

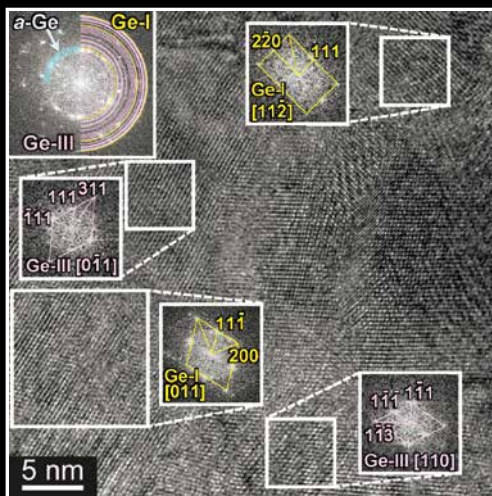
Materia Japan

まてりあ Vol.60

MTERE2 60 (11) 685 ~ 768 (2021)

No.11

2021



・ 金属素描 ~タンタル~

表彰 受賞者紹介 (秋)

- ・ 人工股関節用 β Ti 合金ステムの研究開発
- ・ 高圧巨大ひずみ加工によるバルク状 Si および Ge 半導体のナノ結晶化と準安定相創成

講座

よくわかる!ピンポイント講座
ブロッホの定理と格子周期関数

- ・ まてりあ 60 巻記念企画
還暦会員・在籍 60 年会員からのお便り / 支部だより

貴金属がもたらす

ゆとりある豊かな社会の実現へ

近代から現代に至るまで、

産業の発達を根底から支え続ける貴金属。

これからも新しい領域を拓いていきます。

あなたのチャレンジをサポートします。



募集 2021年度 貴金属に関する研究助成金

貴金属が関係している
テーマであれば応募可能

助成金は奨学寄附金
扱いになります

研究や成果を
拘束することはありません

募集要項

田中貴金属記念財団では、「貴金属が拓く新しい世界」に向けて、
貴金属が貢献する新しい技術や製品の実用化に向けた研究・開発テーマを募集いたします。

応募資格 国内の教育機関あるいは公的研究機関に所属
されている方

募集期間 2021年9月1日(水)~2021年11月30日(火)

研究助成金 プラチナ賞 500万円 (1件)
ゴールド賞 200万円 (1件)
シルバー賞 100万円 (4件)
萌芽賞※ 100万円 (2件)
奨励賞 30万円 (複数件)

※2021年4月1日現在で37歳以下の方が対象となります。

主催者 一般財団法人 田中貴金属記念財団

お問い合わせ先 「貴金属に関する研究助成金」事務局

E-mail:joseikin@ml.tanaka.co.jp

〒100-6422

東京都千代田区丸の内2-7-3

東京ビルディング 22階

田中貴金属工業株式会社

新事業開発統括部 企画推進S 内

TEL.03-6311-5596

田中貴金属記念財団

詳細はこちら▶ <https://tanaka-foundation.or.jp>



11

2021
Vol.60
No.11

まてりあ

金属素描	No.19 タンタル(Tantalum) 野瀬勝弘	685
表彰	第18回村上記念賞受賞者	686
	第18回村上奨励賞受賞者	686
	第31回奨励賞受賞者	687
	第44回技術開発賞受賞者	688
	第69回論文賞受賞者	689
	第1回新進論文賞受賞者	691
	第11回まてりあ賞受賞者	692
	第37回優秀ポスター賞受賞者	693
	第6回高校・高専学生ポスター賞受賞者	695
最近の研究	人工股関節用 β Ti 合金ステムの研究開発 花田修治	697
	生体用チタン合金の医療機器への応用を目指して行った合金開発、製造プロセス確立、機器評価、実用化について紹介。	
	高圧巨大ひずみ加工によるバルク状 Si および Ge 半導体のナノ結晶化と準安定相創成 生駒嘉史	706
	シリコン(Si), ゲルマニウム(Ge), SiGe 混晶について, ナノ結晶化や非ダイヤモンド型準安定相による新奇な物性を紹介。	
新進気鋭	結晶学・運動学に基づいたレンズマルテンサイトの組織解析 篠原百合	712
よくわかる!ピンポイント講座	ブロッホの定理と格子周期関数 香山正憲	717
思い出の教科書, この一冊!	化学者のための基礎講座11 電子移動の化学-電気化学入門 宮部さやか	722
まてりあ 60巻記念企画	還暦会員からのお便り	
	菅原 章 古田忠彦 新苗正和 西谷滋人 半田隆夫 奥山哲也 三田尾眞司 森田一樹 小笠原徹	723
まてりあ 60巻記念企画	在籍60年会員からのお便り	
	60年のあゆみ 稲数直次	737
まてりあ 60巻記念企画	支部だより 東北支部だより 吉見享祐	739
スポットライト	絹繊維の判別の研究 齋藤悠敏 麦嶋大地 渡邊 律 細谷海心 森 愛斗	740
本会記事	会告	742
	企業求人情報	758
	掲示板	759
	会誌・欧文誌11号目次	761
	次号予告	762
	新入会員	762
	訂正	762
	行事カレンダー	765

【今月の表紙写真】 高圧ねじり(High-Pressure Torsion)加工したGeの高分解能透過型電子顕微鏡観察結果。
(生駒嘉史 709頁 図8 (a)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。

高純度無機化合物 Primepure®

独自
製造法

精製
技術

高感度
分析

高純度試薬の最高峰

製品リスト

塩化カリウム, 99.99%
硝酸カリウム, 99.99%
硫酸カリウム, 99.99%
硝酸アンモニウム, 99.9995%
硫酸アンモニウム, 99.9995%
塩化アンモニウム, 99.9995%
酢酸アンモニウム, 99.999%
硝酸ナトリウム, 99.995%
塩化ナトリウム, 99.995%
硫酸ナトリウム, 99.995%
酢酸ナトリウム, 99.995%
ギ酸アンモニウム, 99.9995%
ギ酸ナトリウム, 99.995%
よう化アンモニウム, 99.999%
よう化ナトリウム, 99.995%
酢酸カリウム, 99.99%
ギ酸カリウム, 99.95%
よう化カリウム, 99.99%

スペック例 (塩化アンモニウム, 99.9995%)

検査項目	単位	規格値
純度 (滴定法)	%	99.5 以上
純度 (差数法)	%	99.9995 以上
水溶状		試験適合
pH(50 g/L, 25°C)		4.5 ~ 5.5
硝酸塩		試験適合
りん酸塩 (PO ₄)	ppm	2 以下
硫酸塩 (SO ₄)	%	0.001 以下
リチウム (Li)	ppm	0.05 以下
ナトリウム (Na)	ppm	0.1 以下
カリウム (K)	ppm	0.1 以下
ルビジウム (Rb)	ppm	0.01 以下
セシウム (Cs)	ppm	0.01 以下
銅 (Cu)	ppm	0.01 以下
銀 (Ag)	ppm	0.01 以下
マグネシウム (Mg)	ppm	0.01 以下
カルシウム (Ca)	ppm	0.01 以下
ストロンチウム (Sr)	ppm	0.01 以下
バリウム (Ba)	ppm	0.01 以下
亜鉛 (Zn)	ppm	0.05 以下
カドミウム (Cd)	ppm	0.01 以下

検査項目	単位	規格値
水銀 (Hg)	ppm	0.01 以下
ほう素 (B)	ppm	0.05 以下
アルミニウム (Al)	ppm	0.05 以下
ガリウム (Ga)	ppm	0.01 以下
インジウム (In)	ppm	0.01 以下
チタン (Ti)	ppm	0.05 以下
ジルコニウム (Zr)	ppm	0.01 以下
ゲルマニウム (Ge)	ppm	0.05 以下
すず (Sn)	ppm	0.01 以下
鉛 (Pb)	ppm	0.01 以下
ひ素 (As)	ppm	0.05 以下
アンチモン (Sb)	ppm	0.01 以下
ビスマス (Bi)	ppm	0.01 以下
クロム (Cr)	ppm	0.01 以下
モリブデン (Mo)	ppm	0.01 以下
マンガン (Mn)	ppm	0.01 以下
鉄 (Fe)	ppm	0.05 以下
コバルト (Co)	ppm	0.01 以下
ロジウム (Rh)	ppm	0.01 以下
ニッケル (Ni)	ppm	0.01 以下



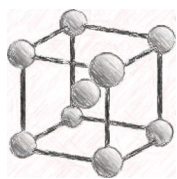
関東化学株式会社

試薬事業本部

〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(03)6214-1090

<https://www.kanto.co.jp>



シリーズ「金属素描」

No. 19 タンタル (Tantalum)

TANIOBIS GmbH (JX Group) 野瀬勝弘



(b)



元素名：Tantalum，原子番号：73，原子量：180.95，電子配置：[Xe]4f¹⁴ 5d³ 6s²，密度：16.67 Mg·m⁻³(293 K)，結晶構造：体心立方，融点：3263 K，沸点：5773 K⁽¹⁾，地殻存在量：0.7 μg·g⁻¹⁽²⁾【写真】(a)タンタル粉末とタンタル鉱石(タンタライト)，(b)アディティブ・マニュファクチャリングにより造形されたタンタル製スラスター(TANIOBIS GmbH 写真提供)

タンタルの工業生産が始まったのは20世紀の初めに遡る。人類が初めて利用した金属は銅で紀元前7000年頃と言われる一方、人類がタンタルを利用し始めてから100年程度しか経過していない。1903年にドイツの化学者 Werner Bolton (1868-1912) が十分に延性を有する高純度なタンタルの製造に成功し、従来のカーボン製フィラメントをタンタル製フィラメントに置き換えたことからタンタルの利用は始まった。Bolton は、まず Ta₂O₅ をパラフィンワックスで混練し、ワイヤー状に成型した後、カーボン粉末中で加熱して褐色の導電性 Ta₂O₄ ワイヤーを製造し、これをフィラメントとして真空中で通電加熱・白熱させて99%のタンタルメタルを製造したと記録があるが、実際の反応メカニズムの解釈は不確かな部分が多い。

タンタルの主な性質は次のようなものである。単体金属としてはタングステン、レニウムに次いで高い融点 (2990 °C⁽¹⁾)、優れた耐食性、展延性に富み優れた塑性加工性、きわめて安定なアノード酸化皮膜、生体親和性などである。20世紀初頭の Bolton による高純度タンタルの製造の成功以降、今日では、これらのタンタル固有の物理的・化学的性質は様々な用途へ利用され、年間の需要は 1600 t から 2000 t にのぼる。その用途は電子工業用、耐食材料、耐熱材料、超硬材料、医療用に大別することができる。

需要の3分の1を占めるのがタンタル電解キャパシタ(コンデンサ)の焼結アノードである。タンタル電解キャパシタは他のキャパシタに比べ単位体積当たり最大の静電容量を有するため、小型大容量の目的に適している。さらに、誘電体となるタンタルアノード酸化皮膜が他の電解キャパシタと比較して化学的に極めて安定であることから信頼性の高い素子の実現に至っている。航空宇宙機器や医療機器等の過酷な使用環境下においても特に高い信頼性が要求される電子機器にはタンタル電解キャパシタが積極的に選択される。

タンタルは今日の半導体製造にも欠かせない。LSIの銅配線の熱拡散防止のため Ta/TaN 層がバリア層として銅と誘

電体の間に成膜される。数 nm の厚みのバリア層は物理蒸着 (PVD) 法によって形成されており、99.995%以上の純度のタンタルスパッタターゲットが必要とされる。

近年、製造業における次世代製造技術として金属材料のアディティブ・マニュファクチャリング (AM) 技術が注目されている。AM は従来の切削加工や鋳造加工では不可能であった複雑形状、多重構造を実現可能にし、少量、多品種、ユーザーに応じたカスタム製造に秀でる。AM による金属材料の造形は、鉄系合金、ニッケル基超合金およびチタン系合金を対象とし、造形装置や粉末製造技術の開発から始まったが、タンタルやニオブ系合金における AM 造形技術の開発も盛んになってきている。AM によって造形された複雑形状のタンタルやニオブ系合金部材は、化学工業、超電導、超高温材料、生体用インプラントへの利用が期待されている。

金属 AM の技術開発では造形装置の開発と併せて、金属粉末の開発も重要な課題となる。一般的な粉末床熔融 (PBF) 方式の AM では、高純度で流動性の高い真球形状および特定の粒度分布を有することが粉末特性として要求される。さらにタンタルやニオブなどの酸素親和性の高い金属においては酸素濃度を低く抑えた粉末製造技術が必要となる。無容器溶解法である電極誘導溶解不活性ガスアトマイズ (EIGA) は、高融点かつ高活性な金属の粉末製造に適しており、真球状のタンタルやニオブ系合金が製造されている⁽³⁾。

急速な進歩を見せる金属 AM 技術は、タンタルの有する潜在能力を最大に引き出し、これまで利用されてきた領域を飛躍的に押し広げる可能性を秘めている。

文 献

- (1) 金属データブック改訂4版：日本金属学会，丸善，(2004)。
- (2) R. L. Rundnick and S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd., (2004), 1-64.
- (3) I. Kaczmarek, M. Weinmann, M. Stenzel and C. Schnitter: Int. J. Powder Metall., **55** (2019), 23-34.

次号 金属なんでもランキング! No. 17 純物質液体の表面張力

Make Our Earth **0** Green

NIPPON STEEL
zero carbon
initiative

日本製鉄は、
ゼロカーボン・スチールに挑戦します。

温暖化ガスを排出しない製鉄プロセス「ゼロカーボン・スチール」の実現を
経営の最重要課題と位置づけ、日本製鉄は“地球”規模での
環境課題に積極的に取り組んでいきます。

“Make Our Earth Green”を活動スローガンに

“NIPPON STEEL zero carbon initiative”始動。

鉄はこれからも、人びとの暮らしに欠かせない素材です。

豊かな社会と美しい地球の未来のために。

私たちは、困難な課題に対して、

皆さまとともに挑戦を続けます。

 NIPPON STEEL

自動研磨機

Qポル XL

QポルXLは、Φ300～350mmの作業ホイールを使用できる堅牢な自動研磨およびポリッシング装置です。特に大型サンプルの研磨・ポリッシング作業に適した構造および機能が充実しています。

本体イメージ



特長

- Φ300～350mm 作業ホイールの使用が可能なパワフルな行動
- ステンレス鋼で保護された作業領域
- 正確で効率の良い作業を可能にする研削量測定システム
- プロセス中に左右に往復移動可能なポリッシング・ヘッド
- 最適な研磨剤供給システムの構築が可能なモジュール方式
 - ・ マグネチック・スターラー
 - ・ 研磨液量監視
- 大型サンプルに対応できる広範囲の荷重 (50～750N)
- プロセスの効率化を推進する自動サンプル洗浄システム (オプション)
- 研磨剤を均一に供給する可動式供給アーム
- 自動で開閉する安全フード
- 作業ホイールの汚れを低減させるスピン・サイクル機能
- 装置の状況をモニタリングできるシグナル・タワー (オプション)
- 管理が容易な循環冷却システム / 沈殿槽 (オプション)
- 作業領域内の清掃を容易にするスパイラル式洗浄ホース

仕様

作業ホイール寸法	Φ300～350mm
作業ホイール数	1面
回転速度	作業ホイール：50～600rpm ポリッシングヘッド：50～350rpm
回転方向	反時計方向 (ポリッシングヘッドのみ時計方向可)
荷重	中央荷重：20～400N

サンプルホルダー (数)	Φ159 - 204 mm
研磨剤自動供給 (オプション)	4- ダイヤモンド懸濁液、1- 潤滑剤、1- 酸化物研磨剤
電源	三相 220-240V / 50/60Hz 接続コード：6kVA
寸法 (W)x(D)x(H)	901x710x265mm
重量	～420kg

大型埋込プレス

オパール 480

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

本体イメージ



特長

- 加熱加圧埋込プレス
- 使いやすいスライド式開閉システム
- 大型液晶画面の付いた操作しやすいユーザーインターフェイス
- 埋込工程のプログラムを自由に設定して18件保存可能
- 4種類から選択可能な加圧モード
- 油圧による加圧方式
- 水冷却による作業性の向上
- 工具を使用せずに行えるシリンダー交換
- 30x60mm または 40x60mm の四角柱成形が可能
- 強固なアルミニウム筐体と粉体塗装

仕様

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

シリンダー有効寸法	80mm
開閉システム	スライド
シリンダー寸法 (mm)	Φ50 / Φ60 / Φ70 / 30x60 / 40x60
電源	単相 220-240V / 50/60Hz 接続コード：3.6kVA 毎
寸法 (W)x(D)x(H)	390x500x450mm
重量	約68kg

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社



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

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

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

溶質原子の定量 メカニカルスペクトロスコピー

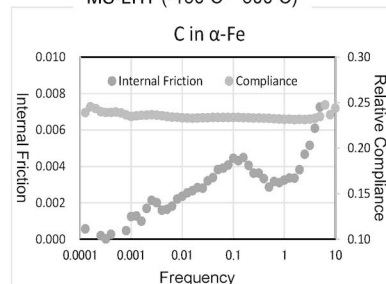
物質中の溶質原子は微量でその組織の性質を変化させます。当然ながらその含有量によって効果が異なるためにその分析測定が必要です。しかし化学分析や蛍光X線分析などでは析出したフリー原子も定量され、組織中に存在する溶質原子のみの定量はできません。そこで溶質原子のひずみエネルギーを検出するメカニカルスペクトロメータ MS 型（強制振動型内部摩擦測定装置）が力を発揮します。

樹脂などと違って金属やセラミックスなどで非常に高精度に適用できる装置は世界的にも弊社の MS 型のみとなっています。右のグラフの 0.1Hz 付近のピークは 30ppm の溶質 C の内部摩擦ピークです。弊社の雑居ビルという悪条件下でもこのように安定した検出を可能にしました。

汎用的な JE, JG 型や EG-HT 型だけでなく、特殊な最先端研究用の MS 型や弾性定数測定用の CC 型などを開発し、最先端の材料物性研究へのお手伝いをさせていただきます。



MS-LHT (-150°C~500°C)



Cij 測定は力学特性から組織解明を可能に

電磁超音波共鳴式 弾性率・弾性定数装置 CC II-シリーズ

- 異方性単結晶から多結晶体まで
- 弾性定数(弾性スティフネス Cij)も弾性率も
- 5mm 程度の立方体、直方体から円柱、円板、薄板(0.2mm)まで
- 室温用、高温用 (常用 1000°C 最高 1200°C)
- 阪大基礎工 平尾・荻研開発

CC2-HT



弾性率と内部摩擦の高温測定で最高の装置

高温弾性率等同時測定装置 EG-HT

- 最も信頼性の高い高温測定が可能。粘性による振動数依存誤差が最小。
- 強力共振機構で難共振材に対応。難共振時の偽振動が最少。
- 多くの測定条件、測定項目に対応。
ヤング率、剛性率測定
ポアソン比算出
温度依存性、ひずみ依存性
2種の内部摩擦測定
- 最高 1200°C EG-HT<



室温や比較的低温で最も信頼性の高い装置

自由共振式弾性率、内部摩擦測定装置 JE-RT(ヤング率)& JG-RT(剛性率)

- 高精度・簡単操作・高再現性・迅速測定
非接触加振、非接触検出
試料も置くだけ
- 幅広い試料形状(室温装置)
短冊状でも細線・丸棒でも
薄く・小さいものから厚く長いものまで

JE-RT
& JG



強制振動式内部摩擦測定装置 メカニカルスペクトロメーター MS シリーズ

- 温度一定で加振エネルギー(振動数)を変えて内部摩擦変化を測定。(温度変化による物性変化を除外)
- 従来装置に比べて高分解能、高感度、高安定
- 測定や温度制御機構の改良により液体窒素の消費量が激減。長時間測定にも無人安定
- 悪条件下でも安定測定向上



MS-LHT

共振法応用の弾性率や内部摩擦等の物性測定・試験・計測装置の開発専門企業

日本テクノプラス株式会社 <http://www.nihon-tp.com/>

06-6390-5993 info@nihon-tp.com 〒532-0012 大阪市淀川区木川東 3-5-21 第3丸善ビル

付設展示会(オンライン版) レポート



日本金属学会2021年秋期講演大会は、春期大会に続き、新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点から、オンラインでの開催となった。開催期間は、9月14日から17日の4日間であった。

大会参加数は1,451名、また、講演数も880件となり、前回以上に盛会となった。大会のオンライン開催に伴い、付設展示会を大会ホームページ上にてオンライン版として開催し、7社の出展（掲載）があり、期間中約150のアクセスがあった。続いて、出展内容を紹介する。

・(株)池上精機

精密試料の自動仕上げ研磨機を紹介。

動画での操作説明や研磨事例の資料も掲載した。

・オックスフォード・インストゥルメンツ(株)

エネルギー分散型X線分析装置EDS、波長分散型X線分析装置WDS、結晶方位解析装置EBSD、プローバーOmniprobeを紹介。技術セミナーでも詳細な解説があった。

・(株)サーモ理工

赤外線導入加熱装置、対面照射式赤外線真空炉、均温熱処理装置を紹介。

・(株)新興精機

全自動シリアルセクションング3D顕微鏡、材料情報統合システムの紹介。動画での詳細な解説もあった。

・(株)T S Lソリューションズ

OIM結晶方位解析装置・EBSD観察用insituステージ他を紹介。

・日本テクノプラス(株)

共振法応用の弾性率、内部摩擦、疲労試験などの総合物性測定装置を紹介。技術セミナーでも詳細な解説があった。

・(株)モルシス

材料設計支援統合システムを中心に分子シミュレーションソフトウェアを紹介。チュートリアル動画紹介やWeb面談も実施した。

前回に続き「オンライン展示」という開催方法となった。展示会ページは、製品、ロゴ等画像掲載や動画の埋め込み等の新しい掲載要素を加え、より閲覧率や製品・サービスの訴求力を向上させる仕掛けを施している。また、展示ページへの入り口を増やし、大会参加者の閲覧率増加を狙った。

オンライン展示会には下記のメリットもある。

- ・時間や場所の制約を受けない＝参加者のアクセスが容易（展示会場に出向かなくてよい）
 - ・出展コストが抑えられる（人件費、ブース装飾、他経費）
 - ・天候や災害の影響を受けにくい
- 等があげられる。

当面は大会のオンライン開催が予想される中、各企業は厳しい状況の中、コロナ禍における営業活動を模索し続けており、その一助となれば幸いである。

また今後、リアルな展示会に移行してゆくにしても、主催者・出展社共に「感染症対策」が求められ、オンライン出展と併用となった場合、今般の経験が必ず活かせるものである。

次頁からは、「誌上展示会」として、材料研究に役立つ機器等の情報を掲載する。

大会ホームページの展示会ページもご参照頂き、今後の研究開発にお役立て頂きたい。

付設展示会（オンライン版）

<https://confit.atlas.jp/guide/event/jim2021autumn/exhibitorslist/ja>



まてりあ「誌上展示会」



自動低負荷試料作製システム IS-POLISHER ISPP-3000 IS-POLISHER は手研磨の技術を自動化できます

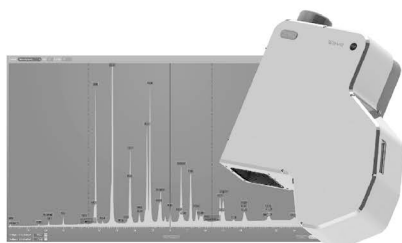
【特長】

- 軟らかい金属を少ない歪みで研磨できます
- 研磨でEBSD観察用試料が作製できます
- 特定部位を消失させないように、削り量を1 μm 単位で設定できます
- 包埋せずに試料を直接保持でき、作業時間を大幅に短縮します
- 時間をかけずに技術を継承できます



株式会社 池上精機

〒223-0057 神奈川県横浜市港北区新羽町 543-1-2F TEL.045-717-5136 FAX.045-717-5137
URL: <https://is-polisher.com> E-mail: mail: sales@ikegamiseiki.com



波長分散型 X 線分析システム「AZtecWave」

AZtecWaveはWDSの微量元素検出性能と、EDSの高速分析性能を組み合わせたX線分析装置です。定評のあるAZtecプラットフォームに統合され、正確な定量分析を実現します。主要元素をEDSで定量分析するとともに、数十ppmレベルの微量元素やピークオーバーラップする元素をWDSで定量分析することができます。SEMとEDSの情報からWDSの分析条件を自動計算する機能を内蔵し、初心者の方から熟練された方まで、どなたでも正確な定量分析を実行できます。最大6つままでの分光結晶を搭載できるWDSスペクトロメーターは、Si K α <2eV, Fe K α <25eVの優れたスペクトル分解能が得られ、難しい試料でも容易に分析することができます。金属や電子工学、セラミックス、鉱物学から法科学など、幅広い分野でご使用いただくことができます。

オックスフォード・インストルメンツ株式会社

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



赤外線導入加熱装置 GV298N

真空中、ガス雰囲気中試料に赤外線ビームを照射。お手持ちの真空システムに取付できます。

【仕様】

到達温度: Max1500 $^{\circ}\text{C}$, 加熱面積: $\sim\phi$ 15mm
昇温速度: 1500 $^{\circ}\text{C}$ まで1分以内

【用途】

グラフェン、SiC等の高速熱処理

※無料昇温試験も行っております。お気軽にお問合せください。



<https://www.thermo-r.co.jp/>
<https://www.thermo-r.co.jp/>

株式会社サーモ理工

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



全自動シリアルセクションング3D顕微鏡 Genus_3D

全自動で研磨を繰り返す事が可能で数週間の間も安定動作、視野ズレを最小に抑えた特殊機能で、3次元化を正確に行う事が出来る全自動シリアルセクションング方式3D顕微鏡です

- ・独自研磨方式で長期間の安定した研磨観察が可能
- ・試料表面を0.1 μm 間隔でも安定した全自動での研磨とエッチング
- ・軟らかい材質、多孔質、もろい材質も良好な研磨、EBSD観察に対応
- ・独自のエッチング方式により安定した化学エッチング、電解エッチング可能
- ・全自動で多種の撮影モードを備え、取得画像を容易に編集可能な専用アプリケーションも用意
- ・独自開発のケミカル用品とライブラリーにより誰にでも良好な動作と管理が可能
- ・国内外で特許取得済み
- ・受託観察もお受けします

株式会社新興精機 大阪営業所

〒564-0052 大阪府吹田市広芝町7番26号 TEL.06-6389-6220 FAX.06-6389-6221
URL: <https://www.shinkouseiki.co.jp> E-mail: ikeuchi@shinkouseiki.co.jp

まてりあ「誌上展示会」

Velocity 検出器



EBSD測定は時間がかかるという今までの概念を覆す、CMOSセンサー搭載の高速型EBSD検出器です。最大測定スピードは1秒間に4500点となります。高速処理を目的とした測定ソフト「APEX」との組み合わせによりEDAX社製EDS検出器との同時分析がより一層、簡便になります。

また、解析機能がさらに向上した「OIMAnalysis8.6」がリリースされました。EBSDパターンの再指数付け機能の追加、パターンが弱いピクセルを周りのピクセルで補完し再指数付けする“NLPAR”、シミュレーションパターンを使用した指数付け“OIMMatrix”など新機能が多数追加されております。

また、自社開発のSEM内EBSD用1000°C加熱ステージ、1500N引張ステージにも対応しております。

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5-4-30SIC2-401 URL : <https://www.tsljapan.com/>
TEL.042-774-8841 E-mail : info@tsl-japan.com

共振式弾性率等物性測定装置一覧



- 汎用型高精度ヤング率／剛性率、内部摩擦測定装置 JE, JG型
- 高温弾性率等同時測定装置 EG型: 高温測定で威力発揮
- 薄板・細線ヤング率、内部摩擦測定装置 TE型: 数十 μm 厚、径まで
- インパクト式ヤング率・内部摩擦測定装置 IE型: 大型試料や現場測定に
- 縦共振式ヤング率、内部摩擦測定装置 VE型: 数cmの円柱や角柱測定に
- メカニカルスペクトロメーター MS型: 強制振動式内部摩擦測定
- 共振式薄板疲労試験装置 RF型: 数百 μm 厚・径の薄板・細線の疲労試験に

日本テクノプラス株式会社

〒532-0012 大阪市淀川区木川東 3-5-21 第三丸善ビル TEL/FAX : 06-6390-5993/06-6390-4698
URL : <http://www.nihon-tp.com> E-mail : info@nihon-tp.com

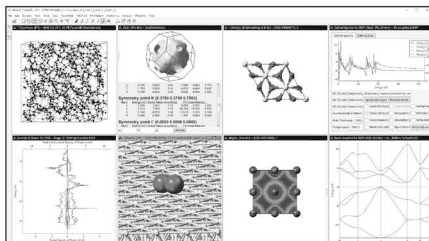
材料設計支援統合システム MedeA

MedeAは、原子スケールのシミュレーションによって材料開発を行うための統合環境です。

第一原理計算や分子動力学計算を基に、構造評価・機械特性・熱力学特性・電子伝導性・磁性といった材料の様々なプロパティを予測することができます。

■MedeAで評価できる物性例

- 機械特性: 弾性定数、ヤング率、ピッカース硬さ、音速
- 熱力学特性: 自由エネルギー、フォノン振動、線膨張係数
- 電子状態: バンド構造、電気伝導率、ゼーベック係数、磁性



株式会社モルシス

〒104-0032 東京都中央区八丁堀3-19-9 ジオ八丁堀 URL : <https://www.molsis.co.jp/>
TEL/FAX : 03-3553-8030/03-3553-8031 E-mail : support@molsis.co.jp

次回予告

まてりあ5月号・広告特集「誌上展示会」

材料研究に関わる製品やサービスの情報を
資料形式で一挙掲載します。

1枠 ￥28,000 (税別)

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

～2021年9月14日(火), 下記の方々が本会の賞を受賞されました。おめでとうございます。今回は賞状の発送をもって、贈呈式に代えさせていただきます。～

第18回 日本金属学会村上記念賞 受賞者(1名)

[規則合金を中心としたスピントロニクス材料の先進的研究]

東北大学金属材料研究所 教授 高梨弘毅



受賞者は、金属人工格子の研究から発展し、薄膜作製と同時に微細加工や自己形成の手法も駆使してさまざまな磁気ナノ構造を作製して、優れたスピントロニクス機能を有する磁性薄膜の研究を行ってきた。特に、スピントロニクスに有用な材料として規則合金に着目し、高磁気異方性 $L1_0$ 規則合金を垂直スピン偏極源として利用したスピン注入磁化反転の実証や巨大スピンホール効果の発見、ハーフメタルホイスラー合金を用いた室温で大きな CPP-GMR の実現などに成功し、スピントロニクス分野や磁気ストレージ分野における材料研究の発展に大きく貢献した。

第18回 日本金属学会村上奨励賞 受賞者(3名)

(50音順)

[金属材料の腐食機構の解明と高耐食化に関する電気化学的研究]

東北大学大学院工学研究科 准教授 菅原優



受賞者は、鉄鋼材料を中心とした構造材料や燃料電池触媒等に使用される貴金属材料など、さまざまな金属材料の腐食機構の解明と高耐食化に関する研究を推進してきた。代表的な成果として、エレクトロクロミック薄膜を用いた金属材料中の水素の可視化技術の開発、低温プラズマ表面処理による鋼材表面の高機能化、酸性溶液中の白金やルテニウムの溶解機構の解明と高耐食性表面の創出等が挙げられる。この一連の研究成果は国内外で高く評価されており、今後のさらなる飛躍が期待される。

[チタン合金のマルテンサイト変態と形状記憶特性に関する研究]

東京工業大学科学技術創成研究院 准教授 田原正樹



受賞者は、チタン合金を中心として形状記憶合金の内部組織と変形・変態挙動に関する研究に継続的に取り組んできた。侵入型元素によって誘起される局所格子変調構造が変形・変態挙動に及ぼす影響を解明した。また、応力誘起マルテンサイト変態を利用して単結晶マルテンサイトを作製することに成功し、これを用いて新しい転位すべり系や変形双晶を発見してきた。さらに、組織解析をベースに優れた形状記憶・超弾性特性を有する新規チタン系合金の開発にも取り組むなど、今後の更なる発展が期待される。

[材料学に基づく骨微細構造制御のための生体機能化材料開発に関する研究]

大阪大学大学院工学研究科 助教 松垣あいら



受賞者は、材料学の立場から生体機能化プロセスを理解することで、革新的な骨代替材料創製を達成してきた。骨機能化のための細胞制御の材料学的方法論の確立に基づき、異方性材料としての骨基質の微細構造構築に成功し、生体機能発現に必須の金属材料開発に飛躍的な進歩をもたらした。こうした成果は、細胞や生体組織を活用した金属材料の高機能化を達成した極めて独創的な成果として世界的に高く評価され、今後の更なる発展が期待される。

第31回 日本金属学会奨励賞 受賞者(6名)

(部門別 50 音順)

[学術部門]

[アモルファスIV族半導体の構造不均一と結晶化に関する研究]

大阪大学大学院工学研究科 助教 奥川 将行



受賞者は、TEM 実験と分子動力学計算により、アモルファスIV族半導体の局所原子配列と結晶化挙動の関係を研究してきた。室温での時効によってアモルファス構造が不規則となり、それに伴って結晶化プロセスが異なることを見出した。作製ままの薄膜は、爆発結晶化プロセスによって、より低温で結晶化する。この知見を応用し、ポスト Si 材料と期待される Si-Ge 合金を低温結晶化させるプロセスを提案した。現在は、3D 積層造形における結晶化プロセスの解明に取り組んでおり、今後の更なる展開が期待される。

[金属基生体材料の表面改質および組織制御を基軸とした新材料設計]

東京工業大学科学技術創成研究院 助教 邱 琬婷



受賞者は、医療材料の特性向上を目標とし、金属基複合材料の設計・組織制御に関する研究を行っている。(1)バイオセンサにおいては、ナノ金属/酸化物/ポリマー複合材料の再分布現象を発見・活用し、バイオセンサの特性向上を大幅に達成した。(2)医療材料として使用する Au 基の形状記憶合金における粒界脆性を、延性相導入により改善する手法を考案した。(3)血管内医療機器用のチタン合金について系統的に研究し、機械性質及び形状記憶特性の評価を行った。現在、強磁性材料を研究し、医療材料に取り組んでおり、今後の更なる発展が期待される。

[カーボンナノチューブ強化 Al 基複合材料の作製と界面制御に関する研究]

東北大学大学院工学研究科 助教 周 偉偉



受賞者は、有効な荷重伝達による高強度化を達成するために、カーボンナノチューブ(CNT)表面に意図的に欠陥を導入し、これを起点として CNT-Al 界面にナノ炭化物を導入する新奇な方法を提案した。Al₄C₃ 形成メカニズムと機械的特性への影響を詳細に調べた結果、初めて 1 本 CNT の引き抜き試験によるナノカーボン-Al 界面強度の定量的評価に成功した。これらの発見は、Al 基複合材料の強度-延性-導電率のバランスを向上させ、これらを同時に備えた Al 複合材料の製造を可能にし、銅電線を代替する次世代の導体として期待されている。

[AE 法と数値解析による疲労破壊メカニズムの解明に関する研究]

東京大学大学院工学系研究科 講師 白岩 隆行



受賞者は、構造材料における疲労や破壊に関する研究を一貫して行ってきた。主な業績として、(1)金属薄膜の疲労機構解析とセンサ応用、(2)結晶塑性有限要素解析とデータ科学による疲労予測モデルの構築、(3)アコースティック・エミッション(AE)法による疲労評価手法の開発が挙げられる。現在は、材料試験中に得られる AE 信号などの計測データを、データ同化手法により物理モデルとともに解析することで、微視変形挙動を動的に評価する手法の構築に取り組んでおり、今後の更なる展開が期待される。

[高温物理化学に基づいた新規金属製造及びリサイクル法の開発に関する研究]

東北大学大学院工学研究科 助教 盧 鑫



受賞者は、高温融体(金属や熔融塩など)の物理化学に基づいて、都市鉱山からの金属の効率的なリサイクル法、更に低環境負荷の金属材料の新規製造法に関して研究を行ってきた。主な業績として、(1)金属二次資源のリサイクル性に関する熱力学解析、(2)熔融塩電解による活性金属の新規リサイクルプロセスの開発、(3)熔融塩を用いたチタン系微粉末などの機能性材料の新規製造法の開発が挙げられる。現在は熔融塩電解を用いたアルミニウム合金スクラップのアップグレードリサイクルの開発に取り組んでおり、今後の更なる発展が期待される。

[技術部門]

[高温融体と鋼が形成する高温固液界面反応解明に関する研究開発]

日本製鉄㈱技術開発本部 主任研究員 土岐 隆太郎



受賞者は、主に酸化物融体と、鋼、および耐火物などが形成する高温固液界面で起こる反応解明に関する基礎研究を継続的に行ってきた。特に、酸化物融体による鋼の高温腐食反応の支配因子として酸化物融体の塩基度に着目し、自作した塩基度測定用センサーや高温実験装置を用い、塩基度に対する酸化物溶解度の関係を明らかにするとともに溶解挙動の推定を行った。これらより、基礎メカニズムを解明することで高温固液界面反応の関与する鉄鋼プロセスについて改善指針を示した。

第44回 日本金属学会技術開発賞 受賞記事(2件14名)

1. 単結晶 Cu-Al-Mn 超弾性合金の開発と耐震分野への応用

(まてりあ 60 巻1号)



㈱古河テクノマテリアル
特殊金属事業部
課長

喜瀬 純男 君



名古屋大学大学院
環境学研究科
教授

荒木 慶一 君



積水ハウス㈱
総合住宅研究所

片岡 奈々美 君



積水ハウス㈱
総合住宅研究所
部長

横山 重和 君



積水ハウス㈱
総合住宅研究所
部長

東田 豊彦 君



㈱古河テクノマテリアル
専務取締役
特殊金属事業部長

石川 浩司 君



東北大学大学院
工学研究科
准教授

大森 俊洋 君



東北大学大学院
工学研究科
教授

貝 沼亮介 君

2. 自動車ブレーキ用ハイブリッドセラミックスの開発

(まてりあ 60 巻2号)



宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所
准教授

後藤 健 君



物質・材料研究機構
構造材料研究拠点
主席研究員

郭 樹啓 君



東京大学大学院
工学系研究科
教授

森田 一樹 君



クアーズテック(株)
秦野事業所

R&D エンジニアⅣ
青沼伸一朗 君



(株)超高温材料研究センター

代表取締役社長
中川成人 君



東京大学大学院
工学系研究科
教授
(現：東京工科大学 教授)
香川 豊 君

第 69 回 日本金属学会論文賞 受賞論文 (5 編 19 名)

[物性部門] 1 編 (3 名)

ナノ多結晶粒界モデルを用いた粒界偏析予測

(日本金属学会誌 84 巻 7 号)



日本製鉄(株)
技術開発本部
主任研究員
伊藤一真 君



日本製鉄(株)
技術開発本部
首席主幹研究員
澤田英明 君



大阪大学大学院
基礎工学研究科
教授
尾方成信 君

[組織部門] 1 編 (5 名)

Comparison of *In Situ* SEM and TEM Observations of Thermoelastic Martensitic Transformation in TiNi Shape Memory Alloy
(Materials Transactions Vol. 61 No. 11)



九州大学大学院
総合理工学府
(現：九州大学先端物質
化学研究所 学術研究員)

副島洋平 君



九州大学大学院
総合理工学府
(現：東京工業大学
大学院物質理工学院)

平間 慧 君



九州大学大学院
総合理工学院
助教

赤嶺大志 君



東京工業大学
科学技術創成研究院
教授

稲邑朋也 君



九州大学大学院
総合理工学院
教授
(現：九州大学大学院
総合理工学院 特任教授)

西田 稔 君

[力学特性部門] 1編(5名)

炭素クラスターの強化機構に関する原子論的研究

(日本金属学会誌 84 卷 1 号)



金沢大学
理工研究域
教授

下川 智嗣 君



金沢大学
自然科学研究科
(現：(株)小松製作所)

安井紀一郎 君



金沢大学
理工研究域
准教授

新山友暁 君



日本製鉄(株)
技術開発本部
主査

木下 恵介 君



日本製鉄(株)
技術開発本部
上席主幹研究員

澤田 英明 君

[材料プロセッシング部門] 1編(3名)

Yttriothermic Reduction of TiO_2 in Molten Salts

(Materials Transactions Vol. 61 No. 10)



東京大学大学院
工学系研究科

田中尚良 君



東京大学
生産技術研究所
助教

大内隆成 君



東京大学
生産技術研究所
教授

岡部 徹 君

[工業材料部門] 1編(3名)

Development of Co-Cr-Mo-Fe-Mn-W and Co-Cr-Mo-Fe-Mn-W-Ag High-Entropy Alloys Based on Co-Cr-Mo Alloys

(Materials Transactions Vol. 61 No. 4)



兵庫県立大学大学院
工学研究科
教授

永瀬 丈嗣 君



新居浜工業高等専門学校
環境材料工学科
准教授

當代光陽 君



大阪大学大学院
工学研究科
教授

中野 貴由 君

第1回 日本金属学会新進論文賞 受賞者(6編6名)

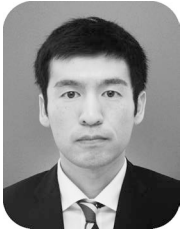
[日本金属学会誌部門]

1. 走査型電子顕微鏡を用いた Pt-Cu ナノ粒子表面形態変化の同一視野観察 (84 巻 7 号)



東京工業大学物質理工学院 助教 ○大井 梓君
 東京工業大学物質理工学院(現:経済産業省産業保安グループ) 嶋原 優一君
 東京工業大学物質理工学院 教授 多田 英司君
 東京工業大学 名誉教授 西方 篤君

2. Mg-Sc 形状記憶合金の加工熱処理による集合組織形成と超弾性特性に及ぼす影響 (84 巻 8 号)



東北大学大学院工学研究科 ○山岸 奎佑君
 東北大学大学院工学研究科 准教授 安藤 大輔君
 東北大学大学院工学研究科 教授 須藤 祐司君
 物質・材料研究機構 小川 由希子君

3. 二相 α -Mg/C14-Mg₂Ca 合金におけるラメラ組織安定性 (84 巻 12 号)



東京工業大学物質理工学院(現:古河電気工業㈱) ○阿部 俊太郎君
 東京工業大学物質理工学院(現:JFE スチール㈱) 大石 航司君
 東京工業大学物質理工学院 准教授 寺田 芳弘君

[Materials Transactions 部門]

1. Effect of Elemental Combination on Microstructure and Mechanical Properties of Quaternary Refractory Medium Entropy Alloys (Vol. 61 No. 4)



京都大学大学院工学研究科 ○He Qian 君
 京都大学大学院工学研究科(現:助教) 吉田 周平君
 京都大学大学院工学研究科 教授 安田 秀幸君
 京都大学大学院工学研究科 教授 辻 伸泰君

2. Effect of Cobalt-Content on Mechanical Properties of Non-Equiatomic Co-Cr-Ni Medium Entropy Alloys (Vol. 61 No. 4)



京都大学大学院工学研究科(現:助教) ○吉田 周平君
 京都大学大学院工学研究科(現:アクセシブル) 池内 琢人君
 京都大学大学院工学研究科 助教(現:大連理工大学 副教授) Bai Yu 君
 京都大学大学院工学研究科 教授 辻 伸泰君

3. Prediction of Face-Centered Cubic Single-Phase Formation for Non-Equiatomic Cr-Mn-Fe-Co-Ni High-Entropy Alloys Using Valence Electron Concentration and Mean-Square Atomic Displacement (Vol. 61 No. 9)



京都大学大学院工学研究科 助教 ○新 津 甲 大 君
 京都大学大学院工学研究科(現：日鉄ステンレス㈱) 浅 倉 誠 仁 君
 京都大学大学院工学研究科 准教授 弓 削 是 貴 君
 京都大学大学院工学研究科 教授 乾 晴 行 君

第 11 回 日本金属学会まてりあ賞 受賞論文・記事(3編7名)

[まてりあ論文賞] (2編6名)

1. 多価カチオンを利用した新型蓄電デバイス開発に向けた基礎的研究

(まてりあ 59 巻 8 号)



東北大学
金属材料研究所
特任助教

李 弘毅 君



東北大学
学際科学フロンティア研究所
助教

下川 航平 君



東北大学
金属材料研究所
准教授

岡本 範彦 君



東北大学
金属材料研究所
教授

市坪 哲君

2. 細胞および骨基質の配向化機序に基づく骨機能化誘導

(まてりあ 59 巻 11 号)



大阪大学大学院
工学研究科
助教

松垣あいら 君



大阪大学大学院
工学研究科
教授

中野 貴由 君

[まてりあ啓発・教育賞] (1編1名)

焼結の基礎—理論的背景から実際まで—(全4回)

(まてりあ 58 巻 10 号, 11 号, 12 号, 59 巻 1 号)



東京大学大学院
工学系研究科
教授

吉田 英弘 君

第37回 優秀ポスター賞受賞者 30名

(2021年9月14日受賞決定) (五十音順)



