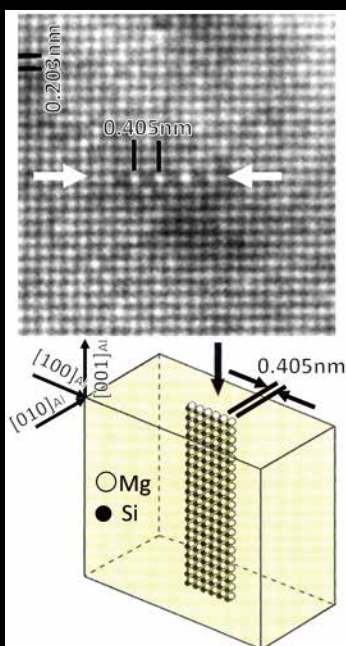


# Materia Japan

まてりあ Vol.60

MTERE2 60 (7) 389 ~ 458 (2021)

No.7  
2021



・ 金属素描 ～白金～

特集

材料技術史から見るこれからの  
技術展開Ⅲ～アルミニウム合金～

講義  
ノート

金属製錬の熱力学 (第1回)

- ・ 半導体粒界における局所物性の解析に向けた機械学習型原子間ポテンシャル
- ・ まてりあ 60 巻記念企画  
在籍 60 年会員からのお便り

# 科研費関連機器・製品申請ガイド

## 〈構造材料実験機器・製品〉

### 人の手による研磨の限界を IS-POLISHERが改善します

#### 経験を数値化できる基本モデル ISPP-1000

試料作製では「人によって仕上がりに差が出る」という課題があります。これらの問題は自動化することで改善できます。

#### 【特長】

- ◆低負荷でEBSD像が得られる
- ◆削り量を2 $\mu$ m単位で設定できる
- ◆試料面の傾きを調整できる
- ◆小型省スペース
- ◆研磨条件を数値化し自動化できる
- ◆試料を装置から取り外すことなく観察できる



参考価格(税込):  
3,278,000円～

#### 株式会社 池上精機

〒223-0057 横浜市港北区新羽町543-1-2F  
TEL 045-717-5136 FAX 045-717-5137  
URL: <https://is-polisher.com/> e-mail: [sales3@ikegamiseiki.co.jp](mailto:sales3@ikegamiseiki.co.jp)

## 〈構造材料実験機器・製品〉

### 試料に過度な負荷を与えずに自動で研磨できる 新発想の試料作製システム

#### 自動低負荷試料作製システム ISPP-3000

「試料研磨ができる人を増やしたい」にお応えします



ターンテーブルφ230

ISPP-1000の機能はそのままに、  
さらに新機能を充実させたISPP-3000

参考価格(税込):  
5,478,000円～

- ◆タッチパネル操作でさらに操作しやすく、作業効率が格段に向上しました。
- ◆未経験の方への技術指導がとても簡単になりました。
- ◆メモリー機能の充実で、他の人が作った設定条件でも同じ結果を得られます。
- ◆1インチまでの試料の加工ができるようになりました。

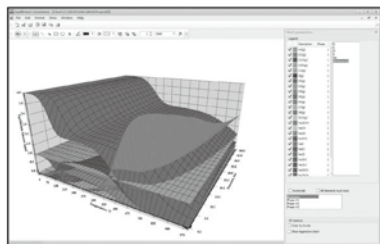
#### 株式会社 池上精機

〒223-0057 横浜市港北区新羽町543-1-2F  
TEL 045-717-5136 FAX 045-717-5137  
URL: <https://is-polisher.com/> e-mail: [sales3@ikegamiseiki.co.jp](mailto:sales3@ikegamiseiki.co.jp)

## 〈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. 10

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（プールベ）状態図の作成などユニークなモジュールを持ち合わせています。計算結果のテーブルと状態図はクリップボードにコピーできます。SIM Flowsheetモジュールもあり、複数のユニットプロセスからなるプロセス全体のシミュレーションとモデリングができます。Ver.9.4から3元状態図作成のツールが付いています。



年間使用料(税込)  
¥319,000(一般)  
¥110,000(教育)

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

#### 株式会社 デジタルデータマネジメント

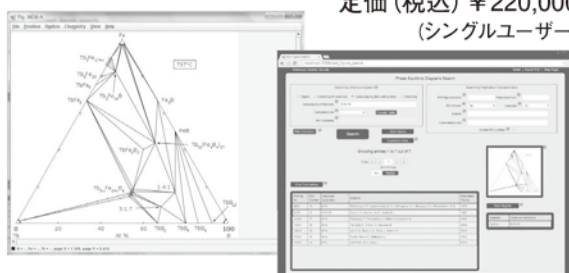
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町1-11-8 紅萌ビル  
TEL 03-5641-1771 FAX 03-5641-1772  
<http://www.ddmcorp.com>

## 〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

### 約30,000件のセラミックス状態図データベース ACerS-NIST

Phase Equilibria Diagrams, Version 4.5

定価(税込) ¥220,000  
(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 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>

## 〈材料検査・評価装置・製品〉

### 新素材研究用 自由共振式小試料 ヤング率及び内部摩擦測定装置 JES-RT

価格(税込)：330万円

ヤング率は材料の基礎的な物性値です。新素材研究において、まず必須の測定項目ですが、研究初期においては小さな材料しか作成できません。本装置はヤング率測定において最も操作が容易で測定精度の高い自由共振式装置で小試料測定を実現・開発したものです。試料は板材、角材、線材など断面一様で長さ10mm程度、共振周波数も100kHz程度までの試料の測定ができ、内部摩擦測定もできますので、従来の共振法装置より高い周波数での測定も可能となり、幅広い周波数依存性(ひずみ速度依存性)の測定も可能となり、内部欠陥の研究にも活用できます。



#### 日本テクノプラス株式会社

〒532-0012 大阪市淀川区木川東3-5-21 第三丸善ビル  
TEL 06-6390-5993 URL: <http://www.nihon-tp.com>  
e-mail: [info@nihon-tp.com](mailto:info@nihon-tp.com)

## 〈材料検査・評価機器・製品〉

### 原子間力顕微鏡 Park NX10

価格：お問い合わせください

- Park NX10は最高レベルの正確さと再現性を実現し、最高のナノ分解能をもたらします。  
世界で唯一の“真のノンコンタクトモード™”を採用することで、サンプルを非破壊で観察し、かつ、探針の寿命を飛躍的に伸ばすことが可能となりました。
- フレクチャー式で分離型のXY/Zスキャナにより、チューブスキャナーで見られるような湾曲は無く、フラットな面をフラットに観察できます。
- SmartScanソフトウェアの自動モードでは、サンプルへのアクセスからイメージングまでを数クリックで行い、初心者でも簡単に最高品質の画像を取得できます。
- オプションで電気特性などの様々な表面分析が可能です。



#### パーク・システムズ・ジャパン株式会社

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1-17-1  
TEL 03-3219-1001 FAX 03-3219-1002  
<http://www.parksystems.co.jp> e-mail: [psj@parksystems.co.jp](mailto:psj@parksystems.co.jp)



## 〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

### 第1巻 「永久磁石の基礎と 永久磁石測定方法」(第3版増版)

価格(税込み本代およびレターパック送料)：2,670円

モーターメカ等の設計技術者及び磁石評価技術者向けの永久磁石の入門書。

永久磁石の基礎知識と測定方法を解説。

電気回路と磁気回路の比較、磁気のcgs単位系、パーミアンス法、反磁界とその理解、永久磁石の減磁曲線の見方と解釈、直流BHトレーサ、パルスBHトレーサ、渦電流の影響、TiN標準試料、トレーサビリティ、VSMと測定例、PLD厚膜測定例、測定の標準化、IEC国際規格、山本研究紹介「ガウスメータ/超小型ホール素子による磁石の3次元内部磁場分布」



#### ネオジコンサル(個人事業主登録) 山本日登志

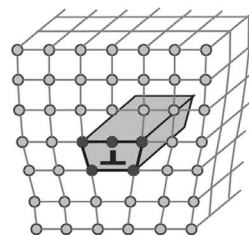
〒604-8127 京都市中京区菊屋町524アビーロードハウス604  
TEL 090-2204-7294(留守電可)  
<https://hitoshiad26.sakura.ne.jp> e-mail: [hitoshiad\\_0330@yahoo.co.jp](mailto:hitoshiad_0330@yahoo.co.jp)

## 〈材料物理関係機器・製品〉

### 転位密度解析

X線回折データから、転位密度や転位の配列状態、刃状/螺旋の割合などを定量的に分析可能

回折指数ごとに転位のコントラストが変化する特徴(回折ピークプロファイルの幅広がり)を解析することで、転位キャラクターの精密解析が可能です。



X線回折法を適用することで、金属材料の各種特性(疲労強度・硬さ・加工性など)に影響する残留応力や転位密度を、非破壊・非接触かつ定量的に分析することが可能です。

#### 株式会社リガク

東京支店 03-3479-6011 大阪支店 072-696-3387 東北営業所 022-264-0446  
名古屋営業所 052-931-8441 九州営業所 093-541-5111  
URL: <https://www.rigaku.com> e-mail: [info@rigaku.co.jp](mailto:info@rigaku.co.jp)

7

2021  
Vol.60  
No.7

まてりあ

金属素描 No. 17 白金(Platinum) 轟 直人 .....389

## 特集「材料技術史から見るこれからの技術展開Ⅲ～アルミニウム合金～」

企画にあたって 北村一浩 .....390

ジュラルミンから超々ジュラルミンまで—合金開発の歴史と今後の課題—  
吉田英雄 .....391

アルミニウムの製錬 松村浩幸 .....399

Al-Mg-Si 合金の時効析出過程に関する最近の研究動向  
松田健二 西村克彦 李 昇原 布村紀男 土屋大樹 池野 進 .....404講義ノート 金属製錬の熱力学(第1回) 月橋文孝 .....411  
高温での化学反応によって目的金属を得る金属製錬反応の解析のために必要な化学熱力学の使い方について述べる。  
第1回は化学ポテンシャル、状態量などについて説明する。新進気鋭 半導体粒界における局所物性の解析に向けた機械学習型原子間ポテンシャル  
横井達矢 .....416

思い出の教科書、この一冊! “講座・現代の金属学 材料編5 非鉄材料” 日本金属学会(編) 芹澤 愛 .....420

“あのころ”のまてりあ 「基礎研究と開発研究」について 近藤亮太 .....421

## まてりあ 60巻記念企画

数60を知る 松尾宗次 .....427

会報60周年に寄せて 渋谷和久 .....428

「会報」と私 中村義男 .....430

委員会だより Materials Transactions の審査基準とインパクトファクター向上について  
堀田善治 .....431

会員へのアンケート結果報告 柴田直哉 .....435

男女共同参画委員会 ランチョンミーティングの紹介—COVID-19流行下における  
男性研究者の PTA 改革— 三浦永理 .....439

スポットライト 酸化還元反応による無機顔料の色の变化 増田 琳 神田七穂 .....441

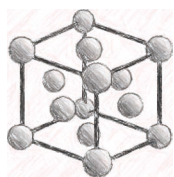
|                                                                            |                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>本会記事</b><br>会告 .....442<br>支部行事 .....450<br>書評 .....451<br>掲示板 .....452 | 会誌・欧文誌7号目次 .....453<br>新入会員 .....454<br>次号予告 .....454<br>行事カレンダー .....455 |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                                                                                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>今月の表紙写真</b> | 343 K で60 ks 時効した Al-1.6 mass%Mg <sub>2</sub> Si 合金を HRTEM 観察して得られた画像とその画像から推察された GP ゾーンの模式図 <sup>(19)</sup> 。(松田健二 西村克彦 李 昇原 布村紀男 土屋大樹 池野 進 著 405頁 図2より掲載) |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

表紙デザイン: ビーコン コミュニケーションズ株式会社 グラフィックスタジオ

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

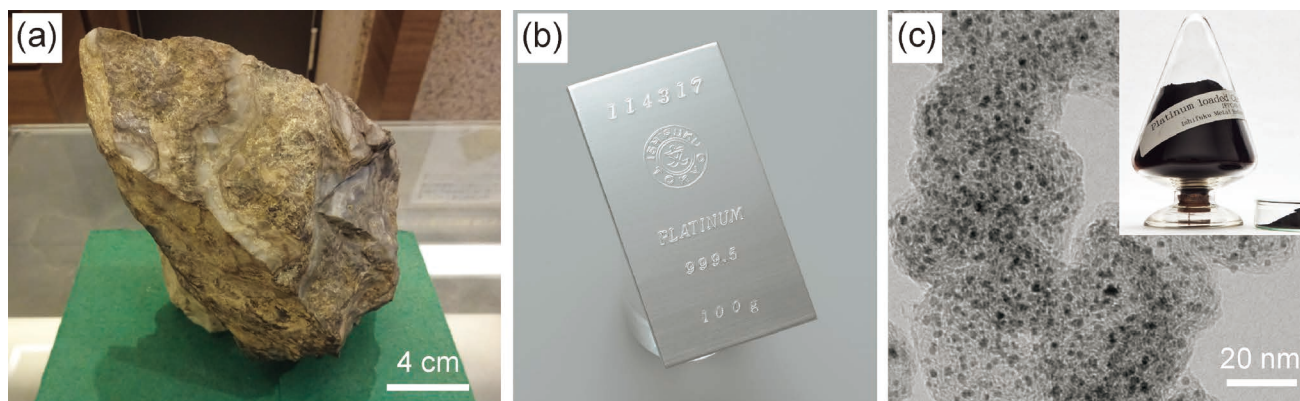
権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <http://www.jaacc.jp/>  
複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、直接本会へご連絡下さい。



シリーズ「金属素描」

# No. 17 白金(Platinum)

東北大学 轟 直人



元素名：Platinum，原子番号：78，質量数：195.08，電子配置： $[\text{Xe}]4f^{14}5d^96s$ ，密度： $21.44 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (293 K)，結晶構造：面心立方(室温～融点)，融点：2042 K，沸点：4100 K<sup>(1)</sup>，地殻存在量： $1.5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ <sup>(2)</sup>。【写真】(a)白金鉱石(鉱石1トン当たりPt 2.5 g含有)，(b)Pt インゴット，(c)燃料電池用カーボンブラック担持Pt ナノ粒子触媒のTEM 像と粉末の写真(すべて石福金属興業株式会社提供)

希少，高価，高耐食。白金について真っ先に思い浮かぶのは，この3つだろう。最も身近な白金の用途は指輪などの宝飾品であり，白金の材料学的特徴や一般的な印象を如実に現した製品だといえる。金属材料研究者には，るつぼとして毎日触れている方もいるかもしれない。また，これまで白金とイリジウムの合金がキログラム原器として使われていたが，2019年にプランク定数を求める方法<sup>(3)</sup>に変更されたことも記憶に新しい。そんな白金は工業的には目に見えないところで大いに活躍し，現代社会で役立っている。本稿では，その一端をご紹介したい。

白金の工業的利用先はハードディスクドライブ，ガラス用るつぼ，医療器具など多岐に渡るが，代表的なものが触媒である。特に，自動車用排ガス触媒としての工業的需要が高く，宝飾品・投資を除いた需要の約6割を占める<sup>(4)</sup>。排ガス触媒(三元触媒)には白金，ロジウム，パラジウムが用いられるが，この中で白金は有害物質である炭化水素と一酸化炭素を酸化する役割を担っている。他にも，アンモニアからの硝酸合成，ナイロン，ポリウレタンなどの樹脂合成や石油精製にも白金は触媒として利用されている。最近では，自動車用燃料電池の電極触媒(図(c))として注目されており，燃料電池自動車(FCV)の普及に向け，世界規模で熾烈な開発競争が繰り広げられている。

なぜ多くの化学反応に対し白金は触媒として作用するのだろうか。触媒反応をスムーズに進行させるには，反応分子と触媒表面の間の結合力が適度な強さになることが肝要である<sup>(5)</sup>。一例として，排ガス触媒で起こる一酸化炭素の酸化反応( $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ )を考えてみる。この反応では，まず触媒表面で酸素分子が解離し，表面に吸着した酸素原子が生成

する。これが触媒表面上で一酸化炭素と結合し，二酸化炭素を生成する。このとき，中間体として生成する吸着酸素原子と触媒の結合力が強すぎると一酸化炭素と酸素原子の結合反応が起こりにくくなり，逆に弱すぎると最初の反応過程である酸素分子の解離が起こりにくくなる。白金が広く触媒として用いられるのは，それぞれ主要な酸化・還元体である酸素・水素との結合力のバランスがよく取れているためと考えることができる。工業的に利用するには高い耐久性を兼ね備える必要もあり，高温下での凝集，酸化や強酸下での腐食が起こりにくいことも白金の重要な特性である。

このように，数ある材料の中で特筆した化学的特性を持つ白金であるが，その資源量は極めて少なく，また偏在している。今後も利用していくためには，省白金化や高効率リサイクルなどの材料技術の開発が欠かせない。革新的な代替材料や材料技術が開発されるその日まで，私たちは白金と上手につき合っていかなければならない。

## 文 献

- (1) 金属データブック改訂4版，日本金属学会，丸善，(2004)。
- (2) R. L. Rundnick, S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd. (2004), 1-64.
- (3) まてりあ：59 (2020), 67-70.
- (4) Pgm Market Report: Johnson Matthey, (2019).  
<http://www.platinum.matthey.com/services/market-research/pgm-market-reports>
- (5) 岩澤康裕，小林 修，富重圭一，関根 泰，上野雅晴，唯美津木：触媒化学，第1章，裳華房，(2019)。

次号 金属なんでもランキング! No. 15 融解熱

## 企画にあたって

北村 一 浩\*

2020年9月17日、第167回秋期講演大会において「材料技術史から見るこれからの技術展開Ⅲ」と題したシンポジウムを開催した。金属材料は、精錬、溶解、鋳造、成形(鍛造、圧延など)のプロセスを経て必要な特性を発現させるため、プロセス開発は材料開発の歴史の中で重要な役割を担ってきた。また持続可能な社会のためには、材料特性だけでなく環境低負荷プロセスや高効率プロセスの開発も必要であり、これからの新しいプロセスに適した合金開発や応用展開も期待される。そのため本シンポジウムは、今までのプロセスや材料開発の歴史を振り返るとともに、これから期待される新しいプロセスや材料開発、実用分野などについて議論することを目的として企画した。2018年9月20日に「チタン」をテーマに第1回シンポジウムを、2019年3月21日に「製錬・精錬・リサイクル」をテーマに第2回シンポジウムを行った。第3回目となる今回のシンポジウムでは、航空機部材や建築材料として幅広く使用されている「アルミニウム合金」をテーマに、アルミニウム合金の技術史と今後の展望について議論するために、「材料と社会、先進機能材料」を担当する第1分野と「構造材料」を担当する第8分野の共同で企画を行った。

超々ジュラルミン研究所の吉田英雄氏には、「ジュラルミンから超々ジュラルミンまで合金開発の歴史と今後の課題」と題して、まずはジュラルミンの発明と、ジュラルミンが航空分野で使われるようになった経緯について詳しく解説いただいた。その後、Si濃度を増加させた14Sと、Mg濃度を0.5%から1.5%に増加させた24Sの2つの異なるアプローチによる超ジュラルミンの開発例や、Al-Cu-Zn-Mg合金の成分最適化による超々ジュラルミンの開発例などについて紹介いただいた。特に後者については、世界に先駆けて住友によって開発され、日本海軍の零式艦上戦闘機にも使用された超々ジュラルミンの逸話なども披露され、最後に今後の超々ジュラルミンのさらなる特性向上のために必要な技術についても示唆いただいた。

日本軽金属株式会社の松村浩幸氏には、「アルミニウムの製錬」と題して、まず世界のアルミニウムの生産量の推移に

ついて紹介いただいた後に、ホール・エルー法を用いた金属アルミニウムの生産方法について詳しく解説いただいた。その後、電解炉の大型化によるアルミニウム製錬の高効率化や、近年実用化されつつある非消耗陽極によるカーボンフリー製錬技術など、次世代のアルミニウム製錬についての展望をいただいた。そして最後に、今後の我が国の取るべき戦略として、アルミニウムのリサイクル技術のさらなる向上のみならず、スクラップの合金毎選別技術などが展開されるべきとの主張をいただいた。

富山大学の松田健二先生には、「Al-Mg-Si合金の時効析出過程に関する最近の研究動向」と題して、Wilmによるアルミニウム合金の時効硬化現象の発見や、GuinierとPrestonによるGP(Guinier-Preston)ゾーンの発見、Silcockらによる時効硬化と析出組織の対応に関する研究例を紹介いただいた。その後、時効硬化型アルミニウム合金中でも実用材としての使用量が多いにも関わらず、研究報告が少ないAl-Mg-Si合金について、1980年代から今日までの研究の推移を系統的に示すとともに、松田先生の研究成果もふんだんに紹介いただいた。特に、最近提案されたユニバーサルクラスタについては、多くの新しい知見や解釈が含まれており、今後のさらなる研究の進展が期待される。

本特集では、アルミニウム合金の技術史と今後の展望について、上記の3名の方に解説記事を執筆いただいた。超々ジュラルミンを超える新合金の開発や、アルミニウム合金のリサイクルの重要性、アルミニウム合金の時効析出組織の新たな解釈法などが示唆され、今後の研究の方向性を示すものとなっている。本特集が、読者の参考になれば幸いである。



北村一浩

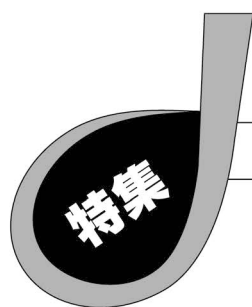
★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 2000年3月 筑波大学大学院工学研究科博士課程修了  
 2007年4月 国立長野工業高等専門学校 機械工学科  
 准教授  
 2009年4月 愛知教育大学 教育学部 技術教育講座  
 准教授  
 2015年4月- 現職  
 専門分野：技術教育、形状記憶合金、相変態  
 ◎中学校技術科向けの教材開発と、Ti-Ni形状記憶合金の特性評価・応用研究を行っている。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

\* 愛知教育大学教育学部創造科学系 技術教育講座；教授(〒448-8542 刈谷市井ヶ谷町広沢1)

Preface to Special Issue on "Future Growth Expected from Technological History of Materials III ~Aluminum Alloys~"; Kazuhiro Kitamura (Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: *technology education, Ti-Ni alloys, shape memory alloys, phase transformation*

2021年5月31日受理[doi:10.2320/materia.60.390]



# ジュラルミンから超々ジュラルミンまで — 合金開発の歴史と今後の課題 —

吉 田 英 雄\*

## 1. は じ め に

ジュラルミンと聞いてジュラルミン製靴や銀色に輝く飛行機を想像される方もおられよう。しかし正確にどんな金属だと答えられる方は少ないと思う。世の中にはジュラルミンとアルミニウムの区別もついていない方も多い。金属材料の専門家であれば、時効析出型合金の代表例としてジュラルミンがあり Al と Cu が添加されているくらいは講義で教わったと思うが、Mg が添加されていることは知らない場合が多い。Mg が添加されることがいかに重要であるかをきちんと理解することは意外と難しいと思う。まずは本論に入る前にジュラルミンから超ジュラルミン、超々ジュラルミンまでの合金開発の歴史および航空機との関係を概括する。そして、これらの合金がなぜ開発できたのかを明らかにし、今後さらに検討すべき課題を述べる。最後に、今後日本が超々ジュラルミンを超える高強度合金を開発する上での問題点を明らかにし、合金開発の展望を述べる。

## 2. 戦前の航空機用アルミニウム合金開発の歴史<sup>(1)–(3)</sup>

### (1) 欧米のジュラルミンと超ジュラルミン開発

1906年ドイツのヴィルム(A. Wilm)が Mg を添加した Al-Cu-Mg 合金を焼入れ後室温に保持すると時効硬化を示すことを発見し、1909年これをジュラルミンと命名して工業化された。この材料がドイツのツェッペリン飛行船に採用され、第一次世界大戦でドイツがロンドンを空爆するのに大いに利用された。これに刺激を受けた各国の軍事関係者はこぞってジュラルミンを用いた飛行船を作り始めた。一方で、研究者にはジュラルミンより高強度アルミニウム合金の開発を望むようになった。各国の研究者はこれに応え、ジュラルミンに Si を添加した合金を研究するようになり、ジュラルミンより高強度の超ジュラルミンが開発された。ここでなぜ Si が添加されたのかには非常に興味深い歴史がある。表 1 に本稿で述べる合金の成分、機械的性質をまとめる<sup>(4)(5)</sup>。

アメリカでは1916年海軍がツェッペリン飛行船の残骸を入手して、アルミニウム製錬事業で規模を拡大したアルコアにジュラルミンと同等のアルコア合金17S(現在では2017)を

表 1 代表的な合金の成分と板材の機械的性質<sup>(4)(5)</sup>。

|          | 呼称  | AA合金 | AA(Aluminum Association) 合金成分規格 (mass %) |           |          |          |         |           |      | 代表値 |               |             | JIS規格値(板厚1mm) |               |             |           |
|----------|-----|------|------------------------------------------|-----------|----------|----------|---------|-----------|------|-----|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-----------|
|          |     |      | Cu                                       | Mg        | Mn       | Si       | Zn      | Cr        | Fe   |     | 引張強さ<br>(MPa) | 耐力<br>(MPa) | 伸び<br>(%)     | 引張強さ<br>(MPa) | 耐力<br>(MPa) | 伸び<br>(%) |
| ジュラルミン   | 17S | 2017 | 3.5-4.5                                  | 0.40-0.80 | 0.4-1.0  | 0.2-0.8  | 0.25    | 0.10      | 0.7  | T4  | 425           | 275         | 22            | 355           | 195         | 15        |
| 超ジュラルミン  | 14S | 2014 | 3.9-5.0                                  | 0.20-0.80 | 0.4-1.2  | 0.50-1.2 | 0.25    | 0.10      | 0.7  | T6  | 485           | 415         | 13            | 440           | 390         | 6         |
| 超ジュラルミン  | 24S | 2024 | 3.8-4.9                                  | 1.2-1.8   | 0.30-0.9 | 0.50     | 0.25    | 0.10      | 0.50 | T3  | 485           | 345         | 18            | 440           | 295         | 15        |
| 超々ジュラルミン | ESD |      | 1.5-2.5                                  | 1.2-1.8   | 0.3-1.0  | 0.6      | 6.0-9.0 | 0.1-0.4   | 0.6  | T6  | 588           | 519         | 14            | 520           | 441         | 8         |
|          | 75S | 7075 | 1.2-2.0                                  | 2.1-2.9   | 0.30     | 0.40     | 5.1-6.1 | 0.18-0.28 | 0.50 | T6  | 570           | 505         | 11            | 525           | 460         | 6         |

(注) ESDの規格値は五十嵐勇、北原五郎：住友金属工業・研究報告、3(1939)、455-474.を参照。

\* 超々ジュラルミン研究所；代表(元株式会社 UACJ 技術開発研究所)(yoshida-esdlab@hotmail.com)  
From Duralumin to Extra Super Duralumin —History of alloy development and future challenges—; Hideo Yoshida (ESD Laboratory, Nagoya)  
Keywords: duralumin, super duralumin, extra super duralumin, 2024, 7075, Zeppelin airship, zero fighter  
2021年3月26日受理[doi:10.2320/materia.60.391]

製造させて、海軍の飛行船を建造した。一方、アルコアはそれまでの製錬一辺倒の研究体制を改め、新地金の拡販のために当時アメリカ最高の非鉄金属研究者を抱えていたリナイト研究所からジェフリース(Z. Jeffries, 日本では日本金属学会のジェフリース賞で有名な研究者)を招き合金開発を行なった。その結果、Si添加の超ジュラルミン14S(2014)と呼ばれる合金を開発した。しかし、この合金は高温時効を必須としたため、高強度は得られるが伸びが低下し、曲げ加工を必須とする航空機の外板や骨格に容易に適用できないという問題が生じた。ここで1931年新たに発明されたのが24S(2024)である。この合金は焼入れして室温時効で高強度が得られ、伸びも高いので17Sから24Sに置き換わった。この24Sはジュラルミンの成分のMgを0.5%から1.5%にただけで、なぜこのような合金がジュラルミンができてからすぐにできなかったのかについては非常に不思議であった。もちろんジュラルミンの時効硬化機構を理解するのに時間がかかるとしても20年も要するだろうかというのが率直な疑問である。それらもイギリスやドイツではなく、アメリカでできたのであろうか、ここに問題を解く鍵がありそうである。

## (2) 航空機の発達

第一次世界大戦では、飛行機は高高度を飛行する飛行船には及ばなかったが、飛行船に対抗するために飛行機の開発が急ピッチで進んだ。ドイツでは1919年ユンカースが波板状ジュラルミンを機体に用いた全金属製旅客機を開発した。さらにこれは片持ち式低翼単葉機という非常に先進的な機体であった。しかしながら世界的に本格的な全金属製になるのは1930年代である。それまでは木製と金属製の混合構造で、複葉機が主流であった。飛行機は飛行船に比べて大量には運べないが、速度が速いのが利点であった。

アルコアが開発した24Sが最初に使用されたのは1935年初飛行の全金属製双発の民間旅客機DC-3である。DC-2に比して定員を5割増としながら、その運航経費は僅か3%ほどの増に過ぎなかった。「飛ばせば儲かる飛行機」の出現は、航空輸送の発展において画期的なことであった。これはひとえに24S開発によるところが大きかった。さらに第二次世界大戦では、軍用輸送機(米軍C-47スカイトレイン、英軍ダコタ)としても活躍し1945年までに約1万機生産された。アルコアは耐食性を向上させるために、芯材の17Sや24Sに純アルミニウム板を表層に貼り合わせたクラッド技術によりアルクラッド材を開発した。このアルクラッド材は航空機外板に用いられた。

## (3) 日本における合金開発と航空機

日本においても海軍がドイツの飛行船に関心を持っていて、1916年イギリスで墜落したツェッペリン飛行船の残骸を日本に持ち込み、住友に分析させジュラルミンと同じものを作らせた。しかし日本には当時アルミニウム板を工業生産する技術がなかった。日本は第一次世界大戦で戦勝国であったため、その賠償として住友も陸海軍と共同で1922年ドイツに

「ジュラルミン製造技術習得団」を派遣し、鑄造、圧延、押出、鍛造の技術を学び、1930年にはアルコア(後にアルケャン)と技術提携して大阪の桜島に新工場を建設した。

合金開発においても1932年頃から超ジュラルミンの研究を本格的に開始した。陸海軍と共同で欧米の研究をベースに開発を進め、Siを含んだ超ジュラルミンを開発したが、1935年春、なぜか急遽アメリカの24Sに切り替わった。この24Sは当時海軍が開発していた九六式艦上戦闘機に採用された。24Sの引張強さは45~50 kg/mm<sup>2</sup>(441~490 MPa)であったが、海軍はこれに満足せずに60 kg/mm<sup>2</sup>(588 MPa)以上の引張強さを持つ合金を開発するよう住友に命じた。

1935年8月五十嵐勇が中心になって、新合金の開発を始め、1936年6月には新合金を開発し特許を申請した。この合金を超々ジュラルミン ESD(Extra Super Duralumin)と名付けた。国策とはいえ、欧米でもできていなかった高強度合金開発が日本でなぜ一年以内の短期間でなし得たかが筆者には大きな疑問であった。この合金開発を聞きつけて零戦主翼に採用したのが三菱の堀越二郎であった。当時零戦の試作機、十二試艦上戦闘機でグラム単位の軽量化を図っていた堀越は、超々ジュラルミンを主翼の桁に用いると30 kgは軽くなると試算し、海軍に至急使用したいと申し出て許可された。

以上がジュラルミンから超々ジュラルミン開発までの歴史と零戦に搭載されるまでの経緯である。この超々ジュラルミンは不時着した零戦からその正体が明らかになり、米軍はアルコアにそれと同等の合金7075を作らせた。この合金こそ戦後の航空機材料の代表的な合金となり、現在はそれを改良した合金が開発されている。こうした事情から日本では7075およびその派生した合金も超々ジュラルミンと呼ばれることが多い。

## 3. 合金開発ができた背景と今後の研究課題<sup>(1)-(3)</sup>

### (1) ジュラルミン

#### (a) 時効硬化現象の発見と工業化

ドイツのヴィルムは1901年、ベルリン近郊のノイバーベルスベルクにある理工学中央研究所に招聘され、翌年ドイツ兵器弾薬製造会社から真鍮製の葉莖をAl合金で代替するための開発委託を受け研究を開始した。彼はAl-4%Cu合金を銅と同じように焼入れして、引張強さ15.5~23 kg/mm<sup>2</sup>(152~225 MPa)、伸び5~7%を得たが、真鍮の代替には及ばなかった。その後研究を続け、1906年室温で放置すると硬くなる時効硬化現象を発見した。Al-4%Cu-0.6%Mn合金に0.5%Mgを添加した3 mm厚みの板材を作成し、520℃の塩浴炉で加熱後焼入れした<sup>(6)</sup>。その結果、硬さが焼入れ後2時間まではほとんど変化せずにそれ以降4日間にわたって増加し、その後一定になることを確認した。この熱処理により、引張強さ40 kg/mm<sup>2</sup>(390 MPa)、伸び20~25%が得られた。ヴィルムの論文に掲載されたAl-3.5%Cu-0.5%Mg合金の時効硬化曲線を図1に示す<sup>(7)(8)</sup>。この論文にはマンガンについての記述はなかった。

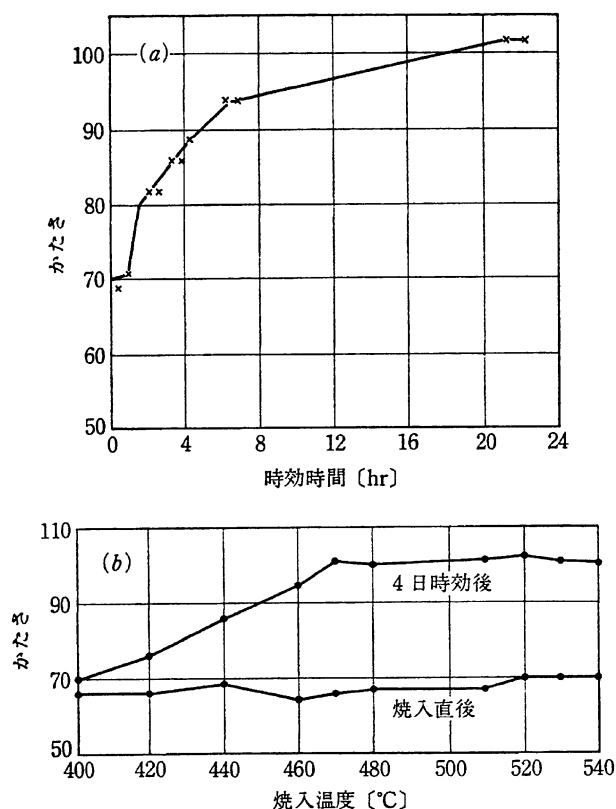


図1 Al-3.5%Cu-0.5%Mg合金の硬さに及ぼす室温時効時間および焼入れ温度の影響<sup>(7)(8)</sup>。

1907年1月11日、「2%以下のMgと5%以下のCuを含むAl合金で、特にCu 4%にMg 0.25~0.5%を含むAl合金が効果的」として特許を申請した(DRP204543, 1908年11月認可)。その後2件の関連特許を申請した。

この材料の製造については、1908年ドイツ兵器弾薬製造会社の姉妹会社でデュレン(Düren)にあるデュレナ・メタルヴェルケ社でのジュラルミン板の工場試作が行われたが、当時の研究所長はこの発明に関心を持たなかった。ヴィルムはジュラルミンを自分の手で工業化するために研究所と交渉の上、ジュラルミンの特許を彼の名義とし研究所を辞めた。幸いにもデュレナ社がヴィルムの特許の使用権を得て、同社技術役員のベック(R. Beck)博士の協力のもとで工業化に成功した。

1909年ヴィルムとデュレナ社の間でこの新製品に対する商品名の相談があり、ヴィルムは当初ドイツ語で硬いを意味するHartをつけたHartaluminiumを提案したが、国際市場を考えフランス語で硬いというDurを用いてジュラルミン(Duralumin)にした。ジュラルミンは1914年、独海軍ツェッペリン飛行船用に規格登録され、1914年のツェッペリン飛行船 LZ 26から使われた。

## (b) Mg添加および焼入れの役割

ジュラルミンの発明で重要なのは、Al-Cu合金では大した室温時効硬化が得られないのが、Mgを添加したAl-Cu-

Mg合金ではなぜ4日くらいで大きな強度が得られたかである。これに対して、里らは第一原理計算の結果CuとMgの引力作用が強いために微細なナノクラスターやGPゾーンが形成され強度が上がるとしているが<sup>(9)</sup>、化学結合性や相安定性からの検討も必要と考える。

焼入れに関しても、焼入れ凍結空孔が時効硬化に大きな役割を果たし、水焼入れをすることで凍結空孔が増え時効硬化が促進されるとされてきた<sup>(8)</sup>。しかし筆者らが研究してきたAl-Zn-Mg合金では炉冷のようにゆっくりと冷却しても水冷材と同様に室温時効硬化し高温時効で水冷材とほぼ同等な強度が得られた<sup>(10)</sup>。このことは50年以上前に筆者の上司だった馬場義雄によって指摘されていた<sup>(11)</sup>。こうした結果から原子空孔論での焼入れ凍結空孔や空孔集合体、その二次欠陥などが果たして時効硬化に寄与しているのかが疑問である。

Al-Cu-Mg合金で徐冷により強度が低下するのは、冷却中に安定相のS相などが析出し過飽和な固溶原子が減少するからである<sup>(12)</sup>。一方、Al-Zn-Mg合金において炉冷で高い強度が得られたのは、固溶限が大きく炉冷しても結晶粒界にわずかに安定相が析出するのみで、結晶粒内では冷却後も大半の溶質原子は水冷材と同様に過飽和で非平衡な固溶状態にあったからで、時効処理により水冷材とほぼ同等の強度が得られた<sup>(10)</sup>。時効硬化にとって重要なのは非平衡状態にある溶質原子とその固溶量である。この合金は350~410°Cで2時間の軟化処理である程度析出した後の炉冷でも、過飽和な固溶量があれば時効硬化を示す<sup>(13)</sup>。Al-Zn-Mg合金の時効硬化は従来の時効硬化論では説明が難しいと考えている。

## (2) 二つの超ジュラルミン

### (a) 低純度地金から生まれた超ジュラルミン

ジュラルミンがなぜ室温で時効硬化するかは大きな謎であった。これに応えたのが、イギリスでアルミニウム材料を研究していた国立物理学研究所のローゼンハイン(W. Rosenhain)らのグループである。第一次世界大戦中に研究していた内容を1921年8月の機械学会の大会で発表した。彼らの研究グループの一人、ゲイラー(M.L.V. Gayler)はAl-Mg-Si系の時効硬化を調べた結果をもとに、Al-Cu-Mgの室温時効硬化もMg-Si系の析出が関与していると発表した。これは当時の地金の純度が悪く、FeやSiの不純物が多く含まれていたからである。彼女の発表に刺激を受けた欧米の研究者はAl-Cu-Mg系に対してSiを多く添加した合金を研究あるいは開発した。

アルコアも同様に1928年Siを0.9%添加した14Sという超ジュラルミンを発表した。これらの合金の室温時効硬化はジュラルミンと同等で、むしろAl-Mg-Si合金と同じく高温時効で硬度が高くなる特徴がある。その後Al-Cu-Mg合金の室温時効硬化は、Siを少なくした高純度Alを使った実験でも認められるようになり、Siが時効硬化の原因ではないことが明らかとなった。14Sは成形で伸びを必要とする航空機外板には適さなかったが、高温時効した押出材や鍛造品で使われることがわかり現在も2014として活用されている。

### (b) 高純度地金から生まれた超ジュラルミン

アルコアは世界に先駆けて1920年代前半に高純度 Al を作る精錬技術、三層電解法を確立し、99.8%以上の純度を有する地金の製造を工業化した。高純度地金を用いた実験の結果、Al-Cu-Mg 合金の室温時効硬化を高めるには Si ではなく、むしろ Mg をジュラルミンの0.5%から1.5%に増やすことでさらに高くなることが明らかとなった。アルコアは1931年この合金を超ジュラルミン24Sとして実用化した。この合金が今日まで航空機の外板として利用されている2024である。現在では超ジュラルミンというと2024を指すことが多い。

しかしながら、次節で述べるが、五十嵐らが調べたように、世界の研究者がジュラルミンの合金成分近傍に最適解があることをもっと早く調べなかったのかが不思議である。この原因として、ジュラルミンに不純物の Fe や Si が多く含まれると Cu や Mg と結合して、AlFeCu 系、Mg<sub>2</sub>Si 系の粗大な化合物が形成され、溶体化処理でも容易に溶解せず Cu や Mg の固溶度を低下させるために強度が向上しなかったことが大きな原因と考えている。さらに Mg の増加で鋳造や圧延が困難という技術的な制約もあり躊躇したことも考えられる。

強度を向上させているのは Al-Cu-Mg 系の S 相であるとの見解を出したのが状態図を研究していた京都大学教授の西村秀雄であった。図2はアルコアの研究者フィンク(W.L. Fink)らの高純度 Al を用いた時の Al-4%Cu 合金の室温での時効強度に及ぼす Mg 添加量の影響を示す<sup>(14)(15)</sup>。Mg の添加量が増えるに従い、強度が向上しかつ時効速度が速くなることがわかるが、前述のジュラルミンと同様、なぜ Mg の添加量を増やすほど強度が高くなり時効速度が速くなるかが疑問である。材料の強度は一般には原子の結合状態や構造が関係していると考えられるが、時効析出に関して化学結合からの研究は少ない。最近、山本悟らは原子価、電気陰性度や価電子の空席に注目した化学結合論で金属の材料強度や原子の拡散が説明できることを提案している<sup>(16)(17)</sup>。時効硬化に関してもこうした化学結合からのアプローチが必要になってきていると考える。

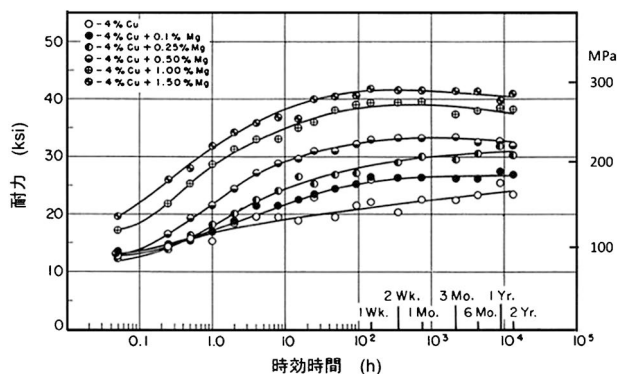


図2 高純度 Al-4%Cu-Mg 合金の室温時効硬化(耐力)に及ぼす Mg 添加量の影響<sup>(14)(15)</sup>。

### (c) 五十嵐の Cr 添加超ジュラルミン

日本においても朝鮮の明礬石や満州の礬土頁岩を製錬してできた不純物の多い国産地金を使うことを前提として、欧米と同様な Si 入りの超ジュラルミンを開発していたが、不純物の少ない地金が生産できるボーキサイトをビンタン島から安定的に入手できる見込みが立って、海軍はアルコアと同じ24Sに切り替えたと考えられる。図3は24Sの生産を開始した1935年に五十嵐が調べた結果で、99.8%地金を用いた Al-Cu-Mg 系合金の引張強さに及ぼす Cu, Mg 添加量の影響を示す<sup>(18)</sup>。最適な合金成分はほぼ24Sの成分になっていることがわかる。こうした結果についてアルコアは1920年代後半にはわかっていたのではないかと推測している。

五十嵐は超々ジュラルミンの研究開発と同時に24Sの特性を調べて、さらに Cr を添加して耐食性を向上させる試験を行っていた。そして特にクラッド材の皮材に Cr を添加すると芯材の Cu の皮材への拡散が防止できることを見出していた。なぜなら当時、溶体化処理時に皮材に Cu が粒界拡散するとクラッド材の耐食性が低下することが問題となっていたからである。これらの試験結果をもとに、1935年12月には心材の24Sに Cr0.13%、皮材に Cr0.23%添加した超ジュラルミンクラッド材を開発した。Cr 添加は粒界拡散を抑制する効果があることも明らかとなった<sup>(19)(20)</sup>。こうした研究は現在でも問題となっている24S 板材の腐食対策にも利用できる可能性がある。今日的視点からの見直しが必要であろう。

