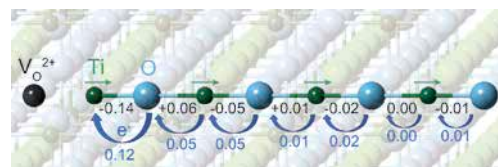


# Materia Japan

- 金属なんでもランキング!
- 2019 年度役員紹介
- 薄膜技術を用いた全固体電池の研究開発
- 最新の第一原理計算による点欠陥計算手法

# まてりあ



Vol.58 MTERE2 58 (6) 301~360 (2019)

2019

6

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

全自動シリアルセクションング3D顕微鏡 **Genus\_3D**  
Fully-automated serial sectioning 3D microscope

HDR機能  
新搭載！

新搭載！設定条件ライブラリー

設定値、動作設定、消耗品の自動選定

全自動！電解エッチング

チタン、アルミ、ニッケル、ステンレス等

NEW！純正消耗品

逐次研磨像

3D

Nakayamadenki Co.,Ltd.



組織特徴の数値化

材料情報統合システム“MIPHA”販売開始！



高度な材料組織形態解析と順・逆解析を搭載

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

国内総発売元



株式会社 新興精機

大阪営業所

大阪府吹田市広芝町7-26 米澤ビル第6江坂301号

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

http://www.shinkouseiki.co.jp

営業窓口 : 池内 oosaka@shinkouseiki.co.jp

世界の材料科学・工学をリードする第一線の研究者・技術者に向けて

付設展示会  
大会プログラム広告  
ランチョンセミナー

募集のご案内



付設展示会（機器・ソフトウェア・書籍）

・1コマ ¥140,000（税別）

大会プログラム広告

・1色1頁 ¥70,000（税別）

・1色1/2頁 ¥40,000（税別）

ランチョンセミナー

・1枠 ¥100,000（税別）

※付設展示会ご出展の場合は、1枠 ¥20,000（税別）

日本金属学会・講演大会 開催予定

2019年秋期（第165回）講演大会  
9/11（水）～9/13（金）  
岡山大学 津島キャンパス

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

ご出展・広告掲載のお問い合わせ・お申込み

MEIHOSHA  
ADVERTISING AGENCY

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座七丁目12-4 友野本社ビル

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

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

# 6

2019  
Vol.58  
No.6

# まてりあ

◎会告原稿締切：毎月1日  
(翌月号(1日発行)掲載です.)

金属なんでもランキング！ No.3	融点・沸点	301
ご挨拶	会長就任のご挨拶 乾 晴行	303
紹介	2019年度役員	305
	2019年度代表理事，理事，代議員	306
	2019年度任意の合議機関の委員長，副委員長	308
	他団体との任意の合議機関の委員長，副委員長	308
	2019年度支部長，支部事務所	309
最近の研究	薄膜技術を用いた全固体電池の研究開発 大西 剛	311
	酸化物固体電解質を用いた薄膜型全固体電池の作製方法について紹介。ちゃんと作ればちゃんと動く！！	
	第一原理計算に基づく非金属物質中の点欠陥挙動に関する理論的研究	
	熊谷 悠	320
	半導体，絶縁体中点欠陥特性の最新の第一原理計算手法に関する詳細と，その硫化物，窒化物への応用例について紹介。	
新進気鋭	表面科学的視点に基づくエネルギー・物質変換触媒材料の開発 轟 直人	328
はばたく	これまでの研究を振り返って 中島賢也	333
新技術・新製品裏話	1.2 MeV 原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発 品田博之	334
材料発ベンチャー	新アトマイズ技術の開発 帆足卓起	336
本会記事	会告	338
	2019年度事業計画書	352
	掲示板	343
	2019年度収支予算書	352
	会誌・欧文誌6号目次	345
	行事カレンダー	357
	次号予告	346
	新入会員	359
	平成30年度事業報告	347
	書評	360
	平成30年度決算	347

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

**今月の表紙写真** SrTiO<sub>3</sub>中の2+に帯電した酸素空孔における，Ti-O方向の原子変位(上)とそれに伴うBader電荷により算出された電荷移行の値(下)。(熊谷悠 本号320頁 図1(e)より抜粋)

表紙デザイン：北野 玲  
複写をご希望の方へ

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

# ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
<b>純金属</b>			<b>高純度金属</b>			<b>中間合金</b>		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	磷	P>14.5%	粒状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒状	マンガン	Mn 25%	〃
アルミニウム粉	99.7%	粉末	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	マグネシウム	Mg 50%	約800gインゴット
銀	99.99%	粒状	ビスマス	〃	約100g塊	クロム	Cr 10%	約1kgインゴット
ボロンクリスタル	99.4%	3~8mm小塊	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄片状	テルル	Te 50%	〃
ボロンアモルファス	95~97%	粉末	無酸素銅	99.99%	10X10X1mm	コバルト	Co 10%	〃
ビスマス	99.9%	針状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25X25X2mm	ニッケル	Ni 30%	〃
コバルト粒(ロシア産)	99.3%	粒状	ガリウム	99.9999%	粒状25g入	鉄	Fe 10%	〃
電解コバルト(従来品)	99.9%	フレーク状	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	チタン	Ti 25%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25X25X10mm	インジウム	99.999%	粒状100g入	ジルコニウム	Zr 50%	〃
金属クロム	99%	小片状	インジウム	〃	約100g塊	ボロン	B 2%	粒状
電解クロム	99%	薄片状	マンガン	99.999%	薄片状	アルミニウム	Cu 40%	約5~7kgインゴット
クロム粉	99%	粉末500g入	錫	99.999%	粒状100g入			
電気銅	99.99%	約25X50X10mm	錫	〃	約100g塊			
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電解鉄(アトミロンYL)	〃	小片状25kg入	アンチモン	〃	約100g塊	アルミマンガン	Mn 10%	約5kgインゴット
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テール	99.9999%	粒状100g入	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	テール	〃	約100g塊	アルミクロム	Cr 5%	〃
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	垂	99.999%	粒状100g入	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kgインゴット
ハフニウム	99.6%	スポンジ小塊	垂	〃	約100g塊			
インジウム	99.99%	塊状	垂	99.9999%	粒状100g入	アルミシリコン	Si 25%	〃
マグネシウム	99.9%	約200g塊	垂	〃	約100g塊	アルミコバルト	Co 5%	〃
電解マンガン	99.9%	薄片状	垂	〃	約100g塊	アルモリブデン	Mo 5%	〃
モリブデン粉	99.9%	粉末	チ	99.9%	5φX150mm	アルミタンングステン	W 2.5%	〃
ニオブグラニュー	99.9%	3~10mm小塊				アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
ニオブ粉	〃	粉末	<b>レアアースメタル</b>			アルミ鉄	Fe 50%	塊状
電気ニッケル	99.99%	25X25X10mm	イトリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
ニッケルペレット	99.97%	6~12mm球状	ランタニウム	〃	〃	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
レニウム粉	99.99%	粉末	プラセオジウム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	小塊状
ルニウム粉	99.9%	〃	ネオジウム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
アンチモン	99.9%	塊状	サマリウム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
金属シリコン	99%	〃	イッテルビウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	塊状
錫	99.99%	約1kgインゴット	テルビウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	〃
タンタル塊	99.9%	3~10mm小塊	ジスプロシウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	約1.5kgインゴット
タンタル粉	〃	粉末	ホルミウム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	塊状
テール	99.99%	小球状	エルビウム	〃	〃	燐	P 5%	インゴット
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ガドリニウム	〃	〃			
チタン板	JIS 1種	250X250X1mm	ツリウム	〃	〃			
バナジウム	99.7%	3~10mm小塊	ルテチウム	〃	〃			
バナジウム粉	〃	粉末	セリウム	〃	塊状のみ			
タンングステン粉	99.9%	〃	ユーロピウム	〃	〃			
タンングステンクラップ	99%	板状			〃			
亜鉛	99.99%	約2kgインゴット	<b>フェロアロイ</b>			<b>Uアロイ(低融点合金)</b>		
亜鉛粒	〃	粒状	フェロモリブデン	Mo 60%	塊状	Uアロイ 47	融点47±2℃	約500gインゴット
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊	フェロニオブ	Nb 60%	〃	Uアロイ 60	60±2℃	〃
			フェロバナジウム	V 80%	〃	Uアロイ 70	70±2℃	〃
			フェロボロン	B 20%	〃	Uアロイ 78.8	78.8±2℃	〃
			カルシウムシリコン	Ca30%Si60%	小塊状	Uアロイ 91.5	91.5±2℃	〃
						Uアロイ 95	95±2℃	〃
						Uアロイ 100	100±2℃	〃
						Uアロイ 124	124±2℃	〃
						Uアロイ 150A	150±2℃	〃

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

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

**FAX (03)**  
**3294-9336**

株式会社 **平野清左衛門商店**

〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL(03)3292-0811

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

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

# 金属なんでもランキング!

## No.3 融点 & 沸点

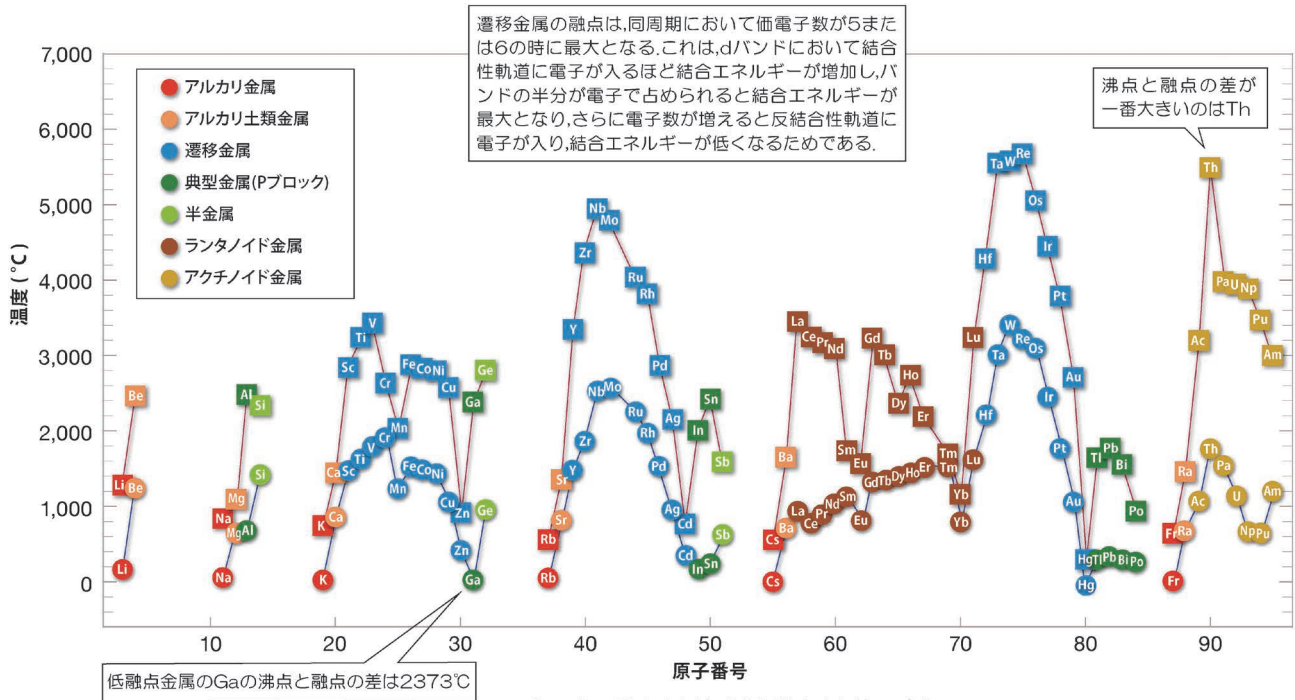


図1 各元素の融点(青線,丸)と沸点(赤線,四角)。

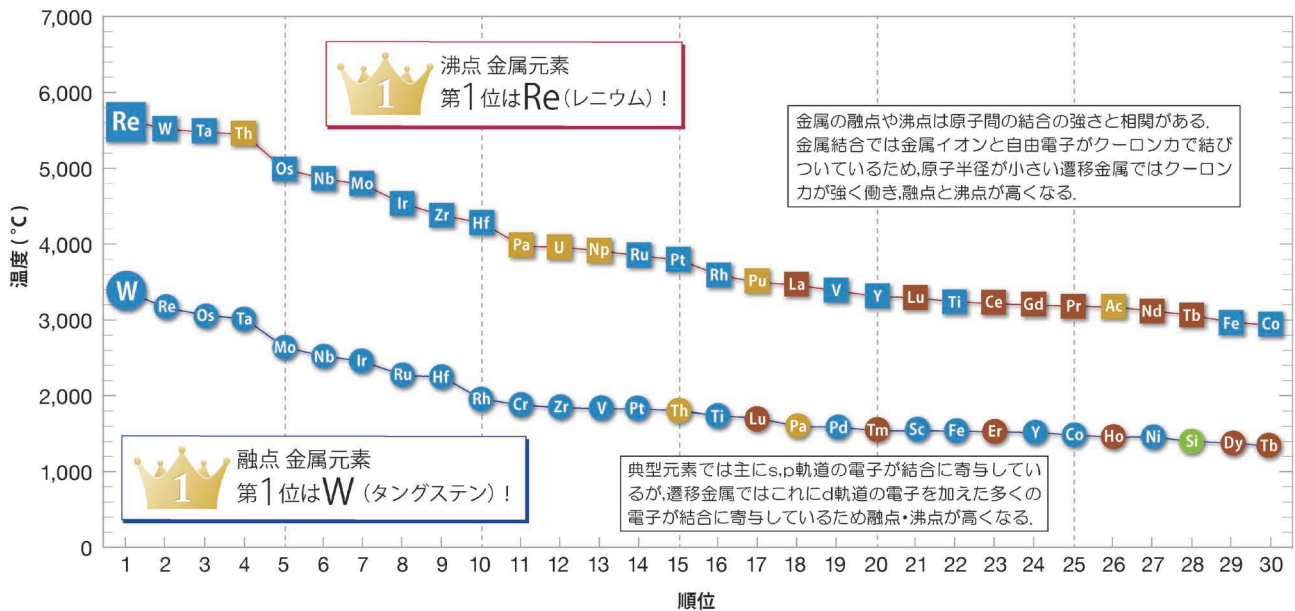


図2 金属元素の融点(青線,丸)と沸点(赤線,四角)ランキング。

参考文献：(1) 改訂4版 金属データブック：日本金属学会編，丸善，(2004)。  
 (2) 元素大百科事典：監訳 渡辺 正，朝倉書店，(2007)。  
 (3) コットレルの最新金属電子論：A.H. コットレル著，木村 宏訳，アグネ承風社，(1997)。

次号！金属素描 No. 4 コバルト



## 公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

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

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

### 最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

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

### 多様な研究者や技術者と交流ができます

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

### 研究成果を発表、討議して、研究を深めることができます

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

### 技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

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

### 表彰を受けられます

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

## [入会するには(入会手続き)]

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい。

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

# 会長就任のご挨拶

公益社団法人 日本金属学会 第68代会長 乾 晴 行

このたび皆様方のご推挙により日本金属学会の会長に就任することになりました。大変光栄に存じます。本会の重厚な歴史と光り輝く実績を考えますと、責任の重大さを痛感するとともに、身の引きしまる思いであります。本会副会長の蔡 安邦博士、中野貴由博士、御手洗容子博士をはじめとして、理事各位、代議員各位、委員各位、常設8支部の支部長および支部構成員各位、すなわち会員の皆様ならびに山村英明事務局長および事務局の皆様の方をお借りして、金属材料分野の発展のために微力ながら全力を尽す所存であります。皆様方の倍旧のご支援とご鞭撻を賜りますよう宜しくお願い申し上げます。



日本金属学会は、「金属に関する理論ならびに工業の進歩発達をはかること」を目的として、1937年に「金属之密林の大いなる開拓者」本多光太郎先生のご提唱により創設されました。その後、急速なグローバル化と多様性が進展する社会に対応すべく、近年では、社会基盤材料のみならずエネルギー材料、エコマテリアル、電子・情報材料、生体・福祉材料にわたる先端材料の創製と機能発現機構の探求など、幅広い材料科学・材料工学の研究成果発信の場として発展してきました。したがって、その将来においても本会が材料系学協会の中でリーダーシップを発揮するとともに、材料分野の重要性と材料研究者・技術者の存在感を世界にアピールする学会として発展するように努力して参りたいと思っております。

公益社団法人移行5年目に当たる一昨年、中島英治元会長のリーダーシップのもと、本会の目指すべき具体的な学会像を示す本会のビジョンが策定されました。杉本諭前会長のもと、昨年からのこのビジョンの実現に向けた具体的なアクションが実行され始めています。本年も引き続きビジョンの実現に向けた具体的なアクションを実行していきたいと考え、以下のような方針をお示しして、会員皆様のご理解とご協力をお願いしたいと存じます。

## 1. 財政基盤の安定化

公益法人移行に際して、会員資格としての維持員制度を廃止したことにより、産業界の方々の本会での活動が激減し、財政悪化の原因の一つとなった経験があります。福富洋志元会長のもと、新たな維持員制度を設置し、産業界から理事が選出されるような運営体制の変更も行って、財政基盤の安定化を図るとともに、産業界のご意見が反映されるようにしました。維持員数の更なる増加は、財政基盤の安定化と産業界の方々の本会での活動の活発化の好循環を生み出すものと期待され、本年もこの方針のもとに継続して取り組んでいきます。

## 2. 会員数の増強

近年における本会の会員数の減少は、わが国における労働人口の減少率よりも大きく、本会の会員の年齢構成を見ても35歳以下の正会員数が他の年代の正会員数と比較すると極めて少なく、将来に渡る本会の継続的かつ活発な活動に支障を来すことが危惧されます。この対策として、一昨年、学生会員の会費を大幅に減じ、卒業・修了後も一定期間、同額で本会正会員としての活動が継

続できる体制を導入いたしました。このような施策による若手正会員数の増加や先述の維持員数の増加により、会員数増強に努めてまいります。しかし、会員数増加のための何よりの策は、「日本金属学会に行けば材料科学のすべてが知れる」と言われるように会員・非会員のニーズに的確に答え、本会の評価を高めることです。今後、長期的研究分野の開拓を視野に入れた材料戦略の策定や、後述する事業を通じて本会を魅力ある学会にしていくための策を講じていきます。

### 3. 講演会・講習会事業の拡充

本会の講演大会では、会員数の割合に比べ企業からの講演大会参加者は少なく、さらに企業からの講演は極端に少ないのが現状であります。維持員の増加により企業の研究者・技術者の講演大会参加者数増加を図りつつ、立場の異なる多様な研究者・技術者にとっても魅力ある講演大会となるよう、金属材料の生産技術から金属物性まで議論できるセッション構成の改編に更に取り組んでいく所存です。また、この目的を達成するための講演大会のあり方そのものにもついても議論を開始したいと考えております。材料研究の多様化・細分化が進んでいることを考えれば、他の学協会とも連携を深めていくことは重要です。日本鉄鋼協会、自動車技術会をはじめ他の学協会との有機的な連携の模索も開始したいと考えております。

講習会では、本会フェローの皆様にも講師などご協力いただき、若手研究者・技術者の啓発・人材育成や将来の会員を見越して中・高校生などを対象とした啓蒙など有益な講習会を企画し、学会の活性化に貢献していきます。

### 4. 調査・研究事業の拡充

未来を先導する領域を開拓し、世界の材料科学・工学をリードする学会となるためには、若手研究者を含めて本会の将来の更なる発展に向けた戦略を練っていく必要があります。このため、中島英治元会長、杉本諭前会長時代に各分科会への活動支援、若手研究会設立支援などの施策が開始されました。また、本年からは若手研究者の育成を目的として、研究助成事業が開始されます。本年はこれらの支援を継続するとともに、理数探求などの学校教育の支援、青少年向けイベントの開催など人材育成に関する事業を拡充していきます。

### 5. 刊行事業

会報、会誌、欧文誌の発行は、学会活動の根幹を成すものです。これらの発刊は、今後も会員サービスの根幹として維持してゆく必要がありますが、Materials Transactions 誌のインパクトファクターが近年、低い値のまま推移しています。昨年専任の編集長に就任いただき、編集委員会で共同刊行事業も含めてさまざまな対策を講じていきますが、本会の情報発信力を将来にわたって維持するためには、会員各位からの良質な論文の投稿が不可欠です。ご協力を切にお願いいたします。

### 6. 表彰・奨励事業と支部活動

本会の表彰・奨励事業は、会員の皆様の研究活動の意欲を高めるとともに、人材の育成にも欠かすことのできないものです。各賞の授賞目的と対象を整理しつつ、特に若手を対象とした賞の拡充を推進してまいります。また、支部活動も本会の活性化に不可欠です。先に挙げたフェローの皆様の御協力などを得て、支部活動の支援に努めていきたいと考えています。

以上のように、本会の活動を活発化し、材料科学・材料工学の中心的学会として我が国ならびに世界の材料研究の高度化に貢献できるよう努力して参ります。会員各位ならびに事務局さらには各支部の皆様のご理解、ご協力、ご鞭撻を何卒、宜しくお願い申し上げます。

2019年4月23日



# 紹介(2019)

～ 本年度の本会役員をご紹介します ～

## 公益社団法人日本金属学会 2019年度役員(会長, 副会長, 理事, 監事)<sup>(50音順)</sup>

(2019年4月23日)

### 会長



乾 晴行  
京都大学教授

### 副会長



蔡 安邦  
東北大学教授

### 副会長



中野貴由  
大阪大学教授

### 副会長



御手洗容子  
物質・材料研究機構副拠点長

### 理事



足立 吉隆  
名古屋大学教授



岡村 一男  
日本製鉄㈱フェロー



小林 千悟  
愛媛大学教授



小山 敏幸  
名古屋大学教授



佐伯 功  
室蘭工業大学教授



佐藤 一則  
長岡技術科学大学特任教授



澁江 和久  
㈱UACJ取締役兼専務  
執行役員



清水 哲也  
大同特殊鋼㈱執行役員  
技術開発研究所長



須齋 京太  
古河電気工業㈱所長



高梨 弘毅  
東北大学所長・教授



田中 將己  
九州大学教授



辻 伸泰  
京都大学教授



船川 義正  
JFE スチール㈱  
主任部員(理事)



松木 一弘  
広島大学教授



松田 健二  
富山大学教授



三浦 誠司  
北海道大学教授



村上 恭和  
九州大学教授



森田 一樹  
東京大学教授

### 監事



山口 周  
大学改革支援・学位  
授与機構教授



山村 英明  
日本金属学会事務局長



川崎 亮  
東北大学名誉教授



錦織 貞郎  
㈱IHI 技師長

**公益社団法人日本金属学会 2019年度代表理事, 理事, 代議員** (50音順, 敬称略)

**会長(代表理事)**

乾 晴 行 京都大学大学院工学研究科 教授

**副会長**

蔡 安 邦 東北大学多元物質科学研究所 教授

中 野 貴 由 大阪大学大学院工学研究科 教授

御手洗 容 子 物質・材料研究機構 副拠点長

**理 事 (24名)**

(新任)

乾 晴 行 京都大学大学院工学研究科 教授  
 小林 千 悟 愛媛大学大学院理工学研究科 教授  
 小山 敏 幸 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
 清水 哲 也 大同特殊鋼株式会社 執行役員技術開発研究所長  
 須 齋 京 太 古河電気工業株式会社 エレクトロニクス研究所 所長  
 高 梨 弘 毅 東北大学金属材料研究所 所長・教授  
 田 中 將 己 九州大学大学院工学研究院 教授  
 船 川 義 正 JFE スチール株式会社 センター部 主任部員(理事)  
 松 田 健 二 富山大学大学院理工学研究部 教授  
 三 浦 誠 司 北海道大学大学院工学研究院 教授  
 御手洗 容 子 物質・材料研究機構 副拠点長  
 森 田 一 樹 東京大学大学院工学系研究科 教授

(留任)

足 立 吉 隆 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
 岡 村 一 男 日本製鉄株式会社 技術開発本部 フェロー  
 蔡 安 邦 東北大学多元物質科学研究所 教授  
 佐 伯 功 室蘭工業大学大学院もの創造系領域 教授  
 佐 藤 一 則 長岡技術科学大学大学院工学研究科 特任教授  
 澁 江 和 久 株式会社UACJ R&Dセンター 取締役兼専務執行役員  
 辻 伸 泰 京都大学大学院工学研究科 教授  
 中 野 貴 由 大阪大学大学院工学研究科 教授  
 松 木 一 弘 広島大学大学院工学研究科 教授  
 村 上 恭 和 九州大学大学院工学研究院 教授  
 山 口 周 大学改革支援・学位授与機構研究開発部 教授  
 山 村 英 明 日本金属学会 事務局長

\* 新任理事の任期: 2019年定時社員総会当日(4月23日)から2021年4月予定の定時社員総会の終結のときまで  
 留任理事の任期: 2018年定時社員総会当日(4月23日)から2020年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

**監 事 (2名)**

(新任)

川 崎 亮 東北大学 名誉教授

(留任)

錦 織 貞 郎 株式会社IHI 技術開発本部 技師長

\* 新任監事の任期: 2019年定時社員総会当日(4月23日)から2021年4月予定の定時社員総会の終結のときまで  
 留任監事の任期: 2018年定時社員総会当日(4月23日)から2020年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

**代 議 員 (103名)**

新任(47名)

**北海道地区** (新任)  
 上 田 幹 人 北海道大学大学院工学研究院 教授  
 三 浦 誠 司 北海道大学大学院工学研究院 教授

(新任)

**東北地区**  
 高 梨 弘 毅 東北大学金属材料研究所 所長・教授  
 田 中 俊一郎 東北大学マイクロシステム融合研究開発センター 教授

(新任)

**関東地区**  
 池 田 昌 則 株式会社神戸製鋼所 アルミ・銅事業部門 担当部長  
 枝 川 圭 一 東京大学生産技術研究所 教授  
 川 岸 京 子 物質・材料研究機構 グループリーダー  
 葛 卷 徹 東海大学工学部 教授  
 児 島 明 彦 日本製鉄株式会社 技術開発企画部長  
 小 林 能 直 東京工業大学科学技術創成研究院 教授  
 齋 藤 哲 治 千葉工業大学工学部 教授

留任代議員(56名)

(留任)  
 佐 伯 功 室蘭工業大学大学院もの創造系領域 教授  
 高 橋 英 徳 北海道立総合研究機構産業技術研究本部 研究主幹  
 (留任)  
 阿 部 世 嗣 電磁材料研究所 主席研究員  
 加 藤 秀 実 東北大学金属材料研究所 教授  
 蔡 安 邦 東北大学多元物質科学研究所 教授  
 坂 本 昌 昌 日本製鉄株式会社 主任研究員  
 佐 藤 裕 之 弘前大学大学院理工学研究科 教授  
 柴 田 浩 幸 東北大学多元物質科学研究所 教授  
 武 藤 泉 東北大学大学院工学研究科 教授  
 山 村 英 明 日本金属学会 事務局長  
 (留任)  
 遠 藤 裕 寿 日立金属株式会社 電線材料研究所 主任研究員  
 王 昆 日本冶金工業株式会社 常務執行役員技術研究部長  
 岡 本 和 孝 株式会社日立製作所 研究開発部 ループ 材料イノベーションセンター長  
 尾 中 晋 東京工業大学物質理工学院 教授  
 筧 幸 次 首都大学東京 システムデザイン学部 教授  
 加 藤 徹 日本製鉄株式会社 技術開発本部 プロセス研究所 部長  
 弓 野 健太郎 芝浦工業大学工学部 教授

下条 雅幸 芝浦工業大学工学部 教授  
 高井 健一 上智大学理工学部 教授  
 高橋 聡 ㈱IHI 航空・宇宙・防衛事業領域技術開発センター 部長  
 寺嶋 和夫 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授  
 中尾 航 横浜国立大学大学院工学研究院 教授  
 藤居 俊之 東京工業大学物質理工学院 教授  
 藤田 敏之 東芝エネルギーシステムズ㈱ 主査  
 船川 義正 JFE スチール㈱薄板センター部 主任部員(理事)  
 御手洗 容子 物質・材料研究機構 副拠点長  
 森田 一樹 東京大学大学院工学系研究科 教授  
 山本 知之 早稲田大学基幹理工学研究科 教授

篠嶋 妥 茨城大学工学部 教授  
 柴田 直哉 東京大学大学院工学系研究科 教授  
 竹山 雅夫 東京工業大学物質理工学院 教授  
 田村 隆治 東京理科大学基礎工学部 教授  
 土谷 浩一 物質・材料研究機構若手国際センター センター長  
 堤 祐介 物質・材料研究機構構造材料研究拠点 主席研究員  
 長滝 康伸 JFE スチール㈱スチール研究所 副所長  
 廣澤 涉一 横浜国立大学大学院工学研究院 教授  
 松野 泰也 千葉大学大学院工学研究院 教授  
 三木 祐司 JFE スチール㈱スチール研究所 主席研究員  
 山口 周 大学改革支援・学位授与機構研究開発部 教授  
 吉田 英弘 東京大学大学院工学系研究科 教授

**東海地区 (新任)**

植田 茂紀 大同特殊鋼㈱技術開発研究所 副所長  
 岡本 力 日本製鉄㈱技術開発本部 部長  
 小山 敏幸 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
 斎藤 尚文 産業技術総合研究所 上級主任研究員  
 西川 友章 愛知製鋼㈱技術企画部 部長  
 前田 千芳利 トヨタ自動車㈱無機材料技術部 主査  
 三浦 博己 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授

**(留任)**

足立 吉隆 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
 上宮 成之 岐阜大学工学部 教授  
 勝村 龍郎 JFE スチール㈱スチール研究所 副部長  
 川上 博士 三重大学工学研究科 准教授  
 西野 洋一 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授

**北陸信越地区 (新任)**

岸 陽一 金沢工業大学高信頼理工学研究センター 教授  
 福元 謙一 福井大学附属国際原子力工学研究所 教授  
 松田 健二 富山大学大学院理工学研究部 教授

**(留任)**

榊 和彦 信州大学大学院学術研究院 教授  
 佐藤 一則 長岡技術科学大学大学院工学研究科 特任教授

**関西地区 (新任)**

乾 晴行 京都大学大学院工学研究科 教授  
 岡崎 喜臣 ㈱神戸製鋼所材料研究所 所長  
 金野 泰幸 大阪府立大学大学院工学研究科 教授  
 河野 佳織 日本製鉄㈱技術開発本部 フェロー  
 竹中 俊英 関西大学化学生命工学部 教授  
 田中 敏宏 大阪大学大学院工学研究科 教授  
 林田 隆秀 日鉄日新製鋼㈱表面処理研究所 主任研究員  
 山末 英嗣 立命館大学理工学部 教授

**(留任)**

渥美 寿雄 近畿大学理工学部 教授  
 荒木 秀樹 大阪大学アトミックデザイン研究センター 教授  
 大谷 浩昭 山陽特殊製鋼㈱粉末事業部 部長  
 岡本 明 大阪産業技術研究所 主任研究員  
 小嶋 啓達 日本製鉄㈱技術開発本部 部長  
 新保 洋一郎 福田金属箔粉工業㈱研究開発部 グループマネージャー  
 辻 伸泰 京都大学大学院工学研究科 教授  
 中井 光一 ㈱島津製作所グローバルマーケティング部 副部長  
 中野 貴由 大阪大学大学院工学研究科 教授  
 平藤 哲司 京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授  
 松尾 直人 兵庫県立大学大学院工学研究科 特任教授

**中国四国地区 (新任)**

小林 千悟 愛媛大学大学院理工学研究科 教授  
 田中 康弘 香川大学創造工学部 教授  
 森戸 茂一 島根大学大学院学術研究院 准教授

**(留任)**

清水 一郎 岡山理科大学工学部 教授  
 高島 稔 JFE スチール㈱スチール研究所 部長  
 陳 中春 鳥取大学大学院工学研究科 教授  
 松木 一弘 広島大学大学院工学研究科 教授

**九州地区 (新任)**

田中 將己 九州大学大学院工学研究院 教授  
 連川 貞弘 熊本大学大学院先端科学研究部 教授

**(留任)**

石丸 学 九州工業大学大学院工学研究院 教授  
 波多 聰 九州大学大学院総合理工学研究科 教授  
 村上 恭和 九州大学大学院工学研究院 教授

**本部枠代議員 (新任)**

清水 哲也 大同特殊鋼㈱技術開発研究所 執行役員技術開発研究所長  
 須齋 京太 古河電気工業㈱自動車・エレクトロニクス研究所 所長

**(留任)**

岡村 一男 日本製鉄㈱技術開発本部フェロー  
 澁江 和久 ㈱UACJ R&Dセンター 取締役兼専務執行役員

\* 新任代議員の任期：2019年定時社員総会当日(4月23日)から2021年4月予定の定時社員総会の終結のときまで  
 留任代議員の任期：2018年定時社員総会当日(4月23日)から2020年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

2019年度任意の合議機関の委員長，副委員長

下線は留任，\*は理事以外。

	委員長	副委員長	事業概要
<b>1. 刊行事業に係る委員会</b> (1) 会報編集委員会 (2) 会誌編集委員会 (3) 欧文誌編集委員会 (4) 学術図書類刊行委員会	大塚 誠* 吉永 直樹* 堀田 善治* 佐藤 一則	竹田 修* 戸高 義一* 白井 泰治* —	会報の刊行に関する業務全般 会誌の刊行に関する業務全般 欧文誌の刊行に関する業務全般 学術図書類の刊行に関する業務全般
<b>2. 講演会・講習会事業に係る委員会</b> (1) 講演大会委員会 (2) 講演大会企画委員会 (3) 本多記念講演委員会 (4) セミナー・シンポジウム委員会	中野 貴由 中野 貴由 中野 貴由 小山 敏幸	御手洗 容子 御手洗 容子 御手洗 容子 大村 孝仁*	講演大会の実施に関する業務全般 講演大会の企画に関する業務全般 本多記念講演に関する業務全般 セミナーおよびシンポジウムに関する業務全般
<b>3. 調査・研究事業に係る委員会</b> (1) 企画委員会 (2) セルフガバナンス委員会 (3) 長期展望委員会 (4) 調査・研究委員会 (5) 調査・研究推進委員会 (6) 戦略推進委員会 (7) 科研費委員会 (8) 人材育成委員会 (9) 男女共同参画委員会 (10) 国際学術交流委員会	乾 晴行 中野 貴由 高梨 弘毅 御手洗 容子 御手洗 容子 御手洗 容子 中野 貴由 小林 千悟 松岡 由貴* 辻 伸泰	御手洗 容子 山村 英明 — 三浦 誠司 三浦 誠司 藤居 俊之* 村上 恭和 松岡 由貴* — 森田 一樹	本会の事業に関する重要な企画に関する業務全般 本会のセルフガバナンスに関する業務全般 本会の事業に係る長期展望に関する業務全般 調査・研究事業に関する業務全般 調査・研究事業の企画に関する業務全般 本会の材料戦略活動に関する業務全般 科研費補助金に関する業務全般 人材育成に関する業務全般 男女共同参画活動に関する業務全般 国際学術交流および国際会議事業の企画に関する業務全般
<b>4. 表彰・奨励事業に係る委員会</b> (1) 名誉員検討委員会 (2) 学会賞委員会 (3) 各種賞検討委員会 (4) 金属組織写真賞委員会	乾 晴行 乾 晴行 蔡 安邦 足立 吉隆	蔡 安邦 蔡 安邦 中野 貴由 小山 敏幸	名誉員に関する業務全般 学会賞に関する業務全般 各種賞に関する業務全般 金属組織写真賞に関する業務全般

他団体との任意の合議機関の委員長，副委員長

\*は理事以外

	委員長	副委員長	事業概要
<b>1. 刊行事業に係る委員会</b> (1) Materials Transactions 編集委員会	堀田 善治*		Materials Transactions の共同刊行に関する業務全般
<b>2. 講演会・講習会に係る委員会</b> なし			
<b>3. 調査・研究事業に係る委員会</b> (1) 材料連合協議会 (2) 材料戦略(企画)委員会 (3) 男女共同参画委員会(合同)	乾 晴行 小関 敏彦* 松岡 由貴*	尾崎 由紀子*	材料系学協会と日本学術会議との連携活動に関する業務全般 材料戦略委員会の企画に関する業務全般 日本鉄鋼協会との連携による男女共同参画活動に関する業務全般