1 Ti-Mo-Sn-Al 合金における等温変態による形状記憶効果 (P165)
東京工業大学 **安藤一斗君**,
邱 琬婷君, 海瀬 晃君, 田原正樹君,
細田秀樹君



8 マグネシウム添加による亜鉛の生体内分解性および機械的性質改善 (P40)
神戸大学 **小林遼也君**, 漆谷建治君,
中辻竜也君, 池尾直子君, 向井敏司君



2 Mn(Co, Fe)Ge におけるサイト占有と磁気特性 (P67)
鹿児島大学 **尾中朱莉君**, 尾上昌平君,
茨城工業高等専門学校 小野寺礼尚君,
鹿児島大学 三井好古君, 小山佳一君



9 金属-絶縁体相転移材料 VO₂ の熱電特性評価 (P58)
長岡技術科学大学 **酒井諒二君**,
馬場将亮君, 武田雅敏君



3 ヨウ素を用いた鉄スクラップからの銅の除去 (P31)
千葉工業大学 **小野公輔君**,
永井 崇君



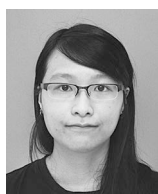
10 水素吸蔵合金を用いたメカノケミカル CO₂ メタネーションにおける原子状水素供給の影響 (P178)
東海大学 **澤原馨登君**, 源馬龍太君



4 放射光 In-situ XRD/DIC 同時測定による Al-Mg 合金のセレーション解析 (P168)
兵庫県立大学 **北野竜也君**,
有吉 開君, 平田雅裕君,
京都大学 朴 明駿君, 辻 伸泰君,
兵庫県立大学 足立大樹君



11 鉄腐食を利用したヒドロゲル中アクアイオン拡散係数定量評価 (P142)
北海道大学 **高井智史君**,
村上俊太郎君, 張 麗華君,
渡辺精一君



5 α Au-Cu-Al 合金の機械的性質に及ぼすマルテンサイト相導入の効果 (P37)
東京工業大学 **Goo Kang-Wei 君**,
鳥谷部綾乃君,
田中貴金属工業株式会社 後藤研滋君,
東京工業大学 邱 琬婷君, 海瀬 晃君,
田原正樹君, 細田秀樹君



12 Fe 合金単結晶の硬さ試験による圧痕周辺の結晶方位変化 (P78)
東京工業大学 **田中健治君**,
宮澤直己君, 尾中 晋君



6 Fe-7.7 mol% Sm 合金のアモルファス化に及ぼすロール速度の影響及び冷却曲線の推定 (P35)
名古屋工業大学, 産業技術総合研究所 **後藤真矢子君**,
産業技術総合研究所 田村卓也君,
名古屋工業大学 渡辺義見君,
佐藤 尚君



13 G-SPSC を用いた欠陥制御による色調表面パターンニング (P83)
北海道大学 **塚村順平君**, 高橋優樹君,
張 麗華君, ジェーム メルバート君,
大阪大学 岡本一将君,
北海道大学 渡辺精一君



7 蛋白質 PfV 結晶中に合成した Co-Pt ナノ粒子の微細構造 (P61)
大阪大学 **小林直登君**, 谷口 誠君,
神田大輔君, 岸田憲明君,
広島大学 東浦彰史君,
大阪大学 田口英次君, 市川 聡君,
中谷亮一君, 中川敦史君, 白土 優君



14 Au-Cu 合金からの Cu-MOF 修飾多孔質 Au 触媒の開発 (P29)
兵庫県立大学 **出口 凌君**,
野崎安衣君, 森下政夫君, 山本宏明君,
亀尾亮太君



15 Fe-2%Si 鋼における脆性-延性遷移挙動に及ぼす Ni 添加の影響 (P22)

九州大学 時任史菜 君,
木更津工業高等専門学校 奥山彰夢 君,
九州大学 森川龍哉 君, 山崎重人 君,
九州大学, 京都大学, ESISM 田中将己 君,
日本製鉄 山本信次 君, 森重宣郷 君



16 レーザ粉末床溶融結合法によるステントの作製 (P158)

東北大学 中谷勇喜 君, 周 偉偉 君,
野村直之 君



17 Cr_xMn_{1-x}ZnSb の結晶構造と磁気特性 (P126)

鹿児島大学 長野杜春 君, 矢野惣之 君,
吉田健斗 君, 小林領太 君, 三井好古 君,
東北大学 梅津理恵 君,
鹿児島大学 小山佳一 君



18 γ'析出強化型 Ni 基超合金の狭ピッチ走査レーザー付加製造 (P33)

大阪大学 能勢和史 君, 奥川将行 君,
小泉雄一郎 君, 中野貴由 君



19 凝固脆性温度域への Ni 基合金組成の影響とレーザ造形用合金探索 (P93)

物質・材料研究機構, 芝浦工業大学 平賀知輝 君,
物質・材料研究機構, 九州大学 北嶋具教 君,
物質・材料研究機構 源 聡 君, 戸田佳明 君,
皆川和己 君, 川岸京子 君,
芝浦工業大学 湯本敦史 君,
物質・材料研究機構 渡邊 誠 君,
出村雅彦 君,
川崎重工 井頭賢一郎 君,
大阪大学 中野貴由 君



20 マグネシウム圧延材の塑性変形に対するセリウム及びアルミニウムの影響 (P141)

熊本大学 増永隆佑 君,
熊本大学 (現: 日本軽金属株式会社)
宮野 遥 君,
熊本大学, MRC 北原弘基 君,
安藤新二 君



21 M₂₃C₆ 単結晶の強度特性に及ぼす M の化学組成の影響 (P115)

東北大学 松戸玲菜 君, 笠田竜太 君,
水元 希 君, 耿 殿程 君



22 Pt/α-Al₂O₃ 触媒を利用した CO 酸化反応における活性サイトの特定 (P149)

九州大学 松原立樹 君, 内山雄貴 君,
兵頭潤次 君, 山崎仁丈 君



23 ボロノイ-ディリクレ分割法を応用した酸化物イオン拡散機構の解析 (P74)

JFCC, 京都大学 松本 潮 君,
JFCC 小川貴史 君,
クレイグフィッシャー 君, 北岡 諭 君,
JFCC, 京都大学 田中 功 君



24 レーザ熱加工によるマルテンサイト系ステンレス鋼の耐食性向上 (P38)

東京医科歯科大学 真中智世 君,
NIMS 堤 祐介 君,
富士高周波工業㈱ 後藤光宏 君,
東京医科歯科大学 蘆田茉希 君, 陳 鵬 君,
NIMS 片山英樹 君,
東京医科歯科大学, 神戸大学 埜 隆夫 君



25 PdCu 合金膜の低温における水素透過能の定量評価 (P176)

名古屋大学 三津原晟弘 君,
君塚 肇 君, 湯川 宏 君, 渡邊長平 君



26 MoSiBZrC 合金のマイクロ組織と高温酸化挙動に及ぼす Cr と Nb 添加の効果 (P51)

東北大学 Yan Xinyu 君, 南 茜 君,
井田駿太郎 君, 吉見享祐 君



27 α-ラメラ径を変化したラメラ形態を呈す Ti-6Al-4V 合金の高温圧縮特性と組織 (P163)

香川大学 吉田慎吾 君, 松本洋明 君



28 Microstructure and oxidation resistance of Co-Cr-Ta alloy system (P143)

Research Center for Structural Materials, National Institute for Materials Science, Waseda University MOREAU Louis 君,
Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux GORSSE Stephane 君,
Research Center for Structural Materials, National Institute for Materials Science, Waseda University MURAKAMI Hideyuki 君



29 Elastic properties of off-stoichiometry C14 Laves phase in the Fe-Cr-Nb ternary system (P77)
Tohoku University, INSA Lyon
BORNOWSKY Lucille 君,
Tohoku University **IDA Shuntaro 君**,
YOSHIMI Kyosuke 君



30 酸化被膜形成と酸化物分散を実現するステンレス鋼積層造形体の作製 (P96)
東北大学 **渡邊直樹 君**, 周 偉偉 君,
野村直之 君

第6回高校・高専学生ポスター賞受賞者(最優秀賞1件, 優秀賞13件)

(2021年9月15日発表)

最優秀賞



1. 化学反応速度用の実験教材の開発 (HSP2)
岡山県立岡山一宮高等学校
荒木大輝 君, 伊代野結子 君, 上田和果 君,
草場虹泉 君, **櫻間ゆい 君**,
末廣弘毅 君(指導教員)

優秀賞



1. タンタルコンデンサの熱分解によるタンタル焼結体の回収 (HSP1)
東京都立科学技術高等学校
清水梨穂 君,
森田直之 君(指導教員)



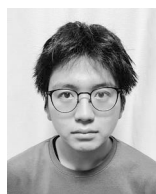
2. Sb₂S₃の水熱合成～市之川産輝安鉱巨大化の要因“巨大空洞仮説”の提案～ (HSP4)
愛媛県立西条高等学校
八木田陽香 君, 佐々木飛和 君,
桑村 翔 君, 伊藤千尋 君, 細川唯笑 君,
高橋圭吾 君, 藤田実優 君, 寺川駿希 君,
大屋智和 君(指導教員)



3. 生分解性プラスチックの生成と分解 (HSP6)
熊本県立熊本北高等学校
福元彰太 君, 石坂 遙 君, 松村葉南 君,
村上綾優 君,
原 景子 君(指導教員)



4. 自己修復性防食塗膜の開発 ―カプセル添加量の耐食性への影響について― (HSP7)
旭川工業高等専門学校
古川優花 君,
千葉 誠 君(指導教員)



5. 電気分解による平面的スズ樹の作成 (HSP11)
東京都立小石川中等教育学校
松本凜太郎 君, 横井風羽 君,
土屋 徹 君(指導教員)



6. マグネシウムとヨウ素を用いた二次電池開発 (HSP12)
福島県立福島高等学校
岡部 和 君, 松本大和 君,
松田汐良 君, 飯塚遙生 君,
高野あかね 君, 菅野凌大 君,
新保隆太 君, 川俣 倫 君,
高橋昌弘 君(指導教員)



7. 亜酸化銅被膜と金メッキによる銅の青色着色の研究 (HSP13)
宮城県仙台第三高等学校
遠藤隼介 君, 菅原冬羽雅 君,
伏見慶太 君, 山木大河 君, 渡邊 歩 君,
菅原佑介 君(指導教員)



8. 他の金属を介した金属樹の生成 (HSP15)
東京都立日比谷高等学校
山崎英磨 君, **川嶋結己 君**,
加戸百合 君(指導教員)



9. 電池型平面的スズ樹の研究Ⅱ (HSP16)
東京都立小石川中等教育学校
石田俐瑠 君, 川井結愛 君,
高村美羽 君, 安部紫乃 君, 曾 羽蓮 君,
土屋 徹 君(指導教員)



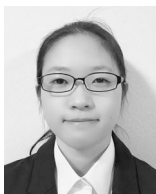
10. 化学発光による尿酸の定量法の比較(HSP17)

岡山県立岡山一宮高等学校
黒田雄一郎君, 平井隆登君,
坂根優人君, 利守里香君, 沢田知音君,
末廣弘毅君(指導教員)



12. 4℃前後における水の対流モデル(HSP20)

大阪府立天王寺高等学校
松永絢也子君, 鎌井愛子君,
柿花官志君, 川井等之君,
尾崎祐介君(指導教員)



11. 修復剤内包カプセル分散による電着塗装への自己修復性付与とこの耐食性(HSP19)

旭川工業高等専門学校
江口侑里君,
千葉 誠君(指導教員)



13. パイプを炙った結果, 音が出ました。～熱音響機関を身近に～(HSP21)

千葉市立千葉高等学校
森本紗羽君,
大釜章嗣君(指導教員)



2022年秋賞のご推薦案内は次号(12号)にて会告いたします。



◇日本金属学会秋賞の概要◇ (英語表記はホームページ：[表彰関係](#) ご覧下さい)

技術開発賞	まてりあ“新技術・新製品”の著者で、創意あふれる開発研究を推奨する目的で、金属工学ならびにこれに関連する新技術・新製品などの独創的な技術開発に携わった技術者に対して授賞する。
奨励賞	金属材料工学ならびに関連分野で卓越した業績を挙げつつある5月末時点で 33歳以下 の次世代を託する優れた若手研究者(工業技術部門は企業の研究者または技術者)に授賞する。 部門：物性, 組織, 力学特性, 材料化学, 材料プロセッシング, 工業材料, 工業技術
まてりあ論文賞	日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した論文で、学術または科学技術上優秀で且つ金属及びその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。
まてりあ啓発・教育賞	日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した記事で、まてりあ記事の特徴を活かし、金属及びその周辺材料に係る啓発や教育に顕著な貢献をした記事に対し授賞する。
村上記念賞	村上記念会からの寄付を基に金属工学の分野における先駆的研究および開発に格段の功績を挙げた方に授賞する。
村上奨励賞	村上記念会からの寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績をあげつつある5月末時点で 40歳以下 の若手研究者に授賞する。
論文賞	前年1ヵ年の会誌または欧文誌に掲載された論文の中から特に優秀な論文に対して授賞する。 部門：物性, 組織, 力学特性, 材料化学, 材料プロセッシング, 工業材料
若手講演論文賞	35歳以下 の春秋一般講演発表者またはポスター発表者で、会誌またはMaterials Transactionsに掲載された学術上または技術上特に優秀な論文に対して授賞する。
優秀ポスター賞	ポスターセッション発表者を対象に、優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。本賞の贈呈は各大学, 研究所に委託しこれを行う。
高校・高専ポスター賞	高校生・高専(3年生以下)学生の優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。本賞の贈呈は各学校に委託しこれを行う。

人工股関節用 β Ti 合金ステムの研究開発

花田 修治*

1. はじめに

高齢化社会の到来とともに、年々実施件数が増加している人工股関節全置換術 THA (Total Hip Arthroplasty) は、股関節疾患により歩行障害を起こした患者の機能回復を目的とする。手術には医療機器として、大腿骨に埋植するステム、骨盤の寛骨臼に埋植するカップ、ステムとカップを連結する人工骨頭が使われるが、ここで注目するのはステムである。

THA のルーツとなる手術技法が、1961年に英国から報告⁽¹⁾されると、瞬く間に世界中に波及した。人工骨頭とカップとの間に優れたベアリング機能が働き、術後の早い時期から円滑に歩行できることが高く評価されたからである。しかし、それから数年後、ステム周辺骨に応力遮蔽による骨吸収が進行し、骨折や固定性の弛みによる再置換術の症例報告が相次いだ。ステンレス鋼や CoCr 合金のような高ヤング率合金ステムを大腿骨内に骨セメントで強固に固定したことによる。それ以来、ステムと大腿皮質骨のヤング率の違いによって引き起こされる応力遮蔽を抑制しようと低ヤング率ステムが多数開発され、臨床応用された。1970年代に登場した低剛性複合ステム⁽²⁾では、合金芯材を樹脂で被覆して低剛性化することにより応力遮蔽は抑制されたが、低剛性ステムと骨の界面に働く大きなせん断応力により、界面での固定性が低下するという新たな課題が発生した⁽³⁾。その後、1980年代に普及した Ti-6Al-4V 合金も、1990年代に開発された β Ti 合金⁽⁴⁾もステムの課題を根本的に解決するには至らなかった。現在、Ti-6Al-4V 合金製ステムが世界中で使われているが、そのヤング率 (~110 GPa) は、初期に使われたステンレス鋼 (193 GPa) や CoCr 合金 (200~230 GPa) に比べれば低いものの、大腿皮質骨 (10~30 GPa) に比べ著しく高い。

一方、骨頭に近いステム近位ネック部に注目すると、大腿骨を大きく動かすときにカップ外周端と衝突してヘッドがカップから外に飛び出す脱臼や、衝突による有害摩耗粉の発生

を回避するためには、細径ネック、すなわち、高強度が求められる。また、体重を支えて高応力が繰り返し負荷されるネック部には高疲労強度が不可欠である。このように、ステムには大腿骨に埋植する遠位部の「低ヤング率」と骨頭に連結するネック近位部の「高強度」が同時に求められる。しかし、両者はトレードオフの関係にあり、均質材料において高次元で両立させるのは容易ではない。そのため、この課題は長年未解決のまま残されてきた。

本稿では、この課題を解決するために開発した β Ti-Nb-Sn 合金の材料特性、合金ステムの製造プロセス、合金ステムの機能性評価などを紹介する。

2. Ti 合金の選択

人生100年時代になると、THA に使われるステムは患者の体内に数10年にわたり埋植されたままになる可能性があることから、ステム材料となる Ti 合金の選択には生体安全性を最優先した。金属イオンの細胞毒性は、Yamamoto⁽⁵⁾ の先駆的な研究により詳細に調べられ、毒性の低い元素として、Ti, Zr, Hf, Mo, Nb, Ta, Sn, Ru, Al などが明らかにされている。一方、Biesiekierski⁽⁶⁾ らは生体為害性の評価には細胞毒性の他に、生体適合性、発癌性、遺伝毒性、突然変異誘発性、アレルギー誘発性、耐食性なども重要であることを指摘し、生体為害性の低い金属元素として、Ti, Zr, Nb, Ta, Au, Sn, Ru を推奨した⁽⁶⁾。これらの文献で共通する元素は Ti, Zr, Nb, Ta, Sn, Ru である。インゴットメタラジーをものづくりの基本としたことから、類似の材料特性が期待できるのであれば溶解の容易な融点の低い元素、すなわち、Zr の代わりに Ti, Ta の代わりに Nb を選択した。Ru は高コストであるため除外すると Sn が残る。幸いなことに Sn には、 β Ti 合金の ω 変態を抑制してヤング率を低下させる⁽⁷⁾、 α 相に固溶して優れた時効硬化能を発揮する⁽⁸⁾、合金の融点を低下させて溶解を容易にする、という優れた機能が

* 東北大学名誉教授

Research and Development of β Ti Alloy Stems for Artificial Hip Joint; Shuji Hanada (Emeritus Professor, Tohoku University)

Keywords: β Ti-Nb-Sn alloys, Young's modulus, tensile strength, hip joint stem, stress shielding, gradation of mechanical properties, total hip arthroplasty

2021年7月26日受理 [doi:10.2320/materia.60.697]

ある．そのため，Snは β Ti合金の低ヤング率化・高強度化・低製造コスト化を実現するうえで不可欠な元素であると判断し，Ti-Nb-Sn 3元合金を開発合金として選択した．

Ti-Nb-Sn合金システムの研究開発に先立ち，合金の細胞接触毒性試験(マウス皮下結合組織由来のL929細胞とマウス頭頂骨由来のMC3T3-E1細胞の培養試験)および骨親和性試験(日本白色家兎大腿骨に長期間埋植した合金ロッドの引抜試験)を行い，Ti-Nb-Sn合金がステム材料として適性であることを確認した⁽⁹⁾．さらに，第三者である(一財)日本食品分析センターに依頼して，細胞毒性試験，感作性試験，復帰突然変異試験，染色体異常試験，骨内埋植試験，溶出物試験を行い，いずれの試験でもTi-Nb-Sn合金が生体材料として安全であるとの評価を得た．

3. Ti-Nb-Sn合金の低ヤング率組成

高温の β 単相(bcc)域から急冷した β Ti-Nb 2元合金のヤング率は，斜方晶 α'' マルテンサイト変態が抑えられる臨界Nb濃度，すなわち， β 相が最も不安定になる組成Ti-40%Nb(本稿での組成はすべて質量%)付近で最小値をとる⁽¹⁰⁾．

これは，マルテンサイト変態開始温度に近づくと β 相が不安定になり，格子が軟化することに起因する⁽¹¹⁾．この結果を参考にして，Ti-Nb-Sn 3元合金のヤング率が最小になる組成を実験的に探索した．また，ヤング率は結晶方位に敏感であることから，結晶方位制御による低ヤング率化を検討した．方位制御した単結晶システムが作製できれば，低ヤング率化は可能になるが，強度・生産性・コストなどに課題が残る．そこで，量産に有利な，塑性加工による集合組織の優先方位形成を利用した低ヤング率化に着目した．単相 β Ti合金のヤング率(E)の方位依存性は， $E_{001} < E_{011} < E_{111}$ である⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾ので，加工方向に $\langle 001 \rangle_{\beta}$ を集積させることができれば，ヤング率が低下するはずである．加工後も β 単相であるTi-Nb-Sn 3元合金の凝固材および再結晶材の初期結晶粒の形状，サイズ，方位分布を変化させて，種々の圧下率で板圧延して加工集合組織を測定した．いずれの試料でも圧延方向へ集積しやすいのは $\langle 011 \rangle_{\beta}$ で， $\langle 001 \rangle_{\beta}$ への尖鋭な集積は得られなかった．

一方，加工によって α'' 変態が誘起されるTi-Nb-Sn 3元合金では，加工によるヤング率の低下が報告されている⁽¹⁵⁾．そこで，アーク溶解したTi-(27.5~37.5)%Nb-(2.5~11.25)%Sn合金ボタンから小型試験片を作製して，急冷材と加工材のヤング率の組成依存性を測定し，塑性加工によってヤング率が最低値を示す合金組成を探索した⁽¹⁶⁾．1223 Kから急冷したTi-Nb-Sn 3元合金の構成相を光学顕微鏡(OM)と電子顕微鏡(TEM)観察およびXRD解析により評価し，3元系部分状態図上にまとめたのが図1である．OM組織全体が斜方晶 α'' マルテンサイトである組成領域を α'' ， ω 相を含むbcc β 母相と α'' の2相混合組織である組成領域を $\beta(\omega) + \alpha''$ ，bcc β 単相組織である組成領域(灰色)を β と分類した．図1から明らかなように，Ti-Nb合金の β 相はSn

添加により安定化し， β 相が不安定になるTi-Nb-Sn β 単相合金の限界組成は，大略，Ti-37.5Nb-2.5SnとTi-27.5Nb-11Snを結ぶ点線付近にある．

β Ti-Nb-Sn合金のヤング率に及ぼす合金組成と塑性加工の影響を明らかにするために，図1で使用したTi-Nb-Sn合金の急冷材(ST)および急冷後減面率75%で冷間溝ロール圧延した丸棒加工材(CGR)のヤング率(E_d)を共振法で測定した⁽¹⁶⁾．図2は代表例として，Ti-35Nb- c Sn($c=2.5\sim 10$)のヤング率のSn濃度依存性を示す．CGRの構成相は主にXRD解析で同定し，STと同じシンボルマークで表示した．STとCGRのヤング率は，Sn濃度が $c=10$ から減少するとともに低下し，最小値を示してから上昇する．また， $\beta(\omega) + \alpha''$ 領域にあるSTでは溝ロール圧延によるヤング率の低下が顕著である．図2の Δ と \blacktriangle はSTおよびCGRのヤング率最小値(E_{dmin})を示す．図3はTi-35Nb- c Sn($c=2.5, 3.75, 7.5$)のXRDプロファイルである．(a)ST，(b)CGRともに $2\theta=35\sim 45^\circ$ に極めて強い β と α'' のピークが観察され，それ以外のピーク強度は非常に弱いことから，尖鋭な集合組織

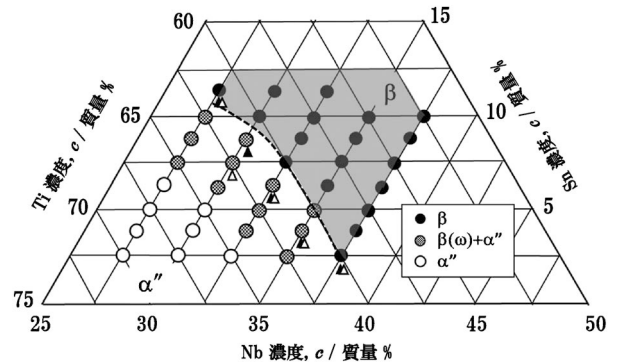


図1 1223 Kから急冷したTiNbSn合金の構成相⁽¹⁶⁾．

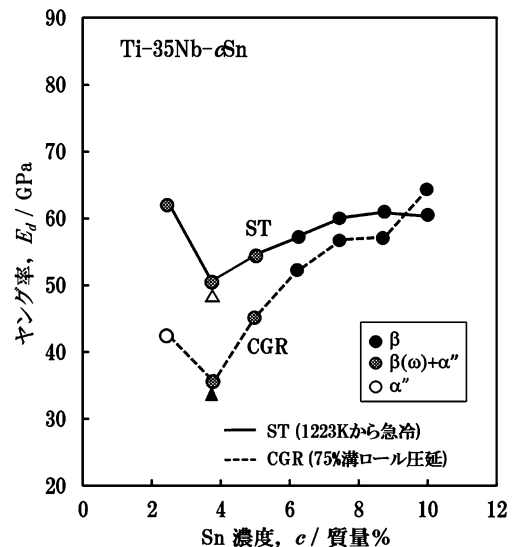


図2 Ti-35Nb- c Sn($c=2.5\sim 10$)のST(1223 Kから急冷)およびCGR(急冷後75%冷間溝ロール圧延)のヤング率のSn濃度依存性⁽¹⁶⁾．

が発達していることが分かる. $c=2.5$ と 3.75 のSTとCGRのXRDプロファイルと比較して図4に示す. (a)Ti-35Nb-2.5SnのSTで見られる明瞭な α'' の二つのピーク $(002)\alpha''$ と $(020)\alpha''$ は, CGRでは極めて強いピーク $(020)\alpha''$ に変化している. (b)Ti-35Nb-3.75Snの α'' のピークにも類似の傾向が見られる. これらの結果は, 急冷時に生成される α'' のバリエーションとその後の溝ロール圧延で生成される加工誘起 α'' のバリエーションとともに圧延中に再配向し, 最終的には圧延方向に鋭な $[010]\alpha''$ 優先方位が集積することを示唆する. これに対して, $c=7.5$ のSTとCGRでは極めて強い $(011)\beta$ ピークだけが見られる(図3). STに検出される $(011)\beta$ ピークは急冷処理前の試料準備(凝固材の溝ロール圧延とその後の溶体化処理)中に形成される再結晶粒の優先方位に由来し, 加

工熱処理中に $(011)\beta$ の集積が起こりやすいことを示す. 各合金のSTの $\langle 011 \rangle_\beta$ 制限視野電子図形における ω 相は, Sn濃度の増加とともに, 明瞭な ω 反射(Ti-35Nb-2.5Sn)から, 弱い ω 反射(Ti-35Nb-3.75Sn)を経て, 散漫散乱(Ti-35Nb-7.5Sn)へと変化し, Sn添加による ω 変態の抑制効果が確認されている. また, 加工によって ω 変態は促進されない⁽¹⁶⁾. これらの結果から, 図2においてTi-35Nb- c SnのSTとCGRのヤング率が, Sn濃度 $c=10$ から減少するとともに低下するのは β 相の不安定化に, 最小値を示してから上昇するのは急冷時に生成する ω 相量の増加によると説明できる. また, $\beta(\omega)+\alpha''$ 領域で, CGRのヤング率がSTに比べて著しく低くなるのは圧延方向に鋭な $[010]\alpha''// [011]\beta$ 優先方位が形成されることと密接に関係している⁽¹⁶⁾.

Ti-(37.5, 32.5, 30, 27.5)Nb- c Sn($c=2.5\sim 11.25$)についてもSTとCGRの E_{dmin} (Δ と \blacktriangle)を求めて図1に記入すると, E_{dmin} の現れる組成は, 不安定 β 単相合金の限界線(点線)と一致するか, あるいは, やや低Nb濃度側にずれている. この僅かなずれは, 微量の α'' が生成しても β 母相の安定性は低下することを示している. このように, Ti-Nb-Sn三元合金においても, β 相が最も不安定になる組成付近で低ヤング率が得られる. 図1の合金を電子/原子比(e/a)で整理し, STとCGRを e/a に対してまとめたのが図5である. 各合金群(Nb濃度一定)のSTとCGRは, β 相の安定性が関与す

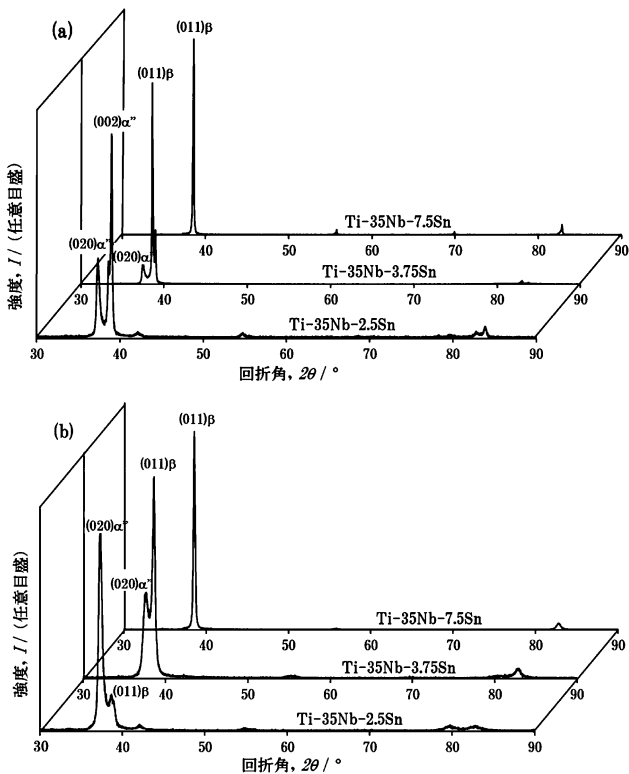


図3 Ti-35Nb-2.5Sn, Ti-35Nb-3.75Sn, Ti-35Nb-7.5SnのXRDプロファイル⁽¹⁶⁾. (a) ST, (b) CGR.

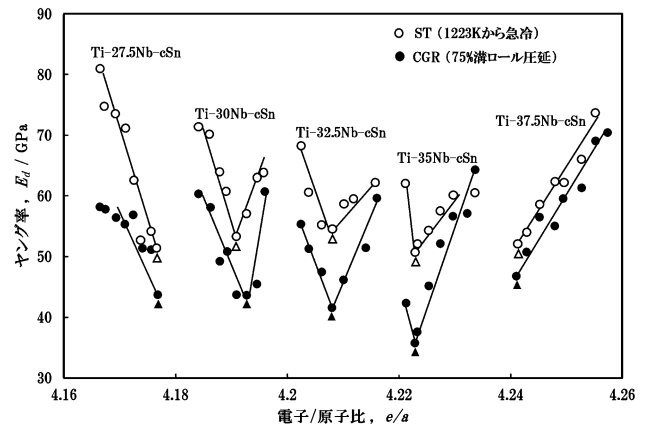


図5 各合金群Ti-(27.5~37.5)Nb- c Sn($c=2.5\sim 11.25$)のSTとCGRのヤング率(E_d)と e/a の関係⁽¹⁶⁾.

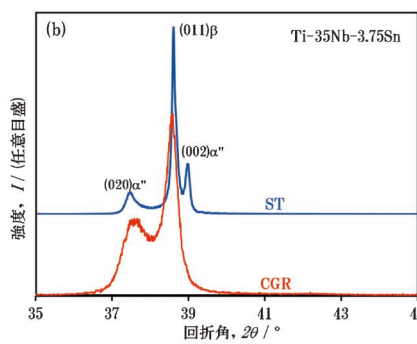
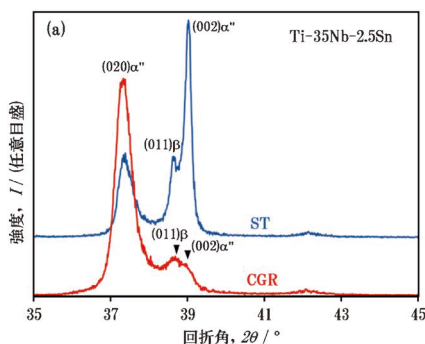


図4 STおよびCGRのXRDプロファイル⁽¹⁶⁾. (a) Ti-35Nb-2.5Sn, (b) Ti-35Nb-3.75Sn. (オンラインカラー)

る正の傾きをもつ直線と急冷時に生成する ω 相量を反映する負の傾きをもつ直線とで整理される。Ti-30Nb-cSn, Ti-32.5Nb-cSn, Ti-35Nb-cSn では正と負の傾きをもつ直線の交点が E_{dmin} に対応する。ST の $E_{dmin}(\Delta)$ は明瞭な e/a 依存性を示さず、50~55 GPa の範囲にあるが、CGR の $E_{dmin}(\blacktriangle)$ はすべての合金群で 50 GPa 以下となる。特に、Ti-35Nb-3.75Sn の E_{dmin} は 36 GPa まで低下する。溝ロール圧延中の β 相と α'' 相は、板圧延において報告された⁽¹⁵⁾ ように、 $[100]_{\beta} - [100]_{\alpha''}$, $[011]_{\beta} - [010]_{\alpha''}$, $[0\bar{1}1]_{\beta} - [001]_{\alpha''}$ の格子対応を保ちながら変形され、圧延方向(丸棒軸方向)に尖鋭な優先方位 $[011]_{\beta} // [010]_{\alpha''}$ を形成する。従って、 α'' の体積率が同じであれば、 $\beta \rightarrow \alpha''$ マルテンサイト変態の格子変形ひずみ η_1, η_2, η_3 の中で、圧延方向に対応する η_2 がプラス値で大きいほど、圧延方向のヤング率が低くなると考えられる。実際に各合金群の $E_{dmin}(\blacktriangle)$ で $\eta_2 = (b' - \sqrt{2}a_0) / \sqrt{2}a_0$ (a_0, b' は図10参照)を測定すると、 η_2 が大きいのは Ti-35Nb-3.75Sn で、 α'' の体積率も高いため E_{dmin} は最低値となる⁽¹⁶⁾。

Ti-35Nb-3.75Sn の周辺組成をもつ合金の加工性、CGR のヤング率、時効硬化性などを総合的に評価し、Ti-33.6Nb-4Sn 合金をステム用の最適組成とした(以後 TNS 合金と呼ぶ)。

4. 低ヤング率・高強度化

高周波溶解した20キログラム級の TNS 合金インゴットを丸棒に熱間鍛造した後、 β トランザス温度以上の約700°Cから直ちに水冷したときの組織を図6に示す。(a)は丸棒軸方向垂直断面の OM 組織、(b)は平行断面の OM 組織、(c)は垂直断面の SEM-OIM 像である。微細化した β 粒の境界は不規則な形状で(図6(a), (b))、 $\langle 011 \rangle_{\beta}$ と $\langle 001 \rangle_{\beta}$ が軸方向に優先的に成長している(図6(c))。熱間鍛造後水冷した丸棒から軸方向に平行に引張試験片を切り出し、室温で繰返し引張試験を行った。結果を図7に示す。最初の1サイクルでは 220 MPa まで負荷してから除荷すると、 α'' マルテンサイトによる超弾性が発現する(除荷時の挙動を点線で示す)が、375 MPa まで負荷してから除荷すると塑性ひずみが残留し(図7(a))、加工誘起 α'' マルテンサイトはその後の繰返し負荷によるすべり変形でさらに安定化する。図7(a)と同じ最大負荷応力で繰返し変形を続けると、応力-ひずみ線図のヒ

ステリシスは次第に小さくなり(図7(b)(c))、10サイクルではほぼ消滅する(図7(d))。注目されるのは、変形初期の弾性変形域の直線の傾きから測定したヤング率(E_s)が1サイクルでは 53 GPa であるのに対し、10サイクルでは 36 GPa に低下することで、安定化した α'' の E_s は β の E_s より低いことが示唆される。

熱間鍛造後水冷した TNS 合金を減面率91%まで溝ロール圧延したときの OM 組織を図8に示す。丸棒軸方向垂直断面には複雑に湾曲した扁平状の粒界が見られ(図8(a))、平行断面には繊維組織の発達を観察される(図8(b))。図8(a)の特異な結晶粒組織は、強加工した bcc 金属や合金の線材や丸棒で報告された curled grain shapes⁽¹⁹⁾ や VGS microstructure⁽²⁰⁾ または marble-like structure⁽²¹⁾ によく似ている。これらの線材や丸棒ではいずれも加工方向に尖鋭な $\langle 011 \rangle$ 方位が成長している。Hosford は、加工によって $\langle 011 \rangle_{\beta}$ 優先方位が形成されると、bcc の4種類の $\langle 111 \rangle_{\beta}$ す

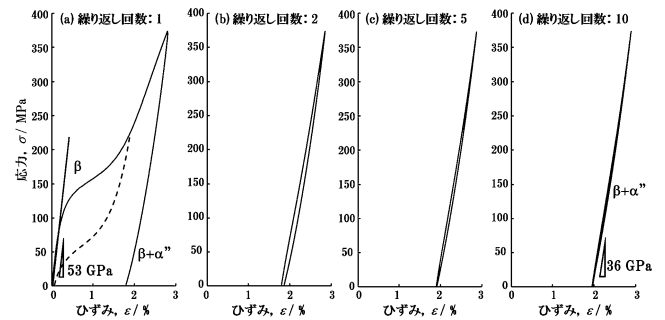


図7 熱間鍛造後水冷した TNS 合金の繰返し変形による α'' マルテンサイトの安定化。

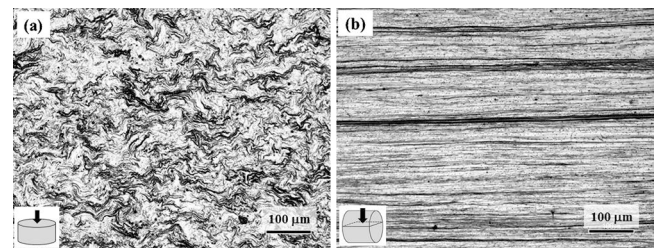


図8 減面率91%で溝ロール圧延した TNS 合金丸棒の OM 組織⁽¹⁸⁾。(a)丸棒軸方向に垂直断面。(b)丸棒軸方向に平行断面。

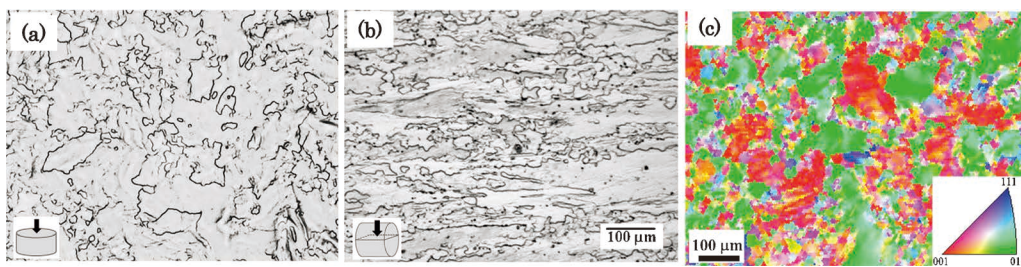


図6 熱間鍛造後水冷した TNS 合金の組織⁽¹⁷⁾。(a)丸棒軸方向に垂直な断面の OM 組織。(b)丸棒軸方向に平行な断面の OM 組織。(c)丸棒軸方向に垂直な断面の SEM-OIM 像。(オンラインカラー)

べりの中で、 $\langle 011 \rangle_{\beta}$ に直角な 2 種類の $\langle 111 \rangle_{\beta}$ すべりは軸方向のひずみに寄与しないため、残りの 2 種類の $\langle 111 \rangle_{\beta}$ すべりによる平面ひずみ変形が支配的になり、近接粒の粒界適合性を維持するために粒が湾曲して特異な結晶粒組織が形成されると説明した⁽¹⁹⁾。特異な結晶粒組織の形成メカニズムについては平面すべりを仮定したシミュレーションによっても矛盾なく説明されている⁽²²⁾。

91%の減面率で溝ロール圧延した TNS 合金丸棒の軸方向垂直断面で測定した $(011)_{\beta}$ と $(010)_{\alpha'}$ の極点図(図 9)に見られるように、TNS 合金の β 相にも加工方向に沿って尖鋭な優先方位 $\langle 011 \rangle_{\beta}$ が発達している (α' の優先方位は $[010]_{\alpha'}$)。興味深いのは、強加工した TNS 合金は $\beta + \alpha'$ の 2 相組織であるにもかかわらず、単相の bcc 金属や合金と類似した特異な結晶粒組織が形成されることで、 α' の影響を受けないように見える。この観察結果は、 β Ti-Nb 合金単結晶の塑性変形挙動を解析した Tahara らの最近の研究結果⁽²³⁾を参照すると理解できる。彼らは、 β Ti-Nb 単結晶を変形して生成する α' 単結晶のすべり変形について極めて精緻な実験を行い、 α' 相におけるすべり変形は β 相のすべり変形の特徴を完全に継承することを明らかにした。従って、図 8(a)の特異な結晶粒組織は Hosford と同じようなメカニズムで形成されていると考えられる。このときの β 相と α' 相のすべり挙動は、両相の格子対応と関係づけて図 10 のように示すことができる。 β 粒では $[111]_{\beta}$ と $[\bar{1}11]_{\beta}$ すべりの活動による平

面すべりが起り、各粒の変形軸が $[011]_{\beta}$ 方向へ回転して圧延方向に平行になる。一方、 α' 粒の $[010]_{\alpha'}$ は格子対応により β 粒の $[011]_{\beta}$ 方向への回転と連携する。

図 8 に示した繊維組織の形成過程における β 粒の挙動を調べるために、強加工後 400°C に加熱して α' を β に逆変態させてから SEM-OIM 観察した結果を図 11 に示す。軸方向垂直断面のほぼすべての β 粒が $\langle 011 \rangle_{\beta}$ に配向している(図 11(a))のに対し、平行断面の粒方位はランダムに分散している(図 11(b))ことから、軸方向に伸長した β 粒は $\langle 011 \rangle_{\beta}$ 軸周りにランダムに回転・配列している。この組織は、非常に長いリボン状の粒を仮定した幾何学的モデルに基づく予測⁽²⁴⁾とも一致している。

TNS 合金の高強度化の最適熱処理条件は硬度測定により作成した TTT 図 (Time-Temperature-Transformation diagram) を参考にして決定した。TNS 合金は、400°C 付近にノーズをもち、比較的短時間の熱処理により析出する α 相、または 250°C 付近にノーズをもち、長時間の熱処理により析出する ω 相によって硬化する。開発しようとするシステムにおいては、近位ネック部だけを部分的に熱処理して高強度化し、遠位部は熱影響を抑えて低ヤング率を維持したいので、 α 相による短時間の時効硬化処理条件として、400°C で 5 h 保持 (5 h 保持では ω 相は析出しない) を採用した。TNS 合金の 91% 加工材を各温度で 5 h 保持した後、室温で行った引張試験の応力-ひずみ線図をまとめて図 12 に示す。加工ま

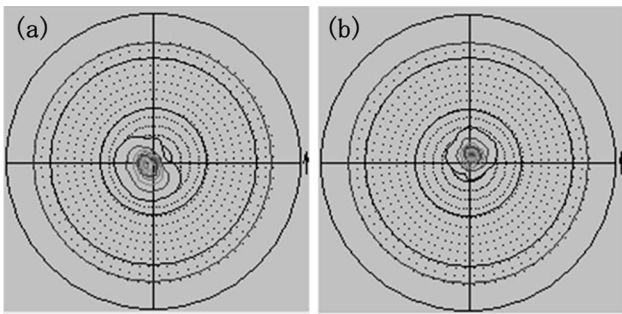


図 9 減面率91%で溝ロール圧延した TNS 合金丸棒の軸方向に垂直断面の極点図。(a) $(011)_{\beta}$, (b) $(010)_{\alpha'}$ 。

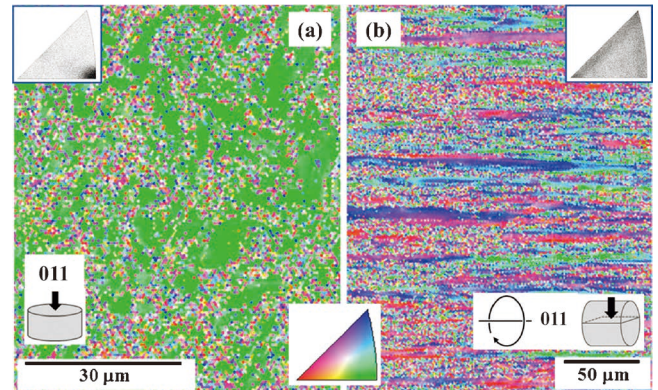


図 11 400°C で熱処理して $\alpha' \rightarrow \beta$ 変態させた TNS 合金の SEM-OIM 像と逆極点図⁽¹⁷⁾。(a) 丸棒軸方向垂直断面、(b) 丸棒軸方向平行断面。(オンラインカラー)

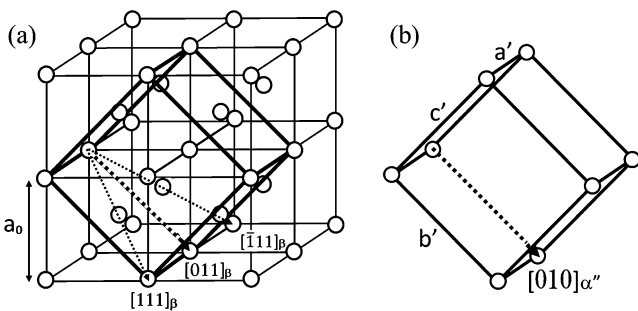


図 10 (a) β (bcc) から (b) α' (斜方晶) へのマルテンサイト変態における格子対応⁽¹⁶⁾。細い点線矢印は $[111]_{\beta}$ と $[\bar{1}11]_{\beta}$ すべり。格子変形ひずみ $\eta_2 = (b' - \sqrt{2} a_0) / \sqrt{2} a_0$ は太い点線矢印 $[011]_{\beta}$ と $[010]_{\alpha'}$ の長さ変化から計算。

