究機構 阿部太一

参加登録者：73名

熱力学・拡散共に基礎の基礎から式を展開し解き起こした講義は、参加者された多くの皆様から良い評価をいただきました。そして、実際の講義や教科書などでは省略してしまう部分を丁寧に理解することの重要性を改めて実感することができる講義でした。基礎理論に関する講義に引き続き、応用として、状態図決定の困難さや実際に状態図データを利用するときに注意すべき点などを取り上げた点も、状態図研究全体の雰囲気や俯瞰できるものとしてよい評価をいただきました。講義後のQ&Aでも多くの質問があり、参加いただいた方々の熱意も感じられたセミナーとなった。

3. 材料強度の基礎(10月20日, 21日開催)

講師：九州大学名誉教授 東田賢二

世話人：豊橋技科大 戸高義一

参加登録者：60名

本講座では、はじめに(1)結晶塑性学の基盤となる転位論の基礎、(2)種々の結晶構造における転位構造の特徴とその強度特性との関係、(3)各種強化機構の基礎などについて解説された。さらに、材料破壊の基礎についても材料科学的な立場から論述して頂いた。そこでは、(4)材料破壊の基盤としてのクラック論基礎、(5)転位-亀裂相互作用を通しての破壊靱性について解説された。水素脆化の問題についても触れて頂いた。講義後のQ&Aでは、受講者からの多くの質問に対して懇切丁寧にご回答頂き、材料強度に関する理解を深めることができた。

4. 金属製錬の熱力学(11月17日, 18日開催)

講師：東京大学名誉教授 月橋文孝

世話人：東大 松浦宏行, 阪大 小泉雄一郎

参加登録者：102名

本講座は、あらかじめ録画いただいた講義の動画を開催日に配信することを初めて試みた。金属製錬は鉱石から目的金属を抽出・精製して金属材料を製造する、現代社会の構築に欠かせない技術である。近年では資源の枯渇や地球温暖化の進展に伴い、低品位鉱石や都市鉱山の活用が求められ、また、カーボンニュートラルに向けた更なる取組が期待されている。本講義では、高温反応での乾式製錬に焦点をあて、その原理となる化学熱力学における化学ポテンシャル、相平衡、状態図などの基礎概念や法則について解説いただき、実プロセスへの活用法を、具体例を交えて詳細に解説頂いた。さらに質疑応答で寄せられた多くの質問に対して丁寧に解説いただいた。参加者からは、基礎から応用まで俯瞰的に学習できた、効率的に学び直してきた、理解が深まったなどの声が多数寄せられており、大変有用なセミナーとなった。

5. 金属材料の耐環境性(1)水溶液腐食の基礎—平衡論・速度論(12月5日, 12日開催)

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

世話人：阪大 土谷博昭

参加登録者：28名

金属材料の腐食による劣化は大きな社会問題になるため、腐食現象に関する理解は重要である。本講座では、水溶液環境下で生じる腐食現象を理解するために不可欠な電気化学の基礎が、平衡論と速度論に分けて詳細に説明された(大塚)。また鉄鋼材料(武藤)および様々な非鉄金属材料(多田)で生じる腐食現象が上述の電気化学の基礎からどのように解釈されるのか、腐食を電気化学測定からどのように評価できるのかについて詳しく解説された。

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 87, No. 9 (2023)

—論 文—

酸化カルシウムを用いた酸素発生用電極からのイリジウムの揮発分離回収法

高橋浩介 實方涼二 永井 崇

SUS301鋼における1600 MPa 高降伏点と長大リユース変形をもたらす結晶粒超微細化とC濃度およびオーステナイト安定性の関係

増成優人 伊東篤志 水野泰雅 石井裕規 鳥塚史郎

転位回復モデルおよびNモデルに基づくCu-Co-P合金の析出挙動に対する数値解析

後藤潤大 小山敏幸 田島一成

訂正

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 64, No. 9 (2023)

—Overview—

Early-Stage Dislocation Structures inside the Dislocation Channels of Face-Centered-Cubic Metals with Point Defect Clusters

Kazushige Tokuno,
Masatoshi Mitsuura and Masahiro Hagino

—Review—

Factors Affecting the Physical Properties of Electrically Conductive Copper and Dilute Copper Alloys

Shigeo Sato, Kazunari Maki, Masato Ito
and Shigeru Suzuki

Review—Understanding and Controlling the Electrochemical Properties of Sulfide Inclusions for Improving the Pitting Corrosion Resistance of Stainless Steels

Masashi Nishimoto, Izumi Muto and Yu Sugawara

Improvements in Flash Sintering for Practical Application

Takahisa Yamamoto

—Special Issue on Nanostructured Functional Materials and Their Applications IV—

Preface

Tomoyuki Yamamoto, Masato Yoshiya
and Nam Nhat Hoang

Advanced Functional Oxides

Instability of the Crystal and Electronic Structures due to Hydrogenation Influenced the Magnetic Properties of a $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ Manganite

D.T. Bui, T.A. Ho, N.N. Hoang,
T.L. Phan, B.W. Lee, N.T. Dang, D.T. Khan,
L.V. Truong-Son, D.N. Petrov, B.T. Huy and D.S. Yang

A Novel Diamagnetic Insulating Quadruple Perovskite Oxide $\text{YCu}_3\text{Rh}_4\text{O}_{12}$

Ikuya Yamada, Yuta Kato,
Hiroshi Nakajima, Hidekazu Ikeno, Shigeo Mori
and Shogo Kawaguchi

High-Throughput Screening of $(\text{La},\text{Sr})(\text{Fe},\text{Co})\text{O}_3$ Perovskite for Oxygen Evolution Reaction Catalysis

Yuichi Okazaki, Yasuaki Tokudome, Shunsuke Yagi
and Ikuya Yamada

High-Pressure Synthesis of a Novel Quadruple Perovskite Oxide $\text{AgCu}_3\text{Cr}_4\text{O}_{12}$

