

Materia Japan

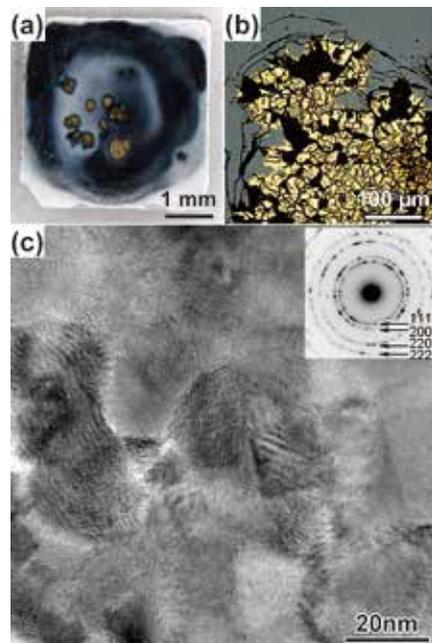
- 貨幣をつくる金属材料
- セラミックを一瞬で焼結するフラッシュ焼結
- 酸素四面体をもつ新規強誘電体の構造相転移
- 先達からのお便り 友清芳二(九州大学名誉教授)

まてりあ

Vol.57 MTERE2 57 (8) 369~418 (2018)

2018

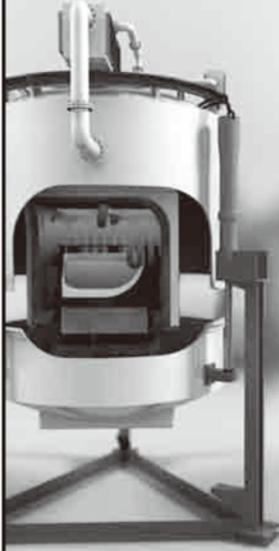
8



断熱材

高温真空 3000°Cへ

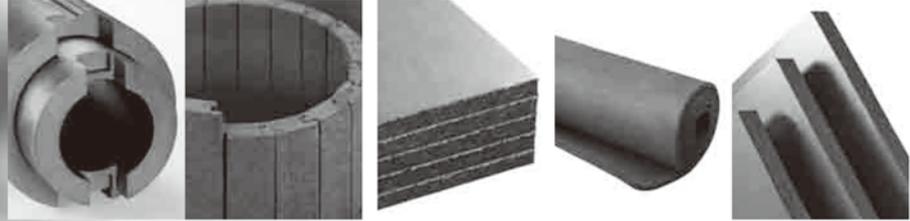
WWW.LC-MATERIALS.COM



省エネルギー

CO₂削減

CALCARB[®]
MERSEN
Expertise for almost all energy



- 繊維線径が細く、ピッチ系繊維より熱伝導率が低い
- 原料が環境に優しい天然素材のレーヨンを使用
- 特殊な製法により緻密で均一な空間構造で高断熱性
- 豊富なバリエーションで多様性に対応

ル・カーボン・マテリアルズ株式会社

東京本社 〒105-0012 東京都港区芝大門1-1-11 プレイス860
TEL 03-5733-8608 FAX 03-3431-8622
西予工場 〒797-1212 愛媛県西予市野村町野村8-135-4

全自動シリアルセクションング 3D顕微鏡

Fully-automated serial sectioning 3D microscope

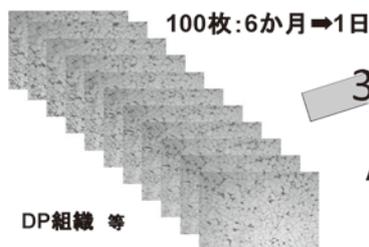
Genus_3D[™]

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

Nakayamadenki Co.,Ltd.

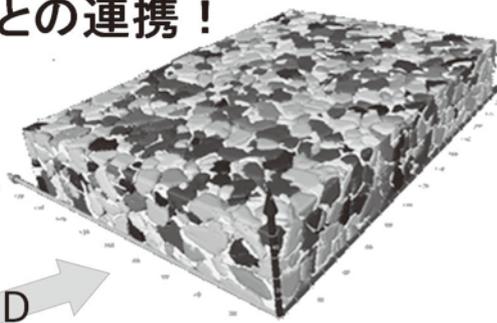


Genus_3Dによる逐次研磨像



100枚:6か月⇒1日

3D



AIによる高速処理

更に高度な追加処理

組織特徴の数値化

- | 3D | 2D |
|------|------|
| ・粒径 | ・粒径 |
| ・体積率 | ・面積率 |
| ・表面積 | ・真円度 |
| ・数密度 | ・凸度 |
| ・連結性 | |
| ・分岐性 | |
| ・曲率等 | |

国内総発売元



株式会社 新興精機

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

大阪営業所

〒564-0052

大阪府吹田市広芝町7-26 米澤ビル第6江坂301号

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

営業窓口: 池内 oosaka@shinkouseiki.co.jp

8

2018
Vol.57
No.8

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

巻頭	貨幣をつくる金属材料	369
最近の研究	酸化物系セラミックのフラッシュ焼結と今後の進展 山本剛久 吉田英弘	373
	一瞬でセラミックを焼結できるフラッシュ焼結とは？	
	新規酸化物強誘電体 BaAl ₂ O ₄ の構造相転移機構 石井悠衣	381
	酸素四面体からなる新しい強誘電体の構造相転移機構とその特徴について紹介。	
新進気鋭	薄膜における水素化過程と水素による膜改質 春本高志	387
はばたく	第一原理計算を利用した材料研究 平田研二	392
研究所紹介	若狭湾エネルギー研究センター 中嶋英雄	393
先達からのお便り	電子顕微鏡と出会って50年～材料研究者が見てきた電子顕微鏡の変遷～ 友清芳二	395
談話室	グリュンベルグ先生を偲んで 高梨弘毅	399
本会記事	会告	400
	企業求人情報・掲示板	409
	会誌・欧文誌8号目次	411
	書評	412
	次号予告	413
	新入会員	413
	行事カレンダー	414
	訂正	418

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

今月の表紙写真 印加電界50 V/cm, 制限電流500 mA の条件でフラッシュ処理を行った YSZ(TZ-PX172) 焼結体の微細組織と EEL スペクトル。(a)断面組織, (b)拡大組織, (c)HRTEM 像。(山本剛久 吉田英弘: 本号376頁 図5より抜粋・改変)

表紙デザイン: 北野 玲
複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあつては、その必要はありません。(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です。) 権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <http://www.jaacc.jp/>
複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、直接本会へご連絡下さい。

◆◆ 新型 赤外線導入加熱装置 GVL298N

赤外線導入加熱装置とは……

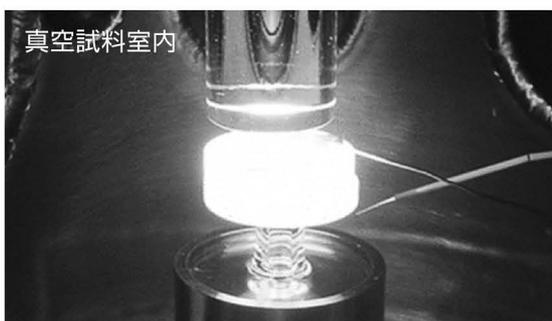
新材料物質の試験・研究用の熱処理装置で、大気側にある熱源・赤外線を特殊な導入機構を介し、真空中試験試料へ照射、最高1500℃まで昇温します。

従来品を改良しました。

- 1 急速昇温 1500℃まで1分で昇温
- 2 周りを加熱せず試料のみクリーン加熱
- 3 熱源と試料は非接触。強制冷却も可能
- 4 XPS等、研究室内真空システムに取付可能

●●●●● 改良ポイント ●●●●●

- ◆ 冷却機構の改良で **小型化** に成功！
狭いスペースへの製品取り付けが可能
- ◆ 冷却力向上により、
赤外線ランプの **長寿命化** に成功
- ◆ 漏洩光の減少により、
装置周辺の **安全性の向上**



【用途】 Si、SiC、カーボンナノチューブ等の
清浄雰囲気中熱処理



日本金属学会付設展示会(東北大学) 2018年9月19日(水)～21日(金) 出展

熱と共に歩む



株式会社 **サーモ理工**

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

詳細・HP



研磨機・切断機
期間限定キャンペーン中!!
詳細はお問い合わせください。



自動研磨機 **SCANDIMATIC 33305**

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



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

精密切断機 **MINICUT 4000**

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



試料埋め込み材料、アクセサリ

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

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

フリツェジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5

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

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

遊星型ボールミル “PREMIUM LINE” モデル P-7 **新型**



容器がセットされる様子。

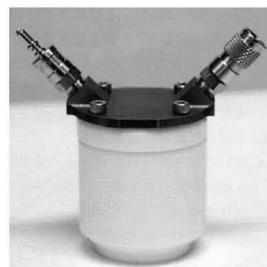
特色

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



従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリッチュ社が開発した
遊星型シリーズの
パイオニア機種。

世界で初めて容器ひとつで
遊星運動に成功した
昨年度のベストセラー機種

少量試料を対象にした
パワフルな機種

全機種共通の特長

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



フリッチュジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-12-5

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

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

貨幣をつくる 金属材料

世界で流通している貨幣は約190種類あると言われている。
世界の各国では、肖像や代表的な動植物、名所などをモチーフとしたデザインの貨幣を使用している。
日本は世界でも有数の貨幣製造技術を持っていると評価されている。
金属貨幣のあゆみをたどりながら、最新製造技術を展望する。

金属貨幣のルーツ

金属製の貨幣は、紀元前7世紀前後に中国やリディア（現在のトルコ西部）で出現したといわれている。西洋最古の貨幣は紀元前670年頃、リディアでつくられた「エレクトロン貨」だ。エレクトロンとはギリシャ語で琥珀を意味し、エレクトロン貨幣が琥珀色をした金と銀の天然の合金の粒で、琥珀に似ていたため名づけられた。動物や人物が打刻され、西洋における打刻型の鑄造貨幣へとつながっていった。紀元前6～4世紀には、ギリシャの諸都市に伝わり、アテネでは「ふくろう銀貨」と呼ばれる質の良い銀貨がつくられた。紀元前3世紀の古代ローマでも貨幣を使用しており、金・銀・青銅貨を発行していた。民衆に皇帝の権威を知らしめるため、貨幣にはローマ皇帝の顔が入っていた。

一方、中国では春秋時代から戦国時代（紀元前770～221年）にかけて、古代の鋤型農具をかたどった「布幣・（貨）」や刀の形を模した「刀幣・（貨）」、あるいは円形の貨幣がつくられていた。そして使用に便利のように、次第に孔あきのものが多くなり、製作上の便宜から四角の孔に変化し、秦の始皇帝（紀元前221年）のとき円形四孔で初めて額面を表示した貨幣「半両銭」がつくられた。いずれも青銅製だった。この形が中国で2000年間続き、日本にも伝わり広がっていった。⁽¹⁾

日本の金属貨幣は、683年に中国の「開元通宝」をモデルとして「富本銭」、708年に「和同開珎」がつくられたのが始まりだ。それから250年間に「皇朝十二銭」がつくら



リディア王国(紀元前7～6世紀)のエレクトロン金貨
大きさは11 mm×13 mm。貨幣の価値の象徴としてライオンの頭が刻印されている。(日本銀行貨幣博物館所蔵)

れたが、その後は豊臣秀吉が金・銀貨幣をつくるまでの約600年間、中国から輸入された。そして徳川家康が日本で初めて貨幣制度を統一し、金銀銅の三貨制度が確立した。⁽²⁾

近代化の先駆的役割を果たした造幣事業

現在、日本の貨幣は独立行政法人造幣局が製造し、日本国政府が発行している。造幣局は明治政府によって近代的な貨幣制度を整えるため、当時経済の中心地であった大阪に工場が建設された。1871（明治4）年4月に創業すると、その3カ月後に日本最初の貨幣法規「新貨条例（太政官布告）」が制定された。これにより通貨単位は1両＝4分＝16朱の4進法から、1円＝100銭＝1000厘の10進法へと変更され、本位金貨幣と補助銀貨幣、補助銅貨幣の製造が始まった。

本位金貨幣は5種類（20円、10円、5円、2円、1円）で、1円金貨幣は金1.5 g、2円

明治3年銘の20円金貨

表面（左）に中央に天皇を象徴する玉を抱く龍図、裏面（右）の左右に錦の御旗、中央に日章と八稜鏡、およびそれを取り囲む菊と桐の枝飾りが配された。刻印は彫金家の加納夏雄（東京美術学校（現東京藝術大学）初代彫金科教授）が製作した。



古代中国の貨幣 (紀元前8～3世紀頃)

青銅製貨幣の形状は布幣（左）、刀幣（右）などから円銭へと発展した。

以上の金貨幣にはそれぞれ額面の約1.5倍分の重さの金が含まれていた。純金では軟らかすぎ、摩耗しやすいため、銅を混ぜ品位を900*とした。補助銀貨幣は4種類（50銭、20銭、10銭、5銭）と海外貿易用の本位1円銀貨幣がつくられた。純銀もまた軟らかく摩耗しやすいため、本位1円銀貨幣は品位を900とし、当時の金銀比価1:16に基づき、銀含有量を決定した。補助銀貨幣は、銀価格上昇による鑄潰しを防ぐため、額面相当よりやや少ない銀含有量とし、品位を800とした。補助銅貨幣は4種類（2銭、1銭、半銭、1厘）で、素材に江戸時代の銅銭などが使われたが、不純物が多かったため、イギリス人技師の指導で反射炉を築造し、銅を精製した。

機械設備はイギリスが香港に設立して廃局していた造幣所から中古品を購入したものであったが、それ以外の貨幣製造に必要な硫酸、ソーダ、石炭ガス、コークスの製造や電信・電話などの設備並びに天秤、時計などの諸機械の製作は全て造幣局で自給自営していた。明治政府の造幣事業は、要素技術を利用する産業の裾野を広げ、日本の近代化の先駆的な役割を果たした。⁽³⁾

*金貨幣の品位は重量の千分率(%)で表すことが多い。



貨幣の製造工程



500円貨幣の偽造防止技術



斜めギザ

大量生産型の貨幣では世界初だった。ギザを斜めにすることで偽造抵抗力を向上させた。



潜像

光の入射角と反射角による反射光の明暗の差による現象を応用した。



微細点

桐の葉の中央部分に施され、目に見えないほどの微細な穴がいくつも刻まれている。



微細線

髪の毛より細く、切削加工の限界に挑んだ金属彫刻における最先端技術を使用した。

安定供給を担う 効率的な生産ライン

貨幣の材料には、(i)大量に入手でき、価格が安定していること、(ii)国民に好感をもたれること、(iii)貨幣製造に適し、流通中に变形や摩耗しにくいこと、(iv)偽造されにくいこと、(v)自動販売機その他の機械に使用の際、識別が便利であることなどが求められる。そこで金、銀、銅、ニッケル、亜鉛、錫、アルミニウムのほか、これらの合金である銀合金、白銅、青銅、黄銅など、さまざまな金属材料が世界各国で使用されている。なかでも銅合金が多く使われているのは、銅は比較的豊富で価格も手頃で、合金にすると何十年も流通できるような耐食性や耐摩耗性などの耐久性があり、穴を開けたり大きさを変えたりと加工性が良好で、様々な色合いのものができるといった特徴を持っているからだ。

現在、造幣局で製造している通常の貨幣は、500円ニッケル黄銅貨幣、100円白銅貨幣、50円白銅貨幣、10円青銅貨幣、5円黄銅貨幣、1円アルミニウム貨幣の6種類だ。どのように製造されているのかを見てみよう。

まず銅やニッケルなどの金属と、回収された貨幣を電気炉で溶かし、連続铸造装置で約450 kgの鋳塊をつくる(貨幣の製造工程①、以下同様)。これを均熱炉で再加熱し、熱間圧延機で厚さ約7 mmまで延ばす(工程②)。酸化して黒くなった表面を削り、冷間圧延機で貨幣の厚さ約2 mmまで引き延ばし、コイル状に巻く。そして圧延板を圧穿機で貨幣の形に打ち抜く(工程③)。これを「円形」と呼んでいる。打ち抜かれた後の板は溶解工程に戻し、再利用している。圧穿工程後、円形の周囲に膨らみのある縁をつけ(工程④)、模様を出しやすくするため、焼鈍炉で円形を加熱して軟らかくする。焼鈍した円形を酸で洗浄して油污れや酸化膜を取り除き、脱水・乾燥する。そして圧印機によって1分間に約750枚の高速で円形の裏と表に模様をつける(工程⑤)。圧印力は500円貨幣の場合約850 kNに達するため、金型の長寿命化を目的に、CrN表面処理技術により、表面を硬化させて生産性を向上させた。圧印された貨幣の検査を経て、合格したものを決まった数量で封緘する(工程⑥)と完成だ。圧印工程では無人搬送車が貨幣を運んでおり、省力化が図られている。

偽造を防ぐ 世界最高水準の技術力

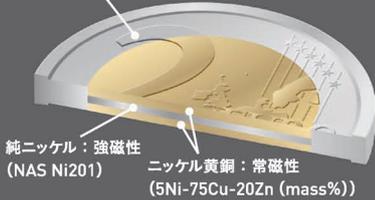
世界約190カ国・地域のうち、自前で貨幣を製造しているのは約60カ国で、その他は造幣機関を持っておらず他国に製造を委託している。日本は2012年、バングラデシュ中央銀行の貨幣製造に関する国際競争入札で、イギリスやドイツ、スペイン、オランダなどの強国に競り勝ち、戦後初の一般流通貨幣を受注し、2カタ貨幣(日本円で約2.5円)5億枚を製造した。さらに2016年には一般流通貨幣の受注2件目となったジョージア(旧グルジア)の20テトリ貨幣(日本円で約9円)を落札し、1,400万枚を製造している。またバングラデシュやニュージーランド、スリランカなどの記念貨幣もつくっており、2007年以降に製造した外国貨幣は10カ国14種類にのぼる。

国際入札などで日本の強みとなっているのは技術力だ。500円貨幣は世界でも屈指の高額貨幣で、1999年頃に韓国の500ウォンなど海外貨幣の不正使用に対する偽造防止対策が日本の技術水準の高さを世界に

1ユーロ
貨幣2ユーロ
貨幣

2ユーロ貨幣のバイカラー・クラッド構造

白銅：常磁性 (25Ni-75Cu (mass%))



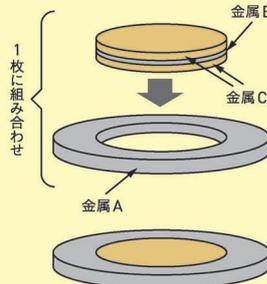
純ニッケル：強磁性 (NAS Ni201)

ニッケル黄銅：常磁性 (5Ni-75Cu-20Zn (mass%))

日本製の純ニッケル（純度99.6%以上）は、ユーロ貨幣の一部に使用されている。

※常磁性：磁石に付く力が非常に弱い性質

バイカラー・クラッド技術の仕組み



異なる種類の金属板をサンドイッチ状に挟み込むクラッド技術でできた円板を、それと異なる金属のリングの中にはめ合わせるバイカラー技術を用いてつくられている。

地方自治法施行60周年記念貨幣(大阪府)
500円バイカラー・クラッド貨幣

表面に仁徳天皇陵古墳をデザインしている。

知らしめた。

偽造防止技術は主に4つある。1つ目が「斜めギザ」だ。貨幣側面のギザは、表裏面に対して通常垂直に刻まれているが、斜めにする事でプレス時の金型からの取り出しが困難となり、また金型に特殊な技術が必要となるため、偽造抵抗力を向上させた。2つ目は「潜像加工」だ。貨幣を見る角度によって「0」の中に500円という文字や縦棒が見え隠れする。イギリス2ポンド貨幣をはじめ諸外国の貨幣にも使用されているが、流通貨幣としての発行は数例のみとなっている。3つ目は「微細点加工」で、転写等による偽造を防ぐため貨幣模様中央部に微細な穴加工を行っている。4つ目は「微細線加工」で、上下文字部「日本国」「五百円」の周りに扇状に微細な線模様を施している。偽造を防ぐ効果は非常に高い。

次世代貨幣の製造に対応した
技術革新

一方、ヨーロッパでも偽造防止技術は進化している。1ユーロ及び2ユーロ貨幣は、周囲リング部分に中央コア部分をはめ込んだ金銀2色のバイメタル構造で、1ユーロと2ユーロでは配色が逆になっている。さらに中央コア部分は中心に純ニッケルを挟んだ3層構造となっている。ニッケルが磁石に付く性質を利用し、偽造防止のため精密に磁気特性を調整している。

こうしたなか、日本では2008年から発行されている地方自治法施行60周年を記念した47都道府県別の500円記念貨幣で、日本貨幣史上初となるバイカラー・クラッド(2色3層構造)技術を導入した。また貨

幣の裏面の古銭中央の四角の穴の部分には、地方自治法施行60周年を記念した「60」の文字と47都道府県を示す「47」の文字が浮かび上がる潜像加工に加え、微細点・微細線加工を施したほか、側面には斜めギザの一部を他のギザとは異なる形状にした「異形斜めギザ」を採用した。異形斜めギザ加工技術は、日本独自に開発したものだ。次世代貨幣の製造に対応した新たな挑戦に取り組み、技術の研鑽が続けられている。

(取材協力、画像提供：独立行政法人造幣局、日本冶金工業(株))

文 献

- (1) 造幣博物館 展示資料解説
- (2) 造幣局ホームページ「日本の貨幣の歴史」
<https://www.mint.go.jp/kids/history>
- (3) 「造幣局のあゆみ 改訂版II」造幣局のあゆみ編集委員会

INTERVIEW

信頼と挑戦
世界に誇れる貨幣をつくるために

貨幣の製造にあたっては、純正画一で偽造されない貨幣を、合理的な価格で安定的かつ確実に供給することを使命として、効率的な生産技術の導入、確実な品質管理システムの構築、高度な偽造防止技術の開発などに取り組んでいる。

国民の貨幣に対する信頼の維持と国民生活の向上に寄与するためには、創業期の先人たちがそうしてきたように、何事も恐れず挑戦し、どんな困難も乗り越えて

いくという伝統をこれからも受け継いでいくことが大切だ。

例えばバングラデシュ2タカ及びジョージア20テトリの一般流通貨幣製造では、日本の貨幣とは異なるステンレス素材に挑戦し、知見を広げることができた。

これからも国民の皆様の信頼に応えるよう、たゆみない挑戦を続けていく。

森 英明 さん
独立行政法人造幣局
研究所 研究管理課長

表面に非常に微細な溝をつくることによって虹色に輝いて見える発色技術は、新幹線鉄道開業50周年記念貨幣(1,000円銀貨幣)に採用。見た目では判別しやすい偽造防止技術だ。

酸化物系セラミックのフラッシュ焼結と今後の進展

山本 剛久* 吉田 英弘**

1. フラッシュ焼結の概要

セラミック圧粉成型体に電極を設置し、電圧を印加した状態で昇温していくと、ある炉温において圧粉体を流れる電流（以下、試料電流）が急峻に増加する現象が現れる。この試料電流が急峻に増加する現象は、フラッシュ現象と呼称され、近年注目されているフラッシュ焼結法を特徴づける現象として認識されている。圧粉体は、このフラッシュ現象の発現とともに急激に緻密化し、極短時間で焼結工程が終了することとなる。フラッシュ焼結法は、米国コロラド大学の Raj らの研究グループによって2010年に公表された新しい焼結法である⁽¹⁾。この報告ではジルコニア系セラミック（3 mol% Y_2O_3 添加 ZrO_2 、以降 3YSZ）への適用例が掲載されていた。彼らの結果によると、無加圧下850°Cにおいて僅か数秒という短い時間で、相対密度95%以上の緻密体が得られている。3YSZの一般的な焼結条件が1400°C程度において数時間要することを考慮すると、彼らの結果が如何に驚異的であるかが理解できよう。その後、この焼結法は種々のセラミックへ積極的に展開され、現在ではアルミナ(Al_2O_3)を除く多くの主要な酸化物セラミックにおいて、その有効性が確認されている⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。図1は、吉田らによって報告されたイトリア(Y_2O_3)セラミックに関するフラッシュ焼結の実施例である⁽⁷⁾。図1(a)は、圧粉体の線収縮率（緻密化挙動）の印加電界依存性を、図1(b)はその時の試料電流をそれぞれ示している。 Y_2O_3 は難焼結性セラミックの一つであり、一般的な焼結法では1500°Cにおいて数時間保持を行っても十分な緻密体を得ることができない。ところが、電界を印加することによってその緻密化挙動が劇的に変化するのである。図1

(a)に示すように、印加電界が増加するにしたがって、緻密化開始温度が低温側へと遷移するとともに、その速度がより急峻に変化していく様子が分かる。例えば、1000 V/cm の条件では約980°Cで19%程度の線収縮率が得られており、最終到達相対密度は少なくとも99%以上であることが TEM (Transmission Electron Microscopy, 透過型電子顕微鏡法)

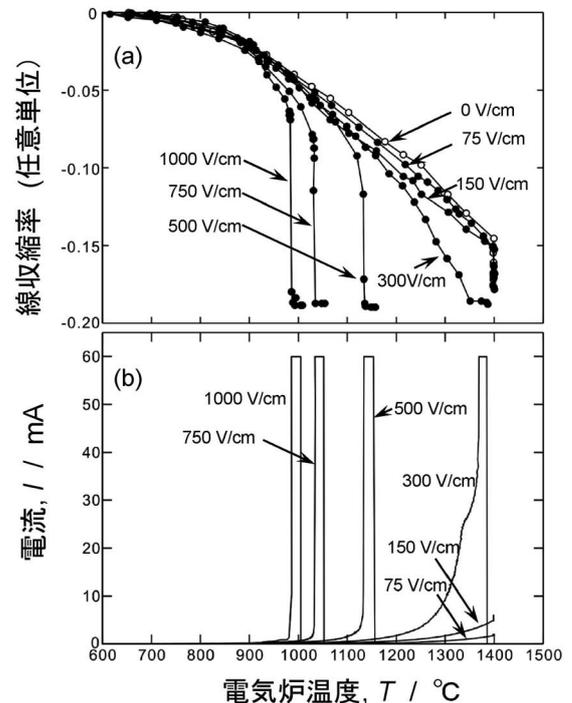


図1 Y_2O_3 のフラッシュ焼結における、(a)線収縮率、および、(b)試料電流の印加電界依存性⁽⁷⁾。

* 名古屋大学大学院材料デザイン工学専攻；教授(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

** 国立研究開発法人 物質・材料研究機構；主任研究員

Flash Sintering of Oxide Ceramics and the Future Developments; Takahisa Yamamoto* and Hidehiro Yoshida** (*Department of Materials Design Innovation Engineering, Nagoya University, Nagoya. **Field-Assisted Sintering Group, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: flash sintering, field assisted sintering technique; FAST, zirconia, nitride, barium titanate(IV)

2018年4月16日受理[doi:10.2320/materia.57.373]

を用いた組織観察によって確認されている。大気中かつ無加圧下において僅か980°C程度で Y_2O_3 セラミックの高密度焼結体が得られることは、焼結に関するこれまでの常識を覆すものであろう。一方、図1(b)に示すように、このような緻密化速度が急峻に増加する温度は、試料電流が急峻に増加するフラッシュ温度と一致していることが興味深い。この緻密化速度の印加電界依存性は、Rajらの研究グループによって最初に報告された3YSZ⁽¹⁾や他の酸化物セラミックの実施例⁽⁶⁾とも整合しており、図1に示した結果はフラッシュ焼結法における一般的な傾向と考えてよい。図1に示したような急峻な緻密化速度の増加は、常にフラッシュ現象を伴うことから、緻密化速度の増加は圧粉体へ投入される電力、すなわち、ジュール加熱によるところが大きいものと考えられている。Toddらは、この観点に立って詳細な熱量解析を行い、ジュール加熱効果と緻密化速度との関係を理論的に議論している⁽⁸⁾。その解析を支持する幾つかの研究例も報告されているもの⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾、このような熱量解析は熱放射率をどう設定するかに強く依存するため、解析精度としての曖昧さに疑問が残る。対してRajらは、Toddらが実施した解析手法には及ばないものの、同様な熱量解析を行い、緻密化が単なるジュール加熱効果では説明のできない速度となることを指摘している⁽¹²⁾。フラッシュ現象とともに瞬間的に生じる短時間での大規模な物質移動については、未だ議論すべき内容が多く残されているのが現状である。

Rajらの報告以降、如何に短時間、かつ、より低温で焼結を完了させるかに注力された研究が数多く報告されてきた⁽⁶⁾。この一連の研究の中で、緻密化速度の増加だけではなく、電界印加によって生じるいくつかの興味深い現象も見出されている。例えば、Lebrunらは3YSZのフラッシュ焼結中に生じる結晶構造変化を、X線を用いたその場計測から調べている⁽¹³⁾。彼らは、炉温1000°Cにおいて100 V/cmの電界を印加すると、この温度で本来安定である正方晶に加えて、擬立方晶が現れること、さらには、電界の除去とともにその擬立方晶が消失することを見出している。電界印加によるジュール加熱を加味した試料の実温度は1290°C±18°Cである事が確認されており、この温度は、3YSZにおける正方晶から立方晶(高温相)への相変態温度である1400°Cよりも十分低い。すなわち、電界印加によって生じる擬立方晶の出現は、ジュール加熱による試料温度の上昇を考慮しても説明できない現象なのである。また、フラッシュ現象は、多くの酸化物で認められる負の抵抗温度依存性に起因した単なる熱暴走と当初考えられていた⁽⁸⁾。ところが、数多くの実施例が報告されるに従って、電界印加に関わる熱暴走以外の要因がフラッシュ現象を誘発している可能性が考えられ始めている。例えば、純粋な Al_2O_3 ではフラッシュ現象が発現しないが、微量の MgO を添加するとフラッシュ現象が生じ、他の酸化物系セラミックと同様に急峻な緻密化が生じる⁽¹⁴⁾。また、予め焼結を行った試料に電界を印加すると、同じ物質の単結晶よりもフラッシュ温度が低下する⁽¹⁵⁾。これらの結果は、点欠陥生成挙動の変化がフラッシュ現象、および、緻密