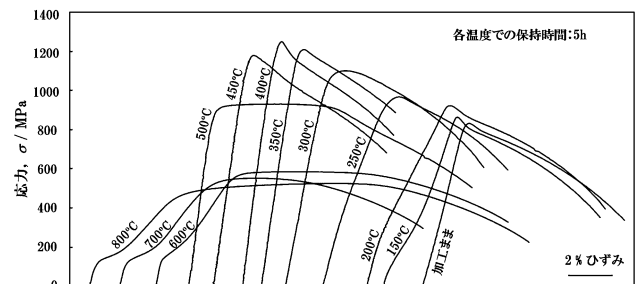


図 12 強加工後、各温度で 5 h 熱処理した TNS 合金の室温における引張応力-ひずみ線図⁽¹⁷⁾。

では加工硬化した $\alpha'' + \beta$ 相により変形初期から高ひずみ領域まで直線的な応力-ひずみ線図となるが、150°Cでは二段降伏的な挙動が現れる。加熱によって $\alpha'' \rightarrow \beta$ の逆変態が起こり、逆変態した β が引張試験によって再び加工誘起 α'' 変態するためと解釈される。引張強度は400°Cで最高値を示す。700°C以上では再結晶が完了するため、加工誘起 α'' 変態とすべりが関与した典型的な二段降伏が現れる。

図12に示した応力-ひずみ線図のピーク応力から求めた引張強度と変形初期の直線部傾きから求めたヤング率を図13に示す。熱処理前の強加工材は優先方位成長により40 GPa前後の低ヤング率であるにもかかわらず、加工硬化により800 MPa以上の高い引張強度を示す。熱処理温度とともに上昇する引張強度は400°Cで1270 MPaのピーク値となり、それに対応してヤング率も85 GPaのピーク値を示す。400°Cで5 h 熱処理するとTEM暗視野像には微細な α 析出粒子が観察される(図14)。このような微細粒子が繊維組織をもつ微細な β 粒中に分散することにより高強度化が実現される。TNS合金強加工材を400°Cで5 h 保持した試験片を使って、ステムの疲労強度を推定する基礎となる一軸引張/引張の疲労試験を行った。疲労強度は850 MPaであり⁽¹⁷⁾、現在ステム材料として広範に使われているTi-6Al-4V ELIの疲労強度⁽²⁵⁾より高い。

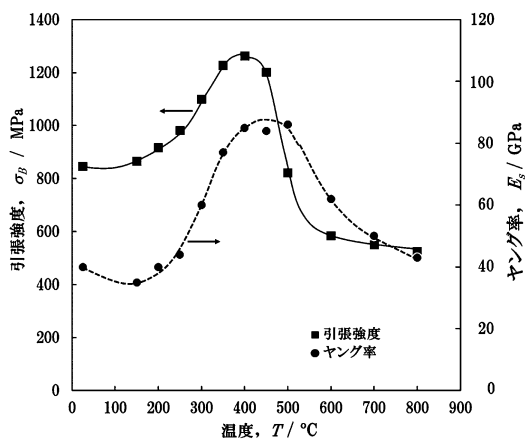


図13 引張応力-ひずみ線図(図12)から求めたヤング率(E_s)と引張強度(σ_B)の熱処理温度依存性⁽¹⁷⁾。

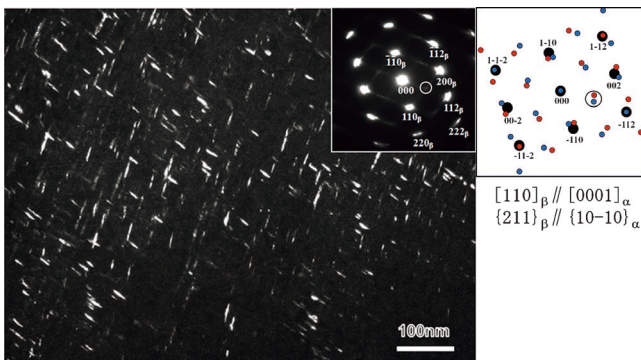


図14 400°Cで5 h 熱処理したTNS合金の析出相 α のTEM暗視野像⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

5. 室温加工によるステムの形状付与

TNS合金の優れた冷間加工性を利用して低ヤング率と高強度を両立させるための室温でのステム製造工程を検討した⁽¹⁷⁾。工程フロー図(図15)に示すように、(a)熱間鍛造後水冷した丸棒を溝ロール圧延(またはスウェージ加工)により低ヤング率化した後、(b)作製しようとするステムの全長に合わせて切断した丸棒の両端をスウェージ加工する。そのねらいは、最終製品で近位ネック部となる一端(図の左端)には時効硬化を促進するための大きな予ひずみを与え、ステム遠位部となる他端(図の右端)にはステムデザインに見合ったテーパをつけると同時にさらに低ヤング率化する。製造工程での材料ロスをできる限り少なくするために、型鍛造前の荒地(プリフォーム)の予備成形に切削を使用しないでスウェージ加工を採用する。次に、(c)製品デザインに合わせて遠位ステム軸とネック軸が130°傾くように曲げ加工した後(股関節における大腿骨中心軸と骨頭に繋がるネック軸との連結角度は約130°)、(d)型鍛造する。型鍛造とその後のバリ取りで最終製品に近いニアネットシェイプ加工ができるので最終のマシニング工程を簡素化できる。この工程の中で型鍛造においては断熱変形による加工熱発生、材料流れ不良による型への充填不足、型への焼き付きに留意した。

加工誘起した α'' が断熱変形による温度上昇により β へ逆変態すると、 α'' 相によるヤング率低下の効果が消失する。実際に加工シミュレーターでサイズの異なる円柱状TNS合金試料を種々のひずみ速度で圧縮変形した結果、ひずみ速度が 1 s^{-1} 以上になると試料温度が逆変態開始温度(示差走査熱量計により測定した開始温度は約80°C)以上に上昇することが分かった⁽²⁶⁾。この結果を参考にして、温度上昇の少ない低速溝ロール圧延と低速スウェージ加工の組み合わせおよび低荷重での繰り返し型鍛造を採用した。また、鍛造解析シミュレーションソフトに基づいて行った型鍛造において型への充填不足が発生したが、その原因として加工まま材の応力-ひずみ線図に現れる特異な加工軟化(図12)と金型への焼き付きが考えられた。これらの課題に対しては金型および荒

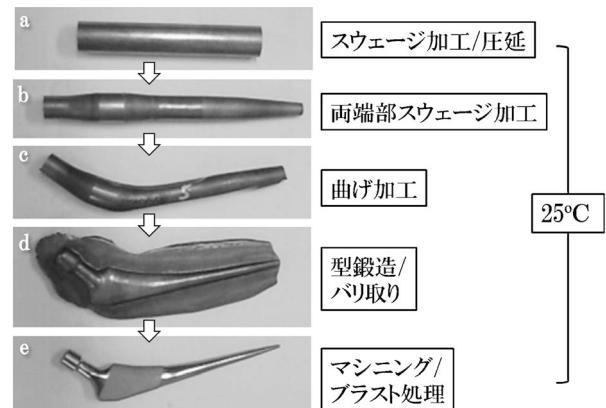


図15 冷間加工によるTNS合金ステムの製造工程。

地のデザインの微調整と潤滑剤の選択で対処した。

最終製品に仕上げたステムの近位部、中央部、遠位部から短冊状試験片を採取してヤング率を測定した。素材丸棒に形成されていた α' 相と β 相の尖鋭な加工集合組織は型鍛造により僅かに乱されるが、型鍛造後のヤング率(E_d)はステム近位部で45~52 GPa、中央部と遠位部で45~47 GPaであり、ヤング率の上昇は僅かであった。

6. ヤング率と強度の連続的傾斜化と機能の検証

TNS合金の熱伝導率は、熱伝導率が低いことで知られる18-8ステンレス鋼や純Tiよりさらに低い⁽²⁷⁾ことから、ステムの一端を部分的に加熱すると他端との間に大きな温度勾配を発生させることができる。図16はトラニオンと呼ばれるネック先端を(a)400°Cまたは(b)525°Cに加熱して5h保持したときにステム内に発生する温度勾配と硬度分布を測定した結果を示す⁽¹⁷⁾。この実験ではステムの温度測定点(図中の○)にステム軸中心まで開けた小さなドリル孔に熱電対を挿入して平衡する温度を測定するとともに、5h保持後に冷却してステムを半割し、その切断面を研磨して硬度を測定した。トラニオンを400°Cに加熱してもトラニオンとネック部近傍を除いてステムの大部分は200°C以下であり、引張強度とヤング率はほとんど変化しないことが分かる(図16(a))。一方、トラニオンを525°Cに加熱保持すると、ネック部は400°Cとなるので引張強度はピーク値に達するが、ヤング率が60 GPa以上になるのはネック近傍だけであり、ステム中央部から遠位先端部にかけて低ヤング率が維持される(図16(b))。このように熱処理条件の制御により、TNS合金ステムのヤング率を45~85 GPaの範囲で、引張強度を850~1270 MPaの範囲で連続的に傾斜化できる。

ステムの機械的性質の評価には、2種類の疲労試験法(ISO-7206-6とISO-7206-4)が規格化されている。日常生活の歩行時においても股関節には体重の数倍の負荷が加わる

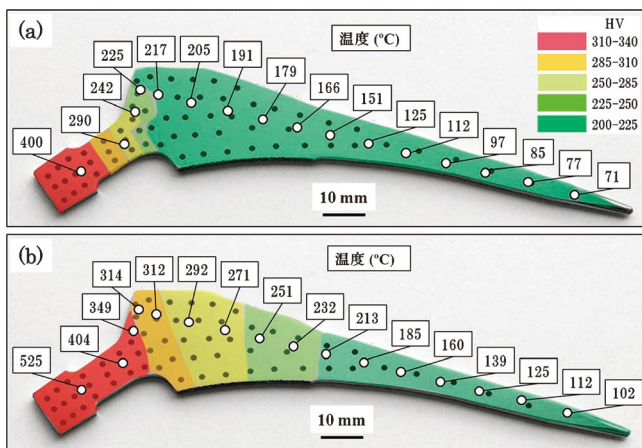


図16 トラニオンを(a)400°Cまたは(b)525°Cに加熱したときにステム内に発生する温度勾配と熱処理後の硬度(HV)分布⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

ことから、人工骨頭を介してステムへ大きな繰り返し最大荷重(ネック部強度評価のISO-7206-6では5.34 kN、ステム部強度評価のISO-7206-4では2.3 kN)を負荷した疲労試験をそれぞれ6本のステムで行い、すべてのステムが破壊しないことが試験法に定められている。最適熱処理を施したTNS合金ステムは上記ISO疲労試験で規定されている繰り返し回数(ISO-7206-6では 10^7 サイクル、ISO-7206-4では 5×10^6 サイクル)ですべて破損しないことを確認した。

一方、ステム先端部にさらに低いヤング率が求められる場合がある。術後にステム先端付近の大腿部に痛み(大腿部痛)を訴える患者の症例が報告され、その原因のひとつとしてステム先端での高剛性が指摘されている⁽²⁸⁾。それには、図15のすべての工程をできる限り低速加工で行い、加工熱による逆変態($\alpha' \rightarrow \beta$)を抑制するとともに、傾斜化熱処理中にステム遠位先端部を非接触の水冷キャップ中に保持して温度上昇を抑えることにより、ステム先端のヤング率を40 GPa以下にすることで対応できる。

KuiperとHuiskes⁽²⁹⁾は数理最適化法に基づいた有限要素解析により、今から20年以上前(1997)に「ステムにおける応力遮蔽を抑制するために求められる低弾性率とステム界面の固定安定性向上のために必要な高弾性率は、近位部から遠位部に向けてステムの弾性率を連続的に減少(傾斜化)させることにより実現できる」というシミュレーション結果を発表している。しかし、これまで世の中に弾性率を傾斜化させたステムが実在しなかったため、彼らの結論が実証されることはなかった。

そこで、今回開発した力学特性傾斜化ステムに応力遮蔽抑制効果があるかどうかをバイオメカニクスに基づいて検証した⁽³⁰⁾。ヤング率を近位ネック部(85 GPa)から遠位先端部(55 GPa)に向けて傾斜化させたTNS合金ステムとその比較材として準備した同一形状でヤング率一定(~110 GPa)のTi-6Al-4Vステムを生体力学試験用人工複合大腿骨(SAWBONE, Pacific Res. Lab., Inc.)にそれぞれ埋植した。SAWBONEは大腿骨に近いヤング率をもつように、皮質骨該当部をグラスファイバーと樹脂で、海綿骨該当部をポリウレタンフォームで合成されている。埋植は整形外科臨床医により通常の人工股関節置換術と同様の手術手技で行った。人工骨表面(正面と側面)の13個所に三軸ひずみゲージロゼットを貼付して専用ジグで固定した後、機械試験機を使って骨頭を介してステムに2100 N負荷し、そのとき発生する表面ひずみを測定した。図17に13測定点のフォン・ミーゼス等価ひずみをまとめて示す。TNS合金ステムを埋植した人工骨の表面ひずみはほぼすべての個所でTi-6Al-4Vステムより大きく、TNS合金ステムには応力遮蔽抑制効果があることが分かる。また、ヤング率が近位部で高いことから、低剛性複合ステムで報告されたような界面での固定性不良は避けられる。さらに、有限要素解析による骨リモデリングシミュレーションを行い、術後10年におけるステム周辺骨の骨密度は、TNS合金ステムの方がTi-6Al-4Vステムより高いことを明らかにした⁽³¹⁾。

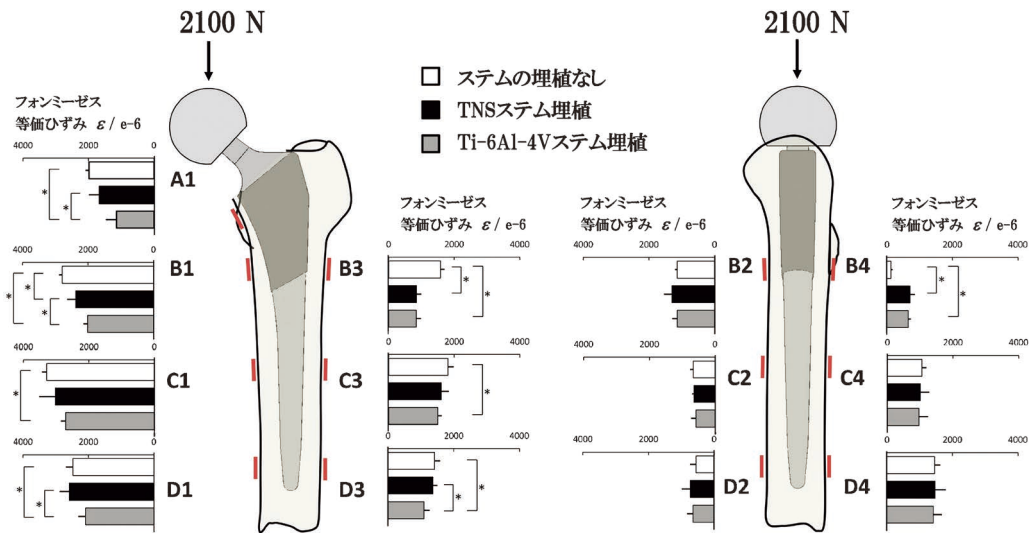


図17 骨頭へ2100 N 負荷したとき人工大腿骨表面に発生するフォン・ミーゼスひずみ($\times 10^{-6}$)⁽³⁰⁾. (オンラインカラー)

7. ま と め

低ヤング率を示す β Ti 合金は生体硬組織代替材料として注目され、合金系・合金組成とヤング率の関係について実に多くの論文が発表されている。しかし、医療機器によっては低ヤング率だけでは製品化に至らないことが多い。本稿では、人工股関節用ステムに焦点を当て、実用化において必須となる低ヤング率と高強度を部位ごとに実現させるステムの研究開発の経緯と特性を紹介している。

まず、生体安全性と塑性加工性に優れる β Ti-Nb-Sn 合金を開発し、 β 相の安定性を制御して低ヤング率組成を確定した後、溝ロールで強圧延して優先方位 $[011]_{\beta} // [010]_{\alpha}$ を丸棒軸方向に尖鋭に集積させ、さらに低ヤング率化する。次に、この丸棒の優先方位を維持したままでステム形状に成形加工して、大腿骨に埋植する遠位部を低ヤング率にする。ここで採用する強圧延には優先方位成長だけでなく、加工硬化と時効硬化促進のメリットがあり、加工後の局所熱処理により骨頭に連結するステム近位部のみを効率的に高強度化できる。局所熱処理中にステムの両部位間に発生する温度勾配により、ヤング率は 45~85 GPa、引張強度は 850~1270 MPa の範囲で連続的に傾斜化される。傾斜機能化ステムでは、遠位部の低ヤング率により応力遮蔽が抑制されること、近位部のヤング率上昇により界面の固定性が向上することをバイオメカニクスに基づいた評価で検証した。

「応力遮蔽・骨吸収による人工股関節ステムの固定性経年劣化と再置換術」は、50年以上前から国内外の学会・業界で懸案となっていた課題である。これを解決する手段として提案した、全く新しいコンセプトの「ステム遠位部の低ヤング率と近位部の高強度を両部位の間で連続的に傾斜化させたステム」が、(独法)医薬品医療機器総合機構(PMDA)から要請された40症例のTHAの治験を経て薬事承認され、製造販売が可能になった。このステムが設計通りの機能を発揮

し、再置換術を必要としないTHAの確立に貢献することを期待したい。

使われてこそ材料一本稿が生体材料研究開発の一助となれば幸いである。

本研究開発は、主に(国研)科学技術振興機構(育成研究およびA-STEP-No. AS2115009F)、(国研)日本医療研究開発機構(医工連携事業化推進事業No. 26-022)およびミズホ(株)の支援を受けて、正橋直哉教授(東北大金研)、井樋栄二教授(東北大医)、山子剛准教授(宮崎大工)、松本洋明教授(香川大工)、T. K. Jung JST 研究員(現 RtoB Corp.)、千星聡准教授(東北大金研)、山田則一医師(仙台赤十字病院)、千葉大介講師(東北大医)を始めとする多くの共同研究者とともに、ミズホ(株)、セイコーインスツル(株)、(株)IJTT、東北大学病院、東北大学病院臨床研究推進センター等の協力を得て実施された。

本稿で引用した著者らの論文⁽¹⁶⁾は、最近、国際的リサーチ会社 Advances in Engineering により材料工学分野で特に重要な論文と選定され、Web サイト(<https://advanceseng.com>)で紹介された。

文 献

- (1) J. Charnley: Lancet, **1**(1961), 1129-1132.
- (2) R. Bombelli and R. Mathys: J. Roy. Soc. Med., **75**(1982), 588-597.
- (3) R. Trebse, I. Milosev, S. Kovac, M. Mikek and V. Pisot: Acta Orthop., **76**(2005), 169-176.
- (4) K. Wang, L. Gustavson and J. Dumbleton: Beta Titanium Alloys in the 1990's, Ed. D. Eylon, R. R. Boyer and D. A. Koss, TMS, (1993), pp. 49-60.
- (5) A. Yamamoto, R. Honma and M. Sumita: J. Biomed. Mater. Res., **39**(1998), 331-340.
- (6) A. Biesiekierski, J. Wang, M. A.-H. Gepreel and C. Wen: Acta Biomater., **8**(2012), 1661-1669.

高压巨大ひずみ加工によるバルク状 Si および Ge 半導体のナノ結晶化と準安定相創成

生駒 嘉史*

1. はじめに

IV 族元素であるシリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) は、室温での禁制帯幅がそれぞれ 1.12 eV および 0.66 eV の間接遷移型半導体である。常温常圧下ではいずれもダイヤモンド構造の Si-I/Ge-I であるが、高圧力を印加すると、図 1 に示すように 10 GPa 付近で β -Sn 構造の Si-II/Ge-II 高压相へ相変態する⁽¹⁾。高压相から大気圧まで減圧すると、Si では菱面体 (r8) の Si-XII を経由して体心立方晶 (bc8) の Si-III が準安定相として得られる⁽²⁾。また Ge の場合、減圧により室温では単純正方晶 (st12) の Ge-III が現れる⁽³⁾、急速減圧もしくは低温では bc8 構造の Ge-IV が現れる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。Si-III、Si-XII および Ge-III は、禁制帯幅がそれぞれ 30 meV⁽⁶⁾、0.24 eV⁽⁷⁾ および 0.59 eV⁽⁸⁾ であること、さらに Ge-IV は半金属であることから⁽⁹⁾、非ダイヤモンド構造の準安定相を利用した Si および Ge の新規特性発現が期待される。

これらの準安定相を得る方法には、ダイヤモンドアンビルセル⁽¹⁰⁾ (図 2(a)) やマルチアンビルセル⁽¹¹⁾ (図 2(b)) などの高压実験装置、試料表面へのインデンテーション⁽¹²⁾ (図 2(c)) が挙げられるが、著者等は高圧力を利用した材料プロセスである巨大ひずみ加工 (Severe Plastic Deformation, SPD) 法⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾ に注目した。特に高圧力 (~GPa) 下でアンビルを回転させる High-Pressure Torsion (HPT)⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ (図 2(d)) は、脆性材料にも適用可能である。HPT 加工において、試料に付与されるせん断ひずみ γ は、試料中心からの距離 r 、試料厚さ t 、アンビル回転数 N をもちいて、

$$\gamma = \frac{2\pi r N}{t} \quad (1)$$

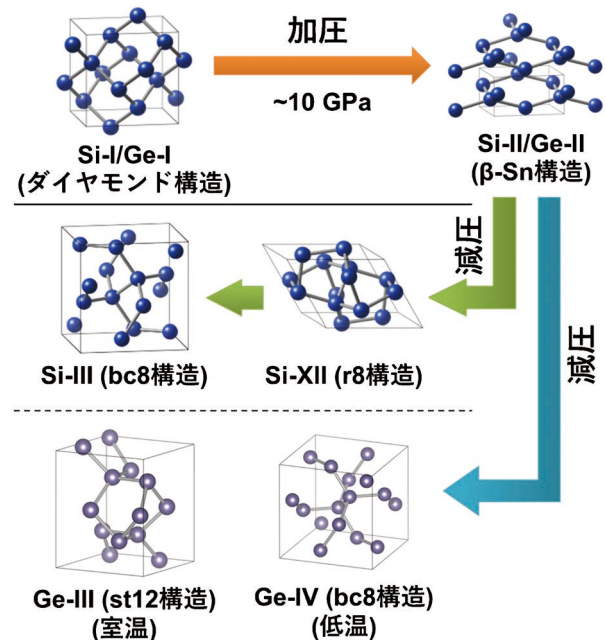


図 1 Si および Ge の高压相変態と準安定相形成。
(オンラインカラー)

と表される⁽¹⁶⁾。したがって、アンビル回転数を増加させることで、大量のせん断ひずみを導入することが可能である。近年では、セラミックスや半導体試料へ HPT 加工を行い、結晶粒微細化や準安定相、格子欠陥導入による光学的特性などの機能向上を図る研究が注目されている⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾⁻⁽²⁰⁾。

著者は最近の研究より、半導体材料の Si⁽²¹⁾⁻⁽²⁵⁾、Ge⁽²⁶⁾⁻⁽²⁸⁾、GaAs⁽²⁹⁾ の HPT 加工による結晶粒微細化や相変態に伴う物性変化を Overview 論文としてまとめた⁽³⁰⁾。本

* 九州大学大学院工学研究院；助教 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

Production of Nanograins and Metastable Phases in Bulk Si and Ge Semiconductors Using Severe Plastic Deformation under High pressure; Yoshifumi Ikoma* (*Department of Materials Science and Engineering, Kyushu University, Fukuoka)

Keywords: phase transformation, metastable phase, severe plastic deformation, high-pressure torsion, photoluminescence, resistivity, silicon, germanium

2021年7月26日受理 [doi:10.2320/materia.60.706]

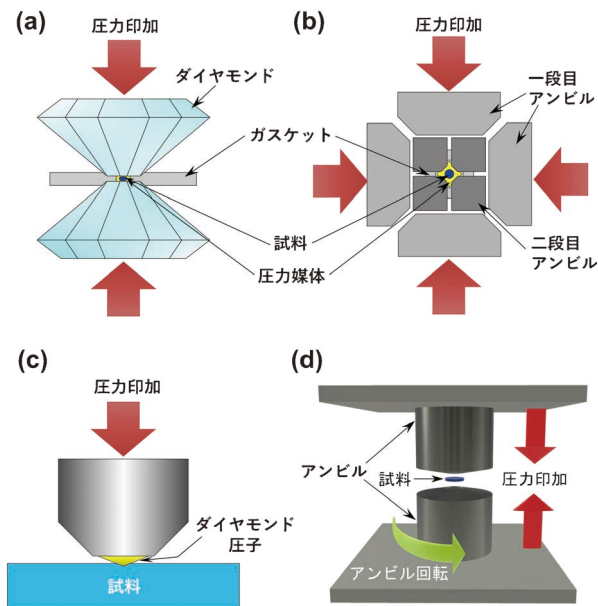


図2 高圧を利用した実験方法：(a)ダイヤモンドアンビルセル⁽¹⁰⁾，(b)マルチアンビルセル⁽¹¹⁾，(c)インデンテーション⁽¹²⁾，(d)High-Pressure Torsion (HPT)⁽¹⁶⁾。(オンラインカラー)

稿では、Si および Ge の HPT 加工に伴う準安定相形成と特性変化について紹介するとともに、シンクロトロン光を用いたアニールに伴う相変態その場観察⁽³¹⁾や、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶を用いた HPT 加工による準安定相探索⁽³²⁾について紹介する。

2. Si および Ge の HPT 加工に伴う準安定相形成と特性変化

Si および Ge を HPT 加工すると、Si-I/Ge-I と準安定相が混在したディスク状の試料が得られる。HPT 加工を施した Si の X 線回折(X-ray diffraction, XRD)プロファイルおよびラマンスペクトルを図 3 に示す。図 3(a)の XRD プロファイルでは、加圧のみ($N=0$)の場合では Si-I の回折ピークが見られるが、10回転($N=10$)後では、 33° 、 52° および 92° 付近に Si-III および Si-XII に対応したピークが現れる。Si-III/XII の回折角は重なっているが、図 3(b)のラマンスペクトルでは、 520 cm^{-1} の Si-I ピークに加えて、 160 、 380 、 415 cm^{-1} および 430 cm^{-1} 付近に Si-III が、 350 cm^{-1} および 396 cm^{-1} 付近に Si-XII に対応するピークが明確に観察できる。また $100\text{--}200\text{ cm}^{-1}$ および 470 cm^{-1} 付近にブロードなピークが現れており、アモルファス相が存在していることもわかる。図 4 にナノメートルサイズに微細化された結晶粒の高分解能電子顕微鏡(High-resolution electron microscopy, HRTEM)写真を示す。高速フーリエ変換(fast Fourier transform, FFT)図形では、多結晶を示すリングパターンとアモルファスによるハローが現れている。また微小領域での FFT 図形は、Si-I および Si-III に対応していることが確認できた。

HPT 加工した Si では、アニールとの組み合わせでフォト

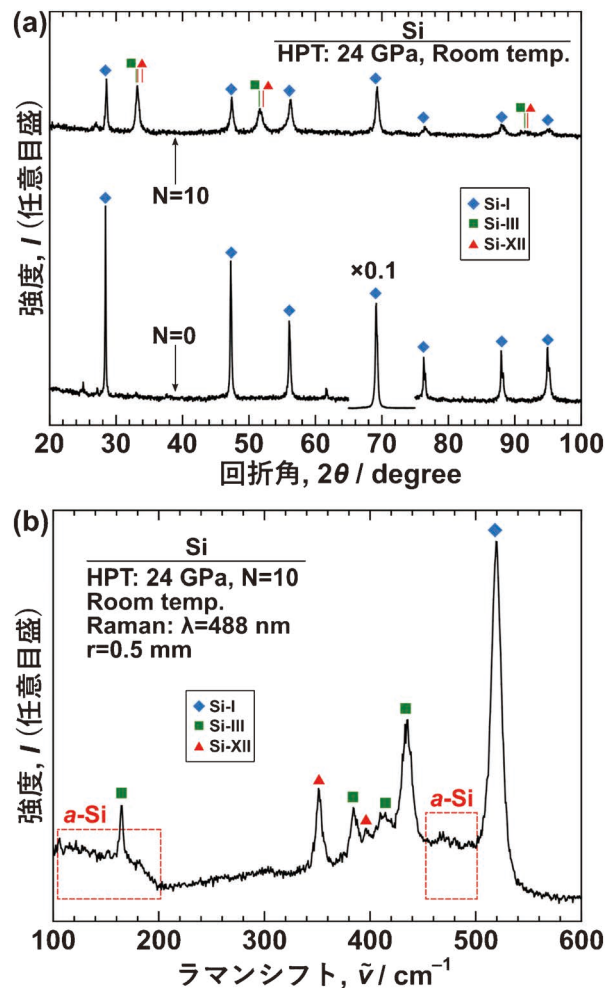


図3 HPT 加工を施した Si の (a) XRD プロファイル ($N=0$, 10) および (b) ラマンスペクトル ($N=10$)⁽³⁰⁾。破線箇所はアモルファス($a\text{-Si}$)を示す。(オンラインカラー)

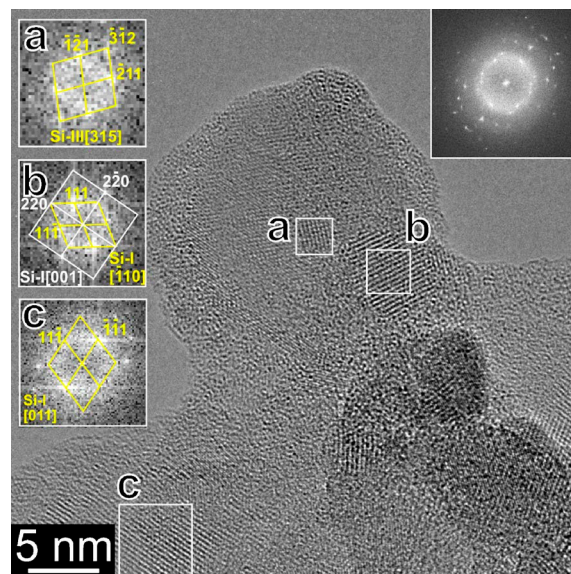


図4 HPT 加工した Si ($N=10$) の HRTEM 像および FFT 図形⁽³⁰⁾。(オンラインカラー)

ルミネッセンス(Photoluminescence, PL)が発現することに加えて, ドーピングを行うことなく比抵抗特性を変化させることが可能である. 図5にHPT加工後およびアニール後の室温におけるPLスペクトルとアニール後のHRTEM観察結果を示す. HPT加工後の試料では, 転位などの格子欠陥の影響でPLは観察されないが, 873 Kでアニールを施した試料では600 nm付近を中心としたブロードなピークが現れる⁽²²⁾. またHRTEM像より得られたFFT図形はSi-Iに対応しており, Si-III/XIIはアニールによりSi-Iへ逆変態することがわかる. さらにFFT図形の{111}スポット対を用いた逆FFT像ではナノ結晶粒が存在しており⁽²³⁾, PLピークはSi-Iナノ結晶による量子閉じ込め効果に起因している. HPT加工およびアニールに伴う比抵抗変化を図6に示す. 不純物ドーパ量の異なる3種類のSiウェハ(n , n^+ , n^{++})のいずれの場合も, 加圧のみ($N=0$)の場合では比抵抗は1-2桁上昇するが, 10回転の加工を施すと, 結晶粒は微細化さ

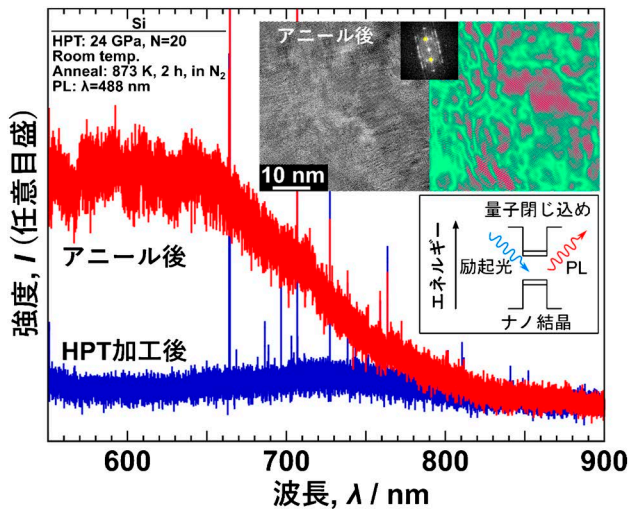


図5 HPT加工後($N=20$)および873 Kにてアニール後のSiのPLスペクトル⁽²²⁾⁽³⁰⁾. 挿入図: アニールした試料のHRTEM像, FFT図形, 逆FFT像⁽²³⁾, および量子閉じ込めによる発光メカニズムの模式図. (オンラインカラー)

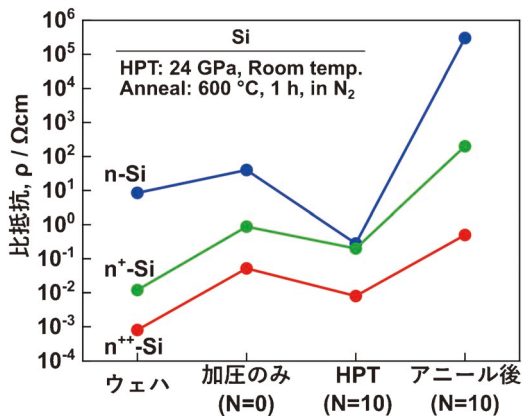


図6 HPT加工およびアニールに伴うSiの比抵抗変化⁽²⁵⁾⁽³⁰⁾. (オンラインカラー)

れる一方で比抵抗は減少する. さらにアニール後では2-6桁上昇する. これはHPT加工による半金属的なSi-IIIの生成と, アニールによるSi-III/XII→Si-Iへの逆変態を反映したものである⁽²⁵⁾.

HPT加工したGeのXRDプロファイルおよびラマンスペクトルを図7に示す. 図7(a)のXRDプロファイルには, Siと同様に加圧のみ($N=0$)ではGe-Iの回折ピークが, 5回転および10回転後の試料ではGe-Iに加えてGe-IIIに対応する回折ピークが現れる. また図7(b)のラマンスペクトルでもGe-IIIに対応する複数のラマンピークが150-280 cm^{-1} に現れる. 図8にHPT加工後および窒素雰囲気中で573 Kにてアニールを施した試料のHRTEM観察結果を示す. 図8(a)のHPT加工後のHRTEM像では, Ge-IおよびGe-IIIナノ結晶がランダムに存在していることがわかる. FFT図形ではアモルファスによるハローも観察された⁽²⁸⁾⁽³⁰⁾. また図8(b)のアニール後のHRTEM像では, Ge-Iナノ結晶が観察され, Ge-IIIからGe-Iへの相変態を確認した⁽²⁸⁾. 図9に示す可視光領域でのブロードなPLピークは, Ge-Iナノ結晶に起因しており, アニール温度の上昇とともに結晶粒粗大化によるPL強度の低下が観察される⁽²⁶⁾. このようにSiおよびGeにHPT加工を施すと, ナノ結晶化による量子力学的効果と禁制帯幅が異なる準安定相が得られるため, ダ

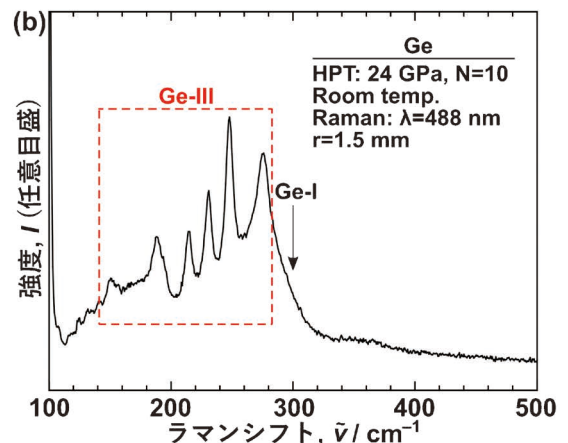
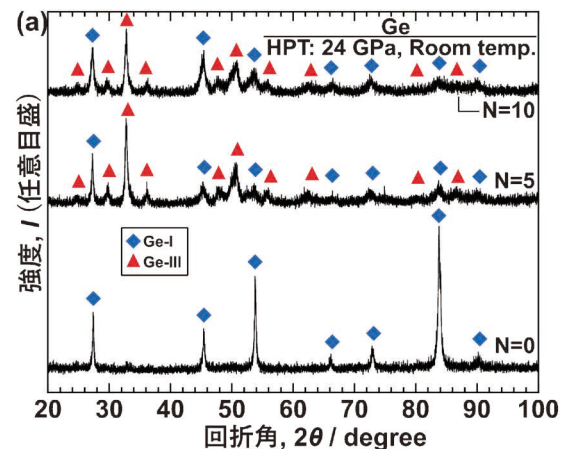


図7 HPT加工したGeの(a)XRDプロファイル⁽²⁷⁾⁽³⁰⁾および(b)ラマンスペクトル($N=10$)⁽³⁰⁾. (オンラインカラー)

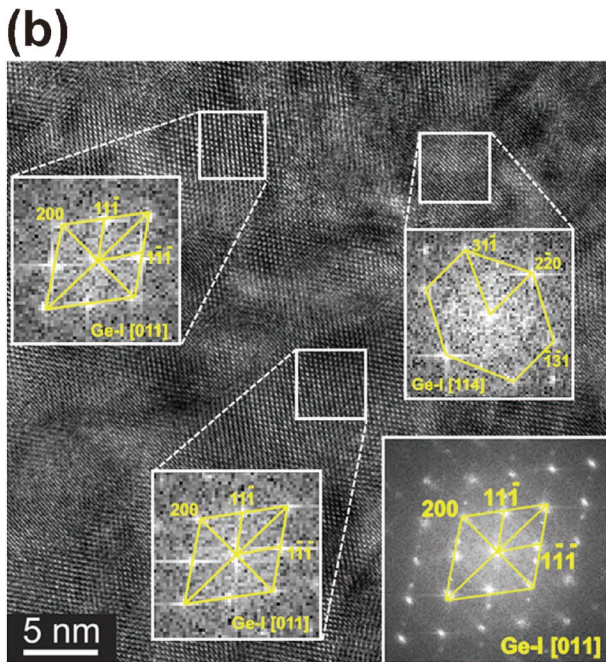
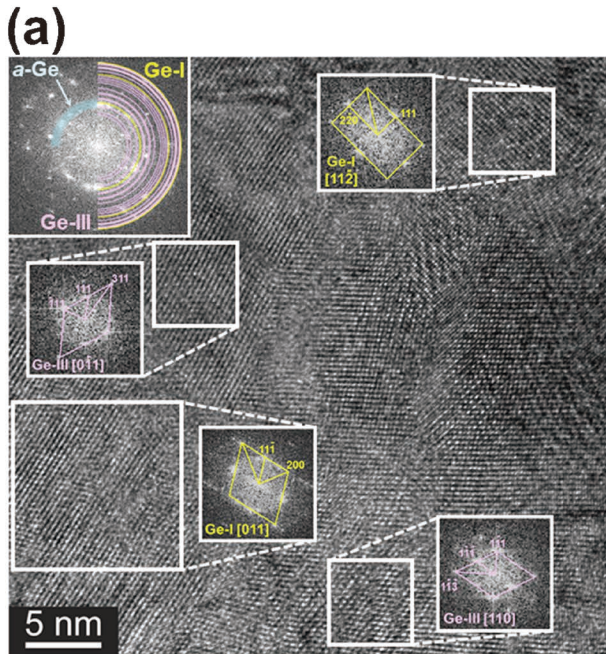


図8 (a) HPT加工後および(b)アニールを施したGeのHRTEM観察結果⁽²⁸⁾⁽³⁰⁾. (オンラインカラー)

ダイヤモンド構造のSi-IやGe-Iとは異なる物性を発現させることが可能になる。

3. シンクロトロン光を用いた準安定相Siのアニールに伴う相変態その場観察

Kasperら⁽³³⁾やBessonら⁽³⁴⁾による高圧実験によれば、準安定状態のSi-IIIは、473 K付近のアニールで六方晶のSi-IVへ相変態する。一方でインデンテーションを施したSiのアニールに伴う相変態では、Si-IVが観察される場合⁽¹²⁾と、観察されない場合⁽³⁵⁾が報告されている。すなわち、Si-

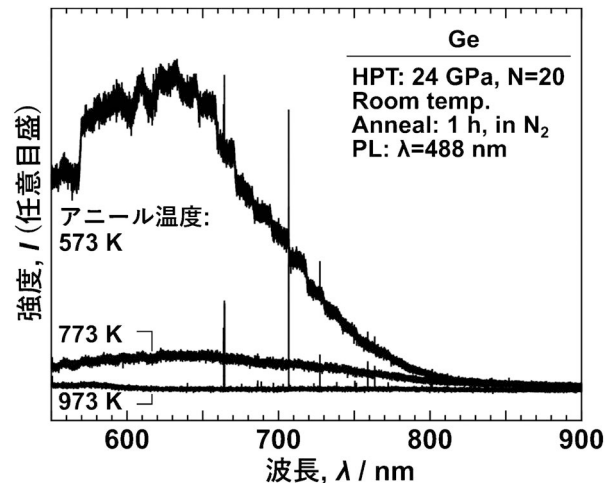


図9 HPT加工およびアニールを施したGeのフォトルミネッセンススペクトル⁽²⁶⁾⁽³⁰⁾.

