

Materia Japan

- ナノ析出による鋼の高強度化と高延性化
- 講義ノート 鉄鋼の相変態 I
～初析フェライト成長における界面の
平衡条件と α/γ 界面エネルギー～
- 「新技術・新製品」
- 日本金属学会 75 周年史(付録CD)

まてりあ

Vol.54 MTERE2 54 (1) 1~42 (2015)

2015

1

TOKKIN はみなさまの サンプル創りをお手伝いします

- ☑ 研究・開発用に極少量だけ欲しい
- ☑ 開発材を所定の厚さまで圧延したい
- ☑ 特性評価用に平坦なサンプルが欲しい

4段・12段可変圧延機による張力圧延で
カスタムメイド仕様の金属サンプルを作成します

サンプル寸法

原材寸法 MAX厚 4.00mm × 幅 30~150mm × Lo
Lo : 500mm単板から張力圧延可能

最終寸法 MIN厚 0.02mm × 幅 30~150mm × L
L : コイル状のサンプル圧延可能

〈実績材種〉 炭素鋼、ステンレス、銅合金、
チタン合金、アルミニウム合金、ニッケル合金 他



TOKKIN 株式会社特殊金属エクセル
TOKUSHU KINZOKU EXCEL CO., LTD.
<http://www.tokkin.co.jp/>

本社：営業本部
〒171-0030 東京都豊島区目白1-4-25 目白博物館ビル6F
TEL 03-5391-6151 FAX 03-5391-0051

埼玉事業所：新機能材料開発本部
〒355-0342 埼玉県比企郡ときがわ町玉川 56
TEL 0493-65-1543 FAX 0493-65-3578

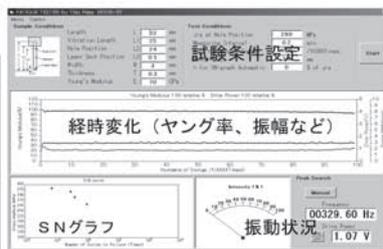
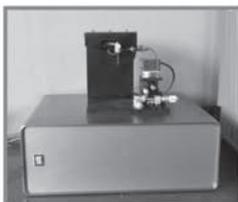
弾性率と内部摩擦(減衰性能)測定装置の総合、専門メーカー

日本テクノプラス株式会社

新製品 共振式薄板疲労試験装置

弊社の共振技術を活用した薄板の疲労試験装置を開発。
従来の疲労試験にないような特徴があります。

- 破壊前の疲労経過をヤング率変化で把握が可能
- 2000万回でも2日以内と短期間試験が可能
500cycle/sec 程度と適正な繰り返し速度
- 発熱が非常に少ないので被験材の物性変化がない
- 静音で小型、軽量なので事務所でも試験可能
- マイコン内臓でパソコンにS/Nグラフも即表示
- 試験試料作成が容易(短冊状)
- 疲労個所を特定可能→破壊前の組織観察が可能
- 付加機能、仕様変更など細かな対応も可能



多様な弾性率測定、内部摩擦測定装置

高温弾性率、内部摩擦測定装置 EG シリーズ

高温での群を抜く測定の容易さ。(左下写真)

高精度自由共振式弾性率、内部摩擦測定装置 J シリーズ

なんといっても高精度。

インパクト式ヤング率、減衰率測定装置 IE シリーズ

現場での品質管理や大型試料のヤング率などの簡易測定。

薄板、細線用弾性率、内部摩擦測定装置 T シリーズ

縦共振式ヤング率測定装置 VE シリーズ

横共振測定が困難な場合に活用

弾性定数、弾性率測定装置 CC シリーズ

弾性率(E,G,ν)だけでなく弾性定数(Cij)も測定。

典型的な異方性試料の単結晶。多結晶 Cij も測定(CC2型)

解析ソフトも単独販売。

メカニカルスペクトロメーター MS シリーズ

強制振動式内部摩擦測定装置。低周波の周波数依存性測定。

電磁超音波共鳴装置 (EMAR) EM シリーズ

高粘度物質絶対粘度測定装置 HV シリーズ

低粘度測定装置の外挿値では心配。標準試料作成に力を発揮。

連絡先 大阪市淀川区木川東 3-5-21 第3丸善ビル(新大阪付近)
電話 = 06-6390-5993 E-mail = ntp@nihon-tp.com
URL = <http://www.nihon-tp.com>

◎ 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
- 本会記事：stevent@jim.or.jp
- 掲 示 板：materia@jim.or.jp

巻頭言	年頭のご挨拶 新家光雄	1
最近の研究	ナノ析出を利用した鉄鋼材料の高強度化と高延性化 紙川尚也 宮本吾郎 古原 忠	3
	直径数ナノメートルの微細な合金炭化物を分散させた鋼の強度と延性に関する研究成果について紹介。	
講義ノート	鉄鋼の相変態 I — 初析フェライト成長における界面の平衡条件と α/γ 界面エネルギー — 榎本正人	12
	鉄鋼の組織形成を理解するために欠かせない局所平衡，パラ平衡理論，混合モードと α/γ 界面エネルギーの最近の進展を解説。	
新技術・新製品	省資源型高耐熱フェライト系ステンレス鋼「JFE-TF1」の開発 中村徹之 太田裕樹 加藤 康	18
	優先配向制御による高耐熱性・高曲げ加工性銀めっき膜の開発 宮澤 寛 篠原圭介 尾形雅史 菅原 章	21
	インサート材を用いた異種材料間のレーザー接合技術の開発 水戸岡 豊 山田功作 永田員也 日野 実 金谷輝人	24
委員会だより	高等教育機関卒業後の企業における若手人材育成アンケート実施報告 西田 稔	27
本会記事	会告	31
	2015年春期(156回)講演大会ご案内ならびに	39
	参加申込みについて	31
	支部行事	36
	掲示板	36
	会誌・欧文誌1号目次	38
	新入会員	39
	次号予告	39
	材料系学協会情報コーナー	39
	分科会シンポジウム報告	40
	行事カレンダー	41
付録 CD		日本金属学会75周年史

会誌・欧文誌の投稿規定・投稿の手引・執筆要領，入会申込書，刊行案内はホームページを参照下さい。
<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つては，その必要はありません。(社外頒布目的の複写については，許諾が必要です。)

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <http://www.jaacc.jp/>
複写以外の許諾(著作物の引用，転載，翻訳等)に関しては，直接本会へご連絡下さい。



私たちは、世界最高のものづくりの力を追求し、優れた製品・サービスの提供を通じて社会の発展に貢献することを基本理念に、総合力世界No.1の鉄鋼メーカーを目指します。

鉄という素材は自動車や造船、社会インフラなど様々な分野で使われており、今後も需要が期待されています。

当社は、「人は価値創造の源泉である」と考え、若手には失敗を恐れず何事にも積極的に挑戦してもらっています。

是非、当社の幅広い活躍フィールドをご覧ください。

新日鐵住金株式会社

■お問合せ：人事労政部 人材開発室

〒100-8071 東京都千代田区丸の内2-6-1

Tel : (03) 6867-2242

採用ホームページ : <http://www.nssmc.com/recruit/hq/index.html/>

E-mail : saiyou@jp.nssmc.com

“你知道 KOBELCO 吗?” (中国語)

“क्या आपको KOBELCO का पता है?” (ヒンディー語)

“คุณรู้หรือไม่ KOBELCO?” (タイ語)

“KOBELCO 를 알아요?” (韓国語)

“Bạn có biết KOBELCO?” (ベトナム語)

“Do you know KOBELCO?” (英語)

世界で噂されています。

KOBELCO



JFE

挑戦・柔軟・誠実
JFE スチール



JFE スチールは、
常に世界最高の技術をもって
社会に貢献します。

どこにもないモノへの挑戦

特殊黒鉛製品（等方性黒鉛）

等方的な構造・特性をもった黒鉛

- 2,000°C以上の超高温下で安定使用が可能
- 金属材料に比べ、かさ密度が低く軽量
- 機械加工性に優れ精密な加工が容易

【製品例】



工業炉用ヒーター



ホットプレス用鑄型
(カットモデル)



連続鑄造用ダイス



真空蒸着用るつぼ

C/Cコンポジット製熱処理製品

様々な形状に加工可能な複合材料

- 金属製と比較して、高温強度が高く変形しません
- 処理量アップの提案でトータルコストの削減に貢献

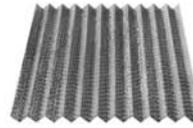
【製品例】



ベーストレイ(グリッド)



バスケット



波形トレイ



スプリング

東洋炭素 等方性黒鉛

検索

その他、用途に応じたきめ細かなご提案をいたします。

東洋炭素株式会社

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



ハガネのスペシャリスト、という名の会社。  大同特殊鋼

年頭のご挨拶

公益社団法人日本金属学会 会長 新家 光 雄

皆様 新年あけましておめでとうございます。皆様にはご健勝で新年をお迎えのこととお慶び申し上げます。

昨年は、アベノミクスにより、日本経済が高水準に改善されるとともに持続的な経済成長が達成されることが期待され、そのために、革新的な科学技術イノベーションを創造すべく戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)や革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)等が開始され、材料のイノベーションが大いに期待されるようになりました。そのような状況下で、金属材料およびその周辺材料の材料科学・材料技術をグローバルな視点から取り扱う本会の社会への貢献がますます重要となっています。そこで、昨年の本会の活動状況も踏まえて、今年の活動方針を述べさせていただきます。



本年は、本会が公益社団法人となってから、3年目となり、公益社団法人としての持続的な発展を図って行く重要な時期にあると言えます。このため、引き続きセルフガバナンスに基づき、公益目的事業を公正かつ適切に進めて参ります。

第1に、刊行事業につきましては、日本金属学会誌の情報発信力を強化するために、電子ジャーナルの個人研究目的に限定したフリーアクセス化を2013年1月から開始しておりますが、さらにそれに加え昨年10月から投稿・掲載料の無料化を開始致しました。本年もこれらのサービスを継続して参ります。欧文誌 Materials Transactions 誌に関しましては、情報発信力を強化するため電子ジャーナルの個人研究目的に限定したフリーアクセス化期間の範囲を昨年1月に刊行後半前までに拡大し、トムソン・ロイター・プロフェッショナル社に委託した文献引用通知サービスおよび昨年8月に開始した年1回の一斉情報配信サービスを推進して参ります。学術誌の visibility 向上の一環として、Graphical Abstract も導入していますので、よろしくご活用をお願いします。なお、会員数減少のため、大変残念ではありますが、日本金属学会報“まてりあ”の冊子体発行部数につきまして本年3月から500部の削減を行います。

次に、講演会・講習会事業につきましては、昨年の秋期講演大会から、革新的材料開発に不可欠な学理・現象・プロセッシングの充実を図るとともに、企業研究者・技術者の参加促進を目指して、講演大会セッションを学理・現象・プロセッシング別セッションと材料別セッションに分離するとともに優秀ポスター賞の審査方法の改善等を展開しています。さらには、本年春期講演大会から講演および参加申込のための My Page 機能を新設した新申込システムを導入し、申込および決裁の利便性の向上を図って、さらなる講演大会の活性化を推進いたします。国際会議では、2016年8月に本会が主催し、京都で開催する運びとなっています PRICM9 の開催準備を着々と進めて参ります。

第3点目として、調査・研究事業につきましては、第5期科学技術基本計画への提言に向けた材料戦略活動を推進し、高校生への材料の啓発活動や企業若手人材育成のための出前講義の推進など人材育成事業を拡充して参ります。また、本年春期講演大会時に初めて本会主催で学生のための企業説明会を開催いたします。国際学術交流では、材料分野の国際連携組織である IOMMMS との連携活動を継続するとともに、米国の The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)、大韓金属・材料学会(KIM)および中国金属学会(CSM)等の2国間交流を推進致します。TMS との Young Leader International Scholar の講演大会発表および関連研究設備見学の相互派遣は、国際的視野を持った若手研究者の育成に大きく貢献しています。なお、昨年10月に開催された KIM 秋期講演大会では恒例の KIM/JIM シンポジウムが開催され、同シンポジウムや総会で JIM 会長として挨拶のため参加させて頂きました。その折の懇親会では、KIM 歴代会長の方たちと親しく会話を交わさせて頂き、日本の大学に留学経験を持つ方が多く、日本のことを良く理解しておられることを痛感致しました。一方、若い KIM の方たちは、日本での長期滞在経験のある方が減少しており、必然的に日本を良く理解している方が減少してきているとの印象を持ちました。関係する海外学会と本会の若手の研究者が交流する場を設定し、2国間若手研究者交流の促進をさらに深めることを摸索したいと思います。

第4点目として、表彰・奨励事業につきましては、改訂した学会賞規程の適用および奨学賞の受賞範囲の拡大および公募制を推進するとともに各種賞の必要な改善を実施致します。従来より好評をいただいている金属組織写真賞も推進いたします。

以下、庶務につきましては、公益社団法人として法定機関および任意の合議機関(委員会および支部)の運営および事業を、引き続き法令等および本会の定めに則り、公正かつ適切に進めて参ります。

会計につきましては、引き続き最新の公益法人会計基準および公益認定等ガイドライン等に則り、公正かつ適切に進めて参ります。

事務局につきましては、本年4月1日の事務局長交代後の新体制を早期に確立する所存です。

以上、年頭に当たりまして昨年の本会の事業の推進状況を踏まえて、本年の活動方針の概要を述べさせて頂きました。最後に会員諸氏の益々のご健勝・ご活躍を祈念致しまして、年頭のご挨拶とさせて頂きます。

2015年1月

ナノ析出を利用した鉄鋼材料の 高強度化と高延性化

紙川尚也¹⁾ 宮本吾郎²⁾ 古原 忠³⁾

1. はじめに

金属材料の高強度化と高延性化の両立は、構造用金属材料の材料開発において常に求められる命題の一つである。金属材料の塑性変形は、原子の拡散が顕著に生じる高温域での変形でない限り、主として転位のすべり運動により支配されるため、転位運動の障害物を微細組織中に導入することにより金属材料の力学特性を変化させることができる。転位運動の障害となる格子欠陥としては、すべり面上に存在する林立転位、固溶原子、析出物、分散粒子、結晶粒界、異相界面などがある。実用金属材料では、これらの格子欠陥の存在状態を精密に制御することにより、材料の力学特性の制御が図られている。特に、鉄鋼材料は他の金属種とは異なり、フェライト変態、パーライト変態、ベイナイト変態、マルテンサイト変態という種々の相変態現象を加工熱処理により発現させることができるという特長を有している。実用鉄鋼材料では、この利点を最大限に活かして、合金設計と塑性加工、相変態・析出、回復・再結晶を組み合わせることによって、多種多様な材料組織の精緻な制御が行われている。

その中でも、鉄鋼材料の組織中に直径数ナノメートルの微細な合金炭化物を析出させて材料特性を改善する手法、いわゆる、ナノ析出の利用が近年特に注目を浴びている。著者らの研究グループでは、ナノ析出による鉄鋼材料の高強度化および高延性化とその機構解明を目的として現在研究を行っている。本稿では、鉄鋼材料におけるナノ析出の利用の利点について簡単に説明した後、ナノ析出組織を有する鋼の力学特性に関する研究成果を紹介していく。

2. 鉄鋼材料におけるナノ析出の利用

金属組織中に分散した析出粒子により達成される析出強化量は、析出物内部の摩擦応力、整合ひずみ場、剛性率効果、粒子切断によって形成される界面エネルギー、規則構造を持つ粒子による規則硬化、積層欠陥エネルギーなどの種々の因子の影響を受ける⁽¹⁾⁽²⁾。例えば、析出物内部の摩擦応力による変形抵抗を考えた場合、運動転位が析出粒子を通過するために必要な臨界分解せん断応力は、析出粒子の体積率の1/2乗に比例して増加し、また、析出粒子の体積率を一定とした場合、析出物の半径の関数として図1に示すような特徴的な傾向を示す⁽²⁾⁽³⁾。析出物の半径が小さい場合、運動転位は析出粒子を切断しながら通過することができる(図2(a))。このとき、析出物の半径の1/2乗に比例して強度は増加する。析出物の半径が大きくなると、臨界分解せん断応力が最大値を示した後に、析出物の半径に反比例して低下していく

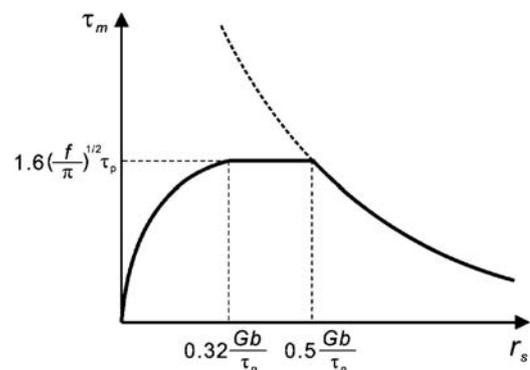


図1 析出強化量と析出粒子半径との関係を示す模式図。

* 東北大学金属材料研究所 1)助教 2)准教授 3)教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)
Improvement of Strength and Ductility of Steels Using Nano-precipitation; Naoya Kamikawa, Goro Miyamoto and Tadashi Furuha
(Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)
Keywords: nano-precipitation, alloy carbide, interphase precipitation, strength, ductility, work hardening
2014年9月4日受理[doi:10.2320/materia.54.3]

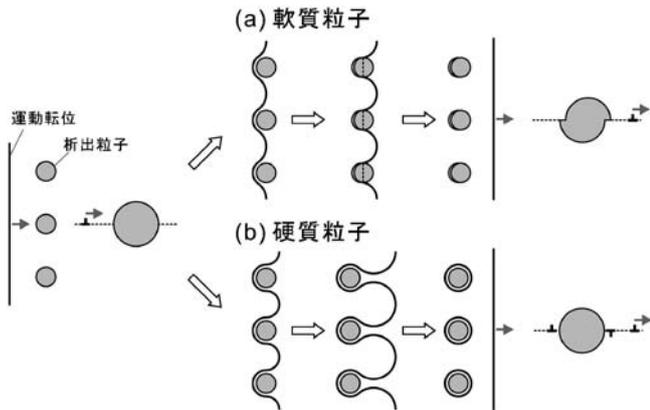


図2 析出粒子と運動転位との相互作用を表す模式図。(a) 切断機構, (b) バイパス機構。

領域を示す(図1)。この領域では、析出物の抵抗力が大きくなり、運動転位は析出粒子を切断することができずに粒子を迂回し、粒子の周りに転位ループを残しながら通過していく(図2(b))。これは、オロワンのバイパス機構⁽⁴⁾⁽⁵⁾、または単に、オロワン機構と呼ばれている。析出強化による強化量を増加させるためには、析出粒子の体積率を増加させるか、あるいは図1で示すようにバイパス機構が働く粒子範囲内で粒子径をできるだけ微細化する必要がある。しかしながら、析出粒子の体積率を増加させるためには、より多くの合金元素を添加する必要がある、これは希少合金元素の使用量を低減し、製造コストを削減したいという昨今の社会的要請とは相反するものであり、実用的な観点からはできるだけ避けるべきである。したがって、最小限の合金元素添加で最大限の析出強化を実現するために、析出粒子の直径をナノメートルオーダーの極限まで微細化していくことが望まれる。これが、ナノ析出を利用した鉄鋼材料製造プロセスが工業的に近年注目されている大きな理由の一つである。

鉄鋼材料においては、Ti, V, Nb, Moなどの炭化物形成能の高い合金元素を含む炭素鋼を用いて、合金炭化物のナノ析出を利用した材料の高強度化が可能である。合金炭化物のナノ析出組織を得る方法は大きく分けて2つある。一つは、炭素と合金元素が過飽和に固溶した焼入れマルテンサイト組織またはベイナイト組織に対して焼戻し時効を施すことによってナノサイズの合金炭化物を析出させる方法である⁽⁶⁾⁻⁽¹⁰⁾。もう一つは、合金炭化物の相界面析出⁽¹¹⁾⁻⁽¹⁴⁾を利用する方法である。相界面析出とは、高温で保持されたオーステナイトからの冷却過程で生じるフェライト変態中にオーステナイト・フェライトの相界面上で合金炭化物の析出が起こる現象のことである。図3に相界面析出組織の一例を示している⁽¹⁵⁾。これは、0.1 mass% Cと0.3 mass% Vを含む鋼を用いて、オーステナイト化後の冷却過程で生じたフェライト組織中の析出組織である。直径数ナノメートルのVC炭化物が周期的な点列状の分布を示すという、相界面析出により得られる典型的なシート状析出組織が観察される。相界面析出を利用すると、オーステナイト域からの冷却過程で直接ナノ

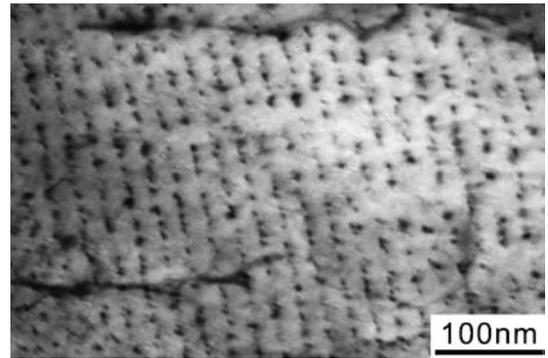


図3 V添加鋼に形成されたVC炭化物の相界面析出組織。

析出組織をフェライト母相中に分散させることができるため、マルテンサイトの焼戻しのような調質熱処理を必要としない非調質高強度鋼の製造プロセスとして実用的にも非常に重要な組織制御法である。相界面析出を利用した高強度鋼の製造手法は、実際に一部の合金において既に実用化されている。例えば、フェライト・パーライト組織を有するV添加中炭素鋼⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾は、コネクティングロッドやクランクシャフトなどの自動車の足回り部材用高強度鋼として実用利用されている。これは、フェライト・パーライト組織のフェライト部にナノVC炭化物の相界面析出組織を分散させ、材料の高強度化を図ったものである。一方で、ナノサイズの(Ti, Mo)C炭化物が均一分散したフェライト単一組織を有する低炭素鋼も開発されている。この材料は、非常に高い強度を示すと同時に、優れた加工性を兼ね備えた特性を示すことが知られており、特に非常に優れた局部変形能を示すという点が最大の特長である⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。局部変形能の高い材料は、プレス成形時において重要な特性となる伸びフランジ性が優れているため、複雑な形状を持った自動車用部品の素材として適しており、実際に、高強度・高延性を両立したプレス成形用自動車用薄鋼板として広く使用されている。

このように、相界面析出によるナノ析出組織の創製は、高強度高延性鋼の製造プロセスとして大変魅力的な手段であり、相界面析出を利用した高強度・高延性鋼の製造技術を確立していくことが今後望まれる。そのためには、相界面析出組織と機械的性質の関係を系統的に明らかにしていく必要がある。ナノ析出組織を有する鋼における組織と力学特性の関係についての理解は徐々に進みつつあるものの⁽²⁰⁾⁻⁽²⁶⁾、未だ不明な点が数多く残されているというのが現状である。

我々の研究グループでは、相界面析出組織を有する鋼の力学特性の発現機構を解明することを目的として研究を行っている。これまで主に、Tiを添加した低炭素鋼⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾、およびVを添加した低炭素鋼⁽¹⁵⁾を用いて研究を行ってきた。本稿では、その研究成果を紹介し、現状の理解について述べる。

3. ナノ析出組織を有するフェライト鋼の力学特性

図4に相界面析出組織を有するフェライト単相鋼の公称応

力・公称ひずみ曲線を示す。図4(a)(b)はTi添加鋼⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾およびV添加鋼⁽¹⁵⁾の結果であり、それぞれフェライト中にTiC炭化物またはVC炭化物の析出組織が形成されている。図には種々の炭化物直径を有する試料の応力ひずみ曲線を比較している。なお、相界面析出により形成された合金炭化物の直径は、相界面析出後のフェライト域での保持時間を種々変化させ、炭化物を粗大化させることによって制御している。このとき、合金炭化物の粒子径は過時効状態での長時間保持により変化させていることから、析出粒子の体積率が一定のもとで粒子径を変化させていると考えることができる。熱力学計算により求められた各試料における合金炭化物の体積率は、Ti添加鋼では0.35%、V添加鋼では0.47%である。また、両鋼ともに、保持時間の増加に伴うフェライト粒径の変化、フェライト中の転位密度の変化は比較的小さいため⁽¹⁵⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾、図4に示す応力ひずみ曲線の違いは、主にフェライト中に分散した合金炭化物の粒子径の影響によるものと考えることができる。

Ti添加鋼の応力ひずみ曲線(図4(a))を見てみると、TiC炭化物の直径が小さいほど材料の降伏応力が高くなっている。降伏変形後、緩やかな加工硬化を示しており、いずれの場合も約10%程度の均一伸びを示す。その後、10%程度の比較的大きな局部伸びを示して破断に至る。いずれの試料も、約20%という大きな全伸びを示している。ここで強調すべきことは、微細炭化物を有する材料は、非常に高い強度

を示すと同時に、比較的大きな延性を維持するという特長を有していることである。この傾向は、V添加鋼においても同様に見ることができる(図4(b))。すなわち、炭化物直径が細かいほど強度が高く、かつ優れた伸びを兼ね備えた特性を有している。

図5には、図4で示したTi添加鋼およびV添加鋼の各試料における引張強さに対する降伏応力(0.2%耐力)の比(降伏比)を炭化物直径に対してプロットしている。炭化物直径が小さいほど緩やかに上昇している傾向が見られるものの、いずれの試料においても、降伏比は0.7~0.8程度の範囲の高い値に分布している。これは、ナノ析出物が分散したフェライト鋼における降伏後の加工硬化量が比較的小さいということの意味している。

以上の結果から、ナノ析出組織を有するフェライト単相鋼の応力ひずみ曲線の特長をまとめると以下のようになる。

- (1) 降伏応力が非常に高いのに対して、降伏後の加工硬化は比較的緩やかであり、結果的に材料の降伏比が高い。
- (2) 析出物の粒子径が微細になっても延性は大きく低下することなく、高い値を維持している。均一伸びが10%程度、全伸びが20%程度の比較的大きな延性を示す。

