

Materia Japan

- 室温磁気冷凍搭載に向けたメタ磁性体の改善
- 電気化学を入口とする材料研究
- 講義ノート マイクロメカニクスⅠ～基本的事項～
- 秋期講演大会プログラム(別冊付録)

まてりあ

Vol.55 MTERE2 55 (9) 405~446 (2016)

20169

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

GDMS分析
世界シェア **No.1**



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

測定対象試料

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

“世界の分析リーダー”の技術を日本で——

NAN ナノサイエンス株式会社

〒170-0013 東京都豊島区東池袋1-10-1 住友池袋駅前ビル7F

TEL. 03-5396-0531(代) FAX. 03-5396-1930

[E-mail]
analysis@eag.com

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

金属加熱装置は日新技研にお任せ下さい！



金属合金の作製に最適！
手軽に鋳込める鋳造機構にも対応！

【超小型真空アーク溶解装置 傾角鋳造機構付】



金属粉末の作製に最適！
各種アトマイズ装置に対応！

【超小型ガスアトマイズ装置】

- 次世代の材料開発装置及びEB装置の製造販売をしております。
- 装置の事でお困りの際にはお気軽にお問い合わせ下さい。

技 日新技研株式会社

【営業品目】 ●単結晶作製装置 ●新材料開発装置 ●高周波電源
●電子ビーム(電源及び電子銃) ●各種実験装置 ●各種生産装置

〒358-0032 埼玉県入間市狭山ヶ原碑の前384

TEL. 04(2935)1411(代) FAX. 04(2935)1390

URL <http://www.nissin-giken.co.jp>

9

2016
Vol.55
No.9

まてりあ

◎ 会告原稿締切：毎月 1 日



翌月号(1 日発行)掲載です。

- 支部行事：shibu@jim.or.jp
- 本会記事：stevent@jim.or.jp
- 掲 示 板：materia@jim.or.jp

最近の研究	室温磁気冷凍システム搭載に向けた遍歴電子メタ磁性 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の改善 藤枝 俊405
	遍歴電子メタ磁性鉄系化合物の室温磁気冷凍システム搭載の障害となる実用的問題(作製スケールの大型化による特性の低下, 水溶液腐食)の解決に向けた研究を紹介。
	電気化学を入口とする材料研究 川喜多 仁412
	応力腐食割れのクロノイメージング, フレキシブルデバイス用のインターコネクト材料, 湿気の質を判別可能なセンサについて紹介。
講義ノート	マイクロメカニックスⅠ ～基本的事項～ 森 勉416
	(全)ひずみは, 非弾性ひずみと弾性ひずみの和であると考え。この考えのもとで, 基本的解析法を議論する。
新進気鋭	Co 基ホイスラー合金におけるマルテンサイト変態 ～リエントラント挙動による新しい形状記憶効果～ 許 晶421
企業紹介	ディーゼルエンジンの開発を支える材料技術 岡 正徳426
談話室	冶金を軸に金属の外をあるく 中田英子427
はばたく	有限の金属資源を無限に利用する夢～高効率でエコな金属生産プロセスを目指して～ 盧 鑫(LU XIN)428
本会記事	会告429 次号予告439
	共催行事433 新入会員440
	支部行事433 行事カレンダー442
	掲示板434 Information446
	会誌・欧文誌 9 号目次437
付録	2016年秋期講演大会プログラム別冊

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

表紙デザイン：北野 玲
複写をご希望の方へ

本会は, 本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は, (一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し, 企業等法人による社内利用目的の複写については, 当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては, その必要はありません。(社外頒布目的の複写については, 許諾が必要です。)

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F

FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <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。

科研費関連機器・製品申請ガイド

〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

ガラス物性データベース SciGlass 7.7

Glass #	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	d (g/cm ³)	α (10 ⁻⁶ /°C)	T _g (°C)	T _m (°C)
14019	69.12	30.18	-	2.52	114	133	460
14018	47.68	44.25	-	2.52	179	187	450
14017	47.11	42.57	-	2.52	173	182	450
14016	46.52	41.14	-	2.52	166	172	462
14015	46.28	38.45	-	2.540	157	165	470

Comp	%
SiO ₂	29.68
BeO	18.74
La ₂ O ₃	5.82
BeO	20.94
CdO	3.10
TiO ₂	16.83
ZrO ₂	3.40

●ガラス

230,000件の酸化ガラス、14,000件のハロゲン化ガラス、28,000件のカルコゲナイドガラスなど計約360,000件のガラス

●物性

1,000,000件以上の実測値と合成法、測定法の情報

●物性推測計算

100通り以上の推算法で16種類の物性を推測。実測値との比較プロット。

●最適ガラスの検索

●光学スペクトルデータ(UV、NIR)

定価(税別)

¥700,000(一般)

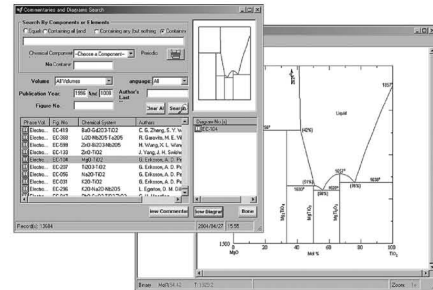
¥400,000(教育)

株式会社 デジタルデータマネジメント

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

〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

25,000件のセラミックス状態図データベース ACerS-NIST Phase Equilibria Diagrams, Version 4.1



定価(税別)
¥160,000
(シングルユーザー)

(American Ceramic Society)

検索条件

- 成分系、元素記号
- 著者、出典誌名、出版年
- 状態図番号

データ表示

- ◆モル百分率 ↔ 重量百分率
- ◆Lever rule計算
- ◆ズームアップ/ズームダウン
- ◆状態図をBMPまたはWMFとして保存

データソース

●Phase Diagrams for Ceramists (Volumes I-XIV, Annual Volumes '91, '92 and '93, High Tc Superconductor monographs (two), Phase Diagrams for Zirconium + Zirconia Systems and Phase Diagrams for Electronic Ceramics I)

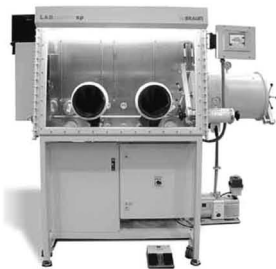
株式会社 デジタルデータマネジメント

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

〈材料化学関係機器・製品〉

グローブボックス 価格(税別) : 3,500,000円～ Labmaster SP MBRAUN社製

最も汎用的なグローブボックスシステムで、最も多く使用されている装置です。この装置は、拡張が可能で、幅125cmから、幅600cmまで任意のサイズの選択が可能です。独自に開発した、周波数コンバータ付、ステンレス製カプセル型の大容量ブロワーを採用しております。システムは全自動で、本体の右上に設置された操作パネルにて制御されます。また精製棟を2棟装備したLabmaster DP シリーズも用意されております。



- 精製能力 : 酸素・水分共に1ppm以下
- ボックスサイズ : W125×D78×H90cm 付属品 :
- ミニ・アンティチャンバー
- 酸素・水分濃度計
- 冷蔵庫
- ソルベント・トラップ

株式会社 ブライト

〒351-0114 埼玉県和光市本町6-32 吉川ビル3F
TEL.048-450-5770 FAX.048-450-5771
〒573-0032 大阪府枚方市岡東町4-8 ムッシュビル5F
TEL.072-861-0881 FAX.072-861-0882
URL: <http://www.bright-jp.com>

〈材料化学関係機器・製品〉

有機溶媒精製装置 価格(税別) : 970,000円 MB-SPS Compact 独国MBRAUN社製

1溶媒用の単独卓上型有機溶媒精製システムです。ベンゼン、エーテル、THF、ヘキサン、トルエンなどの有機溶媒に含まれている酸素、水分濃度を数ppm以下までに精製します。今までの有機溶媒の熱蒸留に代わる安全なシステムです。ピュアーな有機溶媒がいつでもすぐに使えます。



- 精製カラム数 : 2カラム/1溶媒 精製能力 : 800リットル
- 寸法 : W250mm×H840mm×D380mm
- その他、耐熱性溶媒保管庫を装備できる
- 5溶媒用の有機溶媒精製装置も用意されております。

株式会社 ブライト

〒351-0114 埼玉県和光市本町6-32 吉川ビル3F
TEL.048-450-5770 FAX.048-450-5771
〒573-0032 大阪府枚方市岡東町4-8 ムッシュビル5F
TEL.072-861-0881 FAX.072-861-0882
URL: <http://www.bright-jp.com>

室温磁気冷凍システム搭載に向けた 遍歴電子メタ磁性 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の改善

藤 枝 俊*

1. は じ め に

遍歴電子メタ磁性転移と呼ばれる常磁性状態から強磁性状態への磁場誘起 1 次磁気転移の研究は、フェルミ面近傍の電子状態と密接に関連した現象として 1962 年に Wohlfarth と Rhodes によりその可能性が理論的に議論されたことから始まる⁽¹⁾。その後、 $\text{Co}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_2$ ⁽²⁾、 YCo_2 ⁽³⁾ および LuCo_2 ⁽⁴⁾ などの Co 系化合物で遍歴電子メタ磁性転移が実験的に観測された。現在では Mn 系⁽⁵⁾ および Fe 系化合物⁽⁶⁾ などでも遍歴電子メタ磁性転移が報告されている。主に基礎物性の観点から、スピン揺らぎの影響、磁気体積効果および電子状態との関係などが盛んに議論されている⁽⁷⁾⁻⁽¹²⁾。

著者は、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物の遍歴電子メタ磁性転移に起因する巨大磁気熱量効果に着目し、磁気冷凍への応用研究に取り組んできた。本化合物は 200 K 程度のキュリー温度 T_C で温度誘起 1 次磁気転移を示し、 T_C 直上では比較的低い磁場印加により遍歴電子メタ磁性転移が誘起されて巨大磁気熱量効果を示す⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。また、本化合物に水素を吸収させて格子を膨張させると、磁気体積効果に起因して T_C は室温以上の 330 K 程度まで上昇する⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。そのため、水素吸収量の制御により 200~330 K 程度の任意の温度で遍歴電子メタ磁性転移に起因した巨大磁気熱量効果が比較的低い印加磁場で得られる⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。また、La の一部を Ce 置換するとランタノイド収縮により格子定数は減少して T_C は低下する⁽¹⁹⁾。さらに、Fe を Mn で部分置換した $\text{La}_{1-x}\text{Ce}_x(\text{Fe}_y\text{Mn}_{1-y})_{13}$ の組成を調整して T_C を低下制御することにより、20~200 K 程度の任意の低温でも巨大磁気熱量効果が低い印加磁場で得られる⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。つまり、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物は室温以下の広い温度範囲において磁気冷凍への応用が期待

できる。 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物の遍歴電子メタ磁性および磁気熱量効果の詳細は解説記事を参照されたい⁽²²⁾⁻⁽²⁴⁾。

磁気冷凍とは冷蔵庫やエアコンなどの気体冷凍に必須のフロン系ガスを一切必要としない磁性体の磁気熱量効果を利用した冷凍技術である⁽²⁵⁾⁻⁽²⁷⁾。すなわち、フロン系ガスが引き起こすオゾン層破壊や地球温暖化などの軽減に貢献する技術であり、その実用化に向けて世界各国で活発な研究開発が行われている。従来、室温磁気冷凍システムの研究開発では約 290 K の T_C で 2 次磁気転移を示す Gd が用いられてきたが⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾、最近では $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物を用いた研究が多くなってきた。 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物を用いた室温磁気冷凍システムのテストは、2004 年に米国で初めて行われた⁽²⁹⁾。永久磁石の間を磁気冷凍用材料が回転してすり抜ける仕組みの新型磁気冷凍システムに $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}\text{H}_{1.0}$ を搭載したテストで、Gd を搭載したテストを超える性能が確認された。本国では、2006 年に $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}\text{H}_{1.0}$ の球状試料を用いたテストが行われている⁽³⁰⁾。その後、デンマーク⁽³¹⁾、スイス⁽³²⁾、中国⁽³³⁾ およびスロベニア⁽³⁴⁾ など度々テストが行われ、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物が磁気冷凍用材料として有望であることが実証されつつある。このような状況において、実用的観点から、さらに検討しなければならない課題も顕在化してきた。

本稿では、遍歴電子メタ磁性 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物の室温磁気冷凍システムへの搭載に向けて取り組んだ著者の最近的研究成果を示す。まず、次節では室温磁気冷凍システムについて概説し、本化合物の搭載における課題について述べる。それらの解決に向けて、3 および 4 節では、均質化熱処理による $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相の形成および水素吸収と金属組織の関係を明らかにする。5 節では、水溶液中での $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の腐食および防食について説明する。最後に

* 東北大学 多元物質科学研究所；助教(〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)
Improvements of Itinerant-electron Metamagnetic $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ for Assembling to Room-temperature Magnetic Refrigeration Systems;
Shun Fujieda (Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai)
Keywords: *itinerant-electron metamagnetic transition, magnetocaloric effect, hydrogen absorption, corrosion*
2016年2月22日受理[doi:10.2320/materia.55.405]

6節でまとめを行う。

2. 室温磁気冷凍システムへの搭載における課題

比較的高温の室温近傍における磁気冷凍では、図1に模式的に示す能動的蓄冷(Active Magnetic Regenerator: AMR)型のシステムが注目されている⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。AMR型の磁気冷凍システムでは、低温端と高温端の間に磁気冷凍用材料を充填したベッドを配置し、その中を熱交換流体が移動する仕組みになっている。具体的には、まず、①熱交換流体が高温側にある状態で断熱消磁して磁気冷凍用材料の温度を磁気熱量効果により低下させる。その後、②熱交換流体を高温側から低温側へ移動させる。この際、熱交換流体は磁気冷凍用材料により冷却され、低温端から吸熱する。次に、③断熱磁化をして磁気冷凍用材料の温度を磁気熱量効果により上昇させる。最後に、④低温側から高温側へ熱交換流体を移動させることにより、磁気冷凍用材料から熱を受け取り、高温端へ排熱する。この方式では、上述のサイクルによりベッドの高温側から低温側にかけて生じる温度勾配も冷凍に利用する。すなわち、磁気冷凍用材料を冷媒としてだけでなく、蓄冷体としても活用して大きな冷却効果を得る。なお、室温磁気冷凍に関しては他でも解説されている⁽³⁶⁾⁻⁽³⁸⁾。

高性能の室温磁気冷凍システムを実現するには、ベッドに生じる温度勾配に合わせて磁気熱量効果の発現温度を調整した材料を配置しなければならない。従って、磁気冷凍用材料には磁気熱量効果が大きいことに加えて、その発現温度の目安になるキュリー温度 T_C の制御の容易さが望まれる。また、図1に示した磁場印加と消磁を繰り返すサイクル動作により磁気熱量効果が劣化しないことも必要になる。室温磁気冷凍では、冷媒が固体であるため用いる図1の熱交換流体として比熱や熱伝導特性に優れた水溶液が有望視されている。従って、高い熱交換率を得るために、磁気冷凍用材料は優れた熱伝導特性を有し、水溶液中でも安定であることも求められる。

等温的および断熱的に磁場 H を印加した際に生じる等温磁気エントロピー変化 ΔS_m および断熱温度変化 ΔT_{ad} は磁

気熱量効果の大きさを表す指標である。磁気冷凍用材料には ΔS_m および ΔT_{ad} の両方が大きいことが求められる。印加磁場 $H_{appl.}$ における ΔS_m および ΔT_{ad} は、エントロピー S および温度 T を用いて、次式より求められる。

$$\begin{aligned}\Delta S_m &= S(T)_{\mu_0 H = \mu_0 H_{appl.}} - S(T)_{\mu_0 H = 0} \\ \Delta T_{ad} &= T(S)_{\mu_0 H = \mu_0 H_{appl.}} - T(S)_{\mu_0 H = 0}\end{aligned}\quad (1)$$

ここで、 μ_0 は真空透磁率である。式(1)から明らかなように、潜熱を伴う1次磁気転移ではエントロピーが不連続に変化するため、エントロピーが連続的に変化する2次磁気転移と比較して、大きな ΔS_m および ΔT_{ad} 、すなわち巨大磁気熱量効果が期待できる⁽²³⁾⁽²⁷⁾。このような観点から世界各国で研究が盛んに行われた結果、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物以外にも、 $\text{Gd}_5(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_4$ ⁽³⁹⁾、 $\text{MnAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ ⁽⁴⁰⁾ および $\text{MnFeAs}_x\text{P}_{1-x}$ ⁽⁴¹⁾ などにおいて室温近傍で磁場誘起1次磁気転移に伴う巨大磁気熱量効果が報告されている。それらと比較して、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}\text{H}_y$ は印加が容易な低磁場における磁気熱量効果が大きい。また、水素濃度の調整により、巨大磁気熱量効果の発現温度も室温近傍の広い範囲で任意に制御できる⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。その他の候補材料は磁気転移に伴い結晶構造も大きく変化するが、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}\text{H}_y$ では磁気転移に伴う結晶構造変化はない。そのため、サイクル動作に伴う磁気転移の繰り返しによる磁気熱量効果の劣化の懸念は低い⁽⁴²⁾。また、1次磁気転移特有のヒステリシスは熱損失の原因になるが、本化合物ではLaの希土類部分置換を利用した組成調整により巨大磁気熱量効果を保持してヒステリシス損失を大幅に低減できる⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾。さらに、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}\text{H}_y$ の熱伝導特性は他の候補材料よりも優れている⁽⁴⁵⁾。

本化合物の基礎物性や材料物性の研究では、数グラムの試料があれば十分であるが、室温磁気冷凍システムに搭載するには作製スケールの大型化が必要になる。しかし、キログラムスケールなどでの作製では、磁気熱量効果が低下し、発現温度にも変化が生じる。また、本化合物を磁気冷凍システムに搭載すると熱交換流体の水溶液で容易に腐食する。本化合物の室温磁気冷凍システムへの搭載の観点から、これらの課題解決が求められる。

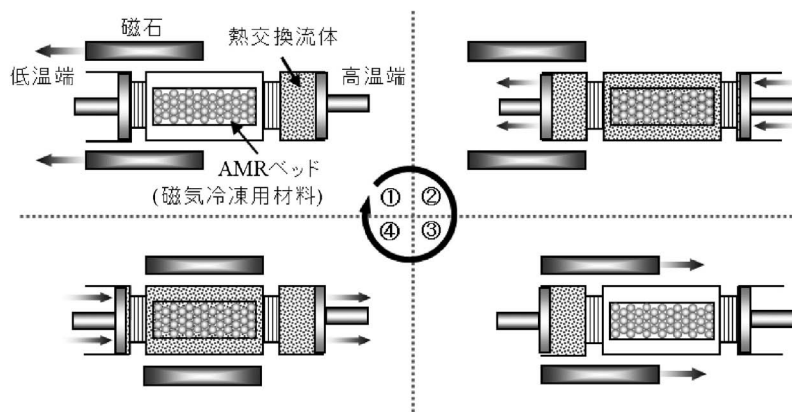


図1 能動的蓄冷(Active Magnetic Regenerator: AMR)型の磁気冷凍システムおよび冷凍サイクルの模式図⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。

3. 均質化熱処理による $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相の形成

La-Fe-Si 系状態図の縦断面を図2に示す⁽⁴⁶⁾．横軸には， $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の化学式で表した Fe 濃度 x を示す． $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ は，比較的 Fe 低濃度において正方晶の $\text{Ce}_2\text{Ni}_{17}\text{Si}_9$ 型構造 (τ_2) になり，比較的 Fe 高濃度において立方晶の NaZn_{13} 型構造 (τ_1) になる． NaZn_{13} 型の $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ は， $x \leq 0.84$ ではキュリー温度 T_C で 2 次磁気転移を示し， $0.86 \leq x$ では T_C で温度誘起 1 次磁気転移を示す⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾．そして，1 次の T_C 以上で遍歴電子メタ磁性転移に起因して巨大磁気熱量効果を示す⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾．また，Fe 濃度が高いほど大きな磁気熱量効果が生じる⁽¹³⁾．しかし，このような組成範囲では，図2から明らかなように，比較的高温

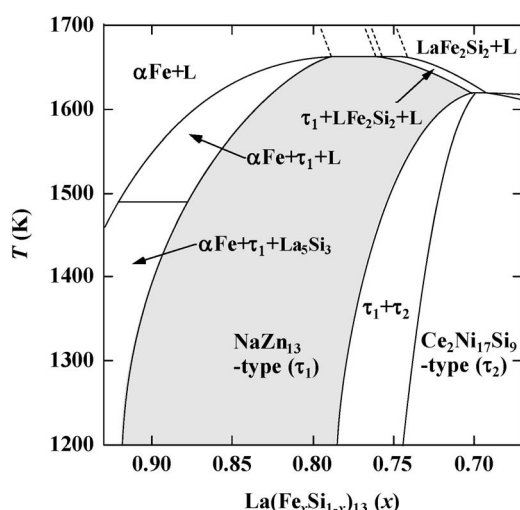


図2 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の $0.93 \leq x \leq 0.67$ の組成範囲における La-Fe-Si 系状態図の縦断面⁽⁴⁶⁾． τ_1 および τ_2 は，それぞれ立方晶の NaZn_{13} 型相および正方晶の $\text{Ce}_2\text{Ni}_{17}\text{Si}_9$ 型相を表す．L は液相を示す．

では αFe 相などが安定になるため，原料を溶解および凝固した状態で NaZn_{13} 型の単相を得るのは困難であり，均質化熱処理が必須になる．このような理由から，より大きな磁気熱量効果の材料を大量に作製するための基礎的知見を得るために， NaZn_{13} 型の $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相の形成および磁気熱量効果におよぼす均質化熱処理の影響を調べた．

組成が $\text{La}(\text{Fe}_{0.89}\text{Si}_{0.11})_{13}$ になるように原料をアーク溶解および凝固した後， NaZn_{13} 型が平衡相になる 1323 K で均質化熱処理を異なる時間施した試料の反射電子像を図3に示す⁽⁴⁷⁾．熱処理前の溶解および凝固した状態において， $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相は観察されず，黒色の αFe 相 (A) と白色の LaFeSi 相 (B) のデンドライト組織が形成される．25時間の均質化熱処理後において， αFe 相および LaFeSi 相は小さくなり，それらを取り囲むようにグレーの $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相 (C) が出現する．従って， $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相は αFe 相と LaFeSi 相の境界で形成される．均質化熱処理時間の増加に伴い $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相の割合は増加し，300時間の熱処理後において， $\text{La}(\text{Fe}_{0.89}\text{Si}_{0.11})_{13}$ 化合物の単相状態に達する．

上述の試料の熱磁気曲線を図4(a)に示す⁽⁴⁷⁾．熱処理前において，熱磁気曲線に磁気転移は観測されないが，25時間の均質化熱処理後では $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相が形成されるので， T_C での温度誘起 1 次磁気転移により，熱磁気曲線は急激な温度変化を示す．均質化熱処理時間の増加に伴い T_C 直下および直上の磁化はそれぞれ増大および減少し， T_C での磁化の温度変化は顕著になる．また，均質化熱処理時間の増加に伴い T_C は上昇する．単相の $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物の T_C は，Fe 濃度の増加に伴い減少する⁽¹⁰⁾．つまり，均質化熱処理の初期段階では比較的 Fe 高濃度の $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相が αFe 相と LaFeSi 相の境界で形成され，その後，単相化に伴い組成は均質化される．

磁気熱量効果の大きさを表す指標の 1 つである等温磁気エントロピー変化 ΔS_m は，Maxwell の関係より磁化 M を用いて次式で表される．

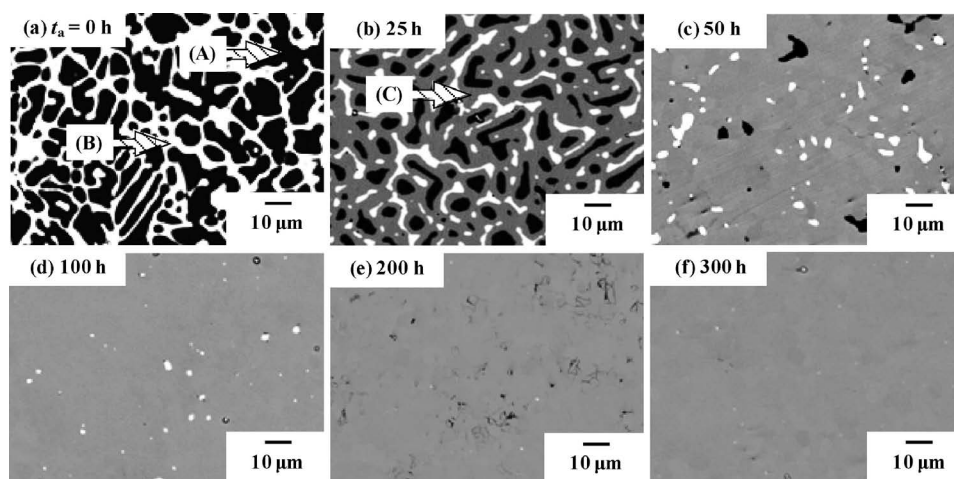


図3 組成が $\text{La}(\text{Fe}_{0.89}\text{Si}_{0.11})_{13}$ になるようにアーク溶解および凝固した後，1323 K で均質化熱処理を異なる時間 t_a 施した試料の反射電子像⁽⁴⁷⁾．

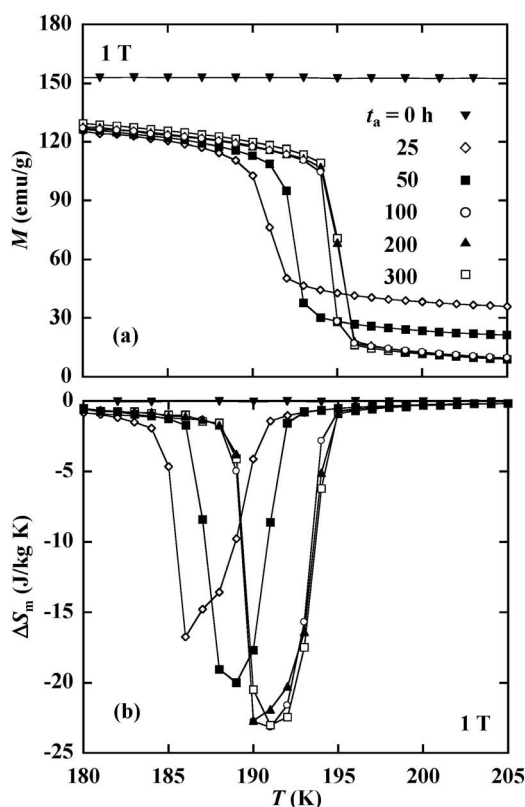


図4 均質化熱処理を異なる時間 t_a 施した試料の(a)熱磁気曲線および(b) $\mu_0 H = 1$ Tの磁場印加における等温磁気エントロピー変化 ΔS_m の温度依存性⁽⁴⁷⁾.

