

Materia Japan

- 受賞者紹介(春)
- 記念講演 分子軌道法による合金設計
- 記念講演 マルテンサイトの核生成と臨界点の存在
- プロジェクト研究報告 「6大学連携・特異構造金属プロジェクト紹介」
- 固体酸化物形燃料電池電解質のプロトン拡散

まてりあ

Vol.54 MTERE2 54 (5) 189~270 (2015)

2015
5

ナノ構造解析は名古屋大学へ



新材料の観察・分析 技術課題解決のための支援を実施しています

観察手法の相談

試料の作製

電子顕微鏡の選定

観察

分析

解析

評価

- 専任の電子顕微鏡技術者が観察を代行
- 学内の各専門分野の研究陣がサポート
- 万全の守秘体制で
成果公開・非公開の観察支援を実施



利用相談は随時受け付けています ※ 装置利用の料金はHPにてご確認ください
まずは、Webサイトをのぞいてください

<http://nanoplat.nagoya-microscopy.jp>

観察・分析支援手順

利用相談

利用申請書
提出

課題選定
・承認

試料作製
観察・解析
コンサルティング

利用成果
報告

■集束イオンビーム加工機 (FIB-SEM) MI-4000L

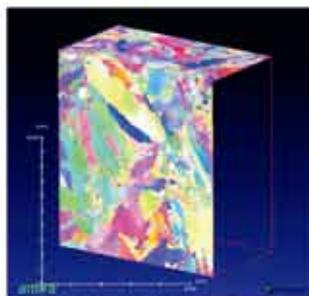


【仕様】

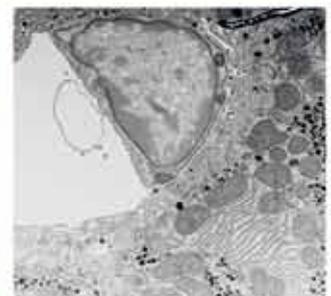
- FIB-SEM鏡筒:直交型
- FIB加速電圧:最大30kV
- SEM加速電圧:0.1~30kV
- Arイオンビーム:0.5~2kV
- マイクロサンプリング機能
- FE-SEM, EDS及びEBSD(OIM)機能
- STEM検出器装備

【用途】

- Cut & See(リアルタイムで実現)
- リアルタイムSEM・STEM観察
- リアルタイム3D-EDS, 3D-EBSD



Cut & Seeによる3D-EBSD計測
鉄鋼材料(結晶粒・結晶方位分布)



生物系試料の断面SEM観察
ラットの肝臓細胞

■反応科学超高压走査透過電子顕微鏡 JEM-1000K RS



【仕様】

- 超高压でのTEM/STEM観察
- TEM点分解能:0.15nm以下
- STEMプローブ径:1nm
- 加速電圧:1000, 800, 600kV
- 各種ガス環境雰囲気:最大0.1気圧
- EELSによる元素分析機能
- 各種特殊ホルダーを整備

【用途】

- ガス環境下でのその場観察
- 3D観察(生物系試料も可能)
- ハイコントラスト暗視野観察



金単結晶のガス中観察(ガス圧 11,000 Pa)

■超高分解能収差補正型 TEM/STEM JEM-ARM200FC

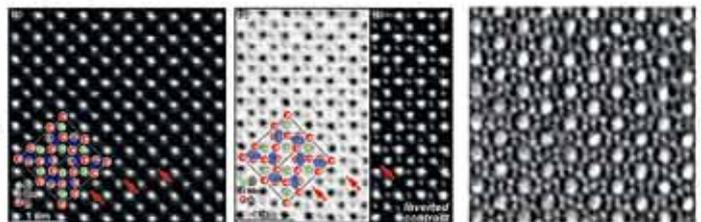


【仕様】

- TEM点分解能:110pm
- STEM-HAADF像分解能:78pm
- 加速電圧:200, 80kV
- 照射レンズ系に収差補正機能を搭載
- 冷陰極電界放射型電子銃
- STEM:HAADF, LAADF, ABF
- EDS, EELS(Dual EELS)

【用途】

- 原子レベルでの構造観察、
元素分析、電子状態分析



HAADF-STEM ABF-STEM
SrMnO_{2.5} 結晶の酸素欠損サイトの観察

ゼオライト結晶の構造像

■上記以外にも用途に応じた各種設備を整備

文部科学省 ナノテクノロジープラットフォーム 微細構造解析プラットフォーム
「高性能電子顕微鏡による反応科学・ナノ材料科学研究支援拠点」事務局
〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学 エコトピア科学研究所 超高压電子顕微鏡施設
Tel:052-789-3631 Fax:052-789-3174 E-MAIL: nanoplat@nagoya-microscopy.jp

表彰	第60回学会賞受賞者……………189	第22回若手講演論文賞受賞者……………196
	第16回学術功労賞受賞者……………190	第2回特別功労賞受賞者……………197
	第56回技術賞受賞者……………190	名誉員推薦者……………197
	第65回金属組織写真賞受賞者……………191	第24回優秀ポスター賞受賞者……………198
	第46回研究技術功労賞受賞者……………192	第23回奨学賞受賞者……………200
	第73回功績賞受賞者……………193	第65回金属組織写真賞受賞作品……………201
	第54回谷川・ハリス賞受賞者……………195	選評……………205
	第21回増本量賞受賞者……………196	

学会賞受賞記念講演	分子軌道法による合金設計 森永正彦……………207
	合金設計理論, 電子密度分布に見られる物質共通のユニバーサルな関係, 原子化エネルギーによる材料設計を紹介.

本多記念講演	マルテンサイト変態の核生成に関する一考察と鉄基形状記憶合金に現れる巨大弾性的ひずみと臨界点 掛下知行……………218
	マルテンサイトの核生成と変態における臨界点の存在を紹介.

プロジェクト研究報告「6大学連携 特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト活動紹介」	
企画にあたって ～6大学連携 特異構造金属プロジェクトの背景と趣旨～	
高梨弘毅 伊藤 満 片山聖二 田中信夫 逢坂哲彌 宮原裕二……………225	
環境・エネルギー材料開発分野の活動状況 山浦真一 関口哲志 余語利信……………227	
エレクトロニクス材料開発分野の活動状況 川原田 洋 神谷利夫……………232	
生体・医療材料開発分野の活動状況 埜 隆夫 新家光雄……………236	
The 5th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (AMDI-5)の開催報告 堤 祐介 塚本雅裕 山浦真一……………239	

最近の研究	プロトントラッピング ～固体酸化物形燃料電池, 低温動作の鍵となる金属酸化物中におけるプロトンの拡散～ 山崎仁丈……………242
	固体酸化物形燃料電池において低温動作の鍵となるプロトン伝導性金属酸化物のプロトン拡散挙動を紹介.

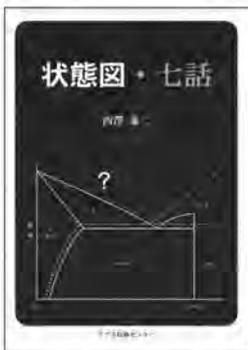
本会記事	会告……………250	次号予告……………263
	2015年秋期講演大会講演ならびに参加募集……………251	材料系学協会情報コーナー……………263
	掲示板……………259	2015年春期講演大会記録……………264
	新入会員……………261	行事カレンダー……………266
	会誌・欧文誌5号目次……………262	追悼……………269

会誌・欧文誌の投稿規定・投稿の手引・執筆要領, 入会申込書, 刊行案内はホームページを参照下さい.

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っては, 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.



ISBN 978-4-901496-76-6

状態図・七話

西澤泰二

A5判・並製／112頁
定価(本体2,400円+税)

黎明期の代表的な状態図から、複合材料の開発で見直されている系まで、状態図がより深く理解できるエッセンスが綴られた珠玉の一冊。



ISBN 978-4-901496-74-2

採択される 科研費申請ノウハウ

審査から見た申請書のポイント

岡田益男

B5判・並製／180頁
定価(本体3,800円+税)

科研費を初めて申請する方、採択に至らず悩んでいる方の待望の書。

結晶構造学

梶谷 剛



ISBN 978-4-901496-78-0

基礎編

空間群から粉末構造解析まで

A5判・並製／128頁
定価(本体2,000円+税)

結晶学の基礎知識を使って、粉末試料の結晶構造解析の実施へと導く、実用的な研究の指針となる書。



ISBN 978-4-901496-79-7

上級編

結晶物性学の理解をめざして

A5判・並製／192頁
定価(本体2,600円+税)

磁性体や半導体の物性の研究に不可欠な、大学院レベルの結晶構造学を学ぶための書。練習問題付。

アグネ技術センター

〒107-0062 東京都港区南青山5-1-25 TEL03-3409-5329/FAX03-3409-8237
URL <http://www.agne.co.jp/books/>

日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ(会報)

前付) 1色1P ￥100,000 1/2P ￥60,000

後付) 1色1P ￥95,000 1/2P ￥55,000

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ￥70,000 1/2P ￥40,000

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

E-mail info@meihosha.co.jp HP www.meihosha.co.jp

「生を繰り返す」という「H」。



逆さにすれば繰り返し時間を刻む砂時計のように、鉄は再生を繰り返す素材です。もともと地球に存在し、自然に還る鉄。使い終われば鉄スクラップとして容易に回収でき、製鉄所を通じて新しい鉄製品として何度でも、何にでも生まれ変わります。新日鉄住金は、鉄スクラップを原料に利用。世界最高水準の鉄鋼技術により、鉄の製造時におけるCO₂削減はもちろん、使用、廃棄、リサイクルのすべての段階で環境負荷を低減しています。私たちの鉄は、ライフサイクルを通して優れたエコロジーを実現しながら、社会を支え続けていきます。

鉄の「循環」を考える。私たちはライフサイクルで環境を考えます。

■ 新日鉄住金

世界の鉄へ しんにってつすみきん

OIM 7.1

A standard EBSD tool for microstructure analysis

OIM(Orientation Imaging Microscopy) は、EBSD法を用いた材料のマイクロ組織解析装置のスタンダードシステムとして広く愛用されています。OIM7.1では、EBSDパターン像から反射電子像を構築する新たなPRIAS法を装備し、ますますの強化を行ったバージョンアップとなりました。

OIM Data Collection 7.1

高速型HikariXP 検出器は、定評のある3バンド法による指数付けを用い、実用レベルで500フレーム/秒の測定速度を実現しています。また、PRIAS法では反射電子検出器を装着することなく、EBSDパターンの輝度から反射電子像を構築するデータ収集を可能としました。

OIM Analysis 7.1

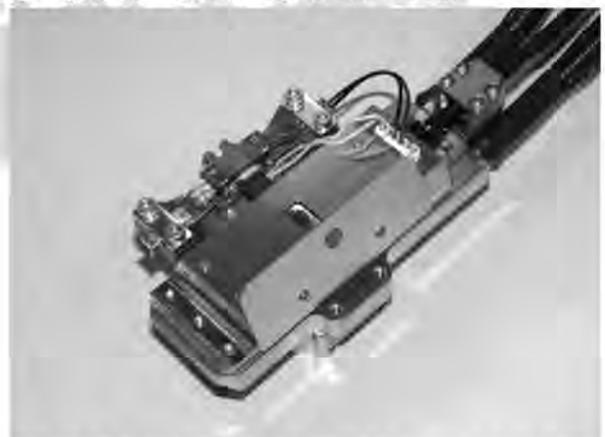
結晶方位差解析やHighlight 機能を中心とした機能強化により、材料のマイクロ組織の解析をこれまで以上に深めることが可能となりました。また、PRIAS法では、組成像、チャンネルリング像そして凹凸像など、これまでの固定された反射電検出器による反射電子像に比べはるかに多くの情報を提供できるようになりました。

In-Situ 実験装置

TSL ソリューションズでは、OIM と組み合わせて使用する、試料加熱装置や試料引張装置、試料曲げ装置などの開発・設計・製造・販売を行っています。試料加熱装置では、初めて安定して試料を1000°Cまで加熱しOIM観察を可能としました。これにより低炭素鋼の α/γ 変態の直接観察も可能となりました。



OIM 用試料引張装置(Max 1500N)



OIM 用試料加熱装置(Max 1100°C)



株式会社 TSL ソリューションズ
252-0131 神奈川県相模原市緑区西橋本5-4-30 SIC2-401
TEL: 042-774-8841, FAX: 042-770-9314
e-mail: info@tsl-japan.com
Homepage: www.tsl-japan.com

～2015年3月18日(火) 東京大学駒場I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60回 日本金属学会賞 贈呈式

(2015年3月18日)



豊田理化学研究所フェロー・名古屋大学名誉教授 森 永 正 彦 君

森永正彦君は、1978年ノースウェスタン大学大学院博士課程修了後、1979年豊橋技術科学大学に講師として奉職し、その後、助教授、教授を経て、1994年名古屋大学教授に就任した。2010年に退職後、岐阜工業高等専門学校客員教授、産学官連携総括コーディネーターを経て、2013年より(公財)豊田理化学研究所の常勤フェローとして研究に専従し、現在に至っている。この間、日本金属学会会長、DV-X α 研究協会会長、日本学術振興会「加工プロセスによる材料新機能発現第176委員会」委員長などを歴任し、材料工学の発展に貢献

した。

主な研究業績の第一は、それまでに積み重ねられてきた実用合金の経験的事実を鳥瞰しつつ、自ら行った膨大な理論計算の結果を整理し、広範な実用合金に適用できる合金設計理論を構築したことである(下記(1))。第二は、物質の化学結合の特徴を構成原子の原子化エネルギーを用いて表現し、材料設計に適用したことである(下記(2))。第三は、電子密度分布に関する物質共通のユニバーサルな関係を発見したことである(下記(3))。

(1) 合金設計理論は、実際の合金のクラスターモデルに対する DV-X α 分子軌道法を用いた正確な電子状態計算に基づくもので、計算から得られた軌道レベルと化学結合次数をパラメータとして用いる。合金設計に用いるパラメータが単一の元素に対するものでなく、電気陰性度やサイズ効果のみならず、周りの化学環境を正確に反映したパラメータになっていて、実際の合金に適用してみると驚くほどよく予測できる。

例えば、遷移金属の三元合金に現れる種々の金属化合物相の析出領域を正確に予測できる。当初この理論はジェットエンジンやガスタービンのブレードに用いられる耐熱ニッケル基超合金の設計に適用された。この超合金は十数種もの合金元素を含むので、その組成を変化させ、物性を制御することは極めて難しい技術であるが、この理論は一番の課題であった超合金の有害脆化相出現の問題を解決した。これは New PHACOMP と呼ばれ、世界に広まっている。

この理論のもう一つの特徴は、軌道レベルと結合次数の二つのパラメータを2次的に用いることによって、材料強度や熱安定性など多くの物性を予測できる点にある。このような特徴を利用して、ニッケル基単結晶超合金以外にも高クロムフェライト系耐熱鋼、生体用チタン合金など実に様々な実用合金に適用し、その設計に有効であることを示した。ゴムメタルも上記の二つのパラメータがある値を示すときのみ現れる。二つのパラメータを2次的に用いる方法は、合金開発のためのロードマップの一つとして普及している。

(2) 物質の化学結合の特徴を構成原子の原子化エネルギーを用いて表現した。すなわち、エネルギー密度解析を用いて全エネルギーを物質中の構成原子に配分し、各構成原子がもつ原子化エネルギーを導出した。このとき、従来の全エネルギー計算のみでは分からなかった「構成原子の顔」が見えるので材料設計に応用できる。

これを水素貯蔵材料として注目されている金属系、無機錯体系、有機系(炭化水素)の水素化物に適用し、多様な化学結合をもつこれら全ての水素化物の化学結合を、定量的に表現できる原子化エネルギー図を完成させた。化学結合に関する新しい知見も得られ、例えば炭化水素(C_mH_n)の凝集エネルギーは、その種類に関係なく組成 m, n のみで表せることを見出した。さらに、マグネシウム水素化物の脱水素化反応(MgH₂→Mg+H₂)を促進させる効果がある金属酸化物の触媒活性を、酸化物イオンの原子化エネルギーを用いて定量的に評価した。

(3) 長年の計算を基に電子密度分布に関する物質共通のユニバーサルな関係を発見した。最近接原子間の電子密度が最小値 ρ_{\min} を取る位置を r_{\min} (原子半径またはイオン半径) と定義し、 $\log(\rho_{\min}/Z^3)$ と $2(Z/n)r_{\min}$ (ただし、 Z : 原子番号, n : 主量子数) を両軸にとりプロットすると、気体・液体・固体を問わず、あらゆる物質が一つの単純な曲線上にのることを見出した。



第16回 日本金属学会学術功労賞 受賞者(3名)

(2015年3月18日)



名城大学理工学部
准教授
赤堀俊和 君



熊本大学先進マグネシウム
国際研究センター
センター長・教授
河村能人 君



九州大学大学院
総合理工学研究院
教授
中島英治 君

第56回 日本金属学会技術賞 受賞者(3名)

(2015年3月18日)



[ホウ素中性子捕獲治療装置(BNCT)中性子発生源 Li ターゲットの高性能化に関する研究開発]

日本原子力研究開発機構研究主幹 石山 新太郎 君

受賞者は、高温ガス炉や核融合炉等の次世代原子力エネルギーシステム研究において原子炉設計、要素機器、材料開発、動力変換機器開発等を進め研究炉、J-PARC(大強度陽子加速器施設)等の大型施設の建設・運用や ITER 計画のみならず先進癌治療研究等極めて広範囲な研究に携わってきたが、本技術賞では癌治療のためのホウ素中性子捕獲療法 BNCT(=Boron Neutron Capture Therapy)実用機ターゲット部の高性能化開発を医療機器メーカーと共同で進め、2014年秋季における臨床実験に供するための BNCT 実用機の開発を果たしたことが評価された。

具体的には、加速器と中性子発生源が直結している BNCT 装置内の Li ターゲット中性子発生源の高出力化に対応した高温安定性を確保するため、*In-situ* 超高真空蒸着/窒素イオン注入法により Li ターゲットを多層化することにより性能確保するとともに、その際の低温窒化合成のメカニズムの解明を行った。



[材料・表面・環境設計を先導する新しい物理解析技術の開発]

JFE スチール㈱スチール研究所部長 名越 正泰 君

受賞者は、鉄鋼メーカーの研究者として、一貫して表面解析や放射光利用を中心とした物理解析技術の開発とその応用研究に従事した。極低加速走査電子顕微鏡(SEM)観察技術など新しい手法を開拓するとともに、高温超伝導材料、高機能鉄鋼材料、および環境物質などインパクトある分野にいち早く適用し、それらの設計と進歩を先導した。原子レベルの構造・結合状態の解明、機能・特性の発現メカニズム解明から、材料設計および商品開発につづく研究成果は、学術的にも工業的にも価値の高いものである。



[民生品・一般産業用新チタン合金群の整備および新チタン薄板製造プロセスの開発]

新日鐵住金㈱鉄鋼研究所部長 藤井 秀樹 君

受賞者は、航空機用チタン合金で多用される V, Mo などの希少金属を排し、Fe, Cu, O, N など安価汎用元素を合金元素として活用した高機能チタン合金を多数開発するとともに、これらの量産技術および利用加工技術を整備し、自動車部品やスポーツ用品などの民生品をはじめとした様々な一般産業用途に適用した。また矩形純チタンスラブを連続的に直接铸造し、表面疵を発生させることなく熱延板コイル製品を製造する技術を開発する研究開発チームを統括し、チタン薄板製品製造プロセスの革新に貢献した。

最優秀賞 1件(8名)

[第3部門] 透過電子顕微鏡部門

[リチウムイオン電池正極材 Li_xFePO_4 の2相分布解析]



東京大学大学院
工学系研究科

中村明穂 君



東京大学大学院
工学系研究科

古月 翔 君



東京大学大学院
工学系研究科
主任研究員

西村真一 君



東京大学大学院
工学系研究科
助教

藤平哲也 君



九州大学大学院
工学系研究科
准教授

佐藤幸生 君



東京大学大学院
工学系研究科
准教授

柴田直哉 君



東京大学大学院
工学系研究科
教授

山田淳夫 君



東京大学大学院
工学系研究科
教授

幾原雄一 君

優秀賞 1件(3名)

[第3部門] 透過電子顕微鏡部門

[Al-Co-Ni 近似結晶の構造と Co, Ni 原子の規則配列]



日本電子株式会社EM事業ユニット

安原 聡 君



東北大学金属材料研究所
准教授

湯蓋邦夫 君



東北大学
名誉教授

平賀賢二 君



九州工業大学工学部技術部技術専門職員 赤島俊二君

受賞者は、九州工業大学に赴任後、工作室に所属し、金属材料のみならず非金属材料の加工までも手がけている。特に、極限環境下で使用する機械、例えば、人工衛星や水中ロボット、3リンクマニピレータなどの製作において金属材料を駆使し、また金属のみならず複合材料などを提案してはじめてこれらの機械の完成を可能としている。九州工業大学工学部工作室は技術部へと改組が行われ、受賞者も技術部機械工作班に所属するようになり、材料の性質や適用範囲についてその重要性をますます認識し、材料加工・製作への実績に供してきた功績は多大なものである。



日鉄住金テクノロジー㈱富津事業所分析環境課 岩館勝美君

受賞者は、40年にわたり鉄鋼製造と研究開発に関わる業務に従事し、特に新日鐵住金㈱技術開発本部においてはTi添加極低炭素鋼や種々の鉄鋼材料の旧オーステナイト粒界などの組織観察のための研磨技能、組織現出手法の考案と改善を行い、鉄鋼材料開発に多大な貢献をした。さらに鉄鋼分野で培った技術と技能を非鉄金属、セラミックス等の各種新材料に応用するなど、当該分野の観察技術についての業績も顕著である。現在もその優れた技術・技能を広く伝承するため、職場を超えて後進の指導・育成に尽力している。



日鉄住金テクノロジー㈱名古屋事業所第一研究試験係 坂本幸也君

受賞者は、入社以来約43年間、薄板を主とする鉄鋼材料の研究開発実験業務を担当し、新しい実験手法の確立や装置の開発・改良などを通じて、数々の高機能鋼板の開発を支援した。すなわち、連続焼鈍シミュレータの温度均一化および冷却能力向上、実験用熱間仕上げ圧延の自動化、ソルトバス防護型サンプル浸漬装置の開発など、様々な分野で創意工夫を重ね、実験技術の向上に寄与することで、高成形性鋼板などの開発に繋げた功績は顕著である。また、人材育成・技能伝承でも多大な貢献を果たした。



新日鐵住金㈱室蘭製鐵所製品技術部班長 佐々木則昭君

受賞者は、新しい製鋼プロセスや新商品開発を目的とした溶解実験、更に新しく開発した鋼材の材料評価試験などに携わり、室蘭製鐵所が特殊鋼棒線生産基地としての基盤を盤石にする時期に、研究開発実験の側面から大きく貢献した。例として、実験炉での低酸素鋼溶製技術を確立し、高纯净度軸受鋼の開発、試作評価に貢献した。また、後進指導育成において、「試験装置の精度確保と管理、試験材の正確な管理、正確で迅速な試験データの提供」を指導方針とし、研究開発部隊の技術力の維持・向上を推進している。



名古屋大学全学技術センター技術専門職員 佐々木康俊君

受賞者は、技術職員として37年の長きにわたり実験・分析装置の維持・管理を通して金属材料の研究遂行に貢献するとともに、若手技術職員への指導にも携わってきた。その間特に、測定結果を効率よく得るための装置の自動化、走査電子顕微鏡内での高温変形とその場観察を行うための装置整備、X線回折装置およびクリープ試験装置におけるデータ取得の効率化を行った。さらに、金属試料の作製から種々の特性測定まで一貫した研究環境の整備を進め、学生の指導にも多大な貢献をしてきており、その功績は顕著である。



信州大学工学部技術部技術専門職員 野村栄治君

受賞者は、機械系専門の技術職員として、学科の研究室の実験研究に携わり、材料の選定・発注及び加工を行い実験装置製作や実験データ解析に従事し、また、機械加工実習や機械設計製図の授業においても学生の指導・サポートを行い、奉職して以来34年間、技術向上を怠ることなく、教員の研究遂行と多くの学生の理解向上に貢献してきた。さらに、若手の技術職員を指導し、機械に関する優秀な後進の育成にも大きく貢献している。



JFE スチール(株)スチール研究所研究企画部主任部員 林 功 君

受賞者は、昭和50年に川崎製鉄(株)(現 JFE スチール(株))に入社以来、厚鋼板、条鋼など幅広い分野の分析・実験業務に従事し、研究・商品開発に大きく貢献した。特筆すべきは、高温高圧水素処理設備において初期導入段階から関わり、その実験手法を確立するとともに長年にわたって安全操業を達成しつつ、鋼材の水素感受性の解明に貴重なデータを提供した。また、ミクロ組織制御の根幹をなすラポ熱間圧延実験手法の確立や金属組織観察のための新しい腐食液の開発など数多くの成果を創出し、その功績は顕著である。



新日鐵住金(株)技術開発本部尼崎研究試験室係長 藤 井 薫 君

受賞者は、入社以来40年間にわたり、自動車用薄鋼板を主体とした鉄鋼製品に関する研究・開発試験業務に従事してきた。その間、焼付硬化性鋼板をはじめとする新製品の開発のみならず、高速引張試験法などの性能評価技術の確立にも大きく貢献した。その過程で研究試験全般の高度化や効率化に積極的に取り組み、数々の独創的かつ先駆的な試験設備を立ち上げ、現在の薄鋼板の研究試験体制の基盤を築いた。さらに、技能伝承へも真摯に取り組み、次世代を担う人材育成に大きく貢献している。



大阪大学大学院工学研究科技術専門員 藤 谷 渉 君

受賞者は、任官以来39年間にわたり金属組織制御技術の研究開発ならびに教育支援を行ってきた。その技術支援は生体材料の開発にもいかされ、新規骨質評価法の開発に学生や教員とともに取り組み、日本金属学会において過去2回の優秀ポスター賞を受賞している。技術支援のみならず研究活動支援にも深く関わり、特に下顎骨の骨質評価や骨系細胞の可視化 3D 構造の解析など学術論文発表にも貢献している。技術部では副工学技術長として管理運営、安全教育さらには後進の指導にも取り組んでいる。



東北大学多元物質科学研究所技術専門職員 嶺 岸 宏 治 君

受賞者は、技術職員として奉職以来40年間、新規計測法や新しい素材創製のための研究・開発に対する技術支援を行ってきた。これまでに試作・開発に携わった装置は、赤外分光用分子線装置、光電子制御プラズマ薄膜成長装置、STM 用大型希釈冷凍機、角度分解型電子エネルギー損失分光装置など、大型装置から微細装置まで多岐に亘る。様々な技術的困難を克服するに当たっては研究内容を理解し、最善の試作・開発を心がけてきた。これらの取り組み姿勢は若い職員にも受け継がれている。

第73回 日本金属学会功績賞 受賞者(8名)

(2015年3月18日)

〔物性部門〕

東京理科大学基礎工学部准教授 田 村 隆 治 君



受賞者は、主に、準結晶合金と正20面体クラスター合金に関する研究に従事し、準結晶の電子状態や表面状態に関する先駆的な研究を行うとともに、正20面体クラスター内の4面体の配向規則化に由来する新しい無拡散型規則不規則相転移を発見し、その機構を解明した。さらに、正20面体スピクラスタ合金において初めて磁気秩序(反強磁性)を発見し、加えて、強磁性・傾角強磁性・リエントラントスピングラスなどの多様な磁気秩序も見出すなど、準結晶関連物質が秘める新現象の解明に多大な貢献をなしてきた。

〔組織部門〕

東京大学大学院工学系研究科准教授 柴 田 直 哉 君



受賞者は、走査型透過電子顕微鏡法(STEM)を用いた材料界面の原子・電子構造解析に従事しており、最近ではSTEMの新たな可能性を拓くことを目指した多分割型検出器の開発にも挑戦してきた。具体的な研究成果としては、①材料界面のドーパント原子直接観察と機能発現メカニズムの解明、②STEMによる軽元素原子カラム直接観察法の開発、③STEMによる原子レベルの電場観察の実現、等が挙げられる。これら一連の研究成果は、当該分野を世界的に先導する革新的研究であり、国内外で高く評価されている。



[組織部門]

横浜国立大学大学院工学研究院教授 廣澤 渉 一 君

受賞者は、アルミニウム合金を対象として、高性能・高機能構造部材を開発するための『微視的組織制御・解析』、『材料特性評価』ならびに『計算材料学による合金設計』に従事してきた。主な功績としては、①超微細粒強化と時効析出強化を並立させる3つの方策の提案、②3次元アトムプローブによるナノ析出組織の解明、③原子間、原子-空孔間相互作用に基づく有用マイクロアロイング元素の選定と熱処理条件の最適化、などが挙げられ、これらの一連の成果は、次世代軽量構造用材料を開発するための有益な指針を与えている。



[力学特性部門]

京都大学大学院工学研究科准教授 岸田 恭輔 君

受賞者は、金属間化合物材料の格子欠陥と力学特性に関する研究に従事してきた。特に、層状組織を有するTiAl基合金の変形機構、Ni₃Al基合金単結晶の冷間圧延、複雑構造を有する各種金属間化合物材料の変形機構等に関する研究において、透過電子顕微鏡法を中心としたナノスケール・キャラクタリゼーション技術を駆使して、数々の優れた成果を挙げている。近年は超高温用金属間化合物基複相材料の開発やマイクロピラー試験法による結晶性材料の力学特性に関する基礎研究にも取り組んでいる。



[材料化学部門]

物質・材料研究機構 MANA 研究者 川喜多 仁 君

受賞者は、電気化学に基づく材料の特性向上や新規材料の作製に従事してきた。主な功績としては、①溶射による金属被覆の腐食挙動の解明と新規被覆手法の開発による防食性能の向上、②酸化物半導体上での光電気化学作用により形成する導電性ポリマーの成長挙動と電子構造の解明、③光化学を用いた導電性ポリマーと金属からなる高導電性材料の創製と微細配線の高速形成、プラスチックとの高密着性の発現が挙げられる。これらの成果は従来技術と比較して優位性や有用性の点で、高い評価を受けている。



[材料プロセッシング部門]

東北大学大学院工学研究科准教授 佐藤 裕 君

受賞者は、各種金属材料の摩擦攪拌接合(FSW)に関する材料組織学的研究にいち早く取り組み、接合中の材料流動や初期酸化皮膜の挙動などを含む接合メカニズムならびに諸特性を大きく支配するマイクロ組織形成機構に関する先駆的な成果を数多く報告してきた。いずれもFSWの材料組織学的解明に寄与するものであり、接合法の学術的進展、接合部の高性能化や信頼性向上に大きく貢献している。最近では、金属基耐熱合金を用いた鉄鋼・チタン合金用FSWツールの開発にも取り組んでいる。



[工業材料部門]

九州大学大学院工学研究院准教授 土山 聡 宏 君

受賞者は、20年余りにわたり鉄鋼材料の組織および機械的性質の研究に従事し、とくに合金鋼の分野において、優れた特性を有する様々な新材料の開発、また材料科学現象の解明に尽力した。例えば、生体に優しく強度特性に優れたNiフリーオーステナイト系ステンレス鋼や、水素環境下での使用を想定した加工誘起マルテンサイトの分布を制御した耐水素脆化性鋼に関しては、窒素を活用した独自の合金設計、組織制御指針を提案し、工業的なプロセスの観点からも、産業界と連携して顕著な功績を残した。



[工業技術部門]

新日鉄住金マテリアルズ㈱技術総括部部长 田中 将 元 君

受賞者は、耐落下衝撃特性に優れた低Ag系微量Ni添加鉛フリーはんだボールLF35を開発した。高機能携帯電話やモバイルデジタル機器等における電子デバイスでは、はんだボール接続のBGAやCSPパッケージが使用されている。当該はんだボール接続では、従来の標準はんだ組成である3.0Ag系や4.0Ag系等では、耐落下衝撃特性が低く信頼性に課題があった。従来はんだ組成より倍以上耐落下特性に優れた鉛フリーはんだボールを開発に取り組み、LF35はんだボール製品並びにマイクロボール製造プロセス開発に成功した。同LF35はんだボールはモバイル機器におけるはんだボールとしてデファクト化され、広く世界中で使用されている。



[高温セラミック材料の粒界原子構造と特性]

東京大学大学院工学系研究科教授 幾原 雄一 君

受賞者は、最先端(走査)透過電子顕微鏡法を駆使して、高温セラミック材料の粒界および転位の原子・電子構造を明らかにするとともに、粒界・転位の構造を制御した新しい構造材料の設計を行った。本研究により、これまで不明であった高温セラミック材料の特性が原子・電子レベルで解明され、これに基づく新たな材料設計指針を提唱している。さらに、これより得られた知見を基に、種々の構造・機能材料における粒界・転位と材料物性との相関性を定量的に明らかにしつつ、粒界・転位工学の体系化を進めている。



[原子力用耐熱鋼の開発と照射影響評価に関する研究]

京都大学エネルギー理工学研究所教授・副所長 木村 晃彦 君

受賞者は、原子力用耐熱鋼の開発や照射影響に関する基礎・応用研究をマルチスケール評価の視点から実施し、優れた業績をあげている。Al添加型フェライト系 ODS 鋼の開発では、高温強度特性の飛躍的な向上を実現させ、ナノ酸化粒子や微細結晶粒などによる高性能化の機構を明らかにした。ODS 鋼の耐照射性発現機構を提案するなど、原子力用耐熱鋼の照射下挙動に関する多くの基礎的知見を見出している。これらの業績は国際的にも広く認知され、当該分野における耐熱鋼開発研究の先駆的役割を果たしている。



[異種材料接合から展開した固体融合研究および励起反応場でのナノ構造創成]

東北大学多元物質科学研究所教授 田中 俊一郎 君

受賞者は、異種材料特に金属・セラミックスの高強度・高信頼性接合技術開発に取組み「田中固体融合プロジェクト」では界面原子反応を直視して接合素過程を解明し、接合界面局所の残留応力分布実測値と機械的・電子的特性を相関付けた。準安定酸化物への集束電子線照射では、常温付近で金属ナノ粒子生成とその回転・融合・埋込などの操作を可能にした。更には keV 級 Ar イオン照射が金属ナノ・マイクロ構造体を堆積成長させ特異光学機能を発現することも示し、「励起反応場」という新規概念を提唱するなど卓越した研究業績を上げた。



[金属の相変態/析出/再結晶による組織形成と結晶学に関する研究]

東北大学金属材料研究所教授 古原 忠君 君

受賞者は、金属の相変態、析出、再結晶における微細組織形成の基礎的解明と熱処理による高強度化原理の確立に関する研究を一貫して行ってきた。特に、相変態・析出における界面現象、不均一核生成の結晶学に基づく組織微細化、変形/回復/再結晶を利用した高強度-高延性化および超塑性特性の向上、ナノ粒子分散制御による鉄鋼のバルクおよび表面の高強度化など、幅広い領域に於いて顕著な業績を上げ、分野の発展に貢献した。



第21回 日本金属学会増本量賞 受賞者(2名)

(2015年3月18日)



[永久磁石材料の高性能化・高機能化に関する研究]

東北大学大学院工学研究科教授 杉本 諭君

受賞者は、これまでに未分離混合希土類-Fe-B系磁石の開発、磁界中2段時効処理と再結晶集合組織によるFe-Cr-Co系磁石の高性能化、HDDR現象による高性能希土類-Fe系磁石粉末の作製などを行ってきた。最近ではNd-Fe-B系磁石の省Dy技術の開発や新規磁石材料探索にも従事している。一方でフェライト磁石、希土類-鉄系化合物を用いて新しいGHz帯域電磁波吸収体も開発している。これらの永久磁石の高性能化に関する業績は、学術・産業界の進展に大きく貢献している。



[高性能非平衡相軟磁性合金の創製とその実用化に関する研究]

東北大学金属材料研究所新素材共同研究開発センター教授 牧野 彰宏君

受賞者は、企業の研究部門及び大学に在籍した約35年間、一貫して高い磁束密度と優れた軟磁気特性の両立という軟磁性材料開発における根源的な課題に挑戦し続け、種々の新軟磁性材料の発見、発明を達成し貴重な研究業績を挙げた。磁気ヘッド用Co基アモルファス合金および高い磁束密度と高いアモルファス形成能を兼備したFe-半金属バルクアモルファス合金、並びに高い磁束密度と優れた軟磁気特性を兼備したナノ結晶FeMB(B=遷移金属)およびFe-半金属-Cu(NANOMET[®])などの新材料の開発及び実用化、工業化を推進し、軟磁性材料分野の学理および技術の進歩発展に大きく貢献した。

第22回 日本金属学会若手講演論文賞 受賞者(3名)

(2015年3月18日)



[Mn-Bi-Sb 3元系状態図の熱力学的解析] (日本金属学会誌78巻9号)

日産自動車㈱ ○上 満 愛 美 君

東北大学多元物質科学研究所 榎 木 勝 徳 君

九州工業大学大学院生命体工学研究科 飯久保 智 君

東北大学多元物質科学研究所教授 大 谷 博 司 君



[種々のマグネシウム合金におけるAEによるき裂進展検出と破壊じん性評価]

(日本金属学会誌78巻10号)

東京大学大学院工学系研究科 ○武 藤 有 輝 君

東京大学大学院工学系研究科 松 元 光 輔 君

東京大学大学院工学系研究科 白 岩 隆 行 君

東京大学大学院工学系研究科教授 榎 学 君



[1173 KにおけるNa₂O-B₂O₃系溶融塩のFe₂O₃, Cr₂O₃溶解度測定] (日本金属学会誌78巻10号)

新日鐵住金㈱技術開発本部先端技術研究所 ○土 岐 隆太郎 君

新日鐵住金㈱技術開発本部先端技術研究所主幹研究員 土 井 教 史 君

日鐵住金テクノロジー㈱尼崎事業所参与 大 塚 伸 夫 君

第 2 回 日本金属学会特別功労賞 受賞者(1名)

(2015年3月18日)



日本金属学会
事務局長
梶原 義雅 君

日本金属学会名誉員 推戴者(2名)

(2015年3月18日)



インターメタリックス㈱

最高技術顧問
佐川 眞人 君



Emeritus Professor,
Research Centre
Jülich/RWTH
Aachen University
Knut Wolf URBAN 君





フェーズフィールド法による立方晶-正方晶変態における単一バリエーション化要件の探索

九州大学 赤嶺大志君,
Sahar FARJAMI 君, 坂口英継君,
西田 稔君



巨大ひずみ加工した金属ガラスの小角散乱を用いた不均一構造解析

豊橋技術科学大学 足立 望君, 戸高義一君, 北海道大学 大沼正人君,
京都大学 大場洋次郎君, Paul Scherrer Institut Joachim Kohlbrecher 君,
豊橋技術科学大学 川西良典君, 山本康次郎君, 梅本 実君, 東北大学 横山嘉彦君



第四元素添加による NbSi₂/MoSi₂ 複相シリサイドの高温クリープ挙動変化

大阪大学 荒木晴香君, 池西貴昭君,
萩原幸司君, 中野貴由君



異なる MgO バッファー層上に作製した FePt 薄膜の構造と磁気特性

東北学院大学 岩間弘樹君, 伊東 優君,
土井正晶君, 嶋 敏之君



第2世代 Ni 基単結晶超合金 PWA1484 の高温特性への硫黄の影響と CaO ルツボ脱硫による特性回復

早稲田大学 宇多田悟志君, 物質・材料研究機構 大澤真人君, 横川忠晴君, 早稲田大学 城 裕一郎君, 物質・材料研究機構 小林敏治君, 川岸京子君, 早稲田大学 鈴木進補君, 物質・材料研究機構 原田広史君



Nano-plastic deformation on Ti-39 at.% Al single crystals for manipulating the precipitation of γ lamellae

東北大学 魏 代修君, 小泉雄一郎君,
千葉晶彦君, 山形大学 西山宏昭君, 東京農工大学 山中晃徳君, 東京工業大学 吉野雅彦君



Pd-Co 被覆 Cu 粉末を用いた磁気応答型水素ガスセンサの特性評価

富山大学 金 麗君, 西村克彦君,
赤丸悟士君, 原 正憲君, 阿部孝之君,
松山政夫君



Li 電析における金属霧の発生および抑制条件の研究

関西大学 小磯尚大君, 秦 俊貴君,
森重大樹君, 竹中俊英君



TiNi の自己調整組織における Kinematic Compatibility の格子定数依存性

東京工業大学 齋藤圭介君, 加藤潤一君,
田原正樹君, 細田秀樹君, 稲呂朋也君



高強度第1世代 Ni 基単結晶超合金 TMS-1700 の耐酸化性に及ぼす硫黄の影響

早稲田大学 城 裕一郎君, 物質・材料研究機構 大澤真人君, 小林敏治君, 横川忠晴君, 川岸京子君, 早稲田大学 宇多田悟志君, 鈴木進補君, 物質・材料研究機構 原田広史君



Mg-Y 希薄合金のエリクセン試験による組織変化観察

東北大学 鈴木 哲君, 安藤大輔君,
小川由希子君, 物質・材料研究機構 染川英俊君, 東北大学 須藤祐司君, 小池淳一君



Di を用いた Nd-Fe-B 系 HDDR 磁石粉末の磁気特性と微細組織

九州大学 滝沢里奈君, 板倉 賢君,
西田 稔君, 戸田工業 片山信宏君, 森本耕一郎君



調和組織の変形初期における転位密度と加工硬化の結晶塑性解析

旭川工業高等専門学校 田丸直也君,
河野義樹君, 北見工業大学 大橋鉄也君



Goss 方位を有する Ti-Mo-Al-Zr 合金におけるヤング率の圧延面内異方性
 東京工業大学 **成田大樹君**, 田原正樹君, 稲邑朋也君, 細田秀樹君, 筑波大学 宮崎修一君



ベーキングおよび水素化による水素透過バナジウム膜の表面酸化被膜の構造変化
 鈴鹿工業高等専門学校 **松下和樹君**, 南部智憲君



PLD 法で作製した Nd-Fe-B 系ナノコンポジット厚膜磁石の微細構造観察
 九州大学 **福田淳也君**, 板倉 賢君, 西田 稔君, 長崎大学 中野正基君, 福永博俊君



Mg-Zn-Y 系 18R-LPSO 単相単結晶における曲げ変形とキンク帯形成
 熊本大学 **松本 翼君**, 山崎倫昭君, 大阪大学 萩原幸司君, 熊本大学 河村能人君



Al₂O₃ の炭素熱還元法における反応温度及び反応時間の影響
 東北大学 **藤原圭吾君**, 大塚 誠君, 福山博之君



傾角鋳造法によって作製した Mosibitic 合金高温強度に及ぼすマイクロ組織の影響
 東北大学 **山本詩歩君**, 吉見享祐君, 金 正旭君



高圧スライド加工(HPS)で結晶粒超微細化した AA2024 合金の高強度化と超塑性
 九州大学 **増田高大君**, 藤光利茂君, 瀧沢陽一君, 堀田善治君

優秀ポスター賞 The Japan Institute of Metals and Materials The Best Poster Award ;
 ポスターセッション発表者を対象に, 優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する. 本賞の贈呈は各大学, 高専に委託し, これを行う.