## 2019年度支部長，支部事務所

### 1. 北海道支部

支部長 三浦誠司  
(北海道大学大学院工学研究院 教授)  
副支部長 橋本直幸  
(北海道大学大学院工学研究院 教授)  
支部事務所 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目  
北海道大学大学院工学研究院材料科学部門内  
☎/FAX 011-706-6345  
E-mail: jim\_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp  
徳永透子

### 2. 東北支部

支部長 今野豊彦  
(東北大学金属材料研究所 教授)  
支部事務所 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1  
東北大学金属材料研究所  
☎ 022-215-2124 FAX 022-215-2126  
E-mail: chie@imr.tohoku.ac.jp  
渡辺智絵

### 3. 関東支部

支部長 伊藤公久  
(早稲田大学基幹理工学部 教授)  
副支部長 森田一樹  
(東京大学大学院工学系研究科 教授)  
支部事務所 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1  
工学部4号館334号室  
東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻  
☎ 03-5841-7107  
E-mail: nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp  
中屋直美

### 4. 東海支部

支部長 松村康志  
(大同特殊鋼技術開発研究所 所長)  
支部事務所 〒464-8603 名古屋市千種区不老町  
名古屋大学工学研究科マテリアル理工学専攻内  
☎ 052-789-3372  
E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp  
堀田依里

### 5. 北陸信越支部

支部長 福元謙一  
(福井大学附属国際原子力工学研究所 教授)  
副支部長 榊和彦  
(信州大学工学部 教授)  
支部事務所 〒930-8555 富山市五福3190  
富山大学大学院理工学研究所  
☎/FAX 076-445-6839  
E-mail: matsuda@eng.u-toyama.ac.jp  
松田健二(教授)

### 6. 関西支部

支部長 保田英洋  
(大阪大学大学院工学研究科 教授)  
支部事務所 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4  
(一財)大阪科学技術センターニューマテリアル  
センター  
☎ 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310  
E-mail: n-kansai@ostec.or.jp  
金子輝雄, 森知佐子

### 7. 中国四国支部

支部長 清水一郎  
(岡山理科大学工学部 教授)  
支部事務所 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1  
岡山大学工学部機械システム系学科  
☎ 086-251-8027 FAX 086-251-8266  
E-mail: takemoto@mech.okayama-u.ac.jp  
竹元嘉利(准教授)

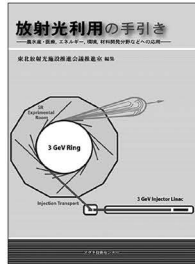
### 8. 九州支部

支部長 高島和希  
(熊本大学大学院先端科学研究部 教授)  
副支部長 石丸学  
(九州工業大学大学院工学研究院 教授)  
副支部長 中島英治  
(九州大学大学院総合理工学研究院 教授)  
支部事務所 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1  
熊本大学大学院先端科学研究部  
☎/FAX 096-342-3713  
E-mail: mine@msre.kumamoto-u.ac.jp  
峯洋二(准教授)

## 放射光利用の手引き

—農水産・医療、エネルギー、環境、材料開発分野などへの応用—

東北放射光施設推進会議推進室 編集  
B5判  
2019年2月発刊 4,200円(税別)  
発行所名：アグネ技術センター  
ISBN：978-4-901496-95-7  
〒107-0062  
東京都港区南青山5-1-25 北村ビル  
TEL：03-3409-5329  
FAX：03-3409-8237



東北に建設予定の「軟X線領域に特徴をもつ3GeVクラスの高輝度放射光施設：SLiT-J」は、21世紀の我が国を支える産業技術のイノベーションにつながる基盤インフラである。放射光施設がカバーする領域は多岐にわたる。「放射光を利用するとどのようなことがわかるのか」をテーマにした手引き書。

## 刃物の金属組織学

### 身近な刃物・日本刀・隕鉄 驚きの真実

著者 工学博士 朝倉健太郎  
A5判  
2018年10月発刊 8,500円(税別)  
発行所名：株式会社アグネ承風社  
ISBN：978-4-900508-79-8  
〒178-0065  
東京都練馬区西大泉5-21-7  
TEL/FAX：03-5935-7178  
E-mail：agne-shofu@apost.plala.or.jp



サブタイトル「刃物の金属組織学」。各章は刃物の歴史、金属の基礎知識、隕鉄の組織学、金属の強化因子、ステンレス鋼刃物、和包丁の科学的解析、汎用刃物、玉鋼・日本刀の刃文の秘密、理美容はさみ、カミソリと医療用メス、100円包丁と100円はさみ何が違う、3D測定マイクロスコープによる刃角の測定、付録には多くの刃物用成分、火花によるC量の違いが紹介。

## 鉄の事典

増本健 他 編  
A5判 上製820頁  
2014年12月 本体22,000円(税別)  
発行所名：朝倉書店  
ISBN：978-4-254-24020-7 C3550  
〒162-8707  
東京都新宿区新小川町6-29  
TEL：03-3260-7631  
FAX：03-3260-0180  
URL：http://www.asakura.co.jp/



社会を支える基盤材料であり、人類との関わりも長く、産業革命以降は飛躍的にその利用が広まった“鉄”の文化史・性質・製造から利用まで全てがわかる事典。建築物・自動車・鉄道・生活用具など様々な分野での利用や鉄の将来に至るまでわかりやすくまとめた。読者の関心に応じて鉄に関して一通りのことがわかるよう3部構成で編集した。

## IPランドスケープの実践事例集

杉光 一成、山内 明、他22名  
A4判・約350頁 2019年5月発刊  
定価：80,000円(税別)  
アカデミック割引価格：30,000円(税別)  
発行所名：(株)技術情報協会  
ISBN：978-4-86104-748-0  
〒141-0031  
東京都品川区西五反田2-29-5  
日幸五反田ビル8F  
TEL：03-5436-7744  
FAX：03-5436-7745  
URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

短期間でIPランドスケープ実践組織を作り上げた企業事例が満載！分析対象となる母集団設定、特許マップ作成、仮説検証プロセスが分かる！経営幹部、事業責任者に対する戦略レポート策定のポイントを詳解！

## 医薬品モダリティの特許戦略と技術開発動向

神谷恵理子、矢野嘉宏、他79名  
A4判・約600頁 2019年5月発刊  
定価：80,000円(税別)  
アカデミック割引価格：30,000円(税別)  
発行所名：(株)技術情報協会  
ISBN：978-4-86104-749-7  
〒141-0031  
東京都品川区西五反田2-29-5  
日幸五反田ビル8F  
TEL：03-5436-7744  
FAX：03-5436-7745  
URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

核酸医薬・ペプチド・次世代抗体・遺伝子治療・再生医療・細胞治療など、次世代技術の特許戦略と研究開発の動向が分かる。今後の成長市場を独占する排他的で独占的な特許戦略を詳説。製薬企業の今後の開発戦略を見越して今権利をおさえておくべき技術などを網羅！

## 水素の製造、輸送・貯蔵技術と材料開発事例集

西宮 伸幸、中尾 真一、他57名  
A4判・約500頁 2019年4月発刊  
定価：80,000円(税別)  
アカデミック割引価格：30,000円(税別)  
発行所名：(株)技術情報協会  
ISBN：978-4-86104-745-9  
〒141-0031  
東京都品川区西五反田2-29-5  
日幸五反田ビル8F  
TEL：03-5436-7744  
FAX：03-5436-7745  
URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

2030年の水素発電商用化に向け、今どんな研究が進められ、どんな材料が求められているか？効率的な水素製造、大量かつ安全に輸送・貯蔵する技術開発の現状、今後の方向性がわかる1冊です！

## 高周波対応部材の開発動向と5G、ミリ波レーダーへの応用

松本 博文、今井 哲朗、他58名  
 A4判・554頁 2019年1月発刊  
 定価：80,000円(税別)  
 アカデミック割引価格：30,000円(税別)  
 発行所名：(株)技術情報協会  
 ISBN：978-4-86104-733-6  
 〒141-0031  
 東京都品川区西五反田2-29-5  
 日幸五反田ビル8F  
 TEL：03-5436-7744  
 FAX：03-5436-7745  
 URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

来るべき「自動運転」「5G」時代へ向けたミリ波、高周波対応材料の最新開発動向！  
 低誘電率樹脂、高周波対応基板、銅箔/樹脂の密着性向上、ミリ波回路、アンテナ、ミリ波向け電波吸収材料まで、企業と大学、研究機関の最新開発事例を詳解！

## 電気化学・インピーダンス測定のためのデータ解析手法と事例集

立間徹、小野田雅重、他58名  
 A4判・522頁 2018年12月発刊  
 定価：80,000円(税別)  
 アカデミック割引価格：30,000円(税別)  
 発行所名：(株)技術情報協会  
 ISBN：978-4-86104-730-5  
 〒141-0031  
 東京都品川区西五反田2-29-5  
 日幸五反田ビル8F  
 TEL：03-5436-7744  
 FAX：03-5436-7745  
 URL：http://www.gijutu.co.jp/



試読可(約1週間)

電気化学測定のための計測器、装置の使い方は？システム構成はどうすべき？測定結果を材料開発、評価に活かすには？電気化学の理論、電気化学測定ノウハウから、豊富な測定・解析事例を一挙掲載！  
 測定テクニックを事例ごとにわかりやすく解説！

## 新版 はじめての電子状態計算

DV-X $\alpha$ 分子軌道計算への入門

足立裕彦・小笠原一禎・小和田善之・坂根弦太・水野正隆 著  
 B5判 284頁  
 2017年11月 3,000円(税別)  
 発行所名：三共出版  
 ISBN：978-4-7827-0767-8  
 〒101-0051  
 東京都千代田区神田神保町3-2  
 TEL：03-3264-5711  
 FAX：03-3265-5149  
 URL：http://www.sankyoshuppan.co.jp/



分子軌道法の概要からコンピュータに対応したプログラム使用方法、さらに計算実習まで！これさえあれば簡単に電子状態計算が始められます。初版刊行以来約20年間に開発・進化を遂げたプログラムならびに本文を全面改稿しました。(プログラム付)

# 書籍ガイド・広告募集！

かねてより会員読者より要望されておりました「書籍」情報を発信する広告特集です。

**1コマ(1/6頁) ¥18,000(税別)**

**次回は、12月号(12/1発行)に掲載致します。**

広告掲載の  
お問い合わせ・お申込み

**株式会社 明報社**

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル  
 TEL (03) 3546-1337 FAX (03) 3546-6306  
 E-mail : info@meihosha.co.jp HP : http://www.meihosha.co.jp

**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**

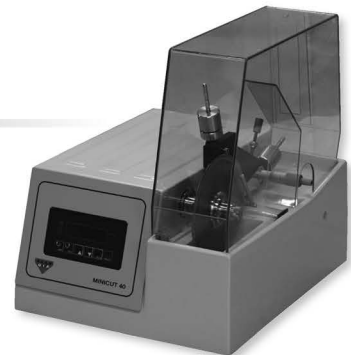
ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。



- 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



### 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。



容器がセットされる様子。

## 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



▲P-5/4



▲P-6



▲P-7

## 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

公益社団法人 The Japan Institute of Metals and Materials

# 日本金属学会

未来を先導する領域を開拓し、  
世界に発信する

## 2019年 秋期 第165回 講演大会

会期 2019年  
9月11日(水)~13日(金)

会場 岡山大学  
津島キャンパス

講演概要がWEB公開に変わります!(DVDは廃止となります。)  
「参加証引換券」は参加申込者が各自ダウンロード印刷して頂き、  
大会受付へ提出となります!



主なシンポジウムテーマ

- S1: ハイエントロピー合金の材料科学 II
- S2: 材料変形素過程のマルチスケール解析(II)
- S3: キング強化の材料科学 II
- S4: 水素エネルギー材料—Ⅷ
- S5: 先進ナノ構造解析に基づく材料科学の新展開 II
- S6: ナノ・マイクロスペースステイラリング II
- S7: 医療・福祉のための Additive Manufacturingの材料科学 III
- S8: マテリアルズ・インテグレーション(III) —順問題から逆問題へ—

- K1: 高性能軟磁性材料の現状と課題
- K2: 若手科学者へ贈る研究のヒント II —未踏領域へ到達するために—
- K3: 自動車の大変革に貢献する材料技術の最新動向  
(自動車技術会・日本鉄鋼協会との合同シンポジウム)

演題登録締切日

2019年 7月5日(金)

事前参加予約締切日

2019年 8月27日(火)

問合せ先

公益社団法人 日本金属学会 講演大会係  
〒980-8544 仙台市青葉区一番町1丁目14-32  
TEL:022-223-3685 E-mail:annualm@jim.or.jp

詳しくはホームページをご覧ください

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



# 薄膜技術を用いた全固体電池の研究開発

大西 剛\*

## 1. はじめに

充電して繰り返し使える市販の二次電池の中で、エネルギー密度が最も高いのはリチウムイオン電池である。それでも、車載用途ではガソリン自動車の1回の給油で走れる500 km以上の走行距離を、電気自動車では1回の充電だけで走らせるには厳しく、さらなる高エネルギー密度化が求められている。それに加えて、現行のリチウムイオン電池では今でも発煙や発火などのニュースを耳にする通り安全性に懸念がある。その原因の一つに、電池部材として可燃性の材料が含まれていることがあげられる。リチウムイオン電池以前の二次電池では、正極・負極間を繋ぐ液体の電解質として水溶液が使われており、まれに液漏れなどの問題はあっても燃えるようなことはなかった。一方のリチウムイオン電池は3.7 V前後を発生するが、この電圧では水が電気分解してしまうため、水溶液以外の液体電解質を使わざるを得ない。その溶媒がエステル系やエーテル系の可燃性有機溶媒である。

リチウムイオン電池の信頼性を上げる一つの方策は可燃性材料を不燃性材料に置き換えることであり、その一つとしてイオン伝導性の固体セラミックスを電解質に用いた全固体電池の開発がある。車載用などの電池モジュールでは電池(セル)を直列に繋いで高電圧を発生している。液体電解質を用いた現行の電池では、一つ一つのセル毎に電解液を隔離せねばならず、そのための材料とスペースが必要になるが、全固体電池ではこれらは基本的に不要であり、モジュールとしての重量・体積当たりのエネルギー密度はこの観点だけでも現行の電池を上回る。

固体電解質を用いるもう一つの利点として、副反応の抑制が期待できる。充放電時に正極・負極間を行き来するのはLiイオンのみでよいのだが、液体電解質中ではLiイオンとは反対の方向にアニオンが移動し、それ以外にも溶媒分子等が泳動してしまう。これらは正極、負極表面上で強酸化、強

還元されて高抵抗な被膜を形成し(副反応)、充放電を繰り返すにつれ容量低下と、内部抵抗の上昇による出力低下が顕著となる。一方で、固体電解質中の可動イオンはLiイオンのみであるため、一連の副反応が抑制され、サイクル寿命が長く、自己放電の小さい電池となることが期待されている。

現在、固体のセラミックス電解質は大きく分けて2種類ある。一つは硫化物系固体電解質であり、その特徴は高いイオン伝導性と材料自体の柔らかさにある。材料によっては $1 \text{ Sm}^{-1}$ 以上のLiイオン伝導度が得られており<sup>(1)-(3)</sup>、驚くべきことに液体電解質をも凌いでいる。柔らかさについてはセラミックスにもかかわらず、粉体を圧粉形成するだけで粒子同士が接合し、電池動作するのに十分な程に低抵抗となる。これらの特徴はSとLiの結合の弱さによっているが、その弊害として大気中では不安定であり、特に大気中の水分と反応して硫化水素を発生するという問題がある。

もう一つの固体電解質は酸化物系であり、硫化物系程の高いイオン導電体はまだ開発されていないが、それでも $10^{-1} \text{ Sm}^{-1}$ 台の物質が見つかった<sup>(4)</sup>。酸化物は全般に大気中で安定であるため、酸化物系固体電解質を用いた全固体電池が究極の信頼性をもつ全固体電池と考えられている。しかしながら、硫化物とは異なり全般に固い材料なので圧粉形成だけでは抵抗が下がらず、低抵抗な界面接合を得るためには高温焼成が必須となる。そのため、酸化物固体電解質を正極及び負極の活物質と一体焼成しようとする、接合界面で熱拡散に起因した化学反応が起きて高抵抗な界面が形成される傾向があり、場合によっては活物質が失活すると共に固体電解質のイオン伝導性が失われる。

硫化物系固体電解質を用いた全固体電池は、恐らく数年のうちに市販化されると考えられるが、酸化物系全固体電池の開発についてはまだまだ問題が多い。特に問題となるのは、固体電解質同士・活物質同士のホモ界面、及び固体電解質と活物質のヘテロ界面における界面抵抗や界面反応である。そこで、正極、固体電解質、負極をそれぞれ薄膜化して積層

\* 国立研究開発法人 物質・材料研究機構；主幹研究員(〒305-0044 つくば市並木1-1)  
Research Development of All Solid-state Battery by Using Thin Film Technology; Tsuyoshi Ohnishi (Rechargeable Battery Materials Group, National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba)  
Keywords: *Li-ion battery, all solid-state battery, thin film battery, PLD (pulsed laser deposition), composition control*  
2019年2月27日受理[doi:10.2320/materia.58.311]

し、薄膜型の酸化物系全固体電池を作製することで、これらの情報を効率的に抽出できると考えている。本稿では、それぞれの部材の薄膜作製について報告し、最後に電池動作について紹介したい。

## 2. 正極薄膜

リチウムイオン電池においては最も代表的な正極活物質である  $\text{LiCoO}_2$  の薄膜化を遂行している<sup>(5)-(11)</sup>。  $\text{LiCoO}_2$  の安定相は菱面体晶系の層状岩塩構造だが、これは立方晶系の岩塩構造において酸素骨格中のカチオンが[111]方向に規則配列し  $\text{Li}$  層と  $\text{Co}$  層が交互に積層していると見なせる。岩塩構造は  $\text{ABO}_3$  で表される立方晶系ペロブスカイト構造における[100]方向の  $\text{AO}$  層と  $\text{BO}_2$  層の交互積層のうち、 $\text{AO}$  層と面内原子配列が同一なため親和性が高く、ペロブスカイト系単結晶上にエピタキシャル成長する。筆者らは立方晶系のペロブスカイトで、 $\text{Nb}:0.5 \text{ mass}\%$  又は  $\text{La}:1 \text{ at}\%$  をそれぞれ B サイト、A サイトに置換ドーパした電子伝導性  $\text{SrTiO}_3$  の単結晶を基板として用いており、これらは集電体としても機能

する。  $\text{Pt}$  や  $\text{Au}$  等の蒸着膜や多結晶金属基板等の上に成長した  $\text{LiCoO}_2$  多結晶膜とは異なり、  $\text{SrTiO}_3$  に限らず単結晶基板上に成長したエピタキシャル薄膜では薄膜結晶からの X 線回折強度を膜厚で規格化する(図 1)等で結晶性を定量的に評価でき、これとあわせて薄膜表面の晶癖形状や析出物の有無などから成膜条件の最適化が可能となる。結晶性の低下は低温成長等により結晶化が不十分でも生じるが(非晶質に近い)、それ以上に薄膜組成(カチオン比)の定比からのずれによる影響が大きい<sup>(6)</sup>。

筆者らはパルスレーザー堆積(PLD)法で  $\text{LiCoO}_2$  薄膜を作製している。詳細は他誌に譲るが定比組成の原料ターゲット ( $\text{Li}:\text{Co}=1:1$ ) を用いる限り、膜中の  $\text{Li}$  は欠損してしまうため  $\text{Li}$  過剰の原料ターゲットを使用しなければならない(図 2)<sup>(5)(6)</sup>。この時、蒸発源である紫外光パルスレーザー、 $\text{KrF}$  エキシマレーザーのアブレーション条件(パルスのレーザーエネルギーとターゲット上での照射面積、及びその二つから算出されるエネルギー密度(フルエンス))<sup>(12)-(16)</sup> が重要である。これによって薄膜の組成は  $\text{Li}$  過剰にも  $\text{Li}$  欠損にもなるが、どちらにおいても結晶性は低下する(図 3)<sup>(6)</sup>。また、酸

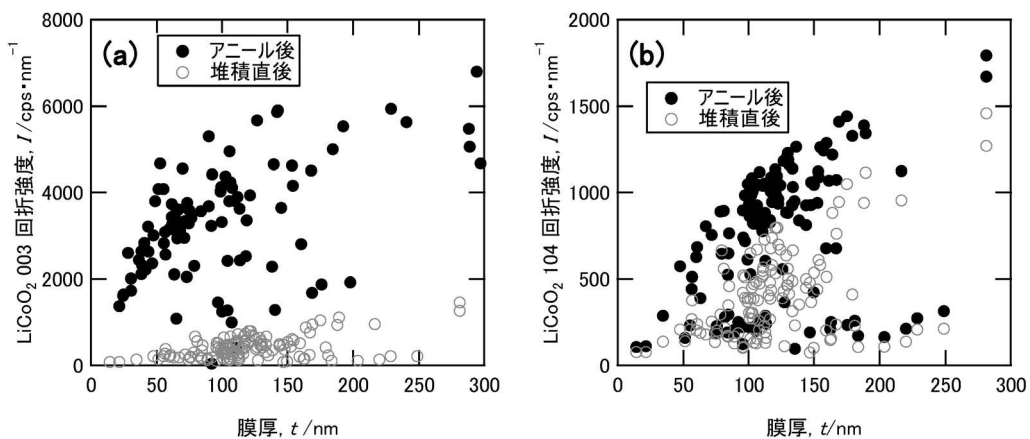


図 1  $\text{SrTiO}_3$  単結晶基板上に成長した  $\text{LiCoO}_2$  薄膜の膜厚に対する薄膜結晶面からの X 線回折強度。(a)  $\text{SrTiO}_3$  (111) 上の  $\text{LiCoO}_2$  (001) 配向膜、(b)  $\text{SrTiO}_3$  (100) 上の  $\text{LiCoO}_2$  (104) 配向膜。アニール条件は大気中  $700^\circ\text{C}$ 、5 h。

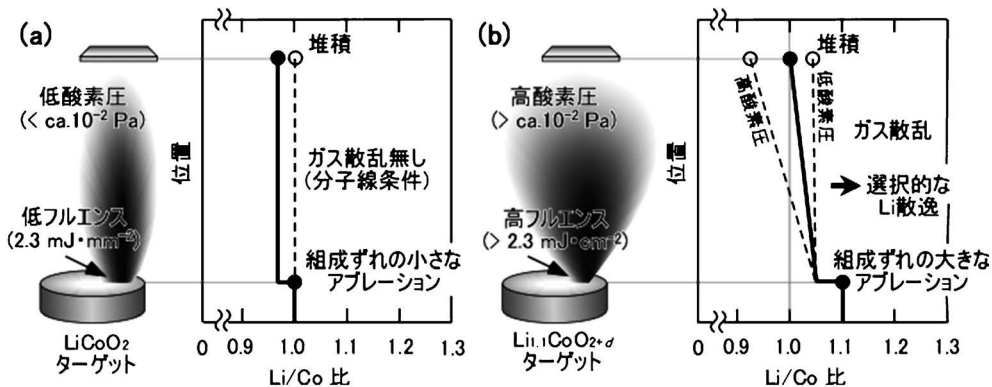


図 2 ターゲット材料がアブレーションされてから堆積するまでに起こる蒸発種の組成 ( $\text{Li}/\text{Co}$  比) 変化の概念図。(a) 定比ターゲットを用い、アブレーションが起こるぎりぎりのフルエンスを使い、ガス散乱のない高真空中で成膜した場合、(b)  $\text{Li}$  過剰ターゲットを用いて、堆積速度を上げるために高フルエンスでアブレーションし、さらに酸素圧を変化させた場合<sup>(5)(6)</sup>。

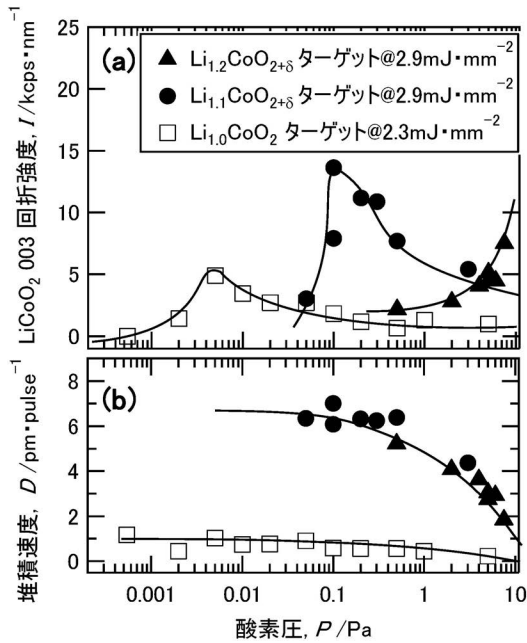


図3 組成の異なるターゲットを用いてサファイア *c* 面基板上に成長した *c* 軸配向 LiCoO<sub>2</sub> 薄膜における酸素圧依存性. (a) LiCoO<sub>2</sub> 003 X 線回折強度, (b) 薄膜の堆積速度<sup>(6)</sup>.

化物材料を真空中で結晶成長させるので、膜中の酸素欠損を補うために成膜中の真空槽内へ酸素ガスを導入する必要があるが、十分な酸化を期待して酸素圧をむやみに上げてしまうと薄膜堆積速度が激減すると共に結晶性も低下してしまう(図3)<sup>(5)(6)</sup>。原料ターゲット表面からアブレーションされた蒸発種は原子・分子レベルにまで分解されているが、真空槽内が分子線条件を破るほどの高圧になると蒸発種が酸素ガス分子と衝突・散乱し、これによって堆積速度が低下する。この時、酸素分子よりも軽いLi種(Li, LiO等)は酸素分子よりも重いCo種(Co, CoO等)に比べて顕著に散乱され、基板に到達する割合が減るためにLiが欠損した薄膜となってしまう(図2, 図3)<sup>(6)</sup>。一方で、薄膜組成のLi/Co比が定比であれば、最低限の酸素は必要ではあるものの、分子線条件を満足する低酸素圧下での成長により多少酸素欠損していても、それなりに高結晶性となる。

LiCoO<sub>2</sub> 薄膜の組成を制御するにはLi過剰ターゲットの使用と共にアブレーション条件、基板温度、酸素圧力の最適化が重要と述べたが、原料ターゲットの表面組成はアブレーション条件によって変化するため、レーザービームを絞る、エネルギーを上げるなど、特にアブレーション条件を変えた場合には十二分なプレアブレーションが必要である<sup>(16)</sup>。プレアブレーションにおいては、レーザー発振周波数に加え酸素圧も本成膜に用いる条件に設定する必要があり、酸素を導入しないなど異なる酸素圧でプレアブレーションすると、その後の本成膜では堆積速度に加えてLi/Co比も変化してしまう。これは恐らくアブレーション時にターゲット表面で酸素のやりとりが生じているためと考えられる。

表1 結晶面の異なるSrTiO<sub>3</sub>単結晶基板上のLiCoO<sub>2</sub>薄膜の結晶配向方位.

SrTiO <sub>3</sub> 基板の結晶面	LiCoO <sub>2</sub> 薄膜の配向	LiCoO <sub>2</sub> の <i>c</i> 軸の方向
(111)	(001)	1 方向 <sup>(10)</sup>
(110)	(018)	2 方向 <sup>(8)(9)</sup>
(100)	(104)	4 方向 <sup>(8)(9)</sup>

前述したとおりSrTiO<sub>3</sub>上にLiCoO<sub>2</sub>のヘテロエピタキシャル成長が可能だが、既報としてSrTiO<sub>3</sub>単結晶の結晶面によって薄膜の配向方位が制御できるとの報告があり<sup>(17)</sup>、筆者らも同様な実験を行った<sup>(8)-(10)</sup>。

表1に示す通り3種類の異なる配向膜が得られたが、全ての配向においてSrTiO<sub>3</sub>の<111>方向にLiCoO<sub>2</sub>の*c*軸がそろっている(図4)<sup>(8)-(10)</sup>。SrTiO<sub>3</sub>(100)面では結晶面(表面)からの角度( $\alpha$ )が35°の4つの等価な<111>方向があるためLiCoO<sub>2</sub>の*c*軸は4方向に均等に分配される(図4(c))。同様にSrTiO<sub>3</sub>(110)面には $\alpha=55^\circ$ の2つと、(110)面(表面)に含まれる $\alpha=0^\circ$ の4つ、合計6つの<111>方向があるが、LiCoO<sub>2</sub>の*c*軸が表面に平行になることはないようである(図4(b))。層状岩塩構造のLiCoO<sub>2</sub>ではその構造から層内、すなわち*c*軸と直交する*ab*面内のLiイオン伝導が速いと考えられ、積層型の薄膜電池では面直方向にイオンが流れることを考えると、LiCoO<sub>2</sub>の*c*軸が表面内に寝ている(*ab*面が表面に対して垂直に立っている)配向が理想的であるが、残念ながらそのような配向は現状では実現できていない。結果として、SrTiO<sub>3</sub>(100)面上の(104)配向LiCoO<sub>2</sub>薄膜が、*ab*面が最も面直方向に立った配向となり、この時の*ab*面と表面のなす角は55°となる。

(104)配向LiCoO<sub>2</sub>薄膜でのLiイオンの伝導経路を考えると、4方向に向いている*c*軸を1方向に揃えた方が高速に移動できる(すなわち電池の出力特性が向上する)可能性が高い。*c*軸が4方向に向くのは前述の通りSrTiO<sub>3</sub>の4つの<111>方向が等価であるためであり、この均衡を崩すために(100)結晶面から僅かに傾けて切り出した微傾斜基板を用いた<sup>(11)</sup>。斜方晶系である電子伝導性酸化物SrRuO<sub>3</sub>をこの手法でSrTiO<sub>3</sub>(100)基板上に結晶方位を1方向に揃えてエピタキシャル成長したという報告があり<sup>(18)</sup>、これを参考にした。SrTiO<sub>3</sub>(100)面内の[010]方向と[011]方向に微傾斜した基板を用いたところ、前者では2つ、後者では1つの<111>方向にLiCoO<sub>2</sub>の*c*軸が優先的に配向できることがわかり、[011]方向に微傾斜した(100)基板の傾斜角度や堆積速度等を最適化することで*c*軸を単一方位化した(104)配向LiCoO<sub>2</sub>薄膜の作製に成功した(図5)<sup>(11)</sup>。

### 3. 固体電解質薄膜

大気中でも安定な酸化物でありながら、比較的高いLiイオン伝導度を示すペロブスカイト型の固体電解質材料である

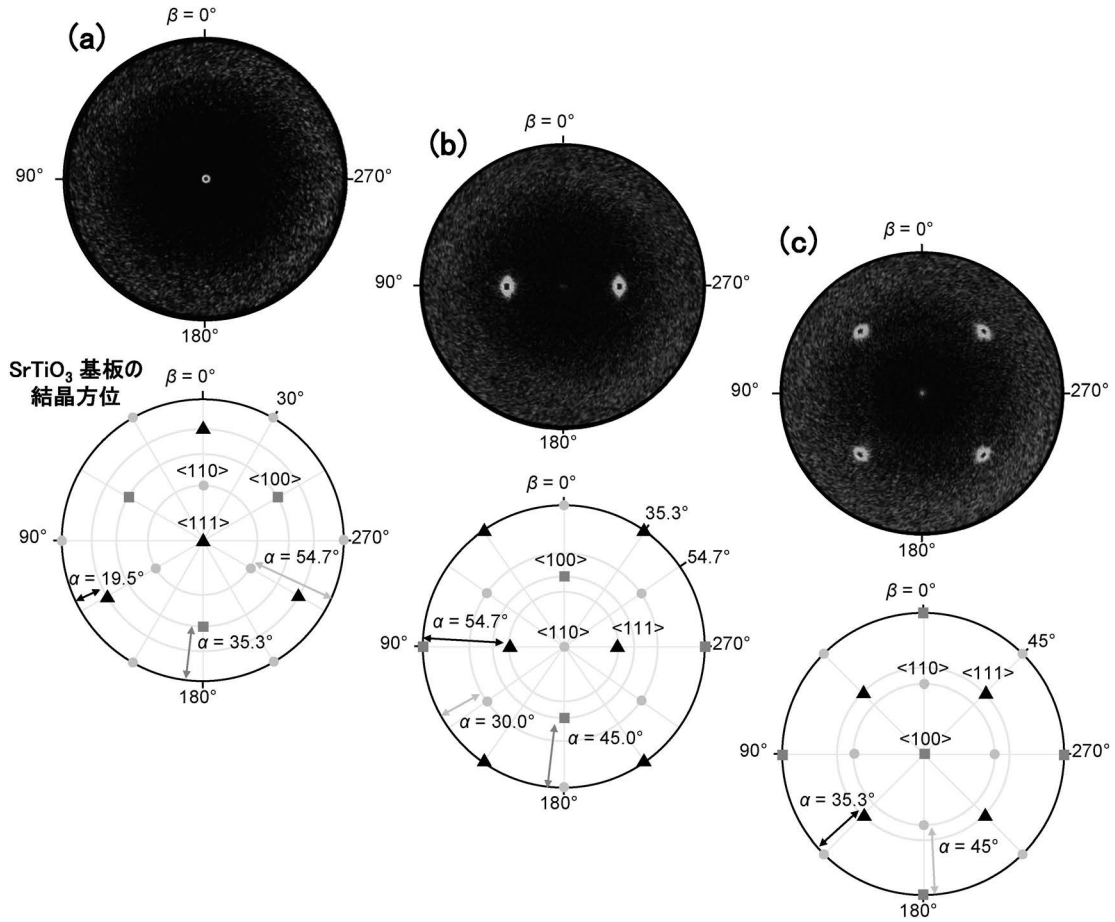


図4 LiCoO<sub>2</sub> 薄膜結晶からの003回折の in-plane X線極点図. SrTiO<sub>3</sub> の(a) (111)面上<sup>(10)</sup>, (b) (110)面上<sup>(8)(9)</sup>, (c) (100)面上<sup>(8)(9)</sup>. 下段は対応する SrTiO<sub>3</sub> 単結晶基板の配置.

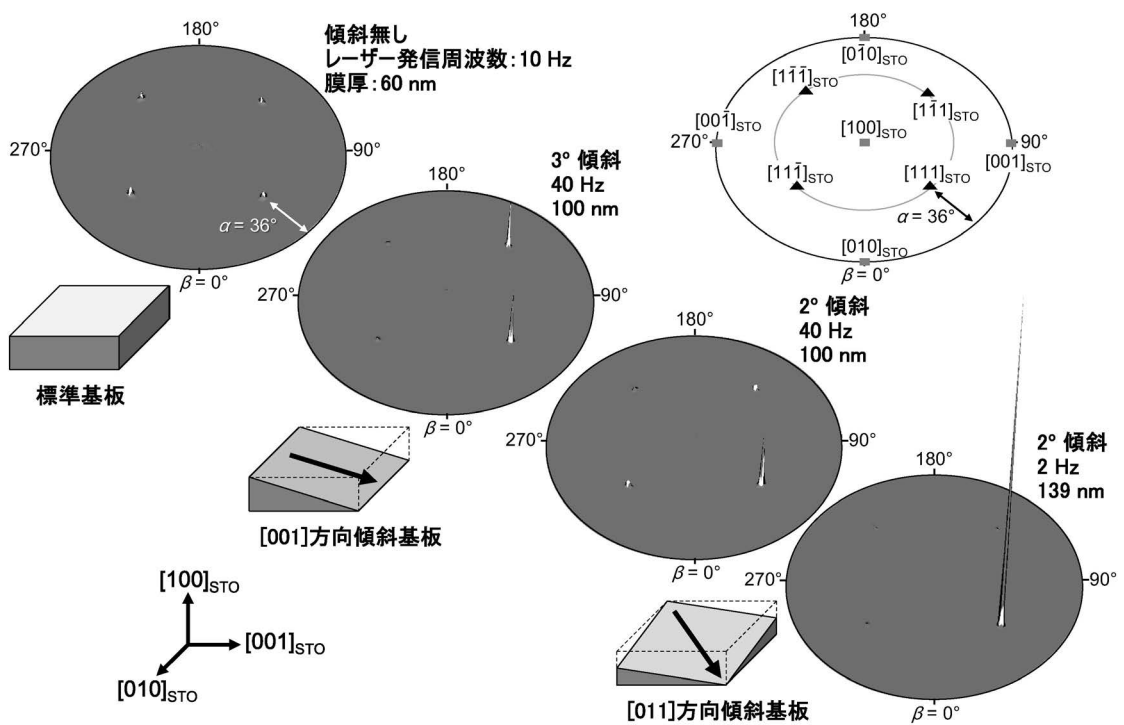


図5 (104)配向 LiCoO<sub>2</sub> 薄膜における003回折の in-plane X線極点図. SrTiO<sub>3</sub> (100)基板の面内傾斜方位と傾斜角度, 堆積速度に対応するレーザー発振周波数の最適化で単一方位化を達成<sup>(11)</sup>.