化挙動と密接に関係することを示唆している、と筆者らは考えている。酸化物セラミックの多くは僅かな不純物の固溶や点欠陥の形成エネルギー差に起因する空間電荷層の形成によって、その電気特性が大きく変化するからである。この観点から、フラッシュ現象を維持することで電界印加効果をより鮮明化させることに着目した。その結果、フラッシュ焼結、もしくは、電界を印加することの重要な点は、過剰の酸素空孔の形成にあるとの考えに至ったのである。フラッシュ焼結法が開発されて以降種々のセラミックスへの適用例が多数報告されてきたが、いずれも緻密化挙動に注目した解析が多く、微細組織、特に電子状態解析についてはほとんど報告がなされてこなかった。筆者らは、このフラッシュ焼結時に生じる特異な現象に注目し、幾つかの興味深い知見を得てきた。次項以降においてそれらについて説明していく。

2. フラッシュ焼結時における線収縮率の計測

フラッシュ焼結法を開発したRajらのグループやそれを追隨する研究グループでは、多少の形状の違いはあるものの、基本的には図2(a)に示すように、電極部を両端に付した細い直方体(Dog bone)形状の試料を用いている⁽¹⁾。この形状の圧粉体を電気炉内に吊るした状態で電界を印加し、一定電圧のもと炉温を上昇させ、その時の緻密化挙動を炉体下部に設置したCCDカメラで記録し、その画像から長さを計測することで線収縮率を見積もっている。この手法に対して筆者らは、より精密に線収縮率を測定することを目的として、フラッシュ焼結に対応するよう示差熱膨張計を改造して使用している⁽¹⁶⁾。図2(b)に線収縮率測定部を示す。示差熱膨張計では標準試料と被測定試料の両者を計測できるように検出ロッドが二本設置され、その位置変化を差動トランスを用いて検出している。焼結プロセスのような収縮量が大きい場合には、試料部のみの計測で十分であるため、標準試料側の検出ロッドを撤去し、電極線などのスペースとして確保した。線収縮率は、予め標準試料を用いて計測しておいた構成データで補正を行っている。この手法であれば、急激な緻密化時でもその場データとして取得することが可能となる。これまでに用いられてきたDog bone形状の利点は、図2(a)に

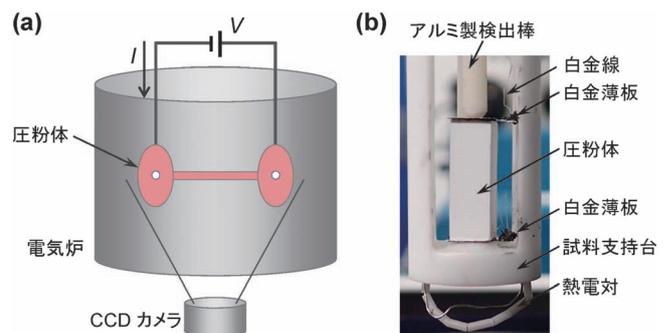


図2 (a) Dog bone 形状試料の模式図と、(b) 熱膨張計に設置した圧粉体⁽¹⁶⁾。(オンラインカラー)

示す細い形状部の緻密化速度を計測できる点にある。後述するように電極近傍は電界効果による組織の不均一化が生じる。Dog bone 形状だと、これを見かけ上除外できることが有利な点ではある。しかしながら、フラッシュ焼結法を実用的に考えるのであれば、一般的な直方体形状の成型体を用いるべきであり、筆者らはこの点に注目して図2(b)のような計測系を用いたのである。ところが、この断面積がより大きい試料形状を用いたことで、これまでに見出されることのなかった電界印加特有の現象を顕著に見出すことへとつながった。

3. 電界印加によって生じる大気中空化現象

フラッシュ状態を維持すると焼結体中に特徴的な黒色化が生じることが見出された⁽¹⁶⁾。その一例を図3に示す。図3は3YSZ圧粉体を、印加電界50 V/cm、制限電流630 mAの条件で昇温し、フラッシュ現象が生じたのちにその状態を1時間保持した時に得られた試料の外観を示している。図3から分かるように、焼結体内部には明瞭な黒色化が生じていることが確認できる。この黒色化領域は、負電極側を起点として正極側へ円錐状に拡大していることが、断面組織の解析から確認できている。フラッシュという本来の意味合いから、その状態を維持するというはこれまでなされてこなかった。その状態を維持することでフラッシュ焼結時に生じている現象をより顕著に露わにすることができたのである。筆者らは、この黒色化領域をHeat Coreと呼称している。このHeat Coreは、フラッシュ焼結時に試料電流が優先的に流れた領域と考えられ、この領域が加熱源となり圧粉体の緻密化を担う高温状態を作り出しているものと考えている。この領域外の部分は、主にHeat Coreで発生するジュール熱によって緻密化が進行するのである。Heat Coreは、ちょうど、ロウソクの芯の部分に相当する。ところで、Heat Core部で認められる黒色化は、結晶中に過剰酸素空孔が形成されたことを意味している⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。電界印加(この場合には直流電界)に伴う酸素イオンの強制的な拡散によって結晶格子内に過剰な酸素空孔が形成された結果、黒色化が生じているのである。この電界印加に起因する過剰酸素空孔の生成については、ここに示したジルコニア系酸化物以外にも Y_2O_3 ⁽⁷⁾やチタン酸バリウム($BaTiO_3$)⁽¹⁹⁾においても見出されている。 Y_2O_3 や $BaTiO_3$ セラミックではフラッシュ状態を必ずしも維持していない場合においても、結晶粒界部の還元がSTEM-EELS(Scanning Transmission Electron Micro-

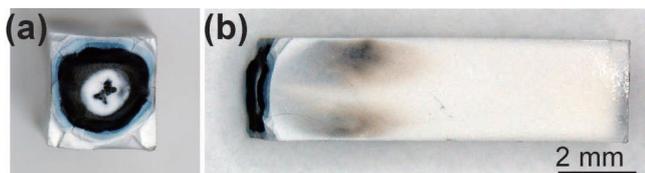


図3 3YSZフラッシュ焼結後の試料(a)端面、および、(b)側面。図(b)において左側が負極である。(オンラインカラー)

scope Electron Energy Loss Spectroscopy, 走査透過型電子顕微鏡電子線エネルギー損失分光法)による電子状態計測から明らかにされている。過剰酸素空孔の形成は、多くの酸化物セラミックにおいて電気伝導キャリアの増加をもたらす。この効果はフラッシュ現象の発現やその温度、さらには、緻密化と関係する物質移動量と密接に関係するはずである。上述したToddらの解析では、フラッシュ現象の発現は単なる熱的な暴走の結果として取り扱われているが、この議論は電界印加で生じる現象を簡潔に表現しすぎているのではないであろうか。この意味において、Rajが主張する熱暴走以外の要因の存在について、さらに調べていく必要があるものと考えられる。

一方、この過剰酸素空孔の形成、つまり、強制的な還元状態によってジルコニア系セラミック内部に空化が生じることが明らかとなった⁽¹⁶⁾。図4(a)は制限電流300 mA、印加電界を15~150 V/cmに変化させたときのYSZ($ZrO_2-5.26 \text{ mass\% } Y_2O_3-0.252 \text{ mass\% } Al_2O_3$, TZ-PX172, Tosoh Corporation, Japan)の緻密化曲線を示している。いずれの曲線もフラッシュが生じた時点で1時間の保持を行った。例えば、150 V/cmのデータでは図中矢印Aの時点でフラッシュが生じている。また、図中に示した破線のデータは電界を印加していない通常焼結時の緻密化曲線である。通常焼結では約1000°C程度から緻密化が生じ、1300°C程度において相対密度がほぼ100%に達していることが分かる(ここでは、微量の Al_2O_3 が添加された易焼結性ジルコニア粉末を用いた)。

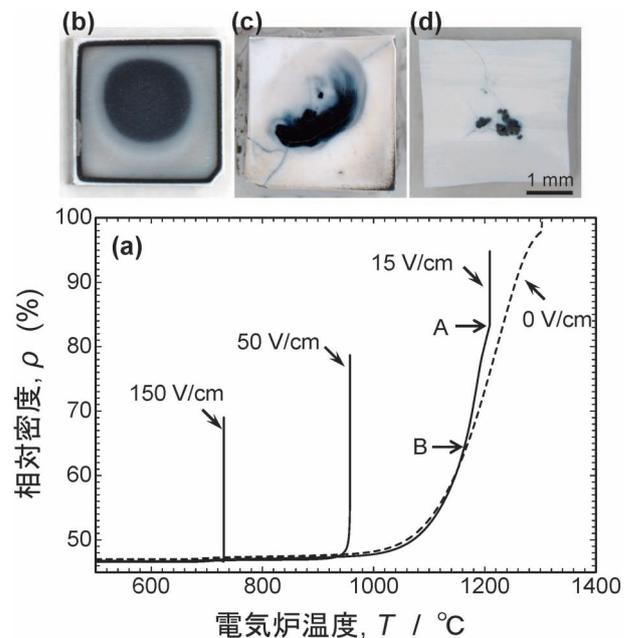


図4 YSZ(TZ-PX172)フラッシュ焼結時における相対密度の印加電界依存性と試料の断面組織⁽¹⁶⁾
(a) 相対密度の印加電界依存性、および、(b) 15 V/cm, (c) 50 V/cm, (d) 150 V/cmを印加したフラッシュ焼結後の試料断面組織。いずれも制限電流は300 mA。図中に示した矢印AおよびBについては本文中で説明。(オンラインカラー)

これに対して電界を印加した場合には、いずれの電界においても緻密化開始温度が大きく低下し、150 V/cm では約730°Cまで低下する。図に示した例ではフラッシュ現象時の到達電流値を300 mAに制限しているため、最終到達密度は150 V/cmで70%程度であることに注意いただきたい。15 V/cm および0 V/cmの緻密化曲線を比較すると電界印加の効果が理解できる。図中矢印Bで示すように1160°C程度までは同様な緻密化挙動を示しているが、それ以降は15 V/cm印加の緻密化速度の方が増加していることが分かる。そして、矢印Aで示す温度においてフラッシュが生じている。このフラッシュが生じるまでに緻密化速度が増加している領域は、いわゆる従来の電場支援焼結(Field Assisted Sintering Technique; FAST)の領域に相当する。フラッシュが発現する前にしばしば現れるこのような緩やかな緻密化速度の増加現象は、 Y_2O_3 においても報告されている⁽⁷⁾。図4(b)～(d)には、それぞれの印加電界において得られた焼結体の断面光学顕微鏡組織を示している。いずれの条件においてもHeat Coreが形成されていることが分かる。このような黒色化領域では強還元作用が生じていることは上述した通りである。さらに制限電流を増加させると、この黒色化した領域の中に酸窒化物が形成される。図5は、50 V/cmの印加電界に対して制限電流値を500 mAまで増加させたときに得られた試料の断面組織、TEM高分解能像およびEELスペクトルをそれぞれ示している。断面組織に示すように黒色化領域に金色に着色した領域が現れていることが分かる。図5(c)に示すように、この領域は粒径が20 nm程度の結晶質であること、NaCl型構造である窒化ジルコニウムの電子線回折図形とほぼ一致していること、図5(d)に示すように明瞭にNが検出されていることから、酸素を僅かに含む酸窒化ジルコニウムであることが確認できる。ジルコニアの窒化に関する研究例は過去にも報告されており、その手法としてアンモニアガス雰囲気中での高温熱処理法が報告されている⁽¹⁹⁾。高温時に生じるアンモニアガスの分解で生じた水素による強還元下での窒化作用である。これに対して、図5

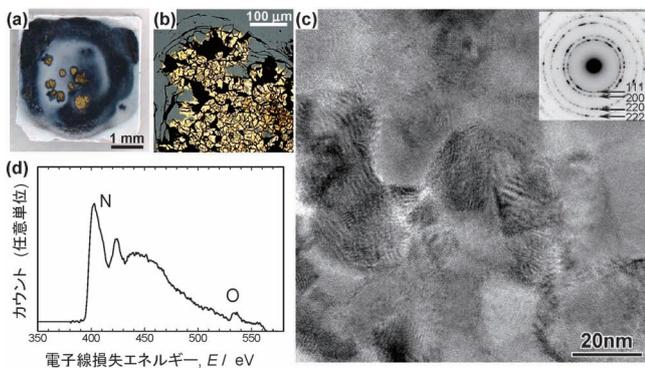


図5 印加電界50 V/cm、制限電流500 mAの条件でフラッシュ処理を行ったYSZ(TZ-PX172)焼結体の微細組織とEELスペクトル⁽¹⁶⁾。(a)断面組織、(b)拡大組織、(c)HRTEM像、および、(d)EELスペクトル。(オンラインカラー)

で示した例は、大気中、無加圧下において通電のみによって酸化物が窒化できることを明瞭に示している点において興味深い。

4. 無添加ジルコニア焼結体

安定化材が添加されていない無添加 ZrO_2 は、温度低下とともに立方晶(>2300°C)、正方晶(1170°C-2300°C)、単斜晶(<1170°C)と相変態が生じることはよく知られている⁽²⁰⁾。この正方晶から単斜晶への変態時には大きな体積膨張が生じるため、焼結温度域からの冷却時に焼結体が破壊し、バルク形状の無添加 ZrO_2 焼結体を室温で得ることはできない。構造用セラミックとして使用されている部分安定化 ZrO_2 は、安定化材といわれる Y_2O_3 などの酸化物を添加して、高温相である正方晶を部分的に室温まで安定化させている⁽²⁰⁾。これに対して、フラッシュ焼結法を適用するとバルク形状の単斜晶 ZrO_2 焼結体を室温において得ることができる⁽²¹⁾。図6は、制限電流値300 mAのもと、印加電界を150 V/cm～200 V/cmに変化させたときに得られる緻密化曲線を示している。150 V/cmでは1300°Cまでの温度範囲において明瞭なフラッシュ現象は認められず、ほぼFAST効果のみである。これに対して175 V/cmでは図中矢印Aで示す炉温においてフラッシュが生じ相対密度が急峻に増加していることが確認できる。一方、200 V/cmではPt線の溶断が生じてしまい昇温途中で電界印加が失敗している。この溶断は、試料中に生じる酸素空孔量の不均一な分布に起因する抵抗値変化と関係している。図6には、175 V/cmの条件においてフラッシュ焼結を行った焼結体の冷却後の試料外観を示している。焼結体の外周部には僅かにクラックが認められるものの、バルク形状を維持していることが確認できる。図7は、175 V/cmにおいて5 minの保持を行った焼結体の微細組織を示している。図7(a)は、焼結体の破面において粒界破壊が生じている結晶粒をピックアップし、その表面を

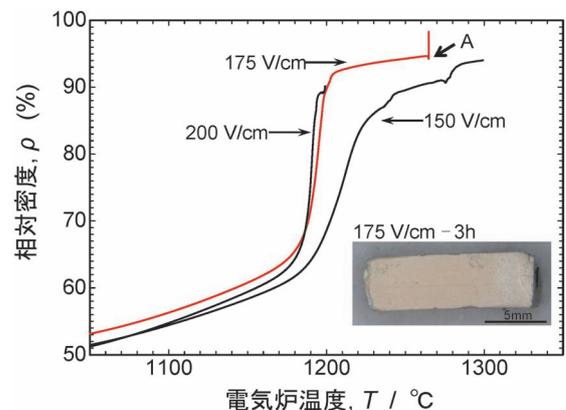


図6 純粋な ZrO_2 におけるフラッシュ焼結時の緻密化挙動。印加電界は150 V/cm～200 V/cmであり、制限電流はいずれも300 mA。175 V/cmではフラッシュ現象が生じてから3 h保持を行っている。写真はこの試料の外観。(オンラインカラー)

撮影した SEM 組織である。図中矢印で示すように結晶粒界面に第二相が形成されていることが分かる。このような結晶粒界を含むように FIB 加工によって TEM 薄片化させて微細組織を観察したものが図 7(b) および (c) である。図 7(b) の TEM 明視野像には単斜晶への相変態時に生じる双晶が多数認められる。この像において白いコントラストで認められている結晶粒界部を拡大した HRTEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy, 高分解能透過型電子顕微鏡法) 像が図 7(c) である。結晶粒界に沿ってアモルファス層が形成されており、アモルファス層内の結晶粒近傍には僅かに格子縞が確認されている。図 7 に示した個所以外にもこのようなアモルファス層は形成されており、その厚みは粒界ごとに異なっていた。図 8 は結晶粒内と厚さの異なるアモルファス層から得られた EEL スペクトル中の酸素 K-edge ELNES (Energy Loss Near Edge Structure, エネルギー損失吸収端微細構造) をそれぞれ示している。アモルファス部分では明らかに結晶粒内とは異なる微細構造が得られている。結晶粒内の微細構造は単斜晶ジルコニアで得られる微細構造と一致しており、その特徴は Zr イオンの 4 配位および 3 配位位置に配位する二種類の O イオンに起因する二つのピークから構成される⁽²²⁾⁽²³⁾。一方、アモルファス層ではそのピーク分離が不明瞭になるとともに、厚みが増加している個所では分離が認められなくなる。この分離は、Zr イオンに対する O イオンの配位数と関係し、その配位数が減少、つまり酸素空孔が含まれると結晶粒界で認められた二つのピークの分離が不明瞭になる⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。すなわち、電界印加で生じる強制還元状態により徐々に過剰酸素空孔が形成され、その結果アモルファス化が生じたものと考えられる。この事実は、図 7(c) で認められたように結晶粒に近いアモルファス領域においては、僅かに格子縞が確認されていることとも符合する。図 6 に示したように焼結温度からの冷却過程で生じる正方晶—単斜晶相変態点を通過してもバルク形状を維持できていたのは、このアモルファス層が相変態に起因する大きな体積膨張を緩和した結果であるものと考えられる。さらに酸素イオン伝導に関与した興味深い現象も得られている。図 9 は、175 V/cm において 5 min および 3 h 保持を行った焼結体の XRD 回折ピーク強度比を示している。図に示す強度比は、電界印加方向に対して 45° 傾いた面から得られた回折強

度から構成される⁽²²⁾⁽²³⁾。一方、アモルファス層ではそのピーク分離が不明瞭になるとともに、厚みが増加している個所では分離が認められなくなる。この分離は、Zr イオンに対する O イオンの配位数と関係し、その配位数が減少、つまり酸素空孔が含まれると結晶粒界で認められた二つのピークの分離が不明瞭になる⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。すなわち、電界印加で生じる強制還元状態により徐々に過剰酸素空孔が形成され、その結果アモルファス化が生じたものと考えられる。この事実は、図 7(c) で認められたように結晶粒に近いアモルファス領域においては、僅かに格子縞が確認されていることとも符合する。図 6 に示したように焼結温度からの冷却過程で生じる正方晶—単斜晶相変態点を通過してもバルク形状を維持できていたのは、このアモルファス層が相変態に起因する大きな体積膨張を緩和した結果であるものと考えられる。さらに酸素イオン伝導に関与した興味深い現象も得られている。図 9 は、175 V/cm において 5 min および 3 h 保持を行った焼結体の XRD 回折ピーク強度比を示している。図に示す強度比は、電界印加方向に対して 45° 傾いた面から得られた回折強

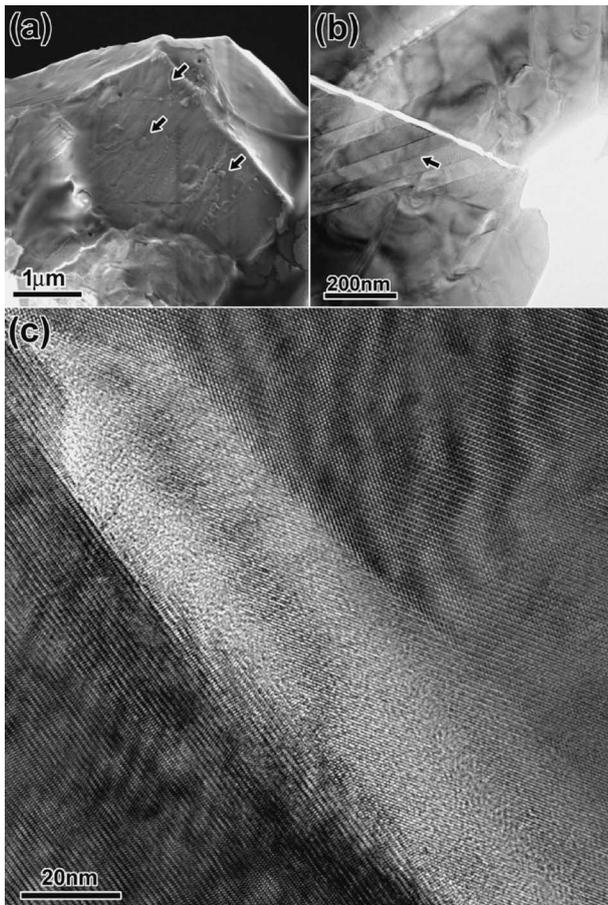


図 7 フラッシュ焼結を行った ZrO_2 焼結体の微細組織。フラッシュ条件は 175 V/cm-5 min., 制限電流は 300 mA. (a) 結晶粒界面 SEM 像, (b) TEM 明視野像, (c) 粒界近傍の HRTEM 像。

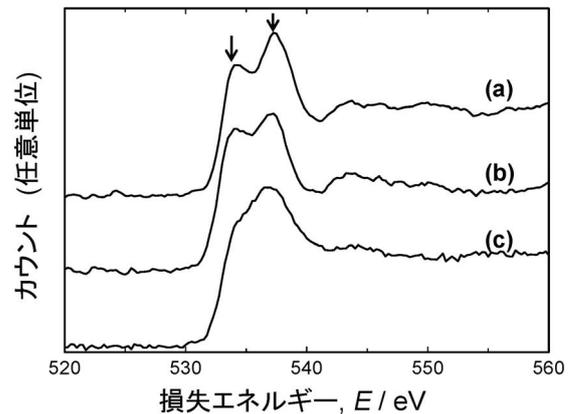


図 8 図 7 に示した ZrO_2 フラッシュ焼結体の (a) 結晶粒内, (b) 幅が狭いアモルファス層, (c) 幅が広いアモルファス層から得られた EEL スペクトル O K-edge ELNES.

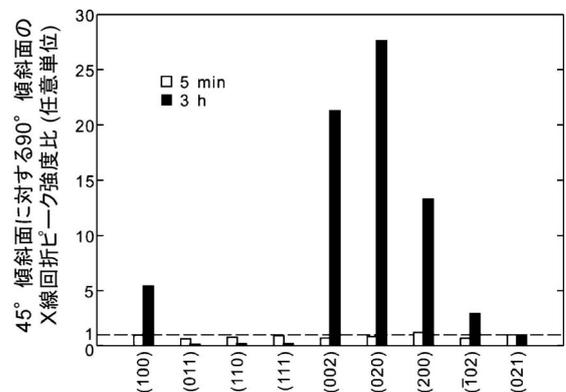


図 9 純粋な ZrO_2 のフラッシュ焼結時に生じる結晶粒の配向。強度比は、電界印加方向 45° の面での XRD 強度に対する垂直面での XRD 強度比で示している⁽²¹⁾。

度に対する垂直面での強度の比で示している。フラッシュ保持時間が5 minではこの比はおおよそ1であり、結晶粒には配向が認められない。ところが、保持時間を長くすると明瞭に配向し、例えば{002}の回折ピーク強度比が増加していることが確認できる。この結晶方向はジルコニアの優先的な酸素伝導方向と一致しているのである⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。この事実からも電界印加によって誘起される酸素イオンの強制的な伝導機構がフラッシュ焼結の緻密化と密接に関係することが分かる。

5. フラッシュ現象時の強還元作用が最終到達密度に及ぼす影響

フラッシュ焼結は電界を印加することが肝要であるが、この電界印加によってある種のセラミックでは焼結中に放電が生じてしまう。この典型的な例がBaTiO₃である⁽⁴⁾⁽²⁸⁾。図10は放電が生じた焼結体の組織の一例である。放電痕の内部表面には図10(b)に示すような共晶組織がしばしば形成される。BaTiO₃は、BaOとTiO₂が1:1の組成比化合物であり、そのTiO₂過剰組成側には共晶反応が存在する⁽²⁹⁾。図10(b)で示した典型的な共晶組織は、放電によってTiO₂過剰側へ組成が変化していることを示唆している。この放電痕近傍の結晶粒界のTEM明視野像が図10(c)である。図中Aで示した結晶粒界部に第二相が形成されていることが確認できる。このような結晶粒界で認められる第二相は図10(d)および(e)に示すようにHAADF(High Angle Annular Dark Field, 高角環状暗視野)-STEM像において常に低いコントラストで観察される。このコントラストの低下は、第二相のBa/Ti比がTi過剰比であることを示している。事実、EEL計

測によって結晶粒界部がTi過剰であることが確認されている⁽³⁰⁾。また、この第二相の形成は結晶粒界の整合性と関係することも見出されている。図10(c)に示すように結晶粒界Bには第二相が形成されていない⁽³⁰⁾。この結晶粒界Bは整合性の高い小角粒界であることが確認されており、このことは、フラッシュ中に作用する電界が優先的に整合性の低い粒界に作用していることを示唆している。また、電界が作用すると過剰酸素空孔が生じることについてはすでに述べた通りである。図10(c)に示すような粒界第二相の形成は、この過剰酸素空孔の形成と深く関係しているものと考えている。

このような放電を抑制する目的で、フラッシュ温度よりも極僅か低温において、その時の試料電流および炉温を一定保持する焼結法を適用した結果が図11である⁽³¹⁾。図中の各緻密化曲線において、●で示した時点までが昇温工程、それ以降は一定温度での保持工程である。この手法を我々は、Current Controlled Consolidation(電流制御緻密化)法と呼んでいる。この方法では焼結条件を表すパラメーターは、印加電界、保持温度、制限電流の3種となる。図中の破線は電界を印加していない通常焼結時の緻密化曲線であり、約800°Cから緻密化が生じ、1300°Cにおいて最終相対密度に到達している。これに対して電界を印加した状態では、緻密化挙動はフラッシュ焼結とは異なり非常になだらかに変化しているものの、いずれも緻密化開始温度が低温側へ遷移すること、時間の経過とともに緻密化が効果的に進行していることが分かる。例えば、75 V/cmの条件では、1120°Cにおいて通常焼結とはほぼ同じ程度の相対密度が得られている。図11に示した結果は試験的なデータであり、今後、試料電流、制限電流値をより適切に調整することで、低温、かつ、放電等の生じない均一な組織の緻密体を得られるものと考えている。

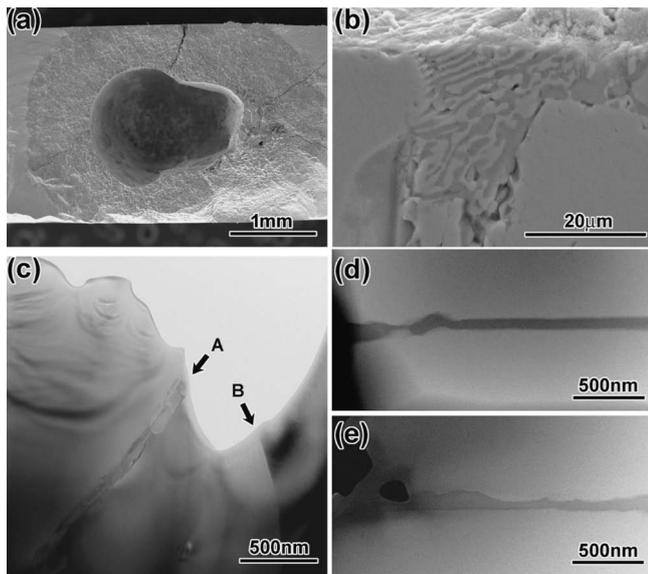


図10 BaTiO₃のフラッシュ焼結時に生じた放電組織。(a) 放電痕 SEM 像, (b) 放電痕内壁表面組織, (c) 放電痕から離れた箇所の TEM 明視野像, (d) および (e) 結晶粒界近傍の HAADF-STEM 像⁽³⁰⁾。

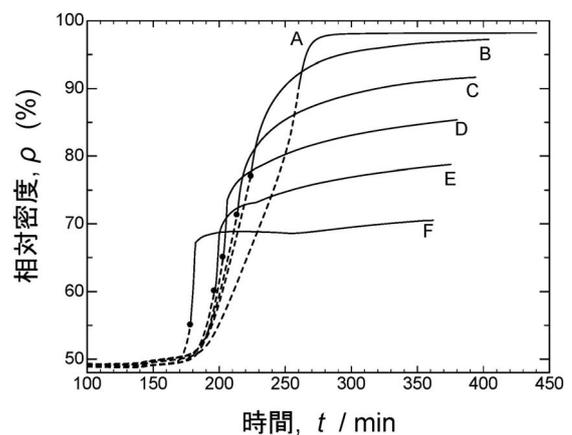


図11 BaTiO₃の Current Controlled Consolidation 焼結時の相対密度変化。Aは通常焼結, Bは75 V/cm, 1120°C, 87 mA, Bは100 V/cm, 1070°C, 72 mA, Cは125 V/cm, 1030°C, 62 mA, Dは150 V/cm, 1000°C, 52 mA, Fは200 V/cm, 910°C, 46 mA。横軸は焼結を開始してから時間を表示していることに注意。昇温速度は5°C/min.であり、各データ線図において実線の時点まで一定温度保持に移行している⁽³¹⁾。

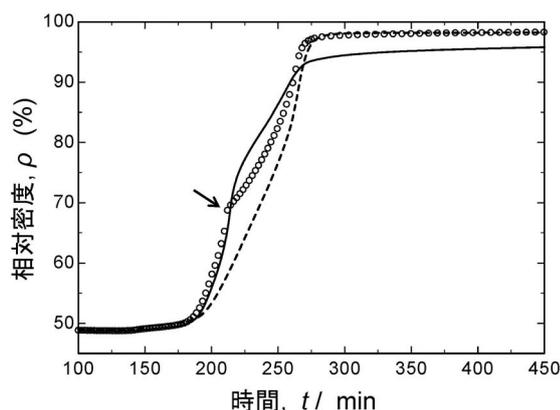


図12 BaTiO₃の焼結時における相対密度変化．実線は100 V/cmの電界を印加した状態で昇温，破線は電界を印加していない通常焼結時，○は図中矢印で示す温度まで100 V/cmの電界を印加して昇温し，その後，電界を除去して昇温．いずれも5°C/minの昇温速度で昇温し，1300°Cに達した時点で一定温度において3 h保持⁽³¹⁾．

これまで述べてきたように電界を印加することは結晶粒界，もしくは，結晶粒内部を強還元状態に変化させる．この時に生じる過剰酸素空孔が最終的な到達密度にどのような影響を与えるかを調べた結果が図12である．図中の破線は通常焼結時の緻密化曲線であり実線は100 V/cmの電界を印加した状態のまま最終温度まで昇温させたときに得られる緻密化曲線である．ここで注目して頂きたいのは，電界を印加した状態のまま昇温を行うと，初期から中期にかけては緻密化速度が加速されるものの，その後，その速度は緩やかに減少に転じ，最終的には通常焼結時に得られる到達密度に達していない点である．これまで，このような効果については議論されることはなかった．そこで，図中矢印で示す時点において電界を除去し，そのまま昇温を継続したところ，○で示す緻密化曲線が得られた．この緻密化曲線の挙動を観てみると，電界を除去した以降は徐々に通常焼結時の緻密化挙動に漸近し，最終的にはその曲線と一致することが分かる．この結果が示唆することは，過剰酸素空孔は最終的には緻密化を阻害する要因となりうるということである．これは，多くの酸化物系セラミックスの緻密化が，陽イオンの拡散律速で進行することを考えるとよく理解できる⁽³²⁾⁽³³⁾．電界印加によって生じる過剰酸素空孔の増加は，陽イオン空孔量の低下をもたらす．焼結工程の中期前後までは電界印加によるジュール熱の効果が甚大であり，その影響は無視できる程度であるが，最終的な到達密度は結局制限されてしまうということとなる．

6. 酸化物系セラミックのフラッシュ焼結における酸素イオン強制伝導効果の除去

前項までは主に電界印加に伴う過剰酸素空孔形成について述べてきた．フラッシュ焼結の組織不安定性や最終到達密度の劣化など，あまり芳しくないデータを紹介してきたが，印

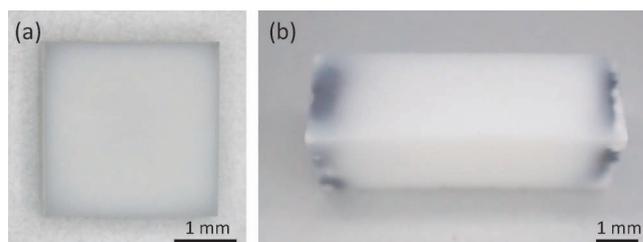


図13 交流電界を用いて行った3YSZフラッシュ焼結体．(a) 試料外観および(b) 断面組織．(オンラインカラー)

加する電界波形を変えることでその様相は一変する．ほとんどのフラッシュ焼結では直流電界が用いられてきた．これは，高電圧領域で急峻に変化する電流を制御することが簡便であることによる．ところが，直流電界の場合には，イオン伝導の効果が甚大となり例えば過剰酸素空孔の形成を促す結果，不均一組織の形成や放電など，この方法を実用化させるうえで障害となる要因が多数生じる可能性についてはこれまで述べてきたとおりである．これに対して，きわめて単純なことであるが，交流電界を用いるとその様相が一変する．図13はその一例である．十分な緻密度，均一な組織を有する3YSZが得られていることが分かる．今後，ここに示した交流波形以外にも種々の電界印加方法が開発されていくものと思われる．

7. おわりに

フラッシュ焼結法に関して，電界印加に起因する幾つかの現象に関して最近の研究を紹介させていただいた．この焼結手法は，外部からの応力印加などを必要とする大掛かりな設備を準備する必要がなく，端的に表現すると，電極を付けて電界を印加するだけという非常に簡便な手法である点を強調したい．開発されて以降まだ間もないため，焼結技法そのものの改良や緻密化機構のより詳細な解明など，今後の進展が大きく期待できる．

最後になったが，本研究は，研究成果最適展開支援プログラム(産業ニーズ対応タイプ)「フラッシュ焼結の学理構築と革新的焼結技術への展開(AS282I004e)」の支援の下に実施されている．ここに謝意を表したい．

文 献

- (1) M. Cologna, B. Rashkova and R. Raj: J. Am. Ceram. Soc., **93** (2010), 3556–3559.
- (2) A. L. G. Prettea, M. Cologna, V. Sglavao and R. Raj: J. Power Sources, **196**(2011) 2061–2065.
- (3) A. Karakuscu, M. Cologna, D. Yarotski, J. Won, J. S. C. Francis, R. Raj and B. P. Uberuaga: J. Am. Ceram. Soc., **95** (2012), 2531–2536.
- (4) J. C. M'Peko, J. F. C. Francis and R. Raj: J. Eur. Ceram. Soc., **34**(2014), 3655–3660.

