

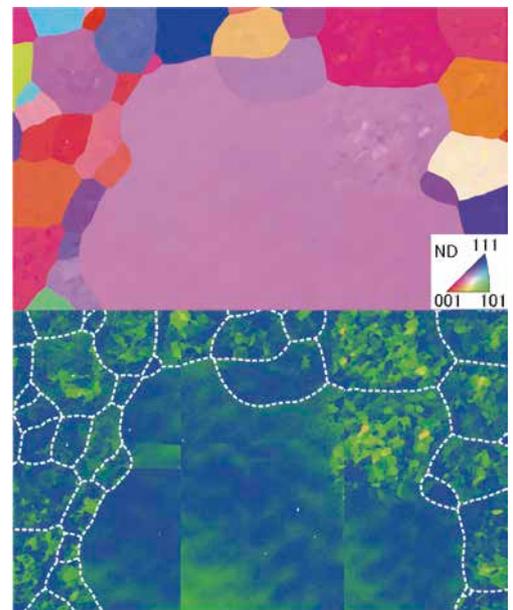
Materia Japan

- 金属素描
- 異常粒成長による形状記憶合金の単結晶化
- 半導体の転位の新しい観察技術
- 先達からのお便り 平賀賢二 (東北大学名誉教授)
- 春期講演大会プログラム (別冊付録)

まてりあ

Vol.58 MTERE2 58 (3) 131~172 (2019)

2019 **3**



0° 5° 1 mm

ミキサーミル **MM400**

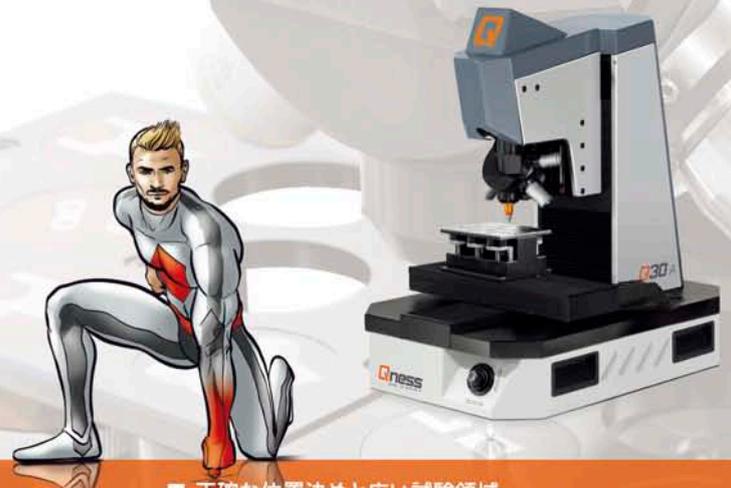
数秒間で効率的に粉碎・ホモジナイジング



- 3つの粉碎方式（乾式、湿式、凍結粉碎）
- ネジ式粉碎ジャーで、優れた機密性
- 高エネルギー粉碎による、メカノケミカルの促進

全自動マイクロ硬さ試験機 **Q30 A+**

ピッカース、ヌーブ、プリネルに対応の全自動機



- 正確な位置決めと広い試験領域
- 6種測定タレット
- 電子制御によるダイナミックな高さ調整

日本金属学会 2019年春期（第164回）講演大会にて展示を行います。

会場：東京電機大学 東京千住キャンパス

ランチョンセミナーも参加します。是非お越しください。

3/20 水 ▶ 3/22 金

3/21（木）12:05～12:45（予定）

画像式粒度分布測定装置 **CAMSIZER X2**

2台のカメラを搭載（弊社特許技術）、広範囲の粒子を一度で測定



- 乾式・湿式に対応
- カメラのレンズ交換等のハードウェア調整を行う必要なく、0.8μm～8mmの粒子を測定
- ふるい分け試験法との高い相関性

振動式ポリッシング装置 **サファイアパイプロ**

柔らかで延性のある試料の調整に



- 試料の表面の結晶化と腐食を防ぐ表面保護機能
- 大型試料に対応できるΦ 308 mmの大型ボウルを採用
- 低騒音、オペレータの介入なしに長時間連続運転可能
- ポリッシングボウルの交換が容易なマグネットシステム

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

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



巻頭記事	金属バットのテクノロジー	131
金属素描	No. 2 ジルコニウム(Zirconium) 木口賢紀	135
最近の研究	サイクル熱処理による異常粒成長と銅系形状記憶合金単結晶の作製 大森俊洋 草間知枝 喜瀬純男 田中豊延 荒木慶一 貝沼亮介	137
	相変態を伴う冷却・加熱のサイクル熱処理で異常粒成長が発現。建築部材としての応用に向け、形状記憶合金の大型単結晶作製に成功!	
	多光子励起フォトルミネッセンスを用いた GaN 結晶中の転位の非破壊・三次元観察 谷川智之	144
	多光子励起過程を利用して GaN 結晶の転位の三次元構造を非破壊で観察する手法を紹介。新しい転位観察技術として期待!!	
新進気鋭	競合現象に着目した鉄鋼材料のマイクロ組織解析 小川登志男	150
産官学交差点	材料研究における AI・データ科学活用に向けた取り組み 出村雅彦	155
先達からのお便り	趣味に生きる 平賀賢二	156
スポットライト	「ちゅうぞう」ってしてってますか? 唐田裕介	158
はばたく	降伏現象への原子論的アプローチ 兵頭克敏	159
学会・研究会だより	会議報告 19th International Microscopy Congress (IMC19) 栃木栄太	160
研究所紹介	一般財団法人ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 平山 司	161
本会記事	会告	162
	支部行事	166
	掲示板	166
	会誌・欧文誌 3 号目次	167
	新入会員	168
	追悼	169
	次号予告	169
	行事カレンダー	170

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

今月の表紙写真 銅系超弾性合金において、異常粒が亜結晶粒組織を掃きながら成長する様子。(大森俊洋 草間知枝 喜瀬純男 田中豊延 荒木慶一 貝沼亮介: 本号137頁図3より改編)

表紙デザイン: 北野 玲
複写をご希望の方へ

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



金属バットの テクノロジー

野球の華といえば、試合の流れを大きく変え、球場が一気に盛り上がるホームラン。
平成最後の夏の甲子園(第100回全国高等学校野球選手権記念大会)では、
51本のホームランが飛び出した。

夢の放物線を描き出す金属バットに秘められたテクノロジーに迫る。



金属バットで 本塁打数は3倍増



金属バットが日本の高校野球で導入されたのは、1974年の第56回大会からだ。現巨人監督の原辰徳は、金属バット時代の最初のスターだった。そして80年代に入り、池田（徳島）のやまびこ打線の登場で、高校野球はホームラン量産時代を迎え、その後は清原和博や松井秀喜のような日本を代表するホームランバッターが甲子園から誕生した。

金属バットは野球を変えるほど、そのインパクトは絶大だった。ホームランの1試合平均本数は73年までの0.2本から、74年以降は3倍の0.6本のペースで急増した。その後もホームラン数は増え続け、2015年以降は0.8本に達している。

金属バットの誕生は野球大国アメリカで、1960年頃にさかのぼる。日本では当初、輸入販売されるのみであったが、アメリカのメーカーが製作した金属バットを参考にしながら70年に国産品が開発された。

素材にはアルミニウムが採用され続けている。アメリカでは、一時期オールチタン製の金属バットも売り出されたが、コストが高く、加工がしにくいといった問題があり、現在は市場から消えてしまったため、金属バットといえばアルミニウム合金が定番で、主にジュラルミン系の7000系合金が使われる。

日本の高校野球で金属バットが導入された背景には、木製バットの原料となる木材価格の高騰があった。折れやすい木製を使うよりも耐久性に優れた金属製は経費を節減でき、保護者の負担が軽くなるとともに、

森林資源の保護にも有効だと考えられたからだ。そして何よりも金属バットの最大のメリットは、球がより遠くへ飛ぶこととその強さにあった。木製は球の当たりどころが悪いと折れてしまうが、金属製は折れる心配がないので思いきり振り切れる。芯から多少ずれて球が当たっても、反発力の高さにより飛距離が伸びる。74年の夏の甲子園では、選手全員が金属バットを使うチームもあれば、たった1人しか使わなかったチームもあるなど、導入状況は全体の6割程度だったが、今では甲子園出場全選手が金属バットを使用している。

さらなる軽量化と スイングスピードの関係



現在の金属バットは導入当時より改良が加えられている。1991年からは打球音を抑えた消音バットが登場した。これはカキーンという甲高い金属音が耳に響き、選手や球審に難聴など聴力障害を招いたことや、練習中に周辺住宅地への騒音影響を考慮したためだった。そのためパイプ構造で中空だった内部に発泡ウレタンを詰めるとともに一体成形から先端部を樹脂キャップ構造に変えることで、打球音は低減された。

さらに金属バットは、製造メーカーの技術革新によって軽量化や反発力が格段に改

飛距離のメカニズム(図1)



飛距離アップには打ち返したボールが飛び出す時のスピード（初速）が最も重要になる。ボールがバットに当たるインパクトの瞬間、力を最大限ボールに伝えるためには、スピードの向上が必要不可欠だ。

善された。その結果、金属バットによる打球があまりに速すぎ、プレー中の安全性確保が懸念されたため、2001年秋から900g以下の金属バットの使用が禁止された。バットが軽いとスイングスピードが速くなり、打球速度が速くなるとともに、飛距離アップによるホームランの量産化に拍車がかかると考えられたからだった。

実際、反発力の良い金属バットを使えば、誰でも飛距離を伸ばせるものなのだろうか。反発力の良いバットとは、反発係数の高いバットのこと。最高反発係数を100と考えると、木製（白木）は30～35、金属製（アルミニウム）は50～60となるという実験結果が出ている⁽¹⁾。やはり金属製は木製に比べて、理論的には反発力が良いことがわかる。

ところが金属製でも木製でも、飛距離アップのポイントは、ゴルフと同じように打ち上げ角度、バックspin量、初速が重要となる。なかでも初速とは、打ち返したボールが飛び出す時のスピードのこと。最も飛距離アップに関わる要素だ（図1）。つまり反発

INTERVIEW

金属バットで野球の醍醐味を味わってほしい



三上 大智 さん

ミズノ株式会社
グローバルイクイップメントプロダクト部
ダイヤモンドスポーツ企画生産課

金属バットは耐久性に優れ、草野球などで野球を楽しむ人であれば、使い方次第で一生涯のものになる。道具は使い込むうちに愛着が湧いてくる。お気に入りの金属バットを見つけて、大切に使用いただき、より遠くにより速い打球を打つことができる優れた性能を体感して、野球の醍醐味を味わってほしいと開発者たちは願っている。子どもから大人まで、野球を楽しむ気持ちをどう捉えて製品に落とし込んでいくのか。その永遠の課題を追

いながら、これからも野球を愛する多くの人たちの夢を描くバットづくりにまい進していきたい。



最高の飛びを求め

力が良い金属製を使っても、スイングスピードが遅いと、木製とあまり変わらないことになる。飛距離アップの源は、鋭い振りにあるのだ。

さらに実験はバットにボールが直角にあたった場合のみを想定しているが、現実にはシュートやカーブなど、さまざまな変化球に対応しなければならない。硬式ボールは中心の少し下を打つと、バックスピがかかり、上向きの力が加わり飛距離が伸びていく。例えばプロ野球選手の平均スイングスピードは140 km台といわれており、ボールの中心の7 mm 下を打つと最も飛距離が伸びるといふ。そしてスイングスピードが速くなるほど、飛距離が伸びるポイントはボールの中心に近づくといわれるが、バックスピ量は少なくなる。バッターはボールのどこをどの角度で打てば飛距離が伸びるのかを掴む必要がある。金属バットは決して魔法の杖ではない。

なおバットの材質にはアルミ合金のほか、カーボン、複合バット（コンポジットバット）といった種類がある。

重心の位置で重さの感覚が変わる

金属バットが800 g台から900 gへと重くなれば、スイングスピードが落ち、ボールは飛ばなくなるはずだった。しかし近年ト

レーニング法が発達し900 g以上のバットでも高校生は軽々と振ってしまう。ホームラン数の推移を見てみると、2003年の13本に対して、06年に49試合中60本、17年には48試合中68本と試合数を上回る本数を記録した。

しっかり振り切れれば飛距離が出ることを証明したといえる一方、肉厚でも反発力の高い金属バット開発が行われてきた絶え間ない技術革新も見逃せない。技術革新のポイントは、重心の位置を変えることだった。バットの重心は3種類あり（図2）、位置によってスイングしたときに感じるバットの重さが変わる。

バットの先端に重心があるトップバランスは、ボールに負けないヘッドの効いたスイングが可能になる。先端にある重心が生み出す遠心力を活かしてバットを振ることができるので、遠くへ飛ばすだけでなく鋭い打球が打てるようになる。しかし身体から離れた場所が重くなることから、重さを感じやすく、力がないとバットのヘッドが下がり気味になることから、操作性やバットのコントロール性は難しくなる。

一方、バットの中間部分に広い範囲で重心が置かれているミドルバランスは、振りやすくコントロールしやすい。重心が身体に近づくことから、同じ重量でもトップバランスより軽く感じ、操作性やバットのコントロール性が向上する。人気があるため、各メーカー

からロングセラーモデルが数多く出ている。

またバットの手元より重心があるカウンターバランスは、トップバランスやミドルバランスと比べて同じ重量でも軽く感じ、操作性が最も良く振りやすい。振り切りの良さやボールを強く叩く感覚が乏しく、打球速度や飛距離が出ないものの、その操作性によりインコースがざばきやすくなる。

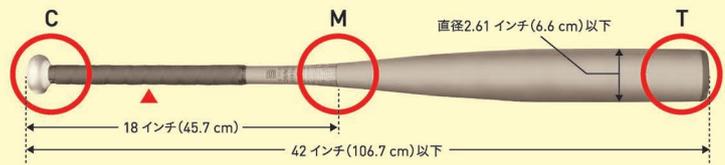
このように重心の位置を変えることで、重量があってもスイングバランスが良くなり、その結果さまざまなニーズに対応する金属バットがメーカー各社から次々と生まれ、進化を続けている。

例えば材料メーカーで開発されたHS700という特別なアルミニウム合金を使っている金属バットは、打った感触（打感）が柔らかく、バットがたわむ分、その反発で飛距離が出る。打者からすると芯の部分が広く、ボールを捕らえやすく、乗せている感じがするという。

ただし選手によっては、スピードボールに負けていると感じることがあるため、逆にバットのたわみは弱いものの、戻りが早く打感が硬めな金属バットもつくられている。このバットはヘッドキャップに金属を使用し、先端にカーリング（曲げ）加工を施すことにより、打球時の力の分散を抑え、反発特性を引き出すことで飛距離を伸ばしている。

金属バットの構造と設計思想(図2)

金属バットの形状は、先端からグリップ部までの外径の収縮率（全体傾斜率）が10%を超えない、なだらかな傾斜でなければならない。太さは最も太い部分の直径が2.61インチ（6.6 cm）以下、長さは42インチ（106.7 cm）以下、グリップは18インチ（45.7 cm）と野球規則に規定されている。



同じ重さ900 gの金属バットでも、スイングバランスが異なれば、振ったときに感じる重さ（体感質量）が変わる。スイングバランスの導入により、サイズや質量、形状に頼ることなく、選手の体力や打撃スタイルに応じたバット製造が可能になった。

質量配分	カウンターバランス C	ミドルバランス M	トップバランス T
特長	バットのバランスが手元にあり、バットコントロールが容易で、シャープなスイングが可能。アベレージヒッター向き	バットのバランスを中間に置き、ボールを打った時の飛び出しのスピードが効率よく速くなる。ミドルヒッター向き	バットのバランスを先端に置き、ボールに負けないヘッドの効いたスイングを可能にする。ロングヒッター向き
体感質量*	約840 g	約900 g	約940 g

*質量900 gの場合、スイングスピードを同じ状態にしてスイングしたときに感じる重さ

金属バットの 製造工程

① 肉厚調整

材料のアルミニウム管材を厚さ2.0～4.0 mm、長さ400～600 mmに伸ばす。

② スウェージ加工

管端の伸びばらつき部と未加工部分を切断し、バットの形状に成形する。

③ 焼入れ処理

約500℃で加熱後に急冷し、アルミニウム合金中に銅や亜鉛を均一に溶け込ませる。

④ 焼戻し処理

150℃×24時間加熱によりアルミニウムとマグネシウムや銅との化合物が生じ、硬く強くなる。

⑤ ネジ・ヘッド部旋削加工

グリップ部のネジ加工とヘッド部の旋削加工を行ったあと、製造ロットを印字する。

⑥ 研磨加工

バット表面部に特殊研磨加工を施したあと、疵や汚れをきれいにし、重量調整する。

⑦ 組立

塗装などを行ったあと、キャップやグリップエンドを付け、テープを巻いたら完成。

低反発金属バットへの期待

金属バットをめぐる、新たな課題が浮上している。大学生から木製バットに持ち代える日本と違い、アメリカではメジャーリーグなどのプロを除き、リトルリーグから大学まで金属バットが使われている。アメリカでも急激にパワー増強が進み、金属バットによる打球があまりに速すぎ選手らが対応できないアクシデントが発生するなど、危険性が指摘されるようになった⁽²⁾。そのため2012年からBBCOR (Batted Ball Coefficient of Restitution) 50という規格名で、木製バットと同程度に反発係数が調整され、この規格以外の金属バットは使用を認められていない。⁽³⁾

また日本国内でも2018年のU18野球日本代表が、韓国と台湾に連敗し、U18アジア

選手権連覇の道を断たれたことを契機に、金属バット弊害論が再燃した。国際大会になれば、木製バットを使わなければならない。甲子園では世界一反発係数が高い金属製を使ってプロと同じくらい多くのホームランを打っていても、国際大会で木製になった途端苦勞する球児たちの姿を目の当たりにして、日本の高校野球のガラパゴス化が危惧されている。⁽³⁾

そこで日本でも今後、木製と同様の反発係数に調整した金属バットの使用が進むものと思われる。日本リトルリーグ協会では2018年シーズンから、アメリカ本部のルー

ル改正に伴い、リトルリーグ (リトル年齢12歳以下) 部門およびジュニアリーグ部門 (12～14歳) などで、これまでよりも飛びにくいバットの使用が義務付けられた。

低反発金属バットの製造は、アメリカのメーカーが主流だが、日本のメーカーもすでにアメリカで販売している。日本で低反発金属バットが普及すれば、日本のものづくり力によって新たな技術革新が生まれ、新たなニーズに合った高性能な低反発金属バットが生まれることに期待が寄せられる。

(取材協力：ミズノ株式会社、日本シャフト株式会社横浜工場)

文 献

- (1) 美津和タイガー 野球博物館 第一展示室「バットの部屋」バットの科学：
<http://www.mitsuwa-tiger.com/batmuseum/science.html>
- (2) 朝日新聞社 2011年2月22日「金属バット、米に退場論 アマ野球禁止の動き相次ぐ」：
<https://vk.sportsbull.jp/koshien/news/OSK201102220038.html>
- (3) Sports Graphic Number Web 2018年11月8日「低反発金属バット導入は一石三鳥だ。高校野球の金属バット問題を考える。」広尾見：<https://number.bunshun.jp/articles/-/832441>

——バットは進化する

分子／結晶模型モデル (組み立て用キット)

プラスチックの原子と結合を使った教育学習用の分子／結晶構造の模型です。原子は色で区別され、正しい角度に設定された分枝を持ち、決められた長さの結合長で繋ぎ合わされます。直径1cmと6mmの原子を使う2種類のモデルサイズがあります。

基本セット

■Basic Structure (1cmモデル) Class Set ¥10,000.-
硫酸、塩化ナトリウム、ダイヤモンド、グラファイト、金属、酸と塩基、洗剤、ナイロン、アモルファス構造の学習用(原子515個)

■Lattice (1cmモデル) Class Set ¥10,500.-
ダイヤモンド、グラファイト、塩化ナトリウム、8および12配位金属、塩化セシウム、セ閃亜鉛鉱、ウルツ鉱、ルチル、氷構造の学習用(原子380個)

■Organic and Inorganic Chemistry (1cmモデル) Class Set ¥8,800.-
アルカン、アルケン、アルキン、環構造、酸素／窒素／硫黄／リンの官能基、ベンゼン環、ポリマー、複素結晶の学習用(原子500個)



結晶セット

■Carbon Nanotube

(原子150個) ¥3,100.-

■Diamond (原子450個) ¥7,000.-

■Beta-Quartz (原子1,400個) ¥13,600.-

■Mica (原子1,550個) ¥25,200.- その他、多数あり

(製作: Cochranes of Oxford Ltd.)

化学プロセス用の物性データベース

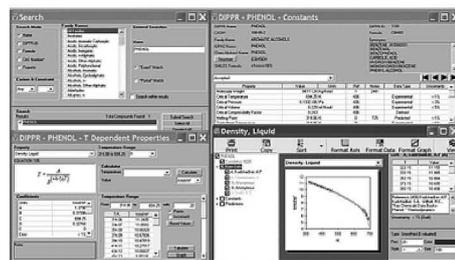
DIPPR with DIADEM pro (Design Institute for Physical Property Data)

価格(税別) ¥350,000.- (一般向け) ¥60,000.- (教育機関向け)

2,280化合物についての49種類の熱物性値(実測値)、複数の推算式、原文献データと15種類の温度依存物性には推算式の係数などのデータベースです。AIChE推奨のインターフェイスソフトウェア(DIADEM)付きのスタンドアロンシステムです。

おもな機能(DIADEM)

- 検索対象: Name, Formula, CAS番号、物性データ
- 物性値: 実測値、推算式による予測値
- データ表示: テーブルとグラフプロット
- 複数化合物データの重ね合わせプロット
- MDL Chimeプラグインによる構造式の立体表示
- ユーザーデータベースの作成



システムプラットフォーム:
Windows Xp/Vista/7/8 (AIChE DIPPR Project 801)

25,000件のセラミックス状態図データベース

ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 4.2

価格(税別) ¥160,000.- マルチユーザー ¥260,000.-

検索条件

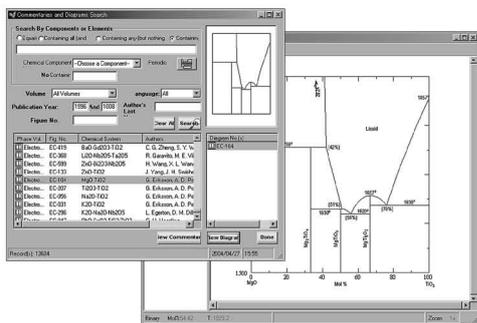
- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

データ表示

- ◆モル百分率↔重量百分率
- ◆Lever rule計算
- ◆ズームアップ/ズームダウン

データソース/新データ2,500件を追加

●Phase Diagrams for Ceramists (Volumes I・III, Annual Volumes '91, '92 and '93, High Tc Superconductor monographs (two), Phas Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics Vol.15)



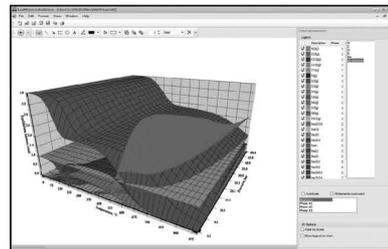
システムプラットフォーム: Windows XP/Vista/7

化学反応/平衡計算ソフトウェア

HSC Chemistry for Windows, Ver.9.7

価格(税別) ¥650,000.-/¥280,000.- (一般/教育)

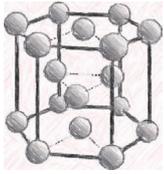
約28,000種についてのエンタルピー、エントロピー、熱容量のデータベースを基に化学反応の計算やGIBBSまたはSOLGASMIXのルーチンによる化学平衡を計算します。反応、熱平衡、分子量計算などの一般的なモジュールの他、電気化学セル平衡と相安定性、腐食の研究に使われるEh-pH(プールベ)状態図の作成などユニークなモジュールを持ち合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコピーできます。SIM Flowsheetモジュールもあり、複数のユニットプロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリングができます。



システムプラットフォーム: Windows 7/8/10
(Outototec Research Oy. 製作)

株式会社 デジタルデータマネジメント

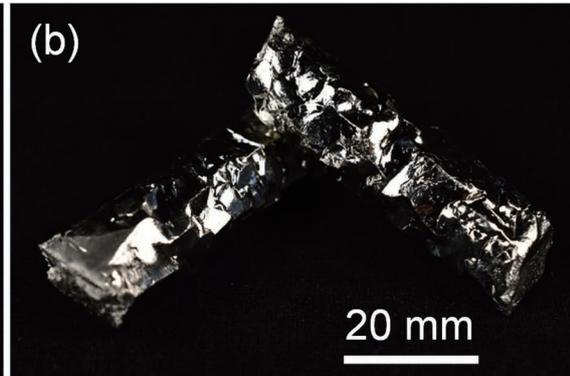
東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル 〒103-0025
TEL.03-5641-1771 FAX.03-5641-1772 <http://www.ddmcorp.com>



シリーズ「金属素描」

No. 2 ジルコニウム (Zirconium)

東北大学 木口賢紀



元素名：Zirconium, 原子番号：40, 質量数：91.22 g mol⁻¹, 電子配置：[Kr]4d²5s², 密度：6.507 Mg·m⁻³ (293 K), 結晶構造： α -Zr 六方最密 (~1143 K), β -Zr 体心立方 (1143~2128 K), 融点：2128 K, 沸点：4650 K, 地殻存在量：132 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

【写真】(a) Kroll 法で製造されたスポンジ Zr, (b) ヨード法で製造された Zr, 純度99.9% (株式会社東洋サクセス 試料提供).