析出物サイズの微細化により高強度化が達成されることは容易に理解できるが、強度が高くなっても優れた延性が維持されているという結果は極めて興味深い。相界面析出鋼における炭化物サイズの微細化は、高強度化に有効であるばかりではなく、強度・延性バランスの改善に対しても効果的な手段であると言える。

次節以降では、上記に示したナノ析出鋼の力学特性の発現機構を理解すべく、実験結果を交えながら強度と延性について議論を進めていく。

4. ナノ析出物の強化機構

2節で述べたように、母相中に硬質第二相が分散している

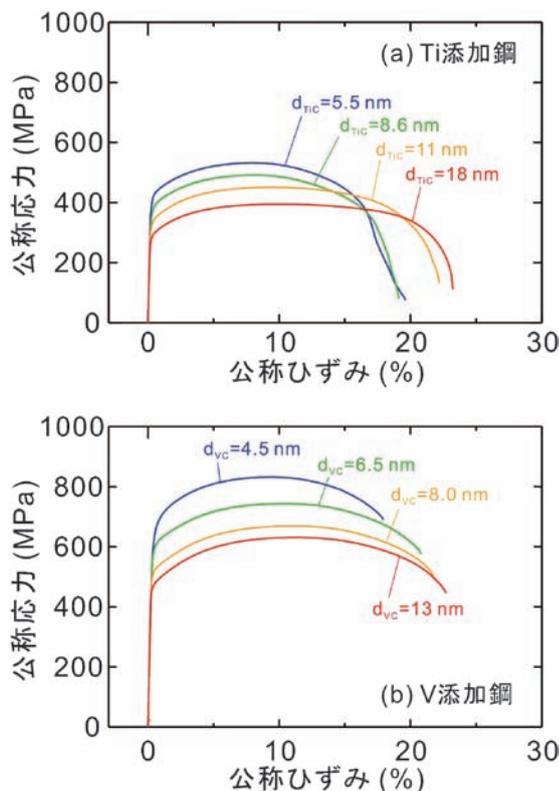


図4 合金炭化物の分散を伴うフェライト単相組織を有するTi添加鋼(a)およびV添加鋼(b)の公称応力・公称ひずみ曲線。

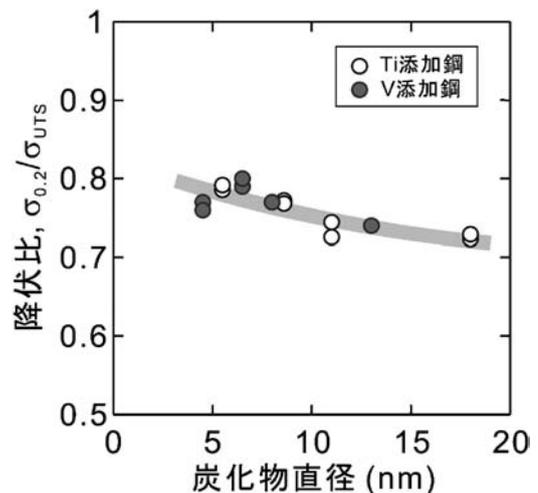


図5 合金炭化物を有するTi添加鋼およびV添加鋼の降伏比。

場合には、運動転位が析出物を切断しながら通過していくのか、転位が析出物を切断することなく迂回して転位ループを残しながら通過していくのかによって、強化への寄与が異なる。ナノ析出物を利用した析出強化の指導原理を確立するためには、ナノ析出物の析出強化機構を理解することが極めて重要である。本節では、ナノ析出物の強化機構について詳細に議論していく。

3節で示したTi添加鋼およびV添加鋼の応力ひずみ曲線を見ると、微細合金炭化物のサイズが細かいほど高い強度を示すという傾向が見られている。この結果は、少なくとも実験的に得られている炭化物直径が4 nm程度以上の析出物サイズの範囲においては、オロワン型の析出強化機構が働いていることを示唆するものである。これを検証するために、ナノ炭化物が分散した試料における引張試験中の転位組織を観察している⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。図6には、TiC炭化物を分散させたフェライト鋼の引張試験時に形成された転位組織を透過電子顕微鏡により観察したものを示している。図6(a)は平均TiC炭化物直径が5.5 nmの試料に対して公称ひずみ1%の引張変形を与えた試料であり、図6(b)は平均直径18 nmの試料に対して10%の引張変形を与えた試料である。炭化物サイズが5.5 nmの試料の組織を見ると、転位が微細合金炭化物にピン止めされ、大きく湾曲した形状を示している箇所が至るところで観察できる。これは、ナノサイズの合金炭化物が転位運動の障害物として働いていることを示唆するものである。一方、炭化物サイズが18 nmの試料を見ると、多数の転位ループが形成されていることがわかる。転位ループの直

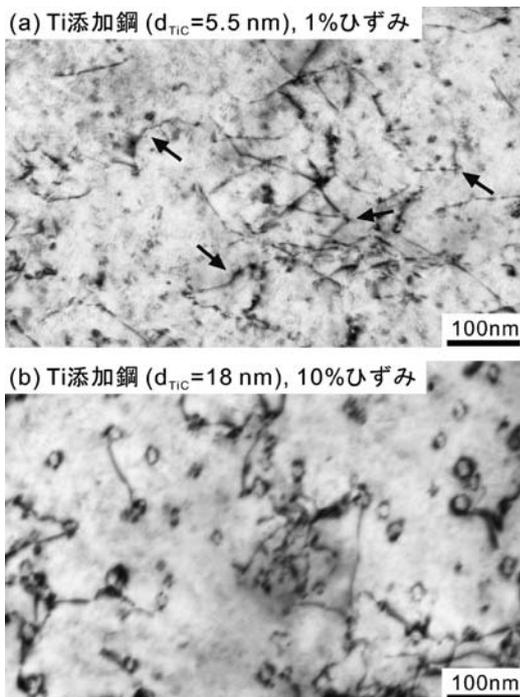


図6 Ti添加鋼の引張試験後の転位組織。(a) TiC直径5.5 nm, 1%引張ひずみ後、(b) TiC直径18 nm, 10%引張ひずみ後。

径は10~30 nm程度であり、TiC炭化物の直径と同程度である。すなわち、ここに見られる転位ループは、運動転位がTiC炭化物を迂回しながら通過する際に形成されたオロワン転位ループであると考えられる。すなわち、この写真は、ナノ炭化物がオロワンのバイパス機構により強化に寄与していることを証明する直接的な証拠である。TiC炭化物の平均直径が5.5 nmの試料では、透過電子顕微鏡の分解能の問題から、明瞭な転位ループは確認できないが、引張試験結果で示したように、析出物サイズが細かいほど強度が高くなるという傾向を示していることから、やはりバイパス機構による析出強化が働いていると考えることが妥当であろう。

以下では、ナノ析出物による析出強化量について、より定量的に議論していく。フェライト母相中にナノ炭化物が分散した鋼の強度を理解するためには、ナノ炭化物による析出強化のみならず、フェライト母相中に固溶している溶質原子による固溶強化、フェライト母相のすべり面上に存在する林立転位による転位強化、フェライト結晶粒界による結晶粒微細化強化を考慮する必要がある。そこで、それぞれの強化因子による強化量を見積もり、材料の降伏応力の実験値と計算値を比較してみる。降伏応力の理論式として2通りの考え方をを用いる。一つは、材料の降伏応力が各組織因子による強化量の和で説明できると考える単純な線形加算則である。この場合、材料の降伏応力は下記の式で与えられる。

$$\sigma_y = \sigma_0 + \sigma_{ss} + \sigma_{gb} + \sigma_{dis} + \sigma_{ppt} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

ここで、 σ_0 はフェライト単結晶の摩擦応力、 σ_{ss} は固溶強化量、 σ_{gb} は結晶粒微細化による強化量、 σ_{dis} は転位強化量、 σ_{ppt} は析出強化量である。もう一方の降伏応力の理論式は、障害物の種類の違いによって生じる運動転位との相互作用の違いを考慮に入れて強化量の加算則を見積もるものであり、特に、転位強化と析出強化の共存効果による強化を考える。転位強化と析出強化が共存する場合の強化量は、両者の強化量の二乗の和の平方根によって平均化された値として、次式により表される⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。

$$\sigma_{dis+ppt} = \sqrt{\sigma_{dis}^2 + \sigma_{ppt}^2} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

すなわち、材料全体の強化量は、

$$\sigma_y = \sigma_0 + \sigma_{ss} + \sigma_{gb} + \sqrt{\sigma_{dis}^2 + \sigma_{ppt}^2} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

という非線形加算則として表される。式(1)および式(3)を用いて、両者の強度予測式の妥当性について議論していく。なお、各強化因子による強化量は組織の特徴から見積もる。 σ_0 はおよび σ_{ss} はPickering³¹⁾により提案されている経験式、 σ_{gb} はフェライト鋼におけるHall-Petchの式⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾、 σ_{dis} はBailey-Hirschの式⁽³²⁾を用いて計算する。なお、 σ_{ppt} についてはAshby-Orowanの式^{(5),(33)}を用いて計算する。それぞれの強化量の計算方法の詳細については、文献⁽¹⁵⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾に示しているので参考にしていただきたい。ここでは、Ashby-Orowanの析出強化式のみを示す。

$$\sigma_{ppt} = \frac{0.8MGb}{2\pi L\sqrt{1-\nu}} \ln\left(\frac{x}{2b}\right) \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

ここで、 M はTaylor因子、 G はフェライト母相の剛性率、 b はバーガースベクトル(=0.248 nm)、 ν はポアソン比

(=0.293), L は析出粒子の平均粒子間隔, x はすべり面上の平均粒子直径である. なお, Taylor 因子 M の値には, ランダムな結晶方位分布を有する bcc 金属におけるペンシルグライドを仮定して2.75を用いている. フェライト母相中に球状の析出物がランダムに分布していると仮定すると, L と x はそれぞれ, 以下の式で求めることができる⁽³⁴⁾.

$$L = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\sqrt{\frac{\pi}{f}} - 2 \right) \cdot r \quad (\text{m}) \quad (5)$$

$$x = 2 \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot r \quad (\text{m}) \quad (6)$$

ここで, f は析出粒子の体積率, r は析出粒子の平均粒子半径である. なお, 図3で示したように, 相界面析出により形成されるナノ炭化物は3次的にシート状の分布を示すことが多い. 仮に, シート上の析出粒子の分布が非常に密であり, シート間隔に比べてシート面内の粒子間距離が極端に小さい場合, 強度への寄与としてシート間隔を考慮に入れる必要があろう. しかしながら, 相界面析出組織の透過電子顕微鏡観察結果から, 相界面析出のシート間隔とシート面内の析出粒子の平均粒子間隔を見積もったところ, 両者はほぼ同程度であることがわかっている⁽¹⁵⁾. したがって, 少なくとも, 本実験で得られた試料においては, 析出粒子がランダム分布をしていると仮定して求めた平均粒子間距離を使って析出強化量を見積もることは妥当なものと考える. 一方, フェライト中に析出する TiC や VC などの合金炭化物の析出粒子形状は, 完全な球状ではなく, フェライト母相と炭化物との結晶方位関係に起因して板状の形態を示すことが一般的である. 析出強化量を見積もる場合には, 析出粒子形状の影響を考慮に入れて補正をする必要があるが, 本計算では簡単のため, 析出粒子はすべて球状と仮定して計算を行っている.

以上の考え方に基づいて, 各組織因子による強化量を計算し, 実験値と比較してみる. ここでは, 3節にも示した相界面析出により作製されたフェライト単相組織中に VC 炭化物が分散した試料と, ベイナイト変態後の時効析出によりベイナイト組織中に VC 炭化物が分散した試料を取り扱うことにする⁽¹⁵⁾. VC 炭化物が分散したベイナイト鋼の基地組織は転位密度の高いラス状ベイニティックフェライトであるため, 転位強化と析出強化の寄与が共に高いという組織的特徴を有していることから, 両者の強化機構の共存効果を議論するのに適した組織である. これらの結果を比較し, 式(1)と式(3)の妥当性について議論する. なお, ここでは, 強度の計算結果のみを示すことにする. 組織の詳細な情報については文献(15)に示しているのを参考にしていきたい.

図7には, VC炭化物が分散したフェライト材およびベイナイト材において, 各強化因子による強化量を式(1)を用いて計算した値を色分けして示し, 実験値と比較している. 図中には VC 炭化物の平均粒子直径も示している. フェライト材(図7(a))の降伏応力の実験値と計算値を比較すると, 実験値に比べて計算値が若干高い傾向を示しているものの, 両者は比較的良い一致を示している. 一方, ベイナイト材(図7(b))における強度の計算値は, 実験値に比べて非常に

高い値を示している. すなわち, 式(1)を用いた線形加算則では強度を過大評価してしまい, 実際の強度をうまく説明できないことがわかる. これに対して, 式(3)を用いて, 強化量を見積もると図8のようになる. 図8(b)に示したベイナイト材では, 計算値と実験値が比較的良く一致しており, 式(3)が妥当なものであることがわかる. 一方, 図8(a)には, 式(3)を用いて計算したフェライト材の結果を示している. 図7で示した式(1)による計算結果と比べて計算値はやや低い値になっているものの, 強度の絶対値としては比較的良く一致していると言える. これは, 転位密度の低いフェライト組織に VC 炭化物が分散した試料においては, 析出強化に比べて転位強化の寄与が非常に低いため, 式(1)と式(3)の計算結果に大きな違いが見られなかったものと理解できる. 材料の強化機構としての本質的な意味合いを考えると, 組織の如何に関わらず, 式(1)で示される線形加算則を用いるのではなく, 転位強化と析出強化の共存効果を考慮に入れた式(3)の非線形加算則を用いることが妥当であろう.

以上の結果から, 合金鋼において形成されるナノ炭化物は, 少なくとも平均直径が 4 nm 程度以上の粒子径範囲においては, Ashby-Orowan の式で表されるバイパス機構により析出強化を説明することができるものと考えられる. しかしながら, 粒子直径がさらに微細になった場合の析出強化機構については, 未だ不明である. 図1で模式的に示したように, 析出物サイズが小さくなり, 運動転位が析出粒子を切断するようになれば, 粒子径の微細化に伴い強度が低下するという傾向が現れる可能性がある. 一方, オロワン型のバイパス機構が働いている場合でも, 析出粒子がある臨界粒子径以下になると析出粒子が細くなるほど析出強化量が小さくなるという可能性もあり得る. 図9は, 式(2)の Ashby-Orowan の析出強化式を用いて析出強化量を計算し, 粒子直径の関数としてプロットしたものである. 析出粒子の体積率を0.2%から2.0%に変化させてプロットしている. 析出粒子の体積率を種々変化させた場合, 粒子体積率が高いほど析出強化量が大きくなっていることは言うまでもないが, いずれの場合も, 粒子直径が1.5 nm 程度で最大値を示し, その後, 粒子径の微細化に伴い, 析出強化量が減少していく傾向が見られる. したがって, 微細化に伴って析出強化量が低下するからといって, それが必ずしも切断機構によるものであるとは断定できないわけである. あるいは, 別の機構として, 析出粒子が非常に微細になれば, 運動転位が交差すべり, あるいは上昇運動により析出物を容易に回避して通過できるようになり, 実質的に障害物として寄与しなくなる結果, 析出強化量が微細粒子側で低下するという可能性も考えられる. やはり, ナノ炭化物による析出強化の極限を追求するには, 析出強化機構の粒子径依存性を析出粒子径 1~2 nm 以下の超微細領域まで拡張して調べ, 強化機構を解明していく必要がある⁽³⁵⁾⁻⁽³⁷⁾. そのための手段の一つとしては, 透過電子顕微鏡内において変形中の転位と析出粒子との相互作用を直接観察することも必要になってくるであろう. いずれ

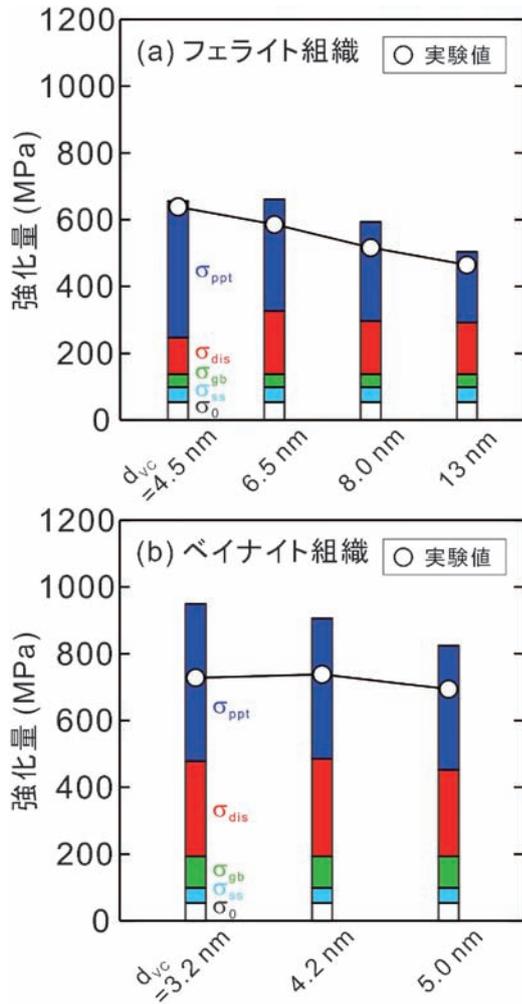


図7 VC炭化物が分散した鋼における降伏応力の計算値と実験値の比較. 式(1)で表される線形加算則を仮定して算出している. (a) フェライト基地組織, (b) ベイナイト基地組織.

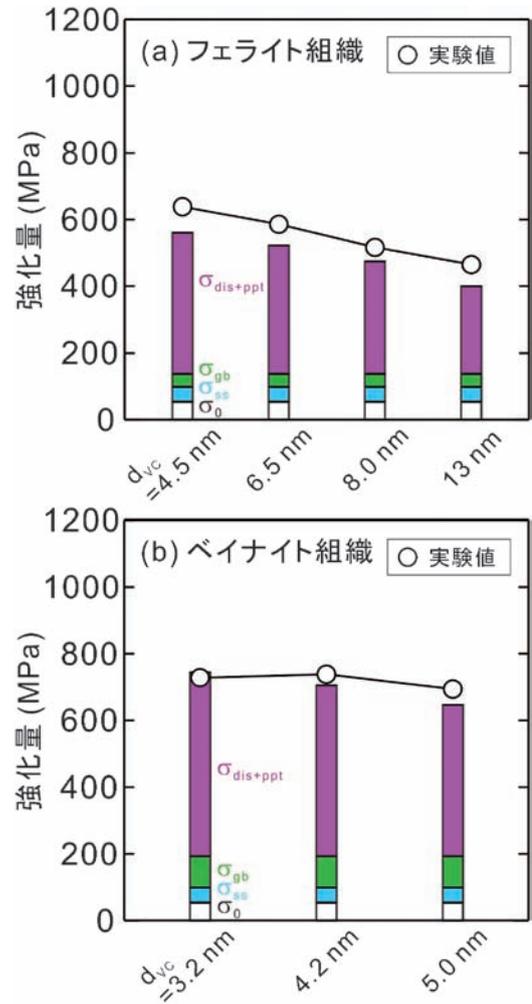


図8 VC炭化物が分散した鋼における降伏応力の計算値と実験値の比較. 式(3)で表される非線形加算則を仮定して算出している. (a) フェライト基地組織, (b) ベイナイト基地組織.

にせよ, 今後の研究の発展が期待される場所である.

5. ナノ析出物が延性に及ぼす影響

以上に述べたように, ナノ炭化物の強化機構に関する理解はある程度進みつつある. その一方で, ナノ炭化物が延性に及ぼす影響については, それほど多くの知見があるわけではない. ここでは, 現状の理解について記述していく.

図4で示したように, ナノ炭化物が分散したフェライト鋼は, 炭化物サイズが小さいほど強度が高くなるが, それと同時に高い延性を維持するという優れた力学特性を有する. 特に, その応力ひずみ曲線は, 降伏後の加工硬化が比較的緩やかで降伏比が大きく, さらに最大応力到達後の局部伸びが比較的大きいという特徴を有している. 材料の延性は, 降伏後に生じる加工硬化挙動と関連させて議論されることが多い. そこで本節では, TiC分散鋼を例に取り上げて, ナノ析出組織を有するフェライト鋼の加工硬化挙動と延性に及ぼす

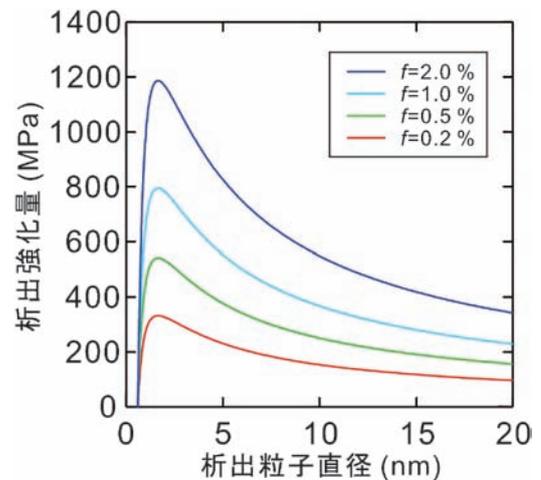


図9 Ashby-Orowanの式を用いて見積もられる析出強化量. 析出粒子の体積率を0.2%から2.0%まで変化させて強化量を計算している.

炭化物サイズの影響について議論していく。

金属材料に対して一軸引張試験を行うと、変形初期は比較的均一に塑性変形が進行するが、以下の式(7)に示す塑性不安定条件を満足した場合に、塑性変形は巨視的に不均一となり、くびれ変形が開始して破断に至ることが知られている。

$$\sigma > \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (7)$$

ここで、 σ 、 ε はそれぞれ真応力、真ひずみであり、 $d\sigma/d\varepsilon$ は加工硬化率である。図4(a)に示した応力ひずみ曲線より、均一変形を仮定して体積一定条件により真応力・真ひずみ曲線を求め、得られた真応力・真ひずみ曲線をひずみに対して1次微分することにより加工硬化率を求めた。得られた結果を図10に示している⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。図中には、比較材として、フェライト結晶粒径が54 μm で炭化物析出を伴わないフェライト単相組織を有するIF鋼の結果も示している。加工硬化率曲線を見ると、変形初期においては、TiC合金炭化物を有する試料は、炭化物分散のないIF鋼に比べて、大きな加工硬化率を示していることがわかる。また、炭化物サイズが細かいほど加工硬化率が高くなっている傾向も見られる。一方で、変形後期においては、炭化物が分散した鋼の加工硬化率は、IF鋼に比べて低くなっていることがわかる。これは、ナノ析出分散鋼において変形後期に動的回復が顕著に生じていることを示唆するものである。

ナノ析出分散鋼の加工硬化挙動を理解するために、引張変形中に生じる転位組織を透過電子顕微鏡により観察している⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。図11には、炭化物平均直径5.5 nmのTiC分散鋼および炭化物析出のないIF鋼に対して、公称ひずみ1%および5%までの引張塑性変形を施した試料の転位組織を示している。TiC炭化物が分散した試料では、わずか1%の引張変形を与えただけにも関わらず、非常に均一に転位が分布していることが観察され、転位密度は既に非常に高くなっている。さらに5%までの引張ひずみを加えると転位密度は上昇するが、転位の分布は依然として均一である。一方で、炭化物のないIF鋼の転位組織を見てみると、1%引張変形後の転位密度は非常に低く、その分布も極めて不均一である。5%の引張変形により転位密度が増加し、転位セル組織を形成し始めていることがわかるが、TiC分散鋼と比較して、転位密度は非常に低いことが見て取れる。

図12には、引張ひずみの増加に伴う転位密度の変化をまとめている⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。平均炭化物直径が18 nmの試料に対しても同様の転位組織観察を行い、得られた転位密度をプロットしている。引張ひずみの増加に伴い、IF鋼の組織中の転位密度は緩やかに増加していく傾向が見られるが、それに対して、TiC分散鋼の転位密度はより急激に増加していくことがわかる。特に、TiC炭化物が微細な試料において、その傾向がより強くなっている。これらの結果は、フェライト母相中に均一微細に分散したナノ炭化物が、変形初期から転位の増殖源として働いていることを示唆している。おそらく、ナノ炭化物が運動転位の有効な障害物となり、炭化物周りでより複雑なすべり系の転位の活動を誘発する結果、それらの転位同士との切り合いにより転位の急激な増殖が起こっているものと考えられる。これが、ナノ析出鋼の引張変形初期に見られる大きな加工硬化の原因であると理解できる。一方で、変形後期においては、微細ナノ炭化物が分散した試料の転位密度は緩やかに増加していく傾向が見られる。このことは、変形後期

よび5%までの引張塑性変形を施した試料の転位組織を示している。TiC炭化物が分散した試料では、わずか1%の引張変形を与えただけにも関わらず、非常に均一に転位が分布していることが観察され、転位密度は既に非常に高くなっている。さらに5%までの引張ひずみを加えると転位密度は上昇するが、転位の分布は依然として均一である。一方で、炭化物のないIF鋼の転位組織を見てみると、1%引張変形後の転位密度は非常に低く、その分布も極めて不均一である。5%の引張変形により転位密度が増加し、転位セル組織を形成し始めていることがわかるが、TiC分散鋼と比較して、転位密度は非常に低いことが見て取れる。

