

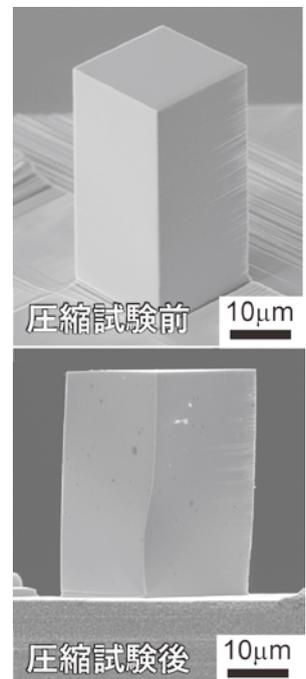
Materia Japan

- 金属なんでもランキング! ~電気陰性度~
- 酸素発生触媒の活性発現メカニズム
- 摩擦プロセスの新たな活用ー摩擦誘起薄膜合成ー
- 入門講座 微小領域における金属材料の材料力学
~II.金属材料のサイズ効果と機械的特性の評価~
- 先達からのお便り 岡田益男先生 (東北大学名誉教授)

まてりあ

Vol.59 MTERE2 59 (10) 519~570 (2020)

2020 **10**



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**TM

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

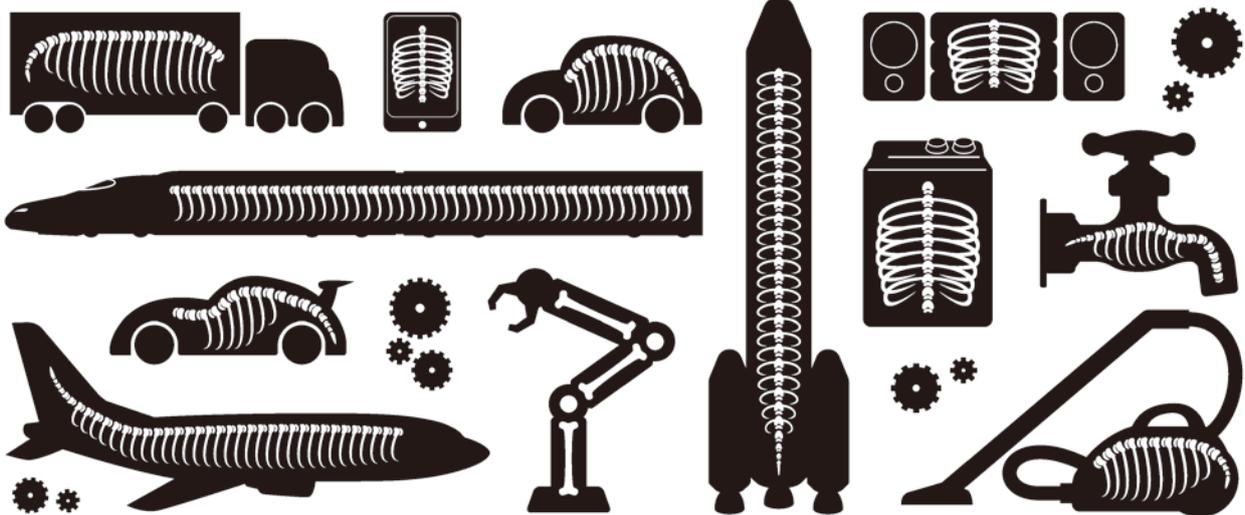
TEL : 06-6389-6220 FAX : 06-6389-6221

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

営業窓口 : 池内 ikeuchi@shinkouseiki.co.jp

外からは見えませんが、骨のある会社です。

DAIDO STEEL GROUP
Beyond the Special



多彩なフィールドで、フロンティアを目指しています。

大同特殊鋼の素材は、暮らしや産業を支える多彩な製品や部品に使われています。

私たちはこれからも、素材の力で新たな価値創造に貢献していきます。

大同特殊鋼

10

2020
Vol.59
No.10

まてりあ

◎会告原稿締切：毎月1日
(翌月号(1日発行)掲載です。)

金属なんでもランキング! No. 11 電気陰性度519

最近の研究 酸素発生反応に対する触媒活性発現のメカニズムとその応用に関する研究
八木俊介521

工業電解やエネルギー変換に利用される酸素発生反応に対する触媒活性の発現メカニズムに関する最新の研究を、筆者が本研究を始めるに至った経緯とともに解説。

摩擦プロセスの新たな活用 — 摩擦誘起薄膜合成 —

田邊匡生 大崎淳也 伊藤孝郁 塚田大智 小山 裕527

半導体材料である層状化合物の二硫化モリブデンについて、身近にある摩擦を用いる薄膜合成法を紹介。

新進気鋭 金属粒子の高温酸化を利用した自己治癒セラミックスの研究開発 丸岡大佑533

入門講座 微小領域における金属材料の材料力学
— II. 金属材料のサイズ効果と機械的特性の評価 — 曾根正人537

マイクロメートルサイズの金属材料の機械的物性に関するサンプルサイズ効果と結晶粒微細化の効果について紹介。

科学館めぐり 和鋼博物館(島根県安来市) 小村滴水542

先達からのお便り 大学生活(研究・教育・運営)50年を振り返って—新物質・新材料開発に向けて—
岡田益男544

"あのころ"のまてりあ 七つの話題「金属のさびはどのようにして起こるか」について 宮部さやか549

本会記事 会告558 支部行事563 掲示板564 会誌・欧文誌10号目次566	新入会員567 次号予告567 行事カレンダー568
---	--

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】 ナノ結晶ニッケルめっき試験片の微小圧縮試験前後の様子。(曾根正人 540頁 図2.7より抜粋)

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つては、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。

**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おります。

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリツシュ・ジャパン株式会社

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

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

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

FRITSCH “NANO 領域”

遊星型ボールミル “PREMIUM LINE”

モデル P-7 **新型**

特色

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



従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリツシュ社が開発した
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

フリツシ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

溶質原子の定量 メカニカルスペクトロスコピー

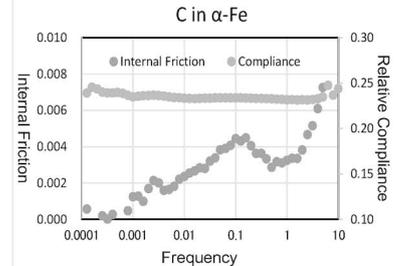
物質中の溶質原子は微量でその組織の性質を変化させます。当然ながらその含有量によって効果が異なるためにその分析測定が必要です。しかし化学分析や蛍光 X 線分析などでは析出したフリー原子も定量され、組織中に存在する溶質原子のみの定量はできません。そこで溶質原子のひずみエネルギーを検出するメカニカルスペクトロメータ MS 型（強制振動型内部摩擦測定装置）が力を発揮します。

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

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



MS-LHT (-150°C~500°C)



Cij 測定は力学特性から組織解明を可能に

電磁超音波共鳴式 弾性率・弾性定数装置 CC II - シリーズ

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

CC2-HT



弾性率と内部摩擦の高温測定で最高の装置

高温弾性率等同時測定装置 EG-HT

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



室温や比較的低温で最も信頼性の高い装置

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

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

JE-RT
& JG



強制振動式内部摩擦測定装置 メカニカルスペクトロメーター MS シリーズ

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



MS-LHT

共振法応用の弾性率や内部摩擦等の物性測定・試験・計測装置の開発専門企業

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

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

金属なんでもランキング!

No.11 電気陰性度

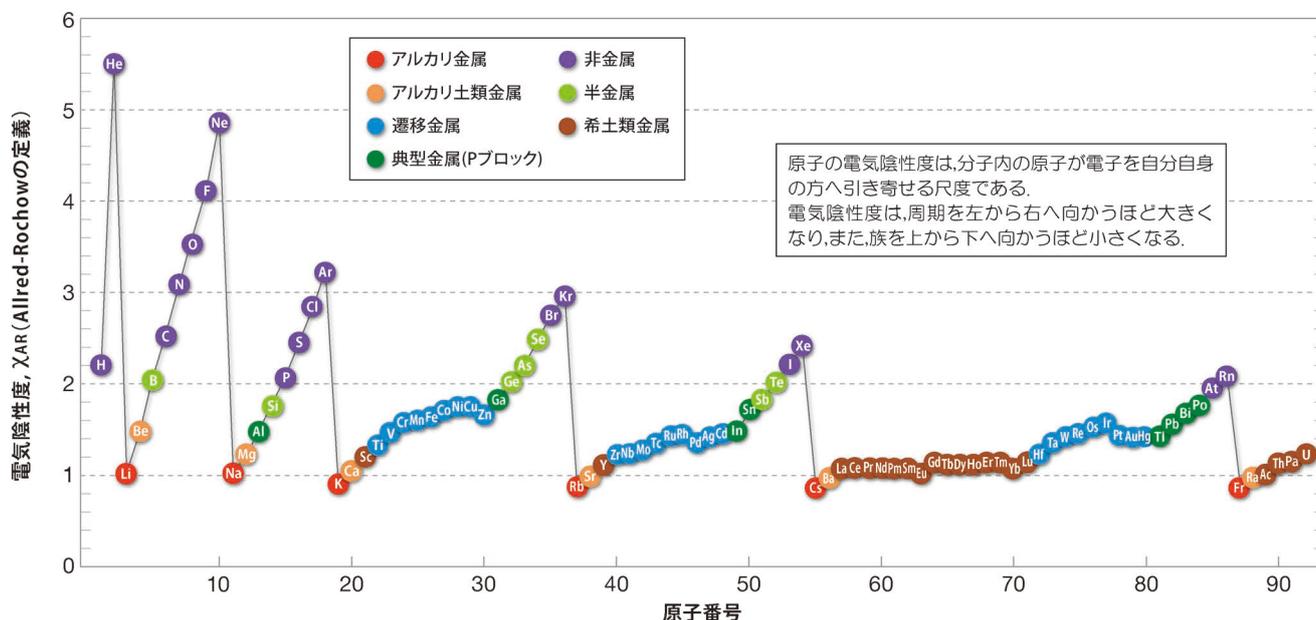


図1 各元素の電気陰性度。

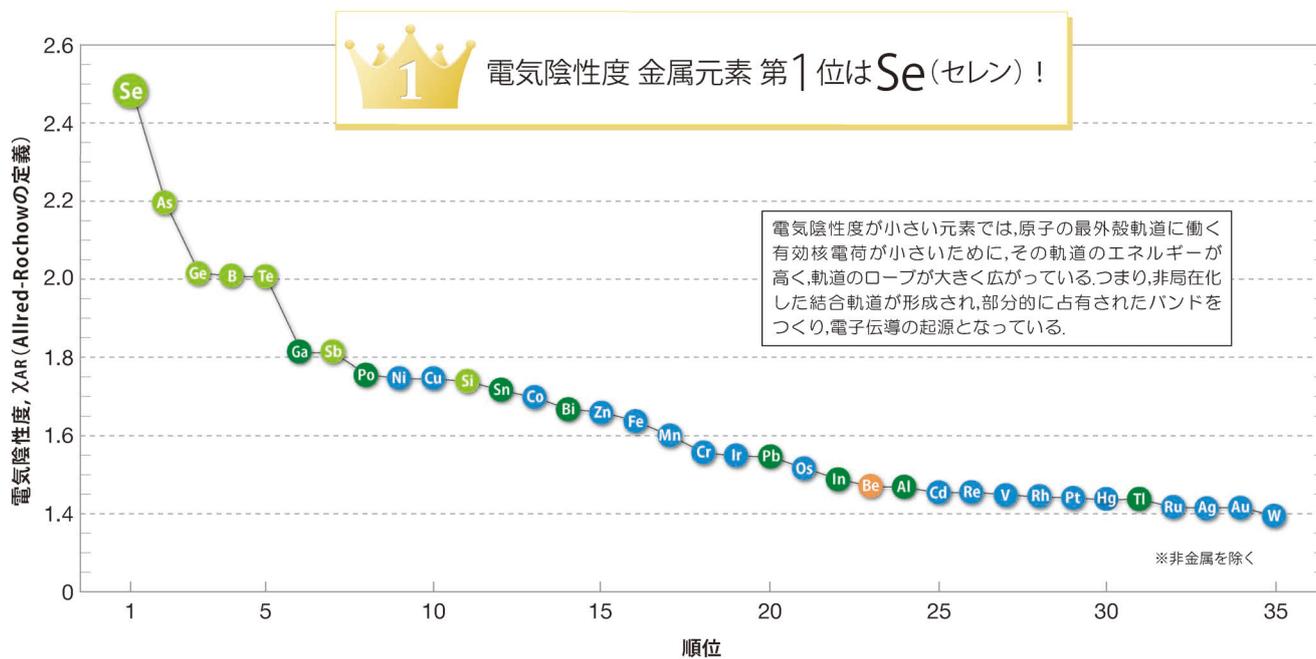


図2 金属元素の電気陰性度ランキング(35位まで)。

- 参考文献：(1) A.L. Allred and E.G. Rochow: J. Inorg. Nucl. Chem., **5**(1958), 264-268.
(2) E.J. Liitle, Jr. and M.M. Jones: J. Chem. Educ., **37**(1960), 231-233.

次号! 金属素描 No. 12 アルミニウム



公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

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

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

最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

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

多様な研究者や技術者と交流ができます

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

研究成果を発表、討議して、研究を深めることができます

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

技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

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

表彰を受けられます

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

[入会するには(入会手続き)]

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい。

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

酸素発生反応に対する触媒活性発現のメカニズムとその応用に関する研究

八木 俊 介*

1. はじめに

この度は、「電気化学的手法に基づく金属および金属酸化物の液相合成とエネルギー変換・貯蔵材料への応用」と題した筆者の研究に対して、第78回功績賞を授与くださり、心より感謝を申し上げますと同時に、身の引き締まる思いである。受賞対象となった研究は、筆者が京都大学大学院工学研究科材料工学専攻の松原英一郎教授の研究室に助教として在籍していた際に、松原教授、同研究室の市坪哲准教授(現・東北大金研教授)、そして優秀な学生らとの議論を通して進めてきた研究が発端となっている。紙面の都合上、関連するすべての研究を記載することはできないため、本稿では、現在取り組んでいるエネルギー変換・貯蔵材料の研究、特に酸素発生触媒の研究に焦点を当て、これまでに報告されてきた酸素発生触媒活性の記述子(descriptor)に関する研究を振り返るとともに、筆者が酸素発生触媒の研究に取り組むことになったきっかけと、最近の研究成果を紹介する。

なお、「まてりあ」に原稿を掲載いただけるのは、約16年ぶりのことである。前回の掲載は、当時京都大学の博士課程学生(指導教員: 栗倉泰弘教授)であった筆者が日本側の窓口となって企画・運営した、日韓合同学生シンポジウムの開催報告(はばたく)であった⁽¹⁾。寄稿を提案くださった乾晴行先生に初稿をお渡ししたところ、学生らしい希望に満ち溢れた内容への改訂を勧められたことを鮮明に覚えている。また当時、京都大学21世紀COEプログラム「学域統合による新材料科学の研究教育拠点」主催の、専攻を跨いだヨーロッパワークショップへの参加を推薦くださったのも乾先生であった⁽²⁾。表彰状に日本金属学会第68代会長、すなわち乾先生のお名前が印字されているのを拝見して当時を思い出し、感謝の念に堪えない。

2. 酸素発生触媒研究との出会い

筆者が酸素発生触媒の研究に取り組み始めたのは、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)科学技術振興調整費「若手研究者の自立的な研究環境整備促進」および科学技術人材育成費補助金「テニュアトラック普及・定着事業」の助成により、大阪府立大学でテニュアトラック講師として研究室を主宰していた頃である。2011年に京都大学から異動して着任した筆者は、JST ALCA(代表: 市坪哲准大准教授、現・東北大金研教授)のプロジェクトで、市坪哲先生と土井貴之先生(当時同志社大准教授、現・同教授)とともに、マグネシウムイオンをキャリアとして用いる新しい蓄電池の研究を、主な研究テーマとして進めていた。そんな中、当時同僚であった山田幾也先生(現・大阪府立大准教授)に、高压で合成した少し変わった酸化物を電気化学触媒として評価できないかと相談された。正直なところ、当時、電気化学触媒研究の経験は全く無かったが、「電気化学の専門家」として相談を受けた以上、何もしないわけにはいかなかった。そこで、以前より回転電極を用いた電気化学測定に興味があったので、これを好機と捉えて測定に必要な装置をすぐさま揃え測定原理を学ぶとともに、測定条件や触媒インク調製法の調査と確立を進めた⁽³⁾⁻⁽⁹⁾。こうして最初に測定した試料が、4価の鉄イオンを含む四重ペロブスカイト型酸化物 $\text{CaCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ であった⁽¹⁰⁾。運良くもこの物質は、酸素発生反応に対して特異的に高い活性を有していることが、その後行った他物質の活性との比較により明らかとなった。図1に単純ペロブスカイト型酸化物と四重ペロブスカイト型酸化物の構造の模式図を示す。八面体配位のBサイトにのみ遷移金属イオンを含む単純ペロブスカイト型酸化物(一般式 ABO_3)に対し、四重ペロブスカイト型酸化物(一般式 $\text{AA}'_3\text{B}_4\text{O}_{12}$)では、八面体配位

* 東京大学生産技術研究所; 准教授(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)
Study on the Mechanism of Catalytic Activity for Oxygen Evolution Reaction and Its Applications; Shunsuke Yagi (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan)
Keywords: oxygen evolution reaction, overpotential, catalyst, oxide, descriptor, energy conversion
2020年7月10日受理[doi:10.2320/materia.59.521]

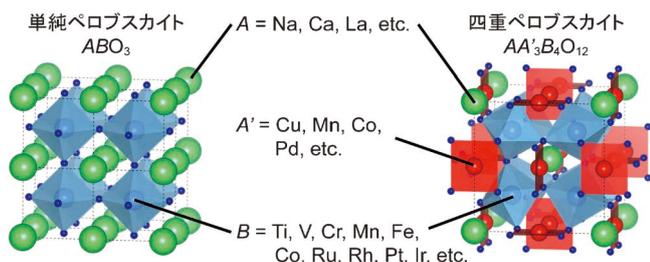


図1 単純ペロブスカイト型酸化物 ABO_3 と四重ペロブスカイト型酸化物 $AA'_3B_4O_{12}$ の模式図. 単純ペロブスカイト型酸化物は単一の遷移金属イオンしか含まないのに対して, 四重ペロブスカイト型酸化物は, 複数種の遷移金属イオンが異なる結晶学的サイト (A' , B) を占有した構造を有する. 四重ペロブスカイト型酸化物の多くは高压安定相であり, 数万気圧以上・千°C程度の高圧高温条件下で得ることができる. (オンラインカラー)

の B サイトに加え, 平面4配位の A' サイトにも遷移金属が含まれる. 例えば, Cu^{2+} や Mn^{3+} などのヤーン・テラー活性イオンをはじめとするいくつかの種類の遷移金属イオンが, A' サイトを占有可能である. このような四重ペロブスカイト型酸化物の構造に起因した共有結合性の高い緻密な結合ネットワークおよび, 平面4配位の A' サイトと八面体配位の B サイトを架橋するように反応中間体が吸着する新たな反応経路が生じることで, 酸素発生反応に対する活性と安定性が大きく向上することがわかってきた. 山田先生より後に窺った話では, 彼が当時所属していた JST さきがけの領域会議にて, 当時東大教授であられた山口周先生(現・東大名誉教授)に, 酸素還元触媒としての評価を勧められたので声をかけた, とのことだった. 一連の研究により, $CaCu_3Fe_4O_{12}$ は酸素還元反応にはほとんど活性を示さないことがわかったが, 山口先生のアドバイスが無ければそもそも本研究に取り組むことは無く, $CaCu_3Fe_4O_{12}$ の酸素発生反応に対する特異的に高い活性も見つけられなかった, もしくは発見が大幅に遅れたことは間違いない. 測定条件や方法を確立した後は, 誰でも再現性よく測定が可能となり, 山田先生と同僚かつ大学時代の同期生でもある大阪府立大学の池野豪一准教授とのチームを基本として, 北見工業大学の平井慈人准教授, 慶應大学の神原陽一教授らをはじめとする国内の研究者とも協力して, 様々な物質の酸素発生触媒活性を測定していった⁽¹⁰⁾⁻⁽²¹⁾. 具体的には, 単純ペロブスカイト型酸化物⁽¹¹⁾⁽¹³⁾⁻⁽¹⁶⁾, 四重ペロブスカイト型酸化物⁽¹⁰⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾, 複合アニオン酸化物⁽¹⁷⁾, パイロクロア型酸化物⁽¹⁹⁾, スピネル型酸化物⁽²¹⁾, そして複合硫化物⁽²²⁾などである. 本稿で示す密度汎関数法(Density functional theory: DFT)に基づく第一原理計算の結果はすべて, 池野豪一准教授およびその指導学生によるものである.

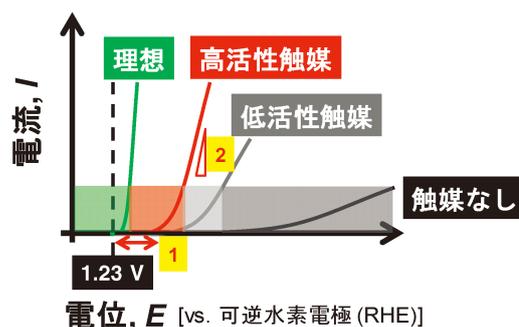


図2 酸素発生反応に対応する電流-電位曲線の模式図. (オンラインカラー)

3. 酸素発生反応

酸素発生反応は, 水電解水素製造や亜鉛の電解製錬プロセスなどにおける陽極反応として, 工業的に広く用いられている. また金属空気二次電池の充電時における陽極反応でもある⁽²³⁾⁻⁽²⁵⁾. 酸素発生反応を進行させるためには, O_2/H_2O 酸化還元対の平衡電位 (1.23 V vs. RHE: 可逆水素電極基準) よりも高い値に電極の電位を設定する必要があるが, 実際の系では, 活性化エネルギーに相当する過電圧分の電圧を余分に印加しなければ反応は進行せず, 著しく大きい過電圧は, 莫大なエネルギー損失の原因となる. また, 同じだけ電流を流すために電位を高く設定せねばならず, 強い酸化雰囲気中で反応を進行させることになり, 副反応誘起の原因にもなる. 等核二原子分子である O_2 が生成する酸素発生反応は単純な反応のようであるが, 実は反応物である H_2O や OH^- イオンの吸着, 電極との電子授受, 酸素-水素結合の開裂や酸素-酸素結合の形成などをともなう非常に複雑な反応であり, 過電圧が大きくなる傾向がある. したがって, 過電圧の低減は酸素発生反応を工業的に利用する上で極めて重要であり, 酸素発生反応に対して高活性が発現する普遍的な条件を探索する研究は, 後述するように古くから行われてきた. 図2は酸素発生反応に対応する電流-電位曲線の模式図である. 酸素発生反応の電流-電位曲線は基本的に Butler-Volmer 式⁽⁵⁾に従い, 同じ電位では, 交換電流密度に比例して電流密度が大きくなるため, 活性の向上には過電圧の低減に加えて交換電流密度の増大も必要である. 本稿では特に過電圧に注目し, 高活性, すなわち低い過電圧の発現条件に関する酸素発生触媒研究について述べる.

4. 高活性発現の条件

1980年に Trasatti は, 低価数の酸化物から高価数の酸化物(活性を考えている対象酸化物)へ遷移する際の標準エンタルピー変化に対して過電圧をプロットすると, 火山型となることを報告した(図3)⁽²³⁾. 標準エンタルピー変化が負に大きいほど, 活性中心となる金属原子と酸素の結合が強いと考えられるため, 適度な強さの金属-酸素結合を有する酸化物

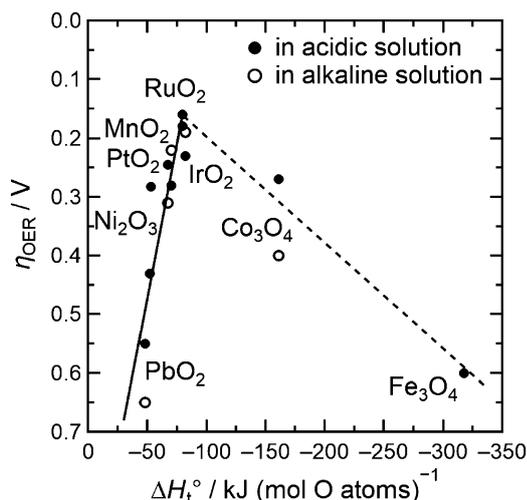


図3 O_2 分子が $1/2$ モル反応して、低価数の酸化物から高価数の酸化物(活性を考えている対象酸化物)へ遷移する際の標準エンタルピー変化 ΔH_t^0 と酸素発生反応に対する過電圧 η_{OER} の関係. Trasatti の報告⁽²³⁾をもとに筆者らが描画.

が高活性を示すということになる. とはいふものの, この火山型プロットは非対称で, ほとんどの単純酸化物において, 金属原子と酸素の結合が強くなるほど(標準エンタルピー変化が負に大きくなるほど)過電圧が小さくなることから, 反応物である H_2O や OH^- イオンから生じる反応中間体が活性サイトへと吸着する割合が, 金属原子と酸素の結合が強くなるほど増大していくと考えられている. 例外的に, より強い金属-酸素結合を有する Fe_3O_4 や Co_3O_4 の過電圧が大きいのは, これらの酸化物自体が容易に酸化されるため, 多くの活性サイトが反応中間生成物で常に埋まっている状態となるからだとされている. 以上を言い換えれば, 強すぎる金属-酸素結合は, 吸着した反応中間体を放出しにくく, 一方で弱すぎる金属-酸素結合は, 反応中間体がそもそも活性サイトに吸着しにくいということである. 火山型プロットの頂点に位置する RuO_2 や IrO_2 などの貴金属酸化物は, 現在においても酸素発生反応に対して高い活性を示す酸化物として, 工業的にも用いられている⁽²⁶⁾⁻⁽²⁹⁾. これらの貴金属酸化物は, 酸性~塩基性の幅広い pH 領域で触媒活性を示し, 特に, 多くの遷移金属が溶解する酸性領域においても安定して活性を示すことが知られている⁽³⁰⁾.

貴金属を含有しない安価な触媒の研究開発も盛んに行われている. 2011年に Suntivich らはペロブスカイト型酸化物を対象に研究を行い, B サイト(8 面体サイト)に存在する金属イオンの e_g 軌道電子数がおよそ 1 のときに, 金属活性サイトと吸着反応中間体との間で電子の授受が促進され, 高活性が発現すると報告している⁽²⁴⁾. しかしながら, 酸素欠損, 中間スピン状態, 複数の金属イオン間の電荷不均化などの寄与を, 無視あるいは簡略化して決定した e_g 軌道電子数を使用して導き出された記述子であるため, 必ずしも活性が見えるわけではないことを確認している. それでも, 金属活

性サイトと吸着反応中間体との電子の授受に注目したこの研究は, その後の研究の進展に大きな役割を果たした.

2013年に Grimaud らは二重ペロブスカイト型酸化物について, 酸化物中の酸素の 2p バンド中心(正確には重心)がフェルミ準位に近いほど, 活性が高くなると報告している⁽³¹⁾. すなわち, 酸素の p バンドの非局在性が高まれば, 金属活性サイトと吸着反応中間体間での電子の授受が促進されるという考えである. 酸素の 2p バンド中心は, 第一原理計算によって求められており, 計算科学の発展により可能となったアプローチでもある. さらに, 触媒に吸着した反応中間体から直接酸素が発生する反応(AEM: Adsorbate evolving mechanism)と, 触媒の格子酸素からの酸素発生が先に進行する反応(LOM: Lattice oxygen-participation mechanism)のどちらが優勢かといったことも, 各素過程の自由エネルギー変化を第一原理計算によって求め, それらの値を比較することで議論できるまでに至っている⁽³²⁾.

5. 酸素発生触媒活性の新たな記述子

筆者らが測定した数多くの四重ペロブスカイト型酸化物と単純ペロブスカイト型酸化物の酸素発生反応に対する過電圧 η_{OER} を, 第一原理計算により求めた酸化物中の酸素 2p バンド中心 ϵ_{2p} に対してプロットしたものが図 4 である⁽¹⁶⁾. 先に述べた通り, Grimaud らは ϵ_{2p} がフェルミ準位 E_F に近いほど, 活性が高くなると報告している⁽³¹⁾. しかしながら, 今回検討した系においては, 過電圧 η_{OER} と ϵ_{2p} の間に明確な関連性は見られなかった. そこで図 5 の模式図に示すように, 金属の非占有 3d バンド中心 ϵ_{3d-um} と酸素 2p バンド中心 ϵ_{2p} の差を電荷移動エネルギー Δ ⁽¹⁵⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾として, 過電圧を Δ に対してプロットしたものが図 6 である⁽¹⁶⁾. 四重ペロブスカイト型酸化物と単純ペロブスカイト型酸化物はそれぞれ別の直線に沿って分布しており, 同種の遷移金属イオンを含

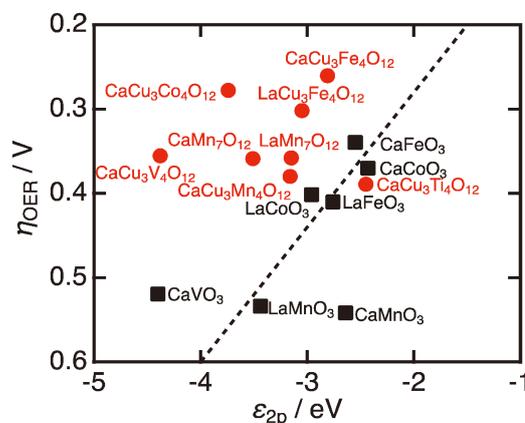


図 4 酸素 2p バンド中心 ϵ_{2p} に対してプロットした四重ペロブスカイト型酸化物(●)と単純ペロブスカイト型酸化物(■)の過電圧 η_{OER} . データはすべて常温常圧, 0.1 M KOH 水溶液(pH~13)中で測定したものである. (オンラインカラー)

む四重ペロブスカイト型酸化物の方が、単純ペロブスカイト型酸化物よりも低い過電圧(高い活性)を示す傾向があることが明らかとなった。また同じ構造で比較した場合、 Δ が小さいほど過電圧が小さくなる傾向がみとれる⁽¹⁵⁾。以上より電荷移動エネルギー Δ は、酸素発生反応に対する過電圧と強い相関があるといえる。水電解による酸素発生反応は、活性サイトに吸着した OH^- あるいは H_2O から電子を奪う反応であるため、厳密には、酸化物中の酸素の2pバンド中心 ϵ_{2p} ではなく、吸着酸素の2pバンド中心 $\epsilon_{2p'}$ を用いなければならない。しかしながら、 ϵ_{2p} と $\epsilon_{2p'}$ は遷移金属イオンの置換などにより同様の变化を示し、定性的に議論する限りは、計算が単純化できる ϵ_{2p} を用いて議論してもそれほど結果は変わらないことを明らかにしている⁽¹⁵⁾。Leeらはこの考え方を応用し、金属の占有3dバンド中心 ϵ_{3d} が酸素2pバンド中心 ϵ_{2p} よりも低い単位にくるCo系酸化物 $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ に酸素欠損を導入して、 Δ の低減と ϵ_{3d} のフェルミ準位への

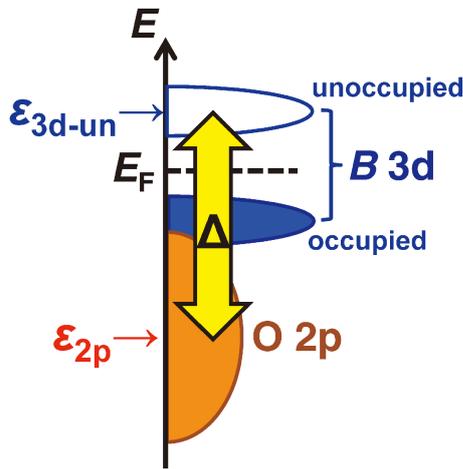


図5 電荷移動エネルギー($\Delta = \epsilon_{3d-un} - \epsilon_{2p}$)の模式図。(オンラインカラー)

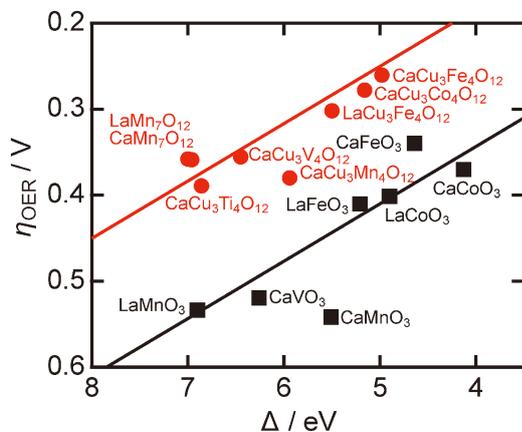


図6 電荷移動エネルギー Δ に対してプロットした四重ペロブスカイト型酸化物(●)と単純ペロブスカイト型酸化物(■)の過電圧 η_{OER} 。データはすべて常温常圧、0.1 M KOH 水溶液(pH~13)中で測定したものである。(オンラインカラー)