ジルコニウム (Zr) は遷移金属元素の一つで、地殻存在量は 132 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ と金属元素の中では14番目に多い。ニッケル (Ni) や銅 (Cu) (0.01) の2倍、亜鉛 (Zn) (0.004) の20倍の存在量である。遅い中性子捕獲過程によって重い元素が合成される赤色巨星 (S 型星) をはじめ、太陽、月、隕石中にも Zr は存在している。Zr の主原料であるジルコン (ZrSiO₄) は、主にオーストラリアや南アフリカで毎年150万トン以上採掘されている。毒性がないことから環境に優しい元素であると言える。ジルコンは宝石として古代から知られていたが、1789年 Klaproth の分析により新元素を含むことが発見された。低純度の金属は1824年に Berzelius が、高純度の金属は1925年に Arkel と Boer によりヨード法で得られている。現在、工業的にはチタンと同様クロール法で製造されている。

金属 Zr は灰白色で光沢を示し、バルク状では表面に高密度の酸化物被膜を形成するため反応性が低い。フッ化物を除き無機酸や熱アルカリでも腐食しない。金属ハフニウム (Hf) と比べて、熱中性子の吸収断面積が小さいこと、 α 型から β 型への相変態温度が大きく異なる点を除き、化学的性質は両者で酷似しているため、Zr 化合物は2%程度の Hf を含んでいる。金属 Zr の90%以上が原子力発電に用いられている。

Zr 合金には、ジルカロイと呼ばれる原子炉規格の材料、Zr-Fe 合金、Zr-Cu 合金、Zr-Al 合金、Zr-Mg 合金などが知られる。Zr は、金属の中で最小の熱中性子吸収断面積を示し放射化しにくい性質を有することに加えて、機械的強度、耐食性、耐熱性にも優れ、1.5%程度の錫 (Sn) との合金であるジルカロイとして、熱中性子を使う原子炉の構造材料

に向けて1950年以降米国で実用化され、軽水冷却型発電用原子炉の燃料被覆管や燃料集合体チャンネルボックス材料として利用されている。水による Zr の腐食への耐性が優れているが、1173 K 以上では乾食が進行して ZrO₂ と水素ガスが発生する問題が生じる。また、六方最密構造の α 相の底面に水素化物が析出しやすく被覆管が破損する可能性があり、ピルガー式圧延法が用いられている。

高温下では酸化物や窒化物などの化合物を形成する。特に、螢石型構造をとるジルコニア (ZrO₂) は、アルカリ土類酸化物や希土類酸化物を固溶することによって多形間の相変態を制御し、宝飾品・光通信 (高屈折率)、歯科材料・工具・耐火材 (マルテンサイト型変態強化)、ジェットエンジンやタービンブレードの遮熱コーティング材 (耐熱性、化学的安定性) 触媒・固体電解質 (酸素イオン導電性)、電子材料 (高誘電率) に加え、化粧品や制汗剤、食品包装材料など、社会の様々な分野で活躍している。ジルコンを主成分とする砂状鉱物ジルコンサンドは、耐火材、炉の内張材、熔融金属用の巨大取鍋、鋳型の製造に使われてきた。

このように、Zr は合金や化合物の形で多様なポテンシャルを有しており、これからも様々な分野で期待される金属元素であろう。

文 献

- (1) 金属データブック改訂4版, 日本金属学会, 丸善(2004).
- (2) 馬淵久夫: 元素の辞典, 朝倉書店(1994).
- (3) J. Emsley: The A-Z of zirconium, Nature Chemistry, 6(2014), 254.

次号 金属なんでもランキング! No. 2 密度



公益社団法人日本金属学会への入会のおすすめ

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

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

最新の研究や技術の動向をいち早く得ることができます

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

多様な研究者や技術者と交流ができます

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

研究成果を発表、討議して、研究を深めることができます

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

技術者・学生の能力開発や進路選択への支援が受けられます

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

表彰を受けられます

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

[入会するには(入会手続き)]

本会ホームページの入会ページ(下記 URL)から入会申し込み下さい。

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

サイクル熱処理による異常粒成長と銅系形状記憶合金単結晶の作製

大森俊洋¹⁾ 草間知枝²⁾ 喜瀬純男¹⁾
田中豊延²⁾ 荒木慶一^{***} 貝沼亮介³⁾

1. はじめに

超弾性は形状記憶合金が有する機能のひとつで、弾性域以上の変形を与えても除荷すれば元の形状に戻る性質である。応力の負荷・除荷に対して応力誘起マルテンサイト変態と逆変態が可逆的に生じることに起因して超弾性歪が得られる。通常、その歪量は数%~10%程度である。この性質を利用し、医療デバイス(ステント、ガイドワイヤー、歯列矯正ワイヤー)や眼鏡フレームなどに利用されているが⁽¹⁾、近年は建築・土木分野での利用が検討されている⁽²⁾。1994年ノースリッジ地震(カリフォルニア)、1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)、2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)など、巨大地震により甚大な被害が生じたことは記憶に新しい。そこで、超弾性合金の大きな歪に対する原点復元能力や応力-歪線図に現れるヒステリシスループに対応するエネルギー吸収能を利用し、超弾性合金部材を橋梁や建物の一部に用いることで、地震による建築・土木構造物の損傷を抑制するための研究が世界的に行われている⁽³⁾⁽⁴⁾。実際、イタリアの歴史的建造物⁽²⁾やアメリカの高速道路橋⁽⁵⁾でTi-Ni超弾性合金を使った試みがなされている。建築・土木分野での超弾性合金の適用における障害のひとつは材料コストである。超弾性合金は鋼材に比べて高価であり、安価な超弾性合金の開発が望まれる。また、従来の超弾性合金の適用例に比

べて部材を大型化する必要がある。多くの場合、Ti-Niは直径3mm以下の線や管で利用されてきたが、建築・土木分野では、おおよそ直径10mm以上が必要と考えられる。施工においては、Ti-Ni合金は塑性加工、切削加工や溶接が困難なため、他の部材との接合が問題となる。さらに、超弾性合金は温度が上昇すると見かけ上の降伏応力(マルテンサイト変態誘起応力)が上昇するため、環境温度の変化や歪速度の上昇により機械的性質が変動してしまう点も懸念される。

著者らは、Cu-Al-Mn超弾性合金の開発を行ってきた⁽⁶⁾。図1にCu-Al-10at%Mn縦断面状態図を示す⁽⁷⁾。 β 相はBCC構造であるが、A2/B2/L2₁の規則変態を生じる。一般に、特定の格子サイトに入る原子種が決まっている規則合金は、パーガースベクトルが大きくなることや特定方向の共有結合性が高くなることなどにより、延性に乏しい。形状記憶合金・超弾性合金の多くが規則合金であり、延性の改善は共通課題の一つである。Mnを10at%程度、Al濃度を17at%程度のCu-Al-Mn合金はL2₁構造であるが、低規則度、すなわち、決められた格子サイト以外に特定の原子種が配置される割合が高く、比較的、不規則構造に近いために冷間加工性や切削加工性に優れる⁽⁸⁾。さらに β 相は6-layered monoclinic (6M)構造などのマルテンサイト相に変態し、超弾性を示す。優れた加工性と超弾性を活かし、薄板を曲げ加工した形状から成る巻き爪矯正器具を実用化した⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。また、Cu-Al-Mn合金の大きな特徴は、変態誘起応力の温度

* 東北大学大学院工学研究科金属フロンティア工学専攻; 1)准教授 2)大学院生(現: 東芝) 3)教授(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-02)

** 株式会社古河テクノマテリアル特殊金属事業部; 1)技術開発課課長 2)技術開発課担当課長

*** 名古屋大学大学院環境科学研究科都市環境学専攻 教授

Abnormal Grain Growth Induced by Cyclic Heat Treatment and Fabrication of Cu-Based Shape Memory Alloy Single Crystal; Toshihiro Omori*, Tomoe Kusama*, Sumio Kise**, Toyonobu Tanaka**, Yoshikazu Araki*** and Ryosuke Kainuma* (*Department of Metallurgy, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai. **Special Metals Division, Furukawa Techno Material Co., Ltd., Hiratsuka. ***Department of Environmental Engineering and Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya)

Keywords: *abnormal grain growth, precipitation, shape memory alloy, superelasticity*

2019年1月15日受理[doi:10.2320/materia.58.137]

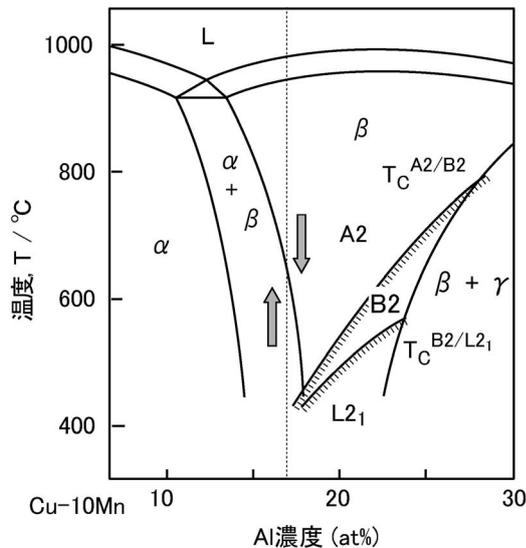


図1 Cu-Al-Mnの10 at%Mn一定での縦断面状態図。

依存性がTi-Ni合金の約1/3程度と非常に小さい点である⁽¹¹⁾。

Cu-Al-Mn合金で良好な超弾性を得るには、試料断面に対する結晶粒径を大きくする必要がある⁽¹²⁾。単結晶において最も理想的な超弾性挙動を示し、結晶粒が試料断面を貫通したバンパー構造においても単結晶に準ずる超弾性が得られるが、繰り返し疲労や粒界破壊の可能性を考慮すると単結晶が望ましい。しかし、ブリッジマン法やチョクラスキー法による単結晶製造は著しいコスト上昇を招く。薄板や細線では、正常粒成長した結晶粒が板厚や線径を貫通させることも可能であるが、大型部材でバンパー構造や単結晶を得ることは不可能である。本研究では、“サイクル熱処理による異常粒成長”という新しい現象を利用し、Cu-Al-Mn合金の大型単結晶部材の作製を行った。異常粒成長が生じる時の組織変化を、EBSD(Electron Backscatter Diffraction)などを用いて観察し、異常粒成長の駆動力を明らかにした。その上で異常粒成長により単結晶化する熱処理を考案し、長さ70cmの超弾性棒材を作製することに成功した。このことにより、Cu-Al-Mn超弾性合金を建築・土木用部材として利用可能となった。これらの研究成果について紹介する。

2. サイクル熱処理による異常粒成長

本稿で紹介する実験に用いた試料の組成はCu-17Al-11.4Mn(at%)である。図1に示す通り、17 at%Al付近のCu-Al-Mn合金は高温では β 単相、低温では $\alpha+\beta$ の二相となる。 α 相はFCC構造である。 β 単相域から冷却して α 相を析出させ、再び β 単相とすると異常粒成長が生じる⁽¹³⁾。図2にサイクル熱処理と異常粒成長組織を示す⁽¹⁴⁾。図2(a)にサイクル熱処理の履歴を示した。サイクル熱処理を含まない900°C24時間の等温保持をすると、 β 相結晶粒径が最大でおおよそ2mmの均質な組織となる(図2(b))。しかし、

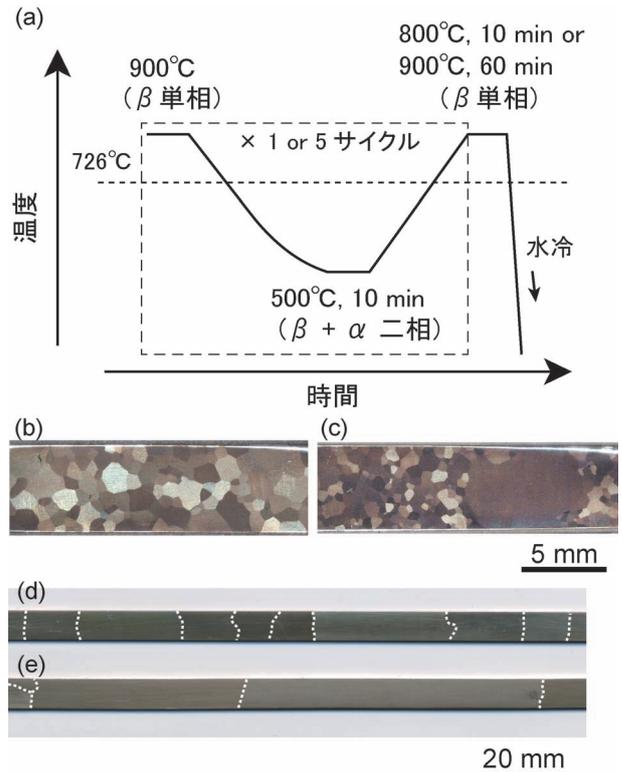


図2 (a) サイクル熱処理の履歴。冷却速度、加熱速度はそれぞれ3.3°C/min, 10°C/min。(b) 900°C24時間等温熱処理後のマイクロ組織。(c) 900°C→500°C→800°Cサイクル熱処理後のマイクロ組織。(d) 900°C→500°C→900°Cサイクル熱処理後のマイクロ組織。(e) 900°C→500°C→900°Cのサイクル熱処理を5回繰り返した後のマイクロ組織。(オンラインカラー)

900°Cから $\alpha+\beta$ 二相となる500°Cに徐冷し、 β 単相域である800°Cに徐加熱すると、1つの結晶粒が約7mmまで粗大化することがわかる(図2(c))。これは異常粒成長が生じたことを示している。最終加熱温度を900°Cにすると5mm~22mmの大きな結晶粒組織となる(図2(d))。さらに900°Cと500°C間のサイクル熱処理を5回繰り返すと、さらに大きな約50mmの結晶粒が得られた(図2(e))。

少数の結晶粒が他の結晶粒に比べて高速で成長する異常粒成長は、歪焼きなまし法や電磁鋼板などにおけるインヒビターを利用した手法が知られている。歪焼きなまし法は板や線などの単純形状の製品には適用できるが複雑形状の場合は適用が難しい。今回のサイクル熱処理法は形状の制約が無い点に利点を有する。また、インヒビターを利用した方法と異なり、サイクル熱処理を繰り返せば何度でも異常粒成長が生じるため、原理的には作製できる結晶粒サイズに制限がない。このようなサイクル熱処理法はこれまでにあまり知られていないが、Cu-Zn合金⁽¹⁵⁾やFe-Co-Cr-Mo合金⁽¹⁶⁾においても類似の現象が報告されている。インヒビターの固溶により異常粒成長が生じるなどと説明されているが、そのメカニズムはよくわかっていない。また、建築・土木用の単結晶部材と

して利用するには、少なくとも数百 mm 以上の長さが必要と想定されるため、結晶粒サイズを格段に大きくする必要があります。そこで、サイクル熱処理法による異常粒成長のメカニズムを明らかにし、その上で大型単結晶を作製する手法を検討した。

3. 異常粒成長の駆動力

粒界の移動速度は駆動力と粒界の易動度の積で近似することができる。サイクル熱処理により生じる異常粒成長のメカニズムを駆動力の観点から調査した結果を以下に紹介する。異常粒成長が生じているときのマイクロ組織を調査するため、

900°C→500°C→900°C(図3(a))の熱処理を行い、光学顕微鏡とEBSDで観察・解析した。図3(b)は光学顕微鏡写真、図3(c)と図3(d)は、それぞれ、EBSDにより得たIPF(Inverse Pole Figure)マップ、GROD(Grain Reference Orientation Deviation)マップである⁽¹⁷⁾。異常粒成長(AGG)している結晶粒が観察されており、GRODマップでは、約3°以下の方位差を有する微細な亜結晶粒が異常粒の右上領域と周囲の結晶粒内に見られる。光学顕微鏡やIPFマップにも亜結晶粒組織を認めることができる。一方、異常粒内部には亜結晶粒が存在しない領域が広がっている。この結果により、この異常粒現象では、結晶粒界が亜結晶粒組織を掃いて移動していると推測され、亜結晶粒界エネルギーが異常粒成長の駆

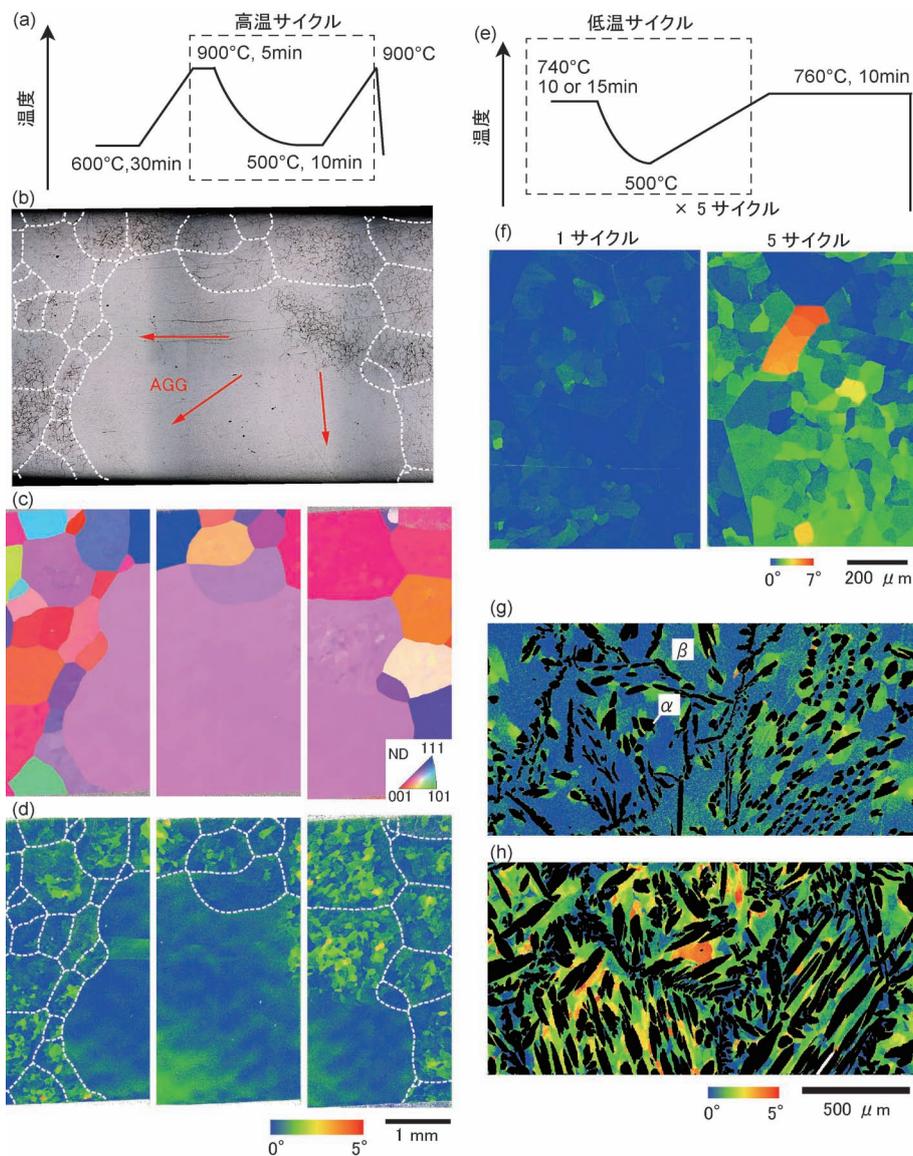


図3 (a) 高温サイクルの熱処理履歴。冷却速度、加熱速度はそれぞれ3.3°C/min, 10°C/min. (b) (a)の熱処理後の光学顕微鏡写真, (c) (a)の熱処理後のIPF(Inverse Pole)マップ。カラーはNDの方位を表している。(d) (a)の熱処理後のGROD(Grain Reference Orientation Deviation)マップ。(e) 低温サイクルの熱処理履歴。冷却速度、加熱速度はそれぞれ3.3°C/min, 10°C/min. (f) (e)の低温サイクル1サイクル後と5サイクル後のGRODマップ。(g) 900°Cからそれぞれ650°C, 500°Cに冷却した時のβ相のGRODマップ。冷却速度は3.3°C/min.

