

# Materia Japan

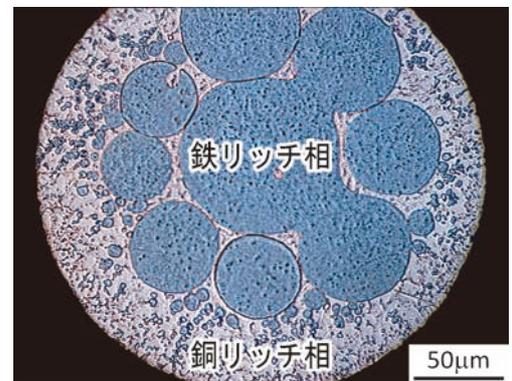
- ミニ特集「熱力学計算による構造材料の設計と展開」
- 入門講座 拡散接合 その1  
—拡散接合の現状と拡散接合の実用例—
- 秋期講演大会プログラム(別冊付録)

# まてりあ

Vol.57 MTERE2 57 (9) 419~470 (2018)

2018

9

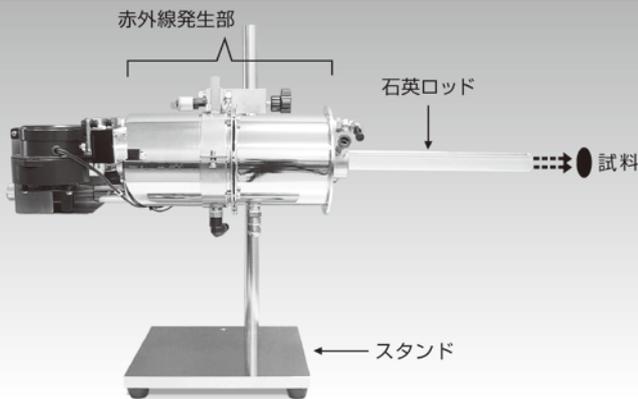


# 超高温・高速昇温・真空・ガス雰囲気中試料の加熱に！

## 赤外線ポイント加熱装置 GA298

石英ロッド先端より赤外線ビームを試料に照射・昇温。  
周りを加熱しないポイント加熱。  
磁場中、回転中、熱衝撃試験試料の非接触加熱。

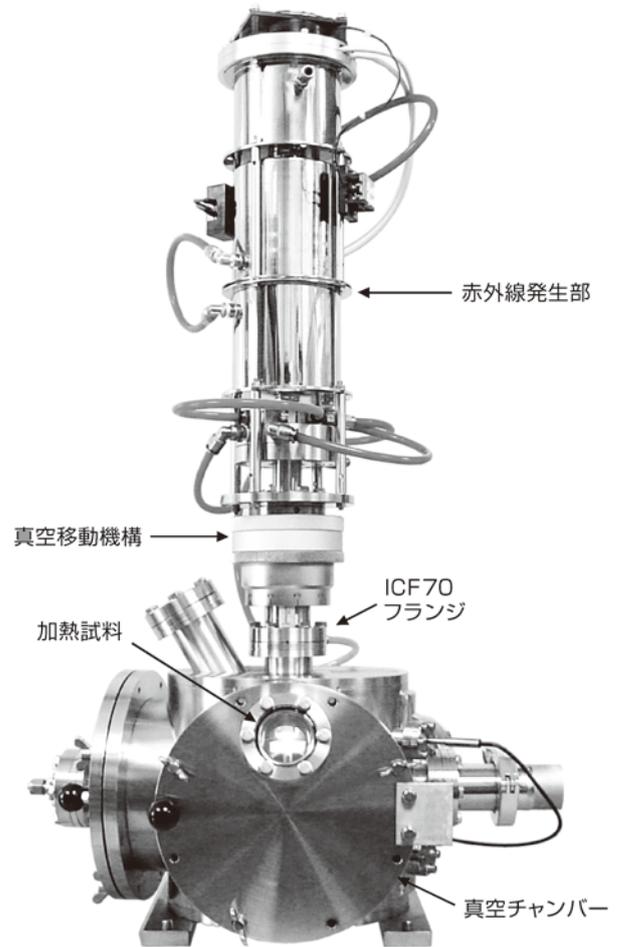
- ◆最高到達温度：1500℃ ◆加熱距離：石英ロッド長
- ◆加熱面積：φ20mm 以内 ◆ランプ最大定格：2kW



## 赤外線導入加熱装置 GVL298N

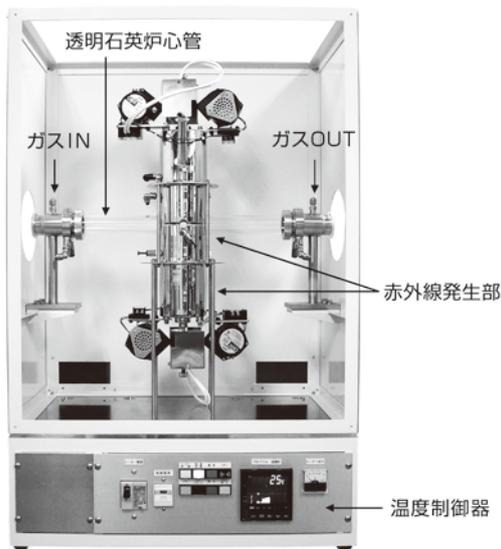
高真空中試料の超高速昇温。クリーン加熱が可能。  
真空チャンバー前面扉の開閉により、試料の出し入れ可能。

- ◆1500℃まで1分で昇温。
- ◆周りを加熱せず試料のみクリーン加熱。
- ◆熱源と試料は非接触。強制冷却も可能。
- ◆XPS等、研究室内真空システムに取付可能。



## 対面照射式 赤外線真空炉 IVF298CV

- ◆超高温・超高速熱処理 ◆立体状試料も均一加熱
- ◆ヒートサイクル試験可能 ◆4kWの電力で1700℃



★日本金属学会展示会  
2018年9月19日～21日(東北大学) 出展

 株式会社 サーマ理工

〒181-0013  
東京都三鷹市下連雀8-7-3 三鷹ハイテクセンター  
TEL.0422-76-2511 FAX.0422-76-2514  
<http://thermo-r.co.jp/>

HP・製品詳細



サーモ理工 

# 9

2018  
Vol.57  
No.9

# まてりあ

## ミニ特集「熱力学計算による構造材料の設計と展開」

企画にあたって 水本将之 .....	419
Cu 基合金の熱力学データベース構築と構造材料開発への応用 大沼郁雄 .....	420
非鉄系合金における熱力学計算連携によるフェーズフィールド法組織形成予測 野本祐春 .....	426
高強度鋼板におけるフェライト変態の制御と熱力学計算 林 宏太郎 齋藤真衣 .....	431
高精度 FE-EPMA と拡散律速型変態ソフトによる 2 相域焼鈍中の鋼中炭素の 分配挙動の解析 山下孝子 .....	435
熱力学計算を利用した真空浸炭材の炭素濃度分布予測および合金設計 石倉亮平 .....	439

入門講座	拡散接合 その 1—拡散接合の現状と拡散接合の実用例— 大橋 修 .....	443
------	--	-----

最近, 拡散接合法で組み立てられた微細な中空構造部品が数多く実用化. 「拡散接合とは」に始まり, 「本法の特徴」, 「研究と実用化の動向・ポイント」などを解説.

実学講座	米国大学技術移転事情 ~Provisional Application を利用した米国式マーケティング~ 星 エリ .....	448
------	---	-----

談話室	職業訓練指導員(愛称: テクノインストラクター)募集中 北 正彦 .....	451
-----	--	-----

研究室紹介	室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター 水素機能材料学研究室 亀川厚則 .....	452
-------	--	-----

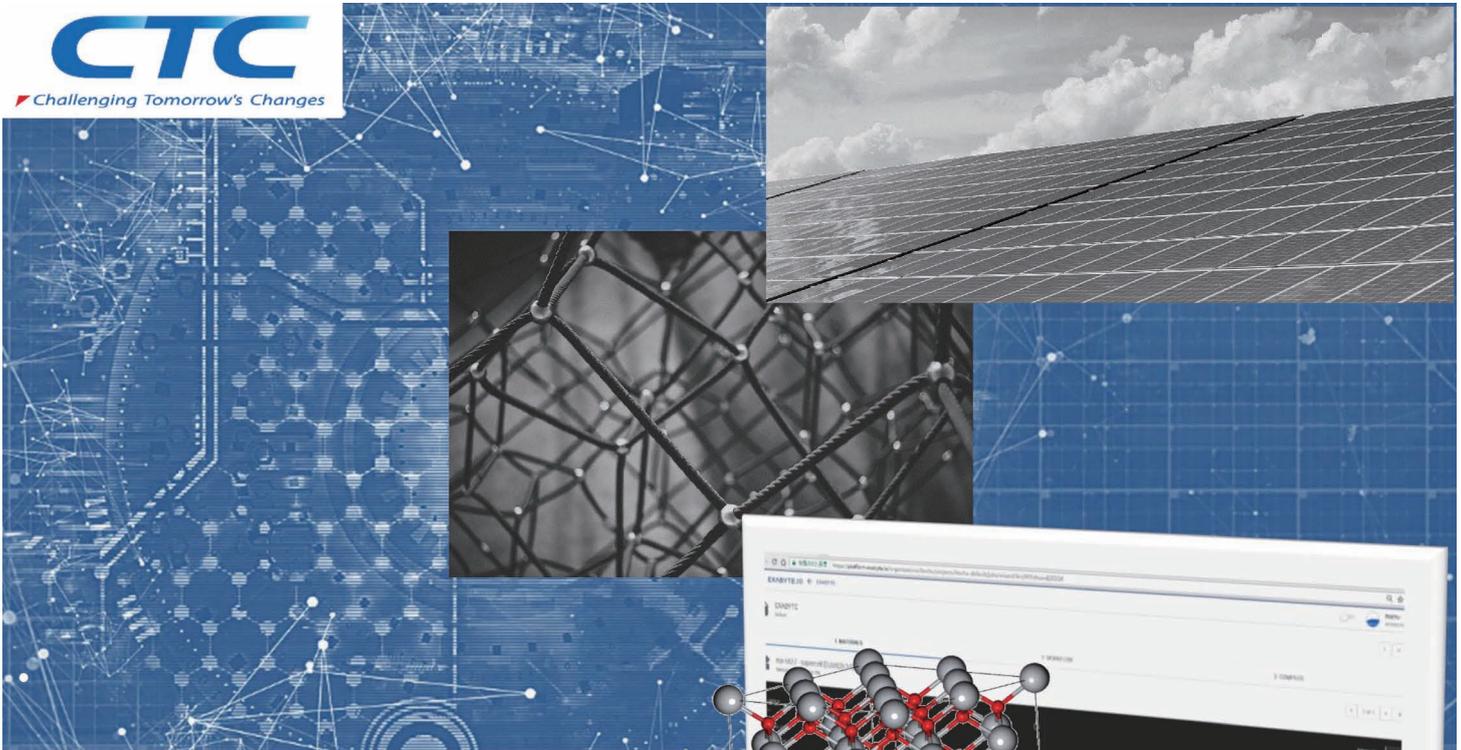
本会記事	会告 .....	453	次号予告 .....	464
	支部行事 .....	460	書評 .....	464
	掲示板 .....	461	新入会員 .....	465
	会誌・欧文誌 9 号目次 .....	463	行事カレンダー .....	467

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

今月の表紙写真 銅-鉄基合金のアトマイズ粒子. マランゴニ効果により鉄リッチ相の液相分散粒子が移動, 合体, 粗大化する過程.  
(大沼郁雄: 本号423頁 図7より抜粋)

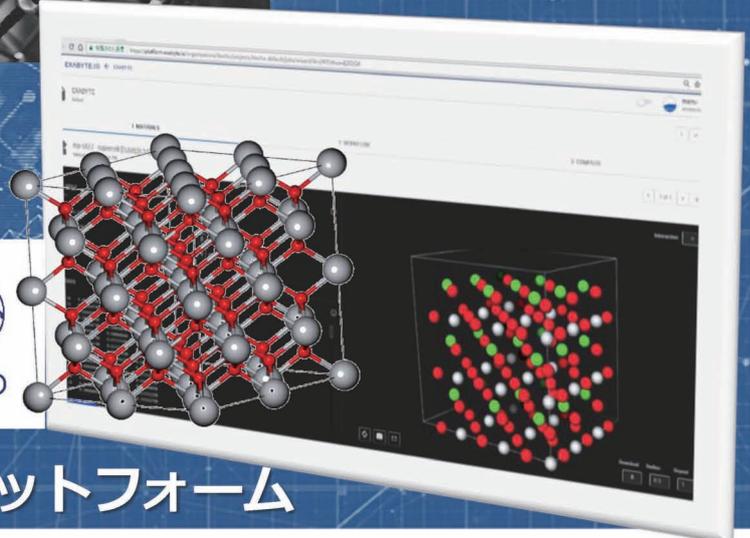
表紙デザイン: 北野 玲  
複写をご希望の方へ

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



# EXA BYTE.IO

MATERIALS DISCOVERY CLOUD



## クラウド型第一原理解析プラットフォーム

Exabyte.io は、クラウドコンピューティングを搭載しただけではなく、データ管理からデータ解析、第一原理計算ソフトの GUI を搭載、これまでにない新しいサービスです。料金は計算に使用したクラウド計算機の CPU 使用料のみで GUI 使用やサポートも受けられるため、低価格で高性能な第一原理計算が可能になります。



$$y = \int f dx$$

### WEBベースで作業環境

- ・ソフトのインストール不要
- ・どのデバイスからも接続可能

### モデル作成環境

- ・結晶データベース連携
  - Materials Project
- ・モデリング機能
  - スーパーセル
  - 不純物置換モデル
  - 置換組み合わせ自動化
  - 欠陥モデル
  - 表面モデル
- ・各種データをデータベース化

### クラウドコンピューティング

- ・高性能クラウド計算機連携
  - 高性能 PC を用意しなくても、大規模・高性能計算が低価格で可能。
- (Exabyte.io の価格は CPU の使用料のみで、GUI、およびデータベース管理可能が使用可能)
- 数千、数万コアの並列計算
- ・リアルタイム計算状況確認
- ・ボタン1つで計算中止
- ・高いセキュリティ機能
- ・計算待ち時間がない
- ・サポート付き

### 計算機能

- ・GUI 完備ソルバー
  - Quantum ESPRESSO
  - VASP
- ・機械学習機能
- ・計算ワークフロ
  - Python/shell と連携可能
- ・計算項目
  - SCF 計算
  - 構造最適化
  - バンド構造
  - 状態密度
  - Phonon
  - バンドギャップ(GW 法)
  - 表面エネルギー計算

# 熱力学計算ソフトウェア

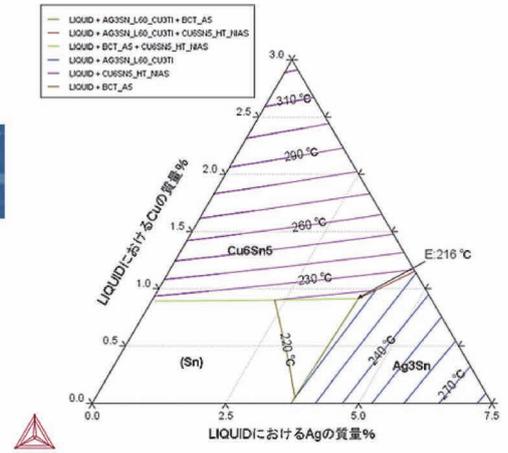
熱力学平衡計算および状態図作成ツールです  
鉄鋼材料・軽金属を中心に多数の研究機関や大学・民間企業で利用され、事実上の標準ソフトウェアです。

## Thermo-Calc計算例

- ・相平衡 ・各種熱力学量 ・準安定相 ・粗大化
- ・駆動力 ・界面エネルギー ・液相線 ・固相線
- ・二次相転移温度 ・二相分離 ・Scheil凝固
- ・パラ平衡 ・ $T_0$ 温度 ・ガス中の元素分圧
- ・ポテンシャル図 ・電位-Ph図

## 主な熱力学データベース一覧

- ・鉄合金 ・Ni基超合金 ・Al基合金 ・Ti基合金
  - ・Mg基合金 ・Cu基合金 ・Si基合金 ・スラグ
  - ・酸化物 ・水溶液 ・はんだ材
  - ・高エントロピー合金
- \*下線は今年アップデートされたものを指します。



## Thermo-Calc拡張モジュール



### 拡散モジュール(DICTRA)

多成分系の拡散方程式を解き、拡散律速型変態を計算



### 析出モジュール (TC-PRISMA)

核生成・成長や結晶粒粗大化を計算

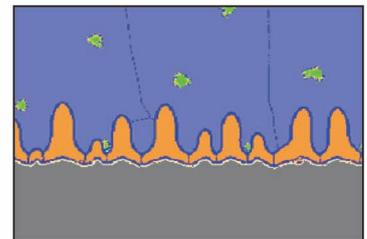
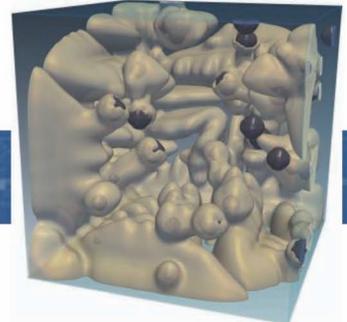


# 合金組織形成計算ソフトウェア

マルチフェーズフィールド法とThermo-Calcの熱力学データベースを連携して実用合金の凝固や固相変態のミクروسケールの組織変化を予測します。

## MICRESS計算例

- ・粒成長と再結晶の2次元解析
- ・ダクタイル鋳鉄のグラファイト成長の3次元解析
- ・金属積層造形 (3Dプリンティング)
- ・SnAgCu系鉛フリーはんだ合金の凝固組織解析
- ・Ni基合金の拡散ろう付
- ・AlSiMg合金の等軸晶および一方向凝固
- ・TiAl合金の組織成長と溶湯自然対流の連成解析



CAEで材料設計はじめませんか？

## 【材料設計シミュレーション体験セミナー】定期開催中

Thermo-Calc, MICRESSのセミナー情報 : <http://www.engineering-eye.com/seminar/thermocalc.html>

## 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

科学システム本部 CAEソリューション営業部

東京都千代田区霞が関3-2-5 霞が関ビル25 F  
Tel : 03-6203-7344  
E-mail : thermo-calc@ctc-g.co.jp

各プロダクトの詳細はこちら

EXABYTE.IO

Thermo-Calc

MICRESS



2019年春期（第164回）講演大会  
3/20（水）～3/22（金）  
東京電機大学 東京千住キャンパス

世界の材料科学・工学をリードする第一線の研究者・技術者に向けて

**付設展示会  
大会プログラム広告  
講演概要集DVDジャケット広告  
ランチョンセミナー  
募集のご案内**

付設展示会（機器・ソフトウェア・書籍）

・ 1コマ ￥140,000（税別）

大会プログラム広告

・ 1色1頁 ￥70,000（税別） ・ 1色1/2頁 ￥40,000（税別）

講演概要集DVDジャケット

・ 表4カラー ￥75,000（税別） ・ 表2カラー ￥50,000（税別）

ランチョンセミナー

・ 1枠 ￥100,000（税別） 出展の場合は、1枠 ￥20,000（税別）

締切日等の詳細は、下記までお問い合わせ下さい。

広告掲載・ご出展のお問い合わせ・お申込み

**株式会社 明 報 社**

**MEIHOSHA**  
ADVERTISING AGENCY

〒104-0061 東京都中央区銀座七丁目12-4 友野本社ビル  
TEL(03)3546-1337 FAX(03)3546-6306  
E-mail info@meihosha.co.jp ホームページ www.meihosha.co.jp

# 科研費関連機器・製品申請ガイド

〈構造材料実験機器・製品〉

## 自動低負荷試料作製システム IS-POLISHER ISPP-1000

価格(税別) : 2,980,000円～  
※給水機は別途オプション

IS-POLISHERは、  
幅広い業界の分析・解析分野で活躍しています。  
～お客様の声から独自の発想を考案～

〈IS-POLISHERの特長〉

- ◆低負荷で研磨できる独自の「荷重調整機構」  
EBSD 観察用試料作製ができます
- ◆削り過ぎを防止できる  
「研磨量調整機構」  
削り過ぎないようミクロン  
単位の研磨量を調整する  
ことが可能です
- ◆包埋しないで研磨できる  
豊富な「試料ホルダ」  
試料を直接研磨できるので、  
研磨時間も大幅に短縮できます

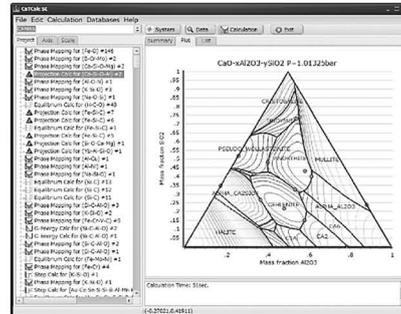


### 株式会社 池上精機

(問合せ先) 新横浜事業所 営業部 赤澤 純  
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-8-8 日総第16ビル1101  
TEL 045-474-1880 FAX 045-474-1882  
<http://www.ikegamiseiki.co.jp/> e-mail: sales@ikegamiseiki.co.jp

〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

## 熱力学平衡計算・状態図計算システム CaTCalc Chemical and Thermodynamic Calculator



価格：  
構成に依存しま  
すので、お問い  
合わせ下さい。

### 機能・特徴

- ・熱力学平衡計算、状態図計算、反応計算、データベース開発、  
液相面図計算、凝固シミュレーション、他
- ・最新のアルゴリズムで金属系もセラミックス系も計算が容易

### 熱力学データベース

- ・純物質データベース、Fe基合金データベース、金属系汎用データ  
ベース (79元素) など各種用意。受託開発可能。

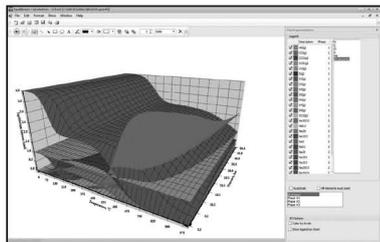
### 株式会社 計算熱力学研究所

〒841-0016 佐賀県鳥栖市田代外町674-18  
TEL 0942-80-0547 E-mail: mail@rictsystems.com  
<http://www.rictsystems.com>

〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

## 化学反応/平衡計算ソフトウェア HSC Chemistry for Windows, Ver. 9.4

約28,000種についてのエンタルピー、エントロピー、熱容量のデータ  
ベースを基に化学反応の計算やGIBBSルーチンによる化学平衡  
を計算します。反応、熱平衡、分子量計算などの一般的なモジュール  
の他、電気化学セル平衡と相安定性、腐食の研究に使われる  
Eh-pH (プルベ) 状態図の作成などユニークなモジュールを持ち  
合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコ  
ピーできます。SIM Flowsheetモジュールもあり、複数のユニットプ  
ロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリングがで  
きます。Ver.9.4から3元状態図作成のツールが付いています。



定価(税別)  
¥650,000(一般)  
¥280,000(教育)

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

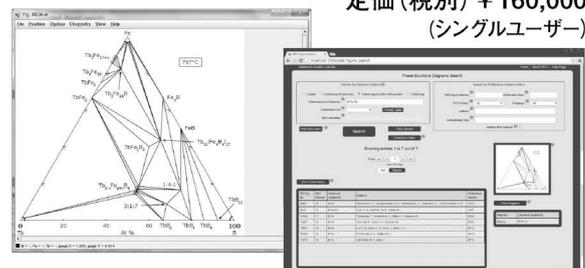
### 株式会社 デジタルデータマネジメント

〒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〉

## 26,500件のセラミックス状態図データベース ACerS-NIST Phase Equilibria Diagrams, Version 4.2

定価(税別) ¥160,000  
(シングルユーザー)



- データソース : Phase Equilibrium Diagrams for Ceramics, Vol. 1 -  
(対応書籍) XIV, Annual 91-93, High-Tc Superconductors I - II,  
Zirconium and Zirconia System, Electric Ceramics I
- 検索項目 : 元素、成分系、コメントテキスト、PED Volume、Figure  
Number、刊行年、Authors
- 検索条件 : Inclusive、Exact、Not (partially)
- データ出力 : PDF、PNG (Portable Network Graphics)
- システム構成 : Windows 7/8/10、Java 7 Runtime Environment、PDF  
Reader (Javaはサムネイル画像の拡大に必要)  
(American Ceramic Society)

### 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>

# 科研費関連機器・製品申請ガイド

〈材料検査・評価機器・製品〉

## 卓上型精密切断機 ブリラント220

製品価格(税込) : 3,500,000円～



ブリラント220は、コンパクトで操作しやすい精密自動切断機で、X-/Y-/Z軸の3方向への自動移動機能といくつかの切断モードを組み合わせてることによって、作業領域を理想的に使用し最大限の柔軟性で切断することができます。

ブリラント220は、標準で自動垂直切断(Y軸 : 80mm)と定義可能な移動管理を備えており、前後の移動(X軸 : 210mm)は、手動および自動(オプション)で行うことができます。

また、オプションの左右の移動(Z軸 : 80mm)クロスフィードを組み合わせれば、1 $\mu$ m(0.001mm)の精度で設定可能な連続平行切断が可能になります。

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8

TEL 03-5367-2651 FAX 03-5367-2652

<https://www.verder-scientific.co.jp/jp> E-mail: info@verder-scientific.co.jp

〈材料検査・評価機器・製品〉

## 卓上型自動研磨装置 サファイア520/ルビー500

製品価格(税込) :  
2,200,000円～



サファイア520/ルビー500は、 $\Phi$ 200～ $\Phi$ 250mmの作業ディスクが使用できる試料研磨ヘッドを取り付けた卓上型の単軸自動研磨装置です。

研磨装置サファイア520に搭載されているルビー500は、試料を個別荷重および中央荷重で研磨/ポリッシングできます。個別荷重では個別試料板にディスタンスリングを取り付けることによって、埋込径の異なる試料にも対応が可能です。

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8

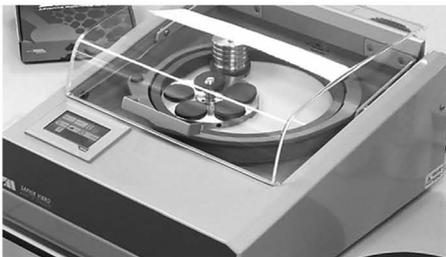
TEL 03-5367-2651 FAX 03-5367-2652

<https://www.verder-scientific.co.jp/jp> E-mail: info@verder-scientific.co.jp

〈材料検査・評価機器・製品〉

## 振動式ポリッシング装置 サファイア バイプロ

製品価格(税込) : 2,650,000円～



振動式ポリッシング装置サファイアバイプロは、実質的に変質層のない試料表面(1 $\mu$ m未満のポリッシング工程)を得るために設計されています。

このポリッシング方法は、例えば電子線後方散乱回折法(Electron backscatter diffraction : EBSD)や原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope : AFM)による解析、ナノインデンテーションまたはマイクロ硬さ試験に理想的です。

試料の表面が非常に緩やかに除去されるため、特に、チタンアルミや純銅、銅合金、アルミ合金、軟鋼、ニッケル合金などの柔らかで延性のある試料の調整に適しています。

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8

TEL 03-5367-2651 FAX 03-5367-2652

<https://www.verder-scientific.co.jp/jp> E-mail: info@verder-scientific.co.jp

〈材料検査・評価機器・製品〉

## マイクロ硬さ試験機 Q30A+

製品価格(税込) : 12,000,000円～



Q30A+は、ピッカース、ヌーブおよびブリネルの硬さ試験ができる、汎用性の高いマイクロ硬さ試験機です。試験荷重は0.25g～31.25kg(0.25g～100gはオプション設定)をカバーします。工程を制御するソフトウェアQpix Control2は、直観的、体系的に設計されておりプロフェッショナル向けに構成されています。例えば、試験ヘッドの自動高さ調整、非接触測定、独自のサンプル・ホルダーの認識、そして試験環境を容易に理解できる3D制御原理と視野角度の制御などがあります。

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8

TEL 03-5367-2651 FAX 03-5367-2652

<https://www.verder-scientific.co.jp/jp> E-mail: info@verder-scientific.co.jp

## 企画にあたって

水本将之\*

近年の電子計算機および情報処理技術の加速度的な進歩は、計算科学シミュレーションの世界においても、適用範囲の拡大と高精度化に目覚しい発展をもたらしている。材料分野における研究開発についても例外ではなく、計算科学シミュレーションの大規模化と高精度化により、膨大な組み合わせの合金組成の中からコストと時間をかけて有望な合金組成を絞り込む従来の試行錯誤的手法から、第一原理計算や熱力学計算などの各種シミュレーションを活用することによって合金の組織形成過程や物性発現機構を理解し、有望な合金組成や組織の効率的な発見と検証へとつなげる計算科学的手法への転換が進み、それにより多くの新規物質の発見や材料の高機能化が達成されている事実からみても、計算科学的手法は現在の材料設計において必要不可欠なツールとなったと言える。計算科学的手法は、適用する物質のサイズと対象とする現象の時間スケールによって分類されるが、その中でもマクロスケールでの組織形成や物質移動のシミュレーションが可能な熱力学計算は、熱力学データベースの充実化と熱力学モデルの高度化により、鉄鋼材料をはじめとした多くの構造用材料の研究開発に応用されて成果をあげており、様々な学術団体で注目されているマテリアルズインテグレーションの推進の観点からも、今後ますます重要になると考えられる。そこで本ミニ特集では、「熱力学計算による構造材料の設計と展開」と題して、専門家から熱力学計算を用いた合金組織の予測と実用構造用材料の研究開発への応用事例について解説していただいた。さらに、各企業における鉄鋼材料を対象とした材料設計や組織予測への熱力学計算の適用事例および成果について解説していただいた。

はじめに、非鉄材料系の構造用材料への適用事例について解説していただくために2件の記事を集めた。大沼郁雄 教授(物質・材料研究機構)には、「Cu 合金の熱力学データベース構築と構造材料開発への応用」と題して、CALPHAD 法による Cu 合金の特性に及ぼす添加元素の影響の予測と高効率実験手法を併用することで、迅速かつ精緻な合金設計を可能にし、新規 Cu 合金の開発に成功した事例について、熱力学モデルの基礎理論を踏まえて紹介していただいた。次に、野本祐春氏(伊藤忠テクノソリューションズ)には、「非鉄系合金における熱力学計算連携によるフェーズフィールド法組織形成予測」として、熱力学データベースと連携させたフェーズフィールド法を用いることによる非鉄材

料の様々な時間スケールにおける凝固現象に伴う組織形成の正確な予測について、いくつかの事例を挙げて紹介していただくと共に、熱力学データベース連携フェーズフィールド法の現状と課題について解説していただいた。続く3件は、非鉄材料系と比較して熱力学計算を援用した材料設計の事例が豊富な鉄鋼材料への適用事例についての記事である。林宏太郎氏ら(新日鐵住金株)には、「高強度鋼板におけるフェライト変態の制御と熱力学計算」と題して、高強度鋼板における連続冷却中の $\alpha$ 変態挙動に及ぼす添加元素の影響を熱力学計算により理解するアプローチについて紹介していただき、合金設計への熱力学計算の有用性について解説していただいた。また、山下孝子氏(JFE株)には、「高精度 FE-EPMA と拡散律速型変態ソフトによる2相域焼鈍中の鋼中炭素の分配挙動の解析」と題して、熱力学ソフト ThermoCalc のサブルーチン機能である拡散律速型変態ソフト DICTRA を用いた鋼の2相域焼鈍初期の炭素の分配挙動の予測について、微小領域での高精度な炭素分析を可能にした FE-EPMA による分析例との比較とともに紹介していただいた。さらに、石倉亮平氏(大同特殊鋼株)には、「熱力学計算を利用した真空浸炭材の炭素濃度分布予測および合金設計」として、熱力学計算による真空浸炭機構の解明とそれに基づいたエッジ部での過剰浸炭を克服した真空浸炭用鋼材の合金設計について紹介していただいた。

本ミニ特集により、本学会会員に熱力学計算による構造材料設計の現状および将来展望についての理解を深めていただき、構造材料のみならず材料全般の研究開発の迅速化の一助となることできれば幸いである。

最後に、本特集を企画するにあたり、ご多忙にもかかわらず執筆を快諾して頂いた先生方および企画の実現に多大なご尽力を頂いた第5分科2グループの編集委員の皆様、この場を借りて心より御礼申し上げます。



水本将之

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 2000年 九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了  
 2000年 長崎大学工学部 助手  
 2009年 岩手大学工学部 准教授  
 2016年9月- 現職  
 専門分野：鋳造工学、金属基複合材料  
 ◎金属基複合材料の製造プロセスおよび特性評価に関する研究を中心に異材接合界面の新規応用技術の開発に従事。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

\* 岩手大学理工学部物理・材料理工学科；教授(〒020-8551 盛岡市上田4-3-5)

Preface to Special Issue on Application of Thermodynamic Calculation to Microstructure Design of Structural Materials; Masayuki Mizumoto (Department of Physical Science and Materials Engineering, Iwate University, Morioka)

Keywords: CALPHAD (computer coupling of phase diagrams and thermochemistry), thermodynamics, multi-phase field method, quasi-equilibrium, phase transformation, Cu alloy, steel, carburizing mechanism

2018年7月17日受理[doi:10.2320/materia.57.419]