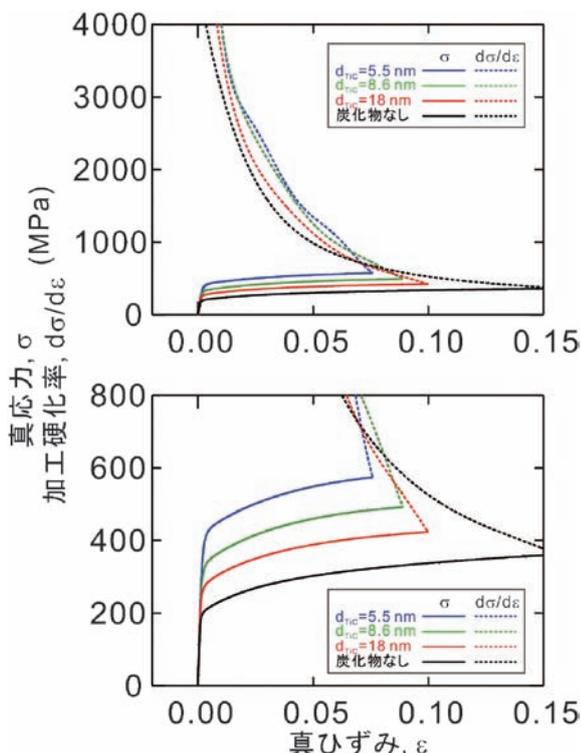


図10 Ti添加鋼の加工硬化率曲線。

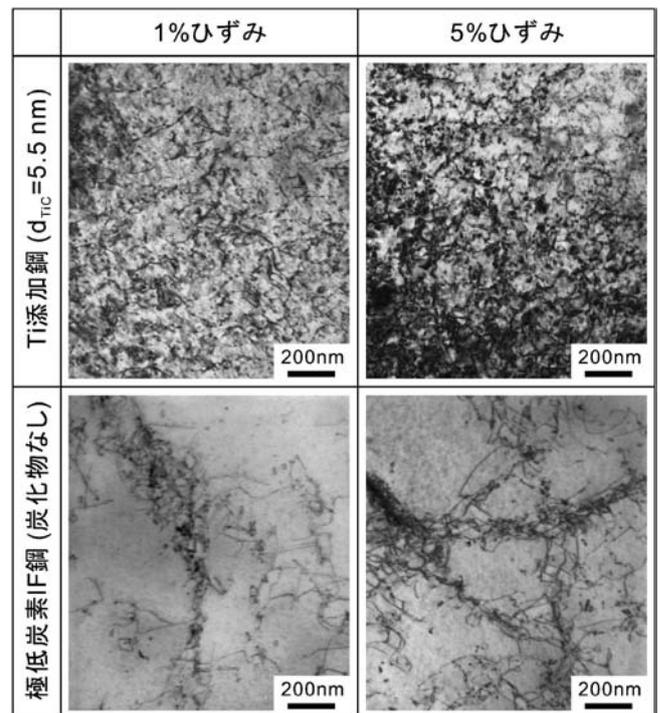


図11 Ti添加鋼およびIF鋼の引張変形後の転位組織変化。

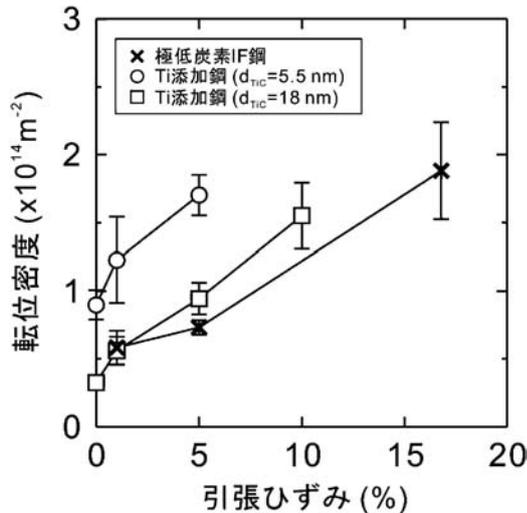


図12 微細合金炭化物を有するTi添加鋼の引張変形後の転位密度変化。

において転位の増殖が抑制されている，すなわち，変形中に動的回復が顕著に起こっていることを示唆するものである。相界面析出により得られるナノ炭化物は高い密度で分散しているため，炭化物周りで増殖した転位同士が容易に対消滅をして，変形中の転位の回復を促進しているものと考えられる。動的回復が顕著に起こることにより，強度の急激な上昇を抑制し，緩やかな加工硬化を引き起こすために，塑性不安定条件の発現を遅延して，比較的大きな均一伸びを示したものと理解できる。

こうした動的回復機構が，引張試験後期におけるくびれ変形中においても同様に働いていると考えれば，ナノ炭化物分散鋼が示す優れた局部変形能を，以下のように定性的に説明することができる。くびれ変形部において顕著な動的回復が生じれば，転位の堆積が抑制され，ポイド・亀裂の起点となる応力集中の発生が抑制されると考えられる。その結果，ポイド・亀裂の発生・成長が引張試験の後期にまで遅延され，延性破壊の進行が抑制されて，大きな局部変形能を示すものと理解できる。しかしながら，以上の議論はあくまでの推察に過ぎず，今後，検証が必要である。ナノ析出組織を有する鋼の局部変形能を理解するためには，引張変形中に生じるポイド・亀裂の形成過程を実験的に詳細に調べ，延性破壊機構を解明していく必要がある。

6. おわりに

本稿では，相界面析出により形成されたナノ炭化物を有するフェライト鋼の強度と延性に関する実験結果を示し，現状の理解について紹介した。しかしながら，ナノ析出を利用した鋼の高強度化と高延性化の指導原理を確立していくためには，合金炭化物の粒子直径を極限まで微細化した試料を作製し，その降伏現象，加工硬化挙動，延性破壊挙動，加工性などに及ぼす炭化物サイズ，種類，体積率等の組織因子の影響

を広く明らかにしていく必要がある。特に，材料の降伏挙動に及ぼすナノ析出物の影響という観点では，転位運動の素過程におけるナノ析出物の役割を解明していくことが重要であると考えられる。ナノ析出物は，転位運動に対する抵抗として働くだけでなく，転位の発生源としても寄与する可能性がある。こうした観点から，ナノ析出物の塑性変形挙動に及ぼす影響が解明されることが大いに望まれる。我々も微力ながら，継続的に研究を進めていき，研究成果が少しでも社会へと還元されるように努力する所存である。

本稿を執筆するに当たり使用した実験結果は，主に，東北大学金属材料研究所古原研究室で修士論文研究を遂行していただいた学生諸氏の研究成果である。阿部吉剛氏(現 JFE スチール)，佐藤健介氏(現 小松製作所)，廣橋正博氏(現 神戸製鋼所)に深く感謝申し上げますとともに，今後のご活躍をお祈り申し上げます。

文 献

- (1) L. M. Brown and R. K. Ham: Strengthening Methods in Crystals, eds. A. Kelly and R. B. Nicholson, John Wiley & Sons, New York, (1971), 9-135.
- (2) 講座・現代の金属学材料編 第3巻 材料強度の原子論，日本金属学会，(1985)，132-153.
- (3) L. M. Brown: Strength of Metals and Alloys: Proceedings of the 5th International Conference, eds. P. Haasen, V. Gerold and G. Kostorz, Federal Republic of Germany, Aachen, (1980), 1551-1571.
- (4) E. Orowan: Symp. Internal Stresses in Metals and Alloys, Institute of Metals, London, (1948), 451-453.
- (5) M. F. Ashby: Physics of Strength and Plasticity, ed. A. S. Argon, MIT Press, Massachusetts, (1969), 113-131.
- (6) E. Tekin and P. M. Kelly: J. Iron Steel Inst., **203**(1965), 715-720.
- (7) D. Raynor, J. A. Whiteman and R. W. K. Honeycombe: J. Iron Steel Inst., **204**(1966), 349-354.
- (8) A. K. Seal and R. W. K. Honeycombe: J. Iron Steel Inst., **188**(1958), 9-15.
- (9) R. G. Baker and J. Nutting: J. Iron Steel Inst., **192**(1959), 257-268.
- (10) K. J. Irvine and F. B. Pickering: J. Iron Steel Inst., **187**(1957), 292-309.
- (11) A. T. Davenport, F. G. Berry and R. W. K. Honeycombe: Metal Sci. J., **2**(1968), 104-106.
- (12) A. T. Davenport and R. W. K. Honeycombe: Proc. Roy. Soc. Lond. A, **322**(1971), 191-205.
- (13) S. Freeman and R. W. K. Honeycombe: Metal Sci., **11**(1977), 59-64.
- (14) R. A. Ricks and P. R. Howell: Acta Metall., **31**(1983), 853-861.
- (15) N. Kamikawa, K. Sato, G. Miyamoto, M. Murayama, N. Sekido, K. Tsuzaki and T. Furuhashi: Acta Mater., **83**(2015), 383-396.
- (16) 岩間直樹，野村一衛，森元 秀，矢野正明，真部豊久：まてりあ，**36**(1997)，622-624.
- (17) 丹羽祐久，町田 功，加藤哲男，上原紀興，田中良治：電気製鋼，**53**(1982)，26-35.
- (18) 富田邦和，船川義正，塩崎 毅，前田英司，山本徹夫：まてりあ，**42**(2003)，70-72.
- (19) 清水哲雄，船川義正，金子真次郎：JFE 技報，No. 4, (2005)，22-27.
- (20) Y. Funakawa, T. Shiozaki, K. Tomita, T. Yamamoto and E. Maeda: ISIJ Int., **44**(2004)，1945-1951.

鉄鋼の相変態 I

—初析フェライト成長における 界面の平衡条件と α/γ 界面エネルギー—

榎 本 正 人*

1.1 はじめに

鉄鋼材料の相変態は拡散型と無拡散型の変態に分けられており、この講義ノートでは拡散変態についての熱力学や速度論に関して解説する。拙著「金属の相変態」⁽¹⁾は執筆してから10数年が経過し、“Mechanisms of Phase Transformations in Metals and Alloys”⁽²⁾は、出版は最近でも Aaronson 教授(カーネギーメロン大学)の講義内容をまとめたものであるから、ここではそれ以後の理論的な進展を重点的に取り上げることと、以前からある理論でも違った角度からの記述を心がけた。そのような方針で、1回目は初析フェライト変態を対象として、拡散変態の局所平衡、パラ平衡とフェライト(α)/オーステナイト(γ)界面エネルギー、2回目はマッシュ変態と α/γ 界面の速度論的な特性の解説、3回目はパーライトの速度論とベイナイトの不完全変態のメカニズム、最後の4回目はオーステナイト化速度の基礎理論をテーマに選定した。

1.2 炭素の長距離拡散を伴うフェライトの局所平衡と混合モードによる成長

Fe-C 合金(実用的には炭素鋼に近い。炭素鋼は0.5~1%以下の Mn や Si を含む)を γ 単相域から $(\alpha+\gamma)$ 2相域に冷却し、一定温度に保持すると、図1.1に示すような炭素の濃度プロファイルを持って、 α/γ 界面が右方へ移動する。界面移動は母相 γ と生成相 α の自由エネルギー差 $\Delta G^{\gamma-\alpha}$ によってもたらされるものであり、これを変態の駆動力と呼ぶ。ここで注意すべきは、変態の駆動力とは界面近傍の局所領域の自由エネルギー変化であり、図1.2に示すように、生成相の組

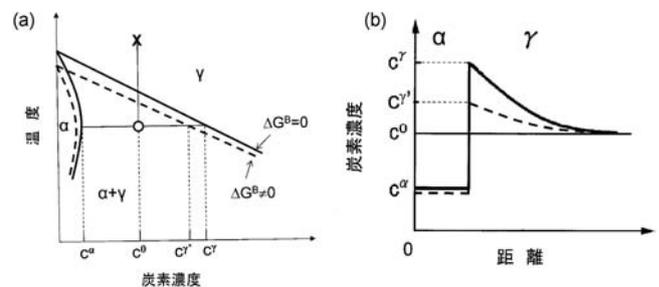


図1.1 Fe-C 合金の(a) α/γ 平衡相境界と、(b) 界面付近の炭素の拡散プロファイルの模式図。式(1.3)で $\Delta G^B=0$ および $\Delta G^B \neq 0$ のときの相境界と拡散プロファイルをそれぞれ実線および破線で示す。

成 x^α における自由エネルギー差である。これに対し、変態前と変態終了後の全系の自由エネルギー変化は、バルク組成 x^0 における自由エネルギー差である。双方は共に母相と生成相の自由エネルギー変化と呼ばれるので注意が必要である。

変態の駆動力は界面移動の摩擦力と原子の長距離拡散によって消費される。前者の摩擦力は母相の結晶格子から新相の結晶格子が変わるとき、原子が周辺の原子を押しのけて新相の格子サイトに到達するときに発生する。これを短距離拡散と呼ぶこととする。フェライトの成長にはこの他 α と γ の組成変化に見合う炭素の長距離拡散を伴う。Fe-C 2元合金では Fe 原子の長距離拡散は必要ないと考えられるので、変態の駆動力 $\Delta G^{\gamma-\alpha}$ は Fe 原子の短距離拡散によって消費されるエネルギー(界面の摩擦力) ΔG^B と、炭素の長距離拡散によって消費されるエネルギー ΔG^D により、

$$\Delta G^{\gamma-\alpha} = \Delta G^B + \Delta G^D \quad (1.1)$$

* 茨城大学名誉教授；理工学研究科(〒316-8511 日立市中成沢町4-12-1)
Phase Transformations in Steel—Local Condition at Moving Boundary during the Growth of Proeutectoid Ferrite and the Energy of α/β Phase Boundary—; Masato Enomoto (Emeritus Professor, Graduate School of Science and Technology, Ibaraki University, Hitachi)
Keywords: steel, diffusion, phase interface, growth, mobility, local equilibrium, solute drag, ferrite, pearlite, bainite, austenitization
2014年1月24日受理[doi:10.2320/materia.54.12]

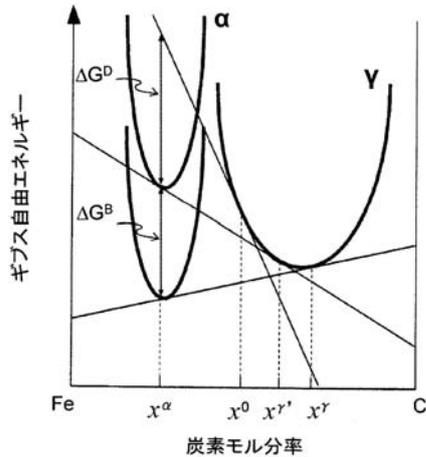


図1-2 変態の駆動力($\Delta G^{\gamma-\alpha}$)は拡散(ΔG^D)と界面の摩擦係数(ΔG^B)により消費される。モル分率 x は図1-1の濃度 c と $x=c/V_m$ の関係にある。

と書き表される。界面の移動速度を v 、 α/γ 界面の易動度を M (mobility)とすると、

$$\Delta G^B = \frac{v}{M} V_m \quad (1.2)$$

と書き表される(V_m は生成相のモル体積)。 ΔG^B がゼロではないときの界面における母相中の溶質原子濃度は、Fe-C合金におけるフェライト変態の場合、

$$\mu_{Fe}^{\alpha} + \frac{v}{M} \bar{V}_{Fe}^{\alpha} = \mu_{Fe}^{\gamma} \quad (1.3a)$$

$$\mu_C^{\alpha} + \frac{v}{M} \bar{V}_C^{\alpha} = \mu_C^{\gamma} \quad (1.3b)$$

を解くことにより求められる。ここに、 \bar{V}_{Fe}^{α} と \bar{V}_C^{α} は生成相における Fe と C の部分モル体積である。図1-1からもわかるように、 $\Delta G^B \neq 0$ の場合の共通接線の接点における炭素濃度 c^{γ} は $\Delta G^B = 0$ の場合の接点濃度 c^{γ} より小さくなる。拡散勾配の変化により v が変化し、それに伴って c^{α} と c^{γ} は時々刻々と変化する。これが、混合モード(mixed mode)による界面移動である。 ΔG^B が ΔG^D より小さく(M が大きい)、式(1.3)の左辺の第2項が無視できる場合を局所平衡下の界面移動と称する。 ΔG^B が ΔG^D に比べ無視できない場合については、2-2マッシュ変態の速度論で詳述します。

局所平衡を仮定すると、平面、円柱、球などの等温成長の初期段階においては、粒子の大きさ L は、

$$L = \alpha t^{1/2} = 2\lambda \sqrt{Dt} \quad (1.4)$$

と書き表わされる。

$$\Omega = \frac{c^{\gamma} - c^0}{c^{\gamma} - c^{\alpha}} = f(\lambda) \quad (1.5)$$

で定義される量を成長のスーパーサチュレーションと呼び、界面が平面である場合、成長速度定数 λ は、

$$\Omega = \sqrt{\pi} \lambda \exp(\lambda^2) \operatorname{erfc}(\lambda) \quad (1.6)$$

を満たす。ここに、 $\operatorname{erfc}(\lambda) = 1 - \operatorname{erf}(\lambda)$ は補正誤差関数である。円や球に対する $f(\lambda)$ の式は文献(3)を、また、回転楕円体の成長速度定数については文献(4)を参照されたい。平

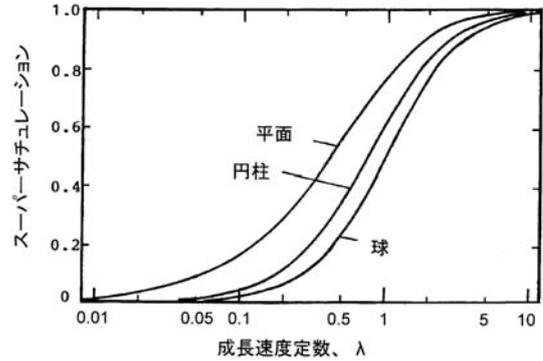


図1-3 平面、円柱、および球状界面の拡散成長におけるスーパーサチュレーションと速度定数の関係。

面、円柱、および球に対する Ω と λ の関係を示すと、図1-3のようになる。図から明らかなように、一定の Ω の下では平面、円柱、および球の順に速度定数 λ の値が大きくなる。これは平面では原子の拡散が1方向であるのに対し、円柱では2方向、球では3方向に起こり、原子の輸送が促進されるためである。また、初期段階というのは、隣のフェライト粒子と拡散場が重なり始めるまでを指す。拡散場の重なりをソフトインピンジメント(soft impingementと呼ぶ。ソフトインピンジメントが起こったあとの成長を予測するために様々な近似やシミュレーションが用いられる。

演習問題1

2元合金における析出物の成長速度の近似解法として線型勾配近似がよく知られている。この近似を用いると、平面界面(1次元成長)では近似を用いない解に比べ速度はやや小さくなるが、全てのスーパーサチュレーションに対して誤差が小さいことが知られている(文献(1), p. 103)。そこで、1次元成長に図1-4に示すような線型勾配近似を適用し、母相の1次元粒径(直径の半分)を d としてソフトインピンジメントを考慮したときの成長速度を求めよ。(解答は最終回に掲載します)

1-3 フェライトの成長に及ぼす合金元素の効果

実用鋼では通常 Mn, Si, Cr, あるいは Mo のような合金元素が複数添加されている。これらの添加元素の効果を系統的に把握するうえで、局所平衡、パラ平衡の理論が役に立つ。この理論はフェライトの他に、セメントイトやパーライトの成長、さらには、鉄鋼以外の合金系の速度論にも適用できる。鉄鋼での最大の特徴は、炭素や窒素などの侵入型元素と Mn や Si などの置換型合金元素の拡散易動度が大きく異なることである。そのため一定の理論の簡略化が可能で、理論の効用が大幅に向上している。前節で局所平衡の基本的な考え方を述べたが、これを Fe-C-X 3元合金に適用すると(Xは置換型合金元素)、 α/γ 界面の両側ですべての成分原子

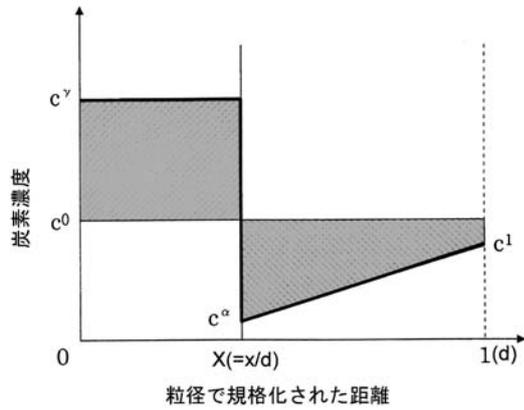


図1.4 拡散場のインピンジメントを考慮したときの線型勾配近似。

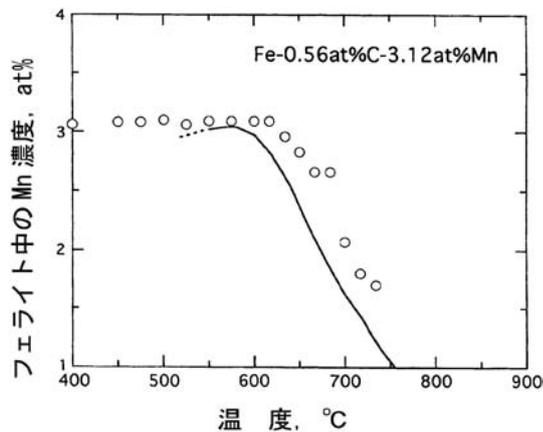


図1.5 Fe-0.1C-3Mn合金におけるMnの分配。白丸は測定値、曲線は局所平衡による計算値⁽⁵⁾。

が平衡を達成していることになる。拡散易動度が大きく、比較的自由に動ける炭素原子についてはこのことは可能であっても、拡散易動度の小さい置換型原子にとっては自明ではない。実際、等温変態で生成したフェライト中の合金元素濃度を測定すると、図1.5に示すように、 Ae_3 点に近く、過冷度が小さい場合には γ 母相とは異なる濃度であるのに対し、過冷度が大きくなると、母相と同じ合金元素濃度を持ったフェライトが生成する⁽⁵⁾。この図でMnの分配が停止する～600°C以下の温度で生成したフェライトをパラフェライト(paraferrite)と呼ぶ。

パラフェライトの生成に対してまず考えられるのは、Feや合金元素の拡散が起こらず、炭素のみが拡散して平衡を達成することであり、これをパラ平衡(paraequilibrium)と呼ぶ。炭素をFe-Mn固溶体における侵入型固溶原子とみなし、図1.6に示すように、Fe-C-Mn合金状態図で炭素のコーナーから出るFeとMnの濃度を等比で分割する線(carbon component ray)を考える。パラ平衡における α 相と γ 相における炭素の平衡濃度は、組成比 $v = c_{Mn}/c_{Fe}$ のcarbon component rayを横軸とする自由エネルギーダイアグラムで、 α 相と γ 相の自由エネルギー曲線に引いた共通接線の接点で

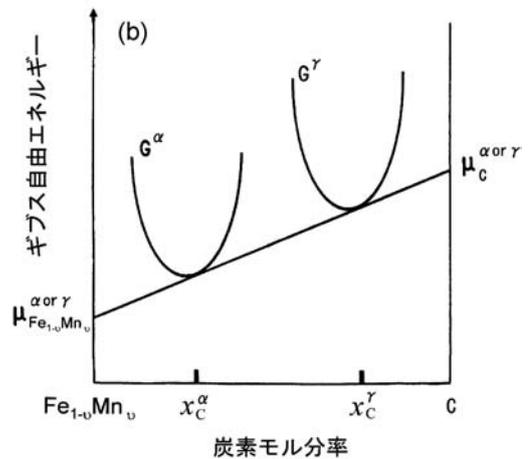
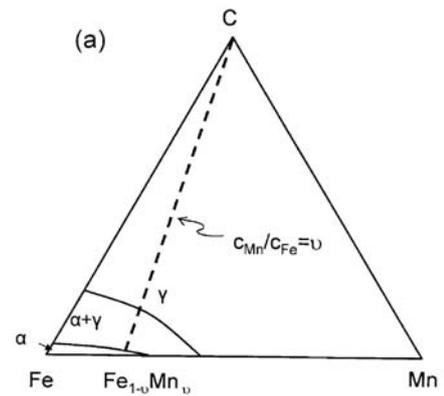


図1.6 Fe-C-X 3元合金における炭素の component ray とパラ平衡境界。cは濃度、xはモル分率を表す。

与えられる⁽⁶⁾。この接点における炭素濃度は、

$$(1-v)\mu_{Fe}^{\alpha} + v\mu_{Mn}^{\alpha} = (1-v)\mu_{Fe}^{\gamma} + v\mu_{Mn}^{\gamma} \quad (1.7a)$$

$$\mu_C^{\alpha} = \mu_C^{\gamma} \quad (1.7b)$$

を解くことにより求められる。ただし、 μ_{Fe}^{α} は、 α 中のFe原子の化学ポテンシャルである(以下同様)。この式は、パラ平衡において、FeとMnが一体となった置換型の溶媒原子($Fe_{1-v}Mn_v$)と炭素が擬2元合金を形作することを示している。図1.7にFe-C-Mn 3元合金におけるパラ平衡の α/γ 相境界を示す。パラ平衡の($\alpha+\gamma$)2相域は、すべての合金元素について、完全平衡[†]の2相域の内側に存在する。また、このことは α/γ 平衡に限らず、セメントイトとの平衡相境界でも同じである。

パラフェライトが生成するもう1つの可能性は、界面の平衡がバルク組成を通らない共役線によって達成されることである。今、炭素と合金元素の相互作用がない(Wagnerの相互作用係数 $\epsilon_{C}^{Mn}=0$)と仮定する。はじめに、図1.8(a)に示すように、バルク組成を通る水平線^{**}とオルソ平衡の $\alpha/(\alpha+\gamma)$ 相境界の交点aを一端とする平衡共役線を考える。こ

[†] 鉄合金では、パラ平衡と対比させる意味で、完全平衡をオルソ(ortho)平衡と呼ぶ。オルソ平衡では、 $\mu_{Fe}^{\alpha} = \mu_{Fe}^{\gamma}$ 、 $\mu_{Mn}^{\alpha} = \mu_{Mn}^{\gamma}$ 、および $\mu_C^{\alpha} = \mu_C^{\gamma}$ が成立する。

^{**} 正確には carbon component ray

の共役線の他端を b とし, b を通る垂線を引く. a と b は界面における α, γ 中の C と Mn の濃度を表しており, 合金 O_1 では, フェライト成長に対する炭素のスーパーサチュレーション $\Omega_C (= \bar{O}c/\bar{a}c)$ は 0 から 1 の間にあるのに対し, Mn のスーパーサチュレーション $\Omega_X (= \bar{a}c/\bar{a}b)$ はほぼ 1 である. 炭素の拡散係数を使って表した界面の移動速度は $2\lambda_C\sqrt{D_C}$, 合金元素の拡散から求められる移動速度は $2\lambda_X\sqrt{D_X}$ に比例する. これらは同一の界面の移動速度を表しているから, 双方は等しくなければならないが, D_C と D_X の比が非常に大きいことを考えると, 界面共役線 $\bar{a}b$ は, 局所平衡を保ちつつ, 炭素の拡散による α の成長を可能にすることがわかる. 合金のバルク成分が点 c より右に位置する場合 (図中の O'), 炭素のスーパーサチュレーションはマイナスになり, 炭素の拡散による成長が実現しない. よって, c を通る境界が不分配モード (Negligible partition local equilibrium, NPLE) による成長の限界となる.

