

Materia Japan

■ 小特集「エネルギー材料分野における
稀少金属元素の削減および有効利用への
革新的取り組み」

■ 入門講座 測定の不確かさ評価について
—2.不確かさの算出手順1—

まてりあ

Vol.54 MTERE2 54 (7) 333~382 (2015)

2015

7

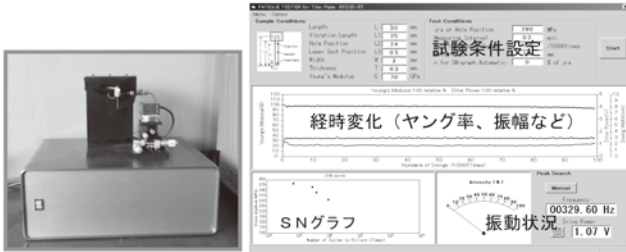
弾性率と内部摩擦(減衰性能)測定装置の総合、専門メーカー

日本テクノプラス株式会社

新製品 共振式薄板疲労試験装置

弊社の共振技術を応用した薄板の疲労試験装置を開発。
従来の疲労試験にない次のような特徴があります。

- 破壊前の疲労経過をヤング率変化で把握が可能
- 2000万回でも2日以内と短期間試験が可能
500cycle/sec程度と適正な繰り返し速度
- 発熱が非常に少ないので被験材の物性変化がない
- 静音で小型、軽量なので事務所でも試験可能
- マイコン内蔵でパソコンにS/Nグラフも即表示
- 試験試料作成が容易(短冊状)
- 疲労箇所を特定可能→破損前の組織観察が可能
- 付加機能、仕様変更など細かな対応も可能



多様な弾性率測定、内部摩擦測定装置

高温弾性率、内部摩擦測定装置 EG シリーズ
高温での群を抜く測定の容易さ。(左下写真)

高精度自由共振式弾性率、内部摩擦測定装置 J シリーズ
なんとといっても高精度。

インパクト式ヤング率、減衰率測定装置 IE シリーズ
現場での品質管理や大型試料のヤング率などの簡易測定。

薄板、細線用弾性率、内部摩擦測定装置 T シリーズ
縦共振式ヤング率測定装置 VE シリーズ
横共振測定が困難な場合に活用

弾性定数、弾性率測定装置 CC シリーズ
弾性率(E,G,ν)だけでなく弾性定数(Cij)も測定。
典型的な異方性試料の単結晶。多結晶 Cij も測定(CC2型)
解析ソフトも単独販売。

メカニカルスペクトロメーター MS シリーズ
強制振動式内部摩擦測定装置。低周波の周波数依存性測定。

電磁超音波共鳴装置 (EMAR) EM シリーズ

高粘度物質絶対粘度測定装置 HV シリーズ
低粘度測定装置の外挿値では心配。標準試料作成に力を発揮。

連絡先 大阪市淀川区木川東 3-5-21 第3丸善ビル (新大阪付近)
電話 = 06-6390-5993 E-mail = ntp@nihon-tp.com
URL = <http://www.nihon-tp.com>

どこにもないモノへの挑戦

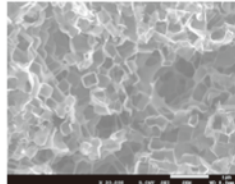
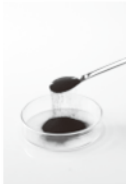
TOYO TANSO
Inspiration for Innovation

製品情報はこちらへ ▶ www.toyotanso.co.jp/Products/

CNovel™ クノーベル™

細孔径を自由に制御できる多孔質炭素

- “連通メソ孔”を有する特徴的な構造
- ナノスケールでテイラーメイド可能な細孔径



【用途例】
・薬剤精製時の不純物除去
・脱色・脱臭
・カラムの充填剤

CNovel™の詳細はこちらへ



サンプルキットのご購入は
こちらへ



KLASTA MATE™ クラスターマイト™

ナノカーボンやDLC成膜用の
蒸発源として使用可能な金属-炭素複合材

- 炭素材料中に各種金属を均一分散可能

【製品例】



【用途例】

ナノカーボン製造用電極
DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 成膜用ターゲット

KLASTA MATE™の詳細は
こちらへ



東洋炭素 クノーベル

検索

東洋炭素株式会社

【本社】〒555-0011 大阪市西淀川区竹島5-7-12 Tel 06-6472-5842 Fax 06-6472-6011 www.toyotanso.co.jp



2015
Vol.54
No.7

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。

- 支部行事：shibu@jim.or.jp
- 本会記事：stevent@jim.or.jp
- 掲 示 板：materia@jim.or.jp

小特集「エネルギー材料分野における稀少金属元素の削減 および有効利用への革新的取り組み」

企画にあたって 田中秀明 石川和宏 石丸 学 磯部繁人 太田道広 北嶋具教 波多 聡 畠山賢彦 古澤孝之 松尾元彰 宮岡裕樹	333
熱電変換材料として魅力的な人工硫化銅銻物とそれを用いた発電モジュールの 開発 末國晃一郎 高島敏郎 太田道広 山本 淳	335
白金族金属の構造材料への応用 御手洗容子	339
プロトン伝導性金属酸化物 BaZrO ₃ における置換元素 Y の役割と Ba 欠損の影響 山崎仁丈	343
分析電子顕微鏡による高容量リチウムイオン電池正極材料の構造解析 秋田知樹 田淵光春	347
Dy を使わない Nd-Fe-B 磁石の開発動向 宝野和博	351
ステンレス鋼における稀少資源使用量削減と高機能化の同時実現と今後の展望 秦野正治	356

入門講座	測定の不確かさ評価について —2. 不確かさの算出手順 1— 城野克広	360
	測定の不確かさとは何か? どう評価し, どう使うのか? 100回以上の講師体験を持つ著者による事前知識不 要の入門的解説. (全4回)	

国際学会だより	第9回本会派遣 JIM/TMS Young Leader International Scholar 出張報告 中田伸生	364
---------	---	-----

委員会だより	ランチョンミーティングの紹介—Women in Science in US— 御手洗容子	365
--------	--	-----

本会記事	会告	366	材料系学協会情報コーナー	377
	支部行事	372	研究集会	378
	掲示板	373	2015年度支部事務局	378
	会誌・欧文誌7号目次	375	新入会員	378
	次号予告	377	行事カレンダー	379

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参照下さい。
<http://jim.or.jp/>

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おいては, 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。

JSX-1000S

X-ray fluorescence spectrometer



元素分析のスマートソリューション

ElementEye

スマートFP法による定量分析

- バルクFP法 / 薄膜FP法
- 自動バランス成分 ●自動厚み補正

全元素高感度分析

- ショートパス光学系
- 高感度フィルター



各種ソリューションアプリの提供

- 簡易金属ソリューション ●Snめっきスクリーニング
- 簡易有機物ソリューション ●Niメッキスクリーニング
- 簡易酸化物ソリューション ●ハロゲンスクリーニング
- RoHSスクリーニング

① 全エネルギー範囲高感度検出

- SDDを採用したショートパス光学系
- 高感度フィルター:重金属元素(CI~U)の高感度検出
- 排気ユニット:軽元素(F~Cl)の高感度検出

② スマートFP法

- バルク試料から薄膜試料の定量分析が可能
- 高感度フィルターを利用した数10ppmレベルの低濃度元素の検出(検量線の作成不要)
- バランス成分の自動設定が可能 樹脂や食品の分析が容易

③ ソリューションアプリの提供

目的の測定を実現するためにレシピをボタン化し、煩わしい条件の設定不要な簡単高精度分析を提供

簡易金属分析ソリューションによる測定例

金属でも同色同形となると種類を正確に判断することが難しくなります。専門家であれば一見あるいは感触で金属種を判別することは容易なのでしょうが、鋼種判定となると簡単にはいきません。このような場合にスマートFP法を利用すると迅速簡便に鋼種を判断することができます。



試料はCr、Fe、Niが主成分であることからステンレス系の合金であることが判断でき、それらの組成からSUS304系の合金であることが分かります。

成分	認証値 (mass%)	分析結果 (mass%)
Si	0.72	0.7
Cr	18.35	18.3
Mn	1.53	1.5
Fe	69.6	70.0
Ni	8.67	8.6
Cu	0.316	0.3
Nb	0.052	0.05
Mo	0.41	0.4

日本電子株式会社

本社・昭島製作所 東京都昭島市武蔵野3-1-2 TEL(042)543-1111

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

営業企画室 東京都千代田区大手町2-1-1 TEL(03)6262-3560

西日本ソリューションセンター 大阪市淀川区西中島5-14-5 TEL(06)6305-0121

■東京 電子光学機器営業グループ TEL(03)6262-3581 | 分析機器営業グループ TEL(03)6262-3582 | 産業機器営業部 TEL(03)6262-3570
半導体機器営業室 TEL(042)528-3491 | 医用機器営業グループ TEL(03)6262-3583

■札幌 TEL(011)726-9680 | ■仙台 TEL(022)222-3324 | ■筑波 TEL(029)856-3220 | ■横浜 TEL(045)474-2181 | ■名古屋 TEL(052)581-1406
■大阪 TEL(06)6304-3941 | ■広島 TEL(082)221-2500 | ■高松 TEL(087)821-0053 | ■福岡 TEL(092)411-2381

企画にあたって

田中秀明¹ 石川和宏² 石丸 学³ 儀部繁人⁴
 太田道広⁵ 北嶋具教⁶ 波多 聰⁷ 畠山賢彦⁸
 古澤孝之⁹ 松尾元彰¹⁰ 宮岡裕樹¹¹

現代の我々の日常生活において、各種工業製品の構成成分である稀少金属元素の存在が生み出す機能はもはや捨てることは誰しもが認めるところである。ただ、その名が示す通り資源的に稀少であることから、その恩恵を長く享受するには使用量抑制か成分代替を検討せねばならないことは必然である。稀少金属の多くを輸入に頼る我が国では、廃棄物・リサイクル政策の基盤となる循環型社会形成推進基本法が2000年に成立して以後、有価資源の使用抑制(Reduce)、再使用(Reuse)および再生利用(Recycle)を目指す社会システムが整備された。その後、中国による希土類金属の輸出規制があったように、稀少金属の供給量や価格は産出国の政情や国際関係等に大きく左右されるとの認識が新たにされた。加えて、稀少金属は投機の対象となり易い上、為替変動の影響を強く受ける。このような背景の中、資源小国の我が国では、各種材料において他元素による成分代替の他、ナノスケールでの構造や機能の制御が早くから検討され、稀少資源を“節約”し、且つ有効利用するための研究が進められ、高度な技術が培われてきた。それでいてなお、世界レベルで見ると、新技術の出現や新興国の成長に伴う需要の急増がその成果を上回ることから、材料研究分野では更なる技術革新が推進されている。

文部科学省主宰の『元素戦略プロジェクト('07年度~)』や経済産業省主宰の『稀少金属代替材料開発プロジェクト('07年度~)』『未来開拓研究プロジェクト('12年度~)』などはその一環で、相互に連携して、稀少金属使用量が比較的多い磁石材料、触媒・電池材料、電子材料、構造材料の分野を研究対象として、稀少元素や有害元素を使うことなく優れた機能を呈する物質・材料を開発することを目的に、物質・材料構成元素の役割・性格を把握し、機能・特性の発現機構

を究明することが目指されている。

しかし、いくら資源的に稀少とはいえ、目指するのが削減一辺倒では科学や産業は進展しない。先のノーベル賞受賞対象となった青色LEDはGaを使用したからこそ実現したものであり、また、Beは航空宇宙用構造部材や放射光・X線研究用材料に欠かせない。これらはその元素固有の特性を活かし、且つこれまでに高度なレベルで最適化が進められたものであることから、他元素による代替は恐らく容易には適わないであろう。

稀少金属が使用されている材料分野は、上記以外にも多く存在する。ただ、分野個々に様々な取り組みが鋭意進められているが、分野間の連携や情報疎通は必ずしも円滑に行われているとはいえない。しかし、異なる材料分野であっても、稀少金属使用量削減、元素代替、新機能発見を目指す上で、何らかの共通項が存在することは十分に期待できる。

本小特集では、特にエネルギー分野で利用される機能材料および構造材料を対象を絞り、それらに含まれる稀少金属元素に注目し、「稀少金属“であるからこそ”(=有効活用、新機能発現)」と「稀少金属“でなくとも”(=元素代替、使用量削減)」の観点から、基礎研究段階であるものも含めて、「エネルギー材料分野における稀少金属元素の削減および有効利用への革新的取り組み」と題して6件を紹介する。

末國晃一郎助教(広島大学)らには、稀少金属が主成分である既存の熱電変換材料に対して、自然に産する硫化銅鉱物と同様の成分をもつ材料系に着目し、環境負荷が小さく、且つ稀少金属の含有量が少ない新たな熱電変換材料の開発とそのモジュール性能についてご紹介いただいた。御手洗容子グループリーダー(物材機構)には、耐熱性及び耐酸化性の高さから高温構造材料として利用されるPt系材料について、高温

¹産業技術総合研究所電池技術研究部門；主任研究員(〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31)、²金沢大学；准教授、³九州工業大学大学院；教授、⁴北海道大学創成研究機構；特任助教、⁵産業技術総合研究所省エネルギー研究部門；主任研究員、⁶物質・材料研究機構；主任研究員、⁷九州大学；教授、⁸富山大学；准教授、⁹日本原子力研究開発機構；主査、¹⁰東北大学金属材料研究所；講師、¹¹広島大学サステナブル・ディベロップメント実践研究センター；講師

Innovative Approach for Reduction and Effective Utilization of Rare Metal Elements in Energy-related Materials; ¹Hideaki Tanaka, ²Kazuhiro Ishikawa, ³Manabu Ishimaru, ⁴Shigehito Isobe, ⁵Michihiro Ohta, ⁶Tomonori Kitashima, ⁷Satoshi Hata, ⁸Masahiko Hatakeyama, ⁹Takayuki Furusawa, ¹⁰Motoaki Matsuo, ¹¹Horoki Miyaoka (¹Research Institute of Electrochemical Energy, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Ikeda, ²Kanazawa University, ³Kyushu Institute of Technology, ⁴Hokkaido University, ⁵AIST, Tsukuba, ⁶National Institute for Material Science (NIMS), ⁷Kyushu University, ⁸University of Toyama, ⁹Japan Atomic Energy Agency (JAEA), ¹⁰Tohoku University, ¹¹Hiroshima University)

Keywords: cutting-edge material, energy-related material, rare metal, elemental substitution, effective utilization, particular feature, performance upgrade

2015年5月18日受理[doi:10.2320/materia.54.333]

形状記憶合金としての将来性や脱Pt化に取り組みについて、資源情勢と合わせてご紹介いただいた。山崎仁丈教授(九州大学)には、中温動作型固体酸化物形燃料電池の電解質として注目されるプロトン伝導性金属酸化物 $BaZr_{1-x}Y_xO_3$ ($x \neq 0$) において、Y の存在や Ba の欠損が果たす役割や有用性についてご紹介いただいた。なお、ここでは Y に限定しての報告であるが、希土類元素一般にも展開できるとのことである。秋田知樹研究グループ長ら(産総研)には、車載用 Li イオン二次電池の高容量化と低価格化を図って検討されている Li 過剰正極材料の稀少元素の置換に関して、分析電子顕微鏡による微細構造、固溶状態、結晶構造の分析・解析を通じて得られた研究成果について要点を述べていただいた。宝野和博フェロー(物材機構)には、近年のモーター・発電機技術を支える高保磁力ネオジム磁石で大量に採用されている稀少な重希土類元素である Dy の使用に代えて、微細組織最適化技術により高保磁力(2.5 T 以上)を維持した新規磁性材料の研究開発動向と将来展望についてご紹介いただいた。秦野正治上席研究員(新日鐵住金ステンレス㈱)には、エネルギー材料用途にとどまらず多くの産業分野において不可欠であるステンレス鋼に関し、Sn を活用する等の手段で稀少金属(Ni, Cr, Mo他)含有量を削減した“省資源型化”する取り組みについてご紹介いただいた。各々の詳細については、記事本文をご覧になるか、著者ご本人にご照会いただきたい。

エネルギー関連材料は概して使用量が膨大であることから、稀少金属の成分比率が仮に小さくとも、研究成果全体からもたらされる効果は多大となる。各材料において機能やその原理を深く追究するという“経糸(たていと)”に対して、この特集が材料分野間を有機的に繋ぎ合わせる“緯糸(よこいと)”として役立てば幸いである。



田中秀明

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1993年 大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程
金属工学専攻修了。同年、通商産業省工業技
術院大阪工業技術試験所(後の同研究所)入所。

2013年4月 独立行政法人産業技術総合研究所に組
織改編。

2015年4月 国立研究開発法人に組織改編、現職。
専門分野：材料科学、水素貯蔵材料、二次電池負極材
料、非破壊検査

◎水素貯蔵材料はじめ、各種エネルギー機能材料の研
究開発に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



石川和宏



石丸 学



磯部繁人



太田道広



北嶋具教



波多 聡



畠山賢彦



古澤孝之



松尾元彰



宮岡裕樹

熱電変換材料として魅力的な人工硫化銅鉍物と それを用いた発電モジュールの開発

末國晃一郎¹⁾ 高島敏郎²⁾ 太田道広¹⁾* 山本 淳²⁾**

1. はじめに

自然界に存在するエネルギー源の中で、資源埋蔵量に限りがある化石燃料は枯渇性エネルギー源に分類される。一方、太陽光、水力、風力、地熱、太陽熱などはいくら利用しても自然に再生されることから、再生可能エネルギーと呼ばれる。枯渇性エネルギー由来の未利用熱エネルギーや再生可能熱エネルギーを電力に変換すれば、枯渇性エネルギーの消費量を抑えられるので、エネルギーの持続性が高まると期待されている。

熱を電力に直接変換する技術の一つに、ゼーベック効果を利用した熱電発電がある。ゼーベック効果とは、金属または半導体からなる素子の両端に温度差 $\Delta T (= T_h - T_c)$ を付けると、起電力 $\Delta V (\propto \Delta T)$ が生じる現象である。これは、電荷キャリア(ホールまたは電子)が高温 (T_h) 端から低温 (T_c) 端へ拡散して電荷分布に偏りが生じることに起因する。実際の発電には、P型とN型の素子(熱電変換材料)を金属電極で繋いだ「II型」モジュール(図1(a))を用いる。モジュールの両端の金属電極をそれぞれ高温熱源と低温熱浴に接触させるだけで発電できるので、無振動、静音、長寿命である。

熱電変換材料の性能は、発電効率 η と無次元性能指数 ZT により評価される。効率 η は $\{(T_h - T_c)/T_h\} \times \{(1 + Z\bar{T})^{1/2} - 1\} / \{(1 + Z\bar{T})^{1/2} + T_c/T_h\}$ で与えられ、図1(b)に示すように、 $Z\bar{T}$ の増大に伴って単調に増加する。ここで、 $\bar{T} = (T_h + T_c)/2$ である。 $T_h = 600 \text{ K}$ 、 $T_c = 300 \text{ K}$ の場合に $\eta \geq 10\%$ となる $Z\bar{T} \geq 1$ が実用化の指標とされている。実際には材料の Z は温度に依存するため、 $\eta \geq 10\%$ を得るには広い温度範囲で $Z\bar{T} \geq 1$ を満たす必要がある。

無次元性能指数 ZT は、ゼーベック係数 S 、電気抵抗率 ρ 、および熱伝導率 κ を用いて $ZT = S^2 T / \rho \kappa$ で定義される。

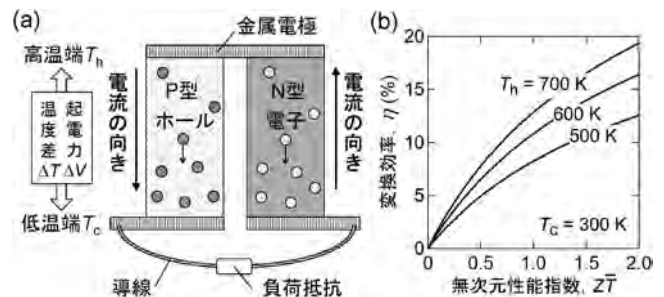


図1 (a) P型とN型の素子を電気的には直列に、熱的には並列に接続したII型発電モジュールの模式図、(b)熱電変換効率 η の無次元性能指数 $Z\bar{T}$ 依存性。

したがって、大きな S (V/K) と低い ρ (Ωm) および低い κ (W/Km) $= \kappa_c$ (電荷キャリアの寄与) $+ \kappa_L$ (格子の寄与) をもつ物質が良い熱電変換材料となる。このような材料で作った発電モジュールは大きな起電力と低い内部抵抗をもち、かつ温度差を維持し易い。

自動車や工業炉の未利用熱を電力として効率的に回収するには、500 K ~ 800 K の温度範囲で高い性能をもつ熱電変換材料が必要である。それに該当するテルル化鉛 $\text{PbTe}^{(1)-(3)}$ は他の追従を許さない高い性能を示すが、毒性をもつ Pb と稀少な Te の化合物であるために広範な実用化には至っていない。一方、低毒性の元素からなる充填スクッテルダイト化合物 $\text{R}(\text{Fe}, \text{Co})_4\text{Sb}_{12}$ (R: アルカリ土類金属元素および希土類金属元素)⁽¹⁾⁽⁴⁾ とハーフホイスラー化合物 MNiSn , MCoSb (M: Ti, Zr, Hf)⁽⁵⁾ は良い性能と優れた熱的・機械的安定性を併せもつ有望な材料であり、発電用モジュールの開発が進んでいる。また、クラスレート化合物 $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$ は 500 K ~ 600 K という比較的低温で高い性能を有する材料であり、モジュールが試作されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。さらなる大規模応用のた

* 広島大学大学院先端物質科学研究科 1) 助教 2) 教授 (〒739-8530 広島県市鏡山 1-3-1)

** 産業技術総合研究所省エネルギー研究部門 1) 主任研究員 2) 研究グループ長

Synthetic Copper-based Sulfide Minerals as Advanced Thermoelectric Materials and the Modularization for Power Generation; Koichiro Suekuni*, Toshiro Takabatake*, Michihiro Ohta** and Atsushi Yamamoto** (*Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima. **Research Institute for Energy Conservation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba)

Keywords: thermoelectrics, thermoelectric materials, thermoelectric generator, p-type, sulfide, mineral, tetrahedrite, colusite

2015年2月20日受理 [doi:10.2320/materia.54.335]

めには、稀少元素の希土類金属元素, Zr, Hf, Sb, Ga を地殻埋蔵量が豊富な元素で置き換える必要があり, さらに材料の軽量化も図る必要がある。

以上の背景から, 低毒性で豊富な元素からなる高性能材料の開発が待ち望まれている。しかし, これまでに報告された環境調和型材料である酸化物⁽⁸⁾, 珪化物⁽⁹⁾, 硫化物系材料⁽¹⁰⁾の中で, 上記の温度域で PbTe に迫る高い性能を示す材料は少ない。その原因は, 500 K~800 K で大きな S を示す物質が(縮退)半導体に限られるためである。また, 以下に述べる理由で, 熱電パラメータの最適化が容易ではないからである。 S と ρ および κ_c はいずれもキャリア密度 n の関数(縮退電子系では $S \propto n^{-2/3}$, $\rho \propto n^{-1}$, $\kappa_c \propto \rho^{-1} \propto n$)であるため, 出力因子 S^2/ρ を大きく保持し, 一方で κ_c を低くするように n を最適化しなければならない。また, κ_L を低減させようとして結晶格子に乱れを導入すると, キャリアの散乱確率の増大による ρ の増加や意図しないキャリアドープが起こる。このように, 熱電パラメータには「あちらが立てばこちらが立たず」という三すくみの関係があるため, 従来材料の性能向上や新規材料の探索は難しい。

そこで我々は, 以下に示すように, 大きな S^2/ρ と低い κ_L を有する物質を探し, そのキャリアの密度を最適化するという方法を採用した。まず, 低毒性で豊富な元素の Cu(銅)と S(硫黄)を含む $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ と $\text{Cu}_{2.1}\text{Zn}_{0.9}\text{SnS}_4$ が P 型の比較的大きな S^2/ρ を示す⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ことに注目し, Cu と S を主成分とする硫化銅鉱物を研究対象に選んだ。次に, 豊富な鉱物データベースから以下①から④に示す特徴をもつ物質を選び出した。①高対称な結晶構造(立方晶構造)を有する, ②単位格子中の原子数が多い, ③構造が複雑である, ④構造中に大振幅振動する原子がある。なぜなら, 特徴の①は, 電子バンドの縮重度を高めて S^2/ρ を大きくし, ②③④は音響フォノンの散乱確率を高めて κ_L を低くするからである⁽¹³⁾。最後に, Cu を 3d 遷移金属元素で置換して, キャリア密度の調節を図った。このように, 我々は元素種と結晶構造の特徴を考慮することで, 次に紹介する優れた性能を示す熱電変換材料を得た。さらに, 我々は, その新規材料を用いたモジュールの作製を行っているので, その進捗も紹介したい。

2. 高い性能を示す硫化銅鉱物系熱電変換材料

硫化銅鉱物には, 二元で簡単な化学組成の銅藍 CuS や輝銅鉱 Cu_2S から三元以上の複雑組成の物質まで, 多種多様なものがある。その中でも, 我々が優れた熱電変換性能を見出した複雑組成の安四面銅鉱(テトラヘドライト)⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾とコーラーサイト(コーラサイト)⁽¹⁶⁾を本稿では紹介する。また, 従来の熱電変換材料と比較して, これらの硫化銅鉱物系材料の優位性を議論する。

(1) テトラヘドライト $\text{Cu}_{12-x}\text{Tr}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ (Tr : 3d 遷移金属)

テトラヘドライトは, 58個もの原子からなる体心立方構造をもつ。図 2(a)に示すように, Cu は S が作る三角形面内および四面体中に位置し, 前者の Cu は面直方向に大振幅振

動している⁽¹⁵⁾。四面体中の 6 個の Cu のうち, 2 個までは Tr 原子で置き換えることができる。

多結晶試料は, 化学量論比の原料を石英管中で反応させて合成した。作製時の最高温度 903 K~1003 K で硫黄 S は高い蒸気圧を示すが, 他の元素とよく反応して殆ど残存しなかった。この試料を均一化するために, 773 K で焼鈍処理を施した。物性測定および後述のモジュール化に必要な高密度多結晶試料は, 加圧焼結(ホットプレス焼結)法で作製した。

無置換系 $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ の 300 K での ρ は $1 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$, S は $+80 \mu\text{V}/\text{K}$ (P 型)である。後者の値は $\text{Cu}_{1.8}\text{S}$ ($+20 \mu\text{V}/\text{K}$)⁽¹¹⁾と比較して 4 倍も大きい。この優れた電気的特性は Cu-3d と S-3p の混成軌道からなる価電子帯に由来することが, 第一原理計算によって示された⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。これに加えて, 前述した特徴①(高対称な結晶構造)が低い ρ と高い S の共存に寄与していると考えられる。また, 300 K での $\kappa = 1.3 \text{ W}/\text{Km}$ は, 低熱伝導率材料の典型であるシリカガラス並みに低い。これは, その格子成分 κ_L が極端に低い(0.5 W/Km 以下)ことに起因しており, κ_L が低いのは結晶構造が上述の特徴の②③④を有するためである可能性が高い。このように, $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ は熱電変換材料に適した電子構造と本質的に低い κ_L を併せ持ち, さらに, S の値が温度上昇と共に増加するため, 700 K 付近で比較的高い ZT を示す。

$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ の電子構造は半導体的であり, 価電子帯と伝導帯の間には 1.2 eV のエネルギーギャップがある⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。それにも拘らず上述の金属的(縮退半導体的)な電気伝導が現れるのは, $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ が化学式当たり 2 個のホールをもつためである。我々はまず, Cu を Tr(=Mn, Fe, Co, Ni, Zn)で固溶限界まで置換すると, いずれの置換に対してもホールキャリア密度が減少する(電子がドープされる)ことを明らかにした⁽¹⁴⁾。次に, $\text{Cu}_{12-x}\text{Ni}_x\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ において置換量 x とキャリア密度を細かく調節することで, $x=1.5$ のときに 665 K での ZT が最大値 0.7 に達することを見出した(図 3)⁽¹⁵⁾。この値は P 型硫化物の中で最も高いだけではなく, 従来材料の PbTe に匹敵する。我々の報告と同じ頃, 米国ミシガン州立大のグループは, $\text{Tr}_x=\text{Zn}_{0.5}$ の ZT が 720 K において 0.95 に達すると発表した⁽¹⁷⁾。その後, 複数のグループにより, テトラヘドライトが約 700 K で $ZT \sim 0.8$ を示すことが再現良く確かめられた⁽¹⁹⁾⁻⁽²¹⁾。さらに最近, 置換元素とその組成を微調整することで, $ZT=1.0$ を超えることが報告され

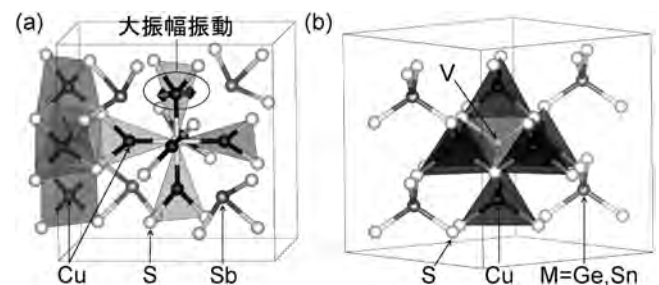


図 2 (a)テトラヘドライト $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ と (b)コーラサイト $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{M}_6\text{S}_{32}$ (M=Ge, Sn) の結晶構造の特徴。

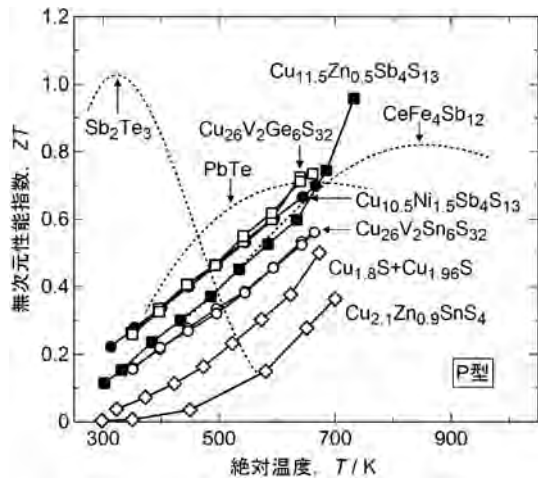


図3 テトラヘドライト $\text{Cu}_{10.5}\text{Ni}_{1.5}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ⁽¹⁵⁾ (●), $\text{Cu}_{11.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ⁽¹⁷⁾ (■), コルーサイト $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{Ge}_6\text{S}_{32}$ ⁽¹⁶⁾ (□), $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{Sn}_6\text{S}_{32}$ ⁽¹⁶⁾ (○), 硫化銅鉍物系材料 $\text{Cu}_{1.8}\text{S} + \text{Cu}_{1.96}\text{S}$ ⁽¹¹⁾, $\text{Cu}_{2.1}\text{Zn}_{0.9}\text{SnS}_4$ ⁽¹²⁾, およびP型の従来材料⁽¹⁾(破線)の無次元性能指数 ZT の温度依存性.

た⁽²²⁾. 2012年の発見からわずか3年で、多くの材料において壁となっている $ZT=1.0$ を超えたこの事実は、テトラヘドライトが非常に有望な熱電変換材料であることを示している.

(2) コルーサイト $\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{M}_6\text{S}_{32}$ (M=Ge, Sn)

コルーサイトは、66個もの原子からなる単純立方構造をもつ. 図2(b)に示すように、Cu, V および M (=Ge, Sn) はいずれも、S が作る四面体の中に位置する. すべてのCu が四配位構造をとるという点は、テトラヘドライトと異なる.

試料の作製方法は前述のテトラヘドライトの場合とほとんど同じであるが、V が他の元素と反応しにくいいため、作製の最高温度を 1273 K~1373 K まで高めた. 物性測定のための高密度多結晶試料は、ホットプレス焼結法で作製した.