動力になっていると考えられる。

従って、駆動力は以下により表すことができる。

$$\Delta G_{\text{total}} = \frac{C_s \sigma_s V_m}{R_s} + \sigma_h V_m \left(\frac{C_n}{R_n} - \frac{C_a}{R_a} \right) \quad (1)$$

σ_s , σ_h は亜結晶粒と正常粒の粒界エネルギー、 V_m はモル体積、 R_s , R_n , R_a は亜結晶粒、正常粒、異常粒の結晶粒半径である。 C_s , C_n , C_a は定数で、結晶粒が2次元、3次元などにより異なり、0.5~1.5の値をとる⁽¹⁷⁾。第1項は正常粒組織内に蓄積された亜結晶粒界エネルギーによる駆動力である。第2項は亜結晶粒以外の通常の結晶粒に働く駆動力であり、すなわち、再結晶された単相組織の粒成長と同様である。 σ_s は以下の Read-Schockley の式により算出することができる。

$$\sigma_s = \sigma_h \frac{\theta}{\theta_h} \left(1 - \ln \frac{\theta}{\theta_h} \right) \quad (2)$$

θ は方位差、 θ_h は大角粒界となる方位差で15°とする。小角粒界の粒界エネルギー σ_s は方位差 θ が大きいほど大きくなる。1サイクルの熱処理をした Cu-Al-Mn 合金では θ の平均値が0.46°であった⁽¹⁷⁾。その他の各パラメータ ($C_s = 1.5$, $C_n = 1.5$, $\sigma_h = 0.595 \text{ J m}^{-2}$, $V_m = 7.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$, $R_s = 30 \text{ }\mu\text{m}$, $R_n = 400 \text{ }\mu\text{m}$, $R_a = \infty$) を式(1)に代入すると、 $\Delta G_{\text{total}} = 4.8 \times 10^{-2} \text{ J mol}^{-1}$ となる。このとき、式(1)において第1項は第2項の約2倍のエネルギーを有しており、亜結晶粒界のエネルギーが本異常粒成長現象において重要な役割を果たしていることが見積もられた。結晶粒は時間と共に粗大化するが、亜結晶粒の成長は極めて遅い⁽¹⁷⁾。そのため、 R_s はほとんど大きくなり、亜結晶粒界エネルギーに起因する駆動力が時間と共に低下しにくいことも巨大結晶粒を得ることに有利に働いている。

異常粒成長の駆動力を増大させ、より大きな結晶粒を得るためには、式(1)、(2)より、方位差 θ を大きくすることや R_s を小さくすることが有効である。これまでの研究により、低温サイクルを繰り返すことにより、 R_s をほとんど変えずに方位差 θ を大きくできることがわかっている。低温サイクルとは、図3(e)の点線内の740°C/500°C間の冷却加熱を指す。これに対し、図3(a)の900°C/500°Cのサイクルを高温サイクルと呼ぶことにする。 $\alpha + \beta$ 二相の500°Cから加熱をしていくと、約726°Cで α 相は固溶し β 単相になり、ピン止め力が無くなりことから β 相の粒成長が容易になる。しかし、異常粒成長が顕著に生じるのはおおそ800°C以上であることがわかっている。高温サイクルでは1サイクル毎に異常粒成長が生じ易い一方、低温サイクルでは異常粒成長がほとんど起こらずに α 相の析出と固溶が繰り返されることになる。低温サイクル1サイクル後と5サイクル後のGRODマップを図3(f)に示す⁽¹⁷⁾。それぞれの方位差 θ の平均値は0.46°, 1.12°であり、低温サイクルを繰り返すことで異常粒成長の駆動力を増大させることができる。5サイクル後の駆動力 ΔG_{total} は式(1)より $9.3 \times 10^{-2} \text{ J mol}^{-1}$ と計算できる。1サイクル後の駆動力 $\Delta G_{\text{total}} = 4.8 \times 10^{-2} \text{ J mol}^{-1}$ から約2倍に増大したことになり、粒界移動速度も上昇する

こと意味する。実験的にも5サイクルでより速い粒界移動速度となることが確認できている⁽¹⁷⁾。なお、正確に粒界移動速度を決定するには至っていないが、現時点で、5サイクル後に $8.7 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ ($= 31 \text{ cm h}^{-1}$) の値が得られている。亜結晶粒の方位差の増大に伴い粒界移動速度が速くなったことは、亜結晶粒界の粒界エネルギーが異常粒成長の駆動力となっていることを支持する結果である。

ここで、亜結晶粒組織はなぜ形成されたのか、という点に触れておきたい。 α 相の析出を経ずに β 相を水冷した試料には亜結晶粒組織は観察されなかった。図3(g), 3(h)は、900°Cからそれぞれ650°C, 500°Cに冷却した時の β 相のGRODマップである⁽¹⁷⁾。 α 相周囲に方位差(あるいは亜結晶粒)が確認でき、 α 相が粗大で体積分率の高い500°Cの方が顕著である。これにより、 α 相析出に伴い β 相内に亜結晶粒が形成されたことが示唆される。FCC/BCCのような異相界面の構造は、K-S関係を有するNi-Cr合金⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾などで調査されている。母相/析出相間の変態歪は、体積分成分を緩和するsessileな転位とせん断成分を緩和するglissileな転位により緩和されることが知られている。Cu-Al-Mn合金では、 α 相と β 相の間にK-S, Pitsch, Bainの関係があることがわかっており⁽¹⁴⁾、類似した界面構造を有することが予想される。図3(g), 3(h)のように α 相が析出・成長すると歪エネルギーが蓄積されるため、変態歪を緩和する機構として上述のような転位が導入され、界面移動に際してglissileな転位のすべり運動が生じた結果、 β マトリックス相に転位が生成したものと予想される。そのような転位の再配列により亜結晶粒界が形成され、加熱した後の β 単相組織にも残存していると考えられる。本合金では α/β 相界面における緩和転位や β 相中を移動する転位はまだ確認できておらず、今後の調査が必要である。しかし、BCC構造のマトリックス中にFCC構造の第二相がK-Sなどの方位関係を持って半整合に析出するFe-Mn-Al系などの合金において、同様の亜結晶粒生成現象が観察されており⁽²⁰⁾、このことも、上述のような界面構造が亜結晶粒形成の起源となっていることを示唆している。

サイクル熱処理による異常粒成長のミクロ組織変化の模式図を図4に示した。高温の β 単相組織に冷却により α 相を析出させると亜結晶粒界が形成され、亜結晶粒組織は、再加熱後の β 単相組織でも引き継がれる。元の結晶粒界(大角粒界)が、通常の粒成長と同様にしてどちらかの方向へ移動を起こすと、粒内に存在する微細な亜結晶粒界のエネルギーも駆動力として働くため、より大きな粒界移動の駆動力を獲得することになる。その結果、異常粒成長が生じる。高温サイクルでは、サイクル熱処理毎に異常粒成長が生じ、粒界が移動した領域では亜結晶粒組織が消失するが、低温サイクルを繰り返すと、異常粒成長が生じずに亜結晶粒の生成が繰り返される。その結果、より大きな方位差を有する亜結晶粒組織が得られ、異常粒成長速度を高めることができる。本異常粒成長現象では、熱処理サイクル毎に析出に伴う亜結晶粒が形成され、その都度新たに粒成長の駆動力が付加される。従って、繰り返し回数を増やせば異常粒成長は継続的に進行し続

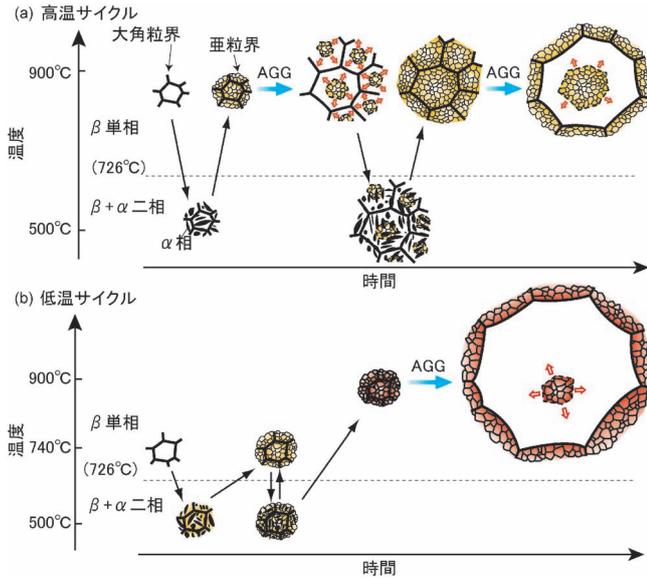


図4 サイクル熱処理により生じる異常粒成長の組織変化の模式図。(a) 高温サイクル, (b) 低温サイクル。(オンラインカラー)

け, 原理的にはどんな大きなサイズの単結晶でも得ることが可能である. ただし, 表面の粒界グルーピングは粒成長をピン止めする力として作用するため, 薄板や細線などでは異常粒成長速度が著しく低下する点に注意が必要である.

4. Cu-Al-Mn 合金の単結晶化

異常粒成長により, より大きな結晶粒を得るためには, 駆動力を大きくすることに加え, 異常粒成長する結晶粒の生成頻度を低くすることも重要である. なぜなら, 異常粒成長を起こした結晶粒同士がぶつかり合えば, その粒界の両側には, もはや駆動力として働く亜結晶粒界が存在しないからである. ちなみに, 異常粒の生成頻度には, α 相の析出形態や β 相の粒界性格などが関係している. より短時間で効率的に大きな単結晶を得るため, これらの点や高温サイクル, 低温サイクルの組み合わせを考慮して, 図5(a)のような熱処理を行った. 試料は $\phi 15$ mm, 長さ 700 mm の棒材であり, 全長にわたって粒界は確認されず, かつ, 両端の方位が一致し, 単結晶が作製されたと判断できる(図5(b)). なお, こ

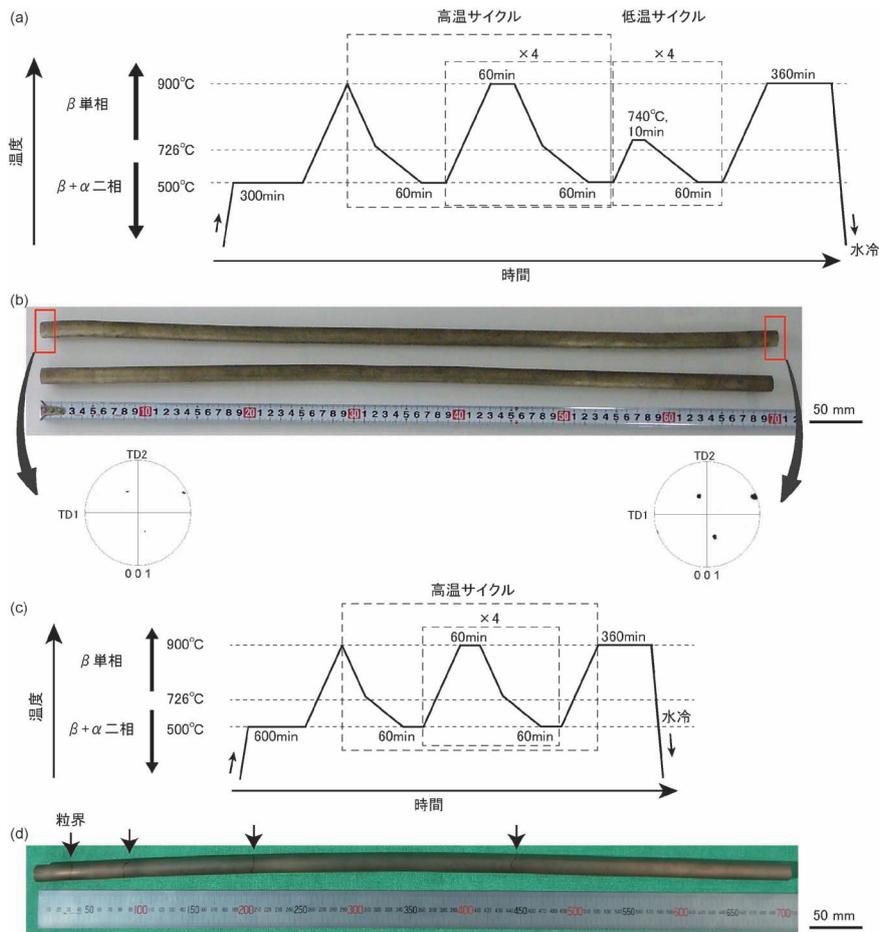


図5 (a) 高温サイクルと低温サイクルを組み合わせた熱処理履歴. 加熱速度は $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 冷却速度は, 高温側で $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 低温側で $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. (b) (a)の熱処理を施した直径 15 mm, 長さ 700 mm の Cu-Al-Mn 合金単結晶棒材の写真. (c) 高温サイクルによる熱処理履歴. 加熱・冷却速度は (a)と同じ. (d) (c)の熱処理を施した Cu-Al-Mn 合金多結晶(バンブー構造)棒材の写真. 矢印は粒界の位置を示す。(オンラインカラー)

ここで言う単結晶は、サイクル熱処理で導入される亜結晶粒界を無視している。一方、高温サイクルのみを繰り返す図5(c)の熱処理では、図5(d)のように4つの粒界が確認された。このことから、巨大粒を効率的に得るためには低温サイクルが有効であることがわかる。

5. Cu-Al-Mn 合金単結晶棒材の超弾性

作製した Cu-Al-Mn 単結晶棒材の超弾性試験の結果を図6に示す⁽¹⁷⁾。5%歪に対して残留歪が0.5%以下と良好な超弾性を示している。著者らは Cu-Al-Mn 合金を制震用建築部材として利用する研究を進めている。図7は実大鉄鋼造の振動台実験後の写真であり、通常の鋼材プレースを用いた場合(図7(a))とその一部に Cu-Al-Mn 超弾性合金を用いた場合(図7(b))を示している⁽²¹⁾。鋼材プレースのみを用いた場合、地震動によりプレースが塑性変形を受けて骨組が大きく傾いているが(実験では倒壊を防ぐために両側から支えている)、Cu-Al-Mn 合金を用いた場合には、1995年兵庫県南部地震の1.5倍の地震動を与えても超弾性合金の原点復元能力が作用して骨組の変形が抑制され、優れた耐震性を示すことが確認できた。このような制震プレースの利用により、巨大地震による建物の変形と損傷を抑制し、無補修もしくは軽微な補修のみで建物を継続利用できることが期待される。さらに、インフラとして重要な橋梁・高速道路橋などの土木建造物で超弾性合金を利用できれば、巨大地震後における救助活動の開始や被災者の日常生活への復帰を早めることができるため、その波及効果は大きいと言える。

6. おわりに

結晶粒径は材料特性に大きな影響を及ぼすことが多く、最も重要なマイクロ組織制御因子のひとつである。特に構造材料では結晶粒微細化が求められることも多いが、クリープ特性や磁歪など、単結晶において優れた特性を示すものもある。多くの形状記憶合金もそのひとつで、多結晶体では良好な超弾性や形状記憶効果が得られないことも多い。形状記憶合金は、これまで、医療材料をはじめとして、比較的小型で高価な機能材料としての活用が主であった。本研究では、直径10 mm以上の棒材などの大型の部材を、熱処理で単結晶化することを可能にしたため、建築や土木分野などにおける大型部材としての利用が可能になってきた。

本稿で紹介したサイクル熱処理法は、冷却と加熱の熱処理という単純なプロセスで単結晶が製造でき、量産性も高いことから工業的な価値があると考えられる。この手法は、温度により単相と複相間の相変態があることが不可欠であり、冷却あるいは加熱により析出が半整合的に起こり、析出相の体積分率が十分高い(例えば50%)、などの条件が揃えば、ある程度、普遍的に生じる現象であると思われる。これまで、そのよう条件を満たす Cu-Zn 合金(黄銅)⁽¹⁵⁾、Fe-Co-Cr-Mo 合金⁽¹⁶⁾、Fe-Mn-Al-Ni 合金⁽²⁰⁾、Co-Cr-Al-Si 合金⁽²²⁾

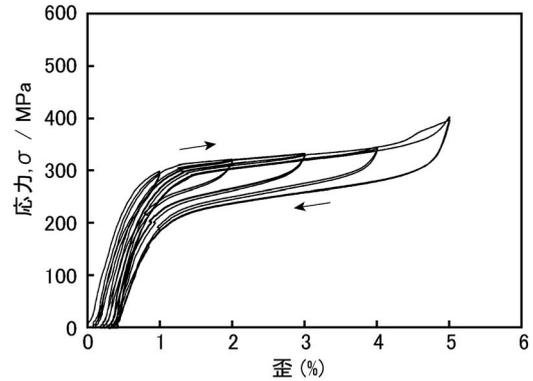


図6 Cu-Al-Mn 合金単結晶棒材(直径 15.4 mm, 長さ 682 mm)の超弾性特性。特定の歪量まで引張り、除荷するサイクルを行う試験で、2回サイクル毎に1%ずつ歪を増加させた。

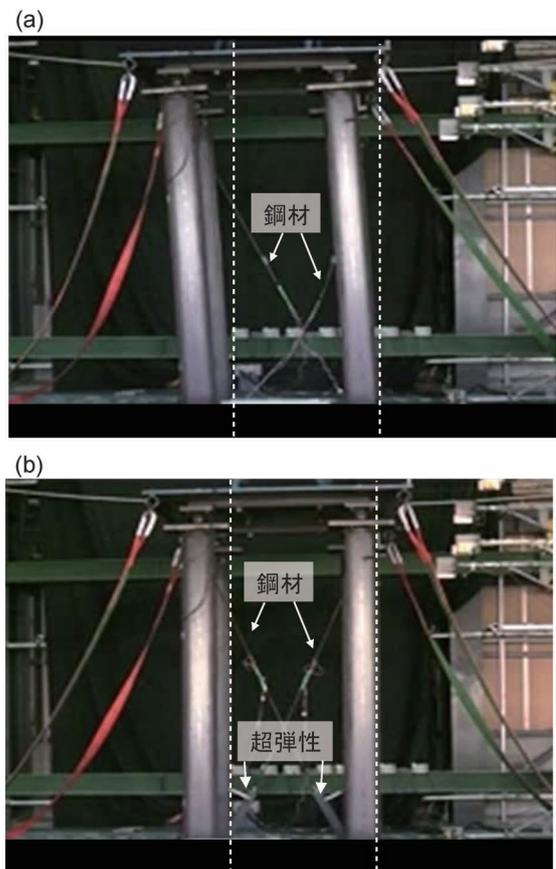


図7 実大鉄鋼造の振動台実験後の写真。(a) 鋼材プレースを使用。(b) 鋼材プレースの一部を Cu-Al-Mn 超弾性合金棒材で置き換えた。1995年兵庫県南部地震の1.5倍の地震動でも変形が抑制されている。(オンラインカラー)

のほか、いくつかの合金でサイクル熱処理誘起の異常粒成長が起こることが確認できている。ブリッジマン法などの単結晶育成プロセスではコストの点から実用的に利用困難と考えられてきた材料も、この手法により低コストで粗大粒や単結

多光子励起フォトルミネッセンスを用いた GaN 結晶中の転位の非破壊・三次元観察

谷川 智之*

1. はじめに

窒化物半導体は、ワイドギャップ半導体と呼ばれ、高効率青色発光ダイオード、青紫半導体レーザー、高電子移動度トランジスタは既に実用化されている。特に青色発光ダイオードと黄色蛍光体を組み合わせた白色発光ダイオードは、第四世代の光といわれ、白熱電球や蛍光灯を大きく上回る発光効率を有しており、照明用 LED として広く普及している。近年では、水銀ランプを代替する AlGaIn 系高効率紫外発光素子や、高耐圧かつ低オン抵抗を有する縦型 GaN パワーデバイスの開発が盛んに行われている。

窒化物半導体は、自然界に存在しない材料である。そのため、サファイアや SiC などの異種材料基板の上にヘテロエピタキシャル成長させる必要がある⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。異種材料基板とエピタキシャル膜との間には大きな格子不整合が存在し、エピタキシャル膜の表面が荒れやすく、結晶欠陥密度も非常に高い。1986年に赤崎と天野らによって開発された低温バッファ層技術⁽¹⁾により、初期に形成される結晶粒の密度を高くでき、格子不整合系エピタキシャル成長においても高品質膜が得られるようになった。しかし、格子不整合に起因した貫通転位がエピタキシャル膜に発生し、その密度は $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 程度である。半導体レーザーや縦型 GaN パワーデバイスでは、転位がデバイスの性能や寿命に影響を及ぼす。このような場合は、ハライド気相成長(HVPE)法などによって作製された GaN 自立基板⁽⁵⁾の上にホモエピタキシャル成長によって作製される。HVPE 法で作製された GaN 自立基板に存在する貫通転位の密度は 10^6 cm^{-2} 程度である。さらなる転位密度の低減に向けて、HVPE 法だけでなくアモソサ

ーマル法⁽⁶⁾や Na フラックス法⁽⁷⁾を用いた GaN バルク結晶の開発が行われている。

このように、窒化物半導体からなる新しいデバイスの開発には、結晶成長技術の向上と結晶の低転位密度化が重要である。転位密度を効率よく減らすためには、貫通転位の伝播特性を正確に把握することが重要である。GaN における転位の観察方法は、透過型電子顕微鏡(TEM)⁽⁸⁾、エッチピット法⁽⁹⁾、カソードルミネッセンス(CL)⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などが用いられる。TEM 観察では、転位のバーガースベクトルの方向や大きさを正確に識別することができる。しかし、観察のためには試料を薄片化させる必要があり、観察領域も制限される。エッチピット法は、アルカリエッチングで形成されたピットの大きさを転位の種類によって分類することができ、結晶表面に到達した転位の位置や種類を調べることができる。これらの方法は破壊的手法である。CL は、エピタキシャル膜の表面近傍に存在する転位の分布を非破壊で観察することができる。GaN 結晶中に注入された電子により生成された電子正孔対は、拡散過程を経て発光再結合する。GaN 結晶中の転位は非輻射再結合中心として働くため、転位近傍の CL 発光強度は弱くなる。その結果、CL 像において転位の周囲に暗点が観察される。CL を用いて観察可能な深さは、観察中の加速電圧に依存するが、基本的には表面付近の転位の分布のみを示すことができる。深部の結晶欠陥を非破壊で観察する手法として X 線トポグラフィ測定がしばしば用いられるが、電子顕微鏡を用いた方法と比べ空間分解能が低い。高分解能解析を行うためには、放射光を利用したトポグラフィ測定が行われるが、観察可能な転位密度は 10^4 cm^{-2} 程度である。最近では、ラマン散乱マッピングを用いて刃状転位と混合転位の位置を特定した結果が報告されている⁽¹²⁾。

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

Multiphoton-Excitation Photoluminescence as a Tool for Defect Characterization of GaN Crystal; Tomoyuki Tanikawa*(*Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)

Keywords: multiphoton-excitation photoluminescence (MPPL), GaN, dislocation, three-dimensional imaging, halide vapor phase epitaxy, nondestructive characterization

2019年1月15日受理[doi:10.2320/materia.58.144]

GaN 結晶の内部に存在する転位を非破壊で観察する新しい手法として、多光子励起過程を利用してフォトルミネッセンス発光を得る多光子励起フォトルミネッセンス法⁽¹³⁾を著者は提案している。GaN に関する著者による報告の前に、多光子励起フォトルミネッセンスを用いた SiC 結晶の転位観察について、2014年に田沼らにより報告されている⁽¹⁴⁾。さらに遡ると、多光子励起顕微鏡は、1990年代より生体組織の深部観察として開発されてきた技術である⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁷⁾。本稿では、多光子励起顕微鏡の特徴と半導体材料の観察における課題を述べ、HVPE 法で作製した GaN 結晶の内部観察を行った例を紹介する。

2. 多光子励起顕微鏡の特徴

蛍光分子に励起光を照射するとき、複数の励起光子が同時に吸収される(多光子励起)と、元の光子の整数倍のエネルギーを受けて励起状態となる。この励起状態から基底状態に遷移する際にエネルギーが蛍光として放出される。多光子吸収は非線形光学過程の減少である。この現象を利用するためには、フェムト秒パルスレーザーなどを励起光源として用いて、非常に短い時間幅に高強度の光を集中させる。さらに、レーザーをレンズで集光させることで、非常に狭い空間に複数の光子を集め、多光子励起を発生させることができる。また、フェムト秒パルスレーザーを用いて蛍光分子を極端時間励起することで、熱による組織破壊を回避することができ、低侵襲環境で長時間観察することができる。他の組織で散乱や吸収が起こらないように、「生体の窓」と呼ばれる生体透過性の高い 650~900 nm 程度の波長域で励起や蛍光を行う。二光子励起を発生させるために、生体の窓のうち長波長の近赤外光が励起波長として用いられる。目的の組織を観察するためには、組織由来の自家発光を利用するか、二光子吸収断面積の大きな蛍光色素を用いる。

3. 多光子励起顕微鏡を用いた半導体の観察

多光子励起顕微鏡を用いた半導体の観察では、生体の観察とは異なる観点で光学設計を行う必要がある。生体の観察では、蛍光色素による組織の染色が可能のため、励起波長と蛍光波長を人工的に制御することができる。一方、半導体は染色できないため、半導体自身の吸収特性や発光特性を利用して観察を行う。半導体における光物性は、材料の様々な物性によって変化する。そのため、観察対象の光物性をよく理解した上で光学設計を行う必要がある。GaN は室温におけるバンドギャップエネルギーが 3.4 eV の直接遷移型半導体であり、波長で 365 nm より短波長の光を吸収し、長波長の光を透過する。二光子励起を発生させるためには、バンドギャップエネルギーを基準として半分より短波長の光を用いる。すなわち、365 nm から 730 nm 程度の光を用いると二光子励起が発生する。730 nm から 1095 nm 程度の光を用いると、三光子励起過程を経て電子正孔対が励起される。多光子励起過程により発生した電子正孔対は、拡散長だけ拡散したのち、再結合して熱平衡状態に戻る。電子と正孔が再結合する際に光が放出される。多光子励起過程を介して放出された光を多光子励起フォトルミネッセンスと呼ぶ。結晶中に欠陥が存在するとき、欠陥の性質によって再結合過程が変化する。GaN の場合、転位は非輻射再結合中心として働く。電子や正孔が転位に捕獲されると、光を放出せずに自身のエネルギーを失う。半導体から放出されるバンド間発光の光強度をマッピング測定すると、転位の位置を中心としてから拡散長に相当する範囲において光強度が相対的に低下し、転位が暗点や暗線として観測される。SiC の場合、転位に起因する局在準位に電子や正孔が捕獲されるが、捕獲準位から再結合する際に近赤外で強い発光が観測される。そのため、検出する波長域によって転位の見え方が異なる。バンド端発光の光強度をマッピング測定すると、転位は暗点や暗線として観測され、局在準位からの近赤外発光をマッピング測定すると、転位は明点や明線として観測される⁽¹⁸⁾。