新規酸化物強誘電体 $BaAl_2O_4$ の 構造相転移機構

石井 悠衣*

1. はじめに

結晶中で、温度の低下に伴い格子系・電子系に何らかの不安定性が生じると、結晶は構造相転移を起こしてよりエネルギーの低い安定な構造に変化する。その不安定性を生じる理由は物質によって異なるが、磁性や強誘電性、電気伝導性といった結晶の示す様々な物性と深く関連しているため、その機構を探ることは物質科学における中心的な興味の一つとなっている。中でも、温度の低下に伴ってある特定のフォノン周波数が低下する現象(フォノンのソフト化)は、強誘電体における重要な相転移機構であり、そのような周波数の低いモードはソフトモードと呼ばれる。ソフトモードの周波数が最終的にゼロに達すると、そのフォノンモードの原子変位パターンに対応した構造相転移が起こる(ソフトモードの凍結)。例えば、よく知られた強誘電体である $BaTiO_3$ や $PbTiO_3$ といったペロブスカイト型酸化物では、 c 軸方向に沿った原子変位を伴うフォノンモードがソフト化し、それぞれ 130°C および 490°C で構造相転移を示すとともに c 軸方向に自発分極を生じる。

ペロブスカイト型酸化物のように分極そのものが相転移の秩序変数となっている強誘電体は、直接型強誘電体と呼ばれる。これに対し、分極そのものが主秩序変数とならない場合がある。例えば、頂点共有した多面体をもち、隙間の多い結晶構造においては、多面体の回転・傾斜に起因したソフトモードと、その凍結に伴う構造相転移が知られている。こうした多面体の回転や傾斜を伴う構造相転移では、その回転(または傾斜)に伴って周囲の原子が従属的に変位することがある。この原子変位によって分極が生じる際、この相転移の主秩序変数は多面体の回転(または傾斜)に関するパラメータであり、分極そのものは従秩序変数となる。このような強誘電

体は間接型強誘電体と呼ばれ、強誘電性と同時に強磁性も発現するマルチフェロイック物質の発見⁽¹⁾を契機として、間接型強誘電体の示す構造相転移に最近特に関心が高まっている。

図1に示す充填トリジマイト型酸化物 $BaAl_2O_4$ は、 AlO_4 が頂点共有により連結したネットワーク構造を有し、それが

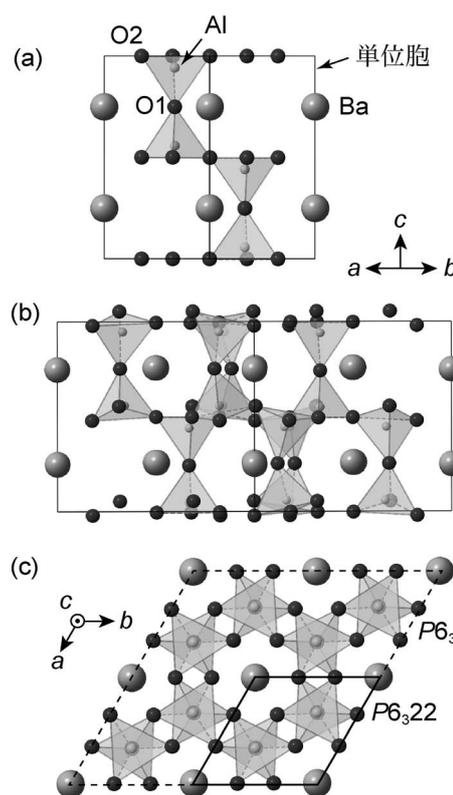


図1 $BaAl_2O_4$ の(a)高温相(空間群 $P6_322$)、および(b)低温相($P6_3$)の結晶構造。実線は単位胞を示す。(c)高温相と低温相の単位胞の関係。

* 大阪府立大学大学院工学研究科；助教(〒599-8531 堺市中区学園町1-1)
Structural Phase Transition of a Novel Ferroelectric Oxide $BaAl_2O_4$; Yui Ishii (Department of Materials Science, Osaka Prefecture University, Sakai)
Keywords: structural phase transition, ferroelectrics, stuffed tridymite-type oxides, synchrotron X-ray diffraction, soft modes
2018年5月8日受理[doi:10.2320/materia.57.381]

作る六員環間隙をBaイオンが占有した間接型強誘電体である⁽²⁾。本物質は、強誘電転移温度 $T_C=400\sim 450$ K で高温相(常誘電相)から低温相(強誘電相)に構造相転移を示す⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。図1(a)に示すように、高温相(空間群 $P6_322$)では c 軸方向への AlO_4 四面体の連結角度は 180° である。 T_C でこの AlO_4 四面体の連結は大きく傾斜し、同時に Ba イオンがわずかに c 軸方向へ変位することで強誘電性が発現する。この結果、対称性が低下し低温相の空間群は $P6_3$ になる。図1(c)に、高温相と低温相の単位胞の関係を示す。

BaAl_2O_4 と同様に、頂点共有した多面体によるネットワーク構造をもつ石英やトリジマイトなどの SiO_2 の多形⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾、霞石(nepheline)⁽¹⁰⁾ といった典型元素主体の鉱物、また負の熱膨張を示す ZrW_2O_8 ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ などでは、多面体自体は大きく歪まずに、多面体の連結角度が曲がることにより生じる低エネルギーモード(Rigid Unit Mode, RUM)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ の存在が指摘されている。このモードは、ソフトモードとして働く場合があり、実際、nepheline ではこのモードのソフト化による構造相転移が報告されている。また、Perez-Mato らは、 AlO_4 ネットワークにおける不安定な RUM が、 BaAl_2O_4 における主要な構造不安定性であることを、第一原理計算によって指摘している⁽¹⁵⁾。 BaAl_2O_4 単結晶に対して得られた、453 K における典型的な電子回折パターンを図2に示すが、高温相の電子回折パターンにおいては、3つの等価な $\langle 110 \rangle$ に沿って特徴的なハニカム状散漫散乱が現れることが知られてきた⁽¹⁶⁾。散漫散乱自体は、原子の静的で無秩序な乱れに起因してしばしば観察されることがあり、本系においても原子のこうした乱れに起因すると考えられていた⁽¹⁶⁾。しかしながら、この電子回折パターンの温度依存性を筆者らが詳細に調べたところ、散漫散乱強度が温度に強く依存したことから、これらが原子の静的な乱れに起因するものではなく、ソフトモードに起因するのではないかと考えた。

本研究では、単結晶 X 線熱散漫散乱測定および第一原理に基づくフォノン計算によって、これらの散漫散乱強度が温度に強く依存すること、またその散漫散乱が原子の静的な乱れではなくソフトモードに起因することを見出した。さらに、この物質の構造相転移が、2つの独立なフォノンモードの同時ソフト化を伴う特異なものであることがわかった⁽⁵⁾。

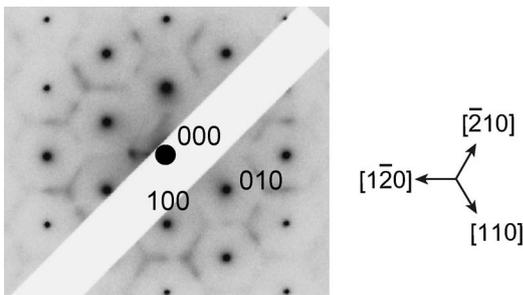


図2 透過型電子顕微鏡によって観察した、 BaAl_2O_4 単結晶の電子回折パターン([001]入射, 453 K)。観察試料は粉砕法によって作製した。散漫散乱が3つの等価な $\langle 110 \rangle$ に見られている。

従来、構造相転移に伴うフォノンのソフト化は、ただ1つのフォノンモードにおいて起こると認識されてきており、複数のソフトモードを持つ物質はあるものの、それらが同時にソフト化する物質はこれまで知られていない。そこで本稿では、 BaAl_2O_4 が示すソフトモードの特徴について示すとともに、このような2つのフォノンの同時ソフト化が起こる機構について、結晶構造の特異性と関連づけて説明する。また、BaサイトにSrを置換した系において、最近得られた結果についても紹介する。

2. 実験方法

BaAl_2O_4 単結晶を、自己フラックス法によって以下のように作製した。固相反応法によってあらかじめ作製した BaAl_2O_4 粉末を、 BaCO_3 と50:17のモル比で混合し、白金坩堝に入れた。これを 1470°C で6時間加熱し、混合粉を完全に熔融させた。これを 1200°C まで $2^\circ\text{C}/\text{h}$ で徐冷した後、室温まで冷却した。熱処理後の試料塊から、結晶を機械的に分離・回収した。得られた結晶は無色透明で、1辺が約 $100\ \mu\text{m}$ の六角形状であった。試料劣化を避けるため、結晶は乾燥アルゴンガス中で保管した。

得られた結晶を、直径 $100\ \mu\text{m}$ の石英ガラスキャピラリの先端に、エポキシ系接着材で取り付けた。この試料について、SPring-8のBL02B1ビームラインにおいて単結晶 X 線熱散漫散乱測定⁽¹⁷⁾⁻⁽²¹⁾を行った。用いた X 線のエネルギーは $25\ \text{keV}$ である。回折パターンは、大型湾曲 IP カメラ⁽²²⁾を用いて撮影した。温度制御は窒素ガス吹き付けによって行った。

$\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Al}_2\text{O}_4$ 粉末は、 BaCO_3 , SrCO_3 , Al_2O_3 原料粉を化学量論比で混合し、 1200°C で仮焼した後、 1300°C で焼成することで作製した。得られた粉末に対し放射光粉末 X 線回折(SPring-8, BL02B2)を行った。得られた回折データについて、JANA2006 パッケージ⁽²³⁾を用いて Rietveld 解析を行った。

3. 2つのフォノンの同時ソフト化

フォノンの観測には、中性子および X 線非弾性散乱を用いるのが主流である。これらの手法は、観測したいフォノンの波数分散を求めることができ、強力なツールとなっている。その反面、結晶の大きさや形状に対する要請が厳しく、また測定に長時間を要するため、小さな結晶しか得られない場合や、トライ・アンド・エラーを伴う実験には向いていない。一方で、そのフォノン周波数が十分低い場合には、汎用の電子線回折や放射光を用いた単結晶 X 線回折でも、強度の弱い熱散漫散乱として観測できる。詳しくは X 線回折の専門書を参照して頂きたいが、フォノンによる X 線の散乱強度 $I(\mathbf{K})$ とフォノン周波数 ω には、係数部分を省略して次のような関係がある。

$$I(\mathbf{K}) \propto \frac{|\mathbf{K} \cdot \mathbf{e}_{jq}|^2}{\omega_q^2}$$

\mathbf{K} : 逆格子ベクトル

ω_q : フォノンの振動数

e_{jq} : j 番目の原子の原子変位の単位ベクトル

つまり、その周波数(エネルギー)が低いほど強い散漫散乱が観測され、その強度変化を調べることで、フォノン周波数の変化を知ることができる。

図3(a)は、500 Kで観測した $1\ 1\ 10$, $\bar{1}\ 2\ 10$ 基本反射付近の X 線回折パターンを示す。[110]に等価な[210]に沿って弱い散漫散乱が観測されている。基本反射はそれぞれ逆格子空間の Γ 点に対応しており、2つの Γ 点の midpoint が M 点、 $1/3, 2/3$ の点 が K 点である。 $1\ 1\ 10$ 反射の位置を $\eta = 0$, $\bar{1}\ 2\ 10$ 反射の位置を $\eta = 1$ とすると、 $1\ 1\ 10$ から $\bar{1}\ 2\ 10$ 反射までの逆格子座標は $(1-2\eta, 1+\eta, 10)$ と表せる。図3(a)から変換した強度プロファイルを、いくつかの温度について図3(b)に示す。縦軸は $1\ 1\ 10$ 基本反射強度 (I_{Bragg}) で規格化した散乱強度 (I)、横軸は η である。600 K で、基本反射の間の $\eta = \pm 1/3$ (K 点) 付近に 2 つのブロードなピークが見られ

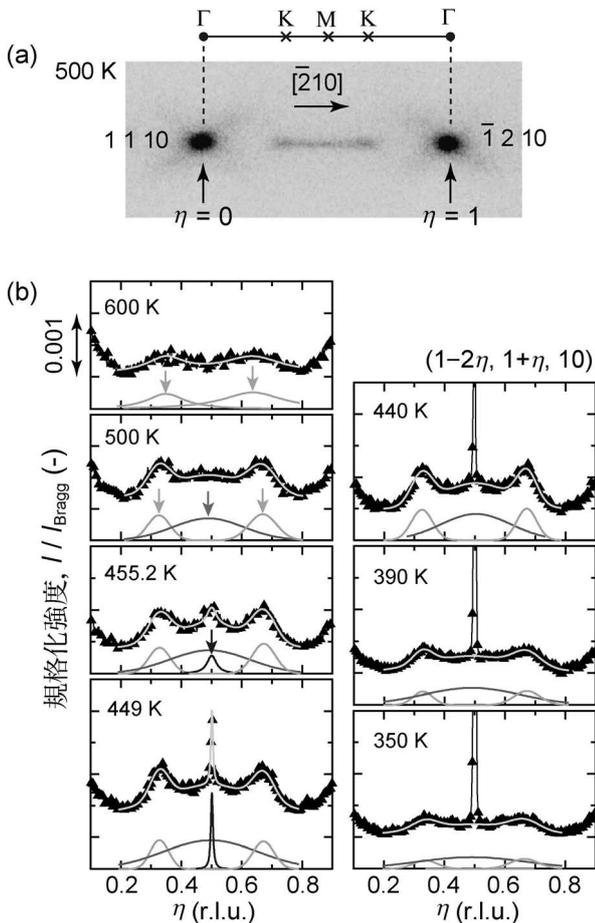


図3 (a) $1\ 1\ 10$, $\bar{1}\ 2\ 10$ 基本反射付近の X 線回折パターン (500 K)。水平方向は、[110]に等価な[210]に対応する。ブリルアンゾーンの各対称点の記号も示してある。(b) $1\ 1\ 10$, $\bar{1}\ 2\ 10$ 基本反射の間の散乱強度の温度変化。 $1\ 1\ 10$, $\bar{1}\ 2\ 10$ 基本反射の位置をそれぞれ $\eta = 0, \eta = 1$ としている。図中のフィッティングによるピーク分解にはガウス型関数を用いた。横軸の (r.l.u.) は逆格子単位を意味する。

ているが、このブロードピークは 800 K においても観測される。温度の低下とともに $\eta = 1/2$ (M 点) 付近にも別のブロードピークが現れるが、それに加えて 455.2 K で小さいピークが M 点に現れる。このピークは温度の低下に伴い鋭い超格子反射として発達していく様子がわかる。冒頭で述べたように、通常、ソフトモードの凍結と、それに伴う超格子反射の発達は、同じ波数ベクトルにおいて起こる。つまり、散漫散乱は通常 1 つのピークを持ち、そのピークを中心から超格子反射が発達する。確かに、M 点では散漫散乱と超格子反射の発達が見られているが、図3(b)から明らかのように、本系では超格子反射を与える波数ベクトルとは異なる波数ベクトルでも、散漫散乱が観測されている。

ガウス型関数を用いてこれらの散漫散乱、あるいは超格子反射をピーク分解し、それぞれの散乱強度、ピーク位置、半値幅を求めた。445 K 以下では超格子反射強度が非常に強いので、そのピークを差し引いてからフィッティングを行った。規格化した超格子反射強度 (I/I_{Bragg}) と半値幅の温度依存性を図4に示す。超格子反射強度は構造因子の絶対値の自乗に比例するため、超格子反射強度の自乗根 ($(I/I_{\text{Bragg}})^{1/2}$) を縦軸に示してある。図中に矢印で示したように、超格子反射強度は T_c 付近でキックを示し、 T_c 以上から前駆的に現れ、キック以下で急激に発達している。半値幅はキックに向かって急激に減少している。キック以下の温度において、臨界指数 β のべき乗 $A_0(T_c - T)^\beta$ (A_0 は係数) で $(I/I_{\text{Bragg}})^{1/2}$ をフィッティングすると、 T_c は 451.4 K と求まる。また $\beta = 0.40$ であり、秩序-無秩序型転移における理論値⁽²⁴⁾に近い値を示した。また、超格子反射の発達は連続的に見られており、この転移は 2 次転移的である。

M 点、K 点付近で観測されたブロードなピークの最大強度、半値幅、ピーク位置をそれぞれ図5(a)-(f)に示す。矢印は T_c を示す。この図から明らかのように、これらの散漫散乱強度はいずれも温度に強く依存し、かつ T_c で鋭いピークを示している。このことは、これらの散漫散乱が、原子の静的な乱れではなく、低エネルギーフォノンに起因している

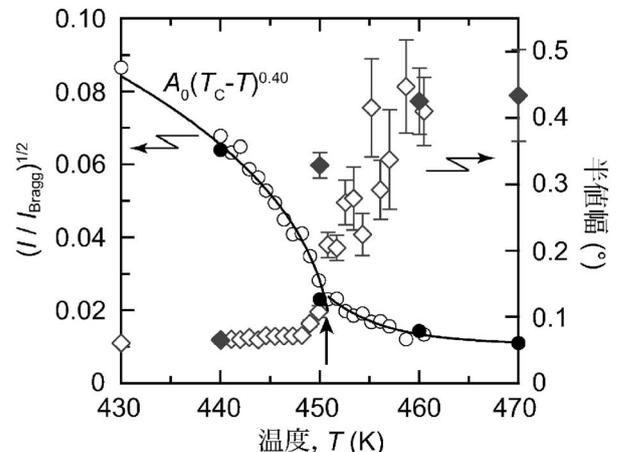


図4 規格化した超格子反射強度および半値幅の温度依存性。白抜きは加熱過程、黒塗りは冷却過程での測定結果を示す。矢印はキックを示す。

ことを意味し、また超格子反射の現れる M 点だけでなく、K 点のモードも T_C で同時にソフト化していることを意味する。後で示すように、第一原理によるフォノン計算においても、確かにこれらの波数ベクトルをもつ2つの独立なソフトモードが存在していることが確かめられている。なお、変位ベクトルの解析によると、これらのモードの対称性はそれぞれ K_2, M_2 である。

図5(b)からわかるように、M 点においては T_C で半値幅の急落が見られる。これは、超格子反射の発達によるもので、通常のソフトモードの挙動から理解できる。しかしながら、K 点においては、 T_C に向かって徐々に半値幅が低下し、 T_C 以下で増加していく。つまり、 M_2 モードの凍結と同時に K_2 モードの相関は弱められ、ソフト化はするものの、凍結することなく衰退することを意味する。2つのモードのピーク位置 (η_{peak}) も対照的で、 M_2 モードはおおむね $\eta = 1/2$ の整合位置にあるのに対し、 K_2 モードは T_C 前後でわずかにシフトしている。また K_2 モードは、 $\eta = \pm 1/3$ から明らかにずれた非整合な値をとっている。 M_2 モードの η_{peak} が大きなエラーバーをもつのは、図3(b)からわかるように、 M_2 モードに起因する散漫散乱が非常にブロードであるためである。

第一原理計算によって得られた、 BaAl_2O_4 のフォノン分散を図6に示す。計算は、高温相の結晶構造に対して行っている。縦軸はフォノン周波数であり、ゼロ以下の部分には虚数周波数を示している。ここで、虚数で計算されるモードは、計算を行ったその構造において不安定であることを意味する。図6を見ると、太線、濃いグレーの線、薄いグレーの

線で示した3つの音響モードのうちの1つが Γ -A(Δ)線上、K, M 点で虚数周波数を示していることがわかる。このうち Γ -A 線上での不安定性は K, M 点に比べて小さい。一方で、 K_2, M_2 モードのエネルギーは互いに拮抗しており、同程度の不安定性をもつことがわかる。すなわち、K, M 点において不安定なモードが存在し、これらのエネルギーが拮抗しているために、2つのモードは同時にソフト化したものと考えられる。

原子変位ベクトルの解析結果を図7に示す。図7(a)は K_2, M_2 モードで共通して見られる原子振動パターンの模式図を示す。面内の3つの酸素原子(O2)の変位ベクトルは主に z 成分を持っており、上下方向に振動する。また、四面体を c 軸方向につなぐ酸素(O1)は、3回転のまわりに主に xy 面内で周回する。 K_2, M_2 モードそれぞれの原子振動の様子が、文献[5]の Supplemental Material に示されているが、これらの原子変位パターンは主に AlO_4 の傾斜で特徴づけられ、確かに前述した RUM の性質を持っている。2つのモードは

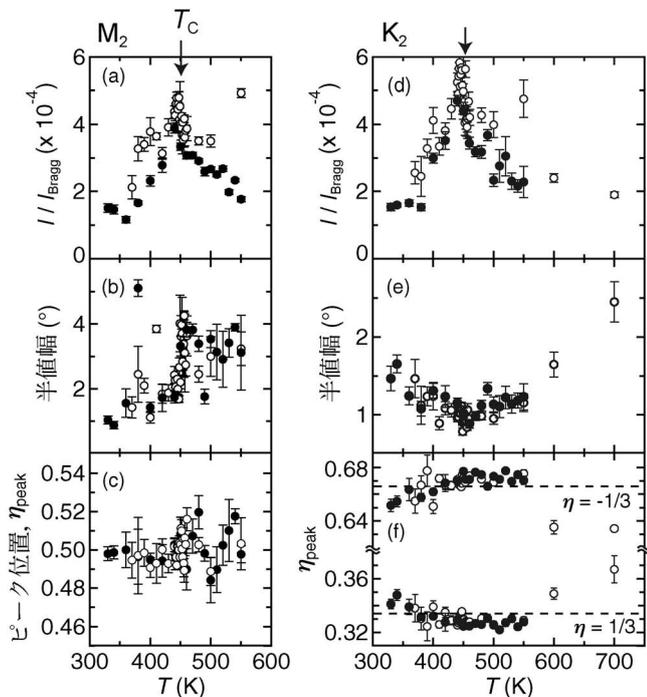


図5 散漫散乱強度、ピーク位置、半値幅の温度依存性。(a)-(c)はM点、(d)-(f)はK点での散漫散乱に対応する。矢印は T_C を示す。

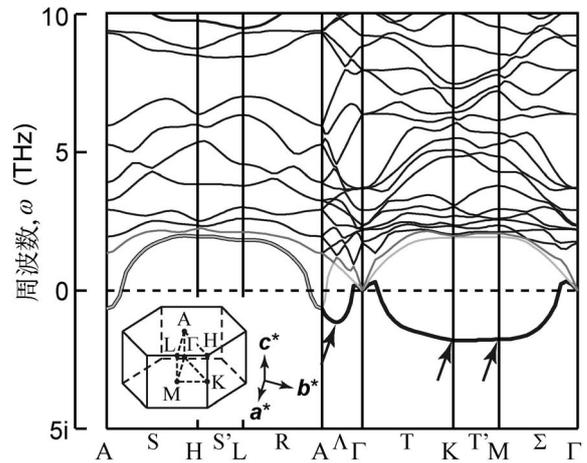


図6 BaAl_2O_4 (高温相) のフォノン分散。挿入図は BaAl_2O_4 の第一ブリルアンゾーンを示す。矢印で示すように、A- Γ 線、K点、M点で3つの不安定性が見られている。

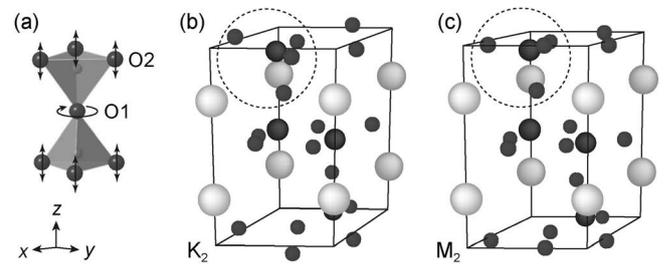


図7 (a) AlO_4 四面体の原子変位パターンの模式図。O1は主に xy 面内で、O2は主に z 方向に振動している。(b) K_2 モード、(c) M_2 モードにおいて、O原子同士が最も近づくときの原子変位の様子。 K_2 モードではO1, O2原子が互いに接近しており、静電的に不安定である。 M_2 モードでは、O1, O2の原子変位のタイミングをうまくずらし、余計なクーロン反発力が生じるのを回避している。

互いに非常によく似ているが、面内の3つの酸素とc軸方向への連結酸素の振動するタイミングがわずかに異なる。K₂, M₂それぞれのモードで、O2とO1が互いに最も接近するときの原子位置を図7(b), (c)に示す。明らかに、K₂モードはM₂モードに比べてAlO₄四面体の歪みが大きく、O1とO2原子が非常に接近している。すなわち、これら2つのモードは、力の定数だけを考えると同程度の不安定性をもつが、静電的な安定性を考えると、K₂モードはM₂モードに比べ酸素原子間のクーロン反発力が大きいことがわかる。つまり、静電的により反発の少ないM₂モードが最終的に選ばれ、T_cで凍結し、低温相を生じると考えられる。

BaAl₂O₄が複数の不安定性を示す要因は、隙間の多い骨格構造であると考えられる。つまり、AlO₄四面体が骨格構造を作るこの結晶構造において、Ba原子はイオン化しており周囲のAlやOとの軌道同士の相互作用は小さい。これが、AlO₄四面体のフレキシブルな振動を可能にし、多くの構造不安定性を生じる要因となっていると考えられる。

4. Sr置換による構造相転移の抑制と等方性温度因子の増大

BaAl₂O₄は、BaサイトをSrで全置換することが可能である。図8に示したように、少量のSr置換によってT_cは大きく減少し、誘電率測定の結果によると、わずか6%の置換量でT_cは約280 Kまで抑制される。放射光粉末X線回折の結果からは、構造相転移による超格子反射が非常に弱くなるためT_cは過小評価されており、約150 Kと見積もられている。このT_cの減少は、Baよりイオン半径の小さいSrを置換したことで、より空間的な隙間が増え、四面体が振動しやすくなった結果、構造相転移が起こりにくくなったことに起因する。粉末X線回折や電子回折の結果からは、低温相に起因する超格子反射の半値幅は、xの増加に伴って増加することが分かっており、低温相の構造は、長距離秩序から短距離相関へ徐々に変化することが示されている⁽²⁵⁾。