$\text{Cu}_{26}\text{V}_2\text{M}_6\text{S}_{32}$ の ρ と S は 350 K 以上で温度上昇に伴い増大し、663 K においてそれぞれ $7\sim 10 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ と $+210 \mu\text{V/K}$ となる. この比較的優れた電気的特性は、テトラヘドライト $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ と同様に、Cu-3d と S-3p の混成軌道からなる価電子帯に由来する⁽¹⁶⁾. さらに、 κ_L の値が 0.5 W/Km と低いために、663 K での ZT は M=Sn のとき 0.56, Ge のとき 0.73 に達する(図3). コルーサイトの類似物質であるサルバナイト Cu_3VS_4 (8つの原子からなる単純立方格子をもつ)を作製して κ_L を評価した結果、コルーサイトの 300 K での κ_L はサルバナイトの10分の1程度しかないことが判った. この比較から、コルーサイトの低い κ_L は結晶構造に関する前述の特徴②と③に起因すると結論付けた⁽¹⁶⁾. このように、コルーサイトの κ_L は本質的に低いので、元素置換によりキャリア密度を調節することで、さらに高い性能が得られると期待される.

(3) テトラヘドライトとコルーサイトの類似点

上述の2つの人工硫化銅鉍物は、優れた環境調和性と熱

電変換性能を併せもつ. また、主成分である S が軽元素であるために試料密度は $4.4\sim 5.0 \text{ Mg/m}^3$ であり、この値は PbTe, スクッテルダイト $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$, ハーフホイスラー ZrNiSn の $\sim 8 \text{ Mg/m}^3$ の約6割に留まる. これらに加えて、構成元素が比較的安価であることも、実用化を検討する際には大きなメリットとなる.

テトラヘドライトとコルーサイトに共通する優れた電気的特性は Cu-3d と S-3p の混成軌道からなる価電子帯に由来することが、第一原理計算により示された⁽¹⁶⁾⁻⁽¹⁸⁾. 高い S 値を発現するメカニズムが価電子帯の特徴から説明付けられれば、材料開発の助けになるであろう. また、低い κ_L と複雑な結晶構造との関係を明らかにするために、フォノン構造の情報を得るための実験が進行中である. それによって、低い κ_L をもたらすフォノン構造の特徴を明らかにしたい.

3. テトラヘドライト P 型単一素子の発電特性

上記の基礎研究の成果を実用化に結び付けるために、発電モジュールの試作を実施している. これまでに、テトラヘドライト $\text{Cu}_{11.0}\text{Ni}_{1.0}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ からなる P 型単一素子 ($4.4 \text{ mm} \times 4.4 \text{ mm} \times 10.5 \text{ mm}$) の発電能力を小型熱電発電モジュール評価装置 (Mini-PEM, アドバンス理工株式会社製) (図4(a)) を用いて評価した. さらに、有限要素法 (COMSOL Multiphysics) により熱電物性値から発電特性を計算し、実際の発電特性と比較して課題を抽出した.

以下に、評価方法の概略を記す⁽²³⁾. まず、一軸加圧 (約 50 N) により素子を電極材 (In ベース合金) と熱浴 (Cu ブロック) で挟み込んだ. 次に、低温熱浴の温度 T_c を水冷により約 300 K に保持しながら、高温端を任意の温度 T_h まで加熱した. 温度安定を待った後に負荷電流 I を変化させ、電圧 V を計測し、発電量 $P_{\text{out}} (=IV)$ を算出した. また、冷却水の流量と受熱による温度上昇から熱流量 Q_{out} を推定し、試料や電極などからの輻射による熱損失を考慮して、 Q_{out} の値を補正した. 最後に、得られたデータから変換効率 $\eta = P_{\text{out}} / (P_{\text{out}} + Q_{\text{out}})$ を求めた. ここで、 $(P_{\text{out}} + Q_{\text{out}})$ は入力熱流量 Q_{in} に相当する.

図4(b)と(c)にそれぞれ、最大出力 P_{max} および最大変換効率 η_{max} と T_h の関係の実測値と計算値を示す. 実際の測定は 466 K まで実施した. それ以上の温度になると電極材とテトラヘドライトが反応し、界面に高抵抗相が出現して、発電特性を評価できなくなった. $T_h = 466 \text{ K}$ での実測値 ($P_{\text{max}} = 4.3 \text{ mW}$, $\eta_{\text{max}} = 1.5\%$) は、いずれも計算値 ($P_{\text{max}} = 10 \text{ mW}$, $\eta_{\text{max}} = 3.6\%$) の4割程度であった. ここで、 $T_h = 466 \text{ K}$ における開放電圧 V_0 ($I=0$ の時の V) の実測値 0.020 V に対して、計算値が 0.021 V , 同様に $T_h = 466 \text{ K}$, $I=0$ のときの Q_{out} の実測値 0.28 W に対して計算値が 0.24 W となり、それぞれで実測値と計算値の間に大きな違いは見出せなかった. その一方で、 $T_h = 466 \text{ K}$ のときの $V-I$ の傾き (すなわち抵抗) の実測値 $24 \text{ m}\Omega$ は、計算値 $10 \text{ m}\Omega$ の2倍程度であった. したがって、本評価における P_{max} と η_{max} の実測値が計算値より低いのは、電極材とテトラヘドライトの界面抵抗が

白金族金属の構造材料への応用

御手洗 容子*

1. 白金族金属の現状

これまで、白金族金属の供給・需要の動向や応用分野について解説記事をいくつか書いてきた⁽¹⁾⁽²⁾。白金族金属の動向については、白金族金属メーカーである Johnson Matthey 社が Platinum Interim review という報告書を毎年出すため⁽³⁾、簡単に手に入れることができる。また、この報告書は、田中貴金属工業株式会社により日本語訳されており⁽⁴⁾、英語版では重量を示すのにヤード・ポンド法であるオンスを使っているが、日本語版では SI 単位に換算した表も示されている。白金族金属とは白金(Pt)、パラジウム(Pd)、ロジウム(Rh)、ルテニウム(Ru)、イリジウム(Ir)、オスmium(Os)の6種類の金属の総称であり、Pt以外の金属はPtの副産物であるため、生産量はPt生産量に依存する。生産は南アフリカに集中しており、2013年の生産量のうち、72%が南アフリカ、2番目の生産国であるロシアは14%であった。南アフリカにおける生産量はストライキや安全上の操業停止などにより不安定であり、2011年には151tあった生産量が2012年には127tにまで下がり、2013年も128tと増産には至らなかった。隣国のジンバブエがわずかであるが生産量を伸ばしており、その結果、各国の生産量を積算すると、2013年は178tとなった(図1の黒丸)。2004年から2007年にかけては毎年200t程度の生産量があったのに対し、最近の5年間は生産量が201tであった2011年を除くと180t程度であり、生産量は減少の傾向にある。一方、図1で四角で示す需要は年々増加の傾向にあり、2013年は250tを上回った。明らかに需要過多で、供給不足に陥っている。そのため、図2に示すPtの価格変動から分かるように、2005年以降のPt価格は4000円以上であり、40年間で比較すると高値を示している。一方、図1に示すように、白丸で示すリサイクル量も年々増加しており、新規供給量と積算すると、黒線で示すように、需要とほぼ同量となっている。

リサイクルの回収元は主に自動車触媒と宝飾品からなり、

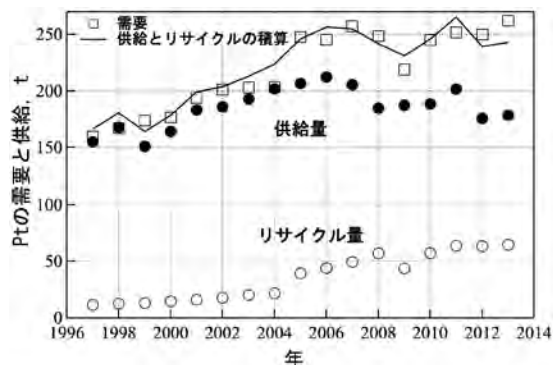


図1 Ptの1997年から2013年における需要、供給、リサイクル量。

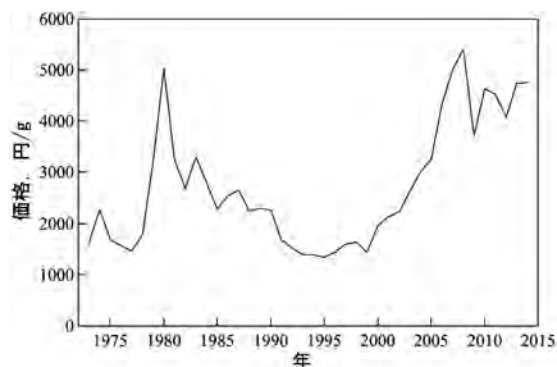


図2 1973年から2014年までのPt価格変動⁽⁵⁾。

特に1台あたりのPt充填量が多いディーゼルエンジンからの回収量が高い。図3にPt, Pd, Irの世界需要の内訳について示す。Ptの需要で大きな割合を占めるのは、自動車触媒と宝飾品であり、それぞれ30%程度であった(図3(a))。Pt価格の高騰に伴い、自動車触媒における需要は2005~2008年の4年間に比べると低めとなっている。これは、自動車産業自体が低迷していることと、1台あたりのPt充填量の

* 物質・材料研究機構 先進高温材料ユニット；グループリーダー(〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

Application to Structure Materials of Platinum Group Metals; Yoko Yamabe-Mitarai(High Temperature Materials Unit, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: shape memory alloys, martensitic transformation, deformation, high temperature, platinum group metals, ultra high temperature superalloys, solute solution hardened alloys

2015年2月13日受理[doi:10.2320/materia.54.339]

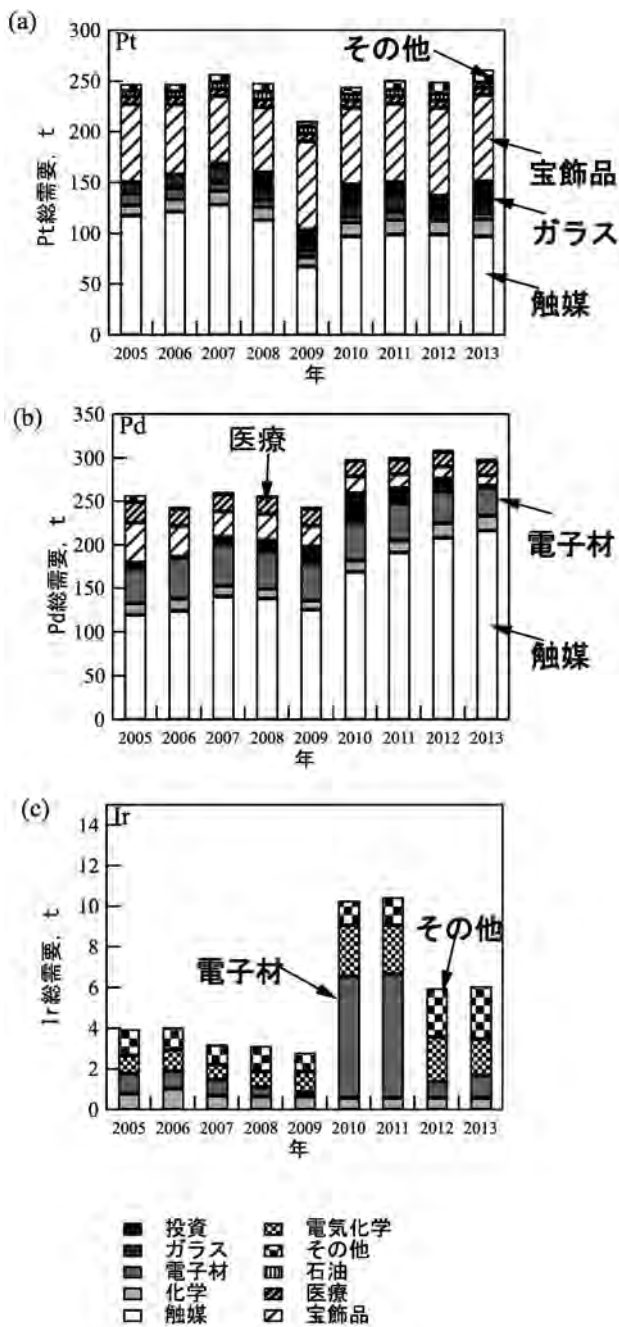


図3 (a) Pt, (b) Pd, (c) Irの需要変遷.

節約による。Ptの触媒以外の用途として特徴的なのは、ガラス分野である。これは、液晶パネル用ガラスの製造に使われるガラス溶解炉であり、高温での強度と耐酸化性を要求される高温構造材料である。その他の用途として、自動車用スパークプラグや航空機タービンブレードのコーティングがあり、スパークプラグは高温強度と耐酸化性を要求され、コーティング材も耐酸化性を要求される。これらも高温材料であり、図から「その他」がわずかに増加傾向にあることが分かる。

Pdの自動車触媒としての需要は、Ptの代替材料として使われているため年々増加しており、2013年の需要は2005年

と比較するとおよそ2倍となっている(図3(b))。Pdの触媒以外の需要で特徴的なのは、電子材(図中の灰色部)と医療すなわち歯科材料(同細斜線部)であるが、電子材については安価なニッケル(Ni)や銅(Cu)に代替され、歯科材料についてもセラミックなどPd以外の材料が使われる傾向にあり、減少傾向にある。Pdには高温材料としての用途はあまり無い。

IrはPt, Pdと比較すると需要は10t以下と低いが、供給量は4t程度と言われており、供給量と比較するとここ4年間は需要過多になっている。Ir需要で特徴的なのは、2010, 2011年に急に需要が伸びたこと、「電子材」、「電気化学」、「その他」が多いことである。電気化学については詳細な説明が無く、具体的にどのような需要なのか分からないが、電子材はLEDバックライトテレビの発光ダイオードに使用される単結晶サファイヤ育成のための耐熱Irのつぼであり、高温強度と耐酸化性を要求される高温材料である。「その他」がここ2年で大幅に増加しているが、これは主に自動車エンジン用スパークプラグとしての用途であり、高温材料である。Irの場合は、需要の半分以上が耐熱性を要求する高温材料であると言える。

図には示さなかったが、Rhの用途の80%は自動車触媒であるが、この他に、ガラス溶解炉に使われるPtの高温強度向上のための固溶強化元素としても用いられている。

Pt, Rh, Irの融点はそれぞれ2041, 2236, 2720 Kであり、耐熱材料として航空機に使われているニッケルと比較して、はるかに高い。PtやRhは耐酸化性にも優れているが、Irについては酸化雰囲気で使用すると揮発性の酸化物が生成するため⁽⁶⁾、重量減少を起こす。ガラス工業では、ガラスの溶解温度が1273 K以上であり、炉は常に1273 K以上の高温に曝されるため、1273 K以上での高温強度が重要となる。また、高温強度が高いだけでなく、熔融したガラスと反応して不純物が混入しないように化学的にも安定である必要がある。コーティング材としては、燃焼器のすぐ後ろ、最も高温の燃焼ガスが噴射される1, 2段目のNi基超合金タービンブレードにPtコーティングが使われている。耐酸化性だけでなく、母材のNi基超合金とコーティング材の熱膨張率の差が小さいことも重要である。

触媒や電子材料のように代替材料がある場合は、高価で供給不安定な白金族金属より代替材料が使われる傾向にあるが、高温構造材料の場合、使用温度に耐え得る代替材料が無いこと、白金族金属の化学的に安定な性質などから、希少金属であっても構造材料として使い続けられている。

2. 白金族金属基超合金

Ir基やPt基合金は、Ni基超合金に生成される強化相である γ' 相と同じ構造を持った析出物を生成し、母相となるfcc構造の固溶体 γ 相と二相組織を形成する。 $\gamma + \gamma'$ 二相領域の融点がPt-Al系では1723 K、Ir基合金では2273 K以上と高いため高融点超合金と呼ばれ、航空機用Ni基超合金の代替材料として研究された⁽⁷⁾。

Irはニオブ(Nb), バナジウム(V), タンタル(Ta), ジルコニウム(Zr), ハフニウム(Hf), チタン(Ti)と γ' 相を生成する. 特に, Ir-Nb及びIr-Ta合金では, 立方体形状に近い析出物が生成した. 1773 K以上での使用を期待されたこれら合金であるが, 1773 Kでも137 MPaの応力下では, 300時間で1%変形した⁽⁸⁾. 1773 K以上に長時間晒されると析出物の粗大化が起り, 析出強化の効果が低下するためである. また, Ni基超合金を単結晶でブレードとして使用する場合, ブレードの長さ方向に力が加わるが, γ' が粗大化しても応力方向に垂直に板状の組織ができる, いわゆるラフト化が起り, 転位の上昇やカッティングが妨げられるため, 優れたクリープ特性を示す. ラフト化は引張応力下では, γ' 相の格子定数が γ 相よりも小さい場合に起る. これに対し, Ir基超合金の場合, γ' の格子定数の方が大きいいため, 引張応力下では応力方向と平行にラフト化して, 逆にクリープ特性が悪くなる可能性がある.

一方, Pt基超合金の場合は, Pt-Al系で γ' 相を生成する. 添加元素であるAlが酸化雰囲気中でアルミナの生成を促し, 優れた耐酸化性を示すことが期待される⁽⁹⁾. しかし, Pt基超合金の1473 Kでの強度はCMSX-4などの単結晶Ni基超合金と比較して低く, コストと重量を考えると当合金を採用するメリットは少ない.

IrおよびPt基超合金の密度はともにNi基超合金(8.5 g/cm³程度)の2倍以上(20 g/cm³以上)であるため, 密度が8.5 g/cm³程度であるNi基超合金と比較すると2倍以上となる. 高融点の材料には現在Ni基超合金に施されているような冷却システムは必要無く, 熱効率は改善されるかも知れないが, 燃費向上のための重要な因子である軽量化の観点からするとデメリットであり, 航空機用の用途には適していない.

3. 固溶強化型合金

ガラス用溶解炉でもエンジンプラグでもPtやIrの固溶強化型合金が使われており, 析出強化型は使われていない. これは, 上記で示したようにこれらの合金の使用温度が高く, 析出物が容易に粗大化して強度が低下するためである. そこで, Ir固溶強化型合金について, 第2元素の効果について調べた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. 2223 Kにおける圧縮強度は, 純Irでは20 MPaであったが, 最も固溶強化の効果があつたZrやHfを1原子%添加することにより, 3倍以上上昇した. 固溶強化は, Irと添加元素の原子サイズの差が大きいものほど効果があることが分かった. また, 元素を複合的に添加し, さらなる強化を試みたところ, Ir-5Nb-3Hf合金が2223 Kで140 MPaの圧縮強度を示した⁽¹¹⁾⁽¹²⁾. これは, 二相合金の強度が2073 Kで200 MPaであることを考えるとその7割であり, 固溶強化のみでもある程度の強化が可能であることを示している. 一方, 耐酸化性は元素添加によっては改善されず, Ir酸化物だけでなく, 添加元素の酸化物, 例えば, Nb酸化物やHf酸化物が生成し, これらが揮発したり, 剥離するこ

とにより, 重量は純Ir同様に直線的に減少した.

4. コーティング

そこで, Irに対するコーティングも試みた⁽¹³⁾. IrおよびIr-Hf合金の表面にIrよりも耐酸化性に優れたPtを電気めっきしたところ, 厚さ4 μm 程度の被膜が形成された. この被覆材に対して1373 Kにて等温酸化試験を行ったところ, 無被覆材より酸化速度は減少したが, 直線的に重量減少することには変わりはない. 酸化層を解析するために, 断面組織観察を行ったところ, Ptが内方拡散し, Irが外方拡散したことにより, 表面に現れたIrやHfが酸化したためであることが明らかとなった.

Ni基超合金は, Alを含有することにより表面に安定なアルミナが生成するため, Ir基合金についても同様にAlの効果について検討した⁽¹⁴⁾. Al含有量が増加するにつれ酸化による重量減少量は減少し, 45原子%を含有する合金は, 1373 Kで500時間酸化してもほとんど重量変化を起さなかった. 一方, Al含有量が少ないものでは, 多孔質のアルミナが生成していた. これは, Irの酸化物がアルミナと同時に生成し, 揮発したためと考えられる. 一方, 45原子%のAlを含有する合金では厚さ5 μm 程度の密なアルミナ層が表面に形成され, 合金の酸化が抑制された. しかし, 45原子%のAlを含有する合金は結晶構造がbccが規則化したB2構造を持つ化合物(IrAl)であり, 高温材料としてはfcc相と比較して強度が低い. そこで, アルミナイジング処理を施すことにより, fcc相であるIr基合金表面に対して安定なアルミナを生成するIrAl層の生成を試みた. アルミナイジングとは, Ni基超合金に対してしばしば適用される方法で, Al, Alを含む合金粉末, 反応制御材としてアルミナ, 活性剤として塩化物を混合させた粉末で満たした容器中に試料を埋め込み, 試料表面にAlの濃化層を形成させる熱処理法の一つである. Ir基合金についても適切な条件を探索し, アルミナイジングしたところ, 厚さ7 μm 程度のIrAl層が生成した. 1373 Kでの等温酸化試験では, 無被覆のIr基合金と比較して, 重量減少量は低下した. 酸化試験後の組織を観察すると, 最表面に厚さ40 μm 程度のアルミナ層が形成されたことで酸化が抑制されていることが分かった. 合金元素の添加で高温強度と耐酸化性の両立は難しいと一般にされるなか, 高強度Ir基合金に対してアルミナイジングによる酸化抑制は有効であることが示された.

5. 高温形状記憶合金

最後に, 白金族金属を用いた高温形状記憶合金について紹介する. 形状記憶効果は熱弾性マルテンサイト変態により引き起こされ, マルテンサイト相を変形後, 変態温度以上に加熱する際にマルテンサイトからオーステナイトへの逆変態により形状が回復する現象である. 形状記憶合金としては主にTiNiが使われているが, TiNi二元合金では変態温度が高く

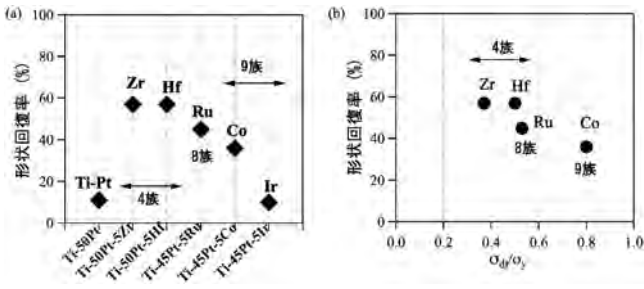


図4 TiPt系合金の(a)形状回復率(横軸の数字は原子%)と(b)マルテンサイト再配列応力/耐力の比に対する関係性。

ても 343 K 程度であり, これ以上の温度で回復を可能にするためには, 変態温度を上昇させる必要がある。アメリカでは, TiNi に Pt, Pd, Au を添加することにより変態温度の上昇を目指している⁽¹⁵⁾。しかし, 変態温度が上昇すると塑性歪みが入り易くなり, 100%の回復は難しい。我々は変態温度が高い TiPd, TiAu, TiPt に着目し, 第 3 元素添加による固溶強化を活用して, 形状回復能の向上を目指している。これらの化合物は B2→B19構造のマルテンサイト変態を起こし, 変態温度はそれぞれ 843, 873, 1273 K である。TiPd については, 固溶強化能が高い Zr や Hf の添加により, 回復率が 94% を示す合金を見出した⁽¹⁶⁾。TiPt について, Zr, Hf, Ru, Co, Ir を添加した合金の形状回復率を図 4(a) に示す。Zr, Hf については Ti と置換するように, Ru, Co, Ir については Pt と置換するように添加した。5 at% の添加により変態温度は 10 K 程度低下したが, それでもマルテンサイト開始温度 (Ms) は 1073 K 以上を示した。図 4(a) に示すように, 変形量に対する回復率は TiPt では 10% 程度出会ったのに対して, 第 3 元素添加により最大 60% 程度までに向上した。図 4(b) は, マルテンサイト再配列応力と耐力の比に対する形状回復率をプロットしたものである。マルテンサイト相を変形する過程においては, 途中で応力一定のまま変形が進む箇所が見れる。これは, マルテンサイトバリエーションが再配列するときにかかる(マルテンサイト再配列応力, σ_{dt}) が, 小さい応力で再配列できれば, 逆変態が容易になり, 耐力 (σ_y) が大きければ大きな応力下でも塑性歪みが入りにくく, 回復を妨げない。つまり, 再配列応力と耐力の比 (σ_{dt}/σ_y) が小さければ逆変態し易く, また, 塑性歪みが入りにくいと考えられ, その結果, 形状回復も大きいと考えられる。(b) に示すように, TiPt 合金ではマルテンサイト再配列応力

と耐力の比が小さい合金ほど大きな回復を示す傾向が観察された。TiPt と TiPt-Ir 合金については再配列応力がはっきりとは現れず, 再配列応力が耐力よりも大きく, 逆変態の前に塑性歪みが導入され, 逆変態を妨げたと考えられる。高温形状記憶合金で完全な形状回復を実現させるにはまだまだ課題が多いが, 高い融点と高い変態温度を示すのは白金族金属の化合物だけであるため, 新しい応用分野として期待ができる。

文 献

- (1) 御手洗容子, Bao Zebin, 村上英之, 阿部秀樹, 松本 達 : 日本金属学会誌, **75** (2011), 10-20.
- (2) 御手洗容子 : J. Life Cycle Assess., **8** (2012), 143-150.
- (3) <http://www.platinum.matthey.com/documents/market-review/2013-interim/full-review/english.pdf>
- (4) <http://gold.tanaka.co.jp/statistics/pl2013int.html>
- (5) <http://gold.tanaka.co.jp/commodity/souba/y-platinum.php>
- (6) J. H. Carpenter: J. Less-common Met., **152** (1989), 35-45.
- (7) Y. Yamabe-Mitarai, Y. Ro, T. Maruko and H. Harada: Met. Trans., **29A** (1998), 537-549.
- (8) Y. Yamabe-Mitarai, S. Nakazawa and H. Harada: JSME Int. Journal, **45** (2002), 1, 2-7.
- (9) M. Wenderoth, R. Voelkl, S. Vorberg, Y. Yamabe-Mitarai, H. Haradam and U. Glatzel: Intermetallics, **15** (2007), 539-549.
- (10) 御手洗容子, 村上英之 : までりあ, **52** (2013), 440-444.
- (11) Y. Yamabe-Mitarai and H. Murakami: Intermetallics, **48** (2014), 86-92.
- (12) J. B. Sha and Y. Yamabe-Mitarai: Scripta Mater., **54** (2006), 115-119.
- (13) Z. B. Bao, H. Murakami and Y. Yamabe-Mitarai: Corr. Sci., **53** (2011), 1224-1229.
- (14) Z. Bao, H. Murakami and Y. Yamabe-Mitarai: Corr. Sci., accepted.
- (15) J. Ma, I. Karaman and R. D. Noebe: Inter. Mater. Reviews, **55** (2010), 257-315.
- (16) M. Kawakita, M. Takahashi, S. Takahashi and Y. Yamabe-Mitarai: Mater. Letter, **89** (2012), 336-338.
- (17) Y. Yamabe-Mitarai et al.: Material Today, ICOMAT 2014, (2014), submitted.



御手洗容子

★★
1994年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期
課程金属工学専攻修了, 同博士(工学)取得。
1994年4月 日本学術振興会特別研究員(PD)
1995年4月 科学技術庁金属材料技術研究所(現 物質・材料研究機構)に研究員
2006年4月から 物質・材料研究機構グループリーダー。
専門分野: 相変態, 金属組織学
◎耐熱材料や高温形状記憶合金の開発に従事。白金族金属基合金, チタン合金の機械的特性, 相変態, 耐酸化特性を研究。
★★

プロトン伝導性金属酸化物 BaZrO₃ における 置換元素 Y の役割と Ba 欠損の影響

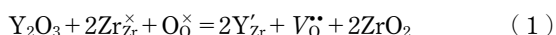
山崎 仁 丈*

1. はじめに

イットリウム添加ジルコン酸バリウムは400~600°Cという中温度域において高いプロトン伝導度と化学的安定性を兼ね備えたプロトン(水素イオン, H⁺)伝導性金属酸化物であり, 中温動作固体酸化物形燃料電池の電解質として注目されている. この金属酸化物自体は地殻埋蔵量が比較的豊富な元素から構成されているが, 4 価のジルコニウムの一部を 3 価の希土類元素と置換しない限り, プロトン伝導は誘起されない⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 金属酸化物中のプロトン伝導度 σ_H はプロトン濃度 C_H とプロトン拡散係数 D_H の積で表されるので, プロトン伝導の促進を考える場合にはプロトン濃度とプロトン拡散係数を規定する材料因子を理解, 制御する必要がある⁽⁴⁾. 本稿では, 置換元素であるイットリウムがジルコン酸バリウム中のプロトン濃度やプロトン伝導度 σ_H に果たす役割を点欠陥や状態図の観点から紹介する. プロトン伝導性金属酸化物中のプロトンの拡散については「まてりあ」5月号の最近の研究⁽⁵⁾に詳しく紹介したので, そちらを参照していただきたい.

2. プロトン伝導の起源

金属酸化物にプロトンを導入しプロトン伝導を誘起するには, 基本的に, (1)低原子価カチオンの置換による酸素空孔(結晶格子中の酸素サイトが欠損した状態)の導入と(2)酸素空孔を介した水和反応という2つのプロセスが必要である. ジルコン酸バリウム(BaZrO₃)において4 価のジルコニウム(Zr⁴⁺)を3 価のイットリウム(Y³⁺)で置換する場合, 2つ置換する毎に1つの酸素空孔(V_{O}^{\bullet})が導入される. これは系を電気的中性に保つ(電気的中性条件を満たす)ために起きる反応で, 点欠陥を記述する Kröger-Vink の標識に従うと, 次のように表される.



ここで, 元素記号は対象とする元素を示し, 下付き文字は占

有サイトを, 上付き記号は相対電荷を示す. 上付きの×は電荷ゼロ, 中性状態を表し, 負電荷や正電荷を1つ帯びた状態はそれぞれプライム(')やドット(•)で表す.

ジルコニウム(Zr⁴⁺)をイットリウム(Y³⁺)で置換した場合は Y_{Zr}' で表され, 相対的に1つ負電荷を帯びるためプライム(')がついている. 酸素サイトの空孔(Vacancy)は V_{O}^{\bullet} と表される. 2つの負電荷を持つ酸素イオンが欠損したサイトは相対的に2つの正電荷を有するため, 2つのドット(•)が付いている.

このイットリウム添加ジルコン酸バリウムを水蒸気(H₂O)に曝露すると, 酸素空孔がヒドロキシ基(-OH)で占有され, 格子間位置にプロトン(OH_O[•])が導入される. この反応は水和反応と呼ばれ, 次のように表される.



1 mol の酸素空孔に対して2 mol のプロトンが導入可能であることを示している. 式(1)によると, ジルコニウムをイットリウムで置換する量が増大, すなわち Y_{Zr}' が増大するに従い酸素空孔 V_{O}^{\bullet} が増加し, これに伴ってプロトンも導入されるため(式(2)), 金属酸化物中のプロトン濃度はイットリウム置換量に比例することが推測できる.

図1(a)は, ジルコン酸バリウムにおいてイットリウムによるジルコニウム置換がプロトン濃度に及ぼす影響を示したものである⁽²⁾⁽³⁾. プロトン濃度は, 式(2)を用いて熱重量測定結果から決定できる. 過去の文献値と比較するため, プロトン濃度は400°Cにおける値を示し, 1 mol のイットリウムイオンに対して導入できる最大プロトン濃度(1 mol)を一点鎖線で示している. 絶対値は文献によって異なるものの, プロトン濃度はイットリウム置換量の増大に伴い直線的に増えている. プロトン濃度が文献によって異なるのは, 後から述べるように, 水蒸気分圧やバリウム欠損量の違いに関連している.

