

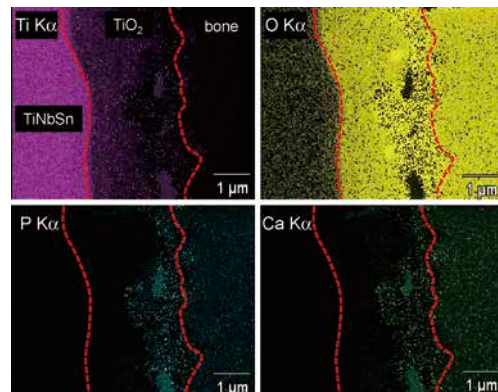
Materia Japan

- キログラムの新定義を導いた計量学者の挑戦
- 金属なんでもランキング! ~デバイ温度~
- 科学・技術と社会の関係を考える
—2. 科学知とその構築に関する理解—
- 強誘電体 / 誘電体研究への第一原理計算の展開
- 表面制御による生体適合性の改善
- 新技術・新製品
- 新企画 科学館めぐり

まてりあ

Vol.59 MTERE2 59 (2) 67~124 (2020)

2020 **2**



マテリアルズインフォマティクスによる材料ゲノムの解析との連携！ 効率的な材料内部組織の三次元可視化！

全自動シリアルセクションング3D顕微鏡 **Genus_3D** Fully-automated serial sectioning 3D microscope

HDR機能
新搭載！

新搭載！ 設定条件ライブラリー

設定値、動作設定、消耗品の自動選定

全自動！ 電解エッチング

チタン、アルミ、ニッケル、ステンレス等

NEW！ 純正消耗品

逐次研磨像

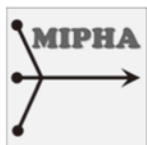
3D

Nakayamadenki Co.,Ltd



材料情報統合システム“MIPHA¹⁾”および“shinyMIPHA²⁾”販売開始！

1)MIPHA: スタンドアロン, 2)shinyMIPHA: クラウドシステム



高度な材料組織形態解析と順・逆解析を搭載

- ・MIPHA: 機械学習型画像処理、連結性、分岐性、曲率解析、metric特徴量
- ・shinyMIPHA: パーシステントホモロジー、二点相関関数、豊富な順・逆解析

国内総発売元



株式会社 新興精機

大阪営業所

大阪府吹田市広芝町7-26

TEL: 06-6389-6220 FAX: 06-6389-6221

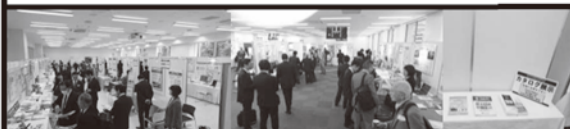
http://www.shinkouseiki.co.jp

営業窓口: 池内 ikeuchi@shinkouseiki.co.jp

世界の材料科学・工学をリードする第一線の研究者・技術者に向けて

付設展示会 大会プログラム広告 ランチョンセミナー

募集のご案内



付設展示会 (機器・ソフトウェア・書籍)

・1コマ ¥140,000 (税別)

大会プログラム広告

・1色1頁 ¥70,000 (税別)

・1色1/2頁 ¥40,000 (税別)

ランチョンセミナー

・1枠 ¥100,000 (税別)

日本金属学会・講演大会 開催予定

2020年春期 (第166回) 講演大会
3/17 (火) ~ 3/19 (木)
東京工業大学 大岡山キャンパス

2020年秋期 (第167回) 講演大会
9/16 (水) ~ 9/18 (金) (予定)
富山大学

ご出展・広告掲載のお問い合わせ・お申込み

MEIHOSSHA
ADVERTISING AGENCY

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座七丁目12-4 友野本社ビル

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

E-mail info@meihosha.co.jp ホームページ www.meihosha.co.jp

巻頭記事	キログラムの新たな定義を導いたメトロロジストの挑戦	67
金属なんでもランキング! No. 7	デバイ温度	71
プロムナード	科学・技術と社会の関係を考える —2. 科学知とその構築に関する理解— 柴田 清	73
最近の研究	強誘電体/誘電体研究への第一原理計算の展開 森分博紀 田口綾子	78
	近年、第一原理計算技術も大いに発展し、計算機性能の向上と相まって、従来計算できなかった多くの材料特性を実験データを全く用いることなく計算することが可能になっている。本稿では、この第一原理計算と高精度な実験との連携による強誘電材料研究の筆者らの最近の成果を解説する。	
	TiO ₂ をコーティングしたインプラント用 TiNbSn 合金の生体適合性 正橋直哉	84
	金属材料科学を駆使した生体適合性に優れたインプラント材料の研究を紹介。安全・安心を提供する医工連携による生体材料の開発。	
材料教育	教員養成系大学・技術専攻での材料教育と形状記憶合金を用いた中学校・技術科教材の開発 北村一浩	92
新技術・新製品	亜鉛ダイカスト金型用アモルファス炭素膜の開発 水林 舞 櫻木卓也 渡邊直樹	96
	過酷環境下で測定可能な水素センシング技術の開発 木村浩隆 鈴木 譲 湯川 宏	99
企画にあたって	連載「科学館めぐり」について 北村一浩	102
科学館めぐり	名古屋市科学館(名古屋市) 北村一浩	103
はばたく	材料工学系学生から機械工学系教員になって感じた変化 植木洗輔	105
スポットライト	青銅鏡作製を通じて実感した金属特性 植松みずき 高橋 風 今村海斗	106
	あかがねの町新居浜と別子銅山の歴史 塩崎瑛博 高橋直哉	107
学会・研究会だより	最先端電子顕微鏡技術とその応用に関する日独二国間交流セミナー 山本剛久 平山 司	108
	第 4 回茨城大学量子線科学国際シンポジウム報告 西 剛史	110
本会記事	会告	111
	新入会員	121
	掲示板	118
	書評	121
	会誌・欧文誌 2 号目次	119
	追悼	122
	次号予告	120
	行事カレンダー	123

まてりあ・会誌・欧文誌の投稿規定・投稿の手引・執筆要領、入会申込書、刊行案内はホームページをご参照下さい。
<https://jim.or.jp/>

今月の表紙写真 インプラント TiNbSn 合金と骨の界面近傍の元素分布: TiK α , OK α , PK α , CaK α (本論文文献(41)参照)
(正橋直哉 87頁 図 8 より改変)

表紙デザイン: 北野 玲
複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的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。



X線光電子分光システム(XPS)によるシリコン(^{28}Si)単結晶球体の表面分析
シリコン(^{28}Si)単結晶球体の表面酸化膜の厚さを測定した。

©産総研

キログラムの 新たな定義を導いた メトロロジストの挑戦

2019年5月20日、質量の単位であるキログラムの定義が130年ぶりに改定された。

新たな定義では、変化が生じる人工物の国際キログラム原器ではなく、

普遍的な基礎物理定数を用いて質量を決める。

メトロロジスト(計量学者)の夢といわれた困難なテーマに挑んだ

計測技術の世界に迫る。

130年間 越えられなかった壁

計測は科学の基本であるばかりでなく、商取引や法規制を介して社会生活にも大きな影響を与える。そのため信頼性の高い世界共通の単位系が欠かせない。質量の定義に当たっては、もともと水1Lの質量を1kgと決めていた。それが1889年の第1回国際度量衡総会で、水1Lに代わって白金-イリジウム合金製の「国際キログラム原器」という分銅を基準とすることになり、それ以降130年にわたり続いた。

国際キログラム原器はパリ郊外にある国際度量衡局に保管され、世界の質量標準は国際キログラム原器との定期的な校正によって値付けされた各国のキログラム原器との比較の連鎖によって維持・管理されてきた。しかし、長年の表面汚染や損耗などの影響により、国際キログラム原器の質量は1889年を起点とした1946年と1989年の校正結果から、最大50 μgほど変化していることがわかった。1kgに対して1億分の5という指紋の一つに付着した油脂の質量程度の誤差だが、膨大または極小の質量を計測する際、無視できなくなっていた。そのため、キログラム原器という人工物から普遍的な基礎物理定数へと移行させること(図1)が、国際度量衡委員会などで検討されてきた。

キログラムの定義改定は、2012年のネイチャー誌⁽¹⁾で宇宙人との交信や重力波の検出などと並び、『物理学で解決できていない5大課題』の一つに挙げられるほど難題だった。それほど、130年前の真空冶金技術で鍛造された白金-イリジウム合金の質

量安定性は優れていた。当時の技術者が「この合金を使えば1万年経ってもその質量は変わらないだろう」と述べたほどだった。最新技術を駆使しても、国際キログラム原器の1億分の5を上回る精度で、新定義にふさわしい基礎物理定数の値を測定することができなかったのだ。

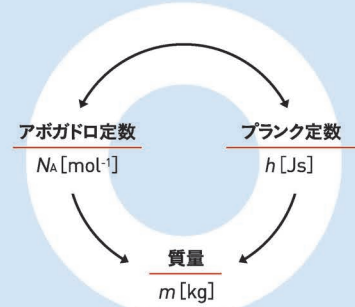
アボガドロ定数の 精密測定に挑む

キログラムの再定義にあたって、約200ある普遍的な基礎物理定数のうち、世界の計量学者たちが着目したのはプランク定数だ。プランク定数は量子論における最も重要な基礎物理定数の一つで、相対論と光電効果から光子のエネルギーと質量を関連づけるため、現行の1kgを表現することができる。プランク定数は二つの方法で測定できる。その一つがX線結晶密度法⁽²⁾だ。X線結晶密度法を用いたプランク定数の精密測定では、シリコン単結晶の密度やモル質量、格子定数を測定し、シリコン単結晶に含まれる原子を数えてアボガドロ定数を測定する。プランク定数とアボガドロ定数の間には厳密な関係式が成り立ち(図2)、アボガドロ定数の測定値からほぼ同じ精度でプランク定数を算出できる。世界各国の国家計量標準機関でアボガドロ定数を測定し、プランク定数を導き出す研究が行われた。

日本の産業技術総合研究所(以下、産総研)では、約40年前からシリコンを用いたアボガドロ定数の精密測定に着手していた。1987年にシリコン結晶を極めて真球に

プランク定数と アボガドロ定数の関係(図2)

プランク定数 h とアボガドロ定数 N_A の間には、次の関係式が成り立つ。そのため、いずれか一方を測定すれば、ほぼ同じ精度で、もう一方を算出できる。



$$N_A = \frac{M_e}{m_e} = \frac{c M_e \alpha^2}{2 R_{\infty} h}$$

N_A : アボガドロ定数
 h : プランク定数
 M_e : 電子のモル質量
 m_e : 電子1個の質量
 c : 真空中の光速
 α : 微細構造定数
 R_{∞} : リュドベリ定数
 $c M_e \alpha^2 / 2 R_{\infty}$ の相対標準不確かさ: 4.5×10^{-10}

近い球体に研磨する技術が開発され、シリコン結晶の密度を高精度に測定するために、産総研は数十nmの真球度で超精密研磨された質量1kgのシリコン球体の形状を測定するレーザー干渉計を開発した⁽³⁾。そして1994年、世界で初めて真空中でシリコン球体の密度を測ることに成功した⁽⁴⁾。しかし、求められた定数の相対標準不確かさは1億分の30だった。

シリコンは結晶構造が安定しており、アボガドロ定数の測定には向いているものの、質量数の異なる3種類の安定同位体

原器から物理定数へ(図1)



日本国キログラム原器

2019年までキログラムの定義であった「国際キログラム原器」の複製の一つで、1889(明治22)年、日本に配付された。白金-イリジウム合金で製作されており、日本の質量の国家標準として用いられた。

©産総研



シリコン(²⁸Si)単結晶球体

プランク定数とアボガドロ定数は厳密な関係式によって結び付けられている(図2)ため、アボガドロ定数を決定することで、プランク定数を導くことができる。産総研はシリコン(²⁸Si)単結晶球体を用いて高精度にアボガドロ定数を測定し、定義改定に大きく貢献した。

©産総研

(^{28}Si , ^{29}Si , ^{30}Si) が存在する。単純にシリコンの結晶をつくるだけでは、測定の精度が上がらなかった。3種類の安定同位体のモル質量（平均原子量）を決めるためには、同位体存在比を精密に測定する必要があった。そのため、2003年に欧州委員会の標準物質計測研究所との協力により、シリコンのモル質量を測定した。アボガドロ定数を1億分の20という当時最小の相対標準不確かさで測定することに成功したが、国際キログラム原器には及ばなかった。

国際分業によるブレイクスルーと日本の貢献

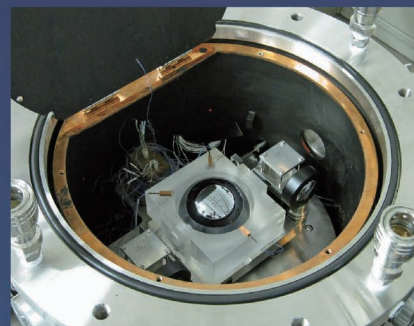
1億分の5という壁を越えられなかったのは、アメリカやイギリスなど他国の研究状況も同じだった。そこで2004年、多国間で協力して、より精度の高い測定ができる1種類の同位体 (^{28}Si) だけを濃縮したシリコン単結晶からアボガドロ定数を決めるアボガドロ国際プロジェクトが始まった。この国際プロジェクトには日本の産総研、ドイツ物理工学研究所、イタリア計量研究所、オーストラリア計量研究所、イギリス物理研究所、アメリカ標準技術研究所、欧州委員会の標準物質計測研究所、国際度量衡局が参加した。

研究グループはロシアの研究機関の協力を得てシリコン同位体の濃縮を実施し、2007年に ^{28}Si だけを99.99%に濃縮した結晶が完成した。この結晶から直径94 mm、真球度70 nm、質量1 kgの球体が2個研磨された。研磨技術はオーストラリア計量

研究所が開発したものだ。

産総研は、シリコン(^{28}Si) 球体の密度を決定するため、光の波長の精密制御によりシリコン球体の形状を1 nmよりも高い精度で測定するレーザー干渉計を新たに開発した(図3)。約2000方位から、球体の直径をほぼ原子間距離（格子定数）に相当する0.6 nmの精度で測定した。さらに表面分析装置(図4)を新たに開発し、表面を覆う数 nmの厚さの酸化膜を除いたシリコンコアの質量と体積を精密に測定した。これにより2017年、1億分の2.4の世界最高レベルの精度でアボガドロ定数の測定に成功し、プランク定数を算出した。ついに国際キログラム原器の質量安定性を凌いだのだ。

このアプローチとは別に、各国でキップル・バランス法⁽⁵⁾と呼ばれる方法でプランク定数を測定しており、その値とも一致するかどうかの検証が行われた。そして2017年、世界各国の国家計量標準機関が測定した8つのデータが科学技術データ委員会に提出され、プランク定数が決定した。そのうちの4つは産総研やドイツ、イタリアの研究機関などが共同で測定したアボガドロ定数の値をプランク定数に換算したもので、さらにその中の一つは日本単独の測定結果だった。2018年11月にベルサイユで開催されたメートル条約の総会で、キログラムの定義改定が採択された。欧米以外の国が世界共通の単位系の定義改定に決定的な役割を果たしたのは、長い度量衡の歴史の中で今回が初めての快挙だった。こうして2019年5月20日の世界計量記念日に、新たな定義が施行された。



レーザー干渉計(図3)

©産総研

シリコン球体の体積を精密に測定する装置。レーザーを光の物差しとして用い、1 nmよりも高い精度で球体の直径の測定を可能にした。



表面分析装置(図4)

©産総研

シリコン単結晶球体の表面は酸化膜で覆われている。プランク定数およびアボガドロ数を精密に測定するためには、その膜の厚さを測定し、純粋なシリコンのみの部分の体積を求めなければならない。X線光電子分光法を用いたこのシステムによって、0.1 nmの精度で表面酸化膜の厚さを求めることができた。

世界最高レベルの精度

1億分の2.4

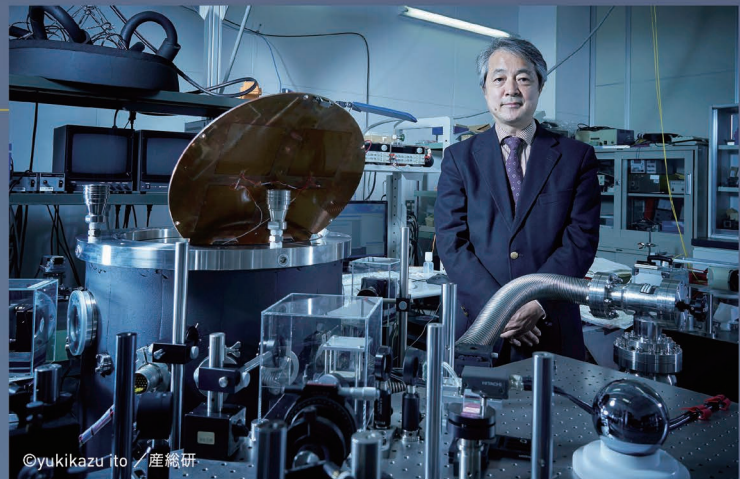
INTERVIEW

長い周期の基礎研究を支えることが重要

私は1988年から計量研アボガドログループのメンバーの一員としてシリコン結晶の球体の密度測定を担当し、キログラムの定義改定の研究に携わり始めた。1世紀もの間、誰もできなかったことを自分たちの手で成し遂げてみたいという意気込みがあったものの、原器の安定性を超える精度で原子の数を測ることは大変困難を極めた。その間、密度測定の校正技術など、アイデアのスピノフによって研究成果を上げ、プロジェクトを何とか継続していた。

転機が訪れたのは2002年で、ドイツの研究グループから、シリコン同位体を濃縮してみないかと誘われたことだった。そして2004年から国際プロジェクトが始まり、私はコーディネーターを務めた。国際プロジェクトは順調に進み、2018年11月、キログラムの定義改定が採択された。私がこの研究を始めてから、ちょうど30年目のことだった。

130年ぶりの定義改定において、日本が大きく



©yukikazu ito / 産総研

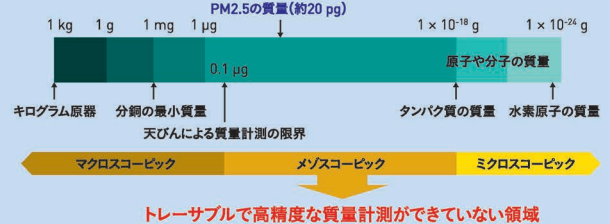
貢献する成果を残せたのは、産総研の総合力と、40年以上にわたる地道な基礎研究の賜物だった。科学の世界は、いきなりブレークスルーがやってくるわけではない。そのほとんどは、諦めずコツコツと技術改良を続けるという土台があってこそ成し得るものだ。研究を着実に積み重ねていくこと、そして長い周期の基礎研究を支えることの重要性を再認識した。

藤井 賢一 さん

国立研究開発法人
産業技術総合研究所
計量標準総合センター
工学計測標準研究部門
首席研究員

キログラムの定義改定がもたらすもの(図5)

ナノグラム領域の超微小質量計測を可能にし、新薬の開発や微粒子などを対象とする環境計測などの分野への応用展開が期待されている。

超微小質量計測への
応用に期待

今回のキログラムの定義改定によって、国際度量衡局に保管されている原器に頼ることなく、技術さえあれば誰もがプランク定数に基づいて質量の基準を持つことができるようになった。これまでの定義で測定できる最小質量は1 µg程度が限界だった。新しい定義ではプランク定数につながる新しい計測技術さえ開発すれば、さらに小さい領域の質量を測ることが可能となる。この計測技術は新薬の開発や環境中の微粒子

の計測、インクジェット技術、半導体デバイスの質量計測などを通じて、バイオテクノロジーやナノテクノロジーなどに広く貢献することができる(図5)。すでに産総研では、ナノグラム領域の微小質量を、プランク定数を基準にして高精度に測定するための技術開発に取り組んでいる。

キログラムの新しい定義は、現時点では日常生活に何も変化は起きない。しかし技術革新が新しい定義を必要とし、新しい定義は技術革新をもたらす効果がある。今後さらにブレークスルーを生み、より新しい技術の登場を促すことが期待される。

(取材協力：国立研究開発法人産業技術総合研究所
藤井 賢一 首席研究員)

文 献

- (1) N. Jones: Nature, **481** (2012), 14-17.
- (2) K. Fujii, H. Bettin, P. Becker, E. Massa, O. Rienitz, A. Pramann, A. Nicolaus, N. Kuramoto, I. Busch and M. Borys: Metrologia, **53** (2016), A19-A45.
- (3) K. Fujii, M. Tanaka, Y. Nezu, K. Nakayama, R. Masui and G. Zosi: Rev. Sci. Instrum., **63** (1992), 5320-5325.
- (4) K. Fujii, M. Tanaka, Y. Nezu, A. Sakuma, A. Leistner and W. Giardini: IEEE Trans. Instrum. Meas., **44** (1995), 542-545.
- (5) 藤井賢一：日本物理学会誌, **74** (2019), 700-708.



2020年版1月発行分
JSA Webdeskにて、好評販売中！

JISハンドブック



JISハンドブックとは？

JISを分野別にとりまとめて多数収録したお得な書籍です。1冊で、特定分野における主要規格を網羅することができる、産業技術基準の粋を集めたものです！

JISハンドブックの特長

1. 個別にJISをご購入いただくより安価！

1冊のハンドブックに平均して114ものJISを収録（総目録を除く2020年1月発行分の場合）しており、JISを個別にご購入いただくよりも大変お手頃な価格になっております。日頃より、多くのJISをお買い求めいただいているお客様におススメです。

2. 特定分野のJISの概略をつかめる！

JISを分野別のハンドブック1冊に集約しているので、お手元に置いていただくことでお客様のお使いになる分野に存在する主要なJISを把握できます。「どのJISを購入すればよいか分からない」といったお悩みが出た際、特定分野のハンドブックに収録しているJISをご確認いただくことが、お探しのJISを見つける一助になります。

3. 持ち運びが容易なコンパクトサイズ！

通常A4サイズのJISを一回り小さいA5サイズで収録しているため、持ち運びが容易で利用しやすくなっています。様々な場面でJISを参照される場合にも大変便利です。

4. 便利な英訳版もご用意しています！

一部の分野では、英訳版を発行しており、海外でJISを必要とされるお客様のニーズにもお応えします。

◆手軽にJIS最新版管理を実現◆

- ・ JIS G 3316：2019、JIS G 4109：2019を収録・・・2 鉄鋼 II
- ・ JIS A 4716：2019、JIS A 5558：2019を収録・・・8-2 建築 I -2
- ・ JIS B 7440-12：2019、JIS Z 8103：2019を収録・・・46 機械計測
- ・ JIS X 0164-5：2019、JIS X 33003：2019を収録・・・66-1 ソフトウェア

※各JISハンドブックの収録規格は、前年度版から更新・変更されている場合があります。詳細はJSA Webdeskに掲載される目次にてご確認ください。

2020年版 1月 発行分

書名	商品コード	定価(税抜)	書名	商品コード	定価(税抜)
JIS総目録	318759	¥6,500	27 プラスチックII [材料]	318776	¥13,500
1 鉄鋼II [用語/他]	318760	¥15,300	29 接着	318777	¥13,200
2 鉄鋼II [棒・形・板・帯/鋼管/線・二次製品]	318761	¥13,800	30 塗料	318778	¥15,300
3 非鉄	318762	¥14,200	32 紙・パルプ	318779	¥12,800
6-1 配管I [基本]	318763	¥13,800	40-1 溶接I [基本]	318780	¥15,600
6-2 配管II [製品]	318764	¥17,000	40-2 溶接II [製品]	318781	¥12,500
7 機械要素 (ねじを除く)	318765	¥17,300	41 金属表面処理	318782	¥13,300
8-1 建築I-1 [材料・設備]	318766	¥13,700	46 機械計測	318783	¥12,500
8-2 建築I-2 [材料・設備]	318767	¥13,700	47 電気計測	318784	¥16,700
9 建築II [試験]	318768	¥18,400	49 化学分析	318785	¥17,400
17 圧力容器・ボイラ [用語/構造/附属品・部品・その他]	318769	¥17,800	52-1 環境測定I-1 [大気]	318786	¥17,200
18-1 自動車I [基本/試験・検査・測定方法/二輪自動車]	318770	¥14,000	52-2 環境測定I-2 [騒音・振動]	318787	¥13,400
18-2 自動車II [エンジン/シャシ・車体/電気自動車]	318771	¥17,100	53 環境測定II [水質]	318788	¥15,800
19 電気設備I [一般/電線・ケーブル/電線管・ダクト・附属品]	318772	¥18,500	55 国際標準化	318789	¥19,000
20-1 電気設備II [電気機械器具/低圧遮断器・配線器具]	318773	¥15,600	56 標準化	318790	¥15,100
20-2 電気設備III [照明・関連器具]	318774	¥18,000	65 情報記録媒体	318791	¥21,000
26 プラスチックI [試験]	318775	¥18,900	66-1 ソフトウェア	318792	¥19,300

2019年版 継続販売分

書名	商品コード	定価(税抜)	書名	商品コード	定価(税抜)
4-1 ねじI [用語・表し方・製図/基本/境界ゲージ/部品共通]	318730	¥9,600	50 金属分析I	318748	¥17,100
4-2 ねじII [一般用のねじ部品/特殊用のねじ部品]	318731	¥9,300	51 金属分析II	318749	¥16,400
5 工具	318732	¥16,300	57 品質管理	318750	¥14,700
10 生コンクリート	318733	¥11,900	58-1 ISO 9000	318751	¥12,800
11 土木I [コンクリート製品・土木資材]	318734	¥16,300	58-2 環境マネジメント	318752	¥12,600
12 土木II [土質試験・地盤調査・土工機械]	318735	¥21,500	58-3 適合性評価	318728	¥13,700
13 工作機械	318736	¥21,000	58-4 リスク・セキュリティ・事業継続	318753	¥12,400
15 油圧・空気圧	318737	¥15,200	59 製図	318754	¥15,300
16 ポンプ	318738	¥16,200	61 色彩	318755	¥11,900
25 石油	318739	¥18,700	62 物流	318756	¥14,000
28-1 ゴム・エラストマーI [ポリマー・配合剤の試験方法]	318740	¥11,300	67 情報セキュリティ・LAN・バーコード・RFID	318729	¥20,100
28-2 ゴム・エラストマーII [製品及び製品の試験方法]	318741	¥11,300	69 鉄道	318757	¥19,700
31 繊維	318742	¥18,900	71 電気安全	318758	¥13,800
37-2 労働安全・衛生	318717	¥14,200	英訳 鉄鋼I	313725	¥29,300
42 熱処理	318743	¥17,500	英訳 鉄鋼II	313726	¥29,400
43 非破壊検査	318744	¥13,900	英訳 非鉄	313727	¥25,800
44 計測標準	318745	¥12,000	英訳 機械要素 (ねじを除く)	313728	¥34,800
48-1 試薬I [K8001~K8549]	318746	¥16,600	英訳 熱処理	313729	¥34,500
48-2 試薬II [K8550~K9906]	318747	¥13,700			

2018年版 継続販売分

書名	商品コード	定価(税抜)	書名	商品コード	定価(税抜)
21 電子I [試験]	318635	¥11,800	70 電磁両立性 (EMC)	318655	¥13,400
22-1 電子II-1 [オプトエレクトロニクス]	318636	¥14,000	72 機械安全	318656	¥11,100
22-2 電子II-2 [オプトエレクトロニクス]	318637	¥12,600	73-1 医療機器I [用語・記号/評価方法/医用電気機器/他]	318657	¥11,900
23-1 電子III-1 [部品]	318638	¥13,600	73-2 医療機器II [医療器具・材料/滅菌方法/試験方法]	318658	¥12,600
23-2 電子III-2 [部品]	318639	¥12,200	73-3 医療機器III [機器・装置・システム/光学機器/家庭用機器]	318659	¥13,300
35 ファインセラミックス	318644	¥14,400	73-4 医療機器IV [安全性評価/歯科材料/歯科器具/他]	318660	¥13,000
38 高齢者・障害者等 [アクセシブルデザイン]	318645	¥14,300	77 医用放射線	318661	¥17,400
60 図記号	318627	¥11,100			
63 包装	318654	¥11,800	英訳 ねじ	313724	¥25,700

2017年版 継続販売分

書名	商品コード	定価(税抜)	書名	商品コード	定価(税抜)
68 金型	318554	¥10,100	英訳 配管	313720	¥33,100
			英訳 金属表面処理	313721	¥27,200

ご注文について

2020年版1月発行分JISハンドブックのご注文は、JSA Webdeskから承っております。
JSA Webdesk各種会員にご登録いただき、お申込みいただくだけでご注文いただけます。

※JISハンドブックの目次及び収録規格につきましては、JSA Webdesk上にて公開しております。JSA Webdeskにて公開している2020年版1月発行の各ハンドブックの収録規格や収録内容は、公開時点の予定です。編集の都合により、変更される場合がございますのでご了承願います。

※JISハンドブックでは、一部規格内容を抜粋・要約して掲載しているもの、原案の段階で収録しているものがあります。また、JISハンドブックでは、原則として解説は省略されています。

ご注文はJSA Webdesk (<https://webdesk.jisa.or.jp>)

または右のコードよりお願いいたします。



FRITSCH “NANO 領域”

遊星型ボールミル “PREMIUM LINE”

モデル P-7

新型

特色

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



従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリッチュ社が開発した遊星型シリーズのバイオニア機種。

世界で初めて容器ひとつで遊星運動に成功したベストセラー機種

少量試料を対象にしたパワフルな機種

全機種共通の特長

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



P5



P6



P7

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュジャパン株式会社

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

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

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

**研磨機・切断機
期間限定キャンペーン中!!**

詳細はお問い合わせください。



自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

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



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

精密切断機 MINICUT 4000

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



試料埋め込み材料、アクセサリ

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

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

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

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

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

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

金属なんでもランキング! No.7 デバイ温度

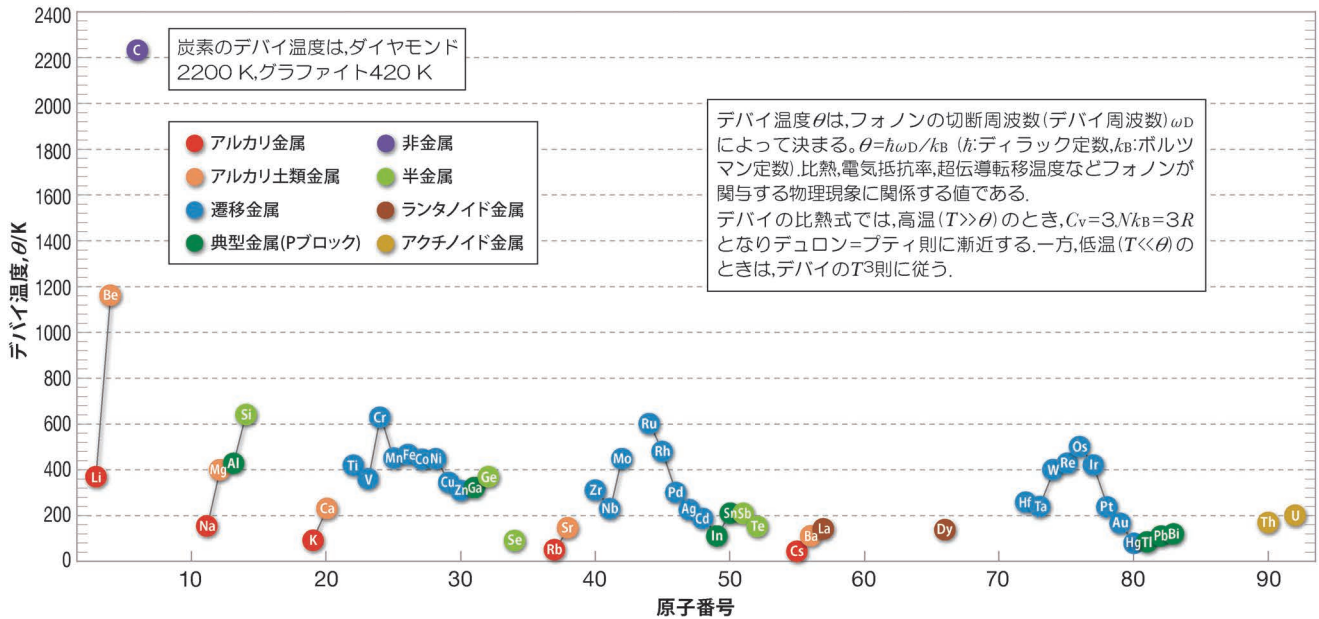


図1 各元素のデバイ温度.

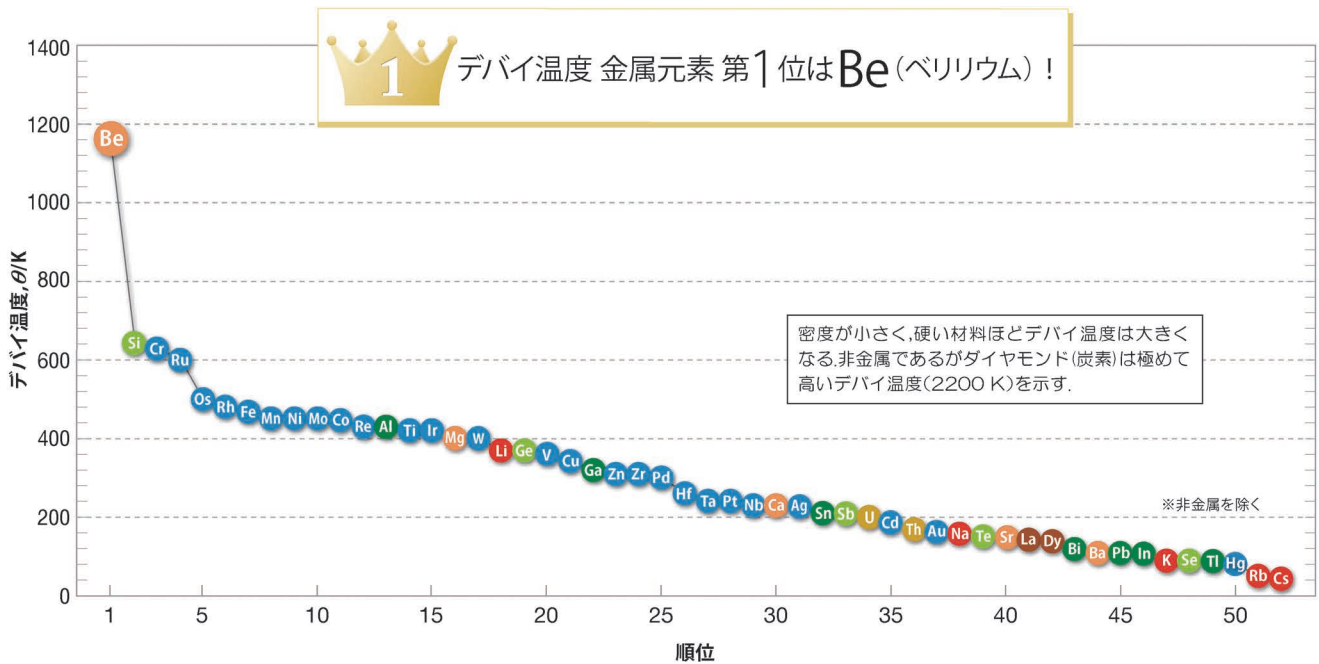


図2 デバイ温度ランキング(52位まで).