$\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$ <sup>(4)</sup>のエピタキシャル薄膜化をPLD法により試みた<sup>(19)(20)</sup>. 組成に  $0 < x < 2/3$  の自由度があるが,  $x = 0.11$  に相当する  $\text{Li}_{0.33}\text{La}_{0.56}\text{TiO}_3$  が最も伝導度が高く  $10^{-1} \text{ S m}^{-1}$  台となる<sup>(21)(22)</sup>. 以後LLTOと略すが, LLTOはこの組成付近では  $c$  軸方向にAサイトの規則配列がおきてLa過剰層とLa欠損層が交互に積層するため,  $c$  軸長のみが単純ペロブスカイトの2倍となった正方晶系(厳密には斜方晶系)となる. また, この組成では  $\text{ABO}_3$  のAサイトに相当するLiとLaの総和は0.89となり, これはすなわちAサイトに10%以上の空孔が存在しており, この空孔が高イオン伝導性に寄与していると考えられている<sup>(21)</sup>. Aサイト空孔を真空中での結晶成長中に安定化させるには酸素空孔を含むその他の空孔の生成を抑制せねばならず, そのためには10 Pa前後の高い酸素圧と1000 °C前後の高温が必要となる<sup>(19)</sup>. 基板温度がここまで高温になると, 軽元素としてのガス散乱<sup>(6)</sup>に加えて揮発性元素としての蒸発<sup>(23)</sup>によるLi欠損が顕著となるためLi過剰のターゲットはますます必須となる. Liのみを過剰にしたターゲットでは得られる薄膜の組成がLa過剰になるとともに伝導度が低下する傾向があったため, Li過剰La欠損ターゲットが必要と考えて試行錯誤した結果,  $\text{Li}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{TiO}_3$  組成のターゲットで最も結晶性とイオン伝導度の高いエピタキシャル薄膜が得られた(図6)<sup>(20)</sup>. 尚, より低温且つ低酸素圧でのLLTO薄膜の成長例も報告されており, 比較的高い伝導度が得られているが<sup>(24)(25)</sup>, TiをBサイトとするペロブスカイト系の酸化物では概して酸素欠損により電子伝導が発現してしまうため注意が必要である. 関連して, 薄膜堆積用の基板として, 本来は電子伝導性のない  $\text{SrTiO}_3$  を用いると, 高酸素圧下であっても  $\text{SrTiO}_3$  の基板側にも酸素欠損が導入されて基板自体が電子伝導性を帯びる可能性が高いため, 薄膜面内方向でのイオン伝導性の評価は難しくなる<sup>(26)</sup>. そこで筆者はLLTOとの格子整合を考慮し

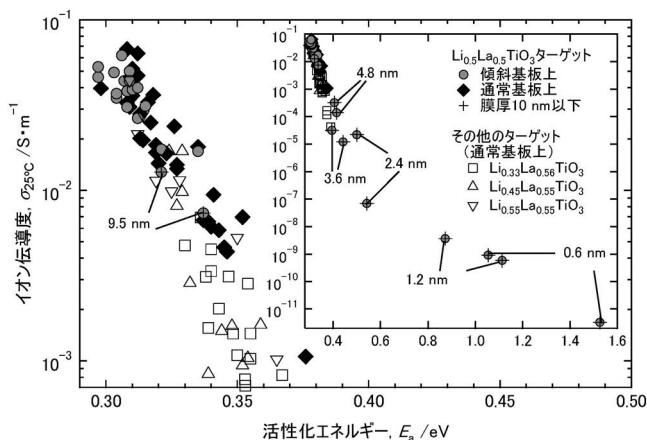


図6  $\text{NdGaO}_3$  (110) 基板上的 LLTO 薄膜の室温でのイオン伝導度を活性化エネルギーに対してプロットした. Li 過剰に加えて La 欠損のターゲットを用いることで伝導度が上がる. しかしながら, 微傾斜基板を用いて  $c$  軸方位を単一方位化しても伝導性に変化は見られない<sup>(20)</sup>.

た上で, 仮に酸素欠損しても電子伝導性を示さない  $\text{NdGaO}_3$  単結晶を基板として用いた<sup>(19)(20)</sup>.

$\text{NdGaO}_3$  は斜方晶系の  $\text{GdFeO}_3$  構造であるが, 歪んだペロブスカイトと見なすことができ, 本研究で用いた  $\text{NdGaO}_3$  (110)面は立方晶系ペロブスカイトの(100)面に相当する.  $\text{NdGaO}_3$  (110)結晶面に正確に切り出した基板では主に  $c$  軸配向したエピタキシャル薄膜となるが, 少量の  $a$  軸配向成分 ( $c$  軸が薄膜面内に寝ている)も混ざってしまう. そこで,  $\text{LiCoO}_2$  (104)配向膜の単一方位化でも用いたように  $\text{NdGaO}_3$  (110)の微傾斜基板を用いたところ,  $a$  軸配向成分がなくなりほぼ完全な  $c$  軸配向の LLTO 薄膜がえられた(図7(b)). しかしながら,  $c$  軸配向膜と  $a$  軸配向が混ざった薄膜で Li イオン伝導度に違いがないことがわかり(図6)<sup>(20)</sup>, この結果から LLTO における A サイトのオーダリングの乱れは Li イオン伝導に対して大きな抵抗にはならないと結論づけられる<sup>(20)</sup>.

LLTO 薄膜を固体電解質層とした積層型の薄膜電池を作製するには  $\text{LiCoO}_2$  またはその他の正極活物質上か, 負極活物質上に成膜する必要がある. しかしながら, イオン伝導度の高い高結晶性の LLTO 薄膜の作製に必要な高温での成膜条件下では  $\text{LiCoO}_2$  が変質してしまい, 現状では負極も含めてこの成膜条件に耐えうるその他の活物質は見つかっていない. さらに, LLTO は Ti を含むため還元に弱く, 最も高容量な負極活物質である金属 Li との接触で Ti が 3 価となり電子伝導性を帯びてしまうため固体電解質として機能しなくなってしまう問題もある. LLTO を固体電解質として用いるには Ti が還元されない高電位の負極活物質と組み合わせるか(電池全体としての発生電位が下がり容量低下), 低電位負極材料によって還元されないよう, 負極材料と LLTO の間に緩衝層を導入する必要がある.

そこで, この緩衝層としても使え, 単独でも固体電解質層

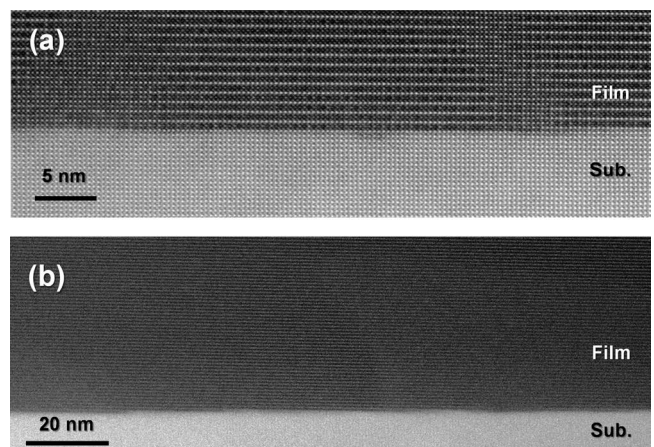


図7  $\text{NdGaO}_3$  (110) 上に成長した LLTO 薄膜の断面 STEM-HAADF 像. (a)  $\text{NdGaO}_3$  (110) 面に正確に切り出した基板上, (b) (110)面から  $[001]$  方向に  $1^\circ$  傾斜した基板上. 観察方位は  $\text{NdGaO}_3$  の  $(1\bar{1}0)$  であり, (b)については傾斜方向と垂直である.

として機能する非晶質  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の成膜を試みた。実は、薄膜型の全固体電池は既に市販もされており<sup>(27)</sup>、ほとんどの薄膜電池では固体電解質層として非晶質の  $\text{LiPON}$  が用いられている<sup>(28)(29)</sup>。 $\text{LiPON}$  とは  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の酸素の一部を窒素に置き換えたものであり、窒素を導入することで  $\text{Li}$  イオン伝導度が向上すると言われている。しかしながら、窒素導入による固体電解質としての安定性の低下が危惧されつつあるだけでなく、構成元素数が増えることで作製条件の最適化もより複雑となる。筆者は窒素の含まれない  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  で  $\text{LiPON}$  と同等の伝導度が出るのであればわざわざ窒素を導入する必要はないとの考えで  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の薄膜化に取り組んでいる。詳細は今後発表予定だが、RF マグネトロンスパッタリング法を用い、様々な困難を乗り越えた結果として、現状では  $\text{LiPON}$  と同等の  $10^{-4} \text{ Sm}^{-1}$  以上の伝導度を示す薄膜が再現性よくえられている。尚、 $\text{Li}_3\text{PO}_4$  は非晶質であることが重要であり、一部でも結晶化すると伝導度は優に3桁以上低下してしまう。よって、成膜温度は非加熱、又は非常に低温とする必要がある。LLTO では主に基板温度が問題で下地の  $\text{LiCoO}_2$  等の活物質が壊れてしまうが、 $\text{Li}_3\text{PO}_4$  ではこの問題はない。しかしながら、詳細は別に譲るが下地となる  $\text{LiCoO}_2$  は正極活物質であり、プラズマを伴う  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の成膜中に  $\text{LiCoO}_2$  へ電位が印加されればその電位に従って充電 ( $\text{Li}$  が抜ける)、または放電 ( $\text{Li}$  が挿入される) されるため、試料電位を  $\text{LiCoO}_2$  が壊れない範囲内に制御できなければ過充電・過放電により結晶が壊れてしまい活性を失う。

#### 4. 負極薄膜

薄膜型全固体電池の負極は、下地が単結晶又はエピタキシャル薄膜であればヘテロエピタキシャル成長等により結晶成長が可能のため  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  等の結晶質の負極材料も選択肢となるが、非晶質の  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  固体電解質薄膜の上に  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  を結晶化させることなく負極を形成するには、低温形成が可能で、結晶質でなくとも活性のある負極材料が必要となる。そのような負極の中で高容量なものとして、 $\text{Si}$  と金属  $\text{Li}$  があげられる<sup>(30)</sup>。

まず  $\text{Si}$  は  $\text{Li}_{22}\text{Si}_5$  の組成まで  $\text{Li}$  が合金化して挿入(ここではこの方向を充電と定義)できるため  $4000 \text{ mAhg}^{-1}$  近くの理論容量となり<sup>(31)</sup>、負極材料中で最高容量の  $\text{Li}$  に肉薄する。これは、現行のリチウムイオン電池における代表的な負極、グラファイトの実に10倍もの容量である。しかしながら充電時に体積が3倍以上に膨れ上がり、放電時には収縮するため体積変化に起因する欠落などで伝導パスが失われ、充放電サイクル時の容量低下が顕著という問題がある<sup>(32)</sup>。 $\text{Li}$  挿入前の  $\text{Si}$  は結晶質でも構わないが、 $\text{Li}$  と合金化した時点でほとんど非晶質化し、それでも活性を失わないため結晶質である必要はない。筆者らも RF マグネトロンスパッタリング法によって非晶質  $\text{Si}$  薄膜を形成し<sup>(33)-(35)</sup>、理論容量に迫る容量を確認するとともに、酸素ドーブ<sup>(34)</sup>、及び  $\text{He}$  をスパッタガスに用いたナノポーラス薄膜化<sup>(35)</sup>、それぞれで高出

力特性を損なうことなく充放電サイクル時の容量低下を劇的に押さえ込むことに成功している(図8, 図9)。尚、これらはステンレス集電体基板上に形成した  $\text{Si}$  薄膜であり、これに硫化物固体電解質圧粉体を押しつけ、対極  $\text{In-Li}$  合金の半電池で計測した結果である。 $\text{LiCoO}_2$  等の正極層が成膜された基板上に  $\text{Si}$  薄膜を形成する場合、正極層との間に非晶質  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  薄膜があるとは言え、正極活物質上への  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の成膜時と同様、正極への過度の  $\text{Li}$  挿入・脱離(過放電・過充電)を防ぐために試料電位の制御が必要となるが、 $\text{Si}$  成膜時には  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  成膜時よりも高い電位がかかる傾向があり電位制御がより難しくなる。

一方の金属  $\text{Li}$  は負極材料の中で最低電位かつ最高容量であるだけでなく、真空中での抵抗加熱蒸着法で成膜できることから、下地の正極層の電位を心配することなく簡便に成膜できる。金属  $\text{Li}$  単体はドライルームでも扱われるが、金属

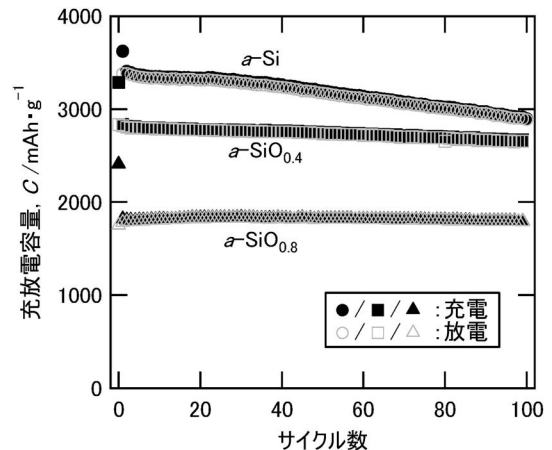


図8 非晶質  $\text{Si}$  負極薄膜(膜厚300 nm)の充放電サイクル特性。充放電時の電流密度は  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。僅かな酸素ドーブにより容量を大きく下げることなくサイクル特性が向上する<sup>(34)</sup>。

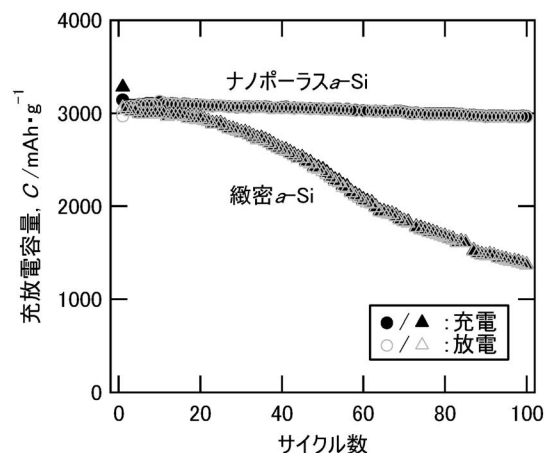


図9 ナノポーラス非晶質  $\text{Si}$  負極薄膜の充放電サイクル特性の緻密膜との比較。充放電時の電流密度は  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。ナノポーラス膜:  $7.4 \text{ gm}^{-2}$ 、厚さ  $4.73 \mu\text{m}$ 。緻密膜:  $7.0 \text{ gm}^{-2}$ 、厚さ  $3.00 \mu\text{m}$ <sup>(35)</sup>。



Na程ではないものの大気中では不安定な材料である。ドライルームなどで扱える金属Liは表面に $\text{Li}_2\text{CO}_3$ などの不動態被膜が形成されており<sup>(36)</sup>、被膜がなければ大気と反応して表面に $\text{LiOH}$ や $\text{Li}_2\text{CO}_3$ を形成するだけでなく、窒素とも反応して暗赤色の $\text{Li}_3\text{N}$ を形成する。よって、蒸着法で金属Liの成膜を行うには、蒸着装置自体をアルゴン雰囲気等の窒素ガス以外のグローブボックス内におさめることに加え、蒸着後の不動態被膜のない金属Li膜が暴露される雰囲気は、水分や酸素だけでなく窒素も存在しない不活性なものである必要がある。

グローブボックスで用いられるグローブの材質はゴムであり、全ての種類のゴムは大なり小なりガスを透過するが、分厚いほど透過しにくい。またゴムの種類で透過しやすいガスの成分も異なるが、中でもブチルゴムは全体としての透過量が最も少ないために多用されている。すなわちブチルゴムであっても少量ながらガスは透過しており、グローブが大気と触れている状態である限り常時大気が流入している。パージ型のグローブボックスであればパージ流量を大気の流入量以上とすることでガス純度を保てる。しかしながら、循環精製器型の場合、水分はモレキュラーシーブで除去しており、酸素については銅触媒やニッケル触媒等の酸化反応で除去するものや、揮発性有機分子の存在下で白金触媒を用いて酸素を燃焼除去するもの等があるが、いずれにおいても水分と酸素の除去速度が大気の流入速度以上であるからこそ、露点と酸素濃度を下げることができている。しかしながら大気の成分は主に窒素であり、一般的な循環精製器には窒素の除去能力がないため、窒素はゆっくりと、しかしながら確実に濃化していく。すなわち、アルゴン雰囲気で使用している循環精製器型のグローブボックスでは何の手立てもしていなければ長期運用するだけで窒素濃度が上がっていく。このような雰囲気に蒸着直後の活性な金属Li膜を曝すと、室温下でも比較的短時間のうちに表面が暗赤色に変色し $\text{Li}_3\text{N}$ となってしまう。窒素存在下で且つ水分が多いとき程 $\text{Li}_3\text{N}$ の形成が顕著であることから、Liの窒化は $\text{LiOH}$ を経由しているのではと考えている。尚、一般にグローブボックスにおいて窒素濃度があまり議論されないのは、酸素センサーや露点計のように比較的安価かつコンパクトな窒素センサーが存在しないことも影響しているように思われる。筆者はグローブボックス内の窒素も含めた不純物ガスを常時モニターするために、差動排気機構を備えた四重極型質量分析計を接続して、リアルタイムでアルゴン以外の不純物ガスの定性と定量を行っている。最近では、安価ではないが、ターボ分子ポンプ込みの差動排気機構を内包しながら20 cm角程におさまる非常にコンパクトな四重極型質量分析装置も販売されており、筆者もLi蒸着用とは別のグローブボックスにて使用をはじめたところである<sup>(37)</sup>。

グローブボックス内の窒素濃度を低く保つには、まず大気流入を防ぐ必要があるが、そのためには未使用時にグローブを大気に触れさせないことにつぎる。グローブボックス内を真空に引ける真空型のものでは、ボックス内にグローブをおさ

めた上でグローブポートを密閉する蓋(グローブハッチ)が装備されているので、これを閉めてグローブとハッチの間に閉じ込められた空気を真空排気すればよい。尚、ハッチを閉めるのみで真空排気しなければ、ハッチ内に閉じ込められた空気がゴムを透過してボックス内に流入していくためほとんど効果はない。また、ハッチを閉めることなくボックス内を陽圧にして、グローブが大気側に張り出した状態にすれば大気の流れが防げそうにも思われるが、小さな穴が空いているグローブであれば穴からの大気流入は防げるかも知れないが、隔壁でのガス透過は各ガス成分の分圧差(濃度差)を駆動力とする拡散であるため、グローブボックス内の圧力を上げても窒素のないボックス内と窒素だらけの大気との分圧差は不変なためガス透過は防げない。また、大気の流れは大気側から試料を導入する時にも起こりえるので準備室(サイドボックス)で十分にガス置換することも重要である。

大気流入を最小限にとどめたとしても、少量でも流入してしまった窒素は除去しない限り留まっている。筆者は清浄Ti表面やクライオヘッドによる吸着など、様々な窒素除去法を試行・検討したが、一時的ではなく恒常的に窒素濃度を低減できる方法として、アルゴンガスの常時パージに行き着いた。大気の流れ速度にもよるが、筆者は常時 $5 \text{ Lmin}^{-1}$ 程度のアルゴンパージによって窒素濃度を二次電子増倍管付きの四重極型質量分析計で検出限界レベルにまで下げている。グローブボックスの雰囲気以外にも良質な金属Li膜を蒸着法で得るためには、被蒸着面を清浄化するなど他にもノウハウがあるがここでは割愛する。

## 5. 薄膜型全固体電池

$\text{LiCoO}_2$ 正極薄膜、非晶質 $\text{Li}_3\text{PO}_4$ 固体電解質膜、金属Li負極膜の順に集電体基板上に積層することで薄膜型全固体電池が作製できる。

理想的には $\text{LiCoO}_2$ の膜厚(実際には重量)で電池の容量が決まり、作製する時間と労力を除けば、表面平坦性が保たれる限り膜厚に制限はない。 $\text{LiCoO}_2$ 自体の電子伝導性は元々あまり高くないが、Liが抜ける(充電される)ことで電子伝導性が劇的に上がり、バルク型の電池では $10 \mu\text{m}$ 前後の $\text{LiCoO}_2$ 二次粒子でも実用的な充放電ができている。しかも一度充電状態にすれば過放電(例えば短絡等)しない限り電子伝導性は保たれる。Liイオン伝導度については結晶方位依存性があることは明らかだが、最も歴史のある正極活物質であるにも関わらず信頼できる伝導度の数値データはまだない状況であり、厚膜化によるイオン伝導性に起因する高抵抗化(低出力化)の可能性は否めない。

固体電解質膜である非晶質 $\text{Li}_3\text{PO}_4$ については、イオン伝導度が $10^{-4} \text{ Sm}^{-1}$ 台であり、現行のリチウムイオン電池で使われている電解液の $10^{-1} \sim 1 \text{ Sm}^{-1}$ と比べると非常に小さいため、可能な限り薄くして抵抗を下げる必要がある。しかしながら薄すぎると $\text{LiCoO}_2$ 正極薄膜上のパーティクル等によって正極と負極が短絡する可能性が出てくるため、ある程

度の厚さが必要となってくる。筆者は250 nm 程度でも電池動作を確認しているが、最小膜厚は下地の  $\text{LiCoO}_2$  薄膜の表面平坦性に加え  $\text{Li}_3\text{PO}_4$  の膜質(恐らく酸素も含めた組成に起因)によっても左右されるため、厚めにしておいた方が無難である。筆者は主に750 nm 程度で電池作製を行っている。

金属 Li 膜については、蒸着法で比較的簡便に作製でき、実は高速堆積の方が良質な膜が得られることもあり、厚膜化することに何ら問題はない。その一方で、電池においては正極と負極の容量バランスを考える必要があり、単純な比較では充電容量  $137 \text{ mAhg}^{-1}$  (@4.2 V) の  $\text{LiCoO}_2$  に対して  $4000 \text{ mAhg}^{-1}$  前後の金属 Li の必要量はほんの僅かである。それに加えて  $\text{LiCoO}_2$  薄膜は放電状態(Li が最も入った状態)で形成され、充電時に Li が抜けて電解質層を介して負極側に金属 Li として析出するので、理想的には金属 Li 負極の蒸着は不要であり、集電体のみでよいことになる。しかしながら、 $\text{LiCoO}_2$  から抜けた Li が全て可逆的に振る舞えばよいのだが、一部の Li が固体電解質中や活物質・固体電解質界面等にトラップされてしまうと、電池を組んだ直後の充電容量に対して放電できる容量が小さくなり、サイクル可能な容量が減ってしまう。さらに、前述のとおり金属 Li は不安定な材料であり、雰囲気次第で表面から  $\text{Li}_3\text{N}$ ,  $\text{LiOH}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  等に変化していく可能性があるため、Li 原料が十分にあるのであれば金属 Li は厚めに積んでおくべきである。筆者は水品振動子を頼りに約  $5 \mu\text{m}$  の金属 Li 膜を形成して電池を作製している。

これらを全て踏まえて作製した金属 Li/非晶質  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ / $\text{LiCoO}_2$  薄膜電池は良好に動作しており、例えば  $\text{LiCoO}_2$  薄膜の結晶配向方位が出力特性に与える影響などが明らかになってきている(図10)。現在はそれぞれの部材の膜厚や成膜条件、さらには電池作製後の後処理手法等について試験してさらに良好な電池動作を目指すとともに、各界面における抵抗の解析などの界面研究を遂行している。

## 6. おわりに

容量で有利なバルク型の酸化物系全固体電池の開発に向けて、薄膜技術を駆使して薄膜型の酸化物系全固体電池を作製し、なんとか電池動作が可能となるまでたどり着いた。既に薄膜電池が市販されている状況下で、本稿で示した結果はある意味当たり前のことばかりで驚くようなものではないが、まずは机上でそうあるべきことが実証できなければその先は望めない、というのが筆者のスタンスである。ここまでの感触として、電池特性は主に正極である  $\text{LiCoO}_2$  の、配向方位だけでなく結晶品質で大きく左右されていると考えている。また、同じ  $\text{LiCoO}_2$  薄膜を用いて電池を作製しても、内部抵抗が大きいものや小さいものもできており、その違いは成膜条件を含めた作り方に大きく依存している。今後はこれらのメカニズムを明らかにして高性能な薄膜電池を作製するとともに、バルク型の酸化物系全固体電池の作製手法にフィードバックしていきたい。

本研究は、文部科学省の委託事業「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発プログラム」、並びに科研費助成事業(16K06737)の助成を受けて行われた。ここに感謝申し上げます。

## 文 献

- (1) N. Kamaya, K. Homma, Y. Yamakawa, M. Hirayama, R. Kanno, M. Yonemura, T. Kamiyama, Y. Kato, S. Hama, K. Kawamoto and A. Mitsui: *Nat. Mater.*, **10**(2011), 682–686.
- (2) Y. Seino, T. Ota, K. Takada, A. Hayashi and M. Tatsumisago: *Energy Environ. Sci.*, **7**(2014), 627–631.
- (3) Y. Kato, S. Hori, T. Saito, K. Suzuki, M. Hirayama, A. Mitsui, M. Yoneyama, H. Iba and R. Kanno: *Nat. Energy*, **1**(2016), 16030.
- (4) Y. Inaguma, C. Liqun, M. Itoh, T. Nakamura, T. Uchida, H. Ikuta and M. Wakihara: *Solid State Commun.*, **86**(1993), 689–

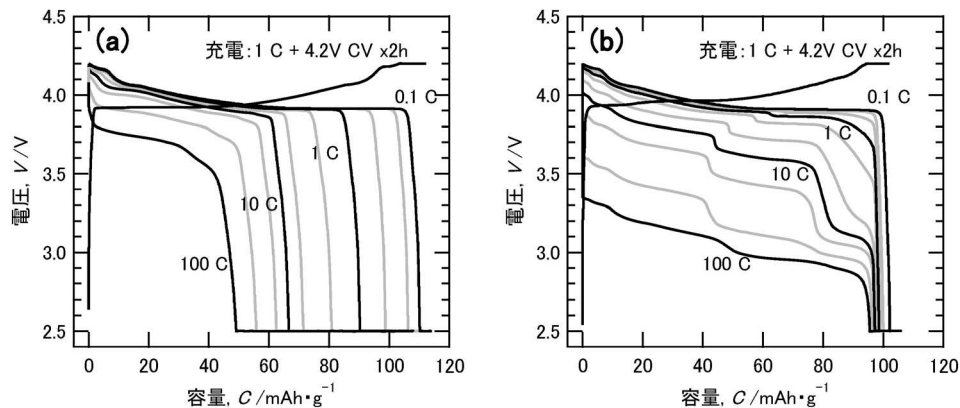


図10 電子伝導性  $\text{SrTiO}_3$  単結晶基板上に  $\text{LiCoO}_2$  (厚さ100 nm), 非晶質  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ , 金属 Li の順に積層して形成したエピタキシャル正極薄膜電池の高率放電特性. (a) (001)配向  $\text{LiCoO}_2$  薄膜, (b) (104)配向  $\text{LiCoO}_2$  薄膜. 1 C とは活物質重量から算出した容量を1時間で充電又は放電するための電流値であり, 100 C では充電・放電が36 s で完了することになる.



# 第一原理計算に基づく非金属材料中の 点欠陥挙動に関する理論的研究

熊谷 悠\*

## 1. はじめに

固有点欠陥や不純物元素は物質中に普遍的に存在し、電気伝導性、光学特性、機械特性、イオン輸送特性、強誘電性、超伝導性など多様な物性を支配する重要な役割を担っている。また点欠陥は、これら基礎物性のみならず、太陽電池、光触媒、イオン伝導体、トランジスター、発光ダイオード等、様々な実用材料研究とも密接な関係があり、点欠陥の性質を詳細に理解し制御することが、より優れた材料開発を行う上で重要となる。そこで近年、計算手法の改善と計算機性能の向上が相まって、第一原理計算を用いた点欠陥に関する理論研究分野が発展してきた<sup>(1)</sup>。

私は3年前に、半導体中点欠陥の高精度第一原理計算手法に関する解説記事をまてりあに寄稿している<sup>(2)</sup>。ここでは、計算の実用例として、太陽電池の光吸収材料への応用が期待されているZnSnP<sub>2</sub>中の固有点欠陥計算に関する研究<sup>(3)</sup>を紹介した。本稿では、前回とは少し異なる観点から、非金属材料中点欠陥を対象とした第一原理計算手法に関して解説を行った後、近年、我々が行ってきた研究進捗に関していくつか報告する。

## 2. 欠陥形成エネルギー計算の高精度化と諸問題

物質中の点欠陥を対象に第一原理計算を行う際、結晶から切り出してきた大きなクラスターを用意し、その中心に点欠陥を配置したモデルを計算する方法と、単位格子を各格子ベクトルの長さがおおよそ同じになるように拡張したセル(スーパーセル)に点欠陥を導入し、周期的境界条件の下で計算する方法の2種類がある。近年では、高速かつ汎用的な計

算が可能な、平面波基底を用いた第一原理計算プログラムパッケージが広く利用されており、後者のスーパーセル法を用いることが主流となってきている。そこで本稿でも、後者の方法に関して詳しく説明を行うこととする。

バンドギャップを有する物質中における電荷 $q$ を持つ欠陥種 $D$ の形成エネルギー $E_f[D^q]$ は、熱力学に基づいた次の式で計算される<sup>(4)(5)</sup>。

$$E_f[D^q] = \{E[D^q] + E_{\text{corr}}[D^q]\} - E_P - \sum_i n_i \mu_i + q\{\epsilon_{\text{VBM}} + \Delta\epsilon_F\} \quad (1)$$

ここで、 $E[D^q]$ は欠陥を含むスーパーセルの全エネルギー、 $E_P$ は欠陥導入前のスーパーセルの全エネルギー、 $n_i$ は欠陥を含むスーパーセルを構築する際に追加もしくは取り除いた原子数で、原子を導入する場合は正、取り除く場合は負となる。 $E_{\text{corr}}[D^q]$ は後述するセルサイズ依存性の補正項であり、また $\mu_i$ は元素 $i$ の化学ポテンシャル、 $\epsilon_{\text{VBM}}$ は価電子帯上端(VBM)のエネルギー位置、 $\Delta\epsilon_F$ はVBMからのフェルミ準位のエネルギー位置を表す。但し $\epsilon_{\text{VBM}}$ は、任意性のある静電ポテンシャルの基準に依存する為、計算プログラムやコアポテンシャルの取り扱い方によって変化する。しかし、式(1)において、 $E[D^q]$ を足し合わせることで、ポテンシャルの定数シフトの寄与が相殺される為、ポテンシャルの基準は結果に影響を及ぼさない。また、各欠陥における原子数と電子数の変化分は、系の粒子溜とのやり取りにより生じていることから、巨視的に見た場合、原子数・電子数が保存されている。式(1)は平衡条件を仮定して算出されており、 $\mu_i$ は平衡している競合相との平衡条件下で算出される。例えば、MgOがMgと平衡している場合、 $\mu_{\text{Mg}}$ はMg金属の化学ポテンシャルとなり、 $\mu_{\text{O}}$ は $\mu_{\text{MgO}} - \mu_{\text{Mg}}$ となる。

一般的な計算の流れとしては、まず $\Delta\epsilon_F$ を変数として扱い、考えられる欠陥種のような帯電状態のエネルギーを算出

\* 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻；特准准教授：(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 材料工学専攻量子材料科学研究室)  
Point Defects in Non-metallic Materials from First Principles; Yu Kumagai(Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto)  
Keywords: *first-principles calculations, point defects, semiconductors, nitrides, sulfides, electronic structure*  
2019年3月11日受理[doi:10.2320/materia.58.320]

した後、電気的中性条件から平衡フェルミ準位  $\Delta\epsilon_F$  を計算する<sup>(3)</sup>。

半導体の電気伝導性を示すキャリア濃度は、およそ  $10^{12}$ – $10^{17}$   $\text{cm}^{-3}$  の範囲にあり、原子サイト辺りの割合は  $10^{-10}$ – $10^{-5}$  と極めて低い。そこで通常は、希薄極限における欠陥形成エネルギーを求めることを目的とする。しかしながら、標準的な平面波基底のプログラムを用いる場合、高々数百原子までのモデルしか取り扱うことができず、実際の欠陥濃度と比べてより高濃度なモデルで計算を行うこととなる。だが中性でかつ水素様状態のキャリアを捕縛していない点欠陥であれば、100原子程度からなるスーパーセルであっても、希薄極限における欠陥形成エネルギーと非常に近い値を算出することができる。例として図1(a)に、MgO中の

中性酸素空孔の形成エネルギーのセルサイズ依存性を示す。これを見ると、64原子のスーパーセルであっても、その誤差は無視出来る程に小さい。尚、本稿で出てくる計算結果は全て、平面波基底PAW法<sup>(8)</sup>に基づく計算を、VASPコード<sup>(9)</sup>を用いて行っている。この結果は、周期的に配列する欠陥同士の弾性相互作用が極めて小さいことを意味する。しかし問題となるのは、点欠陥が帯電している場合もしくは水素様状態のキャリアをトラップしている場合である。

まず前者の帯電した点欠陥の場合を考える。3次元的に同じモデルを繰り返す周期的境界条件下では、等間隔に並ぶ帯電した欠陥と、静電ポテンシャルの発散を避けるための欠陥と逆符号の電荷を持つ一様背景電荷が導入される。この結果、欠陥同士及び欠陥-背景電荷間の相互作用に起因する静