～ おめでとうございます. ～



第23回 日本金属学会・日本鉄鋼協会 奨学賞 受賞者 47名

(2015年3月)



北海道大学工学部
応用理工系学科
秋谷 俊太 君



北海道大学工学部
応用理工系学科
宮川 太志 君



室蘭工業大学工学部
機械航空創造系学科
生方 幸政 君



岩手大学工学部
マテリアル工学科
中里 友香 君



秋田大学工学部
資源学部
材料工学科
金谷 峻介 君



東北大学工学部
材料科学総合学科
明田川 真由 君



東北大学工学部
材料科学総合学科
浅野 真仁 君



東北大学工学部
材料科学総合学科
木村 勇希 君



東北大学工学部
材料科学総合学科
渡辺 将仁 君



茨城大学工学部
マテリアル工学科
鬼澤 和久 君



筑波大学理工学群
応用理工学類
岡部 史弥 君



東京大学工学部
マテリアル工学科
榑原 教貴 君



東京大学工学部
マテリアル工学科
テイヤラットウワノ 君



東京工業大学工学部
金属工学科
鳴原 優一 君



東京工業大学工学部
金属工学科
杉山 智美 君



横浜国立大学理工学部
機械工学・材料系学科
木内 和成 君



長岡技術科学大学工学部
機械創造工学課程
安嶋 龍太 君



富山大学工学部
材料機能工学科
加古 博紀 君



豊橋技術科学大学工学部
機械工学課程
堀井 基弘 君



名古屋大学工学部
物理工学科
西中 一貴 君



名古屋大学工学部
物理工学科
吉田 直矢 君



名古屋工業大学工学部
環境材料工学科
河端 佑太 君



京都大学工学部
物理工学科
北村 裕樹 君



京都大学工学部
物理工学科
松儀 亮太 君



大阪大学工学部
応用理工学類
稲垣 雄平 君



大阪大学工学部
応用理工学類
横山 貴俊 君



鳥根大学総合理工学部
物質科学科
樋口 進哉 君



香川大学工学部
材料創造工学科
井上 清貴 君



愛媛大学工学部
機能材料工学科
呉 紹華 君



九州大学工学部
物質科学工学科
浅野 道春 君



九州大学工学部
物質科学工学科
橋本 翔太郎 君



九州大学工学部
マテリアル工学科
平川 翔太 君



長崎大学工学部
化学・物質工学コース
柴田 龍之介 君



熊本大学工学部
マテリアル工学科
福倉 慎哉 君



大阪府立大学工学部
マテリアル工学科
上野 陽平 君



兵庫県立大学工学部
応用物質科学科
向井 勇太 君



千葉工業大学工学部
機械サイエンス学科
西村 大 君



東京理科大学基礎工学部
材料工学科
石田 智美 君



芝浦工業大学工学部
材料工学科
谷中 勇一 君



東海大学工学部
材料科学科
宮下 琢磨 君



金沢工業大学工学部
機械工学科
佐塚 司 君



関西大学化学生命工学部
化学・物質工学科
五十嵐 聖士郎 君



近畿大学理工学部
電気電子工学科
和田 侑己 君



福井工業大学工学部
機械工学科
河合 健汰 君



石巻専修大学理工学部
情報電子工学科
加藤 圭一 君



鹿児島大学工学部
機械工学科
橋本 裕貴 君



群馬大学工学部
機械システム工学科
森田 知朗 君

[第3部門] リチウムイオン電池正極材 Li_xFePO_4 の2相分布解析

東京大学大学院工学系研究科 中村 明穂君 古月 翔君 西村 真一君 藤平 哲也君
佐藤 幸生君(現九州大学) 柴田 直哉君 山田 淳夫君 幾原 雄一君

リチウムイオン電池(Lithium Ion Battery: LIB)に使用される電極材の多くは2相共存反応を示すことが知られており、異なるLi組成領域を隔てる相境界の粒内移動によって充放電反応が進行する。電極材設計の観点から、各電極粒子内部における相境界分布、および詳細な境界構造の決定は、電池特性の最適化に向けた非常に重要な課題となっている。本研究では2相共存反応を示す代表的なLIB正極材である Li_xFePO_4 ($0 < x < 1$)⁽¹⁾ について、粒子～原子分解能スケールにわたる粒内相分布の実空間解析を行った結果を示す。固相反応法により LiFePO_4 粉末を合成し、酸化剤を用いた部分的Li脱離によって各粒子内部に異相境界を導入した。樹脂包埋法によるTEM試料化の後、日本電子製のJEM-2010HC、及び C_s -corrector/Cold-FEGを搭載したJEM-ARM200Fを用いた観察を行った。

図1(a)に、部分的Li脱離後の粒子の低倍TEM明視野像を示す。電子回折による解析結果と合わせ、欠陥を含まない粒子内部はLi-rich相($\text{Li}_{1-\beta}\text{FePO}_4$)、多数のクラックを含む外殻部はLi-poor相($\text{Li}_\alpha\text{FePO}_4$)であると同定された⁽²⁾。本系における1次元的なLi拡散⁽³⁾、及び2相間の巨大な異方的格子不整合⁽⁴⁾が、このような特徴的な相分布・クラック導入の主因であると考えられる。相境界面のより正確な位置を決定するため、クラック終端部近傍の高角環状暗視野(HAADF)STEM像(図1(b))に対しGeometrical Phase Analysis(GPA)⁽⁵⁾を適用した。結果を相対格子定数マップ(a 軸方向)として図1(c)に示す。Li-poor相(shell領域)における格子の収縮により、HAADF像中では不明瞭である異相境界位置を容易に可視化することができる。さらに図2(a)-(d)には、両バルク相の[001] HAADF像、及び同時取得した環状明視野(ABF)STEM像を示す。軽元素敏感なABF-STEM法を用いることにより、HAADFではコントラスト差として現れないLi原子列の有無(図2(e))を明瞭に判別することができる。この結果より、原子分解能においても局所的な構造・組成の同時解析が可能であることが示唆される。電子エネルギー損失分光法(EELS)・STEM像計算等との併用により、局所Li組成の定量的な導出、並びに異相境界部におけるLi組成勾配解析も可能であると考えられる。

文 献

- (1) R. Malik *et al.*: J. Electrochem. Soc., **160**(2013), A3179-A3197.
- (2) A. Nakamura *et al.*: Chem. Mater., **26**(2014), 6178-6184.
- (3) S. Nishimura *et al.*: Nat. Mater., **7**(2008), 707-711.
- (4) A. S. Andersson *et al.*: Solid State Ionics, **130**(2000), 41-52.
- (5) M. J. Hytch *et al.*: Ultramicroscopy, **74**(1998), 131-146.
- (6) S. D. Findlay *et al.*: Appl. Phys. Lett., **95**(2009), 191913.

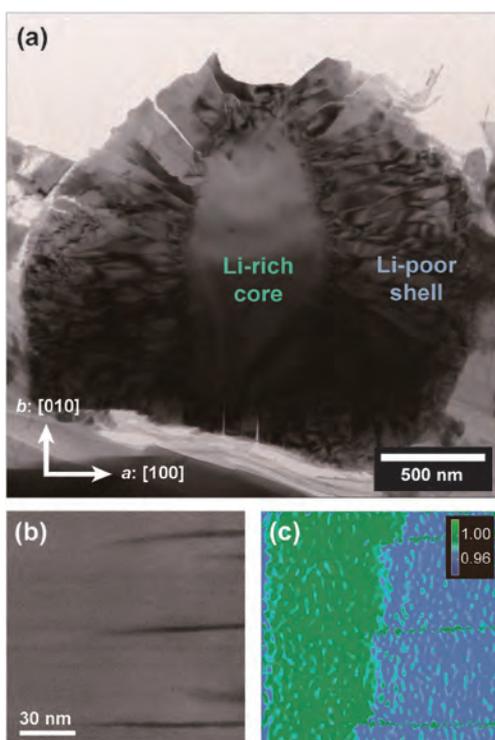


図1 (a) Li_xFePO_4 粒子の底倍明視野像。
(b) クラック終端部近傍のHAADF STEM像。
(c) GPAから得られた相対格子定数マップ。
(a軸方向、粒子内部基準(緑色))

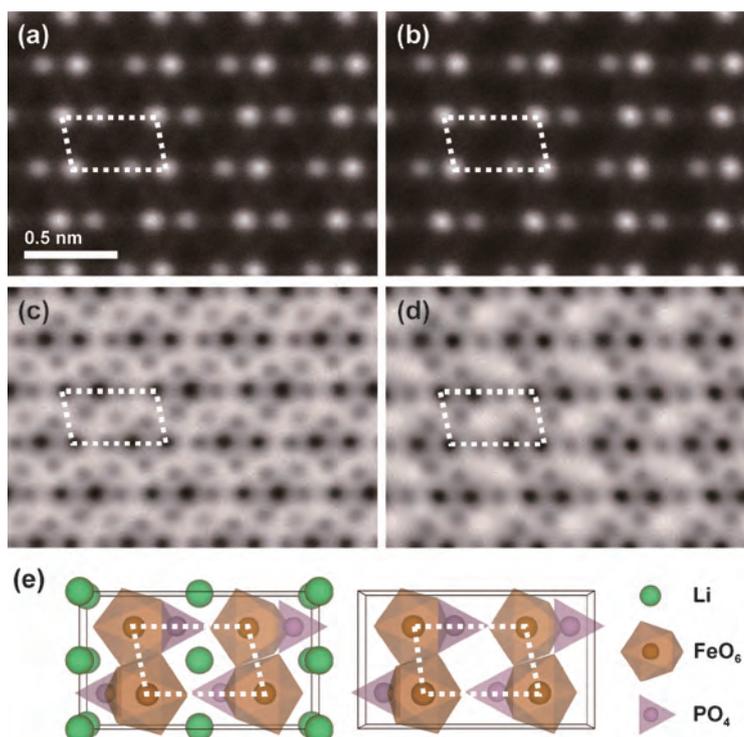


図2 core領域(a),(c)及びshell領域(b),(d)における[001]HAADF/ABF STEM像。(e) Li-rich(left)/Li-poor(right)相の結晶構造模式図。

[第3部門] Al-Co-Ni 近似結晶の構造と Co, Ni 原子の規則配列

日本電子㈱EM事業ユニット 安原 聡君 東北大学金属材料研究所 湯蓋 邦夫君 東北大学名誉教授 平賀 賢二君

序論：広い Co/Ni 組成比領域の Al-Co-Ni 合金に構造の異なる 6 種類の 2 次元準結晶が発見されて以来、Co と Ni 原子の規則配列がそれらの構造の安定性に重要な役割を担っていると考えられてきた。しかし、原子番号の隣同士の Co と Ni 原子の区別は難しく、解けない課題として残ってきた。本研究は、Al-Co-Ni 2 次元準結晶に密接に関連した近似結晶に対して、収差補正電子顕微鏡による high-angle annular detector dark-field (HAADF)-scanning transmission electron microscopy (STEM) と annular bright-field (ABF)-STEM 観察から Al と遷移金属(TM)原子および Al と TM 原子の mixed site (MS)の配列の決定と、energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) を用いてとられた原子分解能の元素マッピングから、Co と Ni 原子の規則配列を明らかにしたものである⁽¹⁾。

実験方法：900°Cで120時間の熱処理後に水焼き入れた Al_{71.5}Co₁₆Ni_{12.5} 合金を用いた。粉碎法で作られた粉末試料を、マイクログリッド上に分散し、観察試料とした。HAADF-STEM と ABF-STEM 像は収差補正電子顕微鏡(JEM-ARM200F)を用いて b-軸入射で撮影された。元素マッピングは、同電子顕微鏡に装備した EDS で行われた。EDS データをとる毎に試料移動(電子顕微鏡のモニターの正確な位置に結晶の単位胞を持ってくるように)してとられた、フレッシュな領域からの60個のデータを積分することによって、原子分解能 EDS 元素マッピングを得た。

結果：図 1 (a)と図 2 (a)に、b-軸入射で撮られた ABF-STEM と HAADF-STEM 像(フィルタリング像)を示した。b-軸方向に A と B 原子面の積層構造をとる近似結晶の TM 原子と MS の配列は、HAADF 像(図 2(a))の輝点の配列から導かれた(図 3 ((a)と(b)は A, B 面の配列))。また、Al を含む原子配列は、ABF 像(図 1(a))の黒点の配列から直接的に導かれた(図 1(b))。図 2(b, c)の EDS 元素マッピングとそれらの重ね合わせ像(図 2(d))から、5 角形タイリングの格子点に Co 原子が、特別な方位(図 3(a)の上向き, (b)の下向き)をとる 5 角形タイリング内に存在する 5 角形配列の MS に Ni が存在する、規則配列をとっていることが明らかになった(図 3)。

文献

- (1) A. Yasuhara, K. Yubuta and K. Hiraga: Philos. Mag. Lett., 94(2014), 539-547.

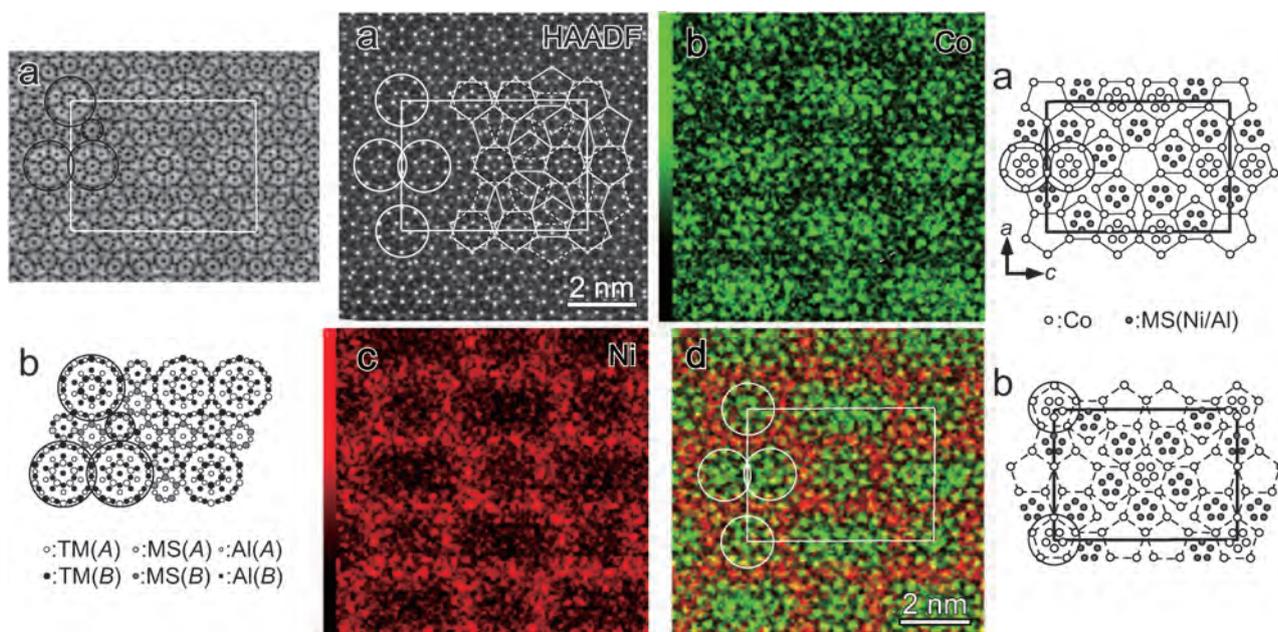


図 1

図 2

図 3

[第1部門] 二相ステンレス鋼の σ 相析出と、それによるフェライト相の優先的腐食

富山大学(院)理工(現 日本冶金工業株) 江尻健人君 富山大学(院)理工 畠山賢彦君 砂田 聡君
大平洋製鋼株式会社 平林純一君 松岡 聡君 山本有一君

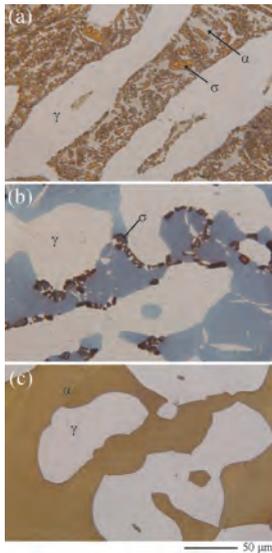


図1 1.5時間の等温焼鈍後の金相写真。
(a) : 900°C (b) : 1000°C (c) : 1100°C

σ 相析出による二相ステンレス鋼の耐食性劣化は良く知られているが、その機構については不明な点が多い。本研究では、 σ 相の析出条件を変えるため、焼鈍温度900, 1000, 1100°Cで1.5時間等時焼鈍後、水焼き入れた3つの二相ステンレス鋼F55を試料とし、バフ研磨・エッチングを施した後、光学顕微鏡で観察した(図1)。また、 σ 相析出した場合の腐食断面観察のために900°C焼鈍試料を2.0 M NaCl溶液中で0.6 Vに保持し、250 C/cm²の腐食後、顕微鏡観察した結果、腐食表面には σ 相が残留し、フェライト相の優先腐食が起こることを明瞭に可視化した。次いで図3の腐食前後におけるXRD測定結果からもフェライト相の優先腐食を確認した。

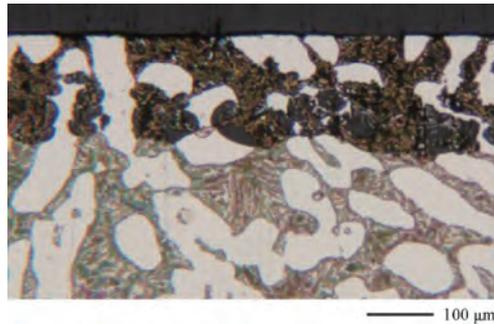


図2 900°C焼鈍試料の0.6 Vにおける定電位保持試験。(250 C/cm²)後の腐食断面

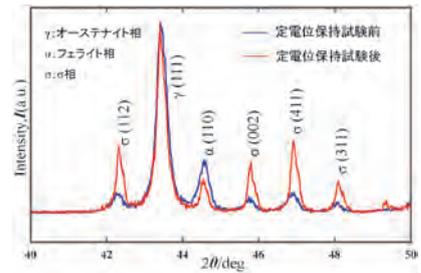


図3 900°C焼鈍試料の定電位保持試験前と後のXRDスペクトルを $\gamma(111)$ で規格化し比較。

[第2部門] {100}面においてへき開の生じたフェライト鋼の結晶粒

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 柴沼一樹君

フェライト鋼のへき開面は{100}面に形成されることが知られているが、本作品は脆性亀裂伝播破面上に存在した一結晶粒内の3通りの{100}面全てにおいてへき開が形成された現象を撮影した走査型電子顕微鏡写真である。この現象が生じるためには、破面上に存在する1個の結晶粒が、(1)亀裂面と3通りの{100}面がなす角がすべて $\cos(1/\sqrt{3})$ に極めて近い、(2)亀裂伝播方向に対して対称性を有する、という幾何学的条件を満足する必要がある。さらに、力学的なへき開面の形成条件を考えると、このようなことが起こる可能性は極めて低く、通常は観察されることのない極めて貴重な写真である。

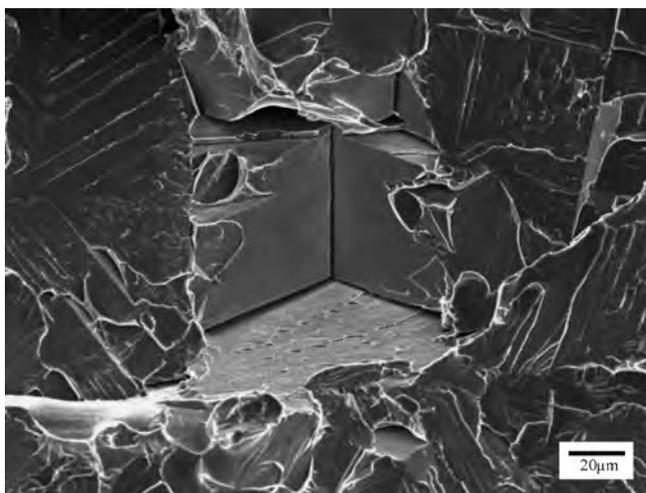


図1 {100}面においてへき開の生じたフェライト鋼の結晶粒(図3 A部拡大).

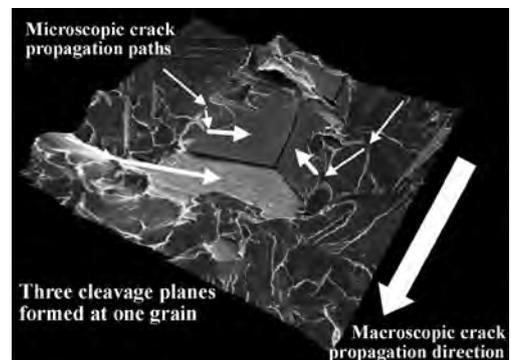


図2 3D計測と微視的亀裂伝播方向。

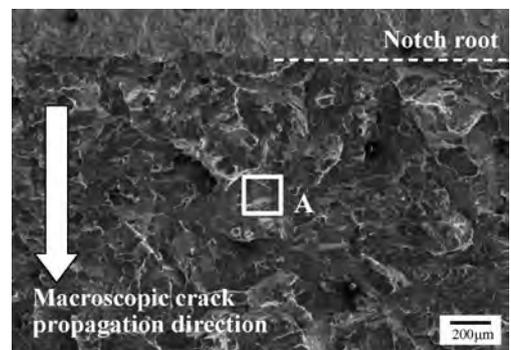


図3 観察位置と巨視的亀裂伝播方向。

[第2部門] サブミクロングリッドを用いた二次元的粒界迂り及び付随現象の局所観察

東京大学大学院工学系研究科 増田 紘 士 君 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 戸部 裕 史 君 佐藤 英 一 君
株式会社コベルコ科研 杉野 義 都 君 北海道大学大学院工学研究院 鶴 飼 重 治 君

超塑性変形は、粒界迂りと局所的な応力集中を緩和するミクロな付随現象により進行すると予想されている。著者らは、伸長した柱状粒組織から成る15Cr-ODS (Oxide-Dispersion-Strengthened) フェライト鋼(Figure 1)を、粒の伸長方向と垂直に引っ張ることで、ミクロ組織レベルで二次元的な粒界迂りを発生させ、FIB (Focused Ion Beam)により粒界三重点近傍に作製したサブミクロングリッドの変形をFE-SEMにより観察した(Figure 2-4)。本観察は、超塑性条件の中でも高速変形側の、転位を伴う粒界迂りが支配的な条件⁽¹⁾にて行った。Figure 3より、変形は不均一で粒界近傍に限定されていることがわかる。Figure 4に示す変形前後のメッシュの比較から、粒内(i)ではほぼ変形が見られないが、粒界近傍(ii)及び三重点近傍(iii)では粒界迂りにより生じる応力集中に対応した塑性変形が観察され、(ii)ではそれに加えて体積収縮が見られる。塑性変形は転位の迂り運動、体積収縮は拡散による物質移動にそれぞれ対応する。従って、超塑性変形中の粒界迂りに伴うミクロな付随現象として、粒界近傍における転位運動と拡散が重畳的に寄与していることが明らかとなった。

文 献

(1) H. Masuda, S. Taniguchi, E. Sato, Y. Sugino and S. Ukai: Mater. Trans., 55(2014), 1599-1605.

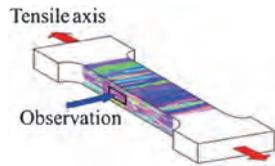


Figure 1 Schematic of a tensile specimen.

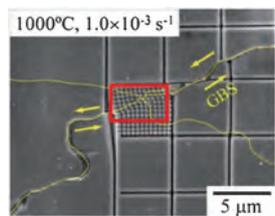


Figure 2 SEI after deformation.

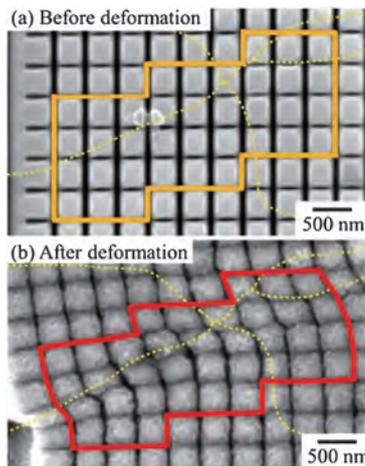


Figure 3 Magnified views of the rectangle in Fig. 2 (a) before and (b) after deformation.

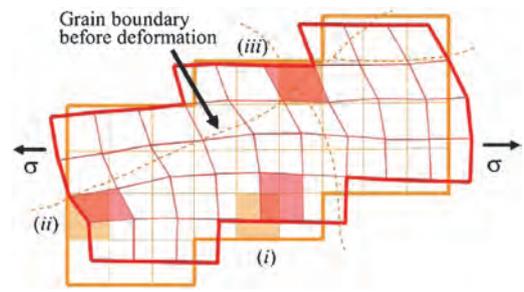


Figure 4 Redrawn meshes before (orange) and after (red) deformation in Figs. 3a and 3b.

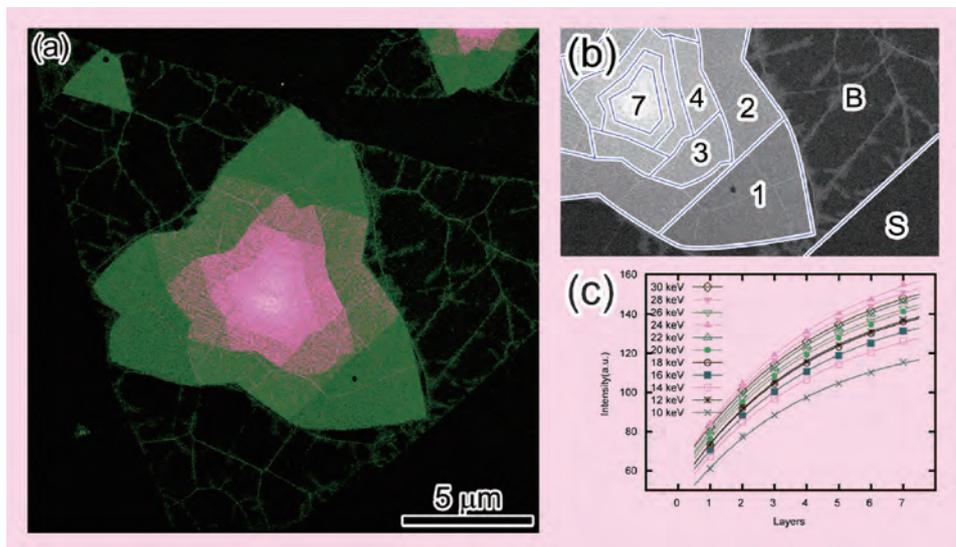
[第4部門] BN フラワーの He イオン顕微鏡像

物質・材料研究機構 先端の共通技術部門 極限計測ユニット 増田 秀 樹 君 Guo Hongxuan 君(現NIST) 藤田 大 介 君

2次元材料の合成と応用のためには構造と物理的特性の評価が重要である。本研究では、h-BN ナノシートの層数と形態を、走査型 He イオン顕微鏡を用いて評価した。ナノシートは、B および N をドーブした Fe-Cr-Ni 合金基板を超高真空中で1000°Cに加熱・保持後、室温に冷却して作製した。構造は、Everhart-Thornley 検出器で取得した2次電子強度により評価した。図(a)に基板表面に析出したh-BN ナノシートの2次電子像を示す。h-BN ナノシートには3回対称の自己相似形が現れ、花型の外形を持っている。周囲の薄い網目状の輪郭を持っている部分はナノシート析出の中間層であり、さらにその周りの黒い領域は基板である。図(b)には、2次電子強度から判別した層数分布を示す。異なるエネルギーの He イオンビームを用いて観察することで、2次電子強度のh-BN ナノシート厚み依存性を解析した(図(c))。照射した He イオンと h-BN ナノシートの相互作用を考慮して、2次電子強度は h-BN 層数に指数関数的な相関をもつことが推測された。このときの減衰因子を用いて、ナノシート中の2次電子の非弾性平均自由行程を計算できる⁽¹⁾。この値は He イオン加速電圧10-30 kVの範囲で変化が小さく、いずれの条件でも高い表面感度を示している。

文 献

(1) H. Guo, et al.: Appl. Phys. Lett., 104(2014), 031607.



第65回金属組織写真賞応募作品選評

本年度の応募は、1. 光学顕微鏡部門3件、2. 走査電子顕微鏡部門9件、3. 透過電子顕微鏡部門4件、4. 顕微鏡関連部門4件、合計20件であった。

選考は例年のように2段審査方式とした。その結果、優秀賞2件(第1部門、第4部門該当なし、第2、3部門各1件)と奨励賞4件(第1部門1件、第2部門2件、第4部門1件)が選出され、更に第3部門の優秀賞1件は、特に優れた作品として最優秀賞に選ばれた。

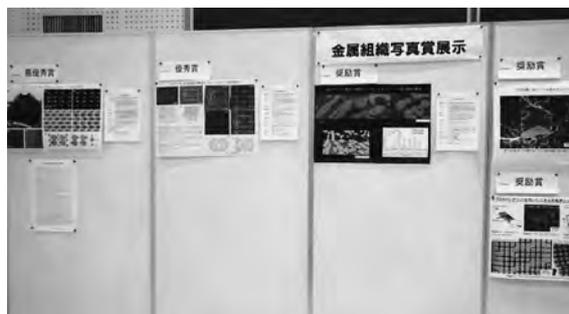
最優秀賞作品の「リチウムイオン電池正極材 Li_xFePO_4 の2相分布解析」は、充放電中に2相分離反応を示すリチウムイオン電池材料において、その粒子内での2相分離挙動を、精密に準備された平坦な粉末薄片試料を使用し、原子分解能 HAADF-STEM 像を得て、その GPA 解析から相境界の存在、そして相分布について示した。さらに、得られた ABF-STEM 像とその計算像から Li 原子列の存在箇所および各相での Li 濃度の定量化の可能性を示しており、学術的価値が高いと評価された。

優秀賞の「Al-Co-Ni 近似結晶の構造と Co, Ni 原子の規則配列」は、Co-Ni 近似結晶内の Co と Ni 原子を、収差補正電子顕微鏡に装備したエネルギー分散型 X 線分光分析法 (EDS) を用いて、Al-区別して写し出した。コンタミネーションを避けるために、EDS データを取り込む毎に試料移動を行い、電子顕微鏡のモニターの正確な位置に結晶の単位胞を持ってくるという精密な方法を導入して60個のデータを積分することによって、原子分解能 EDS マッピングを得たもので、その技術価値は大きい。

奨励賞4作品のうち第1部門の「二相ステンレス鋼の σ 相析出と、それによるフェライト相の優先的腐食」は、エッチング条件を工夫して、 σ 相を含む各相が識別可能な試料を作製して、電気化学的な腐食試験を行い、腐食表面に残留した σ 相と一部のフェライト相の関係から、フェライト相の優先腐食が起こることを明瞭に可視化した。第2部門の「{100}面においてへき開の生じたフェライト鋼の結晶粒」は、熱間圧延を制御して粗大な結晶粒を有するフェライト・パーライト鋼を作製し、その後、焼ならしによってパーライト中のセメントサイトを粒状化した鉄鋼材料を、液体窒素環境下で破壊試験して、2面以上のフェライトのへき開面が{100}面上に形成していることを同一視野に収めた貴重な走査電子顕微鏡像であり、その資料的価値は極めて高い。同じく第2部門の「サブミクロングリッドを用いた二次元的粒界迂り及び付随現象の局所観察」は、メカニカルアロイングで作製した ODS フェライト鋼を伸長した結晶粒を有する再結晶組織を用いて、その試料表面に集束イオンビーム (FIB) を用いて幅 0.4 μm のサブミクロングリッドを描き、引張試験での二次元的な粒界迂り挙動の可視化および結晶粒内、粒界近傍、粒界三重点での変形量の算出に成功した。第4部門の「BN フラワーの He イオン顕微鏡像」は、B および N をドーピングした Fe-Cr-Ni 合金基板を超高真空中で 1000°C に保持後室温に冷却することで、その表面に析出した六方晶 h-BN シートを獲得し、走査型ヘリウムイオン顕微鏡による二次電子像観察によって7層の積層膜であることを確認することに成功した。

今回もいずれの作品も力作ぞろいであり、選に漏れた作品の中にも、学術的に高い価値の作品も含まれており、賞の選定には苦勞した。なお、和文誌や欧文誌に優れた組織写真が掲載されているケースも多数見受けられるので、編集委員会からの推薦などの方法も取り入れ、応募作品の裾野を広げていく努力が必要である。

金属組織写真賞委員会委員長 松田健二(富山大学)



日本金属学会金属組織写真賞展示会風景(2015年3月18日~20日展示)。
次回も多くのご応募をお待ちしております。



◇日本金属学会各賞の概要◇（英語表記はホームページ：[表彰関係](#)をご覧ください。）

学会賞	金属に関する学理または技術の進歩発達に顕著な貢献をした国際的学者に対する授賞。
学術功労賞	本会の学術事業に多年にわたり貢献したものに対する授賞。
技術賞	工業技術の改良進歩に貢献した現場技術者に対する授賞。
金属組織写真賞	学術上または技術上有益な組織写真に対する授賞。 1. 光学顕微鏡部門 2. 走査電子顕微鏡部門(分析, EBSD等を含む) 3. 透過電子顕微鏡部門(STEM, 分析等を含む) 4. 顕微鏡関連部門(FIM, APFIM, AFM, X線CT等)
研究技術功労賞	学校, 研究所, 工場において, 多年にわたり卓越した技術により金属の試験および研究上欠くべからざる装置の製作, 試料調整, 測定および分析などを通じて他の方々の研究成果に大いに貢献し, しかも研究論文などに協力者として名前も出ないいわゆる「かけの功労者」に対して授賞する。対象: 授賞時に満50歳以上で通算30年以上実務に従事した方。
功績賞	金属学または金属工業技術の進歩発達に寄与する有益な論文を発表したもので, 将来を約束されるような新進気鋭の研究者, 技術者に対する授賞。対象: 工業技術部門を除いて満45歳以下(4月1日時点)の方。
谷川・ハリス賞	この賞は, 次の各号に該当する優れた研究業績で高温における金属学の基礎的分野または工業技術分野の発展に貢献することが大であると認められた方に授賞する。 (1) 鉄鋼, 非鉄等金属の製錬 (2) 金属材料の熱処理に関連する研究 (3) 金属及び非金属の耐熱材料に関する研究 (4) その他高温における金属学に関する工業的あるいは基礎的研究。 賞の授賞対象となる業績は研究成果の頂点又は集積のいずれでもよい。
増本量賞	「機能材料」分野で卓越した新素材の発明発見ならびに貴重な研究業績を残され, 同分野に関する学理または技術の進歩発展に貢献したものに授賞する。
若手講演論文賞	会誌, Materials Transactionsに掲載された学術上または技術上特に優秀な論文で, 年齢35歳以下の春秋一般講演発表者およびポスター発表者に限定する。
優秀ポスター賞	ポスターセッション発表者を対象に, 優秀なポスターおよび発表者に対して授賞する。本賞の贈呈は各大学, 研究所に委託しこれを行う。
奨学賞	材料工学ならびにその周辺の関連分野において, 「日本金属学会・日本鉄鋼協会奨学賞規程」に定める学科の当該年度の卒業生で人格, 学業ともに優秀な者に対する授賞。



◎2015年春期講演大会概要集 DVD の販売について◎

2015年春期講演大会の概要集 DVD を販売しております。

ご購入希望の方は, E-mail または FAX で下記要領をご記入の上お申し込み下さい。

- ①件名「2015年春期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」, ②申込者氏名, ③会員資格(会員番号併記), ④申込数, ⑤送付先住所: 申込書は, [ホームページ](#)にあります。確認後, 請求書を添えて送付いたします。

会員価: 本体3,810円+税 定価: 本体10,000円+税 送料: 360円

申込先 (公社)日本金属学会 E-mail: ordering@jim.or.jp FAX 022-223-6312



分子軌道法による合金設計*

森 永 正 彦**

1. はじめに

「合金設計」は、今では言い古されて陳腐な感じがする言葉になっているが、筆者が研究を始めた1980年代初頭には、たいへん新鮮な響きがあった。歴史的にみれば、1964年に米国において、ニッケル合金中の有害脆化相の生成予測法として PHACOMP⁽¹⁾⁽²⁾が開発され、合金設計 (alloy design) という言葉が使われた。しかし当時、誰もが合金設計などできそうもないと思っており、専ら試行錯誤の実験に頼って合金開発が行われていた。マテリアルズ・インフォマティクス⁽³⁾の重要性が謳われている昨今とは隔世の感がある。

筆者は、それまで X 線散漫散乱を測定し、酸化物(例：酸化バナジウム, 安定化ジルコニア)の局所イオン配列を調べる研究に従事していた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。当時、DV-X α 分子軌道法を使ってジルコニアの電子構造⁽⁷⁾の計算を始めていたこともあり、「分子軌道法による合金設計」の看板を掲げ、この未知の分野に足を踏み入れた。

本稿では、まず合金設計理論について概観する。次に電子密度分布に関する物質共通のユニバーサルな関係を取り上げる。その後、物質の化学結合の特徴を構成原子の原子化エネルギーを用いて表現し、材料設計へ応用する研究を説明する。

2. 合金設計理論

(1) 合金パラメータ

金属、合金の種々の物理的、化学的性質は、それに含まれている電子の振舞いと密接に関係している。実用合金は多くの合金元素が含まれている多成分合金である。このような複雑系ともいえる合金の電子状態を正確に知ることは難しいし、合金元素の種類と組成の組み合わせは限りなく多いた

め、それがわかったところで合金設計にはあまり意味を持たない。

むしろ、個々の合金元素が、母金属中で示す個性を表すパラメータを合金設計に用いる方が実際的である。しかし、永い金属学の歴史にも関わらず、合金効果を表すパラメータはなかった。そのため、純金属のパラメータ(例：価電子数(e/a), 原子半径, 電気陰性度)を用いて、合金の性質を評価してきた⁽⁸⁾⁽⁹⁾。合金系が変わっても同じ元素には同じパラメータ値を使うので、この方法で合金の性質を評価することは難しい。この問題を解決するために、合金パラメータを分子軌道計算によって求めることから研究を始めた。

分子軌道計算には、DV-X α クラスタ法を用いた。これはバンド計算法と違い、合金元素の周りの局所電子状態を調べるのに適した第一原理の計算法である。クラスタ法の詳細については、論文⁽¹⁰⁾や書籍⁽¹¹⁾があるので、説明は省略する。

私達の身の回りには、Fe 合金や Ti 合金などの遷移金属の合金が多い。遷移金属の化学結合には、 d 電子が関与している。用途によってパラメータが異なるのは当然のことであるが、構造用遷移金属材料の設計には、二つの合金パラメータが有用である⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾。

