

# Materia Japan

- 科学技術における七つの課題
- 2次元準結晶の構造モデルに新展開
- 航空機用チタン合金の材料特性および開発指針

まてりあ

Vol.55 MTERE2 55 (8) 357~404 (2016)

2016

8



Your partner  
for materialography

**Made in Germany**



## 自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

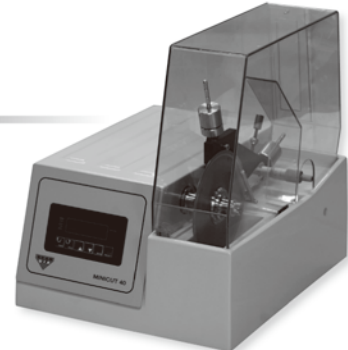
ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。



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

## 精密切断機 MINICUT 4000

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



## 試料埋め込み材料、アクセサリ



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

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

## フリツシュジャパン株式会社

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

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

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

# 8

2016  
Vol.55  
No.8

# まてりあ

◎ 会告原稿締切：毎月1日



翌月号(1日発行)掲載です。

- 支部行事：[shibu@jim.or.jp](mailto:shibu@jim.or.jp)
- 本会記事：[stevent@jim.or.jp](mailto:stevent@jim.or.jp)
- 掲示板：[materia@jim.or.jp](mailto:materia@jim.or.jp)

プロムナード 科学技術における七つの課題 増本 健 .....357

最近の研究 収差補正走査型透過電子顕微鏡による2次元準結晶構造研究の新展開  
平賀賢二 .....361

収差補正走査型透過電子顕微鏡の出現は、20年以上も広く受け入れられていた2次元準結晶の構造モデルの変更をもたらした。

航空機用チタン合金の材料特性および開発指針 北嶋具教 御手洗容子 .....370

近年の航空機に用いられるチタン合金の適用例と求められる特性、そしてエンジン用耐熱チタン合金の特性への添加元素とマイクロ組織形態の影響について紹介。

新進気鋭 マグネシウム合金の変形・破壊における変形双晶の役割と新合金探索  
安藤大輔 .....377

国際学会だより SAE2016 World Congress and Exhibition 開催報告 首藤洋志 .....382

The 5th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations (AMTC5)開催報告 加藤丈晴 .....383

本会記事 会告 .....384 掲示板 .....393  
金属学会シンポジウム .....388 会誌・欧文誌8号目次 .....397  
分科会・講演大会委員会からのお知らせ .....389 次号予告 .....398  
支部行事 .....390 行事カレンダー .....399  
第40回技術開発賞募集 .....391 新入会員 .....403  
第67回金属組織写真賞作品募集 .....392 追悼 .....403  
企業求人情報 .....393

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

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](mailto: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。

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



## 特色

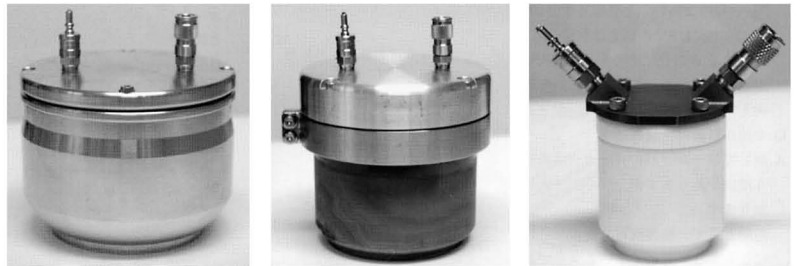
1. 従来弊社P-7と比べて250%の粉碎エネルギーUP。  
自転公転比：1：-2. Max 1,100/2200rpm  
粉碎エネルギー：Max 94G(現状P-7：46.08G)
2. 容器は本体内に。  
外部に飛び出す危険は無し。
3. 搭載容器も20, 45, 80ml  
の3種類。  
材質は従来どおり多様。  
雰囲気制御容器も  
各種用意。



容器がセットされる様子。

## 従来型ボールミル “CLASSIC LINE”

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



フリッチュ社が開発した  
遊星型シリーズの  
パイオニア機種。



▲P-5/4

世界で初めて容器ひとつで  
遊星運動に成功した  
昨年度のベストセラー機種



▲P-6

少量試料を対象にした  
パワフルな機種



▲P-7

## 全機種共通の特長

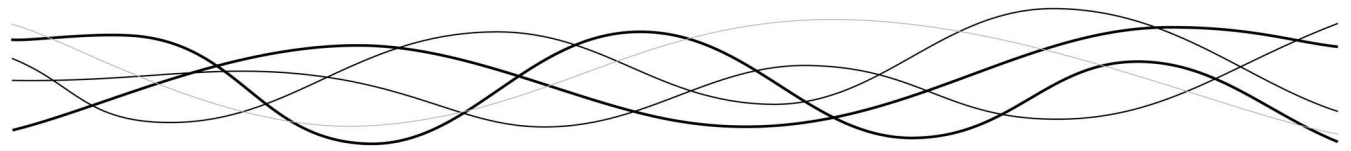
- 雰囲気制御容器以外の通常容器、ボールの材質は、ステンレス、クロム、タンガステン、カーバイド、メノー、アルミナ、ジルコニア、窒素ケイ素、プラスチックポリアミドの8種類。
- 乾式、湿式の両粉碎も可能。
- ISO9001、CE、TÜVの国際安全基準をクリアー

## フリッチュジャパン株式会社

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

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

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



# 科学技術における七つの課題

増本 健\*

## 1. はじめに

わが国は、敗戦後、国民一体となって貧困と苦難を乗り越え、繁栄を築き上げ、“アジアの奇蹟”とまで言われた。しかし、この繁栄は、21世紀に入ると、“バブル崩壊”によって、永年にわたる経済停滞に見舞われ、“失われた20年”とも言われ、今や経済ばかりでなく国力を示す国際的評価においても、アジア諸国の後塵を拝するようになった。とくに最近では、中国、韓国、台湾の台頭が著しい。

今後、このようなわが国の状況を回復させ、再び世界の評価を取り戻せるのであろうか。最近、筆者が独断で纏めた「科学技術における七つの課題」について述べてみたい(図1)。

## 2. 科学技術における現状と問題点

### (1) 地球環境の未来

昨今の地球上の異常気象は、わが国だけでなく全世界でも大きな問題となっており、毎年多くの大災害が報道されている。例えば、洪水、干ばつ、台風、竜巻などの異常な自然気象の多発である。また、地球規模での異常現象として、オゾン層消滅、海水温度上昇と異常海流、永久凍土減少なども異

常気象と深く関わっている。これらの異常現象は、地球上に住む人類の経済活動や生活活動と深く関連しており、人口増加と共に年々地球環境の悪化が進んでいる。これらの環境悪化は、人類の営みにより発生する二酸化炭素等の増加による大気汚染によるものであり、その抑制が重要な課題となっている。その他にも、有害物質の使用による汚染、原発等から発生する放射能汚染等も深刻な問題となっている。

人類の人口増加と相まって、これらの地球環境の悪化は年々顕著になっており、今後の緊急対策が強く求められている。しかし、未だ地球環境保全の解決の道筋が全く見えないのが現状である。その理由は、地球上の人口の約7割をしめる新興国や未開拓国による経済活動が年々活発になり、地球環境保全よりも経済成長優先が重視されているためであり、根本には、近代資本主義に基づく世界的な経済競争が原因であると言える。

この近代資本主義は、あくまでも地球上の資源が無限にあるとの仮定でのみ成り立つ経済論理であり、地球上の資源が有限であることを考えれば、この経済論理の破綻は真直に迫っている。早急に、地球上の資源を有効利用する方策を確立して、資源の完全再生利用を実現する必要がある。このためには、科学者による最新の科学技術によって解決を図り、人類が存続する道筋を早急に構築すべきであろう。

### (2) 科学と自然共生

現代科学は、端的に言えば、人類存続のための科学として発展しており、如何に豊かに生活し、長く生きるかを追究して、人類中心の観点での「科学」が進められつつある。しかし、人類が永く生存するには、地球上の他の動植物と共生することこそが大切なのである。このため、科学者は、将来の生物生存を考慮した共生的科学観を持って地球を俯瞰的に見つめる研究を進める必要がある。そして、地球上の総ての植物や生物との共生の下での生活活動を保証する科学技術の発展でなければならない。残念ながら現代科学は、自然共生を無視した観点で進められようとしている。人類といえども一

七、六、五、四、三、二、一、  
 学 研 大 技 真 科 地  
 生 究 学 術 理 学 球  
 の 者 の 開 探 と 環  
 総 独 将 発 の 自 境  
 合 創 来 の 倫 然 未  
 知 性 展 理 科 共 来  
 力 性 望 理 学 生 来

図1 日本の科学技術における七つの課題。

\* 公益財団法人電磁材料研究所；相談役(〒982-0807 仙台市太白区八木山南2-1-1)  
 Seven Important Issues on Science and Technology; Tsuyoshi Masumoto (Research Institute of Electromagnetic Materials, Sendai)  
 Keywords: *natural environment, pursuit of truth, creative, practical ethics, total intelligence*  
 2016年2月24日受理[doi:10.2320/materia.55.357]

動物であり、人類だけが生存し、繁栄することはできないのである。

現代医学では、細胞、臓器などの再生医療が盛んになり、遺伝子操作と相俟って、人間としての尊厳を踏み越えようとしている。長寿命を望む人間の欲望が、独断的な科学観を生んでいるのではないだろうか。また、先に述べたように、幸福は豊かさであるとの経済観から、地球上の環境汚染や資源枯渇を無視した独断的研究を進める研究者が多いのは極めて残念である。次世代の人類繁栄と生存のためには、科学者は自然共生を重視した観点での俯瞰的研究をすることが強く求められる。

### (3) 真理探究の科学

21世紀科学の特徴は、20世紀の自然科学重視とは異なり、余りにも社会・経済を重視する傾向が強い。19世紀から20世紀初頭にかけて発達した科学は、『自然科学』すなわち、自然現象の解明と真理の探究が中心の「純粋学問」であった。しかし、20世紀後半になって、社会経済への貢献の要求が強まり、実用的学問が重視されるようになった。そして、現在では、理学分野の研究者にも社会貢献が求められるようになった。

本来の学問は、真理の探究による『自然科学』として発展したものであったが、近年になって、世界各国が科学技術の振興による経済発展を図るようになった。わが国でも近年『科学技術立国』を唱え、その結果、次々と新しい産業が生まれ、経済発展を牽引する時代となった。このような国際的な科学技術競争によって、元来の「真理探究の科学」は影を落としているのが現状である。

最近のわが国の科学技術政策では、「イノベーション」を旗印とした科学技術振興が強力に進められている。そして、1996年から4期20年に亘って「科学技術基本計画」が実施され、多額の競争的研究費が投入され、科学技術関連予算は約2倍に増加した。それにも拘わらず、ほとんど経済成長や新産業育成の効果が少ない状態が続いている。そして、東南アジア諸国、とりわけ中国、台湾、韓国の急成長により、ここ数年でわが国の経済力はこれらの国の後塵を拝すると心配され始めている。科学分野では、幸いに、過去10年間のノーベル賞受賞者が、わが国から12名も輩出し、面目を保っている状態である。しかし、これらほとんどの受賞者は、戦後間もない粗悪な研究環境時代の研究者であり、2012年に受賞した山中中京大教授の「iPS細胞」研究も、多額の科学研究費の恩恵を受けていない若い時代の成果であると言う。ノーベル財団によると、「ノーベル賞は優れた学術研究の基を発見した人に授ける賞であり、その後の発展に寄与した人は対象にならない」と言う。確かに、ノーベル賞はほとんど40歳以前の成果に対して与えられており、その後の発展に貢献した人は対象になっていない。このことからすると、実用を重視した研究分野への多額の投資は、ノーベル賞とはほとんど無縁であると言える。

今後、わが国が「科学技術立国」を目指すのであれば、真

理の探究を目指す若い優れた才能を持つ研究者を如何に見出し、育てるかが大切であり、そのための研究費の投入が最重要になっている。

### (4) 技術開発の倫理

18世紀末のイギリスで興った「産業革命」によって、交通機関と大量生産技術の発展があった。これを第一次産業革命とすると、第二次産業革命は、20世紀の通信・情報技術の発展による「IT革命」であろう。さらに、21世紀に入ってから、遺伝子、ES細胞、iPS細胞などの生体の解明による「生命科学」を中心とする第三次革命が進んでいる。さらにその先にはAI(人工知能)があると予測されている。これらの革命は、社会・経済を大きく変えると共に、人類の生存形態にも大きな影響を及ぼす大変革になろうとしている。これらの変革の始まりは、無欲の科学者による真理の探究から生まれたものであるが、その結果を利用する技術開発によって、人類の欲望として悪用されるようになる。その良い例は、ノーベルのダイナマイトの発明やアインシュタインの相対性理論の発見であり、それらの発見・発明が悪用されて悲惨な戦争道具になった。また、現在では、半導体、レーザー等の発明によって発達した通信・情報技術によるミサイル、ロケットなどの高性能破壊武器が開発された。さらに、将来は、遺伝子の解明、幹細胞の発見などによる生命の基幹に迫る医療技術が開発されようとしている。すでに、遺伝子操作、臓器再生、クローン利用などとして広がりを見せ始めている。このような人類の英知によって発見・発明された科学的知識が、その後には、人類の欲望に駆られた無差別な技術開発とその利用へと、悪しき連鎖反応が起っている。

人類が今後も永く生き残るには、唯一厳格な「倫理の構築」があるのみである。ことに、技術者の倫理を強く求めなければならないのは言うまでも無いことである。

### (5) 大学の将来展望

わが国の国立大学は、独立行政法人制度による「国立大学法人」へ移行してから、既に13年(2004年導入)を過ぎようとしている。この改革の大きな目的は「国家(政府)の干渉を緩和して、大学が自主的に管理運営を行い、自由競争により特徴ある大学を育てること」であった。しかし、実際には、逆に官僚の財政干渉と政府の指導強化が一層厳しくなり、一方、大学自体がトップダウン方式の導入による独裁的管理・運営体制となり、教職員の管理強化などによるトラブルが多発している。

最近、国際基準の下での世界の大学ランキングが毎年発表され、世界的な大学間の競争が激しくなっている。このような厳しい環境の中で、各大学は、如何に大学独自の特徴を出してステータスを上げるかに苦勞しているのが現状である。法人化後は、大学の設立趣旨と目標、中期事業計画を明らかにすることが求められ、5年毎に自己評価と見直し求められる。このため、大学では常に新規性を出すための組織改革が目まぐるしく行われ、一方、教官・職員の研究・教育

の評価が行われ、人事による活性化を目指している。このため、教職員は管理・運営(会議、委員会など)に多くの時間が取られ、以前よりも本来の職務である研究・教育へ割く時間が半分以下に激減したと報告されている。各大学の学長、役員は、この悪い状態を認識しながらも、何ら手の打ちようがない状況であると言う。また、教職員も毎年の短期的業績評価に振り回され、長期的な展望を描けない状況にあると嘆く。わが国の国立大学は、科学技術立国の牽引の役割を放棄して、大学自体の存続を掛けた嵐の中で、大学幹部も教職員も必死になってもがいており、夢と期待を持って入学した学生が置いてきぼりにされているのが現状であろう。このままでは、わが国の高等教育は破滅の道を進むことになるのは間違いない。

毎年、幾つかの国際的評価機関による世界の大学ランキングにおいて、いずれの評価においても、わが国の大学のランクは年々低下しており、今年、シンガポール、香港、台湾、韓国の著名大学が肩を並べ、中国の大学の追い上げが急である。また、アジア諸国内のランキングでは10位以内に入る日本の大学は東大のみという。そして、2015~16年の世界大学ランキングでは100位以内に入った大学は東大、京大のみとなっている(表1)。大学ランキングの評価基準が欧米に偏っているという批判があるが、問題なのは評価順位が年々下がっていることである。この傾向は他の国際機関の評価でもほとんど同じであることを考えれば、この傾向は決して間違いではないと言える。早急に国際的視点での将来展望を明確にする必要がある。

### (6) 研究者の独創性

わが国の研究者数は、大学の他に公的研究機関(独立行政法人)、私的研究機関(民間企業)を含めて、約83万人(2007)で、人口1万人当たりの研究者数は55.5人となり、アメリカを抜いて1位である。一方、わが国の科学技術関連の研究費総額は約20兆円(2014)で、研究者1人当たりの研究費は

表1 日本の大学の世界ランキング(Times Higher Education).

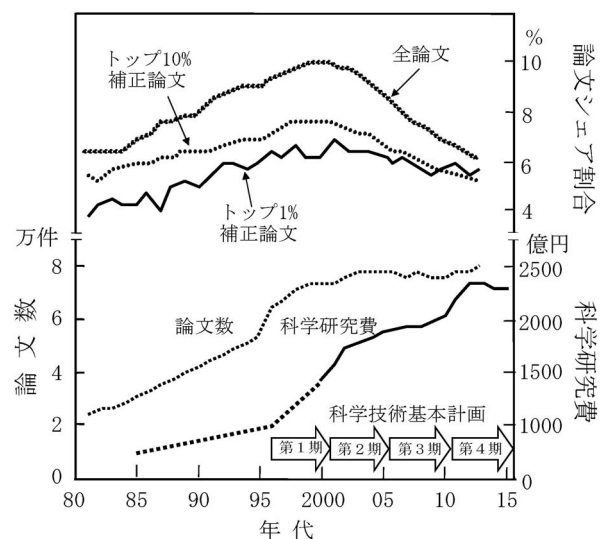
大学名	2010~12年	2012~13年	2013~14年	2014~15年	2015~16年
東京大学	30	27	23	23	43
京都大学	52	54	52	59	88
東京工業大学	108	128	125	141	201~250
大阪大学	119	147	144	157	251~300
東北大学	120	137	150	165	201~250
名古屋大学	201~225	201~225	201~225	226~250	301~350
九州大学	251~275	301~350	301~350	351~400	401~500
筑波大学	251~275	301~350	301~350	301~350	401~500
東京首都大学	226~250	251~275	201~225	276~250	401~500
北海道大学	276~300	301~350	301~350	351~400	401~500

約2300万円となり、アメリカ、ドイツ、フランスとはほぼ同額である。これらの数値を見ると、わが国の研究環境は恵まれていると言わなければならない。また、大学の研究者約30万人(全研究者の約36%)に配分される科学研究費補助金は、第一次科学技術基本計画が開始された1996年から着実に増加し、今ではほぼ倍増している。

このような恵まれた研究環境にも拘わらず、わが国から発信される研究成果は、初期には良い効果が見られたものの、2000年代以降は反対に悪化している。図2は、世界で発表される論文の中でとくに注目される論文の数を示している。この図から、日本以外の主要国は年々注目論文数が増加傾向にあるのに対し、日本は反対に減少傾向が見られる。このような傾向は、大学発ベンチャー企業数の調査結果でも見られ、年々減少している。

このように、研究を推進する科学研究費の大幅な増加にも拘わらず、それに見合った成果が生まれていないのは何故であろうか。それは、増額された研究費が有効に配分されていないためであると思われる。実際に、配分された研究費の大部分は、現在注視されている特定分野に集中的に投資されており、将来期待される独創性の高い基礎研究にはほとんど投資されていない。その大きな理由は、独創的な発想を持つ研究者が少ないこと、多数の研究者集団によるプロジェクト研究が重視されていること、短期に研究成果を求める評価基準であること、成果主義により著名大学に研究費を重点配分していること、などによると推測される。特に問題なのは、将来に期待できる独創的研究よりも、確実に成果が期待される研究を重視して、集中的に多額の研究費を配分するという、安易な評価・配分方法にあると思われる。

今注目されている研究をさらに発展させることは重要であるが、むしろ将来期待される新しい萌芽的研究を育て、発展させる必要があるのではないだろうか。わが国の学術研究が衰退の一途を辿るのを防ぐには、将来性を高い確率で見通せ



(注) 文科省科学技術・学術政策研究所「科学研究のベンチマーキング2015」

図2 日本の科学研究費と学術論文シェア割合の関係。





# 収差補正走査型透過電子顕微鏡による 2次元準結晶構造研究の新展開

平賀 賢二\*

## 1. はじめに

新しいあるいは性能が大幅に向上した実験手法が、従来の実験から提案されてきた考えやモデルを根底から覆す場合が多い。最近の収差補正透過電子顕微鏡の出現は、2次元準結晶(decagonal quasicrystals)の構造研究に対して、それに当てはまるような、従来の基本概念を考え直すべき新しい展開をもたらしている。図1に正10角形の辺共有のつながりが入り込んだつながりによってできる菱形(a)および5角形準周期格子(b)を示しているが、それらの準周期格子は、ボンドの長さが一定で、ボンドの方向が10回回転対称(今後、“回転”を省略する)の方向を向いている規則(bond-orientational order: BOO)をとっており、その正10角形内にある原子配列を置いてフーリエ変換すれば、10回対称の回折パターンが得られる。そのため、正10角形の外形をとる原子クラスター(その構造の多くは5回対称をとる)の限られたつながりで2次元準結晶の構造を理解しようとする cluster-based model(クラスターモデルと呼ぶ)が発展してきた<sup>(1)-(4)</sup>。事実、従来の電子顕微鏡で2次元準結晶の周期軸から高分解能観察をすると、2 nm あるいは  $3.2(2\tau)$ ( $\tau$ : 黄金

比) nm 直径の正10角形クラスターの存在を示すような像が観察され、そのクラスターの中心を結んでできる種々の菱形あるいは5角形準周期格子が報告されてきた。そして、クラスターの配列を示す準周期格子とクラスター内の原子配列の決定によって、準結晶の構造が解けたとしてきた。そのクラスターモデルは、広く受け入れられ、X線回折法で準結晶の構造を解析する時の基本モデルとして、あるいは、準結晶の物性を理解する構造モデルとして使用されてきた。周期軸に沿って投影された原子配列を分離した点の配列として写し出す事ができなかった従来の電子顕微鏡観察では、それ以上の情報が得られなかったのが事実であるが、最近の収差補正電子顕微鏡によって原子配列の直接観察が可能となってきた現在でも、このクラスターモデルを基本として解析がなされている<sup>(5)-(7)</sup>。

我々は、最近、収差補正電子顕微鏡を用いた STEM(scanning transmission electron microscopy)観察による Al-TM(transition-metal)2次元準結晶およびその近似結晶の再研究によって、周期軸に沿って投影された原子の配列を分離した輝点あるいは暗点の配列として写し出すことができることを見出し、STEM像から直接的に原子配列を導きだすことを行ってきた<sup>(8)-(15)</sup>。その結果、TM原子のBOO準周期配列が基本となり、そのTM原子の準周期格子を投影した構造の中に、2 nm あるいは 3.2 nm のボンド長の準周期格子が現れる事を見出した。すなわち、従来見出されてきた2 nm あるいは 3.2 nm のボンド長の準周期格子の中に、より小さなボンド長のTM原子の準周期格子が基本にあることを見出した。これは、大きな原子クラスターの準周期配列によって構造を記述するクラスターモデルに対して、TM原子の準周期配列が基本構造である点で、根本的な概念が異なるものである。ここでは、収差補正STEM観察による Al-

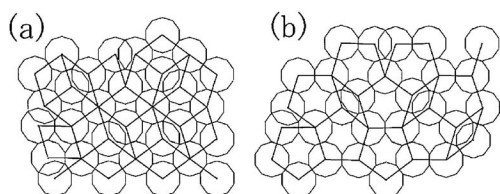


図1 正10角形の辺共有と入り込んだ結合によるBOO菱形(a)および5角形準周期格子(b)。

\* 東北大学名誉教授

New Structural Models of Al-TM (transition-metals) Decagonal Quasicrystals by Cs-corrected Scanning Transmission Microscopy; Kenji Hiraga (Emeritus Professor, Tohoku University)

Keywords: quasicrystal, decagonal quasicrystal, structure, aluminum-transition-metal alloys, scanning transmission electron microscopy, Cs-corrected electron microscopy, haadf-stem

2016年2月9日受理[doi:10.2320/materia.55.361]

TM 2次元準結晶の再研究から明らかになった新しい構造モデルについて述べてみたい。

また、本論では、収差補正電子顕微鏡に装備された energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) による原子レベルの分解能(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結果についても述べたい。近年のEDS検出器の性能向上と電界放射型電子銃の強いビームによって、原子分解能でEDS元素マッピングの観測が可能となってきた<sup>(16)</sup>。しかし、その応用は強い電子ビームと長い計測時間の照射に耐える特殊な物質に限られ、電子ビームで容易に損傷を受ける一般の物質への応用は難しいと考えられてきた。この問題を克服するために、一回の測定時間を短くして、照射領域を移動しながらフレッシュな領域からとられた多数のEDSデータを集積することを行った。例えば、Al-Co-Ni近似結晶では、一回測定毎にフレッシュな領域の結晶の単位胞を電子顕微鏡のモニター上の一定位置にもって来てとられた60個のデータを積積することによって、原子分解能のCo, Ni元素マッピングを得ることに成功した<sup>(17)(18)</sup>。この方法は、周期配列を持たない準結晶でも、単位胞の代わりに同じローカルな構造をとる領域をモニター上に持ってくることによって、原子分解能の元素マッピングを得ることができている<sup>(19)</sup>。詳細は原著論文を参照してもらいたい。収差補正電子顕微鏡による高い分解能のSTEM観察と原子分解能のEDS元素マッピングの併用による解析法は、従来の構造解析法では得られない貴重な情報をもたらす新しい手法として今後の発展が期待される。

## 2. Al-TM系2次元準結晶

Al-Co-Ni準結晶に代表されるAl-TM 2次元準結晶は、従来の研究から、3種類に分類することができる<sup>(1)-(3)</sup>。一つは周期軸方向に4層(0.8 nm 周期)の構造を有するもので、後の二つは、周期軸方向に2層(0.4 nm 周期)の構造を有している。そして、2層2次元準結晶は、2 nm 直径の正10角形原子クラスター(3次元的に見ると正10角形断面をもつカラム状クラスター)と3.2 nm 直径の正10角形クラスター、言い換えれば、原子クラスターの2 nm あるいは3.2 nm のボンド長の準周期配列、によって区別される。ここでは、1. 4層2次元準結晶、2. 2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶、3. 3.2 nm のボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶、に分けて述べることにする。1のグループには $\text{Al}_{71.5}\text{Co}_{25.5}\text{Ni}_3$  および  $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{17.5}\text{Ni}_{10}$  準結晶、2のグループには  $\text{Al}_{71.5}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{12.5}$ ,  $\text{Al}_{71}\text{Co}_{14.5}\text{Ni}_{14.5}$  および  $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{11}\text{Ni}_{16.5}$  準結晶、3には  $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  準結晶<sup>(20)</sup>と、Co-rich組成領域に4層構造の2次元準結晶、CoとNi組成がほぼ同等な合金領域で2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶、さらにNi-rich側の合金では3.2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶と、Co/Ni組成比の変化によって異なる準結晶が安定相として存在する<sup>(1)-(3)</sup>。このように、Co/Ni組成比の変化によって異なる構造の準結晶が現れることから、それらの準結晶の安定性にCoとNi原子の規則配列

が関与していると考えられてきたが、原子番号の隣同士のCoとNi原子の区別は難しい課題として残ってきた。この課題に対しても、収差補正電子顕微鏡による原子分解能のEDSによる元素マッピングから、CoとNi原子の規則配列が明らかになっている<sup>(17)(18)</sup>。Al-Ni-Co 2次元準結晶以外にも、2のグループにAl-Cu-Co準結晶<sup>(5)</sup>、3のグループとしてAl-Fe-Ni<sup>(21)</sup>、Al-Rh-Cu<sup>(22)</sup>系の2次元準結晶が見いだされている。それらをまとめてAl-TM 2次元準結晶と呼ぶことにする。この他にも、6層(1.2 nm)周期(Al-Mn-Pd)および8層(1.6 nm)周期(Al-Pd)の2次元準結晶が存在するが<sup>(2)(3)</sup>、ここではそれらに触れない。

4層構造をとる2次元準結晶は、ABA'B'の積層をとり、A(A')とB面の原子密度が異なることによる回折反射が現れる特徴がある。一方、ABの積層をとる2層構造の2次元準結晶は、AとB面の原子密度は同じで、4層構造に見られるAとB面の原子密度の違いによって現れる反射が消滅する特徴を有する。なお、3.2 nm 直径の正10角形クラスターの存在は我々のグループだけが報告しており<sup>(20)-(22)</sup>、他の研究者は2 nm 直径の正10角形クラスターで解釈している<sup>(23)(24)</sup>。

## 3. 従来の電子顕微鏡と収差補正電子顕微鏡によるSTEM像の比較

図2に $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{11}\text{Ni}_{16.5}$  2次元準結晶の周期軸に平行に入射して撮られた、従来の電子顕微鏡と収差補正電子顕微鏡によるHigh-angle annular detector dark-field (HAADF) STEM像を示した。図2(a)では、中心の5角形配列を囲む10個の輝点とそれを取り巻く円周上に伸びた10個の輝点の配列(白丸で示した)から、5回対称の正10角形クラスターが存在し、それらが2 nm のボンド長の準周期配列をしているように見て取れる。このような観察像から、5回対称の正10角形クラスター(直径2 nm)のBOO準周期配列によるクラスターモデルが提唱されてきた。一方、図2(b)の同じ2次元準結晶のHAADF-STEM像では、収差補正電子顕微鏡像の分

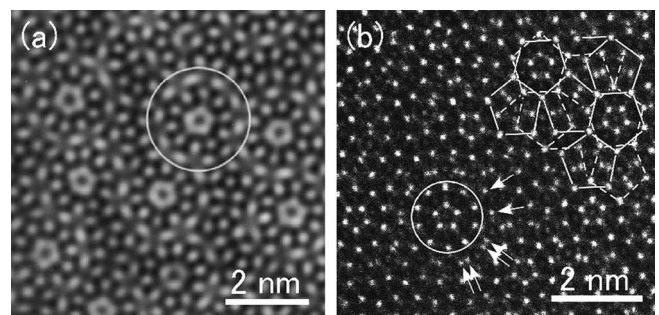


図2 従来の電子顕微鏡(a)と収差補正電子顕微鏡(b)で撮られた周期軸入射の $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{11}\text{Ni}_{16.5}$  2次元準結晶のHAADF-STEM像。(a)に丸で示したクラスター内の最外郭の10個の輝点(円周方向に伸びている)が(b)では分離した輝点として写っており、その輝点の配列に10回対称が無いのがわかる。また、(b)に実線および破線で示したように、輝点を結ぶと2種類の5角形準周期格子ができる。