$$\Delta S_m = \mu_0 \int_0^{H_{app}} \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_H dH \quad (2)$$

強磁性状態から常磁性状態への理想的な1次磁気転移であれば、温度上昇に伴い磁化が不連続に変化するので、式(2)の $\partial M / \partial T$ は発散する。しかし、多くの場合、温度上昇により核生成する常磁性相が強磁性相と共存し、核成長により各相の割合が連続的に変化しながら磁気転移が進行する。La(Fe_xSi_{1-x})₁₃系化合物もその例外ではない⁽¹⁰⁾⁽⁴⁸⁾。つまり、現実の1次磁気転移ではバルク全体の $\partial M / \partial T$ は発散しないので、式(2)から妥当な ΔS_m を見積もることが出来る⁽⁴⁹⁾。

永久磁石でも可能な $\mu_0 H = 1$ Tの磁場印加による ΔS_m の温度依存性を図4(b)に示す⁽⁴⁷⁾。25時間の均質化熱処理により、 T_C での磁化の急激な温度変化に起因して ΔS_m は明瞭なピークを示す。均質化熱処理時間の増加に伴い T_C での磁化の温度変化は顕著になるので、 $|\Delta S_m|$ の最大値は増大する。また、均質化熱処理時間の増加に伴い La(Fe_xSi_{1-x})₁₃相の T_C は上昇するため、 ΔS_m のピークは高温側にシフトする。つまり、磁気熱量効果の大きさだけでなく、その発現温度も均質化熱処理の影響を受ける。従って、室温磁気冷凍システムへの搭載に向けて、発現温度を容易に制御するには単相の材料作製が必須になる。

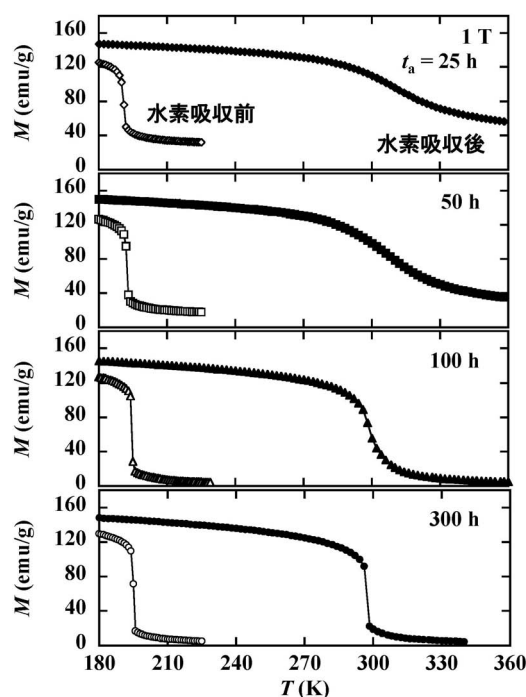


図5 均質化熱処理を異なる時間 t_a 施した試料に同一条件で水素を吸収させた前後の熱磁気曲線⁽⁵⁰⁾。

4. 水素吸収によるキュリー温度 T_C の制御におよぼす金属組織の影響

室温近傍において遍歴電子メタ磁性転移による巨大磁気熱量効果を得るには、本化合物の水素吸収により T_C を上昇制御しなければならない。そこで、前節で述べた均質化熱処理を異なる時間施した試料を0.1 MPaの水素雰囲気下において573 Kで10時間保持して水素を吸収させた。水素吸収前後の熱磁気曲線を図5に示す⁽⁵⁰⁾。25時間の均質化熱処理では、図3に示すように試料は相当量の α Fe相および LaFeSi相を含むが、水素吸収により La(Fe_xSi_{1-x})₁₃相の T_C は室温付近まで上昇する。しかし、水素吸収前と比較して T_C での温度誘起1次磁気転移は不明瞭になる。均質化熱処理時間が長い試料ほど、水素吸収後において T_C で明瞭な温度誘起1次磁気転移を示す。300時間の均質化熱処理により単相化した試料では、水素吸収後においても T_C で水素吸収前と同様の明瞭な温度誘起1次磁気転移が生じる。

図6に水素吸収前後における $\mu_0 H = 2$ Tの磁場印加による等温磁気エントロピー変化の最大値 $|\Delta S_m^{\max}|$ の比較を示す⁽⁵⁰⁾。25時間の均質化熱処理を施した試料の $|\Delta S_m^{\max}|$ は、水素吸収により減少する。単相の La(Fe_{0.88}Si_{0.12})₁₃H_yの T_C は水素吸収量にほぼ比例し、例えば、約 $y = 1.0$ の水素吸収により100 K程度も上昇する⁽¹⁵⁾⁽¹⁷⁾。従って、水素吸収後においても水素吸収前と同様に明瞭な温度誘起1次磁気転移を保持するには、試料中の水素濃度は均質でなければならない。しかし、均質化熱処理時間が比較的短い試料では、異相や組成の不均一性に起因して試料中の水素濃度に分布が生じる。その結果、 T_C にも分布が生じるので、 T_C での磁化の温

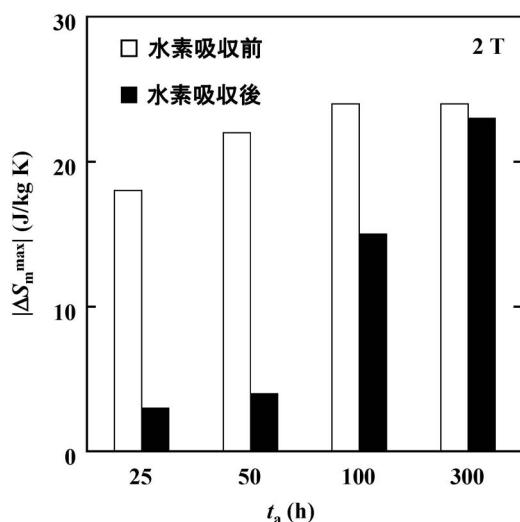


図6 均質化熱処理を異なる時間 t_a 施した試料の $\mu_0H = 2\text{ T}$ の磁場印加における等温磁気エントロピー変化の最大値 $|\Delta S_m^{\max}|$ の水素吸収前後における比較⁽⁵⁰⁾.

度変化は緩慢になるために $|\Delta S_m^{\max}|$ は減少する．均質化熱処理時間が長い試料ほど水素吸収後における $|\Delta S_m^{\max}|$ の減少量は少なくなり，300時間の熱処理を施したほぼ単相の試料では，水素吸収前と同程度の大きな値が水素吸収後においても得られる．ここで，僅かに異相が残存する100時間の均質化熱処理を施した試料に着目して欲しい．300時間の均質化熱処理により単相化した試料と比較すると，水素吸収前における $|\Delta S_m^{\max}|$ は同程度であるが，水素吸収後における値は明らかに小さい．すなわち，水素吸収前と比較して，水素吸収後における本化合物の磁気熱量効果は異相や組成の不均一性の悪影響を顕著に受ける．単相の材料作製は，室温でより大きな磁気熱量効果を得るためにも重要になる．

5. $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 化合物の水溶液腐食および防食

$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の単相試料を大気中に長時間放置した蒸留水 (Distilled Water: DW) に30日間浸漬した前後の光学顕微鏡写真を図7に示す⁽⁵¹⁾．このように，本化合物を水溶液へ浸漬すると容易に腐食生成物が形成し，表面は山吹色に変化する．水溶液中には，平衡する気相の酸素分圧に依存した濃度の酸素が溶解する．例えば，20℃の水には大気中で8.8 ppm程度の溶存酸素が存在する⁽⁵²⁾．このような溶存酸素が水溶液腐食と密接に関連することが，鉄および鉄鋼などでは広く知られている．そこで，本化合物の水溶液腐食におよぼす溶存酸素の影響を調べるために，Arガスバブリングにより溶存酸素を0.1 ppm以下に低減した蒸留水 (Deaerated Distilled Water: DDW) に本化合物を浸漬した．その結果，図7に示すように浸漬後も試料は金属光沢を示した⁽⁵¹⁾．従って，溶存酸素濃度の低減により，腐食生成物の形成は抑制される．浸漬試験後の溶液の分析を行った結果，DW中の鉄濃度は分析限界以下であるのに対し，DDW中のFe濃

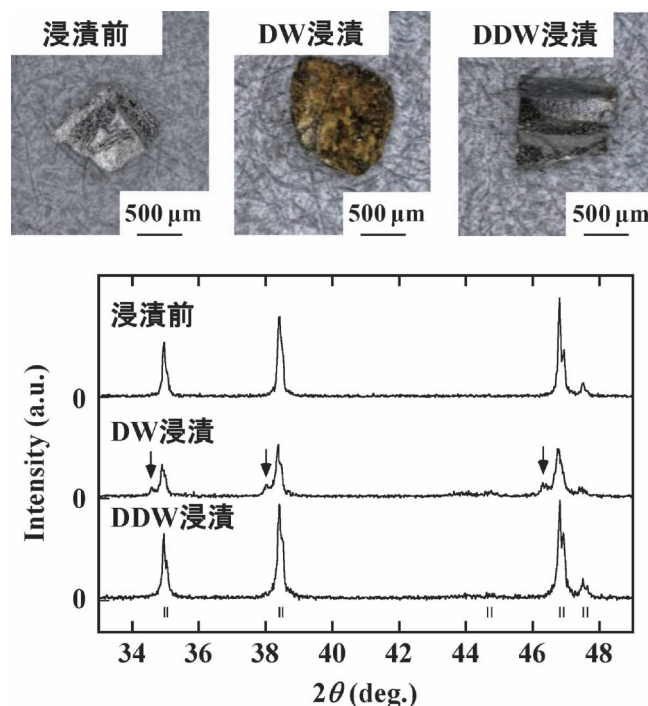


図7 $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の単相試料を，大気中に長時間保持した蒸留水 (DW) および溶存酸素濃度が0.1 ppm以下の蒸留水 (DDW) に30日間浸漬した前後の光学顕微鏡写真およびX線回折パターン⁽⁵¹⁾．

度は0.17 ppmであった．DW中では，溶出した鉄イオンが溶存酸素と反応して腐食生成物を形成するのに対し，DDW中では溶存酸素が殆どないため腐食生成物の形成が抑制されていることに対応する．

DWおよびDDWに浸漬した試料のX線回折パターンを図7に示す⁽⁵¹⁾．DWに浸漬した後も， $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相の回折ピークが主に観測される．また，浸漬前と比較して，回折ピークは全体的に低角側にシフトする．つまり，DWへの浸漬により格子は膨張する．また，矢印で示したように，さらに大きい体積の $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 相も観察される．Laは水素と強い親和性を有するので，水溶液腐食に伴い発生した水素を本化合物が吸収したと推察される．

図8(a)に30日間の浸漬試験前後における試料の熱磁気曲線を示す⁽⁵¹⁾．DWへの浸漬により，腐食生成物の形成に起因してキュリー温度 T_C 以下での磁化は減少する．一方， T_C 以上での磁化は増大し，比較的高い T_C の強磁性腐食生成物の形成が示唆される．その結果， T_C での磁化の変化は小さくなる．さらに，DWへの浸漬により， T_C での磁化の温度変化は緩慢になる．すなわち，DWへの浸漬により，試料の表面近傍が単に腐食生成物になるだけでなく，その内部も影響を受ける．DDWに浸漬した試料も同様の傾向を示すが，その影響はDWに浸漬した試料よりも小さい．このような磁気的性質の変化は，水溶液腐食に伴い発生する水素を試料が不均一に吸収するためと説明される．

図8(b)に $|\Delta S_m^{\max}|$ の浸漬期間依存性を示す⁽⁵¹⁾．DWへの浸漬初期において $|\Delta S_m^{\max}|$ は顕著に減少する．DDWに浸漬

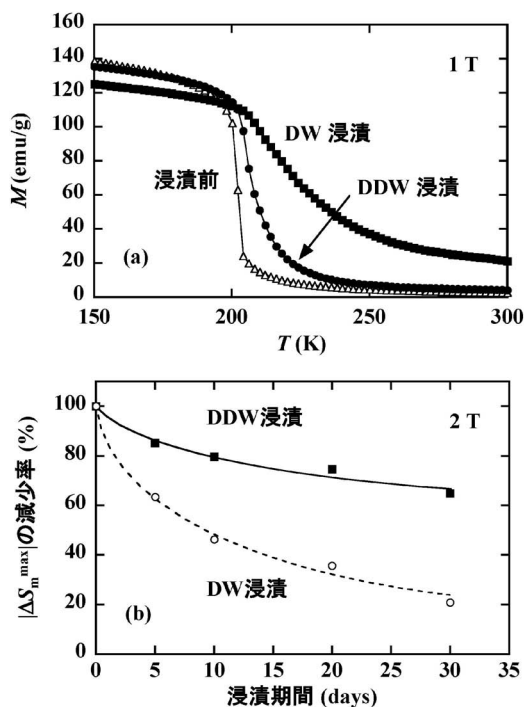


図8 (a) $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の単相試料を異なる溶存酸素量の DW および DDW に30日間浸漬した前後の熱磁気曲線⁽⁵⁰⁾. (b) $\mu_0 H = 2 \text{ T}$ の磁場印加における等温磁気エントロピー変化の最大値 $|\Delta S_m^{\max}|$ の浸漬期間依存性⁽⁵¹⁾.

しても $|\Delta S_m^{\max}|$ は減少するが、DW の場合と比較して減少の度合いは明らかに小さい。従って、室温磁気冷凍システムに搭載した状態で本化合物の巨大磁気熱量効果を維持するには、熱交換用の水溶液中の溶存酸素濃度を低減し、動作中も酸素の侵入を抑制する設計が有効である。

6. お わ り に

本稿では、まず、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 系化合物の作製スケールの大型化に伴う磁気熱量効果の低下や発現温度の変化の問題を克服するために、単相の材料作製が重要であることを述べた。また、本稿の作製条件では単相を得るために 1323 K で 300 時間の均質化熱処理を必要とするが、図 3 から明らかに凝固組織を微細化すれば、熱処理温度の低下および熱処理時間の短縮が可能になる。このような観点から、メルトスパン⁽⁵³⁾やストリップキャスト⁽⁵⁴⁾などによる急冷および添加元素⁽⁵⁵⁾による凝固組織の微細化の検討が行われている。さらに、微細粒子を原料にした焼結反応法による本化合物の作製なども試みられている⁽⁵⁶⁾。また、本稿では、熱交換流体として水溶液を用いた場合の本化合物の腐食を抑制するには、溶存酸素の低減が有効であることも示した。上述の方法以外にも、例えば、Fe の Cr での部分置換⁽⁵⁷⁾、Cu イオンの打ち込みによる表面改質⁽⁵⁸⁾、Cu のメッキ⁽⁵⁹⁾などによる防食が試みられている。さらに、本化合物に有効な防錆剤の検討も行われている⁽³²⁾。水溶液腐食による本化合物の磁気熱

量効果の顕著な低下と関連して、複数の防食方法を活用することが重要になる。

最近、米国の Astronautics 社で $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}\text{H}_y$ を搭載した室温磁気冷凍システムで、世界最高の 3000 W を超える冷凍能力が確認された⁽⁶⁰⁾。本稿で述べたような多角的研究により、室温磁気冷凍システムにおいて本化合物の巨大磁気熱量効果を十分に活用できれば、さらなる性能の向上も期待される。

本稿は、本学会の第11回村上奨励賞(2014年)の受賞講演をまとめたものである。研究成果は深道明先生をはじめ、藤田麻哉先生、鈴木茂先生および諸先生方の御指導および御協力のもとに得られた。また、マツダ財団、稲盛財団、インテリジェント・コスモス学術振興財団および日本証券学財団の援助を受けた。ここに深く感謝の意を表す。

文 献

- (1) E. P. Wohlfarth and P. Rhodes: *Philos. Mag.*, **7**(1962), 1817.
- (2) K. Adachi, K. Sato, M. Matsuura and M. Ohashi: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **29**(1970), 323.
- (3) T. Goto, K. Fukamichi, T. Sakakibara and H. Komatsu: *Solid State Commun.*, **72**(1989), 945.
- (4) T. Goto, T. Sakakibara, K. Murata, H. Komatsu and K. Fukamichi: *J. Magn. Magn. Mater.*, **90&91**(1990), 700.
- (5) K. Koyama, T. Goto, T. Kanomata and R. Note: *Phys. Rev. B*, **62**(2000), 986.
- (6) A. Fujita, Y. Akamatsu and K. Fukamichi: *J. Appl. Phys.*, **85**(1999), 4756.
- (7) H. Yamada: *Phys. Rev. B*, **47**(1993), 11211.
- (8) K. Fukamichi, T. Yokoyama, H. Saito, T. Goto and H. Yamada: *Phys. Rev. B*, **64**(2001), 134401.
- (9) T. Goto, K. Fukamichi and H. Yamada: *Physica B*, **300**(2001), 167.
- (10) A. Fujita, S. Fujieda, K. Fukamichi, H. Mitamura and T. Goto: *Phys. Rev. B*, **65**(2002), 014410.
- (11) A. Fujita, K. Fukamichi, J. -T. Wang and Y. Kawazoe: *Phys. Rev. B*, **68**(2003), 104431.
- (12) A. Fujita, K. Fukamichi, M. Yamada and T. Goto: *Phys. Rev. B*, **73**(2006), 104420.
- (13) S. Fujieda, A. Fujita and K. Fukamichi: *Appl. Phys. Lett.*, **81**(2002), 1276.
- (14) S. Fujieda, Y. Hasegawa, A. Fujita and K. Fukamichi: *J. Magn. Magn. Mater.*, **272-276**(2004), 2365.
- (15) S. Fujieda, A. Fujita, K. Fukamichi, Y. Yamazaki and Y. Iijima: *Appl. Phys. Lett.*, **79**(2001), 653.
- (16) S. Fujieda, A. Fujita, K. Fukamichi, Y. Yamaguchi and K. Ohoyama: *J. Phys. Soc. Jpn.*, **77**(2008), 074722.
- (17) A. Fujita, S. Fujieda, Y. Hasegawa and K. Fukamichi: *Phys. Rev. B*, **67**(2003), 104416.
- (18) S. Fujieda, A. Fujita and K. Fukamichi: *Sci. Tech. Adv. Mater.*, **4**(2003), 339.
- (19) S. Fujieda, A. Fujita, K. Fukamichi, N. Hirano and S. Nagaya: *J. Alloys Compd.*, **408-412**(2006), 1165.
- (20) S. Fujieda, N. Kawamoto, A. Fujita and K. Fukamichi: *Mate. Trans.*, **47**(2006), 482.
- (21) S. Fujieda, A. Fujita, N. Kawamoto and K. Fukamichi: *Appl. Phys. Lett.*, **89**(2006), 062504.
- (22) 藤田麻哉, 藤枝 俊, 深道和明: まてりあ, **41**(2002), 296.
- (23) 深道和明: まてりあ, **45**(2006), 347.
- (24) 藤枝 俊, 藤田麻哉, 深道和明: まてりあ, **47**(2008), 10.
- (25) 長谷田泰一郎, 橋本巍洲: 夢の磁気冷凍技術, 未踏加工技術

- (26) 橋本巍洲：磁気冷凍と磁性材料の応用，工業調査会，(1987).
 - (27) A. M. Tishin and Y. I. Spichkin: The Magnetocaloric Effect and Its Applications, Institute of Physics Publishing, (2003).
 - (28) K. A. Gschneidner, Jr. and V. K. Pecharsky: Int. J. Refrigeration, **31**(2008), 945.
 - (29) C. Zimm, A. Boeder, J. Chell, A. Sternberg, A. Fujita, S. Fujieda and K. Fukamichi: Int. J. Refrigeration, **29**(2006), 1302.
 - (30) A. Fujita, S. Koiwai, S. Fujieda, K. Fukamichi, T. Kobayashi, H. Tsuji, S. Kaji and A. T. Saito: J. J. Appl. Phys., **46**(2007), L154.
 - (31) K. Engelbrecht, C. R. H. Bahl and K. K. Nielsen: Int. J. Refrigeration, **34**(2011), 1132.
 - (32) M. Balli, O. Sari, L. Zamni, C. Mahmed and J. Forchelet: Mater. Sci. Eng. B, **177**(2012), 629.
 - (33) J. Wang, G. Diguët, G. Lin and J. Chen: Adv. Mater. Res., **631–632**(2013), 322.
 - (34) J. Tušek, A. Kitanovski, U. Tomc, C. Favero and A. Poredoš: Int. J. Refrigeration, **37**(2014), 117.
 - (35) A. J. DeGregoria: Adv. Cryog. Eng., **37**(1992), 867.
 - (36) 沼澤健則：低温工学，**32**(1997)，192.
 - (37) 齋藤明子，小林忠彦，辻 秀之：まぐね，**7**(2006)，308.
 - (38) 中込秀樹：まぐね，**11**(2006)，541.
 - (39) V. K. Pecharsky and K. A. Gschneidner, Jr.: Phys. Rev. Lett., **78**(1997), 4494.
 - (40) H. Wada and Y. Tanabe: Appl. Phys. Lett., **79**(2001), 3302.
 - (41) O. Tegus, E. Brück, K. H. J. Buschow and F. R. de Boer: Nature, **415**(2002), 150.
 - (42) K. Fukamichi, A. Fujita and S. Fujieda: J. Alloys Compd., **408–412**(2006), 307.
 - (43) S. Fujieda, A. Fujita and K. Fukamichi: IEEE Trans. Magn., **41**(2005), 2787.
 - (44) S. Fujieda, A. Fujita and K. Fukamichi: J. Magn. Magn. Mater., **321**(2009), 3567.
 - (45) S. Fujieda, Y. Hasegawa, A. Fujita and K. Fukamichi: J. Appl. Phys., **95**(2004), 2429.
 - (46) K. Niitsu, S. Fujieda, A. Fujita and R. Kainuma: J. Alloys Compd., **578**(2013), 220.
 - (47) S. Fujieda, K. Fukamichi and S. Suzuki: J. Alloys Compd., **566**(2013), 196.
 - (48) A. Fujita, T. Kondo, M. Kano and H. Yako: Appl. Phys. Lett., **102**(2013), 041913.
 - (49) K. A. Gschneidner, Jr., V. K. Pecharsky, E. Brück, H. G. M. Duijn and E. M. Levin: Phys. Rev. Lett., **85**(2000), 4190.
 - (50) S. Fujieda, A. Fujita, K. Fukamichi and S. Suzuki: IEEE Trans. Magn., **47**(2011), 2459.
 - (51) S. Fujieda, K. Fukamichi and S. Suzuki: J. Alloys Compd., **600**(2014), 67.
 - (52) G. A. Truesdale, A. L. Downing and G. F. Lowden: J. Appl. Chem., **5**(1955), 53.
 - (53) A. Yan, K. H. Müller and O. Gutfleisch: J. Appl. Phys., **97**(2005), 036102.
 - (54) S. Hirose, H. Tomizawa and K. Bekki: IEEE Trans. Magn., **42**(2006), 3608.
 - (55) K. Niitsu and R. Kainuma: Key Eng. Mater., **508**(2012), 172.
 - (56) M. Katter, V. Zellmann, G. W. Reppel and K. Uestuener: IEEE Trans. Magn., **44**(2008), 3044.
 - (57) M. Zhang, W. Sun, Y. Long, C. Qiu and R. Ye: J. Rare Earths, **31**(2013), 69.
 - (58) E. Zhang, Y. Chen and Y. Tang: J. Rare Earths, **30**(2012), 269.
 - (59) J. Lyubina, U. Hannemann, L. F. Cohen and M. P. Ryan: Adv. Energy Mater., **2**(2012), 1323.
 - (60) S. Jacobs, J. Auringer, A. Boeder, J. Chell, L. Komorowski, J. Leonard, S. Russek and C. Zimm: Int. J. Refrigeration, **37**(2014), 84.

