

# Materia Japan

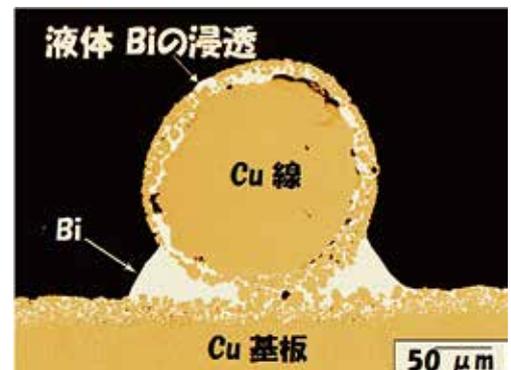
- 表彰 受賞者紹介(春)
- 記念講演 1次の構造相変態の核生成についての一考察
- 記念講演 高温融体の界面物理化学

# まてりあ

Vol.57 MTERE2 57 (5) 191~254(2018)

2018

5



今の鉄は、昔の鉄の  
生まれ変わりかもしれない。



その素材は、本当にエコなのか。今や、製造～使用～廃棄・リサイクルといった素材の一生で評価することが常識になっています。自然界にもともと存在する鉄。使い終わっても容易に分別回収でき、変わらない品質で何度でも何にでも新しい製品に生まれ変わる、ただひとつの素材です。新日鉄住金は世界最高水準の技術により、ライフサイクルの全段階で環境負荷を低減。あの懐かしいSLも形を変えて、あなたの身近に生きているのかもしれない。時を超えて、永遠に。

∞ ライフサイクルを考えれば、やっぱり素材は鉄になる ∞



新日鐵住金  
しんにってつすみきん

世界の鉄へ しんにってつすみきん

表彰	第63回 学会賞受賞者	191	第28回 若手講演論文賞受賞者	200
	第59回 技術賞受賞者	192	第1回 フェロー認定者	200
	第68回 金属組織写真賞受賞者	193	第30回 優秀ポスター賞受賞者	201
	第49回 研究技術功労賞受賞者	194	第26回 奨学賞受賞者	203
	第76回 功績賞受賞者	197	第68回 金属組織写真賞受賞作品	204
	第57回 谷川・ハリス賞受賞者	199	金属組織写真賞応募作品選評	208
	第24回 増本量賞受賞者	199		

学会賞受賞記念講演	極限状態下(強磁場, 高圧力)におけるマルテンサイト変態, 拡散変態および1次の磁気転移とそれらの電子論的解釈 掛下知行	209
	マルテンサイトの核生成についての一考察とフォノンのソフト化による巨大ひずみの出現.	

本多記念講演	高温融体の界面物理化学の深化—“Capillary Metallurgy”の構築を目指して— 田中敏宏	216
	液体が関与する高温材料の界面は直視できないために謎がいっぱい!でも, 特徴ある界面現象を利用すれば新たな材料プロセッシングが提案できるかも?	

新進気鋭	磁性材料研究から触媒研究への挑戦~触媒分野参入の手引き~ 小嶋隆幸	224
------	-----------------------------------	-----

新技術・新製品裏話	開発裏話~合金鉄溶解炉による資源循環システムプロセスの開発 加藤勝彦	230
-----------	------------------------------------	-----

はばたく	実験の楽しさを知った学部時代から現在までを振り返って 海瀬 晃	232
------	---------------------------------	-----

スポットライト	機械工学科に材料好きを増やしたい! 山田小夏	233
---------	------------------------	-----

研究室紹介	帝人ナカシマメディカル株 R & D センターの紹介 渡邊稜太	234
-------	---------------------------------	-----

本会記事	会告	235	次号予告	248
	支部行事	236	金属学会セミナー開催報告	249
	掲示板	237	2018年春期講演大会記録	250
	2018年秋期講演大会講演・参加募集	238	行事カレンダー	252
	会誌・欧文誌5号目次	247	書評	254
	新入会員	248		

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

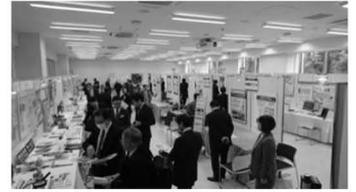
今月の表紙写真 表面微細孔組織を有するCu細線とCu基盤の特異拡張濡れによる接合実験。(田中敏宏: 本号220頁図11より抜粋・改変)

表紙デザイン: 北野 玲  
複写をご希望の方へ

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

# 2018年春期講演大会

## 付設展示会レポート



日本金属学会2018年春期講演大会・付設展示会は、3月19日より21日まで千葉工業大学・新習志野キャンパスで開催された。機器・ソフトウェアを中心に24社の展示とカタログ展示1社の出展があった。年々出展数が増える傾向にあり、企業・団体の本展示会への注目の高さがうかがえる。本展示会は、出展製品の最新情報を大会参加者に提供できる場である。展示会場への来場数は、毎回延1,000名程度であるが、今回は悪天候の影響もあり、若干の減少となった。（延800名）しかしながら、講演会場が展示会場に隣接しており、講演の合間や昼休み時間帯には活況な状況も見受けられ、来場者の研究開発に有益な情報収集への意欲の高さを感じた。

続いて、出展内容を紹介する。

### ・アイエムティー(株)

卓上試料研磨機を展示。手研磨専用（自動化オプション有）で、手早く試料作製が可能。

### ・アソバンスソフト(株)

第一原理計算ソフトウェアを紹介。既存材料の分析のみならず、新規材料の設計にも活用できる。

### ・アドバンス理工(株)

熱処理しながら電気抵抗率が測定できる簡易型ユニットの実機を展示。金属材料やセラミック系材料などの変態点測定ができる測定装置も紹介。

### ・アトミックスケール電磁場解析プラットフォーム

原子分解能・超高压ホログラフィー電子顕微鏡をはじめとするアトミックスケール電磁場計測装置の紹介。当プラットフォームの計測技術を材料研究者にPRした。

### ・(株)池上精機

小型精密試料作製システムを展示。顕微鏡付きで、すぐに観察が可能。様々な研磨事例の解説があった。

### ・茨城県中性子ビームライン

茨城県材料構造解析装置及び茨城県生命物質構造解析装置の装置概要及びこれまでの研究成果について紹介。

### ・SKメディカル電子(株)

小型高周波誘導加熱装置を中心に展示。不活性雰囲気内での熱処理、溶融を行うための周辺装置の一例を紹介。

### ・エルミネット(株)

プラズマクリーニング装置、マイクロウェーブ加熱炉、SEM用品を展示。

### ・オックスフォード・インストゥルメンツ(株)

新発売のEDS分析システム、最新EBSD検出器を中心に紹介。

### ・キャノンマーケティングジャパン(株)

X線分析装置、X線吸収分光装置、X線CTを紹介。

### ・(株)ケミカル山本

TEM用薄膜試料作成電解研磨装置を展示。名古屋大学との共同研究により開発された。

### ・(株)サーモ理工

超高温で試料加熱ができる赤外線真空炉、赤外線導入加熱装置を展示。

### ・ジャパンマシナリー(株)

グリーンブル試験機、ハンドヘルド型蛍光X線分析装置を展示。マグネシウムからウランまでのほとんどの元素の定性および定量分析が可能。

### ・(株)新興精機

3D顕微鏡を展示。手作業で長時間掛かったシリアルセクション解析を、自動で3次元可視化。

### ・大亜真空(株)

超小型アーク溶解炉を実機展示。自動アーク溶解炉他も紹介。

### ・(株)TSLソリューションズ

01M結晶方位解析装置・EBSD観察用insituステージを紹介。

### ・東芝ナノアナリシス(株)

3次元アトムプローブ受託分析サービスを紹介。

### ・(株)東陽テクニカ

走査電子顕微鏡を紹介。金属材料を中心とした最新応用例を展示。

### ・NISSHAエフアイエス(株)

昇温脱離型水素分析装置を展示。サンプルデータの紹介も。

### ・日本テクノプラス(株)

汎用型室温ヤング率及び内部摩擦測定装置、薄板・細線用ヤング率及び内部摩擦測定装置、共振式薄板疲労試験装置を実機展示。測定の実演も行った。

### ・日本電子(株)

卓上走査電子顕微鏡を実機展示し、金属物質の物性評価の実演を行った。

### ・(株)日立ハイテクノロジーズ

新型FIB-SEM及びFE-SEMによる金属を中心とした材料解析事例を紹介。

### ・フリッチュ・ジャパン(株)

ドイツ・フリッチュ社製最新式のボールミルを展示。

### ・(株)モルシス

材料設計支援統合システム MedeAを紹介。第一原理電子状態計算プログラムVASPを基に、構造評価、熱力学特性、他の固体の様々なプロパティを予測できる。

次頁からの資料と大会ホームページをご参照頂き、今後の研究開発にお役立て頂きたい。

# まてりあ「誌上展示会」



価格(税別) : 2,980,000円～  
※オプションは別途です。

## 低負荷精密試料作製システム IS-POLISHER ISPP-1000

低負荷で自動研磨ができる

～ IS-POLISHER は、幅広い業界の分析・解析分野で活躍しています～

- ・「荷重調整機構」により、ゼロ荷重から 25g ごとに荷重をコントロールできる
- ・試料を包埋せずに研磨を行うことで研磨面積が小さくなり、研磨荷重を少なく設定できる
- ・低負荷で EBSD の結晶方位面を出せる
- ・研磨スピード、スイング幅、研磨時間などの研磨条件を数値化することで、再現性の高い試料作製が可能
- ・「削りすぎ防止機能」で 2 $\mu$ m 単位の設定が可能
- ・半田、Al、Cu、CFRP の試料作製が可能

### 株式会社 池上精機 新横浜事業所

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 3-8-8 日総第 16 ビル 1101  
TEL.045-474-1880 FAX.045-474-1882 E-Mail:sales@ikegamiseiki.co.jp  
URL <http://www.ikegamiseiki.co.jp>



## 高温観察装置 TMS シリーズ

製品紹介

赤外線ゴールドイメージ炉と最新の光学システムを組み合わせ、高温観察を可能にした装置です。金属材料の結晶変態、析出及び凝固の観察、各種材料の溶融状態、析出物の観察、高分子材料の結晶→融解→再凝固までの熱サイクル測定が出来ます。

仕様例 (TMS-E1S)

温度範囲 : 室温～1600℃  
雰囲気 : 大気中、不活性ガスフロー中、真空中  
試料寸法 :  $\phi$ 5mm×厚 5mm

### アドバンス理工株式会社

〒224-0053 神奈川県横浜市都筑区池辺町 4388  
TEL.045-931-2285 FAX.045-933-9973 URL <http://advance-riko.com>



## 超小型アーク溶解炉 ACM-M01

少量の金属(合金)溶解に最適な、小型で安価な『超小型アーク溶解炉』を開発しました！

標準仕様

- ・鋳型形状 : 試料作製用  $\phi$ 34 (半球型) ・ゲッタ用  $\phi$ 15 (半球型)
- ・アーク電源 : 300A (定格出力電流)
- ・手動試料反転機構 : 意匠登録第1472763号
- ・寸法 : W590×D665×H1850 (背面にガスボンベ設置可能)
- ・オプション : 真空ポンプ、真空計、真空排気弁
- ・価格 : 300万円(税別)～

### 大亜真空株式会社

〒276-0046 千葉県八千代市大和田新田495  
TEL.047-459-7628 FAX.047-459-3654 URL : <http://www.diavac.co.jp>  
E-mail : [nagasima@diavac.co.jp](mailto:nagasima@diavac.co.jp)

2018年春期講演大会・出展社一覧  
[http://jim.or.jp/MEETINGS/2018\\_spr/news/company.php](http://jim.or.jp/MEETINGS/2018_spr/news/company.php)



次回の付設展示会

2018.9/19(水)～21(金) 東北大学・川内北キャンパス



アカリクでは

---

ポスドク 大学教員 企業研究員  
大学院生（博士・修士）

---

の皆様に対して  
キャリアサポートを行なっております



大学院生・研究者・エンジニア専用の就職サイト

**アカリク WEB**

<https://acaric.jp/>

問い合わせ先

アカリク事務局

MAIL: info@acaric.jp

TEL: 0120-628-022 (平日 10:00~18:00)

～2018年3月19日(月)千葉工業大学習志野キャンパスにおいて、下記の方々が受賞されました。  
おめでとうございます。～

## 第63回 日本金属学会賞

(2018年3月19日)



大阪大学大学院工学研究科教授 掛下知行君

掛下知行君は、材料の機能発現・組織制御において根幹となる基礎研究を、従来から用いられている温度・応力のみならず強磁場、高圧力の外場を新たに加えることで得られるパイオニア的な実験と多次的現象理解および電子論的解釈を通して、これまで未解決な問題ならびに新規現象を明快な議論と論理的思考で展開し、数々の顕著な功績を挙げている。その分野は、主に変位型相変態・磁気転移ならびに第一原理計算に基づく電子論に関するものであり、以下に示す4つの分野に関連している。

### (1) 極限状態下(強磁場, 高圧力)の物性

外場として強磁場(60 T)および超高静水圧(100 GPa)を用いて、これら外場のマルテンサイト変態ならびに拡散変態(鉄の $\gamma$ - $\alpha$ 変態)に及ぼす影響について系統的に調べている。その結果、磁場ならびに静水圧は、変態開始温度に著しい影響を与えることを示した。これら実験事実を考慮して、変態開始温度の磁場依存性ならびに圧力依存性を決める式を新たに導出し、その妥当性を多くの系において確かめている。特徴的なことは、インバー効果のある系では強制体積磁歪が変態温度に著しい影響を与えることを明確にしている。また、Fe-Ni合金では数は少ないが磁場印加方向に伸びたマルテンサイトが生成すること(形状異方性)ならびにCoPtあるいはFePdの規則化処理を磁場下で行うと単結晶規則相が得られること(結晶磁気異方性)を見出している。さらに、マルテンサイト組織のフラクタル次元は、拡散変態の組織のそれとは異なり1.8次元であることを示し、組織が応力に支配されていることを明らかにしている。

### (2) 変位型相変態の組織・構造解析ならびにカイネティクス

未解決なマルテンサイト変態の核生成について、変態のカイネティクスと外場(磁場・静水圧)の関係を調査して、新たな知見とモデルを展開している。すなわち、これまで変態過程が異なるものとして認識されている非等温マルテンサイト変態と等温マルテンサイト変態は、磁場印加により等温変態が非等温変態に、静水圧負荷により非等温変態が等温変態に移行することを実験的に明確に示し、非等温変態と等温変態の違いは本質的なものではなく、本来統一的に考えることができることを提唱している。さらに、この結果をもとに、すべてのマルテンサイト変態は熱活性化過程により起こると仮定し、統計熱力学を用いてマルテンサイト変態の起きる確率式を導入し、その式の妥当性を、多くの合金系において確認している。特徴的なことは、この式に含まれるマルテンサイトの核の大きさがナノサイズ(2から5 nm)であり、古典論とは2桁も違うことである。

また、鉄基合金Fe-PdならびにFe-Ptのマルテンサイト相において、磁場によるバリエーション再配列が初めて起きることを見出すとともにこの現象のメカニズムを解明している。さらに、2次変態に近いマルテンサイト変態を示すFe-Pd合金における弾性定数 $C'$ のソフト化と変態の関係を調査し、新規な現象である巨大ひずみの出現(約6%)と水の3態で知られている臨界点の存在を予測し、それらを実験的に明らかにした。また、大きな熱量効果が広範囲の温度領域で観察されることを計算で示し、実験的に確かめている。

### (3) d電子系セラミックス(マンガナイト)ならびにf電子系金属間化合物(DyCu, DyAg)の磁性と電気伝導特性

$\text{MnO}_6$ 八面体歪と磁気構造の相関についての知見を得るために、層状ペロブスカイト型マンガ氧化物 $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ( $x=0.315$ )の常圧下および静水圧下の磁気構造を中性子線回折実験により調査した。その結果、基底状態は一軸の強磁性構造で、約70 K以上の温度においてMnの磁気モーメントがキャンテした磁気構造(CAFM構造)を有することを見出すとともにそのCAFM構造に静水圧を負荷すると反強磁性構造が現れることを初めて示した。得られた結果から、磁気構造と $\text{MnO}_6$ 八面体の歪みおよび3d軌道電子の $e_g$ 軌道の占有率との間に相関があることを定性的に示した。

B2構造であるDy系金属間化合物、特にDyCu, DyAgの磁気構造は、複雑な $\langle 111 \rangle$ のtriple-q構造を有している。この磁気構造は単に交換相互作用では説明ができないことから、他の相互作用の存在が示唆されている。本研究では、この相互作用が四極子相互作用であることを、強磁場下で観察される多段階メタ磁性転移の転移磁場ならびにモーメントの方位依存を調査するとともに中性子線回折によるメタ磁性構造の同定を行い、明確にした。

#### (4) 相安定性の電子論的解釈

電子論的な起源が解明できる可能性のある2次転移に近いマルテンサイト変態, 具体的には, Fe-Pd および Fe<sub>3</sub>Pt 系で観察されるいわゆる, fcc-fct 変態ならびに Ti-Ni 合金の母相から生成する変調構造の電子論的な起源について, 第一原理の計算を行い明らかにしている. すなわち, fcc-fct 変態は,  $\Gamma$  点に異常有しており(弾性定数  $C'$  のソフト化), その起源はバンドヤーン・テラー効果であることを明確にしている. また, Ti-Ni 合金の母相から生成する変調構造の起源は, 有限な  $q(=1/3 \langle 110 \rangle)$  に異常を有しており, その起源はフェルミ面のネスティングであることを明らかにしている.

上記の研究成果は, 材料基礎学理の確立とともに新規材料開発への指針を与えるものとして大きな意義があり, 金属学の発展に資することが極めて大きい. これらの分野における優れた業績により, 日本金属学会より数多くの賞を受けているとともに, 平成23年にはマルテンサイト国際会議の議長を務めている. また, これらの業績を挙げる傍ら, 日本金属学会理事, 同副会長を歴任し, 平成25年度の金属学会会長の役を果たしている. さらに, グローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン研究拠点」の拠点リーダー(平成19年~平成23年)および日本学術会議連携会員(平成22年から現在に至る)として, 次世代の材料研究を担う若手研究者育成において中心的役割を果たしている. また, 平成26年度には, SIP「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」に採択され(代表), 産業界の活性にも寄与している.

### 第59回 日本金属学会技術賞 受賞者 (3名)

(2018年3月19日)



[自動車用薄鋼板の組織制御による高性能化と利用技術の開発]

JFE スチール(株)スチール研究所 主席研究員 占部 俊明 君

受賞者は, 鉄鋼メーカーの研究者として, 社会的要求である自動車の衝突性能向上および軽量化による燃費向上と CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与すべく, 高強度薄鋼板の熱延, 連続焼鈍時の熱処理段階での金属組織制御による機械的特性の改善と高性能化を実現させ, 自動車用薄鋼板の新商品開発に従事した. また, 高強度鋼板の成形加工を中心とした利用技術の開発により自動車部品の軽量化と高強度実用化の実現に貢献した. これらの研究開発の成果は, 実用に向けた工業的見地からは勿論のこと, 学術的にも価値の高い優れたものである.



[軽量耐熱先進金属材料の開発]

(株)IHI 技術開発本部 技師長 錦 織 貞 郎 君

受賞者は, 航空機エンジンに搭載する耐熱金属材料について, 特に, エンジン重量の低減, 高推力化に大きく寄与する TiAl 基金属間化合物に着目し, 組織制御により高温機械特性の向上を目指す研究開発に従事してきた. 低圧タービン動翼への実用化に向けた合金設計, 製造プロセス技術開発等一連の研究への学術的な成果に加え, 量産適用加工技術の確立, 部品品質管理基準の整備等を先導的に進めるなど, その卓越した技術開発は今日の航空機エンジンさらには車両用過給機における TiAl 合金の実用化とその発展に大きく貢献した.



[高温材料の高耐食化に関する技術開発]

新日鐵住金(株)鉄鋼研究所水素・エネルギー材料研究部 部長 西山 佳孝 君

受賞者は, 火力発電, 化学工業, さらにはコジェネレーションをはじめとした再生可能エネルギー分野において, 高温部材に起こる各種腐食の表面反応, および生成酸化物のキャラクターゼーション制御に関する研究に従事してきた. さらに, 基盤技術を基にして金属材料の成分設計指針を与え, 新商品の開発に繋げてきた. 特に化学工業における浸炭およびメタルダスティング腐食に対して, 材料表面の腐食反応を電子論的見地から制御することを見出し, 高温材料の高耐食化に大きく貢献するものである.

優秀賞 3件(16名)

【第2部門】走査電子顕微鏡部門

1. 「C40/C11<sub>b</sub> 超高温耐熱複相シリサイド合金における特異な「cross-lamellar microstructure」の発達」



大阪大学大学院  
工学研究科  
准教授  
萩原 幸司 君



大阪大学大学院  
工学研究科  
(現マツダ㈱)  
池西 貴昭 君



大阪大学大学院  
工学研究科  
教授  
中野 貴由 君

【第3部門】透過電子顕微鏡部門

2. 「p型 MnSi<sub>1.75</sub> 熱電材料の重元素置換と sublattice dislocation を利用した原子レベル組織制御」



長岡技術科学大学  
鎌田 拓也 君



豊田工業大学大学院  
工学研究科  
教授  
竹内 恒博 君



長岡技術科学大学  
准教授  
本間 智之 君

3. 「Li イオン電池固体電解質 La<sub>(1-x)/3</sub>Li<sub>x</sub>NbO<sub>3</sub> ペロブスカイト型酸化物の陽イオン変調構造」



ファインセラミックスセンター  
ナノ構造研究所  
上級研究員補  
小林 俊介 君



ファインセラミックスセンター  
(現: Condensed Mater Physics  
and Materials Science Department,  
Brookhaven National Laboratory)  
胡 肖兵 君



ファインセラミックスセンター  
ナノ構造研究所  
主任研究員  
幾原 裕美 君



ファインセラミックスセンター  
ナノ構造研究所  
主任研究員  
**Craig Fisher 君**



ファインセラミックスセンター  
ナノ構造研究所  
主席研究員  
**森分博紀 君**



信州大学工学部  
特任准教授  
**藤原靖幸 君**



信州大学工学部  
特任教授  
**干川圭吾 君**



トヨタ自動車㈱  
電池材料技術・研究部  
主幹  
**小浜恵一 君**



トヨタ自動車㈱  
基盤材料技術部  
主査  
**射場英紀 君**



東京大学  
工学系研究科  
教授  
**幾原雄一 君**

**第 49 回 日本金属学会研究技術功労賞 受賞者 (13 名) (2018 年 3 月 19 日)**



新日鐵住金㈱広畑製鐵所設備部 **東 義 人 君**

受賞者は、入社以来 45 年にわたり設備技術部門に在籍し、特に製鋼・薄板プロセスの開発・改善に傑出した熱工学知識、試験・分析技術を発揮してきた。例として、スクラップ等の冷鉄源溶解プロセスの開発、廃タイヤの資源リサイクル技術の開発、連続焼鈍炉への高効率排熱回収利用技術による省エネルギー化が挙げられる。これらの試験方法の確立と創意工夫に取り組み、技術開発と実機化に貢献してきた。後進への技術伝承にも熱意をもって取り組んでおり、プロセス研究開発分野への功績は顕著である。



JFE テクノリサーチ㈱西日本ソリューション本部 **今 井 正 二 君**

受賞者は、入社以来 45 年間、薄板・表面处理・容器分野における物理解析技術向上を目的とした多くの最新装置の導入・立上げ・運転に長きにわたって貢献を続けてきた。特に、これらの装置を用いてプレス成形時の金型・鋼板間の潤滑性を大幅に向上させた自動車用高潤滑合金化熔融亜鉛めっき鋼板(通称 JAZ)の研究開発に多大な寄与があった。このように研究開発における物理解析装置の適用を精力的に進め、各テーマの進展に貢献した功績は顕著である。



JFE テクノリサーチ㈱知多ソリューション本部 **桂 義 樹 君**

受賞者は、入社以来 45 年間にわたり一貫して、研究・品質保証部門で鋼材の各種特性評価に従事してきた。特に、腐食評価試験の分野で、アイデアと創意工夫で高品質なデータ提供ができる環境を築き、スタッフの研究成果に大きく貢献してきた。例として、油井管の開発研究・特性評価を行う上で必要な、高温高圧試験設備の考案と製作をはじめ、毒性の高い硫化水素を安全かつ効率よく使用できる試験設備を考案し作り上げた。同インフラ技術は社外でも安全性が高く評価され、社外の硫化水素設備にも採用され、社会の発展にも大きく貢献している。



福井大学工学部技術部 川崎 孝俊 君

受賞者は、昭和60年に福井大学工学部機械工作実習工場(現、先端科学技術育成センター)に採用以来、実験装置の製作、機械工作実習、工作機械利用者への安全教育・技術指導等において、教員や学生の研究教育支援に多大な貢献をするとともに、日々の技術向上を怠ることなく、若手職員の育成にも惜しみない努力を行っている。近年、新たな試みとしてエンジンの分解組立講座に携わり、地域貢献、また子供達が楽しみながら、ものづくりへの興味を引き出す為の活動を行っている。



日鉄住金テクノロジー㈱富津事業所 佐々木 哲也 君

受賞者は、入社以来42年間、研究試験業務を通して鉄鋼材料の研究開発支援に携わり、数多くの研究成果に貢献してきた。例として、高強度極細鋼線の引張試験における特殊な把持具の開発と作業方法の改善や、極薄ステンレス鋼の高温へたり性評価技術における炉内温度制御、シグ固定方法の改善による適正試験技術の確立などが挙げられる。これらを含め、長年に亘って研究・開発現場を支えるとともに、若手の育成にも尽力し、着実な技能伝承や後継者育成もっており、その功績は著しい。



JFE スチール㈱スチール研究所 高田 篤 君

受賞者は、入社以来34年間にわたり、自動車などに適用される鉄粉や合金鋼粉の研究開発業務に携わり、様々な新商品・新プロセスの開発に多大な貢献をしてきた。例として、大型射出成形部品用粉末金型の量産化への貢献、新鋼種開発の基盤技術である水アトマイズ実験の安全かつ効率的推進、金型潤滑装置や鉄粉充填挙動可視化装置など実験装置の考案などが挙げられる。これらを含め様々な技術課題に積極的に取り組み、柔軟な発想で創意工夫し、数多くの研究開発につなげた功績は著しい。



東北大学多元物質科学研究所技術室 千葉 裕輝 君

受賞者は、昭和58年文部技官として科学計測研究所(現・多元物質科学研究所)に入所以来34年にわたり、イオン導電性に優れる各種酸化物単結晶や薄膜試料の作成および光学物性測定などの装置試作や各種実験補助、情報管理などの業務に従事し、材料研究の着実な発展に多大な貢献をしてきた。特に、独自の創意工夫により酸化セリウムなどの酸化物やふっ化物の棒状大型単結晶を浮遊溶融帯法(FZ法)で作成し、精密な物性測定を可能にするなど、材料科学分野での学術発展への功績は顕著である。



JFE テクノリサーチ㈱機能材料ソリューション本部 星川 耕司 君

受賞者は、入社以来45年間、鉄鋼製品の品質保証技術の業務に携わり、様々な試験設備を駆使した新たな検査方法の開発に多大な貢献をしてきた。特に、連铸スラブの内部欠陥の検査装置や曲面形状の鋼管を自動測定するUO鋼管検査装置等の開発への貢献は、超高強度自動車用ハイテンや超高強度ラインパイプの実用化には不可欠であった。また、現場の第一線の管理者としても17年間に亘り品質保証業務の先頭に立ち、製鉄所の安定した信頼性の高い検査体制の確立に寄与した功績も大きい。



東北大学金属材料研究所テクニカルセンター 三浦 重幸 君

受賞者は、入所以来25年間、原子力材料の開発研究及び放射性物質を利用した材料物性研究並びに材料科学研究に特化した大型計算機を利用した計算材料科学の研究支援業務に従事してきた。例として、コバルト-57等の密封放射性同位元素を使用したメスバウア分光による材料物性の測定・解析、アジア計算材料学コンソーシアムへの国際的なスーパーコンピューター利用環境提供等が挙げられる。これらを含め材料科学分野での放射線及び計算機技術者としての幅広い研究支援により数多くの研究開発に貢献した功績は顕著である。



新日鐵住金㈱技術開発本部尼崎研究支援室 森 健 児 君

受賞者は、入社以来 42 年にわたり、鉄鋼やチタンの研究開発支援業務に従事し、実験・評価手法の考案に優れた能力を発揮してきた。特に、チタン材の研究開発のために必要な実験手法の確立に先駆者として功労を重ねてきた。例えば、鍛造時の耐割れ性を評価するための熱間変形試験法の確立や、研磨・エッチング技術と画像解析による金属組織の定量評価技術の確立が挙げられる。これらの実験手法から生まれた成果は多くの新製品として実用化されており、チタン材の研究開発における功績は顕著である。



新日鐵住金㈱技術開発本部鹿島技術研究部 安 田 利 之 君

受賞者は、入社以来 41 年間にわたり、製鉄所での保全業務や鋼板製造プロセスに関する研究開発試験業務に従事し、商品開発およびプロセス改善に多大な貢献をした。例えば、高成形性ハイテンでの鋼板表面欠陥防止のため、市販高温顕微鏡では困難であった露点制御と高倍率での直接観察を可能とすることにより、合金元素の酸化挙動を明らかにして溶融めっき安定化製造技術確立に寄与した。保全部門経験を活かした創意工夫により、様々な試験装置開発を通じて、数多くの研究開発や後進の育成に貢献した功績は大きい。



旭川工業高等専門学校技術創造部 山 内 広 也 君

受賞者は、昭和 54 年に旭川工業高等専門学校学生課実習係として採用以降、40 年近い長期間にわたり、教員の研究補助ならびに学生教育を通し、同校の発展に貢献してきた。特に、CNC 旋盤を中心とし、様々な工作機械に関する高い技術力を有し、多くの教員研究に用いる試料等製作ならびに機器製作により、大きな貢献をしている。例として、金属材料の強度試験片の作成や 5 軸加工機を用いた困難な技術課題の解決、あるいは電子制御教材開発など、数多くの研究開発・教育に貢献してきた功績は著しい。



日鉄住金テクノロジー㈱大分事業所 和 氣 一 廣 君

受賞者は、入社以来 44 年間、鉄鋼材料に関する技術・研究開発支援業務に従事し、製鋼一圧延直結プロセスの実機化へ貢献し、様々な高機能鋼の実用化に寄与してきた。例として、溶解試験手法、ダイレクトローリング実験手法、スラブ内質評価手法等の確立・効率化で製鋼一圧延ラボ試験方法の確立を果たし、大型引張試験手法、亀裂伝播速度評価手法等の確立・高精度化で厚板造船材等の高機能鋼の早期商品化に貢献したことが挙げられる。社内表彰も多数受賞しており、その功績は極めて顕著である。





### [物性部門]

[磁石材料組織界面における局所磁気特性の電子論による解明]

東京工業大学物質理工学院 准教授 合 田 義 弘 君

受賞者は、物性物理的な電子論の手法と「京」などのスパコンによる大規模計算を用いて磁石材料組織の材料科学にアプローチし、組織界面の原子配列と局所磁気特性を明らかにしてきた。特に、代表的な添加元素である Cu が界面に偏在し、局所磁気異方性の改善が見られる事を明らかにした。さらに、様々な添加元素を検討する事により、材料組織内部に安定に存在し、かつ磁気異方性を改善する元素を新たに提案した。また、SPring-8 などの大型実験施設と緊密に連携しており、今後の幅広い研究展開が期待される。



### [物性部門]

[FePt 磁気記録媒体の微細構造および磁化反転制御]

物質・材料研究機構磁性スピントロニクス材料研究拠点 グループリーダー 高 橋 有 紀 子 君

受賞者は、超高密度磁気ストレージデバイスの実現のために磁気記録媒体の高性能化に関する研究を行ってきた。主な業績は、次世代の熱アシスト磁気記録で使われる媒体材料として注目されている FePt グラニューラー薄膜において世界に先駆けて極めてサイズ分散の小さいグラニューラー組織を合成したこと、および円偏光で磁化反転が可能であることを示したことである。これらは次世代技術につながる成果として磁気記録分野において高く評価されている。最近では、FePt 媒体の磁化ダイナミクス制御による反転磁界低減に向けた研究を展開しており、今後の更なる発展が期待される。



### [組織部門]

[鉄鋼材料の相変態・析出組織制御に関する研究]

東北大学金属材料研究所 准教授 宮 本 吾 郎 君

受賞者は、鉄鋼材料を対象にして熱力学的・結晶学的な観点から微細組織制御に関する理論的・実験的研究を一貫して行ってきた。特に、拡散型相変態における界面移動速度に及ぼす元素分配・偏析の影響を明確にしたこと、せん断型相変態組織の複雑な結晶学的組織を定量的に解明したこと、ナノ炭窒化物やクラスターを利用した鉄鋼材料の高強度化指針を示したことが挙げられる。さらに、せん断型変態組織の結晶方位から母相方位を再構築する新たな手法を開発し産業界における材料開発にも貢献しており、今後の幅広い研究展開が期待される。



### [力学特性部門]

[原子シミュレーションによる格子欠陥の相互作用に基づくナノ組織材料の力学特性解析]

金沢大学理工研究域 教授 下 川 智 嗣 君

受賞者は、原子シミュレーションによる計算機実験を駆使し、転位や粒界・異相界面、さらには回位等の格子欠陥の相互作用メカニズムを明らかにしてきた。さらにそれらの知見を基に、ナノ組織材料の①破壊現象に対する界面の役割、②強度やそのサイズ効果の発現機構、③組織形成プロセスにおける回位の役割、などに対して原子論的解明に果敢に挑み、超微細粒材に代表されるナノ組織材料の示す特異な力学特性の理解に大きな成果を挙げている。優れた力学特性を有する材料設計に対する新しい指導原理の創出が期待される。



### [材料化学部門]

[高温冶金反応の物理化学的解析による高温プロセスの高度化]

東京大学大学院工学系研究科 准教授 松浦 宏行 君

受賞者は、金属製精錬を対象とする高温プロセス研究に従事し、メタル・スラグ等の高温融体特性、気相-液相-固相間反応、高温プロセス副産物リサイクル等を通じて、素材や材料製造プロセスの高度化に資する広範な研究を行っている。これまで、マルチフェーズフラックスを利用した鉄鋼精錬プロセス開発、電気炉製鋼ダスト高度リサイクルのための亜鉛・鉛の選択塩化揮発反応の物理化学、同位体交換反応法を用いた熔融スラガーガス間反応機構、等の研究に取り組んでおり、今後、さらに画期的な金属製精錬プロセスの開発・発展に貢献することが期待される。



### [材料プロセッシング部門]

[溶融合金を用いた半導体材料の新規製造法の研究]

東京大学生産技術研究所 准教授 吉川 健 君

受賞者は、溶融合金の物理化学的特性を駆使して半導体材料の新規製造プロセスの開発研究を行い、優れた成果を上げている。主な業績として、①Siを添加元素と溶融合金化した後に部分凝固を行うSiの低温凝固精製法の熱力学的検討を行い、Solvent Refining法の基礎を築いたこと、②合金溶媒の熱力学的検討によりSiC単結晶の高速溶液成長の一般原理を構築するとともに、結晶成長界面の直接観察により高品質SiC結晶の育成指針を示したことが挙げられる。今後、高温材料プロセスにおける反応・界面制御の幅広い研究展開が期待される。



### [工業材料部門]

[高性能軽金属材料の創製に関する研究]

物質・材料研究機構構造材料研究拠点 グループリーダー 染川 英俊 君

受賞者は、非鉄軽量金属材料を対象に、構造材料の根幹とも言える安心安全を担保する素材設計や開発に従事してきた。塑性変形メカニズムの原理・原則に基づき、強靱化阻害因子を解明したことや、階層的組織因子を制御することで、強度と二律相反関係にある、靱性(延性)の高度化を可能にしたこと、靱性や延性に対する溶質元素機能を先駆的に究明し、室温蛇腹変形能を有する革新的マグネシウム合金を開発したことなど、数多くの優れた業績を挙げ、産・学界の当該分野発展に大きく貢献している。



### [工業技術部門]

[結晶塑性異方性を考慮したマルチモーダル微細組織制御によるマグネシウム合金設計]

熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 准教授 山崎 倫 昭 君

受賞者は、新しい軽量構造材料として期待される長周期積層構造型Mg合金の創製とその特性発現メカニズムの解明に取り組んできた。具体的には、結晶塑性異方性を考慮したmultimodal微細組織制御による高強度・高延性Mg合金設計手法の確立、電気化学的組織均質化によるMg合金の耐食性付与技術の確立等を行ってきた。これらの研究成果は、幾何学的ヘテロ組織/電気化学的ホモ組織制御によるMg合金設計として統合が図られており、今後の幅広い研究展開が期待される。



第 57 回 日本金属学会 谷川・ハリス賞 受賞者 (2名) (2018年3月19日)



[機能材料の特性向上のための解析と制御]