Yuta Kato, Mizuki Furo, Tatsuya Yamaguchi,
Atsushi Hariki and Ikuya Yamada

Pressure-Induced Order-Disorder Transition in the Double Perovskite Oxide $\text{La}_2\text{CoRuO}_6$

Amane Morimura and Ikuya Yamada

Synergistic Effect between Fe^{4+} and Co^{4+} on Oxygen Evolution Reaction Catalysis for $\text{CaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

Ikuya Yamada, Atsushi Tanaka, Seiji Oda, Yuichi Okazaki,
Fumito Toda, Yuta Kato, Yuta Kizawa, Masaya Oshita,
Manami Goto, Amane Morimura, Asuka Ochi, Kaoru Toda,
Wencong Wang, Hajime Yamamoto, Hidekazu Ikeno
and Shunsuke Yagi

Magnetic Materials

High-Pressure Synthesis and Magnetic Property of a Novel Ferrimagnetic Quadruple Perovskite $\text{YMn}_3\text{Co}_4\text{O}_{12}$

Atsushi Tanaka, Ikuya Yamada and Shogo Kawaguchi

Site Selectivity and Structural Stabilization in Cu-Doped or Fe-Doped MnCoGe

Taisei Takaoka, Yoshifuru Mitsui, Keiichi Koyama
and Shinpei Fujii

In-Magnetic-Field Heat Treatment Effects on Phase Growth of Mn-Bi-Sn Composite

Kota Nakamoto, Yoshifuru Mitsui, Ryota Kobayashi
and Keiichi Koyama

Magnetization Process in Bilayer Honeycomb Spin Lattice

Niem T. Nguyen, Giang H. Bach,
Thao H. Pham, Huy D. Nguyen, Oanh T.K. Nguyen
and Cong T. Bach

Fundamentally Different Magnetoresistance Mechanisms in Related Co/Pd and Co/Pt Multilayers for Spintronic Applications

W.-B. Wu, J. Kasiuk, J. Przewoźnik, Cz. Kapusta, I. Svito,
K. Tung Do, T. Huong Nguyen, H. Manh Dinh, J. Åkerman
and T.N. Anh Nguyen

Highly Sensitive Detection of Weak Low Frequency Magnetic Fields Using Single Nanoscale Orthogonal MgO Magnetic Tunnel Junctions under a Large Bias Field

T.N. Anh Nguyen, Q. Ngan Pham, V. Thanh Chu,
K. Tung Do, T. Huong Nguyen, H. Nam Pham,
Minori Goto, Miyoshi Fukumoto, Hiroyuki Tomita,
Tatsuki Watanabe, Hitoshi Kubota, Akio Fukushima,
Kei Yakushiji and Yoshishige Suzuki

Thin Films, Nano-Particles and 2D Materials

Construction of Highly Condensed Cu₂O/CuO Composites on Cu Sheet and Its Photocatalytic in Photodegradation of Hazardous Colouring Agent Rose Bengal

Cong Doanh Sai, Van Thanh Pham,
Thi Ngoc Anh Tran, Thi Thuong Huyen Tran,
Thi Bich Ngoc Vu, Thi Huong Hue Hoang, Anh Son Pham,
Thi Minh Thuy Nguyen, Thi Thu Hoai Duong
and Huy Hoang Do

Arrays of NdFeB Clusters in PDMS Background Used to Levitate T47D Human Cells

N.H. Tiep, B.D. Tu and L.V. Cuong

2% Transmitted Electrochromic Films by Hydrogen Adsorption

Nguyen Duy Thien, Nguyen Quang Hoa, Vuong Van Hiep,
Le Quang Thao, Le Van Vu, Hoang Nam Nhat
and Nguyen Ngoc Dinh

Structural, Morphological, Optical Properties and Impedance Analysis of Solution-Processable Ni-Doped CuO Thin Films on ITO/Glass Substrates

La Thi Ngoc Mai, Nguyen Van Loi, Do Hong Minh,
Dang Van Thanh and Bui Nguyen Quoc Trinh

Synthesis of Bifunctional Magneto-Plasmonic Fe₃O₄@SiO₂-Au Nanoparticles by an Ultrasound-Assisted Chemical Method

Phi Thi Huong, Bui Duc Tri, Nguyen Thi Thanh Van,
Tran Thi Hong, Luu Manh Quynh, Nguyen Hoang Luong
and Nguyen Hoang Nam

A Novel Electrochemical Modification Combined with Heat Treatment for Production of Ag NPs and Efficient Antibacterial Ag NPs-Coated Non-woven Fabrics

Le Quang Thao, Vu Ha Phuong,
Tran Quoc Tuan, Nguyen Quang Hoa, Vuong Van Hiep,
Le Van Vu, Hoang Nam Nhat, Nguyen Ngoc Dinh
and Nguyen Duy Thien

Multiferroic Property of 2D Hybrid Organic-Inorganic (C₆H₅C₂H₄NH₃)₂NiCl₄ Perovskite Single Crystals

L.V. Cuong, N.D. Hieu, B.D. Tu and N.H. Tiep

Computational Materials Science

Computational Materials Design of High-Entropy Alloys Based on Full Potential Korringa-Kohn-Rostoker Coherent Potential Approximation and Machine Learning Techniques

Kazunori Sato, Genta Hayashi, Kazuma Ogushi,
Shuichi Okabe, Katsuhiro Suzuki, Tomoyuki Terai
and Tetsuya Fukushima

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

Megumi Higashi and Hidekazu Ikeno

Quasiparticle Self-Consistent *GW* Analysis of Excited States and Model Construction of 3d² Luminescent Centers in α -Aluminum Oxide

Harutaka Saito, Katsuhiro Suzuki, Kazunori Sato
and Takao Kotani

—Special Issue on ISSN 2022 - Integrated Computer-Aided Process Engineering—

PREFACE

Hyoungh Seop Kim, Pil-Ryoung Cha and Hyunjoon Choi

Classification of Surface Fracture in Plastics Using Convolutional Neural Networks