参考文献: 改訂4版 金属データブック: 日本金属学会編, 丸善, (2004)

次号! 金属素描 No. 8 マンガン

公益社団法人

日本金属学会

The Japan Institute of Metals and Materials

2020年 春期 第166回 講演大会

未来を先導する領域を開拓し、
世界に発信する

2020年
会期 **3月17日(火)~19日(木)**

会場 **東京工業大学
大岡山キャンパス**

〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1



主なシンポジウムテーマ

- S1: ハイエントロピー合金の材料科学Ⅲ
- S2: ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシング2
- S3: ナノ・マイクロスペーステラリングⅢ
- S4: 金属表面の材料化学Ⅲ —めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
- S5: 永久磁石開発の元素戦略—一次世代新材料に向けた基礎・基盤研究—
- S6: エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(Ⅰ) —最先端技術への期待—
- S7: プラスチックの材料科学 Ⅶ

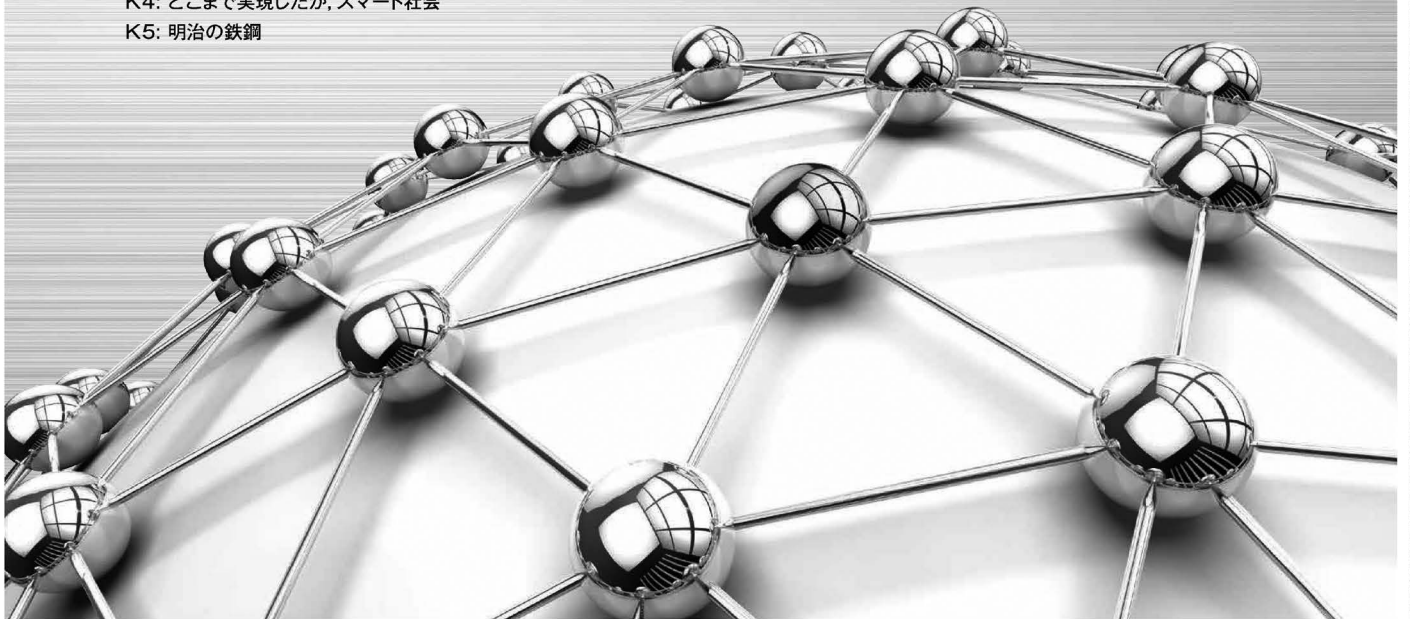
- K1: International workshop of young researchers for steel metallurgy
- K2: 工業製品における材料選択とマルチマテリアル構造~航空機機体~
- K3: 医用材料・医療機器開発の最前線(Ⅰ)
- K4: どこまで実現したか、スマート社会
- K5: 明治の鉄鋼

演題登録締切

2020年
1月8日(水) 17時
*「一般講演」に限り、
2件申込可能となりました

事前参加 予約締切

2020年
2月28日(金)

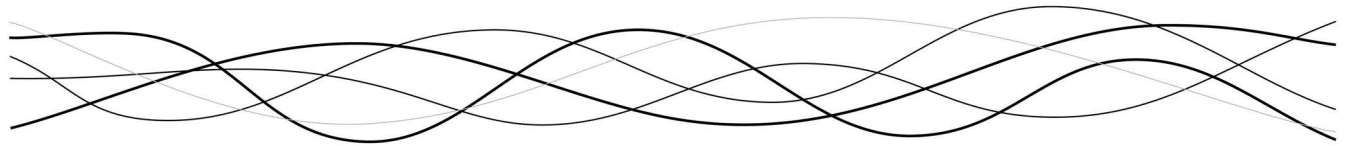


問合せ先

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丁目14-32
TEL:022-223-3685 E-mail:annualm@jim.or.jp

詳しくはホームページをご覧ください
<https://jim.or.jp/>





科学・技術と社会の関係を考える

—2. 科学知とその構築に関する理解—

柴田 清*

1. 専門家と非専門家の科学観は同じか

前稿⁽¹⁾においては、科学および技術の歴史的な変遷、すなわち、専門家の誕生と制度化、内部での分化とお互いの総合化を経て科学技術が誕生し、大きな社会的影響力を持つに至ったことを述べた。また、その結果、科学・技術が引き起こした問題ではありながら、科学と技術だけでは解決できないトランスサイエンス問題と呼ばれる課題が発生するようになり、専門家および非専門家双方に新しいタイプの対応の仕方が求められるようになってきていることを示した。

科学(以下では特に断らない限り、科学技術は科学に基づくので両者を併せて科学ということにする)は豊かで安全な未来への期待の源泉となる一方で、不安や不信の対象となり、その社会実装が拒否されることもある。科学技術の振興が政策的に言われているが、科学に何をどれだけ期待してよいのか、どれだけ社会として投資してよいのか、どのように議論していけばよいかは必ずしも明らかでない。また、科学の衣を被りながら正統的な科学の要件を満たしていない非科学・疑似科学による社会的損失の発生も危惧されている。専門家と非専門家の方に科学の特性に関する認識の違いがあれば、様々なミスコミュニケーションを生むことになりかねない。しかも、専門家にも自分たちの行動の本質的な特性が自覚されているか疑わしい。

敢えて「素朴な」と言いたいのが、一般に信じられている科学の特性としては、観察・実験結果に基づく実証性、誰もが認める論証を積み重ねる論理性、特定の価値観に依存しない客観性、いつでもどこでも誰によっても同じ結果を導く再現性が挙げられ、その結果、客観的で普遍性をもった説明や予測の能力が期待されることになる。別の言い方をすれば、世界は

常に一つの原理・原則に基づいて動作し、個人の勝手気ままな思いとは関係ない。科学とはその原理・原則を明らかにし、新しく正しいことを言う。多くの人々は科学のそのようなあり方を信じている(ように見える)。

しかし、近年その一方で、フェイク・ニュースやオルタナティブ・ファクトなどといった非合理で不正確な情報が広く流通し、またそれを信じる人々が増えている。もともと人間は自分の好みや主義主張にあった知識を優先的に信用する認知上の拡張バイアスを有することが指摘されており、知識が増えると考え方が極端になるという。たとえば、米国の民主党支持者は知識が増えると(学歴が高くなると)人為的温暖化説に賛同する割合が増えるのに対し、共和党支持者は懐疑的になるという⁽²⁾。また、筆者らの研究でも、科学知を豊富に持っている人が、環境保護行動に積極的というわけではないことが示唆される⁽³⁾。理性や事実よりも気持ちが優先され、「正しい」知識を与えてもそれを認めたくない人は拒否するだけである。その背景には、専門家あるいは専門知のあり方に関する不信・不満があるのかもしれない。他方では、科学・技術による問題解決に安易に過剰な期待をかける人もいる。専門家と非専門家の方の知識に関する認識の違いがあり、お互いのミスコミュニケーション、過剰な期待、反感、忌避観のもとになり、ひいてはトランスサイエンス問題を扱ううえでの障害になるかもしれない。そこで、本稿では科学知(科学における事実や法則)の正統(当)性はどのように保証されるのかについて考えてみる。

2. 科学知を得る方法の正統性[†]

(1) 科学的推論

科学哲学という学問領域においては、科学知とは何か、ど

* 千葉工業大学社会システム科学部：教授(〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1)

Interaction Among Science, Technology and Society—2. Understandings on construction of science—; Kiyoshi Shibata (Chiba Institute of Technology, Narashino)

† 本稿の第2節から4節の記述が煩わしく思われた方は、ひとまず第5節に飛んで頂きたい。

Keywords: science, expert, non-expert, philosophy of science, scientific inference, social construction, contextual nature

2019年10月24日受理[doi:10.2320/materia.59.73]

のようにして得られるのか、科学理論が対象とするものは本当に存在するのか、どのような知識が「科学的」知識といわれるのか、「科学的」であることにどのような価値があるのか、科学をどう扱うべきかが科学の外部から考察される。

まず、科学知はどのようにして得られるのか、科学知識の正統性を保証するために、それを導き出すための論理的方法、すなわち推論の方法の妥当性を確認してみる。科学的推論方法として基本となるのは、演繹法と帰納法である。いくつかの前提(普遍的命題; 命題とは真偽が明確に判定できる文)からひとつの結論(個別の命題)を導くとき、その前提の全てが成立するときには結論が正しくないことが決してないような推論を演繹的推論という。一方、帰納とは、広義には、個別の命題を一般化し普遍的命題を導く方法で、前提に含まれない情報を結論で付け足してもその結論が妥当だといえるような推論である。特に、同じような事象を繰り返し観察した結果から次の観測も同じ結果をもたらすと推定し、多数の観測結果から一般的な法則を見出すのを枚挙的帰納法という。既知の事実を説明するために仮説を立て、その仮説が事実を説明できればその仮説による論証は確からしいと考える仮説推論(アブダクション)や、ある対象に関して成り立っている事実が別の対象についても成り立つと推論する類推(アナロジー)も、個別事象から普遍事象を導く帰納法の例である。

ここで重要なことは、演繹による推論結果の正しさは保証されるが、結局のところ普遍的命題に含まれていたものを取り出すだけで、新しい事象が発見されるわけではないということである。演繹法は論理的に正しい推論法ではあるが、これでは新しい知見は生まれず、科学は進歩しない。一方、帰納によれば今までにない新しい知識が導き出されるが、それが必ず正しいとは保証できない。帰納法はこれまで観測したものこれから観測するものは似ているという斉一性原理に基づいていて、経験的・感覚的に妥当と思われるが、斉一性の原理は帰納法によって得られるので、循環論法に陥ってしまう。

一般的な科学的発見は仮説演繹法といわれる帰納と演繹を組み合わせた方法を通じてなされる。現存するデータから帰納的に仮説を立て、その仮説が成立する条件下で、演繹的にあり得る結論を予想し、観測結果がそれと矛盾しないことで仮説を検証する。検証の結果、仮説の確からしさが判定される。演繹法と名付けられてはいるが、帰納の一種である。そのため、仮説演繹法によって導かれた普遍法則を正当化することは不可能である。検証例をいくら集めても有限個であり、これから誤りの例が見つかる可能性を否定できない。普遍というためには無限個の実証が必要になるが、それは不可能である。検証例が多いことはより真実に近づいたという印象を生むが、それが有限個である限りは仮説が普遍的な真理であるとは保証できない。

(2) 観察の理論負荷性

一般に、観測結果は客観的事実であるという保証は得られ

ない。データは語源的には与えられたものという意味で(日本語訳は「所与」)、観測者の先入観には依存しない客観的なものと思われるが、観測という行為には計測などの理論が無ければ成り立たない。科学的な観測結果は計測装置からの出力信号として得られるが、そもそもその装置が作動する原理が理解されていなければ観測結果が何を示すか理解できない。どのような計測原理を用いるかは観測者の判断に依存し、主観が入り込む余地がある。「虚心に心眼を開いて見れば、真実が見える」ということはない。視野に入っている、このようなものが見えるはずだというモデルが無ければ、ものは見えないのと同じである。若い令嬢の後ろ姿にも老婆の顔にも見えるだまし絵が有名であるが、先入観が無ければ事実(何が存在するか)が発見できない。このように経験的知識が経験に先立つ理論を前提としていることは「理論負荷性」と言われる。

観察が理論に依存するということになると、ひとつの事象であっても別の理論でもって観察する人々との間では別のデータが得られ、相互の理解や比較が不能になる「通約不可能性」という事態が発生する可能性がある。

このように、実験・観察に基づく経験的な知見はただ一つの正しい解にたどり着くとはいえなくなる。

(3) 反証可能性

帰納法を使わずに、論理的に厳密である演繹法で科学知を構成する方法を考えたのがK. ポパーである。仮説演繹法において予測と仮説が一致しても必ずしも仮説が検証されたことにはならないが、一致しなければ(反証されれば)誤りであることが論理的に確定する。仮説が否定されるのは演繹法に従っているため、真実性は保存される。つまり、反証される可能性があることが科学知である条件と言える。

反証されてしまった仮説は科学知とはなり得ないが、反証されなかった仮説も厳密には正しいとはいえない。それはいつの日か反証されるのを待つ存在で、暫定的に生き延びただけである。このような仮説の立案と棄却を繰り返すのが科学の営みだとされる。また、検証される条件が非常に限定されていて、反証される可能性の大きい仮説ほど、知識としては厳密性が高く「よい」科学理論ということになる。反証を何回も潜り抜ければそれだけ仮説の確からしさが増すと考えがちだが、有限回の反証をかわしても、真理として保証ができないことに変わりはない。

反証可能性は科学と非科学の線引きに有効な概念となる。この線引きによれば、マルクスの唯物論史観やフロイトの精神医学も非科学ということになる。

しかし、反証主義には過小決定問題という難点があることが指摘されている。実際には、仮説は一つの命題だけで成り立つのではなく、境界条件や測定方法の理論などの補助的な仮説を伴っている。仮にある仮説が反証されたとしても、補助的な仮説を修正することで、検証・反証対象の主要仮説は棄却されずに生き残ることがある。たとえば冥王星の発見に至るエピソードがこれに相当する。天王星の観測軌道がニュ

ートン力学によって予想されるものからずれていることが発見され、ニュートン力学が反証されそうになった。この時、天王星の周辺には大きな天体は存在しないという仮説も含まれていたが、天王星の外側にもうひとつ惑星が存在するとうように補助仮説を修正し、ニュートン力学は生き残った。このように、主要仮説が反証されても、補助仮説の修正によって反証を無効にできるなら、反証されたのは主要仮説か補助仮説かを特定することができず、仮説の反証は不可能になる。

このような科学哲学における論争⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾は果てしないように見えるが、科学知の正統性を厳密な意味で保証するのは難しく、科学知の不確かさはある程度認めざるを得ない。

3. 科学理論の進歩の仕方：実証主義からパラダイム論へ

科学理論の変化(進歩)は観察によって得られるデータ(モナド的事実)の蓄積を基に新しい理論が古い理論を包含する形で直線的に進むものと一般的には理解されている。このように理論で説明・予測できる範囲が拡大し、その精度も高まっていくと考えられる。たとえば、ケプラーの法則はニュートン力学で説明される。

しかし、科学が上記のように蓄積的に進歩していくという考えには疑問が持たれる。まず、そのような直線的・蓄積的進歩のイメージは、ポパーの仮説の破壊・再構築のイメージとそぐわない。ポパーによれば証拠は蓄積されるが、理論は蓄積されない。また、理論負荷性に関する議論からは、科学知の成立には文化的・社会的・政治経済的な文脈の影響があるという相対主義的な見方が示されるようになり、理論間の優劣比較も、包含関係の把握もできなくなる。

そこで、T. クーンが提唱したのがパラダイム論である。「パラダイム」という言葉は現在では「ある時代の人々のものの見方・考え方」あるいは「多くの人々に一般的な思考枠組み」といった、より一般的な意味で用いられることが多い。しかし、ここでいうパラダイムとは何が解くべき問題かという認識、どうやってその問題を解くのかという方法論、どうなればそれが解決できたかの判定基準が共有されている状態をいい、その問題意識と主要理論に基づいて知識を蓄積していく活動を「通常科学」と言う。通常科学において説明のつかない観測結果(変則事例)が得られたとしても、当面それはノイズとして無視される。しかし、次第にそのようなノイズが蓄積されると深刻な問題となり、それまでとは異なるパラダイムが立てられる。これを「科学革命」という。科学はこのようなパラダイムの転換を繰り返し、変化していく。新しいパラダイムがどのようにして生まれるかについては定まったプロセスはないとされる。

ところで、異なるパラダイムの間では問題意識も方法論も価値判断も異なることがあるので、コミュニケーションが取れないということが発生し得る。パラダイム間の優劣などの比較もできないため、パラダイム論は相対主義だという批判

がなされる。

初期のパラダイム論では、科学は歴史的・社会的な要素の影響を受けるものの、合理性・客観性を保持した思考によるものとされていたが、その後、相対主義的な科学知識社会学の展開に繋がった。科学知識社会学では、科学の価値中立性が否定されていく。科学知がどの時代にも通用する不変的で合理的な唯一の本質的なものであるとの考えを否定し、社会的な要因、つまり人間関係や、文化的流行、政治的イデオロギー、権威、さらには論文の審査方法、研究資金獲得の方法などによって影響されるとする。科学を進歩させる動機に関しても、必ずしも合理性に求めない。たとえば、天動説から地動説への転換に関して、当時の観測事実との整合性では天動説の方が優れていたにもかかわらず、コペルニクスは太陽が中心であるべきだという信念から地動説を主張したのだという。

こうした相対主義的な科学の見方に関しては、「目の前に見える現象が社会的に構築されたものだということのなら、ビルの〇階から飛び降りてみる」というような批判が投げかけられ、それが昂じて「サイエンス・ウォーズ」⁽⁷⁾が発生するのだが、本稿ではそれについては触れない。

4. 科学知の対象の実在

科学は外的な物質世界の原理を解明しようとしているが、デカルト流の方法的懐疑(あらゆるものを疑ってみて、疑いようがないものだけを受け容れる)を徹底していくと、そもそもそのような外的な物質世界は存在するのかという疑問に至る。「誰も見ていないところで木が倒れたときに音はするのか? 音はしない」という極論もある。パソコンやビールのジョッキのように人間が語感で感知できるものは、人間の意識とは独立して存在すると認められるが、分子や原子のようなものは存在すると仮定すれば、理論展開上便利なかもしれない。とすれば、世界が存在し、それを科学が解き明かすのではなく、科学理論があってそれによって世界の有様が形作られるということになる。

科学的実在論によれば、見えないものの存在を前提とした理論で概ね世界で起きる現象を説明できるので、科学者や理論が無くてその対象となる世界(事物)は存在すると考える。もしそうでなければ、科学で色々なことが予測され、実現できるのは奇跡になってしまう。また、直接的に真偽を確認できることに関する記述(観察文)のみで、見えない現象を記述しようとする試みも行われた。

反実在論の立場は、次のように主張する。すなわち、歴史的に観測不能な実体のレベルで成功したかに見える理論も、その後誤りであることが判明している。エーテル理論やフロギストン説がその例である。枚挙的帰納法によれば現在うまくいっている理論もいずれは偽であることが判明するだろう。成功した理論が近似的に真とは必ずしも言えない。

5. 専門家の科学知理解：科学の正しさを保証する仕組み

科学の専門家の行動を理解する鍵となる概念のひとつに「ジャーナル共同体」がある⁽⁸⁾。これは、科学者の活動の成果が科学的妥当性を有するか判定し、保証する機構としての専門誌(ジャーナル)の編集・投稿活動を行うコミュニティのことを指す。ジャーナル共同体は科学者たちにとって、研究の判定、成果の蓄積だけでなく、人事評価、後進育成、研究環境の基盤整備等に影響する重要な役割を果たすものとなっている。

専門ジャーナルへの掲載可否を審査する査読システムはそのジャーナル共同体における妥当性判断の基準を示していることになる。筆者⁽⁹⁾は人文社会系をも含む国内の学会が刊行している論文誌について、インターネットで公開されている査読規定を調査したことがある。基準項目として示されるキーワードは9つのグループに分類でき、その中で単純に出現頻度が高かったのは、「新規性・独創性・独自性」「信頼性・妥当性・論理性・了解性・正確性・無謬性・客観性」であった。科学知は普遍性を持つもので、過去の蓄積の上に新しい知見が追加される形で進歩していくという見方が主流になっていることがうかがえる。なお、それに続くのは「有用性・実用性」「先行研究調査・会員関心適合性・記録性」であり、そこに各分野の学問的特徴が現れているとみられた。

ジャーナル共同体で生きる科学者にとっては、科学知獲得方法の妥当性や対象の実在性などは暗黙の了解事項以前の疑問を挟む余地のないものであろう。そういった本質に関する議論には深入りしないのが専門家としては生産的で賢明な態度であらう。

6. 非専門家の科学知理解

筆者の個人的な印象ではあるが、非専門家は教育の過程で与えられる正誤の区別が明確な問題の解として科学を認識し、科学知と実際の生活上の現象の関連を意識していないように思う。科学知の不確実性にも思いが及んでいないような印象を持っている。かつては、非専門家は科学的知識が不足しているために合理的な意思決定をしない、という「欠如モデル」に基づいてPUS(Public Understanding of Science)という活動が進められたが、現在ではその有効性に疑問が持たれている。

斉藤と戸田山⁽¹⁰⁾は、非専門家による宇宙に関する質問が、専門家の眼にどのように映り、その際の違和感が何に起因するかを検討している。そこには日常の生活体験と一般に流布している科学情報の断片との感覚的な矛盾の解消を求めものが多い一方で、科学の対象範囲や営みの前提・文脈を逸脱しているものがあつたとしている。

このことは疑似科学が受け容れられていることと関連していると思われる。石川⁽¹¹⁾は理論が満たすべき条件(論理性、

体系性、普遍性)、データが満たすべき条件(再現性、客観性)、理論とデータの相互作用が満たすべき条件(妥当性、予測性)、社会的な営みのうえで満たすべき条件(公共性、歴史性、応用性)を基準に設定し、発展途上の科学/未科学/疑似科学の判別を行っている。人々の科学の特性に関する理解が及んでいない点を示しているともみられる。

また、普遍性を追求する科学知に対して、非専門家の持つローカル知が注目される。平川⁽¹²⁾によれば、ローカル知とは、人々が、それぞれの生活や仕事、その他の日常実践や身の周りの環境について持っている知識、特定の地域や実践の現場の文脈に固有のものであり、①文脈を超えた一般性をもたず、②文脈を共有しない外部の者には通常知られていないという二重の意味で局所的な知識である、生活知、現場知ともいわれるとされる。科学知が一般化・普遍化を目指す過程で抜け落ちていった前提条件があったり、普遍化された知識を適用する際の前提条件が不適合だったりする結果と考えられるが、欠如モデルを批判する文脈で、科学も個々の専門分野で関心の方向性や方法論などの諸条件に固有のものであるので一種のローカル知とする見方もある。

さらに、小杉ら⁽¹³⁾は原子力発電と遺伝子組み換え食品の受容性に関する専門家と非専門家および関連産業従事者の違いを検討している。当該分野の専門家はリスクを少なめに評価するのは想像に難くないが、組織への愛着や忠誠心も大きく影響することを明らかにしている。科学知識の確かさや信頼性にも社会的要素が大きく影響することを示していると考えられる。

7. 専門家と非専門家の関係

科学技術の社会実装に関わる意思決定で問題になるのは、研究が現在進行形で、科学として未確定なところが残っているものが多いことである。そもそも、本稿第2節での議論によれば、完璧な科学知は期待できない。また、複雑系といわれる非線形な応答のシステムや膨大なビッグデータ解析では、本質的に確実な予測が困難である。

専門家集団の活動の場となるジャーナル共同体は、知識の品質保証が第一義的な役割であるが、専門家にとってみれば自らの評価のためにも重要な場であり、ジャーナル共同体の外部へ向けての情報発信は慎重で保守的なものとならざるを得ない。不正確な情報の提示は避けなければならないし、不確実な情報の提供には慎重になる。逆に、支援者の要望にしたがって専門的知見を特定の立場に有利に働くように恣意的に用いる御用学者や、価値判断を含む答えをさも普遍性をもつように語るタレント学者も生まれる。そもそも、社会構造的な見方をすれば、自然現象は価値判断と独立なものであっても、科学を営む科学者集団は一定の価値判断のもとで政治性をもつと見なせる。また、専門分野が細かく分かれて深化するといわゆるタコ壺化が進むが、現実の問題解決には多岐にわたる専門性が必要で、専門家が一人に対応できるものではない。

他方、非専門家は科学に公平な立場からの確実な知見の提供を期待する。しかし、上に述べたような事情から、専門家はその期待に応えられないことが多い。水俣病の対策措置が遅れたのは、専門家が科学的な厳密さに拘り、因果関係の特定に慎重になりすぎたためとも言われる。あるいは非専門家が専門家側に社会的意思決定の権限を移譲してしまい、専門家は自分の能力と科学本来の適用限界を超えた判断をしてしまうこともある。

以上は非常に悲観的なシナリオであり、これを避けるような専門家と非専門家のコミュニケーションのあり方を考えていかなければならない。今回は専門家と非専門家、そして外部からの目として、科学哲学が科学(科学技術)をどのような性格のものとして捉えているか見ようとした。次回はこれを踏まえて、科学技術の専門家と非専門家との間で科学技術をどのように制御していくかを考える予定である。

文 献

- (1) 柴田 清：まてりあ, **59**(2020), 32-36.
- (2) 三井 誠：人は科学が苦手：アメリカ「科学不信」の現場から, 光文社, (2019).
- (3) 木村 大, 柴田 清：消費者の環境配慮行動と生活上の価値観の関係, 日本 LCA 学会誌, **15**(2019), 199-210.
- (4) 伊勢田哲治：疑似科学と科学の哲学, 名古屋大学出版会, (2003).
- (5) 戸田山和久：科学哲学の冒険：サイエンスの目的と方法をさ

ぐる, 日本放送出版協会(現:NHK 出版), (2005).

- (6) 野家啓一：科学哲学への招待, 筑摩書房, (2015).
- (7) 金森 修：サイエンス・ウォーズ, 東京大学出版会, (2000).
- (8) 藤垣裕子：科学知識と科学者の生態学—ジャーナル共同体を単位とした知識形態の静的分類および形態形成の動的把握—, 年報科学技術社会 **4**(1995), 139-156.
- (9) 柴田 清：国内学教会の会誌・会報にみる特性分類, 科学技術社会論学会第15回年次研究大会予稿集, (2016), 68-69.
- (10) 斉藤芳子, 戸田山和久：非専門家の問いの特徴は何か？ それは専門家の眼にどう映るか?, 科学技術コミュニケーション, **10**(2011), 3-15.
- (11) 石川幹人：なぜ疑似科学が社会を動かすのか, PHP 研究所, (2016).
- (12) 平川秀幸：遺伝子組換え食品規制のリスクガバナンス, 藤垣裕子編, 科学技術社会論の技法東京大学出版会, (2005), 273-274.
- (13) 小杉素子, 土屋智子, 谷口武俊：技術リスクに対する専門家と市民の視点：一般市民との乖離を感じる専門家の特徴, 日本リスク研究学会誌, **21**(2011), 115-123.

(次号へ続く)



柴田 清

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

1980年 東北大学大学院工学研究科材料化学専攻博士前期課程修了
新日本製鉄, 東北大学素材研, 海上技術安全研究所などを経て2007年より千葉工業大学教授, 博士(工学)

専門分野：材料プロセス工学, 環境工学, リスク科学, 科学技術社会論

◎鉄鋼・非鉄製錬および関連環境技術の研究開発に携わったのち, 環境などの技術リスクにかかわる研究に従事する一方で, 科学技術と社会の関係に関心をもち続けている。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

強誘電体/誘電体研究への 第一原理計算の展開

森 分 博 紀* 田 口 綾 子*

1. はじめに

近年、人工知能、AIに代表されるコンピュータテクノロジーの進歩には目を見張るものがある。今日では一流プロ棋士でさえもAIを用いたソフトウェアに敵わなくなっている。同じくコンピュータテクノロジーを基盤とする第一原理計算技術も大いに発展し、計算機性能の向上と相まって、従来計算できなかった多くの材料特性を実験データを全く用いることなく計算することが可能になっている。この第一原理計算を材料開発、材料探索に活用しようとする取り組み、いわゆる「マテリアルス・インフォマティクス」が世界中で広く行われるようになってきている。

本稿の主題である強誘電体材料に着目するとCohenら⁽¹⁾によるペロブスカイト型結晶構造化合物における強誘電性発現への共有結合の寄与の重要性の指摘等が有名であるが、第一原理計算は強誘電体材料研究に非常に重要な役割を果たしてきた。近年はベリ一位相計算⁽²⁾により自発分極値を、フォノン計算⁽³⁾により強誘電体相転移に強く関係するソフトモードフォノンを、線形応答理論⁽⁴⁾により誘電率、圧電定数等を高精度に計算できるようになり、ますますその重要性が増している。また計算機の演算性能が向上し、第一原理分子動力学法による有限温度での振る舞いも再現できるようになり、現実の強誘電体物性、材料特性の研究が可能になっている。このように強力な研究手段となっている第一原理計算であるが、理論計算単独ではなく、高精度な実験研究を行うグループと連携することによりさらに威力を発揮する。本稿では、この第一原理計算と高精度な実験との連携による強誘電材料研究の筆者らの最近の成果を解説する。本稿における第一原

理計算には密度汎関数理論⁽⁵⁾に基づくProjector-augmented wave (PAW)法を用いた擬ポテンシャル法⁽⁶⁾を用いた。分極計算にはBerry位相法、フォノン分散の計算にはフローズンフォノン法⁽³⁾を用いている。

2. 強誘電体材料の第一原理計算

強誘電体材料は積層セラミックスコンデンサ、不揮発メモリ、アクチュエータ、共振器、フィルタ、ソナー、超音波センサなどに用いられている非常に重要な材料群である。強誘電体は外部電場のない状態でも自発分極を有する材料であり、結晶学的には中心対称性のない結晶構造による正負のイオンの微小なズレにより自発分極が生じている物質である。現在研究されている多くの強誘電体は、ペロブスカイト型結晶構造を有しており、高対称性相から Γ 点のソフトモードの凍結により強誘電体に相転移する。近年、強誘電体材料の第一原理計算技術も近年大きく発展しており、第一原理計算を用いてフォノン分散の計算が可能であり、これにより強誘電体に相転移するソフトモードの有無、相転移後の結晶構造、エネルギー序列、自発分極などを定量的に計算することが可能である。

(1) BaTiO₃の逐次相転移

通常の第一原理計算では空間群を指定して、その対称性の範囲での構造を最適化することにより、格子定数、部分座標、全エネルギーを決定する。この場合、与えられた空間群よりも高い対称性を有する構造への構造変化は検出することができるが、低い対称性を有する構造への構造変化を検出することが困難である。これでは、強誘電体などの対称性が下

* ファインセラミックスセンター；主席研究員(〒456-8587 名古屋市熱田区六野 2-4-1) 兼任 物質・材料研究機構(NIMS) 情報統合型物質・材料研究拠点(CMI2)(〒305-0047 つくば市千現 1-2-1)

Ferroelectric Materials Study Using First-principles Calculations; Hiroki Moriwake and Ayako Taguchi(Nanostructures Research Laboratory, Japan Fine Ceramics Center (JFCC), Nagoya. Center for Materials Research by Information Integration (CMI2), National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba)

Keywords: *first-principles calculations, ferroelectric, phase transition, phonon calculation, soft-mode*

2019年9月10日受理[doi:10.2320/materia.59.78]

がっていく構造相転移を議論することができない。そこで有効となるのがフォノン計算によるソフトモード探索である。ソフトモードとは虚数の振動数をもつフォノンモードのことで、このソフトモード固有振動ベクトル方向に原子変位させると、さらに安定な構造に相転移することを示している。この計算を繰り返すことにより低対称性相への相転移を調べることができる。この状況を代表的な強誘電体である BaTiO₃ を例として紹介する⁽⁷⁾。BaTiO₃ はペロブスカイト構造を有し、良く知られているように、高温では立方晶 ($Pm\bar{3}m$) であるが、温度の低下とともに正方晶 ($P4mm$)、直方晶 ($Amm2$)、菱面体晶 ($R3m$) へと逐次相転移し強誘電体に相転移する。この BaTiO₃ の相転移も第一原理計算によるフォノン計算を行うことにより、 Γ 点でのソフトモードが逐次的に凍結していくことによる強誘電相転移であることが理解できる。図 1 に第一原理計算により求めた BaTiO₃ 各相のフォ

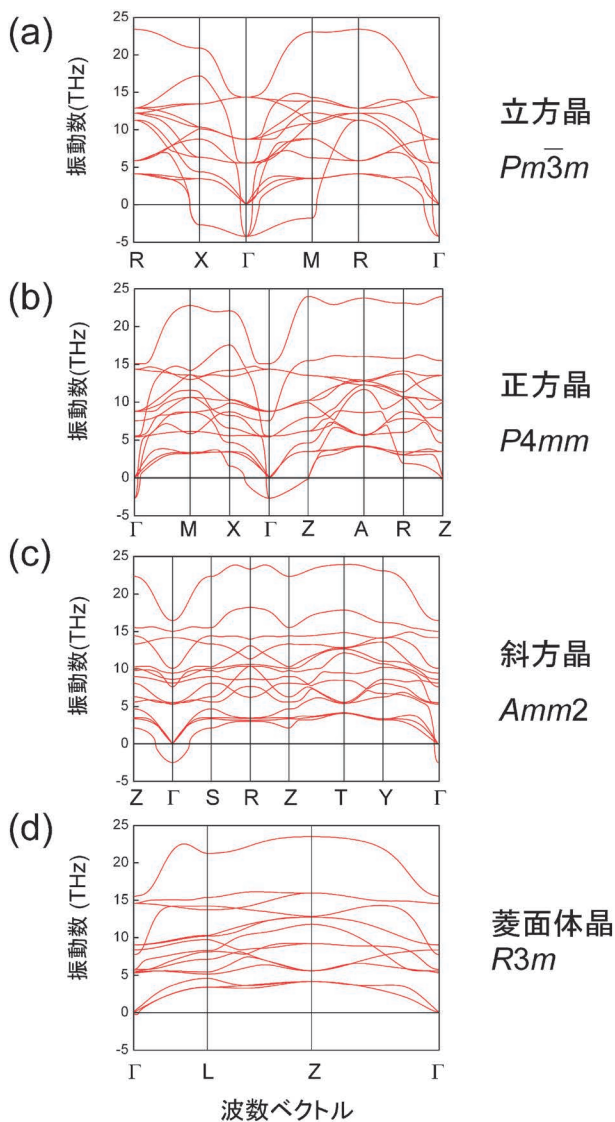


図 1 BaTiO₃ のフォノン計算結果。(a) 立方晶 ($Pm\bar{3}m$)、(b) 正方晶 ($P4mm$)、(c) 直方晶 ($Amm2$)、(d) 菱面体晶 ($R3m$)。 (オンラインカラー)

ノン分散曲線の計算結果を示す。(図中振動数が負である部分は振動数が虚数であり、ソフトモードであることを意味する。) 図 1(a) に示すように立方晶では三重縮退したソフトモードが Γ 点に存在する。このソフトモードの一つが凍結する事により対称性がくずれて正方晶 ($P4mm$) に相転移し強誘電体となる。図 1(b) の正方晶でもまた、二重縮退したソフトモードが Γ 点に存在し、その 1 つが凍結することにより、直方晶となり、最終的には図 1(c) の直方晶で唯一残ったソフトモードが凍結し、の菱面体晶に相転移する。図 1(d) に示す菱面体晶では、ソフトモードは消失し、これ以上の相転移は起こらない。これらの計算結果と実験結果は非常によく対応している。