図1(b)は, 50°Cにおいてイットリウム置換量とプロトン濃度の関係を示したものである. 熱重量測定において, 50°Cという低温では, 水蒸気の表面吸着による重量増分が

* 九州大学教授; 稲盛フロンティア研究センター(〒819-0395 福岡市西区元岡744) 科学技術振興機構・さきかけ研究員
Role of Yttrium Substitution and Barium Deficiency in Proton-conducting Barium Zirconates; Yoshihiro Yamazaki(Inamori Frontier Research Center, Kyushu University, Fukuoka, Japan Science and Technology Agency, Saitama)
Keywords: proton-conducting oxides, solid oxide fuel cells, point defects, defect chemistry, phase diagram, hydration, barium zirconate, yttrium substitution, barium deficiency
2015年2月16日受理[doi:10.2320/materia.54.343]

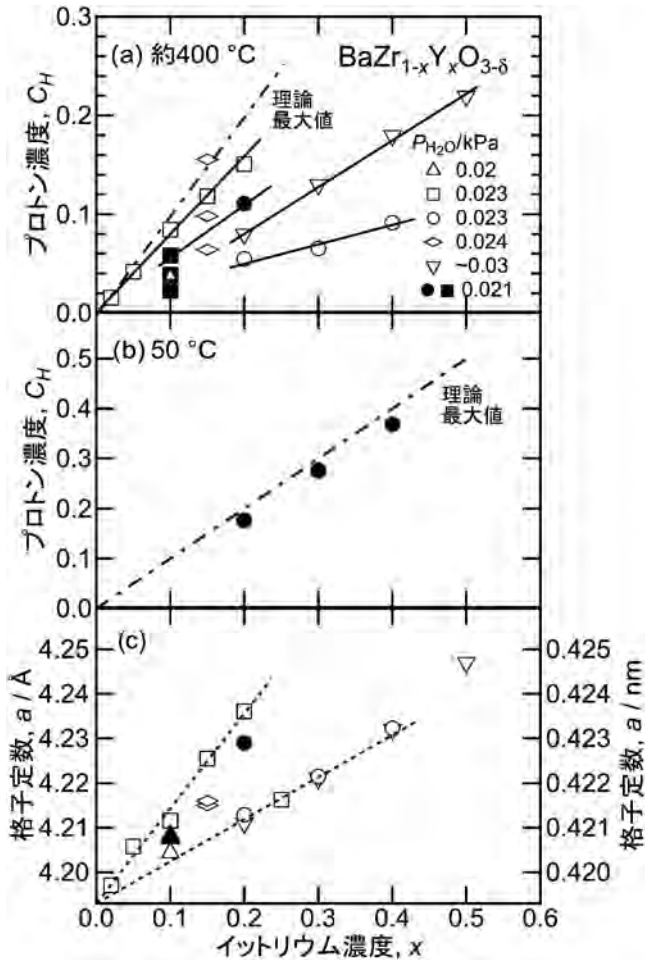


図1 ジルコン酸バリウムにおいて、イットリウム置換が及ぼす影響⁽³⁾。(a) 約400°Cおよび(b) 50°Cにおけるプロトン濃度、(c) 格子定数。

無視できない。式(1)および(2)によると、イットリウムで全く置換しないジルコン酸バリウムにおいてプロトンは原理的に存在しないので、イットリウム無添加ジルコン酸バリウムにおいて観測された重量増分を表面吸着水蒸気に起因するものと仮定して、プロトン濃度を決定した。得られたプロトン濃度は理論値に近いことから、50°Cという低温においてイットリウム添加ジルコン酸バリウムはほぼ完全に水和していることが分かる。イットリウム置換が格子定数に及ぼす影響を図1(c)に示す。イットリウムのイオン半径(6配位において0.9 Å (0.09 nm))はジルコニウムのそれ(6配位で0.72 Å (0.072 nm))より大きいので⁽⁶⁾、同一グループにて報告された格子定数はイットリウム置換によって直線的に増大している。

3. 水和反応の熱力学

金属酸化物中のプロトン伝導にはプロトンの存在が必要不可欠であるが、その濃度は試料組成であるイットリウム濃度と実験条件(温度と水蒸気圧)によって定量的に規定される。

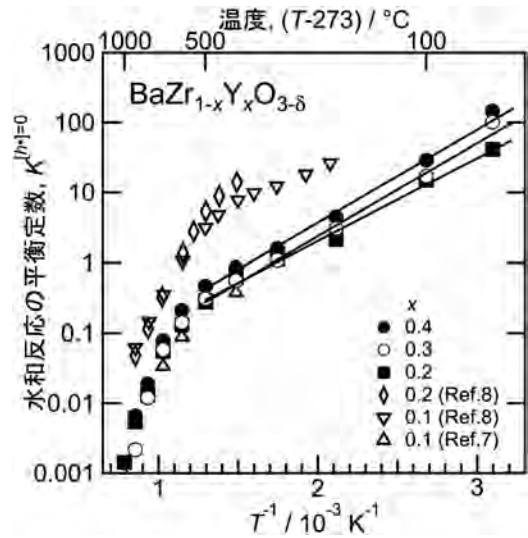


図2 水和反応の平衡定数の温度およびイットリウム濃度依存性。全温度域において正孔濃度を0と仮定した。

この関係を示すのが水和反応の平衡定数 K_{water} であり、理想溶体の場合には以下の関係が成立する。

$$K_{\text{water}} = \frac{[\text{OH}_0^{\bullet}]^2}{[\text{V}_0^{\bullet}][\text{O}_0^{\bullet}]P_{\text{H}_2\text{O}}} = \exp\left(-\frac{\Delta H_{\text{water}}^{\circ} - T\Delta S_{\text{water}}^{\circ}}{RT}\right) \quad (3)$$

角括弧([i])は欠陥種 i の濃度であり、酸化物 1 mol あたりの欠陥種のモル数である。 R は気体定数、 T は絶対温度を示し、 $\Delta H_{\text{water}}^{\circ}$ および $\Delta S_{\text{water}}^{\circ}$ はそれぞれ標準状態における水和反応のエンタルピーとエントロピーを示す。系の電気的中性条件

$$[\text{Y}'_{\text{Zr}}] = [\text{OH}_0^{\bullet}] + 2[\text{V}_0^{\bullet}] + [h^{\bullet}] \quad (4)$$

および酸素サイトの保存則

$$[\text{V}_0^{\bullet}] + [\text{O}_0^{\bullet}] + [\text{OH}_0^{\bullet}] = 3 \quad (5)$$

を式(3)に代入すると式(6)が得られ、プロトン濃度は水和反応の平衡定数 K_{water} (温度の関数)、イットリウム濃度 $[\text{Y}'_{\text{Zr}}]$ 、正孔濃度 $[h^{\bullet}]$ および水蒸気分圧 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ で規定されることが分かる⁽²⁾。

$$K_{\text{water}} =$$

$$\frac{4[\text{OH}_0^{\bullet}]^2}{P_{\text{H}_2\text{O}}(6 - [\text{Y}'_{\text{Zr}}] - [\text{OH}_0^{\bullet}] - [h^{\bullet}])([\text{Y}'_{\text{Zr}}] - [\text{OH}_0^{\bullet}] - [h^{\bullet}])} \quad (6)$$

低温など正孔濃度が極めて低い条件下では ($[h^{\bullet}] \approx 0$)、プロトン濃度はまさに化学組成(イットリウム濃度 $[\text{Y}'_{\text{Zr}}]$ および平衡定数 K_{water}) と実験条件(水蒸気分圧 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ と温度)によって決定される。平衡定数が既知であればプロトン濃度をすべての条件下において算出できるため、平衡定数は極めて重要な因子である。

式(6)において正孔濃度をゼロと仮定して計算した水和反応の平衡定数の温度依存性を過去の文献⁽⁷⁾⁽⁸⁾と共に関2に示す。イットリウム濃度が20 at%から40 at%のいずれの組成においても、平衡定数は低温ほど大きい。これは、水和反応のエンタルピーが負であることに対応している。イットリ

ウム置換量が20, 30, 40 at%の各々の場合において、エンタルピーの値はそれぞれ-22, -26, -26 kJ mol⁻¹と、イットリウム濃度あまり依存しない。

平衡定数の温度依存性は、いずれの組成においても高温と低温領域で異なった傾きを示している。式(6)を用いて平衡定数を求めるには、正孔濃度 $[h^*]$ を知っている必要がある。正孔濃度が無視できるほど小さい低温域であれば平衡定数は図2のように簡単に決定できるが、正孔伝導が観測される⁽⁹⁾高温域においては、正孔を無視して水和反応の平衡定数を算出できない⁽²⁾。このような条件下では、平衡定数を決定すること自体が難しい。

4. BaO-ZrO₂-YO_{1.5} 三元系状態図とプロトン伝導の関係

これまで点欠陥(欠陥化学)の観点からジルコン酸バリウムにおけるイットリウム置換の影響を見てきたが、状態図の観点ではどのように理解できるであろうか。図3は著者らが構築した1600°CにおけるBaO-ZrO₂-YO_{1.5}擬三元系状態図で⁽¹⁰⁾、他の文献ともよく一致しているものである⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。ジルコン酸バリウム中のジルコニウムをイットリウムで置換することは図3の状態図において組成をBaZrO₃から右にずらすことであり、格子定数(図1(c))および水和後のプロトン濃度 C_H (図1(a)および1(b))はそれぞれ増大する。イットリウム固溶限はバリウムが化学量論組成の場合には約30 at%で、バリウムが欠損した場合には約50 at%である⁽¹¹⁾。ジルコン酸バリウム中の最大プロトン濃度はイットリウム濃度に比例するので、イットリウム固溶限の大きさは極めて重要である。

図3の状態図において、バリウム成分比率を化学量論組成から欠損させた場合はどうであろうか。例えば、イットリウム濃度を20 at%に規定したままバリウムを y だけ欠損さ

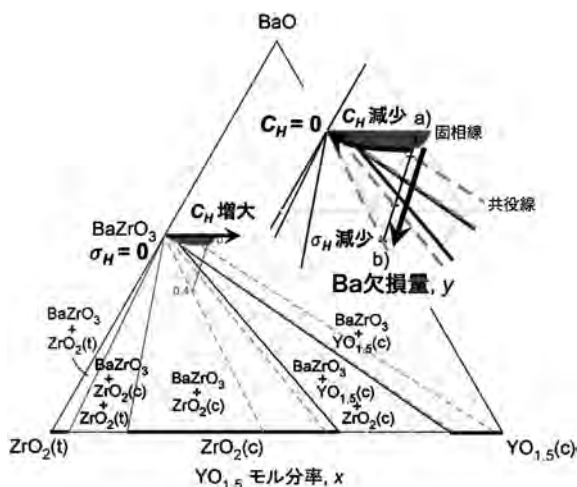


図3 1600°CにおけるBaO-ZrO₂-YO_{1.5}擬三元系状態図。図中の C_H はプロトン濃度、 σ_H はプロトン伝導度を示す。

せると、組成式はBa_{1-y}Zr_{0.8}Y_{0.2}O_{3-δ}と表され、図3の状態図において出発組成を(a)から(b)に直線的に変えることに対応する。バリウム欠損が格子定数およびバルク中のプロトン伝導度に及ぼす影響を示したものを図4(a)および図4(b)、図5に示す。バリウム欠損量の増大に伴い、格子定数およびバルク中のプロトン伝導度は共に減少している。バリウム欠損による格子定数の低下は、イオン半径の小さなイットリウムによるバリウムサイト(1.61 Å(0.161 nm) : 12配位

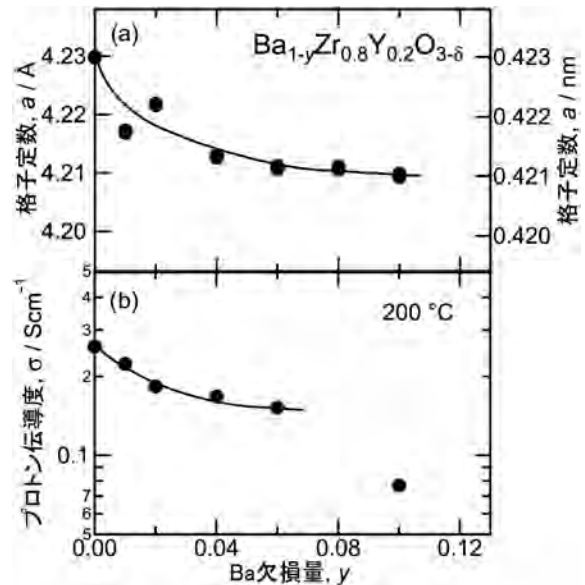


図4 バリウム欠損が及ぼす影響。(a)格子定数および(b)200°Cにおけるプロトン伝導度。

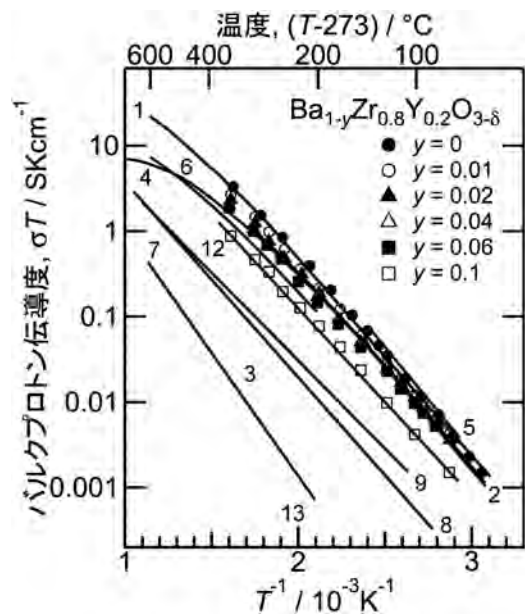


図5 バリウム欠損によるバルクプロトン伝導度の低下⁽¹⁰⁾。ここで、縦軸のバルクプロトン伝導度は、プロトン伝導度 σ と絶対温度 T の積を示し、図中の番号は文献(10)中の引用論文番号に対応する。

分析電子顕微鏡による 高容量リチウムイオン電池正極材料の構造解析

秋田 知樹¹⁾ 田 渕 光 春²⁾

1. はじめに

車載用などのリチウム(Li)イオン電池の開発においては高容量電池の開発が盛んに行われており、Li過剰系正極もその一つとして注目されている。Liイオン電池の正極にはCoなどの稀少元素が使用されていることが多いが、広く普及させるには資源量が豊富で安価な材料を用いることが望まれている。我々は高容量正極として期待される Li_2MnO_3 にFeやTiなどを固溶した正極材料の開発を進め、その微細構造の観察を行っている。特に、分析電子顕微鏡を用いて遷移金属の固溶状態の分析や結晶構造解析をナノ・原子スケールで行っており、還元処理に伴う構造変化、遷移金属の酸化状態の変化などを調べている。本稿では、分析電子顕微鏡によって得られた最近の研究成果について紹介する。

2. Li過剰系固溶体正極材料

現在、Liイオン電池の正極材料として LiCoO_2 や $\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3})\text{O}_2$ などが利用されているが、より高容量の正極材料の開発を目指して、組成式当たりのLi量が多い Li_2MO_3 - LiMO_2 (M:遷移金属)固溶体正極材料の開発が盛んに行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。これは、図1の構造モデルに示すように、組成式当たりに多くのLiを含む Li_2MO_3 (Li_2MnO_3 など)と LiMO_2 (LiCoO_2 など)との固溶体を形成するものである。一方、Coは稀少元素であり、高価であるため、安価で資源量が豊富な材料による正極材料の開発が望まれている。田渕らは、共沈法と水熱法、焼成法を組み合わせることで、Coを用いず、比較的安価で豊富な遷移金属を用いた新規な高容量正極材料 $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ (Li_2MnO_3 - LiFeO_2 系)の作製に成功した⁽⁴⁾。また、Tiで置換した $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{1-x}\text{O}_2$ においても、高い充放電容量が得られることが示されている⁽⁵⁾。これらの電池材料としての実用化を目指して研究開発が進む一方で、基礎研究としての詳細な材料構造解析も重要な課題となっている。

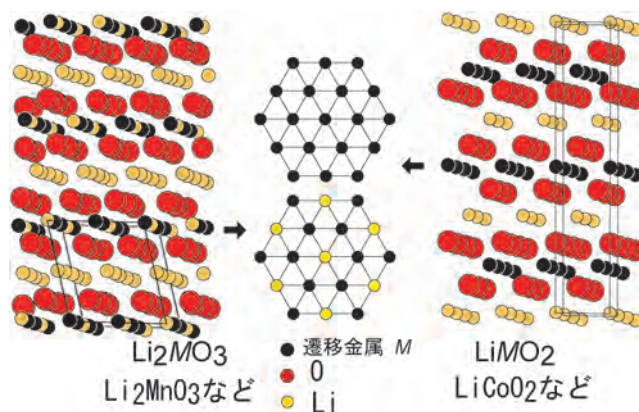


図1 Li_2MO_3 - LiMO_2 固溶体正極材料の結晶構造モデル。

3. 分析電子顕微鏡

Liイオン電池材料の構造解析においても、電子顕微鏡技術が広く用いられつつある。電子顕微鏡では粒子サイズや形態のみならず、結晶構造、局所的な欠陥構造なども評価できる。分析電子顕微鏡では、エネルギー分散型X線分光法(EDS)による組成分析、電子エネルギー損失分光法(EELS)による組成分析、電子状態分析が可能となっており、特に近年の収差補正技術、高感度EDSシステム、モノクロメーターなどの普及により、ナノ・原子レベルの高分解能での組成分析や、電子状態分析が可能となってきている。本研究においては、モノクロメーターを搭載した収差補正電子顕微鏡(FEI社製 Titan³ G2 60-300)を用いて構造解析を行った。

4. Fe置換 Li_2MnO_3 正極材料

$\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ は200 mA h/g以上の高容量を有し、平均電圧3Vを超える優れた充放電特性を持つことが報告されている⁽⁴⁾。X線回折法におけるRietveld解析から、 $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ 粒子内には層状岩塩型構造(Fe含有 Li_2MnO_3)

* 国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門; 1)研究グループ長 2)主任研究員(〒563-8577 池田市緑丘1-8-31)

Structure Analyses of High Capacity Positive Electrode Materials in Lithium Ion Batteries by Analytical Electron Microscopy; Tomoki Akita and Mitsuharu Tabuchi(Research Institute of Electrochemical Energy, Department of Energy and Environment, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Ikeda)

Keywords: analytical electron microscopy, lithium ion battery, positive electrode, electron energy loss spectroscopy

2015年2月20日受理[doi:10.2320/materia.54.347]

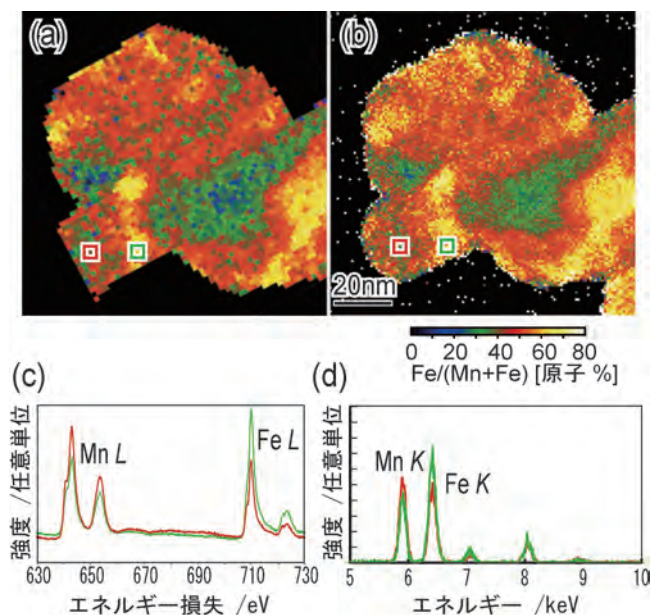


図2 $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ 粒子内の遷移金属分布像と対応する(a) EELS スペクトルおよび(b) EDS スペクトル, ならびに, (a) (b) 両像中の□で示した領域より得られた(c) EELS スペクトルおよび(d) EDS スペクトル.

と立方晶岩塩型構造(Mn含有 $\alpha\text{-LiFeO}_2$)の2相が存在することが分かっていたが, 走査型透過電子顕微鏡法-電子エネルギー損失分光法(STEM-EELS)によるスペクトラム・イメージング法により, 1粒子内に遷移金属の組成分布が存在することが分かった⁽⁶⁾. 図2は, $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ 粉末粒子のEELSとEDSによるスペクトラム・イメージング法により得られた遷移金属分布像と, それぞれの点に対応するスペクトルである. スペクトルにおいてMn, Feの強度に違いが現れており, Mnリッチ領域とFeリッチ領域が1粒子内にナノドメインとして共存していることが分かる. このナノドメインは, 1粒子全体の共通なO立方最密格子におけるカチオン(Li, Mn, Fe)サイトの占有率および組成のナノレベル濃度分布を反映するものと考えられる. 図3は, この粒子の環状暗視野走査型透過電子顕微鏡(ADF-STEM)像とそれぞれの領域から得られた高速フーリエ変換(FFT)パターンである. 図3のADF-STEM像では軽元素であるLi, Oの原子カラムは像として検出できないが, 遷移金属Mの原子カラムが明るいコントラストとして観察されている. 図中の粒子上部と下部では結晶構造が異なっており, 層状岩塩型構造と立方晶岩塩型構造の領域が粒子内に存在していることが確認できる.

これらの結果から, 1粒子内において, Fe含有 Li_2MnO_3 領域(Mnリッチ領域)が層状岩塩型構造を有し, Mn含有 $\alpha\text{-LiFeO}_2$ 領域(Feリッチ領域)が立方晶岩塩型構造を有することが分かる. 両領域の境界は結晶粒界, 転位などの格子欠陥を含まず, Oの配置を共通としてLiと遷移金属の分布が徐々に変化しているものと考えられる. このような構造的特徴

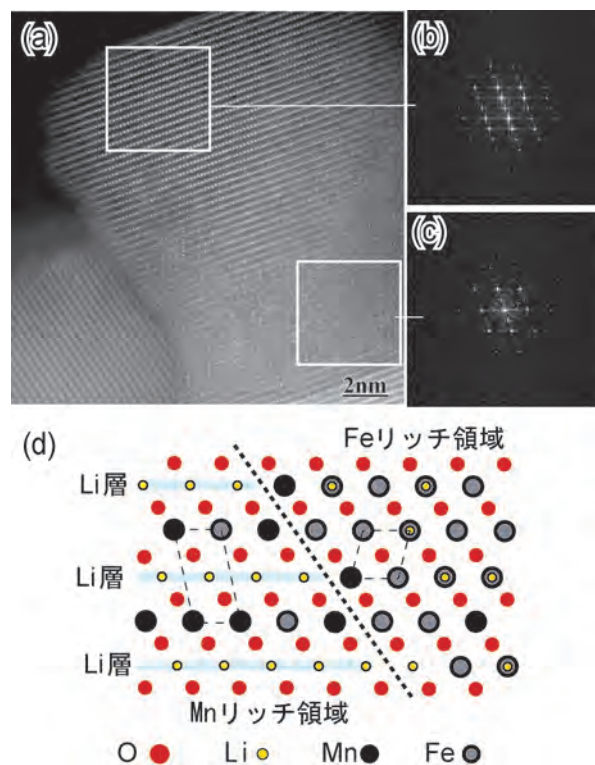


図3 $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ 粒子の(a) ADF-STEM像, (b)像(a)中の左上□の領域より得られたFFTパターン, (c)同じく右下□の領域より得られたFFTパターン, (d) (b)および(c)が構成する界面近傍の結晶構造模式図.

を有している正極材料の電池特性に関して, 充放電に伴うLiの出入り, Oの脱離挙動などについての研究が進められ, その充放電メカニズムの解明が進められている⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

5. Ti置換 Li_2MnO_3 正極材料

Coを含まない Li_2MnO_3 系正極材料の一つとしてTi置換 Li_2MnO_3 系正極材料($\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_y\text{Mn}_{1-y})_{1-x}\text{O}_2$ ($0 < x < 1/3$, $0 < y < 1$))も高い初期容量を示すことが報告されており⁽⁵⁾, 4価のMnの一部を3価に還元することにより, CoやNi等の元素を固溶させることなく, 初期充電時に4.4V以下の容量が出現し, 初期充放電効率が大幅に改善することが見出されている. このような正極材料に関して, 還元処理前後の試料について結晶構造, 遷移金属分布などの評価を行い, その微細構造について検討を行っている⁽⁹⁾.

図4は, $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ の[010], [100]方向から観察したADF-STEM, 環状明視野走査型透過電子顕微鏡(ABF-STEM)像である. 基本的には Li_2MnO_3 構造が見られるが, 図4(b)および(e)中に黒矢印で示したような多くの積層欠陥が見られることが特徴である. 電子回折パターンにおいてもストリーク状のパターンが見られることから, 不規則な構造となっていることが分かる. ただし, これは, 結晶構造が異なる Li_2TiO_3 構造が局所的に生じているとも解釈が

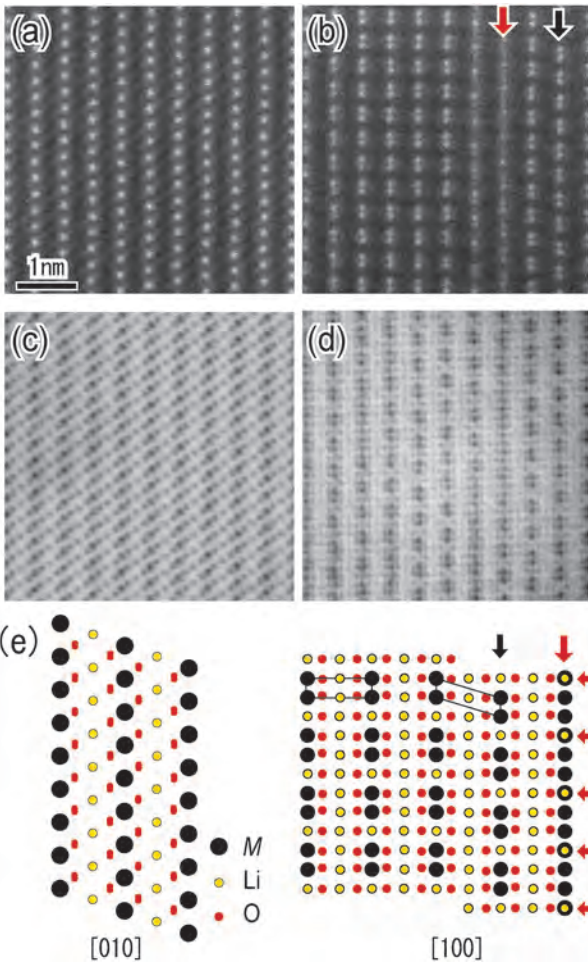


図4 $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の (a) (b) ADF-STEM 像, (c) (d) ABF-STEM 像, (e) 構造構造模式図. なお, (a) および (c) は [010] 入射, (b) よび (d) は [100] 入射.

可能である. また, 図4(b) および (e) 中の赤矢印に見られるように, Li_2MnO_3 構造では2つの遷移金属 M の原子カラムの間に Li の原子カラムが存在するが, ADF-STEM 像に本来 Li の原子カラムが占める位置に M 由来の明るいコントラストが観察されており, Li- M 層内の規則構造の乱れが生じていることが分かる.

図5は, 還元処理前後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 試料の ADF-STEM 像である. 矢印で示したように, 還元処理後には粒子に多孔質状のコントラストが現れている部分があることが分かる. これは充電後の $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ に観察されている形態変化⁽¹⁰⁾と同様であると考えられ, 還元処理は初回充電と類似の効果があることが予想される. また, 図6は STEM-EELS 法により得られた Li の分布像である. Li K 吸収端の信号強度を試料厚さで規格化したものを分布像としている. 化学分析の結果から還元処理によって Li 量が減少したことが分かっているが, ここでは粒子内に Li が減少した領域が生じていることが確認できる. 図7は, STEM-EELS 法により得られた Mn および Ti の分布像を示している. $\text{Li}_{1.2}\text{Mn}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$ と同様に M にナノスケールの分布が

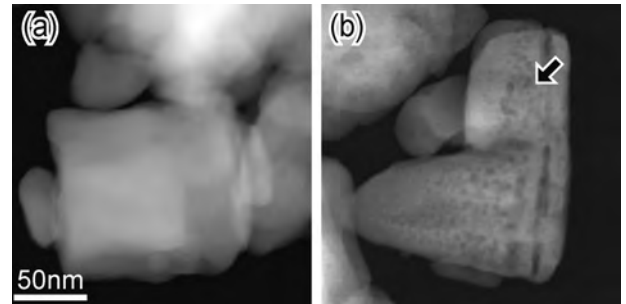


図5 還元処理前後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の ADF-STEM 像. (a)還元処理前, (b)還元処理後.

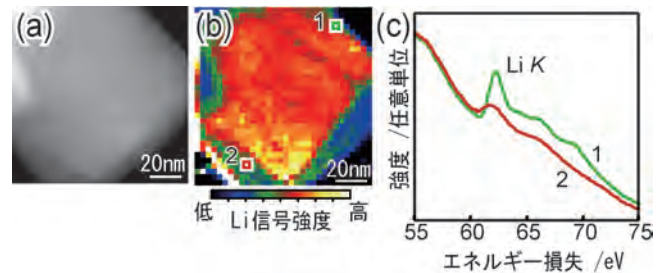


図6 還元処理後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の (a) ADF-STEM 像, (b) EELS による Li 分布像, (c) 像 (b) 中の □ で示した領域から得られた Li K 吸収端 EELS スペクトル.

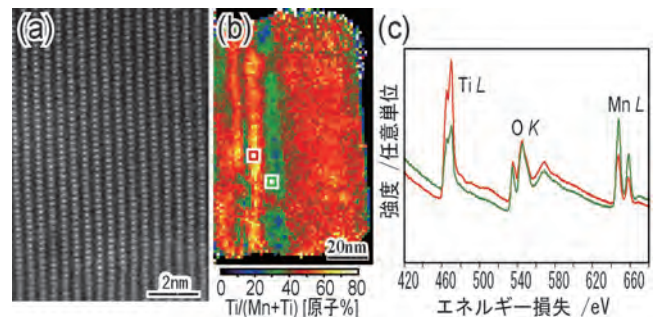


図7 還元処理後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の (a) ADF-STEM 像, (b) Ti および Mn の分布像を示す EELS スペクトル, (c) 像 (b) 中の □ で示した領域から得られた EELS スペクトル.

あることが分かる. 図7(a)の高分解能 ADF-STEM 像による結晶構造の観察結果と合わせて, Mn および Ti の分布は (001)面に垂直な方向に生じやすい傾向があることが分かる. Mn^{4+} と Ti^{4+} ではイオン半径が大きく異なるために固体を形成しにくい, 原子レベルで積層欠陥を生じながら一次粒子の結晶を形成しているものと考えられる.