限界を越えた組成の合金では, フェライトはどのように成長するかを考える. 合金元素の拡散で律速されるとすれば, 炭素の拡散場ははるか遠方にまで及んでいるので, 母相中の炭素の化学ポテンシャルを一定とみなすと, 図1.8(b)に示すように, バルク組成を通る炭素の等活量線が $\gamma/(\alpha+\gamma)$ 境

界と交わる点 b' が α/γ 界面における γ の組成を表す. b' を一端とする平衡共役線をとって, 他端を a' とすると, 今度は Ω_X が 0 から 1 の間の値をとり, Ω_C がほとんどゼロになる. この場合も $2\lambda_C\sqrt{D_C}$ と $2\lambda_X\sqrt{D_X}$ の値は等しくならなければならないが, $\lambda_C \sim 0$ であることを考えると, これが満たされており, α の成長は実質的に Mn の拡散で律速される. これを分配局所平衡 (Partition local equilibrium, PLE) モードと呼ぶ. 点 b ないし b' を通る垂線は γ 中の炭素の等活量線であるから, 炭素と合金元素との間に相互作用があるときは, 図1.8(c)のように垂直な線ではなく, 左右に傾いた等活量線を引けばよい.

図1.5に示したように, フェライト中の Mn 濃度は低過冷度では温度とともに変化するが, 図1.8(b)のような作図をいろいろな温度で行うと, 点 a' の Mn 濃度は図1.5の実線のようになるので局所平衡理論が現実と合うように見える. 実際, 拡散対による α/γ 界面の移動速度は局所平衡理論でよく説明できる⁽⁷⁾. それとは対照的に, PLE から NPLE へ移行する温度⁽⁸⁾, 成長速度の絶対値⁽⁵⁾, あるいは合金元素スパイクの幅⁽⁹⁾ や, NPLE が起こり得ない合金組成でパラフェライトが生成すること⁽¹⁰⁾ などパラ平衡を支持する結果も多く得られている. ある条件で一方を支持する結果が得られても, 他の条件でそれがいつも成り立つとは限らないことに注意する必要がある.

局所平衡の説明ではほとんどの場合, 3元状態図の等温断面が使われる. この場合は, 炭素の等活量線も界面共役線も同一平面上にあってわかりやすい. Fe-C- X_1 - X_2 合金では, 等活量線も α/γ 相境界も曲面であるが, 界面の流束釣り合いは, C, X_1 , および X_2 に対する3つの式で書き表されるので, 界面共役線はユニークに決まる⁽¹¹⁾. 実際, DICTRA では各成分原子の流束釣り合いの式を解いて, 界面付近の濃度プロファイルを計算している.

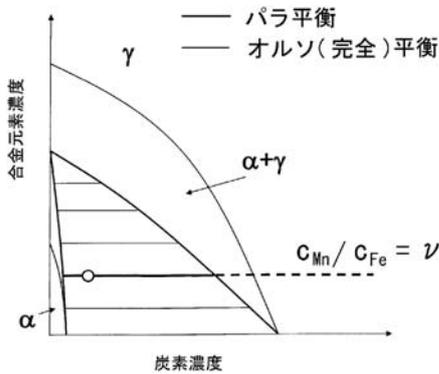


図1.7 パラ平衡(太い実線)とオルソ平衡(細い実線)の α/γ 相境界.

1.4 α/γ 界面エネルギー

フェライトの成長は上記の界面易動度の他にソリュートド

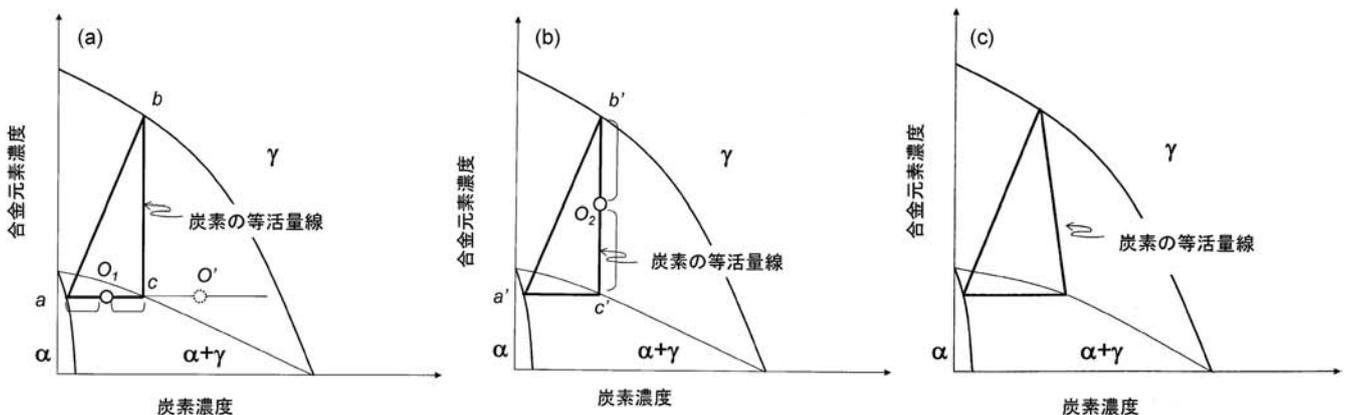


図1.8 (a) 高過冷度と, (b) 低過冷度における局所平衡の界面共役線. いずれも $\epsilon_C^X = 0$ の場合. (c) $\epsilon_C^X \neq 0 (> 0)$ の場合の局所平衡によるフェライト成長の共役線.

ラッグや界面の曲率の影響も受ける。ソリュートドラッグは固溶原子や不純物原子が α/γ 界面に偏析し、界面移動に対し付加的な摩擦を発生させる現象である。これについては次回のマッシュ変態で触れることにして、以下では界面の曲率の影響 (Gibbs-Thomson 効果) をもたらず α/γ 界面エネルギー ($\sigma_{\alpha\gamma}$) について、現況を整理しておきたい。 α/γ 界面エネルギーはフェライトの核生成において最も重要なパラメータのひとつであって、核生成速度の実験データから界面エネルギーを推定することも行われている。

フェライトプレート先端のように、大きな曲率を有する界面の両側における α, γ 相の組成は、Fe-C 2 元合金においては、

$$\mu_{\text{Fe}}^{\alpha} + \frac{\sigma_{\alpha\gamma}}{\rho} \bar{V}_{\text{Fe}}^{\alpha} = \mu_{\text{Fe}}^{\gamma} \quad (1.8a)$$

$$\mu_{\text{C}}^{\alpha} + \frac{\sigma_{\alpha\gamma}}{\rho} \bar{V}_{\text{C}}^{\alpha} = \mu_{\text{C}}^{\gamma} \quad (1.8b)$$

と書き表される。ここに、 ρ はプレート先端の曲率半径を表わす。

1.4.1 粒界フェライトのぬれ角による α/γ 界面エネルギーの測定

Gjostein ら⁽¹²⁾ は炭素量を広範囲に変えた Fe-C 合金を使って、 α/γ 界面エネルギーの直接測定を試みている。最初に試料合金を ($\alpha + \gamma$) 2 相域で保持してフェライトを生成させる。この焼鈍で生成したフェライトは γ 母相と方位関係を持っているので、それを取り除くため、一旦冷却して 50% 圧延し、再び同じ温度で焼鈍した。この試料を使って、フェライト粒と粒界とのぬれ角を測定し (図 1.9(a) 参照)、

$$\frac{\sigma_{\alpha\gamma}}{\sigma_{\gamma\gamma}} = 0.837 \sim 0.952 \quad (1.9a)$$

$$\frac{\sigma_{\alpha\gamma}}{\sigma_{\alpha\alpha}} = 0.901 \sim 0.970 \quad (1.9b)$$

という結果を得た。ここに、 $\sigma_{\alpha\alpha}$ と $\sigma_{\gamma\gamma}$ は、それぞれ α 粒界と γ 粒界のエネルギーである。上記の比の値は双方とも炭素が 0.4% 付近で最小となった。Gjostein らはこの後、Gibbs や Langmuir の吸着の理論を使って個別のエネルギーを推定している。それによると、炭素濃度が 0.1% と 0.4% 付近でそれぞれ、 $\sigma_{\alpha\gamma} = 0.60 \sim 0.65$ および 0.50 J/m^2 程度の値が得ら

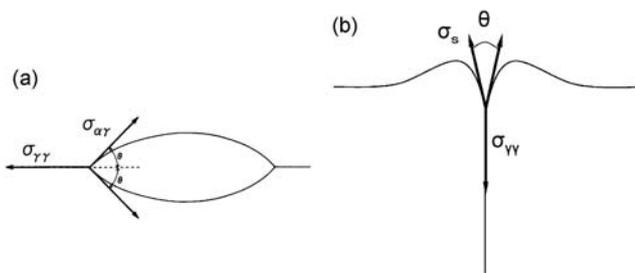


図 1.9 (a) ぬれ角による界面エネルギーの測定と、(b) 粒界エネルギー測定に用いられる粒界グループ法。 $\sigma_{\alpha\gamma}$ は α/γ 界面エネルギー、 $\sigma_{\gamma\gamma}$ は γ 粒界エネルギー、 σ_s は γ の表面エネルギー。

れている。

これらの値のもとになっているのは、粒界エネルギーの測定値である。また、粒界エネルギーは表面エネルギーをもとにして決められている。金属の表面エネルギーはゼロクリープ法で測定されたものが多く報告されている⁽¹³⁾。粒界エネルギーは図 1.9(b) に示すような粒界グループ (粒界が表面と交わる箇所の溝) の角度を測定して求めることが多い⁽¹⁴⁾。表 1.1 にこのような方法で求められた純鉄および Fe-C 合金における値を示した。表面エネルギーや界面エネルギーは温度に依存するので、測定温度にも注意されたい。

1.4.2 フェライト核生成の実験から推定される界面エネルギー値

古典核生成理論では核生成の活性化エネルギーが、

$$\Delta G^* = \frac{4V_W}{(\Delta G_V)^2} \quad (1.10)$$

と書き表わされる⁽¹⁵⁾。ここで、 ΔG_V は核生成の駆動力、 V_W はウルフ (Wulff) 空間での臨界核の体積である。図 1.10 に示すように、ウルフ空間とは、界面エネルギーを界面の方位に対してプロットしたもので、 V_W は (J/m^2) の 3 乗の次元を有する。臨界核の形状は、界面エネルギー全体を最小にする形状であり、ウルフの作図によって求められる⁽¹⁵⁾。界面エネルギーが等方的であれば、ウルフ空間における臨界核の形状は、通常の空間と同じで球となり、 $V_W = 4\pi\sigma_{\alpha\gamma}^3/3$ であるから、式 (1.10) より、実空間で球形の核に対して、

$$\Delta G^* = \frac{16\sigma_{\alpha\gamma}^3}{3(\Delta G_V)^2} \quad (1.11)$$

表 1.1 Fe および Fe-C 合金における表面、粒界および界面エネルギーの測定値。

界 面	エネルギー値, J/m ²	温度, °C	文献
δ 鉄の表面エネルギー	1950	1450	(13)
	2090	1450	(14)
γ 鉄の表面エネルギー	2100	1350	(13)
γ 鉄の粒界エネルギー	756	1350	(13)
α/γ 界面エネルギー	500~760	730~910	(12)

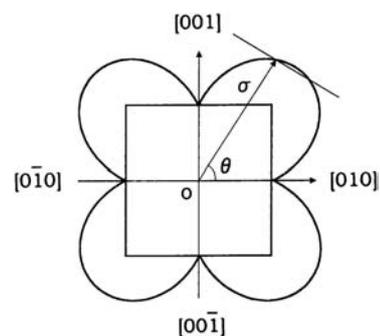


図 1.10 2 次元の界面エネルギーの極プロットと Wulff の作図。

省資源型高耐熱フェライト系ステンレス鋼 「JFE-TF1」の開発

中村 徹之¹⁾ 太田 裕樹²⁾ 加藤 康³⁾

1. はじめに

近年、自動車には燃費改善や排気浄化性能の向上が強く求められており、そのためには車体の軽量化や排ガス温度の上昇が必要とされる。従来は鋳物が使用されてきたエキゾーストマニフォールドには、90年代以降軽量化の観点からステンレス鋼板が使用されるようになり、現在は Nb 添加によって耐熱性が高められた耐熱ステンレス鋼 Type429 (15%Cr-0.4%Nb) や、Nb に加えて Mo を添加した高耐熱ステンレス鋼 SUS444 (19%Cr-0.5%Nb-2%Mo) が多く使用されている (図 1)。

しかし、Type429 では排ガス温度がより高温となった場合に耐熱性が不十分となる場合があり、一方、レアメタルである Mo を多量に添加した SUS444 は、原料価格に起因した鋼材価格の高騰や、高合金化に伴う硬質化による室温での加工性の低下が課題となることから、Mo を使用せずに高い耐熱性を有する材料のニーズが高まってきた。

エキゾーストマニフォールドのような高温排気系部材は、エンジン稼動時には高温の排ガスにより 800°C 以上にまで加熱され、停止時には室温にまで冷却される。このとき、エキゾーストマニフォールドは限られたエンジンスペース内で他部材と連結されているため、熱膨張や熱収縮が制限されて熱歪を受ける。加熱と冷却が繰り返され、この熱歪が蓄積することで破壊に繋がる現象を熱疲労と言ひ、エキゾーストマニフォールド用材料にとって熱疲労特性は最も重要な特性の一つである。エキゾーストマニフォールド用材料には、その他に高温での耐振動性を示す高温疲労特性や、耐酸化性も重要視されている。

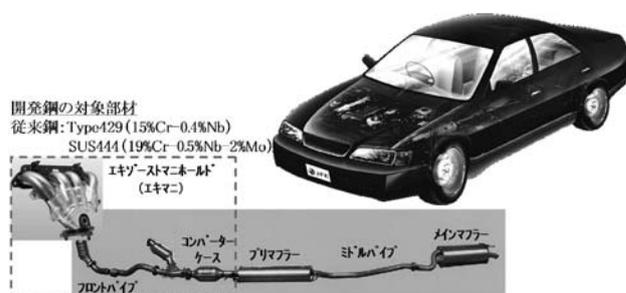


図 1 ステンレス鋼が使用される自動車排気管部品例。

著者らは、高価な元素である Mo を使用することなく、安価な元素を使用して従来の高耐熱鋼 SUS444 と同等以上の耐熱性を有する材料の開発を行ったので紹介する。

2. 開発の考え方

(1) 固溶強化元素としての Al の活用

熱疲労特性を向上させる手段として、これまでは Nb や Mo といった固溶強化元素の添加により、全温度域における高強度化が図られてきた⁽¹⁾。また、Cu の添加は 600°C ~ 700°C において鋼中に微細析出することで高温強度を上昇させることが出来る⁽²⁾ため有効である。

Cu を添加した場合、析出強化効果が得られる 600°C ~ 700°C における高温強度は大きく増加するが、固溶温度域となる 800°C 以上においては Cu 添加の効果は大きくない。熱疲労特性には最高温度 (800°C 以上) から室温まで全温度域における強度 (耐力) が寄与するため、Cu の析出強化効果が小さい高温域での高強度化が必要となる。

一般に、800°C 以上の高温域で有効な強化機構としては固溶強化が挙げられる。図 2 に α Fe 中の種々元素のミスフィット、拡散係数から、Cr を 1 としたときの相対的な固溶強化能を計算した結果を示す⁽³⁾。従来から固溶強化元素として知られている Nb, Mo に加え、Al の固溶強化能が比較的大きいことが分かる。Al を多量に添加することで耐酸化性を

* JFE スチール株式会社
スチール研究所 1) ステンレス鋼研究部; 主任研究員
鋼管・鋳物研究部; 2) 主任研究員 3) 部長
Development of Resource-conserving Heat-resistant Ferritic
Stainless Steel "JFE-TF1"; Tetsuyuki Nakamura, Hiroki Ota,
Yasushi Kato (JFE Steel Corporation)
2014年10月27日受理[doi:10.2320/materia.54.18]

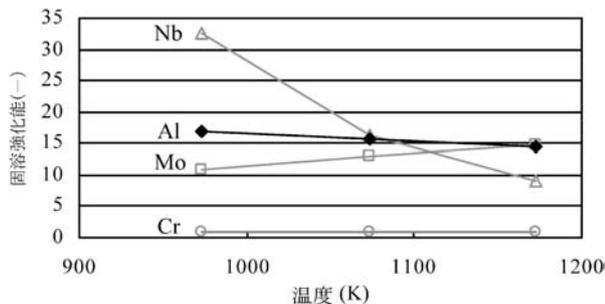


図2 各元素の α Fe中の固溶強化能計算結果⁽³⁾.

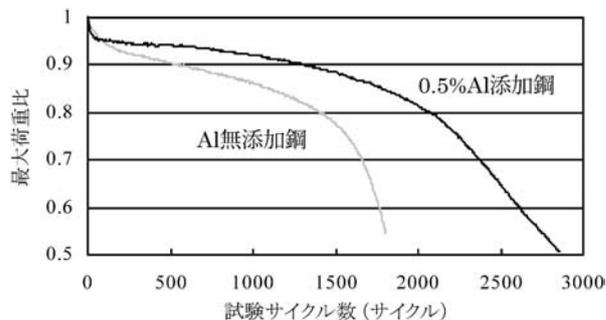


図3 熱疲労試験における最大荷重変化⁽³⁾.

向上させたフェライト系ステンレス鋼は既に開発されている⁽⁴⁾が、Alを固溶強化元素として用いた開発例は無い。

本開発鋼は、エキゾーストマニフォールドのように昇温と降温が繰り返され、他部品からの拘束による歪に起因して破壊に至るといった環境下における、Alの固溶強化元素としての挙動に着目し、開発したものである。

(2) 熱疲労特性に及ぼすAl添加の影響

熱疲労試験は、最高温度 1103 K、最低温度 473 K とし、予め測定した自由膨張曲線を元に、拘束率を0.4として行った。

図3に17%Cr-0.45%Nb-1.25%Cu鋼の熱疲労試験中の最大荷重変化を示す。荷重は初期5サイクル目の値より規格化した。Al無添加鋼に比べ、Al添加鋼は荷重の低下が緩やかであることがわかる。

熱疲労試験中の変形挙動を調べるため、試験片平行部の断面積を求めた。その経時変化を図4に示す⁽³⁾。Al添加鋼は、Al無添加鋼に比べ断面積の減少開始が遅く、その減少速度も緩やかであることが分かる。1400サイクル時点で比較すると、Al無添加鋼では断面積が試験開始前に比べ約70%まで減少していたのに対し、Al添加鋼では断面積は90%程度までしか減少していなかった。

次に、歪速度の影響について考察する。一般に、高温における強度には歪速度依存性が現れる。熱疲労試験における歪速度は 10^{-5} s^{-1} であり、通常の高温引張試験が行われる 10^{-3} s^{-1} に比べて小さい。図5に、1073 Kでの引張試験を、異なる歪速度で行った結果を示す⁽³⁾。通常の高温引張試験が行われる歪速度 10^{-3} s^{-1} の場合に比べ、熱疲労試験を想定した 10^{-5} s^{-1} 程度の低歪速度領域において、Al添加による高強度化の効果が大きくなっていることが分かる。

図6に、17%Cr-0.45%Nb-1.25%Cu-0.5%Al鋼を用い、1103 Kにおいて異なる歪速度で20%の歪を与え急冷した後の組織を示す⁽³⁾。歪速度が大きい場合、粒内に転位は見られなかったのに対し、歪速度が小さい場合は粒内に転位が分布していた。このことは、高歪速度側では、転位が自由に移動 (Free flight motion) できる純金属型変形であるのに対し、低歪速度側では、転位は粘性運動 (Viscous motion) をする固溶強化型変形であることに起因しているものと考えられる。

以上より、歪速度が 10^{-5} s^{-1} 程度の小さい熱疲労試験において、Alは固溶強化によって鋼を高強度化し、ネッキングを抑制することで熱疲労特性を向上させることが分かった。

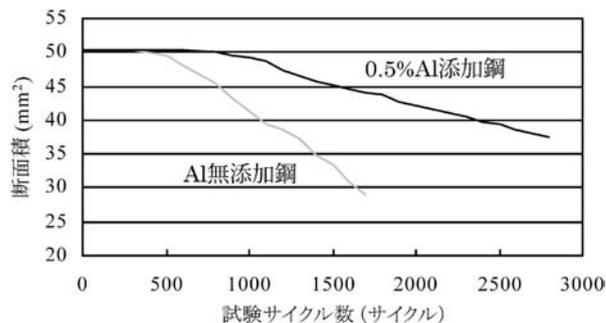


図4 熱疲労試験中の断面積変化⁽³⁾.

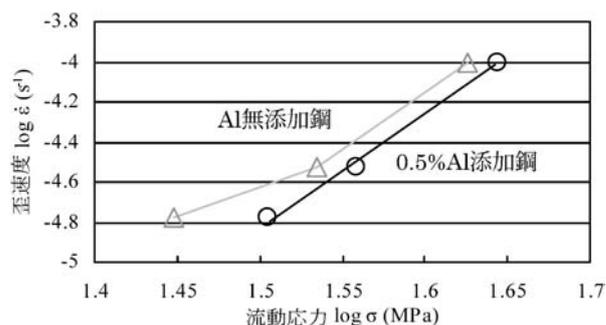


図5 1073 Kにおける流動応力と歪速度の関係⁽³⁾.

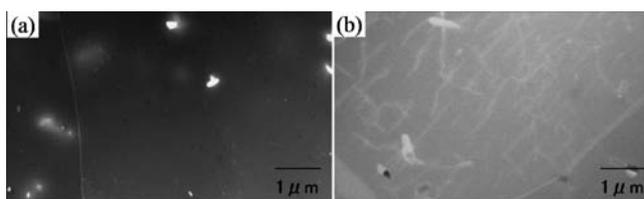


図6 1103 K, 20%歪付与後のTEM組織写真。歪速度(a) $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, (b) $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

3. 開発鋼の特性

本製品 JFE-TF1 は、Cuの析出強化に加え、Alの固溶強化を活用することで、Moを添加することなくMo添加高耐熱鋼 SUS444 と同等以上の耐熱性を有する省資源型高耐熱フェライト系ステンレス鋼である。化学成分例を従来鋼と比較して表1に示す。加工性・製造性とのバランスを考慮し、Alは0.35%とした。

図7に開発鋼 JFE-TF1 の熱疲労特性 (最高温度 1103 K、拘束率0.4) を、従来鋼と比較して示す。JFE-TF1 の熱疲労

表1 開発鋼 JFE-TF1 と従来鋼の化学成分例(mass%).

鋼種		Cr	Nb	Mo	Cu	Al
JFE-TF1	高耐熱鋼	17.5	0.45	—	1.25	0.35
Type429	耐熱鋼	14.6	0.44	—	—	—
SUS444	高耐熱鋼	18.9	0.52	1.8	—	—

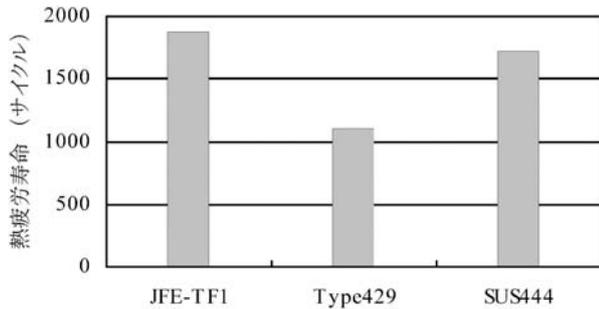


図7 開発鋼 JFE-TF1 と従来鋼の熱疲労寿命比較.

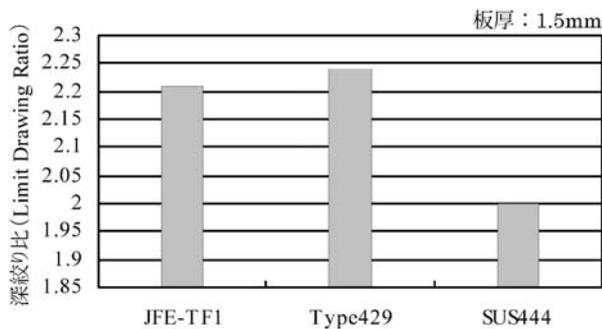


図8 開発鋼 JFE-TF1 と従来鋼の深絞り成形性.

寿命は Type429 に比べ優れており、SUS444 と同等以上であることが分かる。

図8に JFE-TF1 と従来鋼の深絞り成形性を示す。JFE-TF1の成形性は高耐熱鋼である SUS444 に比べて優れており、Type429 と同等で良好である。

その他に、開発鋼 JFE-TF1 は、高温疲労特性や耐酸化性についても SUS444 と同等以上で優れており、総合的に SUS444 と同等以上の耐熱性を有している。したがって、JFE-TF1 は、SUS444 に置き換えることで省資源(Mo)化するとともに、より複雑な形状への加工が可能となり、また、Type429 に比べて耐熱性が優れているため、薄肉化による軽量化に寄与することが出来る(図9)。

4. 実績と将来性

JFE-TF1 は2010年から販売を開始しており、国内自動車

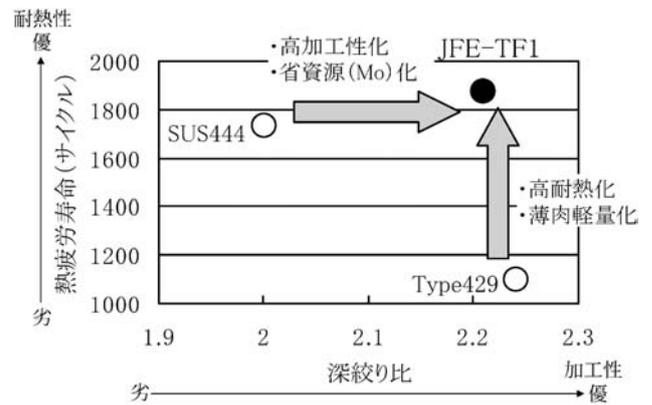


図9 開発鋼 JFE-TF1 と従来鋼の耐熱性と加工性.