一つは合金元素 M と母金属 X の間の結合次数 (Bond Order, Bo で略称) である。図 1 (a) に示すように、これは 2 つの電子雲の重なり度合いを示すパラメータである。合金元素 M と母金属 X がともに遷移金属の場合には、それら原子の $d-d$ 電子間の共有結合が重要である。 Bo が大きいほど、M-X 原子間の化学結合は強い。

もう一つは、 d 軌道エネルギーレベル (Md で略称) である。例えば、図 1 (b) のように M 原子と X 原子が分子を作る場合、M 原子の d 軌道と X 原子の d 軌道から、低いエネルギーの結合性のレベルと高いエネルギーの反結合性のレベルが現れる。図のように、もし結合前の自由原子 M の d 軌

* 2015年3月18日、東京大学駒場 I キャンパスにおける本会第156回春期講演大会において講演

** 公益財団法人豊田理化学研究所フェロー、名古屋大学名誉教授(〒480-1192 長久手市横道41-1)

Alloy Design Based on Molecular Orbital Method; Masahiko Morinaga (Toyota Physical & Chemical Research Institute, Nagakute)
Keywords: alloy design, molecular orbital method, atomization energy, hydrogen storage, catalyst, metal hydride, metal oxide, hydrocarbon

2015年11月19日受理 [doi:10.2320/materia.54.207]

道のレベルがXのそれより高いと、電子はできるだけエネルギーの低い方へ移ろうとするので、MからXへの電荷移行が起こる。このとき電子をはき出したM原子の有効電荷は正になり、電子をもらったX原子のそれは負になる。このように、エネルギーレベルは、電子の流れる方向を決めるという意味で、電気陰性度と関係がある。電子をもらうX原子の方が電気陰性度は高く、そのd軌道エネルギーレベル(Md)は低い。

また、Mdは原子半径とも相関がある。原子半径が大きければ、d軌道の平均半径も大きい。そのとき、中心にある原子核とd電子の間の平均距離が長くなるので、それらの間に働くクーロン引力は弱まる。その結果、原子半径の増加とともにd軌道エネルギーレベルは高くなる。

Bo, Mdは電子パラメータであり、元素の周期表の周期性がこれらの値に反映している。いろいろな物性は周期表に従って変わるので、元素の周期性を反映しているこれらパラメータは、物性評価に恰好なパラメータである。さらに、これらは2次元の周期表の特徴を表すために必要な二つのパラメータである。一つのパラメータでは、周期表を表現できない。

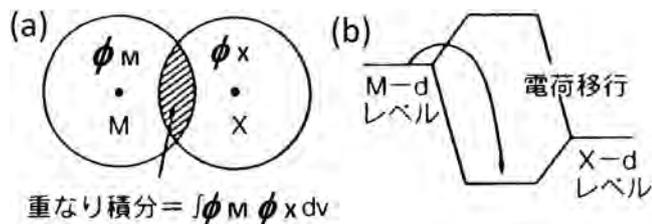


図1 合金パラメータ, (a) 結合次数, Bo と (b) d軌道エネルギーレベル, Md . (a)において ϕ_M, ϕ_X はそれぞれM, Xの原子軌道であり, Bo はそれらの間の重なり積分に比例する。

(2) ニッケル合金の分子軌道計算

Ni基耐熱合金は、ジェットエンジンや各種ガスタービンの構造部材に使われる重要な合金である。本合金は、Ni母相(γ 相)中に析出する Ni_3Al 相(γ' 相)により強化されている⁽¹⁵⁾。

Ni_3Al は図2(a)に示すように、 $L1_2$ 型の結晶構造を有する⁽¹²⁾。Al原子を中心にとれば、図2(b)のように中心の原子は、第1近接位置の12個のNi原子と第2近接位置の6個のAl原子によって囲まれている。計算には、この($MNi_{12}Al_6$)クラスターを用いた。中心のAl原子と置換する合金元素Mとして、 $3d, 4d$ および $5d$ 遷移金属を選んだ。合金元素Mは、12個のNi原子に囲まれているので、Mはfcc Niの中にあるときとよく似た環境にある。原子間距離は格子定数から決めた。純 Ni_3Al のクラスター計算で求めた電子の状態密度は、バンド計算の結果と似ている⁽¹²⁾。

図3にクラスターのレベル構造の計算結果を示す⁽¹²⁾。合金元素Mが入ると、点線で示すようなM原子のdレベル(e_g と t_{2g})がフェルミ準位より上に現れる。これらのレベル

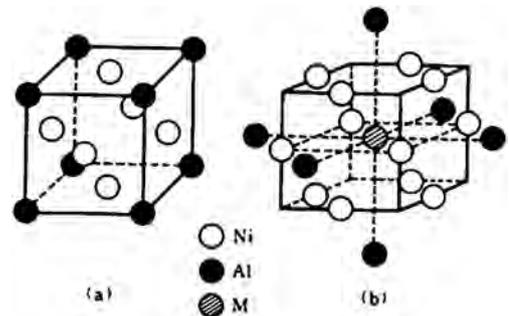


図2 (a) Ni_3Al の結晶構造と (b) クラスター模型。

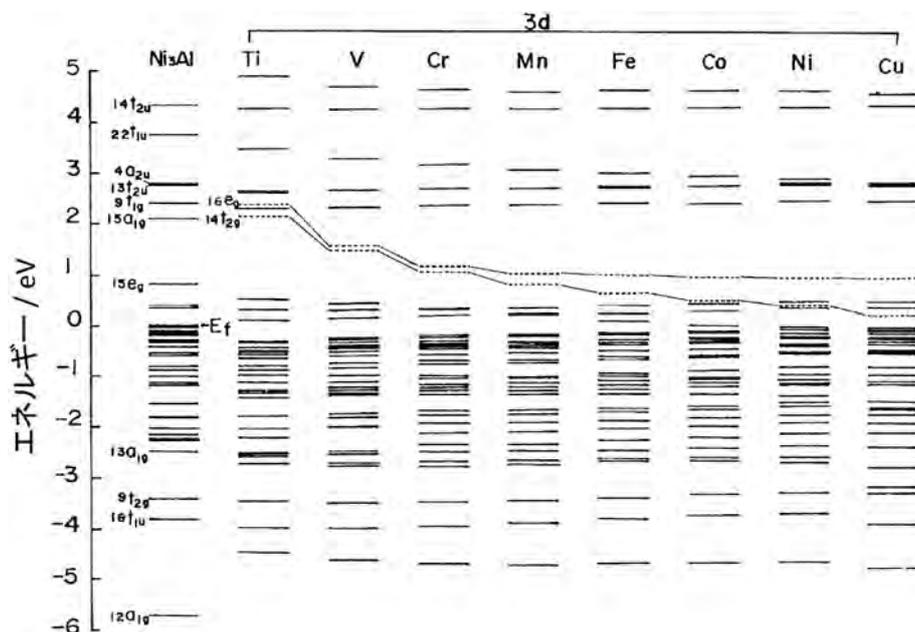


図3 ($MNi_{12}Al_6$)クラスターのレベル構造. $16e_g$ と $14t_{2g}$ が合金元素Mのd軌道レベル。

の高さは、周期表に従って単調に変化している。この e_g レベルと t_{2g} レベルを平均して、 Md レベルと呼ぶ。また、M-Ni 原子の $d-d$ 電子間の結合次数 Bo を、Mulliken のポピュレーション解析⁽¹⁶⁾を用いて求めた。

表 1 に各元素の Md , Bo の値をまとめて示す⁽¹⁷⁾。ただし、 Md の単位は eV であり、 $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ である。結合次数 (Bo) の大きさは、6A 族の Cr, Mo, W で最大値を示す。結合次数の大きい元素 (例: Cr, Mo, Ta, W, Re など) が Ni 基超合金の主要合金元素となっている⁽¹⁸⁾。

合金においては、何らかの平均操作が必要である。第一近似として、以下のように単に組成平均をとり平均 \overline{Md} , 平均 \overline{Bo} を定義する⁽¹⁸⁾⁻⁽²⁰⁾。

$$\overline{Md} = \sum X_i (Md)_i \quad (1)$$

$$\overline{Bo} = \sum X_i (Bo)_i \quad (2)$$

表 1 Ni 合金の合金元素の Md と Bo の値。

元 素	Md (eV)	Bo	
3d	Ti	2.271	1.098
	V	1.543	1.141
	Cr	1.142	1.278
	Mn	0.957	1.001
	Fe	0.858	0.857
	Co	0.777	0.697
	Ni	0.717	0.514
	Cu	0.615	0.272
4d	Zr	2.944	1.479
	Nb	2.117	1.594
	Mo	1.550	1.611
	Tc	1.191	1.535
	Ru	1.006	1.314
	Rh	0.898	1.068
	Pd	0.779	0.751
	Ag	0.659	0.391
5d	Hf	3.020	1.518
	Ta	2.224	1.670
	W	1.655	1.730
	Re	1.267	1.692
	Os	1.063	1.500
	Ir	0.907	1.256
	Pt	0.764	0.920
	Au	0.627	0.528
Al	1.900	0.533	
Si	1.900	0.589	

ここで、 X_i は合金中の i 原子の原子分率、 $(Md)_i$ と $(Bo)_i$ はそれぞれ i 原子の Md 値と Bo 値 (表 1 参照) である。平均 \overline{Md} は合金元素の d レベルの平均値であるので、合金の d バンドの重心の位置を表す。多成分合金であっても、式 (1), (2) を使えば、組成から合金の平均パラメータ (\overline{Bo} , \overline{Md}) を簡単に計算できる。

(3) New PACOMP と d 電子合金設計

(a) New PHACOMP

合金固溶体の固溶限の問題は、古くからの金属学の大きな問題の一つである。Hume-Rothery, Darken と Gurry による古典的な取り扱いでは、原子半径と電気陰性度の 2 つのパラメータを用いてこれを整理している⁽⁸⁾⁽⁹⁾。しかし、溶質、溶媒原子がともに遷移金属の場合は難しいとされてきた。

1964 年に、アメリカで開発された PHACOMP⁽¹⁾⁽²⁾ では、電子空孔数 $Nv (= 10.66 - e/a)$ を用いて Ni マトリックス (γ 相) の固溶限を見積り、有害脆化相 (例: σ 相) の生成を予測しようとした。ここで、電子空孔数は、 d バンドの中の電子空孔 (または正孔) の数である。例えば、6A 族の Cr, Mo, W では、 $e/a = 6$ であるので、これらの Nv 値はすべて 4.66 である。しかし、Cr の原子半径は Mo, W に比べて小さい。このように、 Nv には原子半径が反映されていないため、Hume-Rothery, Darken と Gurry らの流れとは異なる。当然のことながら、これでは不満足な予測しかできない。それにもかかわらず、PHACOMP は Ni 基超合金の製造規格として用いられ、脆化相が析出しない合金の組成を設計するために使われてきた。

著者らは 1984 年に New PHACOMP を提案した⁽¹³⁾。これは Md パラメータを用いて、固溶限を予測する方法である。 Md は原子半径、電気陰性度と関係があるのみならず、周りの化学環境を正確に反映したパラメータである。

図 4 (a), (b) に、Ni-Co-Cr および Ni-Cr-Mo 3 元系等温状態図を示す。これらの図の中に $\gamma/(\gamma + \sigma)$ 相境界を等 \overline{Md} 線により表した。簡単のため、図中には \overline{Md} の単位 (eV) は省略している。比較のために、等 \overline{Nv} 線、等 \overline{R} 線も併せて示した。 \overline{Nv} , \overline{R} はそれぞれ電子空孔数、原子半径の組成平均である。Ni 基合金の相境界の予測に使われている $\overline{Nv} = 2.49$ の直線は $\gamma/(\gamma + \sigma)$ 相境界からかなり離れている。一方、等 \overline{R}

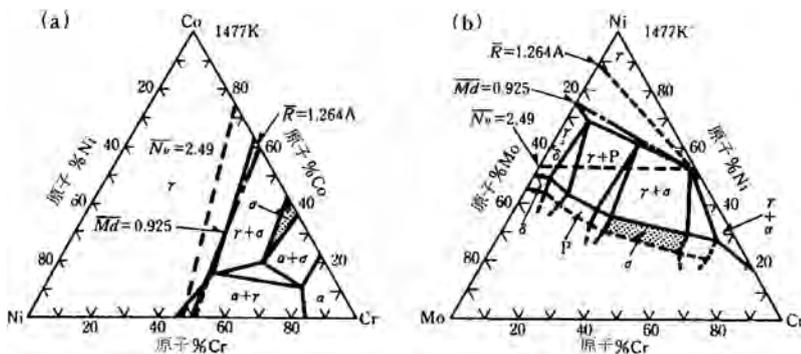


図 4 3 元系等温状態図の $\gamma/(\gamma + \sigma)$ 相境界の予測, (a) Ni-Co-Cr, (b) Ni-Cr-Mo.

線は(a)では相境界に沿っているが、(b)では離れている。これらに比べ、等 \overline{Md} 線は、(a)、(b)とも相境界に近い。

約30個を超える種々の3元系状態図を調べた結果、等 \overline{Md} 線により各種相境界が表せることが分かった⁽²¹⁾⁻⁽²⁴⁾。 $\gamma/(\gamma + \sigma)$ 相境界を表す \overline{Md} の温度変化は、次の式で近似できる⁽¹³⁾。

$$\overline{Md} = 6.25 \times 10^{-5} T + 0.834 \quad (3)$$

ここで、 T は絶対温度(K)である。上式の温度係数は、熱エネルギー $kT = 8.62 \times 10^{-5} T$ (eV) の係数に近い。ただし k はボルツマン定数である。

3元系状態図のみならず、多成分の実用合金の脆下相の生成も予測できる⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾。このNew PHACOMPは、世界に広まっている⁽²⁵⁾。

(b) d 電子合金設計

図5は、19種の鋳造Ni基超合金の \overline{Bo} 、 \overline{Md} 値を組成から計算して、 $\overline{Bo}-\overline{Md}$ 図上にプロットしたものである⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。1255 Kでの0.2%耐力の等強度線も点線を使って表している。図中に影を付けた小さな領域は、0.2%耐力が最も高いところである。ここでは0.2%耐力のみならず、高温クリープ強度も高い。単結晶合金もこの領域内にあり、ここが合金設計のターゲット領域である。この領域内の合金は、脆化相の生成限界ぎりぎりまで合金元素が添加されていて、強化相である γ' 相の体積率は約60%と高い⁽²⁷⁾。

また、図5の中に合金ベクトルを表している。これは純Niの位置とNi-10 mol%M合金の位置を矢印で結んだものである。Niに合金元素Mを入れると、矢印の方向に沿って合金の位置が移動する。合金ベクトルの方向は、合金元素Mの族番号が同じであれば、ほぼ同じである。例えば、4A族のTi, Zr, Hfのベクトルの方向はそろっている。5A族のV, Nb, Taでも、6A族のCr, Mo, Wでも方向はほぼそろっている。これは \overline{Md} 、 \overline{Bo} がともに周期表に従って変化するからである。

最近のNi基単結晶超合金にはReが約6 mass%も入っている⁽²⁵⁾。Reは強度と耐食性をともに増加させる唯一の元素なので、その添加量を増やしてきた。ターゲット領域を不変

に保つためには、Reを増やすと、他の元素を減らす必要がある。合金ベクトルの方向がReに最も近い元素はCrなので、Cr量を減らすことが考えられる。実際、Re量の増加とCr量の減少が、ニッケル基単結晶超合金の発展の歴史である。最近では、Re量の増加によるNi母相(γ 相)の相安定性の低下を抑えるため、 \overline{Md} 値が比較的小さなRu(表1参照)を添加している⁽²⁵⁾。

(4) 合金設計例

(a) ニッケル基超合金

上記のような考え方をもとに、数種の発電用ガスタービン合金を設計した⁽²⁶⁾⁻⁽³²⁾。例えば、図6(a)に、単結晶動翼(高さ約170 mm)の写真を示す。これはRe含有量が約5 mass%の第3世代の合金である。この開発合金は第2世代の単結晶合金CMSX-4に比べて、耐用温度が約20 K高く、高温耐食性、耐酸化性に優れている⁽³²⁾。

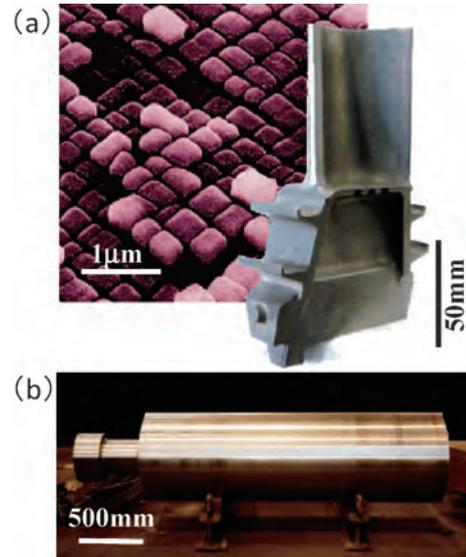


図6 (a) 発電用Ni基単結晶動翼と(b) 10トンの蒸気タービン・ロータ用高クロムフェライト鋼。

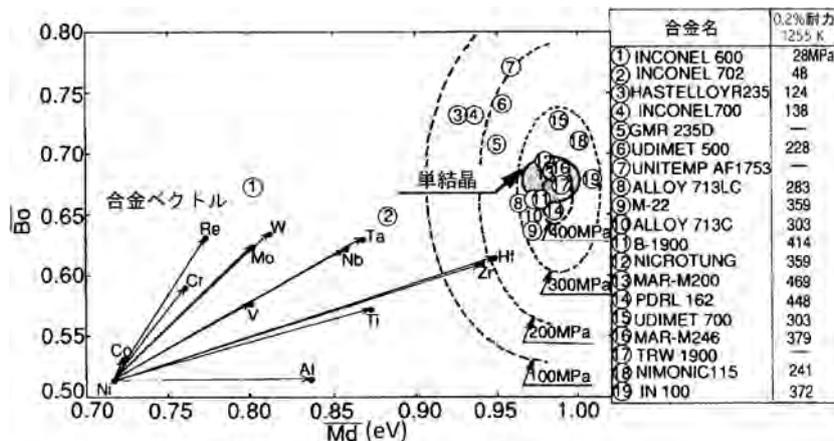


図5 鋳造Ni基超合金の $\overline{Bo}-\overline{Md}$ 図と合金ベクトル。

(b) 高クロムフェライト系耐熱鋼

bcc Fe 合金クラスターを用いて分子軌道計算を行い、合金元素の Md 値と Bo 値を決定した⁽³³⁾。図7は合金ベクトル図である。Cr, Mo, Wなどのフェライト生成元素の合金ベクトルは、純Feの位置を起点として右上方に向かっている。一方、オーステナイト生成元素(Co, Ni, Cu, Mn)の合金ベクトルは、Mnを除き左下方に向かっている。Mnのベクトルの大きさは小さく、純Fe近傍にある。

高クロムフェライト鋼では、 δ フェライト相が析出すると高温強度が劣化する。図8は、1323 Kで焼準した鋼中に存在する δ フェライト相の体積率を \overline{Md} で整理した結果である⁽³⁴⁾。オーステナイト生成元素(Ni, Co)を含まぬ鋼では、 δ フェライト相が生成しない臨界 \overline{Md} 値は約0.852 (eV)である。

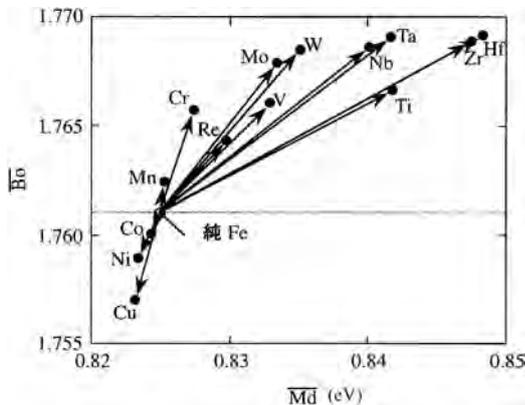


図7 bcc Fe 合金の合金ベクトル。

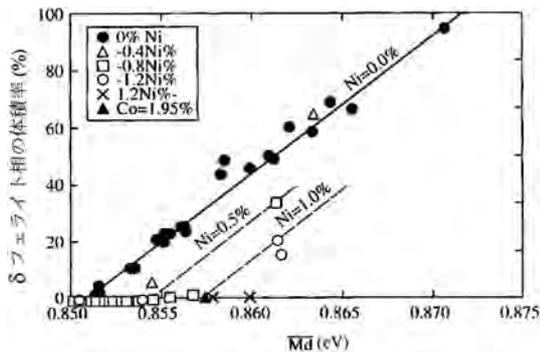


図8 δ フェライト相の体積率の \overline{Md} による予測。

る。しかし、NiやCoが含まれていると、臨界 \overline{Md} 値が上昇する。例えば1 mass% Niがあると臨界 \overline{Md} 値は約0.857 (eV)になる。このようにオーステナイト生成元素を少量入れば、フェライト生成元素をさらに添加する余裕ができ、鋼の一層の強化が図れる。

このような考えのもと、Coを添加して高クロムフェライト系耐熱鋼を開発した⁽³⁵⁾⁻⁽³⁸⁾。図6(b)は10トンの蒸気タービン・ロータ(直径640 mm, 長さ2270 mm)の写真である。温度923 K(650°C), 応力157 MPaのもとでの高温クリープ寿命は約4,000時間(14.4 Ms)であり、現用ロータ材に比べて数倍長い⁽³⁸⁾。

高クロムフェライト鋼の923 K(650°C), 低応力下での長時間クリープ強度は、8.5~9.0 mass%Crのとき最大になる⁽³⁶⁾⁽³⁹⁾。また、Reを0.2~0.5 mass%入れると、クリープ強度が著しく増大する⁽³⁷⁾。この外、ボイラー用耐熱鋼では、硫黄(S)を50 ppm程度残留していると、耐水蒸気酸化特性が改善する⁽⁴⁰⁾。

(c) チタン合金

チタン合金の Bo , Md 値を、bcc Tiクラスターとhcp Tiクラスターを用いて計算した⁽⁴¹⁾。それらの値はあまり結晶構造に敏感ではない。表2に、bcc Tiの Bo と Md の値を示す⁽⁴²⁾。

実用チタン合金は、 α 型、 $\alpha+\beta$ 型および β 型合金に分類される。図9に、在来の主要チタン合金約40種の \overline{Bo} , \overline{Md} による分類結果を示す⁽⁴¹⁾⁽⁴³⁾。併せて、高温の β 相が室温でも準安定に残留する各種Ti-M2元系合金の結果も記号(a)-(g)で示す。図9の $\overline{Bo}-\overline{Md}$ 図の中で、これら合金が明瞭に分離している。例えば、最も代表的なチタン合金であるTi-6Al-4VはNo.9であり、 $\alpha+\beta$ 領域の中ほどにある。たとえ未知の合金でも組成から \overline{Bo} 値と \overline{Md} 値を計算し、図9と比較すれば、それがどのタイプの合金であるか分かる。また、複雑になるため図9には表していないが、マルテンサイト相の生成領域、すべり変形と双晶変形の起こる領域も $\overline{Bo}-\overline{Md}$ 図中に指定できる⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾。このような $\overline{Bo}-\overline{Md}$ 図は、合金開発のためのロードマップの一つとして普及している。

これまでに高温用 α 型合金⁽⁴³⁾、高強度 β 型合金⁽⁴⁴⁾、高耐食性合金⁽⁴⁵⁾⁻⁽⁴⁷⁾を開発している。生体用チタン合金⁽⁴⁸⁾も開発されており、この方法は現在も低弾性率合金の開発に利用されている⁽⁴⁹⁾。ゴムメタル⁽⁵⁰⁾は、 \overline{Bo} が2.87, \overline{Md} が2.46

表2 bcc Tiの中の合金元素の Bo と Md の値。

3d	Bo	Md (eV)	4d	Bo	Md (eV)	5d	Bo	Md (eV)	非遷移金属	Bo	Md (eV)
Ti	2.790	2.447	Zr	3.086	2.934	Hf	3.110	2.975	Al	2.426	2.200
V	2.805	1.872	Nb	3.099	2.424	Ta	3.144	2.531	Si	2.561	2.200
Cr	2.779	1.478	Mo	3.063	1.961	W	3.125	2.072	Sn	2.283	2.100
Mn	2.723	1.194	Tc	3.026	1.294	Re	3.061	1.490			
Fe	2.651	0.969	Ru	2.704	0.859	Os	2.980	1.018			
Co	2.529	0.807	Rh	2.736	0.561	Ir	3.168	0.677			
Ni	2.412	0.724	Pd	2.208	0.347	Pt	2.252	0.146			
Cu	2.114	0.567	Ag	2.094	0.196	Au	1.953	0.258			

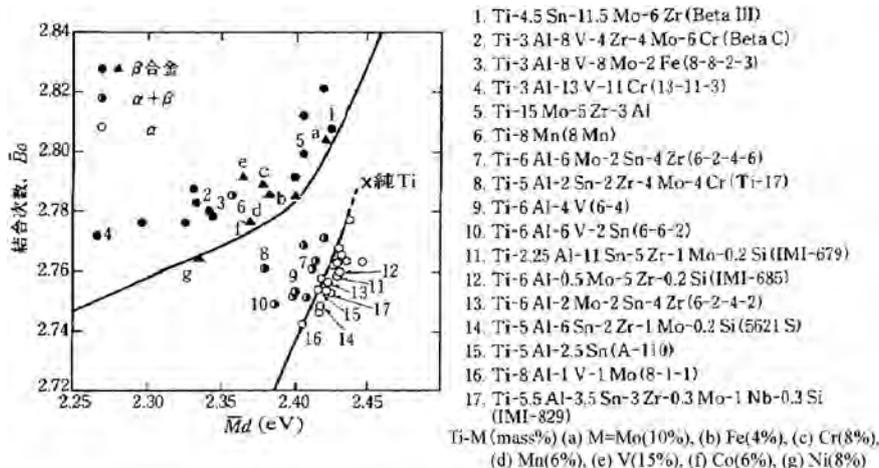


図9 実用チタン合金の α , $\alpha+\beta$, β 型合金への分類.

(eV)のときのみ現れる. 最近, 形状記憶効果も議論されている⁽⁵¹⁾.

(d) その他の合金

分子軌道計算を基に, 以下の金属材料を研究してきた⁽⁵²⁾⁽⁵³⁾.

- (i) 金属間化合物(例: 金属間化合物 TiAl の延性化⁽⁵⁴⁾, 結晶構造マップの作成⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾など)
- (ii) 遷移金属の合金(例: 原子力用 Zr 合金⁽⁵⁷⁾, Nb 合金⁽⁵⁸⁾, Mo 合金⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾の設計, Cr 合金⁽⁶⁰⁾の脆性改善など)
- (iii) 典型金属の合金(例: Al 合金⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾, Mg 合金⁽⁶³⁾⁽⁶⁴⁾および Zn 合金⁽⁶⁵⁾の機械的性質の評価と設計など)

3. 電子密度分布にみられる物質共通のユニバーサルな関係

長年の電子状態の計算結果を整理し, 電子密度分布についての物質共通のユニバーサルな関係を見出している⁽⁶⁶⁾. 図10の挿入図(例: MgO, Al₂O₃)に示すように, 最近接原子間の電子密度が最小値 ρ_{\min} を取る位置を r_{\min} (原子半径またはイオン半径) と定義する. 例えば MgO の場合, 酸素の r_{\min} (O) は約 0.12 nm であり, マグネシウムの r_{\min} (Mg) は約 0.09 nm である. 図10に, $\log(\rho_{\min}/Z^3)$ と $2(Z/n)r_{\min}$ (ただし, Z: 原子番号, n: 主量子数) を両軸にとり, いろいろな物質の計算結果をプロットした. 両軸の座標は水素様原子の電子の動径分布関数の形から導出した. 図10に示すように気体・液体・固体を問わず, あらゆる物質が一つの曲線上にのる. $y = \log(\rho_{\min}/Z^3)$, $x = 2(Z/n)r_{\min}$ とおくと, その曲線は次式で表される.

$$y = -5.29 \log(1.01 + 0.285x) \quad (4)$$

4. 原子化エネルギーによる材料設計

最近, 物質の化学結合を「エネルギースケール」で表現する研究に取り組んでいる⁽⁶⁷⁾. すなわち, エネルギー密度解

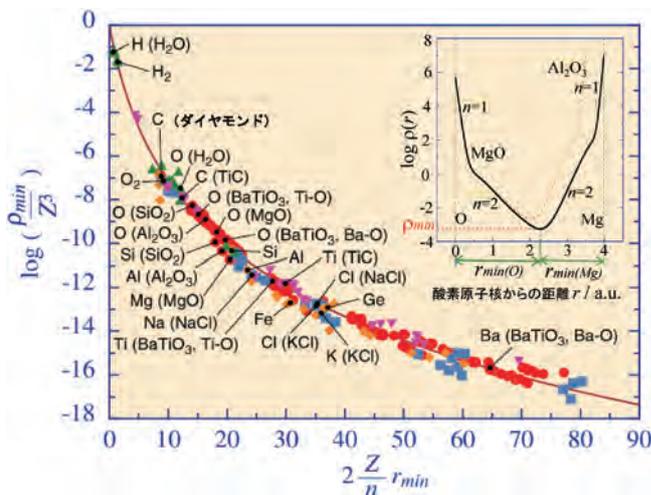


図10 電子密度分布にみられる物質共通のユニバーサルな関係. 挿入図の横軸の単位, 1 a.u. = 0.0529 nm.

析⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾を用いて, 電子系の全エネルギーを物質中の構成原子に分配して, 各構成原子の「原子化エネルギー」(物質中の構成原子を気体のようなバラバラな状態にするのに要するエネルギー)を求める. 本解析を通して, 従来の全エネルギー計算のみでは不明であった「構成原子の顔」が見えてくるので, 材料設計に応用できる. これを水素貯蔵材料⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾に適用する.

(1) 原子化エネルギーの定義

解析結果を示す前に, まず原子化エネルギーを定義する. 例えば, 2成分系の金属水素化物 MH では, 金属 M, 水素 H の原子化エネルギー, $\Delta E_M, \Delta E_H$ を, 孤立中性原子の M, H のエネルギー $E_M^{\text{atom}}, E_H^{\text{atom}}$ を用いて, 次式で定義する⁽⁷²⁾.

$$\Delta E_M = E_M^{\text{atom}} - E_M^{\text{hydride}} \quad (5)$$

$$\Delta E_H = E_H^{\text{atom}} - E_H^{\text{hydride}} \quad (6)$$

ここで, E_M^{hydride} と E_H^{hydride} はそれぞれ, 水素化物中の M

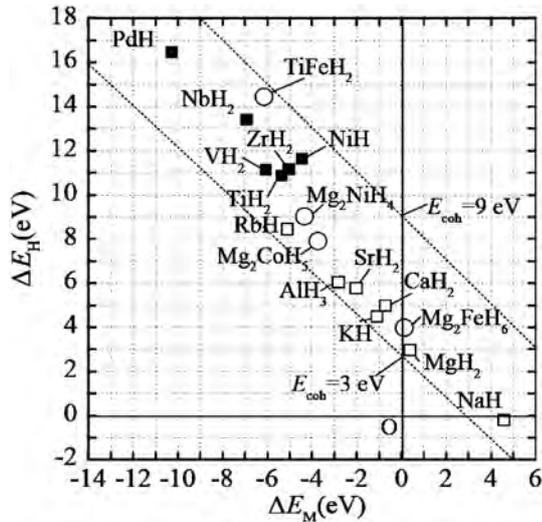


図13 金属系水素化物の原子化エネルギー図.

高い位置にある. 遷移金属元素は典型元素よりも水素原子と強く相互作用し, 水素の状態を安定にしている.

3成分水素化物(M1M2) H_n において, もしM2が遷移金属原子であり, 水素原子がM2原子の近くに存在すれば, M2-H原子間の相互作用が重要となる. 例えば, $TiFeH_2$ ではM2原子はFeであり, Fe-H原子間の相互作用が大きい. Mg_2NiH_4 ではM2原子はNiであり, Ni-H原子間の相互作用が大きい.

このことは図13からも予想される. Mg_2NiH_4 (○記号)の位置は, MgH_2 よりもNiHに近い. しかし, Mg_2NiH_4 の ΔE_H の値はNiHに比べて小さい. このように, Mg_2NiH_4 中の水素原子の状態は, Mg原子があることによって不安定化している. 一方, $TiFeH_2$ (○記号)では, その ΔE_H の値は TiH_2 に比べて大きい. $TiFeH_2$ 中の水素原子の状態は, Ti原子よりもFe原子が近くにいるときの方が安定化している. $TiFeH_2$ は, 図13の中の全ての水素化物の中で凝集エネルギー(8.3 eV)が最も大きい. 室温で水素を吸収・放出する $TiFeH_2$ において, 化学結合が最も強いことは興味深い.

水素化物 $TiFeH_2$, Mg_2NiH_4 は, 金属間化合物 $TiFe$, Mg_2Ni を水素化することによって得られる. 水素化物生成に対する各金属原子の役割を理解するために, 水素化前の $TiFe$, Mg_2Ni で計算した ΔE_{M1} (M1 = Ti または Mg) と ΔE_{M2} (M2 = Fe または Ni)の値を, 水素化後の $TiFeH_2$, Mg_2NiH_4 で計算した値と一緒に, 図14にプロットしている⁽⁷²⁾. いずれの場合でも水素化前には, 縦軸の ΔE_{M2} の値は正で大きい, 横軸の ΔE_{M1} の値は負である. 水素化後には, 図中の矢印で示すように, ΔE_{M1} , ΔE_{M2} は共に減少する. 減少量は ΔE_{M1} に比べ, ΔE_{M2} の方が顕著である. 水素化物の中では, 水素原子はM2原子の近傍に存在するので, 水素化前のM2原子のエネルギーの大半は, 水素化後に水素原子の方へ移行している. その結果, ΔE_H は $TiFeH_2$ では14.4 eV, Mg_2NiH_4 では9.0 eVになり, 水素は著しく安定化している.

また, 水素化前の金属間化合物, $TiFe$, Mg_2Ni の ΔE_{M1} と

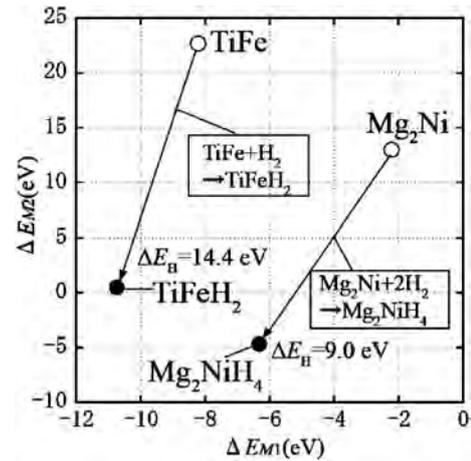


図14 金属間化合物の水素化反応にともなう金属原子M1, M2の原子化エネルギーの変化.

ΔE_{M2} の値は大きく違っている. このことは化合物を形成するとき, 電子密度分布が大きく変化し, M1-M2原子間に強い化学結合状態を作っていることを示唆している. さらに, 水素化後に水素原子が配位するM2金属原子は大きなエネルギーをもっている. このことは水素化前の化合物において, 既にそのエネルギーの大半を水素に渡す準備が整っていることを表している. その結果, 化合物の組成をえることなく, 水素がM2金属原子の近傍に配位し, 水素吸蔵反応がスムーズに進行する. このように, 原子化エネルギーの解析を通して, 水素化物形成に対する金属元素の役割を理解できる⁽⁷²⁾.

(3) 脱水素化反応触媒への応用

原子化エネルギーの応用として, 脱水素化反応の触媒である金属酸化物を解析する⁽⁷³⁾. マグネシウム水素化物(MgH_2)は, 水素容量が7.6 mass%と高いため水素貯蔵の候補材料として注目されている. しかし, MgH_2 の生成熱は-74 kJ/mol H_2 と高く, 比較的安定な水素化物であるため, 脱水素化温度が約573 Kと高い. その脱水素化反応($MgH_2 \rightarrow Mg + H_2$)は非常にゆっくり進む. しかし, 遷移金属酸化物(例: Nb_2O_5)を添加すると, これが触媒として働き, 脱水素化反応を著しく促進させる⁽⁷⁴⁾. この酸化物触媒の問題を原子化エネルギーによって取り扱うことができる.

(a) 2成分系金属酸化物の原子化エネルギー図

まず触媒である2成分系酸化物 M_xO_y の原子化エネルギーを求める. 酸化物 M_xO_y において, M, Oの孤立中性原子のエネルギー E_M^{atom} , E_O^{atom} を用いて, M, Oの原子化エネルギー ΔE_M , ΔE_O を次式で定義する.

$$\Delta E_M = (E_M^{atom} - E_M^{oxide}) \times (x/y) \quad (12)$$

$$\Delta E_O = E_O^{atom} - E_O^{oxide} \quad (13)$$

ここで, E_M^{oxide} , E_O^{oxide} は, それぞれM, Oの原子エネルギー密度である. 式(12)の (x/y) は, Mの原子化エネルギー ΔE_M を, 酸素1原子当たりの値に換算するための係数である.

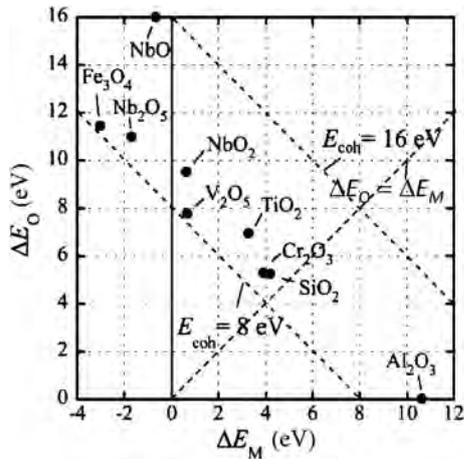


図15 2成分金属酸化物の原子化エネルギー図.