III→Si-IVの相変態では、付与ひずみや減圧速度などが強く影響する。我々は、HPT加工したSiの光電子分光による価電子帯状態密度観察を行い、473 KまでのアニールによりSi-IおよびSi-IVの存在に起因する価電子帯上端のシフトを見つけることができた⁽²⁴⁾。その詳細な相変態過程は、シンクロトロン光を用いた高輝度XRDにより、アニールに伴うその場観察を行うことで明らかにすることができた⁽³¹⁾。

直径5 mmディスクにカットしたSi(100)基板を用いて、公称圧力24 GPaにて10回転のHPT加工を施した後、試料中心より約1 mmの短冊状に切り出した。XRD測定はSPring-8のBL04B1にて、フォトンエネルギー61.4 keVの単色化した高輝度X線を用いた。またX線の入射方向は、HPT加工面と試料断面に対してそれぞれ平行および45°とした。アニールに用いた加熱ステージは、その場XRD観察用に開発されたHigh-Pressure Sliding装置を利用した⁽³⁶⁾。図10にアニールに伴うその場XRD観察結果を示す。室温から433 Kまでは、Si-IおよびSi-III/XIIに対応する回折ピーク強度は一定である。453 K以上では、 $2\theta = 4.3^\circ$ および 6.6° 付近のSi-III/XIIに対応する回折ピーク強度が減少し、 $2\theta = 4.0^\circ$ 付近に微弱なピークが出現する。また $2\theta = 3.5^\circ$ 付近のピークは、Si-I(111)回折ピークの裾にオーバーラップしている。これらのピークは、それぞれSi-IVの(011)および(010)回折に対応する。HPT加工の場合、Si-XIIの割合は10%以下であることから⁽²⁵⁾、図10におけるプロファイルの変化は、主にSi-IIIからSi-IVへの相変態を示している。また473 Kにてアニールした試料のHRTEM観察より、Si-IおよびSi-IVナノ結晶粒が確認できた⁽³¹⁾。

4. Si_{0.5}Ge_{0.5}結晶を用いたHPT加工による準安定相探索

SiとGeは全率固溶体を形成するため、組成比を変化させることで禁制帯幅などの物性値を変化させることが可能であ

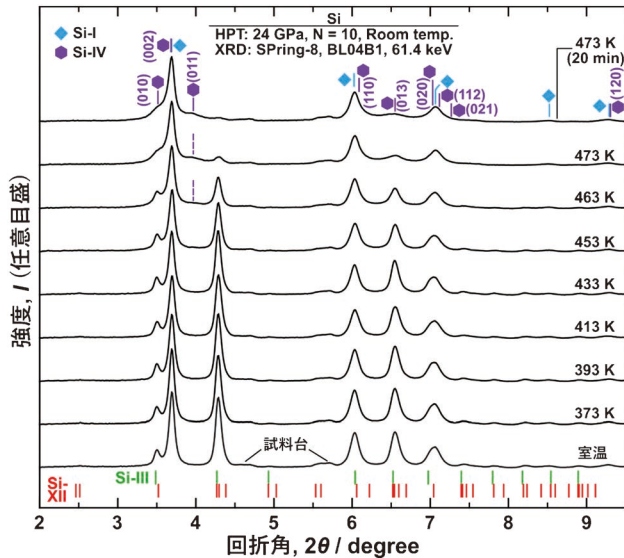


図10 シンクロトロン光によるアニールに伴う XRD プロファイルの変化⁽³¹⁾. $2\theta = 4.6^\circ$ 付近および 5.6° のブロードピークは試料台による。(オンラインカラー)

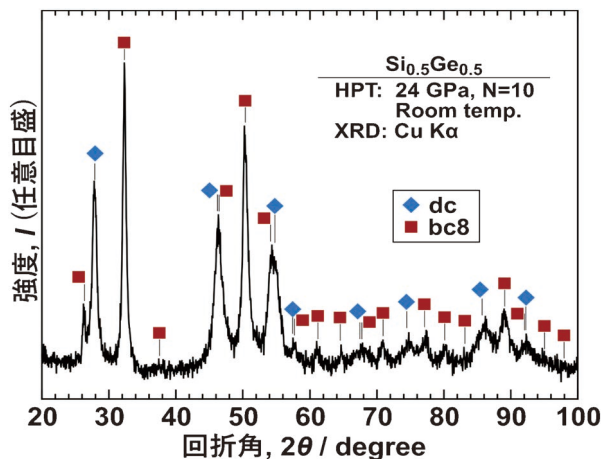


図11 TLZ 法にて作製した組成均一 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶の HPT 加工後の XRD プロファイル⁽³²⁾. (オンラインカラー)

る。さらに準安定相と組み合わせることで、従来のダイヤモンド型 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 混晶と比べて、半金属から半導体までの幅広い禁制帯幅の変化が期待できる。室温での HPT 加工で得られる純 Si および純 Ge の準安定相は、それぞれ bc8 構造 (Si-III) および st12 構造 (Ge-III) と異なる。したがって SiGe 混晶の準安定相は、Si/Ge 組成比に依存することが予想できる。Si と Ge の混合材料を用いた、マルチアンビルによる高温高圧実験では、Ge 濃度が 77 at% までは bc8 型、それ以上の Ge 濃度では st12 型となることが報告されている⁽³⁷⁾。しかしながら、混晶結晶を用いた準安定相形成は不明である。そこで本研究では、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶に HPT 加工を施した際の準安定相の形成について調査した⁽³²⁾。

試料には、木下・荒井らの Traveling Liquidus-Zone (TLZ) 法⁽³⁸⁾により得られた、組成均一 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶を用いた。インゴットより直径 5 mm のディスクに切り出し、公称

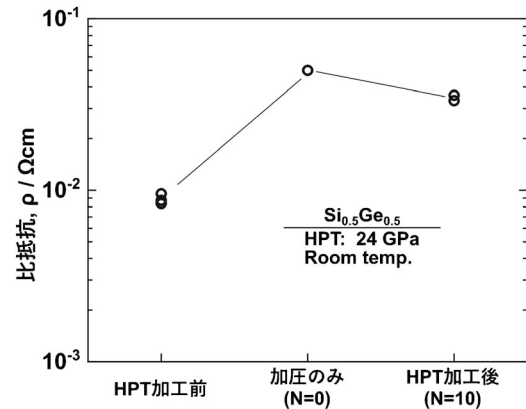


図12 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶の HPT 加工に伴う比抵抗変化⁽³²⁾.

圧力 24 GPa、室温にて 10 回転の HPT 加工を施した。図 11 に HPT 加工後の試料の XRD プロファイルを示す。HPT 加工後では、dc- $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ に加えて bc8- $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ の回折ピークが観察される。この結果は、Serghiou らによる高圧合成実験結果⁽³⁷⁾と一致している。図 12 に四探針法による比抵抗測定の結果を示す。N=0 の場合、加工前 ($\sim 9 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$) と比べて $5 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ に上昇するが、結晶粒が微細化された N=10 での比抵抗は $3 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ とわずかに減少している。この結果は、Cu の HPT 加工に伴う比抵抗増加⁽³⁹⁾とは逆で、図 6 に示した半金属的な Si-III が生成する Si の場合と同様である⁽²⁵⁾。すなわち、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ での HPT 加工により得られる準安定相は bc8 構造であり、半金属的性質を示すことがわかった。したがって組成は両元素原子比で等量ではあるが、変態特性は Si に引きずられた状態となっている。

5. ま と め

本稿では、HPT 加工による Si および Ge のナノ結晶化と準安定相形成による特性変化、シンクロトロン光高輝度 XRD その場観察による Si-III から Si-IV への相変態過程、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 結晶の HPT 加工による bc8 準安定相形成と電気的特性変化について紹介した。本稿では触れなかったが、HPT 加工を施した Si は、結晶粒微細化と準安定相により低熱伝導特性を示すことを報告している⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾。このような Si や Ge、SiGe 混晶の準安定相を活かした、新規デバイス開発が期待される。

本研究の遂行には、アリゾナ州立大学 John M. Cowley Center for High Resolution Electron Microscopy, SPring-8 [2017A1851, 2017A1864, 2017A1972, 2017B1487, 2018A1451, 2018B1494, 2018B1697] および九州大学巨大ひずみ材料国際研究センターの装置を利用した。本研究の一部は、JSPS 科研費 (JP26220909, JP19H00830, JP18H01384) により行われた。ここに記して謝意を表す。

文献

- (1) A. Mujica, A. Rubio, A. Muñoz and R. J. Needs: Rev. Mod. Phys., **75**(2003), 863–912.
- (2) J. Crain, G. J. Ackland, J. R. Maclean, R. O. Piltz, P. D. Hatton and G. S. Pawley: Phys. Rev. B, **50**(1994), 13043–13046.
- (3) F. P. Bundy and J. S. Kasper: Science, **139**(1963), 340–341.
- (4) R. J. Nelmes, M. I. McMahon, N. G. Wright, D. R. Allan and J. S. Loveday: Phys. Rev. B, **48**(1993), 9883–9886.
- (5) V. V. Brazhkin, A. G. Lyapin, S. V. Popova and R. N. Voloshin: Phys. Rev. B, **51**(1995), 7549–7554.
- (6) H. Zhang, H. Liu, K. Wei, O. O. Kurakevych, Y. L. Godec, Z. Liu, J. Martin, M. Guerrette, G. S. Nolas and T. A. Strobel: Phys. Rev. Lett., **118**(2017), 146601.
- (7) B. D. Malone, J. D. Sau and M. L. Cohen: Phys. Rev. B, **78**(2008), 035210.
- (8) Z. Zhao, H. Zhang, D. Y. Kim, W. Hu, E. S. Bullock and T. A. Strobel: Nat. Commun., **8**(2017), 13909.
- (9) B. D. Malone and M. L. Cohen: Phys. Rev. B, **86**(2012), 054101.
- (10) A. Jayaraman: Rev. Mod. Phys., **55**(1983), 65–108.
- (11) N. Kawai and S. Endo: Rev. Sci. Instrum., **41**(1970), 1178–1181.
- (12) A. Kailer, Y. G. Gogotsi and K. G. Nickel: J. Appl. Phys., **81**(1997), 3057–3063.
- (13) R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev and I. V. Alexandrov: Prog. Mater. Sci., **45**(2000), 103–189.
- (14) R. Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T. G. Langdon, M. J. Zehetbauer and Y. T. Zhu: JOM, **58**(2006), 33–39.
- (15) R. Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T. G. Langdon, M. J. Zehetbauer and Y. T. Zhu: JOM, **68**(2016), 1216–1226.
- (16) A. P. Zhilyaev and T. G. Langdon: Prog. Mater. Sci., **53**(2008), 893–979.
- (17) K. Edalati and Z. Horita: Mater. Sci. Eng. A, **652**(2016), 325–352.
- (18) H. Razavi-Khosroshahi, K. Edalati, J. Wu, Y. Nakashima, M. Arita, Y. Ikoma, M. Sadakiyo, Y. Inagaki, A. Staykov, M. Yamauchi, Z. Horita and M. Fuji: J. Mater. Chem. A, **5**(2017), 20298–20303.
- (19) J. Hidalgo-Jimenez, Q. Wang, K. Edalati, J. Cubero-Sesin, H. Razavi-Khosroshahi, Y. Ikoma, D. Gutiérrez-Fallas, F. A. Dittel-Meza, J. C. Rodriguez-Rufino, M. Fuji and Z. Horita: Int. J. Plast., **124**(2020), 170–185.
- (20) H. Razavi-Khosroshahi and M. Fuji: Mater. Trans., **60**(2019), 1203–1208.
- (21) Y. Ikoma, K. Hayano, K. Edalati, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita: Appl. Phys. Lett., **101**(2012), 121908.
- (22) Y. Ikoma, K. Hayano, K. Edalati, K. Saito, Q. Guo, Z. Horita, T. Aoki and D. J. Smith: J. Mater. Sci., **49**(2014), 6565–6569.
- (23) Y. Fukushima, Y. Ikoma, K. Edalati, B. Chon, D. J. Smith and Z. Horita: Mater. Character., **129**(2017), 163–168.
- (24) Y. Ikoma, B. Chon, T. Yamasaki, K. Takahashi, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita: Appl. Phys. Lett., **113**(2018), 101904.
- (25) B. Chon, Y. Ikoma, M. Kohno, J. Shiomi, M. R. McCartney, D. J. Smith and Z. Horita: Scr. Mater., **157**(2018), 120–123.
- (26) Y. Ikoma, T. Toyota, Y. Ejiri, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita: J. Mater. Sci., **51**(2016), 138–143.
- (27) Y. Ikoma, K. Kumano, K. Edalati, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita: Philos. Mag. Lett., **97**(2017), 27–34.
- (28) Y. Ikoma, K. Kumano, K. Edalati, M. R. McCartney, D. J. Smith and Z. Horita: Mater. Character., **132**(2017), 132–138.
- (29) Y. Ikoma, Y. Ejiri, K. Hayano, K. Saito, Q. Guo and Z. Horita: Philos. Mag. Lett., **94**(2014), 1–8.
- (30) Y. Ikoma: Mater. Trans., **60**(2019), 1168–1176.
- (31) Y. Ikoma, T. Yamasaki, T. Masuda, Y. Tange, Y. Higo, Y. Ohishi, M. R. McCartney, D. J. Smith and Z. Horita: Philos. Mag. Lett., **101**(2021), 223–231.
- (32) Y. Ikoma, T. Yamasaki, T. Shimizu, M. Takaira, M. Kohno, Q. Guo, M. R. McCartney, D. J. Smith, Y. Arai and Z. Horita: Mater. Character., **169**(2020), 110590.
- (33) J. S. Kasper and R. H. Wentorf, Jr.: Science, **197**(1977), 599.
- (34) J. M. Besson, E. H. Mokhtari, J. Gonzalez and G. Weill: Phys. Rev. Lett., **59**(1987), 473–476.
- (35) S. Ruffell, J. E. Bradby and J. S. Williams: Appl. Phys. Lett., **90**(2007), 131901.
- (36) Z. Horita, D. Maruno, Y. Ikeda, T. Masuda, Y. Tang, M. Arita, Y. Higo, Y. Tange and Y. Ohishi: Mater. Trans., **62**(2021), 167–176.
- (37) G. Serghiou, G. Ji, M. Koch-Müller, N. Odling, H. J. Reichmann, J. P. Wright and P. Johnson: Inorg. Chem., **53**(2014), 5656–5662.
- (38) K. Kinoshita, Y. Arai, T. Maeda and O. Nakatsuka: Mater. Sci. Semicond. Process., **70**(2017), 12–16.
- (39) K. Edalati, K. Imamura, T. Kiss and Z. Horita: Mater. Trans., **53**(2012), 123–127.
- (40) S. Harish, M. Tabara, Y. Ikoma, Z. Horita, Y. Takata, D. G. Cahill and M. Kohno: Nanoscale Res. Lett., **9**(2014), 326.
- (41) C. Shao, K. Matsuda, S. Ju, Y. Ikoma, M. Kohno and J. Shiomi: J. Appl. Phys., **129**(2021), 085101.



生駒 嘉史

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1999年 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了
同年 九州大学大学院工学研究科 助手
2000年 九州大学大学院工学研究科 助手
2007年 九州大学大学院工学研究科 助教
専門分野：半導体材料工学
◎化学気相成長によるSi系半導体薄膜のエピタキシャル成長や巨大ひずみ加工を利用したバルクナノ結晶粒半導体材料に関する研究に従事。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

結晶学・運動学に基づいた レンズマルテンサイトの組織解析

篠原 百合*

1. はじめに

この度はこのような寄稿の機会をいただき、大変光栄です。私は相変態と変形の幾何学を軸に、合金設計、組織解析に関する研究を行っております。今回ご紹介いたします、鉄鋼材料のマルテンサイト組織についての研究成果により、第30回金属学会奨励賞を受賞いたしました。研究を支えてくださった関係者の皆様にこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

鉄鋼材料におけるマルテンサイト組織は、材料の強度を担う重要な要素であります。これまでもTEM (Transmission electron microscope, 透過型電子顕微鏡) 観察やEBSD (Electron backscatter diffraction, 電子線後方散乱回折) 法による実験的組織解析とPTMC (Phenomenological theory of martensite crystallography, マルテンサイト変態の現象論) に基づいた理論解析の両側面から膨大な知見が得られております。本稿では、それに加えて運動学に基づいた物体の変形の連続性に関する条件(rank-1接続, kinematic compatibility 条件)を使用した組織解析について紹介します。

2. 鉄鋼材料のマルテンサイト組織

本稿では以下のルールに従ってマルテンサイトの結晶学を表記する。(1)森戸らが提案したK-Sバリエント表記⁽¹⁾を使用する、(2)特に添え字の無い場合は γ 相の座標系、添え字Mがある場合はマルテンサイト相の座標系を示す。

鉄鋼材料において、高温相である γ 相から冷却に伴い α' マルテンサイト相が形成する際には、24種の結晶学的に等

価なバリエントが形成する。しかし実際の組織では、24種のバリエントが特定の組み合わせで結合して発生すること、その傾向はマルテンサイトの4形態(薄板状, レンズ, バタフライ, ラス)によって異なることが報告されている。バリエントの組み合わせをペアとみなすと、高頻度で観察されるバリエントペアは、ラスではV1/V2, V1/V4, バタフライ・レンズ・薄板状ではV1/V16と等価なものである⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。

以降では薄板状・レンズマルテンサイトに限定して話を進める。形状記憶効果が発現する薄板状マルテンサイトの結晶学は、多くの形状記憶合金と同じく、PTMCに基づいた晶癖面における不変面条件に従う⁽⁴⁾⁽⁵⁾。加えてバリエントの結合傾向は、自己緩和(自己調整)の観点から説明されてきた⁽⁴⁾。これは、マルテンサイト変態で生じるバリエントの組み合わせは変態で生じる歪みの緩和に有利であるものが優先される、という考え方である。すなわち、マルテンサイト変態で生じるバリエントの全形状変化(変形勾配)を \mathbf{P} としたとき、その相加平均が単位行列 \mathbf{I} に近い組み合わせが優先されると言い換えることができる。レンズマルテンサイトでも変態初期に薄板状マルテンサイトがミドリブとして形成するため⁽⁶⁾、同様のコンセプトで結合傾向が説明されている。

しかし、自己緩和の観点からは実際のマルテンサイト組織を完全に説明できないのが実情である。24種のバリエントは $\{110\}$ 近傍に晶癖面を有し、近い晶癖面を持つバリエントごとに6個のグループに分けられる(晶癖面グループ)。例えば、V1/V6/V16/V17の4種のバリエントは(011)の近傍の晶癖面を持つ同一グループに属する(図1)。これら4種のバリエントにおける \mathbf{P} の相加平均は、 \mathbf{I} に非常に近いことが知られており、巨視的には確かにこれらのプレートが群発生する様子が見られる⁽⁷⁾。しかし微視的には、4種類のバリア

* 東京工業大学科学技術創成研究院；助教(〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-J3-22)
Microstructure Analysis in a Fe-Ni-C Alloy with Lenticular Martensite Based on Kinematics and Crystallography; Yuri Shinohara (Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology, Yokohama)
Keywords: crystallography, microstructure, martensite, steel, rank-1 connection, kinematic compatibility condition
2021年7月27日受理[doi:10.2320/materia.60.712]

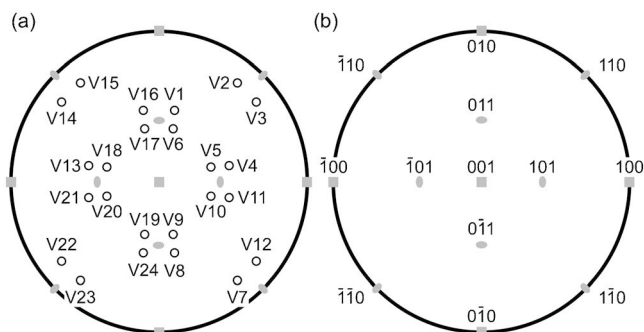


図1 (a) 24個のバリエントの晶癖面 (γ 座標系). (b) γ 相の 001極, 110極⁽²¹⁾.

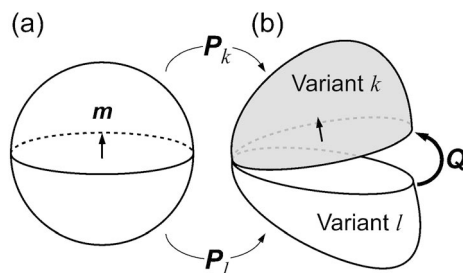


図2 結合面における rank-1 接続の概念. (a) マルテンサイト変態前. (b) バリエント k, l が晶癖面の不変面条件を満足した状態で, 結合面において変形の連続性を保つためにバリエント l に要請される剛体回転 (Q).

ントが互いに結合した状態で観察されるのはまれである⁽⁴⁾.

このような理論と実験結果の乖離をもたらす原因の一つは, 自己緩和の観点からはバリエントの空間分布についての情報が与えられないことにある. 例えば, V1 に対してどのバリエントが近傍に存在することが有利かは議論できるが, どのバリエントの結合が有利かというような情報は与えられない.

以上の背景から, 筆者はマルテンサイト組織をより深く理解するためにバリエント/バリエント結合面(以下, 結合面)に着目した. 近年, 運動学に基づいた物体の連続性に関する条件を解析に用いることによって, マルテンサイト組織における結合面の結晶学・幾何的特徴の評価が進んでいる⁽⁸⁾⁻⁽¹⁵⁾.

物体に均一な変形勾配 F, G を施したとき, 界面 n において変形の連続性を保つための条件(rank-1 接続, kinematic compatibility 条件)は以下で表される⁽¹⁶⁾.

$$F - G = \alpha \otimes n \quad (1)$$

α は変形勾配の不連続性を表すベクトルである.

式(1)を全形状変化 P_k, P_l を有するバリエント k, l が結合するとき, バリエントペアが結合面 m において変形の連続性を保つための条件とした場合, 以下のように表される⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾.

$$QP_l - P_k = b \otimes m \quad (2)$$

式(2)はバリエント l に剛体回転 Q を与えることにより, 結合面における変形の連続性が保たれることを意味する(図2). b はバリエント k, l における変形勾配の不連続性を表すベクトルである. $Q=I$ のときは, 晶癖面における不変面条件と結合面における変形の連続性が両立するが, 一般的な合金では $Q \neq I$ である. 従って剛体回転 Q の大きさ θ が大きな程, 結合面における rank-1 接続もしくは晶癖面における不変面条件からの偏差が生じることになり, そのようなバリエントペアの形成は抑制されると考えられる⁽⁸⁾.

これまでにも θ を結合面における不適合を表す指標(不適合度)として用いることで, 形状記憶合金のバリエントペアやペアが複数組み合わせさせたクラスタの優先形態が議論されている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾. また, 鉄鋼材料のレンズ・バタフライマルテンサイトにおいても高頻度で形成されるバリエントペアの θ が小さなことが報告されている⁽³⁾⁽¹⁹⁾.

最近筆者らは, 薄板状・レンズマルテンサイトのバリエント結合傾向を rank-1 接続に基づいた理論と実験の両側面から明らかにしつつある⁽²⁰⁾⁽²¹⁾. 本稿ではレンズマルテンサイトを有する組織に対して解析を行った結果を紹介する. 更に, 得られた晶癖面と結合面の情報から, 従来議論が困難であったバリエントペアやクラスタの 3D 形態を幾何的に考察した.

3. レンズマルテンサイト組織のバリエント結合則

(1) レンズマルテンサイトのバリエント結合面における rank-1 接続の評価

レンズマルテンサイトが形成する Fe-30Ni-0.3C(mass%) 合金を使用した. γ 相・マルテンサイト相の格子定数と, 晶癖面の不変面条件より, 24種類のバリエントについて全形状変化 $P_k (k=V1 \sim V24)$, $P_l (l=V1 \sim V24)$ を算出した. レンズマルテンサイトの形成初期に薄板状マルテンサイトがミドリブとして形成されることから⁽⁶⁾, 格子不変変形は薄板状マルテンサイトと同じく $\{112\}_M$ 双晶とした.

表1 V1 に対して rank-1 接続の解を有するバリエントとその結合種.

	V2	V4	V6	V7	V9·19	V11·13	V15·23	V16	V17	V21	V24
結合種	V	VI	II	IX	XI	VIII	VII	III	I	IV	X

表2 結合種 I~III の不適合度 θ と結合面 m . rank-1 接続の解として与えられる二つの θ のうち小さな方を θ^S , 大きな方 θ^L とする. m^S, m^L はそれぞれ $\theta = \theta^S, \theta = \theta^L$ のときの m .

結合種	θ^S θ^L	m^S m^L
V1/V17	I 0.01° 25.2°	(0, 0.707, 0.707) (0.155, 0.699, 0.699)
V1/V6	II 0.55° 25.3°	(0.155, 0.699, 0.699) (0, 0.707, 0.707)
V1/V16	III 4.51° 4.95°	(00 $\bar{1}$) (100)

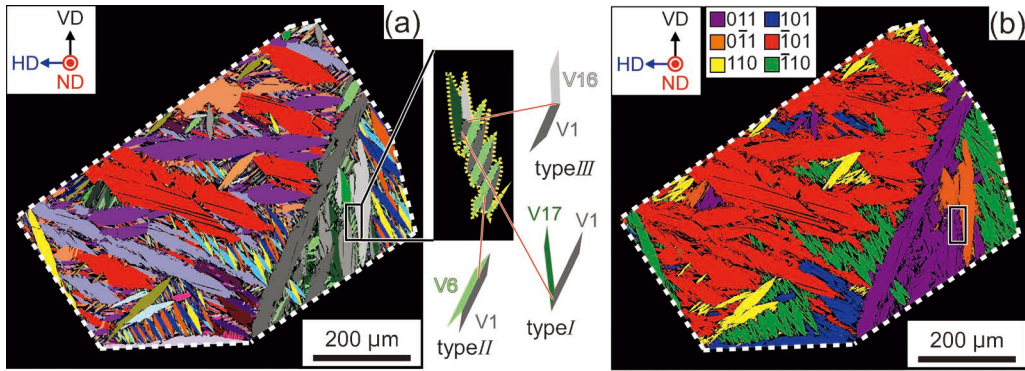


図3 Fe-30Ni-0.3C合金のマルテンサイト組織. (a) バリエントマップ, (b) 晶癖面グループマップ. 材料座標系をND(Normal direction)-VD(Vertical direction)-HD(Horizontal direction)で示す⁽²¹⁾.

得られた P_k , P_l と式(2)を用いて, 24種のK-Sバリエントがペアを成す全ての場合 ($24 \times 23 = 552$ 通り)について結合面におけるrank-1接続を評価した. V1に対して残りの23種のバリエントが結合する場合, 14種類のバリエントがrank-1接続の解を有することが判明した(表1). rank-1接続の解として, バリエントペアごとに θ と m の組み合わせが二組得られる. この二組を1種類の結合種と定義すると, 解は11種類の結合種に分類される. 結合種の命名規則は以下のようにした. rank-1接続の観点からは θ の小さなバリエントペアが優先的に形成されると考えられる. よって二つの θ のうち小さな方を θ^S , 大きな方を θ^L として, θ^S が小さな順に結合種を I から XI とした.

θ^S が小さなバリエントペア上位三種について ($I \sim III$ 型結合), 一例として V1/V17, V1/V6, V1/V16 の不適合度 θ , 結合面指数 m を表2に示す. これらと等価なバリエントペアが実際の組織でも高頻度に形成されることが予測される. V6, V17, V16 はいずれも V1 と同じ晶癖面グループに属するバリエントである. また, I 型・ II 型は自己緩和の観点からも有利なペアであることが報告されている⁽⁴⁾.

(2) 実際の組織との比較

図3は77 Kで処理したサブゼロ処理材におけるマルテンサイト組織である(ND//[001]). 24種のバリエントごとに色分けしたマップを図3(a)に示す. 枠線で囲って拡大した領域のように特定のバリエント同士が結合している様子が観察された. 更に, 従来の報告通り同一晶癖面グループに属するバリエントごとに群発生している様子が観察されたが, 観察頻度は晶癖面グループごとに偏りがあった(図3(b)).

図4(a)は図3(a)のバリエントペアに対して形成頻度をカウントした結果である. 24種のバリエントがランダムに形成・結合したと仮定した場合の比率を図4(b)に併せて示した. 両者を比較すると, $I \sim III$ 型の実際の形成頻度はランダム形成を仮定した場合の値(4%)を大幅に上回り, その合計は70%を超えることが判明した. 以上より, θ の小さなバリエントペアが実際に高頻度で観察されることが明らかになった. この結果は, これまでに報告されているレンズマルテン

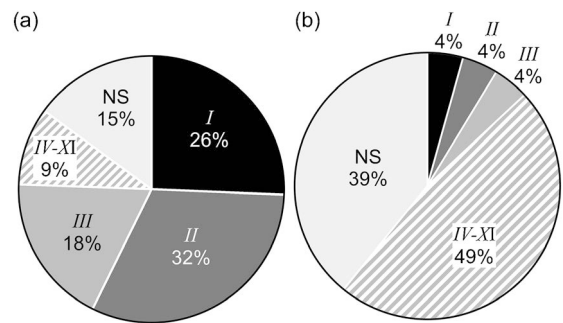


図4 バリエントペアの観察頻度. (a) 77 Kサブゼロ処理材, (b) 全てのバリエントが均等に形成・結合した場合の頻度⁽²¹⁾. NSはrank-1接続の解を持たないバリエントペアを示す.

サイトのバリエント結合傾向と一致する⁽¹⁹⁾.

4. マルテンサイト組織の3D形態に関する考察

前章で晶癖面・結合面指数が得られたことにより, バリエントペアやクラスタの3D形態を幾何的に考察することが可能になる. 以下では, 高頻度に観察された $I \sim III$ 型のバリエントペアについて, 幾何的に可能な形態を議論したのち, ペアが組み合わさって構成されるクラスタの3D形態について考察する. 簡単のため1個のバリエントを, 晶癖面と結合面, およびそれぞれに平行な計4面+任意の2面から構成される平行六面体のプレートとみなす.

(1) バリエントペアの3D形態

前述の通り1種類の結合種につき, rank-1接続の解として二組の m と θ (m^S と θ^S , m^L と θ^L) が存在するが, 表2に示すように $I \cdot II$ 型結合の θ は θ^S と比較して極端に大きい. 本稿では議論しない. バリエントペアの3D形態は, 晶癖面と結合面から一意に決定される場合と, 二つのバリエントの晶癖面交線方向から見た時の形態が鋭角か鈍角かで二通り考えられる場合がある. 図5(a), (b)は $\theta = \theta^S$ を有する I 型ペアにおいて考えられる二つの3D形態である. 二つ

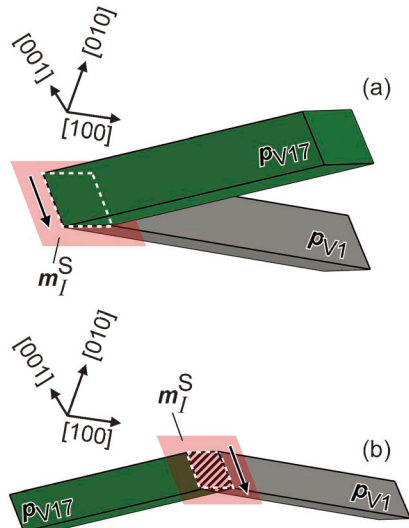


図5 I型ペアの形態。 $\theta = \theta^S$ の場合の (a) 鋭角結合, (b) 鈍角結合。p は晶癖面 (添字は K-S バリエント番号), m は結合面 (添字は結合種と θ の大小関係), 矢印は二つの晶癖面の交線方向を示す⁽²¹⁾。

のペアの θ は同じであるため不適合度の点では差がないが、鈍角結合の場合、結合面において二つのバリエントプレートが斜線部で干渉するため形成に不利であると考えられる。よって幾何的に可能なペアの形態は I と II 型 ($\theta = \theta^S$) では鋭角形態である。III 型の場合 $\theta = \theta^S$ (鋭角鈍角の区別なし) と、 $\theta = \theta^L$ の鈍角形態が幾何的に可能である⁽²¹⁾。III 型の θ^S と θ^L の差は 0.44° と僅かなため、 θ^L を有するペアの形成は抑制されないと判断した。

本研究の組織解析は EBSD や TEM を用いた 2D の情報に基づいているため、バリエントペアの実際の形成頻度と 2D 観察頻度にどのような乖離があるのかも考慮する必要がある。3.(2)で述べたように観察されたバリエントごとに観察比率に大きな差があることも、2D 解析に起因する情報の欠落を示唆している。

実際の形成頻度と 2D 解析による観察頻度のずれを生む因子として、例えば結合面の面積が考えられる。2D 観察面上にバリエントが「ペア」として現れるためには、二つのバリエントの境界が観察面上に存在する必要がある。すなわち観察面が結合面と交差していなければならず、結合面の面積が大きくなると 2D における観察頻度が高くなると考えられる。バリエントペアの晶癖面交線と結合面の方位関係は結合面の面積に影響を与える。レンズマルテンサイトの成長速度⁽²²⁾やアスペクト比に関する報告⁽²³⁾より、晶癖面は、他の面と比較して十分大きいと考えられる。よって、図 5(a), (b) のように二つのバリエントプレートの晶癖面交線方向が結合面上にあるペアの場合は、結合面面積が大きくなる傾向があり、2D 観察においても高頻度で観察されると考えられる。反対に、二つのバリエントプレートの晶癖面交線方向が結合面と垂直に近いペアほど、結合面面積が小さくなる傾向があり、実際には形成されていても 2D 解析では観察頻度が低くなる可能性がある。前述した幾何的に可能な形態のペアのうち、

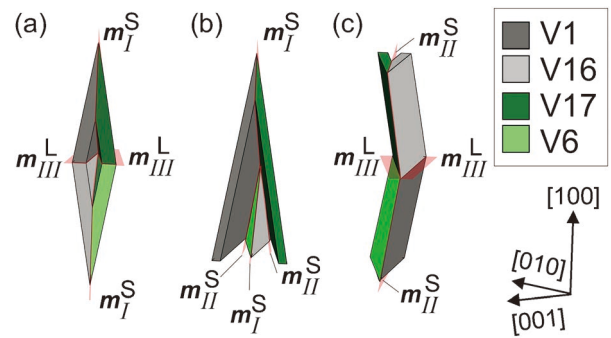


図6 (011)晶癖面グループに属する4種のバリエントで形成されるクラスター。(a) Diamond型, (b) CS型, (c) CK型。m は結合面 (添字は結合種と θ の大小関係)⁽²¹⁾。

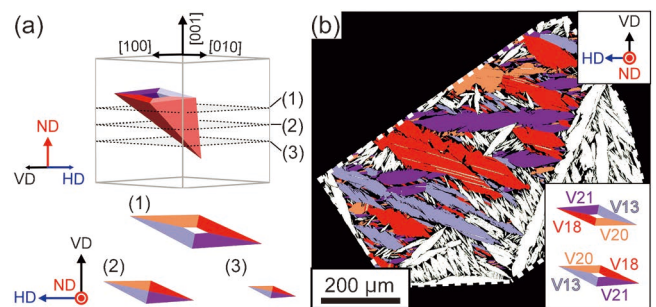


図7 (a) (1)-(3) ($\bar{1}01$)晶癖面グループに属するバリエントが Diamond クラスターを形成した場合に、図3と同様の γ 相方位から観察が予想される 2D 断面形態。(b) 図3(a)において ($\bar{1}01$)晶癖面グループに属するバリエント⁽²¹⁾。

III 型 ($\theta = \theta^S$) 以外はバリエントプレートの晶癖面交線方向が結合面上にあり、観察頻度が高くなる条件を満たす。高頻度で観察される条件を満たすバリエントペアは IV 型など他にも存在する⁽²¹⁾。それに関わらず、観察されたペアの大部分が I~III 型であったことから、I~III 型が高頻度で形成されていることは確かである。しかし、2D 解析ではバリエントペアの形成頻度を定量的に評価するのは困難である。

(2) バリエントクラスターの 3D 形態

次に、バリエントが二つ以上組み合わせることでクラスターを形成する場合の 3D 形態と形成・観察頻度を考察する。バリエントの組み合わせには膨大な候補が存在するが、同一晶癖面グループに属する 4 種のバリエントが構成するクラスターに候補を絞り込んで解析を行った。その根拠として、(1)同一晶癖面グループに属する 4 種のバリエントが実際の組織で群発生すること、(2)これら 4 種のバリエントがペアをなすとき I~III 型結合を形成すること、かつ自己緩和にも有利であること、が挙げられる。条件を満たす Diamond クラスター、Composite Spear (CS) クラスター、Composite Kink (CK) クラスターの形態を図 6 に示す。

本稿では Diamond クラスターの解析結果を述べる。他の二種の詳細な解析結果については原著論文を参照いただきたい⁽²¹⁾。Diamond クラスターは、実際に高頻度で観察された I

ブロッホの定理と格子周期関数

香山正憲*

1. はじめに

ブロッホの定理は、結晶など同じ単位構造が繰り返す系において、波動方程式の解としての電子や格子振動(フォノン)の固有状態が満たすべき条件を与える。本稿では電子の波動方程式(シュレディンガー方程式)について解説する。ブロッホの定理は、固体物理の教科書の初めの方に載っているが、すんなりと腑に落ちるものではない。厳密には群論⁽¹⁾⁽²⁾に基づく議論が必要だが、簡単のためそれを避けた説明が多いためである。その辺りを含めて説明する。関連して頻出する格子周期関数の取り扱い方についても説明する。

2. 結晶の並進対称性

結晶では同じ単位構造が格子の周期で繰り返す。結晶の格子ベクトル \vec{R} は基本並進ベクトルを $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ として、 $\vec{R} = n_1\vec{a}_1 + n_2\vec{a}_2 + n_3\vec{a}_3$ (n_1, n_2, n_3 は任意の整数) で表される。単位胞(格子点当たりの空間)として、 $\Omega = |\vec{a}_1 \cdot \vec{a}_2 \times \vec{a}_3|$ の体積を持つ平行六面体を取ることができる(図1)。単位胞は原子1個や数個の場合、あるいは多数原子を含むスーパーセルの場合がある。格子点は単位胞の位置を示し、原子の位置は単位胞内の相対座標 \vec{t}_i を用いて $\vec{R} + \vec{t}_i$ で表される。

結晶内で電子の感じるポテンシャル $V(\vec{r})$ は単位胞内のものが格子の周期で繰り返す。任意の格子ベクトル \vec{R} につき

$$V(\vec{r} + \vec{R}) = V(\vec{r}) \quad (1)$$

となる。これを系に「並進対称性」があるという。

ここで、結晶全体に広がった電子の波動関数(固有関数) $\phi(\vec{r})$ を考える。 \vec{r} での ϕ の値は複素数で、ノルムの二乗 $|\phi(\vec{r})|^2$ が電子の存在確率に比例する。格子ベクトル \vec{R} の並進操作の演算子を $T_{\vec{R}}$ と定義し、波動関数に作用させると

$$T_{\vec{R}}\phi(\vec{r}) = \phi(\vec{r} + \vec{R}) \quad (2)$$

で、 \vec{R} だけ並進した関数になる。今、 $\phi(\vec{r})$ は、ハミルトニアン $H = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(\vec{r})$ の固有エネルギー E の固有関数で

$$H\phi(\vec{r}) = E\phi(\vec{r}) \quad (3)$$

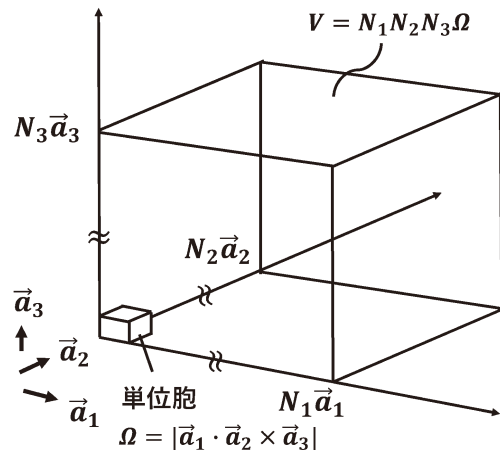


図1 結晶を構成する単位胞の並びとボルン-フォンカルマンの周期境界条件。基本並進ベクトル $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ の結晶では、単位胞(体積 Ω) が格子ベクトルの周期で繰り返す。一方、 $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ の三方向に $N_1\vec{a}_1, N_2\vec{a}_2, N_3\vec{a}_3$ のサイズ (N_1, N_2, N_3 は非常に大きい整数) の体積 V の結晶部分が、さらに外側に繰り返すボルン-フォンカルマンの境界条件を考える。

を満たすとする。両辺に $T_{\vec{R}}$ を作用させると、ハミルトニアン H (ポテンシャル $V(\vec{r})$) を変えないので (H と $T_{\vec{R}}$ が可換)、次式が得られる。

$$T_{\vec{R}}H\phi(\vec{r}) = T_{\vec{R}}E\phi(\vec{r}) \quad (4)$$

$$HT_{\vec{R}}\phi(\vec{r}) = ET_{\vec{R}}\phi(\vec{r}) \quad (5)$$

$$H\phi(\vec{r} + \vec{R}) = E\phi(\vec{r} + \vec{R}) \quad (6)$$

式(6)は、固有関数 $\phi(\vec{r})$ を空間で並進した関数 $\phi(\vec{r} + \vec{R})$ も同じ固有値 E の固有状態であることを意味する。ここでは、固有値 E の固有状態は一つしかない(縮退していない)とする。格子ベクトル \vec{R} は $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ から始めて無数にある。 $\phi(\vec{r})$ も $\phi(\vec{r} + \vec{R})$ も同じ固有状態なので、固有関数の表現が無数にあることになる。この $\phi(\vec{r})$ と $\phi(\vec{r} + \vec{R})$ との関係がブロッホの定理の肝である。波動関数が $\phi(\vec{r}) = \phi(\vec{r} + \vec{R})$ の格子周期関数なら条件を満たすが、それは特殊解で、一般解ではない。複素数である波動関数の「位相の不定性」がこの謎に関係する(後述)。

* 国立研究開発法人産業技術総合研究所エネルギー・環境領域電池技術研究部門；名誉リサーチャー(〒563-8577 池田市緑が丘1-8-31) 2021年7月14日受理[doi:10.2320/materia.60.717]

3. 結晶の巨視的な周期境界条件(ボルン-フォンカルマンの周期境界条件)

ここで、 $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3$ の三方向に $N_1\bar{a}_1, N_2\bar{a}_2, N_3\bar{a}_3$ のサイズ(N_i は非常に大きい整数)の体積 $V=N_1N_2N_3\Omega=N\Omega$ の結晶部分が、さらにマクロに繰り返す周期境界条件を設定する。ボルン-フォンカルマン(Born-von Karman)の周期境界条件という(図1)。この境界条件では、結晶中に広がった波動関数は体積 V の結晶部分毎、同じものが繰り返すと考える。

$$\phi(\bar{r}+N_i\bar{a}_i)=\phi(\bar{r}), \quad i=1\sim 3 \quad (7)$$

並進操作 $T_{\bar{R}}$ は、このマクロの周期条件で巡回的と見なす。

$$T_{\bar{R}+N_i\bar{a}_i}=T_{\bar{R}}, \quad i=1\sim 3 \quad (8)$$

並進操作の集合 $\{T_{\bar{R}}\}$ は、三方向に $N_1\bar{a}_1, N_2\bar{a}_2, N_3\bar{a}_3$ を超えない体積 V の結晶領域の全格子点(格子ベクトル) $\bar{R}=n_1\bar{a}_1+n_2\bar{a}_2+n_3\bar{a}_3$ ($0\leq n_i\leq N_i-1$)への並進操作、合計 $N=N_1N_2N_3$ 個を独立な操作として扱う。並進操作 $T_{\bar{R}}$ や関数 $\phi(\bar{r}+\bar{R})$ の総数が各々 N 個に絞られるわけである。トリックであるが、後で N_1, N_2, N_3 を事実上無限大と考えれば問題ない。

4. 一次元既約表現

上記の N 個の並進操作の集合 $\{T_{\bar{R}}\}$ は、群論で言うところの「群」を構成する⁽¹⁾⁽²⁾。それは巡回群(全要素が基本要素の積で形成される)で且つアーベル群(全要素の積が前後に交換可能)という特殊なものである。例えば、和 $\bar{R}+\bar{R}'$ の並進操作が \bar{R}, \bar{R}' の各並進操作の可換の積で表される。

$$T_{\bar{R}+\bar{R}'}\phi(\bar{r})=T_{\bar{R}}T_{\bar{R}'}\phi(\bar{r})=T_{\bar{R}'}T_{\bar{R}}\phi(\bar{r})=\phi(\bar{r}+\bar{R}+\bar{R}') \quad (9)$$

本稿では群論の結果を利用する⁽¹⁾⁽²⁾。アーベル群(巡回群)についての群論の定理により、並進操作 $T_{\bar{R}}$ を系の固有関数 $\phi(\bar{r})$ に作用させると、複素数である定数 $C_{\bar{R}}$ を用いて

$$T_{\bar{R}}\phi(\bar{r})=\phi(\bar{r}+\bar{R})=C_{\bar{R}}\phi(\bar{r}) \quad (10)$$

と表現できる(一次元既約表現という)。これが上述の同じ固有状態である $\phi(\bar{r})$ と $\phi(\bar{r}+\bar{R})$ との間の関係である。 $\{T_{\bar{R}}\}$ の並進対称性を有する系の固有状態ならば、波動関数 $\phi(\bar{r})$ は \bar{R} の並進に対して必ず $C_{\bar{R}}\phi(\bar{r})$ と表せる「構造」を持つ。

\bar{R} に依存する定数 $C_{\bar{R}}$ について考える。上記の議論から最小の並進として

$$T_{\bar{a}_i}\phi(\bar{r})=C_{\bar{a}_i}\phi(\bar{r}), \quad i=1\sim 3 \quad (11)$$

これらを順繰りに作用させれば、式(9)から、一般に $\bar{R}=n_1\bar{a}_1+n_2\bar{a}_2+n_3\bar{a}_3$ の並進について

$$T_{\bar{R}}\phi(\bar{r})=\phi(\bar{r}+\bar{R})=C_{\bar{R}}\phi(\bar{r})=T_{\bar{a}_1}^{n_1}T_{\bar{a}_2}^{n_2}T_{\bar{a}_3}^{n_3}\phi(\bar{r})=C_{\bar{a}_1}^{n_1}C_{\bar{a}_2}^{n_2}C_{\bar{a}_3}^{n_3}\phi(\bar{r}) \quad (12)$$

と表せる。

一方、ボルン-フォンカルマンの周期境界条件式(7)から

$$T_{\bar{a}_i}^{N_i}\phi(\bar{r})=C_{\bar{a}_i}^{N_i}\phi(\bar{r})=\phi(\bar{r}), \quad i=1\sim 3 \quad (13)$$

$$C_{\bar{a}_1}^{N_1}=1=\exp(i2\pi m_1), \quad C_{\bar{a}_2}^{N_2}=1=\exp(i2\pi m_2),$$

$$C_{\bar{a}_3}^{N_3}=1=\exp(i2\pi m_3) \quad (14)$$

と書けるはずである(m_i は任意の整数)。従って

$$C_{\bar{a}_1}=\exp\left(i2\pi\frac{m_1}{N_1}\right), \quad C_{\bar{a}_2}=\exp\left(i2\pi\frac{m_2}{N_2}\right),$$

$$C_{\bar{a}_3}=\exp\left(i2\pi\frac{m_3}{N_3}\right) \quad (15)$$

となる。 m_i は整数で、一意的になるために $0\leq m_i\leq N_i-1$ でなければならない。式(12)から $\bar{R}=n_1\bar{a}_1+n_2\bar{a}_2+n_3\bar{a}_3$ について

$$C_{\bar{R}}=C_{\bar{a}_1}^{n_1}C_{\bar{a}_2}^{n_2}C_{\bar{a}_3}^{n_3}=\exp\left[i2\pi\left(n_1\frac{m_1}{N_1}+n_2\frac{m_2}{N_2}+n_3\frac{m_3}{N_3}\right)\right]=C_{\bar{R}}^m \quad (16)$$

となる。ここで(n_1, n_2, n_3)は \bar{R} から決まる。 \bar{R} の総数は $N=N_1N_2N_3$ である。 (m_1, m_2, m_3) は上記条件($0\leq m_i\leq N_i-1$)を満たせば、 $N=N_1N_2N_3$ 種の選択の自由度がある。 (m_1, m_2, m_3) は固有状態の種類を指定し、 $C_{\bar{R}}$ を $C_{\bar{R}}^m$ と書く(注： m 乗という意味ではない)。

5. 逆格子とブリルアンゾーンの導入

$C_{\bar{R}}^m$ や(m_1, m_2, m_3)の意味を考えるため、ここで「逆格子」とその単位胞としての「ブリルアンゾーン」(Brillouin zone)が導入される。基本並進ベクトル $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3$ で構成される実格子に対し、基本逆格子ベクトル $\bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ を $\bar{g}_i=2\pi\frac{\bar{a}_j\times\bar{a}_k}{\bar{a}_1\cdot(\bar{a}_2\times\bar{a}_3)}$ (ただし(i, j, k)=(1, 2, 3), (2, 3, 1), (3, 1, 2))で構築すれば、

$$\bar{a}_i\cdot\bar{g}_j=2\pi\delta_{ij} \quad (17)$$

を満たす。基本逆格子ベクトルで格子(逆格子)を組み立てれば、逆格子点(逆格子ベクトル) $\bar{G}=l_1\bar{g}_1+l_2\bar{g}_2+l_3\bar{g}_3$ が定義され(l_i は整数)、任意の格子ベクトル $\bar{R}=n_1\bar{a}_1+n_2\bar{a}_2+n_3\bar{a}_3$ に対し、式(17)から必ず

$$\bar{G}\cdot\bar{R}=2\pi(l_1n_1+l_2n_2+l_3n_3)=2\pi M \quad (18)$$

(M は整数)となる。従って $\exp[i\bar{G}\cdot\bar{R}]=1$ である。

実格子の単位胞に対して、逆格子空間(\bar{k} 空間； \bar{k} は波数ベクトル)の単位胞として $\bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ で構成される平行六面体を考える。この領域の体積は $|\bar{g}_1\cdot\bar{g}_2\times\bar{g}_3|=(2\pi)^3/\Omega$ で、ブリルアンゾーンに相当する(注：通常、ブリルアンゾーンは原点を中心とした近隣の逆格子点への垂直二等分面で形成されるものを指すが、原点を頂点の一つとした平行六面体に取っても部分的に平行移動するので同じである)。平行六面体の稜 $\bar{g}_1, \bar{g}_2, \bar{g}_3$ の各々を平行に N_1, N_2, N_3 分割したメッシュgridで、各々 m_1, m_2, m_3 番目($0\leq m_i\leq N_i-1$)のメッシュの \bar{k} 点が

$$\bar{k}_m=\frac{m_1}{N_1}\bar{g}_1+\frac{m_2}{N_2}\bar{g}_2+\frac{m_3}{N_3}\bar{g}_3 \quad (19)$$

と書ける。式(16)の $C_{\bar{R}}^m$ は、 $\bar{R}=n_1\bar{a}_1+n_2\bar{a}_2+n_3\bar{a}_3$ に対し \bar{k}_m を用いて以下ようになる。

$$C_{\bar{R}}^m=\exp\left[i2\pi\left(n_1\frac{m_1}{N_1}+n_2\frac{m_2}{N_2}+n_3\frac{m_3}{N_3}\right)\right]=\exp(i\bar{k}_m\cdot\bar{R}) \quad (20)$$

整理すると、並進対称性のある系の固有状態 $\phi(\bar{r})$ は、ブリルアンゾーン内の \bar{k}_m 点で指定(識別)される。固有エネルギー

ギ一, 固有関数は $E_{\vec{k}_m}, \phi_{\vec{k}_m}(\vec{r})$ と表記でき, 並進操作に対し

$$T_{\vec{R}}\phi_{\vec{k}_m}(\vec{r}) = \phi_{\vec{k}_m}(\vec{r} + \vec{R}) = C_{\vec{R}}^m \phi_{\vec{k}_m}(\vec{r}) = \exp(i\vec{k}_m \cdot \vec{R}) \phi_{\vec{k}_m}(\vec{r}) \quad (21)$$

の関係を持つ. \vec{k}_m 点の総数, つまり識別される固有状態の種類総数は $N = N_1 N_2 N_3$ (並進操作の総数と同じ) である. N_1, N_2, N_3 を事実上無限大とみれば, 固有状態はブリルアンゾーン内の稠密な \vec{k} 点で指定されるということである.