東北大学多元物質科学研究所 教授 鈴木 茂君

受賞者は、多くの機能材料の特性を向上させるために、多面的な解析により得られた知見に基づいて、プロセス制御等に関する研究を行ってきた。たとえば、単結晶化が困難とされていた固相と液相の温度が大きい合金を単結晶にするために、先端企業と共同で単結晶育成条件を明らかにし、合金単結晶の大型化するのに成功した。また、耐熱材料の高温特性等に及ぼす微量元素の影響を高度な手法により明らかにし、力学特性を制御するための提案を行ってきた。その他、高機能鋼板の優先粒成長に及ぼす各種の金属学的因子等の解明も行うことにより、各種の機能性をもつ材料分野の発展に大きく貢献してきた。



[金属資源工学に関する研究]

東京大学生産技術研究所 教授 前田 正史君

受賞者は主に素材製造プロセス研究に注力してきた。例えば AIO ガス生成を利用した溶融チタン合金からの脱酸素、溶融シリコンを精製するための真空溶解プロセスを開発した。さらに貴金属スクラップを合金化し酸溶解して回収する手法も提案している。合金および酸化物系の熱力学測定をダブルクヌーセンセル質量分析法を利用して測定している。日本学術振興会素材プロセス第 69 委員会委員長、資源・素材学会会長、日本学術会議材料工学委員会委員長として金属工学・材料工学分野の発展に貢献した。

第 24 回 日本金属学会増本量賞 受賞者 (2名) (2018年3月19日)



[先端半導体素子の高性能化・高信頼化を目指した配線材料および配線形成プロセスに関する研究]

東北大学未来科学技術共同研究センター 教授 小池 淳一君

受賞者は、先端半導体素子の新規多層配線材料として Cu-Mn 合金を開発し、Mn と SiO<sub>2</sub> との反応を利用した拡散バリア層の自己形成法を提案し、量産レベルの素子の寿命を 100 倍以上改善することに貢献した。さらに、近年の FinFET 構造に対応するために、非晶質 Co-Ti 合金をソース・ドレインコンタクト材料として利用することを提案し、Co-Ti 合金の相分離過程で形成されるエピタキシーシリサイドと Ti 酸化物がフェルミレベル・デピニングを誘発することで、熱的に安定な超低コンタクト抵抗率(10<sup>-9</sup> Ωcm<sup>2</sup>)を得ることに成功した。



[第一原理計算に基づいた材料開発に関する研究]

京都大学大学院工学研究科 教授 田中 功君

受賞者は、量子力学に基づいた第一原理計算を材料研究の具体的な事例に幅広く適用し、先駆的な成果を上げた。多数の計算を実行して統計熱力学との結びつけを行い、また先進的なデータ科学手法を適用することで、合理的・効率的な材料探索を可能とした。そして学理構築のみならず、材料開発にも多くの成果を上げた。具体例としては、超長サイクル寿命を持つリチウム電池の開発や低格子熱伝導物質の合理的探索などが挙げられる。これらの一連の成果は世界的に高く評価されている。

第 28 回 日本金属学会若手講演論文賞 受賞者 (受賞者 3 編 3 名)(2018 年 3 月 19 日)



[Solid Solution Hardening and Precipitation Hardening of  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al in Ti-Al-Nb Alloys]

(Materials Transactions, Vol. 58, No. 10)

芝浦工業大学理工学研究科 ○島 上 溪 君

Purdue University School of Materials Engineering 松 永 紗 枝 君

芝浦工業大学理工学研究科 准教授 湯 本 敦 史 君

物質・材料研究機構 NIMS 特別研究員・香川家高等専門学校 准教授 伊 藤 勉 君

物質・材料研究機構耐熱材料設計グループ グループリーダー 御手洗 容 子 君



[Crystallization Behavior of Thermally Rejuvenated Zr<sub>50</sub>Cu<sub>40</sub>Al<sub>10</sub> Metallic Glass]

(Materials Transactions, Vol. 58, No. 10)

東北大学学際科学フロンティア研究所 助教 ○山 田 類 君

東北大学(現・富士ゼロックス) 田 中 直 行 君

東北大学学際科学フロンティア研究所(現・華中科技大学 准教授) 郭 威 君

東北大学学際科学フロンティア研究所 教授 才 田 淳 治 君



[Training Effect on Microstructure and Shape Recovery in Ti-Pd-Zr Alloys]

(Materials Transactions, Vol. 58, No. 10)

芝浦工業大学 ○佐 藤 広 崇 君

筑波大学 教授 金 熙 榮 君

芝浦工業大学 教授 下 条 雅 幸 君

物質・材料研究機構耐熱材料設計グループ グループリーダー 御手洗 容 子 君

第 1 回 日本金属学会フェロー認定者 (6 名) (2018 年 3 月 19 日)

北海道大学 名誉教授 大 塚 俊 明 君

大阪大学大学院工学研究科教授 掛 下 知 行 君

東北大学多元物質科学研究所教授 蔡 安 邦 君

東北大学多元物質科学研究所教授 進 藤 大 輔 君

九州大学大学院工学研究院教授 高 木 節 雄 君

東北大学客員教授・大阪大学特任教授・名城大学特任教授・名古屋大学客員教授 新 家 光 雄 君



Tbを傾斜拡散させたNd-Fe-B系焼結磁石の微細構造解析(P66)

九州大学 池江優佑君, 奥平 有君,  
板倉 賢君, 西田 稔君,  
信越化学工業株式会社 中村 元君



TNTZ合金の陽極酸化による白色被膜形成に及ぼす電流密度の影響(P84)

兵庫県立大学 内田恭兵君,  
三浦永理君, 山崎 徹君,  
北見工業大学 平野雄馬君, 大津直史君



種々の濃度のMgCl<sub>2</sub>含有液滴に接触した304鋼の表面電位変化(P32)

関西大学 汪 洋君, 廣畑洋平君,  
春名 匠君



ポーラスAlプリカーサをコアとしたサンドイッチ構造体の形状付与と発泡による影響(P135)

群馬大学 大槻晃平君, 半谷禎彦君,  
芝浦工業大学 宇都宮登雄君,  
東京大学 吉川暢宏君



Nd-Fe-B/Fe-B系ナノコンポジット膜の微細構造と交換結合状態に与えるMo中間層の効果(P62)

山形大学 大橋一輝君, 鈴木拓也君,  
小池邦博君, 稲葉信幸君, 加藤宏朗君,  
九州大学 近藤政孝君, 板倉 賢君,  
西田 稔君



金属中のキャビティ移動に対する水素の効果(P13)

島根大学 蔭山彰良君,  
名古屋大学 廣嶋秀斗君,  
大阪大学 保田英洋君, 尾方成信君,  
Junping DU 君, Wen-Tong GENG 君,  
石井明男君,  
中央大学 深井 有君,  
島根大学 荒河一渡君



Ti-(0~3)at%Mo-(0~3)at%O合金の微細組織と機械的特性に及ぼす熱間圧延条件の影響(P74)

愛媛大学 小島敏弘君, 小林千悟君,  
岡野 聡君



MoSiBTiC合金における熱処理条件と室温破壊靱性の関係(P7)

東北大学 齋藤哲也君, 関戸信彰君,  
熊本大学 上村宗二郎君, 山室賢輝君,  
連川貞弘君,  
東北大学 吉見享祐君



原子論に基づく金属ガラスのTTT線図およびガラス形成能の評価(P102)

大阪大学 佐藤悠治君,  
物質・材料研究機構 譯田真人君,  
大阪大学 尾方成信君



{112}-type I deformation twinning in as-quenched  $\alpha'$  martensite in Ti-7.5Mo alloy (P115)

筑波大学, 物質・材料研究機構 **Ji Xin** 君,  
物質・材料研究機構 Gutierrez-Urrutia Ivan 君,  
江村 聡君, LIU Tianwei 君,  
原 徹君, PING Dehai 君,  
筑波大学, 物質・材料研究機構 土谷浩一君



Al<sub>0.3</sub>CrFeCoNi高エントロピー合金中のNi近傍局所構造に及ぼす室温時効の影響(P118)

宇都宮大学 塩田諒介君, 仁木惇平君,  
山本篤史郎君,  
広島工業大学 戎 佳宏君,  
名古屋工業大学 木村耕治君, 林 好一君,  
広島市立大学 八方直久君,  
熊本大学 細川伸也君,  
JASRI/SPring-8 田尻寛男君,  
広島工業大学 尾崎 徹君



Mn-Ge合金における相安定性と磁気特性に関するSi置換効果(P49)

東北学院大学 庄司雄大君,  
岡田宏成君



水素透過金属膜のプロチウム連続供給能を活用したCO<sub>2</sub>からの炭化水素の合成(P14)

鈴鹿工業高等専門学校 白敷祐哉君,  
南部智憲君, 小俣香織君



炭化物粒子複合型 Ni 基超々合金肉盛層に及ぼす炭化物種およびレーザ加工プロセスの影響 (P37)

大阪府立大学 **田中美樹君**,  
金野泰幸君, 高杉隆幸君,  
産業技術総合研究所 山口拓人君,  
萩野秀樹君,  
東北大学 千星 聡君



TiNi 自己調整組織におけるマルテンサイトバリエーション双晶面の界面エネルギーの第一原理計算 (P1)

神戸大学 **永平和也君**, 寺本武司君,  
田中克志君



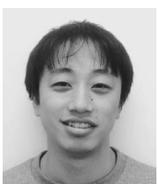
Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> を含む多相 MoSiBTiC 合金の高温酸化挙動 (P28)

東北大学 **南 茜君**, 趙 覓君,  
吉見享祐君



Al-Mg-Si 合金における室温時効によるクラスタ構造変化の軟 X 線 XAFS 測定 (P108)

兵庫県立大学 **野々村壮紘君**,  
田中芹奈君, 足立大樹君



水素雰囲気グラフェン上の金属原子の吸着・拡散に与える影響 (P33)

北海道大学 **長谷川瞬君**,  
國貞雄治君, 坂口紀史君



鉄中の水素拡散に添加元素が与える影響 (P99)

九州工業大学  
**平田研二君**, 飯久保智君,  
東北大学 大谷博司君



電子線ホログラフィーによる帯電したセルローズナノファイバー周囲の電磁場観察 (P95)

東北大学 **本郷将嗣君**,  
赤瀬善太郎君, 佐藤隆文君,  
東北大学, 理化学研究所 進藤大輔君,  
大阪大学 能木雅也君, 古賀大尚君



積層造形により形成された601型ニッケル基合金樹枝状組織のマイクロ引張挙動 (P91)

熊本大学 **松永遠太君**, 峯 洋二君,  
高島和希君,  
日立金属株式会社 大石勝彦君,  
上野友典君



中間層を導入したアルミニウム合金への DLC 膜成膜における密着性および耐久性評価 (P41)

関西大学 **丸野英伸君**, 西本明生君



Zr-O-N 膜の構造に及ぼす成膜条件の影響 (P133)

富山大学 **村岡雄介君**, 李 昇原君,  
松田健二君,  
北陸職業能力開発大学校 野瀬正照君,  
富山大学名誉教授 池野 進君



陽極酸化 NiTi の Ni 溶出挙動及び抗菌性能 (P81)

北見工業大学 **山口花帆君**,  
平野雄馬君, 大津直史君



Li-Sn 合金を疑触媒として用いた低温アンモニア合成 (P17)

広島大学 **山口稔郎君**, 宮岡裕樹君,  
市川貴之君



北海道大学工学部  
間谷 一偉 君



北海道大学工学部  
水野 潤一 君



室蘭工業大学工学部  
武田 都 君



岩手大学工学部  
沼倉 琴音 君



秋田大学理工学部  
外山 大地 君



東北大学工学部  
伊東 達矢 君



東北大学工学部  
関谷 暢 君



東北大学工学部  
林 謙汰 君



茨城大学工学部  
林 桃希 君



筑波大学理工学群  
坂戸 将也 君



東京大学工学部  
神保翔太郎 君



東京大学工学部  
遠山 慧子 君



東京工業大学工学部  
陳 詩若 君



東京工業大学工学部  
松田 洋明 君



横浜国立大学理工学部  
牧 伸浩 君



長岡技術科学大学工学部  
山口直也 君



富山大学工学部  
前田 朋克 君



豊橋技術科学大学工学部  
千葉 友也 君



名古屋大学工学部  
加藤 大暉 君



名古屋大学工学部  
木村 裕希 君



名古屋工業大学工学部  
山田 敦大 君



京都大学工学部  
河原崎 琢也 君



京都大学工学部  
柳井 創太 君



大阪大学工学部  
稲吉 晴子 君



大阪大学工学部  
二村 友也 君



島根大学総合理工学部  
青山 悠平 君



香川大学工学部  
西山 光一 君



愛媛大学工学部  
山元 滉司 君



九州大学工学部  
今谷 祐貴 君



九州大学工学部  
浦中 祥平 君



九州工業大学工学部  
山本 真夕季 君



長崎大学工学部  
佐伯 龍聖 君



熊本大学工学部  
喜多川 太郎 君



熊本大学工学部  
西本 宗矢 君



大阪府立大学工学域  
岡崎 湧一 君



大阪府立大学工学域  
母野 隼人 君



兵庫県立大学工学部  
田中 芹奈 君



千葉工業大学工学部  
成田 早織 君



東京理科大学基礎工学部  
伊藤 久晃 君



芝浦工業大学工学部  
宮下 智弘 君



東海大学工学部  
勝呂 友昭 君



金沢工業大学工学部  
南部 貢志 君



関西大学化学生命工学部  
筈作 衛 君



近畿大学理工学部  
川野 律志 君



鹿児島大学工学部  
橋本 健太 君



群馬大学理工学部  
深井 祐佑 君



鈴鹿工業高等専門学校  
金崎 舜 君

[第2部門] C40/C11<sub>b</sub> 超高温耐熱複相シリサイド合金における特異な「cross-lamellar microstructure」の発達

大阪大学大学院工学研究科 萩原 幸司 君 池西 貴昭 君(現：マツダ株式会社) 中野 貴由 君

地球温暖化抑制に向けたCO<sub>2</sub>排出量低減のために、発電所等にて1400°C以上での高温使用に耐え得る超高温構造材料の開発が早急に求められている。この実現に向け我々は、軽量、高融点を有するNbSi<sub>2</sub>とMoSi<sub>2</sub>を組み合わせた「複相シリサイド合金」を開発し、特性向上に向けた研究を進めている。これまでに開発した複相合金は、C40相とC11<sub>b</sub>相が、両者の結晶構造の類似性起因し共通の最密面が相互に積層したラメラ組織を有していた。本合金は優れた力学特性を示すものの、例えば各板状結晶粒が45度傾いた方向から荷重が負荷された際には高温クリープ強度が大きく低下し、また界面に平行な応力負荷にて低靱性を示すといった問題点を有していた。

これら課題克服のため我々は、従来の(Mo<sub>0.85</sub>Nb<sub>0.15</sub>)Si<sub>2</sub>複相シリサイド合金に対し、CrとIrの2元素をそれぞれ0.5at%という微量同時添加することにより、図1-4に示すように、これまでのラメラ組織に加え、更にその平滑界面に対し垂直方向にロッド状のC11<sub>b</sub>相が貫通して伸びたような、特徴的な組織を発達させることに成功した。この特徴的な構造から、我々は本組織を「cross-lamellar microstructure(格子ラメラ組織)」と命名した。特筆すべき特徴として、この格子ラメラ組織を有する複相シリサイドは、従来のラメラ合金で見られた優れた力学特性を保持しつつ、かつ問題点であった特定方向への強度・靱性低下を「同時に」抑制可能であることが初めて見出された<sup>(1)(2)</sup>。新規超高温耐熱材料として今後の開発が強く期待される。

文献

- (1) K. Hagihara, T. Ikenishi and T. Nakano: Scr. Mater., **131** (2017), 19-23.
- (2) K. Hagihara, T. Ikenishi, H. Araki and T. Nakano: Scientific Reports, **7**(2017), no.3936: 1-12.

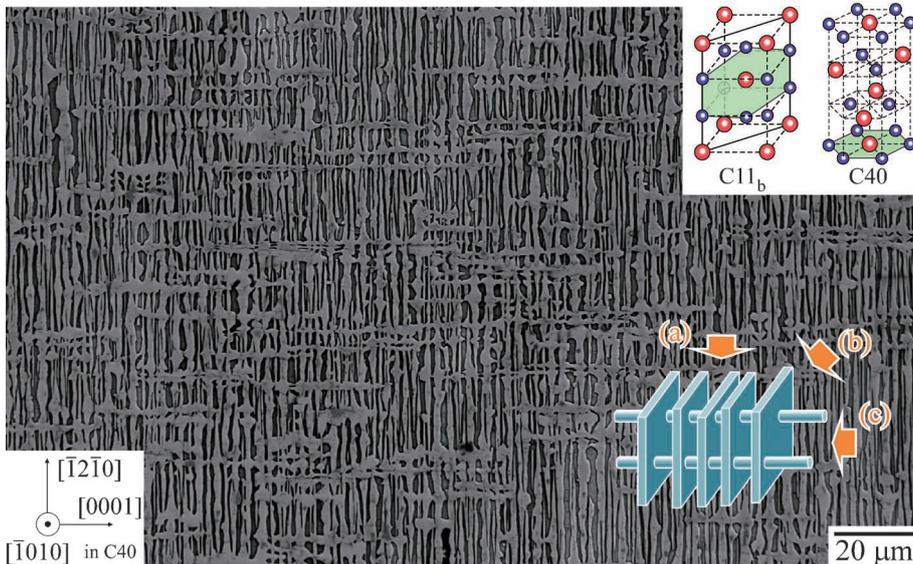


図1 (Mo<sub>0.85</sub>Nb<sub>0.15</sub>)<sub>0.97</sub>Cr<sub>0.15</sub>Ir<sub>0.15</sub>Si<sub>2</sub>合金中に発達した特徴的な「格子ラメラ組織」。

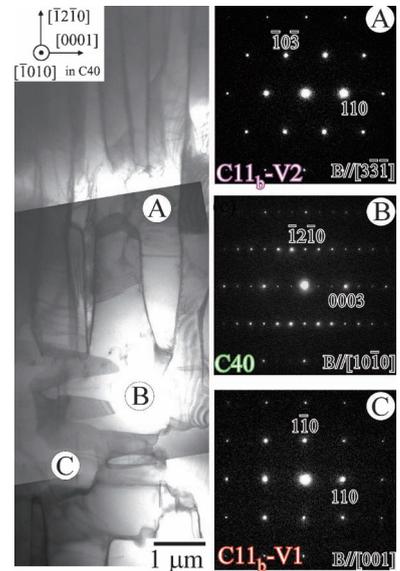


図2 対応するTEM像。

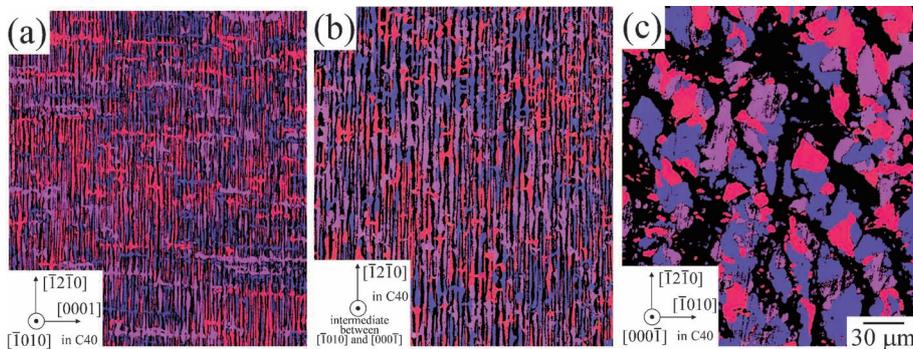


図3 SEM-EBSDによるC11<sub>b</sub>相の結晶方位解析像。観察方向は図1中に記載。三種のバリエーションを明瞭に区別するため、結晶方位色はC40母相[8 3 11 0]方向に沿ったもので統一表示した。

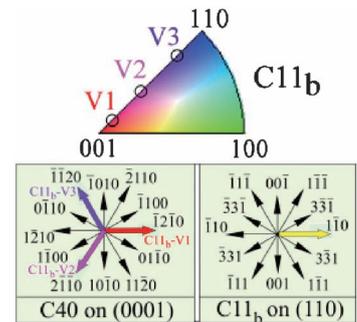


図4 C40/C11<sub>b</sub>相結晶方位関係。

[第3部門] p型 MnSi<sub>1.75</sub> 熱電材料の重元素置換と sublattice dislocation を利用した原子レベル組織制御

長岡技術科学大学 機械創造工学専攻 鎌田 拓也 君  
 豊田工業大学 大学院工学研究科 竹内 恒博 君  
 長岡技術科学大学 機械創造工学専攻 本間 智之 君

MnSi 熱電材料は Nowotny chimney-ladder (NCL) 構造を有する。この構造は *a* 軸に比べ *c* 軸が非常に長く複雑な構造を有するため格子熱伝導率 ( $\kappa_{lat}$ ) が低く、比較的高い無次元性能指数 *ZT* が得られる。Yamamoto らは Mn (*Z*=25) と同じ 7 族の重元素 Re (*Z*=75) を Mn に置換させた MnReSi 熱電材料を、放電プラズマ (SPS) 焼結法により焼結することで、実用的な p 型の熱電材料の開発に成功した<sup>(1)</sup>。しかし、焼結後の Re の原子レベルの分散状態は必ずしも明らかでない。そこで Ye および Amelinckx の方法<sup>(2)</sup>を用いた局所構造解析法により、MnSi 系熱電材料の NCL 構造を決定する手法を確立し<sup>(3)</sup>、これを Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> 熱電材料に適用した。

原子半径が 0.137 nm の Re が、原子半径 0.112 nm の Mn の原子サイトに置換することで格子が実空間中 *c* 軸方向に伸び、Mn<sub>19</sub>Si<sub>33</sub> 構造に変化する (図 1)。図 2 の走査透過電子顕微鏡 (STEM) の明視野 (BF) 像には、*c* 軸に垂直かつ周期的に現れる Mn リッチ (黒)、Si リッチ (白) な積層構造の内、Mn リッチな積層内の原子が明瞭に観察され、その原子位置に高角散乱環状暗視野 (HAADF) 像で明るい原子 (白矢印) が偏析している。HAADF のコントラストは *Z* の 2 乗に比例することから、これが Re 原子であり、Re 添加材の構造は (Mn,Re)<sub>19</sub>Si<sub>33</sub> と同定できる。また、Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> は Mn<sub>36.4</sub>Si<sub>63.6</sub> に比べ Si 副格子側に生成する sublattice dislocation (SD, 図 3) の数密度も 1.6 倍に増加し (図 4)、これら原子・ナノレベルのフォノン散乱により、 $\kappa_{lat}$  がおよそ 1/2 まで低下する。これにより MnSi 系熱電材料の中では、*ZT* が 920 K で 1.04 と世界最高値を示す熱電特性が発現することを明らかにした。

文 献

- (1) A. Yamamoto, *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **55** (2016), 020301.
- (2) H.Q. Ye and S. Amelinckx: J. Solid State Chem., **61** (1986), 8–39.
- (3) T. Homma, *et al.*: Appl. Phys. Lett., **108** (2016), 103901.

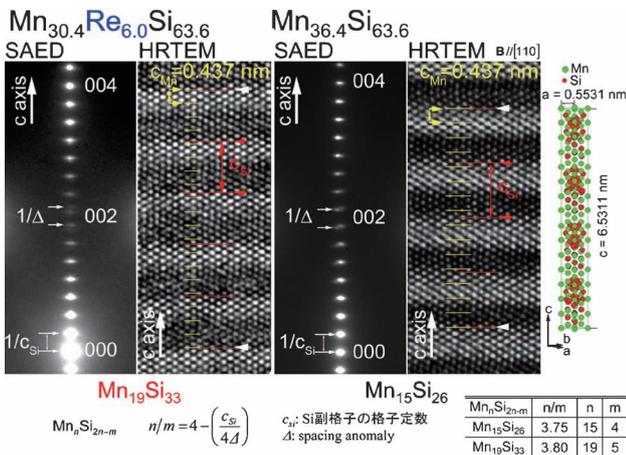


図 1 Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> および Mn<sub>36.4</sub>Si<sub>63.6</sub> における制限視野電子回折 (SAED) 図形と高分解能電子顕微鏡 (HRTEM) 像。

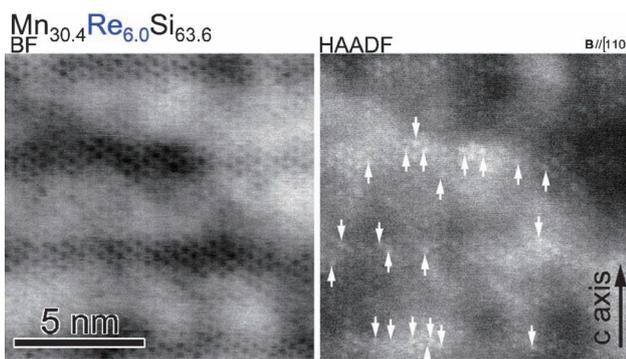


図 2 Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> の STEM による BF および HAADF 像。

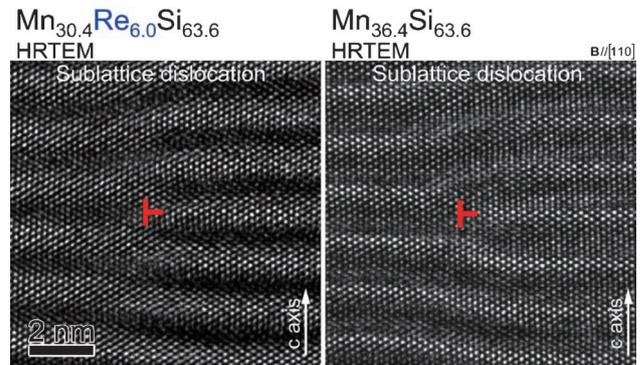


図 3 Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> および Mn<sub>36.4</sub>Si<sub>63.6</sub> における SD の HRTEM 像。

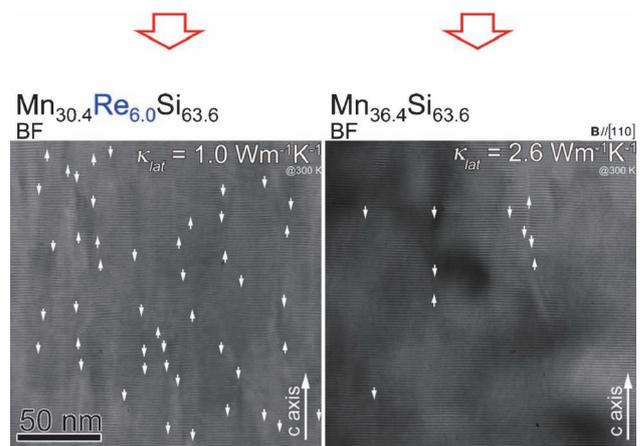


図 4 Mn<sub>30.4</sub>Re<sub>6.0</sub>Si<sub>63.6</sub> および Mn<sub>36.4</sub>Si<sub>63.6</sub> における SD (白矢印) の分散状態。

[第3部門] Li イオン電池固体電解質  $\text{La}_{(1-x)/3}\text{Li}_x\text{NbO}_3$  ペロブスカイト型酸化物の陽イオン変調構造

ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 小林俊介君 胡肖兵君 幾原裕美君  
 Craig Fisher君 森分博紀君  
 信州大学工学部 藤原靖幸君 干川圭吾君  
 トヨタ自動車電池材料技術・研究部 小浜恵一君  
 トヨタ自動車機基盤材料技術部 射場英紀君  
 東京大学工学系研究科・ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 幾原雄一君

次世代のLiイオン電池として、安全性、高容量化を兼ね備えた全固体電池の研究が勢力的に行われている。特に液体電解質の代替となる固体電解質の開発が重要課題となる。その有力な固体電解質の一つにAサイト欠損型ペロブスカイト酸化物である  $\text{La}_{(1-x)/3}\text{Li}_x\text{NbO}_3$  (LLNbO) が挙げられる(図1)。本研究では、走査型透過電子顕微鏡(STEM)を用いた構造解析により、このLLNbOが特異な変調構造を有する物質であることを明らかにした<sup>(1)</sup>。

図2に最も高いイオン伝導特性を示す組成  $\text{La}_{0.31}\text{Li}_{0.07}\text{NbO}_3$  ( $\text{La}_{(1-x)/3}\text{Li}_x\text{NbO}_3$ ,  $x \approx 0.07$ ) 単結晶<sup>(2)</sup>から取得したHAADF STEM像を示す。A1層において、図1に示す既報の結晶モデルでは説明ができない、長周期の変調構造が観察された。図3にSTEM EDSによるLaイオンとNbイオンの組成分布観察結果を示す。AサイトおよびBサイトはそれぞれLaイオンとNbイオンで構成されていることが確認でき、(001)面に沿った長周期変調構造の起源は観察投影方向のLaイオン濃度分布変化が起源であると結論づけられる。さらに、図3(d)のLa-LとNb-Lマップの合成像から、Nbイオンの平均位置は理想的な直線状ではなく、Laイオンの濃度が高い箇所においてA2層側にシフトし、Laイオンの濃度が低い箇所ではA1層側へシフトしている。これはNbイオンも変調構造と同期して変化することをも明らかにした成果である。本結果は、STEMを用いた構造解析により初めて得ることができた結晶学的に興味深い知見であるとともに、固体電解質開発において重要な指針を与える成果であると結論付けられる。

文献

- (1) X. Hu, S. Kobayashi, Y. H. Ikuhara, C. A. J. Fisher, Y. Fujiwara, K. Hoshikawa, H. Moriwake, K. Kohama, H. Iba and Y. Ikuhara: *Acta Mater.*, **123** (2017), 167-176.
- (2) Y. Fujiwara, K. Hoshikawa and K. Kohama: *J. Cryst. Growth*, **433** (2016), 48-53.

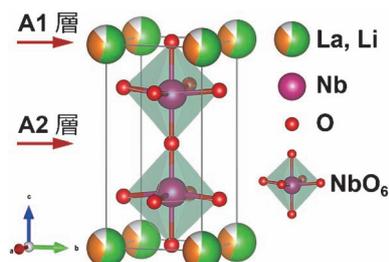


図1 (La,Li)NbO<sub>3</sub> 結晶構造モデル。



図2 (La,Li)NbO<sub>3</sub> 変調構造の HAADF STEM 像。

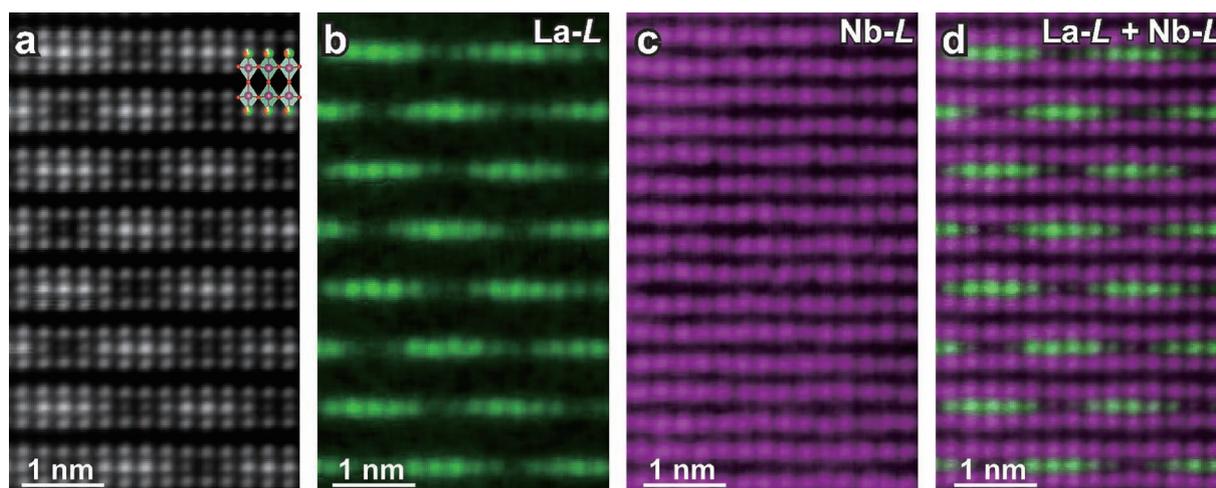


図3 (a)HAADF STEM 像と(b)La-L, (c)Nb-L, (d)La-L+Nb-Lの原子レベルSTEM EDS マップイメージ。

[第2部門] 停留疲労き裂先端における転位群の電子チャネリングコントラスト観察

九州大学 小山元道君 Kishan Habib 君 土山聡宏君

疲労限度はき裂発生限界またはき裂停留限界のどちらかで決定されるので、疲労き裂停留の組織因子を明らかとすることは、疲労限度改善のための本質的課題である。疲労き裂近傍の組織を観察するにあたっての注目点は以下である。

(1)き裂は表面から形成するので、表面観察が重要である。(2)き裂停留は力学現象なので、薄膜化など力学場を変化させる手法は避ける。(3)力学場の観察も重要であるので、き裂の塑性域全体を観察する。つまり、バルク試料で、特定箇所(き裂先端)を、塑性域が捉えられる位の広範囲で、転位一本々が分解可能な表面組織観察手法が求められる。この疲労き裂停留を支配する組織を観察する上での注意点を念頭におき、Electron Channeling Contrast Imaging(ECCI)法を本課題に適用し、成功した一例として、本写真を示す。具体的には、高窒素オーステナイト鋼における停留疲労き裂先端の転位群を観察した ECC 画像を示す。図(a)に停留き裂先端から射出された転位が高いプラナリティをもって配列していることが示されている。図(b)の拡大像により、それら射出転位の運動は先在転位列によって阻害されることが示されている。より詳細な観察例として、図(c)は射出転位が拡張しており、この拡張転位が先在転位列に止められていることを示している。つまり、拡張転位同士の転位反応である Lomer-Cottrell Lock が疲労き裂の停留に寄与している事実が本画像によって示されている。

文 献

- (1) K. Habib, M. Koyama, T. Tsuchiyama and H. Noguchi: Mater. Res. Lett., 6(2017), 61-66.

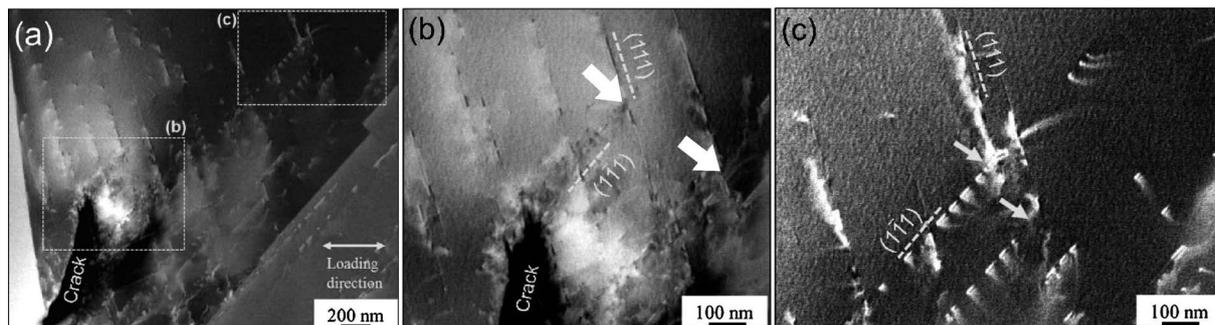


図 (a)停留疲労き裂を含む ECC 像。(b)停留き裂先端近傍を拡大した ECC 像。白矢印は「き裂先端から射出された転位の運動が先在転位によって阻害されている箇所」を示す。図(c)き裂先端から僅かに離れた領域の拡大 ECC 像。黒矢印は拡張転位が先在転位に止められている箇所を示す。つまり、Lomer-Cottrell Lock を示唆する<sup>(1)</sup>。

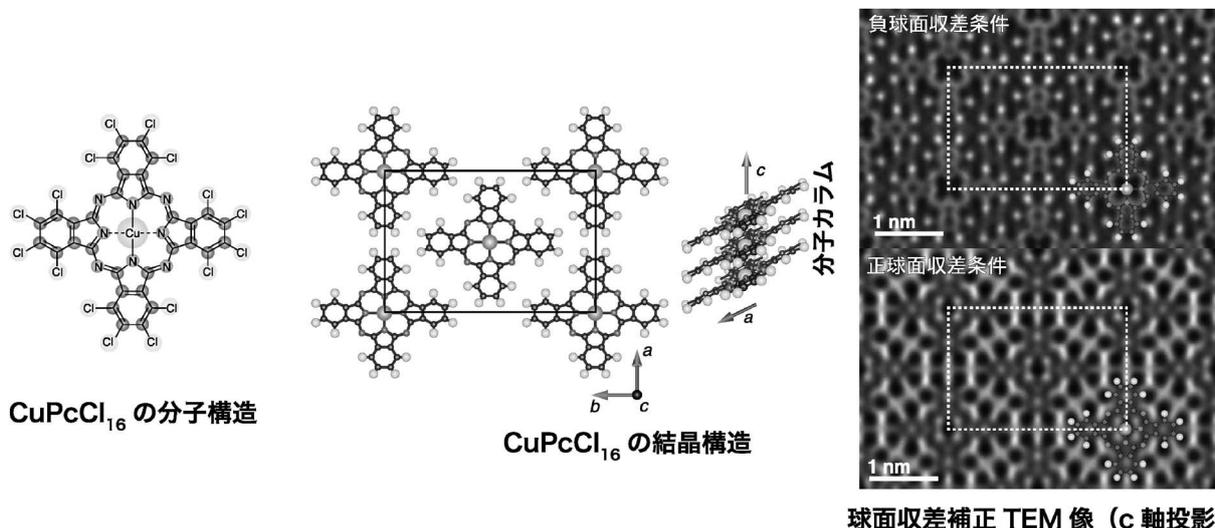
[第3部門] 収差補正 TEM による有機金属錯体分子の原子スケール観察

ファインセラミックスセンター 吉田 要君 京都大学化学研究所 倉田博基君  
Ulm Universit Johannes Biskupek 君 Ute Kaiser 君

ある種の平面型有機金属錯体は結晶構造中で分子同士が規則的にスタックし、一次元金属鎖などの特異な低次元電子系を形成することが知られている。こうした低次元電子系材料の特性は一次元カラム内の分子間距離などの結晶構造に対して敏感に変化することから、それらの物性発現機構の理解には構造情報が不可欠である。材料科学において透過型電子顕微鏡(TEM)法は構造情報を得る強力な手段として用いられているが、分子結晶などのソフトマテリアルにおいては電子線照射損傷の問題から、その解析レベルが大きく制限されてしまっているのが現状である。そこで我々は近年電子光学分野で発展が著しい球面収差補正技術について、改めてソフトマテリアル観察への有効性を検証した。ターゲット材料としては有機半導体の一種である塩素化銅フタロシアニン( $\text{CuPcCl}_{16}$ 、下左図分子構造および下図中結晶構造参照)のエピタキシャル薄膜を選択し、2種類の光学条件下で像観察を行なった。照射される電子線(加速電圧: 200 kV)を極限まで抑えたロードーズ条件下で観察を行なったところ、これまでに観察されていなかった軽元素骨格が明瞭に観察することができた<sup>(1)</sup>。特に負の球面収差条件を用いた場合、軽元素骨格の像コントラストが強調されシャープな骨格像が得られることが明らかとなった。以上の結果から光学条件の最適化とロードーズ条件の適用によってソフトマテリアルにおいても原子スケール TEM 像を得ることが可能であると示され、ソフトマテリアルの結晶構造評価において TEM 法が大きく寄与するものと期待される。

文 献

- (1) K. Yoshida, J. Biskupek, H. Kurata and U. Kaiser: Ultramicroscopy, 159(2015), 73-80.