図15は、金属酸化物の原子化エネルギー図である⁽⁷⁵⁾。凝集エネルギー E_{coh} は、例えば、 NbO_2 (10.1 eV)と Al_2O_3 (10.7 eV)では、ほぼ同じ大きさであるが、これらの原子化エネルギー図上の位置は大変違っている。すなわち、 NbO_2 は ΔE_O が大きく、 ΔE_M が小さい。このことは、 NbO_2 ではO原子の凝集エネルギーへの寄与が大きいことを意味している。一方、 Al_2O_3 の場合は、 ΔE_O の値はほぼ零であり、代わって ΔE_M の値が大きい。言い換えれば、 Al_2O_3 では、O原子よりも金属原子M(=Al)の方が凝集エネルギーへの寄与が大きい。このように、 NbO_2 のような遷移金属の酸化物では $\Delta E_O > \Delta E_M$ であるが、 Al_2O_3 では $\Delta E_O < \Delta E_M$ である。後述するように、この違いが触媒活性に現れる。

(b) 触媒活性の定量的な解析

酸化物触媒を各1 mol%添加した時の MgH_2 の573 Kでの脱水素化反応速度の実験値が報告されている⁽⁷⁴⁾。いろいろな酸化物の中で、 Nb_2O_5 が最も触媒活性が高い。

式(12)、(13)からも明らかのように、原子化エネルギーは酸素1原子当たりの値として定義している。しかし、触媒の M_xO_y は、実験ではmol単位で添加されている。そこで、原子化エネルギーの値をmol単位の値に直す必要がある。そのため、 ΔE_O と ΔE_M のそれぞれに M_xO_y のO原子の数 y を掛けて、 $y \times \Delta E_O (= (E_O^{atom} - E_O^{oxide}) \times y)$ と $y \times \Delta E_M (= (E_M^{atom} - E_M^{oxide}) \times x)$ と表す。

図16は、脱水素化反応速度の実験値⁽⁷⁴⁾を、 $y \times \Delta E_O$ に対してプロットした図である⁽⁷³⁾。大きな $y \times \Delta E_O$ 値を持つ酸化物ほど MgH_2 の脱水素化速度が高いことが分かる。一方、ここには示していないが、 $y \times \Delta E_M$ と脱水素化反応速度の間には、明確な相関は見られない⁽⁷³⁾。

4.(2)(b)において説明したように、TiFe、 Mg_2Ni の水素化過程において、原子化エネルギーが大きな原子(Fe, Ni)ほど、小さな原子(Ti, Mg)に比べ水素原子と強く相互作用する。その結果、水素化後、水素原子はTiFeH₂中ではFe原子、 Mg_2NiH_4 中ではNi原子の近くに配位する。これと同様に金属酸化物においても、大きな原子化エネルギーをもつ原子の

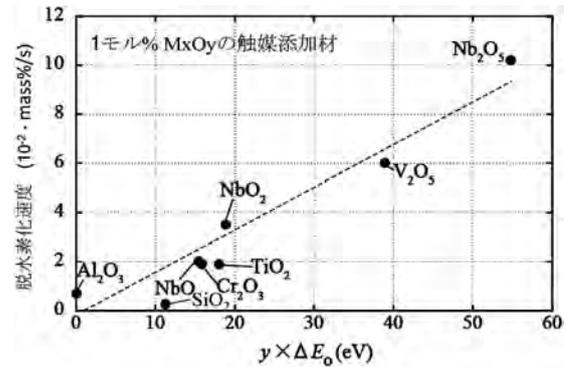


図16 化学式 M_xO_y 当りに酸化物イオンが持つエネルギー(= $y \times \Delta E_O$)による MgH_2 の脱水素化速度の評価。

方が、 MgH_2 中の水素原子と強く相互作用すると考えられる。先に述べたように、遷移金属の酸化物では酸素の原子化エネルギーが大きい。したがって、図16のように、金属酸化物中で大きな $y \times \Delta E_O$ 値をもつ酸素原子(酸化物イオン)が、 MgH_2 中の水素原子と強く相互作用する可能性が高い。一方、 Al_2O_3 のように酸素の原子化エネルギーが小さい酸化物の触媒活性は低い。このように、大きな $y \times \Delta E_O$ 値を持つ酸化物ほど、強いO-H相互作用が働き、 MgH_2 が不安定になり、酸化物の触媒活性が高まる⁽⁷³⁾。酸化物 M_xO_y の触媒活性元素はOであり、Mではない。Mが変われば ΔE_O の値が変わるので、触媒活性が変化するのである。

実験からO-H相互作用が働いていることを確かめている⁽⁷⁶⁾。すなわち、1 mol% Nb_2O_5 触媒を添加した MgH_2 を用いて、脱水素化過程においてFT-IRスペクトルを測定し、O-H基の存在を実証した。このように、原子化エネルギーを使って触媒効果を定量的に評価できる。

この外、錯体水素化物 $NaAlH_4$ の分解反応($NaAlH_4 \rightarrow 1/3 Na_3AlH_6 + 2/3 Al + H_2$)は、金属塩化物(例: $TiCl_3$)を添加することにより加速することが知られている⁽⁷⁷⁾。この場合も、原子化エネルギーによる解析は有効である⁽⁷⁸⁾。

(4) 金属化合物の機能設計に向けて

この解析は水素化物や酸化物のみならず、各種の金属化合物の設計にも有用である。金属化合物は、強磁性、強誘電、超伝導、プロトン伝導、水素貯蔵など変化に富む物性を示す興味深い物質群である。例えば、ホウ化物には、超伝導を示す MgB_2 や超強力磁石の $Nd_2Fe_{14}B$ がある。また、鉄系超伝導物質 $LaFeAsO_{1-x}F_x$ には、酸素、フッ素等の非金属元素が含まれている。このように、「非金属元素」は、新しい機能発現の鍵を握っている。

機能設計のためには、各種の金属化合物(水素化物、ホウ化物、炭化物、窒化物、酸化物、フッ化物、硫化物等)の化学結合を、同一の原子化エネルギーの視点から捉え直し、各非金属元素X(=H, B, C, N, O, F, S等)の特徴や化合物形成への役割を統一的に理解することが必要である。図17は、そ

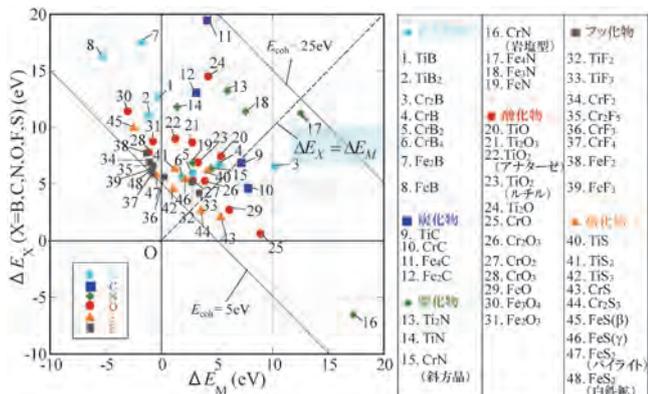


図17 各種の3d遷移金属化合物の原子化エネルギー図。

の最初の試みとして計算を行った3d遷移金属(Ti, Cr, Fe)の各種化合物の原子化エネルギー図である。非金属元素Xが違ってても、1枚の図上でそれらを表せる⁽⁷⁹⁾。例えば、酸化物とフッ化物はよく似た化合物であると理解されているが、原子化エネルギーから見れば、それらは組成に対して正反対の変化をする。原子化エネルギーの解析をさらに進め、非金属元素側から見た量子材料設計の基盤を構築することが今後の課題の一つである。

5. おわりに

電子までさかのぼれば、鉄鋼材料、非鉄材料の区別は最早必要ない。金属、半導体、セラミックス、高分子の分類も意味を持たない。電子レベルからのアプローチは、従来の材料の垣根を越えて、広範な材料に適用できる。合金設計理論や原子化エネルギー法は、材料の基礎的な理解を高め、合理的な「ものづくり」のために有用である。本稿では触れなかったが、CALPHAD法による状態図の計算やPhase field法による微細組織の解析も進歩している⁽⁸⁰⁾⁽⁸¹⁾。マルチスケール・シミュレーション⁽⁸²⁾やマテリアルズ・インフォマティクス⁽³⁾の取り組みも始まっている。計算材料科学がさらに発展し、材料設計が合理的に行われることを期待している。

恩師の村上陽太郎先生(京都大学)、故 J. B. Cohen 先生(ノースウエスタン大学)に、厚くお礼を申し上げます。故湯川夏夫先生(豊橋技術科学大学)、足立裕彦先生(京都大学)、胡壮麒先生(中国科学院金属研究所)、中井浩巳先生(早稲田大学)のご指導とご支援に感謝いたします。村田純教先生、湯川宏先生、吉野正人先生(名古屋大学)、鎌土重晴先生(長岡技術科学大学)、寺田芳弘先生(東京工業大学)、江崎尚和先生、南部智憲先生(鈴鹿工業高等専門学校)、森下政夫先生(兵庫県立大学)、井上聡先生(沼津工業高等専門学校)、古井光明先生(東京工科大学)、斉藤淳一先生(日本原子力研究開発機構)、松本佳久先生(大分工業高等専門学校)、松木一弘先生(広島大学)、武末尚久先生(福岡大学)、澁谷秀雄先生(久留米工業大学)、原田祥久先生(産業技術総合研究所)、

仲井正昭先生(東北大学)、張濟山先生(北京科技大学)、劉軼先生(上海理工大学)、周震先生(南開大学)、師春生先生(天津大学)、Md. Moniruzzaman 先生(バングラデシュ工業大学)、Mohamed Gepreel 先生(エジプト日本科学技術大学)をはじめ、豊橋技術科学大学と名古屋大学の同僚や研究室の学生・大学院生の皆様のご協力に感謝します。また、共同研究などを通して、企業の多くの研究者の方々のご支援を受けました。厚くお礼を申し上げます。

文 献

- (1) W. J. Boesch and J. S. Slaney: Metal Progress, **86**(1964), 109-111.
- (2) C. S. Barrett: J. Inst. Metals, **100**(1972), 65-73.
- (3) 2014年日本金属学会秋期講演大会(名古屋大学), S7 マテリアルズ・インフォマティクス.
- (4) M. Morinaga and J. B. Cohen: Acta Cryst. A, **35**(1979), 745-756, 975-989.
- (5) M. Morinaga, J. B. Cohen and J. Faber Jr.: Acta Cryst. A, **35**(1979), 789-795.
- (6) M. Morinaga, J. B. Cohen and J. Faber Jr.: Acta Cryst. A, **36**(1980), 520-530.
- (7) M. Morinaga, H. Adachi and M. Tsukada: J. Phys. Chem. Solids, **44**(1983), 301-306.
- (8) W. Hume-Rothery and G. V. Raynor: Structure of Metals and Alloys, 4th ed., Institute of Metals, London, (1962).
- (9) L. Darken and R.W. Gurry: Physical Chemistry of Metals, McGraw-Hill, New York, (1953).
- (10) H. Adachi, M. Tsukada and C. Satoko: J. Phys. Soc. Jpn., **45**(1978), 875-883.
- (11) 足立裕彦: 量子材料化学入門-DV-X α 法からのアプローチ, 三共出版, (1991).
- (12) M. Morinaga, N. Yukawa and H. Adachi: J. Phys. Soc. Jpn., **53**(1984), 653-663.
- (13) M. Morinaga, N. Yukawa, H. Ezaki and H. Adachi: Superalloys 1984, ed. by M. Gell et al., The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, Pennsylvania, (1984), 523-532.
- (14) 森永正彦, 湯川夏夫, 足立裕彦: 日本金属学会会報, **23**(11)(1984), 911-919.
- (15) R. F. Decker: Proc. of Steel Strengthening Mechanism Symposium, May 5-6, 1969, Zürich, Switzerland, (1969), 1-24.
- (16) R. S. Mulliken: J. Chem. Phys., **23**(1955), 1833-1840.
- (17) M. Morinaga, Y. Murata and H. Yukawa: Materials Design Approaches and Experiences, ed. by J.-C. Zhao et al., TMS, Warrendale, Pennsylvania, (2001), 15-27.
- (18) 森永正彦, 湯川夏夫, 足立裕彦: 日本金属学会会報, **23**(1984), 911-919.
- (19) 森永正彦, 湯川夏夫, 足立裕彦: 鉄と鋼, **71**(1985), 1441-1451.
- (20) 森永正彦, 湯川夏夫, 足立裕彦: 日本金属学会会報, **27**(1988), 165-172.
- (21) M. Morinaga, N. Yukawa, H. Ezaki and H. Adachi: Philos. Mag. A, **51**(1985), 223-246.
- (22) M. Morinaga, H. Ezaki and H. Adachi: Philos. Mag. A, **51**(1985), 247-252.
- (23) H. Ezaki, M. Morinaga, N. Yukawa and H. Adachi: Philos. Mag. A, **53**(1986), 709-716.
- (24) H. Ezaki, M. Morinaga, N. Yukawa and H. Adachi: Philos. Mag. A, **65**(1992), 1249-1260.
- (25) P. Caron and T. Khan: Materials Design and Experiences, ed. by J.-C. Zhao et al., TMS, Warrendale, Pennsylvania, (2001), 1-14.
- (26) N. Yukawa, M. Morinaga, Y. Murata, H. Ezaki and S. Inoue: Superalloys 1988, eds. D. N. Duhl et al., The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, Pennsylvania, (1988), 225-234.

マルテンサイト変態の核生成に関する一考察と 鉄基形状記憶合金に現れる巨大弾性的ひずみと臨界点*

掛 下 知 行**

1. はじめに

マルテンサイト変態は“原子の拡散を伴わずにその連携的な運動により引き起こされる1次の相変態である”(1)。マルテンサイト変態(以下M変態と略す)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、M変態は、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(2)(3)ため、応用の観点からも多くの研究がなされている。さらに、近年では磁場誘起M変態に伴う磁気熱量効果を用いた新たな冷凍技術の開発が、欧州を中心に盛んに研究されている(4)。

これまでのM変態に関する研究を俯瞰すると、M変態の結晶学は非常に良く理解されているように思われる(5)-(8)。しかしながら、M変態の本質に関して幾つか解決されていない問題がある。その一つが、M変態の起源すなわち核生成の問題である。この問題については、これまでに多くの研究がなされ様々なモデルが提唱されているが、いまだ明確ではない。本稿では、著者らのこれまでにやってきたM変態のカイネティクスに関する研究を基に、M変態核生成の一つの解釈を紹介する。また、もうひとつの問題として、1次のM変態が、気相-液相変態で現れる臨界点を有し、連続変態(2次相変態)となり得るかという問題がある。しかしながら、固相-固相変態であるM変態については、そのような報告はこれまでになされていない。著者らは最近、鉄基形状記憶合金においてこの臨界点の存在を示す結果を見出したので、併せて紹介する。

2. マルテンサイト変態の核生成についての一考察

M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、M相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。電子顕微鏡などの手法により核生成の初期段階をとらえる試みを行った研究は多くあるが(9)-(12)、観察されたものが初期段階の核であるのかそれともかなり成長してしまった微細のM相であるのかは、必ずしも定かでない。これは、M変態の進行が極めて速く、核生成初期段階の観測が技術的に困難なことを一因としている。この困難を克服するために、近年では、核生成段階をシミュレーションにより調査している研究も多くあるが(13)(14)、実験的な検証は十分ではない。著者らは、少し見方を変え、核を直接観察するのではなく、相変態に及ぼす静水圧、応力ならびに磁場などの外場効果を調べることで、M変態の核生成についての考察を展開してきた。

(1) 非等マルテンサイト変態と等温マルテンサイト変態

M変態はカイネティクスの観点から非等温変態と等温変態とに区別される。鉄鋼材料や形状記憶合金におけるM変態の多くは、非等温変態である。非等温変態においては、M相の生成は変態開始温度(M_s)で瞬時に起き、その生成量は温度のみに依存すると解釈されている(図1左)。一方、等温変態においては、M変態開始までに有限の時間を有しかつその時間は温度に依存することが知られている(図1右)。すなわち、M相の生成量は温度と時間に依存することになる。特徴的なことは、変態に要する潜伏時間が最も短い温

* 2015年3月18日、東京大学駒場Iキャンパスにおける本会第156回春期講演大会において講演

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

An Interpretation on Nucleation of Martensitic Transformation and Giant Elastic-like Strain and Critical Point in Some Iron-based Shape Memory Alloys; Tomoyuki Kakeshita (Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)

Keywords: martensitic transformation, kinetics, thermal activation, nucleation, free energy, time-temperature-transformation diagram

2014年11月25日受理[doi:10.2320/materia.54.218]

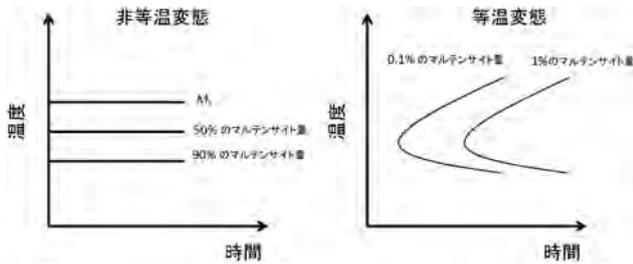


図1 非等温変態と等温変態における TTT 概念図。

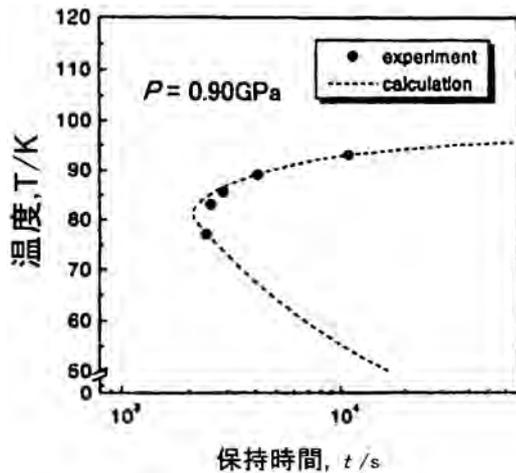


図2 大気圧下において、有限温度 ($M_s = 153$ K) で非等温的にマルテンサイト変態する Fe-31.7Ni (at%) 合金に 0.9 GPa の静水圧下を加えた際に得られる TTT 図。等温変態の特徴であるノーズを有する C 曲線が現れる。

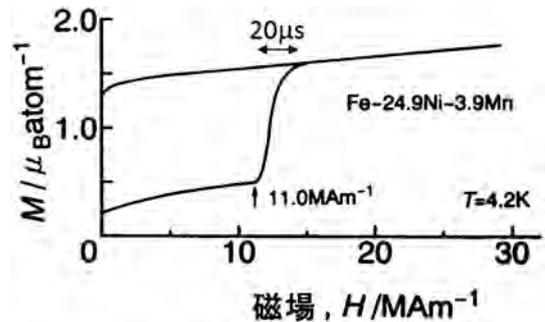


図3 等温変態を示す Fe-24.9Ni-3.9Mn (at%) 合金に 4.2 K でパルス磁場を印加すると、矢印で示した磁場強度において瞬時にマルテンサイトが生成する。

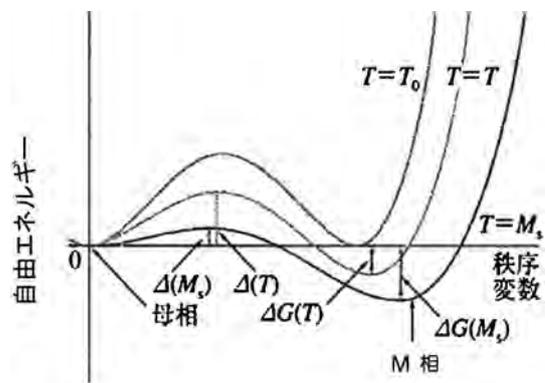


図4 ポテンシャルバリアとその温度依存性の概念図。

度、すなわちノーズ温度が存在することである。

著者らは幾つかの鉄基合金を用いて、その非等温 M 変態と等温 M 変態に及ぼす磁場ならびに静水圧の影響を調査し、次の2つの重要な結果を得た。そのひとつは、非等温変態する鉄基合金に静水圧を負荷すると、変態開始温度 (M_s) が低下し、ある負荷圧力で M_s は消失する。この M_s が消失した合金は、その圧力下で図2に示すように等温変態を示すということである⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。もうひとつは、等温変態する合金において、パルス磁場を印加すると、図3に示すように変態が瞬時に起きる非等温変態へと移行することである⁽¹⁷⁾。これらの結果は、非等温変態と等温変態の違いは本質的なものではなく、これら2つの変態は、本来、統一的に考えることができることを示している。著者らはこの違いを与える本質は、熱活性化にあると推論した。すなわち、M 変態は熱活性化過程で起きることが基本であるとした。こう考えるなら、M の生成量は必然的に温度と時間に依存することになる。この考えによれば、非等温変態はその時間が極めて短い場合であるとして解釈できる。そこで、この考えに基づいた M 変態モデルの構築を行い、その妥当性を実験により確認することとした⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。さらに、これらの結果を考慮して M 変態の核生成、特にその大きさについて考察し

た。以下にそれらの結果について述べる。

(2) マルテンサイト変態の核生成モデル

図4は1次の相変態で良く知られている自由エネルギーと秩序変数(反応座標と呼ばれる)の関係を示した模式図である。M 変態の場合、この秩序変数としてひずみを考えてよいであろう。この図から、母相と M 相の間にはポテンシャルバリア(活性化エネルギーに対応する)が存在することがわかる。著者らは M 変態生成モデルの構築の際に次の2つの仮定を設けた。1つ目の仮定として、M 変態は母相中に生成された核に相当するクラスターがこのポテンシャルバリアを熱活性化により越えることで変態が開始するとした。2つ目の仮定は、このポテンシャルバリアの大きさに関するものである。すなわち、このポテンシャルバリアは、M 相と母相との界面形成やそれぞれの相における弾性ひずみ等に由来するものではあるが、その定量的な評価は一般的に難しい。このことと、上記したようにいわゆる等温変態にノーズ温度が存在することから、M 変態のポテンシャルバリアは温度依存性があると考え、その大きさ $\Delta(T)$ を次式で表されるものと仮定した⁽¹⁸⁾。

$$\Delta(T) = \delta - \Delta g(T) \quad (1)$$

ここで、 δ は母相とM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M相との自由エネルギー差である。

これら2つの仮定を考慮して、M変態の核生成に対する確率モデルを構築した。すなわち、M変態は m^* 個の原子からなるクラスターがポテンシャルバリアを乗り越えることにより進行するとしたもので、その確率 P は次式のように表すことができる⁽¹⁸⁾。

$$P = A \exp\left(\frac{-m^*\Delta}{N_A k_B T}\right) \cdot \exp\left\{-B \exp\left(\frac{-\Delta}{N_A k_B T}\right)\right\} \quad (2)$$

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。導出の詳細は原著論文⁽¹⁸⁾を参考していただきたい。また、この式を考慮すると、 TTT 曲線における潜伏時間は P^{-1} で表されることになる。次に、導出した式の妥当性を確認するために、この式から予想されるM変態挙動を実験で確認をすることとした。予想される挙動は以下の通りである。

- ① いわゆる明瞭な M_s 点を有する合金においても、 M_s 以上の温度において等温保持すると、M変態が起きる。
- ② いわゆる等温変態を示す合金に磁場を印加すると、ノーズ温度が下降し、潜伏時間が磁場を印加してない場合に比べて短時間側に移行する。一方、静水圧負荷の場合には、ノーズ温度が上昇し、潜伏時間が静水圧を負荷しない場合と比べて長時間側に移行する。

まず予想①を確認するために、いわゆる非等温変態を示す3種類のFe-Ni合金を用いて、 M_s より ΔT だけ高い温度で等温保持し、変態の確認を電気抵抗で調査した⁽²⁰⁾。その結果を図5に示したが、この図からわかるように潜伏時間が確かに存在する。また、式(2)を用いて計算した潜伏時間(図の点線)は、実験結果を良く再現している。

次に予想②を確認するため、いわゆる等温変態を示すFe-24Ni-4Mn(at%)合金を用いて、磁場下ならびに静水圧下での TTT 図を作成した⁽²¹⁾。その結果を図6に示した。この

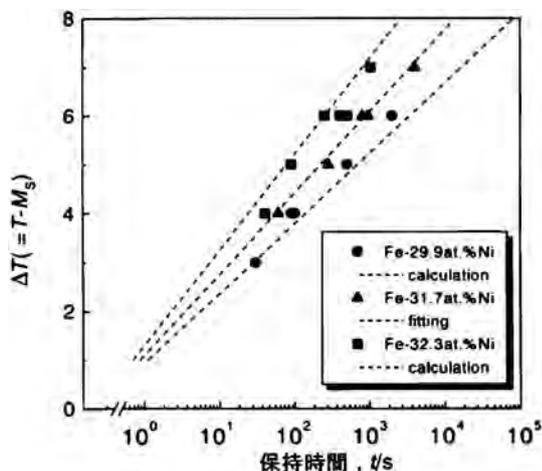


図5 M_s を有するFe-Ni系合金における TTT 図。

図からわかるように確かにノーズ温度ならびに潜伏時間の挙動は、予想した挙動と一致している。式(2)を用いて計算した TTT 図は(図の点線)は、実験結果による TTT 図を良く再現している。

以上のことから、構築したモデルは妥当性があると結論づけた。

(3) 形状記憶合金における等温マルテンサイト変態

上記の2(1), 2(2)ではFe基合金を中心としてその核生成が熱活性化過程を経由することを述べてきたが、M変態はすべて熱活性化過程で起きると考えているので、形状記憶合金におけるM変態も熱活性化過程を経由すると考えられる。これに関する最近の研究を以下に紹介する。

著者らは、いわゆる非等温変態を示す幾つかの形状記憶合金を用いて、これらの M_s 以上の温度での等温保持を行った。その結果、Cu-29.1Al-3.6Ni(at%)合金のD0₃-2H変態⁽²²⁾をはじめとして、Ti-51.2Ni(at%)合金のB2-B19'変態⁽²³⁾、Ni₄₅Co₅Mn_{36.5}In_{13.5}(at%)のL2₁-4H変態⁽²⁴⁾において、変態開始には有限な潜伏時間を有することを確認した。

図7はTi-51.2Ni(at%)合金における例であり(M_s 温度より約5K上の温度で保持する)、等温保持中に矢印で示した保持時間後に変態が開始していることがわかる。

最近になり筆者らは、Ni₄₅Co₅Mn_{36.5}In_{13.5}(at%)形状記憶合金は、M変態のカイネティクスを研究するのに極めて有効な合金であることを見出した。以下にその理由を述べる。

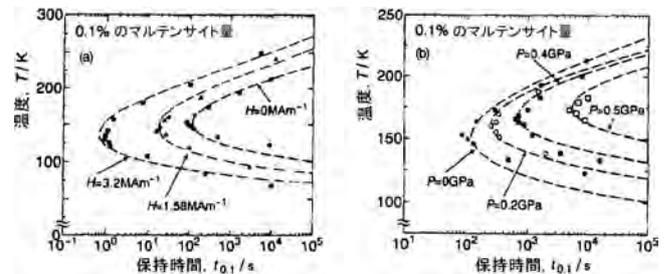


図6 Fe-24Ni-4Mn(at%)合金の TTT 図。(a) 磁場効果と (b) 静水圧効果⁽²¹⁾。

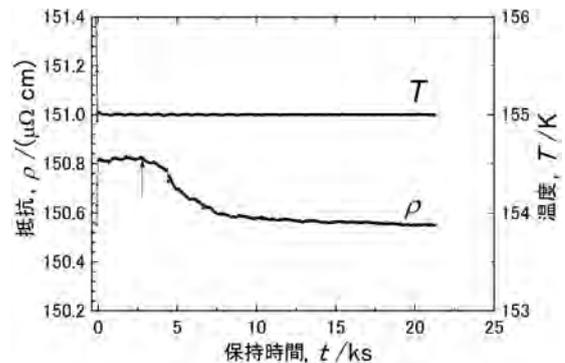


図7 Ti-51.2Ni(at%)合金を155K ($>M_s$)で等温保持した際の電気抵抗の時間依存性⁽²³⁾。

この合金はいわゆる上記したように非等温変態を示し、明確な M_s 点を有する。この合金では、母相(P相)の磁化はM相の磁化よりも大きい⁽²⁵⁾。そのため、磁場を印加すると母相が安定になり、ある磁場以上で、変態が抑制されることになる。すなわち、 M_s 点が消失する。この様子は、多くのFe基合金に磁場を印加した場合とは逆であるが、Fe基合金に静水圧を負荷した場合と同様である。先に述べたように、変態が抑制された場合には、いわゆる等温変態が出現することが期待され、 TTT 図上に明確なC曲線が現れると予想される。この意味で、この合金系はとても興味深い。そこで、この $Ni_{45}Co_5Mn_{36.5}In_{13.5}$ (at%) 形状記憶合金を用いて、磁場下での保持実験を行った結果を図8に示す⁽²⁶⁾。この図からわかるように、磁場下では明瞭なC曲線が得られる。また、 TTT 曲線は磁場強度の増加に伴い長時間側に移動することがわかる。この様子は、図6で示したFe-24Ni-4Mn(at%)合金の場合と異なる。これは、Fe-24Ni-4Mn(at%)合金では、母相P相の磁化がM相に比べて小さいのに対し、 $Ni_{45}Co_5Mn_{36.5}In_{13.5}$ (at%)合金では逆になっていることに起因する。

以上のことから、形状記憶合金におけるM変態でも時間因子を含んでおり、筆者らの考えの妥当性がさらに確かめられたことになる。

(4) マルテンサイト相の核の大きさ

ここでは、上述した式(2)における m^* の値(クラスターの大きさに相当する)から、M相の核について考察する。先に述べたように、 m^* の値はM相の核を構成する原子数に対応するとしている。したがって、 m^* の値から、核サイズを推定することができる。これまでに述べた TTT 曲線の式(2)による解析から、Fe-Ni系ならびにFe-Ni-Mn系合金について核のサイズは、立方体として見積もると、およそ $(1.5 \text{ nm})^3$ から $(2 \text{ nm})^3$ という値になる⁽¹⁸⁾。一方、 $Ni_{45}Co_5Mn_{36.5}In_{13.5}$ (at%)合金では $(5 \text{ nm})^3$ という値が見積もられる⁽²⁶⁾。このサイズは、ほぼ nm の大きさなので、現在の電子顕微鏡の技術で観察可能と思われるが、速い振動による揺らぎのため難しいかもしれない。また、核サイズを考慮する

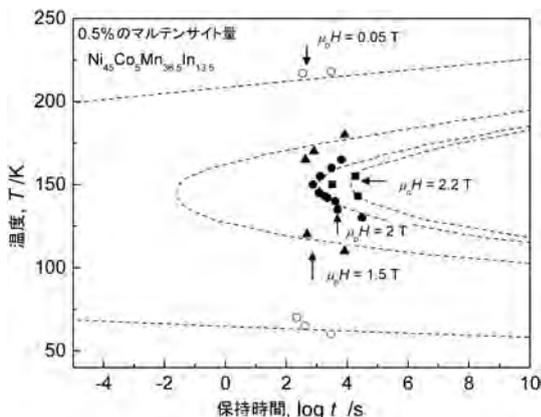


図8 $Ni_{45}Co_5Mn_{36.5}In_{13.5}$ 合金の TTT 図⁽²⁶⁾。

と、M変態の核生成に量子効果を考慮すべきであるとともに揺らぎの効果も無視できなくなるのではないかと考えられる。こう考えると、そもそも本稿で述べてきたこと自体に問題があるとも言える。今後この問題の解明が期待される。さらに、平衡温度におけるポテンシャルバリア δ の値は、Fe-Ni系合金では 1600 J/mol 程度であり⁽¹⁸⁾、 $Ni_{45}Co_5Mn_{36.5}In_{13.5}$ (at%)合金ではその1/30程度となり⁽²⁶⁾、系に依存する。系の違い以外に、このポテンシャルバリアの大きさは、サイズ効果があるようである。例えば、Fe-30.5Ni(at%)合金のバルク状態ではいわゆる明瞭な M_s 点をもつが、5 mm以下の単結晶粉末にすると M_s 点が消失しいわゆる等温変態を示す。その TTT 曲線からポテンシャルバリア δ の値を算出すると 2020 J/mol となり、バルク試料の約1.3倍の大きさになっている⁽²⁷⁾。このようなサイズ効果が表れる要因としては、微粉末において、核生成を促進する格子欠陥が消失したためと考えられる。

(5) 正変態と逆変態の相違

筆者らの考えによれば、母相からM相への正変態のみならず、M相から母相への逆変態もまた、時間依存性を有することになる。事実、Cu-29.1Al-3.6Ni(at%)合金のD0₃-2H変態⁽²²⁾ならびに、Ti-51.2Ni(at%)合金のB2-B19'変態⁽²³⁾においてこのことを確認している。ここで、式(2)から予想される逆変態における時間依存性について述べる。式(2)から時間依存性は、 $\Delta(T)/k_B T$ の温度依存性に依存することになる。そこで、Fe-Ni合金の自由エネルギーを用いて、 $\Delta(T)$ の評価を行い、逆変態の TTT 図の計算と比較のために正変態の TTT 図の計算を行った。その結果を図9に示す。図に示したA, B, Cは正変態の TTT 図であり、Dは逆変態のそれである。この図より、逆変態を表す TTT 図もまた、時間軸から傾いており、逆変態が潜伏時間を経て進行

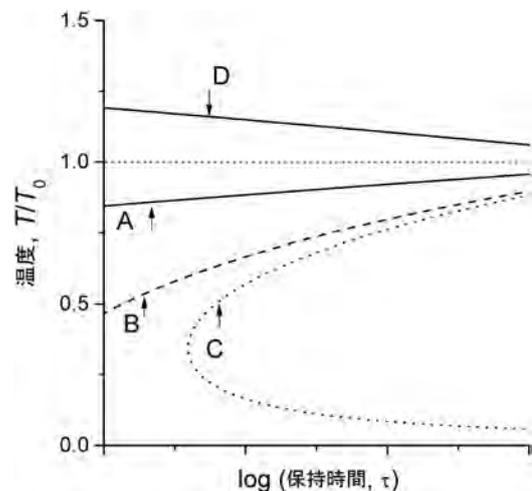


図9 正変態(A, B, C)ならびに逆変態(D)の TTT 曲線。Aは $T/T_0 \sim 0.8$ 付近で、 Δ がほぼゼロとなる場合、Bは $T/T_0 \sim 0.4$ で Δ がほぼゼロとなる場合、Cは $T/T_0 = 0$ まで Δ がゼロとならない場合。

することが理解できる。

しかしながら、正変態と逆変態の TTT 曲線には大きな相違が生じる。すなわち、正変態では、 $\Delta(T)$ の低温における温度依存性が高温のそれと異なり温度に対する変化が小さいことを反映して、最終的にはノーズをもつ TTT 曲線(C)へと変化する。逆変態では、 $\Delta(T)$ の温度依存性が T にほぼ比例しているため、ノーズが現れない。このように、正変態・逆変態ともに時間依存性を本質的に有するが、その挙動には大きな差が生じる。また、図9から想定されるように、等温逆変態の検出は、等温正変態の検出に比べて、潜伏時間の温度依存性が極めて小さいため、測定には精度ある実験が望まれる。

3. 鉄基形状記憶合金に現れる巨大ひずみと臨界現象

(1) 弾性的な巨大ひずみの出現

この節では、1次のM変態が、気相-液相変態で現れる臨界点を有し、連続変態(2次相変態)となり得るかという問題について筆者らの実験結果をもとに考察する。この臨界点の存在を有する系として可能性があるのは、形状記憶合金であるFe-Pd合金および規則度の高い Fe_3Pt が挙げられる。その考えに至った理由を以下に述べる。これらの合金は、FCC母相からいわゆるFCT M相に変態することは良く知られている(Fe_3Pt は規則度を無視した場合)⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。この変態の特徴は図10に示すように⁽³⁰⁾、変態点における格子定数の変化が小さく、すなわち体積変化が小さく、かつ、変態点以下で格子定数が連続的に変化することである。また、変態に伴う潜熱も小さい。さらに特徴的なことは、これら合金の母相の弾性定数 $c' = (c_{11} - c_{12})/2$ がM変態温度に向かって零に近づくことが報告されている⁽³¹⁾。この格子軟化は、逆格子の原点である Γ 点に異常があることを示唆しており、第一原理に基づいたバンド計算から、図11に示すようにバンド・ヤーン・テラー効果によるものと理解されている⁽³²⁾。したがって、これら合金は、弱い1次変態であることを示している。筆者らは、これらの事実ならびに気相-液相変態に圧力を負荷すると臨界点が現れることを考慮し、Fe-

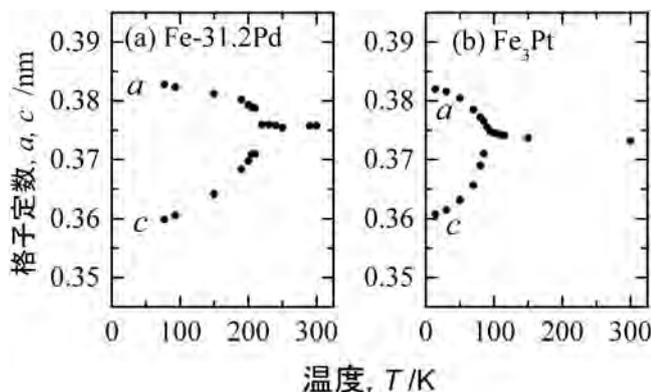


図10 Fe-31.2Pd(at%)合金ならびに Fe_3Pt における格子定数の温度依存性⁽³⁰⁾。

31.2Pd(at%)合金および規則度の高い Fe_3Pt に応力を負荷すると臨界点が存在する可能性がある」と推論した。すなわち、応力負荷によりM変態に伴うひずみならびにエントロピー変化がゼロになり、連続変態(2次相変態)に移行すると考えた。また、 c' が変態点近傍でゼロに近づくならば、この弾性定数が寄与する $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ に応力を負荷すると、応力が小さくても大きなひずみが得られると予想できる。そこで、本節ではこれらの予想を確かめるために、Fe-31.2Pd(at%)合金および規則度の高い Fe_3Pt のM変態に及ぼす応力効果を調査した。

図12は、Fe-31.2Pd(at%)合金(M_s は約230 K)⁽³³⁾⁽³⁴⁾ならびに規則度が0.75の Fe_3Pt (M_s は約90 K)⁽³⁵⁾の応力-ひずみ曲線である。圧縮方向は $[001]$ である。この図からわかるように温度の低下とともに極めて大きな弾性的変形を示す。この弾性的変形の最大値は、いずれの合金においても、図13に示すように変態温度付近においてはほぼ6%以上になる。また、そのヒステリシスは、温度が高くなるとともに小さくなる。この弾性的変形は、応力下での中性子回折の実験⁽³⁶⁾から、応力負荷に対して構造変化が連続的に起きるためであることを確認している(正方晶度が変化する)。以上の結果は、

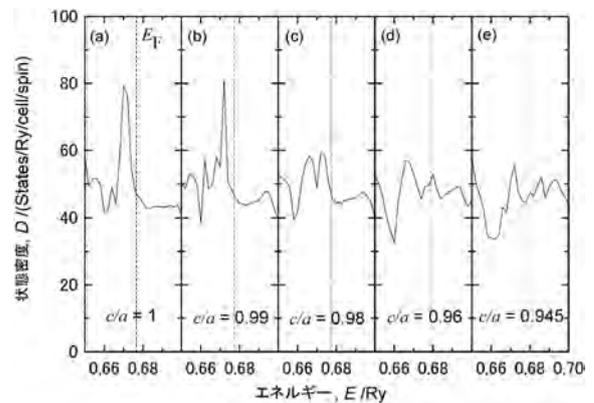


図11 Fe_3Pt における電子状態密度(DOS)の軸比(c/a)依存性⁽³²⁾。フェルミエネルギー E_F 直下にあるピークが正方晶ひずみを与えることにより2つに分離することで、系のエネルギーを低下させている。

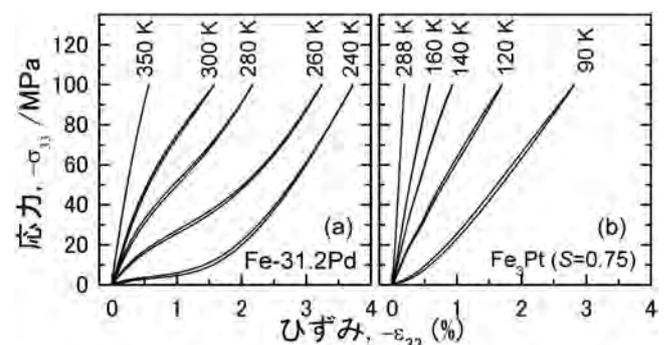


図12 Fe-31.2Pd(at%)合金⁽³⁴⁾ならびに Fe_3Pt ⁽³⁵⁾における応力-ひずみ曲線の温度依存性。

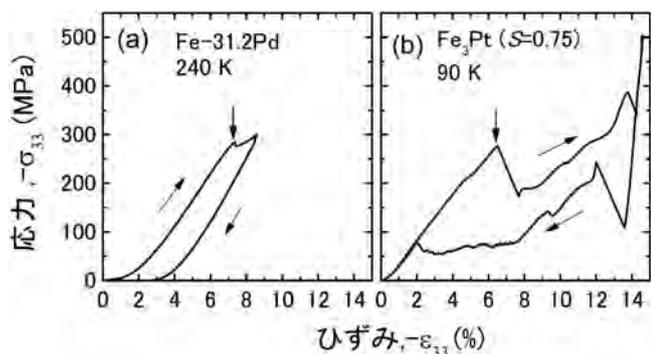


図13 Fe-31.2Pd (at%) 合金⁽³³⁾ならびに Fe₃Pt⁽³⁵⁾における M_s 温度直上における応力-ひずみ曲線。

筆者らが予測した通りになっており、臨界点の存在の可能性を強く示唆している。この考察をする前に、弾性変形以上の応力を負荷した場合の挙動について以下に述べる。図13からわかるように、いずれの合金もほぼ300 MPa 付近で降伏する(矢印)。この降伏に関しての情報を得るために電子顕微鏡による組織観察を行った結果、Fe-31.2Pd(at%)では、降伏により{111}変形双晶が導入されていることがわかった⁽³³⁾。したがって、降伏後に生じたひずみは、応力除荷時に回復しない。一方、Fe₃Ptにおいては、降伏に際して bct マルテンサイトへと応力誘起変態し、降伏後に生じたひずみは、応力除荷時に逆変態することにより、ほぼ完全に回復する(ほぼ14%)。以上の結果から、このような大きな弾性変形が実現可能であるのは、すべり変形を生じる応力が両合金とも高いことが推論される。事実、これら合金のすべり変形に関与する弾性定数(c_{44})は、 c' とは異なり変態点近傍でも高い値を保持していることを確認している。このため、本系で観測された6%もの巨大な弾性変形が実現可能となったと理解できる⁽³³⁾。

(2) 臨界現象の出現

この節では、臨界点の存在について考察する。そのために、Fe-31.2Pd(at%)合金の応力-歪曲線の挙動について説明する。はじめに、図12(a)に示した変態点近傍の240 Kで圧縮した応力-ひずみ曲線であるが、この図から約1.2%程度のステージ(応力がほぼ一定の領域)がみられる。これは1次のM変態による格子定数の変化に由来しているものであり、ステージの幅は変態ひずみと呼ばれている。このステージは、280 Kの場合にはほとんど見られない。すなわち、変態歪は応力の増加にともない減少していることがわかる。また、先に述べたように、このステージ領域を与える以上の応力負荷で観察される弾性的変形は、応力下でのX線回折の実験から、応力負荷に対して構造変化が連続的に起きるための変形であることを確認している(正方晶度が変化する)。このステージの出現の応力ならびに温度の関係を詳細に調べるために、Fe-31.2Pd(at%)と同様の変態を示すFe-30.8Pd(at%)合金に[001]方向から応力を負荷し、変態ひずみの大きさと負荷