(2) CdTiO₃ の強誘電体相転移

次に現実の強誘電体に適用した研究例を示す。BaTiO₃ と同じくペロブスカイト型結晶構造を有する CdTiO₃ は室温では図 2 に示すような TiO₆ 八面体が回転した構造、直方晶 ($Pnma$ 相) を有しており、さらに 80 K 付近の低温において常誘電相 ($Pnma$ 相) からソフトモードの凍結による強誘電体相転移を示す物質であると考えられている⁽⁸⁾。単結晶サンプルを用いた精密な構造解析とラマン散乱実験からこれらの相転移、ソフトモードが確認され、その強誘電相の空間群の候補としては $Pna2_1$ や $P2_1ma$ などが提案されていた。しかしながら相転移前後で格子定数がほとんど変化せず、原子変位も非常に小さいため、実験での構造の決定は困難であり、状況は混沌していた。そこで、著者らはこの問題に対して、第一原理計算を用いて検討を行った⁽⁹⁾。図 3 に常誘電室温相である $Pnma$ 相のフォノン分散曲線と同じ構造を持ち強誘電体に相転移しない CaTiO₃ との比較を示す。計算結果から明らかかなように、 $Pnma$ 相から、強誘電体へ相転移しない CaTiO₃ はソフトモードを有していないのに対して(図 3(b))、

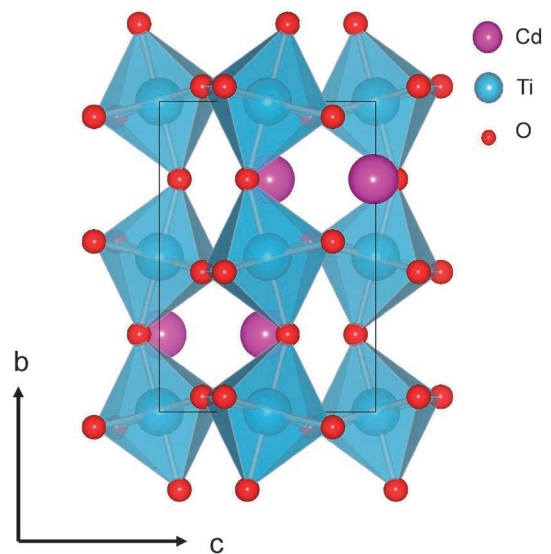


図 2 CdTiO₃ 常誘電相 ($Pnma$ 相) の結晶構造。(オンラインカラー)

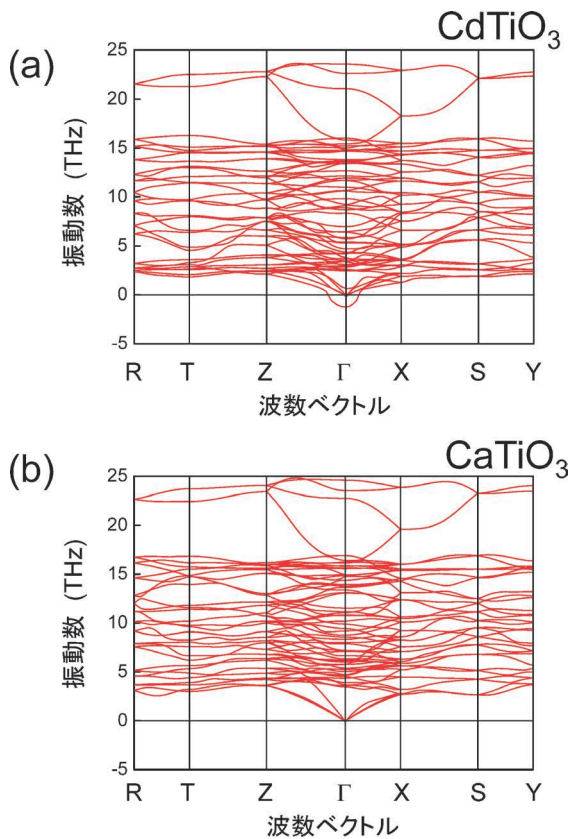


図3 CdTiO₃ 常誘電相 (*Pnma* 相) のフォノン分散曲線と同じ構造を持ち強誘電体に相転移しない CaTiO₃ との比較で示す. *Pnma* 相から、強誘電体へ相転移しない CaTiO₃ はソフトモードを有していないのに対して (b), *Pnma* 相からさらに強誘電体に相転移する CdTiO₃ には明確なソフトモードが Γ 点に存在していることがわかる (a). (オンラインカラー)

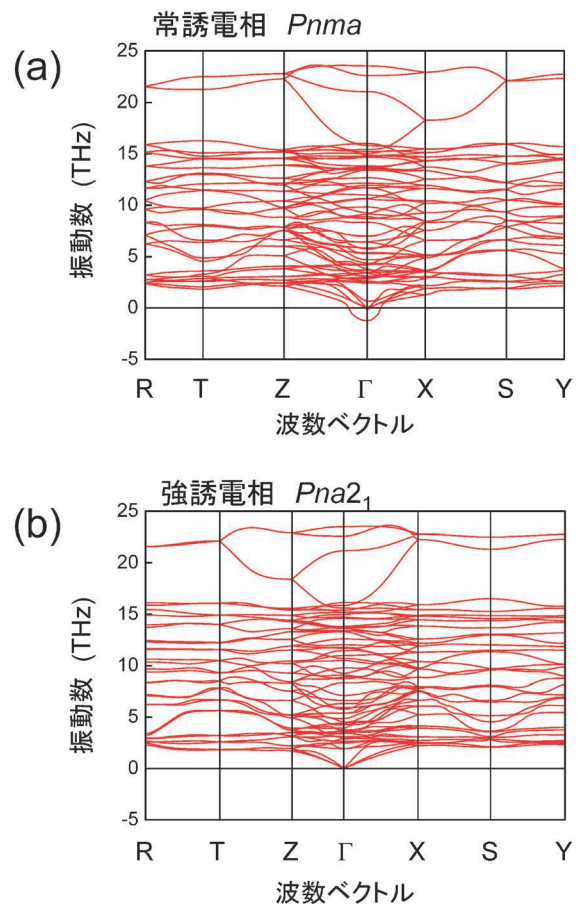


図4 CdTiO₃ 強誘電 *Pna2*₁ 相のフォノン分散曲線を常誘電相との比較で示す. (a) 常誘電 *Pnma* 相, (b) 強誘電 *Pna2*₁ 相. 強誘電 *Pna2*₁ 相にはソフトモードは存在せず、これ以上の相転移は起こらないことを示している. (オンラインカラー)

Pnma 相からさらに強誘電体に相転移する CdTiO₃ には明確なソフトモードが Γ 点に存在していることがわかる (図3 (a)). このソフトモードを凍結させると中心対称性を失い強誘電相となり、その空間群は *Pna2*₁ であることが明らかになった. また、これら二つの結晶相のエネルギー差は非常に小さく、僅かに 0.2 meV/f.u. の差しかないことがわかった. このような僅かなエネルギー差も正しく計算できている. 加えて図4 (b) に示すように、この強誘電 *Pna2*₁ 相にはソフトモードは存在せず、これ以上の相転移は起こらないことを示している. これだけではなく、この常誘電 *Pnma* 相の体積を僅かに拡張させると図5 (a) に示すように、新たなソフトモードが Γ 点に出現する. このソフトモードを凍結させると、もう一つの強誘電相として実験グループから報告されている *P2*₁*ma* 相が導かれる. 常誘電相 *Pnma* 相からそれぞれの強誘電相へのソフトモード変位パターンを図6 に示す. その反対に体積を僅かに収縮させると、図5 (b) のように全てのソフトモードが消失し、強誘電体相転移が抑制される. つまり CdTiO₃ は僅かな結晶の歪により二つの強誘電相 (*Pna2*₁ 相, *P2*₁*ma* 相) に相転移したり、反対に全く強誘電体に相転

移しなくなる可能性がある物質であることが明らかになった. これらの計算結果により、これまでの実験結果を全て矛盾なく説明することに成功し、CdTiO₃ の強誘電構造に関する論争に明確な回答を与えることに成功した⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

(3) AgNbO₃ の強誘電体相転移

前節の CdTiO₃ と同様の問題が AgNbO₃ にも存在した. AgNbO₃ も CdTiO₃ と同じ歪んだペロブスカイト型結晶構造を有しており、ゾーン境界の回転モードが凍結して、反強誘電相に相転移した後に、室温付近で強誘電体に相転移すると考えられていたが⁽¹¹⁾、強誘電相の構造や相転移の詳細は解明されていなかった. 当初著者らは、前節の CdTiO₃ と同様に AgNbO₃ にも Γ 点にソフトモードが存在して強誘電相転移がおきていると想定していた. ところが予想に反して、室温相である反強誘電 *Pbcm* 相は図7 に示すようにソフトモードを有しておらず、ソフトモードによる強誘電体相転移では説明できないことが明らかになった⁽¹²⁾. 実験では欠陥構造による局所的な分極構造による弱い強誘電性の可能性が指摘されており、我々のグループの計算でもそのような欠陥構造

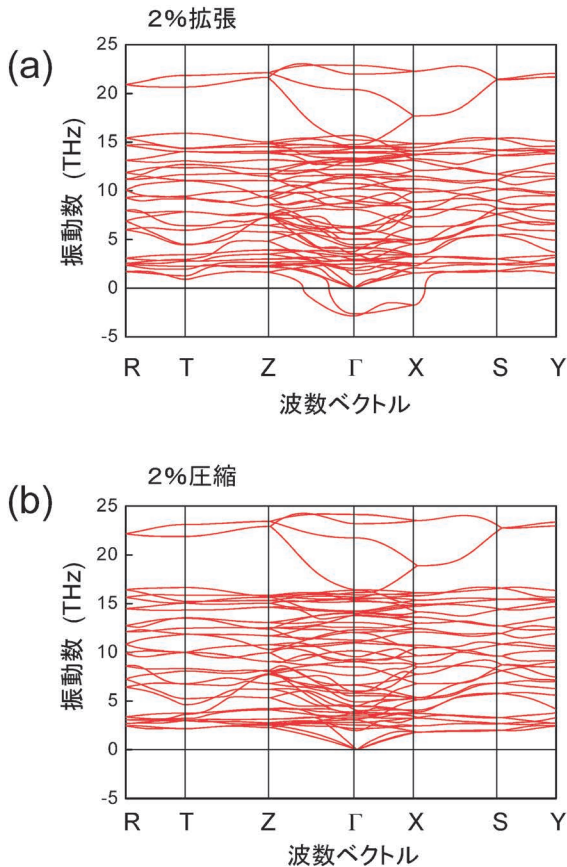


図5 CdTiO₃ 常誘電 *Pnma* 相の体積を僅かに拡張させると (a) に示すように、新たなソフトモードが Γ 点に出現する。このソフトモードを凍結させると、もう一つの強誘電相 *P2₁ma* 相が導かれる。その反対に体積を僅かに収縮させると、(b) のように全てのソフトモードが消失し、強誘電体相転移が抑制される。(オンラインカラー)

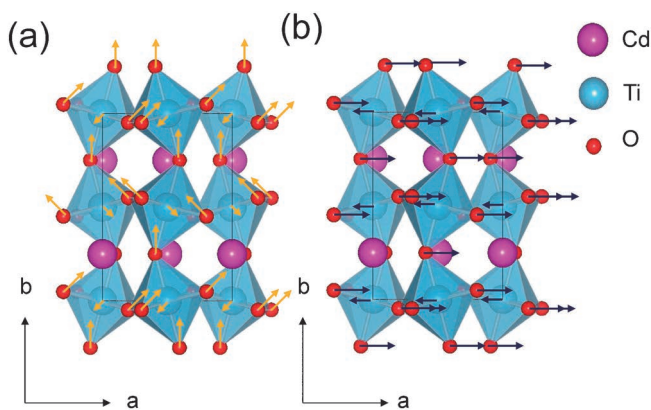


図6 CdTiO₃ 常誘電相 (*Pmna* 相) からそれぞれの強誘電相へのソフトモード変位パターン (a) *Pna2₁* 相, (b) *P2₁ma* 相。(オンラインカラー)

の出来やすさが指摘されたが⁽¹³⁾, より本質的な効果である, 電場誘起強誘電体相転移の可能性を検討した⁽¹⁴⁾. 第一原理計算では結晶に電場をかけた計算ができるようになっていいる. 計算結果を図8に示す. 計算では, まず, 反強誘電

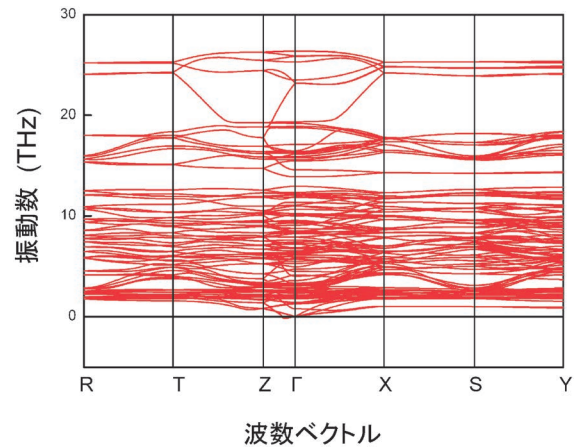


図7 室温相 AgNbO₃ 反強誘電 *Pbcm* 相のフォノン分散曲線. ソフトモードを有しておらず, ソフトモードによる強誘電体相転移は否定される。(オンラインカラー)

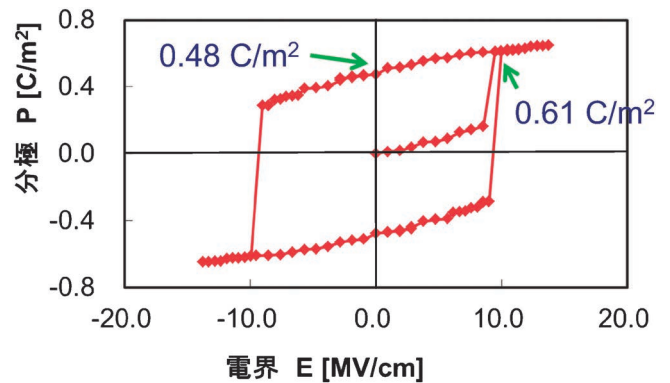


図8 室温相 AgNbO₃ 反強誘電 *Pbcm* 相の電場印加計算. 9 MV/cm まで印加電場を大きくすると, 強誘電体 *Pmc2₁* 相へと電場誘起強誘電体相転移を示す。(オンラインカラー)

Pbcm 相に電場を印可して行った. 反強誘電 *Pbcm* 相では分極を有しているもののその方向が反平行であるため, 結晶全体では分極を有していない. そこに反平行に並んでいる分極方向である *b* 軸方向に電場をかけて行った. 電場が小さい時には印加した電場に比例した分極が発生する. この分極は電場を除去すると消失し元の反強誘電 *Pbcm* 相にもどる. しかしながら, 9 MV/cm まで印加電場を大きくすると, 不連続に 0.61 C/m² 程度の大きな分極を示す. そしてこの状態になると電場を除去しても元の反強誘電 *Pbcm* 相には戻らず, 0.49 C/m², 程度の自発分極を有する強誘電体 *Pmc2₁* 相を保持する. つまり電場誘起強誘電体相転移が起こるのである. この時のヒステリシスループは図8に示すような強誘電体的なものとなり, 実験的に報告されている反強誘電体的なヒステリシスループに強誘電体的なヒステリシスループが重なったものとは大きく異なる. また, 電場誘起強誘電体相転移後の強誘電相の構造は, 実験による強誘電相の構造と異なっているなど実験との整合性が悪かった. この原因としては温

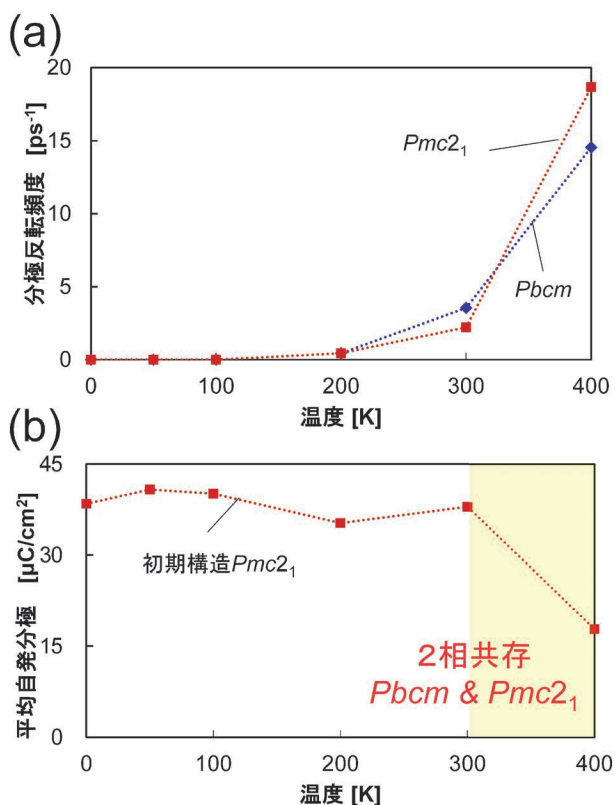


図9 AgNbO₃の第一原理分子動力学法による有限温度下での計算結果。(a)分極反転頻度, (b)平均自発分極. AgNbO₃が室温付近においては反強誘電相, 強誘電相が構造をとともに入れ替えながら共存していることを示している。(オンラインカラー)

度効果が考えられる. 実験は室温での結果であるのに対して, これまでの計算は全て絶対零度での計算であり, 温度の効果は取り入れられていない. 反強誘電相と強誘電相との間のエネルギー障壁は40 meV/f.u. 程度であることから, 室温程度の熱エネルギーで容易に乗り越えることが可能のように思われる. その場合, 反強誘電相と強誘電相の間で構造と分極が揺動することとなる. これらを考察するためにこれまでの計算に取り入れられていなかった熱振動の効果を取り入れた第一原理分子動力学法による有限温度下での計算を行った⁽¹⁵⁾. 計算結果を図9に示す. 図9(a)に示すように温度が上昇するにしたがって徐々に分極が反転するようになり, 室温付近でも充分分極が反転していることがわかる. この傾向は反強誘電相, 強誘電相ともに同じ傾向であり, 両者の間に顕著な差は認められない. また, 強誘電相から温度を上げて行った場合の平均自発分極の変化を図9(b)に示す. 温度上昇にともない分極反転が激しくなり室温付近では平均自発分極が大きく減少していることがわかる. この結果はAgNbO₃が室温付近においては反強誘電相, 強誘電相が構造をとともに入れ替えながら共存していることを示している. これらの計算結果は実験結果とよく整合するものであり, 従来不明であったAgNbO₃の強誘電相転移機構に原子レベルでの理解を与えることができた.

3. おわりに

本稿では著者らが推進している, ファインセラミック分野における第一原理計算を応用した材料研究を強誘電体材料を一例として紹介した. 材料研究において第一原理計算が強力な武器となることをご理解頂ければ幸いである. 著者らの研究グループでは, これまでに強誘電体材料以外にも, Liイオン電池材料⁽¹⁶⁾⁻⁽²¹⁾, Naイオン電池材料⁽²²⁾⁽²³⁾などについて研究成果を挙げてきた. 現在も引き続き多くのファインセラミックス材料について原子レベルでのメカニズムを解明し, 次世代の高性能ファインセラミックス材料開発に必要な基礎的な知見を得ることを目標に活動を行っている. また, 最近ではマテリアルズインフォマティクスにも注力している⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾. 今回紹介した研究手法が多くのファインセラミックス材料研究に活用され, 日本におけるファインセラミックス材料研究の進展に寄与できることを期待する.

本研究は名古屋大学谷口博基准教授, 静岡大学符徳勝教授, ファインセラミックスセンター桑原彰秀氏, フィッシャー・クレイグ氏, 小川貴文氏, 設楽一希氏(当時)との共同研究である.

文 献

- (1) R. E. Cohen: Nature, **358**(1992), 136-138.
- (2) R. D. King-Smith and D. Vanderbilt: Phys. Rev. B, **47**(1993), 1651-1654.
- (3) K. Parlinski, Z. Q. Li and Y. Kawazoe: Phys. Rev. Lett., **78**(1997), 4063-4066.
- (4) X. Wu, D. Vanderbilt and D. R. Hamann: Phys. Rev. B, **72**(2005), 035105.
- (5) P. Hohenberg and W. Kohn: Phys. Rev. B, **136**(1964), 864-871.
- (6) P. E. Blöchl: Phys. Rev. B, **50**(1994), 17953-17978.
- (7) H. Moriwake, C. A. J. Fisher, A. Kuwabara and T. Hashimoto: Jpn. J. Appl. Phys., **50**(2011), 09NE02.
- (8) H. Taniguchi, Y. J. Shan, H. Mori and M. Itoh: Phys. Rev. B, **76**(2007), 212103.
- (9) H. Moriwake, A. Kuwabara, C. A. J. Fisher, H. Taniguchi, M. Itoh and I. Tanaka: Phys. Rev. B, **84**(2011), 104114.
- (10) H. Taniguchi, H. P. Soon, T. Shimizu, H. Moriwake, Y. J. Shan and M. Itoh: Phys. Rev. B, **84**(2011), 174106.
- (11) D. Fu, M. Endo, H. Taniguchi, T. Taniyama and M. Itoh: Appl. Phys. Lett., **90**(2007), 252907.
- (12) H. Moriwake, C. A. J. Fisher, A. Kuwabara and D. Fu: Jpn. J. Appl. Phys., **51**(2012), 09LE02.
- (13) H. Moriwake, C. A. J. Fisher, A. Kuwabara and D. Fu: Jpn. J. Appl. Phys., **52**(2013), 09KF08.
- (14) H. Moriwake, A. Konishi, C. A. J. Fisher, T. Ogawa, A. Kuwabara and D. Fu: J. Appl. Phys., **119**(2016), 064102.
- (15) H. Moriwake, A. Konishi, T. Ogawa, C. A. J. Fisher, A. Kuwabara, K. Shitara and D. Fu: Phys. Rev. B, **97**(2018), 224104.
- (16) H. Moriwake, A. Kuwabara, C. A. J. Fisher, R. Huang, T. Hitosugi, Y. H. Ikuhara, H. Oki and Y. Ikuhara: Adv. Mater., **25**(2013), 618-622.
- (17) K. Fujimura, A. Seko, Y. Koyama, A. Kuwabara, I. Kishida, K. Shitara, C. A. J. Fisher, H. Moriwake and I. Tanaka: Adv.

- Energy Mater., **3** (2013), 980–985.
- (18) H. Moriwake, X. Gao, A. Kuwabara, C. A. J. Fisher, T. Kimura, T. H. Ikuhara, K. Kohama, T. Tojigamori and Y. Ikuhara: *J. Power Sources*, **276** (2015), 203–207.
 - (19) K. Iwaya, T. Ogawa, T. Minato, K. Miyoshi, J. Takeuchi, A. Kuwabara, H. Moriwake, Y. Kim and T. Hitosugi: *Phys. Rev. Lett.*, **111** (2013), 126104.
 - (20) X. Gao, Y. H. Ikuhara, C. A. J. Fisher, H. Moriwake, A. Kuwabara, H. Oki, K. Kohama, R. Yoshida, R. Huang and Y. Ikuhara: *Adv. Mater. Interface*, **1** (2014), 1400143.
 - (21) X. Gao, Y. H. Ikuhara, C. A. J. Fisher, R. Huang, A. Kuwabara, H. Moriwake, K. Kohama and Y. Ikuhara: *J. Mater. Chem. A*, **7** (2019), 8845–8854.
 - (22) H. Moriwake, A. Kuwabara, C. A. J. Fisher, M. Nose, H. Nakayama, S. Nakanishi, H. Iba and Y. Ikuhara: *J. Power Sources*, **326** (2016), 220–225.
 - (23) H. Moriwake, A. Kuwabara, C. A. J. Fisher and Y. Ikuhara: *RSC Adv.*, **7** (2017), 36550–36554.
 - (24) Y. Umeda, H. Hayashi, H. Moriwake and I. Tanaka: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57** (2018), 11UB01.
 - (25) Y. Umeda, H. Hayashi, H. Moriwake and I. Tanaka: *Jpn. J. Appl. Phys.* in press.

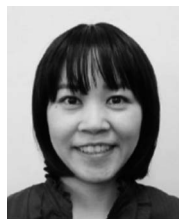
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

森分博紀
1988年 防衛大学校 卒業
2001年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程指導認定退学 博士(工学)
1988年 松下電器産業株式会社
2006年 現職
専門分野：第一原理計算を用いた材料研究
©第一原理計算と原子レベルの高精度な実験を連携させた強誘電体材料，Liイオン電池材料等の機能性材料の研究に興味を持っている。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



森分博紀



田口綾子

TiO₂ をコーティングしたインプラント用 TiNbSn 合金の生体適合性

正橋直哉*

1. はじめに

2017年、我が国では65歳以上の人口が3,515万人となり、総人口に占める割合(高齢化率)は27.7%に達したことで、現役世代2.3人で65歳以上1人を支えることとなった。高齢化と共に増加する疾患の一つに、膝関節や股関節の関節軟骨の加齢変性による、変形性関節症に起因した関節痛や機能障害がある。中でも人体で最大の関節であり、体重を支えて様々な動作を担う股関節が、変形性股関節症に進行した場合、関節変形が高度となり、強い疼痛や筋力低下に加え、下肢長の短縮による歩行機能低下をきたし、日常生活動作への著しい制限をおこす。そのため、股関節の一部または全部をインプラント材に置換する人工股関節手術数が増加し、2016年度は6万件を記録した⁽¹⁾。人工股関節は、股関節にかかる大きな力を受け持つ、骨頭(ヘッド)をかぶせたステムを大腿骨に埋め込み、臼蓋側は関節面の役割を果たすライナー(インサート)と、ライナーを支える土台として臼蓋に埋め込むカップ(ソケット)から構成される。ステムとカップには金属が、ヘッドには金属かセラミックスが、そしてライナーにはポリエチレンが使用されることが多く、金属やセラミックの場合もある。ステムには、Ti合金かCoCr合金が使用されるが、大腿骨近位部では骨より高強度の金属製ステムに荷重の偏りが起こり(応力遮蔽)、骨が委縮して骨折や緩みなどの固定不良をおこしやすい(廃用性骨萎縮)⁽²⁾ため、骨と近い弾性率を持つ金属材料へのニーズが高い。花田等は、細胞毒性のない元素から構成され、低ヤング率と高強度を備えたインプラント用TiNbSn合金を開発し⁽³⁾、2019年1月に治験を無事完了した。このTiNbSn合金は、ニアーβ相の組成の合金において、溝ロール圧延とスウェーミング加工を施して

加工誘起α''を安定化し、β<110>とα''<010>の方位を揃える。その後、ステム形状に加工を施し、遠位部の低ヤング率を変えずに近位部を局所加熱することでα相の微細析出による高強度化により、低ヤング率と高強度を兼備するステムに仕上げる(図1)。詳細は、文献を参考されたい⁽⁴⁾。

本稿ではTiNbSn合金(Ti-33.6Nb-4Sn, mass%)への骨伝導性付与を目的とした筆者等の最近の研究を中心に関連する研究を紹介する。ステムの骨への固定にはセメント使用と不使用(セメントレス)があるが、セメント固定はセメントレスに比べ応力遮蔽を起こしやすく、セメントの有害性も関与するため、セメントレスの術数が増えている。セメントレスの場合、骨との固着(osseointegration)が不可欠であるが、金属には骨形成を誘導する機能が無いため⁽⁵⁾、ステム表面での骨形成を目的に、プラスト処理等による表面粗化や、骨の主成分であるハイドロキシアパタイト(以後HAp)のコーティ

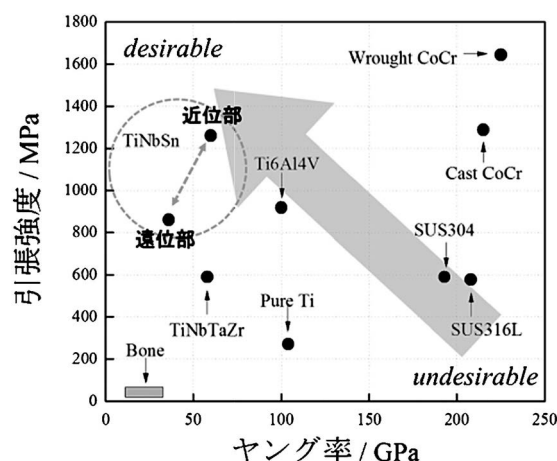


図1 インプラント金属の機械的性質。

* 東北大学金属材料研究所; 教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)
 Biomedical Activity of TiO₂ Loaded TiNbSn Alloy for Implant Application; Naoya Masahashi (Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)
 Keywords: anodization, photocatalysis, osteoconductivity, biocompatibility, TiO₂
 2019年9月24日受理[doi:10.2320/materia.59.84]

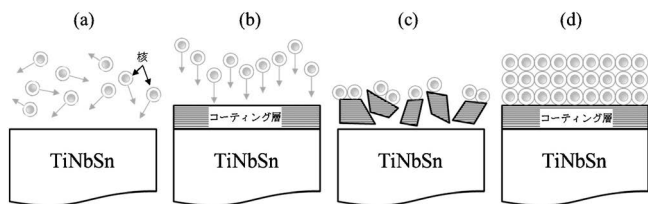


図2 インプラント金属への骨伝導性付与の模式図：
(a)核が体液中でランダムウォーク，(b)核がコーティング層に吸着，(c)コーティング層が基板から剥離，(d)基板密着性に優れたコーティング層に核が吸着。

ング，そして水酸化ナトリウム等のアルカリ処理による骨類似アパタイトのチタン酸ナトリウム形成等の表面処理が施される⁽⁶⁾。金属イオンの細胞への悪影響⁽⁷⁾の観点に立つと，金属イオンの溶出し易い表面粗化は必ずしも好ましくない。細胞毒性を示しにくい金属といえども細胞への為害性が少なからずあり，金属表面の露出は可能であれば回避したい。一方，HAp コーティングはコーティングの際の HAp 改質や⁽⁸⁾，金属との密着性に劣るため⁽⁹⁾十分な骨伝導性が得られない。そしてアルカリ処理は約600°Cの熱処理が必要で，TiNbSn 合金では ω 相析出や逆変態をおこすことで，ヤング率増加をおこすため適用できない。

図2はインプラント金属への骨伝導性付与の模式図であるが，PVD等によるHApコーティングは骨芽細胞の核の吸着に優れていても基板との密着性が悪い(図2(c))。すなわち，インプラント材に生体活性を付与するには，図2(d)の様に核が吸着し易く，基板との密着性が高い表面が必要である。骨は細胞の定着・増殖を促すために多孔質構造で，Ca, P, Mg, O等を主成分にリン酸カルシウムや炭酸カルシウム等の酸化物から形成される。酸化物はインプラント材の生体適合性を促進することが知られており⁽¹⁰⁾，骨伝導性の発現には，骨を構成する元素と平衡し金属との密着性の高い酸化物被覆が有効である。Ca, P, Mgは全て酸化物生成自由エネルギーが大きい元素である。筆者等はこれらの酸化物(CaTiO₃, P₂O₅, MgO₂等)と熱力学的に平衡し，Ti合金基板との密着性が高いと考えられるTiの不動態膜であるTiO₂に着目した。TiO₂はHApの様な剥離をおこさないことに加え，耐摩耗性の改善が報告されている⁽¹¹⁾。本稿では，TiNbSn合金への骨伝導性付与を目的に，TiNbSn合金基板に陽極酸化法でTiO₂をコーティングし，TiO₂による生体適合性の付与の検証を行う。なお本稿では，疑似体液浸漬によるアパタイト形成能を「生体活性」，動物実験によるインプラント材周辺の骨組織形成能を「骨伝導性」とし，総じて「生体適合性」と称することとする。

2. 陽極酸化処理

金属の表面に電気化学的手法で酸化物や難溶性の被膜を形成する方法を陽極酸化と称し，耐食性や耐摩耗性の改善に利

用されている。陽極酸化は，電解質溶液中で金属を陽極にして通電することで陽イオンとして溶解させ，水の電解で得られた酸素イオンと結合して金属酸化物を形成する。工業的に利用されているアルマイトはAlの陽極酸化で，薄いバリアー膜の上に柱状の細孔が膜成長方向と平行に配置するため，酸化膜の成長方向から眺めると蜂の巣状となる。酸化物は電流に比例して成長するが，同時にセル底では酸化物は溶解し，溶解しなかった部分はセル壁として成長するため細孔組織となる。一方，Tiの陽極酸化は，酸化膜の光干渉効果による着色技術として実用に供される。光干渉は酸化膜表面の反射光と酸化膜を透過して酸化膜底面(基板表面)からの反射光の光路差に起因し，膜厚に応じて色に変化するが，膜厚と干渉色の関係は単純ではない。Ti基板上にTiO₂を成膜した時の反射スペクトルをシミュレートすると，干渉スペクトルは膜厚に依存して可視光域に現れるピーク数が異なり，複数のピーク位置は膜厚に依存して変化する。干渉色は膜厚増加と共に色波長が低波長から高波長へシフトし，低電位で発色した干渉色が高電位で再び現れる。

Alのような陽極酸化膜の細孔組織はTiでも報告され⁽¹²⁾⁽¹³⁾，近年はTiO₂ナノチューブとして触媒・ガスセンサー・バイオテンプレート等への応用研究が盛んである。TiO₂ナノチューブの作製は，水熱合成と陽極酸化に大別されるが(テンプレート法も若干ある)，特に自己組織化が可能な陽極酸化法で作製したTiO₂ナノチューブは，高強度と大表面積を有し，電子の移動度が高く量子閉じ込め効果を示す⁽¹⁴⁾。組織形成のメカニズムは，電流印加に伴う酸化膜成長・溶解モデルが主流だが⁽¹⁵⁾，最近，イオンのエレクトロマイグレーションと粘性運動に基づくモデルも提案されている⁽¹⁶⁾。

TiO₂ナノチューブの骨伝導性の*in vivo*試験から，プラスチック材や酸処理材よりTiO₂ナノチューブをコーティングしたTi合金が高い骨伝導性を示すことが報告されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。この原因としてHApと整合性の良いアナタース型TiO₂の生成⁽¹⁷⁾や，電解浴のフッ素酸に起因してTiO₂に混入するフッ素の骨芽細胞分化や界面骨形成⁽¹⁷⁾が報告されている。また骨伝導性がナノチューブの孔径に依存することから⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾，TiO₂ナノチューブと細胞表面の原形質タンパク質であるインテグリンと細胞骨格との相互作用も報告されている⁽²⁰⁾。さらに細胞の増殖には細胞内のシグナル伝達機能の確保が必要のため，基板と垂直方向に成長する構造が細胞の取り込みを促進するという報告もある⁽²¹⁾。Chen等はTiO₂ナノチューブに，骨芽細胞の分化・活性化を促進する抗スクレロシン抗体が被覆されることで，骨芽細胞抑制分子のスクレロシンの分泌を抑制し，アルカリフォスファターゼ活性の亢進から骨芽細胞の活性が高まると報告している⁽²²⁾。TiO₂ナノチューブによる生体適合性の機構は確立していないが，インプラントTiの骨伝導性付与には魅力的な表面組織である。

一方，細孔組織ではない陽極酸化TiO₂による生体適合性の先行研究では，表面粗度を高めることが有効とし，弱酸中での高電場印加が施されている⁽²³⁾⁻⁽²⁷⁾。Sul等は純Tiを

0.1M 酢酸電解浴で100 V から380 V まで系統的に電位を変えることで表面粗さを0.83~1.02 μm まで変えた陽極酸化膜を成膜し⁽²³⁾, *in vivo* 試験から TiO_2 上の新生骨形成の確認と, 表面粗さが大きいほど骨形成が促進されることを示した⁽²⁴⁾. その後, 電位や電解浴組成を変えた同様の研究が報告され⁽²⁵⁾⁻⁽²⁷⁾, こうした膜形成では, 多くの場合, 電極表面でのアーク (Micro-arc oxidation: MAO) 発生を伴い, 絶縁破壊による表面粗化がうかがえる.