接近を同時に達成し、酸素発生反応と酸素還元反応の両方に活性を示す二機能性触媒設計の指針を提案している⁽³⁵⁾。また筆者らも、1つのサイトに2種類の異なる遷移金属イオンを混合させた場合に、それぞれのイオンのみを含むときよりも酸素発生反応に対する活性が向上する現象を、Special Quasirandom Structure (SQS)モデルを利用して、混合させたイオンごとに計算した電荷移動エネルギー Δ の比較により説明が可能であることを示した⁽³⁶⁾。

6. 四重ペロブスカイト型酸化物が有する構造的優位性

酸素発生触媒に関する一連の研究により、触媒活性の新しい記述子を提案するまでに至った。しかしながら、前節で示したように、同種の遷移金属イオンを含む四重ペロブスカイト型酸化物の方が、単純ペロブスカイト型酸化物よりも高い活性を示す理由については説明できていなかった。そこで筆者らは、構造が触媒活性に与える影響についても別途検討を行った。

四重ペロブスカイト型構造の優位性の一つは、構造内において緻密に張り巡らされた共有結合性の高い3次元結合ネットワークの存在(図7)である⁽¹⁰⁾⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。Bサイトに加え、A'サイトも遷移金属が占有する構造が鍵となっている。この緻密な共有結合性の高いネットワークにより、四重ペロブスカイト型酸化物の構造は安定化され、本来有する活性が長期間にわたって発現する。この点について、既報⁽¹⁰⁾⁽³⁸⁾で詳細を述べているので、ご参照願いたい。またもう一つの優位性は、反応の促進に効果的な、別の吸着サイトが生じることである。現在提唱されている酸素発生反応機構の1つは、ペロブスカイト型酸化物中の八面体型 BO_6 ユニットのうち、酸素が1つ欠損したピラミッド型のサイトに対して吸着した中間体が、 HO^* 、 O^* 、 HOO^* などを経て酸素分子 O_2 となるというものである(*は吸着サイトを表す)⁽³⁹⁾。一方で

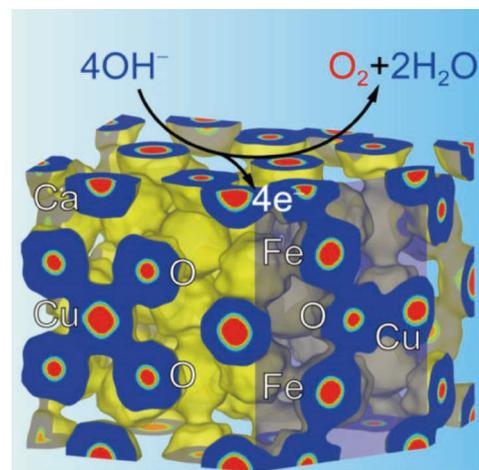


図7 放射光粉末X線回折データを用いてリートベルト法・最大エントロピー法による解析で得た、四重ペロブスカイト型酸化物 $\text{CaCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ の電子密度分布。(オンラインカラー)

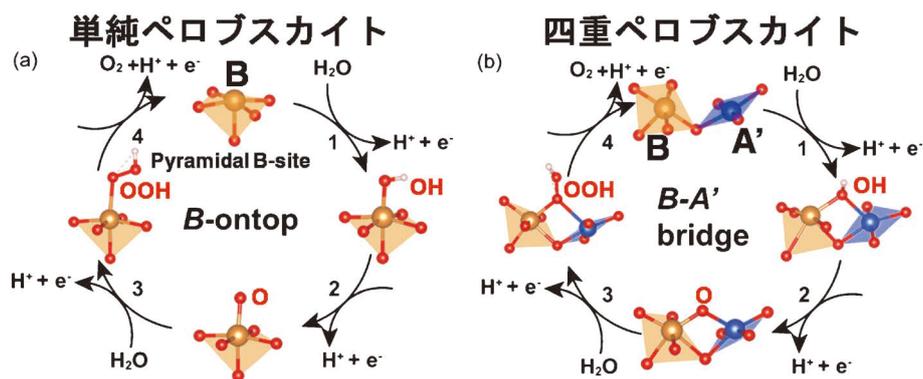


図8 DFTに基づく第一原理計算によって得られた4つの反応ステップにおける表面吸着エネルギーから推定された、(a)単純ペロブスカイト型酸化物と(b)四重ペロブスカイト型酸化物の表面で進行する酸素発生反応サイクルの模式図。(オンラインカラー)

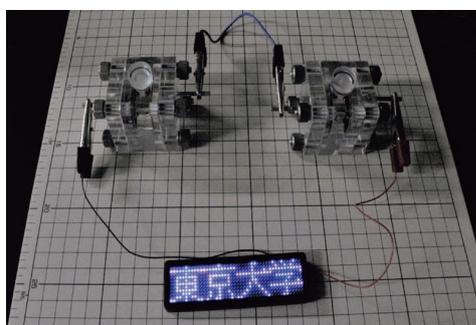


図9 酸素発生反応と酸素還元反応の両方に活性を有するコバルトとニッケルの複合硫化物 $\text{Co}_{9-x}\text{Ni}_x\text{S}_8$ を触媒として用いて試作した亜鉛空気二次電池。(オンラインカラー)

図1に示すように、四重ペロブスカイト型酸化物では、 A' サイトを占有する遷移金属イオンに対して4つの酸素が平面的に配位する特徴的な平面型 $A'O_4$ ユニットが存在する。これら中間体の表面吸着エネルギーを第一原理計算によって求めたところ、四重ペロブスカイト型酸化物では、 A' サイトと B サイトを架橋するように反応中間体が吸着するときに、表面吸着エネルギーは最小となった。以上の結果より、単純ペロブスカイト型酸化物と四重ペロブスカイト型酸化物の表面で進行する酸素発生反応サイクルは、図8のようになると考えられる。配位飽和した A' サイトにも、反応中間体が弱く架橋することにより、酸素発生反応に対して丁度良い結合強度が実現されるのだと考えている。

筆者らは以上の知見を利用して、もともと酸素還元反応に対して高い活性を有するマンガン酸化物の構造を四重ペロブスカイト型構造とすることにより、酸素発生反応と酸素還元反応の両方に活性を有する二機能性触媒 ($\text{AMn}_7\text{O}_{12}$, $A = \text{Ca}$ or La) の開発にも成功している⁽²⁰⁾⁽³⁹⁾。現在は、酸化物以外の物質も対象として研究を進めており、例えば、コバルトとニッケルの複合硫化物 $\text{Co}_{9-x}\text{Ni}_x\text{S}_8$ を触媒として用いて、図9に示すような金属空気二次電池の試作と評価を行っている⁽⁴⁰⁾。

7. 最後 に

本稿では、酸素発生反応に対する触媒活性の記述子や、構造が活性に与える影響について述べた。しかしながら、触媒の活性は、触媒が有する本質的な活性に加えて、触媒粒子の大きさや分散状態、結晶性、安定性などによっても変化するため、活性を最大化するためには、あらゆる影響を考慮した総合的な取り組みが必要である⁽⁴¹⁾。また本稿では、塩基性水溶液中で触媒を評価した結果を主に示したが、亜鉛の電解製錬プロセスなどのように、酸性～中性水溶液に浸漬した陽極で、酸素発生反応が進行する工業電解プロセスも存在する。強酸性水溶液中では多くの酸化物が溶解するため、系統的な検討が非常に困難であるが、貴金属を含有するいくつかの酸化物で安定した評価が行えることがわかってきた。以上のように、取り組むべき課題は山積しており、今後も基礎・応用研究を問わず、電気化学触媒および高効率なエネルギー変換・貯蔵を実現できる材料やデバイスの開発を目指して、鋭意研究に取り組んでいく所存である。

一連の成果は、多くの研究者および学生と電気化学触媒の研究を進める中で得られたものであり、関わってくださったすべての方に御礼を申し上げる。特に、大阪府立大学の山田幾也准教授、池野豪一准教授、当研究室の河野航大君には原稿のチェックもしていただいた。本研究は、JSPS 科研費 (15H04169, 17K18973, 18H03835, 20H05180) および東京大学生産技術研究所選定研究・展開研究、東京大学卓越研究員制度の支援の下で実施された。

文 献

- (1) 八木俊介: まてりあ, **12**(2004), 1046.
- (2) 八木俊介: 資源と素材, **122**(2006), 462-463.
- (3) 電気化学会: Q&A で理解する電気化学の測定法, みみずく社, 医学評論社, (2009).
- (4) A. J. Bard and L. R. Faulkner: *Electrochemical Methods: Fun-*

- damentals and Applications, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, (2001).
- (5) J. O. M. Bockris, A. K. N. Reddy and M. E. Gamboa-Aldeco: *Modern Electrochemistry 2A: Fundamentals of Electrochemistry*, Springer US, (1998).
- (6) 八木俊介: 粉体および粉末冶金, **67**(2020), 334–337.
- (7) 藤嶋 昭, 相澤益男, 井上 徹: 電気化学測定法(下), 技報堂出版株式会社, (1984).
- (8) 電気化学会編: 電気化学測定マニュアル 基礎編, 丸善株式会社, (2002).
- (9) 藤嶋 昭, 立間 徹 共訳: Donald T. Sawyer, Andrzej Sobkowiak, Julian L. Roberts, Jr., 電気化学測定法の基礎 *Electrochemistry for Chemists*, 2nd Ed., (2003).
- (10) S. Yagi, I. Yamada, H. Tsukasaki, A. Seno, M. Murakami, H. Fujii, H. Chen, N. Umezawa, H. Abe, N. Nishiyama and S. Mori: *Nat. Commun.*, **6**(2015), 8249.
- (11) I. Yamada, T. Otake, K. Asai, K. Oka, S. Kawaguchi, K. Wada and S. Yagi: *Mater. Chem. Front.*, **3**(2019), 1209–1217.
- (12) Y. Okazaki, I. Yamada and S. Yagi: *Mater. Trans.*, **61**(2020), 1523–1526.
- (13) M. Kinoshita, I. Yamada, S. Kawaguchi, K. Oka and S. Yagi: *Mater. Trans.*, **61**(2020), 1507–1509.
- (14) S. Hirai, T. Ohno, R. Uemura, T. Maruyama, M. Furunaka, R. Fukunaga, W. T. Chen, H. Suzuki, T. Matsuda and S. Yagi: *J. Mater. Chem. A*, **7**(2019), 15387–15394.
- (15) I. Yamada, A. Takamatsu, K. Asai, T. Shirakawa, H. Ohzuku, A. Seno, T. Uchimura, H. Fujii, S. Kawaguchi, K. Wada, H. Ikeno and S. Yagi: *J. Phys. Chem. C*, **122**(2018), 27885–27892.
- (16) I. Yamada, A. Takamatsu, K. Asai, H. Ohzuku, T. Shirakawa, T. Uchimura, S. Kawaguchi, H. Tsukasaki, S. Mori, K. Wada, H. Ikeno and S. Yagi: *ACS Appl. Energy Mater.*, **1**(2018), 3711–3721.
- (17) S. Hirai, K. Morita, K. Yasuoka, T. Shibuya, Y. Tojo, Y. Kamihara, A. Miura, H. Suzuki, T. Ohno, T. Matsuda and S. Yagi: *J. Mater. Chem. A*, **6**(2018), 15102–15109.
- (18) A. Takamatsu, I. Yamada, S. Yagi and H. Ikeno: *J. Phys. Chem. C*, **121**(2017), 28403–28411.
- (19) S. Hirai, S. Yagi: W.-T. Chen, F.-C. Chou, N. Okazaki, T. Ohno, H. Suzuki and T. Matsuda: *Adv. Sci.*, **1700176**(2017), 1700176.
- (20) I. Yamada, H. Fujii, A. Takamatsu, H. Ikeno, K. Wada, H. Tsukasaki, S. Kawaguchi, S. Mori and S. Yagi: *Adv. Mater.*, **29**(2017), 1603004.
- (21) S. Hirai, S. Yagi, A. Seno, M. Fujioka, T. Ohno and T. Matsuda: *RSC Adv.*, **6**(2016), 2019–2023.
- (22) Z. Cai, I. Yamada and S. Yagi: *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **12**(2020), 5847–5856.
- (23) S. Trasatti: *J. Electroanal. Chem.*, **111**(1980), 125–131.
- (24) J. Suntivich, K. J. May, H. a Gasteiger, J. B. Goodenough and Y. Shao-Horn: *Science*, **334**(2011), 1383–5.
- (25) A. Grimaud, O. Diaz-Morales, B. Han, W. T. Hong, Y.-L. Lee, L. Giordano, K. A. Stoerzinger, M. T. M. Koper and Y. Shao-Horn: *Nat. Chem.*, **9**(2017), 457–465.
- (26) Y. H. Fang and Z. P. Liu: *J. Am. Chem. Soc.*, **132**(2010), 18214–18222.
- (27) E. Tsuji, A. Imanishi, K. I. Fukui and Y. Nakato: *Electrochim. Acta*, **56**(2011), 2009–2016.
- (28) K. A. Stoerzinger, L. Qiao, M. D. Bieganski and Y. Shao-Horn: *J. Phys. Chem. Lett.*, **5**(2014), 1636–1641.
- (29) T. Audichon, T. W. Napporn, C. Canaff, C. Morais, C. Comminges and K. B. Kokoh: *J. Phys. Chem. C*, **120**(2016), 2562–2573.
- (30) S. Cherevko, S. Geiger, O. Kasian, N. Kulyk, J. P. Grote, A. Savan, B. R. Shrestha, S. Merzlikin, B. Breitbach, A. Ludwig and K. J. J. Mayrhofer: *Catal. Today*, **262**(2016), 170–180.
- (31) A. Grimaud, K. J. May, C. E. Carlton, Y.-L. Lee, M. Risch, W. T. Hong, J. Zhou and Y. Shao-Horn: *Nat. Commun.*, **4**(2013), 2439.
- (32) J. S. Yoo, X. Rong, Y. Liu and A. M. Kolpak: *ACS Catal.*, **8**(2018), 4628–4636.
- (33) W. T. Hong, K. A. Stoerzinger, Y.-L. Lee, L. Giordano, A. Grimaud, A. M. Johnson, J. Hwang, E. J. Crumlin, W. Yang and Y. Shao-Horn: *Energy Environ. Sci.*, **10**(2017), 2190–2200.
- (34) H. Li, Y. Chen, S. Xi, J. Wang, S. Sun, Y. Sun, Y. Du and Z. J. Xu: *Chem. Mater.*, **30**(2018), 4313–4320.
- (35) H. Lee, O. Gwon, K. Choi, L. Zhang, J. Zhou, J. Park, J. W. Yoo, J. Q. Wang, J. H. Lee and G. Kim: *ACS Catal.*, **10**(2020), 4664–4670.
- (36) I. Yamada, M. Kinoshita, S. Oda, H. Tsukasaki, S. Kawaguchi, K. Oka, S. Mori, H. Ikeno and S. Yagi: *Chem. Mater.*, **32**(2020), 3893–3903.
- (37) K. Momma and F. Izumi: *J. Appl. Crystallogr.*, **44**(2011), 1272–1276.
- (38) F. Izumi and K. Momma: *Solid State Phenom.*, **130**(2007), 15–20.
- (39) 八木俊介, 池野豪一, 山田幾也: *J. MMIJ*, **133**(2017), 264–269.
- (40) 山田幾也, 高松晃彦, 池野豪一, 八木俊介: *日本結晶学会誌*, **60**(2018), 76–77.
- (41) Z. Cai, I. Yamada and S. Yagi: *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **12**(2020), 5847–5856.
- (42) S. Yagi, K. Wada, J. Yuuki, W. Liu and I. Yamada: *Mater. Trans.*, **61**(2020), 1698–1702.



八木俊介

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

2007年 京都大学大学院工学研究科博士課程修了
 2007～2011年 京都大学大学院工学研究科 助教
 2011～2016年 大阪府立大学21世紀科学研究機構 テ
 ニュアトラック講師

2016年4月～ 現職
 専門分野: 材料電気化学, エネルギー貯蔵・変換材
 料, 湿式表面処理

◎次世代蓄電池用材料, 電気化学触媒, 防食を目的
 とした湿式表面処理に関する研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

摩擦プロセスの新たな活用

—摩擦誘起薄膜合成—

田邊 匡生* 大崎 淳也¹⁾* 伊藤 孝郁²⁾*
塚田 大智¹⁾* 小山 裕³⁾*

1. はじめに

グラフェンのような2次元材料は、共有結合やイオン結合のような強い結合で形成された単原子層が一層ずつファンデルワールス力などの弱い結合で積み重なる層状構造を有する⁽¹⁾。遷移金属カルコゲナイドの一種である二硫化モリブデン(MoS_2)は、古くから潤滑材として利用される層状化合物であり、硫黄原子間の弱い結合に起因して各層がずれやすい特長から、機械部品の摺動部における摩擦低減に活用されている^{(2)–(4)}。従来までの研究において、エンジンを構成する材料のひとつである高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)やステンレス材料などの基材表面において、ポリ- α -オレフィン(PAO)溶媒中に溶質としてジアルキルジチオカルバミン酸モリブデン(MoDTC)を加えた溶液が存在すると、摩擦界面で基材との化学反応が生じ、基材表面上に MoS_2 がフレーク状に析出することが知られている。 MoS_2 粒子の大きさは基材の表面粗さにもよるが、1~数 μm サイズで表面凸部に形成し、これまで透過電子顕微鏡(TEM)観察やラマン分光測定により、これら MoS_2 は最表面にて層状構造を有することが分かっている⁽³⁾⁽⁴⁾。

一方で、 MoS_2 をはじめとする層状化合物は、その結晶構造に起因して特異な電子物性が発現することから注目され、最近多くの研究がなされている^{(5)–(20)}。そのひとつとして、 MoS_2 は分子1層まで容易に薄膜化できることから電界効果型トランジスタ(FET)のチャンネルに適用されている⁽¹¹⁾。例えば、限定された層内におけるキャリアの長寿命・高移動度

をデバイス構造に実現できるため、従来のシリコンデバイスでは設計できなかった高速化や省電力化の実現、さらに水素生成触媒表面としての適用が期待されている⁽²⁰⁾。しかしながら、これらの研究で使用されている結晶のほとんどが天然鉱物の MoS_2 であることから分かるように、 MoS_2 の成膜技術は確立されていない。その主たる原因は、 MoS_2 の層状構造を形成する反応メカニズムがいまだに未解明であり、ファンデルワールス力を制御するには至っていないことにある。

そこで、我々は摩擦界面の高温・高圧かつせん断が生じる特異な反応場を活用して、 MoS_2 層状薄膜を形成する新規合成法(摩擦誘起合成プロセス)を提案し、メカニズムの考察や合成条件に関する研究開発をはじめている⁽²¹⁾。PAOの溶媒に添加するMoDTCの摩擦界面における摩擦誘起反応について、摩擦条件(荷重、温度、すべり速度等)を制御して、最適化することで、 MoS_2 を層状構造の単結晶としてサブミリサイズの面積に成膜できることが分かってきた(図1参照)。いまのところその実測は極めて困難であろうかと思われるが、高温・高圧下の極限状態における化学反応の素過程による新規な薄膜形成プロセスであると考えている。合成反応に適する摺動条件をプロセス指針として確立し、摩擦をポジティブに捉える革新的反応として生産プロセスに活用されることを目指している。本手法は真空を必要としないプロセスであるため、ものづくりにおける成膜エネルギーコストの削減が期待できるだけでなく、摩擦誘起のプロセスであるため、任意の場所に必要な形状・サイズ・膜厚での成膜が可能となり、その効果としてフォトリソグラフィの工程を必要としない少量多品種のものづくりに適する。本稿では、事始めとし

* 芝浦工業大学；教授(〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14)

** 東北大学；1)大学院生，2)大学院生(現 住友金属鉱山㈱)，3)教授

Novel Friction Induced Crystal Growth of 2D Layered Materials; Tadao Tanabe*, Junya Osaki**, Takafumi Ito**, Daichi Tsukada**, Yutaka Oyama** (*Department of Engineering and Design, Shibaura Institute of Technology, Tokyo. **Department of Materials Science and Engineering, Tohoku University, Sendai)

Keywords: friction induced process, MoS_2 , tribology, tribo chemistry, MoDTC, sliding effect, 2D layered structure, photoluminescence

2020年8月17日受理[doi:10.2320/materia.59.527]

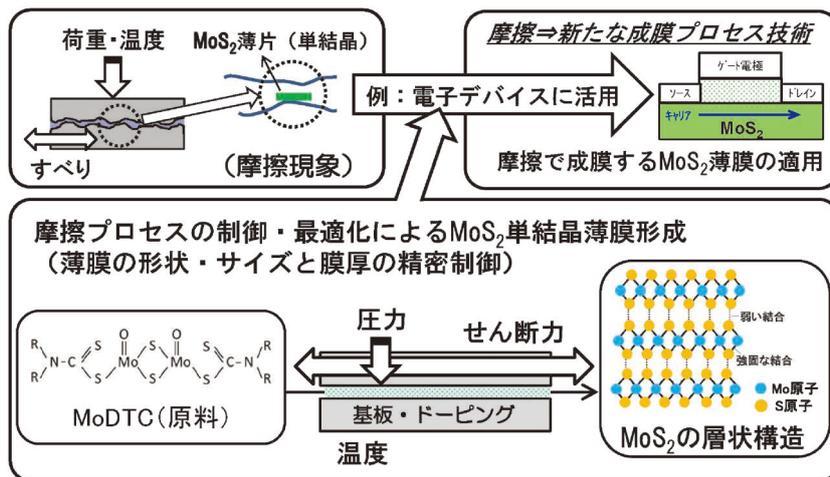


図1 摩擦現象に基づく摩擦誘起プロセスの研究展開.

て取り組んでいる摩擦誘起薄膜合成に関する研究を紹介する.

2. 摩擦誘起合成プロセス

執筆者らが以前に研究コーディネーターとして、ナノレベルの視点に基づく低摩擦に関するプロジェクトの推進に携わっていたとき、テラヘルツ光源結晶として研究しているGaSeと同様の層状化合物であることからなじみがあるMoS₂は、エンジンの摩擦界面において層状構造形成が温度や荷重、せん断速度の摩擦条件に強く依存することを知った。その時、摩擦条件を制御して最適化することにより半導体デバイスに適用できる高品質の層状単結晶を作製できるのではないかとひらめいた。特にMoS₂の成膜はCVD(化学気相析出法)による研究開発がなされているが、反応温度が800℃以上と高温であるため、蒸気圧が高いS(硫黄)はCVDへの適用が難しい材料である⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾。摩擦誘起合成プロセスにおいては、摩擦界面という閉じ込められた空間における急激な温度と圧力の増加と面内/面外の大きな異方性を活用することで、摩擦と同じ面内の層構造を有するMoS₂層状薄膜が形成する。成膜条件は摩擦の3態における境界潤滑であり、制御すべき摩擦パラメータは①荷重、②温度、③せん断速度、④基板の種類と表面粗さ、⑤溶液濃度、⑥摩擦プロセス時間である(図2)。

MoS₂の生成メカニズムとして幾つかの素過程が提案されているが⁽⁴⁾⁽²⁵⁾、いまだに明らかになっていない。実験的にも高温・高圧の条件だけでは反応は進まず、せん断力がこの反応を誘起していると考えられている。図3を用いて、その仮説を説明する。2つの表面が相対運動することで、添加剤として非摩擦界面に存在しているMoDTCが高温・高圧の雰囲気である摩擦界面にもぐり込む(① MoDTCの移動)。摩擦界面における温度や圧力は計測できていないが高温(450~850℃)・高圧(1 GPa)の瞬時の変化が予想されており⁽²⁶⁾、せん断力を含めてMoDTCを反応する駆動力となる(② MoDTCの反応)。ナノ秒程度の短時間における温度と

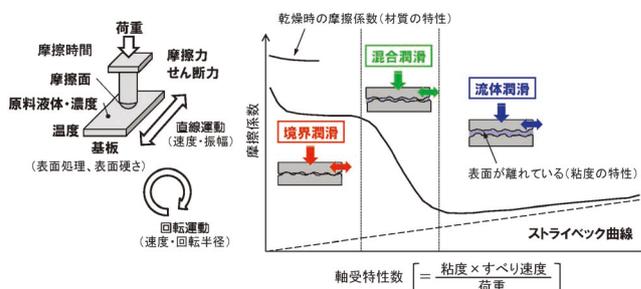


図2 摩擦誘起プロセスにおける制御パラメータ.

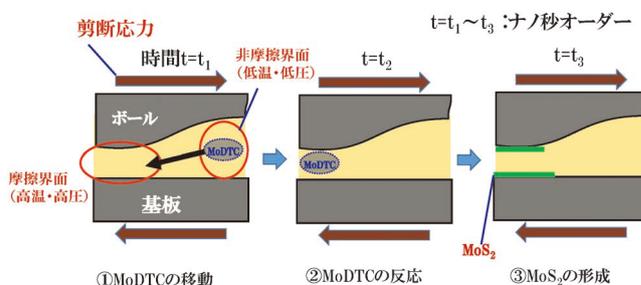


図3 摩擦誘起プロセスにおけるMoS₂の生成(仮説).

圧力の変化とせん断力により電子やイオンを含む反応が誘発されるMoS₂の生成メカニズム(③ MoS₂の形成)を我々は考えている。

せん断という力学場の中でエントロピーが減少するプロセスを成膜に活用する研究はとても希有であり、我々が知る限り、1970年代のNASAにおける摩擦による金属の結晶化だけである⁽²⁷⁾。力学的エネルギーが熱や摩擦粉に変わりエントロピーが増大する過程である、いわゆるメカノケミカル反応は、どちらかというとき焼き付きや摩擦・摩擦粉などとして産業界では嫌がられているものであるが、逆に本研究はそれを積極的に活用しようとするものである。摩擦を活用するプロセスは成膜に限定しなければ、シリコン結晶をパワーデバイス

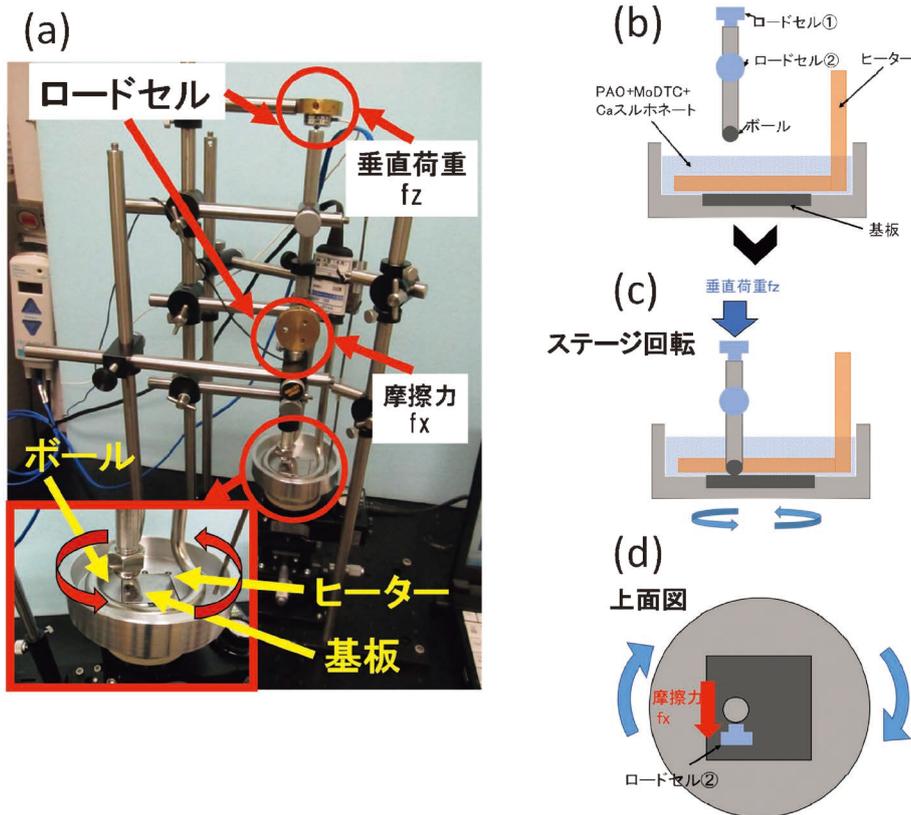


図4 摩擦誘起成膜装置(摩擦試験機).