この(Ba, Sr)Al₂O₄系に対する粉末X線構造解析では、O1サイトで特に大きな温度因子が報告されている⁽²⁶⁾。図8の挿入図に示した異方性温度因子の解析結果は図7の振動パターンとよく一致しており、この異常に大きな温度因子は、ソフトモードと深く関連していることが推測される。筆者らは最近、このO1の温度因子はSr置換量の増加に伴い増大し、かつ800 Kから15 Kまでほとんど温度依存せず、大きな値を示すことを見出した⁽²⁷⁾。図9(a)-(c)は、放射光粉末X線回折を用いた構造解析によって得られた、x=0, 0.05, 0.5のBa_{1-x}Sr_xAl₂O₄の等方性温度因子の温度依存性を示す。等方性温度因子は原子の熱振動の大きさを反映する。通常、温度の低下に伴って熱振動は抑えられるため、それに伴い温度因子の値は減少する。実際、Ba/Sr, AlおよびO2原子の温度因子は、温度の低下とともに確かに減少している。また、x=0においてはO1原子の温度因子は構造相転移に伴い急落し、その他の原子と同様に小さな値をとるようになる。

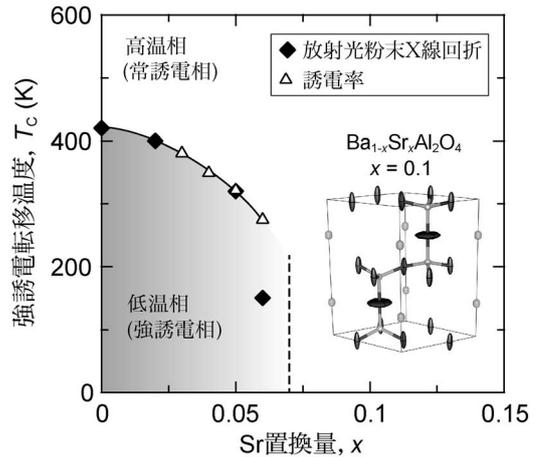


図8 放射光粉末X線回折、および誘電率測定によって求めた、T_cのSr置換量依存性。強誘電相を示す超格子反射や、強誘電転移を示す誘電率のピークは、xの増加に伴い徐々に小さくなり、x=0.07で見られなくなる。点線付近に強誘電-常誘電相境界があると考えられる。挿入図は、300 Kにおけるx=0.1の異方性温度因子の解析結果を示す。

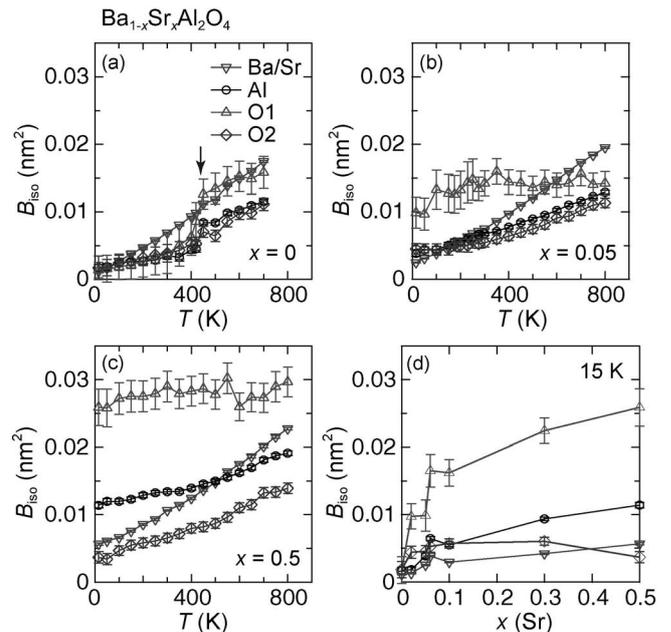


図9 放射光粉末X線回折を用いた構造解析によって得られた、等方性温度因子(B_{iso})の温度依存性。(a) x=0, (b) x=0.05, (c) x=0.5. (d) 等方性温度因子のSr置換量x依存性(15 K)。

しかしながらx=0.05, 0.5では、O1原子の温度因子はほとんど温度依存することなく、15 Kでも非常に大きな値を示している。なお、解析の信頼性を示すR因子は十分小さい値(典型的なものでR_{WP}=4~6%)に収束しているため、これらの異常に大きな温度因子はフィッティングが悪いためではない。R因子の詳細な値は文献[27]に記載されている。図9(d)は、各原子の15 Kにおける等方性温度因子を、組成に対してプロットした図である。いずれの原子も、Sr

薄膜における水素化過程と 水素による膜改質

春本高志*

1. はじめに

従来、水素は、金属に対しては有害な元素であると認識されてきた。これは、水素は、金属格子に侵入すると、格子膨張や空孔・ボイド形成などを引き起こし、以って、金属を劣化・脆化させるためである。

しかし、1990年頃には、逆に、金属に対する水素の有効活用が考案される。代表的な活用法として、既に実用化もされている hydrogenation-decomposition (disproportionation)-desorption-recombination (HDDR) プロセスが挙げられる⁽¹⁾⁽²⁾。この HDDR プロセスは、水素化・脱水素化により金属結晶粒を微細化するという手法であり、特に、ネオジム磁石材において(磁気特性を高めるために)用いられている。その他の活用法として、水素の拡散促進効果を用いた新奇合金相の合成法なども提案されている⁽³⁾⁽⁴⁾。更に、水素は、疲労き裂成長を抑制する効果もあるのではないかなどの報告がなされており、現在も研究が続けられている⁽⁵⁾。

近年では、これまでバルク材中心であったこうした研究が、分析手法(特に、その場観察技術)の向上に伴い、ナノサイズの粒子や薄膜においてもなされるようになってきた。その結果、特定の条件下においては、水素化・脱水素化により金属中の欠陥を減らすことができたり、結晶性を向上させたり、結晶粒を粗大化させることも可能であるという、従来の水素に対するイメージでは考えられないような現象が起こっていると判明しつつある⁽⁶⁾⁻⁽¹⁰⁾。そこで、本稿では、ナノ粒子やナノ薄膜に対する、こうした水素の新しい効果を紹介したい。次節(第2節)では、ナノサイズのパラジウム(Pd)に

における水素化を概説し、次いで第3節では、筆者の研究結果を用いて、薄膜固有の現象である異方的格子伸縮を紹介し、第4節では、更に、膜改質への応用を述べ、最後(第5節)に本稿をまとめる。

2. ナノサイズのパラジウムにおける水素化

Pd は、白金族元素の1つであり、水素吸蔵金属として古くから知られている。Pdの結晶構造は、面心立方構造(fcc)であり、水素(H)は、fcc構造の8面体隙間に侵入固溶すると言われている⁽¹¹⁾。室温においては、PdH化合物として、水素低濃度相である α 相(fcc構造)と水素高濃度相である β 相(NaCl構造)の2つが挙げられる。ここで、結晶学の「fcc構造の8面体隙間の全てに別元素が侵入固溶すると、NaCl構造に成る」を思い出すと、 α 相に加え β 相も、fcc-Pdをベースにしていることは明らかである。バルクの場合、水素は、 α 相には、0~2 at%H ぐらい、 β 相には、37.6 at%H 以上含まれている。Pd 周辺雰囲気中の水素分圧が高くなると、 $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態が起こるが、その際、 α 相と β 相のH濃度が大きく異なるので、それに対応した大きな格子膨張が起こる。具体的には、(fcc-Pdを基準にすると)約3.5%も格子膨張し、体積としては、約10%(3.5%×3方向)も増加する。それに伴い、大きな歪や応力が生じ、その結果、バルク材においては脆化が起こるのは当然と言えよう。

ナノ粒子・薄膜における水素化は、バルクのそれとは大きく異なると知られている。例えば、J. A. Eastmanらの研究によると、Pd粒子の粒子径が小さくなるにつれ、ミスシビリティギャップが狭くなる(α 相、 β 相の各組成域が広くな

* 東京工業大学物質理工学院；助教(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

Anisotropic Lattice Expansion and Film Structure Evolution of Thin Films during Hydrogen Loading and Unloading; Takashi Harumoto (Department of Materials Science and Engineering, School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

Keywords: hydrogen, film, palladium, structure evolution, crystallinity, lattice defects, grain growth, anisotropy

2018年5月30日[doi:10.2320/materia.57.387]

る)と報告されている⁽¹²⁾. この現象は、一言で言うなればサイズ効果であるが、具体的には、表界面の効果、高比表面積の効果、水素化による歪・応力の効果、試料中に含まれる欠陥の影響などと関係しており、試料作製法やその後の試料の取り扱いにかなり依存している⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾. 薄膜においては、更に、基板効果(substrate clamping effect)を考慮に入れる必要がある⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾⁻⁽²¹⁾. これは、薄膜は、基板上に形成されているので、面内拘束を受けており、自由な等方的(3次元的)な格子膨張は許されないという効果であり、次節で述べるよう、異方的な格子膨張をもたらす. これら様々な影響を受けて起こるナノ粒子・薄膜の水素化現象は、物性物理の観点から非常に興味深いテーマであるため、また、水素吸蔵材や水素センサ材への応用を見据えて多くの研究がなされている.

水素化・脱水素化により材料の構造が向上し得る(結晶粒の粗大化などが起こる)ということに、最初に言及した論文は、10年ほど前の R. Gremaud らの報告と思われる(筆者の知る限り)⁽⁶⁾⁽⁷⁾. しかし、水素化・脱水素化により、こうしたことが起こるといふことに関して自信がなかったことによるのか、もしくは、別の理由によるのか、その後、詳細は言及されないままであった. しかし、近年、目覚ましい進歩を遂げているその場観察技術の下で、再び、結晶粒の粗大化や結晶性の向上、金属中の欠陥(点欠陥に加え、転位や積層欠陥も含む)の減少が確認されつつある⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾. 水素のこれらの効果は、現在、ナノ粒子では self-healing effect(自己治癒効果)、ナノ薄膜においては film structure evolution(膜改質)と呼ばれているが、水素の新しい活用法を示唆しているものと筆者は信じる.

3. 水素化過程における薄膜の異方的格子伸縮

バルクや粒子の水素化過程では、金属は、全方向に等方的(3次元的)に格子膨張する(図1(a)). しかし、薄膜においては、異方的に格子膨張する(図1(b)). これは、前述の通り、基板効果による⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾⁻⁽²¹⁾. 即ち、薄膜は基板に拘束されているため、膜面垂直方向には自由に伸縮可能であるのに対して、面内方向には伸縮し難い. そのため、水素化時は、膜面垂直方向に優先的に、特に初期段階においては1次元的に、格子膨張する. 同様に、脱水素化時は、膜面垂直

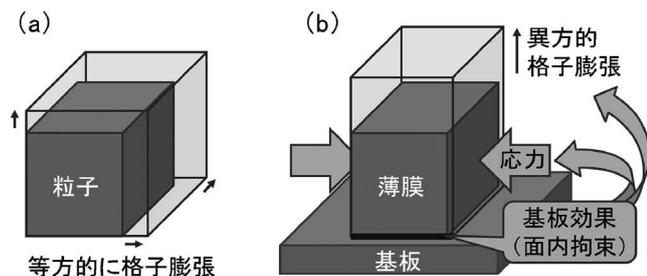


図1 水素化過程における格子膨張.
(a) バルク・粒子の場合 (b) 薄膜の場合

方向に優先的に収縮する. この異方的格子伸縮は、単に、基板効果により変形の方法が制限されていると捉えることもできるが、一方、熱応力と同じ考え方で、膜中に基板由来の面内変形を阻止する力(即ち、面内圧縮応力)が働いていると解釈することもできる.

実際に、室温において、Pd ナノ薄膜(膜厚: 48 nm)の異方的格子伸縮を、 N_2-H_2 混合ガス雰囲気中その場 X 線回折法により観察した結果を図2に示す⁽²¹⁾. $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態が起こる前の水素化初期段階(2 vol% H_2 導入時)においては、膜面垂直方向にのみ格子膨張・収縮が観察されているので、1次元的であると判る(図2(a), (b)). $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態後は、格子中の水素濃度が一気に増加し(図2(d)), 面内方向にも格子膨張を示すようになるが、已然として異方的(膜面垂直方向に

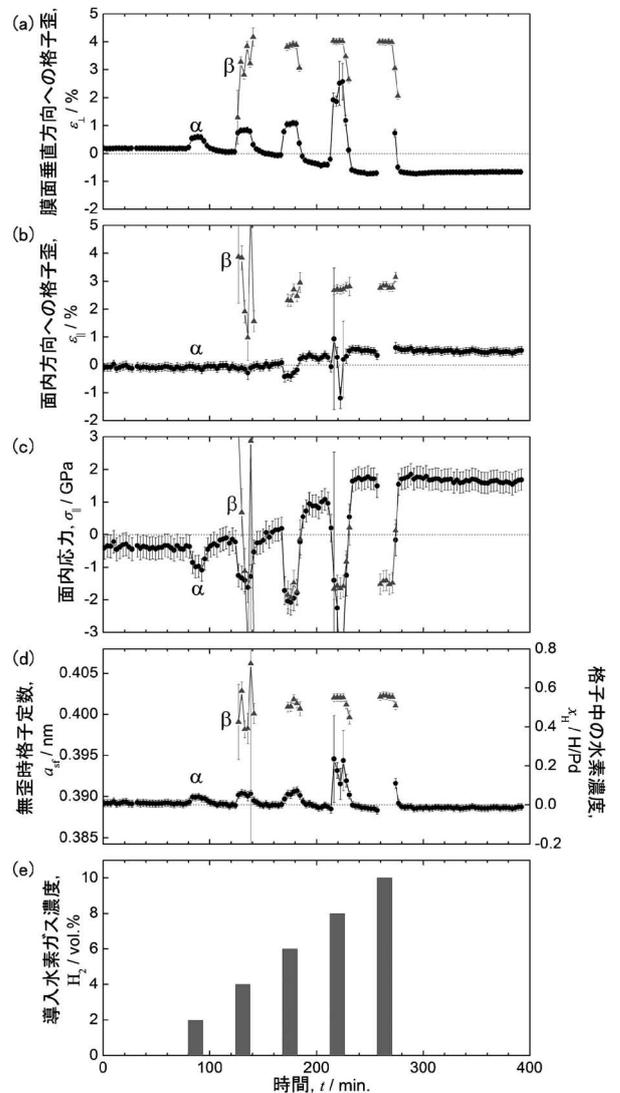


図2 Pd ナノ薄膜(膜厚: 48 nm)の水素化過程その場 X 線回折測定結果.
(a) 膜面垂直方向への格子歪(ϵ_{\perp}) (b) 面内方向への格子歪(ϵ_{\parallel}) (c) 面内応力(σ_{\parallel}) (d) 無歪時格子定数(a_{st})と水素濃度(x_H) (e) 導入した水素ガスのプロファイル

優先的に膨張)であり、基板効果は $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態後も有効である。このような異方的格子膨張を、全て応力に起因すると解釈する場合、GPa オーダーの面内圧縮応力が膜中に働いていると計算できる(図2(c))。このGPa オーダーの極めて大きな応力は、相平衡にも影響を及ぼすほどであると知られている⁽²⁰⁾。 $\beta \rightarrow \alpha$ 相変態後は、膜中に大きな引張残留応力が存在しているが、これは、基板効果は継続して有効であり、薄膜は変態後も基板に接着(密着)していることを示している。したがって、Pd ナノ薄膜は、水素化・脱水素化に伴う数%もの巨大な膨張・収縮後も、劣化(膜剥離)しない。この現象は、膜厚が数から数十 nm の場合にのみ観察され、ある程度厚い薄膜(基板と膜の密着性などにも依存するが概ね50 から100 nm 以上)では、膜剥離が起こる。したがって、膜中圧縮応力による弾性エネルギーと、新たな表面を形成(=膜剥離)するためのエネルギーの大小によって説明され得る現象である⁽¹⁹⁾。

以上、薄膜における水素化過程は、バルクや粒子のそれとは異なるものであり、特に基板効果に起因する異方的格子伸縮(換言すると、基板の面内拘束に由来する大きな面内圧縮応力の存在)が特徴的である。加えて、薄い薄膜では、膜剥離は起こり難いという点も特徴として挙げられる。その他、本稿では割愛したが、ナノ粒子の場合と同様に、膜が薄いほど、 α 相が安定化され $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態が遅れることも特記に値する。

なお、図2では解析後の結果を示したが、実際は、試料としてPd(111)配向薄膜を用い、そして、膜面垂直方向の(111)面間隔($d_{\psi=0^\circ}^{111}$)と、その方向から70.5°傾いた方向の(111)面間隔($d_{\psi=70.5^\circ}^{111}$)の2つに対して測定を行い、その後、fccの(111)配向膜であり、かつ、面内等2軸応力(=薄膜・基板は面内等方的、膜は十分に薄い)という仮定の下で解析を行った。この仮定の下では、2つの(111)面間隔を測定するだけで、あらゆる方向の格子歪、膜中面内応力、および、無歪時格子定数を推定することができる⁽⁸⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾。無歪時格子定数は、更に、格子中の水素濃度へと換算可能である⁽⁸⁾⁽¹⁹⁾⁻⁽²¹⁾。これらの解析に用いた数式は、具体的には、以下の通りである。なお、X線回折プロファイルでは、 α 相と β 相の(111)ピークは分離して観察されるので、格子歪・応力・水素濃度なども、 α 相、 β 相各々独立に算出できる。

- 膜面垂直方向への格子歪：

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{d_{\psi=0^\circ}^{111} - a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{3}}{a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{3}}$$

- 面内方向への格子歪：

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{d_{\psi=90^\circ}^{110} - a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{2}}{a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{2}} = \frac{a_r \sqrt{2(1 - \cos \alpha_r)} - a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{2}}{a_{\text{bulk Pd}}/\sqrt{2}}$$

ただし、 $d_{\psi=90^\circ}^{110}$ は面内方向の(110)面間隔、

$$\cos \alpha_r = \frac{3d_{\psi=0^\circ}^{111,2} - d_{\psi=70.5^\circ}^{111,2}}{3d_{\psi=0^\circ}^{111,2} + d_{\psi=70.5^\circ}^{111,2}}, \quad a_r = \sqrt{\frac{3}{1 + 2 \cos \alpha_r}} d_{\psi=0^\circ}^{111}$$

- 面内応力：

$$\sigma_{\parallel} = -\frac{9}{2} \frac{d_{\psi=0^\circ}^{111} - d_{\psi=70.5^\circ}^{111}}{\left(9S_1^{111} + 4 \frac{1}{2}S_2^{111}\right) d_{\psi=0^\circ}^{111} - 9S_1^{111} d_{\psi=70.5^\circ}^{111}}$$

- 無歪時格子定数：

$$a_{\text{sf}} = \sqrt{3} \left(\left(\frac{9}{4} \frac{S_1^{111}}{\frac{1}{2}S_2^{111}} + 1 \right) d_{\psi=0^\circ}^{111} - \frac{9}{4} \frac{S_1^{111}}{\frac{1}{2}S_2^{111}} d_{\psi=70.5^\circ}^{111} \right)$$

- 水素濃度(H/Pd)：

$$x_{\text{H}} = \frac{a_{\text{sf}} - a_{\text{bulk Pd}}}{\alpha_{\text{H}} a_{\text{bulk Pd}}}$$

ここで、 $a_{\text{bulk Pd}}$ はバルク Pd の格子定数(0.389 nm)、 S_1^{111} と $1/2 S_2^{111}$ は(111)配向膜に対する回折弾性定数(α 相に対しては、順に -1.754 TPa^{-1} と 7.018 TPa^{-1} 、 β 相に対しては、 -1.991 TPa^{-1} と 7.880 TPa^{-1})、 α_{H} は水素濃度と格子膨張との間の係数(0.061)である。

4. 水素による膜改質

前節の通り、薄いPd ナノ薄膜においては、膜剥離は起こり難く、基板との密着(接着)を保ったまま $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ 相変態させることが可能である。そこで、こうした条件の下で、水素化・脱水素化を繰り返すとどのような現象が起こるのであろうか。図3は、水素化・脱水素化の繰り返し前後における、その場X線回折測定の結果である⁽⁸⁾。回折強度の増大、および、半値幅の減少(特に70.5°方向)は明らかであり、水素化・脱水素化の繰り返しにより、薄膜の結晶性は向

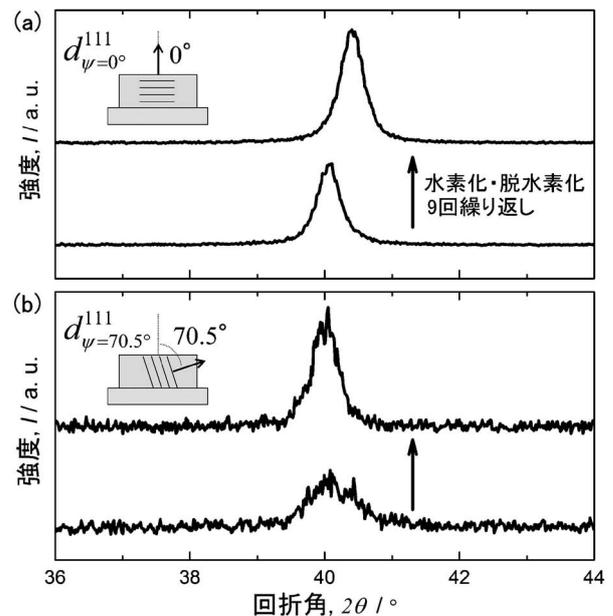


図3 Pd ナノ薄膜(膜厚：48 nm)の繰り返し水素化・脱水素化前後のその場X線回折プロファイル。(a) 膜面垂直方向のPd(111)ピーク (b) 膜面垂直方向から70.5°傾いた方向のPd(111)ピーク。挿入図は、測定している(111)面の模式図である。

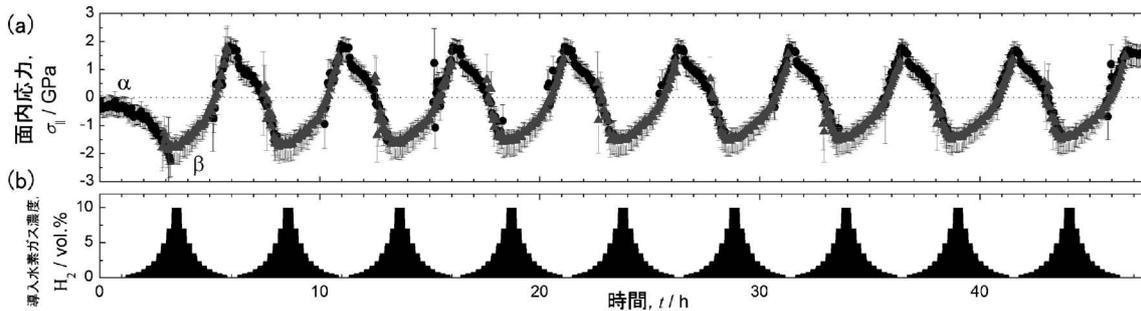


図4 Pdナノ薄膜(膜厚:48 nm)の繰り返し水素化・脱水素化中の(a) 面内応力変化 (b) 導入した水素ガスのプロファイル。

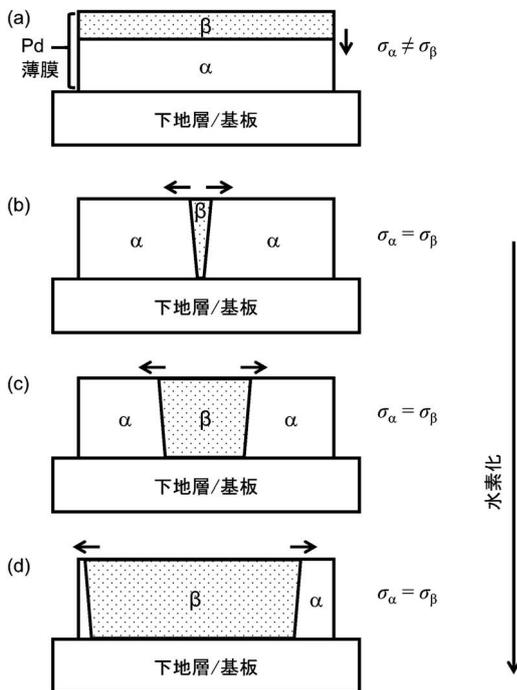


図5 水素化における α - β 粒界移動方向と面内応力の関係。
 (a) 膜面垂直方向に移動する場合。
 (b, c, d) 面内方向に移動する場合。
 $\sigma_\alpha, \sigma_\beta$ は、それぞれ、 α 相中、 β 相中の面内応力。

上し、更に、膜中のPd粒子は粗大化(特に面内方向に粗大化)したと確認できる。更に詳細に解析を行ったところ、結晶中の欠陥の減少や、(111)配向性の向上なども確認された。よって、膜剥離が起こらないという条件の下では、逆に、膜構造は向上する。この膜構造の向上(「膜改質」効果)は、従来の水素に対するイメージ、即ち、金属の結晶性を低下させる方向の元素とは全く異なるものである。次に、膜改質が起こるメカニズムを考察する。図4によると、 $\alpha \rightarrow \beta$ 相変態、 $\beta \rightarrow \alpha$ 相変態のいずれにおいても、また、 $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ 相変態の繰り返し後も、 α 相中応力と β 相中応力は常に等しい⁽⁸⁾。よって、膜表面から α - β 粒界が下向きに進んでいるとは考え難く、寧ろ、 α - β 粒界は横向き(面内方向)に進んでいるものと予想される(図5)。この α - β 粒界が、面内方

向にのみ移動する事を繰り返すことにより、(111)最安定面が表面に露出し、また、面内粒径が粗大化し、更には、欠陥が粒外へ吐き出されたものと考えられる(ゾーンメルティングによる単結晶育成と同様に)。

本膜改質方法の特徴は、室温において、水素含有ガスを薄膜に暴露するだけで実施できるという点である。したがって、最も一般的な膜改質方法である熱処理と比べ、効率的、かつ、省エネルギーである。水素の還元作用も考慮に入れると、特に、酸化し易い金属薄膜に対して効果的であると考えられる。現在、本膜改質法の詳細・応用を、鋭意研究している。

5. まとめ

従来、水素は、金属の結晶性を低下させる方向の元素であると認識されてきた。しかし、近年、特定の条件下においては、逆に、結晶性を向上させることもあると判明してきている。薄膜においては、非常に薄く、膜剥離が起こらないという条件の下では、特徴的な異方的格子伸縮と共に、面内方向への結晶粒粗大化や、格子中の欠陥減少、また、膜の配向性向上が起こっていた。これら膜構造の向上、即ち、膜改質は、 α - β 粒界が特定方向(面内方向)にのみ移動するという事に起因すると考えられる。したがって、基板上に形成されている薄膜においてのみ起こる特異な現象であるが、水素の新しい活用法を提示しているものと信じる。本膜改質法は、室温において、水素ガスを暴露するだけで実施できるという点で非常に優れており、今後、応用が期待される。

本研究は、科研費(課題番号25870772, 18K14137)により実施されたものです。感謝申し上げます。

文献

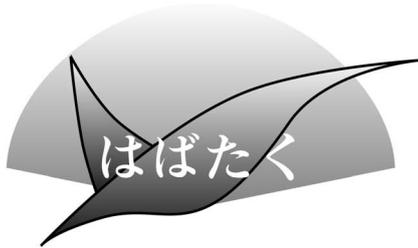
- (1) R. Nakayama and T. Takeshita: J. Alloys Compd., **193**(1993), 259-261.
- (2) I. R. Harris and P. J. McGuinness: J. Less Common Met., **172-174**(1991), 1273-1284.
- (3) 深井 有: までりあ, **50**(2011), 521-528.
- (4) H. Kobayashi, K. Kusada and H. Kitagawa: Acc. Chem. Res., **48**(2015), 1551-1559.
- (5) Y. Murakami, T. Kanazaki and Y. Mine: Metall. Mater. Trans.

- A, **41** (2010), 2548–2562.
- (6) R. Gremaud, M. Gonzalez-Silveira, Y. Pivak, S. de Man, M. Slaman, H. Schreuders, B. Dam and R. Griessen: *Acta Mater.*, **57** (2009), 1209–1219.
- (7) Y. Pivak, H. Schreuders, M. Slaman, R. Griessen and B. Dam: *Int. J. Hydrogen Energy*, **36** (2011), 4056–4067.
- (8) T. Harumoto, Y. Suzuki, J. Shi and Y. Nakamura: *J. Appl. Cryst.*, **50** (2017), 1478–1489.
- (9) V. Burlaka, V. Roddatis, M. D. Bongers and A. Pundt: *Sci. Rep.*, **7** (2017), 9564.
- (10) A. Ulvestad and A. Yau: *Nat. Com.*, **8** (2017), 1376.
- (11) F. D. Manchester, A. San-Martin and J. M. Pitre: *J. Phase Equilib.*, **15** (1994), 62–83.
- (12) J. A. Eastman, L. J. Thompson and B. J. Kestel: *Phys. Rev. B*, **48** (1993), 84–92.
- (13) R. Bardhan, L. O. Hedges, C. L. Pint, A. Javey, S. Whitlam and J. J. Urban: *Nat. Mater.*, **12** (2013), 905–912.
- (14) A. Baldi, T. C. Narayan, A. L. Koh and J. A. Dionne: *Nat. Mater.*, **13** (2014), 1143–1148.
- (15) R. Griessen, N. Strohhfeldt and H. Griessen: *Nat. Mater.*, **15** (2016), 311–317.
- (16) P. F. Miceli, H. Zabel, J. A. Dura and C. P. Flynn: *J. Mater. Res.*, **6** (1991), 964–968.
- (17) U. Laudahn, A. Pundt, M. Bicker, U. von Hulsen, U. Geyer, T. Wagner and R. Kirchheim: *J. Alloys Compd.*, **293–295** (1999), 490–494.
- (18) K. Northemann and A. Pundt: *Phys. Rev. B*, **78** (2008), 014105.
- (19) S. Wagner, T. Kramer, H. Uchida, P. Dobron, J. Cizek and A. Pundt: *Acta Mater.*, **114** (2016), 116–125.
- (20) S. Wagner and A. Pundt: *Int. J. Hydrogen Energy*, **41** (2016), 2727–2738.
- (21) T. Harumoto, Y. Ohnishi, K. Nishio, T. Ishiguro, J. Shi and Y. Nakamura: *AIP Adv.*, **7** (2017), 065108.
- (22) T. Harumoto, T. Sannomiya, S. Muraishi, J. Shi and Y. Nakamura: *J. Appl. Cryst.*, **47** (2014), 1490–1501.



