

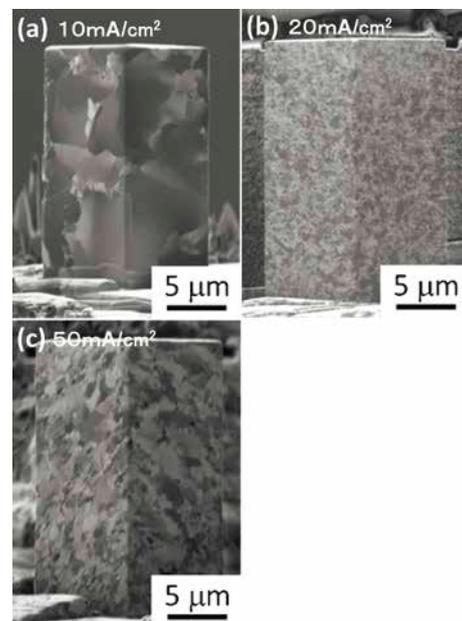
Materia Japan

- 金属素描 ～鉄～
- 特集「素材プロセス分野の産学連携による研究開発と人材育成」
- 入門講座 微小領域における金属材料の材料力学
～I.電解めっきによる金属材料の材料組織解析～
- 秋期講演大会プログラム(別冊付録)

まてりあ

Vol.59 MTERE2 59 (9) 463~518 (2020)

2020 **9**



最も正確で使いやすいAFM

Park NX10



より良い正確さは、より良いデーターを意味します

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。また、フレクチャー式で分離型のXY/Zスキャナにより、湾曲無く、フラットに観察できます。

より良い正確さは、より良い生産性を意味します

サンプルのセットからイメージング、計測および解析までを、Park NX10は簡単なステップで実行できます。ユーザーフレンドリーなインターフェースと解析ソフトウェア、初心者でも失敗のないレーザーアライメントとチップ交換が迅速な結果を得ることにつながり、生産性の向上に寄与します。

より良い正確さは、より良い研究を意味します

かつてない操作性と正確な結果がもたらす新しい知見は、革新的な研究を加速させます。Park NX10は基礎研究から製品の不良解析まで、幅広い用途で貢献できるシステムです。

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一丁目17番地1
TEL: 03-3219-1001 FAX: 03-3219-1002 E-MAIL: psj@parksystems.co.jp

Park
SYSTEMS
parksystems.co.jp

9

2020
Vol.59
No.9

まてりあ

金属素描 No. 11 鉄(Iron) 竹田 修463

特集「素材プロセス分野の産学連携による研究開発と人材育成」

企画にあたって 森戸春彦 竹田 修 永井 崇 佐々木秀顕 大石 郁 齊藤敬高	465
住友金属鉱山共同研究ユニットにおける産学連携 打越雅仁	466
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)における産学連携 ～非鉄金属業界初のアウトリーチ指向の人材育成型寄付講座～ 岡部 徹	472
京都大学における非鉄製錬分野の産学連携～非鉄製錬学講座の取り組み～ 谷ノ内勇樹 宇田哲也	477
大阪大学における産学連携の特徴と材料基礎分野での産学連携 杉山昌章	481
鉄鋼業における炭酸ガス削減の産学連携 齊間 等	486

入門講座 微小領域における金属材料の材料力学 — I. 電解めっきによる金属材料の材料組織解析 — 曾根正人	490
金属材料の微細組織の解析方法に関する最近の諸問題とその解決方法を解説。	

新進気鋭 金属二次資源の再溶融リサイクルプロセスにおける不純物除去性の熱力学解析 盧 鑫	495
---	-----

研究室紹介 エネルギー利用のための水素化物の材料科学(東北大学金属材料研究所 折茂研究室) 佐藤豊人	500
---	-----

思い出の教科書、この一冊! “金属物理—材料科学の基礎—” 藤田英一(著) 木口賢紀	501
--	-----

本会記事 会告	502	次号予告	513
会誌・欧文誌 9 号目次	507	新入会員	514
掲示板	509	行事カレンダー	516

付録 2020年秋期講演大会プログラム	別冊
---------------------	----

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

今月の表紙写真 高速スルファミン酸浴によるニッケルめっきから FIB により切削加工した10×10×20マイクロメートルの角柱の走査型イオン顕微鏡写真(めっきの成長方向は角柱の上方向). (a) 10 mA/cm², (b) 20 mA/cm², (c) 50 mA/cm²(曾根正人 493頁 図1.7より掲載)

表紙デザイン: 北野 玲
複写をご希望の方へ

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

科研費関連機器・製品申請ガイド

〈材料化学関係機器・製品〉

ネオオスミウムコータ Neoc-Pro/P

価格：お問い合わせ下さい

電子顕微鏡前処理の必須アイテム チャージアップの無い極薄膜コートを実現

- プラズマCVD方式によるアモルファス（非晶質）コーティングで、回り込み良くチャージアップの無い極薄膜を形成
- 膜厚制御は試料ステージ全域で均一に、再現性高くコーティング
- 1nm以下の極薄膜成膜で、EDS、AES、EPMA、EBSDなどの前処理に最適
- 発熱の無いコーティング方法で、生体や繊維試料も熱ダメージはゼロ



メイワフォーシス株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル
TEL 03-5379-0051 FAX 03-5379-0811
<http://www.meiwafosis.com/> E-mail: infot@meiwanet.co.jp

〈材料化学関係機器・製品〉

カーボンコータ CADE-4T

価格：お問い合わせ下さい

蒸着源は超高純度（99.995%）カーボンファイバーでSEM観察、各種元素分析、FIB保護膜など各種分析に最適

- 「ちきゅう」船上で海底下数千メートルから掘削された岩石試料のSEM観察にCADE-Eが活躍中!
- 同一真空下でのカーボン蒸着+親水化処理機能搭載 (CADE-E)
- 低電流・短時間コーティングで熱ダメージなし
- 全工程をわずか5分で完了
- 再現性の高いワンショットコート
- 2箇所の蒸着源から成膜することでカーボン粒子の回り込みが向上 (CADE-4T 4端子モデル)



メイワフォーシス株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル
TEL 03-5379-0051 FAX 03-5379-0811
<http://www.meiwafosis.com/> E-mail: infot@meiwanet.co.jp