解能の高さがはっきり見て取れる．そして，図2(a)では見られなかった輝点の分離がはっきりとわかる．特に，中心付近の輝点の5角形配列とそれを囲む10角形配列は図2(a)と同じであるが，その外側の円周上の輝点は，図2(a)では円周方向に伸びた輝点として観察されていたが，図2(b)では分離した輝点として写っている．その円周上の輝点の配列を詳細に調べると，矢印で示したように，短い間隔で分離した対の輝点と孤立した輝点があり，その配列に5回対称がないのがわかる．すなわち，図2(b)では，5角形配列の輝点を10個の輝点が囲んだ，直径1.2 nmの5回対称のクラスター(小さな丸で示した)が2 nmのボンド長のBOO準周期配列をとっているが，2 nm直径の5回対称クラスターは存在しない事を示している．すなわち，図1に示したように，BOO準周期格子の格子点に大きな正10角形クラスター(5回対称)が存在するとするクラスターモデルの崩壊を意味している．この直径1.2 nmの直径を持つ小さな5回対称のクラスターは1と2のグループのAl-TM 2次元準結晶に見られており，1.2 nmクラスターと呼ぶことにする．

HAADF-STEM像のコントラストは原子番号Zの2乗に比例することから<sup>(25)</sup>，図2(b)の輝点は主にTM原子に対応し，それらの輝点の配列から，周期軸に沿って投影されたTM原子の配列が直接的に決めることができる．また，輝点の中に，比較的コントラストの弱い輝点が見いだされ，それらは，後で述べるが，AlとTM原子のmixed sites (MSs)である．このMSsの存在は，Al-TM 2次元準結晶および近似結晶の共通の特徴となっている．TM原子に対応する明るい点は，図2(b)の一部に示したように，0.76 nmのボンド長の2種類の5角形準周期格子の格子点に位置している．

#### 4. 4層周期の2次元準結晶とその近似結晶の構造

4層構造のAl-TM 2次元準結晶の構造を理解する上で重要な近似結晶がW-(AlCoNi)結晶であり，その構造は単結晶を用いたX線回折法から報告されている<sup>(26)</sup>．図3には，900°Cで280時間熱処理を施したAl<sub>72.5</sub>Co<sub>20</sub>Ni<sub>7.5</sub>合金中のW-(AlCoNi)結晶相のb軸(擬10回対称軸)入射で撮られたHAADF-STEM像(a, b)およびA(A')面(c)とB面上(d)のTM原子とAlとTM原子のMSsの配列を示した．この構造は，X線回折法で決定された構造を基本として，HAADF-STEM像から導かれたものであり<sup>(18)</sup>，X線回折法から導かれた構造モデルとはMSsの5角形配列の構造が少し異なっている．HAADF-STEM像に見られる輝点は投影されたTM原子とMSsに対応するが，わずかであるがAl原子位置がかすかな明るい点として見ることができる．HAADF-STEM像の強い輝点を結ぶと，図3(b)に描いたように，0.47 nmのボンド長と0.76 nmのボンド長の5角形タイリングができる．それらは，図3(c)と(d)に描いたTM原子を結んだタイリングに対応する．すなわち，この構造は，A面の0.47 nmのボンド長の5角形タイリング格子とB面の0.76 nmのボンド長の5角形タイリング格子によるTM原子の配列として，特徴付けられる．この異なるボンド長の

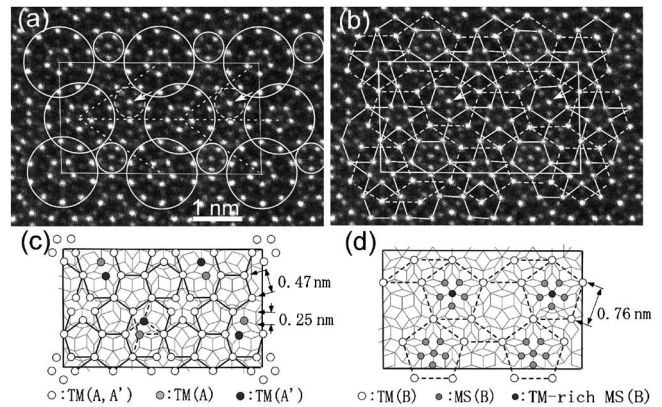


図3 b軸(偽10回軸)入射で撮られたW-(AlCoNi)近似結晶のHAADF-STEM像(a, b)とA, A'面(c)およびB面(d)のTM原子とMSsの配列．(a)に1.2 nmクラスターと五角形配列のMSsを大きな丸と小さな丸で示した．(b)の0.47 nmボンド長の5角形タイリング(実線)と0.76 nmボンド長の5角形タイリング(破線)の格子点の輝点は，A, A'面(c)およびB面(d)のTM原子に対応する．MSsの5角形配列の中心が強い輝点(a)と(b)の矢印で示したのもの(点線の小さな丸)と弱いもの(実線の丸)に分けられる．

5角形タイリングがA面とB面のTM原子の密度の違いをもたらし，この近似結晶およびこれに関係した準結晶に現れる反射(前に述べた)の原因となっている．この構造は，b軸に沿ってABA'B'の積層の構造として記述できる．しかし，A面とA'面の原子配列は，図3(c)の薄いグレイと濃いグレイの丸で示した原子の配列の違いのみで，多くのTM原子の配列は同じである．そのため，本論ではABの2層の積層として議論することがある．また，図3(b)のHAADF-STEM像には2種類の5角形タイリングで配列した輝点の他に，比較的コントラストの弱い輝点が存在する．それらは，図3(d)の0.76 nmボンド長のタイリングの上向きの5角形タイリング内に存在する5角形配列をしたMSsに対応する．この0.76 nmボンド長のタイリングの特定方向の5角形タイリングにMSsの5角形配列が存在する特徴は全てのAl-TM準結晶で見出されており，今後の議論のために，MSsの5角形配列を含む方位の5角形タイリングを正方方位のタイリングと呼ぶことにする．A面の0.47 nmのボンド長の5角形タイリング格子とB面の0.76 nmのボンド長の5角形タイリング格子によるTM原子の配列と，0.76 nm辺の正方方位の5角形タイリング内のMSsの5角形配列の特徴は， $\tau^2$ -Al<sub>3</sub>Co近似結晶にも見られている<sup>(40)</sup>．MSsの5角形配列には，図3(a)に破線と実線の丸で囲ったように，中心の輝点のコントラストが強いもの(矢印で示した)と弱いものに分けられる．その内，実線の丸で示した中心の輝点が弱い5角形配列MSsにNi原子がenrichしていることが，原子分解能EDS元素マッピングから明らかとなっている<sup>(18)</sup>．B面上の5角形タイリング(辺の長さ0.76 nm)とA面上の星形5角形タイリング(辺の長さ0.47 nm)の格子点に存在するTM原子の投影によって，図3(a)のHAADF-STEMに大きな丸で囲った，10角形配列の輝点の中に5角形配列の輝点(5回対称)をと

る、特徴ある 1.2 nm 直径のクラスターのコントラストが形成され、それらが 2 nm ボンド長のやせた菱形(ペンローズ格子中のやせた菱形に対応する)の周期格子で配列している。0.47 nm および 0.76 nm のボンド長の五角形タイリングの格子点の TM 原子位置や五角形配列の MSs は、0.25 nm のボンド長の菱形ペンローズ格子の格子点に位置しているが、それらの隙間に存在する Al 原子の多くは、0.25 nm のボンド長のペンローズ格子の格子点からずれたところに位置している<sup>(26)</sup>。そのため、後で述べるが、Annular bright-field (ABF)-STEM 像( $Z^{1/3}$  のコントラストを形成<sup>(27)</sup>)において暗点として Al 原子は観察されるが、ここでは Al 原子の配列には触れないことにする。

以上の W-(AlCoNi) 結晶相の構造の特徴から、それに関連した 2 次元準結晶の構造を理解することができる。W-(AlCoNi) 近似結晶に関連した準結晶として、1.2 nm クラスターが 2 nm ボンド長の菱形および五角形準周期格子をとる 2 種類の準結晶が、それぞれ、 $Al_{71.5}Co_{25.5}Ni_3$  および  $Al_{72.5}Co_{17.5}Ni_{10}$  組成の合金で見出されている<sup>(1)</sup>。それらの準結晶の構造は、W-(AlCoNi) 結晶相の構造と同じように、A 面の 0.47 nm のボンド長の五角形準周期格子と B 面の 0.76 nm のボンド長の準周期格子による TM 原子の配列と、0.76 nm 辺の正方方位の五角形タイル内の MSs の五角形配列で特徴付けられる<sup>(8)</sup>。一例として、図 4 に  $Al_{71.5}Co_{25.5}Ni_3$  2 次元準結晶の HAADF-STEM 像と、それから導かれた A 面および B 面の TM 原子と MSs の配列を示した。図 4(a) では大きな丸で囲んだ 1.2 nm クラスターが菱形準周期格子で配列しているのがわかる。また、W-(AlCoNi) 結晶相と同じように、すべての 1.2 nm クラスターの中心の輝点の五角形配

列が同じ方向を向いている特長を見ることができる。さらに、HAADF-STEM 像のコントラストから、Ni-rich の MSs 五角形配列が、小さな丸で示したように分布しているのがわかる。図 4(b) に示した 0.47 nm と 0.76 nm のボンド長の準周期格子で配列した輝点および比較的弱いコントラストの MSs の配列から、図 4(c) と図 4(d) に示したように、A 面と B 面の Co 原子配列と Co-rich MSs (MS(Co/Al)), Ni-rich MSs (MS(Ni/Al)) の配列が導かれる。A 面の 0.47 nm ボンド長の準周期格子(図 4(c))の星型タイルの中心を結ぶことによって、B 面では 0.76 nm のボンド長の準周期格子(図 4(d))の反方位の五角形タイルの中心を結ぶことによって、 $\tau^2$ -inflated (2 nm ボンド長の)準周期格子が形成される。

## 5. 2 nm ボンド長の準周期格子の 2 層 2 次元準結晶とその近似結晶の構造

2 層 2 次元準結晶は、従来の研究から、2 nm 直径および 3.2 nm 直径の正 10 角形クラスターの準周期配列で特徴付けられた 2 種類に分類される<sup>(1)-(3)</sup>。前者の 2 層 2 次元準結晶の近似結晶は、 $PD_{3c}$  と名付けられた  $Al_{71.5}Co_{16}Ni_{12.5}$  合金に現れる結晶相(ここでは W'-(AlCoNi) と呼ぶ)が知られている<sup>(28)(29)</sup>。この近似結晶は、X 線回折法による構造解析が行われていないが、収差補正 STEM 観察から Al 原子の配列を含む構造モデルが提出されている<sup>(17)</sup>。この近似結晶は、図 5 (a) の HAADF-STEM 像に示したように、2 nm の辺の太った菱形とやせた菱形の周期格子の格子点に 1.2 nm クラスターが位置しており、中心の五角形配列の上向き(実線の丸で示した)と下向き(点線の丸)の 2 種類の 1.2 nm クラスターが、2 nm のボンドで結ばれた両端のクラスターが常に

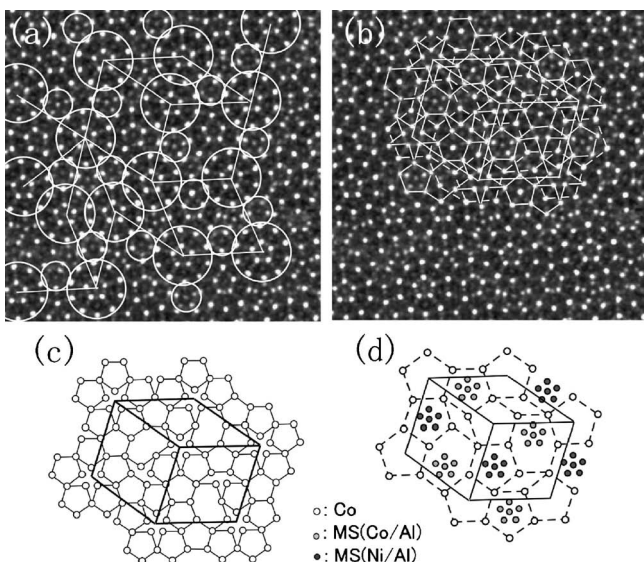


図 4 周期軸入射で撮られた  $Al_{71.5}Co_{25.5}Ni_3$  2 次元準結晶の HAADF-STEM 像(a, b)とそこから導かれた A 面(c), B 面(d)上の TM 原子と MSs の配列。(a)から大きな丸で囲んだ 1.2 nm クラスターが 2 nm ボンド長の菱形準周期格子をとっているのがわかる。(b)に実線および破線で示した 0.47 nm および 0.76 nm ボンド長の準周期格子は、それぞれ(c)および(d)の準周期格子に対応する。(a)の小さな丸で囲んだ五角形配列の MSs に Ni 原子が enrich していると考えられる。

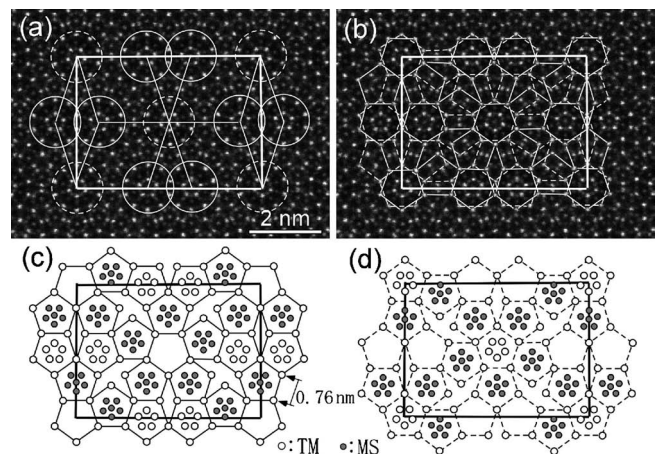


図 5 b 軸(偽 10 回軸)入射で撮られた W'-(AlCoNi) 近似結晶の HAADF-STEM 像(a, b)とそれから導かれた A 面(c)および B 面(d)の TM 原子と MSs の配列。1.2 nm クラスター((a)に丸で囲んだ)の中央の輝点の五角形配列に上向き(実線の丸)と下向き(点線の丸)の 2 種類があり、2 nm のボンドで結ばれた 1.2 nm クラスターが異なる向きに配列している。(b)に示した輝点を結んでできる 0.76 nm ボンド長の 2 種類の五角形タイリング(実線と破線で示した)は、A 面(c)および B 面(d)上の TM 原子の配列のタイリングに対応する。(c)の上向きの五角形タイルと(d)の下向き(正方方位)のタイル内に MSs の五角形配列が存在する。

異なる方位のクラスターである規則をもって配列している。この2種類のクラスターの規則配列は、この近似結晶に関連した2次元準結晶にも見出されている。HAADF-STEM像の輝点は、図5(b)に実線と破線で示したように、2種類の0.76 nm ボンド長の5角形タイリングの格子点に位置しており、それらは、図5(c) (d)に示したA面とB面上のTM原子に対応する。そして、A面では上向きの方角の5角形タイル、B面では下向きの方角の5角形タイル中にMSsの5角形配列が存在する。この構造の特徴が、この近似結晶およびこれに関連した準結晶の回折パターン上に、A面とB面の原子密度が異なる時に現れる反射の消滅をもたらしている。このW'-(AlCoNi)近似結晶の原子分解能のEDS元素マッピングから、0.76 nm ボンド長の5角形タイリングの格子点のTM原子がCo原子で、Ni原子がMSsにenrichしていることが明らかになっている<sup>(17)</sup>。

この近似結晶に関連したAl-Co-Ni 2次元準結晶にも2 nm ボンド長の菱形および5角形準周期格子の準結晶が存在する。2種類(方向)のクラスターが2 nm のボンド長の菱形準周期格子で規則配列している準結晶の構造は高次元のNaCl型規則格子で、5角形準周期格子の規則配列は高次元のCsCl型規則格子を2次元空間へ投影した構造として説明されている<sup>(2)(3)</sup>。図6に、2 nm のボンド長の菱形準周期格子で特徴付けられる、Al<sub>71</sub>Co<sub>14.5</sub>Ni<sub>14.5</sub>準結晶のHAADF-STEM像とそれから導かれたTM原子とMSsの配列を示した。図6(a)からは、実線および破線で示した2方位の(中央の5角形配列に関して)1.2 nm クラスターが、ボンドで結ばれたクラスターが常に異なる方位の1.2 nm クラスターである規則で、菱形準周期格子で配列している。また、図6

(b)に示したように、HAADF-STEM像の輝点は2種類の0.76 nm ボンド長の5角形準周期格子で配列しており、それらはA面(図6(c))およびB面(図6(d))のTM原子に対応する。そして、A面およびB面の正方位の5角形タイル中にMSsの5角形配列が存在している。0.76 nm ボンド長の5角形準周期格子で配列したTM原子がCo原子で、Ni原子がMSsに存在する規則配列をとっていることが、W'-(AlCoNi)近似結晶の結果から推測される。A面とB面の準周期格子には、MSsが存在しない反方位の5角形タイル(TM原子の5角形配列の存否を無視)の中心を結ぶことによって、 $\tau^2$ -inflated(2 nm ボンド長の)準周期格子が作られる。

この2 nm ボンド長の準周期格子の2層準結晶のグループに含まれるAl-Cu-Co 2次元準結晶<sup>(13)</sup>についても述べてみたい。図7には、Al-Cu-Co 2次元準結晶のHAADF-STEM像とそれから導かれた構造を示した。HAADF像の輝点を結んで出来る2種類の0.76 nm のボンド長の準周期格子(図7(b)と(c))と正方位のタイル内の輝点の配列から、A面(図7(e))とB面上(図7(f))のTM原子とMSsの配列が導かれる。ここで注意したい点は、図7(b)の上向きの方角の5角形タイル内に見られる輝点の2重の5角形配列において、外側の大きな5角形配列の輝点はB面上のTM原子あるいはMSsによるもので、内側の小さな5角形配列の輝点がA面上のMSsに対応するものである<sup>(13)</sup>。この事は図5(b)から知ることが出来る。同じ事が、図7(c)の下向き(正方位)の5角形タイル内の輝点の2重の5角形配列において云える。このA面(図7(e))およびB面(図7(f))の正方位の5角形タイルの総てにMSsの5角形配列が存在する特徴は、W'-(AlCoNi)近似結晶(図5)およびAl<sub>71</sub>Co<sub>14.5</sub>Ni<sub>14.5</sub>準結晶(図6)のそれと同じである。さらに、W'-(AlCoNi)近似結晶(図5)およびAl<sub>71</sub>Co<sub>14.5</sub>Ni<sub>14.5</sub>準結晶(図6)と同じように、反方位の5角形タイルの中心を結ぶことによって、 $\tau^2$ -inflated(2 nm のボンド長の)準周期格子ができる。しかし、2 nm のボンド長の準周期格子の格子点以外にも、図7(b)(c)に太線の5角形で示したように、反方位のタイルが存在する。そして、2 nm のボンド長の準周期格子の格子点に存在する反方位のタイルには10個の輝点のリング状の分布が、格子点以外の所に現れた反方位のタイルでは2回対称の輝点の配列が見られている。このように、inflated準周期格子の格子点の反方位のタイルとそれ以外の所に現れた反方位のタイルの構造は、それぞれ区別して解析すべきである。

A面とB面のTM原子とMSsの配列を投影した図7(d)から、2 nm のボンド長の準周期格子の格子点の周りの対称性を知ることができる。図7(a)のHAADF-STEM像では、一見10回対称のクラスターが2 nm のボンド長の準周期格子で配列しているように見えるが、図7(d)の大きな丸で示したところのみに10回対称のクラスターが存在することがわかる。

5次元の超立方格子を2次元空間に投影してできた2 nm ボンド長のペンローズ格子を図8(a)に、HAADF-STEM像から決めたTM原子の配列を置いて得られた理想構造を図8(b)に、そのTM原子配列を投影してできるOccupation

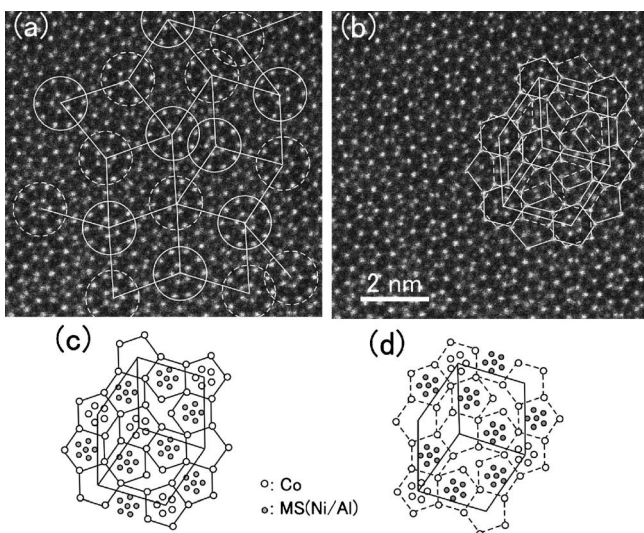


図6 周期軸入射で撮られたAl<sub>71</sub>Co<sub>14.5</sub>Ni<sub>14.5</sub> 2次元準結晶のHAADF-STEM像(a, b)とそれから導かれたA面(c), B面(d)上のTM原子とMSsの配列。(a)から、中心の輝点の5角形配列に関して2方位の1.2 nm クラスター(実線と破線の丸で示した)が、ボンドで結ばれたクラスターが常に異なる方位のクラスターであるとの規則で、菱形準周期配列しているのがわかる。(b)の輝点を結んだ0.76 nm のボンド長の実線と破線の準周期格子はそれぞれA面(c)とB面(d)のTM原子を結んだ準周期格子に対応する。

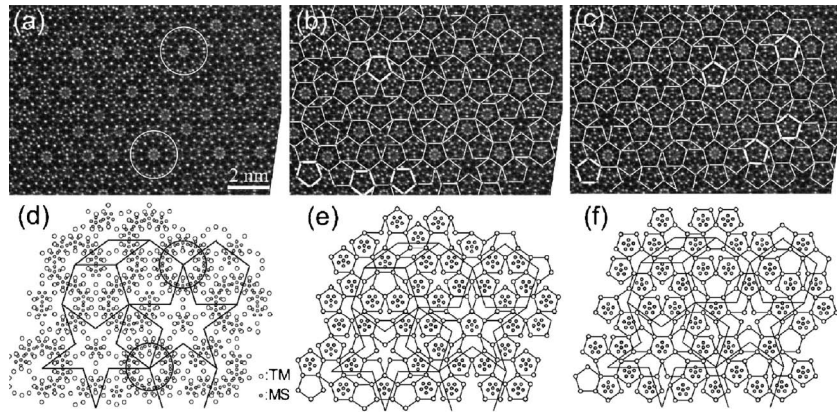


図7 Al-Cu-Co 2次元準結晶の周期軸にそって撮られた HAADF-STEM 像(a, b, c)と、そこから導かれた A 面(e)と B 面(f)の TM 原子と MSs の配列. (e)と(f)の反方位の 5 角形タイルの中心を結ぶと、 $\tau^2$ -inflated (2 nm ボンド長の)準周期格子ができる. (a)から 2 nm ボンド長の準周期格子の格子点の反方位のタイル内に輝点のリング状分布が存在するのがわかる. その格子点以外の所にある反方位の 5 角形タイル((b), (c)の太線の 5 角形タイル)内に 2 回対称の輝点の配列がみられる. (e)と(f)の TM 原子と MSs の配列の投影図(d)の丸で囲んだところに、10回対称の 2 nm 直径のクラスターが現れている.

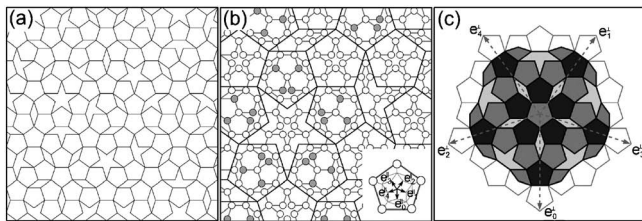


図8 5次元の超立方格子を2次元空間に投影してできた 2 nm ボンド長のペンローズ格子(a), その格子に TM 原子(図7)に置いて作られる理想構造(b), その TM 原子の配列の投影で作られた Occupation domains (ODs) (c)<sup>(13)</sup>. (c)の ODs の上向き(黒)と下向き(グレイ)は、それぞれ(b)の上向きの 5 角形タイル(2 nm の辺の長さ)と下向きの 5 角形タイル内の TM 原子によって作られ、薄い菱形と船型の ODs (薄いグレイ)は、(b)の星形、薄い菱形、船型タイル内の TM 原子によるものである.

domains (ODs) を図 8 (c) に示した<sup>(13)</sup>. この理想構造(図 8 (b))の TM 原子の配列を詳細に調べると、5 回対称の TM 原子の配列をとる格子点(2 nm ボンド長の格子)と 5 回対称のない格子点がみられる. すなわち、従来のクラスターモデルと TM 原子の準周期配列で記述する今回のモデルの TM 原子の配列の違いはわずかであるが、細かいところで、クラスターモデルの矛盾が現れている.

2 nm ボンド長の準周期格子の 2 層 2 次元準結晶は多くの合金系で見出されており、その構造が 2 nm 直径のクラスターの準周期配列で説明されてきた. それらの結果は、TM 原子の準周期配列で再理解すべきであることを示している.

## 6. 3.2 nm ボンド長の準周期格子の 2 層 2 次元準結晶の構造

従来の研究において、3.2 nm 直径の正 10 角形クラスターの準周期配列と特徴付けられてきた 2 次元準結晶として、 $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$ <sup>(20)</sup>,  $\text{Al-Fe-Ni}$ <sup>(21)</sup>,  $\text{Al-Rh-Cu}$ <sup>(22)</sup> 準結晶があげられる. なお、 $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  準結晶に関しては、3.2 nm 直径の

正 10 角形クラスターの存在は我々のグループだけが報告しており<sup>(20)</sup>, 他の研究者は 2 nm 直径の正 10 角形クラスターで解釈している<sup>(23)(24)</sup>.

これらの準結晶は、前項の 2 nm ボンド長の準周期格子の 2 層準結晶と同様に、A 面と B 面上の TM 原子は 0.76 nm のボンド長の 5 角形準周期配列をしている. そして、A 面と B 面上の TM 原子の配列を投影した構造に、3.2 nm 直径の正 10 角形クラスターの存在を見ることができる. ここでは、 $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$ <sup>(12)</sup>と  $\text{Al-Rh-Cu}$ <sup>(15)</sup>の 2 種類の 2 次元準結晶の HAADF-STEM 像観察から得られた TM 原子の配列を述べてみたい.