# Cu 基合金の熱力学データベース構築と 構造材料開発への応用

大 沼 郁 雄\*

## 1. はじめに

銅合金は優れた熱・電気伝導性と強度を兼備するためにコネクタやリードフレームなどの電子機器に利用されている。近年、電子機器の小型軽量化に伴い、銅合金の更なる高強度化と高導電性が求められており、高効率で短期間の材料開発手法が検討されている。銅合金の特性を最適化するためには、固溶強化や析出強化などの強化機構や導電率におよぼす添加元素の影響、再結晶や粒成長におよぼす析出粒子のピン止め効果など組織形成への影響を添加元素の種類毎に正確に把握する必要がある。図1に代表的な銅合金における導電率と引張強度の関係を示した<sup>(1)</sup>。TiやBeは銅合金の高強度化に大きく寄与し<sup>(2)(3)</sup>、CrやZrは高導電性を維持しつつ純銅の倍程度の強度を付与する<sup>(4)</sup>。NiとSiを複合添加したコルソン系銅合金は強度と導電性のバランスに優れた材料として実用に供されている<sup>(5)</sup>。しかし、さらなる特性の向上を目指して、それぞれの添加元素の単独あるいは複合的な効果を実験により解明し、精緻な合金設計を行うためには、試料の作製、熱処理、特性調査などに長期間かつ膨大な費用を費やすこともあるため、計算科学と高効率実験手法を併用することで添加元素の効果を予測し、開発に要する時間とコストを縮減することが期待されている。本稿では、現在広く普及しているCALPHAD(computer coupling of phase diagrams and thermochemistry)法<sup>(6)</sup>を活用したCu基合金の合金設計と材料開発について紹介する。

## 2. 熱力学モデルと熱力学データベース構築

### (1) 正則溶体モデル

$n$ 元系合金の置換型固溶体(液相を含む) $\alpha$ 相のモル Gibbs エネルギー  $G_m^\alpha$  は次式により近似される。

$$G_m^\alpha = \sum_{i=1}^n G_i^\alpha x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \Omega_{ij}^\alpha x_i x_j + RT \left( \sum_{i=1}^n x_i \ln x_i \right) \quad (1)$$

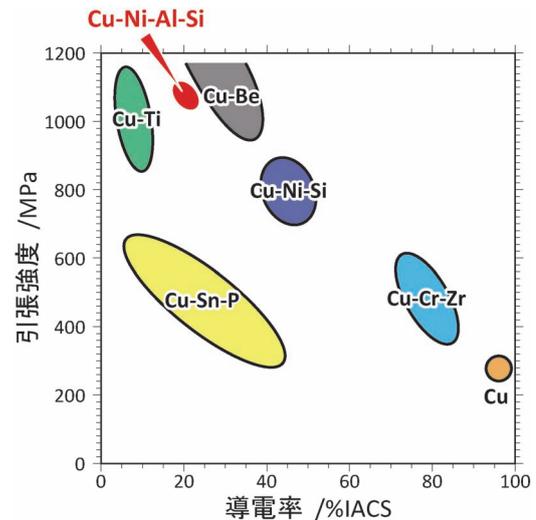


図1 Cu基合金の導電率と引張強度<sup>(1)</sup>。(オンラインカラー)

上式において、 $G_i^\alpha$ は成分元素*i*の $\alpha$ 相のモル Gibbs エネルギーを表し、Lattice Stability<sup>(7)</sup>と称され、データベース化されている<sup>(8)</sup>。 $\Omega_{ij}^\alpha$ は成分元素*i-j*間の相互作用パラメータを表す。ヒルデブランドによる正則溶体の定義では、 $\Omega_{ij}^\alpha$ が温度*T*にも濃度*x<sub>i</sub>*にも依存しない定数である。しかし、実用合金の状態図を精度よく計算するためには、 $\Omega_{ij}^\alpha = \text{定数}$ では不十分であり、 $\Omega_{ij}^\alpha$ を*T*と*x<sub>i</sub>*の関数、

$$\Omega_{ij}^\alpha = \sum_{m=0}^n {}^m\Omega_{ij}^\alpha (x_i - x_j)^m, \quad {}^m\Omega_{ij}^\alpha = a_m^\alpha + b_m^\alpha T + c_m^\alpha T \ln(T) + \dots \quad (2)$$

と記述し、実験データに基づき評価された定数  $a_m^\alpha$ ,  $b_m^\alpha$ ,  $c_m^\alpha$ , ... が熱力学データベースに収録されている。 $\Omega_{ij}^\alpha$ を*T*と*x<sub>i</sub>*の関数として表した“広義”の正則溶体モデルを準正則溶体モデルと称する。式(2)の組成依存の表記はGuggenheimにより考案され<sup>(9)</sup>、後にRedlichとKisterにより推奨された<sup>(10)</sup>ことから、Redlich-Kister(RK)の多項式と称される。

式(1)では、2つの成分元素*i-j*間の相互作用が考慮され

\* 国立研究開発法人 物質・材料研究機構構造材料研究拠点 計算構造材料設計グループ；グループリーダー(〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

Development and Applications of Thermodynamic Database of Cu-base Structural Materials; Ikuo Ohnuma(National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba)

Keywords: Cu-base alloys, CALPHAD, thermodynamic database, combinatorial experiments, liquid miscibility gap

2018年6月11日受理[doi:10.2320/materia.57.420]

ているが、3元系以上では、3つ以上の成分元素間の相互作用を導入することにより、実験データをより精度よく再現できる場合があり、次式がモル Gibbs エネルギーに追加される。

$$\text{tern.E}G^\alpha = \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \Omega_{ijk}^\alpha x_i x_j x_k \quad (3)$$

3元系以上の合金において、3元相互作用パラメータに組成依存を考慮するために、Hillert は次式を提案している<sup>(11)</sup>。

$$\Omega_{ijk}^\alpha = v_i \cdot i \Omega_{ijk}^\alpha + v_j \cdot j \Omega_{ijk}^\alpha + v_k \cdot k \Omega_{ijk}^\alpha \quad (4a)$$

$$v_n = x_n + (1 - x_i - x_j - x_k) / 3, \quad (n = i, j, k) \quad (4b)$$

## (2) 副格子モデル<sup>(12)</sup>と規則-不規則変態

上述した正則溶体モデルは、置換型の固溶体(液相を含む)を取扱う場合には非常に使い勝手がいいが、III-V あるいは II-VI 化合物半導体のように、価数の異なる原子がそれぞれ異なる格子位置に配置する場合や、固体鉄中の炭素原子のように、侵入位置に固溶する侵入型固溶体等の Gibbs エネルギーが適切に記述できない。このような場合には、結晶を構成する格子を複数の副格子に分割し、それぞれの副格子内で正則溶体に準じた混合エンタルピーと混合エントロピーを導出することにより、次式のように Gibbs エネルギーが記述できる。(A, B)<sub>m</sub>(C, D)<sub>n</sub> の複化合物 1 モル(原子数は  $m + n$  モル)のエネルギー)

$$G = G_{A_m C_n} y_A^I y_C^II + G_{B_m C_n} y_B^I y_C^II + G_{A_m D_n} y_A^I y_D^II + G_{B_m D_n} y_B^I y_D^II \\ + m(L_{A_B:C} y_C^II + L_{A_B:D} y_D^II) y_A^I y_B^I + n(L_{A:C:D} y_A^I + L_{B:C:D} y_B^I) y_C^II y_D^II \\ + RT \{ m(y_A^I \ln y_A^I + y_B^I \ln y_B^I) + n(y_C^II \ln y_C^II + y_D^II \ln y_D^II) \} \quad (5)$$

上式において、 $G_{X_m Y_n}$  は化合物  $X_m Y_n$  の Gibbs エネルギー、 $y_i^N$  は副格子  $N$  中の成分元素  $i$  のモル分率(site fraction)、 $L_{ij:k}$  と  $L_{k:ij}$  は一方の副格子を元素  $k$  が占有した状態でのもう一方の副格子内における  $i$ - $j$  間の相互作用パラメータを表し、通常、式(2)と同様の温度と濃度依存が導入される。

副格子モデルを利用して、基本構造が FCC の A1/L1<sub>0</sub>/L1<sub>2</sub>/E2<sub>1</sub> や BCC の A2/B2/D0<sub>3</sub>/L2<sub>1</sub> などの規則相の Gibbs エネルギーが記述できる。2つの副格子 I と II を用いて、A-B 2元系の L1<sub>2</sub> 規則相(原子数 1 モル)のモル Gibbs エネルギー  $G_m^{L1_2}$  を記述する場合、式(5)において  $m = 3/4$ ,  $n = 1/4$ ,  $C = A$ ,  $D = B$  と置き換えて式を整理すると、

$$G_m^{L1_2} = G_{A_{3/4} A_{1/4}} y_A^I y_A^II + G_{B_{3/4} B_{1/4}} y_B^I y_B^II + G_{A_{3/4} B_{1/4}} y_A^I y_B^II + G_{B_{3/4} A_{1/4}} y_B^I y_A^II \\ + \frac{3}{4} (L_{A_B:A} y_A^I y_B^II + L_{A_B:B} y_A^II y_B^I) \\ + \frac{1}{4} (L_{A:AB} y_A^I y_B^II + L_{B:AB} y_B^I y_A^II) \\ + RT \left\{ \frac{3}{4} (y_A^I \ln y_A^I + y_B^I \ln y_B^I) \right. \\ \left. + \frac{1}{4} (y_A^II \ln y_A^II + y_B^II \ln y_B^II) \right\} \quad (6)$$

が得られる。この式を利用すれば L1<sub>2</sub> 規則状態のモル Gibbs エネルギーは近似できるが、A1 不規則状態 ( $y_i^I = y_i^{II} = x_i$ ) のエネルギーや、A1/L1<sub>2</sub> 規則不規則変態が適切に計算できない場合があるため、最近では FCC 相の不規則状態におけるモル

Gibbs エネルギー  $G_m^{A1}$  を式(1)に示した準正則溶体モデルで記述し、L1<sub>2</sub> 規則化の Gibbs エネルギーを式(6)に示した副格子モデルの近似式から L1<sub>2</sub> 規則化のエネルギー  $\Delta G_m^{L1_2}$  を抽出して  $G_m^{A1}$  に加え、FCC 相の全エネルギー  $G_m^{FCC}$  を近似する Split Compound Energy Formalism (s-CEF) が利用されている<sup>(13)</sup>。

$$G_m^{FCC} = G_m^{A1} + \Delta G_m^{L1_2} \quad (7a)$$

$$\Delta G_m^{L1_2} = G^{2SL}(y_i^I, y_i^{II}) - G^{2SL}(y_i^I = y_i^{II} = x_i) \quad (7b)$$

このモデルを利用すると、これまで多くの合金系について評価されてきた不規則 FCC 相(A1 相)の熱力学パラメータをそのまま利用して、規則化のエネルギーのみを新たに追加することにより、L1<sub>2</sub> 規則状態のモル Gibbs エネルギーと相平衡等が計算できる。著者らは熱力学量や状態図の文献データや自ら行った相平衡の実験値を利用して、上述した自由エネルギーを計算するためのパラメータを評価し、Cu 基合金の熱力学データベースを構築した。その詳細については文献を参照されたい<sup>(14)</sup>。

## 3. Cu 基合金の熱力学データベースを利用した材料開発

### (1) コンビナトリアル実験手法による析出強化型 Cu-Ni-Al 高強度銅合金の開発<sup>(1)</sup>

図 2 に著者らが構築した Cu 基合金の熱力学データベース<sup>(14)</sup>を利用して計算した Cu-Ni-Al 3 元系の (a) 900°C と (b) 500°C の等温断面状態図を示す<sup>(1)</sup>。900°C の高温では FCC 構造の Cu に Ni と Al が相当量固溶するが、500°C では固溶度が大きく低下する。溶体化温度(900°C 以上)と時効熱処理温度(500°C 以下)における Ni と Al の固溶度の差、さらに、FCC の Cu ( $a = 0.36078$  nm) との微細整合析出が期待できる L1<sub>2</sub> 規則構造の  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al ( $a = 0.35720$  nm) を析出相に選択する合金設計により、析出強化型 Cu-Ni-Al 高強度銅合金が開発されている<sup>(1)</sup>。計算状態図から、溶体化後の時効熱処理時に  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al 化合物が析出する領域が合金組成の候補となるが、その領域から強度と導電率のバランスを最適化した合金を探索するため、拡散トリプルを利用したコンビナトリアル実験手法<sup>(15)(16)</sup>を活用した。図 3(a)のように、それぞれ高周波溶解炉で作製した Cu, Cu-30%Ni および Cu-20%Al 合金(以下全て mass%) を加圧接合し、1000°C で 60 d 長時間熱処理し Cu, Ni および Al を広範囲にわたり拡散させることにより、図 3(b)に模式的に示したような連続した濃度勾配を有する Cu-Ni-Al 組成傾斜試料の溶体化材を作製した。この試料に 500°C で 6 h, 12 h および 18 h の時効熱処理を施した。作製した Cu-Ni-Al 組成傾斜試料の溶体化材と時効材に対して、試料全面にわたりマイクロビッカース硬さ試験機により硬さを測定し、黒丸で示したように圧痕を上下に跨ぐように端子を配して、微小四探針抵抗測定装置により電気抵抗を測定し導電率に換算した。また、赤丸で示したように、圧痕の周囲 4 点の組成を EPMA により測定して、一つの拡散トリプル試料から濃度・硬さ・導電率に対応した多数のデータを

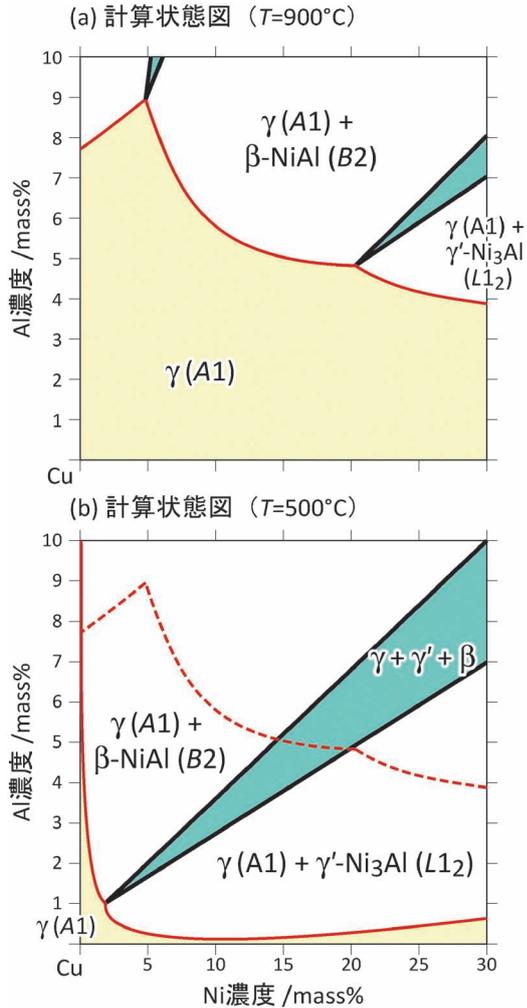


図2 Cu-Ni-Al 3 元系計算状態図<sup>(1)</sup>. (オンラインカラー)

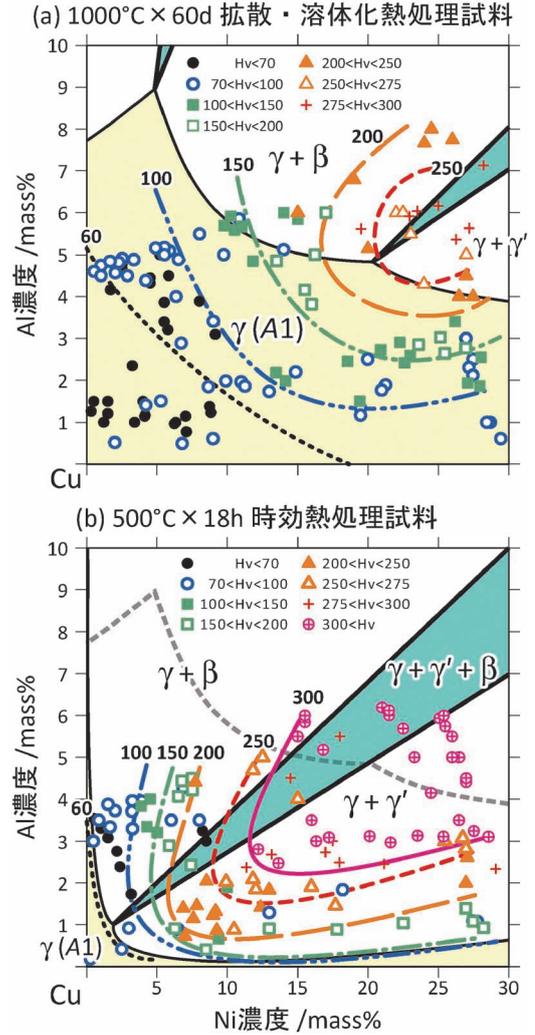


図4 (a)拡散・溶体化熱処理試料と(b)時効熱処理試料の硬さ分布<sup>(1)</sup>. (オンラインカラー)

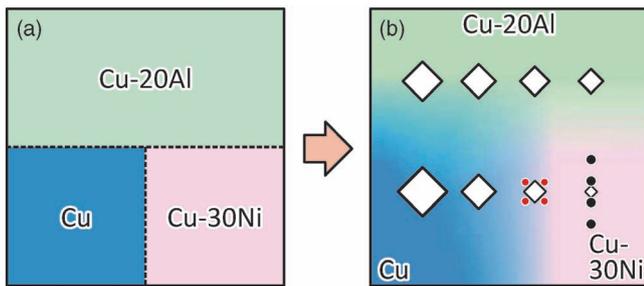


図3 Cu-Ni-Al 組成傾斜試料の作製と硬さ/導電率/濃度測定<sup>(1)</sup>. (オンラインカラー)

測定した。実験方法の詳細は文献(16)を参照されたい。図4(a)に1000°Cで60 d 拡散・溶体化熱処理した試料の硬さ分布を示した。固溶強化により Ni と Al 濃度の増加に伴い硬さが上昇する傾向が明瞭に確認できる。図4(b)に500°Cで18 h 時効熱処理した後の硬さ分布を示した。図4(a)の溶体化材の硬さ分布と比較して、時効後の試料では硬さが上昇し、特に  $\gamma + \gamma' + \beta$  3 相 3 角形の  $\gamma/\gamma'$  平衡に沿った  $\gamma + \gamma'$  2 相領域において硬さの尾根を形成している。一方、図5(a)に示した

1000°Cで60 d 拡散・溶体化熱処理した試料の導電率分布から、Ni と Al の固容量の増加に伴い導電率が様に低下するが、500°Cで18 h 時効熱処理した試料では、図5(b)のように導電率が概ね上昇し、硬さの尾根に対応して導電率が低下する傾向が見られた。拡散トリプルにより作製した Cu-Ni-Al 組成傾斜試料の1000°C溶体化材と500°C時効材の硬さと導電率の計算状態図上の分布から、硬さと導電率を両立させるための合金設計は、高 Ni 低 Al 濃度領域の  $\gamma'$  析出型合金が望ましく、特に硬さが300 Hv、導電率が12%IACSを超える合金組成として Cu-13%Ni-3%Al に最適化した。この組成の合金をベースに、Ni-Si 系金属間化合物を第2の析出相として強化に利用する合金設計から、図1に示した Cu-Be 合金に匹敵する高強度の Cu-Ni-Al-Si 系合金を提案し、Be フリーの高強度・高導電性のばね用銅系合金線 ELEMENTAL (エレメタル) が日本精線㈱により開発され、光学ドライブ装置の光ピックアップサスペンションワイヤーなどに実用化されている<sup>(17)</sup>。

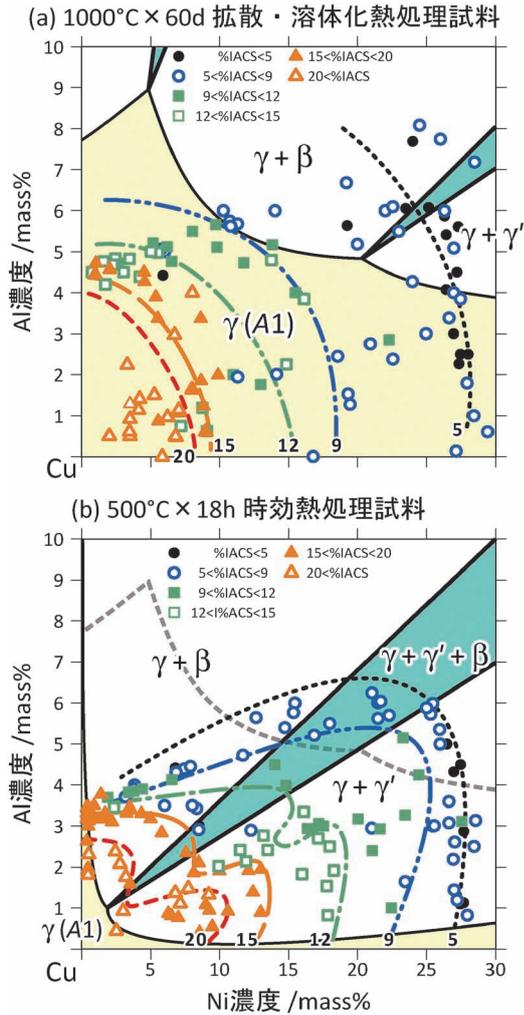


図5 (a)拡散・溶体化熱処理試料と(b)時効熱処理試料の導電率分布<sup>(1)</sup>。(オンラインカラー)

(2) 液相2相分離を示す偏晶型計算状態図を利用した硬質球状粒子分散耐摩耗部材の開発<sup>(18)(19)</sup>

液相が相分離するような偏晶合金系は、被削性の向上を目的に鉄鋼材料に低融点のPbが添加されるような一部の例を除けば、実用的には忌み嫌われることが多い。著者らは、図6(c)と(d)の計算状態図に示したように相分離傾向が顕著なFe-Cu基合金の粉末をガスアトマイズ法により作製したところ、図6(a)と(b)に示した2重あるいは3重の核と殻を有するコア-シェル構造の卵型組織が得られることを見出した<sup>(20)</sup>。Fe-Cu基合金以外にも、計算状態図を利用した偏晶合金の探索により、各2元系では液相の相分離が現れないSn-Al-CuやBi-Sn-Cu3元系において、前者ではSnリッチ相とAl-Cuリッチ相の、後者ではBiリッチ相とSn-Cuリッチ相の液相の相分離が現れ、同様の卵型組織が形成することを確認している<sup>(21)</sup>。このような特異な組織は図7(a)に示した模式図のように、状態図から予測される高温での液相の相分離により主相の液相1中に副相の液相2粒子が生成・分散し、これらの粒子が界面エネルギーと温度勾配によ

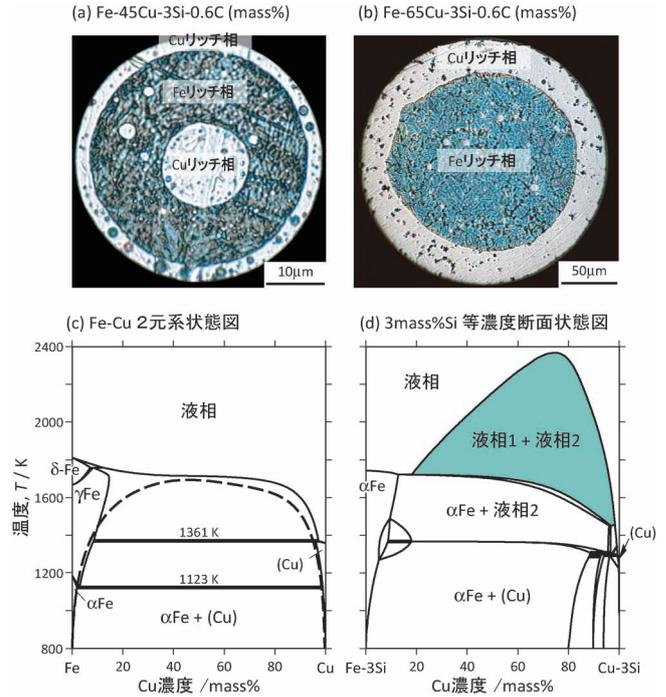
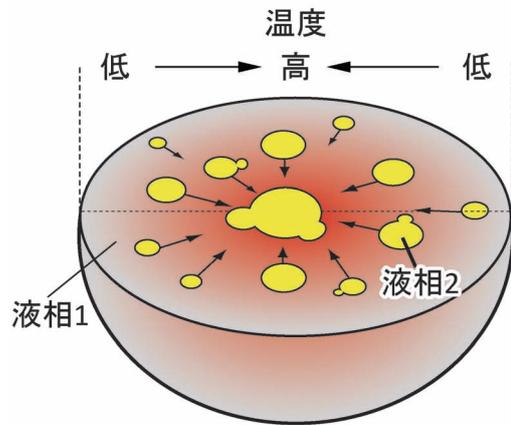


図6 Fe-Cu-Si-C合金粉末の卵型組織とFe-Cu基合金の計算状態図<sup>(20)</sup>。(オンラインカラー)

(a) マランゴニ効果



(b) 銅-鉄基合金のアトマイズ粒子

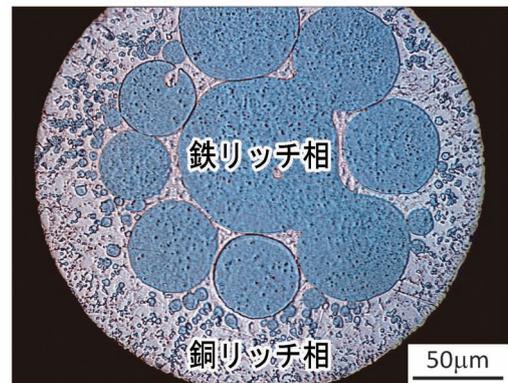


図7 マランゴニ効果による液相分散粒子の移動と合体・粗大化<sup>(20)</sup>。(オンラインカラー)

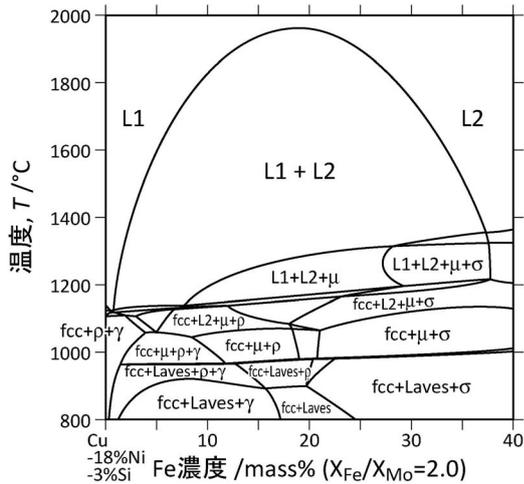


図8 (Cu-18Ni-3Si)-Fe<sub>2</sub>Mo 断面計算状態図<sup>(19)</sup>.

り駆動されるマランゴニ効果などによって移動・合体・粗大化して、最終的に内核を形成するものと考えられる。TanakaらはCu合金の熱力学データベースを改良して計算した状態図に基づき、凝固後の特性を考慮した液相の2相分離と液相分散粒子の移動・合体による粒径制御に着目して、自動車用エンジンのアルミ合金製シリンダヘッドに直接肉盛りされるレーザクラッドバルブシートを開発した<sup>(18)(19)</sup>。図8にCu-18%Ni-3%SiとFe<sub>2</sub>Moを両端とする組成断面の計算状態図を示す<sup>(19)</sup>。アルミ合金への肉盛り材の主相には高強度、高熱伝導および良好な溶着性が、副相には耐摩耗性を付与するための適度な粒径(100 μm程度)を有する高密度の硬質相が必要とされる。Tanakaらは主相をCu-Ni-Si合金、副相をFe<sub>2</sub>Mo系のLaves相と想定し、図8の計算状態図から液相2相分離温度とCu-Ni-Siリッチの液相1(L1)とFe-Moリッチの液相2(L2)の相分率を制御した合金設計を行った。さらに、図9に示したように、Cu-Ni-SiリッチのL1相中のNiとSi濃度に依存してFe-MoリッチのL2粒子の粒径が変化することを見出した。その後のL2からμ相(Fe<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>)への凝固とLaves相(Fe<sub>2</sub>Mo)への組織変化により硬質粒子を形成させて、耐摩耗性に適した組織の最適化が図られている。レーザ肉盛り法は加熱温度が2000°C以上に達し、凝固時間が1秒程度と推定される急冷プロセスであり、通常得られる晶出物はきわめて微細になるが、液相の2相分離に着目し、計算状態図を活用した合金のスクリーニングと図7に示した急冷中の球状液滴への分離と移動合体による硬質粒子の組織制御を考案した開発者の慧眼には恐れ入るばかりである。

#### 4. おわりに

本稿で紹介した熱力学データベースを用いて状態図を計算するCALPHAD法<sup>(6)</sup>は実用合金の開発に活用されるようになって久しく、成熟期を過ぎた古めかしい手法との印象も否めない。近年、米国のMaterials Genome Initiative

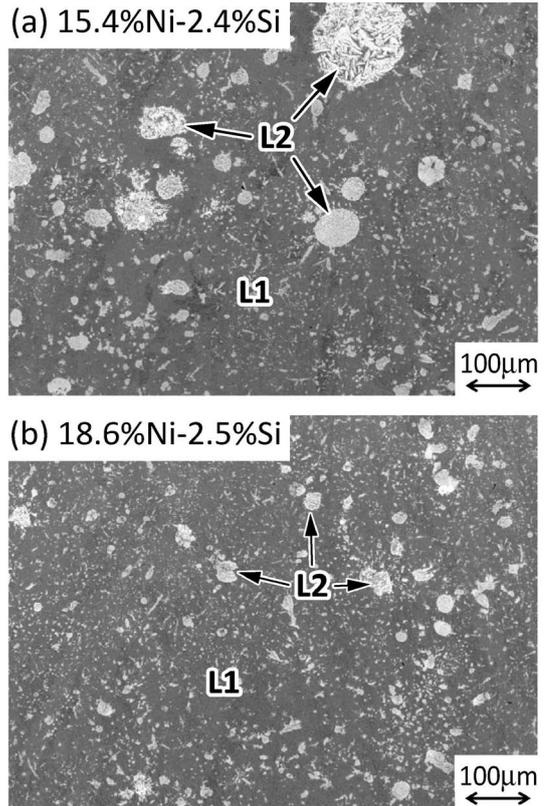


図9 Cu-9Fe-7Mo-xNi-ySi合金の肉盛り材の組織<sup>(18)</sup>。L1とL2は高温で相分離した2種類の液相を表す。

(MGI)<sup>(22)-(24)</sup>や欧州のICMEg(Integrated Computational Materials Engineering)<sup>(25)</sup>など、最新の実験・計算技術や様々なソフトウェアとデータベースを活用して、高効率かつ短時間で材料開発を達成することを目標としたプロジェクトが推進されている。MGIやICMEgなどにおいても、合金設計の基盤技術としてCALPHAD法の重要性が認識されており、CALPHAD法は依然として多元系実用材料の開発に必要な存在となっている。著者が在籍する国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)においても統合型材料開発・情報基盤部門(MaDIS)を立ち上げ<sup>(26)</sup>、データ科学、計算科学、理論及び実験を融合させ、物質・材料研究開発のあり方を革新し、研究開発のスピードを大幅に加速させることを目的に研究が進められている。拙稿が迅速な材料開発の一助になれば幸甚である。

本稿を執筆するにあたり、東北大学の石田清仁名誉教授と貝沼亮介教授、および豊田中央研究所の田中浩司博士(現・大同大学教授)に図面を提供戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- (1) 宮本隆史, 長迫実, 大森俊洋, 石田清仁, 貝沼亮介: 銅と銅合金, 54(2015), 190-195.