に活用することを目的とする抵抗率(粒径)制御のほか、摩擦熱を局所的に発生させながら材料を攪拌させる金属接合がある。

3. 摩擦誘起成膜装置の構築

図4(a)に外観図を示すように、現在構築している摩擦誘起成膜装置はボールオンディスク型の摩擦試験機であり、回転ステージとするオイルバスの底部に設置する基板表面に相手材としてのボールが接触する。ボールを固定するロッドの反対側にはロッドとは独立にロードセル①を設置してあり(図4(b))、基板があるステージを上下に移動することにより印可荷重(f_z)を制御できる。溶液を満たしたオイルバスのステージを回転させることにより発生する摩擦力(f_x)を水平面内に設置するもうひとつのロードセル②で測定する(図4(c)(d))。これらの測定値から摩擦係数を算出する。溶媒は合成油であるPAOを用いて、溶質とするMoDTCを摩擦界面で反応させることで、基板表面に MoS_2 が成膜する。

4. 摩擦誘起プロセスによる MoS_2 薄膜の生成特性

基板はステンレス(304, 316, 403, 405, 420, 430)およびゲルマニウム単結晶Ge(100)として、相手材のボールは高炭素クロム軸受け鋼(SUJ2)とした。摩擦条件は印加荷重が10 N、基板温度は 80°C 、すべり速度は 2.6 mm/s である。

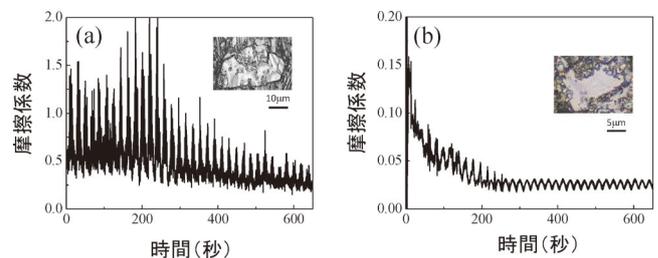


図5 摩擦誘起プロセスにおける摩擦係数の時間変化。(a) SUS430基板 (b) Ge(100)基板

(1) 摩擦係数測定/光学顕微鏡観察

基板としてSUS430およびGe(100)を用いたときの摩擦係数の時間変化を図5に示す。溶液の温度はそれぞれ、 80°C と 150°C であり、いずれにおいても摩擦係数が摺動時間の経過により減少していることが分かる。摩擦係数の振幅はステージの1回転に対応しており、水平水準器を用いてステージの水平を調整しているが、わずかな傾きによる荷重の変化により摩擦係数が振動する。SUS430を基板とするときの摩擦係数は約10分間の摺動により0.6から0.3に低減する。SUS430基板は#400のエメリー紙により研磨しており、表面粗さ(Ra)は3D測定レーザー顕微鏡(島津製作所製OLS4100)で測定した値として0.02である。なお、相手材であるSUJ2のボール表面の粗さは0.008である。Ge(100)基

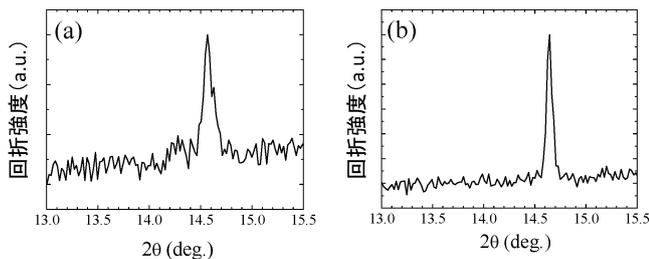


図6 摩擦誘起プロセス後の摺動部におけるX線回折パターン(Cu K α 線)
(a) SUS430基板 (b) Ge(100)基板

板は表面を鏡面仕上げしており、約5分の摺動により摩擦係数は0.13から0.03に低減する。基板とボールの材料に対するヤング率とポアソン比からヘルツの接触理論に基づいて接触面積を見積るとSUS基板の場合は約100 $\mu\text{m}\phi$ であり、最大圧力は1 GPaである。

摺動部周辺には図5の挿入図に見られる薄膜結晶が形成していることが光学顕微鏡で観察される。いずれもMoS₂の6回対象の結晶表面構造に由来する三角形ドメインを確認できる。1辺の大きさとしてはSUS430およびGe(100)のそれぞれに対して、50 μm と20 μm である。

(2) X線回折測定

摺動後のSUS430およびGe(100)の各基板表面に対してXRD測定を行った結果を図6に示す。いずれの回折パターンにおいても19°付近の基油であるPAOからのブロードな回折ピークとともにMoS₂(002)からの回折ピークを14.6°付近に確認でき、MoS₂が生成していることが分かる。ピーク位置はSUS430よりもGe(100)の基板表面において高角度側にあり、かつ半値幅は半分程度と小さい。このことからGe(100)に生成するMoS₂は層間距離が平均的に狭く、より平滑な表面に生成する結晶であるために圧縮されて、配向度が大きいことが考えられる。

他のステンレス基板としてはSUS304のみ同じ回折ピークが検出され、MoS₂の生成が確認できるが、その他のステンレス基板ではこの摩擦条件でMoS₂は生成しない。ステンレス表面におけるMoS₂生成の有無について、表面硬さとCr含有量に対してプロットしたものを図7(a)に示す。6種類のステンレス表面における結果だけであるが、表面硬さが小さく、Cr含有量が高いステンレス表面においてMoS₂が生成しやすい傾向があり、MoDTCからMoS₂の還元反応にCrが有効に機能していることと矛盾しない。MoS₂がMoO₃を中間体として生成することを仮定して、ゲルマニウムやシリコンの酸化反応も含めた自由エネルギー変化を考えると図7(b)の通りである。

(3) ラマン分光測定

SUS430とGe(100)の基板表面に生成したMoS₂の室温におけるラマンスペクトルを図8に示す。層状構造の面内と面

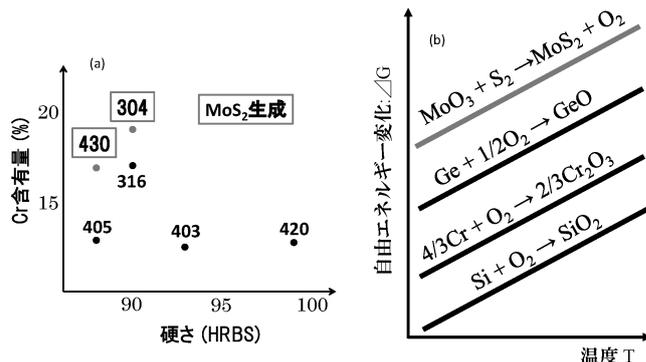


図7 (a) 摩擦誘起プロセスにおけるMoS₂生成の有無と基板の特性
(b) MoS₂生成反応と基板表面における酸化反応の自由エネルギー線図

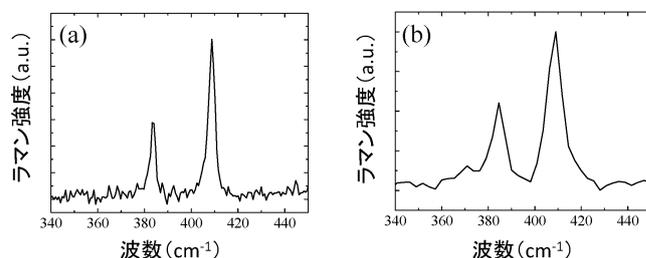


図8 摩擦誘起プロセス後の摺動部における顕微ラマンスペクトル。
(a) SUS430基板 (b) Ge(100)基板

外に対応するE_{2g}¹とA_{1g}¹の各分子振動モードによるラマンピークを383 cm⁻¹と408 cm⁻¹付近に確認できる。これら2つのピークの間隔から層数を見積もることができ⁽²⁸⁾⁻⁽³⁰⁾、いずれの基板表面に生成したMoS₂についてもその間隔は25 cm⁻¹より小さいことから、層数は5~6層である。また、結晶性については面内振動モードE_{2g}¹の半値幅で議論でき⁽³¹⁾、CVD法により成膜したMoS₂の半値幅は10 cm⁻¹であるのに対して、SUS430とGe(100)の基板表面に生成したMoS₂結晶における半値幅はそれぞれ2.6 cm⁻¹と3.4 cm⁻¹であり、天然鉱石を劈開したものと同程度であることから、摩擦誘起プロセスにより成膜した薄膜の結晶性は高いといえる。

図9はGe(100)の摺動部における光学顕微鏡観察および顕微ラマンマッピングの結果である。ラマンマッピングはMoS₂の面外振動モード(A_{1g}¹)に帰属するピーク強度分布である。摺動部に幅2~3 μm のMoS₂が形成していることが分かる。

(5) フォトルミネッセンス測定

図10にSUS430およびGe(100)基板表面に生成したMoS₂の室温におけるフォトルミネッセンス(PL)スペクトルを示す。ピーク波長656 nm(1.89 eV)のブロードな発光とあわせて、694 nm(1.79 eV)にショルダーが見られる。1.89 eVの

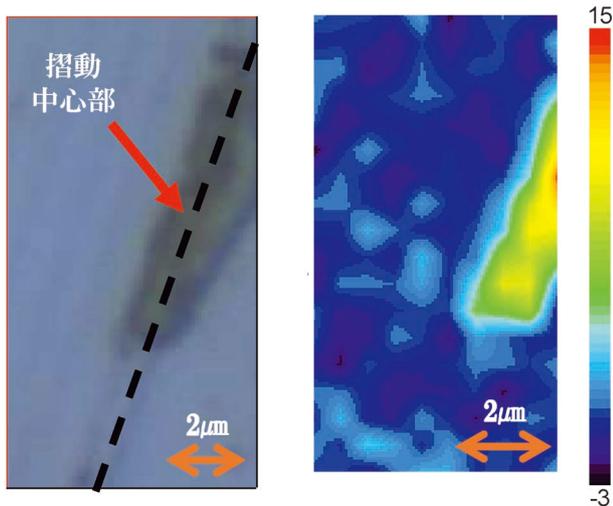


図9 ゲルマニウム基板表面に摩擦誘起成膜した MoS₂ 薄膜。
(左)光学顕微鏡像 (右)ラマンマッピング像

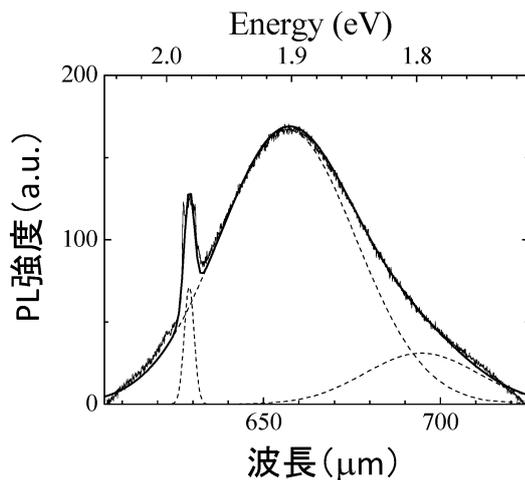


図10 摩擦誘起プロセス後の摺動部における PL スペクトル(基板: SUS430基板)

メインピークは MoS₂ 結晶中で電子と正孔の対がクーロン力によって束縛状態となった自由励起子(フリーエキシトン)による発光であり⁽³²⁾⁽³³⁾, 室温においてエキシトン発光が検出できたことは結晶における欠陥密度と不純物濃度のどちらも低く, 半導体レベルの高い結晶であることを示している. 1.79 eV における発光はエネルギーの大きさとして束縛励起子(トリオン)によるものである⁽³²⁾. 628 nm 付近の鋭い発光はアルキル基のラマンピークであり, 532 nm の励起光に対する波数としては 2873 cm⁻¹ に相当する. ラマン分光測定ならびにフォトルミネッセンス測定を行う前に基板表面を有機溶媒で洗浄しているが, 完全に除去していないことが分かる.

(6) MoS₂ の生成エネルギー

SUS430 と SUJ2 の各基板に, SUJ2 のボールを相手材と

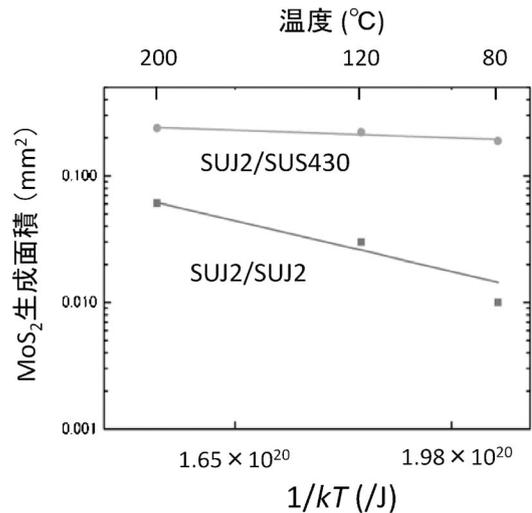


図11 MoS₂ 生成面積とプロセスにおける基油温度の関係.

して接触させた表面に対して, 80, 120, 200°C の基油温度で MoS₂ 薄膜を摩擦誘起プロセスにより生成した. ボールの摺動部に観察される黒く変色した部分から MoS₂ のラマンピークが確認されることからその部分を MoS₂ 生成面積とみなし, 生成する MoS₂ の面積を成膜時の基油温度でプロットしたものを図11に示す. SUJ2 と比較して, SUS430 を基板とすると生成面積が約10倍大きい. また, 相手材の種類にかかわらず, 程度の違いはあるが基油温度が高温になると生成面積が大きくなり, 生成エネルギーを見積もると, SUS430 と SUJ2 の各基板においてそれぞれ 10.8 meV と 81.3 meV である. 基板の種類と基油温度による生成エネルギーの差異から, 摩擦誘起による MoS₂ の成膜反応は表面組成と反応温度の影響を受けることが分かった.

5. まとめと今後の展望

本研究は新たな薄膜作製法である「摩擦誘起合成プロセス」により, ステンレスおよびゲルマニウムの基板表面に MoS₂ 薄膜を生成した. これまでの研究から摩擦誘起薄膜合成において, 摩擦係数の減少は層状構造を有する MoS₂ の形成に起因することが理解できる. 図3で示した反応メカニズムの仮説についてはいまのところ, ひとつの摩擦条件(印加荷重: 10 N, 基板温度: 80°C, すべり速度: 2.6 mm/s)における基材表面の反応性を考察しただけであり, 証明には不十分である. 今後の研究展開として, 図2に挙げる摩擦の各パラメータについて, 生成の効果を定量的かつ系統的に議論する必要がある. さらに接触点における温度と圧力の時間変化を知ることで, MoS₂ が生成する臨界摩擦条件と生成時間の議論が可能となる.

メカノケミカル反応により成膜した, いわゆるトライボフィルムである MoS₂ 薄膜から室温でエキシトン発光を確認したことは結晶として欠陥と不純物密度が低い, いわゆる結晶性が高いことを示すものであり, 半導体デバイスレベルのも

のだといえる。摩擦誘起の摺動部のみに成膜するのでフォトリソグラフィの工程を必要としない少量多品種のデバイス製造の視点をもつ。今後は摩擦誘起プロセスのメカニズム解明と適用例を増やし、薄膜形成・表面コーティングのプロセス技術としての実用化を展開したい。

文 献

- (1) V. L. Kalikhman and Ya. S. Umanski: Soviet Physics Uspekhi, **15**(1973), 728–741.
- (2) A. I. Brudnyi and A. F. Karmadonov: Wear, **33**(1975), 243–249.
- (3) J. M. Martin, C. Donnet, Th. Le Mogne and Th. Epicier: Phys. Rev. B, **48**(1993), 10583–10586.
- (4) C. Grossiord, K. Varlot, J.-M. Martin, Th. Le Mogne, C. Esnouf and K. Inoue: Trib. Int. **31**(1998), 737–743.
- (5) T. Tanabe, S. Zhao, Y. Sato and Y. Oyama: J. Appl. Phys., **122**(2017), 165105.
- (6) S. Takasuna, J. Shiogai, S. Matsuzaka, M. Kohda, Y. Oyama and J. Nitta: Phys. Rev. B, **96**(2017), 161303(R).
- (7) M. Suzuki, M. Kohda, S. Takasuna, S. Matsuzaka, Y. Sato, T. Tanabe, Y. Oyama and J. Nitta: JJAP Rapid Communication, **57**(2018), 020308.
- (8) K. F. Mak, C. Lee, J. Hone, J. Shan and T. F. Heinz: Phys. Rev. Lett., **105**(2010), 136805.
- (9) Q. H. Wang, K. K.-Zadeh, A. Kis, J. N. Coleman and M. S. Strano: Nat. Nanotechnol., **7**(2012), 699–712.
- (10) B. Radisavljevic, A. Radenovic, J. Brivio, V. Giacometti and A. Kis: Nat. Nanotechnol., **6**(2011), 147–150.
- (11) D. Lembke and A. Kis: ACS Nano, **6**(2012), 10070–10075.
- (12) D. Bertolazzi and A. Kis: Acc. Chem. Res., **48**(2015), 100–110.
- (13) A. D. Bartolomeo, L. Genovese, T. Foller, F. Giubileo, G. Luongo, L. Croin, S.-J. Liang, L. K. Ang and M. Schleberger: Nanotechnology, **50**(2017), 214002.
- (14) M. M. Furchi, D. K. Polyushkin, A. Pospischil and T. Mueller: Nano Lett., **14**(2014), 6165.
- (15) L. Yang, N. A. Sinitsyn, W. Chen, J. Yuan, J. Zhang, J. Lou and S. A. Crooker: Nat. Phys., **11**(2015), 830.
- (16) M. Onga, Y. Zhang, T. Ideue and Y. Iwasa: Nat. Mater., **16**(2017), 1193.
- (17) M.-L. Tsai, S.-H. Su, J.-K. Chang, D.-S. Tsai, C.-H. Chen, C.-I. Wu, L.-J. Li, L.-J. Chen and J.-H. He: ACS Nano, **8**(2014), 8317–8332.
- (18) T. Akama, W. Okita, R. Nagai, C. Li, T. Kaneko and T. Kato: Sci. Rep., **7**(2017), 11967.
- (19) J. T. Ye, Y. J. Zhang, R. Akashi, M. S. Bahramy, R. Arita and Y. Iwasa: Science, **338**(2012), 1193–1196.
- (20) Y. Yu, S.-Y. Huang, Y. Li, S. N. Steinmann, W. Yang and L. Cao: Nano Lett., **14**(2014), 553–558.
- (21) T. Tanabe, T. Ito and Y. Oyama: AIP Advances, **8**(2018), 035122.
- (22) Y. Yu, C. Li, Y. Liu, L. Su, Y. Zhang and L. Cao: Sci. Rep., **3**(2013), 1866.

- (23) R. Kitaura, Y. Miyata, R. Xiang, J. Hone, J. Kong, R. S. Ruoff and S. Maruyama: J. Phys. Soc. Jpn., **84**(2015), 121013.
- (24) S. Kurabayashina and K. Nagashio: Nanoscale, **9**(2017), 13264–13271.
- (25) T. Onodera, Y. Morita, A. Suzuki, R. Sahnoun, M. Koyama, H. Tsuboi, N. Hatakeyama, A. Endou, H. Takaba, C. A. D. Carpio, R. C. Deka, M. Kubo and A. Miyamoto: J. Nanosci. Nanotech., **10**(2010), 2495–2502.
- (26) 川本 信, 新谷 進, 曾根 匠, 岡林邦夫: 日本金属学会誌, **37**(1973), 1236–1242.
- (27) D. R. Wheeler and D. H. Buckley: Wear, **33**(1975), 65–74.
- (28) C. Lee, H. Yan, L. E. Brus, T. F. Heinz, J. Hone and S. Ryu: ACS Nano, **4**(2010), 2695–2700.
- (29) K.-K. Liu, W. Zhang, Y.-H. Lee, Y.-C. Lin, M.-T. Chang, C.-Y. Su, C.-S. Chang, H. Li, Y. Shi, H. Zhang, C.-S. Lai and L.-J. Li: Nano Lett., **12**(2012), 1538–1544.
- (30) B. Chakraborty, H. S. S. R. Matte, A. K. Sood and C. N. R. Rao: J. Raman Spectrosc., **44**(2013), 92–96.
- (31) Y. Yu, C. Li, Y. Liu, L. Su, Y. Zhang and L. Cao: Sci. Rep., **3**(2013), 1866.
- (32) K. F. Mak, K. He, C. Lee, G. H. Lee, J. Hone, T. F. Heinz and J. Shan: Nat. Mater., **12**(2013), 207–211.
- (33) A. Splendiani, L. Sun, Y. Zhang, T. Li, J. Kim, C.-Y. Chim, G. Galli and F. Wang: Nano Lett., **10**(2010), 1271–1275.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

田邊匠生

2000年 東北大学大学院工学研究科博士課程後期3年の課程修了

主な略歴

2011年 東北大学多元物質科学研究所准教授

2016年 東北大学未来科学技術共同研究センター(NICHe)

2016年 東北大学大学院工学研究科准教授

2020年4月- 現職

専門分野: 半導体材料工学

◎半導体材料の結晶成長から光源開発, 分光応用までの研究開発に従事。結晶成長から電線やコンクリート構造物内部の非破壊検査, 廃プラスチック分別まで広く活動しています。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



田邊匠生



大崎淳也



伊藤孝都



塚田大智



小山 裕

金属粒子の高温酸化を利用した 自己治癒セラミックスの研究開発

丸岡大佑*

1. はじめに

この度はこのような寄稿の機会を頂き、大変光栄に存じます。また第28回日本金属学会奨励賞を戴き、関係者の皆様に感謝申し上げます。

本報では金属粒子分散セラミック複合材料における自己治癒機能について述べております。本研究でご紹介する自己治癒機能は材料の高温酸化現象を利用しており、本学会の趣旨である『金属およびその関連材料分野の学術および科学技術の振興』に対して本報がその一助になれば幸いです。

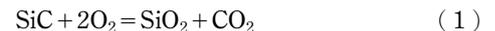
2. 自己治癒セラミックスの研究動向

構造用セラミックスは一般的に金属よりも高温強度、耐摩耗性に優れ、軽量な材料である。一方で脆性材料であり、強度信頼性が金属材料と比べて著しく低いことが、構造用セラミックスの社会実装が制限される要因の1つとなっている。

構造用セラミックスの強度信頼性を担保する手法の1つとして繊維強化機構⁽¹⁾が提案されており、SiC繊維強化複合材料がジェットエンジンのタービン部材に使用される⁽²⁾など、社会実装に向けて一定の成果が挙げられている。繊維強化機構では、材料設計時点で強化機構を組み込み、使用環境において劣化が進行しながら設計寿命を全うすることが想定されている。自己治癒機能も材料設計時に発現機構を組み込むものの、使用環境において、き裂の発生といった強度低下要因が発生した際に、自発的に損傷を修復する機能を発現させることが特徴的である。

セラミックスにおける自己治癒現象は1970年代初頭から

報告されているが⁽³⁾⁻⁽⁵⁾、当時は粒成長や粒子の再焼結によってき裂が消滅する現象について調査されており、工学的なアプローチではない。その後、モノリシックセラミックスの酸化反応を利用する手法が提案されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。一方、セラミック複合材料が大気中の熱処理後に強度が上昇する現象が認められ⁽⁸⁾、同時期に強度回復現象に着目した研究が報告されるようになり⁽⁹⁾、複合材料における自己治癒セラミックスの検討が進められた。自己治癒セラミックスに表面き裂が発生した場合、雰囲気中に曝露された非酸化物分散材(自己治癒エージェントとも呼ばれる)が高温酸化によって体積膨張を伴って酸化される。この酸化反応によってき裂が充填され、材料の機械的強度が回復する。非酸化物分散材としてはSiCが広く研究されており⁽¹⁰⁾、SiCの高温酸化により以下の式(1)の反応が起こっているとされている。



他にTiC⁽¹¹⁾やNiAl⁽¹²⁾といった分散材の高温酸化を利用した材料が報告されている。近年では、自己治癒機能を有する繊維強化複合材料の開発⁽¹³⁾や、MnO等の第3相を『治癒活性相』として添加し、自己治癒機能発現の低温化、短時間化に成功した報告がある⁽¹⁴⁾。また自己治癒セラミックスの治癒過程に関するシミュレーションも検討されている⁽¹⁵⁾。

3. 金属粒子分散自己治癒セラミックスの自己治癒効果

本報で紹介する金属粒子分散自己治癒セラミックも、構造用セラミックと自己治癒機能を担う金属粒子との複合材料である⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。特に200–300 μm程度のNi粒子をAl₂O₃母相中に均一分散した複合材料(Ni/Al₂O₃)は、従来からナノコンポジットの1つとして知られている⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。Ni/Al₂O₃

* 東北大学大学院 環境科学研究科先端環境創成学専攻；助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02) Research and Development of Self-Healing Ceramics Applying High-Temperature Oxidation of Metallic Particles; Daisuke Maruoka (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai)
Keywords: self-healing ceramics, high-temperature oxidation, alumina, internal oxidation, nickel, nanocomposite, additive element
2020年5月8日受理[doi:10.2320/materia.59.533]

では、式(2)に示す Ni と Al₂O₃ との酸化反応により複酸化物が生成する。



Al₂O₃ 中の Ni イオンの粒界拡散係数は比較的大きいため⁽²⁰⁾、Ni/Al₂O₃ では雰囲気中に曝露した Ni 粒子の酸化以外にも、試料内部の Ni 粒子がイオンとなって試料表面へ拡散することで酸化物を生成する。図 1 (a)および(b)に 5 vol% の Ni を分散させた Ni/Al₂O₃ における熱処理後表面 SEM 像を示す。600°C、1 h で大気中熱処理した試料表面には粒子状の酸化物が認められ、表面に存在した Ni 粒子および周辺の Al₂O₃ が、高温酸化により NiAl₂O₄ を生成したと考えられる。一方、1000°C、1 h で大気中熱処理した場合には網目状の酸化物が生成している。網目の直径は約 1 μm であり、マトリックスの Al₂O₃ 粒径とほぼ等しい。そのため、網目状酸化物は試料内部から Ni イオンが試料表面へ粒界拡散し、周辺の Al₂O₃ とともに NiAl₂O₄ を生成したと考えられる。以上の結果を踏まえ、これまでに図 2 のような Ni/Al₂O₃ の自己治癒

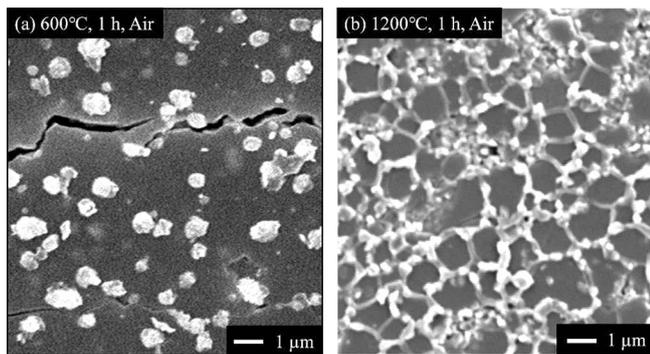


図 1 Ni/Al₂O₃ における大気中熱処理後の試料表面 SEM 像；(a) 600°C, 1 h, (b) 1000°C, 1 h

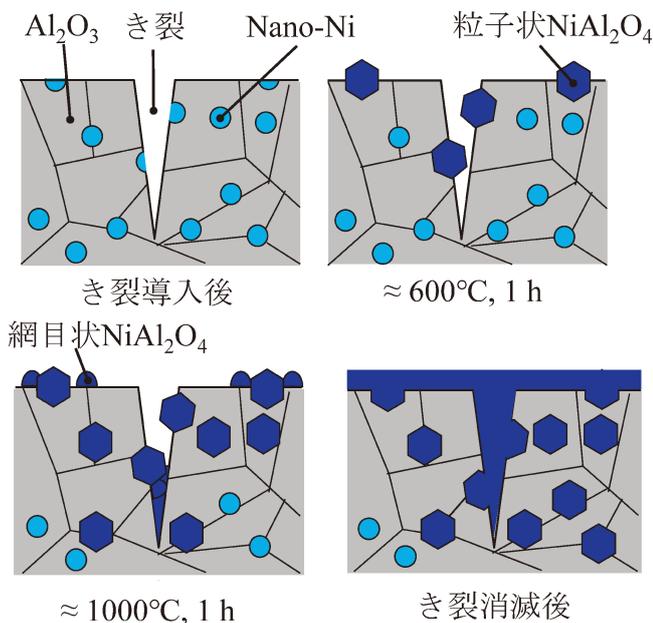


図 2 Ni/Al₂O₃ における自己治癒発現過程の模式断面図。

発現過程の断面模式図を提案している⁽¹⁶⁾。本研究成果は試料表面に Ni が存在しない状態であっても自己治癒機能が発現することを示唆しており、比較的大規模なき裂が導入された場合においても、時間は必要であるものの治癒可能であると期待される。

Ni/Al₂O₃ の自己治癒機能に対する調査で得られた知見より、Al₂O₃ との複酸化物を生成することで自己治癒機能が得られると予想されたため、Co 粒子を分散させた Al₂O₃ 複合材料 (Co/Al₂O₃) の自己治癒機能についても調査した⁽²¹⁾。図 3 (a)-(c) に示すように、ビッカース試験機によってき裂を導入した試料を大気雰囲気下で熱処理した場合は、酸化物によりき裂が消滅している。一方、平衡酸素分圧の低い Ar-1% H₂ 気流中では、導入したき裂が残存している。図 4 に示した各 Co/Al₂O₃ 試料の X 線回折パターンでは、熱処理した試料には複酸化物である CoAl₂O₄ の生成が認められる一方で、Ar-1% H₂ 気流中で熱処理した試料では平滑材 (As-polished) と同じ相が同定されている。各 Co/Al₂O₃ 試験片の室温 3 点曲げ試験結果を図 5 に示す。As-polished では 710 MPa の曲げ強度を示すが、ビッカース試験機によってき裂を導入した試料 (As-cracked) では 159 MPa まで低下している。き裂導入した後 1200°C、6 h、大気中で熱処理した試料の曲げ強度は 636 MPa まで上昇しており、As-polished に存在していた表面き裂が、熱処理による酸化物の生成で治癒されたと考えられる。一方、Ar-1% H₂ 気流中で熱処理した試料では 241 MPa の曲げ強度を示し、As-cracked と比較してわずかに上昇したのみである。これは熱処理によるき裂先端での応力緩和によるものと考えられる⁽²²⁾。曲げ試験後の試料表面 SEM 像を示した図 6 (a)-(f) においても、強度回

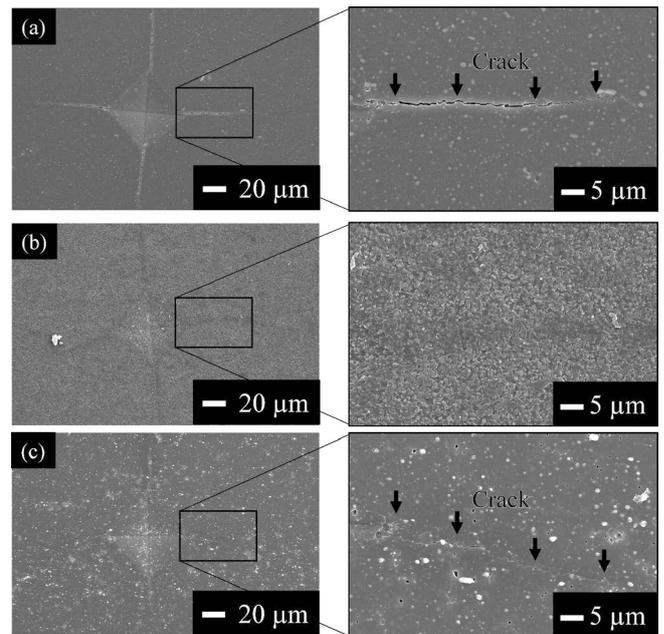


図 3 Co/Al₂O₃ における試料表面 SEM 像；(a) As-polished, (b) 1200°C, 6 h, Air and (c) 1200°C, 6 h, Ar-1% H₂⁽²¹⁾

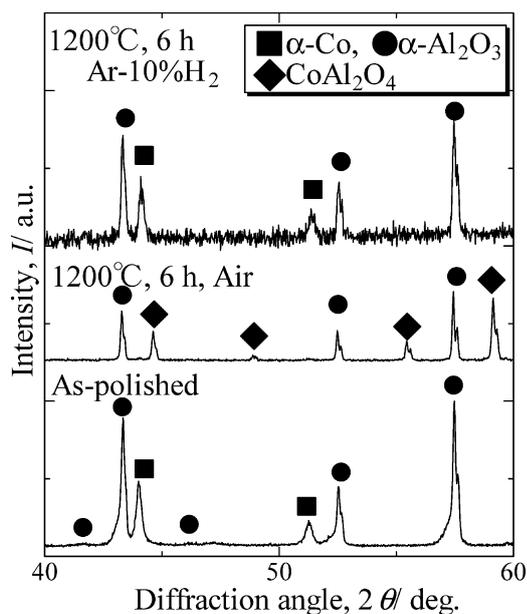


図4 各 Co/Al₂O₃ 試料の X 線回折パターン.

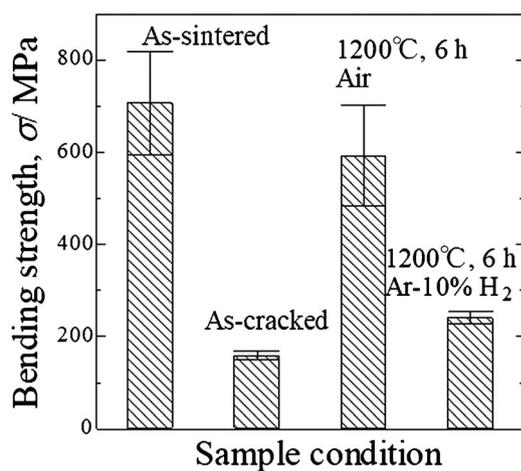


図5 各 Co/Al₂O₃ 試料の室温 3 点曲げ強度⁽²¹⁾.