図8は, ADF-STEM 像と像中に示した各領域から得られた Ti L 吸収端 EELS スペクトルである. 赤は多孔質状になった領域, 緑は一樣なコントラストの領域から得られたスペクトルである. これらのスペクトルには結晶場に起因する4つの特徴的なピークが見られ, 還元処理によっても Ti の

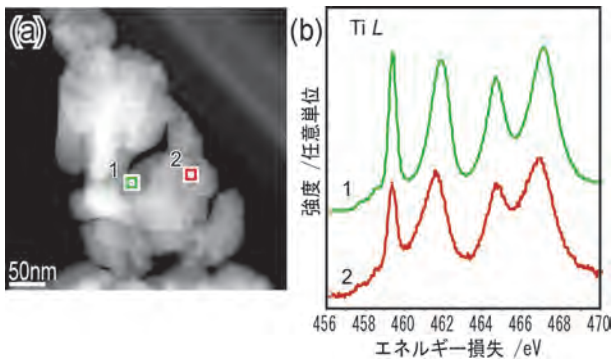


図8 還元処理後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の(a) ADF-STEM像、(b)Ti L吸収端のEELSスペクトル。

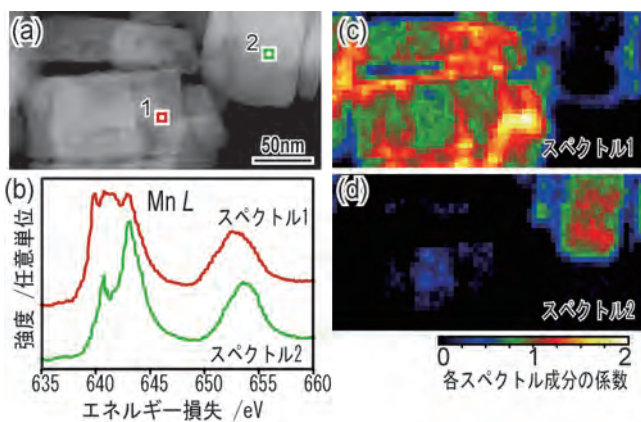


図9 還元処理後の $\text{Li}_{1+x}(\text{Ti}_{0.4}\text{Mn}_{0.6})_{1-x}\text{O}_2$ 粒子の(a) ADF-STEM像と(b)Mn L吸収端EELSスペクトルおよび、本EELSスペクトルを用いてMLLSフィッティングにより得たMnの酸化状態分布像。(c)スペクトル1、(d)スペクトル2により構築した分布像。

価数は全領域で4価のままであることが確認できている。

一方で、図9に示すように、Mn L吸収端の形状は場所により大きな変化が見られ、Mnが還元されていることが確認できる。図9(c)および(d)は、還元状態のMnスペクトル(スペクトル1)と4価のスペクトル(スペクトル2)を用いて、それぞれのスペクトル成分の線形結合として、最小二乗法によるフィッティング(MLLSフィッティング)で還元領域を可視化したものである。粒子によって還元状態が大きく異なることが分かる。また、多孔質状のコントラストが見られる粒子が還元されていることが分かる。これらの結果から、還元処理がより均一に行われることで充放電反応がより均一に進む可能性があり、電池性能が向上する可能性がある。

6. ま と め

分析電子顕微鏡によるLiイオン電池正極材料の微細構造解析について紹介した。電池材料ではその性能を向上させるとともに、広く普及させるにはコストの問題がある。そのため高価な稀少元素を如何に代替、削減できるかは重要な課題である。それぞれ酸化・還元種としての元素の役割を明らかにするとともに、ナノ・原子レベルの構造制御も行うことでその電池特性を制御できる可能性があり、構造解析の立場から新たな材料開発へ貢献することを目指している。

文 献

- (1) K. Numata, C. Sakai and S. Yamanaka: Chem. Lett., **26** (1997),725-726.
- (2) Z. Lue and J. R. Dahn: J. Electrochem. Soc., **149**(2002), A815-822.
- (3) A. Ito, D. Li, Y. Ohsawa and Y. Sato: J. Power Sources, **183** (2008), 344-346.
- (4) M. Tabuchi, A. Nakashima, K. Ado, H. Kageyama and K. Tatsumi: Chem. Mater., **17**(2005), 4668-4677.
- (5) M. Tabuchi, Y. Nabeshima, T. Takeuchi, H. Kageyama, J. Imaizumi, H. Shibuya and J. Akimoto: J. Power Sources, **221** (2013), 427-434.
- (6) J. Kikkawa, T. Akita, M. Tabuchi, M. Shikano, K. Tatsumi and M. Kohyama: Appl. Phys. Lett., **91** (2007), 054103.
- (7) J. Kikkawa, T. Akita, M. Tabuchi, M. Shikano, K. Tatsumi and M. Kohyama: Electrochem. Solid-State Lett., **11** (2008), A183-A186.
- (8) J. Kikkawa, T. Akita, M. Tabuchi, K. Tatsumi and M. Kohyama: J. Electrochem. Soc., **158**(2011), A760-A768.
- (9) T. Akita, M. Tabuchi, Y. Nabeshima, K. Tatsumi and M. Kohyama: J. Power Sources, **254**(2014), 39-47.
- (10) J. Kikkawa, T. Akita, M. Tabuchi, M. Shikano, K. Tatsumi and M. Kohyama: J. Electrochem. Soc., **156**(2009), A839-A845.

★★

秋田知樹

1998年 大阪大学大学院工学研究科博士後期課程応用物理学専攻修了
1999年 通商産業省工業技術院 大阪工業技術研究所 材料物理部 研究員
2004年～ 独立行政法人 産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門

2015年4月～ 現職

専門分野：電子顕微鏡、ナノ材料科学など

◎様々な電子顕微鏡手法を用いて触媒材料や電池材料の表面・界面研究を行っている。

★★



秋田知樹



田淵光春

Dy を使わない Nd-Fe-B 磁石の開発動向

宝野和博*

1. はじめに

1982年に佐川真人が発明した $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物を主相とするネオジウム磁石は⁽¹⁾、資源的に豊富な Nd と微量の B を含む Fe 基の合金であり、当時先行していた Sm-Co 系磁石よりも安価でより高性能なために、発明後直ちに工業化され高性能磁石市場を席卷した。 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相は飽和磁気分極 $J_s = \mu_0 M_s = 1.6 \text{ T}$ 、結晶磁気異方性エネルギー $K_u \sim 4.4 \text{ MJ/m}^3$ を持つ化合物であり、この相が強く配向した多結晶組織を造り込むことにより、永久磁石として必要な保磁力 H_c (磁石の磁化方向に反対の磁場をかけた時に、磁化反転により磁化がゼロになる磁界の強さ) と高い残留磁化が得られる。ここで μ_0 は真空の透磁率、 M_s は飽和磁化である。磁石をモータや発電機の磁界発生のために使用するとき、磁化に反対方向の減磁界がかかるが、これが H_c よりも高くなると、磁石は減磁されてしまう。そのため、モータや発電機などで使用される磁石は、減磁界よりも高い H_c を持っていなければならない。磁石の保磁力は結晶磁気異方性 K_1 を飽和磁化 M_s で割った異方性磁界 $H_A = 2K_1/\mu_0 M_s$ を物理限界とするが、これはあくまで一斉回転により磁化が進む $5l_{\text{ex}} \sim 20 \text{ nm}$ 程度の欠陥を含まない孤立粒子に対するものである。ここで、 l_{ex} は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の交換結合長である。バルク磁石では、粒子の反磁界を考えると、 H_A の1/3程度を上限とするのが妥当である。 $H_A \sim 7.7 \text{ T}$ の $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物を使った Nd-Fe-B 系市販焼結磁石の保磁力は 1.2 T 程度であるが、微細構造を最適化すれば 2.5 T 程度の保磁力は達成できると期待される。動作中の磁石の性能は最大エネルギー積 $(BH)_{\text{max}}$ と呼ばれる特性で表され、その上限は $(BH)_{\text{max}} > \mu_0 M_r^2/4$ となる。ここで、 M_r は外部磁界の無いときに磁石が持つ残留磁化である。高い $(BH)_{\text{max}}$ を持つ磁石では小さな体積で高い磁力を得ることができるので、磁石を使う機器の小型化が可能となる。例えば、ハードディスクなどの電子機器では小型化が必須となるので、高価であってもネオジウム磁石を使わざるを得ない。

このため、2005年の統計では、ネオジウム磁石の最大の用途はハードディスクドライブのヘッドを駆動するボイスコイルモータであった。

モータや発電機の小型化は省エネ・高効率にも繋がるので、ハイブリッド自動車や電気自動車用の駆動モータでもネオジウム磁石が使われるようになり、近年、ネオジウム磁石最大の用途はモータに置き換わった。この応用分野の拡大により、ネオジウム磁石に新たな技術課題が生まれた。ハイブリッド車の駆動モータでは磁石の動作温度が 200°C まで上がるので、キュリー温度がわずかに 312°C の $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物を使った磁石では保磁力が 0.2 T 程度まで低下してしまい、使用温度で減磁してしまう。このネオジウム磁石の耐熱性の問題を解決するために開発されたのが、Nd の一部を Dy で置換した (Nd, Dy)-Fe-B 系磁石である⁽²⁾。Dy を含まない焼結 Nd-Fe-B 磁石の保磁力が 200°C において約 0.2 T まで低下してしまうのに対して、およそ1/3の Nd を Dy で置換した磁石では、 200°C において約 0.8 T の保磁力が得られる。この保磁力は、モータや発電機が動作しているときに磁石にかかる減磁界よりも高い。但し、Dy と Fe のスピンは反強磁性結合するために、Nd を Dy で置換することにより磁化または $(BH)_{\text{max}}$ の低下を伴う。これまでハイブリッド車の駆動モータ用には、Dy を全体で約8質量%程度使う $(\text{Nd}_{1-x}\text{Dy}_x)\text{-Fe-B}$ 基焼結磁石が使われてきたが、最近になって重希土類元素の資源問題が浮上し、Dy を使わずに高保磁力を得られる Nd-Fe-B 系磁石を開発することが重要な課題となってきた。軽希土類元素の Nd については世界的な資源量は豊富で、2010年に政治問題で一時的に高騰した価格も現在では安定化しており、資源的な観点からも Nd を代替する必要性はない。一方、Dy や Tb などの重希土類元素は資源量が限られる上に、採掘可能な鉱床が中国に偏在しており、これらの元素を使わずに、現在の8質量%Dy含有ネオジウム磁石と同等以上の特性を出す Nd-Fe-B 系磁石の開発は、日本の自動車産業にとって重要である。

* 国立研究開発法人物質・材料研究機構；フェロー，元素戦略磁性材料研究拠点；解析評価グループリーダー（〒305-0047 つくば市千現1-2-1）

Toward the Development of Dysprosium-free Neodymium-Iron-Boron High Coercivity Magnets; Kazuhiro Hono (National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: neodymium-iron-boron, permanent magnet, neodymium magnet, heavy rare earth element, coercivity, critical element

2015年4月8日受理 [doi:10.2320/materia.54.351]

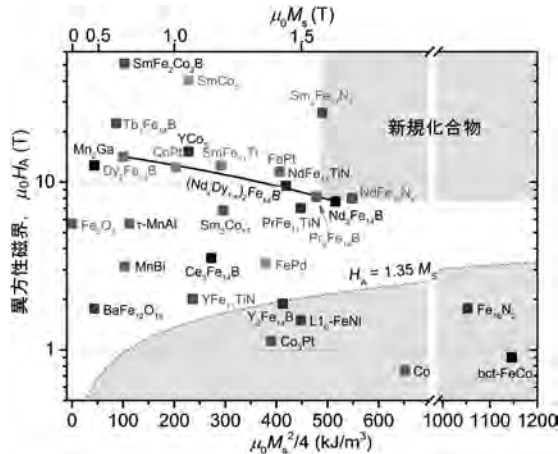


図1 過去の文献で実験的に報告された磁性化合物の異方性磁界($\mu_0 H_A$)と飽和磁化($\mu_0 M_s$), $\mu_0 M_s^2/4$. 微細構造を最適化したバルク磁石で得られる最大の保磁力は概ね $\sim H_A/3$ で, $(BH)_{\max}$ の上限は $0.8\mu_0 M_s^2/4$ が目安となる.

2. 高性能磁石となり得る磁性化合物

このような背景から, Dyのような希少金属の使用量の削減を目指したさまざまな研究が日米欧中で活発に行われるようになってきた. このようなプロジェクトの中には, Dyだけでなく, Ndまでも使わない希土類フリー磁石開発の研究提案も行われている. 図1に主な磁性化合物の異方性磁界 $\mu_0 H_A$ と磁化 $\mu_0 M_s$ ならびに $\mu_0 M_s^2/4$ の関係を示す⁽³⁾. 上述のように微細組織を最適化した場合の保磁力の上限が $\mu_0 H_A/3$, 最大エネルギー積の上限は $\mu_0 M_s^2/4$ となる. バルク磁石で保磁力を得るためには最低10%の非磁性相が必要とすると, 実際の $(BH)_{\max}$ の上限は $\mu_0 (0.9M_s)^2/4 \sim 0.8\mu_0 M_s^2/4$ となる. これらのことを考慮して図1を眺めると, 磁性化合物の物性値から最終的に得られるバルク磁石の特性の最大値を見積もることができる. また, $(BH)_{\max} = \mu_0 M_s^2/4$ の上限を得るための条件が $H_c > \mu_0 M_r/2 \sim 0.9\mu_0 M_s/2$ であることを考慮すると, $H_c < H_A/3$ との条件を同時に満たすのは $H_A > 1.35M_s$ となり, この条件を満たさない領域の化合物は永久磁石としては不適合となる. 新規磁石の開発を考える時に, どの化合物をベースにして磁石を作るかを決めれば, 微細構造を最適化した場合の最大特性はおおよそ予想できる. そのような特性に適した応用分野を想定し, 原料コストとプロセスコストが既存の商用磁石と価格・性能面で競合できるかを判断する必要がある. さらに, 資源量から想定される需要を賄えるかも検討した上で, 新規磁石の研究開発を進めるのが合理的である.

3. 結晶粒微細化によるネオジム磁石の高保磁力化

現在, 工業的に用いられている高性能ネオジム磁石の大部分は, 微細なNd₂Fe₁₄B/Ndの粉を磁場中配向させ固化した

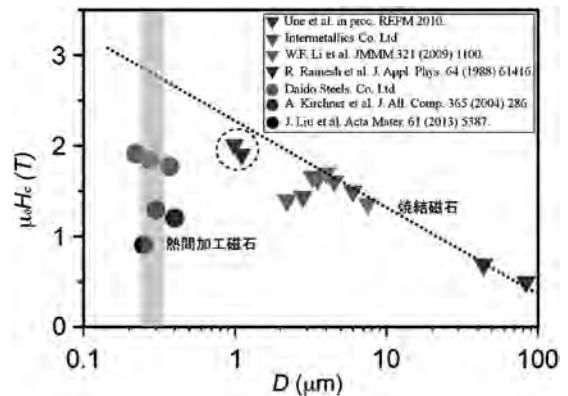


図2 文献に基づいて整理された異方性焼結磁石と熱間加工Nd-Fe-B磁石の保磁力の結晶粒径依存性.

成形体を焼き固めた焼結磁石である. 長年の研究から, ネオジム焼結磁石の保磁力は焼結体のNd₂Fe₁₄Bの結晶粒径の微細化とともに増加することが知られている. 図2は, Dyを含まないNd-Fe-B系焼結磁石と後述する熱間加工磁石の保磁力 $\mu_0 H_c$ の変化を, 過去の文献に基づいて, 結晶粒径に対して整理した図である⁽⁴⁾. Rameshらは焼結磁石において, Nd₂Fe₁₄B結晶が非磁性の結晶粒界相により磁的に分断されているという仮定のもと, 磁性粒子表面における磁区の核生成頻度が表面の欠陥密度に支配されると考え, 保磁力は平均粒径 D の2乗の対数に反比例($1/\ln D^2$)することを導き出し, 実験的にもその傾向を示した⁽⁵⁾. 最近の焼結磁石の詳細な微細構造解析結果によると, Nd₂Fe₁₄B結晶が強磁性粒界相を介して交換結合していることが明らかとされ⁽⁶⁾⁽⁸⁾, Rameshらの仮定が現実の磁石で成立しないことが分かっている. 最近のマクロマグネティクスシミュレーションによれば, 保磁力の粒径依存性は磁化反転した隣接粒子からの漏洩磁界によるものとされている⁽⁹⁾. 図2に示されるように, 焼結磁石の保磁力の結晶粒径依存性は粒径 $3\mu\text{m}$ 以上では実験的に成り立つが, それ以下では結晶粒径の減少とともに急に保磁力が下がり始める. このときの結晶粒径は焼結磁石中の酸素量によって大きく変化することも知られており⁽¹⁰⁾, これは臨界粒径以下で焼結磁石に副相として生成するNdリッチ相の大部分が酸化され, 結晶粒界に均一にNdリッチな相が形成されなくなることに原因があるとされた⁽¹¹⁾. この $3\mu\text{m}$ という臨界粒径はNd₂Fe₁₄B相の単磁区粒子サイズよりも一桁も大きいことから, 焼結磁石の微細化に伴う酸化物形成など微細組織の変化を制御すれば, 保磁力は単磁区粒子サイズまで粒径の減少とともにさらに上昇し続けると考えられた.

最近, 宇根らは, He雰囲気中でジェットミリングを行い, 粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の粉体を作製し, さらに, 酸素量を制御した不活性ガス雰囲気中でプレス焼結を行い, 平均粒径 $1\mu\text{m}$ の焼結磁石で $\mu_0 H_c = 2\text{T}$ の保磁力を達成している(図2破線丸で囲んだデータ)⁽¹¹⁾. このように, 焼結磁石でも超微細粉を作製し, 酸素を厳密に制御したプロセスで焼結磁石を

作製すれば、結晶粒径相応の保磁力が得られることが実験室レベルでは示されている。しかし、 $\mu_0 H_c \sim 2.5 \text{ T}$ を目指すには、Nd リッチ相の酸化を制御して、さらなる結晶粒の微細化と結晶粒界が必要であり、そのためには粒径 $1 \mu\text{m}$ 以下の粉体を厳密に酸素管理した雰囲気で大気に扱う必要となり、その工業的なハードルは高い。

4. HDDR 粉の高保磁力化

結晶粒径 $0.3 \mu\text{m}$ 程度の超微結晶ネオジウム磁石を工業的に製造する方法に、水素不均化脱離再結合 (Hydrogenation- Decomposition- Desorption- Recombination: HDDR) 法と熱間加工法がある。HDDR 法は1989年に武下と中山によって開発された手法であり⁽¹²⁾、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の単結晶粉を水素化させ、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NdH}_2 + 12\text{Fe} + \text{Fe}_2\text{B}$ の不均化反応により3相の超微細組織を形成し、その後、水素脱離再結合反応 $2\text{NdH}_2 + 12\text{Fe} + \text{Fe}_2\text{B} \rightarrow \text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B} + \text{H}_2$ により $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相を再度得る方法である。反応前は単結晶であった $60 \mu\text{m}$ 程度の粉体の中に、初期の結晶と同じ方位を持って配向した 200 nm 程度の超微結晶異方性磁粉を作製できることが HDDR 法の特徴である⁽¹³⁾。この場合、酸素に接触するのは粗大な粉体の表面だけで、 $0.3 \mu\text{m}$ 程度に細分化された結晶粒界は直接酸素に接触しないために、結晶粒界自体は酸化の影響を受けない。このような HDDR 処理を経た磁粉はその微細な結晶粒径により比較的高い H_c を示し、結晶粒が配向しているため、異方性ボンド磁石用原料として使われている。とはいうものの、HDDR 磁粉の保磁力は高々 1.6 T 程度で、焼結磁石の保磁力の結晶粒径依存性を単磁区粒子径にまで外挿した値の半分程度でしかない。つまり、HDDR 磁粉は結晶粒径から期待されるほどの高い保磁力を出していないことになる。これは HDDR 磁粉の結晶粒界が強磁性で、微結晶粒が交換結合しているためであることが示された⁽¹⁴⁾。つまり、結晶粒界を非磁性相に改質すれば、さらに高い保磁力が期待される。このような視点から、Sepehri-Amin ら⁽¹⁶⁾ と三嶋ら⁽¹⁷⁾ は独立に、HDDR 磁粉に低融点の Nd-Cu 共晶合金を結晶粒界に沿って浸透させ、粒間の交換結合を弱めることにより、異方性 HDDR 磁粉でほぼ $\mu_0 H_c \sim 2 \text{ T}$ の保磁力が達成できることを示した。この手法を使った高保磁力異方性磁粉は、マグファインという商標のボンド磁石用原料として愛知製鋼㈱で量産されている⁽¹⁸⁾。しかし、現状の大量生産されている HDDR 磁粉では結晶の配向度が低いために残留磁化が低く、スパークプラズマ焼結した焼結体でも通常の焼結磁石に匹敵する保磁力と残留磁化は実現されていない⁽¹⁹⁾。

5. 熱間加工磁石の高保磁力化

液体急冷法を用いると、 50 nm 程度の等方的なナノ結晶組織を持つ箔帯を得ることができる⁽²⁰⁾。このようなナノ結晶 Nd-Fe-B 合金は結晶磁化容易軸が等方的に分散した等方性

磁石であるので、保磁力は高いが残留磁化が低い中特性のボンド磁石用原料として使用されている。1985年に Lee は、この等方性液体急冷粉の圧粉体を熱間押し出しすると、結晶粒が c 面に扁平に成長すると同時に、c 軸が扁平面の垂直方向に強く配向することを見出し、液体急冷粉を出発材料とした焼結法と異なる異方性磁石の製法を発表した⁽²¹⁾。大同特殊鋼㈱のグループはこの熱間加工磁石の量産に成功し、その微細な結晶粒径から焼結磁石と比べて高い保磁力が得られることを示したが、その保磁力は HDDR 磁石同様、結晶粒の微細さから期待されるほどではなかった。また、母合金の Nd 濃度を上げると 1.8 T 程度まで保磁力の向上が可能であるが、それに伴い磁化が大きく低下してしまう問題があった⁽²²⁾。Sepehri-Amin らは HDDR 磁粉に適応した共晶合金 $\text{Nd}_{70}\text{Cu}_{30}$ を拡散させる方法を熱間加工磁石にも適用し、保磁力を 2.3 T にまで飛躍的に高めることが出来ることを示した⁽²³⁾。また、 $\text{Nd}_{60}\text{Dy}_{20}\text{Cu}_{20}$ 共晶合金を用いることで、保磁力は 2.6 T にまで高められることも示した⁽²⁴⁾。しかし、この方法では結晶粒界に形成する非磁性相の体積分率が增大するために、磁化が著しく低下する。これらの実験はいずれも 2 mm 厚程度の薄板を用いて行われたが、秋屋らは 5.6 mm の厚みの熱間加工ネオジウム磁石に $\text{Nd}_{70}\text{Cu}_{30}$ 合金粉を塗布し、それを 650°C 熱処理することにより共晶合金拡散法が実用的なサイズのバルク磁石にも適応可能であることを示した⁽²⁴⁾。このバルク試料を用いた実験において、試料の体積膨張が c 軸方向にだけ起こることが見出された。これは、共晶合金が粒界に浸透する際に、扁平な結晶の c 面に沿って優先的に Nd-Cu 相が浸透し、その厚みが c 軸方向に増加するためであることが分かった。そこで、共晶合金拡散処理に伴う体積膨張を治具によって拘束し、磁化の減少を最小限に止める膨張拘束共晶合金拡散法が提案された⁽²⁵⁾。

図3に $\text{Nd}_{70}\text{Cu}_{30}$ 共晶合金で拡散処理前の熱間加工磁石、通常に拡散処理した試料、拡散処理中の膨張拘束を加えた上での Nd-Cu を拡散処理したときの熱間加工磁石の減磁曲線。

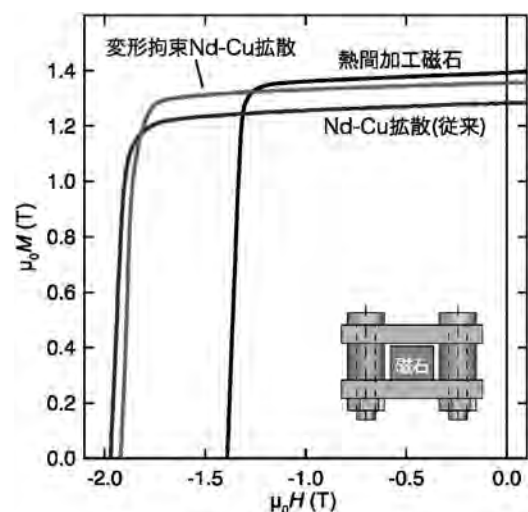


図3 熱間加工磁石とそれに Nd-Cu を拡散処理した試料、さらに膨張拘束を加えた上で Nd-Cu を拡散処理したときの熱間加工磁石の減磁曲線。

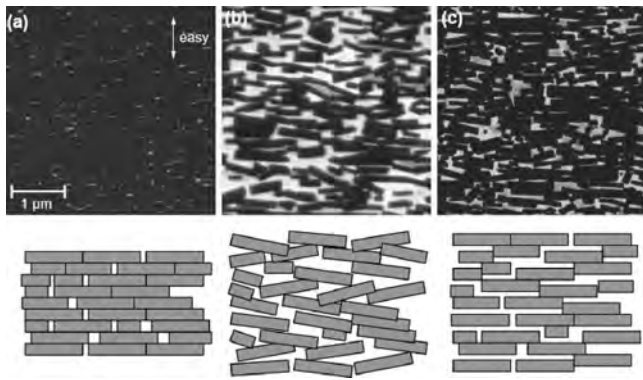


図4 Nd₇₀Cu₃₀合金による拡散処理前後の熱間加工磁石の微細組織の比較. 上段はSEMによる反射電子像, 下段は微細組織の特徴を強調した模式図. 暗く観察されているのがNd₂Fe₁₄B化合物の結晶で, 白く観察されるのがNd. 扁平なNd₂Fe₁₄B粒子の磁化容易軸は扁平な面の垂直方向に向いている. (a)の拡散処理前の磁石では大部分がNd₂Fe₁₄Bの扁平結晶で埋め尽くされていて, Ndは少ししか観察されない. (b)はNd-Cu合金で拡散処理した磁石で, 白いNd(Cu)の量が増えて, これらがNd₂Fe₁₄Bの結晶を覆っている. (c)は膨張拘束を加えて拡散処理した磁石で白いNd(Cu)の量が少ないが, Nd₂Fe₁₄Bは扁平面に垂直な方向でNd(Cu)により分断されている. Nd-Cu拡散処理後は磁化容易軸(easy)が分散するが, 膨張拘束拡散処理後の結晶配向は処理前と同じ程度に改善されている.

試料のそれぞれの減磁曲線を示す. 拡散処理前の熱間加工磁石の保磁力は1.40 T, 残留磁化は1.39 Tである. 通常の拡散処理では, 保磁力は1.97 Tまで高まるが, 残留磁化は1.27 Tまで減少する. 図4は, 熱間加工ネオジム磁石を側面観察した走査電子顕微鏡写真である. この写真で暗く観察されているのがNd₂Fe₁₄Bの結晶で, 白く観察されるのがNdの粒間層である. 図4(a)に見られるように, 拡散処理前では非磁性のNdの比率が少なく, 各磁石粒子が直接接触し, 磁氣的に結合している. 通常の拡散処理後(図4(b))では, 粒界層が扁平な磁石粒子に沿って形成され, 面に垂直方向に厚さが増加する. また, 大量の非磁性合金が浸透するために磁石粒子の配向に乱れが生じ, 8.6%も残留磁化が低下している. つまり, Nd-Cuの拡散処理により耐熱性の指標となる保磁力が増加しても, 磁石の最大エネルギー積が低下する. 一方, 拡散処理による膨張を治具で拘束した場合には, 保磁力が1.92 Tまで高まるが, 残留磁化の低下は1.36 Tに止まっている. これは, 浸透するNd-Cu相の量が適度に抑制され(図4(c)), 同時に磁石粒子の配向も保たれて, 残留磁化の低下も2.6%に抑えられるためである. この熱間加工磁石は結晶粒径が通常の焼結磁石の1/20であることから, 保磁力の温度依存性が焼結磁石と比較すると低いという特徴も確認された.

図5に, 焼結磁石, 熱間加工磁石, Nd-Cuにより膨張拘束拡散処理を施した熱間加工磁石の室温における残留磁化と

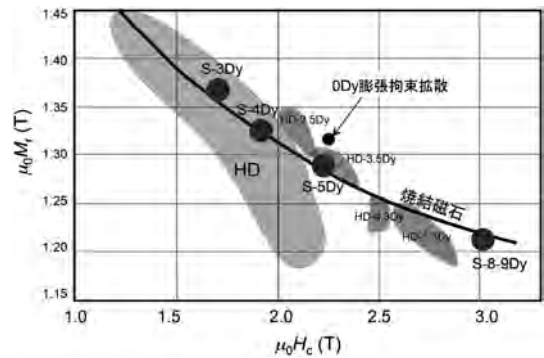


図5 市販焼結磁石と熱間加工磁石(熱間加工ままと膨張拘束共晶拡散処理した試料)の室温における保磁力 μ_0H_c および残留磁気分極 μ_0M_r . 図中HDは熱間加工磁石, Sは焼結磁石を表す. 焼結磁石では保磁力を高めるためにNdのDy置換が必要で, それに伴い残留磁化が低下する. 熱間加工磁石ではNd量により保磁力に幅が出るが, 高保磁力化のためにはNd量を増やすので, それに伴い残留磁化も下がる. 熱間加工磁石でも高保磁力化にはDy置換が有効で, それに伴い残留磁化が下がる. 0% Dy膨張拡散磁石は熱間加工磁石に膨張拘束下でNd-Cuを拡散浸透させた磁石で, 保磁力が焼結磁石比で5% Dy, 熱間加工磁石で3.5% Dy相当であり, 残留磁化はいずれの磁石よりも高い.

室温における保磁力を示している. Nd-Cuの拡散処理を行った熱間加工磁石の保磁力 μ_0H_c は, Dyを5%含む焼結磁石とほぼ同等であり, 残留磁化はそれよりも高い. またほぼ同じレベルの結晶粒径を持つ熱間加工磁石と比較すると, 2.5% Dy含有熱間加工磁石とほぼ同等であることがわかる. ハイブリッド自動車の駆動モータ応用のためには, 200°Cで0.8 Tという8% Dy焼結磁石相当の磁石特性が必要とされているが, この特性は熱間加工磁石の微細組織制御により近い将来達成されると期待される.