春本高志

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
2012年3月 東京工業大学大学院理工学研究科材料工
学専攻博士課程修了
同年4月 東京理科大学基礎工学部材料工学科助教
2015年4月 東京工業大学大学院理工学研究科材料工
学専攻助教
2016年4月(改組による配置換)より現職
専門分野：回折結晶学的手法による薄膜の構造解析
◎主にスパッタリング法により作製した薄膜の構造解
析, および, その物性研究に従事.
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



第一原理計算を利用した材料研究

国立研究開発法人産業技術総合研究所
エレクトロニクス・製造領域 製造技術研究部門
センシング材料研究グループ 研究員

平田 研二

1. はじめに

私は2018年3月に九州工業大学大学院生命体工学研究科生命体工学専攻にて博士(工学)の学位を取得し、現在は国立研究開発法人産業技術総合研究所で研究員として勤務しています。これまでの研究について感じたことや、学んだことを述べさせていただきます。

2. これまでの研究内容

九州工業大学における学部時代は講義で接する機会が多かった状態図の研究がしたいと考え、4年次に大谷博司教授(現：東北大学多元物質科学研究所)のもとで状態図の熱力学解析に取り組みました。状態図計算法はCALPHAD(CALculation of PHase Diagrams)と呼ばれ、実験値を参考に熱力学パラメータを決定し、相平衡を計算することが可能になります。一方で、実験値が少ない合金系では熱力学パラメータの決定が困難となり、いまだに熱力学データベースが整っていない合金系もあります。私が取り組んだ合金系もその一つであり、少ない相平衡の実験値を補完するために第一原理計算で求めた化合物の生成エンタルピーをCALPHAD法に導入していました。この研究で初めて第一原理計算を知ったことがきっかけとなり、後述する博士課程での研究につながったのだと思います。

修士課程では実験の研究もしたいと考え東北大学大学院に進学し、貝沼亮介教授のもとでCo基ホイスラー合金のマルテンサイト変態に関する研究に従事しました。Co基ホイスラー合金では形状記憶合金の報告がほとんどなく未開拓の状態でしたが、私は幸運にもCo-Cr-Al-Si合金で初めての超弾性を見出すことができました(図1)⁽¹⁾。

現在では他のCo基ホイスラー合金でも形状記憶効果が発見され、応用へ向けた研究が取り組まれています。また、第一原理計算を利用する機会もあり、他のホイスラー合金の相安定性を評価したときに大変興味深い経験をしました。第一原理計算では基本的に結晶構造や構成元素の情報しか利用しませんが、その結果が見事に先行研究の実験結果と符合していたのです。当時の私には何の実験報告も参考とせず、実験結果を再現する結果を示したことが印象に残りました。このとき、第一原理計算が材料設計の強力なツールであり、計算予測しながら材料を開発する時代にあるのだと確信しまし

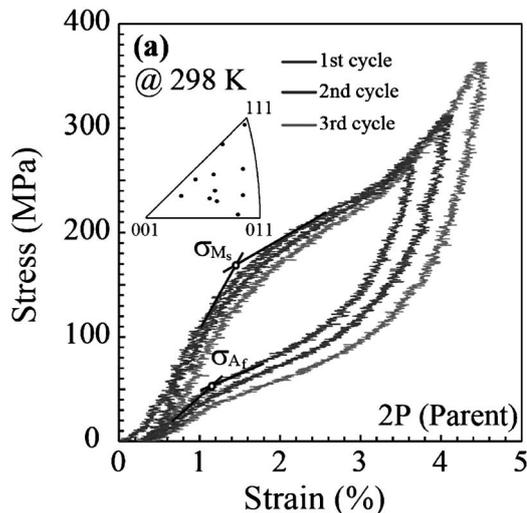


図1 室温におけるCo-Cr-Al-Si合金の圧縮試験結果⁽¹⁾。

た。修士課程修了後はメーカーに就職しましたが、もう一度、計算科学を利用して材料の研究がしたいと考え、博士課程に進学することにしました。

博士課程では、九州工業大学大学院の飯久保智准教授のもとで計算科学的な手法によるFe-Ti-S3元系状態図の作成や、鉄中の水素の拡散挙動を評価する研究に取り組みました。第一原理計算で求められる物性値は化学量論組成や絶対零度の条件下であるなど、材料特性として評価するには注意を要します。これらは第一原理計算の弱点と捉えられますが、多方面でその克服も盛んに試みられています。ここで、私の状態図計算の成果の一部としてNiAs型TiS化合物の熱的安定性を紹介します。この化合物ではこれまでにFeの固溶に関して相分離/全率固溶の相反する実験報告がありました。私は第一原理計算とクラスター展開・変分法により有限温度の自由エネルギーを計算し、TiS化合物にFeが全率固溶することを初めて明らかにしました。さらに、作成した熱力学データベースは実験値との整合性も良好で信頼性が高く、鉄鋼材料の材質予測への利用が期待できると考えています。

現在は産業技術総合研究所にて窒化物圧電材料の研究に携わり、第一原理計算などの計算科学的手法を利用して新規材料の開発に取り組んでいます。対象とする材料はこれまでの金属材料とは異なるセラミックスになりますが、今までの計算および実験の研究経験を活かし、新しい研究手法も取り込みながら精進していく所存です。

3. おわりに

学生生活を振り返ってみると本当に多くの方々に支えられて今の私が形成されていると思います。私を成長させて下さった九州工業大学および東北大学の先生方、研究室の先輩や同期、後輩の皆様には大変感謝しております。今後はこれまで培ってきた専門性をさらに深化・拡大させ、微力ながらも材料工学の発展に貢献していきたいと思ひます。

文 献

- (1) K. Hirata, X. Xu, M. Nagasako, T. Omori and R. Kainuma: J. Alloys Comp., **642**(2015), 200-203.
(2018年4月24日受理)[doi:10.2320/materia.57.392]
(連絡先: 〒841-0052 鳥栖市宿町807-1)

若狭湾エネルギー研究センター

(公財)若狭湾エネルギー研究センター所長
中嶋 英雄

福井県の若狭湾地域には、3.11の東日本大震災以前は、もんじゅを含む14基の原子力発電所が存在し、年間発電電力量は平成22年(2010)度実績で約767億 kWhであり関西圏の消費電力の約半分を供給していた、それは我が国の原子力による発電量の約1/4に相当し、福井県は全国最大の電力供給地であった。このように、福井県は若狭湾地域に原子力発電所が集中立地している特性を活用してエネルギー関連技術の地域産業への応用等を通じ地域振興を図る「アトムポリス構想」の実現に向け取り組んできた。こうした中、昭和62年(1987)に日本学術会議が「地域型研究機関構想」を創り、地方に研究所を整備し、その研究を地域振興に生かすべきと提言した。これを契機として国、福井県、民間が一体となって事業を推進する財団法人が設立されることになり、平成6年(1994)9月に通産省と科学技術庁の認可を得て若狭湾エネルギー研究センター(以下、エネ研と言う)が発足し、平成10年(1998)11月に開所した(図1参照)。

この施設の中核となる研究設備が多目的シンクロトロン・タンデム加速器である。この加速器設備では加速エネルギー範囲の異なる2種類の加速器、タンデム加速器とシンクロトロンを用い、水素、ヘリウムなどの軽イオンや炭素などの重イオンを幅広いエネルギー範囲で照射することができる。イオンビームを用いたナノ材料から生物、文化財など多様な対象の元素分析や、材料改質、農作物の品種改良など利用範囲は多岐にわたる。近年、放射線場、特に宇宙空間において用いられる材料やデバイスの放射線影響模擬実験が盛んに行われるようになってきている。さらに、特筆すべきは陽子線によるがん治療の高度化研究である。

エネ研では、以上のような研究開発だけではなく、国際的な原子力人材の育成事業も推進している。国内はもとよりアジアをはじめとする世界の原子力の安全技術、人材育成に貢献するため、平成23年(2011)4月に福井県国際原子力人材育成センターが設置された。この福井県国際原子力人材育成



図1 若狭湾エネルギー研究センター本館。

センターを核に、県内の研究機関や人材育成機関および関西・中京圏の大学等と連携して、原子力発電の導入を計画している国々の行政官・技術者の研修など、国内外の原子力人材育成事業を行い、国際的な原子力人材育成の拠点を形成している。以下では、エネ研で行われている研究のうち5つのトピックスについて紹介する。

1. 加速器利用分析技術の開発

金属や半導体デバイスの表面近傍の濃度や薄膜の積層構造の元素分析には、2次イオン質量分析法やオージェ電子分光分析法などの分析技術が用いられ、深さ濃度分布を求めるのに表面を剥離させるためにスパッタリングによる破壊検査が採用されている。それに対して、イオンビームを用いる方法ではイオンのエネルギーを計測することによって非破壊的に元素の濃度分布を測定することができる。タンデム加速器から発せられたイオンビームを試料に照射し試料中の元素から発生する特性X線を測定することによって多数の元素を同時に測定することができ、ppmレベルの微量元素濃度の測定も可能である(粒子線励起X線分光法, PIXE)。本方法を用いてリチウムイオン電池における電極の元素分布の測定、歯のう蝕とフッ素の関係性、茶葉中の有害元素であるアルミニウムの挙動、イネの根が取り込む金属元素の挙動に関する研究などを行っている。

また、試料をビームに照射してそのビームから弾き出された原子のエネルギーの飛行時間を測定することによって水素やリチウムなどの軽元素の元素同定やナノメートルレベルで元素の深さ方向の分布を測定する試みも行われている(飛行時間測定反跳粒子検出法, TOF-ERDA)。エネ研で開発したTOF-ERDAによってシリコン上のカーボン極薄膜を1.3 nmという世界最高の深さ分解能で検出することに成功した。

2. 放射線照射によるデバイス・材料開発

太陽宇宙線の主成分は200 MeV近傍にピークを持つ陽子線である。エネ研のシンクロトロンで加速される陽子線はこの宇宙線と線質が類似していることから人工衛星に搭載する電子デバイスの宇宙線による劣化の研究を、地上でのシミュレーション実験によって行っている。半導体のPN接合部で宇宙線によって電子・正孔対が発生しON/OFF機能不全に陥り半導体デバイスが誤動作を起こしてしまう。そこで、シンクロトロンを用いてそのような劣化の機構解明、防止対策に関する研究を行っている⁽¹⁾⁽²⁾。図2には、エネ研で試験した機器とそれを搭載した人工衛星を示した。また、シリコン太陽電池の宇宙線による劣化に関する研究も行っている。さらに、200 kVマイクロ波イオン注入装置を用いて原子炉材料の照射効果の研究やイオン照射によるFe-Pt薄膜永久磁石の保持力低下の検証実験も行っている。

3. 原子炉の廃炉に必要なレーザー技術開発

原子炉建屋や原子炉本体等のコンクリートや金属などの切断、溶接および除染などの技術開発を、企業や大学、研究機

関と協力して行っている。原子炉等の安全な切断，解体時に発生する粉じんなどの拡散を抑制する必要があり，水中におけるレーザー切断技術は，その拡散を抑制する有望な候補技術となる。エネ研では企業などと協力し，照射部位の水を除去する水中切断用のレーザーヘッドをファイバーレーザーに組み込んだ機構を開発し，世界で初めて高品質ファイバーレーザーを用いた水中金属厚板切断技術を開発し，実証した。また，極短パルスレーザーを集光し，照射した表面のみ昇華させることで構造部材の表面汚染を効率的に除染する装置の開発と実用化を推進している(図3参照)⁽³⁾。

4. 植物，菌類，真菌類の品種改良

イオンビームを利用した，植物，菌類，真菌類の品種改良の研究を行っている。通常の品種改良では，突然変異を起こしたものを自然界から探してこなければならない。また，目的の品種を作り出すには長い年月が必要である。イオンビームを利用した品種改良ではイオンビーム照射によりDNAに損傷を与え突然変異の起こる頻度を高めることで，目的の性質を持った育種の発現頻度も高めることができる。この技術を利用してさまざまな観賞用の植物や野菜，あるいは人に役立つ菌類，真菌類の性能改良を行っている。また，イオンビームによってDNAに損傷が形成される過程やそれが修復される過程に関する研究も行っている。

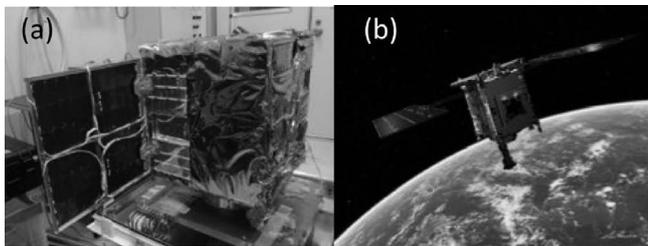


図2 (a)人工衛星「金シャチ」に搭載された放射線検出器。若狭湾エネルギー研究センターのシンクロトロン陽子線照射によって放射線検出器の健全性や耐久性が調べられた⁽¹⁾。
(b)電子デバイスが搭載された人工衛星「はやぶさ」⁽²⁾。

5. 陽子線がん治療の研究

がんの治療方法には外科療法，放射線療法，抗がん剤投与等の化学療法があるが，陽子線治療は放射線療法の1つである。陽子線には，身体の表面近くでは吸収される放射線量が少なく，ある深さにおいて最大になるという特徴がある。陽子線治療は，この特徴を生かしてがん病巣だけを集中的に破壊することができるため，従来のX線治療に比べて副作用が少なく，治療効果が高い治療法である。また，身体の機能の温存，治療中や治療後の生活の質(Quality of Life)の維持にも高い効果が期待できる。平成14年～21年(2002～2009)にエネ研において陽子線がん治療の62例の臨床研究を実施した。これらのエネ研のがん治療の成果を生かして平成23年(2011)に福井県立病院に陽子線治療センターが開設された。

6. 終わりに

原子力利用は，原子力発電によるエネルギー利用のほかにも放射線，放射性同位体，粒子加速器の利用などが挙げられる。エネ研では設立当初から後者の放射線利用研究に重点を置いてきたが，東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故以来，原子炉の放射能除染に資するレーザー除染機や原子炉構造物のレーザー切断機の開発，環境中における線量分布の測定法の開発などの開発研究も積極的に実施している。このようにエネ研では我が国の原子力の重要性を認識し，それらの利用技術開発と安全と安心な運用のための基礎・応用研究と開発，さらには人材育成を積極的に進めている。詳細はエネ研ホームページ <http://www.werc.or.jp/> を参照されたい。

文 献

- (1) https://www.frontier.phys.nagoya-u.ac.jp/jp/chubusat/chubusat_satellite2.html
- (2) <http://www.jaxa.jp/>
- (3) 峰原英介，遠山伸一，田村浩司，中嶋英雄：金属，**86**(2016)，590-595。
(2018年5月14日受理)[doi:10.2320/materia.57.393]
(連絡先：〒914-0192 敦賀市長谷64-52-1)

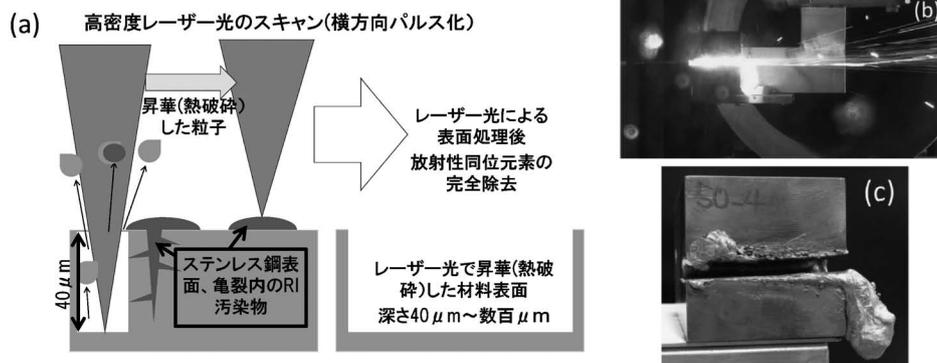


図3 (a)レーザーによる除染技術の原理，(b)30 kW ファイバーレーザーによるステンレス鋼の切断試験，(c)切断された厚さ300 mmのステンレス鋼⁽³⁾。

先達からのお便り

電子顕微鏡と出会って50年

～材料研究者が見てきた電子顕微鏡の変遷～

サイエンス福岡クラブ 代表
九州大学名誉教授 友清 芳二

1. はじめに

私は1968年、九州大学工学部の鉄鋼冶金学専攻修士課程修了と同時に自分が学んでいた講座の助手として採用され、2006年に定年退職するまで九州大学で物質・材料の研究と教育に携わってきました。私の研究対象は、合金の相変態から始まり、次に金属結晶中の欠陥の評価へ、さらにセラミックス、半導体、超伝導体、磁性体などの微細構造・局所構造解析へと移っていきました。その間、私の所属していた冶

金・鉄鋼冶金学科は材料工学科へと改組され、定年前に大学院工学研究院・工学部門から総合理工学研究院・融合創造理工学部門へと配置換えになりました。この間ずっと電子顕微鏡を使って研究をしてきました。退職後は縁あって2002年から始まっていた文部科学省ナノテク支援事業の学術研究員(特任教授)として雇用され、2017年3月まで九州大学で微細構造解析プラットフォーム⁽¹⁾のお手伝いをしてきました。現在は、サイエンス福岡クラブ⁽²⁾と称する任意団体の一員としてボランティア活動、主として大人向けのサイエンスセミナーと子供向けの理科教室をしながら、趣味の家庭菜園を楽しんでいます。この50年間にわたって一材料研究者が見てきた電子顕微鏡の技術的変遷を紹介させていただきます。若い方々に電子顕微鏡の進化の過程と新しい電子顕微鏡のすばらしさを知っていただければ幸いです。

2. 私が出会った電子顕微鏡

私は職に就いた1968年、九大に納入されたばかりの透過電子顕微鏡を使い始めました。これは国産最初の最高加速電圧200 kVの透過電子顕微鏡でした。1975年、九大に超高圧電子顕微鏡が設置され、学内共用施設として開放されたのを

表1 九州大学超高圧電子顕微鏡室で活躍した、あるいは活躍中の透過電子顕微鏡(2015年3月現在)。

機種	設置年	加速電圧 最低-最高 (kV)	STEM 機能	HAADF- STEM 機能	TEM 像 分解能 (nm)	XEDS 検出器 型・立体角, 受光面積	EELS 型	試料傾斜角(度)	CCD カメラ
JEM-200	1968	100-200 TEG: W	×	×	0.45	×	×	Top entry	×
超高圧電顕 JEM-1000	1975	200-1250 TEG: W	×	×	0.27 格子縞	×	×	X, Y: ±45	×
JEM-200B	1977	100-200 TEG: W	×	×	0.4?	×	×	X-, Y-: ±25°?	×
JEM-2000FX	1983	100-200 TEG-LaB ₆	△	×	0.28	SSD: Si(Li) 0.1? sr	×	X: ±30 Y: ±45	×
JEM-4000EX	1987	100-400 TEG-LaB ₆	×	×	0.18	×	扇型	X-, Y-: ±25° Top entry	TV
ナノプローブ電顕 JEM-2010FEF	1996	100-200 T-FEG	○	○	0.23	SSD: Si(Li) 0.22 sr	Ω型	X, Y: ±30	○
デジタル電顕 TECNAI-20	2001	100-200 TEG: LaB ₆	○	△	0.24	SSD: Si(Li) ΔE ≈ 140 eV	×	X: ±50 (X: ±45, Y: ±25)	○
3次元観察用 電子分光型電顕 JEM-3200FSK	2003	100-300 T-FEG	○	○	0.26	SSD: Si(Li) 0.22 sr	Ω型	X: ±70 X, Y: ±30	○
ローレンツ電顕 TECNAI-F20	2003	100-200 T-FEG	○	○	0.24	SSD: Si(Li) 0.13 sr	×	X: ±40 Y: ±30	○
新超高圧電顕 JEM-1300NEF	2005	400-1300 TEG: LaB ₆	○	×	0.13 (1000 kV)	SDD: Si, 0.07 sr	Ω型	X: ±60 X, Y: ±45	○
収差補正 走査/透過電子顕微鏡 JEM-ARM200F	2010	60, 80, 120, 200 T-FEG	○	○	0.11 (0.08)	SDD: Si 0.8 sr ΔE ≈ 130 eV	GIF ΔE ≈ 0.8 eV	±25	○
収差補正 走査/透過電子顕微鏡 JEM-ARM200CF	2014	30, 60, 80, 120, 200 kV Cold FEG	○	○	0.12 (0.07)	SDD-Si 1.7 sr 100 mm ² × 2	GIF ΔE ≈ 0.26 eV	X: ±35° Y: ±30°	○

TEG: 熱電子放射型電子銃, T-FEG: 熱電界放射型電子銃, GIF: Gatan Imaging Filter(外付け型電子分光装置), SDD: Si Drift Detector(液体窒素不要), SSD(Si(Li)): LiドープSi半導体検出器 Solid State Detector

機会に私はその施設である超高圧電子顕微鏡室のお世話をすることになりました。科学・技術の進歩とともに材料の品質向上、新しい材料の開発などが必要となり、電子顕微鏡の機能・性能に対する研究者の要求は次第に多岐、高度にわたり、電子顕微鏡メーカーも次々に新しい装置を開発してきました。超高圧電子顕微鏡室には、その後新しい電子顕微鏡が次々に導入されました。これらの主な性能・機能と設置年をまとめて表1に示します。

私の退職後も超高圧電子顕微鏡室では松村晶室長(工学研究院教授)の下、表1に示すように収差補正走査透過電子顕微鏡が導入され、2014年には、超高圧電子顕微鏡室は超顕微解析研究センターへと改組されました。表1に上がっている機種はいずれも、導入当時それぞれ国産第1号機であったり、試作機であったり、最新鋭の装置でした。私はこれらの多くの装置導入に関わることができただけでなく、これらを存分に使用することができるという恵まれた立場にありました。

3. 電子顕微鏡技術の変遷

表1の電子顕微鏡を年代順に眺めると、電子顕微鏡および関連技術の発達史そのものです。30年ほど前、「電子顕微鏡は成熟した研究機器であり、今後大きな発展や裾野の拡大は見込めない」と言われた時がありました。しかし、関連する科学・技術、周辺技術の発達に支えられ、電子顕微鏡は現在まで進化し続けて、今はナノテクノロジー分野の研究開発になくてはならない基盤研究機器となっています⁽³⁾。最近刊行された「まてりあ」の特集記事⁽⁴⁾を見ていただければわかるように、新しい機能・性能を持った電子顕微鏡の出現は新しい応用分野の開拓をもたらしていることがわかります。以下、電子顕微鏡の進化の経過をもう少し詳しくたどってみます。

(1) 本体の性能向上

電子顕微鏡の理論的像分解能は電子波の波長だけで決まるのではなく、回折収差やレンズの持つ様々な収差の影響を大きく受けます。中でも対物レンズの球面収差の影響が大きいため当初は球面収差係数の小さい対物レンズの設計・製作かあるいは加速電圧を高くして電子波の波長を短くすることに重点がおかれました。しかし、どちらも実用的限界があり、像分解能の向上は足踏み状態でした。実際の像分解能は、レンズ電源の安定度、試料の熱ドリフト、電子照射による試料汚染、試料ホルダーの機械的安定性などに大きく影響されます。実用像分解能の大幅な改善をもたらしたのは、電子銃に使用される陰極材料が、従来のタングステン(W)ヘアピン型フィラメントに代わって登場した高輝度の六硼化ランタン(LaB₆)チップです。これによって、蛍光板上で拡大像を見ながら非点補正や焦点合わせが可能になりました。さらに、画像記録装置として写真フィルムに比べて一桁~二桁感度の高いスロースキャン CCD カメラ(1980年代後半には電子顕微鏡への応用がはじまる)やイメージングプレート(電子顕微鏡への適用が始まったのは1990年代後半)が開発されてから高分解能像の観察はより身近な存在になりました。これ

らの新しい記録装置は、ダイナミックレンジ(動作範囲)が写真フィルムの二桁に比べて四~五桁と非常に高いこと、さらに入力信号(電子照射強度)と出力信号(フィルムの黒化度)間の線形性に優れていることなどの特徴を持っています。さらに、従来の写真フィルムでは暗室での長時間の作業が必要でしたが、新しい画像記録装置はこれらの煩雑な作業から私達を解放してくれただけでなく、モニター画面で見た画像データをデジタル信号として電子媒体に保存して持ち帰れるようになりました。最近では電子回折パターンを観察が可能な、CMOS カメラや、電子を直接検出する装置も開発されています。

電子源の高輝度化はさらに進み、熱陰極電界放射電子銃(ショットキー型、1970年代半ば)、冷陰極電界放射電子銃が発達、普及し像分解能の改善だけでなく後述する分析電子顕微鏡における分析空間分解能とエネルギー分解能の大幅な改善をもたらしました。冷陰極電界放射電子銃が実用化された1980年代は長時間使用する上で安定性に問題がありましたが、真空技術と陰極清浄化技術、電源安定化技術等の進歩のおかげで長時間安定して使用できるようになったのは最近のことです。真空技術に関してはターボ分子ポンプ、ソーブションイオンポンプなどの新しい真空排気装置の開発だけでなく、電子顕微鏡の鏡体の真空部分の構造と使用する材質にまで様々な工夫が払われ、差動排気機構、試料室の焼き出し(ベーキング)機構等様々な工夫と技術が取り入れられました。これらによって、真空度だけでなく真空の質が大幅に改善され、観察中の試料汚染が著しく低下し、高分解能像の観察だけでなく、高空間分解能での局所分析が可能となりました。

私が昔使用した電子顕微鏡では、電源の絶縁には絶縁油が使用され、電源の制御は真空管でした。絶縁油はその後、フロンガス、そして六フッ化硫黄、SF₆(1990年代半ば頃)ガスへと代わり、電源制御が真空管から半導体に置き代わったのは1970年代にはいつからです。電子顕微鏡の操作と例えば、以前は集束レンズ絞り、対物レンズ絞り、制限視野絞りの出し入れは手動、試料傾斜と移動も手動でした。軸調整はノブ操作とテーブルの切り替えスイッチで行いました。しかし、半導体技術とコンピュータの発達により、1980年代には電子顕微鏡の制御はもちろんのこと操作も自動化され、手動操作する部分はほとんどなくなりました。軸調整はマニュアルを読みながらではなく、コンピュータと対話しながらできるようになりました。電子顕微鏡の制御・操作がアナログからデジタル処理に変わり、取得データもデジタル化されて電子媒体に移し替えて持ち帰れるようになった最初の電子顕微鏡(2000年頃)を私達はデジタル電子顕微鏡(表1参照)と呼びました。

(2) 分析電子顕微鏡の発展

電子顕微鏡 TEM による分析にはご存じのように、試料を透過した電子のエネルギーを調べる電子エネルギー損失分光(Electron Energy Loss Spectroscopy: EELS)と電子照射により試料から放出される特性 X 線のエネルギーを調べるエネルギー分散型 X 線分光(X-ray Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: XEDS)があります。EELS に関しては、専用

機による表面の観察が、XEDSは走査電子顕微鏡による分析が先行していて、TEMによるEELSの試みは1960年代初頭に、XEDSは1960年代後期にそれぞれ始まりました。透過電子顕微鏡では、試料が対物レンズの磁極片に囲まれていてスペースが狭いという制約のため、分析機能の付加は容易ではありませんでした。本格的な分析電子顕微鏡が普及して材料の研究に威力を発揮するようになったのは1980年代のことです。

分析電子顕微鏡では、試料に照射する電子ビームを細く絞れること、照射位置を容易に変えられることが必要です。そのために1980年代に入って対称型の強励磁対物レンズが開発されました。しかし、強励磁対物レンズだけで平行ビームから収束ビームまで、太いビームから細いビームまで照射するのは困難なため、照射系レンズは従来の2段集束レンズから多段数収束レンズに、結像系レンズも低倍率から高倍率まで広範囲をカバーできるよう、また像のひずみや像の回転を補正するために多段レンズ構成となりました。走査透過像を観察するためには、照射ビームを走査するための偏向コイル、透過像を光軸に戻すためのコイルと、走査透過電子を検出するための電子検出器が必要です。環状検出器が採用され始めたのは1970年代に入ってからです。

最近の分析電子顕微鏡では、通常透過電子顕微鏡法(Conventional Transmission Electron Microscopy: CTEM)と走査透過電子顕微鏡法(Scanning Transmission Electron Microscopy: STEM)が切り替えられるようになっています。STEMでは試料面上での電子ビーム走査と検出した走査透過電子をモニター上に同期して走査します。対物レンズは結像には使われず、集束したビームを試料に照射するために使われます。STEM像の分解能は照射電子ビームの直径によって決まります。したがって、後述するように干渉性が良く高輝度の電子ビームを照射できる集束レンズ用球面収差補正装置が威力を発揮します。

XEDSで用いられるX線検出器にはLiをドープした半導体Si(Li)が使用されていたため、Liの拡散による性能劣化を抑えるために、常時液体窒素で冷却する必要がありました。また、検出器の形状に制約があるため、Si(Li)では大きな受光面積の検出器ができず、受光面積は数十mm²、X線受け入れ立体角は0.1 sr程度でした。これは、全立体角4 π の1%にも満たないほど低い値です。そのため、256×256の画素の元素マップを1枚取得するのに最低1時間は必要でした。しかし、高純度Siを用いたSiドリフト型検出器(SDD)が開発されて、100 mm²程度の大きな面積の検出器も実現され、データ取得時間は1桁短縮されるようになりました。放出されるX線強度を増大させるには試料に照射する電子線強度を上げればよいわけですが、一度にたくさんのX線光子が入ってきて検出器が処理できないので、最近では複数の検出器を組み合わせる工夫もなされていて、表1にあるように、1.7 sr程度の立体角度が実現されるようになっています。

EELSには、いろいろな分光装置が提案され、作製されていますが、内蔵型である Ω 型分光装置と外付け型である扇型分光装置(例えばGatan Imaging Filter: GIF)が開発されたのは1980年代後半以降です⁽⁵⁾。

昔のEELSのエネルギー分解能は1~2 eV程度でしたが、熱変動の少ない冷陰極電界放射電子銃を搭載した最近の電子顕微鏡では0.04 eV程度の高いエネルギー分解能が達成されています。また、入射電子のエネルギーをそろえるために別途電子分光装置、モノクロメーターを付け加えた電子顕微鏡も市販されています。いずれにしても、本来の透過電子顕微鏡法である顕微法(Microscopy)とX線エネルギー分光法や電子エネルギー分光法である分光法(Spectroscopy)が融合された分析電子顕微鏡の普及は1980年代以降です。

(3) 球面収差補正装置

前節で述べたように、電子顕微鏡像の分解能を劣化させている原因の一つはレンズの球面収差です。レンズ磁極片の孔の周辺は磁界が強いが、孔の中心付近は磁界が弱いので孔の縁を通る電子と孔の中心を通る電子とでは焦点距離が違ってきます。これが球面収差の原因です。1990年代に入ってドイツのH. Rose教授(前Darmstadt大学、現Ulm大学)のグループが6極磁場からなる補正装置を考案しました⁽⁶⁾。これは六極磁界を上下2段と2個のトランスファー・ダブレットと称する電子軌道を反転するレンズを組み合わせるというものでした。この装置は凹レンズではありませんが、2段の6極子で電子ビームを6方向に広げる作用をもたせ負の球面収差を作ることができます。その結果、凸レンズによる正の球面収差を実用上補正することに成功し、2000年代に入ってこれを搭載した電子顕微鏡が市販されるようになり、急速に普及し始めました。

この補正装置を分析電子顕微鏡の集束レンズに取り付けられれば、大きい集束電子でも一点に絞って照射できるので、位相のそろった干渉性の良い高輝度の電子ビームを照射/走査できます。したがってSTEM像の分解能が格段に改善されるだけでなく、EELSおよびXEDSの空間分解能は大きく改善されます(表1参照)。高効率のX線検出器と組み合わせれば原子分解能のXEDS元素マップを取得することができます。最近の高性能環状電子検出器、多分割型環状電子検出器やピクセル検出器の出現によって、以下のような多彩なSTEM像が入手できるようになりました：

- ① 大角度環状暗視野像(High Angle Annular Dark Field; HAADF 像)
- ② 環状明視野像(Annular Bright Field; ABF 像)
- ③ 低角度環状暗視野像(Low Angle Annular Dark Field; LAADF 像)
- ④ 分割環状全視野検出像(Segmented Annular All-Field; SAAF 像)

球面収差補正装置の発達によって、超高压電子顕微鏡で電子波の波長を短くしなくてもそれなりに高い像分解能を得ることができるようになりました。電子照射に弱い試料を観察するために、最近では100 kV以下の、30~60 kV程度の低い加速電圧も見直されるようになりました。低加速電圧は、XEDS元素分析において非弾性散乱断面積の増大によるX線発生効率の向上という利点もあります。

最近の収差補正装置付き透過/走査透過分析電子顕微鏡の出現によって、材料に関する広範多岐な情報、何が、どれだけ、どこに、どのように存在するかを原子分解能レベルで入

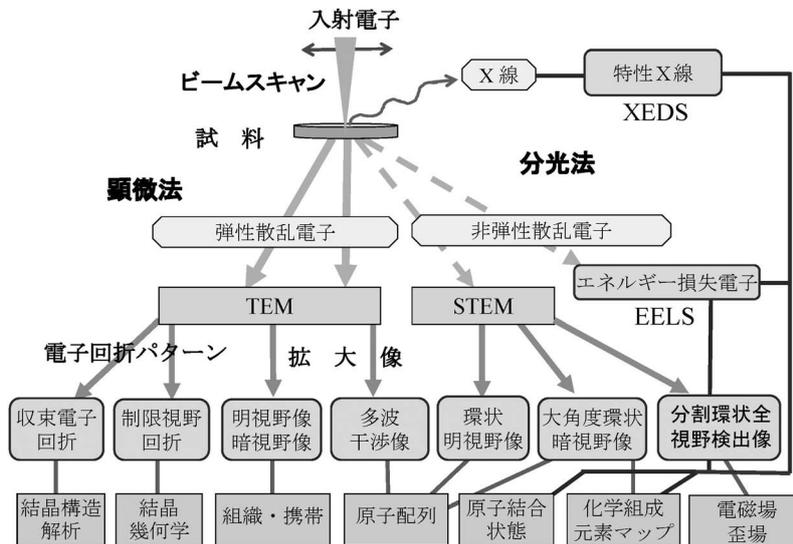


図1 収差補正分析 TEM/STEM で得られる信号と情報.