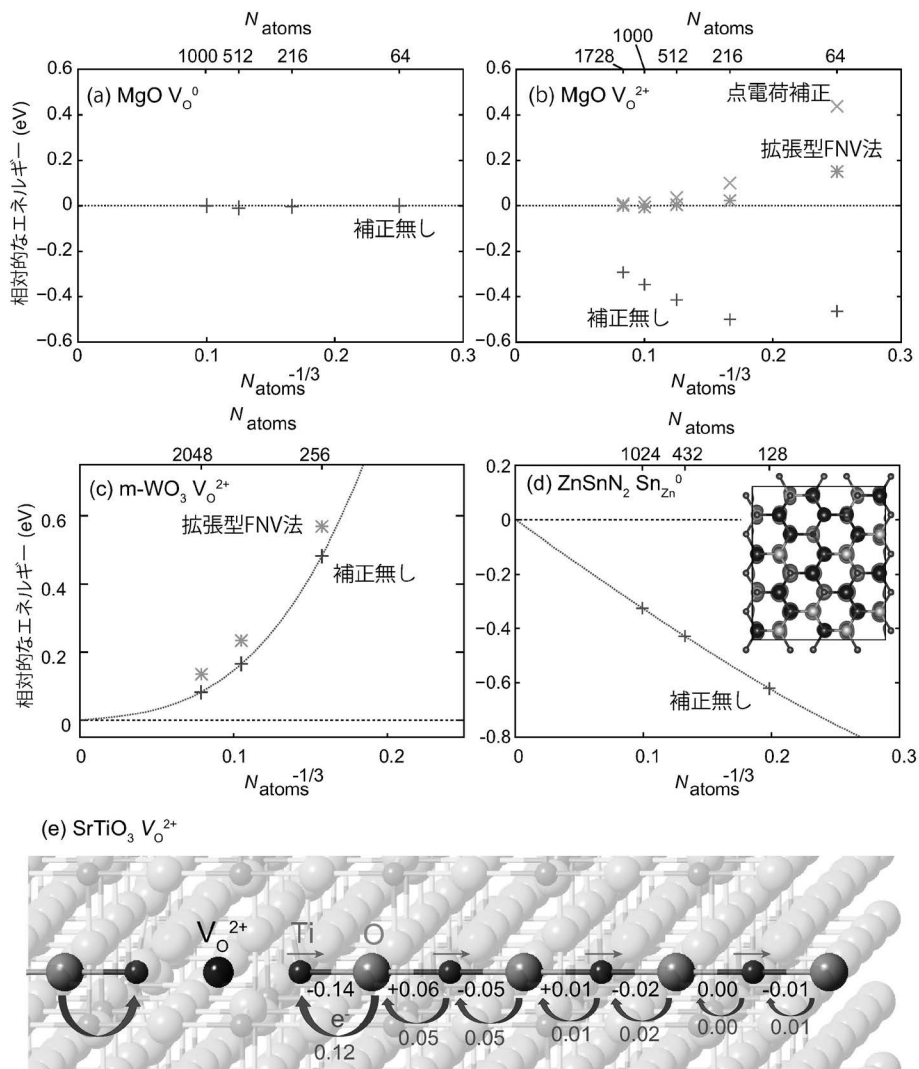


図1 (a, b) MgO 中での (a) 中性及び (b) 2+ に帯電した酸素空孔<sup>(5)</sup>, (c) 単斜晶 WO<sub>3</sub> 中での 2+ に帯電した酸素空孔<sup>(6)</sup>及び (d) ZnSnN<sub>2</sub> 中での中性に帯電した Zn 上に置換した Sn アンチサイト<sup>(7)</sup>の形成エネルギーのセルサイズ依存性。横軸は、原子数の  $-1/3$  乗に取っており、立方晶系では格子定数の逆数に比例する。エネルギーは、相対誤差を評価するため、収束が見られる場合は最も大きなスーパーセルにて算出される値に補正項を加えたものを基準とし、そうでない場合は外挿して得られる値を基準とした。また (d) 中に 128 原子の計算でエネルギー的に最も高い位置にある占有準位、すなわちドナー準位の空間分布を示す。(e) SrTiO<sub>3</sub> 中の 2+ に帯電した酸素空孔における、Ti-O 方向の原子変位(上)とそれに伴う Bader 電荷により算出された電荷移行の値(下)。

電相互エネルギーが、暗に  $E[D^q]$  に含まれる。これは、通常100原子程度のスーパーセルを用いた場合、数100 meVから数 eV のエネルギー誤差をもたらす。図1(b)に2+に帯電した MgO 中の酸素空孔の形成エネルギーのセルサイズ依存性を示すが、中性の場合とは対照的に大きなセルサイズ依存性があることがわかる。尚、ここで算出される  $E_f[D^q]$  は、背景電荷に起因する相互作用を含む為、計算しているモデルの欠陥濃度(例えば100原子モデル中の1つの空孔であれば1%)におけるエネルギーに対応している訳ではないことに注意する必要がある。

この周期的境界条件に起因するエネルギー誤差の補正項  $E_{MP}$  は、立方晶系を等方的に拡張した場合を仮定すると、以下のように書き下すことができる<sup>(5)(10)</sup>。ただしこの補正の重要な前提条件として、欠陥がスーパーセルの中に収まっている必要がある。

$$E_{MP} = E_{PC} - \frac{2\pi qQ}{3\epsilon L^3} + \frac{2\pi p^2}{3\epsilon L^3} + O(L^{-5}) \quad (2)$$

ここで初項  $E_{PC}$  は、帯電した点欠陥を点電荷とみなした際の補正エネルギー(点電荷近似)である。また  $\epsilon$  は誘電定数、 $L$  はスーパーセル一辺の長さ、 $\mathbf{p}$  は欠陥の作る双極子モーメント、 $Q$  は電荷の2次モーメントを表し、欠陥電荷  $\rho_d(\mathbf{r})$  を用いて  $Q = \int r^2 \rho_d(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$  と書ける。 $E_{PC}$  は  $L^{-1}$  オーダーで依存するため、通常100原子以上の大きさのスーパーセルでは主要な項となる。第二項は、欠陥の大きさを考慮した補正項であり、数十原子といった小さなスーパーセルを用いた場合には  $E_{PC}$  と同程度の影響がある。また第三項は、欠陥間の双極子-双極子相互作用に対する補正項であり、通常は無視できる程に小さい。

歴史的には、Leslie と Gillan が、KCl と CaF<sub>2</sub> 中の点欠陥を対象に、点電荷近似を用いた補正を行った<sup>(11)</sup>。その後、Makov と Payne が、スーパーセル法を用いて分子のイオン化ポテンシャルを算出するため、式(2)を導出した<sup>(10)</sup>。だが固体中の点欠陥計算においては、欠陥電荷の空間分布  $\rho_d(\mathbf{r})$  が結晶中では陽に定義できず、欠陥電荷の2次モーメント  $Q$  を直接算出することができない。そこで、第二項を近似的に計算する為の様々な方法が提案されてきた。その内最も洗練された方法の1つが、2009年に Freysoldt らにより提案された方法(FNV法)である<sup>(12)</sup>。この方法では、欠陥から遠く離れた場所での静電ポテンシャルと点電荷モデルの下で計算される静電ポテンシャルの定数シフト量を用いて、直接計算することができなかった第二項を間接的に計算することができる<sup>(2)(5)</sup>。しかし従来のFNV法では、厳密には立方晶系にしか適用できなかったため、我々はFNV法を任意の結晶系に適用できる拡張法を提案した(拡張型FNV法)<sup>(5)</sup>。これにより、多様な物質中の様々な種類の点欠陥の形成エネルギーを、100原子程度の小さなスーパーセルを用いた場合でも、0.2 eV 以下の誤差で算出することが可能となった。詳細に関しては、文献<sup>(2)(5)</sup>を参照していただきたい。

しかしながら、式(2)に基づいた補正の枠組みでは、欠陥がスーパーセルの中に収まっていない場合にはうまく補正

ができない。そのような一例として、最近我々は、SrTiO<sub>3</sub> や WO<sub>3</sub> など、形式電荷から大きく乖離した特異なボロン有効電荷を示すペロブスカイト類縁酸化物(例えば SrTiO<sub>3</sub> や WO<sub>3</sub> では、O-B-O(B=Ti, W)直鎖方向の酸素のボロン有効電荷はそれぞれ-5.5と-10.1)中では、2価に帯電した酸素空孔の形成エネルギーが、顕著なセルサイズ依存性を示すことを見出した(図1(c))<sup>(6)</sup>。これらの欠陥周辺の原子変位と原子サイト上の静電ポテンシャルを解析した結果、カチオンが配位する方向の構造緩和に伴う、Bサイト原子と酸素原子間の電荷移行により、1次的に広がった欠陥状態が生じていることが分かった。図1(e)に、SrTiO<sub>3</sub> 中の2+に帯電した酸素空孔の例を示すが、通常の酸化物中では見られない長距離にわたる構造緩和と電荷移行が確認できる。これは Ti-O 距離に大きく依存する共有結合性により、距離の変化に対して電荷移行が生じることに由来する。このような場合、小さなスーパーセルを用いて計算すると、隣接するスーパーセル中の欠陥が大きく重なり合う為、欠陥がスーパーセルの中に収まっていることを前提とした式(2)の補正の枠組みではうまく補正できない(図1(c))。そこで、このような1次的に広がった欠陥に関しては、異なるサイズのスーパーセルを用いて得られた形成エネルギーを外挿するか、1次元方向に大きく拡張したスーパーセルを用いた計算を行う必要がある。

次に、水素様状態のキャリアをトラップした場合の問題を考える。例えば、Siにおいて、Siサイトに置換した中性のB(B<sub>Si</sub><sup>0</sup>)では、水素様に広がったホールがB<sub>Si</sub>を中心にトラップされる。その捕縛エネルギーは45 meVと極めて低く、多くのホールが室温(26 meV)でVBMに励起され、電気伝導に寄与する事ができる。その時、ホールの有効半径は数nmと極めて大きく、数百原子程度のスーパーセルでは、やはり隣接するスーパーセル中のホールと強く重なり合う為、点欠陥の形成エネルギーを精度よく計算することができない。孤立した水素様状態のキャリアをトラップした欠陥の例として、図1(d)に窒化物半導体 ZnSnN<sub>2</sub> 中の、中性のZnサイト上 Sn アンチサイト(Sn<sub>Zn</sub><sup>0</sup>)のセルサイズ依存性を示す。Sn<sub>Zn</sub><sup>0</sup>では、図1(d)の中に示すように、2つのゆるくトラップされた水素様電子がスーパーセル全体に広がっている。この時、同じ中性であるMgO中のV<sub>O</sub><sup>0</sup>ではみられなかった顕著なセルサイズ依存性がみられる。さらに興味深いことに、Sn<sub>Zn</sub><sup>0</sup>はSn<sub>Zn</sub><sup>2+</sup>と極めて近いセルサイズ依存性を示す。これは、空間的に広がった水素様ドナー電子が背景電荷と同様の役割を担い、帯電した欠陥と相互作用するためである。同様のことは、ZnO中の格子間亜鉛についても報告がなされている<sup>(13)</sup>。これを見ると1024原子のモデルを用いた場合であっても、エネルギーが0.3 eV程過小評価され、その結果、伝導帯下端(CBM)から見た欠陥の遷移準位が過大評価される。一般に、水素様状態を高精度に計算するためには、数万原子以上からなるスーパーセルを採用する必要があるため<sup>(14)</sup>、通常、水素様状態のキャリアに関しては、捕縛エネルギーなどの定量的な議論を避け、定性的に浅い準位を有す

る水素様状態であることを言及するに留めている。

### 3. 様々な物質系への応用

ここからは、先に紹介した研究手法を用いて、いくつかの物質中の点欠陥を対象に、我々が行った研究に関して紹介する。

#### (1) 2元系硫化スズ<sup>(15)</sup>

2元系硫化スズは、安価でかつ地球上に豊富に存在するスズと硫黄元素で構成されていることから、様々な材料としての応用が期待されている。図2に示す様に、2元系硫化スズにはSnS, SnS<sub>2</sub>及びSn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>の3つの安定な組成が存在する。

SnSは歪んだGeS構造と見て取れる層状構造を有しており、鉱物として天然に存在する。SnSは、太陽電池の光吸収層としての応用が検討され、また熱電材料やバレートロニクス観点からも注目されている。一方、SnS<sub>2</sub>も同様に層状構造を有しているが、SnSとは異なり、Sn層をSイオンで挟んだ電的に中性なSnS<sub>2</sub>層が弱いファンデルワールス力で結合している。その応用としては、2次元系半導体やLi電池の電極、ガスセンサー、フィールドエミッターなどが考えられている。またSn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>は、局所的にSnSとSnS<sub>2</sub>の構造を有しており、Sn<sup>2+</sup>とSn<sup>4+</sup>の異なる価数のSnが1つの物質で安定的に実現している極めて珍しい物質である。しかしながら他の2つの物質と異なり、Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>を材料として応用することを目的とした研究は皆無である。

我々は、電子構造、バンド端位置、点欠陥特性の計算を通して、2元系硫化スズの半導体材料としての性質を理解することを目的とした。特に各2元系硫化スズが異なる伝導性を示す原因の解明と、ドーピングによる両極性発現の可能性に関する検討を行った<sup>(15)</sup>。

まず真空準位を基準としたバンド端位置の計算結果を図3

(a)に示す。尚、2元系硫化スズ研究での計算は、構造緩和と全エネルギーの評価はファンデルワールス補正<sup>(16)</sup>を加えたPBE汎関数<sup>(17)</sup>で行い、バンド端の算出にはPBE計算に基づいたGW<sub>0</sub>近似<sup>(18)</sup>を用いた。これを見ると、CBMは0.2 eVの範囲で同程度の位置に存在するが、Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>のVBMは、SnSと比べて0.4 eV低くなっている。これは、価電子帯を構成するSn-5s由来のローンペアを作る占有バンドの数が半分になることから、バンド分散が小さくなることによ

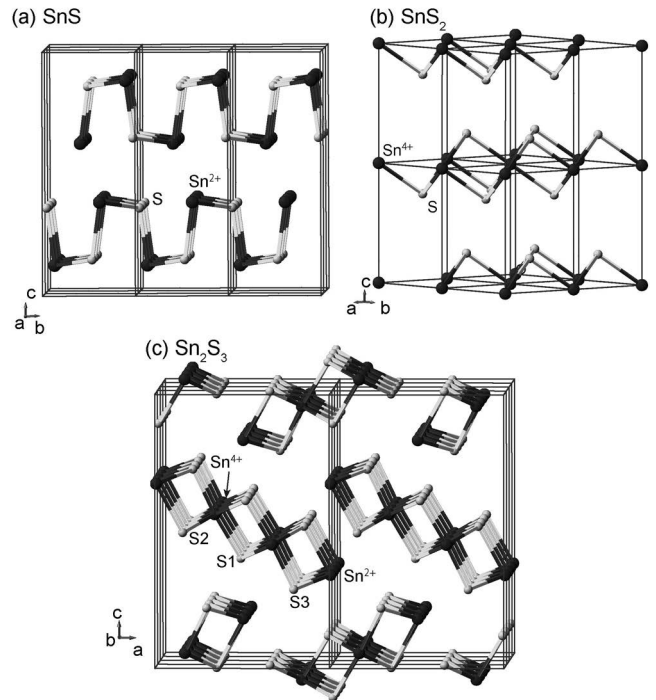


図2 (a) SnS, (b) SnS<sub>2</sub>及び(c) Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>の結晶構造図。Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>においては、Bader電荷に基づいて定めたSnの形式電荷及び非等価なSサイトを示している。

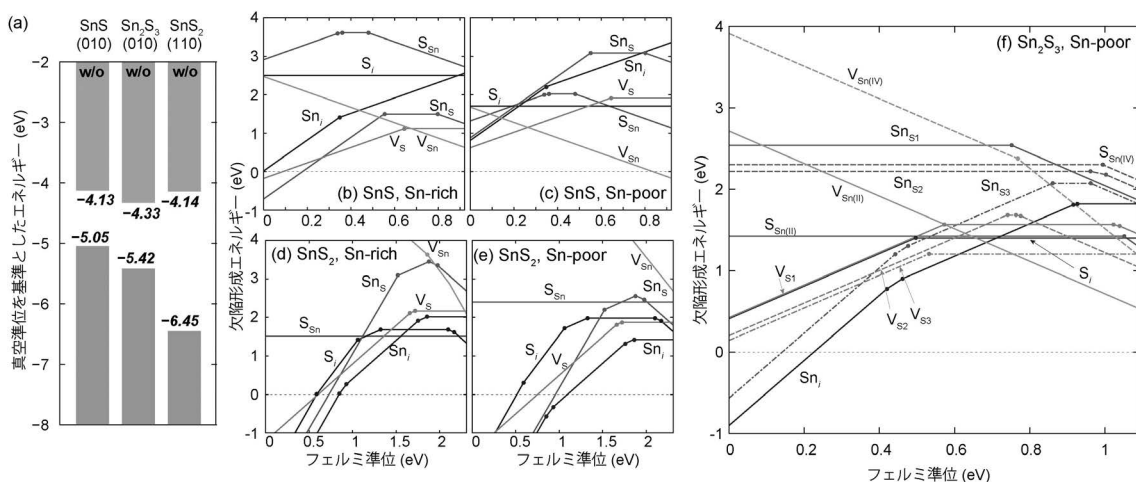


図3 (a) 第一原理計算により得られた、真空準位を基準とした価電子帯および伝導帯のエネルギー位置。ここでは表面構造の依存性を取り除く為、電的に中性な面において、構造緩和をしない条件下での計算値を示している。(b, c) SnS, (d, e) SnS<sub>2</sub>, (f) Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>中の固有点欠陥形成エネルギーのフェルミ準位依存性。SnS及びSnS<sub>2</sub>に関しては、(b, d) Sn-rich, (c, e) Sn-poor条件下での値を示している。詳細は本文を参照。

と思われる。一方  $\text{SnS}_2$  では、ローンペアが作るバンドが完全に非占有になるため、VBM が更に 1 eV 程低くなっている。

次に図 3(b)–(f) にそれぞれの 2 元系硫化スズ中の固有点欠陥の計算結果を示す。ここで、 $\text{SnS}$  と  $\text{SnS}_2$  に関しては、 $\text{Sn}$ -rich と  $\text{Sn}$ -poor の両方の条件を示しているが、 $\text{Sn}_2\text{S}_3$  では化学ポテンシャルの可変な範囲がほぼゼロである為、 $\text{SnS}$  と  $\text{SnS}_2$  の両方と平衡する条件下での欠陥形成エネルギーを算出している。

図 3(b, c) より、 $\text{SnS}$  中の主要な欠陥種は  $\text{Sn}$  空孔 ( $V_{\text{Sn}}$ ) 及び  $\text{S}$  空孔 ( $V_{\text{S}}$ ) であることがわかる。また、 $\text{Sn}$ -rich 条件下では、フェルミ準位が価電子帯に近い位置に存在する場合、 $\text{S}$  サイト上の  $\text{Sn}$  のアンチサイト欠陥 ( $\text{Sn}_{\text{S}}$ ) のエネルギーが大きく下がる。これらの欠陥の内、 $V_{\text{Sn}}$  は浅いアクセプター、 $V_{\text{S}}$  は深いドナー、 $\text{Sn}_{\text{S}}$  は深いドナー及びアクセプターになることから、 $\text{SnS}$  の  $p$  型伝導の起源は  $V_{\text{Sn}}$  に由来すると思われる。またバンド端位置の解析と Malone らの先行研究<sup>(19)</sup> から、塩素元素が適切な  $n$  型ドーパントとなることが予測されるが、事実、最近塩素ドーピングによる  $n$  型  $\text{SnS}$  が実験的に報告されている<sup>(20)</sup>。

一方、図 3(d, e) を見ると、 $\text{SnS}_2$  では  $V_{\text{Sn}}$  の形成エネルギーが非常に大きい。これは  $\text{SnS}$  では、 $\text{Sn}$  周りの  $\text{S}$  が 3 配位であるのに対し、 $\text{SnS}_2$  では 6 配位となっていることによると思われる。また、 $\text{SnS}_2$  で実験的に報告されている  $n$  型伝導は、格子間のスズ ( $\text{Sn}_i$ ) に由来すると思われる。一方  $\text{SnS}$  では高いエネルギーを有する  $\text{Sn}_i$  が  $\text{SnS}_2$  で低くなるのは、 $\text{SnS}_2$  における層間がより広がっているためである。この結果、 $\text{Sn}_i$  が 0.8 eV 以上の深いフェルミ準位のピニングを形成することから、 $p$  型ドーピングが極めて困難であると推測される。このことは、 $\text{SnS}_2$  が他と比べて極めて深い VBM を形成することとも一致する。

また  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  では、 $\text{SnS}$  と  $\text{SnS}_2$  の平均的構造を取ることから推測される通り、 $\text{S}$  が 3 配位する 2 価の  $\text{Sn}$  空孔 ( $V_{\text{Sn(II)}}$ ) と  $\text{Sn}_i$  のエネルギーが低くなっている。その結果、 $\text{Sn}_2\text{S}_3$  の  $n$  型伝導は  $\text{Sn}_i$  によりもたらされていると思われる。しかし

ながら、 $\text{Sn}_i$  の作るフェルミ準位のピニング位置は、VBM から 0.2 eV 程度であり、適切なドーパントを導入することにより  $p$  型伝導が実現可能になると思われる。そこで  $\text{Sn}^{2+}$  と  $\text{Sn}^{4+}$  のどちらのサイトにおいてもアクセプターとなると期待される、1 価カチオンドーパントを対象に第一原理計算を行った。

図 4 に、 $\text{Sn}_2\text{S}_3$  に導入された  $\text{Cu}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  不純物が、 $\text{Sn}$  サイト、 $\text{S}$  サイト、格子間サイトのいずれかを占有した際の欠陥形成エネルギーを示す。これから、ドーパントのイオン半径が大きい程 ( $\text{Cu}: 0.074 \text{ nm}$ ,  $\text{Na}: 0.113 \text{ nm}$ ,  $\text{K}: 0.151 \text{ nm}$ )<sup>(21)</sup>、格子間サイトでのエネルギーが増大し、 $\text{Sn}^{2+}$  サイトに入る方が相対的に安定となる。その結果、イオン半径が最も大きい  $\text{K}$  ドーパントが  $p$  型  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  実現のための良い候補となる。

## (2) ScN<sup>(22)</sup>

13 族窒化物は、 $\text{GaN}$  の LED への応用を初めとし、様々な産業用途へと応用されている。最近では、単結晶や薄膜の生成技術の向上と共に、13 族窒化物のみならず、新規窒化物の探索とその応用に関する基礎・応用研究が精力的になされるようになって来た。ScN もそれら新規窒化物の 1 つとして、近年、精力的に研究がなされている。

13 族窒化物がウルツ鉱構造を取るのとは対照的に、ScN は岩塩型構造を有する。また 13 族窒化物と比べて極めて安定であり (図 5(a))、それが高融点、高硬度に繋がっている。実際、マテリアルズプロジェクトの計算データベース<sup>(23)</sup>によると、ScN は 95 種の 2 元系窒化物の中で最も安定である。さらに最近では、光電子材料、熱電材料、 piezo 素子材料としての応用研究が報告されている。

点欠陥挙動に関しては、窒素空孔や酸素、フッ素、タンタル元素などの不純物の混入により、高濃度の電子キャリアが自発的に導入される。その結果、Burstein–Moss シフト<sup>(24)(25)</sup>により、出発原料や合成条件に依存して、光学ギャップが 2.0 eV から 2.8 eV の範囲で変化する。だがもし電子キャリアを更に導入することで光学ギャップを紫外領域にま

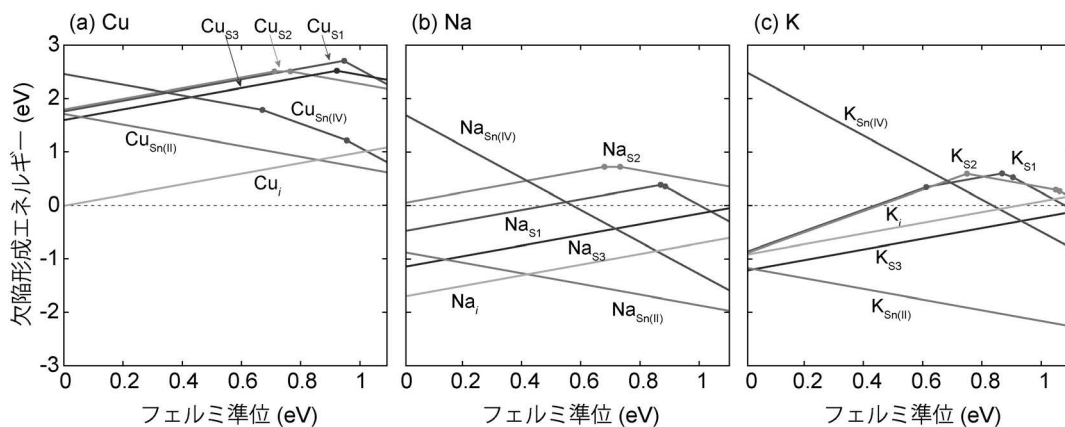


図 4  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  における、(a)  $\text{Cu}$ 、(b)  $\text{Na}$  及び (c)  $\text{K}$  不純物の欠陥形成エネルギー。ドーパントの化学ポテンシャルは単体のエネルギーに設定しており、主に各図における相対的なエネルギーが重要となる。



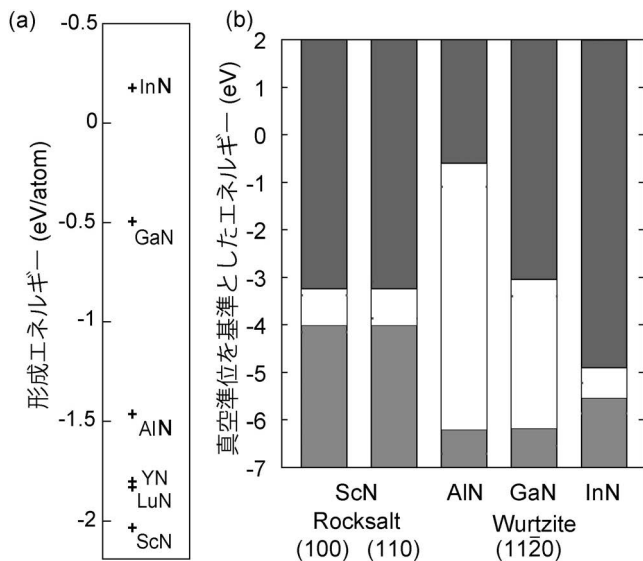


図5 HSE06汎関数により計算された、(a) 3族及び13族窒化物における形成エネルギーと(b) 真空準位を基準とした価電子帯および伝導帯のエネルギー位置。(b)では、電気的に中性な表面モデルにおいて、構造緩和を行わない場合の結果を示している。

で広げることができれば、透明導電膜への応用が期待でき、逆に電子キャリアを抑制することができれば、半導体材料としての応用の可能性が開ける。また3族窒化物の点欠陥の特性を知ることで、13族窒化物における点欠陥挙動に対しても重要な知見を得ることが可能となる。そこで本研究では、ScN中の固有点欠陥と不純物元素を対象に第一原理計算を行うこととした。

まず2元系硫化スズの場合と同様、真空準位を基準としたバンド端位置を図5(b)に示す。尚、ScNの計算には、半導体のバンドギャップを良く再現することが知られるHSE06汎関数<sup>(26)</sup>を用いている。この結果を見ると、13族窒化物と比較して、2 eV程高い位置にVBMがあることがわかる。これは、13族窒化物が4配位であるのに対して、ScNは6配位と配位数が増えることにより、価電子帯のバンド分散が大きくなることによると考えられる。実際、価電子帯の軽い方向の有効質量は $0.8 m_0$  ( $m_0$ は自由電子の質量)であり、GaNの $2.0 m_0$ と比べて半分以下の値となっている。

次に図6(a)-(d)に、ScN中の固有点欠陥及び不純物の形成エネルギーに関する計算結果を示す。ここでは、Sc-rich及びN-richの両方の条件を示しているが、ScNが極めて安定であることから、合成条件によって化学ポテンシャルが大きく変化し、その結果、欠陥形成エネルギーも大きく変化する。特にN空孔( $V_N$ )の形成エネルギーは、Sc-rich条件下ではフェルミ準位の広い範囲でエネルギーが負になっている一方で、N-rich条件では非常に高くなっている。またSc空孔、格子間欠陥、アンチサイト欠陥の形成エネルギーは、あらゆる化学ポテンシャル、フェルミ準位の範囲で極めて高くなっている。不純物に関しては、O、F、HがNサイトに位

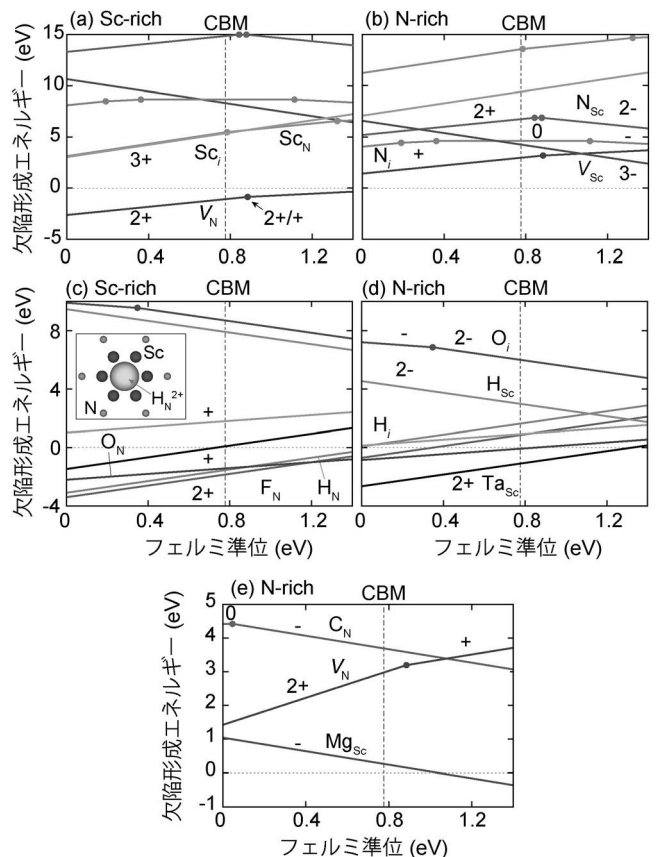


図6 ScN中の(a, b) 固有点欠陥、(c, d) 不純物及び(e) MgとCドーパントの点欠陥形成エネルギーのフェルミ準位依存性。(a, c)はSc-rich、(b, d, e)はN-richの条件下での結果を示している。詳細は本文を参照。

置し、TaがScサイトに位置する場合に安定となるが、その全てがドナー型欠陥となっている。

この結果から、 $V_N$ 及び窒素サイト上の不純物が抑制されるN-rich条件においてp型化が期待される。そこでN-rich条件において、アクセプタドーパントとして期待されるMgとC不純物の計算を行った。その結果、Cドーパでは窒素サイトに置換する場合においてもエネルギーが極めて高いが、Mgドーパでは、Scサイトに位置することで浅い準位を形成し、フェルミ準位がVBM近傍に位置する場合でも、窒素空孔よりエネルギーが低くなるという結果が得られた。事実、最近SahaらはMgドーピングによりホールを $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の濃度で導入することに成功しており、それらは深い準位を形成しないことを確認している<sup>(27)</sup>。

### (3) ZnSnN<sub>2</sub>

ZnSnN<sub>2</sub>は、1.4 eVのバンドギャップ、バンド端近傍での高い光吸収係数、非常に軽い電子キャリア有効質量( $0.7 m_0$ )とGaN並みのホールキャリア有効質量( $2.0 m_0$ )を有することから、新規の太陽電池光吸収材料として注目されている。しかしながら、光吸収材料としての応用を見据えた場合、深

い準位を形成する欠陥種の抑制や、自発的に導入される伝導電子の濃度を減らす必要がある。そこで我々は、2元系硫化スズ、ScNと同様、ZnSnN<sub>2</sub>中における固有点欠陥と酸素及び水素不純物の計算を行った。

ZnSnN<sub>2</sub>は、ウルツ鉱構造においてカチオンサイトがZnとSnで占有された構造を有する。その配列に関しては、図7(a)に示す直方晶の規則モデルがエネルギー的に安定になることが報告されているが、Nの周りにZnとSnが2つずつ配位する場合、すなわち局所的に電気的中性条件(LCN)を保つ場合には、エネルギーは大きく変化しない。実際Lanyらは、LCNを保ちながら不規則化している構造が低温においても安定になるという理論予測を報告している<sup>(28)</sup>。そこで我々も、エネルギー的に安定な直方晶の規則モデルに加え、モンテカルロ焼きなまし法により構築したLCNを満たす不規則モデルを用いて点欠陥計算を行うこととした。

本計算にはScNと同様、HSE06汎関数<sup>(26)</sup>を用いた。まず構築したそれぞれのモデルに対して構造最適化を行い、バンドギャップを評価したところ、規則モデル、不規則モデルともに1.4 eVと実験値と非常に良い一致を示すことを確認した。

図7(c)-(f)に、規則モデル及び不規則モデル中の固有点

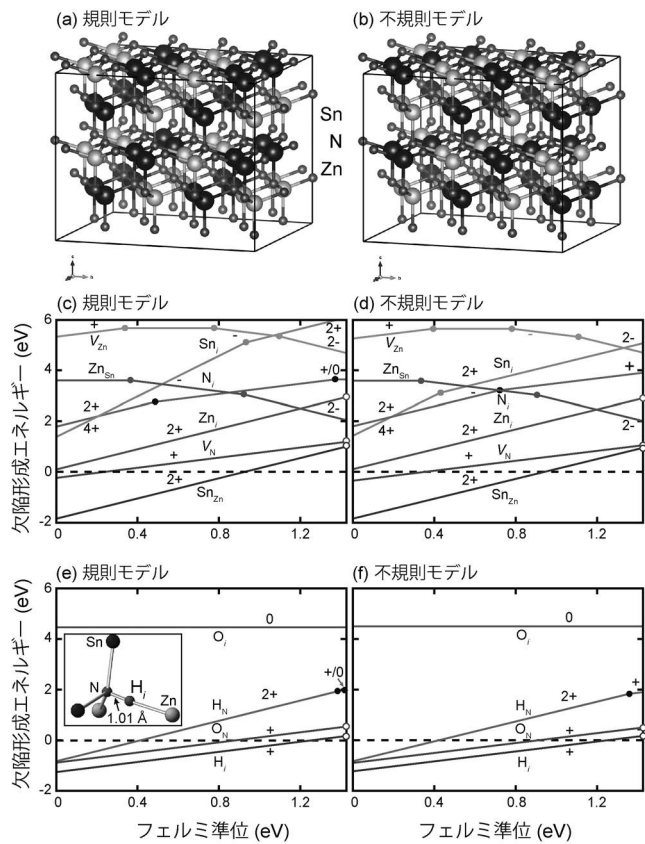


図7 (a) 直方晶の規則モデルと(b) 局所的に電気的中性条件を満たす不規則モデルの結晶構造。(c, e) 規則モデル, (d, f) 不規則モデルにおける, (c, d) 固有点欠陥, (e, f) 酸素及び水素不純物の点欠陥形成エネルギーのフェルミ準位依存性。

欠陥と酸素及び水素不純物の計算結果を示す。ここで、各元素の化学ポテンシャルは、Zn及びSnと平衡する条件に定めているが、ZnSnN<sub>2</sub>の生成エネルギーは0に近いので、ZnSnN<sub>2</sub>の安定領域における化学ポテンシャル依存性は無視出来る程に小さい。

この結果を見ると、両モデルにおける点欠陥形成エネルギーは互いに類似していることがわかる。これは規則モデルと不規則モデルの局所構造が殆ど同じであることによると思われる。またZnSnN<sub>2</sub>では、上述したScNと同様、自発的に高濃度のドナー電子が導入されていることが知られている。本計算結果から、その起源として、亜鉛サイト上のスズアンチサイト欠陥、窒素空孔、格子間水素、窒素サイト上の酸素の4つが考えられる。一方、形成エネルギーが低くかつ局在準位を形成する欠陥が存在しないことから、ZnSnN<sub>2</sub>は太陽電池の光吸収材料として、大変有望であると言える。

また電子キャリア濃度に関して、近年Fiorettiらは水素雰囲気下でかつZn-rich条件で生成すると電子キャリア濃度を $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ まで減らすことができることを報告している<sup>(29)</sup>。これは、アクセプターとして働くSnサイト上のZn(Zn<sub>Sn</sub>)が格子間水素でパッシベーションされることで、電荷補償するドナー生成を抑制し、その後、格子間水素を熱により取り除くことでキャリア濃度が減少するというメカニズムで説明している。しかしながら、その場合、局在準位を有するZn<sub>Sn</sub>が残されるため、光吸収材料としては望ましくないと思われる。

そこで我々は、合成時の窒素の化学ポテンシャルをあげることで、ドナー型の不純物を抑制する方法を提案する。例えばCu<sub>3</sub>Nは準安定な窒化物として知られており、アンモニア合成法などを用いることで、窒素の化学ポテンシャルを分子基準から1 eV以上高い状態を実現することで初めて合成されると考えられている<sup>(30)</sup>。よってZn-richの条件下において、窒素の化学ポテンシャルを上げ、同時にスズの化学ポテンシャルを下げることで、ドナー型の欠陥を抑制することを検討した。その結果、図8に示すように、4種類全てのドナ

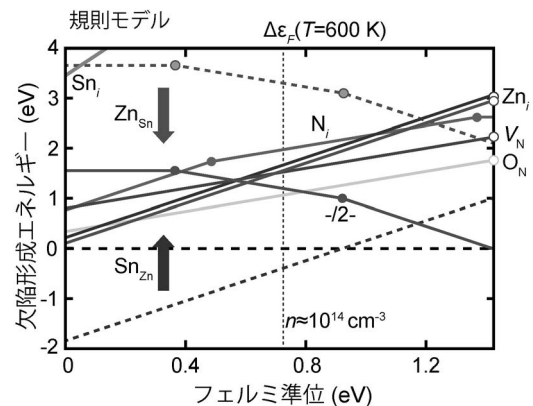


図8 Zn-rich条件下において、窒素の化学ポテンシャルを1 eV上げた場合の欠陥形成エネルギー。比較のため、図7(c)中のSn<sub>Zn</sub>とZn<sub>Sn</sub>の形成エネルギーを破線で示す。