電気化学を入口とする材料研究

川 喜 多 仁*

1. は じ め に

この度は研究紹介をする貴重な機会を与えていただき、ありがとうございます。電気化学は腐食、めっき、電池といった物質・材料間における電荷の授受を伴う化学変化を取り扱う学問分野である。筆者はこれまでに主として電気化学に基づいた材料の創製と評価を行ってきた。本項では最近の研究として3つのトピックスを取り上げ、以下に紹介する。

2. 応力腐食割れのクロノイメージング

ステンレス鋼は、一般的な炭素鋼と比較して平均的な腐食速度が小さいという特徴から、エネルギープラントや化学プラントで多く用いられてきた。しかしながら、腐食環境下において引っ張り応力が加わる条件下では、き裂が材料表面において局所的に発生し、内部へと進行する応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking, 以下 SCC⁽¹⁾) と呼ばれる形態の損傷が起こることがあり、その後の深刻な事故につながる危険性を秘めている。SCCの抑制のためには、その機構解明が重要である。従来、試料を破断させたり、研磨を行ったりするといった破壊の作業により断面を露出させ、き裂を観察することが行われてきたが、進展するき裂の立体形状や経時変化についての情報を得ることはできない。X線断層撮影 (X-ray Computed Tomography, 以下 XCT⁽²⁾) を用いることで、き裂の立体情報を取得することができる。さらに、試料を破壊することなく評価できる手法という特徴を活かすことで、同一試料の内部構造が時間とともに変化する様子を追跡する“クロノイメージング”も可能となる。ステンレス鋼は鉄やクロムといった重元素から構成されるため、汎用のX線源と比較して、光子数が約1億倍も多い放射光などのいわゆる高輝度なX線源を用いることで、XCT観察が行われてきた⁽³⁾⁽⁴⁾。その結果、観察位置(視野)を固定したき裂の形状変化や同一サンプル中における異なる部位のき裂形状な

どの観察が行われ、き裂進展挙動の推測が可能となった。しかしながら、き裂の成長、特に先端が伝播していく際の時間変化を追跡することはなされていなかった。これは、CT画像の再構成に必要なデータを取得するためには1箇所の観察位置について複数回に渡る撮影が必要であること、さらに確率的に進展するき裂を観察するためには複数箇所の観察位置について撮影する必要があること等の理由により、長時間に渡ってマシンタイムを確保しなければならず、放射光を有する共用施設では、現実的には、き裂の成長、特に、き裂先端の伝播を観察することが困難であったためと考えられる。また、高温高圧純水中においてサンプルに引っ張り応力を連続的に負荷するといったSCC条件と放射光におけるXCT観察を行うことを両立させることも時間的・施設的な制約により困難であったためと考えられる。

著者らは、マシンタイムの確保が比較的容易な汎用のX線源によるXCTを用い、またX線の透過量を考慮して細い形状の試料とし、さらに断続的なSCC試験とXCT撮影を繰り返し行うことによって、図1に示すように、SCCの時間変化を追跡することを可能にした⁽⁵⁾⁽⁶⁾。さらに、3次元解析の特徴を活かすことで、1次元および2次元に関する新しい情報を得ることもできた。従来は破断面または研磨面を観察していたことから、同一面上における見かけの長さしか計測できなかった。しかしながら、き裂を3次元で特定できることから、き裂の実長さの計測およびその時間変化を追跡できるようになった(図2)。

以上より、X線断層撮影(XCT)等を活用することによりステンレス鋼内部で進展するSCCき裂の3次元的な経時変化とその材料因子について世界で初めて明らかにした。これらの成果により、材料損傷の新しい評価手法の提案することができた。さらに、XCTにより、進展したき裂を特定した上で、その他の分析・解析手法へと橋渡しすることも可能であることから、SCCを抑制するための材料設計への発展も期待できる。

* 物質・材料研究機構；主席研究員(〒302-0004 つくば市並木1-1)

Materials Research Beginning from Electrochemistry; Jin Kawakita (National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: *electrochemistry, stress corrosion cracking, chrono-imaging, conducting polymer, metal, moisture, sensor*

2016年3月9日受理[doi:10.2320/materia.55.412]

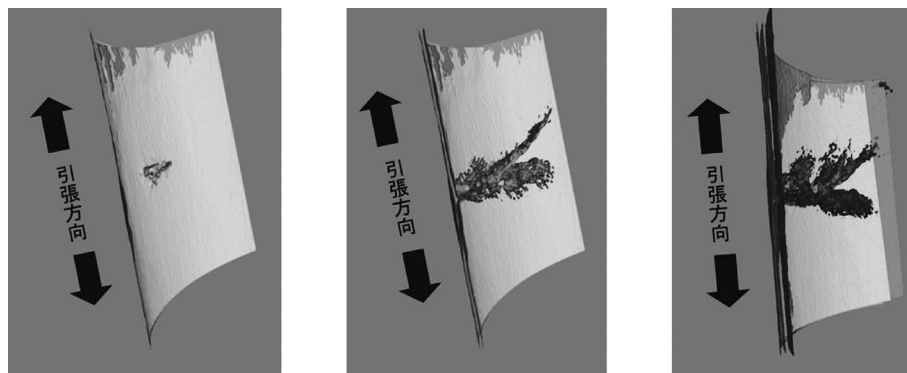


図1 XCTによるステンレス鋼における応力腐食割れ(SCC)の進展するき裂の3次元可視化像。

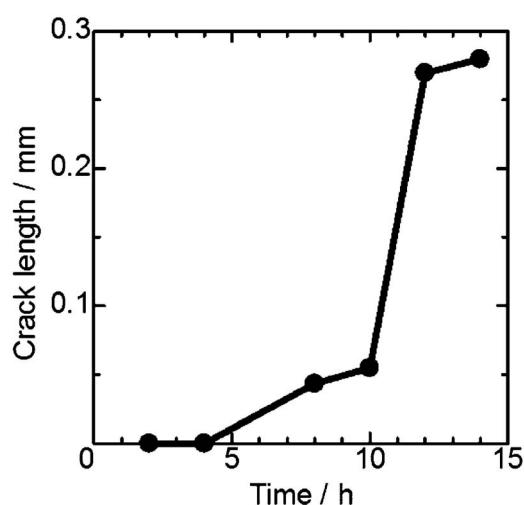


図2 ステンレス鋼における応力腐食割れ(SCC)のき裂実長さの時間変化。

3. フレキシブルインターコネクト用材料

金属塩と有機モノマーを溶媒に溶解させた反応系に紫外光を照射すると、アニオンがドーピングされた導電性ポリマーの重合と金属の析出が同時に進行する電気化学反応が起こり、金属と導電性ポリマーからなる複合材料が合成できる⁽⁷⁾。この合成反応は、光によって加速されるために成長速度が大きくなり⁽⁸⁾⁽⁹⁾、その成長速度は $40 \text{ nm} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上と⁽¹⁰⁾、めっきによる銅やCVDによるタングステンといった金属膜を形成する手法と比較して10倍以上大きい。このことは材料の形成時間を本質的に短くできる可能性を示唆している。

これまでに得られた複合材料の電子顕微鏡写真と構造イメージの一例を図3に示す。金属(銀)のナノ粒子が導電性ポリマーであるポリピロールの表面を殻のように覆う構造をしている。この構造を有する複合材料の導電率は $2 \times 10^4 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ であり⁽¹⁰⁾、市販の導電性ポリマーと比べて2桁大きい値が得られている。従来報告されてきた導電性ポリマーと金属からなる複合材料では、金属がポリマーに覆われる構造⁽¹¹⁾をとることが多く、導電性ポリマー同士の接触を通して電気が流れるために、導電性ポリマー単体以下の導電率に

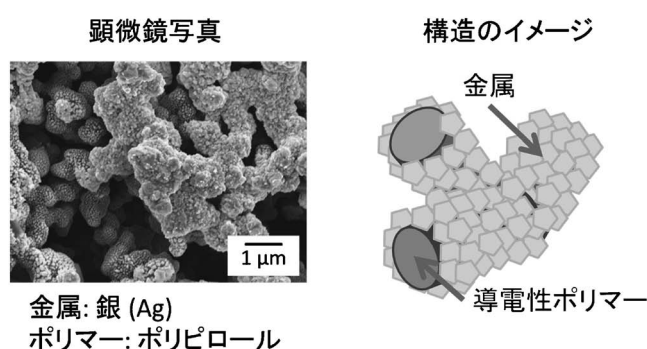


図3 導電性ポリマー/金属複合材料の構造の一例。

とどまっていた。一方、本項で紹介する開発材料では、金属とポリマーの配置関係を逆転できたことにより、高い導電性が達成されたと推測している。

上記の導電性ポリマー/金属複合材料を作製するための光溶液化学とインプリントで形成した溝への溶液注入といった液滴をパターン状に配列するプロセスとを融合することで、生産効率の高い配線形成が可能になる。これまでに、金属のめっきやインクジェットプリントでは困難であった、線幅が細く($\sim 1 \mu\text{m}$)、なおかつ厚みの大きい($\sim 10 \mu\text{m}$)配線を短時間(10分以内)で形成することも可能となっている⁽¹²⁾。

導電性ポリマー/金属複合材料を液滴塗布・乾燥することによりプラスチック基材上に作製した場合、テープ剥離試験(JIS Z 1522)において良好な密着性を示した⁽¹³⁾。基材、テープ表面に残存する複合材料の面積より算出した密着率は、ほとんどのプラスチック基材に対して、90%以上の密着率が得られた。なお、一般的に多くの材料との密着性が低いとされるフッ素樹脂に対しても界面に剥離が見られないことは特筆すべきである。なお、本記事で紹介した導電性ポリマー/金属複合材料が、多くのプラスチックに対して、特別な前処理や後処理を用いることなく密着可能である事は、プラスチックを基材表面とする導電配線や電極形成の点で有望であるといえる。

導電性ポリマー/金属複合材料を液滴塗布・乾燥によりポリイミドやPETといったプラスチックフィルム上にパターン状に形成した後、図4に示すような曲げ戻しを繰り返して



図4 ポリイミドフィルム上に導電性ポリマー/金属材料の配線パターンを形成し、曲げ戻しを繰り返した際の写真。

も容易に剥離や断線することはなかった⁽¹²⁾。また、同様に形成したパターンを用い、屈曲試験(JIS C 5016)において90度曲げる際の方向を両側から片側だけに変更した試験を行ったところ、1万回の屈曲まで密着性と導電性が維持されることを示した。

本材料では、他の材料と比べて導電率、柔軟性については、比較的優れており、密着性と生産効率の点で優位性が高いと言える。さらに、環境への影響が危惧される元素は使用していない。なお、構成元素として、銀は貴重であるが、材料の一部、特に表面に使うことにより、銀を単体で用いる場合と比較すると、計算上80%削減できる。上記の特性を生かすことで、折りたためるディスプレイなどのフレキシブルな電子デバイスにおいて、モニタやCPUといった構成パーツの内部およびパーツ間において電気信号を伝達するための微細配線(インターコネクト)への利用が期待できる。

4. 湿気判別センサ

異なる金属を電解液に浸した状態で接触させると、電流が発生するガルバニ作用という現象がある。ガルバニ作用はルイージ=ガルバニが1791年にカエルの筋肉に金属の電極を接触させることで、筋肉が震える現象に端を発しており、電極間の電気ポテンシャルの差(電位差)を駆動力とし、その差を等しくしようとして、両電極間において電子移動に伴う電気化学反応が起こるものである。ガルバニ作用は多くの電池や金属腐食の動作原理となっている。異種の金属Aおよび金属Bを微細な間隔を設けた電極として並べると、微小な水滴が接触することで、ガルバニ作用が発現し、電流が流れる。この電流を計測することで、微小な水滴をセンシングすることが可能になる。

微細な間隔を有する異種金属の電極は半導体微細加工技術を用いてシリコン基板上に作製できる⁽¹⁴⁾。作製したセンサチップの外観を図5(a)に示す。5mm角四方のシリコンチップの中央付近に明るい部分が見える。この部分が電極であり、その面積は1mm²以下である。電極部分の拡大図の一例を図5(b)に示す。銅(Cu)と金(Au)の細線が1μmの間隔で並んでいることが分かる。なお、半導体微細加工技術で

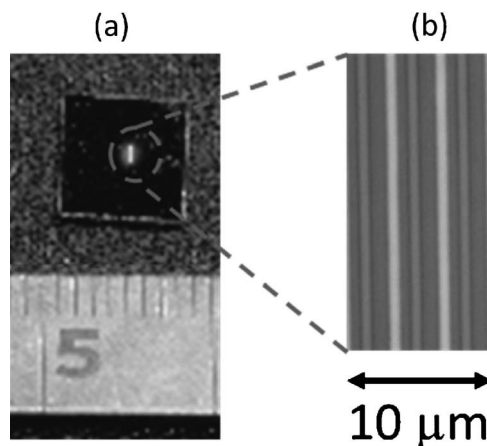


図5 モイスチャーセンサのチップの外観(a)と金属電極(b)の光学顕微鏡像。

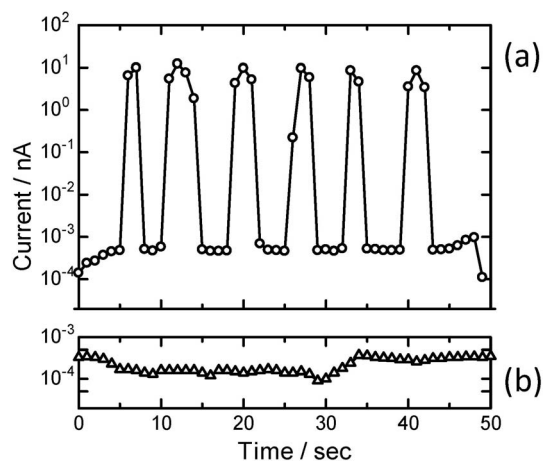


図6 モイスチャーセンサに水滴を接触させ、乾燥するサイクルを繰り返した際に観測される電流の経時変化。

は、様々な金属細線の形成手法があり、電極の配置や形状、金属の種類の自由度が大きい。特に、最先端の半導体微細加工技術を用いることにより、16nmの間隔で金属配線を作製することも可能であり、さらに微細な間隔での作製も期待できる。

電極間隔の異なる2種類のセンサの電極上に微小な水滴を接触させ、乾燥させるサイクルを繰り返した際に観測される電流の経時変化を図6に示す。図6(a)では時間経過に伴い、バックグラウンドレベルと比較して4桁以上増加した応答電流が観測されている。他方、図6(b)では同様な水滴の接触と乾燥サイクルを繰り返したにもかかわらず、電流はバックグラウンドレベルに留まっている。上記サイクル試験で用いた2種類のセンサに水滴を接触させた直後の電極表面の光学顕微鏡像を図7に示す。図7(a)および7(b)は電極間隔がそれぞれ1, 10μmであり、センサ表面に存在する水滴のサイズが5μm程度であることが分かる。電極間隔が1μmの場合には、水滴が電極間をブリッジするように存在で

マイクロメカニックス I

～基本的事項～

森 勉*

1. 緒 論

編集委員会から、マイクロメカニックスの講義ノートを書けと言われた。ニュートン力学の範囲云々なる語句を使ってマイクロメカニックスを定義している人もいる。我が師の Toshio Mura (村外志夫) は、“固体の微細構造の幾何学およびひずみ・応力を研究する”ものと説明している⁽¹⁾。一方、皆川先生の極めて難解な解説記事もある⁽²⁾。この解説の最初の数行は分かるが、あとは金属屋や材料屋の日常生活に役に立ちそうもないことばかりである。堀さんの著書はかなり具体的問題を議論しているが、これも難しい⁽³⁾。

40年ほど前に、マイクロメカニックスの講義を、「まてりあ」の前身の会報に書いた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。このときは、教科書、参考書に解のみが書かれていることを、どうやって導くかということに主眼をおいた。古いものである。加藤雅治さんの講義も最近のまてりあ⁽⁷⁾に載っていて、未だマイクロメカニックスの手法が利用できるという感もある。Mura にも解説記事があり⁽⁸⁾、ありがたい教えが載っている。“一番良いことは、自分の問題を作ることである。そうするとマイクロメカニックスの有用性が自ずとわかって来る。”そこでこのノートでは、前に書いたノートとの重複を避け、かつ、この20年間に私が携わった具体的問題を題材として取り上げ、考え方、解き方を述べることにした。(Mura の教えの有用性云々に理解力を加えたい。具体的問題を考えれば、理解力も深まると考えている)その際、マイクロメカニックスでよく使われる方法、定式の説明をするようにした。こうすれば、基本的かつ使い易い formulae も知り、マイクロメカニックスの有用性が見えてくると思う。そして、より理解が進むと思う。私の意味のある日常生活は、上の Mura の教えの実践で

あった。達成度は低いけど、今でも、理解度を高めたいと思っている。なお、これらの具体例の前に、基本概念をまず書くことにする。

1.1 基 本 概 念

マイクロメカニックスは、非弾性ひずみがあるときの弾性ひずみ、応力、弾性エネルギーを算えて、物事を議論するのに役立つ。非弾性ひずみとは、Mura が名づけた eigenstrain のことで、塑性ひずみ、熱膨張ひずみ、変態ひずみ、析出物の misfit ひずみ、電界誘起ひずみ等である。eigenstrain ϵ_{ij}^* があるとき生じる変位を u_k とし、全ひずみを γ_{kl} とする。 γ_{kl} と u_k は

$$\gamma_{kl} = (u_{k,l} + u_{l,k})/2 \quad (1.1)$$

で結ばれる。(このように、座標 x_l で微分する操作 $\partial u_k / \partial x_l$ を、comma を使って $u_{k,l}$ と簡便に表す)弾性ひずみ ϵ_{kl} と eigenstrain ϵ_{kl}^* の和が全ひずみである。

$$\gamma_{kl} = \epsilon_{kl} + \epsilon_{kl}^* \quad (1.2)$$

応力 σ_{ij} は、弾性ひずみ ϵ_{kl} に比例し (Hooke の法則)、弾性係数 (elastic stiffness) C_{ijkl} を使って

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl} (= C_{ijkl} (\gamma_{kl} - \epsilon_{kl}^*)) \quad (1.3)$$

となる。このように、一つの辺に同一 index が二度でできたときは、1, 2, 3 を代入して和をとる (総和記号規約)。(1.3) のなかの γ_{kl} は、 $u_{k,l}$ で置き換えて良い。これは、

$$C_{ijkl} = C_{ijlk} = C_{jikl} (= C_{klij}) \quad (1.4)$$

なる弾性係数の対称性による。この対称性は、歪の対称性と応力の対称性に由来する。括弧内は、熱力学に出てくる Maxwell 関係の一例から求まるもので、よく利用される。

弾性エネルギー (弾性ひずみエネルギー、ひずみエネルギー) E は、弾性エネルギー密度 $\sigma_{ij} \epsilon_{ij} / 2$ を使って、物体全体

* 防衛大学校研究協力者

Micromechanics I ~Basic Discussion~; Tsutomu Mori (National Defence Academy, Yokosuka)

Keywords: micromechanics, eigenstrain, stress, energy discussion

2016年2月7日受理 [doi:10.2320/materia.55.416]

を D として,

$$E = \int_D \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} / 2dV \quad (1.5)$$

(dV は体積要素) で定義されるが, D 内のある領域 V のみに eigenstrain ε_{ij}^* がある場合には,

$$E = - \int_D \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}^* / 2dV \quad (1.6)$$

と同じで, 実際の計算が非常に楽になる. 式(1.5)から式(1.6)が出てくる理由は, 応力の釣り合い式(応力の平衡方程式)と, 物体 D 表面には力が働いていないことによる. この条件を式に書けば, 以下となる.

$$\sigma_{ij,j} = 0 \text{ in } D \quad (1.7)$$

$$\sigma_{ij} n_j = 0 \text{ on } \partial D \quad (1.7')$$

(∂D とは物体 D の表面のことである) n_j は, 物体 D の表面に立てた単位法線ベクトルである. 式(1.6)を導く際の数式処理中では, 部分積分(Green-Gauss の定理)を使うが, 詳しいことは文献(4)~(7)に書いてある. 式(1.7), (1.7') は, たいていの力学の本に説明がある. 力学の本ではないが, 実際問題に役に立つ Nye の本も, これらを説明しており⁽⁹⁾, 分かり易い図もある. Nye にあるように式(1.7') は, 単位法線 n_j を持つある面に働く単位面積当たりの力 X_i (面力) と応力 σ_{ij} の関係

$$X_i = \sigma_{ij} n_j \quad (1.7'')$$

からきている.

1.2 eigenstrain の周期的分布

マイクロメカニクスは, ひずみや応力を対象とする. そこで, 私が習ったひずみや応力を求めるある一つの基本的取扱いをまず述べる. 一見難しいので, ざっとだけ見てほしい. Mura の本⁽¹⁰⁾にある eigenstrain が周期的に分布している場合(pages 7~11)で, ここにコピーする. こういう場合の特殊例や, 合成によっていろいろな問題が解ける. 今節の目的は, 順番に少しずつ組立てて行けば, 利用すべき解が出てくることを示すことでもある. 結果だけを羅列することは良くない. まず,

$$\varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) = \bar{\varepsilon}_{ij}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \quad (1.8)$$

のように eigenstrain が周期的に分布するとする. ($i\xi \cdot \mathbf{x} = i(\xi_1 x_1 + \xi_2 x_2 + \xi_3 x_3)$, $i = \sqrt{-1}$).

当然, これによって生じる変位は

$$u_m(\mathbf{x}) = \bar{u}_m(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \quad (1.9)$$

となる. (この理由を考えて下さい) この勾配は

$$u_{m,n}(\mathbf{x}) = \bar{u}_m(\xi) i\xi_n \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \quad (1.10)$$

である. したがって応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{kl}(\mathbf{x}) &= C_{klmn} (u_{m,n} - \varepsilon_{mn}^*) \\ &= C_{klmn} \{ \bar{u}_m(\xi) i\xi_n \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) - \bar{\varepsilon}_{mn}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \} \end{aligned} \quad (1.11)$$

となる. ここで, 括弧内に全ひずみ γ_{mn} でなく, 変位の勾配 (distortion, 変形勾配) を使ったが, これは弾性係数 C_{klmn} の対称性による(1.4). 釣り合いの式(1.7) ($\sigma_{kl,l} = 0$)を使うと

$$C_{klmn} \{ -\bar{u}_m(\xi) i\xi_l \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) - i\xi_l \bar{\varepsilon}_{mn}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \} = 0 \quad (1.12)$$

を得る. ここで,

$$\bar{\varepsilon}_i^* = -i C_{ijmn} \xi_j \bar{\varepsilon}_{mn}^* \quad (1.13)$$

$$K_{im} = C_{ilmn} \xi_l \xi_n \quad (1.14)$$

を定義する. ($K_{mi} = K_{im}$ である. 式(1.14)を見よ) これらより式(1.12)は,

$$K_{im} \bar{u}_i = \bar{\varepsilon}_m^* \quad (1.15)$$

の時成立することが分かる. これは, $\bar{u}_i$ を未知数とする三元連立一次方程式である. 式(1.15)を具体的に書きだすと

$$(m=1) \quad K_{11} \bar{u}_1 + K_{21} \bar{u}_2 + K_{31} \bar{u}_3 = \bar{\varepsilon}_1^* \quad (1.16)$$

$$(m=2) \quad K_{12} \bar{u}_1 + K_{22} \bar{u}_2 + K_{32} \bar{u}_3 = \bar{\varepsilon}_2^*$$

$$(m=3) \quad K_{13} \bar{u}_1 + K_{23} \bar{u}_2 + K_{33} \bar{u}_3 = \bar{\varepsilon}_3^*$$

となる. 標準的な方法でこれを解くと,

$$\bar{u}_i(\xi) = \frac{N_{im}(\xi)}{D(\xi)} \bar{\varepsilon}_m^*(\xi) = \frac{N_{im}(\xi)}{D(\xi)} (-i\xi_n C_{mnpq} \bar{\varepsilon}_{pq}^*(\xi)) \quad (1.17)$$

となり, 変位は,

$$u_i(\mathbf{x}) = \frac{N_{im}(\xi)}{D(\xi)} (-i\xi_n C_{mnpq} \bar{\varepsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x})) \quad (1.18)$$

として求まる. ここで, N_{im} は K_{im} をマトリックスとした行列の余因子, D はこのマトリックスの行列式である. 等方等質物質, 立方晶, 六方晶の場合の N_{im} と D が Mura⁽¹⁰⁾ の本に書いてあって(pages 13, 14)便利である.

次に単一周期でなく, 色々な周期の eigenstrain が連続的に分布している場合を考える. つまり, 式(1.8)を

$$\varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_2 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_3 \bar{\varepsilon}_{ij}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x}) \quad (1.19)$$

のように拡張するのである. $\varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x})$ が分かっているときは, $\bar{\varepsilon}_{ij}^*(\xi)$ は

$$\bar{\varepsilon}_{ij}^*(\xi) = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^3 \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} dx_2 \int_{-\infty}^{\infty} dx_3 \varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) \exp(-i\xi \cdot \mathbf{x}) \quad (1.20)$$

から求まる. ここで想像をたくましくすると, 式(1.19), (1.20)場合, 変位, 変形勾配, ひずみは,

$$\begin{aligned} u_i(\mathbf{x}) &= \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_2 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_3 \frac{N_{im}(\xi)}{D(\xi)} \\ &\quad \times (-i\xi_n C_{mnpq} \bar{\varepsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x})) \end{aligned} \quad (1.21)$$

$$\begin{aligned} u_{i,j}(\mathbf{x}) &= \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_2 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_3 \frac{N_{im}(\xi)}{D(\xi)} \\ &\quad \times (\xi_j \xi_n C_{mnpq} \bar{\varepsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x})) \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{ij}(\mathbf{x}) &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_2 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_3 \frac{\xi_n C_{mnpq} \bar{\varepsilon}_{pq}^*(\xi)}{D(\xi)} \\ &\quad \times (\xi_j N_{im}(\xi) + \xi_i N_{jm}(\xi) \exp(i\xi \cdot \mathbf{x})) \end{aligned} \quad (1.23)$$

から計算できることが分かる. 一見ややこしいが, こういうの利用すると転位による変位, 応力も順番に求まる. また, 弾性係数に異方性がある場合にも使えることになる. また, N_{im}/D の Fourier 変換である Green 関数を使って, 変位, 応力の Green 関数表示へとつながる.