手できるようになり、電子顕微鏡の世界は一変したと言っても過言ではありません。顕微法と分光法を融合させた最近の分析電子顕微鏡法は、図1に示すように、物質・材料に関する高度で総合的情報を入手できるので、超顕微法とも呼ばれています。

4. 関連技術の発展

透過電子顕微鏡用薄膜試料作製には電解研磨法、化学研磨法、粉碎法、Ar イオンミリング法などが用いられてきましたが、複雑な合金や多相から成る無機材料を一様に薄くするのは容易でなく、観察が困難な試料も多々ありました。この問題を解決してくれたのが集束イオンビーム FIB (Focused Ion Beam) 試料加工装置です。これにより狙った箇所のピンポイントサンプリングも可能になりました。

試料ホルダーに関しては、トモグラフィ用に、一軸～三軸高角度傾斜ホルダーが開発・市販されています。試料加熱に関しては、MEMS の技術を応用したコンパクトで安定した加熱ホルダーが開発・市販されていて、試料を加熱しながら原子分解能の XEDS 元素マッピングさえ可能になっています。環境 TEM と称して試料の雰囲気：ガスの種類や圧力を制御する装置も開発されています。

5. 終わりに

1931年にドイツの M. Knoll と E. Ruska によって電子顕微鏡が発明されて以来、先人のあくなき探求心とチャレンジ精神、たゆまぬ努力によって今の電子顕微鏡の姿があります。上述したように、電子顕微鏡法の発達には、様々な要素技術、関連技術の進歩に支えられていることが分かります。長年不可能と言われていた球面収差補正装置の開発に成功された Rose 先生が、記念講演(日本顕微鏡学会, 2017年5月, 札幌)で成功の鍵は？との質問に対して、①優れたアイデア、②不屈の努力(決して諦めないこと)、③経済的裏付け、をあげ、最後にコンピュータの発達に助けられた、と言われたのが思い出されます。

なお、日本における電子顕微鏡の発達を系統的に調査した文献(7)(8)がありますので、ご興味のある方はこれらをご覧ください。また、世界の電子顕微鏡発展の歴史に関しては、黒田光太郎氏(現名大名誉教授)の科研費基盤研究(C)「電子顕微鏡の科学技術史一理論の発達と機器の開発」(2011-2013)による詳細な研究があり、いろいろな出版物で公開されています(例えば(9)(10))。文部科学省が今実施しているナノテクノロジープラットフォーム事業では全国11機関で「微細構造解析プラットフォーム」を構成し、収差補正走査/透過電子顕微鏡をはじめ各種高性能電子顕微鏡が共用に開放されています(11)。

文 献

- (1) <http://nanoplat.hvem.kyushu-u.ac.jp>
- (2) <http://science-fukuoka-club.com>
- (3) 友清芳二, 松村 晶: 資源素材学会誌, 133(2017), 1-10.
- (4) 佐藤和久他: まてりあ, 55(2016), 575-614.
- (5) R. F. Egerton: Electron Energy-loss Spectroscopy in the Electron Microscope, Plenum Press, New York, (1986).
- (6) M. Haider, H. Rose, S. Uhlemann, B. Kabius and K. Urban: J. Electron Microsc., 47(1998), 395-405.
- (7) 小島建治: 透過型電子顕微鏡技術発展の系統化調査, (2008), 国立科学博物館産業技術史資料情報センターのホームページ内の「技術の系統化調査報告」.
<http://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/041.pdf>.
- (8) 原田嘉晏, 富田正弘: 顕微鏡, 46, Suppl. 3(2011).
- (9) 黒田光太郎: 金属, 84(2013), 310-316.
- (10) 黒田光太郎: 材料の科学と工業, 48(2013), 211-216.
- (11) <http://nanonet.mext.go.jp>, www.jst.go.jp/nanotechpf/

(2018年5月28日受理) [doi:10.2320/materia.57.395]
(連絡先: tomokiyo.yoshitsugu.620@m.kyushu-u.ac.jp)



友清芳二

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
昭和43(1968)年 九州大学大学院工学研究科修士課程修了。
同年 九州大学助手(工学部冶金系学科)就任。
平成18(2006)年 九州大学を定年退職, 九州大学名誉教授。
退職後は特任教授として「文科省ナノテク支援事業」の学術研究員(九州大学超高压電顕室)に就任, 平成27年(2015.3.31)まで。
その後2017年3月まで超顕微鏡解析研究センターでシニア技術アドバイザーを務める。
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

談話室

グリーンベルグ先生を偲んで

東北大学金属材料研究所；
所長・教授 高梨弘毅

巨大磁気抵抗効果(GMR)の発見者と知られ、2007年ノーベル物理学賞受賞者であるペーター・グリーンベルグ(Peter Grünberg)先生は、2018年4月7日、肺炎のためドイツで逝去されました。享年78歳でした。ここに先生の生前のご功績とお人柄を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

グリーンベルグ先生は1939年にピルゼン(現在チェコ共和国、当時ドイツ領)に生まれました。1945年、第2次世界大戦が終わる直前にお父様を収容所で失い、戦後チェコスロバキア(当時)を追われて、お母様とともに西ドイツ(当時)に移住しました。その後、フランクフルト大学で物理学を学ばれ、1969年にダルムシュタット工科大学で博士号(物理学)を取得されました。1969年から3年間カナダのカールトン大学でポスドクとして研究された後、1972年にドイツのユーリヒ研究センター・固体物理学研究所(当時の名称、現在はグリーンベルグ研究所と改名)に入所されました。2004年に退職されましたが、ノーベル物理学賞を受賞された2007年から新設されたヘルムホルツ教授という称号を得て復職され、亡くなるまで研究を続けられました。

グリーンベルグ先生の初期の研究は磁性体のラマン散乱でしたが、やがてブリュアン散乱を用いたスピン波の研究に没頭されるようになります。そして、強磁性体と非強磁性体の積層膜で磁化の結合状態によって表面スピン波(デーモン・エッシュバハモード)のスペクトルが異なることに着目し、1986年にCr層を介したFe層間の反強磁性交換結合を発見、論文として発表されました。同時に、磁化の配置によって電気抵抗が変化することを予見し、磁気抵抗効果の研究にも着手し、GMRを発見されました。一方、Fe/Cr/Fe積層膜の反強磁性結合というグリーンベルグ先生の発見を知ったフランスのアルベール・フェルト(Albert Fert)先生も、独立に磁気抵抗効果の研究を行い、1988年にGMRの発表を行っています。お二人は、1988年にフランスのル・クルーゾーで開催された磁性薄膜及び表面の国際会議(ICMFS)で初めて会い、お互いの実験結果を示し合い、同じ効果であることを確認されたそうです。GMRは、発見からわずか10年後にハードディスクの読み取りヘッドとして実用化され、記録密度の急速な伸長をもたらし、ITの発展に大きく貢献するとともに、その後のスピントロニクス基礎となりました。グリーンベルグ先生はGMRの基本特許も取得しておられ、後にIBMがこの権利の一部を高額で購入したと聞いています。GMRの発見はthe first major application of



図1 2007年12月8日、ストックホルムのノーベル賞受賞講演会にて(グリーンベルグ先生と著者)。

nanotechnology と評価され、グリーンベルグ先生はフェルト先生とともに2007年にノーベル物理学賞を受賞されました。また、ノーベル賞に先立ち、IUPAP Magnetism 賞(1994年)、ドイツ連邦大統領ドイツ科学賞(1998年)、ウルフ賞(イスラエル、2007年)、日本国際賞(2007年)など、数多くの受賞をされています。

個人的なことを申し上げますと、私は1994年から1995年の1年半、フンボルト客員研究員としてユーリヒ研究センターに滞在し、グリーンベルグ先生とともに共同研究を行いました。グリーンベルグ先生と同じ居室にいた私は、科学についてはもちろん、様々な話題について議論を交わし、大変楽しい時間を過ごしました。また、先生とご家族は私の家族のことも気にかけ、よく面倒を見て下さいました。グリーンベルグ先生は研究には大変厳しい方で、納得がいかないことには最後まで首を縦に振りませんでした。一方できわめて温厚なお人柄で、気持ちの優しい方でした。2007年にノーベル物理学賞を受賞された際には、ストックホルムでの授賞式と晩餐会に私を招待して下さいました。私にとって大変光栄であり、忘れられない思い出です。写真(図1)は、ノーベル賞講演の直前に一緒に撮らせていただいたもので、私は嬉しくてにこにこしていますが、グリーンベルグ先生は講演を前にいささか緊張されている様子です。

グリーンベルグ先生は、東北大学を始めとする日本の研究機関にも幾度も招かれ、多くの日本の研究者と親交があり、日本のスピントロニクス、ひいては学術の発展にも大きく貢献されました。私が最後にお会いしたのは2年前、2016年5月に東北大学特別招聘プロフェッサーとしてお招きした時です。けっして体調が良い状態とは言えませんでした。金属材料研究所の創立百周年記念式典では、特別講演をして下さいました。本当にありがたいと思っています。

グリーンベルグ先生のご功績を称え、これまでのご恩顧に深く感謝し、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

(2018年6月11日受理)[doi:10.2320/materia.57.399]

(連絡先: 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

本 会 記 事

会 告	2018年秋期(第163回)講演大会ご案内と参加申込について	
	第16回 World Materials Day Award 募集	400
	2018年秋期講演大会企画シンポジウム開催予告	401
	第6回ランチョンセミナー開催のお知らせ	402
	第8回女性会員のつどいご案内	402
	平成30年度秋季 全国大学材料関係教室協議会講演会	402
	2018年秋期講演大会託児室設置のご案内	403
	2019年春期講演大会公募シンポジウムテーマ募集	403
	2019年度若手研究グループ申請募集	404
	「研究会」新規・更新申請募集	404
	電子ジャーナル機関購読のご案内	404
	永年会員制度について	405
	国際会議(PRICM-10)開催案内および講演募集	405
	欧文誌・会誌編集委員会からのお知らせ	405
	第42回技術開発賞募集	406
	第69回金属組織写真賞作品募集	407
	研究集会	408
企業求人情報		409
新入会員		413
掲示板		409
次号予告		413
会誌・欧文誌8号目次		411
行事カレンダー		414

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/>

- ・投稿規程・出版案内・入会申込はホームページをご利用下さい。
- ・会告原稿締切: 毎月1日で、翌月号掲載です。
- ・掲示板や行事のご案内は、ホームページにも掲載しております。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2018年秋期(第163回)講演大会ご案内ならびに参加申込みにについて

会 期: 2018年9月19日(水)～9月21日(金)
 会 場: 東北大学川内北キャンパス(〒980-8576 仙台市青葉区川内41)・仙台国際センター(〒980-0856 仙台市青葉区青葉山無番地)
 共 催: 東北大学工学研究科, 環境科学研究科, 金属材料研究所, 多元物質科学研究所
 協 賛: 公益財団法人仙台観光国際協会
 大会参加予約申込締切: **2018年8月17日(金)**
 参加申込みは、すべてインターネット申込となります。詳細は、下記申込要領をご覧ください。

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25日(金)～8月17日(金)

大会参加申込み URL <http://www.jim.or.jp/convention/2018autumn/>

予約申込締切後、予約申込者へ大会参加証引換券、講演概要集 DVD を送付します。懇親会の参加申込者には、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して下さい(WEB画面: 講演大会 MyPage よりダウンロード)。8月18日以降は当日申込となります。当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込下さい。

◆大会参加費(講演概要集 DVD 代含む)※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	8月17日(金)(申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
会員資格		
正員・維持員会社社員	10,000円	13,000円
学生員※	6,000円	7,000円
非会員 一般	24,000円	27,000円
非会員 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円

・お支払後の取消は、ご返金致しかねますのでご了承下さい。

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

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

◆懇親会費(消費税込み)

懇親会：9月19日(水)18:30~20:30 於 ホテルメトロポリタン仙台(〒980-8477 仙台市青葉区中央1丁目1-1)

予約申込締切日	8月17日(金)(申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
種別		
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、ご返金致しかねますのでご了承下さい。

◆支払方法

事前予約のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます。また、入金後のご返金は致しかねます。
8月17日(金)の入金日をもって予約申込完了となります。

◆参加証・概要集 DVD 発送

事前予約をされ、参加費を納入された方には、概要集発行日 **9月5日に順次**、「参加証引換券」、「概要集 DVD」、「懇親会参加証」を発送いたします。

◆講演概要集 DVD のみ購入する場合

件名を「2018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5日の発行後**、請求書を添えて送付いたします。

会員価：本体4,000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 1-14-32 (公社)日本金属学会
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: annualm@jim.or.jp

第16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7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)。
日本金属学会の会員でなくても応募できるが授賞決定後には会員になることが望ましい。
3. 展示方法
日本金属学会秋期講演大会(2018年9月19~21日、東北大学)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
 - ・審査員は理事会で決定し、展示場で審査する。
 - ・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1作品(または1グループ) 副賞5万円
- ② 各部門賞：各部門1作品に表彰賞状のみ。
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。

(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：2018年7月1日~8月31日

7. 参考

昨年の受賞者による体験記事を「まてりあ」にて紹介しておりますのでご参考にして下さい(まてりあ57巻5号~7号)。

申込・問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 各種賞係
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: gaffair@jim.or.jp

2018年秋期講演大会企画シンポジウム開催予告

最新の研究や技術を発信し、多くの研究者・技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、企画シンポジウムを実施しています。2018年秋期講演大会では、下記2件の企画シンポジウムを開催いたしますので、奮ってご参加下さい。

1. テーマ「自動車の革新を支える材料技術の最新動向」

日時 2018年9月19日(水)10:00~14:30予定

場所 東北大学川内北キャンパスC棟

主旨 近年の自動車を取り巻く環境は、従来からの課題である環境負荷低減、軽量化、燃費などに加え、電動化、安全性、自動運転などに代表される革新技術への対応も求められ、より複雑化、高度化している。このたび、日本金属学会では、多くの材料を利用し日々進化している自動車技術に焦点を当て、その技術の革新を基盤から支える材料技術における最新の動向について、日本鉄鋼協会、自動車技術会と合同でシンポジウムを企画しました。本シンポジウムでは日本金属学会からの講演者に加え、自動車技術会および日本鉄鋼協会から自動車および鉄鋼メーカーの製造関係者ならびに材料研究者も迎えて最新の研究動向を講演していただき、自動車用材料技術の方向性を共有するとともに、講演大会参加者の研究における一助となることを目的としております。

参加費 金属学会・鉄鋼協会の大会参加者は無料、自動車技術会会員は無料

テキスト有料 4,000円(消費税込)

2. テーマ「若手科学者へ贈る研究のヒント～未踏領域へ到達するために～」

日時 2018年9月20日(木)13:00~15:35予定

場所 東北大学川内北キャンパスC棟

主旨 “独創的な研究成果に到達するためには、どのような姿勢で研究に臨むべきか”について著名なベテラン研究者にご講演頂き、会員、特に若手研究者にそのヒントを掴んでもらうことを目的とする。講演では、ご自身の研究の中で、どのような場面・分岐点でどのような選択をし、どのような結果に繋がったか、などの具体的な経験談や、あるいは組織・国からの視点から、どのようなシーズがどのように育つのか、などについて述べて頂き、シンポジウム全体として独創的な研究成果に到達するための必要条件を浮き彫りにしたいと考えております。

参加費 大会参加者は無料

第6回ランチョンセミナー開催のお知らせ

秋期講演大会の会期中に、第6回ランチョンセミナーを開催いたします。このセミナーは、参加者の皆様に講演大会の昼食時間を利用して昼食をとって頂きながら、企業による最新の技術情報を聴講いただく企画です。参加無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主催 公益社団法人 日本金属学会

企画 株式会社 明報社

日時 2018年9月20日(木) 昼休み時間

会場 東北大学川内北キャンパス 日本金属学会講演会場(詳細会場は次号)

参加費 無料 昼食を無料提供いたします。

～ 皆様のご参加をお待ちしております!! ～

参加方法 9月20日(木)8:30より参加券を「機器展示会場」にて配布致します。

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

※予定数に達し次第、配布は終了致します。

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

- 参加企業
- (1)オックスフォード・インストゥルメンツ㈱
 - (2)シュプリンガー・ネイチャー
 - (3)㈱TSL ソリューションズ
 - (4)東芝ナノアナリシス㈱
 - (5)ヴァーダー・サイエンティフィック㈱

日本金属学会・日本鉄鋼協会 第8回女性会員のつどいのご案内

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

昨年に引き続き、秋期講演大会期間中に女性会員の方々お気軽に意見交換できる「つどい」を行います。ランチを楽しみながら、楽しいひとときを過ごしませんか。

主催 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画合同委員会

日時 2018年9月21日(金)12:00~13:00

会場 東北大学川内北キャンパスC棟

内容 女性会員の交流・人脈作り。キャリアデザイン意見交換。仕事場や上司・部下への困ったこと等本音トーク。学会への要望。などなど

参加資格 金属学会・鉄鋼協会女性参加者。学生さん、子連れもwelcome♪

参加申込 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。

持ち物 弁当、飲み物は持参をお願いします。

この「つどい」に参加して、静かな部屋でゆっくり語り合いたい♪♪♪

問合せ先 梅津理恵(東北大学)rieume@imr.tohoku.ac.jp

平成30年度秋季 全国大学材料関係教室協議会 講演会のご案内

日時 2018年9月21日(金)15:00~16:00

場所 東北大学 川内北キャンパスC棟

聴講料 無料

〈講演会〉

15:00~16:00

大学発ベンチャーの難しさと意義—教育と事業の狭間で—
東北大学大学院工学研究科教授 小池淳一

2018年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2018年秋期講演大会期間中、日本金属学会と日本鉄鋼協会が共同で託児室を開設いたします。利用ご希望の方はホームページ掲載の申込要領をご確認の上「託児室利用申込書」に記入頂き、下記シッター会社へ直接お申し込み下さい。

■設置期間および利用時間(開始、終了時間は予定です)

設置期間	利用時間
2018年9月19日(水)	8:30~17:30
2018年9月20日(木)	8:30~17:30
2018年9月21日(金)	8:30~16:30

■場所 お申し込みの方へ直接ご連絡いたします

■対象・利用料金

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

■料金支払

利用者は利用当日、シッターの方(保育スタッフ)に利用料金をお支払い下さい。

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

■利用シッター会社：(株)マザーズありすサポート

■お申込み方法

- 日本金属学会・日本鉄鋼協会ホームページ託児室案内の託児室利用規約をご確認の上、「利用申込書」をダウンロードし、必要事項を記入の上、下記シッター会社へメールにてお申し込み下さい。
 - 申込の際は、件名に「秋期講演大会の託児室予約」とご記入の上、利用申込書を添付して下さい。
- ※申込受領後3営業日以内に、(株)マザーズありすサポートより返信メールをお送りします。

■申込期間 2018年8月1日(水)~9月7日(金)

(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先 (株)マザーズありすサポート 担当 佐藤

☎ 022-380-1117(代表)

E-mail: alice@mother-s.jp



2019年春期講演大会 公募シンポジウムテーマ募集

提案期限：2018年9月1日(土) 期日厳守

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。(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】

2019年春期講演大会(東京電機大学東京千住キャンパス)

【実施要領】

- 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。
- 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。
- 採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。
- 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。シンポジウムの企画に積極的な方々が将来、分科会・講演大会などで主導的に活躍されることを期待する。

- 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：下記宛てに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。

【公募シンポジウム企画の採択基準】

- 企画責任者(シンポジウム chair)およびテーマ責任者(シンポジウム co-chair)
 - 企画責任者は会員であること。
 - テーマ責任者は複数テーマを兼任しないこと。
 - 企画責任者またはテーマ責任者には、了解を得た講演大会委員が入っていること。
 - 講演大会委員(専門分野)リストはホームページに掲載し、連絡先等は事務局に問合せする。
- 講演大会委員会でテーマ責任者(代理者可)は企画提案の説明を行うこと。
- 継続テーマの採択条件(上記に追加)
今後も同一テーマのシリーズ化で公募シンポジウムを希望する場合は、会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的とした下記の採択基準の条件を満たす提案が求められます。
 - 全講演数の半数以上の応募講演数が見込まれること。
 - 基調講演の非会員枠は原則、1~2件とし、会員の発表の場とすること。
 - 提案書の趣旨にどのような科学的知見が得られるかの記載があること。
 - 継続テーマ提案が採択条件を満たさない場合、採択を否決する。
否決テーマに対しては、一般講演を容認することもある。

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

(公社)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
「2019年度若手研究グループ」申請募集

若手および調査・研究事業を活性化することを狙いとして、2018年度より若手主体の研究グループを設置いたしました。若手研究グループの登録を希望される方は下記を参照の上、若手研究グループ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：2018年9月1日(土)

【実施要領】

- (1)概要 研究会又は新規研究テーマの開拓に向けた課題の抽出や目標の明確化のための調査の実施や構成員による討論会や会議の開催等を行なう。目的・目標・活動計画を明確にし、機関誌等での活動報告を義務化した上で、活動費を支給する。
- (2)対象者 申請者および構成員は40才以下の研究者であること。申請代表者は正会員であること。申請時には、構成員は5名以上であり、非会員を構成員とすることができるが、過半数は正会員であること。なお、構成員に最低1名は産業界のメンバーが入っていることが望ましい。また、活動開始時には、非会員の構成員は会員になること。
- (3)活動費 年間50万円を上限とする。
- (4)活動期間 2019年3月1日～2021年2月28日の2年間とし、原則として延長は認めない。
- (5)活動報告 研究成果報告として、講演大会において講演(研究グループの企画セッション等が望ましい)を行うこと。および、1年経過後および活動終了後の7月に報告書を分科会企画委員会に提出すること(必要な場合は説明いただく)。活動終了後、6ヶ月以内にまてりあに研究会の活動に関する記事を掲載すること。
- (6)採択件数 2019年度の採択数は5件以内とする。
- (7)応募方法 名称、申請代表者、構成員、申請理由、活動の概要、活動計画、予算、成果の報告予定、関連分野を記載した申請書を提出する。
- 申請先 申請書を下記 E-mail アドレスに送付して下さい。2,3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。
- 問合せ先 (公社)日本金属学会 若手研究グループ係
E-mail: gaffair@jim.or.jp
☎ 022-223-3685

公益社団法人日本金属学会
「研究会」新規・更新申請募集

研究会の登録を希望される方は研究会実施要領および下記規則をご参照の上、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：2018年9月1日(土)

【実施要領】

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果的に推進するために活動することを目的とする。

- 年間運営費：100,000円
- 活動期間：新規申請の場合1期5年間以内、継続更新の場合は、延長期間1期3年以内。最長活動期間は2期8年以内
- 新規申請書の内容：①研究会名称、②活動目的、③活動期間、④代表世話人、⑤世話人(複数可)、⑥構成員名簿
- 継続更新申請書の内容：①研究会名称、②継続理由、③延長期間、④代表世話人、⑤世話人、⑥構成員、⑦これまでの成果報告、⑧今後の活動計画書
- 年間採択数：新規2件以内、継続(延長)申請は2件以内
- 研究会の審査：調査研究推進委員会で1次審査をし、理事会で最終審査を行う。
- 審査基準：
 - ・学術貢献出来る研究会が望ましい。
 - ・類似の研究会に属しない。
 - ・構成員は適切か。
 - ・そのテーマの研究会が必要か。
 - ・研究会活動期間中に講演大会公募シンポジウムや金属学会シンポジウムを計画しているか。
- 現在活動中の研究会の留意事項
 - ・2019年2月に終了する研究会で、過去に継続(延長)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。
 - ・2019年2月に終了する研究会で、これまで継続(延長)の申請をしていない研究会は、1期3年の継続(延長)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。
- 申請書送付先：下記宛に 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。
- 問合せ・照会先：E-mail: gaffair@jim.or.jp
☎ 022-223-3685
(公社)日本金属学会 研究会係

※調査研究推進委員会：旧分科会企画委員会
調査・研究委員会：旧分科会委員会

電子ジャーナル機関購読のご案内

機関(IPアドレス)認証による電子ジャーナルのご購読が可能となっております。ご利用下さい。

対象誌 日本金属学会誌, Materials Transactions
年間購読料金 別途お知らせいたします。お問合せ下さい。
対象期間 大学類, 独立行政法人, 企業等
問合せ先 〒105-0022 東京都港区海岸1-9-18 国際浜松町ビル
丸善雄松堂株式会社 学術情報ソリューション事業部
外国雑誌・eリソースセンター
☎ 03-6367-6114 FAX 03-6367-6184
E-mail: epro-j@maruzen.co.jp

ご申請をお待ち
しております。

永年会員制度について

本会では長年にわたり本会の発展に尽された会員の労に報いるため、永年会員制度を設けております。自己申告制となっておりますので、該当すると思われる方は、はがき、FAX 又は E-mail にて会員番号、生年月日およびおおよその入会年を記入の上、本会事務局宛お問合わせ下さいませようお願いいたします。

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

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

受付締切 毎年9月30日

永年会員資格付与 毎年1月1日

問合せ先 (公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685
〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
E-mail: member@jim.or.jp

国際会議(PRICM-10)開催案内および講演募集

会議名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing(第10回環太平洋先端材料とプロセッシング国際会議)

開催時期 2019年8月18日(日)-22日(木)

開催場所 中国西安市曲江国際会議場

主催 中国金属学会

共催 日本金属学会, 韓国金属材料学会, Materials Australia, The Minerals, Metals & Materials Society

参加予定者数 約1500名

シンポジウム 1. Advanced Steels and Processing, 2. High Temperature Structure Materials, 3. Light Metals and Alloys, 4. Advanced Processing of Materials, 5. Thin Films and Surface Engineering, 6. Biomaterials, 7. Smart and Magnetic Materials, 8. Materials Characterization and Evaluation, 9. Composite Materials, 10. Amorphous Alloy and High Entropy Alloys, 11. Nanocrystalline and Ultrafine-Grained Materials, 12. Computational Design and Simulation of Materials, 13. Renewable Energy Materials and Nuclear Materials, 14. Additive Manufacturing and Powder Metallurgy, 15. Electronic and Spin Electron Materials

アブストラクト締切 2018年12月1日(土)

論文原稿締め切り 2019年3月1日(金)

ウェブサイト <http://www.pricm10.com/>

問合せ 中国金属学会, E-mail: pricm10@csn.org.cn

欧文誌・会誌編集委員会からのお知らせ

特集企画の投稿募集

(欧文誌)