# 表面科学的視点に基づく エネルギー・物質変換触媒材料の開発

轟 直人\*

## 1. はじめに

金属・酸化物を中心とした不均一触媒は、窒素肥料原料として必須なアンモニアの合成、自動車の排気ガスに含まれる窒素酸化物の無害化、建築物外壁の汚れ防止に利用される光触媒反応など、現代生活に欠かせない化学反応プロセスを成立させている、いわば陰の立役者である。一般的に、不均一触媒における触媒作用(Catalysis)は、気相(反応物質)-固相(触媒)の二相界面で起こる熱化学的な触媒反応を指すことが多い。一方、液相(電解液)-固相(触媒)の二相界面、もしくは気相(反応物質)-液相(電解液)-固相(触媒)の三相界面において、電子の授受が絡む電気化学反応場での触媒反応を“電極触媒作用(Electrocatalysis)”と呼ぶ。著者は、この電極触媒作用およびその材料に魅了され、大学院時代より一貫して電極触媒の基礎研究に携わってきた。著者の知る限り、本学会には電極触媒関連分野に明るい方はそう多くないはずである。そこで本稿では、まず電極触媒材料の特徴について説明しつつ、これまでの著者の研究成果を紹介したい。

## 2. 電極触媒作用とその材料

電極触媒作用は、燃料電池、水の電気分解、電気化学的物質変換(有機電解合成、CO<sub>2</sub>還元反応)、金属空気電池の充放電反応等で応用されており、低炭素社会を構築するための各種エネルギー変換デバイスおよび物質変換プロセスの核となる存在である(図1)<sup>(1)-(3)</sup>。他にも、電解塩素生成や電解メッキ、電気化学センサーにも応用されている。

電極触媒作用は通常の触媒作用と同様、基本的に材料の最

表面原子上で起こる化学反応であるため、電極触媒作用に起因する反応電流を増加するために、可能な限り単位電極面積あたりの反応表面積を最大化することが肝要である。特に、電極触媒として頻りに利用されるPt, Pdなどの貴金属類を用いる場合は、電極触媒を用いた電気化学システム全体のコストが触媒コストに左右されることが多い。そのため、貴金属系電極触媒の触媒活性は単位金属担持量当たりの反応電流値、すなわち質量活性を基に議論される。したがって、表面積を増大するため、実用電極触媒材料は大きくても数十nm、大半は数nmのナノ粒子にし、カーボンなどの導電性粉末に担持して利用される。

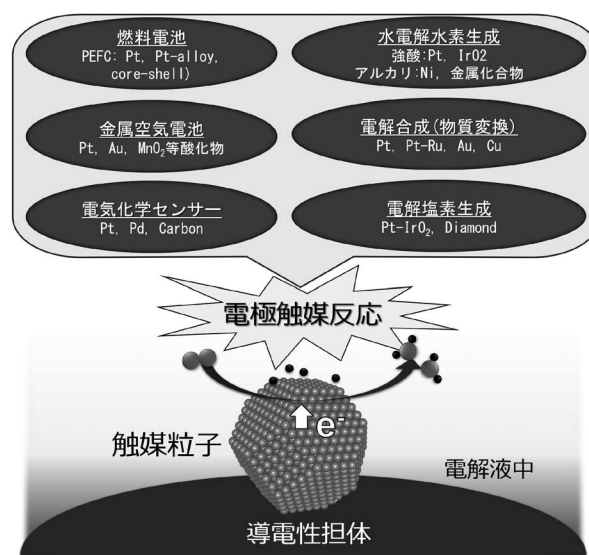


図1 電極触媒作用の応用先と触媒材料の例。

\* 東北大学大学院環境科学研究科先端環境創成学専攻; 助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02)  
Development of Energy Conversion Catalytic Materials Based on Surface Scientific Approach; Naoto Todoroki(Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai)  
Keywords: electrocatalysis, surface science, fuel cell, electrochemical carbon dioxide reduction, platinum alloys, molecular beam epitaxy  
2019年2月27日受理[doi:10.2320/materia.58.328]

一方、触媒反応メカニズムを議論する立場に立った場合、ナノ粒子触媒ではその特性に影響する様々な構造因子、すなわち、粒子サイズ(分布)、粒子形状、組成、表面原子配列などが共存するため、得られた触媒特性にこれらの因子がどのように影響しているかを明らかにすることは困難である。このような課題に対し、表面原子配列が規定された単結晶モデル触媒を用いたアプローチが極めて有効である。

固相-気相の二相界面における不均一触媒反応に対する単結晶モデル触媒を用いた研究は、2002年にノーベル化学賞を受賞した Gerhart Ertl がパイオニアであり、Fe 触媒上でのアンモニア合成反応 (fisher-tropsch 反応) や Pt 表面の CO 酸化反応について革新的な成果を残した<sup>(4)</sup>。電極触媒分野においても、これまで Pt を中心として、純金属単結晶を用いた電極触媒特性の表面原子配列依存性や反応メカニズムの解明を目指した研究が数多くなされてきた<sup>(5)-(8)</sup>。一方、合金単結晶を用いた研究はいくつかあるものの、その製造法の難しさ等の要因から純金属単結晶のそれに対し報告例は非常に少ない。

著者らはこれまで燃料電池触媒を始めとした様々なエネルギー変換触媒材料に関し、表面科学的視点に基づく研究開発を通じ、合金・コアシェルなどの高性能な実用触媒材料開発に寄与する様々な基礎的知見を提供してきた。次項ではその研究アプローチと研究成果の一部を紹介する。

### 3. 著者らの研究成果

#### (1) 研究アプローチ

電極触媒材料開発に対する、著者らの研究アプローチは、超高真空中において原子層オーダーで金属薄膜を堆積可能な分子線エピタキシ法などのドライプロセス法を用いた単結晶モデル合金・コアシェル触媒の作製、その電極触媒特性評価を特徴としている。図2に研究アプローチの概念図を示す。超高真空チャンバー内で作製したモデル触媒試料は、その場で走査トンネル顕微鏡 (STM) や X 線光電子分光法 (XPS)、低速電子回折 (LEED) などにより、表面構造・組成や化学状態を規定し、試料搬送ベッセルを用いて電気化学測定システムが備え付けられたグローブボックス中に搬送し、電極触媒特性を評価する。このように、試料作製から触媒特性評価に至るまでの一連のプロセスを一切大気暴露することなく行うことにより、超高真空環境で規定した表面構造によく対応する電気化学的な電流-電位曲線 (サイクリックボルタモグラム) が得られる<sup>(9)</sup>。

#### (2) 燃料電池カソード触媒：酸素還元反応

自動車用動力源として開発が進められている固体高分子形燃料電池 (PEFC) では、カソード反応である酸素還元反応 (Oxygen Reduction Reaction: ORR) の反応速度が遅く、PEFC 全反応の律速段階となるため、現状では多量の Pt が触媒として用いられており、燃料電池自動車の普及のためには Pt 使用量削減が必須である。また、PEFC のカソードは

ph=1 程度の強酸かつ高電位負荷環境という多くの材料にとって過酷な環境であり、また自動車用途の材料であることから高い安定性・耐久性が求められる<sup>(10)</sup>。燃料電池の低コスト化のためには究極的に Pt を一切使用しない非 Pt 触媒が理想的であるが、現状では Pt の合金化やコアシェル化により Pt 使用量を低減する低 Pt 触媒の開発が主流である<sup>(11)</sup>。著者らは、高い ORR 活性を示すことが知られる Pt-Ni 合金触媒について、表面合金モデル触媒試料を作製し触媒表面近傍構造が触媒特性に及ぼす影響を調査した。

合金系で得られた結果の前に、単結晶を用いることにより観察できる特徴的な電気化学的挙動を紹介する。図3に過

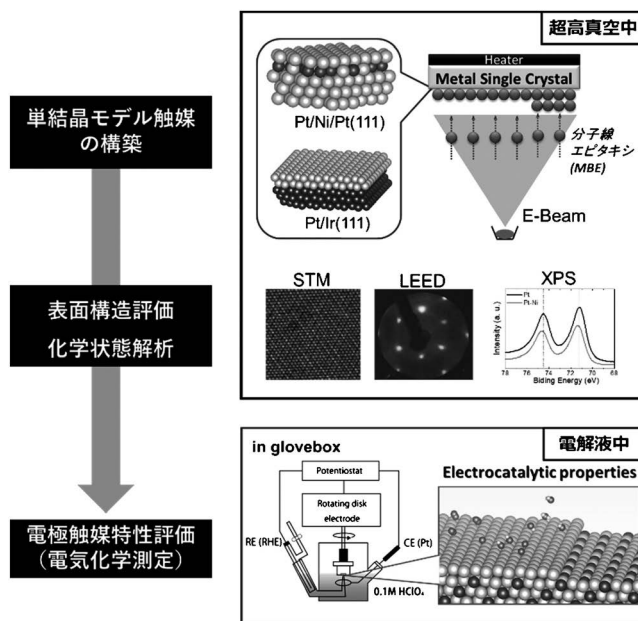


図2 著者らの研究アプローチ：単結晶合金・コアシェルモデル触媒の構築と表面構造解析、その電気化学特性評価。

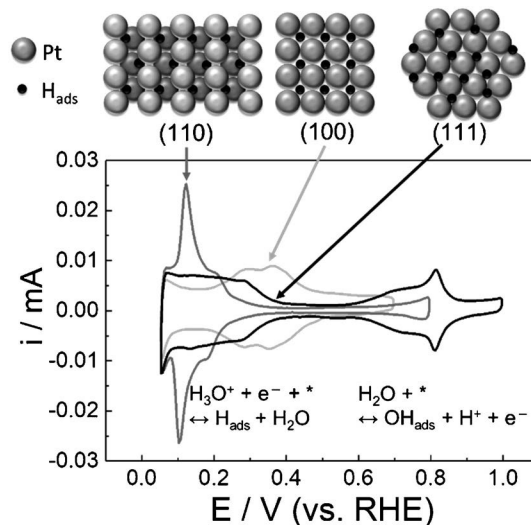


図3 Pt 低指数面単結晶電極のサイクリックボルタモグラム。

塩素酸中で測定した Pt(hkl) 単結晶電極のサイクリックボルタモグラムを示す。低電位側の反応電流は Pt 表面における水素イオンの吸着脱離反応に起因し、結晶面に応じて特徴的なピークを示すことがわかる。一方、高電位側は水の酸化による Pt 表面への OH 分子の吸着反応であり、特に Pt(111) 表面ではバタフライピークと呼ばれる上下対称のピークが現れる。このような水素および OH 種の吸着脱離反応は Pt 電極表面の原子配列を電気化学環境下で *in-situ* 測定可能な“指紋”となる。

Pt は多くの電極触媒反応に対し表面原子配列依存性を示すことが知られる。fcc 金属である Pt は (111) 面の表面エネルギーが最も小さく、特に形態制御しない限りナノ粒子系でも (111) 面が最も高い割合で現れる。そこで、Pt(111) 基板上に合金化元素として 1 原子層相当の Ni を熱処理下で堆積し、その ORR 活性を調査した<sup>(12)(13)</sup>。図 4(a) のサイクリックボルタモグラムから、基板温度 300°C では低電位側にシャープなピークが現れており、これは Pt(110) 面のそれとよく似ている。この結果から、300°C では試料最表面に Ni が残存しており、電気化学測定により Ni が溶出した結果、表面欠陥が生じることが推測される。一方、550°C 堆積試料は 300°C 試料のようなピークは確認されず、また Pt(111) と比較して全体の反応電流が著しく減少していることがわかる。特に、高電位側の酸化反応の立ち上がり電位が高電位シフトしており、Ni との合金化により最表面 Pt 原子層への酸素種の吸着エネルギーが低下したことが示唆される。別途、超高真空中において吸着 CO 分子をプローブとした赤外反射吸収分光測定から、550°C 試料は最表面下層に Ni が拡散し最表面に単原子層の Pt が偏析した Pt スキン形成していることが推測された。よって、より高温での熱処理により Pt ス

キン層が形成され表面が安定化するだけでなく、下地層に存在する Ni との電子的相互作用により Pt 表面の電子状態が変化したことが示唆される。これらの表面合金試料の ORR 活性(図 4(b))は 550°C 試料が Pt(111) の約 9 倍、300°C 試料が約 5 倍となり、(111) 面を有する Pt スキンの形成が Pt 合金触媒の ORR 活性向上に重要であることが明らかになった。

次に、上記で検討した 1 原子層厚の Pt スキン層を有する表面合金試料上に、更に数原子層の Pt を堆積し、ORR 活性・耐久性の Pt スキン層厚依存性を調査した。図 5 に 1-4 原子層の Pt スキン層を有する PtNi 表面合金試料について、耐久性試験として 1000 サイクルの酸化還元電位サイクルを施す前後の ORR 活性をまとめた。最も高い活性を示す Pt スキン層厚は試験前では 2 原子層であったが、試験後には 3 原子層となった。サイクル試験前後試料についての走査トンネル顕微鏡観察、X 線光電子分光測定から表面構造・組成の

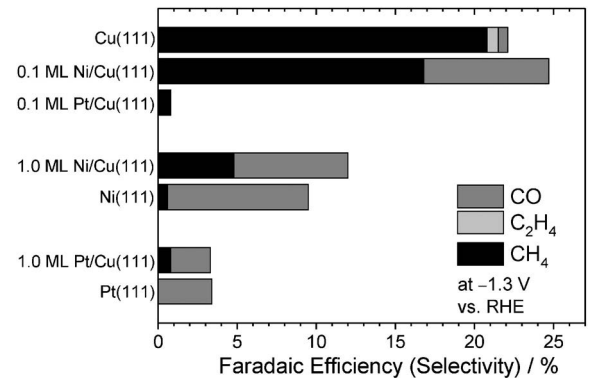


図 5 Ni/Cu(111) および Pt/Cu(111) 表面合金の電気化学的 CO<sub>2</sub> 還元特性。(文献(18)より許可を得て転載)

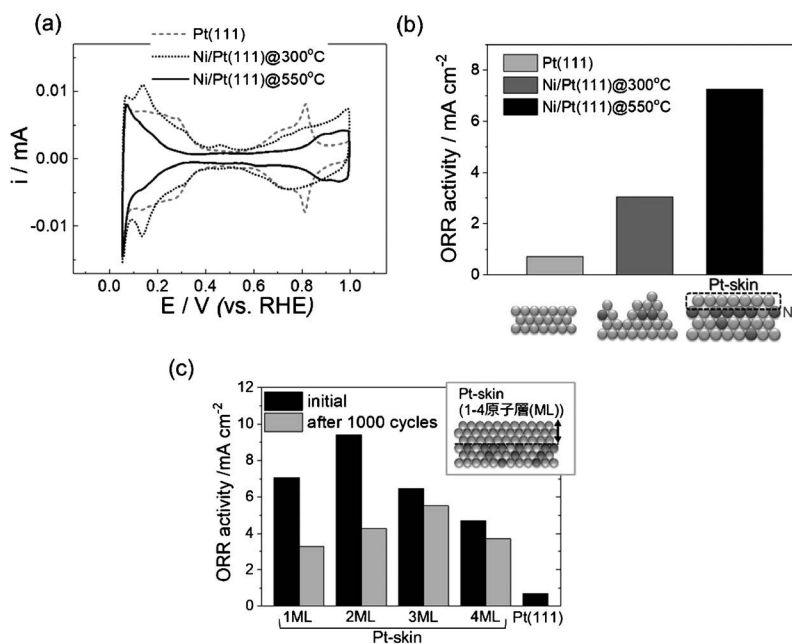


図 4 Pt-Ni 表面合金のサイクリックボルタモグラム(a)と酸素還元反応活性(b)、異なる Pt スキン層厚を有する Pt-Ni 表面合金の耐久性試験前後の ORR 活性(c)。

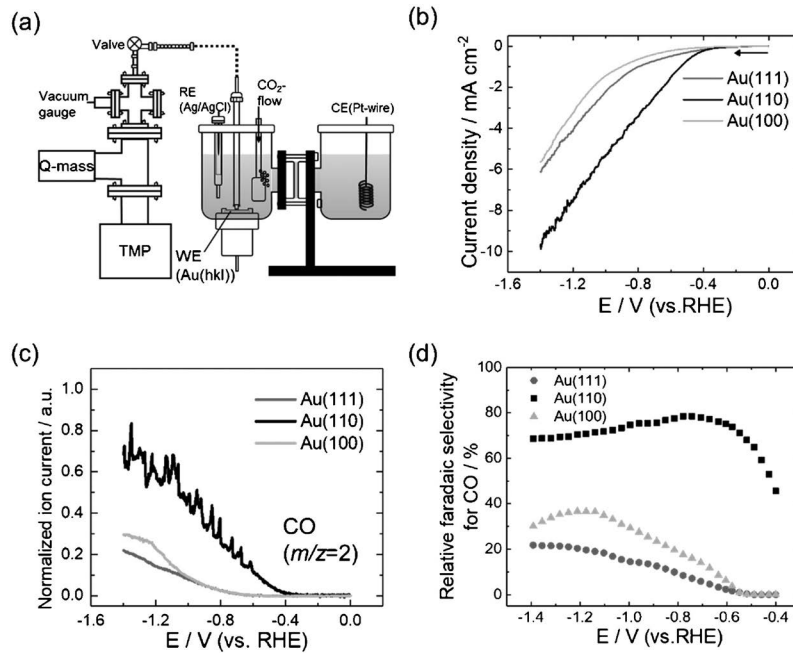


図6 (a) オンライン電気化学質量分析装置. Au(hkl)低指数面単結晶電極表面上におけるCO<sub>2</sub>還元反応の電流電位曲線(b), 生成CO分子のOLEMSスペクトル(c), 生成COの選択率(d). (文献(19)より許可を得て転載)

変化を評価したところ、1原子層試料は最表面下層のNiがほとんど溶出し、表面構造が原子レベルで荒れていることがわかった。一方、3原子層試料はNiの溶出が僅かであり、初期表面構造がよく維持されていた。したがって、原子レベルで厚膜化したPtスキンがNi溶出の保護層として働いたことが推測される<sup>(14)</sup>。実触媒への応用を考えた場合、Ptスキン層は厚くなるほど耐久性が上がるものの、ORR活性は低下しコストも上がるため不利である。本研究結果は、原子レベルでのPtスキン層厚制御が高活性・高耐久性を両立する合金触媒開発に必須であることを示唆している。著者らは原子層厚のPtシェルを有するコアシェル型触媒についても検討し、コアシェル表面・界面構造や、Ptシェルに働く表面歪みが電極触媒に与える影響を明らかにしている<sup>(15)-(17)</sup>。

### (3) 物質変換触媒：電気化学的CO<sub>2</sub>還元反応

温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>を一酸化炭素、メタンなどの有用な化学物質(化成品)に高効率かつ高選択的に変換することができれば、大きなCO<sub>2</sub>削減効果が得られる。近年、CO<sub>2</sub>変換手法の一つとして電気化学的CO<sub>2</sub>還元(Electrochemical CO<sub>2</sub> Reduction: ECR)法が検討されている。ECRで得られる還元生成物は使用する電極触媒の種類に依存し、例えばCu上ではメタンやエチレンが、Au上ではCOが選択的に生成する。しかしながら、現状では実用化に見合う高い変換効率を示す電極触媒は見つかっておらず、高効率かつ高選択でCO<sub>2</sub>を還元する触媒の開発が求められている。著者らは、CuおよびAu基単結晶をモデル触媒として、そのECR特性を調査した。

Cu(111)単結晶を基板として、NiおよびPtをそれぞれ1

原子層以下堆積した表面合金をモデル触媒として合金化の効果を検証した(図5)<sup>(18)</sup>。本研究では、どちらの元素を堆積した場合でもCuの主なCO<sub>2</sub>還元生成物であるメタンの選択性が向上することはなく、ECRの競合反応である水素発生反応の選択性が上昇した。興味深いことに、異種元素の堆積量がわずか0.1原子層でもECRの選択性が著しく変化した。Ptでその影響が顕著であり、これはPtがECR反応中間体である表面吸着CO分子に対し親和性が高く、還元反応素過程がCO吸着で止まり、Cu(111)の反応サイトを含め追反応を阻害してしまうためであると推測される。

他方、AuについてはAu(hkl)単結晶低指数面のCO選択性を自作した電気化学オンライン質量分析装置(Online Electrochemical Mass Spectrometry; OLEMS)を用いて調査した<sup>(19)</sup>。OLEMSを用いることで、電極電位掃引により生成する気体をオンライン分析し、電極電位と生成物選択性の関係を明らかにすることができる。実際、図6に示すようにAu(110)面は(111)、(100)面に対しECRによるCO生成の反応過電圧が著しく低く、また数倍のCO選択性を示すことがわかった。これは最表面原子層の配位数と良い相関があり、配位数が7である(110)面、すなわちナノ粒子においてエッジサイトに相当する低配位サイトが高いCO選択性を示す可能性を示唆している。

## 4. おわりに

本稿では、電極触媒材料およびその作用について、これまでの著者らの研究成果の一部を中心に紹介した。著者は表面科学的アプローチを柱として電極触媒研究に取り組む一人で

あるが、この分野の研究者のほとんどは電気化学もしくは触媒化学をバックグラウンドとする。電極触媒材料の開発に限った話ではないが、既存材料に置き換わる革新的な材料開発のためには異分野からの新しい視点が欠かせない。著者は本稿で紹介した燃料電池、CO<sub>2</sub>還元触媒の他に、水電解による水素生成用酸化触媒に対し表面科学的視点から新規材料開発に取り組んでおり、酸化物のような化合物触媒についても、材料科学的な視点に基づく精緻な構造・組織制御により、革新的な電極触媒材料の開発に繋がると強く信じる。本学会に所属する材料科学研究者の方々の電極触媒材料開発への参画を強く期待したい。

最後に、本稿で述べた研究成果は東北大学大学院環境科学研究科和田山研究室で得られたものです。学部学生時代よりご指導頂いている和田山教授に心より感謝申し上げます。また、燃料電池電極触媒に関する成果は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の受託により、CO<sub>2</sub>還元触媒の成果は先端的低炭素技術開発(ALCA)および科研費基盤研究(A)の支援により実施されたものです。関係各位に感謝申し上げます。

## 文 献

- (1) Z. W. Seh, J. Kibsgaard, C. F. Dickens, I. Chorkendorff, J. K. Nørskov and T. F. Jaramillo: *Science*, **355**(2017), 1-12.
- (2) O. Groger, H. A. Gasteiger and J.-P. Suchsland: *J. Electrochem. Soc.*, **162**(2015), A2605-A2622.
- (3) N.-T. Suen, S.-F. Hung, Q. Quan, N. Zhang, Y.-J. Xu and H. M. Chen: *Chem. Soc. Rev.*, **46**(2017), 337-365.
- (4) G. Ertl: *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**(2008), 3524-3535.
- (5) N. M. Markovic and P. N. Ross: *CATTECH*, **4**(2000), 110-

- 126.
- (6) A. M. a. Gomez-Marin, R. Rizo and J. M. Feliu: *Catal. Sci. Technol.*, **4**(2014), 1685-1698.
- (7) E. Herrero and J. M. Feliu: *Current Opinion in Electrochemistry*, **9**(2018), 145-150.
- (8) Y. Zheng, Y. Jiao, A. Vasileff and S.-Z. Qiao: *Angew. Chem. Int. Ed.*, **57**(2018), 7568-7579.
- (9) N. Todoroki and T. Wadayama: *Electrochemistry*, **83**(2015), 101-105.
- (10) 大門英夫, 稲葉 稔: *触媒*, **56**(2014), 161-166.
- (11) M. Shao, Q. Chang, J.-P. Dodelet and R. Chenitz: *Chem. Rev.*, **116**(2016), 3594-3657.
- (12) N. Todoroki, Y. Iijima, R. Takahashi, Y. Asakimori and T. Wadayama: *J. Electrochem. Soc.*, **160**(2013), F591-F596.
- (13) T. Wadayama, N. Todoroki, Y. Yamada, T. Sugawara, K. Miyamoto and Y. Iijima: *Electrochem. Commun.*, **12**(2010), 1112-1115.
- (14) N. Todoroki, Y. Asakimori and T. Wadayama: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **15**(2013), 17771-17774.
- (15) N. Todoroki, Y. Bando, H. Watanabe, Y. Tani and T. Wadayama: *Electrochim. Acta*, **212**(2016), 822-827.
- (16) N. Todoroki, H. Watanabe, T. Kondo, S. Kaneko and T. Wadayama: *Electrochim. Acta*, **222**(2016), 1616-1621.
- (17) M. Asano, R. Kawamura, R. Sasakawa, N. Todoroki and T. Wadayama: *ACS Catal.*, **6**(2016), 5285-5289.
- (18) N. Todoroki, N. Yokota, S. Nakahata, H. Nakamura and T. Wadayama: *Electrocatalysis*, **7**(2016), 97-103.
- (19) N. Todoroki, H. Tei, H. Tsurumaki, T. Miyakawa, T. Inoue and T. Wadayama: *ACS Catal.*, **9**(2019), 1383-1388.



轟 直人

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

2010年4月 昭栄化学工業 入社

2014年3月 東北大学大学院工学研究科知能デバイス

材料学専攻博士後期課程 修了

2014年4月- 現職

専門分野：電極触媒、表面化学

◎燃料電池等の電気化学的エネルギー変換デバイスに

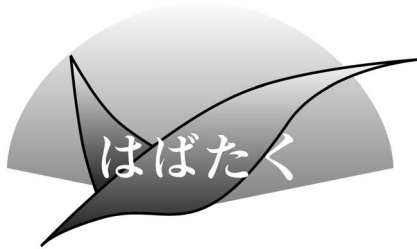
用いられる電極触媒材料の基礎研究に従事。現在は

酸化触媒に興味を持ち、水電解水素生成用電極

触媒材料開発にも取り組んでいる。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★





## これまでの研究を振り返って

東北大学大学院工学研究科材料システム工学専攻  
博士後期課程  
中島賢也

### 1. はじめに

私は、仙台高等専門学校の材料工学科および生産システムデザイン専攻を修了後、東北大学大学院工学研究科材料システム工学専攻博士前期課程へ入学しました。現在は、博士後期課程に在籍しており、成田史生教授の指導の下で研究を行っております。この度、本稿を執筆する機会を頂きましたので、博士課程に進んだきっかけをこれまでの研究を振り返りながら述べ、また、現在の研究と留学先で感じていることを紹介させていただきます。

### 2. 高専および博士前期課程での研究

仙台高専では、熊谷進先生の指導を受け、表面硬化処理の一つである窒化処理に関する研究を行いました。熊谷研究室ではガス窒化処理を行っていたのですが、アンモニアの分解過程で窒素が鉄鋼材料の表面から侵入し、窒素化合物により鉄鋼材料の表面が硬化するという点はとても興味深い現象でした。また、熊谷進研究室に在籍中、5週間のインターンシップに参加し、株式会社パーカー熱処理工業技術研究所でも窒化処理に関する研究に携わりました。インターンシップ中は、社会の厳しさ、研究の大変さ、自分の知識の足りなさを痛感し、様々なことを学びました。また、同時に普段自分の行っている研究がどのように社会に貢献しているかを知ることができ、研究の面白さというものが肌で実感しました。さらに、企業で一つのプロジェクトに参画できたことは今となって大変貴重な体験であったと感じております。このインターンシップの経験がなければ、博士前期課程はもちろん後期課程にも進んでいなかったと思います。

博士前期課程に進学してからも、成田教授のご厚意もあり、仙台高専で行っていた研究を続けながら、機能性材料として注目されている磁歪材料の研究を実施させて頂きました。これまで磁性材料の研究を行った経験はなかったのですが、研究を始めた当初は大変不安でしたが、材料が磁場を受けることによって伸びたり縮んだり(逆に力を受けると材料の磁化が変化)する現象はとても魅力があり、磁歪材料は様々な分野で応用できる可能性を秘めているのではないかと大変惹かれるものがありました。また、東北大学には非常に多くの実験設備が揃っており、様々な装置を用いて研究できることはとても素晴らしいことだと感じました。

前期課程で修了して企業に就職した場合、折角興味を持ち始めた磁歪材料の研究が途中で終わり中途半端になってしまうと感じ、自分が納得するまで研究したいという気持ちもあったので、後期課程に進むことを決意しました。



図1 スイス連邦材料試験研究所(EMPA)。

### 3. 博士後期課程での研究

博士後期課程では、組織制御や材料力学の観点から、磁歪材料の振動発電特性を上げることに興味を持ち、研究を進めております。また、今年の2月からは、スイス連邦材料試験研究所(EMPA)にて、磁歪材料の新たな可能性を示すための研究を実施中です(図1)。

研究所には様々な国から研究者が集まっており、話し合いをする時はもちろん英語が必須です。研究を円滑に進めるためには、コミュニケーションが重要で、どんなに拙い英語でもとりあえず恐れずに話さなければ何も始まらないということを感じました。文法が多少間違っている、絵を描いたりボディランゲージを交えれば、相手は言いたいことをなんとなく理解してくれます。正しい英語を話さなければいけないと頭の中で考えているうちに言えなくなってしまふよりは、瞬時に話して会話が途切れないように努めることが大切であることに気づきました。装置や薬品などの表記はほとんどスイスドイツ語(スイス人が使用するドイツ語)で表記されているので、来た当初は何が何だか分かりませんでした。最近は自分から色々な人に、これはどういう意味なのか、この装置はどのように使用するのか、積極的に質問するよう心がけております。

また、月に一度グループ全体で進捗報告会があるのですが、英語でプレゼンし、質疑応答も英語で行う必要があります。私の苦手とするプレゼン力を鍛えられる良い機会だと思って懸命に取り組んでおります。私以外の外国人留学生および研究者は、重要な会議の発表時にも時折冗談を交えて笑いを誘うユニークさと余裕を兼ね備えており、嫌であろう会議にも楽しく参加しているのは見習うべきであると感じました。

### 4. おわりに

博士後期課程に進んでから、また、留学してから、自分の足りない部分がとても浮き彫りとなりました。専門知識、英語、コミュニケーション力など、もっと磨いていかなければいけないことに気づかされました。この点を重点的に、日々の努力を惜みず、階段を一步一步着実に上り(成田教授の受け売り)、もっともっと成長していきたいと思っております。また、成田研究室では、日本人学生としては一番上の立場なので、上手く研究室をまとめられるようリーダーシップを発揮し、研究室のみんながついてきてくれるような人望の厚い人を目指して、みんなと一緒に希望の未来に向かってはばたいていければと思います。

最後になりますが、成田教授をはじめこれまでご指導を頂きました先生方ならびに現在ご支援をいただいております皆様に、改めて心より感謝いたします。まだまだ至らぬ点が多々ありますが、今後ともよろしく願い申し上げます。

(連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区青葉山6-6-02)  
(2019年4月4日受理)[doi:10.2320/materia.58.333]

# 1.2 MeV 原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発

品田博之\*

## 1. 開発の背景

透過電子顕微鏡で観察に使用する電子ビームのエネルギーは一般に 100 keV~300 keV であるが、できるだけ厚い試料(試料の薄片化は必要だが)を鮮明に観察するために、エネルギーが 1 MeV~3 MeV の超大型の超高圧電子顕微鏡と呼ばれるものも存在する。また、電子線ホログラフィー法<sup>(1)</sup>などを用いれば、材料内部の電磁場を原子レベルの分解能で計測し、その量子現象を解明することもできる。電子線ホログラフィー法は1948年にガボールが発明し1978年<sup>(1)</sup>に実用化された。その後、高分解能化と、より厚い試料の観察を可能にすべく 1 MeV 超高圧ホログラフィー電子顕微鏡が開発された(2000年稼働)<sup>(2)</sup>。今回取り上げる 1.2 MeV の原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡は、1 MeV 装置の成果を踏まえ、電子顕微鏡に関する最新の技術を結集して2010年から2014年にかけて、内閣府総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通じた助成により開発された。現在、磁石、電池、超伝導材などの高機能材料の機能・特性を生み出している量子現象の解明や先端機能性材料の研究開発などに活用されている。

## 2. 装置の概要

装置の構造は図1に示す通り-1.2 MV 高電圧発生回路、電子銃制御電源、そして電子銃と加速管が収められた三個のタンク、そして電子顕微鏡本体で構成され、タンク内部の部品には電子を加速するための-1.2 MV の高電圧がかかっている。また、高圧電源から発生するノイズの影響を抑えるため、それらは電子顕微鏡本体から離して設置され、-1.2 MV を2本の高電圧ケーブルで繋ぐ構造となっている。装置の特徴は「世界唯一、球面収差補正器を搭載した超高分解能超高圧電子顕微鏡であって、電子線ホログラフィー計測が可能な装置=原子分解能レベルで材料内部の電磁場を計測できる装置」である。電子顕微鏡において収差補正器の性能を引き出すには、搭載される電子顕微鏡本体に非常に高い安定性が要求され、大型の超高圧電子顕微鏡には搭載されたことがなかった。この開発では下記の超高安定化技術を開発して

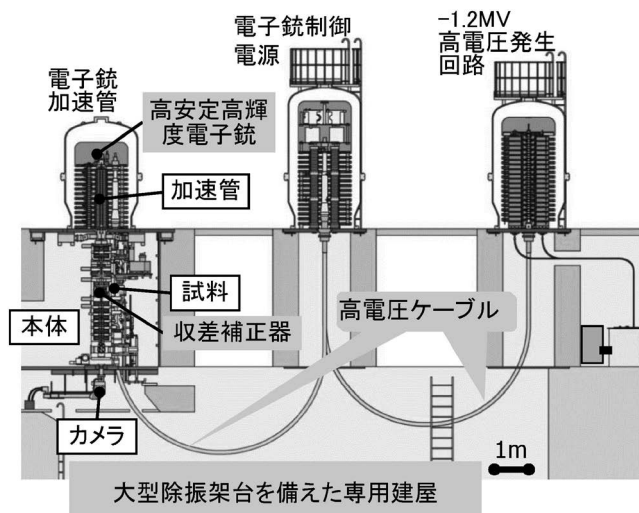


図1 原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の概要：高い安定性を確保するため、高圧電源を電子顕微鏡本体から分離した3タンク方式の1.2 MV の超高圧電子顕微鏡。

それを実現した。

- (1) エネルギーのばらつきを抑えた 1.2 MeV の電子ビーム加速のための  $3 \times 10^{-7}$  の高安定-1.2 MV 電源システム
- (2) 電子ビームを長時間安定して放出できる  $3 \times 10^{-10}$  Pa の極高真空電子銃
- (3) 分解能の劣化要因を排除する、高い遮音性と低雑音性： $\leq 20$  dB ( $> 200$  Hz)、床振動： $\leq 7.2 \times 10^{-4}$  cm/sec<sup>2</sup> (@ 100 Hz) を備え、空調停止後室温変化： $\pm 0.2^\circ\text{C}/8$  hr の専用建屋

## 3. 開発裏話

開発における予期せぬ技術的トラブルのうち2件について紹介することで何らかのお役に立てればと思う。

### (1) 高電圧ケーブルの耐電圧

顕微鏡を収める建屋内に新規開発した高電圧電源や高電圧ケーブルを搬入し、-1.2 MV の高電圧の印加テストを実施したが、-900 kV で放電(耐電圧不良)が起きてしまった(図

\* 株式会社日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センタ；主管研究長(〒350-0395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地)  
 1.2-MeV Atomic Resolution Holography Electron Microscope; Hiroyuki Shinada (Research & Development Group Center for Exploratory Research, Hitachi, Ltd., Hiki-gun, Saitama)  
 Keywords: transmission electron microscope, electron holography, ultra-high voltage electron microscope, aberration collector, electrical breakdown, acceleration tube, contamination, high stability high-voltage generator, high-voltage cable  
 2019年2月21日受理[doi:10.2320/materia.58.334]

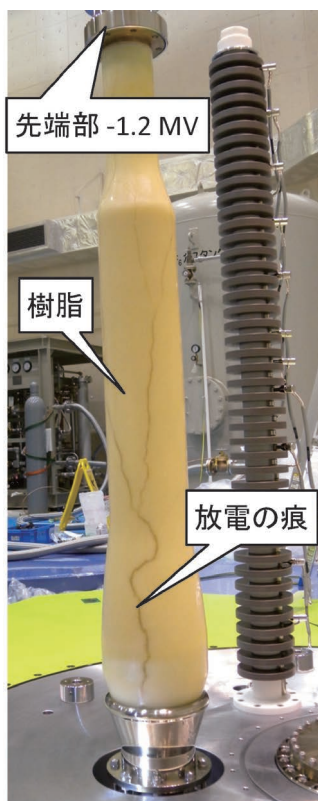


図2 放電発生後の高電圧ケーブル先端部。高電圧印加試験を行ったところ放電が発生し、樹脂の表面に放電の痕が残った。

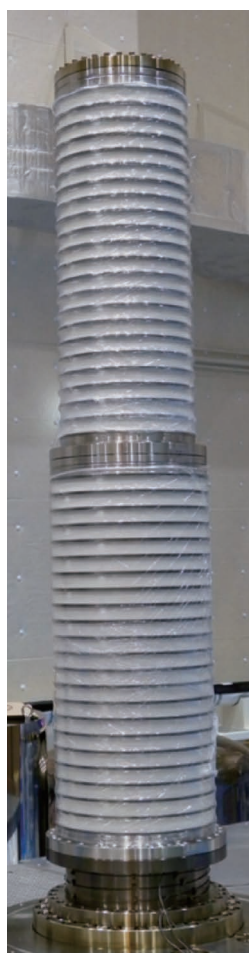


図3 加速管：  
高さ～1.8 m  
直径～40 cm.