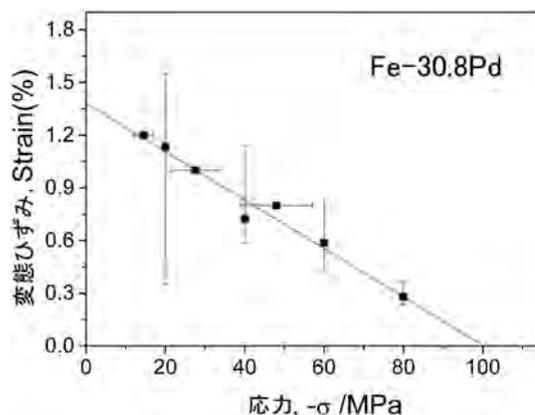


図14 Fe-30.8Pd (at%) 合金の[001]圧縮応力下における変態ひずみの応力依存性⁽³⁷⁾。

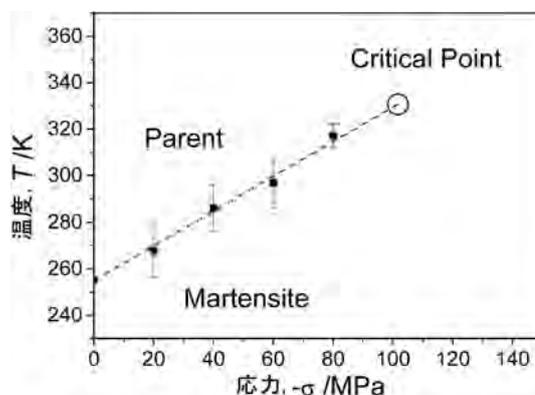


図15 Fe-30.8Pd (at%) 合金の[001]圧縮応力下における温度-応力相図⁽³⁷⁾。母相とマルテンサイトの相境界には臨界点が現れる。

応力の関係を調査した。その結果を図14に示す。この図から、変態ひずみは応力の増加とともに減少し、およそ100 MPaの応力負荷により変態ひずみが消失していることがわかる。このような変態ひずみの消失は、気相-液相間の相変態における体積変化の消失と酷似しており、本系のM変態においても臨界現象が現れていると解釈することができる。求めた M_s と臨界点を図15に示す。臨界点は、温度約330 Kで応力約100 MPaである。

次に、なぜこのような臨界現象がTi-Ni系やCu系などの従来から良く研究されている形状記憶合金では見つからず、Fe-Pd系の形状記憶合金で見出すことができたのかについて考察する。一つの重要な理由として、Fe-Pd系合金では[001]圧縮応力下における母相の構造とM相の構造が同じ対称性を有していることが挙げられる。すなわち、Fe-Pd系合金のM相は $c/a < 1$ の正方晶の構造を有しており、これは母相を[001]方向から圧縮した格子と同じである。また、このMに関しては、超格子反射が現れないことより、原子のシャッフリングは生じていないと考えられる。したがって、M相の構造は基本的には母相を弾性的に[001]方向から圧縮した構造と同じということになる。このような場合、母相か

企画にあたって

～6大学連携 特異構造金属プロジェクトの背景と趣旨～

高梨弘毅¹ 伊藤 満² 片山聖二³ 田中信夫⁴ 逢坂哲彌⁵ 宮原裕二⁶

¹ 東北大学金属材料研究所; 所長・教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)

² 東京工業大学応用セラミックス研究所; 所長・教授

³ 大阪大学接合科学研究所; 所長・教授

⁴ 名古屋大学エコトピア科学研究所; 所長・教授

⁵ 早稲田大学ナノ理工学研究機構; 機構長・教授

⁶ 東京医科歯科大学生体材料工学研究所; 所長・教授

Preface to Special Issue on 'Joint Research Project of 6 Institutes on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials'; ¹Koki Takanashi, ²Mitsuru Itoh, ³Seiji Katayama, ⁴Nobuo Tanaka, ⁵Tetsuya Osaka and ⁶Yuji Miyahara (¹Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, ²Materials & Structures Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, ³Joining and Welding Research Institute, Osaka University, Ibaraki, ⁴EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Nagoya, ⁵Institute for Nanoscience & Nanotechnology, Waseda University, Tokyo, ⁶Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo)

Keywords: *sustainable energy and environmental materials, electronics materials, biomedical materials, composite materials, joining and welding*
2015年2月24日受理[doi:10.2320/materia.54.225]

2005年度～2009年度に実施された「金属ガラス・無機材料接合技術開発拠点」プロジェクトは、東北大学金属材料研究所、東京工業大学応用セラミックス研究所および大阪大学接合科学研究所の3大学3研究所が、それぞれの特徴を生かして共通の課題に取り組んだ画期的なプロジェクトであった。

現在、上記3大学連携プロジェクトの研究成果をベースとして、さらに名古屋大学エコトピア科学研究所、東京医科歯科大学生体材料工学研究所、早稲田大学ナノ理工学研究機構の3大学3研究所・機構を加えた「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」が2010年度～2015年度の予定で遂行されている。(以下、6大学連携プロジェクトと略称)

本6大学連携プロジェクトでは、金属材料に基づく新機能材料開発を進める東北大学金属材料研究所と無機材料に基づく新機能材料開発を進める東京工業大学応用セラミックス研究所が接合・界面技術に特化した大阪大学接合科学研究所と連携して新たな材料開発を進めるとともに、環境・エネルギーに特化した名古屋大学エコトピア科学研究所、広範囲なエレクトロニクス材料の加工・デバイス化を得意とする早稲田大学ナノ理工学研究機構、さらに我が国を代表する生体医療材料研究機関である東京医科歯科大学生体材料工学研究所による新たな応用研究、用途開発が図られている。さらに、6大学6研究所・機構の有機的な連携研究により、新しい機能性材料の創製とその応用展開を行い、6つの異なる学問分野の融合による学際横断的新材料分野および新学問体系の構築と、「環境・エネルギー材料」、「エレクトロニクス材料」、

「生体・医療材料」分野での実用化に不可欠な新技術開発の迅速化と格段の進展を図っている。また、本プロジェクトは文部科学省の特別経費事業としては初めての試みとして、国立大学と私立大学が共同のプロジェクトを組んでおり、早稲田大学ナノ理工学研究機構内に主幹校東北大学の金属材料研究所東京分室を設置している。このような国立と私立の垣根を越えた連携は組織編成上も特筆に値するものである。

本6大学連携プロジェクトで設定している3つの材料開発分野は、我々国民の生活に直結する非常に重要なものである。超高齢化社会を迎える日本にとって、「生体・医療材料」への関心はますます高くなっている。さらに健全かつ持続可能な社会を築き、先年の未曾有の大地震時に経験したインフラの機能不全からの脱却が期待できる「環境・エネルギー材料」、近年の通信技術の発達による情報時代をより快適かつ洗練されたものにする「エレクトロニクス材料」では、いずれの研究課題も早期の達成が期待されている。この問題解決に向けて、プロジェクト内での共同研究、試料の相互提供などを行い、研究者の交流を進めるため、年2回の連携成果報告会(国際会議 AMDI および公開討論会)、年数回の各分野会議、講習会を開催し、連携の醸成を図ってきた。発足から丁度一年を経過した2011年3月に東日本大震災が起こり、主幹校である東北大学は甚大な被害を受け、一時的に研究活動に停滞が見られたものの、関係者の努力により急速に回復し、連携2～3年目からは学术论文の共同執筆や知的財産の確保などの連携成果が順調に出始めた。

本6大学連携プロジェクトでは、設置目的も研究土壌も異なる各研究所が高機能材料の開発という目標に向かって共

環境・エネルギー材料開発分野の活動状況

山浦真一* 関口哲志** 余語利信***

* 東北大学金属材料研究所；特任准教授

** 早稲田大学ナノ理工学研究機構；教授

*** 名古屋大学エコトピア科学研究所；教授(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

Research Progress on Materials for Environmental Protection and Advanced Energy of Environment and Energy Materials Development Group; Shin-ichi Yamaura*, Tetsushi Sekiguchi** and Toshinobu Yogo*** (*Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai. **Institute for Nanoscience and Nanotechnology, Waseda University, Tokyo. ***EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Nagoya)

Keywords: fuel cell, metallic glass, energy harvesting material, magnetostriction, nanoporous catalyst, thermoelectric conversion

2015年1月20日受理[doi:10.2320/materia.54.227]

1. はじめに

6大学連携 特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト(以下6大学連携プロジェクトと略す)では、環境・エネルギー材料開発研究を主要3分野のひとつとして連携共同研究を行っている。本稿では、研究所間の共同研究成果について、燃料電池材料、磁歪を応用した発電材料、触媒材料を中心に活動状況の一端を報告する。

2. 燃料電池材料の開発

現在固体高分子型燃料電池に使用されているナフィオンに代表されるパーフルオロスルホン酸ポリマー電解質膜は、高コスト、白金触媒の被毒などの問題点を有している。燃料電池の作動温度を現在の約80℃から120~150℃程度の中温域まで引き上げるにより、これらの問題点が解決できる。白金触媒は燃料水素ガス中の一酸化炭素により被毒し、活性が低下する。しかし、電池作動温度を80℃から120℃まで上昇させると、燃料水素ガス中の一酸化炭素許容濃度は、10 ppmオーダーから1000 ppm程度まで増加する。また、低加湿下での電池作動は、電池システムの小型化や簡素化が可能となる。しかし、現在主流であるナフィオン膜は80℃付近、100%加湿下では高い性能を示すが、100℃以上では伝導度などの特性が低下してしまう。そのため、中温域で使用可能な電解質膜が必要である。

本プロジェクトでは、名大エコトピア科学研究所と東北大金属研でそれぞれ開発した中温域電解質膜と金属ガラスセパレータを用いて、膜電極接合体を作製し、検討している。不飽和官能基を有するホスホン酸誘導体とアルコキシシラン誘導体を共重合した後、加水分解しゾル・ゲル反応により、シリカネットワークを生成させた。このようにして得られた無機・有機ハイブリッド膜の写真を図1に示す⁽¹⁾。赤外吸収ス

ペクトルにより、ハイブリッド膜はホスホン酸基、芳香環を有し、ゾル・ゲル反応によるSi-O結合を含有していた。さらにSi NMR測定により、3次元Si-Oネットワークが生成していることが明らかとなった。この膜は、熱重量分析によると、室温から180℃まで吸着水分の脱離による数%の重量減少を示すのみであり、中温域での安定性を有していた。これは、膜中の3次元Si-Oネットワークがハイブリッド膜に熱安定性を賦与しているためと考えられる。

相対湿度30及び100%下におけるハイブリッド膜の各温度に対するプロトン伝導度を図2に示す⁽¹⁾。どちらの相対湿度においても温度の上昇にともなってプロトン伝導度が上昇しており、相対湿度100%下でも高い耐熱性を示した。これらのハイブリッド膜を電解質膜として、図3(a)に示すNi₆₅Cr₁₅P₁₆B₄金属ガラス溶射セパレータ⁽²⁾を用いて、膜電極接合体(図3(b))を組み立てた。この膜電極接合体に定電流1 mAを流した際のセル電圧の時間変化を検討した。140℃、30%RHの中温低加湿条件下で50時間作動させてもセル電圧の降下はほとんど観られなかった。金属ガラスセパレータを用いた電池の10から30時間作動後の電池特性を図4に示す。その電池は、50時間発電後に開回路電圧0.85 V、最大

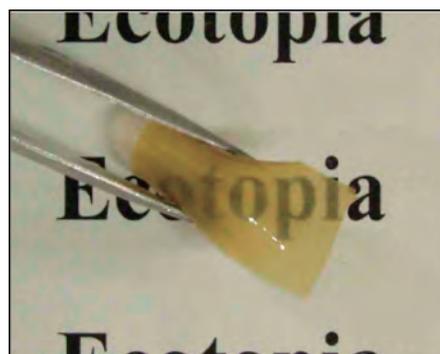


図1 プロトン伝導性無機・有機ハイブリッド膜。

出力密度 5.1 mW/cm^2 を示した。一方、カーボンセパレータを用いた電池の50時間発電後の開回路電圧は 0.59 V 、最大出力密度は 2.6 mW/cm^2 であり、金属ガラスセパレータを使用した場合の方が電池性能が優れていた。

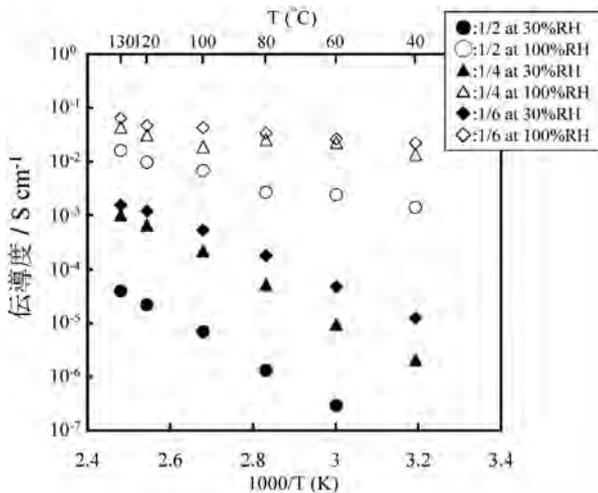


図2 ハイブリッド膜の伝導度の温度依存性。(比は Si/P 組成比を表す)

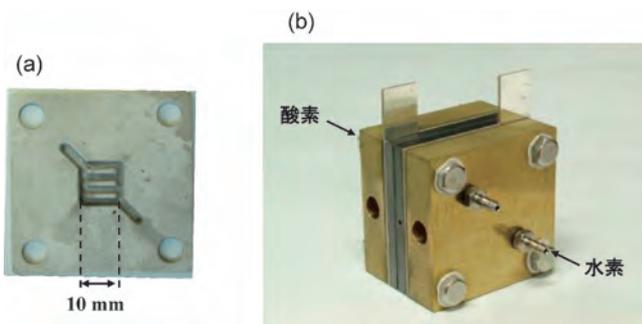


図3 金属ガラスセパレータと膜電極接合体。

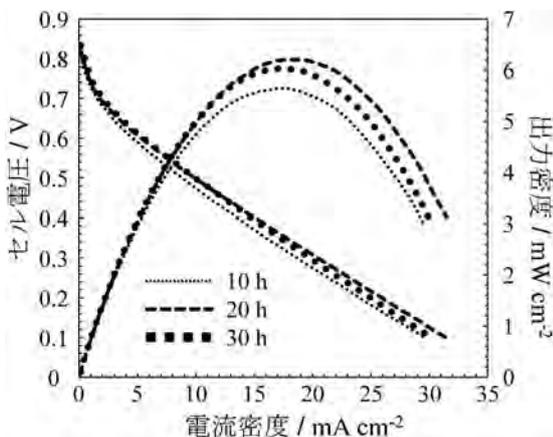


図4 金属ガラスセパレータ使用膜電極接合体で測定したハイブリッド膜の電池特性。

3. 鉄基磁歪合金を用いた新規振動発電デバイスの創製

最近、電力供給を原発のみに頼らない脱原発・創エネルギーの流れの中で、自然界の微小なエネルギーを回収し利用する“エネルギーハーベスト”技術が脚光を浴びている。エネルギーハーベストは、今までならば捨ててしまっていたような自然界の僅かなエネルギーを電力に変換し、利用する。このうち、風力、太陽光、地熱は大規模発電技術が確立され系統電源に接続可能であることから、エネルギーハーベストからは除外されることが多い。我々は環境発電の中で、微小な振動を電力に換える振動発電技術に着目し、研究を行っている。振動発電機構も逆磁歪発電、磁石の運動による電磁誘導発電、静電気によるエレクトレット発電、強誘電体発電等、数多く提案されているが、我々は磁歪材料の逆磁歪効果によって誘導起電力を得る方法を採用した。図5には磁歪合金の逆磁歪効果を利用した発電機構を簡単に示す⁽³⁾。中央の磁歪合金棒に衝撃を与えると、それに応じて瞬間的に周囲に磁場が発生し、合金棒に巻いたコイルで誘導起電力を得ることが出来る。合金棒には磁石が接触している。先行研究⁽⁴⁾でも述べられているが、磁石を近傍に設置すると効果が大きいようである。磁石を設置するのであれば、磁歪材料を用いずとも、磁化の大きい純鉄等を使用して同様のことが行えるのではないと思われるかもしれないが、意外にも磁歪材料を使う効果は大きく、単に純鉄芯を用いるだけでは十分な発電は得られないことは、我々の予備実験でも分かってきており、興味深い点である。

次に、本研究で使用する磁歪合金について述べる。現在、Terfenol-D (Tb-Dy-Fe 合金) や Galfenol (Fe-Ga) が優れた磁歪材料として知られている。Terfenol-D, Galfenol はそれぞれ約2000 ppm, 300 ppm の極めて大きな磁歪量を示すが、やや脆いこと、どちらも米国海軍主導で研究開発されてきたことから、日本国内での利用は限られていたようである。そこで我々は安価で使いやすい新しい磁歪材料候補として Fe-Co 合金に着目し、研究を進めてきた。Fe₄₉Co₄₉V₂ 合金は優れた軟磁性材料としてパーメンジュールの名称で市販されているが、Co リッチ側組成で磁歪量が上昇することも知られている⁽⁵⁾。図6に Fe-Co 二元合金の Co リッチ側組

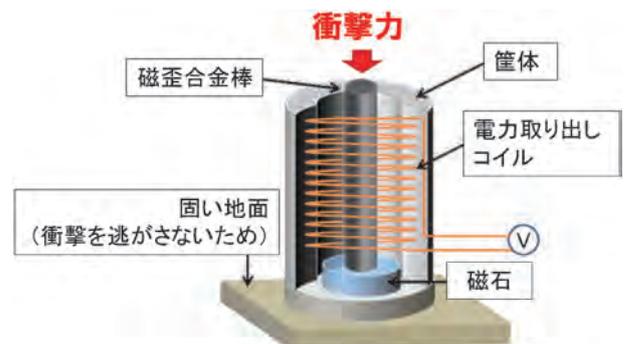


図5 磁歪合金の逆磁歪効果を利用した発電原理。

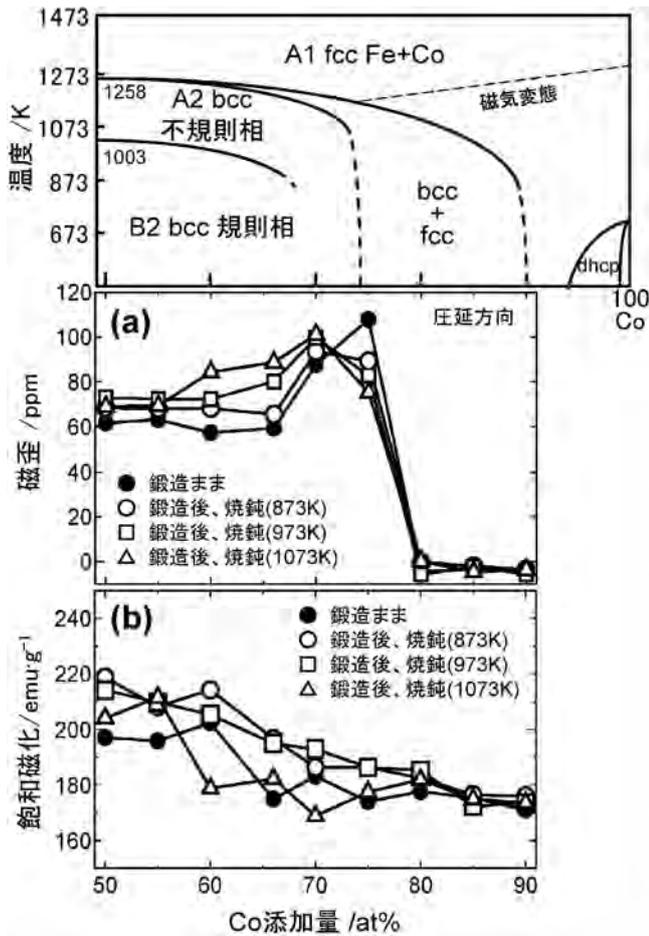


図6 Fe-Co合金鍛造材の(a)磁歪, (b)磁化特性(磁場1.2 Tでの飽和値)⁽⁶⁾.
S. Yamaura et al.: Mater. Sci. Eng. B, **193**(2015), 121-129.

成における(a)磁歪量, (b)飽和磁化を示す⁽⁶⁾。図6の最上部に示した状態図に見られる通り, bcc単相領域とbcc+fcc混相領域の相境界付近で磁歪は最大値を示すことが分かる。

我々の研究ではFe₂₅Co₇₅合金鍛造材で100 ppmを超える磁歪量が得られた。本合金は, 冷間圧延を施すことによって磁歪量は140 ppmまで達することが国内外の研究で明らかにされており⁽⁶⁾⁽⁷⁾, さらにFe₃₄Co₆₆合金薄膜で260 ppmの大磁歪が報告されており⁽⁸⁾, 今後さらなる研究の進展が期待できる。一方, 本合金の磁化は図6(b)に示す通り, Co量が増えると共に単純に減少しており, 相組織にほとんど依存しないことが分かる。このように我々は比較的容易に作製可能であるFe-Co合金系を使用し, 振動発電体の創製に着手した。

図7には, 現在試作している新しい振動発電体のプロトタイプ, 出力波形, 適用例を示した。基本的には図5に示した, Fe-Co合金芯材に振動による衝撃を加え, その歪み速度に応じて誘導起電力を取り出す構造であるが, 効率よく芯材を打突し, さらに振動が長く継続することによって, より多くの電力が取り出せるように工夫した。一般的に, 振動発

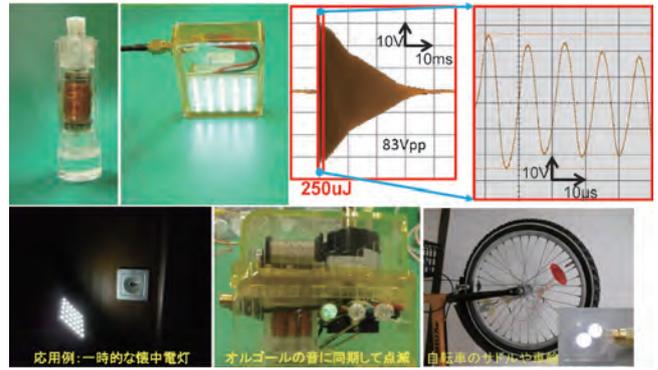


図7 本開発逆磁歪発電デバイスの発電特性。

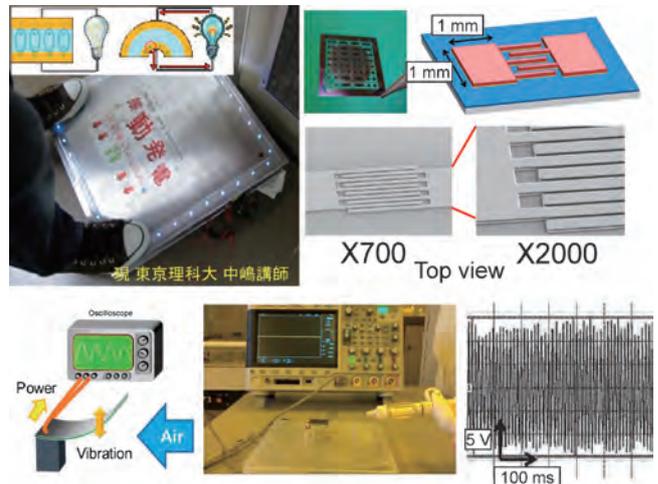


図8 PVDF誘電膜を用いた発電デバイスの試作。左上: 床発電, 右上: MEMS試作, 下: 気流による振動を利用した発電。

電は素材の共振を利用すると効率が最大化されると考えられているが, 自然界にはランダムな振動が多く, 共振設計出来るような一定周波数の振動は限られている。本研究では1回の衝撃によるトータルの起電力は, 波形を積分して約250 μJであった。簡単な適用例を図7の下側に示す。基本的には振動があればどこでも適用可能であるが, 単発の振動では得られる効果は小さいので, 蓄電回路を併用し, 数回の振動による発電を蓄積し, 溜まった電気エネルギーを使用して省電力機器を動かし, 目的に応じて仕事をさせるのがエネルギーハーベスト機器の応用先になるであろう。

自立的に周囲の環境から電力を得て外部環境を計測し, 無線でデータ送信を行う自然・災害監視用モニタリングポスト, 橋梁・高層建築の健全性を常時監視するセンサシステム等, 応用例の構想には枚挙にいとまがない。

図8には, 東北大・早大で試作を行っているもう一種類の振動発電体について紹介する。これは強誘電体であるポリフッ化ビニリデン(PolyVinylidene Difluoride, PVDF)膜に引っ張り応力を加えた時に膜の表裏に生じる電位差を電気エネルギーとして利用する。高い電圧が得られるが, PVDF膜

エレクトロニクス材料開発分野の活動状況

川原田 洋* 神谷 利夫**

* 早稲田大学教授；大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

** 東京工業大学教授；応用セラミックス研究所

Research Progress on Materials for MEMS and Electronics Devices of Electronics Materials Development Group; Hiroshi Kawarada and Toshio Kamiya (*Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University, Tokyo. **Materials & Structures Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

Keywords: piezoelectric materials, carbon nanotube (CNT), bio-sensing, a-IGZO TFT, topological insulator

2015年3月2日受理[doi:10.2320/materia.54.232]

1. マイクロエレクトロメカニカルシステムデバイス 用無鉛圧電セラミックス薄膜

有害元素含有材料の使用に関する規制が、欧州を中心に進められている。現在製品化されている圧電体セラミックス材料は鉛系酸化物の $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT)系が中心なため、無鉛圧電材料の開発は急務である。種々の無鉛材料の中で $(\text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$ (KNN)は、比較的高いキュリー温度と優れた圧電特性を有する化合物として注目されている。名古屋大学エコトピア科学研究所は、高均質、精密な組成制御が容易で、低温合成が可能な金属-有機化合物前駆体溶液での化学プロセスにより、KNN系化合物の薄膜化を行っている。所望の特性を得るためのKNN薄膜の特性制御のため、KNNに異種元素を置換あるいはドーピングする。多価イオンとなるMnのドーピングでは、大きな問題である電気絶縁性の低下を解決している。その機構は、 Mn^{2+} あるいは Mn^{3+} の状態では薄膜中に存在するMnイオンにより薄膜中のキャリアがトラップされ、絶縁性の向上が得られる⁽¹⁾。現在、早稲田大学ナノ理工学研究機構と共同で発現する特性の評価と薄膜のデバイス化を目指した検討を行っている。KNN系薄膜における電界誘起歪み特性をはじめとした様々な電気的特性の解析、微細加工がその特性に及ぼす影響について、材料技術とデバイス加工技術を融合したカンチレバー型アクチュエーターの開発(図1)、さらには振動など自然エネルギーの電気エネルギーへの変換計測への展開を進めている。

2. ナノポーラス構造を利用した微細接合技術

電力エネルギーの効率と再生可能エネルギーの比率を高めるため、パワーモジュールやエネルギーモジュールが注目されている。パワーモジュールは動作時に電流を制御するため、大電流を制御するほど発熱量が大きくなり、またモジュールの小型化・軽量化では部品等の高密度搭載により温度上

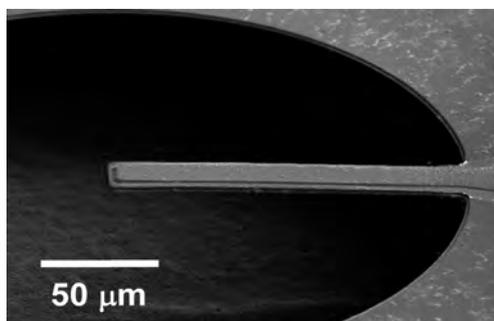


図1 微細加工後のカンチレバー型 $(\text{K}, \text{Na})\text{NbO}_3$ 系薄膜の電子顕微鏡写真。

昇が起り易く、そのような高温環境下では半導体デバイスの性能低下も懸念され、接合技術なども含めたデバイス内の各要素技術の高度化も不可欠となっている。現在、このような接合部には有害物質であるPbを含む高融点はんだ(Pb-5Snなど)が主に用いられているが、環境意識の高まりから、有害物質を含まない代替材料とその接合プロセスの確立が喫緊の課題の一つとなっている。そこで、大阪大学接合科学研究所は、早稲田大学ナノ理工学研究機構との共同研究で、パワーデバイスなどに使用されている高鉛含有はんだ(Pb-5Sn, Pb-10Sn はんだなど)の代替材料、及びそのための代替接合プロセスの確立などを目的とし、新たなナノポーラス構造を利用した微細接合技術の構築に取り組んでいる。これまでにAu-Ag合金より作製したAuナノポーラス材料(図2)を利用し、接合プロセスを制御することで、Cu/Cu接合やAuめっき/Auめっき接合が可能であり、高鉛含有はんだと同等の20 MPa以上の接合強度を得られることなどを明らかにしてきた⁽²⁾⁽³⁾。

3. カーボンナノチューブによるSiCパワー半導体用電極

名古屋大学エコトピア科学研究所で開発されたSiC表面

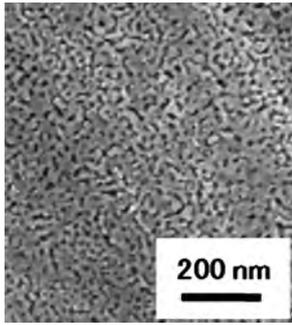


図2 Au ナノポーラス材料表面構造の一例。

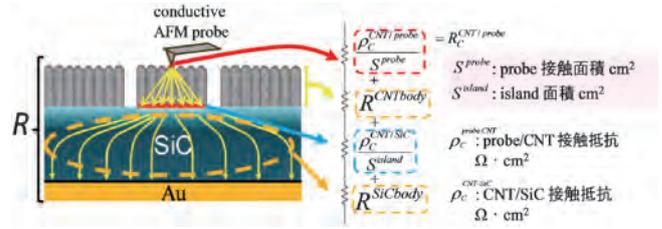


図3 CNT/SiC 界面の接触抵抗の評価。
カーボンナノチューブとSiCとの接触抵抗 $\rho_{CNT-SiC}$ を求めるうえで他の抵抗成分からの分離が必要であるが、接触面積 S_{island} の異なる領域の面積依存項から導出される。

分解法で作製した高密度垂直配向カーボンナノチューブ (CNT on SiC) は、 $\sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ もの非常に高い本数密度の稠密な CNT フォレストである。早稲田大学ナノ理工学研究機構は、この CNT フォレストが、高熱伝導率と高電流密度が必要なパワー半導体用電極として利用出来ると考え、名古屋大学エコトピア科学研究所と共同で CNT/SiC 界面における電気特性を初めて調査した。CNT は金属的に振る舞い、4H-SiC との界面でショットキー障壁を形成する。一般的にワイドバンドギャップ半導体である SiC は金属とのショットキー障壁が 1.0 eV 以上と高く、オーミック接合が難しい。したがって、CNT/SiC 界面の接触抵抗の評価およびそれからショットキー障壁を求めることが、CNT フォレストをパワーデバイスの電極に応用するうえで不可欠な情報となる。そこで CNT/SiC 接触面積を変化させた図 3 のような構造で、AFM プローブを用いた電気特性から接触抵抗を求めた。この結果から熱電子放出モデルより CNT/SiC 界面のショットキー障壁高さが 0.4-0.5 eV であることを初めて見出した。この値は、3 eV 以上のバンドギャップを持つ SiC としては非常に低い値で、実用化されている Ni シリサイド/SiC 界面の障壁と同程度であることがわかった。電流密度、熱伝導度では CNT が Ni シリサイドをはるかに上回るため、この共同研究の成果は、SiC 半導体が大電流密度で最大性能を発揮するうえで今後の発展が期待される⁽⁴⁾。

4. ソフトコンタクトレンズ型バイオセンサによる涙液グルコース計測

東京医科歯科大学生体材料工学研究所は、涙液中に含まれるグルコースを測定可能なソフトコンタクトレンズ型バイオセンサを開発している。血糖値との相関が報告されている涙液グルコースに着目し、生体適合性材料をもとに MEMS 技術を用いてソフトコンタクトレンズ型バイオセンサを作製し、家兎の眼部にて涙液グルコースの *in-situ* 測定および血糖値評価を進めている⁽⁵⁾。ソフトコンタクトレンズ型グルコースセンサは、polydimethylsiloxane (PDMS) 上の Ti 製のステンシル上の Pt 及び Ag によるフレキシブル電極とし、グルコース酸化酵素を電極感応部に、生体適合性を有する機能性高分子 PMEHA (poly(MPC-co-EHMA)) を用いて包括固定化している (図 4)。柔軟性に富み、曲げ応力による変形な



図4 ソフトコンタクトレンズ型グルコースセンサの外観写真。

どに対しても薄膜電極の剥離や、クラック形成はなく、電極と PDMS との高い密着性が確認されている。GOD 触媒反応で生成する過酸化水素を電気化学的に検出し、グルコース濃度を計測する。センサの *in-vitro* での特性評価の結果、涙液グルコース濃度 (0.05-0.36 mmol/L) を含む、0.03-6.0 mmol/L の範囲でグルコースを定量化可能であった。日本白色種家兎の眼部にセンサを装着し、ブドウ糖の経口投与による涙液グルコース濃度をモニタリングし、血糖値の変化と比較したところ、涙液糖の濃度は約 8 分の時間遅れで血糖値変化に追従し、涙液測定による血糖値の非侵襲連続評価の可能性を示すことができた。

5. フレキシブルデバイス用半導体・プロセス

ポリマーフィルムなどフレキシブル基板の上に機能性デバイスを実装したフレキシブルデバイスは、次世代の情報機器のみならず、エネルギー、医療分野にわたる幅広い応用の可能性を秘めている。大阪大学接合科学研究所では、図 5 に示すような、スパッタ放電に低ダメージ高密度プラズマを重ねたハイブリッドプラズマ製膜法ならびにソフトな表面プロセス技術の開発により、フレキシブルデバイス創成に向けたプロセスの実現を目指している。これまでに、室温から 150°C 程度までの低温に保った状態でも、微結晶シリコン薄膜や高移動度のアモルファス酸化物 (a-In-Ga-Zn-O: a-IGZO) 薄膜トランジスタ (TFT) を形成できることを示しており、さらなる性能向上を目指している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

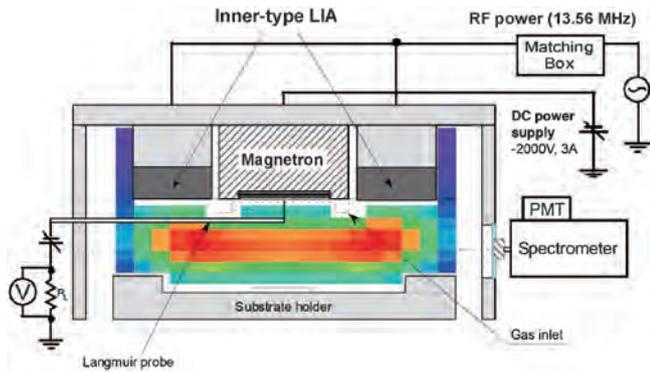


図5 低ダメージ高密度プラズマハイブリッド製膜システム.

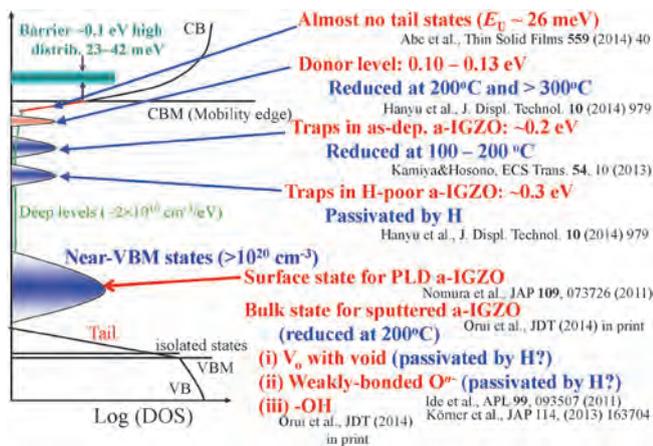


図6 a-IGZOの電子・欠陥構造.

東京工業大学応用セラミックス研究所では、a-IGZO 薄膜中の欠陥種の解析、形成過程、TFTの不安定性の原因などを調べ、高性能アモルファス酸化物半導体 TFTの低温形成を目指している。図6にこれまでにわかっている電子構造・欠陥構造を示す。a-IGZO TFTが高移動度($>10 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$)を示すことからわかるように、伝導帯側の欠陥密度は低い一方、価電子帯側に高密度の欠陥(価電子帯直上欠陥)が存在することがわかった。このような深い欠陥はTFTの静特性には影響を与えないが、応答性、安定性で重要になる。この価電子帯直上欠陥の原因として、酸素欠損、弱結合酸素、-OH基があることがわかっている。特に、a-IGZOは 10^{20} cm^{-3} を超える不純物水素を含み、これが 200°C 以下の低温でも脱離するなど、a-IGZOの電気特性が低温熱処理で大きく変化することやa-IGZO TFTの実用プロセスでは $300\sim 400^\circ\text{C}$ の熱処理が必要なことの大きな要因となっている⁽⁸⁾。

6. 強磁性体/強誘電体ヘテロ構造における磁化配向の電界制御

東京工業大学応用セラミックス研究所では、強磁性薄膜と強誘電体とのヘテロ構造における界面ひずみ伝播特性を利用した磁化配向の電界制御技術の開発に取り組んでいる。これ

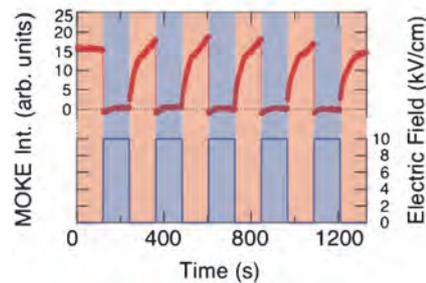
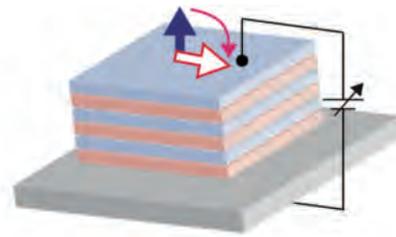


図7 垂直磁化多層膜/強誘電体ヘテロ構造と電界による磁化スイッチング特性.