(2) W. A. Sofka and D. E. Laughlin: Prog. Mater. Sci., **49**(2004), 347-366.  
 (3) T. Hasegawa, Y. Takagawa, C. Watanabe and R. Monzen: Mater. Trans., **52**(2011), 1685-1688.  
 (4) Q. Liu, X. Zhang, Y. Ge, J. Wang and J.-Z. Cui: Metall. Mater. Trans. A, **37A**(2006), 3233-3238.  
 (5) S. Suzuki, N. Shibutani, K. Mimura, M. Isshiki and Y. Waseda: J. Alloys and Compd., **417**(2006), 116-120.  
 (6) 例えば N. Saunders and A. P. Miodownik: CALPHAD - A Comprehensive Guide, Pergamon Press, Oxford, 1998.  
 (7) L. Kaufman: Phase Stability in Metals and Alloys, P. A. Rudman, J. Stringer and R. I. Jaffee Eds., McGraw-Hill, New York, (1967), 125.  
 (8) A. T. Dinsdale: Calphad, **15**(1991), 317-425.  
 (9) E. A. Guggenheim: Trans. Faraday Soc., **33**(1937), 151.  
 (10) O. Redlich and A. Kister: Indust. Eng. Chem., **40**(1948), 345.  
 (11) M. Hillert: Calphad, **4**(1980), 1-12.  
 (12) M. Hillert and L. I. Staffansson: Acta Chem. Scand., **24**(1970), 3618-3626.  
 (13) I. Ansara, N. Dupin and B. Sundman: CALPHAD, **21**(1997), 535-542.  
 (14) C. P. Wang, X. J. Liu, M. Jiang, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida: J. Phys. Chem. Solids, **66**(2005), 256-260.  
 (15) J.-C. Zhao: Prog. Mater. Sci., **51**(2006), 557-631.  
 (16) 貝沼亮介, 田村浩一, 宮本隆史, 大沼郁雄, 石田清仁: 銅と銅合金, **48**(2009), 81-85.  
 (17) <http://www.n-seisen.co.jp/development/development002.html>  
 (18) K. Tanaka, H. Kato and T. Oshima: CALPHAD, **58**(2017),

50-57.  
 (19) 田中浩司, 加藤元, 大島正: 日本学術振興会「合金状態図172委員会」第33回研究会資料, (2017), 36-37.  
 (20) C. P. Wang, X. J. Liu, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida: Science, **297**(2002), 990-993.  
 (21) I. Ohnuma, T. Saegusa, Y. Takaku, C. P. Wang, X. J. Liu, R. Kainuma and K. Ishida: J. Electronic Mater., **38**(2009), 2-9.  
 (22) G. B. Olson: Scripta Mater., **70**(2014), 1-2.  
 (23) L. Kaufman and J. Agren: Scripta Mater., **70**(2014), 3-6.  
 (24) G. B. Olson and C. J. Kuehmann: Scripta Mater., **70**(2014), 25-30.  
 (25) <http://www.icmeg.euproject.info/>  
 (26) <http://www.nims.go.jp/research/MaDIS/>



大沼郁雄

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1993年 東北大学大学院工学研究科博士課程前期課程  
 修了  
 1993年 東北大学工学部材料物性学科助手  
 2000年 博士(工学)(東北大学)  
 2006年 東北大学大学院工学研究科助教授(後に准教授)  
 2015年 国立研究開発法人物質・材料研究機構主席研究員  
 2016年4月- 現職  
 専門分野: 合金状態図, 組織制御, 計算材料科学  
 ◎合金状態図の実験的決定, 熱力学データベースの開発および計算状態図を利用した合金設計等に従事。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 非鉄系合金における熱力学計算連携による フェーズフィールド法組織形成予測

野本 祐 春\*

## 1. はじめに

フェーズフィールド法(Phase field method)は、約25年前の小林による樹状成長計算の成功に始まり Stainbach らによるマルチフェーズフィールド法(Multi-phase field method)の提案から約20年を経過し、現在、熱力学データベース(CALPHAD database)との連携計算が普通に実施されるに至って、実用組成の合金の多次元場における組織形成予測手法として確かな位置を得ている。特にマルチフェーズフィールド法はそのスタートアップの段階から市販の熱力学データベースとの連携を念頭に汎用化プログラムの開発が進められたこともあり製鋼・製鉄分野での利用を中心に広がっている。

一方、非鉄分野では製鉄に比べて個別の市場規模が相対的に小さいために計算熱力学の浸透が遅れていた。しかし、材料設計の高精度化とスピードアップが求められる中で、近年、Ni系、Ti系、Al系などの合金の市販データベースの充実とともに急速に利用が進んできている。これに伴い熱力学データベース連携フェーズフィールド法による組織形成予測への期待も高まっている。

本稿では過去著者らが実施した非鉄系の凝固問題を中心とした組織形成予測解析について紹介する。また近年、界面での擬平衡(Quasi-equilibrium)を仮定しない非平衡マルチフェーズフィールドモデル(Non-equilibrium multi-phase field model)が提案され、今後、積層造形や電子材料系プロセスなどの非平衡の強い系での組織形成予測への適用の可能性が見えてきたので、それについても簡潔に紹介する。

## 2. フェーズフィールド法には2種類あり

フェーズフィールド法には取り扱う現象の空間スケールの違いにより凝固問題を中心にミクロスケールを取り扱う“粗い格子のフェーズフィールド法(Coarse grid phase field method)”とスピノダル分解のようなナノスケールの相分

離を扱う“細かい格子のフェーズフィールド法(Fine grid phase field method)”の大きく2つの流れがあることがあまり明確に分類記述されていないために、初めて手がける研究者や技術者を混乱させる場面を度々目にする。解析したい組織形成の対象がどちらに属する問題なのかを最初に見極めることがスタート時では肝要である。

前者の粗い格子のフェーズフィールド法は実用合金の組織形成解析において擬平衡仮定を用いた拡散界面モデルを用いた手法である<sup>(1)</sup>。共晶や包晶のデンドライト組織形成を含む凝固や粒成長などの問題に多く利用されている。しかし、核生成については理論の枠組み外であるため、古典的核生成理論に基づいて生成頻度・密度を陽的に付加する必要がある。一方、細かい格子のフェーズフィールド法は界面を十分に離散分解するため擬平衡仮定を用いる必要は無く、このため溶解度ギャップに伴う相分離の計算が可能である<sup>(2)</sup>。またマイクロメカニクスとの連携も良く、強い結晶異方性を伴う問題への適用も良好である<sup>(3)</sup>。以下、著者らが実施した粗い格子のフェーズフィールド法による凝固を中心とした非鉄系材料組織形成解析事例について紹介する。

## 3. 組織形成予測解析事例

### (1) Al合金凝固組織形成<sup>(4)</sup>

よく知られているようにAl合金鋳造では溶湯に接種剤を投入することにより凝固組織の微細化と均質化をはかり良好な機械特性を得ることが多い。接種剤として良く用いられるのがAl-Ti-B化合物でありTiB<sub>2</sub>粒子が代表的である。ところが組織微細化は接種剤の密度だけでなく、溶質のTi濃度も重要なファクターとなることが知られている<sup>(5)</sup>。そこでこの解析では、接種剤粒子密度と溶質Ti濃度の組み合わせによる凝固組織微細化効果の評価を実施した。

本問題は凝固であるため粗い格子のマルチフェーズフィールド法を適用した。計算の実施には計算状態図プログラムThermo-Calc<sup>(6)</sup>の熱力学データベースと連携する汎用マル

\* 伊藤忠テクノソリューションズ株 科学システム本部 嘱託(〒100-6080 東京都千代田区霞が関3-2-5 霞が関ビル)  
Microstructure Evolution Prediction for Non-ferrous Alloy by Phase Field Method Coupled with CALPHAD Database; Sukeharu Nomoto (Science & Engineering System Division, ITOCHU Techno-Solutions Corporation, Tokyo)  
Keywords: CALPHAD database, multi-phase field method, coarse grid phase field method, quasi-equilibrium, aluminum alloy, solder alloy, titanium alloy, additive manufacturing  
2018年5月1日受理[doi:10.2320/materia.57.426]

チフェーズフィールド法プログラム MICRESS を用いた<sup>(7)</sup>。しかし接種剤 TiB<sub>2</sub> 粒子のサイズは空間離散格子サイズに比べて大幅に小さく直接扱うことは出来ない。そこで、凝固組織 α 相の平均サイズは TiB<sub>2</sub> 粒子径の密度分布と単調な関係にあると仮定し、実験観察を基準に晶出 α 相の生成核半径密度分布のキャリブレーションを実施した。図 1 には TiB<sub>2</sub> 粒子の添加量が 0.12 wt% の場合の溶湯中 Ti 濃度 0.01 wt% と 0.1 wt% における凝固組織 α 平均サイズの実験値に対して、α 相生成核半径密度分布を調整した結果を示す。

0.03 wt% TiB<sub>2</sub> 粒子添加の系における α 相生成核半径密度分布は図 1 (b) の 0.12 wt% TiB<sub>2</sub> の密度の 25% に仮定した。そして 0.12 wt% と 0.03 wt% TiB<sub>2</sub> 粒子添加における溶湯の溶質 Ti 濃度を 0.02 wt% から 0.1 wt% に変化させ凝固計算を実施した。図 2 に TiB<sub>2</sub> 粒子添加量と溶質 Ti 濃度に対する凝固 α 粒組織を示す。TiB<sub>2</sub> 粒子添加量および溶湯中 Ti 濃度が高いほど粒サイズが小さくなる様子が分かる。さらに図 3 には TiB<sub>2</sub> 粒子添加量および溶湯中 Ti 濃度に対する α 粒サイズの実験値との比較を示す。図 3 から各 TiB<sub>2</sub> 粒子添加量に対して溶湯中 Ti 濃度を变化させた場合の α 粒サイズが比較的良好に予測計算されていることが分かる。このようにフェーズフィールド法による組織予測においては、ある実験基準に対してパラメータ(本計算では生成核半径密度分布)を合わせた後、組成や温度プロファイルなどのプロセス条件を变化させて評価をする使い方が今のところ現実的である。

## (2) 鉛フリーハンダ実装リフロー凝固解析<sup>(8)</sup>

環境問題から電子機器における鉛の使用が制限され、鉛フリーハンダの利用が始まってから久しい。しかし現在も接点破断によるトラブルが度々発生している。その意味ではハンダという材料は電気的な接続だけではなく構造材料としての機能も併せ持つ。鉛ハンダに比べて接点破断(リフトオフ)しやすい理由は Cu 基板との界面近傍に Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> などの化合物層が形成されることに起因する。よってその機械特性の評価にはまず界面における化合物形成を含む組織形成予測が重要となる。そこで熱力学データベースと連携させたマルチフェ

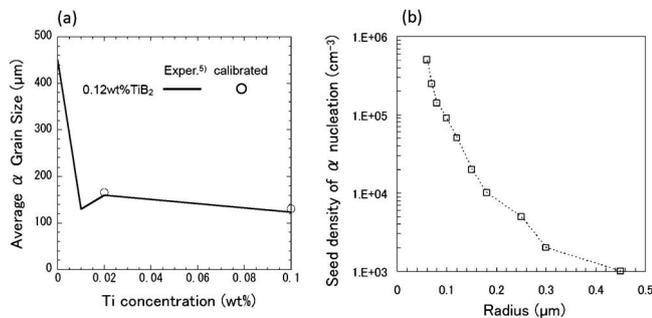


図 1 TiB<sub>2</sub> 粒子添加量 0.12 wt% での凝固 α 粒子サイズに合う α 相生成核半径密度分布の調整結果。(a) 凝固 α 粒サイズの実験値と生成核半径密度分布の調整結果を用いたフェーズフィールド法計算による粒サイズの比較。(b) 調整された生成核半径密度分布。

ーズフィールド法による非平衡計算を適用し、組成 Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) の鉛フリーハンダ合金における Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> と Cu<sub>3</sub>Sn 金属間化合物生成を含む組織形成予測を行った。計算には前節同様 MICRESS を用いた。

リフロー条件としては 250 °C にて 60 s 保持後、急冷し 150 °C 保持とした<sup>(9)</sup>。領域設定は 18 μm 厚の Cu 基板状に上記組成の鉛フリーハンダの溶湯が 22 μm 厚で接触しているとした。計算開始直後から 30 s にかけては固液界面にて基板 Cu が溶融し溶湯前方に向かって拡散が進む。そして 30 s 経過したところで界面上に Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 粒が生成しその後成長が

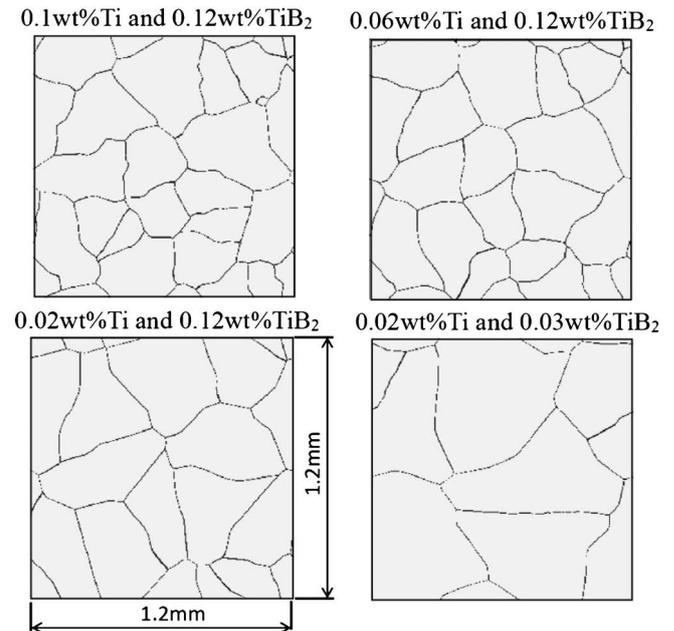


図 2 TiB<sub>2</sub> 粒子添加量と溶質 Ti 濃度に対する凝固 α 粒組織。

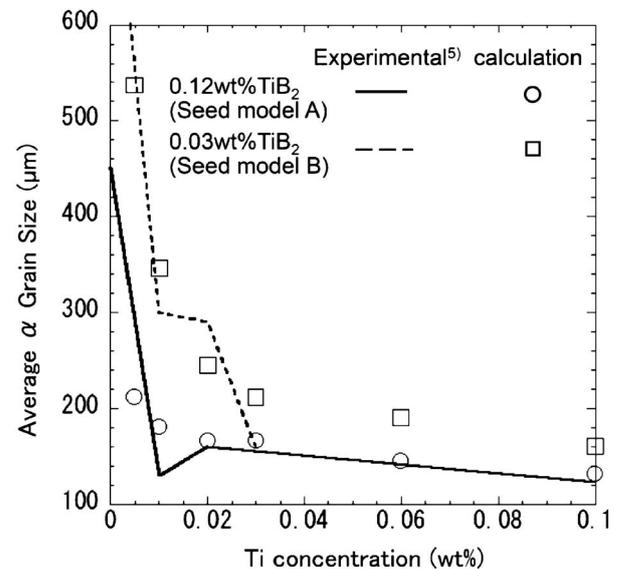


図 3 TiB<sub>2</sub> 粒子添加量および溶湯中 Ti 濃度に対する α 粒サイズ。

進む。Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 粒生成以降の相分布を図4に示す。60 sでの急冷により溶湯SnはAg<sub>3</sub>Sn粒の晶出とともに凝固する。また、150°C保持においてCu基板とCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>界面間にてCu<sub>3</sub>Sn粒が析出し緩やかに成長が進む。

図5に、凝固組織の計算結果と実験との比較を示す。計算で得られたCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>粒の形状および成長量が実験と比較的良好一致しているのが分かる。このような固液界面の初期非平衡の強い系においても熱力学データベースと連携したマルチフェーズフィールド法により組織形成予測が可能であることを示した。しかし、本計算法では、界面擬平衡条件を絶えず満たす必要があるため、擬平衡濃度の計算収束が不十分による数値不安定も生じやすいことも確認された。特に工業的にはNi添加による結合強度の向上などがはかられているが、それによる組織形成の違いを予測するには界面の強い非平衡条件に対してより耐性のある解析手法が必要である。そのため今後期待される非平衡フェーズフィールドモデルについては最後に紹介する。

### (3) 積層造形用電子ビームによるTi合金溶融凝固組織解析<sup>(10)</sup>

高出力のレーザーないし電子ビームを用いた金属粉床積層造形法では、ビーム照射により生じた数百μm幅の熔融池の溶湯温度は数千°Cに達する。かつビームの操作速度はm/sオーダーであり、このため凝固時の冷却速度は数十万K/s程度となる。当然、大きな温度勾配も生じ、非常に強い非平衡条件にあると考えられる。そのため、既存の局所平衡仮定

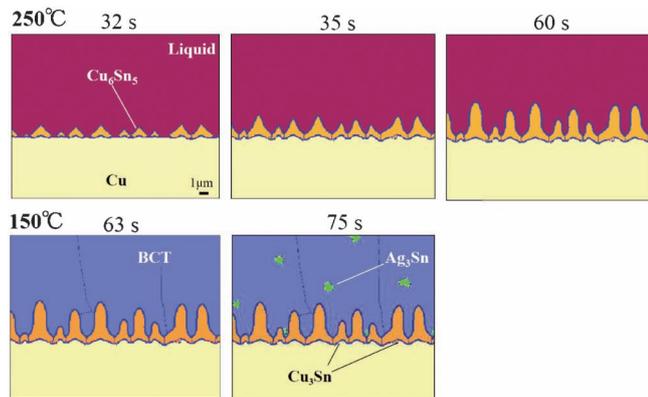


図4 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 晶出(30 s)以降の相分布変化。

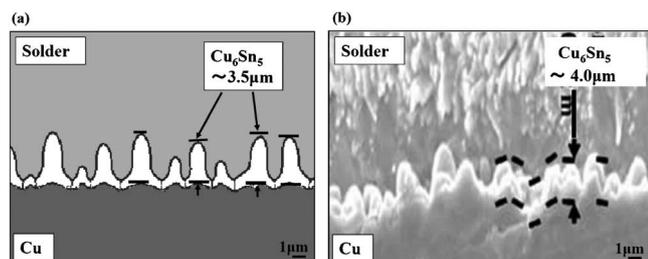


図5 凝固組織におけるCu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>粒の成長量比較。(a)本計算 (b)実験観察<sup>(9)</sup>。

に基づく凝固理論の適用が可能であるかの判断が困難であり、凝固組織形成に関する数値シミュレーションによる検討はあまり見受けられなかった。しかし、最近のTi-6Al-4V系での組織観察によると柱状-等軸晶遷移が確認されている<sup>(11)</sup>。これは組成的過冷却に基づく凝固理論が適用できる可能性すなわち局所平衡仮定成立の可能性を示唆している。そこで、電子ビーム加熱条件によるTi-6Al-4V系の柱状-等軸晶遷移の凝固組織形成解析を実施した。

最初に電子ビーム走査による温度分布と履歴を、汎用FEMソフトウェアAbaqusを用いて求めた。この際、実験条件に合わせて電子ビームの出力と移動速度を数種変化させて温度分布と履歴を取得した。図6にFEMモデルと走査ビーム近傍の温度分布例を示す。積層造形法の熔融池のサイズは数百μmであるという都合の良い条件から、マルチフェーズフィールド法の計算領域と重ね合わせることが可能である。よってFEM解析で得られた温度分布と履歴をマルチフェーズフィールド法計算領域場にマッピングすることで凝固計算を実施した。

図7に得られた凝固組織β相粒分布を示す。柱状晶と等軸晶をそれぞれオレンジ色と白色で分けて表示している。入熱量が少ない条件(a)の方がより結晶粒サイズが小さくなる

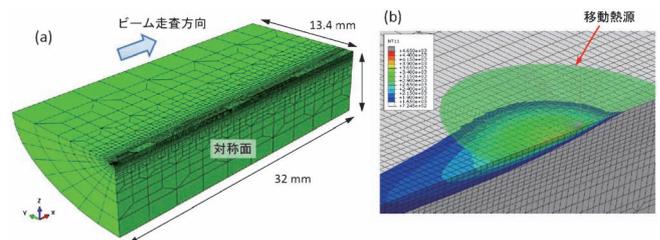


図6 電子ビーム走査温度場解析。(a)FEMモデル (b)温度分布例。

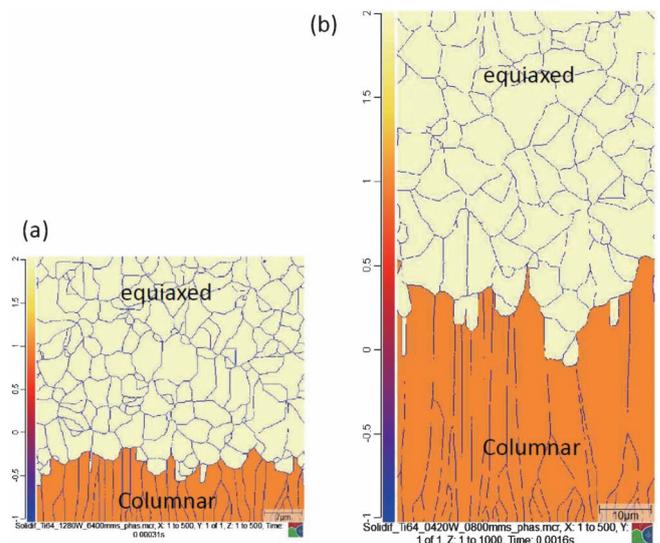


図7 β相粒分布。(a)ビーム出力1280 W, ビーム速度6.4 m/s (b)ビーム出力420 W, ビーム速度0.8 m/s。

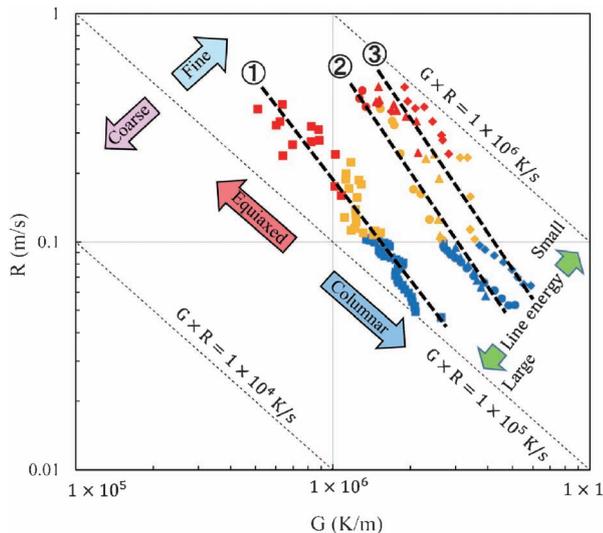


図8 凝固マップ.

傾向が見られる。また、第一節のAl合金凝固計算で用いた同様の核生成モデルを用いることで柱状晶-等軸晶遷移が確認される。さらに幾つかのビーム条件での時間毎の温度勾配Gに対する柱状晶と等軸晶の成長速度Rの関係をプロットした凝固マップを図8に示す。入熱量の高い方から低い方に向かって①から③の点の集まりとなっている。青の点は柱状晶を、赤の点は柱状晶を、黄色い点は柱状晶と等軸晶の混合成長を示す。G×Rの線は一定の冷却速度を示すが、①、②、③の集まりそれぞれが冷却速度一定の線に概ね沿っているのが分かる。これは入熱量が少ないと、熔融池の体積が小さく、この体積に対する固液界面面積の比が大きくなるため、冷却速度が大きくなる。すなわち過冷度が大きくなり、古典的核生成理論に基づき結晶粒サイズが小さくなることで理解できる。同様に、熔融池の凝固開始時は固液界面付近の温度勾配が大きいため柱状晶が成長するが、熔融池サイズの縮小とともに温度勾配が小さくなり組成的過冷却に基づき柱状晶から等軸晶に遷移する。このように、古典的凝固理論に基づく凝固組織形成の定性的性質が本計算により再現されていることが確認された。今後さらに界面での擬平衡条件を取り除いた計算での検証が必要である。

#### 4. 非平衡フェーズフィールドモデル

前章の鉛フリーハンダや積層造形のプロセスのように強い非平衡条件までカバーする解析法の開発は今後マルチフェーズフィールド法を広範に利用するために重要である。Steinbachらにより提案された非平衡マルチフェーズフィールドモデル<sup>(12)</sup>は、粗い格子のマルチフェーズフィールド法の理論の枠組みと同様である上、界面領域での擬平衡仮定が不要であることから計算効率の点でも有利である。現在、著者らは多元系での熱力学データベース連携の計算手法の研究開発を進めている。最初に普通鋼のFe-C-Mn系とFe-C-Mn-Si

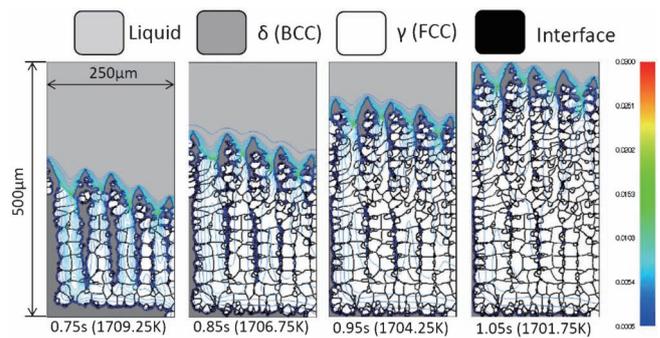


図9 相分布とC濃度(モル分率)の時間(温度)変化.

系の繰り返し加熱条件における $\gamma\alpha$ 変態の1次元計算を実施し、界面移動に伴う溶質成分分配の変化が良好に算出されることを確認した<sup>(13)</sup>。その後ステンレス鋼5元系組成の初晶 $\delta$ および包晶 $\gamma$ 晶出機能を付加した2次元凝固組織形成計算を実施した<sup>(14)</sup>。図9には相分布とC濃度変化を示す。界面領域での擬平衡条件を課した場合に比べ計算時間短縮だけでなく数値安定性も向上することが確認された。今後、非平衡の強い非鉄合金の拡散対問題や積層造形凝固組織形成予測などへの適用も期待される。

#### 5. おわりに

本稿において熱力学データベース連携のマルチフェーズフィールド法が実用合金組成の組織形成予測を可能とすることを幾つかの事例で紹介した。その際、マルチフェーズフィールド法の理論の枠組みには含まれない核生成モデルを適切に組み込むことでより一層有効な組織予測ツールとなる点を強調しておきたい。また、アメリカのマテリアルゲノムイニテシアチブにおいて積極的に開発が進められているマルチスケール・マルチフィジックス解析システムコンセプトICME (Integrated Computational Material Engineering)において、計算熱力学およびそれと連携するマルチフェーズフィールド法はマクロスケールの機械特性を決定するためのマイクロ組織予測手法として重要な位置を占めている。我々は現在マルチフェーズフィールド法の広範な実用化に向けて強い非平衡プロセスへの適用を初め機械学習によるデータ同化の取り込みと融合などの開発を積極的に進めている。

最後に本稿で紹介した事例を起点に非鉄系材料分野の多くのエンジニアの方々が新たに熱力学データベース連携フェーズフィールド法に興味を示して頂けるよう著作の機会を頂いたことに感謝申し上げます。

#### 文献

- (1) J. Eiken, B. Bottger and I. Steinbach: Phys. Rev., **E73** (2006), 066122.
- (2) 小山敏幸: 材料設計計算工学 計算組織学編 フェーズフィー



# 高強度鋼板におけるフェライト変態の 制御と熱力学計算

林 宏太郎<sup>\*)</sup> 齋藤 真衣<sup>\*</sup>

## 1. はじめに

高強度鋼板は様々な自動車用部品に使用されている<sup>(1)</sup>。高強度鋼板の延性を向上させるために、その合金はフェライト( $\alpha$ )とマルテンサイトからなる複合組織、あるいは、オーステナイト( $\gamma$ )を $\alpha$ とベイナイトに分散させた組織に制御される<sup>(2)(3)</sup>。前者はDP (Dual-Phase) 鋼板、後者はTRIP (Transformation-induced plasticity) 鋼板と呼ばれる。さらに、その伸びフランジ性を向上させるために、 $\alpha$ の体積率と結晶粒径、硬さが調整される<sup>(4)-(6)</sup>。このように、高強度鋼板における $\alpha$ 変態の制御は重要な技術といえる。

高強度鋼板においては、炭素(C)だけでなく、マンガン(Mn)やシリコン(Si)などの材料を強化する元素が添加される<sup>(7)</sup>。鉄(Fe)基の2元系状態図によれば<sup>(8)</sup>、MnとSiはそれぞれ、 $\gamma$ と $\alpha$ を安定にする元素であることがわかる。また、Fe-C-X 3元系合金の実験的検討と解析的検討によれば、Mnは $\alpha$ の成長速度を低下させ、Siはその速度を増加させることが明らかにされている<sup>(9)-(12)</sup>。さらに、MnとSiの両元素を含む4元系合金と5元系合金における $\alpha$ の成長速度も解析されている<sup>(13)-(15)</sup>。このような多元系合金における $\alpha$ の成長は $\gamma$ 粒内におけるCの拡散律速、あるいは、Mnなどの置換型合金元素の拡散律速に従うと考えられる。前者の成長挙動はNo-partition Local Equilibrium (NPLE)モード、後者の成長挙動はPartition Local Equilibrium (PLE)モードと呼ばれる。両モードはPLE/NPLE境界で遷移し、その境界は熱力学計算より求められる<sup>(16)-(20)</sup>。

Fe-C-MnとFe-C-Ni 3元系合金の等温保持実験によれば、 $\alpha$ 生成の上限温度はPLE/NPLE境界の近傍である<sup>(21)</sup>。Fe-0.05 mass% C-2.0 mass% Mn合金とFe-0.14 mass% C-2.0 mass% Mn合金の $\alpha$ と $\gamma$ におけるC濃度分布の測定によれば、 $\alpha$ の成長が停留する状態はNPLEモードからPLEモードの遷移過程より説明される<sup>(22)</sup>。さらに、連続冷却中における種々合金の $\alpha$ 変態開始温度はその合金におけるPLE/

NPLE境界にはほぼ一致する<sup>(23)</sup>。これらの研究によれば、高強度鋼板の $\alpha$ 変態を制御するためには、 $\alpha$ の成長モードを解析し、添加元素の濃度と熱処理の冷却条件を決定するアプローチが有効であると考えられる。

本稿では、高強度鋼板のモデルとなる3種類の合金に関する $\alpha$ 変態挙動を調査し、熱力学計算によって、 $\alpha$ の生成に及ぼすMnおよびSiの影響を解析した結果を紹介する。

## 2. フェライト変態の制御と熱力学計算

供試材の化学組成を表1に示す。以下、各化学組成の合金をそれぞれ2Mn合金と3Mn合金、3Si-3Mn合金と呼ぶ。

Fe-C-2 mass% Mn合金の縦断面図を図1に示す。Thermo-calc 2016aを熱力学計算に使用した。 $\alpha$ と $\gamma$ の熱力学データベースはTCFE8である<sup>(24)</sup>。図の縦軸と横軸はそれぞれ、温度とC濃度を示す。実線はオルソ平衡における $\alpha/\gamma$ 相境界線を表わし、両線の間が( $\alpha+\gamma$ )の2相域である。オルソ平衡においては、溶質CとMnは拡散し、溶媒Fe、さらに、CとMnの化学ポテンシャルが $\alpha$ と $\gamma$ の間で等しくなる。 $\alpha$ と $\gamma$ における成分原子*i*の化学ポテンシャルをそれぞれ、 $\mu_i^\alpha$ と $\mu_i^\gamma$ すれば、以下(1a)と(1b)、(1c)が成立する。

$$\mu_{Fe}^\alpha = \mu_{Fe}^\gamma \quad (1a)$$

$$\mu_C^\alpha = \mu_C^\gamma \quad (1b)$$

$$\mu_{Mn}^\alpha = \mu_{Mn}^\gamma \quad (1c)$$

図の破線はPLE/NPLE境界線を表わす。 $\alpha$ と $\gamma$ の界面において、局所平衡が達成される、すなわち、(1a)と(1b)、

表1 供試材の化学組成(mass%)

供試材	C	Si	Mn	Fe
2Mn合金	0.10	0.01	2.0	Bal.
3Mn合金	0.10	0.01	3.0	Bal.
3Mn-3Si合金	0.10	3.0	3.0	Bal.

\* 新日鐵住金株式会社技術開発本部 鉄鋼研究所材料ソリューション研究部; 1)主幹研究員(〒293-8511 富津市新富20-1) Control of Ferrite Transformation in High Strength Steel Based on Thermodynamic Calculation; Koutarou Hayashi and Mai Saito (Integrated Steel-Solution Research Lab., Steel Research Laboratories, Research & Development, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, Futtsu)  
Keywords: CALPHAD, HSS (high strength steel), ferrite transformation, equilibrium state  
2018年5月7日受理[doi:10.2320/materia.57.431]

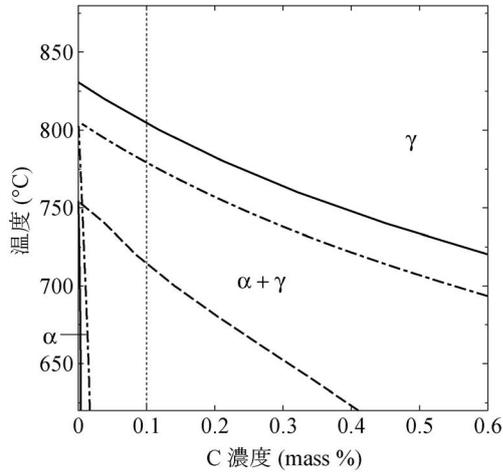


図1 Fe-C-2 mass% Mn 合金の縦断面図.

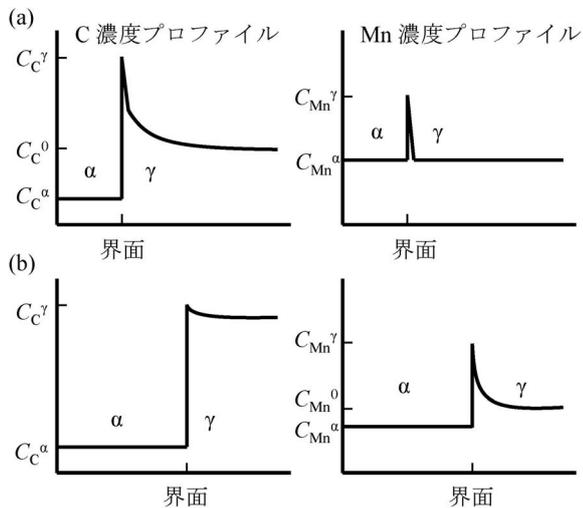


図2 NPLEモードとPLEモードにおけるCとMn濃度プロファイル；(a)NPLEモード，(b)PLEモード.