この節を読み直し, 文献(4)を眺めてびっくりした. 以上

は、殆ど文献(4)にあるものと同じだからである。勘弁して下さい。文献(4)や Mura の本⁽¹⁰⁾の有用な結果だけを引用するなら、公式集と殆ど同じになってしまう。考え方を組み立てるのが大切だと考えていると、重複が起ってしまう。Mura の教え⁽⁸⁾には逆らっていない。

1.3 楕円体介在物, Eshelby, Mura

マイクロメカニクスは J. D. Eshelby の楕円体介在物の論文⁽¹¹⁾から始まったと言う人がいるくらいであり、固体力学の分野で最も多く引用されている論文である⁽¹²⁾。しかし、マイクロメカニクスの進歩を紹介、解説しても、Eshelby を引用していないものもある⁽²⁾。とは言え、Eshelby の論文がすごいことは事実である。この論文は難しいが、一行、一行読めば分かり、極めて有用である。しかも、数か所に出てくる ideas がすごい。この論文のすごさは、わが師の名著⁽¹⁰⁾，“Micromechanics of Defects in Solids”を読んでも分かる。Mura は、Eshelby の楕円体介在物の論文を、この本の Preface の中でも取り上げ、celebrated paper と呼び、特別なものと考えている。勿論、難しい堀さんの著書にも⁽³⁾、Eshelby は出てくる。

Eshelby の paper でのありがたいところの一つは、“領域 V が楕円体で、 V のなかに一様な eigenstrain ϵ_{kl}^* が存在するときには、 V のなかの全ひずみ γ_{ij} も一様(一定)になる”ことを示した点にある。(この証明がすごいのである)すなわち、

$$\gamma_{ij}(V) = S_{ijkl}(V) \epsilon_{kl}^* \quad (1.24)$$

である。 $S_{ijkl}(V)$ と書いたのは、これが楕円体の形で決まることを示すためである。 S_{ijkl} を Eshelby tensor と呼ぶ。Eshelby は、このことを弾性係数が等方的な場合に証明し(この証明がすごい)ている。 S_{ijkl} は、一般的には弾性係数 C_{ijkl} にも依存する。等方等質物体では、この弾性係数依存性は Poisson 比だけで表せる。勿論 Eshelby は、 S_{ijkl} を楕円体の形(軸比)で書く方法を与えている。Mura の本には、幾つかの代表的楕円体の場合の S_{ijkl} と応力の具体的表示がある⁽¹⁰⁾。楕円体中の応力

$$\sigma_{ij}(V) (= C_{ijmn} \epsilon_{mn}(V)) = C_{ijmn} (S_{mnkl}(V) \epsilon_{kl}^* - \epsilon_{mn}^*) \quad (1.25)$$

も、勿論一定となる。
この Eshelby 問題は、木下-Mura によって弾性係数に異方性がある物体に拡張されている⁽¹³⁾。異方性物体でも、 S_{ijkl} を Eshelby tensor と呼ぶ。異方性物体の場合、 S_{ijkl} を求めるには、一般的には数値積分を必要とする。しかし、特別な V の場合には簡単に書ける。あとでその例が出てくる。この楕円体介在物の性質を使えば、eigenstrain を持つ楕円体を作る弾性ひずみと応力により物体全体にたくわえられる弾性エネルギーは、

$$E = -\sigma_{ij}(V) \epsilon_{ij}^*(V) V/2 \quad (1.26)$$

として掛け算で求まる。便利である。

この節の heading に Mura を入れた理由を述べる。Mura は、木下-Mura の論文で Eshelby の介在物問題を異方性へと拡張しただけでなく、さらに介在物の力学を発展させたか

らである。例えば、式(1.23)から Eshelby tensor がでるが、このような無限大領域の積分でなく、二次元または一次元の有限領域での積分の形に書き換えることも行ったのである。つまり、介在物の場の計算方法を発展させ、さらに介在物の外側の場まで求める手段の定式化まで行ったのである。これらのことは、Mura の本を読めば分かる⁽¹⁰⁾。

1.4 平板状領域

この問題を基本概念に入れるのをためらうが、役に立つのでまとめておく。例えば、マルテンサイトの力学、Ni 基超合金(γ - γ' 合金)に存在する γ channel 中の応力解析である。平板状領域(V)の外側へ向けて立てた単位法線ベクトルを $\mathbf{n}$ とする。この問題の場合、 $\bar{\epsilon}_{ij}^*(\xi)$ をうまくとると、

$$\epsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\epsilon}_{ij}^*(\xi) \exp(i\xi \mathbf{n} \cdot \mathbf{x}) d\xi \quad (1.27)$$

は、 V の中で一定の ϵ_{ij}^* をとり、 V の外では eigenstrain がゼロとすることができる。変位勾配は、式(1.22)を書き直して

$$u_{i,j}(\mathbf{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_{im}(\xi \mathbf{n})}{D(\xi \mathbf{n})} \xi^2 n_j n_n C_{mnpq} \bar{\epsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \mathbf{n} \cdot \mathbf{x}) d\xi \quad (1.28)$$

である。式(1.27)と(1.28)中の ξ は正と負を取りうる scalar である。 D は ξ の 6 次、 N は ξ の 4 次、式(1.28)中の分子には ξ の 2 次があるので、式(1.28)は、

$$u_{i,j}(\mathbf{x}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})} n_j n_n C_{mnpq} \bar{\epsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \mathbf{n} \cdot \mathbf{x}) d\xi \quad (1.29)$$

と直せる。さらに ξ を含まない項を積分の外に出して

$$u_{i,j}(\mathbf{x}) = \frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})} n_j n_n C_{mnpq} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\epsilon}_{pq}^*(\xi) \exp(i\xi \mathbf{n} \cdot \mathbf{x}) d\xi \quad (1.30)$$

としても良い。この積分項は式(1.27)そのものなので、

$$u_{i,j}(\mathbf{x}) = \frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})} n_j n_n C_{mnpq} \epsilon_{pq}^*(\mathbf{x}) \quad (1.31)$$

となる。応力は、

$$\sigma_{kl}(\mathbf{x}) = C_{klij} \left\{ \frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})} n_j n_n C_{mnpq} \epsilon_{pq}^*(\mathbf{x}) - \epsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) \right\} \quad (1.32)$$

となる。ここで、ひずみが対称であることを無視するというさばり行為をして、上式を書き直す。まず、

$$u_{i,j} = S_{ijpq} \epsilon_{pq}^* \quad (1.33)$$

とする。ここで、 S_{ijpq} は

$$S_{ijpq} = \frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})} n_j n_n C_{mnpq} \quad (1.34)$$

である。式(1.34)が平板状領域の Eshelby tensor であり、式(1.33)がこの領域に一定の eigenstrain が入ったときのこの領域内の一様な全ひずみを与える表現となる。

ここで、

$$\mathbf{n} = (001), \quad n_1 = n_2 = 0, \quad n_3 = 1 \quad (1.35)$$

という特別な場合を考える。板状領域が、 x_3 方向に垂直な

場合である。この時、式(1・31)より、

$$u_{i,1}=u_{i,2}=0 \quad (1\cdot36)$$

である。また、この板状領域内に生じる eigenstrain が

$$\varepsilon_{11}^*=\varepsilon_{22}^*=\varepsilon_{33}^*=0 \quad (1\cdot37)$$

の場合、この領域内に生じるすべての応力はゼロになる。一例として ε_{33}^* のみ存在しているとしよう。式(1・32)より、このときの応力は、

$$\sigma_{kl}=C_{klj}\frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})}n_jn_nC_{mn33}\varepsilon_{33}^*-C_{kl33}\varepsilon_{33}^* \quad (1\cdot38)$$

であるが、式(1・35)に注意すると、これは次のようになる。

$$\sigma_{kl}=C_{kli3}\frac{N_{im}(\mathbf{n})}{D(\mathbf{n})}C_{m333}\varepsilon_{33}^*-C_{kl33}\varepsilon_{33}^* \quad (1\cdot39)$$

ここで、

$$A_{kl}=C_{kli3}\frac{N_{im}}{D}n_jn_qC_{mj3q} \quad (1\cdot40)$$

なる量を考える。 $\mathbf{n}=(001)$ なので、上式は式(1・38)の第一項の係数と同じになる。式(1・14)の K_{im} の定義を思い出すと、

$$A_{kl}=C_{kli3}\frac{N_{im}}{D}n_jn_qC_{mj3q}=C_{kli3}\frac{N_{im}}{D}K_{m3} \quad (1\cdot41)$$

となる。連立一次方程式で習ったこと(行列、行列式、余因子のこと等)

$$N_{im}K_{mr}=D\delta_{ir} \quad (1\cdot42)$$

から、式(1・41)は、

$$C_{kli3}\frac{N_{im}}{D}n_jn_qC_{mj3q}=C_{kli3}\frac{N_{im}}{D}K_{m3}=C_{kli3}\delta_{i3}=C_{kl33} \quad (1\cdot43)$$

となる。これを式(1・37)に入れると、

$$\sigma_{kl}=C_{kl33}\varepsilon_{33}^*-C_{kl33}\varepsilon_{33}^*=0 \quad (1\cdot44)$$

である。つまり、 ε_{33}^* だけが存在しているときは、平板状領域内の応力はゼロである。同じことを ε_{31}^* と ε_{32}^* だけが存在しているときに繰り返せば、 ε_{31}^* 、 ε_{32}^* があっても、応力は生じないことが理解できる。まとめると、 x_3 方向に垂直な平板状存在物内では、 $u_{i,1}=u_{i,2}=0$ 、であり、 ε_{33}^* 、 ε_{31}^* 、 ε_{32}^* は応力を作らないということである。(この結論の説明にもたまたしたのは、私の能力の低さのためである。乞う寛容)なお、北大の加藤博之先生は、以上の特殊例を別の方法で示してくれた⁽¹⁴⁾。

1・5 エネルギー利用法、力

私は、エネルギーを算えて議論の展開の利用することが、生きて行く上に役に立つと思ってきた。どんなエネルギーを算えるべきかは、教養課程でならった力学、熱力学に忠実に従えばいいのだが、この問題で、昔勉強した Eshelby が書いていることを思いだした。

Eshelby が卓見を述べたある総合的な paper は、まずエネルギー論と、エネルギーから定義される力の定義から始まる⁽¹⁵⁾。ここで少し言葉は違うが Eshelby の真似を多少する。

物体の持つ弾性エネルギーは、その物体の持つ Helmholtz エネルギーである。ただし、定温変化だけを考えた場合であ

る。これに、熱力学に出てくる PV に相当する項を加えれば、Gibbs エネルギーとなる。 $-PV$ は、一定圧力 P が物体の体積変化に応じてする仕事である。見方を変えると、 PV は一定圧力 P の位置エネルギーである。物体の Helmholtz エネルギーに、実際には外力が持っているその位置エネルギーを加えて、かつ物体に責任を負わせて、物体の Gibbs エネルギーと言う。Eshelby は全エネルギー(total energy)と書いている。

ある転位を含む物体を考える。適当な外力もかけておく。この転位を仮想的に $\delta\mathbf{x}$ だけ動かしたとき、全エネルギーが δF だけ変化したら、転位に働く力 f を

$$f=-\partial F/\partial\mathbf{x} \quad (1\cdot45)$$

で定義する。この f を、generalized force と言う。Configurational force と呼んでいる一派もある。この定義は力学、熱力学の教えの通りである。ここにある F は全エネルギー(Gibbs エネルギー)である。厳密には、 $\delta\mathbf{x}$ には成分があるので、力にも成分があると理解してほしい。転位に働く力(Peach-Koehler force)は $\sigma\mathbf{b}$ であると習ったが、これは式(1・45)から来ている。全エネルギーなので、外部応力だけでなく、他の転位、析出物が作る応力がここの σ に現れる。対象とした転位自身の作る応力(分かり易い例は、転位の曲りによって発生する応力)も入る。

後で、個別問題を議論する時に別箇の定式化をするが、頻繁に使われる“相互作用”なる言葉をここで議論する。対象とする量はなんでも良いのであるが、とりあえず弾性エネルギー E をとりあげる。

eigenstrain $\varepsilon_{ij}^*(V_1)$ をもつ領域 V_1 が弾性ひずみ $\varepsilon_{ij}(V_1)$ と応力 $\sigma_{ij}(V_1)$ を作るとする。 $\varepsilon_{ij}(V_1)$ と $\sigma_{ij}(V_1)$ は場所によって変わっているとする。もう一つの領域 V_2 があり、これは eigenstrain $\varepsilon_{ij}^*(V_2)$ を持ち、弾性ひずみ $\varepsilon_{ij}(V_2)$ と応力 $\sigma_{ij}(V_2)$ を作るとする。Hooke の法則を仮定しているので、 V_1 と V_2 が共存しているときは、弾性ひずみも応力も重ね合わせが効く。この場合、 V_1 と V_2 が共存しているときの弾性エネルギーは、

$$E(V_1,V_2)=(1/2)\int_D(\sigma_{ij}(V_1)+\sigma_{ij}(V_2))(\varepsilon_{ij}(V_1)+\varepsilon_{ij}(V_2))dV \quad (1\cdot46)$$

である。 D は物体全体を表す。これの括弧を外して、

$$\begin{aligned} E(V_1,V_2) &= (1/2)\int_D\sigma_{ij}(V_1)\varepsilon_{ij}(V_1)dV + (1/2)\int_D\sigma_{ij}(V_2)\varepsilon_{ij}(V_2)dV \\ &\quad + (1/2)\int_D\sigma_{ij}(V_1)\varepsilon_{ij}(V_2)dV + (1/2)\int_D\sigma_{ij}(V_2)\varepsilon_{ij}(V_1)dV \end{aligned} \quad (1\cdot47)$$

とする。

第一項は V_1 のみが存在するときの弾性エネルギーであり、第二項は V_2 のみが存在しているときの弾性エネルギーである。両者共存の場合は、これらの和だけでなく、第三項と第四項を加えなくてはいけない形となっている。このような場合、 V_1 と V_2 とは“弾性エネルギーに関して、相互作

用を持つ”と言う。いい例は、転位と溶質原子である。そして、第三項と第四項の和を、相互作用の弾性エネルギー $E_1(V_1, V_2)$ と呼ぶ。多くの場合、これだけを算えれば、次の議論の展開に十分である。そして、使い易い計算法がある。この計算法の導出は楽であるのだが昔やったので⁽⁶⁾、ここに書くのはみっともないのでやめる。そこで結果だけを書く。

相互作用の弾性エネルギーはまとめて

$$E_1(V_1, V_2) = - \int_{V_2} \sigma_{ij}(V_1) \varepsilon_{ij}^*(V_2) dV = - \int_{V_1} \sigma_{ij}(V_2) \varepsilon_{ij}^*(V_1) dV \quad (1.48)$$

で算えられる。積分記号なんて書いたが、掛け算で済ますことが多い。例えば、Cottrell 雰囲気形成の原因である転位と溶質原子の組を考える場合、たいてい式(1.48)で、 $\sigma_{ij}(V_1)$ を転位の作る応力、溶質原子の misfit を eigenstrain $\varepsilon_{ij}^*(V_2)$ として、

$$E_1(V_1, V_2) = - V_2 \sigma_{ij}(V_1) \varepsilon_{ij}^*(V_2) \quad (1.49)$$

ですませる。

この問題の転位の応力の代わりに、我々が扱っている物体に働いている応力として、この物体の表面に力(面力, traction)を与えて作る外部応力 σ_{ij}^A の効果(外力と ε_{ij}^* をもつ領域 V との間の相互作用)を論じる場合もある。この場合、式(1.48)や(1.49)と同形の表式が使える。そして良く、別の記号を使う。例えば、式(1.49)に対応するものとして、

$$F_1 = V \sigma_{ij}^A \varepsilon_{ij}^*(V) \quad (1.50)$$

とする。この際面倒なので、 V_1 の代わりに V と書いた。 $V \sigma_{ij}^A \varepsilon_{ij}^*(V)$ は、 σ_{ij}^A を作る外力が、 V に $\varepsilon_{ij}^*(V)$ を発生させる時に行う仕事である。(この意味で、 ε_{ij}^* が塑性歪の場合には、 $V \sigma_{ij}^A \varepsilon_{ij}^*(V)$ をよく塑性仕事と呼ぶ)あるいは、 $-V \sigma_{ij}^A \varepsilon_{ij}^*(V)$ は、 V に $\varepsilon_{ij}^*(V)$ が発生するときに、一定の外力が持つ位置エネルギーの変化と見れば良い。あるいは、 V での応力が σ_{ij}^A になるまで引っ張り試験機を動かし、cross head を固定する。このあと、 V に eigenstrain ε_{ij}^* を発生させる。このとき、物体と引っ張り試験機を一体(一つの大きな物体)とみなして、 σ_{ij}^A を、一つの内部応力と考えてしまう。こうすれば、 $-V \sigma_{ij}^A \varepsilon_{ij}^*(V)$ は σ_{ij}^A と V との間の相互作用の弾性エネルギーと見ることができる。cross head を固定しているので、

V に eigenstrain ε_{ij}^* が発生しても、外力は仕事をしない。

要は、我々の対象物(転位、析出物、介在物等)を含む物体の平衡、変化の進む向きを議論する際に用いるエネルギー量を、全エネルギーとして算えればいいのである。これから力も出るし、安定、不安定の判断や、どんな状態が優先して起きるかも判断できる。こんな考えは、BCC 金属中に存在する侵入型不純物原子の Snoek ordering の議論(F_1 を利用)や、misfit を持つ二つの析出物が特定の方向と距離に配列するという問題(E_1 を利用)の理解に役立つ。

(次号へつづく)

文 献

- (1) Kenkyusha's English-Japanese Dictionary for the General Reader, ed. by T. Matsuda, Kenkyusha, (1994).
- (2) 皆川七郎: 精密工学会誌, **54**(1988), 1012-1016.
- (3) S. Nemat-Nasser and M. Hori: Micromechanics: Overall Properties of Heterogeneous Materials, North Holland, (1998).
- (4)~(6) 森 勉: 金属学会会報, **17**(1978), 821-829, 920-927, **18**(1979), 37-47.
- (7) 加藤雅治: まてりあ, **47**(2008), 375-380.
- (8) 村外志夫: ふえらむ, **2**(1997), 527-533.
- (9) J. F. Nye: Physical Properties of Crystals, Oxford, (1957), 83-89.
- (10) T. Mura: Micromechanics of Defects in Solids, Martinus Nijhoff, (1987).
- (11) J. D. Eshelby: Proc. Roy. Soc., **A241**(1957), 376-390.
- (12) Shaofan Li: IMechanica, (2006), The Most Cited Scientific Papers in Solid and Computational Mechanics.
- (13) N. Kinoshita and T. Mura: Phys. Stat. Sol. (a), **5**(1971), 759-768.
- (14) 加藤博之: 北海道大学工学部, 私信.
- (15) J. D. Eshelby: The Continuum Theory of Lattice Defects, Solid State Physics, Academic Press, (1956), 79.



森 勉

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1957年 東京工業大学卒業(金属工学科)
 1957年 東京工業大学助手(金属工学科)
 1968年 東京工業大学助教授(金属工学科)
 1975年 東京工業大学教授(材料科学専攻)
 1995年 リョービ 嘱託(研究部)
 1996年以降、幾つかの大学・研究所への行脚と修行
 2013年- 現在に至る
 専門分野: 金属材料の力学的性質
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

Co 基ホイスラー合金における マルテンサイト変態

～リエントラント挙動による新しい形状記憶効果～

許

晶*

1. はじめに

形状記憶効果は熱弾性型マルテンサイト変態(M変態)が現れる一部の合金系において出現する。冷却によって生成したマルテンサイト相(M相)に外力を加え、兄弟晶の再配列によって変形した状態で熱を加えると、M変態の逆変態に伴い形状回復が起きる。すなわち、逆変態は加熱過程で起きるため、一方向形状記憶効果も加熱時に得られる。最近、著者らはこれらと異なる挙動をCo-Cr-Ga-Si系のCo基ホイスラー合金で見出した。本稿ではこの現象について、最近我々が行った実験結果およびその熱力学的解析を紹介する。

Co₂MnSn⁽¹⁾等を代表とするCo基ホイスラー合金は片側のスピントロニクス分野で盛んに研究が行われている。著者らの研究グループでは、高いキュリー温度と相安定性を示すホイスラー合金の探索を行ってきた⁽²⁾。その様なハーフメタルホイスラー合金であるCo₂CrGa⁽³⁾において、GaをSiに置換したCo₂Cr(Ga, Si)系について基礎研究を行ったところ、非化学量論組成の合金において偶然M変態を見出した。

2. リエントラント挙動を示すマルテンサイト変態

図1にCo_{51.7}Cr_{26.3}Ga₁₁Si₁₁(Co51.7)合金の熱磁化測定の結果を示す⁽⁴⁾。Co51.7合金では600 K以上の高温域において

通常のM変態が生じるが、M相をさらに低温まで冷却すると、200 K以下において大きなヒステリシスを伴う強磁性相への一次相転移が現れる。Co-Cr-Ga-Si合金も属するホイスラー合金においてはCu-Mn-Al⁽⁵⁾、Ni-Mn-Z(Z=Ga, In, Sn, Sb)⁽⁶⁾⁽⁷⁾、Fe-Mn-Ga⁽⁸⁾⁽⁹⁾、Co-Nb-Sn⁽¹⁰⁾等、様々な合金系においてM変態が報告されており、そのうち、Ni-Mn-Ga⁽¹¹⁾やFe-Ni-Ga⁽¹²⁾合金においてはM相から別の構造を持つM相への二段M変態も報告されている。このように、本合金でも100 K以上の熱変態ヒステリシスを示すことや室温以下の低温で出現していることで、当初は二段M変態が起きていると考えた。そこで、本合金で起きている二段変態の正体を明らかにするため、透過型電子顕微鏡(TEM)によるその場観察を行った。

図2(a)-(c)にその結果を示す。室温付近においては図2(b)で示すように多くの双晶欠陥を含む典型的なマルテンサイト組織が得られている。図2(b)のその場観察用試料ではM相の面欠陥に対し晶帯軸入射となっていないが、他の試料を用いて室温におけるTEM観察および粉末X線回折測定を行い、M相がD0₂₂正方晶規則構造を示すことと矛盾のない結果が得られた⁽⁴⁾。図2(c)で示すように77 Kまで温度を下げると、部分的にはあるが、欠陥を含まない組織が得られた。この部分に対して結晶構造を確認するとbcc構造の[1 $\bar{1}$ 0]方向からの電子回折図形が確認された。また、111と002規則反射が見られたため、L2₁構造であることが確認できた。さらに、831 Kの高温まで加熱を行うと、図2(a)のように、低温と同様に欠陥を有しない高温母相が得られ、

* 東北大学工学研究科金属フロンティア工学専攻；特任助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-02)
Reentrant Martensitic Transformation and Novel Shape Memory Effect in Co-based Heusler Alloys; Xiao Xu(Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai)
Keywords: reentrant martensitic transformation, shape memory alloys, Co-based alloys, Heusler alloys, ferromagnetic alloys
2016年5月20日受理[doi:10.2320/materia.55.421]

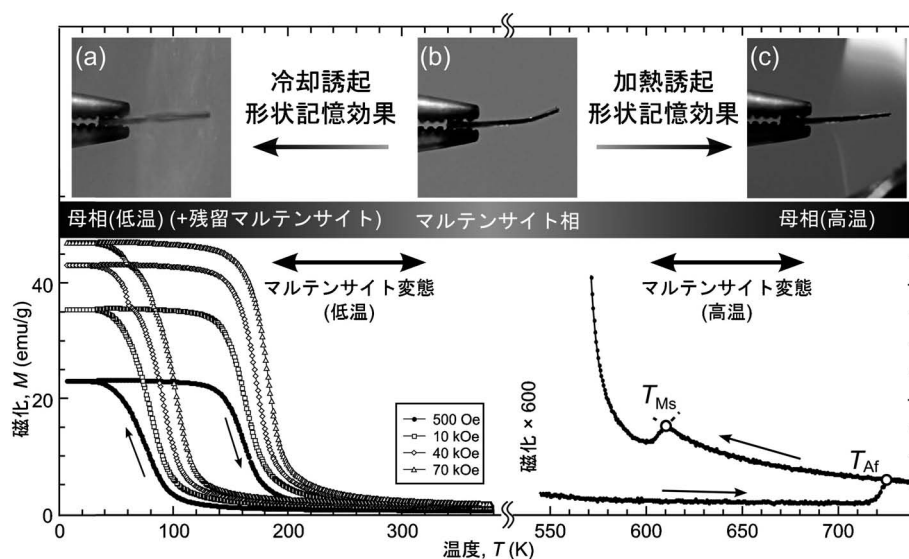


図1 $\text{Co}_{51.7}\text{Cr}_{26.3}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ 合金における熱磁化測定の結果⁽⁴⁾. (b) 室温で変形した試料が (a) 液体窒素による冷却および (c) ライターによる加熱でそれぞれの形状記憶効果を示している.

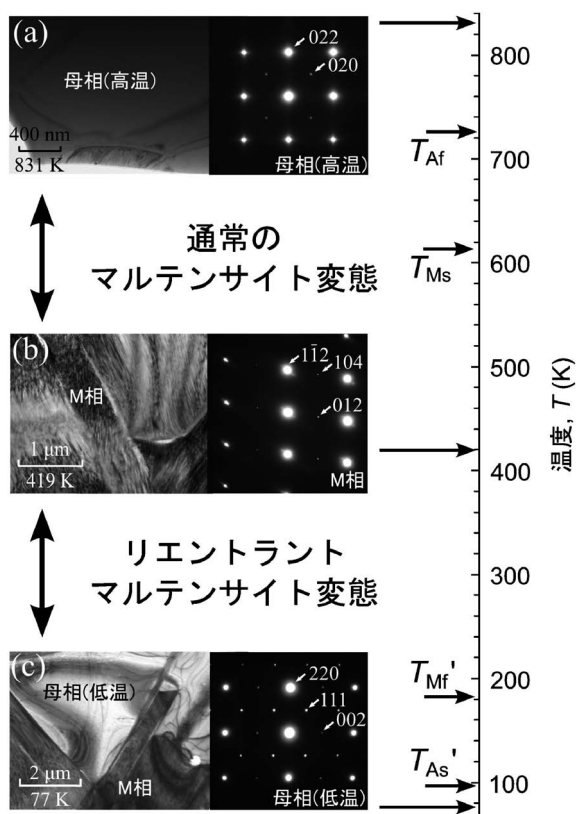


図2 $\text{Co}_{51.7}\text{Cr}_{26.3}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ 合金を用いた透過型電子顕微鏡によるその場観察の結果⁽⁴⁾. (a) 831, (b) 419 および (c) 77 K における明視野像と制限視野電子回折図形.

電子回折図形からも規則 bcc 構造の確認ができた. このように, 本合金では高温から温度を下げることによって, 母相 (bcc) → M 相 (fct) → 母相 (bcc) のような逆戻りの変態, すなわち, リエントラント挙動を示す M 変態の出現が確認され

た. また, 本合金は高温と低温 2 つの母相状態が現れるため, 図 1(b) で示す変形させた M 相試料を, 図 1(c) に示すように通常の加熱誘起形状記憶効果に加え, 図 1(a) に示すように冷却誘起形状記憶効果が実現できた⁽⁴⁾.

3. リエントラント変態の出現およびその磁気相図

M 変態におけるリエントラント挙動は極めて珍しい現象であり, その物理的起源を解明するための第一歩として, 著者らは本合金系における磁気相図の決定を試みた.

図 3 に $\text{Co}_x\text{Cr}_{(78-x)}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ 断面における磁気相図を示す⁽¹³⁾. ここで, T_{Ms} は M 変態開始温度, T_{Af} は逆 M 変態終了温度であり, 両者の平均値 $(T_{Ms} + T_{Af})/2$ を平衡温度 T_0 と仮定している. なお, リエントラント変態の変態温度はプライムを付けた記号で表している. 図のように, Co 濃度 $x < 50\%$ の組成領域では母相内の磁気相転移 (T_C) しか起こらず, $x > 53\%$ の領域では高温で通常 M 変態しかみられないが, $50\% < x < 53\%$ の狭い領域だけ通常 M 変態とリエントラント変態が両方起きることが分かった. また, 通常の熱弾性型 M 変態を示す合金系の相図では, 一般に M 相と母相の相境界がほぼ直線となるのに対して, 本合金では C 字型の相境界となった. これは Fe-Al や Fe-Cr 等の二元系状態図の純 Fe 近くに出現する γ ループと類似した挙動である.

ここで, 純 Fe の相変態を改めて考えると, 高温から $\delta(\text{bcc}) \rightarrow \gamma(\text{fcc}) \rightarrow \alpha(\text{bcc})$ の変態モードを有しており, 低温 αFe はリエントラント相であることが分かる. 図 4 に純 Fe と $\text{Co}_{51.7}$ 合金の比較を示す. 両者は変態温度が大幅に異なるため, 基本的に, 純 Fe は拡散変態を示し, 本合金は M 変態となる. また, 本合金は規則構造を持つため, M 変態は熱弾性型であり, 加熱および冷却誘起の逆変態によりそれぞれの形状記憶効果が得られる. ただし, 純 Fe と本合金は

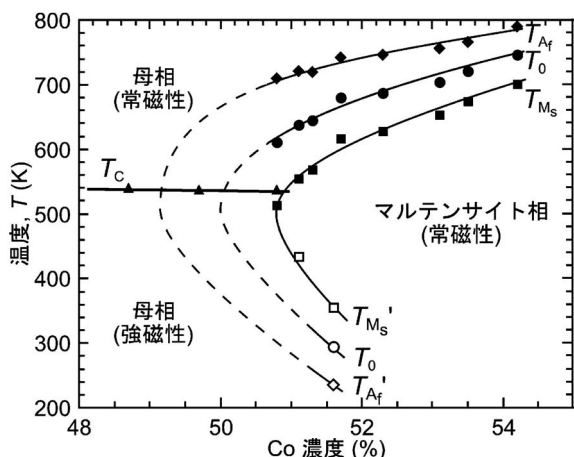


図3 $\text{Co}_x\text{Cr}_{(78-x)}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ 断面における磁気相図⁽¹³⁾.