図4 変色した碍子：  
○の部分に顕著に変色。

## (2) 加速管の汚染

電子を 1.2 MeV に加速するため44段の電極と碍子からなる円筒状の大型部品があり加速管と呼んでいる(図3)。最上段 $-1.2$  MV, 最下段 0 V で, 各段 30 kV 程度が印加される。ただし最初は電極と碍子の接合部の微小突起や残留ガスなどにより 20 kV すら安定して印加できず, ヒーターを備えた巨大な蓋をかぶせてベーキングにより脱ガスを行い, その後各段に電圧をかけて小さな放電を故意に発生させて異物を飛ばしたり微小突起を丸めたりすることで初めて実用に供する。あるとき, ベーキング後に加速管の碍子の外部(非真空部)が褐色に変色してしまった(図4)。変色部を分析したところ金属銅と塩化銅であった。これを完全に除去するには碍子表面を薄く削り, 再洗浄後再度ベーキングを繰り返すことになり数カ月を要してしまう。ケーブル放電対策により計画は遅延, このままでも電圧がかかるようになる可能性はある中での瀬戸際の判断だったが原因究明と対策を決断した。社内の材料や分析技術関係者の協力を仰ぎ, 塩素混入原因探索, 銅付着メカニズムの解明と防止策を立てた。なんと汚染原因は, 塩素成分をわずかに含む作業用手袋を蓋内へのヒーター設置作業で使用した際に, 破れた破片のごく一部が内部に残存していたためであった(炭化した微小破片を発見)。並行して加速管の再生処理・洗浄を行い, 2 か月程度で電圧を安定に印加することができた。その後もいくつかの技術的な困難はあったものの, タングステンの単結晶を観察して 43 pm の格子間隔を再現性よくとらえることができ, 目標としていた世界最高分解能記録(2014年当時)を2014年11月に達成できた<sup>(3)</sup>。

## 4. おわりに

高電圧の安定印加実現までの裏話 2 件に絞ったが他にも多くの苦勞を味わった。類似の成功例があったとはいえ, 新しいものを開発する際には思わぬ落とし穴があるのだということと失敗事例を正式な文書として残しておくことの大事さを身をもって学ぶこととなった。

## 文 献

- (1) A. Tonomura, *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **18**(1979), 9-14.
- (2) T. Kawasaki, *et al.*: J. Electron Microsc., **49**(2000), 711-718.
- (3) T. Akashi, *et al.*: Appl. Phys. Lett. **106**(2015), 074101.

# 材料発ベンチャー

## 新アトマイズ技術の開発

株式会社東北マグネットインスティテュート 管理統括部；  
部長 帆足卓起

### 1. はじめに

あるお客様からこのような質問をされたことがある。「この開発成果はベンチャーだから得られたと思うか？それとも大企業がやっても同じ成果が得られたと思うか？」同一の業務を異なる組織で併行に進めたことが無いので保証は出来ないが、後になって振り返ればベンチャーならではの点がある点があったので、ご紹介したい。

### 2. 株式会社東北マグネットインスティテュートの成り立ち

株式会社東北マグネットインスティテュートは、産業競争力強化法に基づく文部科学省の認定特定研究成果活用支援事業の一環で2015年11月に設立したジョイントベンチャーである。国立大学で生み出された技術シーズを社会に普及させることを目的とし、株式会社東北大学ベンチャーパートナーズほか民間5社の出資でスタートした。当社の技術シーズは、永年にわたり、東北大学が中心的に研究を牽引してきた非平衡材料の軟磁性金属材料分野における研究成果であるFe-Si-B-P-Cu系のナノ結晶合金の技術である。高飽和磁束密度であることを最大の特長とし<sup>(1)</sup>、電磁鋼板よりも薄肉のため高周波特性に優れ、従来のアモルファス・ナノ結晶系材料よりも大きな電流を流すことが出来る。本材料の応用開発も、当社の設立以前からなされ、例えば板厚20～25 μm程度の薄帯形状試料を打ち抜き積層したり巻回することで、モーターやトランスへの活用検討が進められてきた。当社はその流れを引き継ぎ、既に顧客への薄帯のサンプル提供を一部開始している。一方で、圧粉コア用の軟磁性粉末市場も決して無視できない。特にアトマイズ粉末の市場は拡大の一途を辿っており、当社としてもNANOMET®のアトマイズ粉末を薄帯に続く主力製品と位置づけ、その開発を急いでいる。

### 3. 量産に向けた技術課題

本報で扱うナノ結晶材料は、アモルファスを母相とした急冷凝固組織を熱処理して得られる非常に微細な結晶粒と、粒界のアモルファス相からなる多相組織を有する材料を言う。様々な文献や化学組成により定義が異なるが、ここではその平均結晶粒子径を25 nm以下としておく。ナノ結晶材料はその保磁力が低いこともメリットのひとつである。ナノ結晶材料の保磁力はHerzerによるランダム磁気異方性モデルで解

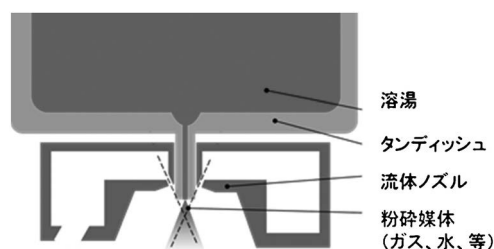


図1 一般的なアトマイズ法の模式図。

釈され、さらに誘導磁気異方性や粒間の磁気結合を考慮することでより正確に理解される<sup>(2)</sup>。ここで、低い保磁力を実現するためには適切な急冷凝固組織を作りこまなければならない。化学組成によって、均質なアモルファスであったり、あるいは主にCu原子からなる微細な結晶粒を含むヘテロアモルファス構造(初期微結晶とも言う)を形成させる必要がある。いずれにしても熔融金属をごく短時間で冷却凝固させることが前提である。しかしながら従来の多くのアトマイズ法ではその冷却速度が不十分なため本開発材料を製造することが極めて困難である。そのため、当社は急冷凝固に特化した独自のアトマイズ装置および製造プロセスを自社で開発することとした(図1)。

そもそも磁性粉末の研究は非常に困難を伴う。粉末は、その粒子径に一定の分布を持った粒子の集合体である。さらに、粒子の形状も真球では無く、例えば断面の長軸短軸比も決して狭くない分布を有している。磁性粒子の集合体の磁気特性(透磁率や保磁力)は、粒子径や粒子の形状に強く依存するため、データの取り扱いが難しい。薄帯と比べて表面積も数桁大きいので、表面酸化などの影響も受けやすい。また、あくまで粒子の集合体としての特性しかわからないため、材料の物性値を取得することが困難である。こうした事情から、その研究例は薄帯よりも圧倒的に少ない。ケイ素鋼や銅粉等のアトマイズ技術について、多くの偉大な研究がなされてきたのは言うまでもないが、ナノ結晶材料に特化したアトマイズ技術の報告例は未だわずかであった。そこで、当社の開発リソースを新しいアトマイズ技術開発に充てることにした。

### 4. 新アトマイズ技術の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラムの委託を受けて開発を進めている。材料の製造プロセス開発は、装置の価格が高い、装置が大型化しやすい、電力等のインフラも相当量使用する、実験回数が制限され統計解析できるほどのロット数を稼ぐのが難しい、といったいくつかの問題がある。そのため、当プログラムを実施できているのは本当に助けとなった。応用開発まで行う場合、どうしてもキログラムスケールで溶解できる装置が必要である。当社は、幸運にも廃棄直前の中古のアトマイズ装置を手で、これに改造を加えることで当社の要求するスペックに上げることができた。このめぐり合いも大きかった。さて、装置が手に入ったところで、肝心なのは開発の中身であ

るが、湧いてくるのはありきたりのアイデアで、なかなか決定打に至らなかった。しかしここで大学発ベンチャーのメリットを発揮できた。当社は東北大学のキャンパス内に本社を置いているので、東北大学に在籍されている世界有数の研究者の方々にすぐにお会いすることが出来た。特に当社はアトマイズ分野で後発企業であることから、正面から従来技術と戦っては不味と考え、関連性のある異分野の技術を積極的に取り入れる作戦をとった。その中で急冷凝固にかかるヒントを得、当社独自のアトマイズ技術につなげることが出来た。多くの先生方にアドバイスを頂けたことに、この場をお借りして厚くお礼を申し上げたい。

図2は当社のアトマイズ技術“HPWA/YK法”で作製した粉末のSEM像とXRDプロファイルである(図3)。目下、改善過程にあるものの、表面がやや平滑で球形に近い粒子を得た。またXRDプロファイルからもわかるように、ほぼアモルファス単相を得ることが出来た。得られた粉末を熱処理してナノ結晶化させた結果、飽和磁束密度は1.70 Tを得た<sup>(1)</sup>。従来のアモルファス材料(例えば1.30 T)よりも格段に進歩したと言える。今後はHPWA/YK法の改善を急ぐとともに、コア評価を進めていち早く市場に投入できるよう、開発を進めていく。

## 5. ベンチャーだからできること

一般的に言えば、材料の分野はベンチャーにとっていささか不利である。比較的大型の装置や経験のある技術者が必要だからである。にも関わらず会社を設立できたのは、東北大学における大きなシーズと、文科省およびベンチャーキャピ

タルをはじめとした株主のおかげであった。振り返れば、はじめから装置を持っていないことがプラスに働いた面もあった。ナノ結晶材料のアトマイズ開発ゼロベースで取り組めたのもベンチャーのメリットだったと思う。HPWA/YK法の開発チームメンバーの経歴も様々で、化学・表面分析や、構造材料、溶鋼プロセス、ナノクラスタ、コイル開発など、材料の量産立ち上げ経験がある者はひとりだけである。むしろ“畑”にこだわることなく何にでも取り組み、表面分析屋が機械部品の製作図を読み込んだり、構造材料屋が磁気特性を測定して化学組成を設計したり、コイル開発屋が防塵マスクをつけて粉体を取り扱ったりと、一人ひとりの頭の中で材料と機械と製造方法が結び付けられてきている。垣根を取り払うことで、物事の理解が深まり業務の動き出しが早くなる。とりあえず何でも自分でやってみることで、自らの限界を知り、早めに外部に頼ることが出来る。当社に来る前と後では名刺の減りが3倍以上早くなったと思う。それだけ多くの方のお世話になっている。ゼロベースで、垣根を越えて、スピード感を持って取り組めることが、ベンチャーならではの思われる。こうした動きで、材料のベンチャーは難しいという既成概念を払拭していきたいと考える。

「人数をかけたらもっと早く出来る」「専門の部隊を集めればもっと良いモノが出来た」「もっと分析装置があれば」「大企業であれば応用開発がもっと早く進んだ」と考える時もある。それもおそらく正解である。しかし東北大学と協力して支援プログラムの委託を受けることが出来たか、軽いフットワークで情報を集め異分野からのアプローチで新しいアトマイズ法にたどり着けたか、何にでもチャレンジする風土を醸成できたか、と言えば、それはベンチャーであることが大いに有利に働いたと考える。そのため、冒頭の質問に対しては未だ道半ばとの前提で、「ベンチャーだから出来ました」とお答えしておく。

## 文 献

- (1) K. Yoshida, T. Takahashi and H. Kuwata: AIP Advance, **9** (2019), 035218.
- (2) 鈴木清策：日本応用磁気学会誌, **26**(2002), 165-171.

(連絡先：〒981-1224 名取市増田字北谷11)  
(2019年4月3日受理)[doi:10.2320/materia.58.336]

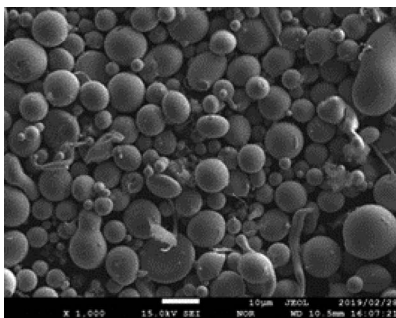


図2 HPWA/YK法で作製した粉末のSEM像。

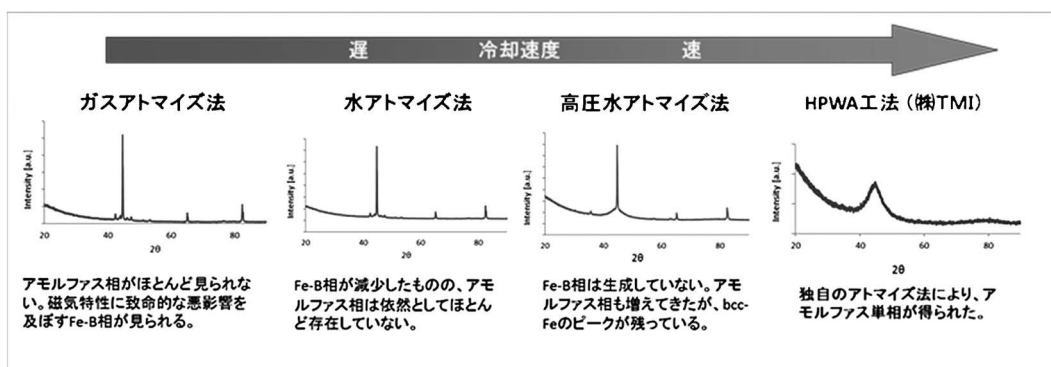


図3 各種アトマイズ法で作製した粉末のXRDプロファイル(アトマイズまま)。

# 本 会 記 事

会 告	2019年秋期講演大会講演・参加募集	338
	第17回 World Materials Day Award 募集	341
	2019年秋期講演大会機器・書籍・カタログ展示会出展募集 および大会プログラム広告募集	341
	各種学術賞, 奨励金等候補者推薦について	342
	研究集会	342
	2018年度に終了した研究会成果報告	343
	平成30年度事業報告および決算報告	347
	2019年度事業計画書および収支予算書	352
	金属セミナー開催報告	356
掲示板		343
会誌・欧文誌 6号目次	行事カレンダー	357
次号予告	新入会員	359
		346

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

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

- ・投稿規程・出版案内・入会申込はホームページをご利用下さい。
- ・会告原稿締切: 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)

### 2019年秋期(第165回)講演大会講演募集

◎ただ今、下記の通り講演募集を行っております。ご確認の上、お申込下さい。

会 期: 2019年9月11日(水)～9月13日(金)

会 場: 岡山大学津島キャンパス(〒700-8530 岡山市北区津島中 2-1-1)

共 催: 岡山大学

今秋期講演大会申込より下記の点が変更になります。ご注意およびご理解頂き、お申込下さいますようお願い申し上げます。

- ① 概要原稿は PDF のアップロードに変更となります。
- ② 概要集 DVD は廃止となり、概要は WEB からのダウンロードとなります。  
(WEB公開後、参加申込者のみにダウンロード用パスワード発行。ただし、公開日から1年後はフリーアクセスとなります。)
- ③ 一般講演、ポスターセッション申込のセッション分類が改編されました。
- ④ 申込要領に変更がありますのでご留意下さい。(同一研究室の連続講演について等。)
- ⑤ 「参加証引換券」は郵送いたしません。各自「大会マイページ」から印刷し、金属学会大会受付で参加証と引き換えとなります。  
(懇親会参加証は従来通り郵送致します。)

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

講演申込と同時に大会参加の事前予約となります。2019年8月27日(火)までに参加費を納入下さい。

講演申込ホームページアドレス	<a href="http://www.jim.or.jp/convention/2019autumn/">http://www.jim.or.jp/convention/2019autumn/</a>
講演申込および概要原稿提出期限(締切厳守!)	講演申込と講演概要提出は同時に行う。(同時に行わない場合は、講演申込として受理されない)
講演種別	全講演(公募シンポジウム, 一般, ポスター, 共同セッション)
講演申込・大会参加事前予約期間	5月28日(火)13時～7月5日(金)17時

講演についての問合せ先: 公益社団法人日本金属学会 講演大会係 [annualm@jim.or.jp](mailto:annualm@jim.or.jp)

#### これから入会して講演申込をされる方へ

インターネットで入会申込み下さい。入会申込確認後は ID(会員番号)とパスワードが即日メール返信されます。

会員認定: 期限内に入会手続きを行い、年会費を納入下さい。→期日までに会費の払込がない場合は、講演不許可の措置をとります。

入会申込 URL	<a href="https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php">https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php</a>
入会申込期限 7月3日(水)	年会費納入期限 7月31日(水)

入会・会費の問合せ: 会員サービス係 [member@jim.or.jp](mailto:member@jim.or.jp)

# 2019年秋期(第165回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期：2019年9月11日(水)～9月13日(金)

会 場：岡山大学津島キャンパス(〒700-8530 岡山市北区津島中 2-1-1)

日 程：	9月11日(水)	各賞贈呈式，学術講演会，ポスターセッション(高校生ポスター予定)，懇親会(岡山市)
	9月12日(木)	学術講演会，企業ランチョンセミナー
	9月13日(金)	学術講演会，女性会員のつどい

大会参加予約申込締切：2019年8月27日(火) 事前参加申し込みは，すべてインターネット申込となります。詳細は，申込要領をご覧ください。

開催予定の各種シンポジウム：(プログラムは7月末公開予定)

## 公募シンポジウム

- S1 ハイエントロピー合金の材料科学Ⅱ
- S2 材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅱ)
- S3 キング強化の材料科学Ⅱ
- S4 水素エネルギー材料Ⅷ
- S5 先進ナノ構造解析に基づく材料科学の新展開Ⅱ
- S6 ナノ・マイクロスペーステラリングⅡ
- S7 医療・福祉のための Additive Manufacturing の材料科学Ⅲ
- S8 マテリアルズ・インテグレーション(Ⅲ)―順問題から逆問題へ―

## 企画シンポジウム(依頼講演のみ)

### K1 高性能軟磁性材料の現状と課題

電動自動車の普及拡大などを背景に，各種磁性材料の高性能化が求められており，現に永久磁石の高性能化・希少元素低減に関しては，産業界からの課題提示を反映したナショプロが推進されるなど，基礎研究を含めた研究開発が活性化している。他方，軟磁性材料に着目すると，珪素鋼板・アモルファス材料・ナノ結晶材料・圧粉磁心などの多くの材料が自動車をはじめとした各種製品の高性能化・高機能化に貢献しているものの，これらの材料について応用を踏まえた現状と課題を俯瞰する機会はほとんどない。そこで，本シンポジウムでは，実用化されている各種軟磁性材料の現状と課題について主に産業界から話題を提供していただき，金属学会に関わる研究者が貢献可能な課題を発掘するための一助とする。

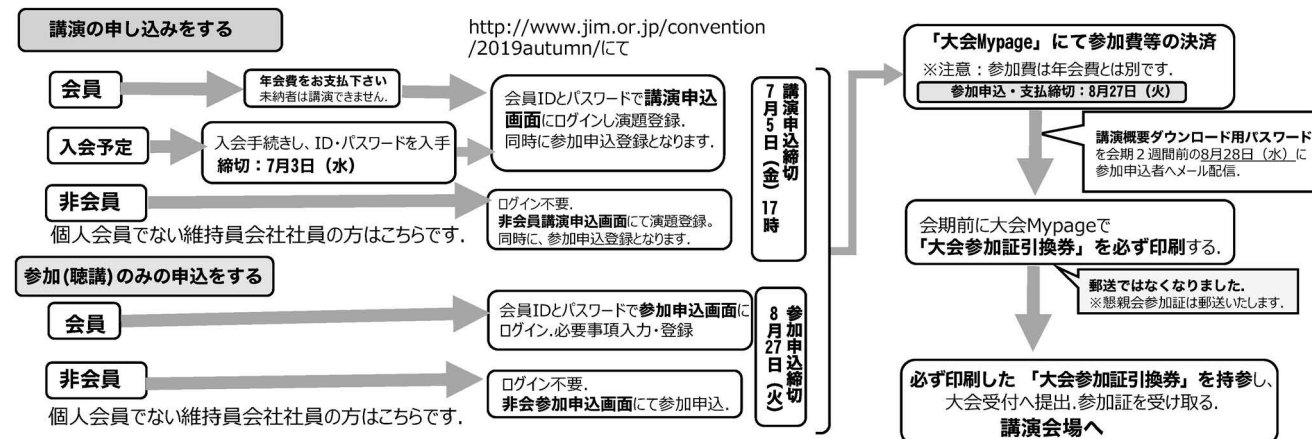
### K2 若手科学者へ贈る研究のヒントⅡ～未踏領域へ到達するために～

第2分科提案，第1分科と共同開催による人材育成を趣旨とする啓蒙的な内容の企画シンポジウムの第二弾。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。著名なベテランにご講演頂き，そのヒントを得ることを目的とする。会員，特に若手研究者への刺激になれば幸いである。講演では，ご自身の研究に触れつつ，研究者としての心構えや組織・国からの視点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する。講演1方向の欠如モデル型だけでなくサイ・コミュ型の双方向性の仕掛けとしてパネルディスカッションも行う。

### K3 自動車の大変革に貢献する材料技術の最新動向(自動車技術会・日本鉄鋼協会との合同シンポジウム)

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。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昨年度から企画してきた。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する。

## 講演申込・事前参加申込～参加までの流れ



## 参加申込要領

インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み：〈締切〉8月27日(火)

大会参加申込み URL <http://www.jim.or.jp/convention/2019autum/>

予約申込締切後、大会参加証、講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。なお、領収書は、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28日以降は当日申込となります。当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込下さい。

### ◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	8月27日(火)(申込および入金期日)	
	会員資格	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	
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、準備の都合上ご返金いた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)

会場：ビュアリティまきび「孔雀の間」(〒700-0907 岡山市北区下石井 2-6-41 ☎ 086-232-0511)

予約申込締切日	8月27日(火)(申込および入金期日)	
	種別	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	
一般	6,000円	8,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	4,000円	4,000円

・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

・懇親会ご参加申込の方には、9月上旬に懇親会参加証を郵送申し上げます。

### ◆支払方法

事前予約のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます。また、入金後のご返金は致しかねます。8月27日(火)の入金日をもって予約申込完了となります。

### ◆参加証

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

### ◆講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会2週間前の2019年8月28日(水)です。事前予約をされ、参加費を納入された方には、概要公開日に概要ダウンロード用パスワードを配信いたします。当日申込の方へは申込の際に概要ダウンロード用パスワードをお渡しいたします。

特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。尚、公開日より1年後はフリーアクセスとなります。

### ◆講演概要集購入について

今大会より講演概要集 DVD は作成致しません。全講演概要は、本大会 Web サイトで公開をします。これまで概要集 DVD のみ購入をされていた方も、今回より通常の参加登録を頂き、概要の閲覧をお願いします。

#### 参加申込・問合せ先

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

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: [annualm@jim.or.jp](mailto:annualm@jim.or.jp)

～ ★ 皆様のご参加をお待ちしております。～



## 第17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。11月6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(2019年9月11～13日、岡山大学)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
  - ・審査員が展示場で審査する。
  - ・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採点し総合点で審査する。
5. 授賞
  - ① World Materials Day Award :  
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**：2019年7月1日～8月30日

### 7. 参考

昨年の受賞者による体験記事を「まてりあ」に紹介しておりますので、ご参考にして下さい(まてりあ58巻1号～3号)。

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

## 2019年秋期講演大会 機器・書籍・カタログ展示会出展募集 および大会プログラム広告募集

2019年9月11日(水)～13日(金)の3日間岡山大学津島キャンパスにて開催される秋期講演大会会場で機器・書籍およびカタログの有料展示会を開催いたします。あわせて講演大会プログラム掲載の広告の募集もいたします。

### ■機器・書籍展示

研究開発用機器、書籍、ソフトウェア等の出展を募集します。

1 小間 間口1,800 mm、奥行き750 mm(予定)  
展示台(テーブル)、椅子をご用意します。  
\*電源を使用する場合は、予め、必要電気容量(W)をお知らせ下さい。

出展料金 機器展示：1小間140,000円(税別)

書籍展示：1小間 90,000円(税別)

申込締切 2019年8月1日(木)

### ■カタログ展示

展示部数 2点(A4サイズ、8頁以内)につき、30部以内  
出展料金 2点につき30,000円(税別)(1点増すごとに10,000円(税別)追加)

申込締切 2019年8月1日(木)

### ■講演大会プログラム広告

発行予定日 2019年9月1日(日)

原稿寸法 A4版 1P 天地260 mm×左右180 mm  
1/2P 天地125 mm×左右180 mm

入稿原形態 完全データ(グレースケール)

#### 広告料金

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

○上記の料金には消費税は含まれておりません。

○原稿制作費は別途ご請求させていただきます。

申込締切 2019年7月31日(水)

原稿締切 2019年8月7日(水)

### ■申込・問合せ先

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4  
株式会社 明報社 担当 月岡太郎  
☎ 03-3546-1337(代) FAX 03-3546-6306  
E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp  
URL : http://www.meihosha.co.jp/

## 各種学術賞，奨励金等候補者推薦について

本会は下に示す各種の学術賞や奨励，助成等の候補の推薦者に指定されており，積極的な推薦を行なっております。会員各位にはこれらの候補として適当と思われる方の推薦または自薦をお願いいたします。

推薦または自薦は次の各号によるものとします。

- 1.(1)推薦または自薦の資格は，本会会員とする。
- 2.(2)推薦または自薦に際しては，各学術賞等の所定の書式の推薦書及び資料を提出する。
- 3.(3)推薦または自薦の期限は，原則として各学術賞等の推薦締切の2ヶ月前とする。

推薦又は自薦しようとするときは「〇〇賞に推薦(自薦)」と明記の上，上記3.の期限までに，各学術賞等の所定の推薦書及び資料を添えて，本会事務局までお申し出下さい。書類審査の後，理事会で推薦を決定いたします。

送付・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 E-mail: secgnl@jim.or.jp

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2018年の例)(本会締切は2ヶ月前)
文部科学大臣表彰 科学技術賞，若手科学者賞 <a href="http://www.mext.go.jp/">http://www.mext.go.jp/</a>	文部科学省	7月27日
文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 <a href="http://www.mext.go.jp/">http://www.mext.go.jp/</a>	文部科学省	9月30日
日本学術振興会賞 <a href="https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/">https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/</a>	日本学術振興会	4月9日
有志賞 <a href="http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/">http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/</a>	日本学術振興会	6月10日
朝日賞 <a href="http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/">http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/</a>	朝日新聞社	8月25日
日本産業技術大賞 <a href="http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou">http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou</a>	日刊工業新聞社	1月31日
東レ科学技術賞，東レ科学技術研究助成 <a href="http://www.toray.co.jp/tsf/">http://www.toray.co.jp/tsf/</a>	東レ科学振興会	10月10日
本多記念賞，本多フロンティア賞，本多記念研究奨励賞 <a href="http://hondakinenkai.or.jp/">http://hondakinenkai.or.jp/</a>	本多記念会	9月14日
大河内賞 <a href="http://www.okochi.or.jp/hp/top.html">http://www.okochi.or.jp/hp/top.html</a>	大河内記念会	8月12日
全国発明表彰 <a href="http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html">http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html</a>	発明協会	8月31日
地方発明表彰 <a href="http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html">http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html</a>	発明協会	3月29日
井上学術賞 <a href="http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html">http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html</a>	井上科学振興財団	9月20日
井上春成賞 <a href="http://inouesho.jp/">http://inouesho.jp/</a>	科学技術振興機構	2月28日
岩谷直治記念賞 <a href="http://www.iwatani-foundation.or.jp/">http://www.iwatani-foundation.or.jp/</a>	岩谷直治記念財団	8月31日
浅田賞，三島賞 <a href="https://www.isij.or.jp/commendation/">https://www.isij.or.jp/commendation/</a>	日本鉄鋼協会	9月30日
風戸賞 <a href="http://www.kazato.org/application/">http://www.kazato.org/application/</a>	風戸研究奨励会	10月21日
風戸研究奨励賞 <a href="http://www.kazato.org/application/">http://www.kazato.org/application/</a>	風戸研究奨励会	12月9日
グリーン・サステイナブルケミストリー賞 <a href="http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html">http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html</a>	新化学技術推進協会	11月18日
工学教育賞 <a href="https://www.jsee.or.jp/award/">https://www.jsee.or.jp/award/</a>	日本工学教育協会	7月13日
KONA 賞，研究助成，援助 <a href="http://www.kona.or.jp/jp/">http://www.kona.or.jp/jp/</a>	ホソカワ粉体工学振興財団	7月20日

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2018年の例)(本会締切は2ヶ月前)
サー・マーティン・ウッド賞 <a href="http://www.msforum.jp/about_sir_martin/">http://www.msforum.jp/about_sir_martin/</a>	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	8月1日
新機械振興賞 <a href="http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html">http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html</a>	機械振興協会	5月31日
素形材産業技術賞 <a href="https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html">https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html</a>	素形材センター	5月20日
日本塑性加工学会賞 <a href="http://www.jstp.jp/about/award/">http://www.jstp.jp/about/award/</a>	日本塑性加工学会	8月27日
日本溶接協会 貢献賞，技術賞，溶接注目発明賞 <a href="https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html">https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html</a>	日本溶接協会	11月11日
熱・電気エネルギー技術に関する研究助成 <a href="http://www.teet.or.jp/08_4.html">http://www.teet.or.jp/08_4.html</a>	熱・電気エネルギー技術財団	10月28日
藤原賞 <a href="http://www.fujizai.or.jp/index.htm">http://www.fujizai.or.jp/index.htm</a>	藤原科学財団	12月20日
報公賞，工学研究奨励援助金 <a href="http://www.hattori-hokokai.or.jp/">http://www.hattori-hokokai.or.jp/</a>	服部報公会	5月10日
睦賞 <a href="http://www.jsndi.jp/honor_award/">http://www.jsndi.jp/honor_award/</a>	日本非破壊検査協会	12月31日
山崎貞一賞 <a href="http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html">http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html</a>	材料科学振興財団	4月30日
山田科学振興財団研究援助 <a href="http://www.yamadazaidan.jp/jigyokenkyu.html">http://www.yamadazaidan.jp/jigyokenkyu.html</a>	山田科学振興財団	2月24日

## 研究集会

### 研究会 No. 82

#### 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング

2019年度に発足しました「微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング」の初回研究集会を，下記の要領で開催いたします。物理，機械，材料などの幅広い分野から，実験，シミュレーション，理論などの多様なアプローチの取り組み発表をお待ちしております。口頭発表の他に，主に若手，学生によるポスターセッション(ポスター賞の授与あり)も予定しております。

申し込みなどの詳細は，研究会 HP をご覧下さい。

日時 2019年11月8日(金)～10日(日)

場所 日本大学 軽井沢研修所(予定)

発表・参加申し込み，プログラムの詳細等は研究会ホームページに随時掲載いたします。

<https://www.nims.go.jp/group/sdg/micromech-jim/>



No. 74 「チタン製造プロセスと材料機能研究会」  
成果報告書

活動期間：2014年3月～2019年2月(5年間)

研究会世話人：成島尚之(東北大学)

## 1. 研究会活動目的

チタンの生産量は世界的に着実に増加しているものの、展伸材出荷量は年間10～15万トン程度に留まっている。この原因はKroll法に基礎をおく還元およびその後の溶解・塑性加工など各プロセスの難しさに起因したチタンとその合金の高価格にある。近年、新製錬法、精錬機能を備えた溶解法、低廉原料を利用した展伸材の製造、積層造形法を含めた粉末冶金法などにおいて新しいプロセスが提案されている。本研究では、これらのチタン新規製造プロセスと材料機能の関係を明らかにし、低コスト・高機能なチタンおよびチタン合金の創製を目指す。

## 2. 研究会活動概要(実施状況・研究会成果等)

毎年テーマを決め、その分野の状況を3名の講師にレビューしていただくと共に、最新の研究に関して発表していただく講演会を関西大学にて開催した。各回とも、40名以上の出席があり、活発な議論が行われた。なお、同日午後には同会場にて、日本鉄鋼協会チタンフォーラムを開催した。本フォーラムは主に産側からの講演であり、学側がメインの本研究会との相乗効果が得られた。以下に、各回のテーマと講師および講演タイトルを示す。

## 第1回(2015.1/30)「チタン合金における元素機能とプロセス」

1. 東北大学 仲井正昭「固溶酸素を利用した生体用 $\beta$ 型Ti-Cr合金の機能改善」
2. 物材機構 佐原亮二「 $\beta$ 型Ti-X合金の電子状態と相安定性の理論解析」
3. 関西大学 池田勝彦「Ti-Mn系低コスト合金の開発」

## 第2回(2016.1/29)「チタン製精錬プロセス研究の現状と課題」

1. 関西大学 竹中俊英「超高温溶解炉を用いたTiの電解製造」
2. 京都大学 宇田哲也「溶解合金を介したチタンの連続製錬法の提案」
3. 東北大学 竹田修「金属熱還元法に基づくチタンの製造プロセス」

## 第3回(2017.1/13)「チタンの計算材料科学の現状と展望」

1. 名古屋大学 塚田祐貴「Ti-Nb-O系合金における組織形成と力学応答のシミュレーション」
2. 大阪府立大学 上杉徳昭「Ti合金の相安定性、弾性率、格子変形ひずみにおける合金元素の影響の第一原理計算」
3. 東北大学 小泉雄一郎「Ti合金の変形と組織形成の計算機シミュレーション」

## 第4回(2018.1/26)「チタンの高温プロセスと特性」

1. 香川大学 松本洋明「航空機チタン合金の熱間加工プロセス(高温変形過程)における組織変化とFEM解析」
2. 物材機構 御手洗容子「near- $\alpha$  Ti合金の組織変化と特性」
3. 東北大学 成島尚之「Tiの高温酸化に及ぼすSiの影響に関する実験的・計算材料学的研究」

## 第5回(2019.1/25)「新しいチタンの製造プロセス」

1. 大阪大学 石本卓也「Additive manufacturingによるチタン基合金の結晶配向制御と機能化」
2. 東北大学 成島尚之「水素プラズマを利用したチタン融体からの酸素除去の可能性」
3. 北海道大学 鈴木亮輔「硫化物を用いたチタン精錬」

チタンの製錬から加工熱処理による組織制御、計算材料科学を用いた組織予測まで、チタン製造プロセスの全てを網羅することができた。

## 3. 成果の公表先 Materials Transactions に投稿予定

## 4. 研究会世話人

成島尚之(東北大)(代表)、新家光雄(東北大)、池田勝彦(関西大)、塙 隆夫(東京医科歯科大)、中野貴由(大阪大)、古原 忠(東北大)、小林千悟(愛媛大)、稲田朋也(東工大)