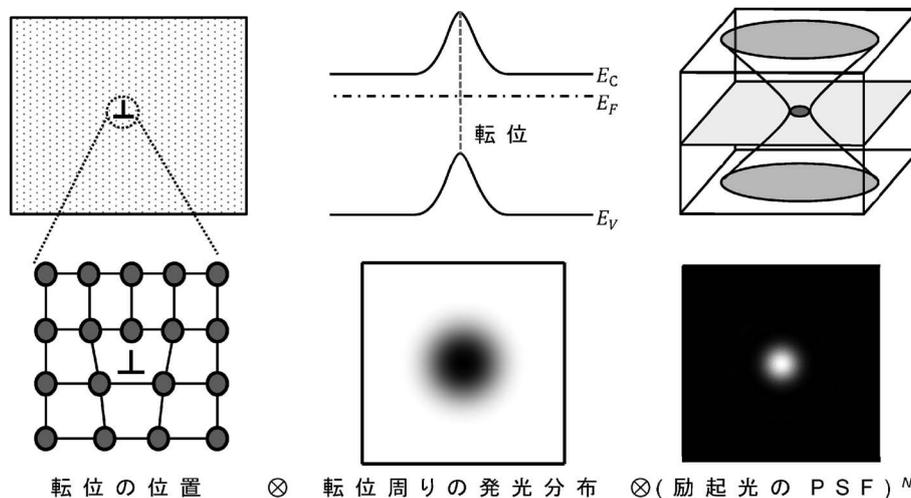


図1 多光子励起フォトルミネッセンスを用いた転位のイメージングの概念図。⊗は畳み込み演算を示す。

多光子励起フォトルミネッセンスを用いた転位のイメージングの概念図を図1に示す。転位は原子位置のずれによる線状欠陥である。原子位置のずれはサブナノメートルスケールでの現象であり、光学的手法では観察できない。しかし、転位が非輻射再結合中心として働くとき、転位の周囲で生成されたキャリアは転位に向かって拡散し、捕獲される。その結果、拡散長に相当する範囲において転位周りの発光分布が低下する。キャリアの拡散長は、原子位置の変位と比べると非常にスケールが大きく、光学的手法でも観察できる。また、多光子励起現象は複数の光子が励起に関するプロセスであり、励起確率は光子密度のべき乗に比例する。この効果は、空間分解能にも影響を与える。光には波の性質があり、焦点における励起光は回折現象によって制限された空間的広がりを有する。この空間的広がりによって光学的手法による空間分解能が決定される。励起光の空間的広がりには点広がり関数 (PSF) によって記述される。N光子励起過程を利用した観察手法の空間分解能は、PSFのN乗で記述される光の空間的広がりによって律速される。PSFの性質は、多光子励起フォトルミネッセンスに限らず光学的手法を用いたイメージングにおいて重要な要素である。多光子励起フォトルミネッセンス測定により得られる転位近傍の観察像は、図1に示すように、転位の位置座標を中心として、発光分布とPSFのべき乗の畳み込み演算で記述できる。

多光子励起の起こる確率は、励起光強度のべき乗に比例する。そのため、キャリアの拡散現象を無視すると、フォトルミネッセンス強度の空間分布は励起光強度の空間分布のべき乗によって決まる。集光されたレーザー光の輝度分布を $I_{\text{exc}}(v, u)$ とすると、焦点面内および光軸上の輝度分布は次式のように記述される⁽¹⁹⁾。

$$\text{焦点面内: } I_{\text{exc}}(v, 0) = I_0 \left(\frac{J_1(v)}{v} \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{光軸上: } I_{\text{exc}}(0, u) = I_0 \left(\frac{\sin u/4}{u/4} \right)^2 \quad (2)$$

I_0 は幾何学的焦点 $u=v=0$ での輝度、 J_1 は1次のベッセル関数である。また、焦点を中心として焦点面方向を r 、光軸方向を z とし、対物レンズの開口数を NA 、試料の屈折率を n とすると、 $v=2\pi/\lambda_{\text{ex}} \cdot NA \cdot r$ 、 $u=2\pi/\lambda_{\text{ex}} \cdot (n - \sqrt{n^2 - (NA)^2}) \cdot z$ となる。N光子励起フォトルミネッセンスの光強度分布は $I_{\text{exc}}(v, u)$ のN乗に比例する。励起光と二光子および三光子励起フォトルミネッセンスの光強度分布を図2に示す。多光子励起フォトルミネッセンスの空間分解能を光強度分布の半値全幅によって定義すると、表1の関係となる。励起光と比較して二光子および三光子励起フォトルミネッセンスは半値全幅が狭くなり、空間分解能が高くなる。ただし、半値全幅は波長や屈折率に依存する。例として、 $NA=0.80$ 、 $n=2.3$ として求めた焦点面内および光軸上の光強度の半値全幅を図3に示す。GaNのバンドギャップエネルギーに相当する波長は365 nm程度であることから、365 nmとその2倍の730 nmを境に励起に関する光子数が変化する。図3(a)から、二光子励起および三光子励起フォトルミネッセンスの焦

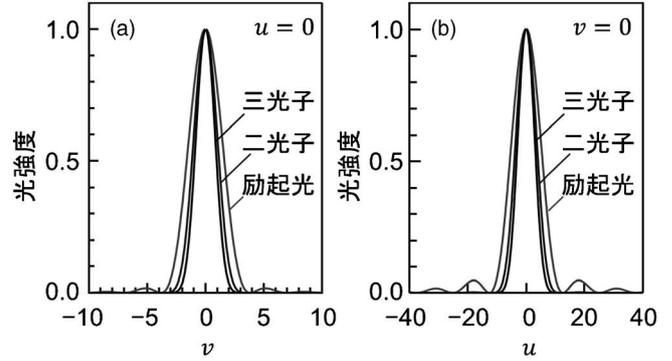


図2 焦点近傍の励起光と二光子および三光子励起フォトルミネッセンスの光強度分布。(a)焦点面 (b)光軸上。

表1 励起光と二光子および三光子励起フォトルミネッセンスの焦点面内および光軸方向の光強度分布の半値全幅。

励起光子数	焦点面内の半値全幅	光軸上の半値全幅
励起光	$0.51 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{NA}$	$0.88 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{n - \sqrt{n^2 - (NA)^2}}$
二光子	$0.37 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{NA}$	$0.63 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{n - \sqrt{n^2 - (NA)^2}}$
三光子	$0.30 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{NA}$	$0.52 \frac{\lambda_{\text{exc}}}{n - \sqrt{n^2 - (NA)^2}}$

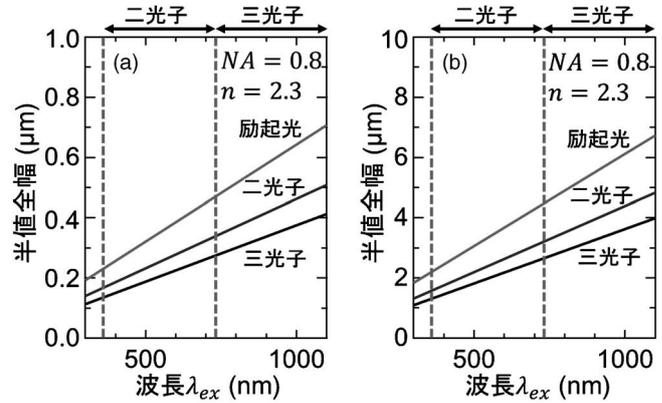


図3 光強度分布の波長依存性。(a)焦点面 (b)光軸上。

点面内における半値全幅はおよそ $0.2 \mu\text{m}$ から $0.4 \mu\text{m}$ 程度であることがわかる。一方、図3(b)より、光軸上の光強度分布の半値全幅は $2 \mu\text{m}$ から $4 \mu\text{m}$ 程度と広がる。これは、GaNの屈折率が2以上と大きいことによる。GaNに限らず半導体材料の屈折率は2より大きく、焦点面内と比べ光軸方向の空間分解能が劣ってしまう。

深さ方向の分析の際には、測定環境と試料の屈折率差によって焦点位置のずれやレーザー焦点の劣化が生じる⁽²⁰⁾。対物レンズもしくはステージの深さ方向への移動距離 (NEP)

は、試料中でレーザーの焦点が動いた距離 (AFP) と異なる。屈折率 n_1 の媒質から屈折率 n_2 の媒質に光を照射したとき、 NA が小さいと仮定すると $NEP = n_2/n_1 \cdot NEP$ の関係となる。また、屈折率差が存在すると、媒質間でレーザー光線が屈折する。その結果、球面収差によりレーザー焦点が劣化する。焦点の劣化は、図1における励起光のPSFの劣化を意味する。特に光軸方向においてPSFは劣化する⁽²¹⁾。実際に、GaN結晶内に観察された暗線の直径の深さ依存性を調べると、観察深さの増大に伴い深さ方向の暗線の直径は大きくなる⁽¹³⁾。

また、集光点の光強度が低下することにより多光子励起フォトルミネッセンス強度も低下する。これらの影響を回避するためには、水浸や油浸の対物レンズを用い、測定環境と試料との屈折率差を減らす必要がある。しかし、屈折率が2を超える溶媒は存在せず、半導体の観察において屈折率差の影響は避けられない課題である。

4. GaNの多光子励起フォトルミネッセンス測定

観察用試料として、HVPE法を用いて作製したアンドープn型c面GaN基板を用いた。貫通転位密度は 10^6 cm^{-2} 程度である。多光子励起フォトルミネッセンス測定にはニコン社製多光子顕微鏡(A1MP+)を使用した。光学系の模式図を図4に示す。励起光源としてチタンサファイア超短パルスレーザーを用いた。パルス幅は100 fs、繰り返し周波数は80 MHzである。波長は700 nmとした。レーザー光は、音響光学素子を通して平均パワーを1 mW~14 mWの間で調整した。レーザー光は、2対のガルバノミラーで構成されるガルバノスキャナにより面内方向に走査されながら対物レンズで試料に集光照射される。用いた対物レンズの倍率は50倍で、 NA は0.80である。焦点において二光子励起過程を経て放出されたルミネッセンス光は、対物レンズで収集される。ルミネッセンス光は対物レンズ上部のダイクロイックミラーで反射され、光電子増倍管で検出される。GaNから放出されるルミネッセンス光のうち、バンド端近傍発光(NBE)とイエロールミネッセンス(YL)を独立に検出するために、光電子増倍管の前にダイクロイックミラーとバンドパスフィルター

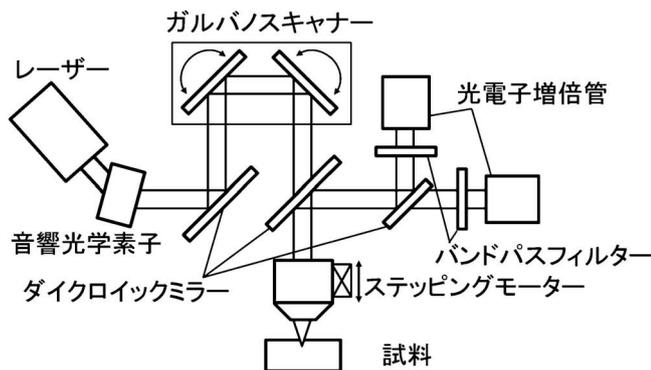


図4 多光子励起フォトルミネッセンス測定系の模式図。

ターを通して検出波長を分けている。焦点の光軸方向の位置は対物レンズの位置をステッピングモーターで制御することにより走査される。ガルバノスキャナとステッピングモーターを用いて焦点位置を三次元走査しながら発光強度をマッピングすることにより、NBEとYLの三次元像を構築した。測定は大気雰囲気において室温で行った。

GaNは直接遷移型半導体であり、光学吸収端における吸収係数は 10^5 cm^{-1} 程度と非常に大きい。さらに、バンドギャップエネルギーより低エネルギーの吸収係数は原子配列の乱れにもとづく指数関数的な裾を引いている⁽²²⁾。これらの影響により、深い焦点位置から放出されたルミネッセンス光のうち380 nmより短波長の光はGaN自身に再吸収されてしまう⁽¹³⁾。よって、多光子励起フォトルミネッセンスにより深い焦点位置からのNBE発光を測定するためには、380 nmから400 nm程度に存在する発光の裾成分を検出する必要がある。

c面GaN基板表面近傍の焦点面内のNBE像およびYL像を図5(a)および5(b)に示す。特にNBE像において、多くの暗点のはっきりと観察されている。暗点は、これまでに議論した通り、転位の非輻射再結合の性質による。暗点を中心とした発光強度分布を図5(b)に示す。暗点の直径は $0.8 \mu\text{m}$ 程度で、表1で示す焦点面内の半値全幅 ($0.32 \mu\text{m}$) より広い。つまり、暗点の直径はキャリアの拡散長に律速され、十分な空間分解能が得られていると考えることができる。少数キャリアの拡散によって発光強度が律速されるとみなすと、転位から r 離れた位置の発光強度は次式のように与えられる。

$$I_{\text{MPPL}}(r) = I_0 - I_D \exp(-r/L_{\text{eff}}) \quad (3)$$

I_0 は転位から十分離れた位置における発光強度、 I_D は転位中心の発光強度、 L_{eff} は実効的な拡散長である。式(3)を用いて発光強度分布をフィッティングした結果を図5(c)に実線で示す。測定結果とよく一致しており、 L_{eff} は $0.42 \mu\text{m}$ であった。他の測定手法においてもn型GaNにおける少数キャリアの拡散長は $0.2\text{--}2 \mu\text{m}$ 程度の値が報告されている⁽²³⁾。

各々の転位を独立して観察するためには、転位が暗点の直径以上に離れている必要がある。観察可能な転位密度を見積もるために、暗点の直径を $1 \mu\text{m}$ と仮定すると、 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下の転位密度を有するGaN結晶の転位は多光子励起フォトルミネッセンスで観察できるといえる。ドナー濃度が高いn型GaN結晶では、少数キャリアの拡散長が短くなり、暗点の直径も小さくなる。拡散長が $0.3 \mu\text{m}$ 以下になると、空間分解能はレーザー光の広がりにより律速される。その場合、暗点の直径は表1より $0.32 \mu\text{m}$ と見積もられ、観察可能な最大の転位密度は $9 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度となる。

焦点深さを変化させることによって、各焦点深さにおける面内発光像を得ることができ、図6(a)のように二次元像を積層することで三次元像を構築することができる。図6(b)は、最小輝度を投影表示した三次元像である。各々の二次元像で観察された暗点は、三次元像において図6(b)に示すように暗線として観察される。これは、線状の結晶欠陥である暗線の性質を示しており、転位の三次元構造が明瞭に観察さ

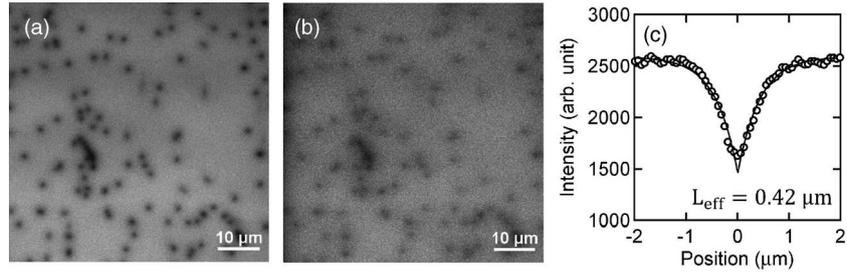


図5 c面 GaN 基板表面の多光子励起 PL 像と暗点近傍の強度分布. (a) NBE 像 (b) YL 像 (c) 暗点近傍の NBE 発光分布.

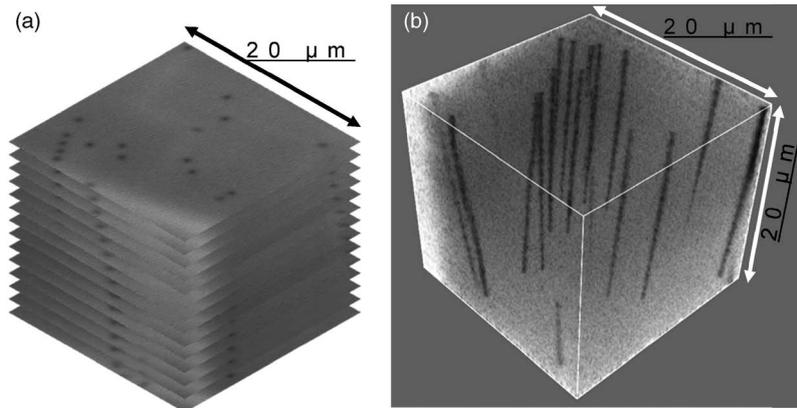


図6 多光子励起フォトルミネッセンス測定における三次元像の構築. (a) 二次元像の積層 (b) 三次元像(最小輝度表示).

れている.

空間分解能の焦点深さ依存性を評価するために、暗線の直径の焦点深さ依存性を評価した。結果を図7に示す。レーザー光の照射方向と平行に伝搬する暗線から焦点面内方向の直径を測定し、レーザー光の照射方向と垂直に伝搬する暗線から光軸方向の直径を測定した。面内方向の直径は $0.6 \mu\text{m}$ から $1 \mu\text{m}$ 程度で、焦点深さ $50 \mu\text{m}$ まで一定値をとり、 $50 \mu\text{m}$ より深い領域では徐々に増加している。光軸方向の暗線の直径は $3 \mu\text{m}$ から $6 \mu\text{m}$ 程度で、面内方向より広がっていた。これらの傾向を考察するために、図7に点線で示すように一次関数で測定結果をフィッティングした。なお、縦軸との切片は表1で求められる半値全幅の値とした。つまり、これは球面収差による PSF の変化を示す。面内方向では、深さ $50 \mu\text{m}$ までの領域では点線より上にプロットが存在し、一定値を撮っている。これは、暗線の直径が拡散長に律速されていることを示している。より深い領域では、球面収差の影響で見かけの直径が増加している。光軸方向は、測定結果にばらつきが大きいものの、焦点深さの増加に伴い直径が増加した。

多光子励起フォトルミネッセンス測定により、GaN 結晶中の成長姿態や転位の多様な三次元構造を観察できる。GaN のエピタキシャル成長では、貫通転位密度を低減させるために様々な試みがなされている。貫通転位密度は膜厚の増加とともに低減する⁽²⁴⁾。多光子励起フォトルミネッセン

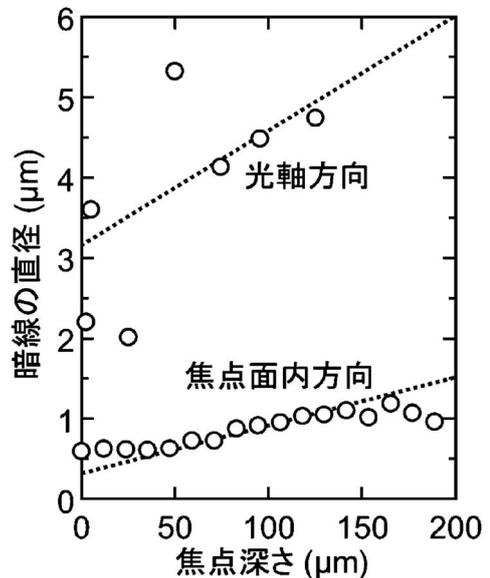


図7 暗線の直径の焦点深さ依存性⁽¹³⁾.

スでは、各々の焦点位置における暗点密度から貫通転位密度の成長膜厚を観察することができる。サファイア基板上に HVPE 法を用いて $320 \mu\text{m}$ の GaN 厚膜を成長させ、多光子励起フォトルミネッセンスにより焦点位置を変えながら GaN 膜中の暗点密度を計測し、暗点密度と成長膜厚との関

競合現象に着目した鉄鋼材料の マイクロ組織解析

小川 登志男*

板のマイクロ組織を解析し得られた成果について述べる。

1. はじめに

鉄鋼材料の機械的性質は、構成相や結晶粒径といったマイクロ組織形態に大きく依存する。したがって、鉄鋼材料の機械的性質を適切に制御するためには、製造工程におけるマイクロ組織形成機構の正しい理解が極めて重要である。

自動車用鋼板を例にとると、骨格構造部品や足回り部品に使用される鋼板は年々高強度化が進んでいるが⁽¹⁾、これら高強度鋼板のマイクロ組織は極めて複雑かつ微細であり、そのマイクロ組織解析は容易ではない。しかしながら、上述したように、マイクロ組織形成機構の正しい理解は、高強度鋼板の機械的性質を制御するためには必要不可欠である。そこで著者らは、高強度鋼板のマイクロ組織解析に取り組むにあたり、焼鈍中に再結晶や相変態といった複数の現象が競合している点に着目した。

高強度鋼板に限らず多くの薄鋼板は、通常焼鈍中にフェライト単相域において再結晶を完了させた上でフェライトとオーステナイトの二相域で加熱される。一方で、近年の高強度鋼板においては、結晶粒の微細化を図るため Nb や Ti といったマイクロアロイ(微量元素)が添加される場合がある。この場合、マイクロアロイによる再結晶抑制効果が働き、焼鈍中に再結晶が完了する前に二相域に加熱されることがある⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。つまり、二相域焼鈍中には、回復、再結晶、相変態、マイクロアロイの炭窒化物の析出および溶解といった複数の冶金現象が競合し得る。しかしながら、焼鈍中に複数の冶金現象が競合する場合のマイクロ組織形成機構については、依然として未解明な部分が多いのが現状である。

本稿では、上述した焼鈍中の競合現象に着目し、高強度鋼

2. 再結晶と逆変態の競合現象⁽⁵⁾

上述したように、競合現象にはいくつかのパターンが想定されるが、本章では焼鈍中の再結晶とフェライトからオーステナイトへの逆変態(以下逆変態と称する)の競合現象について解析し得られた成果について述べる。

供試鋼の化学成分は 0.1C-2.0Mn(mass%)とした。再結晶挙動におよぼす逆変態の影響を調査するため、再結晶抑制元素である Nb や Ti といったマイクロアロイは添加していない。真空溶解炉を用いて溶製した鋼塊を、粗圧延にて厚さ 30 mm とした後、加熱温度を 1250°C、熱間圧延終了温度を 900°C(オーステナイト単相域)、仕上板厚を 3.0 mm として仕上熱間圧延を施し、400°Cまで水冷した後、炉冷により室温まで冷却した(熱延板のマイクロ組織はベイナイト単相組織)。熱延板組織にパーライトを含む場合、焼鈍前のセメントタイト分布に粗密が生じることで、焼鈍後のマイクロ組織解析が困難となるため、セメントタイト分布が比較的均一なベイナイト組織を選択した。その後、67%の圧下率で 1.0 mm まで冷間圧延を施した。

冷間圧延後は、昇温速度 30°C/s で 650°C(フェライト単相域)および 750°C(フェライト+オーステナイト二相域)まで昇温した。昇温後、各温度で一定時間等温保持した後に、ガス冷却によって冷却速度 50°C/s で室温まで冷却した。等温保持中の再結晶挙動を調査するため、昇温中に極力再結晶が進行しないように昇温速度を速めに設定した。また、等温保持中に形成されたオーステナイト相は、急冷によりマルテンサイトへと変態した。

* 名古屋大学大学院工学研究科材料デザイン工学専攻; 助教(〒464-8603 名古屋市中種区不老町)
Microstructure Analysis in Steels Focusing on Competitive Phenomena; Toshio Ogawa(Department of Materials Design Innovation Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya)
Keywords: low carbon steel, recovery, recrystallization, phase transformation, precipitation
2018年10月26日受理[doi:10.2320/materia.58.150]

フェライト単相域である650°Cで100 s等温保持, フェライト+オーステナイト二相域である750°Cで100, 1000および10000 s等温保持した試料のマイクロ組織を光学顕微鏡で観察した結果を図1に示す. フェライト単相域焼鈍では, 100 sの等温保持で再結晶は完了したのに対し(図1(a)), フェライト+オーステナイト二相域で100 s等温保持した場合, 再結晶の進行が明らかに遅延しているのが分かる(図1(b)). フェライト+オーステナイト二相域で焼鈍した試料のマイクロ組織は, 再結晶フェライト粒, 未再結晶フェライト粒およびマルテンサイトから構成されており, 等温保持時間を1000 sまで延ばしてもマイクロ組織の変化はほとんど見られなかった(図1(c)). 等温保持時間が10000 sに達すると, 再結晶フェライト粒と未再結晶フェライト粒の区別が困難になり, フェライト相はほぼ全面均一な結晶粒となった(図1(d)).