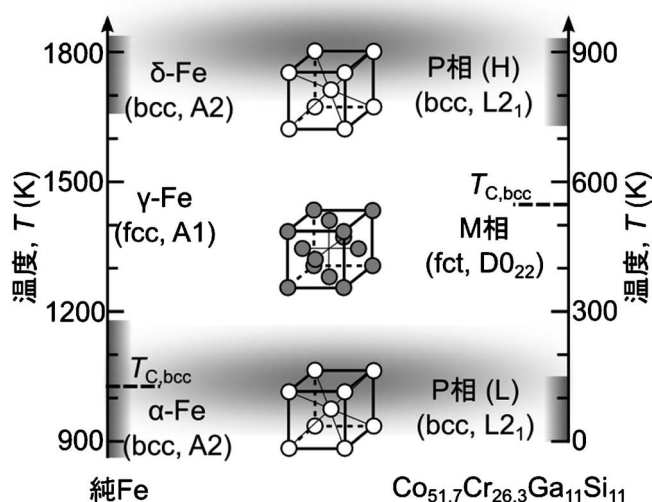


図4 純Feと $\text{Co}_{51.7}\text{Cr}_{26.3}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ 合金のリエントラント変態挙動の比較.

かなりの類似点がある。まず、両者は同じく $\text{bcc} \rightarrow \text{fcc}/\text{fct} \rightarrow \text{bcc}$ のリエントラント変態を示し、しかも基底状態が bcc 構造である。一般に、高温相にはエントロピー的に有利な粗な構造が現れ、低温においてエンタルピー的に有利な密な構造へ相転移する場合が多い。しかし、純Feでは bcc 相に極めて安定な強磁性磁気状態が出現するため、粗な構造にもかかわらず低温 bcc 相がリエントラント変態により出現すると考えられている⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。本合金においても bcc 相は 540 K 前後の高いキュリー温度を有するため、リエントラント変態の出現起源は純Feと類似したものであると考えられる。

4. リエントラント変態の熱力学的考察

Co-Cr-Ga-Si 系合金において、リエントラント変態を生じさせる熱力学的関係を定量的に調べるため、M 変態におけるエントロピー変化 (ΔS) を系統的に調査した。一般に、一次変態における ΔS を決定する方法として、比熱や熱分析

による直接法および Clausius–Clapeyron の関係等を利用した間接法が挙げられる。

母相と M 相それぞれの比熱 ($C_{P,P}$ と $C_{P,M}$) を T_1 から T_2 までの温度範囲で測定し、

$$\Delta S = S_{M,T_1} - S_{P,T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_{P,M} - C_{P,P}}{T} dT \quad (1)$$

の関係式で ΔS を求めることが出来る。また、 T_1 が十分低い時には $(S_{M,T_1} - S_{P,T_1})$ の値をゼロと見なすことが出来、 ΔS の絶対値が求まる。一方、示差走査熱量測定法 (DSC) を用いることで、潜熱 (ΔH) から $\Delta S (= \Delta H/T)$ が求まる。詳細は割愛するが、200 K 以下では M 変態を示さない $\text{Co}_{51.3}$ (母相) とリエントラント変態しない $\text{Co}_{53.8}$ (M 相) を用いた比熱測定を 2~200 K の温度範囲で行った。また、 $\text{Co}_{51.7}$ を用いた DSC 測定により 736 K における ΔS を決定した。さて、一軸応力に関する Clausius–Clapeyron の関係式は、

$$\frac{d\sigma_0}{dT} = - \frac{\Delta S}{\varepsilon V_m} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 σ_0 , ε , V_m はそれぞれ平衡臨界応力、M 変態における歪み量およびモル体積である。本式より $d\sigma_0/dT$ を実験的に求めることで間接的に ΔS を算出することが出来る。図 5 (a) に $\text{Co}_{51.3}$ 単結晶合金を用いて各温度で測定した歪み-応力線図を示す⁽⁴⁾。198~298 K の範囲で超弾性効果が見られるが、通常の形状記憶合金の臨界応力は温度の上昇に伴って単調に上昇するのに対し、本合金は逆の挙動を示している。これは $\text{Co}_{51.3}$ 合金では室温以下のリエントラント母相が低温ほど安定化することに起因する。

以上の結果を纏め、 ΔS の温度依存性を示したのが図 6 である⁽¹³⁾。ここで、実線は $\text{Co}_{51.3}$ から $\text{Co}_{53.8}$ までの組成範囲を持つ合金から、上述した複数の方法で得られた ΔS を参考に、一本の曲線として近似した ΔS の温度依存性である。図のように、ばらつきや大きなエラーバーによる誤差はあるものの、 $\Delta S (= S_M - S_P)$ は高温では通常の形状記憶合金と同様に負の値を示すが、母相のキュリー温度 T_c 以下で符号が正に転じることが分かる。ただし、400~600 K の温度域では完全な M 変態およびリエントラント変態が起こらず、直接法による ΔS の決定が難しい。

ここで $\text{Co}_{49.7}$ 単結晶合金を用いて、図 3 で示すように相境界のノーズ温度である 500 K をまたいで一軸応力による機械試験を行った⁽¹⁶⁾。試験温度が高いため、573 K において予め低温時効処理を行った試料を用いた。図 5 (b) に生データ、図 5 (c) の右辺に応力誘起変態応力の解析結果を示す。本合金では、温度の上昇に伴い、約 500 K まではリエントラント母相が不安定になる傾向で臨界応力が一旦低下するが、約 500 K 以上では高温母相が安定化することで臨界応力が上昇する傾向が見られた。 $\text{Co}_{49.7}$ の σ_0 の温度依存性を式 (2) に代入して考えると、 ε および V_m は、温度変化による符号の変化はありえないため、 $d\sigma_0/dT$ の符号の逆転が ΔS に起因することは明白である。実際、図 6 に式 (2) から算出した $\text{Co}_{49.7}$ 合金の ΔS をプロットすると、 $\text{Co}_{51.3} \sim \text{Co}_{53.8}$ 合金の ΔS と一致はしないものの、両者は 400~500

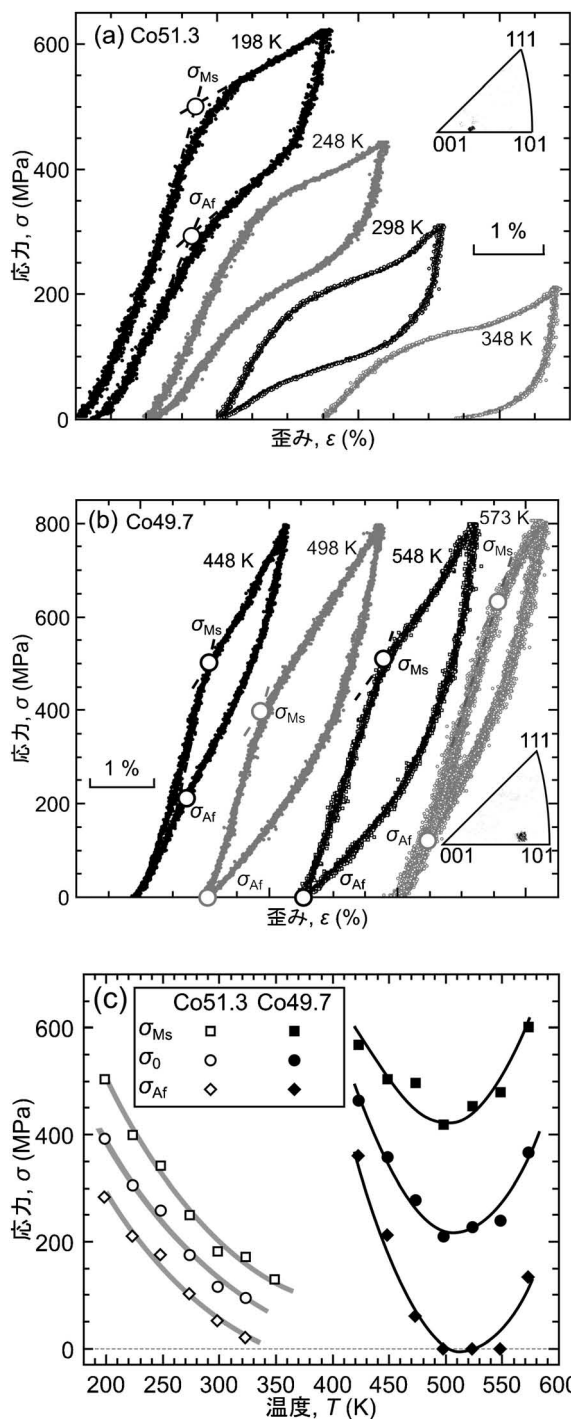


図5 (a) $\text{Co}_{51.3}\text{Cr}_{26.7}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ ($\text{Co}_{51.3}$)⁽⁴⁾ および (b) $\text{Co}_{49.7}\text{Cr}_{28.3}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ ($\text{Co}_{49.7}$)⁽¹⁶⁾ 単結晶合金の圧縮試験による応力-歪み曲線. (c) 両合金マルテンサイト変態の開始応力 (σ_{Ms}), 逆マルテンサイト変態終了応力 (σ_{Af}) および平衡応力 ($\sigma_0 = (\sigma_{Ms} + \sigma_{Af})/2$) の温度依存性.

K 前後において, ΔS の符号の逆転がみられた. なお, この不一致は時効による影響と思われる. いずれにしても, 符号の逆転が起こる温度は母相キュリー温度直下であるため, 母相の常磁性/強磁性磁気転移が本現象に大きく影響を及ぼしていると言える. 母相中の磁気エントロピーを比熱から見積

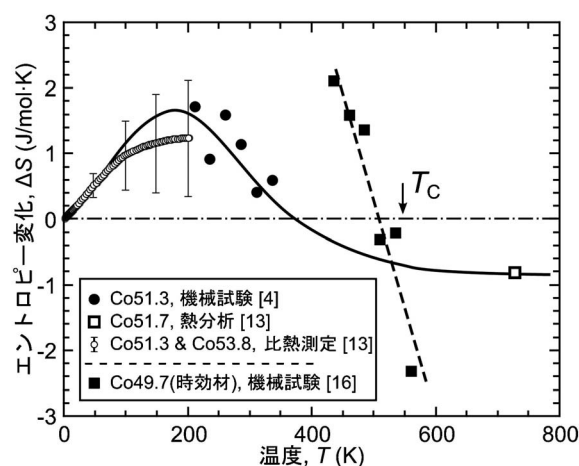


図6 $\text{Co}_x\text{Cr}_{(78-x)}\text{Ga}_{11}\text{Si}_{11}$ (Co_x) 合金のマルテンサイト変態におけるエントロピー変化 (ΔS) の温度依存性^{(13) (16)}. T_C は母相のキュリー温度を示す.

もったところ, 約 $3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 以上あることが判明した. この大きさは, ΔS 符号の逆転を起こさせるには十分大きいと言える⁽¹³⁾.

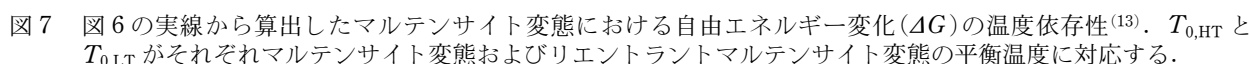
また, 図6中の実線で示す ΔS の温度依存性を用いて, $\Delta C_P = T \cdot d\Delta S/dT$ を算出し,

$$\Delta G = -T \left(\Delta S_0 + \int_0^T \frac{\Delta C_P}{T} dT \right) + \Delta H_0 + \int_0^T \Delta C_P dT \quad (3)$$

の関係式でギブスエネルギー変化 ΔG の温度依存性を大まかに見積もることが出来る. ここで, ΔS_0 および ΔH_0 は, $T = 0 \text{ K}$ におけるエントロピーおよびエンタルピー変化である. 0 K において $\Delta S_0 = 0$ とおけるが, ΔH_0 は実験的に求めることが難しい. よって, M 相と母相の平衡温度で $\Delta G = 0$ が成立することを利用し, 図7に示す様に, $\text{Co}_{51.7}$ 合金の高温側の平衡温度 $T_{0,HT} = (T_{Ms} + T_{Af})/2$ において $\Delta G = 0$ となるように $\Delta H_0 (= \Delta G_0)$ の値を調整した. その結果, ΔG 曲線は $T_{0,LT} = 180 \text{ K}$ 前後でもう一度ゼロを横切ることが分かった. この温度はリエントラント変態の平衡温度を意味する. $\text{Co}_{51.6}$ 合金の $T_{0,LT}$ はやや高めの 295 K である. ここで, 注意していただきたいのは, 図6に示す ΔS の温度依存性は特定の関数でフィッティングを行うことが難しく, 線の引き方によっては図7に示す $T_{0,LT}$ がおよそ $170 \sim 260 \text{ K}$ の温度範囲で変化しうる点である. 従って, ΔS から見積もった ΔG の温度依存性もあくまで大まかな傾向を示すにしか過ぎない. しかし, いずれにしても $\Delta G = 0$ は必ず二回現れ, リエントラント変態の存在を良く説明できることから, 得られた ΔG 曲線は真実の姿から大きくかけ離れてはいないものと考えられる.

5. おわりに

本稿では $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga}, \text{Si})$ 系ホイスラー合金におけるマルテンサイト変態およびリエントラント変態に関する実験結果を紹介した. リエントラント変態の出現に伴い, 冷却誘起形状



本研究は筆者が大学院生の時にスタートしたテーマである。遂行にあたり、東北大学工学研究科マテリアル開発系貝沼亮介教授、大森俊洋准教授、物質・材料研究機構大沼郁雄グループリーダーには全体にわたり研究の指導を頂きました。また、研究データの解析および投稿論文執筆中には東北大学石田清仁名誉教授、東北学院大学鹿又武名誉教授、(私)固体物理研究室片岡光生先生、東北大学金属研究所梅津理恵准教授、長迫実助手、東北大学工学研究科大久保亮成博士(現：株式会社東芝)よりご指導、ご助言を頂きました。ここに謝意を表します。

企業紹介

ディーゼルエンジンの開発を支える材料技術

ヤンマー株式会社；主幹研究員 岡 正徳

ヤンマーは1912年創業の機械メーカーです。農機メーカーのイメージが強いかもしれませんが、実は世界で初めてディーゼルエンジンを小型化したエンジンメーカーです。ディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンと比較すると熱効率がよく二酸化炭素の排出量が少ない優れた特徴があります。加えて高出力であり大型化も容易です。これらの特徴を活かし、ヤンマーはディーゼルエンジンを農業機械や建設機械、船舶分野などに展開することで成長を続けています。現在は食料生産とエネルギー変換を事業領域として、小形/大形ディーゼルエンジン、農業、都市建設、エネルギーシステム、マリンプレジャー、コンポーネントの7つのコア事業を展開しています。本報ではヤンマーが得意としているディーゼルエンジンを対象に、この開発を支える材料技術について紹介します。

ディーゼルエンジンは、環境へのより高い適応や作業機などへの搭載性の観点から、小型化、軽量化、および排気量あたりの出力向上が進められています。そのため、例えばピストンの往復運動を回転力に変えるクランク軸では、エンジン運転中に作用する曲げやねじりの負荷が増大しています。これに対しヤンマーは、炭素鋼や低合金鋼で成形したクランク軸に高周波焼入れを行うことで耐摩耗性や疲労強度を向上させ品質を確保しています。しかし、高周波焼入れ時には温度上昇や急冷によって相変態や体積の膨張/収縮が生じます。この現象は非常に複雑であるため、製造条件は主に熟練者の経験と勘に基づいて設定されています。この状況を打開するため、ヤンマーは図1に示す独自の高周波焼入れ解析技術を構築しました。具体的には、温度変化や相変態、およびこれに伴って生じる弾塑性現象を数式で表現し、有限要素法に組み込むことで一連の現象を数値解析で再現しました。このように高周波焼入れ時の複雑な現象をコンピューター上で可視化することで、最適な生産条件を短期間で導出しています。また、高周波焼入れによってクランク軸には応力が残留しますが、これをクランク軸の設計計算に反映することで、信頼性の高い商品開発を支えています。

またシリンダヘッドやピストンなどの部品は、エンジンの運転中は高温に、停止すると低温(室温)になります。このような温度変化が繰り返し作用すると、熱疲労と呼ばれる



図1 高周波焼入れ解析技術の概要。

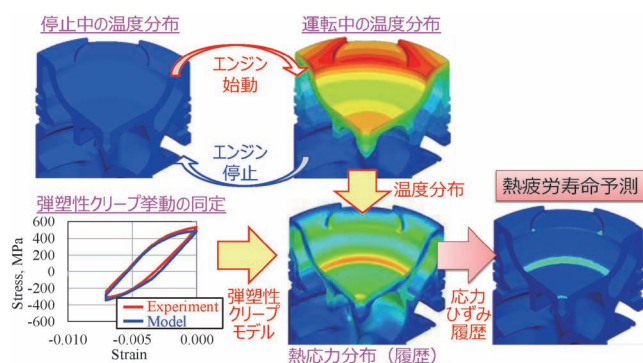


図2 ピストンの熱疲労寿命解析技術の概要。

現象で部品が破壊することがあります。特に出力の高いディーゼルエンジンでは、部品が急激に加熱されるため大きな温度勾配を生じ、材料の降伏点を超える熱応力が発生します。さらに、高温ではクリープ変形が生じるため熱疲労現象は複雑です。これらの現象に対し、ヤンマーでは図2に示す高精度な熱疲労寿命の予測を行っています。具体的には、クリープを含む複雑な弾塑性挙動考慮できるような有限要素法を拡張し、部品に作用する応力やひずみを高精度に予測します。そして得られた応力とひずみの履歴から疲労破壊に影響する因子を導出することで熱疲労寿命を定量的に予測しています。また、数値解析による寿命予測だけでなく、熱疲労に強い材料も開発しています。この材料を高い熱負荷が作用する高出力エンジンに用いることで、熱疲労による破壊発生を防いでいます。これらの取り組みを通じて、高出力ディーゼルエンジンの開発を支えています。

本報ではディーゼルエンジンを対象として、ヤンマーにおける材料技術の活用例をいくつか紹介しました。しかし実際の業務では、作業機を含めて幅広い分野で技術開発を行っています。これらがディーゼルエンジンや作業機の高度化、ひいては世の中の発展を支えています。

(2016年6月30日受理) [doi:10.2320/materia.55.426]

(連絡先: 〒521-8511 米原市梅ヶ原2481)

冶金を軸に金属の外をあるく

旭硝子株式会社 商品開発研究所
事業創出グループ M&Cチーム；主席

中田 英子

1. はじめに

私は東京工業大学大学院理工学研究科の修士・博士課程に所属していた時、永田和宏先生(現 東京工業大学 名誉教授)と福山博之先生(現 東北大学 教授)のご指導の下、鉄冶金の研究に励んでいました。当時のテーマは、鉄鋼製錬の連続鋳造で使用するモールドフラックスの現象解明であったため、成果が出ると鉄鋼会社を訪ね、連続鋳造の生きた現場を見せて頂いたり、研究内容についてディスカッションをして頂いたり、そしていつも楽しみの一つであった飲み会の席を用意して下さったり…それは大学で繰り広げられる議論とは一味違う、新しい視点に出会う貴重な機会でした。一学生の私に対しいつも対等にディスカッションをして下さった研究員の皆様に、今だからこそ深い感謝の意が込み上げてきます。

そして当時のもう一つの楽しみは、日本鉄鋼協会の講演大会で発表することでした。他大学の先生や学生とお話できることが嬉しくて、研究室で決められていた条件-①成果を出すこと ②20回も30回も100回だって練習して上手な発表をすること ③大きな声で最低3回は質問してくること-そんなことはほとんど苦にならず、毎日楽しく研究に励んだ日々を懐かしく思い出します。

そんな鉄鋼協会大好きだった私は、2007年3月博士課程修了と同時に鉄冶金の分野を離れ、東京大学生産技術研究所の岡部徹先生の下で博士研究員としてレアメタルのプロセス開発を新たに勉強し、2009年4月に旭硝子株式会社に入社、ガラス製造プロセスの研究開発を経て、現在はガラス複合商品の新事業創出に関わっています。

長く鉄冶金から離れていた今年の3月、物質材料研究機構の御手洗容子リーダーのお声掛けで、約10年ぶりに日本金属学会・日本鉄鋼協会の講演大会に向かい、男女共同参画委員会主催のランチョンミーティングにて講演する機会を頂きました。本稿ではその時に講演した内容の要点を記します。

2. いろんな分野を経験できる楽しさ

鉄鋼協会大好きであった私がなぜ鉄冶金の分野を離れたかという、一つの制約があったからです。私は学生結婚し、博士課程3年の時に長男を出産しました。小さな子供を育てながら職場に通うという物理的な条件があったのです。学位論文の追い込みと初めての子育てという2つの課題を同時に抱え、「もうだめだ」と思う日が9割それでも「できる」と思える日が1割、そんな状態の私に指導教官の永田先生はこうおっしゃったのです。「女の人の子育てをしなければいけないから大変だ。だからこそ‘真の実力’をつけろ。そのためにいろんな分野を渡り歩きなさい。」

学生時代の研究をベースに人脈のある鉄鋼の業界で仕事を

することを漠然と描いていた私は不安でいっぱい、しかもできないことや迷惑をかけることも多かった中新しい道を進むことになりました。

博士研究員の時のボスであった岡部先生には、プロの研究者としてどうあるべきか?という普遍的なテーマをご指導頂きました。その時に教えて頂いたことが今の自分の考えに特別に大きな影響を与えて下さっています。そして民間企業への就職。想像していたよりも桁違いに‘どろくさい’世界をきれいな‘サイエンス’で会話することの難しさ、だからこそできた時に同僚と分かち合うお酒の美味しさは格別だということを知りました。

いくつかの分野で仕事ができるとそれだけでプラスになることがたくさんありますが、本当の意味でその醍醐味を知ったのは、鉄鋼、レアメタル、ガラス製造の中でも溶解、フロートバスという異なるプロセスを経験した頃です。

ある時自分の経歴を振り返ってみると、各分野で異なる課題を扱ってきたつもりが、実はそのほとんどは、冶金を勉強した人の強みである高温物理化学-熱力学(あることが起こるの?/起こらないの?)と速度論(起こるとしたらどれくらいの速さで?)-で解決できる同じ課題であることに気が付きました。

同時に、対象が金属であってもガラスやセラミックスであったとしても、「冶金の考え方を軸に、どんなにどろくさい世界にだってきれいなサイエンスを見出すこと」が、プロセス研究者としての私のとりえなのだと思えたのです。それまでよりも一段上の階層(上位の概念)で自分の特徴を捉えることができたのです。

不安だらけ、できないこともあった当時から10年が経ちほんの僅かですが初めて自分の成長を感じることができました。

3. おわりに

いろんな領域を渡り歩くということは世界を横に広げることとはもちろんのこと、その本質は「一段上位の階層に上り自分を捉えること」ではないかと考えます。それは、今担当する分野を離れても通用する自分の advantage を知ることでしょうし、永田先生がおっしゃった‘真の実力’の一つの姿ではないかと思えます。

だからこそ次はもう一段上の階層で、すなわち「事業を担う技術者」として自分の特徴を認識したいと考えるようになり、現在はプロセスの研究開発とは異なる力を要求される新事業創出の仕事をしています。

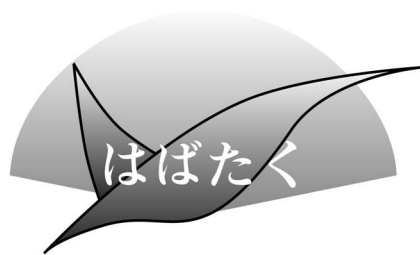
制約から始まり、変化せざるを得なかったのは事実です。しかし変化を受け入れる先に大きなご利益があると知った今は、自ら積極的に変わることが好みますし、だからこそ新しい力をつけなければいけない今の仕事に楽しく前向きに取り組んでいます。

これからは、このような考え方に導いて下さったすべての方に私が感謝の気持ちを表していく番です。現在の立場としては、経験が通用しない新しいモノを世に出すしくみを技術の視点でしっかりと創り、そして最終的には、町ゆく人々が弊社の新商品を見て「いいね!」と思って下さる瞬間を増やしたいです。それこそが、これまで育てて下さった皆様に対し企業人の私ができる恩返しの上位階層に位置するものと考えます。

(2016年6月7日受理)[doi:10.2320/materia.55.427]

(連絡先: 〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-1

hideko-nakada@agc.com)



有限の金属資源を無限に利用する夢 ～高効率でエコな金属生産プロセスを目指して～

東北大学大学院工学研究科
金属フロンティア工学専攻；助教
盧 鑫 (LU XIN)

私は、2015年に東北大学大学院工学研究科金属フロンティア工学専攻(金属プロセス工学講座 長坂研究室)の博士課程を修了し、現在は同専攻先端マテリアル物理化学講座材料物理化学分野 朱研究室にて助教として研究・教育活動を行っております。この度、本稿を執筆する機会をいただきましたので、これまでの研究生活を振り返りながら、自身の研究内容および研究活動を通して感じた事を述べさせていただきます。

学部4年生と修士課程を通じて3年間、中国の北京科技大学で初めての研究活動として鉄鋼製錬プロセスにおけるCO₂排出量の解析および削減ポテンシャル評価に関する研究に携わりました。簡単な解析モデルによって、中国国内で稼働している代表的な鉄鋼生産プロセスのCO₂排出量をより精確に解析した上で、副生ガスのリサイクルや発電効率などを考慮して鉄鋼生産のCO₂排出とエネルギー消費の関係を明らかにしました。また、社会の低炭素化政策および鉄鋼プロセス技術の発展に基づいて、中国鉄鋼産業におけるCO₂排出量の削減ポテンシャルのシナリオ分析をしました。研究の中で、鉄鋼スクラップのリサイクルによって鉄鋼製錬のCO₂排出量は鉱石を原料としたプロセスのCO₂排出量の十分の一以下まで大幅に削減できることに非常に衝撃を受けました。その研究結果を踏まえ、鉄鋼産業の低炭素化発展について鉄鋼スクラップも高効率に収集・分類し、リサイクルするプロセスが不可欠であることを提言しました。このことが金属のリサイクルに関する研究を行おうと強く思うきっかけとなりました。

そこで、修士課程修了後、都市鉱山を含む二次資源のリサイクルの研究が盛んな日本への留学の機会をいただき、東北大学工学研究科金属フロンティア工学専攻長坂徹也教授の下で、熱力学的視点からさまざまなレアメタルの二次資源のリサイクル性の評価に関する研究に携わりました。日本へ来た当初は、活量係数や相平衡、CALPHADのような熱力学的専門用語を聞きなれず、1600℃以上の高温実験の操作経験も全くなく、それ以前に言語環境が全く異なるため何もかもが新しいチャレンジでした。新しい環境において日本語を勉

強しながら、専門知識と研究能力を身につけるように精一杯頑張り、多くの事を学びました。最初は大変でしたが、新しい経験を積み重ねて、難しい課題を一つずつ解決することは非常に楽しく、世界中で行われている研究の広さと深さを肌で感じる事ができました。その中で、長坂教授から頂いた温かいご指導、ご鞭撻に支えられて、日本での留学生活が非常に有意義になったことに、心から感謝しております。