図10 開発鋼 JFE-TF1 が使用されたコンバータケース.

メーカーにて SUS444 の省 Mo 化、または Type429の薄肉軽量化を目的として採用されている(図10: JFE-TF1 を使用した製品例)。Type429に対しては、20~25%程度の薄肉化が達成されている。2013年度の販売量は 130 t/月まで拡大(前年度比5倍)しており、今後、排ガス規制強化や燃費のさらなる向上のため、JFE-TF1 の採用は拡大していくことが期待され、JFE では2017年に 500 t/月の販売量を目指している。

5. 特許

国内: 特許4702493号登録済。他関連9件出願済。

海外: 米国8153055号, 韓国1263584号他2ヶ国で登録済。

文献

- (1) 例えば、宮崎 淳, 郡司牧男, 吉岡啓一: 川鉄技報, **25** (1993) 2, 112-118.
- (2) 例えば、中村定幸, 鈴木 聡, 大久保直人, 長谷川守弘, 宮楠克久: CAMP-ISIJ, **12**(1999), 517.
- (3) H. Ota, T. Nakamura and K. Maruyama: Mater. Sci. Eng. A, **586** (2013), 133-141.
- (4) 川崎龍夫: 特殊鋼, **37**(1988), 50.

優先配向制御による高耐熱性・高曲げ加工性 銀めっき膜の開発

宮澤 寛¹⁾ 篠原圭介²⁾
尾形雅史^{**} 菅原 章³⁾

1. 開発背景

銀めっき膜は、優れた導電性、接触抵抗値、半田付け性、ワイヤーボンディング性を有し、各種スイッチおよびコネクタの接点材料として幅広く利用されている。

近年、燃費向上および二酸化炭素排出量削減を目的とした自動車の電動化により、ハイブリッド車や電気自動車に搭載される高電圧コネクタの接点に、銀めっき膜が採用され始めている。これは車載端子の表面処理に広く用いられている錫リフローめっきでは、耐熱性や耐摩耗性の要求が満たせず接点の高電圧・大電流化に対応できないためである。

しかしながら従来の銀めっき膜は、特に耐熱性が十分とは言えず、高電圧コネクタの製品性能を満足し、信頼性を確保するためには、銀めっき膜を厚くしなければならぬ課題がある。すなわち銀めっき膜の耐熱性の向上が求められており、特性向上による銀めっき膜の薄膜化が可能になれば、コスト低減によるハイブリッド車や電気自動車の普及拡大および貴金属材料の省資源化へ多大な貢献が期待できる。

工業的に用いられる従来の銀めっき膜は、長年、膜の純度、外観状態や膜厚のみで規定されてきていた。JISにおける工業用銀めっき膜の区分は膜厚、外観状態を定めるのみである。外観状態は無光沢、半光沢、光沢などに分類されている。同様に ASTM における銀めっき膜の分類は、銀めっき膜純度、外観状態、表面処理の有無である。これまで銀めっき膜の結晶状態に着目した特性改善は検討されてこなかった。

また銀めっき膜には、銀-アンチモン合金めっき膜に代表

される銀合金めっき膜があり、多くの研究がされている。しかしながら、通常 2 mass% 程度のアンチモンを含有する銀-アンチモン合金めっき膜は、高温環境下では銀合金めっき膜中のアンチモンの酸化が生じ、接触抵抗値が上昇するため、耐熱性に劣る問題がある⁽¹⁾。したがって、高い耐熱性が要求される高電圧コネクタ接点には適応することができない。更に曲げ加工性にも劣り、工業的にもめっき膜の成膜速度が上げられず生産性が低くコスト高である問題がある。

著者らは、銀めっき膜の成膜工程条件と結晶状態との関係について研究を進めることで、銀めっき膜の主要な配向状態である {200}、{111}、{220} 配向それぞれに優先配向を制御する技術を開発した。さらに銀めっき膜の優先配向制御技術を応用し、{200} 配向強度比の極めて高い {200} 優先配向銀めっき膜を開発した。

{200} 優先配向銀めっき膜は、めっき後の再結晶現象を積極的に利用する製造プロセスを用いる。{200} 優先配向銀めっき膜により高電圧コネクタ接点に要求される高い耐熱性を達成し、且つ曲げ加工性、低コスト化を両立することが可能になった。

2. 銀めっき膜の優先配向制御技術の開発

銀めっきの工程条件である、銀めっき液組成、添加剤濃度、温度、めっき成膜速度を制御することで、{200}、{111}、{220} の 3 つの結晶方位について優先配向制御を可能とした。図 1 にそれぞれの結晶方位に配向制御した銀めっき膜の XRD 結果を示す。なお、各回折ピークの配向強度比は式(1)により求めている⁽²⁾。

$$X_{\{hkl\}} = (I_{\{hkl\}}/I_{0\{hkl\}}) / (\sum (I_{\{hkl\}}/I_{0\{hkl\}})) \quad (1)$$

$I_{\{hkl\}}$: {hkl} 回折ピーク強度測定値
 $I_{0\{hkl\}}$: JCPDS カード記載の {hkl} 回折強度

図 1 より {200}、{111} および {220} 優先配向銀めっき膜の配向強度比はそれぞれ 89、66、86% であり、高い配向強度比を有することが分かる。したがって成膜工程条件を最適化することにより、銀めっき膜の {200}、{111}、{220}、各結晶

* DOWA メタルテック株式会社めっき事業部本庄技術センター；1)センター長 2)主任研究員
3)金属加工事業部；取締役事業部長

** DOWA ハイテック株式会社めっき加工部；担当課長
Development of Electrodeposited Silver Layer by Improving Crystal Orientation; Hiroshi Miyazawa*, Keisuke Shinohara*, Masafumi Ogata**, Akira Sugawara* (*DOWA METALTECH Co., Ltd. **DOWA HIGHTECH Co., Ltd.)
2014年10月30日受理[doi:10.2320/materia.54.21]

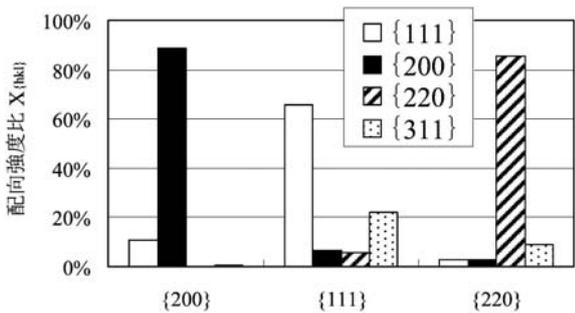


図1 各優先配向銀めっき膜の配向強度比.

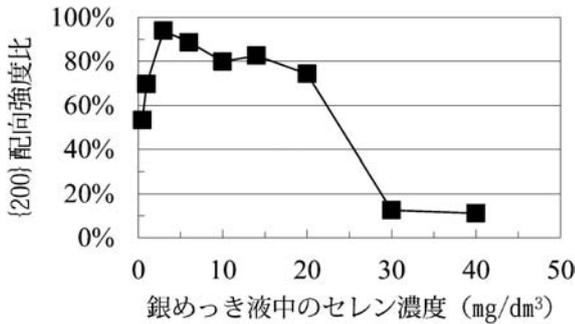


図2 銀めっき液中のセレン濃度と{200}配向強度比.

方位について、高い配向強度比に制御可能であることが分かる。

3. {200} 優先配向銀めっき膜の開発⁽²⁾

銀めっき膜の優先配向制御技術を元に、用途特性に合わせた{200}優先配向銀めっき膜を開発した。特に高電圧コネクタの接点に求められる耐熱性と曲げ加工性の両立を目指し、{200}配向強度比のさらなる向上を検討した。

成膜速度を下げるることなしに、銀めっき膜の{200}配向強度比を向上させる一例として、銀めっき液中のセレン濃度が銀めっき膜の{200}配向に及ぼす影響を示す。図2より、銀めっき液中のセレン濃度と銀めっき膜の{200}配向強度比との間には密接な関係が認められる。

次に{200}優先配向銀めっき膜の生成機構を示す。{200}優先配向銀めっき膜はめっき後の時効処理にともなう再結晶により生成する。図3に{200}優先配向銀めっき膜の時効処理による、めっき直後からの結晶状態変化を示す。XRDを用いて、めっき直後から、1 h, 3 h, 7 h, 24 h, 72 hそして168 h時効後の配向強度比の変化を調べた。{200}優先配向銀めっき膜は、めっき後3 h時効後から、{200}配向強度比の上昇が認められた。その後、7 h時効後では{200}配向強度比の上昇はほぼ完了した。

さらに{200}優先配向銀めっき膜の時効処理での結晶状態変化を明らかにするため、めっき成膜直後および再結晶完了後の試料を用意し、CPおよびFE-SEMによる結晶状態の断面観察を行った。銀めっき成膜直後、銀めっき膜は数 nmの微細な結晶粒子からなっている(図4(a))。これに対して、再結晶完了後は3 μm程度の大きな結晶粒子へ変化して

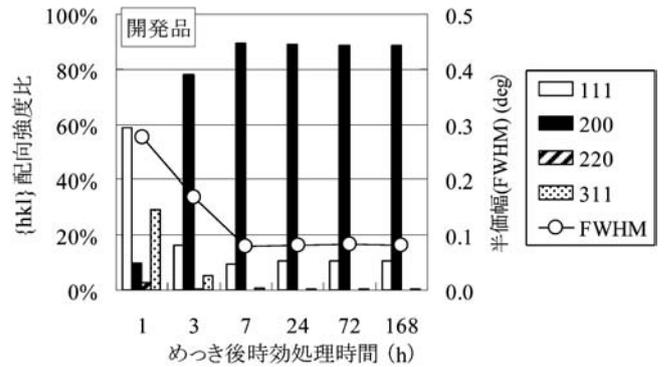


図3 開発品の時効処理による配向強度比変化.

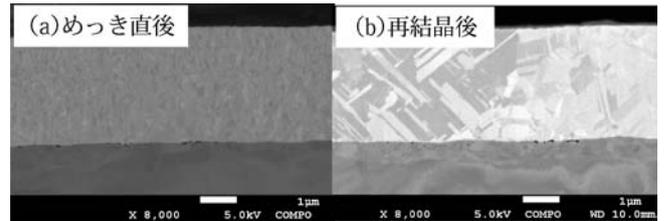


図4 断面観察結果. (a) めっき直後, (b) 再結晶後.

いる(図4(b)).

このように銀めっきの各種工程条件の最適化とめっき後の時効処理により、成膜速度を下げることなく、最終的に{200}配向強度比が94%と極めて高い{200}優先配向銀めっき膜を開発することができた。

4. {200} 優先配向銀めっき膜の特長⁽²⁾

(1) {200} 優先配向銀めっき膜の特長

{200}優先配向銀めっき膜についてEBSDを用いて表面の結晶方位分布を解析した。試料表面における試料面法線方向(ND)の結晶方位を解析し、[001]方位を有する結晶の表面分布を求めた。なお、測定許容差は10°以内とした。図5より、{200}優先配向銀めっき膜は、黒色で示される面積が広く、結晶が40 μm程度の大きさで分布している。[001]方位の面積分率は44%と高い結果となった。これに対して、従来品は黒色で示される面積が狭く、全体に点在している。[001]方位の面積分率は5~10%と低い結果となった。

(2) 耐熱性

{200}優先配向銀めっき膜の耐熱性について示す。図6に、従来品と{200}優先配向銀めっきの200°C、72 h耐熱試験による接触抵抗値の変化を示す。従来品は48 h程度で接触抵抗値が上昇する。一方、{200}優先配向銀めっき膜は、耐熱試験後の接触抵抗値が3.5 mΩ以下で劣化が極めて小さく、良好な耐熱性を有する。

図4に示すとおり、{200}優先配向銀めっき膜は、めっき後の再結晶により、試料面法線方向(ND)に{200}面を揃えた状態で生成する。めっき後の再結晶により得られた{200}優先配向銀めっき膜は、銅の拡散経路となる銀めっき膜の結

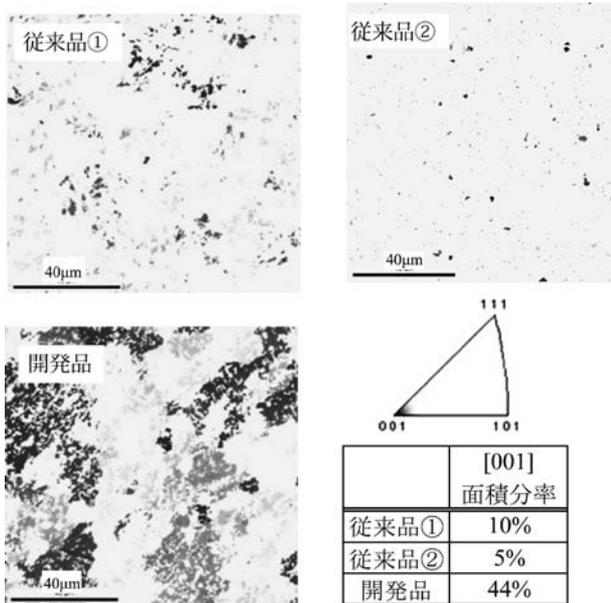


図5 EBSDによる[001]面積分率測定結果.

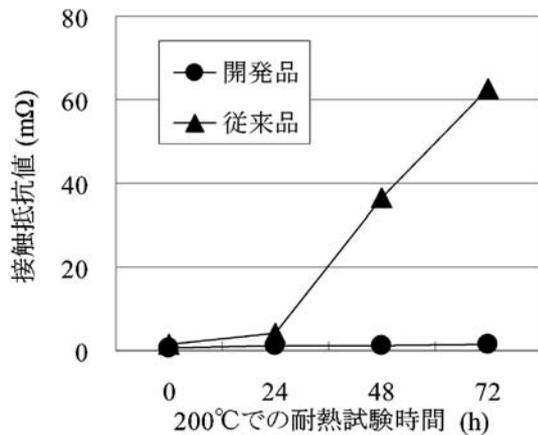


図6 耐熱試験結果の比較(200°C).

晶粒界が少ない。そのため、耐熱試験において、接触抵抗値上昇の原因となる下地銅素材からの銅の粒界拡散が抑制される。従って{200}優先配向銀めっき膜は、極めて高い耐熱性を有する。

(3) 曲げ加工性

図7に曲げ試験(90°曲率半径0.1mm: JIS Z248)による曲げ加工性評価結果を示す。従来品の銀めっき膜は表面に多数のクラックが発生している。これに対して、開発品である{200}優先配向銀めっき膜は、曲げ試験による表面のクラック発生がなく曲げ加工性に優れている。

近年、銅合金において集合組織を制御することにより、強度、導電率と曲げ加工性を両立する事例が報告されている。

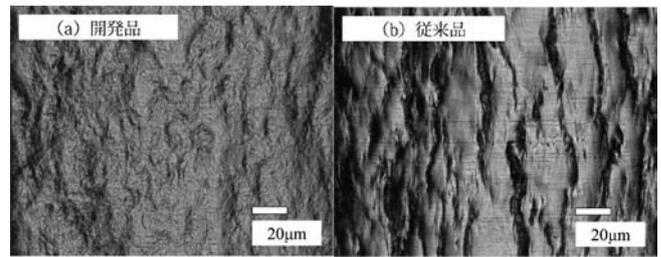


図7 曲げ試験結果。(a) 開発品, (b) 従来品.

特に cube 方位集合組織は曲げ加工性に優位であることが知られている⁽³⁾。銀も銅と同様に fcc 金属であり、銅合金で知られているように cube 方位の分率が高い場合に曲げ加工性が向上すると考えられる。結晶構造の詳細解析結果より、{200}優先配向銀めっき膜は[001]方位の分率が高い(図5)。また、金属材料は結晶粒径が小さい方が、粒界すべりの作用により、曲げ加工性が向上する。しかしながら{200}優先配向銀めっきは、XRD 測定結果(図3)および断面観察結果(図4)より、結晶粒径が大きい。{200}優先配向銀めっき膜は、めっき後の再結晶により、結晶粒径が大きくなると同時に転位密度が減少することで、曲げ加工性が向上する。上記より、{200}優先配向銀めっき膜は、曲げ加工性に優位な cube 方位の分率が高く、めっき後の再結晶により転位密度が減少することにより、曲げ加工性が向上する。

5. 実績, 将来性, 発展性

銀めっき膜の優先配向制御技術および{200}優先配向銀めっき膜に関する特許は、現段階で世界各国に合計26件出願しており、研究成果が特許の面でも大きく展開されている。

また、優先配向制御技術を応用した銀めっき膜を、車載向け高電圧コネクタやスイッチ等の接点用めっき材としてサンプル提供を開始しており、既に一部は採用が決まっている。

更に本技術を用いた銀めっき膜は、近年価格が高騰する金めっき膜の代替としても注目されている。銀めっき膜の耐熱性を向上することで、自動車のエンジン制御機器向けの高信頼性コネクタ接点等で、金めっき膜を銀めっき膜で代替できる可能性があり大幅なコスト低減が期待できる。

以上のように、今回の開発技術は多くの可能性を秘め、その価値は極めて高いと言える。

文 献

- (1) 荒井健太郎, 飯干洋史, 平岡幸雄: 日本国公開特許公報2009-79250.
- (2) 宮澤 寛, 尾形雅史, 篠原圭介, 菅原 章, 莊司郁夫: 銅と銅合金, **53**(2014), 266-271.
- (3) 高 維林, 菅原 章, 木村 崇: まてりあ, **52**(2013), 26-27.

インサート材を用いた 異種材料間のレーザー接合技術の開発

水戸岡 豊* 山田 功作** 永田 員也***
日野 実**** 金谷 輝人*****

1. はじめに

各産業において、環境調和・省資源・省エネルギーを軸とした新規技術の創製が求められており、異種材料接合はこれらに必須の技術となっている。しかしながら、異種材料間の接合では、接合材間の物性差が大きいことから、熱を利用した接合（溶接や溶着等）は困難である。そのため、接着剤や機械的締結が用いられているが、生産性や接合品質に多くの課題があり、それらを改善する代替工法が強く要望されている。

筆者らは、異種材料を熱可塑性エラストマー（TPE）からなるインサート材を介してレーザーで接合する技術（開発プロセス）を開発した⁽¹⁾⁽²⁾。図1に開発プロセスによる異種材料接合の接合例を示す。開発プロセスでは、レーザーによる瞬時の接合が可能となり、接着剤や機械的締結と比較して、生産性が飛躍的に向上する。また最近、射出成形を利用した金属-プラスチック接合が提案されているが、それらの接合材同士が直接接合するプロセスと異なり、開発プロセスでは、接合材が柔軟なインサート材を介して接合するため、接合界面の応力が緩和され、接合信頼性を確保できる。

本稿では、既存法では実現できないレーザーを適用した先進的な異種材料接合技術について報告する。

2. 開発プロセス

開発プロセスは、TPE からなるインサート材を用い、接

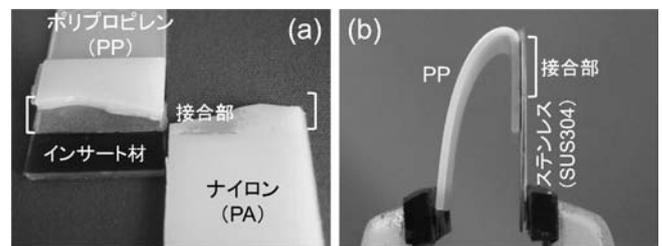


図1 開発プロセスによる異種材料接合の接合例。
(a) 異種プラスチック同士の接合, PP-PA 接合
(b) プラスチック-金属の接合, PP-SUS 接合

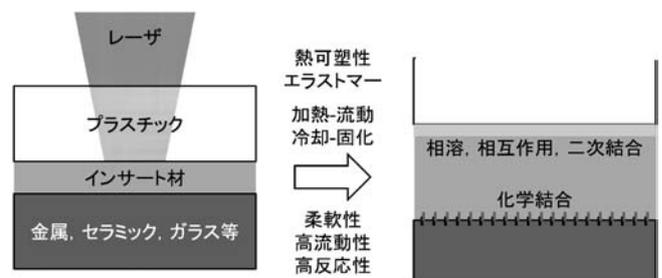


図2 開発プロセスの概要図。

接合材間の物性差を緩和することが最大の特徴である。TPE は、物理架橋しやすい硬い部分とそれらをしにくい軟らかい部分が含まれている。そのため、ゴムとは異なり、加熱すると流動性が発現し、冷却するとゴム状に戻る。また、加硫なしで加硫ゴムと同等の弾性を示す、補強なしで高強度ならびに高引張応力である等が特徴である⁽³⁾。このような特徴を活かし、最適な形状のインサート材に加工して用いる。

開発プロセスの概要図を図2に示す。接合材間にインサート材を配置した状態で、レーザーを照射し、TPEを熔融させ、接合品を形成する。このとき、異種材料の複合化の考え方にに基づき、熔融したTPEが接合材に接合することで接合品を形成する。TPEは、様々な材料に対して広く接合できる。プラスチックには相溶、相互作用、二次結合で接合し⁽¹⁾、金属などの異種材料に対しては極性官能基がそれらの

* 岡山県工業技術センター；研究員，**早川ゴム株式会社；部長，***旭化成ケミカルズ株式会社；特級高度専門職，****広島工業大学；教授，*****岡山理科大学；教授
Development of Laser Joining Technology between Different Materials Using Insert Material; Yutaka Mitooka*, Kosaku Yamada**, Kazuya Nagata***, Makoto Hino**** and Teruto Kanadani***** (*Industrial Technology Center of Okayama Prefecture, **HAYAKAWA RUBBER CO., LTD, ***Asahi Kasei Chemicals Corporation, ****Hiroshima Institute of Technology, *****Okayama University of Science)
2014年10月30日受理[doi:10.2320/materia.54.24]

表面と化学的結合により接合する⁽²⁾。材料同士が接合するためには、接合界面が近接し、反応する必要があるが、TPEの特性(柔軟性、高流動性、高反応性)がそれらを促進している。

また、接合の長期信頼性を確保するためには、接合界面に発生する応力を緩和する必要がある。熱応力は、弾性係数、線膨張係数および温度変化の積で算出される。プラスチックの弾性率が数 GPa 以上であるのに対し、開発プロセスで用いるインサート材の弾性率は、5~100 MPa であることから、インサート材は、接合界面の応力の緩和に有効に作用する。

(1) TPE-プラスチック間の接合

プラスチックは、同種あるいは近種のプラスチック間しか接合できない。プラスチック同士が強く接合するためには、相溶する(物質が相互に親和性を有し、溶液または混合物を形成する)必要がある。しかしながら、95%以上のポリマーの組み合わせは非相溶系である⁽⁴⁾。

一方 TPE は、広い範囲のプラスチックに接合できることを確認している⁽¹⁾。図 3 に示すように、熱可塑性エラストマーは、プラスチックの種類によって、相溶、相互作用および二次結合の 3 種類の形態で接合し、相溶あるいは相互作用の際、母材が破断するほどの強固な接合力が得られる(図 1(a))。相互作用および二次結合は、異種のプラスチック間ではほとんど起こらない現象である。

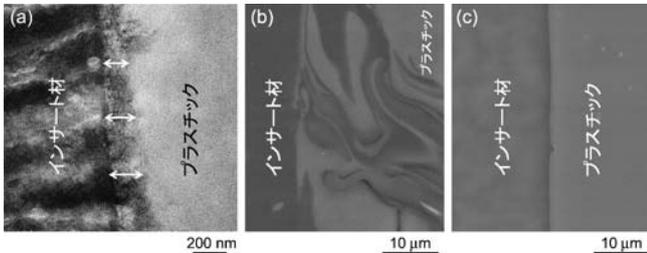


図 3 熱可塑性エラストマーとプラスチックの接合形態。(a) 相溶, (b) 相互作用, (c) 二次結合

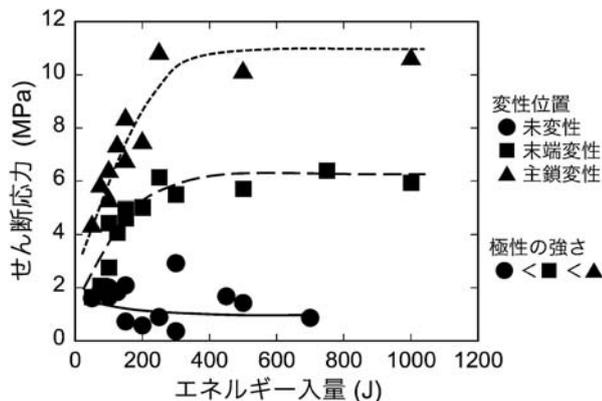


図 4 金属との接合性に対するインサート材中の官能基量の影響。

(2) TPE-金属間での接合

接合したポリプロピレン(PP)-インサート材-ステンレス(SUS304)接合のせん断試験の結果を図 4 に示す。スチレン系 TPE を COOH 基で変性し、その位置を変えることで、変性量(未変性<末端変性<主鎖変性)を調整した。未変性のインサート材を用いた場合には十分な接合強度が得られず、COOH 基の量が増加するほどせん断強度が増加する。このことから、TPE と金属間との接合は、極性基を利用した水素結合であることが明らかである。