750°Cでの等温保持時間と再結晶率の関係を図2に示す. 焼鈍初期段階(~100 s)では, 等温保持時間と共に再結晶率

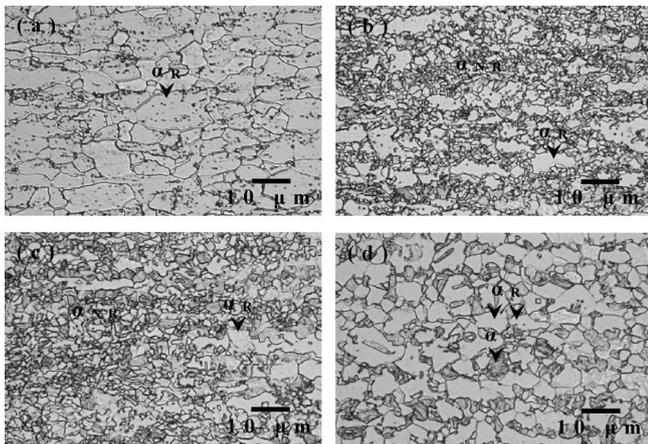


図1 (a) 650°Cで100 s, 750°Cで(b) 100 s, (c) 1000 s および (d) 10000 s 等温保持した試料のマイクロ組織(α_R : 再結晶フェライト粒, α_{NR} : 未再結晶フェライト粒, α' : マルテンサイト).

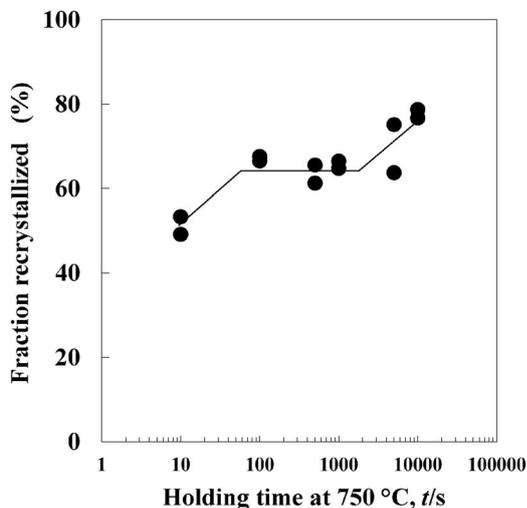


図2 750°Cでの等温保持時間と再結晶率の関係.

も増加し, 保持時間が100 sを超えると再結晶率の変化が見られなくなるものの, 1000 s以上の等温保持によって再び再結晶率は増加するという傾向が見られた. この結果は, フェライト+オーステナイト二相域焼鈍中の再結晶挙動が, フェライト単相域焼鈍の場合⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾と比べて大きく異なることを示している.

750°Cで100および1000 s等温保持した試料のマルテンサイト(焼鈍中のオーステナイト相)を透過型電子顕微鏡で観察した結果を図3に示す. 再結晶フェライト粒と未再結晶フェライト粒の界面および未再結晶フェライト粒内のサブグレイン界面に形成されているオーステナイト相のサイズは, それぞれおよそ2 μm および1 μm であった(図3(a)). 再結晶フェライト/未再結晶フェライト界面に形成されたオーステナイト相は等温保持時間と共に成長し, 等温保持時間が1000 sに達するとおよそ3 μm にまで成長した(図3(b)). さらに, 未再結晶フェライト粒内のサブグレイン界面に形成された微細なオーステナイト相は, 等温保持時間が1000 sを超えると徐々に消失していく様子が観察された(図3(c)).

以上のことから, フェライト+オーステナイト二相域焼鈍中のマイクロ組織形成挙動は, 図4に示すように焼鈍初期・中期・後期の3段階に大別できる. 焼鈍初期段階においては, オーステナイト分率が低く逆変態による影響がほとんどないため, 等温保持時間と共に再結晶が進行したと考えられる. また, 等温保持時間が100 sを超えると, 再結晶の進行が著しく遅延した. これは, 再結晶フェライト/未再結晶フェライト界面や未再結晶フェライト粒内のサブグレイン界面に形成されたオーステナイト相の存在により, 再結晶フェライト粒やサブグレインの成長が抑制されたためと推察される. さらに, 等温保持時間が1000 sを超えると, 再度再結晶の進行が認められた. これは, サブグレインの成長を抑制していた微細なオーステナイト相が長時間等温保持中にオストワルド成長により消失したことで, サブグレインの成長に

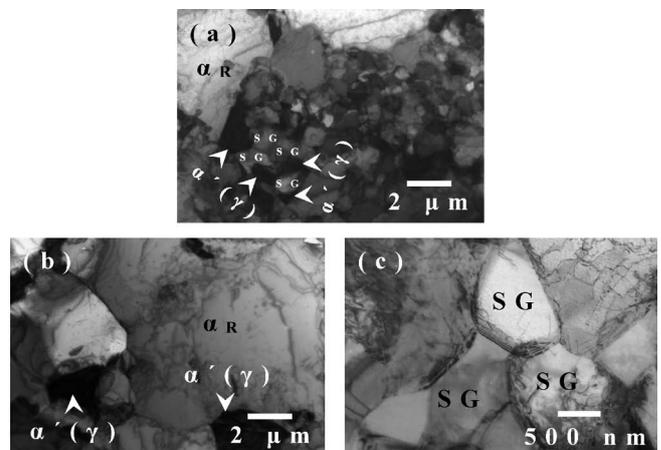


図3 750°Cで(a) 100 s および (b, c) 1000 s 等温保持した試料のマイクロ組織(α_R : 再結晶フェライト粒, SG: サブグレイン, α' : マルテンサイト, γ : オーステナイト).

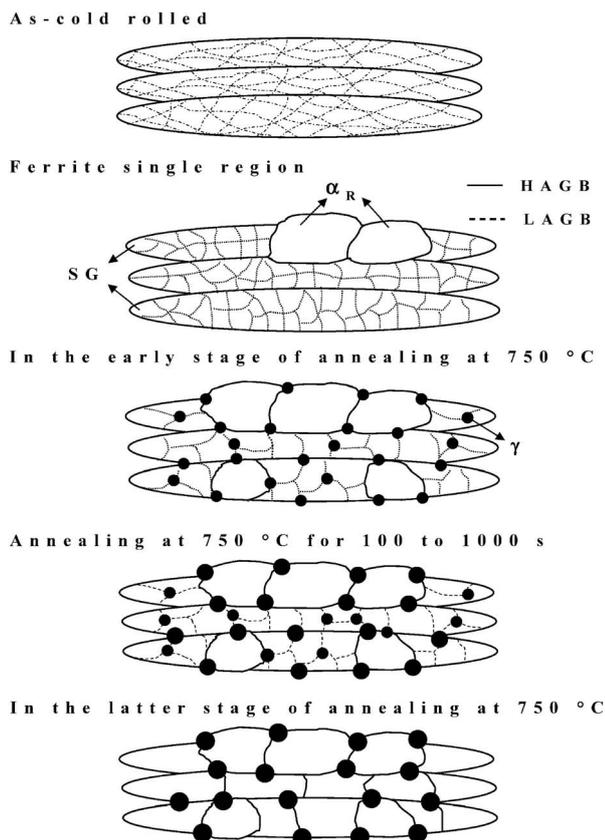


図4 焼鈍中におけるマイクロ組織形成挙動の模式図 (α_R : 再結晶フェライト粒, SG: サブグレイン, HAGB: 大角粒界, LAGB: 低角粒界, γ : オーステナイト).

より再結晶が進行したと考えられる。

Nb や Ti といったマイクロアロイの添加により、焼鈍中の再結晶の進行が抑制されることは従来良く知られている⁽⁹⁾。本研究では、焼鈍中に再結晶と逆変態が競合する場合、オーステナイト相の存在により再結晶の進行が著しく抑制されることを明らかにした。これは、複数の冶金現象が競合する場合、単独の現象のみに焦点を当ててマイクロ組織を解析するのではなく、各現象の相互作用を正しく理解した上でマイクロ組織を解析する必要があることを示している。

3. 再結晶、逆変態および析出の競合現象⁽¹⁰⁾

本章では、再結晶と逆変態に加えて、炭窒化物の析出も競合する場合のマイクロ組織形成機構について解析し得られた成果について述べる。

供試鋼の化学成分は、第2章と同様に0.1C-2.0Mn (mass%)をベース(以下Nbレス材と称する)とし、マイクロアロイとしてNbを添加し、その添加量を変化させた2種類の供試鋼を作製した(以下0.02Nb材および0.05Nb材と称する)。真空溶解炉を用いて溶製した鋼塊を、粗圧延にて厚さ30mmとした後、加熱温度を1250°C、熱間圧延終了温度を900°C、仕上板厚を3.0mmとして仕上熱間圧延を施し、

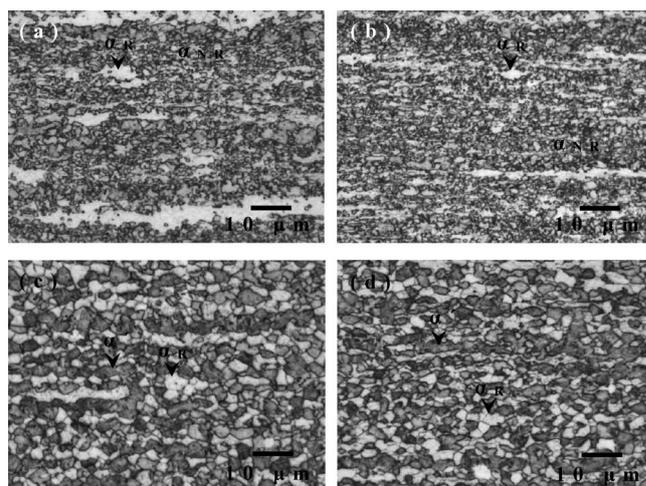


図5 750°Cで100 s等温保持した(a)0.02Nb および(b) 0.05Nb 材, 750°Cで10000 s等温保持した(c) 0.02Nb および(d) 0.05Nb 材のマイクロ組織(α_R : 再結晶フェライト粒, α_{NR} : 未再結晶フェライト粒, α' : マルテンサイト).

400°Cまで水冷した後、炉冷により室温まで冷却した(熱延板のマイクロ組織はベイナイト単相組織)。その後、67%の圧下率で1.0mmまで冷間圧延を施した。

冷間圧延後は、昇温速度30°C/sで750°C(フェライト+オーステナイト二相域)まで昇温した。昇温後、750°Cで一定時間等温保持した後に、ガス冷却によって冷却速度50°C/sで室温まで冷却した。

750°Cで100および10000 s等温保持した試料のマイクロ組織を光学顕微鏡で観察した結果を図5に示す。750°Cで100 s等温保持した0.02Nb および0.05Nb 材のマイクロ組織は、マルテンサイトに加えて再結晶フェライト粒および未再結晶フェライト粒を含んでいることから、全体的に不均一であった(図5(a)および(b))。さらに、750°Cで10000 s等温保持すると、いずれの試料のマイクロ組織も再結晶フェライト粒およびマルテンサイトから構成され、未再結晶フェライト粒はほとんど観察されなかった(図5(c)および(d))。

750°Cでの等温保持時間と再結晶率の関係を図6に示す。Nbレス材では等温保持時間が100 sを超えると再結晶の進行の著しい遅延が見られたのに対し、Nb添加材では750°Cでの等温保持時間と共に再結晶率は増加した。また、Nb添加量の増加に伴って再結晶の進行は遅延した。

750°Cでの等温保持時間とオーステナイト分率の関係を図7に示す。750°Cに到達した時点でのオーステナイト分率は、いずれの試料においてもおよそ30%であった。また、Nbレス材では等温保持中に増加したオーステナイト分率はわずかであったのに対し、Nb添加材では200 sの等温保持によりオーステナイト分率はおよそ37%まで増加した。750°Cでの等温保持中における逆変態挙動は、Nb添加の有無によって異なるものの、Nb添加量による影響はほとんど認められなかった。また、等温保持時間が200 sを超えても、オーステナイト分率のさらなる増加は見られなかった。

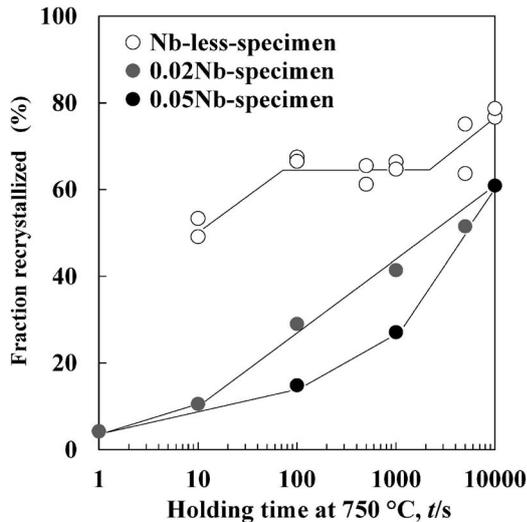


図6 750°Cでの等温保持時間と再結晶率の関係.

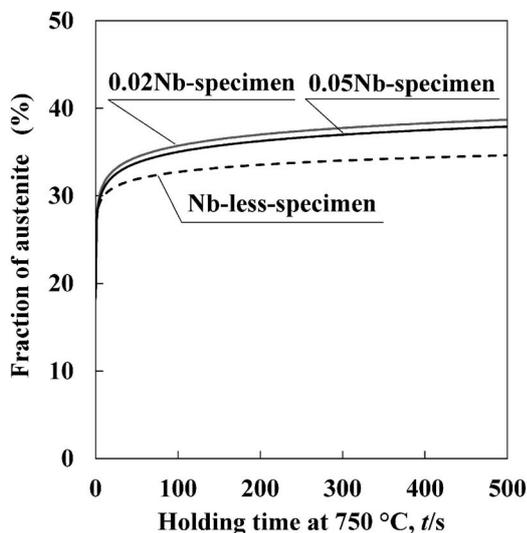


図7 750°Cでの等温保持時間とオーステナイト分率の関係.

以上のことから、Nb 添加によってフェライト+オーステナイト二相域焼鈍中における再結晶および逆変態挙動が大きく変化したことは明らかである。上述したように、Nb や Ti といったマイクロアロイの添加により、焼鈍中の再結晶の進行が抑制されることは従来良く知られている。本研究においても、Nb 添加量の増加に伴って再結晶の進行は遅延した(図6)。著者らは、焼鈍中における再結晶と析出の競合現象について解析し、Nb 添加型高強度鋼板を焼鈍した場合、焼鈍中に形成された Nb-C クラスタが再結晶の進行を著しく遅延させる主因子であることを明らかにした⁽¹¹⁾。したがって、本研究における Nb 添加による再結晶抑制効果も、主に焼鈍中に形成された Nb-C クラスタに起因していると推察される。また、Nb 添加材の場合、フェライト単相域においてほとんど再結晶が進行しないままフェライト+オーステナイト二相域に加熱されているため、二相域焼鈍中は基本的に

サブグレインの成長により再結晶が進行していると考えられる。

一方、逆変態挙動に着目すると、Nb 添加によってフェライト+オーステナイト二相域焼鈍中におけるオーステナイト分率は増加した(図7)。Song ら⁽¹²⁾は、Nb を添加しても焼鈍中のオーステナイト相形成の開始温度は変化しないことを報告している。本研究においても、Nb 添加によって使用した供試鋼の Ac_1 変態温度はほとんど変化しなかったことから、鋼中における Nb の存在がオーステナイト相の形成を促進している可能性は低い。また、第2章において、オーステナイト相の核生成サイトは、主に再結晶フェライト/未再結晶フェライト界面や未再結晶フェライト粒内のサブグレイン界面であることを示した。つまり、オーステナイト相の核生成サイトの1つである未再結晶フェライト分率の増加によって、フェライト+オーステナイト二相域焼鈍中におけるオーステナイト分率は増加すると考えられる。したがって、フェライト単相域焼鈍中における再結晶の進行の遅延が、フェライト+オーステナイト二相域焼鈍中におけるオーステナイト相の核生成サイトの増加に寄与すると推察される。

上述したように、フェライト単相域では再結晶と析出、フェライト+オーステナイト二相域では再結晶と相変態が競合し、極めて複雑なマイクロ組織形成挙動を示した。マイクロアロイを添加した高強度鋼板をフェライト+オーステナイト二相域で焼鈍する場合、最適なマイクロアロイの存在状態とオーステナイト相の分率や分布状態をそれぞれ想定した上で、焼鈍中の再結晶挙動を適切に制御し、再結晶挙動が引張強度や全伸びといった機械的性質に与える影響まで考慮する必要がある。

4. おわりに

本稿では、焼鈍中の再結晶、逆変態および析出の競合現象に着目し、高強度鋼板における焼鈍中のマイクロ組織形成機構を解析し得られた知見について述べた。特に、再結晶と逆変態が競合することにより再結晶の進行が著しく抑制されることは、従来の材料設計上全く考慮されていない現象である。したがって、今後の高強度鋼板の材料設計においては、フェライト単相域においてどの程度再結晶を進行させた上で二相域へ加熱するのかという点も極めて重要であり、その点を考慮して添加元素や製造条件を検討する必要がある。

本稿で述べた研究を遂行するにあたり、日鉄住金総研株式会社・潮田浩作博士、新日鐵住金株式会社・吉永直樹博士、丸山直紀博士、杉浦夏子博士には、懇切なるご指導、ご鞭撻をいただいた。また、木更津工業高等専門学校・丸岡邦明博士、段野下宙志氏には、多大なるご支援、ご協力をいただいた。関係各位に感謝の意を表す。

材料開発における AI・データ科学活用に向けた取り組み

(研)物質・材料研究機構 統合型材料開発・
情報基盤部門(MaDIS)；副部門長
出村 雅彦

第5期科学技術基本計画⁽¹⁾では、Society 5.0すなわち超スマート社会の実現に必要な11のシステムの一つとして統合型材料開発システムが掲げられ、「計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製を進めるとともに、その開発期間の大幅な短縮を実現する」(同 p.19)と謳われている。革新的な材料が Society 5.0を支えるという期待とともに、サイバーとフィジカルの融合という考え方によって材料開発そのものが刷新されることも企図されると言える。日本金属学会においても、マテリアルズ・インフォマティクスやマテリアルズインテグレーションといった、データ科学との融合領域の研究発表が近年増えてきている。本稿では、AIすなわちデータ科学を活用した材料開発について、我が国における取り組みを概説したい。

物質・材料の研究開発にデータ科学を活用していく場合、物質・材料の持つ複雑さに比して材料データが必ずしも十分とは言えないという点が問題となる。データ科学を適用するアプローチは、現時点では3つに整理できるだろう(図1⁽²⁾)。

アプローチの一つは、物質探索を目的としたマテリアルズ・インフォマティクスである。我が国としてのまとまった取り組みは、2015年度に開始されたJSTイノベーションハブ構築事業「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」(NIMS 拠点)を嚆矢とする。これに続く形で、CREST・さきがけ等においてマテリアルズ・インフォマティクス関連の研究領域が設定され活発化している。第一原理計算とデータ科学を組み合わせ対象の物性値を最大化(もしくは最小化)する物質の探索の他、最近では、文献データを用いた探索例も報告されている。これら物質探索への活用に加え、第一原理計算の高速化にデータ科学を活用する例もある(成果は文献(3)を参照のこと)。世界でも取り組みが活発化しており、新たな学領域の形成が期待される。

2つ目のアプローチは、実用材料の複雑な課題に取り組むためのマテリアルズインテグレーション(MI)である。内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的構造材料」において、計算科学、実験、データベース、データ科学を融合して、プロセス、組織、特性、性能という材料工学の4要素をつなぐというコンセプトが提案され、一領域として取り組まれてきた。このアプローチは欧米で Integrated Computational Materials Engineering (ICME) と呼ばれるものと近い。2014年10月に開始された本プロジェクトにおい

物質・材料の複雑さに対応した材料開発刷新の3つの取り組み

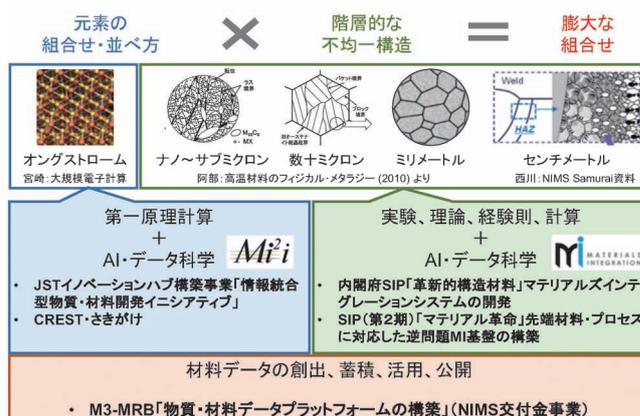


図1 AI・データ科学活用に向けた3つのアプローチ⁽²⁾。(オンラインカラー)

ては、鉄鋼溶接部を対象に、疲労、クリープ、脆性破壊、水素脆化について、プロセスから性能を予測するための計算モジュール、また、それらをつなげたワークフローを構築し、統合システムへの実装が進められている⁽⁴⁾。この中でデータ科学はモデル選択やデータ同化という形で活用されている。さらに、ワークフローで複雑な材料問題に関する順方向計算ができるようになると、データ科学と組み合わせることで、欲しい性能から材料組成やプロセスを探索する逆問題に取り組むことができるようになる。SIP(第2期)「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」では、この逆問題 MI 基盤の構築が進められようとしている。

これら2つのデータ科学を活用した研究開発が積み重ねられると、改めて、材料データの重要性が認識されるようになってきた。データ科学活用を進めるための3つ目のアプローチが材料データ基盤(インフラストラクチャー)の整備である。2017年度より物質・材料データプラットフォーム構築事業(NIMS 交付金事業)が開始された。ここでは、文献からの効率的な材料データ抽出手法、計測データの自動収集技術、様々な材料データを統合的に扱うためのシステムの開発が進められている。

以上、物質・材料研究におけるデータ科学活用に向けた我が国の取り組みについて駆け足で述べてきた。現時点でのまとめとしてお役に立てば幸いである。紙面の関係で取り上げることのできなかった施策(例えば NEDO 超超プロジェクト⁽⁵⁾等)もあるが、ご容赦願いたい。

文 献

- (1) <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- (2) 出村雅彦：第70回白石記念講座，70(2018)，25-42.
- (3) <https://www.nims.go.jp/MII-I/index.html>
- (4) <http://www.jst.go.jp/sip/k03/sm4i/project/project-d1.html>
- (5) https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100119.html

(2018年12月11日受理) [doi:10.2320/materia.58.155]
(〒305-0057 つくば市千現 1-2-1)

先達からのお便り

趣味に生きる

東北大学名誉教授 平賀賢二

2003年、東北大学金属材料研究所(金研)を定年退職する時に、金研の親睦団体「共融会」のニュースに「ある定年退職者の遺言」とのタイトルで、以下の内容の挨拶文を書いた。「金研は昨今の業績主義の弊害から“研究バカ”の集団となりつつあると感じる。研究が大事であるとの言い訳をして、多くのことを捨てて人が多い。なんの趣味を持たずに研究一筋でいくと、研究生活を終える時、間違いなく後悔することになる。今の長寿の時代、定年後の人生が充分以上に残っている、その時を大いに楽しむためには、研究の時間を削っても、なにか研究以外のことをやり続けるかあるいは挑戦することが大切であろう。」