〈材料化学関係機器・製品〉

ソフトプラズマエッチング装置 SEDE

価格：お問い合わせ下さい

親水化やクリーニングをダメージなく処理 PDMSも簡単に接着

- CF₄を利用したエッチング対応
- 高出力モデルが新登場! 高効率なドライエッチングが可能に
- 卓上型で広範囲均一照射
- 陽極・陰極の特殊設計により、低電流での安定したプラズマ放電を実現



メイワフォーシス株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル
TEL 03-5379-0051 FAX 03-5379-0811
<http://www.meiwafosis.com/> E-mail: infot@meiwanet.co.jp

〈材料化学関係機器・製品〉

マルチスペクトル・エリプソメーター FS-1

価格：お問い合わせ下さい

LED光源と特許取得の新MWE技術で短時間に サブモノレイヤーの極薄膜を高精度に解析

- 特許取得の新光学経路を採用した新エリプソメーター
- 薄膜 (0Å~5μm) の膜厚、屈折率、消衰係数を計測
- 新製品の6色LED光源システムリリース!!
4色LED (可視光領域) にUVもしくはIR領域を選択して搭載可能!
- サンプル本来の膜厚をin situでリアルタイム計測を実現
- 全自動マッピングモデルで迅速に膜厚分布計測を実現
- 操作は簡単!
複雑な設定は不要
- エリプソの低コスト化を実現



メイワフォーシス株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル
TEL 03-5379-0051 FAX 03-5379-0811
<http://www.meiwafosis.com/> E-mail: infot@meiwanet.co.jp

科研費関連機器・製品申請ガイド

〈材料化学関係機器・製品〉

多機能ダイヤモンドワイヤソー DWS 3500P

価格：お問い合わせ下さい

断面精度はNo.1!

乾式カット可能なラボ用精密ワイヤソー

- 断面粗さは5 μ m以内! 解析に至るまでの大幅な処理工程の短縮を実現
- 欠けやすい脆い試料や多層構造の試料の切断も構造そのままに切断が可能
- マイクロスコープ、顕微鏡観察による高精度位置合わせで、CP・断面ミリングの前処理に最適
- 乾式カットで酸化しやすい試料に最適
- タッチスクリーンによる簡単操作で高い操作性と再現性
- アングルセンサー搭載により、装置の傾きを検知し荷重調整を厳密に制御



メイワフォーシス株式会社

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル
TEL 03-5379-0051 FAX 03-5379-0811
<http://www.meiwafosis.com/> E-mail: infot@meiwanet.co.jp

〈構造材料実験機器・製品〉

精密試料の自動仕上げ専用機

IS-POLISHER

ISPP-3000

新発売

- わかりやすい
ユーザーインター
フェイスを開発
- 測り量設定、
荷重設定を自動化



〈ISPP-3000特長〉

- 画面に従って操作するだけで簡単に条件を設定できる
- 低負荷で試料作製できる「電磁式自動荷重コントロール」
- 削り量を1 μ m単位で設定できる「削り過ぎ防止機能」
- 豊富な「試料ホルダ」

株式会社 池上精機

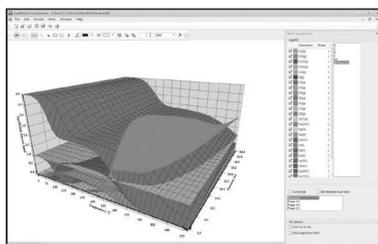
〒223-0057 横浜市港北区新羽町543-1-2F
TEL 045-717-5136
is-plisher.com



〈ソフトウェア・書籍・サービス〉

化学反応／平衡計算ソフトウェア HSC Chemistry for Windows, Ver. 10.0

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 (ブールベ) 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(税別)
¥290,000(一般)
¥100,000(教育)

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

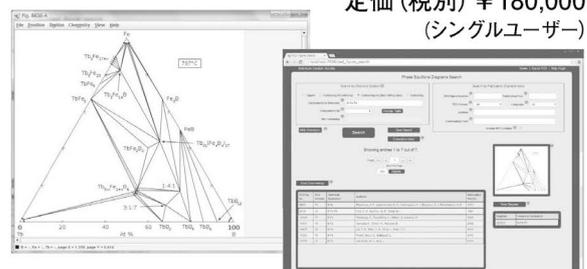
株式会社 デジタルデータマネジメント

〒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 4.4

定価(税別) ¥180,000
(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>

特許庁の特許審査に貢献してみませんか

特許調査

知財経験
不問

専門技術者

募集

特許審査に必要な特許文献調査及び特許出願等への
分類付与業務を行っていただきます。

- ▶ 今までに培った専門技術を活かすことができる!
- ▶ 常に最新の技術に接することができる!
- ▶ 最長73歳まで働くことができる!

IPCC 専門技術者



※ 処遇、募集技術分野等の詳細についてはHP参照

特許調査はIPCCにお任せください!

知財部も納得の品質

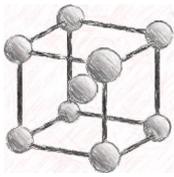
民間向け先行技術調査サービス

- 特許庁審査官向け先行技術調査34年390万件の実績
- 1600人を超える専門技術者が全ての技術分野を網羅
- 特許庁審査官向けと同じ品質の調査結果を報告
- 出願審査請求料が軽減
- 優先権主張や外国出願の検討材料として利用可能
- 調査対象: 国内、英語、中韓、独語特許文献
- 早期納品可能(応相談)



一般財団法人
工業所有権協力センター
Industrial Property Cooperation Center

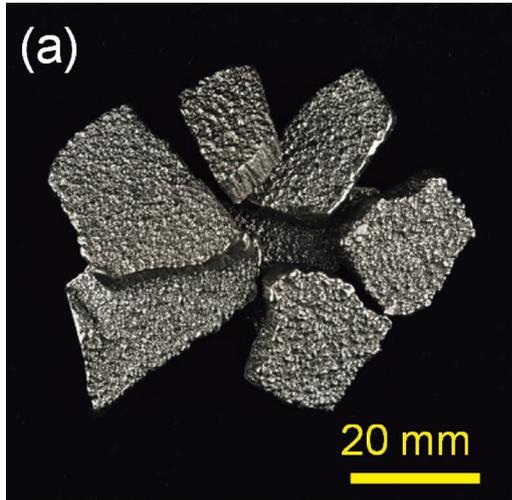
〒135-0042 東京都江東区木場一丁目2番15号
深川ギャザリア ウェスト3棟
採用担当: 人材開発センター 開発部 採用課
TEL 03-6665-7852 FAX 03-6665-7886
URL <https://www.ipcc.or.jp/>