復した試料ではき裂を導入した部分以外から破断しており、き裂部の強度が回復していることが示唆される。したがって、Co/Al₂O₃ においても CoAl₂O₄ の生成に起因するものと考えられる。

他に Fe 粒子を分散材とした Fe/Al₂O₃ の調査を行い、Fe₂O₃ の生成により強度回復することを明らかにしている⁽²³⁾。

4. Y₂O₃ および SiO₂ 添加による Ni/Al₂O₃ の耐内部酸化性向上

自己治癒セラミックスを高温酸化環境で長時間使用する場合、非酸化物分散材の内部酸化が問題となる。すなわち、雰囲気中の酸素が、酸素イオンとして試料内部へ拡散し、材料

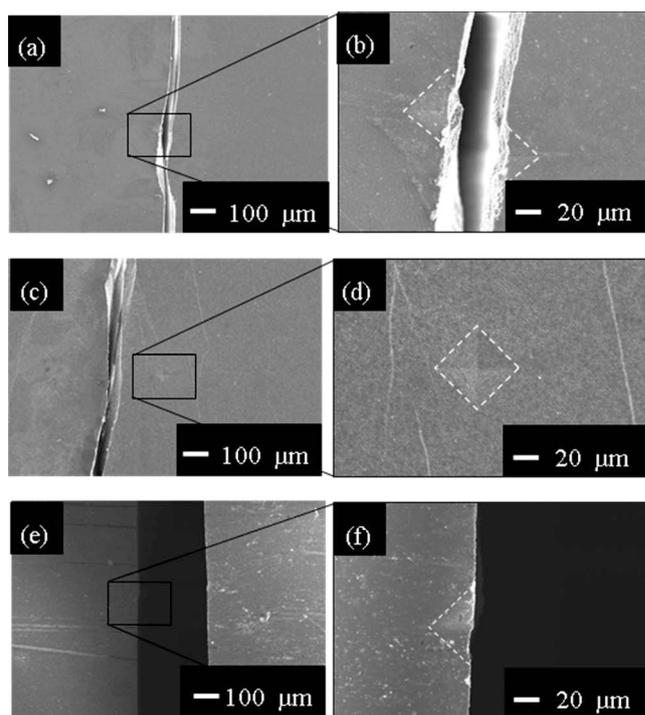


図6 曲げ試験後の Co/Al₂O₃ の試料表面 SEM 像；(a), (b) As-cracked, (c), (d) 1200°C, 6 h, Air and (e), (f) 1200°C, 6 h, Ar-10% H₂⁽²¹⁾

中の非酸化物分散材が酸化されることが懸念される。図7(a)に示すように、Ni/Al₂O₃ では、1300°C, 24 h の大気中熱処理により、約 105 μm の内部酸化層が生成している⁽²²⁾。内部酸化層は NiAl₂O₄ とマトリックスの Al₂O₃ からなり、放物線則に従って成長している。なお試料表面に薄層の NiAl₂O₄ 層が生成しており、この酸化層がき裂の消滅に寄与している。

き裂発生時に曝露される非酸化物分散材がすでに内部酸化されていると自己治癒機能の発現を阻害するため、耐内部酸化性の向上が重要となる。本研究では、酸素イオンの粒界拡散を低減するために Y₂O₃ や SiO₂ 等の機能元素添加に着目した⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。これまでに、Ni/Al₂O₃ に Y₂O₃ あるいは SiO₂ を少量添加した材料 (Ni/Al₂O₃-Y および Ni/Al₂O₃-Si) では Ni/Al₂O₃ と比較して内部酸化層の成長が抑制されることを見出している (図7(b))。また Ni/Al₂O₃-Y および Ni/Al₂O₃-Si における 3 点曲げ試験結果では、き裂導入後、熱処理を行うことで Ni/Al₂O₃ と同様に強度回復が認められた⁽²⁶⁾。以上のように、Y₂O₃ や SiO₂ 等を添加することで、耐内部酸化性を向上させつつ、自己治癒機能を発現させる自己治癒セラミックスを開発した。

5. おわりに

今回、金属ナノ粒子を分散させたセラミック複合材料の自己治癒機能について述べた。最近では、自己治癒セラミック

微小領域における金属材料の材料力学

— II. 金属材料のサイズ効果と機械的特性の評価 —

曾根 正人*

前章では、ナノメートルの結晶粒を有するニッケルめっき、サブミクロンからミクロンメートルの結晶粒を有するニッケルめっきの微小領域における結晶組織の解析法について議論した。これら二種類のめっきは、それぞれ産業上極めてありふれためっき浴であるワット浴とスルファミン酸浴から作製したものである。エッチングと組み合わせた光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡およびX線回折法といった金属組織解析法の中核をなす分析技術を利用してなお、粒径の誤算があり得ることを示した。我々が組織解析を行う場合は、その金属材料の作製方法を調査・確認し、過去の結晶組織に関する研究論文を調べる。そして、想定されるサイズに合わせた分解能を有する解析法を選択し、その解析法に合わせたサンプル作製方法で試験片を作製し、組織解析を行えば信頼性の高い分析結果が得られる。更に硬度や降伏強度など機械的特性評価を行い過去の文献と比較して、その妥当性を確認すれば良い。逆を言えば、金属材料の組織解析には、対象となる金属材料の基礎知識と材料解析法のマッチングが必要であり、対象となる金属材料の理解と実験経験がない場合には致命的なミスを生じかねない。

この回では、なぜ微小サイズの金属材料の物性評価をする必要があるのか、その場合金属材料のサイズ効果とはどのようなものであり、どのような解決すべき課題があるかを議論する。そして金属材料のサイズが、その機械的特性にどのような影響を与えるかを、測定方法を含めて議論する。

2.1 微小サイズの金属材料を評価する必要性

エレクトロニクスの高機能化に伴い、電子回路およびその周辺を構成する配線および様々な部材が微細化している⁽¹⁾。特に半導体の超微細銅配線はナノメートルレベルに到達している。そしてその半導体技術から生まれた微小電気機械シス

テム(Micro Electro Mechanical Systems: MEMS)技術においては、機械的構造部材がマイクロメートルサイズで作製されている。現在のMEMSの中心的な材料はシリコンである。シリコンは軽量であり、破断強度も2.6 GPaに達し、非常に強靱である。しかしながら、シリコン材料でもマイクロメートルサイズの構造部材としてMEMSに利用する場合には、バルクのシリコン材料より疲労強度は低下する。これは、微細化に伴い、酸化シリコン層の厚さが相対的に大きくなるためである⁽²⁾。従って、微細なサイズの材料を実用のサイズで機械的特性評価する必要がある⁽¹⁾。

MEMS技術は加速度センサの高機能化と微小化に応用されているが、最近更なる高感度化の実現が報告されている。東京工業大学のMasuらは、MEMS加速度センサの構成材料をシリコンから高密度の金属材料に変更することで、超高感度化を実現することを報告している⁽³⁾⁽⁴⁾。この高感度MEMS加速度センサの実現により、パーキンソン氏病などの神経性難病の早期診断が期待できる。図2.1に金属材料で作製したMEMS加速度センサの心臓部を示す。重力を感知する錘(Proof Mass)、ばね、支持体およびストッパー全てが金属材料、詳しくは金めっきでできている。更に、2019年にこの金で作製した超高感度MEMS加速度センサにより、いままで計測が難しいとされている「筋音」が観測できることを報告している⁽⁵⁾。

このように金属材料のMEMS構造部材への応用は、高感度化や高機能化という点で、重要かつ広い可能性を有している。しかしシリコン材料と同様、微小な金属材料をエレクトロニクスへ応用する時に、図2.1のような複雑な三次元金属構造からなるMEMSにおいてその構造部材の信頼性を保証するための機械的特性評価が必要なのは明らかである。ただしシリコンなど無機材料と異なり、微小金属材料には独特な

* 東京工業大学科学技術創成研究院；教授(〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-35)
 Mechanics of Metallic Materials in Micro-Scale — II. Size Effects of Metallic Materials and the Mechanical Property Evaluation—;
 Masato Sone(Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology, Yokohama)
 Keywords: *mechanical property, single crystalline metal, multi-crystalline metal, size effect, nano-crystalline metal*
 2020年5月25日受理[doi:10.2320/materia.59.537]

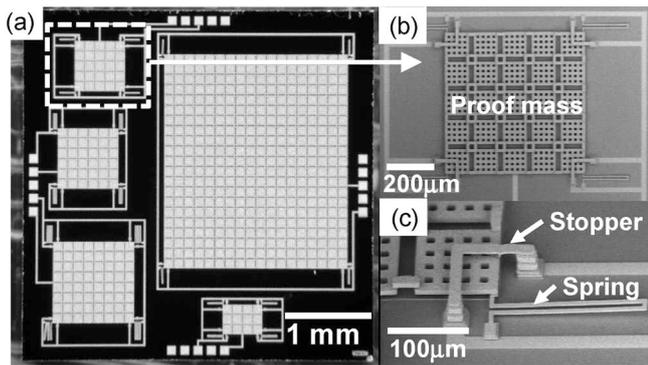


図2.1 金めっきをベースとした高感度 MEMS 加速度センサ⁽³⁾. (a)チップの写真, (b)金属錘の SEM 像, (c)ストップおよびばねの拡大図

議論が必要である。

2.2 マイクロメートルサイズの機械的特性評価法

材料のサイズ効果と聞かれた場合、材料サイズが数ナノメートルから数十ナノメートルになった時に発現する量子サイズ効果やヴァイスドメインなど、量子力学が扱うべき領域を想像することもできる⁽⁶⁾。Heisenberg の不確定性原理が支配する微小極限では、当然バルクの金属とは異なった量子的性質を示すのである。例えば、Takayanagi らが発見した金属ナノワイヤでは、断面に金原子 8 個が充填し直径 5.77 ナノメートルの極微小構造を形成している⁽⁷⁾。この場合、バルク金の理論的降伏強度 1.48 GPa、また原子理論的降伏強度 3.56 GPa さえも超える 12 GPa の降伏強度を有するという報告もある⁽⁸⁾。これはナノ領域では転位が存在せず完全結晶を形成していること、および安定な結晶構造あるいは分子構造がバルクとは異なることが理由である。金属のナノメートルサイズの領域は非常に魅力的な分野であるが、エレクトロニクスに应用するためには技術的な課題が残っている。

MEMS に用いる材料のサイズは、マイクロメートルである。金属ナノワイヤからバルク材料との間には大きな機械的特性の差がある。数ナノメートルの金属ナノワイヤとバルクとの機械的特性との大きな違いは、機械的特性を支配する因子が金属結合であるのか、あるいは転位であるのかである。マイクロメートルの金属材料に関しては後者である。

それでは、金属のマイクロメートルサイズの機械的強度を測定するとき、どのような方法があるだろうか？材料工学を学んだ場合、まず硬さ試験、そしてナノインデンテーション法が考えられるだろう。ビッカース硬さやロックウェル硬さなどの硬さ測定は、試験片の作製の容易さからも非常に便利な方法である。しかし、硬さ測定およびナノインデンテーション法では材料にインデントを打ち込むという工程を行う。この場合、複雑な応力場を介して機械的特性を議論するのであり、一般的な圧縮・引張・曲げなどの機械的試験と比較し限定された特性解析結果しか与えない。図2.1に示す MEMS の金属構造体を確認すれば明らかであるが、MEMS

内部では曲げ変形や圧縮変形が起こる。

そこで Nix らは、微小材料試験法を開発した⁽⁹⁾。この方法は、集束イオンビーム (FIB) 加工機で数十ナノメートルから数マイクロメートルサイズの円筒状圧縮片を作製し、マイクロインデンテーション装置を改良した装置で圧縮試験を行うものである。この方法は世界的に広く利用されている。この形状は円筒形を目指して作製されるが、FIB 加工機の Ga ビームの幾何学的特性上、テーパを有する円錐体形状になる⁽¹⁰⁾。この場合、得られた機械的特性値を応力に変換する時には工夫が必要である。この方法論のように、マイクロメートルの材料の機械的特性を調べる場合、試験装置開発と微小材料試験片の開発が同時に必要である。

日本では Takashima らが東京工業大学で 2001 年に微小材料試験装置を独自に開発している⁽¹¹⁾。現在著者らが利用している装置(図2.2参照)はその発展形である。この試験機の特徴は、MEMS に用いる数ミクロンから数十ミクロンメートルのサイズの材料の機械的特性を解析できることにある。この装置を用いることで、図2.3に示すように $10 \times 10 \times 20$ マイクロメートルの角柱試験片の微小圧縮試験を行うことができる⁽¹²⁾。この角柱試験片は我々のグループで提案したものであり、FIB の Ga ビームを制御することでテーパがなく、同時に Ga イオンの材料表面への注入を極限まで減少可能である。従って、機械的特性試験結果の再現性は非常に高い上に、公称応力への変換も容易である。

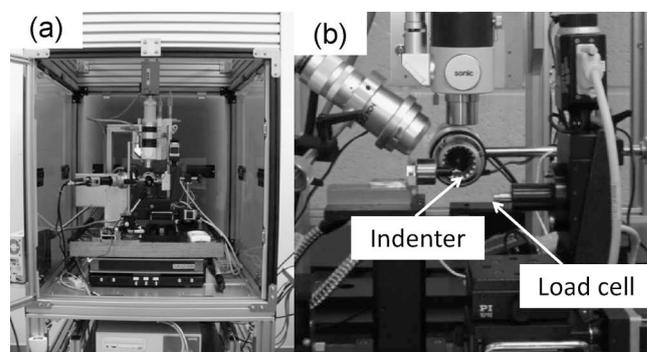


図2.2 微小材料試験装置. (a)外観図, (b)圧子およびロードセルの拡大写真

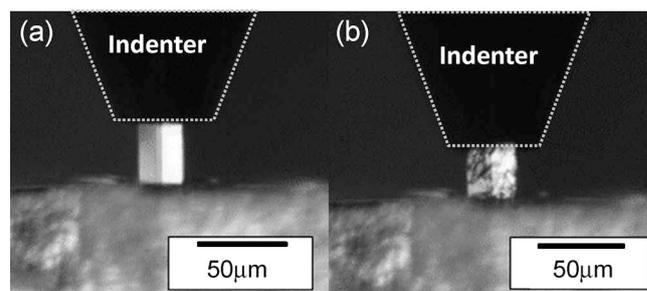


図2.3 微小金属材料試験片の圧縮試験の様子. (a)試験前, (b)試験後

2・3 単結晶金属材料のサイズ効果

前節で、バルクとの機械的特性を支配する因子は転位であり、それが金属ナノワイヤと大きく異なっていると記述した。それでは、どのようにサイズ効果があるのだろうか。マイクロメートルサイズの金属材料では、二つのパラメータによって機械的特性が強く影響を受ける⁽¹³⁾。一つはサンプルサイズであり、もう一つは結晶粒径である。サンプルサイズに影響することに関しては、Nixらは、転位が材料表面に移動して抜けることにより、完全結晶化する現象を透過型電子顕微鏡によって明らかにしている⁽¹⁴⁾。すなわち転位欠乏機構が働いている。それでは、実際の金属材料のサイズ効果を確認する。図2.4に、微小材料試験装置(図2.2)を用いた同一結晶方位(111)の単結晶ニッケル試料の圧縮変形の様子を示す⁽¹⁵⁾。図2.4(a)は5×5×10、(b)は10×10×20、(c)は20×20×40マイクロメートルの角柱試験片である。単結晶サンプルの変形後はそれぞれ、下の(d)(e)(f)に対応しており、多数のすべり線が見られるとともに、鋭い折れ曲がりが見られる。これらは、微小単結晶の圧縮変形に典型的なものである。図2.5に、図2.4の三種類の角柱試験片の圧縮試験結果に、30×30×60マイクロメートルの角柱試験片の結果を合わせた公称応力—ひずみ曲線を示す。ここでは、ひずみをクロスヘッドの変位から算出している。この図から、明らかにサンプルサイズの減少とともに降伏強度は上昇している。また試験後の単結晶材料表面には数多くのすべり線が見られ、転位の運動によって変形したことが確認できる。試験片のサイズを減少することにより材料の強度が上昇するサンプルサイズ効果は昔から知られており、金やニッケルなどfcc単結晶材料に関して、以下の式が成り立つことが知られている⁽⁹⁾⁽¹³⁾。

$$\tau/\mu = A(d/b)^m$$

ここで、 τ ：臨界分解せん断応力、 μ ：せん断剛性、 d ：試験片サイズ、 b ：バーガースベクトルの大きさとしたとき、 A 、

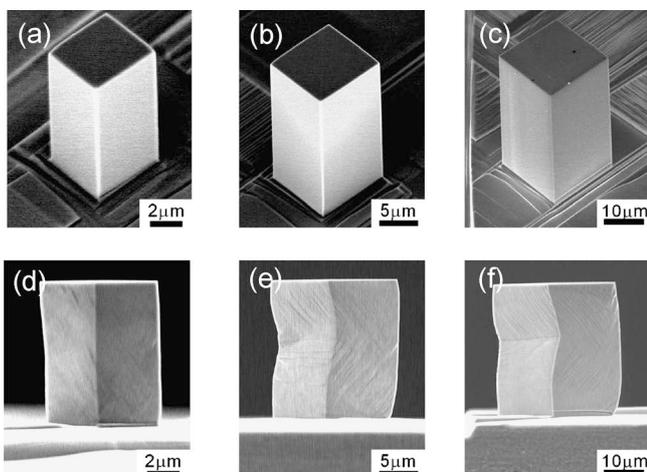


図2.4 (111)単結晶ニッケル試験片の圧縮試験の様子。(a, b, c)：試験前、(d, e, f)：試験後、(a, d)：5 μm × 5 μm × 10 μm 、(b, e)：10 μm × 10 μm × 20 μm 、(c, f)：20 μm × 20 μm × 40 μm

m を定数である。この式よりサンプルサイズ効果は、内部転位の運動に起因した強度上昇であることが考えられている⁽¹⁶⁾。

この公称応力—公称ひずみ曲線から、不思議な結果に気が付くはずである。微小圧縮試験では原点における傾きがヤング率に対応していることが知られているが、図2.5からサイズに依存して勾配が変わっていること、更にそこに規則性がないことである。しかもその変化はあまりにも大きすぎる。これは微小材料試験においてしばしば観測される現象であり、試験片の基板材料の剛性および、試験機のインデントーやロードセルの剛性が試験結果に干渉するためである。マイクロメートルサイズでこの問題は回避できず、それ故、この領域におけるヤング率の測定には、別の計測方法が必要である。これに関しては、別の回で述べる予定である。

2・4 微小多結晶金属材料の機械的特性

前節で、マイクロメートルサイズの単結晶材料のサイズ効果について議論した。しかし現実のMEMSの構成材料に用いるためには、単結晶では機械的特性が小さすぎる。結晶粒微細化強化をした多結晶金属材料が好ましいことは明らかである。多結晶金属材料の機械的特性への結晶粒サイズの効果としては、二つの大きな場合がある。

一つは、結晶粒サイズ(G ： μm)と、サンプルサイズ(S ： μm)のサイズ比(S/G)である。単結晶の場合は、 $S/G=1$ である。前節では議論していなかったが、単結晶ニッケルのサイズ効果が明確に示すことができたのは、結晶方位を(111)にそろえたためである⁽¹⁵⁾。当然のことながら、結晶方位が異なれば、最大シュミット因子が違うため異なったすべり変形と降伏強度を示す。 S/G が小さい場合では、構成する結晶粒の結晶異方性が現れ、降伏強度は試験回数に対して広い分布を有する⁽¹⁷⁾。従って、 S/G の増加とともに、細粒化強化機構により降伏強度は上昇すると同時に、降伏強度の分布は小さくなる。実用的には、 S/G が30以下の場合には、試験回数を多くしないと一定の値は得られない。

もう一つは、多結晶金属におけるサイズ効果である。そこ

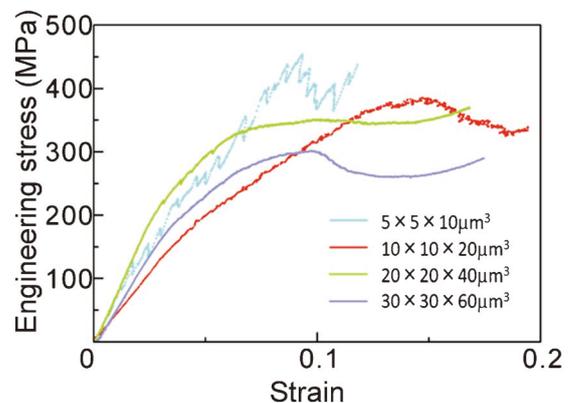


図2.5 (111)単結晶ニッケルの微小圧縮試験による公称応力—ひずみ曲線。

で厳密にナノ結晶サイズを調べる必要があり，図2.6にナノ結晶粒ニッケルの透過型顕微鏡写真とそれを解析して得られた結晶粒サイズの分布を示す⁽¹⁸⁾．透過型電子顕微鏡写真の500個の結晶粒の平均を取った結晶粒径は7.7ナノメートルであり，Scherrer法により計算した結晶粒径8.0ナノメートルと一致している．図2.7に，ナノ結晶ニッケルから作製した，図2.4と同じサイズの微小角柱試験片の圧縮試験前後の走査型電子顕微鏡写真を示す．単結晶ニッケルの変形と異なり，滑らかな変形を示している．これは，ポリマーやナノ結晶材料で見られる等方性材料の典型的な変形である．サイズ変化とともに大きな変化は見られない．

図2.8にナノ結晶粒ニッケルから異なる大ききで作製した微小角柱試験片の公称応力-ひずみ曲線を示す⁽¹⁷⁾．この結果から，ナノ結晶ニッケルにおいてもサイズ効果が明らかに見えること，更にその強度は3 GPa以上の値を示すことがわかる．

図2.9に単結晶およびナノ結晶ニッケルの降伏強度をサンプルサイズに対してプロットした．特にナノ結晶ニッケルの場合は流動応力も一緒にプロットしている．この図から，単結晶では明確なサンプルサイズ効果が見られること，ナノ結晶では単結晶と比較すると小さいがサンプルサイズ効果が見

られることが明らかになった．

2・5 微小サイズの金属材料の機械的特性

今回は，なぜ微小サイズの金属材料を評価する必要があるかについて，その産業的な意味を議論し，そのうえで微小サイズ金属材料の機械的特性の評価手法を述べた．同時に微小サイズの単結晶ニッケルのサイズ効果を，著者のグループの実験結果を基に議論した．そのうえで，実用的に重要な多結晶金属材料における機械的特性を，結晶粒サイズとサンプルサイズのサイズ比と，サンプルサイズ効果を，実際の微小圧縮試験から得られた公称応力-ひずみ曲線を基に議論した．また，微小金属材料のヤング率測定において，圧縮試験のような一般的な評価方法が適応できないことなどを概論した．

今回議論した微小圧縮試験は，MEMS材料の評価手法としてはかなり強力な技術であり，金属めっきの材料設計において非常に有益な情報を与える．前回の金属の微細材料の組織解析手法と今回議論した微小材料の機械的特性評価手法を融合することで，微小金属めっき材料の固溶強化，析出強化および複合化強化を機能的に評価可能である．次回はこの詳細を説明する．

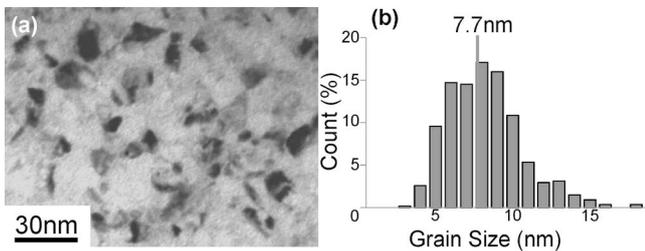


図2.6 ナノ結晶ニッケルめっき試験片の透過型電子顕微鏡写真(a)および粒径の分布(b)．

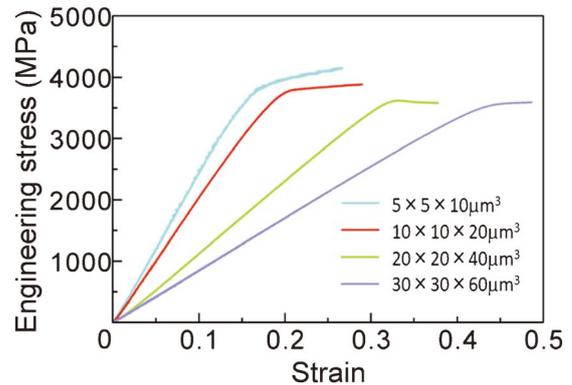


図2.8 ナノ結晶ニッケルめっきの微小圧縮試験による公称応力-ひずみ曲線．

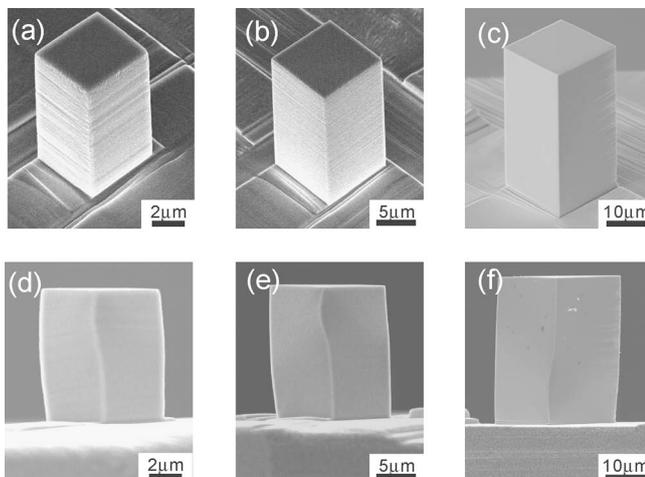


図2.7 ナノ結晶ニッケルめっき試験片の圧縮試験の様子．(a, b, c)：試験前，(d, e, f)：試験後，(a, d)：5 μm × 5 μm × 10 μm，(b, e)：10 μm × 10 μm × 20 μm，(c, f)：20 μm × 20 μm × 40 μm

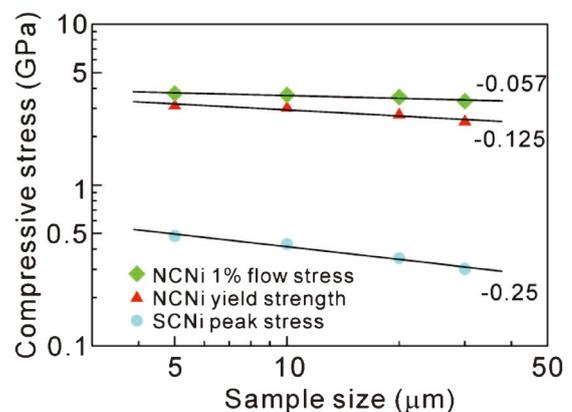


図2.9 単結晶ニッケルおよびナノ結晶ニッケルめっきの微小圧縮試験によるサンプルサイズに対する1%流動応力，0.2%降伏応力の両対数プロット．

文 献

- (1) 肥後矢吉編著：ちいさなものをつくるためのナノ/サブマイクロン評価法，コロナ社，(2015)，75-86.
- (2) C. L. Muhlstein, S. B. Brown and R. O. Ritchie: Journal of Microelectromechanical Systems, (2001), 593-600.
- (3) D. Yamane, T. Konishi, T. Safu, K. Tachibana, M. Teranishi, C.-Y. Chen, T.F.M. Chang, M. Sone, K. Machida and K. Masu: 19th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS), IEEE proceedings, (2017), 2187-2190.
- (4) M. Sone and K. Masu ed.,: Novel Metal Electrodeposition and the Recent Application, Intech Open, (2019), 133-153.
- (5) T. Koga, T. Ichikawa, N. Tanaka, T. Ogata, H. Ora, D. Yamane, N. Ishihara, H. Ito, M. Sone, K. Machida, Y. Miyake and K. Masu: 2019 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), IEEE proceedings, (2019), 1-4.
- (6) L. Cademartini and G. A. Ozin: Concepts of Nanochemistry, Wiley-VCH, (2009), 19-22.
- (7) Y. Kondo and K. Takayanagi: Science, **289**(2000), 606-608.
- (8) K. Gall, J. Diao and M. L. Dunn: Nano Lett., **4**(2004), 2431-2436.
- (9) M. D. Uchic, D. M. Dimiduk, J. N. Florando and W. D. Nix: Science, **305**(2004), 986-989.
- (10) H. Fei, A. Abraham, M. Cahwla and H. Jiang: J. Appl. Mech., **79**(2012), 061011.

- (11) K. Takashima, Y. Higo, S. Sugiura and M. Shimojo: Mater. Trans., **42**(2001), 68-73.
- (12) T. Nagoshi, A. Shibata, M. Sone and Y. Todaka: 2011 Materials Research Society, Materials Research Society Symposium Proceedings, **1297**(2011), 169-174.
- (13) J. R. Greer and J. T. M. De Hosson: Pro. Mater. Sci., **56**(2011), 654-724.
- (14) K. J. Hemker and W. D. Nix: Nature Mater., **7**(2008), 97-98.
- (15) T. Nagoshi, M. Mutoh, T. F. M. Chang, T. Sato and M. Sone: Mater. Lett., **117**(2014), 256-259.
- (16) T. Nagoshi, T. F. M. Chang and M. Sone: J. Japan Inst. Met. Mater., **80**(2016), 7-12
- (17) M. Mutoh, T. Nagoshi, T. F. M. Chang, T. Sato and M. Sone: Microelectron Eng., **111**(2013), 118-121.
- (18) T. Nagoshi, T. F. M. Chang, T. Sato and M. Sone: Microelectron Eng., **110**(2013), 270-273.



曾根正人

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1996年 東京工業大学・理工学研究科博士課程修了
(博士(工学))
1996~2000年 日本石油株式会社・中央技術研究所・研究員
2000~2005年 東京農工大学・工学部・助教
2005~2017年 東京工業大学・精密工学研究所・准教授
2017年~現職
専門分野: 材料工学
◎エレクトロニクスや医用 MEMS センサ用材料創成
と材料評価技術開発を中心に活動。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

和鋼博物館(島根県安来市)

文責：和鋼博物館館長 小村 滴水

今回は、島根県安来市にある和鋼博物館を紹介します。和鋼博物館は日本の伝統的製鉄法である「たたら製鉄」に関する総合博物館です(図1)。

たたら製鉄の歴史と技、道具と設備、流通、たたら製鉄の近代化とヤスキハガネ、日本刀など貴重な資料を実物と模型、映像で紹介しています。

科学館で見つけた金属材料！“たたら製鉄”

たたら製鉄とは粘土で築いた炉に砂鉄と木炭を交互に装入し、鞆で炉内に風を送り木炭を燃焼させ砂鉄を還元して鉄を生産する日本古来の製鉄技術です。鞆は気密にした内部空間の体積を変化させることで空気の流れを生みだし、燃焼を促進させる装置で主に鍛冶や製鉄に用いられました。

その始まりは古墳時代に遡ります。江戸時代には良質の原材料に恵まれた中国山地一帯で盛んに行われましたが、明治以降は洋式製鉄法の普及により次第に衰退しました。現在は島根県奥出雲町の「日刀保たたら」において、唯一の操業が行われています。

見学者はまず、エントランスホールにおいて、たたらを紹介した映像(約15分)で実際の操業風景を見ることが出来ます。また、予約をすれば映像ホール(106席)の大型スクリーン(230インチ)で観賞することも出来ます。

1階のメインの展示室に、たたらに関する貴重な文化財や模型、映像などが集約されています。

たたら製鉄で砂鉄から作られる鉄の塊(粗鋼)は、鋳とよばれます。江戸時代に確立された「近世たたら」では、操業は、三日三晩(約70時間)かけて行われ、原材料の砂鉄は約10ト

ン、燃料の木炭は約12トン消費されます。これにより作られる鋳は約3トンで、素材として流通させるために水力を利用した鉄製の錘や人力の大槌で分塊します。その後、目視で硬さや品質を判断し、鋼、銑などに選別されます。銑は鍛造すると割れてしまう現代の銑鉄に相当する炭素鋼で、主に鑄造の材料に用いられました。鋼は鍛造ができる炭素鋼で、品質によりさらに数種類に等級分けされます。近代には特に良質の鋼を「玉鋼」と呼称し、唯一日本刀を作ることができる材料となります。展示室には実際のたたら操業で作られた鋳や玉鋼が展示されています(図2)。

展示室の中央には、実物大の炉と鞆が展示してあります(図3)。粘土と土を配合した釜土で築かれたたたら炉と、その両側に配置されている木製の鞆です。

釜土は耐火物として用いられると同時にノロ(スラグ)を生成するための造滓剤(フラックス)としても重要な役割を果たします。炉壁は熔けた砂鉄と化学反応を起こし、砂鉄中の不純物(チタンやシリコンなど)と釜土が溶け混ざったノロを生成します。約70時間の操業が終わると、浸食された炉壁(釜土)を崩して炉底の鋳を引き出します。従って、築炉は毎回行われます。

鞆は天秤鞆と呼ばれ、展示品は実際に明治・大正期にたたら場で使用されていたものです(図3)。江戸中期に中国地方で誕生した天秤鞆はそれまでの鞆と異なり、作業員一人で送風でき、当時は画期的な省人タイプの送風機でした。高温での作業に使用される道具は木製が多いですが、これは長時間の重労働を考慮し、蓄熱による火傷を防ぐため、敢えて鉄製の道具を最小限に留めたためと考えられます。



図2 鋳と玉鋼。



図1 安来市和鋼博物館の外観。



図3 たたら炉と天秤鞆。

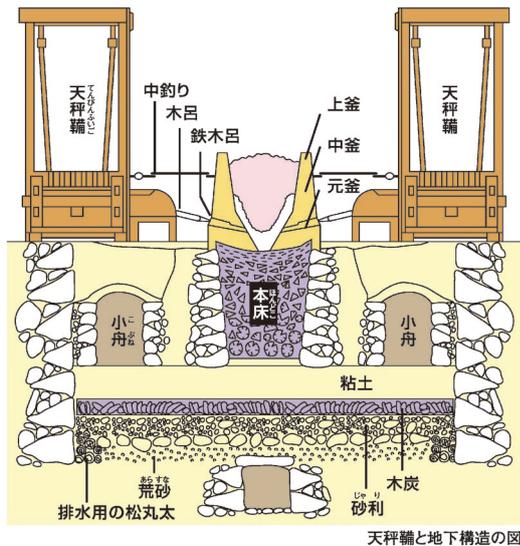


図4 天秤鑪と地下構造。

たたら製鉄の鉄源である砂鉄の詳しい展示もあります。酸化鉄の粒子を含む火成岩が風化し土砂となった山の土中に約1%程度しか含有されない砂鉄の選鉱は、電磁石のない時代には比重選鉱によって行われていました。具体的には山中から麓にかけて人工の水路を設け下流に土砂を流しながら底に堆積する砂鉄を濃化させ採取する「鉄穴流し」と呼ばれる方法です。この山で採れる山砂鉄の他に、自然の川で採れる川砂鉄、砂浜で採れる浜砂鉄があります。また砂鉄は、不純物の量の違いにより「真砂鉄」「赤目砂鉄」に区別され、打ち物(鍛造)には中国山地に多い不純物の少ない「真砂鉄」が適していました。

たたら製鉄の燃料(たたら炭)の用材は檜など雑木で、操業には完全に炭化しない生焼けのものが使用されます。これは木炭の燃焼熱で砂鉄を溶かすだけでなく、一酸化炭素を発生させ砂鉄(酸化鉄)を還元し鉄を作るためです。たたら製鉄では大量の木炭を消費しますが、輸送コストを考えると近くに広大な森林を必要としました。従って鉄師と呼ばれるたたら経営者は、まさしく山林王でした。

江戸時代に技術的に完成したといわれる「近世たたら」を代表する技術としては、「天秤鑪」「鉄穴流し」など以外に、たたら炉の「地下構造」が挙げられます(図4)。近世たたらの炉の地下には深さ3メートルを超える地下構造(床釣り)が築かれています。地下構造は最下部に排水溝を設置し、さ

らに荒砂、砂利、木炭、粘土などの多層構造とし、中央の空間で大量の木材を燃焼させ、燠とよばれる炭火にします。その後、それを叩き固め、本床と呼ばれるカーボンのベッドを作ります。その両側には小舟と呼ばれる空洞を作ります。これら一連の複雑な構造は、いずれも地下からの湿気を遮断し、地下に逃げる熱量を防ぐための断熱構造を築くためのものです。地下構造の建設工程は1/10の縮小模型で詳しく見ることができます。

和鋼博物館では天秤鑪や操炉用、築炉用、砂鉄採取用など実際に使われていた様々な道具が多く展示されており、250点が国の重要有形民俗文化財に指定されています。これらの文化財は、2016年に日本遺産に認定された「出雲國たたら風土記～鉄づくり千年が生んだ物語～」の構成文化財でもあります。大変貴重なものです。