$C_{\vec{R}}^m$ は絶対値 1 の複素数なので, 式(21)は波動関数の位相を変えるだけである. $\phi_{\vec{k}_m}(\vec{r})$ の \vec{r} での値が複素数 $Ae^{i\theta}$ で, $C_{\vec{R}}^m = e^{i\delta}$ をかけると $Ae^{i(\theta+\delta)}$, 位相が δ だけ変化する. 固有状態の波動関数は「位相の不定性」を持つ. $\phi_{\vec{k}_m}(\vec{r})$ と $\phi_{\vec{k}_m}(\vec{r} + \vec{R})$ は, 位相は異なるが同じ固有状態であるということである.

以上がブロッホの定理の結論である. 群論の言葉で言うと, 巡回群(アーベル群)は, 各操作が単独で類をなし, 類の数(操作の総数: \vec{R} の総数)と同じ数の次元既約表現(固有状態の種類総数: \vec{k}_m の総数)を持つ⁽¹⁾⁽²⁾.

6. ブロッホの定理から導かれる固有関数の形

結晶の固有関数 $\phi_{\vec{k}}(\vec{r})$ は, その結晶のブリルアンゾーン内の \vec{k} 点で特徴づけられ, 任意の格子ベクトル \vec{R} の並進操作に対し

$$\phi_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}} \phi_{\vec{k}}(\vec{r}) \quad (22)$$

のように $e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}}$ をかけた値になる(位相が $\vec{k} \cdot \vec{R}$ だけ変化). この固有関数の「構造」を具体的に考える.

ここで $u_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{-i\vec{k} \cdot \vec{r}} \phi_{\vec{k}}(\vec{r})$ という関数を設定すれば

$$\phi_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} u_{\vec{k}}(\vec{r}) \quad (23)$$

である. 式(23)の両辺で \vec{r} を $\vec{r} + \vec{R}$ に替えれば

$$\phi_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}} u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) \quad (24)$$

一方, 式(23)を式(22)の右辺に代入すれば

$$\phi_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} u_{\vec{k}}(\vec{r}) \quad (25)$$

となる. 式(24)と式(25)から

$$u_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) \quad (26)$$

つまり, $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ は $V(\vec{r})$ と同じく格子周期関数である.

結晶の固有関数 $\phi_{\vec{k}}(\vec{r})$ は, 式(23), (26)のように, 格子周期関数 $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ に平面波 $e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}}$ をかけた構造を持つ(ブロッホ関数と呼ぶ). 逆に格子周期関数 $u_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R})$ について, 式(23)で組み立てられる関数 $\phi_{\vec{k}}(\vec{r})$ ならば, 任意の \vec{R} の並進操作に対し

$$\phi_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k} \cdot (\vec{r} + \vec{R})} u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} u_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}} \phi_{\vec{k}}(\vec{r}) \quad (27)$$

となり, ブロッホの定理(式(22))の条件を満たす.

図2に格子周期関数 $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ と平面波 $e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}}$ をかけた結晶の波動関数(ブロッホ関数) $\phi_{\vec{k}}(\vec{r})$ の構造の概念図を示す. 同じく格子周期関数である結晶ポテンシャル $V(\vec{r})$ も示す. 固有状態を識別する \vec{k} 点(\vec{k} ベクトル)が電子の波(ブロッホ波という)の進行方向と波長($\lambda = 2\pi/|\vec{k}|$)を表す. \vec{k} 点は $\vec{k} = 0$ からブリルアンゾーン境界までであるので, ブロッホ波の波長は極めて長いものから短いものは $2\pi/|\vec{g}_i|$ 程度で, 基本並進ベク

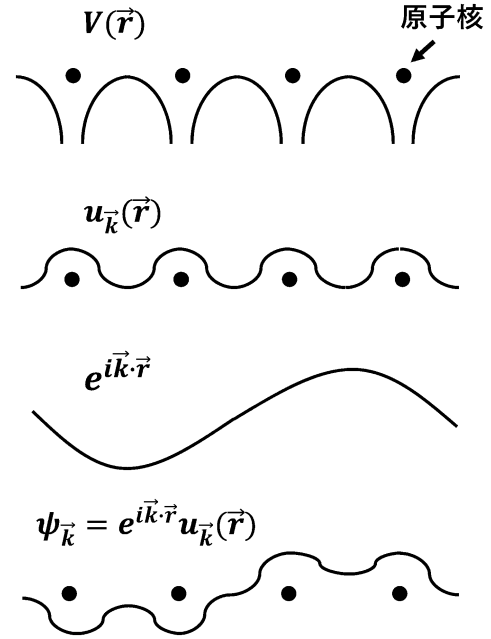


図2 結晶中の固有関数(ブロッホ関数)の概念図. 格子の周期ポテンシャル $V(\vec{r})$ の元での電子の波動関数は, ブロッホの定理から格子周期関数 $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ と平面波 $e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}}$ の積の形を持つ. $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ や $e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}}$ は複素数であるが, 簡単のため実数成分のみの模式図で示す.

トルのサイズ(単位胞のサイズ)程度となる(単位胞に多数の原子を含むスーパーセルの場合は意味合いが少し異なる).

7. ブロッホの定理の効用

ブロッホの定理は, 結晶の並進対称性の元での固有状態(固有関数)の条件を示すが, 具体的な固有関数を与えるものではない. ハミルトニアンについてのシュレディンガー方程式をポテンシャル $V(\vec{r})$ が自己無撞着になるように解かねばならない⁽³⁾⁽⁴⁾. 第一原理計算ではそれを実行するが, $\phi_{\vec{k}}(\vec{r}) = e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} u_{\vec{k}}(\vec{r})$ の形を用いることで, 結晶全体に広がった波動関数を扱わなくても, 格子周期関数 $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ を単位胞内部だけで $V(\vec{r})$ を扱って解けばよいことになり, 計算量を削減できる.

なお, 通常, 単位胞内に多数の電子や原子があるため, \vec{k} 点毎に複数以上の固有状態を求める. それは, 同じ \vec{k} 点に対し, 固有エネルギーの低い順に n で識別し, $\phi_{\vec{k}n}(\vec{r}) (u_{\vec{k}n}(\vec{r}))$, $E_{\vec{k}n}$ を求める. n をバンド指標 (band index) という. 同じ n の固有状態, 固有エネルギー $\phi_{\vec{k}n}(\vec{r})$, $E_{\vec{k}n}$ のブリルアンゾーン内全 \vec{k} 点での集合が, n 番目の「バンド」を構成する. 図3にバンドの概要を示す. 固有状態の種類を指定する \vec{k}_m 点の総数は, 結晶の並進操作数(格子点数)と同じで N . ブリルアンゾーン内に N 個の状態があり, 結晶内の電子は(スピン自由度から)2電子ずつが, 低い準位から順に占有し, 一つのバンドに $2N$ 個の電子が収容される. 磁性体等を除き, $\phi_{\vec{k}n}(\vec{r})$, $E_{\vec{k}n}$ が二種のスピンで同じであることを用いている.

一方, ブリルアンゾーン内の \vec{k} 点毎に $\phi_{\vec{k}n}(\vec{r})$, $E_{\vec{k}n}$ を求める過程で, 解くべき \vec{k} 点の数を絞ることができる. 上記のよ

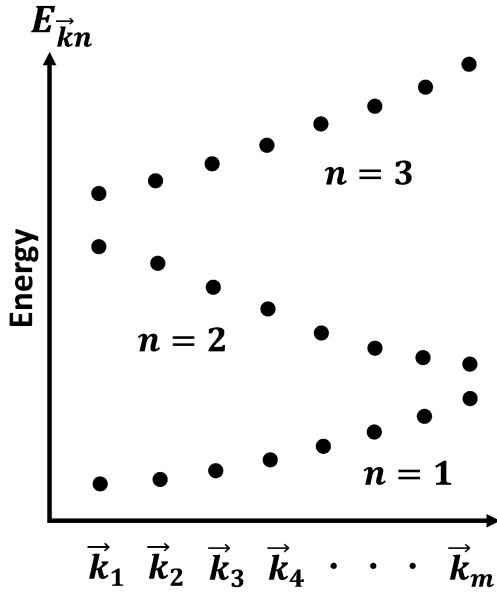


図3 ブリルアンゾーン内の \vec{k} 点毎の電子の固有エネルギー $E_{\vec{k}n}$ の様子 (バンド構造) の模式図. n はバンド指標.

うに \vec{k}_m 点の総数は $N=N_1N_2N_3$ で, N_1, N_2, N_3 を事実上無限大とみれば, 稠密な \vec{k} 点で固有状態が存在する. ここで, ブリルアンゾーン内で同じバンドを構成する $\psi_{\vec{k}n}(\vec{r}), E_{\vec{k}n}$ は, \vec{k} に対し連続に変化するのので, 粗なメッシュで数を減らした \vec{k} 点で計算を行い, 間の \vec{k} 点の状態は内挿等で与えられるからである.

8. 格子周期関数の表現

格子周期関数とは, 単位胞内と同じものが結晶全体で繰り返す関数である. 上記の議論では, 結晶ポテンシャル $V(\vec{r})$ や固有関数内の関数 $u_{\vec{k}n}(\vec{r})$ が出てきた. 結晶の電子密度分布関数 $\rho(\vec{r})$ もそうである. 実際の第一原理計算では, こうした格子周期関数は, 逆格子ベクトルのフーリエ級数展開の形で扱われる. 逆格子ベクトル \vec{G} による平面波 $e^{i\vec{G}\cdot\vec{r}}$ は, $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ で形成される単位胞の各両面の端で同じ位相になることから (式(18)参照), 様々な \vec{G} による平面波 $e^{i\vec{G}\cdot\vec{r}}$ 成分の重ね合わせ (フーリエ級数展開) が可能となる.

一次元周期関数 $f(x)$ のフーリエ級数展開から考える.

$$f(x+a) = f(x) \quad (28)$$

について

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp\left[\frac{i2\pi nx}{a}\right] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp[ig_n x] \quad (29)$$

$$g_n = \frac{2\pi n}{a}, \quad g_n a = 2\pi n \quad (30)$$

$$c_n = \frac{1}{a} \int_0^a f(x) \exp[-ig_n x] dx \quad (31)$$

である. 通常の連続関数なら無限個の和で表現できることが知られている⁽⁵⁾. この展開には, 以下の式の関係が必要.

$$\begin{aligned} \frac{1}{a} \int_0^a \exp[-ig_n x] \exp[ig_{n'} x] dx &= \frac{1}{a} \int_0^a \exp\left[i2\pi \frac{n'-n}{a} x\right] dx \\ &= \frac{1}{i2\pi(n'-n)} \left[\exp\left(i2\pi \frac{n'-n}{a} x\right) \right]_0^a = \delta_{nn'} \end{aligned} \quad (32)$$

これらを三次元周期関数に拡張すれば

$$f(\vec{r}+\vec{R}) = f(\vec{r}) \quad (33)$$

について, \vec{R} の格子系から \vec{G} の逆格子を組み立て,

$$f(\vec{r}) = \sum_{\vec{G}} f(\vec{G}) \exp[i\vec{G}\cdot\vec{r}] \quad (34)$$

$$f(\vec{G}) = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} f(\vec{r}) \exp[-i\vec{G}\cdot\vec{r}] d\vec{r} \quad (35)$$

となる. Ω は単位胞の体積. 式(18)のように $\vec{G}\cdot\vec{R} = 2\pi M$ (M は整数) であることで, $\exp[i\vec{G}\cdot\vec{r}]$ が $f(\vec{r})$ が格子周期関数であることが保証される.

この展開には, 以下の式の関係が必要である.

$$\frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \exp[-i\vec{G}\cdot\vec{r}] \exp[i\vec{G}'\cdot\vec{r}] d\vec{r} = \delta_{\vec{G}\vec{G}'} \quad (36)$$

積分は単位胞内のみであることに注意 (テキストによっては全空間としているものもあるが間違い). 式(36)の証明は以下で与えられる. $\vec{G}' - \vec{G} = l_1 \vec{g}_1 + l_2 \vec{g}_2 + l_3 \vec{g}_3$ として, 単位胞内 (体積 $\Omega = \vec{a}_1 \cdot \vec{a}_2 \times \vec{a}_3$) の積分は, 原点から基本格子ベクトルの三方向で, パラメータ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ の 0 から 1 の積分に変換する. 変数変換のヤコビアンが Ω で,

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \exp[-i\vec{G}\cdot\vec{r}] \exp[i\vec{G}'\cdot\vec{r}] d\vec{r} &= \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \exp[i(\vec{G}' - \vec{G})\cdot\vec{r}] d\vec{r} \\ &= \frac{1}{\Omega} \int_0^1 d\lambda_1 d\lambda_2 d\lambda_3 \exp\left[i \sum_{j=1}^3 l_j \vec{g}_j \cdot \lambda_j \vec{a}_j\right] \\ &= \int_0^1 d\lambda_1 d\lambda_2 d\lambda_3 \exp[i2\pi l_1 \lambda_1] \exp[i2\pi l_2 \lambda_2] \exp[i2\pi l_3 \lambda_3] \\ &= \left[\frac{\exp[i2\pi l_1 \lambda_1]}{i2\pi l_1} \right]_0^1 \left[\frac{\exp[i2\pi l_2 \lambda_2]}{i2\pi l_2} \right]_0^1 \left[\frac{\exp[i2\pi l_3 \lambda_3]}{i2\pi l_3} \right]_0^1 \\ &= \delta_{\vec{G}' - \vec{G}, 0} = \delta_{\vec{G}\vec{G}'} \end{aligned} \quad (37)$$

式(34)が様々な波長 $2\pi/|\vec{G}|$ の逆格子ベクトルの平面波 $e^{i\vec{G}\cdot\vec{r}}$ の重ね合わせでの表現である. 通常, \vec{G} の和は $\vec{G}=0$ から始めて, ある程度の大きさ $|\vec{G}|$ の \vec{G} まで取られる. 格子周期関数がスムーズでない場合は, 短波長 (大きな $|\vec{G}|$) までの多数の \vec{G} での展開が必要となる. 第一原理計算では, $V(\vec{r}), u_{\vec{k}n}(\vec{r}), \rho(\vec{r})$ など格子周期関数が式(34)のようにフーリエ展開され, 係数のセット $\{V(\vec{G})\}, \{u_{\vec{k}n}(\vec{G})\}, \{\rho(\vec{G})\}$ の形で取り扱われる.

9. 平面波基底による波動関数の展開

式(23)の固有関数形 $\psi_{\vec{k}n}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} u_{\vec{k}n}(\vec{r})$ で, 格子周期関数 $u_{\vec{k}n}(\vec{r})$ のフーリエ級数展開 ($\{u_{\vec{k}n}(\vec{G})\}$ が展開係数) を用いれば

$$\begin{aligned} \psi_{\vec{k}n}(\vec{r}) &= e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} u_{\vec{k}n}(\vec{r}) = e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} \sum_{\vec{G}} u_{\vec{k}n}(\vec{G}) \exp[i\vec{G}\cdot\vec{r}] \\ &= \sum_{\vec{G}} u_{\vec{k}n}(\vec{G}) \exp[i(\vec{k} + \vec{G})\cdot\vec{r}] \end{aligned} \quad (38)$$

と表現できる. 式(38)は波動関数の平面波基底展開と見な

せる. $\exp[i(\vec{k}+\vec{G})\cdot\vec{r}]$ が平面波基底で, 波動関数 $\phi_{\vec{k}n}$ を平面波基底の線形結合で表すわけである. $\{u_{\vec{k}n}(\vec{G})\}$ が平面波基底での展開係数, 即ち求める固有ベクトルになる(ここでは規格化因子の議論は省いている). $\vec{k}+\vec{G}$ が個々の平面波の進行方向と波長を表す. \vec{G} の和は $\vec{G}=0$ から $|\vec{k}+\vec{G}|$ がある程度の大きさ以内の \vec{G} まで取り, 基底の総数(\vec{G} の総数)が $N_{\vec{G}}$ である. ハミルトニアン H の平面波基底表示として, $\exp[i(\vec{k}+\vec{G})\cdot\vec{r}]$ と $\exp[i(\vec{k}+\vec{G}')\cdot\vec{r}]$ の間の行列要素を計算すれば以下となる.

$$H_{\vec{G},\vec{G}'} = \frac{\hbar^2}{2m} |\vec{k}+\vec{G}|^2 \delta_{\vec{G},\vec{G}'} + V(\vec{G}-\vec{G}') \quad (39)$$

第一項は運動エネルギー項, 第二項が結晶ポテンシャル項. 格子周期関数 $V(\vec{r})$ のフーリエ級数展開の $\vec{G}-\vec{G}'$ 項である. こうして, $N_{\vec{G}} \times N_{\vec{G}}$ 次元のハミルトニアン行列の固有値, 固有ベクトルとして $E_{\vec{k}n}, \{u_{\vec{k}n}(\vec{G})\}$ を求める問題となる. 詳細は, 平面波基底の第一原理計算法として文献(3)(4)を参照されたい.

10. さ い ご に

ブロッホの定理の導出と意味, 格子周期関数の表現について説明した. 最近, 密度汎関数理論に基づく第一原理計算の進歩が著しく, 実験家を含めて, 汎用コードを使用する機会が増えている. その原理や方法の概要を材料研究者も理解しておくことが望ましい. 本稿の内容は, その基礎部分に関わるものであり, 理解の一助になれば幸いである.

文 献

- (1) G. バーンズ: 物性物理学のための群論入門, 培風館, (1983).
- (2) 犬井鉄郎, 田辺行人, 小野寺嘉孝: 応用群論(増補版), 裳華房, (1980).
- (3) R. M. マーチン: 物質の電子状態(上, 下), 丸善出版, (2012).
- (4) 藤原毅夫: 固体電子構造論, 内田老鶴圃, (2015).
- (5) 今村 勤: 物理とフーリエ変換, 岩波書店, (1976).

“化学者のための基礎講座11 電子移動の化学-電気化学入門”

渡辺 正, 中林誠一郎(著)
朝倉出版 1996年

大阪大学大学院工学研究科 宮部さやか

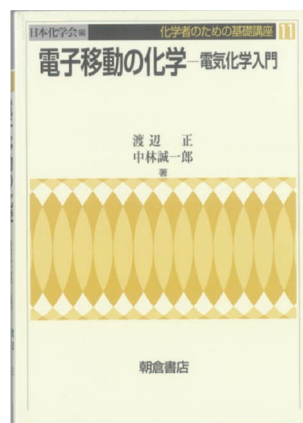


図1 本書表紙.

「むかし習った電気分解を忘れよう」。初めて本書に目を通す人は、やや過激なこのタイトルにハッとさせられることだろう。中学や高校で習う電池や電気分解、酸化還元反応などには、おそらく学生の理解が容易になるようにいくつか事実反する説明がなされている。例えば、『電解質水溶液に電流を通じると、イオンは電気力によって電極に引き寄せられる。電極のところで、陽イオンは陰極から電子を受けとって原子(分子)になり、陰イオンは陽極に電子をとられて原子(分子)になる。これが電気分解である。』これは中学理科の教科書での電気分解の説明によく用いられる導入文である。著者はこう続ける。『一見「なるほど」の「説明」なれど、じつはひどいまちがいがここに書いてある。』読者はそれまでの常識を疑い、何が誤りなのかを自ら考え、この誤ったイメージを捨てることで電気化学の理解のスタートラインに立つこととなる。

本文は序章に続く二部構成であり、電子が動くはずの向きと駆動力を考える第I部「平衡論」と、道筋も興味しながら電子移動の速さを考える第II部「速度論」に分かれている。第I部は「標準電極電位」の意味をつかむのが大目標であり、第1章から第5章に分けて、「エネルギーと化学平衡」、「標準電極電位」、「ネルンストの式」、「光と電気化学」、「光合成」から構成されている。電子移動も他の現象と同じようにエネルギーの差により生じるため、エネルギーの情報を凝縮した電極電位の理解は電気化学を学ぶ上で大変重要となる。電極電位の概念は様々な説明が可能であり、古典的には熱力学からの理解として自由エネルギー変化をもとにした説明が主流であったが、本書では量子化学の観点から電子エネルギーを用いた説明を取り入れている点が非常に画期的であり、視覚的にも分かりやすい(図2, 3)。第II部は第1章から第5章に分けて、「化学反応の道すじ」、「電極反応の道すじ」、「活性化エネルギーの正体」、「分子・イオンの流れ」、「表面反応の世界」から構成されており、電極反応の速さを決める活性化エネルギーの本性と「電子移動と物質移動のからみ」をミクロの視点で実感するのが第一歩となる。

本書は、各章に設けられた問に手を動かして解答しながら読み進めることで理解が深まる構成となっている。また、各所に設けられた発展的内容の参考欄や、電気化学用語の語源や小話を載せた Tea Time 欄も興味深い。これから電気化学を学ぼうとする学生諸氏や若い研究者の方々、また冒頭の説明の間違いが気になる方は、ぜひ一度本書を手にとりていただきたい。

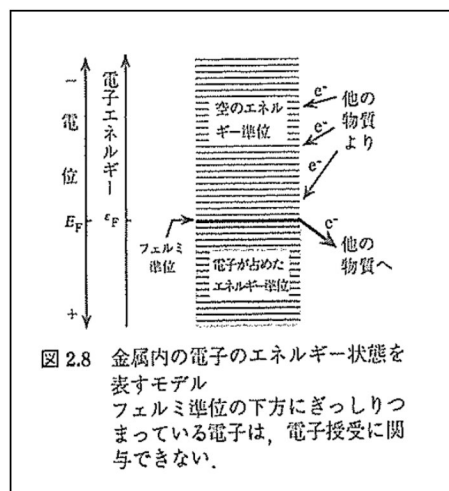


図2 金属内の電子のエネルギー状態を表すモデル.

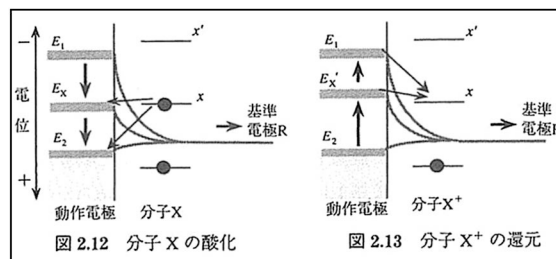


図3 分子Xの酸化と分子X+の還元.

(2021年7月19日受理) [doi:10.2320/materia.60.722]

還暦会員からの
お便り

会報『まてりあ』からいただいた知恵と元気

菅原 章*

日本金属学会会報60巻、おめでとうございます。この度は還暦会員として投稿の機会をいただきまして、誠にありがとうございます。

私は、現在 DOWA ホールディングス(株)の取締役として、技術・事業開発部門を担当しております。1984年の入社以来、自動車コネクタ用の銅合金材料、めっき、金属-セラミックス接合基板の研究開発や事業化に約30年従事し、昨年度までの5年間は事業会社の社長として経営を担当しました。この間、日本金属学会会報をたくさん読む機会があり、多くの知恵と元気をいただきました。

特に金属組織制御技術の基礎的な解説、技術の応用可能性、微視的観察結果からマクロな特性との繋がりを考察したもの、長年の研究の成果が大きく花開いた新技術・新製品など、多くの論文を熟読しました。

企業の研究開発の成果は、先ずは知財、特に特許を出願し、権利化するのが優先のため、特許明細書もたくさん読みましたが、やはり金属学会会報のようなワクワク感が無く、大きな差があります。

私自身、研究開発歴が長かったので、特許出願は国内外で300件を超え、90%以上が権利化されております。この特許を基に製品化し、会社やお客様、社会に貢献できたこと、あるいは海外にもライセンスし、多くの会社や人々との交流による価値観の変化など、人生の幅を広げることができ、喜びと共にたくさんの良い経験ができました。

しかしながら、この喜びに勝るとも劣らない喜びがあります。それは、『まてりあ』の新技術・新製品に応募し、受賞決定の連絡が来た時でした。チームで達成した喜びと、認めていただいた嬉しさが、心から湧き出すように感じました。

私が連名で受賞した新技術・新製品は、合計6件^{(1)~(6)}となりました。これらの成果は、多くの皆様のご指導、ご支援のお蔭であり、また会報をはじめとした皆さんの書誌のお蔭であると思っております。それぞれのテーマに課題があり、壁は厚く高く、気持ちが萎える時があります。そこで小さな突破口でも見つけると、気力が沸きます。この突破口のきっかけが書誌から得られることも多かったです。

35年前のことになりますが、文献を検索し、要約をダウンロードする際に、電話交信の時間を気にしながら情報を取り込み、かかった費用の高額さに驚いた経験があります。そして苦勞して入手した文献を熟読しました。

現在はインターネットであつという間に様々な情報を検索でき、会員はダウンロードも自由です。通勤の電車の中でもできてしまいます。しかし、便利さと共に、得られた文献を熟読しなくなっている自分に、これで良いのかと思う時があります。

日本金属学会会報『まてりあ』は、多くの研究者、技術者、指導者、経営者などが購読し、また末永く受け継がれていくと思います。世の中のニーズが変化し、必要とされるシーズも変化していくと思いますが、基礎は普遍であり、大切であると思います。その中で、一人でも多くの方に、何らかの指針や元気を与えられるような企画を盛り込み、会報も変革していくことが大切だと思います。

今までのたくさんの知恵と元気をいただいた感謝の気持ちと共に、今後の益々のご発展を心よりお祈りいたします。

文 献

- (1) 菅原 章, 花 佳武:まてりあ, **37**(1998), 271-273.
- (2) 高 維林, 菅原 章, 木村 崇:まてりあ, **52**(2013), 26-28.
- (3) 宮澤 寛, 篠原圭介, 尾形雅史, 菅原 章:まてりあ, **54**(2015), 21-23.
- (4) 鎌田俊哉, 佐々木史明, 菅原 章:まてりあ, **55**(2016), 15-17.
- (5) 小山内英世, 結城整哉, 井手口悟, 菅原 章:まてりあ, **56**(2017), 24-26.
- (6) 成枝宏人, 宮澤 寛, 菅原 章:まてりあ, **58**(2019), 41-43.



菅原 章

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1984年 3月 東北大学工学部金属加工学科卒
 1984年 4月 同和鉱業(株)(現 DOWA ホールディングス(株))入社
 1997年 9月 東北大学大学院工学研究科博士課程修了
 1999年 4月 同和鉱業(株)金属材料研究所長
 2016年 4月 DOWA ホールディングス(株)執行役員兼 DOWA メタルテック(株)代表取締役社長
 2021年 6月 現職
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年 8月16日受理)[doi:10.2320/materia.60.723]

* DOWA ホールディングス株式会社；取締役

還暦会員からの
お便り

企業研究者の視点から考える自動車用金属材料の 「材料研究」と「開発・実用化」

古田 忠彦*

自動車用金属材料の「材料研究」、ならびに「開発・実用化」は実に面白い。種をまき(材料研究)、育て(開発)、そして実を収穫する(実用化)植物の成長の絵によく例えられて表現される。1991年、広島大学で開催された日本金属/鉄鋼協会の講演大会で初めて登壇した時から丁度30年。還暦を迎え、これまでの研究・開発を振り返り、企業研究者である小生の経験で得た面白さが、材料の研究・開発を志している「若い」研究者に少しでもお役に立てればと思ひ、筆を取った次第である。

これまでに、自動車用金属材料として、TiB 粒子強化型 Ti 基複合材料 (TiB / Ti-MMCs (MMC: Metal Matrix Composites))⁽¹⁾ と Ti-Nb-Ta-Zr-O 系のゴムメタル⁽²⁾ の 2 種類の金属材料について研究・開発してきた。「材料研究」の面白さ(難しさ)は、オリジナリティのある基本コンセプトを構築し、それを如何に具現化して材料を創り上げていくかである。開発のプレイクスルーは、TiB/Ti-MMCs の場合は、Ti 基中で安定な TiB 粒子を反応焼結法で in-situ に安定に析出させたこと⁽¹⁾、ゴムメタルに関しては、これまで不純物元素としての位置付けでしかなかった酸素を重要な合金元素として捉え、特性向上に結び付けた点にあったと考えている⁽³⁾。それぞれの詳細な基本コンセプトについては紙面の都合上割愛するが、本稿を読んで興味を持って頂ければ、参考文献(1)および(2)を参照して頂きたい。

研究者にとって「材料研究」は重要な成果の一つではあるが、特にユーザーサイドの企業研究者である小生にとっては、それだけでは職務を全うしたことにはならない。さらなる「開発・実用化」という試練(愉しみ)が待ち受けている。ここでは、TiB/Ti-MMCs(以降、開発材料と呼称する)⁽⁴⁾で経験した「開発・実用化」の試練の幾つかを紹介させていただく。開発材料は「材料研究」から30年、「実用化」されてからは20年以上経った今日でも、高性能車輛の内燃機関の

心臓部を担っている⁽⁵⁾。図1に、その一例であるエンジンバルブを示す。ご存じのように、自動車用金属材料には「鋼」という、とてつもないライバルが存在する。この鋼をコストパフォーマンスで凌駕しない限り、自動車用量産部品への適用の道は極めて厳しい。ここで大事なことは、自動車用量産部品に新しい材料を適用するためには、低コスト化はもちろんではあるが、それに加えて既存材料と同等以上の初期特性を有するだけでは不十分で、信頼性、耐久性を保証し、設計者を納得させなければならない。そのためには、適用したい自動車用量産部品についてフィージビリティ・スタディを実施し、その部品が正常に稼働する状態だけでなく、不測の稼働状態において大きな負荷が生じた場合にも開発材料に損傷が生じないことを証明する必要がある。さらに、保証距離の数倍もの長期使用後にも開発材料に要求される特性を下回ら



30mm

図1 TiB/Ti-MMCsの自動車部品。(オンラインカラー)

* (株)豊田中央研究所 イノベティブ研究部門 データ駆動型プロセス研究領域;主任研究員

ないことを、定量的に示す必要がある。

不測の稼働状態を想定するためには、設計者と強い信頼関係を築くことが「開発・実用化」のキーポイントになる。また、「開発・実用化」に至る道のりにおいて多数存在する試練を乗り越えるためには、有限要素法に代表されるようなCAE (Computer-aided Engineering) 技術を活用することや、材料の評価技術を新規に開発することが求められることもあり、様々な立ち位置の多くの設計者、技術者、研究者とのコミュニケーションも重要な要素となる。もちろん、「実用化」までには山も谷もあり、時にはサプライヤーとして、材料メーカーとの良い意味での競争(切磋琢磨)にも打ち勝たなければならない。それなりの年月も必要であり、「運」も必要不可欠な要素である。また、「運」が良ければ、自動車用量産部品の材料として適用されるだけでなく、ユニットの構造をも変えられる機会に巡り合うこともできる。

ゴムメタルに関しては、設計者とのコミュニケーションは図れたものの、過酷な環境下で使用される自動車用量産部品への適用という命題には答えられていない。未だ「材料研究」の域を超えるレベルまで到達していないのかも知れないが、「材料研究」においては一石を投じたとは考えている。全ての種(材料研究)が育ち、実(実用化)を結ぶわけではない⁽⁶⁾。だからこそ、自動車用金属材料における自動車用量産部品化

までの過程である「開発・実用化」は面白いのである。

これから「材料研究」を志す「若い」研究者には、是非「材料研究」だけに留まらず、いろいろな分野の設計者、技術者、研究者とのコミュニケーションも愉しむことができる、自動車用金属材料の「開発・実用化」の醍醐味を味わって欲しいと願っている。

文 献

- (1) T. Furuta, T. Yamaguchi, Y. Shibata and T. Saito: Proc. of the ninth world conference on titanium, Titanium '99, Science and Technology, Vol. III, (1999), 1917-1924.
- (2) T. Saito, T. Furuta, J. H. Hwang, S. Kuramoto, K. Nishino, N. Suzuki, R. Chen, A. Yamada, K. Ito, Y. Seno, T. Nonaka, H. Ikehata, N. Nagasako, C. Iwamoto, Y. Ikuhara and T. Sakuma: Science, **300**, Issue **5618** (2003), 464-467.
- (3) 古田忠彦, 倉本 繁, 陳 榮, 黄 晟煥, 西野和彰, 斎藤卓, 池田勝彦: 日本金属学会誌, **70** (2006), 579-585.
- (4) T. Furuta: Titanium for Consumer Applications, (2019), 77-90.
- (5) T. Yamaguchi, H. Morishita, S. Iwase, Y. Yamada, T. Furuta and T. Saito: SAE Transactions, Sect. 5, **109** (2000), 416-424.
- (6) 古田忠彦, 倉本 繁, 黄 晟煥, 伊東一彦, 斎藤 卓: まてりあ, **43** (2004), 154-156.

(2021年9月3日受理) [doi:10.2320/materia.60.724]

還暦会員からの
お便り

金属を対象に資源循環及び 環境修復に取り組んだ40年

新 苗 正 和*

学生時代は金属工学ではなく資源工学を学び、沈殿浮選法による Co および Ni の分離回収並びに酸化銅鉱への浮遊選鉱法の適用に関する研究に従事したのを始めとして、大学卒業後は通商産業省工業技術院(現・国立研究開発法人産業技術総合研究所)、京都大学および山口大学において、約40年に亘って一貫して金属元素を対象に研究を進めています。これまでに自身が関わった研究は、図1に示しますように、「金属を対象とした分離技術の基礎研究(溶媒抽出法、リーチング法、粉碎など)」、「深海底鉱物資源等未利用資源および廃棄物等2次資源からのレアメタルの湿式処理プロセスの開発」および「重金属類汚染土壌の措置技術に関する研究」に大別できます。40年ほど前は、Coなどの資源確保を目的にマンガンノジュールやコバルトリッチクラスト(マンガンクラスト)などの深海底鉱物資源の開発研究が積極的に行われており、私も工業技術院時代から京都大学時代にこれら資源の湿式処理プロセスについて研究しており、丁度その頃に本会に入会致しました。当時は、日本金属学会の講演大会の発表プログラムに湿式プロセス(湿式製錬)のセッションもあり、春期・秋期の大会に参加しては主に溶媒抽出法によるレアメタルの分離に関する研究成果を報告していました。また、日本金属学会誌においても研究成果を報告するなどしてまいりました⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。しかし、ここ30年近くは、本会における湿式プロセスのマイナー化、また、研究対象を廃棄物等2次資源からの湿式処理法によるレアメタルのリサイクルプロセスの開発や重金属類汚染土壌の措置技術(浄化および不溶化)の開発など、金属工学、材料工学から離れた分野に広がったこともあり、他学会を中心に活動しています。しかし、金属を対象とした研究には継続して取り組んでおり、本会から得られる情報は貴重で、意義のあるものであることから、これまで退会することなく現在に至っています。

最後になりますが、本会の益々の発展を祈願し、簡単ですが、私の「還暦会員からの便り」とさせていただきます。

* 山口大学大学院創成科学研究科；教授

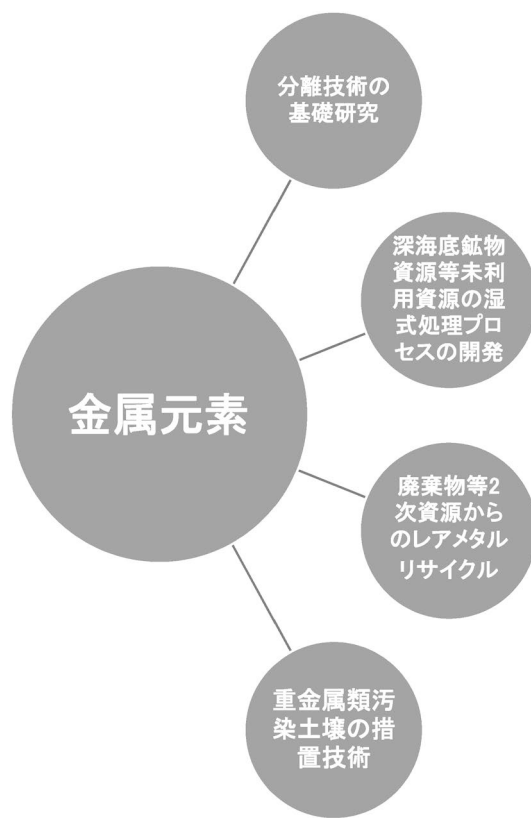



図1 筆者の研究概要。

文 献

- (1) M. Niinae, I. Saito, H. Sakamoto, Y. Nakahiro and T. Wakamatsu : 日本金属学会誌, **55**(1991), 310-315.
- (2) M. Niinae, A. Oboso, Y. Takenaka, Y. Nakahiro and T. Wakamatsu : 日本金属学会誌, **55**(1991), 867-873.
- (3) J. Shibata, N. Murayama, M. Niinae and T. Furuyama : 日本金属学会誌, **75**(2011), 613-619.
- (4) K. Horai, J. Shibata, N. Murayama, S. Koyanaka and M. Niinae : 日本金属学会誌, **78**(2014), 250-257.
(2021年8月18日受理)[doi:10.2320/materia.60.726]


 還暦会員からの
お便り

変態と欠陥を研究する学科へようこそ

西谷 滋人*

日本金属学会に入ったのは40年近く前ですが、その数年前に京都大学工学部金属系学科に入った時の主任挨拶が本稿タイトルの言葉です。多分、高村仁一先生で、毎年使っているネタだったのかも知れませんが、18歳になったばかりの若者にはインパクトがありました。共通一次元年の僕らの学年は、理由があって不肖の弟子の代表なんです。学科創設以来初の定員割れで、私も第2志望で、学科の研究内容なんてほとんど知らずに入学したんですが、「おもしろいやん」と思ったのが始まりでした。

研究室配属は、「ダイヤを探せ」という先生の言葉に煽られて新宮研で、状態図を使ったマクロで現象論的な「変態」の研究から手を着けました。でも、石原慶一先輩と新宮秀夫先生の議論は日常会話も高尚で、ほとんど付いて行けなかったです。そのまま助手になって直ぐに、若手研究会というのを石原先生、和田裕文先生、沼倉宏先生が中心になって立ち上げられて、僕は会計担当でビールを手配しました。そこでの議論を通して、もっとミクロなレベルの原理的な理解がしたくて、英国でDavid G. Pettifor先生、Adrian P. Sutton先生、青木正人先生のお世話になったのですが、こちらはなかなか進まなくて。

で、「変態と欠陥」なんです。ようやく最近になって、パソコン上で頭よりも手が動くようになるにつれて、両方を結び付ける研究ができて来ました⁽¹⁾⁽²⁾。でもそれは、津崎兼彰先生から若手研究会で教えていただいたり、二十歳過ぎに大槻徹先生とこの院生と議論していたネタそのまま、理解するのに40年近くかかったことになります。やれやれ。で

も、やっぱり学科の先輩の東田賢二先生から、「大槻先生のお仕事の価値も普遍ですね」とのメールをいただいて、気にしていたのが私だけではなかったのが嬉しかったです。偉い先生がこだわったネタというのは貴重で、例えば藤田英一先生の「金属物理」には、「自然は不思議だな、巧妙だな」という言葉に、理論的におかしな未解明な課題のヒントがたくさん残されているようです⁽³⁾。定年までに何ができるか、まだ腑に落ちてない問題が残っているので、手が動くうちにもう少し粘りたいな…それも、今は亡き先達からの遺言です⁽⁴⁾。

鴨川デルタってのが京大のそばにあって、そこは本当に子供の頃からの遊び場で、院試の打ち上げなんかに河原でよく酔っ払ってたんですが、いまだに毎週犬に引きずられて川を渡ってます。夜の散歩で、コロナでお酒をこそこそ飲んでる学生さんたちを見かけると、研究や仕事はその気になれば若さでバリバリやらはるだろうと心配してないんですが、早く好きに飛び回れる世界に戻してあげて～と思ってしまう。それは、若さのせいではないのだから。

文 献

- (1) A. Seko, S. R. Nishitani, I. Tanaka, H. Adachi and E. F. Fujita: *Calphad*, **28**(2004), 173-176.
- (2) S. R. Nishitani: *Philos. Mag.*, **101**(2021), 622-642.
- (3) 藤田英一：金属物理—材料科学の基礎—, アグネ技術センター, (1996).
- (4) 西谷滋人, 青木正人, 武藤俊介編：21世紀の格子欠陥研究に残された課題, 吉岡書店, (2003).
(2021年8月18日受理)[doi:10.2320/materia.60.727]