6. おわりに

Dyのような重希土類元素量を減らしてNd-Fe-B磁石を高保磁力化する研究は磁石メーカーで盛んに研究され, 焼結磁石にDyやTbを結晶粒界に沿って拡散させる粒界拡散法がすでに実用化されている⁽²⁷⁾. DyやTbは, 資源量は少なくても, 希土類金属が精製される過程で一定量が産出されるので, その範囲内で軽希土類元素とともに有効に使うこと自体には問題はない. 本稿では, そのような現実的な解とは別の視点から, 果たして重希土類元素を全く使わずにどこまでNd-Fe-B磁石の高保磁力化が可能か, また一般に高保磁力化に伴い起こる磁化の減少をどこまで抑えることができるか, という観点から行われた研究を中心に紹介した. 焼結磁石の1/20程度の超微細結晶粒を容易に得られる熱間加工磁石を基に, Nd-Cu共晶合金による膨張拘束拡散処理で結晶粒界に沿った非磁性層を形成し, 残留磁化の減少を最小限に抑えながら, 5%のDyを含む焼結磁石と同等の保磁力が

ステンレス鋼における稀少資源使用量削減と高機能化の同時実現と今後の展望

秦野正治*

1. はじめに

ステンレス鋼は耐熱性や耐食性に優れた鉄鋼材料であり、自動車や家電、厨房、建材から石油、化学プラントをはじめとするエネルギー分野にも幅広く使用されている。図1には、ISSF 統計に基づいた2013暦年のステンレス粗鋼生産実績を示している⁽¹⁾。近年、世界のステンレス粗鋼生産量は3,500万Mgを超える。これらステンレス鋼は、CrとNiを添加したオーステナイト(γ)系、Niをほとんど含有しないフェライト(α)系に大別される。ここで、 γ 系はSUS304(18%Cr-8%Ni)とSUS316L(18%Cr-12%Ni-2%Mo)に代表される。特にSUS304は、その発明以来1世紀を経た現在も、世界のステンレス生産量で約40%を占める汎用鋼である。

現在、ステンレス鋼の原料であるCrやNi及びMoは、我が国においてレアメタルに指定され、国家備蓄7鉱種に選定されている。2008年のリーマンショック以降、これらレアメタルの安定供給には不安があり、産業界ではその削減と有効利用が社会的な要請といえる。

本稿では、上述の社会的背景を踏まえ、NiやMoの削減

を志向したステンレス鋼の開発を概観し、Snを有効利用してCrの節減をも実現したSn添加ステンレス鋼の開発要素について解説する。更に、今後の展望として、水素エネルギー分野へのステンレス鋼の適用と耐水素脆性に優れた省資源型ステンレス鋼の検討状況についても言及したい。

2. 省資源型ステンレス鋼の方向性

これまで、NiやMoの価格高騰⁽²⁾を背景として、SUS304やSUS316Lの代替材料が種々検討・開発されてきた。図2は、SU304やSUS316LからのNiやMoの削減による省資源型ステンレス鋼開発の方向性を示している。その主たる方向性としては、(1)Niの一部をMnで置換したCr-Mn-Ni型の γ 系ステンレス鋼(図2①)⁽³⁾、(2)Nを多量に添加してNi量を低減し、Mo量をほとんど無添加としたLean型の2相ステンレス鋼(図2②)⁽⁴⁾、(3)Niをほとんど添加しない α 系ステンレス鋼(図2③)が挙げられる。Cr-Mn-Ni型の γ 系ステンレス鋼は、インドや中国で200系ステンレス鋼として使用されている。Lean型の2相ステンレス鋼は、欧州において開発・普及が先行している。最近、日本においても溶接性を改善した新たなLean型の2相ステンレス鋼(21%Cr-2%Ni-3%Mn+Cu+N)が開発され⁽⁵⁾、その適用が進んでいる。



図1 世界のステンレス粗鋼生産実績。



図2 省資源型ステンレス鋼開発の方向性。

* 新日鐵住金ステンレス株式会社研究センター； 上席研究員(〒743-8550 光市島田3434)
Simultaneous Realization of Reducing Amount of Rare Metals (Ni, Mo and Cr) and Technical Advantages in Novel Stainless Steel and Future Prospects of the Materials; Masaharu Hatano(Nippon Steel and Sumikin Stainless Steel Corporation, Research & Development Center, Hikari)

Keywords: stainless steel, corrosion resistance, surface hot-shortness, tin-containing stainless steel, lean duplex phase stainless steel, rare metals saving

† 本稿においては、ステンレス鋼の構成成分比は質量%にて示す。
2015年3月2日受理[doi:10.2320/materia.54.356]

α 系ステンレス鋼は、原料の経済性と精錬・製造技術の進展から日本を中心に開発され、最近では海外にまでその適用が拡大している。中でも、高純度 α 系ステンレス鋼は、CやN等の不純物元素を低減し、NbやTiの安定化元素を添加して耐食性と加工性を高めたステンレス鋼である。実際、19~21%Crを含む高純度 α 系ステンレス鋼(SUS430J1L⁽⁶⁾及びSUS443J1⁽⁷⁾)はSUS304の代替材料として採用されている。

3. Sn添加ステンレス鋼の開発

(1) 従来の技術常識と省Cr型ステンレス鋼の開発経緯

2章で述べた通り、高純度 α 系ステンレス鋼は、日本の精錬・製造技術を駆使した主要な省資源型ステンレス鋼といえる。図3は、代表的な高純度 α 系ステンレス鋼の開発と合金添加量の概念図である。高純度 α 系ステンレス鋼は、使用される腐食環境に応じてCr量を添加することに加え、更にMoや微量のCu等を添加することで耐食性の向上を図っている。すなわち、(Cr+Mo)量を高める高合金化は、耐食性向上の技術常識となっている。微量添加元素として、CuやNiはNbやTiの安定化元素としての役割に加えて、耐食性の向上に利用されてきた。このように従来、高純度 α 系の耐食性向上は高合金化に頼るところが大きく、基本構成元素であるCr量そのものを節減する着想とアプローチは、2010年まで顧みられてこなかった。そこで著者らは、上述した高純度 α 系の潮流の中で、高合金化に依らず、微量のSnを添加するという工業的には前例の無いアプローチによって、Cr量の節減を志向した高純度 α 系ステンレス鋼(Sn添加ステンレス鋼)を開発した⁽⁸⁾。当社では、微量のSn添加を特徴として、SUS430LX(17%Cr)ならびにSUS430J1L(19%Cr)から各々Cr量を節減したNSSC®FW1(14%Cr+Sn)とNSSC®FW2(16%Cr+Sn)を実用化するに至った。

Sn添加ステンレス鋼の開発は、大きく2つの技術的な開発要素を持つ。1つは、微量のSn添加による耐食性の発現効果である。一方でSnは、鉄鋼材料において製造性を阻害する代表的な元素として位置付けられ、熱間加工割れ(表面

赤熱脆性)を誘発させることもよく知られている⁽⁹⁾。そこで2つめの不可欠な開発要素は、Sn添加を可能とする熱間加工割れ抑制機構の解明にある。以下に、2つの開発要素について実験室の小規模溶製で検討した結果を(2)及び(3)で少し詳しく述べる。

(2) Sn添加による耐食性の発現

自然環境の耐食性は、Pourbaixダイアグラムに代表される酸化性/還元性の指標となる電位と、酸性/アルカリ性を示すpHで記述することができる。Snは、Pourbaixの電位-pH図から、ステンレス鋼の基本構成元素であるCrと比較して、腐食しない不動態域の広い元素である。そのため、Snの添加は、高純度 α 系ステンレス鋼の耐食性向上にも寄与するものと着想した。

図4は、微量のSn添加により耐食性の向上を見出した代表的な実験結果である⁽⁸⁾。実験条件は、353 K、0.5質量% NaCl水溶液中 6.05×10^2 ksの浸漬とし、14%Cr鋼で腐食の発生状況に及ぼすSn添加の影響を評価している。これより、14%Cr鋼で観察される発錆や孔開きは、0.05%から0.1%のSnの添加により抑制されていることが分かる。このような実験結果に基づいて、中性塩化物水溶液中において、0.1%程度の微量Sn添加による耐食性の発現効果を明らかにした。

ステンレス鋼表面の耐食性機能は、膜厚数nmの(Cr, Fe)₂O₃からなる不動態被膜が担っている。図5は、Sn添加ステンレス鋼の水溶液中での不動態被膜の形成過程について

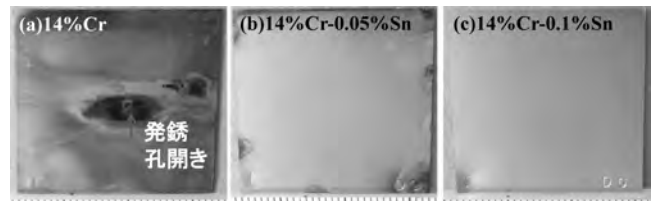


図4 353 K、0.5% NaCl水溶液中 6.05×10^2 ks浸漬後の外観。(a)14%Cr (b)14%Cr-0.05%Sn (c)14%Cr-0.1%Sn
試験片：30 mm角×0.5 mm厚、表面：湿式#600 研磨仕上げ

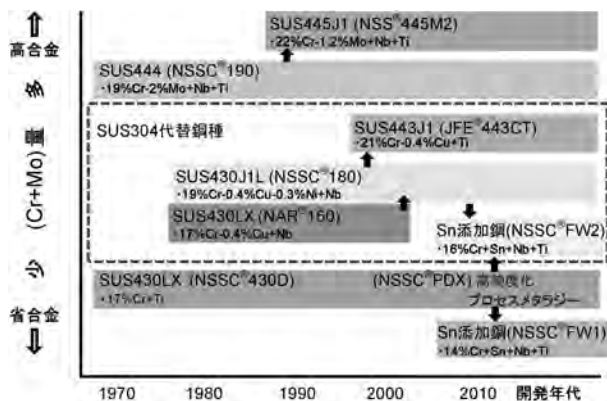


図3 高純度 α 系ステンレス鋼の開発と合金添加量。

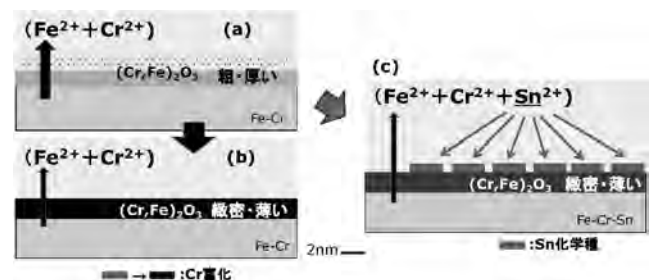


図5 微量のSnの添加による耐食性向上メカニズムを推測した概念図：(a)低Cr鋼、(b)高Cr鋼、(c)低Cr鋼への微量Snの添加。

て、電気化学インピーダンススペクトルなど各種電気化学試験の解析結果⁽¹⁰⁾により推定したものである。通常、14%程度の低Cr鋼では、保護性のある緻密な不動態被膜が形成され難く、水溶液中において素地から Fe^{2+} や Cr^{2+} が溶出し易いために腐食が進行する(図5(a))。高Cr鋼の耐食性は、Cr量に富む緻密な不動態被膜が形成されることにより発現すると、従来は考えられてきた(図5(b))。ステンレス鋼への微量のSnの添加は、水溶液中においてSnの化学種(Sn^{2+} と推定)が表面に吸着して素地の溶解を抑制する効果をもたらす(図5(c))。つまり、低Cr鋼でも、微量のSnが素地の溶解を抑制する過程で、不動態化を促進することにより耐食性が発現しているものと推察される。

(3) 熱間加工割れの抑制メカニズム

ステンレス鋼の製造では、電気炉溶製においてスクラップを主要な鉄源とする。その場合、SnはCuとともに代表的なトランプエレメントであり、普通鋼では0.1%未満の極微量の介在で熱間加工割れを助長する⁽⁹⁾。著者らは過去に、 α 系ステンレス鋼におけるCuやSnによる熱間加工割れは普通鋼と比較して極めて生じ難いことを明らかにしている⁽¹¹⁾。

図6は、過去の研究成果に基づいてCuやSnによる熱間加工割れ抑制の考え方を説明するために、熱間圧延プロセスの加熱後に生成した酸化層と地鉄界面の模式図を示している。熱間圧延プロセスでは、熱間圧延に先立ち鋼材(スラブ)を1373~1523 Kで長時間加熱する。普通鋼の場合、鉄よりも貴なSnはCuとともに酸化されずに地鉄界面及び表層に濃化して低融点化合物を生成し、熱間圧延の際に結晶粒界を起点に表面割れを誘発する。一方、 α 系ステンレス鋼では、表面割れを誘発するCuやSnの合金相は出現し難く、出現しても酸化層中に取り込まれ易いという特徴を有している。前者は加熱時における地鉄の結晶構造(BCC, FCC)に起因し、後者はステンレス鋼特有の酸化挙動に帰着する。つまり、 α 系ステンレス鋼(BCC)の場合、CuやSnの拡散係数は普通鋼(FCC)と比較して1~2桁大きく、CuやSnの濃化は地鉄への拡散により抑制される。更に、熱間圧延が行われる程度の温度下で進む高温酸化の場合、ステンレス鋼は元々の地鉄界面を境界にして、Feの外方拡散による外層スケールに加えて、Crの内部酸化に伴う内層スケール($(Fe, Cr)_3O_4$)も成長する。一方、普通鋼では、鉄の外方拡散による外層スケール(FeO)に限られる。従って、CuやSnの合金相が出現

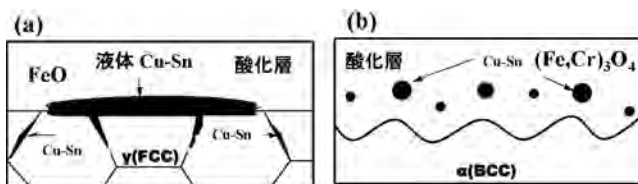


図6 熱間加工割れ抑制の考え方-熱間圧延のための加熱後の酸化層と地鉄界面の概念図：(a)普通鋼、(b) α 系ステンレス鋼。

しても、このようなステンレス鋼特有の内層スケール中に残留することで無害化される。

以上から、 α 系ステンレス鋼での熱間加工割れ抑制メカニズムは、BCC母相中へのCuやSnの拡散・希釈、およびスケールの内方成長による内層スケール中へのCuやSnの残留によって、地鉄表面へのCuやSnの濃化が抑制されることよると提唱した⁽¹¹⁾。

上述した熱間加工割れ抑制メカニズムについて、Sn単独添加を特徴とするSn添加ステンレス鋼(14%Cr-0.1%Sn)で検証した結果を示す。図7は、同鋼に対する1373 K下での3.6 ksにわたる加熱で生成した地鉄界面近傍のSEM像及びO, Sn, CrのEPMAマッピング像である。地鉄界面近傍は、Crの内部酸化物と金属相の混合構造からなる複雑な形態を有している。ここで、Snの濃化に対応する高輝度なコントラストは、内部酸化物やメタル中にも認められない。このように、地鉄表面への濃化や内層スケール中へのSnの残留は見られなかった。このような実験結果から、Sn添加ステンレス鋼における脆化抑制は、Cuとの複合添加の場合よりもBCC母相中へのSnの拡散・希釈作用に基づくところが大きいといえる⁽¹²⁾。

(4) 開発鋼NSSC®FW2の利用技術

当開発鋼では、上述したように、Sn添加による耐食性の発現効果と熱間加工割れの抑制機構に基づいて、従来技術では為し得なかったCr量の節減を工業生産プロセスで実現した。更に、同鋼はこれまで高純度 α 系ステンレス鋼で培ってきた高純度化精錬技術やプロセスメタラジを駆使して、業界最高水準の高加工性を兼備している。

図8は、当開発鋼の4段円筒深絞り後の外観を示している。SUS304では、同条件の3段円筒深絞り後に時期割れを

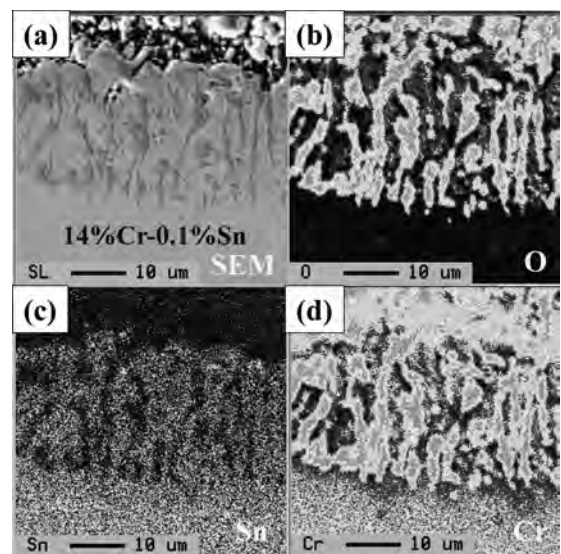


図7 1373 K下で3.6 ks加熱した14%Cr-0.1%Snステンレス鋼における(a)地鉄界面近傍の微細組織、(b)Oの分布、(c)Snの分布、(d)Crの分布。

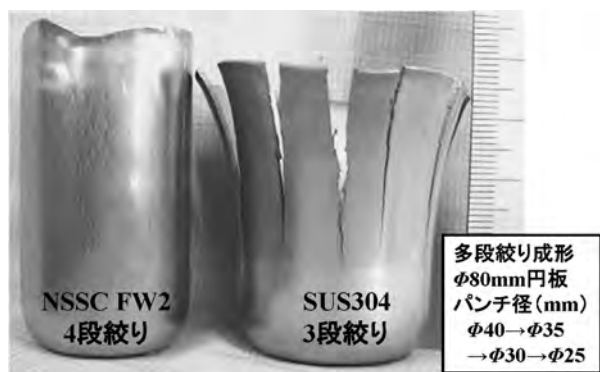


図8 円筒深絞り加工後の外観：(左)開発ステンレス(NSSC® FW2)，(右)従来ステンレス鋼(SUS304)。

発生する。このような γ 系ステンレス鋼の時期割れは、加工誘起マルテンサイト変態を伴う加工硬化による残留応力の増大が主たる要因と考えられている⁽¹³⁾。開発鋼は、軟質且つ r 値[†]向上のプロセスメタラジー⁽¹⁴⁾を志向して、深絞り加工性を高めている。同鋼のような高純度 α 系ステンレス鋼では、深絞り加工性を利用して塑性変形モードを最適化していくことが、SUS304の代替材料としての適用拡大に有効である⁽¹⁵⁾。

4. 今後の展望

昨今、水素をエネルギーの輸送・貯蔵媒体として活用する水素エネルギー社会の構築に向けて、様々な研究開発が推進されている。実際、水素を燃料として発電する家庭用燃料電池(エネファーム®)は累計10万台を超え(2014年9月)、水素ステーションの建設と燃料電池自動車(FCV)の市販開始も現実のものとなった。これら用途では、耐熱性と耐食性に優れた γ 系ステンレス鋼が幅広く使用されている。

特に、水素ステーションやFCVで高圧水素ガス環境に曝される部材には、水素の影響を受けにくい耐水素脆性が必要とされる。SUS316Lや12%以上のNiを含有するSUS316は水素の影響を受けにくい代表的なステンレス鋼であり、高圧水素ガス環境下において様々な材料特性データが採取されてきた⁽¹⁶⁾。現在、これらステンレス鋼については、水素ステーションやFCV等で使用することが例示基準化されている⁽¹⁷⁾。

当社は、ステンレス専門会社として発足以降(2005年～)、新日鐵住金(株)との共同実施の下、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトに参画し、耐水素脆性に優れた省資源型 γ 系ステンレス鋼の研究開発に取り組んできた。これまでのプロジェクト研究成果として、SUS316Lと比較してNiの添加量を半分以下に低減させて、Mo量を無添加とした15%Cr-9%Mn-6%Ni-2.5%Cu鋼(以

[†] r 値：塑性歪比、この値が大きいと板の幅方向の歪が大きくなり、板厚の減少が抑制される。

下、STH1)やSTH1に0.2%程度のNを添加して高強度化を志向したSTH2を水素エネルギー用材料として提案するに至っている⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾。

5. おわりに

ステンレス鋼は耐熱性や耐食性に優れた材料であり、エネルギー材料分野における重要な基礎素材である。本稿では、SUS304など汎用 γ 系ステンレス鋼をベースとした省資源型ステンレス鋼として、高純度 α 系に着目した開発経緯と最近開発したSn添加ステンレス鋼の技術要素を解説した。また、来るべき水素エネルギー社会の構築に向けたステンレス鋼の適用と、水素エネルギー用省資源型ステンレス鋼の研究成果についても紹介した。本稿がステンレス鋼の材料開発の進展と理解の一助となり、将来、エネルギー材料分野における稀少金属元素の削減と有効利用へ繋がれば幸いである。

<記事中の略号> BCC：body centered cubic，体心立方格子
FCC：face centered cubic，面心立方格子

文献

- (1) International Stainless Steel Forum 2013 Media Release, 18 March 2014の統計値から作成。
- (2) Stainless Steel Prices & Nickel News: <http://www.estainless-steel.com/stainless-steel-news.shtml>
- (3) R. A. Lula: High Manganese High Nitrogen Austenitic Steel (1993), 229.
- (4) M. Benson: Stainless Steel World 2005, Houston, USA (2005), 171.
- (5) Y. Oikawa, S. Tsuge and H. Kajimura: CAMP-ISIJ 12, (2011), 978.
- (6) 松橋 透，高橋明彦，梶村治彦：新日鐵技報，**389**(2009)，20-25.
- (7) 石井和秀，石井知洋，太田裕樹：JFE 技報，**20**(2008)，10-15.
- (8) 秦野正治，松山宏之，石丸詠一郎，高橋明彦：まてりあ，**51**(2012)，25-27.
- (9) 柴田浩司，国重和俊，秦野正治：ふえらむ，**7**(2002)，18-21.
- (10) 松山宏之，平出信彦，松橋 透，梶村治彦，原 信義：材料と環境2012講演集，B-308，(2012)。
- (11) 秦野正治，国重和俊：鉄と鋼，**90**(2004)，134-139.
- (12) M. Hatano, E. Ishimaru, A. Takahashi and M. Kobayashi: CAMP-ISIJ, **24**(2011), 403.
- (13) 住友秀彦：塑性と加工，**17**(1976)，891-898.
- (14) A. Takahashi, K. Kimura and J. Hamada: Proc. IF Steels 2003, (2003), 202-211.
- (15) 石丸詠一郎，高橋明彦，小野直人：新日鐵技報，**389**(2009)，26-32.
- (16) NEDO「水素社会構築共通基盤整備事業」H17~H21成果報告書，(2010)。
- (17) 山田敏弘，小林英男：高圧ガス，**49**，10(2012)，29-37.
- (18) 秦野正治，高橋明彦，松本和久，藤井秀樹，大宮慎一：燃料電池，**12**(2013)，70-74.



秦野正治

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1995年 早稲田大学大学院修士課程材料工学専攻修了
住友金属工業株式会社入社
2003年10月 新日鐵住金ステンレス株式会社転籍-現職
2005年10月 博士(工学)
専門分野：材料工学，高温腐食，水素脆性
◎鉄鋼材料の表面赤熱脆性に関する基盤研究，ステンレス鋼の材料開発とプロセスメタラジーに従事。
最近，ステンレス鋼の水素脆化研究を中心に活動。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

測定の不確かさ評価について

—2. 不確かさの算出手順 1—

城野 克広*

はじめに

前回から4回に渡り、測定の不確かさについて解説しております。第1回は「不確かさとは何か」、今回と次回は「不確かさの算出手順」、第4回に「不確かさの活用」についてお話していきます。今回は、不確かさの一番大切なルールからお話して、平均値と標準偏差の関係までを解説していきます。

2・1 2乗して足す

図2.1をご覧ください。今、私の財布に1000円ほど入っているとします。ですが、1000円だったか、1300円だったか、900円だったか定かではありません。1000円がおおよそその値としても、200円くらいのずれは驚くには値しません。

その財布をもって、本屋で本を購入します。本は600円のような気もするのですが、700円だったか、あるいは400円だったか、あいまいです。600円がおおよそその値としても、150円くらいのずれはあってもおかしくなさそうです。

そして、本を購入したのち、焼きいも屋さんと出くわしました。焼きいもはひとつ200円。購入できるなら、ぜひ食べたいところです。財布の中身を確認すればよいのですが、たった200円のために財布の中身を確認するなんてプライドが許しません。

さて、この場合、焼きいもの購入に踏み切ってよいものでしょうか？

前回の解説で「あいまいな情報が複数あるとき、それらの両方が関係する事象についての確率を導き出すことは実は困難な問題」と述べました。つまり、上のクイズの厳密な答え

は「検討もつかない」です。情報が不十分で決定的なことは言えません。

しかし、前回お話したように、そこをなんとかしてやろうというのが不確かさなのです。不確かさ評価の世界では、2つのあいまいな情報をまとめて上げるやり方は1つに決まっています。それは「2乗して足す」ということです。

もう少し具体的に言いますと、「普通のずれ」を2乗して足し、正の平方根を取ります。そうしますと、最終的に知りたい値の「普通のずれ」が求まるのです。（この「普通のずれ」は統計学で言う標準偏差のことです。それについては次節にて。）

上の例に適用してみましよう。財布にはざっと1000円。普通のずれが200円あります。そこから、600円くらいの本を購入。本の値段も150円ほどは普通にずれています。財布の残額はおおよそ1000円-600円=400円。この400円の普通のずれを上の方法で求めましよう。

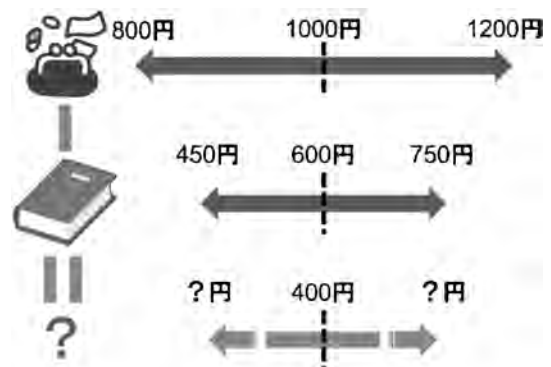


図2.1 「普通のずれ」が分かっている2つの数の差の「普通のずれ」はどのくらいか？上の場合、 $800 - 750 = 50$ 円から $1200 - 450 = 750$ 円ではない。

* 産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門主任研究員(〒305-8565 つくば市東1-1-1) Things about Measurement Uncertainty—2. How to Evaluate It ? (1/2)—; Katsuhiko Shirono (National Institute of Advanced Science and Technology (AIST), Tsukuba)
Keywords; *uncertainty, guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*
2014年6月4日受理[doi:10.2320/materia.54.360]

計算しますと、(200円の2乗)+(150円の2乗)=62500円²=(250円の2乗)です。つまり、財布に残っているお金はおおよそ400円です。しかし、250円多い650円でも飛び上がって喜んだりもしないし、逆に250円少ない150円でも悲嘆にくれるようなことではありません。

残額が150円というのが普通にあることなら、200円のやきいもを購入するわけにはいかないでしょう。ずいぶんおおよさばな話ですが、一応結論を出すことができました。やきいもが食せないということは残念ではあるものの、意思決定という観点からは、「検討もつかない」よりだいぶんましと言えましょう。

この「2乗して足す」は、不確かさ評価を考える上で、最も重要な約束です。ぜひ、覚えておいてください。今回は2つしか不確かな要因は有りませんでした。これが3つでも4つでも同じことです。「2乗して足す」が基本なのです[†]。これは、誤差の伝ば(でんば)則にならって、**不確かさの伝ば則**と呼ばれています。

とは言え、2つ不確かな数があったら、それらを足したくなるのが人情ではないでしょうか。上の例で言えば、200円と150円を足して350円を普通のずれと考えたくなるかも知れません。どうして足してはいけないのでしょうか。

200円と150円を足すということは、財布の中身はおおよそその金額より200円多く、そして本の値段は150円安いことを想定している、あるいは、その逆(財布の中身は200円少なく、本の値段は150円高い)ということになります。前者は二つの不確かな値がともに財布の中身を大きくする方を考えており、後者は小さくする方を考えているわけです。

これはカジノでルーレットを2回続けて回したとき、(赤, 赤)か(黒, 黒)が出るのを想定しているようなものです。ところが、それ以外の場合、(赤, 黒)や(黒, 赤)の可能性もあるわけです。

赤2回や黒2回なら、簡単に目撃できる気もします。しかし、5つ不確かな要因があったらどうでしょう。それらのずれを単純に足すということになれば、これはルーレットで5回連続赤かもしくは5回連続黒が出るのを想定しているようなものです。この確率はわずかに16分の1。これは「普通の」確率とは言えないでしょう。

[†] きちんとした説明は難しいのですが、2乗が出てくることを計算結果から見てみたいと思います。財布の中身について、普通のずれのうちで最も多い場合(1200円)と少ない場合(800円)を考えます。本の値段についても、最も安い場合(450円)と高い場合(750円)を考えます。ここで起こり得る4つのパターンを考えてみましょう。

①財布の中身：1200円、本の値段：450円→750円

②財布の中身：1200円、本の値段：750円→450円

③財布の中身：800円、本の値段：450円→350円

④財布の中身：800円、本の値段：750円→50円

この4つの場合での平均的な値400円からのずれ(+350円, +50円, -50円, -350円)を2乗して、平均を取ってみましょう。これが、250円の2乗、つまり残額400円の普通のずれの2乗、になるのは決して偶然ではありません。2乗して足すことで、色々なパターンを考慮した結果としての普通のずれが求まるのです。

つまり、ひとつひとつの普通のずれをただ足してはいけないのは、それらが同じ方向にずれるということが普通に起きることではないからなのです。なぜ2乗するのかはさておき、なぜ足してはいけないかは何となく分かっていたかもしれませんか？ずれそのものではなく、その2乗を計算にうまく使うということは、不確かさ評価ではよく出てきます。ぜひ慣れていただきたいと思います。

2・2 標準偏差のミステリー

先の節で「普通のずれ」、「普通のずれ」と言ってきたものは、正しくは**標準偏差**と呼ばれるものです。数学嫌いの方は、こういう難しそうな単語が出てくるだけでぎょっとするかも知れませんが、これは普通(=標準)のずれ(=偏差)という意味でしかありません。具体的にはどういうものなのか確かめていきましょう。

例えば、ある長さの3つの実験データとして、(110 cm, 120 cm, 130 cm)という値が得られたとします。この平均は120 cmです。ずれはどのくらいかと考えると、110-120=-10(cm), 120-120=0(cm), 130-120=+10(cm)ということになります。

標準偏差は普通のずれですから、この3つの平均を計算したくなります。もちろん、平均というのは、データを足し算して、データの個数で割った値のことです。この場合は、(-10+0+10)/3=0(cm)ということになります。すなわち、標準偏差はゼロということに……なりません。

それはそうでしょう。ばらつきが一定程度あるのに、普通のずれはゼロというのではいかにも不合理です。これは、110, 120, 130という組み合わせだからそうなるのではなく、上の手続きを踏めばいつでもゼロになります。標準偏差とは「ずれの平均」ではないのです。

それではどうしたものか…。「2乗したらいいんじゃないか？」と考え付いた方は、かなり統計学のセンスがあると言えます。実際、そのようにするのが良い結果を生むのです。

-10 cmの2乗は+100 cm², 0 cmの2乗は0 cm², +10 cmの2乗は+100 cm²です。すべての値が正ですから、これらの和は幸運なことにゼロにはなりません。和を3で割って平均をとりますと66.6 cm²ですね。

ただ、そもそもは長さの話をしていたはずなのに、最終的に長さの2乗、つまり面積の単位になっているのはいかなものなのでしょう？やはり、ここは正の平方根を取っておいてあげましょう。これでようやく標準偏差8.2 cmが求まります。3つずれが-10, 0, +10 cmでしたから、それっぽい数値になったのではないのでしょうか？

なんとか求まった…と思って安心した方には驚かすことになり、申し訳ありません。なんと、この話はウソです。実験データ(110 cm, 120 cm, 130 cm)を持っているとき、標準偏差を計算すると8.2 cmにはなりません。ではいくらになるか？これは10 cmになるのです。

上の話のどこかに間違いがあります。このミステリーの犯

人は、ミステリー・ドラマのセオリー通り、一番目立つ俳優ではありません。つまり、「2乗をする」というところはシロです。この手続きに問題はありません。

2時間の刑事ドラマですと、捜査が行き詰ったときに、家族の話題なんかが入り込んで、それが事件を紐解くヒントになりますよね。ここでも、ヒントになる挿話を挟んでみましょう。

主人公である刑事の娘さんの学校での成績がかんばしくありません。主人公は娘さんに、今度のテストで平均点よりもいい点を取ったら、ゲームを買ってあげるという約束をします。けれども、娘さんのテストの点は、またも学年平均の60点を下回る50点。ゲームで釣ってもだめか…と思っていたところ、娘さんは、「学年の平均の60点よりは悪かったけども、私が50点で、隣の家の太郎くんは30点、向いの家の次郎くんの点数は40点だから、うちのご近所の子の平均点は40点じゃない。私はこの近所じゃ頑張っている方だよ。ゲーム買ってくれてもいいじゃない!」などと言い出します。

まったく…ご近所の子の平均点ってなんだよ…。学年の平均と比べると決まっているだろう。…待てよ。平均点…平均…そういえば、あの事件にも平均が関わっていたな。

さて、お察しになったでしょうか？先のミステリー、最初の方にしれっと登場した「この平均は120cmです」が犯人なのです。この120cmが本当の平均なのか？ということ突き詰めて考えて下さい。よくよく考えれば、120cmは(110cm, 120cm, 130cm)という限られた3つの値の平均値でしかありません。これは言うなれば、ご近所の子の平均点みたいなものなのです。

では、学年の平均点みたいなものとはいうと、測定においては実験を何十、何百、何千…理論的には無限回繰返したときの平均値ということになります。もちろん、これは知りようがありません。

統計学においては、本当の平均のことを**母平均**と言います。限られた数の得ることができた値の平均のことを**標本平均**と言います。母平均からのずれと、標本平均からのずれは

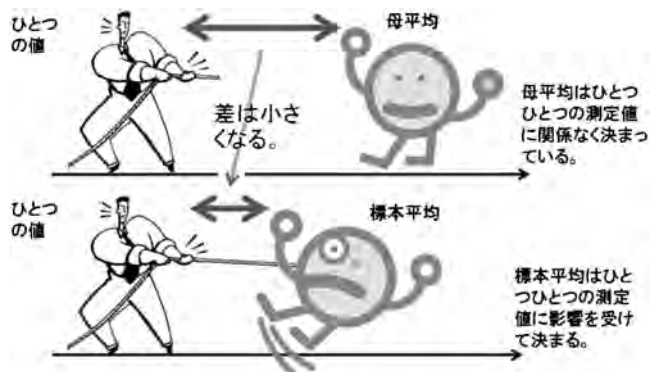


図2.2 母平均と標本平均とひとつの値の関係。簡単に言うと、「ひとつの値と母平均の差」より、「ひとつの値と標本平均の差」の方が、その大きさが小さくなりやすい。

異なります。図2.2に示したように、ひとつひとつの値が大きくても小さくても母平均は決まりきった値で、変化しません。一方で、標本平均の方はそうはいきません。ひとつの値が大きければ、それを使って計算する標本平均は、つられて大きくなります。このため、簡単に言うと、母平均からのずれよりも、標本平均からのずれの方が小さくなりやすいのです。

どのくらい小さくなるかという、標本平均からのずれの2乗を全てのデータについて足した和が、標準偏差の2乗を(データ数-1)倍した大きさになるくらい小さくなるのです。データ数ではなく、(データ数-1)となっていることが、少し小さくなっていることに対応しています。このことを使ってあげれば、標準偏差をうまく計算することができます。

つまり上の計算の過程で、「和を3で割って平均をとりますと66.6cm²ですね。」というところを、「和を2(=3-1)で割りますと100cm²ですね。」とすれば、正しい手順になるということです。いわば、先のミステリーの結末は「この平均は120cmです」が首謀犯で、「和を3で割って」が実行犯ということでしょう。100cm²の正の平方根は10cmです。これを標準偏差とするのが通常の手順なのです。

これはひとつの値が母平均からどのくらい離れているかの基準を与えてくれます。これを使って、どうやって繰返しの値のばらつきを表していくかについては、もう少し考えなくてはいけないことがあります。それについては次節にて。

2.3 平均値の標準偏差

前節では、標準偏差の計算の仕方について説明しました。標準偏差とは、「ある確率で現れる値のひとつひとつが、普通のどのくらい母平均からずれるか」という指標です。要するに普通のずれということでしたね。

ところで、1回の実験の値を報告することもあると思いますが、数回にわたっての平均値を報告することも多いと思います。その時の平均値というのは、どういうばらつきをもっているのでしょうか？

何を言っているのかちょっと伝わりづらいかも知れませ

† 一応の理由を説明し(ようとして)みましょう。

ずれの2乗和にどれほどの情報が含まれているかを考えてみましょう。本文中でみたように、ずれにはすべて足すと必ずゼロになるという制約が必ずあります。この制約から、1つのずれが欠けても、それを復元することができると分かります。ということは、データ数を N とすると、標本平均からのずれは N 個あるけれども、それが持っている情報は $(N-1)$ 個分ではないのです。

本文に記したように、ずれの2乗和は標準偏差の2乗の N 倍より小さくなります。どのくらい小さくなるか？実は、そのずれの持っている情報の量に比例して小さくなります。つまり、ずれの2乗和は標準偏差の2乗の $(N-1)$ 倍の大きさになっているのです。

これがよくされる一応の説明です。ただ、私自身がピンときていませんし、この説明で分からなくてもお気になさらずに。ちなみに、ずれにどれだけ制約がかかっていないかという意味で、(データ数-1)のことを**自由度**と呼びます。

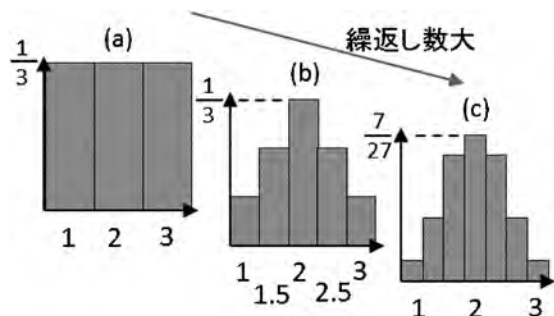


図2.3 1と2と3が等確率で現れる場合の (a) 1回の測定の結果の確率分布, (b) 2回繰返しの平均の確率分布, (c) 3回の繰返しの平均の確率分布. 縦軸はその値となる確率. 範囲は1から3で変わらないが, 繰返しが増えると分布が鋭くなる.