Dong Hyuk Jung, Woo Jeong Oh, Joon Seok Kyeong
and Seok-Jae Lee

Analysis of Prediction Mechanisms and Feature Importance of Martensite Start Temperature of Alloy Steel via Explainable Artificial Intelligence

Junhyub Jeon, Namhyuk Seo, Jae-Gil Jung, Seung Bae Son
and Seok-Jae Lee

Finite Element Simulation of Quench Distortion of Cut-Cylinder 4340 Steel

Kyuntaek Cho and Seok-Jae Lee

Enhancing the Hydrophilicity of Non-Woven Fabric Using Atmospheric Pressure Plasma Treatment Optimized by the Design of Experiments

MiJeong Park, Hee Yeon Jeon, Seungheon Han,
Dong Hoon Lee and Young-In Lee

Machine Learning Model and Prediction Mechanisms of Bainite Start Temperature of Low Alloy Steels

Junhyub Jeon, Yoonje Sung, Namhyuk Seo,
Jae-Gil Jung, Seung Bae Son and Seok-Jae Lee

Deformation and Fracture Behaviors of Heterostructured STS316L/Inconel 718 by Laser Powder Bed Fusion

Hyunwoo Seo, Hoodahm Lee,
Haeum Park, Sangeun Park and Hyokyung Sung

Effect of Mg Content on Precipitation Hardening Behavior of Al-Mg-Si-(Cu) Alloys

GyeongSeok Joo, YongWook Song, MinSang Kim,
Suwon Park, JaeHyuk Shin, SoonMok Choi, HyunJoo Choi
and SeHoon Kim

—Regular Article—

Materials Physics

Modification of Hardness and Electrical Conductivity of Copper-Titanium Alloy by Energetic Electron Irradiation

Akihiro Iwase, Yuki Fujimura,
Satoshi Semboshi, Yuichi Saitoh and Fuminobu Hori

Microstructure of Materials

Hot Deformation Behaviour and Deformation Microstructure of an Al-Zn-Ce Damping Alloy

Shuyi Wang, Song Zhang and Yonggang Xu

Age Hardening of Si-Bearing Near- α Titanium Alloy Ti-6Al-2.75Sn-4Zr-0.4Mo-0.45Si (Ti-1100) with Two Kinds of Initial Phases

Tatsuaki Sakamoto, Hiroaki Akiyama, Seiya Tange
and Hiromichi Takebe

Local Atomic Displacements and Sign of the Structural Transformation in Medium-Entropy Alloys Observed in Extended X-ray Absorption Fine Structure Spectra

Yoichi Ikeda, Yoshihiko Umemoto, Daiju Matsumura,
Takuya Tsuji, Yuki Hashimoto, Takafumi Kitazawa
and Masaki Fujita

Mechanics of Materials

Mechanics and Energetics of Kink Deformation Studied by Nonlinear Continuum Mechanics Based on Differential Geometry

Sigiet Haryo Pranoto, Shogo Yokota, Shunsuke Kobayashi and Ryuichi Tarumi

Effect of Micro-Crack Depth on Fatigue Property in Zn-Ni Coated Press Hardened Steel

Koichi Nakagawa, Tatsuya Nakagaito, Seiji Nakajima, Masayasu Nagoshi, Yoshikiyo Tamai, Jiro Hiramoto and Akihide Yoshitake

Effect of Microstructural Transformation upon Edge Heat Treatment on Stretch Flangeability of Ultrahigh-Strength Steel with Sheared Edge

Yuichi Matsuki, Shunsuke Tobita, Kinya Nakagawa, Toyohisa Shinmiya, Yuji Yamasaki and Yoshikiyo Tamai

Materials Chemistry

Electrochemical Surface Modification of $\text{Al}_8\text{Co}_{19}\text{Cr}_{23}\text{Fe}_{32}\text{Ni}_{18}$ in H_2SO_4 : A High-Entropy Alloy with High Pitting Corrosion Resistance and High Oxidation Resistance

Li Pao, Masashi Nishimoto, Izumi Muto and Yu Sugawara

Materials Processing

Microstructures and Oxide Scale of Melted Mark on Copper Wire Solidified under Various Cooling Conditions and Subsequent Heat Exposure

Suphattra Sachana, Kohei Morishita and Hirofumi Miyahara

Oxide and Heat Treatment Microstructure Evolution of Melted Mark on Copper Wire under Various Heat Treatment Conditions

Suphattra Sachana, Kohei Morishita and Hirofumi Miyahara

Effect of Casting Speed on Floating Grains in Direct-Chill Casting of Aluminum Alloys

Yi Zhang, Jianquan Ling, Ziwei Yao, Fangzhen Liu, Qipeng Dong and Hiromi Nagaumi

Engineering Materials and Their Applications

Apparent Sintering Activation Energy Estimated by Master Sintering Curves for 8 mol% Y_2O_3 Doped ZrO_2 Polycrystals during Shrinkage-Rate Controlled Flash Sintering

Masao Koike, Ayu Kodaira, Tomoharu Tokunaga and Takahisa Yamamoto

Microstructure of Mg-In Alloy Systems and Their Room Temperature Rollability

Ryota Nagata, Yoshiki Tomura and Takaomi Itoi

Edge Joining of A6061 Aluminum Alloy Sheets by Electrodeposition of Copper

Masataka Hakamada, Soya Hirose, Yuki Yamamoto, Xinsheng Huang, Isao Nakatsugawa, Yasumasa Chino, Hiromi Nakano and Mamoru Mabuchi

—Express Rapid Publication—

Development of Biomedical Mg-1.0Ca-0.5Zn-0.1Y-0.03Mn (at%) Alloy by Rapidly Solidified Powder Metallurgy Processing

Yoshihito Kawamura, Fuka Shimada, Kazuma Hamada, Shotaro Ueno and Shin-Ichi Inoue



～欧文誌オンラインジャーナル フリーアクセスのお知らせ～

◆公開後半年経過した論文のフリーアクセスのお知らせ

Materials Transactions 誌では、公開後半年経過したすべての論文に会員、非会員を問わず誰でも無料でアクセスならびにダウンロードができるサービスを行っております。