### (3) 超々ジュラルミン<sup>(1)(3)</sup>

#### (a) 超々ジュラルミン合金の選定

住友が超ジュラルミンとして24Sの製造を始めた1935年に、海軍が要求した 60 kg/mm<sup>2</sup> (588 MPa) 以上の合金開発を始めた五十嵐勇は、社内の研究報告 No. 3326「強力軽合金の探求, No. 1」(1935.8.10)を書き、研究開始宣言を行なった。そこで探求の方向として、イギリスのローゼンハインの E 合金 (Al-20%Zn-2.5%Cu-0.5%Mg-0.5%Mn)、ドイツ

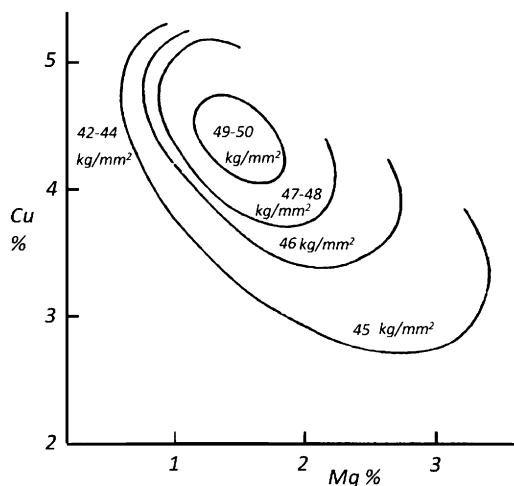


図3 Al-Cu-Mg 系合金の引張強さに及ぼす Cu, Mg 添加量の影響<sup>(18)</sup>。

のザンダー(W. Sander)のザンダー合金(Al-8%Zn-1.5%Mg-0.5%Mn系), さらにAl-Zn-Mg系合金に及ぼす第4元素(Cu, Si, Fe, Ni, Mn, Sn, Cr, Co, Mo, W), Liが添加されたAl-Zn-Mg-Li合金の検討を始めたことを述べている。

新合金の開発では, 1936年2月の報告書にE合金, ザンダー合金(S), 超ジュラルミン(D)の配合比率を変えて, 「Al-Cu-Zn-Mg四元合金に相当優秀なものがないかという仮想の許」に系統的な実験を行い, 強度と加工性を基準に合金成分を決めたとある。加工性は(最大硬度-焼鈍硬度)÷焼鈍硬度から求め, 大きいものほど加工性が良いと考えた。加工性は工業的に製造が可能かどうかの判断となる。その結果, 3種類の合金を選定し, 板材, 押出材で機械的性質を評価した。同年6月には上記合金をESD合金と名付け, Ni, Fe, Cr, Ca, Ti, Vなどの元素を添加し, 機械的性質と耐海水性を調査した。さらに24Sと同様にCr添加した皮材をクラッドしたESD合金を試作し, 密着性良好, 加熱による銅の拡散性は規定時間内では問題なしと結論づけている。7月にはCr入りクラッド材を腐食液に浸漬後腐食減量を測定し, 裸材と比較し著しく改善することを報告している。

(b) 応力腐食割れの評価方法の確立

1936年8月から翌年1937年2月までの社内の研究報告ではESD合金の応力腐食割れに関する系統的な実験を行なった結果をまとめている。応力腐食割れはイギリスのE合金やドイツのザンダー合金でも問題となり, 実用化できなかった原因でもあった。当時, 応力腐食割れは時期割れと呼ばれ, その原因も不明で評価法も確立されていなかった。五十嵐らはまずその評価法の確立から入った。その中の一つ, U字曲げ試験を示した報告書を図4に示す。幸い, 1928年

頃, 住友は駆逐艦の復水器用黄銅管にて時期割れが生じてその対策に苦勞した経緯があり, そこでの評価法が役に立ったと言われている<sup>(21)</sup>。こうした評価試験の結果, 図5に示すように応力腐食割れに対しCr添加が非常に優れていることがわかった<sup>(22)</sup>。1937年2月の時点でESDの合金成分はAl-8%Zn-1.5%Mg-2%Cu-0.5%Mn-0.25%Crとなり, 板材の工場試作の結果, 引張強さは570~590 MPa, 耐力は470~510 MPa, 伸びは10~16%が得られた。

(c) Cr 添加の役割

興味深いことに特許は1936年6月9日には「鍛練用強力軽合金」として出願されていることである。時期割れを防ぐことでCr添加が書かれている。研究報告書を見る限りは1936年6月には主要な合金成分がほぼ決まり, 耐海水性を調べただけで時期割れの評価はなかった。しかし24Sクラッ

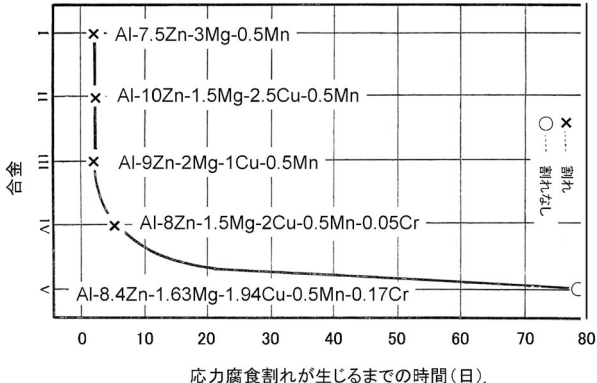


図5 Al-Zn-Mg合金の応力腐食割れに及ぼすCr添加の影響<sup>(22)</sup>。

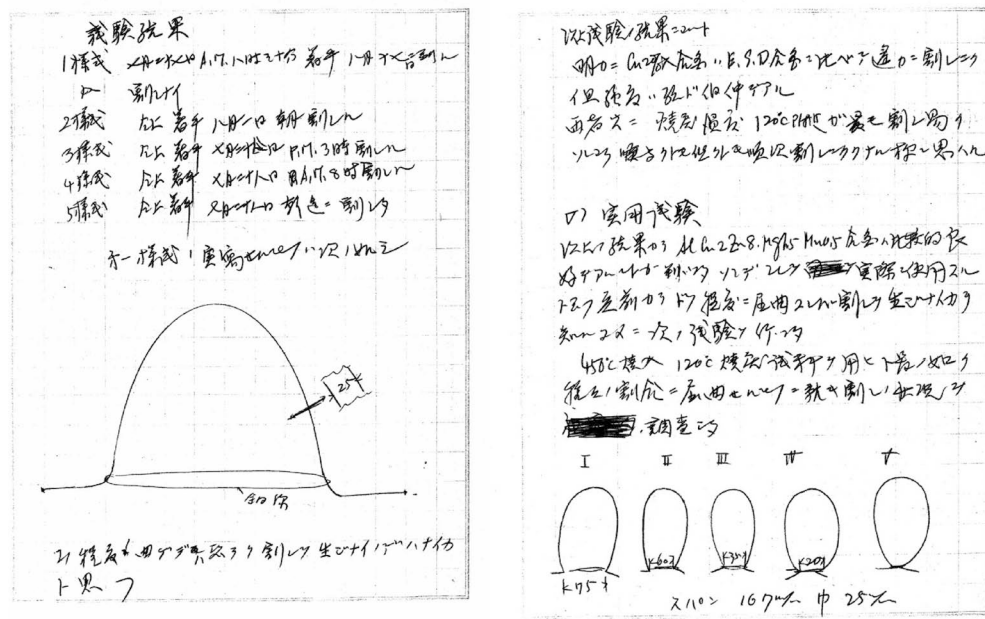


図4 曲げ試験による応力腐食割れ評価。

ド材の結果や簡便な評価試験でCrが応力腐食割れ抑制に効果的だとの結果を得ていたのではないかと推測される。その後の研究は、系統的な試験でさらに優れた合金がないかを探索するようなものであったと考えている。

応力腐食割れは粒界で生じる粒界割れである。特に室温時効させたT4材や最高強度を示すT6材で生じやすい。応力腐食割れ防止のためにCrや最近ではZrが添加されるが、これらの元素が添加されると溶体化処理後も小角粒界を有する亜結晶粒界が発達しやすい。小角粒界は大角粒界に対してPFZ(Precipitate Free Zone)の幅が狭くなり、粒界析出が少なくなる。PFZは粒内に比べて溶質原子の少ない領域で電位差が生じやすく、粒界腐食の原因となりやすい。CrはPFZの幅を狭くすることで局部腐食である粒界腐食を抑制していると考えられる。かつて五十嵐は「局部腐食などケチなことを言わずに、全面腐らせよう」として腐食の起点としてCr添加したと言っていたが、この仮説も現在の知見で考えるならば、Cr添加で腐食の程度は別として、PFZ生成を抑制して組織を全面均一化して局部腐食を抑制できたという意味では当たっていたのかもしれない。応力腐食割れはCr添加で大幅に低減できただけで完璧に防止できたわけではない。最近では水素が関与しているとも言われているが、応力腐食割れとの関連は明らかではない。応力腐食割れに及ぼすCrの役割についてはまだまだ検討すべき課題が多い。

#### (d) 短期間で開発できた要因

なぜ一年以内の短期間のうちに世界に先駆けて世界最高のAl合金が開発できたのかということである。以下の要因が考えられる。

第一に、海軍からのニーズ、目標値が明確であったこと。

第二に、強度を達成するには、図3からわかるように超ジュラルミンの延長上では難しく、さらに高強度が得るためにはE合金やザンダー合金のようにZnの添加が必須だと考えていたこと、これはZnの固溶度が大きいことが関係している。その意味でE, S, Dの合金をベースにそれらの配合比率を変えた中に答えがあるだろうと予測したことである。このためにはそれぞれの合金の特徴をよく把握していないと開発できない。五十嵐は超々ジュラルミンの研究の前にAl合金全般、さらにCu合金やMg合金について強度や耐食性など幅広く研究をしていたことが大きな助けになったと考える。

第三に、応力腐食割れに対して、その評価方法を早く確立して割れが生じる条件を探し出さしたことで、そしてその結果クロム添加が有効であることをいち早く見出したことである。彼は研究に対して、いつも「未熟な理論を絶対だと考えるな。疑問が生じたとき、どうしてだ、どうしてこうなるのかと繰り返し、徹底的に調べなくては駄目だ。思った結果と矛盾した事実が示されたときのみ進歩があり、発展がある」との姿勢で臨んだ。

第四に、実験の巧みな北原五郎の存在があったことである。五十嵐の実験はほとんど北原が行ってきた。実験結果を俯瞰でき方針を立てる研究者と優れた実験ができる研究者の組み

合わせは最強である。

第五に、製造現場の協力である。実用化するには製造の協力なしでは達成できない。お互いの信頼関係が重要で、製造もまた研究の要請に応じて、連続鋳造技術、圧延加工性向上、圧延速度向上などの製造技術が進歩していく。

#### 4. 戦後の航空機用アルミニウム材料と超々ジュラルミンを超える材料開発の課題<sup>(3)(23)-(26)</sup>

戦後、GHQにより航空禁止令が布告され、航空機の研究開発、製造は禁止されていたため、戦争中、航空機に携わっていた研究者や技術者の多くは鉄道車両、自動車やモーターサイクル開発に移っていった。

鉄道車両の分野では、押出性、溶接性に優れたAl-Zn-Mg系合金が車両に利用できることがわかり、新幹線車両などに利用された。この合金は戦前、超々ジュラルミンの押出性を向上させるため、陸軍の後援で、産学共同で開発されたAl-Zn-Mg系合金であるHD合金(本多光太郎の名前にちなんでホンダ・ジュラルミンと呼ばれた)の流れを汲んでいる。

しかし、Crが添加されていると焼入れ性が劣るため、住友軽金属の馬場義雄らはそれに代わって、空冷でも焼きが入る焼入れ性の良いZr添加合金を世界に先駆けて開発し、1970年7N01(現7204)が制定された。さらに7204のMg量を減らし、Zn量を増加させて、さらに押出性を高めた合金7003が開発され、日本で最初のAA(Aluminum Association)国際登録合金となった。この合金により広幅の大型型材の製作が可能となった。この7003は、新幹線の車両はもとより、コンテナ、バンおよびトレーラー等の強度メンバー、また中空押出も可能でオートバイや自転車のリム、自動車のバンパーなどにも広く利用された<sup>(27)</sup>。この合金開発も超々ジュラルミンと同様、世界に先駆けて行われた独創的な研究である。このZr添加は航空機用アルミニウム合金にも適用され、最近のほとんどの7000系合金にはZrが添加されている。

航空機の分野では、YS-11以外には日本独自の航空機開発がほとんどないために、日本で開発された航空機用合金は2024合金に代替する合金として開発された2013以外にはないと言わざるを得ない状況である<sup>(28)</sup>。

表2は航空機用アルミニウム合金の開発の歴史とそれが最初に適用された航空機である<sup>(29)</sup>。7150, 7055は7075のZn, Mg, Cuの成分量を変え不純物を低減させることで強度や靱性を向上させ、微量添加元素のCrをZrに置き換えることで焼入れ感受性や耐応力腐食割れを向上させた合金である。その結果引張強さ650 MPaのレベルまでの合金ができてきた。これらの合金開発は戦後のアルコブなどの研究開発の成果であるが、基本的にはESDがベースになっているとも言えよう。

2000系合金に関しては2324, 2524があるが、これらは延性、靱性、疲労亀裂進展特性を改善するために2024の地金純度を高純度化したもので、基本的な成分は2024と変わっ

表2 航空機とそれに用いられた新合金<sup>(29)</sup>。

| 初飛行  | 航空機              | 合金・調質                      |
|------|------------------|----------------------------|
| 1903 | Wright Brothers  | Al-Cu casting              |
| 1919 | Junkers F13      | 2017-T4                    |
| 1935 | DC-3             | 2024-T3                    |
| 1939 | Zero Fighter     | ESD-T6                     |
| 1945 | B-29D (B-50)     | 7075-T6                    |
| 1957 | Boeing 707       | 7178-T651                  |
| 1970 | DC-10            | 7075-T7351                 |
| 1970 | L-1011           | 7075-T7651                 |
| 1981 | Boeing 757, 767  | 2324-T39, 7150-T651        |
| 1994 | Boeing 777       | 7055-T7751, 2524-T3        |
| 2003 | Boeing 777-300ER | 2324-T39 TypeII (2624-T39) |

ていない。図6は耐力と破壊靱性の関係を示している<sup>(29)(30)</sup>。一般に耐力をあげると破壊靱性は低下する反比例の関係にあるが、戦後この反比例の関係が右肩上がりになっていることがわかる。これは不純物の制御や加工熱処理法により組織制御することで材料の靱性を向上させてきたことによる。最近の7000系合金ではZnが7~10%程度まで添加された合金が多くなっていて、超々ジュラルミンのZnが6~9%であったので、合金成分で言えば世界はようやく超々ジュラルミンのレベルまできたともいえる。

今後の材料開発は既存材料の性能向上、Al-Li合金やCFRP炭素繊維複合材料の採用が考えられ、コストや性能からそれぞれの材料の棲み分けができてくると考えられる。既存材料の性能向上では、超々ジュラルミンの性能向上はまだまだ可能性はあると考えている。かつて五十嵐は、80 kg/mm<sup>2</sup>(785 MPa)は出すことができると言っていた。これを阻んでいるのが靱性、延性である。図からもわかるように高強度にすると靱性や延性が低下することである。この原因の一つに鑄造組織があり、高濃度の成分の偏析や化合物が粒界に残存して圧延熱処理後もその結晶粒界に残存してしまうことによると考えている。これを解決するには鑄造組織に巨大歪みを付加することで結晶粒界を剪断により破壊することである。名古屋大学名誉教授の金武直幸らは基礎研究の結果、温間圧縮ねじり加工法が有効であることを明らかにした。ここにヒントがあると考えている。次世代の研究者には図7に示すように靱性、延性、応力腐食割れ性に優れた引張強さ700~750 MPaの合金開発に挑戦して世界をリードすることを期待する。

## 6. おわりに

日本では超々ジュラルミンに関して、零戦に使われた合金ということでアルミニウムの関係者にはそれなりに知られていると思っていた。しかし海外ではあまり知られていないこ

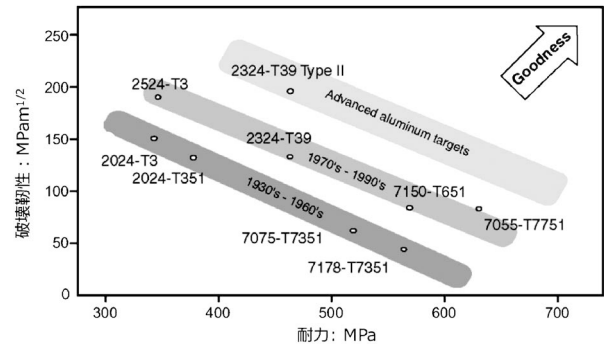


図6 航空機用アルミニウム合金開発の高強度高靱性化の流れ<sup>(29)(30)</sup>。

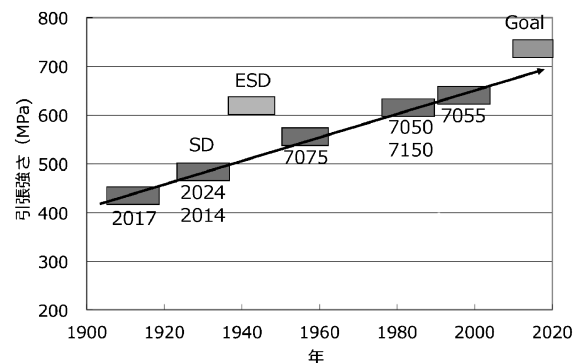


図7 高強度高靱性合金開発の歴史と今後の目標。

とがわかり、何かしら記録に残しておきたいということこの10年間ほど軽金属その他の雑誌に執筆し、最近そのまとめとして「超々ジュラルミンと零戦」<sup>(3)</sup>という本にまとめることができた。本稿で述べたことの詳細はこの本を読んでいただければお分かりいただけると思っている。歴史は調べれば調べるほど疑問が出てくるが、うまくジグソーパズルがはまり納得することもある。学問的には先人たちを悩まし続けた応力腐食割れはなぜ生じるのかという最大の問題は、まだ十分解決してはいないと考えている。CrやZr添加と過時効熱処理で実用的には問題ないレベルまできたが、全く大丈夫とは言い切れないところが悩ましい問題である。また時効硬化に関しても従来の原子空孔論では説明のつかない現象も出てきている。時効硬化論を発展させて超々ジュラルミンを超える新合金を開発できれば世界のレベルを大きく超えて行くであろう。

## 文献

- (1) 吉田英雄：軽金属，**65**(2015)，508-516, 590-598, 627-637, **66**(2016)，26-38, 97-106, 136-149.
- (2) 吉田英雄：まてりあ，**57**(2018)，263-270.
- (3) 吉田英雄：超々ジュラルミンと零戦，昭栄社印刷所，(2020).
- (4) 日本アルミニウム協会編：アルミニウムハンドブック，改訂7版，(2007).
- (5) Aluminum, properties and physical metallurgy edited by J. E. Hatch, ASM, (1984).



# アルミニウムの製錬

松村 浩幸\*

## 1. はじめに

アルミニウムは軽量性、耐食性、熱伝導性などの優れた特性によって、自動車・鉄道車両・建築材料・飲料缶・日用品等様々な用途で幅広く使用されており、我々の生活に欠かすことのできない重要な金属の一つとなっている。図1に示すように2019年の世界アルミニウム新地金生産量はおよそ6200万t/年と2005年と比較しおよそ15年で約2倍へと成長している。

図2に2019年の地域別アルミニウム新地金生産量を示す。特に中国でのアルミニウム生産量は目覚ましく増加し、現在では世界のアルミニウム生産量の約半数を占めるようになっている。世界のアルミニウム新地金生産量約6200万tの

うち中国での生産量は約3600万tである。

かつては日本国内においてもアルミニウム製錬によるアルミニウム新地金の生産が行われ、最盛期には年産約160万t

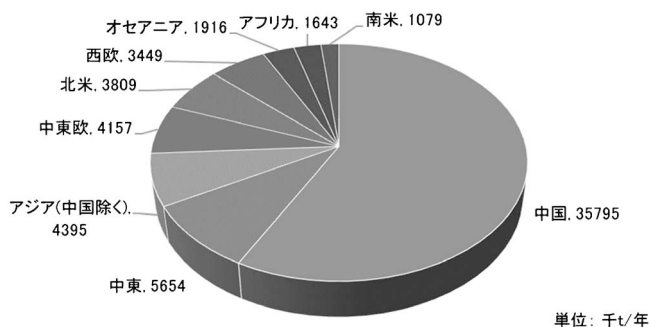


図2 地域別アルミニウム新地金生産量(2019)。

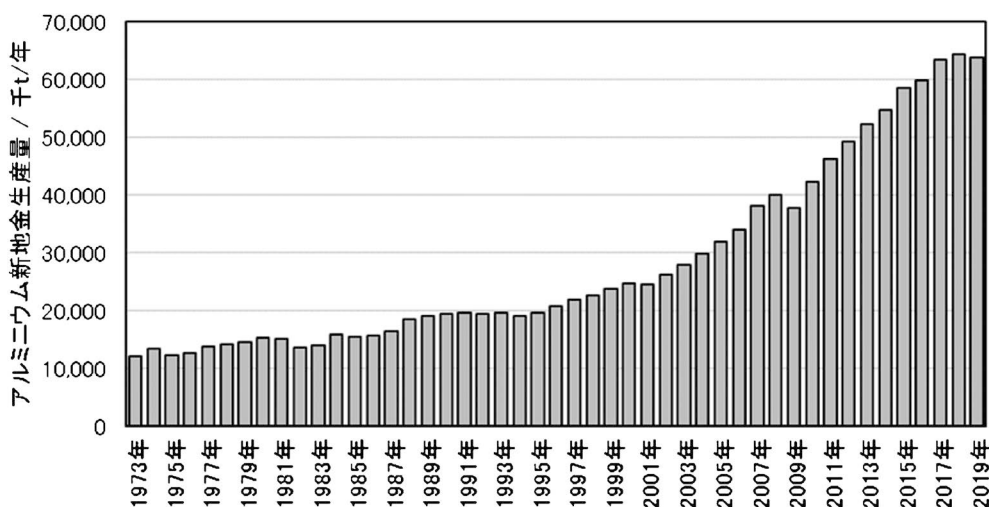


図1 世界アルミニウム新地金生産量推移。

\* 日本軽金属株式会社 グループ素材センターピレットビジネスユニット(〒421-3297 静岡市清水区蒲原161)  
Aluminium Smelting Technology; Hiroyuki Matsumura (Group Casting Center, Nippon Light Metal Co., Ltd., Shizuoka)  
Keywords: aluminium, smelting, reduction, Hall-Heroult, pre-bake, soderberg  
2021年3月11日受理[doi:10.2320/materia.60.399]

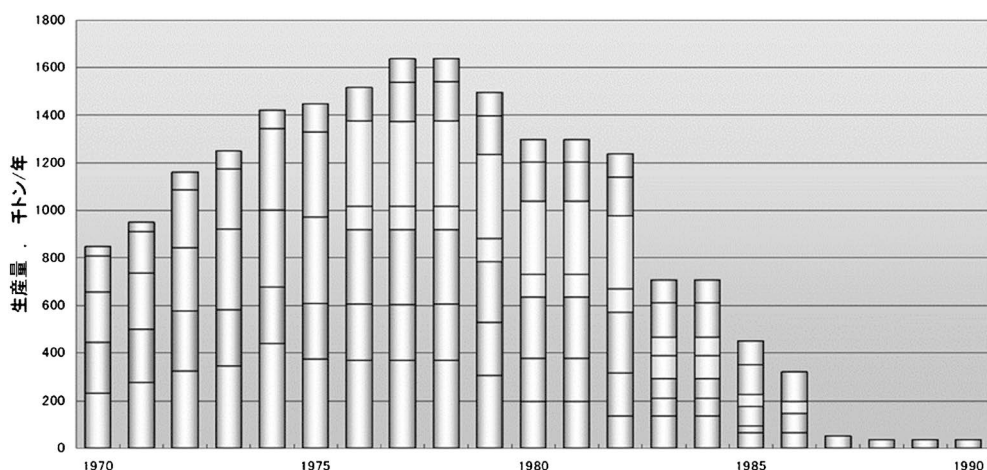


図3 日本国内アルミニウム新地金生産量推移.

の能力を有していた(図3)<sup>(1)</sup>。しかし、1970年代の2度にわたるオイルショックによってエネルギーコストが上昇し、また、アルミニウム市況低迷の影響により国内のアルミニウム製錬事業は国際的な競争力を失い、1987年に日本軽金属1社を残しアルミニウム製錬事業より撤退した。

その日本軽金属も設備老朽化により2014年にアルミニウム製錬事業から撤退したため、日本国内には工業的アルミニウム製錬工場は完全に無くなった。

アルミニウムは1886年に開発されたホール・エルー法により工業的に製造されており、135年を経た現在においても、基本となる製造原理については変わっていない。今後、日本国内でのアルミニウム製錬技術者は数少なくなっていくため、アルミニウム製錬について紹介し技術継承の一助としたい。

## 2. アルミニウムの歴史

紀元前、古代エジプトにてミョウバン( $K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3$ )が添加材・医薬品として使用されていた。アルミニウムの語源はこのミョウバンのラテン名である“Almen”，英語の“Alum”に由来し、Alumen, Alumium などを経て、Aluminum(米), Aluminium(欧・日)と呼ばれるようになった。

1782年、フランスの Lavoisier は“ミョウバン石は何らかの金属の酸化物である可能性が高い”との説を発表した。1807年にイギリスの Davy がミョウバン石を電気化学的手法により分離を試み、金属アルミニウムとしての存在を確認したが、単独のアルミニウムを得ることはできなかった。1825年、Oersted は塩化アルミニウムをカリウムアマルガムで還元し、アルミニウム粉末を得た。1855年、フランスの Deville は塩化アルミニウムの化学的還元による工業規模のアルミニウム製錬を開始、1886年にアメリカの Charies Martin Hall とフランスの Paul Heroult によって氷晶石を溶融塩として利用した酸化アルミニウム(アルミナ)の溶融塩電解によるアルミニウム製錬手法が個々に開発された。この手

法は開発者両者の名前を取り、ホール・エルー法と呼ばれ、工業的に発展を遂げた。ちなみに Hall と Heroult は共に同じ1864年に生まれ、1886年に製錬技術を開発、1914年に共に没した。

1887年、オーストリアの Bayer によりボーキサイト鉱石から NaOH 溶液を用いてアルミナ分を溶解・抽出し、水酸化アルミニウムを析出させるバイヤー法が発明された。これにより、ボーキサイト鉱石から金属アルミニウムまでの工業的製造法が確立された。

## 3. アルミニウム製錬

これまでに試験されたアルミニウムの製錬法には炭素による還元、塩化物の電解など様々な手法<sup>(2)-(4)</sup>があるが、生産設備の腐食や複雑な工程により工業的なアルミニウム製錬法としては発展せず、今日においてもホール・エルー法によるアルミニウム製錬が主な金属アルミニウム生産プロセスである。

原料のアルミナはバイヤー法によりボーキサイトから製造される。図4にバイヤー法の簡略化した工程図を示す。

鉱山より運ばれたボーキサイトはボールミル等の粉碎機で粉碎され、ダイジェスターにおいて加温・加圧の上、苛性ソーダを用い、アルミナ分を溶解・抽出される。ボーキサイト残渣(赤泥)をシックナーにて分離した後、アルミナ分を抽出したアルミン酸ソーダ液に、種結晶として水酸化アルミニウムを添加して水酸化アルミニウムの結晶を析出させる。次いで水酸化アルミニウムを分離、洗浄しロータリーキルンにて焼成することでアルミナとなる。これらのバイヤー工程にてボーキサイト中の  $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$  など不純物のほとんどが除去され、アルミナの純度が決定し、後の金属アルミニウム純度に大きく影響する。

ボーキサイト 4t からアルミナは約 2t、アルミニウムは約 1t 製造される。アルミナは融点が  $2054^{\circ}C$  と非常に高く、固体では電気を通さない絶縁体である。そこで、氷晶石( $Na_3AlF_6$ )が主成分である約  $1000^{\circ}C$  の溶融塩電解浴に溶解さ

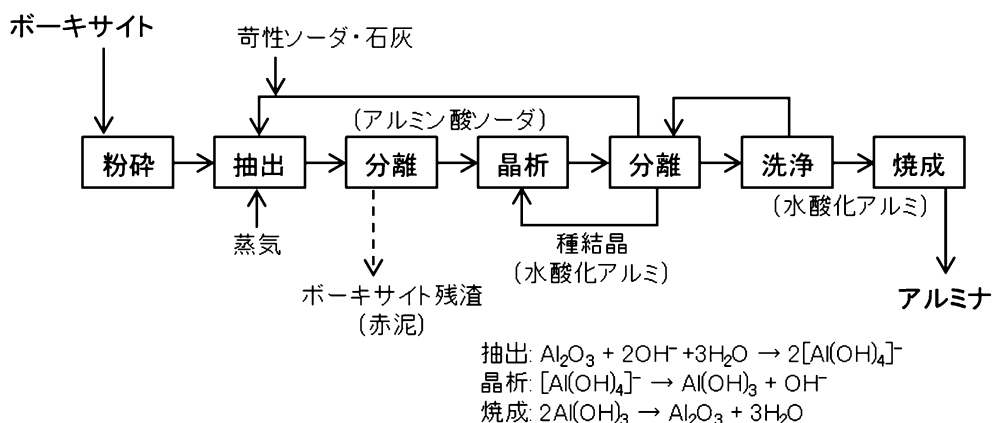


図4 バイヤー法工程図。

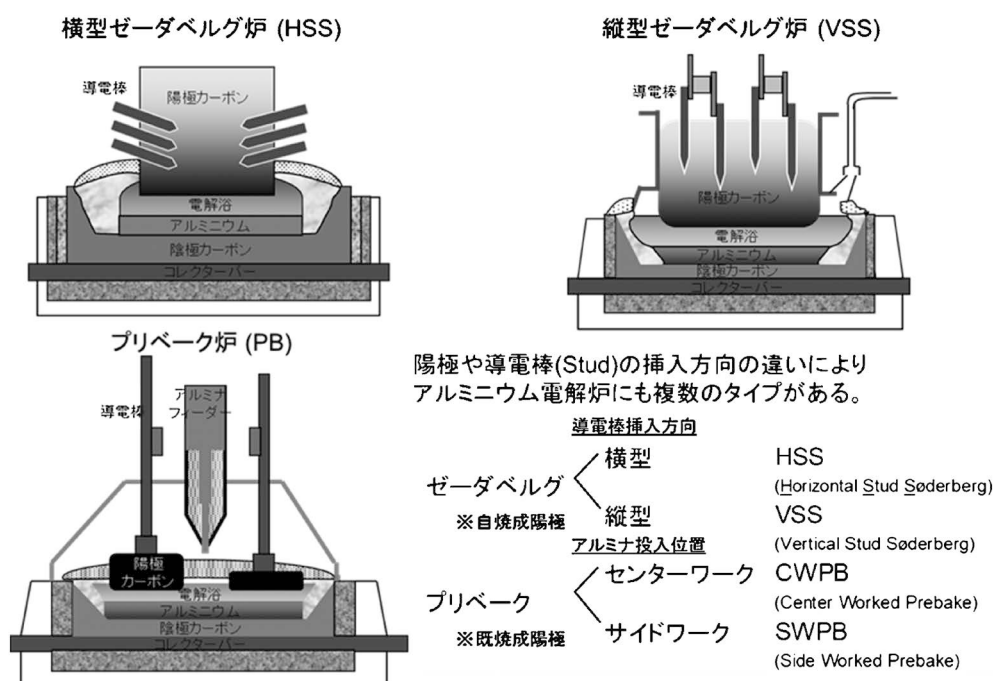
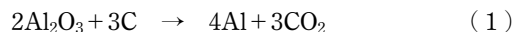


図5 アルミニウム電解炉模式図。

せ、電気を通じることで電気分解反応式(1)が起こり、アルミニウムが生成する。



アルミナの電気分解には1tのアルミニウム生成あたり12,000 kWh から15,000 kWh という大量の電力が必要であり、アルミニウムが「電気の缶詰」と称される所以である。

図5にアルミニウム電解炉の種類別模式図を示す。

電解炉は、上部から陽極カーボン・電解浴・生成したアルミニウム・陰極カーボン・コレクターバーで構成される。陽極カーボンの種類により、自焼成タイプのゼーダベルグ炉と既焼成タイプのプリベーク炉に大別され、ゼーダベルグ炉は導電棒の挿入方向により、横型ゼーダベルグ炉と縦型ゼーダベルグ炉に分けられる。ゼーダベルグ炉では陽極カーボンは電解炉自身の熱で焼成され、陽極カーボンが下面より消耗して

いくと、炉上部より陽極ペーストを投入する。陽極ペーストはピッチとコークスを混練し、握りこぶし大に成形され、製造される。一方、プリベーク炉の陽極カーボンは予め別工場にて成型し高温下で焼成することで製造され、陽極カーボンが消耗すると、導電棒と共に部分的に交換される。

図6に電解炉タイプ別のアルミニウム生産割合を示す。

近年ではアルミニウム生産性が高く大電流化に有利なプリベーク炉の割合が増加し、主流となっている。プリベーク炉では電解炉を密閉しやすく、陽極由来の有機揮発物質の発生が無いなど環境面においても優位である。

図7にアルミニウム電解炉の模式図を示す。

電流は陽極カーボンに水平に挿入されている導電棒、陽極カーボン、電解浴、アルミニウム、陰極カーボン、コレクターバーの順に流れ、隣に配置された電解炉へと流れていく。

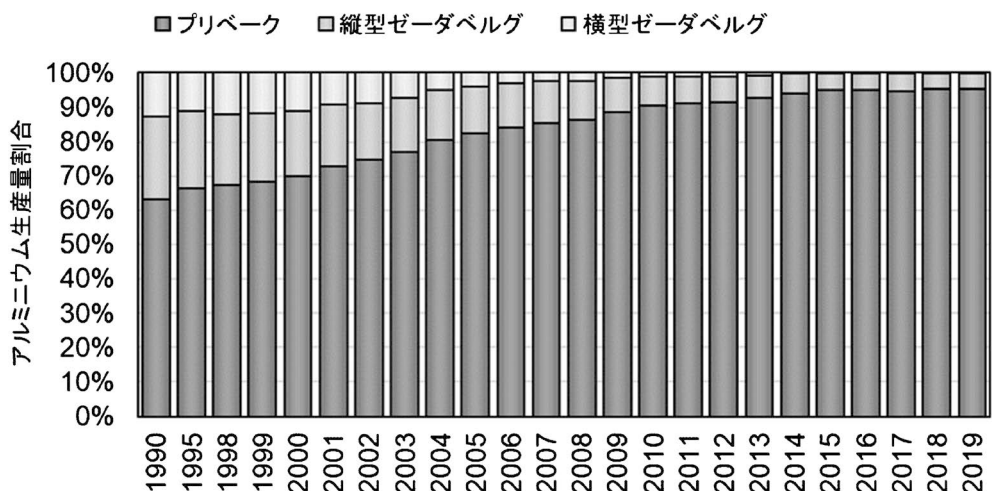


図6 電解炉タイプ別アルミニウム生産量割合.

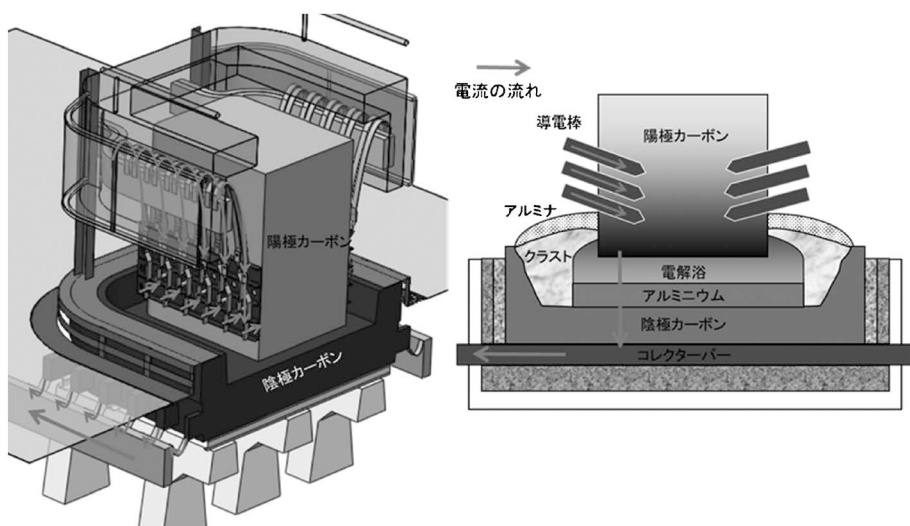


図7 アルミニウム電解炉(日本軽金属蒲原)模式図.

図8に電解炉にかかる電圧を示す.

陽極カーボン下面からアルミニウム溶湯上面までの距離は極間距離と呼ばれ、約4cmである。電解炉にかかる電圧は1炉あたり約4.5Vであり電気分解反応に必要な理論分解電圧は1.2Vである。理論分解電圧は人為的に削減することはできないため、その他の電気抵抗に起因する電圧ロスをいかに小さくするかという改善・努力がなされてきた。電解炉の熱源は電解浴での電気抵抗に起因するジュール熱である。極間距離を狭くすると、発熱量が減少するためクラストと呼ばれる電解浴が冷え固まったセルフライニングが厚くなり、極間距離を広げると、発熱量が増加し熱バランスが崩れ、最悪の場合、操業不能となる。したがって、電解炉の電圧は極間距離を一定に保つように制御されている。

アルミニウム生産量を増加させるため、電流量を増加すると電流による強い電磁場が発生し、電解炉内のアルミニウム溶湯および電解浴に強く影響する。電磁力により、アルミニウム溶湯の隆起・流動が発生し、結果として極間距離を一定

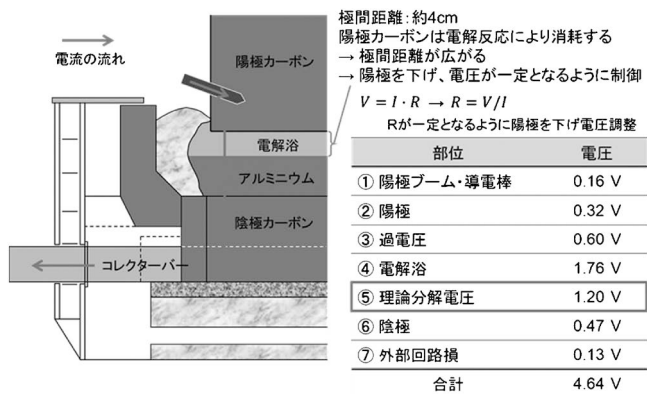


図8 電解炉電圧.

に保つことが困難となるため、操業不能となる場合がある。磁場の強さや分布は、電流量、陰極ブスの配列、陽極ビームへの立ち上がり位置、隣接する電解炉の影響など多数の

理論的に生成するアルミニウムは Faraday の第一法則および第二法則に基づき，以下のように表される．

$$n = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} \Rightarrow \frac{m}{26.98} = \frac{1.3600}{3 \cdot 9.65 \times 10^4}$$

$$m = 0.335 \text{ g-Al/A} \cdot \text{hr}$$
 $n$  : 物質質量(mol)

$m$  : 質量(g)

$M$ : 分子量(g/mol)

 $z$  : イオン価数(—)

$F$  : ファラデー定数  $9.65 \times 10^4 (\text{C/mol})$

電流 1 アンペア、1 時間当りに理論的に生成するアルミニウム量は 0.335 g であり電流量を増大することで生成量は増加する。実際のアルミニウム生成量はこの 0.335 g/A・hr に電流効率 90～95% を乗じた値である。通常の化学反応は 3 次元的に反応が行われるため、生産量は反応器の容積によって決定するが、アルミニウム製錬のような電気分解反応は、電極表面にて 2 次元的に起こるため、生産量を増加させるためには、電流密度を増加するか、電極面積を増加する必要がある。電流密度を増加すると生産量は増加するが、槽電圧も高くなるため、経済的な理由により大きく上げることができず、およそ 1 A/cm<sup>2</sup> とされている。例えば、年産 50 万 t のアルミニウム電解製錬工場を建設しようとする、電流効率を 95%、電流量 400 kA の電解炉とした場合、電解炉はおおよそ 450 炉必要となり、全電極面積だけでも 18000 m<sup>2</sup> となるため、広大な工場敷地が必要となる。

5. 今 後

ホール・エルー法の開発より135年間、アルミニウム製錬は高効率化による省エネルギー化が推進されてきた。今後もさらなる電解炉の大型化、高効率化が進むであろう。また、現行のアルミニウム製錬では電気分解反応式(1)により二酸化炭素を排出するが、近年、非消耗陽極によるアルミニウム

製錬が実用化されつつある。これはカーボンフリーのアルミニウム製錬であり、二酸化炭素を排出する代わりに酸素を排出するという革新的なプロセスである。また、電極寿命も現行プロセスの30倍以上と言われている。このような新規プロセスが地球温暖化防止の観点からも今後導入されていくと考えられる。

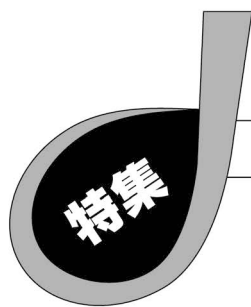
日本国内で新たに大規模なアルミニウム製錬工場を建設することはコスト競争力の観点から難しい。そこで、今後日本国内において重要となるのはアルミニウムリサイクル技術である。アルミニウムをリサイクルするために必要なエネルギーはアルミニウム新地金を製造する場合に比べてわずか3%で済む。現在、アルミニウムスクラップは、主に鋳物・ダイカスト用としてリサイクルされており、展伸材スクラップも鋳物・ダイカストとしてカスケードリサイクルされている。今後、自動車の電動化により、鋳物・ダイカスト用としてスクラップを使用しきれなくなるとの懸念もあり、展伸材 to 展伸材リサイクルが重要となる。その中でスクラップの合金毎選別が重要となり、最近では LIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy)ソーティング技術によって合金種毎に選別・再利用することも可能となっている。

## 文 献

- (1) 日本アルミニウム協会：現場で生かす金属材料シリーズ，(2007)，171-173.
- (2) 大日方一司：軽金属，**14**(1964)，120-128.
- (3) 谷内研太郎：日本金属学会会報，**12**(1973)，789-800.
- (4) 土器屋正之：鉄と鋼，**69**(1983)，1382-1387.
- (5) Z. Xie *et al.*: Light Metals, (2020), 827-834.



松村浩幸



# Al-Mg-Si 合金の時効析出過程に関する 最近の研究動向

松田 健二<sup>1)</sup> 西村 克彦<sup>1)</sup> 李 昇原<sup>2)</sup>  
布村 紀男<sup>1)</sup> 土屋 大樹<sup>3)</sup> 池野 進<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

教科書に記載のある Wilm によるアルミニウム合金の時効硬化現象の発見に始まり, Guinier と Preston の X 線回折による GP (Guinier-Preston) ゾーンの発見, Silcock 等による時効硬化と析出の関連性の解釈から, 下記の時効析出過程が定着した<sup>(1)</sup>.

過飽和固溶体 → GP ゾーン → 中間相 → 平衡相

過飽和固溶体からの相変態(相分解)が時効析出を可能として, 時効処理という熱処理が成り立つ. Al-Mg-Si 系合金においても, 過去に著者らが他誌に執筆<sup>(2)</sup>させていただいた時代とは変わり, 中間相  $\beta'$  の前駆相としての  $\beta''$  相の存在を疑う研究報告はほぼ見られなくなったと思われる. さらに GP ゾーンよりも前の段階として溶質空孔と原子空孔からなるクラスタの役割についても, 後述するように多くの議論がなされ, 熱分析測定, 電気抵抗測定, 陽電子(寿命)消滅測定による研究, 最近ではミュオンスピン緩和スペクトル法での報告もなされるようになり, これまでの研究結果との対応が議論なされる一方で, 新たな提案も多々報告され始めた.

本稿では著者らが主として行ってきた時効硬化型アルミニウム合金として知られる Al-Mg-Si 系合金の時効析出に関する研究について, 手元にあった文献で昨今の研究動向をまとめたものと, 著者らが最近提案したクラスタについて記述させていただき, 今後の時効硬化型アルミニウム合金の時効析出に関する研究の発展の一助になれば幸いである. なお, 実験方法などは関連の文献を参照されたい.