図 9 には、 $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  2 次元準結晶の HAADF-STEM 像と A 面および B 面上の TM 原子と MSs の配列を示した. HAADF-STEM 像の輝点は、図 9 (b), (c) に示したように、2 種類の 0.76 nm のボンド長の 5 角形準周期格子の格子点に位置しており、図 9 (b) および図 9 (c) の正方位のタイルの中に MSs の 5 角形配列の弱い輝点が見られ、そこから図 9 (e), (f) の A 面と B 面上の TM 原子と MSs の配列が導かれる. そして、この 0.76 nm のボンド長の 5 角形準周期格子には、反方向の 5 角形タイルの中心を結ぶことによって、 $\tau^3$ -inflated (3.2 nm ボンド長の)準周期格子が現れ、その格子点のところに、図 9 (e), (f) の太線で示したような 5 回対称の配列を見ることが出来る. その結果として、A 面および B 面上の TM 原子の準周期格子を投影した格子に、図 9 (d) に示したように、10 回対称の正 10 角形クラスター(直径 3.2 nm)が現れている. すなわち、0.76 nm のボンド長の 5 角形準周期格子で特徴付けられる TM 原子の配列と正方位のタイル内の MSs の配列の結果として、3.2 nm 直径の正 10 角形クラスターが辺共有して配列した構造が作られている. そして、3.2 nm 直径の正 10 角形クラスターの中心、すなわち 3.2 nm ボンド長の準周期格子の格子点の反方位のタイル内には種々のコントラスト分布(輝点の 5 角形配列、リング状配列、2 回対称配列に大別される)が見られている. 輝点の 5 角形配列は、Ni 濃度の低い合金系の準結晶(図 4, 6)に

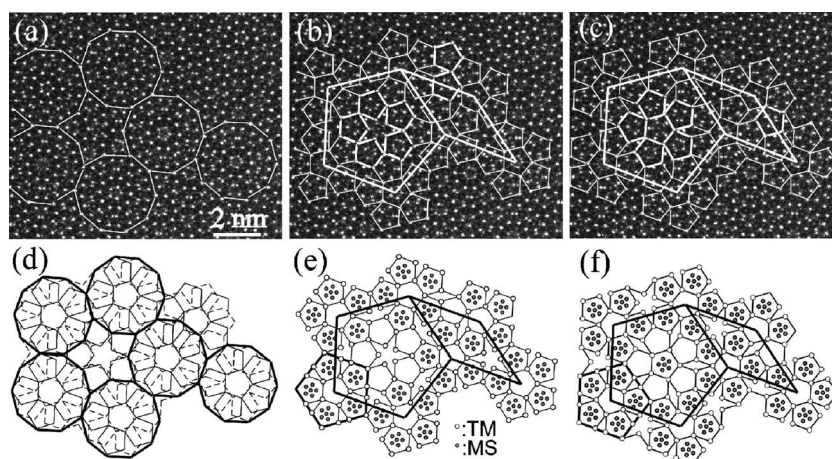


図9  $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  2次元準結晶の周期軸にそって撮られた HAADF-STEM 像(a, b, c)と、そこから導かれたA面(e)とB面(f)のTM原子とMSsの配列。(e)と(f)の0.76 nm ボンド長の準周期格子内の反方位の5角形タイルの中心を結ぶと、 $\tau^3$ -inflated (3.2 nm ボンド長の)準周期格子ができる。3.2 nm ボンド長の準周期格子の格子点の回りに、(e)と(f)に太線の5角形で示したように5回対称のタイル配列が、A面とB面の準周期格子の投影(d)に10回対称の3.2 nm 直径の正10角形クラスターが、現れている。そのクラスターの中心の反方位のタイルには、輝点の5角形配列、リング状配列が見られる(a)。クラスターの中心以外の反方位の5角形タイル(b), (c)の太線の5角形)には輝点の2回対称配列が見られる。

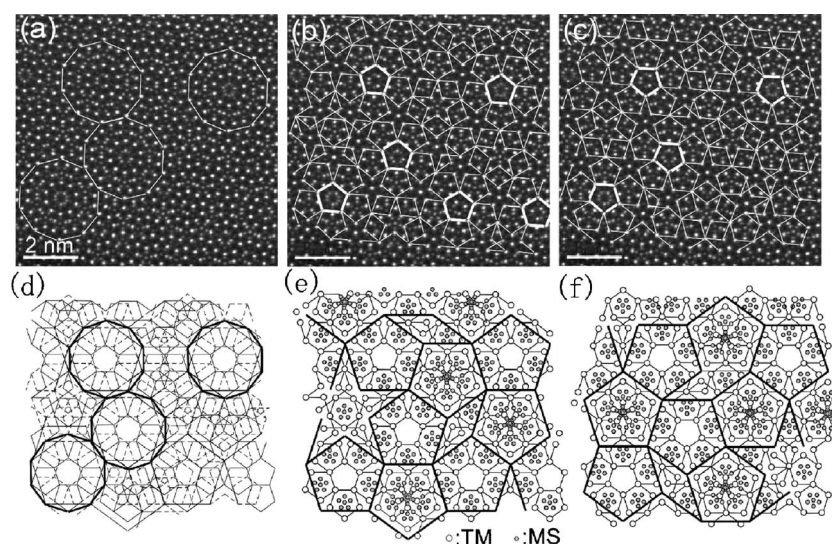


図10  $\text{Al-Rh-Cu}$  2次元準結晶の周期軸にそって撮られた HAADF-STEM 像(a, b, c)と、そこから導かれたA面(e)とB面(f)のTM原子とMSsの配列。(e)と(f)の0.76 nm ボンド長の準周期格子内の星型5角形の中心を結ぶと、 $\tau^2$ -inflated (2 nm ボンド長の)準周期格子(A面とB面では異なる)ができる。(e)の2 nm 辺の上向き5角形タイルと(f)の下向き5角形タイルの中心に反方位の5角形タイルがあり、そのタイル((b), (c)の太線の5角形)内には輝点の2回対称配列が見られる。A面とB面の0.76 nm ボンド長の準周期格子(実線および破線で示した)の投影図(d)に、10回対称の3.2 nm 直径の正10角形クラスターが現れている。

存在するもので、リング状配列は  $\text{Al-Cu-Cu}$  準結晶(図7)に、2回対称配列は図7(b), (c)の太線の5角形タイルに見られるものである。そして、クラスターの中心以外に存在する反方位の5角形タイル(図9(b), (c)の太線のタイル)内には、図7(b), (c)の太線の5角形タイル内の2回対称の輝点の配列と同じものが見えている。

次に、3.2 nm 直径の正10角形クラスターが報告されている  $\text{Al-Rh-Cu}$  2次元準結晶について述べてみたい<sup>(15)</sup>。図10に  $\text{Al-Rh-Cu}$  2次元準結晶の HAADF-STEM 像とそれから導かれたA面およびB面上のTM原子とMSsの配列を示した。HAADF-STEM 像の輝点は、図10(b), (c)に示したように、2種類の0.76 nm のボンド長の5角形準周期格子の格子点に位置しており、図10(b)の下向きの正方位の5角形

タイルおよび図10(c)の上向きの正方位のタイルの中に、MSsの5角形配列の弱い輝点が見られ、そこから図10(e), (f)のA面とB面上のTM原子とMSsの配列が直接的に導かれる。図10(e), (f)の準周期格子には、図9(e), (f)に見られなかった、5角形タイルおよび星型タイルが入り込んだ配列が見られる。また、星型タイルの中心を結んで出来た2 nm ボンド長の $\tau^2$ -inflated 準周期格子の存在と、それらの2 nm ボンド長の準周期格子がA面およびB面上で異なっていることが今まで述べてきた準結晶とは異なっている。A面およびB面上の2 nm ボンド長の準周期格子はある一定のベクトルのずれによって理解できている<sup>(15)</sup>。そのため、HAADF-STEM 像から導かれた2 nm ボンド長の準周期格子内のTM原子の配列を、高次元の超立方格子の投影で

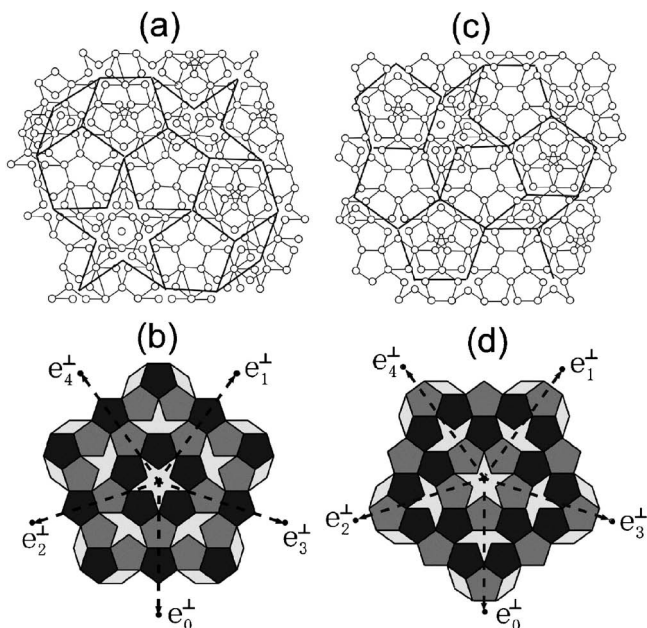


図11 5次元の超立方格子を2次元空間に投影してできた2 nm ボンド長のペンローズ格子に、図10で得られたTM原子配列を置いて作られたA面とB面の理想構造(a, c)と、そのTM原子の投影で作られたODs(b, d)<sup>(15)</sup>。B面の2 nm ボンド長の準周期格子がA面の準周期格子の併進(一定のベクトル)によって作られことから、(d)のODsの原点がずれている。

きた2 nm ボンド長のペンローズ格子に置いたA面およびB面のTM原子の理想配列(図11(a), (c))から作られたODs(図11(b), (d))には、2 nm ボンド長の準周期格子の一定のベクトルのずれによる原点のずれが現れている<sup>(15)</sup>。

このA面およびB面上TM原子の準周期格子(図10(d)の実線と破線)の投影によって、図10(d)の太線で示したように、3.2 nm 直径の正10角形クラスターが現れてくる。すなわち、A面およびB面上のTM原子の準周期格子には $\tau^2$ -inflated 準周期格子(2 nm ボンド長)が存在するが、それらの投影の結果として、 $\tau^3$ -inflated 準周期格子(3.2 nm ボンド長)が出現し、10回対称(中心の反方位のタイル内の輝点を無視)の3.2 nm 直径の正10角形クラスターが作られている。図10(b), (c)の太線で示した反方位の5角形タイルには、図7(b), (c)および図9(b), (c)の太線の5角形タイル内の輝点の同じような輝点の2回対称配列をみることがができる。

以上の結果をまとめてみると、3.2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶の構造は、他の2層2次元準結晶と同じように、0.76 nm のボンド長の準周期格子をとるTM原子の配列が基本であり、その準周期格子あるいはA面およびB面の準周期格子の投影の中に、3.2 nm 直径のクラスター形成されていることが明らかとなった。

## 7. Al-TM 2次元準結晶の構造のまとめ

今まで述べてきた3種類の準結晶から、Al-TM 2次元準結晶の構造の特徴は以下のようにまとめられる。

- (1) TM原子が5角形準周期格子で配列をしている。
- (2) TM原子の準周期格子内には、 $\tau^2$ -inflated(2 nm ボンド長)あるいは $\tau^3$ -inflated 準周期格子(3.2 nm ボンド長)が存在する。
- (3) 0.76 nm ボンド長のTM原子の準周期格子の特定方向(正方位)の5角形タイルの全てにMSsの5角形配列が存在する。
- (4) TM原子の準周期格子の反方位の5角形タイルは、inflated 準周期格子の格子点に位置するものとそれ以外の所に現れるものに区別され、そのタイル内の構造は、準結晶によって異なる。
- (5) 準周期格子を作っているTM原子と正方位のタイル内の5角形配列のMSsのTM原子が異なる種類と推測される。

以上の共通の特徴の他に、準結晶合金によって変化する反方位のタイル内の構造の特徴を述べてみたい。特に、inflated 準周期格子の格子点に位置する反方位のタイル内の構造には、Al-Co-Ni 準結晶のCo/Ni組成比に対して一連の変化が見られている。Co-rich組成の $\text{Al}_{71.5}\text{Co}_{25.5}\text{Ni}_3$ および $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{17.5}\text{Ni}_{10}$  準結晶(4層周期)ではTM原子やMSsは存在せず(図4(d))、CoとNi組成がほぼ同等な合金領域の $\text{Al}_{71.5}\text{Co}_{16}\text{Ni}_{12.5}$ ,  $\text{Al}_{71}\text{Co}_{14.5}\text{Ni}_{14.5}$  および $\text{Al}_{72.5}\text{Co}_{11}\text{Ni}_{16.5}$  準結晶(2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶)では反方位のタイルの半分にTM原子の5角形配列が規則的に存在し(図6(c), (d))、さらに、Ni-rich組成の3.2 nm ボンド長の準周期格子の $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  準結晶になると、TM原子の5角形配列、TM原子やMSsのリング状配列や2回対称配列が現れてくる(図9(a))。TM原子やMSsのリング状配列はAl-Cu-Co 準結晶のinflated 準周期格子の格子点のタイル内に(図7)、2回対称配列はAl-Cu-Co,  $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$ , Al-Rh-Cu 準結晶のinflated 準周期格子の格子点以外の所の反方位のタイルに現れている。特に、2回対称配列は、 $\text{Al}_{72}\text{Co}_8\text{Ni}_{20}$  準結晶のクラスターの中心の配列として議論されている<sup>(23)(24)</sup>が、詳細な構造の議論は難しい。

## 8. Al原子の配列の決定

原子番号Zの2乗に比例するコントラストを形成するHAADF-STEM像の輝点の配列から、TM原子とMSsの配列が直接的に導かれることを述べてきた。一方、軽原子のAl原子位置は、 $Z^{1/3}$ のコントラストを形成するABF-STEM像において、TM原子とMSsと共に、暗点として映し出すことができる。例えば、図12に $W^{\prime}$ -(AlCoNi)近似結晶のABF-STEM像(a)とその暗点の配列から導かれたTMとAl原子およびMSsの配列(b)を示した<sup>(17)</sup>。図12(a)に小さな丸で囲った10個の暗点のリング状配列は、MSsの5角形配列と他の面にある逆方位のAl原子の5角形配列の投影として理解できる。また、図12(a)の大きな丸で囲ったクラスター内の暗点の配列から1.2 nm クラスター内のTM原子とAl原子およびMSsの配列が直接的に導かれる。しかし、準周期格子でその配列が特徴付けられるTM原子およびMSsは0.25 nm ボンド長のペンローズ格子の格子点に



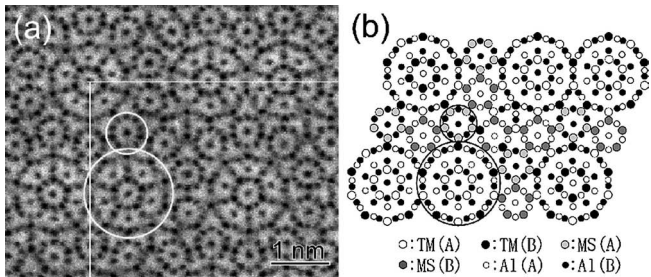


図12 W-(AlCoNi)近似結晶のABF-STEM像(a)とその暗点の配列から導かれたTMとAl原子およびMSsの配列(b)<sup>(17)</sup>. (a), (b)は単位胞の一部を示している. (a)の小さな丸で囲った10個の暗点のリング状配列は、MSsの五角形配列と他の面にある逆方位のAl原子の五角形配列の投影として理解できる. また、(a)に大きな丸で囲ったクラスター内の暗点の配列から、1.2 nm クラスター内のTMとAl原子およびMSsの配列が導かれた. (a)の暗点のコントラストから、TMとAl原子およびMSsの識別ができる.

位置しているが、Al原子の多くはそのような特徴をもって配列していない<sup>(26)</sup>. このため、準結晶内のAl原子の配列の議論は困難である.

## 9. おわりに

Al-TM 2次元準結晶の構造を、原子クラスターのBOO準周期配列で記述してきた従来のクラスターモデルに代わる、TM原子の準周期配列で構造を特徴付ける新しいモデルを述べてきた. 両モデルのTM原子の配列は、回折パターンの強度分布を大きく変えるほどの違いがなく、特に、3.2 nm ボンド長の準周期格子の2層2次元準結晶の構造は、3.2 nm 直径の原子クラスターの準周期配列としても理解できる. しかし、Al-TM 準結晶の構造の全てを統一的に理解するためには、TM原子の準周期配列で構造を特徴付ける今回のモデルが最適で唯一のモデルであることは間違いないと考えている. 20年以上の間広く受け入れられていたクラスターモデルに代わり、TM原子の準周期配列の新しいモデルを認めてもらうのは容易でなく、それを証明するために、我々のグループでは、多数のAl-TM 2次元準結晶および近似結晶の収差補正STEM観察を行い、新しい構造モデルの正当性を報告してきた<sup>(8)-(15)(17)(18)</sup>. 詳細は、原著論文を参照して欲しい.

本論で述べた内容は、日本電子㈱の安原聡氏、奈良女子大の山本一樹博士、東北大金研の杉山和正博士、湯蓋邦夫博士と共同で行った研究の結果をまとめたものである. ここで共同研究者に謝意を表したい.

## 文 献

- (1) K. Hiraga, T. Ohsuna, W. Sun and K. Sugiyama: *Mater. Trans.*, **42**(2001), 2354-2367.
- (2) K. Hiraga: The structure of quasicrystals studied by atomic-scale observations of transmission electron microscopy, in *Advances in Imaging and Electron Physics*, Vol. **122**, Elsevier Science, San Diego, (2002), 1-86.

- (3) 平賀賢二: 準結晶の不思議な構造—アルスの森を散歩して—, アグネ技術センター, (2003).
- (4) W. Steurer: *Z. Kristallogr.*, **219**(2004), 391-446.
- (5) S. Taniguchi and E. Abe: *Philos. Mag.*, **88**(2008), 1949-1958.
- (6) E. Abe: *Scanning transmission Electron microscopy, Imaging and Analysis*, Ed. by S. J. Pennycook and P. D. Nellist, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, (2011), 584-614.
- (7) T. Seki and E. Abe: *Microscopy*, **64**(2015), 341-349.
- (8) A. Yasuhara, K. Saito and K. Hiraga: *Aperiodic Crystals (Proc. of Aperiodic 2012)*, ed. by S. Schmid, R. L. Withers and R. Lifshitz, Springer), 219-224.
- (9) K. Yubuta, A. Yasuhara and K. Hiraga: *Aperiodic Crystals (Proc. of Aperiodic 2012)*, ed. by S. Schmid, R. L. Withers and R. Lifshitz, Springer), 225-230.
- (10) K. Sugiyama, A. Yasuhara and K. Hiraga: *Aperiodic Crystals (Proc. of Aperiodic 2012)*, ed. by S. Schmid, R. L. Withers and R. Lifshitz, Springer), 237-242.
- (11) K. Hiraga and A. Yasuhara: *Mater. Trans.*, **54**(2013), 493-497.
- (12) K. Hiraga and A. Yasuhara: *Mater. Trans.*, **54**(2013), 720-724.
- (13) K. Yubuta, K. Yamamoto, A. Yasuhara and K. Hiraga: *Mater. Trans.*, **55**(2014), 866-870.
- (14) A. Yasuhara, K. Yamamoto, K. Yubuta and K. Hiraga: *Acta Physica Polonica (Proc. of Inter. Conf. on Quasicrystals) A*, **126**(2014), 637-640.
- (15) K. Hiraga, A. Yasuhara, K. Yamamoto and K. Yubuta: *Philos. Mag.*, **95**(2015), 1524-1535.
- (16) M. Watanabe: X-ray energy-dispersive spectrometry in scanning transmission electron microscopes, *Scanning Transmission Electron Microscopy, Imaging and Analysis (Ed. by Pennycook S. I. & Nellist P. D., Springer New York Dordrecht Heidelberg London)*, 291-351.
- (17) A. Yasuhara, K. Yubuta and K. Hiraga: *Philos. Mag. Lett.*, **94**(2014), 539-547.
- (18) A. Yasuhara and K. Hiraga: *Philos. Mag. Lett.*, **95**(2015), 52-57.
- (19) A. Yasuhara and K. Hiraga: *Philos. Mag.*, **95**(2015), 1511-1523.
- (20) K. Hiraga and T. Ohsuna: *Mater. Trans.*, **42**(2001), 509-513.
- (21) K. Hiraga and T. Ohsuna: *Mater. Trans.*, **42**(2001), 894-896.
- (22) K. Hiraga, T. Ohsuna and K.-T. Park: *Philos. Mag. Lett.*, **81**(2001), 117-122.
- (23) E. Abe, K. Saitoh, H. Takakura, A. P. Tsai, P. J. Steinhardt and H. -C. Jeong: *Phys. Rev. Lett.*, **84**(2000), 4609-4612.
- (24) K. Saitoh, T. Yokosawa, M. Tanaka and A. P. Tsai: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **73**(2004), 1786-1792.
- (25) S. J. Pennycook: A scan through the history of STEM, *Scanning Transmission Electron Microscopy, Imaging and Analysis*, Ed. by Pennycook S. I. & Nellist P. D., Springer New York Dordrecht Heidelberg London, (2011), 1-90.
- (26) K. Sugiyama, S. Nishimura and K. Hiraga: *J. Alloys & Comp.*, **342**(2002), 65-71.
- (27) S. D. Findlay, N. Shibata, H. Sawada, E. Okunishi, Y. Kondo and Y. Ikuhara: *Ultramicroscopy*, **110**(2010), 903-923.
- (28) B. Grushko, D. Holland-Moritz, R. Wittmann and G. Wilde: *J. Alloys & Comp.*, **280**(1998), 215-230.
- (29) K. Hiraga, T. Ohsuna, K. Yubuta and S. Nishijima: *Mater. Trans.*, **42**(2001), 897-900.



平賀賢二

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1965年3月に東京都立大学理学部物理学専攻修士課程修了. 1965年4月から38年間、東北大学金属材料研究所に勤務. 2003年3月に定年退職. 2003年4月より2012年3月まで文部科学省産学官連携研究員として東北大学金属材料研究所に勤務. 東北大学名誉教授.  
 専門分野: 電子顕微鏡を用いた物質の微細組織および結晶構造の研究.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 航空機用チタン合金の 材料特性および開発指針

北 嶋 具 教<sup>1)</sup> 御手洗 容 子<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

日本の航空機・宇宙産業の生産高は年々伸びており、特に民間用航空機の伸びが著しい。現在では民間用航空機の高生産高が航空機・宇宙産業の生産高のおよそ50%を占めている<sup>(1)</sup>。世界に目を向けても民間航空機の需要は伸びており、現在までに19,200機、今後20年間でさらに17,560機導入されるという予測がある<sup>(2)</sup>。それに伴って、航空分野のCO<sub>2</sub>排出量も増えており、今後、航空機機体数の増加によりCO<sub>2</sub>がさらに増加すると考えられる。航空機のCO<sub>2</sub>排出量低減には航空機の軽量化とエンジン熱効率向上が有効であるため、航空機機体およびエンジンにおいてアルミ合金や鋼に比べて比強度が高いチタン合金の使用割合が増加している。さらにはエンジンコンプレッサーの高温部材として使用されるチタン合金の耐熱性を向上することでエンジン熱効率向上にも貢献してきた。米ボーイング社のB747(1969年)でのチタンの使用割合は2%だったのに対して、B757(1982年)で5%、B777(1995年)で8.5%、B787(2011年)で15%と増加している<sup>(3)</sup>。仏エアバス社A380(2005年)でも10%である。特に近年では航空機機体のCFRP使用量が増加しており、CFRPと腐食性や熱膨張率で相性が良いという理由でもチタンの使用量が増加している。本稿では航空機機体や航空機エンジンに使用されるチタン合金に求められる特性について述べるとともに、近年の航空機におけるチタン合金の適用例、合金開発指針、最近の研究について言及する。航空機エンジンのタービン後段動翼にTiAl系金属間化合物が実用化されているが、TiAl合金に関する記述は紙面の都合上、割愛する。

## 2. チタン合金の種類と航空機に用いられるチタン合金

チタンは1155 Kに $\alpha \leftrightarrow \beta$ 変態点があり、低温安定相は稠密六方晶(hcp)構造の $\alpha$ 相、変態温度以上では体心立方晶(bcc)構造を持つ $\beta$ 相である。 $\beta$ 相を安定化させる元素(Mo, Nb, W, Taなど)を添加していくと、純チタンの変態点以下の温度範囲でも $\beta$ 相を残すことができ、 $\alpha$ 相と $\beta$ 相の2相組織となり、さらに $\beta$ 安定化元素の添加量を増やすと $\beta$ 単相合金となる。 $\beta$ 安定化元素添加による $\beta$ 相の安定化は次のMo当量によって評価され、10以下では急冷して $\beta$ 相を残留することができるとして、 $\beta$ 相安定性の一つの指標になっている<sup>(4)</sup>。

$$\text{Mo 当量(mass\%)} = \text{Mo} + 0.67 \times \text{V} + 0.44 \times \text{W} + 0.28 \times \text{Nb} + 0.22 \times \text{Ta} + 2.9 \times \text{Fe} + 1.6 \times \text{Cr} - 1.0 \times \text{Al}$$

しかし、Ti-30Mo(Mo当量:30)は高温応力下において $\beta$ 相は安定ではなく、実際のところ $\beta$ 相を安定化するMo当量は不明である。一方で、 $\alpha$ 相を安定化する元素であるAlやO, Nを純チタンに添加すると $\beta$ 変態点が上昇する。 $\alpha + \beta$ の2相組織において、 $\alpha$ 安定化元素(Al, O, C, N, Ga)の添加量が多くなると、 $\alpha$ 相の体積率が増加し、さらに添加すると $\alpha_2$ 相が析出する。 $\alpha_2$ 相の析出はクリープ強度の向上に有効であるため、高温用合金では $\alpha_2$ 相を析出させている合金もある。しかし、 $\alpha_2$ 相の過剰析出や粗大化は延性を低下させるため、次に示すAl当量が9以下では $\alpha$ 相の規則化や $\alpha_2$ 相の析出による脆化を避けることができるとして指標に用いられている<sup>(5)</sup>。

$$\text{Al 当量(mass\%)} = \text{Al} + \text{Sn}/3 + \text{Zr}/6 + 10 \times (\text{O} + \text{N})$$

$\beta$ 変態点に影響が小さい元素は中性元素と言われ、Sn, Zr, Hf等が挙げられる。図1に $\alpha + \beta$ の状態図を模式的に示す。

\* 物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 耐熱材料設計グループ: 1)主任研究員 2)グループリーダー  
Development and Material Properties of Titanium Alloys for Aeroengine and Airframe Applications; Tomonori Kitashima and Yoko Yamabe-Mitarai (High Temperature Material Design Group, Research Center for Structural Materials, National Institute for Materials Science, Tsukuba)  
Keywords: aircraft, titanium, alloy development, microstructure control, alloying effect  
2016年3月1日受理[doi:10.2320/materia.55.370]

$\beta$ 安定化元素の添加量が増加するにつれて、 $\beta$ 変態点が低下する。チタン合金は $\alpha$ 合金、 $\alpha+\beta$ 合金、 $\beta$ 合金と分類することができるが、 $\alpha$ 相の体積率が高い $\alpha+\beta$ 合金をニア $\alpha$ 合金、 $\beta$ 相の体積率が高い $\alpha+\beta$ 合金をニア $\beta$ 合金と呼ぶことがあり、本稿でもそのように呼ぶことにする。

チタン合金は航空機機体や航空機エンジンにおいて、様々な部位に用いられており、仏エアバス社製 A380における適用部位の例を図2に示す<sup>(6)</sup>。表1には近年の航空機に使用されている代表的なチタン合金を示しており、Al, Sn, Zr, Mo, Nb, V, Fe, Cr, Cu, Si等が添加されており、複雑な多元系で

あることがわかる<sup>(4)(7)-(20)</sup>。 $\beta$ 合金である Ti-10-2-3, Ti-5553は高強度合金として実用化されており、従来の4340M鋼に置き換えられて Ti-10-2-3は B777と A380のランディングギアで、Ti-5553は B787のランディングギアで使用されている<sup>(21)</sup>。B747ではフレームに Ti662が使用されたが、その後 Ti-10-2-3に置き換えられた。これら $\beta$ 合金では引張強度、破壊靱性、疲労強度、成形性、鍛造性(できるだけ低温)、 $\beta$ 安定性が重要となる。引張強度と破壊靱性は相反関係にあり、 $\alpha+\beta$ 合金よりも $\beta$ 合金がこれら特性に優れる<sup>(22)</sup>。米ジェネラル・エレクトリック社製エンジンで実用化されている Ti-17はファンや低圧コンプレッサーのディスク

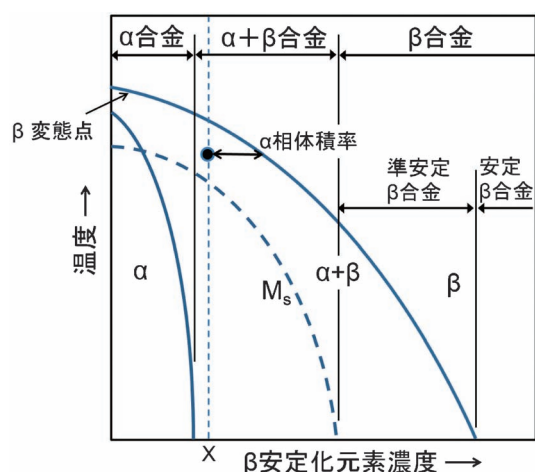


図1 模式的な $\alpha+\beta$ 合金の状態図。

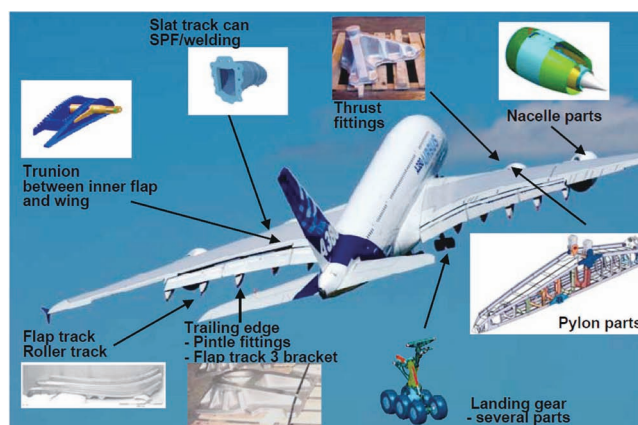


図2 エアバス社製 A380のチタン合金適用部位<sup>(6)</sup>。

表1 航空機(エンジンはターボファンエンジン)に用いられるチタン合金<sup>(4)(7)-(20)</sup>。Al当量では酸素濃度を計算していないが、原料によるものや製造プロセスの過程で酸素を0.1~0.2 mass%含有する場合、それぞれ1~2を加算する。HPC: 高圧コンプレッサー, LPC: 低圧コンプレッサー, MUT: 最高使用温度を意味する。

適用先 (機体/エンジン)	組成(mass%)・合金名	合金種類	Mo 当量	Al 当量	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	適用部位
機体	Ti-3Al-2.5V	$\alpha+\beta$	-1.3	3	4.48	油圧管, ハニカムコア
	Ti-6Al-6V-2Sn-0.5Fe-0.5Cu(Ti-662)	$\alpha+\beta$	-1.98	6.7	4.54	鍛造品, 主脚支持構造部品(B747)
	Ti-10V-2Fe-3Al(Ti-10-2-3)	ニア $\beta$	9.5	3	4.65	鍛造品, 主脚(B777, A380)
	Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr-0.5Fe(Ti-5553)	ニア $\beta$	9.6	5	4.67	主脚(B787)
	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr(Beta C)	準安定 $\beta$	16.0	3.7	4.82	ばね
	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn(Ti-15-3-3-3)	準安定 $\beta$	11.9	4	4.76	板, 鋳造品, ばね
機体およびエンジン	Ti-6Al-4V(Ti-64, IMI318)	$\alpha+\beta$	-3.3	6	4.43	一般部品, 機体鍛造品, ファスナー, ファンディスク・ブレード, LPC ディスク・ブレード
	Ti-15Mo-2.7Nb-3Al-0.2Si(Beta21S)	準安定 $\beta$	12.8	3	4.93	ナセル, プラグ, エンジンノズル
エンジン	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr(Ti-17)	ニア $\beta$	5.4	6.0	4.65	ファンディスク, コンプレッサーディスク(MUT: 673 K)
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo(Ti-6246)	$\alpha+\beta$	0	7.3	4.65	ディスク・ブレード(HPC, MUT: 723 K)
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo(Ti-6242)	ニア $\alpha$	-4	7.3	4.54	ディスク・ブレード(HPC, MUT: 723 K)
	Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.25Si(IMI685)	ニア $\alpha$	-5.5	6.8	4.46	ディスク, ブレード(HPC, MUT: 793 K)
	Ti-5.5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.25Mo-0.3Si(IMI829)	ニア $\alpha$	-5.0	7.2	4.55	ブレード(HPC, MUT: 853 K)
	Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.35Si-0.06C(IMI834)	ニア $\alpha$	-5.1	7.7	4.55	ディスク, ブレード(LPC・HPC, MUT: 863 K)

表2 Ti-17開発時の目標<sup>(23)</sup>.