シリーズ「金属素描」

No. 11 鉄 (Iron)

東北大学 竹田 修



元素名：Iron，原子番号：26，質量数：55.85，電子配置：[Ar] 3d⁶ 4s²，密度：7.87 Mg·m⁻³(293 K)，結晶構造：α-Fe 体心立方(～1189 K)，γ-Fe 面心立方(1189～1667 K)，δ-Fe 体心立方(1667～1809 K)，融点：1809 K，沸点：3106 K，地殻存在量：6.7 wt%(Fe O 換算)．【写真】(a)電解鉄，純度99.9%，(b)超高純度鉄，純度99.9998% (東北大学 打越雅仁氏 写真提供)

地球上に安定に存在する64の金属元素の中で，代表的なものとして誰もが鉄を思い浮かべるのではない。世界生産量は粗鋼で16億トン(2016年)と，金属の中で断トツの生産量を誇る。材料としての鉄(鉄鋼)の代表性，普遍性を支えるものは何か。宇宙(太陽系)での存在量は全元素中第9位，金属元素ではマグネシウム，シリコンに続く第3位である。地球の地殻中での存在量は全元素中第4位(6.7%)⁽¹⁾，金属元素ではシリコン，アルミニウムに続く第3位である。しかも，世界的に広くまんべんなく分布している。元素の始原的にも，地球環境下の資源的にも，普遍的な存在と言える。構造材料として製造しやすく，機能しうる適度な高さの融点，多様な機械的特性を引き出せる様々な元素との合金化と組織制御を可能にする多様な相変態も重要だろう。構造材料だけでなく磁性材料(Nd-Fe-B 永久磁石等)の機能性材料としても欠かせないことは驚きである。地球環境下から金属として抽出分離する観点では，原料の酸化鉄(赤鉄鉱等)が，地球上どこでも入手できる炭素で還元できることが決定的に重要だろう。鉄と炭素は被還元体と還元剤という関係だけでなく，炭素が鉄に溶解して熔融温度を下げたり，炭素が鉄の組織を変化させて機械的強度を高めるといった，様々な結びつきがある。鉄と炭素は奇跡の組み合わせに思える。

鉄の弱点として，錆び易いことは，多くの人が思うことだろう。しかし，高純度鉄は耐食性が高く，何十年たってもいわゆる赤錆は発生しない。図(b)は10年以上前に作製した試料の写真⁽²⁾であるが，現在も外観は全く変わらない。これは，高純度化により鉄本来の性質が顔を覗かせたと言うべきであろう。高純度鉄の高耐食性は，表面の酸化皮膜が非常に緻密で腐食に対する防御が堅固なためであると言われている。

鉄が錆び易いというのは必ずしも正しくない表現で，原因を克服すれば耐食性の向上を実現できる。そのために，鉄の本性を探るための高純度化法の研究開発は重要である⁽²⁾。また，腐食の原因を明らかにするための介在物等の欠陥と腐食の関係を探る研究も重要である⁽³⁾。

鉄(鋼)は，社会基盤材料として，身近な消費財から巨大構造物まで広く利用されている。用途を上げればきりがなが，分野は建設(形鋼，鋼矢板等)，自動車(薄板等)，造船(厚中板等)，産業機械(厚中板，棒鋼等)，電気機械(薄板等)，と多岐に渡る。これは，合金化や熱処理によって，強度や靱性等の特性を，様々なバランスで作り分けられるからである。また，鉄が，様々な形に加工し易いことも挙げられる。切削，穴あけ，溶接，鋳造，鍛造，プレス加工等，加工法の選択肢が多い。近年，鉄鋼製造技術で進歩が著しいのが複雑なパターンのオンライン熱処理による高度な組織制御である⁽⁴⁾。省エネルギーで高強度，高靱性の鋼を製造することに大きく貢献している。

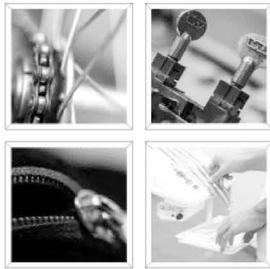
鉄は，「鐵」とも書かれる。金属の王として頂点に立つ感があるが，さらに性能を引き出せるポテンシャルを有している。鉄(鉄鋼)材料の進化はまだまだ止まらないだろう。

文 献

- (1) R. L. Rundnick, S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd., (2004), 1-64.
- (2) 打越雅仁：ふえらむ，**22** (2017), 695-702.
- (3) 武藤 泉，菅原 優，原 信義：まてりあ，**56** (2017), 175-179.
- (4) 三田尾真司：まてりあ，**56** (2017), 238-243.

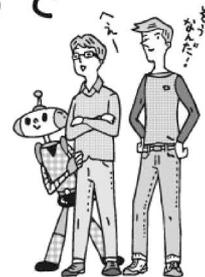
取材協力 打越雅仁 氏(東北大学多元物質科学研究所)

次号 金属なんでもランキング! No. 11 電気陰性度



どこで?
金属は身近なところで活躍しています
 どんなふうにか?

身の回りにあふれている金属製品。ただ、知っているようで知らない事が多いかも!? 一緒にのぞいてみよう!



金属の活躍現場
 身近なところで活躍。え!こんなところにも! [もっと知りたい](#)

金属が製品になるまで!
 鉱石 ▶ 板 ▶ 製品 [もっと知りたい](#)

性格いろいろ 金属大解剖
 基礎編 金属って? 合金って? [▶](#)
 応用編 金属を調べてみよう [▶](#)

現場の声を徹底取材
 金属の仕事をしているのはこんな人 [もっと知りたい](#)

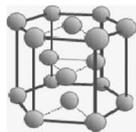
金属いろいろ 金属素描・金属何でもランキング

もっと金属について詳しく知りたい [関連 HP へ](#)

「金属素描」「金属なんでもランキング！」

2019年1月から「まてりあ」にそれぞれ隔月で掲載している「金属素描」と「金属なんでもランキング！」が https://jim.or.jp/everyone/top_ranking.html より閲覧できます。

金属素描



金属の物理的・化学的特徴、製法、用途等について紹介しています。意外に知らない事実だけでなく、読んで楽しく、かつ、具体的に役立つ情報を纏めています。合わせて、様々な形態の金属の写真を掲載しています。

- No.1 チタン
- No.2 ジルコニウム
- No.3 ハフニウム
- No.4 コバルト
- No.5 クロム
- No.6 マグネシウム
- No.7 ナトリウム
- No.8 マンガン
- No.9 ガリウム
- No.10 インジウム
- No.11 鉄

金属なんでもランキング!