(1c)が成立する場合，オルソ平衡の2相域における $\alpha$ の成長挙動はPLE/NPLE境界線の上下で異なる．合金の温度がPLE/NPLE境界線より高い場合， $\alpha$ の成長挙動はPLEモードである．一方，合金の温度がそれより低い場合，その成長挙動はNPLEモードである．

NPLEモードとPLEモードにおけるCとMn濃度プロファイルを図2に模式的に示す． $\alpha$ の成長がNPLEモードである場合，図2(a)に示すように，Mnの拡散幅は非常に狭い．したがって， $\alpha$ の成長はCの拡散律速に従う．一方， $\alpha$ の成長がPLEモードである場合，図2(b)に示すように，Cの濃度勾配は小さい．したがって， $\alpha$ の成長はMnの拡散律速に従う<sup>(16)-(20)</sup>．

図1の一点鎖線はパラ平衡における $\alpha/\gamma$ 相境界線を表わす．パラ平衡においては，FeとMnが固定され，Cのみが拡散することによって，Cの化学ポテンシャルが $\alpha$ と $\gamma$ 間で等しくなる．さらに，Fe-Mn固溶体の化学ポテンシャルが

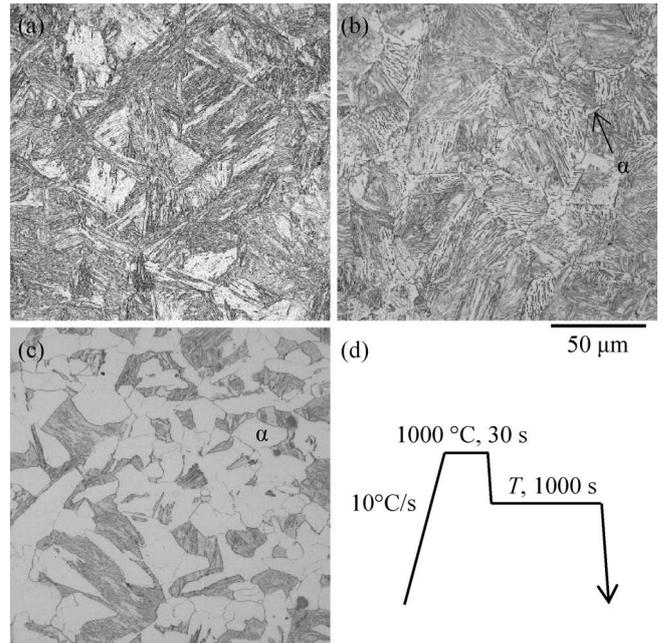


図3 種々の条件で冷却した2Mn合金の断面組織；(a)水冷，(b)720°Cの等温保持，(c)640°Cの等温保持，(d)等温保持の条件.

両相間で等しくなるように， $\alpha$ と $\gamma$ のC濃度が決定される．Feのモル分率をMnのモル分率で除した値を $v$ とすれば，以下(2a)と(2b)が成立する<sup>(17)(25)-(27)</sup>．

$$(1-v)\mu_{Fe}^{\alpha} + v\mu_{Mn}^{\alpha} = (1-v)\mu_{Fe}^{\gamma} + v\mu_{Mn}^{\gamma} \quad (2a)$$

$$\mu_{\alpha}^c = \mu_{\gamma}^c \quad (2b)$$

1000°Cで30s保持し，種々の条件で冷却した2Mn合金の断面組織を図3に示す．図3(a)は1000°C保持後に水冷した試料の組織である．組織はマルテンサイト単相であり， $\alpha$ は生成しなかった．図3(b)と図3(c)の等温保持温度 $T$ はそれぞれ，720°Cと640°Cである．図3(d)に示すように，等温保持する試料は1000°Cで30s保持された後， $T$ まで50°C/sで冷却され，その温度で1000s保持された．図3(b)によれば，720°Cの等温保持中においては， $\alpha$ は旧 $\gamma$ 粒界より生成することがわかる．なお， $\alpha$ 以外の組織は等温保持後の冷却中に生成したベイナイトとマルテンサイトであった． $\alpha$ の体積率は1.3 vol%であった．図3(c)によれば，640°Cの等温保持中においても， $\alpha$ が生成することがわかる． $\alpha$ の体積率は68 vol%であった．このように， $T$ が720°C以下になると， $\alpha$ は生成することがわかる．このような $\alpha$ の生成挙動を状態図計算から考察する．図1の点線は2Mn合金のC濃度を表わす．2Mn合金における $\alpha$ の生成上限温度はPLE/NPLE境界の直上であり，この結果はFe-C-Mn3元系合金における従来の報告と一致する<sup>(21)</sup>．

2°C/sで冷却した2Mn合金と3Mn合金，3Mn-3Si合金の断面組織をそれぞれ，図4(a)と(b)，(c)に示す．図4(d)に示すように，試料は1000°Cで30s保持された後，室温まで2°C/sで連続冷却された．図4(a)によれば，2Mn合金においては， $\alpha$ は冷却中に生成することがわかる．しかし，図

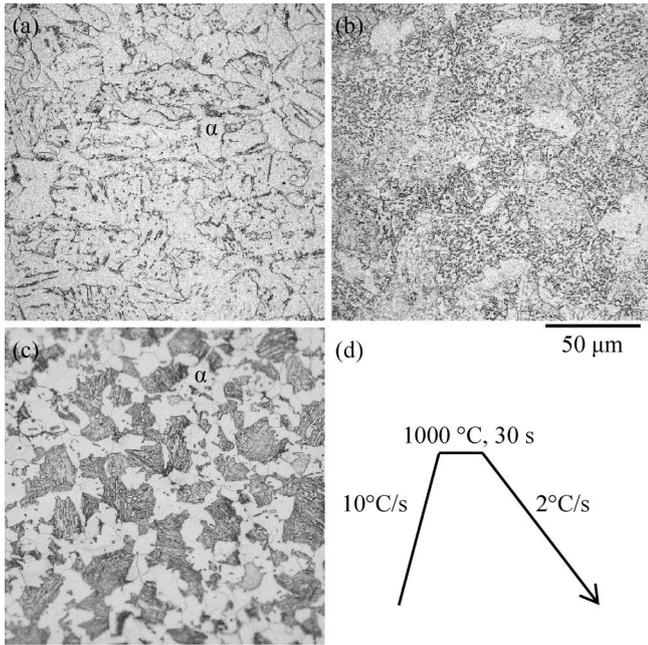


図4 2°C/sで冷却した供試材の断面組織；(a)2Mn合金，(b)3Mn合金，(c)3Mn-3Si合金，(d)連続冷却の条件.

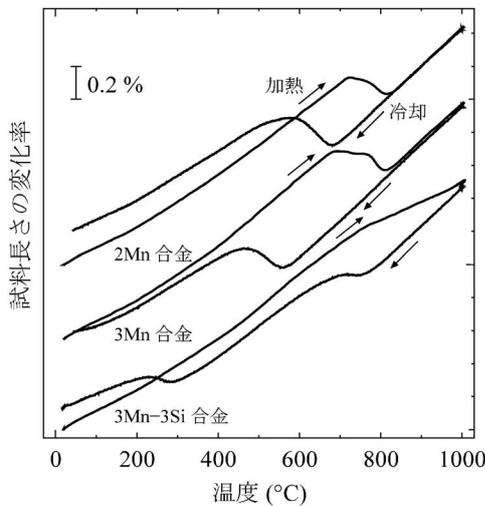


図5 供試材の熱膨張曲線.

4(b)に示すように、3Mn合金においては、組織はベイナイトを母相とし、 $\alpha$ は生成しなかった。また、図4(c)に示すように、3Mn-3Si合金においては、 $\alpha$ は旧 $\gamma$ 粒界より生成し、その $\alpha$ は網目状に分布した。

2Mn合金と3Mn合金、3Mn-3Si合金の熱膨張曲線を図5に示す。熱膨張を測定した温度条件は図4(d)と同じである。図の縦軸と横軸はそれぞれ、試料長さの変化率と温度を示す。熱膨張曲線の屈曲は加熱中の $\gamma$ 変態、冷却中の $\alpha$ とベイナイト、マルテンサイト変態に起因する。1000°Cの30s保持によって、いずれの合金も $\gamma$ 単相になり、 $\alpha$ 、あるいは、ベイナイト、あるいは、マルテンサイトが冷却中に生成

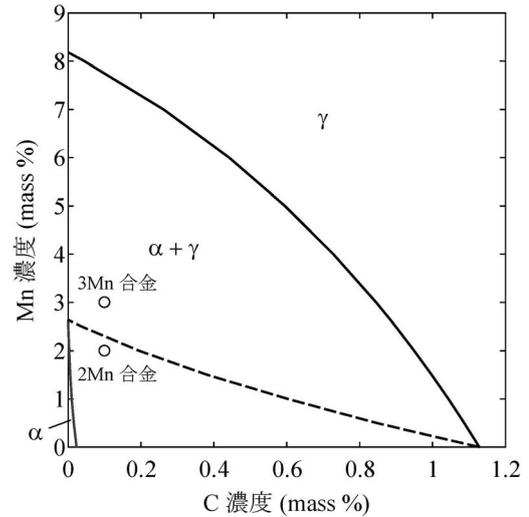


図6 Fe-C-Mn合金における680°Cの等温断面図.

した。2Mn合金と3Mn-3Si合金を冷却した場合、 $\alpha$ 変態はそれぞれ、690°Cと750°Cから開始した。一方、3Mn合金を冷却した場合、 $\alpha$ 変態は生じず、ベイナイト変態が590°Cから開始した。このように、MnとSiは $\alpha$ 生成の制御に有効な元素であることがわかる。

Fe-0.1 mass% C合金の $\alpha$ 生成に及ぼすMnとSiの影響を熱力学計算で解析する。Fe-C-Mn合金における680°Cの等温断面図を図6に示す。図の縦軸と横軸はそれぞれ、Mn濃度とC濃度を示す。実線はオルソ平衡における $\alpha/\gamma$ 相境界線を表わし、両線の間が( $\alpha+\gamma$ )の2相域である。破線はPLE/NPLE境界線を表わす。

冷却中の温度が680°Cにおいては、2Mn合金は既に $\alpha$ 変態しており、3Mn合金は $\gamma$ 単相のままである。しかし、図6によれば、2Mn合金と3Mn合金はオルソ平衡の2相域に位置することがわかる。また、Thermo-calc 2016aを用いて、 $\alpha$ 変態の駆動力を平行接線則から算出した<sup>(28)</sup>。熱力学データベースがTCFE 8の場合、680°Cにおける2Mnと3Mn合金の駆動力はそれぞれ、360 J/molと300 J/molである。650°Cにおける3Mn合金の駆動力は440 J/molである。このように、駆動力の点から、 $\alpha$ の生成を説明することはできない。ところで、PLE/NPLE境界線は2Mn合金と3Mn合金の間に位置する。局所平衡が成立する場合、2Mn合金における $\alpha$ の成長は $\gamma$ 粒内におけるCの拡散律速であり、3Mn合金における $\alpha$ の成長はMnの拡散律速である。したがって、連続冷却中においては、合金が、 $\alpha$ の成長がCの拡散律速に従う温度になると、 $\alpha$ は生成するようになると考えられる。また、合金のMn濃度が増加するに伴い、PLE/NPLE境界線のC濃度は減少するので、Mnは $\alpha$ の生成を抑制するといえる。

Fe-C-Si-3 mass% Mn合金における680°Cの等温断面図を図7に示す。図の縦軸と横軸はそれぞれ、Si濃度とC濃度を示す。実線はオルソ平衡における $\alpha/\gamma$ 相境界線を表わし、両線の間が( $\alpha+\gamma$ )の2相域である。破線はPLE/NPLE

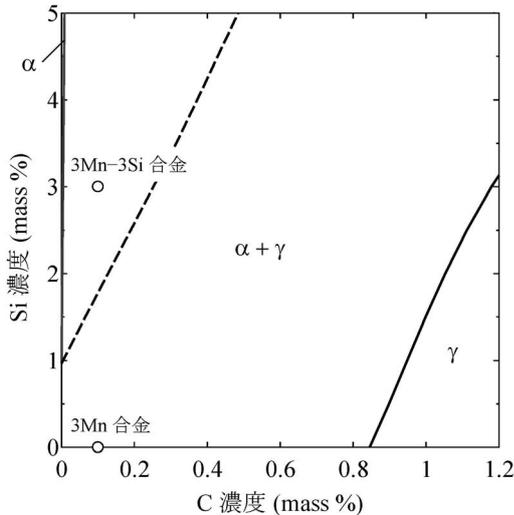


図7 Fe-C-Si-3 mass% Mn合金における680°Cの等温断面図。

境界線を表わす。合金のSi濃度が増加するに伴い、PLE/NPLE境界線のC濃度は増加するので、SiはMnと逆の傾向を示す。したがって、Siは $\alpha$ 生成を促進するといえ、この熱力学計算は実験結果を説明できる。

### 3. おわりに

本稿で紹介したFe-C-Mn 3元系合金とFe-C-Si-Mn 4元系合金の熱力学計算によれば、Mnは $\alpha$ の生成を抑制し、Siは $\alpha$ の生成を促進することが定量的に理解された。したがって、MnとSiは高強度鋼板の重要な元素であるといえる。このように、高強度鋼板の $\alpha$ 変態を制御するためには、 $\alpha$ の成長モードを熱力学計算で解析するアプローチは有効であった。また、連続冷却中においては、合金が、 $\alpha$ の成長がCの拡散律速に従う温度になると、 $\alpha$ は生成することも明らかになった。熱力学計算は合金の平衡状態だけでなく、非平衡状態を解析できる。ただし、非平衡状態のミクロ組織を高精度に予測するためには、速度論的な解析も必要である<sup>(29)</sup>(30)。

### 文 献

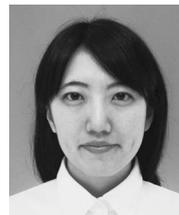
(1) 高橋 学, 吉永直樹: ハイテックハンドブック, 自動車用材料共同調査研究会編纂, 日本鉄鋼協会, 自動車技術会, (2008), 18-28.  
 (2) 高橋 学: 鉄と鋼, **100**(2014), 82-93.  
 (3) 高橋 学, 末廣正芳, 越智達郎, 宮崎康信: 新日鉄技報, **391**(2011), 27-36.  
 (4) 高橋 学, 河野 治, 林田輝樹, 岡本 力, 谷口裕一: 新日鉄技報, **378**(2003), 7-11.

(5) 長谷川浩平, 金子真次郎, 瀬戸一洋: JFE技報, **30**(2012), 6-12.  
 (6) 二村裕一, 三浦正明, 経澤道高: 神戸製鋼技報, **61**(2011), 41-44.  
 (7) 潮田浩作, 吉村仁秀, 海藤宏志, 木村 謙: 鉄と鋼, **100**(2014), 2-13.  
 (8) Phase Diagrams of Binary Iron Alloys, edited by H. Okamoto, ASM International, (1993), 203-381.  
 (9) H. I. Aaronson and H. A. Domian: Trans. Met. Soc. AIME, **236**(1966), 781-796.  
 (10) M. Enomoto: Trans. ISIJ, **28**(1988), 826-835.  
 (11) M. Enomoto: Metall. Mater. Trans. A, **37**(2006), 1703-1710.  
 (12) H.-D. Wu, G. Miyamoto, Z.-G. Ynag, C. Zhang, H. Chen and T. Furuهارa: Acta Mater., **149**(2018), 68-77.  
 (13) T. Tanaka, H. I. Aaronson and M. Enomoto: Metall. Mater. Trans. A, **26**(1995), 561-580.  
 (14) R. Wei, K. Kanno and M. Enomoto: Metall. Mater. Trans. A, **42**(2011), 2189-2198.  
 (15) G. H. Zhang, R. Wei, M. Enomoto and D. W. Suh: Metall. Mater. Trans. A, **43**(2012), 833-842.  
 (16) M. Hillert: Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations, Their Thermodynamic Basis second edition, Cambridge University Press, (2008), 311-319.  
 (17) 榎本正人: 金属の相変態, 内田老鶴圃, (1999), 129-148.  
 (18) D. E. Coates: Metall. Trans., **3**(1972), 1203-1212.  
 (19) D. E. Coates: Metall. Trans., **4**(1973), 1077-1086.  
 (20) M. Goune, F. Danoix, J. Ågren, Y. Brechet, C. R. Hutchinson, M. Militzer, G. Purdy, S. van der Zwaag and H. Zurob: Mater. Sci. Eng. R, **92**(2015), 1-38.  
 (21) K. Oi, C. Lux and G. R. Purdy: Acta Mater., **48**(2000), 2147-2155.  
 (22) Z.-Q. Liu, G. Miyamoto, Z.-G. Yang and T. Furuهارa: Acta Mater., **61**(2013), 3120-3129.  
 (23) C. Zhang, Z. Yang, M. Enomoto, H. Chen, Z. Yang and C. Zhang: ISIJ Int., **56**(2016), 678-684.  
 (24) TCFE8-TCS Steels/Fe-Alloys Database, version 8.0, Thermo-Calc Software, (2016).  
 (25) A. Hultgren: Trans. ASM, **39**(1947), 915-1005.  
 (26) J. B. Gilmour, G. R. Purdy and J. S. Kirkaldy: Metall. Trans., **3**(1972), 1455-1464.  
 (27) 榎本正人: まてりあ, **54**(2015), 12-17.  
 (28) T. Nisizawa: ISIJ Int., **40**(2000), 1269-1274.  
 (29) H. S. Zurob, C. R. Hutchinson, Y. Brechet, H. Seyedrezaei and G. R. Purdy: Acta Mater., **57**(2009), 2781-2792.  
 (30) H. Chen and S. van der Zwaag: Acta Mater., **72**(2014), 1-12.

★★  
 林 宏太郎  
 2001年 大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了  
 住友金属工業株式会社主任研究員, 新日鐵住金株式会社主任研究員  
 2014年4月- 現職  
 専門分野: 鉄鋼材料の相変態  
 ©鉄鋼材料の組織制御研究に従事。  
 ★★★



林 宏太郎



齋藤真衣

# 高精度 FE-EPMA と拡散律速型変態ソフトによる 2 相域焼鈍中の鋼中炭素の分配挙動の解析

山下 孝子\*

## 1. 緒 言

近年、自動車部材に多く用いられている高張力鋼板(ハイテン)に代表される高強度高延性鋼材は、強度と延性の両方を向上させる必要がある。それには、強度を担うマルテンサイトやベイナイトなど硬質相による鋼の生地そのものの高延性化と、残留オーステナイト相による加工誘起変態を利用した伸びの向上の両方の活用が必須である。さらに、マルテンサイトやベイナイトおよび残留オーステナイトを活用して特性向上を図る場合、それぞれの相の形成機構を解明する必要があるが、それには、これら組織と炭素の分配挙動の関係を解析することが重要である。しかしながら、現状の分析手法では、測定中における試料表面に蓄積する炭化水素の汚染(カーボンコンタミネーション、以下コンタミと称す)の影響により、鋼の組織に対応した微小領域の微量炭素の定量は不可能である。

そこで、著者らはこれらの問題を解決すべくコンタミを大幅に低減させるための特殊仕様を組み込んだ、独自の電界放出型(Field Emission: 以下 FE と略す)電子銃を搭載した電子線プローブ X 線マイクロアナリシス(EPMA): FE-EPMA を開発した。開発した装置は、従来装置では点分析でも 0.1% 程度に留まっている炭素の定量下限を、二次元分布評価の場合でも 0.01% に維持できる世界初の FE-EPMA となった。本装置: C アナライザーにより、鋼板中の組織に対応した炭素量の二次元分布(C 定量マッピング)を世界で初めて可視化することに成功した<sup>(1)</sup>。

一方、鋼の相変態は炭素と他の合金元素の拡散速度が極端に異なり、局所平衡あるいはパラ平衡で相変態が進行するケースが多いと考えられる。局所平衡の理論解析については、1970年代に精力的に研究されたが<sup>(2)-(4)</sup>、当時は 3 元系あるいは 4 元系の鉄基合金を  $\gamma$  化後、冷却して 2 相域で保持した試料を EPMA などで線分析して相分配を測定していた。これらの研究は十分に溶体化を実施した粗大な結晶粒を対象とし、しかも置換型元素の分配を観察できる Partition Local

Equilibrium (PLE) モードで変態が進行する時間まで保持したものが多く、DP 鋼をはじめとする実用鋼で用いられる短時間焼鈍における変態挙動の解析例はほとんどない。

そこで、著者らは Fe-C-Si-Mn 4 元系のモデル合金を用いて、溶体化後  $\alpha+\gamma$  2 相域で比較的短い等温保持後の組織を凍結した試料を作製した。それらを、C アナライザーを用いて元素分配挙動を測定するとともに、局所平衡を前提とした拡散律速型変態解析ソフト DICTRA<sup>(5)</sup> (Diffusion Controlled TRAnsformation) を用いて相変態挙動を解析し、特に C の分配挙動について比較した。

## 2. C アナライザーの測定精度<sup>(1)</sup>

従来、鋼中の定量分析に用いられてきた EPMA は、測定時に試料表面に蓄積する炭素汚れ、すなわちコンタミのために、炭素の定量評価が困難である。これまでは研磨など試料前処理で試料表面に残存する汚れを極力低減することや、測定室内の試料直上に液体窒素の冷却トラップを設置することで、測定中に蓄積するコンタミを低減して C を測定してきたが、従来装置では点分析でも 0.1% 程度の炭素分析しかできなかった。そこで、著者らは上記コンタミを大幅に低減させる特殊仕様を組み込んだ独自の FE-EPMA を製作することを試みた。

本装置におけるコンタミ低減・抑制技術は、(1) 試料周辺のヒドロカーボン除去: 試料室および試料準備室へのプラズマクリーナー装着、液体窒素トラップ装備、(2) 測定中の試料周辺へのヒドロカーボン蓄積抑制: 試料温度を 100°C に保持できる FE-EPMA 用加熱ステージの使用、(3) 高感度化による測定時間の大幅削減: 炭素用分光結晶を 3 台併用、の 3 点である。

まず、測定室内の試料へのプラズマ照射によるコンタミ削減は、検出器先端の有機膜にダメージを与えるため EPMA に装備した実績がなかった。そこで、プラズマによる EPMA 検出器へのダメージを避けるために検出器前に保護板を設置し、照射時に検出器先端が露出しないように改造し

\* JFE スチール(株)スチール研究所; 主任研究員(〒260-0835 千葉県中央区川崎町 1 番地)  
Analysis of Carbon Partitioning during Intercritical Annealing in a Low Carbon Steel by High Accuracy FE-EPMA and Calculation of Diffusion Controlled Transformation; Takako Yamashita (Steel Research laboratory, JFE Steel Corporation, Chiba)  
Keywords: phase transformation, local equilibrium, paraequilibrium, phase diagram, thermodynamics, high tensile steel, intercritical annealing  
2018年 5月 7日受理 [doi:10.2320/materia.57.435]

た。しかしながら、プラズマ照射だけでは電子線照射時間増加とともに、その効果はなくなりコンタミが蓄積する。そこで、2点目の技術として、EPMA では初となる加熱ステージを作製した。さらに、信号強度を増加させて短時間で分析を終了すればコンタミ蓄積前に測定を完了できると考え、炭素用の分光結晶(LDE6H)を通常1台のところを3台搭載した。開発装置のコンタミ削減技術概要を図1に示す。

開発したCアナライザーを用いて、炭素量が既知の試料を定量した値と、測定日も複数でその都度試料前処理を再調整して合計13回測定したときの再現性による定量精度(標準偏差)および検量線を図2に示す。図より、Cアナライザーの炭素定量は、C = 0.001から0.68 mass%の範囲で0.003 mass%以下の定量精度であることが明らかになった。

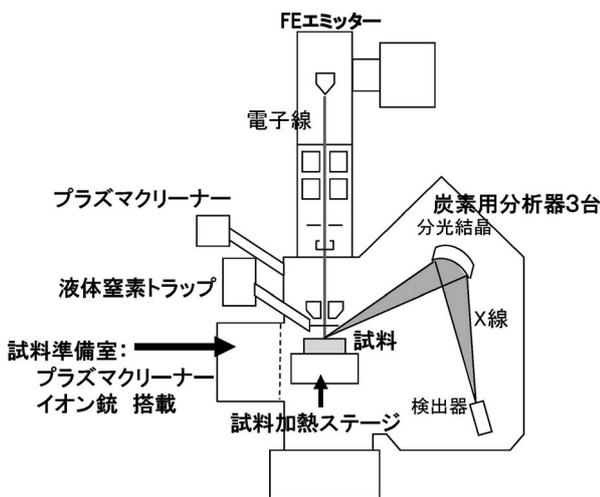


図1 Cアナライザーに搭載したコンタミ削減技術。

### 3. DICTRA 計算結果と C アナライザー分析値との比較

#### (1) 実験

用いた供試材は実験室で真空溶解した後熱延、冷延した Fe-0.15C-2.0Si-1.5Mn (mass%) または Fe-0.20C-2.0Si-1.5Mn (mass%) のモデル鋼で、熱処理条件を図3に示す。950°Cで $\gamma$ 単相にした後、二相域の750°Cまたは800°Cで15~1800 s 保持後水冷した試料のL断面を鏡面研磨し、CアナライザーにてCの定量ライン分析を実施した。Cアナライザー測定条件は加速電圧7kV、照射電流 $5 \times 10^{-8}$  Aで統一し、ビーム径最小(Focused)とした。これらの条件で、Cの定量ライン分析またはマッピング分析を実施した。なお、CアナライザーによるCの定量方法は、Fe-C合金標準試料を用いた検量線法を用いた。

#### (2) DICTRA 計算方法

本研究における拡散シミュレーションにはDICTRAを用いた。DICTRAは局所平衡を前提として拡散方程式を解くソフトウェアであるが、拡散を伴う界面の移動や均質化などの諸現象を広く計算できるように複数のモデルが用意されている<sup>(6)</sup>。

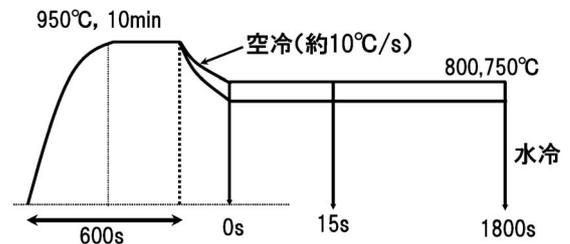


図3 Fe-C-Si-Mnモデル鋼の2相域焼鈍熱処理条件。

化学分析値 (mass%)	Cアナライザー (mass%)	
	定量値	標準偏差
0.000	0.002	0.003
0.089	0.089	0.002
0.188	0.179	0.001
0.281	0.283	0.003
0.460	0.472	0.003
0.680	0.674	0.003

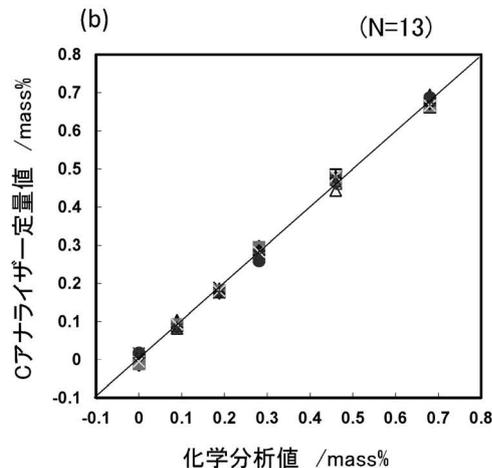


図2 鋼認証試料中炭素量の(a)Cアナライザー定量値標準偏差および(b)検量線。

用いた熱力学データベースは TCFE7, 拡散データベースは MOB2 で, これらの試料の初期組織の結晶粒径が比較的粗大であることからセルの形状は矩形として, 時間経過とともに  $\gamma$  相セルの左側から  $\alpha$  相が成長するように設定した. さらに, 計算を核生成を取り扱わない拡散現象に限定するために, セルの左側にあらかじめ非常に薄い ( $1 \times 10^{-9}$  m 幅)  $\alpha$  相を設定した. セル全体の長さは  $\gamma$  相平均粒径の1/2の  $10 \mu\text{m}$  とし,  $750^\circ\text{C}$  および  $800^\circ\text{C}$  での等温変態を  $1800$  s まで計算した.

### (3) 計算結果と実験結果の比較

DICTRA の計算結果の一例として, Fe-0.15% C-2.0% Si-1.5% Mn モデル鋼の  $750^\circ\text{C}$  と  $800^\circ\text{C}$  焼鈍時における  $\alpha$  相率時間変化を図 4(a), (c) に示す. また,  $0, 15, 1800$  s 後の C のプロファイル計算結果を図 4(b), (d) に示す.

これらの計算結果で  $\gamma$  相中の炭素量が一定となる  $1800$  s 保持した複数の試料を用いて, C アナライザーによる相中心部の炭素濃度と DICTRA の計算結果を比較した. 結果を図 5 に示す. 結果より, DICTRA の計算結果は定量精度の高い C アナライザーの測定結果とよく一致することがわかった. 比較のために, 液体窒素冷却トラップと炭素分析用分光器 1 台を使用した従来 FE-EPMA の測定結果も合わせて載せているが, 従来の FE-EPMA では炭素分析値のばらつきが非常に大きいことが明らかになった. それに対して C アナライザーは, 1 点の測定点に 2-3 試料のデータが重なっており, 再現性よく同じ定量結果を示すことがわかる.

以上より, 拡散律速変態を前提とした DICTRA の計算は, 変態初期における NPLe 領域の炭素分配挙動も推定で

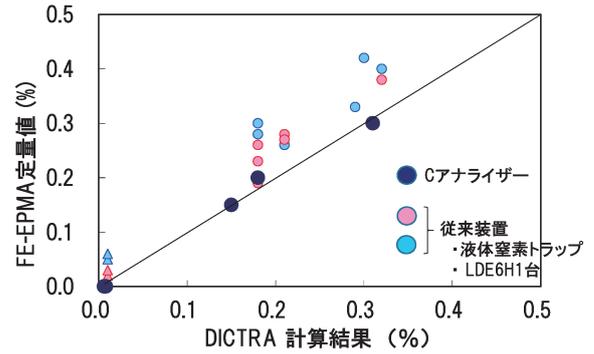


図 5 Fe-0.15C-2Si-1.5Mn (mass%) モデル鋼の  $750^\circ\text{C}$  および  $800^\circ\text{C}$   $1800$  s 保持後の DICTRA 計算結果と FE-EPMA による C 定量値との比較.

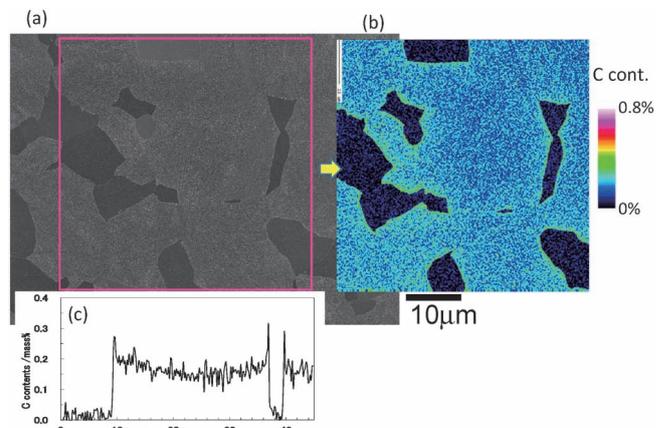


図 6 Fe-0.15C-2Si-1.5Mn (mass%) モデル鋼  $750^\circ\text{C}$ ,  $15$  s 保持後試料の (a) 組織と (b) C アナライザーによる C 定量マッピングおよび (c) 中心部のライン分析結果.

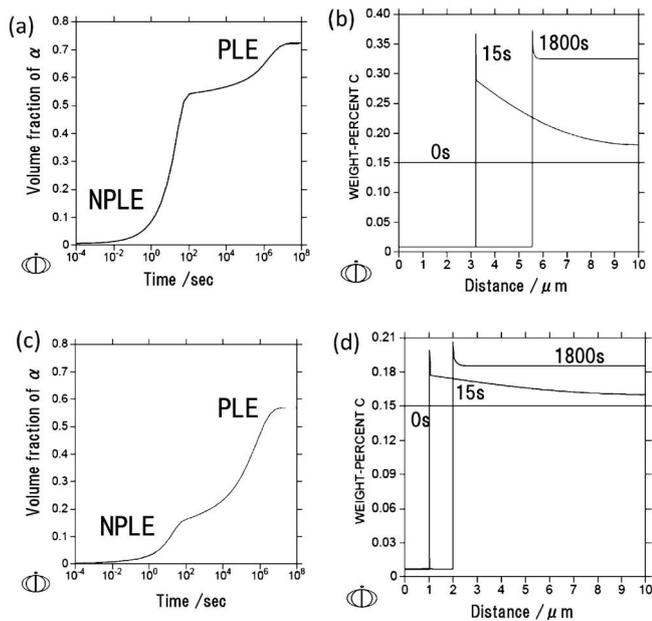


図 4 Fe-0.15C-2Si-1.5Mn (mass%) モデル鋼  $750^\circ\text{C}$  保持時の (a)  $\alpha$  相率, (b) C プロファイル,  $800^\circ\text{C}$  保持時の (c)  $\alpha$  相率, (d) C プロファイル DICTRA 計算結果.

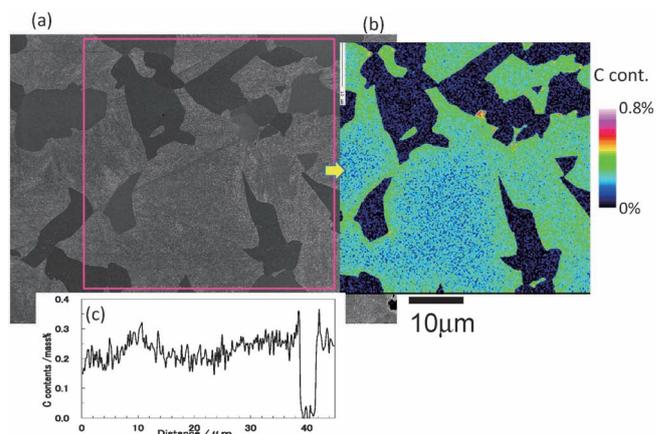


図 7 Fe-0.20C-2Si-1.5Mn (mass%) モデル鋼の  $750^\circ\text{C}$ ,  $15$  s 保持後試料の (a) 組織と (b) C アナライザーによる C 定量マッピングおよび (c) 中心部のライン分析結果.