3. Ti および TiNbSn 合金基板への陽極酸化

前節で紹介した TiO_2 ナノチューブは, フッ素を含有する電解浴にて陽極酸化後に, 450~600°C で1~3時間の熱処理を施して成膜する. しかし, TiNbSn 合金に熱処理を施すと, α 相の析出や逆変態によりヤング率が増加するため採用できない. ナノチューブ作製における熱処理は, アモルファスの酸化膜を結晶化させるため⁽²⁸⁾, TiO_2 中での励起種の再結合を抑制し量子効率を高めることが報告されている⁽²⁹⁾. 光触媒を利用した量子デバイス応用では熱処理付与の効果は理解できるが, 生体材料への応用にあたっての結晶化の必然性は不明である. しかし, 生体応用の研究においても熱処理が施されており⁽¹⁷⁾⁻⁽¹⁹⁾⁽³⁰⁾⁻⁽³²⁾, 本節では上記の理由からナノチューブではない陽極酸化を紹介する.

光誘起機能を示す TiO_2 の創製の多くはゾルゲル法を採用するが, 大型や複雑形状の基板や, 耐熱性に劣る基板へのコーティングが困難であるため, 筆者等は陽極酸化 TiO_2 の光誘起機能の研究に従事してきた. Ti 電極を硫酸電解浴中にて200 V 程度の電場を印加して陽極酸化を施すと, 電解浴の硫酸濃度の増加により基板上に成膜する TiO_2 の結晶構造はアナタースからルチル構造に連続的に変遷し, それと共に TiO_2 の結晶性が增加して光誘起機能は向上する⁽³³⁾. また電解浴から TiO_2 に固溶した硫黄は, TiO_2 のバンドギャップエネルギーを減少させるため, 可視光応答性を改善する⁽³⁴⁾. 高電場では電極表面での酸化反応が促進され, 絶縁破壊に起因したスパーク (放電) の発生と液温上昇が確認でき, 硫酸濃度が高いほど顕著になる. 筆者等は光触媒機能の向上は, 結晶性向上による励起種の再結合サイトになりうる格子欠陥密度の低下に起因すると考察する⁽³³⁾. 高電場印加によるスパークは1.4 M リン酸電解浴でも報告されており, 50 V から250 V まで電位を上げると膜厚の増加と共に200 V においてスパークがおこる⁽³⁵⁾. 酸化膜と基板との密着強度をスクラッチ試験による触針の摩擦力変化から評価した結果を図3に示す. 0.1 M (a)と1.2 M (b)硫酸電解浴にて作製した陽極酸化膜とゾルゲル法で作製したアナタース構造の TiO_2 薄膜(c)のスクラッチ試験における摩擦力変化(上)とスクラッチ後の試料表面画像(下)である. (a)および(c)の摩擦力は, グラフ中の点線の箇所で大連続に変化するのに対し, (b)は摩擦力が連続的に変化する. 不連続点を膜の剥離強度として強度を求めると, 電解浴の硫酸濃度が0.02 M, 0.1 M, 0.2 M, 1.2 M の場合, それぞれ26.60 mN, 28.63 mN,

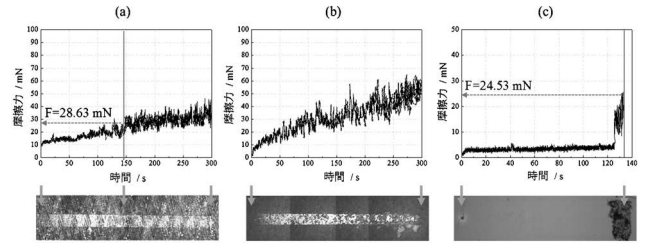


図3 0.1 M (a)および1.2 M (b)硫酸電解浴で作製した陽極酸化膜, およびゾルゲル法で作製した薄膜 (c)のスクラッチ試験により得られた摩擦力変化(上)と表面画像(下).

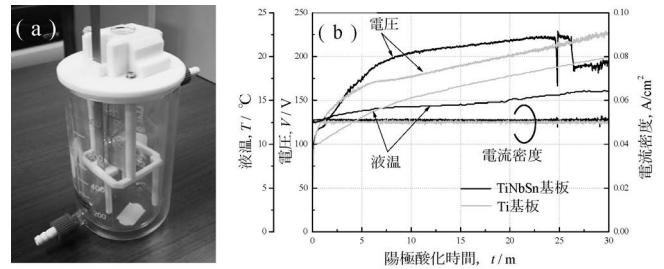


図4 電気化学セル(a)と1M硫酸電解浴中のTiおよびTiNbSn基板の電解曲線と電解浴液温変化(b).

32.10 mN そして検出限界以上となる. 一方, ゾルゲル法やCVD法で作製した酸化膜の剥離強度は, それぞれ24.53 mNと14.87 mNとなり, 陽極酸化膜は電解浴の硫酸濃度が高いほど剥離強度が高く, 他の方法で作製した試料よりも基板との密着性が優れていることがわかる.

TiNbSn 合金基板への陽極酸化膜もTi基板と同様の結果が得られるが, TiNbSn 合金の場合はバルブメタルであるNbやSnもTiと同時に酸化されるため, 酸化膜中の TiO_2 の分率はTi基板に比べ80%程度に低下する. なお, TiO_2 コーティングを施してもTiNbSn合金のヤング率は変わらず⁽³⁶⁾, 電解浴から TiO_2 に混入する硫黄は細胞に悪影響を及ぼさない⁽³⁷⁾. 200 V 強の高電場での電気化学反応を調べるために, 図4(a)のような電気化学セルを作製し, 定電流 (50 mA/cm^2) において電解曲線(b)を得た. (b)から, Ti基板に比べTiNbSn基板の電位が高く, TiNbSn基板では25分ほどで電位降下がおこり, 絶縁破壊を示唆する. 電解浴の液温はチラーで10°Cに冷却するものの, 両基板共に時間経過と共に上昇し, Ti基板の方がTiNbSn基板よりわずかに高い. また両基板とも表面でスパークを発生し, TiO_2 は表面凹凸 ($R_a = 0.95 \sim 1.2 \mu\text{m}$) を伴ったルチル構造となる. 次節以降では, このようにして作製した TiO_2 コーティング TiNbSn 合金の生体適合性を紹介する.

4. 陽極酸化 TiO_2 の生体適合性

Ti 基板への陽極酸化 TiO_2 による生体活性については, Kokubo 等による研究がある⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾. 2 M の酢酸電解浴中で

純 Ti 基板に150 V で1分間の陽極酸化を施した(以下、陽極酸化: AO)試料を、80°Cの温水中に48時間浸漬(以下、温水処理: HW)し、40°Cで24時間乾燥後、人工体液に1, 3, 7時間浸漬したところ(*in vitro* 試験), HW 材で HAp が析出したが AO 材では観察されなかった. 筆者等は TiNbSn 合金について同様の実験を行った⁽⁴⁰⁾. 1 M の酢酸電解浴中にて200 V で30分間の陽極酸化を施した AO 材をハンクス液(36.5°Cに保持)25 ml 中に7日間浸漬後、試料を蒸留水で洗浄し、ドライインキュベーター内で24時間乾燥させた. その結果、図5のように HW 処理材(b)では酵母状組織を観察できたが、AO 材(a)では観察できなかった. 分析の結果、この組織は HAp であることが判り、TiNbSn 基板でも AO 膜に HW 処理を施すことで生体活性が得られる. そこで、*in vivo* 実験を行うために 8 mm 径の TiNbSn 合金丸棒から、4.5 mm 径で32 mm 長さのロッドを旋盤加工で切り出し、引抜試験用に一端に治具装着用の丸穴加工を施した 4 mm 径で 6 mm 長さの突出部(最先端は 3 mm 径で 1 mm 長さ)を備えたロッドを作製した. ロッドは 2 M 酢酸電解浴中で、電流密度50 mA/cm², 電圧500 V, 処理時間30分の陽極酸化後に HW 処理を施した. この試料を白色家兎大腿骨の骨髓腔に埋込み(図6(a)), 温度22±2°C, 湿度40±20%の個別ゲージ(60×51×35 cm)で3週あるいは6週間の飼育後に屠殺し、インプラント材と骨との接合性を調査した. その結果、図6

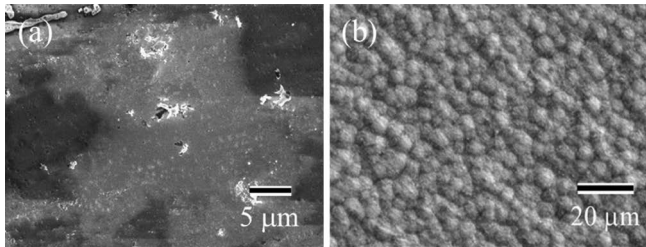


図5 HW 処理を施した TiNbSn 基板コーティング AO 膜のハンクス液浸漬前(a)と浸漬後(b)の SEM 像.

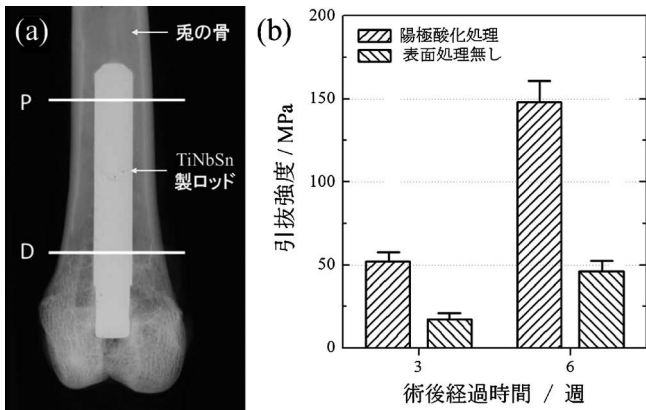


図6 白色家兎の大腿骨にインプラントした陽極酸化 TiNbSn 合金製ロッドの HW 処理材のレントゲン写真(a)と、ロッドの引抜強度の飼育期間依存性(b)⁽⁴⁰⁾.

(b)のように、陽極酸化を施していないロッドより高い引抜強度を示し、HW 処理を施すことでインプラント材表面に形成された骨組織とインプラント材との密着が強固になったことがわかる. 図7に HW 材(a,b)と未処理材(c,d)の遠位部(a,c)と近位部(b,d)の組織を示すが、HW 材は骨とインプラント材の界面近傍で骨形成を観察できる(a,bの矢印部). このインプラント材を FIB でサンプリングし、インプラント材と骨の界面近傍の元素マッピングを行った(図8)⁽⁴¹⁾結果、TiO₂ 層中に Ca と P が分布していることが判った. さらに TiO₂ 層のみを分析した結果、Ti, O, 不純物 C 以外に、原子濃度で8.2% Ca と3.5% P が検出され、基材 TiNbSn からは検出されなかった. 以上から図6(b)に示した高い密着強度は、骨の構成元素である Ca や P の TiO₂ 中への浸透が関与すると考察する.

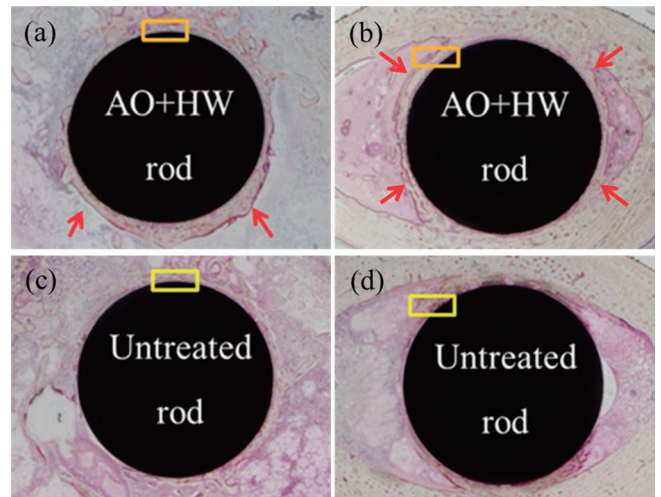


図7 HW 材(a,b)と未処理材(c,d)の遠位部(a,c)と近位部(b,d)の TiNbSn 合金と骨との界面近傍組織⁽⁴⁰⁾.

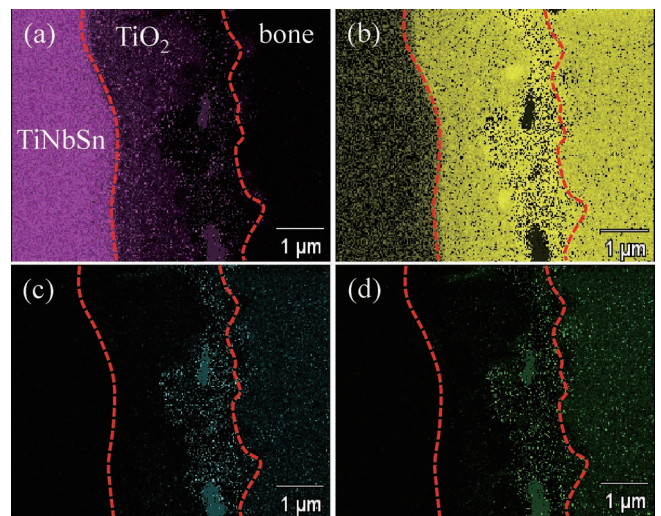


図8 インプラント TiNbSn 合金と骨の界面近傍の元素分布: TiKα(a), OKα(b), PKα(c), CaKα(d)⁽⁴¹⁾.

5. 陽極酸化 TiO₂ による生体適合性の発現機構

陽極酸化 TiO₂ による生体適合性に関する先行研究によると、その発現機構はナノチューブと表面粗化とで異なる。前者は2節で記載した様に TiO₂ の細孔構造と成分の両面から提案されているが、統一的な機構は確立していない。一方、後者は報告によって多少の違いはあるものの、概ね TiO₂ 表面粗化による骨芽細胞の吸着促進が関与する。4節で紹介した HW 処理による HAp 生成機構もこの観点に近く、Kokubo 等は、①HW 処理による水酸基吸着の増加⁽³⁸⁾、②ルチル構造 TiO₂ の101と HAp の0004の整合性⁽³⁹⁾、を提案している。図9に1M酢酸電解浴で成膜した陽極酸化 TiO₂ コーティング TiNbSn 合金の XPS 角度分解測定の結果を示す⁽⁴¹⁾。図から HW 処理後は処理前に比べ O 1s 水酸基の分率が低下し、酸化物由来の分率が高くなっている。また Nb や Sn の強度増加から、HW 処理は Nb や Sn の量(酸化物として存在)を増やし、水酸基量の増加を促していないことが判る。一方、図10は図9と同じ TiNbSn 合金の HW 処理前

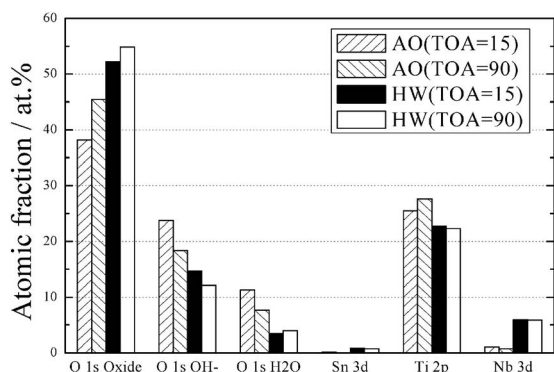


図9 XPS 角度分解分析結果：1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ コーティング TiNbSn 合金の HW 処理前(AO)と処理後(HW)の光電子取出角(TOA)依存性⁽⁴¹⁾。

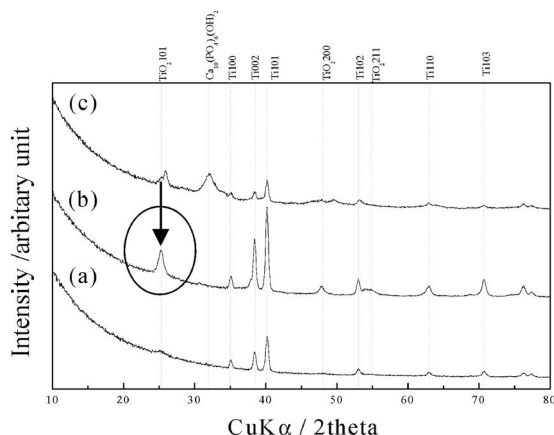


図10 薄膜 X 線プロファイル：1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ コーティング TiNbSn 合金の HW 処理前(a)、処理後(b)、*in vitro* 試験後(c)⁽⁴¹⁾。

(a)、処理後(b)、*in vitro* 試験後(c)の薄膜 X 線回折プロファイルだが⁽⁴⁰⁾、HW 処理前には微弱であったアナタース 101回折線(丸印)強度が処理後に増加し、*in vitro* 試験後は HAp 回折線(矢印)を確認できるものの、ルチル相の回折線は検出できない。すなわち、骨伝導性改善への HW 処理の効果は上記の二つの原因以外の要因があることが判る。筆者等は骨の構成元素の TiO₂ への浸透(図8)に着目し、骨伝導性の改善には骨の構成元素の浸透を促進する膜組織が有効と仮定した。そこで、酸素分子発生に起因する多孔質構造を得るために、陽極酸化の電解浴を弱酸の酢酸から強酸の硫酸に変更し、前節と同様の実験を行った。1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ はアナタース構造であったが、1 M 硫酸電解浴での酸化膜はルチル相が主体となる。表面粗さ Ra は、1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ で 2.04 μm で HW 処理後は 1.72 μm であったのに対し、1 M 硫酸電解浴で成膜した TiO₂ が 2.34 μm で HW 処理後は 2.03 μm であった。また表面積は 1 M 硫酸電解浴で成膜した TiO₂ は 1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ より約 30% 増加する。断面 TEM 観察の結果、前者の膜厚は約 370 nm だが、後者は約 7.7 μm と厚くなり、内部のポアの出現頻度が著しく増加する(図11)。この酸化膜をコーティングした TiNbSn 合金に *in vitro* 試験を行った結果、図12の様に HW 処理の有無にかかわらず、図5(b)

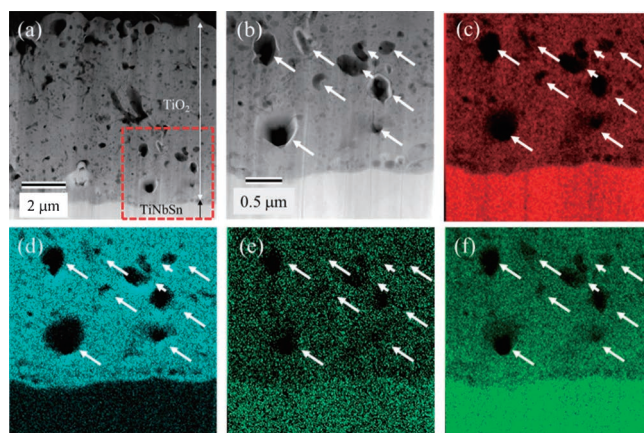


図11 1 M 硫酸電解浴で成膜した TiO₂ をコーティングした TiNbSn 合金の断面 TEM 像(a,b)と(b)の元素分布(図中矢印はポア)：TiKα(c)、OKα(d)、SnLα(e)、NbLα(f)。

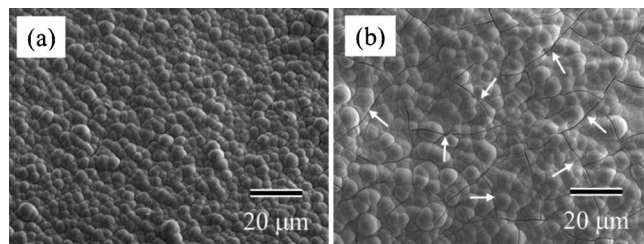


図12 1 M 硫酸電解浴で成膜した TiO₂ コーティング TiNbSn 合金の *in vitro* 試験後の表面組織：HW 処理無(a)、HW 処理有(b)(矢印はフラック)⁽³⁷⁾⁽⁴²⁾。

と同様の組織が観察でき、分析の結果 HAp と同定できた。そして *in vivo* 試験の結果、硫酸電解浴で成膜した TiO₂ をコーティングした HW 処理材の引抜強度は、酢酸電解浴で成膜した場合より高強度を示し、さらに HW 処理を施さない場合が最も高い引抜強度を示すことを確認した(図 13)⁽³⁹⁾⁽⁴¹⁾。図 8 と同様に、FIB を用いて骨と TiNbSn 合金界面をサンプリングし EDX にてマッピングを行った結果、TiO₂ 中に P や Ca が浸透し、とりわけポア(矢印部)に濃化していることが明らかとなった(図 14)。この結果は TiO₂ 中のポアは表面から内部に繋がるオープンポアであることを示唆するが、Ca や P が TiO₂ 中に固溶しうること⁽⁴³⁾⁻⁽⁴⁷⁾ も関与すると考察する。図 15 に筆者等が提案する多孔質 TiO₂ による生体活性発現のモデルを示す⁽³⁷⁾。電解浴中の水に起因する水酸基イオン中の酸素は、酸化膜の形成に供給されると共に、酸素分子として膜中に残存しポアを形成する(a)⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾。ポアを内包する多孔質 TiO₂ をハンクス液に浸漬

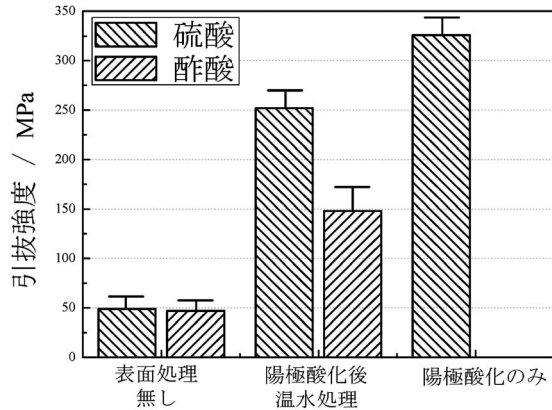


図 13 1 M 硫酸電解浴あるいは 1 M 酢酸電解浴で成膜した TiO₂ をコーティングした TiNbSn 合金の *in vivo* 試験後のロッド引抜強度⁽⁴⁰⁾⁽⁴²⁾。

すると、ハンクス液を構成する Ca や P イオンは TiO₂ に吸着・浸透し(b)、浸透イオンの一部は固溶し、一部は TiO₂ 内のポアに集積する(c)。一方、凹凸の大きい TiO₂ 表面では、Wenzel の理論⁽⁵⁰⁾により親水性となり、吸着した Ca や P イオンと水酸基イオンが HAp を生成し、Ca や P イオンの TiO₂ 中への固溶と共にポアへの集積が加速し、HAp は成長する(d)。表面凹凸が大きく多孔質な物質がすべて骨伝導性を示すわけではなく、Kokubo 等が提案する体液中の物質との化学的相互作用が不可欠で、筆者は Ca や P が TiO₂

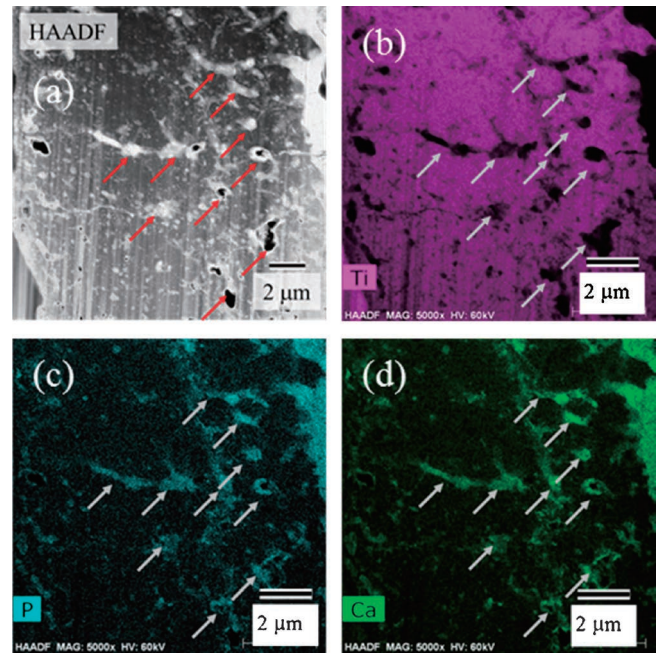


図 14 TiO₂ コーティングインプラント TiNbSn 合金と骨の界面 TiO₂ 層中の元素分布(図中の矢印はポア): HAADF 像(a), TiKα(b), PKα(c), CaKα(d)。

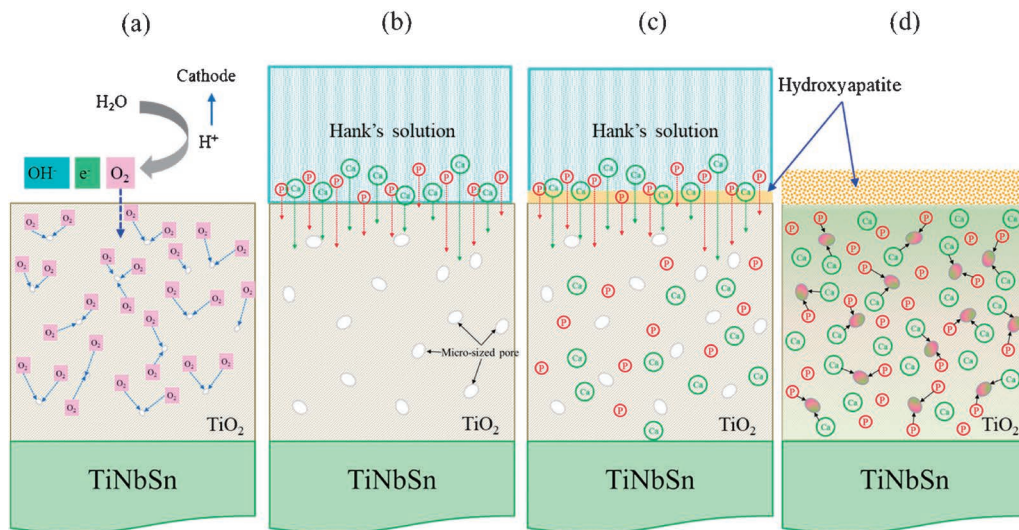


図 15 生体活性発現モデル⁽³⁶⁾: 陽極酸化時に酸素が浸透(a)、膜中に空孔を形成(b)、ハンクス液から Ca や P イオンが TiO₂ 中に浸透し表面で HAp 形成(c)、TiO₂ 中への固溶とポアへの集積が加速し HAp が成長(d)。

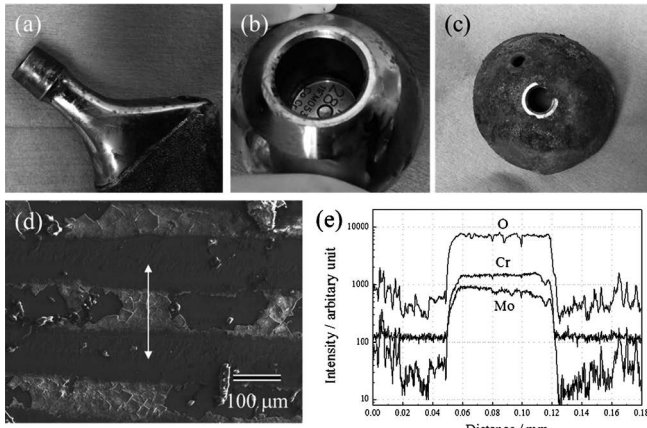


図16 トラニオノーシスが認められた人工股関節：ステム(a)，ヘッド(b)，カップ(c)，ステムとヘッドの嵌合部のヘッド側表面SEM像(d)，(d)の白矢印部の線分析プロファイル(e)。

中に固溶しうること，すなわち TiO_2 が骨構成物質であるCaやPと attractive である点に注目する。図2(d)の要件を満たし，酸化物の生体適合性を鑑みると，Ti合金の骨伝導性には TiO_2 コーティングが有効であり，その発現機構は表面層の機能と構造の両面から考える必要があろう。

6. おわりに

本稿は人工股関節ステム用合金として高強度と低ヤング率を兼ね備えるTiNbSn合金に，陽極酸化 TiO_2 をコーティングすることで骨伝導性を付与し，生体適合性が向上することを紹介した。インプラント金属が生体内でどのような挙動を示すかは未解明な点が多く，実験室での *in vitro* 試験と動物を用いた *in vivo* 試験のフィジビリティスタディの蓄積が必要であろう。一方，我が国におけるインプラント金属材料の研究において材料科学がどの程度寄与してきたかは心許ない。その理由は我が国の医療用金属材料の研究の歴史が浅く，材料研究者と医師等の医療従事者との連携が希薄であったことが挙げられよう。通常の構造用金属材料のように生体内での寿命予測の確立は簡単ではなく，欧米ではインプラント患者への追跡研究が実施されている⁽⁵¹⁾⁻⁽⁵⁶⁾。図16は人工股関節の置換手術でとりだしたCoCr合金製ステム(a)とヘッド(b)およびライナー(c)の写真と，嵌合部ステム側のSEM像(d)と線分析(e)結果だが，(a,b)から腐食(トラニオノーシス)の発生を確認できる。(d)からステム表面で縞状模様が観察でき，線分析(e)から，Cr等のステム合金構成元素と酸素の濃度が高い領域と低い領域に分かれ，前者は粒界が観察できるのに対し後者はスクラッチ痕が観察できる。以上から前者の領域は酸化膜を形成して耐摩耗性を有するのに対し，後者の領域は摩耗損傷をおこしていることがうかがえる。金属インプラント材は摩耗だけでなく，溶出金属イオンによる生体への影響も指摘されており⁽⁵⁷⁾⁻⁽⁶⁰⁾，腐食・摩

耗・疲労といった金属材料の寿命を支配する機能への関心は高い。本稿では生体適合性に焦点を充てたが，インプラント材には多様な機能が要求され，そのような機能を持つインプラント金属への期待は今後ますます高くなると予想する。金属に従事する立場としては，医工連携の推進を通して医療サイドのニーズを的確に把握すると共に，材料科学を駆使することで所望のインプラント金属を提案・創製し，安全で安心なインプラント治療への貢献を目指したい。

本研究の共同研究者である，東北大学花田修治名誉教授，東北大学医学系研究科大学院井樋栄二教授，森優院内講師，山田則一助教(現：仙台赤十字病院)，野呂篤司医局員(現：山形市立病院済生館)，田中秀達医局員(現：仙台赤十字病院)，小暮敦史医局員(現：湘南鎌倉総合病院)，國井知典医局員，大阪府立大学工学研究科井上博之准教授に深く感謝する。

文 献

- (1) 厚生労働省 第3回NDBオープンデータ(特定健診等情報データベース)。
- (2) A. H. Glassman, J. D. Bobyn and M. Tnazer: Clin. Orthop. Relat. Res., **453**(2006), 64-74.
- (3) 花田修治: までりあ, **47**(2008), 242-248, **53**(2014), 60-62.
- (4) S. Hanada, N. Masahashi and T. K. Jung *et al.*: J. Mech. Behav. Biomed. Mater., **30**(2014), 140-149.
- (5) L. Linder, A. Carlsson, L. Marsal, L. M. Bjursten and P.-I. Branemark: J. Bone Joint Surgery, **70**(1988), 550-555.
- (6) T. Kokubo, H. M. Kim and M. Kawashita: Biomaterials, **24**(2003), 2161-2175.
- (7) A. Pappas and J. Cohen: J. Bone Jt. Surg., **50**(1968), 535-547.
- (8) S. R. Radin and P. Ducheyne: J. Mat. Sci; Mat. Med., **3**(1992), 33-42.
- (9) E. Chang, W. J. Chang, B. C. Wang and C. Y. Yang: Mater. Sci.; Mat. Med., **8**(1997), 193-200.
- (10) D. Pradhan, A. W. Wren, M. S. Mixture and N. P. Mellotto: Mater. Sci. Eng., **C58**(2018), 918-926.
- (11) S. Kumar, T. S. Narayanan, S. S. Raman and S. K. Seshadri: Mater. Sci. Eng., **C30**(2010), 921-927.
- (12) V. Zwilling, E. D. Ceretti, A. B. Forveille, D. David, M. Y. Perrin and M. Aucouturier: Surf. Interface Anal., **27**(1999), 629-637.
- (13) D. Gong, C. A. Grimes, O. K. Varghese, W. Hu, R. S. Singh, Z. Chen and E. C. Dickey: J. Mater. Res., **16**(2001), 3331-3334.
- (14) K. Lee, A. Mazare and P. Schmuki: Chem. Rev., **114**(2014), 9385-9454.
- (15) P. Roy, S. Berger and P. Schmuki: Angew Chem. Int. Ed. Engl., **50**(2011), 2904-2939.
- (16) J. E. Houser and K. R. Hebert: Nature Mater., **8**(2009), 415-420.
- (17) N. Wang, H. Li, W. Lü, J. Li, J. Wang, Z. Zhang and Y. Liu: Biomaterials, **32**(2011), 6900-6911.
- (18) L. Salou, A. Hoornaert, G. Louarn and P. Layroll: Acta Biomaterials, **11**(2015), 494-502.
- (19) L. Lv, Y. Liu, P. Zhang, X. Zhang, J. Liu, T. Chen, P. Su, H. Li and Y. Zhou: Biomaterials, **39**(2015), 193-205.
- (20) C. S. Chen: J. Cell Sci., **121**(2008), 3285-3292.
- (21) H. Y. Lou, W. Zhao, Y. Zeng and B. Cui: Acc. Chem. Res., **51**(2018), 1046-1053.
- (22) M. Chen, Y. Hu, M. Li, M. Chen, X. Shen, Z. Luo, C. Mu, W. Yang, P. Liu and K. Cai: Colloids Surf. B: Biointerfaces, **175**(2019), 663-670.