物性等、金属にまつわる様々な数値をグラフにして「見える化」しています。金属全体に渡ってデータを整理することによって、全体像がわかるようになっています。

- No.1 地殻存在量
- No.2 密度
- No.3 融点・沸点
- No.4 電気伝導度
- No.5 熱伝導度
- No.6 比熱
- No.7 デバイ温度
- No.8 イオン化エネルギー
- No.9 宇宙の元素組成
- No.10 磁化率

~ See you next metal! ~

企画にあたって

森戸 春彦¹ 竹田 修² 永井 崇³ 佐々木秀顕⁴
大石 郁⁵ 齊藤 敬高⁶

ITの発展や新興国経済の急成長にともない、企業や研究機関を取り巻く研究開発競争は日々激しさを増している。また、顧客ニーズが多様化する中で、高度な新製品が次々と開発され、より迅速で効率的な研究開発が求められるようになってきた。グローバルな研究開発競争が激化する環境下で、企業の成長戦略の一つとして、社外から知識や技術を集約し、新しいイノベーションを起こす「オープンイノベーション」を取り入れる企業が増えている。その中でも、大学と企業が共同で研究開発を進める「産学連携」において大学の特長を活かした新しい取り組みが注目を集めている。従来の産学連携は、企業と大学内の一研究室が共同で研究を進める形が一般的であったが、近年では、大学内に企業の寄付講座を開設し、研究開発だけに留まらず、新たな顧客ニーズの創出から事業展開まで包括的な製品開発を目指した産学連携が推進されるようになってきた。とりわけ、教育機関である大学においては、次世代のイノベーションを牽引する優秀な人材の育成に大きな期待が寄せられている。本特集では、金属素材プロセス分野に注目して、各大学で取り組んでいる最新の産学連携事情についてご解説いただいた。

東北大学の打越雅仁先生には、多元物質科学研究所と住友金属鉱山株式会社との共同研究ユニットについてご執筆いただいた。解説では、人材育成・非鉄金属製錬業の啓発活動や、日本の非鉄金属製錬業界全体の利益に資する共同研究に関してご紹介いただいた。東京大学の岡部徹先生には、JX金属株式会社の寄付により東京大学に設置された非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(通称：JX金属寄付ユニット)についてご執筆いただいた。本ユニットは、アウトリーチや人材育成に指向した従来にない寄付ユニットであり、解説では、ユニットが新設された経緯や、一連の活動についてご紹介いただいた。京都大学の谷ノ内勇樹先生には、同大学内に設立された寄附講座「非鉄製錬学講座」についてご執筆いただいた。大学の教育リソースを活用して、企業の若手技術者を育成する取り組みが紹介されている。大阪大学の杉山昌章先生には、同大学の産学連携の特徴「Industry on Campus」についてご執筆いただいた。そして、日本製鉄株式会社として

材料基礎協働研究所を通じて得られる価値についてご紹介いただいた。九州大学の齋間等先生には、同大学とJFEスチール株式会社の産学連携研究についてご執筆いただいた。解説では、鉄鋼業における炭酸ガスの回収・再資源化や、バイオマスの製鉄所利用など、共同研究の成果を詳細にご紹介いただいた。

いずれの記事も、各大学が取り組んでいる産学連携について、最新の情勢をわかりやすく紹介していただいた。本特集が、企業会員の方も含めた多くの読者の一助となれば幸いです。

最後に、ご多忙中にもかかわらずご執筆をいただいた先生方に対し、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

★★
森戸春彦
2007年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了
2007年8月 東北大学多元物質科学研究所助教
2016年6月- 現職
専門分野：材料工学，結晶工学
©アルカリ金属を用いた新規物質探索と新規結晶育成法の開発に従事。
★★



森戸春彦



竹田修



永井崇



佐々木秀顕



大石郁



齊藤敬高

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

²東北大学大学院工学研究科；准教授(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02)

³千葉工業大学工学部；准教授(〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1)

⁴愛媛大学大学院理工学研究科；講師(〒790-8577 松山市文京町 3 番)

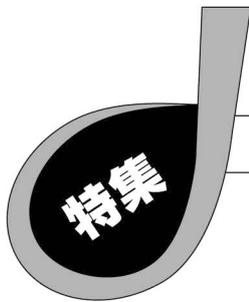
⁵広島県立総合技術研究所；主任研究員(〒739-0046 東広島市鏡山 3 丁目13-26)

⁶九州大学大学院工学研究院材料工学部門；准教授(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

Haruhiko Moriuchi¹, Osamu Takeda², Takashi Nagai³, Hideaki Sasaki⁴, Kaoru Ohishi⁵, and Noritaka Saito⁶

Keywords: *industry-academia collaboration, open innovation, research development, human resource development*

2020年7月15日受理[doi:10.2320/materia.59.465]



住友金属鉱山共同研究ユニットにおける産学連携

打越 雅 仁*

1. はじめに

近年、資源ナショナリズムの高まり、鉱山の奥地化、環境問題など非鉄金属製錬産業を取り巻く環境は厳しさを増し、国際情勢は急激に変化しています。また、鉱石の品位低下や忌避不純物の増加など製錬に直接関わる課題も年々拡大しています。このような状況下で、海外メジャーと対峙し国際競争力を維持していくためには、資源開発や製錬事業における技術革新および優秀な技術者の育成が必要です。

一方で、資源開発や製錬を専門とする学部・講座・教授の数は減少を続け、1993年に比較して約1/3にまで減少してしまいました。このままでは、非鉄金属製錬技術者の枯渇が現実のものとなる恐れが出てきました。加えて企業間取引(BtoB)を主とする業態のため、一般への知名度が低く、就職業界として積極的に選択する学生が少ないことも、優秀な人材確保の障害となっています。

このような状況を大きく転換させるため、東北大学多元物質科学研究所と住友金属鉱山株式会社は、一年をかけて構想を練り、国内非鉄金属製錬業の持続的発展のための共同研究部門を2018年4月に開設することと致しました(図1)。