博士課程においては、さまざまなレアメタルのリサイクルに注目しましたが、代表的なものが使用済みスーパーアロイからのニッケルおよびコバルトのリサイクル性の熱力学的評価です。スーパーアロイは一般的にNi基、Co基、Fe-Ni基に分類され、Ni、Co濃度はもとより、添加される合金濃度には非常に大きな幅があります。使用済みスーパーアロイのリサイクルの際、合金元素の酸化・還元挙動はNi、Coのリサイクル性にとって非常に重要です。そこで、熱力学的解析に基づいて、使用済みスーパーアロイの再溶融リサイクルプロセスを想定し、溶媒金属相(Ni、CoあるいはNi-Co合金)の精錬性、あるいは合金元素の溶媒金属相からスラグ相およびガス相への除去可能性を定量的に求めました。その上で、Ni-Co-Fe-O系の酸化物と金属間の相平衡を実験的に明らかにし、使用済みスーパーアロイ再溶融時の酸素分圧のコントロールによるNi-Co-Fe合金の組成制御に活用しました。

博士課程修了後、JSPS特別研究員としてリサイクルの研究を続け、博士課程の研究を基に使用済みスーパーアロイのリサイクルの際のクロムの挙動およびNi-Co-Cr合金の組成制御性を検討しました。これまでの研究活動を通じて、新しい分野・課題へ挑戦する機会や、世界中の素晴らしい研究者達と出会う機会、自分の能力と視野を広げる機会を沢山いただきました。特に、来日してから新しい環境において自分の力を伸ばしながら課題を解決する貴重な経験を頂いたことは、今後の研究活動に生かせると信じております。

現在は、朱鴻民教授および竹田修准教授の下で、溶融塩電解を用いた新たな材料製造・加工プロセスの開発に関する研究に携わっております。これまで電気化学の課題に触れたことがない私にとって、新しい環境で新たな領域への挑戦が再び始まりました。今までは主に酸化還元反応に基づいた金属の高温リサイクルプロセスを検討してきましたが、これから電気化学的方法を利用したコバルト等のレアメタルの二次資源のリサイクルプロセスを開発できればと考えております。また、助教として教育の責任を持ちましたので、これまで先生方や先輩方から教えて頂いたように熱心で丁寧な指導を心がけ、朱教授と竹田准教授に学びながら自分の研究経験も踏まえ研究室の学生達の研究活動をサポートしたいと考えております。

最後にこの場を借りて、これまで温かいご指導、ご鞭撻をいただきました先生方や先輩方に改めて心より感謝を申し上げます。そして、研究者として成長してきた機会を頂いた感謝の気持ちを忘れず、新たな研究成果を挙げて社会に貢献できるように精一杯頑張りたいと考えております。

(2016年6月10日受理)[doi:10.2320/materia.55.428]

(連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-02-304)

本 会 記 事

会 告	平成28年度第1回臨時社員総会開催案内	429
	会費自動振替制度のご案内	429
	2016年秋期講演大会ご案内ならびに参加申込みについて	429
	2016年秋期講演大会概要集 DVD の販売について	429
	第2回ランチョンセミナー開催	430
	日本金属学会・日本鉄鋼協会講演大会相互聴講のお知らせ	430
	2016年秋期講演大会会期中の託児室設置のお知らせ	430
	2016年第6回女性会員のつどい開催	430
	2017年春期講演大会外国人特別講演および招待講演募集	430
	第40回技術開発賞募集	431
	第67回金属組織写真賞作品募集	431
	会報編集委員会からのお知らせ	431
	会誌・会報編集委員会からのお知らせ	431
	金属学会シンポジウム	432
	研究集会	432
共催行事	次号予告	433
支部行事	新入会員	440
掲示板	行事カレンダー	442
会誌・欧文誌9号目次	Information	446

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

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

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

- ・ご連絡先住所変更等の手続きは、本会ホームページ [\[会員マイページ\]](#) からできます。
- ・投稿規程、刊行案内、入会申込は、ホームページをご利用下さい。
- ・オンラインジャーナルの発行や行事のご案内等の本会からのお知らせ mail の受信をご希望される方は、[\[会員マイページ\]](#) → [\[会員情報の変更届\]](#) にて手続きして下さい。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

平成28年度第1回臨時社員総会開催案内

平成28年度第1回臨時社員総会を、下記のように開催いたします。
 社員総会の構成員は法人法上の社員である「代議員」となります。
 会長 白井泰治

日時 2016年10月6日(木) 13:00～

場所 エッサム神田ホール 2号館8階「スカイホール」(東京都千代田区内神田3-24-5 ☎ 03-3254-8787)

議案 報告事項 本会の最近の運営状況の件

協議事項 第1号議案 定款改訂の件

第2号議案 会員に関する規程改訂の件

会費自動振替制度のご案内

2017年度会費自動振替の申込締切りは10月7日(金)です。ご希望の方は、下記の通りお手続きをお願いいたします。

ホームページ: 会員制度のご案内 → 年会費・論文誌購読費の価格・お支払い方法について → 会費自動振替制度のご案内

2017年度会費自動振替申込締切 2016年10月7日(金)

問合せ・申込書送付先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 会員サービス係 宛

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: member@jim.or.jp

2016年秋期(第159回)講演大会ご案内ならびに参加申込みについて

会 期 2016年9月21日(水)～9月23日(金)

会 場 大阪大学豊中キャンパス

(〒560-8531 豊中市待兼山町 1-1)

懇親会 2016年9月21日(水)18:30～20:30 阪急エクスポパーク

参加申込 当日受付(事前受付終了)

講演発表 本号付録およびホームページ掲載

詳 細 ホームページ→講演大会をご参照下さい。

2016年秋期講演大会講演概要集 DVD の販売について

2016年秋期講演大会概要集 DVD を販売いたします。

ご購入希望の方は、下記をご記入の上、E-mail または FAX でご注文下さい。

①件名を「2016年秋期講演大会講演概要集 DVD 購入申込」

②申込者氏名、③会員資格(会員番号も併記)、④申込数

⑤送付先住所

9月7日の発行後、請求書を添えて送付いたします。

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

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: ordering@jim.or.jp

第2回ランチョンセミナー開催

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

主 催 公益社団法人 日本金属学会
企 画 株式会社 明報社
日 時 2016年9月22日(木)12:05~12:45
会 場 大阪大学豊中キャンパス
全学共通教育棟 A 棟, B 棟(1 階, 2 階)

〈ランチョンセミナー開催企業・講演テーマ・演者・会場〉

■D 会場(A 棟 1 階 A104号室)

株式会社日立ハイテクノロジーズ
「複合顕微手法による材料評価へのアプローチ」(和田博之)

■I 会場(A 棟 2 階 A201号室)

株式会社 TSL ソリューションズ
「進化する OIM8 の解析機能の紹介」

■J 会場(A 棟 2 階 A202号室)

日本エフイー・アイ株式会社
「FEI 社製プラズマ FIB-SEM “Helios PFIB Dual beam” による大面積微細構造評価」(村田 薫)

■K 会場(A 棟 2 階 A214号室)

オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社
「X-Max Extreme 〜低加速電圧 SEM-EDS 分析のもたらすもの〜」

■M 会場(B 棟 2 階 B208号室)

日本電子株式会社
「最新型ルーチンモデル走査電子顕微鏡の紹介」

※講演テーマ、演者は、変更となる場合がございます。予めご了承下さい。

参加費 無料 軽食を無料提供いたします。

参加方法 9月22日(木)8:30より参加券を「機器展示会場(B 棟 1 階)」にて配布致します。

金属学会、または鉄鋼協会の大会参加証をご提示下さい。引き換えにご希望のセミナー参加券をお渡し致します。

時間になりましたら、参加券をご持参の上、セミナー会場までお越し下さい。

※予定数に達し次第、配布は終了致します。

※ランチョンセミナーは同業者様等のご入場(セミナー参加券をお持ちの場合でも)をお断りする場合がございます。予めご了承下さい。

～ 皆様のご参加をお待ちしております!! ～

日本金属学会・日本鉄鋼協会 講演大会相互聴講のお知らせ

日本金属学会・日本鉄鋼協会の講演大会相互聴講をご案内いたします。

申込方法: 当日受付

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

鉄鋼協会で発表し、金属学会で聴講のみされる場合:

鉄鋼協会で従来の参加受付を済ませた後、金属学会受付で相互聴講の申し込みをする。

(註) 金属学会で講演発表する場合は、金属学会の正規大会参加申込みが必要です。

料 金: 一般・学生・非会員を問わず同一料金

聴講のみ(概要集無し)	3,000円
聴講と概要集(1 枚)	6,000円

2016年秋期講演大会会期中の 託児室設置のお知らせ

利用ご希望の方は申込要領をご確認の上、下記シッター会社へ直接 E-mail にてお申込み下さい。

■設置期間および利用時間(開始、終了時間は予定です)

■申込期間 2016年8月1日(月)~9月13日(火)まで

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

■詳細 までりあ 8 号: 386 頁 or 講演大会ホームページ

■申込・問合せ先 ㈱ポピンズ大阪支社 担当)竹内

☎ 06-6367-2100

E-mail: order-osaka@poppins.co.jp

日本金属学会・日本鉄鋼協会 第6回女性会員のつどい♪

主 催 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画合同委員会

日 時 2016年9月23日(金)12:00~13:00

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

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

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

参加申込 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。

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

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

2017年春期講演大会の外国人特別講演 および招待講演募集

春秋講演大会における外国人研究者による特別講演と招待講演については会員からの推薦をもとに、毎年6月と12月に開催される国際学術交流委員会において審議採択いたし、講演実施細目については講演大会委員会で決定いたします。2017年春期講演大会における特別講演と招待講演を募集いたしますので、下記要領によりご推薦下さい。

1. 特別講演

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

2. 招待講演

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

3. 推薦用紙

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

4. 推薦書提出期日 2016年11月25日(金)

5. 照会・推薦書提出先

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

第40回技術開発賞「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2016年10月31日(月)

賞の名称 第40回公益社団法人日本金属学会技術開発賞

賞の対象 まてりあ「新技術・新製品」記事に掲載された記事が選考対象となります。

原稿問合せ先 まてりあ係 E-mail: materia@jim.or.jp

詳細 まてりあ 8号391頁 or ホームページ：表彰(賞の募集)

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

第67回金属組織写真賞作品募集

Web 申込になりました!!

応募締切：2016年10月20日(木)

賞の名称 第67回公益社団法人日本金属学会組織写真賞

募集部門 下記 4 部門で行っております。

「写真賞部門」

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

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

申込要領

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

【写真作品】

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

詳細 まてりあ 8号392頁 or ホームページ：表彰(賞の募集)

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

送付・問合先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 金属組織写真賞係
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: gaffair@jim.or.jp

会報編集委員会からのお知らせ

まてりあオンラインジャーナルのカラー掲載について

本会会報「まてりあ」は，毎月冊子版とオンラインジャーナルを発行しておりますが，この度，読者および著者の利便性を鑑み，オンラインジャーナルのみをカラー掲載とすることを可能にいたしました。順次適用して参ります。皆様のご理解を宜しくお願いいたします。

冊子版はモノクローム掲載で，オンラインジャーナルはカラー掲載にする場合の投稿要領

- ・図表原稿の提出方法 モノクローム用ファイルとカラー用ファイルの 2 種を提出する(内容は同じものとする)。
- ・本文 冊子版とオンラインジャーナル版の原稿は，同一とする。
- ・校正 モノクローム版とカラー版の両方で行う。
- ・図の説明 キャプションおよび本文中での図の説明は，モノクローム説明に対応できるように作成する。ただし，色を使った説明を要する場合は(例えば，図中の赤丸は・・・です。黄色の線は・・・です等)冊子版も，カラー印刷にする。
- ・費用 有料とする。
オンラインのみカラー掲載：1 図：1,000円(税別)

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 会報編集委員会
☎ 022-223-3685
E-mail: materia@jim.or.jp

会誌・会報編集委員会からのお知らせ

日本金属学会誌および日本金属学会報の 2017年～2018年印刷等の契約一般競争入札について

2017年 1 号からの日本金属学会誌および日本金属学会報「まてりあ」の印刷等の一般競争入札を下記の日程で行います。詳細資料は，ホームページで公開する予定としております。

- ・2016年 9 月30日：公告(詳細資料はホームページをご覧ください)
- ・2016年10月 7 日：仕様説明会
- ・2016年10月24日：入札書および内訳見積書受領締切
- ・2016年10月25日：開札



チタン合金の研究・開発最前線2016

日 時 2016年9月12日(月) 9:15~16:35

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

募集定員 60名

申 込 当日申込(事前予約終了)

詳 細 まてりあ7号347頁または本会ホームページの「シンポジウム」

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

(公社)日本金属学会 シンポジウム参加係

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

研究集会

研究会 No. 67

第6回 結晶と組織の配向制御による 材料高性能化研究会 参加募集

まてりあ第55巻第5号会告で講演募集しました「結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会」を下記の通り開催いたします。今回は6年間活動してきた本研究会の最終講演会となります。結晶方位分布と微細組織にご興味のある方はふるってご参加下さい。なお、本研究会は軽金属学会「加工と熱処理による優先方位制御研究部会」との共催により行います。

開催日 2016年10月6日(木), 7日(金)

場 所 福山市鞆公民館 大会議室

(〒720-0201 福山市鞆町鞆423-1 ☎ 084-982-2664)

<http://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/soshiki/tomo/70212.html>

福山駅前からトモテツバス鞆線「鞆の浦」停留場下車約150m(乗車時間:30分)

参加費 資料代として当日1,000円をお支払い下さい(学生は無料)。

懇親会 10月6日 千とせ(鞆公民館から約150m) (☎ 084-982-3165) 会費5,000円

宿 泊 10月6日 ベッセルイン福山駅北口(☎ 084-991-1000)

シングル朝食付 8,400円

申込方法 氏名, 所属, 連絡先(TEL・E-mail)を明記の上, 9月26日(月)までに下記世話人宛にご連絡下さい。正式な参加申込書をお送りしますので, ご記入の上, ご返送願います。ただし, 研究会のみのお申込(懇親会不参加, 宿泊不要)に限り, 当日でも参加可能です。なお, 10月3日以降の宿泊取消は上記宿泊施設に直接ご連絡下さい。

申込先 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

大阪府立大学大学院工学研究科マテリアル工学分野

井上博史

☎ 072-254-9316 FAX 072-254-9912

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

10月6日(木)

13:00~13:05 開会の挨拶 代表世話人 大阪府大 井上博史

13:05~13:15 材料集合組織国際会議(ICOTOM)の紹介

大阪府大 井上博史

13:15~13:45 (1) Al-Mg 合金および Al-Mn 合金の高温変形による集合組織形成機構の検討

横浜国大工 ○岡安和人, 福富洋志

13:45~14:15 (2) 熱的安定な析出物が Al-Mg-Si 系合金の再結晶挙動に及ぼす影響

北大工 ○池田賢一

九大総理工 秋吉竜太郎(院生 現:神戸製鋼),

高下拓也(院生 現:JFE スチール), 波多 聡, 中島英治

九大工 山田和広, 金子賢治

14:15~14:45 (3) アルミニウムの繰返し曲げ変形と破壊に及ぼす微細組織ならびに集合組織の影響

横浜国大工 ○池谷隼人, 秋山華人, 梅澤 修, 福富洋志

14:45~15:15 (4) 連続繰返し曲げ加工された無酸素銅の応力緩和過程のEBSD 解析

宇都宮大工 ○高山善匡, 佐々木 祐, 渡部英男

——休 憩——

15:30~16:00 (5) 双晶変形を考慮した純チタン面内反転変形の結晶塑性有限要素解析

岡山大自然科学 ○上森 武, 中田隼矢, 多田直哉

16:00~16:30 (6) MC 埋め込み粒法による結晶粒粗大化シミュレーション — 三重線の移動度の効果 —

東大 名誉教授 伊藤邦夫

16:30~17:00 (7) 結晶方位分布関数による面心立方金属板の深絞り性と曲げ加工性の同時予測

大阪府大工 井上博史

17:30~19:30 懇親会

10月7日(金)

9:05~ 9:30 J-PARC の茨城県 BL と産業利用

茨城県 企画部 富田俊郎

9:30~10:00 (8) 放射光を利用した圧延材料の内部不均一変形の評価

豊橋技科大 ○小林正和, 青葉知弥, 三浦博己

10:00~10:30 (9) TOF 中性子回折による集合組織解析

—六方晶金属への研究展開—

茨城大フロンティア応用原子科学研究センター

○小貫祐介, 星川晃範

茨城大理工 佐藤成男, 茨城大フロンティア 石垣 徹

10:30~11:00 (10) 純チタン圧延再結晶板の力学的異方性におよぼす集合組織の影響

京大工 佐治奈萌子(院生),

國峯崇裕(京大 ESISM, 金沢大), バイ イ,

柴田暁伸(京大 ESISM), ○辻 伸泰(京大 ESISM)

11:00~11:30 (11) 冷延された Ti 添加極低炭素鋼における変形微視組織の発達と結晶方位分布

九大工 ○森川龍哉, 佐世保高専 東田賢二,

新日鐵住金 木村 謙, 潮田浩作

——昼 食——

13:00~13:30 (12) 強冷延加工された3%Si 鋼多結晶体の冷延および再結晶集合組織に及ぼす素材 C 量の影響

JFE スチール ○竹中雅紀(京大 ESISM), 早川康之

京大工 辻 伸泰(京大 ESISM)

13:30~14:00 (13) EBSD 法と反射電子像による低炭素鋼の再結晶および α - γ 変態過程の観察

TSL ソリューションズ 鈴木清一

14:00~14:30 (14) 熱延鋼板変態集合組織の拡散-剪断変態遷移とその予測

日鉄住金テクノロジー(現:茨城県) 富田俊郎

14:30~15:00 (15) フェライト系ステンレス鋼板の集合組織と r 値に及ぼす初期組織と冷延圧下率の影響

新日鐵住金ステンレス

○西村 航(現:新日鐵住金), 濱田純一

15:00~15:30 (16) 高純度ニオブの加工硬化と再結晶挙動

同志社大理工 ○山口裕太(院生), 湯浅元仁, 宮本博之

15:30~15:35 閉会の挨拶

世話人 宇都宮大 高山善匡

共催行事

日本学術会議シンポジウム 「社会インフラ、グリーン・エネルギー分野における 材料工学の展望」

日 時 平成28年10月13日(木) 13:00~17:00
会 場 日本学術会議講堂(東京都港区六本木 7-22-34, 最寄駅:
 東京メトロ千代田線 乃木坂駅)
<http://www.scj.go.jp/ja/other/info.html>
主 催 日本学術会議 材料工学委員会 材料工学ロードマップの
 ローリング分科会
共 催 日本鉄鋼協会, 日本金属学会, 資源・素材学会, 高分子学
 会, 日本セラミックス協会, 日本建築学会, 土木学会, 材
 料連合協議会の予定
趣 旨 日本学術会議材料工学委員会では平成26年に材料工学に
 関連する9分野の夢ロードマップを作成しました。平成
 27年度からはそのうち, 主として構造用材料が対象とな
 る社会インフラ材料学, グリーン・エネルギー材料学につ
 いてロードマップのローリングを進めてきています。この
 シンポジウムでは, その全貌を中間報告するとともに, 材
 料の適用対象とするサイドの状況を御専門の先生方からご
 講演頂き, 参加者間の積極的な意見交換により, この分野
 での材料工学を展望し, ローリングをブラッシュアップさ
 せたいと考えております。多数の参加をお待ちします。

プログラム

司会: 材料工学ロードマップのローリング分科会副委員長 長井 寿
 13:00-13:05 開催の挨拶:
 材料工学ロードマップのローリング分科会委員長 松宮 徹
 13:05-13:45 「土木・建築構造物を中心とした防災・減災の現状
 と将来」 千葉工業大学工学部 教授 田村和夫
 13:45-14:25 「水素の利用と供給の現状と将来」
 東京理科大学大学院教授, 一橋大学名誉教授 橋川武郎
 14:25-15:05 「福島第一原子力発電所の廃炉技術の現状と課題」
 東京大学大学院 特任教授 鈴木俊一
 15:05-15:15 — 休 憩 —
 15:15-15:55 「低炭素社会・循環型社会と資源効率性」
 東京大学大学院 教授 森口祐一
 15:55-16:25 「社会インフラ材料学のロードマップ」
 物質・材料研究機構 副拠点長 御手洗容子
 16:25-16:55 「グリーン・エネルギー材料学のロードマップ」
 九州大学大学院 教授 尾崎由紀子
 16:55-17:00 閉会の挨拶: 材料工学委員会委員長 吉田豊信

申込先

【郵送の場合】 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
 東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻
 教授 小関敏彦

【メールの場合】 matsumiya.tooru@gmail.com
 金沢大学大学院 自然科学研究科 機械科学専攻
 客員教授 松宮 徹

参加費 無料

支部行事

東北支部

第15回 東北支部研究発表大会

日 時 2016年11月25日(金)13:00-17:30
会 場 秋田大学理工学部3号館(〒010-8502 秋田市手形学園町
 1-1)
講演申込要項
募集講演 ・一般講演(講演時間: 発表10分 質問・討論時間
 5分)
 ・ポスター発表
申込方法 下記内容をE-mailでお知らせ下さい。
 (1) 発表区分(一般講演・ポスター発表の区別)
 (2) 題目
 (3) 氏名・所属(全員, 発表者に○印)
 (4) 連絡先・電話・E-mail アドレス
 (5) 懇親会の参加の有無

申込締切 10月28日(金)

プログラム(予定)

13:00~13:10 支部長挨拶
 13:10~14:00 基調講演
 14:10~16:20 一般講演
 16:30~17:30 ポスター発表
 18:00~20:00 懇親会

(時間・発表区分は講演件数により変更する場合があります。
 プログラムが決定し次第ご連絡します。)

予稿原稿締め切り 11月17日(木)

予稿原稿作成 A4版1頁(PDF ファイルをE-mailでご送信
 下さい)
 作成要領は発表者に後日連絡いたします。

ポスターパネルサイズ A0(縦)を超えないこと。

参加費 無料

懇親会費 3,000円(学生2,000)程度を予定しています(当日徴収)

参加申し込み締切: 11月18日(金) (懇親会参加の有無もお知らせ
 下さい。)

講演申込・予稿原稿送付先

〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

秋田大学大学院理工学研究科 齋 千修

☎ 018-889-2410 E-mail: natsume@gipc.akita-u.ac.jp

問合せ先 〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

秋田大学大学院理工学研究科 大笹憲一

☎ 018-889-2411 E-mail: sasa@gipc.akita-u.ac.jp

関東支部

第13回ヤングメタラジスト研究交流会 開催のご案内

ヤングメタラジスト研究交流会は, 関東支部内の大学や企業に所
 属する若手研究者の交流を目的とし2004年に第1回目が開催され
 て以降, 今年で第13回目を迎えます。支部内の若手研究者と研究
 に熱意ある学生が研究活動を通じて互いに交流し合い, 連携を深め
 ることで, 関東支部の金属材料研究が活性化することを目的として
 います。本年度は, 東京大学にて開催し, 講演とポスターセッショ
 ンを開催いたします。皆様のご参加をお待ちしております。

日 時 2016年10月21日(金)13:00~

場 所 東京大学本郷キャンパス 山上会館

本郷アクセスマップ:

http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/map01_02_j.html

キャンパス・マップ:

http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_00_02_j.html

スケジュール

13:00-15:20 講演(プログラムは後日掲載予定)

15:40-17:00 ポスターセッション

17:30-19:00 懇親会およびポスター賞表彰式

参加費 無料(懇親会は1500円/一般, 500円/学生)

参加をご希望の方は**9/16(金)17:00**までに氏名, 所属, 連絡先, E-mail, 懇親会参加/不参加について下記までご連絡下さい。

参加申込・問合せ先 東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻
白山 栄
E-mail: shirayama@material.t.u-tokyo.ac.jp
☎ 03-5841-7107

学生ポスターセッションを開催致します。皆様奮ってご参加下さい。

ポスター発表登録締切: **9/16(金)17:00**

- ・ポスターサイズ: A0 サイズ(841 mm×1189 mm)縦型
- ・登録用に A4 の 3 分の 1 ページ分のアブストラクトを提出して下さい。

申し込み時にフォーマットをお送りします。参加をご希望の方は下記までご連絡下さい。

ポスター発表申込・問合せ先

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 小島真由美
E-mail: ojima@metall.t.u-tokyo.ac.jp ☎ 03-5841-7147



〈公募類記事〉

無料掲載: 募集人員, 締切日, 問合せのみ掲載。

有料掲載: 1/4頁(700~800文字)程度。

・「まてりあ」とホームページに掲載; 15,000円+税

・ホームページのみ掲載; 10,000円+税

〈その他の記事〉 原則として有料掲載。

・原稿締切・掲載号: 毎月1日締切で翌月号1回掲載

・原稿提出方法: 電子 mail と FAX (要受け取り mail の確認)

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

◇東北大学金属材料研究所 教授 公募◇

公募人員 教授 1名

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

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

所 属 固体新物質・機能開拓分野

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

URL: http://www.imr.tohoku.ac.jp/ja/op/2016solid_state_physics.html

応募資格 博士の学位を有する方

任 期 なし

応募締切 **2016年9月23日(金)必着**

着任時期 決定後なるべく早い時期

提出書類

- (1) 履歴書(写真貼付)
- (2) 研究業績リスト(原著論文、国際会議の発表・プロシーディング、総説・解説、国内・国際会議での招待講演、著書、特許等に分類して記載)、論文データベース個人 ID (例えば ResearcherID) があればリストの始めに記載

(3) 外部資金の獲得状況(研究代表者のもののみ)

(4) 主要論文別刷10編(コピー可)

(5) これまでの研究概要(2,000字程度)

(6) 着任後の研究計画(2,000字程度)

(7) 推薦書、または照会可能者2名の氏名と連絡先

書類送付先 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1

東北大学金属材料研究所長 宛

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

問合せ先 教授 宇田 聡

☎ 022-215-2100 E-mail: uda@imr.tohoku.ac.jp

◇崇城大学工学部ナノサイエンス学科 教員 公募◇

募集人員 准教授または助教 1名

所 属 工学部 ナノサイエンス学科

専門分野 無機材料、触媒材料、エネルギー関連材料に関する分野

担当科目 無機化学および無機材料の分野に関する科目および実験

応募資格 (1) 博士の学位を有する方または着任時までに取得可能な方で、専門分野における十分な研究業績がある方。

(2) 電子顕微鏡の試料作製および操作について高い技術を有した方で、年齢は30歳代が望ましい。

その他の要件は、下記の URL 参照のこと。

着任時期 2017年4月1日

(採用後3年間は1年毎更新。4年目以降は任期なし教員に移行。)

給 与 等 崇城大学給与規程による。(適性や経験などを考慮)