- (23) Y. T. Sul, C. B. Johansson, S. Petronis, K. Röser, Y. Jeong, A. Wennerberg and T. Arbrektsson: *Biomaterials*, **23**(2002), 491–501.
- (24) Y. T. Sul, C. B. Johansson, Y. Jeong, K. Röser, A. Wennerberg and T. Arbrektsson: *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, **12**(2001), 1025–1031.
- (25) L. H. Li, Y. M. Kong, H. W. Kim, Y. W. Kim, H. E. Kim, S. J. Heo and J. Y. Koak: *Biomaterials*, **25**(2004), 2867–2875.
- (26) J. W. Choi, S. J. Heo, J. Y. Koak, S. K. Kim, Y. J. Lim, S. H. Kim and J. B. Lee: *J. Oral Rehabilitation*, **33**(2006), 889–897.
- (27) A. Sharma, J. McQuillan, L. A. Sharma, J. N. Waddell, Y. Shibata and W. J. Duncan: *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, **26**(2015), 221–232.
- (28) S. Das, R. Zazpe, J. Prikryl, P. Knotek, M. Krbal, H. Sopha, V. Podzemna and J. M. Macak: *Electrochim Acta*, **213**(2016), 452–459.
- (29) M. Krbal, J. Kucharik, H. Sopha, H. Nemeč and J. M. Macak: *Rapid Res. Lett.*, **10**(2016), 691–695.
- (30) K. C. Popat, L. Leoni, C. A. Grimes and T. A. Desai: *Biomaterials*, **28**(2007), 3188–3197.
- (31) L. Peng, M. L. Eltgroth, T. J. LaTemp, C. A. Grimes and T. A. Desai: *Biomaterials*, **30**(2009), 1268–1272.
- (32) B. S. Smith, S. Yoriya, T. Johnson and K. C. Popat: *Acta Biomaterials*, **7**(2011), 2686–2696.
- (33) N. Masahashi, Y. Mizukoshi, S. Semboshi and N. Ohtsu: *Appl. Catal. B*, **90**(2009), 255–261.
- (34) Y. Mizukoshi, N. Ohtsu, S. Semboshi and N. Masahashi: *Appl. Catal. B*, **91**(2009), 152–156.
- (35) N. K. Kuromoto, R. A. Simao and G. A. Soares: *Mater. Character.*, **58**(2007), 114–121.
- (36) N. Masahashi, Y. Mizukoshi, S. Semboshi, N. Ohtsu, T. K. Jung and S. Hanada: *Thin Solid Films*, **519**(2010), 276–283.
- (37) N. Masahashi, Y. Mori, H. Tanaka, A. Kogure, H. Inoue, K. Ohmura, Y. Kodama, M. Nishijima, E. Itoi and S. Hanada: *Mater. Sci. Eng.*, **C98**(2019), 753–763.
- (38) X. Cui, H. M. Kim, M. Kawashita, L. Wang, T. Xiong, T. Kokubo and T. Nakamura: *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, **19**(2008), 1767–1773.
- (39) B. Yang, M. Uchida, H. M. Kim, X. Zhang and T. Kokubo: *Biomaterials*, **25**(2004), 1003–1010.
- (40) H. Tanaka, Y. Mori, A. Noro, A. Kogure, M. Kamimura, N. Yamada, S. Hanada, N. Masahashi and E. Itoi: *PLoS One* (2016), Feb 25; 11(2): e0150081.
- (41) N. Masahashi, Y. Mori, H. Tanaka, A. Kogure, H. Inoue, K. Omura, Y. Kodama, M. Nishijima, E. Itoi and S. Hanada: *Thin Solid Films*, **639**(2017), 22–28.
- (42) T. Kunii, Y. Mori, H. Tanaka, A. Kogure, M. Kaminuma, N. Mori, S. Hanada, N. Masahashi and E. Itoi: *Scientific Reports*, **9**(2019), 13985.
- (43) H. Ishizawa and M. Ogina: *J Biomed. Mat. Res.*, **29**(1995), 65–72.
- (44) H. Ishizawa and M. Ogina: *J Biomed. Mat. Res.*, **29**(1995), 1071–1079.
- (45) M. Fini, A. Cigada, G. Rondelli, R. Chiesa, R. Giardino, G. Giavaresi, N. N. Aldini, P. Torricelli and B. Vicentini: *Biomaterials*, **20**(1999), 1587–1594.
- (46) N. Oliveira, C. Moura, D. Z. Barbosa, D. Mendonça, L. Cooper and G. Mendonça: *Mater. Sci. Eng.* **C33**(2013), 1958–1962.
- (47) E. M. Szesz, G. B. Souza, G. G. Lima, B. A. Silva, N. K. Kuromoto and C. M. Lepienski: *J. Mat. Sci; Mat. Med.*, **25**(2014), 2265–2275.
- (48) H. Habazaki, M. Uozumi, H. Konno, K. Shimizu, P. Skelton and G. E. Thompson: *Corros. Sci.*, **45**(2003), 2063–2073.
- (49) Z. J. Liu, X. Zhong, J. Walton and G. E. Thompson: *J. Electrochem. Soc.*, **163**(2016), E75–E82.
- (50) R. N. Wenzel: *J. Phys. Colloid Chem.*, **53**(1949), 1466–1467.
- (51) D. J. Langton, S. S. Jameson, T. J. Joyce, J. N. Gandhi, R. Sidaginamale, P. Mereddy, J. Lord and A. V. F. Nargol: *J. Bone Joint Surg. Br*, **93**(2011), 1011–1016.
- (52) M. Bryant, M. Ward, R. Farrar, R. Freeman, K. Brummitt and J. Nolan: *A. Nevill, Wear*, **301**(2013), 226–233.
- (53) H. S. Hothi, A. K. Matthes, R. Berber, R. K. Whittaker, J. A. Skinner and A. J. Hart: *J. Arthroplast*, **29**(2014), 1313–1317.
- (54) T. C. Gascoyne, R. M. Dyrkacz, T. R. Turgeon, C. D. Burnell, U. P. Wyss and J. M. Brandt: *J. Arthroplast*, **29**(2014), 2049–2052.
- (55) H. S. Hothi, R. Berber, A. C. Panagiotopoulos, R. K. Whittaker, C. Rhead, J. A. Skinner and A. J. Hart: *Inter. Orthopaedics*, **40**(2016), 2247–2254.
- (56) K. C. Ilo, E. J. Derby, R. K. Whittaker, G. W. Blunn, J. A. Skinner and A. J. Hart: *J. Arthroplast*, **32**(2017), 1679–1683.
- (57) G. C. McKay, R. Macnair, C. MacDonald and M. H. Grant: *Biomater.*, **17**(1996), 1339–1344.
- (58) I. Polyzois, D. Nikolopoulos, I. Michos, E. Patsouris and S. Theocharis: *J. Appl. Toxicol*, **32**(2012), 255–269.
- (59) Q. Chen and G. A. Thouas: *Mater. Sci. Eng.*, **R87**(2015), 1–57.
- (60) D. Bijukumar, A. Segu, J. Souza, X. J. Li, M. Barba, L. Mercuri, J. Jacobs and M. Mathew: *Nanomedicine*, **14**(2018), 951–963.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1987年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了 (工学博士)
 1987年 株式会社新日本製鐵
 1993–1995年 Cambridge University 客員研究員
 1999年 東北大学金属材料研究所助教授
 2006年– 現職
 専門分野：金属組織学
 ◎相平衡や拡散を駆使した組織制御に取組み，エネルギー材料・環境材料・生体材料等の研究を行うと共に，産学官連携活動に従事。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



正橋直哉

教員養成系大学・技術専攻での材料教育と 形状記憶合金を用いた中学校・技術科教材の開発

北村 一 浩*

1. 教員養成系大学(技術専攻)での材料教育

我が国の教員養成は、昭和24年(1949)の新制大学発足と同時に、教育学部などの教員の養成を主な目的とする学部以外でも、教職課程を追加的に履修し、所定の単位を取得すれば、教員免許状を取得できる制度(開放制)に変更された。この制度のもとで、様々な大学・学部で教職課程が設置され、さらに昭和41年(1966)には各都道府県に教員養成を目的とする国立の大学・学部(教員養成系大学)が設置された。このような国立大学は、初等中等教育分野等の教員養成において、主要な役割を果たしている⁽¹⁾。現在、国立の教員養成系大学・学部は44大学44学部設置されており、その中で愛知教育大学は、東海地区唯一の教育大学として毎年700名以上の学生を教員として社会に送り出している。本学では、各教科に教科教育学(各教科の指導法)と教科内容学⁽²⁾が置かれている。筆者が所属する技術専攻では、教科教育学として「技術科教育」、教科内容学として「木材加工・金属加工・機械・栽培・情報」の6つの学修領域が置かれており、筆者は機械の教科専門教員として、機械分野の「機械工学概論」、「材料力学」、「原動機」、「機構学」、「機械要素力学」、「機械実験」の授業を担当している。金属加工の内容では、「金属加工法Ⅰ」(1年生後期・必修)、「金属加工実習Ⅰ」(1年生前期・必修)、「金属加工法Ⅱ」(2年生後期・必修)、「金属加工実習Ⅱ」(2年生後期・選択)、「金属加工法Ⅲ」(3年生後期・選択)、「金属加工演習」(4年生前期・選択)、「製図Ⅱ」(2年生後期・選択)の7科目が置かれている⁽³⁾。筆者はこの中で、「金属加工法Ⅱ」と「金属加工実習Ⅱ」の講義・実習を担当している。材料教育は特に「金属加工法Ⅱ」の講義の中で行っている。

2. 技術専攻で行われている金属加工分野の講義・実習の紹介⁽³⁾

「金属加工法Ⅰ」で主に行われ、材料各論をふまえ、旋盤加工、フライス加工、研削加工、鋳造、塑性加工、溶接など、幅広い内容の授業を行っている。「金属加工実習Ⅰ」では、金属の板金加工(四角く浅い皿状の器、ブックエンド、キーホルダー、自由課題)の実習を行っている。「金属加工法Ⅱ」では、授業の最初の部分で、金属材料、結晶学、鋼の熱処理試験方法などの金属加工法Ⅰで扱わない専門的な内容を扱い、その後、工作機械による金属加工について扱う。「金属加工実習Ⅱ」では、はじめに金属加工の歴史と必要性を扱い、その後、旋盤を用いた「ミニジャッキの製作」(図1)を行う。実習では、旋削加工を中心に、穴あけ、ねじ切り、研磨を行い、ミニジャッキを完成させる。

3. 大学祭などを通じた材料教育の取り組み

技術専攻・北村研究室では、平成29年(2017)から、材料の魅力を一一般の方に知っていただくために、本学の大学祭に出展し、その成果は日本金属学会秋期講演大会中に行われるWorld Materials Day Awardにおいて発表している。

平成28年(2016)の出展では、「形状記憶合金って知ってますか?」と題して、形状記憶合金を用いた教材の展示を行った(図2)。

平成29年(2017)の出展では、「愛知教育大学技術科の大学祭での取り組み「ものづくり教室を紹介します」」と題して、その取り組みを紹介した(図3)⁽⁴⁾。その内容を以下に示す。愛知教育大学技術専攻では、地域の小中学生を対象に、「ものづくり教室」を行っており、「オリジナルキーホルダーを作ろう」(図4)、「フルフル発電機を作ろう」(図5)、「マイ

* 愛知教育大学教育学部；教授(〒448-8542 刈谷市井ヶ谷町広沢1)

Materials Education at Normal Universities and Technical Courses and Development of Teaching Materials for Junior High School Technology Education Using Shape Memory Alloy; Kazuhiro Kitamura(Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: materials education, normal university, teaching materials, technology education, shape memory alloy

2019年11月6日受理[doi:10.2320/materia.59.92]



図1 金属加工実習Ⅱで製作するミニジャッキ.



図4 オリジナルキーホルダーの外観.



図2 「形状記憶合金って知ってますか？」発表風景.



図5 フルフル発電機の外観.



図3 「ものづくり教室を紹介します」発表風景.



図6 マイマグネットの外観.

マグネットを作ろう」(図6), 「形状記憶合金で熱エンジンを作ろう」(図7)の4テーマがある. 北村研究室が担当の「形状記憶合金で熱エンジンを作ろう」では, 大小2つのプーリー間に, 環状につなげた形状記憶合金ワイヤを配置し, 小プーリーを湯につけることで, プーリーが回るものづくりを行っている⁽⁵⁾.

平成30年(2018)の発表では, 「「ちゅうぞう」って知っていますか?」の内容で, 3Dプリンタで造形した原型を元に, 紙粘土で型を作り, Sn-Bi系の低融点金属を流し込むことで, 铸造品を作製する取り組みを紹介した(図8)⁽⁶⁾.

令和元年(2019)は, 「動け! 私のものづくり」と題して, 大学祭で行われたものづくりイベントの内容を紹介した(図9). 内容は, 本学の大学祭で行った「3Dプリンタペンと形状記憶合金を使ったものづくり」(図10)であり, 3Dプリン



図7 形状記憶合金を使った熱エンジン.

タペン(3Dペン)で作った作品に, あらかじめ直線形状に記憶された形状記憶合金と底板を接着し, おもちゃを完成させる. 完成したおもちゃは, ドライヤで加熱することにより起き上がり, 加熱をやめると倒れる. この「ものづくり」を通して形状記憶合金の魅力を発信した.



図8 「「ちゅうぞう」ってしていますか？」発表風景.



図9 「動け！私のものづくり」発表風景.

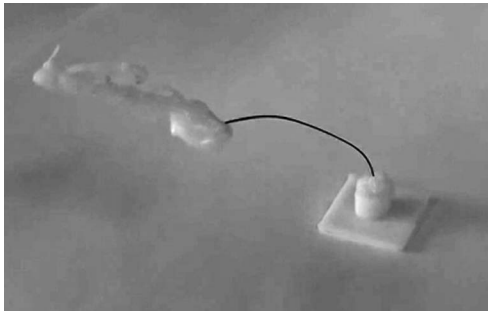


図10 「動け！私のものづくり」で実践した製作品.

4. 形状記憶合金を用いた中学校・技術科教材の開発

平成29年度告示の文部科学省学習指導要領 中学校技術・家庭科(技術分野)では、「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」の4つの教育内容が示されている。

これらの教育内容のうち、「A 材料と加工の技術」の中の、「(3)これからの社会の発展と材料と加工の技術の在り方を考える活動などを通して、次の事項を身に付けることができるように指導する」の「イ 技術の評価し、適切な選択と管理・運用の在り方や、新たな発想に基づく改良と応用について考えること」では「新素材や新たな加工技術が用いられた製品を、生活における必要性、価格、製造・使用・廃棄の各場面における環境に対する負荷、耐久性等の視点から調

査したり、木材などの再生産可能な材料の利用を増やすことが社会や環境に与える影響について検討したりするなど、研究開発が進められている新しい材料と加工の技術の優れた点や問題点を整理し、より生活や持続可能な社会の構築という観点から、適切な選択、管理・運用の在り方について話し合わせ、利用者と開発者の両方の立場から技術の将来展望について意思決定させて発表させたり、提言をまとめさせたりする活動が考えられる。」とある⁽⁷⁾。学習指導要領からも、形状記憶合金を、新材料の教材として適用することが可能であることがわかる。また、形状記憶合金は、東京書籍の中学校技術・家庭(技術分野)の教科書の中の「材料の加工法」の章、「材料の基本的な性質を調べよう」の節に紹介されている⁽⁸⁾。

「C エネルギー変換の技術」では、「(1)生活や社会を支えるエネルギー変換の技術について調べる活動などを通して、次の事項を身に付けることができるように指導する。」の、「ア 電気、運動、熱の特性等の原理・法則と、エネルギーの変換や伝達等に関わる基礎的な技術の仕組み及び保守点検の必要性について理解すること。」では、「エネルギーの変換、効率及び損失の意味、電気に関わる物性、電気回路及び電磁気特性、機械に関わる運動、熱及び流体の特性等のエネルギー源から電気エネルギーや力学的エネルギーへの変換方法、電気エネルギーの供給と光、熱、動力、信号等への変換方法、力学的エネルギーの多様な運動の形態への変換と伝達方法等の基礎的なエネルギー変換の技術の仕組みと、それを支える共通部品や製品規格等の役割について理解することができるようにする。」とある⁽⁷⁾。このことから、形状記憶合金がエネルギー変換分野の教材として適用可能であると確信した。

5. 形状記憶合金学習キットの概要

今回共同開発した形状記憶合金学習キットは、愛知県大府市の企業との共同で、2018年10月から、筆者と北村研究室の大学院修士1年生1名、学部3年生3名が2週間に1回程度ミーティングを行い企画段階から開発に関わった。また、学生の教育実習の経験から、子供達に受け入れられそうな学習キットの提案を行った。さらに、毎年11月に愛知教育大学行われる「科学・ものづくりフェスタ」でアンケートを実施し、子供のニーズを把握した。これらの結果を基に、以前ものづくり教室で製作していた「形状記憶合金を用いたおもりが上下するおもちゃ」(図11)を発展させて、学習キットを作る事が開発会議で決まった。共同開発の成果として2019年5月、形状記憶合金学習キット「動け宇宙」が発売された(図12)。形状記憶合金の学習キットとしては、「記憶マン」⁽⁹⁾、「マジック風車」⁽¹⁰⁾、「形状記憶合金実験セット」⁽¹¹⁾などが発売されているが、形状記憶合金を用いた、おもりが上下するキットは発売されていない。

本キットは形状記憶合金でできたバネに通電を行うことで、バネにつけられたおもりがユーモラスな動きをする。本教材の動作の仕組を(図13)に示す。ここで、図中の①は形状記憶合金バネが冷却状態、②は通電加熱状態、③は加熱状態

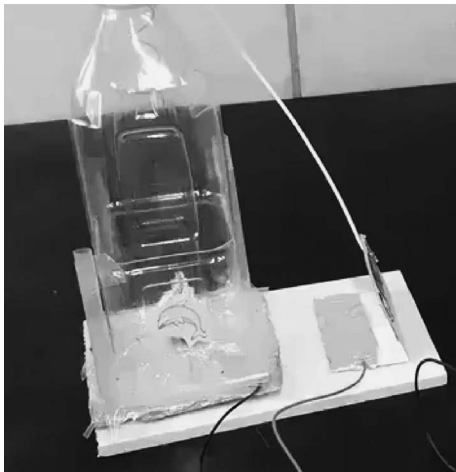


図11 形状記憶合金を用いた、おもりが上下するおもちゃ。



図12 形状記憶合金学習キット「動け宇宙」。

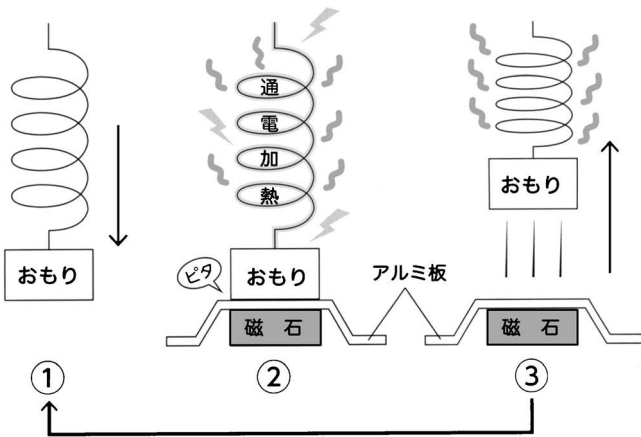


図13 形状記憶合金学習キットが動く仕組み⁽¹²⁾。

を示している。本キットには、形状記憶合金バネ、おもり、電池ボックス、電線が入っている。形状記憶合金バネにはおもりが取り付けられ通常では伸びた状態になっており、電線と接続した磁石にくっつくようになっている(図中①)。おもりが磁石にくっつくと電流が流れ、形状記憶合金バネを通电加熱する(図中②)。通电加熱により形状記憶合金バネが逆変態温度以上となることによりバネに縮む力が発生し、おもりが磁石から離れバネが縮む(図中③)。バネが縮むと電気が切れてバネが冷え、おもりの重さで再びバネが伸びる(図中①)。バネが伸びるとまた磁石にくっつきバネが加熱される(図中②)。これが繰り返されることによりバネが伸び縮みし、ぴょんぴょん飛ぶような面白い動きが生み出される仕組みとなっている⁽¹²⁾。

6. おわりに

本稿では、教員養成系大学・技術専攻で行われている材料教育の紹介、大学祭などでの材料の魅力を社会に発信する取り組み、及び中学校技術・家庭(技術分野)の教材として適用可能な「形状記憶合金学習キット」を紹介した。本稿により、教員養成系・技術専攻で行われている材料教育と、形状記憶合金を応用した教材についての理解が深まれば幸いである。

文 献

- (1) 文部科学省：国立教員養成大学・学部、大学院の概要、http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/077/gijiroku/_icsFiles/afieldfile/2016/09/21/1377405_8_1.pdf.
- (2) 福田景道：島根大学教育学部紀要，**45**(2012)，19-25.
- (3) 北村一浩：愛知教育大学技術教育研究，**4**(2017)，8-13.
- (4) 大島幹尖，伊藤拓己：まてりあ，**57**(2018)，263.
- (5) 日本機械学会，日本産業技術教育学会 編：こんなものまでつくれるの？—身近な材料を使ったものづくり—，技報堂出版，(2006)，60-61.
- (6) 唐田裕介：まてりあ，**58**(2019)，158.
- (7) 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編(2017)，1-41.
- (8) 加藤幸一，永野和男他：文部科学省検定済教科書 新しい技術・家庭 技術分野，東京書籍，(2011)，33.
- (9) 吉見製作所：記憶マン，<https://www.yoshimi-inc.co.jp/pdf/記憶マン.pdf>.
- (10) 左巻健男，赤羽根充男，池田圭一，櫻井昭三：科学実験キット&グッズ大研究，東京書籍，(2005)，100-101.
- (11) 高木誠利，野村光宏，智田聡丞，深山武，みはる：理科学教材キットで工作と実験を楽しむ本，(2011)，102-105.
- (12) 吉見製作所：形状記憶合金 LABO①動け宇宙形状記憶合金ってなんだ製作説明書(2019)，2.



北村一浩

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 2000年 3月 筑波大学大学院工学研究科博士課程修了
 2007年 4月 国立長野工業高等専門学校 機械工学科
 准教授
 2009年 4月 愛知教育大学 教育学部 技術教育講座
 准教授
 2015年 4月- 現職
 専門分野：技術教育，形状記憶合金，相変態
 ©中学校技術科向けの教材開発と，Ti-Ni 形状記憶合
 金の特性評価・応用研究を行っている。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

亜鉛ダイカスト金型用アモルファス炭素膜の開発

水林 舞¹⁾ 櫻木卓也²⁾ 渡邊直樹³⁾

1. 開発の背景

ダイカストはアルミニウム、マグネシウム、亜鉛、銅などの溶融合金を精密な金型の中に圧入し、高精度で铸肌の優れた铸物を短時間にハイサイクルで生産する铸造技術として、産業の発展とともに拡大してきた。亜鉛合金はアルミニウム合金に次いで多く利用されている。亜鉛合金の特徴は耐衝撃性に優れ、めっきがつけやすいことが挙げられる。ダイカストの铸造条件は他の铸造方法と比較し高圧かつ高速射出のため、金型表面には過酷な铸造条件に耐えうる耐溶損性、耐磨耗性、耐ヒートチェック性などが要求され、金型寿命を向上させるための技術が開発されている。また近年薄肉化や複雑形状铸物への展開が進められている中、铸物内部のブローホール、铸物表面のふくれ、湯じわ、湯境などの欠陥、そして金型表面の焼付き等の課題対策として金型温度を上げることが有効であることはよく知られている。しかし金型温度を上昇させることは、金型の焼付きを促進させることになり、溶湯の急冷が抑制されるため凝固が遅延し湯回りがよくなり、ばりの発生や溶損など金型破損を引起こす要因になる。そのため金型表面の焼付きは実操業において未だ大きな課題である。焼付きが進行すると铸物の肌荒れが深刻になり铸物側に欠肉が発生するため、定期的なアルカリ或いは酸による金型洗浄が行われるが、これらの溶剤による金型洗浄は金型自体に損傷を与え金型寿命を短くする要因にもなっている。

本研究では、まず亜鉛ダイカスト(ZDC1)の焼付きによって亜鉛付着を引き起こす因子を明らかにし、その対策として金型に硬質保護膜を施した。硬質保護膜として弊社独自のアモルファス炭素膜(a-C膜)を開発した。次に、窒化処理金型とa-C膜を成膜した金型の特性について比較し、a-C膜が

亜鉛付着を抑制するメカニズムを明らかにした。最後に開発したa-C膜による金型洗浄回数の低減効果を確認した。

2. 金型における亜鉛付着メカニズム

亜鉛合金ダイカストにおける焼付きの原因と進展メカニズムを明らかにするため、汎用技術である窒化金型を用いてダイカスト試験を行った。使用した金型と亜鉛付着が観察された箇所を図1に示す。比較的低温の環境下で発生する亜鉛合金と金型鋼材との界面反応物の生成に着目し、金型の断面を透過型電子顕微鏡(TEM)にて観察した(図2)⁽¹⁾。

観察の結果、亜鉛付着層の総厚さは10~15 μmで図2の元素マッピングから付着層の下層は、Fe、Al、Znからなる酸化層が形成されていることが観察された。薄膜酸化層の下層に鋼材由来のFeが観測されていることから、酸化層に含有されるFeは鋼材からの拡散によるものであることが確認された。

図1で確認されるダイカスト後の窒化金型表面の観察か



図1 ダイカスト後の可動型表面の観察像。

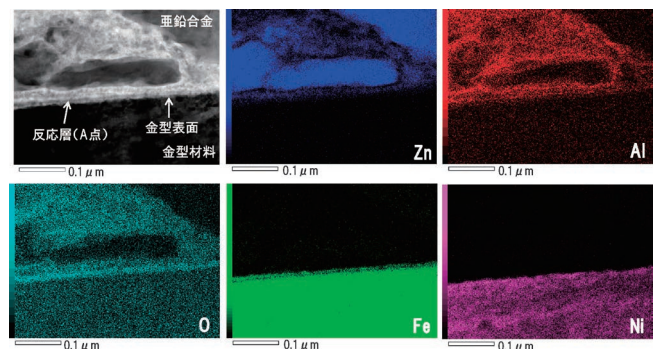


図2 ダイカスト後の窒化金型表層のTEM解析結果。

* YKK株式会社 工機技術本部 分析・解析センター；
1)PJ マネージャー 2)専門役員 工機技術本部 分析解析技術担当 3)エンジニア
Development of Amorphous Carbon Films for Zinc Die Casting Molds; Mai Mizubayashi, Takuya Sakuragi and Naoki Watanabe (YKK CORPORATION, Machinery and Engineering Group)
2019年10月31日受理[doi:10.2320/materia.59.96]

ら、特に領域Aの付着が著しい。一方、鋳物表面の温度分布をシミュレーションにより予測した結果、領域Aは必ずしも高温ではないことが確認できた(図3)。そこで、亜鉛付着を促進する原因を探るため走査型電子顕微鏡(SEM)による観察を行った結果、領域Aでダイカスト工程の鋳造欠陥である二重乗り欠陥を確認した(図4)。二重乗り欠陥は急冷凝固により鋳物表面に緻密な組織のチル層が発生し、母材層は結晶粒径が大きく、異なる組織をもつ層が不連続に接触する鋳造欠陥である。このチル層は鋳物が金型から離型される際、金型表面に付着するため亜鉛付着の要因となり、鋳物表面は逆に欠肉となって現れることがよく知られている⁽²⁾。

以上のことから、金型の亜鉛付着対策として前述の薄膜酸化層の抑制と併せて二重乗り欠陥の抑制も重要である⁽¹⁾。製造工程では、ダイカスト後の鋳物は研磨、めっき工程を経て製品化される。しかしながら二重乗り欠陥がある場合、研磨工程で外力によりチル層と母材層の不連続面にクラックが発生する(図5)。そのクラックにめっき工程での薬液が侵入し置換反応により水素ガスが発生し、図6に観察されるようなふくれ欠陥が発生する。このように、二重乗り欠陥は亜鉛付着を促進するだけでなく製品の品質にも悪影響を及ぼすことが知られている。

3. 亜鉛ダイカスト用 a-C 膜の開発

亜鉛付着の対策として a-C 膜に着目した。a-C 膜は低摩擦係数、高硬度、化学的安定性、そして酸素や窒素に対するガスバリア性等の優れた特性を持つことが知られている。我

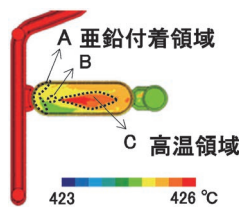


図3 可動型側鋳物表面の温度分布。

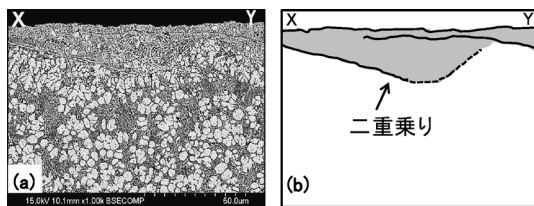


図4 窒化金型で鋳造した鋳物の断面観察。(a)SEM断面観察像 (b)模式図

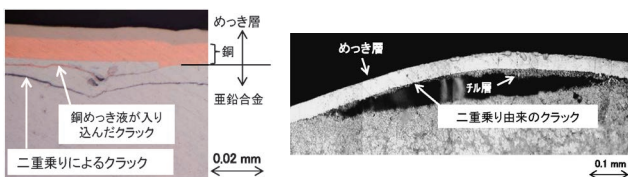


図5 鋳物の断面観察。図6 二重乗り由来フクレの観察像。(a)フクレ外観 (b)フクレの断面観察像

々は、ダイカスト金型専用膜として高圧射出に対する耐久性を上げるため成膜温度とバイアス条件の改良を行い、金型との密着性を向上させた。図1と同様のダイカスト試験を行い、非接触式粗さ計を用い亜鉛付着量を測定した結果、開発した a-C 膜において亜鉛付着の抑制効果が確認された(図7)。a-C 膜金型において薄膜酸化層の生成が抑制されていることを確認するため、図1で示される金型の領域Bに対して透過型電子顕微鏡(TEM)による構造解析を行った(図8、図9)。窒化金型は金型最表面に Al, Zn, Fe 等から成る酸化層を形成しており、金型最表面下に厚さ10~20 nm の Fe, Zn, Al からなる薄膜酸化層を確認した。一方 a-C 膜金型の最表面は僅かに Zn 酸化物の生成が観測されるものの Al, Zn, Fe の酸化層は確認されなかった(図9)⁽³⁾。5千、10万ショットまで鋳込んだ金型の拡散元素の相対比較を行うため、二次イオン質量分析法(SIMS)測定を行い、二次イオン強度を棒グラフで示した(図10)。窒化金型と比較し、a-C 膜金型は Fe, Al, Zn は殆ど観測されず、金型最表面下の薄膜酸化層の生成を抑制していることが確認された。更に a-C 膜は窒化金型と比較して断熱性が向上するため、急冷凝固が抑制され a-C 膜金型で製造した鋳物表面には二重乗りが形成されることがわかった(図11)。

この結果より、a-C 膜型が薄膜酸化層の生成を抑制し、製品の二重乗り生成も防ぐ対策であることを示唆している。

窒化金型及び a-C 膜金型に亜鉛が付着した反応層の模式図を図12に示す。窒化金型では亜鉛付着層の下部と金型最表面下に Al, Zn, Fe の薄膜酸化層が生成され、亜鉛合金の Al が鋼材に鋼材の Fe が亜鉛付着層内に拡散する相互拡散が発生する(図12(a))。一方、a-C 膜金型では亜鉛付着層は図7の実験で確認されるように 1 μm 以下で、a-C 膜下の鋼材

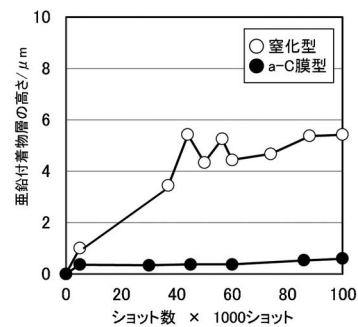


図7 図1A部における亜鉛付着物高さの経時的変化。

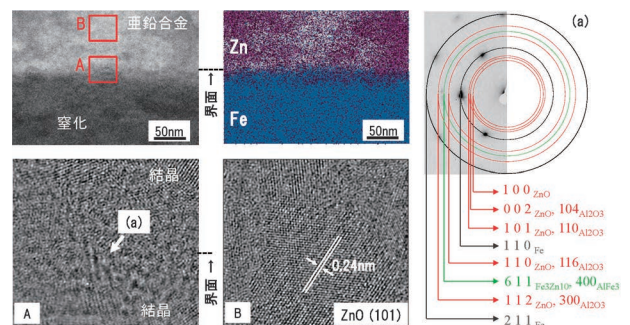


図8 亜鉛合金と窒化金型界面のTEM解析結果。

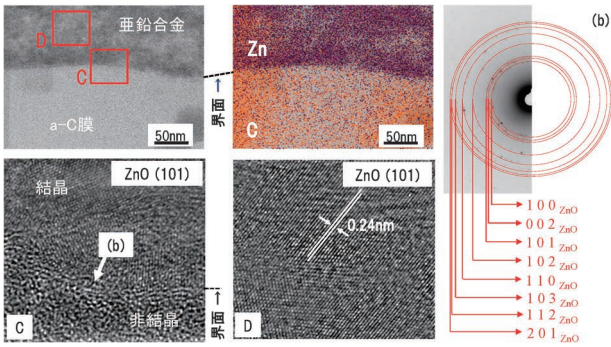


図9 亜鉛合金とa-C膜金型界面のTEM解析結果.

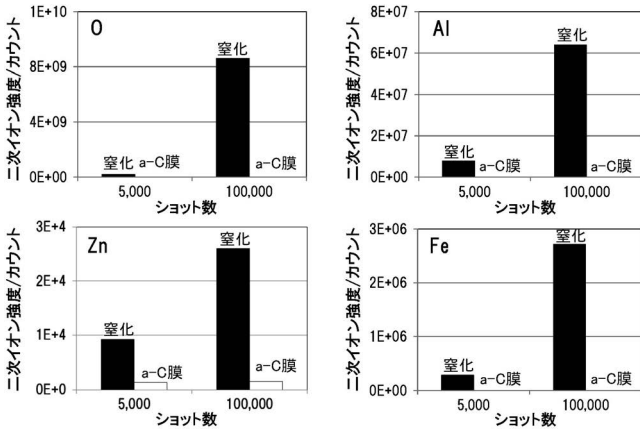


図10 金型界面におけるSIMS点分析の結果.

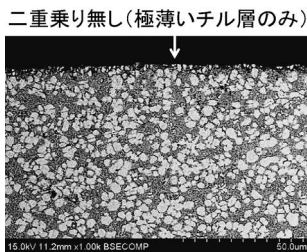


図11 a-C膜金型で铸造した铸物の断面観察.

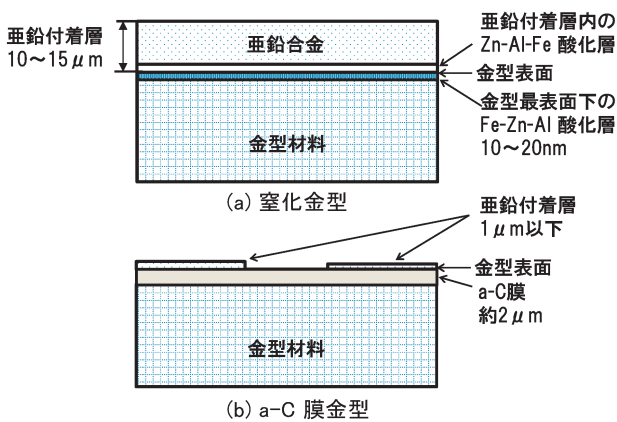


図12 反応層の模式図.

表1 フクレ発生率 (%) 表2 亜鉛付着由来マシン停止時間.

窒化金型	a-C膜金型
1.0	0.2

経過日数	金型洗浄時間/hr	
	窒化金型	a-C膜金型
1日	2.0	0.0
2日	0.9	0.0
3日	1.5	0.0
4日	0.9	0.0
5日	0.9	0.0
計	6.2	0.0

無洗浄
運転

内には Al, Zn, Fe の酸化層は生成されない(図12(b)).

4. a-C膜による铸物品質と生産性向上

窒化金型とa-C膜金型を用いて铸造した铸物品質を確認するため、二重乗り由来のフクレ不良率を比較した(表1).

フクレ不良率はめっき処理後の製品1千個の抜き取り検査を行った. その結果、a-C膜金型のフクレ率は窒化金型の5分の1であった. 次に、亜鉛付着した金型を洗浄するためにダイカストマシンを停止した時間を比較した(表2). 窒化金型は平均1.24時間/日停止し、5日間で6.2時間の停止が確認された. 一方、a-C膜金型は亜鉛付着の抑制により金型洗浄によるダイカストマシンの停止はなかった. 金型洗浄回数低減によるダイカストマシンの停止はなかった. 金型洗浄回数の低減は洗浄薬品由来による金型の損傷の抑制にも効果があることが確認されている. 以上の結果から、本研究で開発したa-C膜は铸物品質、金型寿命の向上、ダイカストマシンの生産効率の観点から非常に有効な技術であることが確認された(4).

5. 総括

本研究で得られた知見を以下にまとめる.

1. 亜鉛合金(ZDC1)ダイカストの焼付きによって亜鉛付着を引き起こす因子を明らかにし、抑制対策として独自のa-C膜を開発した.
2. 窒化金型とa-C膜金型の特性について比較し、a-C膜が亜鉛付着を抑制するメカニズムをTEMによる構造解析、二次イオン質量分析より明らかにした.
3. a-C膜金型のフクレ欠陥率低減と金型洗浄回数低減によるダイカストの生産性向上効果を確認した.

文献

- (1) M. Mizubayashi, T. Sakuragi, N. Watanabe, T. Kurokawa, I. Nakayama, K. Matsuda and M. Nose: J. JFS, **89**(2017), 174-181.
- (2) D. Fuwa, T. Sakuragi, M. Mizubayashi, M. Kobayashi and T. Katsumi: Mater. Trans., **60**(2019), 793-801.
- (3) M. Mizubayashi, T. Sakuragi, N. Watanabe, K. Matsuda and M. Nose: Mater. Trans., **58**(2017), 1695-1701.
- (4) M. Mizubayashi, T. Sakuragi, N. Watanabe, M. Ishida, K. Matsuda and M. Nose: Program book of ICMCTF2019, G2-FrM1, San Diego, U.S.A., 20, May (2019), 122.