ん. 具体的な数値で考えていきましょう. 数値の1と2と3がそれぞれ3分の1の確率で現れる場合を考えてみましょう. どの数値がどれだけの確率で現れるかという様相を確率分布あるいは分布と言います. この確率分布の様子を図2.3(a)に示しました.

では, 2回繰返しの平均にはどんな値が考えられるかというと, 2つの数字の選び方には, (1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 1), (2, 2), (2, 3), (3, 1), (3, 2), (3, 3)という9つパターンがあり, それぞれに1, 1.5, 2, 1.5, 2, 2.5, 2, 2.5, 3という値が平均値として与えられることとなります.

集計してみると, 1が1回, 1.5が2回, 2が3回, 2.5が2回, 3が1回表れています. この回数そのまま, その値が平均として現れる確率に比例しますから, 「平均値の確率分布」がわかります. これを図2.3(b)に示しました. もし, 2回繰返した値の平均値を報告するならば, 知りたいのはこの平均の確率分布の標準偏差です. ひとつひとつの値の標準偏差は, 極端な話, 分からなくてもよいのです.

さて, 標本平均は1から3の範囲でばらついていますから, ばらつきの範囲は平均を取るまえの値, 言うなれば1回繰返しの値の範囲と変わりません. 一方で, 2が現れる確率が1や3が現れる確率の3倍も大きいわけです. 図を見る限りでも, 標本平均の確率分布は1つの値の分布より尖っていると分かります.

さらに, 繰返しを3回にすると, 27通りの組み合わせができます. その標本平均の確率分布を図2.3(c)に示しました. より真ん中の値の確率が大きくなり, 外側の確率が小さくなって, 分布の形状が尖っていきます. 2が現れる確率は1が現れる確率の実に7倍もあります. このように, 繰返し回数を増やすと, 分布はどんどん尖っていく…言い換えると, ばらつきは小さくなっていくのです.

どのくらい小さくなるかというと, 平均値の標準偏差はひとつひとつのデータの標準偏差を $\sqrt{\text{データ数}}$ で割ったものとなります†. この関係は, データ数が増えれば増えるほど標準偏差が小さくなることを意味しています. おそらくはみな

さまの直感の通り, 測定回数を増やすと, 測定の精度が大きくなるのです.

もう少し付け加えるならば, $\sqrt{2}$ と $\sqrt{3}$ というのは, 20%ほど違いますが, $\sqrt{100}$ と $\sqrt{101}$ は1%も変わりません. このことは2回実験するのと3回実験するのは, 測定の精度に影響する大きな違いですが, 100回実験するのと101回実験するのは, 精度に大した違いを与えないということになります. これもわれわれの直感の通りでしょう.

ともあれ, 繰返したいいくつかの値の平均値の標準偏差は以下の手順で計算できます. ちょっと, ややこしいかも知れませんが, 覚える価値のある手順だと思います.

★繰返しの平均値の標準偏差の計算の手順

- ① 標本平均を計算する.
- ② 標本平均からの差の2乗を計算し, すべてで足す.
- ③ それを(データ数-1)で割り, 正の平方根を取る.
- ④ それを $\sqrt{\text{データ数}}$ で割る.

今回は基本的な不確かさの伝ばの方法と, 繰返しによる不確かさ評価について説明してきました. 次回は測定器のスペックなどの実験以外の情報による不確かさ評価などについて説明していきたいと思ます. (つづく)



城野克広

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 2007年 東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程修了
 2009年 産業技術総合研究所研究員
 2013年 3月・現職
 専門分野: 不確かさの評価の技術開発・比較試験の統計処理
 ◎活動内容などは下記 Web サイトをご覧ください.
 (https://staff.aist.go.jp/k.shirono/)
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

† これは, 不確かさの伝ば則から導くことができます.
 まずは, 平均をデータ数で割る前の値, つまりデータの和について考えてみましょう. データの和にはデータ数だけの不確かさの要因があります. 不確かさの伝ば則によれば, 標準偏差を2乗して足して, 正の平方根を取れば, データの和の標準偏差となります. データ数が N ならば, ひとつひとつのデータの標準偏差を \sqrt{N} 倍したものが, データの和の標準偏差です.
 次に, データの平均値の標準偏差を考えます. 言うまでもなく, データの平均値とはデータの和をデータの数で割ったものです. あるばらつきのある値を定数で割った値の標準偏差がどうなるかは少し難しいですが, 標準偏差もその定数で割ったものになります.
 このことから, 和の標準偏差を N で割ったもの, つまり, ひとつひとつのデータの標準偏差を $\sqrt{N}/N=1/\sqrt{N}$ 倍したものが平均値の標準偏差と分かります.



第9回本会派遣 JIM/TMS Young Leader International Scholar 出張報告

九州大学助教：大学院工学研究院
(現 東京工業大学：准教授)

中田 伸生

筆者は、JIM Young Leader International Scholar として、2015年3月15日(日)から19日(木)の期間、米国フロリダ州オーランドにて開催された144th TMS Annual Meeting & Exhibitionに参加した。TMS(The Minerals, Metals & Materials Society)は、60年近い歴史を持つ米国を代表する材料学会であり、その会員数は12,000名を超える。その年次講演大会は毎年3月頃に開催されており、今回は、フロリダ州オーランドにある Walt Disney World Resort(WDW)内のホテルで行われた。この WDW は、山手線の2倍以上の広大な敷地面積を有しており、仮に講演大会会場周辺のホテルに宿泊できなかった場合、会場までの移動が大変となる。かくいう筆者もシャトルバスと水上ボートを乗継ぎ、毎日40分以上かけて会場まで通う羽目となった。読者の皆様が WDW で開催される TMS 年次報告会に参加する際には、まず賢明なホテル選びに努めることをお勧めしたい。

今回の講演大会は、80以上のシンポジウムで構成され、4,200名以上の研究者が国内外から参加する盛大なものとなった。どの講演を聴講するか計画するだけでも大変であるが、スケジュールを検索できる専用アプリケーションを事前に配布するなど、講演大会を円滑に運営するための様々な工夫が感じられた。この中で、筆者は“Phase Transformations and Microstructural Evolution”のシンポジウムで招待講演を行った。講演に際し、TMS 事務局の配慮により、International Scholar Lecture としてホームページや概要集で事前に大きく紹介していただいたおかげで、多くの聴衆の前で講演することができ、講演後も複数の専門家と議論を深めることができた。さらに今回の派遣では、招待講演だけでなく、TMS & AIME Awards Ceremony and Banquet(図1)や TMS フェロー達との懇親会などにも僭越ながら参加させていただき、貴重な経験をさせていただいた。とくに、昼食をとりながら若手研究者が意見を交換する“Young Professional Tutorial Luncheon Lecture”は、個人的にとっても刺激的であった。若手の大学研究者が「どうすれば、アメリカ社会の中で Materials Science のプレゼンスをもっと高めることができるのか?」という現代の材料科学の至上命題に対して、専門分野を横断して自主的に議論している姿を目の当たりにしたとき、現状に対して受動的になっていた自分の姿勢を反省した。



図1 JIM Young Leader International Scholar 授賞式の様子。Hani Henein TMS 会長(左)と筆者(右)。



図2 シカゴ科学産業博物館に展示されている初期型のアトムプローブ電解イオン顕微鏡(Northwestern University からの寄贈)。



図3 SRG Annual Meeting 夕食会での日本からの参加者との集合写真。

このように大変に有意義な TMS 年次講演会に参加した後、著者はイリノイ州エバンストンにある Northwestern University (NU) を訪問した。余談ではあるが、週末は比較的自由な時間があったため、シカゴ市内にある科学産業博物館まで足を伸ばした。様々な分野の近代産業に関する展示に加え、子供から大人まで楽しめる直感的な科学実験が数多く準備されており、館内は家族連れや学生のグループで大いに賑わっていた。その一角には、Materials Science のコーナーが常設されており、最近の金属材料研究をわかりやすく紹介する一方、大学が寄贈した実際の実験装置なども展示されていた(図2)。前述の若手研究者の議論も含めて、Materials Science のプレゼンスを高めるため、様々なレベルで草の根の努力がなされていることを実感する機会となった。

さて、NU では、3月23日(月)、24日(火)の両日に渡り、G.B. Olson 教授のグループが主催する31st Steel Research Group Annual Meeting (SRG 会議)に参加させていただいた。今回は主に NIST(National Institute of Standards and Technology)の支援を受けて実施している CHiMaD(Center for Hierarchical Materials Design)の活動について報告がなされた。G.B. Olson 教授は、CHALPHAD 法により得られる熱力学・拡散データベースを根幹としながら、これに様々な計算ツールを組み合わせることで、processing-structure-properties-performance という階層的な課題を一貫して取り扱う ICME(Integrated Computational Material Engineering)と呼ばれるコンセプトを提案しており、CHiMaD では、オバマ米大統領が主導する MGI(the Material Genome Initiative)の中核となる事業として、ICME に必要なデータベースやその応用ツールの整備に取り組んでいる⁽¹⁾。近年、米国では、MGI を受けて、第一原理計算やフェイズ・フィールド法などの演習を学部授業から取り入れる大学が増えていくと聞かすが、SRG 会議においても、計算ツールを用いた材料設計演習に関する講義の紹介があり、その成果を存分に感じることができた。この機会を通して、筆者なりに計算工学の有用性と課題について思索できたことは、本派遣事業における大きな成果の一つであり、今後の教育・研究活動に活かしていきたいと思う。

末筆ながら、JIM Young Leader International Scholar として貴重な経験をさせて頂いたことに御礼を申し上げますとともに、今回の渡米に際して多大なご尽力を賜った本会ならびに TMS 事務局、そして、SRG 会議への参加を快諾いただいた G.B. Olson 教授ならびに NU 訪問を準備いただいた NU/NIMS 連携研究センター・渡邊育夢博士に謝意を表したい。また、本派遣制度の趣旨や詳細な説明等は既報の国際学会だよりを参考にして頂ければ幸甚である。

文 献

- (1) Scripta Materialia, 70(2014), 1-2, 3-6, 7-11, 12-17, 18-24, and 25-30.

(2015年4月7日受理[doi:10.2320/materia.54.364])

委員会だより

ランチョンミーティングの紹介 —Women in Science in US—*

物質・材料研究機構先進高温材料ユニット構造機能
融合材料グループ；グループリーダー

御手洗容子

男女共同参画委員会では、金属学会、鉄鋼協会共同で、金属分野で男女ともに活躍できる環境を作るための活動をしている。その一環として、春期・春季講演大会の昼休みを利用して学生を対象としたランチョンミーティングを行い、金属・材料工学を学び、様々な分野の企業や大学で仕事をする先輩方からキャリアの積み方、プライベートとの両立などについて講演をしてもらっている。1年経ってしまったが、2014年春期・春季講演大会でのランチョンミーティングは、第6回目となり、TMS Young Leaderとして金属学会に参加したDr. Michel Manuel(フロリダ大学)に、アメリカにおける女性研究者の現状を紹介して頂いた。ランチョンミーティングに、海外研究者が参加したのは初めてであり、男女共同参画委員である吉原美智子先生(横浜国大)が報告した「大型アンケート報告」も英語で行われ、国際的な雰囲気であった。本記事では、Dr. Manuelの講演からアメリカにおける女性研究者の現状について紹介する。

Dr. Manuelは、まず、アメリカの人口構成について説明し、女性の内訳は、男女合わせた人口に対して、白人が32%、アジア系が3%、黒人が6%、ヒスパニックが8%、などであることを示した。次に、1966年から2006年の間に各分野における博士号取得者数のうち女性の割合の推移について示した。心理学が最も多く、2006年では博士号取得者の70%が女性であった。工学分野が最も低く、2006年で女性の博士号取得者は20%だった。次に少ないのが、物理分野と数学・コンピュータ部門で20-30%の間だった。また科学者・エンジニアの内訳は、白人男性が51%で最も多く、次が白人女性の18%、アジア系男性13%、アジア系女性の5%と続き、黒人、ヒスパニックは、男女ともにそれぞれ3%以下となっており、科学分野には、白人、アジア系が多く占めることが示された。アメリカでは、男女の差だけでなく、人種による差があることが伺えた。

次に、世界主要国の取締役や幹部に占める女性割合も示され、アメリカが、取締役が15%、幹部が14%であるのに対し、日本はそれぞれ2%、1%であり、示された10カ国の中で最も少なかった。

非常に興味深かったのは、女性がアカデミックキャリアから外れていく様子を、パイプから漏れ出す水に例えた例である。

Leaks in the Academic Pipeline for Women*

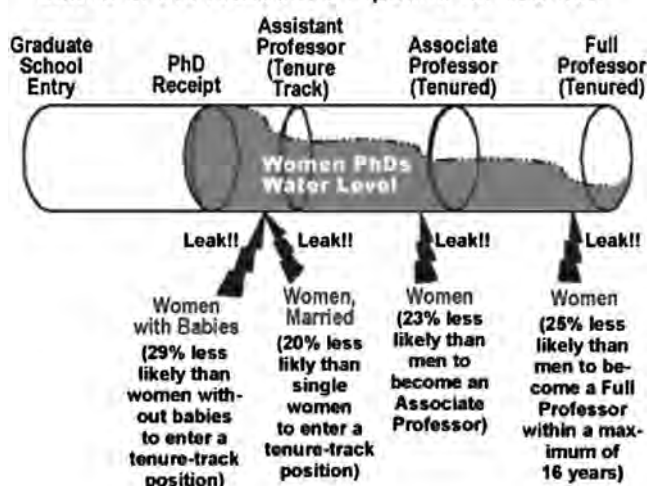


図1 女性がアカデミックキャリアから外れる例え。

Source: <http://ucfamilyedge.berkeley.edu/leaks.html>



図2 懇親会でのDr. Manuelと春期・春季大会参加者。

図1に示すように、結婚時、キャリアを続けようとする女性は、独身女性より20%少ない。子供が生まれる時にキャリアを続けようとする女性は子供がいない女性より29%少ない。准教授になれる女性は男性よりも23%少なく、教授になれる女性は男性よりも25%少ない。これにより、学生時には50%いた女性は、博士号取得時に37%に減り、助教は24%、准教授は22%、教授は12%とどんどん減少し、National Academyのメンバーになれるのは6%まで減少する。女性の昇進が難しかったり、選ばれなかったりする現実が見える。その理由として、女性はポスドク時に孤立や疎外感を感じることに、キャリアを続けることへの励ましがなく、メンターの欠如、育児に関連する問題が挙げられた。一方男性でキャリアを諦めた理由は、昇進できなかったということの他に、給与などが挙げられた。アメリカは日本よりも女性研究者が多いイメージがあったが、アメリカでも女性が孤立している現状があることがわかった。改善策として、女性の昇進をチェックする機能や育児支援などについて多数示された。参加者は、Dr. Manuel自身が育児をしながらキャリアを積み上げていく姿に、大きく励まされた。

* 日本鉄鋼協会「ふえらむ」Vol. 20 No. 7にも同時掲載。

(連絡先：〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

(2015年4月20日受理[doi:10.2320/materia.54.365])

本 会 記 事

会 告	2015年秋期(第157回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて	366
	第13回 World Materials Day Award 募集	367
	2015年秋期講演大会機器・書籍・カタログ展示会出展募集, 大会プログラム, 講演概要集 DVD ジャケット広告 募集	367
	2015年秋期講演大会会期中の託児所手配のお知らせ	368
	2015年秋期講演大会会場周辺のご案内	369
	2015年秋期講演大会日程	369
	2016年春期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集	370
	「研究会」新規登録申請募集	370
	欧文誌編集委員会からのお知らせ	372
支部行事		372
掲示版		373
会誌・欧文誌 7号目次		375
次号予告		377
材料系学協会情報コーナー		377
研究集会		378
2015年度支部事務局		378
新入会員		378
行事カレンダー		379

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
 分科会 : 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
<http://jim.or.jp/>

・会告原稿の締切は毎月1日で、翌月号掲載となります。

- ・ご連絡先住所変更等の手続きは、本会ホームページ [会員マイページ](#) からできます。
- ・投稿規程、刊行案内、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)

2015年秋期(第157回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期 : 2015年 9月16日(水)～9月18日(金)
 会 場 : 九州大学伊都キャンパス(〒819-0395 福岡市西区元岡744)
 懇親会 : 2015年 9月16日(水) 19:00～21:00
 場 所 : ホテル日航福岡(〒812-0011 福岡市博多区博多駅前 2-18-25)
 大会参加予約申込締切 : 2015年 8月10日(月) 17:00
 参加申し込みは、インターネット申込となります。詳細は、下記申込要領をご覧ください。

参加申込要領

インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み : <登録期間> 5月20日(水)～8月10日(月) 17:00

大会参加申込み URL <http://www.jim.or.jp/convention/2015autumn/>

予約申込締切後、予約申込者へ大会参加証、概要集 DVD を送付します。懇親会参加申込をされた方には、懇親会参加券もあわせてお送りします。なお、領収書は、決済完了後に申込画面から各自印刷下さい(WEB画面:講演大会 Mypage よりダウンロード)。

8月11日以降は当日申込となりますので会場受付にて直接お申込下さい。

◆大会参加費(講演概要集 DVD 代含む) ※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	申込および入金期日 : 8月10日(月)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
会員資格		
正員・前維持員会社社員・鉄鋼協会会員	9,000円	10,000円
学生会員	6,000円	6,500円
非会員 一般	19,000円	20,000円
非会員 学生(大学院生含む)	14,000円	15,000円

◆懇親会費(消費税込み)

懇親会：2015年9月16日(水)19:00~21:00

場 所：ホテル日航福岡(〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2-18-25)

予約申込締切日	申込および入金期日：8月10日(月)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
一般	8,000円	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

・お支払後の取消は、ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

◆支払方法

クレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます。手数料は本会が負担します。また、入金後のご返金は致しかねます。8月10日(月)の入金日をもって予約申込完了となります。

◆講演概要集 DVD のみ購入する場合

(※講演発表・聴講するためには、上記大会参加申込みが必要です。)

件名を「2015年秋期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」とし、①申込者氏名②会員資格(会員番号も併記)③申込数④住所をご記入の上、E-mail: ordering@jim.or.jp 宛にお申込み下さい。9月2日の発行後、請求書を添えて送付いたします。

会員価：本体3,810円+税 定価：本体10,000円+税 送料：360円

参加申込・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: member@jim.or.jp

第13回 World Materials Day Award 募集

材料系国際学協会連携組織である IOMMMS (International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies) では、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し(毎年11月の最初の水曜日)、この日に世界同時に、「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰しております。本年は、11月4日(水)に顕彰いたします。

募集要項

1. 対象となる活動：次の3部門で募集します。

第1部門：社会における材料の重要性を示すホームページ

第2部門：学園祭やキャンパスオープンデー等での該当する展示物、作品等

第3部門：その他(材料教育プロジェクト、青少年対象の材料実験等)

2. 応募資格者

日本在住の学部学生、修士課程大学院生(グループも可)。

3. 展示方法

日本金属学会秋期講演大会(2015年9月16~18日、九州大学)において、応募作品を展示する。

- ・展示場への作品の搬入および搬出は応募者が行う。
- ・展示パネルと電源は準備しますがそれ以外の備品などは応募者各自が準備すること。

4. 審査方法

- ・展示場で応募作品の発表を審査する。
- ・審査の観点：材料啓発活動への寄与度、内容の新鮮さ、表現力、意欲などの個別項目を5点法で採点し総合点で審査する。

5. 授賞

① World Materials Day Award：最優秀作品各1名(または1グループ)

賞状と副賞5万円

授賞作品は TMS 年次大会における展示のため英語翻訳を依頼することがある。

② 部門賞：各部門1名表彰、賞状のみ。

贈呈は World Materials Day に受賞者の所属する機関で行う。

6. 応募要領

- ・メールによる申込み記載事項(応募者名、住所、所属、作品名、応募分野・部門、展示方法(web、実物、写真、ビデオ等)、展示必要スペース・重量などを明記して応募下さい。

申し込み：下記アドレス宛にお申込下さい。返信で受理通知を送付します。

(応募様式はホームページからダウンロード下さい)

応募期間：2015年7月1日~8月31日

(参考) IOMMMS ホームページ (<http://www.iommms.org/meetings.html>) に本件の情報が記載されています。日本独自の実施内容もありますのでご注意下さい。

申込・問合せ 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 各種賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

**2015年秋期講演大会
機器・書籍・カタログ展示会出展募集
大会プログラム広告および講演概要集
DVD ジャケット広告募集**

■機器・書籍展示

研究開発用機器，書籍，ソフトウェア等の出展を募集します。

1 小間 間口1,800 mm，奥行き900 mm(予定)
展示台(テーブル)，椅子，電源(100 V 1 kW まで)を
ご用意します。
*電気容量の追加は 1 kW 毎に10,000円(税別)をご負担
下さい。

出展料金 機器展示：1 小間140,000円(税別)

書籍販売：1 小間 90,000円(税別)

申込締切 2015年 8 月 5 日(水)

■カタログ展示

展示部数 2 点(A4 サイズ，8 頁以内)につき，30部以内

出展料金 2 点につき30,000円(税別)(1 点増すごとに10,000円(税
別)追加)

リクルート関連の展示は会社案内他添付資料の 2 点で
30,000円(税別)，30部以内

申込締切 2015年 8 月 5 日(水)

■講演大会プログラム広告

発行予定日 2015年 9 月 1 日(火)

原稿寸法 A4 版 1P 天地260 mm×左右180 mm

1/2P 天地125 mm×左右180 mm

入稿原形態 完全データ(グレースケール)

掲載場所	頁	掲載料金
普通頁 後付	1	70,000円
	1/2	40,000円

○上記の料金には消費税は含まれておりません。

○原稿制作費は別途ご請求させていただきます。

申込締切 2015年 7 月23日(木)

原稿締切 2015年 7 月30日(木)

■講演概要集 DVD ジャケット広告

発行予定日 2015年 9 月 2 日(水)

原稿寸法 天地120 mm×左右121 mm

入稿形態 完全データ(4 色カラー)

掲載場所	頁	掲載料金
表紙 2 カラー	1	50,000円
表紙 4 カラー	1	75,000円

○上記の料金には消費税は含まれておりません。

○原稿制作費は別途ご請求させていただきます。

申込締切日 2015年 7 月16日(木)

原稿締切日 2015年 7 月23日(木)

■申込・問合せ

〒104-0061 東京都中央区銀座 7-12-4(友野本社ビル)

株式会社 明報社 担当 後藤一哲

☎ 03-3546-1337(代) FAX 03-3546-6306

E-mail: goto@meihosha.co.jp

2015年秋期講演大会会期中の託児所手配のお知らせ

2015年秋期講演大会期間中，日本金属学会と日本鉄鋼協会が共
同で託児所を手配いたします。

利用ご希望の方は，下記「キッズスクウェア 福岡天神南」へ直接
お申込み下さい。

■設置期間および利用時間

設置期間	利用時間
2015年 9 月16日(水)	7:30~20:30
2015年 9 月17日(木)	7:30~20:30
2015年 9 月18日(金)	7:30~20:30

*託児所のある電気ビルの開館が7:30となります。

■設置場所：キッズスクウェア 福岡天神南

福岡市中央区渡辺通 2-1-82

電気ビル北館 2F(<https://goo.gl/0Iu8aj>)

☎ 092-739-6900

■対 象：3 ヶ月から修学前まで(小学校低学年までは応相談)。

*大会参加者のお子様に限ります。

■利用料金：お子様お一人につき 800円/1 時間。

料金は学会期間中に金属学会の受付にてお支払い下さい。

なお，申込締切後のキャンセルにつきましては，キャンセル料を
頂く場合がありますので，あらかじめご了承下さい。

■利用託児所運営会社：株式会社アルファコーポレーション

(www.alpha-co.com)

■お申込方法：ご利用には予約が必要です。

キッズスクウェア 福岡天神南 まで直接お電話でお申し込み
下さい。(お申し込み後，キッズスクウェアより当日の持ち物等
をそれぞれの利用者ごとに案内頂きます。)

■託児所に関するご質問・ご連絡先・申込先：

キッズスクウェア 福岡天神南 学会託児担当まで

☎ 092-739-6900

■申込期間：2015年 9 月 8 日(火)まで

(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■詳細情報 日本金属学会ホームページ講演大会各種ご案内

http://jim.or.jp/MEETINGS/2015_atmn/index.html



日本金属学会の秋期講演大会は、9月16日(水)～9月18日(金)の3日間にわたり、日本鉄鋼協会と合同で九州大学伊都キャンパスにて行われます。九州大学における開催は1994年第115回秋期講演大会以来21年ぶりです。九州大学は11学部・16研究院ならびに4つの附置研究所等を擁する総合大学で、伊都、箱崎、馬出、大橋、筑紫、各地区のキャンパスから成っています。今回会場となる伊都キャンパスは、九大の新たなメインキャンパスとして、2005年箱崎地区からの移転開始で開設されたもので、福岡市西部、糸島半島の豊かな自然に抱かれた場所に位置します。講演会の主会場となる伊都キャンパスセンターゾーンは、主に学部1,2年生が学ぶ場としてフレッシュな雰囲気に満ちています。

さて、九州大学伊都キャンパスより、バスおよび電車で1時間ほど移動すると、福岡市中心部の市街地です。特に宿泊施設や商業・文化施設の多くが集中する天神、中洲川端、博多駅近傍の地域は、九州各地さらにはアジア各国からの観光客で賑わっています。福岡-上海および福岡-ソウル間の各距離は、それぞれ、東京および琵琶湖までの距離とほぼ同じで、福岡市は古くから、大陸文化の受け入れ窓口、日本の西の玄関とも言うべき国際商業都市として発展してきました。また、福岡市街はコンパクトな都市構造で知られ、空港から市の中心部まで地下鉄でわずか10分で到達できる街は世界でも類を見ません。そして市内のほとんどの観光スポットには地下鉄や路線バスで市中心部より20分以内で移動できます。2014年のNHK大河ドラマ「軍師官兵衛」の主人公黒田官兵衛孝



シーサイドもちもち(提供:福岡市)

高により築城された福岡城跡に佇み戦国ロマンに浸るもよし、古代日本と大陸を結ぶ拠点だった志賀島で発見された金印(国宝「漢委奴国王印」)を觀に福岡市博物館に足を運ぶのも良いでしょう。この市博物館のある百道浜地区には福岡タワー、シーサイドもちもち海浜公園などもあり、さらに樋井川を渡った福岡ヤフオク! ドームではプロ野球福岡ソフトバンクホークスが熱戦を繰り広げています。福岡市から少し足をのばすと、南の太宰府市には(天神から西鉄電車で約30分)、学問の神様菅原道真公を祀る太宰府天満宮があります。すぐ近くの九州国立博物館まで巡るコースが人気です。また、九州から山口県にかけての近代化産業遺産群が世界遺産への登録申請中(2015年6月現在)です。これには、北九州市の官営八幡製鐵所や長崎市の三菱長崎造船所も含まれています。学会期間前後にお時間のある方には、日本におけるテクノロジーの発展を今も支えるこれらの歴史的遺産に触れる旅もおすすです。また九州新幹線を使って南に向かえば、博多駅から熊本駅まで最速で33分、鹿児島中央駅まで77分です。また九大学研都市駅(JR筑肥線)から西に向かえば約50分で特別名勝の虹の松原、呼子朝市などで有名な佐賀県の唐津市に到着します。

福岡の食文化は非常に多彩です。玄界灘で獲れた新鮮な魚介類はもとより、博多(長浜)ラーメンの屋台で替え玉をしてみるのもこの土地ならではのでしょう。九州の地酒や焼酎で講演会後の交流をさらに盛り上げていただければと思います。皆様のご参加を心よりお待ちしております。なお、福岡の観光情報につきましては、「福岡観光コンベンションビューロー」のサイト <http://www.welcome-fukuoka.or.jp/>でもご覧いただけます。



伊都キャンパスセンターゾーン

2015年秋期講演大会日程

日 時	行 事	場 所
9月16日(水) 9:00～9:40 10:00～ 12:30～17:00 19:00～21:00	開会式、各賞贈呈式 学術講演会 ポスターセッション 懇親会	椎木講堂 センター1号館, 2号館 椎木講堂(ホワイエ) ホテル日航福岡
9月17日(木) 9:00～17:00	学術講演会	センター1号館, 2号館
9月18日(金) 9:00～16:30 12:00～13:00	学術講演会 男女共同参画「女性会員の集い」	センター1号館, 2号館 センター2号館

懇親会会場: ホテル日航福岡「都久志の間」(〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2-18-25 ☎ 092-482-1111)

*会期中は懇親会も含め、クールビズを推奨いたします。

2016年春期講演大会公募シンポジウム
テーマ提案募集

提案期限：2015年9月1日(火) 期日厳守

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

(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい。)

【募集対象の講演大会】 2016年春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)

【実施要領】

公募テーマの特色 境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイデアによる提案を期待する。また、これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。

テーマ責任者 採択された場合、提案者(企画責任者)はテーマ責任者として、積極的に講演募集を行い、また講演プログラムを編成する。金属学会としては、この種のシンポジウムの企画に積極的な方々が将来、分科会などで主導的な活躍されることを期待している。

①テーマ責任者は会員であることが望ましい。

テーマ責任者名称：企画責任者(シンポジウム chair)、
テーマ責任者(シンポジウム co-chair)

②分科会委員が入っていること。

③テーマ責任者は複数テーマを兼務しないこと。

講演の種類 基調講演と応募講演

提案書の内容 ①テーマ、②テーマ英語名、③趣旨、④基調講演の予定題目と講演者、⑤推定講演数、⑥関連分科*(関連分科複数記入可)、⑦提案者所属・役職/氏名、⑧通信先住所・TEL・FAX、E-mail

*第1分科：エネルギー材料、第2分科：エコマテリアル
第3分科：電子・情報材料、第4分科：生体・福祉材料
第5分科：社会基盤材料、第0分科：材料と社会

提案書送付先 下記宛てE-mailで送付して下さい。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。

テーマの選定 講演大会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。
採択テーマの告知と講演募集 「まてりあ」11号2016年春期講演大会講演募集会告ならびに本会ホームページで行う。