本年度の応募数は1. 光学顕微鏡部門2件, 2. 走査電子顕微鏡部門5件, 3. 透過電子顕微鏡部門5件, 4. 顕微鏡関連部門0件の計12件であり, 第67回の13件, 第66回の12件とほぼ同数でここ数年の横ばい傾向を引き継ぐ形であった。部門別にみると昨年度応募の無かった光学顕微鏡部門に2件の応募があった一方で, 顕微鏡関連部門には応募が無かったのは残念である。

前回同様, 今回も Web 審査として, 20名の選考委員に順位点と5点満点での評価点を記載していただき, 評価点を高くつけた作品にはその理由を記載していただいた。それらの集計結果について, 西田稔副委員長, 事務局とweb会議を開催し, 最優秀賞, 優秀賞, 奨励賞を規則に従って選んだ。その結果, 昨年に引き続き最優秀賞に該当するものはなく, 優秀賞3件, 奨励賞2件が選ばれた。

優秀賞に選ばれた第2部門の“C40/C11<sub>b</sub> 超高温耐熱複相シリサイド合金における特異な「cross-lamellar microstructure」の発達”は優れた力学特性を有しながら特定の方位からの負荷に弱い(Mo<sub>0.85</sub>Nb<sub>0.15</sub>)Si<sub>2</sub>合金について, CrとIrを微量添加することで出現する“格子ラメラ組織”という複雑かつ特徴的な組織をSEM-EBSDとTEMで観察したものであり, 力学特性改善の機構を明らかにした点と組織としての美しさが評価された。同じく優秀賞に選ばれた第3部門の“p型MnSi<sub>1.75</sub>熱電材料の重元素置換とsublattice dislocationを利用した原子レベル組織制御”は高い性能指数を占めすRe添加高マンガンシリサイドについて電子線回折と高分解能観察で結晶構造を明らかにし, さらにMn原子を置換するRe原子の分布をSTEM-HAADFで解析することで副格子転位の分布とその発生機構を詳細に明らかにした点が評価された。“Liイオン電池固体電解質La<sub>(1-x)/3</sub>Li<sub>x</sub>NbO<sub>3</sub>ペロブスカイト型酸化物の陽イオン変調構造”は, 全固体電池用電解質とし

て注目されているLa<sub>(1-x)/3</sub>Li<sub>x</sub>NbO<sub>3</sub>における長周期変調構造をHAADF-STEM像で見出すとともにSTEM-EDXによりLa原子のイオン濃度分布が原因であることを見出したものである。その精緻な解析手法とEDX測定時のドリフトを2時間手動で行うなど観察者の粘り強さも評価された。

奨励賞については第2部門と第3部門からそれぞれ1件選出された。“停留疲労き裂先端における転位群の電子チャネリングコントラスト観察”は, 近年, 新たな格子欠陥観察手法として適用例が増えつつあるECCIを高窒素オーステナイト鋼における疲労き裂滞留の組織因子の解明に適用したものであり, バルク状態の試料で転位の観察ができるという, ECCIの特徴を最大限に生かした好例と言える。 “収差補正TEMによる有機金属錯体分子の原子スケール観察”は塩化カリウム単結晶上にエピタキシャル成長させた塩化フタロシアニン銅薄膜について原子分解能観察を行ったものであり, 低電子線照射条件と光学条件の最適化により金属元素のCuのみならず炭素, 窒素といった軽元素の骨格が明瞭に観察されており, 試料調整も含めて観察者の技術の高さが評価されたものである。

残念ながら選に漏れた作品の中にも技術的にも学術的にもレベルの高いものが多く, 審査点は僅差であった。昨年に引き続き最優秀賞が出なかったのは, 作品の質というよりも上位作品の点数が僅差である事にもよるかもしれない。またここ数年10件程度に停滞している応募件数を増加させることは重要な課題であり, 写真賞審査委員により講演大会の講演やポスターから写真賞応募者を推薦してもらうなどの工夫が必要と感じた。

金属組織写真賞委員会委員長

土谷浩一(物質・材料研究機構)

◇作品展示(3.19~21:千葉工大)。

次回もたくさんのご応募をお待ちしております。(8号会告予定)◇



# 極限状態下(強磁場, 高圧力)におけるマルテンサイト変態, 拡散変態および1次の磁気転移とそれらの電子論的解釈\*

掛下知行\*\*

## 1. はじめに

これまで材料の機能発現・組織制御において根幹となる基礎研究を、従来から用いられている温度・応力のみならず強磁場、高圧力の外場を新たに加えることで得られる実験結果に対して多次元的现象理解および電子論的解釈を通して、これまで未解決な問題の解明ならびに新規現象の発見と解明を行ってきた。その分野は、主に変位型相変態・磁気転移ならびに第一原理計算に基づく電子論に関するものであり、以下に示す4つの分野、すなわち、(i)極限状態下(強磁場、高圧力)のマルテンサイト変態ならびに拡散変態(ii)マルテンサイト変態のカイネティクスならびに巨大ひずみと臨界点(iii) d電子系セラミックス(マンガナイト)ならびにf電子系金属間化合物(DyCu, DyAg)の磁性と電気伝導特性(iv)相安定性の電子論的解釈に関連している。本稿では、これらの分野における筆者らの研究成果のいくつかを簡単に紹介する。

## 2. 極限状態下(強磁場, 高圧力)のマルテンサイト変態ならびに拡散変態

外場として強磁場(60 T)および超高静水圧(100 GPa)を用いて、これら外場のマルテンサイト変態ならびに拡散変態(鉄の $\gamma$ - $\alpha$ 変態等)に及ぼす影響について系統的に調べてきた。その結果、磁場ならびに静水圧は、変態開始温度に著しい影響を与えることがわかった<sup>(1)-(5)</sup>。例として、マルテンサイト変態開始温度に及ぼす磁場ならびに静水圧の影響について紹介する。マルテンサイト変態は“原子の拡散を伴わずにその連携な運動により引き起こされる1次の相変態である”。したがって、変態に伴い体積ならびに潜熱が大きく変

化する。この変態は固相における1次相転移の物理を明確にできる現象として、金属学者・物理学者・数学者らにより盛んに基礎研究が行われている。また、応用的な観点からもマルテンサイト変態は重要であり、鉄鋼材料の強化・形状記憶効果・擬弾性などにおいて極めて重要な役割を果たしている。

典型的なマルテンサイト変態を示すFe基合金のマルテンサイト変態温度と磁場の関係を図1に<sup>(1)</sup>、また、Fe-Ni合金の変態温度と静水圧の関係を図2に示した<sup>(6)</sup>。図1から、30 MA/m(~38 T)の磁場印加はFe-Ni合金のマルテンサイト変態温度を約80 Kも上昇させることがわかる。一方、Fe-Ni合金において1.5 GPaの圧力負荷は変態温度を100 K程度も下降させる。Fe基合金において磁場印加により変態温度が上昇するのは、実験を行った温度範囲においてマルテンサイト相の磁気モーメントが母相のそれよりも大きいため

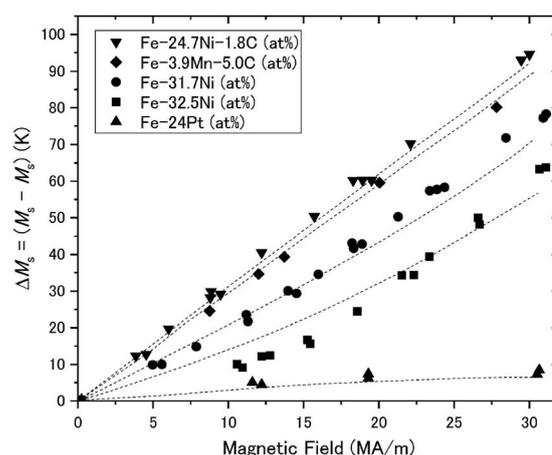


図1 Fe基合金におけるマルテンサイト変態開始温度と臨界磁場の関係<sup>(1)</sup>。

\* 2018年3月19日、千葉工業大学新習志野キャンパスにおける本会第162回春期講演大会において講演

\*\* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻; 教授(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

Martensitic Transformation, Diffusional one and First-order Magnetic Transition under Extreme Conditions (High magnetic field, High pressure) and Their Interpretation from Electronic State; Tomoyuki Kakeshita (Department of Materials Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)

Keywords: phase transformation, martensite, magnetic field, hydrostatic pressure, ferrous alloys, shape memory alloys, magnetic structure, electronic structure

2017年12月1日受理[doi:10.2320/materia.57.209]

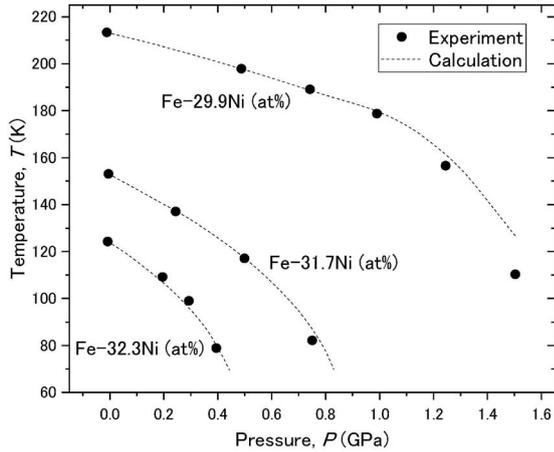


図2 Fe-Ni合金における $M_s$ 温度の静水圧依存性<sup>(6)</sup>. ●は測定値, 点線は計算値.

である. 一方, 静水圧負荷により変態温度が減少するのは, マルテンサイト相の原子容が母相のそれよりも大きいためである. これらの実験事実を考慮して, 変態開始温度の磁場依存性ならびに圧力依存性を決める式を, PatelとChen<sup>(7)</sup>によって示された変態温度に及ぼす外場の影響, 特に, 応力の影響を考慮して, 導出した(PatelとCohenは, マルテンサイト変態は非平衡であり, かつ, Fe基合金の多くは数百Kもの温度ヒステリシスがあるため, クラウジウス-クラペイロンの式が満たされないと考えた. そこで, マルテンサイト変態温度は, 実験的に求められる変態温度における両相のギブス自由エネルギー差に依存し, それは, 外場に依存しないと仮定した. この仮定により, 外場下における変態温度の計算ができることになる. その妥当性を確かめるには, 多くの実験が必要であると考えられる.). この仮定を考慮して導出した変態温度の磁場依存性を決める式(式(1))と変態温度の静水圧依存性を決める式(式(2))を以下に示した<sup>(1)(2)</sup>.

$$\Delta G(M_s) - \Delta G(M'_s) = -\Delta M(M'_s) \cdot H_c - \frac{1}{2} \chi_h^p \cdot H_c^2 + \varepsilon_0 \cdot \left( \frac{\partial \omega}{\partial H} \right) \cdot H_c \cdot B^p \quad (1)$$

$$\Delta G(M_s) - \Delta G(M'_s) = \int_0^p \left\{ \frac{1 + \omega_s(M'_s, P')}{1 + \omega_s(M'_s, 0)} \cdot V^p \cdot (M'_s) \cdot \left( 1 - \frac{P'}{B^p} \right) - V^m(M'_s) \cdot \left( 1 - \frac{P'}{B^m} \right) \right\} dP' \quad (2)$$

ここで,  $\Delta G = (G^p - G^m)$ は母相とマルテンサイト相のギブス自由エネルギー差,  $\Delta M$ は両相の自発磁化の差,  $H_c$ は臨界磁場,  $\chi_h^p$ は母相の高磁場帯磁率,  $\varepsilon_0$ はマルテンサイト変態時の体積変化,  $\omega$ は強制体積磁歪,  $\omega_s$ は母相の自発体積磁歪,  $V^p, V^m$ はそれぞれ母相, マルテンサイト相の体積,  $B^p, B^m$ はそれぞれ, 母相, マルテンサイト相の体積弾性率を表す.

これらの式を用いて計算した値を, 図1, 図2の点線で示している. 計算結果が, 実験結果とほぼ一致していることがわかる. ここでは示さないが, この一致を, 他のFe基合金, 形状記憶効果を示すCu基, Ti基などに生成する数多くのマルテンサイト変態においても確かめている<sup>(1)(2)</sup>. この

ことから, 筆者はPatelとCohenのなした仮定は妥当性があると考えている. また, 式(1)の右辺の第3項は, 新たに導出したもので, 強制体積磁歪に起因するエネルギーである. 特にこの項は, その値が大きいインバー効果を示す系では, 変態温度に著しい影響を与え, その値は磁場による静磁エネルギーとほぼ同程度であることを明確に示した<sup>(1)</sup>.

一方, 強磁場あるいは高圧力下で生成したマルテンサイト組織は, 同組成の熱誘起マルテンサイト変態のそれと同じであること<sup>(1)(2)</sup>(応力下で生成した組織は, 生成温度に依存するが, その結果は磁場あるいは静水圧下の場合と異なっている. その理由は今後の課題である.)ならびにマルテンサイト組織のフラクタル次元は, 拡散変態の組織のそれ(1.6次元)とは異なり1.8次元であることを明確にしている. このことから, マルテンサイト組織は, 岩石を砕いた時に生ずるクラック伝搬組織と同様に応力に支配された組織であることを示している. さらに, 磁場は, 温度や静水圧とは異なり方向性を有しているため, 形状磁気異方性あるいは結晶磁気異方性を通して組織制御を可能とすることは良く知られている. 事実, Fe-Ni単結晶では, 数は少ないが磁場印加方向に長く伸びたマルテンサイトが最初に生成すること<sup>(1)</sup>, また, CoPtあるいはFePdの規則化処理を磁場下で行うと単結晶規則相が得られることを示した<sup>(8)</sup>. 前者の場合は, 形状磁気異方性が原因であると考えている. 後者の場合は, 規則相が結晶磁気異方性を有しているため, 磁場印加方向に有意なバリエーションの初期生成量が他のバリエーションのそれよりも多くなり, その違いが成長過程の際に働く応力のダイポール-ダイポール相互作用により, 結果的に単結晶規則相化を促していると考えているが, その詳細は今後の課題である. この結晶磁気異方性が原因となる組織制御として, Ni-Mn-In系あるいは筆者らが初めて見出したFe-Pt, Fe-Pd系強磁性形状記憶合金<sup>(9)(10)</sup>の磁場によるマルテンサイト相のバリエーション再配列があげられる. すなわち, マルテンサイト相は大きな結晶磁気異方性を有しており, 磁場印加方向に有意なバリエーションが生成し, 時には, 単一バリエーションが得られる(バリエーション間は双晶関係にあり, 磁場によりその双晶界面の移動が起きる). 筆者らは, この現象のメカニズムは, 結晶磁気異方性のエネルギーが双晶を動かすのに必要なエネルギーと同程度にあることに起因することを提唱し, 磁場によるせん断ひずみを導入して定量的に解析し, その妥当性を確認した. この変換に伴い, 数%にも及ぶ伸びあるいは縮みが生じるため(伸縮は $a$ 軸と $c$ 軸の格子定数の違いによる.), すなわち, 非接触で形状を変化できるので, その応用が多数考えられている. 図3に, 筆者らが見出したFe-Pt合金における磁場印加による大きなひずみの変化を示す<sup>(9)</sup>.

### 3. マルテンサイト変態のカイネティクスならびに巨大ひずみと臨界点

#### (1) マルテンサイト変態のカイネティクス

マルテンサイト変態は多くの1次相変態と同様に, 核生成・成長により進行することは良く知られているが, マルテ

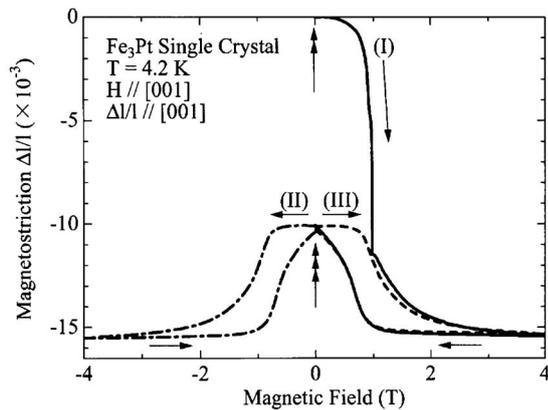


図3 Fe<sub>3</sub>Ptにおける磁場誘起歪<sup>(9)</sup>。(I)は初期磁場誘起歪。(II),(III)は磁場印加除荷によるリバーシブルな磁場誘起歪。

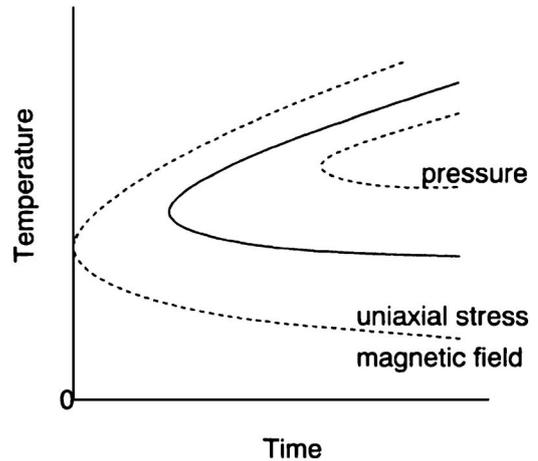


図4 Fe基合金におけるマルテンサイト変態のTTT図。外場(静水圧, 磁場, 一軸応力)により潜伏時間ならびにノーズ温度が変化する。

サイトの核がどのようなものであるかは、未だ十分に明らかになっていない。この未解決なマルテンサイト変態の核生成について、その核生成と密接に関連する変態のカイネティクスと外場(磁場・静水圧)の関係を調査して、新たな知見とモデルを展開しつつある<sup>(11)-(14)</sup>。すなわち、これまで変態過程が異なるものとして認識されている非等温マルテンサイト変態(変態開始は瞬時に起きる。)と等温マルテンサイト変態(変態開始に数秒あるいは数時間の有限な時間が存在する。この時間は温度に依存し、最も短い時間で変態が開始する温度が存在する。これをノーズ温度という。)は(図4)、磁場印加により等温変態が非等温変態に<sup>(11)</sup>、静水圧負荷により非等温変態が等温変態<sup>(12)</sup>に移行することを実験的に明らかにし、非等温変態と等温変態の違いは本質的なものではなく、本来統一的に考えることができ、等温マルテンサイト変態が本質であると提唱している。そこで、この等温マルテンサイト変態挙動をモデル解析することで核の大きさについて議論をした。それを以下に述べる。

モデルの構築<sup>(13)</sup>にあたり、2つの仮定を行っている。すなわち、すべてのマルテンサイト変態は熱活性化過程により起きることならびにポテンシャルバリア(活性化エネルギー)は外場に依存すると仮定し、統計熱力学を用いてマルテンサイト変態の起きる確率式を導入し、その逆数が時間に対応するというモデルを構築した。以下に、そのモデルを簡単に説明する。

マルテンサイト変態は $m^*$ 個の原子からなるクラスター(これが核に対応すると考えている。)が、このポテンシャルバリア( $\Delta$ )を乗り越えることにより進行すると考えると、その確率 $P$ は次式のように表すことができる。

$$P = A \exp\left(\frac{-m^*\Delta}{N_A k_B T}\right) \cdot \exp\left\{-B \exp\left(\frac{-\Delta}{N_A k_B T}\right)\right\} \quad (3)$$

ここで、 $k_B$ はボルツマン定数、 $N_A$ はアボガドロ数、 $A, B$ はパラメータである。また、 $\Delta(T) = \delta - \Delta g(T)$ で(仮定)、 $\delta$ は母相とマルテンサイト相との熱力学的平衡温度 $T_0$ における1モルあたりのポテンシャルバリアの大きさであり、 $\Delta g(T)$ は、温度 $T$ における1モルあたりの母相とマルテン

サイト相との自由エネルギー差である。潜伏時間は、このような確率を導入しているので $P^{-1}$ で表されることになる。このモデルの妥当性を、このモデルから予想される現象を実験的に示すことで確認した。予想される現象は、以下の2つである。(i)明瞭な $M_s$ 点を有する合金、いわゆる非等温変態を示す系においても、変態開始温度 $M_s$ 以上でかつ熱力学的平衡温度 $T_0$ 以下の温度において等温保持すると、マルテンサイト変態が起きる。(ii)静水圧負荷のTTT図において、静水圧を負荷していない場合のそれと較べると、ノーズ温度が上昇し、潜伏時間が長時間側に移動することになる。また、磁場印加の場合、ノーズ温度が減少し、潜伏時間が短時間側に移動する(図4)。これらの現象の存在確認ならびに式(3)を用いた計算と実験値の一致は、数多くの系で得られた。一つの例を図5に示した<sup>(14)</sup>。したがって、筆者は、式(3)の妥当性があると考えている。また、この式に含まれる $m^*$ から見積もったマルテンサイトの核の大きさが、ナノサイズ(2~5 nm)であり、その値は古典論による値と2桁も違うことがわかった<sup>(11)</sup>。今後は、この大きさの違い(例えば界面エネルギーとは何か)が持つ物理的意味とその緩和時間(核からマルテンサイト相への成長時間)について調査することが課題であろう。

## (2) 巨大ひずみの出現と臨界点の存在

2節で述べたように、多くのFe基合金ならびに代表的な形状記憶合金であるTi-Ni合金やCu系合金では、1次変態であるマルテンサイト変態に伴い体積ならびに潜熱が大きく変化する。また、その変態は、3(1)節で述べたように核生成・成長により進行する。ところで、変態に伴う体積ならびに潜熱が極めて小さく、ほぼゼロとみなせる変態が、Fe-Pd<sup>(15)</sup>、Fe-Pt合金<sup>(16)</sup>において観察されている。いわゆるFCCからFCTへの変態である。筆者らはこのような変態を、弱い1次のマルテンサイト変態あるいは極めて2次に近いマルテンサイト変態と称している。この場合、変態は1次なので核生成で起きるが、外場を与えると1次変態から2

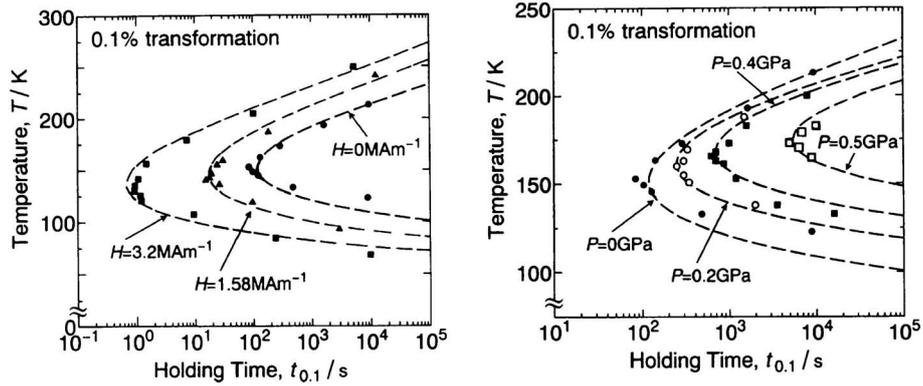


図5 Fe-24.9Ni-3.9Mn合金のTTT図に及ぼす磁場効果(左)と静水圧効果(右)<sup>(14)</sup>.

次変態に移行することがあり、したがってその変態の起源を電子状態に求めることができると考えている。事実、これらの合金では、高温相の弾性定数  $c' = (c_{11} - c_{12})/2$  が、変態温度に向かい減少し、変態温度では、ほぼゼロになるというソフト化が報告されている。著者は、このソフト化は変態様式が1次から2次となることに起因しており、それは、1次変態のいわゆる前駆現象ではないと考えているが、その妥当性は将来の課題であろう。このような、2次に近い変態では、ソフト化を考慮すると、新規な現象として巨大ひずみの出現と水の3態で良く知られている臨界点の存在が予想できる。事実、それらを実験的に初めて明らかにしたので、簡単に紹介する。

2次に近い変態を示す Fe-31.2Pd 合金や Fe<sub>3</sub>Pt (規則度は 0.8) においては、図6に示すように変態点における格子定数の変化が小さく変態点以下で格子定数が連続的に変化する<sup>(17)</sup>。このような Fe-31.Pd 合金や Fe<sub>3</sub>Pt において、変態点付近の温度で  $c'$  の影響が最も顕著に表れる [100] 方向に応力を加え、応力-ひずみ曲線を測定した。例として、Fe-Pd 合金の場合を図7に示す(すなわち、 $c'$  が小さいので、わずかな応力で大きなひずみを得ることができると考えた。)<sup>(18)</sup>。この図から、応力が低い場合には、プラトーが観察され、変態が1次で起きている様子がわかる。しかしながら、さらに応力を負荷すると、ヒステリシスの小さな弾性的な変形を示し、その値は、予想した通り大きな値で6%にも達する。これは、変態が1次から2次へと変わり、応力下での構造変化が連続的となっていると考えられる。その妥当性を中性子線回折実験で、構造、回折反射の位置、強度により確かめている<sup>(19)</sup>。また、このソフト化の原因、すなわち、2次転移の起源を第一原理計算により求めた<sup>(20)</sup>。その結果、この起源は、バンドヤーン・テラー効果に起因していることがわかり、この効果のために逆空間の原点 ( $T$  点) における格子軟化が生じ、弾性定数  $c'$  がマルテンサイト変態温度に向かってゼロに近づくことになると推論した。しかしながらその定量性には問題があり、今後の課題となる。さらに、これらの系においては、変態開始応力がソフト化のために極めて低いことならびにすべり変形にのみに関与する弾性定数 ( $c_{44}$ ) が十分大きな値となるため、これらの系では臨界点の

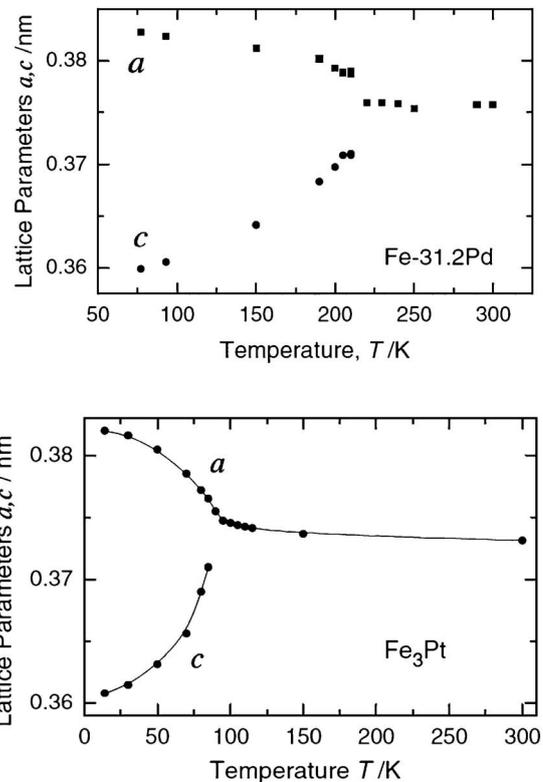


図6 Fe-31.2Pd (at%) 合金ならびに規則度0.78の Fe<sub>3</sub>Pt における格子定数の温度依存性<sup>(17)</sup>。

存在が予測される(変態応力は低く、降伏応力は数百 MPa 程度となり大きい)。そこで、Fe-Pd 合金における一定応力下での温度-ひずみ曲線を実験で求めた。得られた結果を図8に示した<sup>(21)</sup>。この図からわかるように、確かに臨界点が存在し、その温度と応力はそれぞれ 280 K, 40 MPa となった。また、この連続的変態を考慮すると、応力による熱量効果が数百 K もの広範囲の温度領域で存在することが期待され、事実それを初めて明らかにし、かつその大きさを定量評価した。

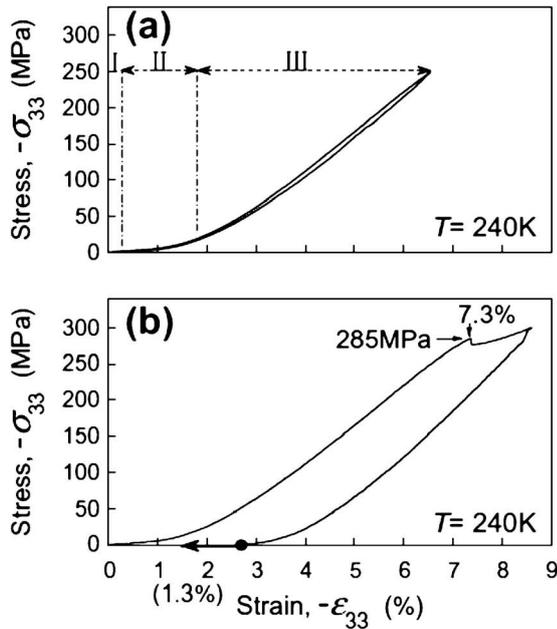


図7 Fe-31.2Pd 合金における応力-歪曲線. Iは母相の弾性域, IIは応力誘起マルテンサイト変態によるステージ, IIIはマルテンサイト相における弾性変形<sup>(18)</sup>.

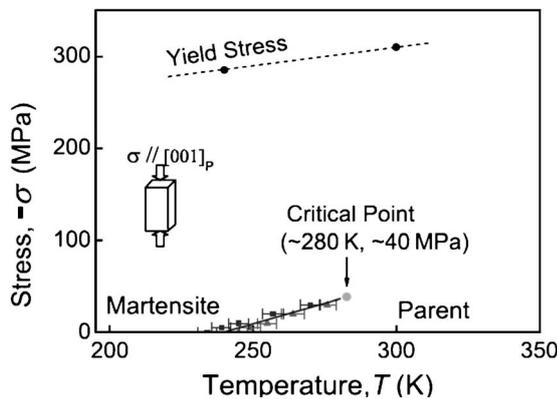


図8 Fe-31.2Pd 合金における応力-温度相図. 母相とマルテンサイトの境界が臨界点で消滅する<sup>(21)</sup>.

#### 4. d 電子系セラミックス(マンガナイト)ならびに f 電子系金属間化合物(DyCu, DyAg)の磁性と電気伝導特性

次世代の抵抗変化メモリ等の機能性材料として有望視されているペロブスカイト型マンガ산화物の磁氣的・電氣的性質は, 主に二重交換相互作用と超交換相互作用の競合関係により支配されることは良く知られている. これまでは, これらの競合関係に基づく電氣的・磁氣的性質が交差因子のみに依存するとされてきた. しかしながら, 本研究において, 数多くの系の詳細な磁化と電気抵抗測定を行ない解析した結果, 電氣的・磁氣性質は, 交差因子のみならず Mn-O-Mn 結合角の分散にも強く依存することを明らかにし, MnO<sub>6</sub> 八面体歪が, それらの性質に極めて重要な役割を担うことを明

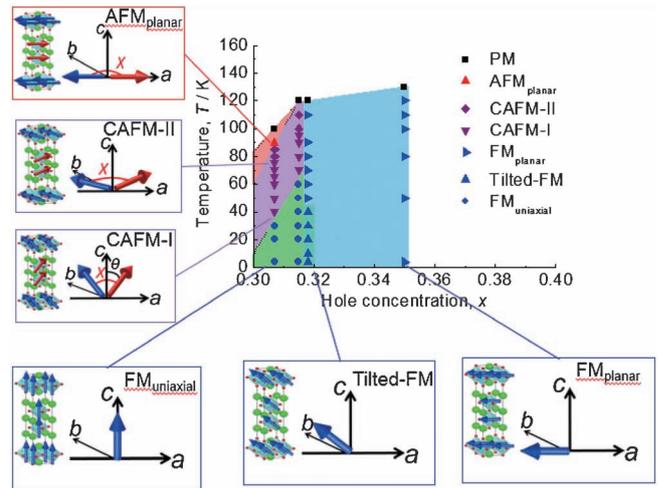


図9 層状ペロブスカイト型マンガ산화物  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $0.30 \leq x \leq 0.35$ ) 単結晶の相図.

確にした<sup>(22),(23)</sup>. この MnO<sub>6</sub> 八面体歪と磁氣的性質, 特に磁氣構造との相関についてさらに知見を得るために, 層状ペロブスカイト型マンガ산화物  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $0.30 \leq x \leq 0.35$ ) 単結晶の磁氣構造と MnO<sub>6</sub> 八面体内の Mn イオンの e<sub>g</sub> 電子の軌道占有状態(これが八面体のひずみを生ずる)との相関を中性子回折, 粉末放射光回折, 磁化測定等により調査した<sup>(24)</sup>. その結果, 従来に報告されている2つの強磁性(FM)構造ならびに反強磁性(AFM)構造以外に, Mn イオンの磁氣モーメントが傾いたキャント反強磁性(CAFM)構造が存在することを初めて見出し, xが0.3付近の磁氣相図(図9)を決定した(特に, 磁氣構造が, 温度ならびに組成に対して連続的に変化することを示した). この磁氣構造の変化は, MnO<sub>6</sub> が正八面体に近づくにつれて e<sub>g</sub> 電子が 3z<sup>2</sup>-r<sup>2</sup> 軌道から x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup> 軌道へ移り(電子雲分布が球状になる), 1 イオン異方性による c 軸方向への強い 1 軸結晶磁氣異方性がほぼ消失すること, ならびにその消失により磁氣双極子相互作用が相対的に強くなり, Mn イオンの磁氣モーメントが ab 面内へ向くことにより説明されることを示した. さらに x = 0.315 の静水圧下の単結晶中性子回折実験から, MnO<sub>2</sub> 磁性金属層の層間距離のわずかな変化により各層の磁氣モーメントが平行から反平行に変化することを見出した<sup>(25)</sup>. 以上より, 本系での複雑な磁氣構造は八面体ひずみに関係する 1 イオン異方性と MnO<sub>2</sub> 磁性金属層の層間相互作用により, 半定量的ではあるが説明できると結論した. その詳細は, 今後の課題である.