* 関西学院大学工学部；教授

還暦会員からの
お便り

金属を身近に…侘びサビの世界へ

半田 隆夫*

「まてりあ」60巻⁽¹⁾、誠におめでとうございます。今年で還暦を迎えた我が身と同じ年輪を重ねての誌面を少々いただく機会を頂戴しました。筆者が大学で工学部金属工学科の非鉄金属材料の研究室に入った1983年、人生で初めて加入した学協会が日本金属学会で、「まてりあ」の当時の誌名は「日本金属学会会報」でした。

時は巡り2021年、とある日の夕食での会話から。

最近では新型コロナ禍の影響で生活スタイルが自宅中心となり、家族で食卓を囲む毎日が増えましたことは、パンデミックとはいえ、何事にも功罪有りといったところでしょうか。子育て等家庭のことは妻に任せきりで、還暦頃になってやっと家族団欒の毎日とは…。一つの非常に偏った思いであることについては、何卒ご容赦下さい。

あるTV番組⁽²⁾の話題となり……

筆者「鉄が錆びるってどういうことだと思う？」

娘「錆びる、って『錆びる』ということだよ。」

妻「うん……」

筆者「あ～、やっぱり？ そうかな～？」

二人「それ以上何かある？」

筆者「じゃあ、塩酸とか酸の中に鉄を入れたら？」

二人「溶ける。」

筆者「それは『錆びる』ではないの？」

娘「えっ?!、う～ん、…『溶ける』。考えたことも無い。」

筆者「あはは(笑)、そうだよね～、簡単に言うと、鉄は環境に応じて『錆びる』様子が違うんだよ。」

筆者「もう少し詳しく言うと、pHが違う。周りの環境に水素イオンが多いか少ないか、それから酸素があるか無いかで錆び方が違う。」

筆者「例えば、海岸近くの鉄板はどうなっている？」⁽³⁾

娘「ボロボロ。」

筆者「じゃあ、海底に沈んだ船は？ 結構形が残っていない？」

娘「あ～、そうね、魚が住んでいるもんね。」

筆者「環境として何が違うでしょう？」

娘「酸素?!」

筆者「正解!、深海だとかなり水中の酸素濃度が少なくなるので、鉄が錆びる速度も遅くなる。」

その後も「校庭の鉄棒」や「鉄道のレール」などなど、金属腐食屋さんには「あるある問題」で、暫しの歓談でした。勿論、いつもこんな会話をしているわけではございません。たまたま何かの拍子に、貴重な誌面にギリギリ叶うかという話題となりました。登場している娘は、某大学生命科学部卒の社会人、決して小学生とかではございませんこと、申し添えます。

「鉄が錆びる」ことをはじめ、金属の腐食は身近な現象ながら、あまり詳しくは捉えられていないことの一つと思います。筆者は日本金属学会に大学時代に入会したものの、社会人になってからの仕事は金属分野の中でも「腐食」が中心となり、以上のような尤もらしいことを述べるに至っております⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

また家庭内のことです。つい最近、キッチンで、これも冒頭の影響で、洗い物位の家事手伝いはしなければとの思いで偶然目にした件です。ステンレス鋼製の水切りザル(図1)の縁の部分が、カッターでスパッと切ったような破断をしていました(図2)。一瞬、腐食系の読者各位同様に?、「応力腐食割れ」がこのようなマイルドな環境で発生した!などなど思い浮かびました。しかしながら冷静にまじまじと眺めると、接続箇所が見当たらないことに気付きました。図1の新品をよく見ると一箇所溶接箇所らしきところがありました(図3)。あ～、ここが隙間腐食やら何やらで腐食破断に至ったものかと少々肩透かし気味に、変に経験や知識が澄んだ眼を濁らせると、反省に及んだ次第です。

念のための興味で、それほど強い磁力でない壁面貼り付け用の磁石にペタペタ付かないことから、おおよそSUS304辺りのオーステナイト系ステンレス鋼と思われました。縁の部分ですので、図1、図2のような加工は施されています。ルーペでそれなりに拡大して観察しますと、茶黒色の腐食箇所が見えます(図4)。ぐるっと見渡しても、錆の汚れなのでし

* エス・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社



図1 ステンレス鋼製の水切りザル。(オンラインカラー)



図2 ステンレス鋼製のザル縁部分の破断。(オンラインカラー)



図3 ステンレス鋼製の縁分の接続箇所。(オンラインカラー)



図4 破断箇所拡大。(オンラインカラー)

ようか、洗い流しても残存していた黒っぽい汚れ箇所はそこだけでした。おそらくその辺りが腐食起点となったのでしょう。更に円周方向に常時引っ張り力が働いていたことは、破断後、徐々に開いていったことから分かります(図2)。

関連して、筆者の仕事上の経験談を少々ご紹介します⁽⁶⁾。通信用マンホール(以下MH)の中で用いられる通信ケーブルの接続部分を保護する筐体の一つに、直径200~300mmの繊維強化プラスチック(FRP)製円筒構造体を幅10mm、厚さ0.7~1mmのSUS304ステンレス鋼材帯を5本程度用いて円周方向に締結するタイプのものがあります。

このステンレス鋼製締結バンドが、早いケースで設置後3ヶ月で破断する事例に直面しました。基本的にMHには水の流入は無い設計になっています。とは申せ当然、雨水や地下管路の損傷があれば地下水の流入も皆無ではございません。当構造体を導入するに当たり「隙間腐食」を意識した検討、検証を行い、構造上必要なスポット溶接箇所がその有力部分と想定し、万一MH内に海水が流入し、塩化物イオン濃度が高い環境に晒されても、5年程度はもつであろうと判断しました。当時のデータで、MH内に蓄積される水は上記の通り雨水が主体で、融雪剤等の混入等高く見積もっても数百ppm程度の塩化物イオン濃度であろうと。また、前述の通りケーブル接続点ですから、MH内とはいえ、比較的開閉機会のある設備という状況も考慮されました。その際に何かあれば交換も可能であると。それが「!」、それが「?」です。

幸か不幸か(?),トラブル発見時に筆者は社内異動しており、当時の上司筋各位には大変ご迷惑をおかけしたことを思い出します。しかしながら、このトラブルがSUS304のような準安定オーステナイト系ステンレス鋼材の淡水環境での隙間腐食研究⁽⁷⁾の一助になったことも事実で、正に冒頭の書き出しではございませんが、何が幸いするか分からないという落ちです。

「まてりあ」と共に新たな節目を迎え、長寿社会への一歩を踏み出すに当たり、相応に侘び寂びの世界にも思いを馳せ、「人間万事塞翁が馬」を改めて噛み締める日々です。

御誌の益々の充実とご発展を祈念申し上げます。

文 献

- (1) 及川 洪:まてりあ, **60**(2021) 359-360.
- (2) NHK 総合1・東京 ガッテン! 気持ちいいほどよく落ちる! サビの真実大公開SP, 2021.4.7(水)19:30~20:15
- (3) http://www.jwtc.or.jp/info/docs/handbook_taiki-bakuroshiken.pdf など
- (4) 半田隆夫:材料と環境, **63**(2014), 230-231.(創立40周年記念特集号)
- (5) 半田隆夫, 松本守彦, 澤田 孝:防錆管理, **59**(2015), 401-412.(通巻700号記念特集号)
- (6) NTT 東日本(技術協力センター)編:改訂版現場で役立つ通信設備のトラブルQ&A, 電気通信協会, (2011), 第4章(材料劣化).
- (7) 例えば, Takao HANDA, Yoshimori MIYATA and Hisayoshi TAKAZAWA: 12th International Corrosion Congress Proceedings, vol. 3B, NACE International (1993), 1986-1996.

(2021年8月11日受理)[doi:10.2320/materia.60.728]

還暦会員からの
お便り

幼年期の感動・達成感の上に立つ技術者意識

奥山 哲也*

はじめに、日本金属学会会報「まてりあ」60巻、おめでとうございます。60年は人間で言えば還暦に相当し、私と同じ時を刻んできた会報に感慨深いものを感じます。記念企画での執筆の機会を頂き、深く御礼申し上げます。内容が記念企画号に相応しいか思慮するところではありますが、自身の幼年期での思い出とともに60年を振り返ってみたいと思います。

60年前の1961年(昭和36年)と言いますと、“うたごえ喫茶”の登場やNHK“朝の連続テレビ小説”放送開始、流行語“巨人、大鵬、卵焼き”(子供の好きな言葉)が出た年です。このような時期に、私は熊本県牛深市(現 天草市)で誕生しました。町の人口は現在でこそ1万5千人程度ですが当時は3万人を優に超え、イワシ漁獲高日本一を誇るなどした漁港として、大きく賑わっておりました。当時の賑わいを表す伝統芸能として“牛深ハイヤ”があり、故郷を少し宣伝させていただきます。牛深ハイヤとは、女性が南風(ハエ:ハイヤの語源)の中で出港する船員の身の安全に願いを込めた唄のことです。いつしか大漁祝唄へと変わり、踊りを加えて“牛深ハイヤ節”へと変遷します。その唄と踊りは船乗りによって全国へ広まり、牛深ハイヤ節をルーツとした“佐渡おけさ”や“阿波踊り”などの民謡へと各地でアレンジされていきます。牛深ハイヤ節は現在も踊り継がれ、毎年4月の総踊り祭は全国各地から観光客が集まる一大イベントです⁽¹⁾。この民謡は地元体育の授業でも取り入れているほどの地域密着の伝統芸能で、単純な所作は私を含め、誰もが気軽に踊れます。

このような賑わう町に、私の父は船舶修理“機械屋”として、それまで暮らしていた鹿児島県鹿児島市から遠く離れた牛深の地へ着任しました。父は若い頃に鹿屋市にてゼロ戦メンテナンスに従事していたことから、修理の腕前は絶品だったと聞いています。幼少だった私には仕事場の油臭と溶接火花が飛び散る様子が“花火”に見えて、強く印象に残っています。父は私のために廃材や廃鋼材を使い、模型船を作ってくれたこともありました。バーナーで板材を炙りながら目的形状に曲げ、焼けた鋼から骨格部を成形しつつ水中に投げ込

む様子は、今振り返ると収縮・膨張、軟化・焼入れを父は造作無く体感で成し遂げていた気がします。黙々と取り組む後ろ姿を見ていた幼年期が、私の材料工学への関わり原点です。

「巨人の星」が放映された小学生の頃には町じゅうが野球少年で溢れましたが、合わせて喧嘩コマを使った対決が流行しました。勝負のカギは“対戦コマを割る”、“相手より長く回す”ことで、コマ芯の“形状と硬さ”が重要でした。記憶を基に要望の多かった形状を再現しますと、図1の(a)先端が槍のように尖った形状と(b)包丁形です。通常、芯は(a)の頂角が平坦なものです。いずれも相手コマを叩き割る特殊形状ですが、包丁形は的外すと回る機能はほぼ無い、一打必勝の賭けコマでした。これらコマ芯は例外無く特注品です。牛深では農器具を作る小さな鍛冶屋が身近に多数ありましたので、私達は学校帰りに鍛冶屋へ立ち寄り、コマ芯1本10円程度で製作をお願いしていました。当時のおやつ“すずめの卵”が子供の一手一握り1円でしたので、子供にとっては大きな出費です。子供ながらも鉄が思いのままに形を変えていく様子は、遊びを通じた創造性を育む良い学習環境であったと思います。

ここで、“鍛冶屋とは何?”という方もおられるかも知れませんが。鍛冶屋は焼きなまし、鍛造、焼き入れ等の一連操作を小屋内で観ることができる画期的な作業場です。図2は鍛冶屋で利用されていた典型的な“フイゴ”です⁽²⁾。このフイ

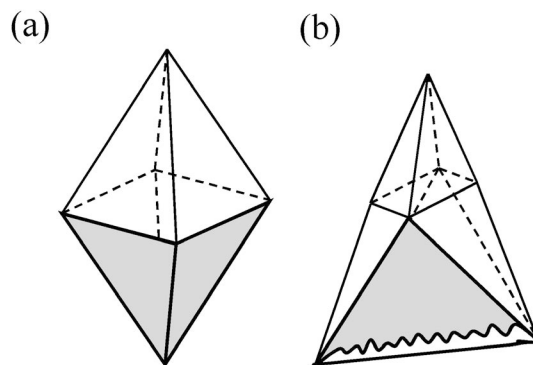


図1 喧嘩コマの芯形状。
(a) 槍状形, (b) 包丁形

* 久留米工業高等専門学校 材料システム工学科; 教授



図2 鍛冶屋で利用されていた典型的な飛ゴ⁽²⁾。(オンラインカラー)

ゴを使い、燃え盛る炎をおこし、鉄が真っ赤に焼ける様子や鍛造によって飛び散る火花を傍で覗き込んでいました。子供の知恵では炭素の役割は全く理解できず、繰り返しの作業工程よりも想像物に仕上がるまでのワクワク感を覚えています。眼前での実機体験には、現在のデジタル化社会では味わえない感動と達成感があります。「最近の若者は…」という表現はいつの時代も同じように耳にしますが、急速にAIやバーチャル化へ舵を切る世代においても、日本のものづくりの神髄に通じる感動と達成感には心に留めておきたいところで

す。久留米高専では中学生にその感動と達成感を体感してもらうため、毎年8月頃に公開講座「青銅鏡を作製しよう!」を開催しています。作業は砂型製作～鋳込み～製品研磨まで一連の工程で、本取り組みは日本金属学会からも支援を頂いております。小さな取り組みではありますが、その後、材料に興味を持って久留米高専へ入学し、地道な技術を修得した後に社会へ出て技術者として活躍する姿は、教員としては出藍の誉れです。

幼年期を含め、低学年で体験する感動と達成感には、大人になり次の産物へのアイデア創出と社会を豊かにする技術者意

識へとつながると考えます。このような体験学習が世紀を越えて引き継がれていくことを、切に願う次第です。

さて、その後の私ですが、大学ではTK-85やPC9800と悪戦苦闘してプログラムの自作に取り組み、機動戦士ガンダム(らしき物体)がインベーダーゲームのように画面上で動いたときは感動ものでした。当時利用していたデータ記憶媒体は磁気テープや8インチのフロッピーディスクで、いずれも容量1MB未満であったため、データの保存に苦労しました。その後大学院へ進学し、博士課程修了後は時代が昭和から平成へ移り変わる中で活性化し始めた半導体メーカーへと就職し、現職への転職後は学生へ次の世代への夢を抱かせる言霊を心掛けながら、学生教育や研究指導を行っております。

文 献

- (1) 牛深ハイヤ祭り実行委員会ホームページ：<http://ushibuka-haiya.com/>(2021年9月8日閲覧)
- (2) 三島市郷土資料館「広報みしま」：歴史の小箱(第127号)～懐かしい鍛冶屋の道具～飛ゴ <https://www.city.mishima.shizuoka.jp/kyoudo/publication/kobakolist.html>(2021年9月8日閲覧)



奥山哲也

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1990年 九州大学大学院総合理工学研究科博士課程修了

主な略歴
1990年～1993年 株式会社SUMCO シリコン技術本部 研究員

1997年～1998年 ベルギー Leuven 大学在外研究員

1994年4月- 現職

専門分野：固体物性、ナノ構造化学


◎研究開始当初は半導体バルク材を中心とした結晶欠陥と特性の研究開発を実施してきたが、現在は結晶成長に魅力を感じ、ナノスケールでの粒子形態制御と機能性発現に従事。教育分野では令和5年度から開始される九州大学工学部と九州沖縄地区9高専との連携教育プログラムの立上げと運用に尽力中。

研究：<https://nanolabo.kyu-kosen-ac.jp/>

教育：<https://renkei.kyu-kosen-ac.jp/>

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年9月9日受理)[doi:10.2320/materia.60.730]


 還暦会員からの
お便り

不都合な事実とパラダイムチェンジ

三田尾 眞 司*

「まてりあ」と同じ数だけ齢を重ねたというご縁で、本コラム執筆についてお声がけいただいた。まさか自分が「還暦会員からのお便り」を書く側になったとは、未だに信じられない。「少年老いや早く学成り難し」の意味を、改めて噛みしめている次第である。

さて、今年は2020年東京オリンピック・パラリンピックが1年延期されて開催された。約60年前の1964年に開催された東京オリンピックについては、東洋の魔女、アベベ、円谷など、断片的ではあるが確かな記憶がある(ただ、残念ながらパラリンピックの記憶はない)。

今回のオリンピック・パラリンピック開催に当たっては、コロナ禍の中、中止、再延期も含め、様々な意見があった。最終的には原則無観客という形で開催されたが、これまでに無い競技環境の中で熱戦を繰り広げ、私たちに勇気と感動を与えてくれた全世界のアスリートの方々に、心より感謝と敬意を表したい。テレビを通して伝わる感動は、緊急事態や自粛など1年半近くにわたって暗雲が立ち込めたままの私たちの暮らしに差し込む、幾条もの希望の光のようにも感じられた。多くの方々がコロナで苦しまれている状況ではあったが、大会そのものは非常に素晴らしいものであった。

ところで、別の場面でこれと似たような感覚を持ったことを思い出した。講演大会である。毎年、秋期講演大会は全国支部の持ち回りで開催されるが、コロナによって状況が一変した。リモート環境が短期間で整備され、講演大会やシンポジウムがオンラインで開催されるようになった。昨年の夏頃までは種々の技術的問題でお手上げのこともあったが、最近ほとんどストレスを感じない。講演こそ、PC相手にその場の聴講者無し(無観客)で行われるが、聴講する側としてはオンラインであっても、本当に素晴らしい講演大会だった、シンポジウムだったと感じるようになった。

某学会のある部門で、コロナが終息したら、また元の講演大会運営に戻した方がよいか、あるいは、コロナ終息後もオンライン開催のままでよいか、アンケートで意見を集約したところ、8割方がコロナ終息後もオンライン開催のままでよいという回答であった。昭和のおじさんにとっては、講演大

会で久しぶりに会った先輩や後輩、旧友と全国各地の美味しい食事を共にすることも楽しみのひとつであり、このアンケート結果には少々驚いたが、開催コストの大幅な削減はもちろんのこと、参加者の交通費・宿泊費の負担ゼロ化、時間の大幅な節約など、オンライン開催がもたらすメリットは大きい。講演大会の「場所からの解放」というパラダイムチェンジが、コロナ禍という不都合な事実によって強力に推し進められたといえる。

このような環境変化は、教育現場でも同様である。学校が児童にタブレット端末を貸与して自宅でオンライン授業を受けさせることなど、コロナ前には想像すらできなかった。「場所からの解放」が進むと、学校にも塾にも行く必要がなくなり、さらに「神授業」を行う数名の先生の教材が全国一律で使われたとしたら、ほとんどの先生が要らなくなってしまいかも知れない。すぐにこのような状態にはならないと思うが、リアルな人と人との繋がりが希薄な世の中になることが危惧され、人間としての社会性や倫理の担保が今後の課題の一つになると思われる。

話をオリンピック・パラリンピックに戻すが、テレビ観戦をしている世界中のほとんどの人々にとって、その場所が「東京」であることはそれほど大きな関心事ではないように思われる。一つの開催都市に全世界から全種目のアスリートが一堂に会するという開催形態にも、「場所からの解放」の波が押し寄せるかも知れない。4年に一度、同じタイミングで、例えば、マラソンは涼しいカナダで、柔道は日本武道館で、テコンドはソウルで行ってネットワークで繋げば、観戦する人々の満足度を落とさずに、アスリートファーストで、かつ開催国の莫大な費用負担を軽減する運営が可能のように思われる。技術はすでに「It's a Small World」を現実のものとしている。

さて、自分の人生を振り返ると60年は短く、あっという間だった。映画「2001年宇宙の旅」のような2001年ではなかったし、私たち庶民の生活にはそれほど大きな変化は無かったようにも感じる。しかし、それは変化を長時間かけて感じ取っているからであり、生活一つ一つを見ると全てが変わったと言っても過言ではない。学生の頃を思い起こすと、卒論は手書き、音楽はLPレコードやカセットテープで聴いて

* (株)豊田中央研究所；主監

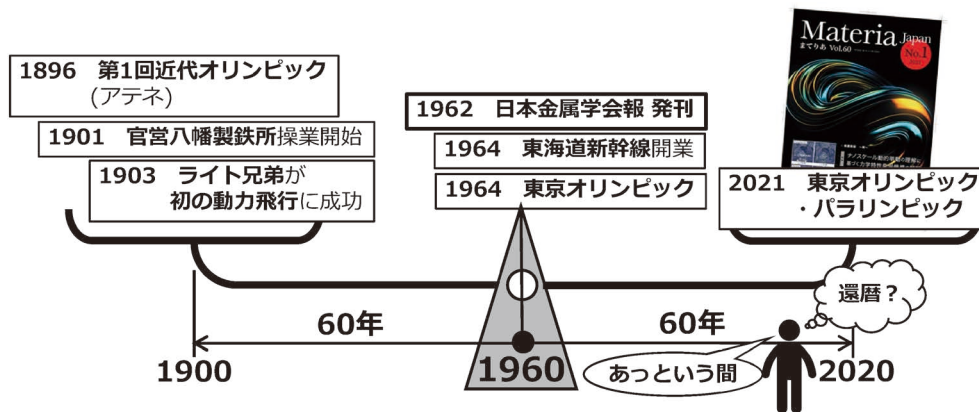


図1 本当に同じ60年？(オンラインカラー)

いた。将来は、世界中の人々とお互いの顔を見ながら電話ができるになると言われていたが、いつの間にか実現している。

この裏返しとも言えるが、自分が生まれる前の出来事は遙か昔のことと感じる。自分が生まれた1960年のわずか15年前に東京大空襲や沖縄戦、広島・長崎への原爆投下があったとは、自分としてはにわかに信じ難い。1960年の「60年前」である1900年頃には、官営八幡製鉄所の操業開始(1901年)、ライト兄弟が12秒間、約36mの動力飛行に成功(1903年)などの出来事があった。1900年から1960年までの60年間と、1960年から2020年までの60年間は、本当に同じ60年間なのだろうか(図1)。あっと言う間と感じる人生60年との感覚の違いに驚かされる。

しかし、どうやら1900年以降のグローバル社会の変化は、有史以来最も急激であったことは確かなようだ。そして、私たちの暮らしが飛躍的に豊かに便利になった一方で、「地球温暖化問題」に代表される不都合な事実が顕在化した。この不都合な事実、持続可能なCO₂フリーのエネルギー

社会実現というパラダイムチェンジ、およびそれに向けた技術開発を強力に推し進めている。例えばフロンのように、その後顕在化する不都合な事実を開発当初から見通すことは極めて難しいが、一方で、予見される不都合な事実の解決を先送りしつつ、開発が進められることも往々にしてあり得る。今後の60年間においても多くの不都合な事実が出現すると思われるが、それらを乗り越えるために、科学技術が背負う役割と使命は大きい。パラダイムチェンジを引き起こす研究開発に期待したい。



三田尾真司

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1985年 東北大学大学院工学研究科修士課程修了

日本鋼管株式会社入社

1993年 博士(工学)(東北大学)

1993-1995年 米国 NIST 客員研究員


2003年 JFE スチール株式会社スチール研究所

2014年 現職

◎主に金属材料のミクロ組織と力学特性に関する研究に従事。現在は環境負荷低減施策、研究倫理などに取り組んでいる。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年9月7日受理)[doi:10.2320/materia.60.732]


 還暦会員からの
お便り

半生を顧みて

～今を決めた道しるべと雑感～

森田 一樹*

まてりあ60巻記念企画として先月(10号)に日本金属学会関東支部の活動について紹介させていただいたところですが、このたび同企画で、還暦を迎えた会員として寄稿の依頼をいただきました。小職はまてりあ(日本金属学会会報)よりもやや老けており、ちょうど1年前(11号発行日)に還暦を迎えております。鉄やシリコンを中心とした金属製精錬に関わる高温物理化学を専門とし、当学会および日本鉄鋼協会を軸に活動をしています。本誌面を私的な随想に割くのは些か恐縮ですが、格好よくない自身の半生について振り返り、思うところを少しだけ述べさせていただきます。

最近、親ガチャという言葉を目にしますが、好むと好まざるとにかかわらず自身は二代目で、見事に親の洗脳を受けて現在に至っています。思い返せば1969年、小学3年生の夏休みに父の職場(大阪大学工学部冶金学科 足立彰教授研究室)を訪れ、受けた衝撃がきっかけでした。(時効成立として、公私混同をお許し下さい。)失礼ながら当時お友達感覚だった大学院生のお兄さん達に、複雑な(ボタンを押すとトラックの荷台が開いて、車が飛び出す)プラモデル作りをお願いするのが目的でした。プラモ取り込み中に父親に呼ばれ、何の気なしに覗いた実験室の皆さんの視線の先には、黄金色に丸く輝く鉄が浮かんでいました。プラモ作りのことなどすっ飛び、色ガラス越しに呆然と見入ってしまいました。小学3年生には“なんでやねん”以上の言葉は出ませんでした。この光景は色褪せないまま、今も脳裏に焼き付いています。レベテーション一発で人生を決めてしまいました。

「俺は金属」という漠然とした思いを秘めたまま10年の歳月が流れ、大学2年生の後半に金属工学科への進学を何の抵抗もなく選択しました。進学当時、金属に興味があって学科を選んだ同期があまり見当たらず、敗北感にも似た後悔の念と少し戦いました。そういう自身の成績も成績でしたが、その点は不問に付させていただきます。以前は、「何故わざわざお父さんと同じ分野に?しかも鉄に?」と直球の質問を頻繁にぶつけられましたが、「子供の頃見た光景が・・・」と美化したような返答をするのも憚られ、「親の書籍も使えるし、

かじれる臍もいろいろあるでしょう」と茶化していました。今更ながらの言い訳ですが、偏差値主義まった中で中高時代を過ごし、「必要最低限のことだけを最大効率で」というモットーの下、世の中を知り、広い視点で学ぶことを先送りしていた(金属以外の分野を知る機会を放棄していた)のは事実です。

最近、多くの大学では広く理工系分野のアウトリーチ活動も行われるなど、中高生にとって将来の判断材料を取捨選択できる環境が整いつつあります。「金属は面白いぞ」、「材料は重要だ」と自画自賛するだけでは魅力を伝えられず、入口、出口双方にスポットライトを当てた地道な啓蒙活動の推進が金属・材料工学の将来にとって重要な鍵の1つになると思います。以前、ある女子高のSSHクラス出張講義に、1.6 kWの電子レンジ持参でお邪魔したことがあります。「お家でやったらあかんよ」と警告した上で実演したマイクロ波製鉄の余興に生徒達の目は爛々と輝き、「面白い」を伝える重要性を実感するよい機会になりました。数日後、「アルミニウムの熔融塩電解をやってみたいのですが」と彼女らの数名が研究室にやって来た時には、嬉しい悲鳴を上げてしまいましたが・・・日本金属学会では、高校生・高専学生のポスター発表が講演大会時に企画されています。教育現場との貴重なインターフェースとして機能しており、発表内容の質疑や評価のみならず、金属・材料工学分野の重要性や大学での学びなどをアピールする好機として参加するよう、自身でも心がけています。しかし、学会活動にはまだまだ多くの導火線が隠れているような気がします。例えば高校生会員の新設や、すでに支部では検討中かも知れませんが、進化したオンラインシステムを活用した高校生対象の講習会・講演会の開催などにより、高校で学ぶ物理学と化学を広く裾野に持つ金属・材料工学が、彼らにはより身近なものになるのではないのでしょうか。また、当該分野を「知る・視野に入れる」チャンス拡大が、先入観による食わず嫌いを抑制し、リケジョ(マテジョ?)増加、ひいては当該分野の教育・研究者の女性比率向上にも繋がるように思います。

ころっと私的なお話に戻してしまいますが、多くの先生方に違わず、小職もかなりの変わり者です。情けなくも、大事

* 東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻; 教授

なところは安易な方向に流されがちですが、論されても直せない妙な価値観を持ち合わせ、家族には迷惑をかけ続けています。九十九里浜のほぼ中央に位置する成東という町(現千葉県山武市)に移り住んで、28年になります。我が国ではちょうどバブルが弾けた頃、ガラス材料学研究室の助手在任期間中に、米国 UCLA に2年間留学する機会をいただきました。ゆとりのあり過ぎた時代で、現在ご活躍される若手の皆様からの激しいプーイングが聞こえます。当時も留学中の執筆論文数を競う声を耳にはしていましたが、「もっと大切なことがあるはず」という根拠の無い大義名分の下、週末は殆ど飛び歩いでいました。(詳述は控えますが、そちらの業績にはかなり自信があります。)帰国後、感覚が相当麻痺しており、「都会では暮らしたくない」という我がまま、「50マイルは通勤圏」という妄想から、「ここぞ終の棲家」と感じた縁もゆかりも無いスポットに家を建ててしまいました。当時現役だった父をはじめ、周囲からは猛反対を浴びましたが、持論でねじ伏せ、家の向きからコンセントの位置まで妥協を許さない凶面を米国から持ち帰った Mac で描き、最後は厚紙で作上げた立体モデルを突き付けて、躊躇う地元の不動産屋さんを説得しました。なお、耐震強度は不明です。

有料特急を使っても片道約2時間の道のりですが、日々の往復を列車内で過ごす時間については、負け惜しみ抜きにかなり貴重なものにしてきました。まだまだ印刷物オンリーの90年代後半までは論文読みや原稿チェックに勤しみ、そのうちパソコン通信に入門。世紀が変わる頃には、車内から携帯電話をアクセスポイントに繋いで、ひたすらラップトップPCの画面に向かっていました。限られた時間の誰にも邪魔されない空間では、最大の集中力が発揮できました。通勤に年間地球一周という奇異なライフスタイルを自己正当化するための意地だったのかも知れません。

少々強引な夢の田舎暮らしを営みつつも、夢見ていたことがもう一つありました。「いつか、自宅の書斎から何でも出来る日が来ればいいな」。これまた、53年前の父の一言に感化されたものでした。小学2年生の図画工作の時間に4名一組の班を作り、模造紙に「未来の社会を描いてみよう」という数週にわたる課題がありました。子供の夢なので、超高層ビルの間を空飛ぶ車が行き交うような素直な画が殆どだったと思います。私もご多分に漏れず事前にそのような下絵を家で考えていたところ、日頃息子の日常など見向きもしない父に「こんなどうや」と見せられたスケッチが、大きなテレビ画面に映る先生と画面の前で授業を受ける1人の生徒でした。「未来は学校に行かなくても、授業を受けられるようになるんじゃないか」。今考えれば、たまたま父がどこからか仕入れたネタだろうと思いますが、「これは面白い」と、班長の自分が強引に進めました。はっきり言って盗作です。画が下手くそだったためか、残念ながら担任の先生には全く

理解いただけませんでした。その時以来、その画が自身のイメージする未来社会の1枚となりました。そして、還暦を目前に突如訪れたりリモート生活。コロナ禍をポジティブに捉えるのは不謹慎ですが、講義から井戸端会議まで、この新たな様式は夢見ていた生活を超越したものでした。昨年4月以降、週の半分以上はサバティカル@九十九里を続けています。人と異なる価値観の意義を確信し、ますます偏屈親父になる今日この頃ですが、当たり前前の価値基準を疑い、独自の重み付けをした価値観を持つとするとする心がけは悪くないと思います。そして明るく、何事にも前向きに。その姿勢が世を変える研究・開発を芽吹かせるのではないのでしょうか。

歳とともに学会運営に関わる機会も増え、事務局の大変なご苦勞も以前にも増して理解できるようになりました。昨年度はたまたま同時期に、当学会と日本鉄鋼協会双方の副会長を仰せつかることとなり、随所にみられる両学会の違いに考えるところもありました。もちろん、違いこそがそれぞれの業を示すアイデンティティーではありますが、連携して開催してきた講演大会などでは、共同セッションのみならず、参考のできる点、合理化可能な点など、工夫の余地が残されているように感じられます。ものづくりにおける我が国の国際競争力を維持・強化するために、金属・材料工学分野の基礎研究・技術開発のさらなる活性化が望まれる中、会員数減少とは裏腹に、知の協創・産学連携のプラットフォームとして、そして人材育成の場としての学会の使命は、一層重要になります。甚だ微力ですが、当該分野の繁栄と主役を担う後進のために、残された時間を捧げたいと思います。できるだけリモートで……

取り留めのない関西人の駄文に最後までお付き合いいただき、ありがとうございます。会報との年齢関係は変わり得ませんので、70巻記念企画には「古希会員からのお便り」が無いことを信じて、来る10年間の皆様方のさらなるご活躍ご発展を祈念し、結びとさせていただきます。

最後になりましたが、道しるべを照らしてくれた亡き父に思いを馳せ、お導き下さった恩師や先進の皆様、そして何よりも、自身と研究室を支えてくれた多くの卒業生・学生の皆様に感謝の意を表します。



森田一樹

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1988年3月 東京大学大学院工学系研究科博士課程
修了
1988年4月 東京大学工学部助手
1993年1月 同講師
1995年11月 同大学院工学系研究科助教授
2006年1月 同生産技術研究所教授
2013年1月- 現職
専門分野：材料製造・循環工学
◎鉄鋼製錬や太陽電池用シリコンの精製プロセス、リ
サイクルプロセス開発に関連する熱力学研究や高温
物性測定を中心に、高温の物理化学研究に従事。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年9月27日受理) [doi:10.2320/materia.60.734]

還暦会員からの
お便り

私が驚いた大会講演

小笠原 徹*

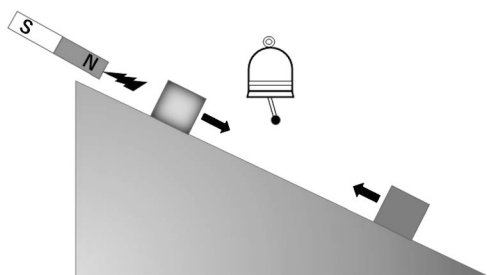
ずっと昔(90年ごろ)ですが、私の思い出に残る、たまげた講演を3つ紹介します。もう時効と思いますので。

① 永久機関

「永久機関」なる講演がありました。当日、そのセッションは大入り満員で、廊下にもあふれ、窓から見ている人もいました。

摩擦のある坂道のふもとに強磁性体のブロックがある。坂の頂上に強力な永久磁石をもってきてブロックを引っ張ると、坂道を登っていくが、そのうち摩擦で温度上昇しキュリ一点を超える。すると強磁性を失って、坂道を滑り落ちる。下まで落ちてしばらくたつと冷めてまた強磁性になるので引き上げられる。毎回、上下するたびにベルをたたく、などの仕事をさせれば永久機関となる。みなさん、いかがでしょうか？

たくさん質問、意見が出ましたが、正しい、正しくない、の結論はでなかったように思います。でも盛り上がりました。



* マツダ株式会社 R&D 技術管理本部

† OHP(Over Head Projector), 当時はパソコンや液晶プロジェクタというものはなく、透明フィルムに手書きかコピーで図表などを描き、下からランプで照らしミラーを介してスクリーンに投影していました。その前は図表を写真撮影してブルースライドにして投影機で映す(“Next slide, please.”はここからきている)。そのまた前、金属学会報が発刊されたころは、大きな模造紙に手書き(筆?)で書いて、竹の棒で指して説明していたようです。今ならその場で資料を直せますが、昔は準備に手間がかかりました。概要集も手書きでしたが、かえってそれが人柄や温かみを感じさせてくれました。“指し棒”も竹から金属、レーザと代わり、今ではソフト上で動かしますね。

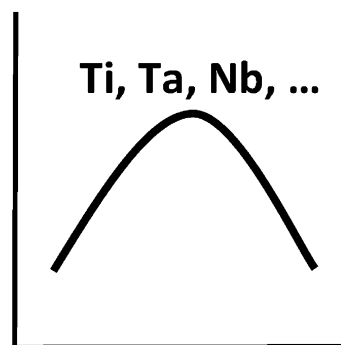
② その場でプレゼン

その先生は直前まで実験されていたらしく、ようやくデータがとれたばかりだったご様子。学生さんに生協に OHP[†]フィルムを買いに行かせ(当時は OHP でしたね)、サラ(新品)のフィルムをプロジェクタに置いて話し始めました(その時点でザワザワ)。

その場でペンでピューッとグラフを書き「こういう結果になったんですね」と(堂々と)発表されました。話のスジは通っていたのですが、みなさん「こういうやり方もあるのかな」という感じでした。覚えておられる方もおられるかも。

③ 今後の方針

学生さんが発表を終えると、以下の Q&A がありました。
「これらの添加元素を入れた理由は何ですか？」
「センセが入れるといいました」
「今後、この成分をこっち側に振ってみたら特性が更に改善するのでは？」
「やりません」
「なぜですか？」
「ボク、もう卒業するんです」
全員椅子から落ちました…



昨今、こんな“豪傑”はみませんね。

(2021年8月8日受理)[doi:10.2320/materia.60.736]

60年のあゆみ

大阪府立大学名誉教授 稲 数 直 次

1. はじめに

日本金属学会発行の会報「まてりあ」が本年度で刊行以来60年の節目を迎えたとの事、その間多事に渡ってご苦労されたでしょうが、誠に慶賀な事と存じ上げます。

扱、60年間何をして居たのかなと古い日記帳を眺め渡したが、今までの仕事の流れを遡ることにした。

金属学会の会員になる以前の事であるが、将来の進路の事で親から何かお前自身考えているのかと聞かれて、咄嗟の事で自分の趣味の事しか頭になく、歴史関連の方かな、特に古代史などに興味があるけど…と言葉を濁したが、馬鹿者、お前の趣味を聞いているのではない、近い将来如何なる道に進みたいのかと謂う事だ、今すぐ決めなくても良いが考えておく事だな、と云われた。将来如何なる道など考えた事も無かった。その後、父親は1冊のパンフレットを見せて、此を読んでみろとの事。此のパンフレットは日本の工作機械に関するもので、此の機械を用いて製作すると精度の高い製品が多量に生産され、寸法的にも僅かな許容範囲に収まっていると謂う事だが、しかし機械の寿命が短い、丸で粉末で出来ている機械の様である、と記述されていた。日本製の機械が粉から出来ているとは…読み進んでみると分かった。すなわち、機械が相互に摩れ合う部位で摩擦が起こり、摩耗した部分から粉が生じるのである。此の問題は機械材料全般に関わることで、取り立てて云う程の事ではないが…。此のパンフレットはドイツ系の業界関連誌のトピック欄の噂話にすぎない無責任な記事であったが、日本人の若者が読むと気持ちの良いものではない。しかも、日本人の手先の器用さを揶揄するところが見え隠れする。機械材料の品質を云々する前に、摩擦・摩耗のメカニズムを解明する事、さらに機械材料・被加工材の使用環境を把握する事など色々因子が有るものだ。此の様な一種の洗脳があって、のちの専攻を決める時、父親に矢張り考古学を勉強したいと申し出たら、考古学は趣味程度にしておけと軽く視られ、機械構造物の材料科学を勉強する気はないのかと止めを刺されてしまった。

2. 転位の概念を学ぶ

1931年に満州事変が発生し、国内では軍政が罷り通る世の中になってからは、欧米の文献類が入手し辛らくなり、採鉱・冶金学、金属工学分野の研究動向を暗示する論文がないものかと、私の恩師が若い頃参考文献を漁った苦勞を話して貰った。その後、文献も入手され易くなり、金属結晶体の変形に際し、いきなり転位論がクローズアップされてきた。此

の様な時に学生や若手の研究者が求めている解説書⁽¹⁾が1957年、日本金属学会より発刊され、転位論の概観に接する事が出来たのである。また当時、金属学会の関西支部の物理冶金研究会では京大の著名な教授が音頭を取って研究会を盛り上げて頂いたおかげで、転位論の概念が益々はっきりしてきたようであった。

その後、初版刊行以来10数年を経過して、新版転位論⁽²⁾(その金属学への応用)が刊行された。此の新版転位論は、前半部分では初版発刊本と合わせて転位を理解する上で大いに助かった。しかし後半部は金属屋では難しくお手上げであったが、私のその後の進む道が機械材料の方向へ変わり、転位論から学ぶ項目は加工硬化、金属の疲労、破壊、回復と再結晶などに限定されるようになった。

3. 集合組織を学ぶ

前項でふれたように、機械材料に成る素材すなわち金属材料はその加工手段(圧延・引抜・プレス成形・深絞り・鋳造など)によって機械的性質の異なる組織が生まれる。此れが集合組織である。この集合組織にもとづく材料の諸特性は、その組織の優先方位によってほぼ決定する事になる。従って、集合組織の異方性は組織を上手にコントロールすれば想わぬ特性が得られる事になる。集合組織の研究は鉄鋼材料が主体であった。従って、仕事柄大手の高炉メーカーの研究者が多いが、彼等のリーダーが中心に成って国内の関連学会誌に発表される様になった。当時はまだ集合組織に関する参考書が少なく、日本金属学会の英断によって金属学新書の出版⁽³⁾のはこびとなり、適切なテーマが撰定され、1966年に出版されたのである。春・秋の講演会の期間中、事務局の受付付近で灰色表紙の新書の陳列販売が行われていた事が想い出される。

その後、可成りの時間が経過したが、集合組織の測定とその解析が進み、集合組織のデータも多岐にわたり、組織制御の面から合金成分や熱処理によって変態や析出を制御して材質改善を行う従来の技術やさらに加工と再結晶の行程をはさみ、一層の改善が可能になった。また、1981年に金属学会セミナーとして集合組織が取り上げられ、さらに1984年に18年前の灰色表紙新書の改訂版が出版され、大いに参考になったのである。尚、集合組織の研究は歴史的に見ても欧州が一步先んじていたが、日本における集合組織の研究もそのあとを追い掛け、さらに研鑽を重ねて今日まで来たのである。その間は Inter. Conf. on Textures of Materials (ICOTOM) 「材料集合組織に関する国際会議」の名のもとに各国持ち回りで講演・発表会を催し、大いに議論されたものである。

4. 3 ルートの本州四国架橋の完成

関西周辺には伸線業を生業とする企業が多く、私も引抜加工を通して繊維集合組織の形成のメカニズムや線材の機械的特性を調べていたので、地場産業との結びつきも漸次密接になり、鋼線鋼索技術懇談会を通して交流が活発になった。此の会は隔月ごとに勉強会を開き、現場で発生する問題を共に考えたり、時には工場見学会も行った。本四架橋に用いられたワイヤロープは、寸法や材質・機械的特性によっては懇談会に所属する企業で製造された製品も種々あったと聞き及んでいる。尚、本四架橋に関するデータや資料は、山陽新聞社発行のイラストで見る「瀬戸大橋」⁽⁴⁾を参考にさせて頂いた事を申し上げる。

扱、イラストで見る「瀬戸大橋」の年表によると、1961年4月、瀬戸大橋に関する技術的な調査を建設省土木研究所が潜水艇で行うことが決定。その後、ルートに関しては政治向きの話し合いが行われ、「児島～坂出」「明石～鳴門」「尾道～今治」の3ルートが決定した。1970年7月、3ルートの建設と管理を行う機関として「本州四国連絡橋公団」が設立された。1978年10月、児島～坂出ルート瀬戸大橋工事の起工式が行われた。まず最初に、頑丈な土台を造らなければならない。吊り橋の場合の土台とは、ケーブルを固定するための橋台(アンカレッジ)と、ケーブルを支える塔をのせる為の橋脚である。これらを海底から丈夫な構造にしなければならないので、大変な工事である。児島～坂出ルートの中で最長の吊り橋は南備讃瀬戸大橋で、その中央支間長は1100mである。上記の南備讃瀬戸大橋に用いられた主ケーブルの構成を説明する。ストランドとは直径5.12mmの高張力垂鉛めっき鋼線127本を束ねて直径66.6mmにしたものである。ケーブルはそのストランドを271本束ねたものである。仕上りは1062mmの円型となる。南備讃瀬戸大橋のケーブルは、5.12mmの素線3万4417本を束ねたもので、素線全部を繋ぎ合わせると12万1889kmになる。地球の赤道の周囲が約4万kmであるから、3周してもまだ余る事になる。重さは約2万tである。以上が児島～坂出ルートの瀬戸大橋の構成であるが、此のルートは鉄道・道路の併用橋である。しかも、吊り橋の南備讃瀬戸大橋は併用橋としては、世界第一位である。このルートは1988年4月に全面開通した。まもなく我々の技術懇談会も見学会として、本ルートを海上から見学した。備讃瀬戸大橋を見学中、私の近くで見学していた人がブツブツと独り言をいう声が聴えてきた。「しっかり持っているよ…しばらく辛抱しろよ…」と云う内容の独白が耳に焼き付いた。自社製品を擬人化して、他家へ行くわが子を見送る心境そのものである。素線1本でもワイヤ

ロープ1束でも、育て上げた我子の行末を見極めたい気持が伝わってくる。

次のルートは「明石～鳴門」である。このルートは明石海峡大橋が圧巻である。主ケーブルは、直径5.23mmの素線を127本束ねられたストランドが290本集まったもので構成されている。その直径は110cmである。此の吊り橋の中央支間長は1990mで、世界一の吊り橋になる。海底から杵築上げられた橋脚の上の巨大な主塔を観覧される見学者は、東京タワーと同じ程の高さがある2本の主塔の間を通過するにおよんで、その雄大さをまざまざと実感される事であろう。