講演申込締切日 2015年12月3日(木)予定

講演プログラム テーマ責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。

講演時間 応募講演：15～25分

(+討論時間5～10分=合計20～35分)

基調講演：30分(+討論時間10分=合計40分)

講演概要原稿分量 A4判1ページ(応募講演、基調講演とも)

[参考] 2015年春期講演大会における公募テーマ

S1	永久磁石開発の元素戦略3
S2	めっき膜の構造及び物性制御とその応用(V)
S3	プラスチックの材料科学III
S4	医療・福祉材料開発の最前線
S5	水素誘起超多量空孔
S6	シンクロー型 LPSO 構造の構造科学

問合せ・照会先 E-mail stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

日本金属学会 講演大会委員会宛

公益社団法人日本金属学会
「研究会」新規登録申請募集

研究会の登録を希望される方は、下記研究会規程をご参照の上、お申込下さい。新規申請の研究会は、新規申請用紙、継続(延長)申請の研究会は、継続更新申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい。)

申請締切：2015年9月1日(火)

研究会の目的：研究会は先端領域又は学術領域における研究会を効率的に推進するために活動することを目的とする。
以下の通りに改訂しております。

- 運営費：年間100,000円
- 活動期間：1期5年間以内
- 延長期間：1期3年の継続期間
- 最長活動期間：2期8年まで
- 年間採択数：新規2件以内、延長(継続)申請は2件以内
- 研究会の審査：分科会企画委員会で1次審査をし、理事会で最終審査を行う。

*現在活動中の研究会の取り扱いは、以下のようになりますので、ご留意下さい。

- (1) 年間運営費：100,000円
- (2) 2016年2月に終了する研究会で、過去に延長(継続)の申請をしている研究会は、現在の活動期間で終了となります。
- (3) 2016年2月に終了する研究会で、これまで延長(継続)の申請をしていない研究会は、1期3年の延長(継続)の申請が出来ます。ただし、研究会の審査により2件以内の採択となります。

日本金属学会 研究会規則

(規則の目的)

第1条 この法人の研究会規程を公正かつ適切に運用するため、分科会委員会の決議により、この規則を定める。

(運営費)

第2条 研究会規程第14条第1項によるこの法人の運営費の限度額は100,000円とする。

2 この法人の運営費以外の運営は参加費等収入で充当する。

3 企業からは原則として分担金を徴収しない。

4 前項に定める同系統のテーマで継続的活動を目的とする更新申請の承認にあたっては、会告や会場の手配などの支援はするが活動支援金を提供しない場合もある。

(研究会の申請)

第3条 研究会の新規申請書ならびに継続更新申請書は9月上旬までに分科会委員長に申請するものとする。

2 分科会企画委員会は申請書を審査の上、分科会委員会の議を経て、理事会の承認を得るものとする。

3 研究会の年間採択数は新規は2件以内、継続更新は2件以内とする。

4 新規に採択された研究会は3年経過後に継続する目処がたたなくなった場合は研究会を解散することが出来る。

(研究会の新規申請)

第4条 新規申請は代表世話人が所定の研究会申請書を期日までに分科会委員長に提出する。

2 新規応募の申請書に記載する事項は次の通りとする。

- (1) 研究会の名称および活動目的
- (2) 代表世話人(氏名、所属、役職名、☎、E-mail)
- (3) 世話人の名簿
- (4) 構成員の名簿
- (5) 活動期間は1期5ヵ年以内とする

(更新申請)

第5条 1期5年終了後、さらに活動を継続する場合、代表世話人は更新申請書を期日までに分科会委員長に提出する。

2 更新申請に記載する事項は次の通りとする。

- (1) 研究会の名称および継続理由
- (2) 代表世話人(氏名, 所属, 役職名, ☎, E-mail)
- (3) 世話人の名簿
- (4) 構成員の名簿
- (5) これまでの成果報告書
- (6) 今後の活動計画書
- (7) 延長期間1期3ヵ年以内とする
- (8) 最長活動期間は2期8ヵ年以内とする

(研究会の構成員)

第6条 この法人の会員は当該代表世話人に申し込むことで、その研究会の定常的構成員になることができる。

- 2 代表世話人は新たに参加した構成員を事務局に通知する。
- 3 研究会の定常的構成員は少なくともその2/3以上をこの法人の会員で構成されなければならない。
- 4 同一人が複数の研究会に登録しても差し支えないものとする。

(研究会の審査)

第7条 研究会の新規および継続更新の審査は、下記による。

- 2 分科会企画委員会で1次審査をし、理事会で最終審査を行う。
- 3 研究会の審査は次の基準による
 - (1) 学術貢献出来る研究会であるか
 - (2) 類似の研究会に属しないか
 - (3) 構成員は適切か
 - (4) そのテーマの研究会が必要か
 - (5) 本会の講演大会公募シンポジウムや分科会シンポジウムを開催出来るか

(研究会の開催)

第8条 研究会の会合を催す場合は、下記による。

- 2 研究会の会合は研究集会として会告により、会員に公開する。ただし、緊急の会合の場合は前項の定常的構成員のみに通知することもあり得る。
- 3 春秋講演大会の折に会合を催す場合は次による
 - (1) 前日の準備日を含む会期中の会場を使用する場合は3ヶ月前までに事務局へ通知する
 - (2) 会期中の会場の手配は事務局に一任する
 - (3) 講演会等の講演大会行事開催時間帯の会合は開催しない
 - (4) 講演大会行事の都合で会合の日時または会場を変更することがある。

(研究会の運営)

第9条 研究会の運営に関する事務処理は代表世話人のもで行う。

- 2 研究会が内外の学協会と共催または協賛のもとにシンポジウムまたは国際会議等を開催しようとする場合は、研究会の代表世話人が所定の手続きを経て理事会に申請するものとし、その可否は理事会の決議を要する。

(研究会の活動および成果報告)

第10条 研究会の活動および成果報告は、下記による

- 2 活動期間中の研究会の代表世話人は2月中旬までに、その年度の活動報告書を分科会委員長に提出しなければならない。また、2月中旬までにその年度の経費の使用明細書(領収書添付)を事務局に提出しなければならない。
- 3 研究会を終了する代表世話人は2月中旬までに成果報告(A4版1頁:講演大会やシンポジウム開催報告)を分科会委員長に提出し、金属学会ホームページに公表しなければならない。

(規則の改廃)

第11条 この規則を改廃する場合は、分科会委員会の決議を要する。

2015年度活動中の研究会

9 テーマ研究会

No.	名 称	活動期限	代表世話人
1	67* 結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会	2011年3月～2017年2月まで	井上 博史(大阪府立大学)
2	69 エレクトロニクス薄膜材料研究会	2013年3月～2018年2月まで	松尾 直人(兵庫県立大学)
3	70 プラστοンに基づく変形成象研究会	2013年3月～2018年2月まで	乾 晴行(京都大学)
4	71 グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会	2013年3月～2018年2月まで	連川 貞弘(熊本大学)
5	72 水素化合物に関わる次世代学術・応用展開研究会	2014年3月～2019年2月	折茂 慎一(東 北 大)
6	73 水素誘起超多量空孔研究会	2014年3月～2019年2月	藤浪 真紀(千 葉 大)
7	74 チタン製造プロセスと材料機能製研究会	2014年3月～2019年2月	成島 尚之(東 北 大)
8	75 キンク研究会	2015年3月～2020年2月	中島 英治(九 大)
9	76 高温変形の組織ダイナミクス研究会	2015年3月～2020年2月	佐藤 裕之(弘 前 大)

* 期間延長研究会

これまで設置された設置研究会(終了年月)

1. 高融点金属基礎研究会	(1977.3)
2. 高温質量分析研究会	(1977.9)
3. アモルファス金属に関する研究会	(1977.9)
4. チタン研究会	(1977.9)
5. マルテンサイト変態に関する研究会	(1978.3)
6. 核融合炉研究会—総合評価のための—	(1978.5)
7. 材料照射研究会	(1978.5)
8. 磁石材料研究会	(1978.5)
9. 結晶粒界研究会	(1981.3)
10. 高温変形および破壊研究会	(1981.9)
11. 金属間化合物の機械的性質研究会	(1983.3)
12. 材料重照射研究会	(1984.3)
13. ステンレス鋼研究会	(1984.3)
14. 形状記憶合金の基礎と応用に関する研究会	(1985.3)
15. エレクトロニクス材料の物理化学研究会	(1985.3)
16. 気相急冷非平衡合金研究会	(1985.3)
17. 計算機支援による材料設計研究会	(1986.3)
18. 金属とセラミックスの接合研究会	(1986.3)
19. 高温強化研究会	(1987.3)
20. 高純度金属研究会	(1988.3)
21. 破壊の物理と化学研究会	(1988.3)
22. ベイナイト研究会	(1988.3)
23. 結晶粒界研究会	(1991.3)
24. 水素機能研究会	(1991.3)
25. 照射材料評価研究会	(1992.3)
26. 金属と社会研究会	(1992.3)
27. めっき膜の構造および物制御研究会	(1993.3)
28. 高純度ベースメタル研究会	(1993.3)
29. 集合組織と材料特性研究会	(1994.3)
30. 相安定性・相変態研究の新技法研究会	(1994.3)
31. 金属系バイオマテリアル研究会	(1994.3)
32. 結晶性材料の高温強度特性研究会	(1995.3)
33. チタン合金の基礎物性研究会	(1995.3)
34. コンピューターシミュレーションによる原子・電子レベルでの材料創成研究会	(1995.3)
35. 界面の原子論研究会	(1996.3)
36. ハイパフォーマンス・バイオマテリアル研究会	(1998.3)
37. 拡散研究会	(2003.2)
38. 超高純度金属研究会	(2003.2)
39. 材料集合組織研究会	(1999.3)
40. 高温材料設計研究会	(2005.2)
41. ストラクチャーダイナミクス研究会	(2003.2)

42. 機能性薄膜研究会	(2003.2)
43. 可逆的インターコネクション研究会	(2004.2)
44. ナノプレーティング研究会	(2005.2)
45. 水素新機能研究会	(2005.2)
46. エキゾチック金属間化合物の構造・相安定性と物性研究会	(2005.2)
47. 強ひずみ加工微細組織制御研究会	(2008.2)
48. 照射場材料制御研究会	(2009.2)
49. 次世代軽負荷マグネシウム研究会	(2009.2)
50. 超高純度ベースメタル研究会	(2007.2)
51. 先進材料の高温強度と組織研究会	(2009.2)
52. ベリリウム金属間化合物研究会	(2008.2)
54. ナノプレーティング研究会	(2013.3)
57. 変位型相変態を利用した構造・機能性材料研究会	(2012.2)
58. 機能性ポーラス材料研究会	(2013.3)
59. 機能性チタン合金研究会	(2013.3)
60. 格子欠陥制御工学研究会	(2013.3)
61. 核融合システム・材料統合研究会	(2012.2)
62. 励起反応場を用いた低次元ナノ材料創成研究会	(2015.2)
63. 計算材料科学研究会	(2012.2)
64. 触媒材料研究会	(2015.2)
65. 高温強度と組織形成の材料科学研究会	(2015.2)
66. 熱電変換材料研究会	(2014.2)
68. シンクロ型 LPSO 構造研究会	(2014.2)

欧文誌編集委員会からのお知らせ

■New Aspects of Composites

(多機能複合材料の新展開)

従来の複合材料は、構造材料への展開をめざしていたが、近年は、その目的が大きく変化している。金属基複合材料では、放熱板や精密機器への展開が主流となっている。一方、プラスチック基複合材料においては自動車への展開を目指し、熱可塑性プラスチックを母材とした研究開発が盛んに行われている。また、スマートマテリアルへの展開や、バイオマテリアルとしての利用、機能性材料、電子材料への展開等もあり、目指す方向性は多岐にわたっている。特に、複合材料は、マルチファンクションマテリアルの開発には適した手法である。その為、様々な分野で実用化研究が盛んになると予想される。本号では、さまざまな材料系、目的、プロセス開発、特性評価、材料設計などの複合材料に関する研究・開発のオリジナルな成果を広く募集する。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 57巻5号(2016年5月発行)に予定しております。多数ご寄稿下さいますようお願いいたします。

実施予定号：第57巻第5号(2016年)

原稿締切日：2015年11月2日

■Advanced Spintronic/Nano-Magnetic Materials

(先端スピントロニクス・ナノ磁性材料特集号)

CPU やメモリ等の半導体デバイスの低消費電力化の必要性が認知されるようになって久しく、その解決策の一つとして、スピントロニクスを利用したデバイスが期待されている。高機能スピントロニクスデバイスの実現には、デバイス機能を保証できる材料の開発が必須であり、こうした研究が日本金属学会を含めた多方面で進行している。デバイス化に向けた材料開発では、必然的に磁性体がナノサイズ化され、ナノサイズ化された磁性材料の磁気計測と共にナノ磁性体に特有の磁気挙動を解明、制御することも重要となる。本特集号では、スピントロニクス・ナノ磁性材料分野の今後のさらなる

発展に向けて、スピントロニクス材料とナノ磁性材料に関する最近の研究成果ならびにオーバービュー論文を広く募集します。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 57巻6号(2016年6月発行)に予定しております。多数ご寄稿下さいますようお願いいたします。

実施予定号：第57巻第6号(2016年)

原稿締切日：2015年12月25日

- 投稿に際しては、日本金属学会欧文誌投稿の手引・執筆要領(本会 Web ページ)に従うこと。
- 通常の投稿論文と同様の審査過程を経て、編集委員会で採否を決定します。
- 著者は、投稿・掲載費用をご負担願います。(別刷50部寄贈)。

問合せ先 (公社)日本金属学会 欧文誌編集委員会

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

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: editjt@jim.or.jp

支部行事



金属第55回・鉄鋼第58回中国四国支部
講演大会 参加募集

日時 2015年8月19日(水)9:00~20日(木)14:40

場所 広島工業大学 〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

日程 8月19日(受付8:30~)

研究発表 (三宅の森 Nexus21 7階701, 702, 703)

9:00~12:00, 13:00~17:00

支部委員会(三宅の森 Nexus21 7階706)

12:00~13:00

懇親会 (三宅の森 Nexus21 2階リーフガーデン)

17:30~19:30

8月20日

記念講演会(三宅の森 Nexus21 7階704)

9:00~10:30 本多光太郎記念講演

10:40~12:10 湯川記念講演

13:10~14:40 湯川記念講演

参加申込要領 (1)参加者氏名と所属(学生、院生の表記要)、(2)懇親会(登壇者以外)への参加の有無を明記の上、下記の申込先へ E-mail で送付(メールの件名は、「支部大会参加申込・所属(略称で)・氏名」として下さい)。なお、講演申込をされた登壇者の方は、この参加申込手続きは不要です。

参加申込・懇親会申込締切 7月31日(金)

参加費 一般 1,000円, 学生 500円

懇親会費 一般 4,000円, 学生 2,000円

講演申込・参加申込・概要送付・問合せ先

〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

広島工業大学工学部機械システム工学科

日野 実

☎ 082-921-4454(直通), FAX 082-921-8973(機械システム工学科事務室)

E-mail: taikai@me.it-hiroshima.ac.jp

(注:支部大会用の特設メールアドレスです。)

掲 示 板

〈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

◇静岡大学工学部機械工学科テニュアトラック 助教 公募◇

募集人員 テニュアトラック助教1名(任期：採用日から5年)
所 属 工学部機械工学科
募集分野 機械材料，材料力学，材料強度学，破壊力学
研究支援 1年目500万，2年目200万，3～5年目に各100万円の研究資金を援助する。

教員評価 雇用後，研究計画の達成状況と所定の業績評価を適時行い，合格者は，任期後テニュア講師または准教授に採用する。

応募資格 (1)博士の学位取得後10年以内で，募集分野で優秀な研究を行っている40歳未満(文科省テニュアトラック補助対象のため)の研究者。(2)金属，無機材料，生体材料に関して募集分野の研究を推進する意欲のある方。(3)機械材料や材料力学の教育に意欲のある方。(4)日本語を母国語としない者が応募する場合は，採用期間内に日本人学生に研究や教育指導ができるだけの日本語を習得すること。

着任時期 2015年12月1日以降のできる限り早い時期

応募締切 2015年8月21日(金)17時必着(日本時間)

提出書類 (1)応募申請書(必要事項記載の上，写真を必ず貼付)
(2)これまでの研究の概要(A4サイズ2頁以内)
(3)今後5年間の研究計画(A4サイズ2頁以内)
(4)教育に対する抱負(A4サイズ1頁以内)
(5)主要論文5編以内(別刷またはコピー)
(6)2名の推薦書(様式自由，英語または日本語)

※(1)～(4)は大学HPから所定様式をダウンロードして英語か日本語で記載し，片面印刷する。応募者は，下記URLで公募の詳細と必要事項を必ず確認すること。

静大HP: http://www.tenure.shizuoka.ac.jp/kobo/20150501_tenure_ja

テニュアトラック普及・定着事業HP:
<http://www.jst.go.jp/tenure/>

選考方法 書類審査と面接で行う。ただし，面接は，書類審査の合格者のみを行い，旅費は支給しない。なお，業績および人物評価が同等の場合は，女性，外国人，障がい者等の候補者を優先する選考を行う。

募集分野に関する問合せ

静岡大学工学部機械工学科 教授 坂井田喜久

☎ 053-478-1035, sakaida.yoshihisa@shizuoka.ac.jp

書類送付先および応募に関する問合せ

〒432-8561 静岡県浜松市中区城北3-5-1

静岡大学テニュアトラック支援室

(dwak-2@ipc.shizuoka.ac.jp)

※書類は封筒に「テニュアトラック助教応募書類在中」と朱書きし，簡易書留で郵送下さい。

E-mail 提出は不可で，書類は返却しません。

◇金沢大学 理工研究域 機械工学系 教員公募◇

公募職種 助教(テニュアトラック教員) 1名

所 属 金沢大学理工研究域機械工学系

仕事内容 (1) 各種金属材料の強度，延性などの力学特性，電気伝導度や熱伝導度といった機能性の調査，さらに，電子顕微鏡法等を駆使した，材料の結晶構造解析や微視組織解析についての研究を行って頂く。
(2) 本学リサーチプロフェッサー制度に基づき研究に重点を置いた教員として，主として研究に従事頂く。
(3) 本学理工学域機械工学系の教員として主として機械システム，知能機械コースの教育に携わって頂くとともに，大学院科目を担当して頂く。

専門分野 材料工学(金属物性・材料，構造・機能材料)，機械材料(力学物性)

勤務形態 任期付きの常勤助教 任期：5年

応募資格

- (1) 博士の学位を有すること。
- (2) 専門分野の研究教育に強い意欲を有し，先導的な研究を行う能力を有すること。
- (3) 機械工学系が掲げる主要研究課題「階層的・多角的アプローチによる革新的機械材料の創成と付加価値の創出」に取り組めること。
- (4) 採用時の年度末年齢が40歳未満であること。(雇用対策法施行規則第1条の3の第1項第3号に該当)
- (5) 国籍は問わないが，日常的に日本語を使えることが望ましい。

待 遇 詳細は，<http://jim.or.jp/Notice/no1000.pdf> をご覧下さい。

*テニュアトラック教員の審査基準等については，下記URL をご覧下さい。

<http://www.se.kanazawa-u.ac.jp/tenure/outline/tt-provision.pdf>

*就業規則等については，下記URL をご覧下さい。

<http://www.kanazawa-u.ac.jp/internal/staff/regulations/index.html>

着任時期 2015年12月1日(予定)

提出書類(各1部)

- (1) 履歴書(写真貼付，現住所，連絡先〔電話番号，電子メールアドレス〕，学歴，研究歴，職歴，所属学会，賞罰)
- (2) 研究業績(学位論文，査読付原著論文，国際会議プロシーディングス，総説・解説，著書，特許等に分類し，共著者名(全員掲載順)，発表機関・巻(号)・最初と最後のページ・発表年(西暦)を記述したもの)
- (3) 主要論文の別刷(5編以内，コピー可)
- (4) 学会および社会における活動
- (5) 科学研究費補助金，共同研究，受託研究などの外部資金の獲得状況
- (6) これまでの研究活動および教育活動とその成果(A4用紙，1,000字程度)
- (7) 今後の研究と教育に対する抱負(A4用紙，1,000字程度)
- (8) 応募者に関して意見を伺える方1名(氏名，所属，職名，連絡先)

応募締切 2015年8月3日(月)(必着)

選考方法 第一次審査：書類審査，第二次審査：第一次審査合格者を対象とした面接(プレゼンテーション)

※面接のための旅費の支給はありません。

書類提出先 〒920-1192 石川県金沢市角間町

金沢大学理工研究域機械工学系

教授 岩田佳雄(系長)

*応募書類は，封筒表面に「RP教員公募書類」と朱書きの上，簡易書留にて郵送して下さい。なお，応募書類は原則として返却いたしません。

問合せ先 〒920-1192 石川県金沢市角間町
金沢大学理工研究域機械工学系 教授 門前亮一
☎ 076-234-4678
E-mail: monzen@se.kanazawa-u.ac.jp

- 備 考
- (1) 金沢大学では、男女共同参画を推進しています。
参照 <http://cdl.w3.kanazawa-u.ac.jp/index.html>
 - (2) 業績の評価において同等と判断した場合には、女性や海外での研究経験者を積極的に採用します。
 - (3) 金沢大学では、教員の英語による教授能力の向上と、英語による開講科目の増設等を前提とした英語教育の強化に取り組んでおります。
 - (4) 複数の国内外の研究者(上記に記載の照会可能な方以外を含む)に対して意見を求めることがあります。
 - (5) 本公募は、文部科学省国立大学改革強化推進補助事業「優れた若手研究者の雇用拡大支援」の公募のため年齢制限があります。

独日本学術振興会 産学協力研究委員会 合金状態図第172委員会
「第9回状態図・熱力学セミナー 開催案内」

20世紀型大量消費・使い捨て文明から、低エネルギー消費・資源循環型文明への転換を余儀なくされている現代において、資源循環、新エネルギー創出、低エネルギー消費、低環境負荷等の課題は工学を担う我々に託された解決すべき問題です。このような観点から、第1回～第4回のセミナーでは、様々な材料を見直すために必要な材料学の基礎である状態図について解説し、産業界への応用例を紹介しました。また、第5回セミナーでは、熱力学や統計力学と状態図の関係を詳細に説明しました。一方、第6回セミナーでは熱力学と状態図の關係に注目し、第7回～第8回セミナーでは統計力学と状態図の關係に注目し、それぞれ2日間にわたり解説しました。今回は、第6回セミナーの内容をさらに掘下げて、2日間にわたりじっくりと解説します。

日 時 2015年10月19日(月)～20日(火)
場 所 東北大学 東京分室(サピアタワー, 10階)
(https://www.bispost.jp/bill_pages?bill_cd=N00&locale=ja)
協 賛 (公社)日本金属学会, (一社)日本鉄鋼協会
定 員 50名

プログラム

10月19日(月)

- (1) 9:20～10:20 相平衡熱力学の基礎
- (2) 10:30～11:30 同上
- (3) 12:40～13:55 同上
- (4) 14:05～15:20 同上 東京工業大学 梶原正憲
- (5) 15:30～17:00 CALPHAD法による状態図計算
東北大学 大谷博司

10月20日(火)

- (1) 9:20～10:20 CALPHAD法による状態図計算
- (2) 10:30～11:30 同上
- (3) 12:40～13:40 同上 東北大学 大谷博司
- (4) 13:50～15:20 状態図に関連する実験手法と熱力学パラメータの評価
- (5) 15:30～17:00 同上 物質・材料研究機構 大沼郁雄

参加費

事前申込: 10月14日迄

- ・第172委員会参加企業 6,000円
- ・その他の企業 10,000円
- ・大学, 官公庁関係 4,000円
- ・学生 2,000円

申込方法 <http://j2www.materia.titech.ac.jp/seminar/> から申込書
を入手し, 必要事項をご記入後, E-mailの添付書類に

て kajihara@materia.titech.ac.jp 宛にお送り下さい。
世話人 梶原正憲(東工大), 大谷博司(東北大),
阿部太一(物材機構)
問合せ先 東京工業大学 総合理工学研究科 材料物理学専攻
梶原正憲
☎ 045-924-5635 FAX 045-924-5857
E-mail: kajihara@materia.titech.ac.jp

集 会

◇レアメタル研究会◇

■主 催: レアメタル研究会

主宰者: 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
協 力: (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
共 催: 東京大学マテリアル工学セミナー
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)日本チタン協会,
(一社)日本鉄鋼協会 (五十音順)

■開催会場: 東京大学生産技術研究所 An棟2F コンベンションホール
〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1
(最寄り駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)

■参加登録・お問い合わせ: 岡部研 学術支援専門職員 宮崎智子
(tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

研究会ホームページ

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

〈平成27年度 レアメタル研究会の予定〉(2015.4.14現在)

- 第66回 2015年7月17日(金)(7月10日から変更になりました)
- 第67回 2015年9月18日(金)
- 第68回 2015年11月27日(金)
- 第69回 2016年1月8日(金)
★貴金属シンポジウム(第3回)+新年会★(合同開催)
- 第70回 2016年3月11日(金)(平成27年度 最終回)

■第66回 2015年7月17日(金)15:00～ An棟2F コンベンションホール
テーマ: 鉱物資源, 鉱山開発, レアアースの開発など
時 間: 午後3:00～

講 演:

- ・鉱物資源研究と鉱山開発: 現状と将来(仮)(60分)
静岡大学 大学院理学研究科 地球科学専攻 教授 森下祐一 講師
- ・レアアースをはじめとするレアメタルに関する最近の話題(仮)
(45分)(別の講演となる可能性あり)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
- ・ライナスプロジェクトをはじめとするレアアース事業とサプライ
チェーン 双日株式会社 化学部門 環境資材本部 資源化学品部
エレクトロマテリアル課 課長補佐 左藤富士紀 講師
午後6:30～ 研究交流会・意見交換会 (An棟2F ホワイエ)

■第67回 2015年9月18日(金)15:00～ An棟2F コンベンションホール
テーマ: 走るレアメタル, 働くレアメタル
時 間: 午後3:00～

講 演:

- ・自動車に使われるレアメタルの現状と将来(仮)(60分)
トヨタ自動車株式会社 材料技術統括室 主査 野田克敏 講師
- ・走るレアメタル, 働くレアメタルについて(仮)(45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
- ・希土類(レアアース)産業の過去・現在・未来 ～自動車・ロボッ
ト産業などへの貢献～(仮)(60分)
株式会社 三徳 代表取締役社長 岡田 力 講師
午後6:30～ 研究交流会・意見交換会 (An棟2F ホワイエ)

- チタン産業の過去・現在・未来(仮) (60分)
東邦チタニウム株式会社 チタン生産本部 本部長 小瀬村 晋 講師
 - チタンのリサイクルの現状と課題について(45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 - チタン製錬の革新に向けた挑戦(60分)
京都大学 工学研究科 材料工学専攻 教授 宇田哲也 講師
- 午後6:30~ 研究交流会・意見交換会 (An棟2F ホワイエ)

(1) 国際学会出席旅費の支援

(2) 国際学会開催の支援

応募締切 2015年8月31日, 2016年2月29日

応募要項 <http://www.spss.or.jp> をご覧下さい.

問合せ先 公益財団法人宇宙科学振興会

☎ 042-751-1126

E-mail: admin@spss.or.jp

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 79, No. 7 (2015)

オーバービュー(解説論文)

鉄鋼のマルテンサイト/ベイナイト変態における結晶学的拘束 宮本吾郎 金下武士 知場三周 古原 忠

論 文

23Cr-45Ni-7W 合金溶接継手のクリープ破断強度 野村恭兵 久布白圭司 中川博勝 村田純教

溶鉄-固体アルミナ間の界面物性を利用した窒化アルミニウム結晶成長 後藤弘樹 鈴木賢紀 田中敏宏

水素センサーおよび酸素センサーを用いたジルカロイの水蒸気酸化過程における水素発生検出と酸化増量の解析 福本倫久 櫻庭拓也 原 基 金児絃征

Ti-48 mol% Al/純 Ti 複合調和組織材料のSPS法を利用した押し出し焼結 藤原 弘 吉田怜央 津田達郎 宮本博之

窒素含有ステンレス鋼の耐孔食性に及ぼす微量元素の影響 三浦一真 林 成実 中川昌幸 岡田英樹 中津山國雄

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 56, No. 7 (2015)

—Special Issue on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials II—

PREFACE Tadashi Furuhashi, Hiroshi Ohtani, Kenji Higashida, Kazuya Aizawa, Takashi Kamiyama and Yoshito Kawamura

Stability of Long-Period Stacking Ordered Structures at Elevated Temperatures Examined by Multicolor Synchrotron Radiation X-ray Scattering/Diffraction Measurements

Hiroshi Okuda, Toshiki Horiuchi, Hiroto Tanaka, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura

and Shigeru Kimura

Phase Relations among $D0_3$, α -Mg, and Long-Period Stacking Orders in $Mg_{85}Zn_6Y_9$ Alloy under 3 GPa

Masafumi Matsushita, Yuya Sakata, Tatsuya Senzaki, Michiaki Yamasaki, Ikuya Yamada, Hiroyuki Saitoh, Toru Shinmei, Tetsuo Irfune, Norimasa Nishiyama and Yoshihito Kawamura

Microscopic Elastic Properties of Polycrystalline $Mg_{85}Zn_6Y_9$ Alloy with Long-Period Stacking Ordered 18R Phase Investigated by Inelastic X-ray Scattering

Shinya Hosokawa, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Masanori Inui, Yukio Kajihara, Satoshi Tsutsui and Alfred Q. R. Baron

Effects of Pre-Strain and Ageing on the LPSO Structure in $Mg_{97}Zn_1Y_2$ Alloy

Xinfu Gu and Tadashi Furuhashi

Local Strain Fields of LPSO in Mg-Based Ternary Alloys

Shuhei Matsunaga, Takanori Kiguchi, Kazuhisa Sato and Toyohiko J. Konno

Three-Dimensional Shapes and Distributions of Long-Period Stacking Ordered Structures in $Mg_{97}Zn_1Gd_2$ Cast Alloys Characterized by Electron Tomography

Kazuhisa Sato, Shuhei Matsunaga, Shunya Tashiro, Yohei Yamaguchi, Takanori Kiguchi and Toyohiko J. Konno

First Principles Calculations of Solute Sweeping and Stacking Faults in Mg-Zn-Y Alloy

Yuichi Sakamoto, Chihori Shirayama, Yosuke Yamamoto, Rika Kubo, Motoyuki Kiyohara and Shigeto R. Nishitani

Phase-Field Modelling on the Formation Process of LPSO Structure in Mg-Y-Zn System

Toshiyuki Koyama, Yuhki Tsukada and Keisuke Narita

In-Situ Observation on the Formation Behavior of the Deformation Kink Bands in Zn Single Crystal and LPSO Phase

Koji Hagihara, Masahito Honnami, Ryosuke Matsumoto, Yoshihiro Fukusumi, Hitoshi Izuno, Michiaki Yamasaki, Takuya Okamoto, Takayoshi Nakano and Yoshihito Kawamura

Deformation Behavior of Long-Period Stacking Ordered Structured Single Crystals in Mg₈₅Zn₆Y₉ Alloy

Yoji Mine, Ryo Maezono, Hiroaki Oda,
Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura
and Kazuki Takashima

Deformation Analysis of the Long-Period Stacking-Ordered Phase by Using Molecular Dynamics Simulations: Kink Deformation under Compression and Kink Boundary Migration under Tensile Strain

Ryosuke Matsumoto and Masayuki Uranagase

Crystal Plasticity Analysis of Development of Intragranular Misorientations due to Kinking in HCP Single Crystals Subjected to Uniaxial Compressive Loading

Tsuyoshi Mayama,
Tetsuya Ohashi, Yuichi Tadano and Koji Hagihara

—*Special Issue on Nanojoining and Microjoining II*—

PREFACE

Lars P.H. Jeurgens, Jolanta Janczak-Rusch,
Y. Norman Zhou, Akio Hirose, Florence Baras,
Mathieu Brochu, Andriy Gusak, Anming Hu, Jae-Pil Jung,
Michael Mayer, Luisa Coutinho, Wolfgang Tillmann,
Tomokazu Sano, Wei Zhou and Guisheng Zou