また, 磁氣冷凍材料として有望視されている B2 構造の Dy 系金属間化合物, 特に DyCu, DyAg の磁氣構造は, 複雑な <111> 伝搬ベクトルの triple-q 構造を有している. この磁氣構造は単に交換相互作用では説明ができないことから, 他の相互作用の存在が示唆されている. 本研究では, この相互作用が四極子相互作用であることを, 強磁場下で観察される多段階メタ磁性転移の方位依存(図10)とその転移磁場を調査ならびに中性子線回折によりいくつかのメタ磁性構造の同定を行い, 明確にしている. このことについて以下に簡単に述

べる。まず、四極子相互作用を含む次式のハミルトニアンを考えた<sup>(26)–(28)</sup>。

$$\begin{aligned}
 H = & \sum_{i,j} -2J(\mathbf{r}_{i,j}) (S_x(\mathbf{r}_i)S_x(\mathbf{r}_j) + S_y(\mathbf{r}_i)S_y(\mathbf{r}_j) + S_z(\mathbf{r}_i)S_z(\mathbf{r}_j)) \\
 & + \sum_{i,j} -G(\mathbf{r}_{i,j}) (O_{yz}(\mathbf{r}_i)O_{yz}(\mathbf{r}_j) + O_{zx}(\mathbf{r}_i)O_{zx}(\mathbf{r}_j) + O_{xy}(\mathbf{r}_i)O_{xy}(\mathbf{r}_j)) \\
 & + \sum_i g_j \mu_B \mu_0 (S_x(\mathbf{r}_i)H_x + S_y(\mathbf{r}_i)H_y + S_z(\mathbf{r}_i)H_z) \quad (4)
 \end{aligned}$$

ここで  $J$  および  $G$  は交換相互作用係数および四極子相互作用係数であり、 $S_x, S_y, S_z$  および  $O_{yz}, O_{zx}, O_{xy}$  はスピンベクトルおよび四極子テンソルの各成分、 $g_j, \mu_B$  および  $\mu_0$  はランダウの  $g$  因子、ボーア磁子および真空透磁率である。

この式にある交換相互作用係数と四極子相互作用係数に対して第2近接まで考慮した分子磁場近似を行ない、それらの係数(2つの未知数となる)を、磁場下での中性線回折で決めたいくつかのメタ磁性構造の2つの転移磁場を用いて、決定した。次に、主要3軸方向のすべてのメタ磁性相を適切な仮定を置き構築し、式(4)を用いメタ磁性の磁化曲線を計算した。得られた DyCu の磁化曲線を図10の点線で示した。この図から、いずれの方向においても、少しは異なる

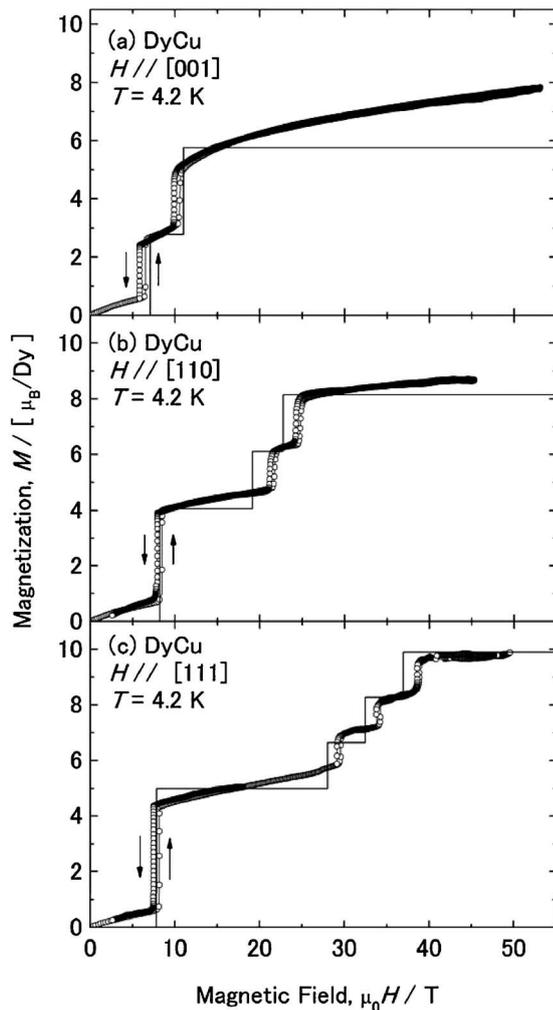


図10 DyCu の[100], [110], [111]方向の磁化曲線<sup>(26)</sup>。

が、おおむね実験を再現しているといえる。この結果から、四極子交換相互作用の妥当性が得られたと考えている。また、DyCu の交換相互作用係数は 79 K であり四極子相互作用係数は 45 K と解析され、それらの大きさが同程度であることから、この系では四極子相互作用が大きな役割を担うと結論づけている。その詳細は原著論文を参考していただきたい<sup>(26)</sup>。

## 5. 相安定性の電子論的解釈

筆者は、2次転移であれば、基本的には電子論的な解釈でその起源を明確にできると考えている。したがって、3-(2)節で述べたマルテンサイト変態、具体的には、Fe-Pd および Fe<sub>3</sub>Pt 系で観察される、いわゆる、FCC-FCT 変態に関しては、応力下で2次変態になることから電子論的起源があるとして述べてきた。すなわち、FCC-FCT 変態は、FCC の  $\Gamma$  点に異常有しており( $c'$ のソフト化)、その起源はバンドヤーン・テラー効果であることを明らかにしている<sup>(20)</sup>。しかしながら、FCT の全エネルギーは FCC のそれと比べると、わずかではあるが常に大きい<sup>(29)</sup>。この結果は、実験事実と矛盾するが、それは計算上の問題ではなく、むしろ FCT の構造に問題があると考えている。すなわち、FCT という格子系がないことから、この構造の原子位置および格子系の決定が必要であると考えており、その解明は将来の問題としている。

また、Ti-Ni 合金あるいは Ti-Ni-Fe 合金の高温相である母相に生成するナノドメイン構造はこれまで多くの研究者が報告している。この起源に関して筆者らは、フェルミ面のネスティングを指摘しており、その  $q$  は、ほぼ  $1/3\langle 110 \rangle$  であることを提唱している<sup>(30)</sup>。すなわち、Ti-Ni 合金の電子構造を第一原理に基づき計算し、これをもとに一般化感受率を計算すると、感受率がピークとなる波数が存在しそれが上で述べた  $q$  であることを明らかにした。また、この波数  $q$  は、電子顕微鏡による回折図形から得られる衛星反射のベクトルと一致していることを明確にしている(図11)<sup>(31)</sup>。さらに、この一致は、組成を変えた Ti-Ni-Fe 合金においても同様に得られている。以上のことから、Ti-Ni 系のナノドメイン構造の起源はネスティングであり、 $q$  がネスティングベクトルであると結論づけている。さらに、Ti<sub>50</sub>Ni<sub>46</sub>Fe<sub>6</sub> 合金において  $q$  が温度依存し、約 180 K で  $1/3\langle 110 \rangle$  に凍結することを見出し、この相転移が整合-不整合転移である可能性を示唆している。また、この温度付近で、フォノンがぼやけ、そのエネルギーが、ほぼゼロの可能性を中性子線非弾性散乱の実験で得ている<sup>(32)</sup>。以上に述べたナノドメイン構造の生成起源に関しては、他にもいろいろな解釈があり<sup>(33)</sup>、その解決は将来の課題と考えている。

## 6. 結 び

本研究結果が、若い研究者の方々の参考になるとすれば大変光栄に思います。また、本稿で述べた将来への課題が解決



# 高温融体の界面物理化学の深化

## — “Capillary Metallurgy” の構築を目指して —\*

田中敏宏\*\*

### 1. はじめに

材料の創成においては、その物性を利用した工業化への展開が最終ゴールであり、材料そのものの特性に着眼することは勿論大変重要な視点であるが、その材料の特性を十二分に発揮できるように当該の材料を「如何にして作るか?」も極めて重要である。特に、様々な欠陥が材料の特性を左右することは古くから知られており、欠陥を如何に減らして材料を製造するか? が常に問われている。一方、それらの欠陥を上手に利用して、材料の特性を制御している場合も多々ある。空孔や転位などをはじめとし、結晶粒界や異なった物質の界面、さらには表面も一種の欠陥であるが、それを有効に利用した材料開発も数多く行われている。

著者らは、金属材料や酸化物などの材料を主として対象とし、特に液体が関与する表面・界面現象を利用して、その材料の有用性を引き出し、また対象となる材料を「如何にして作るか?」に焦点を当てた研究活動を行っている。それらは、学問分野として「物理」かと問われるとそうでもなく、また「化学」かと聞かれるとそうでもなく、古典的な表現ではあるが、「冶金学」と答えるのが相応しいと考えている。「冶金学」という漢字は、もはや当用漢字にも登録されておらず、サイエンスの分野では耳にすることも珍しい。材料学の分野においてすら日本国内ではめったに聞くことがない。しかしながら、著者らは、現時点で、溶鋼-溶融スラグの界面物性の調査のために、学習院大学の渡邊教授とともに JAXA のご支援のもと、国際宇宙ステーションで実験を進めており<sup>(1)</sup>、また、3D プリンターに関連する素材の物性研

究を進め<sup>(2)(3)</sup>、さらには複雑な酸化物融体の物性予測にニューラルネットワークをすでに10年も前から活用している<sup>(4)</sup>。これらの研究活動はどの学問分野か? と問われると、やはり「冶金学」と答えるのが相応しいと思っている。特に著者らは、材料の表面、界面を有効利用した新たな材料創成を試みており、その分野を“Capillary Metallurgy”と呼んで、現代の冶金学を構築したいと考えている。本稿では、次の項目に沿って、著者らが行っている“Capillary Metallurgy”の研究活動の概要を紹介したいと思う。

1. 溶融合金の表面張力とナノ粒子系合金の平衡状態図の推算
  2. 水熱反応を利用した膨張ガラスの創成
  3. 表面微細ポーラス層や表面微細クレバス構造と特異拡張濡れ
  4. 溶鋼-溶融スラグ間の化学反応による界面張力の動的変化
  5. ニューラルネットワークによる融体物性の推算
- ### 2. 溶融合金の表面張力とナノ粒子系合金の平衡状態図の推算

表面では、式(1)に示すように、バルクに比べて「表面自由エネルギー×表面積」だけ化学ポテンシャルが高くなるという考え方をを用いて、純粋金属液体の表面張力と結合エネルギーの関係や、2成分系合金液体の表面張力の推算を行うことができる<sup>(5)-(8)</sup>。

$$\mu_i^{\text{Surface}} = \mu_i^{\text{Bulk}} + \sigma \cdot A_i \quad (1)$$

ここで、 $\mu_i^{\text{Surface}}$  と  $\mu_i^{\text{Bulk}}$  は成分  $i$  の表面およびバルクにおけ

\* 2018年3月19日、千葉工業大学新習志野キャンパスにおける本会第162回春期講演大会において講演

\*\* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻; 教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

Deepening of Physical Chemistry of High Temperature Melts — Aiming to Establishment of Capillary Metallurgy —; Toshihiro Tanaka (Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)

Keywords: nano-particles, surface Gibbs energy, hydrothermal reaction, surface-micro-crevice-structure, neural-network computation, interfacial tension

2017年12月11日受理[doi:10.2320/materia.57.216]

る化学ポテンシャル,  $\sigma$  は表面自由エネルギー,  $A_i$  は成分  $i$  の部分モル表面積である.

また, 式(1)の関係を A-B2 成分系に対して適用し, 式(2)で示す化学ポテンシャルの定義をバルクと表面に対して利用すると次の式(3), (4)が得られる.

$$\mu_i^{\text{Bulk or Surface}} = \mu_i^{\circ, \text{Bulk or Surface}} + RT \ln a_i^{\text{Bulk or Surface}} \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_A^{\text{Pure}} + \frac{1}{A_A} (G_A^{\text{Ex, Surface}} - G_A^{\text{Ex, Bulk}}) + \frac{RT}{A_A} \ln \frac{x_A^{\text{Surface}}}{x_A^{\text{Bulk}}} \quad (3)$$

$$\sigma = \sigma_B^{\text{Pure}} + \frac{1}{A_B} (G_B^{\text{Ex, Surface}} - G_B^{\text{Ex, Bulk}}) + \frac{RT}{A_B} \ln \frac{x_B^{\text{Surface}}}{x_B^{\text{Bulk}}} \quad (4)$$

ここで,  $\sigma_i^{\text{Pure}}$  は成分  $i$  の純粋状態の表面自由エネルギー,  $G_i^{\text{Ex, Surface}}$  と  $G_i^{\text{Ex, Bulk}}$  は成分  $i$  の部分モル過剰自由エネルギーで下記の式(5)のように活量係数と関係している.  $\chi_i^{\text{Surface}}$  と  $\chi_i^{\text{Bulk}}$  は成分  $i$  の表面およびバルクにおけるモル分率,  $R$  はガス定数,  $T$  は温度を示している.

$$G_i^{\text{Ex, Surface}} = RT \ln \gamma_i^{\text{Surface}}, \quad G_i^{\text{Ex, Bulk}} = RT \ln \gamma_i^{\text{Bulk}} \quad (5)$$

2成分系合金液体の表面張力の推算に関しては, バルク液体の過剰自由エネルギーや活量係数に関する熱力学データを利用し, 表面での配位数のバルクからの変化を考慮して, 表面に存在する原子の化学ポテンシャルを求め, それより, 式(3), (4)を利用して2成分系溶融合金の表面張力の組成依存性を計算することができる. 上記式(3), (4)は Butler の式<sup>(9)</sup>と呼ばれている. 式(3), (4)にバルクの組成, 温度, 純粋成分の表面張力とモル体積を代入すると, 合金の表面張力と表面濃度の2つを未知数とする連立方程式になり, これらの2つの量を計算できる. 多成分系に拡張することも可能である. 現在では, 上記の式(3), (4)を導かなくても, 式(1), (2)を考慮して, 表面を含む系全体の自由エネルギーを最小化する扱いから, 合金の表面張力や表面濃度を計算できる手法も提案されている<sup>(10)</sup>.

例えば図1に示すように Fe-Si 系や Cu-Pb 系の表面張力の計算値は実験値をよく再現している<sup>(6)</sup>. また例えば図1 (Cu-Pb 系)中の右肩の小さな四角はバルクと表面の Pb 濃度の関係を示しており, この計算では, 仮想的に1原子厚みと仮定した表面の Pb 濃度を計算できるが, バルクにおいて Pb の低濃度領域においても, 表面に Pb が極度に偏析し, 図1に示すように Cu に Pb を20%程度添加すると, 表面を Pb が覆い尽くすため, ほぼ純粋な Pb の表面張力に近い値を示すという溶融合金の表面張力の濃度依存性を説明できる. 勿論, 表面は必ずしも1原子層厚みではないが, 小野による多層構造の表面を考えたモデルで計算しても同様な結果が得られる<sup>(11)</sup>.

上記の計算において溶融合金の表面張力の計算に利用するのは, 純粋成分の表面張力とモル体積や, 熱力学データベースに収められている過剰自由エネルギーのデータである. 特に過剰自由エネルギーのデータは, 平衡状態図や各種化学反応を計算するために主として収められている熱力学データをそのまま利用できる. これらの熱力学データは熱力学量や平衡状態図の実験データを基に作成されたデータであるため, 熱力学諸量や平衡状態図の計算に用いられても, 実験値と計

算結果が一致することに対して当然とされる場合もあるが, 熱力学データの作成時に考慮されていない溶融合金の表面張力の推算に利用できるとなるとその値は俄然高くなる. さらに, 上記の手法を合金の固溶体相の表面自由エネルギーの推算にも適用できる. これができると, 液相および固相における表面を含む系の自由エネルギーが任意の組成および温度に対して計算できるので, 表面の性質が顕著に現れる微小粒子系の平衡状態図の推算に利用できる. 図2, 3はその一例である<sup>(12)(13)</sup>. 図2は Cu-Pb 系の例<sup>(12)</sup>であり, 図3は正則溶体近似を利用した計算例<sup>(13)</sup>である. これらの図に示すように, 微粒子の径が小さくなどと融点や液相線温度が低下し, さらに固溶域が広がる傾向のあることがわかる. ここまでは平衡状態図の単なる計算に過ぎないが, 実験値との対応

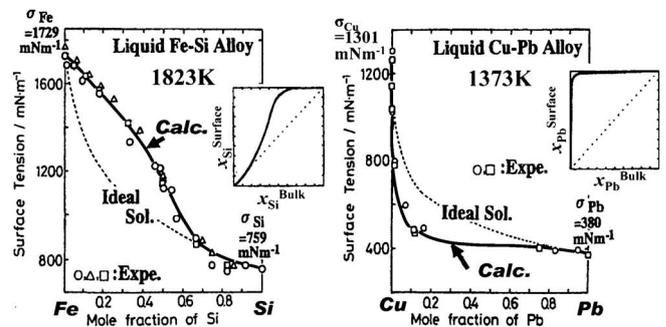


図1 溶融 Fe-Si および Cu-Pb 合金の表面張力ならびに表面濃度の組成依存性の実験結果と計算結果の比較.

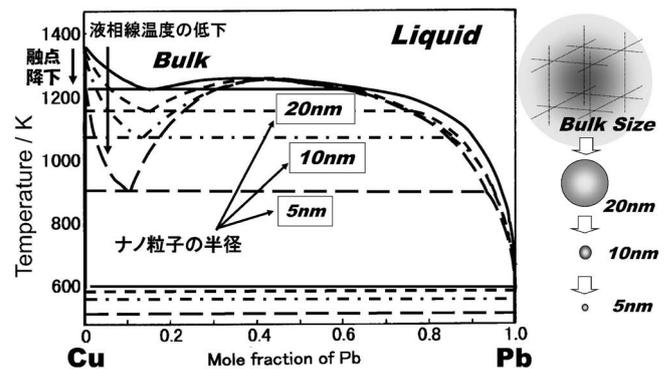


図2 Cu-Pb 合金平衡状態図の粒子径による変化.

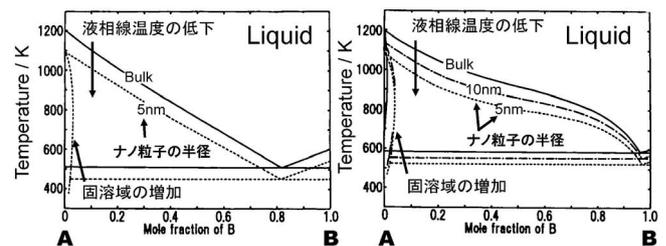


図3 正則溶体近似による平衡状態図の粒子径による変化.

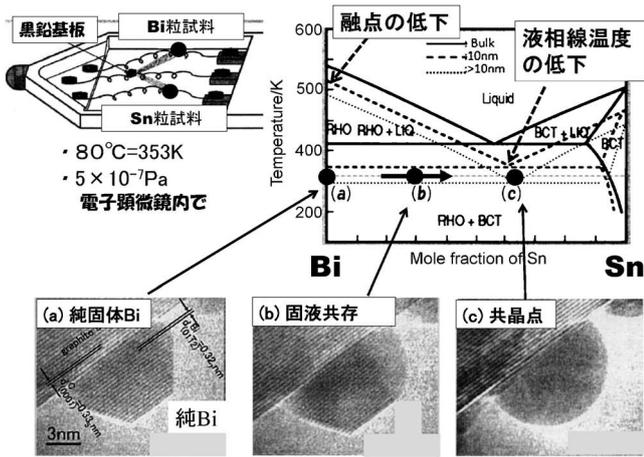


図4 Bi-Sn系平衡状態図の粒子径依存性と微粒子系における相変化の観察結果。

を図るために、Leeら<sup>(14)</sup>は電子顕微鏡内で、Bi-Sn系合金の融解挙動を観察し、上記のようにして得られたナノ粒子系合金の平衡状態図の計算結果との比較を行っている(図4)。この実験では、電子顕微鏡内において、Biをまず蒸発させて、電子顕微鏡内に設置した黒鉛基板上にBiのナノ粒子を固体として晶出させる。次にSnを蒸発させて、Biのナノ粒子にSnを溶解させて合金化を図っている。純粋Biは図4から固体であることがわかるが、Snが溶解するにつれて液相が現れ、バルクサイズでは融解しないはずの温度で液体合金が得られることを示しており、計算で得られたナノ粒子系の平衡状態図と対応していることがわかる。

以上のように、熱力学データベースを利用して、合金相の表面自由エネルギーやナノ粒子系の平衡状態図の計算ができることがわかった。そこで、同じ手法を用いて混合熔融塩の表面張力の推算を試みた。しかしながら、アルカリハロゲン系という最も単純な熔融塩に対しても、上記の手法はそのままでは適用できないことがわかった。化合物系では、陽イオンと陰イオンのイオン半径を結晶構造の説明に利用されることが多い。特に、鈴木は、図5に示すように、純粋熔融塩の表面張力が陽イオンと陰イオンの半径比で系統的に対応することを示している<sup>(15)</sup>。そこで、陽イオンと陰イオンの半径比をモル濃度に掛けて、上述のButlerの式を式(6)のように書き換えると、図6に示すように一連のアルカリハライド系の2成分系混合熔融塩の表面張力の実験値を再現できることがわかった。ただし、式(6)は陰イオン共通系の場合の式を例示している<sup>(16)-(19)</sup>。

$$\sigma = \sigma_{AX}^{Pure} + \frac{RT}{A_{AX}} \ln \frac{M_{AX}^{Surface}}{M_{AX}^{Bulk}}, \quad \sigma = \sigma_{BX}^{Pure} + \frac{RT}{A_{BX}} \ln \frac{M_{BX}^{Surface}}{M_{BX}^{Bulk}} \quad (6)$$

$$\text{ここで、} M_{AX}^P = \frac{r_A \cdot x_{AX}^P}{r_X}, \quad M_{BX}^P = \frac{r_B \cdot x_{BX}^P}{r_X}$$

$$\frac{r_A \cdot x_{AX}^P}{r_X} + \frac{r_B \cdot x_{BX}^P}{r_X} \quad \frac{r_A \cdot x_{AX}^P + r_B \cdot x_{BX}^P}{r_X}$$

PはSurface or Bulkを表しており、 $r_{ion}$ (ion = A or B)は陽イオンの半径を表している。 $r_X$ は陰イオンの半径である。

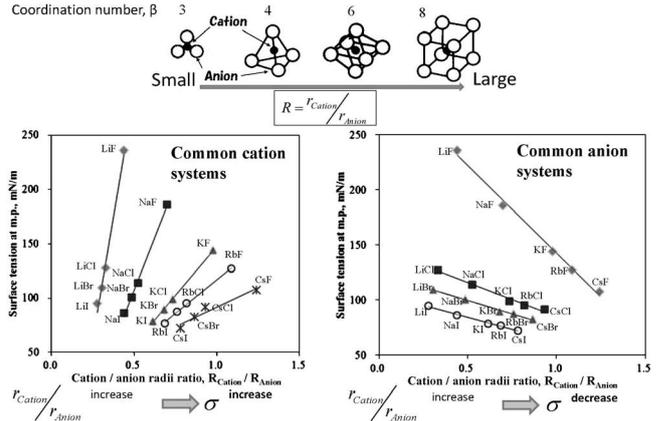


図5 熔融塩における表面張力と陽イオン/陰イオン半径比の関係。

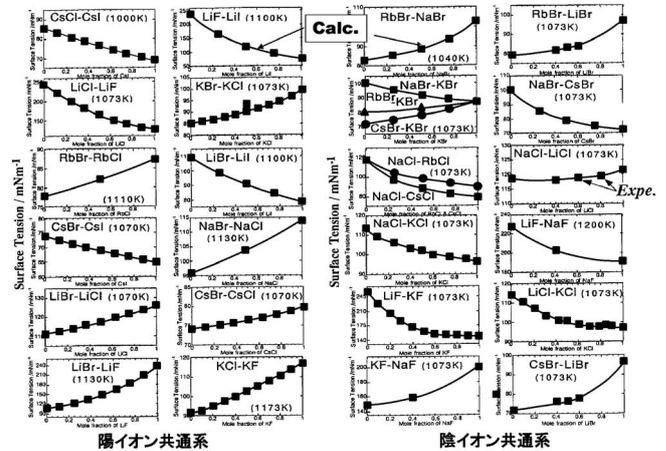


図6 共通イオン系混合熔融塩の表面張力の実験値と計算結果の比較。

特に陽イオン共通系では、表面張力は濃度に対して比較的直線的に変化し、一方、陰イオン共通系では濃度に対して、下に凸の濃度変化をする傾向を計算値は再現している。

上記の手法を利用すれば、一見、熔融塩の表面張力は推算が可能のように見えるが、同じアルカリハライド系において、陽イオンと陰イオンがそれぞれ異なる、例えばNaCl-KF系のようなReciprocal系に対しては、上述の計算方法をそのまま適用しても実験値を全く再現できない。まだまだ基本的な対象に対しても課題が残されていることがわかる。第一原理計算や分子動力学法などの計算方法を用いて表面張力の計算を行う研究も多々行われているが、熱力学的な性質との対比を考える上では、上記のようなマクロな熱力学計算も価値があると考えている。

### 3. 水熱反応を利用した膨張ガラスの創成

スラグやガラスなどの酸化物は安定で、かつ、多成分系であるため、金属に比べてエネルギーが低く、かつ混合のエントロピーが高いため、次の式(7)で示す材料の価値の指標

となるエクセルギーは低い。

$$\text{Exergy} = \Delta H - T_0 \cdot \Delta S \quad (7)$$

ここで、 $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $T_0$ はそれぞれ系のエンタルピー、エントロピー、室温である。

言い換えると、ガラスのリサイクルを試みて、その付加価値を高めるには、何とかしてエクセルギーを高める工夫が必要となる。ひとつの試みとして、もし表面を活用して、ガラスをポーラス化できれば、均一構造でなくなるのでエントロピーが下がり、また表面積が増えるので、系全体の表面エネルギーが高くなり、結果的にエクセルギーを高めることが期待できる。しかしながら、ガラスを高温度で加工するとエネルギーを消費することになり、リサイクル工程でエネルギーを有効に活用できないため、有効な手法ではない。そこで、著者は、水熱反応を利用することにした。水熱反応では、**図7**に示す $\text{H}_2\text{O}$ の平衡状態図に基づいて、高温・高圧の水を利用する。この高温・高圧の水はガラスやセラミックスを $250^\circ\text{C}$ 程度の温度で溶解できる。オートクレーブに試料と水を入れ $250^\circ\text{C}$ に加熱するだけでその状態を作ることができる。さらに $250^\circ\text{C}$ という温度は、カルノーの理論によると室温に対して付加価値の低い廃熱である。さらに、このようにして溶解したガラスには10%程度の $\text{H}_2\text{O}$ が溶解することがわかった。さらに高圧で溶解した $\text{H}_2\text{O}$ を含むガラスを常圧で再加熱すると $\text{H}_2\text{O}$ が気体となり、ガラスの軟化点を越える温度で $\text{H}_2\text{O}$ 蒸気はガラスの外に排出され、その際、気泡ができ、 $\text{H}_2\text{O}$ の放出とともにガラスの軟化点が上がって硬くなり、**図8**に示すようにポーラスガラスができることを見出した<sup>(20)</sup>。またこのポーラスガラスは、膨張する際に、その容器の形状に沿って膨らむことがわかり、パイプの中で膨張させて、その中に汚水を流すと水の浄化に応用できる可能性もわかった。

以上の一連のプロセスは、廃棄ガラスを用いて、廃熱を利用し、水を利用するだけのプロセスである。また用いている原理はすべて冶金学の基礎だけである。

#### 4. 表面微細孔組織や表面微細クレバス構造と特異拡張濡れ

鋼にCu成分が混入すると、圧延の際に赤熱脆性が生じることが古くから指摘され、そのため、鉄芯の周りに銅線が巻いてあるモーターのような材料をそのままリサイクルすることができないため、鉄と銅を分離する必要がある。機械的に分離することが難しいので、例えば、鉄は酸化するが銅は酸化しない雰囲気保持し、銅の融点以上に保持すると、酸化した材料には液体金属は濡れにくいので、液体銅と表面を酸化させた鉄を分離できると考えられる<sup>(21)</sup>。そこで、著者は、表面を酸化させた鉄と液体銅の濡れ性を実際に測定するところから実験を始めた。**図9**に示すように、表面を酸化させた鉄棒と表面酸化させない鉄棒を用意し、黒鉛板の上で融解させた銅液滴に上部から鉄棒を近づけて、濡れ性を確認する実験を行った。ただし、用いた炉が黒鉛をヒーターとタン

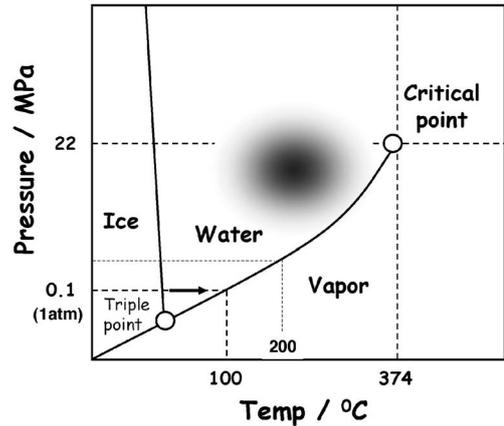


図7  $\text{H}_2\text{O}$ 系平衡状態図。

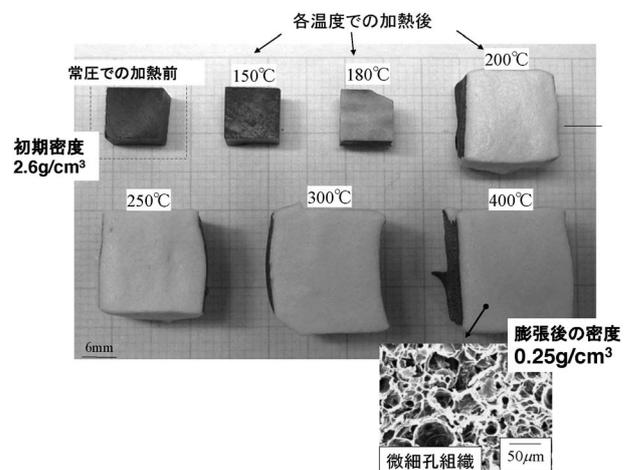


図8 水熱反応によって得られた $\text{H}_2\text{O}$ 含有ガラスの常圧下での加熱による膨張の様子。

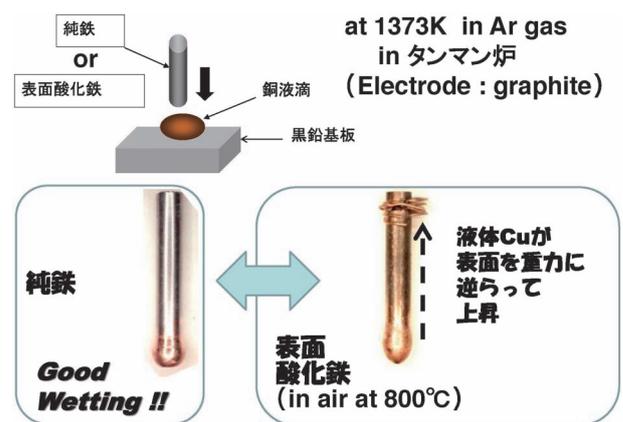


図9 表面酸化の有無による鉄製棒と液体銅の濡れ性の実験結果。(オンラインカラー)

マン炉であった。実験を行ったところ、表面を酸化させない鉄棒の先端部には液体銅がきれいに濡れて付着したが、表面を酸化させた棒のほうは、棒の先端部だけでなく、先端に濡れた液体銅が、鉄棒の上部まで重力に逆らって這い上がる現

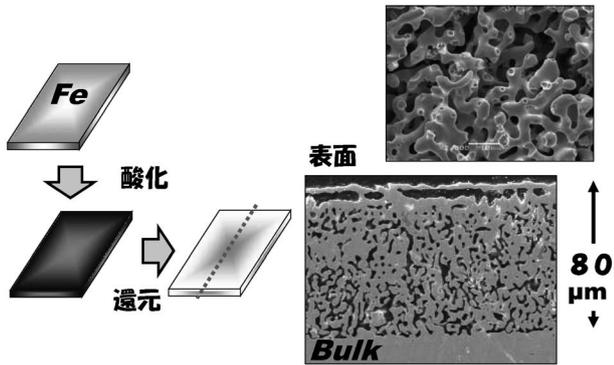


図10 鉄基板の酸化・還元処理によって得られた表面微細孔組織.

象を見つけた。これは実は、一旦表面を酸化させた鉄表面の酸化層がタンマン炉内のCOガスで還元されて、表面に図10に示すような微細ポーラス層ができ、その中を毛細管現象によって液体銅が浸透し、濡れ広がったためであった<sup>(22)</sup>。著者らはこの現象を「特異拡張濡れ」と呼び、この現象を利用した研究を種々行ってきた。銅線や銅基板表面にも微細ポーラス層を作ることができたので、はんだ付けで通常生じる肉盛(フィレットと呼ばれている)を生じない接合に利用できる可能性を見出した。図11は、そのようにして実施した接合実験の結果であり、基板と銅細線の断面を示したものである。白い部分は接合剤として利用した液体Biが浸透した跡である。ここでBiを用いたのは、Cuと反応せず、浸透だけが生じる様子を確認するためである。図11に示すように、銅細線の周りにフィレットを形成することなく、細線と基板を接合することができた<sup>(23)</sup>。しかしながら、この方法では、接合部以外の基板表面や細線表面にも微細ポーラス層が生じ、そこにも液体Biが浸透していることがわかる。言い換えると、余分な部分まで接合剤が浸透している。そのため、接合に必要な部分だけ、液体接合剤が浸透によって「特異拡張濡れ」を起こし、接合に利用できる手法の開発を検討した。そこで新たに見出したのは、必要な箇所だけにレーザー照射を行う方法である。図12の上の図はこのようにして作製した表面の微細構造の表面と断面を示したものである。ポーラス構造ではないが微細な襷が形成されており、著者らはこの構造を「表面微細クレバス構造」と名づけた。図12の下の方の図はCu基板の一部分に表面微細クレバス構造を作製した後、その一角にBiの粒子を置き、昇温した結果を示している。同図に示すように、表面微細クレバス構造の部分にだけ、液体Biは特異拡張濡れを生じることがわかった<sup>(24)-(26)</sup>。さらにこの方法を2枚の板の接合部に適用し、その界面に液体Biの特異拡張濡れを生じさせて、図13に示すように、2枚の板を接合できることを確認した。また、レーザーによる照射部として細い道筋を作ることも可能で、接合部まで離れたところから特異拡張濡れによって接合剤の液体合金を自発的に輸送することも可能であり、そのようにして接合した部材の写真を図14に示す。この表面微細クレバス

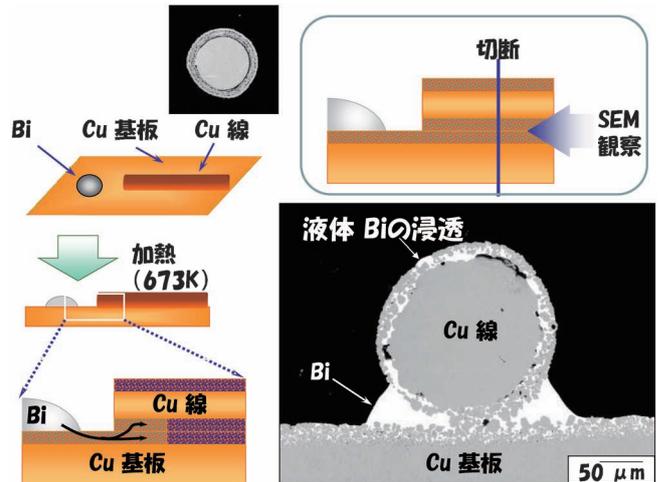


図11 表面微細孔組織を有するCu細線とCu基板の特異拡張濡れによる接合実験。(オンラインカラー)

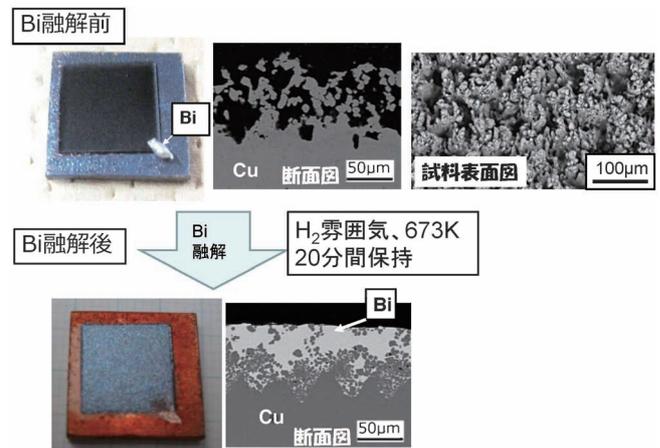


図12 レーザー照射によって得られた表面微細クレバス構造と液体Biによる特異拡張濡れ。(オンラインカラー)

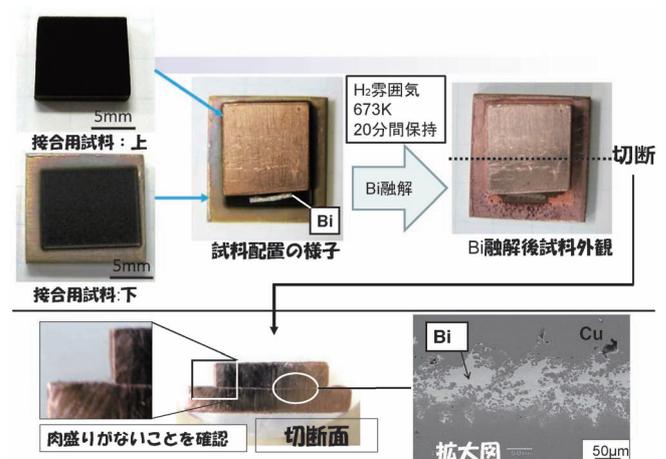


図13 表面微細クレバス構造を有する2枚のCu板の特異拡張濡れによる接合実験。(オンラインカラー)