大袈裟に言えば、誰にでも“死”がやってくると同じように、研究者にとっては定年退職という研究に区切りをつける時がやってくる。そして、その定年退職の後、今の長寿時代では、20年、人によっては30年以上もの時が残っている。この“老後”を有意義に使うためには、現役時代からの心構えが大切となってくる。定年後はほぼ15年を経た老人の今をお披露目して、現役の人たちが退職後を考える指針となればと思い、“趣味に生きる”とのタイトルで書いてみることにした。

人生において、嫌であるがやらなければならない「雑用」、利益を考えながらであるが楽しんでする「楽しい仕事」、利益をまったく考えずに好きなことをする「趣味」がある。現役時代、定年近くになって増えてきた「雑用」に振り回されストレスを感じざるを得なかった。この「雑用」から開放されたのが定年退職の最大の喜びであった。若い頃、「雑用」を出来るだけ避け、ある程度自分の好きなように進めてきた研究は、将来のポストや競争的資金の確保等を考えざるを得なかったが「楽しい仕事」であった。この「楽しい仕事」に加えて、定年まで登山、スキー、テニスなどの「趣味」を学生と対等あるいは先頭切ってやってきた。年齢による体力の衰えによって、今は、小さい孫と登る低い山の登山、シーズン3、4回のゲレンデスキー、月に2、3回のテニスとなっているが、それでもこの「趣味」は続いている。

若い時代から続く「趣味」はそれなりに大切であるが、新しい「趣味」に挑戦することも時間が充分ある退職者の特権である。退職後の悠々自適の生活を夢見て、岩手県の花巻(土地が安い)の森の一部を手に入れ、そこに山小屋を建てて、自然の中での晴耕雨読の生活に挑戦している。夢に見た悠々自適の生活からは程遠く、畑仕事、花壇の整備、草刈、木々の伐採と「雑用」的な仕事にふりまわされているが、



図1 吹矢の東北大会の風景。右側に立っている選手達は、右側の的(客席の下に一直列に並んでいる)をめがけて、左側の選手は左側の的(写っていない)をめがけて吹いている。的までの距離は、段位によって、8mと10mに分かれている。



図2 北海道の“ぶらぶら旅”で立ち寄った十勝岳望岳台で愛車と共に。バックの十勝岳と美瑛岳を巡る登山を終えて。

新しく挑戦した「趣味」として頑張っている。新しい「趣味」への挑戦は、新しい喜びをもたらしてくれる。地元のシニア同好会に入り始めたビリヤードは、73才の高齢からのスタートであったが、零からの出発であるので、技術の向上がみられるのが嬉しく、花巻に滞在時は、月曜日から金曜日の午後、森の仕事から逃げて、楽しんでいる。また、仙台滞在時は、スポーツ吹矢を76歳から始め、週2回の計4時間、技術向上を目指して頑張っている。この聞きなれないスポーツは、腹式呼吸が基本であることから、高齢者の健康によいとして注目されている。一昨年は、東北大会、県大会に参加したが、500名ほどの参加者による東北大会では、大きな体育館の左右の壁にそって置かれた計100個ほどの的をめがけていっせいに矢を吹く様には驚かされた(図1)。また、定年の年に購入した日産の車 X-trail(後ろの座席を取り外すと180cmほど平になり、体の小さな我々夫婦が充分寝れる)で年に2、3回、主に道の駅の駐車場で車の中で泊まり(車中泊)ながら、1週間から2週間かけての気の向くままの“ぶらぶら旅”も、自由時間が充分とれるようになってから始まった新しい「趣味」である(図2)。九州と沖縄を除いた全国を走ってくれたおんぼろ車の総走行距離は26万キロを越え、車中泊は140回ほどになっている。最近では、観光地巡

スポットライト

～第16回 World Materials Day Award[†] 受賞～

「ちゅうぞう」ってしてますか？

愛知教育大学 教育学部 技術教育講座；唐田 裕介

私たちが所属している愛知教育大学中等教育教員養成課程技術専攻・北村研究室は、中学校技術科の教員を養成する技術専攻の中で主に機械工学に関する研究を行っている研究室です。現在、研究室には大学院修士課程1年生1名、学部4年生2名、学部3年生3名が所属しており、金属加工に関する教材開発や教育法、金属物性の研究などを行っています。

今日の中学校の教育現場では、金属加工分野の学習の形骸化が顕著であり、その結果、生徒が身近に関係しているはずの金属加工の授業がほとんど行われていません。また、親である保護者の世代も、中学時代に十分な金属加工の授業を受けていないため、金属加工の知識が不十分な状況にあります。私たちはこのような状況を改善すべく、金属加工の知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動として、今回部門賞を受賞した「ちゅうぞう」ってしてますか？ のテーマで発表を行いました(図1)。

私たち技術専攻では小学生の子どもたちを対象としたボランティア活動として、「ものづくり教室」を行っています。この活動は、年間を通して5回程度開催しており、私たち北村研究室以外の技術専攻のメンバーも含め、それぞれの分野の研究を活かした教室を開催しています。今回の「ちゅうぞう」ってしてますか？ に関する内容はこの「ものづくり教室」内で行いました。対象者は本学がある愛知県刈谷市周辺の小学生6名と小学生の保護者です。今回の取り組みは、金属加工の授業の改善のために、中学校技術科の金属加工教材開発の一環としても行いました。

中学校の現場では、教材に掛けることができる予算が年々少なくなり、低予算での実施が求められています。また、教材に関する物品類は、入手が可能である必要もあります。今回使用した低融点合金チップは安全を考慮し鉛・カドミウムフリーのものをしました。価格は2kgで16,524円であり、インターネットで購入することができます。鑄造に用いた原型は3Dプリンタで作製した樹脂製のものをしました。鑄造用の型は、樹脂性の原型を用いて以下の手順で作成しました。

まず紙粘土の上に食品用包装フィルムを乗せ、その上から



図1 当日の発表風景。



図2 完成した鑄造作品。

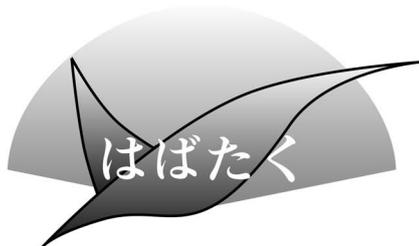
原型を押し付けます。しっかりと型取りできたらフィルムごと抜き取り、1日から3日ほど乾燥させて鑄型を完成させました。鑄造には、ズズを主成分とする、市販の低融点合金(融点138°C)チップを使用しました。低融点合金チップの融解には電熱ヒーターとオーブントースターを使用しました。融解させた合金チップを先ほどの鑄型に流し込み、凝固させるために数分待つと、鑄造品が完成します(図2)。

今回の実践では数名の小学生のみを対象として行いました。今後は本来の対象である中学生を対象とし同じような実践を行い、多くの子ども達に金属材料に興味を持ってもらえるように、教材開発に邁進してまいります。

(2019年1月7日受理)[doi:10.2320/materia.58.158]

(連絡先: 〒489-0935 刈谷市井ヶ谷町広沢1)

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



降伏現象への原子論的 アプローチ

九州大学大学院工学府 材料物性工学専攻
修士課程2年

兵頭克敏

1. はじめに

私は2017年3月に九州大学工学部物質科学工学科を卒業しました。現在、同大学の修士課程2年生として、学部4年生の頃から所属している研究室で日々研究に励んでいます。まだ研究を始めて3年も経過していない未熟者ではありますが、これまでの研究内容と最近の取り組みについて紹介したいと思います。

2. 研究内容

私の所属している研究室は鉄鋼材料における力学特性の改善を目指した合金設計・組織制御技術について研究しています。従って研究室の多くの学生は、焼入れ、焼戻しのような熱処理、光学顕微鏡や電子顕微鏡を用いた組織観察、そしてシャルピー試験や引張試験による力学特性の調査などを行っています。私もそれをイメージして研究室に配属されました。ところが、配属当日に発表された研究テーマが「極低炭素・窒素が粒界偏析した降伏現象の解析」で、研究手法が分子動力学法という原子シミュレーションでした。一般的な低炭素鋼において、明瞭な上降伏点と下降伏点の見られる降伏現象が生じる事はよく知られていますが、この現象の原因については未だに決定的な結論が出ていません。当研究室では、これまでに実験的手法を用いて降伏現象に関する数多くの研究を行ってきましたが、降伏現象が高速かつ原子レベルの現象であるために実験的手法の限界を迎えていました。そこで登場するのが分子動力学法です。分子動力学法は原子間の結合を再現することができるため、設定条件によってナノサイズの拡散現象や変形挙動をシミュレーションすることも可能で、降伏現象の解明のブレイクスルーとなり得ます。上記のような理由で分子動力学法を用いて研究する事になったのですが、当研究室には分子動力学法を扱える人は誰もいませんでした。そこで共同研究者である本学の宗藤伸治准教授にマンツーマンでご指導して頂き、研究室で初めてのシミュレーション担当者になりました。

最初の研究テーマは、降伏現象の発現機構として最も知られているコトレル固着に関する研究でした。具体的には、コトレル固着の単純なモデルである侵入型固溶原子(窒素原子)1原子と1本の刃状転位との相互作用の解析です。この研究により窒素原子と刃状転位との相互作用範囲は従来提唱されていた数nmよりもさらに狭い約0.4nmである事が分かり、またピン止め力の定量評価に成功しました⁽¹⁾。

現在は、下降伏点を支配している現象であるとされる転位



図1 国際学会に向かう途中の筆者、金海国際空港にて。

のピルアップモデルのシミュレーションを分子動力学法により行っています。また、この計算には時間が掛かるので、計算の合間に解析手法の論文を読んで解析ソフトを自分でプログラミングしたり、分子動力学法の新たなポテンシャルパラメーターを作成するために密度汎関数法の勉強をしながら第一原理計算を用いた研究を行ったりしています。

3. 今後の展望

来年度からも引き続き博士課程に進学して、今の研究を続けたいと考えています。現在は分子動力学法と第一原理計算を用いて研究を行っていますが、第一原理計算の勉強に一区切りついたら、有限要素法の勉強とプログラミングにも挑戦したいと考えています。第一原理計算、分子動力学法、有限要素法の3つのシミュレーション手法を習得できれば、原子レベルの現象とマクロな現象を繋げる事のできる研究ができると考えているからです。さらにシミュレーションだけでなく、分子動力学法による研究結果からやってみたい実験が出来たので、時間が許されれば、実験の方もやってみたいと考えています。

4. おわりに

たったの3年間ではありますが、修士1年生の頃から後輩を付けてシミュレーション部門を一任して頂き、また国内学会や国際学会(図1)、研究会への参加など本当に色々な事を経験させて頂きました。研究室に配属された当時は全く想像していませんでしたので、今の研究生活があるのも偏に先生方のお陰だと思っています。まず、研究室で初となるシミュレーション担当者にして頂き、また研究だけでなくお酒の飲み方についてもご助言下さる高木節雄特任教授、研究についてのご指導や議論を時間の許す限りして頂いた宗藤伸治准教授、そして、現在の指導教員であり、研究についての議論や研究発表の仕方、論文の書き方など数多くのご指導を頂いた土山聡宏教授には厚く御礼申し上げます。これからの博士課程3年間も先生方に負けないような研究者になれるよう精進致しますので、ご指導ご鞭撻の程よろしくお願い致します。

文 献

- (1) K. Hyodo, S. Araki, S. Munetoh, T. Tsuchiyama and S. Takaki: Proceedings of the 5th International Symposium on Steel Science, (2017), 175-178.

(2019年1月25日受理) [doi:10.2320/materia.58.159]
(連絡先: 〒819-0395 福岡市中区元岡744)

会議報告 19th International Microscopy Congress (IMC19)

(2018年9月9日～14日)

東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構；助教
栃木 栄太



図1 展示場の様子。休憩時間には多数の参加者が集まる。

2018年9月9日～9月14日に豪国シドニーの国際コンベンションセンター(ICC Sydney)において19th International Microscopy Congress (IMC19)が開催された。IMCは国際顕微鏡学会連合(IFSM)が中心となり、4年毎に世界各地で開催されている国際会議であり、電子顕微鏡、光学顕微鏡、プローブ顕微鏡といった各種顕微鏡法に関する理論、装置、観察・解析技術、応用研究について幅広く議論されるものである。IMC19は現地団体であるAustralian Microscopy & Microanalysis SocietyとIFSMが共催という形で実施された。なおIFSM並びにIMCについては文献(1)(2)に詳しい。筆者はサファイヤにおける変形双晶の形成に関する構造解析結果の報告と最新の微細構造解析技術の動向調査を目的として本会議に参加した。

東京より10時間程のオーバーナイトフライトを過ごし、シドニー国際空港に降り立つ。日本との時差は+1時間。フライト中に睡眠がとれていれば身体への負担もさほどなく初日の活動を開始できる。空港より北へ鉄道T8線とライトレールを乗り継いだ先にあるダーリングハーバー地区。ここは船着き場、ショッピングモール、ミュージアム、レストランが集まるシドニーでも有数の観光スポットとして知られる。この地区の中ほどにあるひととき大きな建屋がIMC19の会場であるICC Sydneyだ。

IMC19では、大型の展示場を中心として、2500名収容のシアタールーム、11の会議室が主会場であった。主催者の報告によると、48ヵ国より参加者2142名、内学生387名ということである。セッションは44を数え、Physical Sciences, Life Sciences, Instrumentation and Techniques, Frontier Issues, の4つに大別される。講演件数はおよそ1600件であり、オーラル：630件、ミニオーラル：380件、デジタルポスター：440件、通常ポスター：150件といった内訳であった。開会、閉会の式典並びに各日のオープニングの基調講演は2500名収容のシアタールームでのシングルセッション、オーラルは12会場を用いたパラレルセッション、その他の講演は展示場内にて行われた。また、展示場では顕微鏡本体、各種付属機器、ソフトウェア、書籍出版等を取り扱う企業のブースが100か所ほど設けられ、会期中には新製品のプロモーションやライブデモ、商談が活発に行われている状況であった(図1)。

ミニオーラルとデジタルポスターは一般的な会議では見られない先進的な試みであったと言える。これらは会議に先立ってポスター用スライド5枚以内をウェブサーバーにアッ

プロードし、当日は展示場の各所に設置された45インチ程のディスプレイパネル(計20台)を用い発表するというものである。ミニオーラルは専用ブースにて3分間の口頭発表と1分間の質疑応答、デジタルポスターはオーラルセッションと並行した時間枠で30分間の発表時間が与えられた。ディスプレイパネルはタッチパネルとなっており、タッチ操作に加え、動画像やアニメーションを盛り込むことも可能である。また、発表時間以外は参加者が各スライドを自由に閲覧できる。さらに、IMC19専用アプリケーションが配布されており、各自のスマートフォン・タブレットにインストールすることにより、会場内外でのスライド閲覧、レーティング(星評価)、発表者へのメッセージ送信といったことが可能となっていた。このような取り組みは従来の発表形式の枠組みを広げ、学会の新たな可能性を示したものと感じられる。しかしながら、発表時間が非常に限られ、発表者と聴衆との議論が少なかったように見受けられた。学会会議においては直接議論を交わすことがその意義でもあるので、議論時間の確保についてはもう少し配慮がなされるべきと思われた。

筆者が講演したセッション“Ceramics and inorganic composites”は会期中1日半に渡って行われ、主に透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた酸化物の粒界・界面の原子/電子構造解析に関する講演が多く行われていた。また、全講演の中でとりわけ注目を集めていた講演は、顕微鏡分野のノーベル賞受賞者であるProf. Dan Shechtman(2011年 化学賞)“The Discovery of Quasi-Periodic Materials – The Role of TEM”とProf. Joachim Frank(2017年 化学賞)“Single-particle cryogenic electron microscopy – a new era of structural biology”と言えるだろう。どちらもシアタールームのシングルセッションにて行われ、多くの聴衆がノーベル賞につながる研究の一端について耳を傾けていた。

閉会式にて、次回のIMC20は2022年に韓国釜山にて開催されることが発表された。IMCでは材料科学に関する話題も多く、金属学会会員の興味とも合致する部分が多いだろう。まだ先の話であるが、釜山へは本邦から2時間程度のフライトであるので、この機会に参加を検討してみたいだろうか。

文 献

- (1) 塩尻 詢：電子顕微鏡, **36**(2001), 80-82.
- (2) 古谷一夫：顕微鏡, **50**(2015), 2-4.

(2018年12月3日受理)[doi:10.2320/materia.58.160]
(連絡先：〒113-8656 東京都文京区弥生2-11-16)

研究所紹介

一般財団法人ファインセラミックス センター ナノ構造研究所

一般財団法人ファインセラミックスセンター；執行理事
ナノ構造研究所；副所長

平山 司

ファインセラミックスセンター(Japan Fine Ceramics Center, 以下 JFCC と略記)は、我が国唯一のファインセラミックスに関する「研究・試験・評価」を行う公益法人として、1985年に設立されました⁽¹⁾。その後、狭義のセラミックスに限定されることなく、急速に進化する幅広い領域の高機能材料の創製、計測、観察を行う研究所として発展しました。さらに2007年には、従来から存在する「材料技術研究所」の中の一つの研究グループであった「微構造解析・計算グループ」を「ナノ構造研究所」に「格上げ」して稼働させました。材料技術研究所は新材料の創製開発と試験評価を中心とする研究所であるのに対し、ナノ構造研究所は透過電子顕微鏡(以下、TEM と略記)による様々な材料・デバイスの高精度な解析と第一原理計算をはじめとする先端材料の理論計算によって材料の創製・開発を強力にサポートすることをミッションにしています。

現在ナノ構造研究所では所長(高田雅介)、副所長(平山司)、3人の客員主管研究員(幾原雄一東大教授、田中信夫名大名誉教授、田中功京大教授)のもとに、TEMを主たる手段とする研究グループが3つ(電子顕微鏡基盤G(加藤丈晴)、電子線ホログラフィーG(山本和生)、環境電子顕微鏡G(川崎忠寛))、理論計算を行う研究グループが1つ(計算材料G(森分博紀))、電子顕微鏡および理論計算の協働グループが1つ(電池材料解析G(桑原彰秀))の合計5グループが置かれています(括弧内の個人名はグループリーダー)。在籍者は正職員(研究員、技術員)、嘱託職員、期限付き研究職員(いわゆるポスドク研究員)、企業からの出向者、パートタイマーなど多様性に富み、総勢約30名の活気ある部隊になっています。JFCC全体では約100名程度ですので、割合としてはTEMにずいぶん重心を置いた人数構成と言えます。

JFCCは名古屋の熱田神宮の近くにあり、すぐ近くを東海道本線と名古屋鉄道が走っていますので、常に地面の震動や浮遊磁場変動に悩まされる場所です。お世辞にもTEM設置に適した場所とは言えません。TEMはJFCC設立時に建設した「研究棟」に6台、ナノ構造研究所設立時に建設した「電子顕微鏡棟」に4台設置されています。電子顕微鏡棟は、地面の震動の影響を少しでも減らすために約2000トンのコンクリートの土台の上に建設してあり、各TEMはその重量や性能に合わせて設計した除振台に乗っています。ま



図1 ナノ構造研究所メンバー。

た、電車からの磁場の影響を最小にするために、必要に応じて電子顕微鏡室はパーマロイで囲んであります。その他、温度変化や気圧の変化などの影響を最小にするための数々の工夫が施されています。この建物の設計・建築にも客員研究員の先生方(特に山本剛久名大教授)の知識やご経験を生かしてあります。

JFCC設立当初は、焼結させた高温構造セラミックス材料が研究の中心だったようですが、現在のナノ構造研究所の研究対象は高温構造材料だけではなく、電池材料、磁石材料、半導体、誘電体など様々です⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。我々はこのような先端的な材料やデバイスを開発しようとする大学の先生方、独法の研究者、企業の技術者と協力して研究を展開します。JFCCはどこからも運営交付金をもらえない研究所ですので、自分たち自身の人件費も含めた研究費のほぼすべてを外部からの競争的資金や企業からの研究委託費などでまかなわなければなりません。このようなシステムで長期にわたり存続してきた財団法人研究所はきわめて希です。生きるために研究資金を稼ぎ続けなければならないことは大変つらく苦しいことですが、そのことが常に新しい研究アイデアを絞り出し、建設的研究提案を行い、研究を前に進める原動力になっているように思います。また、我々の研究所を企業の研究所の分室のように活用して頂く「オープンラボ」と呼んでいるシステムも有り、企業とは常に太いパイプを持って共同研究を行っています。ここでも我々は、社会が何を求めているか、何をすれば産業的・社会的価値があるのかをしばしば学ぶことができます。

図1にJFCCの玄関付近で最近撮影したナノ構造研究所メンバーの写真を示します。このメンバーでこれからも学術研究を産業に生かすべく努力を続けて行きたいと考えております。

文 献

- (1) JFCC 設立30周年記念誌(2015).
- (2) K. Yamamoto, *et al.*: *Microscopy*, **66** (2017), 50-61.
- (3) S. Kobayasi, *et al.*: *Nat. Commun.*, **9** (2018), 2863.
- (4) H. Moriwake, *et al.*: *Phys. Rev. B*, **97** (2018), 224104.
(2019年1月7日受理)[doi:10.2320/materia.58.161]
(連絡先: 〒456-8587 名古屋市熱田区六野2-4-1)

本 会 記 事

会 告	2019年春期(第164回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて	162	
	2019年春期講演大会併催企業説明会への学生参加者の募集	162	
	2019年春期講演大会概要集 DVD の販売について	163	
	第7回ランチョンセミナー開催	163	
	第11回男女共同参画ランチョンミーティング開催	163	
	平成31年春季 全国大学材料関係教室協議会講演会ご案内	164	
	2019年秋期講演大会外国人特別講演および招待講演募集	164	
	日本金属学会主催国際会議企画提案募集	164	
	新設「研究会」発足のお知らせ	164	
	新設「若手研究グループ」発足のお知らせ	164	
	欧文誌編集委員会からのお知らせ	166	
支部行事	166	新入会員	168
掲示板	166	次号予告	169
会誌・欧文誌3号目次	167	行事カレンダー	170

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

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

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

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2019年春期(第164回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期: 2019年3月20日(水)～3月22日(金)
会 場: 東京電機大学東京千住キャンパス(〒120-8551 東京都足立区千住旭町5)
懇親会: 2019年3月20日(水)18:00～20:00(東京電機大学東京千住キャンパス 1号館1階100周年ホール)
大会参加申込: 当日受付(事前受付終了)
講演発表: 本号付録およびホームページ掲載
詳 細: ホームページ→講演大会→2019春期講演大会案内をご参照下さい。

2019年春期講演大会併催企業説明会への学生参加者の募集

2019年春期講演大会に合わせ、学生のキャリアサポートの一環として本会主催により、日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会併催の第5回企業説明会を東京電機大学東京千住キャンパスにて開催します。本説明会は、学生にできるだけ多くの素材・材料関連企業に接してもらい、進路選択に役立ててもらおうというものです。日本金属学会学生会員及び日本鉄鋼協会学生会員並びに東京電機大学学生を対象に募集しますので、奮ってご応募下さい。

学生の皆さんが参加しやすいように講演大会期間の最終日に開催いたします。ほぼ終日ブースを開設して、講演の合間や講演終了後にも企業ブースを訪問できるようにするとともに、昼食(軽食)を提供して昼休み時間にブースを訪問しやすくしています。また、参加企業の担当者により詳しく情報交換できるように、説明会終了後に参加企業の担当者との交流会(立食懇親会)を開催します。

開 催 日 2019年3月22日(金)(春期講演大会の3日目)
開 催 場 所 東京電機大学東京千住キャンパス(東京都足立区千住旭町5番)
主 催 公益社団法人日本金属学会
協 賛 東京電機大学学生支援センター、一般社団法人日本鉄鋼協会
参加企業 素材、材料関連の企業44社
スケジュール 11:00～16:30 ブース説明会(企業ブースでの対面説明)***出入り自由**。昼食(軽食)提供。
17:00～18:30 参加企業担当者との交流会(立食懇親会、参加無料)*ブース説明会のみ参加可。
応募資格 日本金属学会学生会員、日本鉄鋼協会学生会員、東京電機大学大学生
応募方法 本会ホームページ上の参加申し込み画面(<https://data.jim.or.jp/jim/kigyou/>)から申し込む。
募集期間 2018年12月3日(月)～2019年3月8日(金)
問合せ先 公益社団法人日本金属学会 企業説明会担当(山村) ☎ 022-223-3685 E-mail: jim.company2018@jim.or.jp