## 2. 最近の実験とシミュレーション等によるクラスタ, 時効初期生成物に関する研究動向

図 1 は主に 2000 年以降の Al-Mg-Si 系合金の時効析出過程を調べた結果について大まかにまとめた図である<sup>(3)-(18)</sup>. 以前まとめた時には X 線回折や電子顕微鏡によるいわゆる構造解析を伴った研究は, 時効温度が 373 K 以上と大変限られていたが, 図から明らかのように, 以前の解説記事では着手されていなかった, 373 K 以下の温度に対して, 近年では 273 K 近辺の三次元アトムプローブトモグラフィー

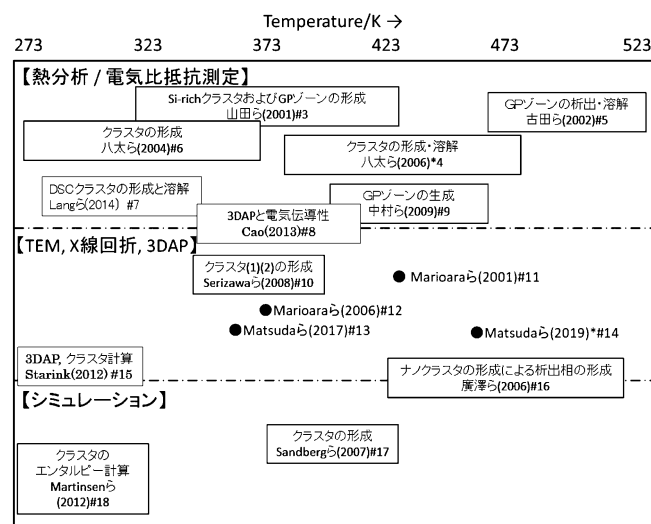


図 1 2000 年以降の Al-Mg-Si 合金の析出挙動に関する研究の一例.

\* 富山大学学術研究部都市デザイン学系; 1) 教授 2) 准教授 3) 助教 4) 名誉教授 (〒930-8555 富山市五福3190)

Recent Research for Age-precipitation Sequence on Al-Mg-Si Alloys; Kenji Matsuda, Katsuhiko Nishimura, Seungwon Lee, Norio Nunomura, Taiki Tsuchiya and Susumu Ikeno (\*Faculty of Sustainable Design, Assembly of Research, University of Toyama, Toyama)

Keywords; aluminum-magnesium-silicon alloys, precipitation sequence, nano-analysis, microstructure

2021年4月27日受理[doi:10.2320/materia.60.404]

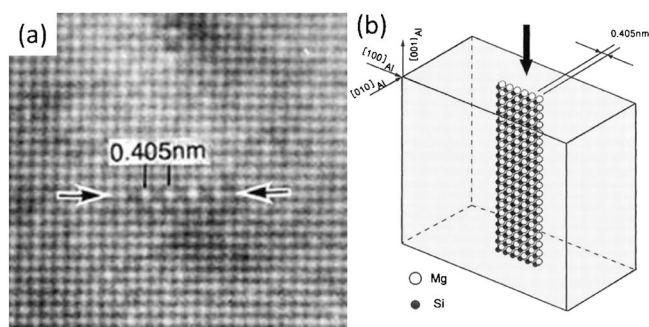


図2 (a) 343 Kで60 ks時効したAl-1.6 mass% Mg<sub>2</sub>Si合金をHRTEM観察して得られた画像と(b) その画像から推察されたGPゾーンの模式図<sup>(19)</sup>。

(3DAP)法とクラスタ構造のシミュレーションを組み合わせた研究も積極的に行われている。

著者らは主として高分解能透過型電子顕微鏡(HRTEM)の観察結果から、図2に示すようなアルミニウム母相の{100}面に平行なGPゾーンを1998年に提案した。この場合、ゾーンの化学組成はMg:Si=1:1となる。ただし、原子空孔やアルミニウム、格子ひずみなどは考慮していない<sup>(19)</sup>。同じく1998年にはEdwardらによって、アトムプローブ法により、検出された原子数のラダープロットと、DSCの測定結果、TEM観察結果から、Si原子、あるいはMg原子による溶質クラスタがそれぞれまず形成されて、いったん消滅した後、Mg:Si=1:1に近いMg-Siクラスタが形成されるとした。最初のSiあるいはMgクラスタは焼入れ過程で形成されたものか否かは不明とした<sup>(20)</sup>。1999年には、MurayamaとHonoによる3DAP法を用いて、クラスタの3次元構造が初めて示された<sup>(21)</sup>。過剰Si型合金では1Mg-1Siのクラスタを、バランス組成の合金では2Mg-1Siのクラスタを形成し、その後凝集、成長によって球状のGPゾーンになる。クラスタとGPゾーンの違いは基本的に化学組成に際はなく、熱安定性の違いであるとし、クラスタとGPゾーン、その後の $\beta''$ の化学組成は合金の化学組成に依存し、過剰Si型ではMg:Si=1:1、バランス組成ではMg:Si=2:1であると報告した。

2001年に山田ら<sup>(3)</sup>によって示差走査熱分析(DSC)法の詳細な測定結果に基づき提案された2種類の化学組成の初期構造、つまり室温近辺で生成される共有結合性の高いSi-Si結合を多く含む「Siリッチクラスタ」と、373 K付近で生成されるイオン結合のMg-Si結合を主とした「GPゾーン」の存在という画期的な提案がなされ、現在も多く引用され、その検証が行われている。その後、3DAP法による検証も行われ、それぞれCluster(1)とCluster(2)、あるいは室温時効に対する正の効果と負の効果に照らし合わせて、前者を有害クラスタ、後者を有効クラスタとも呼称されている。とくにCluster(2)は $\beta''$ 相の形成を促進するとした。また、Cluster(1)は長時間室温で保持してもMg/Siにばらつきが大きく、かつサイズ変化が起こらないのに対して、Cluster(2)はMg/Siが2に収束するようにサイズ分布も広がり、粗

大化していく<sup>(22)(23)</sup>。さらに最近KimらによってもCluster(1)とCluster(2)の存在についてDSC法での詳細な研究がなされている<sup>(24)</sup>。

また有賀と里<sup>(25)</sup>は3DAP法によって自然時効と予備時効した合金中に形成されるクラスタについての詳細な研究を行い、自然時効初期に主に形成する極端なSiリッチクラスタ(Cluster(1))は、170°Cでの人工時効処理にて強化析出相の $\beta''$ に遷移しにくく、再固溶して過飽和Mg, Si量を増加させることもほとんどないことを報告した。

陽電子消滅(寿命)測定法(Positron Annihilation (lifetime) spectroscopy; PA(L)S)からは最近、Banhartらによって以下の報告がなされている<sup>(26)</sup>。彼らは焼入れ後に10~37°Cでの等温測定において得られた結果を4つのステージを想定し、それぞれのステージで生じている現象を提案している。ステージ0:陽電子寿命の測定初期の急激な減少。急速な溶質-原子空孔の生成とクラスタリングの開始。

ステージ1:陽電子寿命がほぼ一定またはわずかな減少。クラスタリング進行中。二段時効の負の効果に寄与する段階。ステージ2:陽電子寿命が極小値まで減少する段階。クラスタリング進行中。DSCでは最初のクラスタリングとして検出される段階。

ステージ3:陽電子寿命が減少から転じて極大値まで増加する段階。Mgの関与するクラスタの凝集で陽電子寿命が延びる。DSCでは2つ目のクラスタリングとして検出される。ステージ4:陽電子寿命がふたたび減少する段階。クラスタの粗大化と規則化が寄与。

Mgと原子空孔の結合エネルギーがSiのそれよりも高いことから、これらの挙動はMg濃度が高い合金ほど顕著に現れるとしている。

クラスタやGPゾーン等のエネルギー計算も頻繁に行われており、第一原理計算としてVienna ab initio simulation package (VASP)による計算が多く用いられている。2004年にはRaviとWolverton<sup>(27)</sup>が同手法によって、当時報告されていたゾーンや中間相を総集して、いかなる構造が安定であるかを計算した。当時、著者らが提案していた図2の単層GPゾーン<sup>(19)</sup>をアルミニウム母相を含んだL10構造として計算に使用し、ゾーンの構造としては安定したエネルギー値を示すことを報告している。Sandbergら<sup>(17)</sup>によると、 $\beta''$ の結晶格子を基本構造としたクラスタまたはゾーンについてのエネルギー計算を行い、Mg/(Mg+Si)に対して0.5であるMgSi(L10構造)が最も低い値を示し、MgあるいはSiが増加すると、系の総エネルギーも高くなった。また2013年にはKaradenizら<sup>(28)</sup>も各種の報告例からGPゾーンや $\beta''$ 中間相等の構造を想定して計算した。その中で前述のRaviとWolvertonの使用したL10構造のゾーンを図3のように示して「Matsuda-phase」と呼称した。

廣澤らによる第一原理計算によって算出したアルミニウム合金中の原子間、原子-空孔間相互作用エネルギーを用いた種々のマイクロアロイング元素との「相互作用エネルギーマップ」は、二元系、三元型アルミニウム合金におけるいわゆ

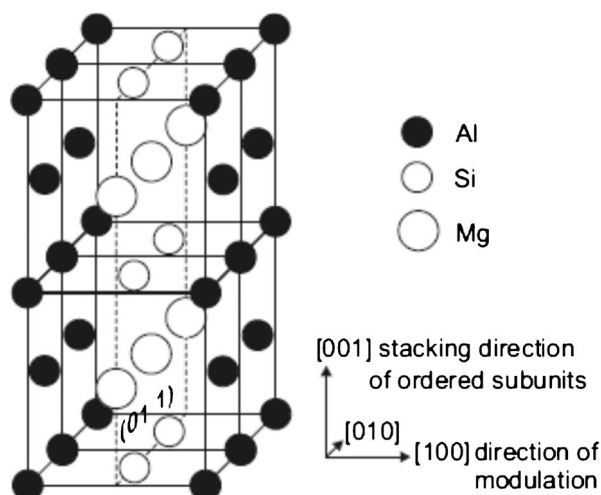


図3 Al-Mg-Si 合金中の GP ゾーン, “Matsuda-phase”<sup>(28)</sup>.  
(License#505640879124, Elsevier)

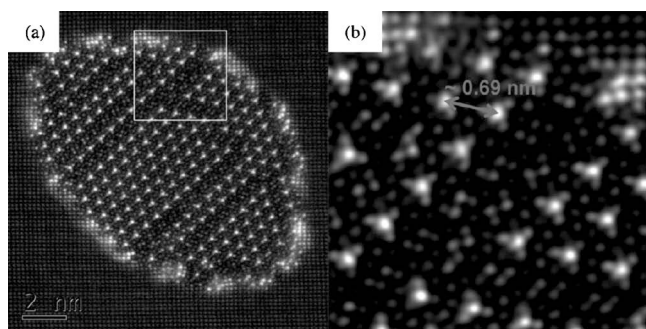


図4 (a) 523 K で 60 ks 時効した Al-1.0 mass% Mg<sub>2</sub>Si-0.5 mass% Ag 合金中に観察された棒状  $\beta'$  相の横断面の HAADF-STEM 像<sup>(30)</sup>. (b) (a) の拡大図. 一番明るい点は Ag 濃度が高い原子コラム. 2 番目に明るい点は Si 原子コラムと推測している.  
(License#5056510020477, Taylor&Francis)

るクラスタの生成の難易度の指標として, 現在でも引用が多い<sup>(16)</sup>.

Starink ら<sup>(15)</sup>は, アルミニウムの FCC 格子の中に Mg-Si ダイマーの場合と, Mg-Si+Mg-Si の co-cluster を想定し, 3DAP の結果と合わせて, co-cluster の増加と強度増加の因果関係を提案した.

最近の HAADF-STEM 観察からはこれまでとは異なる情報も得られている. Al-Mg-Si 合金に銅添加すると硬さが増加することと  $Q'$  相が析出することはよく知られているが, 銀添加の影響はわかっていなかった. 著者らの研究では時効硬化速度が速くなり,  $\beta'$  相が過時効側でも安定で, かつ HRTEM 像や電子回折図形の解析結果から格子定数が変化している可能性と, 銀が  $\beta'$  相中に存在する可能性を指摘していた<sup>(29)</sup>. その試料中の  $\beta'$  相を HAADF-STEM 観察したところ, 図 4 に示すような画像が得られた<sup>(30)</sup>. もちろん明るい点が銀原子のコラムであると考えられ, 固溶体というよりも規則的に配列していた. 通常の  $\beta'$  相の結晶構造は 6 回

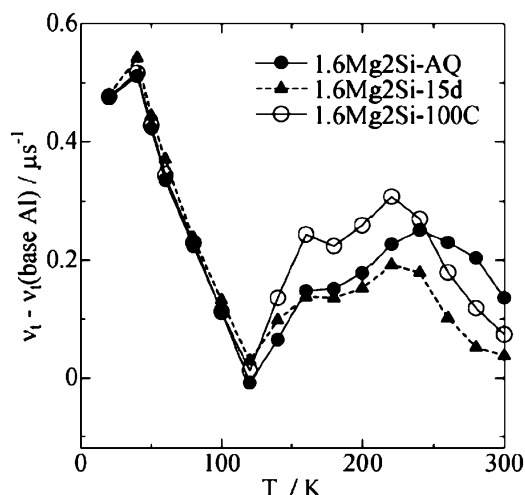


図5 Al-1.6 mass% Mg<sub>2</sub>Si 合金の溶体化処理直後, 15 日自然時効, 373 K で 60 ks 時効した試料における  $\mu^+$  の捕獲率の温度依存性<sup>(33)</sup>. 縦軸は 99.99% Al の捕獲率との差分で示している.

対称なのに対して, これは 3 回対称になっていた. また結晶格子の間隔もやはり 0.69 nm と, 通常の 0.71 nm よりも小さくなっていた. このことは  $\beta'$  相のアルミニウム母相との整合性が過時効側でも比較的良好なことを裏付けている.

### 3. ミュオンスピン緩和スペクトル( $\mu$ SR)法

正ミュオン( $\mu^+$ )の半減期は 2.2  $\mu$ s と陽電子の金属中での平均寿命 0.2 ns の約 10000 倍, 質量は陽子質量の約 1/10 と, 陽電子と比較して, 長い寿命と大きな質量により, 長時間試料内に滞在し, 相互作用して, 多くの情報を提供する. さらにスピン 1/2 で磁気双極子の大きさは, 陽子の約 3 倍で, 試料がアルミニウム合金の場合には, 質量数 27 のアルミニウム原子核の核磁気双極子とミュオンスピン磁気双極子が相互作用し, スピン緩和が生じることから, この方法を用いて, 著者らの研究グループの Wenner らや Nishimura らは Al-1.6 mass% Mg<sub>2</sub>Si 合金の溶体化処理直後の試料と, 99.99% 純度の Al の正ミュオンの捕獲率の温度依存性について調べ, 図 5 に示したような結果を得た.  $\mu^+$  のトラップサイトとして, 溶質原子, クラスタ, 原子空孔を挙げ, そして低温から, 以下のサイトに正トラップされると推測した<sup>(31)-(33)</sup>.

- ① < 50 K : Mg 原子に捕獲,
- ② 120-200 K : (Mg + Si + v) クラスタに捕獲またはホッピング,
- ③ 室温付近 : 原子空孔依存の捕獲またはホッピング.

最近では, 磁化率の変化と時効析出の初期課程の応答性の良いことも見出されている<sup>(34)(35)</sup>. 水素トラップや添加元素の影響についても成果が出つつある. 今後の展開が大いに期待される.

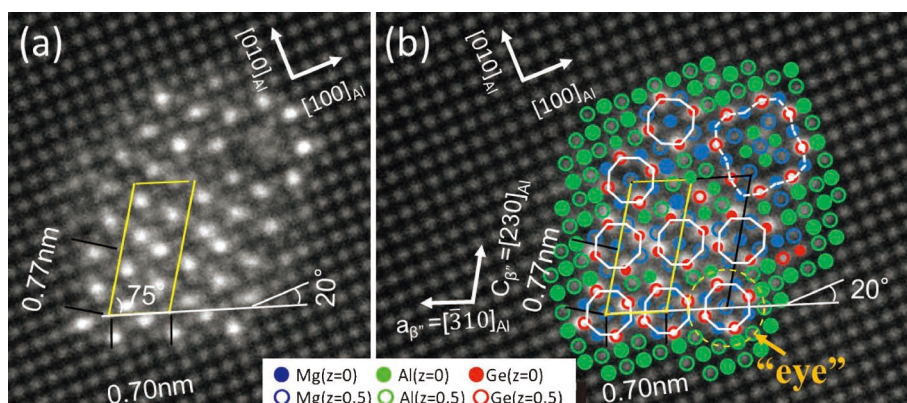


図6 (a) 473 K で 6 ks 時効した Al-Mg-Ge 合金中の  $\beta''$  相の HAADF-STEM 像と (b) その画像から推察される原子配列の模式図<sup>(13)</sup>.

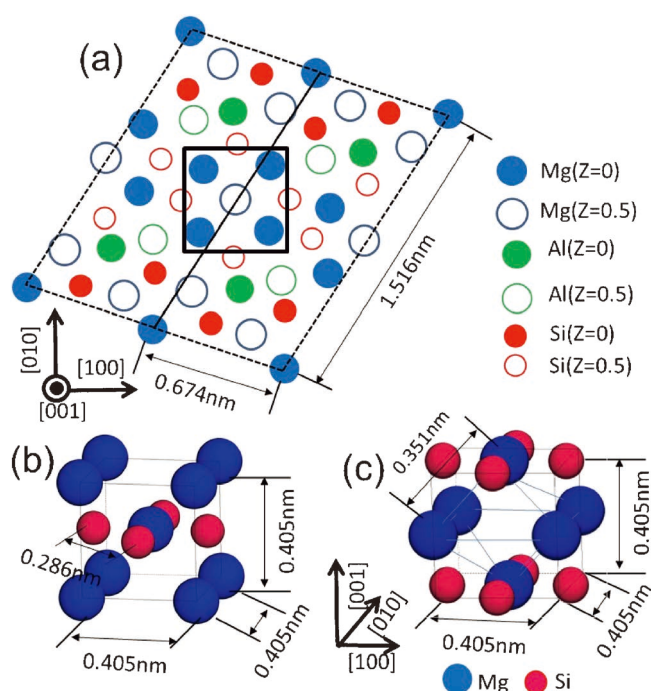


図7 Al-Mg-Si 合金の  $\beta''$  相で提案されている “eye cluster”<sup>(13)(36)</sup> (a)  $\beta''$  の 2 次元投影像, (b) (a) の中央部の黒四角で囲った eye-cluster を抜き出した構造. (c) (b) を  $z=1/2$  だけずらした構造.

#### 4. 一つの提案

図6は Al-Mg-Ge 合金中の針状析出物の断面を HAADF-STEM 観察した画像である<sup>(13)</sup>. 右の(b)中に示したように, 8 角形のような配列が見られるが, これは Hasting ら<sup>(36)</sup>が Al-Mg-Si 合金中の  $\beta''$  相に見られる典型的な配列で, 彼らは eye-cluster と呼んでいる.  $\beta''$  の構造を 2 次元投影して図7に示した. 図7(a)の中心部分に黒枠で示した部分を抜き出して, 3 次的に示した図を図7(b)に示した. 中心に Mg 原子をもつ Mg と Si 原子で構成される L10 構造である. これを上下方向に  $1/2$  原子面だけ並進させた図が図7(c)である. 興味深いのはこの図では Mg 原子の作る 8 面体

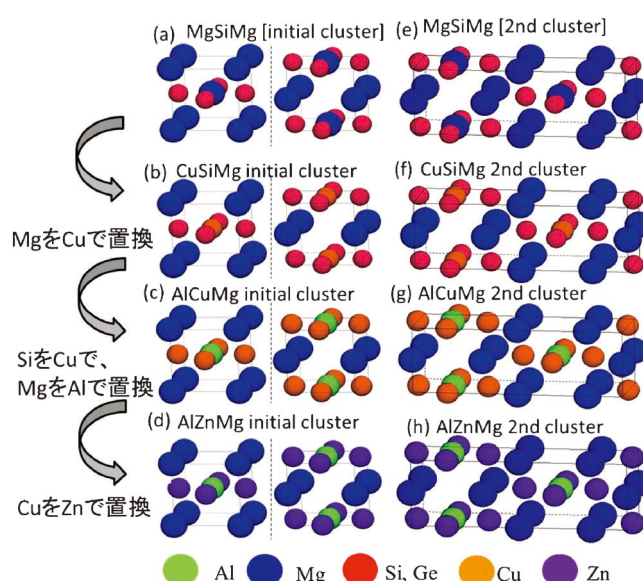


図8 時効硬化型 Al 合金に存在するクラスタ構造として提案されたユニバーサルクラスタ<sup>(13)</sup>.

構造が見られることである. Mg は原子空孔と結合しやすいという報告を踏まえると, この構造は原子空孔を効率よく捕獲できるのではないかと考えられる. また, 水素や他の元素のトラップサイトとしても有効ではないかと推察される. このユニットセルを初期クラスタと呼び, 横方向に 3 ユニットつないで図8に示した. これを第2クラスタと呼ぶこととする. さらに①図8(a)または(e)の底心の Mg を Cu に, ②図8(b)または(f)の Si を Cu に, そして底心の Cu を Al に, ③図8(c)または(g)の Cu を Zn にと置換したタイプを作成した. これは①は Al-Mg-Si 合金に Cu 添加した合金, ②は Al-Cu-Mg 合金, ③は Al-Zn-Mg 合金の初期生成物, つまり時効硬化型アルミニウム合金のクラスタの構造に相当する. このように時効硬化型アルミニウム合金の初期生成物の基本構造は同じであり, 原子の種類の置換のみで構成できると考えられたことから, 著者らは「ユニバーサルクラスタ」と呼んでいる.

これらのクラスタの妥当性を平面波基底第一原理計算パッ

ケージ QUANTUM ESPRESSO を利用して密度汎関数理論計算を行い、構造緩和と系の総エネルギーを求めた<sup>(37)</sup>。図9は図8(e)の Mg-Si-Mg である。(a)~(c)がそれぞれ第2クラスタを[001], [010], [100]方位からの緩和前の投影図である。なお、実際の計算では周りにアルミニウム原子が2層ずつ取り囲む構造として計算しているが、この図では省略している。(d)~(f)は総エネルギーが最小となった緩和後のクラスタの形態である。注目すべきは点線で囲んだ部分であり、eye-cluster がその形状を明らかにしている。さらに緩和後には緩和前のアルミニウム母相の原子位置から Mg あるいは Si 原子がずれていることも明らかであり、ひずみを生み出すことも推察される。このような計算を前述の図8に示した他の原子を含むクラスタについても実施したところ、図10(a)~(l)に記したように、同様の結果が得られたことから、今後、このユニバーサルクラスタの存在の有無ある

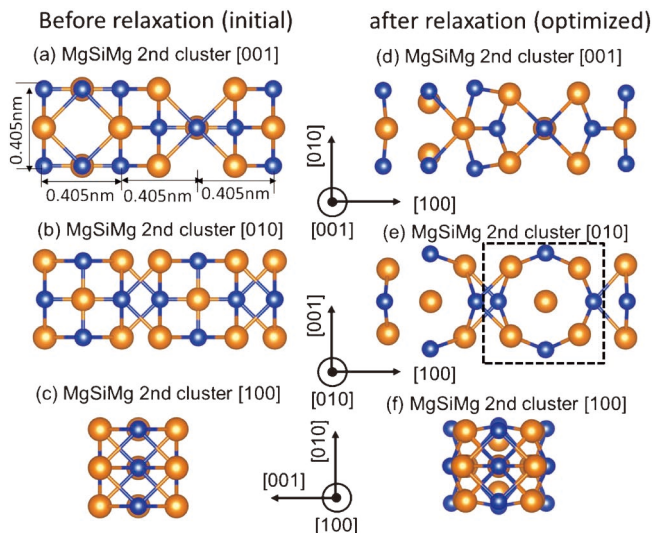


図9 図8の MgSiMg 第2クラスタの構造緩和計算前と緩和後の状態。(周りの Al 母相は省略している。)

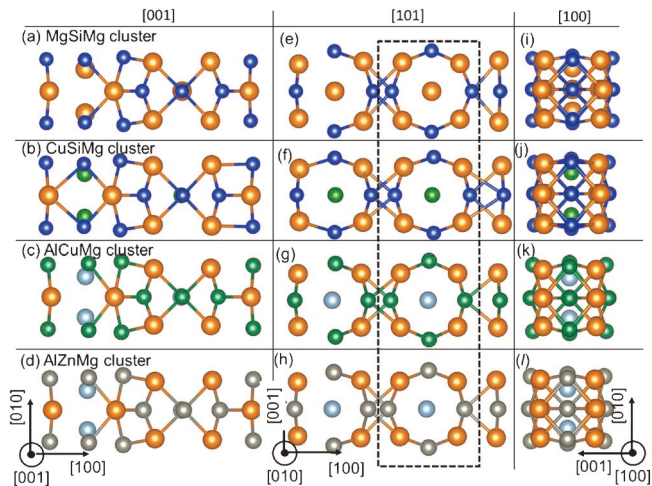


図10 図8の各クラスタの構造緩和後の状態。(周りの Al 母相は省略してある。)

いは構造も研究の対象として重要であると言える。その一例を図11に示した<sup>(14)</sup>。これは Al-Mg-Si 合金ではなく、Cu を添加した Al-Zn-Mg 合金にみられた現象である。結晶粒界近傍を観察した HAADF-STEM 画像である。図10(a)中に無析出物帯(PFZ)を示している。通常はこの間隔を測定して PFZ の幅と称し、伸びや強度との因果関係の要因としている。例えばこの時効条件では PFZ の幅は約 400 nm である。図11(a)の右上の白四角の部分を拡大して観察した画像が図11(b)、さらに(b)中の PFZ 内に示した白四角の部分を拡大した画像が(c)である。図から明らかなように、図11(c)において、微細な生成物が確認された。さらにそれらの中の2つを拡大して(d)と(e)に示す。それぞれの模式図を(f)と(g)にも示したが、前述の eye-cluster が PFZ と考えられている領域にも確認された。また、図10(f)と(g)に示したような eye-cluster が密に生成している状態は、最近 Al-Cu-Mg 合金において Kovarik と Mills<sup>(38)</sup>が見出したピーナツパターンと一致している。この PFZ からは著者らが提案したユニバーサルクラスタ相当の電子回折図形を得ている。さらにその電子回折図形は時効初期からピーク時効までは存在するが、過時効では確認されなくなった。もちろん Al-Cu-Mg 合金に現れる S'相や S 相は結晶粒界にも粒内にも確認されていない。つまり、Al-Zn-Mg 合金中において、主成分である Zn と Mg は  $\eta'$  あるいは  $\eta$  を生成するとともに、過剰あるいはわずかな Mg が Cu とともに Al-Cu-Mg 系合金で生成されるクラスタあるいは Guinier-Preston-Bagaryat-

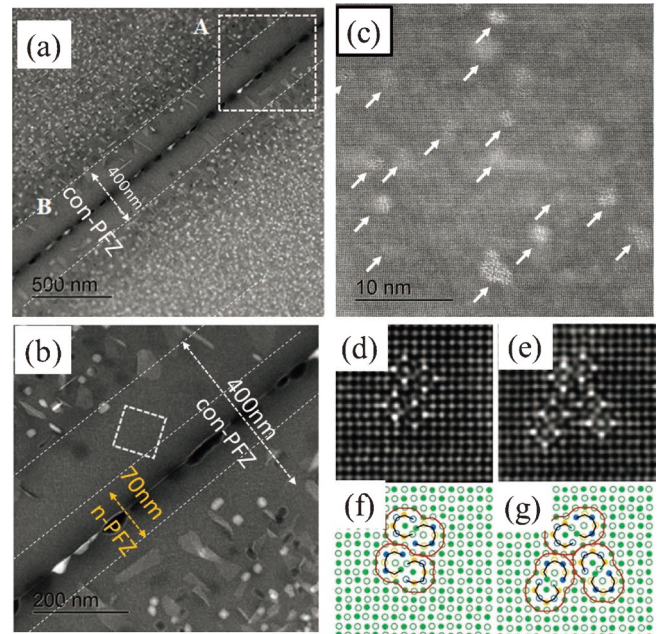


図11 (a) 1 : 473 K, 0.96 ks 時効した ZM42HC 合金の結晶粒界近傍の HAADF-STEM 像, (b) (a) 中で白四角点線で示した A 領域の拡大像. (c) (b) 中の PFZ 内の白四角点線で示した領域の拡大像. (d), (e): (c) 中に白矢印で示したクラスタの典型例を画像処理した画像. (f), (g): それぞれ (d) と (e) の模式図. (○Al(Z=0.5), ●Al(Z=0), ○Mg(Z=0.5), ●Mg(Z=0), ○Cu(Z=0.5), ●Cu(Z=0)).

sky (GPB) ゾーンを生成すると考えられる。このことは双方のクラスタが類似している、つまりユニバーサルクラスタの存在を裏付けにもなると考えられ、今後のさらなる研究が期待される。

## 5. お わ り に

ICAA14 の際に、海外の知人から、「10年ぶりくらいに Al-Mg-Si 合金の時効析出のセッションに出たが、溶質原子やクラスタという聞きなれた言葉が議論されていて、安心した」と言われた。よい評価と受け止めてよいのか複雑な気持ちになったが、時効硬化型 Al 合金、とくに Al-Mg-Si 系合金においては、それくらい根の深い問題であると受け止めている。破竹の勢いで HAADF-STEM 法、3DAP 法、シミュレーション法やその他の新しい研究手法によって、これまでの課題が解決に向かう中で、単純に熱処理と加工とわずかな点元素だけの実験条件の違いにおいてでさえ、さらに新たな現象も見い出されており<sup>(39)</sup>、この Al-Mg-Si 系合金研究の今後ますますの隆盛を祈念するばかりである。最後に本稿は著者の思い込みによる部分も多々あると思われるので、今後ともご指導いただければ幸いです。

本稿を執筆するにあたり、研究にご協力いただきました関係各位に深く感謝する。また著者らの研究の一部は、軽金属奨学会平成 29-30 年度統合的先端研究、JSPS 科研費 25289260、JST 産学共創基礎基盤研究 (20100114)、軽金属学会研究委員会、The Norwegian-Japanese Aluminium Alloy Research and Education Collaboration (INTPART)、財団法人平成 30 年度研究助成、富山大学学長裁量経費 2017-2020 等のご支援を頂いた。附記して謝意を表する。なお次の図はそれぞれ承諾を得ている。

図 3 : Elsevier, License#505640879124.

図 4 : Taylor&Francis, License#5056510020477.

## 文 献

- (1) J. Polmear: *Light Alloys*, 3rd ed., Arnold, (1995), 24-42.
- (2) 松田健二, 池野 進: 軽金属, **53**(2003), 457-462.
- (3) 山田健太郎, 里 達雄, 神尾彰彦: 軽金属, **51**(2001), 215-221.
- (4) 八太秀周, 田中宏樹, 松田真一, 吉田英雄: 軽金属, **54**(2004), 412-417.
- (5) 古田昌伸, 成毛康一郎, 柳沼芳宏, 岡田勝蔵, 清水照三, 中山栄浩: 軽金属, **52**(2002), 586-590.
- (6) 八太秀周, 松田真一, 吉田英雄: 軽金属, **56**(2006), 667-672.
- (7) P. Lang, E. P.-Karadeniz, A. Falahati and E. Kozeschnik: *J. Alloys Compd.*, **612**(2014), 443-449.
- (8) L. Cao, P. A. Rometsch and M. J. Couper: *Mater. Sci. Eng., A* **559**(2013), 257-261.
- (9) 中村貴彦, 村松賢治, 長井政紀, 大津諒平, 小松伸也: 軽金属, **59**(2009), 254-260.
- (10) A. Serizawa, S. Hirose and T. Sato: *Met. Mater. Trans. A*, **39A**(2008), 243-251.
- (11) C. D. Marioara, S. J. Andersen, J. Jansen and H. W.

- Zandbergen: *Acta Mater.*, **49**(2001), 321-328.
- (12) C. D. Marioara, H. Nordmark, S. J. Andersen and R. Holmestad: *J. Mater. Sci.*, **41**(2006), 471-478.
- (13) K. Matsuda, A. Kawai, K. Watanabe, S. W. Lee, C. D. Marioara, S. Wenner, K. Nishimura, T. Matsuzaki, N. Nunomura, T. Sato, R. Holmestad and S. Ikeno: *Mater. Trans.*, **58**(2017), 167-175.
- (14) K. Matsuda, T. Yasumoto, A. Bendo, T. Tsuchiya, S. W. Lee, K. Nishimura, N. Nunomura, C. D. Marioara, A. Lervik, R. Holmestad, H. Toda, M. Yamaguchi, K. Ikeda, T. Homma and S. Ikeno: *Mater. Trans.*, **60**(2019), 1688-1696.
- (15) M. J. Starink, L. F. Cao and P. A. Rometsch: *Acta Mater.*, **60**(2012), 4194-4207.
- (16) 廣澤渉一, 中村文滋, 里 達雄, 星野敏春: 軽金属, **56**(2006), 621-628.
- (17) N. Sandberg, M. Slabanja and R. Holmestad: *Comp. Mater. Sci.*, **40**(2007), 309-318.
- (18) F. A. Martinsen, F. J. H. Ehlers, M. Torster and R. Holmestad: *Acta Mater.*, **60**(2012), 6091-6101.
- (19) K. Matsuda, H. Gamada, K. Fujii, Y. Uetani, T. Sato, A. Kamio and S. Ikeno: *Met. Mater. Trans. A*, **29A**(1998), 1161-1167.
- (20) G. A. Edwards, K. Stiller, G. L. Dunlop and M. J. Couper: *Acta Mater.*, **46**(1998), 3893-3904.
- (21) M. Murayama and K. Hono: *Acta Mater.*, **47**(1999), 1537-1548.
- (22) 里 達雄: 軽金属, **56**(2006), 592-601.
- (23) 廣澤渉一, 小椋 智, 芹澤 愛, 小宮良樹, 里 達雄: 軽金属, **64**(2014), 542-550.
- (24) J. H. Kim, C. D. Marioara, R. Holmestad, E. Kobayashi and T. Sato: *Mater. Sci. Eng.*, **A560**(2013), 154-162.
- (25) 有賀康博, 里 達雄: 神戸製鋼技報, **66**(2017), 42-47.
- (26) J. Banhart, M. D. H. Lay, C. S. T. Chang and A. J. Hill: *Phys. Review B*, **83**(2011), 014101.
- (27) C. Ravi and C. Wolverton: *Acta Mater.*, **52**(2004), 4213-4227.
- (28) E. P.-Karadeniz, P. Lang, P. Warczok, A. Falahati, W. Jun and E. Kozeschnik: *CALPHAD*, **43**(2013), 94-104.
- (29) J. Nakamura, K. Matsuda, T. Kawabata, T. Sato, Y. Nakamura and S. Ikeno: *Mater. Trans.*, **51**(2010), 310-316.
- (30) C. D. Marioara, J. Nakamura, K. Matsuda, S. J. Andersen, R. Holmestad, T. Sato, T. Kawabata and S. Ikeno: *Philo. Mag.*, **92**(2012), 1149-1158.
- (31) S. Wenner, K. Nishimura, K. Matsuda, T. Matsuzaki, D. Tomono, F. L. Pratt, C. D. Marioara and R. Holmestad: *Acta Mater.*, **61**(2013), 6082-6092.
- (32) S. Wenner, K. Nishimura, K. Matsuda, T. Matsuzaki, D. Tomono, F. L. Pratt, C. D. Marioara and R. Holmestad: *Metall. Mater. Trans.*, **45A**(2014), 5777-5781.
- (33) 西村克彦, 松田健二, 並木孝洋, 李 昇原, 布村紀男, 松崎 慎市郎, 渡邊功雄: 軽金属, **67**(2017), 151-155.
- (34) K. Nishimura, K. Matsuda, T. Namiki, N. Nunomura, T. Matsuzaki and W. D. Hutchison: *Mater. Trans.*, **56**(2015), 1307-1309.
- (35) K. Nishimura, K. Matsuda, Q. Lei, T. Namiki, S. W. Lee, N. Nunomura, T. Matsuzaki and W. D. Hutchison: *Mater. Trans.*, **57**(2016), 627-630.
- (36) H. S. Hasting, A. G. Froseth, S. J. Andersen, R. Vissers, J. C. Walmsley, C. D. Marioara, F. Danoix, W. Lefebvre and R. Holmestad: *J. Appl. Phys.*, **106**(2009), 123527.
- (37) 布村紀男, 西村克彦, 松田健二: 軽金属, **67**(2017), 156-161.
- (38) L. Kovarik and M. J. Mills: *Acta Mater.*, **60**(2012), 3861-3872.
- (39) K. Ikeda, T. Takashita, R. Akiyoshi, S. Hata, H. Nakashima, K. Yamada and K. Kaneko: *Mater. Trans.*, **59**(2018), 590-597.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 松田健二 matsuda@sus.u-toyama.ac.jp  
 1985年 富山大学大学院工学研究科修士課程修了  
 主な略歴  
 2008年11月- 現職  
 2018-2020年 学部附属先端材料研究センター長  
 専門分野：材料組織工学  
 ◎時効硬化型アルミニウム合金の時効析出挙動に関する材料組織学的研究に  
 従事。透過型電子顕微鏡を用いた構造解析技術や分析技術を中心に活動。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



松田健二



西村克彦



李 昇原



布村紀男



土屋大樹



池野 進

# 金属製錬の熱力学(第1回)

月 橋 文 孝\*

## 1. はじめに

金属製錬では、通常、鉱山から得られた鉱石を選鉱操作により脈石成分を取り除き、製錬工程で使いやすい形とした鉱石原料を処理する。鉱石原料は多くは酸化物、硫化物の化合物であり、金属製錬操作では、これら化合物から酸素、硫黄などを取り除き粗金属を得る工程と、粗金属からさらに不純物を取り除き、また必要な元素を添加して目的とする性質を持つ金属材料を得る精製工程からなる。いずれの工程においても化学反応を利用して材料の性質を変換することが用いられている。

製錬プロセスでの化学反応では、反応の関与する物質が存在し、反応が進むための駆動力があること、合理的に大きい速度で反応が進行することが必要である。

金属製錬反応は、高温での化学反応を利用して目的金属を得る乾式製錬法、水溶液中での反応を利用する湿式製錬法、電気分解を用いて目的金属を得る電解製錬法などに大別される。

本稿では化学熱力学を金属製錬に適用するための基礎事項について説明する。さらに、特に、高温での化学反応を利用して目的金属を得る乾式製錬法での化学熱力学の適用法について述べる。

化学反応の駆動力は、反応に関与する物質の化学ポテンシャル(後述)によって支配されている。平衡熱力学では化学ポテンシャルの釣り合いから、対象とする反応が進行するか否かを判断できることから、技術者として熱力学を使いこなせるようになることは有用である。ここでは使える熱力学を学んでいただくことを目的としてなるべく具体的に应用できるようになることを目指す。「熱力学」という学問体系により、製錬プロセスの評価、解析、予測において何がどこまでできるか、そして、「熱力学」では何ができないのかを見極める目を養っていただきたい。

なお、本稿では熱力学の基本事項についての説明は省き、高温プロセスの製錬反応の解析に必要な事項について説明する。

## 2. 対象とする系と外界

化学反応では非常に多くの数の分子、原子などが反応に関与するが、化学熱力学ではそれを一つの集合体として取り扱い、巨視的な集合全体の性質を記述するという取り扱いをする。

熱力学で対象とする部分を系、それ以外の部分を外界という。非常に多くの数の分子、原子からなる系と外界との間の熱、仕事のようなエネルギーと物質の出入りを巨視的に考える。系と外界との間のエネルギーと物質の出入りにより、系を次のように分類する(図1)。

**孤立系** : 系と外界の間で何も相互作用がなく、エネルギーと物質の出入りのない系

**閉じた系** : 系と外界の間でエネルギーの出入りはあるが、物質の出入りのない系

**開いた系** : 系と外界の間でエネルギーと物質の出入りのあ

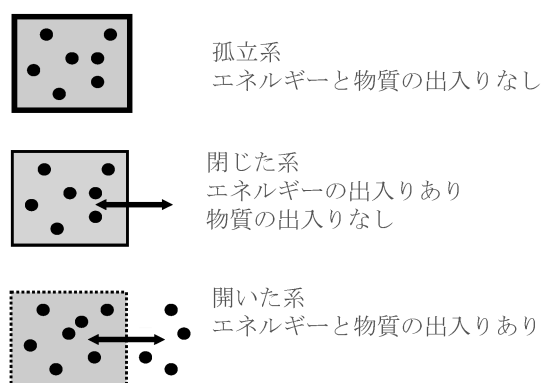


図1 系の分類.

\* 東京大学名誉教授

Thermodynamics of Metal Smelting (I); Fumitaka Tsukihashi (Emeritus Professor, The University of Tokyo, Tokyo)

Keywords: thermodynamics, metal smelting, chemical potential, equilibrium, activity, solution, phase diagram, chemical potential diagram, basicity, capacity of slag

2020年10月16日受理[doi:10.2320/materia.60.411]

る系

孤立系にある系をそのままの状態にしておくと、最終的には変化しないある状態になる。この状態を熱平衡という。系 A と系 B が熱平衡にあり、また系 B と系 C が熱平衡にあるとき、系 A と系 C は熱平衡にある。

化学熱力学では、系内および系と外界の間を移動する熱と仕事などのエネルギーと対象とする反応の関与物質の出入りを考える。

物質の性質が一樣である領域を相といい、系全体が一樣である系を均一系、性質が異なる二つ以上の相がある系を不均一系という。系を構成する要素を成分といい、一成分系、多成分系がある。金属製錬プロセスでは多成分を含む多相系でおこる反応となっている。

### 3. 示量性状態量と示強性状態量

系を定量的に記述するためにいくつかの変数を用いる。この変数のうち、熱平衡状態に対応して一定の値となる物理量を状態量という。状態量は、系の最初と最後の状態のみによって決まるので、その変化量は途中の変化経路に依存しない。温度、圧力、内部エネルギーなどのよく知られた物理量は状態量である。

状態量には、示強性状態量と示量性状態量がある。質量や物質質量(モル数)のような物質の量に比例する状態量を示量性状態量、単位質量あたりもしくは単位物質質量(単位モル数)あたりの量のように物質の量に依存しない状態量を示強性状態量という。

質量、体積、内部エネルギー、エンタルピー、エントロピー、自由エネルギーなどは示量性状態量であり、温度、圧力、濃度、化学ポテンシャルなどは示強性状態量である。

たとえば50℃の水1リットルに50℃の水1リットルを加えた時、50℃の水2リットルができる。体積は2倍になっても温度は変わらない。このことから示強性状態量と示量性状態量の違いがわかる。

変数  $G$  は、熱力学では一般に Gibbs エネルギーの記号として用いられるが、ここでは、あとで別記するまで、 $G$  を示量性状態量とする。

圧力  $P$ 、温度  $T$  で、 $c$  個の成分からなる系を考え、 $n_i$  を第  $i$  成分 ( $i: 1 \sim c$ ) の物質質量とする。示量性状態量  $G$  は圧力  $P$ 、温度  $T$  で、 $c$  種の物質質量  $n_i$  ( $i: 1 \sim c$ ) の関数と考えることができる。示量性状態量である物質質量を  $\lambda$  倍すると、示量性状態量  $G$  は  $\lambda$  倍となる。

$$G(P, T, \lambda n_1, \lambda n_2, \dots, \lambda n_c) = \lambda G(P, T, n_1, n_2, \dots, n_c) \quad (1)$$

両辺を  $\lambda$  で偏微分すると

$$\sum_{i=1}^c n_i \left( \frac{\partial G}{\partial (\lambda n_i)} \right)_{n_j (j \neq i), P, T} = G(P, T, n_1, n_2, \dots, n_c) \quad (2)$$

となり、 $\lambda = 1$  とおくと

$$G(P, T, n_1, n_2, \dots, n_c) = \sum_{i=1}^c n_i \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{n_j (j \neq i), P, T} = \sum_{i=1}^c n_i \bar{G}_i \quad (3)$$

となる。ここで

$$\left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{n_j (j \neq i), P, T} = \bar{G}_i \quad (4)$$

と表して、これを部分モル量という。部分モル量は組成の関数である示強性状態量である。大量のものの中に1モルの  $i$  成分を混合したときの  $G$  の変化量を表している。

### 4. Gibbs-Duhem の式

示量性状態量  $G$  について、 $G$  は圧力  $P$ 、温度  $T$ 、物質質量  $n_1, n_2, \dots, n_c$  の関数とする。

$$G(P, T, n_1, n_2, \dots, n_c) = \sum_{i=1}^c n_i \bar{G}_i \quad (3)$$

式(3)の両辺を微分すると

$$\sum_{i=1}^c n_i d\bar{G}_i - \left( \frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T, n_i} dP - \left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P, n_i} dT = 0 \quad (5)$$

が得られる。

ここで、 $G$  を Gibbs エネルギーとすると、 $V$  を体積、 $S$  をエントロピーとして、

$$\sum_{i=1}^c n_i d\bar{G}_i - VdP + SdT = 0 \quad (6)$$

となる。これは Gibbs-Duhem の式と呼ばれ、重要な式である。金属製錬プロセスにおいては圧力  $P$ 、温度  $T$  が一定と考えられる場合 ( $dP=0$ ,  $dT=0$ ) が多く、定圧、定温の場合は、

$$\sum_{i=1}^c n_i d\bar{G}_i = 0 \quad (7)$$

となる。二成分系ならば

$$n_1 d\bar{G}_1 + n_2 d\bar{G}_2 = 0 \quad (8)$$

となる。

式(7)は、成分間の示強性状態量の関係を表す非常に重要な関係である。多成分系で他の成分の示強性状態量を変えることなく、系のある一つの成分の示強性状態量だけを変えられないことを意味しており、多成分系での変化を考えるときに重要な関係である。

### 5. 部分モル量の図形的表現

単位物質質量あたりの示量性状態量  $G'$  は

$$G' = \frac{G}{N} = \sum_{i=1}^c \left( \frac{n_i}{N} \bar{G}_i \right) = \sum_{i=1}^c (x_i \bar{G}_i) \quad (9)$$

で表される。ここで、 $N$  は全物質質量、 $G$  は示量性状態量、

$$x_i = \frac{n_i}{N} = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^c n_i} \quad (10)$$

は第  $i$  成分のモル分率である。

簡単にするため二成分系で考えると、

$$G' = x_1 \bar{G}_1 + x_2 \bar{G}_2 = (1 - x_2) \bar{G}_1 + x_2 \bar{G}_2 \quad (11)$$

$x_2$  で微分して、Gibbs-Duhem の式(式(8))をモル分率で表した式

$$x_1 d\bar{G}_1 + x_2 d\bar{G}_2 = 0 \quad (12)$$

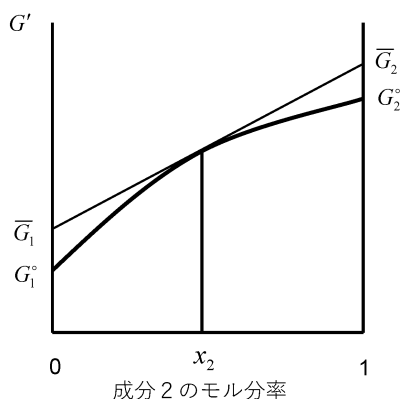


図2 二成分系での部分モル量の図上での表現.