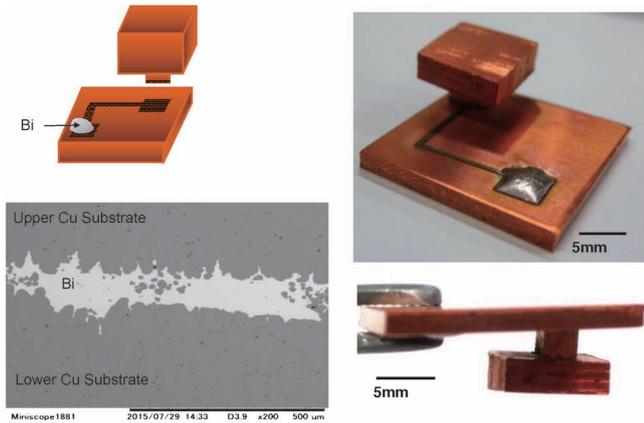
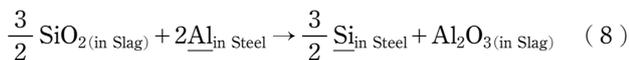


図14 表面微細クレバス構造を有する2枚のCu部品の液体Biの自発的拡張濡れによる接合実験。(オンラインカラー)

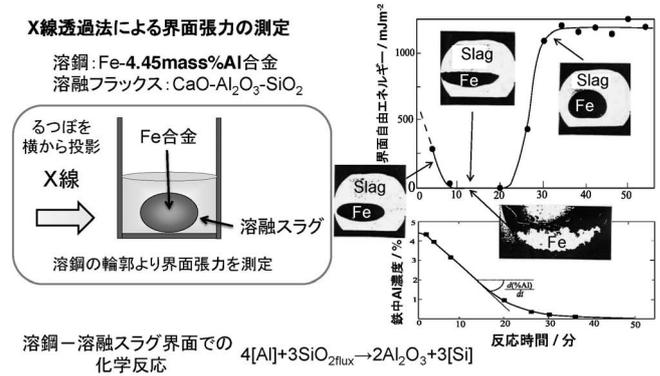
構造による特異拡張濡れは、垂直な基板でも生じることを確認している。上記の基礎実験は液体Biを用いて行ったが、その後、Snを主たる成分とするはんだ合金でも同様の現象が生じることを確認している。

## 5. 溶鋼—溶融スラグ間の化学反応による界面張力の動的変化

前節までで、界面の有用性を述べたが、溶鋼—溶融スラグが関係する現象においては、古くから両者の界面張力の測定が行われている。特に溶鋼—溶融スラグ間の界面張力は、例えば、両者を激しく混合して精錬反応を加速したい際には、界面張力は小さいほうが望ましいと考えられるが、一方、精錬を終えた後では、溶鋼上にある氧化物系融体との間の界面張力は高く維持し、両者が混合しにくい状態に保持できることが望ましいと考えられる。しかしながら、溶鋼—溶融スラグ間に化学反応が生じる際に、一時的に界面張力が低下することが古くから報告されている。例えば、Riboudら<sup>(27)</sup>は、図15に示すように溶融SiO<sub>2</sub>-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系スラグ中にFe-Al合金の液滴を落下させた際、次の式(8)に示す反応によって、時間経過とともに、溶鉄液滴の形状をX線で測定してその形状から界面張力を求めている。



その際、同時に溶鉄中のAl濃度を調べ、Al濃度が低下する化学反応が生じている最中に界面張力が低下することを報告している。この場合、鋼中のAl濃度は4.5%もあり、実用鋼としてはあまり例がないので、低Al濃度でもこの現象が生じることを確認するため、図16に示すように、著者らは溶鉄の水平表面上に溶融スラグ滴を滴下し、レンズ状の溶融スラグの接触から界面張力を測定し、図17に示すように、一時的に界面張力が低下することを確認した。その際、溶鉄中のSi濃度が増加し、Al濃度が減少して、化学反応が生じることを確認している。なお同図の結果は、溶融スラグ中の



溶鋼—溶融スラグ界面での化学反応  $4[\text{Al}] + 3\text{SiO}_2(\text{flux}) \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3[\text{Si}]$

図15 Riboudらによる溶融スラグ中の液体鉄合金の形状観察の界面張力と液体鉄合金中のAl濃度変化の実験結果。

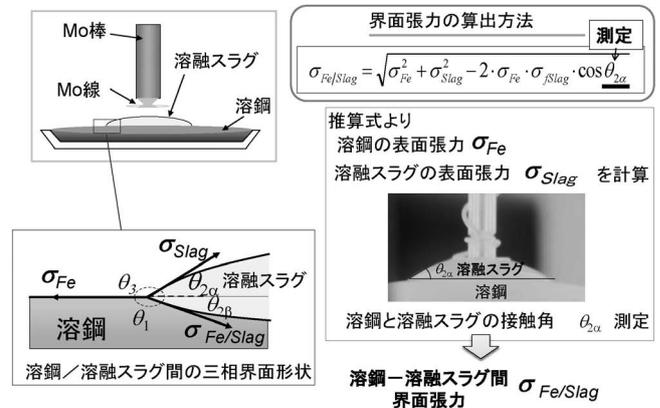


図16 溶鋼表面上にて気化した溶融スラグ液滴の接触角からの界面張力の測定手法。

CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がmass%比で40:30:10の場合の溶融Fe-0.042%Al合金との界面張力の測定結果である。化学反応が生じている際に界面張力が低下する原因はよくわかっていなかったが、図18に示すように、著者らは次のような機構を提案している。

- ①溶融スラグ滴が溶鉄表面に接触した直後は、高い界面張力を示している。
- ②その後、スラグ中の易還元成分、例えばSiO<sub>2</sub>が溶鉄中に徐々に分解・溶解し、さらに溶鉄中の強酸化成分、例えばAlによってSiO<sub>2</sub>が徐々に還元されて、溶融スラグ側から溶鉄中に酸素とSiが移行する。その際Siは界面を通り抜けて溶鉄中に拡散していくが、酸素は、一旦溶鉄—溶融スラグ界面に吸着して留まる。その結果、界面における酸素濃度が上昇し、徐々に界面張力が低下する。
- ③溶鉄中のAlと界面に吸着した酸素が反応してAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が形成されるが、スラグ中への移行は停滞し、益々界面の酸素濃度が高くなる。その後徐々に界面から酸素は離脱して溶鉄中へ拡散し、またスラグ中にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として移行することによって、スラグ側から界面に供給される酸素量と界面から離脱する酸素量とがつり合い、界面張力は最小値を示す。

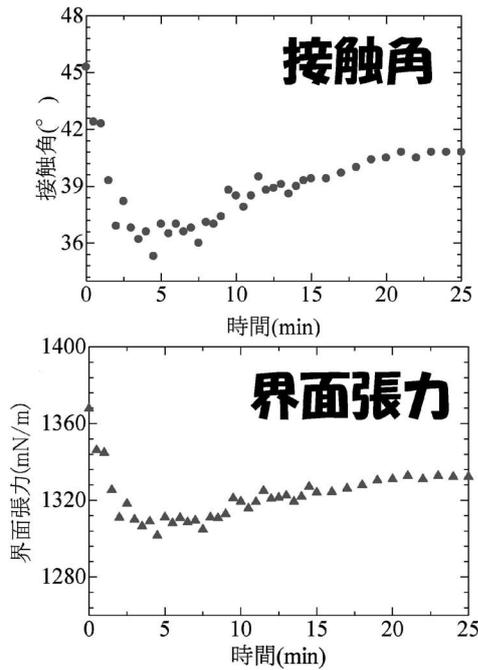


図17 CaO : SiO<sub>2</sub> : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 40 : 30 : 10の組成を有する溶融スラグと溶融 Fe-0.042%Al 合金との反応による接触角ならびに界面張力の変化。

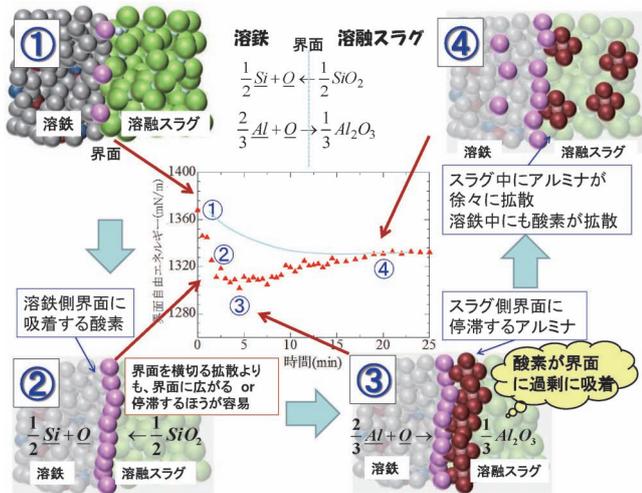


図18 化学反応を伴う際の溶鉄—溶融スラグ間の界面張力の動的変化の機構説明図。(オンラインカラー)

④その後、界面に過剰に吸着していた酸素は、離脱して溶鉄中に拡散し、また Al と反応して Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成分として溶融スラグ中に溶解・拡散して、界面に吸着していた酸素濃度が低下するため、界面張力が徐々に上昇し始める。

以上のような機構によって、化学反応が生じる際に一時的に界面張力が低下することを説明できる考え方を提案した<sup>(28)</sup>。上記の考え方は過去に報告されている溶鉄—溶融スラグ系で同様な現象が報告されている様々な実験結果を説明でき、溶融スラグ中の易還元性成分が溶鉄中の強酸化性成分と反応する際の界面張力の低下現象を上述の機構に

よって説明できることを示した。さらに著者らは、溶融スラグの粘度の影響や、溶鉄中に強酸化性成分が含まれず、溶融スラグ中の SiO<sub>2</sub> の溶鉄中への分解・溶解反応が生じる場合などの各種溶鉄—溶融スラグの組み合わせに対しても、特徴ある界面張力の動的変化を説明できることも示した。

溶鉄—溶融スラグ間の界面張力の測定については上述のように、坩堝内の溶融スラグ中の中に存在する溶鉄液滴の形状から測定が可能であるが、直接界面を見ることができず、白金坩堝の壁を通して X 線で観察する。またその際、密度の情報が必要となる。一方、上述の著者らの方法では、界面張力の算出のために、溶鉄と溶融スラグの表面張力の情報が必要となる。そこで、溶鉄—溶融スラグの界面を直視でき、かつ表面張力や密度などの付加情報を必要とせず単一の情報だけから溶鉄—溶融スラグの界面張力を求める方法として、無重力下で、溶鉄液滴の周りを溶融スラグが覆った 2 重液滴を作製して、浮遊させ、振動を与えて、その共振周波数から、界面張力を直接求める方法が現在国際宇宙ステーションで実施されている<sup>(1)</sup>。浮遊装置としては静電浮遊炉が JAXA で開発されて宇宙ステーションに搭載されており、学習院大学の渡邊教授をリーダーとする研究グループの研究活動が実施されている。著者らもメンバーに加えていただき、溶鉄—溶融スラグの界面張力の測定手法の開発に参画している<sup>(29)</sup>。

## 6. ニューラルネットワークによる融体物性の推算

冶金学の研究には、熱力学量のみならず、各種融体物性値の評価が不可欠である。様々な物理モデルが提案され、また最近では、第一原理計算や分子動力学法やフェーズフィールド法など各種計算方法が提案されている。著者らも上述の溶融合金や溶融塩の表面張力や粘度などの推算モデルを種々提案している。しかしながら、多成分系融体の物性評価や推算はきわめて難しく、最適な計算手法はまだまだ発展途上にあると言える。

著者らは、すでに10年ほど前に、製鋼プロセスの中の連続铸造プロセスで使われる溶融フラックスの粘度をニューラルネットワークで推算することを試みた。図19は、ニューラルネットワーク計算による粘度と実験値、さらに比較のため Iida ら<sup>(30)</sup>による物理モデルとの比較を示したものである<sup>(4)</sup>。ニューラルネットワークによる回帰性は極めて高いことがわかる。ただし、物理的意味づけにおいてはまだまだ問題があるが、粘度に対してどのような成分の寄与が大きく、またどのような成分間の相互作用が効いているかは、重み付けされた係数の値から解釈できる。著者らはこのニューラルネットワークによる冶金学関係の各種物理的性質の推算のために、溶融スラグの表面張力<sup>(31)</sup>や溶鉄の精錬能の指標となる溶融スラグの Sulphide Capacity 等の推算<sup>(32)(33)</sup>、さらには溶融スラグのリサイクルのための凝固条件に及ぼす各種要因の解明<sup>(34)</sup>などにニューラルネットワークを利用している。



# 磁性材料研究から触媒研究への挑戦

## ～触媒分野参入の手引き～

小嶋 隆 幸\*

### 1. はじめに

現在の若手研究者の置かれた状況は厳しく、アカデミックの世界で研究者として生き残っていくのは容易でない。独立した研究者として生きていくためには、(1)ゼロから発想したテーマを主導しオリジナリティもインパクトも高い成果を挙げて「あいつだからこそできた研究だ」と認められること、(2)低予算でもできる研究技術を沢山身に付けてどんな環境でもオリジナルの研究をできるようにすること、の2点が必要と考えている。そこで、「磁性材料薄膜」の研究で学位を取得した筆者は、オリジナリティを求めて全くの異分野である「触媒」の研究に挑戦し、薄膜に比べて予算がかからない「バルク」試料を用いた研究を開始した。本稿では、通常の解説記事とは趣が異なるとの認識に基づいて、あえてラフな文体で、異分野挑戦の経緯と(主観に基づいた)本学会員へ向けた触媒分野参入の手引きおよび最近の成果について紹介する。

### 2. 触媒研究挑戦の経緯

筆者は修士から博士課程の5年間に加えポストクの1年間、東北大金研の高梨弘毅教授の研究室で、磁性材料薄膜、特にL1<sub>0</sub>型FeNi規則合金薄膜の研究を行ってきた。この合金は希少元素を含まず、高い磁気異方性を有することから、レアアースフリー永久磁石材料および磁気記録媒体やスピントロニクスデバイスにおける貴金属フリー垂直磁化膜材料としての応用が期待される。ただし、高い磁気異方性を発現するためにはL1<sub>0</sub>構造への規則化が必須であり、規則-不規則

転移温度である320°C以下では原子拡散が極めて遅く規則化が困難という問題がある。自然界では何億年もかけて徐冷されたと思われる鉄隕石中のみ存在しているというような物質であるため、基礎的な磁気特性について十分に調べられていなかった。そこで、L1<sub>0</sub>型構造がFeとNiの原子層が交互に積層した構造であることに着目し、それらを1原子層ずつ制御して交互に蒸着する方法で、高品位な単結晶薄膜試料を作製し、その磁気特性を明らかにしてきた<sup>(1)-(4)</sup>。最近ではデンソーを中心とするグループにより、永久磁石としての実用化に向けた高品位な粉末試料が合成されており<sup>(5)</sup>、筆者の一連の研究で得た知見も今後活かされてくればと期待している。

しかしながら、本テーマは筆者の努力により発展させることができたという自負はあるが、元は先輩から引き継いだものであった。L1<sub>0</sub>-FeNiに関係ないテーマでもいくつか成果を挙げることができたとはいえ<sup>(6)(7)</sup>、客観的にみれば「高梨研でL1<sub>0</sub>-FeNiの研究を担当している小嶋君」である。いつか(ほぼ)パーマネントの研究室主宰者(所謂PI)になるためには、まず准教授相当のポストを獲得しなければならない。そのためには完全オリジナルのテーマでインパクトの高い成果を挙げなければならない。しかしながら、独創的なテーマを考えようとしても、磁性という枠組みの中で考えている限り大したアイデアが浮かばなかった。こういう時に手取り早いのが異分野融合である。そこで、魔法みたいで面白いと思っていた「触媒」に目を向けた。触媒と言えば貴金属であり、磁石分野と同様に希少元素代替が重要課題となっているのも良いモチベーションになった。代替材料の開発には、まず触媒機能の原理原則を理解しなければならないが、調べてみると非常に複雑でわかっていないことだらけという印象を

\* 東北大学学際科学フロンティア研究所; 助教(〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3)  
Challenge to Catalysis from Magnetic Materials—Guidance on Starting Catalytic Study—; Takayuki Kojima (Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences, Tohoku University, Sendai)  
Keywords: catalysis, catalyst, Heusler alloy, magnetic material, interdisciplinary  
2018年2月5日受理[doi:10.2320/materia.57.224]

受けた。逆に言えばいくらでも参入の余地があるということである。触媒反応は電子のやり取りであるため、電子状態が触媒機能を決める大きな要因の一つである。電子はスピンという磁気的性質を持つため、電子スピンや触媒の磁性の影響はあるのかと思い調べてみたが、その研究例は少なくわかっていないことだらけであった。これはチャンスだと思い、磁性と触媒機能の関係を調べる研究を着想した。また、東北大多元研の蔡教授の「Pdの電子状態をCuNi合金で真似すればPdと似た触媒特性が得られる」という講演を聴いて<sup>(8)(9)</sup>、元素置換による電子状態制御が可能で主にスピントロニクス分野で活躍するホイスラー合金の触媒への応用を着想した。そこで、蔡研究室に異動し、触媒の研究を開始した。磁性と触媒の関係についての研究では、ここで紹介できる成果はまだ得られていないが、その他の既に発表済みの成果について第4項以降で紹介する。

### 3. 日本金属学会員に向けての触媒研究参入の手引き

触媒反応は複雑なために、触媒研究は主に化学分野の研究者によってのみ行われ、他分野との交流が極端に少ないように感じる。触媒の多くは金属で、性能向上のために合金化させることが多い。しかしながら、合金に最も詳しいはずの金属材料の研究者で触媒も扱っている人は非常に少ない。そのため、触媒分野では合金の金属学的な状態を気にせず「bimetal」や「trimetal」という言葉が一般に使用されてきた<sup>(10)</sup>。一方、合金化により生じる金属間化合物は、純金属とは全く異なる電子状態および表面原子構造を有するため、新規触媒材料として最近急速に注目されるようになってきた<sup>(9)(11)</sup>。したがって、今こそ、金属学に精通した本学会員が触媒研究に参入することで、様々なイノベーションを起こせると期待している。しかしながら、殆どの本学会員には、触媒特性をどのようにして評価すればよいのかわからないと思われる。そこで、筆者も使用している標準的な触媒評価装置について紹介する。

図1(a)に触媒評価装置の模式図を示す。基本的には、ボンベからマスフローを通じて触媒層に反応ガスを導入し、出てきたガスをガスクロマトグラフ(GC)に導入して生成物を分析するだけである。図1(b)は最も一般的な熱伝導度型検出器(TCD)の模式図である。ホイートストンブリッジのフィラメントがキャリアガスと呼ばれるHeなどの不活性ガスに常時冷却されている状態で試料ガスが導入されると、Heとの熱伝導度の違いによりフィラメント温度ひいてはその抵抗が変化し、ブリッジに電圧変化が生じることにより試料ガスを検出するという原理である。試料ガス濃度が既知の標準ガスを用いた場合の電圧変化をリファレンスとして、触媒反応後の試料ガス濃度を求めることができる。カラム充填剤との相互作用がガスによって異なるため、成分ガスを分離して分析できる。GCがポンプ吸引などの試料導入機構を備えている場合は図1(a)中に示した六方バルブは不要である。カラムは加熱できるため、液体試料の場合、注射器を用いて本

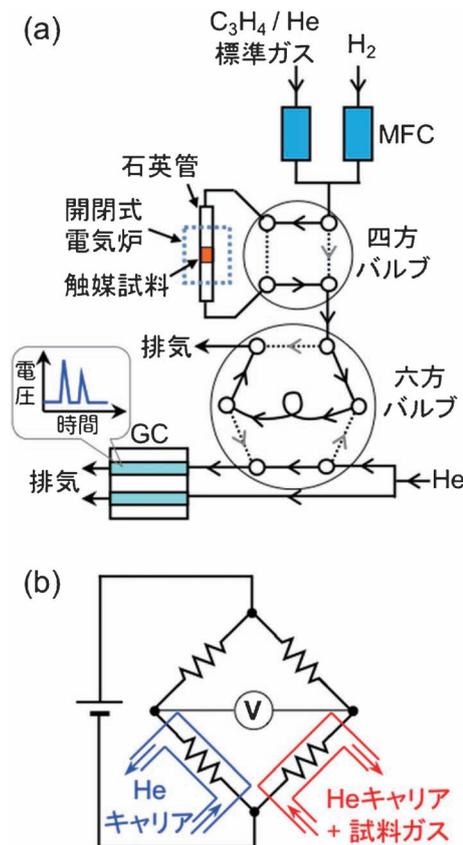


図1 (a)触媒評価装置および(b)熱伝導度型検出器(TCD)の模式図。(a)はプロピレン( $C_3H_4$ )の水素化反応の例。バルブ操作により流路が実線もしくは破線に切り替わる。使用ガスを切り替える時などに、四方バルブを切り替えて触媒試料を保護する。六方バルブの流路を実線から破線に切り替えると、バルブ中央に示したループ内の試料ガスをHeキャリアガスがガスクロマトグラフ(GC)へと運ぶ。GC内のカラムを通過して分離された試料ガスが(b)の検出器へと導入される。配管は手で簡単に曲げられる1/8インチのSUS管とSwagelok継手で構成している。石英管は基本的に、外径6mm、内径4mmのものを用いている。(オンラインカラー)

体の外部注入口に注入すると気化して分析できる。表1に示すように、最も廉価な構成であれば値引きを含めて200万円、機器制御やプログラムに自信があるならPythonなどのフリー言語を使って180万円程度で触媒反応評価系を構築できると思われる。予算に少し余裕があるならば表2のように400万円程度で性能や操作性を向上した系を構築できる。筆者は表2のような構成でPythonにより温調器を制御し、所定の温度および時間になったらUSBリレーを介してGCに分析開始信号を送り、触媒反応の温度依存性を自動で測定できるようにしている。データ取込と解析は付属ソフトの機能により自動で行っている。

最も安価で丈夫で一般的なパックドカラムを用いるとカラム1本当たり $30\text{ mL min}^{-1}$ のHeを常時フローしなければならないため(長期停止する場合を除く)、表1のようにHe代

表1 触媒評価装置の構築に必要な最低コスト.

物 品	価格[万円]
ガスクロマトグラフ本体 Shimadzu GC-8A	71(定価)*
サードパーティ製取込 & 解析用 AD コンバータ +PC+ソフト	40 (自作:15)
カラム×2本	6
マスフローコントローラー×2台	30
手動六方バルブ	5
He キャリアガス×7本(1年分)	10
He 用レギュレータ	7
反応用標準ガス×2本	8
標準ガス用レギュレータ×2個	8
手動四方バルブ	4
その他配管・バルブ等	8
温調器+電気炉	15
自作架台	1
合 計	213(188)

\* Shimadzu 予算申請用カタログ2018.

表2 少し奮発して結構良い性能の触媒評価装置を構築する場合のコスト(筆者主観).

物 品	価格[万円]
ガスクロマトグラフ本体(試料導入機構付, カラム含む)+PC+取込 & 解析ソフト	300
マスフローコントローラー×2台	30
G1-He×1.5本(1年分)	6
He 用レギュレータ	7
反応用標準ガス×2本	8
標準ガス用レギュレータ×2個	8
手動四方バルブ	4
その他配管・バルブ等	8
温調器+電気炉	22
自作架台	1
合 計	394

が多少かかるが, キャピラリカラムを使用する場合には, He 消費量は半分以下で済む. また, 反応ガスも 30 mL min<sup>-1</sup> 程度の流量が標準的であり(流量が大き過ぎると触媒との接触時間が短く十分に反応が起こらず, 流量が小さ過ぎると継手部分からの空気の混入や排気口からの逆流が生じる), 10 L(〜10 MPa)のボンベで1年間は余裕で持つ. 新規参入の最も高いハードルとなり得るのは水素の使用である. 触媒表面は自然酸化しているため, 触媒反応前に水素還元熱処理を施す必要がある. 既に水素が使用可能な環境ならば問題ないが, 水素を使用するために新たな設備導入が必要な場合は余計に予算が掛かってしまう. ただし, 触媒が酸化物の

場合やターゲット反応が CO 酸化や自動車排ガス浄化などの酸化雰囲気の場合は, 水素は不要である. また, 水素濃度を爆発下限の4%未満に希釈した標準ガスを用いれば, 特別な設備は不要である. 実際に確認はしていないので正確なことは言えないが, 安定な酸化物の標準生成ギブスエネルギーが -500 kJ(O<sub>2</sub> 1 mol)<sup>-1</sup> くらいまでの元素ならば(例えば Fe), 4%未満の水素濃度でも600°Cでの熱処理で表面酸化物を還元できるのではないかと思う.

触媒特性は, 主に転化率(反応速度)と選択性(複数の物質が生成し得る場合の各物質の生成比率)で評価される. 次項で用いる式(1)のプロピン(C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>)の水素化反応を例にとると, 転化率および選択性は式(2)および式(3)で表される.



$$\text{転化率} = 100 \times \frac{C_{\text{feed}} - C_{\text{unreact}}}{C_{\text{feed}}} [\%] \quad (2)$$

$$C_3H_6 \text{ 選択性} = 100 \times \frac{C_{C_3H_6}}{C_{C_3H_6} + C_{C_3H_8}} [\%] \quad (3)$$

ここで C<sub>feed</sub>, C<sub>unreact</sub>, C<sub>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub></sub> および C<sub>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></sub> は, それぞれ原料中の C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>, 触媒層通過後の未反応 C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> および C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> の濃度である. 転化率を表面積や重量などで割り付ければ反応速度となる. 触媒研究では, 1個の試料の特性の絶対値だけを以って評価するのは不可能であり, 標準的な試料や条件を変えて作製した試料群と比較した相対値で評価しなければならない. 粒子径が極端に小さくなると露出面やそれらの間のエッジおよびステップやキンクといった欠陥の状態が大きく変わるため, 基礎研究をするならば大きめの粒子を整粒した試料を用いることが望ましい. 筆者は20-63 μm に整粒している. 選択性は物質固有とまでは言えないが, 転化率(反応速度)に比べると粒子径の影響を受けにくいので, 基礎研究をするならば選択性に着目した方が面白い研究ができるのではないかと個人的には思う. 同程度のサイズに整粒していれば, 転化率は充填した触媒のトータルの表面積に比例するので, 常に同じ重量の試料を充填するようにしていれば, 表面積で割った反応速度を比較することで触媒の「活性」を評価できる. 一方, 酸化物微粒子に担持した微粒子触媒などでは, 触媒物質の粒径分布や表面積が試料によって一定とは限らないため, SV(Space Velocity = 反応ガス流量 ÷ 触媒層体積)という値を揃えて転化率を比較することで「粒径や表面積の影響を繰り込んだ活性」を評価できる. 即ち, 試料の「出来」に依存する触媒活性(転化率)の評価法であるため注意が必要である. この方法は実用的な性能を比較する場合に適しており, 転化率を導入した金属重量で割り付ければ, 材料コスト当たりの反応収率を評価できる. 以上のような装置および評価法によって行った触媒研究の成果を次項以降で紹介する. また, 個人的に気に入っている触媒の入門書を挙げておく<sup>(12)(13)</sup>.

#### 4. ホイスラー合金の触媒への応用

ホイスラー合金(X<sub>2</sub>YZ, L<sub>2</sub>1 構造)は, スピントロニクス・

磁性材料，熱電材料および強磁性形状記憶合金といった広い分野で機能性を発揮し，本学会員ならば誰もが知る合金系である．しかしながら，XおよびYは触媒活性を示す遷移金属であるにもかかわらず，その触媒機能についての報告は皆無であった．前述のように金属間化合物の触媒機能が最近注目されているうえ，ホイスラー合金ではX，YおよびZの組み合わせが無数にあるため，高機能触媒が眠っている可能性は十分にある．また，本合金の最大の特長は，元素置換（例： $X_2YZ_{1-x}Z'$ ）により電子状態を精密に制御できるという点であり，元素置換による電子状態および表面構成元素の制御を通じ，触媒機能をターゲット反応に合わせてチューニングできる可能性がある．そこで，初めの一步として，12種類のホイスラー合金試料（ $Fe_2TiSn$ ， $Co_2TiAl$ ， $Co_2TiGe$ ， $Co_2TiSn$ ， $Co_2MnSi$ ， $Co_2MnGe$ ， $Co_2MnSn$ ， $Co_2FeGe$ ， $Ni_2TiAl$ ， $Ni_2TiSn$ ， $Ni_2MnSn$ ， $Cu_2TiAl$ ）を作製し，還元反応であるプロピン（ $C_3H_4$ ）の水素化反応および酸化反応である一酸化炭素（CO）の酸化反応に対する触媒特性をおおまかに評価した<sup>(14)</sup>．

アーク溶解およびその後の熱処理により得た合金インゴットをハンマーや乳鉢により粉碎し，ふるいにより20–63  $\mu m$ に整粒した粉末を触媒試料とした．触媒反応装置に設置後，表面酸化物除去を目的とし純水素フロー下で600°C 1 hの熱処理を行った後，反応ガスを導入し触媒反応を開始した．歪除去熱処理を施した<20  $\mu m$ の粉末についてのX線回折（XRD）測定により，一部の試料で微量の異相ピークが観測されたが，基本的に単相で $L2_1$ 構造として十分に規則化していることを確認した．触媒反応試験は全て1気圧で行った．

プロピン水素化反応は，反応ガス：[1% $C_3H_4$ /55% $H_2$ /He-balance]，流量：30 mL  $mim^{-1}$ ，触媒量：400 mg 前後（総表面積が0.027  $m^2$ となるように充填）という条件で実施した．殆どの試料が図2の $Co_2TiSn$ のように僅かな活性しか示さなかった．考えられる原因としては，Al，SiおよびTiという酸素との結合が極めて強い元素の表面酸化物の残留およびSnの表面偏析が挙げられる．一方，これらの元素を含まない $Co_2FeGe$ および $Co_2MnGe$ は一定の活性を示した．特に， $Co_2FeGe$ は純Coよりも高い活性を示した．純Feおよび純Ge粉末が全く活性を示さなかったため，Co，FeおよびGeの単純な混合物の場合，活性は純Coよりも低くなるはずである．したがって，これらの元素がホイスラー合金という金属間化合物（規則合金）を形成することにより新しく生まれた電子状態が純Coの電子状態よりも本反応に適していたものと考えられる．これは明らかな合金化効果<sup>†</sup>である． $Co_2FeGe$ と $Co_2MnGe$ の活性の差は，フェルミ単位における状態密度の差に起因する水素解離吸着能の差によるものと既報では考えたが<sup>(14)</sup>，その後の発展研究で得たデー

<sup>†</sup> 触媒分野において合金化が触媒特性に与える効果はリガンド効果とアンサンブル効果に大別されており，前者は電子状態変化に起因し，後者は表面の構成元素や原子配列の変化に起因するものである．

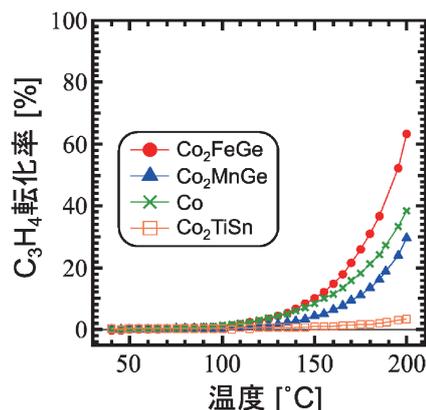


図2 プロピン（ $C_3H_4$ ）水素化反応における $C_3H_4$ 転化率．（転載許可[14]: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.6b00299>）（オンラインカラー）

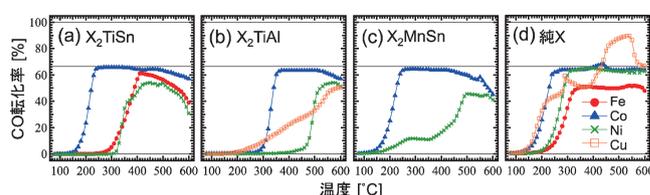


図3 (a) $X_2TiSn$ ，(b) $X_2TiAl$ ，(c) $X_2MnSn$  および(d)純X触媒によるCO酸化反応におけるCO転化率．（転載許可[14]: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.6b00299>）（オンラインカラー）

タも合わせて考察すると，そんな単純な話ではなくかなり複雑な原因が絡み合っていると現在は考えている．生成物は殆どがプロピレン（ $C_3H_6$ ）であったが，それ（選択性）については特にここでは言及しない．

CO酸化反応は，反応ガス：[1.2%CO/0.4% $O_2$ /He-balance]，流量：30 mL  $mim^{-1}$ ，触媒量：400 mg 前後（総表面積が0.027  $m^2$ となるように充填）という条件で実施した．試料自体が著しく酸化しないようにストイキオメトリ（CO： $O_2$ =2:1）よりもCOリッチな雰囲気（CO： $O_2$ =3:1）とした．図3は $X_2YZ$ のXを変えた場合の活性をCO転化率で比較したものである．Xに対する活性の序列は，ホイスラー合金 $X_2YZ$ でも純Xでも似た結果であった．即ち，基本的にはXが活性を担っており，YおよびZとの組み合わせによってXの電子状態や周囲の環境が変化するために，YZによる活性の違いが生じていると考えられる．図4は80–600°Cの間で昇降温を繰り返した場合のCO転化率である．図4(a1)，(c1)のように，昇温時と降温時あるいは1サイクル目と2サイクル目で転化率に差が生じるヒステリシスが殆どの試料で観測されたが，図4(b1)の $Co_2TiSn$ ではヒステリシスが小さかった．COと $O_2$ の消費量（転化率）から $CO+1/2O_2 \rightarrow CO_2$ の反応以外に消費された $O_2$ 量，即ち酸素原子がCOを酸化させるだけでなく触媒金属自体を不可逆的に酸化させてしまう反応に消費された $O_2$ 量を見積もる

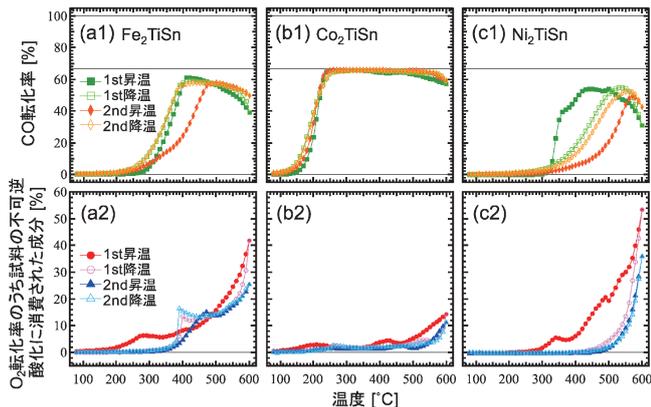


図4 (a1)–(c1) CO酸化反応におけるCO転化率および(a2)–(c2) O<sub>2</sub>転化率のうち試料の不可逆酸化に消費された成分. 昇温および降温のサイクルを2回行った. (転載許可[14]: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.6b00299>) (オンラインカラー)

と、ヒステリシスが大きかった試料では不可逆酸化が著しく(図4(a2), (c2)), Co<sub>2</sub>TiSnでは酸化の度合いが小さいことが示唆された(図4(b2)). Co<sub>2</sub>TiSnでは、O<sub>2</sub>リッチ条件(CO : O<sub>2</sub> = 1 : 1)で触媒反応を実施した後もXRDパターンに酸化物のピークが僅かしか観測されず、耐酸化性が高いことが示唆された.

以上のように、ホイスラー合金触媒では、ターゲット反応に合わせて適切な元素を選択することにより、その活性や耐久性を最適化できることが示唆された. その後の発展研究では画期的な成果が得られており<sup>(15)</sup>, ホイスラー合金触媒は今後大きな注目を集めると期待している.

## 5. Fe-Ni合金ナノ粒子の触媒特性評価および表面組成の推察

磁性材料として開発されたFe-Ni合金ナノ粒子の触媒特性を評価し、触媒特性から表面組成を推察した. 多価アルコールを溶媒とした液相法により組成を制御してFe-Ni層状複水酸化物を合成した後、還元熱処理を施すことにより、平衡状態図に従った組成および構造のFe-Ni合金ナノ粒子を得ることができる<sup>(16)</sup>. その組成および構造は誘導結合プラズマ発光分光やXRDなどにより評価していたが、これらはあくまで試料全体の情報である. 合金ナノ粒子では、構成元素の表面エネルギー差による偏析やプロセス中の還元速度の差によって内部と表面の組成が異なることがしばしばある. そこで、本Fe-Ni合金ナノ粒子の触媒としての性質を調べるとともに、表面状態に極めて敏感な触媒反応をプローブとして表面組成を推察した<sup>(17)</sup>.

Fe-Ni層状複水酸化物前駆体微粒子について、純水素フロー下400°C 1 hの還元熱処理を施し、得られたFe-Ni合金ナノ粒子粉末を触媒試料とした. 触媒反応にはプロピン水素化

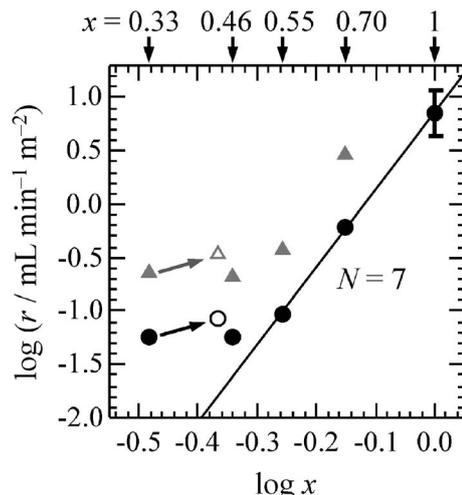


図5 Fe<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>合金ナノ粒子触媒によるプロピン水素化反応における反応速度( $r$ )のNi組成( $x$ )依存性. 直線は $0.55 \leq x \leq 1$ のデータに対する式(5)によるフィッティング. (転載許可[17])

を採用し、前項のホイスラー合金の場合と同じ条件で反応試験を実施した. 試料の活性はプロピンの反応速度で比較した. この時、表面積が大きいナノ粒子では活性が高く、転化率が大きくなり過ぎるために、正確な反応速度を見積もることが困難となる. そのため、試料によって触媒充填量を調節した(7-33 mg).