きることが確認された。

#### 4. Cアナライザーによる2相域焼鈍試料の炭素の定量マッピング測定

次に, Fe-0.15%C-2.0%Si-1.5%Mn モデル鋼の750°C, 15 s 保持後の試料の, Cアナライザー測定結果とFE-SEM 観察結果を図6に示す。γ(冷却時にマルテンサイトに変態している)相中心のC濃度はバルク濃度の0.15%であるが, 界面にはスパイク状にCが濃化しその形状は界面によって異なることがわかる。すなわち, 測定場所や界面によっても, その濃化割合や変態の進行速度が異なることがデータによって示され, 面分析の重要性が示唆された。

また, 炭素量が異なる Fe-0.20%C-2.0%Si-1.5%Mn モデル鋼の750°C, 15 s 保持後の試料の同様の測定結果を図7に示すが, 図6との比較により炭素量のわずかな違いが正確にとらえられており, 粒径の小さいところではマルテンサイト相中心部の炭素濃度も上昇していることが明確である。

#### 5. 結 言

測定時のコンタミを抑制することで0.01%以下の測定精度で微小領域の炭素分析を可能にしたFE-EPMAを開発し, NPLe領域のγ→α相変態における炭素分配挙動をDICTRAの計算結果と比較した。その結果, DICTRAの炭素分配計

算結果は, モデル鋼を用いた実測値をよく再現することがわかった。従って, α/γ界面の限られた領域であれば, DICTRAを用いて鋼の相変態挙動を予測可能である。

本研究は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託事業「革新的新構造材料等研究開発」の一環による成果である。

#### 文 献

- (1) T. Yamashita, Y. Tanaka, M. Nagoshi and K. Ishida: Scientific Reports, **6**(2016), Srep29825, published 19 July.
- (2) J. B. Gilmour, G. R. Purdy and J. S. Kirkaldy: Metall. Trans., **3** (1972), 3213-3222.
- (3) H. I. Aaronson and H. A. Domian: Trans. Metall. Soc. AIME, **236**(1966), 781-796.
- (4) H. Guo, G. R. Purdy, M. Enomoto and H. I. Aaronson: Metall. Mater. Trans. A, **37**(2006), 1721-1729.
- (5) J. Ågren: J. Phys. Chem. Solids, **43**(1982), 385-391.
- (6) M. Suehiro and J. Ågren: Materia Japan, **38**(1999), 629-632.



山下孝子

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1981年 日本女子大学を卒業, 旧川崎製鐵入社表面分析に従事  
 1993年より 熱力学平衡計算を用いた組織解析に従事  
 2000年 早稲田大学理工学部にて学位取得  
 2003年4月 JFE スチール株式会社 現職  
 専門分野: 計算状態図, 熱力学平衡計算, 組織形成  
 ©計算状態図および計算材料科学の鉄鋼材料開発への適用. 主として鉄鋼の組織形成過程を計算および物理解析手法を連携して解析.  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 熱力学計算を利用した真空浸炭材の 炭素濃度分布予測および合金設計

石倉 亮 平\*

## 1. はじめに

浸炭焼入れは代表的な鋼の表面処理方法として、自動車用の歯車やシャフト等、高い疲労強度・耐摩耗性が必要とされる動力伝達部品に幅広く適用されている。近年、環境対策、コスト削減、高性能化等を目的として、従来の変成ガスを用い、ブロードア平衡反応を利用して鋼中に炭素を侵入させる、いわゆるガス浸炭法に代わり、500~2000 Pa程度の炭化水素ガスを炭素の供給源とする真空浸炭法の実用化が加速している。真空浸炭の長所として、操業中のCO<sub>2</sub>排出量が少ない、浸炭時間が短くランニングコストが安い、粒界酸化がなく高強度な品質を得ることができる等が挙げられる<sup>(1)-(4)</sup>。

一方、真空浸炭には以下2点の短所があったため、真空浸炭普及への障壁となっていた。1点目として、これまで真空浸炭の浸炭機構が不明<sup>(5)-(7)</sup>であったことから、真空浸炭の条件は経験や勘に基づいて行われることが多く、鋼材成分や部品形状が変化した場合にはあらためて条件を見直す必要があった。2点目として、実部品において真空浸炭では表面炭素濃度が形状の影響を受け、歯車の歯端などのエッジ部の表面炭素濃度は平面部と比べて高くなることが知られており<sup>(8)</sup>、過度な残留オーステナイトの生成、粒界への網目状炭化物の析出(以後、エッジ部の過剰浸炭の生成と称す)により疲労強度が低下するという問題があった。

これらの真空浸炭の本格的な普及への課題を解決するためには、真空浸炭中の鋼材表面の状態と炭素濃度侵入の機構およびエッジ部の過剰浸炭生成機構の解明が必要不可欠である。

本稿では、当社において解明した真空浸炭機構の概要について説明するとともに、真空浸炭の機構と熱力学計算に基づいて構築した真空浸炭材の炭素濃度分布予測技術ならびに真空浸炭材の合金設計について解説する。

## 2. 真空浸炭中の炭素侵入機構

真空浸炭では、炭化水素ガス雰囲気中に保持し炭素を侵入させる浸炭期と、真空にして炭素を鋼材内部へ拡散させる拡散期に分かれる。そのため、真空浸炭中の炭素侵入機構を理解するためには、①浸炭中の鋼材表面の反応と②炭素の鋼材内部の拡散について、処理温度や鋼材成分・組織の影響を考慮して検討する必要がある。本章では、真空浸炭中の炭素侵入機構をはじめ、熱力学計算を活用して確立した炭素濃度分布の予測に関する研究成果について述べる。

### (1) 浸炭期の表面炭素濃度と炭化物量

まず、上述の①浸炭中の鋼材表面の反応について述べる。前章にも述べたとおり、真空浸炭後の鋼材の表面炭素濃度や析出炭化物については種々の説<sup>(5)-(7)</sup>があり、処理温度や鋼材成分の影響も不明であったため、真空浸炭中の鋼材の表面炭素濃度を予測することが困難であった。しかし、当社の研究<sup>(9)(10)</sup>により、Si, Crを変化させた鋼種で浸炭層表面を模擬するために用いた厚さ0.1 mmの薄板による実験と熱力学計算の結果から真空浸炭の浸炭期における表面の炭素濃度と炭化物量を決定する機構を以下のとおり解明している。

図1に熱力学計算ソフト Thermo-Calc を用い、データベースとして SGTE Solution Database ver.2 を用いて計算した各成分の Fe-C 系状態図(図中の●は各温度での黒鉛が析出する炭素濃度の計算値を、△は浸炭を行った薄板の実測値を表す)を、図2に厚さ0.1 mmの薄板への真空浸炭処理材および黒鉛を密着させた状態での真空熱処理材の組織観察(写真右下の数字は炭化物面積率の実測値)を示す。図1, 2のとおり、黒鉛との平衡を仮定した熱力学計算による表面炭素濃度の値と実測値はほぼ一致しており、真空浸炭材の組織と黒鉛と接触させた状態での真空熱処理材の組織も一致している。このことから、鋼材表面は浸炭ガス(炭化水素)の分解により生成した黒鉛との局所平衡が成立していると結論づけ

\* 大同特殊鋼株式会社 技術開発研究所 構造材料第一研究室; 室長(〒457-8545 名古屋市南区大同町 2-30)  
Prediction of Carbon Profiles and Alloy Design in Vacuum Carburizing Steels Based on Thermodynamic Calculation; Ryohei Ishikura (Automotive Steel Research Sect. No.1, Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd., Nagoya)  
Keywords: low alloy steels, case hardening steels, vacuum-carburizing, carburizing mechanism, prediction of carbon profiles, edge over carburizing, fatigue strength  
2018年5月7日受理[doi:10.2320/materia.57.439]

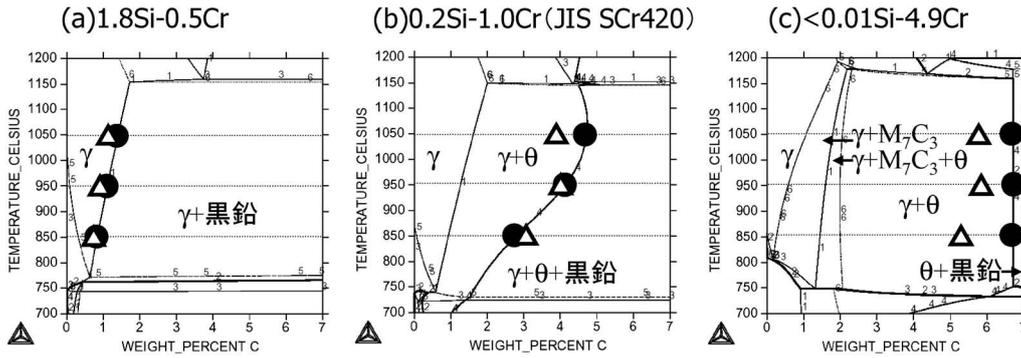


図1 Fe-C系状態図による表面炭素濃度の計算値と実測値.

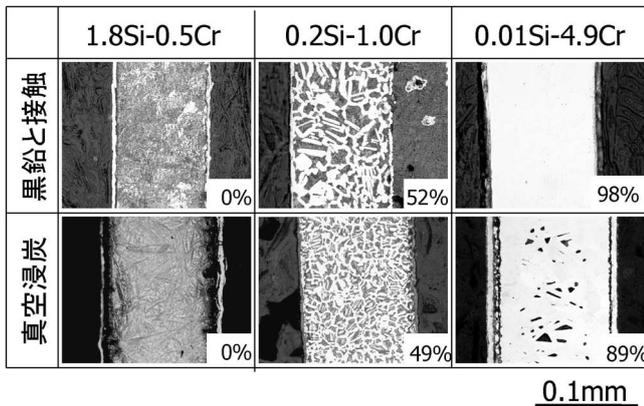


図2 各鋼種の黒鉛に接触させた状態の真空熱処理材と真空浸炭材の組織比較.

られる。また、鋼材成分によって表面の炭化物量は0～約100%まで変化することから、表面炭素濃度や炭化物量は鋼材成分の影響を受けることを意味し、炭化物生成元素であるCr、Moの添加とともに上昇し、炭化物生成阻害元素であるSi、Niの添加とともに減少する。

これらの成果により、浸炭期の鋼材表面が黒鉛と平衡する状態にあるものとするので、表面炭素濃度や炭化物量は鋼材成分と浸炭温度から熱力学的に求めることが可能となった。

## (2) 炭素濃度分布の予測

次に、上述の②炭素の鋼材内部の拡散について述べる。2・(1)節で紹介した知見を応用し、浸炭・拡散後の炭素濃度分布に与える浸炭条件および鋼材成分の影響について検討することで、炭素濃度分布を予測するシミュレーションを確立している<sup>(9)(11)</sup>。

炭素濃度分布に及ぼす鋼材成分の影響は、浸炭期の鋼材表面の炭化物生成量を変化させ、拡散期の炭化物の溶解に伴う炭素供給量を変化させることによるものである。つまり、浸炭期に生成した炭化物は拡散後の炭素濃度分布に影響を与えることを意味する。このことから、炭素濃度分布は、浸炭期の表面が黒鉛と平衡する状態にあるものとし、炭化物の存在を考慮して拡散方程式を解くことで精度よく予測できることを明らかにした(図3)。詳しい計算方法とその過程については参考文献(9)をお読みいただきたい。

以上のことから、鋼材成分、浸炭条件(処理温度、浸炭時間、拡散時間)および次章で解説する部品形状の情報があれば、平面ならびにエッジ部の炭素濃度分布を精度よく予測可能であり、この予測シミュレーション手法を用いることで客先の要求に対して鋼材成分や処理条件の設計提案が容易になった。

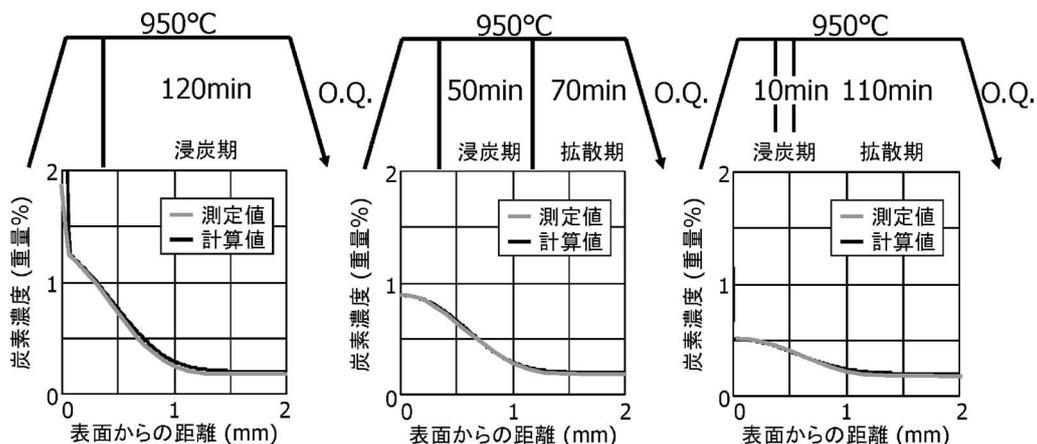


図3 複数の浸炭条件によるSCr420の炭素濃度分布の計算値と実測値の比較.

### 3. エッジ部過剰浸炭の生成機構

本章では、真空浸炭のもう一つの短所であるエッジ部の過剰浸炭に関して述べる。第2章で紹介した真空浸炭における平面に対する炭素濃度分布予測手法を応用し、エッジを有する試験片を用いた実験結果と比較することで真空浸炭時のエッジ部過剰浸炭の原因を解明している<sup>(12)</sup>。

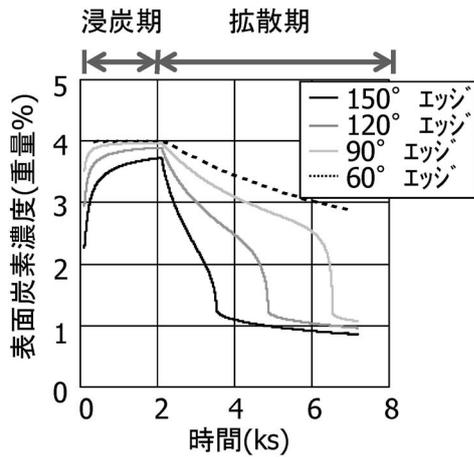


図4 エッジ部表面炭素濃度の時間変化予測。

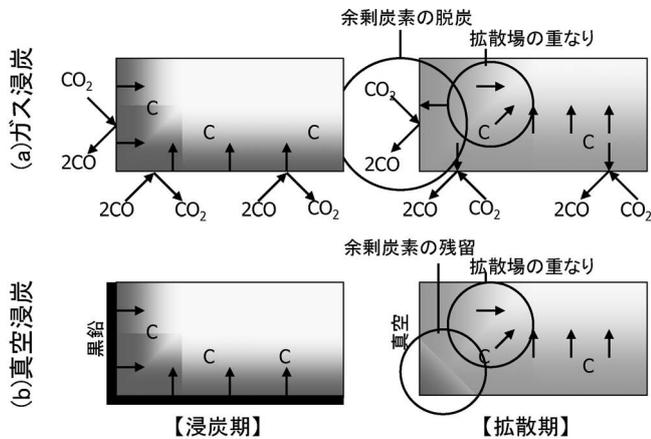


図5 エッジ部の過剰浸炭生成機構の概略図。

図4にシミュレーションを用いて求めた真空浸炭材のエッジ先端の炭素濃度の時間変化を示す。浸炭期の表面炭素濃度は形状が平面での機構と同様に黒鉛と平衡する値となり、エッジ角に対する依存性は小さい。しかし、拡散期にはエッジ角度が鋭くなるに従い炭素濃度の低下が遅く、拡散期終了時の炭素濃度が高くなっているのが分かる。このエッジ部過剰浸炭は、図5の概略図に示されるように、真空浸炭に必須な拡散期においてエッジ部では両辺からの炭素拡散場の重なりが発生し、表面炭素濃度の低下が平面部よりも遅くなっているため起こっている。一方、ガス浸炭では表面炭素濃度が雰囲気との平衡から決定されるために起こらない。

### 4. 真空浸炭材の合金設計

真空浸炭時のエッジ部の過剰浸炭を克服するための対策として、浸炭条件を最適化(例えば平面部の表面炭素濃度を低下させる方向に変更)が挙げられる<sup>(13)</sup>が、歯車の平面部である歯面部においては強度低下が懸念されるため、本方策には限界がある。本章では、エッジ部過剰浸炭とその疲労強度に及ぼす合金元素の影響に関する研究事例<sup>(14)</sup>をはじめ、エッジ部の過剰浸炭を克服する合金設計について紹介する。

図6にSi-Cr変化させた3鋼種のFe-C系状態図を、図7にエッジ部の炭素濃度分布計算結果を、図8には代表としてエッジ角度60°を有する試験片の組織観察結果を示す。ちなみに、浸炭処理は平面部の表面炭素濃度が0.75%となるように鋼材成分に応じて条件を変化させている。JIS-SCr420相当材である低Si-高Cr鋼では、エッジ角度が鋭くなるに従い表面炭素濃度が高くなり、鋭角部では炭素の過剰導入により炭化物が生成している。一方、高Si-低Cr鋼では、表面炭素濃度のエッジ角度依存性が小さく、鋭角部においても炭化物が生成しないことが分かる。図9に示すように、SCr420の場合、エッジ角度の鋭角化に伴い、炭素の過剰導入により生成した炭化物量が多くなるため強度低下を招く。したがって、エッジ部においても高強度を得るためには、エッジ部の炭化物生成量を減少させること、すなわち、Fe-C系状態図上で浸炭期の導入される炭素量が少ない、高Si-低Cr系の合金設計が有効である。

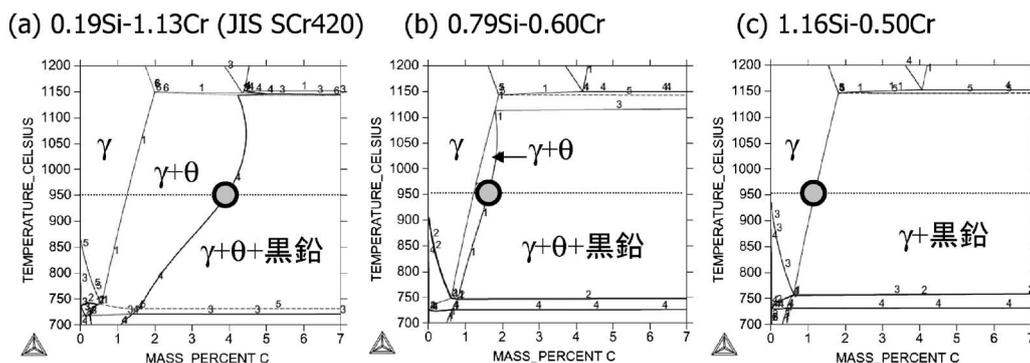


図6 各鋼種のFe-C系計算状態図。

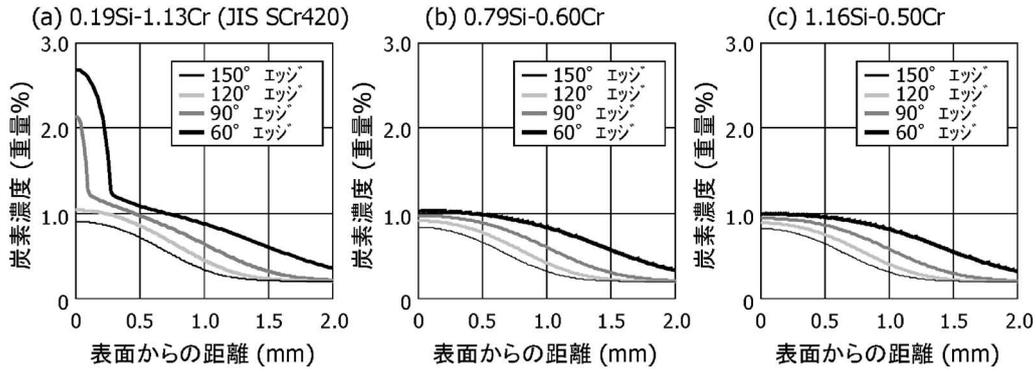


図7 各鋼種のエッジ部の炭素濃度分布予測。

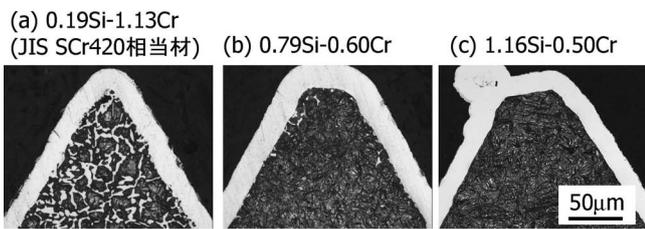


図8 エッジ角度60°の組織比較。

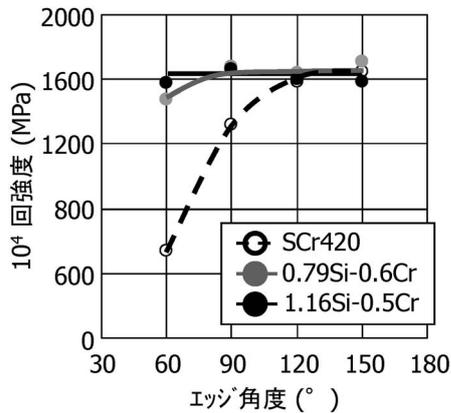


図9 疲労強度とエッジ部角度の関係。

## 5. おわりに

真空浸炭の基礎として、真空浸炭中の炭素侵入機構ならびにエッジ過剰浸炭生成機構の概要をはじめ、熱力学計算を利用した炭素濃度分布予測技術と真空浸炭材の合金設計について解説した。これらの研究成果により、真空浸炭シミュレーションの実用化(浸炭くん)<sup>(11)</sup>ならびにエッジ過剰浸炭抑制鋼の開発(DEGシリーズ)<sup>(15)</sup>をはじめ、高濃度浸炭やマイルド浸炭<sup>(16)</sup>、真空浸炭窒化などの応用開発も盛んに行われ、真空浸炭を活用した技術開発が活発化してきている。

また、近年、高温浸炭が容易な浸炭炉をはじめ、超小バッチ

生産、在庫低減、インライン化などのさらなる生産性の向上を志向したスリムバッチ真空浸炭炉<sup>(17)</sup>の実用化が加速しており、熱処理設備の革新も同時に進んでいる。

これらを背景に、今後、真空浸炭の普及はますます拡大するものと予想される。そのため、材料技術、生産技術、熱処理設備技術の連携はもちろんのこと、今回紹介したような熱力学計算を活用した鋼材設計や組織予測は、材料開発の効率化の観点からも大変重要になると考えられる。そして、真空浸炭を活用した革新的な技術・商品が産み出されていくことを大いに期待する。

## 文献

- (1) 杉山道生：熱処理，37(1997)，154.
- (2) 町 哲司：熱処理，45(2005)，80.
- (3) 下里吉計：工業加熱，39(2002)，21.
- (4) 門野 徹：工業加熱，39(2002)，29.
- (5) 奥宮正洋，新美 格，恒川芳樹，門谷政幸：第31回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集，(1990)，29.
- (6) 井上洋介，井上吉弘：第58回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集，(2004)，1.
- (7) 河田一喜：熱処理，44(2004)，289.
- (8) K. D. Jones and G. Krauss: Heat Treat., 79(1980)，188.
- (9) 森田敏之，羽生田智紀：鉄と鋼，92(2006)，268-273.
- (10) 森田敏之，井上幸一郎，羽生田智紀：電気製鋼，77(2006)，5-9.
- (11) 電気製鋼，79(2008)，91-93.
- (12) 森田敏之，松村康志，梅本 実：電気製鋼，79(2008)，15-23.
- (13) 森田敏之，梅本 実：鉄と鋼，96(2010)，400-405.
- (14) 森田敏之，松村康志：電気製鋼，81(2010)，109-116.
- (15) 電気製鋼，79(2008)，83-85.
- (16) 笠井大介，大林巧治，岡田一晃：熱処理，57(2017)，116-119.
- (17) 電気製鋼，84(2013)，61-66.



石倉亮平

★★  
 2005年 福井大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了  
 2005年4月- 大同特殊鋼株式会社入社  
 2017年4月- 現職  
 専門分野：材料強度，表面処理技術  
 ◎自動車構造用鋼の開発と応用に従事。トランスミッション部品用の鋼材・熱処理・表面処理技術開発を中心に活動。  
 ★★★

# 拡散接合 その1

## —拡散接合の現状と拡散接合の実用例—

大橋 修\*

### 1.1 拡散接合とは

#### 1.1.1 拡散接合の位置付け・定義

現在の溶接・接合法は、母材を熔融するか否かで分類され、融接法、ろう接法、固相接合法に大別される。融接法とは、アーク、電子ビームなどの熱源で、溶接棒(使用しない時もある)を溶かすと同時に母材(接合される材料)も多く溶かす。しかし、ろう接では母材をほとんど熔融しない。ろうの濡れによって母材になじませて接合する方法で、母材はほとんど溶かされない。

固相接合法は母材の融点以下の温度で行う接合であり、固相接合法には、拡散接合の他、摩擦圧接、鍛接、熱間圧接、常温圧接(冷間圧接)、爆発圧接、ガス圧接などがある。これらの接合法は、下記のようにJISで定義されている<sup>(1)</sup>。

摩擦圧接：母材を接触させ、加圧しながら接触面を相対運動によって摩擦熱を発生させ、アプセット圧力を加えて行う圧接。

鍛接：加熱した母材を打撃または加圧して行う高温圧接。

熱間圧接：母材の接合部の加熱治具による圧接。

常温圧接：外部から熱または電流を加えることなく、母材を室温で圧縮して、局部的に塑性変形を加えて行う圧接法。

爆発圧接：火薬の爆発による衝撃圧力を利用して行う接合。

ガス圧接：ガス炎で接合部を加熱した後、さらに溶加材なしで加圧して行う圧接法。

拡散接合は、図1.1(a)に示すように、接合面が酸化されないように制御された雰囲気中で接合材料を積層する。引き続き、この積層体を加熱・加圧し、原子の拡散を利用して接合する方法である。JISの定義<sup>(1)</sup>では、「母材を密着させ、母材の融点以下の温度条件で、塑性変形をできるだけ生じない

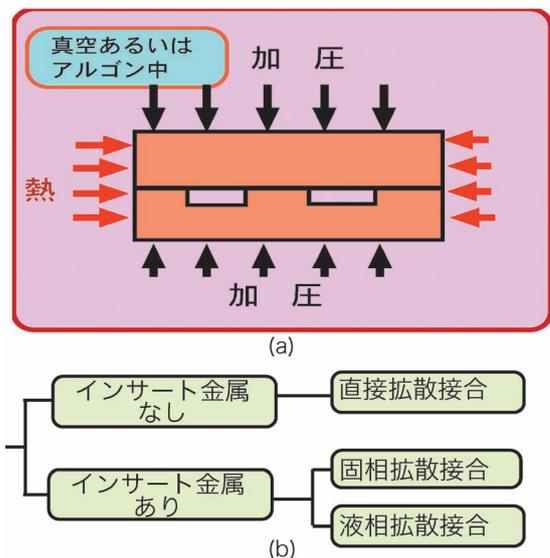


図1.1 (a)：拡散接合法と(b)：拡散接合の分類。(オンラインカラー)

ように加圧して、接合面間に生じる原子の拡散を利用して接合する方法」とある。

溶接・接合法の名称のほとんどは、「加熱・加圧する手段」に由来する。一方、拡散接合の名称は、接合部の完全化(表面皮膜の除去、接合面の密着)のため、金属原子の拡散を利用する「接合機構」に由来し、名称の観点が他の溶接・接合法と異なる。

拡散接合(diffusion welding)の用語は、原子力関係部品の接合時、部品の形状変化を少なくする目的での論文<sup>(2)</sup>で、1958年に初めて使用された。それ以前は、国内では「鍛接」、「圧接」、「固相接合」、欧米では「solid phase

\* WELLBOND ; 代表(東京理科大学・客員教授)  
 Diffusion Welding —Trend and Application of Diffusion Welding—; Osamu Ohashi (WELLBOND (Visiting Professor, Tokyo University of Science), Tsukubamirai)  
 Keywords: diffusion welding, diffusion bonding, solid phase welding, trend of diffusion welding, application of diffusion welding  
 2018年7月2日[doi:10.2320/materia.57.443]

welding」<sup>(3)</sup>が使用されていた。これ以降、接合体を少ない変形で接合することに着目した研究は、拡散接合と呼ばれる。なお、「diffusion welding」を「拡散溶接」と翻訳した事から、1980年代の一時期「拡散溶接」と呼ばれた時期がある。

### 1・1・2 拡散接合の分類・特徴

拡散接合は、図1.1(b)のように分類される。拡散接合では、接合促進の目的で接合面間に第3金属を挟んで接合する場合がある。この挟む金属を「インサート金属」と呼ぶ。インサート金属が固相状態で接合する場合と、インサート金属が溶融して母材をほとんど溶融することなく接合する場合がある。前者を「固相拡散接合」、後者を「液相拡散接合」、あるいは「TLP接合」<sup>(4)</sup>(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding)と呼ぶ。

拡散接合の特徴は、接合過程での形状変化が少ないことから、成形した部材を積層接合することで、複雑・中空部品を製造できることにある。

- ・接合による変形が少ない。形状変化が少ないことが特徴。
- ・面接合ができることから、微細な中空構造の部品の積層接合が可能。

### 1・1・3 本入門講座での執筆内容

本入門講座は全4回で、拡散接合の現状、実用例と装置、接合過程、接合の改善策、接合部の評価等について概説する。

- ・第1回目 拡散接合 — 拡散接合の現状と拡散接合の実用例 —
- ・第2回目 拡散接合 — 金属を接合するには、接合装置、接合面積の増加過程、接合面の皮膜の挙動 —
- ・第3回目 拡散接合 — 清浄化・密着化からの改善策、異種金属の接合、液相拡散接合 —
- ・第4回目 拡散接合 — 接合部の金属学的・機械的評価、気密性、接合部の非破壊評価 —

## 1・2 最近の拡散接合研究動向

### 1・2・1 拡散接合研究論文・特許の推移

Scopus(スコーパス)<sup>(5)</sup>は、エルゼビアが提供する世界最大級の研究論文の文献データベースである。検索サイトScopusを利用して、キーワード「diffusion welding」で、2017年8月検索した。その結果を、図1.2に論文の発表年数の発表年推移を示す。論文発表は、1965年から始まり、年とともに増加している。日本からの発表件数は、1980年代の新素材ブーム時にピークを迎え、それ以後減少。最近是中国からの発表の増加が著しい。これまでの発表年数の国別順位は、中国、日本、ロシア、ドイツ、ウクライナ、トルコ、アメリカとなっている。最近、日本からの拡散接合の論文数は減少し、2~3件/年である。

特許情報の分析に基づく技術動向調査は、企業や大学等に

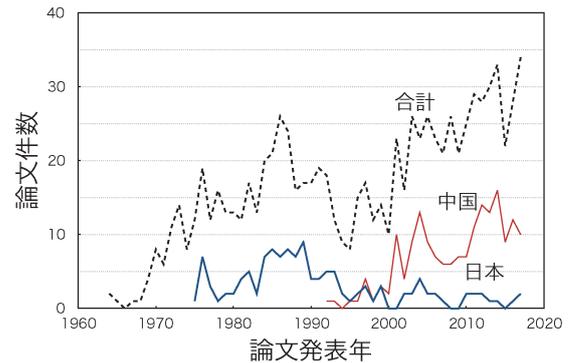


図1.2 論文件数の発表年推移。(オンラインカラー)

における研究開発テーマや技術開発の方向性を知る上で極めて有効である。

経済産業省・特許庁は、毎年技術特許調査報告書を公表している。接合技術に関しては、平成25年度・特許出願技術動向調査報告書(概要)(構造材料接合技術)<sup>(6)</sup>がある。本報告は、2001年から2011年まで、主要国で出願された「構造材料の接合技術」の調査結果である。他の溶接法と比較して、拡散接合の出願件数は少ない。拡散接合の出願数の多い企業から、新日鉄住金(37件)、ユナイテッド・テクノロジーズ(米、24件)、日産自動車(21件)、ボーイング(米、21件)となっている。

### 1・2・2 国立研究機関・大学の研究予算の推移

国立研究機関・大学等の研究予算での、各種溶接法の研究の推移について、科学研究費助成事業データベース(KAKEN)<sup>(7)</sup>から整理した結果を示す。本データベースは、文部科学省および日本学術振興会が交付する科学研究費助成事業に関するものである。

溶接法別の実施課題数の発表年推移を図1.3に示す。図は「溶接法の名称の記載のある研究課題数」で整理している。1980年代の新素材ブーム時、拡散接合の研究が活発であったが、2000年以降研究はない。拡散接合に続き、レーザー溶接、接合の低温度化が可能となる摩擦攪拌接合、常温接合、超音波接合等の接合法の研究へ推移している。現時点では「拡散接合」は新しい技術ではなくなり、研究予算を取りにくい接合技術となっている。

## 1・3 拡散接合適用の動向

### 1・3・1 古代の匠に見る拡散接合

#### (1) 水銀を利用した液相拡散接合

藤ノ木古墳(6世紀第4四半期)から出土した勾玉の製作に液相拡散接合が適用されている。図1.4にその接合法を示す。水銀と金合金を混合して金アマルガムを作製。勾玉形状に銅板を成形し、隙間(接合部)と表面に、金アマルガムを塗布して加熱。水銀が蒸発して金メッキと同時に接合<sup>(8)</sup>も成し遂げている。また、見尾山第1号古墳(広島県、古墳時代後