以上、たたら製鉄のモノづくりを中心に紹介しましたが、その他にも以下のような見どころがたくさんあります。

- ・鉄の守護神である金屋子神への信仰
- ・鉄の積出港として栄えた安来の歴史
- ・世界的に評価されているヤスキハガネの誕生と歴史
- ・強さと美しさを兼ね備えた日本刀の作刀工程と匠の技
- ・島根県出身の偉大な冶金学者、俵 國一博士の記念室
- ・たたら関係書籍、日本刀関係の古文書、製鉄遺跡調査報告書などが閲覧できる図書室(たたら資料室)

また、実際に使用されていた天秤鑪に乗って送風作業を行ったり、著名な刀匠が作った本物の日本刀を持ったりと、たたら製鉄や和鋼に関する様々な体験が可能です。鉄づくりの技術と文化などを詳しく知ることができる博物館です。

是非、足を運んでいただければ幸いです。

(2020年1月現在)

(2020年1月30日受理)[doi:10.2320/materia.59.542]

安来市和鋼博物館へのアクセス

- ・JR 安来駅から徒歩15分
- ・山陰道安来インターより車で10分
- ・米子空港より車で40分
- ・出雲空港より車で50分(山陰自動車道経由)

(<http://www.wakou-museum.gr.jp>)



先達からのお便り

大学生生活(研究・教育・運営)50年を振り返って—新物質・新材料開発に向けて—

東北大学特任教授(客員)総長・プロポスト室 岡田 益男

1. ま え が き

編集委員から届いた原稿依頼をみて、まず、先輩先生方がどのように書かれたかをレビューし、どなたも熟慮されており、私がどこまで書けるか自信はありませんでしたが、「後輩、若手研究者を鼓舞するようなメッセージ」ということで、私の体験談が少しでもお役に立てばと思ひ執筆を引き受けることになりました。大学の教員として関わってきました。「新物質・新材料開発について」、「科研費獲得に向けて」、「大学評価文化の熟成」、これからの教育として、「課題解決型学習(Project Based Learning, PBL)から自主探求学習へ」についての私見を述べさせていただきます。

2. 新物質・新材料開発を目指して

(1) 革新的な新材料開発 —その分野の素人であれ

私は1967年東北大学工学部金属材料工学科に入学、卒業研究は特殊材料講座の金子秀夫教授に師事致しました。金子研究室では、世の中に役に立つ新物質・新材料の開発を目標に掲げ、当時は主に新たな永久磁石の開発に取り組んでおりました。1972年からカリフォルニア大学のパークレー校の修士課程に入学し、透過電子顕微鏡(TEM)のGareth Thomas教授に師事しました。Thomas教授はCambridge大学出身で、坂公恭先生が先達からのお便りでご紹介されておりました通り⁽¹⁾、当時はTEMによる新たな材料観察で世界が熱気に溢れた時代でした。パークレー校は全米での透過電子顕微鏡センターであり、最新のTEMが装備され、Thomas研究室は、鉄鋼、非鉄合金、セラミックス材料など様々な材料を対象として、新たな材料組織観察で活気に溢れておりました。修士課程では、「Cu-Mn-Al系規則合金のスピンノーダル変態」について、博士課程では、金子研究室で開発された「Fe-Cr-Co系永久磁石合金のスピンノーダル組織と磁気特性」が研究テーマでした。スピンノーダル変態合金は変調組織を示し、Au-Ni合金で初めて、lattice imaging(格子像)によりlattice modulation(格子変調)を観察した際には大変嬉しかったのを思い出します。坂先生のおっしゃる、まさに「Seeing is believing」です。卒業後、東北大学の本間基文教授の研究室に戻り、再び、新物質・新材料の開発を目指しました。

私が新物質・新材料開発に向けて、心がけてきたことは「その分野の素人であれ」ということです。それは新しい永久磁石材料の発見のほとんどが実は永久磁石の専門家によってなされてきておらず、多くの開発者が他分野の専門家であり⁽²⁾、大胆な発想、情熱と偶然からもたらされたものであることからです。恩師の金子秀夫教授も本間基文教授も革新的な材料は、これまでの常識外にあるとの自説から、できるだけ大胆な発想ができる学生こそ開発の可能性が大であろうと、修士以上の学生には自由に研究テーマを選択させておりました。

金子研究室では、その成果として学生であった中村久三氏(元アルバック会長)がアルニコ磁石を代替できる加工可能なFe-Cr-Co磁石の開発に成功しており、当時の私を含めた学生は、学生でも新たな材料を開発できるということに胸を踊らせたのを覚えております。私も研究室を担当することとなり、学生に自由に研究テーマを選択させるという考え方を引き継ぎました。また、新材料・新物質を発見するには、その分野の“素人”として先入観無しに研究することが重要であるという考え方の基に、永久磁石材料、電子セラミックス、水素関連材料など研究対象分野を意図的、また定期的に変えてきました。幸いにも、電子セラミックス分野では、①PbTiO₃-TiO₂系高温用PTCR(Positive Temperature Coefficient of Resistivity)セラミックヒーターの開発(490°C発熱)、②Bi金属-セラミックス複合型低比抵抗PTCRデバイスの開発、水素関連材料分野では⁽³⁾、③Ti-Cr-(V)系水素吸蔵合金の開発(3 mass%の吸蔵量)、④超高压によるMg-X系、Li-X系の高容量新規水素化合物、新規化合物の合成、⑤水素熱処理によるCu-Ti系、Al-Mg系合金の結晶粒微細化と特性向上などの成果が得られましたが、これらの成果には「セレンディピティ」的な発見が多々あり、常に果敢に挑戦し続けた研究室の多数の学生の努力の結実です。

(2) 状態図にはない新物質合成への挑戦 —こらからの材料開発に向けて

私の大学時代、主な新物質・材料開発の開発手段は、溶解鑄造法、粉末冶金法等であり、GPa(ギガパスカル)オーダー(1 GPa≒1万気圧)の超高压合成法は地球物理学や物性物理学分野を中心に、また、当時、無機化学分野での新規超伝導の開発で注目されてきましたが、最密充填結晶構造を有する金属分野での新規化合物の探索への応用例は数少なかった。銅系酸化物超電導材料の研究が活発となり、超高压合成装置が容易に入手できるようになり、新規物質合成のために超高压装置を導入しました。多くの方々から超高压合成装置で合成された新規化合物がたとえ現在の材料特性より優れていても、工業的には高価になり実用材料には不相当だというご指摘を受けますが、ダイヤモンドが良い例で、一度新物質として存在が確認されれば、CVD(Chemical Vapor Deposition)法、スパッタリング法、メカニカルアロイング法など何らかの合成法で作製できる可能性があり、まずは新物質を合成し、新たな物質の存在を示すことが肝要だと考えました。

状態図にはない新たな水素吸蔵合金としての化合物探索として、まず Mg-X 系を選択しました。図 1 に、純金属の融点の圧力依存性を示します。Mg は例えば 5 GPa 超高压下で、約 10% の原子体積の減少、融点が常圧下の 923 K から 1273 K と 350 K も上昇するので、常圧下では液相となる温度領域であっても、超高压下では固相反応が可能となり、新規化合物の合成が期待されます。

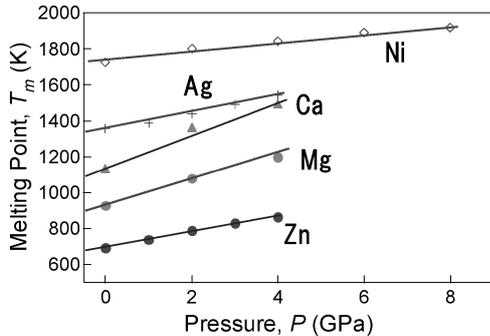


図 1 純金属の融点の圧力依存性。

その結果、Mg-X 系 (X = アルカリ金属, 希土類金属, 遷移金属等) の単純な 2 元系 (水素化物の場合には Mg-X-H の 3 元系) において、状態図に報告のない 33 もの新規化合物や新規水素化物が合成されました。特筆すべき結果は、Mg-Cu, Mg-Ni 系において、それぞれ $Mg_{54}Cu_{17}$, MgCu と、 Mg_6Ni , MgNi 等状態図にはない新規金属間化合物が合成されたことです⁽³⁾。これらの新規化合物は周期律表で Ni や Cu の下に存在する、それぞれ Pd, Pt と Mg 系の二元系状態図と、Ag, Au と Mg の二元系状態図に存在しております。この超高压法で得られた MgNi 化合物は、423~473 K の比較的低温で可逆的に吸放出し、約 2.8 mass% の水素吸蔵量を有する安定な水素吸蔵合金です。Mg-Li-H の単純な系において、水素量 8.3 mass% という高容量を有する Mg_2LiH_5 という立方晶の新水素化物が合成され、また、Li-X 系においても 10 の新規水素化物が合成されております。

以上のように状態図にはない新規化合物や新規水素化物が合成され、日々研究室が湧き立ったことが鮮明に思い出されます。今後は革新的な特性を有する新材料の発見は益々困難になると予想されますが、超高压法によれば、状態図にはない新規化合物の合成はまだ開発の余地があり、将来が期待されます。

3. 科研費獲得へ向けて

(1) 採択される科研費の申請書とは

国立大学が法人化され運営交付金が削減される中で教員の研究費も削減され、大学や教員も外部の競争的資金の獲得が必須となっています。我が国の研究者にとって科学研究費は誰にでも公平に応募できる主たる競争的研究資金であり、私も東北大学工学研究科に 30 年余り在籍し、科研費獲得に一喜一憂してきました。平成 23 年 (2011) に高専に赴任し、教

員の科研費申請についての講演や、申請書のアドバイスをしている中で、多くの教員が科研費の申請書のノウハウを熟知していないことに気づき、アグネ技術センター社から「採択される科研費申請ノウハウ」と題する本を出版することとしました。本の出版を契機に大学や高専から、科研費に関する講演の依頼があり、大学によって、①教員が科研費を申請するように動機付けして欲しい、②基盤 C や若手研究の採択率を上げて欲しい、③基盤 B 以上に積極的に申請し、かつ採択率を上げて欲しいなど、依頼事項は様々であり、これまで過去 6 年間で、延べ 17 大学、8 高専などで講演を行いました。その結果、科研費の応募数や採択数が増える大学や高専がほとんどで、科研費の講演は励みとなっております。その経験から、採択される科研費の申請書として下記の点がキーポイントとして挙げられます。

①新規性、重要性をアピールできる題目とする：採択されている基盤 S や新学術領域研究の題目を参考として、題目をいかに sounds new にできるか。講演中に演習として、5 名程度の申請題目の修正案を提示し、それだけで採択に至る場合が多いことから題目の重要性が示唆されます。

②申請区分を工夫する：自分の所属学会関係の区分で採択にならなかった場合には別な申請区分に申請する。申請区分を変え、題目を変えるだけで、採択に至ることが多々ありますのでご一考下さい。

③研究の社会的意義を強調する：申請書では、「研究の学術的背景や学術的問い」を記述することになっていますが、多くの申請者が「学術的」という言葉を学会的と解釈し、科学論文的な記述になる傾向があります。しかし、「学術研究」とは「研究者の自由な発想に基づく研究」であり、総合審査で他研究分野の審査委員に研究の重要性をアピールするためにも、学会的な記述ではなく、研究の成果の社会的意義を強調することが重要です。

(2) 中区分「材料工学」の 1 課題当たりの平均配分金額 —平成 30 年 (2018) 度第 1 位

私は、科研費の講演会を依頼されるようになってから、中区分の「材料工学」の採択状況を注視するようになり、毎年度文科省から発表になる「科学研究費助成事業の配分について」に掲載される「大区分・中区分別の配分状況 (新規採択分)」から中区分毎の一課題当たりの採択金額のデータを集計しております。各専門分野の配分額は下記で決定されます。

$$\text{各専門分野の配分額} = (B - A) \times (a + b) / 2$$

A: 継続研究課題の本年度分内約額, B: 本年度配分予定額, a: 当該専門分野の応募額が全応募額に占める構成比, b: 当該専門分野の応募件数が全応募件数に占める構成比。

(B-A) は新規分に配分できる予算額で、配分額は上記の式により応募額と応募件数に応じて算出され、応募額と応募件数が増えれば、その専門分野の配分額が増加することになります。

表 1 に平成 26 年 (2014) 度から令和元年度の「材料工学」の一課題当たりの採択金額の順位の推移と応募件数、採択件

数、配分額、1 課題当たりの平均配分額を示します。「材料工学」の1 課題当たりの平均配分額は過去6年間の順位は10位以内で、平成30年(2018)度は1位となっており、これも材料工学関連者の努力の賜物であり、特に、金属学会では科研費委員会から、関係する専門分野にできるだけ多く、応募するように呼びかけている結果だと解釈されます。これからも継続して、個々の研究者が最低2件以上、申請することが期待されます。

表1 「材料工学」科研費1 課題当たりの配分額順位(新規)。

年度	順位	応募件数	採択件数	配分額(単位:千円)	1課題当たりの平均配分額(千円)
平成26年度	9位	1,614.5	389.0	1,455,400	3,741
平成27年度	10位	1,552.0	364.0	1,427,550	3,922
平成28年度	4位	1,545.0	357.0	1,623,600	4,548
平成29年度	6位	1,191.5	278.5	1,501,200	5,390
平成30年度	1位	1,552.0	350.0	2,150,900	6,145
令和元年度	4位	1,591.0	388.0	1,713,000	4,415

(3) 大型科研費へ積極的に申請しよう—若手研究者への期待

特に、令和2年(2020)度から科研費改革がなされ、若手研究者への重点支援、例えば①「若手研究(2回目)」と「基盤研究(S),(A),(B)」との重複応募制限の緩和、②「研究活動スタート支援」の他研究種目との重複受給制限の緩和などが実施されています。特に基盤Bでは若手優先枠組み採択率30%、基盤C採択率30%、若手採択率30%としており、実際、令和元年度の39歳以下の基盤A採択率は34.5%(全体25.1%)、基盤B採択率34.6%(全体29.2%)、基盤C採択率40.9%(全体28.2%)と若手が優遇されており、また、令和2年から新学術領域研究が改訂され、「学術変革領域研究(A),(B)」が新設され、「学術変革領域研究(B)」代表者45歳以下と定められており、若手研究者には是非、積極的に申請していただきたい。

著者は幸いにも、平成17年(2005)から5年間、特定領域研究「サブナノ格子物質におけるプロチウム新機能」(「材料中の水素新機能」を①に従って sounds new した題目)と題する特定領域研究の代表者を務めることになり、それも申請・運営に際して、増本健先生、佐久間健人先生、山口正治先生から適切なアドバイスを頂いたおかげであり、あらためて感謝申し上げます。特定領域研究には公募研究があり、材料系以外から物理系、化学系の研究者から応募があり、水素が有する機能について、多様な観点から研究が飛躍的に推進することができ、他分野の研究者との共同での研究がいかに重要であるかを再認識しました。現在、平成30年度(2018)採択の新学術領域研究として、ハイドロジェノム(代表者:折茂慎一先生)、MFS材料科学(代表者:阿部英治先生)、ハイエントロピー(代表者:乾晴行先生)が推進されており、若手研究者の皆様を含め材料関連の方々には是非、継続的な材料系の新学術領域研究(現在、学術変革領域研究)への応募、採択が待望されます。

4. 大学評価文化の熟成

(1) 評価との関わり

平成16年(2004)4月から国立大学は法人化され、各国立大学法人は、自らの大学としての属性や個性に応じて、6年間の中期目標・中期計画を策定し、文部科学省の承認を得るとともに、その達成状況について国立大学法人評価委員会の評価を受けることが義務付けられ、教育研究については、大学評価・学位授与機構が評価することになっています。大学評価・学位授与機構は、平成12年(2000)4月学位授与機構が改組され設置されました。私は、たまたま、この設置に関わり、平成10年(1998)からこの大学評価機関に関する研究会幹事、大学評価機関(仮称)創設準備委員会専門委員会委員等を務め、平成12年には英国高等教育質保証機構QAA(Quality Assurance Agency for Higher Education)の研修を受け、大学評価・学位授与機構設置後は、運営委員会委員を仰せつかり、国立大学法人評価についての設計や運営に携わりました。国立大学法人評価の基本的な考え方は、各大学の目標に即して評価する絶対評価であり、法人化当時の遠山文部科学大臣は、「国立大学法人が作成する原案を最大限尊重とする」としています。しかし、第3期の中期目標・中期計画には、文科省の指導の下に、評価の負担を軽減するという意図から、第2期と比べて多くの数値目標が盛り込まれました。どの大学も設定した目標値全てを達成するのは困難であり、この7月末日に締め切られた4年目終了時評価のための達成状況報告書はこれから審査されますが、どの程度達成されているか興味のあるところです。

(2) 評価者の心得 “Don't bring your own baggage”

今後、多くの教員や研究者が評価者や被評価者となるのは避けられない時代であり、英国QAAの研修から評価者の心得をご紹介します(4)。図2に示す通り、教育評価のスピリッツは①公平性を保つために、大学や研究科・研究所の目標に従って評価を行う、決して、自分の価値基準(own baggage)で評価をしてはならないことから、講師は、“Don't bring your own baggage, leave your baggage outside of door!!”と研修の中で何回も強調されていました。評価者はずいつい、他の機関の事例を引用し、比較したがる傾向があり、他の機関と比較して評価すると、機関の個性さえも失われる危険性があります。②評価・判断するためには、推測では行わず、評価の裏づけであるエヴィデンスを収集すること、③評価は、大学、部局、教員、学生などのためであることであり、特に学生は弱い立場であり、学生が苦しんでいることがあるなら、例え評価者がその後、大変な非難やエネルギーを要することが予想されても、敢えて学生のために厳しい評価をすることなどです。

そのためには、機関の目的や目的を達成するための計画をきちんと整理されることが肝要です。また、様々な教育・研究プロジェクトについて、中間評価や事後評価は国民へのアカウンタビリティから必須であり、同様なことが求められま

す。私が、自身の研究生活とは全く異なる評価関連についても、進んで関わってきたのは、恩師の本間基文先教授から「大学の管理・運営を雑用というなかれ、大学人の本務であり、積極的にかかわるように」という教えがあったからだということを付記させていただきます。



図2 英国 QAA の評価者の心得.

5. 課題解決型学習 (PBL) から自主探求学習へ

(1) education の本来の意味は？ — 留学中に学んだこと

education の本来の意味はラテン語の「educare(エデュカール)」「引き出す」に由来し、学生の優れた素質や個性を引き出し育てることを意味しています。明治維新後、欧米から遅れた文化に追いつくために、education を「教育(教える)」と訳してしまっただけで、professor の語源は pro-「前に、前の」fess「言う」-or「～する人 [もの]」であり、「公の前で専門的な内容をはっきり言う人」が由来であるが、professor は「教授(教え授ける人)」と訳された。teach は本来「指し示す」、「明らかにする」のが語源であるが、「教える」と訳された。私の恩師の Thomas 教授から「I'll teach you」とは一度も言われたことはなく、通常は「I'll explain」です。「I'll teach you how to go there」と道を探した際には答えますが、大学では teach という語句をほとんど耳にはしませんでした。村上正紀先生が先達からのお便りでご紹介されておりました通り⁽⁵⁾、米国では、多文化や多様な価値観を受け入れる姿勢、自分の意見を持ち主張できること、個々の個性が輝くように education がなされており、Thomas 教授は、よいと思ったことは、その場で「Excellent」、「Super」など大きな声でほめます。私も含め学生達はその一言を聞きたくて、研究に励んだものです。帰国後、私もそれを見習って研究室でよくほめるよう心掛けました。また、研究室での発表会や Thomas 教授との discussion でいつも私が悩まされたのは、「Why?」「Why?」です。仮に一度目の「Why?」に答えられたとしても、多分その答えが不十分で、また、「Why?」の質問がなされ、最後に「I'm sorry, I don't know.」で終わる。これを繰り返すうちに、何を見ても、自分の中で、「Why?」「Why?」を繰り返すことが習慣となってしまった。この習慣のおかげで、永久磁石、材料の

TEM 観察、セラミックス材料、水素吸蔵合金など様々な材料に取り組む研究姿勢として、Why? という好奇心から挑戦できるようになったことに、あらためて米国の学位 Ph.D (Doctor of Philosophy(哲学))の意味を噛みしめるばかりです。

(2) 課題解決型学習 (PBL) の弊害

私は、平成25年(2013)に八戸高専の校長として赴任し、高専では実践的・創造的技術者の育成を目途に、PBL を多く取り入れた実践的教育がなされていることを目の当たりにしました。高専のロボットコンテストは PBL 教育として有名ですが、ロボットコンテスト参加チームの学生に、予算は準備するので自分で作製したいロボットがあるか聞いてみたら、全員が一度も考えたことがないと言ったことには驚きました。やはり日本の「学校・大学とは課題を与えられ、教えられるところ」であるという学生の認識の強さを再確認した次第です。

日本は「教える・教えられる」文化そのものが「教育」であり、先生も「教えない」、学生や保護者も「教えない」、日本全体が「自ら自律的に学習する」という姿勢に欠けているのは、このような明治維新からの文化の名残でしょうか。しかし、正解のない未来新産業の創出に果敢に挑戦できる人材の育成に向けて、我が国の教育の場がこれまでのように「教える・教えられる」場でよいのでしょうか。

(3) 課題設定能力の涵養 — 高校の探求科目の必須化

education の本来の語源である「引き出す」に立ち戻り、学生が自ら学び、先生は学生の能力を引き出す、新たなカリキュラムとして、どんな取組があるでしょうか。平成30年7月に、新高等学校学習指導要領等が提示され、令和4年度から「総合的な学習の時間」を「総合的な探究の時間」に変更し、新たに、理数探求基礎、理数探求、日本史探求、世界史探求、古典探求などの教科目が必須となり、年次進行で実施されます。平成29年(2017)6月に発表された「大学における工学系教育の在り方について(中間まとめ)」⁽⁶⁾においても、輩出すべき人材として、「社会における工学の価値を理解し、自律的に学ぶ姿勢を具備するとともに、原理・原則を理解する力、構想力、アイデア創出能力、問題発見能力、課題設定能力、モデル化能力、課題解決・遂行能力を持つ人材」を掲げています。私は、工学系教育の在り方に関する調査研究 WG に委員として参画し、産業界の WG 委員から、これからの企業は時代に即した新製品開発が重要であり、PBL 能力より課題設定能力の育成が肝要であることを強調されていたのが印象的です。しかし、多くの大学で PBL 育成科目は整備されているものの、課題設定能力育成科目の整備は遅れており、探究科目を履修した高校生が順次大学に入学するに際し、早急に対応する必要があると考えられます。

(4) 高専における自主探求学習の試み — ニッケル水素電池を冷凍させて復活!!

八戸高専では、自分で考える力を涵養するための一つの試

みとして、平成27年(2015)4月から4学期制を開始し、学生自らが課題を設定し、調査や実験・観察し、答えを導き出すという約3ヶ月間のSBL(Self-Objective Based Learning)(自主探究学習)を導入することとしました。その結果判明したことは、学生の多くが自ら探求したいテーマがなく、テーマ探しに大変苦慮していたことです。

自主探究学習成果発表会は11月上旬に一般公開で行われ、各学年毎(1~3年次)に約160名の学生が自ら作成したポスターの前で成果を発表するものであり、優秀ポスター賞などは、特別審査委員や来場者の投票で決定されます。

表2に、平成28年(2016)度八戸高専自主探究ポスター発表会における審査委員特別賞を示します。発表会では各学生が自分のポスターの前で堂々と説明し、自分が発表するだけでなく、他の学生の発表を聞き、質問し、議論する姿があちこちで見られ、保護者の方々、地域の方々、学生等が広く会話や議論する光景は、学会に参加しているような熱気に満ち溢れ、参加者の多くが来年度も是非参加したいと絶賛されていました。

表2 平成28年度八戸高専自主探究ポスター発表会審査委員特別賞一覧。

学年	表彰		探究テーマ
3	校長賞	最優秀賞 審査員特別賞	モンゴルの牛乳で作った洋風チーズ
1	最優秀賞	審査員特別賞	電線に並んで“夜点呼”？～カラスの夕方のスケジュールに密着～
1	優秀賞	審査員特別賞	粒の残らない飲み口の作製
1	優秀賞	審査員特別賞	冷凍とニッケル水素電池の復活との関係性
2	最優秀賞	審査員特別賞	リップクリームを使った安価な口紅の作成
2	優秀賞	審査員特別賞	「ながいも」の3県の比較・分析(北海道産、青森県産、鳥取県産)
2	優秀賞	審査員特別賞	砂糖と塩をコンクリートに混ぜた時のコンクリート
3	優秀賞	審査員特別賞	配線抵抗だけでLEDを光らせよう!
3	奨励賞	審査員特別賞	タンポポとさまざまな植物の比較

それというのも、自主探究学習成果が、学生ならではの柔軟な発想からの新しい成果が多々あったからです。その一つの成果として、1年生が、「冷凍とニッケル水素電池の復活との関係性」と題する発表をし、使用できなくなったニッケル水素電池を冷凍させてみたら復活し、再び充放電できるようになったという発表です。学生にどうして冷凍させたかを聞いてみたら、叩いたり、熱するのは危ないので、冷凍させる発想しかなかったとのことで、この奇想天外の発想には、只々驚嘆するばかりでした。ニッケル水素電池を冷凍させることにより、何故、充放電が復活するかの原因は専門家の解明に期待したいと思います。

この自主探求学習には、学生に思わぬ意識転換をもたらす効果もあることがわかってきました。廊下に掲示してある優秀賞の「自主探究学習成果のポスター」を食い入るように眺める女子学生に、どうしたのかを聞いてみた処、「テーマ選びに大変苦労したので、今から様々なものを見て、テーマを探しているとのことでした。更に、これまで自分は何が好きなのか、何に興味があるのか自分を知らなさ過ぎた、この自

主探求学習で初めて自分と向き合い、自分探しの毎日だった」と目を輝かしながら話をした姿が印象的でした。

(5) 卒論等のテーマも学生自らが設定する時代へ

大学教育についても、これまでのような教員が教えらるる・教えた教育センターではなく、学生が主体的に学べる環境を整備することが肝要でしょう。大学において、この自主探求学習に近いものとして、卒業研究がありますが、調査結果によれば卒業研究テーマを決める時に、「教員がテーマを学生に付与」が、卒業研究や修士研究で非常に高く、博士課程でも、「教員が設定したテーマの中から学生が選択し教員と相談」が最も高く、学生が研究に自主的、主体的に取り組む姿勢が希薄であると報告されています⁽⁶⁾。研究テーマの設定については、学士、修士、博士で異なると考えられますが、テーマの妥当性を考慮しつつ、学生の自主性・主体性も重視することが重要でしょう。そこには、私が経験した専門家の常識を超えた発想からの新物質・新合金開発や、新現象発見の可能性もあるかと思えます。また、大学の低学年から自主探究学習のような、自らテーマを設定し、実験や調査し、結論を導き出す取り組みの導入なども必要でしょう。

多くの大学や学校が、明治維新の欧米から遅れた文化に追いつくために開始された「教えられる場としての教育を自ら学ぶ場へと転換」を図ることこそ、我が国のこれからの正解のない社会でも活躍できる人材育成には必要ではないでしょうか。

5. おわりに

大学生活(研究・教育・運営)50年を振り返りますと、多くの方々との出会いがあり、恩師の故金子秀夫先生、本間基文先生、故 Gareth Thomas 先生、増本健先生からは多くのことを学ばせて頂きました。また、素晴らしい諸先輩方、研究室のスタッフの皆様、学生・大学院生の皆様のご厚情にあらためて感謝申し上げます。日本金属学会の多くの若い研究者の皆様が、様々な場面で、引き続き活躍されることを祈念致します。

文献

- (1) 坂 公恭：まてりあ, **57**(2018), 498-502.
- (2) 岡田益男：セラミックス, **33**(1998), 345-348.
- (3) 岡田益男：まてりあ, **55**(2016), 199-206.
- (4) 岡田益男：IDE 現代の高等教育, (2000), 417.
- (5) 村上正紀：まてりあ, **58**(2019), 462-465.
- (6) 大学における工学系教育の在り方について(中間まとめ)2017年(平成29年)6月.

(2020年8月15日受理)[doi:10.2320/materia.59.544]



岡田益男

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1978年 カリフォルニア大学バークレー校博士課程修了
 1993年 東北大学工学部教授
 2008年 東北大学副学長
 2010年 東北大学総長補佐
 2011年 八戸工業高等専門学校校長・東北大学名誉教授
 2017年 東北大学未来科学技術総合センター 客員教授
 2018年 現職
 専門分野：機能材料工学, 水素有効機能, 超高压合成
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

“あのころ”のまてりあ

七つの話題 『金属のさびはどのようにして起こるか』

下平三郎 著

日本金属学会会報 第1巻(1962)第11号 697~704頁

案内人 大阪大学 宮部さやか

“金属のさびはどのようにして起こるか”という記事は、まてりあの前身誌である日本金属学会会報に、“鑄鉄の黒鉛組織を変ぼうさせるものは何か? ”、“金属の清浄度はどこまで機械的強度に影響を与えるか”などの七つの話題シリーズの五番目の話題として掲載されています。

“鉄がさびるのは鉄が戦争に用いられるために、神によって呪いを課せられたためである”という、ローマ神話の神 Robigus を彷彿とさせる一文から本記事は始まります。筆者はこの非科学的な答えに真理の閃光を感じると述べた後、科学的な答えとして、包装紙の接触が引き起こした黄銅の腐食を例として大気中の金属の腐食は水分と酸素によって進行することを説明しました。続いて大気中、水中の汚染物質が金属腐食に与える影響について説明します。掲載年である1962年は、日本の高度経済成長期の真っ只中であり、当時は産業が著しく発展しました。その一方で、大気汚染、水質汚濁、自然破壊などの問題が日本各地で深刻となった時期でもあり、記事中のデータにも大気汚染、水質汚濁の状況が表れています。大気汚染および水質汚濁が深刻なほど腐食量は大きく、人間に深刻な健康被害をもたらした当時の環境は、材料にとっても非常に過酷な環境であったことが分かります。環境基準法の制定などにより環境汚染は改善されましたが、この高度経済成長期に集中的に整備された橋梁や道路、水道管などの社会資本ストックの老朽化が現代社会において大きな問題となっています。米国ミネソタ州の鋼トラス橋崩壊のように、構造物の崩壊によって多数の死傷者を出す重大事故が発生するなど、施設の老朽化による補修補強の遅れは致命的な事態を招きかねません。こうした事態を未然に防ぎ、限られた資源の中で社会を維持していくことが必要です。記事中に“腐食には未だ確固たる学はない”との記述が出現しますが、当時は Corrosion Science 誌が創刊されて間もなく、腐食学の創成期であったためこのように記されたものと思われます。Pourbaix の電位-pH 図(プールバダイヤグラム)や Wagner の混成電位論の確立を経て、今日、腐食学は学問として成立しており、腐食寿命の評価ならびに適切な防食対策を提案することが求められています。持続的発展が可能な社会の構築を目指す今、高度経済成長期に書かれた腐

食のお話をご一読されてみてはいかがでしょうか。

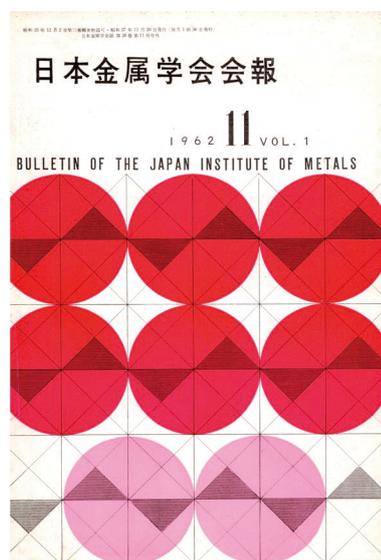
(2019年11月18日受理)[doi:10.2320/materia.59.549]

七つの話題

1	鑄鉄の黒鉛組織を変ぼうさせるものは何か?	1巻1号39頁
2	金属の清浄度はどこまで機械的強度に影響を与えるか	1巻2号129頁
3	国産鋼材は輸入品に比して優秀であるか	1巻4号284頁
4	平衡状態図に関する研究について	1巻10号642頁
5	金属のさびはどのようにして起こるか	1巻11号697頁
6	短範囲規則度の仕業	1巻12号753頁
7	集電接触材料—新幹線におけるパンタすり板および整流子材料に関して	2巻2号96頁

■七つの話題：J-STAGE のサイトからご覧頂けます。

https://www.jstage.jst.go.jp/browse/materia1962/1/1/_contents/-char/ja





七つのお話

金属のさびはどうして起るか

下 平 三 郎*

1. 腐 食 学

“鉄がさびるのは鉄が戦争に用いられるために、神によつて呪を課せられたためである。”これは鉄はどうしてさびるかという問に対する一つの答であつた。このような答は今日では幼稚園の子供でも承知しないかもしれない。しかし超高空核爆発実験がとくとくと行なわれているこの頃では、この科学的でない答の中にかえつて真理の閃光を感じないだろうか？ 人類の歴史は金属からみれば黄金の時代(無邪気と幸福の時代)→銀の時代(働らかなければ食えなくなつた時代)→銅の時代(強いもの勝ちの時代)→鉄の時代(詐欺と好智と暴力の時代)であるという。金属がさび始めたのはおそらく銅の時代であろうが、鉄の時代に至つてはそのさび方があまりに激しいので、かえつてさびない鋼(ステンレス鋼)が発明される契機となつた。