次に、金属表面の影響について、接合性が水素結合に基づいていることから、接合性の向上には、表面形状の制御とともに、表面の化学状態の制御が重要である⁽²⁾。形状制御では、粗い表面の際にインサート材が凹部まで完全に充填されず、接合強度が低下する。他方、化学状態の制御では、アルカリ処理あるいは酸処理による表面の化学状態が接合性に対して重要な因子であり、酸処理ではインサート材が凝集破壊するほどの接合力が得られる。

また、温度サイクル試験、高温試験、耐湿試験等の耐久試験を実施したが、接合直後と同等の接合力を維持した。この結果は、接合後もインサート材が応力緩和層として機能していることを示している。

(3) 射出成形を利用した異種材料接合プロセスとの違い

近年、金属とプラスチックの接合について、種々のプロセスが提案されている。その多くは、プラスチックの射出成形を利用したものであり、機械的結合(アンカー効果)および化学結合に分かれる。前者では、金属表面を粗化した後、金属を金型内に設置し、その表面にプラスチックを射出し、接合品を得る。後者は、金属表面にプラスチックとの反応性を高める処理をした後、射出成形を行う。このとき、金属表面の処理には、湿式処理を用いることが多い。

しかしながら、上記プロセスでは、製品に応じた金型が必要になる、製品全体が加熱される等が課題である。また、金属表面の処理に湿式を用いる場合、部分的な処理にはマスキングが必要となる、表面処理が剥がれる等の問題もある。さらに、接合材同士が直接接合するため、接合の長期信頼性の確保が懸念されている。

それに対し、レーザー溶着をベースとした開発プロセスは、金型は不要であり、部分的な加熱(接合)が可能である。また、金属表面に対して、接合性を向上させるための特殊な処理は不要である。さらに、接合材間に柔軟なインサート材を介在させることで、接合界面に発生する応力が緩和され、接合の長期信頼性が確保できる。

3. 実績と将来性

(1) スマートフォンへの採用

開発プロセスは、スマートフォンの^{きょうたい}筐体とディスプレイ間の接合で実用化されている。従来、その間の接合には、図 5(a)に示す発泡基材の表面にアクリル系の粘着剤を塗布した両面粘着テープが使用されている。しかし、防水性、リーク

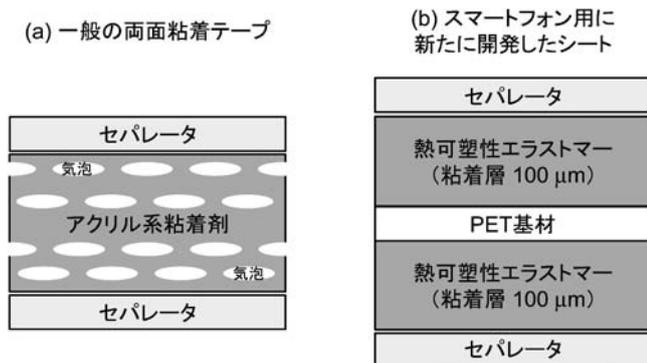


図5 両面粘着テープおよび開発したシートの構成。



図6 熱可塑性CFRP-インサート材-アルミニウム合金接合品の断面反射電子像。

性、接合強度などの問題があり、これらはいずれも発泡基材に起因するものである。

他方、開発したシートは、図5(b)のような構成をしている⁵⁾。粘着層は、TPEが主成分で非常に厚く、基材は、ポリエチレンテレフタレート(PET)で発泡層を持たないことから、上記の問題を解決できる。現在、開発プロセスは、AQUOS PHONE Xxシリーズ等に採用され、両サイドだけでなく、上辺の狭額縁化を可能にするとともに、防水仕様のスマートフォンでは世界最大級のディスプレイ占有率を実現することに成功した。

(2) 様々な分野への拡がり

開発プロセスは、両面粘着テープの代替えとして、スマートフォンで実用化され、既に500万セット以上の販売実績がある。さらにタブレット、ウェアブル端末、デジタルカメラ等でも実用化試作が展開され、これらの電子機器の高機能化に貢献している。

この他に接着剤の代替技術として、自動車部品等で試作評価が進められている。接着剤では、硬化時間、高コスト、揮発性有害物質の発生、塗布厚さによる品質のばらつき等が問題となっているが、開発プロセスはそれらの問題を解決できる。

また、軽量化効果の大きい炭素繊維強化樹脂複合材料(CFRP)が注目される中で、開発プロセスは、熱可塑性CFRPと異種材料の接合プロセスとして期待されている。

2009年度に実施したNEDO省エネルギー革新技术開発事業「革新的材料(CFRP)加工技術の事前研究」では、開発プロセスが調査対象となり、熱可塑性CFRPの接合に対して有用であることが示された。熱可塑性CFRP-インサート材-アルミニウム合金接合の断面反射電子像を図6に示すが、良好な接合界面が形成されていることが確認できる。

現在は、戦略的基盤技術高度化支援事業・経済産業省(サポイン事業)「自動車部品等の軽量化を促進するためのメタルとCFRPのレーザーを用いる異材接合技術のシステム開発」において、自動車産業での実用化を目指した研究開発を進め

ている。

さらに、開発プロセスについて、接合品の構造やTPEの特性に着目した試作開発も行われている。開発プロセスでは、接合材間にインサート材が介在するため、接合品は硬-軟-硬の構造をとり、従来にはない防音性、耐振性、耐衝撃性等の付与が期待されている。

2010~2012年度に実施したサポイン事業「鉄とアルミの異材溶接技術を用いた自動車部品軽量化の実用化研究開発」では、TPEの高い封止性に着目し、レーザー溶接と開発プロセスを併用することで、良好な結果が得られた。異種金属間溶接において、TPEが水の浸入を防ぎ、接合界面の応力が緩和することで、接合の長期信頼性を確保できた。

以上、本開発プロセスは、高効率・高品質な異種材料接合プロセスとしてだけでなく、新規な機能を付与する革新的な接合プロセスとしても注目されており、金属材料の高機能化に極めて有用で、今後、多くの産業分野において、その適用が増大するであろう。

4. 特 許

本開発プロセスに関しては、基本特許として特許第4771371号、その他、特許第4714948号、特許第4771387号、特許第4849574号、特許第5327937号を取得している。また、国際特許出願も行い、米国、欧州、中国等で権利化を進めている。さらに関連特許として15件の追加出願を行っている。

文 献

- (1) 水戸岡 豊, 日野 実, 浦上和人, 高田 潤: レーザ加工学会誌, **16**(2009), 136-140.
- (2) 日野 実, 水戸岡 豊, 村上浩二, 浦上和人, 長瀬寛幸, 金谷輝人: 軽金属, **60**(2010), 225-230.
- (3) 山下晋三ら: エラストマー, 共立出版, (1989), 61-83.
- (4) 大阪市立工業研究所, プラスチック技術協会: プラスチック読本, プラスチックスエージ, **25**(1992).
- (5) 山田幸作: JETI, **61**(2013), 58-61.

高等教育機関卒業後の企業における 若手人材育成アンケート実施報告

人材育成委員会

人材育成委員会では、事業の一環として高等教育機関卒業後の企業における若手人材育成アンケート(30頁参照)を実施しましたので、その概要と結果を報告します。

1. アンケート実施の趣旨

本会では、材料分野の若手人材育成の観点から、皆様に役立つ教育・育成プログラムの提供を目指して具体案を検討中ですが、特に企業における高等教育機関卒業後の若手人材育成について企業ご所属の正員の皆様にアンケートを実施して、企業の若手人材育成教育の実施状況および本会の人材育成事業へのニーズや期待を把握し、今後の具体的なプログラムの作成に活用することといたしました。

2. アンケートの概要

アンケートは無記名で企業所属正員1,309名へのE-mail送受信にて2014年5月2日～6月30日で実施しました。

3. アンケート結果

(1) 業種および所属

アンケート回答者の業種および所属(問1, 問2)を見ますと、業種別では鉄鋼企業、所属では研究部門の回答率が高い傾向にありました。

アンケート対象者は1,309名で、内訳は鉄鋼企業1,086名、非鉄企業46名、製造業167名、その他10名です。

アンケート回収率は14%で、181名から有効な回答を頂きました。回答者の業種および所属は、鉄鋼企業88名(研究67名、生産10名、管理8名、その他3名)、非鉄企業36名(研究27名、生産2名、管理5名、その他2名)、製造業50名(研究36名、生産8名、管理3名、その他3名)、その他7名(研究4名、管理1名、その他2名)でした。アンケート対象者の構成に比較してアンケート回答者は、分野では鉄鋼に、所属では研究に少し偏っていました。

(2) 本会講習会への参加状況

本会の講習会への参加状況(問3)をお聞きしましたところ、「参加したことがある人」が43%、「知っているが参加したことがない人」が50%、「知らない人」が7%でした。

「本会の正員で講習会があることは知っていても実際に講習会に参加したことがない人」が半数で、適切な講習会の開催と広報の強化が課題であることが浮き彫りになりました。参加したことがある講習会の種別では、「全般・材料・素材」が46%、「メタラジー基礎(プロセス、加工熱処理、組織制御等)」が36%、「利用技術・基盤技術(溶接、腐食、疲労・破壊、分析、評価、計算等)」が18%で、参加した講習会のテーマは、「材料・素材別」が1/2弱で、本会が得意とするメタラジー基礎は1/3にとどまりました。具体的には、高温耐食材料、集合組織、相変態、磁性材料、チタン材料の講習会への参加者が多いようです。

(3) 入社後の教育

技術系社員の入社後の教育(問4)に関してお聞きしましたところ、「入社後の技術・科学教育の必要性(問4-1)」に関しては、「必要である」が100%で、「不要」はなしでした。また、「OJT(On the Job Training)以外の技術教育の必要性(問4-2)」については、「必要である」が99%、「不要」が1%で、圧倒的多数がその必要性を感じておられます。また、「社内の技術教育実施有無(問4-3)」については、「実施している」が89%、「実施していない」が10%、「無回答」が1%で、ほとんどの企業で社内技術教育を実施しておられます。

「社内講師による技術教育(問4-4)」に関しては、回答中70%が「①系統的、体系的、継続的に実施」しておられ、その実施テーマは、「全般・材料・素材」が25%、「メタラジー基礎(プロセス、加工熱処理、組織制御等)」が35%、「利用技術・基盤技術(溶接、腐食、疲労・破壊、分析、評価、計算等)」が21%、「材料周辺分野・異分野技術」が12%、「その他」が7%で、鉄鋼材料全般、鉄鋼製造プロセスから材料・周辺技術までの体系的教育、自社製造工程などが多く、個別技術では熱処理、溶接、品質管理、統計分析などが多いようです。鉄鋼企業ではプロセス、材料の基礎から応用、関連技術までの教育プログラムが完備されており、その内容の満足度については「十分である」が回答中50%、「不足している」が50%で拮抗しています。「社内講師による技術教育(問4-4)」を「②単発的に実施」しているが回答中30%あり、その実施テーマは、「全般・材料・素材」が18%、「メタラジー基礎(プロセス、加工熱処理、組織制御等)」が28%、「利用技術・基盤技術(溶接、腐食、疲労・破壊、分析、評価、計算等)」が20%、「材料周辺分野・異分野技術」が14%、「その他」が20%で、「①系統的、体系的、継続的に実施」に比較してその他のテーマが多いことが注目されます。その他には、品質工学、統計学の他、ネック技術課題への取り組みなど企業ニーズの強いテーマがみられました。その内容の満足度については「十分である」が47%、「不足している」が53%で、ほぼ半々でした。

「社外の講習会・セミナーへの参加(問4-5)」に関しては、「①系統的、体系的、継続的に参加」が回答中19%で、主に参加している講習会の主催学会(複数回答可)のトップ13は、日本鉄鋼協会：61名、日本金属学会：47名、日本塑性加工学会：28名、腐食防食学会：23名、日本熱処理技術協会：22名、日本機械学会：18名、溶接学会：17名、日本材

料学会：16名，軽金属学会：13名，表面技術協会：11名，日本顕微鏡学会：10名，粉体粉末冶金協会：9名，日本分析化学会：8名ですが，他に，日本学術振興会：12名，SPring-8：9名，物質・材料研究機構：8名のように学協会以外の機関が主催のセミナーへの参加もありました。一方，「②単発的に参加」が回答中75%と大多数でした。「①系統的，体系的，継続的に参加」と「②単発的に参加」を併せた満足度は，「満足」が19%，「まあまあ・企画により満足」が78%，「不満」が3%で，不満の理由は，ニーズ不一致(実用的なものが少ない，入門的なものが少ない)が多く，開催頻度や開催時期，参加人数枠の不一致もあったことから，工夫次第で潜在ニーズを掘り起こせる可能性があると感じられます。また，「③参加していない」は回答中6%で，理由は「社内教育で十分」が3名，「費用」が3名，「目的に合わない」が4名，「開催場所が遠い」が3名，「公開のため聞きたいことが質問できない」が1名でした。

「社外講師による社内教育(問4-7)」に関しては，「①系統的，体系的，継続的に実施」が回答中25%で，その実施テーマは，「全般・材料・素材」が32%，「メタラジー基礎(プロセス，加工熱処理，組織制御等)」が26%，「利用技術・基盤技術(溶接，腐食，疲労・破壊，分析，評価，計算等)」

が21%，「材料周辺分野・異分野技術」が12%，「その他」が9%で，具体的には鉄鋼プロセス・鉄鋼材料や金属学概論，解析技術が多いようです。一方，「②単発的に実施」は回答中63%で，その実施テーマは，「全般・材料・素材」が11%，「メタラジー基礎(プロセス，加工熱処理，組織制御等)」が19%，「利用技術・基盤技術(溶接，腐食，疲労・破壊，分析，評価，計算等)」が25%，「材料周辺分野・異分野技術」が13%ですが，「その他のテーマ」が32%と多く，品質管理，知的財産権，プロジェクトテーマ等や会計知識のテーマもありました。「①系統的，体系的，継続的に実施」と「②単発的に実施」の満足度は 回答中「満足」が33%，「まあまあ・企画により満足」が63%，「不満」が4%で，「不満」の理由の多くは「中小規模企業所属者にはレベルがあっていない」ことで，基礎的な教育への期待が多いと思われます。また，「③実施していない」が12%あり，その理由は「費用」が3名，「企画できない」が6名，「ネットワークがない」が3名，「エンジニアリング的要素が多いものが求められるため」が1名でした。

以上の結果のうち，企業教育形態と実施状況の関係を図1に，社内教育形態および実施状況とテーマ種別の関係を図2にまとめて示します。図1から，企業活動に必要な教育は

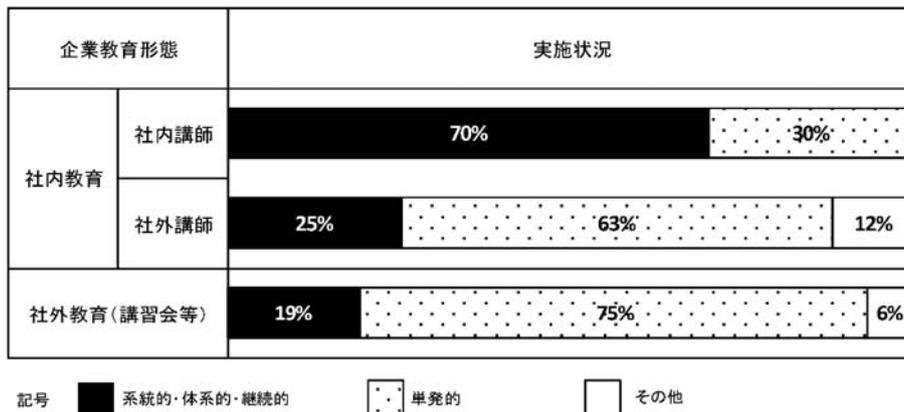


図1 企業教育形態と実施状況の関係。

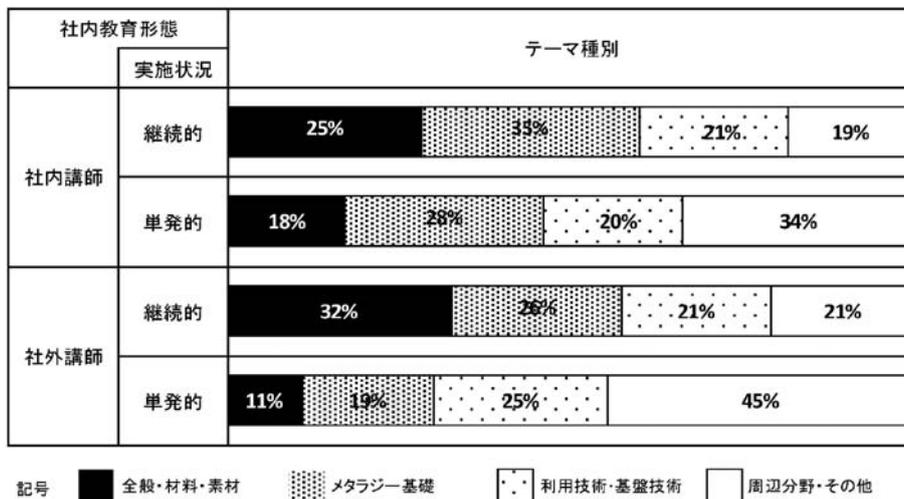


図2 社内教育形態とテーマ種別の関係。

社内講師で系統的・体系的・継続的に実施し、不足する社内教育を社外講師によって主に単発的に実施し、それでも不足する教育を社外セミナー等に単発的に参加することで補充しようとしていることがわかります。図2から企業活動に必要なテーマである全般・材料・素材のテーマとメタラジ基礎のテーマを加えると社内講師による社内教育のテーマの約半数となっており、企業教育の主眼となっています。利用技術・基盤技術のテーマは社内教育形態を問わず約2割となっており重要なテーマであることを示しています。品質管理や知的財産等のその他のテーマは、講師が社内か社外かを問わず、主に単発的な実施になっています。

「企業への出前講義等個別ニーズ対応教育(問4-9)」に関しては、「①大いに期待する」が回答中10%、「②企画次第」が61%でした。「実施希望講義および関連意見(問4-10)」については、「一般・材料・素材関連」では材料工学・金属材料学・自社材料概論が多く、「鉄鋼材料」では概論でなく残課題・テーマのニーズがあり、燃料電池材料や電子機器材料、医療・食品材料等先端応用材料に関する希望もありました。「メタラジ基礎」では、個別プロセス、熱力学・状態図、速度論、塑性変形・加工熱処理、組織制御に関する基礎(結晶学、拡散、転位論、相変態、再結晶、析出物、強度)の要望が多く、「利用技術」では、溶接、腐食、疲労・破壊の要望が多く、「基盤技術」では分析・計測技術、解析・評価技術、計算技術・シミュレーションが多いようです。「材料周辺分野・異分野技術」では、化学、物理、機械、資源関係があり、「その他」では、応用数学、規格、論文の書き方、実験計画法、研究倫理がありました。その一方で、「社内教育や他の学協会で行っている事業で対応できるので不要」との意見もありました。「費用」については低額化または無料化の意見があり、「講義時間」については集中講義や数週間にわたる連続講義の要望がありました。基礎と応用のバランスについては基礎重視と応用重視で意見が拮抗しております。その他内容全般について、「ビデオやスクリーニングも含めた学習塾のような形式」、「受講後のフォロー(個別相談)とのセット開催」、「講師適任者リストの提供」、等への要望意見がありました。一方、「③期待しない」が回答中29%あり、理由は「個別に対応する」、「社内教育で足る」、「民間セミナーを利用」、「レベルが合わない(基礎を期待)」等でした。

(4) 日本金属学会への希望・意見

日本金属学会へのご希望・ご意見(問5)に関しては、「人材育成は重要(課題)である」との多数意見がある一方、「社内に対応できる」あるいは「本会では多様なニーズに対応できないのではないか」との意見もありました。また、「人材育成事業は関係学協会との連携で推進するあるいは重複を避けて運営すべき」との意見もありました。

講習会・セミナー全般について、「受講者レベルに合わせたクラス別の開催」、「材料系以外の専攻者のための基礎から基礎と応用をつなぐ系統的なプログラムの提供」、「基礎講習会および他の学協会に対応していない先端テーマ講習会」、「ニーズを事前調査しニーズにあわせたセミナーの開催(例:

知的財産、会計)」、「企業の所在地区での開催」、「実務への活用ができること」、「セミナー情報のダイレクト e-mail 送信」等への要望意見がありました。

講習会・セミナーの具体的なテーマ・ニーズに関しては、「日本鉄鋼協会の蔵王セミナーの非鉄金属材料版」、「メタラジ基礎(状態図、相変態、拡散、相変態、平衡論と速度論、核成長、金属組織、材料特性、冶金製錬、スラグリサイクル)」、「利用技術・基盤技術(組織解析、分析機器のデータの見方、計算材料科学)」、「材料周辺分野・異分野技術」、「まてりあ解説記事の授業」、「文書作成、科学技術英文・論文の書き方、プレゼンテーションの仕方」等への要望意見がありました。

その他の具体的な事業に関しては、「資格認定事業」、「教科書・テキスト(基礎、応用)の刊行、eラーニング教材の提供」、「フランクな人材交流の場の提供」、「大学による支援(社会人ドクターコースによる学位取得、基礎教育)」、「初等教育段階からの金属材料の啓発、特に工業的有用性」、「ものづくり現場のプロセスで発生するトラブルに対応できる金属・材料の基礎的教育」、「まてりあにコラム記事掲載」、「研究会の若手参加」、「留学体験や成功体験のような普通の業務で経験しない魅力的な企画」等の希望意見がありました。

4. アンケート結果を踏まえた今後の対応

鉄鋼分野とその他の分野で、企業内における技術教育への取組みに差があり、鉄鋼分野においては企業内における技術教育が継続的で比較的充実しているようです。また、日本鉄鋼協会による鉄鋼工学セミナーや鉄鋼工学アドバンスドセミナーで系統的な人材育成のための教育活動も行われております。しかし、アンケート結果からは、内容に不足部分もあるという回答も相当数あることから、鉄鋼分野においては、鉄鋼関連企業にアンケートをとりつつ、日本鉄鋼協会の活動と重複しないように個別ニーズ対応の出前講義等を行うことを検討すべきかと思われれます。

一方、非鉄を含めた鉄鋼分野以外では、材料科学、材料工学に関する基礎的な教育に関する要望がかなりあります。特に、組織制御に関わる熱力学、状態図、結晶学、拡散、転位論、強度学、相変態論等本会が得意とする分野も多く、非鉄分野にフォーカスを絞った上記トピックスに関してのセミナーをシリーズとして企画することも効果的かと考えられます。

また、中小規模企業では、基礎的な教育への要望が多いことから、高等教育における材料科学の未修得者を対象とした入門的なセミナーの企画も有意義かと思われれます。

今回のアンケートにご回答いただきました皆様に感謝申し上げます。本アンケートの実施にあたっては、人材育成委員会の粉川博之委員、佐藤馨委員、及川勝成委員はじめ第3グループの委員の皆様および梶原事務局長にご尽力いただきました。

(委員長 西田 稔)

(2014年10月31日受理)[doi:10.2320/materia.54.27]

(連絡先: 〒816-8580 春日市春日公園 6-1)

高等教育機関卒業後の企業における若手人材育成アンケート

1. 業種 ()
2. 回答者のご所属 (該当する答えに○をつけて下さい)
(研究部門 生産部門・工場 本社管理部門 その他: _____)
3. 日本金属学会および支部が開催している講習会・セミナーについて (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 参加したことがある (具体例: _____)
 - 2) 知っているが参加したことがない
 - 3) 知らない 最近開催した講習会・セミナー・シンポジウムの例を添付しました。
4. 技術系社員の入社後の教育について
 - 4-1 入社後も技術や科学に関する教育が必要だと思えますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 必要である → 4-2へ
 - 2) 不要である → 5へ
 - 4-2 OJT(On the Job Training)以外の技術教育が(も)必要だと思えますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 必要である → 4-3へ
 - 2) 不要である → 5へ
 - 4-3 社内で技術教育を実施していますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 実施している → 4-4へ
 - 2) 実施していない → 4-9へ
 - 4-4 社内講師による社内の技術教育プログラムについて (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 系統的, 体系的, 継続的に実施している (実施しているテーマをお答え下さい: _____)
 - 2) 単発的に実施している (実施しているテーマをお答え下さい: _____)
 - 3) 内容は満足できますか? (十分である 不足している)
 - 4-5 社内の技術教育プログラムを補完するものとして, 社外の講習会・セミナーへ参加していますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 系統的, 体系的, 継続的に参加している → 以下の「※」に回答後, 4.6へ
 - 2) 単発的に実施している → 4.6へ
 - 3) 参加していない(参加していない場合は主たる理由をお答え下さい: 複数選択可 _____)
 - a) 社内の技術教育プログラムで十分である. b) 費用がかかる c) 役に立つ講習会がない d) 近くでの開催がない
 - e) 公開のため本当に聴きたいことを質問できない f) その他: → 4.7へ

※ 1), 2)の回答の方: 参加されている講習会の主催学協会に○をつけて下さい(いくつでも)
(公社)日本金属学会 (一社)日本鉄鋼協会 (公社)応用物理学会, (公社)化学工学会, (一社)資源・素材学会, (一社)日本機械学会, (公社)日本材料学会, (一社)日本塑性加工学会, (一社)日本熱処理技術協会, (公社)日本分析化学会, (一社)表面技術協会, (公社)腐食防食学会, (独)物質・材料研究機構, (一社)溶接学会, (公社)日本顕微鏡学会, (公社)高分子学会, 中性子産業利用推進協議会, SPring-8 利用推進協議会, (独法)日本学術振興会(産学協力研究委員会), (一社)軽金属学会, ナノ学会, (公社)日本鋳造工学会, 日本銅学会, (一社)日本熱電学会, (一社)日本非破壊検査協会, (一社)日本溶射学会, (一社)粉体粉末冶金協会
その他: (あればご記入下さい _____)

 - 4-6 社外の講習会, セミナーへの参加に満足していますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 満足である
 - 2) まあまあ もしくは 企画により満足
 - 3) 不満である 理由: _____
 - 4-7 社外の講師を招いて, 社内の教育を実施していますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 系統的, 体系的, 継続的に実施している (実施しているテーマをお答え下さい: _____)
 - 2) 単発的に実施している (実施しているテーマをお答え下さい: _____)
 - 3) 実施していない (実施していない場合は主たる理由をお答え下さい _____)
 - a) 費用がかかる b) 企画できない c) ネットワークがない d) その他: (_____) → 4.9へ
 - 4-8 社外の講師を招いての社内の教育に満足していますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 満足である
 - 2) まあまあ もしくは 企画により満足
 - 3) 不満である 理由: _____
 - 4-9 日本金属学会に企業への出前講義など個別のニーズにマッチした教育プログラムを期待しますか? (該当する答えに○をつけて下さい)
 - 1) 大いに期待する → 4.10へ
 - 2) 企画次第 → 4.10へ
 - 3) 期待しない, 不要. 理由: _____ →5へ
 - 4-10 実施して欲しい出前講義
自由に記載して下さい。(大学などで受講した講義で再度受講したい(または, 部下に受講させたい)もの(講義名・講師)があれば記載して下さい.)