反応速度( $r$ )のNi組成( $x$ )依存性を図5に示す.  $x$ が小さくなるほど、即ちFe量が多くなるほど $r$ が低下した. 純Feは殆ど活性を示さなかったことから、この変化は自然である. 触媒反応が起こるためには、ある一定個数( $N$ )以上の活性原子から成るアンサンプルを必要とする場合がよくあり、そのような場合 $r$ は活性アンサンプルの存在確率に比例する. 本研究の場合、 $x=1$ , 即ち純Niの $r$ を $r_{\text{Ni}}$ とすると、

$$r = r_{\text{Ni}} x^N \quad (4)$$

$$\log r = \log r_{\text{Ni}} + N \log x \quad (5)$$

となる. 式(5)から $\log r$ と $\log x$ は直線関係になることが分かり、図5では $x \geq 0.55$ で直線関係が認められる. フィッティングすると $N=7$ という値が得られた. プロピンおよび水素の吸着に必要なサイトを考えると、この値は妥当と考えられる<sup>(17)</sup>.  $x \leq 0.46$ で直線から外れるのは、純Feが純Niや純Coに比べれば殆ど活性を示さないとはいえ、僅かには活性を有するためと考えられる.  $x=0.46$ では $N=7$ 以上のNiアンサンプルの存在確率が0.4%にまで低下するため、 $x$ が小さい領域では高活性な $N=7$ 以上のNiアンサンプルの活性の寄与よりも、表面の大部分を占める低活性なFeを含むアンサンプルの寄与の方が大きくなるものと思われる. なお、 $x=0.33$ の試料はbcc相とfcc相が共存しており、状態図通りにbcc相が $x=0.055$ で活性が極めて小さく、fcc相が $x=0.43$ で主に活性を担っていると仮定すると白抜きの点となる.

ナノ粒子合金触媒では、前述のような理由で内部と表面の組成が異なり、仕込み組成を元に図5のようなプロットを



# 開発裏話～合金鉄溶解炉による 資源循環システムプロセスの開発

加藤 勝彦\*

## 1. 開発の背景

わが国の鉄鋼業の工業出荷額は製造業全体の6%にあたる19兆円であるが、お客様である自動車等の主要産業の出荷額154兆円を加えると、鉄鋼業が関連する出荷額は製造業全体の60%弱の173兆円に上る<sup>†</sup>。従って当社には、製造段階での省資源や省エネルギー、環境負荷を低減しつつ、コストパフォーマンスに優れた鋼材を安定供給する社会的使命がある。

ステンレス鋼においても、より過酷な環境での使用に耐えうる高耐食性鋼材、ライフサイクルコストを考慮した長期耐用性鋼材、更には省資源型で要求特性を満足できる鋼材等のニーズは年々高まり、高機能と省資源を両立させたステンレス鋼製品が求められている。

当社では、電気炉によるスクラップ溶解に比べて安価な高炉溶銑を主原料とし、上底吹き転炉にてフェロクロム合金を連続投入する含クロム鋼製造技術を構築してきた。しかしながら、溶銑に対してフェロクロム合金を多量に溶解するには熱源が必要となる。必要な熱源は炭材添加によって確保されるが、炭材には不可避免的に硫黄が含まれるため、低硫鋼の製造に課題が生じる。したがって、クロム鋼屑を転炉で再利用することは困難であった。

また、溶鉄中の炭素濃度低減および燃焼熱の確保の観点から、転炉では送酸による酸化精錬が必須である。この際、炭素のみならず添加したクロムの一部が酸化される。従来、送酸で生じた高濃度クロム酸化物は、転炉内にフェロシリコン合金を添加することで還元回収していた。しかし、還元時にシリコンの酸化物が生成し、転炉でのスラグ発生量の増大を招いていた。また、高価なフェロシリコン合金の使用は製造コストの悪化につながる点も課題であった。更に、高濃度クロム酸化物は融点が高く溶解し難いため、クロム酸化物の還元には限界があった。

このように、ステンレス鋼は製造段階でクロムやニッケル

を多量に加えるが、クロムの酸化ロスや熱不足に起因した、製造段階におけるクロム含有発生物(鋼屑・ダスト・スラグ等)の再利用リサイクル率低位が業界共通の長年の課題であり、ステンレス鋼をさらに高効率に製造できるプロセス開発が急務と判断した。

## 2. 資源循環システムプロセスの着想と特徴

当社では、ステンレス鋼製造プロセスにおいて、クロム酸化ロス極小化、発生物利用による省資源化、発生物の系外排出量ミニマム化とふっ素レス化による環境負荷軽減、かつ低コスト化を実現するために、高炉・転炉一貫プロセスに還元溶解電気炉を加えた資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセスを開発、2010年に実用化した。

では、なぜ資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセス構築に当たり、高炉・転炉一貫プロセスに敢えて増工程となる合金鉄溶解炉を加えたのか、という点について触れたいと思う。

従来、前述した理由によって、クロム鋼屑のリサイクル比率は図1に示す様に2%しかなく、大部分のクロム鋼屑をリサイクルできない状態であった。しかも、クロム鋼屑は磁着する性質から、普通鋼屑との分別が非常に難しい。一旦混在してしまえば、クロム鋼屑中のクロムは有害なコンタミ成分となってしまう。ステンレス鋼にとっては、欠くことのできない重要な元素であるにも関わらず、クロム資源の国内循環率は実に1/3程度しかない<sup>††</sup>。一方、クロム資源の確認可採年数は、レアメタルの中でも短く<sup>†††</sup>、ステンレス鋼製造の事業継続性が危ぶまれる状況と考えられた。

また、高炉・転炉一貫プロセスでステンレス鋼を製造する場合、クロム添加は転炉工程で行われるが、クロム源であるフェロクロム合金中には、その製造過程で不可避免的にシリコンが一定量含まれる。転炉でフェロクロム合金の添加とともに、純酸素による脱炭処理を行う事から、合金中のシリコンは酸化物としてスラグ化し、同時にクロムの一部も酸化されてクロム酸化物となりスラグに取り込まれてしまう。このク

\* 新日鐵住金株式会社八幡製鐵所 ステンレス部ステンレス企画室；室長(〒804-8501 北九州市戸畑区飛幡町1-1) Development Story～Development of the Multi-Material Recycling System Using Electric Arc Furnace for Melting Ferro-Alloy; Katsuhiko Kato(Stainless Steel Planning & Coordination Department, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation YAWATA WORKS, Kitakyushu)

Keywords: electric arc furnace, multi-material recycling system, stainless steelmaking, reduction of chromium oxide YES(yawata environment-friendly smelter)

(まてりあ第56巻1号36-38頁「新技術・新製品」掲載)

† 経済産業省大臣官房調査統計グループ平成26年(2014)工業統計表「産業編」。

†† 産業技術総合研究所「地質ニュース」2009.12月号。

††† 環境省\_平成23年版\_環境・循環型社会・生物多様性白書。2018年2月27日受理[doi:10.2320/materia.57.230]

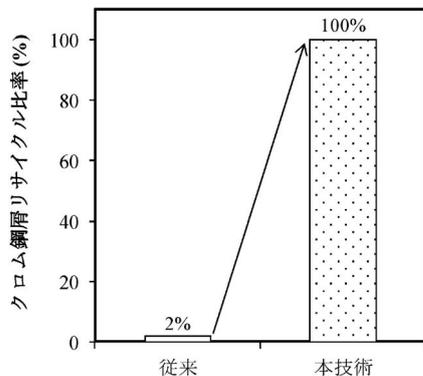


図1 クロム鋼屑リサイクル比率の変化。

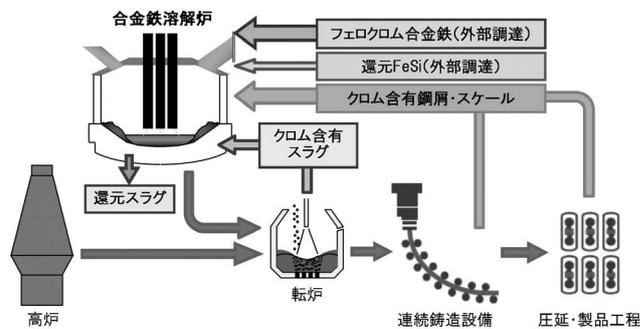


図2 本開発のステンレス鋼製鋼プロセス全体概要。

ロム酸化物を還元回収する新たなフェロシリコン合金の添加により多量のスラグが発生してしまう。

クロム鋼屑のリサイクルと、無駄にスラグ化してしまうフェロクロム合金中のシリコンを何とか有効に使えないか、議論の末に行きついたのが、合金鉄溶解炉を新たに加えた新しいステンレス鋼製鋼プロセスであった。

本プロセスの特徴は、酸化精錬によって脱炭処理を行う転炉と、還元精錬により高濃度クロム酸化物をフェロクロム合金中のシリコンで還元するとともにクロム鋼屑をリサイクルする合金鉄溶解炉とに、完全に分離したプロセス構成を取っている点である(図2参照)。これにより、発生物リサイクル・スラグ発生量低減・コスト低減が可能となる。合金鉄溶解炉では、スラグ組成や処理温度、攪拌条件の適正化により、蛍石を使用することなく高効率にクロムを還元回収できる技術を確認した。

### 3. 開発の経緯

資源循環システムプロセスの構想が固まってからは、いかに効率的な処理を行えるか最適条件探索試験を、ラボや実機電気炉を使って実施した。本プロセスを適用する八幡製鐵所には電気炉が無かったため、室蘭製鐵所や新日鐵住金ステンレス(株)光製造所の電気炉による調査や実証試験を約2年がかりで繰り返し行った。

操業条件の適正化も終え、いよいよ実機設備建設へとステージは移行した。新しいプロセスの追加であり、新たな操業クルーの結成とともに、新規 YES<sup>†</sup>プロジェクトチームが開始した。

八幡におけるステンレス鋼製造は、1920年の13クロム鋼試作から開始された。当初は高炉溶銲は使用せず電気炉による原料溶解法を選択していたが、1979年、鉄源工程の八幡地区から戸畑地区への移管を契機に、高炉・転炉一貫プロセスへと移行した。それから30年近く電気炉操業からは遠ざかっていた。YESプロジェクトは電気炉経験のない素人集団だった。

この窮地を乗り越える為、ステンレス鋼電気炉操業経験の長い、新日鐵住金ステンレス(株)(NSSC)への応援を要請、技術スタッフや現場叩き上げの作業長を八幡 YES プロジェクト

に招き、全面的な協力体制を構築した。また、宴席で隣り合わせた人からの情報で、定年された電気炉一筋の筋金入り助っ人を得ることができた。幸運はどこに潜んでいるか判らないとつくづく実感した。一方 YES 操業クルーは、半数が入社3年目以下の若手集団であり本当に大丈夫か、といった声も耳にしたが、1年間 NSSC 光製造所の電気炉で実操業経験を積むことで、そんな不安を一蹴し電気炉操業感覚を身に付けた。クルー全員の努力には頭が下がる思いであった。

2年半に及ぶ YES 建設は順調に進み、計画通り2010年4月2日に初溶解を迎えた。資源循環システムプロセスが産声をあげた瞬間である。

初溶解操業はすこぶる順調であった。しかし、やはり魔物は潜んでいた。立上げから数チャージの溶解で、炉壁耐火物が想定を遥かに上回る速度で溶損していた。また、ウルトラハイパワー電力の投入により、誘導加熱による設備損傷が散発した。また、装入した原料の未溶解による処理時間延長の頻発も余儀なくされた。何れも、YESの安定稼働を阻害するものであった。

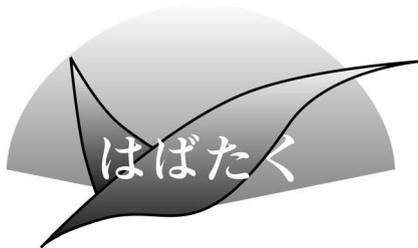
このままでは、当初の目的はおろか、多額の投資が水泡に帰してしまう。プロジェクトチームの総力を挙げた格闘が始まった。操業クルー、製鋼技術スタッフに加え、設備担当、炉材担当、研究部隊、協力会社と、まさに総力戦で臨んだ結果、1年後には当初計画通りの設備・操業技術を確認することができた。

### 4. 開発を振り返って

本開発は、クロム資源循環を核に、従来のプロセスとは全く異なる、高炉・転炉一貫プロセスに還元溶解電気炉を加えた資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセスという前例の無い技術へのチャレンジであった。そのような新技術を工業生産プロセスとして実現できたことは、構想から5年に亘る研究開発成果と、2010年工業設備立上げ以降の総力を挙げた改善努力の集大成の結果である。更に言えば、八幡製鐵所製鋼技術に関わった多くの先人が、本開発を構想する遙か昔より、ステンレス鋼製鋼工程への電気炉復活を夢見ていた脈々としたパッションが後押ししてくれた事は紛れもない事実である。

本開発技術が、クロムをはじめとする限りある地球資源の有効利用の一助となれば幸いである。

<sup>†</sup> Yawata Environment-friendly Smelter.



## 実験の楽しさを知った学部時代から現在までを振り返って

東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所  
(兼) 東京医科歯科大学生体材料工学研究所; 助教

海瀬 晃

私は2017年3月に東京工業大学大学院総合理工学研究科物質科学創造専攻にて細田秀樹教授の下、博士(工学)の学位を取得しました。その後、同年4月より医歯工イノベーションシステム創成異分野融合共同研究強化事業のクロスポイントメント制度により東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所と東京医科歯科大学生体材料工学研究所の兼任助教として、研究活動に従事しております。この度は「はばたく」へ寄稿する機会を頂きましたので、これまでの研究生活について述べさせていただきます。

私は学部生の時、芝浦工業大学材料工学科材料化学研究室の野田和彦教授の下で卒業研究を行いました。配属を希望した理由は、高校生の時から化学が好きで、少しでも化学よりの研究を行いたいという安直な理由でした。そんな私に与えられた卒業研究のテーマは、「SUS304 鋼のすきま腐食におけるアノード部の溶液解析」で、海浜環境のような塩化物イオンが存在する環境におけるすきま腐食をアノード/カソード分離セルによって模擬し、電気化学的手法により SUS304 鋼のすきま腐食内溶液の解析を行うというものでした。先生がとても親身に指導してくださったこと、研究室の友人に恵まれると共に、興味のある化学系の実験を行うことができ、毎日楽しく実験に没頭していました。今にして思えば、このときの研究室生活が研究者になったきっかけかも知れません。

修士課程からは、生体中で使用される金属材料に興味を持っていたので、東京工業大学の細田・稲邑研究室に所属しました。与えられたテーマは、ステントや脳動脈瘤クリップへの応用を見据えた Au-Cu-Al 基超弾性合金に関する研究でした。Au-Cu-Al 合金は、生体材料として必要不可欠な生体適合性を持ち、重元素である Au を多く含む18金に近い組成の合金です。そのため、高いレントゲン造影性があり、また体積磁化率が人体と同程度であるため MRI アーチファクトを低減することができます。また機能材料として、形状制御や応力保持のための超弾性・形状記憶効果があることから、実用化すれば全てを兼ね備えた生体機能材料と成る可能性を有しています。しかし、本合金は体温近傍では超弾性が発現しないことと、金属間化合物であるため非常に脆いという問題点がありました。そこで Fe 添加により、マルテンサイト変態温度の制御と機械的性質の向上を試みました。その結果 2 mol% の添加で体温近傍でのマルテンサイト変態と良好な機械的性質の両立が可能であることを明らかにしました。

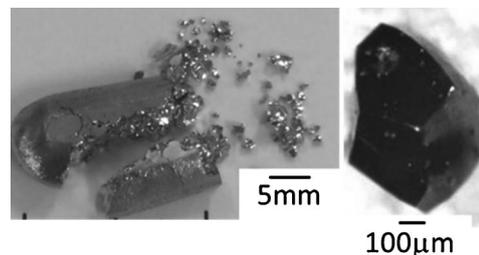


図1 冷間圧延後の Au-Cu-Al 合金.

博士課程では、Au-Cu-Al 合金の延性について詳しく研究を行いました。図1に示すように、本合金は粒界脆化を起こすため非常に脆いことが知られています。そこで、東京工業大学の曾根正人教授の所有する集束イオンビーム(FIB)装置と微小試験機をお借りし、粒界を含まない単結晶ピラーの圧縮試験を行いました。その結果、単結晶であれば、本合金は塑性変形能が大きく、粒界脆化を抑制できれば延性化可能であることを明らかにしました。しかし、研究の独創性という部分で私は躓きました。自分では達成できないような大きな事ばかり考えてしまい、指導教員である細田秀樹教授と議論をしては負かされていました。そんな時、細田教授から、「学会で、あなたの研究やあなた自身の事を知ってもらい、もっと色々な先生方や他大学の学生と出会って議論し、視野を広げなさい」といわれました。これは、人見知りの私にとっては、非常に困難な事でした。しかし、学会や研究会のたびに様々な分野の先生方を紹介していただき、議論する中で、徐々にではありますが、一つの実験データを様々な視点から考察できるようになりました。その結果、修士課程で行っていた Au-Cu-Al 合金の Fe 添加による延性の向上は結晶粒径減少によるものと考えていましたが、もう一度、組織写真を見直すと、Fe 濃度の増加に伴い、粒界が直線状から波うつ複雑な形状に変化していることに気がきました。添加元素である Fe は構成元素の中で最も融点が高い元素であり、熱処理中の粒成長の際に Fe クラスターが粒界移動を抑制し、このため粒径を微細にかつ粒界形状を複雑にし、直線的な粒界の長さを減少させることで、き裂発生前にすべり変形が生じ、延性が向上することを見出しました。また、研究室生活で一番感動したことは、私の博士論文公聴会に細田教授がサプライズで、学部時代の指導教員の野田和彦教授を呼んで下さったことです。ご多忙中、ご臨席くださったことに喜びを感じ、また、人間関係の素晴らしさに感動しました。

現在は、引き続き東京工業大学細田・稲邑研究室で、主に微小試験や微小顕微試験を用いて、Au 基超弾性合金の研究を行っています。また、東京医科歯科大学の塙隆夫教授・堤祐介准教授の研究室にも所属し、Au-Cu-Al 基合金の生体環境での耐食性評価の研究を行っています。学部生の時に実験の楽しさを知った電気化学の分野に再び関われることに喜びを感じつつも、まだまだ勉強しなければならないことが多々あると痛感し、これからも多くの方と知り合い、視野を広げていきたいと思っています。最後になりましたが、私をここまで育ててくださった野田和彦教授、細田秀樹教授、稲邑朋也准教授、研究者として迎え入れてくださった塙隆夫教授、堤祐介准教授、研究室でお世話になっている原正樹助教、篠原百合助教、土居壽助教、蘆田茉莉助教、陳鵬特任助教に心より感謝申し上げます。

(2018年3月5日受理) [doi:10.2320/materia.57.232]  
(連絡先: 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259(R2-27))

# スポットライト

～第15回 World Materials Day Award<sup>†</sup> 受賞～

## 機械工学科に材料好きを増やしたい！

北海道科学大学工学部 機械工学科；山田小夏

このたびは第15回 World Materials Day Award をいただきありがとうございました。自分がこの賞をいただけるとは思いませんでしたので、受賞した時は大変驚きました。

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に毎年11月の最初の水曜日を World Materials Day と制定し、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に対して「World Materials Day Award」を与え、顕彰しています。日本では毎年日本金属学会秋期講演大会において、発表及び選考が行われています。

2017年9月7日に北海道大学で開催された日本金属学会秋期講演大会で、私はオープンキャンパスや近郊の高校で行なっている模擬講義を、「体感！マグネシウム合金」と題してまとめて発表しました。本学の機械工学科は11研究室中3研究室が材料系の研究室であり、材料分野の教育や研究も充実していますが、残念なことに材料分野に興味を持って機械工学科に入学してくる学生は非常に少なく、自動車や航空機やロボットに興味を持って入学する学生が多いです。私自身も高校生の時にはロボットに興味があって、機械工学科への入学を希望しました。しかし、学科で金属材料について学んでいくうちに金属材料の面白さがわかり、もっと深く学びたいと思い、材料系の研究室への配属と、大学院への進学を決意しました。高校生の時に材料の面白さを知っていれば、自分の勉学への取り組みも変わったかもしれないと思うと同時に、このような活動を通して材料の面白さを伝えていくことは非常に重要なことだと感じました。

この模擬講義は、体験的学習を通して金属材料の重要性や面白さを学び、高校生の時から材料に興味を持つ学生をもっと増やすことを目指しています。模擬講義では、マグネシウム合金を題材に金属材料や環境影響に関して学びながら、実際にマグネシウムを鉄やガラスと持ち比べて重さの違いを感じたり、マグネシウム製のぐい呑みに飲むヨーグルトを入れて飲んでみることで、金属のイオン化傾向と飲むヨーグルトの酸味の間接関係を学ぶというものです。

マグネシウム製のぐい呑みに酸性の飲み物を入れると、マグネシウムが溶出して水素イオンが還元され、水素が発生し

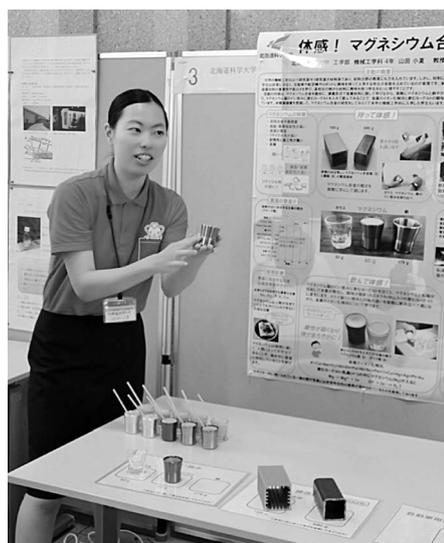


図1 発表当日の様子。



図2 飲むヨーグルトをマグネシウム製のぐい呑み(左)とガラス製のぐい呑み(右)に注いだ様子。マグネシウム製のぐい呑みからは水素が発生し、酸味が和らぐ。

て酸性が弱まり、味がまろやかになります。マグネシウム製のぐい呑みにどのような飲み物を入れるのが適切かを模索するのは苦勞しました。酸性の強いオレンジジュース等は味の違いがわかりやすいのですが、マグネシウム製のぐい呑みの方が明らかにおいしくなくなりました。金属材料に対してマイナスのイメージを与えないようにするため、反応前後の味の違いがわかりやすく、しかも飲んでおいしいものを見つけるために20種類以上の飲み物を試した末、最終的に飲むヨーグルトブルーベリー味に落ち着きました。また、マグネシウム製とガラス製のぐい呑みについては市販のものを調達できましたが、鉄製のぐい呑みは見つけることができなかったため、自分達で寸法を測定し、設計図を作成して旋盤で製作し、その様子も紹介しました。

高校生にこの模擬講義を実施すると、はじめは聞き慣れない金属材料の話に少し戸惑ったりもしますが、実際に金属材料に触れたり、マグネシウム製のぐい呑みに入れた飲むヨーグルトを飲んだりするうちに、金属材料のおもしろさに気付くようです。この模擬講義を受講して、金属材料を学びたくて本学の機械工学科に入学した学生もいます。

最後になりますが、今回の受賞は決して私一人の力だけでなし得たものではなく、指導していただいた堀内寿晃教授、模擬講義の内容を先生と共に試行錯誤してきた本研究室の先輩である阿部滉平さんのご協力あってこそものだと思います。改めて感謝いたします。今回得られた経験を活かし、今後もこのような活動を続けていきたいと思っております。

(2018年3月23日受理) [doi:10.2320/materia.57.233]

(連絡先：〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15-4-1)

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

## 研究室紹介

### 帝人ナカシマメディカル株 R&D センターの紹介

帝人ナカシマメディカル株式会社 R&D センター 研究部  
渡邊 稜太

帝人ナカシマメディカルは、人工関節の開発・製造・販売を行っている、医療機器メーカーです。その起源は、船舶用プロペラメーカーであるナカシマプロペラ株式会社であり、その金属加工技術を生かして約30年前に事業を開始しました。その後2008年にナカシマメディカル株式会社として分社化し、2015年からは帝人株式会社と協業し、帝人ナカシマメディカル株式会社として事業を継続しています。

その中で、人工関節に関するマテリアル、メカニクス、クリニカルなどあらゆる分野を対象として研究開発を推進するR&Dセンターをご紹介します(図1)。当センターは2010年に産業技術研究開発整備費補助金(経済産業省、中国経産局)の助成を頂いて岡山市北区にある岡山リサーチパーク内に開設いたしました。当センターは岡山空港から車で約10分と比較的アクセスが良い場所にありながら、豊かな自然に囲まれた落ち着いた環境になっており研究開発をする上では最適なものとなっています。

人工関節にはチタン合金のような金属から摺動部材にセラミックス、超高分子量ポリエチレンまで用いられているため、R&Dセンターではこれら全ての材料を研究対象としていきます。また、体内に埋入するという特性から材料の力学的特性や化学的特性だけでなく、骨との親和性や生体への安全性のような生物学的な特性を評価することも人工関節を研究する上では重要です。このように幅広い材料・特性を評価できるように、様々な実験装置や分析機器を備えています。また、材料の作製や分析だけに留まらず、臨床の実践を想定できるようにCT撮影室や手術練習室も設置しています。このような設備を用いて、「基礎研究」から「ものづくり」、「臨床研究」までを横断的に実施できることが当センターの特徴となっています。

人工関節における研究のキーワードは様々ありますが、大きな課題の一つとしては「長寿命化」が挙げられます。人工関節は年々高機能化してきており、現在ではその寿命は20年以上と言われるようになってきましたが、弛みや感染などが原因で早期に再置換する症例もあります。そのため、人工関節には、より長期間安定して体内に存在し再置換する必要がないことが求められています。こうした課題を解決するために、R&Dセンターでは、例えば①骨固定力の高い表面処理技術の開発、②感染予防技術の開発などに取り組んでいます。最初の骨固定力の高い表面処理技術に関しては、人工関節業界において長年研究されている技術です。人工関節と骨



図1 帝人ナカシマメディカル株 R&D センターの外観。

との固定力が弱いと、緩みなどが発生し再置換を余儀なくされます。これまで、固定力を上げるために表面形状の制御により物理的に固定する方法や骨との親和性が高い物質をコーティングする方法など様々な固定方法が実用化されてきました。しかしながら、材料と骨が固着するまでに時間がかかること、コーティング層の剥離、人工関節と骨との間にギャップが生じるなど、まだ多くの問題が指摘されています。したがって、当センターでは、素材の観点から、また3Dプリンターを活用するなどし、より早く・強く・長期間にわたって骨と結合できる技術の開発に向けた研究を進めています。二つ目の感染に関しては、人工関節で最も深刻な合併症の一つとされています。人工関節手術における感染発症率は約1%以下と非常にまれな事象であるものの、発症してバイオフィルムが形成されると重篤な症状を引き起こします。そのため、細菌による感染やバイオフィルムの形成を阻害するような技術の開発が求められています。

これらに加え、「最適化」ということを最重要キーワードとした取り組みを行っています。現在、日本の人工関節市場では約85%が輸入製品によって占められている状況です。その多くは欧米人の標準的な骨格や生活様式に基づいて開発されています。しかしながら、日本人と欧米人では人種間で骨格の形状や生活様式が異なるため、それらは日本人にとって最適なものであるか、という議論があります。また個人それぞれによって、骨格形状や骨質、症状、活動度などには違いがあり、ひとりの個人にとって最適な形状・特性はそれぞれ異なる可能性があります。そこでR&Dセンターでは、日本人の骨格や生活様式に適した人工関節、さらには患者一人一人に最適な「パーソナライズドインプラント」の実用化を目指して研究に取り組んでいます。これは、数少ない国産の人工関節メーカーとして与えられた使命だと考えています。

最後になりましたが、高齢化が進んでいる日本では、今後人工関節の需要はますます高まってくると予想されます。そうした状況の中、R&Dセンターでは、一人でも多くの方が健康で活力ある暮らしを送れるように、「パーソナライズドインプラント」の実用化に向けて研究開発に日々邁進していきたいと思っております。

(2018年2月19日受理)[doi:10.2320/materia.57.234]

(連絡先: 〒701-1221 岡山市北区芳賀5322)

# 本 会 記 事

会 告	技術賞, 功績賞, 谷川・ハリス賞, 増本量賞, 研究技術功労賞候補者推薦依頼	235
	2018年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	235
	日本金属学会主催国際会議提案募集	235
	研究集会	235
	会報編集委員会からのお知らせ	236
	欧文誌編集委員会からのお知らせ	236
	2018年秋期講演大会講演募集および参加募集	238
	金属学会セミナー開催報告	249
	2018年春期講演大会記録	250

支部行事	236	新入会員	248
掲示板	237	まてりあ次号予告	248
会誌・欧文誌5号目次	247	行事カレンダー	252

- ・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)

### 第60回技術賞, 第77回功績賞, 第58回谷川・ハリス賞, 第25回増本量賞, 候補者推薦依頼

下記の推薦をお願いします。

技 術 賞(第60回) 谷川・ハリス賞(第58回)  
功 績 賞(第77回) 増 本 量 賞(第25回)  
2019年3月開催の春期講演大会の折に授賞予定

推薦締切: 各賞共通 2018年7月2日(月)

候補者: 各賞共通 個人を対象とします

推薦資格: 各賞共通 本会社員(代議員)または3名以上連名の正員  
\*候補者本人による推薦書の提出は認めておりません。

詳細: まてりあ4号182頁

### 第50回研究技術功労賞受賞候補者の推薦依頼

代議員の推薦締切日: 2018年7月2日(月)

支部長の推薦締切日: 2018年7月10日(火)

推薦者: 本会社員(代議員)または支部長

詳細: まてりあ4号183頁

### 2018年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

推薦締切: 2018年5月31日(木)

詳細: まてりあ3号127頁

### 日本金属学会主催国際会議提案募集

推薦締切: 2018年5月31日(木)

詳細: まてりあ3号127頁

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

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

## 研究集会

### 研究会 No. 79

#### 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会 講演募集

第2回金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会を大阪府立大学中百舌鳥キャンパスで開催いたします。本研究会では、金属、セラミックス、結晶性ポリマー等の結晶方位に関する研究発表を皆様から広く募集いたします。学会で既に発表された内容や今秋の各学協会で発表予定の内容でも結構です。ご発表は討論を含めて25分～30分を予定しております。講演をご希望の方は講演題目、発表者氏名(登壇者に○印をつける)、所属、連絡先(住所、TEL、E-mail)を下記世話人までご連絡下さい。また、事前にA4で2頁の講演概要原稿をご提出いただくことになっておりますので、お申込まれた方には概要原稿作成要領を参加申込書とともに送ります。本研究会会員以外の方々もふるってお申し込み下さい。なお、本講演会は軽金属学会「アルミニウムの再結晶集合組織形成モデル化研究部会」との共催により行います。

日 時 2018年8月30日(木) 午後, 8月31日(金) 午前・午後

場 所 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B5棟 1B-34室

〒599-8531 堺市中区学園町1-1

<https://www.osakafu-u.ac.jp/>

講演申込期限 2018年6月15日(金)

参加費 資料代 1,000円(当日お支払い下さい)

申込先 〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2

宇都宮大学大学院工学研究部循環生産研究部門

高山善匡

☎ 028-689-6033 FAX 028-689-6078

E-mail: takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp

## 支部行事

北海道支部

平成30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

[協賛] 日本铸造工学会北海道支部, 軽金属学会北海道支部

日本金属学会および日本鉄鋼協会両北海道支部共催の合同サマーセッションを下記のように開催いたしますので、会員各位の活発な討論の機会となりますよう多数のご参加をお願い申し上げます。

詳細は、北海道支部の web ページをご覧ください。

開催日 2018年7月13日(金)

場所 札幌市教育文化会館 4階講堂, 4階ギャラリー, 4階研修室402(〒060-0001 札幌市中央区北1条西13丁目)

参加費 一般3,000円, 学生1,000円

連絡先 〒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

日本金属学会北海道支部事務局 松島永佳

☎/FAX 011-706-6352

E-mail: jim\_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp

ホームページ 支部行事 → 北海道支部

## 会報編集委員会からのお知らせ

まてりあ特集企画：公募のお知らせ

「顕微鏡法による材料開発のための微細構造研究最前線(11)」  
原稿募集

テーマ「顕微鏡法の材料評価への展開と先端評価法の進展」  
(掲載号：第57巻12号(2018))

2016年に7年ぶりに再開された顕微鏡特集では、その間に発展した装置・解析法を駆使された多くの研究紹介がありました。今回の特集では初学者や材料開発の現場の研究者にも広く興味を持ってもらえるよう、「顕微鏡法の材料評価への展開と先端評価法の進展」をテーマとして、汎用顕微鏡による実用材料の解析例から最新の装置による解析および計算科学的手法による組織解析や各種顕微鏡法まで、近年明らかになった新しい知見について、観察と画像解析に際しての創意工夫にも焦点を当て、広く会員の皆様にご紹介したいと思っております。応募原稿の中から、約30-40編(1編当り1ページ)を審査の上掲載いたします。奮ってご応募下さい。

応募に当たっては、①著者名・②所属・③連絡先・④論文題目と⑤その概要(300字)・⑥掲載予定の写真や図を「**応募用紙**」(ダウンロードして下さい)にご記入の上、下記までご提出して下さい。

同一第一著者の投稿は2件まで(類似内容は1件まで)、ファイルサイズは1MB程度でお願いします。**応募締切は6月22日(金)(必着)**です。審査の結果、採用させて頂く原稿の著者には、別途、最終原稿用のフォーマットなどを送付致します。

**応募用紙** まてりあ Web ページから用紙をダウンロードの上、上記6項目を記入し下記 E-mail アドレスにご送信下さい。

原稿送信先：公益社団法人日本金属学会 会報編集委員会

E-mail: kenbikyouto@jim.or.jp

http://jim.or.jp/

☎ 022-223-3685

## 欧文誌編集委員会からのお知らせ

特集企画の投稿募集

■ **Multiscale Engineering of Green-Energy Materials** (グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製 (本会研究会成果報告))

持続可能な低炭素社会の構築とともに安全安心なエネルギーの確保が重要な課題となっている。太陽光発電や熱電材料などのエネルギー変換システム用材料や水素吸蔵材料の創出と共に、超々臨界発電や超高温熱機関などの高効率化を実現するための方策を見出すことにより、材料科学の立場から環境・エネルギー問題に貢献できる。本特集では、これらを構成するエネルギー材料について、ナノからマクロスケールにおける格子欠陥、微細組織のキャラクタリゼーションとその設計・制御など、マルチスケールによる新規グリーンエネルギー材料の開発に向けた最近の研究成果を発信したい。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 60巻3号(2019年3月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいますようお願いいたします。

掲載予定号：第60巻第3号(2019年)

原稿締切日：2018年9月3日

■ **New Trends for Structural and Chemical Analyses by Transmission Electron Microscopy** (電子顕微鏡法による構造および化学状態解析の新たな動向)

材料の物理的性質は、原子配列や僅かに添加した機能元素に強く依存するため、機能発現のメカニズムを明らかにするには原子スケールでの構造情報や化学的情報の取得が必要不可欠である。しかしながら、デバイスの高集積化に伴う微細化や機能付加のためのナノヘテロ化に伴い、通常的手法ではこれらの情報の取得が困難となってきた。「電子顕微鏡技術」は析出物や欠陥等の構造情報、組成や結合状態等の化学的情報を、試料の同じ場所から高い空間分解能で高精度に同時に測定することが出来るため、新規機能性材料・構造材料の研究開発には欠かすことができない重要な技術である。本特集では、材料の機能発現のメカニズムを原子レベルで明らかにするため、電子顕微鏡技術を用いて得られた最近の研究成果について議論する。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 60巻5号(2019年5月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいますようお願いいたします。

掲載予定号：第60巻第5号(2019年)

原稿締切日：2018年11月1日

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

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 欧文誌編集委員会

http://jim.or.jp/

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: editjt@jim.or.jp

＜公募類記事＞

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

◇国立研究開発法人物質・材料研究機構  
 定年制職員(正職員)公募◇

公募人数

研究職 分野別公募 各1名(8分野)  
 物質・材料一般(分野不問) 若干名(女性枠あり)

エンジニア職 分野別公募 各1名(4分野)

専門分野

研究職  
 ①物質・材料一般(分野不問)，②物質・材料一般(女性のみ応募可)，③光・電子機能性単結晶開発，④電気機械結合材料，  
 ⑤二次電池材料，⑥蓄電デバイス，⑦スピントロニクス，⑧磁性理論，⑨FRP/FRTP/接着，⑩材料データ科学