提出書類

- (1) 履歴書(学歴、職歴、社会活動、取得資格など。写真添付。連絡先と E-mail アドレスを明記のこと。様式自由。)
- (2) 教育研究業績書(教育上の業績、職務上の業績、論文リストは査読付き論文とその他の論文を区別すること。また、外部資金の獲得実績や登録特許、著書・解説文などもあれば記載。様式自由。)
- (3) 本学における教育・研究に対する抱負(各800字程度、書式自由。)
- (4) 主要研究業績(著書または論文)5編以内(コピー、別刷可)
- (5) 応募者について所見を伺える方2名の氏名、連絡先、現職名、応募者との関係を記載したもの(書式自由)

応募締切 **2016年9月20日(火)(必着)**

選考方法 一次選考: 書類審査、二次選考: 学科面接、

最終選考: 理事長・学長面接

(二次選考では、プレゼンテーションと模擬授業を実施。)

書類提出先/問合せ先

〒860-0082 熊本県熊本市西区池田4-22-1

崇城大学工学部ナノサイエンス学科 学科長 教授

友重竜一

☎ 096-326-3749(研究室直通)

E-mail: tomosige@nano.sojo-u.ac.jp

※応募封筒には『ナノサイエンス学科 教員応募書類在中』と朱書きし、簡易書留にて郵送。

URL: http://www.sojo-u.ac.jp/news/topics/160722_007137.html

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

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

日 時 2016年11月21日(月)～22日(火)

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

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

協 賛 (公社)日本金属学会、(一社)日本鉄鋼協会

定 員 40名

プログラム

11月21日(月)

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

11月22日(火)

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

参加費

事前申込: 11月7日迄

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

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

世 話 人 阿部太一(物材機構)、梶原正憲(東工大)、大沼郁雄(物
材機構)

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

☎ 029-859-2628

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

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

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

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

■協 賛 (公社)日本金属学会、(一社)日本鉄鋼協会他

■参加登録・問い合わせ 東京大学 生産技術研究所

岡部研 学術支援専門職員 宮寄智子

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

FAX 03-5452-6313

E-scrap シンポジウム2016

■開 催 日 平成28年9月27日(火)

シンポジウム 10:30-17:30

交流会 18:00-20:00

■会 場 東京大学 生産技術研究所 An 棟 2F コンベンション
ホール(〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1)

(最寄り駅: 駒場東大前、東北沢、代々木上原)

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

■プログラム【敬称略】:

10:30-10:40 所長挨拶

東京大学 生産技術研究所 所長 藤井輝夫

10:40-10:50 趣旨説明

東京大学 生産技術研究所 JX 金属寄付ユニット特任教授

東北大学 多元物質科学研究所 教授 中村 崇

10:50-11:20 資源としての E-scrap の可能性(仮題)

東北大学 環境科学研究科 教授 白鳥寿一

11:20-11:50 E-scrap から実現する Circular Economy

ハリタ金属株式会社 社長 張田 真

11:50-12:20 宅配を利用した小型廃電子機器の回収の新展開

リネットジャパングループ株式会社 社長 黒田武志

12:20-13:30 一休憩—

13:30-14:00 我が国の E-scrap 輸出入規制の課題と対応(仮題)

慶応大学 経済学部 教授 細田衛士

14:00-14:30 非鉄製錬における E-scrap 処理の最近の進歩(仮題)

三菱マテリアル株式会社 直島製錬所技術課

課長 谷口 徹

14:30-15:00 JX 金属グループにおける E-scrap 処理

JX 金属株式会社 日立事業所

HMC 製造部生産管理課長 亀谷敏博

15:00-15:30 一休憩—

15:30-16:00 廃小型家電製品等からの Ta 回収技術開発について

三井金属鉱業株式会社 金属事業本部金属事業部

担当部長 太田洋文

16:00-16:40 小型電子機器リサイクル法の現状

環境省 リサイクル推進室 室長 田中良典

16:40-17:20 非鉄金属資源の動向

経済産業省 鉱物資源課 課長 辻本主助

17:20-17:30 シンポジウムを終えて 東京大学 生産技術研究所

JX 金属寄付ユニット特任教授 前田正史

18:00-20:00 交流会

東京大学 生産技術研究所 An 棟 1階 カポ ペリカーノ

リサイクル施設見学会

■開 催 日 平成28年9月28日(水)

■見 学 先 産業技術総合研究所 戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)

- JX 金属株式会社 日立事業所
- 対象 全国の非鉄製錬・リサイクルに関心を持つ学生
(4年生, M1, D1, D2) および公的機関の若手研究者
- 定員 20名
- 参加費 2,000円(変更となる可能性あり)

集 会

◇レアメタル研究会◇

- 主催 レアメタル研究会
- 主宰者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 協力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
- 共催 東京大学マテリアル工学セミナー
東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター
東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門 (JX 金属寄付ユニット)
- 協賛 (公社)日本金属学会他
- 開催会場 東京大学生産技術研究所 An 棟 2F コンベンションホール(〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1)
(最寄り駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)
- 参加登録・お問い合わせ
岡部研 レアメタル研究会事務担当 宮寄智子
(okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)

〈平成28年度 レアメタル研究会の予定〉

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

- 第72回 2016年9月16日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール
テーマ: レアメタル情勢, クリティカルメタル, タングステン 他
時 間: 午後2:00~

講 演:

- ・金属資源開発を巡る環境変化と今後の展望(仮)(60分)
一般社団法人日本金属経済研究所 理事長 川口幸男 講師
 - ・今, クリティカルなレアメタルは何か?(仮)(45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
 - ・タングステンの市場, 技術動向について(仮)(60分)
日本新金属株式会社 常務取締役 開発部長 森田 進 講師
- 午後6:00~ 研究交流会・意見交換会 (An 棟 2F ホワイエ)

- 第73回 2016年11月22日(火)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール
(★曜日と開始時間にご注意下さい。)

テーマ: チタン製錬・リサイクル

時 間: 午後2:00~

講 演:

- ・チタンの新製錬研究の進捗状況(仮)(30分)
京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 教授 宇田哲也 講師
- ・クロール法のその場観察の試み(仮)(20分)
京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 博士課程 D3 岸本章宏 講師
- ・チタンの還元やリサイクルプロセスに関する最近の話題(仮)
~マグネシウムを用いるチタンの還元と脱酸~(45分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師
- ・チタンおよびチタン合金粉末について(仮)(45分)
株式会社 大阪チタニウムテクノロジーズ 執行役員 大橋善久 講師
- ・チタンの EB 溶解とスクラップのリサイクル化について(仮)(45分)
東邦チタニウム株式会社 常務取締役 滝 千博 講師

★ポスター発表を企画中

午後6:00~研究交流会・意見交換会(An 棟 2F ホワイエ)

レアメタル研究会ホームページ

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

★備考: 関連研究会

〈米国版レアメタル研究会(RMW)のご案内〉

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

日本金属学会誌, Mater. Trans. へ投稿しませんか?

◎日本金属学会誌および Mater. Trans. は, 会員, 非会員問わず投稿することができます。

掲載論文充実化のため, レビュー, オーバービュー, 技術論文など多くの種別を取り入れております。又, 掲載論文の早期公開も行っております。会誌の投稿・掲載費用は無料です。

詳細は, 本会ホームページ → [会誌](#) or [Mater. Trans.](#) のページをご覧ください。

皆様のご投稿をお待ちしております。

日 本 金 属 学 会 誌 掲 載 論 文

Vol. 80, No. 9 (2016)

論 文

Ti-35Nb-7Al 合金の焼戻しに伴う相変態挙動

井尻政孝 富田悠希 石川高史 竹元嘉利

冷間圧延による {111}〈112〉銅単結晶の方位変化の SEM/EBSD 解析

鯨坂祐介 宮嶋陽司 尾中 晋

AIH-FPP 処理による Ni-Al 金属間化合物被膜の創製

齋藤周也 鈴木広野 小茂島 潤
深沢剣吾 三阪佳孝 川崎一博

Al(111)表面近傍での水素原子の拡散特性における欠陥および合金元素の影響

國貞雄治 坂口紀史

Al-Cu 合金における Guinier-Preston ゾーン形成の支配因子に関する原子論的研究

中上雄史 君塚 肇 尾方成信

機能性被覆の性状とインピーダンス応答の関係をを用いた *in-situ* 評価

鈴木成実 佐々木亮祐 松村義人 近藤正聡

高圧スライド(HPS)加工で結晶粒微細化した A2024 合金板材の超高強度化と超塑性の発現

増田高大 瀧沢陽一 湯本 学 小田切吉治 堀田善治

Materials Transactions 掲載論文

Vol. 57, No. 9 (2016)

—Special Issue on Advanced Materials Science in Bulk Nanostructured Metals III—

PREFACE Naoya Kamikawa, Tomohiro Tsuru and Nobuhiro Tsuji

Texture Changes during Simple Shear Extrusion (SSE) Processing of Pure Copper E. Bagherpour, F. Qods, R. Ebrahimi and H. Miyamoto

Grain Subdivision Mechanism Related to Partial Disclinations in Severe Plastic Deformation: A Molecular Dynamics Study

Tomotsugu Shimokawa, Tomoaki Yamashita, Tomoaki Niiyama and Nobuhiro Tsuji

Numerical Estimation of Frictional Effects in Equal Channel Angular Extrusion

Vinicius Aguiar de Souza, Ikumu Watanabe and Akira Yanagida

Multiscale Characterization of a Polycrystalline Aggregate Subjected to Severe Plastic Deformation with the Finite Element Method

Ikumu Watanabe and Daigo Setoyama

Effect of Roll-Bonding and Subsequent Annealing on Microstructure Evolution of Accumulative Roll Bonded Pure Copper

Yoji Miyajima, Midori Uchiyama, Hiroki Adachi, Toshiyuki Fujii, Susumu Onaka and Masaharu Kato

Effects of Strain Rate during Multi-Directional Forging on Grain Refinement and Mechanical Properties of AZ80Mg Alloy

H. Miura, M. Kobayashi and T. Benjanarasuth

Three-Dimensionally Gradient and Periodic Harmonic Structure for High Performance Advanced Structural Materials

Sanjay Kumar Vajpai, Han Yu, Mie Ota, Ikumu Watanabe, Guy Dirras and Kei Ameyama

Application of Al-Si Semi-Solid Reaction for Fabricating Harmonic Structured Al Based Alloy

Nur Zalikha Khalil, Sanjay Kumar Vajpai, Mie Ota and Kei Ameyama

Synthesis of Ternary Ti-25Nb-11Sn Alloy by Powder Metallurgy Route Using Titanium Hydride Powder

Bhupendra Sharma, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama

Elastic and Plastic Deformation Behavior Studied by *In-Situ* Synchrotron X-ray Diffraction in Nanocrystalline Nickel

Hiroki Adachi, Yui Karamatsu, Shota Nakayama, Tomotaka Miyazawa, Masugu Sato and Tohru Yamasaki

Effect of Grain Size on Fatigue Behavior in AZ61 Mg Alloys Fabricated by MDFing

Yoshihiko Uematsu, Toshifumi Kakiuchi, Hiromi Miura and Taishi Nozaki

Effect of Accumulative Roll Bonding (ARB) and Subsequent Aging on Microstructure and Mechanical Properties of 2024 Al Alloy

Ruixiao Zheng, Tilak Bhattacharjee, Akinobu Shibata, Nobuhiro Tsuji and Chaoli Ma

Effects of Natural Aging on Age-Hardening Behavior of Cu-Be-Co and Cu-Ti Alloys Processed by High-Pressure Torsion

Chihiro Watanabe, Masakazu Hibino, Ryoichi Monzen, Seiichiro Ii and Koichi Tsuchiya

Atomic Scale Simulations of Relationship between Macroscopic Mechanical Properties and Microscopic Defect Evolution in Ultrafine-grained Metals

Tomohito Tsuru, Yoshiteru Aoyagi and Tomotsugu Shimokawa

—Regular Articles—

Materials Physics

Preparation and Characterization of $\text{Ca}_3(\text{Co}, \text{M})_4\text{O}_{9+\delta}$ Type Thermoelectric Materials Using the Electrostatic Spray Deposition Method

Kenjiro Fujimoto, Takuto Isa, Haruka Sakurai, Yuki Yamaguchi, Shigeru Ito and Keishi Nishio

Anisotropic FMR Linewidths in Epitaxially Grown Si-Doped A2-Fe Thin Films Shinji Isogami, Tetsuroh Kawai and Masaaki Futamoto

Characterization of Al/Ti Nano Multilayer as a Joining Material at the Interface between Cu and Al₂O₃ Jianglong. Yi, Yupeng Zhang, Xinxin Wang, Chunlin Dong and Haichun Hu

Microstructure of Materials

Effect of Microstructure Factors on Stress Corrosion Behavior of Mg-xSn Alloys ($x = 2, 5, 8$ mass%) Pei-Shan Chang, Chun-Hung Chen and Chuen-Guang Chao

Local Structural Arrangement of Amorphous Al-Ni-Co Alloy during Uniaxial Tension: A Molecular Dynamics Study Ye Li, Ming Lv and Hongyu Liang

Study of Refinement and Morphology Change of AlFeSi Phase in A380 Alloy due to Addition of Ca, Sr/ Ca, Mn and Mn, Sr

Meng Wang, Wilson Xu and Qingyou Han

***In Situ* EBSD Analysis on the Crystal Orientation Relationship between Ferrite and Austenite during Reverse Transformation of an Fe-Mn-C Alloy**

Kengo Hata, Masayuki Wakita, Kazuki Fujiwara, Kaori Kawano, Toshiro Tomida, Masaaki Sugiyama, Takashi Fukuda and Tomoyuki Kakeshita

Mechanics of Materials

Reverse Process Design Method Based on Recrystallization Models of CMn Steel

Yong Zang, Zebo Zhao and Qin Qin

Basic Deformation Mechanism of Bcc Titanium-Based Alloy of Gum Metal

Yasushi Kamimura, Satoru Katakura, Keiichi Edagawa, Shin Takeuchi, Shigeru Kuramoto and Tadahiko Furuta

Materials Chemistry

High-Temperature Oxidation of Nickel-Dispersed Mullite Composites in Air

Hai V. Pham and Makoto Nanko

Effect of a Kind of Metal Cation on Corrosion Mechanism of A3003 Aluminum Alloy in Tap Water

Kyohei Otani, Masatoshi Sakairi and Akira Kaneko

Effect of Electroslag Remelting Parameters on Primary Carbides in Stainless Steel 8Cr13MoV

Wen-Tao Yu, Jing Li, Cheng-Bin Shi and Qin-Tian Zhu

Growth of Barrier Type Anodic Film on Magnesium in Ethylene Glycol-Water Mixed Electrolytes Containing Fluoride and Phosphate

Khurram Shahzad, Chunyu Zhu, Etsushi Tsuji, Yoshitaka Aoki, Shinji Nagata and Hiroki Habazaki

Optimal Combination of Calcination and Reduction Conditions as well as Na₂SO₄ Additive for Carbothermic Reduction of Limonite Ore

Guan-Jhou Chen, Jia-Shyan Shiau, Shih-Hsien Liu and Weng-Sing Hwang

Materials Processing

Influence of Back Pressure on Slab Edge Deformation Behavior during Width Reduction Pressing

Shunsuke Sasaki, Hiroto Goto, Tatsuro Katsumura and Masaru Miyake

Evaluation of Machinability of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron for Continuous Casting

Akihiko Ikuta, Minoru Hatate and Tohru Nobuki

Effect of Coat Permeability on Melt Velocity of Molten Aluminum Alloy in Expendable Pattern Casting Process

Sadatoshi Koroyasu

Wear Resistance of Industrial Pure Iron Treated by Nitriding and Quenching Followed by Aging Process

Osamu Furukimi, Hiroki Katafuchi, Masatoshi Aramaki, Muhammad Kozin, Satoshi Oue, Koki Yoshida, Ichito Narita, Naoya Yamada and Masayuki Yamamoto

The Relationship between the Spark Plasma Sintering Temperature and Mechanical Properties of Combustion-Synthesized α - and β -SiAlON

Masayuki Koshiyama, Hazuki Sako, Munekazu Ohno and Kiyotaka Matsuura

Formation of ZnO/Ni_{0.6}Zn_{0.4}O Mixture Using Mechanical Milling of Zn-NiO

N. Setoudeh, Cyrus Zamani and Mohammad Sajjadnejad

Defect Detection Using Quasi-Scholte Wave for Plate Loaded with Water on Single Surface

Takahiro Hayashi and Rei Fujishima

Characterization of Polycrystalline Tungsten Surfaces Irradiated with Nitrogen Ions by X-ray Photoelectron Spectroscopy

Yoshitomo Kamiura, Kenji Umezawa, Yuden Teraoka and Akitaka Yoshigoe

Effect of Sintering Temperature on the Microstructure and Properties of Ultra-Fine Ti(C,N)-Based Cermets

Xian-rui Zhao, Dun-wen Zuo, Meng-xian Zhang, Feng Xu, Jin-fang Wang and Shang-shen Feng

Engineering Materials and Their Applications

Sintering Behavior and Mechanical Properties of Magnesium/ β -Tricalcium Phosphate Composites Sintered by Spark Plasma Sintering

Kai Narita, Equo Kobayashi and Tatsuo Sato

Thermoelectric Properties of Fe₂VAI-Based Thin-Films Deposited at High Temperature

Satoshi Hiroi, Masashi Mikami and Tsunehiro Takeuchi

Effect of Tin Addition on Inhibition of Cast Cracking in Mg-Al-Ca Alloys

Hajime Kato, Koshiro Kitayama, Kazuma Hibi and Hiroyuki Kawabata

Bulk-Type All-Solid-State Lithium Batteries Using Complex Hydrides Containing Cluster-Anions

Atsushi Unemoto, Koji Yoshida, Tamio Ikeshoji and Shin-ichi Orimo

Composition-Controlled Fe-Ni Alloy Fine Particles Synthesized by Reduction-Annealing of Polyol-Derived Fe-Ni Hydroxide

S. Fujieda, W. Miyamura, K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan

Environment

A Model of Scale Formation on Inner Carbon Steel Pipe Walls for Transporting Hot Spring Water

Motoaki Morita and Osamu Umezawa

—Rapid Publications—

Mechanism of Metastable Wüstite Formation in the Reduction Process of Iron Oxide below 570°C

Zhiyuan Chen, Kuo-Chih Chou and Kazuki Morita

Applying Underwater Explosion for the Liberation of Neodymium Magnet Rotor Followed by Thermal Treatment for Recycling

Li Pang Wang, Wei Sheng Chen, Chih Mei Chou, Kenji Murata and Toyohisa Fujita

まてりあ 第55巻 第10号 予告

〈ミニ特集〉 テーマ「過酷環境下でも性能を発揮する構造用金属材料」

企画にあたって……………森戸春彦
海外の重化物鉄道で使われる高耐摩耗レール
……………木村達己 本庄 稔 長谷和邦
高効率火力発電ボイラ用高強度高延性 Ni 基鋼管 HR6W のクリープ強度と組織……………仙波潤之 岡田浩一
核融合炉用極低温構造材料……………西本健太
摩擦撹拌接合 (FSW) 用ツール合金……………平野 聡
高強度・高耐食性ステンレス鋼および析出硬化型 Ni 基合金
……………成田修二

〈一般記事〉

〔解説〕 古代の金のマイクロ接合・粒金
……………大橋 修 成井美穂 相原健作 原田一敏 他
〔講義ノート〕 マイクロメカニクス II
……………Ni 基超合金に現れる問題……………森 勉
〔新進気鋭〕 ADF STEM 像の定量化とその応用……………石川 亮
……………一他……………

編集の都合により変更になる場合がございます。

JIM's NEWS

本会からのメール配信サービスのご活用について

会員の皆様の利便性を目的に、「まてりあ」オンライン発行のお知らせや本会の主要行事(講演大会・セミナー・シンポジウム等)のご案内などを E-mail でもお届けしております。

こちらをご利用されてない方でこのメール配信サービスをご希望される方は、下記の方法で是非ご活用下さい。

入会・変更・会員制度

会員制度のご案内
パスワード再発行
2016年年会費納入のお願い
会員マイページ
よくあるご質問

サービス一覧

- ・ 会員情報の変更届
住所・送先など登録情報の変更を行います
- ・ 会員種別の変更届
会員種別の変更を行います。
- ・ 購読誌の変更届
購読誌の変更を行います。

入会情報

入会日
会員種別 永年会員
※会員種別の変更を希望される方は、会員種別の変更届にてご申請下さい。

個人情報

(中間あたり)

① ホームページ

↓
会員マイページをクリック

② 会員情報の変更届をクリック

E-mailによる案内 (必須)	セミナー・シンポジウム開催等のご案内致します。 ● 希望する ○ 希望しない
新刊のご案内(必須)	購読されているオンラインジャーナルの新刊公開をE-mailをご案内致します。 ● 希望する ○ 希望しない

③ 個人情報の中間あたりに、E-mail による案内，新刊のご案内のチェック項目があります。ここで選んで下さい。

新 入 会 員

(2016年 6月21日～2016年 7月20日)

正 員

伊藤 一 真 新日鐵住金株式会社
江橋有衣子 JFE スチール株式会社
近藤 泰 光 新日鐵住金株式会社
田口 勇 樹 株式会社日立金属ネオマテリアル

橘 英 樹 株式会社テックスイージー
二瓶 貴之
美藤 正 樹 九州工業大学
山口 渡 国立研究開発法人産業技術総合研究所

山崎 重 人 九州大学
山本 雅 哉 京都大学

学 生 員

相原 雄 太 岩手大学
青木 良 晃 大阪府立大学
赤尾 総 太 兵庫県立大学
赤田 悠 輔 大阪大学
荒明 晃 平 東北大学
池上 哲 生 筑波大学
池田 憲 史 大阪大学
石田 真 大 九州大学
石丸 博 章 関西大学
石村 亮 祐 大阪大学
井田 憲 幸 東北大学
市岡 伸 也 室蘭工業大学
伊藤大二郎 大阪府立大学
井上 晋 輔 九州工業大学
井上 朋 美 久留米高等工業専門学校
井上 和 香 東北大学
猪俣 忠 明 千葉工業大学
井場木亮祐 東京工業大学
岩下麻依子 横浜国立大学
上 神 晶 寛 大阪府立大学
上田 大 記 立命館大学
植村 太 一 神戸大学
内田 裕 己 大阪大学
内山 涼 介 秋田大学
梅 木 彰 人 九州工業大学
江口 雅 人 北見工業大学
江戸 太 一 名古屋大学
大石 倫 也 高知工科大学
大石 幹 長崎大学
大木 崇 生 北海道大学
大久保敬祐 秋田大学
大林 純 平 東京工業大学
緒方 和 馬 九州工業大学
岡田 将 秀 兵庫県立大学
岡田 隆 介 金沢大学
小川 裕 也 兵庫県立大学
小木 雄 貴 山形大学
奥村 晴 紀 大阪大学
小田島経知 東京工業大学
甲斐 龍 平 立命館大学
海瀬 祐 太 大阪大学
景山 智 之 立命館大学
加藤 遼 馬 九州大学
門田 耕 平 大阪大学
門脇万里子 東北大学
金澤 和 哉 大阪大学
神谷 真 史 筑波大学

川崎 貴 大 東北学院大学
川澄 春 乃 東京工業大学
川田 湧 万 岩手大学
川畑 雅 敬 神戸大学
川村 航 太 岩手大学
川村 遥 上智大学
木内 亮 介 愛知工業大学
菊池 慧 芝浦工業大学
木坂 真 彰 広島工業大学
木内 新 東京工業大学
木村 俊 樹 九州工業大学
木村 良 芝浦工業大学
草場 厚 志 九州大学
楠川 裕 志 大阪大学
窪内 将 隆 東北大学
桑原 拓 真 大阪府立大学
小池 叡 史 宇都宮大学
小池 貴 裕 東京理科大学
小出 紘 之 東北大学
幸松波也斗 九州大学
小島 柊 真 東京工業大学
後藤 晟 太 宇部工業高等専門学校
後藤 正 弥 鳥取大学
小林 哲 朗 名古屋大学
五味聡一郎 名古屋大学
紺谷 博 人 北海道大学
齋藤 樹 里 東北大学
齋藤 友 大 東北大学
佐伯 翔 吾 愛媛大学
坂元 友 哉 近畿大学
浴 畑 嶺 京都大学
佐々木英里 早稲田大学
佐々木亮介 大阪府立大学
定森 悠 太 兵庫県立大学
佐藤 宏 太郎 東北大学
佐藤 翔 悟 北海道大学
佐藤 伸 哉 横浜国立大学
佐藤 敏 郎 秋田大学
佐藤 奈々絵 仙台高等専門学校
佐藤 雅 史 名城大学
佐藤 悠 志 東京大学
澤木 秀 悟 東北大学
澤田 龍 之 介 九州大学
塩野 貴 大 京都大学
篠岡 樹 東海大学
篠崎 敬 佑 九州工業大学
柴原 奨 平 東北大学

柴山 慶 介 九州工業大学
柴山 裕 輝 茨城大学
島田 健 弘 九州工業大学
清水小百合 島根大学
清水 寛 将 東京工業大学
下村 修 潤 福井大学
庄 司 一 輝 長岡技術科学大学
白崎 亮 也 同志社大学
進藤 怜 史 東北大学
新保 遼 東北大学
数土 卓 也 北海道大学
菅沼 亮 佑 東京工業大学
鈴木 優 太 東北大学
鈴木 雄 文 九州工業大学
須藤 友 介 千葉工業大学
芹澤 留 依 東京工業大学
柚 龍 之 介 大阪府立大学
高井 大 北海道大学
高木 康 介 熊本大学
高橋 啓 一 東北学院大学
高橋 弘 貴 芝浦工業大学
田口 貴 寛 筑波大学
竹内 彰 吾 富山大学
竹内 悠 太 東北大学
武岡 正 樹 大阪大学
龍田 星 奈 京都大学
辰巳 大 祐 大阪大学
田中 一 光 慶應義塾大学
田中 健 登 茨城大学
田中 秀 明 兵庫県立大学
田中 元 彬 大阪府立大学
谷 真 海 大阪府立大学
谷口 啓 介 福井大学
田吹 遥 九州工業大学
田村純太郎 東京工業大学
築田 大 輝 芝浦工業大学
塚田 柊 人 芝浦工業大学
塚本 亮 太 愛媛大学
都留 拓 也 九州大学
鶴田幸之介 九州大学
程 宏 輝 東北大学
出口 淳 晶 東海大学
鉄谷 尚 史 大阪大学
寺田 俊 一 大阪大学
寺田 晴 彦 筑波大学
土居 利 行 兵庫県立大学
東海 旭 宏 大阪府立大学