Bonding Characteristics of Underfilled Ball Grid Array Packaging

Byung-Seung Yim, Jeong Il Lee,
Byung Hun Lee, Young-Eui Shin and Jong-Min Kim

Joining of Silver Nanowires by Femtosecond Laser Irradiation Method (*Rapid Publication*)

Su Ding, Yanhong Tian, Zhi Jiang and Chunqing Wang

Ag Nanowire and Nanoplate Composite Paste for Low Temperature Bonding

Ruo-Zhou Li, Tong Zhang, Anming Hu and Denzel Bridges

Lead Free BGAs Soldered with SnPb36Ag2 Solder

Günter Grossmann and Giovanni Nicoletti

Joining of Pure Copper Using Cu Nanoparticles Derived from CuO Paste (*Express Regular Article*)

Tomoyuki Fujimoto, Tomo Ogura, Tomokazu Sano,
Makoto Takahashi and Akio Hirose

Preparation and Sealing of Polymer Microchannels Using Electron Beam Lithography to Pattern Absorber for Laser Welding

Ian Jones and Jonathan Griffiths

Shear Strength Degradation of Pb-Free Solder Joint with Mounted Location in Automobile

Won Sik Hong and A Young Kim

Molecular Dynamics Simulation of the Effect of Carbon Nanotube Chirality on Nano-Joining with Gold Particle

Xiliang Qiu, Di Xu, Tiesong Lin,
Xue Yang, Yu Liu and Peng He

Interfacial Nano-Mechanical Properties of Copper Joints Bonded with Silver Nanopaste near Room Temperature

Peng Peng, Peng He, Guisheng Zou,
Lei Liu and Y. Norman Zhou

Copper-Based Nanostructured Coatings for Low-Temperature Brazing Applications

Benjamin Lehmert, Jolanta Janczak-Rusch,
Giancarlo Pigozzi, Peter Zuraw, Fabio La Mattina,
Lukas Wojarski, Wolfgang Tillmann
and Lars P. H. Jeurgens

Solid-Liquid Interdiffusion Bonding of Copper Using Ag-Sn Layered Films

S. Fukumoto, K. Miyake,
S. Tatara, M. Matsushima and K. Fujimoto

Improvement of Joint Reliability of Sn-Ag-Cu Solder Bumps on Cu by a Laser Process

Hiroshi Nishikawa and Noriya Iwata

Effects of Reducing Solvent on Copper, Nickel, and Aluminum Joining Using Silver Nanoparticles Derived from a Silver Oxide Paste

Tomo Ogura,
Shinya Takata, Makoto Takahashi and Akio Hirose

Effects of Package Warpage on Head-in-Pillow Defect

Zhenyu Zhao, Chuan Chen, Chang Yong Park,
Yuming Wang, Lei Liu, Guisheng Zou, Jian Cai
and Qian Wang

Structural Changes of the IMC in Lead Free Solder Joints

Erika Hodúlová, Beáta Šimeková
and Ingrid Kovaříková

—*Regular Articles*—

Materials Physics

First-Principles Study of Cr₂N/ γ -Fe Interface in High Nitrogen Steel

Haiyan Wang, Xueyun Gao,
Jichun Yang, Youqing Jia and Jiahe Gong

Microstructure of Materials

Formation of High-Angle Dislocation Boundaries in Drawn Single Crystal Copper Wires

Jian Chen, Xiaoguang Ma, Jun Li, Yuhong Yao,
Wen Yan and Xinhui Fan

Mechanics of Materials

Enhanced Age Hardening in an Al-Mg-Si Alloy Using High-Speed Compression

Keitaro Horikawa, Yuki Kitani, Tomo Ogura, Akio Hirose,
Makoto Takahashi and Hidetoshi Kobayashi

Thermal Effects on Lifetime Evaluation of Adhesiveless Copper-Polyimide

Kuo-Hua Huang and Jeng-Gong Duh

Prediction Method of Low Cyclic Stress-Strain Curve of Structural Materials

Zhichao Ma, Hongwei Zhao and Changyi Liu

Post-Weld Heat Treatment Effects on Hardness and Impact Strength of Aluminum Alloy 6061 Friction Stir Butt Weld

Jitlada Boonma, Sookkaew Khammuangsa,
Kanokwan Uttarasak, Jirapan Dutchaneephet,
Chatdanai Boonruang and Narin Sirikulrat

Materials Chemistry

Application of Grid Increment Cluster Expansion to Modeling Potential Energy Surface of Cu-Based Alloys

Ryohei Tanaka, Kazuhito Takeuchi and Koretaka Yuge

Materials Processing

Influence of Interfacial Reaction on Wear Resistance of Aluminum Alloy/SiC Composites Fabricated by Low Pressure Infiltration Process

Tong Wang, Masataka Yamamoto and Akio Kagawa

Engineering Materials and Their Applications

Evaluation of the Biocompatibility of a Ti-Ta-Sn Alloy Using Cell Cultures

Masahito Miki and Masafumi Morita

Environment

Performance Analysis of Thermoelectric Modules Using Polyhedron Elements

Xiang-ning Meng and Ryosuke O. Suzuki

Enhanced Room-Temperature Stretch Formability of Mg-0.2 mass%Ce Alloy Sheets Processed by Combination of High-Temperature Pre-Annealing and Warm Rolling

Kazutaka Suzuki, Yasumasa Chino, Xinsheng Huang, Motohiro Yuasa and Mamoru Mabuchi

—Express Regular Articles—

Electronic Properties and Stability of Graphene Oxyradical Systems

Jinhua Wang, Zepeng Li and Liyuan Guo

Electrodeposition of Magnetite on Carbon Steel in Fe(III)-Triethanolamine Solution and Its Corrosion Behavior

Soon-Hyeok Jeon, Geun-Dong Song and Do-Haeng Hur

Precipitation Structure of Al-10 mass%Si-0.3 mass%Mg Alloy Produced by High Pressure Die Casting and Permanent Mold Casting with T5 Treatment

Emi Yanagihara, Shin Orii, Takuya Iketani, Seiji Saikawa, Kenji Matsuda and Susumu Ikeno

Turning Machinability of Short Alumina Fiber Reinforced Aluminum Alloy Composite Using Carbide Tool

Kazunori Asano

Investigation of Submicron Powder Fabricated Cr50Cu50 Alloys Using Various Vacuum Hot-Press Sintering Temperatures

Cheng Liang, Shih-Hsien Chang, Jong-Ren Huang, Kuo-Tsung Huang and Shun-Tian Lin

Influence of Boron Addition on the Hot Ductility of Low-Carbon Aluminum-Killed Steel

Weijian Liu, Jing Li, Chengbin Shi and Lu Yu

—Rapid Publication—

Separation of Covering Plastics from Particulate Copper in Cable Wastes by Induction Electrostatic Separation

Chul-Hyun Park, Nimal Subasinghe and Ho-Seok Jeon

—Express Rapid Publication—

Effect of Sn on Thermal Conductivity of Mg-5Zn Based Alloys

H. Kang, J. Y. Suh, S. W. Kang and D. H. Bae



まてりあ 第54巻 第8号 予告

[最近の研究] 高垂直磁気異方性 L1₀規則合金を用いたスピンド
イナミクス永沼 博
鉄合金の BCC/FCC マルテンサイト変態と超弾性
.....大森俊洋 貝沼亮介
共鳴振動を利用した金属材料の非線形弾性定数評
価への挑戦垂水竜一

[入門講座] 測定の不確かさ評価について3—不確かさの算出
手順2—城野克広
[新進気鋭] アルミナにおける小角粒界を用いた転位設計と構
造解析栃木栄太
—他—
編集の都合により変更になる場合がございます。



“材料系学協会情報コーナー”

〈軽金属 第65巻 第7号 予定〉
解 説 Mg-Al-Zn 系合金と Mg-Li 系合金のプレス成形加工
製品製造技術の開発/小原美良
アルミニウム技術史 第3回 電気化学製法のはじ
まり(ヨーロッパ): ポール・エルー/鈴木雄一
研究論文 Mg-Y 合金圧延材の再結晶過程と集合組織変化/鈴木
哲, 安藤大輔, 須藤祐司, 小池淳一
連続鋳造 Al-Mn 系合金フィン材の引張特性と再結晶
挙動に及ぼす中間焼なまし条件の影響/鈴木健太, 佐
々木智浩, 大和田安志, 穴見敏也
低融点金属粉を添加した焼結マグネシウムの組織と強
度/岩岡 拓, 青沼昌幸, 中村 満

関西支部特集
解 説 結晶塑性モデルによるアルミニウム合金板の成形性解
析/吉田健吾
—他—
〈ふえらむ 第20巻 第7号 予定〉
連載記事 日本周辺での CO₂ 地中貯留に向けたモニタリング
とモデリング技術/辻 健
入門講座 鉄鋼の日本工業規格—6 温故知新 JIS 冷鋼板とそ
の製造技術/川本明人
躍 動 資源利用に関わるサプライチェーンリスク最小化に向
けたリソースロジスティクス研究/松八重一代
—他—

キンク研究会
平成27年度研究交流会 講演者・参加者募集

本研究会は、近年注目が集まっているキンク変形という特異な変形挙動を題材に、回位などの新たな視点から材料の変形と破壊についての基礎的議論を深めるとともに、キンク変形を利用した高性能材料の開発を進め、新しい材料研究領域の構築に展開していくことを目的としています。研究交流会では、キンク変形に関する自由な議論を行い、この議論を通して、現象の理解を深めるとともに、キンク研究に携わる研究者同士のつながりの場を提供することが狙い

です。

日時 2015年9月8日(火)13:00~9月9日(水)17:00

場所 福岡市赤煉瓦文化館(〒810-0001 福岡市中央区天神1-15-30, ☎ 092-722-4666)

参加費 無料(宿泊先は各自でご準備下さい)

予定講演時間 30分(講演20分+質疑10分)

講演・参加申込締切 2015年8月7日(金)

【申込内容】 講演題目、講演者氏名・所属・身分(共同研究者を含む)・連絡先 参加者氏名・所属・身分・連絡先

申込先 石川亜子 九州大学大学院 総合理工学研究院

中島(英)研究室 事務補佐員

E-mail: nk-a-ishikawa@mms.kyushu-u.ac.jp

*後日、ホームページ(研究集会)にプログラムを掲載する予定です。



2015年度支部事務局

北海道支部 北海道大学大学院工学研究院材料科学

TEL/FAX 011-706-6765

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

北陸信越支部 富山大学大学院理工学研究部

TEL/FAX 076-445-6839

E-mail: matsuda@eng.u-toyama.ac.jp

東北支部 東北大学大学院工学研究科マテリアル開発系

TEL/FAX 022-795-7323

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

関西支部 大阪科学技術センター附属ニューマテリアルセンター内

TEL 06-6443-5326

E-mail: t.kaneko@ostec.or.jp

関東支部 東京工業大学大学院理工学研究科

TEL 03-5734-3136

E-mail: jim-kanto@mtl.titech.ac.jp

中国四国支部 広島大学大学院総合科学研究科

TEL 082-424-5744

E-mail: ichikawa@h2.hiroshima-u.ac.jp

東海支部 名古屋大学工学研究科マテリアル理工学

E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp

九州支部 九州大学大学院工学研究院

TEL/FAX 092-802-2952

E-mail: morikawa.tatsuya.771@m.kyushu-u.ac.jp



新 入 会 員

(2015年4月23日~2015年5月22日)

正 員

磯上 慎二 福島工業高等専門学校

久保 百司 東北大学

櫻庭 裕弥 国立研究開発法人 物質・材料研究機構

千葉原宏幸 三菱電機株式会社

学 生 員

相子 祐樹 芝浦工業大学

池西 貴昭 大阪大学

石井健太郎 大阪大学

伊藤 友樹 大阪府立大学

大山 堯音 東京工業大学

岡 要平 京都工芸繊維大学

塩田竜太郎 芝浦工業大学

簾 智仁 名古屋大学

高橋 秀人 芝浦工業大学

田村 拓也 芝浦工業大学

戸丸 雅道 秋田大学

永野 風矢 東京工業大学

西川 直樹 名古屋大学

福井 峻 東京工業大学

細川 卓耶 岩手大学

村上 晶彦 東京工業大学

谷中 勇一 芝浦工業大学

林 杉 京都大学

外国学生会員

KIM Kyungtae 大阪大学

鄭 起宅 大阪大学

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・担当	問合せ先	締切
7月				
2~3	第46回トライボロジー入門講座—トライボロジー基本知識と考え方—(東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 http://www.tribology.jp	6.19
3	半導体デバイスの明日を担う新規材料開発の現状と展望(大阪大学)	日本真空学会関西支部他・三浦	TEL 075-724-7489 miura@kit.jp http://www.vacuum-jp.org/	7.2
3	第95回シンポジウム「電子顕微鏡による材料研究(II)」～マイクロ組織観察の現状～(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/	定員 60名
4	平成27年度本多光太郎記念講演会のお知らせ	東北支部・大森(東北大)	TEL 022-795-7323 omori@material.tohoku.ac.jp	
6	ナノファイバー学会第6回年次大会(信州大)	ナノファイバー学会・渡邊(東工大)	TEL 03-5734-2059 nanofiber@hop.ocn.ne.jp	
7~10	The Fifth International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2015)(富士吉田)	粉体工学会・多々見(横国大)	iccci2015@ml.ynu.ac.jp http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2015/	
8~10	第42回コロージョン・セミナー「サステイナブル社会を支える腐食防食エキスパートを目指して」(神戸)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
9~10	第56回塗料入門講座(東京)	色材協会	TEL 03-3443-2811 seminar@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
9~10	第79回半導体・集積回路技術シンポジウム(早稲田大)	電気化学会・電子材料委員会	TEL 03-3234-4213 ikezuki@electrochem.jp http://semicon.electrochem.jp/	事前予約 6.22
13~15	講習会「粉末X線解析の実際」(東京理科大)	日本結晶学会	FAX 03-3368-2827 crsj-xray@bunken.co.jp https://bunken.org/crsj/conf201507/Login	
14~16	NIMS Conference 2015「最先端計測が切り拓くマテリアルイノベーション」(つくば)	物材機構	nims_conference@nims.go.jp	800名
15~17	第34回電子材料シンポジウム(EMS-34)(守山)	電子材料シンポジウム運営委員会・西永(産総研)	TEL 029-861-5042 jiro.nishinaga@aist.go.jp	
16	第67回技術セミナー～腐食を理解するための電気化学入門～(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
16~17	第49回X線材料強度に関するシンポジウム(大阪)	日本材料学会・八代	TEL 055-243-6111 yatsushiro-vvm@pref.yamanashi.lg.jp	講演 3.6
17	第374回講習会 研究室見学付き基礎講座 「切削加工の基礎から最新の応用まで一切削加工原理, 各種工具・形状加工, 難削材の加工」(東大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 http://www.jspe.or.jp/	定員 60名
17	平成27年度日本鉄鋼協会・日本金属学会 両北海道支部合同サマーセッション(北大)(6号302頁)	北海道支部・田中(新日鐵住金)	TEL 0143-47-2651 FAX 0143-47-2760 mu_tekkyo@jp.nssmc.com	講演概要 6.4
17	第32回軽金属セミナー「アルミニウム合金の状態図と組織入門編」(関西大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
17	第66回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号374頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	FAX 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
21	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の時効析出—中級編—」(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
22~24	第21回結晶工学スクール(2015年)(阪大)	応用物理学会・岡山	TEL 03-5802-0863 divisions@jsap.or.jp http://annex.jsap.or.jp/kessho/index.html	7.1
25	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東京理科大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
29~31	第18回XAFS討論会(高エネ加速器研)	日本XAFS研究会	jxafs18@ml.post.kek.jp http://www-conf.kek.jp/jxafs18/	事前登録 7.17
8月				
10	第210回塑性加工技術セミナー「高精度形状測定の基本(実習付き)」(長野)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 16名
16~20	The 13th World Conference on Titanium (Ti-2015)チタン世界会議2015(サンディエゴ)	The Minerals, Metals and Materials Society (TMS)・新家(東北大金研)	TEL 022-215-2574 niinomi@imr.tohoku.ac.jp http://www.tms.org/meetings/2015/Ti2015/home.aspx#.VE85Emflrcs	アブストラクト 12.15
19~20	第45回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)第1部(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	8.7 定員 80名
19~20	金属第55回・鉄鋼第58回中国四国支部講演大会(広工大)(本号372頁)	中国四国支部・日野(広島工大)	TEL 082-921-4454(直通), FAX 082-921-8973(機械システム工学科事務室) taikai@me.it-hiroshima.ac.jp	参加 7.31
19~20	第7回役に立つ真空技術入門講座(大阪電気通信大)	日本真空学会関西支部・深沢	TEL 06-6397-2279 shinku-kansai@optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp http://www.vacuum-jp.org/KANSAI/kansaihome.html	7.31 定員 100名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
20~21	サマースクール2015in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jsces.org/	8.7
21	第7回新機能無機物質探索研究センターシンポジウム(東北大多元研)	東北大学多元物質科学研究所 新機能無機物質探索研究センター(東北大多元研)	TEL 022-217-5723 aptsai@tagen.tohoku.ac.jp	
23	高温変形の組織ダイナミクス研究会「平成27年度夏の学校」(弘前)(6号300頁)	No.76研究会 紙川(弘前大)	TEL/FAX 0172-39-3671 kamikawa@hirosaki-u.ac.jp	発表7.10 参加7.24
24	第22回高校課題研究フォーラム「高校でできるセラミックス実験」(愛知)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyoiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ikyoku/kadai_kenkyu_forum.html	定員 20名
27~28	2015年度技術者継続教育「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
27~28	第10回水素若手研究会(福島)	水素若手研究会実行委員会・青島(筑波大)	TEL 090-2816-5709 s1420852@u.tsukuba.ac.jp http://home.hiroshima-u.ac.jp/h2wakate/index.html	
28	第211回塑性加工技術セミナー「伸線(引抜き)加工の基礎技術」-伸線・引抜き・矯正・潤滑-(関西大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 200名
28	2015年茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部・道辻(茨城大)	TEL 0294-38-5027 ibakouen@mx.ibaraki.ac.jp	
28~29	日本実験力学会2015年度年次講演会(新潟大)	日本実験力学会・小林(新潟大)	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp	
31	第375回講習会「実習付き基礎講座:ベーシック機械計測-測る・使える・わかる-」(首都大東京)	精密工学会他	TEL 03-5226-5191 http://www2.jspe.or.jp/	定員 30名
31	2015年度講習会「材料分析・評価技術活用への理解:本質に迫るソボ〜汎用から最先端まで〜」(東工大)(6号303頁)	関東支部・多賀(東工大)	jim-kantou@mtl.titech.ac.jp TEL 080-4833-3136	8.14 定員 60名
9月				
1~2	第31回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会・村上(九大)	TEL 092-802-3497 murakami@nucl.kyushu-u.ac.jp http://eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp/bun-seki2015/	
1~3	第9回プラズマエレクトロニクスシンポジウム(静岡)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会・静岡大(松井)	TEL 053-478-1064 matsui.makoto@shizuoka.ac.jp http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2015/	7.30 定員 60名
1~3	第17回日本感性工学会大会(文化学園大)	日本感性工学会・上野	TEL 03-3666-8000 jske17@jske.org http://www.jske.org/	事前 7.17
1~4	第55回真空夏季大学(掛川)	日本真空学会・佐久間	TEL 03-3431-4395 ofc-vs@vacuum-jp.org http://www.vacuum-jp.org/	7.31
2~3	第45回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)第2部(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	8.7 定員 45名
2~4	平成27年度工学教育研究講演会(九大)	日本工学教育協会・川上	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp	5.7
5	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(工学院大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyoiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
6~11	XVIII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2015) (Kyoto)	ISGS & J. Sol-Gel Society	TEL 075-753-2925 solgel2015@kuchem.kyoto-u.ac.jp http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/solgel2015/	
7~11	12th International Conference on Superplasticity in Advanced Materials (ICSAM) 2015(東大)	ICSAM2015・北薊(首都大東京)	TEL 042-585-8679 kitazono@tmu.ac.jp	
8~9	キンク研究会「平成27年度研究交流会」(福岡)	No.75研究会・石川(九大中島研)	nk-a-ishikawa@mms.kyushu-u.ac.jp	8.7
8~10	平成27年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(愛媛大)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2015b/top	
9~10	第43回日本ガスタービン学会(米子)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
11	第315回塑性加工シンポジウム「ハイブリッド車、電気自動車に貢献できる塑性加工」(刈谷)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
11	サマースクール2015in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jsces.org/	8.7
13~14	SPring-8 シンポジウム2015「放射光が先導するグリーンイノベーション〜グローバルな視点からの発信〜」(九大)	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 他	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 事務局 TEL 0791-58-0970 users@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2015/sp8sympo2015	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
16~18	第28回秋季シンポジウム(富山大)	日本セラミックス協会・山口	TEL 03-3362-5232 fall28@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/28th/	
16~18	日本金属学会秋期講演大会(九州大学伊都キャンパス)(本号366頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp (講演) TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 member@jim.or.jp (参加申込)	参加 8.10
16~20	国際トライボロジー会議 東京 2015 (ITC TOKYO 2015)(東京理科大)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 http://itc2015.com/	
17~18	2015年度技術者継続教育「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
18	第67回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号374頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産技研岡部研)	FAX 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
24~25	第6回社会人のための表面科学ベーシック講座(東京理科大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sssj.org http://www.sssj.org	定員 70名
10月				
5~8	Asia Steel International Conference 2015(Asia Steel 2015)(横浜)	日本鉄鋼協会	asiasteel2015@issjp.com http://www.asiasteel2015.com	
8~9	結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会(黒部)(5号250頁)	研究会 No. 67・井上(大阪府立大)	TEL 072-254-9316 FAX 072-254-9912 inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp	6.30
10	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東京大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
12~16	9th International Conference on Reactive Plasmas and 68th Gaseous Electronics Conference/33rd Symposium on Processing Plasmas (HAWAII)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	ICRP-9 Conference Office icrp9@intergroup.co.jp +81-52-581-3241	
13~14	第17回破壊力学シンポジウム(京都)	日本材料学会	FAX 075-761-5325 http://www.jsms.jp/	
14~16	第8回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2015)(東京)	日本学術会議・小阪(日本機械学会)	TEL 03-5360-3505 http://www.jsme.or.jp/conference/jcos-sar2015/	
15~16	2015年度技術者継続教育「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	
17	第14回 機械・構造物の強度設計, 安全性評価に関するシンポジウム(京都)	日本材料学会	FAX 075-761-5325 design14@jsms.jp http://www.jsms.jp	講演 7.3
19~20	第9回状態図・熱力学セミナー(東京)	日本学術振興会産学協力研究委員会 合金状態図第172委員会・梶原(東工大)	kajihara@materia.titech.ac.jp	
19~21	第36回日本熱物性シンポジウム(東北大)	日本熱物性学会	TEL 022-217-5277 jstp@microheat.ifs.tohoku.ac.jp http://www.jstp2015.com/	
25~30	第10回新物質及び新デバイスのための原子レベルキャラクター化に関する国際シンポジウム(松江)	日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会・永富(旭化成)	TEL 0545-62-3248 alc15@jsps141.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp http://alc.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp/alc15/	
26~28	第85回マリンエンジニアリング学術講演会(富山)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	講演 6.25
29~30	第51回 X線分析討論会(姫路)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会・村松	TEL 079-267-4929 murama@eng.u-hyogo.ac.jp	
29~31	第66回塑性加工連合講演会(いわき)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
11月				
10~12	第56回高圧討論会(新潟)	日本高圧力学会	TEL 070-5658-7626 touronkai56@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/56forum/	講演 7.17
11	第18回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11~13	The Joint Conference of HSLA Steels 2015, Microalloying 2015, OES 2015 (Hangzhou, Zhejiang Province, P. R. CHINA)	CSM, CAE (The Chinese Society for Metals Mr. WANG Lei and Mrs. LIU Fang)	Tel +86-10-65211205 or 65211206 Fax +86-10-65124122 hslasteels2015@csn.org.cn	
14	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(上智大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
19~20	第20回アコースティック・エミッション総合コンファレンス(名古屋)	日本非破壊検査協会・中村	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp http://www.jsndi.jp/	参加 10.16
25~27	第41回固体イオニクス討論会(北大)	日本固体イオニクス学会・幅崎(北大)	http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/elechem/41thsolidionics/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
27	第68回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号374頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	FAX 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
12月				
1~3	2015年真空・表面科学合同講演会 第35回表面科学学術講演会・第56回真空に関する連合講演会(つくば)	日本表面科学会, 日本真空学会	taikai15@sss.org http://www.sssj.org ofc-vs@vacuum-jp.org http://www.vacuum-jp.org/	
2~4	第42回炭素材料学会年会(関西大)	炭素材料学会	FAX 03-3368-2827 tanso-desk@bunken.co.jp	講演 8.17
2~4	第36回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(韓国・釜山)	超音波エレクトロニクス協会・小野寺(東工大)	TEL 045-924-5598 onodera@iuse.or.jp http://www.use-jp.org	講演 8.3
2~4	EcoDesign 2015国際会議(9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing)(東京)	エコデザイン学会連合他・高橋(東大)	TEL 03-5841-6499 ecodesign2015_secretariat@ecodenet.com	
3~4	電気加工学会全国大会(2015)(徳島)	電気加工学会・溝渕(徳島大)	TEL 088-656-9741 a-mizobuchi@tokushima-u.ac.jp http://www.jseme.or.jp/	
18~20	TWENTY-FOURTH International Symposium on PROCESSING AND FABRICATION OF ADVANCED MATERIALS [PFAM XXIV] (12.18-20) (Osaka university)	Kansai University・Prof. Ikeda (Kansai Univ.)	http://pfam24.jp/	
1月(2016年)				
8	第69回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号374頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	FAX 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
3月				
11	第70回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号374頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	FAX 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
23~25	日本金属学会春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	

—— 日本金属学会誌, Mater. Trans. へ投稿しませんか? ——

◎日本金属学会誌および Mater. Trans. は会員, 非会員問わず投稿することができます。

詳細は, 本会ホームページ → [会誌](#) or [Mater. Trans.](#) のページをご覧ください。皆様のご投稿をお待ちしております。

2015, 2016年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

委員長	御手洗容子						
副委員長	大塚 誠						
委員	赤瀬善太郎	浅野耕太	池田賢一	池田大亮	石本卓也	上田恭介	
	梅津理恵	大津直史	大野直子	大場洋次郎	大森俊洋	北村一浩	
	小泉雄一郎	齊藤敬高	佐藤和久	佐藤幸生	下島康嗣	下田一哉	
	杉浦夏子	芹澤 愛	千星 聡	染川英俊	高橋 淳	高林宏之	
	滝沢 聡	竹田 修	武田雅敏	田中真悟	田中秀明	田中康弘	
	多根正和	田村友幸	垂水竜一	堤 祐介	寺田大将	寺西 亮	
	戸高義一	中村貴宏	長谷川誠	畠山賢彦	藤枝 俊	府山伸行	
	堀内寿晃	堀部陽一	本間智之	松尾元彰	水本将之	宮岡裕樹	
	村石信二	森戸春彦	山下良之	山田高広	山室佐益	横田智之	
	湯蓋邦夫	吉矢真人	和田 武	渡辺博行			

まてりあ 第54巻 第7号 (2015) 定価(本体1,700円+税)¥120円

年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所 公益社団法人日本金属学会

発行日 2015年7月1日

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

発行人 山村英明

TEL 022-223-3685

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

FAX 022-223-6312

発売所 丸善株式会社

郵便振替口座 02210-2-5592

〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18



～ 刊行物のご案内 ～



● **日本金属学会誌（月刊）** <http://www.jim.or.jp/journal/j/>

学術論文、技術論文、寄書、オーバービュー論文、レビュー論文、特集など多彩な論文を掲載。投稿掲載費用が無料です。



● **共同刊行欧文誌：Materials Transactions（月刊）** <http://www.jim.or.jp/journal/e/>

12学協会の共同刊行による英文の投稿学術論文誌です。海外からの投稿を含めたWorldwideな論文を数多く掲載。インパクトファクター上昇を目指します。Advance Viewシステムで論文をいち早く公開できます。



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

解説、最近の研究記事を主軸に、ミニ特集企画や講義ノートなど、会員の啓発を促すバラエティに富んだ論文、記事を掲載。

〈本会発行学術図書類出版案内〉

- 金属化学入門シリーズ
- 講座・現代の金属学 材料編
- 講座・現代の金属学 製錬編
- 金属工学シリーズ
- セミナーテキスト
- シンポジウム予稿集
- 講演大会概要集DVD
- 国際会議プロシーディングス
- 金属博物館紀要
- 単行本

◇日本金属学会春秋講演大会 開催予定◇

★2015年9月16日（水）～18日（金）九州大学

★2016年3月23日（水）～25日（金）
東京理科大学～葛飾キャンパス～



熱気溢れるポスター発表

～ ご入会をお待ちしております。 <http://jim.or.jp/> ～

ガラス物性データベース SciGlass 7.7

価格(税別) ¥700,000.- (一般向け) ¥400,000.- (教育機関向け)

■ガラス

252,000件の酸化ガラス、15,860のハロゲン化ガラス、3,3808のカルコゲナイドガラスなど338,101件のガラス。

■物性

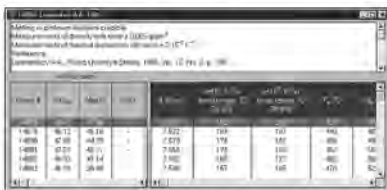
1,000,000件以上の実測値と合成法、測定法の情報。

■物性推測計算

100通り以上の推測法で16種類の物性を推測。実測値との比較プロット。

■最適ガラスの検索

■光学スペクトルデータ (UV, NIR)



システムプラットフォーム: Windows 2000/XP/Vista/7

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.- (一般向け) ¥60,000.- (教育機関向け)

2,030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 Xp/Vista/7 (AIChE DIPPR Project 801)

25,000件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 4.0

価格(税別) ¥160,000.- マルチユーザー ¥260,000.-

検索条件

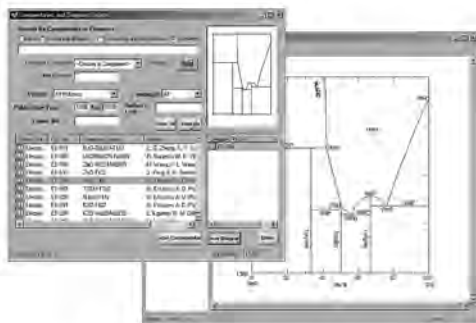
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

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)



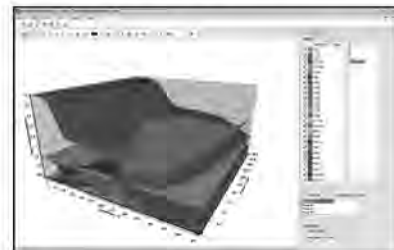
システムプラットフォーム: Windows XP/Vista/7

化学反応/平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.8.0

価格(税別) ¥390,000.-/¥320,000.- (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 XP/Vista/7/8 (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>

高純度 GfG

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

汚れや飛散のないカーボン材料

■真空、高温炉内材料一式

■炉内部品取替工事

■炭素繊維高温材料

- カーボンヒーター
- 炭素繊維断熱材
- 炉内サポート治具
- 機械用カーボン
- 連続鑄造ノズル
- ホットゾーン改修工事



メカニカルカーボン工業株式会社

本社・工場：〒247-0061 神奈川県鎌倉市台 5-3-25 TEL.0467(45)0101 FAX.0467(43)1680代

事業所：東京 03(5733)8601 大阪 06(6586)4411 福岡 092(626)8745

周南 0834(82)0311 松山 0899(72)4860 郡山 024(962)9155

工場：広見工場 0895(46)0250 野村工場 0894(72)3625 新潟工場 0254(44)1185

http://www.mechanical-carbon.co.jp E-mail : mck@mechanical-carbon.co.jp



ハガネのスペシャリスト、という名の会社。

★ 大同特殊鋼



すべては、未来へ向かって。



新たな技術を探究し続ける美和製作所。

その証として、多くの機械を
生み出してきました。

めまぐるしく変化する時代や環境。

その変化を恐れることなく、柔軟に対応し、
さらに進化、拡大を続けています。

その先にある、限りない未来のために。

美和製作所は、これからも上を向いて、
前に進み続けます。