【目的】

- 日本の非鉄金属製錬業界全体の利益に資する共同研究テーマの推進
- 次世代の非鉄金属製錬業界を担う人材育成
- 非鉄金属製錬業の社会への啓発活動

【共同研究部門概要】

部 門 名 非鉄金属製錬環境科学研究部門
(住友金属鉱山共同研究ユニット)
設置期間 2018年4月～2023年3月(5年間)



図1 共同研究部門と各機関との連携。(オンラインカラー)

- メンバー 福山博之教授(研究統括・兼任)
村松淳司教授(兼任)
柴田浩幸教授(兼任)
打越雅仁准教授
井手上敦客員教授

2. 主な活動

当部門は、次代を担う人材育成と業界全体の利益に資する共同研究を目的としています。

多元物質科学研究所内の金属資源プロセス研究センター、東北大学大学院環境科学研究科、同工学研究科との密接な連携をはかり、さらに他大学、他企業、各機関など、多くの方々のご協力をいただいて、目的を達成すべく、下記の活動を展開しています。

* 東北大学多元物質科学研究所；准教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)
Industry-Academia Cooperation by Sumitomo Metal Mining Collaborative Research Unit; Masahito Uchikoshi (Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai)
Keywords: collaborative research, non-ferrous metallurgy, copper smelting, electrorefining, recovery of precious metals
2020年4月21日受理[doi:10.2320/materia.59.466]

【人材育成・非鉄金属製錬業の啓発活動】

- 非鉄金属製錬セミナー(工場見学)
- 特別講義「非鉄金属製錬環境科学特論」

【共同研究テーマ】

- 各種スクラップなどの二次原料，工程内廃棄物を含めた多様な製錬原料に含有する有価金属の効率的分離回収に関する研究
- 非鉄金属製錬操業の先進化に関する研究
- 非鉄金属製錬中間物および廃棄物の有効利用と再資源化に関する研究
- 忌避金属の用途開発に関する研究

本稿では，当研究部門でのこれまでの啓発活動と研究活動について紹介します。

3. 啓 発 活 動

(1) 特別講義「非鉄金属製錬環境科学特論」

非鉄金属製錬業に興味を持ってもらうために，工学研究科マテリアル・開発系と環境科学研究科の協力のもと，大学院生を対象に，集中講義「非鉄金属製錬環境科学特論」(1単位)を開講しております。

2019年度の講義内容および担当講師は，表1に示す通りです。製造現場に近い立場の企業の技術者を講師としてお招きし，広く実操業に関してご講義頂きます。講師陣には非鉄金属製錬を専門とする教授にも加わっていただき，熱力学，電気化学などを復習しながら，現場でどのように使うのか，についての講義を展開します。

一般的な講義に比較して，講義室で学んだ熱力学や電気化学と，実操業における製錬工程の結びつきがイメージしやすいのが，具体例を多く盛り込んだ特別講義の特徴です。

(2) 非鉄金属製錬セミナー(工場見学)

非鉄金属製錬各社のご協力をいただき，大学院生を対象に工場見学を主とする非鉄金属製錬セミナーを，部門発足以来，毎年(計2回)開催しております。

2018年度は独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 JOGMEC の金属資源技術研究所を訪問見学し，三菱マテ



図2 第2回非鉄金属製錬セミナー(別子銅山記念館前)。(オンラインカラー)

リアル株式会社，JOGMEC，JX 金属株式会社，DOWA メタルマイン株式会社から技術者をお招きしてご講演をしていただきました。

2019年度は住友金属鉱山株式会社東予工場と三菱マテリアル株式会社直島製錬所を訪問し，技術者の講演，製錬所の工場見学をさせていただきました(図2)。

参加した学生からは，次の感想が寄せられています。

- 講義で学んだことが，大規模に行われているのを見学して，スケールの大きさを実感した。
- 人事，現場，研究所などの様々な方と接する機会があり，会社の雰囲気も良く分かった。
- 2社を見学して，銅製錬工程，会社の雰囲気など，企業それぞれの違いを感じた。
- 銅製錬を目的とはしているけれど，その過程で発生する有害物質をどう処理するか，このような技術も必要なのだと感じた。
- 自分の後輩にも是非勧めたいセミナーであった。

学生参加者数は，2018年度が16名，2019年度が19名でした。2018年度参加学生のうち，非鉄金属製錬業界への就職者数は1/4にのぼり，鉄鋼製錬業界へは1名が就職しました。その他の業界への就職者にも非鉄金属製錬業に触れる機会を作ることができて，大変良かったと考えております。

4. 研 究 活 動

(1) 共同研究

図3に銅製錬工程の概略と共同研究テーマ(下線で表示)について示します。現在の国内の銅製錬工程は，自溶炉によるマツ熔錬，転炉を用いた造 Cu ，造銅により得られる粗銅からS，Oを除去する酸化還元精製を行う精製炉を経て陽極銅を铸造し，電解精製により金属不純物を除去して，電解銅を得る工程からなっています。熔錬工程では，独自の三菱連続製銅法も実用化されています⁽¹⁾。

共同研究部門では，各工程における課題，近年懸念が高まっている忌避金属の有効活用について解決を図るため，以下に示す研究テーマを設定し，共同研究を推進しております。

表1 非鉄金属製錬環境科学特論講義内容。

時限	講義内容	講師
1	非鉄金属製錬概論	小俣孝久*
2	選鉱とヒーブリーチング	岡本秀征 [†]
3	乾式製錬	高橋純一 [†]
4	湿式製錬	浅野 聡 [†]
5	製錬事業実例	佐野浩行 [†]
6	非鉄製錬プロセスを利用した金属リサイクルについて	金田 章 [‡]
7	浮遊選鉱基礎理論	村松淳司*
8	熱力学基礎	福山博之*

* 東北大学，[†] 住友金属鉱山株式会社，[‡] パンパシフィック・カップ株式会社，* 三菱マテリアル株式会社

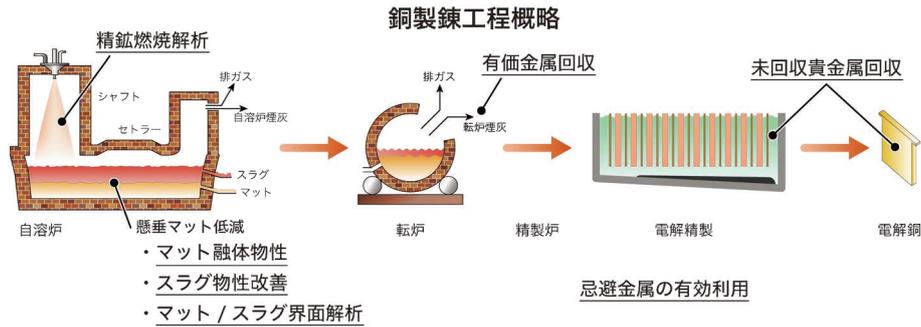


図3 銅製錬工程概略と共同研究テーマ(下線で表示)。(オンラインカラー)