金属の腐食を外国では Corrosion (英)(コロージョン), Korrosion (独)(コロージョン), Corrosion (仏)(コロージョ), Коррозия (露)(コロージヤ)とよび、いずれもラテン語の“Corrodere”(くいやぶる、かみくだく)が語源であるという。しかし外国でもわが国でも未だ腐食学という言葉は使われていないようである。哲学から家政学に至るまで、もろもろの学がはらんする今日では、腐食学を名のりでもあやしまれないであろうものを、腐食の研究にたずさわるひとびとがあえて腐食学という言葉を使わないのは、多分腐食に関する研究が他の分野にくらべてはるかにたちおけているためであろう。あるいはまた鉄さびが科学者の研究の対象としてとりあげられてからすでに2世紀の年月がすぎていることを思えば、腐食という現象がひとすじなわではなかなかに手におえない怪物であることを物語るものでもあろう。もつとも昨年8月英国の Edeleanu, Hines, Hoar および Shreir, ベルギーの Pourbaix, 米国の Pryor など腐食学界の権威者たちによつて Corrosion Science 誌が創刊された。これは“An International Journal of the Science of Corrosion and Protection of Metals”であつて、腐食の科学すなわち腐食学に相当するものであろう。

筆者が腐食学の存在について、てきびしい質問をうけたのは全く夢にも思わなかつたことであるが、ある弁護士

士の方からであつた。ブローニング拳銃から発射されて、北国の山の中にそれぞれ20ヶ月および28ヶ月埋もれていたといわれる2箇の弾丸の腐食について、調査を依頼されたときのことである。問題は腐食状態の外観から、ほんとうに山の中に埋もれていたものかどうか判定してほしいというのである。立体顕微鏡でしらべたところでは、腐食性の強い土中に埋もれていたものではないという結論はえられたけれども、特定の山の中に埋もれていたかどうかを決定できるようなきめ手は何も見出すことができなかった。腐食生成物を分析したり、金属組織をしらべたりすることができるならもつと確からしいことがいえるかもしれないが、このような人相、手相による鑑定にも劣るような観察手段だけで、腐食の経歴を推定することは現在の腐食に関する知識ではとうてい不可能であることを説明したところ、法学者(前北大教授)で弁護士であるS氏はそれでは腐食学という学問はないも同然ではないかとおつしやられた。一粒のそら豆よりも小さい金属塊のために、一命を奪われた警官もさることながら、唯一の証拠品としてのこの2箇の弾丸のために、10年間も未決囚の月日をすごしている人の暗い運命を思えば、腐食学の無能?にS弁護士が撫然たるのも当然であらう。

学と名がつけば必ずそこに理論があり、理論の価値はそれが正確な予想と推定の力を有するからである。腐食には未だ確固たる学はないにしても、いくらかの理論はある。さびはどうして起るかという問に対しては電気化学腐食理論が最も有力であらう。

2. 包 装 紙

さびはどうして起るかという問に対する最も端的で正確な答は自由エネルギーの概念を用いる方法であらう。金属の多くは自然には鉱石(主として酸化物)とし存在するが、人間はこれを冶金(還元)して金属材料を製造する。しかし金属は金属材料として存在するよりも、鉱石として存在する方が自由エネルギーが低いので、自然の法則(自然に起る化学反応は自由エネルギーが減少する方向に進行する)にしたがつて金属材料はいつか酸化されて自由エネルギーの低い鉱石の状態にかえつてゆく。この酸化過程が腐食であり、この際の固態生成物がさびである。すなわちさびは鉱石そのものではないが、本質的には同じものである。この答はどんな点からもしつぽをつかまれるお

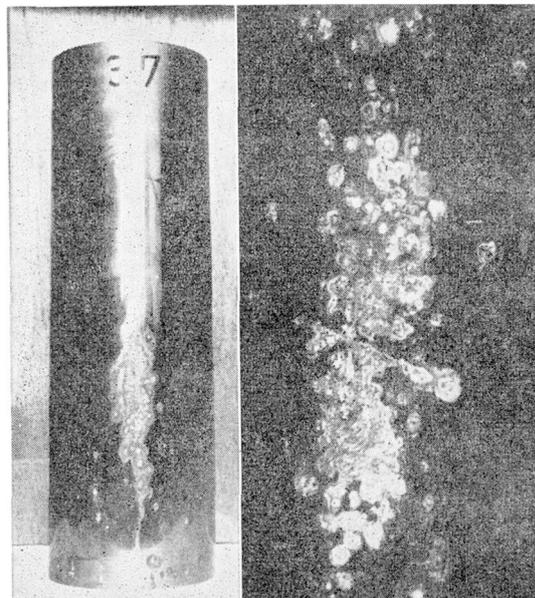
* 東北大学教授；金属材料研究所

それのない大臣の名答弁に似ている。現場で知りたいのは自由エネルギーというないかめしい熱力学的概念による説明ではなく、具体的にどのようにしてさびは起るかであろう。

さびは金属が酸化されてできる複雑な金属化合物であるが、金属を酸化する最も一般的な腐食性物質は水と空気(酸素)である。したがって何らかの方法で金属から水と空気を遮断すれば金属はさびない。この原則にもとずいて、いろいろな方法が考案実施されているが、包装紙で製品をつつむこともその一つである。もつとも包装には製品に傷がつかないようにする、持運びに便利にするなどの意味もある。とにかく箱入娘にして無垢に保存しようというわけである。しかしこの意図はおうおう逆効果を生みかねない。

1個の値段が万単位の黄銅製品が多数貯蔵中にさびて孔があき始めたので、その対策を問われたことがある。さつそく現場調査をしてみると、製品はおそろしくがんじような紙製容器の中に大切に保存されていたが、さびはさびわめて局部的に発生し特徴のある分布をしていた。場所は海岸に近く、鉄道にも近かつたけれども、倉庫の構造や容器の構造から考えて、塩素やイオウの化合物が外部から侵入する余地はないように思われた。さびの分布

つたならば、黄銅製品はこのように深刻なさびを発生することはあるまいと考えられるのに、親切がかえつて仇



(a) さびは紙と接触した部分に発生している (b) さびはピッチング型である
写真1 黄銅製品のさび(大気中)(下平,佐藤)

第1表⁽¹⁾ 包装材料の腐食性物質含有量

種類	厚さ (mm × 10 ³)	密度 (g/cm ³)	pH	比電導度 NaCl含有量 (mg/g)	塩化物 NaCl含有量 (mg/g)	還元性 イオウ含有量 (ppm)
新聞紙	94	0.624	4.37	1.0	0.093	46.9
クラフト紙	115	0.700	5.70	1.0	0.126	63.3
ク	118	0.731	5.72	0.9	0.120	52.2
セロハン	23	1.235	4.98	1.7	0.810	103.8
グラシン紙	22	1.191	5.60	1.1	0.578	17.4
硫酸紙	39	1.014	4.74	1.4	0.356	11.0

を綿密にしらべた結果、さびは製品と紙製容器との接触部分のみに発生することがわかった。そこでさびを顕微鏡でしらべたところ、さびの中に紙の繊維が多数混っていた。あたかも白色の細長いセルローズが黄銅の地から成長しているかのように見えた。写真1にこれらのさびを示す。結論としては黄銅と紙の接触部に水分と空気が供給され、紙の中にふくまれる腐食性物質(例えばイオウ化合物)がさびの発生を促進したものである。水分は紙を透過して外から供給され、接触部では湿った空気から露を生じやすい。この貯蔵場所は湿度が高く、常にさびを生じやすい湿度範囲にあつた。紙が腐食性物質を含む量は意外に多く、産業工芸試験所の高橋氏の研究⁽¹⁾によれば第1表に示すようである。銅とニッケルはイオウによつて最も腐食されやすい金属である。紙でつつまなか

になつた一例である。紙にかぎらず、水分や腐食性物質を全く含まない非金属性物質でも、すべて固体の接触は金属のさびの発生ではゆゆしい大事である。

3. 汚れた大気

産業革命において鉄冶金にコークスを使う方法が発明されてから、鉄は始めて近代社会の骨格となることができた。18世紀の末から19世紀の始めに至つて、石炭は冶金の他に家庭用、工業用の加熱、蒸気機関、化学技術上重要なガスその他の副産物の製造などにさかんに使われるようになった。人類社会の動力源として第1次革命は黒い石炭の利用、第2次革命は白い石炭(電気)の利用、そして第3次革命は原子力の利用である。石炭のおかげで量産されるようになった。鉄におそいかかつた思われぬ大敵は、皮肉なことに石炭から生れたガスであつた。石炭

(1) 高橋: 防食技術, 9(1960), 246.

の燃焼によって生じた亜硫酸ガスが、大気を汚して鉄さびの発生を異常に促進するようになった。

工業の発展にともなう大気汚染は、金属材料の損傷ばかりでなく、建築石材、革、紙、織物、塗料、ゴムなど種々の材料に損傷をあたえている。人間その他の生物に障害をもたらすことはない。川崎市立衛生研究所寺部博士の研究によれば、わが国の大都市における降下煤じん量と亜硫酸ガス濃度は第2表⁽²⁾に示すようである。

第2表⁽²⁾ (a) わが国主要都市の降下煤じん量

順位	都市 (測定箇所数)	降下煤じん量 (ton/km ² /month)			測定年次
		不溶性成分	溶解性成分	総量	
1	釜石 (6)	34	5	39	昭和
2	札幌 (10)	25	6	31	
3	大牟田 (10)	15	13	28	
4	戸畑 (8)	18	9	27	
5	若松 (10)	18	9	27	
6	八幡 (14)	18	9	27	
7	東横 (26)	16	7	23	
8	川崎 (16)	16	7	23	
9	大阪 (15)	15	6	21	
10	小倉 (10)	15	5	20	
11	小野田 (10)	9	11	20	
12	宇部 (10)	8	10	18	
13	尼崎 (15)	13	4	17	
14	門司 (10)	8	7	15	
15	四日市 (11)	8	6	14	
16	横浜 (20)	8	6	14	
17	神戸 (20)	9	5	14	
18	名古屋 (13)	10	3	13	

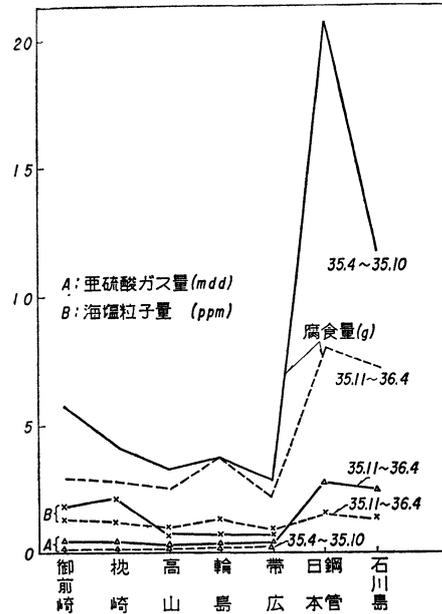
(b) わが国諸都市における亜硫酸ガス濃度

都市名	濃度 (ppm)	備考
札幌	0.00 ~ 0.077	(人体に有害な濃度限界は8時間平均して0.3 ppm程度である)
東京	0.01 ~ 0.12	
川崎	0.01 ~ 0.19	昭和36年1月
京都	0.020 ~ 0.086	平均 33年2月
	0.057 ~ 0.42	最高 同上
大阪	0.02 ~ 0.09	平均 32年2月
	0.25	最高 同上
神戸	0.010 ~ 0.055	平均 34年10月~12月
	0.039 ~ 0.25	最高 同上
尼ヶ崎	0.545	最高 32年2月

ある。この表によれば札幌は呼吸病には好ましくない土地であり、金属のさびについては尼ヶ崎、大阪、川崎などが好ましくない土地であることが推定される。工場地帯の汚れた大気が金属をよくさびさせることはすでに以前から指摘されていることであるが、わが国では最近石川島播磨重工業、日本鋼管および大日本塗料KKによって構成されている陸上鉄骨構造物防食研究会が北海道、本州、九州にわたって大気腐食に関する広汎詳細な現場試験を実施中である。その中間報告⁽³⁾によれば、工場地

(2) 寺部：蔵前工業会誌，563(1962)，5。

帯の大気汚染の影響は顕著で、例えば第1図⁽³⁾に示すようである。大気中の亜硫酸ガスと水分がさびの発生を

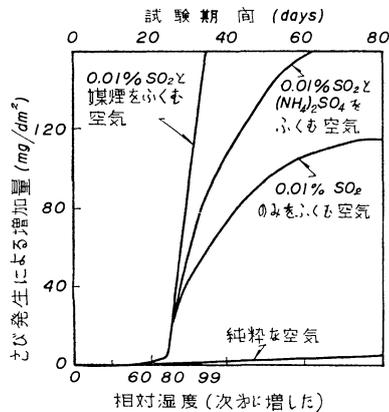


第1図⁽³⁾ ばく露地区別金属素材類平均腐食量と年平均海塩粒子、亜硫酸ガス量との関係

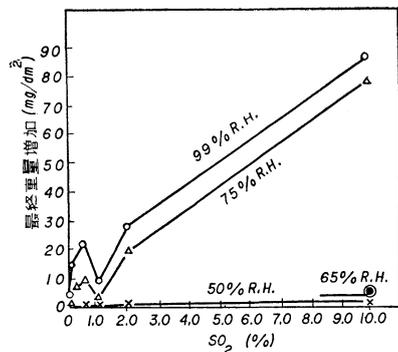
促進することには鉄、非鉄の別がない。第2図⁽⁴⁾は鉄と銅におけるさび発生例である。これらの図からわかるように大気がきれいな場合には、湿度がたとえ90%をこえてもさび発生量の増加はごく小さいものである。これに対して大気が亜硫酸ガスで汚されている場合には鉄でも銅でも湿度が60~70%をこえるとさび方が極端に速くなる。このようにさび速度が不連続的に急激に増加し始める湿度をさび発生の限界湿度とよんでいるが、この湿度はさびの吸湿性と関係があり、限界湿度に達するとさびが大気中の水蒸気を吸収するようになる。おおよそばない方をすれば、大気中のさび速度は大気に含まれるイオン化合物の量に比例する。亜硫酸ガスは金属の触媒作用によって無水硫酸に変化するもので、さびは硫酸塩の形になる場合が多い。硫化水素の存在する大気中では、銅のさびはある程度硫化物を含んでいるが、その主成分は酸化物である。生成熱を比較すればCu₂Oは-40.0 kcal/mol、Cu₂Sは-19.6 kcal/mol(298°K)である。工場の炉からの瘴ガスが当たる場所や、蒸気機関車が走る鉄道とくにトンネルの付近ではイオン化合物によってしばしば短期間に異常腐食が発生する。ある工場の屋根をふくのに使ったアルミニウム板がぼろぼろにさびたのを当研

(3) 陸上鉄骨構造物防食研究会、各種金属材料および防錆皮覆の大気腐食に関する研究(第1~3報)(1961)〔石川島播磨重工業技術研究所〕

研究室へ持ってこられ、これはアルミニウム板の材質がわるいためではないということを証言?してくれといわれ



(a) (4) 鉄



(b) (4) 銅

第2図(4) 大気におけるさび発生におよぼす湿度と不純物の影響

た方がある。煙突であるから何を吐きだそうと勝手であると考えている科学者、技術者はひとりもないであろうが、しよせん Mammon の神の御意のままに動いている社会では、大気が清くなることを期待する方が無理であろう。

文献によれば、大気中の固体微粒子は自動車の仕上げ塗装の損傷ときわめて密接な関係があるという。大気中の鉄粉が塗装中に混入してさびとなり、美しい塗装のそばかすになる。大気中に長期間ばく露して耐食試験を行なうとき、板状試験片ではその上面と下面ではさび方が著しく異なることがある。上面には日光が直射し雨水が

直接にかかるということもあるが、大気中の固体微粒子が沈降して金属板上に付着し、このためにさびの発生が促進されるものと考えられる。さる塗料会社の方々から近頃大気中で塗装にふくれができて困ることが少なくなりますが、これは金属の材質そのものがわるいためであると思われるが、どのような材質的欠陥が考えられるかというご質問をうけた。筆者のせまい経験では硝子に塗装してもある種の塗料ではふくれが多くできることもあるので、ふくれは必ずしも金属の材質がわるいためばかりでなく、塗料そのものの性質と、塗装する際の湿度や大気中の不純物が関係する場合もあることを考慮すべきではないかと答えたところご不満の様子であった。もともと金属の耐食性という性質は、金属そのもののみによつて定まる性質ではなく、金属と腐食性物質との相互作用によつて定まる性質である。同一金属でも環境が変化すれば耐食性は一般に大きく変化するものである。例えば、マグネシウムは塩酸には侵されやすいが、同じハロゲン酸でもフッ化水素酸に対してはよい耐食性をあらわす。禪では隻手の声とかいう難問がある由であるが、腐食ではあくまで両手が相打つて音が出るのであつて、その原因が左右いずれの手にあるか、一方的にきめつけようとする考え方は腐食では誤まつている。腐食研究者の中でも、化学系の方は環境に重点をおきやすく、金属系の方は材質に重点をおきやすいのは自然の勢としても、ときどきあまりに一方的な強調がきかれるのは残念なことである。しいていえば、腐食学とは金属材料と腐食性物質とが反応して生じたさびの物理的・化学的性質に関する科学であろう。さびはもはや金属そのものでも、また腐食性物質そのものでもない新しいものなのである。

4. 汚れた水

原子力発電が工業化するまでは、わが国の動力源は火力発電に頼る他ない。水主火従の電力政策は、いつか火主水従に転換をよぎなくされそうである。この見通しを誤まつたために、重役の椅子からすべりおちた人さえないという。火力発電が石炭や重油を焚いて運転されていることは誰でも知っているが、新鋭火力発電所の見学者の中には復水器をボイラと感違いして、なるほどこれは大きいものだと思嘆する人もいそうである。それほど火力発電では大量の冷却水が必要である。復水器では従来デポジットアタック、脱亜鉛腐食、インピンジメントアタック、エロージョンコロージョンなどの腐食が問題であつたが、最近では汚れた水による腐食が新たに大問題になつてきた。汚れた冷却水を使用する場合、アルミニウム黄銅管の寿命は1~2年という短命なものがある。そのさび方は全く異常である。現在冷却水として汚れた水

- (4) (a) F.N.Speller : Corrosion, [McGraw-Hill] (1951), 205; (b) W.H.J.Vernon : Trans. Faraday Soc., 27(1931), 255.
- (5) 隈田川口の硫酸塩還元バクテリアについては、菅野(石川島重工)バクテリアコロージョンに関する研究, 第6回腐食防食対論会(1958年); 下平, 佐藤: 汚水による冷却器用銅合金管の異常腐食について, 第8回腐食防食対論会(1961年)

が問題になっているのは京浜、名古屋、阪神、北九州などの工業地帯である。例えば東京港の水質については住友軽金属工業KK研究部の大津博士、田中氏の長期にわたる詳細な調査研究があるが、その一端を示すと第3表の

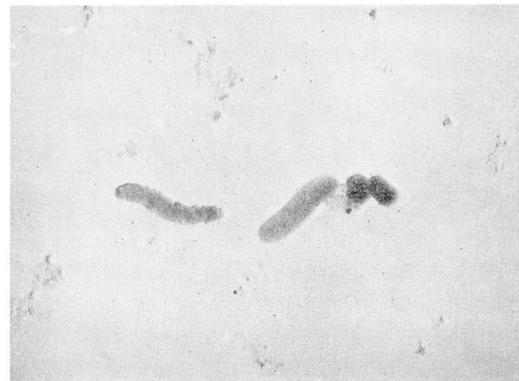
いうわけである。硫酸塩還元バクテリアはいわば水素を呼吸して生きている。バクテリアが直接金属を食うのではなく、その排泄物が金属を腐食するという機構は腐食対策上重要である。復水器管内のバクテリアをたとえ全

第3表 東京港および隅田川の水質 (昭和36年4月17日)

試料 No.		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
採水条件	採水位置	東京港中央部		勝鬃橋	永代橋	相生橋	新東京発電所取水	東雲都橋	新東京発電所放水	東京ガス		
	採水時間	4/17 11 ³⁷ ~11 ⁵²		12 ⁵⁸ ~13 ⁰⁷	13 ¹⁶ ~13 ²⁵	13 ³² ~13 ³⁹	13 ⁵⁰ ~14 ⁰²		14 ²⁵ ~14 ³⁸	4 ⁴² ~14 ⁵²		15 ⁰³ ~15 ¹²
試験項目	水深 (m)	0.5	4.0	0.5	0.5	0.5	0.5	5.0	0.5	0.5	3.0	0.5
	水温 (°C)	14.5	12.0	14.0	13.0	14.5	14.0	13.0	15.0	17.0	17.5	16.5
試験項目	pH	6.85	6.70	6.72	6.85	6.85	6.87	6.70	6.68	6.85	6.57	6.67
	比電導度 $\mu\Omega/cm$	28220	36930	3460	1930	5300	30420	37100	16070	25610	31600	32660
	比蒸発残留物 ppm	18620	25100	1810	900	2340	17560	26660	10000	16150	20520	21660
	強熱減分量 %	15800	21070	1760	710	1910	14630	21560	8220	13520	17190	18620
	Mアルカリ度 %	2820	4030	50	190	430	2930	5100	1780	2630	3330	3040
	硬酸消費量 %	102	114	62	58	64	100	114	88	104	108	115
	硫酸消費量 %	3110	4190	420	290	480	3120	401.0	1610	2740	3410	3560
	硫酸消費量 %	13.3	12.9	14.4	13.3	14.1	12.5	10.7	9.9	11.8	11.8	11.7
	硫酸消費量 %	tr	1.84	0.02	tr	0.01	0.28	0.04	0.35	tr	tr	0.58
	硫酸イオン %	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
	硫酸イオン %	9420	12430	930	390	1220	8720	12330	4850	8190	10210	10440
	アンモニウムイオン %	4.6	3.9	2.7	2.3	2.6	3.6	3.1	3.1	3.9	3.6	3.7
	硝酸イオン %	tr	tr	1.1	0.5	0.9	tr	tr	0.1	0.1	tr	tr
	硝酸イオン %	0.2	0.5	0.7	3.8	1.0	0.4	0.1	2.3	0.2	0.3	0.8
	イオウイオン %	tr	tr	tr	0.1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
	硫酸イオン %	4.0	3.0	2.6	2.2	2.6	2.7	2.1	—	2.8	2.7	2.9
	鉄イオン %	1.7	0.9	5.7	4.6	0.9	1.8	1.2	2.4	1.8	1.7	1.5
硫酸イオン %	1289	1756	157	90	198	1240	1803	681	1160	1430	1547	
カルシウムイオン %	215.8	78.72	34.3	27.2	42.9	205.8	285.9	177.3	190.1	234.4	278.7	
マグネシウムイオン %	623.1	856.5	62.9	36.9	83.9	592.1	863.1	330.4	551.1	677.8	728.1	
シリカ %	14	6	28	132	32	36	10	82	12	28	12	

備考：正常海水 pH 8.1~8.3 Cl⁻ ppm 18980 SO₄²⁻ ppm 2649 溶存 O₂ ppm 7~9 NH₄⁺ ppm ~0 S²⁻ ppm ~0 KMnO₄ 消費量 ppm 10~15

ようである。このような汚水には魚はおろか、どんな銅合金も耐えられない。これらの汚水にふくまれる腐食性物質中銅合金にとって最も悪質なものはイオウ化合物である。これらのイオウ化合物は主として硫酸塩還元バクテリアの繁殖にもとづくものであることが確認されている⁵⁾。このバクテリアは還元酵素をもち、例えば SO₄²⁻ + 10H⁺ + 8e⁻ → H₂S + 4H₂O の反応における遊離エネルギーを摂取して生存している。硫酸塩還元バクテリアは土中腐食にも関係が深く、埋設鋼管の異常腐食の原因になることがよく知られている。このバクテリアは嫌気性バクテリアに属し、環境の酸化還元電位が約 -200 mV (E_n) より卑でないで繁殖しないので取扱いがむずかしく、分離検出が困難である。隅田川口の硫酸塩還元バクテリアは海洋性変種でその形態は写真2に示すようである。バクテリアコロジションに関係あるバクテリアの種類は少なくないが、大多数のものは同化作用として直接に金属を食って栄養源とするのではなく、異化作用として接触反応の遊離エネルギーを生活のエネルギー源として利用している。たまたま接触反応の生成物が腐食性物質であると



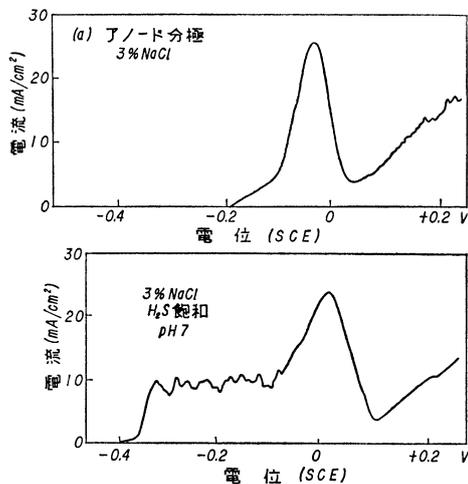
(×4000)

写真2 隅田川口の硫酸塩還元バクテリア (服部, 下平) 滅できる手段が完成されたとしても、取水口の外から腐食性物質がたえず流入してくるのではどうしようもない。もつとも金属面で硫酸塩還元バクテリアが繁殖すれば、電気化学腐食におけるカソード反応 H⁺ + e⁻ → H の復極剤として働き腐食が促進される。

汚水によって銅合金がさびやすいことは簡単な電気化

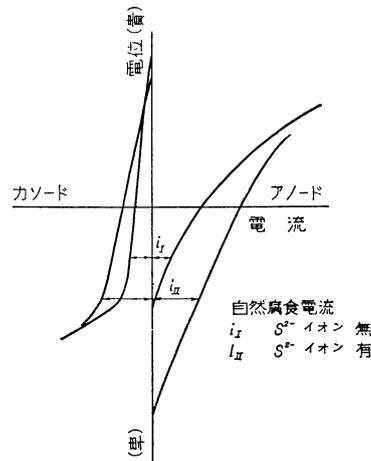
学腐食理論で説明できる。きれいな食塩水中とこれに硫化水素を加えた水中におけるアルミニウム黄銅の分極特性を比較してみると第3図のようである。アノード反応

があらわれる。一般にさびはさびの増殖を妨げるように働くものであるが、このようにさびがさびの増殖を促



第3図 アルミニウム黄銅の分極特性におよぼすイオウ化合物の影響 (下平, 佐藤)

もカソード反応もイオウ化合物の存在によって共に起きやすくなることが明かにわかる。腐食状態の変化は図式的に第4図で示される。標準単極電位は $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + e^-$, $E_h^0 = 0.468 - 0.0591 \text{pH}$ であるのに対し, $2\text{Cu} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{S} + 2e^-$, $E_h^0 = -0.95 \text{V}$, $\text{Cu} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{CuS} + 2e^-$, $E_h^0 = -0.76 \text{V}$ であるから, イオウ化合物が存在すると銅合金は還元性環境でもさびるようになる。溶解積は $1/2 \text{Cu}_2\text{O} + 1/2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{OH}^-$, 1.2×10^{-15} , $\text{Cu}_2\text{S} \rightleftharpoons 2\text{Cu}^+ + \text{S}^{2-}$, 2.5×10^{-50} , $\text{CuS} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-}$, 4×10^{-38} であるから, イオウ化合物は局部電池反応のアノード分極を著しく復極する。その上硫化物のさびは酸化物のさびより密着性がわるくわれ目も多いので, 流水中では防食皮膜にはなりにくい。なおまた悪いことは銅の平衡電位は $\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2e^-$, $E = 0.345 + 0.0295 \log [\text{Cu}^{2+}]$ であるが, 硫化銅の溶解積からわかるように, 銅イオン濃度はさきわめて小さいので, 銅は硫化銅皮膜に対して局部電池反応のアノードとなり, 局所的な深い侵食



第4図 硫化物の存在による銅の自然腐食速度の増大(図式的)

進する場合も少なくない。

筆者は水質調査のため, 小舟に乗って隅田川や東京港の水を採取した際, その汚なさや悪臭には全くあきれてしまった。舟から眺めると, どぶ水の上に黒ずんだ大東京が浮んでいる灰色の風景であった。汚水のもとは下水と工場廃水である。わかっではいるけれど, どうにもならないというならば, この汚水こそ現代文明の一つの象徴であろう。水清ければ魚すまずとは今はむなしい言葉である。汚れの源を断つことができないとすれば, 火力発電所の建設にあたっては河口地帯をさけるべきである。河口では海水から硫酸塩が供給され, 上流からは有機物を豊富にふくむ汚水が栄養物質を運んでくるので, 硫酸塩還元細菌にとっては絶好の楽園となるわけである。コンデンサコロージョンの立場からみればこのような河口地帯に火力発電所の建設を設計した人々の無知?を指摘しないわけにはゆかない。工業を制するものは工業用水であり, 火力発電所を制するものはコンデンサコロージョンであるといつてはいいすぎであろうか?