- 5 若手人材育成に関して日本金属学会へのご希望・ご意見を自由にご記入下さい。

(以上)

本 会 記 事

会 告	日本金属学会75周年史 CD の発行について	31
	2015年春期(第156回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて	31
	2015年春期講演大会における企業説明会への学生参加者の募集	32
	2015年春期講演大会機器・書籍・カタログ展示会出展募集大会プログラム広告および講演概要集広告募集	33
	2015年春期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	33
	2015年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ募集	33
	論文賞(第63回)候補論文推薦(自薦)のお願い	34
	まてりあ賞(第5回)推薦(自薦)のお願い	34
	学術貢献賞(第13回)候補者推薦依頼	34
	功労賞(第13回)候補者推薦依頼	34
	奨励賞(第25回)候補者推薦依頼	34
	村上奨励賞(第12回)候補者推薦依頼	34
	会誌編集委員会からのお知らせ	35
	研究集会	36
	分科会シンポジウム報告	40
支部行事	次号予告	36 39
掲示板	材料系学協会情報コーナー	36 39
会誌・欧文誌1号目次	行事カレンダー	38 41
新入会員		39

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/>

・会告原稿の締切は毎月1日で、翌月号掲載となります。

・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。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

日本金属学会75周年史 CD の発行について

本会は、2012年2月14日に創立75周年を迎えました。このたび、75周年史を作成しCDに収録いたしました。本号付録として添付しておりますので是非ご活用下さい。

公益社団法人日本金属学会会長 新家光雄

2015年春期(第156回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期: 2015年3月18日(水)~3月20日(金)

場 所: 東京大学駒場I地区キャンパス(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

懇 親 会: 2015年3月18日(水)18:00~20:00

会 場: 東京大学駒場I地区キャンパス コミュニケーションプラザ南館1階「カフェテリア若葉」(今回は、キャンパス内で開催します。)

講演大会参加および懇親会参加予約申込締切: [2015年2月20日\(金\)17:00](#)

インターネットによる事前申込: <http://www.jim.or.jp/convention/2015spring/> よりお申込み下さい。

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、申込画面にて各自印刷が可能です。2月20日以降は当日申込みとなります。当日申込をご希望の方は、会場受付にて直接お申込み下さい。

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

予約申込締切日	2月20日(金) (申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付) (大会会場受付・現金払いのみ)
会員資格		
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

◆懇親会費(消費税込み)

予約申込締切日	2月20日(金) (申込および入金期日)	
	予約申込 (インターネット申込・事前支払い)	当日申込 (懇親会会場受付・現金払いのみ)
一般	5,000円	7,000円
同伴者(ご夫人またはご主人)	3,000円	3,000円

・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

◆支払方法

クレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、コンビニ決済の場合は、手数料をご負担願います。また、入金後のご返金は致しかねます。2月20日(月)の入金日をもって予約申込完了となります。

◆講演概要集 DVDのみ購入する場合(※講演発表・聴講するためには、上記大会参加申込みが必要です。)

件名を「2015年春期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」とし、①申込者氏名②会員資格(会員番号も併記)③申込数④住所をご記入の上、E-mail: ordering@jim.or.jp 宛にお申込み下さい。

3月4日の発行後、請求書を添えて送付いたします。

会員価：本体3,810円+税 定価：本体10,000円+税 送料：360円

参加申込・問合せ先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

(公社)日本金属学会 ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312(各ご連絡・お申込は、FAXでも可) E-mail: member@jim.or.jp

2015年春期講演大会における企業説明会へ学生参加者の募集

2015年春期講演大会開催時に合わせ、学生のキャリアサポートの一環として本会主催による企業説明会を開催します。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。講演大会に参加する学生を対象に募集しますので、奮ってご応募下さい。会場の都合上、座席数に限りがありますので、お早目にお申込み下さい。

開催日時 2015年3月17日(火)(春期講演大会の前日)10:00~17:00

開催場所 東京大学駒場Iキャンパス(21KOMCEE)(〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

主催 公益社団法人日本金属学会

協賛 東京大学キャリアサポート

参加企業 素材、材料関連の企業35社

スケジュール 10:00~13:45 企業プレゼンテーション(口頭説明会)

13:45~14:15 特別講演 前田正史先生(東京大学理事・副学長・教授)

14:30~17:00 企業ブース説明

応募資格 日本金属学会の春期講演大会の参加学生

応募方法 2015年春期講演大会の参加申し込み期間中に本会ホームページ上で、申し込みをする。

募集期間 2014年11月10日(月)~2015年2月20日(金)

~第1回企業説明会参加企業~

(50音順)

愛知製鋼株式会社	川崎重工業株式会社	栗田工業株式会社	株式会社神戸製鋼所
山陽特殊製鋼株式会社	JX 日鉱日石金属株式会社	JFE スチール株式会社	昭和電工株式会社
信越化学工業株式会社	神鋼鋼線工業株式会社	新日鐵住金株式会社	新明和工業株式会社
住友金属鉱山株式会社	住友電気工業株式会社	大同特殊鋼株式会社	大和製罐株式会社
中越合金鑄工株式会社	中外炉工業株式会社	TDK 株式会社	株式会社トヤマ
日亜化学工業株式会社	日本軽金属株式会社	日本冶金工業株式会社	日立金属株式会社
株式会社日立製作所	日立造船株式会社	福田金属箔粉工業株式会社	富士電機株式会社
古河電気工業株式会社	三井金属鉱業株式会社	三菱アルミニウム株式会社	三菱マテリアル株式会社
ヤマハ発動機株式会社	ヤンマー株式会社	株式会社 UACJ	

**2015年春期講演大会機器・書籍・カタログ展示会出展募集
大会プログラム広告および
講演概要集 DVD ジャケット広告募集**

2015年3月18日(水)から20日(金)までの3日間、東京大学駒場I地区キャンパスで開催される春期講演大会会場で機器・書籍およびカタログの有料展示会を開催いたします。大会プログラム、講演概要集 DVD ジャケット掲載の広告の募集もいたします。

■機器・書籍展示

研究開発用機器、書籍、ソフトウェア等の出展を募集します。

1小間 間口1,800mm、奥行き900mm(予定)

展示台(テーブル)、椅子、電源(100V 1kWまで)をご用意します。

*電気容量の追加は1kW毎に10,000円(税別)をご負担下さい。

出展料金 機器展示：1小間140,000円(税別)

書籍販売：1小間 90,000円(税別)

申込締切 2015年2月6日(金)

■カタログ展示

展示部数 2点(A4サイズ、8頁以内)につき、30部以内

出展料金 2点につき30,000円(税別)(1点増すごとに10,000円(税別)追加)

リクルート関連の展示は会社案内他添付資料の2点で30,000円(税別)、30部以内

申込締切 2015年2月6日(金)

■大会プログラム広告

原稿寸法 A4版 1P 天地260mm×左右180mm

1/2P 天地125mm×左右180mm

入稿原形態 完全データ(グレースケール)

広告料金

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

○上記の料金には消費税は含まれておりません。

○原稿制作費は別途ご請求させていただきます。

申込締切 2015年1月29日(木)

原稿締切 2015年2月5日(木)

■講演概要集 DVD ジャケット広告

原稿寸法 天地120mm×左右121mm

入稿形態 完全データ(4色カラー)

掲載場所	頁	掲載料金
表紙2カラー	1	50,000円
表紙4カラー	1	75,000円

○上記の料金には消費税は含まれておりません。

○原稿制作費は別途ご請求させていただきます。

申込締切日 2015年2月4日(水)

原稿締切日 2015年2月4日(水)

■申込・問合せ

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4(友野本社ビル)

株式会社 明報社 担当 後藤一哲

☎ 03-3546-1337(代) FAX 03-3546-6306

E-mail: goto@meihosha.co.jp

2015年春期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ

2015春期講演大会期間中、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お読みの上、E-mailにてお申込下さい。

■申込要領

利用日時 2015年3月18日(水) 9:00~17:30

3月19日(木) 9:00~17:30

3月20日(金) 9:00~14:00

申込期間 2015年2月9日(月)~3月5日(木)

場所 東京大学駒場I地区キャンパス(セキュリティ確保の為、お申込者のみにご案内いたします。)

料金 子供一人800円/時間 (託児室会場で当日お支払い頂きます。)

申込方法 日本鉄鋼協会・日本金属学会男女共同参画委員会ホームページ託児室案内記載の申込要領をお読みの上、3月5日(木)までにホームページ(下記URL)の託児室案内よりお申込み下さい。

<https://www.isij.or.jp/godo/isijjim/>

確認後、シッター会社(㈱ファミリー・サポート)よりご予約確認の返信メールをお送りします。

申込問合せ先 ㈱ファミリー・サポート BAMBINO CLUB

担当者：星

☎ 03-3377-3177 FAX 03-3377-3178

E-mail: khoshi@familysupport.co.jp

住所：東京都渋谷区代々木1-58-16 4F

(公益社団法人)全国保育サービス協会正会員

*不測の事故に対応するために、シッター会社が保険に加入しており、保険適用範囲で補償いたします。また日本鉄鋼協会および日本金属学会は、事故の責任は負わないことを申し添えます。お子様の健康状態、留意点など必ず託児スタッフへお伝え下さい。お伝えいただけない事が原因となってお子様へ損害が発生した場合はお客様の責任となります。

※完全ご予約制となっておりますので、ご予約のない場合はご利用いただけません。なお、託児室のスペースの関係上、定員になり次第締め切らせていただきますので、予めご了承下さい。

問合せ先 (一社)日本鉄鋼協会

総務グループ 野村茂樹

☎ 03-3669-5931 FAX 03-3669-5934

E-mail: nomura@isij.or.jp

詳細情報 日本鉄鋼協会・日本金属学会男女共同参画委員会ホームページ <https://www.isij.or.jp/godo/isijjim/>

2015年秋期講演大会公募シンポジウムテーマ提案募集

提案期限：2015年2月10日(火) 期日厳守

会員の研究活動の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。本年の秋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、活発な議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53巻12号633頁またはホームページ→講演大会



第63回論文賞候補論文推薦(自薦)のお願い

本会では前年1カ年の会誌、欧文誌に掲載された論文の中から特に優秀な論文に対し、毎年論文賞を秋期講演大会の折、授賞しております。論文賞候補論文の推薦は会誌、欧文誌の「編集委員」または「論文査読者」あるいは「代議員」の方々をお願いしております。また、より広く推薦していただくため、「著者本人」からの自薦も認めております。つきましては、下記ご参照の上、奮ってご応募をお願いいたします。

*論文賞推薦書(様式)にチェックリストを設け、推薦者に論文賞候補論文の要件をチェックいただくことになりました。

◎第63回論文賞の対象論文

日本金属学会誌：第78巻 1～12号(2014年)掲載分

Materials Transactions: Vol. 55 No. 1～12(2014年)掲載分

注：次の要件をすべて満たした原著論文を対象といたします。

- (1) 日本金属学会誌掲載論文は、「学術論文」又は「技術論文」のカテゴリーに属する論文であること。
Materials Transactions 掲載論文は、「Regular Article」又は「Express Regular Article」のカテゴリーに属する論文であること。
- (2) Materials Transactions に英文発表後1年以内に日本金属学会誌に掲載された論文若しくは日本金属学会誌に掲載後1年以内に Materials Transactions に掲載された論文ではないこと。
- (3) コピーライトが本会に帰属されていること(本会が著作権を委譲している論文)。

対象部門 物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセッシング、工業材料

推薦締切 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号631頁 ホームページ：表彰関係

第5回までりあ賞推薦(自薦)のお願い

会報「までりあ」に掲載された論文または記事の中から、金属及びその周辺材料の学術及び科学技術の振興に顕著な貢献をしたと思われる方に「までりあ賞」を授賞しております。

授賞候補論文および授賞候補記事は「会報編集委員」、「著者本人」、「一般会員(正員3名以上の連名)」の推薦となります。積極的なご推薦をお願いいたします。

■第5回「までりあ賞」推薦要領

賞の名称・概要および授賞件数

- (1) **までりあ論文賞** 2編以内
日本金属学会会報「までりあ」に掲載した論文で、学術または科学技術上優秀で且つ金属およびその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。
- (2) **までりあ啓発・教育賞** 2編以内
日本金属学会会報「までりあ」に掲載した記事で、までりあ記事の特徴を活かし、金属およびその周辺材料に係る啓発や教育に顕著な貢献をした記事に対し授賞する。

授賞対象記事 2012年～2014年掲載済記事(授賞済記事は除く：授賞済記事はホームページに掲載します。)

推薦締切 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号631頁 ホームページ：会報

第13回学術貢献賞候補者推薦のお願い

本会では地域振興の観点から各地域に根ざした技術の進歩発展に貢献した個人あるいは組織を対象とした「学術貢献賞」を設けております。第13回の授賞式は、2015年秋期講演大会(九州大学)の9月16日に行い、また会期中に受賞記念講演をお願いしております。

多数の優秀な候補者を推薦いただくため、広く会員からの推薦を

もとめております。下記要領により積極的にご推薦下さい。

*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

候補者の対象 各地域において金属学または金属工業に関する学術または技術の進歩発展に功労があった方。

推薦資格 本会支部長、代議員または3名以上の正員連名による推薦

推薦手続き 所定の様式(ホームページからダウンロードして下さい)により必要事項を記入の上、お送り下さい。

推薦締切 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号631頁 ホームページ：表彰関係

第13回功労賞候補者推薦のお願い

本会では45歳以上の研究・技術分野に功績があった方を対象として、日本金属学会賞に次ぐ賞として「日本金属学会功労賞」を設けております。第13回の授賞式を2015年秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。多数の優秀な候補者を推薦いただくため、広く正員からの推薦(3名以上連名)をもとめております。下記要領により積極的にご推薦下さい。

*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

候補者の対象 2015年5月31日時点で45歳以上、各組織における定年までの方

対象部門 学術部門：金属学または金属工業に関する学術の進歩発展に功労があった方

技術部門：金属学または金属工業に関する技術の進歩発展に功労があった方

推薦資格 本会代議員または3名以上の正員連名による推薦

推薦手続 所定の様式(ホームページからダウンロードして下さい)により必要事項を記入の上、お送り下さい。

推薦締切 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号632頁 ホームページ：表彰関係

第25回奨励賞の候補者推薦のお願い

本会では次世代を託する優れた若手研究者を顕彰するために1991年から「日本金属学会奨励賞」を設けており、第25回の授賞式を2015年の秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。

歴史の転換期にある今日、若い世代の意識の高揚こそが何よりも望まれ、金属・材料工学ならびに関連分野で活躍しつつある若手研究者の中から将来性豊かな人材をご推薦下さいますようお願いいたします。

*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

候補者の対象 2015年5月31日時点で33歳以下の方、金属・材料工学ならびに関連分野で卓越した業績を挙げつつある研究者。工業技術部門は企業の研究者または技術者を対象とします。

対象部門 物性、組織、力学特性、材料化学、材料プロセッシング、工業材料、工業技術部門の7部門

推薦資格 本会代議員、分科会委員または3名以上の正員連名による推薦

推薦手続 所定の様式(ホームページからダウンロードして下さい)により必要事項を記入の上、お送り下さい。

推薦締切 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号632頁 ホームページ：表彰関係

第12回村上奨励賞候補者推薦のお願い

本会では財団法人村上記念会からのご寄付を基に金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある若手研究者を奨励するため「日本金属学会村上奨励賞」を設けており、第12回の授賞式を2015年の秋期講演大会(九州大学)の折、9月16日に行います。多数の優秀な候補者を積極的にご推薦下さい。

*推薦書(様式)に候補者の要件をチェックする項目欄を設け、推薦者に確認いただくことになりました。

候補者の対象 金属工学の分野で卓越した業績を挙げつつある、2015年5月31日時点で40歳以下の若手研究者。

推薦資格 本会代議員、分科会委員または3名以上の正員連名による推薦

推薦手続 所定の様式(ホームページからダウンロードして下さい)により必要事項を記入の上、お送り下さい。

推薦締切日 2015年2月20日(金)

詳細 までりあ53巻12号632頁 ホームページ:表彰関係

会誌編集委員会からのお知らせ

特集原稿募集

■熱電材料研究の新展開 ～新しい物性解析技術と新材料～(Progresses in the Development of Thermoelectric Materials: New Analyses and New Materials)

化石燃料枯渇問題、その燃焼に伴う地球温暖化ガス排出問題、さらに、原発停止に伴う電気料金の高騰問題などが深刻な社会問題として認識されている。これらの問題を大幅に緩和するために、既存のエネルギーを有効に使うことが強く望まれている。熱電発電を用いることで、無駄に捨てられている廃熱や未利用熱から電力を生み出すことが可能になるので、上記の問題を緩和する技術の一つとして熱電発電が注目を集めている。

しかし、熱電材料に用いられる材料は高価で有害である場合が多く、さらに、他の技術と比較すると熱電発電におけるエネルギー変換効率が低いため、現状では、熱電発電は広く普及するに至っていない。

現在、安価で環境に負荷を与えない元素から構成させる高性能熱電材料の研究が盛んに行われている。熱電材料の高性能化を導く新しい概念として、1990年代頃から、「ナノ構造による量子効果」、「Electron Crystal & Phonon Glass」、「強い電子相関」の利用などが提唱され、熱電材料の研究が著しく進展した。さらに、2010年代になると、第一原理計算に基づく物性解析技術が飛躍的に向上するとともに、新しい材料が数多く開発されるようになってきた。

社会的にも重要な意義を有する熱電材料開発研究の最新の動向を、「熱電材料開発研究の新展開 ～新しい解析技術と新材料～」と題して日本金属学会誌において特集する。

上記テーマに関する特集を、日本金属学会誌第79巻11号(2015年11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。

実施予定号 第79巻第11号(2015年)

予備登録 2015年3月1日

原稿締切日 2015年5月1日厳守

■微細組織、組織制御、力学的性質に関する材料研究最前線(Frontier Researches Related to Nano/Microstructure, Microstructure Control and Mechanical Properties of Metallic Materials)

金属材料は、リニアモーターカーに使われるアルミニウム合金、自動車の構造部材に用いられているハイテン(高強度鋼板)、カテーテルなど医用金属材料、微小電気機械システム(MEMS)用微小構造部材といった最先端の分野のありとあらゆる部品に使用されている。そして、その各々の仕様に合わせた諸物性や機械的性質に制御された金属材料が開発され、利用されている。これらの金属材料の様々な特性は、材料を構成する結晶の構造や粒径、分散粒子、結晶形態、転位や空孔など微細組織に強く依存する。金属の新機能の創成は、この微細組織をいかに制御するかにかかっている。このことは金属材料を研究する研究者にとっては自明なことであるが、今後の金属学の発展も、まさに金属材料の微細組織制御にかかっているといえる。この分野について、近年、TEMやEBSDなど分析装置の大きな革新と進展とがあり、より詳細な研究ができるようになってきている。また、機械的性質についても、分析機器中でのその場試験、ナノ・マイクロ材料試験などにも大きな革新と進展があり、組織と機械的性質の関係を直接評価することも可能になってきている。さらに、第一原理計算を初めとする計算手法の進展により、微小領域・材料の機械的性質なども直接計算することも可能になっている。

これらの背景を踏まえ、本特集は、広く金属材料やセラミックスなどの材料中の微細組織が、諸物性、特に力学的性質との関係の解明に関する最先端の研究の報告の場とすることを目的とする。また、それら研究者の間での新規融合や相互作用により、本分野に関しより大きな進展が起こること、及び、航空・自動車産業、エレクトロニクス、医療、精密機械分野における新しい展開を与えることを期待している。

内容としては、ナノ・マイクロスケールにおける材料組織や組織制御に関する最新の研究、ナノ・微小材料の組織制御と機械的性質、複雑な組織を有する金属材料の組織と物性評価、材料内部の欠陥や界面と物性の関係、微細組織評価手法の進展、それらに関する理論・計算・シミュレーションなどの研究を想定している。

上記テーマに関する特集を、日本金属学会誌第79巻12号(2015年12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。

実施予定号 第79巻第12号(2015年)

予備登録 2015年4月1日

原稿締切日 2015年6月1日厳守

投稿共通事項

本会 Web ページにて、論文題目、著者名、概要などをご入力の上、登録を行って下さい。

• 執筆に際しては、日本金属学会誌投稿の手引・執筆要領(本会 Web ページ)を参照のこと。

• 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。(ただし、修正を求められた学術論文は返却日から20日以内に再提出する。)

予備登録・原稿提出先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会誌編集委員会

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

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: editjt@jim.or.jp

研究会 No. 74

チタン製造プロセスと材料機能研究会第1回講演会
「チタン合金における元素機能とプロセス」

日時 2015年1月30日(金)9:55-12:00
場所 関西大学千里山キャンパス 第4学舎3号館4階3402
教室(〒564-8680 吹田市山手町3-3-35)
☎ 06-6368-0846

アクセス: <http://www.kansai-u.ac.jp/global/guide/access.html#senri>

プログラム

- 9:55~10:00 趣旨説明
チタン製造プロセスと材料機能研究会・代表世話人
東北大学院工 成島尚之
- 10:00~10:40 固溶酸素を利用した生体用β型Ti-Cr合金の機能改善
東北大金研 仲井正昭 新家光雄 趙 研 劉恢弘
- 10:40~11:20 β型Ti-X合金の電子状態と相安定性の理論解析
物材機構 佐原亮二 江村 聡 土谷浩一
- 11:20~12:00 Ti-Mn系低コスト合金の開発
関西大化学生命工 池田勝彦 上田正人
大同特殊鋼 鷺見芳紀

参加費 無料

参加申込方法 参加者は事前にE-mailで氏名、所属、連絡先を明記の上、下記申込先へ御送付下さい。なお、当日午後には同じ会場で「日本鉄鋼協会 平成26年度チタンフォーラム第1回研究発表会」が行われます。

申込締切 2015年1月13日(火)

申込先・問合せ先

チタン製造プロセスと材料機能研究会 上田恭介
東北大学大学院工学研究科 材料システム工学専攻
E-mail: ueda@material.tohoku.ac.jp
☎/FAX 022-795-7296

支部行事



東北支部講演会

[共催]表面技術協会東北支部
[後援]八戸工業高等専門学校

日時 2015年1月21日(水) 14:30~16:45
場所 八戸工業高等専門学校 大会議室(〒039-1104 八戸市田面木字上野平16-1)
テーマ 最近の金属トピックスから

司会 八戸工業高専 岡田益男
開会の挨拶 金属学会東北支部支部長 古原 忠
講演 座長: 八戸工業高専 松本克才
講演1 (14:35~15:35)
マイクロ電気化学システムによるステンレス鋼の孔食発生機構の解析 東北大工 教授 武藤 泉
講演2 (15:45~16:45)

超微細金属粉末の製造技術、及びMIM法による高密度焼結技術
エプソナトミックス 志村辰裕
閉会の挨拶 八戸工業高専 杉山和夫
連絡先 八戸工業高等専門学校 物質工学科 松本克才
☎/FAX 0178-27-7294
E-mail: kmatsu-c@hachinohe-ct.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

◇東北大学金属材料研究所 助教公募◇

公募人員 助教1名
所 属 東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
専門分野 アクチノイド化合物・材料の試料作製と物性研究。当該センターにおける国内外の研究者の共同利用推進に熱意と意欲を持って取り組んでいただける方。
公募資格 博士の学位を有する方、または着任予定前に博士の学位を取得見込みの方。
任 期 7年(審査により1回限り3年の再任可)
公募締切 2015年1月30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、国際会議プロシーディングス、著書・解説、招待講演、その他に分類)
③ 主要論文別刷5編(コピー可)
④ 研究業績概要(1,500字程度)
⑤ 着任後の研究計画と展望(1,500字程度)
⑥ 照会可能者2名の氏名と連絡先
書類送付先 〒311-1313 茨城県茨城郡大洗町成田2145-2
東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
センター長 教授 四籠樹男
※簡易書留で「量子エネルギー材料科学国際研究センター 助教応募書類」と朱書のこと。なお、応募書類の返却はいたしませんのでご了承下さい。
問い合わせ先 教授 四籠樹男
☎ 029-267-3181 FAX 029-267-4947
E-mail: o-jime@imr.tohoku.ac.jp

お知らせ

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

「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」とは、高い省エネルギー効果が見込まれる技術開発に対して助成する制度です。平成27年度第1回公募は3月頃に実施する予定です。詳細は下記URLをご参照下さい。

<http://www.nedo.go.jp/koubo/index.html>

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

◇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
 ■協 賛 (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (公社)日本化学会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会, (五十音順)
 ■開催会場 東京大学生産技術研究所
 An 棟 2F コンベンションホール
 (〒153-8505東京都目黒区駒場 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
 東京大学 生産技術研究所
 岡部研究室 学術支援専門職員 宮寄智子
 FAX 03-5452-6313 E-mail: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp