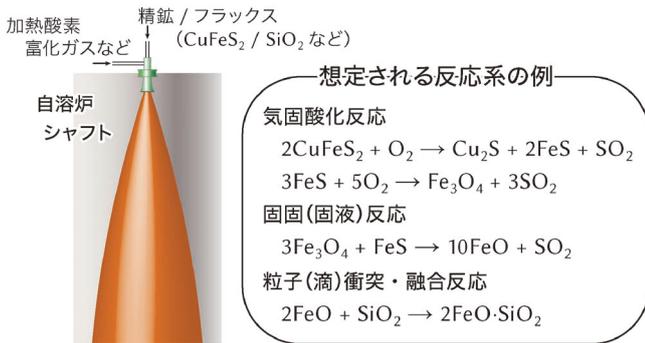


図4 自溶炉シャフト内で想定される反応系の例。(オンラインカラー)

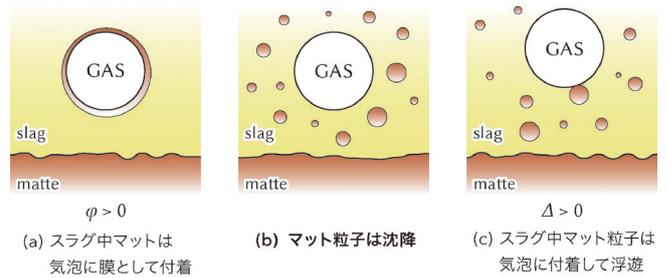


図5 マツトの気泡への付着。(オンラインカラー)

【熔錬工程：シャフト内反応機構】

(a) 自溶炉シャフト内の燃焼・衝突機構解析
担当：埜上洋教授 夏井俊悟助教

1949年の Outokumpu 社による自溶炉の操業開始以来、導入した各製錬会社において、多くの改善がなされてきました。さらなる改善のためには、自溶炉シャフト内で起きている反応を明確に理解することが必須です。

精鉱燃焼は、幅広い温度、酸素分圧下で、衝突などの機械的過程を含む不均一反応であり、シャフト内に急峻な温度勾配と濃度勾配、反応物質の循環流を生じる非常に複雑な状態を引き起こします。この状態を確実に記述するためには、高度な燃焼モデル解析が必要です。図4に想定される反応系の例を示しますが、図示した例以外にも諸説あり、精鉱燃焼機構の解明は不十分です。

そこで、ガス気流中での精鉱燃焼試験による観察とシミュレーションを組み合わせた反応解析を行い、自溶炉の反応制御・機器設計の高度化につなげる基礎的知見を得ることを目的として研究を進めます。

【熔錬工程：懸垂マツトの低減】

熔錬工程ではセトラ[†]内において、熔融マツト粒子がスラグに浮遊する懸垂マツトによる銅ロスの課題があります。

[†] セトラ：銅自溶炉において、精鉱がシャフト内で燃焼して生成するスラグ融体とマツト融体を比重差により分離する槽(図3参照)。

次の研究テーマは懸垂マツトの低減を目標に取り組んでいます。

(b) 非接触法によるマツト融体、スラグ融体の熱物性測定
担当：福山博之教授 大塚誠准教授 安達正芳助教

マツト熔錬では、発生するSO₂ガスなどの気泡によるマツト粒子の沈降阻害やスラグ中への持ち上げなども懸垂マツトの生成要因の一つです。マツトの気泡への付着に関する研究がなされています⁽²⁾。

$$\phi = \gamma_{\text{slag}} - \gamma_{\text{matte}} - \gamma_{\text{matte/slag}} \quad (1)$$

$$\Delta = \gamma_{\text{slag}} - \gamma_{\text{matte}} + \gamma_{\text{matte/slag}} \quad (2)$$

ϕ を拡張係数、 Δ を浮遊係数とします。 γ_{matte} と γ_{slag} はそれぞれマツト、スラグの表面張力、 $\gamma_{\text{matte/slag}}$ はマツト/スラグ間の界面張力です。 $\phi > 0$ の時、スラグ中マツトは気泡に膜として付着、 $\Delta > 0$ の時、マツト粒子は気泡に付着して浮遊します(図5)。式(1)、(2)の定義から、 γ_{slag} 、 $\gamma_{\text{matte/slag}}$ が小さく、 γ_{matte} が大きいほど、マツトが気泡に吸着しづら分かります。

熔融マツト、スラグを改質して気泡による懸垂マツトの低減を図るためには、より確かな表面張力、界面張力が必要です。従来の静滴法は試料を基板に載せた状態で測定するため、測定結果は基板の影響を受けます。近年開発された超高熱物性計測システム(PROSPECT)⁽³⁾(電磁浮遊)およびガスジェット浮遊により試料を浮遊させた状態で測定を行うため、試料と容器が非接触の状態を実現でき、より確かな表面張力の測定が期待されます。

(c) 鉄ケイ酸塩スラグの物性改善

担当：柴田浩幸教授 助永壮平准教授 川西咲子助教

銅製錬における Fayalite 系スラグ[†]の粘性を耐火物寿命を損なわない範囲で低く制御することで、懸垂マットの沈降を促し、機械的銅ロスの低減を図ります。銅鉱石にはフラックスとして使用できる CaO や MgO が脈石成分^{††}として含まれています。脈石成分を活用することで、効率の良いプロセスの実現を目指します(図 6)。

MgO をフラックス^{†††}として使用するとスラグ粘性が低下するとの報告⁽⁴⁾がありますが、実操業では逆に粘性の上昇が観測されています。粘性に影響を与える要因として、スラグ中の Fe イオンの酸化還元状態を仮定し、酸化還元状態が粘性や見掛けの液相線温度に及ぼす影響を明らかにすることを目的に研究を行っています。

Fe イオンの酸化還元状態の測定には、X 線吸収分光やメスbauer吸収分光などの最新分析法を活用することで、より確実な状態測定を行い、粘性との関係を明らかにします。