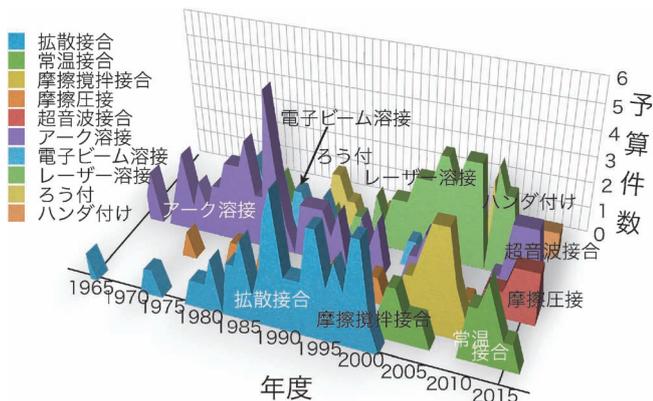


図1.3 各種溶接法の研究予算の推移。(オンラインカラー)

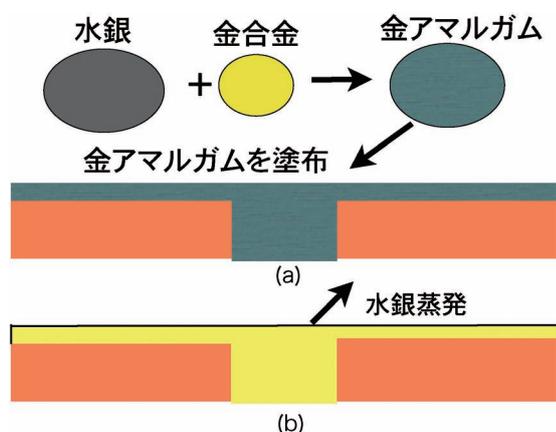


図1.4 接合部に、(a)：金アマルガムを塗布後、(b)：加熱して水銀を拡散させての液相拡散接合。(オンラインカラー)

期)から出土した銀製の耳環には、接合部と考えられる箇所から水銀が検出された。接合部での水銀の存在は、銀アマルガムを用いた接合の可能性を示唆している<sup>(9)</sup>。

接合面間の合金から水銀を飛散・拡散させて接合する手法は、まさに現代の液相拡散接合である。

### (2) 截金での金箔の焼き合わせ接合

截金<sup>(10)</sup>とは、金箔5～6枚の積層接合箔を線状に裁ち切り、線状の接合金箔で文様を描く装飾技法である。飛鳥時代から仏像彫刻等を美しく飾るために使用され、現在は茶道具や工芸品にも応用される伝統工芸の一つである。京都迎賓館(2005年開館)・藤の間の舞台扉にも施されている。

鎌倉時代の仏像の頭部(図1.5(a))が截金(線状の接合金箔)で装飾されている。截金における金箔同士の接合は「金箔の焼き合わせ」と呼ばれる。その接合法は、図1.5(b)に示すように、灰で覆った炭火の上を積層した金箔を、息を吹きかけながらゆっくり移動させ、積層金箔を約20秒間200～300℃加熱。引き続き、図1.5(c)のように金箔を和紙に挟んで指で加圧して接合している<sup>(11)</sup>。金箔表面は有機物(アルカリ金属石鹸等)で被覆されており、金箔同士は固着しない。接合時にはこの有機物を金箔表面から取り除き、大気中で金箔同士

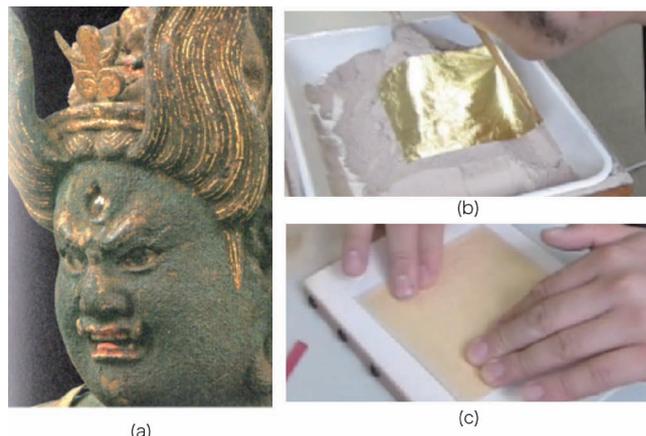


図1.5 (a)：截金で装飾された仏像の頭部、「金箔焼き合わせ」工程での、(b)：加熱と、(c)：和紙間に挟んでの加圧接合。(オンラインカラー)

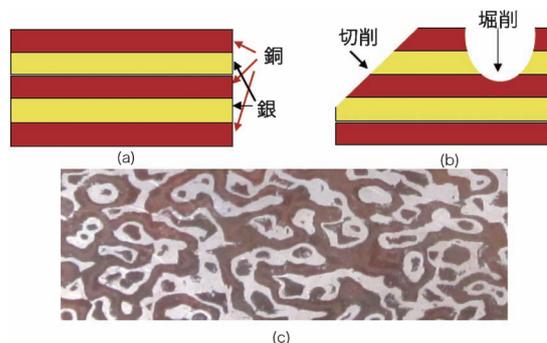


図1.6 銅と銀板の(a)：積層接合体を、(b)：切削・掘削で凹凸化後、(c)：平坦化して木目模様を形成。(オンラインカラー)

の接合がなされている。古代の巧は、金箔表面の有機物制御で、「接合の防止」と「接合」を使い分けている<sup>(11)</sup>。

### (3) 木目金での銀合金と銅合金の共晶拡散接合

木目金とは、江戸時代に刀の鐔を製作するのに使用された技法である<sup>(12)</sup>。図1.6(a)のように、色合いの異なる銀、銅積層接合体をドリルで表面層に局部的に穴をあけ、また切削して局部的に表面層を取り除く。このように加工した積層接合体を、材料が軟化する温度500～600℃程度に加熱後、加熱下で圧延あるいはハンマーで叩いて薄く平坦化。(c)のように平坦となった薄板表面には木目文様が現れる。「木目状の仕上げる技法」および「木目状に仕上がった材料」は、「木目金」、あるいは「杓目銅」、「杓目金」と呼ばれる。(a)の金属板の積層接合工程では、銀(融点：961℃)と銅(融点：1085℃)の接合界面で溶け始める(共晶温度：779℃)ことを確認して、接合している<sup>(13)</sup>。本手法は、接合面での共晶反応を利用した「共晶拡散接合」である。

### 1・3・2 約30年前の報告書に見る実用例

拡散接合の実用例については、溶接学会の界面接合研究委員会が、1989年にアンケート調査を行なっている<sup>(14)(15)</sup>。

図1.7(a)は同種金属の実用例で、F-15航空機の取り付け金具である。7枚のチタン合金板を積層接合した部品で、従来の鍛造品から削り出す方法に比べて、大幅なコストダウンに成功した。(b)は異種金属の実用例で、半円形状の銅棒とSUS316ステンレス鋼を接合した電極の実用例である。(c)は液相拡散接合の実用例で、自動車用エンジンカムシャフトの実用例である。中空シャフトと予備焼結したカム、温間鍛造したジャーナルやギヤなどを組み合わせた後、焼結と同時にパイプに接合している。カムは、Fe-Cr-Mo-Cu-P-C系焼結鋼で、焼結時にFe-P-C系の液相が発生、その際発生する収縮力も、同時に接合に寄与している。

当時の拡散接合の実用化について、各種の観点から整理した結果を図1.8に示す。材料の組み合わせの観点からは、異種金属の接合例が多い。同種金属の接合では鉄鋼同士の接

合、異種では鉄鋼と銅の接合が多い。製品の形状では、中空部品の組み立て接合であり、採用理由として高性能化、他法では制作不可能となっている。接合法としては、ほとんどが直接拡散接合で、機械的な2軸加圧法となっている。

当時、同種金属の実用例11件、異種金属の実用例19件、液相拡散接合の実用例13件が報告されている。ここで表1.1に生産実績の多い実用例を抜粋して、その製品と接合条件を示す。

これら30年前の拡散接合条件は、今も変わるはずがない。強いて言えば、接合面の加工精度の向上で、表面粗さが低下したことから、低い接合温度で接合できる。本表での接合条件は、現在でも参考になる。

最近、拡散接合業者に試作品の接合を依頼しても、接合条件の情報は得られない。また、拡散接合の実用例は、めったにお目にかかれない。

これは「ココム(COCOM)事件」に原因がある。ココムとはNATOのもとで自由主義国から共産圏への輸出統制のため設立された委員会で、日本も加盟していた。1987年東芝機械COCOM違反事件が新聞誌上を賑わしたことがある。ハイテク技術である拡散接合で作られた製品がCOCOM関連での問題化を避けるため、この事件以降、企業が拡散接合の実用例の公表を避けるようになった。ソ連が崩壊して、ココムは有名無実化した現在も、「公表せずの姿勢」は現在も続いている。

### 1・3・3 現在の拡散接合の実用例

最近、東京ビックサイト等の展示会で、拡散接合の実用例の情報を得ることができる。拡散接合の実用例の一例を、図1.9に示す。(a)は、ipod classicの外観で、その中央のホイール部の様子を示す。このホイールを用いて選曲、音量調整、早送り、巻き戻し、画像・動画閲覧などすべての操作を直感的にできる。(b)のように、このホイール(クリッププレート)は電子部品と接続されている。クリッププレートは0.7mmの薄いプレートで、表裏ハーフエッチングしたSUS304ステンレス鋼箔を3枚積層拡散接合した精密な5段構造を形成している。累計2500万個生産されたことから、これまでに最も多く生産された拡散接合品と言える。

(c)はフォトエッチングしたSUS304ステンレス鋼箔(0.1mm厚)を7枚積層した接合例である。微細な複雑形状を接合できるとともに、本形状の試料を300枚も積層して、貫通穴位置がぶれることなく積層する技術も各社確立している。側面をデジタル顕微鏡で観察すると、熱腐食された結晶粒界が明確に観察でき、外観観察では良い接合状況である。

形状的に大きな拡散接合品としては、水素ステーション向けの熱交換器(d)が組み立てられている。また、近年アルミニウム合金の中空部品の接合例(e)が増加している。使用合金は6061合金が圧倒的に多い。

拡散接合の実用例では、近年フォトエッチングした金属箔を積層接合した製品の開発が多く見られる。これは金属箔の表面粗さが、0.5 $\mu\text{m}$ (Rz)程度に低下した。鏡のような金属

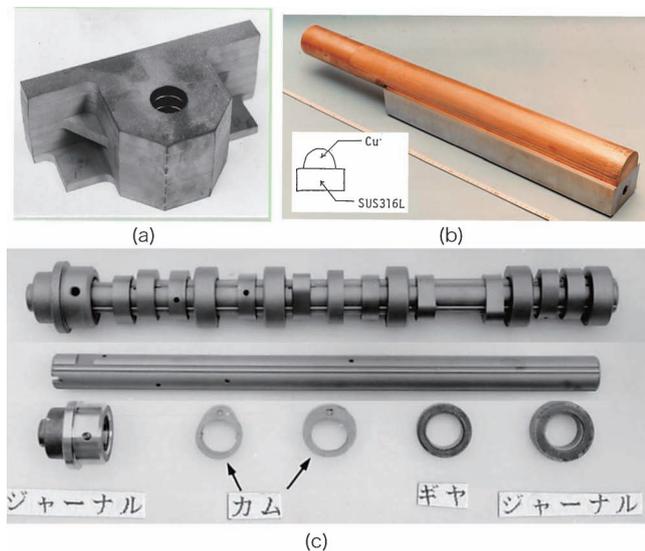


図1.7 拡散接合の実用例。(a)：F-15航空機の取り付け金具，(b)：銅とステンレス鋼を接合した電極，(c)：カムシャフト。(オンラインカラー)

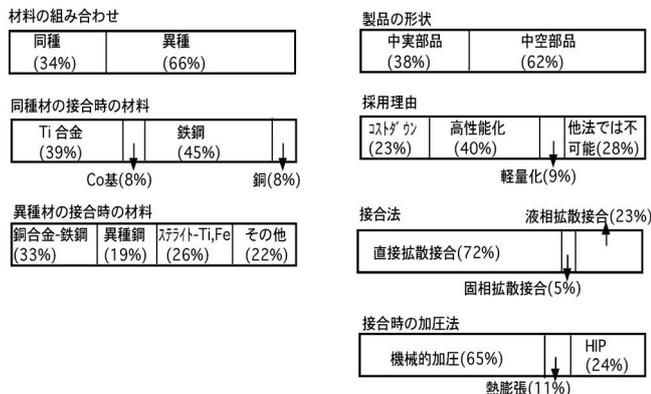


図1.8 拡散接合の実用例に見る、材料の組み合わせ、同種金属接合時の材料、異種金属接合時の材料、製品の形状、採用理由、接合法、接合時の加圧法。



# 米国大学技術移転事情

## ～Provisional Applicationを利用した

## 米国式マーケティング～

星 エリ\*

米国ニューメキシコ大学は、標高 1600 m に位置する山岳部に人口約200万人の商業都市アルバカーキ市に位置する。米国エネルギー省管轄の国立研究所(サンディア/ロスアラモス)が2つ、米国防省管轄(カートランドエアフォースリサーチラボ)の国立研究所が一つあり、合衆国からの研究開発費への投資額が全米50州のうちで一番高く、基礎研究、高度技術の集積地である。また科学者の人口密度が一番高い州としても知られている。ニューメキシコ州政府は、州の資産を十分に活かすため、経済成長戦略として、航空産業発展、映画産業誘致、科学技術による創業支援を柱に2020年までに「State of Innovation(イノベーションの州)」を目指している。

そのような科学技術研究に恵まれた環境に位置するニューメキシコ大学(以下、UNM)は、1889年に創立され、一番大きな国立総合大学で、学生数は約2万8千人、2万人以上の教職員が在籍する州内で二番目に大きな雇用主でもある。科学研究費は年間約400億円ほどと潤沢であり、サンディアやロスアラモスとの包括的協力協定を大学としても結んでおり、科学技術の共同研究と研究者と学生の交流を目的に提携を進めている。

ニューメキシコ大学で創出される新しい発明のすべては、1995年に UNM の非営利団体として創立された STC.UNM (Science and Technology Corporation. University of New Mexico, 以下 STC)に届けられ、その特許取得に向けたビジネスソリューションサービスが提供される。この STC.UNM は、独立した取締役会によって経営管理され、大学技術移転、商業化、事業化、大学発ベンチャー創出、また周辺地域イノベーションによる経済開発に貢献することを

使命としている。2012年から取り組んでいる経済開発のミッションは、大学発ベンチャー支援に注力し、新しい雇用を生み出す産業プラットフォームを創出することであり、このための地域経済活性化を活発化を目指す産学官連携プロジェクト Innovate ABQ に取り組んでいる。

### 1. STC.UNM における技術商業化プログラムについて

STC は、最高経営責任者兼経済開発局長である Lisa Kuuttila(リサ・クッチラ)氏のリーダーシップの元、14人のスタッフで構成され経済開発チームとイノベーションチームにて運営されている。

イノベーションチームは、技術移転の業務がコアミッションであり、大学教授、学生(発明家)から提出された発明申請書を元に、STC で雇っている学生インターンによる先行技術調査を行い、その中から特許取得の可能性のありそうな案件を特許弁護士に正式に申請依頼をし、同時に積極的にデータベースを活用したマーケティングを実施する。イノベーションマネージャーが一環して管理するポートフォリオは、約525件にもものぼり、積極的に起業家やベンチャーキャピタル(VC)へのプレゼンテーションを実施するとともに、ダイレクトマーケティングを展開している。興味を示した企業にはオプション契約または、ライセンス契約を実現し、場合によっては、スタートアップの機会も創出していく。

経済開発チームは、2012年から大学総長の指揮のもと、スタートアップ企業を増加し、雇用を創出することによって、大学が主導で地域イノベーションを起こし、経済を活発化するための Innovate ABQ プロジェクトを立ち上げ、アル

\* STC.UNM 国際事業マネージャー(101 Broadway Blvd., NE, Suite 1100 Albuquerque, NM 87102)

US University Technology Transfer Case Study ~Technology Marketing by Filing Provisional Application~; Eri Hoshi(International University Ventures Manager, STC.UNM(The University of New Mexico, Technology Transfer and Economic Development Office) Albuquerque, New Mexico, USA)

Keywords: *provisional application, tech transfer, tech marketing, patent, commercialization*

2018年6月29日受理[doi:10.2320/materia.57.448]

バカーキ市, ベルナリオ郡, ニューメキシコ州との産学官連携活動を促進している。

STCは、14人という少ないスタッフで、膨大な知的財産の商業化活動、産学連携活動を促進している。効率的に運営できる判断力が迅速で的確なリーダーシップを発揮している。クッチラ社長は、スタンフォード大学、パードゥー大学、ジョージア大学、アイオワ州立大学で技術移転事務所の経営に30年以上の経験を持ち、大学技術移転の世界では第一人者である。同氏のリーダーシップにより、大学教授の意識改革や、効率的で信頼できる技術移転プログラムは劇的に進化し実績を上げること成功している。

## 2. ライセンスにつなげるための技術マーケティングプログラム

科学技術移転活動において、知財のマネジメントの一元管理も大切だが、ライセンス契約につなげるための一番キーとなるマネジメントは、マーケティング活動である。STCでのマーケティング活動は、セメスターごとに、7人から10人のニューメキシコ大学の学生インターンを雇用し、そのサポートを得て推進している。STCにて購入しているマーケティング調査用のデータベース等からデータマイニングをし、積極的なディレクトマーケティングを展開するための下準備をそのインターンに手伝ってもらおうとともに、この活動が人材育成の一環としての教育的な位置づけにもなる。学生インターンの主な仕事内容は、発明家からの発明申請書を元に、技術を理解し、フロスト&サリバンやメッドトラックなどのデータベースにて市場動向の調査を行い、技術の応用の可能性を含めた技術サマリーであるNCS(Non-Confidential

Summary)を作成する。ニューメキシコ大学でのライセンス可能な技術サマリーを広告するために、イーコマースプラットフォームであるFlintbox(フリントボックス)にNCSや特許情報、論文、教授のプロフィールを掲載する。ソーシャルメディアを活用しフェースブックやツイッターなども利用する。興味を示しそうな企業リストを作成し、マーケティングキャンペーンを実施し、電話やメールでビジネスデベロップメント部門の担当者への営業も行う。この一連のマーケティング活動に加えて、テクノロジーショーケースや、エンジェル投資家向けのイベント、セミナー、カレンダー作成やフライヤー広告など、発明家と密に連絡を取り合いながら、大学技術の営業につなげる。総合的には、マスマーケティングのリスパンス率は、平均して7%ほどであるが、2016年度の実績としては56件のオプション契約もしくはライセンス契約につながり、12社のスタートアップ起業が創業された。

## 3. 知的財産戦略～仮出願を活用～

STCでの知的財産戦略は、日本の大学と違ってユニークである。特許の所有者は、大学本部ではなく、発明家より大学に一度移管され、大学からSTCに再度アサイメントされるため、STCが特許のオーナーとして商業化活動に取り組む。そのため、判断時間も申請時間もスピーディーに対応でき、ライセンス活動もフレキシブルに適応が可能で、米国の起業家へのニーズにも素早く対応できる。STCでは、インハウスの特許弁護士は常駐しておらず、全米の専門性の高い特許事務所8社と提携をしていて、申請から特許のオフィスアクション等への返答の対応を発明者と特許弁護士と、STCの知財コーディネーターとで管理運営していく。ここ

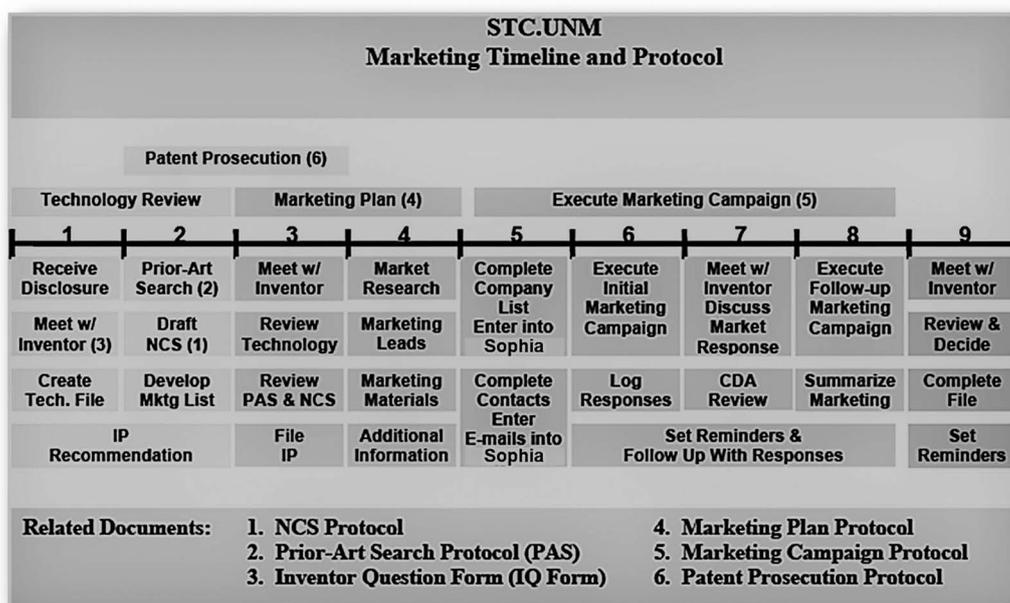


図1 マーケティングタイムラインの Protokol.



## 談話室

# 職業訓練指導員(愛称：テクノインストラクター)募集中

東海職業能力開発大学校  
生産機械システム技術科；職業能力開発教授  
北 正彦

## 1. はじめに

産業構造の変化、技術の進歩、少子高齢化が進む現在、ものづくり産業が直面している重要な課題に“人材の確保と育成”が有り、これに対し厚生労働省は、成長が見込まれる分野の人材育成と雇用のセーフティネットとして職業能力開発の強化を推進していくとしています。職業能力開発の具体的施策として“職業訓練”があり、認可を受けた学校施設においてそれらを担当するのが、“職業訓練指導員”の国家資格を有する職業訓練指導員です。しかしながら、職業訓練指導員全体で大きく人員が不足している状況から、現在、学卒者と民間企業経験者の両面で、安定確保に向けた採用の取り組みがなされています。

本稿では、職業訓練指導員に興味を持っていただけるよう、免許制度、採用方法、業務、やり甲斐等について紹介します。

## 2. 職業訓練指導員の資格制度と仕事内容<sup>(1)</sup>

職業訓練指導員免許(以後、指導員免許)とは、職業能力開発促進法(以後、能開法)に基づき、公共職業能力開発施設等において職業訓練を行う者が持つ資格で、国家資格(厚生労働省)の設置義務資格に分類され、都道府県知事から交付されます。能開法の規定に基づく公共職業能力開発施設及び認定職業訓練施設で訓練指導に当たる者を職業訓練指導員といい、平成29年(2017)11月に認知度向上を目的とした愛称“テクノインストラクター”が決定されました。(以後、職業訓練指導員はテクノインストラクター)

職業訓練は利用者による区分がわかりやすく、①離職者、求職者支援訓練、②在職者訓練、③学卒者訓練、④障害者訓練の4つの訓練があります。主に①および②を実施する訓練施設として働高齡・障害・求職者雇用支援機構(以後、機構)が運営する職業能力開発促進センター、都道府県が運営する職業能力開発校、主に②および③を実施する施設として機構が運営する職業能力開発大学校、機構または都道府県が運営する職業能力開発短期大学校、主に④を実施する施設として機構が運営する広域障害者センター、都道府県が運営する障害者職業能力開発校などがあります。学校教育と職業訓練の関係について、能開法では学校教育との重複を避けるとしていますが、労働者の訓練に必然的に伴う学理、関連する知識等についての重複はやむを得ないとの除外条件の下で、例えば③において短大相当、四年制大学相当のカリキュラムが実施されています。

テクノインストラクターになるためには、小・中・高校の先生が教員免許を取得するのと同じように職業訓練指導員免許を取得する必要があります。その取得方法を図1に示します。

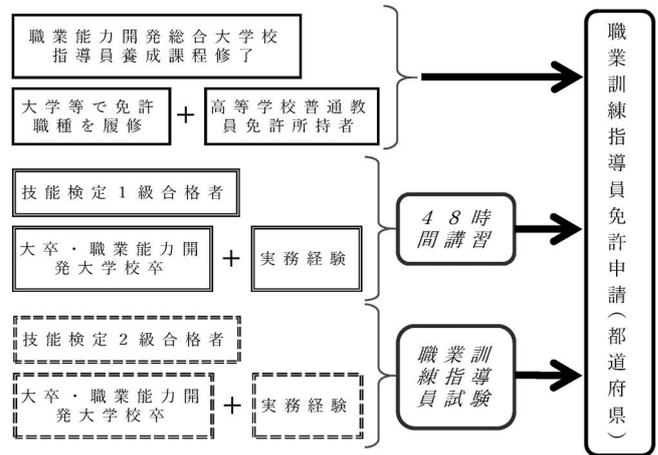


図1 職業訓練指導員免許の取得方法。

注意すべきこととして、免許を取得したからといって必ず指導員になれるわけではありません。テクノインストラクターとして働くためには、公共職業能力開発施設等を運営する、例えば機構等に採用される必要があります。また、採用先においては応募者の拡大を目的に、採用後に指導員免許を取得させる支援制度<sup>(2)</sup>を充実させている場合があるので、特に工科系四年制大学を卒業されてからテクノインストラクターになることを考えられている方は、機構や厚生労働省のホームページなどで確認してください。

## 3. テクノインストラクターのやり甲斐

職業訓練のやり甲斐は？と問われると、職業に必要な知識を教える専門職としてのやり甲斐と、人に関わり人の成長を支援するよき隣人としてのやり甲斐が思い浮びます。職業訓練は、まず経験させ、考えさせ、そして技能と感性を磨かせる。本質はそんなシンプルなものと考えます。したがって、訓練内容を考える主体は自分にあって、結構、多くを自分で決めてやりたいことを意外にやれたりします。得意とする技能・技術を工夫して教えることが、予想外に楽しいと気付くことができます。

当然、日頃の精進は必要で、特に駆け出しの頃は大変だと思えます。それでも、練習の甲斐も無く申し訳ない思いが先立つ授業をしてしまっても、真剣に取り組む姿勢を忘れなければ、感謝してくれる受講生は必ずいます。就職した修了生が数年後に学校を訪ねてくれて、近況報告と共に当時の懐かしい気持ちや感謝の気持ちを伝えてくれることも、テクノインストラクターになってよかったと思える瞬間です。

## 4. おわりに

テクノインストラクターは、求職中の人や学卒者を対象に様々な職業訓練を行い就職のお手伝いをする、就職に悩んでいる人の心強い味方です。「先生」という職業を目指している方は是非ご一考下さい。

## 文 献

- (1) 厚生労働省人材開発：<http://www.mhlw.go.jp/>
- (2) 働高齡・障害・求職者雇用支援機構：<http://www.jeed.or.jp/>  
(2018年6月5日受理)[doi:10.2320/materia.57.451]  
(連絡先：〒501-0502 岐阜県揖斐郡大野町古川1-2)

## 研究室紹介

# 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター 水素機能材料学研究室

室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター  
水素機能材料学研究室；教授 亀川厚則

室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター(図1)は、主に希土類の省資源化と有効活用を目的とした環境調和型社会実現に資する材料研究を行っております。これまでは専門の異なる横断的に集まった教員が各学部学科とセンターを兼任する形で運営されてきましたが、平成27年(2015)4月からは新たにセンター専任教員を加え、そこに筆者の着任と共に水素機能材料学研究室が発足しました。昨年度からは学生の配属も始まり、今年度の構成員は筆者のほか、博士研究員1名、博士学生1名、修士1年生3名、そして教育組織上は大学院に設置されているため主に機械航空創造系学科材料工学コースからの委託配属ながら学部4年生4名による立ち上がり間もない研究室です。当研究室では、冶金学的手法や高圧合成などによって希土類系物質の探索だけでなく、水素吸蔵合金や磁石材料など機能性材料の開発研究および水素が誘起する材料の新機能創出に関する研究を行っています。

狭い経験の範囲ではありますが、これまでに培ってきた水素と材料に関する研究を更に発展させていく所存です。例えば、GPa オーダーの固体圧縮圧を用いた高圧合成による新規合金、新規水素化物の探索は、まだ未開拓の領域が広いことを強く実感しています。固体化合物には外圧による外部圧力と物質構成元素間のイオン半径の異なる元素で置換する化学的圧力(内部圧力)で分類される効果を受けることが知られています。GPa オーダーの高圧水素雰囲気を用いることで、通常リチウムが固溶しない希土類原子のサイトにイオン半径がかなり小さなリチウムが置換した水素化物が形成されるため、除圧後でも化学的圧力の効果を維持したまま希土類三水素化物の高圧相が常圧下で得られることを最近報告<sup>(1)</sup>させて頂きました。今後は常圧では得られなかった水素化物の高圧相の機能についても調べていきたいと考えています。

また合金系の水素貯蔵材料である水素吸蔵合金については水素タンクの貯蔵メディアの為の高性能化研究だけでなく、合金の新しい用途開発も含めて取り組んでいます。水素発生材料や低級な熱を汲み上げるヒートポンプのための水素吸蔵合金の開発研究などを産学連携の研究として取り組んでいます。また環境省「平成30年度地域連携・低炭素水素技術実証事業」として室蘭市で大成建設㈱を代表実施者として本



図1 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター(X棟)外観。

学の我々の研究グループのほか九州大学、地元企業を含めた数社で水素の製造・貯蔵・運搬・移送・利用までのサプライチェーンを構築する実証事業を行います。本実証事業では、北海道室蘭市が所有する風力発電所で発電した電気を使い、水電解水素製造装置で水素を製造し、車載用コンテナに収納した水素吸蔵合金(MH)タンクに貯蔵・輸送します。現在普及している高圧水素ガスではなく、水素吸蔵合金を用いることで水素を低圧で大量かつ安全に貯蔵可能にします。これにより建物や街区への水素の普及促進を実証するものです。この事業によって室蘭市が進める「グリーン水素ネットワークモデルプロジェクト実行計画」を後押しするものとして、本学も地域連携推進に力を入れていく所存です。

3年余り前に北海道に移り住むまで、材料工学、金属工学の分野に従事する筆者にとって、室蘭でイメージするのは、本学の他には新日鐵住金の室蘭製鋼所や日本製鋼所室蘭製作所でした。前者は製鋼過程で得られる水素ガス、後者は水素吸蔵合金開発やMHタンクなどで良く存じ上げていました。このほかにも、JX 日鉱日石エネルギー室蘭製造所や近くにはエア・ウォーター苫小牧水素工場など水素に関わる会社などがあります。一方、報道や座学などで知ってはおりましたが、ここ北海道に来て強く実感するのは、本州と比較して二次エネルギーが潤沢ではないということです。北海道や室蘭市では自治体を中心となって水素社会および低炭素社会への取り組んでおります。当研究室も、水素エネルギー社会の実現に向けた取り組みを材料科学の立場から微力ながら支援できるよう、努力していく所存です。

## 文 献

- (1) R. Kataoka, T. Kimura, N. Takeichi and A. Kamegawa: Inorg. Chem., **57**(2018), 4686-4692.  
(連絡先: 〒050-8585 室蘭市水元町27-1)  
(2018年6月12日受理)[doi:10.2320/materia.57.452]

# 本 会 記 事

会 告	会費の自動振替のご案内	453
	永年会員制度について	453
	2018年秋期講演大会のご案内	453
	2018年秋期講演大会講演概要集 DVD の販売について	453
	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	454
	2018年秋期講演大会企画シンポジウム開催のお知らせ	454
	第6回ランチョンセミナー開催	454
	第8回女性会員のつどい	455
	平成30年度秋季 全国大学材料研究教室協議会講演会	455
	2019年春期講演大会外国人特別講演および招待講演募集	455
	若手研究グループ集会	455
	次期講演大会委員候補者の推薦のお願い	456
	講演大会セッション改変および分野(分科)改編について	457
	会誌・欧文誌編集委員会からのお知らせ	459
	欧文誌編集委員会からのお知らせ	459
	第42回技術開発賞募集	460
	第69回金属組織写真賞作品募集	460
支部行事	次号予告	464
掲示板	新入会員	465
会誌・欧文誌9号目次	行事カレンダー	467

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/>

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

## 会 告 (ホームページも参照下さい)

### 会費の自動振替のご案内

2019年度会費自動振替のご案内を申し上げます。ホームページからのお手続きを宜しくお願いいたします。

- ・ホームページ: 入会・会員→会費支払方法
- ・2019年度会費自動振込申込締切 **2019年10月5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

### 永年会員制度について

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

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

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

受付締切 毎年9月30日

永年会員資格付与 毎年1月1日

問合せ先 (公社)日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

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

### 2018年秋期(第163回)講演大会のご案内

会 期 2018年9月19日(水)～9月21日(金)  
会 場 東北大学川内北キャンパス(仙台)  
仙台国際センター(ポスター会場)  
懇親会 2017年9月19日(水)(ホテルメトロポリタン仙台)  
ご参加 当日受付をお願いします。  
詳 細 ホームページ→2018秋期講演大会をご参照下さい。

### 2018年秋期講演大会講演概要集 DVD の販売について

2018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「2018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
- 請求書を添えて送付いたします。