◆Materials Transactions 論文フリーアクセス公開サービス(Open Choice)について

Materials Transactions 誌では、『公開後すぐに、できるだけ多くの読者に読んでもらいたい!!』というご要望に応えるため、投稿・掲載費用に、追加費用(33,000円(税込))をお支払いいただければ、半年間の認証期間を設けることなく、公開と同時にアクセスならびにフリーダウンロードを可能とするサービス(Open Choice)がごございます。



まてりあ第62巻10号 予告

特集「粒界偏析における計算材料科学の最前線」

[実学講座] 実学講座 2-1 力学特性 2-1-4 圧縮試験(マイクロビラー圧縮試験)京大 岸田恭輔
—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

新 入 会 員

(2023年 6 月21日～2023年 7 月20日)

ユース会員

安 藤 蒼 生 大分上野丘高校

正 員

岩 瀬 義 孝 アイシン高丘株式会社
岡 村 隆 宏 長野県工業技術総合センター
Song Seungyub 高エネルギー加速器研究機構
武 久 浩 之 株式会社キグチテクニクス
田 中 将 嗣 九州工業大学

弦 牧 篤 株式会社シマノ
徳 富 一 敬 株式会社ブリヂストン
花 塚 暁 華為技術日本株式会社
福 田 周 平 産業技術総合研究所
前 田 悠 希 株式会社原子力安全システム研究所

三 代 真 澄 ユニチカ株式会社
森 陽 一 株式会社栗本鐵工所
渡 邊 健 太 東京工業大学

学 生 員

秋 武 龍 樹 大阪大学
浅 井 奨 之 富山大学
朝 倉 光 平 大阪大学
浅 野 友 太 芝浦工業大学
渥 美 広 倫 東北学院大学
天 野 想 大 名古屋工業大学
天 野 登 太 香川大学
有 賀 甚 名古屋大学
安 澤 秀 眞 長岡工業高等専門学校
五十嵐 壮日子 東京工業大学
石 神 佳 那 名古屋工業大学
石 倉 弘 喜 北海道大学
石 坂 洸 樹 長岡技術科学大学
石 村 太 世 東北大学
泉 圭 東京工業大学
磯 崎 雷 太 東京大学
板 垣 克 東北大学
板 垣 陽 地 株式会社アイテック
糸 井 茄 津 仙台高等専門学校
稲 垣 陸 月 東北大学
今 田 隆 浩 東京大学
今 村 海 熊本大学
井 本 侑 樹 京都大学
岩 岡 葵 東北大学
岩 田 清 希 千葉工業大学
Wu Hao 金沢大学
呉 振 揚 東京工業大学
上 田 早 紀 秋田大学
内 田 匡 美 名古屋大学
宇 都 木 一 輝 早稲田大学
梅 田 翔 太 群馬大学
梅 谷 大 和 東京工業大学
梅 林 大 地 金沢大学
梗 田 春 菜 名古屋大学
江 頭 亨 侍 東京工業大学
江 川 彩 斗 京都大学
王 成 蹊 東京工業大学
大 井 峻 東京大学
大 北 陸 登 兵庫県立大学
大 久 保 明 義 東京工業大学
大 倉 隆 平 九州工業大学
太 田 将 悟 茨城大学
大 野 直 樹 早稲田大学

大 呂 空 大阪大学
岡 田 航 太 北海道大学
岡 田 郁 也 関西大学
岡 野 利 哉 茨城大学
小 河 原 匠 生 岡山大学
尾 崎 直 樹 宇部工業高等専門学校
尾 崎 裕 樹 愛媛大学
尾 関 太 一 大阪公立大学
織 田 隼 輔 秋田大学
鬼 塚 慈 恩 熊本大学
小 野 和 輝 岩手大学
温 龍 一 玉川大学
海 瀬 正 人 東北大学
梶 山 直 栄 宇部工業高等専門学校
片 桐 颯 也 名古屋工業大学
片 倉 遥 香 大阪公立大学
片 山 太 郎 群馬大学
加 藤 楽 人 千葉工業大学
金 子 紘 汰 秋田大学
川 井 健 太 郎 群馬大学
川 島 大 器 北海道大学
川 原 弘 太 郎 九州大学
上 林 拓 斗 金沢大学
北 浦 亮 太 大阪大学
北 村 明 寛 群馬大学
木 村 海 成 関西大学
金 奕 霖 東京工業大学
日 下 大 輔 徳島大学
熊 木 玲 央 弘前大学
藏 内 省 梧 足利大学
桑 原 悠 人 東京大学
鯉 川 智 生 早稲田大学
古 角 岳 大 岡山大学
越 石 健 太 富山大学
後 藤 梨 花 群馬大学
小 西 溪 太 北海道大学
小 林 千 浩 京都大学
小 山 兼 央 東京工業大学
今 野 雄 太 東北大学
酒 井 大 祈 関西大学
酒 井 瑞 生 名古屋工業大学
坂 井 裕 樹 北海道大学
坂 田 北 登 長岡工業高等専門学校

坂 田 龍 馬 宇部工業高等専門学校
左 口 凌 成 名古屋工業大学
佐 藤 元 紀 早稲田大学
佐 藤 翼 大阪大学
佐 野 海 成 名古屋工業大学
佐 野 公 祐 同志社大学
澤 泉 克 彦 大阪大学
澤 谷 柊 長岡技術科学大学
品 田 拓 海 芝浦工業大学
志 野 木 純 大阪大学
柴 垣 湧 名古屋大学
芝 田 翔 真 愛媛大学
渋谷 草 太 弘前大学
清 水 元 陽 富山大学
清 水 来 紀 東北大学
庄 司 雄 大 京都大学
杉 浦 環 太 名古屋大学
杉 浦 史 生 長岡技術科学大学
杉 田 三 佳 名古屋工業大学
瑞 慶 覧 諒 大 早稲田大学
鈴 木 快 聖 筑波大学
鈴 木 建 人 茨城大学
須 田 昌 貴 同志社大学
角 樋 海 聖 関西大学
関 翔 太 名古屋大学
關 山 史 門 名古屋工業大学
曾 我 海 翔 大阪大学
高 丈 明 京都工芸繊維大学
高 尾 宜 伸 富山県立大学
草 木 寧 緒 東北大学
高 田 龍 平 東京工業大学
高 橋 幸 輝 早稲田大学
高 橋 将 馬 千葉工業大学
高 橋 大 佑 弘前大学
瀧 本 俊 之 東北大学
武 田 森 哉 近畿大学
武 中 宏 樹 鹿児島大学
竹 畑 俊 吾 富山大学
竹 元 光 明 島根大学
田 代 隼 斗 九州大学
立 入 稜 也 京都大学
巽 遼 太 金沢大学
伊 達 寛 明 芝浦工業大学