まで、磁化配向を制御するためには、電流を用いて局所磁場を生成したり、スピントランスファートルクを利用したりする方法が広く用いられてきたが、更なる低消費電力化のためには、電流を用いずに電界により磁化配向を制御する必要がある。

本研究では、強磁性薄膜と強誘電体 BaTiO_3 とのヘテロ構造において、電界を印加することにより駆動される強誘電体の a-c ドメイン壁の移動と、それに伴う界面ひずみの高効率な伝播により、強磁性薄膜の磁気異方性を変調し、磁化配向を制御するための手法の開発を行っている。本手法を用いることにより、強磁性体として Fe を用いた場合には、強磁性体の磁壁と強誘電体のドメイン壁とが強く結合し、電界により磁壁を可逆的に移動させることが可能であることを実証した。また、強磁性体として垂直磁化多層膜を用いることで、電界による垂直-面内磁化配向制御、さらには 180° 磁化反転制御が可能であることも実証している(図7)。

7. グラフェンを超える新世代電子材料の開発

グラフェンはディラック電子と呼ばれる重さゼロの2次元電子状態をもち、シリコンを超える次世代電子材料として注目されている。しかし、単原子層の場合にこのような特性が得られるため、大面積合成が困難であること、デバイス構造を作った際に本来の特性が出ないことが問題になっている。東京工業大学応用セラミックス研究所では、合成も容易でグラフェンを凌駕することが期待される「トポロジカル絶縁体」の研究に取り組んでいる。種々材料の大型単結晶育成技術を確認し、 Bi_2Se_3 結晶の表面にグラフェンと同様な2次元ディラック電子状態が存在すること、トポロジカル絶縁体の表面に出現するディラック電子状態は乱れに強いこと、磁性との相互作用で異常量子ホール効果を生み出す新奇な電子状態を生じることなどを世界に先駆けて実証した(図8)。

プロジェクト研究報告

「6大学連携 特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト活動紹介」

生体・医療材料開発分野の活動状況

埴 隆夫* 新家光雄**

* 東京医科歯科大学生体材料工学研究所；教授(〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 2-3-10)

** 東北大学金属材料研究所；教授

Current Status of Biomedical Materials Development Group; Takao Hanawa* and Mitsuo Niinomi** (*Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo, **Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)

Keywords: biomedical material, medicine, dentistry, metallic glass, titanium, surface treatment

2015年1月6日受理[doi:10.2320/materia.54.236]

1. 生体・医療材料開発分野の目標

金属基盤材料および高機能セラミックスは、多くの医療用デバイスに使用され、その必要性はますます増加している。しかし、生体適合性、生体機能性の面で課題が多いため、これを解決することが医療における治療効果・効率の大幅な改善、患者の負担軽減、低侵襲性の確保、QOLの向上に不可欠である。

そのため、生体・医療材料開発分野では、研究開発目標として、下記を設定した。

- ①これまでの3大学での研究開発成果と、東京医科歯科大学独自の材料開発技術および生体機能付与技術を加えることで生体・医療用材料としての性能を高める。
- ②材料の生物医学的評価技術を駆使して適正に評価し、その結果を材料設計にフィードバックすることで高機能材料の開発を目指す。
- ③異なる分野の融合による新たな材料科学の学問体系を確立する。
- ④医歯学の発展と高福祉社会の実現に貢献できる学術研究機能の充実を図る。

これらにより、特異構造金属・無機融合高機能材料の迅速な実用化が可能となり、研究拠点の相互の活用により実用化促進に大きく貢献できる。

本事業では、生体・医療材料として必要な高強度・高耐食性・低弾性率・磁性機能を有する特異構造金属および高機能セラミックスに関する全国共同利用3研究所(東北大金研・東工大応セラ研・阪大接合研)の連携による基礎的研究成果を基に、名大エコ研のエネルギー・環境対応技術、早大ナノ理工の電子デバイス技術を融合して医科歯科大生材研の保有する生体機能化理論・技術を活用し、生体・医療用材料・デバイスの開発研究を行うことで、新学問体系の確立と共に若手人材を養成する(図1参照)。

例えば、金属基盤材料は、優れた強度と靱性から多くの医療用デバイスに使用され、体内埋入型デバイス(インプラン

ト)の約80%を占めている。しかし、生体適合性、生体機能性の面での課題が多い。特異構造金属の中心をなす金属ガラスは、その構造に依存して、結晶金属よりも高耐食性、高強度、低ヤング率を有していることから、安全性が高く、骨との力学的適合が優れており、インプラントとして使用する際に部材を小型化できる。これに骨形成促進、軟組織接着、タンパク質吸着抑制、血栓形成抑制、バイオフィーム形成防止

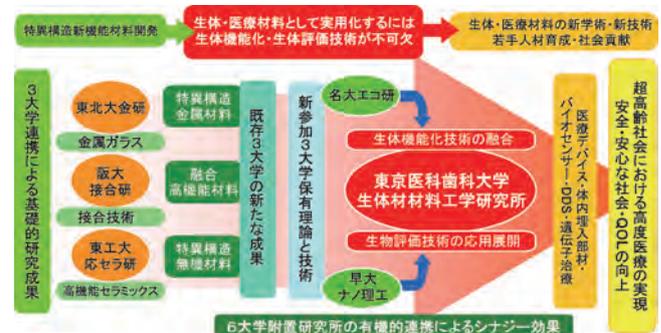


図1 生体・医療材料開発分野の実施体制。

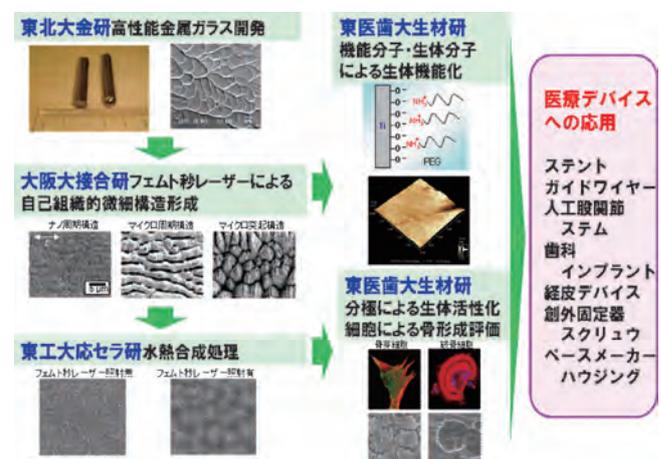


図2 共同研究による金属ガラス生体機能化の目標例。

といった生体機能を付与することにより、高性能医療用部材の設計が可能となる。すなわち、図2に示すように、東北大で作成したTi基金属ガラスに対して、阪大でレーザーによる表面加工を行い、医科歯科大で生体機能化と評価を実施する、またレーザー表面加工後に東工大で水熱処理を行い、医科歯科大で骨形成能を細胞評価する。

2. 生体・医療材料開発分野による講習会開催

2010年度から開始した生体・医療材料開発分野では、各機関代表者による会議、分野参加者全員の会議を開催するとともに、各機関間での個別ミーティングを随時行って、研究の進め方、研究の軌道修正、研究結果についての議論を行ってきた。

2011年度からはこれらに加えて、分野主催の細胞および動物による材料評価に関する講習会を実施している。2011年8月3日には、医科歯科大生材研で、高久田和夫教授(医科歯科大)を講師とした「動物実験の基本と規制」に関する講習会並びに懇親会を行い、動物実験実施上の注意、法規制などについて学び、学生も交えて議論を深めた。2012年7月25日には、同会場で材料の細胞評価に関する講習会を、右田聖特任助教(医科歯科大)と中村美穂准教授(医科歯科大)を講師として開催した。2013年7月19日には、東北大金研で材料の動物および細胞を使用した生物学的評価に関する講習会を、黒田健介准教授(名大)と鈴木教教授(東北大)の両講師によって開催し、開発材料における細胞及び動物による評価の実際について学んだ。2014年7月28日には、名大エコ研で、小幡亜希子講師(名工大)と中野貴由教授(阪大)を講師として、材料の細胞評価、動物評価の具体的事例に関する講習会を実施した。毎年の講習会によって、細胞および動物を使用した研究に関する知識は深まり、講師に対する質問も年々鋭さを増している。

3. 研究開発動向

共同研究や機関ごとで実施されている研究課題を図3にまとめる。研究対象材料は、金属ガラス(Ti基金属、Zr基金属)、Ti及びTi合金、ステンレス鋼、Co-Cr合金、Zr合金、ジルコニア、チタニア、マグネシア、マグネタイト、リン酸カルシウム、有機物である。これらの構造構築、性能向上、表面改質、複合化によって、骨形成促進、血液適合性、血管内皮細胞適合性、力学的適合性、破壊靱性値、安全性、抗体との結合性の向上とMRIアーチファクトの低下が確認されている。これらの生体機能向上によって、広範囲な体内埋入部材(インプラント)及び診断デバイスへの適用が期待できる。

4機関間での共同研究としては、「生体用Ti基バルク金属ガラスの開発と生体活性向上のためのレーザー表面処理(東北大、東工大、阪大、医科歯科大)」が実施され、金属ガラスに対するフェムト秒レーザー照射と水熱電気化学法による



図3 共同研究，各機関による研究開発課題。

生体活性向上について明らかになりつつある。また、「生体用NiおよびBeフリーZr基金属ガラスの開発(東北大、東工大、阪大、医科歯科大)」が実施されている。

3機関間での共同研究では、「多孔質NiフリーTi基金属ガラスの作製(東北大、東工大、医科歯科大)」を実施し、Niを含有せず安全性の高い金属ガラス多孔体の開発に成功した。また、「Zr基金属ガラスの作製とフェムト秒レーザー照射および水熱電気化学処理による構造制御による生体活性化(東工大・阪大・東北大)」、「Zr-based BMGs and the composites with potential for biomedical applications(東北大、東工大、阪大)」、「Mg-Zn基金属ガラスの磁化率の生体利用を考慮した添加元素の影響(東北大、名大、医科歯科大)」が実施された。

2機関間では、「Zr基バルク金属ガラスによるMRIアーチファクト防止のための磁化率評価と生体擬似環境での腐食挙動解明(東北大、医科歯科大)」、「精密合成酸化化物薄膜の生体応用(東工大、医科歯科大)」、「高耐食性Zrバルク金属ガラスの開発(医科歯科大、東北大)」、「イオンフォレーシス用電極材料としてのアルギン酸ゲルの有効性—ラット摘出皮膚の場合—(医科歯科大、東北大)」、「Ti基金属ガラスの生体活性化に向けた水熱電気化学プロセスの最適化(東工大、東北大)」、「陽極酸化によるTi-29Nb-13Ta-4.6Zr(TNTZ)合金表面へのナノ構造形成と生体活性化(東工大、東北大)」、「TNTZ合金の水熱処理による骨伝導性の向上(名大、東北大)」、「生体用チタン基金属ガラス合金の開発(東北大、医科歯科大)」、「ジルコニウム基を中心とした生体適合低磁性の金属ガラスの開発(東北大、医科歯科大)」、「シランカップリング処理を施した生体用β型チタン合金と医療用高分子との密着強度(東北大、医科歯科大)」、「Zr-Mo合金の磁化率と機械的特性に及ぼす熱処理およびAl添加の影響(東北大、医科歯科大)」、「生体適合性向上のためのフェムト秒レーザー照射による酸化チタン膜への周期的微細構造形成(阪大、医科歯科大)」、「ガストンネル型プラズマ溶解による高機能生体インプラント材料の開発(阪大、医科歯科大)」

The 5th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (AMDI-5)の開催報告

堤 祐介* 塚本雅裕** 山浦真一***

* 東京医科歯科大学学生体材料工学研究所；准教授(〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 2-3-10)

** 大阪大学接合科学研究所；准教授

*** 東北大学金属材料研究所；特任准教授

Overview of the 5th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structural Metallic and Inorganic Materials (AMDI-5); Yusuke Tsutsumi*, Masahiro Tsukamoto** and Shin-ichi Yamaura*** (*Institute of Biomaterials and Bioengineering, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo. **Joining and Welding Research Institute, Osaka University, Ibaraki. ***Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)

Keywords: sustainable energy and environmental materials, electronics materials, biomedical materials, composite materials, joining and welding
2014年12月25日受理[doi:10.2320/materia.54.239]

1. はじめに

我々が現在遂行している6大学連携「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト(2010年度～2015年度の前定)」(以下、6大学連携プロジェクトと略称)では、連携成果の発信と6大学間連携の醸成を図る目的で、毎年、国際会議 International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (AMDI)を開催している。第一回は大阪大学がホスト校として開催し(2010年)、その後、東京工業大学(2011年)、東北大学(2012年)、名古屋大学(2013年)が開催してきた。本6大学連携プロジェクト5年目の2014年度は、AMDI-5として11月19日(水)に東京医科歯科大学 M&D タワーにて開催された(図1)。

AMDI-5では午前9時25分に東京医科歯科大学学生体材料工学研究所宮原裕二所長より開会の挨拶があり、その後、外国人研究者を含めて12件の招待講演および東京大学工学部石原一彦教授によるプレナリーレクチャーが行われた。講演後は、直ちにポスターセッションが開始された。本稿では、招待講演やポスターセッションを含めた当日の様子を簡単に紹介したい。

2. 招待講演

環境・エネルギー材料開発分野(4件)

環境・エネルギー材料開発分野からは、4名の招待講演者が登壇した。

東京工業大学の菅野了次教授は、「Dream to Realize an All-Solid-State-Battery-Materials Design of a Lithium Su-



図1 AMDI-5国際会議のポスター。今回のホスト校は東京医科歯科大学。6角形は6大学のイメージカラーを表したシンボルマーク。

perionic Conductor and Application to Battery Systems」と題して講演を行い、全固体電池の電解質への適用を目指したリチウム超イオン伝導体の物質設計に関して重要な示唆を与えた。

中国大連理工大学の張偉教授は、「Formation and Properties of Soft Nanometric Fe-based Bulk Metallic Glasses with

Good Thermoplastic Formability」と題した講演を行い、軟磁性材料として有望であるFe基金属ガラスの形成能および諸特性に対する添加元素依存性について報告した。

産業技術総合研究所 Dr. W. S. Shin氏は、「Ceramic Integration on Microdevices for Environmental Sensing and Energy Applications」と題する講演の中で、MEMS技術を駆使してPtナノ粒子担持セラミックス触媒と熱電体薄膜を組み合わせた選択性の高い小型ガスセンサーの開発の現状を報告した。

大阪大学 Dr. R. Fincato氏からは、「Crystal Plasticity FE Analysis Considering Mechanically Induced Phase Transformation」と題して、加工誘起マルテンサイト変態による材料内の応力分布変化に関する有限要素シミュレーション解析結果の詳細な報告があった。

エレクトロニクス材料開発分野(3件)

エレクトロニクス材料開発分野からは3名が招待講演者として登壇した。

早稲田大学野田優教授は、「Custom Production of Carbon Nanotubes and Graphene for their Practical Use in Electronic Devices」と題した講演で、カーボンナノチューブとグラフェンの生成条件、電子回路への応用、現状の問題点と克服法について示唆に富んだ指摘を行った。

名古屋大学楠美智子教授は、「Structural Properties of Epitaxial Graphene Derived from Carbides」と題した講演で、 B_4C 、 TiC を用いたグラフェン多層膜の作製に関する報告を行い、これを用いた新しい炭素系エレクトロニクスの展望について重要な示唆を与えた。

大阪大学西川宏准教授からは、「Pressure-Assisted Bonding Process Using Nanomaterials for Electronics Packaging」と題した講演で、金・銀の多孔質シートを使った新しい接合方法の提案とその評価について紹介があった。

生体・医療材料開発分野(5件)

生体・医療材料開発分野からは5名の招待講演者が登壇した。

東京医科歯科大学生体材料工学研究所の松元亮准教授は、「“Borono-lectin” Based Strategies for Biosensing and Smart Drug Delivery Systems」と題して、血中のグルコース濃度に応答してインスリンの放出を自己制御可能なフェニルボロン酸(PBA)ゲルの開発について報告し、糖尿病における革新的な治療法を提案した。

東京大学 H. Cabral 准教授は、「Targeting Intractable Tumors and Metastasis by Drug-loaded Polymeric Micelles」と題して、高分子ミセルを用いたがんの標的治療に関する研究を報告し、薬物輸送システム(DDS)における有用性を示した。

早稲田大学 Dr. D. H. Yoon氏は、「Microfluidic Handling of Small Samples Using Miniaturized Devices and Systems」と題して、マイクロ流路を用いた超微量の液滴の制御につい

ての研究を報告し、診断用マイクロチップなど、医療分野への展開について紹介した。

台湾国立中央大学樋口亜紺教授は、「Biomaterials for Stem Cell Culture: Effect of Physical Cues of Biomaterials on Proliferation and Differentiation of Stem Cells」と題して、造血性前駆細胞/幹細胞および間葉系幹細胞の分化と増殖に及ぼす培養環境の物性の影響についての研究を詳細に報告した。

東北大学大学院歯学研究科の高橋信博教授は、「Biofouling and Biodegradation in the Oral Cavity」と題して、口腔内における歯科材料表面での口腔内細菌の付着とバイオフィルム形成についての基礎研究を実例と併せて紹介した。

Plenary Lecture

東京大学の石原一彦教授からは、プレナリーレクチャー「Super-engineering Plastics Biomaterials Modified on the Surface with Bioinspired Polymers」と題して、スーパーエンジニアリングプラスチック(PEEK)に対し、細胞膜を模倣したリン脂質(MPC)ポリマーによる表面被覆を行うことで潤滑性を付与し、医療デバイスへの応用を目指すプロジェクト研究の詳細な紹介があった。

以上13件の講演では、どれも各分野の最新の研究動向や挑戦的な試みが分かり易くまとめられており、我々の今後の研究に対して大いに示唆に富み、熱心に耳を傾けメモを取る参加者が多く見られた(図2)。

3. ポスター発表

東京大学石原教授のPlenary Lectureの後、場所を大講堂から高層階のラウンジに移し、午後4時45分より一般参加メンバーによるポスターセッションが始まった(図3)。ポスター発表は、環境・エネルギー材料開発分野20件、エレクトロニクス材料開発分野21件、生体・医療材料開発分野25件、各分野からの応用に特化した応用加速分野11件の合計77件に上り、本プロジェクトのアクティビティの高さが示



図2 講演の様子。左上：台湾国立中央大学樋口教授，右：東京大学石原教授。

プロントラッピング

～固体酸化物形燃料電池，低温動作の鍵となる 金属酸化物中におけるプロトンの拡散～

山崎 仁 丈*

1. はじめに

金属中の水素は点欠陥に束縛され、その拡散はトラップ現象によって説明される⁽¹⁾⁽²⁾。金属酸化物中には水素イオン(プロトン)が存在するが、著者らは最近、金属酸化物においてもトラップ現象が起きることを実証し、この現象の理解をもとに低温動作に対応した固体酸化物形燃料電池電解質を開発できる可能性を示した⁽³⁾。プロトン伝導性酸化物は、水素イオン(プロトン)が伝導するユニークな酸化物であり、従来の800～1000℃よりも低い温度で動作する固体酸化物形燃料電池(SOFC)の電解質として期待されている。代表的なプロトン伝導性酸化物としてペロブスカイト構造を持つものが挙げられ、大きさの異なる2つの金属イオン(カチオン)と3つの酸素イオンから構成される。プロトン伝導性酸化物は1981年に岩原らによって発見され⁽⁴⁾、それ以来、プロトン伝導機構は活発に議論されてきた⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。しかし、その機構およびどの材料因子がプロトン伝導の大小を決定しているかについて著者らの最近の研究まで分かっていなかった。本稿では金属酸化物中のプロトンの拡散機構をトラップ現象に基づいて解説し、このモデルから導き出されるプロトン伝導性酸化物の材料設計指針について紹介する。

2. 金属酸化物中の水素イオン(プロトン)

金属中の水素は電荷を持たない中性原子として存在する

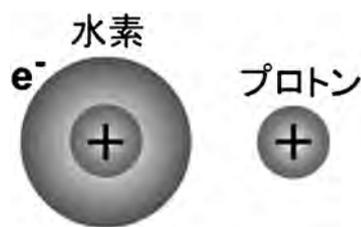


図1 水素とプロトンの模式図.

が、金属酸化物中の水素は1価の正電荷を帯びたイオン(プロトン)として存在する(図1)。このため、金属酸化物中のプロトンは静電力の影響を受け易いことは容易に想像される。また、金属酸化物におけるプロトンの導入機構⁽⁸⁾は、金属のそれとは大きく異なる。この点を中温度域(400～600℃)において高いプロトン伝導度と化学的安定性を併せ持つジルコン酸バリウム(BaZrO_3)⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を例に挙げて説明する(図2)。この化合物は2価のバリウムイオン(Ba^{2+})一つ、4価のジルコニウムイオン(Zr^{4+})一つおよび2価の負電荷を有する酸素(O^{2-})3つで構成され、全体として電荷がゼロとなっている(電気的中性条件)。またペロブスカイト構造として最も単純な立方晶構造を有し、体心位置を占有するジルコニウムに酸素が6配位し、ジルコニウム-酸素(ZrO_6)八面体を形成している。その酸素は立方晶の面心を占有し、バリウムは立方晶の角を占有する。

このジルコン酸バリウム単体においてプロトンは存在しな

* 九州大学教授；稲盛フロンティア研究センター(〒819-0395 福岡市西区元岡744) 科学技術振興機構さきがけ研究員(〒332-0012 川口市本町4-1-8)

Proton Trapping: A Key to Reduce Solid Oxide Fuel Cells Operation Temperature; Yoshihiro Yamazaki(Inamori Frontier Research Center, Kyushu University, Fukuoka)

Keywords: proton trapping, proton diffusion, metal oxides, perovskite, solid oxide fuel cells, electrolyte, association, electrochemistry, thermogravimetry, nuclear magnetic resonance

2014年12月19日受理[doi:10.2320/materia.54.242]

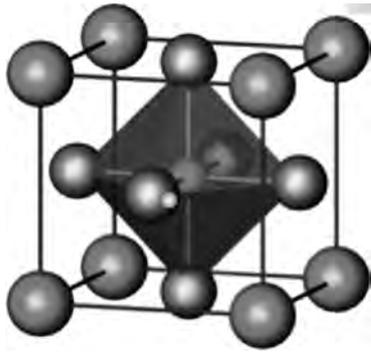
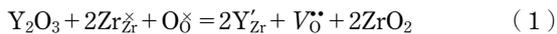


図2 ペロブスカイト構造(ABO₃)の正面面心酸素(青)から約0.1 nmの距離に配位したプロトン(赤). AおよびBカチオンはそれぞれピンクおよび黄色で, ZrO₆八面体は青色で表されている.

いが, 低原子価カチオンをBaサイトやZrサイトと置換することで初めてプロトンが導入される⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾. 4価のジルコニウムを3価のイットリウム(Y³⁺)で置換した場合, 電気的中性条件を満たすため, イットリウムを二つジルコニウムと置換する度に一つの酸素空孔(V_O[•])が導入される. その反応は Kröger-Vink の標識に従うと, 以下のように示される.



ここで, 元素記号は対象とする元素を示し, 下付き文字は占有サイトを, 上付き記号は相対電荷を示す. 上付きの×は電荷ゼロ, 中性状態を表し, 負電荷や正電荷を一つ帯びた状態はそれぞれプライム(')やドット(•)で表す. 例えば右辺のY'_{Zr}は, Zrサイトを占有したYが相対的に負電荷(')を一つ帯びた状態を示し, V_O^{••}は酸素サイトの空孔(Vacancy, バナジウムではない)を示す. これは2つの負電荷を持つ酸素イオンが欠損したサイトであるため, 相対的に2つの正電荷(••)を有することになる.

このイットリウム添加ジルコン酸バリウムを水蒸気(H₂O)に曝露すると, 酸素空孔がヒドロキシ基(-OH)で占有され, 侵入型プロトン(OH_O[•])として導入される(水和反応).



反応エンタルピーは負のため, 低温ほど多くのプロトンが導入される. また式(1)および(2)より, プロトン濃度はイットリウム添加濃度の増加に伴い直線的に増えていくことが示唆され, 実験的にも確認されている⁽⁸⁾⁽¹²⁾.

プロトンはヒドロキシ基として酸素から約1 Å(0.1 nm)離れた場所を占有し(図2), そこで伸縮, 屈曲および回転運動を行い, ある瞬間に第一隣接酸素サイトにジャンプする⁽¹³⁾. このプロトンの局所的な回転とジャンプによる移動機構は Grotthuss メカニズムと呼ばれる. 分子動力学計算によると, プロトンは1秒間に1×10¹²回酸素の周りを回転するのに対し, プロトンが隣接した酸素サイトにジャンプするのは1秒間に1×10⁹回である⁽⁶⁾. この場合, より遅いプロトンのジャンプがプロトン移動度を決定していることになる.

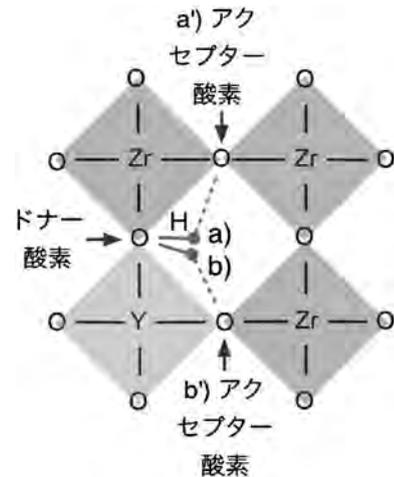


図3 イットリウム添加ジルコン酸バリウム中のa)トラップフリープロトンとb)トラップされたプロトン. 水素結合は点線で示されている.

3. プロトントラップ

(1) はじめに

低原子価カチオンによる置換に伴ってプロトンが導入, プロトン伝導が誘起されるため, 置換元素がプロトン伝導に大きな役割を果たすことが推測されていた. しかし, その詳細な機構は著者らが最近報告するまで実証されていなかった. ここではまず, プロトントラップ現象を欠陥化学の熱力学に基づいて定義し, プロトンの拡散挙動をアレニウス式として導出する.

(2) トラップされていないプロトンとトラップされたプロトン

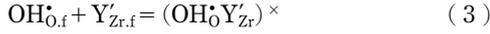
金属酸化物中のトラップされていない(トラップフリー)プロトンとトラップされたプロトンはどのような状態にあるのであろうか. 図3はイットリウム添加ジルコン酸バリウムを例として, a)トラップフリープロトンとb)トラップされたプロトンを模式的に示したものである. 模式図はペロブスカイト構造の(200)面のみを示しており, ジルコニウム-酸素(ZrO₆)八面体およびイットリウム-酸素(YO₆)八面体はそれぞれ紫とピンクの正方形で示されている. ヒドロキシ基を構成する酸素イオンは水素結合のドナーと呼ばれ, プロトン(赤)が水素結合(赤色点線)している酸素を水素結合のアクセプターと呼ぶ. 図3においてa)トラップフリープロトンとb)トラップされたプロトンは同一のドナー酸素を占有しているが, 水素結合のアクセプター酸素の種類が異なる. すなわち, a)トラップフリープロトンにおけるアクセプター酸素はZrO₆にのみ帰属するもの(Zr-O-Zr)であり, b)トラップされたプロトンの場合にはYO₆に帰属する酸素(Y-O-Zr または Y-O-Y)となる. Kröger-Vink の標識に準ずると, 図3のa)トラップフリープロトンはOH_O[•], b)トラップされたプロトンは(OH_OY'_{Zr})[×]と表記される. ここで

はトラップされていないことを明示するため、freeの頭文字fを下付き文字として記載している。

正電荷を有するトラップフリープロトンは相対的に負に帯電した Y'_{Zr} に引きつけられ、静電的にニュートラルな欠陥を形成する。これがプロトントラップ(会合)反応である。

(3) プロトントラップ現象の欠陥化学と熱力学

トラップフリープロトンとトラップされたプロトンとの平衡反応は会合と呼ばれ、



会合反応の平衡定数 K_{as} は以下のように表される。

$$K_{as} = \frac{[(OH_{\dot{O}}Y'_{Zr})^{\times}]}{[OH_{\dot{O},f}][Y'_{Zr,f}]} = A \exp\left(-\frac{E_{as}}{RT}\right) \quad (4)$$

角がっこ([i])は欠陥種 i の濃度であり、酸化物1 molあたりの欠陥種のモル数である。 E_{as} は会合エネルギーを示し、 A は前指数項、 R は気体定数、 T は温度を示す。全プロトン濃度を $C_{H,total}$ 、トラップフリープロトン濃度を $C_{H,free}$ とすると、トラップされていないプロトンの割合は

$$\frac{C_{H,free}}{C_{H,total}} = \frac{[OH_{\dot{O},f}]}{[OH_{\dot{O},f}] + [(OH_{\dot{O}}Y'_{Zr})^{\times}]} = \frac{1}{1 + [(OH_{\dot{O}}Y'_{Zr})^{\times}]/[OH_{\dot{O},f}]} \quad (5)$$

と表され、式(4)を代入すると、その割合はプロトントラップに関与していないイットリウムの濃度 $[Y'_{Zr,f}]$ と平衡定数 K_{as} で規定される。

$$\frac{C_{H,free}}{C_{H,total}} = (1 + [Y'_{Zr,f}]K_{as})^{-1} \quad (6)$$

$$C_{H,free} = C_{H,total}(1 + [Y'_{Zr,f}]K_{as})^{-1} \quad (7)$$

また、トラップされたプロトン濃度は単純に全プロトン濃度からトラップフリープロトン濃度を引いたもので表される。

$$[(OH_{\dot{O}}Y'_{Zr})^{\times}] = C_{H,total} - C_{H,free} \quad (8)$$

式(7)のプロトントラップに関与していないイットリウム濃度 $[Y'_{Zr,f}]$ は、酸化物中の電気的中性条件を用いると正孔 $h\bullet$ を含む欠陥の平衡式で示され、後述するように特定の条件ではより単純に表される。

$$[Y'_{Zr,f}] = [OH_{\dot{O},f}] + 2[V_{\dot{O}}^{\bullet}] + [h\bullet] \quad (9)$$

(4) トラップ現象を考慮したプロトン拡散係数のアレニウス式

プロトントラップ現象はこれまで金属酸化物中のプロトンの拡散に考慮されてこなかった。このため、著者らは(3)で示した会合欠陥の熱力学を基盤とし、プロトントラップ現象を考慮したプロトンの拡散式を構築した⁽³⁾。

プロトン拡散係数の温度依存性は通常のアレニウスの式で記述される。

$$D_{H,free} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (10)$$

D_0 は拡散の前指数項、 E_a は拡散の活性化エネルギーである。拡散に寄与するプロトンの割合($C_{H,free}/C_{H,total}$)を考慮すると、見かけのプロトン拡散係数 $D_{H,app}$ は

$$D_{H,app} = D_{H,free} \frac{C_{H,free}}{C_{H,total}} \quad (11)$$

と表され、式(6)と(10)を代入すると次式が得られる。

$$D_{H,app} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) [1 + [Y'_{Zr,f}]K_{as}]^{-1} \\ = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \left[1 + [Y'_{Zr,f}]A \exp\left(-\frac{E_{as}}{RT}\right)\right]^{-1} \quad (12)$$

高温において、トラップフリープロトンの濃度がトラップされたプロトン濃度比べて大きい場合($[Y'_{Zr,f}]A \exp(-E_{as}/RT) \ll 1$)、式(12)は活性化エネルギー E_a で規定されるトラップフリープロトンの拡散挙動を示す。

$$D_{H,app} = D_{H,free} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (13)$$

一方、低温において、トラップされたプロトン濃度がトラップフリープロトン濃度比べて大きい場合($[Y'_{Zr,f}]A \exp(-E_{as}/RT) \gg 1$)、式(11)から見かけのプロトン拡散係数 D_{H,app,T_L} は次式で表される。

$$D_{H,app,T_L} = D_{H,free} ([Y'_{Zr,f}]K_{as})^{-1} \quad (14)$$

正孔やトラップフリープロトンの濃度が酸素空孔濃度よりも極めて小さい条件においては、式(9)で表されるプロトントラップに関与していないイットリウムの濃度 $[Y'_{Zr,f}]$ は $2[V_{\dot{O}}^{\bullet}]$ に簡略化される($[Y'_{Zr,f}] \approx 2[V_{\dot{O}}^{\bullet}]$)。これを用いると、低温での見かけのプロトン拡散係数は以下のように表わされる。

$$D_{H,app,T_L} = \frac{D_0}{2[V_{\dot{O}}^{\bullet}]A} \exp\left(-\frac{E_a - E_{as}}{RT}\right) = B \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (15)$$

$$B = \frac{D_0}{2[V_{\dot{O}}^{\bullet}]A} \quad (16)$$

$$Q = E_a - E_{as} \quad (17)$$

全温度領域では、式(9)、(16)および(17)を式(12)に代入することで次式のように表され、

$$D_{H,app} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \left[1 + \frac{D_0}{B} \left(1 + \frac{[OH_{\dot{O},f}] + [h\bullet]}{2[V_{\dot{O}}^{\bullet}]}\right) \exp\left(-\frac{E_a - Q}{RT}\right)\right] \quad (18)$$

($[OH_{\dot{O},f}] + [h\bullet])/2[V_{\dot{O}}^{\bullet}] \ll 1$ の場合には、

$$D_{H,app} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \left[1 + \frac{D_0}{B} \exp\left(-\frac{E_a - Q}{RT}\right)\right]^{-1} \quad (19)$$

となり、金属中の水素の拡散係数と同様の形を取る⁽¹⁾⁽¹⁴⁾。

4. プロトンの巨視的挙動

(1) プロトン拡散係数

プロトンが唯一のキャリアである場合、プロトン拡散係数 D_H はアインシュタインの関係をを用い、プロトン伝導度 σ_H とプロトン濃度 C_H から決定できる。

$$D_H = \frac{\sigma_H RT}{F^2 C_H} \quad (20)$$

ここで、 F はファラデー定数を示す。イットリウム添加ジルコン酸バリウムの場合、プロトンが唯一の伝導キャリアであ

る条件は低温でのみ満足でき、600°C付近の高温ではプロトン以外の可動電荷種の存在を考慮する必要がある。

式(20)を用いてプロトンの拡散係数を決定する際、プロトン濃度の測定に注意を払う必要がある。それは、プロトン伝導度を決定する試料と同一形状および同一表面状態の試料を用い、伝導度測定と同一条件で測定する点である。この条件下でのみ、伝導度測定試料中のプロトン濃度を決定したことが保証される。プロトン濃度はまず乾燥アルゴン雰囲気下で1000°Cまで昇温することでプロトン濃度が無視できる程少ない状態にし、それを基底状態としてある水蒸気雰囲気下で降温した際の重量増加分から式を用いてプロトン濃度を決定した。

一方、プロトン伝導のみならず、酸素イオン伝導や正孔伝導が寄与する温度域では上述の方法を用いてプロトン拡散係数を決定することはできない。そのためこの温度域では、重水(D₂O)から軽水(H₂O)に急に切り替えることで酸素化学ポテンシャルを固定したまま水素化学ポテンシャルだけを変え、それによって観測される電気化学抵抗の緩和過程からプロトンとデューテロンの相互拡散係数を決定した⁽¹⁵⁾。この相互拡散係数はプロトンとデューテロンの拡散係数の平均値でプロトンとデューテロンの拡散係数の違いは40%と小さいため、プロトン拡散係数を推定するのに都合が良い。

このようにして決定したプロトン拡散係数および相互拡散係数の温度依存性を図4(a)に示す。得られたアレニウスプロットは直線ではなく、下方に湾曲していることがわかる。これはプロトンの拡散の活性化エネルギーが単一でないことを示している。また、低温で見られる直線的なプロトン拡散係数の温度依存性は過去の文献値と極めてよく一致している⁽¹⁶⁾。図4(b)において、プロトン拡散係数の見かけの活性化エネルギーを温度に対してプロットすると、低温においてはほぼ45 kJmol⁻¹と一定であるが、温度が上昇するに従い見かけの活性化エネルギーは小さくなっていく。

プロトントラップを考慮したアレニウス式を湾曲した温度依存性にフィッティングすることでプロトントラップに関する情報、例えば会合エネルギーやトラップフリープロトンの拡散の活性化エネルギーなどを定量的に得ることができる。

高温において得られるアレニウスプロットは式より直線となることが示唆され、その活性化エネルギー E_a はプロトンがトラップされていない場合のものである。得られた拡散係数の値は中性子スピネコ実験の値に極めてよく一致している⁽⁷⁾。高温で得られた活性化エネルギー E_a (16 ± 4 kJmol⁻¹)は低温で得られた値 Q (= 45 kJmol⁻¹)よりも著しく小さい。一方、低温において得られる見かけの活性化エネルギー Q は式(15)より、トラップフリープロトンの活性化エネルギー E_a と会合エネルギー E_{as} の和であり、このことから会合エネルギー E_{as} (= $E_a - Q$)は -29 ± 2 kJmol⁻¹と得られる。会合エネルギーが負の値を示しているのは、プロトンと添加カチオンとの引力を意味するためである。また、得られた会合エネルギーの値はアトミスティックシミュレーションから得られた値(13~27 kJmol⁻¹)⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾とよく一致して

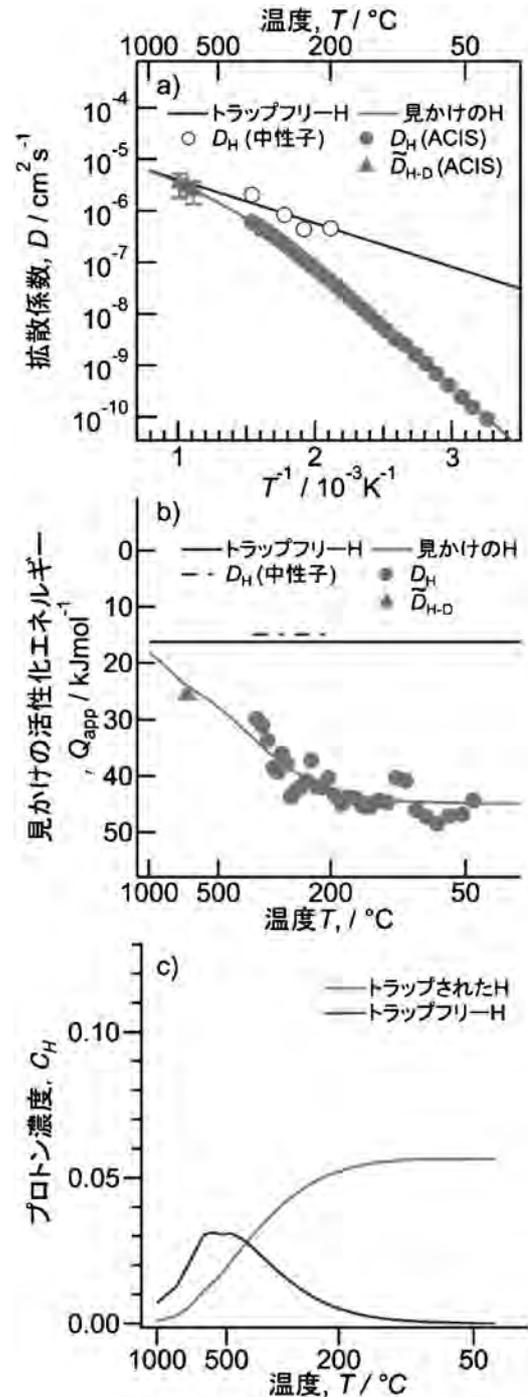


図4 20 at% イットリウム添加ジルコン酸バリウムにおける(a)見かけのプロトン拡散係数、(b)見かけの活性化エネルギーおよび(c)トラップされたプロトンとトラップフリープロトン濃度の温度依存性。

いる。

(2) プロトントラップモデルから予測される二種類のプロトン

トラップされたプロトンおよびトラップフリープロトンの濃度についてもそれぞれ式(4)および(6)~(8)を用いて算出できる。図4(c)はこのようにして得られたプロトン濃

度を温度に対してプロットしたものである。それぞれのプロトン濃度を決定するにあたり、試料中の全プロトン濃度は熱重量測定を用いて決定している。低温ではほぼすべてのプロトンがトラップされた状態にあるが、温度の上昇に伴いトラップされたプロトン濃度が減少、トラップフリーのプロトン濃度が増大し、約500°Cにおいてトラップフリープロトン濃度が最大となる。500°C付近で最大値を示すのは、この温度以上で脱水反応により全プロトン濃度が減少するためである。

5. プロトンの微視的挙動

巨視的に観測できるプロトンの拡散挙動から二種類のプロトンの存在が示唆されたが、これらを直接観測できるであろうか。また、プロトンの微視的挙動は巨視的に推定されたものと同様なのであろうか。これらの疑問に答えるため、著者らは高温その場マジック角回転固体プロトン核磁気共鳴実験を行った。

(1) 高温その場マジック角回転固体プロトン核磁気共鳴

固体プロトン核磁気共鳴は固体中および固体表面におけるプロトンの環境に極めて敏感で、その違いはプロトン化学シフトとして示される。マジック角で粉末試料を回転させることで異方性スピン相互作用を平均化、核磁気共鳴幅が狭まるので、プロトン環境をより高い分解能で観測することが可能となる。図5は20 at% イットリウム添加ジルコン酸バリウムにおけるプロトン化学シフトの温度依存性を示したものである。高温その場核磁気共鳴実験としては500°Cまでの第一昇温、降温および600°Cまでの再昇温を行い、プロトン化学シフトの温度依存性に再現性があることを確認した。最初の昇温時においてピーク面積が徐々に減少しているが、これは脱水反応によるものである。一方、第一降温および第二次昇

温時にはプロトン濃度は450°C以下においてほぼ一定であった。

共鳴ピークに着目すると、100°Cにおいて単一ピークが5.8 ppmに観測された。これは一つのプロトン環境が優勢であるか、いくつかのサイト間をプロトンが急速に位置交換するため共鳴ピークが分離できないかのいずれかである⁽¹⁹⁾。昇温に伴い、ピークは低周波数側に移動している。これは後ほど示すように、水素結合力の低下や格子膨張に起因するものである。最も重要なのは約200°C以上においてショルダーピークが出現し、550°Cにおいて約3.7と3.1 ppmに分離している点である。このようなピーク分離は水和したBaCe_{0.95}Y_{0.05}O_{3-δ}の高温静的プロトン核磁気共鳴においても観測されている⁽²⁰⁾。低温では存在しえなかったプロトン環境が高温において新たに形成されたことを意味しており、二つの異なるプロトン環境が存在することを示している。

(2) 水素結合の推定

観測したプロトン化学シフトに経験則を当てはめることによって、プロトンがヒドロキシ基として存在する場合の酸素-酸素間距離(O-H...O)を見積ることができる⁽²¹⁾。この酸素-酸素間距離は水素結合力の大きさの推定に用いられ、酸素-酸素間距離が小さいほど水素結合力が大きいことを示している。図6はプロトン化学シフトから見積もった酸素-酸素間距離の温度依存性を示したものであり、格子定数から算出した平均的な酸素-酸素間距離についても比較のため列記している。まずイットリウム無添加のBaZrO₃における酸素-酸素間距離は室温において約2.96 Å (0.296 nm)で、温度上昇に伴い酸素-酸素間距離は格子膨張のため直線的に増大している⁽²²⁾。イットリウムを20 at%添加したジルコン酸バリウム(BYZ20)の酸素-酸素間距離は無添加のものより若干大きく、約2.99 Å (0.299 nm)である。これは0.72 Å (0.072

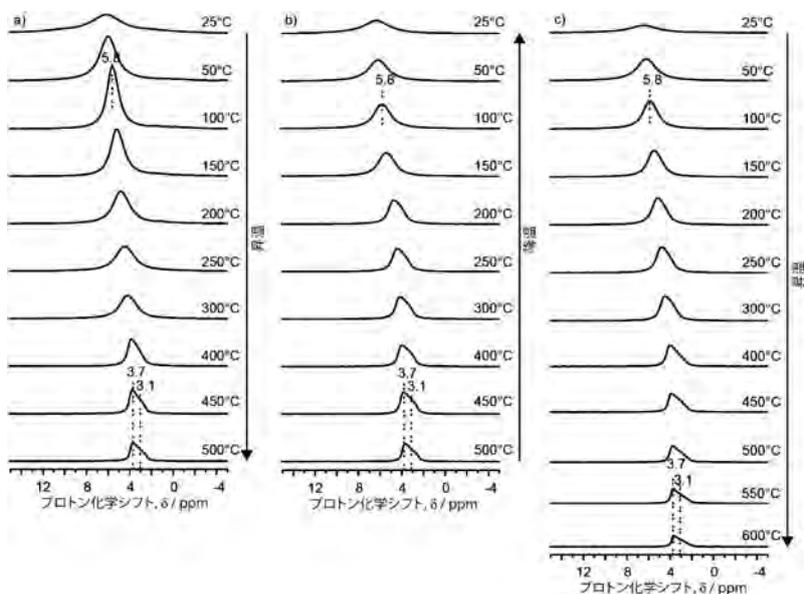


図5 20 at% イットリウム添加ジルコン酸バリウムにおけるプロトン化学シフトの温度依存性。

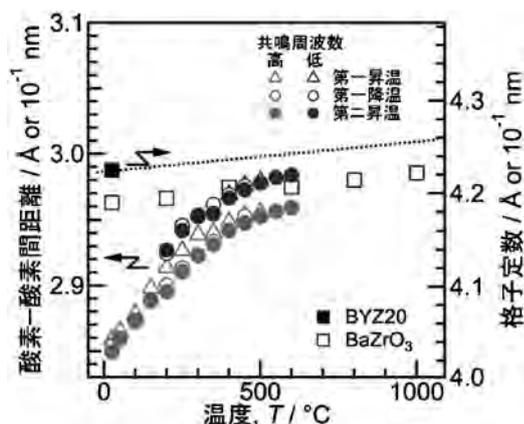


図6 プロトン化学シフトから見積った酸素-酸素間距離の温度依存性.

nm)のイオン半径を有するジルコニウムをより大きなイットリウム(0.9 Å または 0.09 nm)で置換したためである. 水和反応によっても平均的な格子定数は若干増大するが⁽¹³⁾⁽²³⁾, プロトン核磁気共鳴から得られるプロトン周辺の局所的な酸素-酸素間距離(2.85 Å または 0.285 nm)はエックス線回折で得られる平均的なものと比較して大幅に小さい. プロトン周辺が局所的に歪んでいることを示している. プロトン周辺の局所的な酸素-酸素間距離は温度の上昇に伴い増大, つまり水素結合が弱くなり, 200°C以上では水素結合がさらに弱い第二のプロトン環境が出現する. 脱水反応が起きる450°C以上において, 酸素-酸素間距離の増大傾向は熱膨張によるものとほぼ同じになっている.