エンジニア職  
 ①耐熱材料の創製，②溶接および鍛造圧延，③化学分析・機器分析による精密元素定量，④事務系情報システムエンジニア

公募締切 2018年6月20日(水)予定

業務(研究)内容，応募資格，応募方法などの詳細は当機構のホームページを参照。

<http://www.nims.go.jp/employment/permanent-staff.html>

問合せ先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

国立研究開発法人物質・材料研究機構  
 人材部門 人材開発・大学院室  
 ☎ 029-859-2555  
 E-mail: nims-recruit@nims.go.jp

助 成

◇公益財団法人 JFE21 世紀財団◇  
 2018年度 技術研究助成 募集要項

1. 助成対象となる研究

鉄鋼技術研究：鉄鋼材料，製造プロセス，鉄鋼副産物を対象とする基礎/応用研究，計測・制御・分析・計算科学・数値解析等で鉄鋼を対象とする関連技術や生産技術の研究を含む。  
 地球環境・地球温暖化防止技術研究：地球環境保全と地球温暖化防止を目的とした技術開発を対象とするエンジニアリング(工学)に関する基礎，応用技術の研究

\*研究分野の範囲は，財団 HP 掲載の募集要項別紙「研究分野分類表」をご覧ください。

2. 助成件数と助成金額

件数 25件(原則) (200万円/件)	鉄鋼技術研究 12～3 件 地球環境・地球温暖化防止技術研究 12～3 件
-------------------------	--

3. 研究期間

原則1年間(2019年1月研究開始・同年12月終了・2020年1月報告書提出)但し，2年間を上限として延期・延長は可(その場合2021年1月報告書提出)

4. 応募資格者

日本の国公立大学または公的研究機関に勤務(常勤)する研究者であって国籍は問わない。なおグループでの研究の場合，代表研究者以外の共同研究者は3名以内で，大学院生および外国の大学，日本の他の大学や公的研究機関に所属する研究者も可とする。2015～17年度の本研究助成を代表研究者として受領した者は，代表研究者としての応募はできない。

5. 申請の手続き

本財団ホームページ(HP)の申請様式に記入し，HP内の申請画面から財団に送信する。

財団 HP : <http://www.jfe-21st-cf.or.jp/>  
 受付開始：4月23日(月)，締切：6月22日(金)

6. 審査・選考と助成研究(者)の公表

7月～9月に審査委員会による審査・選考を行い，9月末に応募者に結果を通知する。同時に財団 HP 等で，助成研究者と研究テーマ等を公表する。

\*詳細は財団 HP : <http://www.jfe-21st-cf.or.jp/> をご覧ください。

\*お問合せ先(財団事務局)：

☎ 03-3597-4652 E-mail: zai21c@jfe-21st-cf.or.jp

助 成

(公財)泉科学技術振興財団  
 2018年度研究助成等の募集

研究助成(高度機能性材料およびこれに関連する科学技術の基礎研究分野における真に独自の発想に基づく新しい研究に対する助成)助成金額：1件100万円以下，45件。

研究集会スタートアップ及びその飛躍への助成：

助成金額：1件20万円～80万円，8件以内。

募集期間 2018年4月1日～2018年6月15日(必着)。

応募方法 詳細は下記ホームページをご参照下さい。

連絡先 〒531-0072 大阪市北区豊崎 3-9-7

公益財団法人 泉科学技術振興財団

<http://www.izumi-zaidan.jp/>

☎ 06-6373-1811 E-mail: info@izumi-zaidan.jp

# 2018年秋期(第163回)講演大会講演募集

2018年秋期講演大会を下記の通り開催いたします。

会 期：2018年9月19日(水)～9月21日(金)

会 場：仙台国際センター(〒980-0856 仙台市青葉区青葉山無番地)および東北大学川内北キャンパス(〒980-8576 仙台市青葉区川内41)

共 催：東北大学工学研究科，環境科学研究科，金属材料研究所，多元物質科学研究所

協 賛：公益財団法人仙台観光国際協会

講演申込受付・概要原稿提出を下記日程で行います。

**講演を申込される前に下記をご確認下さい**

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。期日までに参加費を納入下さい。
- 原則、講演申込者＝講演発表者であること。(「申込要領」5.を参照)
- 本会の会員パスワードを紛失または忘れた方は、本会ホームページより再発行を行うこと。セキュリティ上、電話やメールでの発行は出来ません。

講演申込ホームページアドレス	http://www.jim.or.jp/convention/2018autumn/
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25日(金)13時～7月6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 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1丁目14-32

**これから入会して講演申込をされる方へ**

- 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。
- 年会費納入期日までに会費の払込がない場合は、プログラムに掲載されていても、講演不許可の措置をとります。
- インターネットの入会申込み下さい。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。

入会申込 URL	http://www.jim.or.jp/memberinfosys/member/
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)
入会申込期限	7月4日(水)
年会費納入期限	7月31日(火)
入会・会費の問合せ：会員サービス係	member@jim.or.jp

## 講演申込要領

※一般講演およびポスターセッションの申込は、講演セッションキーワード一覧から、第1希望および第2希望のセッションキーワードを選択する。キーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定します。

※申込方法について

すべての申込はWEB申込です。

※講演時間・概要サイズについて

すべての概要原稿のサイズは仕上がり A4 版縦 1 ページです。(題目と共同研究者の部分 1/3+本文 2/3 頁)

講演種別	概要サイズ	申込方法	発表件数	講演資格	講演時間	討論時間
公募シンポジウム	A4 1頁	WEBのみ	いずれか 1人1件※	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個人会員</li> <li>・非会員は登壇費が必要</li> </ul>	10分～20分	5分～10分
一般					10分	5分
ポスターセッション					…	…
共同セッション					15分	5分

※ [発表件数]：講演発表は、公募シンポジウム，一般講演，ポスターセッションのいずれか1人，1件とし、講演種別を選択し申込をする。ただし、招待講演，受賞講演，基調講演等の特殊講演は上記の適用外とする。

### 1. 発表内容

- (1) 内容：未発表のもので、講演としてまとまったものに限る。
- (2) 言語：日本語もしくは英語。

### 2. 講演資格

講演者は、年会費および参加費納入済の本会個人会員(登壇費不要)、非会員および個人会員ではない維持員会社社員は下記大会参加費と登壇費の前納を条件とし、講演申込ができる。ただし、期日までに年会費の支払いのない場合は、申込の講演を不許可とする。

### 非会員の申込方法:

「講演申込」の各講演メニューにある「新規登録」の「非会員の方はこちらからお申込み下さい」から講演申込ができます。

		年会費	大会参加費	1講演登壇費	合計
非会員	一般	—	前納 24,000円	10,000円	34,000円
	学生	—	前納 14,000円	5,000円	19,000円
非会員(個人会員ではない維持員会社社員)	一般	—	前納 10,000円	10,000円	20,000円

### 3. 講演者変更および講演取消しについて

- (1) 申込後の安易な講演者変更や取り消しは認めない。
- (2) やむを得ない理由により講演者を変更する場合は、事前に事務局に連絡する。当日、変更が生じる場合は、座長の了解を得ること。ただし、変更する講演者は概要著者(共同研究者)であること。

### 4. 講演者が異なる連続講演の希望

申込備考欄に連続希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入し、同一のセッション名で申込みすること。申込締切後の希望は受け付けない。

### 5. 講演日の希望

申込時に備考欄に記入のこと。ただし、セッションの日程上希望に添えないこともある。申込締切後の希望は受け付けない。

### 6. 講演発表の際の注意事項

- (1) プロジェクターは全会場に設置する。ただし、パソコンは講演者で用意し、操作する。
- (2) プロジェクター接続ケーブルはRGBのみ用意あり、それ以外の接続コードは発表者で用意する。
- (3) 講演時間は厳守する。

### 7. プログラム

プログラムは7月末頃ホームページに掲載予定です(会報付録は9月1日発行号)。

## ポスターセッションについて

1. 展示方法: ポスター1発表につきパネル1枚を準備します。ポスターボードのサイズなどは8月にホームページに掲載の「ポスター作成要領」参照して下さい。
2. 優秀ポスター賞: エントリー制です。エントリーした発表を審査員が採点して優秀ポスターを選出し、「優秀ポスター賞」を贈呈する。

### エントリーの要件

- ①発表時点で、30歳以下の学生および30歳以下の若手研究者。(年齢はポスター発表時点で、30歳以下の者)
  - ②過去のこの賞の受賞の有無は問わない。
3. 選考対象外のポスター: ①発表者が病欠等の場合、申し出があれば代理発表は可能。  
②ポスターのみの掲示も可能だがその旨を事前に事務局へ連絡する。  
上記の場合、優秀ポスター賞の授賞対象から外れる。

## 鉄鋼協会との共同セッションについて

本会と日本鉄鋼協会との連携強化の一環として下記の共同セッションを実施しています。ただし、講演件数や発表内容によっては関連する一般講演に移ることもあります。

**発表に際しての注意:** 相互聴講参加申込による講演発表は不可。

プログラムは両会のプログラムに掲載。

- ①「チタン・チタン合金」(2018年秋の会場は鉄鋼協会会場)
- ②「超微細粒組織制御の基礎」( “ 金属学会会場)
- ③「マルテンサイト・ベイナイト変態の材料科学と応用」( “ 金属学会会場)



## 講演概要原稿作成要領

講演申込と講演概要原稿は同時提出する。(※同時に行わない場合は、講演申込として受理されない)

言語：日本語または英語。

原稿分量：仕上がり A4 判縦 1 頁(題目と共同研究者の部分 1/3 + 本文 2/3 頁)

講演概要集 DVD 発行・発送日：2018年9月5日(水)

A4 縦サイズで作成下さい。

講演 ○○○○○○○○○

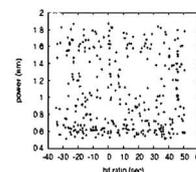
所属機関 ○発表者氏名、共同研究者所属 氏名

※提出された概要原稿分量が規定サイズより大小する場合は、上記サイズに縮小または拡大して掲載いたします。

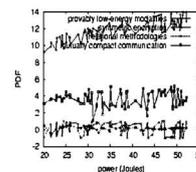
- (1) Word 形式(doc または docx)の原稿で提出(WEB 申込では画面上で原稿をアップロード)。
- (2) 発表者氏名の前に必ず○印を付ける(WEB 申込では画面上で講演者をチェックする)。
- (3) 原稿修正：提出期限を過ぎた原稿修正・差替は出来ない。
- (4) アップロードの際、文字、図表等の品質を確認する。
- (5) 原稿のサイズ：(全講演種別)仕上がり A4 縦 1 頁(右記参照)

※WEB 申込の際は、演題と共同研究者部分を除いた本文のみの概要原稿を作成下さい。(大会受付システムトップページ(WEB 画面)の雛形をご利用下さい。)

【緒言】 \* \* \* \* \*



【実験方法】 \* \* \* \* \*



【結果】 \* \* \* \* \*

## 講演大会概要の投稿要領

講演大会概要への投稿を公正かつ適切に行うため、投稿要件に従って講演概要を作成願います。

(投稿の要件)

- (1) 未発表でかつオリジナリティがあること。
- (2) 前項にかかわらず、この法人の査読規程に定める範囲において、概要発表内容の重複を認める場合がある。
- (3) 金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- (4) 作成要領に準拠して作成された原稿であること。
- (5) 著作権をこの法人に帰属することに同意すること。
- (6) ミスコンダクトをしないことおよびミスコンダクトをした場合は、この法人の定めるところにより処分または措置を受けることに同意すること。
- (7) 宣伝や商用目的とする内容でないこと。

## 講演大会概要の査読

講演大会概要に投稿された全ての概要は、査読基準に基づき、その分野の専門家が査読する。査読結果が「掲載不適當」に該当する場合は、理由を示して著者に返却する。

(査読の基準)

- (1) 作成要領に準拠していること。
- (2) 科学的技術的に質の高い、興味ある内容が十分含まれていること。
- (3) 内容が正確で、記述に問題がないこと。
- (4) 題目が妥当であること。
- (5) 在来研究との関連が明示されていること。

## 「若手講演論文賞」の募集

春秋講演大会の一般講演発表およびポスター発表とその特集号(日本金属学会誌および Materials Transactions で年2回編集・発行している)の中で学術上、特に優秀な論文に授賞しております。奮ってご応募下さい。

### 申込条件

- (1) 講演大会講演申込時に「若手講演論文賞」応募と応募意思を明確にする。(座長推薦の優秀な講演発表も対象になります)
- (2) 年齢35歳以下の発表者を授賞対象者とする。  
秋期講演大会：2018年9月1日時点で35歳以下の方
- (3) 一般講演発表者およびポスター発表者に限定する。
- (4) 2018年秋期大会講演精選論文(Selected Papers from JIM Fall Meeting(2018))に掲載の下記種別の論文を対象とする。  
会誌：「学術論文」または「技術論文」  
欧文誌：「Regular Article」または「Technical Article」

## 会誌2018年秋期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIM Fall Meeting (2018)原稿募集

- ◎日本金属学会誌「2018年秋期大会講演精選論文」83巻4号および5号(2019年)掲載
- ◎Materials Transactions「Selected Papers from JIM Fall Meeting(2018)」60巻4号および5号(2019年)掲載
- ◎予備登録締切 2018年10月5日(金)
- ◎原稿締切 2018年10月15日(月)
- ◎予備登録、投稿および審査方法は、一般投稿論文に準ずる(ホームページの会誌・欧文誌投稿の手引き・執筆要領参照)。
- ◎欧文誌掲載論文は投稿掲載費用を必ず負担する。(会誌掲載論文は投稿掲載費用無料です)

## 日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会の 相互聴講のお知らせ

本会と日本鉄鋼協会との連携強化の一環として、相互聴講を実施しています。

### 申込方法：当日受付

鉄鋼協会の講演を聴講する場合は、金属学会で従来の参加受付を済ませた後、鉄鋼協会受付で相互聴講の申込をする。

鉄鋼協会で発表し、金属学会で聴講のみされる場合、鉄鋼協会から従来の参加受付を済ませた後、金属学会受付で相互聴講の申し込みをして下さい。

(注)金属学会で講演発表(共同セッション含)する場合は、金属学会の正規大会参加申込が必要です。

### 発表は(金属)で かつ (鉄鋼の聴講)のみの場合



参加登録は(金属)です。

相互聴講手続きは(鉄鋼)です。

### 発表は(鉄鋼)で かつ (金属の聴講)のみの場合



参加登録は(鉄鋼)です。

相互聴講手続きは(金属)です。

聴講のみ(概要集DVD無し)	3,000円
聴講と概要集DVD(1部)	6,000円

☆すべての講演申込がインターネット申込となりますので、  
ご協力をお願い申し上げます。ご不明な点はお問い合わせ下さい。

連絡先：TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: annualm@jim.or.jp

(公社)日本金属学会 講演大会係

## インターネットによる講演申込・概要原稿提出手順

入力された情報および登録された概要原稿は、プログラムおよび講演概要集 DVD にそのまま反映されますので、お間違えのないようにご登録下さい。

インターネット申込者は、講演者本人に限る。ID(会員番号)、パスワードを使用して、金属学会「大会受付システムトップページ」(<https://www.jim.or.jp/convention/2018autumn/>)から申込みする。なお、申込締切日の3日前から申込みが集中殺到し、回線が混雑するので、早目に申込み下さい。

秋期講演大会受付システムトップページ → ID 認証画面※1 → 講演申込 → 内容確認・修正 → 登録 → メール通知(申込受理通知)

※1: 本会会員の ID(会員番号)、パスワード

### 《講演内容の確認・修正》

概要提出日までに WEB 画面の内容確認・修正で変更した場合、講演大会プログラムに反映される。

秋期講演大会受付システムトップページ → 講演大会 MyPage → ID 認証画面※2 → 内容確認・修正 → 登録 → メール通知(修正受理通知)

※2: 申込受理通知に記載された、秋期講演大会用の参加登録番号、パスワード

講演の分類	
セッションキーワード (一般、ポスターのみ)	セッション名はまてりあ第57巻第5号243頁の講演セッションキーワード一覧から第1希望(必須)および第2希望(必須)のセッションキーワードを選択する。 セッションキーワードへの申込数および内容を参考に最終的に組入れるセッションを確定する。
シンポジウム講演	まてりあ第57巻第5号244頁のテーマ要旨を参照の上、応募するシンポジウム番号を選択する。
キーワード	<ul style="list-style-type: none"> <li>キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可。)</li> <li>特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中にもめる。</li> </ul>
「若手講演論文賞」 応募	申込条件 (1)講演大会講演申込時に論文賞「若手講演論文」応募と応募意思を明確にする。 (2)年齢35歳以下の発表者を授賞対象者とする。 秋期講演大会: 9月1日時点で35歳以下の者。 (3)一般講演およびポスターセッション発表者、 会誌または Materials Transactions の特集「講演精選論文」に掲載済の論文を対象とする。
申込研究者数 所属機関数	共同研究者人数: 最大15名まで、所属機関数: 10施設まで
申込研究者一覧	インターネット申込は、「申込者」が「講演者」となるようにチェックする。 共同研究者は非会員でも可。
ローマ字氏名	名姓の順で、フルネームで記入する。
所属機関略称	慣用の略称で記入する。研究場所と現勤務先が異なる場合は両方記入する。 [例: 東北大工(現日立中研)] <ul style="list-style-type: none"> <li>大学院生と学生の区別: それぞれ(院生)、(学生)と所属の後に表示する。</li> </ul> [例: 東北大工(学生) 東北大工(院生)]
講演題目	和文題目は150バイト(全角75文字)まで、外国人講演の英文題目は200バイトまで。
要旨	プログラム編成の参考となる内容を記入する。 要旨欄に入力できるのは100文字(全角)まで。
概要原稿	全講演 A4 版 1 頁。Word 文書(雛形あり)で作成し、アップロードする概要原稿の内容と入力したフォームの内容が同じになるようにすること。 内容変更の場合は概要原稿の修正版を期日内に再提出する。
その他・備考欄	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続講演を希望する場合は、連続を希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入し、同一のセッションキーワード名で申込みをする。申込締切後の希望は受け付けない。</li> <li>その他の連絡事項など。</li> </ul>
会員番号	必ず会員番号(ID)を記入する。
著作権	同意できない場合は申込出来ない。
プログラム公開	同意できない場合は申込出来ない。

2018年秋期講演セッションキーワード一覧

大分類	セッションキーワード
材料と社会・環境 Materials and Society	教育 Education
	歴史 History
	材料と社会 Materials and Society
	環境 Environment
物性基礎 Materials Physics	水素関連物性・機能・プロセッシング Hydrogen Related Properties, Functions and Processing
	イオン伝導・輸送現象 Ionic Conduction and Transport Phenomena
	磁気機能・磁気物性 Magnetic Functions and Properties
	電気伝導・熱伝導 Electrical Conduction and Heat Conduction
	電子・光物性 Electronic Properties and Optical Properties
	薄膜・多層膜・超格子物性 Properties of Thin Films, Multilayer Films and Superlattices
	微粒子・ナノ粒子物性 Properties of Fine and Nano Particles
	量子ビーム科学 Quantum Beam Science
	高温酸化・高温腐食 High Temperature Oxidation and Corrosion
材料化学 Materials Chemistry	腐食・防食 Corrosion and Protection
	表面処理・表面改質・コーティング Surface Treatments and Modification/Coatings
表面・界面 Surfaces and Interfaces	表面反応・分析 Surface and Interface Phenomena/Characterization
	摩擦・トライボロジー Abrasion and Tribology
	触媒材料 Catalysts
	細胞機能・組織再生 Cellular Functions and Tissue Regeneration
生体材料基礎・生体応答 Fundamentals of Biomaterials and Bio-responses	構造生体機能化 Bio-functionalization: Structure
	表面生体機能化 Bio-functionalization: Surface and Interface
	生体・医療・福祉材料 Biomaterials, Medical Materials and Health Care Materials
生体材料設計開発・臨床 Biomaterials Development and Clinics	Additive Manufacturing・テーラード医療材料 Additive Manufacturing and Personalized Medicine
	生体安全性・有効性評価 Bio-safety Assessment and Validation
	環境・リサイクル技術 Environment and Recycling
材料プロセッシング Materials Processing	凝固・結晶成長・ casting Solidification, Crystal Growth and Casting
	製造プロセス・省エネルギー技術 Manufacturing Processes and Energy Saving Technology
	塑性変形・塑性加工 Plastic Deformation and Forming
	非平衡プロセッシング Non-Equilibrium Processing
	マイクロ波応用プロセッシング Fundamentals and Applications of Microwave Processing
	融体物性・高温プロセス Molten Materials Properties and High Temperature Process
	溶接・接合 Welding and Joining
	エネルギー・電池材料 Energy and Battery Materials
	水素化物・水素貯蔵・透過材料 Hydrides/Hydrogen Storage and Hydrogen Permeation Materials
	センサー材料 Sensor Materials
エネルギー関連材料 Energy and Related Materials	熱電材料 Thermoelectric Materials
	ジェットエンジン・ガスタービン耐熱材料 Heat Resistant Materials for Jet Engines and Gas Turbines
	蒸気発電耐熱材料 Heat Resistant Materials for Steam Powered Generators
	原子力材料 Nuclear Materials

大分類	セッションキーワード
磁性材料 Magnetic Materials	磁気記録材料 Magnetic Recording Materials
	スピントロニクス・ナノ磁性材料 Spintronics Materials and Nanomagnetic Materials
	ソフト磁性材料 Soft Magnetic Materials
	ハード磁性材料 Hard Magnetic Materials
電気・電子材料 Electric/Electronic Materials	太陽電池材料 Photovoltaic Materials
	超伝導材料 Superconducting Materials
	半導体材料 Semiconducting Materials
	配線・実装・マイクロ接合材料 Interconnection, Packaging and Micro Joining Materials
	Cu・Cu合金 Copper and Its Alloys
	鉄鋼材料 Iron and Steel
構造材料 (力学特性+ 基盤材料) Structural Materials	Al・Al合金 Aluminum and Its Alloys
	Mg・Mg合金 Magnesium and Its Alloys
	Ti・Ti合金 Titanium and Its Alloys
	自動車用材料 Materials for Automobiles
	航空機用材料 Materials for Aircraft
	金属間化合物材料 Intermetallics
	超微細粒材料 (バルクナノメタル) Ultrafine-Grained Materials (Bulk Nanometals)
	強度・力学特性 Strength and Mechanical Properties of Materials
	高温変形・クリープ・超塑性 High Temperature Deformation, Creep and Superplasticity
	格子欠陥・格子欠陥制御・プラストン Lattice Defects, Defect Control and Plastons
	疲労・破壊 Fatigue and Fracture
	粒界・界面 Grain Boundaries and Interfaces
	萌芽・先進材料 Emerging and Advanced Materials
スマート・インテリジェント材料 Smart and Intelligent Materials	
MEMS デバイス用材料 Materials for MEMS Devices	
セラミックス材料 Ceramics	
粉末・焼結材料 Powder and Sintering Materials	
複合材料 Composite Materials	
ポーラス材料 Porous Materials	
ナノ・萌芽材料 Nanomaterials and Emerging Materials	
アモルファス・準結晶材料 Amorphous Materials and Quasicrystals	
元素戦略 Elements Strategy	元素戦略・希少資源代替材料 Elements Strategy/Substitute Materials for Rare Resources
	レアメタル Rare Metals
材料の構造組織に 対する基盤体系 (組織制御+分析評価 +計算材料科学) Fundamentals of phases and microstructures in materials	拡散・相変態 Diffusion and Phase Transformations
	再結晶・粒成長・集合組織 Recrystallization, Grain Growth and Texture
	熱力学・状態図・相平衡 Thermodynamics, Phase Diagrams and Phase Equilibria
	マルテンサイト・変位型相変態 Martensitic and Displacive Transformations
	分析・解析・評価・先端技術 Analysis/Characterization/Evaluation/Advanced Techniques
	計算材料科学・材料設計 Computational Materials Science and Materials Design

# 2018年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨

秋期講演大会(東北大学)におけるテーマ公募によるシンポジウム講演は、下記9テーマで実施することになりました。講演申込要領は前記のとおりです。多数の有益な講演と活発な討論を期待いたします。

## S1 キンク強化の材料科学 I Materials Science of Kink Strengthening I

硬質層と軟質層の積層により特徴付けられる「ミルフィーユ構造」は、強加工時に導入されるキンクによって強化される。常識的には、異方性が強い層状構造の格子回転を伴うキンク形成は、強度劣化の原因とされることはあっても材料強化に寄与しているとは考え難かった。予想外の発見であった「キンク強化」現象を、精緻な実験によるメカニズム評価、および回位等の記述子に基づく解釈・理論を通して強化原理を確立し、新たな設計指針による高性能構造材料の創製を目指す。構造材料設計において「結晶構造には独立な5つのすべり系が必要」とするフォン・ミーゼス条件に縛られないキンク強化原理の普遍化は、構造材料の可能性を飛躍的に拡大する。

本シンポジウムでは、金属系・高分子系材料を含めた「ミルフィーユ構造」「キンク形成」をキーワードとする講演を募集し、キンク制御による高強度・高延性構造材料の創製の可能性について議論を深め、キンク強化の材料科学の発展を促す。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東京大学教授 阿部英司

E-mail: abe@material.t.u-tokyo.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

九大 中島英治 熊本大 河村能人 山崎倫昭

JAEA 相澤一也 東工大 藤居俊之 東京農工大 斎藤 拓

## S2 ハイエントロピー合金の材料科学 Materials Science and Technology in High-Entropy Alloys

最近、ハイエントロピー合金に関するシンポジウムがTMSやMRSなどの定期大会だけでなく独立な国際会議としても多数開催されるようになり、ハイエントロピー合金に関する研究が世界的に活況を呈している。ハイエントロピー合金では、配置のエントロピーが固溶体相を安定化するとの考えを基に、不均一に歪んだ結晶格子に由来した高い変形強度、トラップ効果に由来した遅い原子拡散から生じる高いクリープ特性、多様な構成原子間の非線形相互作用に起因する物性発現に関するカクテル効果など、材料科学の基礎・応用の両面で興味深い現象が期待されている。現実には、優れた高温強度、低温靱性、高耐摩耗性を示す一連の合金が見出されているが、その物性発現機構などには未だ不明な点も多い。また、どのような合金系が不規則固溶体たるハイエントロピー合金を形成するかなど、根源的な問いに対する究明もなお必要である。本シンポジウムは、ハイエントロピー合金の基礎及び応用に関する実験・理論計算からの研究に関する講演を広く募り、大学、企業、研究所の研究者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者の有機連携を促進しつつ、上記のハイエントロピー合金に関する科学的な疑問を解明すべく企画した。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

京都大学大学院工学研究科教授 乾 晴行

E-mail: inui.haruyuki.3z@kyoto-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 古原 忠 名大 小山敏幸 京大 辻 伸泰

阪大 尾方成信

## S3 先進ナノ構造解析に基づく材料科学の新展開 New Aspect of Materials Science Based on Advanced Nanostructure Analyses

近年の先進材料の特性の多くは、単結晶バルクとしての性質ではなく、材料中に含まれる点欠陥や表面・界面などの格子欠陥に起因している。したがって、これら格子欠陥のもつ電子・原子レベル構造(ナノ構造)と物性を精緻に解明すること、さらにその情報に基づいた材料開発に大きな期待が寄せられている。これに対し、近年のナノ計測技術や理論計算においてその分解能や精度に著しい進歩がみられ、材料のナノ構造に関する新規な知見が得られるようになってきた。本公募シンポジウムでは、最新のナノ計測手法および理論計算手法を用いた各種材料のナノ構造に関する最近の成果を議論し、今後の課題およびナノ構造研究の方向性について意見交換する場としたい。新規材料やプロセスに関する研究発表も歓迎する。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

名古屋大学大学院工学研究科教授 松永克志

E-mail: kmatsunaga@nagoya-u.jp

(シンポジウム co-chairs) :

東大 柴田直哉 阪大 吉矢真人 名大 中村篤智

## S4 材料技術史から見るこれからの技術展開 I Future growth expected from technological history of materials I

金属材料は精錬、溶解、鋳造、成形(鍛造、圧延など)のプロセスを経て必要な特性を発現させる。材料開発の歴史の中でプロセス開発は重要な役割を担ってきた。持続可能な社会のためには、材料特性だけではなく、環境低負荷プロセスや高効率プロセスの開発が必要であり、さらに、これらの新しいプロセスに適した合金開発や応用展開も期待される。これからの材料研究の新展開を考えるために、今までのプロセスや材料開発の歴史を振り返るとともに、これから期待される新しいプロセスや材料開発、実用分野などについて議論するために、このシンポジウムを行う。今回は、航空機材料や生体材料として幅広い分野で使用されるTiをテーマにする。このシンポジウムはシリーズ化して様々な材料について議論を行っていく予定である。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

奈良女子大学准教授 松岡由貴

E-mail: matsuoka@cc.nara-wu.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

NIMS 御手洗容子 東北大 武藤 泉 東工大 小林能直

阪大 中野貴由

## S5 バイオマテリアル科学におけるイメージング技術 Imaging Techniques in Biomaterials Science

各種顕微鏡技術によって、材料内部の微細構造・組織、元素分布などが可視化され、その情報を基に新しい構造・機能材料が開発されてきた。バイオマテリアルにおいては、そのような材料内部のマルチスケールな情報も重要であるが、材料表面における細胞やタンパク質、各種生体分子との相互作用、さらに、材料を生体内に埋入した場合においては、その周囲の生体組織そのものの情報も極めて

重要である。近年、各種蛍光タンパク・マーカーを利用した細胞や生体組織の可視化手法であるバイオイメーシング技術が次々と開発され、また、X線CT、MRI、PETなど物理的な可視化装置とその利用技術も急速に発展している。特にバイオマテリアル上でのタンパク質や細胞の挙動を可視化して解析するバイオ・マテリアルイメーシングは、機能的で生体と完全に融合したバイオマテリアルの開発に必要な不可欠な技術となってきている。本シンポジウムでは、生体内の細胞やタンパク質、そして生体分子を可視化するバイオイメーシング技術と生体・材料の相互作用を解明するバイオ・マテリアルイメーシングについて、直接的な可視化技術のみならず、様々な計測機器を併用した間接的解析手法に取り組む研究者らが一堂に会して幅広く議論することで、生体機能の解明と生体・細胞・生体分子と材料との相互関係について深く理解する場を提供する。

#### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

愛媛大学大学院教授 小林千悟

E-mail: kobayashi.sengo.me@ehime-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

阪大 中野貴由 関西大 上田正人 東北大 野村直之

名大 黒田健介 東京医歯大 堤 祐介

### S6 ナノ・マイクロ造形構造体の材料学 V Material Science in Nano/Micro-scale 3D Structures V

高エネルギー線照射などによりナノからサブミクロンの、3Dプリンティングなどによりミクロンオーダーで形態制御した構造体の形成が種々の材料で可能となってきている。これら構造体形成において重要な役割を担う核形成や成長などは基本的に不均質非平衡反応であり、その反応過程の基礎的理解は重要である。本シンポでは、材料種を超えてナノ・マイクロ造形構造体の作製技術や特性評価に関する研究開発者が一堂に会してその形成過程を議論するべく、金属のみならず高分子などでの特異な構造体形成やその機構に関する基調講演を通じて議論してきた。今回のシンポでは特に非平衡場形成の代表的手段である高エネルギー線照射による構造体形成に関する基調講演を中心として議論をさらに進め、種々の材料におけるナノからマイクロスケールの高次複雑構造の形成技術の確立を目指す。

#### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

筑波大学数理物質系物質工学域准教授 谷本久典

E-mail: tanimoto@ims.tsukuba.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

阪大 山本孝夫 京大 馬淵 守

東北大 加藤秀実 中村貴宏 田中俊一郎

### S7 永久磁石開発の元素戦略6 一次世代材料の開発を支える基礎・基盤研究— Element strategy for high performance permanent magnets —Fundamental and basic research assisting to the development of next generation materials—

自動車分野における電動化の加速などを背景に、永久磁石の需要は中長期的にも大きく伸長することが予想され、希少金属を使わない永久磁石材料の重要性はますます高まっている。これらの研究開発を成功に導くためには、材料開発そのものだけでなく、元素戦略の課題推進によって成果をあげつつある、組織形成支配要因解明や保磁力支配要因解明、ハード磁性化合物の磁気物性発現要因解明、プロセス設計に重要な熱力学解析といった、基礎・基盤研究の取り組みが重要である。このような背景のもと、本シンポジウムでは、希少元素を用いない高性能磁石の開発に向けた実験研究に加え、次世代の磁石を開発するための磁性理論、保磁力理論といった理論的

な研究発表を歓迎する。また、Nd-Fe-B系を含む希土類磁石の保磁力と微細構造の関係を理解するための解析研究、さらに次世代高性能磁石開発のためのプロセス研究等の広範な磁石研究の発表と活発な議論を期待する。

#### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

日立金属株式会社主任研究員 西内武司

E-mail: takeshi.nishiuchi.rh@hitachi-meltals.com

(シンポジウム co-chairs) :

TDK 榎戸 靖 産総研 尾崎公洋 トヨタ自動車 加藤 晃

NIMS 高橋有紀子 iTiD コンサルティング 堀内陽介

### S8 材料変形素過程のマルチスケール解析—計算と実験の融合を目指して— Multi-scale analysis of elementary processes in plasticity

近年、ナノ・マイクロ機械試験法や原子分解能電子顕微鏡法をはじめとする最先端の実験手法、第一原理計算を中心とした計算材料科学の急速な発展により、転位や変形双晶といった材料の塑性変形素過程について、実験、理論の両面においてマルチな時間・空間スケールでの横断的な解析が行われるようになり、様々な興味深い現象が見出されるようになってきている。これらの塑性変形素過程に関する新奇現象の理解のためには、実験および理論両者の積極的な融合が不可欠であるが、我が国においては未だそのような試みは十分にはなされていないのが現状である。本シンポジウムはこれら材料の塑性変形素過程に関する最新の実験・理論研究に関して特に若手研究者を中心に広く講演を募り、大学、研究所、企業の研究者の活発な議論の場を提供するとともに、これら研究者間の新たな連携を促進することを目的とする。

#### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

京都大学准教授 岸田恭輔

E-mail: kishida.kyosuke.6w@kyoto-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

阪大 君塚 肇 金沢大 下川智嗣 九大 田中将己

名大 高田尚記

### S9 マテリアルズ・インテグレーション(II) Materials Integration (II)

理論・実験・解析・シミュレーション・データベースなどの材料科学の知見と最新の情報科学を融合することで、材料の研究開発を支援・加速することを目指す新たなツールがマテリアルズ・インテグレーションです。マテリアルズ・インテグレーションの実現には、多様な素材・プロセスにおける組織形成過程を予測するモジュール群、材料の組織情報から様々な性能を予測するモジュール群、これらモジュール群とデータを融合する手法、更にはこれら複数のモジュール群をシームレスに統合するシステムの整備・開発が不可欠です。

昨年度開催した公募シンポジウム S9「マテリアルズ・インテグレーション」では構造材料に主眼を置いたプログラム構成としましたが、本年度は基調講演を含め機能材料などより広い視点から、未来の材料開発の描像を議論することを目的とします。

#### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東京大学准教授 井上純哉

E-mail: inoue@material.t.u-tokyo.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

東大 榎 学 NIMS 出村雅彦 東大 南部将一

# 2018年秋期(第163回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

秋期講演大会は、9月19日(水)から21日(金)まで仙台国際センター(〒980-0856 仙台市青葉区青葉山無番地)および東北大学川内北キャンパス(〒980-8576 仙台市青葉区川内41)を会場に開催します。

鉄鋼協会との合同懇親会は9月19日(水)に行います。以下のご案内と申込要領をご参照の上、お早めにお申込み下さい。

尚、**参加申込みは、すべてインターネット申込**となります。詳細は、下記申込要領をご覧ください。

## 日 程

日 時	行 事	場 所
9月19日(水) 9:00～9:40 10:00～17:00 15:00～17:00 18:30～20:30	各賞贈呈式 学術講演会 ポスターセッション 懇親会	C棟2階C200 C棟 仙台国際センター展示棟 ホテルメトロポリタン仙台4階「千代」
9月20日(木) 9:00～17:00 12:05～12:45	学術講演会 企業ランチョンセミナー	C棟 〃
9月21日(金) 9:00～16:30	学術講演会	C棟

## 参加申込要領

インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み：〈登録期間〉5月25日(金)～8月17日(金)

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

予約申込締切後、予約申込者へ大会参加証引換券、講演概要集DVDを送付します。懇親会の参加申込者には、懇親会参加券もあわせてお送りします。なお、領収書は、決済完了後に申込画面から各自印刷して下さい(WEB画面：講演大会 MyPage よりダウンロード)。

8月18日以降は当日申込となります。当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込下さい。

### ◆大会参加費(講演概要集DVD代含む)※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	8月17日(金)(申込および入金期日)	
会員資格	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
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。

### ◆懇親会費(消費税込み)

予約申込締切日	8月17日(金)(申込および入金期日)	
種 別	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	8,000円	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

\*お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

### ◆支払方法

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

### ◆参加証・概要集DVD発送

事前予約をされ、期日までに参加費を納入された方へは、概要集発行日(9月5日)に順次、「参加証引換券」、「概要集DVD」、「懇親会参加証」を発送いたします。

### ◆講演概要集DVDのみ購入する場合

件名を「2018年秋期講演大会講演概要集DVD購入申込」とし、①申込者氏名②会員資格(会員番号も併記)③申込数④住所をご記入の上、E-mail: [ordering@jim.or.jp](mailto:ordering@jim.or.jp) 宛にお申込み下さい。9月5日の発行後、請求書を添えて送付いたします。