## 〈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 mail(受付 mail の確認をして下さい)

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

◇東北大学大学院工学研究科  
マテリアル・開発系 教授公募◇

公募人員 教授 1名

所 属 知能デバイス材料学専攻 ナノ材料物性学講座 極限材料物性学分野

専門分野 デバイスへの応用展開を目指し、金属・半導体・セラミックス・高分子材料などの相・界面制御による機能性の創出や向上に関する教育と研究を行う

応募資格 博士の学位を有し、当該分野の研究・教育に意欲があり、日本語と英語で講義のできる方

担当授業科目 「学部」材料学概論、材料解析学、材料科学総合学実験、材料科学総合学基盤研修、知能デバイス材料学コース研修等  
「大学院」(前期)ナノ構造制御機能発現工学、知能デバイス材料学修士研修等、(後期)知能デバイス材料学博士研修等

任 期 なし

公募締切 2019年8月30日(金)

着任時期 2020年1月1日(水)

提出書類 マテリアル・開発系のホームページ上に掲載した「公募提出書類作成の注意点」に留意して書類を作成すること(下記 URL をご覧下さい)

<http://www.material.tohoku.ac.jp/news/jobs.html>書類送付先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02  
東北大学大学院工学研究科 マテリアル・開発系  
系長 三原 毅

問い合わせ先 知能デバイス材料学専攻 専攻長 吉見享祐

☎&amp;FAX 022-795-7324

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

※封筒に「教員公募(知能デバイス材料学専攻 極限材料物性学分野 教授)」と朱書きし、郵送の場合は書留とすること。なお、応募書類は返却いたしませんのでご了承下さい。

※東北大学は共同参画を推進しており、多様な人材の積極的な応募を歓迎しています。

東北大学には全学教職員が利用できる川内けやき保育園(定員30名)、青葉山みどり保育園(定員100名)および、星陵地区の方が利用できる星の子保育園(定員120名)の全国の国立大学の事業所内保育施設として最大規模の保育環境が整っています。また、大学内病院内に軽症病児・病後児保育室もあり、全学教職員が利用できます。

その他、本学の両立支援、研究支援等の詳細及び共同参画の取組については、下記 URL をご覧下さい。

男女共同参画推進センター WEB ページ

<http://www.tumug.tohoku.ac.jp/>

◇京都大学大学院工学研究科  
材料工学専攻 教授 公募◇

**職 種** 教授 1名  
**勤務場所** 京都大学大学院工学研究科 材料工学専攻 材料設計工学講座(所在地：京都市左京区吉田本町)  
**職務内容** 専門分野：材料工学  
 材料科学に立脚した教育ならびに先進的な材料研究に携わっていただきます。  
**資格等** 着任の時点で博士の学位を有する者  
**任期** 任期なし  
**雇用期間(着任時期)** 2020年4月以降できるだけ早い時期  
**試用期間** あり(6か月)  
**勤務形態** 専門業務型裁量労働制(1日7時間45分相当)  
 休日：土日曜、祝日、年末年始、創立記念日、夏季一斉休業日  
**給与等** 本学支給基準に基づき支給  
**手当** 本学支給基準に基づき支給  
**社会保険** 文部科学省共済組合、厚生年金、雇用保険および労災保険に加入  
**応募方法** <提出書類>  
 以下の内容をそれぞれPDF形式で作成し、CD1枚もしくはUSBメモリー1個で提出すること。履歴書のみを、紙媒体に出力したものを添付すること。  
 1. 履歴書(書式任意)  
 2. 研究業績概要(A4版1枚以内)  
 3. 主要論文5編以内  
 4. 研究業績リスト(原著論文、国際会議報告、総説、著書などに分類のこと)  
 5. 今後の研究・教育の計画と抱負(A4版1枚以内)  
 6. 照会可能者の氏名と連絡先  
**送付先** 〒606-8501 京都市左京区吉田本町  
 京都大学大学院材料工学専攻 人事選考委員会  
**応募締切** **2019年7月31日(水)必着**  
**選考方法** 書類審査のうえ、面接により選考を行います。詳細は別途連絡します。  
**その他**

- 封書の表に「材料工学教授公募」と朱書きし、宅配便や簡易書留など、配達記録が残るものにする。
- 提出頂いた書類は、採用審査のみ使用します。正当な理由なく第三者への開示、譲渡および貸与することは一切ありません。応募書類はお返ししませんので予めご了承願います。
- 京都大学は男女共同参画を推進しています。多数の女性研究者の積極的な応募を期待します。また、複数の応募者において公正な審査に基づき同等の能力があると認められる場合には、女性を優先します。
- 所属する教員組織は物理工学系となります。教育・研究上は材料工学専攻の所属となります。

**問合せ先** E-mail: application\*mtl.kyoto-u.ac.jp  
 (担当：人事選考委員会)  
 ※アドレスの\*は@に置き換えて下さい。

◇鳥取大学工学部 教員公募◇

**募集人員** 助教 1名  
**所 属** 機械物理系学科(機械工学講座)  
**専門分野** 材料工学(材料組織学や材料強度学など)あるいは材料加工学(特に粉末冶金や塑性加工)に関する分野  
**担当授業科目** 材料工学または材料加工学に関連する専門科目、及び数学、物理、実験などの基礎科目  
**応募資格** (1)博士の学位を有すること(もしくは2020年3月末までに取得見込み)  
 (2)上記専門分野の研究業績を有し、新しい研究を積極的に推進する意欲を持ち、学生の教育に熱意を持って取り組むことができること  
**着任時期** 2019年12月1日以降のできるだけ早い時期  
**提出書類**

- ①履歴書(様式1)
- ②教育歴(様式2)
- ③研究歴(様式3)
- ④その他の活動歴(様式4)
- ⑤着任後の抱負(様式5)
- ⑥研究業績リスト(様式6-1)
- ⑦所見を伺える方の照会先(2名)または推薦状(2通)(様式7)
- ⑧主要な査読付学術論文の別刷り(コピー可)：3編程度

**応募締切** **2019年8月30日(金)必着**  
**選考方法** 学科内選考(1次：書類審査、2次：面接(プレゼンテーションを含む)および学部内選考)  
**問合せ先・書類送付先**  
 〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101  
 鳥取大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻 専攻長 佐藤昌彦  
 ☎ 0857-31-5195 FAX 0857-31-5210  
 E-mail: sato@tottori-u.ac.jp  
 \*封筒表面に「教員応募書類在中」と朱書きし、簡易書留郵便又は宅配便にて送付のこと、なお、原則として提出書類は返却しませんのでご了承下さい)  
 \*公募の詳細については、必ず以下のホームページを参照すること  
<http://akebia.jim.tottori-u.ac.jp/info/koubo.html>

◎掲示板は、ホームページにも掲載しておりますのでご覧下さい。

日本金属学会誌掲載論文  
Vol. 83, No. 6 (2019)

—論 文—

磁場印加による強磁性  $\tau$ -Mn-Al への相変態の促進

小林領太 三井好古 梅津理恵 高橋弘紀  
水口将輝 小山佳一

エアロゾルデポジション法によるムライト膜の形成と  
大気熱曝露にともなう組織変化

渋屋俊貴 水野泰輔 井内敦久 長谷川 誠

Mg-Al-Ca 合金における  $C_{15}$ - $Al_2Ca$  析出相の三次元的  
形状

柏瀬早季子 畝川真梨子 久澤大夢 寺田芳弘

アルミ合金上の Ni メッキを想定した様々な Ni/Al 界  
面の密着性に関する分子動力学研究

屋代如月 二村晟平 内藤圭史

共沈後異なる温度での水熱処理により合成した Co-  
Ni スピネルフェライト粒子の構造と磁気特性

岸本幹雄 ハワ ラティフ 喜多英治 柳原英人

AZ31B マグネシウム合金圧延材の集合組織形成及び  
室温成形性に及ぼす曲げ引張り加工の影響

野口智之 鈴木一孝 黄 新胜 斎藤尚文 塚田祐貴  
小山敏幸 千野靖正

Materials Transactions 掲載論文  
Vol. 60, No. 6 (2019)

—Special Issue on Frontier Researches Related  
to Interconnection, Packaging and Microjoining  
Materials and Microprocessing for Such Materials  
-Part II—

Preface Ikuo Shohji and Yoshiharu Kariya

Evaluation of Fatigue Crack Propagation Behavior of  
Pressurized Sintered Ag Nanoparticles and Its Application  
to Thermal Fatigue Life Prediction of Sintered Joint  
Takahiko Sato, Yoshiharu Kariya,  
Hiroki Takahashi, Taishi Nakamura and Yuki Aiko

Development of Polyester-Modified Epoxy Resins  
for Self-Organization Soldering

Shinji Fukumoto, Keisuke Yoshida, Yosuke Mizokami,  
Michiya Matsushima and Kozo Fujimoto

Effect of Specimen Size on Toughness Evaluation  
by Charpy Test (Rapid Publication) Tetsuya Ando,  
Norifumi Ito, Wataru Inagaki and Naofumi Nakazato

Measurements and FEM Analyses of Strain Distribution  
in Small Sn Specimens with Few Crystal Grains  
Takumi Sasaki, Atsushi Yanase, Dai Okumura,  
Yoshiharu Kariya, Masaaki Koganemaru and Toru Ikeda

Evaluation of Fatigue Crack Propagation of Sn-  
5.0Sb/Cu Joint Using Inelastic Strain Energy  
Density

Yuta Nakajima, Keisuke Ono and Yoshiharu Kariya

Tensile Behavior and Superplastic Deformation of  
Sn-Bi-Cu Alloy

Junpei Umeyama and Akira Yamauchi

Effects of Ni Addition to Sn-5Sb High-Temperature  
Lead-Free Solder on Its Microstructure and  
Mechanical Properties

Tatsuya Kobayashi, Kohei Mitsui and Ikuo Shohji

Compound Growth due to Isothermal Annealing of  
Cu-Clad Al Wire

Takeshi Kizaki, Minho O and Masanori Kajihara

Influence of Silica Filler Addition on Fatigue  
Crack Propagation Rate of Underfill Resin

Jun Ishibashi, Yoshiharu Kariya, Toshiyuki Satoh,  
Toshiaki Enomoto and Hiroshi Yamaguchi

Effect of Bi Addition on Tensile Properties of Sn-  
Ag-Cu Solder at Low Temperature

Yukihiko Hirai, Kouki Oomori, Hayato Morofushi and  
Ikuo Shohji

—Regular Article—

Materials Physics

Conversion of Magnetic Freedoms into Atomic  
Configurational Freedoms within the Cluster  
Variation Method Ryo Yamada and Tetsuo Mohri

Microstructure of Materials

Difference in the Effect of Cold Working and Tem-  
pering on Microstructure of Mod.9Cr-1Mo Steel

Yoshiki Shioda, Keiji Kubushiro and Yoshinori Murata

Effect of Solidification Rate on the Microstruc-  
ture and Strain-Rate-Sensitive Mechanical Behav-  
ior of AlCoCrFeNi High-Entropy Alloy Prepared  
by Bridgman Solidification

Xutao Wang, Yakai Zhao, Jinlian Zhou, Yunfei Xue,  
Fangqiang Yuan, Lili Ma, Tangqing Cao and Lu Wang

Representation of Nye's Lattice Curvature Tensor  
by Log Angles

Ryosuke Matsutani and Susumu Onaka

Alignments and Orientations of  $MnSn_2$  Phase dur-  
ing the Solidification Process of Sn-Mn Alloy un-  
der a High Magnetic Field

Lei Li, Yuantong Bi, Hui Zhang and Jianzhong Cui

Influence of Minor Sc Addition on Microstructure  
and Mechanical Properties of Extruded Al-7Zn-  
2Mg-1.5Cu-0.1Zr Alloy in T6 Heat Treatment

Qing-Yan Zhu, Li-Jia Chen and Xiao-Ran Huo

Mechanics of Materials

Fatigue Property and Design Criterion of Cast  
Steel for Railway Bogie Frames

Taizo Makino, Yoshiyuki Shimokawa and  
Miyuki Yamamoto

**Crystal Plasticity Analysis of Microscopic Deformation Mechanisms and GN Dislocation Accumulation Depending on Vanadium Content in  $\beta$  Phase of Two-Phase Ti Alloy**

Yoshiki Kawano, Tetsuya Ohashi, Tsuyoshi Mayama, Masatoshi Mitsuahara, Yelm Okuyama and Michihiro Sato

**Effect of Friction Stir Processing on Hardness and Microstructure in La-Based Bulk Metallic Glass Composites**

Xiangyun Zhang, Dong Jiao, Shixia Li, Chunyan Li and Zizhou Yuan

**Creep Behavior in Pure Magnesium at Room Temperature**

Tetsuya Matsunaga, Hiromichi Hongo and Masaaki Tabuchi

**Materials Chemistry**

**Simultaneous Recovery of Zinc and Manganese from Cadmium-Containing Mixed-Battery Leachate by Separation and Purification Process**

Dong Ju Shin, Sung-Ho Joo, Dongseok Lee, Jin-Tae Park, Dong Joon Min and Shun Myung Shin

**Desilication of Highly Acidic Titanyl Chloride Solution for the Production of High-Purity Titania Pigment from a Spent Selective Catalytic Reduction Catalyst**

Gyeonghye Moon, Yeon-Chul Cho, Jin-Young Lee and Jungshin Kang

**Materials Processing**

**Ultrasonic Reflection Characteristics of Wrinkle in Sheet Metal Forming –Evaluation by FDTD Analysis and Ultrasonic Measurement Using Model Specimen–**

Yuji Segawa, Takuya Kuriyama, Yasuo Marumo, Taekyung Lee, Yasuhiro Imamura, Tomohiro Nonaka and Yutaka Sakata

**Measurement and Functional Approximation of Peening Intensity Distributions**

Takahiro Ohta and Akiko Inoue

**Microstructures of Cemented Carbide Dipped in Molten High Chromium Cast Iron**

Akihiro Shibata, Mamoru Takemura, Mitsuaki Matsumuro, Tadashi Kitsudo, Toshiaki Hase and Hideto Matsumoto

**Effect of Sintered Reinforcement on Characteristics of MWCNT-Reinforced Aluminum Alloy Composite via Friction Stir Processing**

Tomonobu Owa, Yasuo Shimizu, Shoji Kaiume and Yoshio Hashimoto

**Optimum Temperature for HIP Bonding Invar Alloy and Stainless Steel**

Takashi Wakui, Hideaki Ishii, Takashi Naoe, Hiroyuki Kogawa, Katsuhiro Haga, Eiichi Wakai, Hiroshi Takada and Masatoshi Futakawa

**Three-Dimensional Glass Furnace Model of Combustion Space and Glass Tank with Electric Boosting**

Luyao Li, Huey-Jiuan Lin, Jianjun Han, Jian Ruan, Jun Xie and Xiujian Zhao

**The Effects of Settling Time on the Quality of Fluxless Mg–Nd–Zn–Zr Melt Preparation**

Yanyan Huang, Chengzhi Yang, Jili Zha, Siyuan Long and Hanxue Cao

**Engineering Materials and Their Applications**

**High-Temperature Thermoelectric Properties of  $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_3$  ( $0.1 \leq x \leq 0.7$ )**

Hiroshi Nakatsugawa, Miwa Saito and Yoichi Okamoto

**Heat Treatment Effects on Electrical Resistivity of Spinel Ferrite Layer for Powder Magnetic Core**

Junghwan Hwang, Seishi Utsuno and Ken Matsubara

**FeNi and  $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  Magnets Prepared Using Leaching**

Takayuki Kojima, Satoshi Kameoka, Masaki Mizuguchi, Koki Takanashi and An-Pang Tsai

**Fabrication and Thermoelectric Property of  $\text{Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}/\text{InSb}$  Eutectic Alloy by Melt Spinning and Spark Plasma Sintering**

Mohd Natashah Norizan, Yuji Ohishi, Ken Kurosaki and Hiroaki Muta

**Enhanced Thermoelectric Properties of Ga and Ce Double-Filled *p*-Type Skutterudites**

Jungmin Kim, Yuji Ohishi, Hiroaki Muta and Ken Kurosaki

**Effect on Electrochemical Properties of Phases in AB-Type Zr–Ti–Nb–Ni Alloys as Nickel-Metal Hydride Batteries**

Akihiro Matsuyama, Hironori Takito, Takumi Kozuka, Tomoyuki Takemoto and Hiroshi Inoue

**Environment**

**Solvent Extraction Separation of Silver(I) and Zinc(II) from Nitrate Leach Solution of Spent Silver Oxide Batteries with D2EHPA**

Sung-Yong Cho, Won-geun Lee and Pan-Pan Sun

**—Technical Article—**

**Novel Ferritic Stainless Steel with Advanced Mechanical Properties and Significant Magnetic Responses Processed by Selective Laser Melting**

Shang Feng, Chen Xiaoqiu, Zhang Peng, Ji Zuchun, Ming Fei, Ren Shubin and Qu Xuanhui

まてりあ 第58巻 第7号 予告

ミニ特集企画「超合金を凌駕せよ！次世代を狙う耐熱材料と皮膚の現状と将来展望」

〔新進気鋭〕相変態を利用した高性能マグネシウム合金の開発  
……………小川由希子

—他—

(都合により変更になる場合がございます)

## 平成30年度事業報告

(自 2018年3月1日 至 2019年2月28日)

平成30年度の事業の概要は、次の通りである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①平成30年度は公益社団法人に移行した6年目の事業年度であり、定款に定める公益目的事業を推進した。
- ②刊行事業では、会報は月平均57頁で、冊子体は5,700部、第58巻1号からは5,500部を刊行するとともに、電子ジャーナルを刊行した。魅力ある会報に受けた取り組みを推進し、第57巻5号、7号及び第58巻2号の巻頭に読み物記事を掲載するとともに、第58巻1号から「金属素描」と「金属何でもランキング」の各号交互に掲載を開始した。会誌は月平均41頁で、第83巻1号からオンラインジャーナル化し、冊子体は290部に削減した。フリーアクセス、投稿・審査の無料、Graphical Abstract掲載およびAdvance Viewを継続した。欧文誌Materials Transactionsは平均167頁で、Vol. 60, No. 1からオンラインジャーナル化し、冊子体は190部に削減した。特集及びOverview並びにReviewの増強を継続し、J-STAGEへのお勧め論文掲載、各号公開やフリーダウンロード可能となった論文のメール配信を継続した。インパクトファクター向上策として、高被引用論文のメール配信、依頼Overviewや被引用の見込まれる論文のフリーダウンロード化、投稿・審査料の追加費用によるフリーダウンロード化、Graphical Abstractの必須化を開始した。会報および日本金属学会誌は印刷契約を更新した。
- ③講演会・講習会事業では、春期講演大会を千葉工業大学新習志野キャンパスにて、講演件数735件、参加者数1,286名で開催し、秋期講演大会を東北大学川内北キャンパスおよび仙台国際センターにて、講演件数1,037件、参加者数1,655名で開催した。講演件数、参加者数とも、いずれも前年を上回った。昨年開始した企画シンポジウムを春期講演大会で1テーマ、秋期講演大会で2テーマ開催した。秋期講演大会の企画シンポジウムのうちの1件は、自動車技術会・日本鉄鋼協会と共同で開催した。公募シンポジウムは春期講演大会で4テーマ、秋期講演大会で9テーマを開催した。秋期講演大会から高校生・高専学生ポスターセッションを新たに開始した。ランチョンセミナーの開催を継続した。講演大会委員会では、一般講演のセッションの大括り化改編および分野の9分野への再編を決定した。講習会事業では、金属学会セミナーを3テーマ開催した。そのうちの1テーマは、金属学の基礎を若手研究者・技術者に教授する特別講座として開催した。支部では、57件の講演会・講習会を開催し、講演会・講習会事業の積極的な推進を継続した。
- ④調査・研究事業では、分科会委員会及び分科会企画委員会の名称を、それぞれ調査研究委員会及び調査研究推進委員会に改称するとともに、9分科への分科再編を決定した。新規研究会を2件採択し、11の研究会が活動を行った。第1回の若手研究グループ4件を採択し、活動を開始した。また、春期講演大会に合わせて第4回企業説明会を開催した。支部では44件の研究会、7件の見学会を開催した。男女共同参画委員会では、講演大会会場におけるランチョンミーティング及び女性会員の集いの開催を継続した。国際連携活動ではIOMMMSとのWorld Materials Day Award授賞及びTMSとのJIM/TMS Young Leader相互派遣、KIMとの大会への相互表敬訪問及びKIM-JIM共同シンポジウムの共催を実施した。
- ⑤表彰・奨励事業では、春表彰10件、秋表彰11件を授賞した。また、高校・高専学生ポスター賞の授賞を開始し、最初のフェロー6名を認定した。支部でも主に若手を対象とした授賞をした。
- ⑥庶務では、セルフガバナンスの推進に努めた。定時社員総会を開催し、理事会はほぼ2ヶ月ごとに開催し、業務執行理事による業務執行報告を行なった。法令で定められた申請書類や定期提出書類を提出した。
- ⑦会計では、研究助成の実施に備えて特定費用準備資金として新たに調査・研究事業拡充資金を積み立てた。平成28年8月に開催したPRICM9の収益による講演会・講習会事業の黒字額は予定通り今年度で全て消費した。公益法人の財務3基準である、収支相償、公益目的事業比率、遊休財産額保有上限額をいずれも達成した。

## 平成30年度決算

### 正 味 財 産 増 減 計 算 書

平成30年3月1日から平成31年2月28日まで

(単位：円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1)経常収益				
特定資産運用益	25,098,091	25,099,385	-1,294	
特定資産受取利息	25,098,091	25,099,385	-1,294	
退職給付引当資産	693,223	693,444	-221	
減価償却引当資産	54	40	14	
刊行事業資金	6,390,499	6,390,499	0	
刊行事業拡充賛助寄付資金	1,280	1,276	4	
講演会・講習会事業資金	5,991,650	5,990,650	1,000	
講演会・講習会事業拡充資金	162	1,000	-838	
国際会議開催準備資金	28	0	28	
調査・研究事業資金	5,290,464	5,290,464	0	未經過償還差額の償却額40,464円を含む
国際学術交流資金	1,734,000	1,734,000	0	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	235,501	235,501	0	
研究技術功労賞資金	119,000	119,000	0	
奨励賞・奨学賞等資金	841,950	841,950	0	
谷川・ハリス賞資金	255,000	255,000	0	
増本量賞資金	595,000	595,000	0	
村上賞資金	1,900,280	1,901,561	-1,281	未経過償還差額の償却額30,380円は含まない。指定正味財産から1,900,000円を振替。
<b>受取入金</b>	<b>106,000</b>	<b>106,000</b>	<b>0</b>	
受取入金	106,000	106,000	0	
<b>受取会費</b>	<b>69,655,225</b>	<b>73,989,351</b>	<b>-4,334,126</b>	
正員受取会費	34,343,348	35,166,857	-823,509	正員数減
学生員受取会費	3,389,842	4,591,974	-1,202,132	会費値下げ
維持員受取会費	30,743,055	33,015,277	-2,272,222	会費期ずれなし
外国会員受取会費	1,178,980	1,215,243	-36,263	
<b>事業収益</b>	<b>105,244,840</b>	<b>94,866,149</b>	<b>10,378,691</b>	
<b>刊行事業収益</b>	<b>62,210,113</b>	<b>57,312,999</b>	<b>4,897,114</b>	
会報購読費収益	2,155,907	2,387,198	-231,291	
会誌購読費収益	6,624,886	7,173,278	-548,392	購読減
欧文誌購読費収益	9,860,240	10,304,379	-444,139	
会報別刷等収益	3,484,904	2,189,174	1,295,730	別刷増
会誌別刷・審査収益	1,930,824	3,012,124	-1,081,300	会誌掲載数減
欧文誌別刷・審査収益	27,227,518	21,746,224	5,481,294	欧文誌掲載数増
刊行事業広告収益	6,733,800	5,483,160	1,250,640	広告増
講座・現代の金属学収益	1,991,902	2,375,682	-383,780	
金属化学入門シリーズ収益	1,964,602	2,446,844	-482,242	
単行本収益	235,530	194,936	40,594	
<b>講演会・講習会事業収益</b>	<b>37,809,727</b>	<b>31,774,502</b>	<b>6,035,225</b>	
講演大会参加費収益	18,550,200	14,574,000	3,976,200	参加費値上げ、大会参加者数増
講演概要集収益	10,059,612	10,297,424	-237,812	
講演大会懇親会参加費収益	921,000	1,025,500	-104,500	
金属学会シンポジウム参加費収益	0	163,000	-163,000	
金属学会シンポジウム予稿集収益	331,615	1,240	330,375	
セミナー参加費収益	1,440,611	763,000	677,611	セミナー開催増
セミナーテキスト収益	122,580	29,742	92,838	
講演会・講習会事業広告収益	4,316,239	2,598,754	1,717,485	講演大会付設機器展示増
支部講演会・講習会事業収益	1,630,437	1,904,616	-274,179	
講演会・講習会事業委託収益	437,433	417,226	20,207	(公財)本多記念会
<b>調査・研究事業収益</b>	<b>2,957,000</b>	<b>3,510,648</b>	<b>-553,648</b>	
調査・研究事業収益	2,957,000	3,510,648	-553,648	企業説明会参加企業減
<b>表彰・奨励事業収益</b>	<b>2,268,000</b>	<b>2,268,000</b>	<b>0</b>	
審査・投稿料収益	2,268,000	2,268,000	0	
<b>受取補助金等</b>	<b>1,230,000</b>	<b>0</b>	<b>1,230,000</b>	
受取国庫助成金	500,000	0	500,000	特定求職雇用開発助成金
受取地方公共団体助成金	730,000	0	730,000	秋期講演大会助成金
受取寄付金	0	0	0	指定正味財産からの振替なし
<b>雑収益</b>	<b>452,183</b>	<b>546,240</b>	<b>-94,057</b>	
受取利息	559	540	19	
雑収益	451,557	545,623	-94,066	
支部受取利息・雑収益	67	77	-10	
<b>経常収益計</b>	<b>201,786,339</b>	<b>194,607,125</b>	<b>7,179,214</b>	
(2)経常費用				
<b>事業費</b>	<b>161,477,632</b>	<b>155,115,800</b>	<b>6,361,832</b>	
<b>刊行事業費</b>	<b>87,021,747</b>	<b>82,856,136</b>	<b>4,165,611</b>	
給料手当	25,912,297	24,037,398	1,874,899	職員増
退職給付費用	1,982,297	1,532,956	449,341	職員増
福利厚生費	4,373,642	3,797,228	576,414	職員増
会報刊行費	30,509,019	27,465,535	3,043,484	カラーページ増
会誌刊行費	6,039,185	6,514,939	-475,754	ページ数減
欧文誌刊行費	16,385,192	17,371,985	-986,793	印刷単価減
学術図書類刊行費	1,820,115	2,136,095	-315,980	
<b>講演会・講習会事業費</b>	<b>50,162,710</b>	<b>48,398,830</b>	<b>1,763,880</b>	
給料手当	15,547,379	16,822,163	-1,274,784	臨時職員減
退職給付費用	1,189,378	919,774	269,604	
福利厚生費	2,624,185	2,278,337	345,848	
講演大会開催費	22,050,409	20,655,325	1,395,084	会場費増
講演大会懇親会費	1,494,005	1,106,303	387,702	
本多記念講演開催費	224,922	138,510	86,412	
金属学会シンポジウム開催費	197,287	231,105	-33,818	
セミナー開催費	1,841,496	1,077,657	763,839	セミナー開催増



科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
国際会議開催費	25,408	121,000	-95,592	
支部講演会・講習会開催費	4,968,241	5,048,656	-80,415	
<b>調査・研究事業費</b>	<b>14,330,721</b>	<b>15,366,148</b>	<b>-1,035,427</b>	
給料手当	2,591,230	2,403,740	187,490	
退職給付費用	198,230	153,296	44,934	
福利厚生費	437,364	379,723	57,641	
関連団体連携事業費	195,240	58,020	137,220	
日本工学会費	231,869	247,172	-15,303	
材料戦略委員会費	15,000	435,280	-420,280	会議減
科研費委員会費	2,500	192,520	-190,020	
人材育成委員会費	15,000	323,832	-308,832	
男女共同参画委員会費	151,757	488,601	-336,844	
調査・研究委員会費	3,140,986	4,308,618	-1,167,632	会議費減
研究会費	2,362,887	1,455,117	907,770	研究会集増, 若手研究グループ新設
企画委員会費	712,723	1,034,802	-322,079	
セルフガバナンス委員会費	2,500	90,376	-87,876	
国際学術交流委員会費	2,418,354	1,366,582	1,051,772	旅費・交通費増
支部調査・研究事業費	1,855,081	2,428,469	-573,388	支部研究会減
<b>表彰・奨励事業費</b>	<b>9,917,778</b>	<b>8,446,434</b>	<b>1,471,344</b>	
給料手当	2,591,230	2,403,740	187,490	
退職給付費用	198,230	153,296	44,934	
福利厚生費	437,364	379,723	57,641	
名誉員費	86,640	172,610	-85,970	
各種賞検討委員会費	1,505,708	1,314,427	191,281	
学会賞費	876,393	783,830	92,563	
学術貢献賞費	37,091	6,902	30,189	
学術功労賞費	15,575	3,500	12,075	
技術賞費	75,422	71,540	3,882	
技術開発賞費	464,947	269,838	195,109	
金属組織写真賞費	57,167	29,420	27,747	
研究技術功労賞費	426,445	259,800	166,645	
功績賞費	211,390	184,940	26,450	
功労賞費	13,236	4,521	8,715	
奨励賞・奨学賞等費	305,497	226,053	79,444	
谷川・ハリス賞費	61,510	92,220	-30,710	
増本量賞費	411,094	207,500	203,594	
まてりあ賞	50,821	4,521	46,300	
村上賞費	1,448,355	1,436,281	12,074	
論文賞費	293,139	156,444	136,695	
フェロー費	147,136	0	147,136	
支部表彰・奨励事業費	203,388	285,328	-81,940	
<b>貸倒引当損</b>	<b>44,676</b>	<b>48,252</b>	<b>-3,576</b>	
<b>管理費</b>	<b>18,788,263</b>	<b>16,619,391</b>	<b>2,168,872</b>	
給料手当	5,182,458	4,807,478	374,980	
退職給付費用	396,459	306,590	89,869	
福利厚生費	874,726	759,444	115,282	
会議費	812,053	539,719	272,334	
旅費交通費	3,957,914	3,625,003	332,911	
通信運搬費	548,062	413,521	134,541	
減価償却費	299,562	251,868	47,694	
消耗什器備品費	163,537	139,680	23,857	
消耗品費	58,006	19,466	38,540	
修繕費	43,200	0	43,200	
印刷製本費	19,411	146,050	-126,639	
光熱水料費	40,899	44,048	-3,149	
賃借料	518,400	518,400	0	
保険料	14,502	7,318	7,184	
諸謝金	20,046	140,322	-120,276	
租税公課	3,094,900	2,784,100	310,800	
送金手数料	116,249	135,265	-19,016	
支払負担金	0	12,000	-12,000	
システム管理費	445,854	189,606	256,248	
委託費	1,512,000	1,548,298	-36,298	
貸倒引当損	44,675	48,252	-3,577	会費のうち法人会計分.
雑費	625,350	182,963	442,387	
<b>経常費用計</b>	<b>180,265,895</b>	<b>171,735,191</b>	<b>8,530,704</b>	
<b>評価損益等調整前経常増減額</b>	<b>21,520,444</b>	<b>22,871,934</b>	<b>-1,351,490</b>	
<b>評価損益等</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>当期経常増減額</b>	<b>21,520,444</b>	<b>22,871,934</b>	<b>-1,351,490</b>	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	21,520,444	22,871,934	-1,351,490	
一般正味財産期首残高	1,025,528,972	1,002,657,038	22,871,934	
一般正味財産期末残高	1,047,049,416	1,025,528,972	21,520,444	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,900,000	1,900,000	0	
未経過償還差額金の償却額	30,380	30,380	0	
刊行事業拡充賛助寄付金	150,000	400,000	-250,000	
一般正味財産への振替額	1,900,000	1,900,000	0	
当期指定正味財産増減額	180,380	430,380	-250,000	
指定正味財産期首残高	446,632,786	446,202,406	430,380	
指定正味財産期末残高	446,813,166	446,632,786	180,380	
III. 正味財産期末残高	1,493,862,582	1,472,161,758	21,700,824	

- (注) 1. 小科目の対前年度比較30%超かつ50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。  
2. 人件費の配賦率は、刊行事業50%、講演会・講習会事業30%、調査・研究事業5%、表彰・奨励事業5%、法人会計10%としている。

◇ ◇ ◇

**貸借対照表**

平成31年2月28日現在

(単位：円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減
I. 資産の部			
1. 流動資産			
現金預金	104,123,718	99,804,896	4,318,822
未収会費	2,978,497	3,216,832	-238,335
未収金	3,559,374	4,455,763	-896,389
貸倒引当金	-193,857	-167,303	-26,554
前払金	754,817	1,477,674	-722,857
棚卸資産	6,028,522	5,528,387	500,135
その他流動資産	11,336	0	11,336
流動資産合計	117,262,407	114,316,249	2,946,158
2. 固定資産			
(1)特定資産			
退職給付引当資産	68,456,864	64,492,270	3,964,594
減価償却引当資産	7,453,792	5,564,735	1,889,057
刊行事業資金	305,000,000	305,000,000	0
刊行事業拡充賛助寄付資金	128,450,000	128,300,000	150,000
講演会・講習会事業資金	306,500,000	306,500,000	0
講演会・講習会事業拡充資金	0	18,330,000	-18,330,000
国際会議開催準備資金	3,500,000	2,500,000	1,000,000
調査・研究事業資金	269,797,262	269,756,798	40,464
調査・研究事業拡充資金	30,000,000	0	30,000,000
国際学術交流資金	102,000,000	102,000,000	0
表彰・奨励事業資金	50,000,000	50,000,000	0
学会賞資金	11,510,000	11,510,000	0
研究技術功労賞資金	7,000,000	7,000,000	0
奨励賞・奨学賞等資金	54,000,000	54,000,000	0
谷川・ハリス賞資金	15,000,000	15,000,000	0
増本量賞資金	35,000,000	35,000,000	0
村上賞資金	103,853,166	103,822,786	30,380
特定資産合計	1,497,521,084	1,478,776,589	18,744,495
(2)その他固定資産			
什器備品	745,386	483,000	262,386
減価償却累計額	-570,460	-482,999	-87,461
リース 什器備品	5,279,904	4,898,880	381,024
減価償却累計額	-1,180,440	-2,303,640	1,123,200
小計 什器備品	6,025,290	5,381,880	643,410
減価償却累計額	-1,750,900	-2,786,639	1,035,739
ソフトウェア	9,201,840	7,390,680	1,811,160
減価償却累計額	-6,883,332	-5,081,736	-1,801,596
リース ソフトウェア	1,185,840	1,185,840	0
減価償却累計額	-355,752	-118,584	-237,168
小計 ソフトウェア	10,387,680	8,576,520	1,811,160
減価償却累計額	-7,239,084	-5,200,320	-2,038,764
電話加入権	50,300	50,300	0
敷 金	2,400,000	2,400,000	0
その他固定資産合計	9,873,286	8,421,741	1,451,545
固定資産合計	1,507,394,370	1,487,198,330	20,196,040
資産合計	1,624,656,777	1,601,514,579	23,142,198
II. 負債の部			
1. 流動負債			
未払金	2,847,052	1,216,814	1,630,238
前受金	47,637,086	51,276,079	-3,638,993
預り金	6,923,641	8,705,162	-1,781,521
リース債務	1,117,152	1,053,648	63,504
流動負債合計	58,524,931	62,251,703	-3,726,772
2. 固定負債			
リース債務	3,812,400	2,608,848	1,203,552
退職給付引当金	68,456,864	64,492,270	3,964,594
固定負債合計	72,269,264	67,101,118	5,168,146
負債合計	130,794,195	129,352,821	1,441,374
III. 正味財産の部			
1. 指定正味財産	446,813,166	446,632,786	180,380
寄付金	446,813,166	446,632,786	180,380
(うち特定資産への充当額)	446,813,166	446,632,786	180,380
2. 一般正味財産	1,047,049,416	1,025,528,972	21,520,444
一般正味財産	1,047,049,416	1,025,528,972	21,520,444
(うち特定資産への充当額)	982,251,054	967,651,533	14,599,521
正味財産合計	1,493,862,582	1,472,161,758	21,700,824
負債及び正味財産合計	1,624,656,777	1,601,514,579	23,142,198

## 2019年度事業計画書

(自 2019年3月1日 至 2020年2月29日)