■第64回 2015年1月9日(金)
 ★貴金属シンポジウム(第2回)+新年会★(合同開催)
 特別合同シンポジウム：貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線
 13:00～(変更となりました)
 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)とサステイナブル材料国際研究センターとの特別・合同シンポジウム
 ○参加登録・ポスター発表登録・お問い合わせ：
 岡部研 学術支援専門職員 宮寄智子
 E-mail: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp
 ポスター発表の登録期限は12月19日(金)
 ○会費：参加費 無料 資料代 3,000円(企業会員・学生は無料)
 <プログラム【敬称略】>
 司会 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
 13:00～13:10 開会の挨拶
 東京大学 生産技術研究所 JX 金属寄付ユニット
 特任教授(東京大学 理事・副学長) 前田正史
 13:10～13:40 銅電解賤物からの Rh, Ru 回収
 JX 日鉱日石金属株式会社 技術開発センター 主任開発員 永井燈文
 13:40～14:10 歯科用貴金属と貴金属リサイクル
 山本貴金属地金株式会社 金属材料開発課 課長代理 藤間研也
 14:10～14:40 塩素浸出を用いた貴金属回収プロセス
 住友金属鉱山株式会社 東予工場技術課 課長 一色靖志
 14:40～15:10 低濃度含有廃液からの貴金属回収と資源化技術
 田中貴金属工業株式会社 化学回収事業部 製造技術部
 湘南工場分室 回収技術グループ マネージャー
 鯖江 慶

15:10～15:30 —休憩—
 司会 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
 15:30～16:00 ヘレウス貴金属リサイクルのご紹介
 ヘレウス株式会社 化学材料部 課長 石丸順一
 16:00～16:30 バイオマス由来物を利用した湿式貴金属回収
 住友ベークライト株式会社 研究開発本部
 コーポレート R & D センター 栗原 寿久(講演者)
 東北大学 多元物質科学研究所
 飯塚 淳, 石羽根清加, 柴田悦郎, 中村 崇
 16:30～17:00 有機王水(Organic Aqua Regia)を用いた貴金属リサイクルシステムの開発
 東京大学 工学系研究科マテリアル工学専攻 准教授 松野泰也
 17:00～17:40 Hydrometallurgical Cartography: Using Aqueous Stability Diagrams to Design Dissolution and Precipitation Processes for Precious and Rare Metals
 Distinguished Professor, Pennsylvania State University
 Kwadwo Osseo-Asare
 司会 東京大学 生産技術研究所 助教 谷ノ内勇樹
 18:00～18:30 ポスター発表者によるショートプレゼン(希望者)
 18:30～18:35 閉会の挨拶
 東京大学 生産技術研究所 サステイナブル材料国際研究センター
 センター長 岡部 徹
 18:45～ ポスター発表 兼 交流会
 (An 棟 1F カボ・ペリカーノ)

■第65回 2015年3月13日(金)15:00～ An 棟 2F コンベンションホール
 テーマ：非鉄資源・非鉄金属の未来
 時間：午後3:00～講演
 講演：
 ・レアメタル資源の現状と将来(仮)(60分)
 独立行政法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境部門
 鉱物資源研究グループ グループ長 高木哲一 講師
 ・レアアースの資源・製錬の現状と将来展望(仮)(60分)
 ～中国・内モンゴル地地区の鉱山・製錬所・廃棄物処分場などの視察報告～
 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 ・非鉄産業の過去・現在・未来(仮)(60分)
 三井金属鉱業株式会社 代表取締役社長 仙田貞雄 講師
 午後6:30～ 研究交流会・意見交換会(An 棟 2F ホワイエ)
 研究会ホームページ
http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html

◇ 日本金属学会 今後の春秋講演大会開催予定 ◇

★2015年3月18日(水)～20日(金)：東京大学駒場 I 地区キャンパス
 (17日(火)：講演大会参加学生の企業説明会)
 9月16日(水)～18日(金)：九州大学伊都キャンパス
 ★2016年3月23日(水)～25日(金)：東京理科大学葛飾キャンパス

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 79, No. 1 (2015)

ファンダメンタルパラメータ法を利用した蛍光 X 線
分析によるチタン基板上リン酸カルシウム析出物の直
接迅速定量 佐藤こずえ 小俣雅嗣 水平 学
我妻和明 大津直史

対数角：回転行列の対数が与える結晶方位に関する特
性角度 林 邦夫 長田 礎 黒須悠基
宮嶋陽司 尾中 晋

三次元画像からの粒径分布の抽出による水素吸蔵合金
充填層の粒子偏析現象に関する検討
奥村真彦 齋藤泰洋 松下洋介 青木秀之
川上理亮 滝 克彦

レーザー処理により形成した表面微細クレバス構造を
利用した特異拡張濡れによる金属接合
福田 敦 松川浩之 後藤弘樹 鈴木賢紀 中本将嗣
松本 良 宇都宮 裕 田中敏宏

高麗青銅製浄瓶(じょうへい)の金属組織
崔 禎 恩 北田正弘

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 56, No. 1 (2015)

—Regular Articles—

Materials Physics

Reaction-Mediator-Based Chlorination for the
Recycling of Titanium Metal Scrap Utilizing Chloride Waste
Yu-ki Taninouchi, Yuki Hamanaka and
Toru H. Okabe

Temperature Dependent Current-Voltage and
Capacitance-Voltage Characteristics of an Au/n-
Type Si Schottky Barrier Diode Modified Using a
PEDOT:PSS Interlayer Zagarzusem Khurelbaatar,
Kyu-Hwan Shim, Jaehee Cho, Hyobong Hong,
V. Rajagopal Reddy and Chel-Jong Choi

Microstructure of Materials

Influence of the Initial Texture on Texture Forma-
tion of High Temperature Deformation in AZ80
Magnesium Alloy Kwon-Hoo Kim, Kazuto Okayasu
and Hiroshi Fukutomi

Effects of Initial States on the Spinodal Decompo-
sition of Quenched and Melt-Spun Cu-15Ni-8Sn Al-
loy Shin-ichiro Kondo, Akinori Masusaki,
Kento Ogawa, Takao Morimura and Hiromichi Nakashima

Kinetics of Solid-State Reactive Diffusion in the
(Pd-Cr)/Sn System Masaki Hashiba, Koji Masui
and Masanori Kajihara

Microstructure and Texture Evolution of the Al-
20Sn Alloy Processed by Equal-Channel Angular
Pressing Using Route C
C. Hernández, I. A. Figueroa, I. Alfonso, C. Braham,
P. Castillo and G. Gonzalez

Mechanics of Materials

Plastic Deformation and Damage Behaviors of Fe-
18Cr-18Mn-0.63N High-Nitrogen Austenitic Stain-
less Steel under Uniaxial Tension and Compres-
sion Chen-Wei Shao, Feng Shi, Wei-Wei Guo and
Xiao-Wu Li

Weibull Statistics of Tensile-Shear Strength of
5083 Aluminum Alloy after Friction Stir Spot
Welding Chia-Wei Lin, Fei-Yi Hung, Truan-Sheng Lui
and Li-Hui Chen

Prediction of In-Plane Anisotropy of Bendability
Based on Orientation Distribution Function for
Polycrystalline Face-Centered Cubic Metal Sheets
with Various Textures Hirofumi Inoue

Materials Chemistry

Development of Manufacturing Technology for
Direct Recycling Cemented Carbide (WC-Co) Tool
Scraps Saharat Wongsisa, Panya Srichandr and
Nuchthana Poolthong

Effects of Copper Addition on the Passivity and
Corrosion Behavior of 27Cr-7Ni Hyper Duplex
Stainless Steels in Sulfuric Acid Solution
Soon-Hyeok Jeon, Hye-Jin Kim, Kyeong-Ho Kong and
Yong-Soo Park

Effects of Silica Nanoparticle Co-Deposition on
Macrothrowing Power of Zinc-Nickel Alloy Plat-
ing from an Acid Sulfate Bath
Makoto Hino, Koji Murakami, Ken Muraoka,
Norihito Nagata and Teruto Kanadani

Enhancement of Visible Light Absorbance and
Hydrophobicity by Sputter-Coating of PTFE onto
Fine Protrusions Formed by Sputter-Etching of
Steels Rongguang Wang, Keiji Nakasa,
Takashi Kubo, Akihiro Yamamoto and Junya Kaneko

Materials Processing

Grain Refinement of Al₃Ti Dispersed Aluminum
Matrix Composites by Reaction Centrifugal Mix-
ed-Powder Method Kazuya Yamauchi,
Takahiro Kunimine, Hisashi Sato and Yoshimi Watanabe

Diamond-Reinforced Metal Matrix Bulk Materials
Fabricated by a Low-Pressure Cold-Spray Process
Hansang Kwon, Seungchan Cho and Akira Kawasaki

Welding of AA 6028 Aluminum Alloy and Its
Nanocomposite Using Different Filler Materials
Hashem F. El-Labban and Essam R. I. Mahmoud

An Investigation of Reflection Coefficients of the
T(0,1) Mode Guided Waves at Axisymmetric
Defects and Inverse Problem Analyses for Estima-
tions of Defect Shapes Hideo Nishino

Engineering Materials and Their Applications

Effects of Hydrogenation-Disproportionation-Desorption-Recombination Processing Parameters on the Particle Size of Ultrafine Jet-Milled Nd-Fe-B Powders

Michihide Nakamura, Masashi Matsuura, Nobuki Tezuka, Satoshi Sugimoto, Yasuhiro Une, Hirokazu Kubo and Masato Sagawa

Toxicity Assessment of Fe-Mn-Al Ternary Alloys Using a Probit Dose-Response Model and an Augmented Simplex Design

Shih-Hang Chang, Bor-Yann Chen and Chin-He Chiang

Environment

Effect of Distance between Orifices in Column Type Pneumatic Separator for Waste Electronic Devices

Naohito Hayashi and Tatsuya Oki

—Express Regular Articles—

Effects of Chemical Properties and Roughness on Anisotropic Wetting Observed on Machined Surfaces

Shu Liming, Liang Yande, He Fuben and Zhang Hongzhe

Application of High Pressure Gas Jet Mill Process to Fabricate High Performance Harmonic Structure Designed Pure Titanium

Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpai, Ryota Imao, Kazuaki Kurokawa and Kei Ameyama

Thermal and Mechanical Properties of Aluminum Alloy Composite Reinforced with Potassium Hexatitanate Short Fiber

Kazunori Asano, Hiroyuki Yoneda, Yasuyuki Agari, Mitsunori Matsumuro and Kenji Higashi

Preparation of Ti Ternary Alloys by Addition of Si to Ti-Mo Alloy Scraps for Carbonitride Application

Jung-Min Oh, Ki-Min Roh, Hanjung Kwon, Back-Kyu Lee, Chang-Youl Suh and Jae-Won Lim

—Rapid Publication—

Mechanochemical Synthesis and Fast Low-Temperature Consolidation of Nanostructured Ni-ZrO₂ Composite and Its Mechanical Properties

Ju-Kwon Lee and In-Jin Shon



(2014年10月24日～2014年11月20日)

正 員

高橋 恭 株式会社本田技術研究所
一杉 裕子 株式会社リコー

沖 汐 哲雄 株式会社大真空
北 城 憲 昭 株式会社巴製作所

学 生 員

今川 真 伸 広島工業大学

堀井 裕 太 名古屋工業大学

小泉 貴 義 東京大学

外国学生会員

姚 友 強 広島大学

まてりあ 第54巻 第2号 予告

ミニ特集「シンクロ型 LPSO 構造の材料科学」
企画にあたって
……………古原 忠 相澤一也 東田賢二 神山 崇 河村能人
Mg 基シンクロ型 LPSO 合金の組織と機械的性質、今後の展望
……………河村能人
シンクロ型 LPSO-Mg 合金の原子構造と結晶学……………阿部英司
シンクロ型 LPSO 構造の形成メカニズムと熱力学因子
……………大谷博司

シンクロ型 LPSO 構造の変形機構……………萩原幸司 東田賢二
[講義ノート] 鉄鋼の相変態 II—界面易動度に律速されるマッ
シブ変態— ……………榎本正人
[新技術・新製品]
—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます。)

“材料系学協会情報コーナー”

〈軽金属 第65巻 1号 予定〉
研究論文 1050および5052アルミニウム合金管端末の揺動回転
フランジ成形におけるカーリングの抑止/北澤君義
1050アルミニウムにおける表面集合組織と再結晶組
織/山本厚之・塚本雅章・岡井大祐
Al-10%Si-0.3%Mg 合金ダイカスト材の T5 処理後
の硬さに及ぼす凝固組織の影響/柳原恵美・折井
晋・池谷拓哉・才川清二・松田健二・池野 進
解 説 エネルギー循環システムのためのレーザープラズマ風
洞を用いたアルミ還元法/松井 信
連載講座 電子顕微鏡像の基礎知識/塩尻 詢
—他—

〈ふえらむ Vol.20 (2015) No.1〉
入門講座 鉄鋼の日本工業規格-1
鋼の中の鋼-機械構造用鋼(SC)/工具鋼(SK)/細谷佳
弘
躍 動 集合組織の一貫予測モデル実現に向けて/田中泰明
—他—

分科会シンポジウム 報告

3D プリンターによる 次世代ものづくり

(第 4, 5, 1 分科企画)

開催日 2014年 9月12日(金)

場 所 科学技術館

3D プリンターは、鋳型を使うことなく任意の形状の3次元造形体を創製できる次世代のものづくり技術として注目されている。形態の付与とともに材質の制御も可能となるため、新機能の発現も期待される。CAD モデルを基本とすることから多品種・少量生産に向き、医療分野や航空宇宙産業などのテーラーメイド製品が必要とされる分野において今後その利用が拡大するものと期待されている。本シンポジウムでは、「金属」・「セラミックス」・「ポリマー」各種材料の3D プリンターによる積層造形技術の現状と今後を議論した。(9月12日, 科学技術館, 参加者49名)。

千葉晶彦(東北大)は、「金属積層造形技術の可能性と技術開発動向-電子ビーム(EBM)積層造形技術を中心として」と題して講演した。まず電子ビーム積層造形技術を概説し、生体用 Co-Cr-Mo 合金を例にして、EBM 積層造形は急速溶融・急冷凝固プロセスであるため、微細な晶出物を均一微細に分散可能な技術であることを示した。そして、EBM 積層造形技術による新規な金属系構造部材開発ならびに加工プロセス技術に対する展望を述べ、今後改善が必要とされる、造形寸法精度・表面粗度・造形速度・造形物の大型化などの現在の達成値を示すとともに、展望を述べた。

福田英次(ナカシマメディカル㈱)は、「3D プリンターを活用した医療機器の開発」と題し、材料および造形方式の異なる種々の3D プリンターを活用した医療機器の開発事例を紹介した。患者個々の骨格形状に応じてカスタマイズされた人工関節を積層造形技術を活用して開発している現状を述べた。そして、積層造形技術を利用した医療機器の開発事例として、石膏系による試作品の作製、その後の用途に応じた製品開発(金属系は人工関節、ナイロン系は手術器械そしてアクリル系は手術支援部材の開発)を行っていることを紹介した。

中野貴由(阪大)は、「三次元付加製造法を用いた構造体の新規機能発現への取り組み」と題し、3次元付加製造法(AM法)による材料への機能付与について述べた。粉末床

溶融結合法において本来除去すべき粉末を有効利用し、階層構造体化そして新たな力学機能付与を可能とする技術について説明した。さらに、インプラント表面形状を制御することにより、骨伝導性の付与が可能となることなど、AM法を活用した高付加価値製品開発について述べた。

中本貴之(大阪府立産業技術総合研究所)は、「大阪府立産技研における金属粉末レーザー積層造形法を活用したものづくりと研究開発」と題し、選択的レーザー溶融法(SLM)を用いた材質制御技術として、まず、炭素系粉末を用いて造形した造形物の内部組織や機械的特徴を説明した。そして、15-5PH ステンレスやチタン合金粉末を用いたラティス構造体の作製を紹介した。ラティス構造体の梁の配置と太さを設計することにより、強度・弾性率などの機械的性質の異方性を制御できることを述べた。

渡邊大知(㈱ JMC)は、「3D プリンター産業応用の実際—サービスビューロの立場から」と題し、商業的視点から3D プリンター産業の動向や問題点を述べた。すでに広く商業利用されているポリマー系の3D プリンターで作製する商品では迅速な提供が重要となることなど、ポリマー系3D プリンターの活用の現状を示した。

野村直之(東北大)は、「レーザー積層造形による医療用金属の成形」と題して講演し、レーザー積層造形により作製した医療用 Co-Cr-Mo 合金の内部組織、機械的特性および耐食性を説明した。金属積層造形体において、積層方向に対する柱状晶の形成や積層条件による結晶異方性の変化を利用して、機械的性質の制御や選択ができることを示した。

桐原聡秀(阪大)は、「光造形3Dプリンタを用いた機能性構造体の作製」と題し、光造形を用いた固体電解質セラミックス電極やテラヘルツ波フォトニック結晶、そして、 β -TCPを用いた人工骨の作製を説明した。微粒子ペーストを用いる光造形プロセスにより、多様な素材を用いた部材を成形できることを示した。

シンポジウム参加者に対して実施したアンケートによると、参加者は金属のみならずポリマーやセラミックスの話題も含むシンポジウムを希望しており、さらには学術的な視点と商業的な視点の両方の話題にも興味を持っていた。3D プリンターによるものづくりの学術的・商業的な発展は著しく、今後も3D プリンターに関するシンポジウムを定期的に開催し、情報交換や議論を重ねていく重要性が確認された。

(文責: 小林)

(企画世話人: 愛媛大 小林千悟, 東北大 成島尚之, 阪大 中野貴由, 東北大 千葉晶彦, 東京医科歯科大 塙 隆夫, 東北大 新家光雄)

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
1月				
8～9	第53回セラミックス基礎科学討論会(京都)	日本セラミックス協会 基礎科学部会・藤井(龍谷大)	TEL 077-543-7466 ifujii@rins.ryukoku.ac.jp http://www.chem.ryukoku.ac.jp/kiso53	
9	第64回レアメタル研究会(第2回貴金属シンポジウム)(東大)(本号37頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html	
10	第46回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会・中村	TEL 03-5609-4015 nakamura@jsndi.or.jp	
10	第20回高専シンポジウム in 函館	高専シンポジウム協議会, 函館工業高等専門学校・神山(函館高専)	TEL 0138-59-6312 sohmuch@hakodate-ct.ac.jp http://www2.hakodate-ct.ac.jp/site1_symp/	発表 10.31
11～13	研究集会 第2回グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会(松江)(12号634頁)	研究会 No. 71・田中(産総研ユビキタスエネルギー)	TEL 072-751-9761 FAX 072-721-9714 koji.tanaka@aist.go.jp	12.5
13～14	第200回研究会 磁性材料の作製と評価手法～大型実験施設を用いた材料評価～(茨城)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 http://www.magnetics.jp/	
15	第55回海水環境構造物腐食防食研究会 電気化学ノイズ法を用いた現場腐食モニタリングに関する勉強会(小田原)	塩事業センター 海水総合研究所・中村	TEL 0465-47-3161 corrosion@swsj.org	
15	講習会「薄膜結晶の評価:基礎と応用」(東京)	日本結晶学会	TEL 03-5389-6372 crsj-desk@bunken.co.jp	
15～16	2014年度「先進コース」≪推進軸系≫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 http://www.jime.jp	
20	第371回講習会「ウェアラブル技術の最前線-「着る」機械の現在・過去・未来」(東京)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 http://www.jspe.or.jp/	定員 60名
21	東北支部講演会・プログラム(青森高専)(八戸)(本号36頁)	東北支部・松本(弘前大)	TEL/FAX 0178-27-7294 kmatsu-c@hachinohe-ct.ac.jp	
22	表面科学技術研究会2015リチウムイオン電池の実情と今後の展望-車載/大型蓄電システムとリチウムイオン電池-(神戸大)	日本表面科学会関西支部他・屋代(リガク)	TEL 072-694-0585 yashiro@rigaku.co.jp http://www.sssj.org/Kansai/	1.15
22～23	第43回ガスタービンセミナー(横浜)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org	
29	海事三学会合同『次世代エコシップシンポジウム』-地球環境負荷低減と海洋環境技術開発-(東京)	日本航海学会他	TEL 03-3630-3093 navigation@nifty.com https://www.rdcast.com/c/i/60	1.19
29～30	第22回超音波による非破壊評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会	TEL 03-5609-4015 oka@jsndi.or.jp	
29～30	平成26年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同講演大会開催(11号572頁)	北海道支部・田中(新日鐵住金)	TEL 0143-47-2651 FAX 0143-47-2760 tanaka.9qh.shigeo@jp.nssmc.com	
30	研究集会 チタン製造プロセスと材料機能研究会 第1回講演会「チタン合金における元素機能とプロセス」(本号36頁)	研究会 No. 74・上田(東北大)	TEL/FAX 022-795-7296 ueda@material.tohoku.ac.jp	1.13
30	腐食防食部門委員会第302回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp	
30	第13回ナノテクノロジー総合シンポジウム(JAPAN NANO 2015)(東京)	物質・材料研究機構・平原	TEL 029-859-2777	
30～31	ゲートスタック研究会 -材料・プロセス・評価の物理-(三島)	応用物理学会・三谷(東芝)	yuuichiro.mitani@toshiba.co.jp http://home.hiroshima-u.ac.jp/oxide/	定員 200名
2月				
3～4	Mate2015 第21回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(横浜)	スマートプロセス学会エレクトロニクス生産科学部会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate2015/src/	参加 1.15
5	第372回講習会「材料の表面を『超』制御する～浄める・貼る・剥がす技術の最前線～」(東京理科大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 http://www.jspe.or.jp/	定員 60名
6	第10回 SPring-8 金属材料評価研究会-最近の注目技術紹介-(東京)	SPring-8 利用推進協議会 研究開発委員会・橋本	TEL 0791-58-0924 kinzoku@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ext/ja/iuss/	1.30 定員 70名
6	第208回塑性加工技術セミナー「塑性加工のための高張力鋼板の基礎-材質造り込みから加工技術まで-」(大同大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
13	走査型プローブ顕微鏡の最新活用術(川崎)	神奈川科学技術アカデミー	TEL 044-819-2033 ed@newkast.or.jp http://www.newkast.or.jp	定員 20名
25	第313回塑性加工シンポジウム「走り出す燃料電池車で求められる材料, 部品加工と周辺技術」(大阪)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
26～27	2014年度「先進コース」≪機装設計II≫講習会(高松)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp http://www.jime.jp	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
27	理研シンポジウム第17回「トライボコーティングの現状と将来」(和光)	理化学研究所大森素形材工学研究室, トライボコーティング技術研究会・金	TEL 03-3963-1611 tribo@tribocoati.st http://www.tribocoati.st/	定員 200名
28	日本顕微鏡学会第39回関東支部講演会「革新のための基礎技術—Basic for Innovation—(工学院大)」	日本顕微鏡学会・物材機構(三留)	TEL 029-860-4431 MITOME.Masanori@nims.go.jp	1.13
3月				
4	第40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」(東京)	材料技術教育研究会	TEL 047-431-7451	2.25
5	第30回塗料・塗装研究発表会(東大)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 toso-jimukyoku@jcot.gr.jp http://jcot.gr.jp	
5~6	第7回講習会「もう一度学ぶ機械材料学」機械・製造技術者のための基礎講座(大阪)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 ishizawa@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/mpd/	定員 60名
6	第60回塑性加工技術フォーラム「粉末積層造形(3Dプリンタ)による金属部材製造」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 70名
6	2015年度砥粒加工学会先進テクノフェア(ATF2015)(東京)	砥粒加工学会	TEL 03-3362-4195 staff@jsat.or.jp http://www.jsat.or.jp	定員 100名
13	第65回レアメタル研究会(東大)(本号37頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産研)	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/rc40_j.html	
17	2015年春期講演大会・企業説明会(東大)(本号32頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 gaffair@jim.or.jp	11.10~ 2.10
18~20	日本金属学会春期講演大会(東京大学駒場I地区キャンパス)(12号629頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp(講演) member@jim.or.jp(参加申込) TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	参加 2.20
5月				
15~17	軽金属学会第128回春期大会(東北大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	予約申込 4.16
21~22	第32回希土類討論会(鹿児島)	日本希土類学会(阪大内)	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	発表 1.23
29~31	平成27年度塑性加工春季講演会(横浜)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
7月				
7~10	The Fifth International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2015)(富士吉田)	粉体工学会・多々見(横国大)	iccci2015@ml.ynu.ac.jp http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2015/	
8月				
16~20	The 13th World Conference on Titanium (Ti-2015)チタン世界会議2015(サンディエゴ)	The Minerals, Metals and Materials Society (TMS), USA・新家(東北大金研)	TEL 022-215-2574 niinomi@imr.tohoku.ac.jp http://www.tms.org/meetings/2015/ Ti2015/home.aspx#.VE85Emflrsc	アブストラクト 12.15
9月				
6~11	XVIII International Sol-Gel Conference (Sol-Gel 2015)(Kyoto)	ISGS & J. Sol-Gel Society	TEL 075-753-2925 solgel2015@kuchem.kyoto-u.ac.jp http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/solgel2015/	
16~18	日本金属学会秋期講演大会(九州大学伊都キャンパス)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	
10月				
5~8	Asia Steel International Conference 2015(Asia Steel 2015)(横浜)	日本鉄鋼協会	asiasteel2015@issjp.com http://www.asiasteel2015.com	
3月(2016年)				
23~25	日本金属学会春期講演大会(東京理科大学葛飾キャンパス)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685	

まてりあ 第54巻 第1号 (2015) 定価(本体1,700円+税) ¥120円

年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所 公益社団法人日本金属学会

発行日 2015年1月1日

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

発行人 梶原義雅

TEL 022-223-3685

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

FAX 022-223-6312

発売所 丸善株式会社

郵便振替口座 02210-2-5592

〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18

高純度 GfG

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

汚れや飛散のないカーボン材料

■真空、高温炉内材料一式

■炉内部品取替工事

■炭素繊維高温材料

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



メカニカルカーボン工業株式会社

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

日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ（会報）

前付) 1色1P ￥100,000 1/2P ￥60,000

後付) 1色1P ￥95,000 1/2P ￥55,000

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ￥70,000 1/2P ￥40,000

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