扱、最後の「尾道～今治」ルートは、来島第三大橋が1999年度開通予定であるが、その前に1968年に尾道大橋や1983年に因島大橋が開通して下絵が出来上っていたようである。私が所属する技術懇談会も、執拗に工事の進捗状況を追い掛けていたようだ。来島第三大橋は開通を控えて慌しい見学会であったが、今治側の展望台から本州側を俯瞰すると、来島海峡を跨いで第一・第二・第三の大橋が北へ伸びているのが一望出来た。第三大橋の中央支間長は1030mである。瀬戸内海に架かる大ものの吊り橋として最後の工事である。有終完美を念じて帰路についた。

冗長な拙文を連ね回し、お見苦しき処裁を平にご容赦下さい。

文 献

- (1) 日本金属学会金属結晶分科会編：転位論の金属学への応用、丸善、(1957)。
- (2) 日本金属学会編：新版転位論(その金属学への応用)、丸善、(1971)。
- (3) 長島晋一：集合組織、日本金属学会、(1966)。
- (4) 松枝達文：イラストで見る「瀬戸大橋」、山陽新聞社、(1983)。



稲数直次

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1961年 大阪府立大学工学部金属工学科卒業
 1961年 (株)淀川製鋼所勤務 (鋳鋼ロールの磨耗と圧延集合組織の研究に従事)
 1968年 大阪府立大学工学部金属工学科勤務 (引抜加工ならびに再結晶繊維集合組織の結晶学的研究に従事)
 1975年 “鋼およびアルミニウムの線引集合組織と機械的性質に関する研究”により工学博士の学位を授与される。
 1978年 西ドイツアヘン工科大学金属物理研究所客員研究員 (アルミニウム合金の析出を伴う再結晶集合組織の研究に従事)
 1980年 鋼線鋼索技術懇談会副会長
 1997年 大阪電気通信大学工学部機械工学科勤務
 2003年 鋼線鋼索技術懇談会会長
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年8月16日受理) [doi:10.2320/materia.60.737]

支 部 だ よ り

日本金属学会東北支部だより

東北支部 支部長 吉見享祐*

「まてりあ」が60巻を迎えられましたことを、東北支部を代表しましてお祝い申し上げます。

東北支部は、日本金属学会本部のお膝元であるという緊張感と同時に、東北6県の風土なのでしょう、大変家族的雰囲気の中で、和気あいあいとした活動を続けております。本稿では、そのところを簡単にご紹介させていただきたいと思っております。

東北支部の主な年間行事は地区講演会と研究発表大会で、これらは共に、毎年東北6県内を開催地を変えて開催しています。

日本金属学会のホームページに残る記録も参考にいたしますと、例えば地区講演会は、2009年10月に秋田大学にて、秋田大学工学部資源学部材料工学科様と日本鉄鋼協会東北支部様との共催で開催いたしました(https://jim.or.jp/jim_web/EVENTS/branch/brch_0390.html)。その時の講演者のお一人は、準結晶で世界的に著名な故 蔡安邦先生でいらっしゃいました。8年後の2017年度には再び秋田大学で開催し、「新しい金属材料の開発と評価法」というテーマで講師お二人に講演いただきました。2018年度は弘前大学(青森)で、「イノベーションに向けた産学連携」をテーマに開催しました。2019年度はブランニュー北上(岩手)で「東北地域ものづくり企業基礎力向上セミナー ～ものづくり基礎講座～」を開催し、大学や企業から講師をお招きしました。

研究発表会については、2009年12月に岩手大学にて第8回を開催いたしました。そう考えますと、東北支部の研究発表会は2000年代に入って始まったことになり、それほど歴史が古い訳ではないことに気がきます。日本金属学会のお膝元という地域事情により、支部としての活動開始が少々遅かったのかも知れません。その後、2014年度に再び岩手大学、2015年度が弘前大学、2016年度は秋田大学、2017年度は東北大学、2019年度は仙台高専、2020年度は秋田大学というように、主に各県の国立大学や高専を会場として、東北地区の研究者、学生らの研究成果の発表と交流を続けてまいりました。近年、山形大学で開催できていないことが残念です。

2020年度はコロナ禍のため地区講演会、研究発表会共にオンライン開催となり、地区講演会は第2回「東北地域ものづくり企業基礎力向上セミナー ～ものづくり基礎講座～」でした。これらの他、(公財)本多記念会様と「本多光太郎記念講演会」を、また、日本鉄鋼協会東北支部様と湯川記念講演会を共催してまいりました。

さて、支部活動という訳ではありませんが、筆者は東北大学工学部金属系(1983年当時)に入学して以来ずっと東北大学の材料系部局に在籍しており、日本金属学会東北支部には学生時代から大変お世話になってきました。筆者が日本金属学会に入会したのは修士課程2年生であった1989年のことです。当時は、金属学会に入会するには正会員2名の推薦が必要でした。そこで筆者は、当時の指導教官の東北大学金属材料研究所 花田修治先生(2000年度および2004年度日本金属学会副会長)と和泉修先生(1993年日本金属学会賞受賞)に推薦人をお願いいたしました。花田先生には日頃からご指導いただいておりますのですぐに相談に伺うことができましたのですが、初めて和泉先生に相談に伺う際はさすがにかなり緊張し、教授室の扉をノックするのに脂汗を滲ませながら勇気を振り絞ったことを今でも鮮明に覚えております。自身初めて参加した講演大会は、1989年に北海道大学で開催された日本金属学会秋期講演大会でした。このときは旅費を支給していただき、出張扱いにいただきましたが、そのような経験はもちろん生まれて初めてで、妙に興奮いたしました。仲間達と夜行列車に乗って仙台から札幌まで移動するのも、恥ずかしながら途中まではぼ修学旅行気分、会場に着くなり突如緊張感が湧き起こって、発表前日の夜もホテルで一生懸命発表練習をしたことを今でも思い出します。とても良い経験をさせていただきました。それから30年余り、日本金属学会と東北支部に育てていただき、本当に感謝しております。今後の益々の発展に、一会員として微力ながら貢献してまいりたいと存じます。

(2021年9月10日受理)[doi:10.2320/materia.60.739]

* 東北大学大学院工学研究科；教授

スポットライト

～第5回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

絹繊維の判別の研究

宮城県仙台第三高等学校3年理科

齋藤悠敏 麦嶋大地 渡邊 律
細谷海心 森 愛斗

私たちは、絹繊維を確実に判別する方法を研究している。繊維の材質を判別することは難しく、リサイクルショップなどでは課題の1つとなっていた。繊維を燃やすことでも判別できるが、確度が観察する人の感覚に依存し、また繊維を損傷してしまうため商業的には利用できない。そこで私たちは科学的な根拠を持ち、かつ商業的にも利用できるように方法を見つけたいと思い研究を始めた。今回は着物店での利用を視野に入れ、着物の繊維としてよく使われる絹繊維とポリエステル繊維を用いて実験を行った。

まず、絹繊維とポリエステル繊維(ともに大きさ 1 cm^3 、厚さ約 1 mm)の吸水性の違いにより判別できないかと思い、滴下法を試行した。実験方法は、繊維の試験片に水滴を滴下し、繊維に吸収されるまでの時間を計測する。水の鏡面反射が消えたとき、それを「水が吸収された」と定義し、それぞれ3回ずつ行った(図1)。結果より、吸水時間について絹繊維は4.1秒、ポリエステル繊維は40秒と顕著な違いが見られ、判別が可能である。したがって滴下法による判別は即時的に結果がわかるため撥水加工などで表面が加工されていない場合に、試験的な検証を行える点で優れている。また吸水性の判別として、バイレック法という判別方法も検証した⁽¹⁾。これは、繊維の試験片を吊るし、その下端を水面に浸し、一定時間経過後に繊維に浸透した水の高さを計測する判別方法である。今回の実験では、10分間放置した後に上昇した水の高さを計測する操作をそれぞれ3回ずつ行った(図2)。結果より、絹繊維は5.2 cm、ポリエステル繊維は3.2 cmで差はあったものの、顕著には見られなかった。このこ

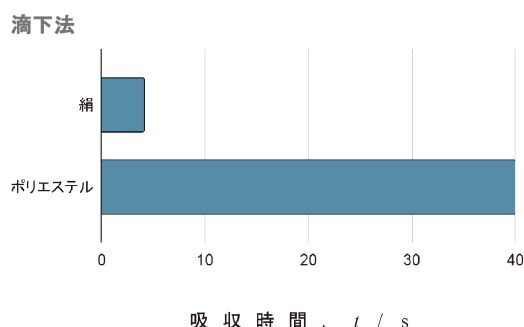


図1 滴下法の結果。(オンラインカラー)

とより、バイレック法での繊維の判別は滴下法に劣る。吸水性による判別では、滴下法を用いることで絹繊維とポリエステル繊維を判別できる。しかしこの判別方法では気温や湿度の影響を大きく受けると考えられるため(今回の気温は約 25°C 、湿度は約60%)、滴下法は常に信頼できる方法とは言えない。気温や湿度の環境による影響を受けない判別方法を確立することが必要である。

次に、化学的な判別方法として蛍光塗料としてフルオレセインを用いた。フルオレセインはタンパク質に反応する蛍光塗料であり、紫外線により発光するため元々色付けされた繊維(服や着物)でも判別できると考えられる。絹、ポリエステルそれぞれの繊維を飽和フルオレセイン水溶液に20分間浸した後、紫外線を照射した結果、絹のみに蛍光が見られた。フルオレセインは絹のタンパク質のアミノ基に反応して蛍光色を発する性質を持つ。また、絹繊維にはアミノ基が含まれている。よって、変色により絹繊維を特定できる。この実験では染色実験用として販売されていた繊維を用いて実験を行ったが、市販の繊維では網目が細かく染色が薄く判別が困難であった。そこで、フルオレセイン水溶液のpHを変化させ、実験を行った(図3)。

フルオレセイン水溶液のpHが約2~4と低いとき、絹繊維は顕著に反応した。またポリエステル繊維は反応しなかった。そのため染色反応には水素イオンが関係していると考えられる。フルオレセインはカルボキシ基を持っているが、水溶液中で電離してしまうため、絹糸を覆っているアミノ酸タンパク質であるセリシンとアミド結合せず絹は染色されない。ここで、カルボキシ基は水溶液中で以下(図4)の電離平

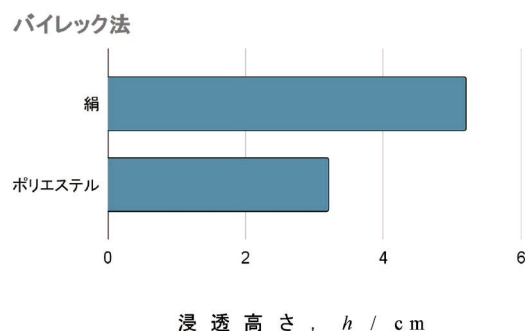


図2 バイレック法の結果。(オンラインカラー)

pH	2	4	7	10	12
絹					
ポリエステル					

図3 フルオレセイン水溶液のpH変化に伴う染色具合の変化。

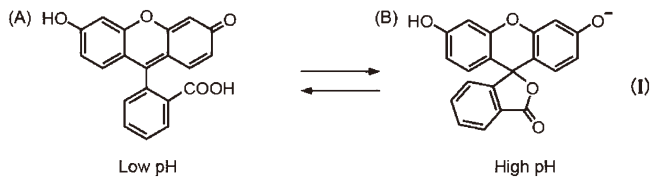


図4 フルオレセインの電離.

衡が成り立っている⁽²⁾。したがってルシャトリエの原理より、水素イオンの濃度が高い(pHが低い)ときカルボキシ基を有する形態側に平衡が偏る。そのためpHが低いほど染色されやすくなったと考えられる。

今回の研究発表はオンラインで行われたため、私たちの研究をうまく伝えることができるか不安なところもあった。し

かし、実際の発表では多くの方から質問やコメントをいただき、素晴らしい経験をさせていただいたと感じている。私たちは、この研究によって着物をはじめとする衣類のリサイクルが促進され、少しでも社会に貢献できれば良いと考えている。この研究を進めるにあたってご協力くださった先生方、そして今回の研究発表での講師の方々や金属学会の方々には大変お世話になりました。本当にありがとうございました。

文 献

- (1) 一般財団法人ポーケン品質評価機構編, 機能性素材の評価試験法(第5版), (2020), p.20.
- (2) 長岡 勉, 床波志保, 椎木 弘, 山本陽二郎: 生物学的物質の捕獲又は分離用複合微粒子, 特開2011-242387, (2011).
(2021年6月29日受理)[doi:10.2320/materia.60.740]



本 会 記 事

会 告	2022年会費お払込みのお願い	742	
	今後の講演大会開催予定	742	
	2022年春期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	742	
	2022年春期講演大会講演募集	743	
	2022年春期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨	752	
	2022年春期講演大会高校生・高専学生ポスター発表募集	755	
	2022年春期講演大会参加申込みについて	756	
	会誌編集委員会からのお知らせ	758	
	2021年秋期講演大会記録	763	
企業求人情報	758	新入会員	762
掲示板	759	訂正	762
会誌・欧文誌11号目次	761	行事カレンダー	765
次号予告	762		

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

・投稿規程・出版案内・入会申込はホームページをご利用下さい。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2022年会費お払込みのお願い

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

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

会費のお支払い確認

ホームページ→入会・会員→会員マイページ→(ID・パスワード入力)でお支払いと確認ができます。

問合先 会員サービス係 E-mail: member@jim.or.jp

今後の講演大会開催予定

- 2022年春期(第170回)
日程：2022年3月15日(火)～17日(金)，22日(火)
会場：東京大学駒場キャンパス(予定)，22日はオンライン
- 2022年秋期(第171回)
日程：2022年9月21日(木)～23日(土)
会場：福岡工業大学(予定)

2022年春期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

推薦書提出日：2021年11月19日(金)

春秋講演大会における外国人研究者による特別講演と招待講演については会員からの推薦をもとに、国際学術交流委員会において審議採択し、講演実施細目については講演大会委員会で決定いたします。2022年春期講演大会の特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。尚、新型コロナウイルスの感染拡大状況により春期講演大会がオンライン開催に変更になる可能性もありますこと予めご了承下さい。

特別講演

- 講演者：著名な外国人研究者とする。
- 講演時間：30分(討論10分)
- 採択件数：3～4件
- 滞在費補助：10,000円×5日(上限日数)(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

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

推薦書提出期日 2021年11月19日(金)

照会・推薦書提出先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 国際学術交流委員会
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: stevent@jim.or.jp

2022年春期(第170回)講演大会講演募集

©2022年春期講演大会を下記の通り開催いたします。

会 期：

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

ポスターセッション・高校生ポスターセッション：2022年3月22日(火)

開催方法：

一般講演・各種シンポジウム・共同セッション：

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

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

オンライン開催の場合、通常とは異なる発表形式となります。

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

オンライン開催に伴うリスクについての注意

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

・発表に伴うリスク

1. 研究情報を不正に取得される

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

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

※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。

2. 著作権を侵害してしまう

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

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

下記事項もご確認頂き、お申込下さい。

① 「一般講演」に限り、2件申込することができます。

② 最新の概要原稿フォーマットを利用し、PDF変換後、アップロード下さい。

③ 同一研究室の3件以上の連続講演は認められておりません。

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

⑤ 「参加証引換券」は郵送いたしません。各自「大会マイページ」から印刷し(スマートフォンやタブレットでの提示も可.)、金属学会大会受付で参加証と引き換えとなります。

講演申込受付・概要原稿提出を下記日程で行います。

講演を申込される前に下記をご確認下さい

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

講演申込は同時に大会参加の事前予約が必要です。期日までに参加費を納入下さい。

原則、講演申込者＝講演発表者であること。(「申込要領」5.を参照)

本会の会員パスワードを紛失または忘れた方は、本会ホームページより再発行を行うこと。セキュリティ上、電話やメールでの発行は出来ません。

講演申込ホームページアドレス	https://www.jim.or.jp/convention/2022spring/
講演申込および概要原稿提出期限(締切厳守！) 講演申込と講演概要提出は同時に行う。(同時に行わない場合は、講演申込として受理されない)	
講演種別	全講演(公募シンポジウム、一般、ポスター、共同セッション)
講演申込・大会参加申込期間	11月25日(木)13時～2022年1月7日(金)17時
講演についての問合せ先：公益社団法人日本金属学会 講演大会係	annualm@jim.or.jp 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

これから入会して講演申込をされる方へ

- 会員認定：期限内に入会手続きを行い，年会費を納入下さい。
- 年会費納入期日までに2022年会費の払込がない場合は，プログラムに掲載されていても，講演不許可の措置をとります。
- インターネットで入会申込み下さい。入会申込確認後は ID(会員番号) と パスワード が即日メール返信されます。

入会申込 URL	https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php
講演種別	全講演(公募シンポジウム，一般，ポスター，共同セッション)
入会申込期限	1月5日(水)
年会費納入期限	1月31日(月)
入会・会費の問合せ：会員サービス係 member@jim.or.jp	

講演申込要領

※一般講演およびポスターセッションの申込は，講演セッションキーワード一覧から，第1希望および第2希望のセッションキーワードを選択する。キーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定する。

※申込方法について

すべて **WEB 申込** とする。

※講演時間・概要サイズについて

すべての概要原稿のサイズは A4 版縦 1 ページ。

講演種別	概要サイズ	申込方法	発表件数	講演資格	講演時間	討論時間
公募シンポジウム	A4 版 1 頁	WEB のみ	一般講演のみ 2 件可。それ以外は全種別のうちで 1 件*	<ul style="list-style-type: none"> ・個人会員 ・非会員は登壇費が必要 	10分～20分	5分～10分
一 般					10分	5分
ポスターセッション					…	…
共同セッション					15分	5分

※ **[発表件数]**：公募シンポジウム，ポスターセッション，共同セッション 1 人 1 件とする。一般講演に限り 1 人 2 件応募可。ただし，一般講演 1 件と他の講演種別 1 件のトータル 2 件は不可。講演種別を選択し申込をする。ただし，受賞講演，基調講演，招待講演等の特殊講演は上記の適用外とする。

1. 発表内容

- (1) 内容：未発表のもので，講演としてまとめたものに限る。
- (2) 言語：日本語もしくは英語。

2. 講演資格

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

会 員 資 格	事前参加申込 (11月25日～2月25日)	後期(当日)申込 (3月3日～3月22日)
正員・維持員会社社員，シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員 (本会非会員)	10,000円	13,000円
個人会員で2022年3月1日時点で65歳以上の方*	無 料	無 料
学生員**	6,000円	7,000円

• お支払後の取消は，準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

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

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

非会員の申込方法：

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

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

※非会員(個人)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。

3. 講演者変更および講演取消しについて

- (1) 申込後の安易な講演者変更や取り消しは認めない。
- (2) やむを得ない理由により講演者を変更する場合は、事前に事務局に連絡する。当日、変更が生じる場合は、座長の了解を得ること。ただし、変更する講演者は概要著者(共同研究者で且つ会員)であること。

4. 連続講演の希望について(下記条件全てを満たす申込のみ配慮する。)

- (1) 同一のセッション名で申込みすること。
- (2) 申込備考欄に連続希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入する。
- (3) 申込締切前の希望であること。(備考欄に記入であること。)
- (4) 原則、同一研究室内で3件以上の連続講演は認めない。

5. 講演日の希望

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

6. 講演発表の際の注意事項

- (1) 講演時間はご自身で管理し、厳守する。
- (2) 発表者マニュアルに沿って講演を行うこと。

7. プログラム

プログラムは2月3日頃ホームページに掲載予定。(会報付録は3月1日発行号)

ポスターセッションについて

1. 発表方法：2月にホームページに掲載の最新の「ポスター発表資料作成要領」参照。オンライン(Zoom)で開催。
2. 優秀ポスター賞：エントリー制です。エントリーした発表を審査員が採点して優秀ポスターを選出し、「優秀ポスター賞」を授与する。

エントリーの要件

- ①発表時点で、30歳以下の学生および30歳以下の若手研究者。(年齢はポスター発表時点で、30歳以下の者)
 - ②過去のこの賞の授賞者は授賞対象外とする。
3. 選考対象外のポスター：発表者が病欠等の場合、申し出があれば代理発表は可能。
その旨を事前に事務局へ連絡する。ただし、優秀ポスター賞の授賞対象から外れる。

鉄鋼協会との共同セッションについて

本会と日本鉄鋼協会と下記の共同セッションを実施している。

発表に際しての注意：相互聴講参加申込による講演発表は不可。

プログラムは両会のプログラムに掲載。

- ①「チタン・チタン合金」(2022年春の会場は金属学会会場)
- ②「超微細粒組織制御の基礎」(“ 鉄鋼協会会場)
- ③「超高温溶融体の物理化学的性質」(“ 鉄鋼協会会場)



講演概要原稿作成方法

題目・著者・本文の完成版 PDF でのアップロードとなります。(大会受付システムトップページ(WEB 画面)のテンプレートの最新版をご利用下さい。)

講演申込と講演概要原稿は同時提出下さい。

(※同時に行わない場合は、講演申込として受理されません)
言語：日本語または英語。

原稿分量：A4 判縦 1 頁(最新のテンプレートをご利用下さい。)

講演概要公開日：2022年3月1日(火)

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

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

【留意点】本留意点は、作成の際は削除下さい。Please delete unnecessary words from template.

日本語の方は見出しの英訳(Introduction など)を削除して下さい。If you would write in English, please remove heading Japanese words like “緒言、実験方法、結果”。

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

サンプル：概要原稿テンプレートで作成できます

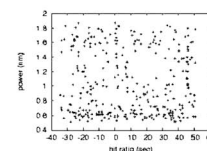
日本金属学会講演題目

Title of Abstract of The Japan Institute of Metals and Materials
勤務先所属略称¹、勤務先所属略称² ○発表者氏名 (M2)¹、共同研究者氏名^{2,...}
Kinzoku Univ.¹, Inst. of Kinzoku², Speaker (M2)¹, co-author^{2,...}

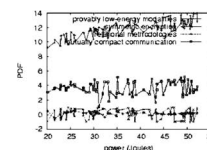
※学生表記区分 (記載例：姓名(M2)¹)

学部生：B、修士課程：M、博士課程：D、ポスドク：P

【緒言 Introduction】*****



【実験方法 Experimental】*****



【結果 Results】*****

講演概要の WEB 公開

期日までに参加申込をし、参加費を納入された方へは、概要公開日に参加者個別認証 ID とパスワードをメール配信いたします。

特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。

講演大会概要の投稿要領

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

(投稿の要件)

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

講演大会概要の査読

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

(査読の基準)

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

会誌2022年春期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIM Spring Meeting (2022)原稿募集

◎日本金属学会誌「2022年春期大会講演精選論文」86巻10号および11号(2022年)掲載

◎Materials Transactions「Selected Papers from JIM Spring Meeting(2022)」63巻10号および11号(2022年)掲載

◎原稿締切 **2022年5月11日(水)**

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

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

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

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

インターネットによる講演申込・概要原稿提出手順

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

インターネット申込者は、講演者本人に限る。ID(会員番号)、パスワードを使用して、金属学会「大会受付システムトップページ(<https://www.jim.or.jp/convention/2022spring/>)から申込みする。なお、申込締切日の3日前から申込みが集中殺到し、回線が混雑するので、早目に申込み下さい。

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

※1: 本会会員のID(会員番号)、パスワード

《講演内容の確認・修正》

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

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

※2: 申込受理通知に記載された、春期講演大会用の参加登録番号、パスワード

講演の分類	
セッションキーワード (一般、ポスターのみ)	セッション名はまてりあ第60巻第11号749頁の講演セッションキーワード一覧から第1希望(必須)および第2希望(必須)のセッションキーワードを選択する。 セッションキーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定する。
シンポジウム講演	まてりあ第60巻第11号752頁のテーマ要旨を参照の上、応募するシンポジウム番号を選択する。
キーワード	<ul style="list-style-type: none"> キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可。) 特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中を含める。
申込研究者数 所属機関数	共同研究者人数：最大15名まで、所属機関数：10施設まで
申込研究者一覧	インターネット申込は、「申込者」が「講演者」となるようにチェックする。 共同研究者は非会員でも可。
ローマ字氏名	名姓の順で、フルネームで記入する。
所属機関略称	慣用の略称で記入する。研究場所と現勤務先が異なる場合は両方記入する。 [例：東北大工(現日立中研)] <ul style="list-style-type: none"> 大学院生と学生の区別：それぞれ(院生)、(学生)と所属の後に表示する。 [例：東北大工(学生) 東北大工(院生)]
講演題目	和文題目は150バイト(全角75文字)まで、外国人講演の英文題目は200バイトまで。 概要原稿の題目と同一のもの。
要旨	プログラム編成の参考となる内容を記入する。 要旨欄に入力できるのは100文字(全角)まで。
概要原稿	全講演 A4 版1頁、PDF(雛形あり)で作成し、アップロードする概要原稿の内容と申込欄に入力した題目・著者名が同じになるようにすること。ファイルをPDF形式へ変換する際は、フォント埋め込み作業を必ず行う。 内容変更の場合は概要原稿の修正版を期日内に再提出する。
その他・備考欄	<ul style="list-style-type: none"> 連続講演を希望する場合(条件有り)は、連続を希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入し、同一のセッションキーワード名で申込みをする。申込締切後の希望は受け付けない。 その他の連絡事項など。
会員番号	講演者は必ず会員番号(ID)を記入する。 共著者はわかる範囲で可。
著作権	同意できない場合は申込出来ない。
プログラム公開	同意できない場合は申込出来ない。
講演概要のWEB公開	講演概要のWEB公開に同意できない場合は、申込出来ない。 公開は開催日2週間前に参加申込者のみに公開。

講演大会セッション（委員専門分野）

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

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

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

2022年春期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨

春期講演大会(オンライン開催におけるテーマ公募によるシンポジウム講演は、下記9テーマで実施することになりました。講演申込要領は前記のとおりです。多数の有益な講演と活発な討論を期待いたします。

S1 プラストンの材料科学 IX Materials Science on Plaston IX

「転位論」は材料科学・工学における重要な学問基盤であり、金属系結晶材料の変形は転位(dislocation)の運動により議論される。一方近年、転位の概念だけでは必ずしも理解しきれない変形現象が顕在化しつつある。例えば、ナノ結晶材料においては複数の結晶粒の協調的なせん断や回転が生じている可能性がある。また、原子のシャフリングを必要とする六方晶、あるいは複雑な規則相における双晶変形の原子的メカニズムや、せん断帯、粒界すべり、アモルファス・金属ガラスの変形、マルテンサイト変態もこの範疇に入る。我々は、転位や回位(disclination)を内包し結晶性材料の変形現象を包括的に理解する上位概念として、変形子(プラストン:plaston)を提案し、それに基づいて材料の変形と破壊を基礎的に理解しようとしている。本公募シンポジウムは、過去8回の公募シンポジウムに引き続き、これまでの集大成として最新の実験研究及び計算材料科学の成果に関する講演を集め、材料の変形と破壊に関する理解の進展を議論することを目的としている。

テーマ責任者

(シンポジウム chair):

京都大学大学院工学研究科教授 辻 伸泰

E-mail: nobuhiro-tsuji@mtl.kyoto-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs):

京大 田中 功 乾 晴行 NIMS 津崎兼彰

東大 幾原雄一 阪大 尾方成信

京大名誉教授 落合庄治郎

S2 ハイエントロピー合金の材料科学 VII Materials Science and Technology in High-Entropy Alloys VII

近年、国内においても科研費・新学術領域研究が立ち上がり、ハイエントロピー合金に関する研究が世界的に活況を呈している。ハイエントロピー合金では、配置のエントロピーが固溶体相を安定化するとの考えを基に、不均一に歪んだ結晶格子に由来した高い変形強度、トラップ効果に由来した遅い原子拡散から生じる高いクリープ特性、多様な構成原子間の非線形相互作用に起因する物性発現に関するカクテル効果など、材料科学の基礎・応用の両面で興味深い現象が期待されている。現実に優れた高温強度、低温韌性、高耐摩耗性を示す一連の合金が見出されているが、その物性発現機構などには未だ不明な点も多い。本シンポジウムでは、ハイエントロピー合金の基礎及び応用に関する実験・理論計算からの研

究に関する講演を広く募り、大学、企業、研究所の研究者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者の有機的連携を促進しつつ、上記のハイエントロピー合金に関する科学的な疑問を解明すべく、第7回の公募シンポジウムを企画する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair):

東北大学金属材料研究所准教授 井上耕治

E-mail: kinoue@imr.tohoku.ac.jp

(シンポジウム co-chairs):

九州大 田中将己 金沢大 下川智嗣

日本原子力研究開発機構 都留智仁

S3 エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(II) Evaluation, analysis, and prediction of energy related materials performance (II)

第9分野では、水素エネルギー、原子力、熱電、電池のそれぞれのグループが持つ最先端の特性評価、解析、予測技術を駆使して材料開発と創製を行っている。2022年春期講演大会にて、それぞれのグループが持つ固有の材料開発技術を紹介するとともに、関連の分野間で広く評価・議論することを目的としたシンポジウムを計画する。本シンポジウムでは、材料開発の基礎・応用を問わず最先端の研究に関する講演を募集する。さらに、産業界からの視点を取り込み、実用材料開発に活用可能な評価・解析・予測技術に関するニーズを明確化するために、企業研究者を中心とした複数の基調講演を予定している。本シンポジウムにより、関連の分野間、産学間での連携が促進され、新たな視点からの萌芽的研究の加速が期待される。

テーマ責任者

(シンポジウム chair):

金沢大学教授 石川和宏

E-mail: ishikazu@se.kanazawa-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs):

北大 橋本直幸 産総研 浅野耕太

量子化学科学技術研究開発機構 斎藤寛之

名工大 宮崎秀俊 東京ガス㈱ 宇根本篤

S4 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムⅢ—凝固および固相変態で造り込む構造と材料特性の関係—

Architecture construction for functions and properties of materials III—Relationship between Materials Properties and Fabricated Structures through Solidification and Solid Phase Transformation—

「材料機能特性のアーキテクチャー研究会」活動の一環として企画する公募シンポジウム第Ⅲ弾である。原子レベルでの結晶構造や格子欠陥から相界面を含む組織まで、マルチスケールにわたる材料の構造全体をアーキテクチャーとして捉えている。前回シンポジウムのテーマとした「組織制御プロセス」において、材料組織の概形が最初に定まる凝固過程、大きな組織変化を引き起こせる固相変態に今回は特にフォーカスする。典型的な鋳造法や固相変態を利用した組織制御法はもちろん、選択的結晶成長や方向凝固、3D積層造形、外場を用いた組織配向制御などにも焦点をあて、強度と延性のように相反する特性、電気伝導、熱伝導、磁性、形状記憶など種々の物性や機能特性と造り込んだ構造の関係について広く議論を行う。これまで通り構造用材料と機能性材料の区別なく多彩な材料を対象として多様な専門分野の研究者に参集していただき、多角的視点での議論によって共通する学理を深く理解することに努める。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東京工業大学物質理工学院材料系教授 木村好里

E-mail : kimura.y.ac@m.titech.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

足利大 小林重昭 東北大 関戸信彰 産総研 田中孝治
熊本大 連川貞弘 東工大 細田秀樹 東北大 吉見享祐

S5 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成

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

これまで、ナノ・マイクロスペーステラリングと称した公募シンポジウムを通じて、非平衡状態を利用した物質構造のナノマイクロ空間制御と特異物性に関して議論を進め、特徴的なナノ・マイクロ組織を有する材料の開発や物性に関する興味深い知見が蓄積されてきた。しかし、それと同時に、超高温、超高压、高エネルギー照射などによる極限反応場や特殊環境下における化学反応場の単なる実現だけでなく、緩和過程に代表される時間的変化をも利用した*エキゾチックな*時間的・空間的応答の理解・制御が重要であることも新たに分かってきた。加えて、より大きなサイズへの適用も視野に入れることで、広範囲な材料を対象とした物質構造探索までに発展することを目的として、本シンポジウムを新たに提案する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

筑波大学数理物質系物質工学域准教授 谷本久典

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

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 森戸春彦 榊GCE 中村貴宏

大阪府立大 堀 史説 東北大 田中俊一郎

若狭湾エネルギー研究センター 岩瀬彰宏

S6 生体用金属・セラミックス系材料の実用化に向けた評価方法開発・標準化

Development of evaluation methods and standardization of metallic and ceramic materials for biomedical application

金属・セラミックス系材料の生体応用には、材料が発現する機能性のみならず、生体安全性の評価が必要不可欠である。しかしながら、生体環境の複雑さゆえに、材料の評価方法の標準化が進んでいない。そこで本シンポジウムでは、細菌や細胞を用いた材料評価について、その原理、基礎から実際の評価方法について学び、研究者間で議論する場を提供する。

基調講演として、細胞を用いた安全性評価システムを研究・開発している企業、抗菌・抗ウイルス評価の認証機関、セラミックス系材料の標準化についての研究者、抗菌材料開発研究者らを予定している。

未だ終息を見せない新型コロナウイルスの流行により、抗菌・抗ウイルス材料が注目されている。材料開発からその評価方法までを網羅したシンポジウムを企画することで、これまで本分野の研究を行ってきた方のみならず、本分野に興味のある方の聴講も期待できる。

なお、本公募シンポジウムは、日本金属学会若手研究グループ「生体用金属・セラミックス材料の生体外評価に関する標準化検討グループ」での検討成果発表を兼ねて実施する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東北大学大学院工学研究科准教授 上田恭介

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

(シンポジウム co-chairs) :

阪大 宮部さやか 神戸大 池尾直子 産総研 李 誠鎬

東京医科歯科大 野崎浩佑 阪大 松垣あいら

帝人ナカシマメディカル 榊 渡邊稔太

京セラ 榊 雑賀健一 朝日インテック 榊 菅原 慧

テルモ 榊 田邊由紀子

S7 永久磁石開発の元素戦略 9 一次世代新材料に向けた基礎・基盤研究—

Element strategy for high performance permanent magnets 9 —Fundamental and basic research toward next-generation novel materials—

永久磁石は高性能モータには欠かせない材料であり、電気自動車や小型ロボット、電動航空機などへの需要が高まって

いる。さらに風力発電用途など、今後の更なる用途の多様化と需要の拡大が見込まれており、その重要性は一層高まっている。永久磁石には、磁石特性のみならず資源リスクや価格など多角的な要求があり、Nd-Fe-B系やSm系など様々な磁石の特性向上が望まれている。

近年、プロセス技術や計測技術、計算科学といった先端的な研究手法により永久磁石研究の発展が著しい。そこで本シンポジウムでは、Nd-Fe-B系、Sm-Fe-N系、1-12系など希土類系磁石を中心に、非希土類系を含む永久磁石材料について、材料開発、微細組織制御、保磁力発現機構の解明といった特性向上に向けた研究に加え、熱力学データの収集やMIによる新材料探索など、基礎・基盤研究から応用研究まで、最新の成果について広範な発表と活発な討論を期待する。なお、本シンポジウムは若手研究グループ「次世代高性能磁性材料研究グループ」が主催する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東北大学大学院工学研究科講師 松浦昌志

E-mail: m-matsu@material.tohoku.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

産総研 平山悠介 大同特殊鋼㈱ 宇根康裕

名桜大 立律慶幸 物材機構 高橋有紀子

日立金属㈱ 西内武司

S8 金属表面の材料化学Ⅴ—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—

Materials Science in Surface Chemistry on Metals

金属表面と溶液や気体などとの化学反応は、めっき、化成処理、腐食、高温酸化、触媒などの分野で重要な研究対象となっている。これらは異なる専門領域として深化してきているが、その本質には共通点も多く、他領域の研究成果からは様々なヒントが得られる場合が多い。しかしながら、これら関連分野の研究者が一堂に会して議論する機会は余りなく、その様な場の提供が必要である。本シンポジウムでは金属表面の化学や、それがバルクの特性に関して及ぼす影響について、主にめっき・触媒・耐食性・耐酸化性の分野から講演を募り、研究者間での意見・情報交換、討論を行う。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

北海道大学教授 林 重成

E-mail: hayashi@eng.hokudai.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

兵庫大 八重真治 東北大 武藤 泉

阪大 土谷博昭 山下弘巳 NIMS 廣本祥子

JFE スチール 大塚真司

S9 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術

Crystallographic orientation analyses of metallic, inorganic and organic materials and their applied techniques

結晶性材料の高性能化において組織制御の重要性は言を俟たない。輸送機器構造材のマルチマテリアル化が叫ばれ、金属に限らず、高分子材料の重要性も高まっている。近年部材に要求されるより高度な性能向上は、等方性・均一性を前提としない、組織の異方性と不均一性の最適化に求められつつある。すなわち、材料のパフォーマンスを高める構造は配向組織制御あるいは複相組織の不均一性制御によるものであり、結晶性材料ならば結晶方位解析がそのベースとなる。そこで、結晶方位解析に基づき、集合組織制御のみならず結晶方位差によるひずみ評価、分散相の結晶方位解析、界面近傍構造解析等の応用技術を駆使して結晶性材料の高性能化を目指した研究活動を展開することを目的とする。結晶方位解析技術としては、XRD、EBSD、TEM、放射光をも含めたあらゆる技術を対象としたい。材料は金属、セラミックスの他、結晶性高分子材料などすべての結晶性材料が対象となる。その他「結晶方位」をキーワードとする応用技術に関する講演も歓迎する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

宇都宮大学教授 高山善匡

E-mail: takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

大阪府立大 井上博史 富山大 柴柳敏哉

放送大 福富洋志 横浜国立大 長谷川誠



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

申込締切日：2022年1月14日(金)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋2回の「講演大会」を開催しており、2022年3月22日(火)にオンラインにて2022年春期(第170回)講演大会高校生・高専学生ポスターセッションを開催します。

この講演大会に於いて、若い学生に金属および材料学分野に対して興味や理解を高めてもらうため「高校生・高専(3年生以下)学生ポスター発表」のセッションを開催いたします。

ポスター発表は、生徒の研究成果の発表を大学の教授や企業の研究者等の専門家に直接聴いてもらい、質疑応答が受けられる貴重な機会であり、さらにポスターの出来栄や発表の受け答えなどを審査して、優秀な発表には会長による賞を授与します。金属および材料学分野に興味があり、本講演大会でポスター発表していただける生徒がおられましたら、奮ってご応募下さい。

発表者と指導教員には本大会の参加費を無料で参加いただき、研究者の最新の研究成果の発表を聴講いただけます。詳細は、「高校生・高専学生ポスター発表要領」でご確認下さい。

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2022年春期(第170回)講演大会

行 事 名 「高校生・高専学生ポスター発表」

開催方法 オンライン

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

対 象 者 高校生および3年以下の高専学生

発表方法 現地開催の場合はポスター掲示による口頭発表、オンラインの場合はZoom(決定次第ご案内します)。

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

ポスター発表資料作成について：別途連絡

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

講演概要原稿 不要

参加費および講演聴講

- ① 発表者、共同研究者および指導教員の参加費を免除し、講演大会の発表を聴講できる。
- ② 希望があれば、高校生・高専学生ポスター発表の関係者(親、友人)5名程度までの参加費を免除し、講演大会の発表を聴講することができる。
- ③ (現地開催の場合)指導教員は、事前に参加者リストを提出する。(別途用紙を送付予定)
- ④ 指導教員宛てに、参加者用IDとパスワードおよびプログラム1部を事前送付する。

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

問合せ・連絡先 公益社団法人日本金属学会 講演大会係

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

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



2022年春期(第170回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

春期講演大会は、3月15日(火)から17日(金)まで東京大学駒場キャンパス(状況によりオンライン)にて開催いたします。ポスターセッションおよび高校生・高専学生ポスターセッションは、3月22日(火)にオンラインで開催いたします。

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

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

《2022年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウム》

公募シンポジウム9テーマ

- S1 プラストンの材料科学 IX
- S2 ハイエントロピー合金の材料科学 VII
- S3 エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(II)
- S4 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムIII
- S5 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成
- S6 生体用金属・セラミックス系材料の実用化に向けた評価方法開発・標準化
- S7 永久磁石開発の元素戦略9 一次世代新材料に向けた基礎・基盤研究一
- S8 金属表面の材料化学V—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
- S9 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術

企画シンポジウム2テーマ

K1 工業製品における材料選択とマルチマテリアル構造～建築構造物～

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

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

企画責任者：

横浜国立大学教授 廣澤渉一

E-mail: hirosawa@ynu.ac.jp

共同責任者：

JFE テクノリサーチ 船川義正 金沢大 渡邊千尋 熊本大 山崎倫昭

K2 材料技術史から見るこれからの技術展開IV—分析機器・評価装置

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

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

企画責任者：

物質・材料研究機構主幹研究員 戸田佳明

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

共同責任者：

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

参加申込要領

インターネットによる大会参加申込期間および URL

(事前申込)2021年11月25日～2022年2月25日

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

(後期(当日)申込)2022年3月3日～3月22日

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

参加申込締切後、参加方法や講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。なお、領収書は、決済完了後に申込画面から各自印刷して下さい(WEB画面：講演大会 MyPage よりダウンロード)。

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

会 員 資 格	事前参加申込 (締切日：2月25日)	後期(当日)申込 (3月3日～3月22日) クレジット決済のみ
正員・維持員会社社員、シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員 (本会非会員)	10,000円	13,000円
個人会員で2022年3月1日時点で65歳以上の方*	無 料	無 料
学生員**	6,000円	7,000円
非会員*** 一般	24,000円	27,000円
非会員*** 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円

・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

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

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

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

◆支払方法

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

◆参加方法および講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会2週間前の2022年3月1日(火)です。

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

(事前参加申込みの方)参加申込みをされ、参加費を納入された方へは、概要公開日に講演概要閲覧等に必要な参加者個別認証 ID とパスワードを配信いたします。(※annualm@jim.or.jp のメールを受信できるようにしておいて下さい。)

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

◆参加証

大会マイページにて「参加証引換券」をダウンロード印刷(スマートフォンやタブレットでの掲示も可)し、会期当日受付で参加証とお引換え下さい。

◆講演概要集購入について

講演概要集 DVD は作成いたしません。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。

◆日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会相互聴講申込は実施いたしません。

参加申込・問合せ先

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

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

特集企画の投稿募集

下記テーマに関する特集企画の投稿を募集いたします。

■固体中の水素と材料特性V (Special Issue on Hydrogen and Materials Characteristic in Solids V)

2020年3月に発行された、日本金属学会誌 vol.84, No.3 における特集「固体中の水素と材料特性IV」では、水素吸蔵合金関連で1報、構造材料関連で6報、合計7報の論文投稿があった。また、過去IからIVまでで合計35報以上の学術論文が寄せられており、本シリーズは好評であると判断される。一方、2020年10月の菅首相による所信表明演説で語られた、2050年にカーボンニュートラルを実現することや、それに合わせて発表されたグリーン成長戦略等、コロナ禍の状況においても、カーボンニュートラルに向けた大きな動きが始まったと捉えることができる。このように、CO₂フリーの再生可能エネルギーを主力電源として捉える動きがますます重要視される中で、再生可能エネルギーの変動性および偏在性を補う上でも、水素の利用は今後ますます重要になっていくと考えられる。

水素の特性として、構造材に微量に溶解し水素脆化を引き起こすことから、できるかぎり水素を固溶しない材料あるいは水素の侵入をブロックできる表面の付与に関する開発が求められる。一方で水素貯蔵材料として利用する場合は、多量の水素が吸蔵される材料の研究開発に加え、水素貯蔵材料の新たな利用を想定した熱による水素の昇圧や水素の吸蔵放出による蓄熱を行う技術の開発が進められている。水素利用がますます一般市民の間に広がってくる中で、上述したような水素を吸蔵しない性質と水素を吸蔵する性質といった、相反する特性を有する材料の開発が、それぞれ求められる。

過去4回の「固体中の水素と材料特性」に関する特集を組ませていただき、多くの叱咤激励をいただいた。一方、これまでの特集では取り上げられなかった興味深い多くの注目すべき研究成果が、最近の多くのプロジェクトが進められる中で報告されている。こうした理由から、引き続き固体中の水素と材料特性に関する特集を企画する。

上記テーマに関する特集を、日本金属学会誌86巻11号(2022年11月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいますようお願いいたします。

掲載予定号 第86巻第11号(2022年)

原稿締切日 2022年5月2日(月)

- 投稿に際しては、日本金属学会会誌投稿の手引・執筆要領(本会 Web ページ)に従うこと。
- 通常の投稿論文と同様の審査過程を経て、編集委員会で採否を決定する。

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会会誌・欧文誌編集委員会
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: sadoku@jim.or.jp
https://jim.or.jp/

企業求人情報

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

東邦チタニウム株式会社

◇東邦チタニウム株式会社 技術開発担当者 公募◇

【会社概要】東邦チタニウムは、世界トップクラスの金属チタンメーカーであるとともに、プロピレン重合用触媒をはじめ、超微粉ニッケルおよび高純度酸化チタンなどの電子部品材料、チタン酸塩などの化学品など、チタンの関連技術を開発させた触媒事業、化学品事業も展開してまいりました。これからもこれら技術の限りない可能性を追求し、優れた製品とサービスを提供し続けることで、持続可能な社会の発展に貢献することを目指しています。

【公募人員】技術開発担当者 2名程度

【所 属】技術本部 技術開発センターなど

【勤 務 地】神奈川県茅ヶ崎市(最寄り駅：JR 相模線 北茅ヶ崎駅)

【募集内容】金属チタンの製造に関わる技術開発、特に、当社が現在取り組んでいる「チタンの新しい製錬技術※」の実用化に向けた技術開発を担当して頂きます。創意工夫した実験・解析(数値解析含む)と原理原則に基づいた考え方により、世界初のカーボンフリーチタン製造技術の実用化に向け、開発チームの中で主導的役割を果たすことができる挑戦意欲溢れる方を求めています。なお、当社のチタン関連技術開発に関する取り組みは総合科学誌『Nature』にも掲載されておりますので、ぜひご覧下さい。

※<https://www.nature.com/articles/d42473-021-00166-8>

【資 格】40歳代またはそれ以下で、化学工学、物理工学、電気工学、金属工学などの専門性を有し、金属材料の製錬、溶解、合成、評価、電気設備設計などに関わる技術開発を3年以上経験された方で、一定の英語力と、製造部門、営業部門など関係者とのコミュニケーション能力に長け、革新的技術の開発に対する挑戦意欲に溢れた方。

【待 遇】社内規定に準じます(面接時に説明します)

【着任時期】可能な範囲で早期。面接時に相談します。

【応募方法・書類提出先、問合せ先】

以下の宛先に履歴書、論文・特許・受賞歴などの業績リストをメール、郵送またはFAXにて送付して下さい。また、本件に関するお問合せも下記をお願いします。

〒220-0005 神奈川県横浜市西区南幸一丁目1番1号 JR横浜タワー22階

東邦チタニウム株式会社 総務人事部

中田将太

FAX 045-394-6288

E-mail: saiyo@toho-titanium.co.jp

【公募締切日】2022年1月21日(金)但し、採用者が決定次第終了します。

【選考方法】お送りいただいた書類をもとに書類選考、面接、適性検査を実施いたします。

掲 示 板

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合せ先のみ掲載。

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して下さい)

E-mail: materia@jim.or.jp

公 募

◇豊田工業大学工学部 教育職員公募◇

所 属 工学部先端工学基礎学科
専門分野 マイクロメカトロニクスおよびその関連分野
募集人員 准教授ないしは講師(いずれも Tenured あるいは Tenure Track)1名
応募資格 マイクロ・ナノからマクロまでの機能構造の製作やデバイス(センサ、アクチュエータ等)の開発、及びそのための先端加工技術や材料に関する研究。例えば、先端微細加工、機能表面創成やそのプロセス開発に関する研究、人間-機械システムに基づく医療・健康・福祉用デバイスの基礎から応用及びシステム化に関する研究、基礎的原理に基づく環境技術や省エネ技術に関する先進的デバイスまたは機械システムへの応用等の研究を推進し、研究成果が大いに期待できる方。
さらに理工系の博士の学位を有し、上記分野の教員として学部および大学院における研究指導ができる方。また、教育面においては、物理学、数学等の基礎科目、及び機械振動学、機構学、トライボロジー、微細加工、計測工学、加工プロセス、機械加工、メカトロニクス、設計演習、工学実験等の学部・大学院における専門科目の授業が担当できる方。

応募締切 2022年1月7日(金)

着任時期 2022年10月1日 あるいはできるだけ早い時期
問合せ先 マイクロメカトロニクス及びその関連分野教育職員選考委員会 下田昌利
☎ 052-809-1782
E-mail: shimoda*AT*toyota-ti.ac.jp (*AT*を@にご変換下さい)
そ の 他 提出書類・書類送付先等は下記 URL をご参照下さい。

<https://www.toyota-ti.ac.jp/recruit/faculty/faculty.html>

助 成



ガラスに新しい輝きを
ニューガラスフォーラム

研究テーマ募集中!