田中愛樹 高知工科大学
 田中伊織 大阪大学
 谷山智樹 千葉工業大学
 田端桃子 筑波大学
 田村陸斗 北海道大学
 太村竜也 金沢大学
 塚越皓也 群馬大学
 塚田光基 千葉工業大学
 塚本久子 同志社大学
 佃遥希 富山大学
 辻登太 長岡技術科学大学
 土屋祐樹 名古屋大学
 寺沢亮輔 名城大学
 寺田歩夢 金沢大学
 寺原由成 京都大学
 徳永成琉 東京工業大学
 外館真之介 京都大学
 長井一真 九州工業大学
 永井直久 熊本大学
 中島知紀 東北大学
 中田龍之介 名古屋工業大学
 中塚奏賀 東北学院大学
 中埜創太 京都大学
 中野夢右希 名古屋大学
 中村周平 名古屋工業大学
 西尾健人 東京大学
 西川修平 宇部工業高等専門学校
 西川純平 宇部工業高等専門学校
 西川直也 金沢大学
 西野凌平 九州大学
 西村真拓 北海道大学
 二斗蒔田達也 大阪大学
 野上晴菜 九州工業大学
 野島駿佑 大阪大学
 野田航汰 東京大学
 長谷川凌太 東北大学
 畠山将人 岩手大学
 羽富圭祐 早稲田大学
 花田滉生 大阪大学

林けい 名古屋大学
 原寛輔 東北大学
 原口智匡 筑波大学
 原田爽平 横浜国立大学
 伴智也 東北大学
 坂東航 弘前大学
 東野桂馬 関西大学
 日向陽介 東北大学
 平澤龍 室蘭工業大学
 平田竜都 筑波大学
 平野敦巳 岩手大学
 平野萌 早稲田大学
 平山翔太 大阪公立大学
 廣江王貴 東北大学
 廣岡勢 大阪大学
 廣野零二 名古屋工業大学
 HUY NGUYEN QUANG 群馬大学
 福士英里香 芝浦工業大学
 福島洋也 富山大学
 袋井航平 北海道大学
 藤井星歌 京都大学
 藤井悠太 大阪大学
 藤田学 東京大学
 藤本和伸 富山大学
 藤原功多 九州工業大学
 船寺早紀 芝浦工業大学
 古川雄磨 東北大学
 古屋丞司 山梨大学
 古屋瑠土 東北大学
 細江信吾 名古屋大学
 堀江優衣 筑波大学
 堀尾尚平 大阪大学
 真家拓海 茨城大学
 前川優太 東北大学
 前田健二郎 富山大学
 前田侑貴子 筑波大学
 蒔苗優太郎 新潟大学
 松浦紘夢 東北大学
 松尾駿之介 大阪公立大学

松尾啓史 九州大学
 松川仁志 大阪大学
 松熊悠貴 京都大学
 松寄淳也 慶應義塾大学
 松永心吾 名古屋工業大学
 松野真樹 九州大学
 松藤晃樹 名古屋工業大学
 松海壯一郎 九州大学
 松本拓真 早稲田大学
 松本遼 東京大学
 三浦勇人 東北学院大学
 三品海渡 名古屋大学
 三島陸 大阪公立大学
 三谷祥大 名古屋大学
 三鍋雄紀 東北大学
 箕輪大生 金沢大学
 宮澤翔 熊本大学
 宮下弘渡 北海道大学
 宮本了輔 大阪公立大学
 宗平裕樹 大阪大学
 村上和則 京都大学
 村田粋堂 北海道大学
 村山浩二郎 九州工業大学
 目黒まりん 東京工業大学
 八木隆暁 富山大学
 矢内佑樹 東京工業大学
 矢野陸斗 大阪公立大学
 山田剛寛 大阪大学
 山田将広 名古屋大学
 横田一樹 京都大学
 良井蓮 大阪大学
 吉岡徹郎 熊本大学
 吉田竜也 東北大学
 吉野湧斗 富山大学
 鷲田和哉 芝浦工業大学
 和田朋実 大阪公立大学
 渡邊将騎 千葉工業大学

外国一般会員

Chen Han 東京大学

Saikat Bolar 高知工科大学

外国学生会員

CHO Dongwoo Pukyong National University
 Kim Changgyun Kyungpook National University
 Lee Siyeon Pukyong National University
 R HAMSHINI 京都大学
 WANG chunyu 京都大学
 王維瑞 千葉工業大学
 王運生 熊本大学
 オボソ ベナードピーター 鳥取大学

カイルルアブラル ピンオン 長岡技術科学大学
 郭帥 足利大学
 CAI WEISI 東京工業大学
 司韵 東京工業大学
 舒俊鈔 筑波大学
 肖劍鋒 東京大学
 陳成 東京工業大学
 程維 足利大学

畢書雨 東京大学
 ブハイ 富山大学
 ムワンギ ピーターンドゥング 鳥取大学
 李聰 北海道大学
 Li Yecheng 東京工業大学
 LIU Tian 北海道大学
 王振涛 北海道大学