(d) マグネタイトによる懸垂マット沈降阻害の改善

担当：柴田浩幸教授 川西咲子助教 助永壮平准教授

自溶炉シャフト内で、酸素ポテンシャルが高い局所的領域で生成すると考えられている Fe₃O₄ は、スラグ/マット界面に留まります。この Fe₃O₄ により懸垂マットの沈降が阻害され、銅ロスの要因の一つとなっています。Fe₃O₄ の生成を抑えることも重要ですが、Fe₃O₄ とマット界面での反応を明らかにすることも重要な課題です。Fe₃O₄ とマット界面では次の反応が予想されていますが、はっきりしたことは分かっていません。

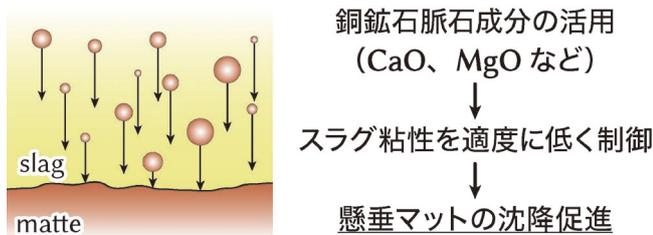


図 6 脈石成分を活用するスラグ粘性制御。(オンラインカラー)

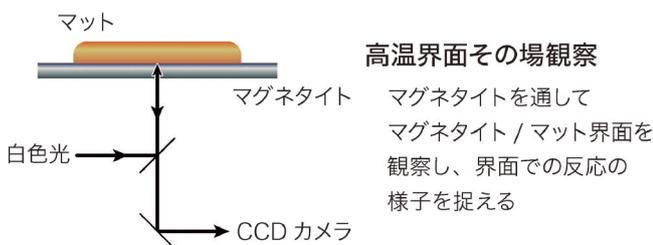


図 7 高温界面その場観察法の概略。(オンラインカラー)

† Fayalite 系スラグ：主に Fe, Si, O (Fe₂SiO₄) からなるスラグ。

†† 脈石成分：鉱床、鉱石中で製錬対象ではない成分。

††† フラックス：乾式製錬において、融解や反応を促進するための添加剤。

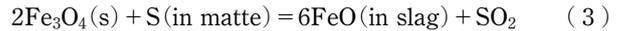


図 7 に示す高温界面その場観察法を用いて、Fe₃O₄ とマット界面での反応を観察し、反応を明らかにします。結果から、銅ロス低減の指針を提案します。

【未回収有価金属回収】

(e) 未回収有価金属の効率的回収

担当：加納純也教授 石原真吾助教 久志本築助教

銅製錬の原料には、銅鉱石の他、主に電化製品のスクラップからなる二次原料も使用されています。電化製品の便利な機能実現のために、多くの有価金属が使われており、二次原料に含まれます。このような有価金属の一部は、自溶炉のスラグ/煙灰、転炉のスラグ/煙灰などに分配するため、これらの副産物も有用な有価金属回収資源です。銅鉱石由来で、未回収が不十分な有価金属もあります。

副産物のうち未回収有価金属が含まれる転炉煙灰に着目して、効率的回収法の研究開発を行っています。選択的溶出実現のために粉碎による煙灰改質を施し、その後種々の溶媒による抽出試験を重ね、回収・再利用のためのプロセスを開発します(図 8)。

(f) 銅電解液からの貴金属回収

担当：村松淳司教授 蟹江澄志教授 打越雅仁准教授

図 9 に示すように、銅電解精製は銅の純度を上げると同時に貴金属をアノードスライム[†]として、電解液の浄液により有価金属を回収する工程です。しかしながら、回収されるべき一部の Ag が電気銅に含まれて出荷されています。銅生産量⁽⁵⁾および2019年度の Ag の平均価格から推算すると、国内では年間 4 億円相当の、世界では 70 億円相当の Ag が電気銅中に含まれて出荷されており、大きな経済的損失です。

電着前の Ag を含む電解液から Ag を回収するために適切な官能基を有するイオン液体を開発します。また、同じ機能を持つイオン交換樹脂による Ag 回収の効果についても研究しています。有効なイオン液体、イオン交換樹脂の開発により、液液抽出、固液抽出の 2 つのアプローチを可能にします。

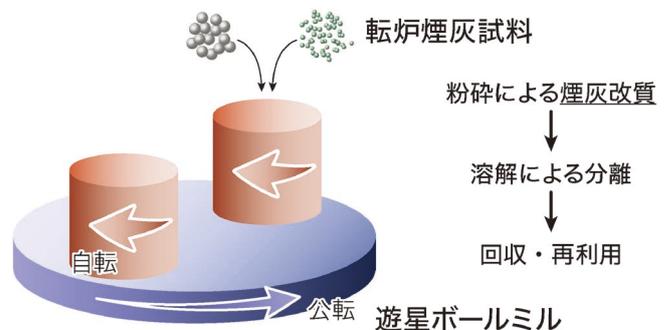
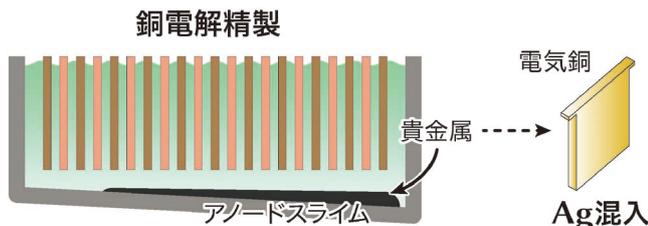


図 8 効率的溶出分離のための粉碎による煙灰改質。(オンラインカラー)

† アノードスライム：銅電解製錬で、アノード溶解しない銅よりも貴な金属が電解槽底部に沈殿したもの。



	銅生産量	電気銅中の銀	電気銅中の銀価格
国内	1,488,000 t	約 7 t	約 4 億円
世界	23,222,000 t	約 116 t	約 70 億円

図9 銅電解精製における Ag の電気銅への混入。(オンラインカラー)

Cu₃AsO₄ 未報告化合物

バンドギャップ：1~1.5eV(?)

p、n 両極性半導体の可能性

強い光吸収：太陽電池材料

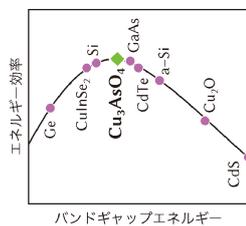


図10 As を含む機能性材料 Cu₃AsO₄ の可能性。(オンラインカラー)