を用いると,

$$\bar{G}_2 = G' + x_1 \frac{dG'}{dx_2} \quad (13) \quad \bar{G}_1 = G' + x_2 \frac{dG'}{dx_2} \quad (14)$$

となる. また  $G'$  はモル分率  $x_2$  の関数であり,  $G'$  と  $x_2$  の関係を図示すると図2の曲線となる. ある組成(モル分率)  $x_2$  における曲線  $G'$  の接線の  $x_2=0,1$  における切片から第一成分, 第二成分の部分モル量  $\bar{G}_1, \bar{G}_2$  が求められる.  $G'_i$  は第  $i$  成分の純物質の  $G'$  の値である.

示量性状態量  $G$  として体積を考えると, 水とアルコールのように異なった物質を混合すると, 混合後の体積は単純な体積の和とならず, 混合比率により全体積が変化することを説明できる.

## 6. 化学ポテンシャル

ここまで記号  $G$  を示量性状態量として説明してきたが, これ以降は,  $G$  は示量性状態量の Gibbs エネルギーを表すものとする. また,  $U$  を内部エネルギー,  $A$  を Helmholtz エネルギー,  $H$  をエンタルピー,  $S$  をエントロピー,  $V$  を体積とする.

閉じた系で熱の出入りと体積変化のみを考える場合は, 熱力学第一法則と第二法則から

$$dU = TdS - PdV \quad (15)$$

(Gibbs の式)で表される.

化学反応を伴う場合は, 物質の出入りがあるので,  $U$  を  $S, V, n_1, n_2, \dots, n_c$  の関数

$$U = U(S, V, n_1, n_2, \dots, n_c) \quad (16)$$

とすると, 物質の出入りに伴う内部エネルギーの変化を考慮して

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, n_i} dS + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, n_i} dV + \sum_{i=1}^c \left( \frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_j (j \neq i)} dn_i \quad (17)$$

となる.

$$\left( \frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, n_i} = T \quad (18), \quad \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, n_i} = -P \quad (19)$$

より, 化学反応を伴う場合は, 物質の量の変化に伴う内部エネルギーの変化を考慮して, 開いた系での Gibbs の式が式

(20)のように得られる.

$$dU = TdS - PdV + \sum_{i=1}^c \left( \frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_j (j \neq i)} dn_i \quad (20)$$

同様に

$$dH = TdS + VdP + \sum_{i=1}^c \left( \frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S, P, n_j (j \neq i)} dn_i \quad (21)$$

$$dA = -SdT - PdV + \sum_{i=1}^c \left( \frac{\partial A}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_j (j \neq i)} dn_i \quad (22)$$

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{i=1}^c \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_j (j \neq i)} dn_i \quad (23)$$

となる.

$$H = U + PV \quad (24)$$

$$A = U - TS \quad (25)$$

$$G = U - TS + PV = H - TS \quad (26)$$

の関係を用いると,

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_j (j \neq i)} &= \left( \frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S, P, n_j (j \neq i)} = \left( \frac{\partial A}{\partial n_i} \right)_{T, V, n_j (j \neq i)} \\ &= \left( \frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_j (j \neq i)} = \mu_i \end{aligned} \quad (27)$$

となり,  $U, H, A, G$  の部分モル量は等しくなる. これを成分  $i$  の化学ポテンシャル  $\mu_i$  という. 化学ポテンシャルは部分モル Gibbs エネルギーとなる.

これらの部分モル量の式で, 物質で偏微分するときの一定とする変数はそれぞれ異なっている. 通常, 金属製錬プロセスなど工業的な材料製造プロセスでは, 多くは一定の圧力, 温度の条件下で操業されるので, 一定の温度, 圧力での化学ポテンシャルを表す Gibbs エネルギーを用いて, 反応の平衡を検討するのが便利である.

Gibbs-Duhem の式(式(6))は化学ポテンシャルについて表すと

$$\sum_{i=1}^c n_i d\mu_i - VdP + SdT = 0 \quad (28)$$

となる(等温, 等圧の条件では  $\sum_{i=1}^c n_i d\mu_i = 0$  となる). この関係式は, ある系における各成分の化学ポテンシャル間の関係を示しており, ある一つの化学ポテンシャルを独立には変えることができないことを表している.

## 7. 化学ポテンシャルと平衡

### (1) 系と外界の熱平衡条件

ある系1と外界(添字  $e$  は外界を表す)の熱平衡条件は, 温度が等しいこと,

$$T_1 = T_e \quad (29)$$

圧力が等しいこと,

$$P_1 = P_e \quad (30)$$

各成分について化学ポテンシャルが等しいこと

$$\mu_1^1 = \mu_1^e, \mu_2^1 = \mu_2^e, \dots, \mu_c^1 = \mu_c^e \quad (31)$$

である. また, 熱平衡が安定となる条件は

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_j} \geq 0 \quad (32)$$

である。この値が正であることから、ある成分の物質が増加すると、その成分の化学ポテンシャルは増加することになる。

## (2) Duhem の定理

変形しない容器内に任意の量の各種物質を入れて密封し（閉じた系を形成）、十分な時間経過すると、熱力学変数が一定となり変化が起らない化学平衡に到達する。たとえば、一定体積  $V$  の容器内にある量の物質を入れ、温度  $T$  に十分な時間保つと、ある最終状態に到達し、この状態は体積と温度の二つの変数で決定されたと考えられる。

このことから、各成分の初期量が決まった閉じた系の平衡状態は、示強性、示量性を問わず、二つの変数を決めることで決定される。これを Duhem の定理という。

$p$  個の相が存在する系において相間の化学平衡条件を考える。各相には  $c$  種の成分が含まれるとする。

相の境界で力学的平衡が成り立ち相内の圧力が等しいとすると、相間の平衡の条件は  
各相の温度が等しいこと

$$T_1 = T_2 = \cdots = T_p \quad (33)$$

各相の圧力が等しいこと

$$P_1 = P_2 = \cdots = P_p \quad (34)$$

各成分 (1~ $c$ ) について、各相 (1~ $p$ ) の化学ポテンシャルが等しいこと

$$\begin{aligned} \mu_1^1 &= \mu_1^2 = \cdots = \mu_1^p \\ \mu_2^1 &= \mu_2^2 = \cdots = \mu_2^p \\ &\vdots \\ \mu_c^1 &= \mu_c^2 = \cdots = \mu_c^p \end{aligned} \quad (35)$$

である。 $\mu_i^j$  は相  $j$  中の第  $i$  成分の化学ポテンシャルである。

閉じた系では、各成分の初期量  $n_i^0$  が決まっており、系内で  $r$  個の反応が起ると  $c$  種の各成分の物質の量の初めの状態  $n_i^0$  ( $i=1, \cdots, c$ ) から平衡状態の  $n_i$  までの変化は反応進行度  $\xi_\rho$  を用いて

$$n_i = n_i^0 + \sum_{\rho=1}^r \nu_{i,\rho} \xi_\rho \quad (36)$$

で表される。 $\nu_{i,\rho}$  は反応の化学量論係数である。また、 $r$  個の化学反応の平衡の条件(後述)

$$\sum_{i=1}^c \nu_{i,\rho} \mu_i = 0 \quad \rho = 1, \cdots, r \quad (37)$$

が成り立つ。

独立に変えることのできる変数の数(自由度)を考える。

式(33)–(37)中の変数の数と  $r$  個の反応進行度  $\xi_j$  ( $j=1, \cdots, r$ ) が変数となるので、変数の数は

$$(c+2)p + r \quad (38)$$

となる。制約条件の関係式の数は、式(33)–(35)と反応進行度(式(36))の式と平衡条件(式(37))の式から

$$(c+2) \cdot (p-1) + c + r \quad (39)$$

よって、変数の数と制約条件の数の差である自由度は

$$[(c+2)p + r] - [(c+2) \cdot (p-1) + c + r] = 2 \quad (40)$$

すなわち、閉じた系の平衡状態は、示強性、示量性を問わず、二つの変数を決めることで決定される。

## (3) 不均一多成分系の相の間の平衡と Gibbs の相律

系に  $p$  個の相が存在する系において相間の化学平衡条件が成り立っているとき、自由に変えられる示強性状態量の数(自由度)を考える。各相には  $c$  種の独立成分が含まれるとする。

相間の平衡条件より独立な化学ポテンシャルの数は Gibbs–Duhem 式により  $(c-1)p$  となるので、式(33)–(35)の変数の数は  $(c+1)p$ 、また関係式の数は  $(c+2)(p-1)$  である。これより不均一開放系で平衡状態にあるとき、独立に変えることのできる示強性状態量の数である自由度  $f$  は

$$f = (c+1)p - (c+2)(p-1) = c - p + 2 \quad (41)$$

である。これを Gibbs の相律という。

独立成分の数  $c$  は、系内に存在する元素の数とすると分かりやすい。

図2において、変数  $G$  を Gibbs エネルギーとすると、部分モル Gibbs エネルギー  $\bar{G}_i$  は化学ポテンシャル  $\mu_i$  となる

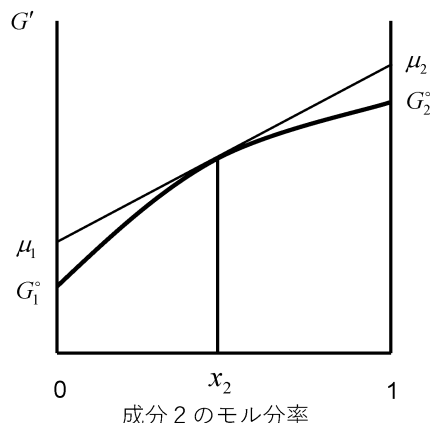


図3 二成分系での化学ポテンシャル。

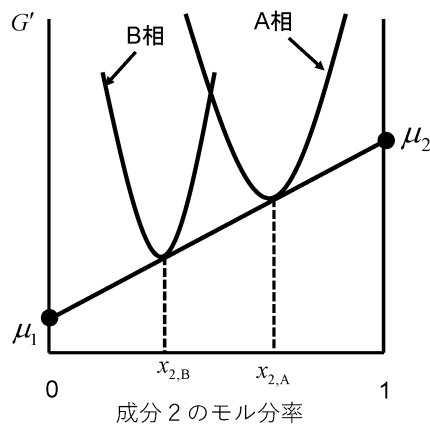


図4 相平衡と化学ポテンシャル。

(図3). すなわち, 図3の接線とモル分率  $x_2=0, 1$  での縦軸  $G'$  との交点が化学ポテンシャル  $\bar{G}_1=\mu_1$  および  $\bar{G}_2=\mu_2$  になる.

A相とB相が平衡するという事は, A相とB相の  $i$  成分の化学ポテンシャル  $\mu_i$  が等しい

$$\mu_i^A=\mu_i^B \quad (42)$$

ことである. 二成分系において, A相とB相が平衡するときには図4に示すように, A相とB相のそれぞれの  $G'$  曲線に共通接線が存在し, その両軸との切片が化学ポテンシャル  $\mu_1$  および  $\mu_2$  となる. このとき平衡しているA相の組成(モル分率)は  $x_{2,A}$ , B相の組成は  $x_{2,B}$  である. (つづく)

## 文 献

- (1) 日本金属学会, 金属化学入門シリーズ1 金属物理化学, (1996), 81.
- (2) 日本鉄鋼協会, 鉄鋼便覧 第3版, 第1巻 基礎, 丸善, (1981), 図1.2, 図1.3, 図2.7, 図2.8, 図3.26, 図3.38.
- (3) 日本金属学会, 講座・現代の金属学製錬編2 非鉄金属製錬, (1980), 84.

[本稿で熱力学データを引用した文献]

本稿中で使用した熱力学データは, 下記文献より引用した.

- (1) Steelmaking Data Sourcebook, The Japan Society for the Promotion of Science, The 19th Committee on Steelmaking(日本学術振興会製錬第19委員会), Gordon and Breach Science Publishers (1988).
- (2) E. T. Turkdogan: Physicalchemistry of High Temperature Technology, Academic Press (1980).

[参考書: 本稿の執筆に当たり参考にさせていただいた]

- (1) J. G. Kirkwood, I. Oppenheim(関 集三, 菅 宏訳): 化学熱力学, 東京化学同人(1965).
- (2) I. プリゴジンス, R. デュフェイ(妹尾 学訳): 化学熱力学1, 2, みすず書房(1966).
- (3) 久保亮五: 大学演習熱学統計力学, 裳華房(1998).
- (4) 松下幸雄, 盛利貞, 不破 祐, 館 充, 森 一美, 瀬川 清: 冶金物理化学, 丸善(1970).
- (5) 増子 昇: 化学ポテンシャル状態図の作り方, 使い方, 電気化学, 38(1970), 153, 236, 307.
- (6) 大谷正康: 鉄冶金熱力学, 日刊工業新聞社(1971).
- (7) F. D. Richardson, Physical Chemistry of Melts in Metallurgy, vol. 1,2, Academic Press (1973).
- (8) 大谷正康, 水渡英昭, 早稲田嘉夫: 冶金物理化学演習, 丸善(1975).
- (9) C. H. Lupis: Chemical Thermodynamics of Materials, North-Holland (1983).
- (10) O. Kubaschewski, C. B. Alcock and P. J. Spencer: Materials Thermochemistry 6th edition, Pergamon Press (1993).
- (11) E. T. Turkdogan: Fundamentals of Steelmaking, The Institute of Materials (1996).
- (12) 佐野信雄: エリンガム図と化学ポテンシャル状態図, ふえらむ, 1(1996), 847.
- (13) N. Sano, W. Lu, P. V. Riboud and M. Maeda: Advanced Physi-

- cal Chemistry for Process Metallurgy, Academic Press (1997).
- (14) H. Lee: Chemical Thermodynamics for Metals and Materials, Imperial College Press, (1999).
- (15) 伊藤公久: マテリアルサイエンスの基礎 熱力学, 八千代出版(2000).
- (16) イリヤ・プリゴジン, ディリブ・コンデブディ: 現代熱力学, 朝倉書店(2001).
- (17) D. askell: Introduction to the Thermodynamics of Materials, Fifth Edition, Taylor & Francis (2008).
- (18) 早稲田嘉夫, 大藏隆彦, 森 芳秋, 岡部 徹, 宇田哲也編: 矢澤彬の熱力学問題集, 内田老鶴圃(2011).
- (19) P. Atkins, J. de Paula 著, 中野元裕, 上田貴洋, 奥村光隆, 北河康隆訳, アトキンス物理化学(上)第10版, 東京化学同人(2017).
- (20) 伊藤公久, 平田秋彦, 山本知之: 基礎材料科学, コロナ社(2020).

[熱力学データ集]

- (1) J. F. Elliott, M. Gleiser and V. Ramakrishna, Thermochemistry for Steelmaking, Pergamon Press (1963).
- (2) R. Hultgren, P. D. Desai, D. T. Hawkins, M. Gleiser, K. K. Kelley and D. D. Wagman: Selected Values of the Thermodynamic Properties of the Elements, Am. Soc. Metal. (1973).
- (3) R. Hultgren, P. D. Desai, D. T. Hawkins, M. Gleiser and K. K. Kelley, Selected Values of the Thermodynamic Properties of Binary alloys, Am. Soc. Metal. (1973).
- (4) G. K. Sigworth and J. F. Elliott: Metal Science, 8(1974), 298.
- (5) O. Knacke, O. Kubaschewski and K. Hesselmann: Thermochemical Properties of Inorganic Substances Second Edition, Springer Verlag (1977).
- (6) NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph No.9, American Institute of Physics and American Chemical Society, (1998).
- (7) Steelmaking Data Sourcebook, The Japan Society for the Promotion of Science, The 19th Committee on Steelmaking(日本学術振興会製錬第19委員会), Gordon and Breach Science Publishers (1988).
- (8) Y. Kawai and Y. Shiraishi: Handbook of Physico-chemical Properties at High Temperatures, Iron Stel Inst. Japan (1988).
- (9) S. Ban-ya and M. Hino: Chemical Properties of Molten Slags, Iron Stel Inst. Japan (1991).
- (10) I. Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, VCH Verlagsgesellschaft mbH (1993).
- (11) M. Hino and K. Ito: Thermodynamic data for steelmaking, Tohoku University Press (2010).



月橋文孝

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1982年3月 東京大学大学院工学系研究科金属工学  
 専門課程博士課程修了, 工学博士  
 1982年4月 東京大学工学部金属工学科助手  
 1986年10月 東京大学工学部金属工学科講師  
 1988年1月 東京大学工学部金属工学科助教授  
 1999年4月~2020年3月 東京大学大学院新領域創  
 成科学研究科物質系専攻教授  
 2020年6月 東京大学名誉教授  
 専門分野: 金属製錬学, 鉄鋼製錬学  
 ◎金属製錬, 鉄鋼製錬プロセスの物理化学に関する研  
 究に従事.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

# 半導体粒界における局所物性の解析に向けた機械学習型原子間ポテンシャル

横井達矢\*

## 1. はじめに

多結晶材料は多数の結晶粒から構成されるため、結晶粒どうしの界面である結晶粒界が存在する。そして粒界から数ナノメートル範囲内の化学組成や原子配列の変化に起因し、多結晶の材料特性は著しく変化する。またバイクリスタルを用いた実験や理論計算による先行研究では、結晶粒どうしの結晶方位差や粒界面の格子面といった結晶学的性質に応じ、粒界の原子配列や特性は様々であることが示されている。よって粒界特性を精緻に制御して高機能な多結晶材料を創成するためには、粒界の結晶学的性質、原子構造、粒界特性の有機的な理解が求められる。

多結晶シリコンをはじめとする半導体多結晶は、太陽電池材料や熱電変換材料として広く研究・開発が行われている。これらの材料でも、粒界の特異な原子構造は電気伝導性や熱伝導率に影響を及ぼすことが示されている。半導体の粒界構造とその特性を原子・電子レベルで明らかにするため、先行研究では Density functional theory (DFT) 計算により解析が行われてきた<sup>(1)-(3)</sup>。しかし粒界の原子レベルモデリングには、完全結晶に比べて多数の原子を要するため、DFT 計算では莫大な計算時間・計算機資源が必要となる。そのため、先行研究では単純な原子構造をもつ低  $\Sigma$  値の傾角粒界に限定されており、その知見が実多結晶中の一般粒界に適用できるかは未だ不明である。他方、経験的原子間ポテンシャルによる大規模かつ系統的な計算も行われているが<sup>(4)(5)</sup>、その調整パラメータは一般に粒界の原子環境を考慮せずフィッティングされる。そのため、粒界では計算精度が著しく低下することが多々ある。このように既存の計算手法では、粒界対

し計算時間と計算精度の維持が困難な場合が多い。

上記に対し著者は、近年盛んに研究されている DFT 計算データを学習させた機械学習型原子間ポテンシャル<sup>(6)(7)</sup>に着目し、粒界に対しても精度を維持する原子間ポテンシャルの構築を行ってきた。特に人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) を用いた原子間ポテンシャルを構築し、構造緩和や分子動力学法といった分子シミュレーションと統合した。その結果、学習データに含まれない粒界に対しても精度を維持することを示した。また計算時間は、通常の DFT 計算に比べて少なくとも 3 桁程度高速であることを示した。本稿ではシリコン (Si) に対して行った研究<sup>(8)</sup>について述べる。

## 2. ANN 原子間ポテンシャル

### (1) ANN 原子間ポテンシャルの構成と学習条件

図 1 は Behler の構成<sup>(9)</sup>にもとづき実装した ANN 原子間ポテンシャルの概略図である。この ANN は、入力層、2 層の隠れ層、出力層で構成されるフィードフォワード型ネットワークである。入力層は結晶構造データを用いる。しかし原子の座標や格子定数を入力層に直接与えるのではなく、各原子周りの原子環境を反映し、並進、回転、同種元素の交換に対して不変である記述子を用いて入力値に変換する。本研究では Behler により提案された対称関数<sup>(9)</sup>を用いている。原子  $i$  に対する二体間、三体間の対称関数  $G_i^2$  と  $G_i^3$  は、それぞれ以下の関数で与えられる。

$$G_i^2 = \sum_{j=1} e^{-\eta_2(R_{ij}-R_s)^2} \cdot f_c(R_{ij}) \quad (1)$$

$$G_i^3 = 2^{1-\zeta} \sum_{j \neq i} \sum_{k \neq i, j} [1 + \cos(\theta_{ijk} - \theta)]^{\zeta} \cdot e^{-\eta_3(R_{ij}^2 + R_{ik}^2 + R_{jk}^2)} \cdot f_c(R_{ij}) \cdot f_c(R_{ik}) \cdot f_c(R_{jk}) \quad (2)$$

\* 名古屋大学大学院工学研究科 物質科学専攻；助教(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

Machine-learning Interatomic Potential for Predicting Grain Boundary Properties in Semiconductors; Tatusya Yokoi (Department of Materials Physics, Nagoya University, Nagoya)

Keywords: machine-learning interatomic potential, grain boundary, semiconductor

2021年3月1日受理[doi:10.2320/materia.60.416]

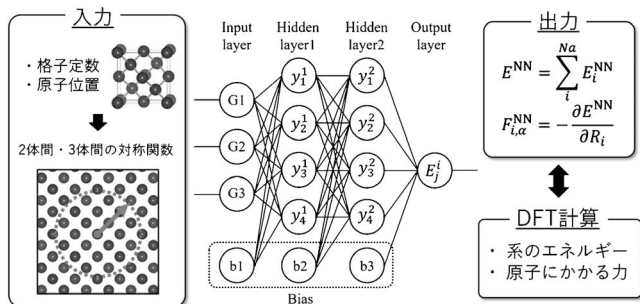


図1 本研究で実装した ANN 原子間ポテンシャルの構成。

ここで  $\eta_2$ ,  $R_s$ ,  $\zeta$ ,  $\theta$ ,  $\eta_3$  は関数形を決めるハイパーパラメータである。これらの値の異なる対称関数を複数用いることで、異なる原子環境を区別することが可能となる。 $R_{ij}$ ,  $R_{ik}$ ,  $R_{jk}$  はそれぞれ原子  $ij$ ,  $ik$ ,  $jk$  の原子間距離,  $\theta_{ijk}$  は原子  $ij$  と  $jk$  の結合間の角度である。対称関数の合計の数は入力層のノード数と同じである。Si の場合は、32 個の対称関数を用いた。 $f_c$  はカットオフ関数であり、下記の関数を用いた。

$$f_c(R_{ij}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[ \cos\left(\frac{\pi R_{ij}}{R_c}\right) + 1 \right] & (R_{ij} \leq R_c) \\ 0 & (R_{ij} > R_c) \end{cases} \quad (3)$$

$R_c$  はカットオフ半径であり、本研究では 6 Å (0.6 nm) に設定した。

学習データとして、DFT 計算から得られる系のエネルギーと原子にかかる力を使用した。それらの値を ANN の出力値と原子位置に対する出力値の微分にそれぞれ対応させ、教師あり学習を行った。学習アルゴリズムには Levenberg-Marquardt 法によるバッチ学習を用いた。多様な原子環境を学習データに含めるため、完全結晶だけでなく、点欠陥 (Si 空孔や侵入型 Si)、表面も考慮した。さらに [001] および  $\bar{1}10$  回転軸の対称傾角粒界 5 種類も考慮した。学習データは、ある計算セルの原子位置やセル形状をランダムに変化させて、それを一点計算および構造緩和した結果や、MD 計算の結果を用いて作製した。このような操作により系のエネルギーは 21440 データ、原子にかかる力は 1030080 データを収集して ANN に学習させた。

DFT 計算は、VASP<sup>(10)(11)</sup> に実装された平面波基底 PAW 法<sup>(12)(13)</sup> を用いて行った。平面波のエネルギーカットオフは 500 eV に設定し、ダイヤモンド構造に対する  $k$  点メッシュ数は  $6 \times 6 \times 6$  に設定した。交換相関エネルギーは GGA-PBESol<sup>(14)</sup> を用いて評価した。また系のエネルギーの収束条件は  $10^{-6}$  eV に設定した。

ここで、ANN 原子間ポテンシャルによる分子シミュレーションの計算速度について、DFT 計算と比較して説明する。例えば、構造緩和計算や分子動力学計算を行う際に系のエネルギーや原子にかかる力といった値が必要となる。これらの値を得るために、DFT 計算ではある原子配置に対し、その都度コーン-シャム方程式を数値的に解く必要がある。一方、ANN では、従来の経験的原子間ポテンシャルと同様

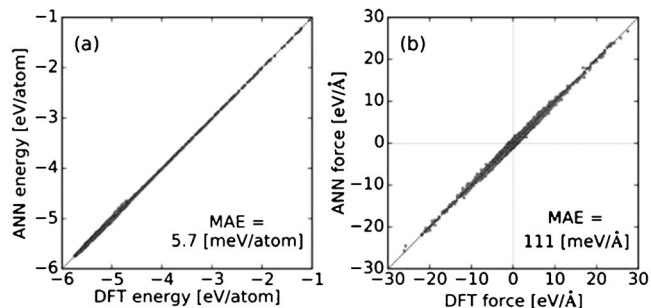


図2 学習データに対する ANN の誤差。(a) 系のエネルギー、(b) 原子にかかる力。

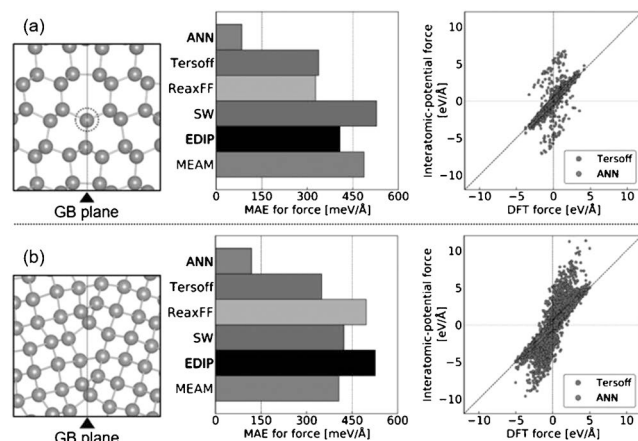


図3 学習データに対する ANN と経験的原子間ポテンシャルの比較。(a)  $\Sigma 3(112)/[110]$  粒界, (b)  $\Sigma 5(210)/[001]$ 。

に、ANN 自体がポテンシャルエネルギー表面を近似した解析的な関数となる。よって、ある入力(ここでは結晶構造データ)に対し、関数の値として直ちに系のエネルギーや原子にかかる力が得られる。結果として ANN を用いた分子シミュレーションの計算時間は、通常の DFT 計算に比べて数桁高速となることが期待される。

## (2) 学習データおよびテストデータに対する誤差

まず図 2 に学習データに対する誤差を示す。横軸が DFT 計算結果、縦軸が ANN の出力であり、データ点が対角線に近い程、DFT 計算に対する ANN の誤差が小さいことを示している。系のエネルギー(図 2(a))と原子にかかる力(図 2(b))ともに、全ての学習データで致命的な誤差は見られず、対角線付近にデータ点が分布していることが分かる。また学習データ全体に対する平均絶対誤差 (Mean absolute error, MAE) は、系のエネルギーが 5.7 meV/atom、原子にかかる力が 111 meV/Å であった。この結果より、通常分子シミュレーションが可能な程度まで誤差は低下していることが分かる。

図 3 は学習データに対し、ANN と経験的原子間ポテンシャル<sup>(15)–(19)</sup> の誤差を比較した結果である。図 3(a) の学習データは、粒界近傍にダングリングボンドを含む  $\Sigma 3(112)/[110]$  対称傾角粒界をもとに、一点計算および構造緩和する

ことで作製した。この図より ANN の MAE は学習全体の MAE と同程度であるのに対し、経験的原子間ポテンシャルの MAE は ANN に比べて 4 倍以上大きいことが分かる。一番右の図は、 Tersoff ポテンシャルと ANN について DFT 計算との原子にかかる力の誤差を示している。 ANN では全てのデータ点が対角線付近に分布しているが、 Tersoff ポテンシャルでは DFT 計算の値を大きく過大評価している。また図 3(b) は、  $\Sigma 5(210)/[001]$  対称傾角粒界における DFT-MD 計算 (1400 K) から作製した学習データの誤差である。 ANN の MAE は学習データ全体の値に対してやや大きい値をとるが、このような高温下の MD 計算結果も十分学習可能であることが分かる。一方、経験的原子間ポテンシャルの MAE は ANN より 4 倍以上大きく、最も MAE の小さい Tersoff ポテンシャルでも DFT 計算結果を大きく過大評価している。以上のように従来の経験的原子間ポテンシャルでは精度が低下する粒界計算においても、適切な学習データがあれば ANN では学習可能であることがわかる。

図 4 は、学習後の ANN を用いて評価したテストデータに対する系のエネルギーの誤差である。テストデータの作製には、学習データに含まれていない対称傾角粒界とねじり粒界を用いた。これらの粒界に対し、上記 2(2) で述べた操作によりデータを収集した。その結果、  $\Sigma 11(113)/[\bar{1}10]$  粒界 (図 4(d)) 以外の粒界では、全てのデータ点は対角線付近に分布しており、MAE も学習データと同程度である。よって学習後の ANN は、学習データに含まれない粒界に対しても高い予測能力を維持することが分かる。  $\Sigma 11(113)/[\bar{1}10]$  粒界についても対角線から大きく逸脱した点は見られないが、全体的に過小評価する傾向があり、MAE はテストデータの 2 倍程度であった。今回は 5 種類の対称傾角粒界のみを学習データに用いたが、より複雑な原子構造をもつ粒界に対しても予測能力を維持するためには、学習データの原子環境を更に充実させる必要があると予想される。それが実現できれば、一般粒界の原子構造およびエネルギーの高精度予測

も期待できる。

### (3) ANN による分子シミュレーション

前節では、ANN は学習データに含まれない粒界に対してもエネルギー的安定性を予測可能であることを示した。しかし DFT 計算に先んじて ANN のみで粒界の安定構造を予測するためには、ANN から得られた粒界構造のエネルギーの大小関係が、DFT 計算でも保たれている必要がある。

上記を検証するため、学習後の ANN を構造緩和計算に組み込んだ。本稿ではテスト計算として選択した  $\Sigma 5(310)/[001]$  対称傾角粒界の結果を述べる。まず剛体変位を考慮して複数の初期構造を作製し、それらを ANN で構造緩和して、緩和後の粒界構造をもとに DFT 計算により一点計算と構造緩和計算を行った。その結果を図 5 に示す。この図は ANN から得られた  $\Sigma 5(310)/[001]$  の粒界を、粒界エネルギーが低い順に並べた結果である。これより 4 番目の構造以外は、ANN と DFT 計算でエネルギーの大小関係が同じであり、さらに DFT 計算で構造緩和した結果も ANN と近いことが分かる。つまり ANN で予め構造緩和した時点で、DFT 計算における緩和構造に近い構造が得られているといえる。よって今回構築した ANN を用いることで、DFT 計算に先んじてエネルギー的に安定な粒界構造を絞り込めることが示された。

一方で、4 番目の構造は ANN と DFT の誤差は大きく、また DFT 計算で構造緩和した結果は、ANN の緩和構造と異なる原子配列であった。これは ANN では局所解に対応する構造が DFT では局所解とはならないことを示している。このような誤差は、学習データを単純に大規模化するだけでは恐らく回避できないと予想される。なぜなら ANN のエネルギー表面に沿った構造緩和の結果得られた局所解であり、そのような構造は DFT 計算ベースで収集した学習データには含まれない可能性が高いためである。今回のような誤差を無くし、ANN の予測能力を高めるためには、予め ANN で

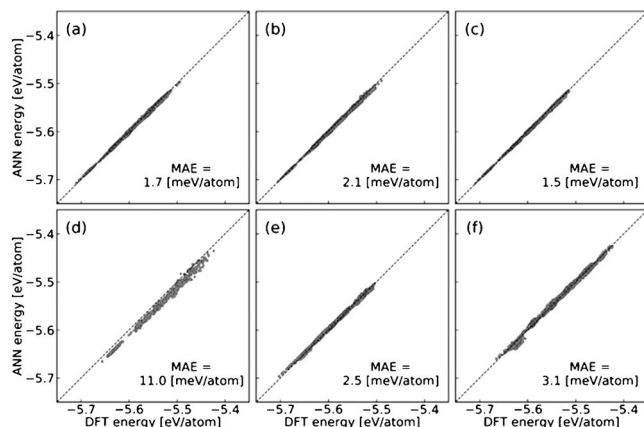


図 4 テストデータに対する ANN の誤差。(a)  $\Sigma 13(320)/[001]$ , (b)  $\Sigma 25(430)/[001]$ , (c)  $\Sigma 41(540)/[001]$ , (d)  $\Sigma 11(113)/[\bar{1}10]$ , (e)  $\Sigma 21(154)/[111]$  対称傾角粒界, (f)  $\Sigma 5$  ねじり粒界。

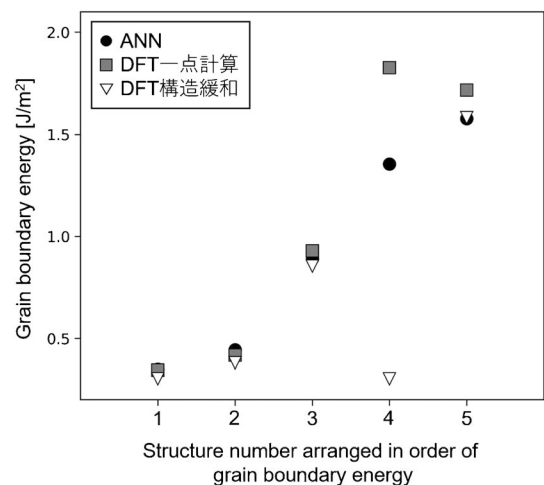
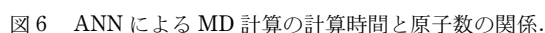


図 5  $\Sigma 5(310)/[001]$  対称傾角粒界を対象に、ANN により構造緩和し、得られた構造を DFT 計算で一点計算および構造緩和した結果。



本研究は、JST-CREST「多結晶材料情報学による一般粒

# 思い出の教科書、この一冊！

## “講座・現代の金属学 材料編 5 非鉄材料”

日本金属学会(編) 日本金属学会1987年

芝浦工業大学工学部 芹澤 愛

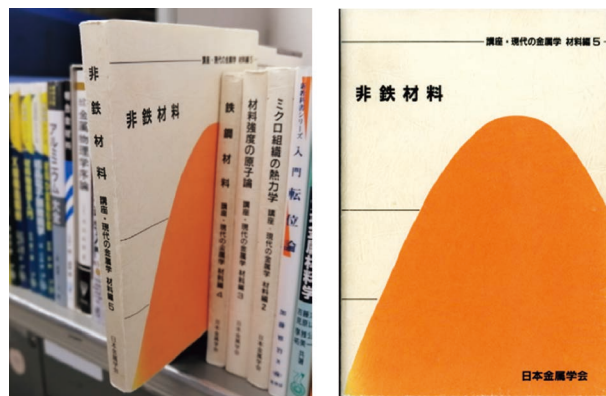


図1 本書外観(左)および表紙.

“思い出の教科書は？”との問いかけに、真っ先に頭に浮かんだのが本書であった。本書を手取るたびに学生時代を思い出すとともに、今でも授業等に大いに活用している。本書の外観および表紙を図1に示す。表紙カバーは鮮やかなツートンカラーだったと記憶しているものの、いつの間にやら部分的に色褪せてしまった。

本書と出会ったのは、学部時代の授業の指定教科書としてであった。筆者が在籍していた大学では、2年生から各学科に配属されるのだが、金属材料の奥深さはもちろんのこと、学科の先生方の金属材料や、金属材料の研究を志す学生らに対する熱い思いに魅了されて金属工学科を志望した頃であった。そんな筆者にとって、鉄鋼材料とともに非鉄材料の授業は大変興味深かったことを覚えている。そこで、本企画の紙面をお借りして、金属材料の中でも筆者が最も愛着を持つ非鉄材料を冠した本書について取り上げたい。非鉄材料の歴史は古く、金属文明の幕開けは6000年も前に、実に非鉄材料によってなされているのだ。人類史において、各時代の物質文明の基盤となった材料で時代を区分すると、石器時代の次に銅器時代、そして青銅器時代と、非鉄材料が続く。その後に、鉄器時代がやっと登場する。鉄は偉大な材料だが、非鉄材料の歴史には遠く及ばない。

本書は、日本金属学会が発行している「講座・現代の金属学 材料編」の第5巻として出版されている。現在までに全11巻発行されているが、実に良書揃いである。本書の内容を紹介すると、1章では、非鉄材料の歴史をたどりながら非鉄材料の特徴や用途といった全体像を掴むことができる。続く2～3章では、非鉄材料には欠かせない塑性加工、熱処理について詳しく説明されている。4章以降は、具体的な非鉄材料の性質や合金の分類が章ごとに詳説される形をとる。本書の目次の一部を図2に示したが、取り上げられているのは、非鉄材料の先達である銅、軽金属の優等生であるアルミニウムやマグネシウム、昨今、生体材料として俄然存在感を増したチタンなどだ。他にも、ジルコニウム、ニッケル、コバルトまでと漏れがなく、本書のように金属元素ごとに独立した章を設けている教科書は多くはないであろう。さらに、低熔点・高熔点材料、複合材料、粉末成形合金、形状記憶合金などといった切り口からの章が続き、材料ごとのみならず、用途や製造方法といった切り口からも非鉄材料について学ぶことができる。金属元素ごとの章では、内容は通り一辺倒ではなく、その金属に対して知るべき項目、現象の理論的な解説、さらには、代表的な合金の分類などが順序だてて丁寧に説明されている。現在でもしばしば手にするのは、金属元素ごとに知るべきこと、理解すべきことがくまなく網羅さ

れているからに他ならない。これが、初刷から四半世紀以上が過ぎた今でも、広く愛用されている所以であろう。なお、本書には各章の末尾には演習問題がつけられており、自習にも役立つ。

本書の初刷は1987年で、筆者の手元にあるものは1997年に出版された第3刷だ。現在も、日本金属学会のホームページから購入できる。非鉄材料は、前述したように人類が初めて手にした金属材料であるが、今でも社会基盤材料として私たちの生活を支えてくれている。「銅は、板・棒・管として構造材料として使用されるのみならず、電線などとして導電材料、ひいては美しさのゆえに美術工芸品にも用いられる。」と編者は述べているが、このような懐の深さが非鉄材料の魅力であると感じている。近年、省エネルギーやマルチマテリアル化といったキーワードに象徴されるように非鉄金属の中の軽金属の重要性がより一層増し、さらに高齢化社会において生体材料への関心も高まっている。これからの時代に活躍する金属・材料を学ぼうとしている大学・高専の学生や若い技術者にとって、本書は非鉄材料を知るだけでなく非鉄材料に起こりうる現象を深く理解できる良書であり、ぜひ一度ご覧いただきたい。

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 4. 銅とその合金            | (堀 茂徳) 61       |
| 4-1 純銅の性質            | 61              |
| 4-2 銅合金鋳物            | 67              |
| 4-3 銅合金展伸材           | 71              |
| 4-4 時効硬化型銅合金         | 76              |
| 4-5 その他実用銅合金         | 80              |
| 参考文献                 | 81              |
| 演習問題                 | 82              |
| 5. アルミニウムとその合金       | (高橋恒夫 神尾彰彦) 83  |
| 5-1 アルミニウムの性質        | 83              |
| 5-2 アルミニウム合金の分類      | 85              |
| 6. マグネシウムとその合金       | (高橋恒夫 神尾彰彦) 108 |
| 6-1 マグネシウムの性質        | 108             |
| 6-2 マグネシウム合金         | 110             |
| 6-2-1 鋳造用マグネシウム合金    | 111             |
| 6-2-2 展伸用マグネシウム合金    | 115             |
| 6-3 用途               | 117             |
| 参考文献                 | 117             |
| 演習問題                 | 117             |
| 7. チタン、ジルコニウムとそれらの合金 | (和泉 修) 118      |
| 7-1 チタン、ジルコニウムの性質    | 118             |
| 7-2 製造法              | 122             |

図2 本書の目次(一部).