Tensile Properties	25-30% Higher than Ti64, Ultimate strength: 1172 MPa, 0.2% Yield strength 1103 MPa
Elevated Temp. Properties	25-30% Higher than Ti64 to 643 K
Fracture Toughness	66 MPa·m <sup>1/2</sup>
Through Hardening	Uniform properties in 152.4 mm section size

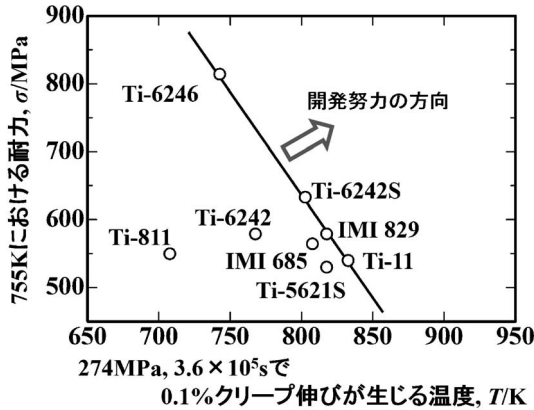


図3 高温用チタン合金の高温クリープ特性と高温強度<sup>(25)</sup>.

クに使用されており、この合金も強度と破壊靱性が重要である。Ti-17開発時の目標を表2に示す<sup>(23)</sup>。また、Ti-6246は高温強度と低温強度を兼ね備えた合金であり、破壊靱性値が高いβ鍛造材(後述)が高圧コンプレッサーディスクで使用されている。Ti-5553, Ti-17, Ti-6246は引張強度が1000 MPaを超え、破壊靱性値 $K_{IC}$ が60 MPa·m<sup>1/2</sup>を超えるように鍛造・熱処理プロセスにより組織制御されている。耐酸化性を低下させるVを含有するβ合金Ti-15-3-3-3に対して、β21SはMoを15 mass%含み、高耐酸化β合金として開発された<sup>(24)</sup>。冷間加工が可能であり、クリープ強度にも優れ、排気系のナセル部材や排気ノズルコーンとして使用されている(2016年1月に初飛行に成功したB737MAXでは排気ノズルコーンにSiC複合材料が使用されている)。ニアα合金であるTi-6242やIMI834は高圧コンプレッサー部材として使われており、耐熱性が高い。高圧・中圧コンプレッサーで使用される高温用チタン合金を開発するためにはクリープ強度と高温引張強度を向上させ(図3)、かつ疲労強度を向上させることが目標となる。高温で使用されるチタン合金は高温化によるエンジン熱効率向上と軽量化に貢献するため、多くの研究がなされてきた。次に高温用ニアαチタン合金について述べる。

### 3. 高温用チタン合金

航空機エンジン高温部材にはこれまでにTi-6242やIMI834に代表されるニアα合金が使用されている。このニアα合金の耐熱性を向上させるためには新しい合金組成を探索し、マイクロ組織を制御し、引張強度、クリープ特性、疲

表3 Ti-6242開発当時のプラット・アンド・ホイットニー社の10年後の耐熱合金開発目標<sup>(25)</sup>.

性質	試験温度 (K)	ディスク材 (応力, MPa)	ブレード材 (応力, MPa)
300時間に0.1%以下のクリープ	811	412	446
300時間に0.2%以下のクリープ	922	103	172
引張強度	922	721	755
922 K で300時間使用後の伸び	室温	10%	6%
10 <sup>7</sup> サイクルの疲労強度	811	549	549
塩をかぶった後、922 K で100時間稼働させた後の疲労強度	室温	172	172

勞特性、破壊靱性を改善する必要がある。表3に米プラット・アンド・ホイットニー社がTi-6242開発時に掲げた10年後の目標を示す<sup>(26)</sup>。複数の特性を同時に改善し、信頼性を評価するためには多大なコスト、労力、時間を費やす。ここではα+β合金であるニアα合金の高温特性に影響する因子について述べる。

#### (1) プロセスとマイクロ組織と機械的特性

チタン合金のα相/β相の量比と組織形態は機械的性質に影響する。hcp構造のα相はbcc構造のβ相に比べてすべり系が少なく、また拡散が遅いことからクリープ変形抵抗が高く、高温用合金にはα相の体積率が大きいニアα合金が使われている(IMI834の等軸α体積率は1073 Kで95%ほど)。α+β合金の典型的な組織形態として、図4に示す通り、針状組織、等軸α組織、この2つの構造で構成されるBi-modal組織が挙げられる。針状組織は等軸α組織に比べてクリープ強度、破壊靱性に優れるが、引張延性、高温低サイクル疲労強度は低く、引張強さも少し劣る。Bi-modal組織は等軸αの体積率を調整することでクリープ強度と疲労強度のバランスに優れた組織に制御できる。これらの組織の主な因子として、等軸α体積率、等軸αサイズ、β粒サイズ、コロニーサイズ(後述)、ラメラ厚さが挙げられる。β相から変態したα相とβ相の界面は(110)<sub>β</sub>|| (0001)<sub>α</sub>, [111]<sub>β</sub>|| [1120]<sub>α</sub>のバーガース方位の関係にあり、この方位に沿って格子幅の差が大きい場合、α/βの相界面は半整合となる。α相とβ相の組成にもよるがこの格子ミスマッチは転位移動の障害となる。また、β粒界からα相とβ相のラメラ構造が成長するような組織ではラメラの成長方向が異なるコロニー領域が粒内に複数形成し、コロニーの界面は転位移動の障害となる。クリープ変形では転位の運動に加えて、β粒、コロニー、等軸αの粒界すべりも起こる。また、β粒界に層状α相が生成する場合はその厚さや体積率も機械的性質に影響する。

表1に示すIMI685は高温用合金としてクリープ強度に有利な針状組織で使用されたが、β粒を微細化し、疲労強度を改善した針状組織のIMI829が開発された。さらにその後、強度、疲労、クリープのバランスに優れたIMI834が開発され、等軸αの体積率が15~20%に制御されたBi-modal組織で使用されている。国内においても、耐熱合金である

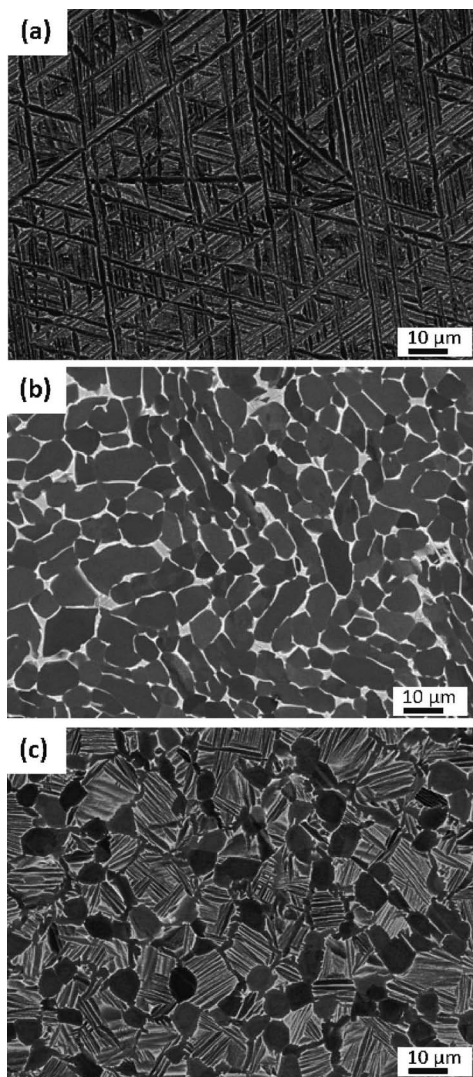


図4 典型的なマイクロ組織の(a)針状組織, (b)等軸 $\alpha$ 組織, (c)Bi-modal組織. 黒い部分が $\alpha$ 相, 白い部分が $\beta$ 相であり, (c)の丸い黒い部分が等軸 $\alpha$ .

DAT54 (Ti-5.8Al-4Sn-4.5Zr-2.8Mo-0.7Nb-0.4Si-0.06C, mass%)が開発されており, クリープ強度は540°CでIMI829と同等であることが報告されている<sup>(27)</sup>. この合金は等軸 $\alpha$ の体積率は17%程度のBi-modal組織に制御され, クリープ強度と疲労強度を兼ね備えるコンプレッサーディスク合金として開発された(図5). これらのマイクロ組織は鍛造・熱処理プロセスで作上げられるが, 合金によって $\beta$ 変態点,  $\alpha$ 相体積率の温度依存性, 拡散性等が異なるため, 各合金でプロセス条件が最適化される. 目指す組織によって様々な条件が考えられるが, 例として, 針状組織は $\beta$ 変態点より高い温度域で溶体化処理した後, 急冷もしくは空冷を行い, その後時効処理を行う. また, 等軸 $\alpha$ 組織は $\beta$ 変態点より50 Kほど低い $\alpha+\beta$ 温度域で鍛造比3以上の鍛造を行い,  $\beta$ 変態点直下の $\alpha+\beta$ 温度域で溶体化処理後, 炉冷等により冷却速度を遅くする. その後, 時効処理を行う. ここで,  $\alpha+\beta$ 温度域の溶体化処理の後, 急冷や空冷などで冷却速度を速くすると, 冷却過程で等軸 $\alpha$ の間の残留 $\beta$ に針状組織が形成され,

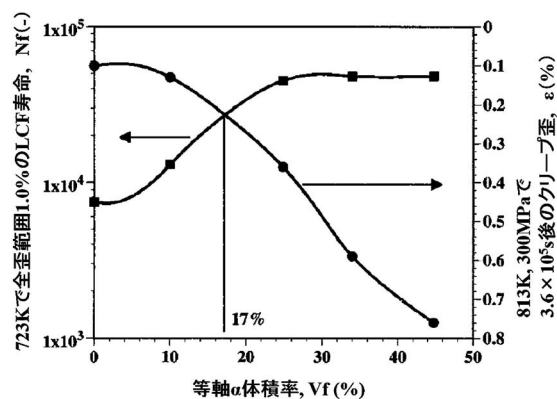


図5 低サイクル疲労特性とクリープ特性と等軸 $\alpha$ 体積率の関係<sup>(27)</sup>.

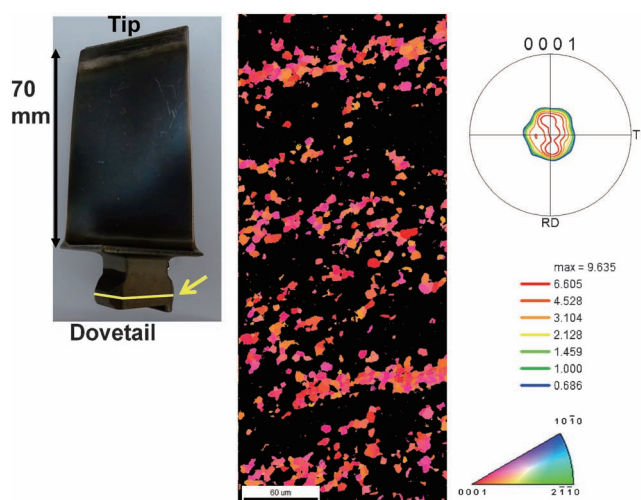


図6 ダブテイル中心部におけるEBSDマップ. 結晶方位分布から集合組織(マクロゾーン)が形成されている<sup>(28)</sup>.

Bi-modal組織となる.

図6はプラット・アンド・ホイットニー社製PW4077に搭載後, 廃棄されたTi-811(Ti-8Al-1Mo-1V, mass%)の高圧コンプレッサー動翼の結晶方位分布である<sup>(28)</sup>. ディスクと結合するダブテイル部においてブレード長手方向の縦断面で[0001]方位の結晶粒が揃っている集合組織(マクロゾーン)が形成されている. このような集合組織は疲労寿命を低下させ, 特に応力下で保持状態のあるDwell Fatigueでは寿命低下が顕著である. この集合組織は鍛造や圧延プロセスにおいて形成する. 組織は鍛造・熱処理プロセスの鍛造温度, 鍛造比, 鍛造歪速度, 溶体化処理温度, 冷却速度によって変化するため, チタン合金の開発のためには材料組成の探索と併せて組織制御のための鍛造・熱処理プロセス条件の最適化が重要である. 近年, 欧米ではFEMソフトウェアを用いて, 鍛造材の温度分布や歪分布と局所的な降伏強度, 引張強度, 伸び, 断面積減少率の鍛造材分布を高精度に予測するモデルが開発されており, 今後, 日本でもこのようなモデルの開発が期待される<sup>(29)</sup>.

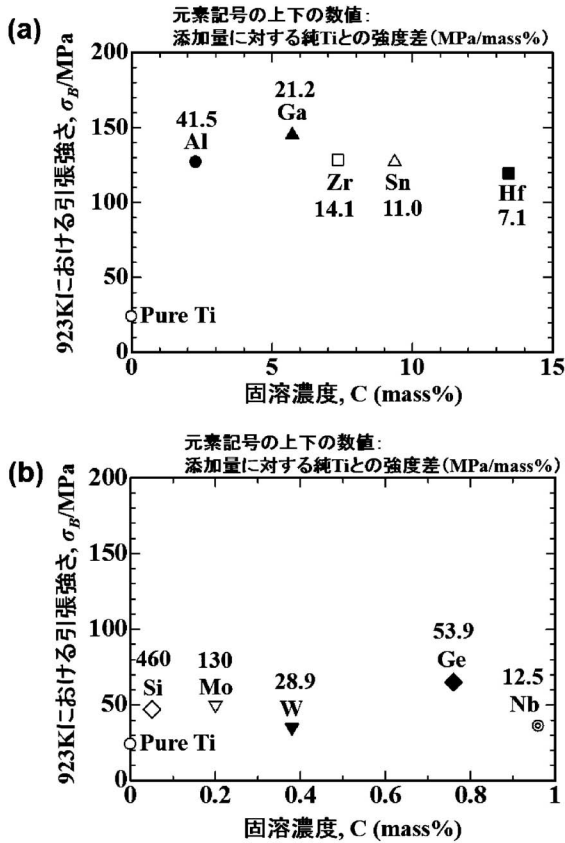


図7 引張強度に及ぼす元素添加の効果<sup>(30)</sup>. 酸素濃度は0.1 mass%未満. 各元素の添加量: Al(2.29 mass%, 4 mol%), Sn(9.37 mass%, 4 mol%), Ga(5.72 mass%, 4 mol%), Zr(7.36 mass%, 4 mol%), Hf(13.45 mass%, 4 mol%), Nb(0.96 mass%, 0.5 mol%), Mo(0.2 mass%, 0.1 mol%), W(0.38 mass%, 0.1 mol%), Si(0.05 mass%, 0.09 mol%), Ge(0.76 mass%, 0.5 mol%).

## (2) 固溶強化と析出強化

高温用ニアα合金は主に元素固溶と析出物により強化されている。α相の体積率が高いことからα相の機械的強度や耐環境性への元素添加の影響は大きい。図7には純αチタンに第2元素を添加した合金の923 Kにおける引張強度を示す<sup>(30)</sup>。α安定化元素であるAl, Gaや中性元素であるSn, Zr, Hfは固溶限が大きく, Alは単位添加量当たりの強度向上が顕著である。β安定化元素Mo, W, NbやSi, Geはα安定化元素に比べて効果が高いもののα相の固溶限が小さい。β安定化元素の添加量がα相固溶限を超えるとβ相の体積率が増加する。図7には示していないが, 酸素や窒素も固溶強化元素である。固溶強化能が高いAl, Ga, Snの添加量を増やすと, DO<sub>19</sub>結晶構造を持つα<sub>2</sub>相が生成する。Ti-Al, Ti-Ga, Ti-Snの各2元素系においてDO<sub>19</sub>結晶構造を形成するが, 実用的な多元素合金においてこれらAl, Ga, Snの過剰添加はα<sub>2</sub>相析出による延性低下を招くため, Al当量式でこれらの元素の係数は大きい値を示す(Gaの係数は1/2)。

図7に示す通り, Siは固溶強化能が高いが, 固溶限が0.1~0.2 mass%ほどしかなく, Si添加量が増加するとシリサイ

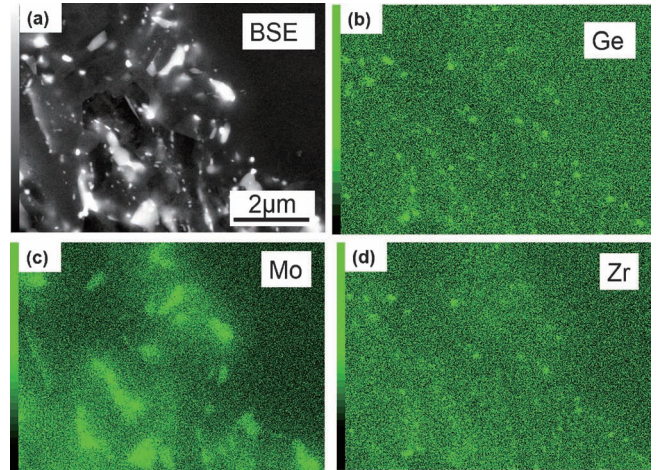


図8 クリープ変形中にゲルマナイドが微細析出した組織のEDS元素マップ<sup>(32)</sup>. Mo高濃度のβ相とGeとZrが高濃度の微細なゲルマナイド。

ドTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>が析出する。Tiと全率固溶のZrが添加されたチタン合金においては(TiZr)<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>が析出物となる。近年ではSiと全率固溶のGeを添加することにより固溶強化とゲルマナイドTi<sub>5</sub>Ge<sub>3</sub>の析出によって強度が向上することを報告している<sup>(31)</sup>。Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>とTi<sub>5</sub>Ge<sub>3</sub>は固溶体を形成し, 量比によって格子定数に変化するが, 複合添加による相乗効果はない。Geを単独添加したニアα合金においてTi<sub>5</sub>Ge<sub>3</sub>が微細に析出し(図8), 固溶限に近い1 mass%添加でその効果は高く, クリープ強度が向上する<sup>(32)</sup>。これら金属間化合物は固溶強化元素であるZrを含有するため, 析出により母相のZr固溶による強化度は下がる。SiやGeの添加量がマトリックス固溶限に近い場合, クリープ変形中に結晶粒内の転位上にシリサイドが核生成, 析出し, 転位を固着するため, これら析出物は強度向上に有効である。シリサイドやゲルマナイドはα<sub>2</sub>相と同様に, クリープなど高温で保持している間に, 粗大化し, 延性が低下するため, 長時間保持後の機械的性質も評価される(表3)。

## (3) 耐酸化性

組成やマイクロ組織が機械的性質に与える影響について述べたが, 高温においてクリープ強度や疲労強度は表面酸化により低下する。耐熱チタン合金の使用温度は上昇しており, 高温で使用される場合は表面酸化の影響は無視できない。IMI829やIMI834の耐熱合金においても耐酸化性向上のためにNbが添加されている。ここでは高温特性の一つである耐酸化性について述べる。

純チタンは高温において表面にTiO<sub>2</sub>が生成・成長すると同時に, 表面から基材中に酸素の拡散が起こる。αチタンの酸素固溶限はおよそ30 mol%であるが, 基材の表面近傍では20 mol%ほどの酸素濃度が高い状態となる。酸素は格子間拡散し, 格子歪を生じ, 表面近傍は硬くなり, 酸素固溶は表面脆化につながる。純チタンの酸化被膜の成長速度と基材表面の酸素固溶深さの時間変化を図9に示す<sup>(33)</sup>。酸素の拡散は酸化被膜の成長よりも速いが, 酸化中の重量増加を比較

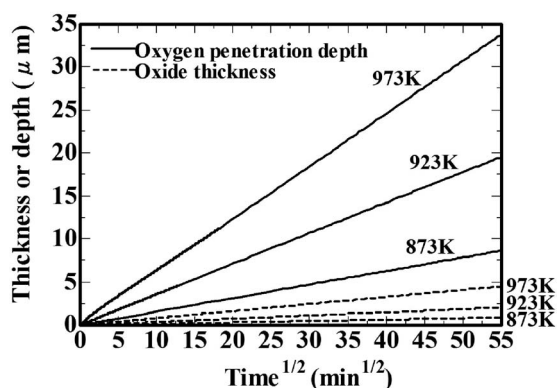


図9 純Tiの酸素固溶と被膜厚さの時間推移<sup>(33)</sup>。

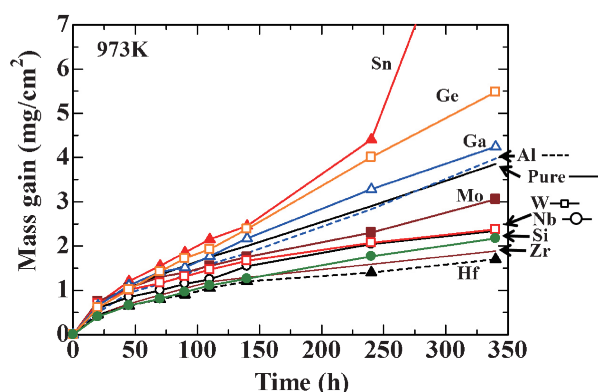


図10  $\alpha$ チタンにおける元素添加の酸化重量増加への影響<sup>(30)</sup>。酸化試験には図7と同じ合金を用いた。

すると、酸素固溶による重量増加は873 Kにおいて全体の30%ほどであり、酸化膜成長の寄与が大きい<sup>(33)</sup>。 $\alpha+\beta$ 合金や $\beta$ 合金でも同様に、表面から酸素が拡散するが、酸素は $\alpha$ 相安定化元素であるため、表面近傍の酸素リッチ領域は $\alpha$ 相の体積率が大きくなり、この酸素リッチの領域は「 $\alpha$ ケース」と呼ばれる。この $\alpha$ ケース厚さへの元素や組織の影響については、2015年のチタン国際会議でもビッカース硬さ、EPMA線分析、光学顕微鏡を使って $\alpha$ ケース厚さを解析した結果が議論されている<sup>(34)</sup>。

図10は973 Kの酸化時の酸化試料重量増加に対して、純チタンにおける元素添加の影響を調査した結果である<sup>(30)</sup>。SnやGe添加により酸化重量が増加し、被膜の成長が加速され、酸化膜/基材界面の基材側で偏析し、酸化被膜の剥離が生じる。Hf、Zr等の中性元素、 $\beta$ 安定化元素であるMo、W、NbやSiは酸化重量増加を抑え、耐酸化性向上に有効であることがわかる。Ti-6242やIMI834はAlがおよそ6 mass%添加され、酸化過程において内側(基材側)にTiO<sub>2</sub>、外側(ガス側)にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が生成する。緻密なAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化膜内では酸素の拡散が抑えられるために、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は保護的な役割を持つが、Alが6 mass%程度では連続的な保護膜は形成しない。耐酸化性を向上するためには、保護的な役割を持たないTiO<sub>2</sub>の成長を抑制するか、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の成長を促進することが有効である、 $\beta$ 相の体積率が小さいニア $\alpha$ 合金では、 $\alpha$ チタ

ンの酸化挙動と似た傾向を示す。前述のとおり、Si添加は固溶強化やシリサイド析出強化に有効であるが、耐酸化性向上にも効果的である。Siは酸化被膜中に不均一に分布し、耐酸化性向上に有効な微細なSiO<sub>2</sub>を形成している可能性がある<sup>(35)</sup>。組織の影響では、ラメラ組織とBi-modal組織の耐酸化性への影響が議論されており、結晶粒径が小さいBi-modal組織と粒径が大きいラメラ組織ではBi-modal組織の酸化重量増加がわずかに大きいとされているが、酸素の固溶深さや $\alpha$ ケースの厚さへの影響についても今後の解析が期待される。

これら酸化膜や $\alpha$ ケースの成長は部材の許容応力やクラックの生成に影響し、特に、肉厚の薄い部材(例えばコンプレッサー動翼)のクリープ強度や疲労強度を低下させる。著者らは $\alpha$ 相と $\alpha_2$ 相を固溶強化するGaを添加し、耐酸化性を低下させるSnの添加量を減らすことで耐酸化性を向上した高強度合金の研究・開発も行っている<sup>(36)</sup>。

#### 4. 溶解プロセスにおける介在物

航空機用チタン合金では消耗電極式アーク溶解(VARプロセス)により均質化のため2重もしくは3重溶解で作られており、VARインゴットの直径は510 mm~1250 mmである。この溶解方法では、融点が高いTiNなどの低密度介在物(LDI)やWや刃材の混入による高密度介在物(HDI)が溶解中にインゴットに介在する。1989年にアイオワ州でDC10航空機の事故により111名が犠牲になったが、これはLDIがコンプレッサーディスクの破壊起点となった。その後、アメリカにおいてJet Engine Quality Committeeが設置され、エンジン部材の大幅な品質改善につながった。しかし、依然として、WはHDIとして破壊の起点になりうるとして、工場への持ち込みが制限されている。インゴット中の欠陥検出には超音波探傷探査が行われているが、複雑な形状である鍛造材などの検査が行えない場合は、検出されないまま材料に残ってしまう。W添加はクリープ強度や耐酸化性を向上するものの、現在のところ、W添加合金は航空機エンジン材料に使用されていない。

#### 5. ブリスク搭載

ブレードとディスクを一体化したブリスクがコンプレッサーに実用化されている。ブリスクのメリットは、ブレードとディスクが一体化しているためにブレードとディスクの接触部でフレットング疲労が起こらず、また接触部でのガス漏れがないことにより効率が向上する。さらに、ブレードのルート部とディスクの接合部の肉厚を薄くできるため、従来の重量の20~30%を軽くすることができる。このブリスクは単一の材料から切削加工されるか、ブレードとディスクを溶接接合して形成される。エムティーユー・エアロエンジンズ社ではTi-6246とTi-17のポア材にTi-64、Ti-6242、Ti-6246のブレード材を線形摩擦接合で接合したブリスクを発表している<sup>(11)</sup>。また、A350XWBに搭載が決まっているロール





# マグネシウム合金の変形・破壊における 変形双晶の役割と新合金探索

安藤 大輔\*

## 1. はじめに

このたびは本誌へ執筆の機会を頂き感謝しています。私は学部生時代から今まで、汎用 Mg 展伸材である AZ31 合金や、レアアース(RE)添加 Mg 合金における変形・破壊時の変形双晶の役割について基礎研究を行ってきました。本稿では、それら実験結果の紹介と、近年独自に取り組んでいる Mg 合金を Ti 合金のように材料組織制御したいという研究についても触れさせていただきます。

## 2. Mg 合金の現状と低成形性の要因

Mg 合金は構造用金属材料中で最軽量であり、Al 合金に匹敵する比強度を持つという利点から、現在では携帯電話、カメラ、ノートパソコン等のモバイル機器筐体に採用され、将来的には自動車や列車等の輸送機器への応用も期待されている。輸送機器等の大型部材適用には、高効率・低コストであるプレス成型が容易に行えることが必要不可欠と考えられている。しかしながら、Mg 合金は室温でのプレス成型が困難であることが知られている。その原因は、Mg 合金が結晶構造を稠密六方晶とするため、避けることの出来ない変形異方性が存在し、更に底面すべりが他のすべり系に比べて顕著に起こりやすく、等方変形に必要な Von Mises の降伏条件を満たせないことにある。また、この足りないひずみ成分を変形双晶が補うと考えられており、Mg 合金の変形・破壊を議論する上では欠かせない因子になっている。

## 3. 変形双晶タイプと変形・破壊の関係

これまでに $\{10\bar{1}1\}$ 、 $\{10\bar{1}2\}$ 、 $\{10\bar{1}3\}$ 、 $\{10\bar{1}5\}$ 、 $\{10\bar{1}6\}$ 、 $\{30\bar{3}4\}$ 、 $\{11\bar{2}1\}$ など数多くの変形双晶タイプが報告されている<sup>(1)-(5)</sup>。また、変形双晶を生じにくくすると延性が低下することや、変形後期には変形双晶内で局所的な大変形が生じ、晶癖面に沿って微少なクラックが形成され、試料全体が変形の限界を迎える前に破壊へ導くとも長年考えられてきた<sup>(2)-(5)</sup>。これらの研究は1960年代に数多く行われたが、当時の研究手法では、単結晶試料において底面すべりのすべり線と晶癖面の角度を光学顕微鏡観察で測り、この晶癖面を双晶面と考えた場合に幾何学的関係から双晶タイプを決定してきた。しかし、吉永らはこれらの双晶面がしばしば晶癖面から逸脱し、見かけからは双晶タイプを推定できないと報告している<sup>(3)</sup>。実際、Reed-Hillらは $\{30\bar{3}4\}$ 晶癖双晶を観察し、破壊と双晶の関係を示唆したが<sup>(4)</sup>、後に、 $\{30\bar{3}4\}$ 晶癖双晶は $\{10\bar{1}1\}$ 双晶とそれに続く2次 $\{10\bar{1}2\}$ 双晶から成る二重双晶であった、と訂正している<sup>(5)</sup>。一方、ここ10年においては、走査電子顕微鏡観察(SEM)において電子線後方散乱回折法(Electron Backscatter Diffraction: EBSD)という結晶解析が進んでいる。しかしながら、この方法では母相と変形双晶の底面方位差から変形双晶タイプを考えるため、複合的な双晶や未知の双晶が生じた場合には対応出来ないことがあった。(この点に関して、最近のめざましいEBSD測定の高速度化・高精度化により、極微細な領域の双晶タイプを特定出来るようになってきた。本稿では、私の10年の研究結果を振り返るため、EBSD測定に頼らない実験方法について示