5. 表面皮膜

金属表面は必ず何らかの表面皮膜層でおおわれている。最も薄い単分子吸着層から厚いさびの層に至るまでさまざまである。腐食の進行は腐食生成物が形成する表面皮膜層の性状によって決定されるものであるが, 腐食発生の様子は腐食性物質が作用する前における金属表面皮膜の状態によって左右される。したがって腐食では金属材料の前歴が特に重要である。表面皮膜のわれ目からさびが発生しやすいことはいいうまでもないが, あまり

わかりきったことはしばしば無視されがちであるから、ここに一例をあげておきたい。

新鋭火力発電所のボイラ蒸発管は長いので、最終工程としてストレートナにかかけられる。軟鋼管ではこの矯正はストレッチャストレン(すべり帯)を生じることによって実現される。ストレッチャストレンは軟鋼では加工度が数パーセント以下の場合にあらわれやすいという。この塑性変形のために鋼面の酸化皮膜がすべりにそって割れ、この割れ目が大気中でさび発生場所になる。写真3はその一部を示したものであるが、この赤さびの下にはひどいところは深いピッチングが生じている。写真4は

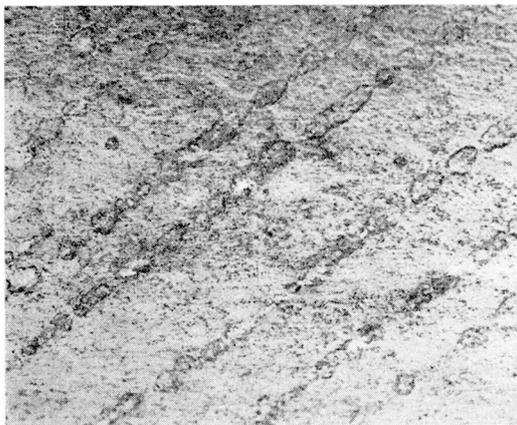


写真3 鋼管のストレッチャストレンに大気中で生じた赤さび(下平,佐藤)

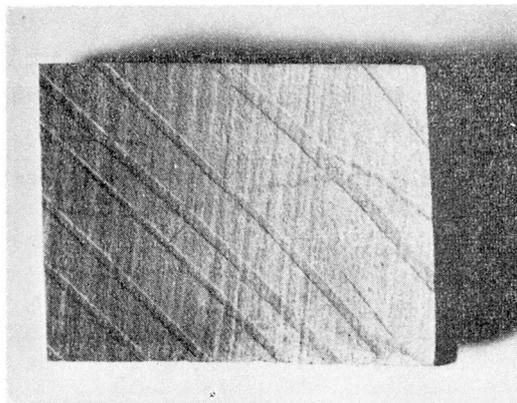


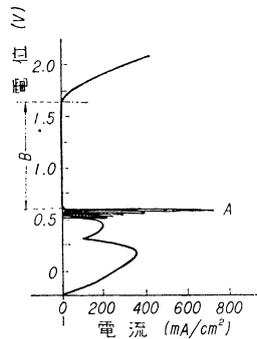
写真4 鋼管のストレッチャストレンマーキング(下平,佐藤)

このすべり帯をエッチングで検出したものである。このようなさび穴の部分は赤さびでおおわれ、流速がないのでボイラ蒸発管のように管壁を通して熱貫流がある場合には過熱部となりやすく、したがって塩類の析出、アルカリ濃縮、沸騰などが生じて異常腐食発生場所になりやすい。大気中で生じた赤さび(酸化第二鉄)はボイラ水中にヒドロゲンが存在するので容易にマグネタイトに変

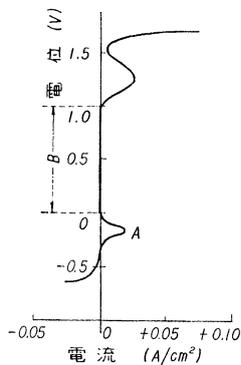
化する。このマグネタイトは崩れやすく、コロイドになつて水中に溶けるので、水による高温酸化が進行して鋼管に孔があくようになる。高温酸化に対するストレッチャストレンの挙動は不明であるが、結晶の乱れが大きいほど化学的活性度が高いと考えるのが常識であろう。研磨すると新しい表面層が形成されて、ストレッチャストレンがおおいにかくされるためにエッチングで検出できなくなる。高温水による軟鋼の腐食では律速段階はマグネタイト皮膜層における鉄イオンの拡散過程であるから、ストレッチャストレンは初期以外は高温酸化速度そのものには影響しないであろう。しかし大気中腐食で生じたピッチングは、熱貫流下の高温水中の局部腐食発生の原因の一つになりえる素質を十分にそなえている。実際にある新鋭火力発電所ではこれが原因であると推定される腐食事故がおきたことがある。包丁でさえ赤さびの出たものは買手がないのに、数十万KWの動力源の心臓部を構成するボイラ蒸発管に、赤さびの出たものが使用されるとすれば、腐食学の立場からは言語同断という他ない。

6. さびない鋼

ステンレス鋼と電気防食法の発明は金属の防食技術発達史上最高の栄誉をあたえられるべき双壁であろう。金属の腐食は電子が金属から外界に奪いとられる反応であるから、それ以上の電子を外部から補給してやれば腐食はおきないことになる。これが陰極的防食法の原理である。一方ステンレス鋼の耐食性は全くその酸化皮膜のおかげである。この酸化皮膜が安定に存在しえる領域ではステンレス鋼は“ステンレス”でありえるが、酸化皮膜がやぶれたとき補修する能力のない環境ではステンレス鋼も普通の炭素鋼に劣る耐食性を示すようになる場合が少なくない。第5図は鉄と18-8ステンレス鋼の電気化学的分極特性を示すものであるが、共にB領域ではほとんど全く腐食されない。すなわち、この領域では共に“ステンレス”である。両者の違いといえば“ステンレス”域に入るのに必要な環境の酸化力の強さの差にすぎない。これは程度の差であつて本質的なものではない。普通の中性環境では18-8ステンレス鋼は空気中または水中の酸素による酸化力で、たいていの場合自然に“ステンレス”域に入ってしまうが、鉄はこの程度の酸化力では“ステンレス”域に入ることができない。そこで外部から電気的に酸化力を加えて強制的に“ステンレス”域に送りこむ方法が陽極的電気防食法である。この方法によれば炭素鋼をかんとんにそのままステンレス鋼に変じることができる。技術的な困難はいかにして障壁Aをこえるに必



第5図(a) 鉄のアノード分極特性 10% 硫酸 (R.Olivier)



第5図(b) 18-8 ステンレス鋼のアノード分極特性 5% 硫酸 (Cihal and Prazak)

要な大電流を供給するかということである。現在この方法は工業的には中性塩類水溶液を使用するタンクなどに実用され始めている。

7. さびの力

Mechano-Chemical 系の反応が最近注目され始めて

特 許 彙 報 (3)

珪素及び(または)アルミニウムを含有する鉄合金から方向性磁氣的性質を有する薄板及び帯鋼を製造する方法 (p 4) [特公 昭 36-7352 36-6-12 独逸国 ハンスエーベルハード モエビウス 発明 同国 フェライニグテ ドイツェ メタルウエルケ アクチュンゲゼルシャフト 出願] Si(0.5~2.5%)-Fe, Al(0.5~2.0%)-Fe, Si-Al-Fe 合金(Si+Al=0.5~2.5%)を熱間圧延, 予備熱処理, 冷間圧延, 最終再結晶処理を施して立方構造を形成せしめるに当り, 冷間圧延が単一工程の場合には冷間圧延率を70~90%とし, また冷間圧延が2工程またはそれ以上の工程の場合には最後から2番目の工程の圧延率を7.5~90%として, 最後の冷間圧延工程の圧延度が最後の冷間圧延工程中のパス回数よりも少なく, また最後か

いる。これは化学反応がおきると機械的な力を発生し、逆に機械的な外力を加えると化学反応が変化するという系である。多くは有機物質である。さびがどんな強靱な鉄鋼製品でもま二つにちぎれてしまうといつは大げさすぎるかもしれないが、応力腐食割れでは大きな製品が実際にみごとに割れてしまう。応力腐食割れの機構については現在までのところ腐食が主であるとする考え方と、機械的な割れが主であるという考え方が対立している。この対立の中から抬頭してきたのがさびの力によって割れるという Wedging effect (くさび効果) 説である。さびが応力腐食割れで何らかの役割をもつのではないかという疑問は、Keating (1949), Logan (1956年) あるいは Staehle (1959年) によって提出されていたが、Nielsen (1959年) は光弾性効果を利用してさびによる力の発生を実証した。最近 Fontana ら⁽⁶⁾ は定量的な実験と計算を行ない、オーステナイト質ステンレス鋼の塩化物割れでは 7000 psi をこえる力がさびによって発生し、このさびのくさび効果によって割れの先端に応力集中を生じ、割れが進行すると説明している。ステンレス鋼でこのような力を出すさびは Fe₃O₄, Fe₂O₃, Cr 酸化物, (Cr, Fe)₂O₃ などで、Ni の酸化物は存在しないようである。このようなくさび効果が厳密な意味で Mechano-Chemical 系に属するかどうか筆者にはわからないが、さびの力はすごいぞといいたいためにあえて最後に加えておく。

本文も途中でさびについて竜頭蛇尾におわつたようであるが、これでピントがはずれておれば、まさに身から出たさびである。

(6) H.W.Pickering, F.H.Beck and M.G.Fontana: Corrosion, 18(1962), 230 t.

ら2番目の冷間圧延工程における圧延度は10より多くなく、冷間圧延した後エージングを行ってから最後の再結晶焼鈍を施す。

融解物の電解による金属ニオブまたは金属タンタルの製法 (p 3) [特公 昭 36-7503 36-6-14 優先権主張 1957-8-9 (スイス国) スイス国 フリッツ ケルン 発明 同国 チバリミテッド 出願] 金属 Nb または Ta の五塩化物の蒸気をアルカリ土類金属の塩化物および(または)アルカリ金属の塩化物及びアルカリ土類金属の弗化物またはアルカリ金属の弗化物から成る、O₂ の存在しない融解物に混入して陽極電流密度を融解物の温度及び弗化物含有量に関して一般式 $\{T+5.6(T-750)\}/A \cdot e^{0.14} + A\{1+(T-750)/100\}/2.4 \text{ Amp/dm}^2$ (T は温度 °C, e はオイラー数, A は融解物中の F の%) で示される値に等しいように調整して電解を行ない、電解中五塩化物蒸気を融解物中に連続的に導入する。

本 会 記 事

会 告 2021年春期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	558
第29回奨学賞の推薦校募集について	558
第2回日本金属学会フロンティア研究助成募集	559
第1回フロンティア研究助成の採択	560
日本金属学会フェロー推薦募集のご案内	560
欧文誌編集委員会からのお知らせ	561
第44回技術開発賞募集	561
第71回金属組織写真賞作品募集	561
2021年度代議員候補者の立候補者募集	562
2021年度代議員選挙管理委員会委員募集	562
2021年度の監事候補者の立候補者募集	563
支部行事	563
次号予告	567
掲示板	564
新入会員	567
会誌・欧文誌10号目次	566
行事カレンダー	568

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)

2021年春期講演大会の外国人特別講演 および招待講演募集

推薦書提出期日: 2020年11月20日(水)

春秋大会における外国人研究者による特別講演と招待講演については会員からの推薦をもとに、国際学術交流委員会において審議採択し、講演実施細目については講演大会委員会で決定いたします。2021年春期講演大会オンライン開催予定の特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。

特別講演

- ・講演者: 著名な外国人研究者とする。
- ・講演時間: 30分(討論10分)
- ・採択件数: 3~4件
- ・その他: 大会参加費免除

招待講演

- ・講演者: 有益な講演が期待される国内に滞在する外国人研究者とする。
- ・講演時間: 15分(討論5分)
- ・採択件数: 5件程度
- ・その他: 大会参加費免除

推薦用紙: 所定様式(ホームページからダウンロードして下さい)

推薦書提出期日 2020年11月20日(水)

照会・推薦書提出先

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

日本金属学会・日本鉄鋼協会 第29回奨学賞の推薦校募集について

奨学賞はこれまで全国大学材料関係教室協議会参加大学の学部学生を対象としておりましたが、材料分野の発展の貢献が期待できる多くの優秀な学生を幅広く奨励するため、全国大学材料関係教室協議会参加大学以外の教育機関からも広く募集いたします。下記要項によりご応募下さい。

奨学賞募集要項

教育機関の募集

- ・国内の材料系の学科又はコース等を有する大学および高等専門学校
- ・同一の教育機関(1校)の応募数は、関係する材料系の学科又はコース等に拘らず1件とします。

教育機関における候補者の対象

- ・大学は学士課程4年に在学する学生。
- ・高等専門学校は専攻科2年に在学する学生。

推薦校の推薦者資格

- ・教育機関の代表専攻長(代表学科主任)
同一教育機関の応募窓口は事前にご調整願います。
- ・下記の全国大学材料関係教室協議会の参加大学には、推薦校の資格が与えられます。

手続き 所定の応募用紙(本会ホームページよりダウンロードできます)により必要事項を記入の上、ご応募下さい。

応募締切 2020年11月5日(木)

申込問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

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

2020年全国大学材料関係教室協議会の参加大学(35校)

大 学 名			
1 北海道大学	13 豊橋技術科学大学	25 大阪府立大学	
2 室蘭工業大学	14 名古屋大学	26 兵庫県立大学	
3 岩手大学	15 名古屋工業大学	27 千葉工業大学	
4 秋田大学	16 京都大学	28 東京理科大学	
5 東北大学	17 大阪大学	29 芝浦工業大学	
6 茨城大学	18 島根大学	30 東海大学	
7 筑波大学	19 香川大学	31 金沢工業大学	
8 東京大学	20 愛媛大学	32 関西大学	
9 東京工業大学	21 九州大学	33 近畿大学	
10 横浜国立大学	22 九州工業大学	34 早稲田大学	
11 長岡技術科学大学	23 長崎大学	35 群馬大学	
12 富山大学	24 熊本大学		

第2回日本金属学会フロンティア研究助成募集

教育・研究機関での金属及びその関連材料分野の学術研究及び技術研究の発展や若手研究者の育成や奨励を主な目的として、金属及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助成金を交付いたします。下記の通り第2回目の助成の対象となる研究を募集いたしますので、応募下さい。

募集期間：2021年2月1日(月)～3月31日(水)まで

募集要項

応募資格

応募者(代表者)は、2021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

金属及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、研究及び開発とする。

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及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、提出して下さい。

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(応募者及び共同研究者)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ある場合(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)及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件及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、この法人の会報及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。

問合せ・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

第1回フロンティア研究助成の採択

フロンティア研究助成は、教育・研究機関での金属及びその関連材料分野の学術研究及び技術研究の発展や若手研究者の育成や奨励を目的で設立されました。

第1回フロンティア研究助成は、下記10件の研究の採択が決定しました。助成金を交付いたします。

番号	テ ー マ	活動開始	活動終了	助成金	申請者	所 属
1	金属/酸化物異相界面を利用した面欠陥導入による水電解触媒の高機能化	2020年9月～2022年9月		1,500,000	轟 直人	東北大学大学院環境科学研究科(准教授)
2	輸送機器の画期的軽量化を実現する新次元軽量ハイエントロピー鋳造合金の開発	2020年9月～2022年9月		1,500,000	永瀬 丈嗣	大阪大学超高压電子顕微鏡センター(准教授)
3	マイクロ金属単結晶の強度に及ぼす材料強化因子の役割	2020年9月～2022年9月		1,500,000	高田 尚記	名古屋大学大学院工学研究科(准教授)
4	省エネルギー化、高機能化を目指した新規合金触媒一体ワイヤーの創製	2020年9月～2022年9月		1,500,000	近藤 亮太	関西大学化学生命工学部(准教授)
5	めっき接合技術の開拓	2020年9月～2022年9月		1,500,000	袴田 昌高	京都大学大学院エネルギー科学研究科(准教授)
6	固溶体強化合金を題材とした金属材料強度の電子論構築	2020年9月～2022年9月		1,500,000	松永 哲也	物質・材料研究機構(主任研究員)
7	サンゴ再生足場におけるチタンの利用とその表面修飾	2020年9月～2022年9月		1,500,000	上田 正人	関西大学化学生命工学部(教授)
8	Al ₄ Ba型金属間化合物相を利用した耐熱性高強度Al合金の創製	2020年9月～2022年9月		1,500,000	安藤 大輔	東北大学大学院工学研究科(助教)
9	熔融池に注目した金属AMによる結晶集合組織形成機構解明と単結晶骨インプラントの創製	2020年9月～2022年9月		1,500,000	石本 卓也	大阪大学大学院工学研究科(准教授)
10	銅単結晶を用いた放射光白色X線マイクロビーム透過ラウエパターンによる局所塑性変形解析法の開発	2020年9月～2022年9月		1,500,000	宮澤 知孝	東京工業大学物質理工学院(助教)

公益社団法人日本金属学会フェロー推薦募集のご案内

本会では、本会の代表的会員として、金属及びその関連分野における学術・科学技術・産業、教育・人材育成等に造詣の深い会員であって、自らが積極的に本会の事業に参画・活動することが期待されるものに対して日本金属学会フェローを授与いたします。下記の募集要項をご確認いただき、積極的にご推薦下さい。

推薦締切：2020年11月30日(月)

募集要項

[推薦方法]

- 推薦は、フェロー、理事、代議員、支部長、各種委員会委員長、維持員、3名の正員および本人による自薦による。
- 所定の推薦書に、必要事項を記入の上、提出する。
- 必要事項は以下の通り。
 - (1)候補者
 - (2)フェローの責務を果たすことの承諾及び活動
注：候補者本人の承諾を得た上、責務を果たすことの確認と果たすことができる責務・活動を記入する。果たすべき責務は下記「責務」に示すとおり。
 - (3)候補者の略歴
 - (4)推薦タイトルとカテゴリー
 - (5)業績や貢献の内容と推薦理由
 - (6)推薦者

[責務]

- フェローを得た会員は、金属及びその関連材料分野を先導し、若手研究者・技術者の目標をなすことを自覚し、当該分野の発展に一層寄与するとともに、本会の代表的会員として本会事業へ積極的に参画し、本会の目的の達成に率先して努力する責務を負うものとする。
- フェローは次のいずれかの活動を行なうものとする。
 - (1)若手研究者および若手技術者の啓発・人材育成
 - あたりあへの入門講座・講義ノート・実学講座・新製品技術裏話等の啓発記事の執筆
 - あたりあへの若手研究者・技術者を対象とした論文執筆のコツ・テクニク・注意事項等の啓発記事の執筆
 - 学校・企業等への出前講義等
 - (2)知識・技術の伝承
 - 本会機関誌へのレビュー・オーバービュー・解説の執筆

- 教科書等の書籍の執筆
- 講演会・講座・セミナー・シンポジウム・チュートリアル講演等の講師
- フェローは必要に応じて、技術相談、論文執筆相談、機関誌の特集記事の企画提案、研究費申請相談の活動を行うものとする。
- フェローは、当該年度の活動報告及び次年度の活動計画を作成するものとする。
- フェローは、本会正員として会費を支払うものとする。
注：フェローとして活動するに際しては、本会の謝礼規程および旅費支給規程に従って謝礼や旅費の支払を受けることができるものとする。

[フェローの要件]

- フェローの対象となる者は、フェローの責務を積極的に負える者であって、金属及びその関連分野における学術・科学技術・産業、教育・人材育成等に造詣の深い会員であること。

[フェローの数]

- フェローの人数は本会正員の1%を上限とする。

[審査・認定]

- フェローの選考は、フェロー選考委員会あたり、理事会で授与候補者を決定する。
- 授与を決定した者に、春期講演大会時に開催される表彰式でフェローを授与する。
- 授与者にはフェローの認定証書を贈呈する。
- 適切な候補者がいない場合は、その年度は授与しない。

申請先 申請書を下記E-mailアドレスに送付して下さい。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。

問合せ (公社)日本金属学会 フェロー係
E-mail: award@jim.or.jp ☎ 022-223-3685

Materials Transactions 読者への重要メッセージ 論文審査基準の見直しについて

欧文誌編集委員長
堀田善治

Materials Transactions (Mater. Trans.)は1960年と古くに創刊された歴史に基づく由緒ある材料系学術誌です。しかしながら、本誌のImpact Factor (IF)は0.7程度で極めて憂えるべき状況にあります。(2018年 IF=0.763, 2019年 IF=0.731)。

本委員会では、現在、Current Trends in Research の新たなカテゴリーを設けて最新の情報を紹介したり、Review や Overview 論文を多く募って被引用数の向上に努めているところです。しかしながら、ほとんどの材料系雑誌は2以上であり、IF が最も高い Acta Materialia (Acta Mater.)よりも1桁小さいという不名誉な値となっています。このような深刻な事情にあっては、抜本的な対策により、IF 向上を図る必要があると痛感している次第です。Mater. Trans. では毎年約300編の論文が掲載されております。しかし、その60%の論文は自己引用も含めて一度も引用されておられません。

論文の価値は単に IF のみでは判断できないところは十分に理解するところです。しかし、一度も引用されない論文は果たして論文としての価値があるのかと疑問を投げかけざるを得ません。被引用数ゼロの論文をなくすために、審査基準の見直しを図る必要があります。学術的な重要性とともに理解し易さ(読者に分かり易く工夫されているか)も審査の対象に入れ、貢献度が低い論文(被引用が見込めない論文)は、積極的に Reject(掲載否)とする方針で対処する必要に迫られております。

本誌の読者であり投稿者である皆様には、どうぞよろしくご理解賜りますようお願い申し上げます。



第44回技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集 応募締切：2020年11月2日(月)

賞の名称 第44回公益社団法人日本金属学会 技術開発賞
賞の対象 あたりあ「新技術・新製品」記事に掲載された記事が選考対象となります。
表彰 2021年9月の秋期講演大会
原稿問合せ あたりあ係 E-mail: materia@jim.or.jp
詳細 あたりあ 8号454頁 or ホームページ：本会賞の募集
申込 URL <http://gijyutsu.jim.or.jp/entry>
技術開発賞の問合せ先
(公社)日本金属学会各賞係
☎ 022-223-3685 E-mail: gaffair@jim.or.jp

第71回金属組織写真賞作品募集 応募締切：2020年11月2日(月)

賞の名称 第71回日本金属学会金属組織写真賞
募集部門 「写真賞部門」
1. 光学顕微鏡部門
2. 走査電子顕微鏡部門(分析, EBSD 等を含む)
3. 透過電子顕微鏡部門(STEM, 分析等を含む)
4. 顕微鏡関連部門(FIM, APFIM, AFM, X線CT等)
注：光学顕微鏡と透過電子顕微鏡写真、走査電子顕微鏡と透過電子顕微鏡写真等の組写真を応募する場合、応募者が最も適切と判断する部門を選択すること。
申込要領
応募は、下記 URL の申込フォームにより説明文を入力し、写真作品データを提出する。
【写真作品】
①写真データの解像度は、A2版サイズを前提に400dpi以上とする。
②写真データはPDFまたは画像ファイル(jpgなど)で提出すること。(それ以外はプレビュー表示出来ない)
③写真と図の組み合わせでも提出は可(写真、図への挿入文字は小さすぎないこと)。
④作品には、応募者名、共同研究者名を記載しない。
⑤応募作品数には制限を設けない。
⑥他学協会等の同様の賞を受賞していない作品であること。
詳細 あたりあ 8号455頁 <http://picture.jim.or.jp/entry>
送付・問合せ先 (公社)日本金属学会 金属組織写真賞係
☎ 022-223-3685 E-mail: gaffair@jim.or.jp



公益社団法人日本金属学会の
2021年度代議員候補者の立候補募集

会長 高梨 弘毅

代議員の選挙を次の要領で実施しますので、代議員候補者の立候補を募ります。

2021年度から代議員は、2年おきに全数改選となります。

1. 地区別および本部枠代議員候補者改選数

地区	定数	改選数(新任)
北海道地区	3名	3名
東北地区	10名	10名
関東地区	36名	36名
東海地区	11名	11名
北陸信越地区	5名	5名
関西地区	18名	18名
中国四国地区	6名	6名
九州地区	5名	5名
本部枠	4名	4名
総計	98名	98名

地区別代議員の定員

事業年度末の当該地区に居住する正員数を40で割り、端数を四捨五入して算出する(細則第3条代議員定員)

代議員の任期

選任後2年以内に終了する事業年度のうち最終のものに関する定時社員総会の終結のときまで(定時社員総会の選任日から、2回目に終了する事業年度に関する定時社員総会の終結まで)。

2. 立候補受付期間

2020年10月1日～10月25日(当日消印有効)

3. 立候補応募方法

所定の用紙(ホームページにあります)の候補地区名等の欄に、地区名、本部枠の区分を記載し、住所、氏名(押印)、勤務先および連絡先(Tel, FAX, E-mail)をご記入の上、上記期日までに郵送下さい。

4. 応募先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14番32号
公益社団法人日本金属学会「代議員選挙管理委員会 御中」

5. 注意事項

- 1) 本会ホームページの「情報公開」の「主要規程」に公開してある「代議員選挙規程」を予めご承知願います。
- 2) 次の方は代議員に立候補出来ません。
2期継続就任代議員、学生員、外国会員、2021年度会費未納者、会員資格停止中の者、本部枠代議員は、維持員から正員資格付与者として指名された正員以外の者。
- 3) 代理人(本会の正員、本部枠代議員は維持員の連絡担当者に限る)が立候補を届出する場合は、代理人の住所、氏名(押印)、勤務先および連絡先(Tel, FAX, E-mail)もご記入下さい。
- 4) FAXやE-mailなどの文書以外の手段による届出は無効であり、受け付けません。
- 5) 選挙投票用紙の立候補者名は受付順に記載されます。

6. 問合せ先 公益社団法人日本金属学会 代議員選挙管理委員会
事務局 斎藤 E-mail: gaffair@jim.or.jp

◇代議員選挙日程(予定)◇

2021年度の代議員選挙は2020年12月1日～12月31日を予定しております。

2021年度代議員に加えない方
◎代議員候補者の対象に加えない方

下記の2期継続就任代議員の方は立候補できません。

北海道地区

上田 幹人 北海道大学 高橋 英徳 北海道立総合研究機構

東北地区

柴田 浩幸 東北大学 武藤 泉 東北大学

関東地区

枝川 圭一 東京大学 尾中 晋 東京工業大学
 笈 幸次 首都大学東京 加藤 徹 日本製鉄㈱
 川岸 京子 物質・材料研究機構 弓野健太郎 芝浦工業大学
 児島 明彦 日本製鉄㈱ 齋藤 哲治 千葉工業大学
 柴田 直哉 東京大学 下条 雅幸 芝浦工業大学
 高橋 聡 ㈱IHI 田村 隆治 東京理科大学
 寺嶋 和夫 東京大学 長滝 康伸 JFE スチール㈱
 藤田 敏之 東芝エネルギーシステムズ㈱ 松野 泰也 千葉大学
 三木 祐司 JFE スチール㈱ 山本 知之 早稲田大学

東海地区

勝村 龍郎 JFE スチール㈱ 川上 博士 三重大学
 斎藤 尚文 産業技術総合研究所

関西地区

荒木 秀樹 大阪大学 大谷 浩昭 山陽特殊製鋼㈱
 岡崎 喜臣 ㈱神戸製鋼所 金野 泰幸 大阪府立大学
 新保洋一郎 福田金属箔粉工業㈱ 辻 伸泰 京都大学
 林田 隆秀 日鉄日新製鋼㈱ 松尾 直人 兵庫県立大学
 山末 英嗣 立命館大学

九州地区

石丸 学 九州工業大学 連川 貞弘 熊本大学
 村上 恭和 九州大学

公益社団法人日本金属学会の
2021年度代議員選挙管理委員会委員募集

受付期間 2020年10月1日～10月25日(当日消印有効)

応募方法 応募用紙(ホームページに公開します)に「日本金属学会の代議員選挙の選挙管理委員会委員に応募します」と記載し、住所、氏名、勤務先および連絡先(TEL, E-mail)をご記入の上、郵送で上記期日までにご応募下さい。

募集人数 3名

応募先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
公益社団法人日本金属学会「代議員選挙管理委員会」

問合せ先 公益社団法人日本金属学会 代議員選挙管理委員会
事務局 斎藤 E-mail: gaffair@jim.or.jp

公益社団法人日本金属学会
2021年度の監事候補者の立候補者募集

定時社員総会(2021年4月23日開催予定)で選任される監事の候補者は、細則で立候補制で正員による選挙を実施することができるものと定めており、監事選挙を次の要領で実施しますので、立候補希望者は応募願います。2021年度から監事を代議員改選に合わせて2年おきに改選とします。

1. 監事候補者選挙数：2名
2. 監事候補者対象地区：地区指定を廃止しました。
3. 任期：定時社員総会の選任日(2021年4月23日予定)から、2回目に終了する事業年度に関する定時社員総会の最終日まで。

4. 監事の職務および権限(定款第25条)

第25条 監事は、理事の職務の執行を監査し、法令で定めるところにより、監査報告を作成する。

- 2 監事は、いつでも、理事及び使用人に対して事業の報告を求め、この法人の業務及び財産の状況の調査をすることができる。
- 3 監事は、理事会に出席し、必要があると認めるときは、意見を述べなければならない。
- 4 監事は、理事が不正の行為をし、若しくはその行為をするおそれがあると認められるとき、又は法令若しくは定款に違反する事実若しくは著しく不当な事実があると認めるときは、これを理事会に報告しなければならない。
- 5 監事は前号の報告をするため必要があるときは、会長に理事会の招集を請求することができる。ただし、その請求があった日から5日以内に、2週間以内の日を理事会とする招集通知が発せられない場合は、直接理事会を招集することができる。
- 6 監事は、理事が社員総会に提出しようとする議案、書類その他法令で定めるものを調査し、法令若しくは定款に違反し、又は著しく不当な事項があると認めるときは、その調査の結果を社員総会に報告しなければならない。
- 7 監事は、理事がこの法人の目的の範囲外の行為その他法令若しくは定款に違反する行為をし、又はこれらの行為をするおそれがある場合において、その行為によってこの法人に著しい損害が生ずるおそれがあるときは、その理事に対し、その行為をやめることを請求しなければならない。
- 8 監事は、監事に認められた法令上の権限を行使することができる。

5. 立候補受付期間：2020年10月1日～10月25日(当日消印有効)

6. 立候補応募方法：

所定の用紙(ホームページにあります)に「日本金属学会監事立候補者」と記載し、住所、氏名(押印)、勤務先および連絡先(TEL、E-mail)をご記入の上、上記期日までに郵送下さい。

7. 応募先：〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

公益社団法人 日本金属学会「監事選挙管理係 御中」

8. 注意事項

- ①立候補届出時に2020年度正員会費を納入していない正員の届出は無効になります。
- ②郵送以外のFAXやE-mailでの届出は無効です。
- ③選挙投票用紙の立候補者名は受付順に記載します。

9. 問合せ先：公益社団法人 日本金属学会 監事選挙係
(gaffair@jim.or.jp)

支部行事



第17回 ヤングメタラジスト研究交流会
開催のご案内

ヤングメタラジスト研究交流会は、関東支部内の大学や企業に所属する若手研究者の交流を目的とし2004年に第1回目が開催されて以降、今年で第17回目を迎えます。支部内の若手研究者と研究に熱意ある学生が研究活動の報告を通じて互いに交流し、連携を深めることで、関東支部の金属材料研究がより一層活性化することを目指しております。本年度は、新型コロナウイルス感染のリスクを考慮してWeb会議ツールによるオンラインにて若手研究者による講演およびポスターセッションを開催いたします。皆様のご参加をお待ちしております。

日 時 2020年11月9日(月) 13:00～17:25(参加者数に応じ変更の可能性あります)

開催形式 Web会議ツールによるオンライン形式(WebexもしくはZoomを予定)

スケジュール (参加者数に応じ変更の可能性あります)

13:00-13:10 開会挨拶・諸連絡

13:10-14:35 ゲスト講演(第1部)

14:50-16:20 ポスターセッション

16:25-17:05 ゲスト講演(第2部)

17:05-17:15 ポスター賞表彰式

17:15-17:25 閉会挨拶

講演プログラム

13:10-13:50 マテリアルズインテグレーションによる構造材料の疲労・引張特性予測

東大大学院工学系研究科 白岩隆行

13:55-14:35 分子動力学法によるチタンの粒界と転位の相互作用解析

東工大 物質理工 宮澤直己

16:25-17:05 三元系複合材料における金属酸化物と金属の相互作用の解明によるエネルギー変換効率の向上

東工大科学技術創成研 邱 琬婷

参加費 無料

参加申込方法

交流会に参加をご希望の方は10/30(金)17:00までに氏名、所属、E-mailなどを下記リンクの登録フォームからご応募下さい。

<https://forms.gle/Gg2B9pkuWCZYDUY06>

ポスターセッションについては、運営の都合上、下記の通り別途締切を設けます。

- 学生ポスターセッション：10/16(金)17:00
- ポスターアブストラクト提出締切：10/30(金)17:00
申し込み後にフォーマット(A4の3分の1ページ分)をお送りします。
- ポスター発表は発表者毎にミーティングルームを開設し、各ミーティングルームに聴講者が入室し、ポスター(スライド)を用いたライブでの説明および質疑応答を行う方式とします。
実施方法の詳細については、改めて補足資料を配布する予定です。

問合せ先 E-mail: miyazawa.t.ab@m.titech.ac.jp

東京工業大学 物質理工学院 宮澤知孝

◇監事選挙日程(予定)◇

2021年度の監事選挙は2020年12月1日～12月31日を予定しておりますので、ご承知おき願います。

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合せのみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700～800文字)程度。

・「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税

・ホームページのみ掲載；10,000円＋税

〈その他の記事〉 原則として有料掲載。

・原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載

・原稿提出方法：電子メールとFAX両方(受け取りメールの確認をして下さい)

・原稿送信先：FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

公 募

◇核融合科学研究所 准教授 公募◇

公募人員 准教授1名(任期5年、業績評価により再任可)

所 属 ヘリカル研究部プラズマ加熱物理研究系粒子ビーム加熱物理研究部門

研究・業務内容 大型ヘリカル装置(LHD)の重水素プラズマ実験や今後の核融合原型炉開発において、重水素高エネルギー中性粒子入射装置(NBI)の定常・高性能化が求められている。このためには、負イオン源における負イオン生成過程に対する同位体効果等の物理機構解明とビーム引き出し条件の最適化が必須である。本公募では上記の課題を解決するために、基礎から開発に渡る負イオン源研究を主体的に担う人材を求めます。

希望事項 ①博士の学位を有すること ②当該部門の研究分野において実績があること ③国内外の共同研究の推進に意欲のある人 ④学生の教育に意欲があること

応募締切 令和2年11月30日(月)17時(必着)

就任時期 採用決定後のなるべく早い時期

提出書類 (1)履歴書 (2)研究歴 (3)就任後の抱負 (4)研究業績発表論文リスト (5)論文別刷5編程度 (6)推薦書又は応募者について参考意見を述べることでの方2名程度の氏名及び連絡先

なお、提出された書類は、返却しない。((2)～(5)については6部必要)

提出先 〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6

核融合科学研究所管理部総務企画課人事係

*封筒の表に「ヘリカル研究部プラズマ加熱物理研究系粒子ビーム加熱物理研究部門(准教授)公募関係書類」と朱書きし、郵送の場合は簡易書留とすること。

問合せ先 核融合科学研究所管理部総務企画課人事係

☎ 0572-58-2013(直通)

*詳細については、本研究所のホームページに掲載しておりますので、ご覧下さい。

アドレス：<https://www.nifs.ac.jp/jinji/index.html>

◇九州大学 大学院総合理工学研究院 物質科学部門 教授または准教授公募◇

募集人員 教授または准教授1名

所 属 九州大学 大学院総合理工学研究院 物質科学部門

固体材料物性工学講座 材料構造制御学研究分野

研究分野 金属材料あるいは金属をベースとする複合材料の研究分野において、その固体材料の物性と構造およびそれらの制御に関する研究を実験、材料計算科学、あるいは両面から精力的に推進できる方であるとともに、当該研究分野を牽引する能力と実績を有する方を求める。

教育活動 大学院総合理工学府、および工学部融合基礎工学科の物質・材料コースにおける材料系、物理系、情報系教育に携わる。また、九州大学基幹教育も担当することがある。

応募資格 博士あるいはPh.D.の学位を有すること。

専門分野に業績があり、学部・大学院学生の教育や研究指導に意欲のある方。

着任時期 採用決定後のできるだけ早い時期。

勤務形態 常勤(本研究院では教員の任期制を導入していません)。

提出書類 (下記の(1)～(10)を各5部と、それらのPDFファイル)