(2021年5月20日受理) [doi:10.2320/materia.60.420]

# “あのころ”のまてりあ

## 『基礎研究と開発研究』

座談会 日本金属学会会報 第21巻(1982)第7号 495-499頁

案内人 関西大学 近藤 亮太

今回、御紹介する記事は、基礎研究と開発研究に関し企業側からの立場、大学側からの立場で話された、座談会記事である。本誌のほとんどの読者は少なからず研究に携わった経験があると思われるので、この記事を読んで、確かにと共感できる部分もあれば、いや今はこうではないかと反感する部分もあるのではないかな。

基礎研究と応用研究の境目は何か、それぞれの問題は何かな、という冒頭の議題に対し、最終的には、「基礎も大事、応用も大切、それぞれを成功させるためには、携わる研究者の勘が必要」と締め括られているのにも、座談会ならではの研究を進める上で大切な、思想の一面に触れる記事となっている。後輩や部下、学生への指導経験がある本誌読者にとっては、自身の経験と合致する部分が多々あると思われる。

先に触れたように、本記事の座談会開催の趣旨は、大学、企業それぞれの立場から見た基礎研究と応用研究にどのような壁があり、それらの垣根にある諸問題に対し、座談会を通して整理されている。そのため、基礎研究とは何か、応用研究とは何か、はたまた応用と開発の違いは、ということで議論が進んでいく。冒頭での発言は、企業側からの発言が大部分であり、発言内容から私が感じたことは、大学側は基礎に重きを置いているため、あまり応用や開発に主眼が置かれておらず、企業側は基礎は大切であるが、基礎であったとしても目的を持った研究で無ければ着手できないなど、立場上の研究を捉える視点が異なっていると思われた。

昨今は大学であっても個人的興味だけで研究が進めることは難しく、外部予算を申請し、明確な目的を持った研究が求められている。外部予算を獲得するには、審査を受ける関係上、「審査員にわかりやすい」ことが重要であり、必然的に社会実装を見据えた研究課題や、トレンドに沿ったホットピックを有する研究課題にする必要が出てくる。筆者も経験があるが、独自性を重要視しても、それが研究成果として目が出るのは数年先になるため、既にある研究を育てるか、ホットピックを有する研究を進めるかが、外部予算を獲得する際に悩む方は多いのではないかな。また、本記事にも触れられているが、「大学で学生にテーマを与える時、そのテーマが目的、目標があるのか、それとも目が出るかわからないテーマなのかによって、学生の取り組み姿勢が異なる」と書かれており、大学に籍を持つ私としては、確かに共感する部分

が多い。

昭和57年(1982年)当時では、研究者一人一人が持っている情報や経験を持ち寄って学術貢献していた時代であったが、現在では情報の伝達速度が非常に早く、一人でもある程度まとまった観点で研究を俯瞰できるように感じる。また、外部資金も短い年数で成果を出すことが求められていることから、結局トレンド志向の研究課題が乱立し、焼き直しに近い研究成果が得られ、日本の研究力低下が危惧される。機関ごとに得意分野が異なるのは事実であり、むしろそれぞれが連携し合うことができれば、目標を効率よく達成できるのではないかと感じる。しかし、連携や共同研究を進めるには、お互いに信頼する必要がある、最初から連携を組むのは難しいことも理解できる。今では、基礎研究でも目的のあるものを、という方が主流のように思われ、応用研究や開発では社会実装レベルまで求められる。研究には何が大切なのだろうか。

本記事を読んで、私も取り組む研究が、基礎研究で良いのか、目的を持ち、応用や開発まで見据えるべきかな等、再度見直す良い機会になった。是非、本誌読者にも一つ手に取っていただけたらと思う。

(2019年11月18日受理) [doi:10.2320/materia.60.421]



## 座 談 会

# 基 礎 研 究 と 開 発 研 究

時：昭和 57 年 1 月 27 日

所：広島 ク ラ ブ

出席者 (ABC順) 厚川麻須美 三菱重工業株式会社技術本部広島研究所所長

小村幸友 広島大学教授；理学部物性学科

松藤和雄 日本鋼管株式会社技術開発本部技術研究所福山研究所所長

(司会) 武井英雄 広島大学教授；工学部第一類機械系

### 基礎研究，開発研究とは

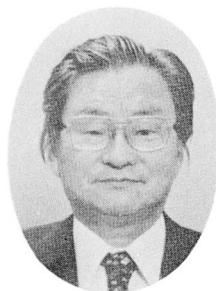
武井 本日は皆さんお忙しいところをどうも有難うございます。初めに基礎研究と開発研究あるいは応用研究についてこの座談会でのそれなりの定義みたいなものをしておきたいと思います。

小村 それが案外難しい問題なんですね。私のように理学部にいますと、特に応用とか開発とかの言葉については、この点は企業では比較的是っきりしているのではありませんか。

松藤 私共の会社について言うと、分野研究と呼んでおります基礎研究と、開発研究とに分けています。ただ、前者については、真理の探究という立場でやられているところもありましょうが、一般的には企業としてのはっきりとした目的を持ってやっていると思います。一方、開発研究というのは、プロセスなり製品なりに目標を定め、完成するまでの期間も設定した研究です。また、新しいものでなくても今までに出されていたものをうまく組み合わせて、うっかり見落していたものを作り出すのも、開発研究と見なしてよいと思います。

厚川 基礎と応用ないしは開発との境界がどこかは、確かに難しいですが、私は次のようにも考えられると思います。まず、基礎が応用の前に来るのは当然として、研究費の捻出の仕方では分けてみると、開発ないし応用研究は、それを受け持った事業部の成果のなかで回収していく、他方基礎研究はむしろ各事業部が一緒になって共通経費的なものとして分担していく、といえますのは、基礎研究は普遍的なものを追及する、言い替えますと範囲が広いのでどの部門の分担とも言い切れないものがあるからです。

日本金属学会会報 第 21 巻 第 7 号 (1982)



武井英雄氏

武井 応用と開発という言葉がたびたび出てきましたが、その間の関係を、もうちょっと突っ込んで、どう受け止めたらいいでしょうか。

厚川 私としましては、応用研究は手が届きやすく、したがって成功の程度を問題としますが、開発

研究では逆に失敗の確率が大きい、すなわち前者はある程度見通しがたつが、後者は技術的なものを含めて未知のことが多い、とまあこのように受け止めています。ですから開発の場合には開き直って仕事を進める必要がありますね。

松藤 こと技術的な問題については、ある分野では既存のものに追いついて頂点を極めたものもあります。ですからこれからは自分達の手で開発していく必要があるわけですね。つまり、もう一度原点に立ち帰って基礎研究を地道に蓄積していかないといけないと考えているわけですね。そういった気持は最近企業でも出てきているのではないのでしょうか。

武井 となると、研究の独創性が問題になってきますね。

厚川 私なりに独創性には二通りあると考えています。一つは、新分野の技術などに画期的な進歩をもたらすヒラメキで、いま一つは、合目的とでもいいいますか、ニーズがあり、それに應えるために従来の技術では限界があるのでそれを越える性能のものを作る技術のヒラメキです。

小村 新しいものを開発しようとするときにはどうしても基礎を確立しなくてははいけませんが、企業では景気が

悪くなると予算面でまず基礎研究に影響が来るとか聞いていますが、これはやはり目的ということに関連があるのでしょ

厚川 必ずそうだとはいえないでしょうが、一般に基礎研究はその効果を定量的に説明しにくい面はありますね。新しい分野のポテンシャルアップをどうやるか、また、ニーズ指向かシーズ指向かも考えなければなりません。

### 研究テーマの選択と進め方

小村 目的研究ということになりますと、例えばエネルギー問題などがそれで、科学技術庁や通産省あたりから研究費も多く出ますね。これに対して大学では目的がないとはいえませんが、一般論からいって、研究者の発意で出てきたテーマについて比較的自由に研究をやっているのではないのでしょうか。

武井 目的という言葉にもいろいろな意味があるでしょうが、基礎研究が無目的であってよいとは必ずしも言えませんし、研究費の効率的な使い方という問題もありますしね。



厚川 麻美氏

厚川 その時、この予算で果たしてどこまでできたら効率が良いのか、その評価が難しいですね。それともう一つ、時間の物差しがあります。

小村 研究の能率について私が印象に残っていますのは、本多光太郎先生が学生に研究のやり方につ

いて講演されたとき、“研究の能率”を第一番目におっしゃった、ということを読んだことがあります。これは少し話しが離れるかもしれませんが、例えば一定年限の間に論文を完成させねばならないという制約があるときは、おおよそ成功する見込みのある研究をやらせるようになりますね。博士課程の大学院生などがそうでしょうが。

厚川 結局はやる人に応じてテーマを選択する必要があると思いますが、我々はすべての専門家ではないので最終的にいいテーマかどうかの判断は難しいですね。

松藤 研究者として一番つらいのは、研究者としてはほとんど成功するとみえても、それを実物として作るときに何十億あるいは何百億の費用がかかる。そのとき、それをトップがどう決断してくれるかですね。

厚川 それに最近技術の複合もあり、専門分野が多岐にわたっていて確かに判断が難しいです。そんなときには研究の手法をチェックして判断する場合があります。しかし、要は研究ができる研究者を育て、信頼することではないですか。

武井 その場合やはり基礎がしっかりしていないといけないのでは

厚川 確かにそうですが、応用面である所に来てからもう一度フィードバックして基礎に戻る、という柔軟性も必要ですね。そして大型研究になるほどその繰り返しが必要でしょう。それには、できるだけ早くそこに気が付くことが肝要です。これは大脳生理学の範ちゅうかも知れませんが、“勘”ですね。もちろん問題意識を常に持っていればおのずから勘が鋭くなるのかも知れませんが、こういったことが結局はさきほど出ました研究の効率につながるのではないのでしょうか。

松藤 研究の効率というのは、本当に完成した段階でみて効率だったかどうか、というケースもありますし、判断は難しいですね。

小村 企業ではどれくらいの将来にわたってのニーズを見通しておやりになるのですか。例えば10年さきとか。

松藤 これは対象にもよりますが、オリジナルなプロセスですと、そうですね大体やはり10年でしょ

厚川 将来的な研究テーマの選択について申しますと、10人中8人が賛成して決めたテーマからビックリするような成果は出てこなくて、逆に1人が頑張

小村 それはやはり研究の本質的なことにかかわっているのではないですか。ある目的を持ってやっ

厚川 案外研究とはそんな面を持っているのかもしれないですね。ですから、あの手この手で予算を取りながら粘り強く研究しているうち、パッと花が開くこともあるわけ

松藤 さっきちょっと申しましたことと関連しますが、花を開かすためには上の人の太腹が必要

武井 無目的でやっ

小村 よく学生と話して

松藤 とは言いまして、ある程度の目的意識があって、それから抽出しないと、せっかくいいものがあるも見逃すことはありませんか。いろいろなデータをばく然とつないだのでは本質を見逃すことがある。何かキーはないかと思って見ているとキーが目につく。そういったこともあるのではないですか。



松 藤 和 雄 氏

厚川 私は研究の進め方の中で非常に重要なのは、物に触れる、あるいは見る。嗅ぐ、また味わう、ということだと思うのです。そういった意味では、現場で実験といいますか、あるいは実際に実用になっている物に自分で触れて、そこから何かをつかみ取るということですね。もう一つは、うまくいかない時、それを何とかしようと集中力を働かせることですね。そこから新しい発想が生れるのではないのでしょうか。

松藤 全く同感ですね。私は今年の年頭の挨拶の中でも、“要するに小さいことであれ、大きいことであれ、最初は発見からスタートするんだ。”ということを申しました。そのためには、人間の五感を常に働かせ、あとで考えれば不思議なんだが六感が働いて新しいことの発見につながるのです。我々が取組んでいるのは経験工学なので、まず何かを見付け出せば、それが何故なのかということのために基礎研究があるし、この結果をここに利用したら今までより良いものが作れるのではないか、ということもおこるわけです。

厚川 或る方の話を聞いておりましたら——ストレス学説に関したことです——やはり勘のいい人というのは何か問題を持って自分で研究する。そして何とか突破しようと努力する。そしてその繰り返しでまた勘を良くする。とのことでした。

小村 やはり現実のものを見て接していないと実際の現象は捕えられませんか。

松藤 研究者は、最初一通りは自分でやって体験し、自分で重要な点を十分把握しておくことですね。それによって、より広い総合的な実験をやるときにポイントが押えられるわけです。そうやってこそ効率の良い研究ができる。

武井 そうなりますと、その人の研究歴が財産ですね。ですから私は偶然に発見したということはないだろうと思っているわけです。

松藤 確かにそうですね。偶然というのは発見された方がへりくだって言うておられるのだと思います。やはりその方なりのことはやっておられると思います。それと、探していたものは無かったが、その時たまたま別の

ものを見付けたとき“偶然”というのでしょうか。しかし、いずれにせよキャッチできる自分を持っていないといけませんね。

武井 その人の財産と言いましたのがそれなんですね。或るデータを見ていて、“何かおかしいぞ”という感じが理屈抜きでしてくる。しかしその時点で“どこか”は分からない。だけどちゃんと調べるとやっぱりおかしい点がある。これが勘ですね。では次にさきほど言われた、開発研究の途中から基礎研究に戻る、ということから、少し基礎研究と開発研究との関連などについてお話しただけませんか。

### 研究の段階と研究者の適性

松藤 企業の場合には、基礎研究をやる人と開発研究をやる人とのバランス——いろいろな意味においてですが——が大事な時期になっていると思います。基礎研究しかやらない、あるいは開発研究だけしかやらない、といった極端な分極化がおこらないように、いろいろな発想の出来る人、パーソナリティーの違う人、をできるだけ沢山集める必要があります。といっても鉄鋼関係の企業でアルミ精錬のことを一生懸命研究するといった極端なことでは困りますけれど。最近では、研究をやるのは個人でなくてプロジェクトチームなんだ、ということが言われるようになってきましたが、やはり大事なことは、もちろん個人の能力が最大限に発揮されねばならないことだと思います。

武井 プロジェクトが成功するためには軸となる人が優秀であることとか、人間関係がうまくいかないとはいけなとかいったことについてはいかがですか。

松藤 当然です、というのは言葉の上のことです、実際は難しい問題です。大学で同じ科を卒業した者同志でも入社して5年、10年経つとなかなかお互いの仕事が理解し合えないようになるのです。

厚川 新しいプロセスが基礎研究で成功して、一つのプロジェクトを編成して実用機の設計が出来たときを例に取って、人間関係について少し話してみたいと思います。そのとき必ずぶつかる問題は、基礎研究に携わった人達に実用化までを任すか、それとも実用化の方面に強い人達にバトンタッチしてしまうのか、ということです。この二つは実は矛盾するものですね。というのは、一つは研究者個人に対するモチベーションとしては発案者に目の目が出る最後までやらせたい。他方、研究機関としてみればやはり一つの組織ですから、開発を効率よく進める上のチーム編成、分担を考えなければなりません。したがって、発案者なりオリジナリティを持つ人が、実用化グループにバトンタッチ(テクニカルトランスファー)することを考えなければなりません。会社

としましては、この辺りが実際面における基礎研究と応用研究との交点ではないでしょうか。

松藤 これは確かに核心をつく問題であり、また常に起っている問題です。どんどん研究が進展しますと、ハテこれは誰の発案だったかと、オリジナリティを余り気にしなくなる。最初に手懸けた人は非常に寂しいわけです。ですから、バトンタッチしても、オリジナリティを持った人を常に立ててやるという雰囲気が必要です。例えば非常に忙しい時にはその人をコンサルタントにでもして教えて貰うこともできますし、これらはいわゆるモラルの設定でもあるし、そうすることによってお互いの仕事にも活力がでできます。

厚川 そうはいってもやはり基礎研究向きの人と開発研究向きの人といった本人の適性もあるように思います。

小村 何々向きと言えるかどうかは少し問題はありますが、今言われたようなことは確かにありますね。例えば、数学なり物理なりの分野では、若くて比較的頭のやわらかい人がいい仕事をするといわれています。ところがそれを発展させていこうとするとさきほど言われたようにプロジェクトを組む必要があるわけで、そのときこれらの人達との連携をどうするかは大事なことですね。

松藤 その場合個人差がありませんか。例えば同じ人でも若い時には基礎研究をやり、年を取ると経験の上で開発研究に適してくる、といった場合もあるのではないのでしょうか。また、若い時からオリジナルなものには向かないが、別の立場の研究で成功する人もあるのでは。

武井 向かないというより、何の役に立つのかすぐには分からないような基礎的なものには興味を感じない、といった人はいるでしょうね。

小村 まあいずれにしても年を取るとどうしても頭が固くなりますから、非常にオリジナルなものを出していくためには若い人を育てていかないといけないと思いますね。

厚川 何かをまとめていくのが上手な人もいる一方で、非常に良い発想は出すがそれを実用化するまでのいろいろな妥協に耐えられず、実用化は誰かやってくれ、自分はまた別のことを考える、といったタイプの人もありますね。或る意味で実用品は妥協の産物ですから。

松藤 今言われたのとは少し別に、本人はバトンタッチしたくないのだが別のプロジェクトに組み込まれてしまうこともあったりして、その辺りはいろいろだと思います。

厚川 基礎研究は元来はクリエイティブなもので、その範囲で当人が最後までやり遂げていくべきものでしょう。その点で、環境としては予算の心配もなく、かなり

の自由度を与えてやる必要があります。まあ一種の別荘を与えてやるわけですね。もちろん本人の個性も必要ですけれど、一方、実用化を目指すためには、それなりの枠の中にはまり、また他を生かして自分を殺すこともしなければなりません。変なたとえかも知れませんが、基礎研究への取組みは恋人に対するようなもので、実用化への研究は主婦の家事への取組みに似ているのではないのでしょうか。

松藤 企業としてはフレキシビリティのある人を理想として掲げ、また望みもしますが、これはあくまでも理想です。といいますのは、フレキシビリティはないが素晴らしい基礎研究をやる人がいるからです。また、基礎、開発なんでもござれ、という人もいます。ですから要はパーソナリティを見付け出してもらい、また自身でも十二分に発揮することです。

武井 基礎研究としては成功したが、製品化する段階であまり価値のないものになったり、その時は役に立たなかったが何年か経って役に立った、というようなことはありませんか。

松藤 そうですね。我々の経験では、例えばエネルギー危機が叫ばれていない時代に考察したものが案外省エネ時代になって役に立ったこともあります。このように、その時にはうまくいかなかったり失敗したりしたものをお蔵入りさせたままでも適宜に活用出来る態勢にしておくことですね。今ではコンピューターに記憶させておくことが出来るわけですから。



小村 幸友氏

小村 今言われたことは確かに大切なことです。しかし、学術論文ではそうもいきませんよね。論文では、成功した、うまくいった部分だけしか書いてなくて、もし失敗すればいくら貴重なものでも書いてありません。書いてあるものの行間から我々が読み取るしかありません。失敗例だけでは論文になりませんから。

### 再び研究の性格について

武井 大分話が進んで来ましたのでこの辺りでもう一度研究の性格づけに返ってまとめていただきたいと思います。

厚川 基礎研究を俗にいう“役に立たない研究”と定義すれば話が楽に進むのですがね。(笑)

小村 私の研究分野で申しますと、合金や金属間化合物の構造を決めているわけですが、それ自身金属の分野では実用的な意味からすれば今はあまり役に立ってはいません。ところが、薬品化学の分野では例えば有機化合物

の結晶構造がわからないと合成ができない。そういった意味でたいへん実用的なわけです。したがって、今ではそうした方面での応用研究で脚光を浴びているわけです。

松藤 そこが問題で、“今の時点で役に立たない”というのはどんな意味に受け取ればよいのでしょうか。私はケース・バイ・ケースだと思いますが、あとで役に立つということもありますし。

厚川 自分達の意識という点で言いますと、役に立とう、立たせようと思うと時間を焦ります。時には焦るあまりどこか手抜きして先きに進もうとして、結局は後戻りしてしまうことがありますね。ですからむしろ“役に立つ”ということから離れたレベルで研究を進めることも必要でしょう。

武井 さきほどの結晶学のお話ですが、物質の結晶構造を決めて、それらを分類・整理していくのも学問分野の一つとして役に立つものではないのですか。

小村 確かに学問の内容としてはそれ自身立派な一つの分野です。しかし、それをどう使うかが問題だと思います。例えば理学部サイドから見ればどう使うかはあまり考えなくてよい訳ですが、さきほどの薬品化学の分野では、構造がどうかということ自体が直接薬品合成の成否にかかわって来ます。

松藤 私共の分野で集合組織についてこんな問題があります。集合組織を調べること自体確かに意味があるのですが、最近ヨーロッパでは、ベクトル解析法により3次元極点図を求めるのに、数学的手法の立場が異なることから激しく議論が行われています。手法としては確かにオリジナルなのですが。

厚川 今言われたのは研究の本質論からみますと理論的に追求していく手法で、それにも確かにオリジナリティはありますね。ただ、私はもう一つの進め方もあるのではないかと思います。それは、実験を能率的にやり、データを能率的に整理する。さらに、実用化の面では安くあげることも考えねばなりません。それらを併せ考え実行して、首尾よく目的に合うデータが出たら、その時点で“何故?”という問題に立ち帰るわけです。そういった点では、じっくりと正攻法で研究する人と、大胆なアイデアで物事を進める人とがうまくかみ合って研究の能率をあげることも一つの方法でしょう。

小村 数多くやってそれを体系化してみると新しいものが出てくることがありますね。まず、いろいろやってみてから新しいものを探すことも必要ではないでしょうか。

松藤 何か役に立つとか立たぬとかは離れて、何かオリジナルなものを創れる、またオリジナリティのある人材の養成を痛感しますね。

厚川 そのためにはさきほども言いましたが、別荘、クリエイティブにもの考えることが出来る場所、が必要です。具体的にはともかく、“心の別荘”だけでも必要です。我々としてもそういった雰囲気を作りたいし、また作ってやりたいと思っています。

松藤 大学にお願いしたいのは、まずオリジナルなものを見いだしていただくことです。また、いろいろなものを総合化・体系化していただきたい。“見いだす”ということはもちろん大学だけには限りませんが、企業では、何故そんな現象が起こるのか、とかできるのかについて時間をかけて解析する暇が正直言ってありません。ですから、そのようなことこそ大学でじっくりと研究していただき、学問体系としての基礎づけと位置づけを証明していただきたいわけです。

小村 どうも大変なことになりそうで。(笑) 我々も是非ご期待に沿うよう頑張りたいと思っています。

厚川 結局、研究というのはあくなき追求心ですね。たとえ話として良いかどうか分かりませんが、釣りをしている人を見ているほうは、何であんなに根気よくいつまでもと思っても、ご当人はここでこうすれば必ず釣れるという自信を持っており、またそのことに燃えているわけですから。

松藤 研究は大学がなくてはできません。また大学だけでよいわけでもありません。大きな立場に立つと、大学と企業それぞれの目的でもって研究をやってこそ良い面が出てくるとも思います。

武井 大学における研究の使命はオリジナルな基礎研究であるけれども、基礎と応用・開発のすき間を埋める努力も極めて必要であるということだと思います。どうも今日は本当に有り難うございました。

(編集後記) 企画したとはいえ、正直のところ不安でしたが、お話が進むにつれその不安はどこかに吹き飛んでしまいました。それぞれの道の専門家のお話は、すべてにおいて相通ずるものがありました。特に企業についての研究のあり方も卒直かつ活発にお話しただけ、非常に有意義な座談会が持てましたことを感謝しております。ただ、頁数に制限があるため全部は採録できず編集者でまとめさせていただきました。

(中国四国地区編集小委員会・代表 藤原 浩)

# 数60を知る

松尾宗次

## 暦と天文学から学ぶ

一時間は60分、地球上の緯度・経度における一度は60分である。人は誕生年の干支が60年を経て同じ干支に還ると還暦となる。60という数は人々の生活に大きな関わりをもつ。その由来は天文学にある。古くから人々は太陽・月・惑星の動きにとくに注目していた。その天空の座標としてメソポタミアでは太陽の通り道黄道十二宮、中国では天の赤道帯に沿って東から西に十二辰を決めていた。各辰の名称には十二支が当てられ、子・丑・寅・卯・辰・巳・午・未・申・酉・戌・亥であった。60の約数12は天体の重要な単位である。甲乙丙丁・・・の十干と十二支を組み合わせた最小公倍数60通りの文字(甲子～癸亥)によって、数字の代わりに時間や順序を表わした。

太陽が顔を出して沈む日出から日没を一単位として、月の満ち欠けが約30日のサイクルで繰り返され、それが12回続くと再び同じ季節が巡ってくることを人は知っていた。太陽は1年かけて天空の黄道上の12星座を移動する。木星はほぼ12年で黄道に沿って公転するので、その位置から年が数えられるので中国で歳星と呼ばれ、ギリシャ・ローマ神話では12星座を司る星と尊重され神々の長ジュピターの名が与えられた。天体の観察によってシュメールやバビロニアでは60進法が用いられ、楔形文字には1~59に対応する数字があった。60進法の名残は時間や角度の単位に残っている。日本でも条里制で60進法が使われたことがあった。1町=60歩=360尺。60という数は人の生活と関りが大きい。

日出・日没を基準とする方法は季節や緯度によって不定である。そこで一日を南中時刻の前後12時を境に24時間に分割することがギリシャで始まった。この考えは天文学者ヒッ

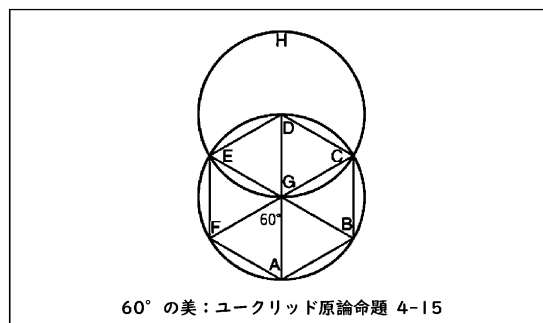


## 60の意味と興味

パルコスが発案、プトレマイオスは地球座標系の緯線・経線の360度をさらに60に細分した。

60は連続した最小正整数 1~6 を約数とし、二桁の数の中で最も多い12個の約数をもつ。この特徴は作物や獲物など物品の分配に便利である利点があった。基数を60とする位取り方式が用いられて計算が容易になり、特に分数計算が簡便となった。

数60を目にする例に角度 $60^\circ$ があり、自然界において六方最密結晶金属、雪の結晶、ベンゼン環、フラレン、蜂の巣、百合の六弁花、柱状節理などが美しい形を見せる。 $60^\circ$ は六回回転対称を生む。幾何学原論の著者ユークリッドは命題4-15において、円に内接する等辺等角六角形の美を示した。結晶学に関心があったエッシャーは $60^\circ$ を描いた。「大きさの等しい球を最も効率よく3次元空間に充填する方法は果物屋の店先にオレンジを積み上げる方法である」という400年未解決であった球体充填問題を残し「六角形の雪片」を著した天文学者のケプラーは『Ubi materia ibi geometria』（「まてりあ」のあるところ幾何学あり）と言った。天文学と幾何学は物質材料構造の形の幾何学とは深い関連がある。五角形を囲む六角形がつくる切頂四十面体は球体に近い対称性の高いフラレンである。



★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 1934年東京大学理学部卒，同年同学大学院工学系研究科進学。日本金属学会  
 会員、『まてりあ』誌に連載記事「講義ノート集合組織」および「日本におけ  
 るX線金属結晶組織学のあけぼの」など寄稿。  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年3月15日受理) [doi:10.2320/materia.60.427]

# 会報60周年に寄せて

株式会社 UACJ 顧問

元日本金属学会 理事 渋谷 和久

2021年は、日本金属学会会報(まてりあ)が発刊され60周年とのこと。この間、金属などに関する最新の研究・技術動向などを提供していただき、ありがとうございます。私は1988年に日本金属学会に入会後、先端の情報や恩師・諸先輩・知人の寄稿に触れ、最新の知識を得るとともに、皆様の活躍に勇気づけられたものです。

このたび、弊社も会員60周年とのもので、本稿の執筆を依頼されお受けしましたが、現所属の株式会社 UACJ は2013年に創立したもので、UACJ の前身の一つである住友軽金属工業が1959年に設立されており、会員60周年と思われます。UACJ はアルミ素材の総合メーカーですが、まだまだ知名度が高くないのが現状です。そこで、この場をお借りして、株式会社 UACJ の紹介を併せて述べさせていただきます。

株式会社 UACJ は2013年10月に旧・古河スカイと旧・住友軽金属工業とが経営統合し、グローバルなアルミ素材メーカーとして誕生しました<sup>(1)</sup>。UACJ は幅広い産業分野に高品質なアルミ素材を安定供給しており、業務内容はアルミニウムとその合金の圧延製品、鋳物製品、鍛造製品並びに加工品の製造販売などです。板圧延事業では、福井、名古屋、深谷での国内3拠点、およびタイ国並びに米国などグローバルにアルミ板の製造・販売を展開しております。研究開発は R & D センターが担い、名古屋を中心に深谷、福井と国内3地区および米国、タイ国にて活動しております。統合会社の歴史を振り返りますと、1910年に古河電気工業、1898年に旧住友金属工業においてアルミ事業が始められたことにルーツをもちます。その後、住友金属工業でのアルミ事業は1959年、住友軽金属工業として分離独立し、アルミの専業メーカーとして歩んできました。また、1964年、旧スカイアルミニウムがアルミ板専業メーカーとして設立されております。その後、国内外の競争に対応していくため、2003年に古河電工のアルミ事業部門とスカイアルミニウムとが経営統合して古河スカイが設立され、その10年後、先に述べました UACJ として新たな統合をしています。従って、UACJ のルーツは、古河電気工業、住友軽金属工業、スカイアルミニウムの3社に遡ります。

UACJ 発足後、「まてりあ」に UACJ の新技術・新製品として「蟻の巣状腐食に対する耐食性に優れた銅管“DANT®”の開発<sup>(2)</sup>」、「ろう材不要の新ろう付技術“MONOBARAZE®”の開発<sup>(3)</sup>」などの掲載の機会を頂き、

さらにこれらを技術開発賞に選考頂き、感謝しております。

アルミ業界における学会活動は1952年に設立された軽金属学会が中心となっており、日本金属学会での講演活動などは少ないものです。しかしながら、1968年に故・馬場義雄博士(住友軽金属工業)が Al-Zn-Mg 三元合金の時効特性に関する研究で第8回ジェフリース賞を受賞されています<sup>(4)(5)</sup>。また、著者らは1990年代、金属間化合物の研究開発に携わり、反応焼結法による TiAl の研究開発で本学会で活動させていただきました。この方法はチタン粉末とアルミ合金粉末とを混合し、混合状態で粉末押出や鍛造などにより形状を付与した後、TiAl に合成するものでした<sup>(6)</sup>。難加工材である TiAl に形状を付与する画期的なものと考え、実用化に邁進しました。さらに、当時は原料粉末にナトリウム還元法によるスポンジチタン粉末を用いていたところ、この原料に不純物として含まれていた NaCl が TiAl への耐酸化性付与に効果があることがわかり<sup>(7)(8)</sup>、本法による TiAl の開発に弾みがつきました。しかし、大きさの制約(所定の機械的特性を得るため、強加工が必要)と製品コストの課題から、実用化に至りませんでした。

支部活動に関しては、講演会・講習会などに若手技術者が参加し最新の知識に触れるとともに、大学の研究者、他業種の技術者との交流の機会を得て人脈の構築に繋がっております。グローバル化した市場において、現地での交流は容易ではありませんが、支部地域での交流には若手技術者も気軽に参加できます。コロナ禍でリモート会議が主流になりつつありますが、対面交流には会議後の挨拶や雑談を通して、人脈の拡大や新たな共研の創生などを促す効果を期待でき、その重要性は一層増していくものと思われます。グローバルな時代、コロナ後の社会では対面交流の価値を見直し、攻めの支部活動を期待します。

UACJ ではビジネスのグローバル化に対応するため、経営統合、海外事業と展開してきております。さらに、地球環境課題の解決、サステナブル社会の実現などを目指し、企業理念「素材の力を引き出す技術で、持続可能で豊かな社会の実現に貢献する」の下、アルミニウムを究めて環境負荷を減らし、軽やかな世界の実現を目指しております。アルミニウムは飲料用容器、自動車用部材、空調機器など身近な製品に多用されており、これら製品のライフサイクルの観点から地球環境との関わりを考えることは極めて重要です。アルミニウムは電解製錬により金属として取り出される過程で、電力を

多く消費します。しかしながら、リサイクルは容易で、それに要するエネルギーコストは電解製錬による新地金製造に対して3%とされております<sup>(9)</sup>。アルミニウムは“循環”に優れており、サステナブルな社会の構築に資する軽量金属材料です。自動車、家電、容器など多様な製品からアルミを循環させるためには、課題も多くあります。経済的な分離・回収技術、多種類のアルミニウム合金からの成分純化技術などを、製品ごとに構築していく必要がありますが、そのためには、種々の業界・団体の生産、流通、消費に関わる者が協力して、合理的なシステムを構築・維持していく必要があります。UACJは経済産業省下のプロジェクト「革新的新構造材料等研究開発(新構造材料技術研究組合、ISMA)」に参画し、ハイアップグレードリサイクル技術の開発に取り組んでいます。現状はまだ萌芽的なものではありませんが、高純度アルミニウムの取り出しに成功しております<sup>(10)</sup>。今後さらに、このISMAプロジェクトの推進が期待されます。多様な製品からの金属のマイニングは、貴金属やレアアースのみならず、多量に使用されているアルミニウムにおいても、サステナブル社会実現に向けて重要な課題の一つです。日本金属学会の気鋭の研究者が革新的で独創的な発想でスクラップからの精錬技術・純化技術に取り組んでいただければ望外の喜びであるとともに、共に取り組むことができればありがたいと思います。素材系学会の地盤沈下が懸念されておりますが、地球環境課題など最重要課題を本学会とともに取り組むことも学会活性化に資するものと確信しております。サステ

ナブル社会の構築を目指し、ともに歩みましょう.

## 文 献

- (1) <https://www.uacj.co.jp/>
- (2) 河野浩三, 鈴木 忍, 金森康二, 玉川博一, 京 良彦, 大谷良行: まてりあ, **57**(2018), 114-116.
- (3) 黒崎友仁, 村瀬 崇, 寺山和子, 石 雅和, 戸次洋一郎, 二宮淳司, 新倉昭男: まてりあ, **58**(2019), 114-116.
- (4) Y. Baba: Trans., JIM, **7**(1966), 224-234.
- (5) 馬場義雄: 日本金属学会誌, **29**(1965), 1075-1080.
- (6) 渋江和久, 金 睦淳, 熊谷正樹, 古山 努: 住友軽金属技報, **35**(1994), 210-220.
- (7) 渋江和久, 熊谷正樹, 金 睦淳: 日本金属学会誌, **56**(1992), 1457-1462.
- (8) 熊谷正樹, 渋江和久, 金 睦淳: 日本金属学会誌, **57**(1993), 721-725.
- (9) <http://www.alumi-can.or.jp/smarts/index/24/>
- (10) 兒島洋一, 津田哲也, 宇井幸一, 上田幹人, 三宅正男: 軽金属, **69**(2019), 15-21.



涉江和久

2013年10月 UACJ 発足時、同社技術開発研究所(現 R & D センター)所長就任。その後、取締役兼専務執行役員を経て、2020、6 月から現職。

◎DIY, ゴルフ.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

(2021年5月10日受理)[doi:10.2320/materia.60.428]

日本金属学会誌 第56巻 第12号 (1992) 1457-1462

反応焼結 TiAl 金属間化合物の酸化特性\*

洪 国彦\*\* 熊谷 正樹\*\* 金 陵 淳\*\*

J. Japan Inst. Metals, Vol. 56, No. 12 (1992), pp. 1457-1462

Oxidation of TiAl Intermetallic Compound Prepared by Reactive Sintering

Kazuhiisa Shibus, Masaki Kumagai and Mok-Soon Kim

Technical Research Laboratories, Sumitomo Light Metal Industries Ltd., Nagoya

The oxidation property of a Ti-33.5 mass%Al-2.5 mass%Mn intermetallic compound prepared by a reactive sintering process was studied at 1223 K in air in comparison with that by a melt process. The reactive-sintered alloy had been found to have superior oxidation resistance to the melted one. The oxidation scales of the former was considered to be adhesive, for example, owing to the presence of fine alumina particles and/or pores which contribute to peps. The fine alumina particulates were developed by breaking up of the oxide layer along prior particle boundaries during the reactive sintering process.

(Received August 12, 1991)

**Keywords:** TiAl intermetallic compound, oxidation, titanium-aluminum-manganese,  $Al_2O_3$  particulate, *pep*

1. 緒 言

TiAl 金属間化合物は軽量耐熱材料として期待され、研究・開発が活発になされている。現在、著者らは反応焼結法を開発し、本法による TiAl の作製を検討している。この方法はチタン粉末とアルミニウム粉末を所定重量比混合し、圧粉・脱脂・真空炉内焼結により緻密な合金体とする。この合金体は中・高圧力を施すことにより、この圧力・アルミニウム合金を添加する金属の溶解による焼結促進効果等により、種々の形状と寸法を得る。その後、Ti-Al-TiAl の反応を抑制し、例えば HIP 中で合金体を熱処理することにより、緻密な TiAl 母相を得ようとするもの。このように形成された金属間化合物を耐熱材料として利用する場合、酸化耐性は重要な要求特性である。この酸化耐性は焼結 Ti のそれより大幅に向上すること、高温では十分であるが、酸化特性上にも重要な点である。

TiAl の酸化特性は Si, Mo, Nb あるいは P 添加により向上すると報告されている<sup>1)</sup>。さらに、反応焼結条件下で熱処理された TiAl が優れた酸化特性を示すことが報告されている<sup>2)</sup>。これらより、いずれも前法で作製された TiAl についてのものである。一方、反応焼結された TiAl の酸化特性に関する報告は見当たらない。そこで、本研究では、反応焼結法で TiAl を作製し、その酸化特性と溶融法のものと比較して研究し、反応焼結法の酸化特性を明らかにすることを目的とした。

II. 実験方法

1. 供試材

Hunter 法で作製された Ti 粉末(粒径 149  $\mu\text{m}$  以下)と不活性ガスアトム法で作製された Al-7 mass%Mn 合金粉末(粒径 150  $\mu\text{m}$  以下)を質量比 4:1.36 で混合し、この混合粉末を成型し、圧粉した。この圧粉物の形状は、圧粉機・アルミニウム合金・コックアップに投入し下側から圧力を加えて行ない、重量比 4:1.36 の合金を 220 K、加圧時間 10.8 分および真空度  $1.3 \times 10^{-3}$  Pa 以下に下し、脱脂、焼結を待たしたまま焼結炉内を実施した。押出温度は温度 673 K、押出比 20 とした。得られた押出材からコックアップしたアルミニウム合金の外殻を切削除去し直径 10 mm、長さ 100 mm の試料を作製した。続いて、この試料を HIP 中で反応させた。HIP 条件は温度 1573 K、圧力 152 MPa、保持時間 72 時間とした。さらに、HIP 後真空炉中で質量比 4:1.36 (73.5:86.4) を行った。このようにして得られた Mo 添加 TiAl から酸化試験片を作製した。

また、比較材としてブランクアトム法<sup>3)</sup>で作製した Ti-36 mass%Al-1.1 Ti-33.5 mass%Al-2.5 mass%Mn (以下 mass%を省略する)の合金母相(酸化前)を作製し、酸化試験に供した。さらに、上記の反応焼結(反応前)と Mo 添加 TiAl の一部をアルゴン中で加熱し、ボロン鋼板(両面被覆した酸化試験片)を用いた。

以上の供試材の化学分析を Table 1 に示す。反応焼結

\* 1991 年 10 月日本金属学会秋期大会に一部発表

\*\* 友邦金属工業技術研究所

日本金属学会誌 第53巻 第4号 (1989) 721-725

# TiAl 金属間化合物の酸化特性に及ぼす 微量元素の影響<sup>1</sup>

熊谷 正樹 渋谷 和久 金 勝彦

住友金属工業株式会社技術研究所

J. Japan Inst. Metals, Vol. 57, No. 4 (1989), pp. 721-725

## Influence of Minor Elements on Oxidation Behavior of TiAl Intermetallic Compound

Masaki Kumagai, Kazuhisa Shibue and Mok-Soon Kim

Technical Research Laboratories, Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Nagoya

The influence of chlorine, sodium and oxygen in TiAl on oxidation behavior has been studied by using reactive-sintered Ti-33.5 mass%Al-2.5 mass%Mn under various powder powders.

As the chlorine content in reactive-sintered TiAl-Mn increases, the mass gain after the oxidation test at 1223 K for 86.4 h decreases. The TiAl-Mn containing more than 500 ppm chlorine has excellent oxidation resistance owing to the protective  $Al_2O_3$  film formed on the surface at an early stage of oxidation. Chlorine in the TiAl phase as NaCl particles which are introduced from the Ti powder produced by the linear method.

Moreover, halogens such as fluorine and bromine has been found to improve the oxidation resistance of TiAl-Mn.

(Received, December 14, 1992)

**Keywords:** oxidation, TiAl-Mn, reactive sintering, powder metallurgy,  $Al_2O_3$  film, chlorine, halogens, high temperature, intermetallic compound

## 1. 緒 言

近年, TiAl 金属間化合物は軽合金材料として期待され, 活発に研究開発がなされている。このような化合物材料を高温で利用する場合, 酸化耐性は最も重要な特性のひとつである。TiAl 金属間化合物の酸化特性は, 純チタンのそれよりも優れているものの, 1073 K 以上の温度域では劣る<sup>1)</sup>。酸化特性の向上は本化合物にとって重要な課題のひとつである<sup>2)</sup>。

TiAl 金属間化合物の酸化特性は, Mn, Nb, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などは P 添加により向上することが報告されている<sup>3-5)</sup>。しかし, 鋳造用や Ni 添加用合金と比較すると, 鋳造時に発生している TiAl 金属間化合物の酸化特性は必ずしも十分ではない<sup>6)</sup>。

一方, 書物には形状特性に由来するものとを特長とする反応鋳造<sup>7)</sup>が用いられ, 鋳造後直ぐ 2 段階の熱処理を加えた TiAl 金属間化合物の反応鋳造が実施されている。その一例として反応鋳造法により得られた TiAl-Mn の酸化特性が鋳造法と比較して著しく向上していることが明らかにされている<sup>8)</sup>。Fig. 1 に反応鋳造法での反応鋳造の過程(純チタムを鋳材と比較して)と, 反応鋳造後の酸化特性は鋳造法の場合のそれと比べて大きく向上しているが, 同時に, 反応鋳造材がブラスマーズ<sup>9)</sup>で鋳造された鋳材材料と鋳造の鋳材材料とは同等の酸化増量であった。これらの材料の酸素量の差が反応鋳造材と鋳造材で増減量と異

| Oxidation time (h) | Reactive (mg/cm²) | Sintered (mg/cm²) | Melted (mg/cm²) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 0                  | 0                 | 0                 | 0               |
| 10                 | ~10               | ~10               | ~10             |
| 20                 | ~20               | ~20               | ~20             |
| 40                 | ~40               | ~40               | ~40             |
| 80                 | ~80               | ~80               | ~80             |
| 160                | ~120              | ~120              | ~120            |
| 320                | ~160              | ~160              | ~160            |
| 640                | ~200              | ~200              | ~200            |
| 1280               | ~240              | ~240              | ~240            |

Fig. 1 Oxidation mass gain of reaction-sintered Ti-33.5Al-2.5Mn with that of the melted one at 1223 K for 86.4 h.

なること, また本反応鋳造材では Ti-Ni 系により作製された Ti-Ni 系を用いたため酸素量および Ti-Ni 系が鋳造材よりも多量に含まれると知られることから, これらの不純物元素が TiAl の酸化特性に影響していることが考えられる。

そこで, 本研究では反応鋳造材が酸化特性に優れる原因と相

<sup>1</sup> 1992年10月日本金属学会秋大会において一部発表

■日本金属学会誌に掲載済の著者の論文の1頁目より(7)(8).



## Materials Transactions の 審査基準とインパクトファクター 向上について

欧文誌編集委員長 堀田 善治

### 1. はじめに

すでに「まてりあ」2020年10月号の会告にてお知らせしたように<sup>(1)</sup>，Materials Transactions の2019年の Journal Impact Factor<sup>TM</sup> (以後 JIF と表記)は0.731であった。この JIF 値は、非常に低いものである。材料系雑誌のほとんどが2以上である中に、かなり危機的数値である。良質の論文は集まりにくくなり、他誌で却下された低質の論文が多数を占める状態(いわゆる負のスパイラル)に陥りかねない状況にある(すでに陥っているとも見られる)。特に若手の研究者が好んで投稿しない状態になっているのは極めて深刻である。研究業績の客観的評価には JIF 値の良い雑誌にどれだけ発表できたかが対象になるためである。

JIF 値は、直近で過去2年間の発表論文数を分母に、掲載論文がどれだけ引用されたか、その被引用数を分子にして示される数値である。したがって、JIF 値を高めるには、引用される(影響力のある)論文数を増やし、一方では引用が見込めない(魅力のない)論文を除いて母数を減らすというのが直接的な対策となる。Materials Transactions 編集委員会では、JIF 値の低い(1以下の)不名誉な状態から脱却すべく、JIF 値の向上を目指して全力で取り組んでいる。ここでは、Materials Transactions を良質誌とするために、論文審査基準の見直しについてお知らせする。また、JIF 値向上を目指した最近の取り組みについて報告する。Materials Transactions の読者であり著者である皆様のご理解とご協力を切にお願いする次第である。

### 2. Materials Transactions の論文審査基準について

まずは、Materials Transactions の創刊について触れておく。Materials Transactions (創刊当時は Transactions of the Japan Institute of Metals と称した)の創刊は1960年と古く、JIF 値が高い Acta Materialia とはほぼ同年である。Scripta Materialia や Materials Science and Engineering に比べて早く、歴史に基づく由緒ある材料系学術誌である。先の「まて

りあ」会告では「審査基準を見直しについて」と題し、審査基準を厳しくするような見出しになっているが<sup>(1)</sup>、もともと創刊当時は、(少なくとも筆者が学生時代は)審査基準は決してやさしくはなかったと記憶する。Materials Transactions は日本金属学会の欧文誌として我々の先輩が築き上げてきた日本発の材料系学術誌であることを喚起しておきたい。

下記は、投稿論文を評価する際の審査項目に、筆者がコメントしたものである。審査項目の(1)から(5)では、いずれも評点5を最高に、5, 4, 3, 2, 1で評価する。審査内容が別々に見えるが、相互に重なるところもある。

#### (1) 査読審査項目

##### (1) Novelty/Originality

(Are the contents of this paper new and interesting, providing novelty/originality?)