過酷環境下で測定可能な 水素センシング技術の開発

木村 浩隆¹⁾ 鈴木 譲²⁾ 湯川 宏^{**}

1. はじめに

(1) 背景

水素燃料電池自動車(FCV)やFCフォークリフトなど、水素を燃料とするモビリティの普及とともに、水素センサへの新たなニーズが高まっている。例えば、FCセルスタック内の水素濃度の分布(60~100%)の測定や、FCVの水蒸気を含む排気ガス中の水素濃度(~10%程度)を直接測定できるセンサが望まれている。

一方、医療分野では心拍停止患者に水素ガスを吸入させる臨床試験が行われている⁽¹⁾。また、水素を溶存させた保存液に移植用の臓器を保存したり⁽²⁾、透析液に水素を添加する⁽³⁾など、新しい水素医療の試みが進められている。後者の場合には保存液や透析液の水素濃度を測定して管理する必要がある。

従来の水素センサでは、水素ガスに対しては接触燃焼式、半導体式、気体熱伝導式などがあるが、高濃度の水素を精度良く測定することが難しく、場合によっては暴露後に復帰できないこともある。また、水蒸気を含むガスを直接測定することが出来ないなどの課題があった。

一方、液中の水素に対しては、隔膜式ポーラログラフ方式や酸化還元電位方式などがあるが、基本的に純水のみを対象としている。また、測定のために水素を消費するので多量のサンプルが必要である。そこで我々は水素のみを選択的に透過させる水素透過金属膜の機能を活用した濃淡電池式水素センサ素子の開発を進めてきた。これまでに水素透過膜の材質やセンサ構成について検討を重ね、耐久性、検出速度などの

改善を行ってきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本水素センサ素子は水素選択性や応答性に優れ、広いレンジアビリティを有している。この特徴を活用して、水蒸気を含む環境、高濃度水素ガス環境、液中環境など、センサにとって過酷な環境でも水素濃度が測定可能な新しい水素センシング技術の開発を行った。

(2) 原理

図1に本センサの基本構成を示す。本水素センサはPd系の水素透過金属膜からなる試料極と標準極、および電解液から構成されている。電解液にはプロトンが反応に寄与する物質であればプロトン伝導性の固体電解質でも良い。

試料極に水素を負荷すると、水素透過膜に吸着・解離し、溶解・拡散機構により原子状水素が電解液との界面まで到達する。この反応は、界面における水素原子のポテンシャルが、測定対象の水素分圧に相当する水素ポテンシャルになるまで進行し、最終的に試料極の表と裏で部分平衡状態となる。この時、標準極および試料極の水素ポテンシャルに相当する水素分圧をそれぞれ $P_{H_2}^{\circ}$ 、 P_{H_2} とすれば、理論起電力 E は以下のNernstの式で与えられる。

$$E = E_0 - \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{P_{H_2}}{P_{H_2}^{\circ}} \right) \quad (1)$$

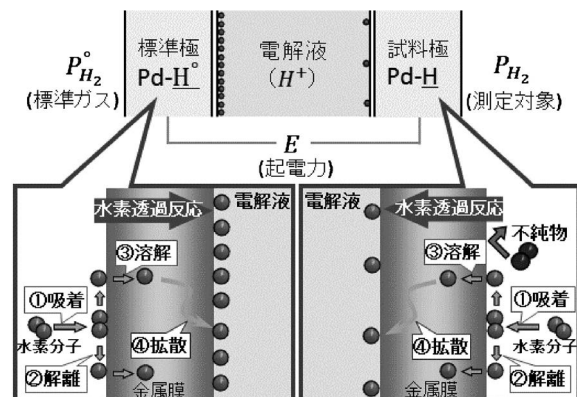


図1 濃淡電池式水素センサの基本構成。

* 株式会社鈴木商館；

1)技術部 エンジニアリング課 リーダー 2)顧問

** 名古屋大学大学院工学研究科；助教

Development of Hydrogen Sensing Technology for Severe Environments; Hiroataka Kimura*, Jo Suzuki* and Hiroshi Yukawa**(*Suzuki Shokan Co., Ltd.. **Nagoya University)

2019年10月31日受理[doi:10.2320/materia.59.99]

ここで、 R は気体定数、 T は絶対温度、 F はファラデー定数である。本センサでは、起電力の出力値から式(1)に基づいて試料極に負荷した水素分圧を算出している。

起電力の測定に、内部抵抗が極めて大きい回路を用いれば、2つの電極間には電流はほとんど流れない。従って、電解液もしくは固体電解質はプロトン伝導率が低い材料を用いても良い。また、水素透過金属膜の試料極に僅かに固溶する水素の他には、測定中に水素をほとんど消費しないため、多量のサンプルを準備する必要はない。

(3) 水素センサの出力について

純窒素と純水素をマスフローコントローラにより、水素濃度が10~100%となるよう混合し、室温(25°C)にて測定を行った。また、ガスクロマトグラフを用いて混合ガス中の水素濃度を測定し、本水素センサの出力の理論値と実験値の比較を行った。

センサ出力は標準極と試料極間に生じる起電力が一定になった時を平衡と考え、測定対象の水素分圧における平衡電位とした。標準極と試料極間に生じる起電力はポテンショスタット(株式会社研製 PS-08)にて測定した。

測定した結果を図2に示す。本実験では標準極に参照ガスとして純度99.99%の水素ガスをフローさせ、試料極に水素ガスだけを吹き付けた時の出力を E_0 とし、 $E-E_0$ からNernstの式を用いてセンサ出力の理論値を求めた。図2に示すように広い濃度範囲で水素センサの出力は理論値と良く一致している。また、~100%の高濃度の水素環境下でも測定が可能であることが確認された。

2. 水蒸気を含むガス中での水素濃度測定

(1) 実験方法

水蒸気を含む過酷環境下におけるセンサ特性を評価した。測定の概念図を図3に示す。参照ガスには純度99.99%の水素ガスを用い、測定対象となるガスは純水素と純窒素をマスフローコントローラにより、水素濃度が5~100%となるよう混合した。この混合ガスを恒温水槽で60°Cに加熱した蒸留水中にバブリングさせ、水面直上に本水素センサを固定し、起電力 E の時間変化を記録した。このとき、60°Cにお

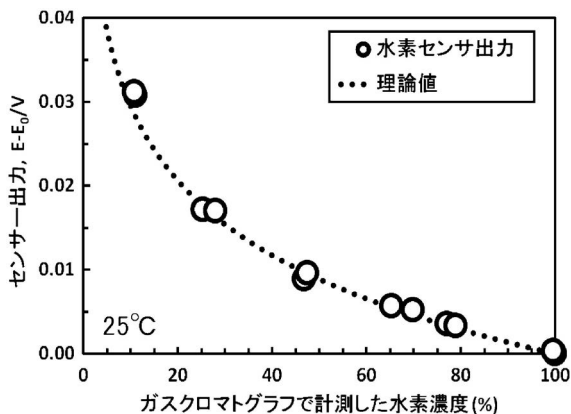


図2 水素濃度とセンサ出力の関係。

ける飽和水蒸気圧は約20 kPa(大気圧に対して約20%)である。

(2) 測定結果

測定した結果を図4に示す。本実験では水蒸気を含む混合ガス中にもかかわらず、5~100%の水素濃度の変化に追従して出力値が素早く応答していることがわかる。

また、100%の水素でバブリングしたガスに暴露した後でも、暴露前の各濃度の出力値に素早く戻っている。すなわち、高濃度水素の暴露による影響はほとんど見られず、水蒸気を含む高濃度水素の過酷環境下でも水素センサとして動作することが確認された。

3. 液体中の水素濃度測定

(1) 実験方法

測定概念図を図5に示す。蒸留水を三角フラスコに入れ、純水素をバブリングすることにより飽和水素水(約1.6 ppm)を作製した。溶液の合計が50 mlになるように蒸留水に飽和水素水を0.01~1.0 ml 加え、溶存水素濃度が0.3~32 ppbに相当する測定用サンプルを作製した。また、飽和水素水の測定も併せて行った。各サンプルをマグネティックスターラーで攪拌しながら、本センサを浸漬させ、ポテンショスタット

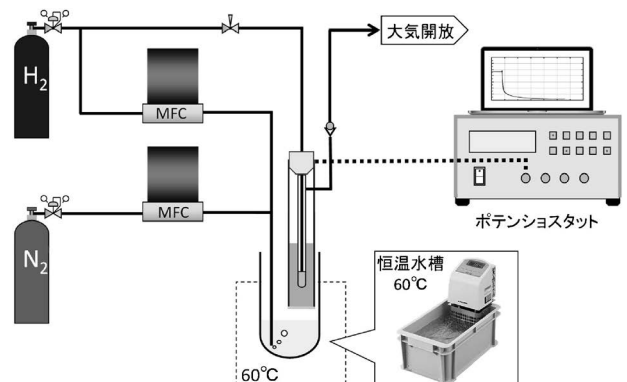


図3 水蒸気を含むガスの水素濃度測定の概念図。

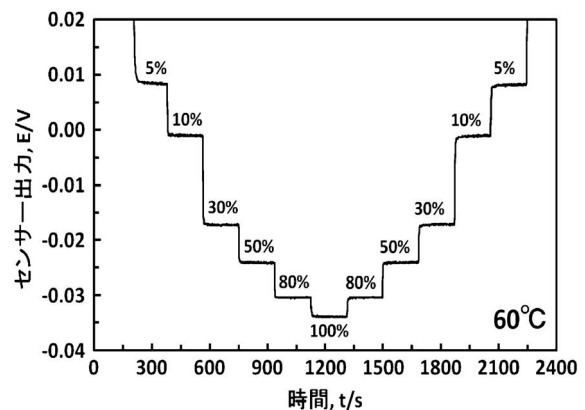


図4 水蒸気を含む混合ガス中での測定結果。
(※図中の数値はバブリング前の混合ガス中の水素濃度)

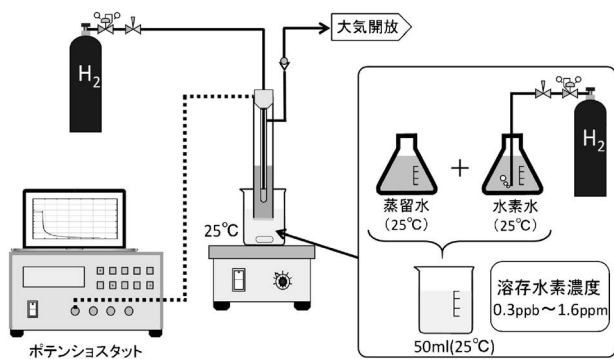


図5 液体中の溶存水素濃度測定概念図.



図7 ポータブル型水素濃度測定器(試作機).

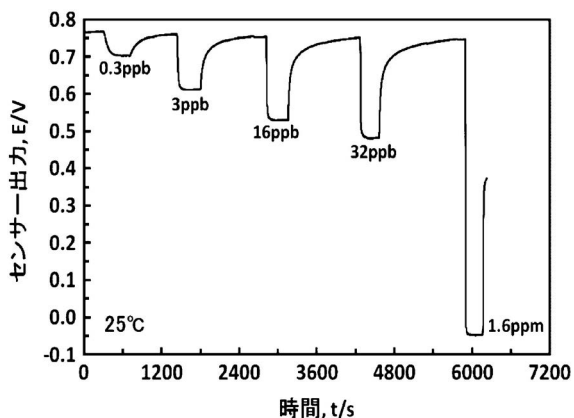


図6 液体中の水素濃度測定結果.

を用いて起電力 E の時間変化を記録した.

(2) 測定結果

図6に示すように、水素センサの出力値は溶存水素濃度に対応して変化しており、本センサを用いて液体中の溶存水素濃度も測定できることが確認された。特に0.3ppbに相当する極めて低い溶存水素濃度に敏感に反応していることは特筆すべきことである。また、1.6ppmという高濃度においても安定して測定可能であることが示された。このように、本水素センサは液体中の水素濃度測定にも幅広いレンジで優れた応答性を示した。

4. 開発の将来性、発展性

水素透過金属膜を利用した濃淡電池式水素センサ素子を試作し、センサにとって過酷な環境でも水素濃度を測定可能な水素センシング技術を開発した。本技術は、従来水素センサでは測定が難しいとされる100%水素を含む高濃度の水素ガスの測定、水蒸気を含むガス中での測定、液体中に溶存した希薄な水素濃度の測定などが可能であるなどの優れた特徴を有している。

この特徴を活かして、工業から医療に至るまでの幅広い分野での多様な利用を想定し、本技術を搭載した水素濃度測定器(図7)の試作を行っている。また、水素医療への応用を目指して、種々の液体への適用について検討を進めている。

5. 特 許

本開発の関連特許は、特許第6366408号を取得しているほか、2件を出願している。

文 献

- (1) 厚生労働省：先進医療B No.51「水素ガス吸入療法」
https://rctportal.niph.go.jp/s/detail/jr?trial_id=jRCTs031180352
- (2) K. Noda, N. Shigemura, Y. Tanaka *et al.*: J. Heart Lung Transplant., **32**(2013), 241-250.
- (3) M. Nakayama, N. Itami, H. Suzuki *et al.*: Sci. Rep., **8**(2018), 1-10.
- (4) 木村浩隆, 鈴木 譲, 湯川 宏: 水素エネルギーシステム, **43**(2018), 161-165.
- (5) 木村浩隆, 鈴木 譲, 湯川 宏: 日本金属学会2018年秋期講演大会概要集, (2018), No.P17.

連載「科学館めぐり」について

編集チーム 池尾直子¹ 石本卓也² 梅津理恵³ 北村一浩⁴
寺西 亮⁵ 徳永透子⁶ 野山義裕⁷ 春本高志⁸
盛田元彰⁹ 山本剛久¹⁰ 李 海文¹¹

日本全国には様々な科学館があり、それぞれの科学館で工夫を凝らした展示や体験学習などのイベントが行われています。また特定の分野に特化した科学館もあり、それらの展示の中には、会員の皆さんも知らないような専門的な内容も含まれています。本企画では、材料系の展示を中心に全国各地の材料系とかかわりのある科学館等を紹介し、それぞれの魅力を紹介します。今まで行ったことのある科学館でも、もう一度訪問すると新たな発見があります。本企画が、会員の皆様が地元の科学館に足を運ぶきっかけとなれば幸いです。



池尾直子



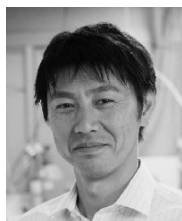
石本卓也



梅津理恵



北村一浩



寺西 亮



徳永透子



野山義裕



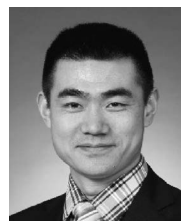
春本高志



盛田元彰



山本剛久



李 海文

世話人 1 神戸大学大学院工学研究科 2 大阪大学大学院工学研究科 3 東北大学金属材料研究所 4 愛知教育大学教育学部
5 九州大学大学院工学研究院 6 青森県量子科学センター 7 帝人ナカシマメディカル株式会社 8 東京工業大学物質理工学院
9 東京海洋大学学術研究院 10 名古屋大学大学院工学研究科 11 九州大学エネルギー研究教育機構
2019年12月2日受理[doi:10.2320/materia.59.102]

科学館めぐり

名古屋市科学館(名古屋市)

今回は、愛知県名古屋市中区の白川公園(芸術と科学の杜)内にある、名古屋市科学館を紹介する(図1)。本科学館は、プラネタリウムをメインとした「天文館」、物理・原理・技術といった内容を紹介する「理工館」、生命・生活・環境を紹介する「生命館」の3つの建物に分かれている。プラネタリウムは世界最大級となる直径35mのドームを持ち、ギネスブックにも登録されている。プラネタリウムでは、月ごとにテーマを替え、学芸員の方が自ら製作したプログラムを投射している。本科学館では、プラネタリウムに関して宇宙関係の展示も多く、H-IIB ロケットの開発試験に使われた機体と、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」与圧部の構造試験モデルが、屋外展示スペースに設置されている。その他、大型展示として、「水の広場」、「竜巻ラボ」、「放電ラボ」、「極寒ラボ」がある。「極寒ラボ」を有している科学館は少なく、本科学館の特徴である。「極寒ラボ」は、気軽にマイナス30°Cの世界を体験することができる。

「理工館」では、材料関係の内容が多数あり、本多光太郎博士らが1917年に発明したKS磁石鋼から発明され、増本量や白川勇記らが研究に加わった NKS 磁石の展示(図2)がある。

科学・材料分野の関連では、「原子の誕生」の展示があり、原子がどのような構造をしていて、いつ、どのように誕生したかを映像で紹介している。元素周期表の展示では、国際的に認められている118種類の元素について、タッチパネルで「元素周期表」と「周期律検索」の詳細を調べることができる。材料の「電気伝導」の展示では、色々な材料の電気抵抗を材料にテスト棒を当てる方法で電気抵抗の数値と音色が変わるようになっている。「熱伝導」の展示では、手で温めた材料の熱の伝わり方を、サーモカメラの映像を見て比べることができる。「材料の重さ比べ」では、縦・横・高さ10cmの大きさの14種類の材料を持ち上げて、重さを比べたり、自転車のスチール製フレームと、カーボン製フレームの重さの違いを体験できる。「金属とメッキ」の展示では、アルミニウム、ニッケル、マグネシウム合金、チタン・チタン合金、ニクロム、クロムメッキなどの展示がある。「金属疲労」では、6種類の金属板を繰り返し振動させ、金属疲労を起こさせる展示がある。「板バネの力比べ」では、色々な材料の上に金属ボールを落下させ、その弾み方を比べる展示がある。

鉄鋼関係の展示では、「大型船に使われる材料」として、高張力鋼と呼ばれる強い鉄についての展示がある。鋼板と鋼板をつなぐ技術である「溶接」についても展示を行っている。



図1 名古屋市科学館入口。



図2 NKS 磁石の展示。

機能材料の展示では、色々な動物の形に記憶した形状記憶合金を、バネで引っ張り形を崩した状態を作り、ドライヤーで形状記憶合金を温めることにより、元の形に戻る展示を行っている。

材料加工の展示では、材料に大きな圧力をかけて形をつくる「プレス」加工の展示がある。食器やカンズメなどもプレスによって作られる事を展示により示している。

今回は、「天文館」「理工館」を中心に紹介したが、生命・生活・環境を紹介する「生命館」にも興味深い展示が多数ある。名古屋市科学館は、会員の皆様に興味を持っていただける展示内容がたくさんあるので、ぜひ運んでいただきたい。

科学館で見つけた金属材料！「NKS 磁石」

磁石の強さは「残留磁束密度」(材料固有の磁石になりやすさの指標)と、「保磁力」(磁石のN, S極の向きを維持できる能力)で表します。「残留磁束密度」と「保磁力」の大きい鉄鋼材料のことを「磁石鋼」と呼びます。

1917年、東北帝国大学の本多光太郎博士と高木弘博士によって、コバルト・タングステン・クロム・炭素を含む強力な磁石鋼(KS鋼)が開発されました。このKS鋼は改良されて、1931年に東京帝国大学の三島徳七博士によって鉄・ニッケル・アルミニウム合金による強力なMK磁石が開発さ

れました。MK 磁石は、KS 鋼の 2 倍の保磁力を持っています。この科学館に展示されている NKS 磁石は、1934年、本多光太郎博士、増本量博士および白川勇博士によって発明されました。NKS 磁石は、鉄-ニッケル合金に、残留磁束密度を高めるコバルトと保磁力を高めるチタンを加えた合金で、KS 鋼の 4 倍近い保磁力を発揮する磁石鋼として開発されました⁽¹⁾。KS 鋼の世界一の保磁力の座を奪還した有名な磁石鋼です。NKS 磁石の記念切手が日本郵政公社から「科学技術&アニメーションシリーズ切手第 5 集」(テーマは力)のひとつとして発行されました。国立科学博物館所蔵の NKS 磁石鋼にコンピューターシミュレーションにより可視化した磁力線(旧 東北大学多元物質科学研究所 進藤大輔教授と院生 青山佳敬氏による)を描き入れたデザインです⁽²⁾。

文 献

- (1) 木村康夫：*铸造工学*, **69**(1997), 947-950.
- (2) (財)本多記念会・東北大学金属材料研究所友会：*まてりあ*, **43**(2004), 851-853.

(文責：愛知教育大学 北村一浩)

(2019年 5 月 7 日受理)[doi:10.2320/materia.59.103]

名古屋市科学館へのアクセス

- 地下鉄東山線・鶴舞線「伏見」下車, 4・5 番出口から徒歩 5 分
- 市バス「広小路伏見」下車徒歩 5 分
- 名鉄バス「白川公園前」下車徒歩 5 分



～美しい金属の写真～*

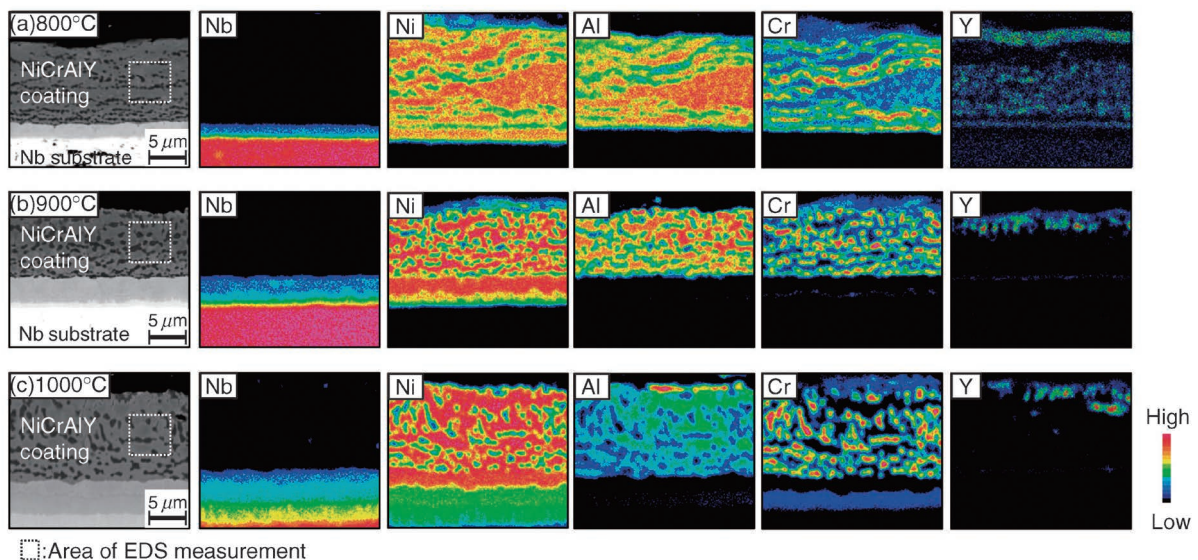
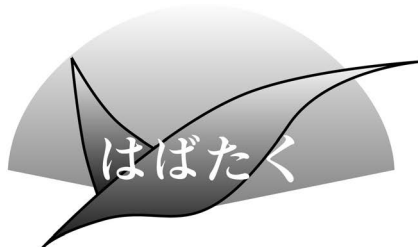


Fig. 2 Cross-sectional microstructures and element distribution maps of NiCrAlY coating on a Nb substrate after vacuum heat treatments at (a) 800°C, (b) 900°C, and (c) 1000°C.

<Shigeru Saito, Toshiyuki Takashima, Katsumi Miyama, Toshio Narita and Linruo Zhao: "Formation of Inter-Diffusion Layer between NiCrAlY Coating and Nb Substrate during Vacuum Heat-Treatment", *Mater. Trans.*, **56** (2015), 367-371. より転載 >

* 本号124頁参照.



材料工学系学生から機械工学系 教員になって感じた変化

近畿大学理工学部機械工学科；助教
植木 洸輔

1. はじめに

私は、2019年3月に東北大学大学院工学研究科材料システム工学専攻博士後期課程を修了後、4月より近畿大学理工学部機械工学科に助教として赴任致しました。東北大学在学中は、成島尚之教授の指導の下で研究を行ってまいりました。この度、本稿を執筆する機会を頂きましたので、学生から教員に、そして材料工学系学科から機械工学科所属になって感じた研究に対する考え方の変化を、学生時代の研究活動を振り返りながら紹介させていただきます。

2. 東北大学在学中における研究

東北大学では、学部4年生から博士後期課程までの6年間、一貫して成島教授の指導の下、生体用Co-Cr合金の微細組織制御に関する研究を行いました。Co-Cr合金は、1920年代に耐熱合金として開発された比較的古い合金ではありますが、優れた耐食性、機械的特性を有することから、今日では医療用材料として応用されており、特性の向上といった観点から現在も研究が行われています。学部4年生においては、バルーン拡張型ステント用金属材料であるCo-Cr-W-Ni(CCWN)合金における熱処理が微細組織に与える影響について、析出物形成の観点から研究を行いました。この研究テーマとの出会いが、博士後期課程への進学、さらには大学教員の道へ進むことの原点となりました。

学部4年生までの私は、博士前期課程への進学は希望していたものの、博士後期課程への進学は考えておりませんでした。博士前期課程において、CCWN合金における熱処理による微細組織変化が機械的特性および耐食性に与える影響に関する研究を行っていた際、析出物形成等の μm オーダーの微細組織変化は確認されないが、施すことで強度・延性が向上する熱処理条件を偶然発見しました⁽¹⁾⁽²⁾。この機械的特性向上のメカニズムについては、博士前期課程の2年間では解明することができませんでした。そこで私は、研究を続けることで自らメカニズムを解明したいと思い、博士後期課程への進学を決意しました。博士後期課程では、成島研究室所属学生のリーダーとして自分の研究活動とともに後輩学生の指導も行うようになり、指導することの難しさや楽しさを



図1 オープンキャンパスでの筆者と学生の写真。
(左から3番目が筆者)

経験しました。博士後期課程3年になり、民間企業への就職を考えていた際に、近畿大学にて材料工学分野の公募があるという話を聞き、自分の能力・経験を最大限生かせるチャンスだと思い、アカデミックの道に進むことを決意しました。

3. 近畿大学における研究および教員としての活動

近畿大学理工学部機械工学科に着任後は、引き続きCo-Cr合金の加工熱処理に関する研究を行っております。近畿大学に来て約半年が過ぎましたが、機械工学と材料工学の考え方の違いを実感しております。例えば、材料工学系学科における熱力学は、状態図計算等、主に物質の反応を扱う科目でありましたが、機械工学科では、エンジンにおける熱効率等を扱う科目であり、同じ科目名でも内容は全く異なります。さらに、機械工学科における研究目標は、優れた製品を創ることにあり、優れた素材を創る材料工学系学科よりも実用的な研究が求められます。今後は、機械工学科における材料工学分野の教員として、機械工学科の学生に材料工学の重要性や魅力を伝えるとともに、材料工学と機械工学の考え方を融合させた実用的な研究を行いたいと考えております。

4. おわりに

近畿大学は、近大マグロ等、近年急激に勢いを増している大学であり、新しいことに挑戦しやすい大学であると感じております。これからは、近大マグロに負けない新たなモノを創造するとともに、未来の社会基盤を支える人材を育成できるよう、研究・教育に邁進していく所存です(図1)。

最後になりましたが、これまで研究・教育についてご指導賜りました東北大学大学院工学研究科材料システム工学専攻成島尚之教授、上田恭介准教授にこの場を借りて心より感謝申し上げます。また、「はばたく」に寄稿する貴重な機会を与えてくださった関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) K. Ueki, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima: Metall. Mater. Trans. A, **49**(2018), 2393-2404.
- (2) K. Ueki, S. Yanagihara, K. Ueda, M. Nakai, T. Nakano and T. Narushima: Mater. Sci. Eng. A, **766**(2019), 138400.

(2019年10月25日受理) [doi:10.2320/materia.59.105]
(連絡先: 〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

青銅鏡作製を通じて実感した 金属特性

新居浜工業高等専門学校 環境材料工学科 3年；

植松みずき 高橋 風 今村海斗

この度、第17回 World Materials Day Award 優秀賞を賜り、とても光栄に思います。メンバー一同大変嬉しく思っています。私たちは新居浜工業高等専門学校環境材料工学科に所属する3年生です。私たちが所属する学科では金属材料をはじめとした材料の特性などについて専門に学んでいます。材料学を専門とした学科は全国にある高専の中でも数少なく、今学んでいる専門知識の内容を学外の方にもわかりやすく広めるために、マテリアルズデイアワードに参加しました。テーマは青銅鏡作製とこれを通して、平衡状態図や力学特性についての理解が深まる内容を選択しました。

青銅(Cu-Sn二元系合金)は比較的融点が低く、加えて、青銅鏡の作製は本科1年の授業内で一度行ったことがあり、この経験からほとんどの作業工程を自分たちの手で実施できると考え、本テーマを選択しました。

実際の研究は主に夏休みを利用して行いました。まず初めにCu-Sn合金の組成を計算し、その後電子天秤を用いて、計算値と同じ重量となるように正確に秤量した銅とスズを用いて全8組成(Cu-x mass%Sn合金, x=20, 30, 35, 40, 50, 60, 80, 100)の試料を準備しました。これらの試料を、るつぽ内でバーナーにて溶解し、合金試料を作製しました(図1)。今回用いたガスバーナーでは、銅の融点である1085°Cに届かないため、スズを先に溶かしてそこに少しずつ銅を溶かしました。また、全て融解できた後、きれいな円形状にするため、ガスバーナーを素早く上げて急冷させました。これは冷却速度が遅いと溶けた合金がどんどん広がってしまい薄い平板状になることを防ぐためです。この溶解した金属をすばやく冷却する作業が難しかったです。熔融状態の合金は組成による違いはわかりませんでした。しかし、冷えた後は合金の見た目や色が変わり、最終凝固部に複雑な模様が出たものもありました。

得られた合金試料を粒度#400から#2000のエメリー紙で研磨し、最後に粒径1 μm および0.3 μm のアルミナ粉末でバフ研磨して鏡面に仕上げました。光学顕微鏡(オリンパス社製BX51)、ビッカース硬さ試験機(明石製作所製MVK-G1)および光沢度計(堀場製作所製IG-410)を用いて鏡面の微細組織、硬度および光沢度を測定しました。研磨する際は、実験者によって研磨面の差が生じないように、できるだけ鏡面全体に同じ力が加わるようにするとともに、できるだけ同じ時間作業を行うようにしました。同じ時間で研磨した場合、硬い合金ほど研磨がより容易であり、これによって、光沢度が高くなり、硬度と光沢度の合金組成依存性に良い



図1 ガスバーナーによる青銅(Cu-Sn合金)溶解の様子。

致が見られることを見出しました。これらの結果から成分が同じでも組成を変えることによって合金の性質には大きな違いが出てくることがわかりました。組成の違いが組織や性質を自分たちが考えていた以上に大きく変えることに材料学の魅力や不思議さを改めて実感しました。青銅鏡の裏面に現れた模様は凝固時に複雑に枝分かれした樹枝状の組織(デンドライト)であることも光学顕微鏡観察から明らかにできました。

純Cu試料は鏡面研磨した裏面を七宝焼きにて装飾を施しました。七宝焼きは伝統工芸技法のひとつで、金属を素地にして釉薬(セラミックス)を焼結させる焼物です。金属表面に釉薬を付けて850°C前後で2分間熱処理しました。Cu-Sn合金の状態図を見ればわかるように、純Cu以外の8組成では炉内の温度850°Cよりも融点が低く、焼いているうちに溶けてしまうため七宝焼きは行いませんでした。七宝焼きは様々な色を使って世界で一つだけの好きな柄、絵に仕上げることができ、小さな子どもも楽しんで「ものづくり」をすることができます。今後学園祭などのイベントで外部の子どもたち向けに模擬実験として行う予定にしています。以上のような様々な実験から得られた結果を1枚のポスターにまとめ、発表させていただきました。

将来技術者になる私たちには「ものづくりの楽しさ」を知ることとはとても大事だと思います。疑問に思ったことは自分で調べ、自分の手で実験し、自分の目で確かめる。これがその後の大きな発明や発見に繋がると思います。同年代の学生がまだ体験する機会が少ない研究活動ができたことや、今回自分たちで調べて得た知識は貴重な経験となり、技術者への第一歩を踏み出せたように感じています。一方で、自分たちの未熟な点はまだまだあることも再認識しました。今回、発表を行う過程で分からないことがたくさんありました。今後私たちは専門的な授業を受ける機会が増え、もっと多くの知識や技術を身につけて、これらの知識や技術を社会に還元できる技術者になりたいと考えています。

最後になりましたが、実験時にアドバイスいただきました技術職員の藤岡章太先生、ポスター発表をご指導いただいた當代光陽先生に感謝いたします。

(2019年12月4日受理)[doi:10.2320/materia.59.106]
(連絡先: 〒792-8580 新居浜市八雲町 7-1)

[†] World Materials Day Award ; 材料系国際学協会連携組織であるIOMMMSでは、材料系分野のプレゼンス向上のため「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献した学生を顕彰している。

あかがねの町新居浜と 別子銅山の歴史

新居浜工業高等専門学校 環境材料工学科 3年；
塩崎 瑛博 高橋 直哉

新居浜工業高等専門学校環境材料工学科は全国で数少ない材料系学科で、主に、環境に優しい材料や過酷な環境下で使用される先進材料の性質・特性について学んでいます。1, 2年生では物理や数学などの基礎的科目を学び、3年生からは材料学に関する専門科目が増えます。特に実験や実習において、実際に生じる化学反応を自分の目で確かめたり、工作機械の使用方法を修得することで、材料を作る難しさや達成感を実学として身に付けることができます。

今回、私たちは夏休みを利用して、「あかがねの町新居浜と別子銅山の歴史」と題して、自分たちが住む新居浜市に身近な別子銅山、銅産業の歴史や銅の性質について調査し、得られた知見をポスターにまとめ、オープンキャンパスや学園祭で、ポスター発表することで、受験生や学外の方に材料学や環境材料工学科で学ぶ内容について広く知ってもらうことにしました。

さらに、2019年9月に岡山大学で日本金属学会秋期講演大会が開催されると先生よりお聞きしたので、私たちの活動のよい発表の場であると考え、マテリアルズデアワードに参加しました。

本研究の具体的な内容は、まず、別子銅山の歴史や銅精錬などを図書館やインターネットを用いて調べ、メンバーと共に重要だと思うことをまとめました。例えば別子銅山の年表を整理したり、地理的に別子銅山がどのようにできたのか、当時世界の銅輸出量の何割を占めていたかなどについて調べました。専門書や文献の検索も初めてでしたので先生にアドバイスをいただき、参考文献を整理して記録しておく重要性を学びました。普段住んでいる町なのに、知らないことがたくさんあることや新しい切り口から自分たちで歴史を調査することに新鮮さがありました。こうした知識を基に、実際、別子銅山があるマイントピア別子と「東洋のマチュピチュ」と呼ばれている東平^{とうなる}でフィールドワークを行いました。

別子銅山は、江戸時代の元禄に始まり昭和48年(1973)に閉山するまで、283年にわたって掘り続けられ、新居浜市の産業基盤の礎となりました。マイントピア別子は約6万m²の広大な敷地で、別子銅山の歴史を遊びながら学べる鉱山鉄道・観光坑道や、温泉施設、またレストランなどの飲食施設もあります。園内には、登録有形文化財に指定された別子銅山ゆかりの産業遺産が残っており、当時使われていた機械や生活の様子がよくわかりました。また、当時使用されていた

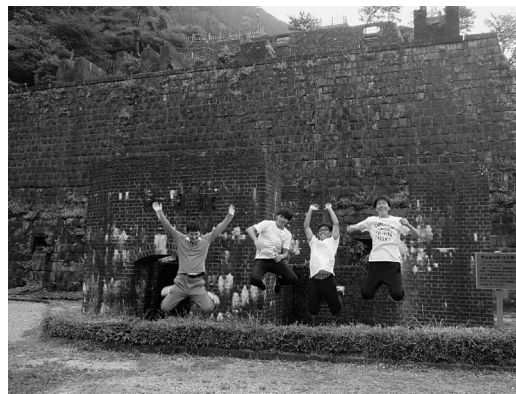


図1 フィールドワークの様子。東平貯鉱庫跡前にて。

坑道の中に入ることができます。フィールドワークした日は外気温32℃でしたが、坑道内は18℃で、肌寒いくらいでした。坑道を利用した施設では銅を採掘、精錬し、運搬している様子などが模型で再現されていました。別子銅山の年表や、鉱山の概要図、銅鉱石の成分表、精錬方法なども詳しく示されていました。誰でも楽しんで歴史や銅について知ることのできる場所だと思いました。東平は、大正5年(1916)から昭和5年(1930)までの間、別子銅山の採鉱本部が置かれた場所で、地中深くから掘り出された銅の鉱石を坑内電車で東平まで運搬し、そこで選鉱した後、貯鉱庫に貯め、索道を利用して、現在のマイントピア別子のある端出場へと輸送していた中継所となっていたところです⁽¹⁾。最盛期には、社員・家族を含めて約5,000人が周辺の社宅で共同生活する鉱山町でもあり、病院や小学校、郵便局、生協、プール、娯楽場、接待館などの施設も整備され、一時期の別子銅山の中心地として賑わっていました⁽²⁾。当時の施設の多くは取り壊され、植林によって自然に還っていますが、貯鉱庫、索道基地、変電所、第三通洞、保安本部などの鉱山関連施設の一部が風化の痕跡を残しつつ現存し、中でも重厚な花崗岩造りの索道基地跡の石積みは、東平の産業遺産観光の目玉となっています。実際に行ってみると、やはり索道基地跡の石積みが目に留まり、とても大きく、当時のままの姿を目の前で感じることができました(図1)。

今回別子銅山について自分たちで調べてみて、一時は世界一の年間生産量だったということを知り、こんな身近な所に世界に誇れるものがあり、大変驚きました。今回の研究活動を生かして、これから研究を行う際にも自分で実際に足を運んだり、自分の手で文献を調べたり、まとめたりすることがとても重要なことであると学びました。

この度はマテリアルズデアワードにて研究成果の発表をする機会をいただいた上に部門賞を受賞させていただき、誠にありがとうございました。最後にご指導いただき、また、フィールドワークにも一緒に行ってくれた當代光陽先生に感謝いたします。

文 献

- (1) 新居浜市：別子銅山図録，1(1974)，1-56.
- (2) 新居浜市：歓喜の鉱山，1(1996)，1-142.