2019年度の事業の概要は、次のとおりである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①2019年度は、公益社団法人としての7年目の事業年度であり、引き続きセルフガバナンスに基づいて、公益目的事業を公正かつ適切に推進する。
- ②日本金属学会ビジョンおよび10年後の姿の実現に向けた諸施策を推進する。
- ③刊行事業については、機関誌3誌の刊行を推進する。まてりあは、入門講座や講義ノート等の学術及び技術並びに情報の記事を充実させる。さらに、金属及び関連材料に関する情報が知りたいときに必ず手に取る情報誌であることを実現させるために、誌面や記事構成の更新等を推進する。具体的な対応策として、掲載記事構成の定型化を行い、これに簡潔な記事(研究室紹介、はばたくなど)を散りばめていく。さらに、記事見出しなどのデザイン見直し、編集委員執筆記事の掲載、ページ数増加を行っていく。日本金属学会誌は、日本語で書かれた最新知見の発信や高度な専門性のある提案・意見交流・学理追求の場として維持向上を図るために、積極的な投稿勧誘等を推進する。Materials Transactions は、日本の代表的な材料系英文論文誌であり続けるよう、より一層高度化するとともに、インパクトファクターの向上を目指し、ReviewやOverviewの掲載や査読の厳格化等によって掲載論文の質を向上させる。さらに、質の高い論文が掲載されていることの周知やオープン化拡大等の掲載論文引用の促進等の施策を推進する。学術図書類は、既刊図書のデジタル化及び理数探求科目履修支援のためのコンテンツ制作を推進する。
- ④講演会・講習会事業については、最新の研究や技術を発信し、多様かつ多くの研究者や技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、魅力あるシンポジウムの企画や他学協会との連携企画の拡充等の施策を推進する。また、講演大会参加者の利便性を向上させるために、講演概要集のWeb化を推進する。さらに、基礎から最新の研究や技術までを学べるセミナーの開催や次世代を担う人材の教育と育成に貢献する魅力ある講習会の開催等のメニューの拡大を推進する。
- ⑤調査・研究事業については、我が国の材料科学を先導していくことを目指し、再編した分科による活動を推進する。また、若手研究者の育成を目的として、研究助成事業を開始する。なお、本年度は募集を実施し、助成金の交付開始は来年度となる。さらに、金属及び関連材料に興味を持つ若い世代を育てることを目指し、学校教育の支援や青少年向けイベントの開催、若手交流等の人材育成に関する事業を拡充する。国際学術交流は、従来から推進しているTMSおよびKIMとの交流等の推進に加えて、講演大会における国際セッションの開催を検討する。
- ⑥表彰・奨励事業については、各賞の授賞目的と対象を再整理し、将来の更なる発展が期待できる若手を対象とした賞の拡充等を推進する。
- ⑦庶務については、引き続き法令等および本会の定めに則り、公正かつ適切に行う。また、学会の活動を広く世間に周知するために、広報活動を推進する。
- ⑧会計については、引き続き最新の公益法人会計基準および公益認定等ガイドライン等に則り、公正かつ適切に行う。

## 2019年度収支予算書

2019年3月1日から2020年2月29日まで

(単位：円)

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1)経常収益				
特定資産運用益	25,137,956	25,134,159	3,797	
特定資産受取利息	25,137,956	25,134,159	3,797	
退職給付引当資産	698,050	698,089	-39	
減価償却引当資産	1,113	817	296	
刊行事業資金	6,391,250	6,391,250	0	
刊行事業拡充賛助寄付資金	25,660	25,620	40	
講演会・講習会事業資金	5,991,625	5,991,625	0	
講演会・講習会事業拡充資金	4,166	4,166	0	
調査・研究事業資金	5,290,464	5,290,464	0	
調査・研究事業拡充資金	3,000	0		2019年度より積立
国際学術交流資金	1,734,000	1,734,000	0	
国際会議準備資金	500	0		
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	235,503	235,503	0	
研究技術功労賞資金	119,000	119,000	0	
奨励賞・奨学賞等資金	842,625	842,625	0	
谷川・ハリス賞資金	255,000	255,000	0	
増本量賞資金	595,000	595,000	0	
村上賞資金	1,901,000	1,901,000	0	
受取入会金	110,000	90,000	20,000	
受取入会金	110,000	90,000	20,000	
受取会費	66,900,000	67,450,000	-550,000	
正員受取会費	35,200,000	35,750,000	-550,000	正員減
学生員受取会費	3,040,000	3,040,000	0	
維持員受取会費	27,800,000	27,800,000	0	
外国会員受取会費	860,000	860,000	0	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
<b>事業収益</b>	<b>94,640,493</b>	<b>96,703,953</b>	<b>-2,063,460</b>	
<b>刊行事業収益</b>	<b>52,096,293</b>	<b>56,767,153</b>	<b>-4,670,860</b>	
会報購読費収益	2,134,490	2,325,750	-191,260	
会誌購読費収益	3,565,200	4,980,320	-1,415,120	オンラインジャーナル化
欧文誌購読費収益	10,072,480	10,961,960	-889,480	オンラインジャーナル化
会報別刷等収益	2,431,800	3,754,800	-1,323,000	別刷減
会誌別刷・審査収益	840,000	2,556,000	-1,716,000	オンラインジャーナル化
欧文誌別刷・審査収益	23,124,000	22,500,000	624,000	別刷有料化
刊行事業広告収益	5,544,000	5,304,000	240,000	
講座・現代の金属学収益	2,111,496	2,111,496	0	
金属化学入門シリーズ収益	2,036,867	2,036,867	0	
単行本収益	235,960	235,960	0	
<b>講演会・講習会事業収益</b>	<b>36,605,000</b>	<b>34,032,800</b>	<b>2,572,200</b>	
講演大会参加費収益	17,849,500	16,791,500	1,058,000	参加費値上げ
講演概要集収益	8,914,700	8,811,500	103,200	
講演大会懇親会参加費収益	740,800	861,000	-120,200	
金属学会シンポジウム参加費収益	900,000	0	900,000	シンポジウム増
金属学会シンポジウム予稿集収益	10,000	10,000	0	
セミナー参加費収益	1,530,000	1,660,000	-130,000	
セミナーテキスト収益	30,000	30,000	0	
講演会・講習会事業広告収益	3,870,000	3,178,800	691,200	機器展示増
支部講演会・講習会事業収益	2,200,000	2,200,000	0	
講演会・講習会事業委託収益	560,000	490,000	70,000	
<b>調査・研究事業収益</b>	<b>3,520,000</b>	<b>2,880,000</b>	<b>640,000</b>	
調査・研究事業収益	3,520,000	2,880,000	640,000	企業説明会参加企業増
<b>表彰・奨励事業収益</b>	<b>2,419,200</b>	<b>3,024,000</b>	<b>-604,800</b>	
審査・投稿料収益	2,419,200	3,024,000	-604,800	新技術・新商品減
<b>受取補助金等</b>	<b>600,000</b>	<b>0</b>	<b>600,000</b>	
受取地方公共団体助成金	500,000	0	500,000	秋期講演大会助成
受取国庫助成金	100,000	0	100,000	雇用開発助成
<b>受取負担金</b>	<b>0</b>	<b>1,500,000</b>	<b>-1,500,000</b>	
受取負担金	0	1,500,000	-1,500,000	2017年度実績
<b>受取寄付金</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
受取寄付金	0	0	0	
<b>雑収益</b>	<b>379,375</b>	<b>399,375</b>	<b>-20,000</b>	
受取利息	800	800	0	
雑収益	378,275	398,275	-20,000	
支部受取利息・雑収益	300	300	0	
<b>経常収益計</b>	<b>187,767,824</b>	<b>191,277,487</b>	<b>-3,509,663</b>	
(2)経常費用				
<b>事業費</b>	<b>174,714,980</b>	<b>176,012,446</b>	<b>-1,297,466</b>	
<b>刊行事業費</b>	<b>86,145,076</b>	<b>91,471,313</b>	<b>-5,326,237</b>	
給料手当	25,510,000	25,038,534	471,466	職員増
退職給付費用	1,460,000	2,231,679	-771,679	対象職員減
福利厚生費	6,700,000	3,848,812	2,851,188	職員増
会報刊行費	26,678,076	27,082,763	-404,687	
会誌刊行費	3,905,524	8,377,580	-4,472,056	オンラインジャーナル化
欧文誌刊行費	15,352,576	16,703,045	-1,350,469	オンラインジャーナル化
学術図書類刊行費	6,538,900	8,188,900	-1,650,000	増刷印刷部数減
<b>講演会・講習会事業費</b>	<b>54,032,810</b>	<b>53,022,307</b>	<b>1,010,503</b>	
給料手当	15,306,000	15,023,120	282,880	
退職給付費用	876,000	1,339,007	-463,007	対象職員減
福利厚生費	4,020,000	2,309,287	1,710,713	職員増
講演大会開催費	23,924,600	24,680,933	-756,333	会場費減
講演大会懇親会費	1,540,000	1,820,000	-280,000	
本多記念講演開催費	230,700	264,660	-33,960	
金属学会シンポジウム開催費	1,394,770	50,000	1,344,770	シンポジウム増
セミナー開催費	1,702,740	2,115,300	-412,560	
国際会議開催費	0	0	0	
支部講演会・講習会開催費	5,038,000	5,420,000	-382,000	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
<b>調査・研究事業費</b>	<b>23,057,094</b>	<b>20,772,603</b>	<b>2,284,491</b>	
給料手当	2,551,000	2,503,853	47,147	
退職給付費用	146,000	223,168	-77,168	
福利厚生費	670,000	384,881	285,119	
関連団体連携事業費	51,500	1,500	50,000	
日本工学会費	285,984	269,590	16,394	
材料戦略委員会費	202,500	862,500	-660,000	委員会減
科研費委員会費	1,000	197,000	-196,000	
人材育成委員会費	150,120	1,715,240	-1,565,120	委員会減
男女共同参画委員会費	190,000	190,000	0	
調査研究委員会費	8,069,570	5,518,826	2,550,744	分科増による分科活動費増
研究会費	4,000,000	3,800,000	200,000	若手研究グループ含む
研究助成費	395,000	0	395,000	2019年度開始
企画委員会費	1,327,250	1,327,250	0	
セルフガバナンス委員会費	83,500	83,500	0	
国際学術交流委員会費	2,511,670	1,592,295	919,375	国際セッション開催、PRICM-10派遣
支部調査・研究事業費	2,422,000	2,103,000	319,000	
<b>表彰・奨励事業費</b>	<b>11,480,000</b>	<b>10,746,223</b>	<b>733,777</b>	
給料手当	2,551,000	2,503,853	47,147	
退職給付費用	146,000	223,168	-77,168	
福利厚生費	670,000	384,881	285,119	
名誉員費	232,000	201,000	31,000	
各種賞検討委員会費	1,950,200	1,876,231	73,969	
学会賞費	940,110	904,110	36,000	
学術貢献賞費	14,500	26,500	-12,000	
学術功労賞	14,500	0	14,500	
技術賞費	80,090	20,050	60,040	
技術開発賞費	1,258,400	1,626,780	-368,380	
金属組織写真賞費	234,200	199,850	34,350	
研究技術功労賞費	527,500	323,550	203,950	
功績賞費	181,800	21,800	160,000	
功労賞費	13,050	20,050	-7,000	
奨励賞・奨学賞等費	272,950	257,950	15,000	
谷川・ハリス賞費	54,700	19,700	35,000	
増本量賞費	412,700	419,700	-7,000	
まてりあ賞	4,700	4,700	0	
村上賞費	1,389,750	1,380,750	9,000	
論文賞費	203,100	17,100	186,000	
フェロー費	43,750	26,500	17,250	
支部表彰・奨励事業費	285,000	288,000	-3,000	
<b>管理費</b>	<b>18,049,400</b>	<b>19,073,746</b>	<b>-1,024,346</b>	
給料手当	5,102,000	5,007,707	94,293	
退職給付費用	292,000	446,336	-154,336	
福利厚生費	1,340,000	769,762	570,238	職員増
会議費	830,000	825,000	5,000	
旅費交通費	2,750,000	2,750,000	0	
通信運搬費	880,000	1,526,715	-646,715	2017年度実績
減価償却費	300,000	251,868	48,132	
消耗什器備品費	45,000	45,000	0	
消耗品費	430,000	423,750	6,250	
修繕費	10,000	10,000	0	
印刷製本費	240,000	490,377	-250,377	
光熱水料費	44,000	41,189	2,811	
賃借料	518,400	518,400	0	
保険料	13,000	4,345	8,655	
諸謝金	20,000	126,000	-106,000	
租税公課	2,780,000	3,291,000	-511,000	PRICM-9 なし
送金手数料	113,000	108,976	4,024	
支払負担金	80,000	78,685	1,315	
システム管理費	242,000	338,933	-96,933	
委託費	1,550,000	1,546,531	3,469	
雑費	470,000	473,172	-3,172	
<b>経常費用計</b>	<b>192,764,380</b>	<b>195,086,192</b>	<b>-2,321,812</b>	
<b>評価損益等調整前経常増減額</b>	<b>-4,996,556</b>	<b>-3,808,705</b>	<b>-1,187,851</b>	
<b>評価損益等</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>当期経常増減額</b>	<b>-4,996,556</b>	<b>-3,808,705</b>	<b>-1,187,851</b>	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
経常外収益計	0	0	0	
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	-4,996,556	-3,831,705	-1,164,851	
一般正味財産期首残高	1,021,720,267	1,002,799,999	18,920,268	
一般正味財産期末残高	1,016,723,711	998,968,294	17,755,417	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,901,000	1,901,000	0	
未経過償還差額金の償却額	30,380	30,380	0	
刊行事業拡充賛助寄付金	100,000	100,000	0	
一般正味財産への振替額	1,901,000	1,901,000	0	
当期指定正味財産増減額	130,380	130,380	0	
指定正味財産期首残高	446,593,546	446,332,786	260,760	
指定正味財産期末残高	446,723,926	446,463,166	260,760	
III. 正味財産期末残高	1,463,447,637	1,445,431,460	18,016,177	

(注) 1. 小科目の対前年度予算額比30%超かつ50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。

2. 人件費の配賦率は、刊行事業50%、講演会・講習会事業30%、調査・研究事業5%、表彰・奨励事業5%、法人会計10%としている。

◇ ◇ ◇

## 金属学会セミナー開催報告

# 高温酸化腐食の基礎熱力学・ 動力学を中心とした腐食の理解

(第2分野企画)

開催日 2019年1月22日

場所 東京工業大学大岡山キャンパス

金属材料の高温酸化・腐食に関する基礎講座はしばらく行われておらず、産業界から実施の強い要請が寄せられている。そこで、本シンポジウムでは、高温腐食分野を専門とする講師陣により、高温酸化・腐食現象の基礎を解説することを目的として実施した(1月22日、東工大大岡山キャンパス蔵前会館内 ロイヤルブルーホール、参加者数59名)。なお、本シンポジウムは、腐食防食学会、表面技術協会との共催により行われた。

**林 重成**(北大)は、「高温酸化・腐食の熱力学」と題する講演を行い、主に状態図を高温酸化に活用する方法を熱力学および動力学的観点から解説した。特に、状態図の拡散パスを考えることで、高温酸化中の物質移動を理解する事が重要であることを述べた。

**上田光敏**(東工大)は、「高温酸化の速度論」について、酸化スケール中の物質移動を酸化物の欠陥構造とポテンシャル勾配の観点から解説した。化学ポテンシャル勾配と各イオンの拡散挙動の関係を解説し、酸化スケールの成長について説明した。

**西本 工**(日本製鉄)は、「高温腐食(熔融塩)の基礎」について、熔融塩中への酸化物の溶解度と腐食挙動の関数に関する基礎的事項を解説し、熔融炭酸塩を用いた最近の研究成果を紹介しながら、耐腐食性を向上させるための考え方を解説した。

**西山佳孝**(日本製鉄)は、「炭素系ガスによる腐食の基礎」について解説し、特にメタルダスティングに代表される炭素系ガスによる激しい腐食現象を基礎的に解説するとともに、

その防食に関する考え方を述べた。

**南口 誠**(長岡技科大)は、「酸化物、酸化皮膜の機械的特性」と題する講演を行い、酸化物中の欠陥と酸化スケールの機械的特性をどのように関連付けて酸化スケールのはく離等の機械的損傷を考えるかについて、今後の研究の進むべき保方向を示した。

**笠井一輝**(神鋼溶接サービス)は、「耐酸化コーティングと基材の相互作用、機械的特性」と題する講演を行い、単結晶Ni基超合金上への高Alコーティング施工による超合金表面での組織変化と結晶方位の関係、それが機械的特性に及ぼす影響について説明した。

**松永康夫**(IHI)は、「耐熱合金のホットコロージョン、SO<sub>2</sub>ガス腐食」と題する講演を行い、ボイラー内で発生するホットコロージョンのメカニズムの基礎を説明するとともに、Fe酸化物が関与する実機における石炭灰腐食現象を紹介した。

**野口 学**(荏原製作所)は、「実環境(焼却プラント)における熔融塩・塩化腐食」に関する講演を行い、廃棄物焼却プラントにおける高塩化環境下における高温腐食を実機での腐食現象を紹介しながら基礎的に解説した。特に塩化環境下では生成する塩化物の特性が腐食に強く影響する事を述べた。

**福本倫久**(秋田大)は、新しい酸化挙動の評価方法として「酸化動力学の新たな測定法とその展開」と題して、水素および酸素センサー・ポンプを用いた新たな酸化動力学測定手法について紹介した。酸化動力学が、本手法を用いることにより熱天秤を用いるよりも精度良く測定できる事が示された。

今回のセミナーでは、世話人の不手際もあり、参加者への開催案内期間がとて短く、参加人数が少ないことが危ぶまれたが、実際には多くの方に参加いただけた。多くの参加者は、本セミナーの継続的な実施や、その他の内容等についての肯定的な要望が寄せられており、今後も高温酸化・腐食の基礎に関するセミナーを継続的に実施したい。また、今回は一日のセミナーであったが、内容が多く、各講師の講演時間が不足していたこと、質疑応答時間が十分に取れなかったことが反省点として挙げられる。

(文責：林)

(企画世話人：北大 林 重成 長岡技科大 南口 誠  
日本製鉄 西本 工)



# 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
<b>2019年6月</b>				
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	
6~7	繊維学会年次大会 特別セッション「ミルフィュー構造の材料科学」(東京)	繊維学会	http://www.fiber.or.jp/jpn/events/2019/year/index.html	
7	チタンの溶接トラブル事例講習会(東京)	日本チタン協会他	TEL 03-3258-6411 http://www.titan-japan.com/	定員 80名
7~9	2019年度塑性加工春季講演会(同志社大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
10~11	2019年度溶接入門講座(東京)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	定員 80名
13	実用顕微評価技術セミナー2019(東大)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp	
13~14	第60回塗料入門講座 前期(東大生産技研)	色材協会	TEL 03-3443-2811 admin@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
13~14	H31年度「界面コロイドラーニング 第35回現代コロイド・界面化学基礎講座」(大阪)	日本化学会	TEL 03-3292-6163 dcsc@chemistry.or.jp https://colloid.csj.jp/	
14~15	第6回 最先端の顕微鏡と理論計算に関する国際シンポジウム(名古屋)	ファインセラミックスセンター	TEL 052-581-3241 amtc6@intergroup.co.jp http://amtc6.com	
17~19	日本顕微鏡学会第75回学術講演会(名古屋)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://jsm75-2019.com/index.html	
20~21	第50回トライボロジー入門講座—全面リニューアル! 進化した入門講座—(東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 http://www.tribology.jp/	定員 100名
20~21	第24回動力・エネルギー技術シンポジウム(東大生産技研)	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 https://www.jsme.or.jp/	
21	日本分析化学会 中国四国支部 第56回分析化学講習会(岡山理科大)	日本分析化学会中国四国支部	TEL 086-256-9490 analchem@chem.ous.ac.jp http://www.chem.ous.ac.jp/~analchem/56koshukai/	参加 5.31
25~27	第67回表面科学基礎講座(東京理科大)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp	6.18
28	2019電気化学セミナー2「初心者のための電気化学測定法—基礎編」(東京理科大)	電気化学会	TEL 03-3234-4214 ecsj@electrochem.jp https://electrochem.jp/post_seminar/2842/	6.14
28	第333回塑性加工シンポジウム「高度化する金型表面処理技術の最前線」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
29~11.9 (4回)	セラミックス大学2019(CEPRO2019)(東工大他)	日本セラミックス協会教育委員会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/	定員 120名
<b>2019年7月</b>				
1~5	第3回アジア赤外線サーモグラフィコンファレンス(QIRT-Asia2019)(東京)	日本非破壊検査協会(東京)	TEL 03-5609-4011 sec@qirtasia2019.com	
4~5	第29回電子顕微鏡大学(東大)	日本顕微鏡学会	jsm-denken@bunken.co.jp http://microscopy.or.jp/univ/	6.14
5	日本表面真空学会関西支部合同セミナー2019「GaN系半導体デバイスの最近の話題」(阪大)	日本表面真空学会関西支部	TEL 0749-28-8371 yanagisawa.j@e.usp.ac.jp http://www.sssj.org/Kansai/goudou190705.html	7.4 定員 180名
5	日本塑性加工学会・日本鍛圧機械工業会 産学連携企画(第80回塑性加工技術フォーラム)「板材成形技術の最前線」(東京)	日本塑性加工学会・日本鍛圧機械工業会	http://www.jstp.or.jp	定員 150名
5	2019年度日本金属学会・日本鉄鋼協会 両北海道支部合同サマーセッション開催のお知らせ(北大)(6号279頁)	北海道支部	<b>TEL 0143-47-2651 FAX 0143-47-2760 mu-tekkyo@jo.nipponsteel.com</b>	
11~12	第60回塗料入門講座 後期(東大生産技研)	色材協会	TEL 03-3443-2811 admin@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
11~12	第53回X線材料強度に関するシンポジウム(大阪)	日本材料学会	TEL 078-795-3212 nishida@kobe-kosen.ac.jp http://www.jsms.jp	講演 3.15
12	粉末冶金入門講座(東京)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp	
17~19	日本結晶学会講習会「粉末X線解析の実際」(東工大)	日本結晶学会	crsj-xray@bunken.co.jp http://xrd2019.analytsci.org/	7.1
18~19	2019年度J-PARC MLF 産業利用報告会(東京)	J-PARC センター他	TEL 029-284-3008 fujii.misono@jaea.go.jp https://neutron.cross.or.jp/ja/events/190718-19/	
22~24	第25回結晶工学スクール(2019年)(大阪大)	応用物理学会	TEL 03-3828-7723 igarashi@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho	7.1
26	第403回講習会 表面を革新するハードコーティング技術と展開(東理大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp http://www.jspe.or.jp/	定員 60名
26	第79回技術セミナー: 腐食を理解するための電気化学入門(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
31~8.2	第46回コロージョン・セミナー「電気化学測定に基づいた腐食反応評価・解析の理解」(北九州)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/46.html	
<b>2019年8月</b>				
5	日本学術会議公開シンポジウム「SDGsのための資源・材料の循環使用に関するシンポジウム」(東京)	日本学術会議 材料工学委員会他	TEL 03-3402-0541 info@mmij.or.jp https://www.mmij.or.jp/events/6142.html	7.26
9	表面分析実践講座2019~実践!最新走査電子顕微鏡実習 実際の作業を通して身につける最新技術~(東京)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp	7.26
18~22	国際会議(PRICM-10)(中国西安)(57-8号405頁)	中国金属学会	pricm10@csm.org.cn http://www.pricm10.com/	
20~22	第235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	2019年茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部	TEL 0294-38-5046 ibakouen@ml.ibaraki.ac.jp	論文 7.1
22~23	第11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 06-6879-7778 office@jvss-kansai.jp https://www.jvss.jp/	定員 100名
30~31	SPring-8 シンポジウム2019(岡山大)	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC)他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2019@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/ meetings/2019/sp8sympo2019/	
<b>2019年9月</b>				
1~3	日本実験力学会2019年度年次講演会(徳島大)	日本実験力学会	TEL 088-656-7387 JSEM2019@ml.tokushima-u.ac.jp http://www.jsem.jp/event/Annual19/index.html	
2~3	2019電気化学セミナー3「初心者のための電気化学測定法一実習編」(東工大)	電気化学学会	TEL 03-3234-4213 ecsj@electrochem.jp https://electrochem.jp/post_seminar/2842/	8.19
2~4	第22回 XAFS 討論会(京大)	日本 XAFS 研究会	TEL 075-753-6850 yamamoto.kentaro.4e@kyoto-u.ac.jp http://www.moleng.kyoto-u.ac.jp/~moleng_04/event/jxafs22/	
3~4	第35回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会	TEL 011-706-6768 bunseki@eng.hokudai.ac.jp http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/LIFM/ bunseki/	事前参加 8.30
3~4	第236回塑性加工技術セミナー「伸線(引抜き)加工の基礎技術」(関西大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 200名
4~6	第162回塑性加工工学講座「有限要素法入門セミナー」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 30名
4~6	2019年度工学教育研究講演会(東北大)	日本工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
10~12	日本計算工学会サマースクール2019 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 022-795-7417 nonlinearfem@grp.tohoku.ac.jp http://msd.civil.tohoku.ac.jp/ nonlinearfem2019/	8.30
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)(岡山)(本号338頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	講演 7.5 参加 8.27
12~14	第21回日本感性工学会大会(芝浦工大)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske21	
17~21	国際トライボロジー会議2019 仙台(仙台)	日本トライボロジー学会	TEL 022-722-1311 itc2019@convention.co.jp http://www.tribology.jp/	
18~19	第47回ガスタービン学会定期講演会(函館)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
22~27	20th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials(第20回ホウ素・ホウ化物および関連物質国際会議)(新潟)	第20回ホウ素・ホウ化物および関連物質国際会議組織委員会	TEL 0258-47-9714 takeda@mech.nagaokaut.ac.jp http://sogalabo.jp/isbb2019	
23~25	高温変形の組織ダイナミクス研究会「2019年度夏の学校」(金沢)(6号279頁)	研究会 No. 76	TEL 0172-39-3643 mineta@hirosaki-u.ac.jp	参加 7.26
<b>2019年10月</b>				
27~11.1	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies(PACRIM13)(沖縄)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 jim-ask@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/pacrim13/	
6	2019年度秋期第74回学術講演会「先端技術・材料にフォーカスした矯正歯科治療のさらなる可能性を探る!」(長崎大)	日本歯科理工学会	TEL 03-3947-8891 gakkai30@kokuhoken.or.jp	
9~11	ADMETA Plus 2019(Advanced Metallization Conference 2019: 29th Asian Session)(東大)	ADMETA 委員会・吉田	TEL 03-6801-5685 jimukyoku@admeta.org	
9~11	第38回電子材料シンポジウム(EMS-38)(榎原)	電子材料シンポジウム運営・実行委員会	TEL 082-424-7649 ytominag@hiroshima-u.ac.jp http://ems.jpn.org/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
12~13	第70回塑性加工連合講演会(習志野)	日本塑性加工学会	<a href="http://www.jstp.jp/">http://www.jstp.jp/</a>	
18	第16回 機械・構造物の強度設計, 安全性評価に関するシンポジウム(京都)	日本材料学会	design16@jsms.jp <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>	講演 7.1
19	日本機械学会関東支部山梨講演会(山梨大)	日本機械学会関東支部	TEL 055-220-8445 tsuyoshi-s@yamanashi.ac.jp <a href="http://society.me.yamanashi.ac.jp/jsme/2019/">http://society.me.yamanashi.ac.jp/jsme/2019/</a>	
20~25	第12回新物質及び新デバイスのための原子レベルキャラクターゼーションに関する国際シンポジウム(京都)	日本学術振興会 マイクロビームアナリシス第141委員会	alc19@alc.jsps141.org <a href="https://alc.jsps141.org/alc19">https://alc.jsps141.org/alc19</a>	
23~25	第60回高压討論会(札幌)	日本高压力学会	TEL 070-5545-3188 touronkai60@highpressure.jp <a href="http://www.highpressure.jp/new/60forum/">http://www.highpressure.jp/new/60forum/</a>	講演 7.9
<b>2019年11月</b>				
1~4	The 14th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(つくば)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp <a href="http://jsem.jp/">http://jsem.jp/</a>	
8	微笑領域の力学特性氷塊とマルチスケールモデリング(軽井沢)(本号342頁)	研究会 No. 82	<a href="https://www.nims.go.jp/group/sdg/micromech-jim/">https://www.nims.go.jp/group/sdg/micromech-jim/</a>	
11~14	NACE EAP Conference 2019 腐食科学と防食技術(横浜)	NACE EAP	<a href="http://www.nace-tokyosection.org/">http://www.nace-tokyosection.org/</a>	
17~22	国際ガスタービン会議2019Tokyo (IGTC2019 Tokyo)(東京)	日本ガスタービン学会	<a href="http://www.gtsj.org/english">http://www.gtsj.org/english</a>	
20~22	第19回破壊力学シンポジウム(福島)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp <a href="http://www.jsms.jp/">http://www.jsms.jp/</a>	
21~22	電気加工学会全国大会(2019)(金沢大)	電気加工学会	goto.akihiro@sist.ac.jp TEL 0538-45-0127 <a href="http://www.jseme.or.jp">http://www.jseme.or.jp</a>	
22	第22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 <a href="http://www.msforum.jp/">http://www.msforum.jp/</a>	
25~27	第40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(明大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp	講演 8.9
25~27	EcoDesign 2019国際会議(横浜)	エコデザイン学会連合他	ecodesign2019_secretariat@ecodenet.com <a href="http://ecodenet.com/ed2019/">http://ecodenet.com/ed2019/</a>	
28~29	粉末冶金基礎・実用講座(京都工芸繊維大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp	
<b>2019年12月</b>				
10~14	日本 MRS 創立30周年記念国際会議(横浜)	日本MRS	TEL 045-263-8538 info_mrm2019@jmru.org <a href="https://mrm2019.jmru.org">https://mrm2019.jmru.org</a>	
<b>2020年3月</b>				
8~11	COMPSAFE2020(第3回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	COMPSAFE2020実行委員会	secretary@compsafe2020.org <a href="http://www.compsafe2020.org">http://www.compsafe2020.org</a>	
17~19	日本金属学会春期講演大会(東京工業大学大岡山キャンパス)(東京)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	

## 新 入 会 員

(2019年3月26日~2019年4月22日)

### 正 員

石川 佳樹 関西大学  
中村 天斗 大阪府立大学  
辻 本知輝 大阪大学

川口 貴大 北海道大学  
山下 活博 石川県工業試験場  
梅村 澄夫 岐阜県産業技術総合センター

吉竹 豊 有限会社アルム出版社

### 学 生 員

竹之内優志 九州大学  
上久保篤志 東京工業大学  
深田 基史 愛媛大学  
徳丸 史博 防衛大学校

石黒 廉吉 名古屋大学  
須田 一輝 東京工業大学  
中鉢 海斗 九州工業大学  
岡田 海 近畿大学

阿崎 裕也 玉川大学  
篠原 勇人 群馬大学  
室野 香菜美 首都大学東京  
神谷 柁人 東海大学

### 外国一般会員

Nguyen ThanhMai 北海道大学

### 外国学生会員

Karunathilaka Nuwan 岡山大学

### X線CT 産業・理工学でのトモグラフィー実践活用

戸田裕之 著

X線は、ドイツのヴィルヘルム・コンラート・レントゲンによって1895年に発見された。彼は自身の手でX線を照射して、指の骨を映したデモンストレーションをしていたらしい。このX線発見の功績により第1回ノーベル物理学賞(1901年)を受賞している。破壊することなく人体の内部を透視できるX線技術は、現代では特に不思議にも思わない慣れ親しんだ技術であろうが、発見された当時は物凄く衝撃なことだったのではないかと想像される。1895年という現在から120年ほど前になる。その頃の日本は、明治維新の混乱が一段落し近代国家の仲間入りをすべくひたすら富国強兵のもと突き進んでいた明治中期頃であろうか。こう考えると、X線が発見された年代は、意外とそう昔ではないようにも感じられる。ただ、この120年の間にX線に関わる技術は大きな進展を遂げている。毎年健康診断でお目にかかる一枚のレントゲン撮影像から、画像再構成理論・技術を駆使して物体内部の構造を瞬時に立体構築できるX-ray computed tomography (X線CT)が実現されたのである。単にCTと呼ばれることの多いX線CT技術は、病院ではもう珍しくない検査機器の一つとして広く普及した。本書の著者である戸田裕之博士は、このX線CT技術を様々な材料の構造解析へと展開させていった先駆者の一人である。本書は10章から構

成され、X線CTの歴史、理論的な仕組み、ハードから実例までを一冊に取りまとめている。第1章はX線CTの歴史、第2章、3章は、立体構造構築のための画像再生の基礎理論と解説、第4章はX線CT設備をハード面から解説し、第5章はイメージング技術、第6章はその応用例、第7章から第9章は3D画像処理などに関する基礎理論から応用までが解説されており、最後の第10章では物体形状の測定精度についても述べられている。本書は、最初の頁からじっくりと読み込んでいくスタイルにももちろん適していると思うが、必要な、もしくは、困った時に手に取るスタイルにも適しているように思われる。関係する技術分野に身を置く研究者が、何か疑問に感じたときに本書を手に取り、該当する頁を読み込めば、そこには疑問に答えてくれる内容が説明されているであろう。本書の題目通りの“実践”的な利用にうってつけな良書である。豊富な図面が掲載されていることも読者の理解を助けている。全450頁ほどのボリュームがあり、ハードカバーで綴られた豪華な仕上げとなっている。この分野の研究者にとっては必要な一冊であろう。

(名古屋大学 山本剛久)

[2019年 B5版 共立出版 462頁 6400円+税]



～ 事務局より ～

- 会員の皆様で本会に登録しているE-mailアドレスに変更が生じた場合は、[会員マイページ](#)へのアクセスが出来なくなりますので、事務局(member@jim.or.jp)までお知らせ下さい。
- 登録情報のご変更は[会員マイページ](#)をご利用下さい。

#### 2019, 2020年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

委員長	大塚 誠						
副委員長	竹田 修						
委員	池尾直子	石本卓也	井田駿太郎	上田恭介	梅津理恵	大石 郁	
	大野直子	小幡亜希子	木口賢紀	北村一浩	小島淳平	小柳禎彦	
	近藤亮太	齊藤信雄	齊藤敬高	佐々木秀顕	佐藤紘一	佐藤豊人	
	杉浦夏子	芹澤 愛	高島克利	田中秀明	趙 研	佃 諭志	
	堤 祐介	圓谷貴夫	寺西 亮	寺本武司	土井康太郎	徳永透子	
	轟 直人	永井 崇	長岡 亨	中島孝一	中村篤智	野山義裕	
	長谷川 誠	春本高志	藤枝 俊	細川裕之	本間智之	三井好古	
	宮崎秀俊	宮澤知孝	宮部さやか	盛田元彰	森戸春彦	諸岡 聡	
	山中謙太	山本剛久	横山賢一	吉矢真人	吉年規治	李 海文	

まてりあ 第58巻 第6号 (2019) 発行日 2019年6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

# 高温真空 3000℃への挑戦

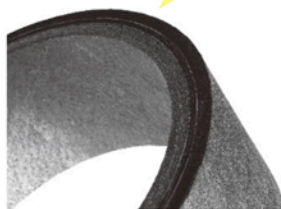
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



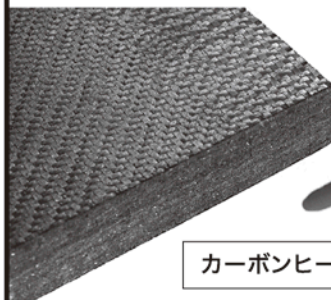
炉の改修

ハイブリット成形断熱材



高断熱+省エネ

カーボンフェルト



6面シート  
貼り



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](mailto:mck@mechanical-carbon.co.jp)

## 日本金属学会発行誌 広告のご案内

### まてりあ(会報)

前付) 1色1P ¥100,000 1/2P ¥60,000

後付) 1色1P ¥95,000 1/2P ¥55,000

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

### 春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ¥70,000 1/2P ¥40,000

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

E-mail [info@meihosha.co.jp](mailto:info@meihosha.co.jp) HP [www.meihosha.co.jp](http://www.meihosha.co.jp)



## 技術で世界を輝かせる。

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

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

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

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

**KOBELCO**