この項目では論文の新規性や独創性を評価する。すべての学術論文がそうであるように、すでに公表されたアイデアや結果あるいは方法は新規性や独創性が低いことになる。一方、公表されたものであっても、問題の見方や考え方が独自であれば評価は高くなる。

##### (2) Importance

(Does this paper give important contributions in the related research field?)

論文の重要度で、どれだけ他の論文に影響を及ぼすかということが評価される。新境地の開拓につながる内容であり、将来の研究開発に役立ち参照されるものであれば、重要度が高くなる。長年懸案であった問題を解決した論文も重要度が高くなる。

##### (3) Quality

(Is the quality of this paper high to justify publication in Materials Transactions?)

論文の質の度合を評価するもので、信頼性や再現性が保証される内容かどうかである。客観的に納得でき、疑う余地もない内容であるかが問われることになる。測定や解析が精緻であることも高評価に繋がることになる。

##### (4) References

(Does this paper properly refer to past research publications?)

研究の背景や動機が適切に記載されているか、他の類似研究が考慮され、前研究との違いは何かと言及されているかが評価される。言い換えれば、唐突な独りよがりの論文はないことになる。

##### (5) Understandability

(Is this paper prepared so as to convey the content to readers in an understandable manner?)

本審査項目は新たに導入する項目である。読者の立場に立って、論文が図や表を含めて分かり易く記述されているかが評価される。表現が明確で図や表も見易く、論理的に展開され、読んでいて分かり易いかが判断基準となる。原理の理解や情報の集約にあたって要点が明確に把握できることが重要

である。分かり難いのは読者のせいだという状態では、繰り返し読まれることはなく、理解されなければ結局無視されることになる。

#### (6) Translation

(This is applicable only for the paper originally published in Japanese.)

(Does this translation correctly reflect the original Japanese paper?)

Yes/No (If no, please describe the reasons.)

和文誌を英訳した場合に適用される。日本金属学会誌で公表した論文は、2年以内であれば、同一内容であることを条件に Materials Transactions でも発表できることになっている。(2018年度までは公表後1年以内という規約であったが、2019年度からは2年以内と長くなっている。これは和文誌で論文の新規性や独創性をいち早く確保し、Materials Transactions で国際的に発信することを考慮したものである。新規性確保のために日本金属学会誌への投稿も積極的に促したい。)

#### (7) English

(Is the English grammar and writing style understandable?)

Yes/No (If no, any comments will be appreciated.)

ここでは、英語の表現が適切かどうかが評価される。研究結果や提案が実験・解析方法も含めて正しく誤解のないように伝わるかが重要となる。特に英語を母国語としない著者の場合は、著者の責任で確認しておくことが必要である。(なお、Native speaker に読んでもらっただけでは不十分な場合があり、学術論文の書き方に精通している専門の Native speaker に見てもらうことが重要である。)

#### (8) Title

(Is the title of this paper appropriate?)

Yes/No (If no, please provide revision or modification)

どの学術論文にも当てはまるもので、論文の内容を的確に表しているかが評価される。読者が目にするのは論文題目が最初になる。インパクトがあり、かつ内容が適切に表現された(読んでみたくなる)タイトルにすることは重要である。時としてはタイトル決定に多くの時間を費やすこともあり、おろそかにできない。

#### (9) Graphical Abstract (GA)

(This is applicable when it was provided.)

(Is the Graphical Abstract suitable?)

Yes/No (If no, please comment for revision or modification.)

最近の学術誌は、論文の内容を簡潔に表す図を使って紹介するようになっている。たとえば、J-Stage では、Materials Transactions の掲載論文を紹介する際に、論文題目の傍でこの GA を見て視覚的に興味を引くようになっている。惜しみなく時間を取って最適な紹介図を付けることが勧められる。

#### (10) Relations to the Author(s)

(Is there a financial or other conflicts of interest between you and the author(s)?)

Yes/No (If yes, write the reason(s))

論文を公平に評価するための確認である。いわゆる利益相反がないか査読者に確認してもらうことは重要となる。

#### (11) Free Download Recommendation

(Is this article worthy of free immediate downloading? Note: usually, free downloading is not allowed until six months after publication. However, the free immediate downloading is possible if the author(s) pay for 30,000 JPY or the reviewer recommends through this evaluation.)

Yes/No (If yes, please recommend with comments.)

論文が即時無料公開(ダウンロード)に相応しいかどうかを判断する審査項目である。Materials Transactions では、J-Stage での無料ダウンロードは論文公開されて半年後となっている。影響力がある論文として査読者が必要性を認めた場合、無料で即時公開される。被引用数を高めるには即時無料公開が望まれるところである。(なお、Review や Overview 論文などは即時無料公開となっている。)

#### (12) Recommendation

Accept/Minor Revision/Major Revision/Reject

(In case where more than one of the grades are 2 or 1, the reviewer should recommend "Reject".)

すべての審査項目をもとに、査読者が総合的に判断することになる。Materials Transactions では、特に(1)から(5)の項目でひとつでも評価が2以下の場合は却下の判定を勧めており、レベルアップに繋げることにしている。このような審査基準は、従来に比べて採択度合いを小さくすることになるが、有用な論文であるためには、いずれの項目も評価が3かそれ以上であることが必要となる。

#### (13) Confidential Comments to the Editorial Committee or the Editorial Office

(This will not be sent to the author (s).)

著者には伝えない、編集委員会のみへのコメント。

#### (14) Comments to the Author(s)

著者へのコメントで、もちろん匿名となる。論文の評価とともに、問題点など直接著者に伝えることになる。却下の場合はその理由を、改訂を要する場合はその具体的内容を記載してもらうことになる。著者へのコメントには表現方法も含めて建設的に対応されることを願っている。

#### (2) 担当委員の役割

Materials Transactions では、研究分野に専門の担当委員(Referee)を設けて論文審査を行うことになっている。特集号などを除き、通常は委嘱を受けた基幹編集委員(Executive Editor)や編集委員(Editor)が担当する。これは、Materials Transactions が対象とする分野が多岐にわたることから採用している審査体制である。各専門分野に基づいて的確な審査ができるように配慮したものである。担当委員は査読者(Reviewer)を決め、必要に応じて自ら査読し論文審査の円滑な進行を図る。採否にあたっては、下記の手順に沿って掲載可否を判断する。

### (1) Quality

(Is the quality of this paper high to justify publication in Materials Transactions?)

Grade with the number below.

(Outstanding) 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 (Poor)

ここでの審査は、査読者の審査項目(3)と比べてもっと総合的に(他の審査項目も含めて)、Materials Transactions で公表に値するかを判断することになる。評点10を最高値として、10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 の順で評価する。採点基準が細かいのは、査読者の審査結果を含めて論文の適切さを判断し易くするためである。

### (2) Decision

(The paper will be rejected if the grade for the quality is 6 or less.)

Accept/Minor revision/Major revision/Reject

上記評価点をもとに、論文掲載の可否を決めることになる。Materials Transactions では、評点が6あるいはそれ以下の場合は却下(否)の判断することになる。すなわち、改訂を要しても、評点が7以上であることが掲載可への条件となる。

## 3. JIF 値の向上を目指して

### (1) ゼロ被引用論文の解消

JIF 値を高めるには多く引用される論文が増えることが重要なことは言うまでもない。しかし、一方では全く引用されないゼロ被引用の論文をなくすことも極めて重要となる。Materials Transactions では、残念ながら、ゼロ被引用論文が JIF 値決定の対象となる過去2年間で60%にも及んでいる。一つの論文が10回引用される論文を掲載する場合と、10編のゼロ被引用の論文をなくす場合とは JIF 値に関しては等価になる。投稿者の心がけで少なくとも1回引用すれば、JIF 値が1以下となる不名誉な事態は回避できることになる。(なお、JIF 値の向上には、論文の引用は公表後2年以内に行うことが必要となる。これは、直近の2年間の出版や引用データをもとに JIF 値が決定されることによるものである。)

### (2) Review/Overview 論文の勧め

Materials Transactions では特集号を企画し、これに引用数が見込める Review や Overview 論文を勧誘して引用数の向上を図っている。なお特集号に限らず、編集委員や査読委員の推薦で Review や Overview 論文の投稿を受け付けている。特に、国際的に著名な研究者に Review や Overview 論文を投稿してもらう積極的な試みも行っている。なお、Review と Overview 論文の違いであるが、いずれも研究開発の背景、近況および展望等について重要な文献を引用して解説する論文であるが、前者はその概要を公正かつ分かり易く解説し、後者は対象の課題に対して著者独自の考えに立ち、自説の位置付けを明確にして解説する論文としている。

### (3) 新規論文カテゴリ Current Trends in Research の導入

Materials Transactions では、Regular Article, Technical Report, Rapid Publications 等の従来のカテゴリに加え、新たに Current Trends in Research を導入した。これは特集号での論文を簡潔に紹介するためである<sup>(3)-(6)</sup>。要点を述べることで、特集号の主旨が明確になり、読者の情報収集に役立ち、引用機会が増えることを意図した。また、特集号での論文は必ず1回引用されることになる。ゼロ被引用の論文をなくすという観点からも効果的となる。Current Trends in Research では論文賞(若手論文賞も含める)受賞論文の紹介も行う。基本的に高い評価を受けた論文を紹介することで、論文の内容とともに、どのような論文が受賞対象であるのか読者に知ってもらう絶好のチャンスになる。より多くの読者の目に留まることになり、引用数が増えることに繋がることになる。調査によれば、受賞論文でも論文被引用がゼロのものがある。著者の努力はさることながら、Materials Transactions としても広く目に触れる重要な機会を与えることになると考えている。

### (4) 共同刊行

2001年に軽金属学会および資源・素材学会と共同刊行を開始し、名称も現在の Materials Transactions と改めた。当初3学協会で始まった共同刊行も、この20年間に徐々に参加学協会が増え、現在は表1のように材料系14学協会が参加している<sup>(2)</sup>。広範囲の材料分野にまたがっており、それぞれ設立が異なるために、投稿規則や論文審査基準が違う中で始めたものである。外部から見て統一性を持たせることから、また多数の優れた論文を受け入れるために、2021年4月より投稿窓口を一本化し、投稿受付から査読・審査を1つのシステムで行うことになった。各学協会の特徴を活かしながら、Materials Transactions が日本発の材料系総合論文誌として世界に広く認知されることを目指している。

表1 共同刊行学協会。

- (一社)軽金属学会
- (一社)資源・素材学会
- ナノ学会
- (公社)日本金属学会
- (一社)日本塑性加工学会
- (公社)日本鋳造工学会
- 日本銅学会
- (一社)日本熱処理技術協会
- (一社)日本熱電学会
- (一社)日本非破壊検査協会
- (一社)日本溶射学会
- (一社)粉体粉末冶金協会
- (公社)腐食防食学会
- (公社)日本材料学会

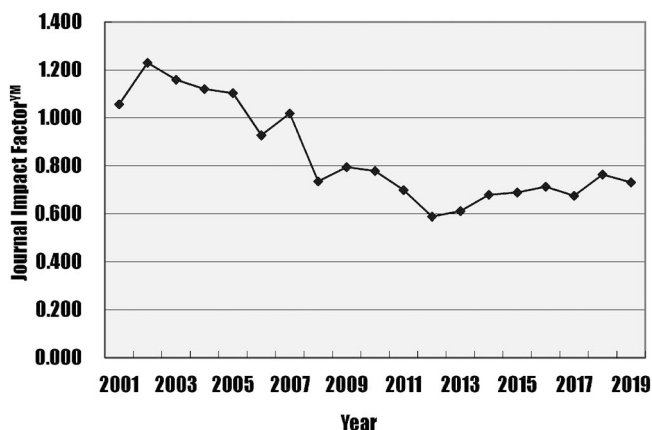


図1 Materials Transactions の2001年以降におけるJIF 値の推移<sup>(7)</sup>。(1997～2002年のJIF 値については文献(8)を参照)

#### 4. お わ り に

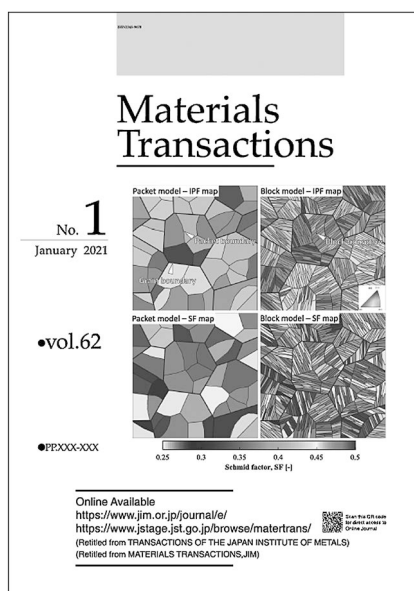
図1は2001年からのMaterials Transactions のJIF 値の推移を示したものである<sup>(7)</sup>。2001年から2005年では1を超えているが、その後は減少し、多少の増減はあっても0.7程度で低迷している。このような危機的状況から脱却するに

は、まずゼロ被引用論文をなくすことが重要である。論文は出して終わりではなく、必ず引用する(される)ところまでがワンセットであることをご留意いただきたい。新規で独創的な論文ほど引用されることに工夫され、(たとえば、解説資料<sup>(9)</sup>を参照)また自らも積極的に引用して自身の研究の広報に努めていただくことを切にお願いする。

#### 文 献

- (1) [https://jim.or.jp/INFO-trans/trans-info\\_123.html](https://jim.or.jp/INFO-trans/trans-info_123.html)(閲覧日: 2021年3月24日)まであり、59(2020), 561.
- (2) [https://jim.or.jp/PUBS/thesis\\_e/e\\_index.html](https://jim.or.jp/PUBS/thesis_e/e_index.html)(閲覧日: 2021年3月24日)
- (3) Z. Horita and K. Edalati: Mater. Trans., **61**(2020), 2241-2247.
- (4) T. Yamamoto, M. Yoshiya and H. N. Nhat: Mater. Trans., **61**(2020), 2435-2441.
- (5) T. Ohmura: Mater. Trans., **62**(2021), 563-569.
- (6) R. Suzuki, S. Natsui and T. Kikuchi: Mater. Trans., **62**(2021), 905-913.
- (7) <https://jcr.clarivate.com/>(閲覧日: 2021年3月24日)
- (8) [https://jim.or.jp/INFO/info\\_162.html](https://jim.or.jp/INFO/info_162.html)(閲覧日: 2021年3月24日)
- (9) [http://www2.sal.tohoku.ac.jp/ura\\_kawauchi/diary/2020/Kawamura\\_Lecture.key.pdf](http://www2.sal.tohoku.ac.jp/ura_kawauchi/diary/2020/Kawamura_Lecture.key.pdf)(閲覧日: 2021年3月24日)

(2021年3月1日受理)[doi:10.2320/materia.60.431]



■Materials Transactions は、約4割の論文※が公開と同時にオンラインジャーナルでフリーダウンロード可能です。その他の論文は、公開から6ヶ月経過後フリーダウンロード可能です。 <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/matertrans/-char/ja>  
 ※Overview 等、編集委員会が定めた条件を満たした論文。

## 会員へのアンケート結果報告

広報委員会委員長 柴田直哉

広報推進WG(現、広報委員会)では、2020年11月に会員の皆様へのアンケートを実施したので、その結果を報告する。

### 1. アンケートの趣旨

日本金属学会(本会)に対する会員の意識やニーズをくみ取り、サービス向上や入会促進、会員継続のための取り組みにつなげることを目的とした。

### 2. アンケートの概要

Google Formにてアンケートを作成し、会員へe-mailにて回答を依頼し、2020年11月18日～30日に実施した。

### 3. アンケート結果

#### (1) 回答者

本会会員4700人に回答を依頼し、560人の回答があった。回答者の所属の内訳は民間企業が35%(会員比率29%, 以下カッコ内は同じ)、大学等が38%(39%), 研究機関等が13%(8%), 学生が14%(15%)であり、民間企業の回答比率がやや高いものの、会員の構成比に比較的近い割合であった。また、年齢の内訳は、20歳代が16%(17%), 30歳代が14%(29%), 40歳代が23%(15%), 50歳代が32%(20%), 60歳以上が15%(18%)であった。

#### (2) 入会のきっかけ

「本会への入会のきっかけ」を複数回答可として選択していただいた結果を、図1に示す。「講演大会で発表するため」が最も多く、回答者の30%に達している。次いで、「講演大会を聴講するため」と「情報を得るため」がいずれも20%弱であった。講演大会への参加が入会の最も大きなきっかけであることがわかる。本会への入会者を増やすためには、まずは講演大会をより魅力あるものにしていくことと、より有益な情報を提供していくことが必要である。

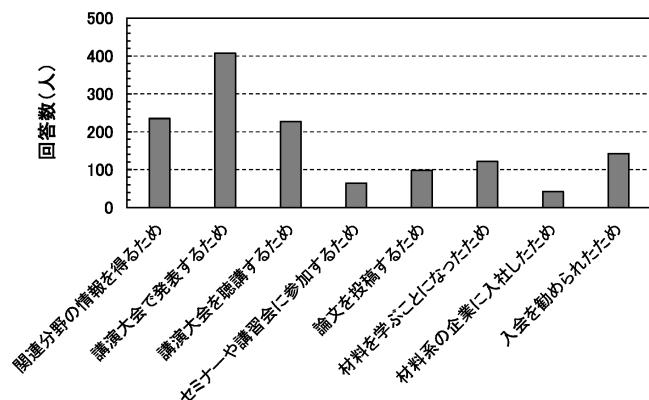


図1 日本金属学会の会員になったきっかけ。

また、328人は指導教員や上司、先輩から入会を勧められており、その70%は指導教員に勧められたものである。企業会員も含め、学生時代に指導教員に勧められて入会し、そのまま会員を継続している会員も多いことがうかがえる。

「何があれば指導学生や後輩、部下に入会を勧めやすくなるか」の問いに対する意見としては、「会費・参加費の減額」に関するものが60件と最も多く、次いで、「教育や人材育成のためのセミナー・講習会の開催」や「教科書類の充実」、「研究や技術開発の参考となる種々の情報」といった、コンテンツの充実に関するものが46件となっている。また、「研究発表」や「業務との関連」という意見もそれぞれ25件、17件と比較的多かった。本会では近年、学生員や35歳以下の若手会員の会費の減額、65歳以上の会員の講演大会参加費の無料化、60歳以上の終身会員制度の導入といった取り組みを行ってきたが、これらが十分に周知されていないことも、これらの回答につながった可能性がある。一方、会員のニーズに沿ったコンテンツを提供していくことが会員になっていただくためには重要であることがうかがえる。

#### (3) 会員になっていて良かったことや会員を続けている理由

「本会の会員になっていて良かったこと」を複数回答可として選択していただいた結果を、図2に示す。回答者の60%以上が「研究を発表できた」と「必要な情報が得られた」を挙げており、研究発表や情報収集の場として本会は有益であると評価されているようである。また、次いで半数近くが「他の研究者や技術者と交流が図れた」を挙げている。それらの結果、50%弱が「研究や技術開発に役立った」と評価したものであると思われる。今後も、多様な研究者や技術者が研究成果を発表し、交流する機会を提供していくことが必要である。

所属別にみた結果では、大学・研究機関および学生では「発表できた」、「必要な情報が得られた」の順に多く、企業では「必要な情報が得られた」、「研究や技術開発に役立った」の順であった。これにより、本会は大学等では研究成果発表の場としての、企業では情報収集の場としての期待がより高いことがうかがえる。

会員を続けている理由として挙げられた意見では、「情報収集できること」が148人と最も多く、次いで「専門分野の学会であること」が58人、「発表するため」が48人の順であった。本会の会員を続けていただく上では、有益な情報をい

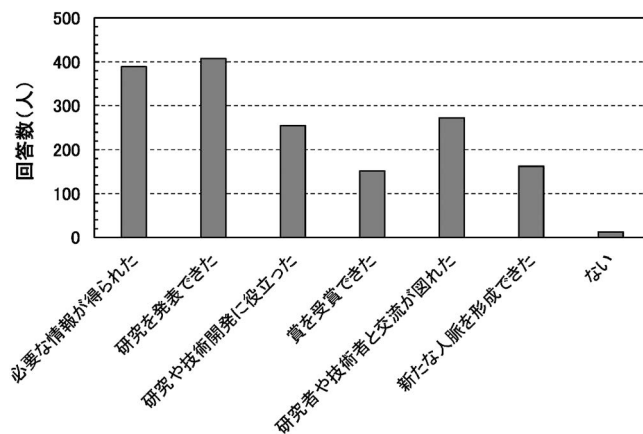


図2 日本金属学会の会員になっていて良かったこと。

かに提供し続けられるが大切である。

また、学生に対しての「何があれば卒業後も会員を続けたいか」という問いに対しては、「業務に必要であること」や「会費や参加費が安いこと」を求める意見が複数あった。

#### (4) 日本金属学会への期待

「本会に期待すること」を複数回答可として選択していた結果を、図3に示す。「最新の研究や技術開発の情報」が最も多く、回答者の82%に達する。次いで「研究成果の発表」が77%、「交流や人脈形成」が55%、「情報交換」59%と続き、これらへの期待が高いことがわかる。また、「知の蓄積や伝承」、「教育や人材育成」といった啓発への期待も比較的高く、これは企業の会員でより高い傾向にあった。一方、大学等では「受賞」への期待が高い傾向にあった。

#### (5) 他の学協会との比較

「他の学協会に比べて、期待に充分応えているか」との問いに対する回答結果を図4に示す。「はい」が40%であり、「いいえ」は10%未満であったが、「どちらともいえない」も半数にのぼる。

その評価の理由を記述していただいた回答では、「はい」の理由として挙げられたのは、「情報収集」に関するものが34件と最も多く、次いで「講演大会」に関するものが27件、「まてりあ」に関するものが19件であった。「いいえ」の理由として多かったのは、「講演大会」に関するものが12件、「対象分野」に関するものが10件であった。また、「どちらともいえない」の理由としては、他学協会との差は無い、比較できないという意見が多かった。講演大会は期待に応じて

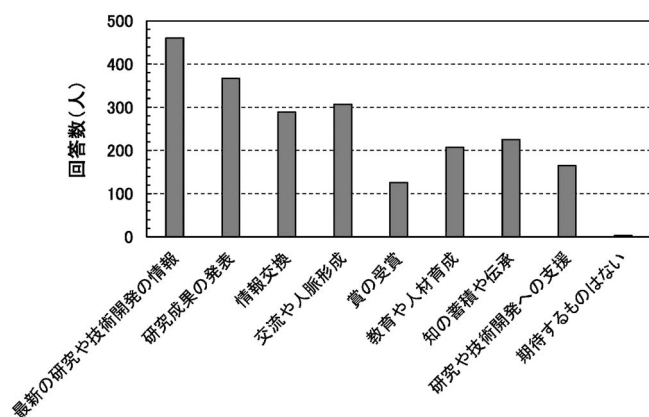


図3 日本金属学会に期待すること。

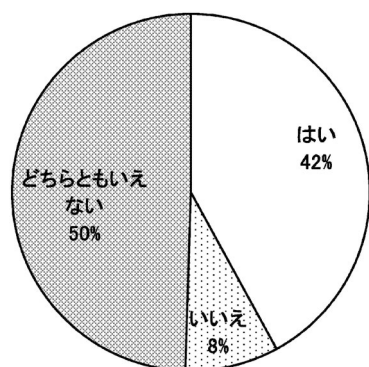


図4 他の学協会に比べて日本金属学会は期待に応えているか。

いるという評価の一方で、魅力的ではないと評価する会員も一定数あり、意見を参考に、今後も改善を図っていくことが必要である。

なお、本会以外で入会して活動している学協会として最も多かったのは日本鉄鋼協会であるが、回答者の約20%であった。次いで軽金属学会、日本機械学会、応用物理学会と続くが、いずれも10%以下である。

「他学協会に比べて(日本金属学会が)優れているところは何か」との問いに対する意見としては、「対象分野の幅広さや多様性」が75件と最も多く、次いで「会員や関係する会員が多い」が35件、「アカデミックでレベルが高い」が33件、「機関誌の発行」が26件の順であった。どちらかといえば、大学等のアカデミックな会員が幅広く集まっていることが優れているところであるとの意見が多いことがわかる。

逆に、「他学協会に比べて(日本金属学会が)劣っているところは何か」との問いに対する意見としては、対象分野が広いことの弊害(偏り、ばらばら、浅い等)についての意見が46件と最も多かった。また、アカデミックであることの裏腹として、産業界とのつながりが弱いとの意見も42件と多い。

#### (6) サービスについて

本会が提供している「各種サービスのメリットの程度」についての回答結果を、図5に示す。メリットが高いと評価されたサービスは「講演大会」と「まてりあ」であり、いずれもメリットが高いと感じている数が回答者の40%を超えている。ただし、会員の所属によっても感じ方は異なり、年齢の高い層や企業では「まてりあ」の比率が高く、大学・研究機関や学生では「講演大会」の比率が高い傾向にあった。

一方、「メリットが低い」と評価されたサービスとしては、「国際交流」や「研究助成」が挙げられる。いずれもメリットが低いと感じている数が回答者の30%を超えている。この2つのサービスに対しては「該当しない」という回答も多く、今後はより幅広い会員を対象としたサービスとしてこれらを拡充する必要がある。また、「日本金属学会誌」に関しては、「メリットが小さい」という回答数は全体の15%程度であるが、大学・研究機関ではその割合が25%程度に増加している。一方、「表彰」のメリットが小さいという回答数は回答者全体では15%であるのに比べて、企業では30%程度に高くなっている。日本語の論文誌である「日本金属学会誌」への投稿・掲載は大学や研究機関では評価対象とみな

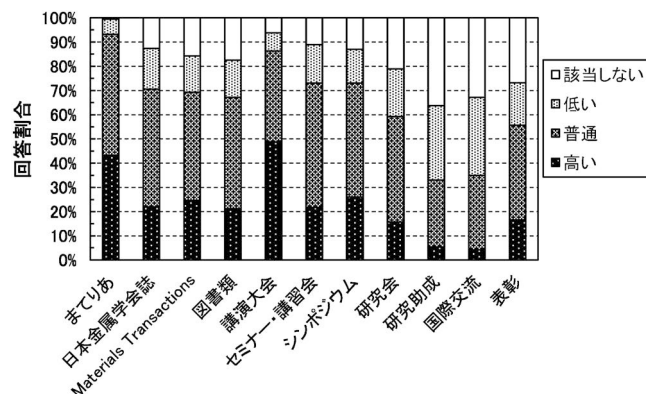


図5 日本金属学会のサービスのメリットの程度。

されにくいために「メリットは低い」という評価になっていると思われるが、企業では「まてりあ」、「講演大会」に次いでメリットが大きいと評価されており、他の機関誌とのバランスを取りながら充実させていくことも必要である。

研究助成については、2020年度から45歳以下の比較的若手の研究者に対する「フロンティア研究助成」事業を開始し、2020年度は10件の研究に対して助成金を支給した。また、表彰についても、企業の技術者・研究者を対象とした表彰もあり、その他の賞も企業の研究者も受賞しやすいように、業績評価の項目として特許を加える等の見直しを2020年度に行っている。これらの取り組みが十分に認知されていないことも、これらの評価が低かった原因と思われる。これらを周知するとともに一層の充実を図っていく必要がある。

「改善してほしいサービス」を複数回答可として選択していただいた結果を、図6に示す。改善してほしいサービスとしては、「機関誌」、「講演大会」、「会費や参加費」がいずれも回答者の20%程度で多かった。次いで、「ホームページ」が15%程度となっている。「会費や参加費」については、上述したように近年種々の取り組みを進めており、まずはこれらの周知と理解に向けた活動を行っていくことが必要である。また、ホームページについては、情報によりアクセスしやすいようにリニューアルする必要がある。

所属別にみた結果では、企業では、「セミナーや講習会」や「情報発信」の割合が高く、大学・研究機関では「研究支援」の割合が高くなっている。研究支援については、上述したように研究助成事業の周知が必要である。今後、セミナーや講習会の充実も図っていく必要がある。

「改善してほしいこと」の具体的な意見として挙げられたのは、「講演大会」に関するものが41件と最も多く、ついで「情報発信」が29件、「会費・参加費の値下げ」が27件、「Materials Transactions」が18件、「まてりあ」が17件の順であった。講演大会については、セッション分類やセッション数、講演時間、プログラムや概要の公開方法等に関する意見が多かった。情報発信については、ホームページ、技術情報等の発信についての意見が多かった。「Materials Transactions」では、インパクトファクターの向上によるプレゼンスの向上についての意見が、「まてりあ」では、記事数の増加、冊子送付に関する意見が多かった。

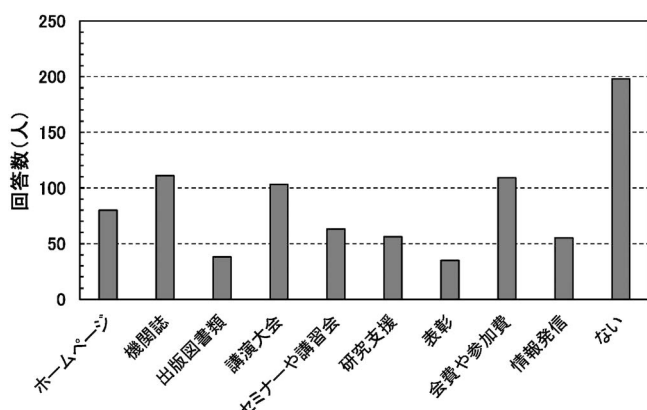


図6 改善してほしいサービス。

また、「加えてほしいサービス」としては、「技術サポート」、「学生や若手の支援」、「セミナー」、「教育・人材育成」という意見が多かった。

一方、不要なサービスとしては、「まてりあ冊子の送付」が18件と最も多かったが、「まてりあ」は日本金属学会に関連する情報や会員の活動を会員全員に能動的に伝える数少ない手段の一つであり、冊子を手にとることだけでも会員であることを認識してもらう意義はあると考えられる。現在、冊子の購読に代えて電子ジャーナルのみを購読することも可能であり、冊子が不要な会員は会員マイページで変更できるようになっている。今後、冊子の購読を停止した会員に対しても学会からの情報を確実に伝えるために、現在「まてりあ」発行時に送信しているメールを、掲載記事や情報によりアクセスしやすい内容や形式のメールマガジンとして配信することが必要になる。

#### (7) 日本金属学会のイメージ

本会に対して持っているイメージとしては、「金属に関する主要な学会である」が63件と最も多く、「学術的である」が48件、「伝統がある」が41件と続き、旧態然とした印象が強いことがわかる。本会が、伝統に裏打ちされながら、先進的な研究や開発にも関係していることの認識を持てただけのような広報活動も必要である。

#### (8) 情報発信について

「情報を得るために普段利用している手段」を複数回答可として選択していただいた結果を、図7に示す。90%以上の回答者が「インターネット」を利用している。次いで「刊行物」も70%を超えており、冊子体の「まてりあ」も意味があることが推測される。「SNS」の利用者は20%以下であるが、学生ではその割合が増えており、年代によって情報発信の手段を変える必要がある。

#### (9) 周知不足等による誤解に基づく回答について

アンケートへの回答や意見の中には、本会の運営や活動の実態が十分に理解されていないことに起因したものが少なからずあった。それらの主な回答と現況を表1に示す。本会の運営改善への取り組みや活動状況を正しく会員に周知する努力が、これまで不足していたためと反省させられる。今後は、広報・理解活動を充実させていくことが重要な課題である。

#### 4. まとめと今後について

今回のアンケートでは、講演大会や機関誌といったこれまでの主要事業の改善に加え、教育や人材育成に関する事業の

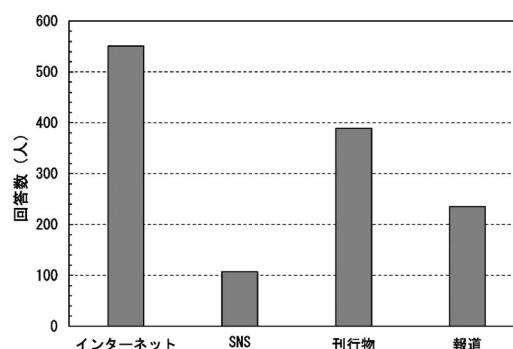


図7 情報を得るために利用している手段。

表1 誤解に基づくアンケート回答と現況。

| No. | 回 答                                              | 現 況 と コ メ ン ト                                                                                                                      |
|-----|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 会費が高い                                            | 主要20学協会の一般会費の平均は9,800円、学生の会費の平均は4,200円であり、それらと比べて高くはありません。学生員の会費は5,000円から4,000円に値下げいたしました。                                         |
| 2   | 若手の会費を軽減してほしい                                    | 30歳までの会費は、正会員の半額の5,000円に軽減いたしましたので、若手の方はぜひご入会ください。                                                                                 |
| 3   | シニア会員制度を設けてほしい                                   | 60歳から65歳までの会員には終身会員制度を設けました。65歳以上の講演大会参加費は無料としておりますので、ぜひご参加ください。                                                                   |
| 4   | 長期会員の会費を軽減してほしい                                  | 会員歴40年で71歳以上の会員には会費無料の永年会員制度がございますので、該当の方はぜひお申し出ください。                                                                              |
| 5   | 「まてりあ」を電子化し、冊子と選択できるようにしてほしい                     | 電子ジャーナル化されており、選択できるようになっております。会員マイページから変更可能ですので、ご利用ください。                                                                           |
| 6   | 「まてりあ」が薄い                                        | 近年、記事数を増やしてきており、他学協会の会報・会誌と比べても薄くはございません。主要20学協会の平均は720ページで、「まてりあ」は2019年は816ページ、2020年は690ページです。引き続き、「まてりあ」の充実にご協力を賜りますようお願い申し上げます。 |
| 7   | 「日本金属学会誌」、「Materials Transactions」のフリーアクセス化してほしい | 「日本金属学会誌」は発行時に全てフリーアクセスです。「Materials Transactions」は発行半年後に全てフリーになります。投稿料を追加すればフリーを選択可能です。また、編集委員推薦でのフリーもございます。                      |
| 8   | 出版図書の割引をしてほしい                                    | 会員は割引価格(20～30%割引)で購入が可能ですので、ぜひご利用ください。                                                                                             |
| 9   | 講演大会の登壇料が高額である                                   | 会員の登壇料は不要です。また、非会員の参加者には1年間の会員資格を付与しています。                                                                                          |
| 10  | 講演概要の分量が少ない(1ページは必要)                             | かつて概要はA4用紙で1/3ページでしたが、2015年以後は1ページに増やしています。                                                                                        |
| 11  | CDの予稿集は不要である                                     | 2019年にDVD予稿集の発行を終了いたしました。                                                                                                          |
| 12  | セッションが材料や技術をベースにしており、新しい手法・材料に関する発表が容易でない        | セッションを再編し、材料プロセッシングや先進機能材料といったセッションを加えて、発表できるようにいたしました。                                                                            |
| 13  | 製錬系の発表の場をなくしてしまった                                | 材料化学や材料プロセッシングのセッションを復活させました。                                                                                                      |
| 14  | セミナーへの参加費割引を設けてほしい                               | 参加費の会員割引がございますので、ご利用ください。                                                                                                          |
| 15  | 研究助成制度がない                                        | 研究助成の制度として2020年に、45歳以下を対象としてフロンティア研究助成を設けました。奮ってご応募ください。                                                                           |
| 16  | 分科会に無料で入会させてほしい                                  | 分科会への入会は無料です。委員は公募しておりますので、ぜひご応募ください。                                                                                              |
| 17  | 授賞が特定の研究分野、大学、研究室、企業に偏っている                       | 授賞は公募・推薦制であり、所属等に制限はございません。分野別の賞は偏りが生じないように学術部門と技術部門に統一いたしました。企業に対しては論文だけでなく特許も評価するようにいたしました。                                      |
| 18  | フェロー制度を設けてほしい                                    | 2018年にフェロー制度を設けました。ふさわしい方をご推薦ください。                                                                                                 |
| 19  | 表彰の数は減らしても良い                                     | 2019年に表彰を見直し4つの賞を廃止いたしました。                                                                                                         |
| 20  | 技術開発賞の応募にお金を取るのをやめてほしい                           | 2019年に他の投稿記事の投稿料と同じ料金にいたしました。積極的なご応募をお待ちしております。                                                                                    |
| 21  | 講演大会委員が特定の研究分野、大学、研究室、企業に偏っている                   | 講演大会委員は公募しておりますので、ぜひご応募ください。                                                                                                       |
| 22  | 理事の90%以上が大学から選ばれている                              | 本部幹事理事を設けて、必ず4人の理事は企業から選ぶようしております。2021年度の大学等の理事の割合は77%です。                                                                          |
| 23  | 役員をもう少し広い領域から登用してほしい                             | 代議員は会員であれば誰でも立候補できますので、ぜひ立候補ください。理事は代議員の互選で選ばれています。                                                                                |
| 24  | 学生への企業PRの場やキャリアサポートの提供をしてほしい                     | 春期講演大会で企業説明会を開催しております。オンライン開催では、企業による学生キャリアサポートセミナーを開催します。学生の皆様にお勧めください。                                                           |

拡充や情報発信の重要性を改めて認識することができた。この結果を参考に、事業の改善や広報の充実に取り組んでいく。

今回のアンケートに回答いただいた会員の皆様に感謝申し上げます。また、アンケートの実施に当たっては、広報推進

WG(現、広報委員会)の安藤智洋、植田圭治、好田 誠、関谷茂樹、高橋有紀子、中村篤智、平田秋彦、松田光弘、宮本吾郎の各委員にご尽力いただいた。(広報推進 WG(現、広報委員会)委員長 柴田直哉、事務局長 山村英明)

(2021年5月13日受理)[doi:10.2320/materia.60.435]

## 男女共同参画委員会 ランチョンミーティングの紹介 —COVID-19流行下における男性 研究者のPTA改革—\*

兵庫県立大学大学院 工学研究科  
材料・放射光工学専攻 准教授  
男女共同参画委員会委員長 三浦永理

日本鉄鋼協会・日本金属学会の男女共同参画委員会は、間もなく設立から15年を迎えます。2021年の男女共同参画委員会は、委員長を三浦永理、副委員長を戸田佳明が拝命し、現在、15周年のミニシンポジウム開催に向けて準備を進めています。両学会における2020年時の女性比率は学生会員がそれぞれ9%と12%、正員がそれぞれ3%と5%と多くない中、委員会主催の講演大会会期中の最終日昼休みに開催する行事として、毎年春の「ランチョンミーティング」と、秋の「女性会員のつどい」があります。2020年はCOVID-19流行により春期大会自体が中止となり、大会史上初のオンライン開催となった秋期大会では委員会の準備体制が整わなかったため、両行事の開催をやむを得ず見送りました。しかし2021年春期大会では、オンライン形式ではありましたが、最終日の3月19日13時より、第12回男女共同参画ランチョンミーティングを開催することが出来ました。

金沢大学理工学域の宮嶋陽司氏を講師に迎え、「ある男性研究者の保護者としての小学校との関わり」との演題で、コロナ禍における小学校のPTA役員としてのご経験を軸にご講演頂きました。宮嶋氏には2017年のランチョンミーティングにおいても男性研究者の立場での子育てと研究との両立についてご講演頂いており、その後、お子様の小学校でのPTA活動の話伺い、是非にと再度のご登壇を依頼したところ、快諾いただきました。

当日のご講演によれば、宮嶋氏は、PTAへの強制入会、一人一役、役員の平日の会議や学校行事の手伝い、紙資料の印刷配付など、何かと非効率で負担感のあるPTA活動に疑問を持ち、PTAの法的な位置付けと現状の学校との関係も調べられたそうです(図1)。そして、ご講演ではその結果に加え、昨年4月の一斉休校を機に、集計作業が必要な通常のベルマーク集めに加えWebベルマークも導入した話や、投票やアンケート調査等のオンライン化や役員のボランティア制を実現されたご経験を紹介されました。慎重派も多かったオンライン化実現の決定打は、一斉休校で平時は出来た学

校での会議や作業、紙ベースでの役員選挙等が出来なくなり、オンラインに移行してみたら案外出来たし、便利だった、という役員と教員の実感にあったとのこと。また、ボランティア制移行に関しては、アンケートの電子化で会員一人一人の意見が集められるようになり、「一人一役」への反対意見を役員や教員が目にしたことが大きかったと分析されました。講演の最後には、「保護者もPTAを避けて、子供の通う学校を応援する一員として参加し、やりにくいところは変えてみては?」とまとめられました(図2)。討論では、参加者のPTA体験談や、学校からの配布物のオンライン化の事例紹介などがありました。

COVID-19の世界的流行がテレワークやオンライン授業導入の強力な駆動力となったのと同様、今回ご紹介頂いた事例は、「変えたくても変えられない」慣習の改善に向けた宮嶋氏はじめPTA役員の行動力に、奇しくもパンデミックが背中を押した一例といえます。

さて、ここでもう一例、パンデミックがアカデミアの女性達にもたらした影響についての記事をご紹介します。米国でロックダウンによる女性研究者のケア労働増加が研究活動に影を落としていると報じた、昨年の4月24日付のThe Lilyの記事“Women academics seem to be submitting fewer papers during coronavirus. ‘Never seen anything like it,’ says one editor.”<sup>(1)</sup>は衝撃的でした。ある国際誌のエディターによれば、女性の投稿数は変わらなかったものの、男性からの

### 考察

- ・公立学校や義務教育に相当する場合は、一部の法律が関係
  - 地方財政法
    - 第4条の五:割当的寄附金等の禁止
    - 第27条の三、四:地方公共団体が住民に負担を転嫁できない
  - 学校教育法
    - 第5条:学校の管理および経費の負担



学校の設置者がその経費を負担しなくてはならないうえ、公立学校だと保護者に経費を要求してはいけない。  
実質、強制的にPTA会員になる場合、PTA会費は割当的寄附金となるため、PTA会費から学校に寄付出来ない。  
ただし、真に自由な意思に基づく寄付はok  
(だから、バザーをする?)  
もしくは、入会届を出してもらってれば、寄付はできる。

(大塚玲子さんの記事が参考になります)

図1 PTA会費から学校に寄付が出来ない理由についての説明。宮嶋氏ご提供。

### まとめ

1. PTAを嫌がる前にやると良いことあるかも
2. PTAがおかしかったら変えてしまえばいい
3. PTAに時間を費やせない職場も問題かも
4. 余談ですが、Webベルマークはおすすめです

図2 講演のまとめ。宮嶋氏ご提供。

投稿数が50%以上増加したとあります。朝日新聞<sup>(2)</sup>やScience<sup>(3)</sup>の記事で紹介された論文では、研究者のケア労働時間の増加率は女性に不均衡に偏り、結果として女性の研究時間が減少した<sup>(4)</sup>とあり、また、2020年1月～6月の医学系雑誌の掲載論文のうち、女性の筆頭著者論文が前年比で19%減少と報告しています<sup>(5)</sup>。日本でも、男女共同参画学協会連絡会による2020年5月15日～6月13日に実施の大規模調査<sup>(6)</sup>で、「勤務上の支障」に「家事・育児の負担増」を女性が特に多く挙げています。一方で、早い段階でジェンダーギャップを検知し改善した例として、カナダ保健研究所(CIHR)のCOVID-19研究グラントの応募期間を8日間から19日間に延長し、必要書類も減らしたところ、女性研究者主導の提案数が39%急増した事例<sup>(7)</sup>があります。

2020年にCOVID-19によって剥き出しになった、アカデミアの「埋めたくても埋まらない」ジェンダーギャップ。2年目の2021年は、「それを埋めるニューノーマルは何か」が問われています。

## 文 献

- (1) C. Kitchener: Women academics seem to be submitting fewer papers during coronavirus. 'Never seen anything like it,' says one editor., The Lily, Apr. 24, 2020.
- (2) 女性の論文著者、コロナ後に急減 育児・家事の負担偏る, 朝日新聞, 2021年3月20日, <https://www.asahi.com/articles/ASP3L44JSP3HULBJ01Q.html>.
- (3) K. Langin: Pandemic hit academic mothers especially hard, new data confirm, Science, <https://www.sciencemag.org/careers/2021/02/pandemic-hit-academic-mothers-especially-hard-new-data-confirm>, doi:10.1126/science.caredit.abh0110.
- (4) T. Deryugina, O. Shurchkov and J. E. Stearns: National Bureau of Economic Research Working Paper Series, 28360, 2021.
- (5) J. P. Andersen, M. W. Nielsen, N. L. Simone, R. E. Lewiss and R. Jagsi: eLife 2020; 9: e58807.
- (6) 男女共同参画学協会連絡会：緊急事態宣言による在宅勤務中の科学者・技術者の実態調査結果報告, [https://www.djren-rakukai.org/doc\\_pdf/2020/survey\\_covid-19/index.html](https://www.djren-rakukai.org/doc_pdf/2020/survey_covid-19/index.html), 2020.
- (7) H. O. Witteman, J. Haverfield and C. Tannenbaum: Proc. Natl. Acad. Sci., Feb. 9, 2021, 118(6), e2023476118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023476118>.