\* 東北大学大学院工学研究科・助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11-1016)

The Role of Deformation Twinning on Magnesium Alloy during Tensile Deformation and Development of Novel Magnesium Alloy; Daisuke Ando(Department of Materials Science and Engineering, Tohoku University, Sendai)

Keywords: *magnesium alloy, deformation twin, double twinning, localized deformation, basal texture, non-basal slip, dual phase magnesium alloy*

2016年3月1日受理[doi:10.2320/materia.55.377]

す。)また、EBSD 測定を行うためには試料表面を研磨する必要があり、変形によって生じた大変形部分と変形双晶の関係を直接的に示すことはできない。つまり、どの変形双晶が、どの程度変形に寄与するか、などについては分かっていなかった。そこで、私は、この50年来の基礎研究を現代の最新装置である SEM/EBSD, 集束イオンビーム装置(FIB)や透過電子顕微鏡(TEM)を用い、変形双晶個々の役割と早期破壊に至るメカニズム解明という視点で研究を行った。

#### 4. 実験方法

変形時に形成された局所変形部と変形双晶の関係を明確にするため、以下のような実験方法で研究を行った。

引張試験片を平滑に鏡面研磨し、その後化学研磨(液組成; 硝酸 8 ml, 無水エタノール 50 ml)を行って表面酸化物等を除去した。この試料表面に FIB を用い、10  $\mu\text{m}$  角の格子状のけがき線を400本描いた。これらの格子は光学顕微鏡で偏光させなければ観察出来ないほど非常に細かく浅いため、変形、特に破壊に寄与しない。表面酸化を防ぐために直ちに同箇所を EBSD 測定し結晶配向の情報を得た。続いて、引張試験を初期ひずみ速度  $10^{-3} \text{s}^{-1}$  で行った。この過程により、変形前の結晶配向情報と、変形による格子毎のひずみ量実測値の対応が可能となった。また、FIB を用い、表面起伏やクラックを伴い局所的に大変形した箇所や、双晶が形成することで初期結晶配向から予測される変形量とは異なる挙動を示した結晶粒を対象に断面 TEM 試料を作製し、内部組織を詳細に観察した。また、各変形双晶が引張変形の過程で形成される量について、試料全体に対する変形双晶の占める面積率として調査した。

#### 5. 底面集合組織を有する AZ31 合金の場合

AZ31 合金は、第 2 章で示したように、底面すべりがその他のすべり系よりも活発に働くために、圧延や押出加工の過程で強い底面集合組織を形成してしまう。今回実験に用いた試料は AZ31 合金延板であり、典型的な底面集合組織を有していた。

図 1 に変形前の結晶配向と、変形前後の試料表面の観察結

果を示した。EBSD 結果から、多くの結晶粒が底面配向だが、その中でも  $c$  軸が引張方向に対して30度ほど傾き、底面すべりの Schmid 因子が大きい結晶粒も少なからず存在した。10%のひずみを与えると、そのひずみは結晶粒毎に異なった分布をとっていた。ここでは、2つの特徴的な結晶粒に注目する。1つは、底面すべりの Schmid 因子が大きいのに、結晶粒内の変形量が著しく少ない結晶粒 A であり、もう一つは、底面配向し底面すべりの Schmid 因子が 0 に近いのに局所的に大変形している結晶粒 B である。これらの結晶粒に共通な点は、結晶粒内に変形双晶を伴うことであった。

図 2 に前者のほとんど変形していない結晶粒 A とその断面観察結果について示す。このような結晶粒には必ずレンズ状の変形双晶が形成されていた。この双晶を含む領域から断面 TEM 試料を作製し、観察すると、底面が  $[1\bar{2}10]$  軸回りに86度回転していることが制限視野回折より分かった。このタイプは  $\{10\bar{1}2\}$  引張双晶である。このように底面すべりの生じやすい結晶粒は、同時に  $\{10\bar{1}2\}$  双晶の Schmid 因子も大きくなる。底面すべりに続いて  $\{10\bar{1}2\}$  双晶が形成されると、底面すべりのひずみ成分を打ち消すように変形双晶が生長するために、この結晶粒はほとんど変形しないように振舞うことがわかった。

それに対し、後者の局所大変形を生じる結晶粒にはバンド状の変形双晶が必ず形成されており、表面起伏やクラックを伴っていた。このような結晶粒の一例を図 3 に示す。図中央

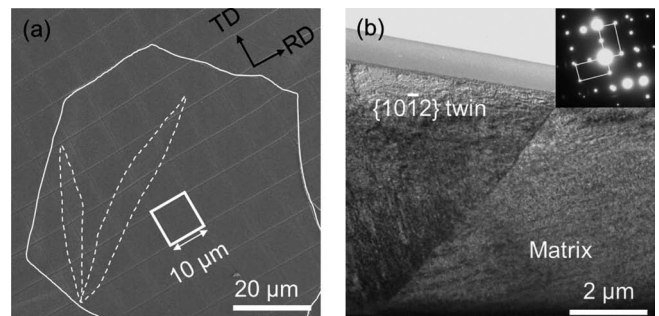


図 2 (a)変形量が小さくレンズ状の双晶が形成した結晶粒 A. (b)レンズ状の双晶を含んだ結晶粒 A の断面 TEM 像と SAD.

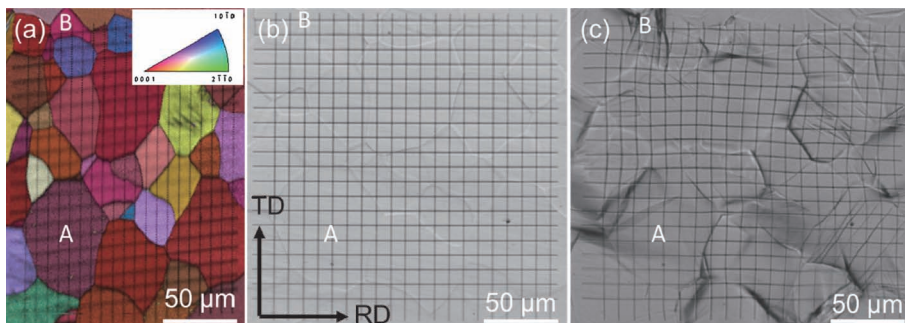


図 1 (a)変形前の IPF, (b)変形前, (c)変形後の試料表面格子.

の表面起伏部に変形が集中し、実際の荷重ひずみの数倍変形している。この表面起伏を断面組織観察した結果、表面起伏内部はバンド状に折り重なった変形双晶によって構成されていた。この双晶帯を詳細に観察したところ、はじめに底面配向した結晶粒内に $\{10\bar{1}1\}$ 圧縮双晶が形成、直ちにその圧縮双晶内部に $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が同じ双晶回転軸で形成して生じる $\{10\bar{1}1\}$ - $\{10\bar{1}2\}$ 二重双晶であることがわかった。 $\{10\bar{1}1\}$ 双晶内に $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が形成される理由は、上記の $\{10\bar{1}2\}$ 双晶の形成傾向と同様に Schmid 因子に従って生じる。しかしながら、 $\{10\bar{1}1\}$ 双晶は双晶幅が細いために $\{10\bar{1}2\}$ 双晶はすぐに双晶内の配向を完全に変化させ、二重双晶内の底面は母相に対して $c$ 軸が $37.5$ 度ほど傾いた配向となる。二重双晶内部が母相に対して底面すべり変形が容易なため、変形が局在化し、上記のような表面起伏やクラックを形成して早期破断に至ると考えられる。また、このときに二重双晶内部に $\{10\bar{1}2\}$ 双晶を再度形成して多重双晶化するが、形成のたびに $\{10\bar{1}2\}$ 双晶形成の Schmid 因子が次第に小さくなるために局所変形を止めることはできない。これらの成果は、変形双晶が変形・破壊に関与していることを直接的に示した初めての結果である。参考文献<sup>(6)-(8)</sup>に詳細があるのでご参照いただきたい。

次に、変形初期から破壊に至るまでに形成される変形双晶量の推移について応力-ひずみ曲線との対応を図4(a)に示

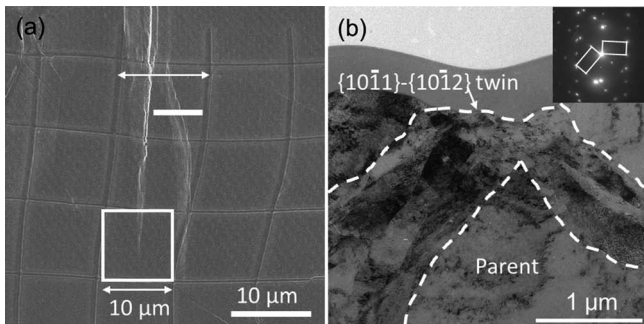


図3 (a)変形量が大きくバンド状の双晶が形成した結晶粒B。(b)バンド状の双晶を含んだ結晶粒Bの断面TEM像とSAD。

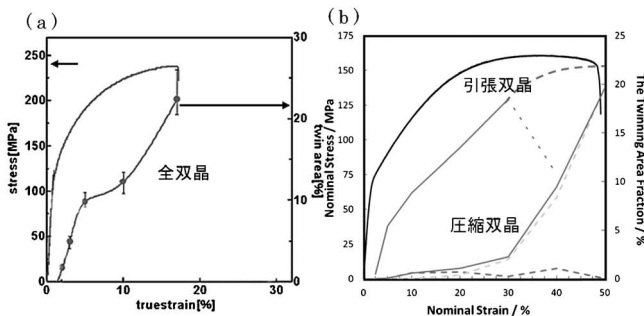


図4 (a)AZ31合金引張時の応力-ひずみ曲線と変形双晶形成量。(b)Mg-Y引張時の応力-ひずみ曲線と変形双晶形成量。

す。変形双晶は変形初期と後期に著しく増える傾向にあり、前者はレンズ状の $\{10\bar{1}2\}$ 双晶であり、後者はバンド状の $\{10\bar{1}1\}$ - $\{10\bar{1}2\}$ 二重双晶の形成に由来することがわかっている<sup>(9)</sup>。 $\{10\bar{1}1\}$ - $\{10\bar{1}2\}$ 二重双晶がわずか数%形成された後に破断に至ることも、この二重双晶が破壊機構に寄与すると言えるであろう。そのため、二重双晶形成は敬遠され、 $\{10\bar{1}1\}$ 双晶形成を抑制するために結晶粒微細化<sup>(10)</sup>や、初期結晶配向のランダム化<sup>(11)</sup>を目指した研究が数多く行われている。

## 6. 底面集合組織を有さないMg-0.6at%Y合金の場合

REをMgに添加することで、結晶粒微細化、底面集合組織弱化的ことが経験的に知られており、さらに近年の研究では非底面すべりが活発になることも報告され、新規Mg合金開発に活かされている。なぜ、上記のような効果が現れるかに関する詳細は参考文献(12)-(14)を読んでいただき、本稿では、RE添加合金で代表的なMg-Y合金において変形双晶と変形・破壊との関係性に注目して述べる。結晶粒を微細化すると変形双晶が形成されにくいので、本実験ではAZ31合金と同様に $50\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな結晶粒の試料を用いた。

図4(b)は、変形初期から破壊に至るまでに形成される変形双晶量の推移について応力-ひずみ曲線との対応を示している。Mg-Y合金の降伏応力は $70\text{MPa}$ と低いが、破断伸びが $50\%$ 程度であり、底面集合組織を有したマグネシウム合金と比べて延性に富んでいる。変形双晶の形成量に注目すると、AZ31合金の場合と同様に二段階の増加を示した。Mg-Y合金の場合には双晶タイプ毎に分けてプロットしている。AZ31合金と同様に初期にはレンズ状の $\{10\bar{1}2\}$ 双晶、後期にはバンド状の圧縮系二重双晶が形成され面積率を増やしていた。しかしながら、それらが形成するひずみ量に注目して欲しい。底面集合組織を有するAZ31合金では、ひずみ量が $10\%$ 程度から二重双晶が形成され始めたのに対して、Mg-Y合金では $30\%$ を超えないと二重双晶は形成されていないことがわかる。これは、Mg-Y合金では底面集合組織が弱いために $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が生じうる結晶配向の結晶粒が多いことに関係している。つまり、初期配向に $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が生長できるうちは二重双晶の形成が遅延されることを示唆している。実際に、図5で示すようにひずみ量が $30\%$ の時に結晶配向が引張方向に対してほぼ垂直で $\{10\bar{1}2\}$ 双晶がこれ以上形成しがたくなっている。この結晶配向では $\{10\bar{1}1\}$ 圧縮双晶形成の Schmid 因子が大きくなり、生じやすい。AZ31合金のように底面が引張方向と垂直、かつ板面に対して平行な強い底面集合組織が形成される場合には板厚方向に縮む向きにのみ二重双晶が形成されるのに対して、Mg-Y合金のように底面集合組織が引張方向と垂直であるが、ND方向一点に集中せず、ND-TD面上に $c$ 軸が配向する場合には、二重双晶は板厚方向並びに板幅方向にも縮むひずみを担うことが出来る。

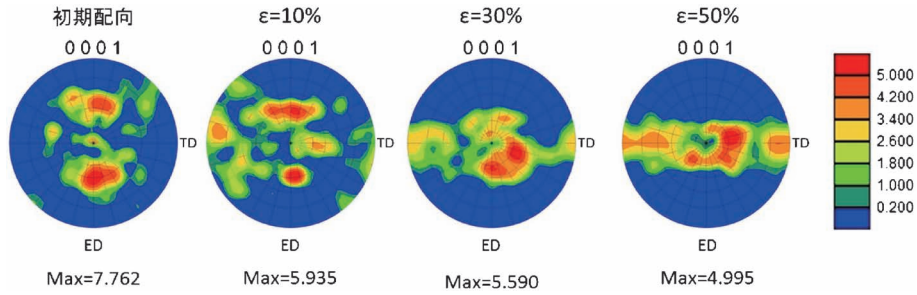


図5 Mg-Y合金引張時の各ひずみ量での(0001)面結晶配向変化。

また、双晶形成量に注目すると、AZ31合金では $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が15%程度、二重双晶が7%程度の面積率形成された時点で破断に至るのに対して、Mg-Y合金では $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が20%以上、二重双晶も15%以上も形成している。 $\{10\bar{1}2\}$ 双晶ならびに $\{10\bar{1}1\}$ 双晶は、形成時に13%程度のせん断ひずみを生み出すので、双晶形成量が多いことは、変形双晶が生み出すひずみ量が多いことを意味する。さらに、AZ31合金と同様に圧縮系二重双晶の内部では母相に比べて局所的に大変形することから、この二重双晶が多く形成出来ることは高延性への寄与率も大きいと考える。二重双晶が形成されても、すぐに破壊に至らない理由は、非底面すべりが活発に生じるので、底面配向した結晶粒でも比較的に変形出来ることが過度な局所変形に至らないと考えている。上記の理由から、底面配向していないMg合金板材の引張変形においては、変形双晶はひずみを担い、等方変形しやすくなり、高延性化に寄与している。

## 7. BCC構造を有するMg-Sc合金の開発

従来のMg合金における強度・延性を改善する手法は、HCP母相に対して固溶あるいは析出を利用する方法に限定され、構造材料としてライバルのAl合金並の特性を得るには限界がある。このことは、近年注目されているRE添加合金においても同様であり、母相の選択肢にHCP単相しかないことが、Mg合金の組織制御において根本的問題である。Ti合金のように、HCP+BCCの二相組織を有する高強度・高延性Mg合金を得ることは長年の夢であるが、いまだ実現されていない。そのなかで、Mg-Li合金は唯一HCP+BCC二相組織を有すると報告され、等方変形して破断伸びが30%超、150°Cでは超塑性を発現するなど興味深い結果が得られている<sup>(15)</sup>。しかし、室温の引張強度が130MPa程度と非常に低く、Liは卑な金属で耐食性が著しく悪い。また、Mg-Li合金におけるHCP/BCC二相組織は共晶組織(L→HCP+BCC)であるため、Ti合金のようにBCC/HCP変態を利用した加工熱処理プロセスや時効熱処理による組織制御はできない。

以上の背景より、筆者は、Ti合金のようにBCC/HCP変態による組織制御が可能なBCC/HCP二相Mg合金の可能性としてMg-Sc合金を見出し、基礎研究を続けてきた。既存

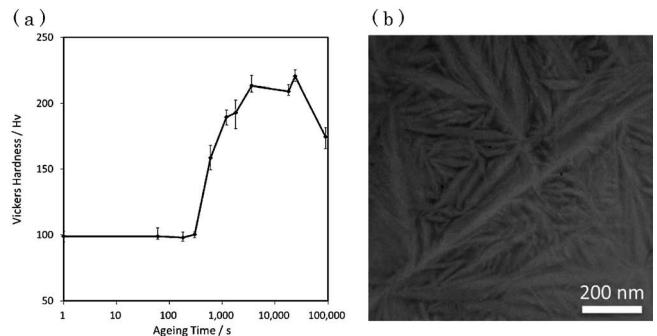


図6 (a) Mg-16.8 at% Sc合金BCC単相試料の時効硬化挙動。(b) 最高硬さ時の内部組織TEM観察。

の状態図<sup>(16)</sup>によればMg-Sc系は高Mg濃度側まで $\beta$ -ScのBCC相が張り出し、同組成において高温相のBCC相から安定相のHCP相が析出する唯一の系である。

拡散対法および合金法にて、状態図を再考したところ、過去に報告されていた状態図<sup>(16)</sup>において点線表示されていた二相共存域はさらに低Sc側に広がっていることがわかり、700°Cで均質化し急冷するとMg-16.8 at% ScでもBCC単相が得られることがわかった。もちろん、このBCC相は室温では安定相ではなく、時効熱処理を行うことで微細なHCP相がBurgersの関係で析出する。200°Cで時効した場合のピッカース硬さに関して図6(a)に示す。BCC単相の初期硬さは約100 Hvであり、潜伏期間を経て、600sほどから急激に硬さが上昇する。その後、18ksでピークをとり230 Hvとなった。この最高硬さ時の組織を図6(b)に示す。BCC相内部に幅50nm以下、長さ300nm以下の針状のHCP相が高密度に析出していた。また、初期組織をBCC+HCP二相組織として同様の時効熱処理を行っても、BCC相中に微細なHCP相が析出し、バイモーダルな組織とするこも出来た。さらに、高温相のBCC相からの冷却過程で冷却速度を変えるだけで析出するHCP相の様相を変えることもでき、Ti合金のような組織制御が可能であることがわかった。結果に関する詳細は参考文献(17)、(18)を参照いただきたい。

今後はこの合金系に第三元素を加えてBCC相が存在できるSc量を低減すること、BCC+HCP二相組織における変形破壊機構の調査、Mg-Sc合金がTi合金のように様々な用

途に対応出来るような組織制御などについて研究していく考えである。今後の展開に期待していただきたい。

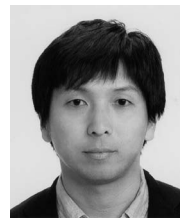
## 8. お わ り に

Mg-Sc 合金の研究は JSPS 科研費23860009, 25820364の支援により行われ, Mg-Y 合金に関する研究はトヨタ自動車株式会社との共同研究により行われました。この場を借りまして感謝申し上げます。また, 研究を遂行するにあたり, 東北大学小池淳一教授, 須藤祐司准教授から多大なるご指導, ご助言頂きました。本誌面を借りて心より御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) S. L. Couling and C. S. Roberts: Acta Crystallogr., **9**(1956), 972-973.
- (2) J. van Der Planken and A. Deruyttere: Phys. Stat. Sol., **28** (1968), K9-K10.
- (3) H. Yoshinaga, T. Obara and S. Morozum: Mater. Sci. Eng., **12** (1973), 225-264.
- (4) R. E. Reed-Hill and W. D. Robertson: Acta Met., **5**(1957), 717-727.
- (5) R. E. Reed-Hill: Trans. AIME, **218**(1960), 554-558.
- (6) 安藤大輔, 小池淳一: 日本金属学会誌, **71**(2007), 684-687.
- (7) D. Ando, J. Koike and Y. Sutou: Acta Met., **58**(2010), 4316-4324.

- (8) D. Ando, J. Koike and Y. Sutou: Mater. Sci. Eng. A, **600** (2014), 145-152.
- (9) 小池淳一, 宮村剛夫: 軽金属, **54**(2004), 460-464.
- (10) K. Kubota, M. Mabuchi and K. Higashi: J. Mater. Sci., **34** (1999), 2255-2262.
- (11) A. Yamashita, Z. Horita and T. G. Langdon: Mater. Sci. Eng. A, **300**(2001), 142-147.
- (12) S. Sandlöbes, S. Zaeferrer, I. Schestakow, S. Yi and R. Gonzalez-Martinez: Acta Mater., **59**(2011), 429-439.
- (13) J. P. Hadorn, K. Hantzsche, S. Yi, J. Bohlen, D. Letzig, J. A. Wollmershauser and S. R. Agnew: Metall. Mat. Trans., **43A** (2012), 1347-1362.
- (14) D. Griffiths: Mater. Sci. Technol., **31**(2015), 10-24.
- (15) F. E. Hauser, P. R. Landon and I. E. Dorn: Trans. ASM, **50** (1958), 856-883.
- (16) B. J. Beaudry and A. H. Daane: J. Less-Common. Met., **18** (1969), 305-308.
- (17) D. Ando, Y. Ogawa, T. Suzuki, Y. Sutou and J. Koike: Mater. Lett., **161**(2015), 5-8.
- (18) 小川由希子, 安藤大輔, 須藤祐司, 小池淳一: 日本金属学会誌, **80**(2016), 171-175.



安藤大輔

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

2011年 3月 東北大学大学院工学研究科博士課程修了

2011年 4月 現職

2015年 9月-2016年 8月

カナダ・プリティッシュコロロンビア大学  
客員教授(助教)

専門分野: Mg 合金の変形・破壊挙動および新規合金  
開発

◎Mg 合金の変形・破壊挙動における変形双晶の役割  
の解明に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



# SAE2016 World Congress and Exhibition 開催報告

(2016年4月12日～4月14日)

新日鐵住金株式会社 技術開発本部  
大分技術研究部；主任研究員

首藤 洋志

2016年4月12日から14日までの3日間、アメリカ合衆国ミシガン州デトロイトのCobo CenterでSAE 2016 World Congress and Exhibitionが開催された。当会はSAE Internationalによって毎年デトロイトで開催され、自動車メーカーや自動車部品メーカー、大学研究機関などから10,000人以上が参加する。参加者の目的は情報収集や企業の宣伝、未来の自動車技術についての議論など多岐に渡る。筆者の目的は熱延高強度鋼板の新商品の疲労特性向上メカニズムについて情報発信することである。

デトロイトはかつて自動車産業で栄えたが、2013年に財政破綻し、現在の人口はピーク時の半分以下となっている。事前情報として、デトロイトは治安が良くないため、市内のホテルに宿泊すると夜は出歩けないという話を聞いていた。そこで筆者は隣のディアボーン市のホテルに宿泊し、米国駐在の先輩が運転する車で約30分かけてデトロイトに通うことにした。車が無い場合は会場の近くにSAE internationalがホテルを手配してくれているため、そちらに泊まっても良いかもしれない。毎日多数の参加者がデトロイト中心部のホテルから歩いて移動していたが、特に危険は無かったようである。また、自動車に参加する場合は会場の屋上に駐車場があり\$10で利用できるが、学会初日は早々と満車になり、近隣の駐車場を\$20で利用する羽目になった。車で参加される際には学会初日は開催40分前に会場に到着しておくことをお勧めする。

当会のイベントはTechnical Sessions, Management Program, Business Meeting, Career Fair, Tech Hub, Exhibitionに大別される。このうち技術講演が行われるTechnical Sessionsは更にBody/Chassis/Safety/Structure, Electronics, Emissions/Environment/Sustainability, Integrated Design & Manufacturing, Management & Marketplace, Materials, Propulsion/Powertrainの6分野から構成される。初日はTechnical Sessionsの中のMaterialsで行われる講演を聴講することにした。鉄の分野では引張強度980 MPa級の商品の特性についての報告が多かった。鉄以外では炭素系複合材料の講演件数が多く、鉄、アルミニウム、マグネシウム、炭素系複合材料等の素材間競争は年々熾烈になっている。鉄鋼メーカーの研究者としては、鉄の長所を追求し、その成果を情報発信していく姿勢が今後ますます重要であると認識した。講演間の休み時間には企業の展示を見て回る時間が設けられていた。車の環境性能のアピールや、車と通信が融合したConnected Carについての展示が多かった。今後通信技術と人工知能が発達し、自動運転が実用化された場合に自動車はどう変化するのか？その時素材に必要なとされる特性は何か？といったことを考えさせられる良い機会であったと思う。

2日目は講演を聴講すると共に、“Improvement of Fatigue Properties of Precipitation Hardening Steels”の題名で

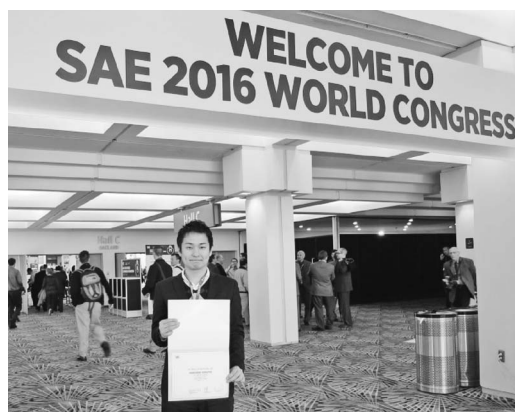


図1 講演者全員に証明書が授与される。



図2 ウィンザーから見たデトロイト。中央からやや左下のガラス張りの建物がCobo Center。

熱延高強度鋼板の疲労特性についての講演を行った(図1)。事前練習の甲斐あって講演自体は滞り無く終了したが、質疑の時間では幾つか聞き取れない質問があった。座長の助けを借りて何とか回答したものの、英語の基礎力をつける必要があると痛感した。質問の内容としては、聴衆に自動車メーカーが多かったからか、疲労特性向上メカニズムよりも成分や疲労以外の特性など新商品そのものに関するものが多かった。開発した新商品に興味を持って頂くという目的は十分に達成できたと思う。また、休み時間中に米国鉄鋼メーカーの技術者と熱延鋼板の高強度化について議論する機会もあり、大変有意義であった。

3日目は聴講の合間にカナダへ渡ることにした。デトロイトは川を挟んでカナダのウィンザーと向かい合っており、トンネルでつながっている。路線バスでそのトンネルをくぐれば、ウィンザーへ出国してすぐにデトロイトへ戻ることができる。ウィンザーから見るデトロイトは、高層ビルが川に映えとても美しかった(図2)。しかしその後、滞在時間が短かったためかデトロイト側の入国管理局員に怪しまれ、しばらく捕まってしまった。帰りの航空券をホテルに置いて来てしまったため、翌日日本に帰るということを証明できなかったことも一因のようである。今後は帰りの航空券のコピーを持ち歩くことを決意してデトロイトに戻り、残りの講演を聴講した。

今回初参加したSAE World Congress and Exhibitionであるが、参加者の裾野が広いためか、金属学会講演大会に比べると、学術的な深みが足りない講演が多かったように思う。一方で、競合他社の動きや自動車業界全体の流れを知り、新しい視点を獲得するにはとても良い会であった。この視点を、今後の研究開発に活用していきたい。

(2016年6月6日受理[doi:10.2320/materia.55.382])

(連絡先：〒293-8511 富津市新富20-1)



# The 5th International Symposium on Advanced Microscopy and Theoretical Calculations (AMTC5) 開催報告 (2016年5月11日～5月13日)

(一財) ファインセラミックスセンター  
ナノ構造研究所；主任研究員 加藤 丈晴

標記国際シンポジウムが、2016年5月11日～13日に名古屋にて開催された。本シンポジウムは、財団法人ファインセラミックスセンター(JFCC)内において、ナノ構造研究所が2007年に開所したことを記念して開催され、愛知万博の理念を継承し、JFCC ナノ構造研究所の主催で行われている。また、本シンポジウムは、文部科学省科研費新学術領域「ナノ構造情報のフロンティア開拓-材料科学の新展開」の共催、中部経済連合会、経済産業省、愛知県、名古屋市、地球産業文化研究所などの後援、日本金属学会、日本セラミックス協会、日本顕微鏡学会など各学協会の協賛を得て開催された。対象とするテーマは、セラミックス、金属、半導体、有機など材料・物質のナノ構造解析、理論計算の最新技術、また、これらと関連する材料研究についての最新成果である。本シンポジウムは、各分野の最高水準の研究者を世界各国から招聘するとともに、関連研究者および技術者の発表・参加を通して、材料科学、産業、地球環境の保護、社会の持続的発展に寄与することを目的とし、2008年の第1回から隔年で開催しており、今回が第5回目の開催となる。今回は名古屋市のウィングあいちで開催した。本シンポジウムは、招待講演による口頭発表(図1)ならびに一般のポスター発表から構成されており、今回は22件の招待者(海外9件、国内13件)による発表、また、98件のポスター発表がなされた。なお、ポスター発表に関しては「最新のTEM, STEMによる材料観察」、「環境TEM およびその場観察TEM」、「モデリング・シミュレーション」、「材料科学のフロンティア」、「電子線ホログラフィーと位相イメージング」の5つのセッションに分けられた。会議は8ヶ国から236名の参加者が集まり盛況な会議となった。会議全体のプログラムなどについては、ホームページ(<http://amtc5.com/>)を参照されたい。また、本会議の全ての発表論文はJFCCが発行する国際ジャーナル、AMTC Letters Vol.5(2016)に掲載されているので是非参照して頂きたい。

会議初日は、Peter D. Nellist(Univ. of Oxford)、柴田直哉(東京大学)、Robert F. Klie(University of Illinois)、小林俊介(JFCC)、Peter A. Crozier(Arizona State Univ.)による収差補正走査透過電子顕微鏡(Cs-STEM)に関する5件の最新の研究報告と、川崎忠寛(JFCC)、Haimei Zheng(Lawrence Berkeley National Laboratory)、大島義文(北陸先端科学技術大学院大学)による3件のその場観察技術に関する講演があった。二日目午前は、R. E. Cohen(Carnegie Institution for Science)、寺倉清之(NIMS)、森分博紀(JFCC)、大場史