(3) トラップモデルを用いた二種類のプロトンの同定

高温その場マジック角回転プロトン核磁気共鳴から二つのプロトン環境の存在が観測されたが, この情報のみではプロトンを同定することは難しい. そこで巨視的に得られたプロトントラップモデルと比較することでプロトンの同定を試みた. プロトン核磁気共鳴に用いた粉末試料中のプロトン濃度はあらかじめ熱重量測定を用いて決定している. ボルツマン因子の温度依存性を考慮し, 化学シフトの面積からそれぞれのプロトン濃度を算出したものを図7に示す. 高周波数側ピークの見積もったプロトン濃度(赤丸)は温度の上昇に伴い減少し, それに応じて低周波数側ピークに対応するプロトン濃度が増大, 450°C以上で減少した. これらをプロトントラップモデル(式(7)および(8))から導き出されるプロトン濃度と比較すると, 高周波側ピークから算出したプロトン濃度は誤差範囲内でトラップされたプロトンを追従し, 低周波数側ピークから算出したプロトン濃度はトラップフリープロトンを追従する. 高周波数側ピークはトラップされたプロトン, 低周波数側ピークはトラップフリープロトンを示していることが分かる.

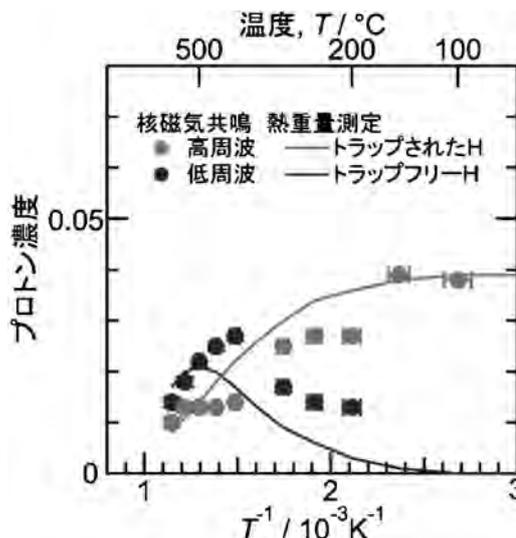


図7 トラップされたプロトンおよびトラップフリープロトン濃度の温度依存性.

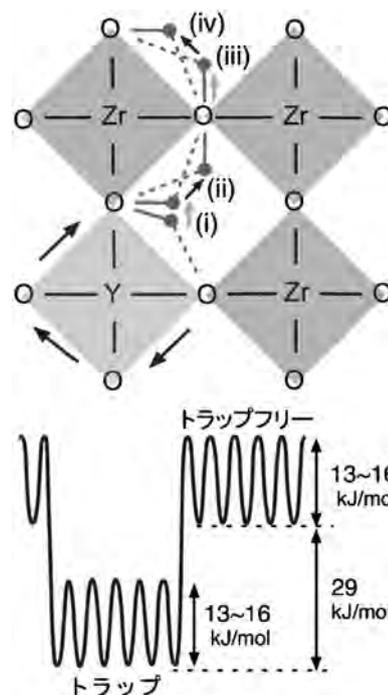


図8 プロトントラップに基づいたプロトン拡散機構とそのエネルギー状態.

6. トラップ現象を考慮したプロトン拡散機構

以上, 交流インピーダンス測定(電気化学), 熱重量測定および高温その場マジック角回転プロトン核磁気共鳴を用いて得られた巨視的および微視的観測結果から, イットリウム添加ジルコニウム酸バリウムにおけるプロトン輸送の統一的な見解が得られる. これを図8の模式図を用いて説明しよう. プロトンは, 特に低温において大部分がYO₆八面体の稜線に沿って水素結合を形成し, トラップされた状態にある. このト

ラップから逃れるためには、ヒドロキシ基は(i)第一隣接の ZrO_6 八面体に沿って水素結合するように回転、(ii)その八面体の稜線に沿って移動し、水素結合のドナーがジルコニウムにのみ結合した酸素となる必要がある。トラップフリーとなったプロトンはようやく(iii) $Zr-O-Zr$ ベクトルを軸とした回転運動と(iv) ZrO_6 八面体の稜線に沿ったジャンプの組み合わせによって長距離拡散が可能となる。この動きやすいプロトンとは対比的に、大部分のプロトンは YO_6 八面体の稜線に沿って会合したまま局所的に動く。その局所的な動きは、 YO_6 八面体の影響下における $Y-O-Zr$ ベクトル周りの回転(iii)タイプの動き)および YO_6 八面体稜線に沿ったジャンプ(iv)タイプの動き)である。

プロトンと添加元素の会合エネルギー E_{as} はトラップされた状態とトラップフリーの状態の相対占有率を決定し、二つのサイトの交換速度を決めるものではない。これは半導体のドナー準位から伝導帯への励起に似ており、トラップサイト(ドナー準位)からの励起頻度がドナー(トラップ)準位と伝導帯(トラップフリー)準位のエネルギー差に依存しないことと同じである。

伝導度測定の結果から、 YO_6 八面体と ZrO_6 八面体に沿って水素結合を形成するエネルギーの違いが 29 kJmol^{-1} であり、プロトンがトラップから逃避するにはこの値と同等の活性化エネルギーが必要である。会合に関わらないプロトンの移動エネルギー(16 kJmol^{-1})とスピン格子緩和エネルギー(13 kJmol^{-1})はその他のプロトンの回転とジャンプ過程を含んだものである。

二種類のプロトンは全温度範囲においてよく似たスピン格子緩和挙動を示したが、これはトラップされたプロトンとトラップフリープロトンの微視的ダイナミクスが似ていることを示している。特に、 YO_6 八面体の稜線に沿ったプロトンの局所移動機構は ZrO_6 八面体の稜線に沿ったもの(iv)に似て

おり、活性化エネルギーが実験誤差の範囲で一致することも理にかなっている。

活性化エネルギーのみならず、プロトン移動頻度についても比較することができる。核磁気共鳴における緩和過程の頻度は、単にスピン格子緩和における相関時間 τ_c を逆数としたもので⁽²⁴⁾、これを温度に対してプロットしたものが図9である。プロトンの長距離拡散の場合、三次元酔歩の理論を用いることでプロトンのジャンプ頻度 ω を算出できる⁽²⁵⁾。

$$\omega = D_H \gamma^{-1} a^{-2} \quad (21)$$

ここで γ は幾何学因子、 a はジャンプ距離である。立方晶ペロブスカイトにおける八面体酸素サイトの幾何学因子と平均ジャンプ距離はそれぞれ $8/6$ と $a_0/\sqrt{2}$ で、 a_0 は測定した格子定数 4.2295 \AA (0.42295 nm)を用いた。このようにして求めたプロトンのジャンプ頻度は高温において核磁気共鳴から決定したものと近い値を示している。一方、低温において算出されたプロトンのジャンプ頻度は見かけの値であり、トラップサイトから熱活性化過程で逃避できるプロトンの濃度によって決まる。

7. プロントラップに基づいたプロトン伝導性酸化物の材料設計

これまでプロントラップ現象とそれに基づいたプロトン拡散機構について述べてきた。プロントラップの理解に基づく、トラップフリープロトンの拡散係数は母相となる金属酸化物で決まり、トラップによるプロトン拡散の遅延は会合エネルギーの大きさによって決まる。つまり、会合エネルギーの小さな添加元素を選択することでプロトン伝導を高速化できることを意味しており、プロントラップの基礎理解がそのまま燃料電池電解質の材料設計指針の一例になることを示している。

燃料電池の動作温度は電解質におけるキャリアイオン伝導度で規定される。例えば、燃料電池の電解質に求められる面

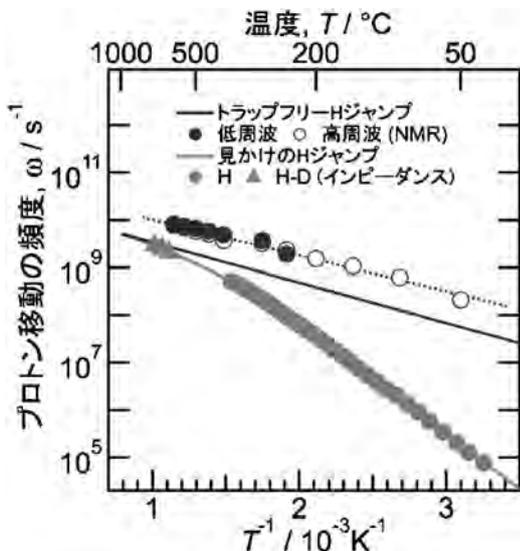


図9 巨視的および微視的手法により観測されたプロトン移動頻度の温度依存性。

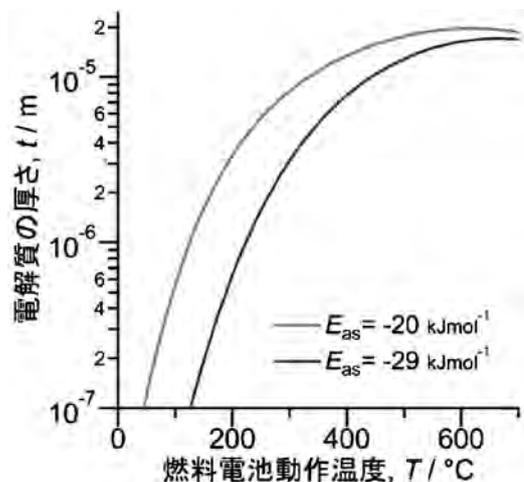


図10 トラップモデルから見積った固体酸化物形燃料電池に要求される電解質の厚さ。

本 会 記 事

会 告 功績賞, 谷川・ハリス賞, 増本量賞, 技術賞, 研究技術功労賞候補者推薦依頼	250
2015年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集	250
日本金属学会主催国際会議提案募集	250
2015年秋期講演大会講演募集および参加募集	251
2015年春期講演大会記録	264
掲示板	259
材料系学協会情報コーナー	263
会誌・欧文誌 5号目次	262
行事カレンダー	266
新入会員	261
追悼	269
次号予告	263

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
あたりあ・広告: materia@jim.or.jp
会誌・欧文誌: editjt@jim.or.jp

- ・ご連絡先住所変更等の手続きは、本会ホームページ [会員マイページ](#) からできます。
- ・投稿規程, 刊行案内, 入会申込は, ホームページをご利用下さい。

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

- ・会告原稿の締切は毎月1日で、翌月号掲載となります。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

第74回功績賞, 第55回谷川・ハリス賞, 第22回増本量賞, 第57回技術賞, 候補者推薦依頼

下記の推薦をお願いします。

功 績 賞 (第74回) 谷川・ハリス賞 (第55回)

増 本 量 賞 (第22回) 技 術 賞 (第57回)

2016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 2015年6月30日(火)

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: あたりあ 4号178頁

第47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: 2015年6月30日(火)

支部長の推薦締切日: 2015年7月15日(水)

推薦者: 本会社員(代議員)または支部長

詳細: あたりあ 4号178頁

2015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: 2015年5月29日(金)

詳細: あたりあ 4号180頁

日本金属学会主催国際会議提案募集

推薦締切: 2015年5月29日(金)

詳細: あたりあ 3号127頁

研究集会

研究会 No. 67

結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会 講演募集

第5回結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会を下記の通り開催いたします。本研究会では、金属材料, セラミックス, 半導体, 複合材料等の結晶配向や組織配向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の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, FAX, 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, お申し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らせていただきます。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「加工と熱処理による優先方位制御研究会」との共催により行います。

日 時 2015年10月8日(木)午後, 10月9日(金)午前・午後

場 所 黒部市宇奈月国際会館「セレネ」会議室 A

富山県黒部市宇奈月温泉 6-3 ☎ 0765-62-2000

<http://www.unazuki.org/selene/>

北陸新幹線「黒部宇奈月温泉」駅下車, 富山地方鉄道

「新黒部」駅から乗車し「宇奈月温泉」駅で下車, 駅から約150m

講演申込期限 2015年6月30日(火)

参加費 資料代 1,000円(当日お支払い下さい)

申込先 〒599-8531 堺市中区学園町 1-1

大阪府立大学大学院工学研究科マテリアル工学分野

井上博史

☎ 072-254-9316 ☎ 072-254-9912

E-mail: inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp

2015年秋期(第157回)講演大会講演募集

◎2015年秋期講演大会を下記の通り開催いたします。

会 期：2015年 9月16日(水)～9月18日(金)

会 場：九州大学伊都キャンパス(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

講演申込受付・概要原稿提出を下記日程で行ないます。

講演をお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.)。

□講演者

- 年会費および参加費納入済の本会個人会員
- 参加費および登壇費納入済の非会員

□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できません。

講演申込ホームページアドレス	http://www.jim.or.jp/convention/2015autumn/
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)	
公 募 シ ン ポ ジ ウ ム	5月20日(水)13時～6月5日(金)17時
一 般 講 演	6月1日(月)13時～6月15日(月)17時
共 同 セ ッ シ ョ ン	
ポスターセッション	
講演についてのお問合せ先：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一丁目14-32-2F	

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。

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

入会申込 URL	http://www.jim.or.jp/memberinfosys/member/	
講演種別	入会申込期限	年会費納入期限
公 募 シ ン ポ ジ ウ ム	6月3日(水)	7月31日(金)
一 般 講 演	6月12日(金)	
共 同 セ ッ シ ョ ン		
ポスターセッション		
会員パスワード・入会・会費のお問合せ：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を申込みの際は、新講演セッション一覧から、第1希望および第2希望のセッションを選択して下さい。セッションは、材料と社会セッション、学理・現象・プロセッシング別セッション、材料別セッションを問わず選択できます。

※申込方法について

今大会から、すべての講演種別申込がWEB申込となります。

※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がA4版縦1ページです。

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"> • 個人会員 • 非会員は登壇費が必要 	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、論文としてまとめたものに限る。
- (2) 用語：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(登壇料不要)・非会員、非会員の鉄鋼協会会員および前維持員会社社員は、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、鉄鋼協会会員および前維持員会社社員 講演の申込方法：

「講演申込」の各講演メニューにある「新規登録」の「非会員、鉄鋼協会会員、前維持員会社社員の方はこちらからお申込みください」から講演申込ができます。

(1) 非会員発表者の支払内訳

		年会費	大会参加費	1講演登壇費	合計
非会員（鉄鋼協会会員、 前維持員会社社員を除く）	一般	—	前納 19,000円	6,000円	25,000円
	学生	—	前納 14,000円	3,000円	17,000円

(2) 非会員の鉄鋼協会会員、前維持員会社社員発表者の支払内訳

		年会費	大会参加費	1講演登壇費	合計
非会員（鉄鋼協会会員、 前維持員会社社員）	一般	—	前納 9,000円	6,000円	15,000円
	学生	—	前納 6,000円	3,000円	9,000円

3. 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。

4. 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。

5. 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のこと。当日、変更が生じる場合は、座長の了解を得ること。ただし、変更する講演者は会員であること。

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。ただし、パソコンは講演者で用意、操作する。
- (2) 講演時間は厳守する。

7. プログラム、参加案内

- (1) 発表日時などの問合せは、7月31日以降とする。
- (2) プログラムは7月末頃ホームページに掲載予定(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、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」を参照下さい。
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の採点により優秀ポスターを選出し、「優秀ポスター賞」を贈呈します。
3. 発表者変更：発表者が病欠等の場合、申し出があれば代理発表は可能。ポスターのみの掲示も可能、但し、優秀ポスター賞の授賞対象とはしない。

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。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」 (2015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 「マイクロ波応用プロセッシング」 (2015年秋は実施しない)

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。

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)

用 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)

概要集 DVD 発行・発送日：2015年9月2日(水)

※提出された概要原稿分量が規程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)

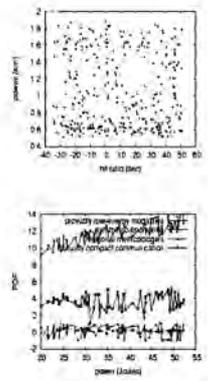
※WEB 申込の際は、演題と共同研究者部分をのぞいた本文のみの概要原稿を作成下さい。(大会受付システムトップページ(WEB 画面)の雛形をご利用下さい。)

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

【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、査読基準に基づいてその分野の専門家が査読を行います。査読結果が「掲載不適当」に該当する場合は、理由を示して著者に返却することになります。

(査読の基準)

- (1) 投稿の要件および作成要領に準拠していること。
- (2) 具体的な記載において次の条件をみたしていること。
 - ・ 題目が妥当であること。
 - ・ 在来研究との関連が明示されていること。
 - ・ 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。
 - ・ 内容が正確で、記述に問題がないこと。

「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とする。
秋期講演大会：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) 2015年秋期講演大会講演精選論文(Selected Papers from JIM Spring Meeting(2015))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「Express Regular Article」

会誌2015年秋期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIM Fall Meeting (2015)原稿募集

- ◎日本金属学会誌「2015年秋期講演大会精選論文」80巻3号および4号(2016年)掲載
Materials Transactions「Selected Papers from JIM Fall Meeting(2015)」57巻3号および4号(2016年)掲載
- ◎予備登録締切 2015年9月28日(月)
- ◎原稿締切 2015年10月13日(火)
- ◎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(別刷50部寄贈)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、相互聴講を実施いたします。ご活用下さい。

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、鉄鋼協会での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)とする。
相互聴講手続きは(鉄鋼)とする。

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)とする。
相互聴講手続きは(金属)とする。

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

☆今大会から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、皆様のご協力をお願い申し上げます。
ご不明な点をご遠慮なくお問い合わせ下さい。

【問合せ先】：(公社)日本金属学会 講演大会係
TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: annualm@jim.or.jp

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。

インターネットでの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/2015autumn/>)から申込み下さい。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、できるだけ早目にお申込み下さい。

[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》

講演大会プログラムに反映されるので、概要提出日までに WEB 画面から内容確認・修正で変更して下さい。

[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	
セッション名 (一般、ポスターのみ)	セッション名は、あたりあ第54巻第5号256頁の講演セッション一覧から 第1希望(必須) および 第2希望(必須) のセッションを選択して下さい。 セッションは、材料と社会セッション、学理・現象・プロセッシング別セッションおよび材料別セッションを問わず選択できます。
シンポジウム講演	あたりあ第54巻第5号257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"> • キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可。) • 特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中を含める。
「若手講演論文賞」 応募	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。 (2)年齢35歳以下の発表者を授賞対象とする。 秋期講演大会: 9月1日時点で35歳以下の方 (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"> • 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。 [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(縦形あり)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限内に再提出する。
その他・備考欄	<ul style="list-style-type: none"> • 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、同一のセッション名で申込みをすること。申込締切後の希望は受付けない。 • その他の連絡事項など
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

新講演セッション一覧

(2014年秋期講演大会募集から適用)

材料と社会セッション Materials and Society Sessions	
セッション名 Sessions (4)	
教育 Education	材料と社会 Materials and Society
歴史 History	
材料と社会 Materials and Society	
環境 Environment	

学理・現象・プロセッシング別セッション Scientific Principles, Phenomena and Processing Sessions	
セッション名 Sessions (35)	
水素関連物性・機能・プロセッシング Hydrogen Related Properties, Functions and Processing	物性基礎 Materials Physics
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	組織制御 Microstructure Control
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	
拡散・相変態 Diffusion and Phase Transformations	力学特性 Mechanics of Materials
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	
強度・力学特性 Strength and Mechanical Properties of Materials	材料化学 Materials Chemistry
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	表面・界面 Surfaces and Interfaces
高温酸化・高温腐食 High Temperature Oxidation and Corrosion	
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	
表面界面反応・分析 Surface and Interface Phenomena/Characterization	生体材料基礎 Fundamentals of Biomaterials
摩耗・トライボロジー Abrasion and Tribology	
細胞機能・組織再生 Cell Functions and Tissue Regeneration	
生体構造機能 Biostructural Function	
分析・解析・評価・先端技術 Analysis/Characterization/Evaluation/Advanced Techniques	分析・評価 Analysis and Characterization
生体表面機能 Biosurfaces and Biointerface Functions	
計算材料科学・材料設計 Computational Materials Science and Materials Design	
環境・リサイクル技術 Environment and Recycling	
凝固・結晶成長・鋳造 Solidification, Crystal Growth and Casting	計算材料科学 Computational Materials Science
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	材料プロセッシング Materials Processing
融体・高温物性 Molten Materials and High Temperature Properties	

溶接・接合 Welding and Joining	
材料別セッション：Materials Sessions	
セッション名 Sessions (38)	
エネルギー・電池材料 Energy and Battery Materials	エネルギー関連材料 Energy and Related 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	
熱電材料 Thermoelectric Materials	
触媒材料 Catalysts	磁性材料 Magnetic 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	
磁気記録材料 Magnetic Recording Materials	電気・電子材料 Electric/Electronic 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	
太陽電池材料 Photovoltaic Materials	生体・医療・福祉材料 Biomaterials, Medical Materials and Health Care 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	
生体・医療・福祉材料 Biomaterials, Medical Materials and Health Care Materials	生体・医療・福祉材料 Biomaterials, Medical Materials and Health Care Materials
テーラーメイド医療材料 Tailor-Made Medical Materials	
鉄鋼材料 Iron and Steel	
Al・Al合金 Aluminum and Its Alloys	
Cu・Cu合金 Copper and Its Alloys	構造・機能材料 Structural/Functional Materials
Mg・Mg合金 Magnesium and Its Alloys	
Ti・Ti合金 Titanium and Its Alloys	
金属間化合物材料 Intermetallics	
形状記憶材料 Shape Memory 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	
自動車用材料 Materials for Automobiles	
航空機用材料 Materials for Aircraft	超微細粒材料 (バルクナノメタル) Ultrafine-Grained Materials (Bulk Nanometals)
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	元素戦略 Elements Strategy/Substitute Materials for Rare Resources
アモルファス・準結晶材料 Amorphous Materials and Quasicrystals	
レアメタル Rare Metals	
元素戦略・希少資源代替材料 Elements Strategy/Substitute Materials for Rare Resources	

2015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(九州大学)におけるテーマ公募によるシンポジウム講演は、下記5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 ナノ構造情報のフロンティア開拓-材料科学の 新展開 Exploration of nanostructure-property relationships for materials innovation

結晶の表面, 界面, 点欠陥等に局在した特徴的な原子配列や電子状態=ナノ構造が, 材料特性に決定的な役割を担う例は極めて多い。近年ナノ構造における個々の原子を直接観察し, その定量的情報を直接的に得るための実験および理論計算に格段の進歩があった。本シンポジウムでは, ナノ材料科学のフロンティア開拓にさらなる弾みを付けるとともに, 獲得されるナノ構造情報を具体的な材料設計・創出に活かすことを目指して, 材料科学, 応用物理, 固体化学, 触媒化学, 情報科学など様々な分野からナノ構造の評価・設計, 材料・機能創製に関する発表を募り, 横断的な議論を行う。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

名古屋大学エコトピア科学研究所教授 武藤俊介

E-mail: s-mutoh@nucl.nagoya-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

物材機構 吉田英弘 東大 溝口照康 名大 豊浦和明

京大 世古敦人

S2 金属間化合物材料の新たな可能性 New Perspectives in Structural and Functional Intermetallics Alloys

本シンポジウムは, 2002年秋期大会以来14年連続の企画である。TiAl, 遷移金属シリサイドといった高温構造材料としての金属間化合物ならびに形状記憶合金, 熱電変換材料といった機能性金属間化合物は, 用途は異なるものの, その力学特性ならびに機能特性は, 化合物特有の規則原子配列, 相安定性, 格子欠陥といった共通の因子に支配されている。このような特性と組織の相関は, 原子直視電子顕微鏡法, 計算材料科学のみならず3D 積層造形法など新たなプロセス技術の発展によって近年急速に理解が深まり, 金属間化合物の研究に新たな展開が生まれている。本シンポジウムは, 構造用化合物ならびに機能性化合物およびそのキャラクターゼーション, 計算機シミュレーションに関して広く講演を募り, 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的連携を促進することを目的としている。我が国の研究のアクティビティを一層高めるとともに, 従来の構造用金属間化合物のみならず, 金属間化合物がその特性を存分に発揮できる新しい研究領域を開拓することを狙って企画した。

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) :

東工大 竹山雅夫 北大 三浦誠司 東北大 吉見享祐

阪大 安田弘行 東工大 木村好里

S3 水素エネルギー材料-VI Hydrogen Energy Materials-VI

地球環境, 温暖化の抑制に加え, エネルギーセキュリティの観点から, 水素エネルギー社会の構築が強く求められている。水素社会実現に必要な技術要素, すなわち水素の製造, 輸送・貯蔵, 利用に係る材料科学的課題については, これまでに開催された「水素エネルギー材料 I~V」にて, 多くの参加者により活発に議論されてきた。シリーズとして開催される本シンポジウムでは, これまで取り組んできた「エネルギーとしての水素」および「材料開発・機能設計のための水素」に関連する材料の研究を深化させる。また, 材料合成, 構造解析, 計算科学, 組織制御等を専門とする研究者が密に

情報交換し, 各自の得意とする専門・技術を融合することで, 新たな材料科学の萌芽も期待される。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

金沢大学准教授 石川和宏

E-mail: nobuhiro-tsuji@mtl.kyoto-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 折茂慎一 産総研 中村優美子 豊田中研 三輪和利

広島大 市川貴之 九大 李 海文

S4 機能性ホイスラー合金研究の最先端 The latest research on various functional Heusler alloys

L2₁/C1_b 規則構造を持つホイスラー合金は, その構成元素の豊富な組み合わせにより, 磁気・伝導・構造特性が大きく変化し, その機能性は, 高スピン偏極率・低ダンピング材料, 高磁気異方性材料, 磁気冷凍材料, 形状記憶合金材料, 高性能熱電材料など極めて多種多様である。我が国ではホイスラー合金材料研究に関し, 世界屈指の研究者が各研究分野において活躍しているが, 分野間の隔たりは大きく, それぞれの持つ知識や情報を一堂に会して共有する機会はほぼ皆無である。材料研究のメッカたる金属学会において本シンポジウムを開催し, 各分野で活躍する研究者が集まり講演・議論することは, ホイスラー合金に関する最新の研究成果を知るだけでなく, 各々が現在抱えている課題, 試料作製法のノウハウや最先端の評価手法などの情報を共有化することに繋がる。これにより, 問題に対する新たな解決策や新規な材料開発へと発展することが大きく期待される。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

物質・材料研究機構 宝野和博

E-mail: kazuhiko.hono@nims.go.jp

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 水口将輝 物材機構 桜庭裕弥 東北大 梅津理恵

S5 キンク変形ダイナミクス Kink Deformation Dynamics

塑性異方性の強い HCP 構造を基本構造とする結晶性材料の塑性変形機構の一つとして, キンク変形がある。半世紀前からキンク変形の存在は知られていたが, 最近, このキンク変形による結晶性材料の強度特性に関する研究が盛んに行われるようになった。例えば, 長周期積層構造(LPSO)相を有するマグネシウム合金の塑性変形には, キンク変形が大に関わっており, 優れた強度を示すことが明らかになった。また, MAX Phase と呼ばれるセラミック材料においては, キンク変形により延性が発現することなど, 興味深い研究成果が報告された。本シンポジウムでは, 2014年春期大会で開催された公募シンポジウム「塑性異方性の強い結晶性材料のキンク変形ダイナミクスと強化機構」で議論された新強化原理や力学特性において, 最新の研究成果の紹介とさらに深い議論を行う場を設けるべく, 本シンポジウムを企画した。本シンポジウムでは, キンク変形, キンク強化, 回位などをキーワードとする講演を募集する。

テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

九州大学教授 中島英治

E-mail: nobuhiro-tsuji@mtl.kyoto-u.ac.jp

(シンポジウム co-chairs) :

北見工大 大橋鉄也 九大 東田賢二 阪大 中谷彰宏

東大 阿部英司 熊本大 河村能人

2015年秋期(第157回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

今秋講演大会は、9月16日(水)から18日(金)まで九州大学伊都キャンパス(福岡市西区元岡744)を会場として開催いたします。大会懇親会は9月16日(水)に行われます。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。

日 程

日 時	行 事	場 所
9月16日(水) 9:00～9:40 10:00～17:00 12:00～17:00 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	九州大学 伊都キャンパス(福岡市西区元岡744) 開催場所は次号6号でお知らせします
9月17日(木) 9:00～17:00	学術講演会	九州大学 伊都キャンパス
9月18日(金) 9:00～16:30	学術講演会	九州大学 伊都キャンパス

参加申込要領

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

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

予約申込締切後、予約申込者へ大会参加証、概要集DVDを送付します。懇親会参加申込をされた方には、懇親会参加券もあわせてお送りします。なお、領収書は、決済完了後に申込画面から各自印刷下さい(WEB画面:講演大会 Mypage よりダウンロード)。8月11日以降は当日申込となります。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10日(月)(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 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
正員・前維持員会社社員・鉄鋼協会会員	9,000円	10,000円
学生員*	6,000円	6,500円
非会員 一般	19,000円	20,000円
非会員 学生(大学院生含む)	14,000円	15,000円

* [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) ※詳しくは、ホームページおよびまてりあ6号にてお知らせいたします。(予約申込締切日:8月10日(月))

◆支払方法

クレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、コンビニ決済の場合は、手数料をご負担願います。また、入金後のご返金は致しかねます。8月10日(月)の入金日をもって予約申込完了となります。

◆講演概要集DVDのみ購入する場合

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

会員価: 本体3,810円+税 定価: 本体10,000円+税 送料: 360円

参加申込・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

掲 示 板

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合せのみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700~800文字)程度。

- 「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円＋税
- ホームページのみ掲載；10,000円＋税

〈その他の記事〉 原則として有料掲載。

- 原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載
- 原稿提出方法：電子メールとFAX両方(受け取りメールの確認をして下さい)

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

◇東北大学原子分子材料科学高等研究機構 主任研究員(教授)、ジュニア主任研究員(准教授)公募◇

募集人員 主任研究員(教授、テニュア職)1名、
ジュニア主任研究員(准教授、テニュアトラック職)1名

所 属 原子分子材料科学高等研究機構

専門分野 材料科学、または材料科学と関連する物理学、化学、
または数学

応募資格 博士号取得者

着任時期 2016年1月1日

- 提出書類 (1) カバーレター
(2) 履歴書
(3) 業績リスト
(4) 今までの研究概要(3ページ以内)
(5) 研究計画(3ページ以内)
(6) 照会可能者(2名)

上記をすべて英文で作成のこと

応募締切 2015年5月31日(日)

提出方法 下記住所に郵送、もしくはメールで提出。応募書類は返却しません

問合せ・書類送付先

〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学原子分子材料科学高等研究機構
事務部門長 塚田 捷 ☎ 022-217-5922
E-mail: kobo2015@wpi-airm.tohoku.ac.jp
詳細は下記 URL を必ず参照のこと
http://www.wpi-airm.tohoku.ac.jp/jp/about/staff/20150302_000540.html

◇東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー材料科学国際研究センター 助教 公募◇

公募人員 助教1名(任期7年 審査により再任1回3年可)

所 属 東北大学金属材料研究所
附属量子エネルギー材料科学国際研究センター

専門分野 原子力関連材料やアクチノイド科学などの研究および本
センターにおける国内外の研究者の共同利用の推進。
意欲的に取り組んでいただける方であれば経験は問いま
せん。

公募資格 博士の学位を有する方、あるいは2016年3月末までに
学位取得見込みの方。

就任時期 決定および学位取得後のなるべく早い時期。

- 提出書類 (1)履歴書(写真貼付) (2)研究業績リスト(原著論文、国
際会議プロシーディングス、著書・解説、招待講演、そ
の他に分類) (3)主要論文別刷3編(コピー可) (4)これ
までの研究の概要(2,000字程度) (5)着任後の研究展望
(2,000字程度) (6)推薦書または照会可能者1-2名の氏
名と連絡先

公募締切 2015年6月30日(火)必着

書類送付先 〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町2145-2
東北大学金属材料研究所
附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
教授 永井康介

問合せ先 量子エネルギー材料科学国際研究センター
教授 永井康介

☎ 029-267-3181 FAX 029-267-4947

E-mail: nagai@imr.tohoku.ac.jp

その他 封筒に「量子エネルギー材料科学国際研究センター
助教 応募書類」と朱書きし、書留で郵送すること

◇大阪大学 接合科学研究所 教員公募◇

公募人員 教授1名

(大阪大学は男女共同参画を推進しています。女性研究
者の積極的な応募を期待します。)

所 属 大阪大学接合科学研究所 スマートプロセス研究センタ
ー 信頼性評価・予測システム学分野

専門分野 材料科学的視点に基づき、溶接・接合プロセスがマク
ロ・ミクロ組織形成に及ぼす影響の理解、溶接・接合部
の品質・信頼性評価や経年変化予測に関する基礎・応用
研究を行い、溶接・接合における材料科学の進歩・発展
に寄与できる方。

応募資格 博士の学位または外国のPh.D.を有する方。

着任時期 採用決定後、可能な限り早い時期

任 期 期間の定めなし

選考方法 書類審査(必要に応じて面接を実施)

応募要領

(1) 必要書類

- 履歴書(写真貼付)
- 研究業績目録(査読付原著論文、国際会議論文、著書、総
説・解説、特許、その他に分類下さい。原著論文がインパ
クトファクターを有する場合はインパクトファクターを、また
被引用件数も併記して下さい)
- 主要論文別刷(5編以内、コピー可)
- これまでの研究業績の概要(A4用紙2ページ程度)
- 着任後の研究教育活動の計画と抱負(A4用紙2ページ程度)
- 科研費等外部資金獲得の状況(代表者あるいは分担者を明記)
- その他の特記事項(受賞、国内外での学会活動、社会活動、
産学官連携など)
- 2名の方からの推薦書(別送または別封)、
または応募者について所見を伺える方2名の氏名と連絡先

(2) 応募締切日 2015年6月30日(火)必着

(3) 応募書類の提出先

〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘11-1
大阪大学接合科学研究所 庶務係長宛
☎ 06-6879-8677

*封筒に「大阪大学接合科学研究所 信頼性評価・予測シ
ステム学分野教員応募書類在中」と朱書きし、簡易書留で郵送
のこと。応募書類は原則として返却しません。

本件に関する問合せ先

〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘11-1
大阪大学接合科学研究所長 田中 学
☎ 06-6879-8640 E-mail: tanaka@jwri.osaka-u.ac.jp
接合科学研究所 HP: <http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/index.jsp>

◇愛媛大学大学院理工学研究科 教授 公募◇

公募人員 教授 1名
所 属 物質生命工学専攻機能材料工学コース
専門分野 金属材料工学およびその関連分野、特に先進的マイクロ・ナノ構造制御金属・合金、微細構造解析など
応募資格 博士あるいはPh.D.の学位を有する方または取得見込みの方
着任時期 2015年10月1日以降のできるだけ早い時期
任 期 なし
選考方法 書類審査および面接
提出書類 ①履歴書 ②研究業績 ③教育業績 ④その他の業績 ⑤今後の活動の抱負 ⑥これまでに獲得した研究助成一覧 ⑦主要な研究業績の別刷(5編以内) ⑧応募者について所見を求め得る方3名以内の氏名・役職・連絡先

応募締切 2015年6月19日(金)必着

書類送付先 〒790-8577 松山市文京町3番
愛媛大学大学院理工学研究科物質生命工学専攻機能材料工学コース 教授 武部博倫
*詳細は下記 URL を参照のこと。
<http://www.ehime-u.ac.jp/information/employment/index.html>

問合せ先 同コース コース長 教授 平岡耕一
☎ 089-927-9885
E-mail: hiraoka.koichi.mk@ehime-u.ac.jp

◇原子力規制庁行政職員(経験者)の公募◇

募集人員 合計で20名程度(予定)

内 容 募集内容:
(1) 安全審査官
(2) 原子力保安検査官及び原子力施設検査官
(3) 原子力防災専門官 ほか

詳 細 下記ホームページをご参照下さい。
http://www.nsr.go.jp/nra/employ/20150415_01.html

着任時期 2015年7月以降(予定)

応募締切 2015年5月22日(金)(当日消印有効)

応募方法

- (1) 履歴書(顔写真を貼付したもの)(指定様式)
- (2) 職務経歴書(指定様式)
- (3) 最終学歴に係る卒業証明書
- (4) 小論文(以下の2テーマについて、各2,000字程度で述べること)(指定様式)

- ①これまでの実務経験や専門性を踏まえ、原子力規制庁職員としてどのような貢献ができると考えているか。
- ②今後の原子力の安全をどのように確保していく必要があると考えているか。さらに原子力規制委員会の今後の取り組みについてどのように考えているか。

※指定様式は原子力規制委員会ホームページをご覧ください。

※応募資格を満たしているかどうかを確認するため、合格者の方は原子力規制委員会が指定する日までに勤務証明書等を提出していただきます。

証明書等を提出できない場合又は虚偽の記載がなされている証明書等があった場合には、採用予定が取り消される場合があります。

※上記の(1)においては、所定の記載欄に希望する業務内容を明記するとともに、英語能力について記載して下さい。(2)においては、職務の内容及び経験年数を明記して下さい。(4)においては、ご自身の実務経験の具体的な記載をして下さい。

宛先にご自身の住所・氏名を記載し、82円切手を貼付した封書(長形3号)を同封の上、下記まで郵送(簡易書留)にて応募下さい。

(注1)応募の秘密については厳守致します。なお、応募書類の返却はいたしませんので、ご了承下さい。

(注2)採用内定者は採用までに健康診断を受診する必要があります(受診結果により内定が取り消される場合があります。)

書類送付先 〒106-8450 東京都港区六本木 1-9-9
六本木ファーストビル4階
原子力規制委員会原子力規制庁長官官房人事課
山崎、千葉

問合せ先 原子力規制委員会原子力規制庁長官官房人事課
山崎、千葉
☎ 03-5114-2104(直通)

集 会

◇レアメタル研究会◇

■主 催：レアメタル研究会

主宰者：東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹

協 力：(一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)

共 催：東京大学マテリアル工学セミナー

協 賛：(一社)軽金属学会、(一社)資源・素材学会、(公社)日本化学会、(公社)日本金属学会、(一社)日本チタン協会、(一社)日本鉄鋼協会 (五十音順)

■開催会場：東京大学生産技術研究所

An 棟 2F コンベンションホール

〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1

(最寄り駅：駒場東大前、東北沢、代々木上原)

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

研究会ホームページ

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

〈平成27年度 レアメタル研究会の予定(2015.3.3現在)〉

■ 第66回 2015年7月17日(金)(7月10日から変更になりました)

■ 第67回 2015年9月18日(金)

■ 第68回 2015年11月27日(金)

■ 第69回 2016年1月8日(金)

★貴金属シンポジウム(第3回)+新年会★(合同開催)

■ 第70回 2016年3月11日(金)(平成27年度 最終回)

■第66回 2015年7月17日(金)15:00~ An棟2F コンベンションホール

テーマ：鉱物資源、鉱山開発、レアアースの開発など

時 間：午後3:00~

講 演：

- 鉱物資源研究と鉱山開発：現状と将来(仮)(60分)
静岡大学 大学院理学研究科 地球科学専攻 教授 森下祐一 講師
- レアアースをはじめとするレアメタルに関する最近の話題(仮)(45分)(別の講演となる可能性あり)

東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師

- ライナスプロジェクトをはじめとするレアアース事業とサプライチェーン

双日株式会社 化学部門 環境資材本部 資源化学品部

エレクトロマテリアル課 課長補佐 左藤富士紀 講師

午後6:30~ 研究交流会・意見交換会 (An棟2F ホワイエ)

■第67回 2015年9月18日(金)15:00~ An棟2F コンベンションホール

テーマ：走るレアメタル、働くレアメタル

時 間：午後3:00~

講 演：

- 自動車に使われるレアメタルの現状と将来(仮)(60分)

トヨタ自動車株式会社 材料技術統括室 主査 野田克敏 講師

- 走るレアメタル, 働くレアメタルについて(仮)(45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 - 希土類(レアアース)産業の過去・現在・未来 ~自動車・ロボット産業などへの貢献~(仮)(60分)
株式会社 三徳 代表取締役社長 岡田 力 講師
- 午後6:30~ 研究交流会・意見交換会 (An 棟 2F ホワイエ)

★備考: 関連研究会

<米国版レアメタル研究会(RMW)のご案内>

Workshop on Reactive Metal Processing (Reactive Metal Workshop)

■RMW11 February 19 (Fri)-20(Sat), 2016, Cambridge, MIT

Reactive Metal Workshop のHP

<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/core-to-core/rmw/>

助成

(公財)泉科学技術振興財団 平成27年度研究助成・研究会リーダー助成の募集

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, 40件.