- (1) 履歴書(写真貼付。学歴、職歴、資格を記載。連絡先とE-mailも明記)
- (2) Google Scholarの応募者個人ページのURL、総被引用回数、h-index, i10-index
- (3) 業績リスト(「学術図書」、「査読付き学術論文」、「査読付き国際会議論文」、「学会発表」、「特許」、「その他」の別に、最近のものから記載。「査読付き学術論文」については、応募者が筆頭著者のものと第二著者以降のものに分け、著者名(論文に記載された順に全員)、論文名、雑誌名、巻数、ページ数、発行年、Impact Factorを記載。別刷りを添付した論文には◎を付すこと。)
- (4) 学会および社会における活動等(所属学協会およびその学協会での委員歴、受賞歴ならびに特筆すべき事項等)
- (5) 科学研究費、共同研究・受託研究等の競争的研究資金の獲得状況(代表分)
- (6) これまでの研究の概要(2,000字以内、図表を含めても良い)
- (7) 今後の研究計画(2,000字以内、図表を含めても良い)
- (8) 応募の動機と教育・研究に対する抱負(1,000字以内、図表を含めても良い)
- (9) 代表的な論文の別刷り(5編以内、各1部、コピー可)
- (10) 応募者について意見を伺える方2名以上の氏名、所属および連絡先

公募締切 令和2年11月2日(月)必着

選考方法 書類による一次審査の後、面接(プレゼンテーションを含む)による二次審査を実施することがあります。なお、旅費は支給いたしません。

書類送付および問合せ先

〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1

九州大学 大学院総合理工学研究院 物質科学部門

教授 波多 聡

☎ & FAX : 092-583-7580

E-mail: hata.satoshi.207@m.kyushu-u.ac.jp

※「応募書類在中」と朱書きし、簡易書留で郵送下さい。なお、応募書類は返却いたしませんので、予めご了承下さい。

備 考 詳細は、以下のホームページを参照下さい。

九州大学 大学院総合理工学研究院

http://www.tj.kyushu-u.ac.jp/ja/k_in/index.php

九州大学では、平成29年7月より配偶者帯同雇用制度を導入しています。また、男女共同 参画社会基本法(平成11年法律第78号)ならびに「障害者の雇用の促進等に関する法律(昭和35年法律第123号)」および「障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律(平成25年法律第65号)」の趣旨に則り、教員の選考を行います。

また、新規採用教員は原則として採用後5年間は英語による授業を担当することとなります。
賃金：年俸制(令和2年4月1日導入の年俸制)が適用されます。

「なご寄付」をお待ちしております。

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

集 会

◇レアメタル研究会◇

- 主 催 レアメタル研究会
- 主 宰 者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
- 共 催 東京大学マテリアル工学セミナー
レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会
東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター
東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協 賛 (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (一社)新金属協会, (公社)日本化学会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会
- 参加登録・問い合わせ 岡部研 学術支援専門職員 宮崎智子
(tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

〈2020年度レアメタル研究会等の今後の予定〉 (2020年8月6日現在)

- 第93回 2020年11月6日(金)(2020年度 第3回)
★チタン関係シンポジウム★(合同開催)
- 関連シンポジウム：2020年11月27日(金)寄付ユニット特別シンポジウム(会場：SHIBUYA QWS(渋谷キューズ)を予定)
- 第94回 2021年1月8日(金) (2020年度 第4回)
★貴金属シンポジウム(第8回)+新年会★(合同開催)
- 第95回 2021年3月12日(金) (2020年度 最終回)

- 第93回 2020年 11月6日(金) 14:00～
An棟2F コンベンションホール

- ★チタン関係シンポジウム★(合同開催)
テーマ：チタンの過去、現在、未来、そして私の夢
午後2:00～
チタンにかけた情熱と思い出(仮)(40分)
～サウジのスポンジ工場建設等の苦労話など～
東邦チタニウム株式会社 取締役, 専務執行役員,
チタン事業統括本部長 安保重男 講師
チタンの究極の脱酸技術の開発(仮)(40分)
東京大学大学院 工学系研究科 大学院生 飯塚昭博 講師
チタンのリサイクル(仮)(30分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師

- 産学連携をいかしたチタン製錬の技術開発(仮)(40分)
株式会社大阪チタニウムテクノロジーズ
技術部生産技術開発グループ 井上貴博 講師
ポスター発表者によるショートプレゼン(希望者)
午後6:30～
ポスター発表・ブース展示兼 研究交流会・意見交換会
(An棟2F ホワイエ)

遠隔地からの交流を促進するため ZOOM を利用する
ネット配信型の交流会, 展示会, ポスター発表を計画中

- 東大基金：
★チタンの夢とロマン基金★ <https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt109>
★貴金属研究・若手育成支援基金★ <https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt112> を立ち上げました。
できるだけ多くの皆様から、少額でも構いませんので「継続的

集 会

東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)主催

◇材料分野における SDGs シンポジウム◇

@渋谷 QWS+ライブストリーミング配信

- 日 程：2020年11月27日(金)
シンポジウム 14:00～18:00
交流会・意見交換会 18:00～(交流会は開催しない可能性あり)
- 開催会場：渋谷スクランブルスクエア第1期(東棟)15階
SCRAMBLEHALL
<https://shibuya-qws.com/>(渋谷 QWS：渋谷駅直上)
- 主 催：東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 共 催：東京大学, 渋谷スクランブルスクエア株式会社
- 協 賛：(一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (公社)日本化学会, (公社)日本金属学会, (一社)日本鉄鋼協会(依頼予定)
- 協 力：東京大学 生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター, レアメタル研究会
- 開催内容：材料, とくに金属材料分野における SDGs(持続可能な開発目標)についての講演会, およびパネルディスカッションを企画している。講演会の後, 非鉄金属等の材料関係者を加えた講演者とのパネルディスカッションを計画中。講演や討論会は, ライブ Web 配信を予定。
- 申込方法：約1カ月前に, 関係 Web ページ上で案内します。
- 問い合わせ：東京大学 生産技術研究所 岡部研究室
シンポジウム事務局
E-mail: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp

- 登壇者：
なぜ企業は SDGs に取り組むのか(50分)
沖 大幹 東京大学 教授, 国際連合大学 上級副学長
国連大学上級副学長として, また, 環境科学の第一人者として国連が取り組む SDGs と日本が取り組むべき課題について, 大所高所のご講演をお願いしている。

- SDGs 実現のための金属資源循環利用の方向性と課題(50分)
星野 岳穂 東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 特任教(元 経済産業省 資源エネルギー庁 審議官)
材料の動的マテリアル・フロー分析や資源循環の将来予測等の研究成果を基に, 基盤材料マネジメントの最適な姿を見だし, その実現のための政府および産業界に対する政策提言をお願いしている。

- 未来社会デザインとメタラジー(50分)
田中 敏宏 大阪大学 統括理事 副学長(前 日本鉄鋼協会 会長)
鉄鋼材料を中心として, SDGs の観点から多角的なご講演をお願いしている。

- 司会：所 千晴 早稲田大学 理工学術院 教授, 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授
モデレータ：岡部 徹 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 特任教授

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 84, No. 10 (2020)

—論文—

フェライト鋼およびオーステナイト鋼の固溶強化に及ぼすフェライトおよびオーステナイト生成元素の影響
木村 謙 関 彰 石丸詠一朗

Mg-Zn-Ca 合金の粒界偏析計算と集合組織形成・成形性との相関性調査
石黒雄也 黄 新勝 塚田祐貴
小山敏幸 千野靖正

転位速度-応力指数および転位速度係数を用いた転位速度の塑性ひずみ依存性の解明
上野孝太 村澤皓大 鈴木優里菜 高村正人 浜 孝之
箱山智之 鈴木進補

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 61, No. 10 (2020)

—Regular Article—

Materials Physics

Structural and Thermoelectric Characteristics of Sol-Gel based ZnO Thin Films Doped with Elements of Group IB

Thong Quang Trinh, Tinh Trong Nguyen, Dang Hai Le and Doanh Viet Vu

Dissimilar Metal Joining of Cu and Fe Using Super-Spread Wetting into Surface Fine Crevice Structures

Jaebong Yeon, Takumi Kageyama, Riku Yamada, Peiyuan Ni, Masashi Nakamoto and Toshihiro Tanaka

Hydrogen Trapping in Mg₂Si and Al₇FeCu₂ Intermetallic Compounds in Aluminum Alloy: First-Principles Calculations

Masatake Yamaguchi, Tomohito Tsuru, Ken-ichi Ebihara, Mitsuhiro Itakura, Kenji Matsuda, Kazuyuki Shimizu and Hiroyuki Toda

Microstructure of Materials

Isothermal Aging Behaviors of Copper-Titanium-Magnesium Supersaturated Solid-Solution Alloys

Kaichi Saito, Makio Suzuki, Satoshi Semboshi, Katsuhiko Sato and Yuichiro Hayasaka

Mechanics of Materials

Self-Consistent Diffraction Stress Analysis Method for Estimating Stress, Strain-Free Lattice Parameter and Composition of Solid Solutions

Takashi Harumoto, Ji Shi and Yoshio Nakamura

Materials Chemistry

Removal of Boron from Aqueous Solution Using Zero-Valent Magnesium Granules

Shoji Kasahara, Tomio Takasu, Nobuaki Nagano, Yuki Mikoshi, Hideyuki Itou and Naotaka Sakamoto

Kinetic Analysis for Agglomeration-Flotation of Finely Ground Chalcopyrite: Comparison of First Order Kinetic Model and Experimental Results

Vohty Hornn, Mayumi Ito, Ryosuke Yamazawa, Hiromasa Shimada, Carlito Baltazar Tabela, Sanghee Jeon, Ilhwan Park and Naoki Hiroyoshi

Identical-Location Scanning Electron Microscopy Observation of Surface Morphological Changes of Pt-Cu Nanoparticles

Azusa Ooi, Yuichi Shigihara, Eiji Tada and Atsushi Nishikata

Effect of Polyethylene Glycol and Glue on Electrodeposition Behavior of Zn from Electrowinning Solution and Its Crystal Structure

Keita Uchida, Satoshi Oue and Hiroaki Nakano

Yttriothermic Reduction of TiO₂ in Molten Salts

Takara Tanaka, Takanari Ouchi and Toru H. Okabe

Materials Processing

Heat Transfer Modeling between the Mold and the Ingot for Convex Concave Ingot Surface

Toshio Sakamoto, Akira Matsushita, Yasuhiro Oda, Yuichi Motoyama, Hitoshi Tokunaga and Toshimitsu Okane

Inlet Condition for Mold Filling Simulation in Gravity Casting of Aluminum Alloy

Shingo Taniguchi and Yasuhiro Maeda

Effect of Heating Conditions before Quenching on Residual Stress in High-Speed Steel Type Cast Iron Rolls by Centrifugal Cast

Kazunori Kamimiyada, Yuji Konno and Ayaka Yanagitsuru

Laser Ultrasonic Technique to Non-Destructively Detect Cracks on a Ni-Based Self-Fluxing Alloy Fabricated Using Directed Energy Deposition (DED)

Harumichi Sato, Hisato Ogiso, Yorihiro Yamashita and Yoshinori Funada

Surface Modification of Molybdenum by Iron-Powder Pack Treatment

Yasuhiro Morizono, Takateru Yamamuro and Sadahiro Tsurekawa

Engineering Materials and Their Applications

Effects of Eccentric Mold Electromagnetic Stirring on Continuous Casting Large Steel Round Blooms

Liang Niu, Junxue Zhao and Shengtao Qiu

Relationship between Microstructure and Fatigue Properties of Forged Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr for Aircraft Applications

Saki Tanaka, Toshikazu Akahori, Mitsuo Niinomi and Masaaki Nakai

Environment

The Critical Point of Average Grain Size in Phonon Thermal Conductivity of Fine-Grained Undoped Lead Telluride

Mongkol Bumrungron, Issei Morioka, Ryusuke Yasufuku, Toshiharu Hirai, Kenichi Hanasaku, Kenji Hirota, Katsuhiro Takagi and Kazuhiro Hasezaki

—Technical Article—

Selective Extraction of Chromium from EAF Stainless Steel Slag by Pressurized Oxidation in a NaOH Solution

Qing-Zhong Zhao, Ya-Nan Zeng, Jun-Guo Li and Ya-Jun Wang

Announcement



まてりあ第59巻11号 予告

[受賞者紹介]

[特集] バイオアダプティブマテリアル～生体の仕組みに根差した金属系生体材料の設計～

[入門講座] 微小領域における金属材料の材料力学

—Ⅲ. 微小金属材料の機械的特性への集合組織・合金化・双晶および不純物の効果—
.....東工大 曾根正人

—他—

—編集の都合により変更になる場合がございます—



新 入 会 員

(2020年7月21日～2020年8月20日)

正 員

下 島 伸 朗 電源開発株式会社
新 原 基 宏 株式会社淀川製鋼所

花 山 雄 吉 Metalixa
番 匠 信 幸 YKK AP 株式会社

学 生 員

井 筒 大 誠 大阪大学
伊 藤 由 奈 北海道科学大学
大 関 啓 吾 東北大学
小 山 内 匠 東北大学
川 上 直 海 筑波大学
姜 晟 淳 京都大学
木 村 大 河 茨城大学

佐 藤 宏 和 豊橋技術科学大学
角 俊 輔 茨城大学
高 城 研 人 筑波大学
田 畑 旭 斗 茨城大学
殿 岡 和 己 千葉工業大学
中 野 憲 汰 筑波大学
橋 本 悠 平 大阪大学

牧 岡 佑 樹 筑波大学
三 浦 柊 一 郎 福井大学
柳 尾 航 東京大学
山 本 亮 介 関西大学
和 田 佳 樹 筑波大学

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2020年10月				
2	第2回粉末冶金入門講座(名古屋他)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 https://www.jspm.or.jp	
6(延期)	第72回白石記念講座—進化するポリマー—自動車における金属材料との共存共栄—(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
8~9	溶接学会定期講座 2020年度溶接入門講座(WEB開催) ~新入社員・構造部材設計技術者のための~(オンライン開催)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	定員 45名
13	第4回EBSD法による損傷評価講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	9.4
13~14	第13回材料の衝撃問題シンポジウム(京都)	日本材料学会	http://www.jsms.jp impact13@jsms.jp	
13~16	第6回材料WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp	
14(延期)	第241回西山記念技術講座 最近の電気炉技術の進歩—平成30年を振り返る—(大阪)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
14~15	第38回初心者のための疲労設計講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	10.7
14~15	第48回日本ガスタービン学会定期講演会(Web)	日本ガスタービン学会	gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
15	腐食防食部門委員会第61回研究集会(オンライン)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	
15	第16回フラクトグラフィシンポジウム(京都)	日本材料学会	fractosym@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.31
16~17	第83回塑性加工技術フォーラム「使ってみよう!ものづくり現場で活かせるAI・IoT技術」(諏訪)	日本塑性加工学会他	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
22(延期)	第242回西山記念技術講座「最近の電気炉技術の進歩—平成30年を振り返る—」(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
22~23	第42回安全工学セミナー「危険現象講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	
22~23	第168回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用—基礎編—」(名大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 35名
24~25	日本銅学会第60回記念講演大会(東工大)	日本銅学会	TEL 03-6803-0587 dou-gakkai@copper_brass.gr.jp	
26~28	第67回材料と環境討論会(オンライン)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	
26~28	熱測定オンライン討論会2020(オンライン)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com http://www.netsu.org/	
28~29	第56回X線分析討論会(大阪市立大)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会	TEL 072-823-9361 nagai@ourstex.co.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no56.html	講演 7.31
28~30	第41回日本熱物性シンポジウム(相模原)	日本熱物性学会	TEL 086-251-8046 jstp@okayama-u.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2020/index.html	
29	第410回講習会「超精密加工/計測技術①—光学部品の高精度要求に応える先端事例と最新動向」(中央大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	定員 40名
2020年11月				
6	第93回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号565頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
6~8	軽金属学会第139回秋期大会(東京都立大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	予約申込 9.30
9	第17回ヤングメタラジスト研究交流会(オンライン)	日本金属学会関東支部	miyazawa.t.ab@m.titech.ac.jp https://forms.gle/Gg2B9pkuWCZYDUYo6	
9~11	第49回結晶成長国内会議(JCCG-49)(オンライン)	日本結晶成長学会	TEL 070-5047-3339 jacg-49@jacg.jp https://www.jacg.jp/jp/event/conference.html	
11	日本希土類学会第38回講演会(東京)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	10.21
11~12	第42回安全工学セミナー「プラント安全講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	
11~13	トライボロジー会議2020秋(別府)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp	
14~15	第71回塑性加工連合講演会(鳥取大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
16~17	2020年度「デジタルラジオグラフィに関する技術講習会」(東京)	日本溶接協会	TEL 03-5823-6324 http://www.jwes.or.jp/	32名
19~21	2020年日本表面真空学会学術講演会(オンライン)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 taikai@jvss.jp https://www.jvss.jp/annual/mtg2020/	
22	日本機械学会関東支部山梨講演会(山梨大)	日本機械学会関東支部	TEL 055-220-8471 http://society.me.yamanashi.ac.jp/jsme/2020/	8.18
25~27	第41回 超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム(阪大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp https://www.use-jp.org/	講演 8.21
26~27	第2回粉末冶金基礎講座(京都), 第2回粉末冶金実用講座(京都)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650	定員 各100名
27	材料分野におけるSDGsシンポジウム(東京)(本号565頁)	東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門	okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp	
2020年12月				
1~2	第30回 傾斜機能材料シンポジウム(徳島大)	傾斜機能材料研究会	http://www.fgms.net/	10.30
2~4	第61回高圧討論会(オンライン)	日本高圧力学会	TEL 070-5658-7626 touronkai61@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/61forum/	講演 9.15
3~4	第58回高温強度シンポジウム(和歌山)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://www.jsms.jp/	
7~11	Materials Research Meeting 2020 (MRM2020)(横浜)	日本MRS	TEL 03-6264-9071 info_mrm2019@jmru.org https://mrm2020.jmru.org	
8~11	COMPSAFE2020(第3回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	COMPSAFE2020実行委員会	secretary@compsafe2020.org http://www.compsafe2020.org	
9~11	第47回炭素材料学会年会(オンライン)	炭素材料学会	TEL 03-5227-8632 tanso-desk@bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2020/index.html	
14~17	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	
27	材料分野におけるSDGsシンポジウム(東京)(9号512頁)	東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/	
2021年1月				
8	第94回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号565頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
23	第26回高専シンポジウム in Yonago(米子)	高専シンポジウム協議会	TEL 0859-24-5161 date@yonago.kosen-ac.jp https://kosen-sympo.org/	
28~29	第42回安全工学セミナー「安全マネジメント講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	
2021年2月				
2~15	Mate2021 27th Symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics"(オンライン)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6879-7568 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate2021/src/	
2~3	Mate2021第27回『エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術』シンポジウム(横浜)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/	
2021年3月				
1~4	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(オンライン)	アジア結晶成長および結晶技術学会他	a-yokotani@cgct-8.com https://www.cgct-8.com	
12	第95回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号565頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
17~19	日本金属学会春期講演大会(オンライン開催)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	
27~31	The International Conference on Sintering 2022 (Sintering 2022国際会議)(岐阜)	Sintering 2022 国際会議組織委員会	https://www.sintering2022.org	
2021年7月				
5~8	The 7th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2022)(富士吉田)	粉体工学会	http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.html iccci2022@ynu.ac.jp	
2021年11月				
28~12.2	The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9)(高松)	日本表面真空学会	iss9@jvssjp https://www.jvss.jp/iss9/	

～今後の特集企画予定：Materials Transactions・日本金属学会誌・まてりあ～

Materials Transactions

■SIP Materials Integration Project (SIP マテリアルズインテグレーションプロジェクト) 第61巻第11号(2020年)

■Materials Science on Hypermaterials (ハイパーマテリアルの物質科学) 第62巻第3号(2021年)

■Structural Analysis and Measurements of Physical Properties on Advanced and Fundamental Material (先端材料創製およびそれらの構造解析と物性測定) 第63巻第3号(2022年)

日本金属学会誌

■発展を続ける局所力学測定とマクロ変形機構解析への応用 第85巻第1号(2021年)

■貴金属のリサイクル関連技術の最前線 II 第85巻第8号(2021年)

まてりあ

■バイオアダプティブマテリアル～生体の仕組みに根差した金属系生体材料の設計～ 第59巻11号(2020)

■ナノスケール動的挙動の理解に基づく力学特性発現機構の解明 第60巻第1号(2021)

■水素科学の最前線 新学術領域研究「ハイドロジェノミクス」の挑戦 第60巻第3号(2021)

編集の都合上、掲載号等が変更になる場合がございます。

◇ 会報編集委員会より ◇

この度は、まてりあ表紙デザイン募集への沢山のご応募をありがとうございました。
選考結果につきましては、後日ご報告申し上げます。

2019, 2020年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第59巻 第10号 (2020) 発行日 2020年10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

日本金属学会会報「まてりあ」への投稿について

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

～会報編集委員会～

(1) 種別(規定掲載頁)(規定字数内)

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

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

(2) 投稿の方法

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

(3) 投稿の要件

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

(4) 著作権の帰属

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

(5) その他留意事項

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

(6) 会報投稿規程と執筆要領

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

(7) 原稿送付・問合せ先

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

超高温・高速昇温・超高温複合材料・耐熱合金等の熱処理！

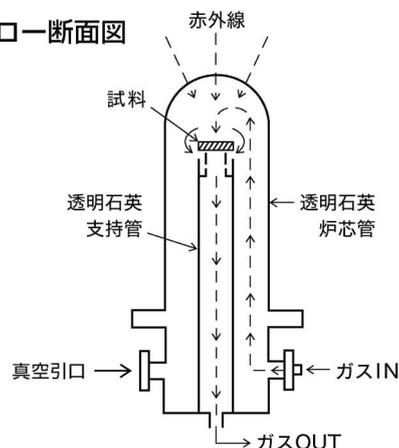
超高温スーパーRTA装置 SR1800G



特長

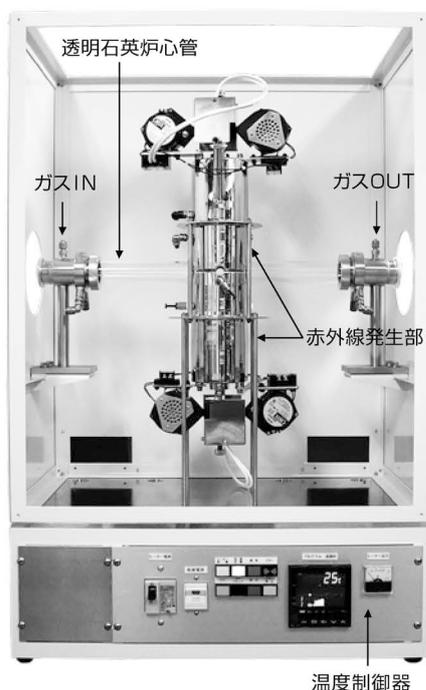
- ◆超高速昇温 1800℃まで1分以内
- ◆真空、ガスパージ、ガスフロー中熱処理
- ◆赤外線ランプ電力わずか2kWの省エネです

ガスフロー断面図



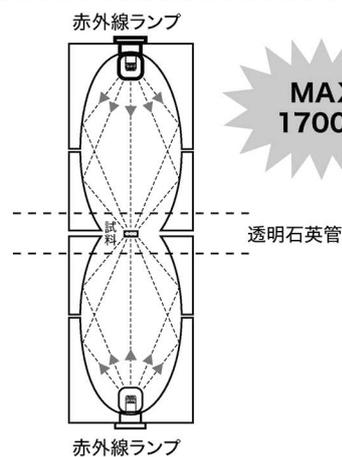
雰囲気ガスの流れは試料表面に放射します。試料は上方から赤外線の集光放射を受け、短時間で超高温度に到達します。

対面照射式 赤外線真空炉 IVF298CV



特長

- ◆超高温・超高速熱処理 1700℃
- ◆立体状試料も均一加熱
- ◆連続昇降温制御可能



透明石英管内試料に上下両面から赤外線を照射・昇温。クリーン加熱ができます。真空・ガス中の昇温もできます。

★昇温試験も受け付けております。詳細はホームページをご覧ください。

サーモ理工

株式会社 **サーモ理工**

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



ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
純 金 属			高純度金属			中間合金		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	燐	P > 14.5%	粒 状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒 状	マンガン	Mn 25%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉 末	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	マグネシウム	Mg 50%	約800gインゴット
銀	99.99%	粉 状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム	Cr 10%	約1kgインゴット
ボロンクリスタル	99.4%	3~8mm小塊	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄 片 状	テルル	Te 50%	〃
ボロンアモルファス	95~97%	粉 末	無 酸 素 銅	99.99%	10×10×1mm	コバルト	Co 10%	〃
コバルト粒(ロシア産)	99.99%	針 状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25×25×2mm	ニッケル	Ni 30%	〃
電解コバルト(従来品)	99.9%	粒 状	ガリウム	99.9999%	粒状25g入	鉄	Fe 10%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	フレーク状	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	チタン	Ti 50%	〃
金属クロム	99%	約25×25×10mm	インジウム	99.999%	粒状100g入	ジルコニウム	Zr 50%	〃
電解クロム	99%	塊 状	インジウム	〃	約100g塊	ボロン	B 2%	粒 状
クロム粉	99%	薄 片 状	マンガン	99.999%	薄 片 状	アルミ銅	Cu 40%	約5~7kg インゴット
電気銅	99.99%	粉末500g入	錫	99.999%	粒状100g入			
電解鉄(アトミロンMP)	99.99%	約25×50×10mm	錫	〃	約100g塊	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電解鉄(アトミロンYL)	〃	小片状	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	アルミマンガン	Mn 10%	約5kgインゴット
電解鉄(アトミロンFP)	〃	小片状25kg入	アンチモン	〃	約100g塊	アルミニッケル	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	テルル	99.9999%	粒状100g入	アルミクロム	Cr 5%	〃
電 解 鉄 粉	99%	〃	テ ル ル	〃	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kg インゴット
ハフニウム	99.6%	粉末1kg入	亜鉛	99.999%	粒状100g入			
インジウム	99.99%	スポンジ小塊	亜鉛	〃	約100g塊	アルミシリコン	Si 25%	〃
マグネシウム	99.99%	塊 状	亜鉛	99.9999%	粒状100g入	アルミコバルト	Co 5%	〃
電解マンガン	99.9%	約200g塊	亜鉛	〃	約100g塊	アルミモリブデン	Mo 5%	〃
モリブデン粉	99.9%	薄 片 状	チ タ ン	99.9%	5φ×150mm	アルミタングステン	W 2.5%	〃
ニオブグラニューール	99.9%	粉 末	高純度シリコンスクラップ	99.999%	塊 状	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
ニオブ粉	〃	3~10mm小塊	レアアースメタル			アルミ鉄	Fe 50%	塊 状
電気ニッケル	99.99%	粉 末	イ ッ ト リ ウ ム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
ニッケルペレット	99.97%	25×25×10mm	ラ ン タ ム	〃	〃	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
レニウム粉	99.99%	6~12mm球状	プ ラ セ オ ジ ム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	3~10mm小塊状
ルニウム粉	99.9%	粉 末	ネ オ ジ ム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
アンチモン	99.9%	〃	サ マ リ ウ ム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
金属シリコン(中国産)	99%	〃	イ ッ テ ル ビ ウ ム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	1~30mm小塊状
金属シリコン(ブラジル産)	〃	〃	テ ル ビ ウ ム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	塊 状
錫インゴット	99.99%	約1kgインゴット	ジ ス プ ロ シ ウ ム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	約1.5kgインゴット
錫 粒	〃	粒 状	ホ ル ミ ウ ム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	1~30mm小塊状
タンタル塊	99.9%	3~10mm小塊	エ ル ビ ウ ム	〃	〃	燐	P 5%	インゴット
タンタル粉	〃	粉 状	ガ ド リ ニ ウ ム	〃	〃			
テルル	99.99%	小 球 状	ツ リ ウ ム	〃	〃	Uアロイ(低融点合金)		
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ル テ チ ウ ム	〃	〃	U ア ロ イ 47	融点47±2℃	約500gインゴット
チタン板	JIS 1種	250×250×1mm	セ リ ウ ム	〃	〃	U ア ロ イ 60	60±2℃	〃
バナジウム粉	99.7%	3~10mm小塊	ユ ー ロ ビ ウ ム	〃	〃	U ア ロ イ 70	70±2℃	〃
バナジウム塊	〃	粉 末				U ア ロ イ 78.8	78.8±2℃	〃
タングステン粉	99.9%	〃				U ア ロ イ 91.5	91.5±2℃	〃
タングステンスクラップ	99%	板 状				U ア ロ イ 95	95±2℃	〃
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット				U ア ロ イ 100	100±2℃	〃
亜鉛粒	〃	粒 状				U ア ロ イ 124	124±2℃	〃
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊				U ア ロ イ 150A	150±2℃	〃
			フェロアロイ					
			フェロモリブデン	Mo 60%	3~10mm小塊状			
			フェロニオブ	Nb 60%	10~30mm 〃			
			フェロバナジウム	V 80%	3~15mm 〃			
			フェロボロン	B 20%	1~30mm 〃			
			カルシウムシリコン	Ca30%Si60%	小 塊 状			
			フェロホスホル(リン鉄)	P20~28%	塊 状			

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

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

FAX (03)
3294-9336

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

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

●土曜・日曜・祭日休業 ●手形取引はいたしません
 ●輸出は必ず国内取引のみ

分子／結晶模型モデル (組み立て用キット)

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

基本セット

- **Basic Structure** (1cmモデル) Class Set ¥10,000.-
硫酸、塩化ナトリウム、ダイヤモンド、グラファイト、金属、酸と塩基、洗剤、ナイロン、アモルファス構造の学習用(原子515個)
- **Lattice** (1cmモデル) Class Set ¥10,500.-
ダイヤモンド、グラファイト、塩化ナトリウム、8および12配位金属、塩化セシウム、セ閃亜鉛鉱、ウルツ鉱、ルチル、氷構造の学習用(原子380個)
- **Organic and Inorganic Chemistry** (1cmモデル) Class Set ¥8,800.-
アルカン、アルケン、アルキン、環構造、酸素／窒素／硫黄／リンの官能基、ベンゼン環、ポリマー、複素結晶の学習用(原子500個)



結晶セット

- **Carbon Nanotube**
(原子150個) ¥3,100.-
- **Diamond** (原子450個) ¥7,000.-
- **Beta-Quartz** (原子1,400個) ¥13,600.-
- **Mica** (原子1,550個) ¥25,200.- その他、多数あり

(製作: Cochranes of Oxford Ltd.)

化学プロセス用の物性データベース

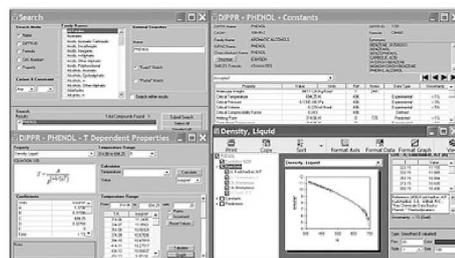
DIPPR with DIADEM pro (Design Institute for Physical Property Data)

価格(税別) ¥350,000.-/¥60,000.- (一般/教育)

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

おもな機能 (DIADEM)

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



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

30,000件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST Phase Equilibria Diagrams, Version 4.4

価格(税別) ¥180,000.- マルチユーザー ¥260,000.-

検索条件

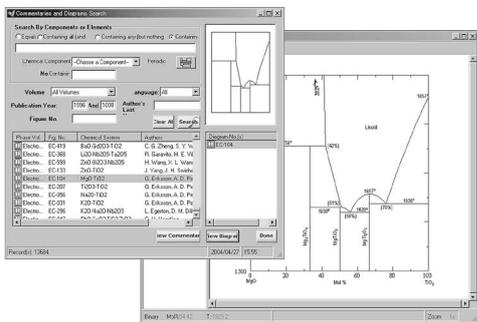
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

データ表示

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

データソース/新データ2,500件を追加

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



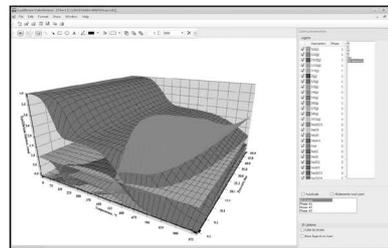
システムプラットフォーム: Windows 8/10

化学反応/平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.10.0

年間使用料(税別) ¥290,000.-/¥100,000.- (一般/教育)

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



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

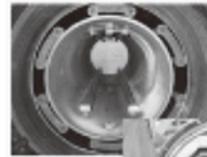
株式会社 デジタルデータマネジメント

東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル 〒103-0025
TEL.03-5641-1771 FAX.03-5641-1772 <http://www.ddmcorp.com>

高温真空 3000℃への挑戦

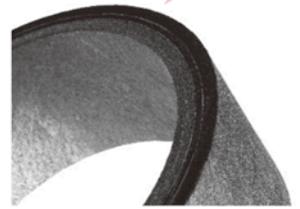
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

- 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

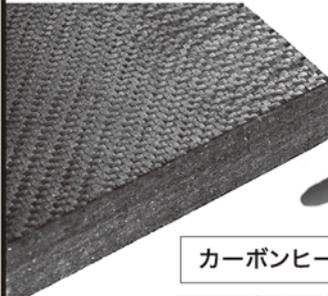


炉の改修

ハイブリット成形断熱材



高断熱+省エネ



6面シート
貼り



カーボンフェルト

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