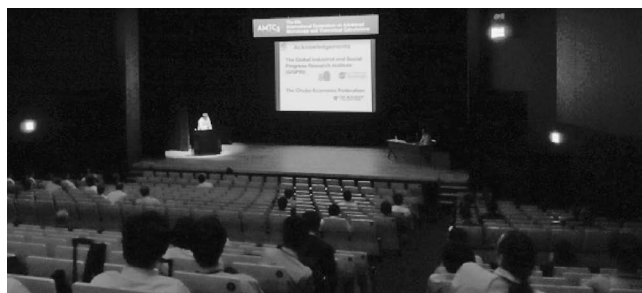


図1 口頭発表会場。



図2 ポスター発表会場。



図3 招待講演者と主催者の集合写真。

康(東京工業大学)、溝口照康(東京大学)により5件の第一原理計算による材料設計に関連する講演と、午後は、Feng Wang (Brookhaven National Laboratory)、川原浩一(JFCC)、金子賢治(九州大学)、加藤丈晴(JFCC)による先進的な材料解析例について4件の報告があった。会議最終日である三日目は、Marco Beleggia(Technical Univ. of Denmark)、谷垣俊明(日立製作所)、Myung-Geun Han(Brookhaven National Laboratory)、David Cooper(Univ. Grenoble Alpes)、山本和生(JFCC)による電子線ホログラフィーに関する5件の講演を行い、会議を締めくくった。

一方、ポスターセッションは初日と二日目の二日間にわたり、十分な時間をとって行われ、各ポスターで招待講演者を変え、最新の研究成果に関して活発な議論が展開されており、本分野のアクティビティの高さを実感した(図2)。図3は招待者と主催者の集合写真である。なお、次回のAMTC6シンポジウムも、2018年に名古屋にて開催予定である。

(2016年6月1日受理[doi:10.2320/materia.55.383])  
(連絡先：〒456-8587 名古屋市熱田区六野二丁目4-1)

# 本 会 記 事

会 告	2016年秋期(第159回)講演大会ご案内と参加申込み	384
	2016年秋期(第159回)講演大会会場周辺のご案内	385
	2016年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	386
	第2回ランチョンセミナー開催のお知らせ	386
	日本金属学会・日本鉄鋼協会女性会員のつどいのご案内	386
	平成28年度秋季全国大学材料関係教室協議会講演会のご案内	386
	第14回 World Materials Day Award 募集	387
	研究集会	387
	2017年春期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集	387
	金属学会シンポジウム	388
	電子ジャーナル機関購読のご案内	388
	金属学会「研究会」新規・更新申請募集	388
	永年会員制度について	388
	会報編集委員会からのお知らせ	389
	次期分科会および講演大会委員候補者の推薦のお願い	389
	第40回技術開発賞募集	391
	第67回金属組織写真賞作品募集	392
支部行事	次号予告	390 398
企業求人情報	行事カレンダー	393 399
掲示板	新入会員	393 403
会誌・欧文誌8号目次	追悼	397 403

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

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

- ・会告原稿締切: 毎月1日で、翌月号掲載です。
- ・掲示板や行事のご案内は、ホームページにも掲載しております。

- ・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。
- ・オンラインジャーナルの発行や行事のご案内等の本会からのお知らせ mail の受信をご希望される方は、[会員マイページ](#) → [会員情報の変更届](#) にて手続きして下さい。

## 会 告 (ホームページもご参照下さい)

## 2016年秋期(第159回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期: 2016年9月21日(水)～9月23日(金)

会 場: 大阪大学豊中キャンパス(〒560-8531 豊中市待兼山町 1-1)

懇親会: 2016年9月21日(水) 18:30～20:30

懇親会会場: 阪急エキスポパーク

大会参加予約申込締切: 2016年8月19日(金)

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

### 参加申込要領

[インターネットによる事前の大会参加申込みおよび懇親会参加の申込み](#): <登録期間> 6月13日(月)13:00～8月19日(金)17:00

大会参加申込み URL <http://www.jim.or.jp/convention/2016autumn/>

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20日以降は当日申込となりますので会場受付にて直接お申込下さい。

### ◆大会参加費(講演概要集 DVD 代含む) ※年会費とは異なります。

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

予約申込締切日	申込および入金期日: 8月19日(金)	
会員資格	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (大会会場受付・現金払いのみ)
正員・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

・お支払後の取消は、ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

\* [学生員](#): 会員種別に相違がある場合、事前にホームページ上で会員種別の変更手続きを行ってから、講演大会参加をお申込下さい。



## ◆懇親会費(消費税込み)

予約申込締切日	申込および入金期日：8月19日(金)	
	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)
一般	8,000円	10,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	5,000円	5,000円

• お支払後の取消は、ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

## ◆支払方法

クレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けます。入金後のご返金はいたしかねます。  
8月19日(金)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「2016年秋期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」とし、①申込者氏名②会員資格(会員番号も併記)③申込数④住所をご記入の上、  
E-mail: [ordering@jim.or.jp](mailto:ordering@jim.or.jp) 宛にお申込み下さい。9月7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 1-14-32

(公社)日本金属学会 講演大会係 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: [annualm@jim.or.jp](mailto:annualm@jim.or.jp)

## 2016年秋期(第159回)講演大会会場周辺のご案内

2016年秋期講演大会 実行委員長 掛下知行

今年の秋期講演大会は、9月21日(水)から9月23日(金)までの3日間にわたり、日本鉄鋼協会と合同で大阪大学豊中キャンパスにて開催されます。大阪大学では2002年秋期(第131回)講演大会以来14年ぶりの開催となります。大阪大学は11学部、16の研究科、5つの研究所および12の研究センターなどからなる総合大学で、吹田、箕面および豊中の3つのキャンパスにおいて教育と研究が行われています。今回の会場となる豊中キャンパスでは、国立大学で最大規模をはこる学部学生が入学から1年半、ともに学ぶ共通教育が実施されるため、他のキャンパスに比べ、1年生が多くフレッシュな雰囲気を感じられます。今回の秋期講演大会では、講演会場を共通教育が実施される全学教育講義棟に集約しているため講演会場間の移動が便利になっております。また、鉄鋼協会の講演会場も同講義棟に配置されるため相互聴講も容易です。

豊中キャンパスがある豊中市近郊は阪急電鉄、北大阪急行電鉄、地下鉄、モノレールなど公共交通網が比較的良好に整備されており、大阪市中心部からは地下鉄御堂筋線(途中、江坂駅にて北大阪急行電鉄に接続)にご乗車後、新大阪駅を経て終点千里中央駅で大阪モノレールに乗り換えますと、豊中キャンパス最寄の柴原駅まで6分程度で到着します。同駅から豊中キャンパス正門を経て会場まで徒歩で10分程度です。阪急電車では、梅田駅から宝塚線を利用すると、最寄りの石橋駅まで約20分、阪大坂、石橋門を経て会場まで徒歩約15分で到着です。また豊中キャンパスから約3kmに大阪国際空港(伊丹空港)があり、空港前からモノレールにご乗車後、柴原駅まで2駅ですので、遠方から参加される方にとってもアクセスしやすくなっております。

懇親会は日本鉄鋼協会と合同でホテル阪急エキスポパークにて催されます。講演会場から懇親会会場へのアクセスもよく、大阪モノレール柴原駅より11分で最寄りの万博記念公園駅に到着し、そこから徒歩で約5分です。また近隣には日本最大級の大型複合施設EXPOCITYがあり、講演後のひと時を楽しむこともできます。一方、自然を楽しみたい方には、石橋駅から阪急箕面線で6分の箕



豊中キャンパス正門



全学教育講義棟

面駅にある明治の森箕面国定公園がお薦めです。日本の滝百選にも選定されている落差33mもある箕面大滝を眺ながら夏の夕涼みを楽しむこともできます。大阪市内からは、京都や神戸へJRで30分程度で移動できますので、講演大会前後の日程を利用して、関西周辺の夏をお楽しみ下さい。皆様のご参加をお待ち申し上げます。

## 2016年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2016年秋期講演大会期間中、日本金属学会と日本鉄鋼協会が共同で託児室を開設いたします。利用ご希望の方は申込要領をご確認の上、下記シッター会社へ直接 E-mail にてお申込み下さい。

### ■設置期間および利用時間(開始、終了時間は予定です)

設置期間	利用時間
2016年9月20日(火)	13:00~18:30
2016年9月21日(水)	8:30~17:30
2016年9月22日(木)	8:30~17:30
2016年9月23日(金)	8:30~16:45

■場 所: 大阪大学豊中キャンパス内(お申込の方へ直接ご連絡します)

### ■対象・利用料金:

0歳~2歳 お子様1人につき 2,000円/1日

3歳 お子様1人につき 1,500円/1日

4歳~学童まで お子様1人につき 1,500円/1日

※利用時間外の場合 500円/1時間(追加料金)

※二人同時に預ける場合、二番目の子(弟もしくは妹)は半額。

利用料金は、利用当日、託児室のシッターにお支払い下さい。

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

### ■利用シッター会社:(株)ポピンズ大阪支社(託児業者)

### ■お申込方法:

- 本会ホームページにある託児室案内の「託児室利用要領」をご確認の上、「利用申込書」をダウンロードし、必要事項をご記入の上、下記問合せ先のシッター会社へメールにてお申込下さい。
- 申込の際は、件名に「秋期講演大会の託児室予約」とご記入の上、利用申込書を添付下さい。

※お申込み受領後3営業日以内に、(株)ポピンズより返信メールをお送りします。

■申込期間: 2016年8月1日(月)~9月13日(火)17:00まで  
(定員に達し次第締め切らせて頂きます)

■申込・問合せ先: (株)ポピンズ大阪支社 担当) 竹内  
☎ 06-6367-2100  
E-mail: order-osaka@poppins.co.jp

## 第2回ランチョンセミナー開催のお知らせ

前回の春期講演大会に引き続き、第2回ランチョンセミナーを開催いたします。このセミナーは、参加者の皆様に講演大会の昼食時間を利用して昼食をとって頂きながら、企業による最新の技術情報を聴講いただくことを企画いたしました。参加無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主 催 公益社団法人 日本金属学会

企 画 株式会社 明報社

日 時 2016年9月22日(木) 昼休み時間

会 場 大阪大学豊中キャンパス 全学共通教育棟 A 棟および B 棟(講演会場)

参加費: 無料 昼食を無料提供いたします。

参加企業・参加方法: 次号9号にて詳細をご案内いたします。

~ 皆様のご参加をお待ちしております!! ~

## 日本金属学会・日本鉄鋼協会 第6回女性会員のつどいのご案内

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

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

主 催 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画合同委員会

日 時 2016年9月23日(金) 12:00~13:00

会 場 大阪大学豊中キャンパス全学教育講義棟 B 棟(B306)  
(〒560-0043 豊中市待兼山町1-1)

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

参加資格 金属学会・鉄鋼協会女性参加者。学生さん、子連れも welcome ♪

参加申込 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。

持ち物 弁当、飲み物は持参をお願いします。  
この「つどい」に参加して、静かな部屋でゆっくり語り合  
いましょう♪♪♪

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



## 平成28年度秋季 全国大学材料関係教室協議会 講演会のご案内

日 時 2016年9月23日(金) 14:30~16:00

場 所 大阪大学豊中キャンパス 基礎工学部講義棟3階 B301教室

講演会 14:30~16:00

聴講料 無料

演 題

14:30~15:15 大阪大学超高压電子顕微鏡センターのご紹介と  
低温電子顕微鏡を用いた生体回転モータープロ  
トンポンプの構造解析

大阪大学超高压電顕センター教授 光岡 薫

15:15~16:00 新しい電顕技術を活かした材料研究と阪大共同  
研究講座のご紹介

大阪大学・新日鐵住金 特任教授 杉山昌章



材料系国際学協会連携組織である IOMMMS (International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies) では、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し(毎年11月の最初の水曜日)、この日に世界同時に、「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰しております。本年は、11月2日(水)に顕彰いたします。

**募集要項**

1. 対象となる活動：次の3部門で募集します。
  - 第1部門：社会における材料の重要性を示すホームページ
  - 第2部門：学園祭やキャンパスオープンデー等での該当する展示物、作品等
  - 第3部門：その他(材料教育プロジェクト、青少年対象の材料実験等)
2. 応募資格者
  - 日本在住の学部学生、修士課程大学院生(グループも可)。
3. 展示方法
  - 日本金属学会秋期講演大会(2016年9月21日～23日、大阪大学)において、応募作品を展示する。
    - ・展示場への作品の搬入および搬出は応募者が行う。
    - ・展示パネルと電源は準備しますがそれ以外の備品などは応募者各自が準備すること。
4. 審査方法
  - ・展示場で応募作品の発表を審査する。
  - ・審査の観点：材料啓発活動への寄与度、内容の新鮮さ、表現力、意欲などの個別項目を5点法で採点し総合点で審査する。

5. 授賞

- ① World Materials Day Award：最優秀作品各1名(または1グループ)
  - 賞状と副賞5万円
  - 授賞作品はTMS年次大会における展示のため英語翻訳を依頼することがある。
- ② 各部門賞：各部門1名表彰、賞状のみ。
  - 贈呈はWorld Materials Dayに受賞者の所属する機関で行う。

6. 応募要領

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

**申し込み**：下記アドレス宛にお申込下さい。返信で受理通知を送付します。

(応募様式はホームページからダウンロード下さい)

**応募期間**：2016年7月1日～8月31日

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

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

研究集会

研究会 No. 69

第4回エレクトロニクス薄膜材料研究会  
 「電子・情報・エネルギー素子と機能材料の最近の研究(4)」

低炭素化社会の為に次世代電子・情報・エネルギー素子として、従来の半導体材料及びプロセスに踏襲されない革新的機能を有する電子デバイスが要求されている。本研究会では、革新的機能を有する電子デバイスに繋がる新たなエレクトロニクス材料について検討する。

日時 2016年9月22日(木) 17:00～19:00  
 場所 大阪大学豊中キャンパス 日本金属学会2016年秋期講演大会会場(〒560-0043 豊中市待兼山町)

プログラム

- 17:00～17:40 GaAs中のEr発光中心とフォトリック結晶光ナノ共振器との相互作用  
 阪大学院工マテリアル生産科学 助教 児島貴徳
- 17:40～18:20 次世代パワーエレクトロニクスにおける焼結接合を用いた高耐熱実装技術  
 阪大産科研 准教授 長尾至成
- 18:20～19:00 ナノ構造を用いた熱電特性制御とSi系熱電材料開発  
 阪大学院基礎工システム創成電子光科学領域 教授 中村芳明

企画責任者 兵庫県立大 院工 松尾直人  
 参加費 無料  
 申込・問合せ 9月11日(金)までにFAXまたはE-mailにて氏名・所属・電話番号を明記してお申込み下さい。  
 〒671-2280 姫路市書写2167 兵庫県立大学大学院  
 工学研究科 材料・放射光工学専攻 松尾直人  
 FAX 079-267-4907  
 E-mail: nmatsuo@eng.u-hyogo.ac.jp

2017年春期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集

提案期限：2016年9月1日(木) 期日厳守

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

詳細 までりあ55巻7号344頁 or ホームページ → 講演大会

**【実施要領】**

- ・境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。
- ・一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイデアによる提案を期待する。
- ・これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。ただし一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。
- ・採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。

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

- ①企画責任者は会員であること。  
 テーマ責任者名称：企画責任者(シンポジウム chair)、  
 テーマ責任者(シンポジウム co-chair)
- ②テーマ責任者は複数テーマを兼務しないこと。
- ③テーマ責任者は、講演大会委員会に出席し、提案書の説明を行っていただく(代理者可)。

チタン合金の研究・開発最前線2016

日時 2016年9月12日(月) 9:15~16:35

場所 大阪大学中之島センター講義室507  
(〒530-0005 大阪市北区中之島4-3-53)

募集定員 60名

事前申込締切 2016年9月1日(木)着信

詳細 までりあ7号347頁または本会ホームページの「シンポジウム」

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

(公社)日本金属学会 シンポジウム参加係

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

プログラム

- 9:15~9:20 挨拶
- 9:20~10:00 (1) チタン製造の歴史と最近の話題  
日本チタン協会 伊藤喜昌
- 10:00~10:40 (2) 電子レベルからのチタン合金の評価と設計  
豊田理化学研究所 森永正彦  
—休憩—
- 10:50~11:30 (3) 産業用チタン合金の準安定組織を利用した組織制御と熱間加工・材質予測  
香川大学 松本洋明
- 11:30~12:10 (4) チタン合金の組織と超弾性特性  
筑波大学 金 熙榮  
—昼食—
- 13:40~14:20 (5) チタン合金の組織制御による機能化  
新日鐵住金 國枝知徳
- 14:20~15:00 (6) 快削性チタン合金の開発  
神戸製鋼所 逸見義男  
—休憩—
- 15:10~15:50 (7) チタン合金の摩擦攪拌接合技術  
大阪大学 藤井英俊
- 15:50~16:30 (8) チタン合金を利用した製品開発  
丸エム製作所 山中 茂
- 16:30~16:35 挨拶
- (演題は変更になる場合がございます。各講義には5分程度の質疑応答時間を含む)

電子ジャーナル機関購読のご案内

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

対象誌 日本金属学会誌, Materials Transactions

年間購読料金 別途お知らせいたします。お問合せ下さい。

対象期間 大学類, 独立行政法人, 企業等

問合せ先 〒105-0022 東京都港区海岸1-9-18 国際浜松町ビル

丸善雄松堂株式会社 学術情報ソリューション事業部

外国雑誌・eリソースセンター

☎ 03-6367-6114 FAX 03-6367-6184

E-mail: epro-j@maruzen.co.jp



公益社団法人日本金属学会  
「研究会」新規・更新申請募集

研究会の登録を希望される方は研究会実施要領および下記規則をご参照の上、お申込下さい。新規申請の研究会は新規申請用紙、継続延長申請の研究会は継続更新申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい)

申請締切: 2016年9月1日(木)

【実施要領】

研究会の目的: 研究会は先端領域又は学術領域における研究会を効果的に推進するために活動することを目的とする。

- (1) 年間運営費: 100,000円
- (2) 活動期間: 新規申請の場合 1期5年間以内, 継続更新の場合は, 延長期間1期3年以内。最長活動期間は2期8年以内
- (3) 新規申請書の内容: ①研究会名称, ②活動目的, ③活動期間, ④代表世話人, ⑤世話人(複数可), ⑥構成員名簿
- (4) 継続更新申請書の内容: ①研究会名称, ②継続理由, ③延長期間, ④代表世話人, ⑤世話人, ⑥構成員, ⑦これまでの成果報告, ⑧今後の活動計画書
- (5) 年間採択数: 新規2件以内, 継続(延長)申請は2件以内
- (6) 研究会の審査: 分科会企画委員会で1次審査をし, 理事会で最終審査を行う。
- (7) 審査基準:
  - 学術貢献出来る研究会が望ましい。
  - 類似の研究会に属しない。
  - 構成員は適切か。
  - そのテーマの研究会が必要か。
  - 本会の講演大会公募シンポジウムや金属学会シンポジウムの開催が望ましい。
- (8) 現在活動中の研究会の留意事項
  - 2017年2月に終了する研究会で, 過去に継続(延長)の申請をしている研究会は, 現在の活動期間で終了となります。
  - 2017年2月に終了する研究会で, これまで継続(延長)の申請をしていない研究会は, 1期3年の継続(延長)の申請が出来ます。ただし, 研究会の審査により2件以内の採択となります。
- (9) 申請書送付先: 下記宛 E-mail で送付下さい。2, 3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。
- (10) 問合・照会先: E-mail: gaffair@jim.or.jp

☎ 022-223-3685

(公社)日本金属学会 研究会係

永年会員制度について

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

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

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

受付締切 毎年9月30日

永年会員資格付与 毎年1月1日

問合先 (公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

E-mail: member@jim.or.jp

まてりあ「プロジェクト報告」企画公募

特定領域研究新学術領域研究，学術研究，戦略的創造研究など，これまで公的資金補助によるプロジェクト研究が行われているが，その研究成果は一部の関係者に資料配布されるに留まっているのが現状である．その成果を多くの研究者が目を通す会報「まてりあ」にまとめて掲載しませんか．

「まてりあ」には，有料で掲載できる「プロジェクト報告」というカテゴリがあり，通年応募を受け付けております．下記参照の上，奮ってご応募下さい．

- 種別名称** プロジェクト報告
- 主 旨** 公的資金を得ているプロジェクトの最終研究成果を有料掲載する．
- 応募期間** 通年とする．
- 応募資格** 企画提案者および執筆者に本会会員2名以上が含まれていることを要する．
- 提出書類** 企画書(プロジェクト名，責任者名，企画趣旨，希望号，企画主題，記事種別・題目・執筆者・執筆頁・執筆のねらい，責任者連絡先)を提出する．
- 企画内容** プロジェクト紹介(1頁)，解説，最近の研究，トピックス記事スタイルの組み合わせとする．
- 解 説** 新しい特定の問題を取り上げて，専門外の会員にも分かるように記述する．  
さらに勉強しようとする人のために参考となる文献も示しておく．
- 最近の研究** 最近の重要な研究のうち，比較的せまい範囲のテーマを取り上げて，国内外の最近の研究を紹介する．  
各分野の現状，現在の問題点などを取り上げて，総合的に分かり易く記述したもので，その分野の研究を進める上で参考となる内容とする．
- トピックス** 最近の情報を手短かに紹介するもので，話題は限定しない．
- 企画決定** 会報編集委員会で採否の決定を行う．
- 費用負担** 1頁：28,000円
- 企画総頁** 35頁以内
- 著作権** 日本金属学会に帰属する．
- 査 読** 会報編集委員会が行う．論文毎の複数名査読候補者を含めた企画書を提出してもらい一括して審議する．
- 執筆依頼** 特集関係の執筆依頼方法と同じ方法で事務局が行う．
- 執筆方法** 「まてりあ」執筆要項に準じる．
- 送付・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 会報編集委員会  
☎ 022-223-3685 E-mail: materia@jim.or.jp

2017，2018年度分科会および講演大会委員候補者の推薦のお願い

分科会および講演大会委員は明年4月の定時社員総会日が交替時期となっており，学会活動の一層の活性化を図るため，各界から積極的にご協力いただける気鋭の人材を求めています．以下の要領で次期分科会委員(=講演大会委員)候補者の推薦を募集いたします．

**分科会および講演大会委員選出** 委嘱により約70名程度を選出します．

分科会および講演大会委員会の業務は次の分科に分類して執行します．

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

分科会および講演大会委員会の組織の構成員

- (1) 委員長 1名
- (2) 副委員長 1名
- (3) 各分科(分野)の委員長 1名
- (4) 各分科(分野)の副委員長 1名
- (5) 各分科(分野)の幹事 数名
- (6) 各分科(分野)の委員 数名
- (7) その他理事会の決議による構成員 数名

**委員候補者の資格** 金属学会会員で2017年5月末時点で39歳以下の方

**推薦資格** 分科会委員または2名以上の正員の連名による推薦(自薦も可)．自薦の場合も，上記の推薦者は必要です．

**推薦用紙記入方法**

所定の推薦用紙で以下の①～⑤を明記の上，金属学会事務局宛(下記メール宛)にお送り下さい．

推薦された方は，分科会企画委員会において次期分科会委員候補者として検討いたします．**推薦用紙**はホームページよりダウンロード出来ます．

- ①候補者氏名②生年月日③専門分科(分科別)④勤務先・職名⑤連絡先住所・電話・E-mail

**候補者推薦締切** 2016年9月1日(木)

註：支部による推薦および地区別委員定数を廃止しました．選挙による委員の選出は廃止し，分科会企画委員会において委員を選出することになりました．

**問合せ・送付先** 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32  
(公社)日本金属学会 分科会担当係  
☎ 022-223-3685  
E-mail: stevent@jim.or.jp

## 支部行事

### 東海支部

#### 本多光太郎記念講演会開催のお知らせ

〔共催〕 公益財団法人 本多記念会  
〔協賛〕 一般社団法人 日本鉄鋼協会東海支部

日時 2016年9月29日(木) 15:00~16:30  
場所 名古屋工業大学 2号館1階 0211講義室  
名古屋市中区御器所町  
(<http://www.nitech.ac.jp/access/index.html>)

プログラム 希少元素を使わない永久磁石材料  
物質・材料研究機構フェロー、磁性・スピントロニクス材料研究拠点長 宝野和博

参加費 無料

定員 100名

参加申込方法 9月23日(金)までに下記 E-mail にてお申し込み下さい(当日受付可)。

問合せ先 日本金属学会・日本鉄鋼協会 東海支部  
事務局 松永憲一  
☎ 052-789-3372  
E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp

### 関西支部

#### 平成28年度材料セミナーのご案内

テーマ1 「技術者のための鉄鋼材料入門」

日時 2016年10月19日(水) 9:30~17:30  
場所 (一財)大阪科学技術センター 404号室 (大阪市西区靱本町1-8-4)

プログラム

9:30~11:30 【講 義】 鉄鋼材料基礎 ~鉄鋼材料の魅力とその科学 (京大 辻先生)  
12:45~14:45 【講 義】 鉄鋼材料の力学特性 ~変形の基礎と高強度鋼 (千葉工大 寺田先生)  
15:00~17:00 【講 義】 鉄鋼の熱処理と相変態 ~拡散変態とマルテンサイト変態 (京大 柴田先生)

17:00~17:30 【質疑・応答】

募集人員 55名

参加費用 会員20,000円, 非会員30,000円, 学生2,000円(テキスト代・消費税込み)

テーマ2 「金属材料の腐食損傷の基礎とその評価」

日時 2016年11月7日(月) 10:00~17:00  
8日(火) 9:30~17:00

場所 大阪大学大学院工学研究科 材料開発・物性記念館(R4棟) 2階研修室(吹田市山田丘2-1)

プログラム

【11月7日(月)】

10:00~12:00 【講 義】 水溶液腐食の基礎 (阪大 藤本先生)

13:00~14:30 【講 義】 電気化学測定の基礎 (阪大 土谷先生)

14:30~17:00 【実 習 1】 基本的な電気化学測定 (阪大 藤本先生, 土谷先生, 宮部先生)

【11月8日(火)】

9:30~11:30 【講 義】 金属材料の腐食損傷の評価法 (関西大 春名先生)

12:30~15:00 【実 習 2】 孔食電位の測定 (阪大 土谷先生, 宮部先生)

15:00~16:30 【講義・演習】 材料損傷データの確率・統計処理 (阪大 藤本先生)

16:30~17:00 【質疑・応答】 講師全員

募集人員 18名

参加費用 会員30,000円, 非会員40,000円, 学生3,000円(テキスト代・消費税込み)

テーマ3 「透過型電子顕微鏡(TEM)による微細組織解析の基礎と応用」

日時 2016年11月24日(木)~25日(金) 10:00~16:30(両日)

場所 大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス 工学部 B5棟 3階 3B-34号室(堺市中区学園町1-1)

プログラム

【11月24日(木)】

10:00~12:00 【講 義】 透過型電子顕微鏡の仕組みと電子線回折と結像の基礎

13:00~16:30 【実 習 1】

課題1: 金属・鉄鋼材料の組織観察

課題2: 高分解能 TEM/STEM 観察および EDX 組成分析

【11月25日(金)】

10:00~12:00 【講 義】 高分解能 TEM/STEM 法の基礎と応用

13:00~16:30 【実 習 1】

課題1: 金属・鉄鋼材料の組織観察

課題2: 高分解能 TEM/STEM 観察および EDX 組成分析

(注: 実習は2班に分かれ, 1日と2日で課題を入れ換えて行います)

募集人員 12名

参加費用 会員30,000円, 非会員40,000円, 学生3,000円(テキスト代・消費税込み)

詳細および申込書は, 本会ホームページ → 支部行事 をご参照下さい。

申込・問合せ先

〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4

(一財)大阪科学技術センター ニューマテリアルセンター内

(一社)日本鉄鋼協会 (公社)日本金属学会関西支部 材料セミナー係

☎ 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310

E-mail: n-kansai@ostec.or.jp



## 第40回公益社団法人日本金属学会技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2016年10月31日(月)

### [本賞の趣旨]

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

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

### 技術開発賞募集要綱

#### 1. 賞の名称 第40回公益社団法人日本金属学会技術開発賞

#### 2. 対象となる業績と区分など

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

#### 3. 応募者の条件

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

#### 4. 選考

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

#### 5. 授賞

- 2017年6月末日までに受賞者を内定する。
- 2017年秋期講演大会において授賞する。
- 受賞者には賞状(全員)と副賞(1賞牌)が贈呈される。

#### 6. 技術開発賞受賞記念講演

技術開発賞受賞をより意義深いものとするため、受賞記念講演をお願いする。

第40回の受賞記念講演は、2017年秋期講演大会(北海道大学、9月予定)の折りに行います。

#### 7. 受賞決定までの流れ

応募(10月31日締切) → 査読 → まてりあ掲載(56巻(2017年)1号から) → 選考・受賞決定(2017年6月) → 授賞(2017年9月)

### まてりあ「新技術・新製品」記事への応募の方法

#### 1. 応募・原稿締切

- 2016年10月31日(月)
- 申し込み受理順を参考に会報「まてりあ」に第1号から第3号まで掲載する。

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

掲載記事が技術開発賞の選考対象となる。

掲載が決まった場合には、240,000円(前維持員会社社員の場合は210,000円)の投稿料を納入すること。

ただし、掲載号1冊、掲載記事のPDFファイル、別刷100部を無料とする。

#### 3. 応募記事の記述に当たっては、次の各項に留意されたい。

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

#### 4. 原稿作成について

- 原稿は本文、図(写真)および表を含めて刷り上がり3頁以内(約6,700字)とする。
- 原稿は図・表の説明を含めて全て日本語とする。物理量の単位はなるべくSI単位系による。
- 原稿はレイアウトの体裁にあわせて作成する。
- 応募はホームページからできます。  
ホームページから直接入力→印刷(2枚目最後に要署名)→原稿と一緒に提出→事務局確認→受付完了。  
図表、レイアウトを別にして作成し、電子ファイルを送信する。