■Latest Research and Development of Structural and Functional Titanium-based Materials(構造・機能性チタン基材料に関する最新の研究・開発)

航空宇宙, 医療デバイス, 福祉器具, 抗菌材料, 民生品, 化学プラント, 発電, 温度差発電等の分野において, チタン基材料への関心が再び高まりを見せている。積層造形法(AM)によるチタン基材料製複雑形状製品製造技術は, 最新の話題であり, そこでは技術開発だけでなく, 凝固現象, 結晶成長解析, 合金設計等の基礎研究にも進展がみられるようになってきている。チタン基材料の研究・開発を課題とする国家プロジェクトも複数進められている。また, 2019年6月には, フランスのナントにて, チタン基材料に関する最大の国際会議である第14回チタン世界会議が開催されることになっている。したがって, チタン基材料に関して, 多くの新たな研究・開発成果が期待できる。本特集号では, チタン基材料に関するあらゆる分野における最新の研究・開発成果の論文を広く募集する。

上記テーマに関する特集を, Materials Transactions 60巻7号(2019年7月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいませようお願いいたします。

掲載予定号 第60巻第7号(2019年)

原稿締切日 2019年1月7日(月)

- 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する。
- 著者は, 投稿・掲載費用をご負担願います。

■Titanium Production by Molten Salt Electrochemical Process

掲載予定号 第60巻第3号(2019年)

原稿締切日 2018年9月3日(月)

■Multiscale Engineering of Green-Energy Materials

掲載予定号 第60巻第3号(2019年)

原稿締切日 2018年9月3日(月)

■New Trends for Structural and Chemical Analyses by Transmission Electron Microscopy

掲載予定号 第60巻第5号(2019年)

原稿締切日 2018年11月1日(木)

(会誌)

■超伝導材料最前線 ―実用化に向けた組織制御技術の進歩―

掲載予定号 第83巻第9号(2019年)

原稿締切日 2019年3月1日(金)

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

第42回公益社団法人日本金属学会技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2018年10月31日(水)

[本賞の趣旨]

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

- (注1)本賞は、当該年度の日本金属学会会報「まてりあ」“新技術・新製品”の欄に掲載された記事が、選考対象となる。
(注2)本賞受賞業績は、日本学術振興会卓越研究成果公開事業/卓越研究データベース「発明と発見のデジタル博物館 (<http://dbnst.nii.ac.jp/>)」に登録され、広く周知されます。

技術開発賞募集要綱

1. 賞の名称 第42回公益社団法人日本金属学会技術開発賞

2. 対象となる業績と区分など

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

3. 応募者の条件

- 1件につき**10名以内**のグループまたは個人
直接開発に関与した技術者であって, 単なる職制上の管理者や代表者を含まないことが望ましい。
- 応募する時点で本会会員である必要はないが, 本会会員となることが望まれる。

4. 選考

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

5. 授賞

- 2019年6月末日までに受賞者を内定する。
- 2019年秋期講演大会において授賞する。
- 受賞者には賞状(全員)と副賞(1賞牌)が贈呈される。

6. 技術開発賞受賞記念講演

技術開発賞受賞をより意義深いものとするため, 受賞記念講演をお願いする。

第42回の受賞記念講演は, 2019年秋期講演大会(岡山大学, 9月予定)の折りに行います。

7. 受賞決定までの流れ

応募(10月31日締切) → 査読 → まてりあ掲載(58巻(2019年)1号から) → 選考・受賞決定(2019年6月) → 授賞(2019年9月)

まてりあ「新技術・新製品」記事への応募の方法

1. 応募・原稿締切

- (1) **2018年10月31日(水)**
- (2) 申し込み受理順を参考に会報「まてりあ」に第1号から第3号まで掲載する。

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

掲載記事が技術開発賞の選考対象となる。

掲載が決まった場合には, 240,000円(維持員会社社員の場合は210,000円)の投稿料を納入して下さい。

ただし, 掲載号1冊, 掲載記事のPDFファイル, 別刷100部を無料とする。

3. 応募記事の記述に当たっては, 次の各項に留意されたい。

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

4. 原稿作成について

- (1) 原稿は本文, 図(写真)および表を含めて刷り上がり3頁以内(約6,700字)とする。
- (2) 原稿は図・表の説明を含めて全て日本語とする。物理量の単位はなるべくSI単位系による。
- (3) 原稿はレイアウトの体裁にあわせて作成する。
- (4) 応募はホームページから申込み下さい。
URL <http://gjijutsu.jim.or.jp/entry>
ホームページから直接入力→原稿をZip形式ファイルでアップロード→印刷(最後に要ご署名)→事務局に応募表紙をmail添付で送信→受付完了。

原稿: 本文, 図表, レイアウトを別に作成し, Zip形式でまとめる。

- ① **レイアウト用紙**(ダウンロードできます)

- ② 図(写真)・表

・図と写真は区別せず図1, 図2…のように, 表は, 表1, 表2…のようにそれぞれ通し番号とする。

・写真にはスケールを入れる。

・それぞれキャプションを付すること。

(記述は横軸・縦軸・説明も含め日本語とする。)

・カラー原稿にはカラー印刷の有無を必ず明記する。

・カラー印刷は刷り1頁: 35,000円を著者が負担する。

5. 本会では, まてりあに掲載の著作物の著作権を本会に帰属させていただきます。

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

7. 提出資料(mail to: E-mail: materia@jim.or.jp)

- ① 応募表紙(署名記入) **入力画面から作成できます。**

応募表紙はプリントアウトし, 自署にてご署名の上, mail添付で送信下さい。

- ② レイアウトされた原稿

- ③ 本文テキスト

- ④ 図表原稿

◎②～④のデータファイル(Zip形式でアップロードして下さい。)

問合先 (公社)日本金属学会各賞係

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

「新技術・新製品」記事の問合・送信先

まてりあ係 E-mail: materia@jim.or.jp

～とっておきの作品(一枚)を後世に～

光学顕微鏡写真だけでも応募できます

応募締切：2018年10月20日(土)

Web 申込です！！

1. 募集部門

下記4部門で行っております。

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

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

「写真賞部門」

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

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

2. 申込要領

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

URL <http://picture.jim.or.jp/entry>

【申込フォーム】

- ①応募部門：4部門の該当する部門を選択する。
- ②題目
- ③作品の説明
- ④学術的価値(新規性，波及効果について世界の情勢に照らして記入)

- ⑤技術的価値(試料，試料作製，写真処理において新規性，独自性について記入)
- ⑥組織写真の価値(組織写真作品としての新規性や優れた点など，特記事項を記入)
- ⑦材料名
- ⑧試料作製法
- ⑨観察手法
- ⑩作品の出典(作品はオリジナルまたは本会帰属の写真で使用許可のあるものに限る.)
- ⑪応募者・共同研究者
- ⑫連絡先

【写真作品】

- ①写真データの解像度は，A2版サイズを前提に400dpi以上とする。
- ②写真データはPDFまたは画像ファイル(jpgなど)で提出すること。(それ以外はプレビュー表示出来ません)
- ③写真と図の組み合わせでも提出は可(写真，図への挿入文字は小さすぎないこと)。
- ④作品には，応募者名，共同研究者名を記載しない。
- ⑤応募作品数の制限：無し。
- ⑥他学協会等の同様の賞を受賞していない作品であること。

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 金属組織写真賞係

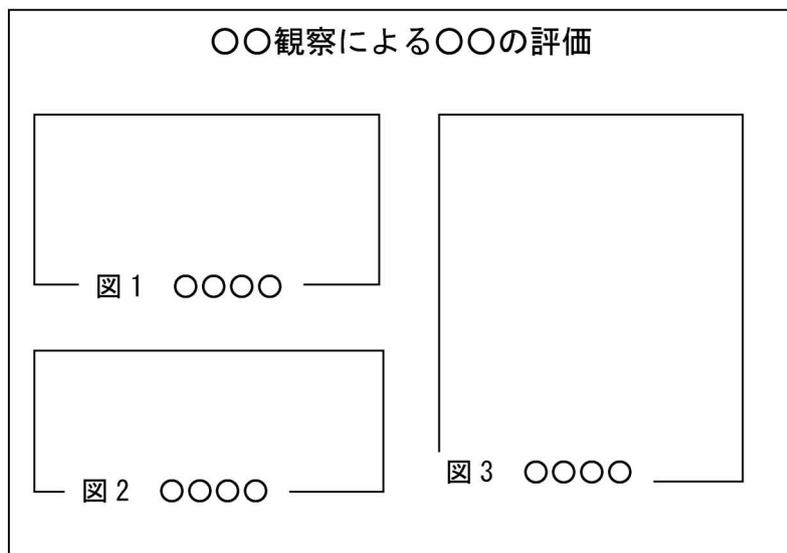
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

申込 URL <http://picture.jim.or.jp/entry>

【作成例】写真解像度：A2版サイズを前提に400dpi以上
(写真見本)

(申込フォーム：入力項目)



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

研究会 No. 79

第2回金属・無機・有機材料の結晶方位解析と
応用技術研究会 参加募集

まてりあ第57巻第5号会告で講演募集しました「金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会」を下記の通り開催いたします。今回が本研究会の第2回の講演会となります。様々な結晶性材料の結晶方位にご興味のある方はふるってご参加下さい。なお、本研究会は軽金属学会「アルミニウムの再結晶集合組織形成モデル化研究部会」、日本鉄鋼協会フォーラム「多結晶材料の異方性の評価と予測技術」との共催により行います。

日時 2018年8月30日(木)～31日(金)
場所 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B5棟 1B-34室
(〒599-8531 堺市中区学園町 1-1)
<https://www.osakafu-u.ac.jp/>
☎ 072-254-9316(井上博史)
参加費 資料代として当日1,000円をお支払い下さい(学生は無料)。
懇親会 懇親会費 5,000円(参加者) 8月30日(木)17:30～(予定)
申込方法 氏名、所属、連絡先(TEL・E-mail)を明記の上、8月17日(金)までに下記世話人宛にご連絡下さい。正式な参加申込書をお送りしますので、ご記入の上、ご返送願います。ただし、研究会のみのお申込(懇親会不参加)に限り、当日でも参加可能です。
申込先 E-mailにて高山までお送りください。
宇都宮大学 高山善匡
E-mail: takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp

8月30日(木)

13:00～13:05 開会の挨拶 代表世話人 宇都宮大工 高山善匡
13:05～14:00 (1) 【基調講演】地球の中の集合組織：粒界すべりによる結晶軸選択配向説
東大地震研 平賀岳彦
14:05～14:30 (2) エアロゾルデポジション法によるアルミナ膜の集合組織形成
横浜国大 小室雅大, 木村響之介, ○長谷川誠
14:30～14:55 (3) IF鋼/ポリエチレン/IF鋼積層板の集合組織と機械的性質
大阪府立大工(院生) 星野智頭, ○井上博史
14:55～15:20 (4) 低積層欠陥エネルギーを持つCoCr合金の圧延に伴う転位増殖とマルテンサイト変態の関係
茨城大理工 ○佐藤成男,
フロンティア応用原子科学研セ 小貫祐介,
理工 中川真惟子
東北大金研 山中謙太, 仙台高専 森真奈美,
東北大金研 千葉晶彦
— 休憩 —
15:35～16:00 (5) 鉄系形状記憶合金の特性と構造変化
東北大多元研 ○鈴木 茂, 植村勇太,
茨城大 小貫祐介, 佐藤成男
16:00～16:25 (6) ボールミルで粉碎された純鉄粒子と単軸圧縮された純鉄棒材に形成される集合組織の比較研究
岐阜工専 (学生) ○野田大智, 本塚 智
16:25～16:50 (7) BCC鉄系材料における優先結晶方位の発達と局所塑性ひずみ解析
九大工 ○森川龍哉, 田中将己
17:30～19:30 懇親会(予定)

8月31日(金)

9:00～9:25 (8) 収縮する粒と成長する粒のトポロジカルな特徴—修正MC法によるシミュレーション結晶粒組織についての観察 東大名誉教授 伊藤邦夫
9:25～9:50 (9) Multi-phase-fieldモデルへの粗視化ピン止めモデルの導入
新日鐵住金, 日鉄住金総研研 ○諏訪嘉宏, 潮田浩作
9:50～10:15 (10) 高純度ニオブの再結晶および集合組織に及ぼす強せん断加工の影響
同志社大理工(院生) ○泉 拓水, 宮本博之, 湯浅元仁
— 休憩 —
10:30～10:55 (11) その場中性子回折測定によるMgおよびMg合金の室温変形メカニズムの検討
茨城大フロンティア応用原子科学研セ ○小貫祐介,
理工 佐藤成男
フロンティア応用原子科学研セ 星川晃範
10:55～11:20 (12) SEM-EBSDによる α -Tiのc軸回転解析と結晶塑性有限要素法による歪分布解析
九大工 ○奥山彫夢, 田中将己, 森川龍哉
11:20～11:45 (13) 極低温高速圧延を受けたCu-5mass%Zn板の組織と特性
阪大工 ○李相民, 松本 良, 宇都宮裕,
古河電工コア技術融合研 藤原英道
— 昼食 —
12:50～13:15 (14) 引張変形時における結晶粒内の方位変化の解析
TSLソリューションズ 鈴木清一
13:15～13:40 (15) 2つのすべり帯間の288相互作用とアルミニウム多重すべり単結晶の引張変形と再結晶
徳島大名誉教授 ○猪子富久治, 和歌山高専 樫原恵蔵
元徳島大 田上 稔, 徳島大理工 岡田達也
13:40～14:05 (16) 6000系合金の集合組織に及ぼす熱処理の影響
UACJ R&Dセ ○三原麻未, 黒崎友仁, 日比野旭
14:05～14:30 (17) 温間重ね圧延を施したAl-Mg-Si合金板の再結晶集合組織
大阪府大工 ○井上博史, (学生) 平田翔哉
— 休憩 —
14:45～15:10 (18) Al-Mg合金の繰返し重ね接合圧延および焼きなましによる機械的性質および集合組織の変化
和歌山高専 ○樫原恵蔵, 京大 辻 伸泰
15:10～15:35 (19) Al-Mg合金の圧延集合組織形成における局所塑性ひずみの役割
豊橋技科大 ○小林正和, 青葉知弥, 三浦博己
15:35～16:00 (20) 連続繰返し曲げ加工されたAl-Cu-Mg-Mn合金の応力緩和過程のEBSD解析
宇都宮大工(院生) 宮澤拓也, (院生) 三浦亘貴,
○高山善匡, 渡部英男
16:00～16:10 ICOTOM19の案内と閉会の挨拶
世話人 大阪府大工 井上博史



掲載料金 会員：20,000円(税別)(一般：40,000円(税別))
 原稿締切・掲載号 毎月1日締切で翌月号に1回掲載。
 原稿字数 840字程度
 掲載内容 求人側の必要事項：会社概要・職種・資格・待遇・勤務地・応募方法・応募締切日・問合せ先・書類提出先・ホームページアドレスなど求職者の知りたい情報。
 原稿提出先 FAXとE-mailの両方(受け取りのメールの確認をして下さい)
 FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

◇三菱マテリアル株式会社 中央研究所 研究員 公募◇

【会社概要】 三菱マテリアルは、総合素材メーカーとして、セメントや銅などの基礎素材をはじめ、超硬工具や各種電子材料の供給を通じて豊かな社会づくりに貢献しています。「セメント」「金属」「超硬工具」「電子材料」の4コア事業を中心に環境・エネルギー事業、アルミ事業にも取り組み、資源循環型社会の構築を目指しています。

【公募人員】 研究員 1名

【所属】 中央研究所 金属材料研究部

【勤務地住所】 埼玉県北本市下石戸7-147(最寄り駅：JR高崎線桶川駅)

【募集内容】 銅、アルミニウムなどの金属加工に関する研究開発を担当して頂きます。溶解鋳造、塑性加工などに関する実験・検証とともに数値解析を駆使し、各種課題に対し、原理に基づき、自ら率先して、解決できる方を求めています。

【応募資格】 金属工学・材料工学・機械工学および関連する学科・専攻出身の方。金属加工に関する研究開発の経験(目安3年以上)がある即戦力を求めています。助教・ポスドク等の方も歓迎です。また、お客様や現場との連携・コミュニケーション能力が高い方を歓迎します。

【着任時期】 面接時に要相談

【公募締切】 2018年10月31日(木)(但し、採用者が決定次第終了させていただきます)

【応募方法】 以下の宛先に履歴書および職務経歴書を、郵送またはFAXにて送付して下さい。

〒100-8117 東京都千代田区大手町1-3-2

経団連会館11階

三菱マテリアル株式会社 人事・総務本部人事部

採用グループ 行

☎ 03-5252-5216 FAX 03-5252-5277

【選考方法】 お送り頂いた書類をもとに書類選考します。書類選考合格の方については、面接、筆記試験、適性検査(Web)をさせていただきます。面接は、2~3回を予定しています。

【問合せ先】 三菱マテリアル株式会社 人事・総務本部人事部

採用グループ

☎ 03-5252-5216 FAX 03-5252-5277

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

◇東北大学 多元物質科学研究所 教員 募集◇

募集人員 准教授または助教 1名

待遇 常勤(任期は東北大学職員就業規則による)

所属 多元物質科学研究所

専門分野 マテリアル工学, 化学バイオ工学, 材料化学, 電気化学等

研究内容 機能材料プロセスとエネルギーデバイス応用

応募資格 博士の学位を有するもの、または着任までに取得予定の者

着任時期 2019年4月1日

提出書類 履歴書, 研究業績リスト, これまでの研究概要と着任後の研究計画

応募締切 2018年11月13日(火)

書類送付：問合せ先

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

東北大学 多元物質科学研究所 本間 格

☎ 022-217-5815

E-mail: itaru.homma.e8@tohoku.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 岡部 徹 教授

協力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)

共催 東京大学マテリアル工学セミナー, レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会, 東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター, 東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)

協賛 (公社)日本金属学会他

■開催会場 東京大学生産技術研究所

An 棟 2F コンベンションホール

(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

(最寄り駅：駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)

■参加登録・お問合せ

東京大学 生産技術研究所

岡部研究室 レアメタル研究会事務担当 宮崎智子

E-mail: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp

〈平成30年度 レアメタル研究会開催予定のご案内〉(2018.6.22現在)

■第82回 2018年9月14日(金)

■第83回 2018年11月9日(金)

★チタン関係シンポジウム★(合同開催)

(関連シンポジウム：寄付ユニット特別シンポ「E-scrap シンポジウム」11月30日(金))

■第84回 2019年1月11日(金)

★貴金属シンポジウム(第6回)+新年会(合同開催)

■第85回 2019年3月8日(金)

★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+慰
労会★(合同開催)

■第82回 2018年9月14日(金)14:00～ An棟2F コンベンションホール
テーマ: 非鉄業界の動向, 非鉄系材料研究の動向, マイナーメタル
の話題

時 間: 午後2:00～

講 演:

- 銅合金の高機能化と合金添加元素としてのマイナーメタル(仮)
(60分)
JX 金属株式会社 執行役員 技術本部副本部長 結城典夫 講師
 - 非鉄産業界に対する期待と大学における新しい展開(仮)(45分)
東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 - ゲルマニウムの現状と将来 ～製錬法から応用まで～(仮)(60
分) カーリットホールディングス株式会社
経営戦略室 担当課長 千葉一美 講師
- 午後6:00～ 研究交流会・意見交換会(An棟2F ホワイエ)

■第83回 2018年11月9日(金)14:00～ An棟2F コンベンションホール
★チタンシンポジウム★(合同開催)

テーマ: チタンの過去, 現在, 未来, そして私の夢

時 間: 午後2:00～

講 演:

- 大阪チタニウムテクノロジーズの過去, 現在, 未来, そして私の
夢(仮)(40分) 大阪チタニウムテクノロジーズ
代表取締役社長 杉崎康昭 講師
 - 中国におけるチタン業界の状況と, 私が取り組んでいる新製錬法
(仮)(40分) 東北大学大学院工学研究科 金属フロンティア工学専攻
教授 朱 鴻民 講師
 - 日本のチタン業界に対する期待と, 私が取り組んできたチタン製
錬の研究(仮)(40分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 - チタンの金属 Additive Manufacturing に関する現状と将来(仮)
(40分) 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授
中野貴由 講師
 - 世界における国内非鉄産業界について(チタン, 銅を中心に)(仮)
(40分) 東邦チタニウム株式会社 代表取締役社長 西山佳宏 講師
- 午後6:00～ ポスター発表 兼 研究交流会・意見交換会
(An棟2F ホワイエ)

関連シンポジウム: 寄付ユニット特別シンポ「E-scrap シンポジウ
ム」11月30日(金)

■第84回 2019年1月11日(金)14:00～ An棟2F コンベンションホール
★貴金属シンポジウム(第6回)+新年会★(合同開催)

テーマ: 貴金属の製錬・リサイクル

時 間: 午後2:00～

講 演:

- 貴金属の製錬・リサイクル技術に関する講演(30分)(例年通り,
数件の講演を予定)

講師依頼中

午後6:00～ ポスター発表 兼 研究交流会
(An棟1F レストラン アーベ(予定))

■第85回 2019年3月8日(金)14:00～ An棟2F コンベンションホール
★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+
慰労会★(合同開催)

テーマ: ご卒業講演: 佐藤先生, 藤田先生の研究と活動, 非鉄業界
と研究の将来展望

時 間: 午後2:00～

講 演:

- 稀有なレアメタル実験室(60分)
東北大学 多元物質科学研究所 教授 佐藤修彰 講師
 - 講師依頼中(40分)
 - 演題未定(60分)
東京大学 工学系研究科 システム創成学専攻 教授 藤田豊久 講師
- 午後6:00～ 研究交流会・意見交換会(An棟2F ホワイエ)

レアメタル研究会ホームページ

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

集 会

(独)日本学術振興会 第172委員会
第12回 状態図・熱力学セミナー
「状態図と相変態の熱力学」開催案内

[主催] (独)日本学術振興会 第172委員会

[協賛] 資源・素材学会, 軽金属学会, 金属学会, 熱測定学会,
鉄鋼協会

セミナー概要

状態図は, 「材料設計の地図」であると形容されるように, 目的
のマイクロ組織を得るため, 製造プロセスの最適化のための重要な
役割を持っています。CALPHAD 法は, 状態図計算・評価手法
として広く行われており, 現在では多くの熱力学計算ソフトウェ
ア, 熱力学データベースが市販・公開され, 材料開発に用いられて
います。これまでのセミナーでは, 熱力学基礎・状態図計算を
中心に取り上げてきましたが, 今回は, 動力学へと一歩進んだ内
容をテーマとして, 一日目に平衡論と速度論の基礎を取り上げ,
二日目により実践的な内容である実験による析出・変態の観察,
解析手法について解説します。これらに関連する最新トピックス
をはさみながら, 相変態・析出の基礎から実験手法までを概観し
ます。

日 時 11月13日(火)～11月14日(水)

場 所 東北大学 東京分室(サピアタワー10F)

アクセス <http://www.bureau.tohoku.ac.jp/somu/bun/bun.html>

定 員 40名

プログラム

一日目

- 平衡論基礎: NIMS 阿部太一
- 速度論基礎: 大阪府大 沼倉 宏
- 関連トピックス: 東北大 大谷博司

二日目

- 実験手法・解析法基礎: 東北大 宮本吾郎
- 実験手法・解析法基礎: 京大 奥田浩司
- 関連トピックス: JFE 山下孝子

申し込み方法

本ウェブサイトから申込書を入力し必要事項を記入後, メール添付
にて 阿部(abe.taichi@nims.go.jp)までお送り下さい。

[http://www.nims.go.jp/CSMD/members/Seminar/12thPDSeminar.
htm](http://www.nims.go.jp/CSMD/members/Seminar/12thPDSeminar.htm)

申込締切 11月6日(火)

期日より前に定員に達した場合には, その時点で締め切らせていた
だきます。当日申込みはありません。

世話人 阿部太一(NIMS), 大谷博司(東北大), 山下孝子(JFE)

問合先 物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 計算構造材料設
計グループ 阿部太一

☎ 029-859-2628 E-mail: abe.taichi@nims.go.jp

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 82, No. 8 (2018)

— 論 文 —

FeS 粉末のパルス通電焼結

堀江和也 植田航平 南口 誠

硫酸塩浴からの亜鉛-ポリエチレンイミン複合電析挙動とその微細構造

瀧 浩輔 大上 悟 菊池義治
赤松慎也 柏 裕樹 中野博昭

Ni 粉末, Ni/Ti 混合粉末, Ni/Al 混合粉末への Ti ワイヤー浸漬加熱による Ti ワイヤーの表面改質

橋 開地 日比野 敦 田村裕太

円筒反応モデル, 平板反応モデルによる溶融 Al への Cu ワイヤー浸漬実験, Cu プレート浸漬実験における Cu-Al 系金属間化合物生成機構の解析

—Cu-Al 混合粉末燃焼合成の理解のため—

橋 開地 日比野 敦

Ti-15V-7Al 合金の低温と高温で形成されるマルテンサイト変態

竹元嘉利 恒川弥佑 真部侑司 板野壮志
村岡祐治

過飽和 Al-Mg-Si 合金における固溶強化挙動

高田 健 潮田浩作 金子賢治 秋吉竜太郎 池田賢一
波多 聡 中島英治

高松塚古墳の石室に使われた漆喰の劣化機構

北田正弘 高妻洋成 坂上万里 建石 徹

MA/MM/SPS プロセスを用いて作製した炭化チタン粒子強化マグネシウムナノ複合体の機械的性質におよぼす焼結条件の影響

川森重弘 川島禎史 藤原 弘
黒田 潔 春日幸生

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 59, No. 8 (2018)

—Special Issue on Growth of Ecomaterials as a Key to Eco-Society VI—

PREFACE Osamu Umezawa, Yoshikazu Shinohara and Wataru Nakao

Mechanical Properties of Lightweight Concrete Containing Melamine Formaldehyde Waste Using Full Factorial Design

Sasiprapa Srichaiyo, Somsak Siwadamrongpong and Chalermchai Chaitongrat

Factors Affecting the Particle Size of Bio-Calcium Carbonate Synthesized from Industrial Eggshell Waste

Ajchara I. Putkham, Somchai Ladhan and Apipong Putkham

Relationships between Thermoelectric Properties and Milling Rotational Speed on Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0} Thermoelectric Materials

Masato Kitamura, Kenji Hirota and Kazuhiro Hasezaki

Thermoelectric Behaviors of Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te_{3.0} with Excess or Deficiency of Tellurium Prepared by Mechanical Alloying Followed by Hot Pressing

Kenji Hirota, Masato Kitamura, Katsuhiko Takagi and Kazuhiro Hasezaki

Detection of Surface Roughness Evolution of Carbon Steel Subjected to Outdoor Exposure and Constant Humidity Corrosion Tests

Dara To, Osamu Umezawa and Tadashi Shinohara

—Regular Article—

Materials Physics

Influence of Microstructure on Coercive Force of Pure Iron Powder Cores

Takuya Takashita and Naomichi Nakamura

Metal Injected Copper Carbon Nanotube Composite Material with High Thermal Conductivity and Low CTE for IGBT Power Modules

Farhad Mohammadi, Najmeddin Arab and Sheng-Shian Li

HAADF-STEM Study of Long-Period Stacking-Ordered Phases Formed in the Quaternary Mg-Li-Y-Zn Alloys

Kaichi Saito, Shingo Kuzuya, Masahiko Nishijima, Katsuhiko Sato and Kenji Hiraga

Mechanics of Materials

Stress Corrosion Cracking Behavior of Type 316L and Type 310S Stainless Steels in Fusion Relevant Environments

Yen-Jui Huang and Akihiko Kimura

Dependence of Load Angle on Static Strength of Resistance Spot Welded Lap Joint under Combined Load Test

Tetsuya Akiyama, Takanori Kitamura and Tetsushi Ono

A New Glass Fibered Reinforced Composite with Improved Charpy Impact Properties at Low and High Temperatures beyond the Extremes of Aircraft Flight

Michael C. Faudree, Yoshitake Nishi, Michael Gruskiewicz and Michelle Salvia

Primary Al Grain Size Measurement of Al-Si Hypo-Eutectic Alloy Using Mathematical Morphology Algorithms

Yan Xu, Naoya Hirata and Koichi Anzai

Fatigue Behavior of Multi-Directionally Forged Commercial Purity Grade 2 Ti Plate in Laboratory Air and Ringer's Solution

Ilhamdi, Toshifumi Kakiuchi, Hiromi Miura, Tomohiko Fukihara and Yoshihiko Uematsu

Increasing Charpy Impact Value of Polycarbonate (PC) Sheets Irradiated by Electron Beam

Yoshitake Nishi, Michael C. Faudree, Junhua Quan, Yoshiaki Yamazaki, Anna Takahashi, Syohei Ogawa, Keisuke Iwata, Akira Tonegawa and Michelle Salvia

Materials Chemistry

Chemical Vapor Infiltration of the Hexagonal Boron Nitride Interphase for SiC Fiber-Reinforced HP-Si₃N₄ Matrix Composite

A. López Marure, H. Vincent, A.M. Vázquez Almaguer and M. García Hernández

Materials Processing

Quantitative Evaluation of Eutectic Si Phase Distributions and Effect on Mechanical Properties in JIS AC4CH Aluminum Casting Alloy

Naohiro Saruwatari and Yoshihiro Nakayama

Columnar Ferrite Structure in Cast Iron Formed by Decarburization of White Cast Iron

Fumitaka Otsubo, Kousuke Matsuki, Hidenori Era and Hidenori Kuroki

Effect of Temperature Field and Mechanical Properties of Casting on Prediction of Hot Tearing Tendency Using FEM Thermal Stress Analysis

Ryosuke Takai, Tatsuya Tsunoda, Yasutaka Kawada, Rei Hirohara, Toshimitsu Okane and Makoto Yoshida

Low-Temperature and High-Strain-Rate Superplasticity of Ultrafine-Grained A7075 Processed by High-Pressure Torsion

Seungwon Lee, Katsumi Watanabe, Kenji Matsuda and Zenji Horita

Low Frequency Electromagnetic Testing for Evaluating Wall Thinning in Carbon Steel Pipe

Haicheng Song, Noritaka Yusa and Hidetoshi Hashizume

An Electrodeposition Process for Producing Ductile Bulk Nanocrystalline Ni-Fe Alloys in a Wide Current Density Range

Isao Matsui, Mizuki Kanetake, Hiroyuki Hosokawa, Naoki Omura, Yorinobu Takigawa and Kenji Higashi