(\*日本鉄鋼協会「ふえらむ」Vol. 26. No. 7 に同時掲載)

(2021年5月13日受理)[doi:10.2320/materia.60.439]

# スポットライト

～第4回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

## 酸化還元反応による無機顔料の色の变化

京都府立洛北高等学校サイエンス科3年(2021年3月卒業)

増田 琳(現在:奈良女子大学理学部;学生)

神田七穂(現在:京都大学工学部;学生)

私たちはかねてから昔の絵画について関心があり、年を追うごとに絵画の色が元々の色を失う「退色」と呼ばれる現象について興味を持っていました。もし退色という現象をコントロールできるようになれば、画家がその当時に表現していた、本来の色の作品を鑑賞できるようになるのではないかと考えていました。そのこともあり、高校2年生の課題研究の授業では色の退色のメカニズムに迫るような研究ができればいいなと考えていました。

課題研究ではプルシアンブルーについて研究することを決め、この顔料の退色について先行研究を調べました。すると先行研究自体の数がとても少なく、先行研究を見つけることがとても大変でした。苦労して見つけた先行研究は英語論文で、内容理解に加えて英文読解も必要となり、研究の初期段階で次々と立ちちはだかる壁に、くじけそうになったことを覚えています。

J. Kirby and D. Saunders(2004)によると、化学式では $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ と表現されるプルシアンブルーは、プルシアンブルー中の $\text{Fe}^{2+}$ が一部酸化されると、ベルリンググリーンに変化するとされています。またベルリンググリーン中の $\text{Fe}^{2+}$ がさらに酸化されると、プルシアンイエローに変化するとあります。

このことから私たちは、プルシアンブルー内の鉄(II)イオンの一部を意図的に酸化させられれば、青から緑そして黄色にまたは緑から青色に自由に変化させることができるはずだという仮説を立て、研究を行いました。

研究は、ベルリンググリーンの合成に適当な酸化剤と還元剤の検討から始まりました。まず自分たちで塩化鉄(III)とヘキサシアニド鉄(III)カリウムを混ぜ得られた粘土状のプルシアンブルー0.1gを5mLの純水に懸濁した溶液に表1の試薬を組み合わせてベルリンググリーンの合成を目指しました。条件①では作ったプルシアンブルーを懸濁させた溶液5mLに対して2mLの酸化剤を入れるとすぐ色が黄色に変化してしまいました。そのため、2mLの酸化剤投入直後に4mLの還元剤をすばやく入れることで、ベルリンググリーンと考えられる緑色の沈殿物を取り出すことに成功しました。ですが色は鮮明ではなく適切に合成されていないと考えられたため、

表1 ベルリンググリーン合成に使用した酸化剤・還元剤。

| No. | 酸化剤              | 還元剤                   |
|-----|------------------|-----------------------|
| ①   | 0.1 mol/L さらし粉溶液 | 0.1 mol/L チオ硫酸ナトリウム溶液 |
| ②   | 16 mol/L 硝酸      | 0.1 mol/L チオ硫酸ナトリウム溶液 |
| ③   | 16 mol/L 硝酸      | 1.0 mol/L シュウ酸        |

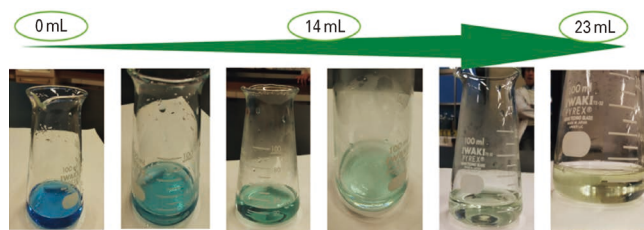


図1 0.001 mol/L 過マンガン酸カリウムの滴下量(0～23 mL)による色の变化(室温)。ビーカー内の懸濁液の色は左から青、青緑、緑、薄緑、薄黄緑、黄色になっている。

酸化剤を16 mol/L 硝酸2 mLに変更して、条件②、条件③の実験を行いました。条件③では、ベルリンググリーンと考えられる鮮明な緑色の沈殿物を確認できました。ですが、沈殿物は数週間後には青色に変化していました。これは、鉄イオンが還元されプルシアンブルーに戻ったことによるものであり、加える還元剤の量は繊細な調節が必要なものと考えられました。

次に、加える酸化剤のみの調節によるベルリンググリーンの合成を目指しました。

実験ではビュレットを用いて0.001 mol/L 過マンガン酸カリウム水溶液を、100 mLの純水に懸濁したプルシアンブルー(0.8593 g)に滴下するという方法を取りました。0.001 mol/L 過マンガン酸カリウム水溶液を0から23 mLの間で滴下した場合、プルシアンブルーからベルリンググリーンそしてプルシアンイエローへと色の変遷が確認できた(図1)。

これらの結果から、プルシアンブルーに酸化剤を加えることで、ベルリンググリーンを合成することができるが、その状態を維持することは難しいことがわかりました。また、過マンガン酸カリウムを用いた実験では緑色といっても肉眼でも数種類の緑色が確認できたことから、ベルリンググリーンと呼ばれる状態がプルシアンブルーとプルシアンイエローの色の重ね合わせによって生じる可能性もあると考察しました。

今回、高校生・高専学生ポスター発表を通じて沢山の研究者の皆様に、自分たちの研究に対して真摯な御意見をいただくことができました。自分の行った研究に対して新たな一面を発見したり、また違った考察をしたりする機会をいただけたことは、大変貴重だったと考えています。御意見をくださった皆様に感謝申し上げます。

## 文 献

- (1) J. Kirby and D. Saunders: National Gallery Tech. Bull., 25 (2004), 73-99.  
(2020年12月23日受理)[doi:10.2320/materia.60.441]  
(連絡先: 〒606-0851 京都市左京区下鴨梅ノ木町59)

# 本 会 記 事

|              |                                          |     |
|--------------|------------------------------------------|-----|
| 会 告          | 2021年秋期(第169回)講演大会ご案内ならびに参加申込について        | 442 |
|              | 2021年秋期講演大会関連広告掲載および付設展示会, 誌上展示会, セミナー募集 | 444 |
|              | 第19回 World Materials Day Award 募集中止の案内   | 445 |
|              | 2022年春期講演大会公募・企画シンポジウムテーマ提案募集            | 446 |
|              | 「若手研究グループ」申請募集                           | 447 |
|              | 「研究会」新規・継続更新申請募集                         | 448 |
|              | ASM International との連携について               | 450 |
|              | 日本金属学会各種研究費申請比較                          | 451 |
|              | 欧文誌編集委員会からのお知らせ                          | 454 |
| 支部行事         |                                          | 450 |
| 新入会員         |                                          | 454 |
| 掲示板          |                                          | 452 |
| 次号予告         |                                          | 454 |
| 会誌・欧文誌 7 号目次 |                                          | 453 |
| 行事カレンダー      |                                          | 455 |

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

・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 (ホームページもご参照下さい)

### 2021年秋期(第169回)講演大会ご案内ならびに参加申込について

秋期講演大会は、9月14日(火)から17日(金)までオンラインにて開催いたします。

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

〈日 程〉

| 日 時                    | 行 事                                        |
|------------------------|--------------------------------------------|
| 9月14日(火)               | ポスターセッション, 高校生・高専学生ポスターセッション, 懇親会(ポスター賞発表) |
| 9月15日(水)<br>9:00~17:00 | 学術講演                                       |
| 9月16日(木)<br>9:00~17:00 | 学術講演                                       |
| 9月17日(金)<br>9:00~17:00 | 学術講演                                       |

### 2021年秋期講演大会 開催予定の各種シンポジウム

- 公募シンポジウム10テーマ
- S1 機能コアの材料科学Ⅱ
  - S2 ミルフィュー構造の材料科学Ⅳ
  - S3 ハイエントロピー合金の材料科学(Ⅳ)
  - S4 材料変形素過程のマルチスケール解析(Ⅳ)
  - S5 超高温材料の科学技術Ⅱ
  - S6 ナノ・マイクロスペーステイラリングⅥ
  - S7 水素エネルギー材料Ⅸ
  - S8 コロナ禍の記録とポストコロナの材料戦略
  - S9 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシングⅢ
  - S10 マテリアルズ・インテグレーション(Ⅳ)―社会実装に向けた取り組み―

## 企画シンポジウム4 テーマ

### K1 材料化学におけるイノベーションの役割と工業製品への展開II

Innovations in materials chemistry and their effects on industry II

この企画シンポジウムは、毎年春の講演大会で開催している「水溶液腐食」「高温酸化」「陽極酸化」「めっき・化成処理」「触媒」の各学術分野を包括した公募シンポジウムと対をなし、工業製品としての金属材料の開発・生産の最前線における「材料化学」の役割と研究・開発事例や課題を、主に企業研究者に講演していただくことを趣旨として、2020年度よりシリーズ化している。今年度も、前年度と同様の企画シンポジウムを開催する。材料化学は、溶液や気体などと金属表面との化学反応を扱う学問分野であるが、応用範囲は、めっき、化成処理、腐食、高温酸化、触媒など広範囲にわたっている。そこで、各産業分野で直面している課題や将来展望を議論することで、基盤となる学理を発展させるヒントや、産学官の連携強化のきっかけとした。

### K2 次世代パワエレクトロニクス実用化に向けた酸化物軟磁性材料の現状と課題

～さらなる性能向上に向けたマテリアルデザイン～

Current states and issues of soft magnetic oxide materials for next-generated power electronics devices ~Material design for further performance improvement~

SiC, GaN といった次世代パワー半導体を利用したパワーエレクトロニクスデバイスの実用化に向けて、それらのデバイスに組み込むための既存および新規軟磁性材料に関して、現状と課題を整理しながらそれらの材料開発を進めていくことが強く望まれている。本シンポジウムでは、パワエレクトロニクスデバイス一端を担っていくことが期待される酸化物軟磁性材料として、その代表材料であるソフトフェライト(バルクから薄膜まで)に焦点を当てる。ソフトフェライト材料の特長および最新動向を整理しながら、さらなる性能向上に向けたマテリアルデザインの視点での課題を整理するとともに、また、若手研究者へ新たに本材料の研究に参加しやすい動機付けを提供したい。加えて、デバイス応用の視点から、本材料を含めた軟磁性材料について話題を提供する。

### K3 若手科学者へ贈る研究のヒントIV～未踏領域へ到達するために～

Gifts from pioneers to young scientists IV: ~To hitch your wagon to star~

第3回までは第1, 第2分野と共同で開催を行ってきた、人材育成を趣旨とする啓蒙的な内容の企画シンポジウムの第4弾であり、今回はさらに第3, 第8分野とも共同で開催する。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、また、転機をどのように向かえ成功へ導くのか、著名なベテランにご講演頂き、そのヒントを得ることを目的とする。会員、特に若手研究者への刺激になれば幸いである。講演では、講演者ご自身の研究に触れつつ、研究者としての心構えや外部資金の獲得に関する話題など、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する。講演後は双方向性の仕掛けとしてパネルディスカッションを設ける。

### K4 自動車の大変革を担う材料技術の最新動向

The latest trend of the materials R&D for the revolution of the Automotive

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术への対応も求められ、より複雑化、高度化している。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2018年度から企画してきた。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する。

## 参加申込要領

インターネットによる大会参加申込期間および URL :

(事前申込)2021年 5 月25日～8 月27日 <https://www.jim.or.jp/convention/2021autumn/>

(後期(当日)申込)2021年 9 月2日～9 月17日 [https://www.jim.or.jp/convention/2021autumn\\_after/](https://www.jim.or.jp/convention/2021autumn_after/)

参加申込締切後、参加方法や講演概要ダウンロードについては、下記をご参照下さい。なお、領収書は、決済完了後に申込画面から各自印刷して下さい(WEB 画面 : 講演大会 MyPage よりダウンロード)。

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)※年会費とは異なります。

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

| 会 員 資 格                                        | 事前参加申込<br>(締切日 : 8 月27日) | 後期(当日)申込<br>(9 月2日～会期最終日)<br>クレジット決済のみ |
|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
| 正員・維持員会社社員、シンポジウム共催・協賛の学協会会員・鉄鋼協会会員<br>(本会非会員) | 10,000円                  | 13,000円                                |
| 個人会員で2021年 3 月1日時点で65歳以上の方*                    | 無 料                      | 無 料                                    |
| 学生員**                                          | 6,000円                   | 7,000円                                 |
| 非会員*** 一般                                      | 24,000円                  | 27,000円                                |
| 非会員*** 学生(大学院生含む)                              | 14,000円                  | 16,000円                                |

・お支払後の取消は、準備の都合上ご返金いたしかねますのでご了承下さい。

\* **65歳以上の個人会員** : 会員情報に生年月日のご登録がない場合は、課金されますのでご注意ください。会員情報に生年月日をご登録させていただきますので、大会参加登録の前に [annualm@jim.or.jp](mailto:annualm@jim.or.jp) まで会員番号・お名前・ご連絡先・生年月日をお知らせ下さい。

\*\* **学生員** : 卒業予定変更等により会員種別に相違がある場合、事前に**会員種別の変更手続き**を行ってから、大会参加をお申込下さい。

\*\*\* 非会員の(有料)参加申込者には、1年間の会員資格を付与します。ただし特典は重複して付与いたしません。

## ◆支払方法

事前申込のお支払いはクレジットカードおよびコンビニ振込決済をご利用頂けますが、後期(当日)申込はクレジット決済のみとさせていただきます。また、入金後のご返金は致しかねます。事前予約申込は8月27日(金)の入金日をもって事前参加申込完了となります。

## ◆参加方法および講演概要の WEB 公開

講演概要の公開日は、大会 2 週間前の2021年 8 月 31 日(火)です。

講演大会公開サイトにログイン後、講演概要の閲覧ができます。特許関係のお手続きは、公開日までにお済ませ下さい。

(事前参加申込みの方)参加申込みをされ、参加費を納入された方へは、概要公開日にオンライン参加に必要な参加者個別認証 ID とパスワードを配信いたします。

(後期(当日)申込の方)参加申込受理通知に記載の「登録番号」および「パスワード」が講演概要閲覧に必要な個別認証 ID とパスワードになります。

## ◆講演概要集購入について

講演概要集 DVD は作成いたしません。全講演概要は、本大会 Web サイトで公開をします。これまで概要集 DVD のみ購入をされていた方も、通常の参加登録をして頂き、概要の閲覧をお願いします。

## ◆オンライン懇親会開催案内(金属学会単独開催)

開催日時 9 月 14 日(火) 18:30~

開催方法 オンライン会議ツール Remo(予定)

参加費 無料

参加登録期間 事前登録(5 月 25 日(火)~8 月 27 日(金))および当日申込

登録方法 大会参加申込みの際、「懇親会に参加する」で申込下さい。

申込者へは、9 月上旬に会場 URL と参加方法の案内を配信します。

\*この懇親会で、ポスター賞の発表(表彰)を行います。

### 参加申込・問合先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32 (公社)日本金属学会

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

### 2021年秋期講演大会

大会ホームページ・バナー広告、大会プログラム広告(まてりあ 9 号付録)、付設展示会(オンライン版)、誌上展示会(まてりあ11号)、技術セミナー、誌上技術セミナー(まてりあ11号)、学生キャリアサポートセミナー 各募集要領

2021年 9 月 14(火)~17(金)の 4 日間、オンラインにて開催される秋期講演大会にて、各種広告、オンライン展示、各種セミナーを募集いたします。

## ■大会ホームページ・バナー広告

掲載期間 2021年 6 月~(会期終了後もアーカイブで閲覧  
できます)

アクセス数 255,000アクセス(約 2 ヶ月、前回参考値)

サイズ タテ80ピクセル×ヨコ160ピクセル(静止画)

データ形式 静止画の PNG(.png), JPEG(.jpg), GIF(.gif)  
リンク先アドレスも合わせてご指定下さい。  
バナーデータ(+リンク先指定)入稿後、1 週間  
程度で掲載させていただきます。

掲載料金 1 枠50,000円(税別) ※バナーデータ制作費は  
別途です。

※本会維持員様、プログラム広告掲載会社様は、  
50%OFF.

※付設展示会(オンライン版)に 1 枠分の掲載料  
金が含まれています。

申 込 随時受付致します。

申込最終締切 8 月 17 日(火)

## ■講演大会プログラム広告(冊子)

発行予定日 9 月 1 日(水) まてりあ 9 号付録

原稿サイズ A4 1 頁 天地 260 mm×左右 180 mm

1/2 頁 天地 125 mm×左右 180 mm

入稿形態 完全データ(グレースケール)  
掲載料金 後付モノクロ1頁 ¥70,000(税別)  
後付モノクロ1/2頁 ¥40,000(税別)  
※付設展示会(オンライン版)出展社様は、50%  
OFF.  
※広告データ制作費は別途です。  
申込締切 7月29日(木)  
広告データ締切 8月5日(木)

### ■付設展示会(オンライン版)

研究開発用機器、書籍、ソフトウェア等の出展(掲載)を募集します。  
1コマの内容 社名、連絡先、URL、展示内容(展示製品、PRポイント、動画リンク、等)、等  
掲載期間 8月上旬~9月17日(金)  
展示料金 1コマ ¥90,000(税別)  
※バナー広告1枠と誌上展示会1枠(まてりあ11号)とのセット料金  
申込・原稿締切 7月20日(火)

### ■まてりあ11号・誌上展示会

オンライン展示会のフォローアップ広告を募集します。  
発行予定日 11月1日(月)  
掲載料金 1枠(1/4頁) ¥28,000(税別)  
※付設展示会(オンライン版)に1枠分の掲載料金が含まれています。  
申込締切 9月30日(木)  
広告原稿締切 9月30日(木)

### ■技術セミナー(Zoom版)

オンライン会議システムを利用した企業セミナーへの参加企業を募集します。  
開催日程 9月15日(水)~17日(金):12:20~12:50  
参加料金 1枠30分 ¥50,000(税別)※動画版1枠無料掲載  
申込締切 7月20日(火)

### ■技術セミナー(動画版)

大会ホームページにセミナー動画リンク(テキスト)を掲載致します。  
※動画をご準備頂き、動画サイトにアップロードして下さい。  
掲載期間 随時掲載開始~9月17日(金)  
掲載料金 1枠 ¥30,000(税別)  
申込最終締切 8月20日(金)

### ■まてりあ11号・誌上技術セミナー

技術セミナーのフォローアップ広告を募集します。  
発行予定日 11月1日(月)  
掲載料金 技術セミナーモノクロ1頁 ¥100,000(税別)  
申込締切 9月30日(木)  
広告原稿締切 9月30日(木)

### ■学生キャリアサポートセミナー(Zoom版)

オンライン会議システムを利用した学生向けセミナーを募集します。本大会参加者のみならず、本会学生会員、日本鉄鋼協会学生会員の参加も見込まれます。  
会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等をご紹介下さい。  
開催日程 9月17日(金)13:00~19:00  
(各社の説明は、上記時間帯のうちの30分間)  
参加料金 1枠30分 ¥50,000(税別)  
※1社1枠まで。複数枠の申込みはできません。  
※動画版1枠無料掲載  
申込締切 7月20日(火)

### ■学生キャリアサポートセミナー(動画版)

大会ホームページにセミナー動画リンク(テキスト)を掲載致します。  
※動画をご準備頂き、動画サイトにアップロードして下さい。  
掲載期間 随時掲載開始~9月17日(金)  
掲載料金 1枠 ¥30,000(税別)  
申込最終締切 8月20日(金)

### ■申込・問合せ

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4(友野本社ビル7F)  
株式会社 明報社  
(担当:月岡太郎 又は、営業担当者まで)  
☎ 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306  
E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp  
URL: http://www.meihosha.co.jp

### 第19回 World Materials Day Award 募集中止の案内

新型コロナウイルス感染の状況を考慮し、2021年秋期講演大会(2021年9月14日~9月17日)は、オンラインで開催いたします。

現地開催中止に伴い、World Materials Day Award 応募作品の展示及び審査ができないため、作品の募集を中止いたします。何卒ご理解くださいますようお願い申し上げます。

## 2022年春期講演大会 公募シンポジウム テーマ提案募集

提案期限：2021年8月31日(火) 期日厳守

会員の研究活動の一層の活性化を図ることを目的として、春秋講演大会において会員からの提案テーマによるシンポジウム講演を実施いたしており、活況を呈しております。明年の春期講演大会の公募シンポジウムテーマを募集いたします。次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマを積極的にご提案下さい。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい)

### 【募集対象の大会】

2022年春期講演大会(東京大学駒場キャンパス(予定))

### 【実施要領】

- 境界領域を取り込むもの、最新の情報を含むもの、適時な討論展開ができるもの。
  - 一般会員、若手・中堅研究者の、斬新なアイディアによる提案を期待する。
  - これまでの金属学会になかったテーマを歓迎する。一つのシンポジウムの講演件数は10件以上であることを目安とする。
  - 採択したテーマは、公募シンポジウムとして、講演申込を募集会告する。
  - 採択された場合、提案者(企画責任者)はテーマ責任者として、積極的に講演募集を行い、また講演プログラムを編成する。シンポジウムの企画に積極的な方々が将来、調査研究・講演大会などで主導的に活躍されることを期待する。
- 講演の種類：基調講演と応募講演
  - 提案書の内容：①テーマ、②テーマ英語名、③趣旨、④基調講演の予定題目と講演者、⑤推定講演数、⑥希望会場広さ・開催希望日、⑦提案者所属・役職/氏名、⑧通信先住所・TEL・FAX、E-mail
  - 提案書送付先：下記宛てE-mailで送付して下さい。2、3日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。
  - テーマの選定：講演大会委員会で選定し、結果は提案者に通知します。
  - 採択テーマの告知と講演募集：  
「まてりあ」11号2022年春期大会講演募集会告ならびに  
本会ホームページで行う。
  - 講演申込締切日：2022年1月7日(金)予定
  - 講演プログラム：テーマ責任者がプログラム編成し、講演大会委員会へ提出する。
  - 講演時間：  
応募講演：15～25分(+討論時間5～10分=合計20～35分)  
基調講演：30分(+討論時間10分=合計40分)
  - 講演概要原稿分量：A4判1ページ(応募講演、基調講演とも)
- 【公募シンポジウム企画の採択基準】
- 企画責任者(シンポジウム chair)およびテーマ責任者

(シンポジウム co-chair)

- 企画責任者は会員であること。
- テーマ責任者は複数テーマを兼任しないこと。
- 企画責任者またはテーマ責任者には、了解を得た講演大会委員が入っていること。
- 講演大会委員(専門分野)リストはHPに掲載し、連絡先等は事務局に問合せする。
- 講演大会委員会でテーマ責任者(代理者可)は企画提案の説明を行うこと。
- 継続テーマの採択条件(上記に追加)  
今後も同一テーマのシリーズ化で公募シンポジウムを希望する場合は、会員の研究活動一層の活性化を図ることを目的とした下記の採択基準の条件を満たす提案が求められます。
  - 全講演数の半数以上の応募講演数が見込まれること。
  - 基調講演の非会員枠は原則、1～2件とし、会員の発表の場とすること。
  - 提案書の趣旨にどのような科学的知見が得られるかの記載があること。
  - 継続テーマ提案が採択条件を満たさない場合、採択を否決する。否決テーマに対しては、一般講演を容認することもある。

[参考] 2021年春期講演大会における公募テーマ

|    |                                                   |
|----|---------------------------------------------------|
| S1 | 永久磁石開発の元素戦略 8 一次世代新材料に向けた基礎・基盤研究一                 |
| S2 | 医療・福祉のための Additive manufacturing の材料科学Ⅳ           |
| S3 | ナノ・マイクロスペースステイラリングⅤ                               |
| S4 | ハイエントロピー合金の材料科学Ⅴ                                  |
| S5 | 金属表面の材料化学Ⅳ—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の展開—                  |
| S6 | プラストンの材料科学Ⅷ                                       |
| S7 | 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウムⅡ—組織制御プロセスの理論と実験に基づく予測と解析— |

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛

## 2022年春期講演大会 企画シンポジウム テーマ募集

提案期限：2021年8月31日(火)

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、2017年秋期講演大会より企画シンポジウムを実施しています。従来の公募シンポジウムとは違い、企業の方に積極的に講演頂くため、講演概要原稿の提出は問いません。講演発表は、一般(応募)講演枠は設けず、依頼講演および基調講演に限定いたします。

次の要領をご参照のうえ、活発な討論が期待できる有益なテーマおよび他学会との連携企画等積極的にご提案ください。(提案様式はホームページよりダウンロードして下さい)

## 【実施要領】

1. 企画責任者：企画責任者は会員であること
2. 共同責任者：共同責任者は、公募シンポジウムの co-chair と重複してもよいが、同時開催の企画責任者(代表者)と重複しないこと。
3. 講演の種類：依頼講演および基調講演(一般会員からの講演募集は行わない)
4. 講演時間：依頼講演(15分, 20分, 25分), 基調講演(25分~30分)
5. 質疑応答時間：5分または10分
6. 概要原稿：A4 サイズ 1 枚(他の講演種別と同じ) または 提出不要
7. 非会員講演者の取扱い：参加費, 交通費, 謝金は公募シンポジウムに準ずる。
8. テーマの決定：講演大会委員会において採択を決定し, 結果は提案者に通知します。  
テーマ責任者(代理者可)は, 講演大会委員会で企画提案の説明を行うこと。
9. 採択テーマの案内：「まてりあ」ならびに本会ホームページで行う。
10. 講演プログラム：企画責任者がプログラム編成し, 講演大会委員会へ提出する。
11. 提案書送付先：下記あて E-mail で送付して下さい。2, 3 日過ぎても受理通知のない場合は, ご連絡下さい。

各締切日等：下記表参照

|                   | 2022年春期大会      |
|-------------------|----------------|
| 企画募集案内            | 7月1日(7号会告)     |
| 応募締切              | 2021年8月31日     |
| 企画テーマの決定          | 2021年9月~10月頃   |
| 講演者リスト提出期日        | 2021年11月25日頃予定 |
| プログラム提出期日(講演登録締切) | 2022年1月7日予定    |
| 講演大会企画委員会(会場決定)   | 2022年1月下旬予定    |
| プログラム公開           | 2022年1月末予定     |

○講演時間(討論時間)：15分~30分(5分~10分)

○非会員の取扱い(参加費, 交通費, 謝金)：公募シンポジウムに準ずる

○プログラム編成および送付方法：テーマ責任者が WORD で作成し事務局にメール添付で送付する。

問合せ・照会先 E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685

(公社)日本金属学会 講演大会委員会宛

## 公益社団法人日本金属学会 「2022年度若手研究グループ」申請募集

申請締切：2021年9月1日(水)

若手および調査・研究事業を活性化することを狙いとして, 若手主体の研究グループを2018年度より設置しております。若手研究グループの登録申請を希望される方は下記を参照の上, 若手研究グループ申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい)

## 【実施要領】

- (1)概要
  - ・研究会又は新規研究テーマの開拓に向けた課題の抽出や目標の明確化のための調査の実施や構成員による討論会や会議の開催等を行なう。
  - ・目的・目標・活動計画を明確にし, 機関誌等での活動報告を義務化した上で, 活動費を支給する。
- (2)対象者
  - ・申請者および構成員は40才以下の研究者であること。申請代表者は正会員であること。
  - ・申請時には, 構成員は5名以上であり, 非会員を構成員とすることができるが, 過半数は正会員であること。
  - ・構成員に最低1名は産業界のメンバーが入っていることが望ましい。
  - ・活動開始時には, 非会員の構成員は会員になること。
- (3)活動費
  - ・年間50万円を上限とする。(税金分を含む)
- (4)活動期間
  - ・2022年3月1日~2024年2月28日の2年間とし, 原則として延長は認めない。
- (5)活動報告
  - ・研究成果報告として, 講演大会において講演(若手研究グループの企画セッション等が望ましい)を行う。
  - ・1年経過後および活動終了後に報告書を調査研究委員会に提出する(必要な場合は説明いただく)。
  - ・活動終了後, 6ヶ月以内にまてりあに研究会の活動に関する記事を投稿する。
  - \*まてりあ記事掲載：種別は「最近の研究(6~8頁)」とし, 研究会の活動および学術的な研究成果を含む内容とする。報告数が複数件の場合は, 特集企画としてまとめて掲載をする。
- (6)採択件数
  - ・2022年度の採択数は5件以内とする。
- (7)応募方法
  - ・名称, 申請代表者, 構成員, 申請理由, 活動の概要, 活動計画, 予算, 成果の報告予定, 関連分野を記載した申請書を提出する。
- (8)審査
  - ・調査研究委員会が審査の後, 理事会で決定する。必要に応じ, 面談等を行うことがある。
- (9)備考
  - ・その他は研究会の規程に準ずる。
  - ・活動費の用途は, 会議費(会場費, 会議中のお茶代・弁当代), 旅費交通費, 通信運搬費, 消耗品費, 印刷製本費等の運営費用とする。本会規程に基づく旅費・交通費の支給は可とする。

ただし、講演大会中および講演大会と連続する日程で開催される構成員の会議等の旅費は不可。

- 会計担当者を置き、年度予算の消化状況の管理を行う。
- 会計担当は、収入および支出を現金出納帳に記載するとともに、活動費の残金および参加等収入等の現金ならびに領収書を管理する。
- 会計処理方法の詳細は会計マニュアルに定める

- (10) 審査基準
- 研究会への発展や新規研究テーマの開拓に貢献できるか。
  - 研究会に類似のテーマはないか。
  - 構成員は適切であるか。
  - 必要性が高いか。
  - 目的や目標が明確にされているか。
  - 成果を広く周知する活動報告が計画されているか。

#### (11) 申請・問合せ先

申請書を下記 E-mail アドレスに送信して下さい。  
2, 3 日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。

(公社)日本金属学会 若手研究グループ係  
E-mail: stevent@jim.or.jp ☎ 022-223-3685

### 公益社団法人日本金属学会 「研究会」新規・継続更新申請募集

申請締切：2021年9月1日(水)

研究会の登録を希望される方は研究会実施要領および下記規則をご参照の上、お申込下さい。

新規申請の研究会は新規申請用紙、継続延長申請の研究会は継続更新申請用紙でお申込下さい。(申請用紙はホームページよりダウンロードして下さい)

#### 【実施要領】

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

- (1) 年間運営費 100,000円
- (2) 活動期間 新規申請の場合 1期5年間以内、継続更新の場合は、延長期間 1期3年以内。  
最長活動期間は 2期8年以内
- (3) 新規申請書の内容 ①研究会名称、②活動目的、③活動期間、④代表世話人、⑤世話人(複数可)、⑥構成員名簿
- (4) 継続更新申請書の内容 ①研究会名称、②継続理由、③延長期間、④代表世話人、⑤世話人、⑥構成員、⑦これまでの成果報告、⑧今後の活動計画書
- (5) 年間採択数 新規 2件以内、継続(延長)申請は 2件以内
- (6) 研究会の審査 調査研究委員会で 1 次審査をし、理事会で最終審査を行う。

#### (7) 審査基準

- 学術貢献出来る研究会が望ましい。
- 類似の研究会に属しない。
- 構成員は適切か。
- そのテーマの研究会が必要か。
- 研究会活動期間中に講演大会公募シンポジウムや金属学会シンポジウムを計画しているか。

#### (8) 現在活動中の研究会の留意事項

- 2022年2月に終了する研究会で、過去に継続(延長)の申請をしている研究会は、現在の活動期間で終了となります。
- 2022年2月に終了する研究会で、これまで継続(延長)の申請をしていない研究会は、1期3年の継続(延長)の申請が出来ます。ただし、研究会の審査により 2 件以内の採択となります。

#### (9) 問合せ・申請先

下記宛 E-mail で送付下さい。2, 3 日過ぎても受理返信通知のない場合はご連絡下さい。

E-mail: stevent@jim.or.jp

☎ 022-223-3685

日本金属学会 研究会係

### 公益社団法人日本金属学会 研究会規則

#### (規則の目的)

第 1 条 この法人の研究会規程を公正かつ適切に運用するため、調査研究委員会の決議により、この規則を定める。

#### (運営費)

第 2 条 研究会規程第 14 条第 1 項によるこの法人の運営費の限度額は 100,000 円とする。

- 2 この法人の運営費以外の運営は参加費等収入で充当する。
- 3 企業からは原則として分担金を徴収しない。
- 4 前項に定める同系統のテーマで継続的活動を目的とする更新申請の承認にあたっては、会告や会場の手配などの支援はするが活動支援金を提供しない場合もある。

#### (研究会の申請)

第 3 条 研究会の新規申請書ならびに継続更新申請書は 9 月上旬までに調査研究委員会に申請するものとする。

- 2 調査研究推進委員会は申請書を審査の上、調査研究委員会の議を経て、理事会の承認を得るものとする。
- 3 研究会の年間採択数は新規は 2 件以内、継続更新は 2 件以内とする。
- 4 新規に採択された研究会は 3 年経過後に継続する目処がたたなくなった場合は研究会を解散することが出来る。
- 5 研究会は活動期間中に、1 回以上春秋公募シンポジウムを開催しなければならない。

#### (研究会の新規申請)

第 4 条 新規申請は代表世話人が所定の研究会申請書を期日までに調査研究委員会委員長に提出する。

- 2 新規応募の申請書に記載する事項は次の通りとする。
  - (1) 研究会の名称および活動目的
  - (2) 代表世話人(氏名、所属、役職名、TEL、E-mail)

- (3) 世話人の名簿
- (4) 構成員の名簿
- (5) 活動期間は1期5ヵ年以内とする

#### (更新申請)

第5条 1期5年終了後、さらに活動を継続する場合、代表世話人は更新申請書を期日までに調査研究委員会に提出する。

- 2 更新申請に記載する事項は次の通りとする。
  - (1) 研究会の名称および継続理由
  - (2) 代表世話人(氏名, 所属, 役職名, TEL, E-mail)
  - (3) 世話人の名簿
  - (4) 構成員の名簿
  - (5) これまでの成果報告書
  - (6) 今後の活動計画書
  - (7) 延長期間1期3ヵ年以内とする
  - (8) 最長活動期間は2期8ヵ年以内とする

#### (研究会の構成員)

第6条 この法人の会員は当該代表世話人に申し込むことで、その研究会の定常的構成員になることができる。

- 2 代表世話人は新たに参加した構成員を事務局に通知する。
- 3 研究会の定常的構成員は少なくともその2/3以上をこの法人の会員で構成されなければならない。
- 4 同一人が複数の研究会に登録しても差し支えないものとする。

#### (研究会の審査)

第7条 研究会の新規および継続更新の審査は、下記による。

- 2 調査研究推進委員会で1次審査をし、理事会で最終審査を行う。
- 3 研究会の審査は次の基準による
  - (1) 学術貢献出来る研究会であるか
  - (2) 類似の研究会に属しないか
  - (3) 構成員は適切か
  - (4) そのテーマの研究会が必要か
  - (5) 本会の講演大会公募シンポジウムや金属学会シンポジウムを開催出来るか

#### (研究集会の開催)

第8条 研究集会を催す場合は、下記による。

- 2 研究集会は、会告により会員に公開する。ただし、緊急の会合の場合は前項の定常的構成員のみに通知することもあり得る。
- 3 春秋大会会期中の研究集会は、原則として開催は認めない。

#### (研究会の運営)

第9条 研究会の運営に関する事務処理は代表世話人のもとで行う。

- 2 研究会が内外の学協会と共催または協賛のもとにシンポジウムまたは国際会議等を開催しようとする場合は、研究会の代表世話人が所定の手続きを経て理事会に申請するものとし、その可否は理事会の決議を要する。

#### (研究会の活動および成果報告)

第10条 研究会の活動および成果報告は、下記による

- 2 活動期間中の研究会の代表世話人は2月中旬までに、その年度の活動報告書を調査研究委員会に提出しなければならない。また、2月中旬までにその年度の経費の使用明細書(領収書添付)を事務局に提出しなければならない。
- 3 研究会を終了する代表世話人は2月中旬までに成果報告(A4版1頁:講演大会やシンポジウム開催報告)を調査研究委員会に提出し、金属学会ホームページに公表しなければならない。
- 4 最終成果報告書は欧文誌、会誌の投稿または、まてりあ特集号に掲載しなければならない。

#### (委員会の関与)

第11条 この規則に疑義が生じた場合は、調査研究推進委員会で協議する。

#### (規則の改廃)

第12条 この規則を改廃する場合は、調査研究委員会の決議を要する。

| 2021年度活動中の研究会 |     |                             |                 |                 |
|---------------|-----|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 12テーマ研究会      |     |                             |                 |                 |
|               | No. | 名 称                         | 活動期限            | 代表世話人           |
| 1             | 70  | プラスチックに基づく変形現象研究会*          | 2013年3月～2022年2月 | 乾 晴行(京 都 大 学)   |
| 2             | 72  | 水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会*      | 2014年3月～2023年2月 | 中村優美子(産 総 研)    |
| 3             | 75  | キンク研究会*                     | 2015年3月～2024年2月 | 藤居 俊之(東 工 大)    |
| 4             | 77  | 高度超塑性成形研究会                  | 2016年3月～2022年2月 | 佐藤 英一(宇宙航空開発機構) |
| 5             | 78  | 触媒材料の金属学研究会                 | 2017年3月～2023年2月 | 亀岡 聡(東 北 大)     |
| 6             | 79  | 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会   | 2017年3月～2022年2月 | 高山 善匡(宇 都 宮 大)  |
| 7             | 80  | 高エネルギー環境用材料評価研究会            | 2018年3月～2024年2月 | 橋本 直幸(北 大)      |
| 8             | 81  | 材料機能特性のアーキテクチャー研究会          | 2018年3月～2024年2月 | 木村 好里(東 工 大)    |
| 9             | 82  | 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング研究会 | 2019年3月～2025年2月 | 大村 孝仁(物・材機構)    |
| 10            | 83  | 高温材料の変形と破壊研究会               | 2020年3月～2026年2月 | 澤田 浩太(物・材機構)    |
| 11            | 84  | ソフト磁性研究会                    | 2020年3月～2026年2月 | 遠藤 恭(東 北 大)     |
| 12            | 85  | 状態図・計算熱力学研究会                | 2021年3月～2026年2月 | 阿部 太一(物・材機構)    |

\* 期間延長研究会

| これまで設置された研究会         |                 |
|----------------------|-----------------|
| 1. 高融点金属基礎研究会        | (1977.2～1982.3) |
| 2. 高温質量分析研究会         | (1977.9～1982.3) |
| 3. アモルファス金属に関する研究会   | (1977.9～1982.3) |
| 4. チタン研究会            | (1977.9～1982.3) |
| 5. マルテンサイト変態に関する研究会  | (1978.2～1983.3) |
| 6. 核融合炉研究会—総合評価のための— | (1978.5～1983.3) |
| 7. 材料照射研究会           | (1978.5～1983.3) |
| 8. 磁石材料研究会           | (1978.5～1983.3) |
| 9. 結晶粒界研究会           | (1981.2～1986.3) |
| 10. 高温変形および破壊研究会     | (1981.9～1986.3) |
| 11. 金属間化合物の機械的性質研究会  | (1983.2～1988.3) |
| 12. 材料重照射研究会         | (1984.2～1989.3) |
| 13. ステンレス鋼研究会        | (1984.2～1989.3) |

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| 14. 形状記憶合金の基礎と応用に関する研究会                 | (1985.2～1990.3) |
| 15. エレクトロニクス材料の物理化学研究会                  | (1985.2～1990.3) |
| 16. 気相急冷非平衡合金研究会                        | (1985.2～1990.3) |
| 17. 計算機支援による材料設計研究会                     | (1986.2～1991.3) |
| 18. 金属とセラミックスの接合研究会                     | (1986.2～1991.3) |
| 19. 高温強化研究会                             | (1987.3～1992.2) |
| 20. 高純度金属研究会                            | (1988.3～1991.2) |
| 21. 破壊の物理と化学研究会                         | (1988.3～1991.2) |
| 22. ペイナイト研究会                            | (1988.3～1991.2) |
| 23. 結晶粒界研究会                             | (1991.3～1994.2) |
| 24. 水素機能研究会                             | (1991.3～1994.2) |
| 25. 照射材料評価研究会                           | (1992.3～1995.2) |
| 26. 金属と社会研究会                            | (1992.3～1997.2) |
| 27. めっき膜の構造および物制御研究会                    | (1993.3～1998.2) |
| 28. 高純度ベースメタル研究会                        | (1993.3～1998.2) |
| 29. 集合組織と材料特性研究会                        | (1994.3～1999.2) |
| 30. 相安定性・相変態研究の新技法研究会                   | (1994.3～1999.2) |
| 31. 金属系バイオマテリアル研究会                      | (1994.3～1998.2) |
| 32. 結晶性材料の高温強度特性研究会                     | (1995.3～2000.2) |
| 33. チタン合金の基礎物性研究会                       | (1995.3～2000.2) |
| 34. コンピューターシミュレーションによる原子・電子レベルでの材料創成研究会 | (1995.3～2000.2) |
| 35. 界面の原子論研究会                           | (1996.3～1999.2) |
| 36. 拡散研究会                               | (1998.3～2003.2) |
| 36. ハイパフォーマンス・バイオマテリアル研究会               | (1998.3～2001.2) |
| 38. 超高純度金属研究会                           | (1998.3～2003.2) |
| 39. 材料集合組織研究会                           | (1999.3～2002.2) |
| 40. 高温材料設計研究会                           | (2003.3～2005.2) |
| 41. ストラクチャーダイナミクス研究会                    | (2000.3～2003.2) |
| 42. 機能性薄膜研究会                            | (2000.3～2003.2) |
| 43. 可逆的インターコネクション研究会                    | (2001.3～2004.2) |
| 44. ナノプレーティング研究会                        | (2002.3～2005.2) |
| 45. 水素新機能研究会                            | (2002.3～2005.2) |
| 46. エキゾチック金属間化合物の構造・相安定性と物性研究会          | (2003.4～2005.2) |
| 47. 強ひずみ加工微細組織制御研究会                     | (2004.3～2008.2) |
| 48. 照射場材料制御研究会                          | (2004.3～2009.2) |
| 49. 次世代軽負荷マグネシウム研究会                     | (2004.3～2009.2) |
| 50. 超高純度ベースメタル研究会                       | (2004.3～2007.2) |
| 51. 先進材料の高温強度と組織研究会                     | (2005.3～2009.2) |
| 52. ベリリウム金属間化合物研究会                      | (2005.3～2008.2) |
| 54. ナノプレーティング研究会                        | (2006.3～2013.3) |
| 56. 結晶方位と組織の制御研究科                       | (2006.3～2011.2) |
| 57. 変位型相変態を利用した構造・機能性材料研究会              | (2007.3～2012.2) |
| 58. 機能性ポラス材料研究会                         | (2008.3～2013.3) |
| 59. 機能性チタン合金研究会                         | (2008.3～2013.3) |
| 60. 格子欠陥制御工学研究会                         | (2008.3～2013.3) |
| 61. 核融合システム・材料統合研究会                     | (2009.3～2012.2) |
| 62. 励起反応場を用いた低次元ナノ材料創成研究会               | (2009.3～2015.2) |
| 63. 計算材料科学研究会                           | (2009.3～2012.2) |
| 64. 触媒材料研究会                             | (2009.3～2015.2) |
| 65. 高温強度と組織形成の材料科学研究会                   | (2010.3～2015.2) |
| 66. 熱電変換材料研究会                           | (2011.3～2014.2) |