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2023年9月				
1	第256回塑性加工技術セミナー「有限要素法 入門セミナー」(大阪工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
4～5	第45回安全工学セミナー(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
4～6	2023年度 高温材料の変形と破壊研究会(仙台) (7号499頁)	日本金属学会研究会 No.83	saruta.mamiko@nims.go.jp https://forms.gle/nCUuNJIRD5R4dfQb9	7.28
6～8	2023年度工学教育研究講演会(広島大)	日本工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
6～8	2023年度 JCOM 若手シンポジウム(香川)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jcom2023wakate@office.jsms.jp http://compo.jsms.jp/	定員 40名
8	国内製造業の人材確保・育成の課題と取組みに関するシンポジウム(東大生産技研)(本号633頁)	東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/	参加 9.1
11	腐食防食部門委員会 第350回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	9.4
11～12	第41回初心者のための疲労設計講習会(電気通信大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
12～13	第48回複合材料シンポジウム(東北大)	日本複合材料学会	TEL 03-5981-6011 jscm@asas-mail.jp https://www.jsms.jp	
12～14	2023年度資源・素材関係学会合同秋季大会(松山)	資源・素材学会	TEL 03-3402-0541 info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2023b/top?lang=ja	
13～14	日本中性子科学会第23回年会(北大)	日本中性子科学会	https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/QBMA/JSNS2023/	
13～15	第48回コロージョンセミナー「様々な腐食・劣化に対応できる腐食防食研究者・技術者を目指して」(三栄)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/48.html	
13～15	第8回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(兵庫県播磨町/オンライン)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.14
14～15	第32回傾斜機能材料シンポジウム(東北大)	傾斜機能材料研究会	https://fgms.net/event-info/domestic-symposium/	
17～22	The 21st international conference on Solid-State Protonic Conductors(SSPC-21)(福岡)	SSPC-21 組織委員会	https://q-pit.kyushu-u.ac.jp/yamazaki/sspc21.html	
19～22	日本金属学会秋期講演大会(とやま自遊館, 富山大学五福キャンパス)(本号620頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp https://www.jim.or.jp/convention/2023autumn/	事前参加申込 9.1
20～21	第27回動力・エネルギー技術シンポジウム(東京海洋大)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/conference/pes27/index.html	
20～22	INCHEM TOKYO 2023(東京ビッグサイト)	化学工学会他	TEL 03-3434-1988 INCHEM@jma.or.jp	
22	日本金属学会・日本鉄鋼協会「第12回女性会員のつどい」(富山大)(本号623頁)	日本金属学会・日本鉄鋼協会	emiura@eng.u-hyogo.ac.jp	
25	第112回アノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会—2023年度チュートリアル:アノード酸化の基礎—(工学院大)	表面技術協会・アノード酸化皮膜の機能化部会	ars_office@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	9.11
26～27	SPRING-8 シンポジウム2023(阪大)	SPRING-8 ユーザー協同体(SPRUC)他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2023@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2023/sp8sympo2023/	
25～27	第20回日本熱電学会学術講演会(TSJ2023)(北九州)	日本熱電学会	TEL 06-4256-5530 jimu@thermoelectrics.jp https://www.thermoelectrics.jp/conference.html	
25～30	ITC Fukuoka 2023 (9th International Tribology Conference, Fukuoka 2023)(福岡)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 https://www.itc2023.jp/	
26	日本金属学会秋期講演大会高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)(7号487頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jimm.jp	7.14
27～29	第30回機械材料・材料加工技術講演会(筑波大)	日本機械学会	mpdconf@jsme.or.jp https://jsmempd.com/conference/mpdconf/2023/	
28～29	第15回「役に立つ真空技術入門講座」(大阪公大/オンライン)	日本表面真空学会関西支部	TEL 0791-58-0802(3913) syojin-yakunitatsu@jvss-kansai.jp https://www.jvss.jp/	定員 200名
29	第107回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号632頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
2023年10月				
2～3	第45回安全工学セミナー(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	9.19