① レイアウト用紙(ホームページよりダウンロードして下さい)

② 図(写真)・表

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

・写真にはスケールを入れる。

・それぞれキャプションを付すること。

(記述は横軸・縦軸・説明も含めすべて日本語とする。)

・カラー原稿にはカラー印刷の有無を必ず明記する。

・カラー印刷は刷り1頁：35,000円を著者が負担する。

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

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

#### 7. 提出資料

① 応募表紙(署名を記入すること)

**応募表紙はホームページ\*から直接入力作成できます。**

応募表紙はプリントアウトし、自署にてご署名下さい。(プリンターでB4→A4に縮小印刷して下さい)

② レイアウトされた原稿

③ 本文テキスト

④ 図表原稿

◎①～④のデータファイル(電子mail添付可)

\* ホームページ表彰関係→技術開発賞募集→応募表紙(入力)→プリントアウト(署名)→原稿と一緒に送信して下さい。

問合先 (公社)日本金属学会各賞係

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

「新技術・新製品」記事の問合・送信先

まてりあ係 E-mail: materia@jim.or.jp

Web 申込になりました！！

～とっておきの作品を是非ご応募下さい～

光学顕微鏡写真だけでも応募できます

応募期間：2016年8月1日(月)～10月20日(木)

1. 募集部門

下記4部門で行っております。

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

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

「写真賞部門」

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

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

2. 申込要領

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

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

【申込フォーム】

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

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

【写真作品】

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

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 金属組織写真賞係

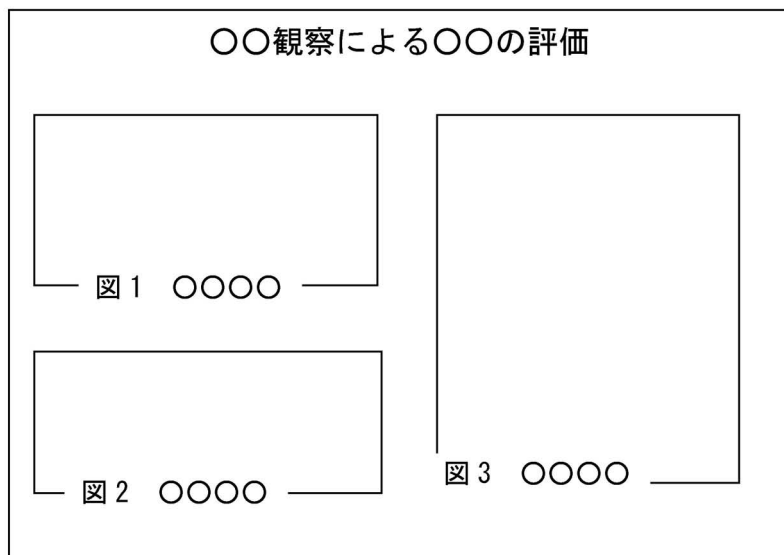
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: gaffair@jim.or.jp

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

【作成例】写真解像度：A2版サイズを前提に400dpi以上  
(写真見本)

(申込フォーム：入力項目)



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



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

**IMRA**  
 イムラ・ジャパン株式会社 研究員 公募

**会社概要** イムラ・ジャパン株式会社は、アイシングループの研究施設です。自動車部品メーカーの研究施設ですが、研究内容は自動車に限りません。「人類の未来に貢献する」ワクワクするテーマを研究する会社です。

**公募人員** 研究員 1名

**所属** イムラ・ジャパン株式会社

**勤務地住所** 北海道札幌市厚別区下野幌テクノパーク 2丁目3番6号

**募集内容** 固体物理、半導体物理等に明るく、薄膜を用いたデバイス等の研究開発に取り組んでいただける方を募集します。また、このデバイスとは別に、ご自身で暖めている研究テーマに取り組み、商品を生世の中に出したいと思っている方も歓迎します。

**任期** 1~3年(有期雇用。3年経過後の正社員(無期)登用制度あり。)

**応募資格** 固体物理・半導体物理等の分野の修士、博士の学位を有する方。(同等以上の知識経験のある方は学士でも可)学会等で発表/論文投稿経験のある方。国籍は問いません。英語が話せれば、日本語の能力も問いません。

**着任時期** 2016年8月以降(ただし、着任日については、面接時に要相談)

**公募締切** 2016年10月20日(水)(ただし、採用者が決定次第公募終了)

**応募方法** (書類送付先も含む)弊社ホームページ(下記 URL)よりご応募下さい。  
<http://www.imra-japan.com/career/index.html>

**選考内容** 【特任研究員1：固体物理、半導体物理が関係する分野】ホームページからメールでご登録頂いた情報を元に書類選考を実施の上、書類通過者にはメールで面接の案内をお送りします。面接は原則1回となりますが、面接官の都合により2回以上になる可能性もございます。選考結果につきましては全てメールにてご連絡致します。

**問い合わせ** イムラ・ジャパン株式会社 総務企画グループ  
 小林雅史  
 E-mail: info@imra-japan.com  
 ☎ 011-898-7412

◇三菱マテリアル株式会社 中央研究所 研究員 公募◇

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

**公募人員** 研究員 1名

**所属** 中央研究所 金属材料研究部

**勤務地住所** 埼玉県北本市下石戸上1975-2

(最寄駅：JR 高崎線 桶川駅)

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

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

**着任時期** 面接時に要相談

**公募締切** 2016年9月30日(金)(但し、採用者が決定次第終了させていただきます)

**応募方法** 以下の電子メールアドレスに履歴書、職務経歴書を添付の上、ご応募下さい。ml-skinzoku@mmc.co.jp

**選考方法** お送り頂いた書類をもとに書類選考します。書類選考合格の方については、面接、筆記試験、適性検査(Web)をさせていただきます。面接は、2~3回を予定しています。選考結果についてはすべてメールにてご連絡します。

**問合せ先** 三菱マテリアル株式会社 人事部採用グループ  
 E-mail: ml-skinzoku@mmc.co.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mailとFAX(要受け取りmailの確認)  
 ・原稿送信先：FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

◇東北大学 多元物質科学研究所 助教 募集◇

**募集人員** 助教 1名

**所属** 多元物質科学研究所

**専門分野** 電気化学、素材プロセス、エネルギー材料、マテリアル工学等

**研究内容** 蓄電・発電システムの材料・デバイス研究

**応募資格** 博士の学位を有する者、または着任までに取得予定の者

**着任時期** 2017年4月1日以降、できるだけ早く

**提出書類** 履歴書および発表論文リスト

**応募締切** 2017年1月6日(金)

**書類送付・問合せ先**

〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

東北大学 多元物質科学研究所 本間 格

☎ 022-217-5815 E-mail: i.honma@tagen.tohoku.ac.jp

◇東北大学金属材料研究所  
原子力に関わる材料科学分野 教授 公募◇

公募人員 教授 1名

(東北大学は、男女共同参画を推進しています。子育て支援の詳細等、男女共同参画の取り組みについては下記 URL をご覧下さい。 URL: <http://www.bureau.tohoku.ac.jp/danjyo/>)

所 属 原子力に関わる材料科学を担う部門

研究分野 広範な材料科学および物質科学の視点を取り入れて、原子力材料工学研究に意欲的に取り組める方。詳細は下記 URL をご覧下さい。

URL: [http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op/0701\\_nuclear\\_%20materials\\_engineering.pdf](http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op/0701_nuclear_%20materials_engineering.pdf)

公募資格 博士の学位を有する方

着任時期 決定後なるべく早い時期

任 期 なし

公募締切 2016年10月31日(月)必着

提出書類

- (1) 履歴書(写真貼付)
- (2) 研究業績リスト(原著論文、国際会議の発表・プロシーディング、著書、特許、競争的資金獲得状況、論文引用データ等)、論文データベース個人 ID(例えば ResearcherID)があればリストの初めに記載。
- (3) 主要論文別刷10編(コピー可)
- (4) これまでの研究概要(2,000字程度)
- (5) 着任後の研究計画(2,000字程度)
- (6) 推薦書、または照会可能者2名の氏名と連絡先

送 付 先 〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

東北大学金属材料研究所 所長 宛

※封筒表面に「原子力に関わる材料科学分野 教授応募書類在中」と朱書きし、必ず書留にて郵送して下さい。

※原則として提出書類は返却いたしませんのでご了承下さい。

※履歴書は本応募の用途に限り使用し、個人情報とは正当な理由なく第三者へ開示することは一切ありません。

問い合わせ先 東北大学金属材料研究所

アクチノイド物質科学研究部門 教授 青木 大

☎ 029-267-3181

E-mail: [aoki@imr.tohoku.ac.jp](mailto:aoki@imr.tohoku.ac.jp)

◇東北大学金属材料研究所 教授 公募◇

公募人員 教授 1名

(東北大学は、男女共同参画を推進しています。子育て支援の詳細等、男女共同参画の取り組みについては下記 URL をご覧下さい。

URL: <http://www.bureau.tohoku.ac.jp/danjyo/>)

所 属 固体新物質・機能開拓分野

専門分野 結晶を舞台とした物性物理学の新分野の開拓を目指して、新しいバルク系物質の開発や、広い意味での光・電磁波等の外的入力に対する物質応答や新機能の開拓を行う物性物理学分野。新原理・新物質と実用機能・材料の制御・創製を結びつけた視野の広い研究を行うことが望ましい。当部門の部門性格については、下記の URL をご覧下さい。

URL: [http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op/2016solid\\_state\\_physics.html](http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op/2016solid_state_physics.html)

応募資格 博士の学位を有する方

任 期 なし

応募締切 2016年9月23日(金)必着

着任時期 決定後なるべく早い時期

提出書類

- (1) 履歴書(写真貼付)
- (2) 研究業績リスト(原著論文、国際会議の発表・プロシーディング、総説・解説、国内・国際会議での招待講演、著書、特許等に分類して記載)、論文データベース個人 ID(例えば ResearcherID)があればリストの始めに記載
- (3) 外部資金の獲得状況(研究代表者のもののみ)
- (4) 主要論文別刷10編(コピー可)
- (5) これまでの研究概要(2,000字程度)
- (6) 着任後の研究計画(2,000字程度)
- (7) 推薦書、または照会可能者2名の氏名と連絡先

書類送付先 〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

東北大学金属材料研究所長 宛

※備考:「固体新物質・機能開拓分野教授応募書類在中」と朱書・書留送付のこと。(原則として提出書類は返却いたしません。)

問合せ先 教授 宇田 聡

☎ 022-215-2100 E-mail: [uda@imr.tohoku.ac.jp](mailto:uda@imr.tohoku.ac.jp)

◇核融合科学研究所 助教 公募◇

公募人員 助教 1名(年俸制、任期5年、業績評価により再任可)

所 属 ヘリカル研究部核融合システム研究系高熱流プラズマ対向壁研究部門

研究・業務内容 核融合炉のダイバータなどプラズマ対向機器の高性能化に向け、計測・診断や評価技術を含む熱・粒子負荷試験法の高度化を進めるとともに、熱・粒子負荷による損傷の分析、除熱性能変化の評価とその要因分析、燃料粒子や堆積物質の挙動の解明などの研究を行うことである。さらにこれらに基づき、機器の設計指針の導出を行うこと、およびこれらに係わる共同研究を推進することも求められる。

希望事項 ①博士の学位を有する者、または取得見込みの者。

②国内外の共同研究の推進及び学生教育に意欲のある者。

応募締切 2016年9月30日(金)17時(必着)

就任時期 採用決定後のなるべく早い時期

提出書類 (1)履歴書 (2)研究歴 (3)就任後の抱負 (4)研究業績リスト (5)論文別刷3編程度 (6)応募者について参考意見を述べることのできる方2名程度の氏名及び連絡先

※提出された書類は返却しない。(2)~(5)については4部必要)

提出先 〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6

核融合科学研究所管理部総務企画課人事・給与係

※封筒の表に「ヘリカル研究部核融合システム研究系高熱流プラズマ対向壁研究部門(助教)公募関係書類」と朱書きし、郵送の場合は簡易書留とすること。

問合せ先 核融合科学研究所管理部総務企画課人事・給与係

☎ 0572-58-2012(直通)

詳細については、本研究所のホームページに掲載しておりますので、ご覧下さい。

アドレス <http://www.nifs.ac.jp/index-j.html>

◇久留米工業高等専門学校 材料システム工学科 教員公募◇

募集人員 ①～③の各分野に教授、准教授、または助教1名

所属学科 材料システム工学科

専門分野 ①材料化学、複合材料 1名  
②材料工学、金属工学 1名  
③破壊力学、設計工学、CAE/CAD 1名

応募資格

- (1) 博士の学位を有するか取得見込みの方、または技術士の資格を有する方
- (2) 工業高等専門学校の教育、研究、学生指導と学校運営に理解と熱意のある方
- (3) 共同研究、公開講座、産学民連携等の地域・社会貢献に熱意のある方

※博士の学位取得見込みの方は3年の任期付き助教として採用し、その間に学位を取得すれば3年の任期をはずします。

採用予定日 2017年4月1日

提出書類 (1)履歴書

- (2)著書・論文等一覧 (3)著書・論文等の概要
- (4)口頭発表一覧 (5)主に携わった職務内容とその実績
- (6)工業高等専門学校における教育・研究に携わる抱負
- (7)(3)に記載の著書・論文別刷

応募締切 2016年9月30日(金)必着

選考方法 第一次選考：書類審査

第二次選考：自己紹介、着任後の教育・研究の内容に関するプレゼンテーション、模擬授業及び面接

※第二次選考に要する旅費等の経費は応募者本人の負担となります。

問合せ先 久留米工業高等専門学校 材料工学科長 川上雄士

☎ 0942-35-9415 FAX 0942-35-9425

E-mail: kawakami@kurume-nct.ac.jp

その他 応募資格、担当科目、書類送付先、提出書類フォーマット等の詳細は以下のホームページを参照して下さい。

http://www.kurume-nct.ac.jp/ON/P-GAD/koubo/koubo.html

\*材料工学科は2017年4月材料システム工学科に名称変更予定です。

集会

財団法人日本学術振興会 産学協力研究委員会 合金状態図第172委員会  
「第10回状態図・熱力学セミナー 開催案内」

20世紀型大量消費・使い捨て文明から、低エネルギー消費・資源循環型文明への転換を余儀なくされている現代において、資源循環、新エネルギー創出、低エネルギー消費、低環境負荷等の課題は工学を担う我々に託された解決すべき問題です。このような観点から、第1回～第4回のセミナーでは、様々な材料を見直すために必要な材料学の基礎である状態図について解説し、産業界への応用例を紹介しました。また、第5回セミナーでは、熱力学や統計力学と状態図の関係を詳細に説明しました。一方、第6回と第9回のセミナーでは熱力学と状態図の関心に注目し、第7回～第8回セミナーでは統計力学と状態図の関心に注目し、それぞれ2日間にわたり解説しました。今回は、第6回と第9回のセミナーの応用分野の内容をさらに掘り下げて、2日間にわたりじっくりと解説します。

日時 2016年11月21日(月)～22日(火)

場所 東京工業大学田町地区キャンパス・イノベーションセンター 2階 多目的室2

http://www.tamachi.jim.titech.ac.jp/

協賛 (公社)日本金属学会、(一社)日本鉄鋼協会

定員 40名

プログラム

11月21日(月)

- (1) 9:30～10:20 相平衡の熱力学
- (2) 10:30～11:30 同上
- (3) 12:40～13:40 同上 東京工業大学 梶原正憲
- (4) 13:50～15:20 Calphad法による状態図計算の基礎
- (5) 15:30～17:00 同上 物質・材料研究機構 阿部太一

11月22日(火)

- (1) 9:30～10:20 状態図の実験的決定
- (2) 10:30～11:30 同上
- (3) 12:40～13:40 同上
- (4) 13:50～15:20 同上 物質・材料研究機構 大沼郁雄
- (5) 15:30～17:00 Calphad法による状態図計算の実践 物質・材料研究機構 阿部太一

参加費

事前申込：11月7日迄

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

申込方法 <http://j2www.materia.titech.ac.jp/seminar/> から申込書を入手し、必要事項をご記入後、E-mailの添付書類にてabe.taichi@nims.go.jp宛にお送り下さい。

世話人 阿部太一(物材機構)、梶原正憲(東工大)、大沼郁雄(物材機構)

問合せ先 物質・材料研究機構 構造材料研究拠点  
構造材料基礎科学分野 計算材料設計グループ  
阿部太一

☎ 029-859-2628

E-mail: ABE.Taichi@nims.go.jp

集会

◇E-scrap シンポジウム2016および  
学生および若手研究者向けリサイクル施設見学会◇

■主催 東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)

■協力 東京大学 生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター、レアメタル研究会、東北大学 素材技術先導プロジェクト希少元素高効率抽出技術領域、産業技術総合研究所 SURE コンソーシアム

■協賛 (公社)日本金属学会、(一社)日本鉄鋼協会他

■参加登録・問い合わせ 東京大学 生産技術研究所

岡部研 学術支援専門職員 宮崎智子

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

FAX 03-5452-6313

E-scrap シンポジウム2016

■開催日 平成28年9月27日(火)

シンポジウム 10:30～17:00

交流会 17:30～19:30

■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)

■会費 資料代として3,000円(変更となる可能性あり)、交流会は無料(予定)

■プログラム【敬称略】:

- 10:30-10:40 所長挨拶  
 東京大学 生産技術研究所 所長 藤井輝夫
- 10:40-10:50 趣旨説明  
 東京大学 生産技術研究所 JX 金属寄付ユニット特任教授  
 東北大学 多元物質科学研究所 教授 中村 崇
- 10:50-11:20 資源としての E-scrap の可能性(仮題)  
 東北大学 環境科学研究科 教授 白鳥寿一
- 11:20-11:50 E-scrap から実現する Circular Economy  
 ハリタ金属株式会社 社長 張田 真
- 11:50-12:20 宅配を利用した小型廃電子機器の回収の新展開  
 リネットジャパングループ株式会社 社長 黒田武志
- 12:20-13:30 一休憩
- 13:30-14:00 我が国の E-scrap 輸出入規制の課題と対応(仮題)  
 慶応大学 経済学部 教授 細田衛士
- 14:00-14:30 非鉄製錬における E-scrap 処理の最近の進歩(仮題)  
 三菱マテリアル株式会社 直島製錬所技術課  
 課長 谷口 徹
- 14:30-15:00 JX 金属グループにおける E-scrap 処理  
 JX 金属株式会社 日立事業所  
 HMC 製造部生産管理課長 亀谷敏博
- 15:00-15:30 一休憩
- 15:30-16:00 廃小型家電製品等からの Ta 回収技術開発について  
 三井金属鉱業株式会社 金属事業本部金属事業部  
 担当部長 太田洋文
- 16:00-16:40 小型電子機器リサイクル法の現状  
 環境省 リサイクル推進室 室長 田中良典
- 16:40-17:20 非鉄金属資源の動向  
 経済産業省 鉱物資源課 課長 萩原崇弘
- 17:20-17:30 シンポジウムを終えて 東京大学 生産技術研究所  
 JX 金属寄付ユニット特任教授 前田正史
- 18:00-20:00 交流会  
 東京大学 生産技術研究所 An 棟 1 階 カボ ペリカーノ

リサイクル施設見学会

- 開催日 平成28年9月28日(水)
- 見学先 産業技術総合研究所 戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)  
 JX 金属株式会社 日立事業所
- 対象 全国の非鉄製錬・リサイクルに関心を持つ学生(4年生, M1, D1, D2)および公的機関の若手研究者
- 定員 20名
- 参加費 2,000円(変更となる可能性あり)

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  
 東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター  
 東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 (JX 金属寄付ユニット)
- 協賛 (公社)日本金属学会他
- 開催会場 東京大学生産技術研究所 An 棟 2F コンベンションホール(〒153-8505 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 レアメタル研究会事務担当 宮崎智子  
 (okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)

〈平成28年度 レアメタル研究会の予定〉

- 第72回 2016年9月16日(金)(平成28年度 第2回)  
 (9月27日(火)E-scrap シンポジウム)
- 第73回 2016年11月22日(火) or 25日(金)  
 (平成28年度 第3回)
- 第74回 2017年1月6日(金)(平成28年度 第4回)  
 ★貴金属シンポジウム(第4回)+新年会★(合同開催)
- 第75回 2017年3月10日(金)(平成28年度 最終回)  
 ★中村崇教授が熱く語る特別シンポジウム+慰労会★(合同開催)

■第72回 2016年9月16日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール  
 テーマ:レアメタル情勢, クリティカルメタル, タングステン 他  
 時 間:午後2:00~  
 講 演:  
 ・金属資源開発を巡る環境変化と今後の展望(仮)(60分)  
 一般社団法人日本金属経済研究所 理事長 川口幸男 講師  
 ・今, クリティカルなレアメタルは何か?(仮)(45分)  
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師  
 ・タングステンの市場, 技術動向について(仮)(60分)  
 日本新金属株式会社 常務取締役 開発部長 森田 進 講師  
 午後6:00~ 研究交流会・意見交換会 (An 棟 2F ホワイエ)

■第73回 2016年11月22日(火)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール  
 (★曜日と開始時間にご注意下さい。)  
 テーマ:チタン製錬・リサイクル  
 時 間:午後2:00~  
 講 演:  
 ・チタンの新製錬研究の進捗状況(仮)(30分)  
 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 教授 宇田哲也 講師  
 ・クロール法のその場観察の試み(仮)(20分)  
 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 博士課程 D3 岸本章宏 講師  
 ・チタンの還元やリサイクルプロセスに関する最近の話題(仮)  
 ~マグネシウムを用いるチタンの還元と脱酸~(45分)  
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師  
 ・チタンおよびチタン合金粉末について(仮)(45分)  
 株式会社 大阪チタニウムテクノロジーズ 執行役員 大橋善久 講師  
 ・チタンの EB 溶解とスクラップのリサイクル化について(仮)  
 (45分)  
 東邦チタニウム株式会社 常務取締役 滝 千博 講師

★ポスター発表を企画中  
 午後6:00~研究交流会・意見交換会(An 棟 2F ホワイエ)

\*レアメタル研究会ホームページ\*

[http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40\\_j.html](http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html)

★備考:関連研究会

〈米国版レアメタル研究会(RMW)のご案内〉

■RMW12 Workshop on Reactive Metal Processing (Reactive Metal Workshop) March 3 (Fri)-4 (Sat), 2017, Cambridge, MIT  
 \*Reactive Metal Workshop の HP\*  
<http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/core-to-core/rmw/>

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 80, No. 8 (2016)

論文

熱的照射下にある Al-Cu 合金における  $\theta'$  析出相の成長過程のフェーズフィールドシミュレーション

リュウ ビン 篠嶋 妥 岩瀬彰宏

ポリメタクリル酸メチル樹脂 (PMMA) とポリジメチルシロキサン (PDMS) 積層シートの室温電子線均質照射による接着強化

山口 良 八木新太 久保智愛  
神田昌枝 西 義武

プラズマ回転電極法を用いて作製した粉末焼結ニッケル超合金の組織と強度

寛 幸次 横森 玲 西牧智大

Mg-Y 希薄合金におけるエリクセン試験中の結晶配向変化挙動

鈴木 哲 安藤大輔 染川英俊 須藤祐司 小池淳一

双極子プラズマ装置を用いて窒化された SUS304 ステンレス鋼の摩耗特性

尾上太一 関谷英治 杉田良雄 津久井啓介  
猿渡直洋 中山栄浩

アーク溶解・傾角鑄造法で作製した Mo-Si-B-TiC 合金の微細組織の定量評価

上村宗二郎 山室賢輝 金正 旭 森園靖浩  
連川貞弘 吉見享祐

塩化物系電解採取浴からの電析 Ni の明度、表面性状に及ぼす浴中不純物の影響

佐藤佑樹 大上 悟 平郡伸一 中野博昭

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 57, No. 8 (2016)

Review

Micromagnetic Simulations of Magnetization Reversals in Nd-Fe-B Based Permanent Magnets

H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo and K. Hono

Special Issue on Frontier Researches Related to Nano/Microstructure, Microstructure Control and Mechanical Properties of Materials

Effect of a High Static Magnetic Field on the Origin of Stray Grains during Directional Solidification (Express Regular Article)

Hua Zhong, Chuanjun Li, Jiang Wang,  
Zhongming Ren and Yunbo Zhong

Evaluating Microstructure and High-Temperature Shear Behavior of Hot Extruded Al-Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> Nanocomposite (Express Regular Article)

Narguess Nemati and Masoud Emamy

Orientation Dependence of Bending Deformation Behavior in Magnesium Single Crystals

Hiromoto Kitahara, Masayuki Tsushida and Shinji Ando

Strain Measurement of Micrometre-Sized Structures under Tensile Loading by Using Scanning White-Light Interferometry

Takashi Ito,  
Yoji Mine, Masaaki Otsu and Kazuki Takashima

Brittle Fracture of Electrodeposited Gold Observed by Micro-Compression

Masaharu Yoshida, Chun-Yi Chen, Tso-Fu Mark Chang,  
Takashi Nagoshi, Daisuke Yamane, Katsuyuki Machida,  
Kazuya Masu and Masato Sone

The Anneal Hardening and Deformation Softening Behaviors of Nanocrystalline Cu-Zn Alloys

Jian Yang, Yanzhao Pang, Peng Li, Zhe Yin,  
Yulan Gong and Xinkun Zhu

Microstructural Analysis of NdFeB Ternary Alloy for Magnets Fabricated Using a Strip-Casting Method

Kazuhiko Yamamoto and Ryo Murakami

Regular Articles

Materials Physics

Effect of Zn Addition on Interfacial Reactions Between Sn-Bi Solder and Cu Substrate

Omid Mokhtari, Shiqi Zhou, Y.C. Chan and  
Hiroshi Nishikawa

Synthesis and Photocatalytic Activity of Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> Using KOH as Mineralizer via Hydrothermal Method

T. Xian, L.J. Di, J. Ma, W.Q. Li, X.G. Wei and  
Y.J. Zhou

Microstructure of Materials

Effect of High-Speed Impact Compression on Natural Aging and Subsequent Artificial Aging of a 6061 Aluminum Alloy

Tomo Ogura, Keitaro Horikawa, Yuki Kitani, Mami Miara,  
SeongNyeong Kim, Equo Kobayashi, Tatsuo Sato and  
Hidetoshi Kobayashi

Effects of Nd or Zr Addition on Microstructure and Mechanical Properties of As-Cast Mg-Zn-Y Alloy

Ti Jun Chen, Da Hua Zhang, Wei Wang,  
Ying Ma and Yuan Hao

Microstructure and Viscosity of Particles Reinforced 7075 Al Matrix Composites

Gui-sheng Gan, Bin Yang, Qian Gao, Yiping Wu and  
Ming-bo Yang

Mechanics of Materials

Turning Machinability of Short Carbon Fiber Reinforced Aluminum Alloy Composite

Kazunori Asano

Effect of Sulfur on Creep Strength of Ni-Base Single-Crystal Superalloy, TMS-1700

Yuichiro Joh, Satoshi Utada, Makoto Osawa,  
Toshiharu Kobayashi, Tadaharu Yokokawa,  
Kyoko Kawagishi, Shinsuke Suzuki and Hiroshi Harada

**Materials Chemistry**

**Chlorination-Volatilization Behavior of Titanium Metal Scraps during Recycling Using Reaction-Mediating Molten Salt**

Yu-ki Taninouchi, Yuki Hamanaka and Toru H. Okabe

**Effects of Electrolysis Conditions on the Morphologies and Corrosion Resistances of Polyaniline Films Formed on Fe by Electropolymerization**

Hiroaki Nakano, Keichi Hayashi, Satoshi Oue and Shigeo Kobayashi

**Recovery of Dy from a Mixture of Nd, Fe, B and Dy by Electrolysis in Molten LiCl**

Michihisa Fukumoto, Yuuki Sato and Motoi Hara

**Use of Computational Thermodynamics in the Analysis of Hot Metal Desulphurization with Slags Based on Marble Waste and Sodalite**

F.F. Grillo, J.L. Coleti, J.R. Oliveira, J.A.S. Tenório, E. Junca and D.C.R. Espinosa

**Materials Processing**

**Machinability of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron Made by Sand Mold and Continuous Casting Methods**

Akihiko Ikuta, Minoru Hatate and Tohru Nobuki

**Effect of Powder Calcination on the Cold Spray Titanium Dioxide Coating**

Toibah Abd Rahim, Keisuke Takahashi, Motohiro Yamada and Masahiro Fukumoto

**Effect of Process Parameters of Backward Extrusion by Servo Press on Purification of A7075 Alloy under the Semisolid Condition**

Thet Thet Cho, Sumio Sugiyama and Jun Yanagimoto

**Development of High Strength Tungsten/Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steel Joints by Innovative Thermal Stress Relaxation Technique Based on Phase-Transformation-Induced Creep Deformation**

Hiroyuki Noto, Shuichi Taniguchi, Hiroaki Kurishita, Satoru Matsuo and Akihiko Kimura

**Change in Microstructure, Mechanical Strength and Corrosion Resistance of Ti-8Mo-xNi Alloys through Various Sintering Temperatures**

Cheng Liang, Shih-Hsien Chang, Wei-De Wang, Kuo-Tsung Huang and Shun-Tian Lin

**Engineering Materials and Their Applications**

**Synthesis, Crystal Structure, and the Ionic Conductivity of New Lithium Ion Conductors, M-Doped LiScO<sub>2</sub> (M = Zr, Nb, Ta)**

Guowei Zhao, Iqbal Muhammad, Kota Suzuki, Masaaki Hirayama and Ryoji Kanno

**Effect of Sulfur on the Sintering of Nickel Particles**

Toshio Yoneima, Kotaro Fukushima, Noritaka Saito and Kunihiko Nakashima

**Environment**

**Hydrochloric Acid Treatment: An Effective Method to Enhance the Catalytic Performance of TiO<sub>2</sub> Stellerite Composite Photocatalyst on Methyl Orange**