戸野塚 悠	群馬大学	東 出 祐 介	東北大学	村 井 陸 佑	金沢大学
富 田 翔 子	関西大学	樋 口 和 成	群馬大学	望 月 泰 英	東京工業大学
富 田 雄 吾	群馬大学	久 井 志 紘	大阪府立大学	望 月 涼 雅	東北大学
富 田 祐 也	大阪大学	平 田 弘 達	横浜国立大学	百 瀬 樹	東北大学
富 依 勇 太	京都大学	藤 岡 和 毅	東京工業大学	森 田 有 貴	大阪大学
永 井 亮	仙台高等専門学校	藤 田 遥	東京工業大学	森 本 悠 斗	東京工業大学
中 川 雅 也	早稲田大学	藤 田 浩 享	静岡理科大学	安 岡 佑 樹	京都大学
永 田 裕 也	東北大学	藤 林 祥 大	大阪大学	安 西 祐 規	大阪大学
中 村 旭 伸	熊本大学	ブラーボンボン スィリー	室蘭工業大学	安 野 伸 吾	岩手大学
中 村 大 志	芝浦工業大学	細田昌太郎	大阪大学	山 川 顕 也	名古屋大学
鳴 海 大 翔	東京大学	堀 旭 伸	東京大学	山 口 誠 人	熊本大学
新中美奈子	東京工業大学	堀 敬 雄	大阪大学	山 口 裕 太	同志社大学
西田健太郎	関西大学	堀 川 直 樹	立命館大学	山 田 小 夏	北海道科学大学
西 谷 宣 彦	東京工業大学	前 山 知 生	愛媛大学	山 田 匠	東北大学
西 山 博 基	大阪大学	増 田 一 樹	立命館大学	山 本 展 章	関西大学
野 口 侑 紀	東北大学	増 田 章 太	京都工芸繊維大学	横 山 将 太	立命館大学
野 中 一 輝	千葉工業大学	増 田 晋 也	大阪大学	吉 田 周 平	京都大学
朴 元 永	東北大学	松 田 知 士	立命館大学	吉 本 隆	大阪大学
畑 山 祥 吾	東北大学	丸 屋 優 樹	群馬大学	吉 本 敏 規	九州大学
端 智 裕	大阪大学	水 谷 晃 大	名城大学	力 久 弘 章	熊本大学
馬 場 亮 輔	愛知工業大学	水 谷 史 仁	名古屋工業大学	若 山 工 雄	金沢大学
浜 谷 苑 子	東北大学	水 野 泰 輔	横浜国立大学	渡 邊 一 敬	慶應義塾大学
原 田 航	東京工業大学	水 野 翼	名城大学	渡 辺 英 和	茨城大学
原 田 大 志	兵庫県立大学	三 富 崇 永	東北大学	渡 部 恭 志	九州大学
原 田 昌 輝	東北大学	宮 川 知 也	岐阜工業高等専門学校	渡 邊 優 太	愛媛大学
原 田 陽 平	横浜国立大学	宮 崎 泰 樹	鹿児島大学		
比 嘉 大 輝	筑波大学	宮 谷 厚 志	京都工芸繊維大学		

外国一般会員

BOUYRIE Yohan	Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	Deb Nath Sankar	東北大学	愛凜砂土 馬場久	茨城大学
		EMAMI Mohammad	Tokyo Institute of Technology		

外国学生会員

Eleti Rajeshwar Reddy	京都大学	MUTUA JAMES MUTUKU	鳥取大学	胡 杰	東北大学
farah liana binti mohd redzuan	大阪大学	Ruhma Zaka	東北大学	夏 季	東北大学
Hoejun Heo	Pusan National University, Busan, Korea of republic	Selvaraj Suganthamalar	広島大学	朱 政	東北大学
HUANG Jhong-Ren	東北大学	Shuang Yi	東北大学	SUN XIAOHAO	東北大学
Kim Byoung Jin	Yonsei University	Young Su Yun	Yonsei university	陳 良	東京大学
KIM Jeong Kyun	Yonsei University	李 長 昊	京都大学	李 自 宣	大阪大学
		Ng Kok Long	東京大学		



第9回環太平洋先端材料とプロセッシング国際会議の開催御礼

本会主催の第9回環太平洋先端材料とプロセッシング国際会議(PRICM9)を予定通り8月1日から8月5日まで国立京都国際会館(京都市左京区宝ヶ池)で開催いたしました。1,100名を超える参加者および約1,000件の講演発表があり、大変盛会裏に終了することができました。ご参加およびご関係の皆様には厚く御礼申し上げます。会議の詳細につきましては、まてりあ12号に掲載予定です。

2016年9月1日

会 長 白井泰治
 PRICM9 組織委員長 古原 忠

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
9月				
1～2	第11回水素若手研究会(広島)	第11回水素若手研究会実行委員会・比嘉(筑波大)	s1520913@u.tsukuba.ac.jp	参加 7.21
1～3	日本実験力学学会2016年度年次講演会(近畿大)	日本実験力学学会・澤井(近畿大)	TEL 0736-77-3888 sawai@mech.kindai.ac.jp http://www.jsem.jp/	
2	第34回軽金属セミナー「アルミニウム合金の組織—応用編(加工・熱処理による組織変化)」(第1回)(早稲田大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
3	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(工学院大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
3～5	第19回 XAFS 討論会(名大)	日本 XAFS 研究会	http://www.nusr.nagoya-u.ac.jp/event/jxafs19/#summary	
5～7	平成28年度工学教育研究講演会(大阪大)	日本工学教育協会・川上	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/taikai/kenkyu/	5.9
5～9	第5回 ICFsMA'16 国際会議(強磁性形状記憶材料に関する国際会議)(仙台)	第5回 ICFsMA'16 国際会議組織委員会・大森(東北大)	TEL 022-795-7323 icfsma@material.tohoku.ac.jp http://www.material.tohoku.ac.jp/~icfsma/	事前予約 6.30
6	「シンクロ型 LPSO 構造の材料科学」一般公開成果報告会(東京)	シンクロ型 LPSO 構造の材料科学・河村(熊大)	TEL 092-583-7523 LPSO@zaiko.kyushu-u.ac.jp http://www.mg-lpso.org/	
6～7	第32回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会・村上(九大)	TEL 092-802-3497 bunseki32@eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp http://eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp/bunseki2016/	事前参加 8.26
7～9	JASIS2016(幕張)	日本分析機器工業会他・菅	TEL 03-3661-5131 kan@sia-tokyo.gr.jp http://www.jasis.jp	
7～9	日本セラミックス協会第29回秋季シンポジウム(広島大)	日本セラミックス協会・山口	TEL 03-3362-5232 fall29@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/29th/	
8～9	第13回ノートパソコンで出来る原子レベルのシミュレーション入門講習会～分子動力学計算と電子状態計算～(東大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp	
8～9	第26回初心者のための疲労設計講習会(上智大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 60名
8～9	第7回「塗装入門講座」(東京)	日本塗装技術協会	TEL 03-6228-1711 tosou-jimukyoku@jcot.gr.jp http://jcot.gr.jp	
8～9	第46回溶融塩化学講習会(実験講習会)～溶融塩および活性金属の取り扱い～(東大)	電気化学会溶融塩委員会・夏井(北大)	http://msc.electrochem.jp/koushu.html	定員 10名
8～9	第26回格子欠陥フォーラム「格子欠陥材料のマルチスケール計算科学」(京都)	日本物理学会・領域10「格子欠陥・ナノ構造」分科	TEL 075-753-5283 yuge.koretaka.4r@kyoto-u.ac.jp http://www.r10.div.jps.or.jp/	8.31
9～11	第18回日本感性工学会大会(日本女子大)	日本感性工学会・上野	TEL 03-3666-8000 jske16@jske.org http://www.jske.org/	
10	2016年度計算力学技術者(CAE技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
12	金属学会シンポジウム「チタン合金の研究・開発最前線2016」(阪大)(7号347頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 meeting@jim.or.jp	
13～15	平成28年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(岩手大)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2016b/top	
15～16	軽金属基礎技術講座「アルミニウムの製造技術」(掛川)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 50名
15～16	日本マリンエンジニアリング学会技術者継続教育2016年度「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp	定員 25名
16	第320回塑性加工シンポジウム「表面性状の制御による付加価値向上」(刈谷)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
16	熱電変換の現在と未来: ZTはどこまで上がるのか?	応用物理学会・林(東北大)	hayashik@crystal.apph.tohoku.ac.jp	
16	第72回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号436頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
17	2016年度計算力学技術者(CAE技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
20	第94回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会—材料の表面形態と表面濡れ性の制御—(東京)	表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会	ars@sfj.or.jp	申込 9.9
21～23	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)(豊中)(8号384頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
22	JST 研究成果展開事業産学共創基礎基盤研究プログラム「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」(愛媛大)	JST, 日本鉄鋼協会・中島 (JST)	TEL 03-3238-7682 t2nakajima@jst.go.jp http://www.jst.go.jp	9.20
22	第4回エレクトロニクス薄膜材料研究会「電子・情報・エネルギー素子と機能材料の最近の研究(4)」(阪大)(8号387頁)	研究会 No.69・松尾(兵庫県立大)	FAX 079-267-4907 nmatsuo@eng.u-hyogo.ac.jp	9.11
22	第2回ランチョンセミナー(阪大)(本号430頁)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp	
23	第6回女性会員のつどい(阪大)(本号430頁)	日本金属学会	rieume@imr.tohoku.ac.jp	
26~27	第147回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用〜応用編〜」(日大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 45名
27, 28	E-scrap シンポジウム2016と学生および若手研究者向けリサイクル施設見学会(東大生産研)(本号435頁)	東大生産研・宮崎(岡部研)	FAX 03-5452-6313 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/	
27, 28, 10.4	「実習で学ぶ, 振動+強度の解析と設計コース」(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 10名
28~29	第7回社会人のための表面科学ベーシック講座(東京理科大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sssj.org http://www.sssj.org	定員 70名
28~30	第52回熱測定討論会(徳島大)	日本熱測定学会	TEL 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com http://ostwald.naruto-u.ac.jp/~jccta52/	参加予約 9.9
28~30	第5回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(実習つき)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp/	申込 7.29
29	腐食防食部門委員会第312回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp	
29	本多光太郎記念講演会(名工大)(8号390頁)	東海支部・松永	tokai@numse.nagoya-u.ac.jp	定員 100名
30	第71回技術セミナー: 環境・エネルギー関連装置における高温腐食問題と対策(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp http://www.jcorr.or.jp/sonota/71gijutsu.html	
10月				
3~6	EcoBalance 2016 第12回エコバランス国際会議(京都)	日本 LCA 学会・末次	TEL 03-3503-4681 ecobalance2016@sntt.or.jp http://www.ecobalance2016.org	
6~7	第6回 結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会(福山)(本号432頁)	研究会 No. 67・井上(大阪府立大)	TEL 072-254-9316 FAX 072-254-9912 inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp	
11~12	第27回初心者のための疲労設計講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 40名
11~14	第2回材料 WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 http://jsms.jp/jsmsweek/kaikoku2.htm	
12~14	トライボロジー会議2016秋 新潟 (新潟)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	
13	日本学術会議シンポジウム「社会インフラ, グリーン・エネルギー分野における材料工学の展望」(東京)(本号433頁)	日本学術会議 材料工学委員会他・松宮(金沢大)	matsumiya.tooru@gmail.com	
14	早稲田大学各務記念材料技術研究所オープンセミナー(早大)	早稲田大学各務記念材料技術研究所	TEL 03-3203-4782 zaikenjimu@list.waseda.jp	10.7
14	第14回フラクトグラフィシンポジウム(京都)	日本材料学会	fractosym@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.1
15	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(東京大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
16~21	第7回実用表面分析国際シンポジウム(PSA-16)(韓国)	表面分析研究会・高橋(島津製作所)	TEL 0463-88-8502 secretary-psa16@sasj.jp http://psa16.com	
17~19	第63回材料と環境討論会(大阪)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp	
18~19	第62回表面科学基礎講座(阪大)	日本表面科学会	TEL 03-3812-0266 shomu@sssj.org http://www.sssj.org	10.12
19	平成28年度材料セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)(8号390頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 55名
19~21	ADMETA Plus 2016 (Advanced Metallization Conference 2016: 26th Asian Session)(東大)	ADMETA 委員会・吉田	TEL 03-6801-5685 jimukyoku@admeta.org	
20~21	日本マリンエンジニアリング学会技術者継続教育2016年度「基礎コース」講習会(神戸)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jime.jp	定員 25名
21	第209回研究会「反強磁性が拓くマグネティクスの新展開」(中央大)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 http://www.magnetics.jp/event/research/topical_209/	
21	第13回ヤングメタラジスト研究交流会(東大)(東京)(本号433頁)	関東支部・白山(東大)	TEL 03-5841-7107 shirayama@material.t.u-tokyo.ac.jp	参加 9.16

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
21	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演会「ナノ粒子, ナノ構造の作製とその特性」	日本セラミックス協会・石塚	mishitsuka@soc.co.jp http://www.ceramic.or.jp/bgenryo/	定員 50名
22~26	The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8) (つくば)	日本表面科学会	iss8@sss.org http://www.sssj.org/iss8	参加 9.1
24~26	第86回マリンエンジニアリング学術講演会(姫路)	日本マリンエンジニアリング学会	TEL 03-3539-5920 staff@jimje.jp http://www.jimje.jp	講演 6.26
26	第68回白石記念講座「変形・強化機構を極めて, 新規材料創出に挑め!」(早大)	日本鉄鋼協会・榎岡	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/mu2ntciyv	
26~27	第44回日本ガスタービン学会定期講演会(酒田)	日本ガスタービン学会	TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
26~28	第52回 X線分析討論会(筑波大東京キャンパス)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会・桜井(NIMS)	FAX 029-859-2801 sakurai@yuhgiri.nims.go.jp	
26~29	第57回高圧討論会(つくば)	日本高圧力学会	TEL 070-5658-7626 tounonkai57@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/57forum/	事前 9.23
29 ~ 30	日本銅学会第56回講演大会(東海大)	日本銅学会	TEL 03-3836-8801 m-kurihara@copper-brass.gr.jp https://www.copper-brass.gr.jp/	
11月				
1 ~ 4	The 11th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (11th ISEM '16-Ho Chi Minh) (Vietnam)	日本実験力学会・小林(新潟大)	nmtam@hcmut.edu.vn TEL +84-8-38-647-256 ext. 5590 http://www.jssem.jp/	
4	日本希土類学会第34回講演会(吹田市)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/lecture.html	参加 10.21
5 ~ 6	軽金属学会第131回秋期大会(茨城大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	予約 10.6
7 ~ 8	平成28年度材料セミナー「金属材料の腐食損傷の基礎とその評価」(阪大)(8号390頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 18名
7 ~ 10	第31回高速度イメージングとフォトンクスに関する国際会議(大阪)	第31回高速度イメージングとフォトンクスに関する国際会議組織委員会	TEL 06-6879-8750 arikawa-y@ile.osaka-u.ac.jp http://www.ichip-31.org/index.html	
9	第227回西山記念技術講座「鉄鋼の製造プロセスを革新し続けるセンシング技術」(大阪)	日本鉄鋼協会・榎岡	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/muuf2jb1t	
11	第19回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム・黒澤	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
11~12	第33回疲労シンポジウム第1回生体・医療シンポジウム(赤穂)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://www.jsms.jp	
12	セラミックス大学2016(CEPRO2016)(上智大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	定員 120名
16~18	第37回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(韓国・釜山)	超音波エレクトロニクス協会・小野寺(東工大)	TEL 045-924-5598 onodera@iuse.or.jp http://www.use-jp.org	講演 8.3
17	実用表面分析セミナー2016(神戸大)	日本表面科学会関西支部・廣瀬(堀場製作所)	TEL 075-325-5004 jun.hirose@horiba.com http://www.sssj.org/Kansai/kansai_jitsuyou19.html	
21~22	第10回状態図・熱力学セミナー(東工大大田町)(本号435頁)	日本学術振興会産学協力研究委員会 合金状態図第172委員会・阿部(物材機構)	TEL 029-859-2628 ABE.Taichi@nims.go.jp	定員 40名
22	第73回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号436頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
22	日本学術会議材料工学委員会バイオマテリアル分科会主催シンポジウム「イノベーションプラットフォームとしてのバイオマテリアル」(福岡)	日本学術会議材料工学委員会バイオマテリアル分科会・中野(阪大)	TEL 06-6879-7505 nakano@mat.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kokuhoken.jp/jsb2016/	
24~25	平成28年度材料セミナー「透過型電子顕微鏡(TEM)による微細組織解析の基礎と応用」(堺)(8号390頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 12名
24~25	第48回熔融塩化学討論会(新潟大)	電気化学会熔融塩委員会・大鳥(新潟大)	TEL 025-262-6212 ms48.electrochem@gmail.com http://msc.electrochem.jp/	参加予約 11.7
25~26	第27回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム(FGMS-2016)(日本大)	傾斜機能材料研究会	TEL 047-469-5428 fgms@aero.cst.nihon-u.ac.jp http://www.fgms.net/	事前 9.30
25	第228回西山記念技術講座「鉄鋼の製造プロセスを革新し続けるセンシング技術」(大阪)	日本鉄鋼協会・榎岡	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/muuf2jb1t	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催・担当	問合せ先	締切
25	第15回日本金属学会東北支部研究発表大会(秋山大)(本号433頁)	東北支部・大笹(秋山大)	TEL 018-889-2411 sasa@gipc.akita-u.ac.jp	
28~30	第37回日本熱物性シンポジウム(岡山大)	日本熱物性学会・春木(岡山大)	TEL 086-251-8048 haruki@okayama-u.ac.jp http://www.jstp2016.ss.oka-pu.ac.jp/	事前参加 9.30
29~12.1	2016年真空・表面科学合同講演会 第36回表面科学学術講演会・第57回真空に関する連合講演会(名古屋)	日本表面科学会, 日本真空学会	TEL 03-3431-4395 ofc-vs@vacuum-jp.org http://www.vacuum-jp.org/	
12月				
4~7	The 3rd International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2016) (京都)	国際会議 LPSO2016 実行委員会・河村(熊大)	TEL 096-342-3547 内線3547 lpsol@kumamoto-u.ac.jp http://www.msre.kumamoto-u.ac.jp/LPSO2016/	
5~7	第42回固体イオニクス討論会(三重大)	固体イオニクス学会・小林(三重大)	TEL 059-231-9419 ssij42@chem.mie-u.ac.jp	
7	エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム(EcoDePS) 2016(東京理科大)	エコデザイン学会連合・宇野	secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS2016/	
7~9	第43回炭素材料学会年会(千葉大)	炭素材料学会	FAX 03-3368-2827 tanso-desk@bunken.co.jp	講演 8.22
8~9	キャビテーションに関するシンポジウム(第18回)(九大)	日本学術会議第三部・安東(九大)	TEL 092-802-3449 cav18@nams.kyushu-u.ac.jp http://www.nams.kyushu-u.ac.jp/~cav18/	
10	2016年度計算力学技術者(CAE 技術者)の資格認定試験(東京)	日本機械学会・石澤	TEL 03-5360-3506 caenintei@jsme.or.jp http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm	
14	第21回資源循環型ものづくりシンポジウム(名古屋)	第21回資源循環型ものづくりシンポジウム実行委員会	TEL 052-736-5680 ims@nipc.or.jp http://www.nipc.or.jp/sansien/symposium/index.html	
2017年 1月				
6	第74回 レアメタル研究会(東大生産技研)(本号436頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
12~13	第55回 セラミックス基礎科学討論会(岡山)	日本セラミックス協会 基礎科学部会・難波(岡山大)	TEL 086-251-8896 kiso55@ecm.okayama-u.ac.jp http://ecm.okayama-u.ac.jp/kiso55/	
2017年 3月				
10	第75回 レアメタル研究会(東大生産技研)(平成28年度最終回)(本号436頁)	レアメタル研究会・宮崎(東大生産技研岡部研)	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
15~17	日本金属学会春期講演大会(首都大学東京南大沢キャンパス)(八王子)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	
2017年 9月				
6~8	日本金属学会秋期講演大会(北海道大学)(札幌)	日本金属学会	annualm@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312	
2017年11月				
5~10	第18回材料集合組織国際会議 18th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM 18) (St George, Utah, USA)	ICOTOM 18・井上(大阪府立大)	TEL 072-254-9316 inoue@mtr.osakafu-u.ac.jp http://event.registerat.com/site/icotom2017	アブストラクト 2016.11.15
20~24	Plasma Conference 2017(姫路)	応用物理学会他	TEL 052-735-3185 mnhrmt@meijo-u.ac.jp	



まてりあ 第55巻 第9号 (2016) 発行日 2016年9月1日 定価(本体1,700円+税) ¥120円
年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

〒105-0022 東京都港区海岸 1-9-18

～Information～



金属学会シンポジウム

チタン合金の研究・開発最前線 2016 開催のご案内

第4分科会, 第1分科会, 第5分科会企画

◎下記日程で金属学会シンポジウムを予定しております。皆様のご参加をお待ちしております。

[協賛予定] (一社) 日本チタン協会, (一社) 日本鉄鋼協会, (一社) 軽金属学会, (一社) 日本機械学会,
日本バイオマテリアル学会, (一社) 日本塑性加工学会, (一社) 日本歯科理工学会,
(一社) 溶接学会, (一社) 日本溶接協会, (一社) 資源・素材学会, 日本学術振興会第176委員会

チタン製品は医療・福祉分野から輸送機器分野等に至るまでの多くの分野で幅広く利用されている。本シンポジウムでは、これを支えるチタン合金のプロセスや機能に関する研究開発に関する最新の話題を提供する。2015年度に開催されたチタン世界会議の翌年に開催することにより、世界の研究開発動向を踏まえて、この分野の現状と課題を把握し、今後の我が国の研究動向を議論する場としたい。

(企画世話人 近畿大 仲井正昭 阪大 中野貴由 東北大 成島尚之 愛媛大 小林千悟 関西大 上田正人 日本チタン協会 小池 磨)

日 時 2016年9月12日(月) 9:15～16:35

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

募集定員 60名

受講料・受講資格 (テキスト代含む・税込)

受講資格	(テキスト代含む・税込)	
	事前申込	当日申込
正 員	10,000 円	12,000 円
学 生	5,000 円	6,000 円
非会員	15,000 円	18,000 円

(本会前維持員会社社員、協賛学協会会員は会員扱い。学生は会員、非会員の区別なし)

申込要領 E-mail で meeting@jim.or.jp 宛お申し込み下さい。申込項目は以下のとおりです。

送信 subject に「シンポジウムチタン合金最前線」と記入、① 氏名・年齢、② 会員・非会員・学生の区別 (本会会員は会員番号も③ 勤務先・所属、④ 通信先住所 (テキスト等送付先と電話番号) 申込受理確認の E-mail を返信いたします。

事前申込締切 2016年9月1日(木)着信

テキストの送付 開催 10 日前後までに発行送付の予定です。事前に申し込まれた方にはテキストが出来次第参加証等関係資料とともに送付いたします。

受講料払込方法 お申込受理後、請求書を送付いたします。

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 フライハイトビル 2 階
(公社) 日本金属学会 シンポジウム参加係

E-mail : meeting@jim.or.jp TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312

プログラム

9:15～ 9:20	挨拶	
9:20～10:00	(1) チタン製造の歴史と最近の話題	日本チタン協会 伊藤 喜昌
10:00～10:40	(2) 電子レベルからのチタン合金の評価と設計 — 休 憩 —	豊田理化学研究所 森永 正彦
10:50～11:30	(3) 産業用チタン合金の準安定組織を利用した組織制御と熱間加工・材質予測	香川大学 松本 洋明
11:30～12:10	(4) チタン合金の組織と超弾性特性 — 昼 食 —	筑波大学 金 熙 榮
13:40～14:20	(5) チタン合金の組織制御による機能化	新日鐵住金 國枝 知徳
14:20～15:00	(6) 快削性チタン合金の開発 — 休 憩 —	神戸製鋼所 逸見 義男
15:10～15:50	(7) チタン合金の摩擦攪拌接合技術	大阪大学 藤井 英俊
15:50～16:30	(8) チタン合金を利用した製品開発	丸エム製作所 山 中 茂
16:30～16:35	挨拶	

(演題は変更になる場合がございます。各講義には5分程度の質疑応答時間を含む)

高純度 GfG

最高温度2,800℃

純度5PPM以下

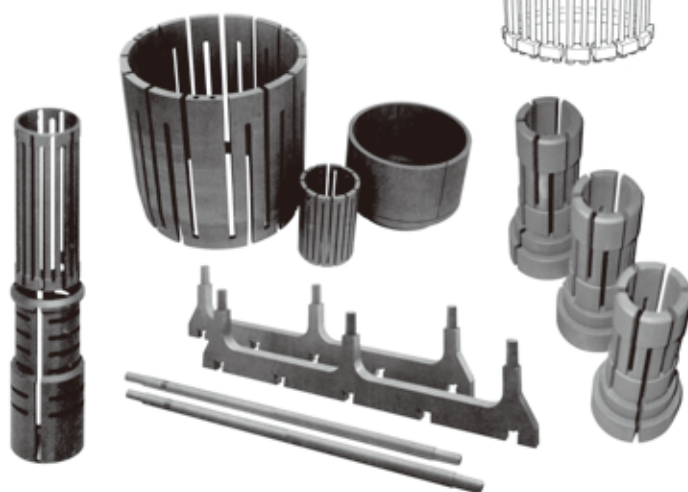
汚れや飛散のないカーボン材料

■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

Goodfellow

www.goodfellow-japan.jp

研究開発向け材料サプライヤー

グッドフェロー日本代表事務所

〒105-0003 東京都港区西新橋2-7-4 CJビル7F

Tel: 03-5579-9285 Fax: 03-5579-9291

info-jp@goodfellow.com

【代理店一覧】

(株)ニューメタルスエンドケミカルスコーポレーション

www.newmetals.co.jp Tel: 03-3231-8600

仁木工芸(株)

www.nikiglass.co.jp Tel: 03-3456-4700

和光純薬工業(株)

www.wako-chem.co.jp Tel: 0120-052-099

(株)ジャパンメタルサービス

www.jpn-ms.co.jp Tel: 048-920-3200

・最新プレスリリース「複雑な形状の高熱伝導部品を可能にするセラミックを提供開始」

ON-LINE CATALOGUE



8万点取扱い



小ロット



即配達



カスタムオーダー



まずは www.carbolite-gero.jp にアクセス!

必ず見つかる!あなたが必要とする**電気炉とオーブン**

最高温度3000℃の電気炉

75年以上の歴史を持つ英国カーボライト社と特殊高温炉のドイツゲロ社が一緒になり、カーボライト・ゲロになりました。金属・セラミック粉末射出成形用炉、真空・加圧炉、各種管状炉等、材料研究に最適な 30℃～3000℃の電気炉を 600 機種以上を取り揃えています。カスタマイズも承りますので、お気軽にご連絡ください。



カーボライト・ゲロ 電気炉とオーブン 製品一覧



ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

本社:〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8

Tel:03(5367)2651 Fax:03(5367)2652

E-mail:info@verder-scientific.co.jp

大阪:〒550-0013 大阪府大阪市西区新町4-19-3東洋ビル1F

Tel:06(6534)0621 Fax:06(6534)0622

CARBOLITE®
GERO 30-3000℃
part of **VERDER scientific**