2022年度 ガラス研究振興プログラム

ガラス産業連合会および(一社)ニューガラスフォーラムは、このたび、短期的な視点に捉われずにガラス分野の発展に貢献する可能性を秘めた研究提案をしていただいた若手の研究者に対して、研究助成制度を新たに発足いたしました。

応募資格：主たる研究者は日本の大学、その附置研究所、高等専門学校等の教育機関または公的研究機関に所属する45才以下の職員。グループでの応募も可能です。

テーマ募集するガラス研究領域(例)：基礎科学、製造技術、環境対応技術、評価技術
研究助成額と研究期間：1件あたりの研究助成額の上限は、900万円/期間、最低額500万円/期間。研究期間は2022年4月から3年間。

採択数：1-2件程度

選考日程と採否通知：選考は、ニューガラスフォーラム ガラス研究振興協力会研究審査会にて行います。

応募受付期間：2021年9月から12月28日(事務局必着)

ヒヤリング・選考：2022年1-2月

採否通知：2022年3月末

助成金振込：2022年5月予定

詳しくはホームページをご覧ください。

<https://www.newglass.jp/kenkyu/index.html>

内容についてご不明な点がございましたら、下記までお問合せ下さい。

問合せ先：一般社団法人ニューガラスフォーラム ガラス研究振興協力会

〒169-0073 東京都新宿区百人町3-21-16

☎ 03-6279-2605 FAX 03-5389-5003

(事務局) 松野 matsuno@ngf.or.jp

種田 taneda@ngf.or.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・材料統合研究センター
 東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)

■協賛 (公社)日本金属学会 他

■参加登録・お問合わせ

岡部研 レアメタル研究会事務担当 宮寄智子
 (tmiya@iis.u.tokyo.ac.jp)

■第98回 2021年11月5日(金) 14:00～
 An棟2F コンベンションホール
 リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会
 ★チタン関係シンポジウム★(合同開催)
 テーマ:チタンの現状, 将来
 午後2:00～
 司会 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授 岡部 徹
 講演(各30分+5分質疑応答)(敬称略)

※講演順は暫定。変更する可能性あり※

- 日本チタン学会とチタンの将来展望(仮)
 日本チタン学会会長 大阪大学特任教授・東北大学名誉教授 新家光雄
 - 中国におけるチタン業界の状況と、私が取り組んでいるチタン研究
 東北大学大学院 工学研究科 教授, 北京科技大学 教授 朱 鴻民
 - 当社における金属チタン関連技術開発の取り組み(仮)
 東邦チタニウム株式会社 執行役員 技術本部 技術開発センター所長 堀川松秀
 ~休憩~
 - 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 特任講師 大内隆成
 - 当社におけるチタン及びチタン合金粉末事業と技術開発の取り組み
 株式会社大阪チタニウムテクノロジーズ 顧問 大橋善久
 - チタンを含む金属3Dプリンティングの現状と、私が取り組んでいるチタン研究(仮)
 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授 中野貴由
 - トヨタ燃料電池の技術革新による進化とチタンへの期待
 トヨタ自動車株式会社 トヨタ ZEV ファクトリー商用 ZEV 製品開発部 FC スタック開発室
 チーフプロフェッショナルエンジニア(CPE) 水野誠司
- 午後6:00～
 研究交流会・意見交換会(←Webでの開催を企画予定)

■関連シンポジウム 2021年11月26日(金) 14:00～
 An棟2F コンベンションホール での開催に変更
 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
 ★日本学術会議 材料工学委員会・環境学委員会・総合工学委員会との合同シンポジウム★

テーマ:SDGs
 日本学術会議公開シンポジウム
 「なぜSDGs? —資源・材料循環におけるSDGsとカーボンニュートラル—」

■第99回 2022年1月7日(金)14:00～
 An棟2F コンベンションホール
 リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会
 ★貴金属シンポジウム(第9回)+新年会★(合同開催)
 テーマ:貴金属の製錬・リサイクル
 午後2:00～
 例年どおり、貴金属の製錬・リサイクル技術に関する講演を行う予定
 ※詳細は未定 ※

■第100回 2022年3月11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:非鉄業界における研究や教育(人材育成)に関する未来
 午後2:00～
 ★第100回記念講演会
 非鉄分野の将来を担うホープが夢を語る★
 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
 東京大学大学院 工学系研究科 システム創成専攻 教授
 所 千晴
 講演(各25分+5分質疑応答)(敬称略)

- 国境を飛び越える製錬技術の面白さ、Umicoreが取り組む非鉄人材育成(仮)
 Umicore, Corporate Research & Development,
 Associate Scientist (Recycling & Extraction Technologies)
 八木良平
 - 高効率エネルギー利用と資源循環に向けたコトづくりと人づくり(仮)
 東京大学 生産技術研究所 講師 大内隆成
 - 国内外環境変化と非鉄金属、そして研究者としての役割と夢～韓国の非鉄金属分野の事例を中心として～(仮)
 Principal Researcher, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM),
 Associate Professor, University of Science and Technology, Korea
 Jungshin Kang
 - 非鉄分野における研究者としての夢とロマン(仮)
 九州大学大学院 工学研究院 材料工学部門 准教授 谷ノ内勇樹
 - 希土類金属製錬学の体系化と展望(仮)
 東北大学大学院 工学研究科 金属フロンティア工学専攻 准教授 竹田 修
 - 私が追いかけてきた夢とロマン(仮)
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 総合討論・意見交換
 モデレーター 東京大学 生産技術研究所 特任教授 黒川晴正
 東京大学 生産技術研究所 シニア協力員 中村 崇
 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

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 85, No. 11 (2021)

— 論 文 —

光輝焼鈍した Al 添加 18% Cr 鋼に生成した酸化皮膜の特徴

菅生三月 秦野正治 井上靖秀 平田秋彦 小山泰正

Ti-10Mo-7Al 合金の焼戻し誘起マルテンサイトの形成機構

竹元嘉利 安野実希子 池本雅基 安藤寛幸
清水一郎

ポリエチレンイミンを含む溶液からの球状電解銅粉の作製

越智健太郎 関口 誠 大上 悟 中野博昭

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 62, No. 11 (2021)

— Regular Article —

Materials Physics

Soft Magnetic and Mechanical Properties of FeNiCoSi_{0.25}Al_x (x = 0–1) High Entropy Alloys Prepared by Arc Melting

Tran Bao Trung, Doan Dinh Phuong, Nguyen Van Toan, Nguyen Ngoc Linh, Ta Ngoc Bach and Radovan Bures

Microstructure of Materials

Superior Strength and Ultrahigh Ductility in Hierarchical Structured 2205 Duplex Stainless Steel from Nanoscale to Microscale

Jie Sheng, Jing Jin, Yu Shi, Weiqian Chen, Guocai Ma, Jiafu Wei, Yuehong Zheng, Xin Guo, Faqi Zhan, Peiqing La and Raab Georgiy I.

Influence of Annealing on Microstructure and Mechanical Properties of Equiatomic CoCrNiTiV 3d Transition Metal High Entropy Alloy Ingots

Mingqin Xu, Jiarui Wang, Lu Wang, Lin Yang and Jiaojiao Yi

Incubation Time of Occurrence of Magnetic Field-Induced Martensitic Transformation in an Fe-24.8Ni-3.7Mn (at%) Alloy

Yuxin Song, Junya Tanaka, Yasuo Narumi, Masayuki Hagiwara, Takashi Fukuda, Tomoyuki Kakeshita, Masaaki Sugiyama and Tomoyuki Terai

Microstructure, Phase Relations, and Precipitation Hardening Studies in Mg Containing CoCrCuFeNi High-Entropy Alloys

Zhongyuan Luo, Shun Ueda and Kazuki Morita

Mechanics of Materials

Evaluation of Effective Thermal Conductivity of Graphite Flake/Aluminum Composites by Two-Dimensional Image Simulation under a Correction Function

Yan Zhao, Kenjiro Sugio, Sasaki Gen, Zhefeng Xu and Jinku Yu

Simple Liquid-Phase Synthesis of Cobalt Carbide (Co₂C) Nanoparticles and Their Use as Durable Electrocatalysts

Mizuho Yabushita, Atsushi Neya, Kanae Endo, Masafumi Nakaya, Kiyoshi Kanie and Atsushi Muramatsu

Materials Chemistry

Effect of Water Vapor on High-Temperature Oxidation Behavior of Fe-10 mass% Ni Alloy

Aya Harashima and Shigenari Hayashi

Effect of Halide Ions on Electrodeposition Behavior and Morphology of Electrolytic Copper Powder

Kentaro Ochi, Makoto Sekiguchi, Satoshi Oue and Hiroaki Nakano

Materials Processing

Computer Simulation for Sintering under the Presence of Liquid Phase by Monte Carlo Method

Shuji Matsumoto, Hideaki Matsubara, Masayoshi Shimizu and Hiroshi Nomura

— Technical Article —

Damage Evaluation of Carburizing Gear for Remanufacturing

Tomohisa Kanazawa, Masao Hahakawa, Mitsuhiro Yoshimoto, Yuuki Tahara, Norihito Hata, Susumu Meguro, Takanobu Hiroto, Yoshitaka Matsushita and Michio Sugawara

— Current Trends in Research —

Materials Integration for Accelerating Research and Development of Structural Materials

Masahiko Demura

— Express Rapid Publication —

Nondestructive Nanostructure Analysis of Al/Al-Zn Interdiffusion Layer by Quantitative SAXS Tomography

Shan Lin, Hiroshi Okuda, Yukihiro Nishikawa, Shin-ichi Sakurai, Taizo Kabe and Hiroyasu Masunaga

Roles of Alloying Elements in the Corrosion Resistance of Equiatomic CoCrFeMnNi High-Entropy Alloy and Application to Corrosion-Resistant Alloy Design

Takumi Aiso, Masashi Nishimoto, Izumi Muto and Yu Sugawara



まてりあ第60巻12号 予告

〔金属なんでもランキング〕No.17 純物質液体の表面張力
 〔最近の研究〕析出物の安定形状の予測と組織データに基づく材料パラメータ推定 ……名大 塚田祐貴
 〔最近の研究〕炭素鋼のマイクロ組織の電気化学特性解明と組織制御による高耐食化 ……物材機構 門脇万里子

〔実学講座〕(まてりあ60巻記念企画)
 金属材料実験の手引き 1. 組織観察
 1-3 走査型電子顕微鏡を用いた分析手法
 (EBSD, 続き) ……ファインセラミックスセ 横江大作

—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます)



(2021年8月21日～2021年9月21日)

正 員

大谷 貴彦	NOFメタルコーティングス株式会社	河田 英昭	昭和電工マテリアルズ株式会社	山田慎之介	大同特殊鋼株式会社
尾畑 聡史	株式会社アドヴィックス	菊池 洋好	青森県量子科学センター	吉田 尚記	
河口 智也	東北大学	土屋 真悟	株式会社ブリヂストン		

学 生 員

兼子 哲平	北海道科学大学	沈 佑年	東京大学	西 館 光 紀	大同大学
木野 雄路	東京工業大学	瀬口 侑右	大阪大学	松尾 優介	京都大学

外国学生会員

張 雪 禹 東京工業大学 ハキヤ デベンダー シング ラソッド 京都大学

〈訂 正〉

まてりあ 第60巻 第10号 (2021) 658頁

まてりあ 60巻記念企画 支部便り

日本金属学会北陸信越支部の活動概要

北陸信越支部第27代支部長 松田健二 第17代支部長 池野 進

本記事中の659頁8. 支部表彰①支部功績賞表彰の授賞年度の記述に誤りがございましたので、下記の通り訂正してお詫びいたします。

①支部功績賞表彰

(誤)	(正)		
2017年度	→ 2007年度	瀬尾省逸	大太平洋製鋼(株)
2018年度	→ 2008年度	森 克徳	富山大学
2019年度	→ 2009年度	清水謙一	大阪大学名誉教授, 金沢工業大学教授
2020年度	→ 2010年度	藤田達生	(株)リケン
	2011年度	唐木道雄	(株)不二越
	2018年度	滝澤秀一	長野県工業技術総合センター
	2019年度	安丸尚樹	福井工業高等専門学校
	2021年度	喜多和彦	YKK(株)
		山本有一	大太平洋製鋼(株)

2021年秋期(第169回)講演大会記録

2021年秋期講演大会は、9月14日(火)から17日(金)の期間、オンライン(Zoom)で開催した。

9月14日(火) 9:00~16:15 ポスターセッション, 高校生・高専学生ポスター
16:20~17:20 高校生発表者交流時間
18:30~20:30 オンライン懇親会
9月15日(水) 9:00~17:25 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション(16会場)
12:20~12:50 第12回技術セミナー(2会場)
9月16日(木) 9:00~17:30 一般講演, 各種シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション(16会場)
12:20~12:50 第12回技術セミナー(2会場)
9月17日(金) 9:00~17:05 一般講演, シンポジウム講演, 各賞受賞講演, 共同セッション(16会場)
13:00~18:10 学生キャリアサポートセミナー
常時開設 オンライン機器展示会

贈呈式: オンライン開催のため下記授賞の贈呈式は開催しなかった。

第18回村上記念賞贈呈式 1名。(受賞者; 本誌686頁)
第18回村上奨励賞贈呈式 3名。(受賞者; 本誌686頁)
第31回奨励賞 6名。(学術部門5名, 技術部門1名)(受賞者; 本誌687頁)
第44回技術開発賞 2件14名。(受賞者; 本誌688頁)
第69回論文賞贈呈式 5編19名(物性部門1編, 組織部門1編, 力学特性部門1編, 材料プロセス部門1編, 工業材料部門1編)。(受賞者; 本誌689頁)
第1回新進論文賞 6編6名。(受賞者; 本誌691頁)
第11回まてりあ論文賞 2編6名。(受賞者; 本誌692頁)
第11回まてりあ啓発・教育賞 1編1名。(受賞者; 本誌692頁)

オンライン懇親会(オンライン会議ツール Remo 使用)

日時: 9月14日(火)18:30~20:30

参加者: 85名

開会の辞 会長 大阪大学教授 中野貴由
歓談
優秀ポスター賞授賞者発表
講演大会委員会委員長 東京大学教授 御手洗容子
懇談
開会の辞 副会長 日本製鉄㈱フェロー 吉永直樹

大会参加者

1,451名(事前: 1,345名, 後期(当日): 106名)

• 有料申込数 1,274名
正員691名, 学生員513名, 非会員一般35名, 非会員学生25名, 維持員会員社員27名, 協賛学協会(鉄鋼協会)会員9名

• 無料参加者数151名

受賞講演者13名, 高校生ポスター参加者21件, 65歳以上会員・名誉員64名, 非会員基調講演・招待講演者32名, オンライン展示会出展企業・技術セミナー企業・学生キャリアサポートセミナー企業21名

※オンライン開催のため日本鉄鋼協会との相互聴講は実施しなかった。

学術講演会(9月14日~17日)

最終講演件数880件

公募シンポジウム講演10テーマ236題(招待講演1題含む)

企画シンポジウム4テーマ 26題

一般講演388題(奨励賞受賞講演6題, 技術開発賞受賞講演2題, 村上奨励賞受賞講演3題, 村上記念賞受賞講演1題, 招待講演1題含む)

共同セッション29題

ポスターセッション180題

高校生・高専学生(3年生以下)ポスター 21題

講演会場 16会場(A~P会場)

第37回ポスターセッション(9月14日)

日時: 9月14日(火)

第1部 9:00~10:30

第2部 10:40~12:10

第3部 13:00~14:30

180件のポスター発表を3部制の時間帯に分けて行い, 優秀ポスター賞審査対象となっている175件の内容・発表についてオンラインにより審査が行われた。ポスターは事前に発表者がアップロードしたポスター画像をポスターセッションシステム上に掲載し, 当日はポスターの閲覧をし, 各講演ルームへ訪れた聴講者に発表を行った。

同日9月14日に「優秀ポスター賞」30名が決定し, オンライン懇親会で授賞者を発表した。9月15日に受賞者を本会秋期講演大会公開プログラムサイトに掲載した。

第6回高校生・高専学生ポスターセッション(9月14日)

日時: 9月14日(火)

前半 14:45~15:30

後半 15:30~16:15

21件の高校生・高専学生(3年生以下)ポスター発表はポスター発表時間帯の前半と後半に分けて行われ, 同時に審査も行われた。審査結果は9月14日に最優秀賞1件, 優秀賞13件が決定し, 9月15日に受賞者を本会秋期講演大会公開プログラムサイトに掲載した。

熱心に取り組んだ研究内容の発表がなされ, 審査員や聴講者は興味深く質疑する様子が見受けられ, 盛況であった。ポスターセッションと同様, 事前に発表者がアップロードしたポスター画像をポスター掲示システム上に掲載した。また, 今回初の試みで高校生同士の交流や指導教員の交流時間を設け, 情報交換の場を提供した。

金属学会・鉄鋼協会共同セッション

「チタン・チタン合金」11題(金属11題, 鉄鋼0題)は9月16日O会場で開催した。

「超微細粒組織制御の基礎」3題(金属3題, 鉄鋼0題)は9月15日に金属学会P会場で開催した。

「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」31題(金属15題, 鉄鋼16題)は9月16日～17日に金属学会P会場で開催した。

オンライン機器・カタログ等展示会(第50回)

機器展示7社の出展の協力を得た。各社のご厚意に感謝いたします。

第12回技術セミナー(現地開催時の名称:企業ランチョンセミナー)(9月15日～16日)

講演大会参加者に最新の技術情報を聴講いただく、企業セミナーを開催した。

以下の企業がオンライン会場で30分程度のセミナーを行った。

(参加企業・団体)

9/15(水)

- ・名古屋大学微細構造解析PF
- ・オックスフォード・インストゥルメンツ㈱

9/16(木)

- ・ティー・エイ・インストゥルメント・ジャパン㈱
- ・日本テクノプラス㈱:

オンライン学生キャリアサポートセミナー(9月17日)

企業が学生会員に向けて、会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等を紹介する企画を実施した。

以下の企業がオンライン会場で30分程度のオンライン説明会を行い、参加学生は熱心に聴講し質疑応答も活発に行われていた。

●DOWAホールディングス㈱

●住友重機械工業㈱

●合同製鉄㈱

●住友化学㈱

●㈱UACJ

●東邦チタニウム㈱

●文部科学省

●三菱マテリアル㈱

●住友金属鉱山㈱

World Materials Day Award :

オンラインのため開催しなかった。

大会雑記

本来は名城大学天白キャンパスで初めて秋期講演大会を開催する予定であったが、終息が見えない新型コロナウイルス感染拡大のため、2021年秋期講演大会は前々回、前回到引き続きオンライン会議ツール Zoom を利用したオンライン形式で開催することとなった。ポスターセッションは Zoom 発表だけではなく、オンライン上でポスターを閲覧できるシステムを今回も利用した。ポスターセッション開始直後からしばらくポスターセッションシステムに繋がりにくい状態が続き、ご迷惑をおかけいたしました。次回改善をいたします。

また、今回もオンライン会議ツール Remo で交流室(談話室)を用意し、参加者同士の交流の場を設けた。二回目となるオンライン懇親会も行い、そこで優秀ポスター賞の授賞発表も行った。受賞者はオンライン上のステージに登壇し、ひとこと挨拶を行った。受賞者は御手洗講演大会委員長から祝辞をもらい嬉しそうに挨拶していた姿が印象的であった。

2021年秋期講演大会オンライン開催にあたり、座長、会場係の皆様、また参加者の皆様には事前のマニュアル確認や事前操作テストなど万全な準備を行いご参加くださり誠にありがとうございました。臨機応変にご対応頂き、無事に開催できましたこと、衷心より厚くお礼申し上げます。



行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2021年11月				
1	研究集会「第二回状態図・計算熱力学研究会」(Web開催)(9号600頁)	研究会 No. 85	abe.taichi@nims.go.jp	
2	研究集会「高温材料の変形と破壊研究会」(Web開催)(10号676頁)	研究会 No. 83	TEL 052-789-3372 tokai@numse.nagoya-u.ac.jp	定員 150名
2~19	第419回講習会「高精度高効率加工を支えるオンマシン/インプロセス計測技術～基礎から最先端研究動向・最新の活用事例まで～」(Web開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html	
3~5	2021年日本表面真空学会学術講演会(Web開催)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 taikai2021@jvss.jp https://www.jvss.jp/	
3~6	The 16th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(Vietnam)	日本実験力学会・小林(新潟大)	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp http://isem16.imech.ac.vn/	
4~5	第172回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用～基礎編～」(Web開催)	日本塑性加工学会他	https://www.jstp.or.jp	定員 80名
4~6	ICMaSS2021持続性社会のための材料とシステムに関する国際会議2021(Web開催)	ICMaSS2021 未来材料・システム研究所	TEL 052-581-3241 icmass2021@intergroup.co.jp http://www.icmass.imass.nagoya-u.ac.jp/	
5, 12, 19, 26	水素社会と金属材料の関係(Web開催)	関東支部	TEL/FAX 03-5841-7107 nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp	
5, 26	第98回レアメタル研究会関連シンポジウム(東京+ネット配信)(本号760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	
5~6	第57回 X線分析討論会(福岡大)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会	TEL 092-871-6631(内線6218) xbun57@fukuoka-u.ac.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no57.html	
8	2021年度溶接工学企画講座 ～産業分野のものづくりのトレンド～「自動車関連材料の溶接・接合技術自」～(Web開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	
9	2021年度 溶接工学専門講座 溶接疲労強度評価の基礎と応用(Web開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	
10	日本希土類学会第39回講演会(横浜)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/lecture.html	
12	ものづくりにおける最新の DX/DT～溶接・接合技術への展開～(東京)+ (Web開催)	日本溶接協会	TEL 03-5823-6324 http://www.jwes.or.jp/	
12	第242回西山記念技術講座 最近の電気炉技術の進歩—平成30年間を振り返る—(Web開催)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
12~14	創立70周年記念軽金属学会第141回秋期大会(Web開催)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	事前 11.11
13	日本機械学会関東支部山梨講演会(山梨大)	日本機械学会関東支部	TEL 055-220-8434 ydc2021-tr@yamanashi.ac.jp http://society.me.yamanashi.ac.jp/jsme/2021/	
15	第247回塑性加工技術セミナー「いまどきの塑性力学—基礎・測定・解析—」(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
15~18	The 7th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2022)(富士吉田)	粉体工学会	http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.html iccci2022@ynu.ac.jp	
16	2021年度本多光太郎・湯川記念合同講演会(Web開催)(10号676頁)	東海支部	tokai@numse.nagoya-u.ac.jp https://jim.or.jp/INFO/pdf/info_501.pdf	参加 11.10
17	第79回固体イオニクス研究会(Web開催)	日本固体イオニクス学会	TEL 092-802-6967 proton@ifrc.kyushu-u.ac.jp	
17~19	INCHEM TOKYO 2021(東京)	化学工学会, 日本能率協会	TEL 03-3434-1988 INCHEM@jma.or.jp	
18~20	第53回溶融塩化学討論会・第7回アジア溶融塩化学技術合同会議(東京大学+オンライン)	電気化学会溶融塩委員会	TEL 045-566-1571 mscj@electrochem.jp	
19	腐食防食部門委員会第339回例会(Web開催)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@office.jsms.jp https://www.jsms.jp	
22~24	第20回破壊力学シンポジウム(和歌山県西牟婁郡)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
24	第50回 薄膜・表面物理 基礎講座 2021「表面・界面科学を基にした多彩なバイオセンシング技術の最前線」(Web開催)	応用物理学会 薄膜・表面物理分科会	TEL 03-3828-7723 fukui@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/tfspd/	
24	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-金属材料の基礎-(Web開催)	日本機械学会	TEL 050-3506-7352 ichihara@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/	
25~26	第59回高温強度シンポジウム(Web開催)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 jim@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
25~26	第173回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用～応用編～」(Web開催)	日本塑性加工学会	https://www.jstp.or.jp	定員 80名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
25～26	電気加工学会全国大会(2021)(Web開催)	電気加工学会	zaikawa.kouichi@fitc.pref.fukuoka.jp TEL 093-691-0260 http://www.jseme.or.jp/	
26	日本学術会議公開シンポジウム「なぜSDGs?—資源・材料循環におけるSDGsとカーボンニュートラル—」(Web開催)	日本学術会議 材料工学委員会・総合工学委員会・環境学委員会 SDGsのための資源・材料の循環使用検討分科会	n.yamauchi@kurenai.waseda.jp https://live.nicovideo.jp/watch/lv333559059 https://youtu.be/83-9pg1CnHQ	
28～12.2	The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9)(高松)	日本表面真空学会	iss9@jvssjp https://www.jvss.jp/iss9/	
29	研究集会“微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング”2021(Web開催)(9号600頁)	研究会 No. 82	micromech_jim@nims.go.jp	
30	第52回 エンジニアリングセラミックスセミナー「エンジニアリングセラミックスに関わるプロセス技術の革新II」(Web開催)	日本セラミックス協会他	TEL 03-3362-5231 encera@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/bkouon/index_j.html	定員 100名
30～12.1	シンポジウム「先進自動車製造技術における接合技術2021」(Web開催)	溶接学会軽構造接合加工研究委員会	TEL 075-315-8472 jaaa@secretari.jp https://jaaa.secretari.jp/reg2021/guide/index.html	
2021年12月				
1	経産省・文科省連携磁性材料・高効率モータープロジェクト「MagHEM・ESICMM 合同成果報告会」(東京)	経済産業省(次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発)	TEL 029-851-3354(内線3725) HIROSAWA.Satoshi@nims.go.jp https://biz.nikkan.co.jp/j-forum/maghem_esticmm/	
1～3	第48回炭素材料学会年會(那覇)	炭素材料学会	TEL 03-5389-6359 tanso-desk@bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2021/index.html	
1～3	EcoDesign2021(奈良)	エコデザイン学会連合	ecodesign2021_secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/ed2021/	
2～3	第54回安全工学研究発表会(Web開催)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
7～8	第107回 金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会—2021年度チュートリアル:アノード酸化の基礎—ならびにARS2021研究発表会(Web開催)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)	TEL 079-267-4911 ars_office@eng.u-hyogo.ac.jp http://ars.sjf.or.jp/	11.26 参加
7～23	第420回講習会「目から鱗!最近のドローン応用技術」(Web開催)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	
8～10	第47回固体イオニクス討論会(徳島)	日本固体イオニクス学会	TEL 088-656-7577 nakamura.o.koichi@tokushima-u.ac.jp https://www.ssi-j.org/symp/ssij47/index.html	
9～10	第36回分析電子顕微鏡討論会(Web開催)	日本顕微鏡学会	TEL 011-706-6768 bunseki@eng.hokudai.ac.jp https://bunseki-denken.eng.hokudai.ac.jp/	11.30
9～10	2021年度 溶接入門講座～新入社員・構造部材設計技術者のための～(Web開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	
9, 10, 16	2021年度計算力学技術者(CAE技術者)1・2級の認定試験	日本機械学会	TEL 03-4335-7616 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/	
9～10	第20回キャビテーションに関するシンポジウム(Web開催)	日本学術会議 第三部(予定)第20回キャビテーションに関するシンポジウム実行委員会	TEL 022-217-5229(直通) cav20-sendai@grp.tohoku.ac.jp http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/cav20/index.html	
10	第24回生体関連セラミックス討論会(京大)	日本セラミックス協会	https://www.ceramic.or.jp/bseitai/symposium/24th_Symp.html	
11～12	第33回信頼性シンポジウム—安心・安全を支える信頼性工学の最新開—(富山)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 RESYMPO2021@office.jsms.jp	
13～17	Materials Research Meeting 2021(MRM2021)(横浜)	日本 MRS	TEL 03-6264-9071 info_mrm@jmru.org https://mrm2021.jmru.org/	
15～16	デジタルラジオグラフィに関する技術講習会(東京)	日本溶接協会	TEL 03-5823-6324 http://www.jwes.or.jp/	定員 36名
22	第344回塑性加工シンポジウム「デジタルエンジニアリングの最前線」—令和時代の生産技術の方向性—(富山市+Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
2022年1月				
7	表面分析実践講座2021～実践!最新走査電子顕微鏡実習 実際の作業を通して身につける最新技術～(東京)	日本表面真空学会	https://www.jvss.jp/jpn/activities/06/detail.php?eid=00006	
7	第99回レアメタル研究会(東大生産技研+Web開催)(本号760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	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
8～9	第60回セラミックス基礎科学討論会(熊大)	日本セラミックス協会基礎科学部会	kiso60@chem.kumamoto-u.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bkiso	
24～25	第29回超音波による非破壊評価シンポジウム(Web開催)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp	
27	表面科学技術研究会2022 炭素材料の新展開-表面で造る・表面を造る・表面を使う-(大阪+Web開催)	日本表面技術協会関西支部他	TEL 075-781-1107 kansai_office@stj.or.jp http://www.sssj.org/Kansai/goudou22127.html	参加 1.20
28～29	第27回薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会共催特別研究会「電子デバイス界面テクノロジー研究会-材料・プロセス・デバイス特性の物理-」(Web開催)	応用物理学会薄膜・表面物理分科会他	fukui@jsap.or.jp http://www.edit-ws.jp/	
2022年2月				
1～14	Mate2022 28th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"(Web開催)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6879-7568 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate/	
2022年3月				
7～9	2021年度量子ビームサイエンスフェスタ(Web開催)	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, J-PARCセンター他	qbsf2021-office@ml.j-parc.jp https://mlinfo.jp/sp/qbs-festa/2021/	
11	第100回レアメタル研究会(東大生産技研+Web開催)(本号760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	
15～17	日本金属学会春期講演大会(東京大学駒場キャンパス)(予定)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	講演 1.7 参加予約 2.25
2022年6月				
3～5	2022年度塑性加工春季講演会(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
2022年9月				
4～8	第18回アルミニウム合金国際会議(ICAA18)(富山)	軽金属学会	http://www.icaa18.org/	
21～23	日本金属学会秋期講演大会(福岡工業大学)(予定)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	



2022年春期講演大会講演募集が今月より始まります。ご確認をお願いします(本号会告743頁)。

2021, 2022年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第60巻 第11号(2021) 発行日 2021年11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

日本金属学会会報「まてりあ」への投稿について

会報「まてりあ」をより多くの皆様にご活用していただけるよう投稿記事を歓迎いたします。
投稿規程、執筆要領および下記要領によりご投稿下さい。

～会報編集委員会～

(1) 種別(規定掲載頁)(規定字数内)

- 1. 入門講座**(4頁)(9,340字)
金属のみならずセラミックス、高分子を含めた材料一般に関して境界領域の材料や物づくりの実際などの講義を通して広く会員に情報を提供する。
- 2. 講義ノート**(6頁)(14,500字)
材料に関係する基礎学問分野についてわかりやすく講義してもらう。
- 3. プロムナード**(4頁)(9,340字)
金属・材料に関する話題にかぎらず、社会、経済、歴史などを含む多くの分野からの「比較的短くて分かりやすく」「会員が教養として知って置くべき事柄」「提言」「トピックス的な話題」など。
- 4. 解説**(7頁)(17,100字)
新しい特定の問題を取り上げて、専門外の会員にも分かるように解説したもので、さらに勉強しようとする人のために参考となる文献も示しておく。
- 5. 最近の研究**(8頁)(19,700字)
最近の重要な研究のうち、比較的せまい範囲のテーマを取り上げて、国内外の最近の研究成果を紹介する。各分野の現状、現在の問題点などを取り上げて、総括的に分かり易く記述したもので、その分野の研究を進める上で参考となる内容とする。
- 6. 技術資料**(8頁)(19,700字)
直接実務に利用できるもので、実際に行う場合に必要となる条件、装置の説明、あるいは技術的データの収集等により参考資料として役立つもの。
- 7. 集録**(9頁)(22,300字)
文献を主眼として問題点を論じ、批判するもので今後の方針を示唆することをねらいとする。文献のみを集録し解説を行うものも含む。
- 8. 実学講座**(4頁)(9,340字)
特許取得、ベンチャー企業の設立、研究開発マネジメント、教育法、学習法などについて記事にする。
- 9. 材料科学のバイオニアたち**(5頁)(11,900字)
材料科学に携わった先人たちの偉業を紹介する。
- 10. 新進気鋭**(4頁)(9,340字)
“はばたく”は大学院修士課程修了者以上を対象とし、ここでは30歳前後の若手研究者を対象として研究・仕事の紹介と将来展望について紹介してもらう。執筆は単独名とする。
- 11. 材料教育**(4頁)(9,340字)
材料教育に関する話題。
- 12. トピックス(制限頁;2頁)**(4,150字)
最近の情報を手短かに紹介するもので、話題は限定しない。
- 13. 物性・技術データ最前線**(4頁)(9,340字)
形式は問わず、情報量は少なくとも、多く読者が必要とするタイムリーな最新の物性、技術データを紹介する。
- 14. 材料ニュース**(2頁)(4,150字)
新聞で発表された材料関連ニュースを新聞内容よりは詳しくできるだけ迅速に記事にする。
- 15. プロジェクト研究報告(有料)(原則35頁)**
特定研究A、B、未来開拓、戦略基礎などの公的資金補助によるプロジェクト研究成果を有料掲載する。

- 16. 産官学交差点**(1頁)(2,200字)
材料に関係した産官学の情報交流の場を設ける。
- 17. 材料発ベンチャー**(2頁)(4,150字)
材料関連ベンチャー企業の経験者に経験談等を記事にしてもらう。
- 18. 新技術・新製品裏話**(2頁)(4,150字)
金属学会新技術・新製品技術開発賞を獲得したグループに開発にあたっての苦労、裏話を紹介してもらう。
- 19. 談話室**(1頁)(2,200字)
気軽な意見の発表、学会に対する質疑応答、情報交換等。
- 20. はばたく**(1頁)(2,200字)
大学院生など新鋭の方々が、著者自身の研究への取り組み方などについて述べる。
- 21. 紹介**(1頁)(2,200字)
組織変更・改革、産業界の動向その他。
- 22. 学会・研究会だより**(1頁)(2,200字)
- 23. 研究室紹介**(1～2頁)(2,200～4,700字)
- 24. 委員会だより**
- 25. スポットライト**

(2) 投稿の方法

- 種別の1～15については、執筆要領に定める方法で作成し、制限頁以内にまとめた原稿とその論文または記事のねらい(200字～300字)をフォーマット用紙に記述して会報編集委員会までご送信下さい。審議の上、受付の可否を決定します。
- 種別の16～25については、執筆要領に定める方法で作成し、制限頁以内にまとめた原稿をお送り下さい。但し、原稿の採否や掲載号は会報編集委員会にご一任下さい。

(3) 投稿の要件

- 和文であり論文又は記事として未投稿、未掲載でかつオリジナリティがあること、規定頁を超えないこと、金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること等、ホームページに掲載している会報投稿規程を参照して下さい。

(4) 著作権の帰属

- 会報に投稿された論文および記事の著作権は、この法人の著作権規程により、この法人に帰属します。

(5) その他留意事項

- 原稿は、専門外の読者にも分かるようにご執筆下さい。
- 原稿は、会報編集委員会にて審査いたします。その結果、場合によっては掲載をお断りする場合があります。また、掲載号等についても、本編集委員会が決定いたします。
- 図表の引用に関しては、著作権者への転載許可手続きを著者ご自身で行ってください。
- 詳細は会報投稿規程をご覧ください。

(6) 会報投稿規程と執筆要領

- ホームページ：[まてりあ](#) → まてりあへの投稿 をご覧ください。

(7) 原稿送付・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
公益社団法人日本金属学会 会報編集委員会
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

分子／結晶模型モデル (組み立て用キット)

プラスチックの原子と結合を使った教育学習用の分子／結晶構造の模型です。原子は色で区別され、正しい角度に設定された分枝を持ち、決められた長さの結合長で繋ぎ合わされます。直径1cmと6mmの原子を使う2種類のモデルサイズがあります。

基本セット

■Basic Structure (1cmモデル) Class Set ¥11,000.-
硫酸、塩化ナトリウム、ダイヤモンド、グラファイト、金属、酸と塩基、洗剤、ナイロン、アモルファス構造の学習用(原子515個)

■Lattice (1cmモデル) Class Set ¥11,550.-
ダイヤモンド、グラファイト、塩化ナトリウム、8および12配位金属、塩化セシウム、セ閃亜鉛鉱、ウルツ鉱、ルチル、氷構造の学習用(原子380個)

■Organic and Inorganic Chemistry (1cmモデル) Class Set ¥9,680.-
アルカン、アルケン、アルキン、環構造、酸素／窒素／硫黄／リンの官能基、ベンゼン環、ポリマー、複素結晶の学習用(原子500個)



結晶セット

■Carbon Nanotube (原子150個) ¥3,410.-

■Diamond (原子450個) ¥7,700.-

■Beta-Quartz (原子1,400個) ¥14,960.-

■Mica (原子1,550個) ¥27,720.- その他、多数あり

(製作: Cochranes of Oxford Ltd.)

化学プロセス用の物性データベース

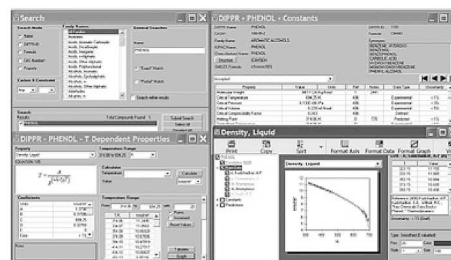
DIPPR with DIADEM pro (Design Institute for Physical Property Data)

価格 ¥385,000.- / ¥66,000.- (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

ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 4.4

価格 ¥198,000.- マルチユーザー ¥286,000.-

検索条件

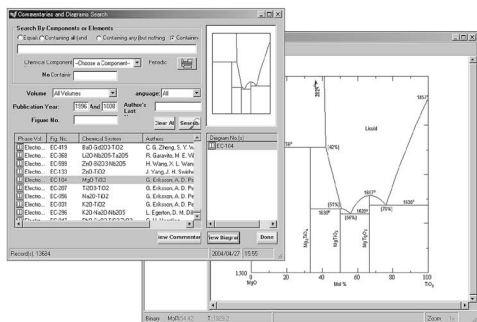
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

データ表示

- ◆モル百分率 ↔ 重量百分率
- ◆Lever rule計算
- ◆ズームアップ / ズームダウン

データソース / 新データ2,500件を追加

●Phase Diagrams for Ceramists (Volumes I - III, Annual Volumes '91, '92 and '93, High Tc Superconductor monographs (two), Phas Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics Vol.15)



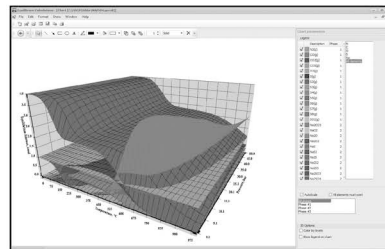
システムプラットフォーム: Windows 8/10

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 ¥319,000.- / ¥110,000.- (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>

「化学」分野

#素材

#生命・環境

#応用化学

専門技術者

募集

知財経験
不問

高度な
専門性

社会的
貢献

技術経験・
知識の活用

IPCC

業界
最大手

最先端の
技術

Professional
Team*

*Ph.D 約150名が在籍

☆IPCCは、特許庁の登録調査機関です！

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

IPCC 専門技術者



※ 処遇、募集技術分野等の詳細についてはHP参照



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

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

IPCC

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

〒135-0042 東京都江東区木場一丁目2番15号
深川ギャザリア ウェスト3棟

採用担当: 人材開発センター 開発部 採用課

TEL 03-6665-7852 FAX 03-6665-7886

URL <https://www.ipcc.or.jp/>

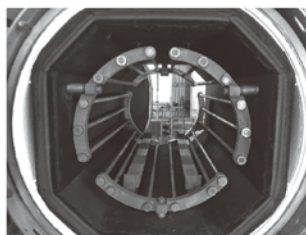
e-mail: ipcc-jin@ipcc.or.jp

高断熱+省エネ

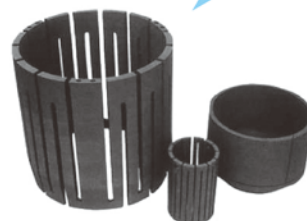
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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

高温真空炉



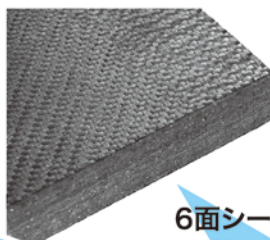
カーボンヒーター



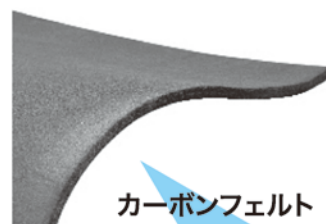
シール



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



日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

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

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

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

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

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

miwa

日本の未来にとって、
とても大切なプロジェクト。
廃炉へのみちを支えています。



設計・製作・販売

- グローブボックス ●ガス循環精製装置
- クリーンオープン ●ドライルーム
- アイソレーター ●ラミネート装置
- 高気密恒温恒湿室

※当社のすべての製品は、日本国内でのみご利用いただけます。



株式会社 **美和製作所**

本社・工場 〒567-0028 大阪府茨木市畑田町11番50号
TEL: 072-625-1138 FAX: 072-625-1178

東京営業所 〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町32番地
TEL: 03-5256-1138 FAX: 03-5256-1145

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