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
3	2023年度溶接工学専門講座「ものづくり力伝承講座」～最新レーザー溶接を知る～(大阪大)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp https://www.jweld.jp/	9.26
3	第352回塑性加工シンポジウム「トライボロジー技術と型表面微細テクスチャリング技術の最新動向」(名工大+web)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
4	第51回日本ガスタービン学会定期講演会(福井)	日本ガスタービン学会	https://www.gtsj.or.jp/	
10～13	第9回材料WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
11～13	ADMETA Plus 2023 (Advanced Metallization Conference 2023 32nd Asian Session)(東大+オンライン開催)	ADMETA委員会	TEL 03-5821-7120 jimukyoku@admeta.org https://www.admeta.org/	
11～13	第42回電子材料シンポジウム(EMS-42)(榎原)	電子材料シンポジウム運営委員会	ems42-query@ems.jpn.org https://ems.jpn.org/	
12～13	第181回塑性加工工学講座「板材成形の基礎と応用～基礎編～」(オンライン開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
13～17	2024年粉末冶金国際会議(略称: WORLD PM 2024)(横浜)	日本粉末冶金工業会、(一社)粉体粉末冶金協会	worldpm2024@jtbcom.co.jp http://www.worldpm2024.com/	
16～18	International Conference on Powder and Powder Metallurgy, 2023, Kyoto (JSPMIC2023)(同志社大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 jspm2022@jspm.or.jp	
17	第74回白石記念講座 新たなものづくり: 3D 積層造形(Additive Manufacturing)の技術開発動向(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
20～21	(第93回塑性加工技術フォーラム)「せん断加工技術(基礎, 応用, 解析, 可視化, AI)」(長野)	日本塑性加工学会他	http://www.jstp.or.jp	定員 40名
21～22	第59回 X 線分析討論会(東京都市大)	日本分析化学会 X 線分析研究懇談会	TEL 070-7667-9223 xbun59@tcu.ac.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no59.html	
25～27	第36回計算力学講演会(豊橋)	日本機械学会	TEL 03-4335-7610 https://www.jsme.or.jp/conference/cmdconf23/index.html	
25～27	第10回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(東京)	日本学術会議	jcossar2023@ml-jsce.jp https://www.jcossar2023.jp/	
26	第63回「現場の硬さ試験」講習会—基礎とその活用—(東京)	日本材料試験技術協会	TEL 047-431-7451 gyomu2@ystl.jp http://www.mtraj.jp	10.19
26～27	オンライン教育講座「工業材料の応力・歪測定」(オンライン)(本号627頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	10.18
27	第258回塑性加工技術セミナー「伸線(引抜き)加工の基礎技術」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 140名
30～31	2023年度溶接入門講座(ハイブリッド開催)～溶接に関する技術開発・設計技術者のための基礎講座～(広島)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp https://www.jweld.jp/	10.13
30～11.1	第70回材料と環境討論会(姫路)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	
31～11.2	2023年日本表面真空学会学術講演会(名古屋)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 https://confit.atlas.jp/guide/event/jvss2023/top?lang=en kaiin@jvss.jp/	
2023年11月				
1～3	第64回高压討論会(柏)	日本高压力学会	TEL 070-5545-3188 touronkai64@highpressure.jp https://www.highpressure.jp/	参加事前 9.15
1～16, 17	金属学会シンポジウム「カーボンニュートラル・水素社会実現に向けた触媒材料の研究・開発の最新動向オンデマンド配信+(オンライン質疑応答)(本号628頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	10.31
2	第249回西山記念技術講座「環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開」(大阪)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/	
2～4	日本銅学会第63回講演大会(名古屋)	日本銅学会	TEL 03-6803-0587 dou-gakkai@copper-brass.gr.jp https://copper-brass.gr.jp/society/6095	
7～8	第45回安全工学セミナー(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
7～9	第44回日本熱物性シンポジウム(日大)	日本熱物性学会	TEL 03-5452-6218 jstp@iis.u-tokyo.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2023/	
8	第20回ヤングメタラジスト研究交流会(つくば)(本号630頁)	関東支部	okuyama@d.kisarazu.ac.jp	参加 10.11
9	2023年度溶接工学企画講座～「二相ステンレス鋼の溶接部性能確保のポイントと組織制御」～(大阪大+オンライン開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	11.2

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
10	日本希土類学会第41回講演会(東大)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/lecture.html	参加 10.20
10	第25回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム運営委員会	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com https://www.msforum.jp	
10	第259回塑性加工技術セミナー「技術力を飛躍的に向上させるためのCAE教育」(オンライン開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
10~12	軽金属学会第145回秋期大会(東京都立大)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	
12~16	2023 Joint Symposium on Molten Salts(京都)	電気化学会溶融塩委員会	TEL 0774-38-3500 ms12@msc.electrochem.jp	
13~14	第182回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用~応用編~」(オンライン開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
13~15	第44回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(富山)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp	
13~16	28th IFHTSE Congress in Yokohama(横浜)	第28回熱処理国際会議組織委員会	TEL 03-6661-7167 ifhtse2023office@jsht.or.jp https://jsht.or.jp/ifhtse2023/index.html	
13~17	HYPERFINE2023(奈良)	HYPERFINE 2023実行委員会	https://confit.atlas.jp/guide/event/hfi2023/top?lang=en	
15~17	The 1st international conference on Creation of Materials by Super-Thermal Field 2023(略称:CMSTF2023)(豊中)	超温度場 3DP	TEL 06-6879-7477 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/super3dp/index.php/cmstf2023_jp/	
15~17	第49回固体イオニクス討論会(北大)	日本固体イオニクス学会	TEL 022-217-5341 ssij@ssi-j.org https://www.ssi-j.org/symp/ssij49/	
16	第353回塑性加工シンポジウム「金属材料のリサイクル技術の最前線」(富山市+Web:ハイブリット開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
16~18	第61回高温強度・第21回破壊力学シンポジウム(新潟)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 9.1
17	第433回講習会「次世代パワー半導体材料の精密加工技術~最前線の業界動向から最先端加工技術まで~」(中央大+ハイブリッド開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html	
17~18	第74回塑性加工連合講演会(富山)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
18~19	2023年度計算力学技術者(CAE技術者)1・2級認定試験	日本機械学会	TEL 03-4335-7616 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/	
19~23	PRICM-11 (The 11 th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing)	KIM	TEL +82-2-573-6207 info@pricm11.org	
20~22	第25回日本感性工学会大会(東京)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske25	
21	第五回 状態図・計算熱力学研究会(オンライン開催)(本号630頁)	研究会 No. 85(物材機構)	abe.taichi@nims.go.jp https://comptd-jim.org/	講演 10.16
22	実用表面分析セミナー2023(神戸大)	日本表面真空学会 関西支部	https://www.jvss.jp/chapter/kansai/kansai_jitsuyou24/	
24	第108回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号632頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
26~12.1	International Gas Turbine Congress 2023 Kyoto (IGTC2023 Kyoto)(京都)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.or.jp https://igtc2023.org/	
28~29	溶接構造シンポジウム2023-「カーボンニュートラル社会を担う溶接構造化技術」-(阪大)	溶接学会溶接構造研究委員会	TEL 03-5822-4073 s_kogure@tt.rim.or.jp https://jweld.jp/seminars/wdsympo2023/	
29~12.1	第50回炭素材料学会年会(仙台)	炭素材料学会	FAX 03-5227-8632 http://www.tanso.org/contents/event/conf2023/index.html	
30	第250回西山記念技術講座「環境劣化の腐食科学と防食技術の新展開」(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/	
30~12.1	第38回分析電子顕微鏡討論会(オンライン開催)	日本顕微鏡学会	TEL 096-342-2281 sato-yukio@kumamoto-u.ac.jp https://sites.google.com/view/bunseki-denken38	参加 11.22
2023年12月				
7~8	第21回キャビテーションに関するシンポジウム(大阪大)	日本学術会議 第三部(予定)第21回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会	https://cav21-mech.eng.osaka-u.ac.jp/	
7~8	オンライン教育講座「構造材料(1)鉄鋼材料編」(オンライン)(4号264頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jimm.jp	11.27
11~16	The 3rd Materials Research Meeting (MRM2023) The 24th IUMRS-International Conference in Asia (IUMRS-ICA2023)(京都)	日本 MRS	TEL 03-6667-0922 info_mrm@jmru.org https://mrm2023.jmru.org/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
14	第354回塑性加工シンポジウム「極限材料創製・加工技術の現状と展望」―衝撃・超高速・超高压を用いる加工の世界―(熊大+ハイブリッド)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
2024年 1 月				
12	第109回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号632頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
23~24	第30回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(Mate2024)(横浜)	スマートプロセス学会	TEL 0725-90-6512 mate@awesomenet.co.jp https://sps-mste.jp/mate/	
25~26	第45回安全工学セミナー(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
2024年 3 月				
1 or 15	第110回レアメタル研究会(東大生産技研+オンライン開催)(本号623頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
12~15	日本金属学会春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	
2024年 9 月				
17~20	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	