(2019年12月4日受理)[doi:10.2320/materia.59.107]
(連絡先：〒792-8580 新居浜市八雲町7-1)

[†] World Materials Day Award ; 材料系国際学協会連携組織である IOMMMS では、材料系分野のプレゼンス向上のため「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献した学生を顕彰している。

最先端電子顕微鏡技術と その応用に関する日独二 国間交流セミナー

名古屋大学大学院工学研究科；教授

山本 剛久*

一般財団法人ファインセラミックスセンター；執行理事

平山 司

令和元年(2019)6月16日～19日の4日間にわたって、透過型電子顕微鏡に関わる日本とドイツの研究者らによる国際セミナー“最先端電子顕微鏡技術とその応用に関する日独二国間交流セミナー(Germany-Japan Joint Seminar on Advanced Electron Microscopy and its Application)”(以下、日独セミナー)が名古屋地区で開催された。このセミナーは、日本学術振興会の二国間交流事業の一環として催されたものである。会期4日間の間に3か所の会場を使用して実施され、透過型電子顕微鏡(以下、TEM)に関する最先端の研究成果や話題が活発に討論された。同分野に関係する研究者にとっては非常に魅力のある国際セミナーであったのではないと思われる。ドイツ側からは、Harald Rose先生(Ulm University)をはじめとして、Rafal E. Dunin-Borkowski先生(Forschungszentrum Jülich)、Hannes Lichte先生(Technische Universität Dresden)、Wolfgang Jaeger先生(Kiel University)などの大御所を含めた多数の中堅、若手の研究者が参加し、日本からは14名の招待講演者が参加した。

セミナー初日は、名古屋市熱田区にある(一財)ファインセラミックスセンター(以下、JFCC)で実施された(図1)。JFCCにはナノ構造研究所が設置されており、そこには、モノクロメーターを搭載した走査透過型電子顕微鏡(以下、STEM)、高感度高精度位相計測が可能なホログラフィーTEM、気体・液体中で観察可能な環境制御型TEMなどを含むTEM/STEM群や、収束イオンビーム加工機などが整備されている。国内有数のナノ・サブナノ構造解析拠点として知られている研究所である。ドイツ側参加者からの意向もあり、セミナー初日の会場はJFCCに設定した。ここでは主に日独の若手研究者による講演会を実施し、あわせてナノ構造研究所が所有する先端設備について、デモンストレーションを含めた見学会を行った。先端設備の一つであるホログラフィーTEM⁽¹⁾には、位相シフトの高精度計測が実現できる特徴的な機構が装備されている。デモンストレーション時には、この機構について、非常に質の高い議論が繰り広げられたことが印象深かった。引き続き開催されたレセプションでは、JFCCの若手研究者も多数参加し、日独研究者の親密な懇親が実現された心地よい時間を過ごすことができた。

ところで、日本側からの参加者が所属する主たる国内学会の一つである(公社)日本顕微鏡学会が、令和元年に創立70



図1 セミナー初日の集合写真(JFCC 正面ロビーにて)。

周年を迎えた。これを記念した学術講演会が名古屋国際会議場で同時期に開催されることが予定されていたため、この日独セミナーも同じ名古屋国際会議場に会場を設定して2～3日目のセミナーを実施した。この期間中は、基調講演を含めた17件の講演が、ほぼ満杯の会場内で順次行われた。顕微鏡学会の講演大会と併設されていたために、物見遊山の聴講者も散見されたが、それはこのセミナーでの講演者が、それだけ聴衆を集められる第一人者であったことの一つの証拠だろうと感じられた。最終日は、会場を名古屋大学に移し、基調講演と名古屋大学が有する冨田気遮断機構を有した世界唯一の反応科学超高压走査透過電子顕微鏡⁽²⁾、および、桑原真人先生(名古屋大学)が開発中のスピン偏極パルスTEM⁽³⁾の見学、討論会を実施した。パルスTEMとは、電子を放出するフィラメントをレーザーなどで励起し、電子波をパルス状に放出できるように工夫されたTEMのことである。例えば、化学反応の素過程を高い時間分解のもとに観察や分析を行うことが実現できる。同先生のスピン偏極パルスTEMは、さらに、単一のスピン状態を維持した電子波が放出できるよう独自の電子銃が組み込まれたものであり、他のパルスTEMに対して高い優位性を有している。パルス発信部分の機器構成や特徴ある電子銃部分は、ドイツ研究者の興味の対象であり、時間的な制約がある中、真剣な面持ちで多数の質問が飛び交っていた。

TEMは、長年の課題であった、電磁レンズの分解能を制限していた球面収差の補正技術が実現されて以降、目覚ましい進歩を遂げたことは周知の事実である。TEMの分解能が向上しただけではなく、高分解能STEMも一般化され、その分解能はとてつもなく高くなり、今や原子半径程度である45 pmまでも到達している⁽⁴⁾。さらには、電磁レンズでは避けることのできなかった試料空間中の磁場をほとんど消去した状態で92 pmの分解能も実現されつつあるのである⁽⁵⁾。近年達成されたこれらの極めて高度な技術開発の切っ掛けとなる難題を解決し、その実現に大きく寄与した第一人者の一人が、Rose先生である。Rose先生には、ご高齢[†]で

† 1935年2月14日、Bremen(ドイツ)生まれ(Wikipediaより引用)



図2 エクスカーションでの談笑風景.

あるにも関わらず、このセミナーのために来日して下さり基調講演を行って頂けたのである。このことは、日独セミナーの価値を強く印象付けている。会期3日目の午後には、招待講演者を対象としたエクスカーションを実施した(図2)。名古屋城公園の本丸御殿とトヨタ産業技術記念館へ向かったのであるが、当日の気温は25度を軽く超え、かつ、湿度も非常に高い状態でのエクスカーションであった。小生は、ご高齢のRose先生の足取りを心配しつつ先導して案内したのだが、ご高齢でも強い足をもっておられ、その矍鑠たる足取りは、小生よりもよほどしっかりされていた。テニスやハイキングでいつも鍛えているからだ、ご本人から伺った次第である。あのRose先生と直接言葉を交わせたことは、小生にとって非常に光栄であるとともに、このセミナーの良い思

い出となった。

さて、この日独二国間交流セミナーは、最初にドイツ側から幾原雄一教授(東京大学)と田中信夫名誉教授(名古屋大学)に共同開催の打診があり、その後、平山司博士(JFCC)とDunin-Borkowski先生の親交から具体案が練られ、日本学術振興会へ申請、採択されて実現に至った。ところで、Dunin-Borkowski先生は常に移動されている極めて多忙な研究者としても有名である。事実、この短い会期中である4日間の間に、ドイツと日本を急用で一往復しているのである。最終日に開催された懇親会では流石に疲れた顔をされていたが、このセミナーを今後もぜひ続けていこうと熱心にその具体案を議論されていた。非常にエネルギッシュな研究者である。ちなみに、Rose先生は、この懇親会の後にバーへ繰り出され、さらにビールを飲まれた後、翌日早朝にセントレア空港から母国へと戻って行かれた。一流の先端研究者は、小生のような凡人には窺い知ることのできない世界に身を置いているのだなあ、と妙に感心したのである。

最後に、多忙な状況であるにもかかわらず、この日独セミナーで貴重なご講演を頂いた先生方に心より御礼申し上げます。また、日独セミナー開催に際しては、榊日立ハイテクノロジーズ、日本電子榊(順不同)の皆様にご尽力を頂きました。ここに深く謝意を表します。

文 献

- (1) 「電子線ホログラフィーを用いた電子材料、磁性材料の定量観察」 http://www.jfcc.or.jp/23_develop/15t32.html を参照。
- (2) 荒井重勇：応用物理，**86**(2017)，25-30。
- (3) 桑原真人：まてりあ，**58**(2019)，269-274。
- (4) H. Sawada, N. Shimura, F. Hosokawa, N. Shibata and Y. Ikuhara: Microscopy, **64**(2015)，213-217。
- (5) N. Shibata, Y. Kohno, A. Nakamura, S. Morishita, T. Seki, A. Kumamoto, H. Sawada, T. Matsumoto, S. D. Findlay and Y. Ikuhara: Nature Comm., **10**(2019)，2308。

(2019年11月27日受理) [doi:10.2320/materia.59.108]
 (*連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

第4回茨城大学量子線科学 国際シンポジウム報告

茨城大学大学院理工学研究科量子線科学専攻；准教授
西 剛史

茨城大学大学院量子線科学専攻は2016年に設立され、茨城県にある日本原子力研究開発機構(JAEA)、大強度陽子加速器施設(J-PARC)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)および兵庫県にある大型放射光施設(Spring-8)、そしてオーストラリアの原子力研究所(ANSTO)など様々な国内外の国立研究機関と連携し、活発に研究を推進し、科学者およびエンジニアの育成にこれらの連携が重要な役割を果たしていることから、文部科学省や他大学だけでなく、茨城大学内でも様々な分野から非常に高く評価されている。

量子線科学国際シンポジウム(International Symposium of Quantum Beam Science)は専攻が設立された2016年から実施されており、第1回から第3回までは量子線科学、固体物理、生体・ソフトマテリアルをメインテーマとし、水戸キャンパスで開催された。今回は日立キャンパスで実施し、筆者が議長を担当することとなった。シンポジウムの準備は2018年の8月頃から開始し、2019年の10月31日と11月1日の2日間で小平記念ホールにて実施した(図1)。会議の趣旨は様々な分野の研究者が融合し、新たな研究分野を生み出そうというコンセプトがあり、今回は熱電材料の研究開発をご専門とされている池田輝之量子線科学専攻長と共に、Future of Advanced Energy Functional Materials という副題で原子力材料、熱電材料、J-PARCを用いた中性子利用実験をメインテーマとしてシンポジウムを実施した。

海外の招待講演としてアメリカのアルゴンヌ国立研究所(ANL)のMarius Stan教授に“インテリジェントマテリアルとプロセスデザイン”について、オーストラリア原子力研究所(ANSTO)のMihail Ionescu教授に“ANSTOでの第4世代原子炉用材料の研究”について、中国 Tongji 大学のYanzhong Pei教授に“熱電材料におけるフォノンの分散と散乱”について、台湾国立交通大学(NCTU)のHsin-jay Wu博士に“キャリア型遷移を備えた高性能熱電材料への熱力学的アプローチ”についての4件の講演を頂いた。また、国内の招待講演として京都大学の黒崎健教授に“燃料デブリの物理的および化学的特性の理解、金属相の事例研究”について、東北大学の粕谷素洋先生に“電気化学表面力装置を用いた電極の電気二重層の高精度特性評価”について、大阪大学の石佑治先生に“高性能熱電材料としての自己組織化Si/シリサイド複合材料”について、JAEAの山野秀将研究主幹に“ナトリウム冷却高速炉のシビアアクシデントにおける制御棒材料の共晶熔融物のふるまいに関する研究”について、物質・材料研究機構の高際良樹先生に“センサーの応用に向けた熱電材料およびデバイスの開発”について、東北大学の鈴木茂先生に“BCC機能性鉄合金を使用した振動環境発電”についての6件の講演を頂いた。その他10件の口頭発表と29件(うち学生26件)のポスター発表があり、常に質



図1 小平記念ホール(茨城大学日立キャンパス)前での出席者写真。

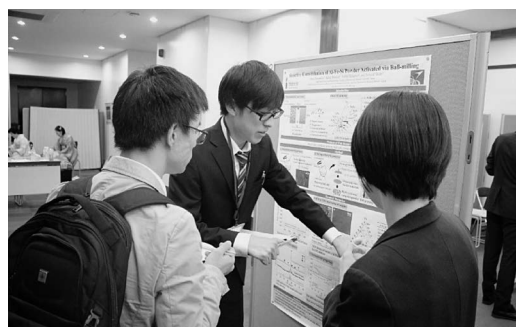


図2 Yanzhong Pei教授とHsin-jay Wu博士の前でポスター発表する量子線科学専攻の大学院生。

疑応答が活発に行われるなど、小規模ながらも小平記念ホールで行うシンポジウムとしてとても盛況な会になった。Marius Stan教授は12年前に数週間JAEAに招聘されており、筆者がJAEAに在籍していた時にいろいろと研究のアドバイスを頂き、その後もNuMat国際会議などでお会いした時にはお話すの機会に恵まれていた。Marius Stan教授は12年前から既に“マルチスケールシミュレーション”を掲げて研究に取り組んでいた。この取り組みは今でも引き続き行われており、原子力材料と熱電材料の研究はエネルギーというキーワードだけでなく、研究の取り組みにおいても共通点があると実感した。また、ランチョンミーティングや学生との研究ディスカッションを通じて原子力材料、熱電材料、中性子利用実験の研究はナノスケールでの研究でコラボレーションができるのではないかと話で盛り上がったのがとても印象的であった。

ポスター発表はバンケットやレセプションとの同時進行という形で運営し、活発で充実した議論で盛り上がった(図2)。レセプションは筆者の研究室の学生が琴を習っていたということもあり、彼の師匠御一行に琴を演奏頂いた。学生の今後益々の研究での活躍を期待し、厳正な審査のもと優秀なポスター3件に対して賞を授与した。シンポジウム終了後、日立にある料亭「忠」で懇親会を行い、Marius Stan教授、Mihail Ionescu教授をお招きした。既にお二人はご存知であったが、二人ともルーマニアのブタペストが故郷だということで盛り上がった。小規模ではあったが、学生も積極的に参加し、とても雰囲気の良い充実した国際シンポジウムとなった。(2019年12月10日受理)[doi:10.2320/materia.59.110]

(連絡先: 〒316-8511 日立市中成沢町4-12-1)

本 会 記 事

会 告 (新設)第1回日本金属学会フロンティア研究助成募集 ……111	
2020年春期(第166回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて ……112	
2020年春期講演大会併催企業説明会への学生参加者の募集 ……115	
2020年春期講演大会期間中の託児室のお知らせ ……115	
第9回ランチョンセミナー開催のお知らせ ……116	
第12回男女共同参画ランチョンミーティング開催のお知らせ ……116	
2020年秋期講演大会開催予告 ……116	
2020年秋期講演大会企画・公募シンポジウムテーマ提案募集 ……116	
各賞(村上記念賞・村上奨励賞・奨励賞・論文賞・まてりあ賞)推薦募集 ……117	
研究集会 ……117	
掲示板 ……118	新入会員 ……121
会誌・欧文誌2号目次 ……119	行事カレンダー ……123
次号予告 ……120	

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

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

・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)

(新設!)第1回日本金属学会フロンティア研究助成募集

この度本会では、教育・研究機関での金属およびその関連材料分野の学術研究および技術研究の発展や若手研究者の育成や奨励を主な目的とした、金属およびその関連材料分野に関連する材料又はプロセスに関する研究に対しての助成金を交付する事業を新設いたしました。下記の通り第1回目の助成の対象となる研究を募集いたしますので、ご検討の上、応募下さい。

募集期間：2020年2月1日(土)～3月31日(火)まで

募集要項

応募資格

応募者(代表者)は、2020年4月1日時点で45歳以下の日本の教育機関または公的研究機関に所属し、日本国内で研究に従事する者(学生・大学院生および企業との兼務者を除く)であること。ただし、共同研究者は国外でも可とする。

応募は一人一件とします。同一研究室からの複数応募は可能ですが、新規採択は1件とします。

活動開始時には、非会員は会員になることが望ましい。

助成の対象となる研究

金属およびその関連材料分野に関連する材料又はプロセスに関する調査、試験、研究および開発とする。

研究期間 助成研究の実施期間は、原則2年間とする。研究開始日が年度途中となる場合は、年度をまたいだ2年間とする。

助成件数 年間10件以下

助成金額 1件あたり、150万円

助成金の使途

研究等に直接必要な費用および所属組織の必要最低限の間接経費に充当すること。研究者の人件費(臨時雇用の研究補助者等の費用を除く)には充当できないものとする。

助成金の交付方法および交付期間

研究助成金の交付方法は、原則として、助成実施者が所属する組織に対する奨学寄付の形とする。共同研究者が別の組織に所属する場合は、複数の組織に交付することは可能です。

研究助成金の交付期間は、原則として、理事会決定以降12月31日までの間とします。研究実施者は、速やかに助成金受領のために助成金交付の手続き(奨学寄付受付窓口の連絡等)を行うこと

応募方法

(1)提出書類：所定様式の「研究助成金申請書」に必要事項を記入し、提出する。

申請書の様式は、本会のホームページからダウンロードできます。必要事項：応募者、研究題名、研究分担者(共同研究者がある場合)、予算(費目、金額)、研究目的(背景、必要性、意義、価値、成果活用の見込み等)、研究計画(実施計画、成果目標等)、報告予定、該当する分科、研究業績、金属学会での活動実績等

(2)作成要領

「研究助成金申請書」に記載された作成要領に従って日本語(専門語等で部分的に外国語を使用することは可)で作成すること。申請書については、作成要領に明記されたページ数制限を遵守すること。制限ページ数を超えた申請は受け付けません。

(3)提出方法

作成した研究助成金申請書を、E-mailの添付ファイルで提出して下さい。なお、ファイルはMS-Word形式として下さい。Faxや紙での申請は受け付けません。

提出書類等は、採否にかかわらず返却しません。

【遵守事項】

研究助成金の交付を受ける際には、研究実施者(応募者および共同研究者)は、次の事項を遵守下さい。

①助成研究は、あらかじめ本会に提出した助成研究実施計画に従っ

- て実施すること。
- ②助成研究の実施過程において助成研究実施計画を変更する必要が生じた場合(中止する場合を含む)は速やかに報告し、重大な変更については本会と対応を協議すること。
 - ③助成実施者が所属している組織から別の組織に異動する場合は、本会と対応を協議すること。
 - ④研究終了6ヶ月後までに、終了報告書(A4様式1枚)および成果報告書を日本語(専門語等で部分的に外国語を使用することは可)で作成し、原則としてE-mail添付にて提出すること。
なお、成果報告書は「まてりあ」への成果報告(2頁)の投稿に代えるものとする。
 - ⑤本会から求められた場合は、実施状況を報告すること。また本会が研究施設への訪問を希望した場合は、可能な範囲で対応すること。
 - ⑥研究実施者又は研究実施者の所属する組織は、帳簿を備え、助成研究に係わる経理を他の経理と明確に区別し、本会から照会があった場合はこれに応ずること。
 - ⑦研究成果は研究開始時から研究完了後1年までの間に本会の講演大会における発表2件および本会の欧文誌又は会誌に論文を投稿すること。
 - ⑧研究成果を学会・学術論文誌・新聞等に発表する場合は、事前に本会に連絡するとともに、本会から資金援助を受けたことを明記すること。
 - ⑨実施計画に記載した研究を実施しなかった場合、提出期限後1年を経過しても研究成果(中間)報告書の提出がない場合又は研究実施者が研究中止の申し出をした場合には、研究助成金の全

額又は残額を返還すること。

【留意事項】

1. 機器・設備等の帰属
助成金により取得された機器・設備等は、原則として研究実施者の所属する組織に帰属します。
 2. 助成研究の成果の帰属
助成研究の成果として得られた特許等の知的財産権は、原則として研究実施者に帰属します。
 3. 助成研究の成果の公表等
成果報告は、この法人の会報およびホームページ上で一般の閲覧に供します。
 4. 申請書記載情報の取り扱い
申請書に記載された研究情報については、審査・選考以外の目的には一切使用しません。
また、個人情報については、本会外へは一切漏洩しません。
 5. その他留意事項
 - ①採否の事由は非公開とし、これに関する問い合わせにはお答えしません。
 - ②研究助成金の申請後、何らかの理由により研究を実施できないことが判明した場合、速やかに本会に報告すること。
- 問合・申請先 申請書は下記E-mailアドレスに提出下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合は、ご連絡下さい。
(公社)日本金属学会フロンティア研究助成係
E-mail: gaffair@jim.or.jp ☎ 022-223-3685

2020年春期(第166回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期：2020年3月17日(火)～3月19日(木)

会 場：東京工業大学大岡山キャンパス(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

日 程：	日 時	行 事
	3月17日(火)	各賞贈呈式、学会賞受賞講演・本多記念講演、学術講演会、ポスターセッション、高校生・高専学生ポスター発表、懇親会(「八芳園」)
	3月18日(水)	学術講演会、企業ランチョンセミナー
	3月19日(木)	学術講演会、男女共同参画ランチョンミーティング、企業説明会

大会参加予約申込締切：2020年2月28日(金) 事前参加申込みは、すべてインターネット申込となります。詳細は、申込要領をご覧ください。

《2020年春期講演大会 開催予定の各種シンポジウムご案内》

公募シンポジウム7テーマ

- S1 ハイエントロピー合金の材料科学Ⅲ
- S2 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシング2
- S3 ナノ・マイクロスペーステラリングⅢ
- S4 金属表面の材料化学Ⅲ—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
- S5 永久磁石開発の元素戦略7 —次世代新材料に向けた基礎・基盤研究—
- S6 エネルギー関連材料の特性評価・解析・予測(I)—最先端技術への期待—
- S7 プラストンの材料科学Ⅶ

K1 International workshop of young researchers for steel metallurgy

2018年3月から2年間に渡って活動した若手研究グループ「鉄鋼メタラジー研究グループ」のまとめとして、国際シンポジウムを開催する。グループ活動に参画したメンバーに加えて、国際的に活躍する同世代の海外講演者を数名招待し、鉄鋼材料を中心にその組織形成と力学特性に関する最先端の話題について講演を行う。特に、理論、実験、計算の各セッションを設け、各分野における今後の発展を見据えて、国際的な議論を図る。

K2 工業製品における材料選択とマルチマテリアル構造～航空機機体～

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。1回目の今回は「航空機機体」を取り上げ、材料の企業研究者だけでなく、機体メーカーや運航会社の技術者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。

K3 医用材料・医療機器開発の最前線(Ⅰ)

医用材料・医療機器に対する材料開発は、治療や診断を目的に体内に埋入する材料から診断機器に搭載する材料まで多岐にわたる。このため、材料科学においても、生体材料のみならず、光学・電子材料、腐食防食など、異分野との協働が必須である。本企画シンポジウムでは、①体内に埋入する医用材料に対する材料科学ならびに②診断に関連する材料科学について、様々な材料科学の視点から議論することを目的とする。特に、医療応用の最前線で活躍されている企業の研究者から医用材料・医療機器開発における現状と将来展望について講演を行い、その現状と将来展望について産学の研究者を交えて緊密に議論する場としたい。

K4 どこまで実現したか？ 超スマート社会

Society 5.0で標榜されるスマート社会においては、実空間(フィジカル空間)とサイバー空間の間で常に情報通信が行われる。こうした高度な情報通信には、回路・情報処理技術とともにセンシングデバイス・情報処理デバイスなどのデバイス・材料が両輪をなす必要がある事は言うまでもない。しかしながら、AI・ニューロモフィックデバイスに代表されるように、材料開発の指針が必ずしも明確ではない例もある。本シンポジウムでは、スマート社会を支える材料・デバイス開発として、ディスプレイ材料・IoT用センサー材料、AI・ニューロモフィックデバイスに関する最新動向、ならびに、特に材料開発の課題と期待について話題を提供して頂き、金属学会に係る研究者が貢献可能な課題を発掘する一助としたい。

K5 明治の鉄鋼

明治期は日本が国として大きく変わった時期であるが、鉄鋼に関して大きく変化・拡大した時期でもあった。鉄鋼は日本が欧米と並ぶ先進国家であるために重要な産業であり、幾つもの製鉄所建造、技術革新がなされた。第一次大戦の影響もあり、それまでは欧米産が使われていた製品が次第に日本産に移り変わったのである。

このシンポジウムでは、明治期の鉄鋼業の発展の元となった製錬技術の変遷や金属組織学・相変態などの学術的発展に加え、その後時代を経て消えてしまった製鉄所や、技術革新を果たした技術者、またそのためになされた試行錯誤にフォーカスして、ものづくりとは何なのか、また“明治の鉄鋼”が残したものは何かを議論する。

参加申込要領

インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み：〈締切〉2月28日(金)

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

予約申込締切後、大会参加証、講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。なお、領収書や参加証引換券は、決済完了後に申込画面から各自印刷して下さい(WEB画面：講演大会 MyPage よりダウンロード)。2月29日以降は当日申込となります。

当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込下さい。

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	2月28日(金)(申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
会員資格		
正員・維持員会社社員	10,000円	13,000円
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、ご返金致しかねますのでご了承下さい。

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

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

◆懇親会費(消費税込み)

予約申込締切日	2月28日(金)(申込および入金期日)	
種 別	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	10,000円	12,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

- ・お支払後の取消は、ご返金致しかねますのでご了承下さい。
- ・懇親会ご参加申込の方へは、3月上旬に懇親会参加証を郵送申し上げます。

◆支払方法

事前予約のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます。また、入金後のご返金は致しかねます。2月28日(金)の入金日をもって予約申込完了となります。

◆参加証

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

◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会2週間前の2020年3月3日(火)です。事前予約をされ、参加費を納入された方へは、概要公開日に概要ダウンロード用パスワードを配布いたします。当日申込の方へは申込の際に概要ダウンロード用パスワードをお渡しいたします。特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。

◆講演概要集購入について

講演概要集 DVD は作成致しません。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、通常の参加登録を頂き、概要の閲覧をお願いします。

参加申込・問合せ先

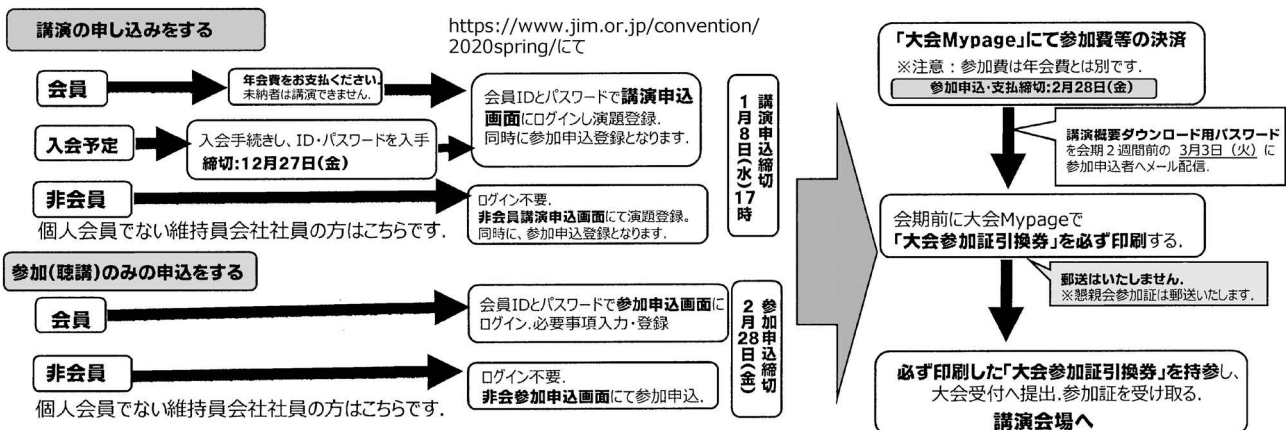
〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: annualm@jim.or.jp



講演申込・事前参加申込～参加までの流れ～

講演申込・事前参加申込～参加までの流れ



2020年春期講演大会併催企業説明会への学生参加者の募集

2020年春期講演大会に合わせ、学生のキャリアサポートの一環として本会主催により、日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会併催の第6回企業説明会を東京工業大学大岡山キャンパスにて開催します。本説明会は、学生にできるだけ多くの素材・材料関連企業に接してもらい、進路選択に役立ててもらおうというものです。日本金属学会学生員および日本鉄鋼協会学生会員並びに東京工業大学の学生を対象に募集しますので、奮ってご応募下さい。就職活動前の学生の参加も歓迎します。

学生の皆さんが参加しやすいように講演大会期間の最終日に開催いたします。ほぼ終日ブースを開設して、講演の合間や講演終了後にも企業ブースを訪問できるようにするとともに、昼食(軽食)を提供して昼休み時間にブースを訪問しやすくしています。また、参加企業の担当者により詳しく情報交換できるように、説明会終了後に参加企業の担当者との交流会(立食懇談)を開催します。

開催日 2020年3月19日(木)(春期講演大会の3日目)

開催場所 東京工業大学大岡山キャンパス百年記念館(東京都目黒区大岡山2-12-1)

主催 公益社団法人日本金属学会 共催 一般社団法人日本鉄鋼協会

参加企業 素材, 材料関連の企業35社

スケジュール 11:00~16:45 ブース説明会(企業ブースでの対面説明)

* 出入り自由。昼食(軽食)提供(先着順)。

17:00~18:30 参加企業担当者との交流会(立食懇談, 参加無料)

* ブース説明会のみ・交流会のみの参加も可。

応募資格 日本金属学会学生員, 日本鉄鋼協会学生会員, 東京工業大学学生

応募方法 本会ホームページ上の参加申し込み画面(<https://data.jim.or.jp/jim/kigyou/>)から申し込む。

募集期間 2019年12月2日(月)~2020年3月11日(水)

問合せ先 公益社団法人日本金属学会 企業説明会担当

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: jim.company2020@jim.or.jp

〜 第6回企業説明会参加企業 〜

(50音順)

愛知製鋼株式会社
高周波熱錬株式会社
山陽特殊製鋼株式会社
JFE テクノリサーチ株式会社
住友金属鉱山株式会社
株式会社ソディック
中越合金鋳工株式会社
株式会社東芝
ニダック株式会社
日本製鉄株式会社
福田金属箔粉工業株式会社
三菱アルミニウム株式会社

石福金属興業株式会社
合同製鐵株式会社
JFE 条鋼株式会社
昭和電線ホールディングス株式会社
住友重機械ハイマテックス株式会社
大同特殊鋼株式会社
TDK 株式会社
東邦チタニウム株式会社
日鉄テクノロジーズ株式会社
日本冶金工業株式会社
古河電気工業株式会社
三菱製鋼株式会社

株式会社キッツ
株式会社コベルコ科研
JFE スチール株式会社
滲透工業株式会社
住友電気工業株式会社
太平洋製鋼株式会社
TPR 株式会社
トビー工業株式会社
日鉄日新製鋼株式会社
日立金属株式会社
三井金属鉱業株式会社

2020年春期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2020年春季講演大会期間中、日本鉄鋼協会と日本金属学会が共同で託児室を開設いたします。利用ご希望の方は「託児室利用規約」をご確認の上、申し込み期間中に本ホームページよりお申込み下さい。

■設置期間および利用時間(開始, 終了時間は予定です)

設置期間	利用時間
2020年3月17日(火)	8:30~17:30
3月18日(水)	8:30~17:30
3月19日(木)	8:30~16:45

■場所: 東京工業大学 大岡山キャンパス内
(詳細はお申し込みの方のみにご案内)

■対象・利用料金(税込):

0歳~2歳 お子様1人につき 2,000円/1日

3歳 お子様1人につき 1,500円/1日

4歳~学童まで お子様1人につき 1,500円/1日

※二人同時に預ける場合、二番目の子(弟もしくは妹)は半額
利用料金は、利用当日朝までに、[日本鉄鋼協会事務局](#)にお支払い下さい。なお、申込締切後のキャンセルはキャンセル料を頂く場合がありますので、あらかじめご了承下さい。

■利用シッター会社: (株)ファミリー・サポート
担当者: 大作(おおさく)

■お申込方法:

申込み期間中に必要事項を記載の上、シッター会社にお申込み下さい。

※申込期間になりましたら、必要事項等の詳細をホームページ(<https://www.isij.or.jp/godo/isijjim/>)に掲載いたしますのでご確認ください。

■申込期間: 2020年2月3日(月)~2月28日(金)まで
(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先: (株)ファミリー・サポート
担当者: 大作(おおさく)

☎ 03-6300-9307 FAX 03-3377-3178

E-mail: houjin@familysupport.co.jp

※不測の事故に対応するために、シッター会社が保険に加入しており、保険適用範囲で補償いたします。また日本金属学会および日本鉄鋼協会は、事故の責任は負わないことを申し添えます。お子様の健康状態、留意点など必ず託児スタッフへお伝え下さい。お

伝えただけでない事が原因となってお子様へ損害が発生した場合はお客様の責任となります。

※完全ご予約制となっておりますので、ご予約のない場合にはご利用いただけません。なお、託児室のスペースの関係上、定員になり次第締め切らせていただきますので、予めご了承下さい。

第9回ランチオンセミナー開催

春期講演大会の会期中に、第9回ランチオンセミナーを開催いたします。このセミナーは、参加者の皆様に講演大会の昼食時間を利用して昼食をとって頂きながら、企業による最新の技術情報を聴講いただく企画です。参加無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主催 公益社団法人 日本金属学会

企画 株式会社 明報社

日時 2020年3月18日(水) 昼休み時間

会場 東京工業大学大岡山キャンパス 日本金属学会講演会場
(詳細会場はプログラムをご確認下さい。)

参加費 無料 昼食を無料提供いたします。

～ 皆様のご参加をお待ちしております!! ～

参加方法 3月17日(火)より参加券を「機器展示会場」にて配布致します。金属学会、または鉄鋼協会の大会参加証をご提示下さい。引き換えにご希望のセミナー参加券をお渡し致します。時間になりましたら、参加券をご持参の上、セミナー会場までお越し下さい。

※予定数に達し次第、配布は終了致します。

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

参加企業 (1)オックスフォード・インストゥルメンツ(株)
(2)カールツァイス(株)
(3)TSLソリューションズ(株)
(4)株新興精機
(5)ヴァーダー・サイエンティフィック(株)



第12回男女共同参画ランチオンミーティング 「金属材料分野での多様なキャリアパス」

金属材料分野でのキャリアパスとしてどのようなものがあるでしょうか。企業、大学、独法研究機関など様々です。また、一言で企業といっても様々な分野で活躍可能です。金属材料を学んだ先輩達がどのような進路で活躍しているか話を聞いてみませんか。

仕事のこと、キャリアの積み上げ方、家庭のこと、気になるいろいろなことを、お昼を食べながら、気楽に質問してみてください。学生さん、若手の研究者、技術者の方、若い方にエールを送りたい方、大勢の方のご参加をお待ちしております。

主催 男女共同参画委員会 日本金属学会・日本鉄鋼協会

協賛 男女共同参画学協会連絡会

日時 2020年3月19日(金) 12:00～13:00

会場 東京工業大学大岡山キャンパス(鉄鋼協会会場)

参加費 無料 弁当30人分までは無料提供。
(講演大会参加申込の有無にかかわらず、このミーティングに参加できます!!)