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| 67. 結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会   | (2011.3～2017.2) |
| 68. シンクロ型 LPSO 構造研究会         | (2011.3～2014.2) |
| 69. エレクトロニクス薄膜材料研究会          | (2013.3～2018.2) |
| 71. グリーンエネルギー材料のマルチスケール創製研究会 | (2013.3～2018.2) |
| 73. 水素誘起超多量空孔研究会             | (2014.3～2019.2) |
| 74. チタン製造プロセスと材料機能研究会        | (2014.3～2019.2) |
| 76. 高温変形の組織ダイナミクス研究会         | (2015.3～2020.2) |

## 支部行事



### 2021年度日本金属学会・日本鉄鋼協会 両北海道支部 合同サマーセッション開催のお知らせ

日本金属学会および日本鉄鋼協会両北海道支部共催の合同サマーセッションを下記のように開催いたしますので、会員各位の活発な討論の機会となりますよう多数のご参加をお願い申し上げます。

開催日 2021年7月15日(木)

会 場 Web での開催(Zoom)

連絡先 日本鉄鋼協会北海道支部事務局 垣原 肇

☎ 0143-22-0394 FAX 0143-22-4180

E-mail: hajime\_kakihara@jsw.co.jp

## ◇ ASM International との提携について ◇

この度、米国の ASM International と提携し、当該学会で販売されている様々なコンテンツ（大会等のイベントへの参加、ジャーナルや学術図書等の出版物の購入、状態図等のデータベースの購入、教育コースへの参加など）を会員価格で提供できるようになりました。購入手続きの際に、金属学会会員専用のコードを入力すると割引が適用になります。コードは会員マイページで確認できます。ぜひご利用下さい。



# 日本金属学会各種研究費申請比較表

◎応募検討の際、ご参照下さい。

|       | 研 究 会                                                                 | 若手研究グループ                                                                                                                                                        | フロンティア研究助成                                                                                                                          |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 目 的   | 先端領域又は学術領域における研究会を効率的に推進するために活動することを目的とする                             | 若手および調査・研究事業を活性化することを目的とする。研究会や(研究助成申請等を旨とした)新規研究テーマの開拓に向けた課題の抽出や目標の明確化を狙いとした活動を行う。                                                                             | 教育・研究機関での金属およびその関連材料分野の学術研究および技術研究の発展や若手研究者の育成や奨励を主な目的として、金属およびその関連材料分野に関連する材料又はプロセスに関する研究に助成金を交付する                                 |
| 対 象 者 | 代表世話人および世話人は会員であること。代表世話人は調査研究委員であることが望ましい。構成員は必要に応じて外部の専門家(非会員)でも可。他 | 申請者および構成員は40才以下の研究者であること。申請代表者は正会員であること。<br>・申請時には、構成員は5名以上であり、非会員を構成員とすることができるが、過半数は正会員であること。<br>・構成員に最低1名は産業界のメンバーが入っていることが望ましい。<br>・活動開始時には、非会員の構成員は会員になること。 | 応募者(代表者)は、応募年4月1日時点で45歳以下の日本の教育機関または公的研究機関に所属し、日本国内で研究に従事する者(学生・大学院生および企業との兼務者を除く)であること。ただし、共同研究者は国外でも可とする。他                        |
| 研究期間  | 5年間(申請により最長8年可)                                                       | 2年間(延長なし)                                                                                                                                                       | 2年間                                                                                                                                 |
| 支給金額  | 年間運営費 10万円<br>使途は、会議費、旅費交通費、通信運搬費、消耗品費、印刷製本費等の運営費用とする                 | 年間50万円を上限<br>使途は、会議費、旅費交通費、通信運搬費、消耗品費、印刷製本費等の運営費用とする                                                                                                            | 150万円<br>使途は、研究等に直接必要な費用および所属組織の必要最低限の間接経費とする                                                                                       |
| 審 査   | 調査研究委員会にて審査後、理事会にて承認                                                  | 調査研究委員会にて審査後、理事会にて承認                                                                                                                                            | 調査研究委員会にて審査後、理事会にて承認                                                                                                                |
| 採択上限  | 特になし                                                                  | 5件程度                                                                                                                                                            | 10件以下                                                                                                                               |
| 活動報告  | 研究会活動期間中に講演大会公募シンポジウムや金属学会シンポジウムを計画すること。                              | 講演大会において講演(若手研究グループの企画セッション等が望ましい)を行う。<br>活動終了後、6ヶ月以内にまてりあに研究会の活動に関する記事を投稿する。                                                                                   | 研究終了6ヶ月後までに、終了報告書(A4様式1枚)および成果報告書を日本語(専門語等で部分的に外国語を使用することは可)で作成。<br>研究成果は研究開始時から研究完了後1年までの間に本会の講演大会における発表2件および本会の欧文誌又は会誌に論文を投稿すること。 |
| 募集期間  | 例年7月会告 締切9月初旬                                                         | 例年7月会告 締切9月初旬                                                                                                                                                   | 第2回募集終了<br>第3回募集期間は2022年3月～5月                                                                                                       |



## 書 評

### シュウモン 固体における拡散 原書2版

藤川辰一郎 訳

材料技術者・研究者が材料物性、材料組織形成を理解し、それらを適切に制御するためには、材料中の拡散に関する知識が必要である。「Diffusion in Solids, Second Edition」は1989年に Paul Shewmon 博士によって刊行された固体内拡散に関する教科書であり、今なお世界的に広く読まれている。構成は、拡散方程式(第1章)、拡散の原子論(第2章)、希薄合金中の拡散(第3章)、濃度勾配下での拡散(第4章)、非金属中の拡散(第5章)、高速拡散路(第6章)、固体中のサーモトランスポートおよびエレクトロトランスポート(第7章)となっている。各章のテーマについて関係式や代表的な実験データを示しながらわかり易く説明されており、各章末には理解を深めるための演習問題が設けられている。

本書は上述の Shewmon 博士の古典的名著の邦訳版である。訳者である藤川辰一郎博士は、拡散研究の経験を有するとともに、拡散に関する他の専門書2冊の邦訳を手がけた実績があり、本書においても専門用語や文章の邦訳・意訳に細心の注意が払われている。また、随所に見られる訳注には1989年以降の関連する書籍や研究論文が適宜紹介されており、読者が最近の文献に容易にアクセスできるように工夫されている。巻末には、原書にはなかった付表が訳者によって追加されており、アルミニウム、マグネシウム、チタン、鉄、銅、ニッケル中の自己拡散および不純物拡散データ(実験値および計算値)と最近の代表的な研究論文がまとめられている。本書を代表的な金属の拡散データブックとして、あるいは、最近の拡散研究に関する情報を得る目的で利用することもできる。1990年以降、国内外の他の研究者らによって拡散に関するさらに高度な教科書・専門書が刊行されているが、それらを理解する上でも本書は有益と思われる。(名古屋大学大学院工学研究科 塚田裕貴)

(A5判 2021年 丸善出版 340頁 5200円+税)

# 掲 示 板

## 集 会

### ◇レアメタル研究会◇

- 主 催 レアメタル研究会
- 主 宰 者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
- 協 力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
- 共 催 東京大学マテリアル工学セミナー  
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 2 階 コンベンションホール 〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1 (最寄り駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)
- 参加登録・お問い合わせ  
岡部研 レアメタル研究会事務担当 宮寄智子 (tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

### 2021年度 レアメタル研究会等の今後の予定 (4.10現在)

- 第96回 2021年7月30日(金)(2021年度 第1回)←次回  
(↑Zoom や YouTube 等を利用する講演のネット配信)
- 第97回 2021年9月10日(金)
- 第98回 2021年11月5日(金)(2021年度 第3回)  
★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ジウム 2021年11月26日(金))  
(会場: SHIBUYA QWS(渋谷キューズ)を予定: 会場変更の可能性あり)
- 第99回 2022年1月7日(金)(2021年度 第4回)  
★貴金属シンポジウム(第9回)+新年会★(合同開催)
- 第100回 2022年3月11日(金)(2021年度 最終回)

- 第96回 2021年7月30日(金)14:00~  
★リアル講演会+Zoom を利用する講演のネット配信のハイブリッド研究会  
テーマ: 総合討論 LIB のリサイクルはどうあるべきか?  
話題提供(各15分+5分質疑応答)  
「私が考える, LIB のリサイクル」話題提供者一覧(敬称略)  
東京大学 生産技術研究所 シニア協力員, 東北大学 名誉教授 中村 崇  
住友金属鉱山株式会社 新居浜研究所 研究主幹 浅野 聡  
松田産業株式会社 話題提供者未定  
DOWA エコシステム株式会社 環境技術研究所 所長 渡邊亮栄  
JX 金属株式会社 技術本部技術戦略部 LiB  
リサイクル事業推進室長 佐藤利秋  
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

追加の可能性あり  
〈パネルディスカッション〉

モデレーター 東京大学 生産技術研究所 特任教授

黒川晴正, 所 千晴

18:00~

研究交流会・意見交換会(←Web での開催を企画予定)

### ■第97回 2021年9月10日(金) 14:00~

★リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会

テーマ: ニッケルやコバルトの現状, 将来

講師: (各35分+5分質疑応答)(敬称略)

- ニッケルやコバルトを中心とする資源の調達や国の戦略等について

経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部

鉱物資源課長 小林和昭

- ニッケルやコバルトの資源状況や探査の潮流について

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 JOGMEC

資源探査部探査第一課 課長 吉川竜太

- ニッケルやコバルトの製造と市場について

住友金属鉱山株式会社 金属事業本部

ニッケル営業原料部長 丹羽祐輔

- 電池ビジネスの課題と戦い方(仮)

プライム プラネット エナジー&ソリューションズ株式会社

代表取締役社長 好田博昭

〈パネルディスカッション〉

モデレーター 東京大学 生産技術研究所 特任教授 黒川晴正

東京大学 生産技術研究所 シニア協力員 中村 崇

18:00~

研究交流会・意見交換会(←Web での開催を企画予定)

申込・問合せ先: 東京大学 生産技術研究所 岡部研究室

学術支援専門職員 宮寄智子

## 公 募

### 滋賀県立大学教員(教授) 募集

募 集 教授1名

締 切 2021年8月31日(火)

問 合 先 滋賀県立大学工学部材料科学科 学科長 奥健夫  
E-mail: oku@mat.usp.ac.jp

## 助 成

### 宇宙科学振興会 助成事業 公募

(1) 国際学会出席旅費の支援

(2) 国際学会開催の支援

応募締切 2021年8月31日, 2022年2月28日

応募要領 <http://www.spss.or.jp> をご覧下さい.

問合せ先 公益財団法人宇宙科学振興会

☎ 042-751-1126 E-mail: admin@spss.or.jp

## 日本金属学会誌掲載論文

Vol. 85, No. 7 (2021)

### —論 文—

耐火物溶損の抑制とフラックスへの MnO 溶解の促進を両立するためのニューラルネットワークならびに熱力学解析による銅合金溶製プロセス用フラックスの組成設計

長谷川格 小泉琢哉 喜多和彦 鈴木賢紀 田中敏宏

強磁場中スリップキャストによる配向ポーラス Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> 焼結体の作製とその高温変形組織

橋本菜々 池田賢一 三浦誠司 森田孝治  
鈴木 達 目 義雄

電解銅粉の析出挙動および銅粉の形態に及ぼす高分子添加剤と塩化物イオンの影響

越智健太郎 関口 誠 大上 悟 中野博昭

## Materials Transactions 掲載論文

Vol. 62, No. 7 (2021)

### —Regular Article—

#### Materials Physics

Structural, Optical, and Electrical Characteristics of Thermal Treated ZnO Thin Films Deposited by RF Sputtering on Glass Substrates

Najeeb Al-Khali, Mohamed F. Aly Aboud,  
Abdulaziz A. Bagabas and Nacer Debbar

#### Microstructure of Materials

SEM/EBSD Analysis of Grain Refinement and Coarsening of Ultra-Fine-Grained Al during Simple Shear Deformation

Ryosuke Matsutani, Tomohito Sakuragi, Naoki Yamagishi,  
Naoki Miyazawa, Nobuo Nakada and Susumu Onaka

Investigation of Cu Diffusivity in Fe by a Combination of Atom Probe Experiments and Kinetic Monte Carlo Simulation

Can Zhao, Tomoaki Suzudo, Takeshi Toyama,  
Shigeto Nishitani, Koji Inoue and Yasuyoshi Nagai

#### Mechanics of Materials

Combined Effects of TiB Volume Fraction and Orientation on Four-Point Bending Fatigue Properties of TiB-Reinforced Ti-3Al-2.5V Composite

Hideyuki Hirai, Hiroki Kurita, Sophie Gourdet,  
Kenta Nakazawa and Shoichi Kikuchi

Rapid Evaluation of Hydrogen Embrittlement Resistance for Spot-Welds of High Tensile Strength Steel Sheet by Slow Rate Tensile Shear Test under Hydrogen Charging Conditions

Gaku Kitahara, Hideaki Matsuoka and Takashi Asada

Effects of Grain Size, Thickness and Tensile Direction on Ductility of Pure Titanium Sheet

Hiddenori Takebe and Kohsaku Ushioda

Stress Relaxation Constitutive Relations and Finite Element Analysis of T9A Helical Compression Spring

Xin Nong, Wenbo Feng, Jinzhong Gao,  
Chunsheng Shi and Naqin Zhao

Effects of Temperature and Stress Ratio on Stage II Fatigue Crack Propagation in Bimodal Ti-6Al-4V

Bhargavi Rani Anne, Masaki Tanaka,  
Shigeto Yamasaki and Tatsuya Morikawa

Tensile Deformation of Si Single Crystals with Easy Glide Orientation

Tubasa Suzuki, Masaki Tanaka, Tatsuya Morikawa,  
Jun Fujise and Toshiaki Ono

#### Materials Processing

Nucleation-Controlled Phase Selection in Rapid Solidification from Undercooled Melt of DyMnO<sub>3</sub>

You Hayasaka, Kazuhiko Kuribayashi, Suguru Shiratori and  
Shumpei Ozawa

Magnetic Properties and Particle Flowability of Neodymium Magnetic Granules

Yasushi Enokido,  
Fumitaka Baba and Yoshitaka Kitamoto

Microstructure and Mechanical Performances of Stainless Steel Cladding by Twin-Electrode GTAW

Zhong-lin Hou, Kui-jun Fu, Di-sheng Fang,  
Jia-ji Wang, Jun Qiao, Peng-chong Yang and Ying-wei Wang

#### Engineering Materials and Their Applications

Evaluation of Corrosion Properties of Steel with Zn-30 mass% Al Thermal-Spray Coating Using Accelerated Atmospheric Exposure Test

Atsushi Nakano, Wataru Oshikawa and Noboru Yonezawa

Alignment and Angular Dependences of Coercivity for (Sm, Ce)<sub>2</sub>(Co, Fe, Cu, Zr)<sub>17</sub> Magnets

Yutaka Matsuura, Ryuji Tamura, Keisuke Ishigami,  
Kazushi Sumitani, Kentaro Kajiwarra and  
Tetsuya Nakamura

Damage Model Determination for Predicting Creep Rupture Time of 2 1/4Cr-1Mo Steel Weld Joints

Hitoshi Izuno, Masahiko Demura,  
Masayoshi Yamazaki, Masaaki Tabuchi, Daisuke Abe and  
Keisuke Torigata

Estimation of Dimensional Change of Al-10Si-Mg Alloy Castings during Heat Treatment

Jun Yaokawa, Keiichi Oh-ishi and Shuxin Dong

#### Environment

Mass Spectrometric Study on Volatilization Behavior of Electrolyte Solvents of Lithium-Ion Batteries

Atsushi Iizuka and Etsuro Shibata

### —Technical Article—

Effect of Addition of Boron on the Long After-glow Property of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> Phosphor

Nobuyuki Takeuchi and Kimiko Kishine

### —Current Trends in Research—

Best Papers Awarded in 2019 and 2020 by Materials Transactions

Zenji Horita

### —Express Rapid Publication—

Antibacterial Cu-Doped Calcium Phosphate Coating on Pure Titanium

Qiang Li, Jinshuai Yang,  
Junjie Li, Ran Zhang, Masaaki Nakai, Mitsuo Niinomi and  
Takayoshi Nakano

Erratum





(2021年4月21日～2021年5月20日)

### 正 員

和 泉 大 晟 トーカロ株式会社

佐々木紀夫 東静工業株式会社

鷺 見 芳 紀 大同特殊鋼株式会社

### 学 生 員

太 田 誠 京都大学

菅 原 陵 東京大学

袴 田 滋 天 京都大学

太 田 悠 斗 富山県立大学

鈴木ヨシアキ 長岡技術科学大学

吉 田 慎 吾 香川大学

河 原 康 仁 九州大学

富 山 拓 己 京都大学

和田浩太郎 東京都立大学

### 外国一般会員

Sheng Jie Lanzhou University of Technology



欧文誌編集委員会からのお知らせ

## 特集企画の投稿募集

下記テーマに関する特集企画の投稿を募集しております。

### ■Structural Analysis and Measurements of Physical Properties on Advanced and Fundamental Materials

(先端材料創製およびそれらの構造解析と物性測定)

高度化した情報化社会を支え、SDGs(Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標)を意識した社会基盤材料に焦点を当て、最先端の材料開発、特に金属材料、セラミックス、機能性材料を主体とした社会基盤材料の創製に対して、構造解析ならびに物性測定、対応するデータサイエンスの最前線について、最新の研究成果を集積した特集号を企画する。

上記テーマに関する特集を、Materials Transactions 63巻3号(2022年3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63巻第3号(2022年)
- ・原稿締切日：2021年9月1日(水)
- ・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 (公社)日本金属学会 欧文誌編集委員会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

☎ 022-223-3685 / ☎ 022-223-6312

E-mail : editjt@jim.or.jp



### まてりあ 第60巻8号 予告

〔金属なんでもランキング!〕No. 15～融解熱～

〔最近の研究〕時効硬化型アルミニウム合金における Guinier-Preston ゾーンの核生成の原子論的モデリング

.....名大 君塚 肇

共有結合・イオン結合の発達した合金系まで包括したヒューム・ロザリー則の電子論

.....名古屋産科研 水谷宇一郎

愛知教育大名譽教授 佐藤洋一

〔講義ノート〕金属製錬の熱力学(第2回)

.....東大名譽教授 月橋文孝

〔新 進 気 鋭〕炭素鋼中における複合析出物の析出挙動

.....名大 齊藤元貴

—他—

編集の都合により変更になる場合がございます。

# 行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

| 開催日            | 名称・開催地・掲載号                                                       | 主催                            | 問合せ先                                                                                                     | 締切             |
|----------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>2021年7月</b> |                                                                  |                               |                                                                                                          |                |
| 1～2            | 第2回トライボロジー入門オンライン講座(Web開催)                                       | 日本トライボロジー学会                   | TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp<br>http://www.tribology.jp/                                           |                |
| 2              | 第106回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS)例会ーアノード酸化を利用した抗菌機能に関する研究と関連技術ー(Web開催) | 表面技術協会・金属のアノード酸化皮膜の機能化部会(ARS) | TEL 079-267-4911<br>yae@eng.u-hyogo.ac.jp<br>http://ars.sjf.or.jp/                                       | 9.10           |
| 9              | 第85回技術セミナー 腐食を理解するための電気化学入門(Web開催)                               | 腐食防食学会                        | TEL 03-3815-1161<br>naito-113-0033@jcorr.or.jp<br>https://www.jcorr.or.jp/                               | 7.2            |
| 13～30          | 第416回講習会「基礎講座『研磨加工』の基礎から最新まで」(Web開催)                             | 精密工学会                         | TEL 03-5226-5191<br>https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html                             | 7.26           |
| 15             | <b>2021年度日本金属学会・日本鉄鋼協会 両北海道支部合同サマーセッション(北大)</b>                  | 北海道支部                         | <b>TEL 0143-22-0394<br/>hajime_kakihara@jsw.co.jp</b>                                                    |                |
| 15～16          | 令和3年度 J-PARC MLF 産業利用報告会(Web開催)                                  | J-PARC センター他                  | TEL 029-219-5300<br>s_konishi@cross.or.jp<br>https://neutron.cross.or.jp/ja/events/20210715-16/          |                |
| 19～20          | 第51回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)(京都)                                    | 日本材料学会                        | TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp<br>http://www.jsms.jp/                                                     | 7.7            |
| 19～8.2         | 2021年度 溶接工学夏季大学(オンデマンド開催)                                        | 溶接学会                          | TEL 03-5825-4073 jws-info@tg.rim.or.jp<br>http://www.jweld.jp/                                           |                |
| 26～27          | 第25回動力・エネルギー技術シンポジウム(Web開催)                                      | 日本機械学会                        | TEL 03-5360-3505<br>https://www.jsme.or.jp/                                                              |                |
| 26～28          | 第245回塑性加工技術セミナー「はじめての塑性力学」(Web開催)                                | 日本塑性加工学会                      | http://www.jstp.or.jp                                                                                    | 定員<br>80名      |
| 27～30          | 第56回真空技術基礎講習会(大阪)                                                | 日本表面真空学会                      | TEL 0725-53-2329<br>g-kyoukai@dantai.tri-osaka.jp<br>https://www.jvss.jp/                                | 7.19           |
| 30             | 第96回レアメタル研究会(リアル講演会+Web開催)(本号452頁)                               | レアメタル研究会                      | TEL 03-5452-6314<br>tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp<br>https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html |                |
| <b>2021年8月</b> |                                                                  |                               |                                                                                                          |                |
| 3～5            | 第27回結晶工学スクール(2021年)(Web開催)                                       | 応用物理学会                        | TEL 03-3828-7723 fukui@jsap.or.jp<br>https://annex.jsap.or.jp/kessho                                     | 参加<br>7.12     |
| 6              | 表面分析実践講座2021～実践! 最新走査電子顕微鏡実習 実際の作業を通して身につける最新技術～(東京)             | 日本表面真空学会                      | TEL 03-3812-0266<br>kaiin@jvss.jp<br>https://www.jvss.jp                                                 | 7.21           |
| 19             | 2021茨城講演会(茨城大)                                                   | 日本機械学会関東支部                    | TEL 0294-38-5046<br>ibakouen@ml.ibaraki.ac.jp                                                            |                |
| 25～27          | 日本実験力学学会2021年度年次講演会(弘前大)                                         | 日本実験力学学会                      | TEL 0172-39-3553 annual21@jsem.jp<br>http://www.jsem.jp/                                                 |                |
| 26, 9.2, 9.16  | サマースクール2021「非線形有限要素法による弾塑性解析の理論と実践」(Web開催)                       | 日本計算工学会                       | TEL 03-3868-8957 office@jscs.org<br>http://www.jscs.org/                                                 | 8.10           |
| 30～31          | 第51回初心者のための有限要素法講習会(演習付き)(神戸)                                    | 日本材料学会                        | TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp<br>http://www.jsms.jp/                                                     | 7.7            |
| <b>2021年9月</b> |                                                                  |                               |                                                                                                          |                |
| 1～3            | 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム(Web開催)                                    | 日本セラミックス協会                    | TEL 03-3662-5232 fall34@ceramic.or.jp<br>https://fall34.ceramic.or.jp/                                   |                |
| 2～4            | 第23回日本感性工学会大会(Web開催)                                             | 日本感性工学会                       | TEL 03-3666-8000 jske@jske.org<br>https://www.jske.org/taikai/jske23                                     |                |
| 6～7            | 第15回プラズマエレクトロニクス・インキュベーションホール(Web開催)                             | 応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会         | TEL 053-478-1064<br>matsui.makoto@shizuoka.ac.jp<br>http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2021/  | 定員<br>60名      |
| 8～9            | KISTEC 教育講座「“つける”と“はがす”の新技術ー分子接合と表面制御コース」(川崎)                    | 神奈川県立産業技術総合研究所                | TEL 044-819-2033 manabi@kistec.jp<br>https://www.kistec.jp/learn/researcher/molecular-bonding/           |                |
| 8～10           | 2021年度工学教育研究講演会(信州大)                                             | 日本工学教育協会・川上                   | TEL 03-5442-1021<br>kawakami@jsee.or.jp<br>http://www.jsee.or.jp/                                        |                |
| 10             | 第97回レアメタル研究会(リアル講演会+Web開催)(本号452頁)                               | レアメタル研究会                      | TEL 03-5452-6314<br>tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp<br>https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html |                |
| 14～16          | 2021年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(Web開催)                                    | 資源・素材学会                       | TEL 03-3402-0541<br>info@mmij.or.jp                                                                      |                |
| 14～17          | 日本金属学会秋期講演大会(オンライン開催)(本号442頁)                                    | 日本金属学会                        | TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312<br>annualm@jim.or.jp                                                   | 事前参加申込<br>8.27 |

| 開催日             | 名称・開催地・掲載号                                                                                                                                         | 主催                                                        | 問合せ先                                                                                                                  | 締切             |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 17～18           | SPring-8 シンポジウム2021(Web 開催)                                                                                                                        | SPring-8 ユーザー<br>協 同 体 (SPRUC)<br>他                       | TEL 0791-58-2785<br>sp8sympo2021@spring8.or.jp<br>http://www.spring8.or.jp/ja/science/<br>meetings/2021/sp8sympo2021/ |                |
| <b>2021年10月</b> |                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                       |                |
| 1,<br>12.2～3    | 2021年度粉末冶金講座(ハイブリッド開催)                                                                                                                             | 粉体粉末冶金協会                                                  | TEL 075-721-3650<br>https://www.jspm.or.jp/                                                                           |                |
| 5               | 第7回統合的先端研究成果発表会(ハイブリッド<br>開催)                                                                                                                      | 軽金属奨学会                                                    | TEL 06-6271-3179<br>lm-foundation@nifty.com<br>http://www.lm-foundation.or.jp/                                        |                |
| 12～15           | 第7回材料 WEEK(京都)                                                                                                                                     | 日本材料学会                                                    | TEL 075-761-5325 jimu@jsms.jp<br>http://www.jsms.jp                                                                   |                |
| 13～14           | 第49回日本ガスタービン学会定期講演会(福岡)                                                                                                                            | 日本ガスタービン<br>学会                                            | TEL 03-3365-0095 gtsj-office@gtsj.org<br>http://www.gtsj.org/                                                         |                |
| 18～20           | 第62回高压討論会(姫路)                                                                                                                                      | 日本高压力学会                                                   | TEL 070-5658-7626<br>touronkai62@highpressure.jp<br>http://www.highpressure.jp/new/62forum/                           | web 参加<br>10.8 |
| 25～27           | 第42回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用<br>に関するシンポジウム(浜松)                                                                                                           | 超音波エレクトロ<br>ニクス協会                                         | TEL 042-443-5166<br>h.nomura@uec.ac.jp                                                                                |                |
| <b>2021年11月</b> |                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                       |                |
| 3～6             | The 16th International Symposium on Advanced<br>Science and Technology in Experimental<br>Mechanics(Vietnam)                                       | 日本実験力学会・<br>小林(新潟大)                                       | TEL 025-368-9310<br>office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp<br>http://isem16.imech.ac.vn/                                     |                |
| 4～6             | ICMaSS2021持続性社会のための材料とシステム<br>に関する国際会議2021(Web 開催)                                                                                                 | ICMaSS2021 未<br>来材料・システム<br>研究所                           | TEL 052-581-3241<br>icmass2021@intergroup.co.jp<br>http://www.icmass.imass.nagoya-u.ac.jp/                            |                |
| 5               | 第98回レアメタル研究会(東京)(本号452頁)                                                                                                                           | レアメタル研究会                                                  | TEL 03-5452-6314<br>tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp<br>https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/<br>japanese/index_j.html          |                |
| 15～18           | The 7th International Conference on the<br>Characterization and Control of Interfaces for<br>High Quality Advanced Materials (ICCCI2022)<br>(富士吉田) | 粉体工学会                                                     | http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.<br>html<br>iccci2022@ynu.ac.jp                                             |                |
| 22～24           | 第20回破壊力学シンポジウム(和歌山県西牟婁<br>郡)                                                                                                                       | 日本材料学会                                                    | TEL 075-761-5325 jimu@office.jsms.jp<br>http://www.jsms.jp/                                                           |                |
| 25～26           | 電気加工学会全国大会(2021)(Web 開催)                                                                                                                           | 電気加工学会                                                    | zaikawa.kouichi@fitc.pref.fukuoka.jp<br>TEL 093-691-0260<br>http://www.jseme.or.jp/                                   |                |
| 28～12.2         | The 9th International Symposium on Surface<br>Science (ISSS-9)(高松)                                                                                 | 日本表面真空学会                                                  | iss9@jvssjp<br>https://www.jvss.jp/iss9/                                                                              |                |
| <b>2021年12月</b> |                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                       |                |
| 1～3             | 第48回炭素材料学会年会(那覇)                                                                                                                                   | 炭素材料学会                                                    | TEL 03-5389-6359<br>tanso-desk@bunken.co.jp<br>http://www.tanso.org/contents/event/<br>conf2021/index.html            |                |
| 1～3             | EcoDesign2021(奈良)                                                                                                                                  | エコデザイン学会<br>連合                                            | ecodesign2021_secretariat@ecodenet.com<br>http://ecodenet.com/ed2021/                                                 |                |
| 8～10            | 第47回固体イオニクス討論会(徳島)                                                                                                                                 | 日本固体イオニク<br>ス学会                                           | TEL 088-656-7577<br>nakamura.o.koichi@tokushima-u.ac.jp<br>https://www.ssi-j.org/symp/ssi47/index.<br>html            |                |
| 9～10            | 第20回キャビテーションに関するシンポジウム<br>(Web 開催)                                                                                                                 | 日本学術会議 第<br>三部(予定)第20<br>回キャビテーショ<br>ンに関するシンポ<br>ジウム実行委員会 | TEL 022-217-5229(直通)<br>cav20-sendai@grp.tohoku.ac.jp<br>http://www.ifs.tohoku.ac.jp/cfs/cav20/<br>index.html         |                |
| 13～17           | Materials Research Meeting 2021(MRM2021)<br>(横浜)                                                                                                   | 日本 MRS                                                    | TEL 03-6264-9071<br>info_mrm@jmru.org<br>https://mrm2021.jmru.org/                                                    |                |
| <b>2022年1月</b>  |                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                       |                |
| 7               | 第99回レアメタル研究会(東大生産技研 or Web<br>開催)(本号452頁)                                                                                                          | レアメタル研究会                                                  | TEL 03-5452-6314<br>tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp<br>https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/<br>japanese/index_j.html          |                |
| 8～9             | 第60回セラミックス基礎科学討論会(熊大)                                                                                                                              | 日本セラミックス<br>協会基礎科学部会                                      | kiso60@chem.kumamoto-u.ac.jp<br>http://www.ceramic.or.jp/bkiso                                                        |                |
| <b>2022年3月</b>  |                                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                       |                |
| 11              | 第100回レアメタル研究会(東大生産技研 or Web<br>開催)(本号452頁)                                                                                                         | レアメタル研究会                                                  | TEL 03-5452-6314<br>tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp<br>https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/<br>japanese/index_j.html          |                |
| 15～17           | 日本金属学会春期講演大会(東京大学駒場キャン<br>パス)                                                                                                                      | 日本金属学会                                                    | TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312<br>annualm@jim.or.jp                                                                |                |

| 開催日            | 名称・開催地・掲載号                  | 主催     | 問合せ先                                                   | 締切 |
|----------------|-----------------------------|--------|--------------------------------------------------------|----|
| 2022年9月<br>4～8 | 第18回アルミニウム合金国際会議(ICA18)(富山) | 軽金属学会  | http://www.icaa18.org/                                 |    |
| 21～23          | 日本金属学会秋期講演大会(福岡工業大学)        | 日本金属学会 | TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312<br>annualm@jim.or.jp |    |



## ＜訂 正＞

まてりあ 第60巻 第6号(2021) 337頁

下記の通り、関西地区代議員の所属表記につきまして、誤りがありましたので訂正してお詫びいたします。

337ページ

(正) 佐野恭司 福田金属箔粉工業株式会社 副部長

(誤) 佐野恭司 福田金属箔粉興業株式会社 副部長



- 「若手研究グループ」, 「研究会」の申請を募集いたします(本号会告447頁)。是非ご検討の上、ご活用下さい。
- 本会の新ロゴマークの締切日は7月30日(金)です。皆様からのご応募を引き続きお待ちしております。

## 2021, 2022年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

|      |       |       |       |        |        |       |  |
|------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--|
| 委員長  | 竹田 修  |       |       |        |        |       |  |
| 副委員長 | 田中 秀明 |       |       |        |        |       |  |
| 委員   | 池尾直子  | 石川史太郎 | 井田駿太郎 | 植木 洸 輔 | 宇部 卓 司 | 大塚 誠  |  |
|      | 大野直子  | 岡田周祐  | 川西 咲子 | 木口賢紀   | 北村一浩   | 國枝知徳  |  |
|      | 小嶋隆幸  | 小島淳平  | 小柳 禎彦 | 小山元道   | 齊藤雄太   | 近藤亮太  |  |
|      | 齊藤信雄  | 篠原百合  | 佐々木秀顕 | 佐藤豊人   | 芹澤 愛   | 鈴木賢紀  |  |
|      | 鈴木真由美 | 田辺 栄司 | 高島克利  | 高山直樹   | 堤 祐介   | 趙 研   |  |
|      | 塚田祐貴  | 寺本武司  | 圓谷貴夫  | 寺西 亮   | 轟 直人   | 土井康太郎 |  |
|      | 徳永透子  | 長岡 亨  | 豊木研太郎 | 永井 崇   | 長谷川 誠  | 永瀬丈嗣  |  |
|      | 袴田昌高  | 本間智之  | 春本高志  | 藤井 進   | 松本洋明   | 松浦昌志  |  |
|      | 松垣あいら | 宮崎秀俊  | 眞山 剛  | 三井好古   | 諸岡 聡   | 宮部さやか |  |
|      | 盛田元彰  | 山本剛久  | 山崎由勝  | 山中謙太   | 吉年規治   | 山本知一  |  |
|      | 横井達矢  | 李 誠 鎬 |       |        |        |       |  |

まてりあ 第60巻 第7号(2021) 発行日 2021年7月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 山村英明

印刷所 小宮山印刷工業株式会社

発売所 丸善雄松堂株式会社

〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

## 日本金属学会新ロゴマーク募集のご案内

日本金属学会では、会員バッジのデザインとして1949年に応募された右図のものをこれまでロゴマークとして使用してきましたが、N.K.G.の文字の意味が海外では理解されない、他の学協会のロゴマークと比べて目立たない、正式なロゴマークとして制定されていないため改変された異なるデザインが存在するなど、いくつかの不具合が指摘されています。そこで、広報推進WG(ワーキンググループ)では、当学会の活動を内外により積極的に発信するため、様々な学会活動を通じて使用する新たなロゴマークを広く一般から募集したいと考えております。募集要項は下記のとおりで、本会のホームページにより詳細な公募要領をご案内しております。皆様のご応募を心よりお待ちしております。

広報推進WG 委員長 柴田直哉



現在使用されている  
ロゴマークデザイン

### ◇新ロゴマークデザイン募集概要◇

1. 応募資格 会員、非会員を問わない
2. 締め切り **2021年7月30日(金)**
3. 賞金 最優秀賞：30万円(1点)、優秀賞：10万円(数点)
4. 著作権 最優秀賞、優秀賞作品は本会に帰属する
5. 新ロゴでお伝えしたいキーワード  
金属・マテリアル、伝統、協創、挑戦、変革、未来
6. 作品について  
下記の①・②を1作品1セットとしてご応募下さい。
  - ① ロゴマークデザイン案  
用紙サイズ : A4 判横位置 2枚  
(フルカラー印刷用 1枚、同デザインのモノクロ印刷用 1枚)  
デザイン形式 : ロゴマーク縦横比は、3:4 から 4:3 の範囲とする  
データ形式・容量 : JPG・2MB 以内・解像度300 dpi 以上・CMYK カラー  
※日本金属学会を表す言葉(金属学会、JIM 等)を含む必要は必ずしもありません。
  - ② ロゴマークのデザインコンセプト(200字以内 WORD 形式)
  - ③ 未発表オリジナルの作品に限る (他者の著作権を侵害しないことを確認すること)
7. 作品提出先 当学会事務局(担当：山村英明)までメールにてご応募下さい。  
宛先：secgnl@jim.or.jp
8. 応募者情報 お名前(ふりがな)、ご連絡先(住所、電話番号、E-mail アドレス)をご記入下さい。
9. ロゴマーク公募情報掲載 URL  
<https://data.jim.or.jp/jim/kouhou/logo.pdf>

～ たくさんのご応募をお待ちしております。～

# 高温真空 3000℃への挑戦

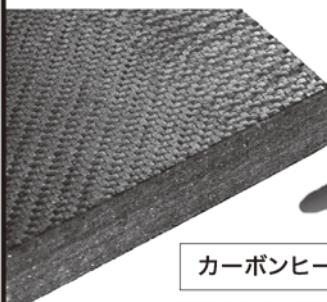
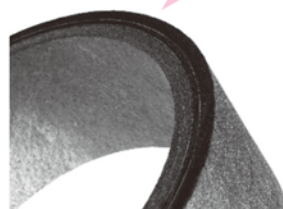
URL: <http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



炉の改修

ハイブリット成形断熱材



6面シート  
貼り



カーボンフェルト

高断熱+省エネ

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

## メカニカルカーボン工業株式会社

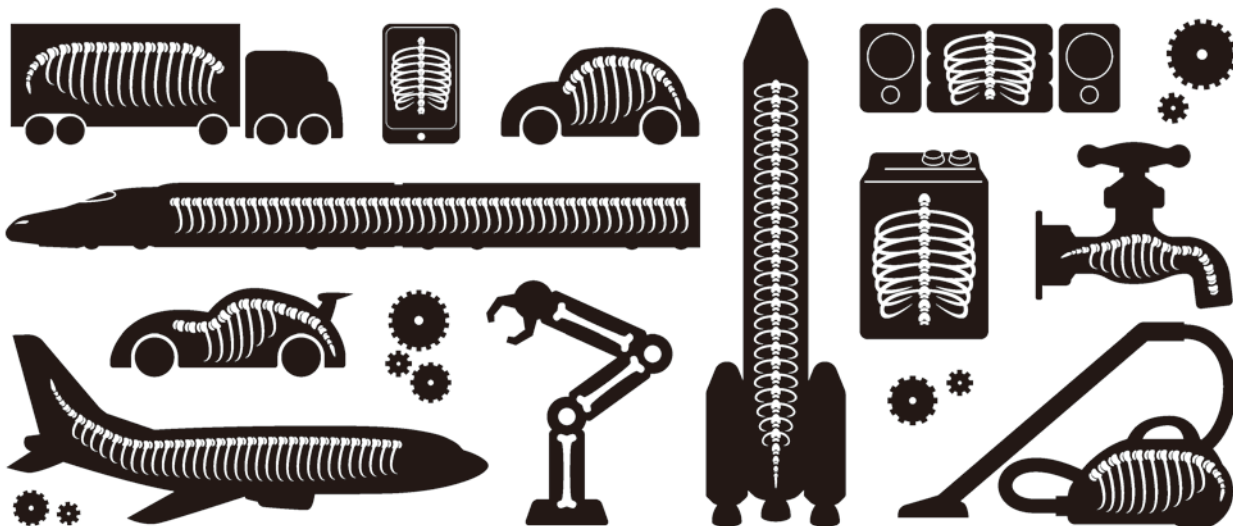
本社: 247-0061 神奈川県鎌倉市台5-3-25 TEL.0467-45-0101 FAX.0467-43-1680

工場: 新潟工場・本社工場・野村工場(愛媛)・広見工場(愛媛) 事業所: 郡山・東京・大阪・松山・周南・福岡

お問い合わせEメール [mck@mechanical-carbon.co.jp](mailto:mck@mechanical-carbon.co.jp)

## DAIDO STEEL GROUP Beyond the Special

外からは見えませんが、骨のある会社です。



多彩なフィールドで、フロンティアを目指しています。

大同特殊鋼の素材は、暮らしや産業を支える多彩な製品や部品に使われています。

私たちはこれからも、素材の力で新たな価値創造に貢献していきます。



# 溶質原子の定量 メカニカルスペクトロスコピー

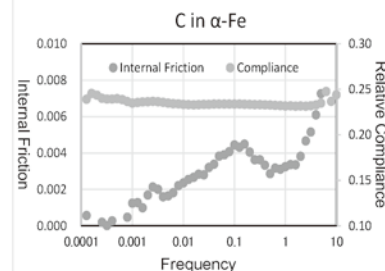
物質中の溶質原子は微量でその組織の性質を変化させます。当然ながらその含有量によって効果が異なるためにその分析測定が必要です。しかし化学分析や蛍光X線分析などでは析出したフリー原子も定量され、組織中に存在する溶質原子のみの定量はできません。そこで溶質原子のひずみエネルギーを検出するメカニカルスペクトロメータ MS 型（強制振動型内部摩擦測定装置）が力を発揮します。

樹脂などと違って金属やセラミックスなどで非常に高精度に適用できる装置は世界的にも弊社の MS 型のみとなっています。右のグラフの 0.1Hz 付近のピークは 30ppm の溶質 C の内部摩擦ピークです。弊社の雑居ビルという悪条件下でもこのように安定した検出を可能にしました。

汎用的な JE, JG 型や EG-HT 型だけでなく、特殊な最先端研究用の MS 型や弾性定数測定用の CC 型などを開発し、最先端の材料物性研究へのお手伝いをさせていただきます。



MS-LHT (-150°C~500°C)

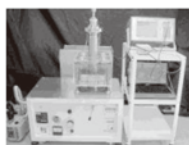


**Cij 測定は力学特性から組織解明を可能に**

## 電磁超音波共鳴式 弾性率・弾性定数装置 CC II - シリーズ

- 異方性単結晶から多結晶体まで
- 弾性定数(弾性スティフネス Cij)も弾性率も
- 5mm 程度の立方体、直方体から円柱、円板、薄板(0.2mm)まで
- 室温用、高温用  
(常用 1000°C 最高 1200°C)
- 阪大基礎工 平尾・荻研開発

CC2-HT



**弾性率と内部摩擦の高温測定で最高の装置**

## 高温弾性率等同時測定装置 EG-HT

- 最も信頼性の高い高温測定が可能。  
粘性による振動数依存誤差が最小。
- 強力共振機構で難共振材に対応。  
難共振時の偽振動が最少。
- 多くの測定条件、測定項目に対応。  
ヤング率、剛性率測定  
ポアソン比算出  
温度依存性、ひずみ依存性  
2 種の内部摩擦測定
- 最高 1200°C EG-HT&LT



**室温や比較的低温で最も信頼性の高い装置**

## 自由共振式弾性率、内部摩擦測定装置 JE-RT (ヤング率) & JG-RT (剛性率)

- 高精度・簡単操作・高再現性・迅速測定  
非接触加振、非接触検出  
試料も置くだけ
- 幅広い試料形状（室温装置）  
短冊状でも細線・丸棒でも  
薄く・小さいものから厚く長いものまで

JE-RT  
& JG

## 強制振動式内部摩擦測定装置 メカニカルスペクトロメーター MS シリーズ

- 温度一定で加振エネルギー(振動数)を変えて内部摩擦変化を測定。(温度変化による物性変化を除外)
- 従来装置に比べて高分解能、高感度、高安定
- 測定や温度制御機構の改良により液体窒素の消費量が激減。長時間測定にも無人安定
- 悪条件下でも安定測定向上



MS-LHT

共振法応用の弾性率や内部摩擦等の物性測定・試験・計測装置の開発専門企業

日本テクノプラス株式会社 <http://www.nihon-tp.com/>

06-6390-5993 info@nihon-tp.com 〒532-0012 大阪市淀川区木川東 3-5-21 第3丸善ビル