愛知製鋼株式会社 大阪製鐵株式会社 株式会社神戸製鋼所 JX 金属株式会社 昭和電線ホールディングス株式会社 住友金属鉱山株式会社 大同特殊鋼株式会社 中外炉工業株式会社 東京製鋼株式会社 株式会社特殊金属エクセル 日新製鋼株式会社 日鉄住金テクノロジー株式会社 日本冶金工業株式会社 古河電気工業株式会社 三菱製鋼株式会社	石福金属興業株式会社 高周波熱練株式会社 株式会社コベルコ科研 JFE 条鋼株式会社 新日鐵住金株式会社 住友重機械工業株式会社 ダイハツ工業株式会社 TPR 株式会社 株式会社東芝 トピー工業株式会社 日鐵住金建材株式会社 日本軽金属株式会社 日立金属株式会社 三井金属鉱業株式会社 ヤマハ発動機株式会社	株式会社荏原製作所 合同製鐵株式会社 山陽特殊製鋼株式会社 JFE スチール株式会社 新日本電工株式会社 住友重機械ハイマテックス株式会社 中越合金鑄工株式会社 TDK 株式会社 東邦チタニウム株式会社 ニダック株式会社 日鉄住金 SG ワイヤ株式会社 日本発条株式会社 福田金属箔粉工業株式会社 三菱アルミニウム株式会社
--	---	--

2019年春期講演大会概要集 DVD の販売について

2019年春期講演大会の概要集 DVD を販売いたします。
ご購入希望の方は下記をご記入の上、E-mail または FAX でお申し込み下さい。

- ①件名「2019年春期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」、
②申込者氏名、③会員資格(会員番号併記)、④申込数、
⑤送付先住所
3月6日の発行後、請求書を添えて送付いたします。ホームページに申込書があります。

会員価：本体4,000円+税 定価：本体10,000円+税 送料：360円

申込先 E-mail: ordering@jim.or.jp FAX 022-223-6312

第7回ランチョンセミナー開催

春期講演大会の会期中に、第7回ランチョンセミナーを開催いたします。このセミナーは、参加者の皆様に講演大会の昼食時間を利用して昼食をとって頂きながら、企業による最新の技術情報を聴講いただく企画です。参加無料です。多くの皆様のご参加をお待ちしております。

主催 公益社団法人 日本金属学会
企画 株式会社 明報社
日時 2019年3月21日(木) 昼休み時間
会場 東京電機大学東京千住キャンパス 2号館日本金属学会講演会場(詳細は次号)

参加費 無料 昼食を無料提供いたします。
～ 皆様のご参加をお待ちしております!! ～

参加方法 3月21日(木) 8:30より参加券を「機器展示会場」にて配布致します。金属学会、または鉄鋼協会の大会参加証をご提示下さい。引き換えにご希望のセミナー参加券をお渡し致します。時間になりましたら、参加券をご持参の上、セミナー会場までお越し下さい。
※予定数に達し次第、配布は終了致します。
※ランチョンセミナーは同業者様等のご入場(セミナー参加券をお持ちの場合でも)をお断りする場合がございます。予めご了承下さい。

参加企業：
オックスフォード・インスツルメンツ(株)：C会場(2号館6階2604)
「CMOS: new detector technology for EBSD」(森田博文)
(株)TSLソリューションズ：D会場(2号館6階2605)

「高速型 EBSD 検出器 (Velocity) の特性と材料組織解析への適用例の紹介」(鈴木清一)
(株)日立ハイテクノロジーズ：H会場(2号館7階2704)
「組成・組織・In-Situ 観察はここまで来た。日立 FE-SEM, SU7000」(立花繁明)
ヴェーダー・サイエンティフィック(株)：I会場(2号館7階2705)
NISSHA エフアイエス(株)：L会場(2号館8階2804)
「ppb レベルでの鋼材中水素測定について」



第11回男女共同参画ランチョンミーティング 「金属材料分野での多様なキャリアパス」

主催 男女共同参画委員会日本金属学会・日本鉄鋼協会
協賛 男女共同参画学協会連絡会
日時 2019年3月22日(金) 12:00～13:00
会場 東京電機大学東京千住キャンパス鉄鋼協会第17会場(5号館5405A)
参加費 無料 弁当30人分までは無料提供。
(講演大会参加申込の有無にかかわらず、このミーティングに参加できます!!)

プログラム
司会 御手洗容子(物質・材料研究機構)
12:05～12:10 開会の挨拶
男女共同参画委員会新委員長 奈良女子大 松岡由貴
12:10～12:40 「宇宙飛行士サポートから研究員、研究員から企画管理へ～三児の母として～」
(株)IHI 技術開発本部計画管理グループ課長 高橋 円
12:40～12:50 総合討論
12:50～12:55 閉会の挨拶
男女共同参画委員会新副委員長 九大 尾崎由紀子

平成31年春季 全国大学材料関係教室協議会 講演会のご案内

日時 2019年3月22日(金) 15:00～16:00
場所 東京電機大学東京千住キャンパス 2号館5階2504教室
講演会 材料開発ツールとしてのマテリアルズインテグレーション
東京大学大学院工学系研究科 教授 榎 学
聴講料 無料

2019年秋期講演大会の外国人特別講演および招待講演募集

春秋講演大会における外国人研究者による特別講演と招待講演については会員からの推薦をもとに、国際学術交流委員会において審議採択し、講演実施細目については講演大会委員会で決定いたします。2019年秋期講演大会の特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。

特別講演

- ・講演者：著名な外国人研究者とする。
- ・講演時間：30分(討論10分)
- ・採択件数：3~4件
- ・滞在費補助：10,000円×5日(上限日数)
- ・その他：大会参加費免除、懇親会招待

招待講演

- ・講演者：有益な講演が期待される国内に滞在する外国人研究者とする。
- ・講演時間：15分(討論5分)
- ・採択件数：5件程度
- ・滞在費補助：なし
- ・その他：大会参加費免除

推薦用紙

所定様式(ホームページからダウンロード下さい)により、下記メールアドレス宛に「外国人特別講演推薦」と明記しお送り下さい。送信後2~3日過ぎても受理メールの無い場合はお問合せ下さい。

推薦書提出期日 **2019年5月31日(金)**

照会・推薦書提出先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
(公社)日本金属学会 国際学術交流委員会宛
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: stevent@jim.or.jp

日本金属学会主催国際会議企画提案募集

本会が主催する国際会議につきまして、ダイナミックな国際化の動きに即したタイムリーな企画を選定するため、次の方針で提案募集を行います。2021年度以降開催の国際会議が対象です。ご参照の上、期日までに有意義な企画をご提案下さいますようお願いいたします。

提案締切日 **2019年5月31日(金)**

提案要項 下記事項を記載した文書(A判)をもって、本会会長宛に申請して下さい。(提案書)

- (1) 会議の名称(和文名・英文名)
- (2) 会期
- (3) 開催地・会場予定
- (4) 会議の目的・特徴
- (5) 日本開催の経緯と意義
- (6) 計画概要
 - a. 協賛、後援団体
 - b. 主要準備日程
 - c. 使用語
 - d. 参加予定国(国名・国数)
 - e. 参加予定者数(国内外)
 - f. 著名な国内外参加予定者(氏名・所属・役職)
 - g. パラレルセッション数およびポスターセッションの有無
 - h. プロシーディングスの出版(出版元・予定頁数、製作部数・頒価・配布方法)
 - i. 予算(収入・支出明細)
- (7) 準備委員会委員(氏名・所属・役職)
- (8) 提案(連絡)責任者(氏名・所属・役職・住所・電話・E-mail)

提案書送付先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

(公社)日本金属学会 国際会議募集係

—公益社団法人日本金属学会主催国際会議実施方針(2013年12月改訂抜粋)—

1. 基本的要件

- (1) 開催要望が国内外で高まっており、かつ本会会員からも要望されていること。
- (2) 関係国内学協会の協賛が得られること。
- (3) 会議の計画内容が本会主催の会議としてふさわしいと認められること。
 - 1-1 会議の構成、主要題目、日程、使用語が適切である。
 - 1-2 参加国数および国外参加者が10カ国50名以上予定されていること。
 - 1-3 参加予定国および参加予定者は確実な根拠に基づいて推定されていること。
 - 1-4 当該分野における国内外の代表的研究者の参加が予定されていること。
- (4) 会議のProceedingsを刊行する場合は、多重投稿等ミスコンダクトが生じないよう対策をとること。実施する対策を事前に届け出て本会の承認を得ること。

2. 本会主催国際会議の区分と規模

- (1) JIMIS：国際シンポジウム—参加者150名未満
- (2) JIMIC：国際コンファレンス—参加者150名以上
- (3) その他の国際会議—国際的要請に基づいて主催する国際集會等

3. 開催頻度

必要に応じて随時開催する。

4. テーマの公募、選定方法

- (1) 「まてりあ」会告で定期的に企画提案を募集する。
- (2) 提案された企画案は、まず分科会運営委員会において検討、優先順位を付けて、国際学術交流委員会に提示する。
- (3) 国際学術交流委員会において実施企画、会議の区分、貸与金(内定)を決定して、理事会に答申する。
- (4) 理事会において正式決定し、提案責任者に対して文書により決定通知と開催準備推進の依頼を行う。

5. 財源

- (1) 参加費
- (2) 文部科学省補助金
- (3) 地方公共団体補助金
- (4) 民間財団補助金
- (5) 本会国際学術交流資金からの貸与金(上限100万円会議後返却)
- (6) 寄付金

6. 業務処理の会計処理

本会の「国際会議開催準備マニュアル」と「国際会議会計処理マニュアル」に準拠する(これらの資料は採択決定後に提案責任者に送付する)。

新設「研究会」発足のお知らせ

本年3月から新たに下記の研究会が発足いたします。メンバーとして登録を希望される方は、氏名、勤務先、連絡先(E-mail address含む)を明記の上、世話人宛にお申込み下さい。研究会の活動期間は1期5ヶ年以内です。

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年以内です。

(研究会新設募集：7号会告予定/申請締切日：9月2日)

■82. 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング研究会 活動期間 1期5年間(2019年3月~2024年2月)

ナノインデンテーション法やTEM・SEM その場変形などの微小領域力学特性評価手法が発達し、様々な材料への応用が拡大している。測定機器の発展がめざましい一方、測定データの解析法や解釈には課題が多い。また、微小領域の力学挙動とマクロ特性との関

係におけるマルチスケールモデリングも重要な課題である。本研究では、多様な材料を対象とする微小領域の力学特性を議論し、それらを素過程とするマクロスケールの機械的性質の発現機構について明確化することを目的とする。2018.7に開催された6th International Indentation Workshop (金属学会協賛, Chair: 大村(NIMS), 池田(北大))において、機械、物理などの多様な分野間で活発な議論が行われた。Workshop Proceedingsは、Mater. Trans. 誌の特集号として発刊する準備を進めている。これを契機に、日本国内において当該分野の活動が継続できる研究会の要請が参加者から高まり、本提案に至った次第である。

代表世話人 大村孝仁

物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 副拠点長

☎ 029-859-2164 FAX 029-859-2121

E-mail: ohmura.takahito@nims.go.jp

新設「若手研究グループ」発足のお知らせ

若手および調査・研究事業を活性化することを狙いとして、若手主体の研究グループを発足しています。

■05「次世代高性能磁性材料研究グループ」

活動期間：2019年3月1日～2021年2月28日の2年間

経済発展と社会的課題の解決を両立する社会の実現に向けた“Society 5.0”が提唱されている。このSociety 5.0の目指す具体例としては、IoT、ロボット、AI、ビッグデータ等の先端技術を活用したロボット介護や自動車の自動走行、工場での自動生産などが内閣府により提示されている。したがって今後、IoTやロボット関連産業が一層拡大していくものと予想されるが、これらの発展に欠かせない材料として挙げられるのが、磁性材料である。磁性材料は磁気センサーや不揮発性メモリーをはじめ電気・情報通信機器を支える重要な材料であり、さらに、永久磁石型モータは小型・高出力が得られることから車載用を筆頭に需要が拡大しており、現代社会は磁性材料なしには成り立たない。今後、自動走行自動車やロボットなどがますます普及していくにつれ、高性能なセンサーやモータの開発要求も一層高まるものと予想され、そのためには高性能磁性材料の開発が必要不可欠な課題といえる。

磁性材料の更なる高性能化には用途に応じた高度な材料設計が必要であるが、現状、材料研究開発とユーザーの若手研究者間の横断的な交流が少なく、高度な材料設計をする基盤が十分でない。

そこで本研究グループは磁性材料、磁性微粒子、先端組織観察、理論計算、モータ設計と多分野にわたる若手研究者らで構成され、若手研究者間の横断的な交流の場を提供する。さらに、予算を活用して産業界からも積極的に研究者を招聘し、次世代モータなど産業界の今後の展望や課題などについて忌憚なく議論する。それによって、現状の磁性材料の課題抽出を行い、次世代の磁性材料開発指針を獲得することを目的としている。

本研究グループにより異なる専門分野の若手研究者同士の積極的な交流を促し、将来、新たな共同研究への発展ならびに競争的資金獲得へ向けたグループ形成も期待される。

代表者 松浦昌志(東北大学大学院工学研究科)

☎ 022-795-7333

E-mail: m-matsu@material.tohoku.ac.jp

■06「生体用金属・セラミックス材料の生体外評価に関する標準化検討グループ」

活動期間：2019年3月1日～2021年2月28日の2年間

生体用材料は、材料学的な基本特性(たとえば強度、延性など)に加えて、骨形成能、抗菌性、細胞やタンパク質の接着性といった生体との反応性(挙動)の制御も必要である。材料学的基本特性の評価方法については、これまで非常に多くの歴史とノウハウがあり、その手法はほぼ確立されている。そのため、研究者間でその値について

容易に比較、検討を行うことが可能であり、目標値も明確になっている場合が多い(最大引張強さや弾性率など)。

一方、生体との反応性は生体用材料独自の評価項目である。最終的には臨床試験が行われるが、材料開発の段階においては、1. 擬似体液と呼ばれる生体内を模擬した溶液中での挙動調査、2. 細胞や細菌培養試験による細胞・細菌との反応性評価、3. マウスやウサギ、犬等の動物を用いた動物埋入試験、が行われている。ただし、動物埋入試験については、動物愛護の観点から必要最低限にすることが求められており、基本的には上記1および2の評価が一般的である。

現在、擬似体液浸漬試験や細胞・細菌培養試験については、JIS、ASTM、ISOに評価方法が規格化されている。擬似体液浸漬試験によるアパタイト形成能評価については、小久保グループが開発したKokubo solutionが世界標準となっており、とくにセラミックスや金属分野では骨形成能の指標としてKokubo solution浸漬によるアパタイト形成評価(T. Kokubo and H. Takadama: Biomaterials, 27 (2006) 2907.)が広く行われている。

一方、抗菌性試験については、JIS Z2801に「抗菌加工製品-抗菌性試験方法・抗菌効果」として規格化されているものの、試験片形状が 50 ± 2 mm角と指定されており、大学等でのラボスケールでの材料開発の段階においては大きすぎる。そのため、各研究者(研究グループ)においてスケールダウンして評価を行っており、独自の評価方法となっている。細胞培養試験に至っては、材料の滅菌法や細胞種が統一されておらず、加えて、細胞のカウントや形態観察等も各研究者が独自の方法で行っている状況である。そのため、学会や論文等で発表されるデータを研究者間で比較することができず、その材料の特性が十分に理解されていない状況である。

目的

そこで本研究グループにおいては(I)細菌培養試験による抗菌性評価、(II)細胞培養試験による生体組織と材料の反応性評価、に着眼し、各研究者間でデータの比較ができるような評価方法標準化の提案を目的とする。具体的には、現在の状況を分析するために(1)規格化済評価方法の整理、(2)実際の評価方法の調査、を行う。その結果を踏まえて(3)ラボレベルで行える評価方法の立案、(4)ラウンドロビンテスト(同一標準試料を用いて、各研究者で評価を行う)、および(5)各自の試料を用いた評価試験、を行い、最終的には(6)上記(I)、(II)について、日本金属学会法として評価方法を関連学会に提案する。

意義

若手研究者が集い、勉強会を開催することで各種評価方法の現状整理、知識の共通化が図られる。加えて、各種評価方法の標準化においては、実験手技の観点のみならず、原理原則を理解した上で提案する必要がある。若手研究者が真に現象の原理原則を理解することは、生体材料という各論になりがちな分野において、将来、学問体系の構築につながる。

得られる成果・目標

これまで、生体材料においては、明確な数値として現れる評価方法が少なく、各自が開発した材料・表面処理の有効性を明確に示すことができず、比較材との相対的な評価しかできなかった。本評価方法の標準化により、絶対的な評価が可能となり、生体材料分野の研究推進が期待される。提案した評価方法にて評価した成果を積極的に学会および論文として発表することで、本研究グループの成果の認知を図ると共に、各自の新規開発材料自体のアピールにもつなげる。

加えて、構成員には、金属、セラミックス、細胞を基礎とする学側および企業側研究者が参画することで、本研究グループを通じた共同研究、新規材料開発に進展することが期待される。

代表者 上田恭介(東北大学大学院工学研究科)

☎ 022-795-7295 E-mail: ueda@material.tohoku.ac.jp

特集企画の投稿募集

下記テーマに関する特集企画の投稿を募集いたします。

■Advanced Metal Forming Technologies in Asia (アジアにおける最近の塑性加工技術)

近年、ものづくりの中心がアジアに移りつつある中で、アジア諸国における金属材料の塑性加工関連の研究開発が大変盛んであり、年々そのレベルが高くなっている。このような情勢の中で、2019年7月31日-8月3日の期間で、日本塑性加工学会、韓国塑性加工学会、中国塑性加工学会及び台湾塑性加工学会の共同開催で、東京ビッグサイトで下記2つの国際会議を開催する予定である。

- 1) The 2nd Asian Pacific Symposium on Technology of Plasticity (APSTP 2019)
- 2) The 12th Asian Workshop on Micro/Nano Forming Technology (AWMFT 2019)

この2つの学会で発表される論文数が合計100編程度と予想しているが、その中から、15-20編程度をセレクトし、さらに査読を経て内容を充実させた論文に加え、関連の投稿論文を Materials Transaction の特集号に掲載することを計画している。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 61巻2号(2020年2月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいますようお願いいたします。

掲載予定号：第61巻第2号(2020年)

原稿締切日：2019年8月1日

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

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

支部行事



2019年度春季講演会

[共催] 日本鉄鋼協会九州支部

日時 2019年3月13日(水)13:30~17:00
場所 九州大学筑紫キャンパス 共通管理棟3階大会議室
(〒816-8580 春日市春日公園 6-1)

プログラム

13:30~14:30 湯川記念講演会
金属材料の組織と弾塑性変形挙動の中性子回折法による解析
物質・材料研究機構 構造材料研究拠点
高強度材料グループ NIMS 特別研究員 友田 陽

14:50~17:00 講演討論会

テーマ：先端の実験と数理解析による材料研究の新たな展開

1. 電子線ホログラフィーと統計数理解析：電磁場解析の高精度化を目指して
九大大学院工学研究院 エネルギー量子工学 教授 村上恭和

2. 放射光実験と理論計算による鉄鋼材料の元素挙動解析
九大大学院総合理工学研究院 物質科学 准教授 西堀麻衣子
 3. 相変態に伴う炭素分配の実験・計算複合解析
JFE スチール(株)スチール研 分析・物性研究部 主任研究員 田中裕二
- 参加費 無料
定員 50名
問合せ先 九州大学大学院工学研究院 松村 晶
☎ 092-802-3486 E-mail: syo@nucl.kyushu-u.ac.jp

掲 示 板

〈公募類記事〉

無料掲載：募集人員、締切日、問合せのみ掲載。

有料掲載：1/4頁(700~800文字)程度。

• 「まてりあ」とホームページに掲載；15,000円+税

• ホームページのみ掲載；10,000円+税

〈その他の記事〉 原則として有料掲載。

• 原稿締切・掲載号：毎月1日締切で翌月号1回掲載

• 原稿提出方法：電子メールとFAX 両方(受け取りメールの確認をして下さい)

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

◇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
レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会
東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター
東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協賛 (公社)日本金属学会他
- 開催会場 東京大学生産技術研究所 An棟2F コンベンションホール 〒153-8505 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)
https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/access/
- 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30年度 レアメタル研究会開催予定のご案内〉(2019.1.12現在)

- 第85回 2019年3月8日(金)
★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+慰労会★(合同開催)
 - 第85回 2019年3月8日(金) 14:00~
会場変更：駒場IIキャンパス 先端科学技術研究センター3号館南棟1階 ENEOS ホール
★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+慰労会★(合同開催)
- テーマ：ご卒業講演：佐藤先生、藤田先生の研究と活動、非鉄業界と研究の将来展望
- 時間：午後2:00~
- 講演：
- 稀有なレアメタル実験室 (60分)
東北大学 多元物質科学研究所 教授 佐藤修彰 講師
 - 講師依頼中 (40分)
 - リサイクルと環境浄化など (60分)
東京大学 工学系研究科システム創成学専攻 教授 藤田豊久 講師
- 午後6:00~ 研究交流会・意見交換会(S棟プレゼンテーションルームに変更)

レアメタル研究会ホームページ

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

日本金属学会誌掲載論文

Vol. 83, No. 3 (2019)

—レビュー—

マグネシウムの靱性・延性に及ぼす添加元素の影響
染川英俊

—論文—

湿式還元法により合成した単分散銀粒子の焼結性および電気的特性

小寺喬之 荻原 隆 大下健二 青柳伸宜 小林由美恵

アルミニウム合金へ成膜した Si-DLC/DLC 多層膜の膜特性におよぼす積層回数および膜厚比の影響

丸野英伸 西本明生

中国「新」時代に制作されたと伝えられる貨幣『一刀』に用いられた金属工芸技法

桐野文良 大野直志 田口智子

反応焼結法で作製した高強度 $TiC_{(1-x)}$ 粒子強化型 Ti 基複合材料の高比抵抗化と高剛性化に及ぼす C と Al 元素の影響

古田忠彦 椎名克臣 植田義久 嶋崎 忍 中村喜代治

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 60, No. 3 (2019)

—Special Issue on Titanium Production by Molten Salt Electrochemical Process—

PREFACE Gudrun Savarsdottir, Geir Martin Haarberg and Ryosuke O. Suzuki

Equilibrium between Metallic Titanium and Titanium Ions in $MgCl_2-LiCl$ Molten Salt

Jinyu Wu, Jianxun Song, Hongmin Zhu, Yongchun Shu and Jilin He

Electrochemical Dy-Alloying Behaviors of Inconel and Hastelloy in Molten $LiF-CaF_2-DyF_3$

Yusaku Watanabe, Yutaro Norikawa, Kouji Yasuda and Toshiyuki Nohira

Solubility of CaS in Molten $CaCl_2$

Takahiro Matsuzaki, Ryosuke O. Suzuki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi and Mikito Ueda

Molten Salt Electrochemical Synthesis, Heat Treatment and Microhardness of Ti-5Ta-2Nb Alloy

Jagadeesh Sure, D. Sri Maha Vishnu, R. Vasant Kumar and Carsten Schwandt

Preparation of Titanium Metal Using Titanium Suboxides in Molten Salt

Ma Tongxiang, Hu Mengjun, Lai Pingsheng, Wen Liangying and Hu Meilong

Production of Fine Titanium Powder from Titanium Sponge by the Shuttle of the Disproportionation Reaction in Molten $NaCl-KCl$

Xin Lu, Takuya Ono, Osamu Takeda and Hongmin Zhu

Solubility of CaS in $CaCl_2-LiCl$ Eutectic Melt

Takahiro Matsuzaki, Ryosuke O. Suzuki, Shungo Natsui, Tatsuya Kikuchi and Mikito Ueda

Phase Transformations and Deoxidation Kinetics during the Electrochemical Reduction of TiO_2 in Molten $CaCl_2$