会員価：本体4,000円+税 定価：本体10,000円+税 送料：360円

参加申込・問合せ 〒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)

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 82, No. 5 (2018)

—論 文—

熱間押出法を用いた炭素繊維一方向配向 Cu 基複合材料の作製と熱伝導特性評価 紺谷博人 徳永透子 大野宗一 佐々木克彦 松浦清隆

高純度フェライト系ステンレス鋼の酸化挙動に対する Ti 添加効果 井上宜治 平出信彦 林 篤剛 潮田浩作

TbFeCo 薄膜における有効元素量と磁気物性の相関 原 亮介 山根治起 伊佐地育圭 小林政信 森迫昭光 劉 小晰 安川雪子

照射下における Fe-Cr-Al 合金の微細組織変化 豊田晃大 橋本直幸

Sn/Cu 2 層めっきの熱処理による Sn ウィスカ抑制機構に関する研究 坂本佳紀 山崎 中 志村将臣 石原外美

MAX 相  $Ti_2AlC$  における塑性変形開始挙動の圧入方位依存性 和田悠佑 関戸信彰 大村孝仁 吉見享祐

SEM の像コントラストを活用した Cr-Mo 鋼中微細析出物の同定と相別分布の可視化 中村貴也 佐藤 馨 名越正泰 小形健二 北原保子 櫻田委大

Fe-Si 合金の繰り返し変形に伴う転位組織の形成機構 首藤洋志 小野寺暁理 荒井重勇 宮澤知孝 藤居俊之

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 59, No. 5 (2018)

—Regular Article—

Materials Physics

Preparation and Compressive Performance of an A356 Matrix Syntactic Foam

Ningzhen Wang, Xiang Chen, Yanxiang Li, Yuan Liu, Huawei Zhang and Xiong Wang

Molecular Dynamics Investigation of the Effect of Lanthanum on the Diffusivity of Niobium in Austenite Haiyan Wang, Zhaofeng Yao, Xueyun Gao, Peng Cui and Huiping Ren

Microstructure of Materials

Martensitic Transformation of Retained Austenite in Ferrite Matrix for Low Alloy Steel

Takayuki Yamashita, Norimitsu Koga and Osamu Umezawa

Effect of Ag Addition to Zn22 mass%Al-2 mass% Cu Alloy on the Four-Phase Reaction  $\eta + \varepsilon \rightarrow \alpha + \tau'$

H.J. Dorantes-Rosales, V.M. López-Hirata, Felipe Hernández-Santiago, M.L. Saucedo-Muñoz and Ana María Paniagua-Mercado

Microstructures and Properties of Al-27%Si Composites: Influence of Rolling and Annealing

Jiaji Ma, Yilong Dai, Xiangchun Xu, Xuemei Xu, Hongjie Fang, Hui Liu, Yu Zhang and Kun Yu

Age Heat Treatment of the CoCrFeNiTi<sub>0.3</sub> High-Entropy Alloy Tao-Tsung Shun, Cheng-Ying Hsieh, Wei-Jhe Hung and Che-Fu Lee

Effect of Heat Treatment within Alpha/Beta Dual-Phase Field on the Structure and Tensile Properties of Binary Ti-Mo Alloys

Yu-Po Peng, Chien-Ping Ju and Jiin-Huey Chern Lin

New Mg-V-Cr BCC Alloys Synthesized by High-Pressure Torsion and Ball Milling

Keisuke Fujiwara, Ryoko Uehiro, Kaveh Edalati, Hai-Wen Li, Ricardo Floriano, Etsuo Akiba and Zenji Horita

Mechanics of Materials

Modeling of Complete Stress-Strain Curves and Time-Dependent Behaviors of Rocks under Uniaxial Tension

Kimihiro Hashiba, Katsunori Fukui and Minami Kataoka

Lifetime in Steel Cord Wire Drawing Dies of WC-Co Cemented Carbide Containing TaNbC or Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>

Masayuki Takada, Hideaki Matsubara and Yoshihiro Kawagishi

Strength and Microstructure of Copper Tube in Cross-Roll Straightening Hirokazu Tamagawa

Effects of Doping Nano-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Microstructure and Mechanical Properties of Mo-9Si-18B Alloys Liangbin Chen, Ran Wei, Ke Tang, Guojun Zhang, Feng Jiang and Jun Sun

Deformation Microstructure Developed by Nanoindentation of a MAX Phase Ti<sub>2</sub>AlC

Yusuke Wada, Nobuaki Sekido, Takahito Ohmura and Kyosuke Yoshimi

Materials Chemistry

Corrosion Behavior of Sn-Bearing Steel under Wet/Dry Cyclic Environments Containing Cl<sup>-</sup>

Kiyonobu Sugae, Takayuki Kamimura, Hideaki Miyuki and Takeo Kudo

Selective Leaching and Surface Properties of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloys

Shih-Hang Chang, Chin Kuo and Jin-Lin Han

Preparation of Copper-Based Superhydrophobic Surfaces by Jet-Electrodeposition

Chen Jinsong, Guo Jian, Qiu Mingbo, Yang Jianming, Huang Dazhi, Wang Xiaoli and Ding Yunfei

Materials Processing

Evaluation of Wrinkling States Using In-Process Ultrasonic Examination during Sheet Metal Forming

Ryota Kakinoki, Yuji Segawa, Yasuo Marumo, Yasuhiro Imamura, Tomohiro Nonaka and Yutaka Sakata

**Effect of Shape Memory Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Powder Metallurgy TiNi Shape Memory Alloy**

Ryoichi Soba, Yukiko Tanabe, Takayuki Yonezawa, Junko Umeda and Katsuyoshi Kondoh

**Comparison of the Photocatalytic Efficiency for Cu and N Co-Doped TiO<sub>2</sub> by Sol-Gel and Xerogel-Hydrothermal Methods**

Cuiping Liu, Zhifeng Liu and Yuwen Zhu

**A Novel Directional Solidification of TiAl-Based Alloys by Electromagnetic Cold Crucible Zone Melting Technology with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Moulds**

Hailong Zhang, Hongsheng Ding, Ruirun Chen, Qiang Wang, Jingjie Guo and Hengzhi Fu

**Grain Boundary Segregation and Precipitation during the Plastic Deformation of 30Cr2Ni4MoV Steel**

Wen Long Zhao, Dong Po Wang, Hua Dong Wang, Shi Cheng Ma, Yu Yi Wang and Yue Qian Zhang

**Fabrication and Mechanical Properties of Textured Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> Systems Using Commercial Powder**

Yuichi Uchida, Koji Morita, Tohru S. Suzuki, Toshiyuki Nishimura, Kenjiro Fujimoto and Yoshio Sakka

**Heat-Conduction-Type and Keyhole-Type Laser Welding of Ti-Ni Shape-Memory Alloys Processed by Spark-Plasma Sintering**

Abdollah Bahador, Esah Hamzah, Katsuyoshi Kondoh, Seiichiro Tsutsumi, Junko Umeda, Tuty Asma Abu Bakar and Farazila Yusof

**Scorodite Synthesis in As(V)-Containing Fe(II) Solution in the Presence of Hematite as a Fe(III) Source**

Atsushi Iizuka, Kozo Shinoda and Etsuro Shibata

**The Use of Methyl Ethyl Ketone in Nitric Acid Leaching Processes for Enhancement of Ag Recovery from Used X-ray Films**

Hyeonji Jo, Kyoungkeun Yoo, Soo-kyung Kim and Richard Diaz Alorro

*Express Rapid Publication*

**Hydrogen Desorption Isobar Properties of Ti<sub>1.1</sub>CrMn at High Temperatures and Pressures**

Nobuhito Tsurui, Kiyotaka Goshome, Satoshi Hino, Naruki Endo, Tetsuhiko Maeda, Hiroki Miyaoka and Takayuki Ichikawa

**Low Young's Modulus Ti-Nb-O with High Strength and Good Plasticity**

Qiang Li, Dong Ma, Junjie Li, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Yuichiro Koizumi, Daixiu Wei, Tomoyuki Kakeshita, Takayoshi Nakano, Akihiko Chiba, Kai Zhou and Deng Pan



(2018年2月21日～2018年3月22日)

**正 員**

中原由木子 純真学園大学  
只野裕一 佐賀大学  
山崎浩次 三菱電機株式会社  
松永直也 三菱電機株式会社

内藤亮佑 株式会社IHI  
武本真治 岩手医科大学  
加藤智晴 小名浜製錬株式会社  
田畑裕信 中越合金鑄工株式会社

村田知明 日東精工株式会社  
増田恭三 DOWA エレクトロニクス株式会社

**学 生 員**

井口雄登 早稲田大学  
宮下智弘 芝浦工業大学

山本真夕季 九州工業大学  
河原崎琢也 京都大学

南部貢志 金沢工業大学  
深井祐佑 群馬大学

**外国一般会員**

Choi In-Hyeok Korea University of Science and Technology-Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

**まてりあ 第57巻 第6号 予告**

[新役員紹介] 2018年新役員紹介  
[巻頭言] 会長就任のご挨拶  
[解説] 超ジュラルミン24S(2024)はなぜ米国で開発できたか? .....吉田英雄  
[最近の研究] 遷移金属酸化物における相分離を利用したチェックカーボード型ナノ組織の作製とその特徴 .....堀部陽一 森 茂生

[新進気鋭] 電解精錬技術を応用した大型二次電池 Liquid Metal Battery の研究開発と今後の展望 .....大内隆成

—他—

(都合により変更になる場合がございます)

## 金属学会セミナー開催報告

# 材料の力学特性向上を目指して —最近の実験・計算手法の進展に 基づく本質的な理解—

(第5分科企画)

開催日 2018年3月6日(火)

場 所 東京工業大学田町キャンパス

2004年に開催された「材料強化設計の基礎と応用」セミナーから14年が経ち、改めて材料の強度、延性、靱性などの力学特性に関する原理原則ならびに最近の展開を網羅するセミナーの開催が望まれていた。本セミナーでは、各種実験や計算科学の第一人者を講師に迎え、今後の高強度・高靱性先端材料の開発につながる方策について議論するとともに、また教科書にも載っていないような新たな理論や概念についての理解を深めた(3月6日、東工大田町キャンパス・キャンパスイノベーションセンター、参加者数33名)。以下に、各講師の講演内容をまとめて記す。

**尾中 晋(東工大)**は、各種強化機構の相加効果ならびに相乗効果の考え方について解説した後、それぞれの機構による特性向上分の単純和以上の特性を示す(相乗効果を有する)事例を紹介した。固溶強化型Cu-Al合金では、同時に積層欠陥エネルギーの低下によって転位と粒界の相互作用が変化・高強度化することや、ポリマー基材に強固に密着させたCu箔の延性が、ポリマーによる拘束効果で2%から>20%に向上することなどを挙げ、高強度化と高延性化をともに果たすための「相乗効果」の重要性について強調した。

**梅澤 修(横浜国大)**は、デジタル画像相関法を用いてフェライト/マルテンサイト複層鋼板内のひずみ分布を実測し、積層数が増加するほど、高ひずみ域が試料全体に分散して両相が協調的に変形、強度-延性バランスが向上することを示した。複層材料では、硬質相と軟質相間の応力伝播が重要であり、硬質相がランダムに分散するよりも層状に配向する方が、塑性不安定後に界面はく離が生じにくく、局所ネッキングして延性的に破断するようになる。本手法は、最適な複層構造を設計する際の有益な指針を与えている。

**東田賢二(佐世保工業高専)**は、破壊靱性や脆性-延性遷移温度などの巨視的な力学物性値を、き裂-転位間の相互作用といった格子欠陥論と関連付けながら、これまでの学問体系や理論を見直し、「靱性」の物理的な意味について再考を促した。すなわち、靱性とは局所的な応力集中を再分配する能力であり、塑性変形に対する抵抗力だけでなく、き裂先端からの転位の生成による応力遮蔽効果も内含した特性として考えるべきで、そのため均一な応力への耐性を表す「強度」とも両立できるはず、との深い見識を示した。

**下川智嗣(金沢大)**は、伸線直後のパーライト鋼の低延性が、焼鈍で大きく改善する事例を紹介し、その理由について分子動力学シミュレーションによる解析を行った。その結果、フェライト/セメンタイト異相界面の結合力が強いほど、セメンタイト内に転位が進展して変形能が向上し、さらに、フェライトの降伏応力や加工硬化率をもっと大きくできれば、セメンタイトも塑性変形するようになるとの予見を示した。このような先見の明は、異相界面の構造を適切に設計すれば、優れた力学特性を有する材料を創製できることを示唆しており、今後の実証が期待される。

**中谷彰宏(大阪大)**は、行きの新幹線の中で購入した漫画雑誌を回覧しながら、上面にペンで描いた正方形が、雑誌をくねらすことで様々に形を変えることを実演した。これが講演タイトルにもあるキンク変形の一例であり、すべり系が極端に限定されると底面が折れ曲がって面外に変形し、巨視的な形状変化を担うようになる。長周期積層構造をもつマグネシウム合金の変形機構としても注目されており、複雑な構造体の力学特性を理解する際の新しい力学理論として、さらなる発展、機構の解明が望まれる。

**尾方成信(大阪大)**は、材料の塑性変形を発生させる事象全般をプラストンと呼び、材料の変形に関する包括的な概念を構築しようと試みている。プラストンは、温度や応力、変形速度などの外部から与えられる場に強く依存し、かつ互いに異なる依存性をもつために、最適なプラストンを選択・制御することで材料の力学特性の制御が可能となる。分子動力学計算を用いたCuナノ結晶の応力変化に伴うクリープ変形モードの遷移や、Tiナノ結晶体の変形を担うすべり系の推移予測などは、高温強度に優れる材料の創製、ならびに変形の持続化(高延性化)の指針となっており、今後の展開が大いに期待される。

(文責：廣澤)

(企画世話人：横浜国大 廣澤渉一、東工大 藤居俊之、名大 小山敏幸)

# 2018年春期(第162回)講演大会記録

2018年春期講演大会は、3月19日から21日の期間、千葉工業大学新習志野キャンパスにおいて開催した。

- 3月19日(9:00~9:40) 開会の辞、大韓金属・材料学会代表挨拶、TMS 代表紹介、各賞贈呈式(1号館1101)
- (9:50~11:40) 学会賞受賞記念講演、本多記念講演(1号館1101)
- (13:00~15:20) 一般講演、受賞講演(5号館、7号館、8号館)
- (12:30~17:00) ポスターセッション(食堂棟3階)
- (18:00~20:00) 懇親会(食堂棟2階)
- 3月20日(9:00~17:55) 一般講演、シンポジウム講演、受賞講演、Young Leader International Scholar 講演、共同セッション(5号館、7号館、8号館)
- 3月21日(9:00~16:50) 一般講演、シンポジウム講演、受賞講演、共同セッション(5号館、7号館、8号館)、企業説明会
- 3月19日~3月21日 総合受付、金属組織写真展示(5号館1階)  
付設機器・カタログ展示会(7号館1階)

## 開会の辞

中島英治会長より開会の挨拶があった。

## 大韓金属・材料学会代表挨拶(3月19日)

本会と大韓金属・材料学会との学術交流協定にもとづき、Kyung Tae Hong 会長が来日し挨拶した。



開会の挨拶：中島会長。



Kyung Tae Hong 会長。

## TMS 代表紹介(3月19日)

本会とTMSとの国際交流促進協定にもとづき、TMS から第13回 Young Leader International Scholar として来日した代表者 Genau Amber 氏が紹介された。

## 贈呈式(3月19日)

中島英治会長の式辞に続き、下記の贈呈式を行った。

- 第63回学会賞贈呈式 掛下知行君に対して賞状ならびに賞牌贈呈。(受賞者；本誌191頁)
- 第59回技術賞贈呈式 3名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者；本誌192頁)。
- 第68回金属組織写真賞贈呈式 優秀賞3件に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者；本誌193頁)(作品；本誌204頁)。
- 第49回研究技術功労賞贈呈式 13名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者；本誌194頁)。
- 第76回功績賞贈呈式 8名(物性部門2名、組織部門1名、力学特性部門1名、材料化学部門1名、材料プロセッシング部門1名、工業材料部門1名、工業技術部門1名)に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者；本誌197頁)。

第57回谷川・ハリス賞贈呈式 2名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者；本誌199頁)。

第24回増本量賞贈呈式 2名に対し賞状ならびに副賞贈呈(受賞者；本誌199頁)。

第28回若手講演論文賞贈呈式 3名に対し賞状贈呈(受賞者；本誌200頁)。

第1回フェロー認定式 新しくフェローに認定された6名に対し認定証贈呈(受賞者；本誌200頁)。

## 第63回学会賞受賞記念講演(3月19日)

「極限状態下(強磁場、高圧力)におけるマルテンサイト変態、拡散変態および1次の磁気転移とそれらの電子論的解釈」

大阪大学大学院工学研究科教授 掛下知行 君

## 第63回本多記念講演(3月19日)

「高温融体の界面物理化学の深化—“Capillary Metallurgy”の構築を目指して—」

大阪大学大学院工学研究科教授 田中敏宏 君



受賞者の皆様です：おめでとうございます。



学会賞：掛下先生によるご講演。本多記念講演：田中先生によるご講演。

## 懇親会(3月19日)

食堂棟2階において日本鉄鋼協会と合同で開催(参加者は254名、本会への申込者・招待者107名)。

開会の辞・司会

千葉工業大学教授 齋藤哲治

来賓挨拶

千葉工業大学学長 小宮一仁

日本鉄鋼協会会長挨拶

新日鐵住金株代表取締役副社長

高橋健二

日本金属学会会長挨拶・乾杯

九州大学教授 中島英治

懇談

閉会の辞

千葉工業大学教授 本保元次郎



千葉工大：小宮学長によるご挨拶。



中島会長による乾杯！

**大会参加者** 1,286名(一般734名、学生員371名、非会員一般40名、非会員学生16名、相互聴講125名)

## 学術講演会(3月19日~21日)

最終講演件数735件

欠講3件(一般講演 No.35(功績賞受賞講演)、ポスターセッション No.P86, P114)

学会賞受賞記念講演 1 件, 本多記念講演 1 件  
 公募シンポジウム講演 7 テーマ142題(基調講演38題, 応募講演  
 103題, 功績賞受賞講演 1 題)  
 企画シンポジウム講演 4 件(基調講演 4 題)  
 一般講演434題(功績賞受賞講演 6 題, 谷川・ハリス賞受賞講演 1  
 題, 増本量賞受賞講演 2 題, 技術賞受賞講演 3 題, 外国人特  
 別講演 1 題, Young Leader Scholar 講演 1 題含む)  
 共同セッション16題  
 ポスターセッション137題  
 講演会場 17会場(ポスターセッション会場)

**第30回ポスターセッション(3月19日)(受賞者; 本誌201頁)**

3月19日12:30~17:00の時間に食堂棟3階で137件のポスター発表が行われ, そのうち優秀ポスター賞にエントリーおよび審査対象となっている124件の内容・発表について審査が行われた。第1部(12:30~14:30)73件, 第2部(15:00~17:00)64件の二部構成で開催。  
 一般講演は15時で終了とし, 多数の聴講者がポスターセッション会場へ足を運んでいた。  
 3月20日「優秀ポスター賞」25件が決定し, 受賞者を本会ホームページおよび金属学会受付に掲載した。



ポスター発表風景。



おめでとうございます。

**金属学会・鉄鋼協会共同セッション**

「超微細粒組織制御の基礎」4題(金属3題, 鉄鋼1題)は3月20日, 金属学会A会場で開催した。  
 「チタン・チタン合金」24題(金属13題, 鉄鋼11題)は3月20日~21日, 鉄鋼協会第13会場で開催した。

**第13回 JIM/TMS Young Leader International Scholar Program (3月20日)**

若手研究者の活動の活性化と TMS との国際交流促進を目的に06年より設けられた Joint JIM/TMS Young Leader International Scholar Program として, TMS から派遣された代表者 Genau Amber 氏が一般講演「拡散・相変態」の中で Young Leader International Scholar 講演発表後, 座長より賞状が授与された。



Genau Amber 氏による一般講演。



梶原座長と一緒に。

**第5回企業ランチョンセミナー(3月20日)**

昼休み時間帯に昼食(軽食)をとりながら, 講演大会参加者に企業の最新の技術情報を聴講いただく, ランチョンセミナーを開催した。以下の5社が各5会場で30分程度のセミナーを行い, 参加者数は5社で合計161名であった。参加者および参加企業共に好評であった。

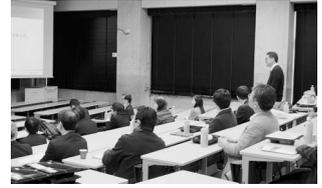
- (参加企業) オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社
- 株式会社TSLソリューションズ
- 株式会社日立ハイテクノロジーズ
- 東芝ナノアナリシス株式会社
- 株式会社モルシス

**第10回男女共同参画ランチョンミーティング(3月21日)**

「金属材料分野での多様なキャリアパス」をテーマに田中貴金属工業㈱の柳沢智子氏が講演を行った。(参加者29名)



柳沢講師によるご講演。



講演後のディスカッションの風景。

**付設機器・カタログ等展示会(第40回)**

機器展示24社, カタログ展示1社より出展の協力を得た。展示会場は7号館1階1室で開催した。各社のご厚意に感謝いたします。

**託児室**

3月19日(月)~21日(水)の各日子供1名に対しシッター2名体制のもと支障なく終了した。

**【大会雑記】**

千葉工業大学での開催は2007年以降11年ぶりで, 新習志野キャンパスでの開催は2001年以降17年ぶりとなる。これまでは津田沼キャンパスと新習志野キャンパスの両キャンパスを日本鉄鋼協会と交互に講演会場として使用していたが, 今回は新習志野キャンパスに新しい校舎が建設されたこともあり, 両会同一キャンパスでの開催が可能となった。

講演会場は5号館, 7号館, 8号館を使用。建物が近隣にまとまっており, また鉄鋼協会と同一の建物を会場としたため, 参加者には比較的会場移動がスムーズであった。

大会最終日に開催した第4回の企業説明会はブース説明会参加企業36社, 参加学生は166名で盛会裡に終了した。また, 説明会終了後の企業担当者との交流会(立食懇談会)は, 参加者約100名(内学生60名)と大変好評であった。

春の日差しが暖かな開催初日から一転, 二日目以降は冬の寒さに逆戻りの雨天の中での開催であったが, 3日間無事に講演を終了することができた。

千葉工業大学の小林政信先生および小澤俊一先生を始めとするお世話頂いた先生方, アルバイト学生の皆様, 職員関係者ならびに事務関係者の皆様にはお忙しい中を諸般にわたり終始, 万端のご配慮をいただき, ご協力に対し心から厚く御礼申し上げます。



次回秋の学会は、  
 東北大学(仙台)  
 です。See you!

# 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>5月</b>				
1	日本金属学会東北支部 平成30年度第1回支部会議(総会)(東北大)(3号130頁)	東北支部	東北大学多元研 TEL/FAX 022-217-5177 j-gawara@tagen.tohoku.ac.jp	4.13
12~11.10 (全7回)	セラミックス大学2018(CEPRO2018)(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
15~16	第34回希土類討論会(東京)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	
21~23	トライボロジー会議2018 春 東京 (東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp/	
22~25	第54回真空技術基礎講習会(和泉)	大阪府技術協会他	TEL 0725-53-2329 g-kyoukai@dantai.tri-osaka.jp http://www.vacuum-jp.org/	
25	第3回マルチスケール材料力学シンポジウム(高知工科大)	日本材料学会	http://www.jsms.jp	講演 2.9
25~27	軽金属学会第134回春期大会(熊大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	参加予約 4.19
31~6.2	平成30年度塑性加工春季講演会(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp	
31	第75回技術セミナー: インフラを支える鉄鋼材料の腐食と防食技術(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp	
<b>6月</b>				
6	国際交流ワークショップ「材料系学協会における国際交流活動の課題と展望」(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 60名
6~8	第23回計算工学講演会(名古屋)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org http://www.jcses.org/koenkai/22/	
7, 21	第233・234回西山記念技術講座 鉄鋼業における地球温暖化対策の未来~LCAと他業界からそのヒントを探る~(大阪)(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/muwguz8rx	
8	第107回シンポジウム「自動車用電動パワートレインの将来展望とそれを支える軽金属技術」(日大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 100名
11~12	平成30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/	
14	第59回塗料入門講座 前期(東大駒場)	色材協会・関東支部	TEL 03-3443-2811 admin@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
14~15	第23回動力・エネルギー技術シンポジウム(宇部)	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 http://www.jsme.or.jp/	講演 2.23
15	第99回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会(首都大学東京)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)	ars@sfj.or.jp	6.1
22	第108回シンポジウム「知っているようで知らない軽金属の表面処理」~陽極反応による表面の制御~(工学院大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 100名
26~28	第65回表面科学基礎講座(東京理科大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sssj.org http://www.sssj.org	6.20
27	第23回課題研究成果発表会(大阪)	軽金属奨学会	TEL 06-6271-3151 lm-foundation@nifty.com	
28~29	第12回核融合エネルギー連合講演会-(大津)	プラズマ・核融合学会, 日本原子力学会	TEL 052-735-3185 plasma@jspf.or.jp http://www.jspf.or.jp/12rengo/	
<b>7月</b>				
1~6	6th International Indentation Workshop (IIW6)(北大)	IIW6 実行委員会	TEL 029-851-3354(6426) iiw6_2018@nims.go.jp	
3~4	第28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/	6.15
3~5	第21回X線分析講習会 蛍光X線分析の実際(東京理科大)(第10回)	日本分析化学会X線分析研究懇談会	TEL 03-5228-8266 inakai@rs.kagu.tus.ac.jp http://www.a-chem.eng.osaka-cu.ac.jp/xbun/	
4	日本表面真空学会関西支部合同セミナー2018「物質中を探る科学と技術-溶液や機能性材料のその場観察-」(阪大)	日本表面真空学会関西支部	TEL 06-6879-7855 sv2018@ap.eng.osaka-u.ac.jp http://www.vacuum-jp.org/	定員 180名
9~12	The 6th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2018)(倉敷)	紛体工学会	TEL 045-339-3959 http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2018/ iccci2018@ml.ynu.ac.jp	
12	第59回塗料入門講座 後期(東大駒場)	色材協会・関東支部	TEL 03-3443-2811 adminr@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
12~13	第52回 X線材料強度に関するシンポジウム(静岡)	日本材料学会	TEL 055-243-6111 yatsushiro-vvm@pref.yamanashi.lg.jp	講演 3.9
13	平成30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(札幌)(本号236頁)	北海道支部(北大)	TEL/FAX 011-706-6352 jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp	
18~20	スマートエンジニアリング TOKYO2018(東京)	化学工学会・日本能率協会	TEL 03-3434-1988 set@jma.or.jp	
27	第46回 薄膜・表面物理セミナー(2018)ダイヤモンドの形成技術から応用・未来技術—センシングからグリーン・パワーデバイスまで—(東京)	応用物理学会 薄膜・表面物理分科会	TEL 03-3828-7723 igarashi@jsap.or.jp http://www.jsap.or.jp/	参加 7.5
30	日本学術会議公開シンポジウム「SDGs 時代における資源開発後の鉱山環境対策のあり方」(東京)	日本学術会議 材料工学委員会他	TEL 03-3402-0541 info@mmij.or.jp http://www.mmij.or.jp/events/4236.html	
31~8.2	第24回結晶工学スクール(2018年)(東京農工大)	応用物理学会	TEL 03-3828-7723 divisions@jsap.or.jp http://annex.jsap.or.jp/kessho/index.html	7.9
<b>8月</b>				
5~8	15TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS—Structural Sector Approaches for New Functionalities and Durability—(北九州)	傾斜機能材料研究会	TEL 052-735-5293 fgms_2018@f-jast.or.jp http://www.fgms.net/isfgms2018	
7~8	第31回 DV-X $\alpha$ 研究会(長岡)	DV-X $\alpha$ 研究会	TEL 0258-47-9345 tagaya@mst.nagaokaut.ac.jp http://mst.nagaokaut.ac.jp/nanobio/2018DVXa.html	
8~12	6th International Solvothermal & Hydrothermal Association Conference (ISHA2018)(東北大)	東北大学 多元物質科学研究所	TEL 022-217-6322 isha2018@grp.tohoku.ac.jp http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/general/event/ISHA2018/	発表 2.28
22	2018年茨城講演会(茨城大学)	日本機械学会関東支部	TEL 03-5360-3500 kt-staff@jsme.or.jp	
27~29	日本実験力学会2018年度年次講演会(山梨大)	日本実験力学会	TEL 055-220-8673 yasumii@yamanashi.ac.jp http://www.jsem.jp/event/Annual18/index.html	
29~31	平成30年度工学教育研究講演会(名工大)	日本工学教育協会他	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
30~31	金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会(堺)(本号235頁)	研究会 No. 67・高山(宇都宮大)	TEL 028-689-6033 FAX 028-689-6078 takayama@cc.utsunomiya-u.ac.jp	6.15
<b>9月</b>				
5~7	日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム(名工大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall31@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/31/	
19~21	日本金属学会秋期講演大会(東北大学川内北キャンパス)(仙台)(本号238頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	講演 7.6 参加 8.17
<b>10月</b>				
14~18	第9回材料電磁プロセッシング国際シンポジウム(EPM2018)(兵庫)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5932 ryo@isij.or.jp http://www.epm2018.org/index.html	
18~19	キャビテーションに関するシンポジウム(第19回)(北大)	日本学術会議第三部	TEL 011-706-6430(直通) masao.watanabe@eng.hokudai.ac.jp http://cavitation19.sakura.ne.jp/index.html	講演 6.4
25~26	第54回 X線分析討論会(東京理科大)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会	TEL 03-5228-8266 inakai@rs.kagu.tus.ac.jp	講演 7.27
25~27	結晶塑性の原子過程に関する国際シンポジウム—結晶強度の定量的理解に向けて—(東大)(3号130頁)	日本学術振興会産学協力第133委員会	TEL 03-5452-6111 yasushi@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.apcp.iis.u-tokyo.ac.jp	
29~31	第39回 超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム(同志社大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp http://www.use-jp.org/	講演 7.23
30~11.2	The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics(Taiwan)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://2018-13th-isem.webnode.tw/	
<b>11月</b>				
9	第21回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11~16	第14回核破砕材料技術国際ワークショップ(14th International Workshop on Spallation Materials Technology, IWSMT-14)(いわき)	J - PARC センター	TEL 099-285-8265 ksato@mech.kagoshima-u.ac.jp	
<b>12月</b>				
5	エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2018(EcoDePS2018)(早稲田大)	エコデザイン学会連合	secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS2018/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
5～7	第44回固体イオニクス討論会(京大)	日本固体イオニクス学会	TEL 075-753-6850 yamamoto.kentaro.4e@kyoto-u.ac.jp https://ssi2018.symposium-hp.jp	
<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	

### 「まてりあ」特集今後の予定

〈特集テーマ〉

- ◇ミニ特集「ハイエントロピー合金の研究最前線」 57巻7号
- ◇ミニ特集「熱力学計算による構造材料の設計と展開」 57巻9号
- ◇特集 「顕微鏡法による材料開発のための微細構造研究最前線 (11)」 57巻12号  
～顕微鏡法の材料評価への展開と先端評価法の進展～

～編集の都合により、変更になる場合もございます。～



## 社会を変えた強力磁石の発明・事業化物語

岡本篤樹 著

佐川真人のネオジウム磁石の発明物語は、発明者自身がいくつかの学会報などで書き綴っているの、よく知られている。本書のタイトルを見たとき、この有名なエピソードがより詳細に記されている程度の書籍かと思っていたが、読み出した瞬間、本書はこれまで我々が読み、聞きかじって来た発明物語より、はるかに壮大な産業創出ドキュメンタリーであると気づいた。プロローグでは本多光太郎に始まるKS鋼をとりまく時代背景が描かれ、現代のエレクトロニクスの発展により磁石材料のニーズが新興してきたこと。そのような時代に富士通で不遇を囲っていた佐川が、当時住友特殊金属の社長であった岡田に直談判をし、予備実験結果とアイデアをもって移籍、時をおかずネオジウム磁石の世紀の大発明を成し遂げた有名な物語が記されている。しかしこれはあくまで序章であり、発明が開発、事業化、そしてより大きな産業に育っていく過程が住友特殊金属とそれをとりまく企業の社史、さらに当時の経営トップの判断と事業化までに立ちはだかった数多くの難問に挑んだエンジニアの

活躍を満遍なく記述した壮大なドラマとなっている。この中でも特許紛争に絡む対応のドキュメンタリーは迫力に満ちている。世の中には二種類の本がある。読み始めると眠くなり一向に読み進めない本と、読み始めると面白くて徹夜をしても一気に読んでしまう本。岡本篤樹による本書は後者に属し、工学系書籍としては突出した面白い読み物に仕上がっている。著者は住友金属で鉄鋼研究に従事した工学者であり、その後、住友特殊金属で佐川に接したことから出た疑問が、本書を執筆する動機になったとある。しかし、単なる技術史ではなく、研究に携わる者なら興奮を覚える真迫のドラマである。臨場感あふれる語り口に、単なる読者である自分が、あたかもその現場にいたかのような錯覚を覚える。NHKの伝説的な番組「プロジェクトX～挑戦者たち～」を見終えたような読後の充実感を覚えるのは著者の筆力のなせる技であろう。

(国立開発研究法人物質・材料研究機構 理事・フェロー 宝野和博)  
[2017年 四六判 アグネ技術センター株式会社 292頁 1800円+税]

まてりあ 第57巻 第5号 (2018) 発行日 2018年5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

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

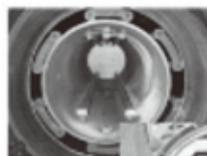
発売所 丸善雄松堂株式会社

〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18

# 高温真空 3000°Cへの挑戦

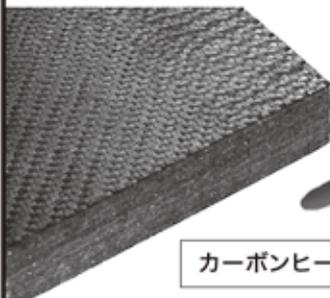
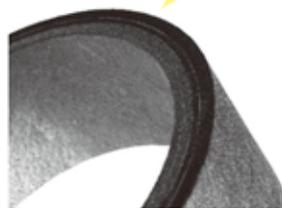
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



炉の改修

ハイブリット成形断熱材



6面シート  
貼り



カーボンフェルト

高断熱+省エネ

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



## メカニカルカーボン工業株式会社

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

**EAG**  
LABORATORIES

各種表面分析受託サービスなら  
ナノサイエンス株式会社(EAGの日本支社)にお任せください。

GDMS分析  
世界シェア **No.1**



高感度不純物分析手法 GDMS ICPとは異なり固体のまま最小限の試料処理で直接分析ができます。

測定対象試料

高純度金属	合金・超合金	特殊金属	レアメタル・レアース
カーボン及び黒鉛製造品	酸化物・炭化物・窒化物・硫化物などのセラミックス	各種半導体材料	太陽電池用シリコン

“世界の分析リーダー”の技術を日本で——

**NANO ナノサイエンス株式会社**

〒171-0021 東京都豊島区西池袋1-21-7 住友不動産池袋西口ビル7F  
TEL.03-5396-0531(代) FAX.03-5396-1930 [E-mail] [analysis@eag.com](mailto:analysis@eag.com)

お問い合わせ・見積り・分析お申込みはHPから… <http://www.nanoscience.co.jp>

# Retsch®

Solutions in Milling & Sieving

part of VERDER scientific

粉碎につきものなのが発熱問題。Emaxなら空冷のための中断が必要がありません。

## 高エネルギーボールミル Emax



ナノ粉碎・メカニカルアロイングに

- 革新的な水冷方式により、温度制御可能
- 2000rpm の高速回転で、粉碎時間の短縮
- 高エネルギー粉碎による、メカノケミカルの促進

# CARBOLITE® IGERO 30-3000°C

part of VERDER scientific

酸素濃度は、ガスの排出口に設置されたセンサーにより常に、モニタリングすることが可能で、約 30 ppm に抑えることができます。

## 不活性ガス雰囲気チャンバー炉 GPCMA



AMS 2750E 対応 金属3Dプリンタ製品の焼結に

- 250mm×250mm のビルドプレートが収まる
- 過熱面が作業者に向かない、安全なドア構造
- 全自動ガスコントロール

# Retsch®

TECHNOLOGY  
Solutions in Particle Sizing

part of VERDER scientific

## 画像式粒度分布測定装置 CAMSIZER X2

- 乾式・湿式に対応
- カメラのレンズ交換等のハードウェア調整を行う必要なく、0.8μm~8mmの粒子を測定
- 広範囲にわたる、または二峰性の粒度分布を有する粒子も問題なく一度で測定
- 粒子形状測定(例:アスペクト比、真円度、表面凹凸度、透明度)
- 顕微鏡と同様の画像解析



## ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

本社: 〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8  
 Tel: 03(5367)2651 Fax: 03(5367)2652  
 E-mail: info@verder-scientific.co.jp  
 大阪: 〒550-0013 大阪府大阪市西区新町4-19-3東洋ビル1F  
 Tel: 06(6534)0621 Fax: 06(6534)0622

# VERDER scientific