研究会リーダー助成 国内で平成28年1月~12月に開催される機能性材料科学分野におけるワークショップ, フォーラム等萌芽的なグループ研究会を主導するリーダーに対する助成

助成金額 1件30~80万円, 4~6件以内(総額300万円以内)
募集期間 2015年4月1日~2015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

助成

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)助成事業 「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」 提案者募集のお知らせ

「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」とは, 高い省エネルギー効果が見込まれる技術開発に対して助成する制度です. 平成27年度第2回公募は7月頃に実施する予定です.

対象者 原則として, 日本国内に研究開発拠点を有している企業, 大学等の法人

公募期間 2015年7月頃(予定)

公募案内 詳細決定後(6月頃), NEDO ウェブページに掲載します. <http://www.nedo.go.jp/koubo/index.html>

問合せ先 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」事務局
E-mail: shouene@ml.nedo.go.jp



新入会員

(2015年2月21日~2015年3月23日)

正員

阿部 真之 大阪大学

小松 誠幸 独立行政法人 物質・材料研究機構 寺西 利治 京都大学

学生会員

浅野 道春 九州大学
岡 美嶺人 筑波大学

多田 佳史 鶴見大学
手面 学 筑波大学

松 儀 亮太 京都大学

外国一般会員

KANG Heon Yonsei University

外国学生会員

An Zhen Northwestern Polytechnical University

CHEN Jing 京都大学

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 79, No. 5 (2015)

オーバービュー(解説論文)

電子線ホログラフィーを用いた界面領域の磁性の研究
村上恭和

論文

トリエタノールアミンを含むジンケート浴からの
Zn-Fe 合金電析挙動

中野博昭 荒川真吾 大上 悟 小林繁夫

溶融亜鉛めっき工程における焼鈍前酸化促進処理によるシリコン含有鋼板のめっき性改善

飛山洋一 多田雅彦 藤田 栄 竹山雅夫

水素吸蔵合金を用いたソフトアクチュエータ用
 $Zr_xTi_{1-x}Mn_{0.8}V_{0.2}Ni_{0.9}Mo_{0.1}$ (M = Ni, Al, Fe, Cu) 合金
の開発

榎 浩司 Hyunjeong Kim 榎 浩利
細野美奈子 吉村真一 井野秀一 中村優美子

高温溶体化処理による歯科鑄造用金銀パラジウム合金
硬化機構に対する濃度変調の役割

田中康弘 池下雄一

Al-0.62 mass % Mg-0.32 mass % Si 合金の引張変形
特性に及ぼす時効析出形態の影響

秋吉竜太郎 池田賢一 波多 聡 中島英治 笠間丈史
高田 健 高橋 淳 潮田浩作 金子賢治

固液共存温度域での保持中の初晶 β -Sn の変化に及ぼす
保持温度の影響

長友康浩 江阪久雄 篠塚 計

ODS フェライト鋼の高温引張試験における粒界迂りの
二次元的観察

増田紘士 谷口 聡 佐藤英一
杉野義都 鶴飼重治



Materials Transactions 掲載論文
Vol. 56, No. 5 (2015)

—Overview—

Visualization of Electrochemical Reactions in All-Solid-State Li-Ion Batteries by Spatially Resolved Electron Energy-Loss Spectroscopy and Electron Holography

Kazuo Yamamoto, Yasutoshi Iriyama and Tsukasa Hirayama

Martensitic Transformation and Superelastic Properties of Ti-Nb Base Alloys

Hee Young Kim and Shuichi Miyazaki

—Regular Articles—

Materials Physics

The Effect of Aluminum on Microstructure and Mechanical Properties of ATI 718Plus Alloy

Minqing Wang, Qun Deng, Jinhui Du, Zhiling Tian and Jing Zhu

The Effect on Diesel Injector Wear, and Exhaust Emissions by Using Ultralow Sulphur Diesel Blending with Biofuels

De-Xing Peng

Comparison of Structural Relaxation Behavior in As-Cast and Pre-Annealed Zr-Based Bulk Metallic Glasses Just below Glass Transition

Osami Haruyama, Kazuyoshi Yoshikawa, Yoshikatsu Yamazaki, Yoshihiko Yokoyama and Takeshi Egami

Molecular Dynamics Analysis of the Microstructure of the CaO-P₂O₅-SiO₂ Slag System with Varying P₂O₅/SiO₂ Ratios

Guozheng Fan, Jiang Diao, Lu Jiang, Zhen Zhang and Bing Xie

Microstructure of Materials

Phase Formation and Interfacial Phenomena of the *In-Situ* Combustion Reaction of Al-Ti-C in TiC/Mg Composites

Ilguk Jo, Seol Jeon, Eunkyung Lee, Seungchan Cho and Heesoo Lee

Effects of Molybdenum Microstructures on Sputtered Films

Jhewn-Kuang Chen, Bing-Hua Tsai and Hung-Shen Huang

Mechanics of Materials

Evaluation of Dislocation Density for 1100 Aluminum with Different Grain Size during Tensile Deformation by Using *In-Situ* X-ray Diffraction Technique

Hiroki Adachi, Yoji Miyajima, Masugu Sato and Nobuhiro Tsuji

Evolution of Permeability during Fracturing Processes in Rocks under Conditions of Geological Storage of CO₂

Takashi Fujii, Takahiro Funatsu, Yasuki Oikawa, Masao Sorai and Xinglin Lei

Simulation of Apparent Elastic Property in the Two-Dimensional Model of Aluminum Foam Sandwich Panels

Sawei Qiu, Xinna Zhang, Qingxian Hao, Renjun Dou, Yan Ju and Yuebo Hu

Materials Chemistry

Effect of Alloying Elements and Generation of Hydrogen Gas on Zincate Treatment and Electroless Nickel-Phosphorus Plating of Aluminum Alloys

Koji Murakami, Makoto Hino, Norihito Nagata and Teruto Kanadani

Materials Processing

Examination of Electrical Conduction of Carbonyl Iron Powder Compacts

Yongquan Ye, Xiaoqiang Li, Donghai Zheng, ShengGuan Qu and Yuanyuan Li

Estimation Procedure for Volume Fraction of Minor and Rod Phase Aligned Unidirectionally in a Matrix

H. Esaka, J. Machida and K. Shinozuka

Relation between the Solidification Condition and Volume Fraction of Rod-Like Eutectic Cu₆Sn₅ Phase in the Eutectic Structure in Sn-Cu Alloys

H. Esaka, J. Machida, Y. Takamatsu and K. Shinozuka

Accurate Prediction of Welding Stress Evolution by Considering Improved Phase Transformation Model

Yongzhi Li, Hao Lu, Chun Yu and Yixiong Wu

Effect of Carbon Content on Heat Treatment Behavior of Multi-Alloyed White Cast Iron for Abrasive Wear Resistance

Jatupon Opaapaiboon, Prasonk Sricharoenchai, Sudsakorn Inthidech and Yasuhiro Matsubara

Engineering Materials and Their Applications

Load Dependence of Nanoindentation Behaviour and Phase Transformation of Annealed Single-Crystal Silicon

Woei-Shyan Lee and Shuo-Ling Chang

Environment

Electrochemical Leaching of Tungsten from Hard Metal Alloy Using Molten Sodium Hydroxide

Yuki Kamimoto, Masanori Kamiya, Ren Kasuga, Takeshi Hagio, Kensuke Kuroda and Ryoichi Ichino

Recovery of Platinum from Chloride Leaching Solutions of Spent Reforming Catalysts by Ion Exchange

Pan-Pan Sun, Tae-Young Kim, Byoung-Jun Min, Hyoung-Il Song and Sung-Yong Cho

—Express Regular Articles—

Numerical Simulation of a U-Shaped ACFM Inducer

Wenpei Zheng, Laibin Zhang, Yinao Su and Taian Fang

Effects of Cu Addition on the Microstructure and Localized Corrosion Resistance of Hyper Duplex Stainless Steels Aged at 748 K

Kyeong-Ho Kong, Soon-Hyeok Jeon, Soon-Tae Kim, Do-Hyang Kim, Byoung-Jin Kim, Hwan-Uk Guim, Moon-Byung Moon and Yong-Soo Park

Solid/Powder Clad Ti-6Al-4V Alloy with Low Young's Modulus and High Toughness Fabricated by Electron Beam Melting

Naoko Ikee, Takuya Ishimoto, Natsumi Hiramoto, Hidetsugu Fukuda, Hiroyuki Ogisu, Yutaro Araki and Takayoshi Nakano

Effect of Heat Treatment on Ordered Structures and Mechanical Properties of Fe-6.5 mass%Si Alloy

Hui Li, Yong-Feng Liang and Feng Ye

Amenability Testing of Fine Coal Beneficiation Using Laboratory Flotation Column

Chul-Hyun Park, Nimal Subasinghe and Oh-Hyung Han

—Express Rapid Publication—

A Trial on Detecting Fluctuations in Bulk Metallic Glass Beams by Strain Contrast Variation Method—Use of High Energy Small-Angle Scattering

Hiroshi Okuda, Yusuke Maezawa, Yoshihiko Yokoyama, Shinji Kohara and Shojiro Ochiai



まてりあ 第54巻 第6号 予告

- [新役員紹介] 2015年度新役員紹介
- [巻頭言] 会長就任のご挨拶
- [最近の研究] 放射光を利用したベルク・バレット法による 4H-SiC 中の転位の観察松畑洋文
- [新進気鋭] ナノ制限空間における物質の構造と挙動についての透過電子顕微鏡観察小林慶太

- [入門講座] 測定の不確かさ評価について1—不確かさとは何か—城野克弘
- 他—

(編集の都合により変更になる場合がございます。)

“材料系学協会情報コーナー”

- 〈軽金属 第65巻第5号 予定〉
- 巻頭言 軽金属材料の塑性加工技術と数値シミュレーションの最前線」特集号に寄せて/濱崎 洋
- 解説 高比強度・高成形性軽金属板材の研究開発/井上博史
軽金属板材の塑性変形特性 —測定とモデル化の手法—/桑原利彦・吉田健吾

双晶回復を考慮した結晶塑性有限要素法によるマグネシウム合金の変形挙動予測/浜 孝之
効果的な CAE の活用方法/鳥飼 岳

2015年春期(第156回)講演大会記録

2015年春期講演大会は、3月18日から20日の期間、東京大学駒場Iキャンパスにおいて開催した。

大会参加者 1,322名(一般744名, 学生員373名, 非会員一般90名, 非会員学生24名, 相互聴講91名)

講演発表件数 721件

- 3月18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(900番教室)
- (9:50~11:40) 学会賞受賞記念講演, 本多記念講演(900番教室)
- (13:00~17:05) 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演(1号館, 5号館12会場)
- (12:30~17:00) ポスターセッション(21COMCEE)
- (18:00~20:00) 懇親会(コミュニケーションプラザ南館1階カフェテリア若葉)
- 3月19日(13:00~17:25) 一般講演, シンポジウム講演, 名誉員推戴記念講演, 受賞講演, Young Leader International Scholar講演, 共同セッション(1号館, 5号館18会場)
- 3月20日(9:00~16:25) 一般講演, シンポジウム講演, 受賞講演, 共同セッション(1号館, 5号館15会場)
- 3月18日~3月20日 総合受付(1号館1階), 金属組織写真展示(5号館2階), 付設機器・カタログ展示会(1号館1階)

開会の辞

新家光雄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18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, Jong-Soo Woo 会長が来日し挨拶した。



開会の挨拶: 新家家長



日本語で挨拶をされた Jong-Soo Woo 会長

TMS 代表紹介(3月18日)

本会とTMSとの国際交流促進協定にもとづき, TMSから第10回 Young Leader International Scholarとして来日した代表者1名の Qizhen Li氏が紹介された。

各受賞贈呈(3月18日)

各受賞贈呈の前に会長の式辞があり, 続いて贈呈があった。

第60回学会賞贈呈式 森永正彦君に対して賞状ならびに賞牌贈呈。

(受賞者; 本誌189頁)

第16回学術功労賞贈呈式 3名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌190頁)。

第56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190頁)。

第65回金属組織写真賞贈呈式 最優秀賞1件および優秀賞1件に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌191頁)。

第46回研究技術功労賞贈呈式 10名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌192頁)。

第73回功績賞贈呈式 8名(物性部門1名, 組織部門2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193頁)。

第54回谷川・ハリス賞贈呈式 4名に対し賞状ならびに賞牌贈呈(受賞者; 本誌195頁)。

第21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196頁)。

第22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196頁)。

第2回特別功労賞 1名に対し賞状贈呈(受賞者; 本誌197頁)。

名誉員推戴式 新名誉員2名に対し推薦状ならびに名誉員章贈呈(受賞者; 本誌197頁)。

第60回学会賞受賞記念講演(3月18日)

「分子軌道法による合金設計」

豊田理化学研究所フェロー・名古屋大学名誉教授 森永正彦 君

第60回本多記念講演会(3月18日)

「マルテンサイト変態の核生成に関する一考察と鉄基形状記憶合金に現れる巨大弾性的ひずみと臨界点」

大阪大学教授 掛下知行 君



森永先生によるご講演。



掛下先生によるご講演。

懇親会(3月18日)

学内のコミュニケーションプラザ南館1階カフェテリア若葉において日本鉄鋼協会と合同で開催(参加者は275名, 本会への申込者・招待者117名)。

- | | |
|---------------|----------------|
| 開会の辞・司会 | 東京大学 教授 榎 学 |
| 来賓挨拶 | 東京大学 副学長 前田正史 |
| 日本金属学会会長挨拶 | 東北大学 教授 新家光雄 |
| 日本鉄鋼協会会長挨拶・乾杯 | 東京工業大学 教授 加藤雅治 |
| 懇 談 | |
| 閉会の辞 | 東京大学 教授 榎 学 |



新家家長のご挨拶。



新名誉員 Urban 氏ご夫妻と一緒に。



TMS Young Leader Li 氏を囲んで。



大学キャンパス内での懇親会風景。

学術講演会(3月18日～20日)

- 最終講演件数721件
欠講1件(講演番号:一般No. 317)
- 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6テーマ124題
(基調講演39題, 応募講演85題)
- 一般講演442題(功績賞授賞講演6題, 谷川・ハリス賞受賞講演4題, 増本量賞受賞講演2題, 技術賞受賞講演3題, 名誉員推戴記念講演1題, Young Leader Scholar 講演1題含む)
- 共同セッション17題
- ポスターセッション119題
講演会場 18会場

第24回ポスターセッション(3月18日)

3月18日12:30～17:00に21COMCEE 3階の3教室で119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101件の内容・発表について審査が行われた。

第1部(12:30～14:30)58件, 第2部(15:00～17:00)61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19日「優秀ポスター賞」20名が決定し, 受賞者を受付前に掲示した(受賞者; 本誌198頁)。

金属学会・鉄鋼協会共同セッション

「チタン・チタン合金」20題(金属13題, 鉄鋼7題)は3月19日, 金属学会Q会場で開催した。

「超微細粒組織制御の基礎」4題(金属1題, 鉄鋼3題)は3月20日, 鉄鋼協会第3会場で開催した。

「マイクロ波応用プロセッシング」9題(金属3題, 鉄鋼6題)は3月20日, 鉄鋼協会第10会場で開催した。

第10回 JIM/TMS Young Leader International Scholar Program (3月19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2006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 Qizhen Li 氏が一般講演「Mg・Mg 合金」セッションの中で Young Leader International Scholar 講演発表後, 座長より賞状が授与された。



三浦誠司座長からの賞状授与。左から三浦座長, Dr. Li, 御手洗世話人。

第7回男女共同参画ランチョンミーティング(3月20日)

「金属材料分野での多様なキャリアパス」をテーマに Joint JIM/TMS Young Leader International Scholar Program として, TMS から派遣された代表者 Qizhen Li 氏とエイチ・シースタルク(株)宮下直子氏が英語で講演を行った。



宮下直子氏によるご講演。

Dr. Qizhen Li 氏によるご講演。

付設機器・カタログ等展示会(第36回)

機器展示26社, 書籍展示1社, カタログ展示2社が出展した。展示会場は1号館1階1室および受付に併設し開催した。春期講演大会では過去最高の出展数であった。各社のご厚意に感謝いたします。

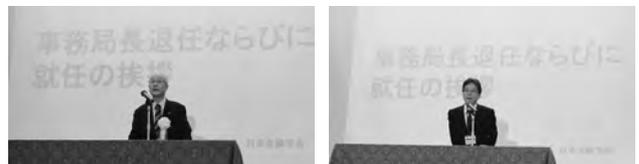


託児室

今回は利用者がなく開設しなかった。

事務局長退任ならびに就任の挨拶

両者より挨拶があった。



梶原事務局長退任の挨拶。

山村新事務局長就任の挨拶。

【大会雑記】

東京大学では12回目の開催となるが, 駒場キャンパスでは初めて開催した。

講演会場は1号館, 5号館, 21KOMCEE でコンパクトにまとめた会場であった。1号館は, 金属学会と鉄鋼協会が受付および講演会場を左右に分けて行ったが, 参加者には好評であった。

大会前日に開催した第1回の企業説明会は企業35社, 学生118名の参加があり, 盛会裡に終了した。

桜はまだ蕾程度であったが, 幸い悪天候にもならず交通機関の影響もなく3日間無事に講演を終了することができた。

東京大学教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。



行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
5月				
9	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東工大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
11~13	ナノ学会 第13回大会(東北大)	ナノ学会	TEL 022-217-5163 mura@tagen.tohoku.ac.jp http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/ muramatsu/nano/index.html	
15~17	軽金属学会第128回春期大会(東北大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	予約申込 4.16
19	第8回特別講演会「船用燃料のこれからの将来」(東京)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp/	
19~22	第51回真空技術基礎講習会(和泉)	日本真空学会関西支部他・山中	TEL 0725-53-2329 g-kyoukai@dentai.tri-osaka.jp http://www.vacuum-jp.org/	5.11
21~22	第32回希土類討論会(鹿児島)	日本希土類学会(阪大内)	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	参加 5.8
22	第20回分子動力学シンポジウム(米沢)	日本材料学会	http://www.jsms.jp	講演 2.13
26	第202回研究会 エネルギーに関連する磁性材料の現状とその展開(中央大)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 http://www.magnetics.jp/event/research/ topical_202/	
27~30	トライボロジー会議2015春(姫路)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	
29~31	平成27年度塑性加工春季講演会(横浜)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
6月				
4~5	第140回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用～基礎編～」(名大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
5	第94回シンポジウム「次世代自動車の車体軽量化における材料・加工技術の開発トレンドⅡ」～軽金属材料の競合たちの現状と将来展望～(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 100名
6	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(中央大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
6	第61回塑性加工技術フォーラム「東京の地場に見られる型技術と人材育成の極意」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
8	第43回 薄膜・表面物理セミナー(2015)次世代・革新二次電池技術の最前線～薄膜・表面研究者にもわかる電池の基礎から将来展望まで～(早稲田大)	応用物理学会 薄膜・表面物理分科会	TEL 03-5802-0863 oda@jsap.or.jp http://www.jsap.or.jp/	参加 5.25
8~10	第20回計算工学講演会(つくば)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org http://www.jcses.org/koenkai/20	
10	第221回西山記念技術講座「鋼板圧延技術の系譜(圧延品質に影響を与える周辺技術)」(大阪)	日本鉄鋼協会・橿岡	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp http://www.isij.or.jp/ https://www.isij.or.jp/muhlujx8m	
11~12	第25回電子顕微鏡大学(東大)	日本顕微鏡学会	FAX 03-5227-8632 jst-denken@bunken.co.jp	5.25
12	平成27年度日本金属学会関東支部講演見学会(横浜)(3号128頁)	関東支部	jim-kanto@mtl.titech.ac.jp	5.29
17	第222回西山記念技術講座「鋼板圧延技術の系譜(圧延品質に影響を与える周辺技術)」(東京)	日本鉄鋼協会・橿岡	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp http://www.isij.or.jp/ https://www.isij.or.jp/muhlujx8m	
18~19	第56回塗料入門講座(東京)	色材協会	TEL 03-3443-2811 seminar@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
18~19	第20回動力・エネルギー技術シンポジウム(東北大)	日本機械学会・江原(東北大)	TEL 022-795-7905 shinji.ebara@qse.tohoku.ac.jp http://www.jsme.or.jp/pes/event/index.html	
18~19	ESICMM-G8 Symposium on High-Performance Permanent Magnets(物材機構)	物材機構元素戦略磁性材料研究拠点・広沢(NIMS)	Info-esicmm@nims.go.jp	
19	実用顕微評価技術セミナー2015(東大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sss.jp http://www.sss.jp/	
26	2015電気化学セミナー2「初心者のための電気化学測定法-基礎編」(早稲田大)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 ecsj@electrochem.jp http://ecsj-promotion.electrochem.jp/	
27	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東海大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
30~7.2	第59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@sss.jp http://www.sss.jp/	6.24

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
7月				
3	半導体デバイスの明日を担う新規材料開発の現状と展望(大阪大学)	日本真空学会関西支部他・三浦	TEL 075-724-7489 miura@kit.jp http://www.vacuum-jp.org/	7.2
3	第95回シンポジウム「電子顕微鏡による材料研究(Ⅱ)」～マイクロ組織観察の現状～(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 jilm1951@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/	定員 60名
7~10	The Fifth International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2015)(富士吉田)	粉体工学会・多々見(横国大)	iccci2015@ml.ynu.ac.jp http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2015/	
9~10	第56回塗料入門講座(東京)	色材協会	TEL 03-3443-2811 seminar@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
9~10	第79回半導体・集積回路技術シンポジウム(早稲田大)	電気化学会・電子材料委員会	TEL 03-3234-4213 ikezuki@electrochem.jp http://semicon.electrochem.jp/	事前予約 6.22
13~15	講習会「粉末 X 線解析の実際」(東京理科大)	日本結晶学会	FAX 03-3368-2827 crsj-xray@bunken.co.jp https://bunken.org/crsj/conf201507/Login	
14~16	NIMS Conference 2015「最先端計測が切り拓くマテリアルイノベーション」(つくば)	物材機構	nims_conference@nims.go.jp	800名
15~17	第34回電子材料シンポジウム(EMS-34)(守山)	電子材料シンポジウム運営委員会・西永(産総研)	TEL 029-861-5042 jiro.nishinaga@aist.go.jp	
16~17	第49回 X 線材料強度に関するシンポジウム(大阪)	日本材料学会・八代	TEL 055-243-6111 yatsushiro-vvm@pref.yamanashi.lg.jp	講演 3.6
17	第32回軽金属セミナー「アルミニウム合金の状態図と組織—入門編」(関西大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
17	第66回レアメタル研究会(東大生産研)(本号260頁)	レアメタル研究会・宮嵩(東大生産研岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
21	第33回軽金属セミナー「アルミニウム合金の時効析出—中級編—」(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
25	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東京理科大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
8月				
16~20	The 13th World Conference on Titanium (Ti-2015)チタン世界会議2015(サンディエゴ)	The Minerals, Metals and Materials Society (TMS)・新家(東北大金研)	TEL 022-215-2574 niinomi@imr.tohoku.ac.jp http://www.tms.org/meetings/2015/Ti2015/home.aspx#.VE85Emflrcs	アブストラクト 12.15
19~20	第7回役に立つ真空技術入門講座(大阪電気通信大)	日本真空学会関西支部・深沢	TEL 06-6397-2279 shinku-kansai@optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp http://www.vacuum-jp.org/KANSAI/kansaihome.html	7.31 定員 100名
20~21	サマースクール2015in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org http://www.jcses.org/	8.7
27~28	第10回水素若手研究会(福島)	水素若手研究会実行委員会・青島(筑波大)	TEL 090-2816-5709 s1420852@u.tsukuba.ac.jp http://home.hiroshima-u.ac.jp/h2wakate/index.html	
28	2015年茨城講演会(茨城大)	日本機械学会関東支部・道辻(茨城大)	TEL 0294-38-5027 ibakouen@mx.ibaraki.ac.jp	
28~29	日本実験力学会2015年度年次講演会(新潟大)	日本実験力学会・小林(新潟大)	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp	
9月				
1~3	第17回日本感性工学会大会(文化学園大)	日本感性工学会・上野	TEL 03-3666-8000 jske17@jske.org http://www.jske.org/	事前 7.17
2~4	平成27年度工学教育研究講演会(九大)	日本工学教育協会・川上	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp	5.7
5	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(工学院大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
6~11	XVIII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2015)(Kyoto)	ISGS & J. Sol-Gel Society	TEL 075-753-2925 solgel2015@kuchem.kyoto-u.ac.jp http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/solgel2015/	
7~11	12th International Conference on Superplasticity in Advanced Materials (ICSAM) 2015(東大)	ICSAM2015・北園(首都大東京)	TEL 042-585-8679 kitazono@tmu.ac.jp	
9~10	第43回日本ガスタービン学会(米子)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
11	サマースクール2015in東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org http://www.jcses.org/	8.7
16~18	第28回秋季シンポジウム(富山大)	日本セラミックス協会・山口	TEL 03-3362-5232 fall28@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/28th/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
16~18	日本金属学会秋期講演大会(九州大学伊都キャンパス)(本号251頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp(講演) TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 member@jim.or.jp(参加申込)	公募 6.5 一般・ポスター・ 共同 6.15 参加 8.10
18	第67回レアメタル研究会(東大生産研)(本号260頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
10月				
5~8	Asia Steel International Conference 2015(Asia Steel 2015)(横浜)	日本鉄鋼協会	asiasteel2015@issjp.com http://www.asiasteel2015.com	
10	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(東京大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
12~16	9th International Conference on Reactive Plasmas and 68th Gaseous Electronics Conference/33rd Symposium on Processing Plasmas (HAWAII)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会	ICRP-9 Conference Office icrp9@intergroup.co.jp +81-52-581-3241	
14~16	第8回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2015)(東京)	日本学術会議・小阪(日本機械学会)	TEL 03-5360-3505 http://www.jsme.or.jp/conference/jcos-sar2015/	
17	第14回 機械・構造物の強度設計, 安全性評価に関するシンポジウム(京都)	日本材料学会	FAX 075-761-5325 design14@jsms.jp http://www.jsms.jp	講演 7.3
29~31	第66回塑性加工連合講演会(いわき)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
11月				
11	第18回ミレニアム・サイエンス・フォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11~13	The Joint Conference of HSLA Steels 2015, Microalloying 2015, OES 2015 (Hangzhou, Zhejiang Province, P. R. CHINA)	CSM,CAE (The Chinese Society for Metals Mr. WANG Lei and Mrs. LIU Fang)	Tel +86-10-65211205 or 65211206 Fax +86-10-65124122 hslasteels2015@csn.org.cn	
14	セラミックス大学2015(CEPRO2015)(上智大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
27	第68回レアメタル研究会(東大生産研)(本号260頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
12月				
2~4	EcoDesign 2015国際会議(9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing)(東京)	エコデザイン学会 連合他・高橋(東大)	TEL 03-5841-6499 ecodesign2015_secretariat@ecodenet.com	
18~20	TWENTY-FOURTH International Symposium on PROCESSING AND FABRICATION OF ADVANCED MATERIALS [PFAM XXIV] (12.18-20) (Osaka university)	Kansai University・Prof. Ikeda (Kansai Univ.)	http://pfam24.jp/	
1月(2016年)				
8	第69回レアメタル研究会(東大生産研)(本号260頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
3月				
11	第70回レアメタル研究会(東大生産研)(本号260頁)	レアメタル研究会・宮嶋(東大生産研岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
23~25	日本金属学会春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	

～ まてりあ掲載 予告～

〈今後の特集テーマ〉

- ◇エネルギー材料分野における稀少金属元素の削減及び有効利用への革新的取り組み 54巻7号
- ◇金属製造プロセスへの粒子法の応用 54巻9号
- ◇SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術
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プロジェクトの活動紹介 54巻10号
- ◇材料表面のひずみ・応力測定法 54巻12号

～編集の都合により, 変更になる場合もございます。～

追悼

本会名誉員 平林 眞博士を悼む



本会名誉員、東北大学名誉教授平林眞先生は、2015年3月5日、享年89歳をもって逝去されました。ここに先生の生前のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

先生は、1947年東京帝国大学第二工学部冶金学科をご卒業後、同大学および東京工業大学大学院特別研究生を経て、1951年から東北大学金属材料研究所の助手として赴任されました。講師および助教授を経て、1963年8月に教授に昇進されました。1986年4月から金属材料研究所の所長を務められ、全国共同利用研究所への移行、新棟の建設など研究所の大きな変換期に尽力されてこられました。1989年3月に東北大学を定年退官後、1989年～1990年いわき明星大学理工学部教授として、1990年～1996年北見工業大学学長として、教育・行政に尽力されてきました。それらの業績により2001年に勲二等瑞宝章を授けられました。

先生の研究は多岐にわたり、X線回折、電子回折、比熱測定、中性子回折、陽電子消滅、内部摩擦、イオンチャンネルリング、高分解能電子顕微鏡等の実験手段を用い、金属合金、侵入型化合物、セラミックス、半導体、準結晶、高温超伝導体等の広い物質の結晶構造および欠陥構造の研究を進めてきました。その業績により、1964年に本会から功績賞を、1982年に日本顕微鏡学会から瀬藤賞を、1985年に本会から谷川・ハリス賞を、1997年に本多記念会から本多記念賞を授与されています。また、1987年3月の本会の本多記念講演および1987年8月オーストラリアのパーズで行われた第13回国際結晶学会でのメインスピーカーとして招待された講演は、この分野の第一人者としての研究成果が国内外で認められたものであります。

長年にわたり金属学の研究・教育ならびに広く科学の発展に尽くされました先生の偉大なご功績を偲び、ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

東北大学名誉教授 平賀賢二

会員情報のご変更手続きについて

本会ホームページの[\[会員専用ページ\]](#)をご利用できます。

- ・会員情報の変更届
- ・パスワード変更届
- ・会員種別の変更届
- ・会費決済/確認/領収明細
- ・購読誌の変更届
- ・退会届

～ご不明な点は事務局までお問い合わせ下さい。～



2015, 2016年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第54巻 第5号 (2015) 定価(本体1,700円+税) 120円
年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所 公益社団法人日本金属学会 発行日 2015年5月1日
〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32 発行人 山村英明
TEL 022-223-3685 印刷所 小宮山印刷工業株式会社
FAX 022-223-6312 発売所 丸善株式会社
郵便振替口座 02210-2-5592 〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18



金属工学入門シリーズ		巻	会員価格	定価	送料	申込部数
1011	金属物理化学	第1巻	972 + 税	1,456 + 税	360	
1012	鉄鋼製錬	第2巻	1,800 + 税	2,400 + 税	360	
1013	金属製錬工学	第3巻	1,000 + 税	1,500 + 税	360	
1014	材料電子科学 (改訂)	第4巻	2,000 + 税	2,500 + 税	360	
現代・現代の金属学シリーズ						
1021	材料の構造と物性	第1巻	2,915 + 税	3,883 + 税	360	
1022	マイクロ組織の熱力学	第2巻	1,905 + 税	2,500 + 税	360	
1023	材料強度の原子論	第3巻	2,096 + 税	2,800 + 税	360	
1024	鉄鋼材料	第4巻	1,800 + 税	2,400 + 税	360	
1025	非鉄材料	第5巻	1,800 + 税	2,400 + 税	360	
1026	原子力材料	第8巻	1,496 + 税	2,000 + 税	360	
1027	金属表面物性工学	第9巻	1,458 + 税	1,942 + 税	360	
1028	鑄造凝固	第10巻	1,553 + 税	2,039 + 税	360	
1029	金属加工	第11巻	1,600 + 税	2,100 + 税	360	
高度・現代の金属学 材料編						
1037	製錬工学	第3巻	2,915 + 税	3,981 + 税	360	
高度・現代の金属学 金属工学シリーズ						
1054	金属・合金の強度	第4巻	1,200 + 税	1,700 + 税	360	
1055	電子材料	第6巻	705 + 税	1,000 + 税	360	
1056	金属の物性	第7巻	2,305 + 税	2,900 + 税	360	
1057	磁性材料	第8巻	2,305 + 税	2,700 + 税	360	
その他の特刊本						
1062	金属用語集	改訂増補版	1,458 + 税	1,942 + 税	360	
1063	材料工学の先端実験技術		1,096 + 税	3,000 + 税	500	
1167	日本金属学会における材料戦略		953 + 税	953 + 税	360	
1176	材料開発のための顕微鏡法と応用写真集		10,000 + 税	10,000 + 税	500	
1180	医療用金属材料概論		1,905 + 税	2,381 + 税	430	
1181	バイオマテリアル研究の最前線		5,900 + 税	5,900 + 税	700	
モノ・テーマ						
1134	循環型社会における環境・リサイクル技術	(93)	667 + 税	1,714 + 税	360	
1135	自動車の電動化の進展と望まれる材料特性	(94)	667 + 税	2,381 + 税	360	
1137	最先端のスピントロニクス技術の基礎と応用	(96)	858 + 税	2,858 + 税	360	
1140	環境/エネルギー関連機器用高温耐食材料の保護皮膜の生成と破壊	(99)	1,143 + 税	3,810 + 税	360	
1141	非シリコン半導体の現状と展望	(100)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1142	原子炉材料の照射損傷	(101)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1143	水素貯蔵の材料科学	(102)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1144	金属材料と人間との共生	(103)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1145	ナノ構造制御した触媒・光触媒の設計・評価・応用	(104)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1146	機能元素のナノ材料科学	(105)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1147	バルクナノメタル 構造用金属材料の新たな可能性	(106)	715 + 税	2,381 + 税	360	
1148	高温過酷環境を制する耐食材料/コーティングのさらなる挑戦	(107)	2,286 + 税	3,810 + 税	360	
1149	材料科学的アプローチによる太陽電池研究の最前線	(108)	1,429 + 税	2,381 + 税	360	
1150	構造材料の元素戦略	(109)	1,429 + 税	2,381 + 税	360	
1151	次世代永久磁石材料をめざして—磁石材料の微細構造と保磁力—	(110)	1,429 + 税	2,381 + 税	360	
1152	材料における拡散—基礎および鉄鋼材料における拡散と関連現象	(111)	1,700 + 税	2,800 + 税	360	
シンポジウム特刊						
1762	材料の資源生産性の評価手法の前進	2005-1	477 + 税	1,000 + 税	270	
1763	規則合金系材料の現状と磁気記録への展開	2005-2	477 + 税	1,000 + 税	270	
1764	シリコンデバイスの先端技術・材料開発の展望	2006-1	477 + 税	1,000 + 税	270	
1765	自然に学ぶ超低環境負荷型材料技術の可能性	2007-1	477 + 税	1,000 + 税	270	
1766	長周期積層構造マグネシウム合金の現状と今後の課題	2008-1	477 + 税	1,000 + 税	270	
1767	チタン合金の研究・開発最前線	2008-2	477 + 税	1,000 + 税	270	
1768	鉄鋼材料における元素機能	2008-3	477 + 税	1,000 + 税	270	
1769	スピントロニクス・ナノ磁性材料の進展と将来展望	2008-4	477 + 税	1,000 + 税	270	
1770	核融合システムにおける材料開発課題	2009-1	477 + 税	1,000 + 税	270	
1771	リチウム電池の研究開発動向と材料学的課題	2010-1	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1772	バイオマテリアルサイエンス研究の最前線	2011-1	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1773	環境・医療 IT調和型 デバイス、及び材料の最前線	2011-2	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1774	チタン合金の新展開 チタンが切り拓く新用途と新技術	2012-1	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1775	シンクロ型LPSO構造の材料科学	2012-2	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1776	中性子・材料科学と新しいJMTR	2013-1	1,000 + 税	1,000 + 税	270	
1777	3Dプリンターによる次世代ものづくり	2014-1	1,000 + 税	1,000 + 税	270	

高純度 GfG

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

汚れや飛散のないカーボン材料

■真空、高温炉内材料一式

■炉内部品取替工事

■炭素繊維高温材料

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



メカニカルカーボン工業株式会社

本社・工場：〒247-0061 神奈川県鎌倉市台 5-3-25 TEL.0467(45)0101 FAX.0467(43)1680代
事業所：東京 03(5733)8601 大阪 06(6586)4411 福岡 092(626)8745
周南 0834(82)0311 松山 0899(72)4860 郡山 024(962)9155
工場：広見工場 0895(46)0250 野村工場 0894(72)3625 新潟工場 0254(44)1185
http://www.mechanical-carbon.co.jp E-mail : mck@mechanical-carbon.co.jp

どこにもないモノへの挑戦

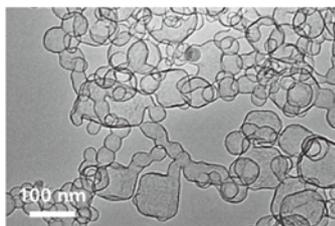
TOYO TANSO
Inspiration for Innovation

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

CNovel™ クノーベル™

細孔径を自由に制御できる多孔質炭素

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



【用途例】
・薬液精製時の不純物除去
・脱色・脱臭
・カラムの充填剤

KLASTA MATE™ クラスタメイト™

ナノカーボンやDLC成膜用の
蒸発源として使用可能な金属-炭素複合材

- 炭素材料中に各種金属を均一分散可能

【製品例】



【用途例】

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

その他用途に応じたきめ細かなご提案をいたします

東洋炭素 クノーベル

検索

東洋炭素株式会社

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

www.carbolite.jpで温度帯毎に製品をご紹介します!



必ず見つかる!あなたが必要とする**電気炉とオープン**

最高温度1800°Cの電気炉

75年以上の歴史を持つ英国カーボライト社製の電気炉は、数百点以上の豊富さ。硬度セラミックスの焼結に最適な昇降式高温電気炉や、貴金属材料に適する灰吹炉等、金属材料の研究に最適な電気炉を各種取り揃えています。カスタマイズも承ります。まずは、お気軽にご連絡ください。

カーボライト 電気炉とオープン 製品一覧



水平開閉式チューブ炉
EST12



小型モジュラー3ゾーンチューブ炉
EVA12



灰化炉
AAF11/18



超高温チャンバー炉
HTF18/27



灰化炉
GSM11/8



アスファルトバインダー分析用
電気炉ABA7/35B



昇降式高温電気炉
BLF17-3



高真空チューブ炉
HVTT12-80



水平開閉式3ゾーンチューブ炉
HZS12/900



灰化炉
CF24



ガス雰囲気調整機能付オープン
HTMA6



高温クリーンルーム用オープン
HTCR95



高温管状炉(チューブ炉)
STF



トップローディング型チャンバー炉
VCF12-5



シリコンカーバイドヒーター式
高温チャンバー炉RHF16-35



垂直開閉式チューブ炉
VST17/32/250



NW40真空用
フランジ



ガスノズル
(導入・排出用)



金属製輻射
シールド



汎用炉心管内蔵型チューブ炉
CTF17/300

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

CARBOLITE[®]
Leading Heat Technology

part of **VERDER**
scientific