Mengjun Hu, Tongxiang Ma, Leizhang Gao, Pingsheng Lai, Zhengfeng Qu, Liangying Wen, Dacheng Li, Shengfu Zhang and Meilong Hu

Phase Composition, Microstructure, Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Molten Salt Electrochemically Synthesised Ti-Nb-Sn Biomedical Alloys

D. Sri Maha Vishnu, Jagadeesh Sure, R. Vasant Kumar and Carsten Schwandt

—Regular Article—

Materials Physics

Characterization of Precipitated Phases and Carbides' Coarsening in DH36 Shipbuilding Steel during Tempering Process

Angang Ning, Shebin Wang, Yiwa Luo and Yequn Liu

Microstructure of Materials

Ab-Initio Study of (111) to (001) Texture Transformation in Ag Thin Films

Cheng-Yu Chien, Jung-Yao Yeh, Young-Chin Huang, Ming-Tzer Lin and Po-Liang Liu

Mechanosynthesis and Reversible Hydrogen Storage of Mg_2Ni and Mg_2Cu Alloys

Tohru Nobuki, Yuki Okuzumi, Minoru Hatate, Jean-Claude Crivello, Fermin Cuevas and Jean-Marc Joubert

Mechanics of Materials

Evaluation of Work Hardening and Tensile Strength for Press Worked Products Plastic Strained from Multiaxial Direction

Tetsuro Ishimura and Souichiro Nishino

Materials Chemistry

Rice Hull Charcoal for Adsorption of Cesium and Strontium in Aqueous Solution

Shinya Kobayashi, Kosuke Noda, Hirohumi Shibata, Soichiro Matsubara, Norihisa Kawamura and Toru Nonami

Effect of Heating Rate on Microstructure, Texture and Tensile Properties of AA7085

Qunying Yang, Xiaoyong Liu and Xiangze Fan

Materials Processing

Preparation for WC-Ni₃Al Hard Metal by Vacuum Sintering

Kiyotaka Katou, Koji Shimojima and Hiroyuki Hosokawa

Engineering Materials and Their Applications

Directional Magnetic Modification of Iron Rhodium Compound by Ion Irradiation and Annealing

Ryunosuke Soma, Akihiro Iwase, Yuichi Saitoh and Toshiyuki Matsui

Role of Surface Iron Oxides in Coercivity Deterioration of $Sm_2Fe_{17}N_3$ Magnet Associated with Low Temperature Sintering

Wataru Yamaguchi, Rikio Soda and Kenta Takagi

Announcement

新 入 会 員

(2018年12月21日～2019年1月21日)

正 員

黒瀬 隆	山形大学	和田 佳子	早稲田大学	山本 幸治	株式会社小松製作所
田邊由紀子	テルモ株式会社	林 功輔	新日鐵住金株式会社	亀谷 恭子	法政大学
長 秀雄	青山学院大学	軽部修太郎	東北大学	太子 敏則	信州大学
原島 亜弥	新日鐵住金株式会社	木村 友則	株式会社日立製作所	鈴木 寿穂	大同特殊鋼株式会社
関 翔太	株式会社 KRI	志村 玲子	東北大学	長嶋 秀治	大亜真空株式会社
長谷部忠司	神戸大学	舘林 潤	大阪大学	大関 智之	富士フィルム株式会社
上田 寛之	株式会社ブリヂストン	二田 祐一	日本鋳鍛鋼株式会社	国元 晃	株式会社リケン

学 生 員

平井 友樹	北海道大学	溝口 未祐	大阪府立大学	藤 當 翼	大阪大学
長野健太郎	立命館大学	水本 政隆	東北大学	小出 拓史	千葉工業大学
尾中 晃生	熊本大学	尾上 昌平	鹿児島大学	松宮 久	京都大学
林 健一郎	大阪大学	松澤 陸	芝浦工業大学	杉村 朋幸	千葉工業大学
松吉 慶悟	大阪大学	鶴岡 椋	大阪大学	日野 泰成	三菱電機株式会社
林 謙汰	東北大学	水野 凌	金沢大学	岩野 貴哉	千葉工業大学
渡部 将央	名古屋工業大学	村岡 幸樹	久留米工業高等専門学校	山本 悠真	茨城大学
河村 侃	芝浦工業大学	渡会 惇基	東海大学	青木 優太	茨城大学
村尾 吉輝	高知工科大学	川上 智大	熊本大学	中曾 根僚	東京理科大学
太田 俊	早稲田大学	岩田 恭平	茨城大学	村岡 周音	東京工業大学
須藤 海志	信州大学	坂本 成美	東京工業大学	佐藤 勇気	名古屋大学
柳澤 穂波	東北大学	城 秀幸	名古屋大学	中村 郁仁	大阪大学
坂口 知聡	熊本大学	山本 陣平	大阪大学	大野 直人	熊本大学
唐 超	東北大学	篠原 宝来	東北大学	渡邊 有美	鹿児島大学
福田 大祐	京都大学	泉 寿享	金沢大学	小川 丈太	秋田大学
我毛 智哉	東京工業大学	岡 健太	熊本大学	大畑 耕太	東京大学
小林 史幸	京都大学	嶋田 万里	関西大学	辰巳 孝太	東京理科大学
高橋 宏太	東北大学	竹本 圭佑	熊本大学	飯田 大翔	愛媛大学
小柏 悠太郎	長岡技術科学大学	門井 祐輔	東北大学	林 克幸	京都大学
林 直宏	東北大学	浦川 裕翔	東京大学	東 嵩晃	近畿大学
大東 佑汰	大阪大学	平間 慧	久留米工業高等専門学校	奥山 慶大	千葉大学
加藤 元輝	大阪大学	飯島 佑香	大阪大学	村田 亘	神戸大学
飯塚 恒太	茨城大学	小山 慶太	東海大学	中野 加菜	神戸大学
高橋 飛鳥	千葉工業大学	二見 航平	東北大学	米倉 壮	千葉大学
宮増 圭輔	千葉工業大学	船田 敏幸	鳥取大学	津守 俊彰	関西大学
安藤 圭理	名古屋大学	伊藤 駿	豊橋技術科学大学	大影 晃平	京都大学
山中 柊生	北海道大学	鈴木 崇造	名古屋工業大学	太田 遼至	東京大学
石川 和毅	東京大学	山根 壮平	鳥取大学	黒川 雄太	東京理科大学
加藤 翔也	東京大学	藤田 江示	福井大学	立石 涼子	東京理科大学
小高 樹生	東北大学	宮田 智康	名古屋工業大学	中出 博暁	東京大学
伊藤 慎	東京大学	中川 弥生	東京大学	ZONG Yun	京都大学
大元 涼介	熊本大学	鶴田 華子	岩手大学	望月 哲	関西大学

外国一般会員

柳 玉恒	東北大学	郭 妍伶	北海道大学大学院	SHARMA Bhupendra	RITSUMEIKAN UNIVERSITY
Xiangyun Zhang	Lanzhou University of Technology	Saengdeejing Arkapol	東北大学	ZHANG DEPING	東北大学
LI Yanhui	Dalian University of Technology	JUNG OK CHUNG		Zu Yufei	Dalian University of Technology
王青	九州大学	Davey Theresa	東北大学		

外国学生会員

張 亦成	九州工業大学	李 相民	大阪大学	equbal ashif	京都大学
Jiang xiaojuan	Chongqing University	Li Guodong	立命館大学	付 東升	九州大学
LEI Yu	北海道大学	孫 正中	筑波大学	xue xiao-wei	Hunan University
HEO Jeongwoo	北海道大学	Zare Yazdan	茨城大学		

追悼 本会元副会長、名誉員 堀 茂徳 先生を偲んで



本会元副会長、名誉員 堀 茂徳先生には、2019年1月12日老衰のため享年92歳で逝去されました。会員の皆様にご報告申し上げますとともに、先生の生前のご功績を偲びつつ、謹んで哀悼の意を表します。

先生は1926年生まれ、1950年3月旧制大阪大学工学部冶金学科をご卒業後、選ばれて大学院奨学生となられた後、富山大学、大阪大学、徳島大学での教員を経て、1966年5月、母校大阪大学教授に昇進され、冶金学第十講座（非鉄金属材料学）を担当されました。爾来教授として大阪大学で23年間、さらに帝京大学で7年間・合計30年間という長い年月を大学教授として教育研究に情熱を注がれ、先生から直接厳しくも愛情に満ちた薫陶を受けた者は200名以上に達しております。1989年には大阪大学名誉教授に推挙されました。

先生のご研究は、金属及び合金の相変態、組織制御、化合物の結晶成長制御及び強度、じん性、腐食環境における破壊、超塑性など広範な分野にわたっており、1990年には超塑性国際会議を主宰されました。先生の研究業績は国内外の学界及び産業界で高く評価され、これらに対して複数回にわたり伸銅技術研究会論文賞、軽金属学会論文賞、日本金属学会谷川・ハリス賞及び軽金属溶接構造協会功労賞などを授与され、2006年には瑞宝中綬章を受章されています。また、新しい観点に立脚して執筆された教科書

「非鉄材料」は今日でもなお多くの大学において使用されています。

以上に加え大阪大学や学協会の要職を務め、本会の副会長としても尽力されました。このように長期にわたって教育、後進の育成並びにわが国の学術の発展のため多大な貢献をされ、また多くの方々から敬愛されています。

ここに、先生のご遺徳を偲び謹んでご冥福を心からお祈り申し上げます。



欧文誌編集委員会からのお知らせ

Materials Transactions 論文フリーアクセス公開サービス(Open Choice)について

『公開後すぐに、できるだけ多くの読者に読んでもらいたい!!』というご要望に応えるため、投稿・掲載費用に追加費用(3万円)をお支払いいただければ、半年間の認証期間を設けることなく、公開即フリーダウンロード可能とするサービス(Open Choice)を開始いたしました。

是非ご利用ください。詳細は、[ホームページ：刊行物 → 欧文誌](#) をご参照下さい。



まてりあ 第58巻 4号 予告

ミニ特集「材料技術史から見るこれからの技術展開」 まてりあ0分科企画

企画にあたって……………御手洗容子 北村一浩
チタンの製錬・精錬・リサイクル……………岡部 徹
チタンならびにチタン合金の Additive Manufacturing プロセス
……………中野貴由 石本卓也
耐熱チタン合金の開発史について……………小柳禎彦
β型チタン合金の高強度・高靱性化の展開……………新家光雄

金属積層造形法を用いた医療機器の製品開発から承認まで

……………石坂春彦 植月啓太

一般論文

[最近の研究] 準安定ラメラ組織の疲労き裂進展抵抗

……………小山元道 野口博司 津崎兼彰

—他—

—編集の都合により変更になる場合がございます—

行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2019年3月				
1	第44回組織検査用試料の作り方(組織の現出)講習会「鉄鋼材料・非鉄金属材料・表面改質処理および異常組織材」(千葉工大)	材料技術教育研究会	TEL 047-431-7451	2.25
6	第79回塑性加工技術フォーラム「海外で鍛造する～要素技術から自動車部品製造まで～」(浜松)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
6～8	第10回日本複合材料会議(JCCM-10)(東京)	日本材料学会, 日本複合材料学会	TEL 03-5981-6011 jscm@asas-mail.jp http://www.jscm.gr.jp	
7～8	熱測定スプリングスクール2019～熱測定の基本、測定データ解析、解釈法まで系統的に学ぶ～(早稲田大)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com http://www.netsu.org	
7～8	安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム(金沢)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp http://www.jsndi.jp/sciences/section/index12-3.html	
8	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号166頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
12～13	2018年度量子ビームサイエンスフェスタ(第10回MLFシンポジウム/第36回PFシンポジウム合同開催)(つくば)	KEK物質構造科学研究所, J-PARCセンター他	qbs-festa-office@pfiqst.kek.jp http://qbs-festa.kek.jp/2018/	
13	九州支部 2019年度春季講演会(九大)(本号166頁)	九州支部	TEL 092-802-3486 syo@nucl.kyushu-u.ac.jp	定員 50名
16	第43回日本顕微鏡学会関東支部講演会「顕微鏡技術の相互理解」(順天堂大)	日本顕微鏡学会関東支部	http://microscopy.or.jp/kanto/lecture/	
18～19	第22回 磁粉・浸透・目視部門・電磁気応用部門・漏れ試験部門合同シンポジウム「表面探傷技術による健全性診断、品質検査」(東北大)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp http://www.jsndi.jp/	参加 3.4
20～22	日本金属学会春期講演大会(東京電機大)(本号162頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp https://jim.or.jp/	
21	第7回ランチョンセミナー(東京電機大)(本号163頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp	
21	第123回触媒討論会 特別シンポジウム(大阪市立大)	触媒学会	TEL 03-3291-8224 secretariat@shokubai.org http://www.shokubai.org/	
22	第11回男女共同参画ランチョンミーティング(東京電機大)(本号163頁)	日本金属学会・日本鉄鋼協会	TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp	
22	平成31年春季 全国大学材料関係教室協議会講演会(東京電機大)(本号163頁)	全国大学材料関係教室協議会		
22	日本金属学会春期講演大会併催企業説明会(東京電機大)(本号162頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 jim.company2018@jim.or.jp https://data.jim.or.jp/jim/kigyuu/	3.8
2019年5月				
10～13	軽金属学会第136回春期大会(富山)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 shomu@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/	参加予約 4.4
15～16	第35回希土類討論会(吹田)	日本希土類学会(阪大内)	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org	発表 1.18
20～22	トライボロジー会議2019春 東京 (東京)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	
24	第4回マルチスケール材料力学シンポジウム(室蘭工大)	日本材料学会	http://www.jsms.jp	講演 2.15
29～31	第24回計算工学講演会(さいたま)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jsces.org http://www.jsces.org/koenkai/24	
2019年6月				
2～7	世界水素技術会議2019(東京)	水素エネルギー協会	TEL 029-861-8712 org@whtc2019.jp http://whtc2019.jp	
7～9	2019年度塑性加工春季講演会(同志社大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
14～15	第6回 最先端の顕微鏡と理論計算に関する国際シンポジウム(名古屋)	ファインセラミックスセンター	TEL 052-581-3241 amt6@intergroup.co.jp http://amt6.com	
2019年7月				
1～5	第3回アジア赤外線サーモグラフィコンファレンス(QIRT-Asia2019)(東京)	日本非破壊検査協会(東京)	TEL 03-5609-4011 sec@qirtasia2019.com	
11～12	第53回X線材料強度に関するシンポジウム(大阪)	日本材料学会	TEL 078-795-3212 nishida@kobe-kosen.ac.jp http://www.jsms.jp	講演 3.15
12	粉末冶金入門講座(東京)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2019年8月				
18~22	国際会議(PRICM-10)(中国西安)(8号405頁)	中国金属学会	pricm10@csm.org.cn http://www.pricm10.com/	概要 1.31 論文 3.1
2019年9月				
2~4	第22回 XAFS 討論会(京大)	日本 XAFS 研究会	TEL 075-753-6850 yamamoto.kentaro.4e@kyoto-u.ac.jp http://www.moleng.kyoto-u.ac.jp/~moleng_04/event/jxafs22/	
11~13	日本金属学会秋期講演大会(岡山大学津島キャンパス)(津島)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	
22~27	20th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials(第20回ホウ素・ホウ化物および関連物質国際会議)(新潟)	第20回ホウ素・ホウ化物および関連物質国際会議組織委員会	TEL 0258-47-9714 takeda@mech.nagaokaut.ac.jp http://sogalabo.jp/isbb2019	
2019年10月				
27~11.1	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies(PACRIM13)(沖縄)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 jim-ask@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/pacrim13/	
2019年11月				
11~14	NACE EAP Conference 2019 腐食科学と防食技術(横浜)	NACE EAP	http://www.nace-tokyosection.org/	
17~22	国際ガスタービン会議2019Tokyo(IGTC2019 Tokyo)(東京)	日本ガスタービン学会	http://www.gtsj.org/english	
25~27	EcoDesign 2019国際会議(横浜)	エコデザイン学会連合他	ecodesign2019_secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/ed2019/	
28~29	粉末冶金基礎・実用講座(京都工芸繊維大)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp	
2019年12月				
10~14	日本 MRS 創立30周年記念国際会議(横浜)	日本MRS	TEL 045-263-8538 info_mrm2019@jmru.org https://mrm2019.jmru.org	
2020年3月				
8~11	COMPSAFE2020(第3回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	COMPSAFE2020実行委員会	secretary@compsafe2020.org http://www.compsafe2020.org	



2017, 2018年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第58巻 第3号 (2019) 発行日 2019年3月1日 定価(本体1,700円+税)送料120円
年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所 公益社団法人日本金属学会 発行人 山村英明
〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32 印刷所 小宮山印刷工業株式会社
TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 発売所 丸善雄松堂株式会社
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

日本金属学会会報「まてりあ」への投稿について

会報「まてりあ」をより多くの皆様にご活用していただけるよう投稿記事を歓迎いたします。
投稿規程、執筆要領および下記要領によりご投稿下さい。

～会報編集委員会～

(1) 種別(規定掲載頁)(規定字数内)

1. 入門講座(4頁)(9,340字)
金属のみならずセラミックス、高分子を含めた材料一般に関して境界領域の材料や物づくりの実際などの講義を通して広く会員に情報を提供する。
2. 講義ノート(6頁)(14,500字)
材料に関する基礎学問分野についてわかりやすく講義してもらう。
3. プロムナード(4頁)(9,340字)
金属・材料に関する話題にかぎらず、社会、経済、歴史などを含む多くの分野からの「比較的短くて分かりやすく」「会員が教養として知って置くべき事柄」「提言」「トピックス的な話題」など。
4. 解説(7頁)(17,100字)
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解説したもので、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。
5. 最近の研究(8頁)(19,700字)
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成果を紹介する。各分野の現状、現在の問題点などを取り上げて、総括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。
6. 技術資料(8頁)(19,700字)
直接実務に利用できるもので、実際に行う場合に必要となる条件、装置の説明、あるいは技術的データの収集等により参考資料として役立つもの。
7. 集録(9頁)(22,300字)
文献を主眼として問題点を論じ、批判するもので今後の方針を示唆することをねらいとする。文献のみを集録し解説を行うものも含む。
8. 実学講座(4頁)(9,340字)
特許取得、ベンチャー企業の設立、研究開発マネジメント、教育法、学習法などについて記事にする。
9. 材料科学のバイオニアたち(5頁)(11,900字)
材料科学に携わった先人たちの偉業を紹介する。
10. 新進気鋭(4頁)(9,340字)
“はばたく”は大学院修士課程修了者以上を対象とし、ここでは30歳前後の若手研究者を対象として研究・仕事の紹介と将来展望について紹介してもらう。執筆は単独名とする。
11. 材料教育(4頁)(9,340字)
材料教育に関する話題。
12. トピックス(制限頁;2頁)(4,150字)
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。
13. 物性・技術データ最前線(4頁)(9,340字)
形式は問わず、情報は少なくとも、多く読者が必要とするタイムリーな最新の物性、技術データを紹介する。
14. 材料ニュース(2頁)(4,150字)
新聞で発表された材料関連ニュースを新聞内容よりは詳しくできるだけ迅速に記事にする。
15. プロジェクト研究報告(有料)(原則35頁)
特定研究A、B、未来開拓、戦略基礎などの公的資金補助によるプロジェクト研究成果を有料掲載する。

16. 産官学交差点(1頁)(2,200字)
材料に関連した産官学の情報交流の場を設ける。
17. 材料発ベンチャー(2頁)(4,150字)
材料関連ベンチャー企業の経験者に経験談等を記事にしてもらう。
18. 新技術・新製品裏話(2頁)(4,150字)
金属学会新技術・新製品技術開発賞を獲得したグループに開発にあたっての苦労、裏話を紹介してもらう。
19. 談話室(1頁)(2,200字)
気軽な意見の発表、学会に対する質疑応答、情報交換等。
20. はばたく(1頁)(2,200字)
大学院生など新鋭の方々が、著者自身の研究への取り組み方などについて述べる。
21. 紹介(1頁)(2,200字)
組織変更・改革、産業界の動向その他。
22. 国際学会だより(1頁)(2,200字)
23. 研究室紹介(1～2頁)(2,200～4,700字)
24. 委員会だより

(2) 投稿の方法

- 種別の1～15については、執筆要領に定める方法で作成し、制限頁以内にまとめた原稿とその論文または記事のねらい(200字～300字)をフォーマット用紙に記述して会報編集委員会までご送信下さい。審議の上、受付の可否を決定します。
- 種別の16～24については、執筆要領に定める方法で作成し、制限頁以内にまとめた原稿をお送り下さい。但し、原稿の採否や掲載号は会報編集委員会にご一任下さい。

(3) 投稿の要件

- 和文であり論文又は記事として未投稿、未掲載でかつオリジナリティがあること、規定頁を超えないこと、金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること等、ホームページに掲載している会報投稿規程を参照して下さい。

(4) 著作権の帰属

- 会報に投稿された論文および記事の著作権は、この法人の著作権規程により、この法人に帰属します。

(5) その他留意事項

- 原稿は、専門外の読者にも分かるようにご執筆下さい。
- 原稿は、会報編集委員会にて審査いたします。その結果、場合によっては掲載をお断りする場合があります。また、掲載号等についても、本編集委員会が決定いたします。
- 図表の引用に関しては、著作権者への転載許可手続きを著者ご自身で行ってください。
- 詳細は会報投稿規程をご覧ください。

(6) 会報投稿規程と執筆要領

- ホームページ：[「まてりあ」](#) → まてりあへの投稿 をご覧ください。

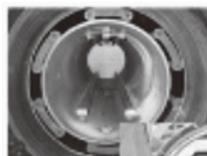
(7) 原稿送付・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
公益社団法人日本金属学会 会報編集委員会
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

高温真空 3000℃への挑戦

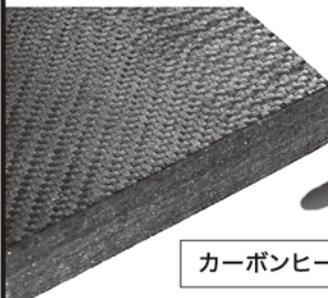
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



炉の改修

ハイブリット成形断熱材



6面シート
貼り



カーボンフェルト

高断熱+省エネ

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



メカニカルカーボン工業株式会社

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



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

GDMS分析
世界シェア No.1 

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

測定対象試料.....

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

“世界の分析リーダー”の技術を日本で——



ナノサイエンス株式会社

〒171-0021 東京都豊島区西池袋1-21-7 住友不動産池袋西口ビル7F

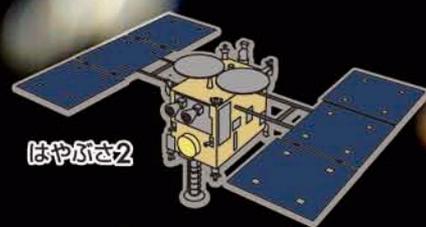
TEL.03-5396-0531(代) FAX.03-5396-1930

[E-mail]

analysis@eag.com

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

Clean Chamber



「はやぶさ」帰還後の経験と実績を礎に、
「はやぶさ2」の新たなミッションを遂行すべく、
当社のクリーンチャンバーは進化し続けます。

東京営業所 新社屋完成

2018年6月、東京営業所社屋の建て替えにより新社屋が完成いたしました。
今後ともより一層のご指導とご支援を賜りますようお願い申し上げます。
なお、電話・FAX番号、メールアドレスに変更はございません。



設計・製作・販売

- 各種グローブボックス ●ガス循環精製装置
- クリーンオープン ●ドライルーム
- 封止装置 ●ラミネート装置 ●高気密恒温恒湿室
- 大型システム ●クリーンチェンバー
- その他特殊試験、製造装置の制作いたします。

※当社のすべての製品は、日本国内でのみご利用いただけます。



株式会社 美和製作所

本社・工場 〒567-0028 大阪府茨木市畑田町11番50号
 TEL : 072-625-1138 FAX : 072-625-1178
 東京営業所 〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町32番地
 TEL : 03-5256-1138 FAX : 03-5256-1145
 URL : <http://www.miwass.co.jp> E-mail : info@miwass.co.jp