Solderability Using Thermoset Resin-Based Solder Pastes Covered with Thermoplastic Resin Film

Shinji Fukumoto, Ryoichi Wakimoto, Kohei Yamauchi, Michiya Matsushima and Kozo Fujimoto

Optimizing Calcium Addition for Fabricating Aluminum Foams with Different Pore Sizes

Ying Cheng, Yanxiang Li, Xiang Chen, Zhiyong Liu, Xu Zhou and Ningzhen Wang

Engineering Materials and Their Applications

Effect of Cr Addition on Glass-Forming Ability and Corrosion Properties of FeCoSiBPC Bulk Glassy Alloys

Xue Li, Yu Liu, Dechuan Yu, Xining Li, Dongying Ju and Akihiro Makino

Effects of Crack Size Distribution and Voltage Probe Spacing on Variation of Critical Current and *n*-Value along the Longitudinal Direction in Superconducting Tape with Cracks

Shojiro Ochiai, Hiroshi Okuda and Noriyuki Fujii

Precipitation Behavior and Its Effects on Mechanical Properties in a Pre-Twinned Mg-6Al-1Zn Alloy

Jiejun He, Lushu Wu, Qihui Sun and Liping Zhai

Environment

Volatilization of Arsenic and Antimony from Tennantite/Tetrahedrite Ore by a Roasting Process

Kazutoshi Haga, Batnasan Altansukh and Atsushi Shibayama

Announcement

書評

湿式プロセス 溶液・溶媒・廃水処理

佐藤修彰・早稲田嘉夫 著

本書は、水を用いて特定の化学種を分離する湿式プロセスの基礎および応用のポイントを知るための専門書であり、大学生、大学院生、若手技術者が湿式プロセスの基礎知識を習得するための入門書としても最適である。例えば、排水処理では、沈殿を利用して水溶液から不要な有害物質を除去し、浸出プロセスでは、固相粒子から金属元素等を溶出させる。この湿式プロセスは、水、環境・エネルギー、資源有効活用のリサイクルと密接に関係しており、本書により、湿式プロセスを理解することは、我が国の重要分野を更に発展させる上で極めて重要と思われる。また、本書では、福島原子力発電所事故に関連して、放射性物質の分離・除去や放射性廃棄物の処理についても、基礎的な知識及び最新の技術が示されている点に特徴がある。

第1章では、水溶液中の平衡と熱力学の基礎、電位-pH図の解釈及びその作成法、水溶液中の反応機構と速度、水溶液中の多成分系固相の溶解・析出およびイオン吸着について、熱力学の平衡論、

速度論的な観点から非常に分かり易く解説されている。第2章では、浸出、沈殿、固液分離およびろ過、放射性物質の分離・除去、バイオリーチングについて説明され、第3章では、イオン交換反応、溶媒抽出について基礎的な反応機構、代表的なイオン交換樹脂、抽出剤、プラントへの適用例について、要点を知ることができる。第4章では、電極反応論、電解採取と電解精製、熔融塩電解について基礎的な話から最新の応用例まで示され、第5、6章では、イオン交換法と溶媒抽出法による超高純度金属製造、放射性物質の分離と素材製造について実践的な知識を習得することができる。

このように本書を読破すれば、湿式プロセス、溶液・溶媒・廃水処理に対する関心がより高まり関連する今後の研究・開発に役立つことは間違いないと思われる。

(九州大学 中野博昭)

[2018年 A5版 榎内田老鶴圃 346頁 4600円+税]

新 入 会 員

(2018年5月22日～2018年6月20日)

正 員

小 東 勇 亮 新日鉄住金株式会社	山 口 英 宏 日本パーカライジング株式会社	前 川 修 也 株式会社神戸製鋼所
杉 山 周 平 名古屋市工業研究所	木 須 一 彰 東北大学	

学 生 員

川端はじめ 大阪大学	川 森 康 雅 秋田大学	伊 藤 慎 悟 関西大学
榊 原 迪 国立大学法人京都大学	森 岡 亮 太 大阪大学	枝 松 洸 来 大阪大学
山野友梨子 京都大学	齋 藤 達 志 名古屋大学	杉 山 博 信 京都大学
下 川 諒 哉 関西大学	長 原 亮 太 名古屋大学	河 合 紀 明 神戸大学
村山龍太郎 鈴鹿工業高等専門学校	鈴 木 悠 斗 関西大学	山 口 直 也 九州工業大学
寺 下 諒 鈴鹿工業高等専門学校	宮 北 直 弥 関西大学	福 岡 拓 馬 大阪大学
田島遼太郎 東京工業大学	高 木 力 斗 国立名古屋大学	河 原 直 輝 大阪大学
大 石 航 司 東京工業大学	関 根 崇 長岡技術科学大学	増 田 純 平 大阪大学
金 泰 可 近畿大学	于 鎮 華 秋田大学	齊 藤 達 也 弘前大学
植 田 裕 斗 名古屋大学	高 橋 勇 樹 秋田大学	前 川 真 哉 大阪大学
ノルアイン アブドラール 近畿大学	野 田 大 智 岐阜工業高等専門学校	大 田 将 之 京都大学
野 嶋 智 宏 名古屋大学	加 藤 大 暉 名古屋大学	高 谷 夏 実 東北大学
村 山 佑 輔 千葉工業大学	田 所 大 輝 香川大学	岩 崎 悠 佑 長岡技術科学大学
大 前 樹 生 神戸大学	吉 村 将 之 香川大学	長 島 充 宏 千葉工業大学
白 紙 悠 之 北海道大学	出 口 聡 一 郎 京都大学	

外国一般会員

Meng Li China Central Iron and Steel Research Institute	Mingguang Wang Chongqing University of Arts and Science	HOMHUAN Pattira Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University
Xu Zhenyu Harbin University of Science and Technology	tiebin wu Hunan Institute of Humanities Science and Technology	Zhang Yubo Dalian University of Technology
		鄭 玉 峰 熊本大学

外国学生会員

劉 牧 霖 名古屋大学	Hamed Zargari Habib 大阪大学
金 昇 光 名古屋大学	宋 龍 秋 香川大学



まてりあ 第57巻 第9号 予告

ミニ特集「熱力学計算による構造材料の設計と展開」

企画にあたって……………水本将之
Cu 基合金の熱力学データベース構築と構造材料開発への応用
……………大沼郁雄
非鉄系合金における熱力学計算連携によるフェーズフィールド法
組織形成予測……………野本祐春
高強度鋼板におけるフェライト変態の制御と熱力学計算
……………林 宏太郎 齋藤真衣
高精度 FE-EPMA と拡散律速型変態ソフトによる二相域焼鈍中
の鋼中炭素の分配挙動の解析……………山下孝子

熱力学計算を利用した真空浸炭材の炭素濃度分布予測および合金
設計……………石倉亮平

<一般>

[実学講座] 米国知財戦略事情～Provisional Application を利用
した米国式マーケティング～……………星 エリ

—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
8月				
1～3	第45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」(幕張)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp	
2	精密加工の次世代スタイルを垣間見る－株式会社入曾精密(入間)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 http://www.jspe.or.jp/	定員 20名
3	第219回研究会/第82回ナノマグネティックス専門研究会「ひずみと磁性の相関における新展開」(中央大)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 https://www.magnetics.jp/event/research/topical_219/	
5～8	15TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS—Structural Sector Approaches for New Functionalities and Durability—(北九州)	傾斜機能材料研究会	TEL 052-735-5293 fgms_2018@f-jast.or.jp http://www.fgms.net/isfgms2018	
7	機械の日・機械週間記念行事(東京)	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 kikainohi@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/kikainohi/	
7～8	第67回 CVD 研究会(奈良)	CVD 研究会	TEL 075-383-2663 cvd@cheme.kyoto-u.ac.jp http://cvd.jpn.org/future/	
7～8	第31回 DV-X α 研究会(長岡)	DV-X α 研究会	TEL 0258-47-9345 tagaya@mst.nagaokaut.ac.jp http://mst.nagaokaut.ac.jp/nanobio/2018DVXa.html	
8～12	6th International Solvothermal & Hydrothermal Association Conference (ISHA2018)(東北大)	東北大学 多元物質科学研究所	TEL 022-217-6322 isha2018@grp.tohoku.ac.jp http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/general/event/ISHA2018/	発表 2.28
20	第25回高校課題研究フォーラム(東京)	日本セラミックス協会	http://www.ceramic.or.jp/ TEL 03-3362-5231 cersi-kyouiku@cersj.org	
20～21	第48回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.20
21～23	第230回塑性加工技術セミナー「はじめての塑性力学(準備編・基礎編・応用編)」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 70名
22	2018年茨城講演会(茨城大学)	日本機械学会関東支部	TEL 03-5360-3500 kt-staff@jsme.or.jp	
23～24	第81回熱測定講習会～明日から使える!材料・環境・医薬・バイオ分野の熱測定初心者・ユーザー向け基礎講義&実習～(京都府大)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com http://www.netsu.org/	
23～24	第10回「役に立つ真空技術入門講座」(大阪電気通信大)	日本表面真空学会 関西支部	TEL 06-6397-2279 shinku-kansai@prec.eng.osaka-u.ac.jp http://www.jvss.jp/	定員 100名
25～26	SPring-8 シンポジウム2018 動き出した「将来への取り組み」(姫路)	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2018@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2018/sp8sympo2018/	
27～29	日本実験力学会2018年度年次講演会(山梨大)	日本実験力学会	TEL 055-220-8673 yasumii@yamanashi.ac.jp http://www.jsem.jp/event/Annual18/index.html	
28～31	第58回真空夏季大学(掛川)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp http://www.jvss.jp/	
29～30	2018年度 JCOM 若手シンポジウム(箱根)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 JCOM2018wakate@jsms.jp http://compo.jsms.jp/	定員 40名
29～31	第157回塑性加工工学講座「有限要素法入門セミナー(名古屋)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 25名
29～31	平成30年度工学教育研究講演会(名工大)	日本工学教育協会 他	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
30～31	第2回金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会(大阪府立大)(本号408頁)	研究会 No. 79 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会	takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp	8.17
9月				
3～5	第21回 XAFS 討論会(北大)	日本 XAFS 研究会	TEL 011-706-9113 xafs@pcat.cat.hokudai.ac.jp https://pcat.cat.hokudai.ac.jp/xafs	事前 8.10
3～5	第12回インキュベーションホール(御殿場)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2018/	定員 60名
4～5	2018電気化学セミナー3「初心者のための電気化学測定法—実習編」(東工大)	電気化学学会	TEL 03-3234-4213 ecsj@electrochem.jp http://electrochem.jp/promotion/index.html	8.20
4～5	第34回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会	TEL 0774-38-3057 bunseki34@eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp http://eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp/bunseki2018/	事前参加 8.24

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
4～6	サマースクール2018 in 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 nonlinearfem@grp.tohoku.ac.jp http://www.jsces.org/	8.21
4～6	第20回日本感性工学会大会(東京大)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org http://www.jske.org/taikai/jske20	事前 7.13
5	関東支部講習会 材料データベースの最前線—何がどこにどれだけあるの?—(東大)(7号359頁)	関東支部	nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp TEL/FAX 03-5841-7107	定員 80名
5～7	高温変形の組織ダイナミクス研究会「平成30年度夏の学校」(武雄)(6号291頁)	No. 76: 高温変形の組織ダイナミクス研究会	TEL/FAX 0172-39-3643 mineta@hirosaki-u.ac.jp	発表 7.13 参加 8.3
5～7	日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム(名工大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall31@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/31/	
6～7	第9回塗装入門講座(東京)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 tosou-jimukyoku@jcot.gr.jp	
10～12	平成30年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(福岡)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2018b/top?lang=ja	
13	第231回塑性加工技術セミナー「金属材料の組織解析と表面分析の基礎(装置見学付)」(東工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 40名
13～14	第43回複合材料シンポジウム(富山)	日本複合材料学会	TEL 03-5981-6011 jscm@asas-mail.jp http://www.jsms.jp	
13～15	第15回日本熱電学会学術講演会(東北大)	日本熱電学会	http://www.thermoelectrics.jp/conference.html TEL 052-809-1806 t_takeuchi@toyota-ti.ac.jp	
14	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号409頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
18～19	第40回安全工学セミナー物質危険性講座(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp	
19～20	第32回初心者のための疲労設計講習会(東京)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 60名
19～21	日本金属学会秋期講演大会(東北大学川内北キャンパス・仙台国際センター)(仙台)(本号400頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	参加 8.17
19	自動車の革新を支える材料技術の最新動向(東北大)(本号402頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp	
20	若手科学者へ贈る研究のヒント～未踏領域へ到達するために～(東北大)(本号402頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp	
20	JST産学共創基礎基盤研究プログラム「ヘテロ構造制御」公開シンポジウム—ヘテロ構造制御で起こすイノベーション—構造用金属材料の新指導原理—(東北大)	日本鉄鋼協会他	TEL 03-3238-7682 kyousou@jst.go.jp http://www.jst.go.jp/kyousou/theme/h22theme01.html	
20	第6回ランチョンセミナー(東北大)(本号402頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 stevent@jim.or.jp	
20～21	軽金属基礎技術講座「アルミニウムの製造技術」(掛川)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 50名
21	日本金属学会・日本鉄鋼協会第8回女性会員のつどい(東北大)(本号402頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 rieume@imr.tohoku.ac.jp	
21	平成30年度秋季全国大学材料関係教室協議会講演会(東北大)(本号402頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685	
26～28	第6回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(実習付き)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	申込 7.20
9.27	第77回技術セミナー: 大気腐食評価技術と対策(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp http://www.jcorr.or.jp/	定員 70名
10月				
4～5	第9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 office@jvss.jp https://www.jvss.jp	9.27
4～5	第11回トライボロジー入門西日本講座(兵庫県立大)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	定員 65名
4～5	平成30年度材料セミナー「電子顕微鏡による組織観察・分析の基礎と応用」(大阪府大)(7号359頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 12名
5	第109回シンポジウム「金属学研究者と技術者のための3Dプリンタ科学・技術・造形事例」(千葉工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 60名
6, 12.8	CEPRO2018関西(龍谷大他)	日本セラミックス協会教育委員会他	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	
9～12	EcoBalance 2018 第13回エコバランス国際会議(東京)	日本LCA学会	TEL 045-228-7696 ecoBalance2018@ilcaj.org http://www.ecobalance2018.org/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
10～11	第46回ガスタービン学会定期講演会(鹿児島)	日本ガスタービン学会	gtsj-desk@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
10～12	第37回電子材料シンポジウム(EMS-37)(長浜)	電子材料シンポジウム運営実行委員会	TEL 06-6879-7548 tatebaya@mat.eng.osaka-u.ac.jp http://ems.jpn.org/	
14～18	第9回材料電磁プロセス国際シンポジウム(EPM2018)(兵庫)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5932 ryo@isij.or.jp http://www.epm2018.org/index.html	
15	NIMS 学術シンポジウム(東京)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
16	NIMS ショーケース(東京)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
16～17	第34回疲労シンポジウム(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://fatigue.jsms.jp	
16～19	第4回材料 WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://jsms.jp/	
17	第235回西山記念技術講座 特殊鋼棒線の技術開発と今後の展望(名古屋)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
17	第2回EBSD法による損傷評価講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	8.24 定員 40名
17～18	第33回初心者のための疲労設計講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 50名
18～19	キャビテーションに関するシンポジウム(第19回)(北大)	日本学術会議第三部	TEL 011-706-6430(直通) masao.watanabe@eng.hokudai.ac.jp http://cavitation19.sakura.ne.jp/index.html	講演 6.4
19	NIMS ラボ公開(つくば)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
19	第15回フラクトグラフィシンポジウム(京都)	日本材料学会	fractosym@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.6
24	第236回西山記念技術講座 特殊鋼棒線の技術開発と今後の展望(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
25～26	第54回X線分析討論会(東京理科大)	日本分析化学会X線分析研究懇談会	TEL 03-5228-8266 inakai@rs.kagu.tus.ac.jp	講演 7.27
25～27	結晶塑性の原子過程に関する国際シンポジウム—結晶強度の定量的理解に向けて—(東大)(3号130頁)	日本学術振興会産学協力第133委員会	TEL 03-5452-6111 yasushi@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.apcp.iis.u-tokyo.ac.jp	
27～28	第69回塑性加工連合講演会(熊大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp/	
29～31	第65回材料と環境討論会(富山)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	8.22
29～31	第39回超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム(同志社大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp http://www.use-jp.org/	講演 7.23
30～11.2	The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(Taiwan)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp http://2018-13th-isem.webnode.tw/	
31～11.2	第47回結晶成長国内会議(JCCG-47)(仙台)	日本結晶成長学会	TEL 070-5047-3339 jccg-47@jacg.jp http://www.jacg.jp/jp/event/2018/jccg-47/	
11月				
2	平成30年度日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演・討論会「これからの社会を支える『低環境負荷技術』を考える」(東京)	日本セラミックス協会	TEL 092-925-7722 sakamoto@fitc.pref.fukuoka.jp	
3～4	第25回機械材料・材料加工技術講演会(山形大)	日本機械学会	TEL 0238-26-3197 furukawa@yz.yamagata-u.ac.jp http://www.jsme.or.jp/conference/mpdconf18/	
3～8	第8回実用表面分析国際シンポジウム(PSA-19)(札幌)	表面分析研究会	secretary-psa19@sasj.jp http://www.sasj.jp/PSA/PSA19/index.html	
9	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号410頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
9	第21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/	
9～11	軽金属学会第135回秋期大会(芝浦工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	参加予約 10.4
11～16	第14回核破砕材料技術国際ワークショップ(14th International Workshop on Spallation Materials Technology, IWSMT-14)(いわき)	J-PARC センター	TEL 099-285-8265 ksato@mech.kagoshima-u.ac.jp	
12～14	第13回日本磁気科学学会年会(東北大)	日本磁気科学会	TEL 022-215-2017 mogi@imr.tohoku.ac.jp http://www.magneto-science.jp/index.html	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
13	平成30年度材料セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)(7号359頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 55名
13~14	第12回状態図・熱力学セミナー(東京)	日本学術振興会 第172合金状態図 委員会	TEL 029-859-2628 abe.taichi@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/CSMD/members/ Seminar/12thPDSeminar.htm	
13~15	第39回日本熱物性シンポジウム(名古屋)	日本熱物性学会	TEL 03-5734-2435 jstp@op.titech.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2018/index.html	事前参加 9.28
16	第47回 薄膜・表面物理基礎講座(2018)データサイエンスを活用した固体材料・表面研究の最前線(東京理科大)	応用物理学会薄膜・表面物理分科会	TEL 03-3828-7723 igarashi@jsap.or.jp http://www.jsap.or.jp/	定員 100名
26	第70回白石記念講座「AI(人工知能), ビッグデータが拓く鉄鋼の未来を考える」(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/muriv6uyn	
26~28	第59回高圧討論会(岡山理科大)	日本高圧力学会	TEL 070-5545-3188 touronkai59@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/59forum/	講演 7.10
29~30	第51回安全工学研究発表会(金沢)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp	
29~30	電気加工学会全国大会(2018)(阪大)	電気加工学会	watanabe@tri-osaka.jp TEL 0725-51-2954 http://www.jseme.or.jp/	
29~30	平成30年度材料セミナー「材料系のための第一原理マテリアルデザイン入門」(大阪大)(7号359頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 20名
12月				
5	エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2018(EcoDePS2018)(早稲田大)	エコデザイン学会 連合	secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS2018/	
5~7	第44回固体イオニクス討論会(京大)	日本固体イオニクス 学会	TEL 075-753-6850 yamamoto.kentarou.4e@kyoto-u.ac.jp https://ssi2018.symsium-hp.jp	
6~7	第56回高温強度シンポジウム(石垣)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://www.jsms.jp/	講演 9.10
2019年1月				
11	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号410頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
26	第24回高専シンポジウム in Oyama(小山高専)	高専シンポジウム 協議会他	TEL 0285-20-2141 senkou@oyama-ct.ac.jp	
29~30	Mate2019第25回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(横浜)	スマートプロセス 学会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate/	
2019年3月				
8	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号410頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
20~22	日本金属学会春期講演大会(東京電機大学東京千住キャンパス)(東京)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	
2019年6月				
2~7	世界水素技術会議2019(東京)	水素エネルギー協 会	TEL 029-861-8712 org@whtc2019.jp http://whtc2019.jp	
2019年8月				
18~22	国際会議(PRICM-10)(中国西安)(本号405頁)	中国金属学会	pricm10@csm.org.cn http://www.pricm10.com/	概要 12.1 論文 3.1
2019年9月				
11~13	日本金属学会秋期講演大会(岡山大学津島キャンパス)(津島)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	



～まてりあ編集委員会より～

- ・今月の巻頭記事では、「貨幣をつくる金属材料」をお届けいたしましたがいかがでしたでしょうか。また、「先達からのお便り」(本号395頁)には、友清芳二先生(九州大学名誉教授)にご寄稿頂きました。今後も企画を検討して参りますので、どうぞお楽しみにして下さい。

まてりあ 第57巻(2018) 第6号 263頁～270頁

解説 超ジュラルミン24S(2024)はなぜ米国で開発できたか？

吉田英雄

図1 横軸に誤りがありましたので、下記のとおり訂正いたします。

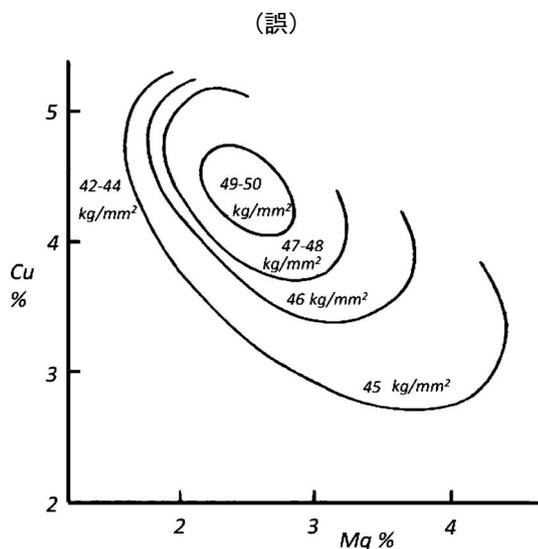


図1 ジュラルミン系合金の引張強さに及ぼす銅，マグネシウム添加量の影響⁽²⁰⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。

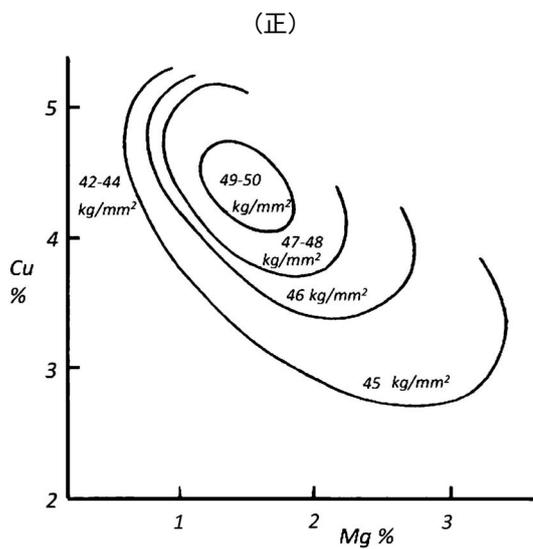


図1 ジュラルミン系合金の引張強さに及ぼす銅，マグネシウム添加量の影響⁽²⁰⁾⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。



2017, 2018年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

委員長	山本剛久						
副委員長	大塚 誠						
委員	赤瀬善太郎	足立 望	安達正芳	池尾直子	池田賢一	石本卓也	
	上田恭介	梅津理恵	榎木勝徳	大野直子	大森俊洋	小幡亜希子	
	木口賢紀	北村一浩	高坂典晃	近藤亮太	齊藤敬高	榊 浩司	
	佐々木秀顕	佐藤紘一	佐藤幸生	下島康嗣	杉浦夏子	杉田一樹	
	芹澤 愛	高木成幸	竹田 修	武田雅敏	田中智仁	田中秀明	
	田中康弘	田辺栄司	趙 研	佃 諭志	堤 祐介	寺井智之	
	寺西 亮	寺本武司	土井康太郎	永井 崇	長岡 亨	中川鉄水	
	中島孝一	仲村龍介	野山義裕	萩沢武仁	長谷川 誠	春本高志	
	本間智之	水本将之	宮崎秀俊	宮澤知孝	森田敏之	盛田元彰	
	森戸春彦	諸岡 聡	山中謙太	横山賢一	吉矢真人	吉年規治	
	李 海文	和田 武					

まてりあ 第57巻 第8号 (2018) 発行日 2018年8月1日 定価(本体1,700円+税)送料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 発行人 山村英明
〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32 印刷所 小宮山印刷工業株式会社
TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 発売所 丸善雄松堂株式会社
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

2019年春期（第164回）講演大会
3/20（水）～3/22（金）
東京電機大学 東京千住キャンパス

世界の材料科学・工学をリードする第一線の研究者・技術者に向けて

**付設展示会
大会プログラム広告
講演概要集DVDジャケット広告
ランチョンセミナー
募集のご案内**

付設展示会（機器・ソフトウェア・書籍）

・ 1コマ ￥140,000（税別）

大会プログラム広告

・ 1色1頁 ￥70,000（税別） ・ 1色1/2頁 ￥40,000（税別）

講演概要集DVDジャケット

・ 表4カラー ￥75,000（税別） ・ 表2カラー ￥50,000（税別）

ランチョンセミナー

・ 1枠 ￥100,000（税別） 出展の場合は、1枠 ￥20,000（税別）

締切日等の詳細は、下記までお問い合わせ下さい。

広告掲載・ご出展のお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

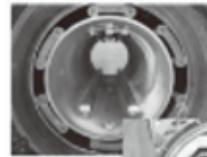
MEIHOSHA
ADVERTISING AGENCY

〒104-0061 東京都中央区銀座七丁目12-4 友野本社ビル
TEL(03)3546-1337 FAX(03)3546-6306
E-mail info@meihosha.co.jp ホームページ www.meihosha.co.jp

高温真空 3000°Cへの挑戦

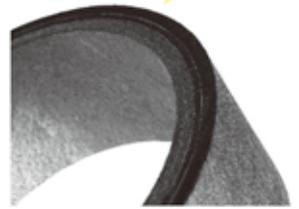
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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

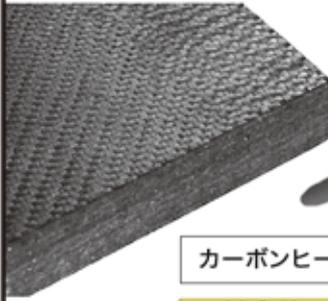


炉の改修

ハイブリット成形断熱材



高断熱+省エネ



6面シート
貼り



カーボンフェルト

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



メカニカルカーボン工業株式会社

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

試験雰囲気ガス中の酸素濃度のコントロール・測定に!!

高濃度(10⁵PaO₂)から極低濃度(10⁻²⁵PaO₂)まで酸素をコントロール測定します。

酸素分圧 & 雰囲気制御試験炉



NEW

管状炉付酸素分圧
コントローラー

SiOAF-200C

- 簡便な GUI によりタッチパネル、ネットワーク、PC から容易に温度、雰囲気、酸素分圧等のプログラムパターン運転が可能です。
- 酸素分圧コントロールユニット(オプション)の付加により高濃度(10⁵ Pa)から極低濃度(10⁻²⁵ Pa)までの酸素分圧を制御できます。
- 最大3ガス種までの雰囲気ガスを接続し、任意のタイムプログラムにて雰囲気調整できます。
- 均熱長 120mm / 1ゾーン制御炉から均熱長 300mm の3ゾーン制御炉まで対応できます。

SiOC-200CB
(循環型)



酸素分圧コントローラー

- 本装置はジルコニア酸素ポンプに不活性ガスを流し、ガス中の酸素濃度を制御します。
- 酸素濃度のコントロールは酸素ポンプと酸素センサーを組み合わせた PID 式フィードバック回路により制御されます。
- 不活性ガス中の酸素濃度は 10⁵ ~ 10⁻²⁵PaO₂ (タイプ C 循環式)の範囲で制御します。

特注品(流量、試料処理部付/イメージ炉、真空チャンバー)などにも対応します。

SiOS-200C
(コンパクトタイプ)



高感度酸素センサー

- 極低酸素分圧領域 10⁵ ~ 10⁻²⁵Pa における研究開発に使用できます。
- 高分解能測定回路の採用により、測定レンジの切替をせずに、広範囲酸素分圧をダイレクト測定できます。
- 測定ガスサンプリングポンプを付属したタイプ (SiOS-200P) も揃えています。

走査型オージェ電子分光分析装置 Auger Electron Spectroscopy

PHI 710 *Scanning Auger Nanoprobe*



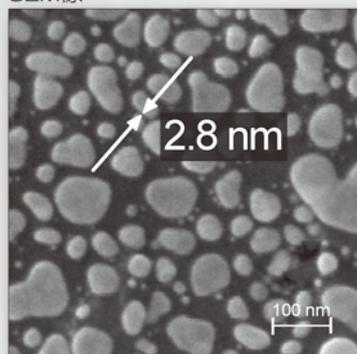
CMA 型 AES

- 高感度・高スループット分析
- 電流値 1 nA (オージェ分析可能) で AES 分解能 ≤ 8 nm
- 高エネルギー分解能測定 (CMA 使用)



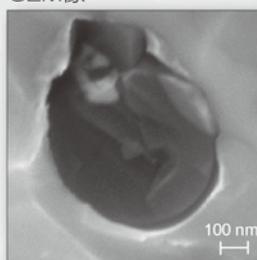
SEM 分解能 ≤ 3 nm, AES 分解能 ≤ 8 nm

SEM像

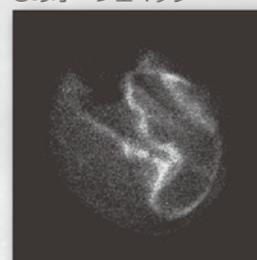


グラファイト上の金粒子における SEM分解能測定 (25 kV 0.2 nA)

SEM像



Sのオージェマップ



ダクタイル鋳鉄断面の粒界介在物の分析

アルバック・ファイ株式会社

本社・工場 〒253-8522 茅ヶ崎市萩園2500 TEL:0467-85-4220 (国内営業部) FAX:0467-85-4411
大阪営業所 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3-3-31 上村ニッセイビル5階 TEL:06-6350-2670 FAX:06-6350-2980

www.ulvac-phi.com