プログラム

司会 尾崎由紀子(九大)

12:05～12:10 開会の挨拶

男女共同参画委員会委員長 奈良女子大 松岡由貴
12:10～12:40 「共働きでの子育ての経験から(難しかった事、良かった事)」

JFE スチール(株)スチール研究所主任研究員(課長) 小澤純仁
12:40～12:50 総合討論

12:50～12:55 閉会の挨拶

男女共同参画委員会副委員長 九大 尾崎由紀子

2020年秋期講演大会開催予告

2020年 9月16日(水)～18日(金) 富山大学五福キャンパス
(まてりあ5号会告予定)

2020年秋期講演大会(富山大学) 企画シンポジウムテーマ募集

提案期限: 2020年2月20日(木) 期日厳守

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

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

詳細 まてりあ58巻12号806頁またはホームページ→講演大会→お知らせ

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会講演大会委員会宛

2020年秋期講演大会(富山大学) 公募シンポジウムテーマ提案募集

提案期限: 2020年2月20日(木) 期日厳守

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

詳細 まてりあ58巻12号806頁またはホームページ→講演大会→お知らせ

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会講演大会委員会宛

各種賞推薦(自薦)のお願い

◎下記の国会各賞のご推薦をお願い申し上げます。

第17回村上記念賞 候補者推薦のお願い

推薦締切 2020年2月28日(金)
推薦資格 本会代議員による推薦
詳細 までりあ58巻12号797頁またはホームページ→表彰

第17回村上奨励賞・第30回奨励賞 候補者推薦のお願い

推薦締切 2020年2月28日(金)
候補者 個人を対象とします
推薦資格 本会代議員1名、講演大会委員1名または正員3名による推薦
詳細 までりあ58巻12号798頁またはホームページ→表彰

第68回論文賞 候補論文推薦(自薦)のお願い

推薦締切 2020年2月28日(金)
対象論文 日本金属学会誌：第83巻1～12号(2019年)掲載分
Materials Transactions: Vol.60 No.1～12(2019年)掲載分
推薦資格 会誌、欧文誌の編集委員、当該論文の査読者または本会代議員による推薦、著者本人による自薦
詳細 までりあ58巻12号798頁またはホームページ→表彰

第10回までりあ賞 推薦(自薦)のお願い

推薦締切 2020年2月28日(金)
対象記事 2017年～2019年掲載済記事
推薦資格 会報編集委員または正員3名による推薦、著者本人による自薦
詳細 までりあ58巻12号799頁またはホームページ→表彰

研究集会

研究会 No. 70

第10回プラストンに基づく変形現象研究会 ～BCC金属の特異な力学特性～

共催：京都大学 構造材料元素戦略研究拠点

近年、必ずしも転位の概念だけでは理解しきれない変形現象が顕在化しつつある。回位(disclination)の運動によるナノ結晶材料における複数の結晶粒の協調的なせん断や回転、原子のシャフリングを要する六方晶や金属間化合物における変形双晶、マルテンサイト変態、粒界すべりなどがこの範疇に属し、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)が提案されている。本研究会は新規な挑戦的概念であるプラストンを題材に新たな視点から材料の変形と破壊についての基礎的議論を行うために企画された。今回は、強度の強い温度依存性やすべり面の特異な結晶方位依存性など特異な力学特性を示すBCC金属に焦点を当て、BCC純金属、合金さらにはハイエントロピー合金の変形挙動の類似点、相違点に関する活発な意見交換を行いたい。

日時 2020年2月20日(木)13:00～16:40
場所 京都大学吉田キャンパス工学部物理系校舎501講義室
(http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/access/campus/yoshida/map6r_y/)

プログラム

13:00～14:00 (1) BCCハイエントロピー合金の変形挙動(話題提供) 京大工 岸田恭輔
14:00～15:15 (2) 原子論に基づく動的モンテカルロ法を用いたBCC鉄合金の非経験的強度予測 大阪大基礎工 新里秀平
15:15～15:30 休憩
15:30～16:45 (3) BCC合金の転位運動に基づく変形機構と力学特性：第一原理計算と力学モデルによる解析 原子力機構 都留智仁

企画責任者 乾 晴行(京大・工)

参加費 無料(参加人数確認のため可能な限り事前参加申し込み下さい)

申込・問合せ 2月17日(月)までにE-mailまたはFAXにて氏名・所属・電話番号を明記してお申し込み下さい。

〒606-8501 京都市左京区吉田本町
京都大学工学部物理系校舎
構造材料元素戦略研究拠点 川口利奈
☎ 075-753-5573 FAX 075-753-5578
E-mail: admin@esism.kyoto-u.ac.jp

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合先のみ掲載。
 有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。
 ・「までりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税
 ・ホームページのみ掲載；10,000円＋税
 〈その他の記事〉 原則として有料掲載。
 ・原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載
 ・原稿提出方法：電子メールとFAX両方(受け取りメールの確
 認をして下さい)
 ・原稿送信先：FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

公 募

◇名古屋大学大学院工学研究科物質科学専攻教員公募◇

公募人員 教授 1名、または准教授 1名
所 属 物質科学専攻・ナノ解析物質設計学講座
専門分野 本専攻・ナノ解析物質設計学講座の1グループを主宰
 する方を公募します。
 先端のナノ計測(プローブ顕微鏡、放射光分光、光計測、
 NMR、ESRなど)に基づいて新しい物質科学を開拓す
 る研究分野。
 当該分野を開拓、牽引する気概に富み、本専攻のさら
 なる発展に貢献できる人物を求めます。
 また、熱意と責任を持って大学院(物質科学専攻)およ
 び学部(物理工学科)の教育に携わるとともに、責任と
 協調性を持って大学組織の管理運営に当たる人物を望
 みます。

応募資格 博士の学位を有し、上記分野において優れた研究実績を
 有する方

着任時期 2020年10月1日(予定)

任 期 なし

提出書類 以下の書類を印刷物及びそれらのPDFを保存した電子
 媒体(USBメモリなど)で提出。

- (1) 履歴書(写真貼付)
- (2) 業績リスト(査読付き学术论文、総説・解説、著
 書、国際会議プロシーディングス、招待講演、特
 許、受賞などに分類)
- (3) 主要論文別刷(5編以内)
- (4) これまでの研究概要(2,000字程度)
- (5) 今後の研究計画・教育についての抱負(2,000字程
 度)
- (6) 外部資金の獲得状況とその他特記事項
- (7) 意見を求め得る方2名の氏名と連絡先

応募締切 2020年2月28日(金)

書類送付先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
 名古屋大学大学院工学研究科
 物質科学専攻 専攻長 浅野秀文

*封筒に「物質科学専攻教授応募書類在中」あるいは「物質科学専
 攻准教授応募書類在中」と朱書きし簡易書留で郵送のこと。

問合せ先 名古屋大学大学院工学研究科物質科学専攻 浅野秀文
 電子メール: asano@numse.nagoya-u.ac.jp
 ☎ 052-789-3568

そ の 他 ・女性研究者の応募を奨励します。
 本学は業績(研究業績・教育業績・社会貢献・人物を
 含む)の評価において同等と認められた場合には、女
 性を積極的に採用します。名古屋大学の取り組みは、
 次をご覧ください。
<http://www.kyodo-sankaku.provost.nagoya-u.ac.jp/>
 ・「教授への応募」、「准教授への応募」のいずれかを選
 択し、明記願います。

- ・提出書類に含まれる個人情報は、選考・採用以外の目
 的には使用しません。
- ・応募書類は返却しません。

集 会

◇レアメタル研究会◇

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

令和元年度レアメタル研究会のご案内 (2020.1.6現在)

■ 第90回 2020年3月6日(金)(2019年度 最終回)

■第90回 2020年3月6日(金) 14:00～
 生産技術研究所 An棟 2階コンベンションホール

テーマ: 産業とSDGsと未来社会

午後2:00～

■講演会プログラム(敬称略)

資源循環と環境問題とSDGs(仮)(60分)

JX 金属株式会社 特別理事 (前代表取締役社長)

大井 滋 講師

循環経済とITプラットフォームと未来社会(仮)(60分)

東洋大学 情報連携学部(経営学)教授

廣瀬弥生 講師

未来社会デザインとメタラジー(仮)(60分)

大阪大学 統括理事 副学長/日本鉄鋼協会 会長

田中敏宏 講師

★講演の順序は変更する可能性があります★

午後6:00～

研究交流会・意見交換会(An棟 2F ホワイエ)

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. 84, No. 2 (2020)

—論文—

Fe-0.2 mass% C-0.3 mass% Cu モデル合金の照射硬化の照射後焼鈍挙動に及ぼすニッケル, リン, 硫黄の影響 柴本 宏 木村晃彦 長谷川雅幸 松井秀樹

マグネシウム圧延材の塑性変形に対するイットリウム添加の影響 竹本圭佑 力久弘章 津志田雅之 北原弘基 安藤新二

非懸濁溶液からの Zn-活性金属酸化物複合電析に及ぼすポリエチレングリコール添加の影響 植田大樹 大上 悟 高須登実男 中野博昭

電解採取浴からの亜鉛の電析挙動と結晶組織に及ぼすポリエチレングリコール, ニカワ添加の影響 内田啓太 大上 悟 中野博昭

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 61, No. 2 (2020)

—Special Issue on Advanced Metal Forming Technologies in Asia—

PREFACE Ming Yang

Drawability of Functional Corrugate Cup Using Roller Die Yasunori Harada, Yuki Nishikubo and Ippei Tanaka

Experimental and Numerical Investigation of Residual Stresses in Incremental Forming Adabala Subrahmanyam, Rakesh Lingam, Kunio Hayakawa, Shigekazu Tanaka and N. Venkata Reddy

Mechanism Study and Optimized Technology of Multi-Pass Drawing Process for Ultrafine-Grained Inconel 718 Micro-Tubes Biao Cui, Min Wan, Rui Zhao and Bao Meng

Frictional Size Effect of Light-Weight Mg-Li Alloy in Micro Deep Drawing under Nano-Particle Lubrication Condition Hamidreza Kamali, Haibo Xie, Hongyang Zhao, Fanghui Jia, Hui Wu and Zhengyi Jiang

Femtosecond Laser Trimming of CVD-Diamond Coated Punch for Fine Embossing Tatsuhiko Aizawa, Tomomi Shiratori, Tomoaki Yoshino and Tadahiko Inohara

Evaluation of the Mechanical and Electromagnetic Shielding Properties of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics Sheet Made of Unidirectional Tape Asep Bustanil Aripin, Makoto Nishi, Kosei Suzuki and Kunio Hayakawa

Construction of Material Constitutive Relationship Based on Surface-Layer Model at Micro/Mesoscopic Scale

Jiqiang Zhai, Yanjin Guan and Weiguo Wang

Effect of Roll Gap Setup on Shape Defects during a Flexible Roll Forming Process

Young Yun Woo, Tae Woo Hwang, Sang Wook Han and Young Hoon Moon

Microforming of Stainless Steel Miniature Pump by Additive Sheet-Manufacturing

Tatsuhiko Aizawa and Tomomi Shiratori

Combined Effect of Pre-Strain at Elevated Temperature and Pre-Aging on Aging Strength and Microstructures of AA6082

Zhenhai Xu, Ru Chen and Debin Shan

Effects of Tool Surface Geometry on Temperature Distribution and Material Properties of an Aluminum Alloy in Friction Stir Welding

Arunagiri Azhagar and Kunio Hayakawa

SiC-Coated SiC Die for Galling-Free Forging of Pure Titanium

Tatsuhiko Aizawa, Koh-ichi Itoh and Tatsuya Fukuda

Effect of Production Rate on Lubrication Performance of Environmentally-Friendly Lubricant in Combined Forward-Can and Backward-Can Cold Extrusion Test of Aluminum Alloy

Ippei Takahashi, Kunio Hayakawa, Yoshihiro Kubota, Itaru Ishibashi and Tamotsu Nakamura

Influence of Strain-Induced Martensitic Transformation of Austenitic Stainless Steel Sheet in Precision Blanking on Cut-Surface Quality

Yohei Suzuki, Tomomi Shiratori, Ming Yang and Masao Murakawa

—Regular Article—

Microstructure of Materials

Microstructure Analysis of Graded Interface Layers in a Model Multilayer Al/Al-Zn/Al Sample by Scanning Microbeam Small-Angle X-ray Scattering Measurements

Shan Lin, Hiroshi Okuda, Yukihiro Higashino, Katsushi Matsumoto and Kazufumi Sato

Change in Mechanical and Electrical Properties of Accumulative Roll Bonding Processed High-Purity Aluminum, Al-0.02 mass%Fe and Al-0.2 mass% Fe Alloys

Yoji Miyajima, Kojiro Fukuda, Hiroki Adachi, Toshiyuki Fujii and Masaharu Kato

Solidification Microstructure and Magnetic Properties of Ag-Rich Ag-Cu-La-Fe Immiscible Alloys

Takeshi Nagase, Tomoyuki Terai, Tomoyuki Kakeshita and Kenta Morita

Hot Deformation Behavior of 7085 Aluminum Alloy Based on Deformation Heating and Friction

Qunying Yang, Xiaoyong Liu and Yongshan Cheng

Microstructure and Damping Capacity of a Mn₃₅Cu₆₀Al₃Fe₂ Alloy by Semisolid Heat Treatment

Song Zhang, Weixing You and Yonggang Xu

Mechanics of Materials

Humid Gas Stress Corrosion Cracking in MIG-Welded 5083 Aluminum Alloy Plate

Alireza Ghorani, Goroh Itoh, Tomoyuki Ohbuchi and Tomoya Kiuchi

Materials Chemistry

Reaction of Molten Aluminum with MgO and Formation of MgAl₂O₄ Spinel at 1000°C

Yutaka Ohya, Yusuke Ishii and Takayuki Ban

Materials Processing

Experimental and Numerical Analyses of Magnetic Pulse Forming of A1050 Aluminum Sheet

Takashi Kambe, Yasutaka Kedo, Shinji Muraishi and Shinji Kumai

Refinement of Primary Si Grains of Al-21%Si Alloy Using Vibration Mold

Yasuo Yoshitake, Kaoru Yamamoto, Nobuya Sasaguri and Hidenori Era

Fatigue Property and Cytocompatibility of a Biomedical Co-Cr-Mo Alloy Subjected to a High Pressure Torsion and a Subsequent Short Time Annealing

Peng Chen, Huihong Liu, Mitsuo Niinomi, Zenji Horita, Hidetoshi Fujii and Takao Hanawa

Engineering Materials and Their Applications

Influence of Brazing Time on Liquid Migration and Cell Structure of Porous Aluminum

Tomohito Kurosaki, Makoto Kobashi, Naoki Takata, Asuka Suzuki and Tadashi Minoda

C15-Al₂Ca Precipitation in a Mg-Al-Ca Alloy

Sakiko Kashiwase, Mariko Unekawa, Hiromu Hisazawa and Yoshihiro Terada

Analysis of Bone Regeneration Based on the Relationship between the Orientations of Collagen and Apatite in Mouse Femur

Ryosuke Ozasa, Mayuko Nakatsu, Atsushi Moriguchi, Kyohei Sasaki, Takuya Ishimoto, Masahiro Okada, Takuya Matsumoto and Takayoshi Nakano

Environment

The Effect of Heterogeneous Seed Crystals on Arsenite Removal as Biogenic Scorodite

Naoko Okibe, Ryohei Nishi, Yuta Era and Takeharu Sugiyama

Microbial Leaching of Iron from Hematite: Direct or Indirect Elution

Apichaya Aneksampant, Kazunori Nakashima and Satoru Kawasaki

Scorodite Crystal Formation on Hematite (Fe₂O₃) Surface in Fe(II) Solution Containing As(V)

Atsushi Iizuka, Etsuro Shibata and Shunsuke Ishii

—Express Rapid Publication—

Tailored Mechanical and Conductive Properties of Continuous Rheo-Extruded Al-Sc-Zr Alloy Conductors by Thermomechanical Treatment

Di Tie, Boyu Zhang, Minfang Chen, Haifeng Liu, Yuxiang Wang, Lizhong Liu and Renguo Guan

Static Recrystallization Behavior and Mechanical Properties of Heterogeneous Nanostructured Duplex Phase Stainless Steel

Hiromi Miura, Masakazu Kobayashi, Chihiro Watanabe, Natsuko Sugiura and Naoki Yoshinaga

Editor's Announcement



まてりあ 第59巻 第3号 予告

金属素描 No. 8 マンガン
特集「材料組織形成における計算材料科学の最前線」
[ブロムナード]

科学・技術と社会の関係を考える 3. —科学技術の制御— ……………柴田 清

[先達からのお便り] 材料研究を始めて50年
……………森永正彦

—他—

—編集の都合により変更になる場合がございます—

新 入 会 員

(2019年11月21日～2019年12月20日)

正 員

天 野 猶 貴 セイコーインスツル株式会社 田 村 慎 也 株式会社日立製作所 山 下 昂 洋 長崎大学
木 原 工 東北大学金属材料研究所 藤 澤 雅 夫 近畿大学 山 元 泉 実 日本軽金属株式会社

学 生 員

足 立 悠 作 大同大学 柴 田 暉 大 東北大学 多元物質科学研究所 堀 江 貴 秀 早稲田大学
市 川 乃 吏 親 室 蘭 工 業 大 学 竹 内 誠 東北大学 松 尾 誠 也 久留米工業高等専門学校
芋 塚 優 樹 金 沢 大 学 竹 原 克 俊 東京工業大学 三 浦 弘 量 東海大学
大 金 真 也 東北大学 田 畑 千 尋 早稲田大学 宮 田 穂 高 東北大学
大 野 真 沙 東海大学 寺 内 友 哉 秋田大学 村 山 恭 平 東京大学
大 林 耀 三 重 大 学 中 島 可 能 秋田大学 孟 令 健 九州大学/国立研究開発法人 物質・材料研究機構
岡 村 海 青 九州工業大学 仲 原 魁 人 東京工業大学 谷 田 貝 昂 平 東海大学
奥 村 駿 介 国立大学法人 長岡技術科学大学 難 波 亮 太 東京工業大学 山 崎 直 人 京都大学
金 崎 稜 長岡技術科学大学 西 口 光 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 山 田 瑞 樹 東北大学
加 山 達 也 京都大学 橋 本 壮 紀 九州工業大学 山 室 智 美 九州工業大学
倉 門 孝 太 長岡技術科学大学 橋 本 直 樹 大阪大学 吉 田 圭 吾 山形大学院
後 藤 愛 生 東京工業大学 花 木 愛 子 大阪大学 渡 辺 健 山形大学
西 條 友 章 室 蘭 工 業 大 学 パヌワット クライソングラム 長岡技術科学大学
塩 谷 光 平 金 沢 大 学 古 滝 広 大 室 蘭 工 業 大 学

外国一般会員

TRAN NGUYEN-DUNG 東北大学 YALAMANCHILI Krishnarao University of Washington 顔 魯 春 東北大学
Trinh Thang Thuy 京都大学 高 成 柱 東京工業大学 李 丕 耀 National Taiwan Ocean University

外国学生会員

LEE Sujin 九州大学 李 孝 範 横浜国立大学 高 倩 玉 東京医科歯科大学
MA Zhongliang Nanjing Tech University 王 力 偉 東京医科歯科大学大学院 申 勝 煥 東北大学
YIM SEUNGKYUN TOHOKU UNIVERSITY WU JINGYA 東京工業大学 王 赫 京都大学



書 評

日本刀の反り・地肌模様と古刀再現—刀身外観美の科学的考察—

池田大亮 著

大きな歴史博物館から地元の郷土資料館にまで、必ずいくつかの日本刀が展示され、国宝級の名刀が出展されると、多くの老若男女が詰めかける。果ては、名刀を擬人化したゲーム・アニメ・映画が創られ、若い女性が黄色い声を上げる。

日本人は(多くの外国人も)、なぜこうも日本刀に魅せられるのか?

著者は、日本刀の魅力を、武器としての優れた機械的特性だけでなく、一種独特の優美さを持つ外観美、特に刀身の反りと地肌模様に着目し、その科学的考察を行った。本書では、日本刀の歴史や製造過程の基礎知識を概説した後に、それらの考察が述べられている。刀身の反りに関する考察では、その形状を定式化し、反りの発生機構を金属組織学・鉄鋼熱処理論に基づいて解き明かし、有限要素解析シミュレーションにより刀身の反りを再現している。刀身の地肌模様に関する考察では、金属・鉄鋼材料学の祖である本多光太

郎先生や依国一先生らによる研究業績を参考にしつつ、刀身サンプルの断面組織観察、硬さ試験、表面形成被膜の分析を行い、美的模様の発現機構を解明した。このように、著者は金属学を駆使して、科学的な側面から日本刀の魅力と美しさに迫っている。本書の随所に、金属材料の専門用語や金属組織写真、状態図が使われており、一般読者には少々難解な内容と思われるが、これらをちょっとした空き時間でも容易に読みこなせるのは、金属学会会員の特権であろう。いくつかの組織写真に長さスケールが入っていないなど、学術的な正確性に欠ける部分はあるものの、材料工学が日本の伝統工芸美の解明に応用できることを示した教科書といえよう。各章末に書かれたコラムも、金属材料の専門知識を通して日本の歴史と伝統が語られており、金属学会会員は必見である。

(物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 戸田佳明)

(2019年 B6判 アグネ承風社 100頁 2,000円+税)

追悼 本会元副会長、名誉員 増子 昇 先生を偲んで



本会元副会長、名誉員 増子昇先生は、昨年、2019年9月23日、心不全のため84歳でご逝去されました。会員の皆様にご報告申し上げますとともに、先生のご生前のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

先生は昭和10年生まれ、昭和32年に東京大学工学部冶金学科を卒業され、同大学院化学系研究科修士課程中退後、東北大学選鉱製錬研究所の助手、東京大学工学部講師、同大学工学部助教授、東京大学生産技術研究所の助教授を経て昭和53年に教授に昇任されました。昭和61年から平成元年まで同大生産技術研究所長を務められました。平成7年に東京大学を退官後(平成7年東京大学名誉教授)、千葉工業大学の教授として平成17年の定年退職まで在職されました。学会では、会長職を資源素材学会、腐食防食協会、電気化学協会、表面技術協会、また、本会および日本鉄鋼協会の副会長、日本学術会議会員を務められました。受賞は、本会第49回学会賞の他、日本学術振興会腐食防食論文賞、表面技術協会論文賞(2回)、軽金属学会論文賞(2回)、伸銅技術協会論文賞、腐食防食協会技術賞ならびに論文賞などです。また先生が産官学界で果たされた指導的役割は多くの方の記憶に残る所で、資源素材学会から産学共同推進への貢献で渡邊賞を授与されています。

先生のご専門は電気化学で、領域は非鉄精錬、腐食防食、表面処理などですが、それぞれの分野で後世に残る多くの業績を挙げられました。特に「電位-pH図」に関連する先駆的、体系的な一連の研究で、電気化学協会佐野進歩賞、本会功績賞を受賞されています。

先生は大人(たいじん)の風格を持たれ、物事の真実に迫る深い考察と、豊かな教養に裏打ちされたユーモアで、座談の名手でもありました。ここに、先生のご遺徳を偲び謹んでご冥福をお祈り申し上げます。



追悼 本会元会長、名誉員 井口泰孝 先生を偲んで



本会元会長、名誉員、東北大学名誉教授 井口泰孝先生は2019年12月3日にご逝去されました。享年76歳でした。会員の皆様にご報告申し上げますとともに、先生のご生前のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

先生は、1965年東北大学工学部金属工学科を卒業、1970年同大学院工学研究科金属工学専攻博士課程単位修得退学後、同年東北大学工学部助手、1973年同講師、1974年同助教授を経て、1986年に同教授に昇任され、金属物理化学講座を担当されました。その後、2003年東北大学未来科学技術共同研究センター長、2004年から2006年には東北大学大学院工学研究科長を務められました。東北大学退職後も2006年より5年間八戸工業高等専門学校長、2012年からは弘前大学学長特別補佐という要職に就かれました。学会活動につきましても、本会会長、日本鉄鋼協会理事、日本学術振興会製鋼第19委員会委員長、全国材料関係教室協議会会長、日本知財学会理事、日本工学教育協会理事などの要職を歴任されました。

先生は鉄鋼精錬に加えて、シリコンやⅢ-V族化合物単結晶製造プロセスの研究に注力されました。原料融体とフラックス、保持容器、単結晶間の微量元素の分配平衡を物理化学的に解明され、プロセスの合理化や最適化に貢献しただけでなく、各種精錬プロセスで活用できる基礎データを提出されました。加えて、世界屈指と評価されるステンレス鋼製の生体刺激用

電極開発などの新規研究分野を開拓され、高温材料物理化学を基礎としたアプローチにより材料工学の基礎研究分野で多大な功績をあげられました。さらに、産学連携や技術経営・知的財産などにも強い関心を持ち、従来の材料工学の分野にとどまらない幅広い研究を行われました。産学連携の推進を加速させるための「大学等技術移転促進法(TLO法)」や「日本版バイドール法」といった国の施策に基づき、東北大学未来科学技術共同研究センターや我が国初の技術移転機関である株式会社東北テクノアーチの設立に主体的に関与されました。

このような優れたご業績に対し、2003年に知的所有権制度の発展への貢献から特許庁工業所有権制度関係功労者表彰経済産業大臣賞を、2007年には日本人として二人目となる John F. Elliott Lectureship を米国鉄鋼技術協会より受賞されました。2013年には日本金属学会の名誉員に、2017年には日本鉄鋼協会の名誉会員に推挙され、2018年には瑞宝中継章を受章されました。

教育では学生の人格を認め、尊重し、将来の頑張りを期待し、粘り強い指導をされました。常に前向きで、圧倒的な行動力で新しい分野への挑戦に躊躇しない先生で、門下生のみならずアカデミア、産業界、行政など幅広い分野の方々に敬愛されておりました。ここに、先生のご遺徳を偲び謹んでご冥福を心からお祈り申し上げます。

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
2020年2月				
6	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織 ―中級編(時効析出)」(第8回)(日大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
7	第337回塑性加工シンポジウム「深絞り・しごき加工技術の最前線 ～製缶技術に学び、自動車の電動化へ～」(同志社大)	日本塑性加工学会	https://www.jstp.or.jp	定員 80名
13	第191回腐食防食シンポジウム「わが国における腐食コストの推定結果と腐食コスト削減へのシナリオ」(東京)	腐食防食学会他	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
13~14	第12回放射線による非破壊評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 gamou@jsndi.or.jp	
14	第407回講習会「熟練のものづくり技術を次世代へ! ―デジタルツールを駆使した技能・技術継承―」(東京理科大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	定員 60名
15	第48回「若手フォーラム」-ポスターセッション併催(岡山)(12号812頁)	日本金属学会中国四国支部	TEL 086-251-5227 FAX 086-251-8266 takemoto@mech.okayama-u.ac.jp	1.24
18	第190回腐食防食シンポジウム「自動車腐食防食の現状と課題 ―第2回自動車腐食分科会の活動報告―」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/190.html	
20	研究集会「第10回プラストンに基づく変形現象研究会～BCC金属の特異な力学特性～」(京大)(本号117頁)	日本金属学会研究会 No. 70	TEL 075-753-5573 FAX 075-753-5578 admin@esism.kyoto-u.ac.jp	2.17
21	ウィンタースクール「トポロジー最適化の基礎～積層造形によるものづくりへの応用～」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jsces.org/	2.14
21	第192回腐食防食シンポジウム「わが国における腐食コストの推定結果と腐食コスト削減へのシナリオ」(大阪)	腐食防食学会他	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
21	本多光太郎博士生誕150年記念講演会(東京)	本多記念会	TEL 022-215-2868 http://hondakinenkai.or.jp/docs/150th_anniversary_of_the_birth_of_honda.pdf	
25	関西支部第32回技術研修会「塑性変形と加工における潤滑技術とその実例」(同志社大)	日本塑性加工学会 関西支部	kansosei@mail.doshisha.ac.jp	定員 80名
28	理研シンポジウム第22回「トライボコーティングの現状と将来」(東京)	理化学研究所大森素形材料工学研究室、トライボコーティング技術研究会	TEL 03-5918-7613 tribo@tribocoati.st	定員 150名
2020年3月				
2	腐食防食部門委員会第333回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	
5	第1回世界エンジニアリングデイ記念シンポジウム(東大)	日本工学会	TEL 03-6265-0672 eng@jfes.or.jp http://www.jfes.or.jp/	
6	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織 ―応用編(加工・熱処理による組織変化)」(第6回)(芝浦工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
6	第45回組織検査用試料の作り方(組織の現出)講習会「鉄鋼材料・非鉄金属材料・表面改質処理および異常組織材」(千葉工大)	材料技術教育研究会	TEL 047-431-7451	2.28
6	第90回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号118頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
8~11	COMPSAFE2020(第3回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	COMPSAFE2020 実行委員会	secretary@compsafe2020.org http://www.compsafe2020.org	
12~14	2019年度量子ビームサイエンスフェスタ(水戸)	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	https://mlfinfo.jp/sp/qbs-festa/2019	
17~18	第23回 電磁気応用部門・磁粉・浸透・目視部門・濡れ試験部門合同シンポジウム「表面探傷技術による健全性診断、品質検査」(東京)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp http://www.jsndi.jp/	参加 2.21
17	第3回「高校生・高専学生ポスター発表」(東工大)(1号57頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jim.or.jp	
17~19	日本金属学会春期講演大会(東京工業大学大岡山キャンパス)(東京)(本号112頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	事前参加 2.28
17~19	第11回日本複合材料会議(JCCM-11)(大阪)	日本材料学会、日本複合材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	
18	第9回ランチョンセミナー(東工大)(本号116頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685	
19	第12回男女共同参画ランチョンミーティング「金属材料分野での多様なキャリアパス」(東工大)(本号119頁)	男女共同参画委員会	TEL 022-223-3685	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
19	企業説明会(東工大)(本号115頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 jim.company2020@jim.or.jp	参加 3.11
27~31	The International Conference on Sintering 2021 (Sintering 2021国際会議)(岐阜)	Sintering 2021 国際会議組織委員会	info@sintering2021.org https://www.sintering2021.org/ wakai.f.aa@m.titech.ac.jp	
2020年 5 月				
19~20	第36回希土類討論会(札幌)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	発表 1.24
22~24	軽金属学会第138回春期大会(香川大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	参加 4.16
27~29	ナノ学会第18回大会(横浜国大)	ナノ学会	nano18@mtg-officepolaris.com http://mtg-officepolaris.com/nano18/	
29	第5回マルチスケール材料力学シンポジウム(電気通信大)	日本材料学会	http://www.jsms.jp/	講演 2.3
2020年 6 月				
11~12	第13回核融合エネルギー連合講演会(八戸)	プラズマ・核融合学会, 日本原子力学会	http://rengo13.roku.qst.go.jp	
12~14	2020年度塑性加工春季講演会(名工大)	日本塑性加工学会	https://www.jstp.or.jp	
18~19	第25回動力・エネルギー技術シンポジウム(北大)	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 https://www.jsme.or.jp/	
29~7.3	PTM2020(8th International Conference on Solid-Solid transformations in Inorganic Materials)(中国西安)	中国金属学会	ptm2020@csm.org.cn http://www.ptm2020.com	
2020年 7 月				
7~9	第57回アイソトープ・放射線研究発表会(東大)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 gakujuetsu@jrias.or.jp http://www.jrias.or.jp/	
16~17	第54回 X 線材料強度に関するシンポジウム(東北大)	日本材料学会	TEL 078-795-3212 nishida@kobe-kosen.ac.jp http://www.jsms.jp/	講演 3.27
2020年 9 月				
16~18	日本金属学会秋期講演大会(富山大学五福キャンパス)(富山)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	
2020年10月				
19~22	The 8th conference of Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT8) 第8回アジア結晶成長・結晶技術国際会議(宮崎)	アジア結晶成長および結晶技術学会他	TEL 06-6879-8730 yamanoi-k@ile.osaka-u.ac.jp https://www.opt.miyazaki-u.ac.jp/hikari/	
27~30	第1回地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム(奈良)	日本鉄鋼協会	TEL 075-223-2311 http://web.apollon.nta.co.jp/CUUTE-1/ cuute-1@nta.co.jp	
2020年11月				
15~19	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/	参加 9.22
2020年12月				
8~29	Mate2020第26回『エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術』シンポジウム(横浜)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate2020/src/	
2022年 7 月				
5~8	The 7th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2022)(富士吉田)	紛体工学会	http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.html iccci2022@ynu.ac.jp	

～ **会報編集委員会からのお知らせ** ～

新企画コラム:『美しい金属の写真』*を今月より始めました。

こちらは、本会発行のジャーナル「Materials Transactions」に掲載された論文の中から、『美しい金属の世界』を思い起こさせる写真を読者の皆様にご紹介していくという企画です。余白を利用した掲載ですが、是非、美しい金属の世界を見つけて、お楽しみ頂ければと思います。

まてりあ 第59巻 第2号 (2020) 発行日 2020年2月1日 定価(本体1,700円+税)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

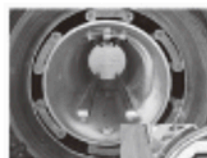
発売所 丸善雄松堂株式会社

〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

高温真空 3000℃への挑戦

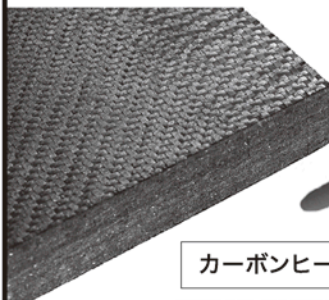
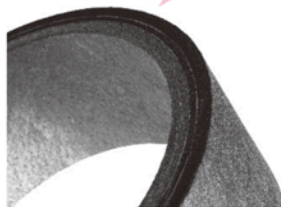
URL: <http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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

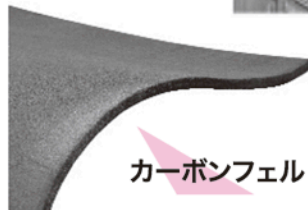


炉の改修

ハイブリット成形断熱材



6面シート
貼り



カーボンフェルト

高断熱+省エネ

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



メカニカルカーボン工業株式会社

本社: 247-0061 神奈川県鎌倉市台5-3-25 TEL.0467-45-0101 FAX.0467-43-1680
工場: 新潟工場・本社工場・野村工場(愛媛)・広見工場(愛媛) 事業所: 郡山・東京・大阪・松山・周南・福岡
お問い合わせEメール mck@mechanical-carbon.co.jp

日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ (会報)

前付) 1色1P ¥100,000 1/2P ¥60,000

後付) 1色1P ¥95,000 1/2P ¥55,000

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ¥70,000 1/2P ¥40,000

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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



技術で世界を輝かせる。

世界が求めるニーズはより多様化し、複雑に進化し続けています。
私たちはその一つひとつの声を叶えるために、技術を磨いてきました。
そのなかで培われた、世界をリードする素材・機械ビジネス。
私たちは、いち早くニーズに応えるというだけでなく、
技術で驚きや感動を与えることを大切にしています。

私たちがつくる、より強くしなやかな素材から、新たな価値が生まれる。
私たちがつくる、より低燃費の機械が働くことで、
ある国の礎が築かれる。

私たちは技術で社会や人を繋げ、より輝く世界へと、
導いていくために、挑み続けていきます。

<http://www.kobelco.co.jp/>

KOBELCO