会員価: 本体4,000円+税 定価: 本体10,000円+税 送料: 360円

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

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: ordering@jim.or.jp



## 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

### 申込方法：当日受付

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

(注) 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冊)	6,000円

## 2018年秋期講演大会企画シンポジウム開催のお知らせ

最新の研究や技術を発信し、多くの研究者・技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、企画シンポジウムを実施しています。2018年秋期講演大会では、2件の企画シンポジウムを開催いたしますので、奮ってご参加下さい。

### 第1回自動車関連材料合同シンポジウム —自動車の革新を支える材料技術の最新動向—

近年の自動車を取り巻く環境は、従来からの課題である環境負荷低減、軽量化、燃費などに加え、電動化、安全性、自動運転などに代表される革新技術への対応も求められ、より複雑化、高度化している。このたび、日本金属学会では、多くの材料を利用し日々進化している自動車技術に焦点を当て、その技術の革新を基盤から支える材料技術における最新の動向について、日本鉄鋼協会、自動車技術会と合同でシンポジウムを企画しました。本シンポジウムでは日本金属学会からの講演者に加え、自動車技術会および日本鉄鋼協会から自動車および鉄鋼メーカーの製造関係者ならびに材料研究者も迎えて最新の研究動向を講演していただき、自動車用材料技術の方向性を共有するとともに、講演大会参加者の研究における一助となることを目的としております。

日 時 2018年9月19日(水)10:00~14:35

場 所 東北大学川内北キャンパスC棟2階C200(金属学会E会場)

参加費 金属学会・鉄鋼協会の大会参加者および自動車技術会会員は無料

テキスト有料 4,000円(消費税込)

#### プログラム

10:00~10:05 開会の辞 東北大 杉本 諭

座長 井上純哉(東京大)

10:05~10:35 鑑講演 車体軽量化動向と技術適用  
SUBARU 飯塚 隆

10:35~11:05 基調講演 自動車用鋼板接合技術の最新動向  
新日鐵住金 児玉真二

11:05~11:35 基調講演 Al/Fe 異種金属接合における界面創製  
を目指して 東北大 佐藤 裕

11:35~12:05 基調講演 鉄鋼材料の水素脆化 上智大 高井健一  
—昼食—

座長 杉本 諭(東北大)

13:00~13:30 鑑講演 自動二輪車の材料技術と将来動向  
ヤマハ発動機 久保田 剛

13:30~14:00 基調講演 自動車用耐熱材料・技術の最新動向  
大同特殊鋼 高林宏之

14:00~14:30 基調講演 軽金属部材製造に関わる3Dプリンタ  
ー技術 産総研 岡根利光

14:30~14:35 閉会の辞 東大 井上純哉

### 若手科学者へ贈る研究のヒント ～未踏領域へ到達するために～

“独創的な研究成果に到達するためには、どのような姿勢で研究に臨むべきか”について著名なベテラン研究者にご講演頂き、会員、特に若手研究者にそのヒントを掴んでもらうことを目的とする。講演では、ご自身の研究の中で、どのような場面・分岐点でどのような選択をし、どのような結果に繋がったか、などの具体的な経験談や、あるいは組織・国からの視点から、どのようなシーズがどのように育つのか、などについて述べて頂き、シンポジウム全体として独創的な研究成果に到達するための必要条件を浮き彫りにしたいと考えております。

日 時 2018年9月20日(木)13:00~15:35

場 所 東北大学川内北キャンパスC棟3階C302(金属学会K会場)

参加費 本会の講演大会参加者は無料

#### プログラム

座長 松浦昌志(東北大)

13:00~13:35 基調講演 材料から実用まで 一現実を知りつつ想像力を用いよう  
リガク顧問 浅井彰二郎

13:35~14:10 基調講演 超低速ミュオン顕微鏡 一夢の量子ビーム開発  
山梨大名誉教授・日本原研開発機構 鳥養映子

14:10~14:45 基調講演 ネオジム磁石の発明  
—物質から材料へ— 大同特殊鋼顧問 佐川真人

—休憩 10分—

14:55~15:35

モデレーター 梅津理恵(東北大)

パネルディスカッション (40)

## 第6回ランチョンセミナー開催

企 画 株式会社 明報社

日 時 2018年9月20日(木)12:05~12:45

会 場 東北大学川内北キャンパス 講義棟C棟(講演会場)

参加費 無料 昼食を無料提供いたします。

参加方法 9月20日(木)8:30より参加券を「機器展示会場」にて配布致します。金属学会または鉄鋼協会の大会参加証をご提示下さい。引き換えにご希望のセミナー参加券をお渡し致します。

時間になりましたら、参加券をご持参の上、セミナー会場までお越し下さい。

※予定数に達し次第、配布は終了致します。

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

参加企業 ●オックスフォード・インストゥルメンツ(株)(A会場 C棟1階C101)

「原子間力顕微鏡(AFM)による金属表面の腐食/電気化学反応プロセスの経時変化観察」 菅澤祐昭

●シュプリンガー・ネイチャー(F会場 C棟2階C201)

「研究とデータ管理について — 信頼のおける材料物性データベースの活用方法」 安倍雄一郎

●樹TSLソリューションズ(H会場 C棟2階C205)

「OIM-Analysis8および新型検出器の紹介」 鈴木清一

●東芝ナノアナリシス(株)(J会場 C棟3階C301)

「金属材料へのアトムプローブ分析応用事例の紹介」 佐々木智一

●ヴァーダー・サイエンティフィック(株)(K会場 C棟3階C302)

「アディティブ・マニファクチュアリング(AM)の発展をサポートするヴァーダー・サイエンティフィックの取り組み」 高辻博史

～ 皆様のご参加をお待ちしております!! ～

### 日本金属学会・日本鉄鋼協会 第8回女性会員のつどいのご案内

**主催** 日本金属学会・日本鉄鋼協会男女共同参画委員会  
**日時** 2018年9月21日(金)12:00～13:00  
**会場** 東北大学川内北キャンパスC棟4階(C401)  
**内容** 女性会員の交流・人脈作り。キャリアデザイン意見交換。仕事場や上司・部下への困ったこと等本音トーク。学会への要望。などなど  
**参加資格** 金属学会・鉄鋼協会女性参加者。学生さん、子連れもwelcome♪  
**参加申込** 申込みは不要です。直接、会場へお越し下さい。  
**持ち物** 弁当、飲み物は持参をお願いします。  
この「つどい」に参加して、静かな部屋でゆっくり語り合きましょう♪♪♪  
**問合せ先** 梅津理恵(東北大学)rieume@imr.tohoku.ac.jp

### 平成30年度秋季 全国大学材料研究教室 協議会講演会ご案内

**日時** 2018年9月21日(金)15:30～16:30  
**場所** 東北大学 川内北キャンパス  
**聴講料** 無料  
〈講演会〉  
15:30～16:30  
大学発ベンチャーの難しさと意義—教育と事業の狭間で—  
東北大学大学院工学研究科教授 小池淳一

### 2019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、国際学術交流委員会において審議採択し、講演実施細目については講演大会委員会で決定いたします。2019年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。

#### 特別講演

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

#### 招待講演

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

#### 推薦用紙

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

お問合せ下さい。

推薦書提出期日 2018年11月20日(火)

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

### 若手研究グループ集会

#### 若手研究グループNo.4

#### 第2回若手研究グループ

#### 「量子ビーム散乱測定による金属組織形成過程のマルチスケール解析研究」

現在、社会の要求に応えるべく様々な新しい金属材料は生み出され、その特性発現メカニズムを詳細に明らかにするためには、金属組織をあらゆる視点から観測することが不可欠です。本研究会では、量子ビームを用いた散乱測定技術・最先端観察技術・計算科学を相互補完することにより、金属組織の定量化やその場測定の高高度化について検討します。

**日時** 2018年9月18日(火)13:30～17:30 (受付開始13:15)

**場所** 東北大学多元物質科学研究所(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

#### プログラム

13:30～13:35

(1) 若手研究グループの趣旨説明 原子力機構 諸岡 聡

13:35～15:05 座長 諸岡 聡

(2) V, Nb, Tiの微量添加による低炭素マルテンサイトの焼もどし軟化抵抗(30) 東北大 張 咏杰

(3) 部分焼入れ焼き戻しによるマルエージ鋼の変態初期組織の観察と組織微細化(30) 名工大 知場三周

(4) 異常X線小角散乱法を用いた金属材料の微細組織の定量評価(30) 原子力機構 金野杏彩

15:15～17:30 座長 諸岡 聡

(5) 幹事会

**企画責任者** 諸岡 聡(原子力機構) 大場洋次郎(原子力機構)

榎木勝徳(東北大)

**参加費** 無料

**申込・問合せ先** 9月10日(月)までにE-mailにて、氏名・所属・電話番号・メールアドレスを明記の上、下記宛にお申し込み下さい。

日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター  
諸岡 聡

E-mail: morooka@post.j-parc.jp



## 2019, 2020年度講演大会委員候補者の推薦のお願い

講演大会委員会委員および調査研究委員会委員(旧分科会)は2019年4月の定時社員総会日が交替時期となっており、学会活動の一層の活性化を図るため、各界から積極にご協力いただける気鋭の人材を求めています。

以下の要領で、次期講演大会委員候補者の推薦を募集いたします。

※調査研究委員会委員は講演大会委員会委員の中から選出いたします。

講演大会委員選出：約110名程度を選出します。

講演大会委員会	調査研究委員会	大 分 類
1分野	1分科	材料と社会および先進機能材料
2分野	2分科	物性および電気・磁気関連材料
3分野	3分科	組織および計算科学
4分野	4分科	力学特性
5分野	5分科	材料化学
6分野	6分科	材料プロセッシング
7分野	7分科	生体・医療・福祉
8分野	8分科	構造材料
9分野	9分科	エネルギー関連材料

### 講演大会委員会組織の構成員

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

### 調査研究委員会(旧分科会)組織の構成員

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

**委員候補者の資格** 金属学会正員であり、2019年4月末時点で45歳以下の方

**推薦資格** 現講演大会委員および現分科会委員または2名以上の正員の連名による推薦(自薦も可)。自薦の場合も、推薦者は必要です。

### 推薦用紙記入方法

所定の推薦用紙で以下を明記の上、金属学会事務局宛(下記メール宛)に推薦下さい。

推薦用紙はホームページよりダウンロード出来ます。

- ①候補者氏名 ②生年月日 ③推薦分野(分科) ④勤務先・役職名 ⑤連絡先住所・電話・E-mail ⑥推薦者氏名(勤務先・電話・E-mail)

候補者推薦締切 2018年10月1日(月)

問合せ・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 講演大会委員会担当係

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

2018年9月1日  
講演大会委員会委員長 杉本 諭

講演大会委員会は、講演大会における更なる討論の活発化を目指したセッション改編の新分類および分野(分科)再編を検討し、大分類による新たな分野(分科)体制に改編します。またこれにより、調査研究事業、刊行事業、表彰事業の研究区分の整合性を高めることを目指しています。

#### 講演大会セッション改編の方針

講演大会参加者、特に企業研究者・技術者や若手研究者・技術者にもわかりやすいセッション編成に改編し、さらに魅力ある講演大会を目指す。

- 本会がこれまで得意とし、多くの成果を上げてきた分野や今後リードしていくと期待される分野を明確化し、わかりやすく示す。
- 学理・現象・プロセッシング別セッションと材料別セッションにおいて重複するセッションを一元化する。
- 本会の調査研究事業、刊行事業や表彰事業の研究区分と整合性を高める。
- セッション分類の見直し・改訂を時代の社会情勢を見ながら弾力的に実施する。

#### 講演大会セッション改編(セッション大括り)による新部門、新分類

セッション大括りは、4部門、12大分類でセッションを大括りし、それぞれに中分類とセッションキーワードを設け、該当する研究領域を明確化しました(次頁参照)。

なお、セッション改編および分野再編は途中経過の段階であり、2019年4月号会告で講演大会セッション改編を案内し、2019年秋期講演大会募集の実施を予定しています。

#### 新たな分野(分科)体制の改編

セッション改編(大括り大分類)により、これまでの6分野(分科)体制から9分野(分科)の新体制に改編します。

講演大会委員会 (新分野)	調査研究委員会 (新分科)	分野(分科)の大分類 (参照：講演大会セッション改編)
第1分野	第1分科	1. 材料と社会 12. 先進機能材料
第2分野	第2分科	2. 物性 9. 電気・磁気関連材料
第3分野	第3分科	3. 組織 11. 計算科学
第4分野	第4分科	4. 力学特性
第5分野	第5分科	5. 材料化学
第6分野	第6分科	6. 材料プロセッシング
第7分野	第7分科	7. 生体・医療・福祉
第8分野	第8分科	8. 構造材料
第9分野	第9分科	10. エネルギー関連材料

～講演大会セッション改編(案)～

大分類	中分類	セッションキーワード	
I部門. 社会			
1. 材料と社会	材料と社会	教育	
		歴史・材料考古学	
		技術革新・技術伝承	
		環境	
		ダイバーシティ	
		新領域・その他	
II部門. 基礎			
2. 物性	物性	電子物性	
		原子的構造と物性	
		物性評価	
		新領域・その他	
3. 組織	相安定性・相変態	熱力学・状態図・相平衡	
		拡散・相変態	
		マルテンサイト変態・変位型相変態	
		合金・アモルファス・準結晶	
		組織制御技術	
	組織制御	再結晶・粒成長・集合組織	
		組織観察・分析	
	分析・解析・評価	計算材料科学・材料設計	
		新領域・その他	
	4. 力学特性	力学特性の基礎	強度・力学特性
塑性・疲労・破壊			
高温変形・クリープ・超塑性			
力学特性評価			
力学特性と組織		欠陥と組織	
		多結晶組織	
		金属間化合物	
		超微細粒組織	
		新領域・その他	
5. 材料化学		物理化学	製・精練の物理化学
	融体・高温物性		
	腐食・防食		
	高温酸化・高温腐食		
	表面・界面	表面処理・表面改質・コーティング	
		表面界面反応・分析	
		触媒	
		新領域・その他	
	6. 材料プロセス	環境・リサイクルプロセス	環境・リサイクル技術
		気相プロセス	薄膜・厚膜作製技術
溶融・凝固プロセス		凝固・結晶成長・鑄造技術	
固相プロセス		塑性変形・塑性加工技術	
		粉末・焼結・造形技術	
		溶接・接合・複合技術	
材料評価, プロセス評価技術		材料評価技術	
	新領域・その他		

大分類	中分類	セッションキーワード
7. 生体・医療・福祉	生体材料基礎・生体応答	細胞機能・組織再生
		構造生体機能化
		表面生体機能化
	生体材料設計開発・臨床	生体・医療・福祉材料
		生体用 Ti-Ti 合金
		Additive Manufacturing・テーラード医療材料
		生体安全性・有効性評価
		新領域・その他
III部門. 応用		
8. 構造材料	金属材料	Fe-Fe 合金
		Cu-Cu 合金
	軽金属材料	Ti-Ti 合金
		Mg-Mg 合金
		Al-Al 合金
	セラミックス材料	セラミックス材料
	耐熱材料 (耐熱・耐環境材料)	ジェットエンジン・ガスタービン耐熱材料
		蒸気発電耐熱材
	機能性構造材料	機能性構造材料
	複合材料	複合材料
ポラス材料		
		新領域・その他
9. 電気・磁気関連材料	電気・電子・光関連材料	伝導・実装材料
		半導体・誘電体材料
		光・電磁波関連材料
	磁性材料	ソフト・ハード磁性材料
		スピントロニクス・ナノ磁性材料
		磁気機能材料
		新領域・その他
10. エネルギー関連材料	(原子力材料)	
	熱関連材料	熱電材料
		(センサー材料)
	水素・電池関連材料	電池材料・イオン伝導材料
		水素化合物・水素貯蔵・水素透過・水素関連物性
新領域・その他		
IV部門. 材料フロンティア		
11. 計算科学	構造・組織・特性・物性	計算材料科学・材料設計
	データ科学	データ科学
		新領域・その他
12. 先進機能材料	先進機能材料	ナノ・萌芽材料
		新領域・その他

## 日本金属学会誌および Materials Transactions のオンライン・ジャーナル化のお知らせ

日本金属学会誌および Materials Transactions は、将来的な論文のマルチメディア対応を視野に、2019年1号より、オンライン・ジャーナル化することが決定いたしました。

これにより、冊子は購読希望者に実費にて頒布することとなり、購読費、掲載論文のカラー図表および別刷の取り扱いについて、下記のように変更いたします。

今後も、日本金属学会誌ならびに Materials Transactions へのご投稿、および掲載論文のご購読等、より一層ご活用下さい。

### ■購読費について

#### 会誌

##### 冊子

(個人) 1冊1,500円(年間18,000円)(税別・送料込み)  
(機関) 年間52,400円(税・送料込み, 価格据え置き)

##### 電子

(個人) 無料  
(機関) 大学等: 80,000円, 企業: 160,000円(税込み, 価格据え置き)

#### Materials Transactions

##### 冊子

(個人) 1冊4,000円(年間48,000円)(税別・送料込み)  
(機関) 年間52,400円(税・送料込み, 価格据え置き)

##### 電子

(個人) 正員: 7,000円 学生員: 4,000円(税別)  
(機関) 大学等: 機関ごとの価格設定となりますので、お問い合わせ下さい。  
企業: 200,000円(税込み, 価格据え置き)

### ■カラー図表について

オンライン・ジャーナル: カラー表示希望の場合、1図表あたり1,000円をご負担いただきます。

冊子・別刷: オンライン・ジャーナルがカラー表示の場合でも、すべてモノクロ印刷となります。

### ■別刷について

寄贈分は廃止。希望者に下記表の金額にて頒布します(投稿・掲載費用は従来通り)。

別刷料金表(税別, 表紙は一律10,000円)

	4頁以内	5頁	6頁	7頁	8頁	9頁	10頁
1セット(50部)	7,000円	8,000円	9,000円	10,000円	11,000円	12,000円	13,000円

## 特集企画の投稿募集

### ■Recent Advances in Indentation Technique(インデンテーション技術の最前線)

インデンテーション技術は、ナノスケールにおける様々な材料の機械的特性を評価する手法として、学術的および工学的応用において益々重要になっている。第6回国際インデンテーションワークショップ(IIW6)は、学術的な最新知見、新たな材料への応用展開や先端計測技術などの情報交換を行う重要な機会である。本特集では、本ワークショップでの成果を中心に、インデンテーション技術に関するオリジナル論文およびレビュー論文を対象とします。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 60巻7号(2019年7月発行)に予定しております。多数ご投稿下さいますようお願いいたします。

掲載予定号 第60巻第7号(2019年)

原稿締切日 2019年1月7日

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

問合せ先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 欧文誌編集委員会

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: editjt@jim.or.jp

http://jim.or.jp/

第42回技術開発賞  
「新技術・新製品」記事募集

応募締切：2018年10月31日(水)

賞の名称 第42回公益社団法人日本金属学会技術開発賞  
賞の対象 あたりあ「新技術・新製品」記事に掲載された記事(1号から)が選考対象となります。  
表彰 2019年9月の秋期講演大会  
原稿問合せ あたりあ係 E-mail: [materia@jim.or.jp](mailto:materia@jim.or.jp)  
詳細 あたりあ 8号406頁 or ホームページ：本会賞の募集  
申込 URL <http://gijutsu.jim.or.jp/entry>  
技術開発賞の問合せ  
(公社)日本金属学会各賞係  
☎ 022-223-3685 E-mail: [gaffair@jim.or.jp](mailto:gaffair@jim.or.jp)

第69回金属組織写真賞作品募集

応募締切：2018年10月20日(土)

賞の名称 第69回公益社団法人日本金属学会組織写真賞  
募集部門 「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 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。(それ以外はプレビュー表示が出来ない)
- 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 あたりあ 8号520頁 or ホームページ：本会賞の募集  
申込 URL <http://picture.jim.or.jp/entry>  
送付・問合せ先 (公社)日本金属学会 各賞係  
☎ 022-223-3685  
E-mail: [gaffair@jim.or.jp](mailto:gaffair@jim.or.jp)

支部行事



日本金属学会東北支部地区講演会

[共催] 日本鉄鋼協会東北支部

日時 2018年10月26日(金)14:30~16:50  
場所 弘前大学創立50周年記念会館 岩木ホール  
(弘前市文京町1番地)  
<https://www.hirosaki-u.ac.jp/jimu/soumu/kaikan/access.html>

テーマ 「イノベーションに向けた産学連携」  
開会挨拶 日本金属学会東北支部長 鈴木 茂

講演1 14:35~15:35  
日本の産業基盤を支える完全非接触での超高温融体熱物性・温度計測への挑戦  
弘前大学地域戦略研究所 准教授 小島秀和  
講演2 15:45~16:45  
産学連携の系譜とオープンイノベーション  
東北大学金属材料研究所 教授 今野豊彦

参加費 無料  
懇親会 17:30~19:30 会費:3,000円  
懇親会の申込締切 10月19日(金)  
詳しくは下記連絡先までお問い合わせ下さい。

連絡先 弘前大学地域戦略研究所 小島秀和  
E-mail: [kobatake@hirosaki-u.ac.jp](mailto:kobatake@hirosaki-u.ac.jp)  
☎ 017-735-3362 FAX 017-735-5411



第15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15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の報告を通じて互いに交流し, 連携を深めることで, 関東支部の金属材料研究がより一層活性化することを目指しております。本年度は, ㈱IHI 横浜事業所ゲストハウスにて若手研究者による講演およびポスターセッションを開催いたします。また, 製品展示エリアにおける IHI の技術や製品の紹介も企画しております。皆様のご参加をお待ちしております。

日時 2017年11月12日(月)12:45~19:00  
場所 ㈱IHI 横浜事業所 ゲストハウス(正門左手)  
[http://www.ihico.jp/ihico/company/offices/yokohama\\_engineering/](http://www.ihico.jp/ihico/company/offices/yokohama_engineering/)  
アクセス: JR 京浜東北・根岸線「新杉田駅」より徒歩5分  
京浜急行「杉田駅」より徒歩15分  
シーサイドライン「新杉田駅」より徒歩6分

スケジュール  
12:45-13:00 開会挨拶・諸連絡  
13:00-14:30 製品展示エリア見学・材料技術紹介  
14:40-16:10 講演  
16:20-17:30 ポスターセッション(第1部)  
17:30-19:00 ポスターセッション(第2部)兼懇親会・ポスター賞表彰式

講演プログラム  
14:40-15:10 ニッケル基合金のリング圧延を模擬した高速鍛造時

の組織変化 IHI 技開本部 基盤技研 材料研 環野直也  
 15:10-15:40 タービンブレード用 Ni 基単結晶超合金に対する Ir  
 の影響 物材機構 構造材料研究拠点 森 雄飛  
 15:40-16:10 アルミニウム合金の時効処理による高剛性化  
 横浜国大大学院工 岩岡秀明

参加費 懇親会費のみ2,000円/一般、無料/学生

参加申込方法

交流会に参加をご希望の方は10/19(金)17:00までに氏名、所属、連絡先、E-mailなどを下記リンクの登録フォームからご応募下さい。

<https://rme.mm.t.u-tokyo.ac.jp/ym2018/>

ポスターセッションについては、運営の都合上、下記の通り別途締切を設けます。

- 学生ポスターセッション: 10/5(金)17:00  
ポスター仮題とともにご応募下さい。
- ポスターアブスト提出締切: 10/19(金)17:00  
申し込み時にフォーマット(A4の3分の1ページ分)をお送りします。
- ポスターサイズ: A0サイズ(841mm×1189mm)縦型

問合せ先 E-mail: yutaro\_ota@ihi.co.jp  
 shiraiwa@rme.mm.t.u-tokyo.ac.jp  
 榊IHI 大田祐太郎  
 東京大学大学院工学系研究科 白岩隆行

在中」と朱書し、「簡易書留」で送付のこと。  
 ※2 原則として、提出された書類等の返却はしません。  
 問合せ先 機械工学科主任 教授 石出忠輝  
 ☎ 0438-30-4082(ダイヤルイン)  
 E-mail: ishida@m.kisarazu.ac.jp

集会

(独)日本学術振興会 第172委員会  
 第12回 状態図・熱力学セミナー  
 「状態図と相変態の熱力学」開催案内

[主催] (独)日本学術振興会 第172委員会  
 [協賛] 資源・素材学会, 軽金属学会, 金属学会, 熱測定学会, 鉄鋼協会

セミナー概要

状態図は、「材料設計の地図」であると形容されるように、目的のマイクロ組織を得るため、製造プロセスの最適化のための重要な役割を持っています。CALPHAD法は、状態図計算・評価手法として広く行われており、現在では多くの熱力学計算ソフトウェア、熱力学データベースが市販・公開され、材料開発に用いられています。これまでのセミナーでは、熱力学基礎・状態図計算を中心に取り上げてきましたが、今回は、動力学へと一歩進んだ内容をテーマとして、一日目に平衡論と速度論の基礎を取り上げ、二日目により実践的な内容である実験による析出・変態の観察、解析手法について解説します。これらに関連する最新トピックスをはさみながら、相変態・析出の基礎から実験手法までを概観します。

日時 11月13日(火)~11月14日(水)  
 場所 東北大学 東京分室(サピアタワー10F)  
 アクセス <http://www.bureau.tohoku.ac.jp/somu/bun/bun.html>  
 定員 40名  
 プログラム

一日目	平衡論基礎:	NIMS 阿部太一
	速度論基礎:	大阪府大 沼倉 宏
	関連トピックス:	東北大 大谷博司
二日目	実験手法・解析法基礎:	東北大 宮本吾郎
	実験手法・解析法基礎:	京大 奥田浩司
	関連トピックス:	JFE 山下孝子

申し込み方法  
 本ウェブサイトから申込書を入手し必要事項を記入後、メール添付にて 阿部(abe.taichi@nims.go.jp)までお送り下さい。  
<http://www.nims.go.jp/CSMD/members/Seminar/12thPDSeminar.htm>

申込締切 11月6日(火)  
 期日より前に定員に達した場合には、その時点で締め切らせていただきます。当日申込みはありません。  
 世話人 阿部太一(NIMS), 大谷博司(東北大), 山下孝子(JFE)  
 問合せ先 物質・材料研究機構 構造材料研究拠点 計算構造材料設計グループ 阿部太一  
 ☎ 029-859-2628 E-mail: abe.taichi@nims.go.jp

掲 示 板

〈公募類記事〉  
 無料掲載: 募集人員, 締切日, 問合せのみ掲載。  
 有料掲載: 1/4頁(700~800文字)程度。  
 ・「まてりあ」とホームページに掲載: 15,000円+税  
 ・ホームページのみ掲載: 10,000円+税  
 〈その他の記事〉 原則として有料掲載。  
 ・原稿締切・掲載号: 毎月1日締切で翌月号1回掲載  
 ・原稿提出方法: 電子メールとFAX両方(受け取りメールの確認をして下さい)  
 ・原稿送信先: FAX 022-223-6312 E-mail: materia@jim.or.jp

◇木更津工業高等専門学校 機械工学科(材料学関連)助教 公募◇

採用職名・人員 助教1名  
 所属・専門分野 機械工学科・材料学関連  
 担当科目 材料学, 設計製図, 工業力学, 工学実験等  
 応募資格  
 (1) 原則、博士の学位を有する者または採用時までに博士の学位を取得見込みの方  
 (2) 教育、研究に情熱をもち、学生指導、課外活動、校務にも理解と熱意のある方、地域貢献に理解と熱意のある方  
 待遇 任期: 定年までとします。  
 ※ただし、学位(博士)を取得していない場合は、雇用開始後2年間の任期付き助教採用とし、任期中に学位(博士)を取得した場合に限り、期間の定めがない教員とします。  
 採用予定日 2019年4月1日  
 提出書類 本校HP掲載の公募要領を確認願います。  
<http://www.kisarazu.ac.jp/jinji.html>  
 選考方法 第1次選考(書類選考)  
 第2次選考(面接および模擬授業)  
 応募期限 2018年10月31日(水)必着  
 書類送付先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1  
 木更津工業高等専門学校長 宛

※1 封筒の表に「機械工学科教員(材料学関連)(助教)応募書類

## ◇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 岡部 徹 教授

協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)

共 催 東京大学マテリアル工学セミナー, レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会, 東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター, 東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)

協 賛 (公社)日本金属学会他

## ■開催会場 東京大学生産技術研究所

An 棟 2F コンベンションホール

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

(最寄り駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)

## ■参加登録・お問合せ

東京大学 生産技術研究所

岡部研究室 レアメタル研究会事務担当 宮寄智子

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

〈平成30年度 レアメタル研究会開催予定のご案内〉(2018.7.31現在)

## ■第82回 2018年9月14日(金)

## ■第83回 2018年11月9日(金)

## ★チタン関係シンポジウム★(合同開催)

(関連シンポジウム: 寄付ユニット特別シンポ「E-scrap シンポジウム」11月30日(金))

## ■第84回 2019年1月11日(金)

## ★貴金属シンポジウム(第6回)+新年会(合同開催)

## ■第85回 2019年3月8日(金)

## ★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+慰労会★(合同開催)

## ■第82回 2018年9月14日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール

テーマ: 非鉄業界の動向, 非鉄系材料研究の動向, マイナーメタルの話題

時 間: 午後2:00~

講 演:

- 銅合金の高機能化と合金添加元素としてのマイナーメタル(仮)(60分)

JX 金属株式会社 執行役員 技術本部副本部長 結城典夫 講師

- 非鉄産業界に対する期待と大学における新しい展開(仮)(45分)

東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師

- ゲルマニウムの現状と将来 ~製錬法から応用まで~(仮)(60分)

カーリットホールディングス株式会社

経営戦略室 担当課長 千葉一美 講師

午後6:00~ 研究交流会・意見交換会(An 棟 2F ホワイエ)

## ■第83回 2018年11月9日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール

## ★チタンシンポジウム★(合同開催)

テーマ: チタンの過去, 現在, 未来, そして私の夢

時 間: 午後2:00~

講 演:

- 大阪チタニウムテクノロジーズの過去, 現在, 未来, そして私の夢(仮)(40分) 大阪チタニウムテクノロジーズ

代表取締役社長 杉崎康昭 講師

- 中国におけるチタン業界の状況と, 私が取り組んでいる新製錬法(仮)(40分) 東北大学大学院工学研究科 金属フロンティア工学専攻

教授 朱 鴻民 講師

- 日本のチタン業界に対する期待と, 私が取り組んできたチタン製錬の研究(仮)(40分)

東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師

- チタンの金属 Additive Manufacturing に関する現状と将来(仮)(40分) 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授

中野貴由 講師

- 世界における国内非鉄産業について(チタン, 銅を中心に)(仮)(40分) 東邦チタニウム株式会社 代表取締役社長 西山佳宏 講師

午後6:00~ ポスター発表 兼 研究交流会・意見交換会

(An 棟 2F ホワイエ)

関連シンポジウム: 寄付ユニット特別シンポ「E-scrap シンポジウム」11月30日(金)

## ■第84回 2019年1月11日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール

## ★貴金属シンポジウム(第6回)+新年会★(合同開催)

テーマ: 貴金属の製錬・リサイクル

時 間: 午後2:00~

講 演:

- 貴金属の製錬・リサイクル技術に関する講演(30分)(例年通り, 数件の講演を予定)

講師依頼中

午後6:00~ ポスター発表 兼 研究交流会

(An 棟 1F レストラン アーベ(予定))

## ■第85回 2019年3月8日(金)14:00~ An 棟 2F コンベンションホール

## ★佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム+慰労会★(合同開催)

テーマ: ご卒業講演: 佐藤先生, 藤田先生の研究と活動, 非鉄業界と研究の将来展望

時 間: 午後2:00~

講 演:

- 稀有なレアメタル実験室(60分)

東北大学 多元物質科学研究所 教授 佐藤修彰 講師

- 講師依頼中(40分)

- 演題未定(60分)

東京大学 工学系研究科 システム創成学専攻 教授 藤田豊久 講師

午後6:00~ 研究交流会・意見交換会(An 棟 2F ホワイエ)

\*レアメタル研究会ホームページ\*

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



## 日本金属学会誌掲載論文

Vol. 82, No. 9 (2018)

### —論 文—

レーザフォーミングにおける平行線状加熱順序が曲面成形に与える影響 秋山哲也 北村貴典 東 謙吾 倉本洋彰 岸 大祐

放電プラズマ焼結によるチタン/ジルコニア複合生体材料の創製 菊池将一 片平和俊 小茂鳥 潤

鋳造プリカーサ法によるポーラスアルミニウムの作製 鈴木良祐 西本拓真 半谷禎彦 荘司郁夫 松原雅紹

純マグネシウム単結晶の一軸疲労試験における疲労破壊機構の結晶方位依存性 城戸優汰 中村旭伸 角田星也 津志田雅之 北原弘基 安藤新二

分散粒子を含まない非懸濁溶液からのZn-Zr酸化物複合電析に及ぼす添加剤の影響 原 洋輔 植田大樹 大上 悟 中野博昭

## Materials Transactions 掲載論文

Vol. 59, No. 9 (2018)

### —Overview—

**Challenges in the Recycling of Precious Metals**  
Yoshihiro Kayanuma, Shoei Mizuhashi and Yuichiro Shindo

### —Review—

**Improvement of the Thermoelectric Performance of Pseudogap and Narrow-Gap Compounds via Theoretical Calculations**  
Yoshiki Takagiwa

### —Regular Article—

#### Materials Physics

**Exploratory Study of Substitutional Elements in Mg<sub>2</sub>Si for Inducing State of Negative Chemical Pressure**  
Yoji Imai, Naomi Hirayama, Atsushi Yamamoto, Tsutomu Iida and Ken-ichi Takarabe

**Ab-initio Study of the Magnetic Properties of (Mn<sub>0.75</sub>X<sub>0.25</sub>)AlGe (X = V, Cr, Mn, Fe)**  
Yusuke Fukuda and Shinpei Fujii