Hua Chen, Wenjia Han, Xiaoli Lang, Huifang Zhao, Haiwen Wang, Fei Yang, Dali Shi, Jianhua Wang and Huajun Wang

Announcement



～日本金属学会誌, Mater. Trans. へ投稿しませんか?～

◎日本金属学会誌および Mater. Trans. は、会員、非会員問わず投稿することができます。掲載論文充実化のため、レビュー、オーバervュー、技術論文など多くの種別を取り入れております。会誌の投稿・掲載費用は無料です。詳細は、本会ホームページ → [会誌](#) or [Mater. Trans.](#) のページをご覧ください。皆様のご投稿をお待ちしております。

まてりあ 第55巻 第9号 予告

[最近の研究] 電気化学を入口とする材料研究 .....川喜多 仁  
室温磁気冷凍システム搭載に向けた遍歴電子メタ  
磁性 La(Fe<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub>)<sub>13</sub> の改善 .....藤枝 俊  
[講義ノート] マイクロメカニクス I .....森 勉

[新進気鋭] Co基ホイスラー合金におけるマルテンサイト変態  
—リエントラント挙動による新しい形状記憶効果—  
.....許 晶  
—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

# 行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
<b>8月</b>				
1～2	第46回初心者のための有限要素法講習会第1部(演習付き)(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.22
1～5	第9回環太平洋先端材料とプロセス国際会議(PRICM9)(京都)	日本金属学会・梶原	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 pricm_9@nta.co.jp http://web.apollon.nta.co.jp/PRICM9/	
3～5	第22回結晶工学スクール(2016年)(東京)	応用物理学会・岡山	TEL 03-5802-0863 divisions@jsap.or.jp http://annex.jsap.or.jp/kessho/index.html	7.13
7～12	第18回結晶成長国際会議(ICCGE-18)(名古屋)	日本学術会議他	TEL 070-5268-6664 secretariat@iccg18.jp http://www.iccg18.jp/	
7	「機械の日・機械週間」記念行事(東大)	日本機械学会	TEL 03-5360-3505 kikainohi@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/kikainohi/	
8	2016年度日本金属学会関東支部講習会(東工大)(6号279頁)	関東支部・多賀	<b>jim-kanto@mtl.titech.ac.jp</b>	<b>7.15</b>
8～10	第216回塑性加工技術セミナー「はじめての塑性力学(準備編・基礎編・応用編)」(芝浦工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 90名
18～19	第63回 CVD 研究会(第27回夏季セミナー)(神戸)	CVD 研究会	TEL 075-383-2643 cvd@cheme.kyoto-u.ac.jp http://cvd.jp.org/future/	
22	第23回高校課題研究フォーラム「高校のできるセラミックス実験」(愛知)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyoiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ikyoku/kandai_kenkyu_forum.html	定員 20名
22～23	第80回半導体・集積回路技術シンポジウム(東京理科大)	電気化学会・電子材料委員会	TEL 03-3234-4213 ikezuki@electrochem.jp http://semicon.electrochem.jp/	事前参加 8.8
23	第9回腐食・防食セミナー「腐食の基本と既存データの活用～腐食事例への展開と対策」(関西大)	腐食防食協会関西支部・春名(関西大)	TEL 06-6368-1121(5650) haruna@kansai-u.ac.jp	8.5
24～25	第8回役に立つ真空技術入門講座(大阪電通大)	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/about/organization/branch/kansai	定員 100名
25～26	日本マリンエンジニアリング学会技術者継続教育2016年度「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp	定員 25名
25～26	第46回初心者のための有限要素法講習会第2部(演習付き)(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	7.22
26	進化する 塗料・塗装技術(大阪)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 tosou-jimukyoku@jcoat.gr.jp	
26	2016年度茨城講演会(茨城大学)	日本機械学会関東支部伊藤(茨城大)	TEL 0294-38-5042 ibakouen@ml.ibaraki.ac.jp	
29～31	高温変形の組織ダイナミクス研究会「平成28年度夏の学校」(弘前)(5号228頁)	研究会 No. 76・紙川(弘前大)	TEL/FAX 0172-39-3671 <b>kamikawa@hirosaki-u.ac.jp</b>	発表7.1 参加7.22
29～30	SPring-8 シンポジウム2016 放射光が解く環境・エネルギー問題(関西学院大)	SPring-8 ユーザー協団体(SPRUC)他	TEL 0791-58-0970 users@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2016/sp8sympo2016/	
30	第382回講習会「あなたの英語に革命が!!～日本語から叩き直す英語講座」(東京理科大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	定員 60名
30～31	2016電気化学セミナー3「初心者のための電気化学測定法-実習編」(東京農工大)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 ecsj@electrochem.jp http://www.electrochem.jp/promotion/index.html	定員 45名
31～9.2	第10回インキュベーションホール(名城大)	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会・静岡大(小川)	http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2016/	定員 60名
31～9.2	第146回塑性加工工学講座「有限要素法入門セミナー」(大阪工業大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 35名
31～9.2	サマースクール2016 in 東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jscs.org/	
<b>9月</b>				
1～2	第11回水素若手研究会(広島)	第11回水素若手研究会実行委員会・比嘉(筑波大)	s1520913@u.tsukuba.ac.jp	参加 7.21
1～3	日本実験力学会2016年度年次講演会(近畿大)	日本実験力学会・澤井(近畿大)	TEL 0736-77-3888 sawai@mech.kindai.ac.jp http://www.jsem.jp/	
2	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織-応用編(加工・熱処理による組織変化)」(第1回)(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
3	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(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
3~5	第19回 XAFS 討論会(名大)	日本 XAFS 研究会	http://www.nusr.nagoya-u.ac.jp/event/jxafs19/#summary	
5~7	平成28年度工学教育研究講演会(大阪大)	日本工学教育協会・川上	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/taikai/kenkyu/	5.9
5~9	第5回 ICFMSA'16 国際会議(強磁性形状記憶材料に関する国際会議)(仙台)	第5回 ICFMSA'16 国際会議組織委員会・大森(東北大)	TEL 022-795-7323 icfmsa@material.tohoku.ac.jp http://www.material.tohoku.ac.jp/~icfmsa/	事前予約 6.30
6	「シンクロ型 LPSO 構造の材料科学」一般公開成果報告会(東京)	シンクロ型 LPSO 構造の材料科学・河村(熊大)	TEL 092-583-7523 LPSO@zaiko.kyushu-u.ac.jp http://www.mg-lpso.org/	
6~7	第32回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会・村上(九大)	TEL 092-802-3497 bunseki32@eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp http://eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp/bunseki2016/	事前参加 8.26
7~9	JASIS2016(幕張)	日本分析機器工業会他・菅	TEL 03-3661-5131 kan@sia-tokyo.gr.jp http://www.jasis.jp	
7~9	日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム(広島大)	日本セラミックス協会・山口	TEL 03-3362-5232 fall29@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/29th/	
8~9	第7回「塗装入門講座」(東京)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 tosou-jimukyoku@jcot.gr.jp http://jcot.gr.jp	
8~9	第46回溶融塩化学講習会(実験講習会)~溶融塩および活性金属の取り扱い~(東大)	電気化学会溶融塩委員会・夏井(北大)	http://msc.electrochem.jp/koushu.html	定員 10名
8~9	第26回格子欠陥フォーラム「格子欠陥材料のマルチスケール計算科学」(京都)	日本物理学会・領域10「格子欠陥・ナノ構造」分科	TEL 075-753-5283 yuge.koretaka.4r@kyoto-u.ac.jp http://www.r10.div.jps.or.jp/	8.31
9~11	第18回日本感性工学会大会(日本女子大)	日本感性工学会・上野	TEL 03-3666-8000 jske16@jske.org http://www.jske.org/	
10	2016年度計算力学技術者(CAE技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
12	金属学会シンポジウム「チタン合金の研究・開発最前線2016」(阪大)(本号388頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jim.or.jp	事前 9.1
13~15	平成28年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(岩手大)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2016b/top	
15~16	軽金属基礎技術講座「アルミニウムの製造技術」(掛川)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 50名
15~16	日本マリンエンジニアリング学会技術者継続教育2016年度「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp	定員 25名
16	熱電変換の現在と未来: ZT はどこまで上がるのか?	応用物理学会・林(東北大)	hayashik@crystal.apph.tohoku.ac.jp	
16	第72回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号396頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
17	2016年度計算力学技術者(CAE技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
20	第94回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会-材料の表面形態と表面濡れ性の制御-(東京)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会	ars@sfj.or.jp	申込 9.9
21~23	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)(豊中)(本号384頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	参加 8.19
22	第4回エレクトロニクス薄膜材料研究会「電子・情報・エネルギー素子と機能材料の最近の研究(4)」(阪大)(本号387頁)	研究会 No.69・松尾(兵庫県立大)	FAX 079-267-4907 nmatsuo@eng.u-hyogo.ac.jp	9.11
22	第2回ランチョンセミナー(本号386頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp	
23	第6回女性会員のつどい(本号386頁)	日本金属学会	rieume@imr.tohoku.ac.jp	
27	E-scrap シンポジウムと学生および若手研究者見学会向けリサイクル施設(東大生産研)(本号395頁)	東大生産研・宮崎(岡部研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/index.html	
28~29	第7回社会人のための表面科学ベーシック講座(東京理科大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sssj.org http://www.sssj.org	定員 70名
28~30	第52回熱測定討論会(徳島大)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com http://ostwald.naruto-u.ac.jp/~jccta52/	参加予約 9.9
28~30	第5回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(実習つき)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	申込 7.29
29	本多光太郎記念講演会(名工大)(本号390頁)	東海支部・松永	tokai@numse.nagoya-u.ac.jp	定員 100名



開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
30	第71回技術セミナー：環境・エネルギー関連装置における高温腐食問題と対策(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp http://www.jcorr.or.jp/sonota/71gijutsu.html	
<b>10月</b>				
3～6	EcoBalance 2016 第12回エコバランス国際会議(京都)	日本 LCA 学会・末次	TEL 03-3503-4681 ecobalance2016@sntt.or.jp http://www.ecobalance2016.org	
6～7	第6回 結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会(福山)(5号227頁)	研究会 No. 67・井上(大阪府立大)	TEL 072-254-9316 FAX 072-254-9912 inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp	6.30
11～12	第27回初心者のための疲労設計講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 40名
11～14	第2回材料 WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 http://jsms.jp/jsmsweek/kaikoku2.htm	
12～14	トライボロジー会議2016秋 新潟(新潟)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	
14	早稲田大学各務記念材料技術研究所オープンセミナー(早大)	早稲田大学各務記念材料技術研究所	TEL 03-3203-4782 zaikenjimuj@list.waseda.jp	10.7
14	第14回フラクトグラフィシンポジウム(京都)	日本材料学会	fractosym@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.1
15	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(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
16～21	第7回実用表面分析国際シンポジウム(PSA-16)(韓国)	表面分析研究会・高橋(島津製作所)	TEL 0463-88-8502 secretary-psa16@sasj.jp http://psa16.com	
17～19	第63回材料と環境討論会(大阪)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
19	平成28年度材料セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)(本号390頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 55名
19～21	ADMETA Plus 2016 (Advanced Metallization Conference 2016: 26th Asian Session)(東大)	ADMETA 委員会・吉田	TEL 03-6801-5685 jimukyoku@admeta.org	
20～21	日本マリンエンジニアリング学会技術者継続教育2016年度「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp	定員 25名
21	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演会「ナノ粒子、ナノ構造の作製とその特性」	日本セラミックス協会・石塚	mishitsuka@soc.co.jp http://www.ceramic.or.jp/bgenryo/	定員 50名
22～26	The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8)(つくば)	日本表面科学会	iss8@sss.org http://www.sss.org/iss8	参加 9.1
24～26	第86回マリンエンジニアリング学術講演会(姫路)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jimje.jp http://www.jime.jp	講演 6.26
26～27	第44回日本ガスタービン学会定期講演会(酒田)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
26～28	第52回 X線分析討論会(筑波大東京キャンパス)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会・桜井(NIMS)	FAX 029-859-2801 sakurai@yuhgiri.nims.go.jp	
26～29	第57回高圧討論会(つくば)	日本高圧力学会	TEL 070-5658-7626 tourokai57@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/57forum/	事前 9.23
29～30	日本銅学会第56回講演大会(東海大)	日本銅学会	TEL 03-3836-8801 m-kurihara@copper-brass.gr.jp https://www.copper-brass.gr.jp/	
<b>11月</b>				
1～4	The 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (11th ISEM '16-Ho Chi Minh)(Vietnam)	日本実験力学会・小林(新潟大)	nmtam@hcmut.edu.vn TEL +84-8-38-647-256 ext. 5590 http://www.jsem.jp/	
5～6	軽金属学会第131回秋期大会(茨城大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	予約 10.6
7～8	平成28年度材料セミナー「金属材料の腐食損傷の基礎とその評価」(阪大)(本号390頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 18名
7～10	第31回高速度イメージングとフォトニクスに関する国際会議(大阪)	第31回高速度イメージングとフォトニクスに関する国際会議組織委員会	TEL 06-6879-8750 arikawa-y@ile.osaka-u.ac.jp http://www.ichip-31.org/index.html	
11	第19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・黒澤	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11～12	第33回疲労シンポジウム第1回生体・医療シンポジウム(赤穂)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://www.jsms.jp	
12	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(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

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
16~18	第37回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(韓国・釜山)	超音波エレクトロニクス協会・小野寺(東工大)	TEL 045-924-5598 onodera@iuse.or.jp http://www.use-jp.org	講演 8.3
17	実用表面分析セミナー2016(神戸大)	日本表面科学会関西支部・廣瀬(堀場製作所)	TEL 075-325-5004 jun.hirose@horiba.com http://www.sssj.org/Kansai/kansai_jitsuyou19.html	
21~22	第10回状態図・熱力学セミナー(東工大田町)(本号395頁)	日本学術振興会産学協力研究委員会 合金状態図第172委員会・梶原(東工大)	kajihara@materia.titech.ac.jp	定員 40名
22	日本学術会議材料工学委員会バイオマテリアル分科会主催シンポジウム「イノベーションプラットフォームとしてのバイオマテリアル」(福岡)	日本学術会議材料工学委員会バイオマテリアル分科会・中野(阪大)	TEL 06-6879-7505 nakano@mat.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kokuhoken.jp/jsb2016/	
24~25	平成28年度材料セミナー「透過型電子顕微鏡(TEM)による微細組織解析の基礎と応用」(堺)(本号390頁)	関西支部	<b>TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310</b> <b>n-kansai@ostec.or.jp</b>	定員 12名
24~25	第48回熔融塩化学討論会(新潟大)	電気化学会熔融塩委員会・大鳥(新潟大)	TEL 025-262-6212 ms48.electrochem@gmail.com http://msc.electrochem.jp/	参加予約 11.7
28~30	第37回日本熱物性シンポジウム(岡山大)	日本熱物性学会・春木(岡山大)	TEL 086-251-8048 haruki@okayama-u.ac.jp http://www.jstp2016.ss.oka-pu.ac.jp/	事前参加 9.30
22 or 25	第73回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号396頁)	レアメタル研究会・宮嵩(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
<b>12月</b>				
4~7	The 3rd International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2016)(京都)	国際会議 LPSO2016 実行委員会・河村・熊大	TEL 096-342-3547 内線3547 lpsol1@kumamoto-u.ac.jp http://www.msre.kumamoto-u.ac.jp/LPSO2016/	
5~7	第42回固体イオニクス討論会(三重大)	固体イオニクス学会・小林(三重大)	TEL 059-231-9419 ssij42@chem.mie-u.ac.jp	
7	エコデザイン・プロダクト&サービスシンポジウム(EcoDePS) 2016(東京理科大)	エコデザイン学会連合・宇野	secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS2016/	
7~9	第43回炭素材料学会年会(千葉大)	炭素材料学会	FAX 03-3368-2827 tanso-desk@bunken.co.jp	講演 8.22
8~9	キャビテーションに関するシンポジウム(第18回)(九大)	日本学術会議第三部・安東(九大)	TEL 092-802-3449 cav18@nams.kyushu-u.ac.jp http://www.nams.kyushu-u.ac.jp/~cav18/	
10	2016年度計算力学技術者(CAE技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
14	第21回資源循環型ものづくりシンポジウム(名古屋)	第21回資源循環型ものづくりシンポジウム実行委員会	TEL 052-736-5680 ims@nipc.or.jp http://www.nipc.or.jp/sansien/symposium/index.html	
<b>2017年1月</b>				
6	第74回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号396頁)	レアメタル研究会・宮嵩(東大生産技研岡部研) http://www.	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
12~13	第55回 セラミックス基礎科学討論会(岡山)	日本セラミックス協会 基礎科学部会・難波(岡山大)	TEL 086-251-8896 kiso55@ecm.okayama-u.ac.jp http://ecm.okayama-u.ac.jp/kiso55/	
<b>2017年3月</b>				
10	第75回 レアメタル研究会(東大生産技研)(平成28年度最終回)(本号396頁)	レアメタル研究会・宮嵩(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
15~17	日本金属学会春期講演大会(首都大学東京南大沢キャンパス)(八王子)	日本金属学会	<b>annualm@jim.or.jp</b> <b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b>	
<b>2017年9月</b>				
6~8	日本金属学会秋期講演大会(北海道大学)	日本金属学会	<b>annualm@jim.or.jp</b> <b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b>	
<b>2017年11月</b>				
5~10	第18回材料集合組織国際会議 18th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM 18)(St George, Utah, USA)	ICOTOM 18・井上(大阪府立大)	TEL 072-254-9316 inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp http://event.registart.com/site/icotom2017	アブストラクト 2016.11.15

## 正 員

神尾浩史 新日鐵住金株式会社	八丸 真 中央コンサルタンツ株式会社	
西村宜幸 オーエム産業株式会社	馬 戎 華為技術日本株式会社	

## 学 生 員

安部 祐司 九州大学	佐々木康至 岩手大学	富永 皓祐 東北大学
荒井 勇氣 上智大学	塩谷 真歩 香川大学	長岡 賢 防衛大学校
石川 茜 名城大学	柴田 博紀 北海道大学	萩野 翔太 名古屋大学
井戸 翔太 島根大学	霜上 裕輔 金沢大学	服部 拓也 筑波大学
今井 浩之 香川大学	新宮 淳平 京都大学	平井 貴志 宇部工業高等専門学校
遠藤 智貴 早稲田大学	角 礼子 東京大学	松尾 優大 熊本大学
金子 聡真 東北大学	澄川 考 九州大学	松木 優一 東京大学
神尾 知志 山形大学	関口 亮 北海道大学	松本 悟 九州工業大学
北住 大雅 三重大学	曾和 貴史 北海道大学	森谷 圭太 秋田県立大学
熊野 良紀 九州大学	樽井 洸亮 室蘭工業大学	山根 玄 香川大学
金野 杏彩 北海道大学	茶原健太郎 東京工業大学	吉岡 輝 近畿大学
笹川 廉 東北大学	長 佑輔 宇部工業高等専門学校	

## 外国一般会員

Lee Hak-Sung Korea Institute of Materials Science XUE Jing Jiangxi Agricultural University バッタチャーザー ティラク 京都大学

## 外国学生会員

楊 路 広島大学

## 追 悼 本会名誉員 Karl A. Gschneidner, Jr. 博士を偲んで



本会名誉員、Karl A. Gschneidner, Jr. 博士は2016年4月27日逝去されました。享年85歳でした。会員の皆様にご報告申し上げますと共に、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、1930年生まれ、1952年デトロイト大学をご卒業後、1957年アイオワ州立大学でPh. Dを取得されました。同年より、カリフォルニア大学ロスアラモス科学研究所に勤務されたのち、1962年イリノイ大学 教授、1963年からはアイオワ州立大学エームス研究所の教授として活躍されました。エームス研では教職の傍ら、冶金グループリーダー、希土類情報センター長、また、金属・セラミックス分野統括などを歴任されております。今日の材料科学における希土類金属の化学と物理の両研究分野における第一人者であることは周知の通りであります。研究業績は、希土類金属材料の状態図および精製、結晶学や物理学的性質の解明、水素吸蔵合金や蓄冷材・磁気冷凍などの工学応用など多岐にわたります。博士が構築された希土類金属2元系状態図は実に204種におよびます。また、希土類元素金属の高純度精製については、超伝導や近藤効果などに関わる物性も純度により大きく依存することを示され、金属分野だけでなく、物理学分野にまで多大な影響を及ぼしました。我国の多くの研究者が博士の薫陶を受け、博士が編纂した41巻におよぶ“HANDBOOK ON THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF RARE EARTHS”を紐解いた研究者の数は計り知れません。

博士の評価は国際的にも高く、300回以上におよぶ名誉ある招待講演に加え、Hume-Rothery Award (1978)、Acta Materialia Gold Medal (2008)を始め多くの著名な賞を受けておられます。また米国および世界各国の学術フェローや審査員を多く務めてこられたことも、信頼と敬愛を集めていた現れです。以上のように、博士は多くの分野において極めて顕著な業績を上げられた材料科学の大洋を照らし続けた巨星であります。ここに、先生の御遺徳を偲び、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

まてりあ 第55巻 第8号 (2016) 発行日 2016年8月1日 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	発行人 山村英明
〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32	印刷所 小宮山印刷工業株式会社
TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	発売所 丸善雄松堂株式会社
	〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18

# ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
<b>純 金 属</b>			<b>高純度金属</b>			<b>フェロアロイ</b>		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	フェロモリブデン	Mo 60%	塊 状
アルミニウム	99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	フェロニオブ	Nb 60%	〃
アルミニウム粒	99.99%	粒状1kg入	銀	99.999%	粒 状	フェロバナジウム	V 80%	〃
アルミニウム粉	99.97%	粉末末	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	フェロボロン	B 20%	〃
銀	99.99%	粒 状	ビスマス	〃	約100g塊	カルシウムシリコン	Ca30%Si60%	小 塊 状
ボロンクリスタル	99.4%	小 塊 状	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄片状	<b>中間合金</b>		
ボロンアモルファス	95~97%	粉末末	無酸素銅	99.99%	10X10X1mm	磷	P>14.5%	粒 状
ビスマス	99.99%	針 状	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25X25X2mm	シリコン銅	Si 15%	約1kgインゴット
バルト	99.3%	粒 状	ガリウム	99.9999%	粒状25g入	マンガニウム	Mn 25%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25X25X10mm	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	マグネシウム銅	Mg 50%	〃
金属クロム	99%	塊 状	インジウム	99.999%	粒状100g入	クロム銅	Cr 10%	〃
電解クロム	99%	薄片状	インジウム	〃	約100g塊	テルル銅	Te 50%	〃
電口ロム粉	99%	粉末500g入	マンガン	99.999%	薄片状	コバルト銅	Co 10%	〃
電気銅	99.99%	約25X50X10mm	錫	99.999%	粒状100g入	ニッケル	Ni 30%	〃
銅	99%	粉末500g入	錫	〃	約100g塊	鉄	Fe 10%	〃
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	チタン銅	Ti 50%	〃
電解鉄(アトミロンYL)	〃	〃	アンチモ	〃	約100g塊	ジルコニウム銅	Zr 50%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テレル	99.9999%	粒状100g入	ボロン銅	B 2%	粒 状
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	ル	〃	約100g塊	アルミ銅	Cu 40%	約5kgインゴット
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	亜鉛	99.999%	約100g塊	アルミマグネシウム	Mg 20%	〃
ハフニウム	99.8%	スポンジ小塊	鉛	〃	約100g塊	アルミマンガン	Mn 10%	〃
インジウム	99.99%	塊 状	鉛	99.9999%	粒状100g入	アルミニウム	Ni 20%	〃
マグネシウム	99.9%	約200g塊	鉛	〃	約100g塊	アルミクロム	Cr 5%	〃
電解マンガン	99.9%	薄片状	鉛	〃	約100g塊	アルミチタン	Ti 5%	〃
モリブデン粉	99.9%	粉末末	鉛	〃	約100g塊	アルミシリコン	Si 25%	〃
ニオブグラニュー	99.9%	小 塊 末	チ	99.9%	5φX150mm	アルミコバルト	Co 5%	〃
ニオブ粉	〃	〃	<b>レアアースメタル</b>			アルミモリブデン	Mo 5%	〃
電気ニッケル	99.99%	25X25X10mm	イットリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミタングステン	W 2.5%	〃
ニッケルペレット	99.97%	球 状	ランタン	〃	〃	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
ニッケル粉	99.8%	粉末1kg入	セリウム	〃	〃	アルミ鉄	Fe 50%	塊 状
レニウム粉	99.99%	粉末末	ブラセオジウム	〃	〃	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
ルニウム粉	99.9%	〃	ネオジウム	〃	〃	アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
アンチモン	99.9%	塊 状	サマリウム	〃	〃	アルミバナジウム	V 50%	小 塊 状
金属シリコン	99%	〃	イッテルビウム	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
錫	99.99%	約1kgインゴット	テルビウム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
タantal塊	99.9%	小 塊 状	ジスプロシウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	塊 状
タantal粉	〃	粉末末	ホルミウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	〃
テニウム	99.99%	小 球 状	エルビウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	約1.5kgインゴット
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ガドリニウム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	塊 状
チタン板	JIS 1種	250X250X1mm	ユーロピウム	〃	〃	磷	P 5%	インゴット
バナジウム	99.7%	小 塊 状	ツリウム	〃	〃	<b>Uアロイ(低融点合金)</b>		
バナジウム粉	〃	粉末末	ルテチウム	〃	〃	Uアロイ 47	融点47±2℃	約500gインゴット
タングステン粉	99.9%	〃	ミッシュメタル	TRE>97%	5.4φX6mm 200g入	Uアロイ 60	60±2℃	〃
タングステンスクラップ	99%	板 状				Uアロイ 70	70±2℃	〃
亜鉛	99.99%	約2kgインゴット				Uアロイ 78.8	78.8±2℃	〃
鉛	〃	粒 状				Uアロイ 91.5	91.5±2℃	〃
ジルコニウム	99.6%	スポンジ塊				Uアロイ 95	95±2℃	〃

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

「社名」または「大学名」、および「所属と名前」、個人の方は「名前」  
 「郵便番号・住所・電話・FAX」・「商品名・純度・形状・希望数量」

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

株式会社 **平野清左衛門商店**  
 〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL(03)3292-0811

- 土曜・日曜・祭日休業
- 手形取引はいたしません
- 輸出はせず国内取引のみ

# 高純度 GfG

## 汚れや飛散のないカーボン材料

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

■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

## 試験雰囲気ガス中の酸素濃度のコントロール・測定に!!

高濃度 ( $10^5 \text{PaO}_2$ ) から極低濃度 ( $10^{-25} \text{PaO}_2$ ) まで酸素をコントロール測定します。

### 酸素分圧 & 雰囲気制御試験炉



NEW

管状炉付酸素分圧  
コントローラー

SiOAF-200C

- 簡便な GUI によりタッチパネル、ネットワーク、PC から容易に温度、雰囲気、酸素分圧等のプログラムパターン運転が可能です。
- 酸素分圧コントロールユニット (オプション) の付加により高濃度 ( $10^5 \text{Pa}$ ) から極低濃度 ( $10^{-25} \text{Pa}$ ) までの酸素分圧を制御できます。
- 最大3ガス種までの雰囲気ガスを接続し、任意のタイムプログラムにて雰囲気調整できます。
- 均熱長 120mm / 1ゾーン制御炉から均熱長 300mm の3ゾーン制御炉まで対応できます。

SiOC-200CB  
(循環型)



### 酸素分圧コントローラー

- 本装置はジルコニア式酸素ポンプに不活性ガスを流し、ガス中の酸素濃度を制御します。
- 酸素濃度のコントロールは酸素ポンプと酸素センサーを組み合わせた PID 式フィードバック回路により制御されます。
- 不活性ガス中の酸素濃度は  $10^5 \sim 10^{-25} \text{PaO}_2$  (タイプ C 循環式) の範囲で制御します。

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

SiOS-200C  
(コンパクトタイプ)



### 高感度酸素センサー

- 極低酸素分圧領域  $10^5 \sim 10^{-25} \text{Pa}$  における研究開発に使用できます。
- 高分解能測定回路の採用により、測定レンジの切替をせずに、広範囲酸素分圧をダイレクト測定できます。
- 測定ガスサンプリングポンプを付属したタイプ (SiOS-200P) も揃えています。

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

**PHI 710** *Scanning Auger Nanoprobe*



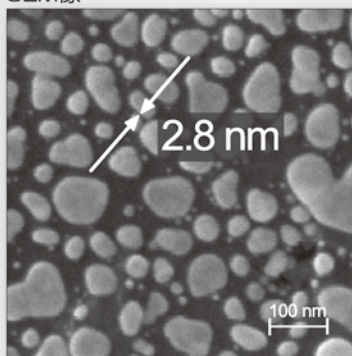
CMA 型 AES

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



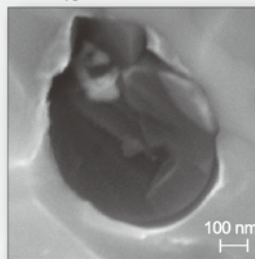
SEM 分解能  $\leq 3$  nm, AES 分解能  $\leq 8$  nm

SEM像

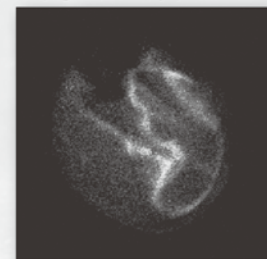


グラファイト上の金粒子における SEM分解能測定 (25 kV 0.2 nA)

SEM像



Sのオージェマップ



ダクタイル鋳鉄断面の粒界介在物の分析

**アルバック・ファイ株式会社**

本社・工場 〒253-8522 茅ヶ崎市田蔵370番地 TEL: 0467-85-4220 (国内営業部) FAX: 0467-85-4411  
大阪営業所 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3-3-31 上村ニッセイビル5階 TEL: 06-6350-2670 FAX: 06-6350-2980

<https://www.ulvac-phi.com>