会員情報のご変更手続きのお願い

本会への会員情報のご登録は、最新のものになっておりますでしょうか。

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



2023, 2024年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

ま て り あ 第62巻 第 9 号 (2023) 発行日 2023年 9 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



〈刊行物のご案内〉



●日本金属学会誌（月刊） <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jinstmet/-char/ja/>

オンラインジャーナルは、全論文フリーダウンロード可能。投稿・掲載費用無料。各種データベース掲載（Web of Science, CrossRef...）。レビュー・オーバビューの定期的な掲載。速報論文等早期公開のカテゴリも充実（受付から掲載まで最短 40 日で公開）。



●共同刊行欧文誌：Materials Transactions（月刊） <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/matertrans/-char/ja/>

材料系 14 学協会での共同刊行を実施。公開から 6 ヶ月経過した論文は、フリーダウンロード可能（J-STAGE）。さらに、2018 年 2 月より、公開後すぐにフリーダウンロード可能となるサービスを開始。各種データベース掲載（Web of Science, CrossRef...）。Review・Overview の定期的な掲載。Rapid Publication 等早期公開のカテゴリも充実（受付から掲載まで最短 40 日で公開）。



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

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

〈学術図書類出版案内〉

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

◇日本金属学会春秋講演大会 開催予定◇

★2023年 9 月19日（火）～22日（金） 富山大学五福キャンパス

★2024年 3 月12日（火）～15日（金） 東京理科大学葛飾キャンパス

高校生・高専学生ポスターセッション（オンライン別日）

〈多彩な学会活動〉

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



熱気溢れるポスター発表

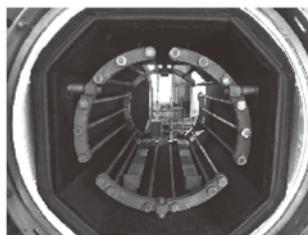
～ ご入会をお待ちしております。 <https://jim.jp/> ～

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

高温真空炉



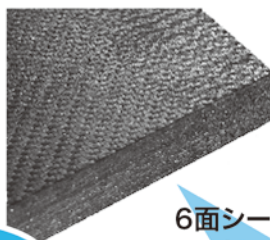
カーボンヒーター



シール



6面シート
貼り



カーボンフェルト



CO₂削減



メカニカルカーボン工業株式会社

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

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

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



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

日本金属学会

2023年 秋期講演大会
(第173回)

2023年9月19日(火) とやま自遊館

学生キャリアサポート・ポスター展示会 (ポスターセッション会場内)

●石福金属興業(株) ●(株)徳力本店 ●(株)豊田中央研究所 ●三菱マテリアル(株) ●大和工業(株)

2023年9月20日(水)~22(金) 富山大学・五福キャンパス

付設展示会 (工学部・総合教育研究棟1F)

- (株)アカデメイア ●(株)池上精機 ●茨城県中性子ビームライン ●SKメディカル電子(株) ●SCSK(株)
- オックスフォード・インストルメンツ(株) ●ゲルハルトジャパン(株) ●(株)新興精機 ●新東工業(株)
- (株)TSLソリューションズ ●東芝ナノアナリシス(株) ●富山コンベンションビューロー
- ヴァーダー・サイエンティフィック(株) ●物質・材料研究機構 ●(株)モルシス 他

※参加予定企業は、何れも7/末現在。

ランチョンセミナー (講演会場内)

9/20(水) 12:10~12:50

- カールツァイス(株)

9/21(木) 12:10~12:50

- オックスフォード・インストルメンツ(株) ●サーモフィッシャーサイエンティフィック ●(株)TSLソリューションズ

問合せ: 株式会社 明報社 TEL: 03-3546-1337 www.meihosha.co.jp

オープンサイエンスをすべての人に!

STAM Science and Technology of Advanced Materials

掲載料無料キャンペーン

〈プラチナオープンアクセス〉

期間限定
2025年
3月末まで!



詳しくはSTAM公式ウェブサイトへ

STAM tandfonline



論文の掲載料(APC)高騰が世界的な課題となる中、物質・材料研究機構(NIMS)はスイスの国立研究所Empaと共同で、材料科学専門の国際論文誌『Science and Technology of Advanced Materials(STAM, IF=5.5)』のAPC無料化を支援することを決定しました。

STAM創刊25周年となる2025年3月31日まで、著者は通常131,000円のAPCが免除され、無料でオープンアクセス出版が可能となります。

NIMSは、STAMのAPC無料キャンペーンを通じて、オープンサイエンスの拡大に貢献します。



『STAM』アドバイザー委員

東京工業大学 特命/栄誉教授

物質・材料研究機構 特別フェロー

細野秀雄氏

『STAM』にはいくつもの総説・原著論文を掲載しました。2010年のアモルファスIGZO-TFTの総説はすでに1,600回も引用されています。また、新超伝導物質探索について不成功例も含め結果を公開できたのは『STAM』ならではのようです。



国立研究開発法人 物質・材料研究機構
National Institute for Materials Science



Empa