#### Mechanics of Materials

**Application of the Transient Pulse Method to Measure Clay Permeability**  
Masaji Kato, Yoshitaka Nara, Yuki Okazaki, Masanori Kohno, Toshinori Sato, Tsutomu Sato and Manabu Takahashi

**Effect of Elapsed Time Following Arc Welding on the Static Strength of Lap Fillet Joints in High-Strength Steel Sheets**  
Hiroki Fujimoto, Teruki Sakamoto and Yujiro Tatsumi

**Influence of Metallic Foam Inter-Layers on the Mechanical Properties of Self-Piercing Riveted Sandwich Joints**

Jiamu Liu, Xiaocong He, Wenyong Ding and Kai Zeng

**Experimental Investigation on the Laser Welding Characteristics of 6061-T6 Aluminum Alloy Sheets**

Young-Gon Kim, Myoung-Ho Kim and Sung-Min Joo

#### Materials Chemistry

**Surface Properties of Intermetallic Compound Layer Formed on Titanium Alloy by AIH-FPP (Atmospheric Controlled Induction Heating Fine Particle Peening) Treatment**

Shogo Takesue, Shuya Saito, Jun Komotori, Yoshitaka Misaka and Kazuhiro Kawasaki

**Selective Nickel Leaching from Nickel and Cobalt Mixed Sulfide Using Sulfuric Acid**

Hiroshi Kobayashi, Hirofumi Shoji, Satoshi Asano and Masaki Imamura

#### Materials Processing

**Surface Microstructure and Properties of Nodular Cast Iron Rapidly Solidified by Laser Surface Melting**

Reita Murakami, Ichihito Narita and Hirofumi Miyahara

**Soldering Behavior of JIS ADC12 Alloy Die Castings and Its Mechanism**

Yasushi Iwata, Hiroaki Iwahori and Yuichi Furukawa

**Microstructure, Mechanical Properties and Flowability of Ultra Low Silicon Hyper-Eutectic Flake Graphite Cast Iron**

Toshitake Kanno, Ilgoo Kang, Naoaki Kikuchi and Yuki Iwami

**Fabrication of Silver Nanoparticles Using High-Pressure Wet-Type Jet Mill**

Eiji Fujii and Mitsuaki Furutani

**The Bondability and Reliability of a Ternary Ag Alloy Wire on an Al Bonding Pad under N<sub>2</sub>-Free Conditions**

Gun Rae Kim, Sang-Su Ha, Cheol-Hyeon Park, Sangwoo Pae and Byoungdeog Choi

**Liberation Characteristics Assessment for Copper Component in PCB Comminution Product by Image Analysis**

Seungsoo Park, Seongmin Kim, Seongsoo Han, Boram Kim, Byeongwoo Kim, Yosep Han and Jaikoo Park

#### Engineering Materials and Their Applications

**Biosynthesis, Characteristics and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Using *Lemon Citrus Latifolia* Extract**

Duong H. T. Linh, Nguyen P. Anh, Truong T. A. Mi, Nguyen T. Tinh, Hoang T. Cuong, Tran L. Quynh, Nguyen T. T. Van, Nguyen V. Minh and Nguyen Tri

**Optical and Electrical Properties of  $\alpha$ -MnTe Thin Films Deposited Using RF Magnetron Sputtering**

Shunsuke Mori, Yuji Sutou, Daisuke Ando and Junichi Koike

## Enhanced Mechanical Properties of Al-36Si Composite via Friction Stir Processing and Subsequent Heat Treatment

Chen Wang, Beibei Wang, Quanzhao Wang, Liqing Chen, Peng Xue, Bolv Xiao and Zongyi Ma

### Environment

## Effects of Various Factors on Carbonate Particle Growth Using Ureolytic Bacteria

Md. Al Imran, Mai Shinmura, Kazunori Nakashima and Satoru Kawasaki

### —Rapid Publication—

## Influence of Reductant Concentration on the Conduction Path Formation Properties of Solderable Polymer Composites

Byung-Seung Yim, Jeong Il Lee and Jong-Min Kim

## Evolution Behavior of Hydrogen-Induced Nano Voids in Al-Zn-Mg-Cu Aluminum Alloys under Loading

Hongye Gao, Hang Su, Kazuyuki Shimizu, Chihiro Kadokawa, Hiroyuki Toda, Yasuko Terada, Kentaro Uesugi and Akihisa Takeuchi

Announcemen

### まてりあ 第57巻 第10号 予告

[最近の研究] 液相法によるナノ粒子表面への金属酸化物のナノコーティング ……………大野智也  
電析バルクナノ結晶 Ni 合金における熱処理後の引張挙動 ……………松井 功 山本剛久 滝川順庸  
[入門講座] 拡散接合 その2  
—金属を接合するには、接合装置、接合面積の増加過程、接合面の皮膜の挙動— ……………大橋 修

[新進気鋭] 温泉バイナリー発電所におけるスケール問題とその抑制材料の開発 ……………盛田元彰  
—他—

編集の都合により変更になる場合がございます。

### 書評

## 原発はどのようにして壊れるか 金属の基本から考える

小岩昌宏・井野博満 著

東日本大震災が発生するまで、原発が故障することはあっても、原発が壊れることを考えていた人は、どの程度いるだろうか。これまでの通念を覆す本書のタイトルは刺激的であるが、その内容はいたって学術的で、未曾有の大災害を起こした原発事故を金属(メタラジー)の立場で繙いた、我が国では珍しいスタイルの本である。

Iの「金属の基本」では、金属の結晶、拡散、固相反応、加工、そして社会基盤材料として最も実用に供される鉄と鋼について、要点をコンパクトに纏め、金属の基本を知るには恰好である。IIの「金属の強さと弱さ」は、構造材料として必須の強度を、強くするという視点と壊れるという視点の、相対する立場から紹介している。IIIの「原子炉材料とその経年劣化」では、原子炉内反応の基本の紹介に続き、原子炉用材料、劣化(照射損傷・疲労・腐食)を記載している。IV「照射脆化」は、実際の原発の脆化に焦点を充て、長年金属の研究に従事してきた著者の脆化に対する考えと、原子力規制委員会での発言がふんだんに紹介され、盛り上がりは最高潮に達

する。そして最後のV「金属材料と原発の設計」では、原発の設計における金属の役割をはじめ、大災害から学んだこと(あるいは学ぶべきこと)を基に、原発そのものの設計に切り込む。

原発は、エネルギーや環境だけでなく、安全安心が関与する国際的な社会問題である。このような関心の高い問題に、実は金属が深く関与し、重要な役割を担っている点を紹介している点は特筆に値しよう。また、マテリアルを勉強する学生たちが、自分たちの勉強する金属がどのように社会と関わっているかを知る意味で、好例のケーススタディを提供した本と言える。本書の構成は、IからVまでシームレスに繋がる順序立てとなっており、著者の工夫の跡がうかがえる。本書は、専門書としてだけでなく社会学習書の意味合いも兼備し、お奨めの本である。

(東北大学金属材料研究所 正橋直哉)

[2018年 A5版 アグネ技術センター 200頁 1800円+税]

# 新 入 会 員

(2018年6月21日～2018年7月20日)

## 正 員

久保隼人  
佐々木拓也 名古屋大学  
千葉悠矢 淡路マテリア株式会社  
中島 宏 九州大学

鴫田 駿 大阪大学  
寺澤麻子 東京工業大学  
岸田憲明 大阪大学  
石田洋平 北海道大学

荒木慶一 名古屋大学  
宮田龍一 東北大学  
谷村 洋 東北大学  
大庭圭祐 芝浦工業大学

## 学 生 員

北丸章浩 京都芸芸繊維大学  
熊谷清孝 秋田大学  
清宮優作 千葉工業大学  
長江昂亮 愛知工業大学  
堀坂卓也 愛知工業大学  
石川遼典 東北大学  
阿部和裕 東北大学  
伊東達矢 東北大学  
藤本雄大 関西大学  
真中智世 東京医科歯科大学  
小池拓実 芝浦工業大学  
大原昇利 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構  
浦内秀平 熊本大学  
吉田拓矢 国立室蘭工業大学  
堀江竜気 室蘭工業大学  
新井浩太 苫小牧工業高等専門学校  
平田雅裕 兵庫県立大学  
鈴木優里菜 早稲田大学  
LEE Inho 東北大学  
若生憲明 苫小牧工業高等専門学校  
山崎拓矢 茨城大学  
田中芹奈 兵庫県立大学  
水野潤一 北海道大学  
森山弘啓 北海道大学  
南田雄哉 東京理科大学  
熊本和宏 京都大学  
森啓太郎 大阪大学  
服部和樹 京都大学  
金子拓朗 鹿児島大学  
村上俊太郎 北海道大学  
宮崎龍正 金沢大学  
屋代 剛 芝浦工業大学  
佐藤真悟 大阪大学  
富田航平 東北大学  
山本卓人 芝浦工業大学  
村上浩市 筑波大学  
山岸奎佑 東北大学  
山田宏樹 芝浦工業大学  
三ツ井恒平 群馬大学  
安孫子 瞳 群馬大学  
檜枝賢護 大阪大学  
高木徹郎 東京理科大学  
岡 翔斗 大阪市立大学  
平船和哉 岩手大学  
吉田恭平 東北大学  
前田健太 山梨大学  
山下将哉 北海道大学

原田 祥 岡山大学  
松村貴広 愛知教育大学  
鈴木佑弥 富山大学  
杉山浩一 九州大学  
西 智也 東京理科大学  
村松星彦 東京工業大学  
東海泰三 東京工業大学  
市川大晶 筑波大学  
古田将寛 東北大学  
高橋 巧 東北大学  
油井翔太郎 東北学院大学  
山口孔大朗 鹿児島大学  
野口仁美 東北大学  
徳永早希子 北海道大学  
南 洋乃 北海道大学  
内田優人 東京工業大学  
村上周作 東京工業大学  
古谷 玲 東京工業大学  
服部夏実 東京工業大学  
安本尚人 北海道大学  
浅野佑弥 北海道大学  
武田陽佑 北海道大学  
林田誠弘 東北大学  
中西真之 筑波大学  
岡本拓哉 筑波大学  
渡部克基 長岡技術科学大学  
中村大樹 長岡技術科学大学  
渡邊健汰 長岡技術科学大学  
奥村明央 京都大学  
鈴木康太 長岡技術科学大学  
谷 俊平 山口東京理科大学  
岡田典浩 山口東京理科大学  
大畑智誠 芝浦工業大学  
沖 直人 芝浦工業大学  
伊藤樹人 京都大学  
鶴岡侑生 筑波大学  
川村尚也 神戸大学  
内山愛文 東北大学  
荒木祐二 三重大学  
成田将也 東京工業大学  
岸本竜介 筑波大学  
入谷友樹 東京工業大学  
佐藤 匠 東北学院大学  
佐藤広也 筑波大学  
池部由樹子 熊本大学  
湯浅康佑 名古屋工業大学  
野中慎也 名古屋工業大学

久我 敦 芝浦工業大学  
近藤 司 東北大学  
中川史崇 東北学院大学  
深川元喜 北海道大学  
山本 満 大阪大学  
玉澤幸也 東北学院大学  
清水嵩有 芝浦工業大学  
島 遼翔 仙台高等専門学校  
馬島正成 同志社大学  
外園春樹 兵庫県立大学  
山本恭平 北海道大学  
松本憲志 京都大学  
姫野雄太 熊本大学  
泉 隆宏 群馬大学  
岩下稜介 信州大学  
小野拓也 東北大学  
鎌田峻輔 東北大学  
高瀬仁菜 東北大学  
梅原健太 北海道大学  
小野佑太 北海道大学  
梁 誠明 同志社大学  
菅原 涼 信州大学  
内海春来 北海道大学  
折原駿介 東京大学  
寅本雄大 北海道大学  
中村健義 大阪市立大学  
今 七海 北海道大学  
田中孝典 芝浦工業大学  
蓮沼和也 東京工業大学  
近藤景勝 大阪大学  
高井亮佑 名古屋工業大学  
門脇和希 名古屋工業大学  
藤永拓也 東京大学  
古川大希 大阪大学  
仙北屋克昌 名古屋工業大学  
佐藤 領 大阪府立大学  
田中沙季 名城大学  
菊地優祐 東北学院大学  
土井博輝 北海道大学  
奥田菜月 大阪大学  
原田 樹 大阪大学  
原田宏貴 兵庫県立大学  
木許雄太 東京工業大学  
依藤 駿 神戸大学  
佐々木恭平 大阪大学  
池村郁哉 東京工業大学  
山添恵介 大阪大学

斉藤拓朗 東京工業大学  
松岡直希 大阪大学  
森口敦 大阪大学  
塩澤卓海 信州大学  
大野美咲 東北学院大学  
金子拓実 北海道大学  
矢尾達海 東京工業大学  
島田克行 早稲田大学  
田中翔梧 信州大学  
嶋田怜朗 早稲田大学  
小島修輔 秋田県立大学  
高畑太朗 大阪府立大学  
前原沙耶 筑波大学  
山下麻衣 北海道大学  
高原裕治郎 名古屋工業大学  
山中アルヴィン 大阪府立大学  
荒井伸亮 東海大学  
高坂天翔 東北大学  
佐藤文 神戸大学  
池田裕樹 東北大学  
稲永航平 九州工業大学  
鈴木飛翔 九州大学  
向野廉司 九州工業大学

小林秀樹 筑波大学  
木村翔吏 群馬工業高等専門学校  
SU YI 京都大学  
風間裕貴 九州工業大学  
水口将輝 九州工業大学  
住川裕晃 東北大学  
吉岡秀樹 九州大学  
原口靖史 北海道大学  
村末創 東京工業大学  
稲垣達 室蘭工業大学  
高岸佳治 広島大学  
藤本真也 大阪府立大学  
高野航 大阪府立大学  
角田直樹 東京工業大学  
前島加奈 大阪府立大学  
高橋智哉 金沢大学  
下川航平 東北大学  
中野晴秋 金沢大学  
畠山拓也 東北大学  
中村晃徳 久留米工業高等専門学校  
千代田健佑 東北大学  
宮城俊美 東北大学  
岩崎旭紘 徳島大学

山崎華子 北見工業大学  
松永一努 名古屋大学  
山口直也 長岡技術科学大学  
宮浦潤 東北大学  
糸田和規 東北大学  
上村尚暉 筑波大学  
井上将利 東海大学  
北原優樹 東京大学  
田澤匠 東京都市大学  
原優哉 九州工業大学  
二艘木健太 愛媛大学  
堀川椋 芝浦工業大学  
小室慎也 東北大学  
柿本遵史 九州工業大学  
菅卓海 東北大学  
渡辺克也 東北大学  
市川大樹 芝浦工業大学  
中園智晴 名古屋大学  
馬原侑太 東海大学  
岩本葉月 名古屋大学  
三好康介 大阪大学  
黒津啓太 大阪大学

#### 外国一般会員

Liu YiXin 東北大学  
Luckabauer Martin 東北大学  
YANG Jieren Northwestern Polytechnical  
University

NGUYEN Tien Quang 大阪大学  
張永政 高知工科大学  
SAHA Ashim 大阪大学  
Ryu Wookha 学際科学フロンティア研究所

DONG Zhanji 国立研究開発法人物質・材料研究機構  
OSUNKWO STEPHEN  
EZENWATA COMPD. UMUEZE UGA,  
ANAMBRA STATE

#### 外国学生会員

Zhang Bingjie 京都大学  
ONG FEI SHEN 国立研究開発法人宇宙  
航空研究開発機構  
孟浩男 東北大学  
高飛 広島大学  
朱伝奇 東北大学  
胡寛侃 東北大学  
Wang Qiang East China University of  
Science and Technology  
李弘毅 東北大学  
BILLAUT Leo 東北大学

姜昊辰 東北大学  
唐一翔 北海道大学  
張新ゲン 東北大学  
高杭賢 東京工業大学  
カエサリオ ペトルス 東京工業大学  
陳誉元 東北大学  
蘭小東 京都大学  
李家翔 東北大学  
ZHANG Shenghua 北海道大学  
LABIB FARID 東北大学  
李浩歌 東北大学

楊程 東北大学  
陳明曦 東北大学  
李智 東京工業大学  
WU JUN 東北大学  
方冰川 東北大学  
Nam Cheolhee 京都大学  
Shi Lei Kunming University of  
Science and Technology  
Lusha Tian xi'an technologica university



～事務局より～

- 会員の皆様で本会に登録している E-mail アドレスに変更が生じた場合は、会員マイページへのアクセスが出来なくなりますので、事務局(member@jim.or.jp)まで、お知らせ下さいますようお願いいたします。

# 行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
<b>9月</b>				
3～5	第21回 XAFS 討論会(北大)	日本 XAFS 研究会	TEL 011-706-9113 xafs@pcat.cat.hokudai.ac.jp https://pcat.cat.hokudai.ac.jp/xafs	事前 8.10
3～5	第12回 インキュベーションホール(御殿場)	応用物理学会 プラズマエレクトロニクス分科会	http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2018/	定員 60名
4～5	2018電気化学セミナー3「初心者のための電気化学測定法—実習編」(東工大)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 ecsj@electrochem.jp http://electrochem.jp/promotion/index.html	8.20
4～5	第34回分析電子顕微鏡討論会(幕張メッセ)	日本顕微鏡学会	TEL 0774-38-3057 bunseki34@eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp http://eels.kuicr.kyoto-u.ac.jp/bunseki2018/	事前参加 8.24
4～6	サマースクール2018 in 東京「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(中央大)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 nonlinearfem@grp.tohoku.ac.jp http://www.jsces.org/	8.21
4～6	第20回日本感性工学会大会(東京大)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org http://www.jske.org/taikai/jske20	事前 7.13
5	関東支部講習会 材料データベースの最前線—何がどこにどれだけあるの?—(東大)(7号359頁)	関東支部	<b>nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp</b> <b>TEL/FAX 03-5841-7107</b>	定員 80名
5～7	高温変形の組織ダイナミクス研究会「平成30年度夏の学校」(武雄)(6号291頁)	<b>No. 76 : 高温変形の組織ダイナミクス研究会</b>	<b>TEL/FAX 0172-39-3643</b> <b>mineta@hirosaki-u.ac.jp</b>	
5～7	日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム(名工大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall31@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/31/	
6～7	第9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	
10～12	平成30年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(福岡)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp https://confit.atlas.jp/guide/event/mmij2018b/top?lang=ja	
13	腐食防食部門委員会第324回例会(大阪)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	
13	第231回塑性加工技術セミナー「金属材料の組織解析と表面分析の基礎(装置見学付)」(東工大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 40名
13～14	第43回複合材料シンポジウム(富山)	日本複合材料学会	TEL 03-5981-6011 jscom@asas-mail.jp http://www.jsms.jp	
13～15	第15回日本熱電学会学術講演会(東北大)	日本熱電学会	http://www.thermoelectrics.jp/conference.html TEL 052-809-1806 t_takeuchi@toyota-ti.ac.jp	
14	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号462頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
18	第2回若手研究グループ「量子ビーム散乱測定による金属組織形成過程のマルチスケール解析研究」(東北大)(本号455頁)	日本金属学会・若手研究グループ <b>No.4</b>	<b>morooka@post.j-parc.jp</b>	<b>9.10</b>
18～19	第40回安全工学セミナー物質危険性講座(東京)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp	
19～20	第32回初心者のための疲労設計講習会(東京)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 60名
19～21	日本金属学会秋期講演大会(東北大学川内北キャンパス・仙台国際センター)(仙台)(本号453頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b> <b>annualm@jim.or.jp</b>	
19	自動車の革新を支える材料技術の最新動向(東北大)(本号454頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp</b>	
20	若手科学者へ贈る研究のヒント～未踏領域へ到達するために～(東北大)(本号454頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685 stevent@jim.or.jp</b>	
20	JST産学共創基礎基盤研究プログラム「ヘテロ構造制御」公開シンポジウム—ヘテロ構造制御で起こすイノベーション—構造用金属材料の新指導原理—(東北大)	日本鉄鋼協会他	TEL 03-3238-7682 kyousou@jst.go.jp http://form.jst.go.jp/enquetes/hetero2018sympo	
20	第6回ランチョンセミナー(東北大)(本号454頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b> <b>stevent@jim.or.jp</b>	
20～21	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
21	日本金属学会・日本鉄鋼協会第8回女性会員のつどい(東北大)(本号455頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312</b> <b>rieume@imr.tohoku.ac.jp</b>	
21	平成30年度秋季 全国大学材料関係教室協議会講演会(東北大)(本号455頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685</b>	
26～28	第6回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(実習付き)(神戸)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	申込 7.20
27	第77回技術セミナー：大気腐食評価技術と対策(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp http://www.jcorr.or.jp/	定員 70名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
<b>10月</b>				
4～5	第9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 office@jvss.jp https://www.jvss.jp	9.27
4～5	第11回トライボロジー入門西日本講座(兵庫県立大)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp	定員 65名
4～5	平成30年度材料セミナー「電子顕微鏡による組織観察・分析の基礎と応用」(大阪府大)(7号359頁)	関西支部	<b>TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp</b>	定員 12名
5	第109回シンポジウム「金属学研究者と技術者のための3Dプリンタ科学・技術・造形事例」(千葉工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	定員 60名
6, 12.8	CEPRO2018関西(龍谷大他)	日本セラミックス協会教育委員会他	TEL 03-3362-5231 cersj-kyouiku@cersj.org http://www.ceramic.or.jp	
9～12	EcoBalance 2018 第13回エコバランス国際会議(東京)	日本LCA学会	TEL 045-228-7696 ecoBalance2018@ilcaj.org http://www.ecobalance2018.org/	
10～11	第46回ガスタービン学会定期講演会(鹿児島)	日本ガスタービン学会	gtsj-desk@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
10～12	第37回電子材料シンポジウム(EMS-37)(長浜)	電子材料シンポジウム運営実行委員会	TEL 06-6879-7548 tatebaya@mat.eng.osaka-u.ac.jp http://ems.jpn.org/	
12	第37回エレクトロセラミックスセミナー(川崎)	日本セラミックス協会	TEL 093-695-6025 tmiya@life.kyutech.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bdenshi/	定員 60名
14～18	第9回材料電磁プロセッシング国際シンポジウム(EPM2018)(兵庫)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5932 ryo@isij.or.jp http://www.epm2018.org/index.html	
15	NIMS 学術シンポジウム(東京)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
16	NIMS ショーケース(東京)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
16～17	第34回疲労シンポジウム(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://fatigue.jsms.jp	
16～19	第4回材料WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://jsms.jp/	
17	第235回西山記念技術講座 特殊鋼棒線の技術開発と今後の展望(名古屋)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
17	第2回EBSD法による損傷評価講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp/	8.24 定員 40名
17～18	第33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 jim@jsms.jp http://www.jsms.jp	定員 50名
18～19	第66回表面科学基礎講座(阪大)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp http://www.jvss.jp/	10.11
18～19	キャビテーションに関するシンポジウム(第19回)(北大)	日本学術会議第三部	TEL 011-706-6430(直通) masao.watanabe@eng.hokudai.ac.jp http://cavitation19.sakura.ne.jp/index.html	講演 6.4
19	NIMS ラボ公開(つくば)	物質・材料研究機構	nimsweek@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/nimsweek/	
19	第15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 7.6
19～20	第77回塑性加工技術フォーラム「金型寿命向上に向けたセンシング技術採用の方向性」(諏訪)	日本塑性加工学会・諏訪圏工業メッセ2018実行委員会	http://www.jstp.or.jp	定員 70名
24	第236回西山記念技術講座 特殊鋼棒線の技術開発と今後の展望(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
25～26	第54回X線分析討論会(東京理科大)	日本分析化学会X線分析研究懇談会	TEL 03-5228-8266 inakai@rs.kagu.tus.ac.jp	講演 7.27
25～27	結晶塑性の原子過程に関する国際シンポジウムー結晶強度の定量的理解に向けてー(東大)(3号130頁)	日本学術振興会産学協力第133委員会	TEL 03-5452-6111 yasushi@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.apcp.iis.u-tokyo.ac.jp	
26	日本金属学会東北支部地区講演会(弘前大)(本号460頁)	東北支部	<b>TEL 017-735-3362 kobatake@hirosaki-u.ac.jp</b>	
27～28	第69回塑性加工連合講演会(熊大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp/	
29～31	第65回材料と環境討論会(富山)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	8.22
29～31	第39回 超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム(同志社大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp http://www.use-jp.org/	講演 7.23

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
30~11.2	The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (Taiwan)	日本実験力学学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp http://2018-13th-isem.webnode.tw/	
31~11.2	第47回結晶成長国内会議 (JCCG-47) (仙台)	日本結晶成長学会	TEL 070-5047-3339 jccg-47@jacg.jp http://www.jacg.jp/jp/event/2018/jccg-47/	
<b>11月</b>				
2	平成30年度日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会講演・討論会「これからの社会を支える『低環境負荷技術』を考える」(東京)	日本セラミックス協会	TEL 092-925-7722 sakamoto@fitc.pref.fukuoka.jp	
3~4	第25回機械材料・材料加工技術講演会(山形大)	日本機械学会	TEL 0238-26-3197 furukawa@yz.yamagata-u.ac.jp http://www.jsme.or.jp/conference/mpdconf18/	
3~8	第8回実用表面分析国際シンポジウム(PSA-19)(札幌)	表面分析研究会	secretary-psa19@sasj.jp http://www.sasj.jp/PSA/PSA19/index.html	
6~7	第158回塑性加工学講座「塑性加工屋にわかる材料知識～鉄系編～」(東京)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
7	日本希土類学会第36回講演会(東京)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/lecture.html	10.17
9	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号462頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
9	第21回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 03-6732-8966 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
9~11	軽金属学会第135回秋期大会(芝浦工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp/	参加予約 10.4
11~16	第14回核破砕材料技術国際ワークショップ(14th International Workshop on Spallation Materials Technology, IWSMT-14)(いわき)	J-PARC センター	TEL 099-285-8265 ksato@mech.kagoshima-u.ac.jp	
12	第15回ヤングメタラジスト研究交流会(横浜)(本号460頁)	関東支部	yutaro_ota@ihi.co.jp https://rme.mm.t.u-tokyo.ac.jp/ym2018/	
12~14	第13回日本磁気科学学会年会(東北大)	日本磁気科学学会	TEL 022-215-2017 mogi@imr.tohoku.ac.jp http://www.magneto-science.jp/index.html	
13	平成30年度材料セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)(7号359頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 55名
13~14	第12回状態図・熱力学セミナー(東京)(本号461頁)	日本学術振興会第172合金状態図委員会	TEL 029-859-2628 abe.taichi@nims.go.jp http://www.nims.go.jp/CSMD/members/Seminar/12thPDSeminar.htm	
13~15	第39回日本熱物性シンポジウム(名古屋)	日本熱物性学会	TEL 03-5734-2435 jstp@op.titech.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2018/index.html	事前参加 9.28
15	実用表面分析セミナー2018(神戸大)	日本表面真空学会 関西支部	TEL 06-6466-6483 suehiro@scas.co.jp http://www.sssj.org/Kansai/kansai_jitsuyou21.html	
16	第47回 薄膜・表面物理基礎講座(2018)データサイエンスを活用した固体材料・表面研究の最前線(東京理科大)	応用物理学会 薄膜・表面物理分科会	TEL 03-3828-7723 igarashi@jsap.or.jp http://www.jsap.or.jp/	定員 100名
26	第70回白石記念講座「AI(人工知能), ビッグデータが拓く鉄鋼の未来を考える」(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/muriv6uyn	
26~28	第59回高圧討論会(岡山理科大)	日本高圧力学学会	TEL 070-5545-3188 turonkai59@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/59forum/	講演 7.10
27~28	国際シンポジウム「先進自動車製造技術における接合技術」JAAA2018(Joining Technologies in Advanced Automobile Assembly 2018)(北九州)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jaaa2018@tg.rim.or.jp http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~conf/jaaa2018/index.html	申込 11.12
29~30	第26回新粉末冶金入門講座(京都工芸繊維大)	粉末粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 inoue@jspm.or.jp	11.16
29~30	第51回安全工学研究発表会(金沢)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp	
29~30	電気加工学会全国大会(2018)(阪大)	電気加工学会	watanabe@tri-osaka.jp TEL 0725-51-2954 http://www.jsme.or.jp/	
29~30	平成30年度材料セミナー「材料系のための第一原理マテリアルデザイン入門」(阪大)(7号359頁)	関西支部	TEL 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310 n-kansai@ostec.or.jp	定員 20名
30	平成30年度溶接工学専門講座(阪大東京ランチ)	溶接学会	TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp http://www.jweld.jp/	定員 50名
30	第22回生体関連セラミックス討論会(東工大)	日本セラミックス協会	seitai_21_entry@bio.ceram.titech.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bseitai/symposium/22th_Symp.html	講演 10.1

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
<b>12月</b>				
5	エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム2018(EcoDePS2018)(早稲田大)	エコデザイン学会 連合	secretariat@ecodenet.com http://ecodenet.com/EcoDePS2018/	
5~7	第44回固体イオニクス討論会(京大)	日本固体イオニクス学会	TEL 075-753-6850 yamamoto.kentaro.4e@kyoto-u.ac.jp https://ssi2018.symposium-hp.jp	
6~7	平成30年度磁性流体連合講演会(藤沢)	磁性流体研究連絡会	yukinori.noguchi@ichinen-chem.co.jp http://jsmfr.on.arena.ne.jp/jsmfr2018.html	
6~7	第56回高温強度シンポジウム(石垣)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 http://www.jsms.jp/	講演 9.10
10~11	日常的な分析業務におけるJIS並びにISO規格の利用—表面分析実用化セミナー'18—	表面分析研究会	nagatomi.td@om.asahi-kasei.co.jp http://www.sasj.jp/	11.23
<b>2019年1月</b>				
11	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号462頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
26	第24回高専シンポジウム in Oyama(小山高専)	高専シンポジウム 協議会他	TEL 0285-20-2141 senkou@oyama-ct.ac.jp	
29~30	Mate2019第25回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(横浜)	スマートプロセス 学会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/mate/	
<b>2019年3月</b>				
8	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号462頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/ japanese/index_j.html	
20~22	日本金属学会春期講演大会(東京電機大学東京千住キャンパス)(東京)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	
<b>2019年6月</b>				
2~7	世界水素技術会議2019(東京)	水素エネルギー協 会	TEL 029-861-8712 org@whtc2019.jp http://whtc2019.jp	
<b>2019年8月</b>				
18~22	国際会議(PRICM-10)(中国西安)(8号405頁)	中国金属学会	pricm10@csm.org.cn http://www.pricm10.com/	概要 12.1 論文 3.1
<b>2019年9月</b>				
11~13	日本金属学会秋期講演大会(岡山大学津島キャンパス)(津島)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	

### 2017, 2018年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

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

まてりあ 第57巻 第9号 (2018) 発行日 2018年9月1日 定価(本体1,700円+税)送料120円  
年間機関購読料金52,400円(税・送料込)

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

# 高温真空 3000℃への挑戦

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

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



炉の改修

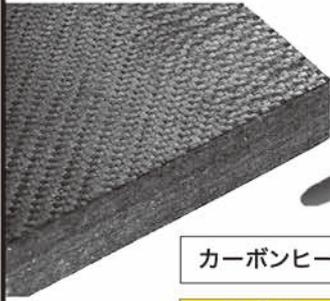
ハイブリット成形断熱材



高断熱+省エネ



カーボンフェルト



6面シート  
貼り

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



## メカニカルカーボン工業株式会社

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

**EAG**  
LABORATORIES

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

GDMS分析  
世界シェア **No.1**



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

測定対象試料.....

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

“世界の分析リーダー”の技術を日本で——



ナノサイエンス株式会社

〒171-0021 東京都豊島区西池袋1-21-7 住友不動産池袋西口ビル7F  
TEL.03-5396-0531(代) FAX.03-5396-1930 [E-mail] [analysis@eag.com](mailto: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>

**Retsch**  
Solutions in Milling & Sieving

展示予定

高エネルギーボールミル **Emax**



ナノ粉碎・メカニカルアロイングに

- 革新的な水冷方式により、温度制御可能
- 2000rpm の高速回転で、粉碎時間の短縮
- 高エネルギー粉碎による、メカノケミカルの促進

**CARBOLITE**  
**IGERO** 30-3000°C

不活性ガス雰囲気チャンバー炉 **GPCMA**



AMS 2750E 対応 金属3Dプリンタ製品の焼結に

- 250mm×250mm のビルドプレートが収まる
- 過熱面が作業者に向かない、安全なドア構造
- 全自動ガスコントロール

**JASIS**  
Japan Analytical Scientific Instruments Show  
2018

**JASIS 2018** @ 幕張メッセ

出展します

9/5 水 ▶ 9/7 金 AM10:00 - PM5:00

展示ブース：5A-506

**Retsch**  
TECHNOLOGY  
Solutions in Particle Sizing

展示予定

画像式粒度分布測定装置 **CAMSIZER X2**



粒度分布、粒子形状測定(例:アスペクト比、真円度、表面凹凸度)に

- 乾式・湿式に対応
- カメラのレンズ交換等のハードウェア調整を行う必要なく、0.8μm~8mmの粒子を測定
- 顕微鏡と同様の画像解析

**AVTA**  
ADVANCED MATERIALOGRAPHY

卓上型自動/手動切断機 **Brillant 240**



様々な切断に柔軟に対応

- X軸方向の自動/手動送り、Z軸方向の自動送りが可能。
- 手動切断レバーは片手でも容易に操作可能。
- スライド式の扉カバーにより試料の着脱が容易。

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



**VERDER**  
scientific