【忌避金属の有効利用】

(g) 忌避金属の有効利用に向けた機能性材料開発

担当：小俣孝久教授 鈴木一誓助教

銅鉱石から Cu を製錬する際、多くの副産物も抽出されます。副産物の中には、Au や Ag のような有価金属もあれば、As, Cd, Hg などの環境負荷物質もあります。近年、銅鉱石に含まれる Cu 品位は減少し、忌避金属である As の品位は増加を続けています。そこで、As を必要とする機能性材料を開発し、As の処理に関する問題の解決を目的に研究を行っています。

図10に示した Cu₃AsO₄ は、類似化合物からの見積もりや第一原理計算の試算から、バンドギャップエネルギーが 1~1.5 eV と推測され、実用化されている Si や GaAs と同等のエネルギー効率を持つと期待されています。光吸収も強いと考えられ、太陽電池材料としての可能性を有しています。

(2) 学会活動

産学連携の推進を図るために、また、上述した研究の成果を発信するために、資源・素材学会を中心に学会での発表を積極的に行っております。これまでに表 2, 3 に示す企画講演を実施しました。また、掲載しておりませんが、資源・素材学会2019年度春季大会でも、金属資源プロセス研究センターと連携して、企画講演「希少金属元素の抽出と利用の最前線」を企画しました。

今後も同様の企画により、研究成果の発信を行う方針です。

表 2 学会活動：資源・素材2018(福岡)における企画講演「非鉄金属製錬における産学連携の推進」。

講演題目	講演者
1 非鉄製錬分野における産学連携の過去、現在、未来	中村 崇(福岡県リサイクル総合研究事業化センター)
2 これからの産学連携のあり方と課題	岡部 徹(東京大学)
3 東京大学との産学連携 1 期目の成果と 2 期目の展望	結城典夫(JX 金属株式会社)
4 教育をベースとした産学連携の実践と社会人向け WEB 講座の紹介	宇田哲也(京都大学)
5 共同研究部門設立の背景と期待	今村正樹(住友金属鉱山株式会社)
6 共同研究部門発足と今年度の予定	打越雅仁(東北大学)

表 3 学会活動：資源・素材2019(京都)における企画講演「非鉄金属製錬業における課題と解決に向けた取り組み」。

講演題目	講演者
1 懸垂銅精鉱小塊の燃焼試験	埜上 洋 ¹ , 西村伊織 ¹ , 夏井俊悟 ¹
2 鉄ケイ酸塩スラグの還元過程における表面張力変化	助永壮平 ¹ , 川西咲子 ¹ , 打越雅仁 ¹ , 石原真吾 ¹ , 夏井俊悟 ¹ , 大野光一郎 ² , 齊藤敬高 ² , 中島邦彦 ² , 柴田浩幸 ¹
3 Cu ₂ S 融体の非接触熱物性測定	安達正芳 ¹ , 後藤宏基 ¹ , 大塚 誠 ¹ , 高橋純一 ³ , 福山博之 ¹
4 粉碎による銅製錬工程からの有価金属回収	石原真吾 ¹ , 打越雅仁 ¹ , 加納純也 ¹
5 陰イオン交換法による銅電解液からの銀の回収	打越雅仁 ¹ , 渡邊寛人 ³ , 浅野 聡 ³
6 アミノ基修飾機能性イオン液体を用いた貴金属元素の高効率かつ高選択的抽出/逆抽出	蟹江澄志 ¹ , 半澤直論 ¹ , 村松淳司 ¹
7 副産物の有効利用に向けた機能材料開発；Enargite 型 Cu ₃ As(S, O) ₄ の太陽電池材料としてのポテンシャル	鈴木一誓 ¹ , 小俣孝久 ¹ , 大橋直樹 ⁴ , 渡邊寛人 ³ , 浅野 聡 ³

¹ 東北大学, ² 九州大学, ³ 住友金属鉱山株式会社, ⁴ 物質・材料研究機構

5. 運 営

共同研究部門として年間に計画しているイベントは次のようになります。

- ・ 特別講義「非鉄金属製錬環境科学特論」
- ・ 非鉄金属製錬セミナー(工場見学)
- ・ 資源・素材学会企画講演(春秋)
- ・ 企画検討会(秋)
- ・ 成果報告会(春)

特別講義と非鉄金属製錬セミナーは、大学院生向けの啓発活

動です。各非鉄金属製錬企業に講師の派遣，工場見学についてご協力を頂き，できるだけ多くの企業に触れてもらう機会を学生に提供すべく活動しています。資源・素材学会の春の企画講演では，連携している金属資源プロセス研究センターでの成果を中心に，秋の企画講演では，共同研究の成果を中心に据える企画を検討しております。企画検討会では，業界団体，国内非鉄金属製錬企業をお招きして，共同研究テーマの設定や，非鉄金属製錬業の啓発活動などについて，ご意見を伺い，共同研究部門の方針に反映させます。

6. ま と め

共同研究部門の発足以来2年が経過し，本稿で紹介させて頂いた活動を展開してまいりました。関係する業界団体，非鉄金属製錬企業，他大学のお力添え無くしては，このような活動はなし得ませんでした。この場を借りて謝意を表します。

特別講義「非鉄金属製錬環境科学特論」と非鉄金属製錬セミナー(工場見学)は，大学院生が就職先として非鉄金属製錬企業を検討する良いきっかけになっています。

共同研究では，これまでの成果により特許を2件出願しており，今後も国内非鉄金属製錬業に資する成果を発信するために，研究を積極的に展開，推進します。

活動をより充実したものとするために，今後も関係者の皆様との連携を絶やさず，国内非鉄金属製錬業の持続的発展に

貢献すべく，活動を展開していきます。

今後とも，ご指導，ご鞭撻のほど，宜しくお願い致します。

※ 共同研究部門では，ホームページを開設しております。研究部門の計画，活動について随時更新しておりますので，是非ご覧下さい。

<http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/nonferrous/>

文 献

- (1) 阿座上竹四, 粟倉泰弘: 金属化学入門シリーズ3 金属製錬工学, 日本金属学会, (1999), 45, 151.
- (2) R. Minto and W. G. Davenport: Trans. Inst. Min. Metall. C, **81C**(1972), C36-C42.
- (3) <http://www2.tagen.tohoku.ac.jp/lab/fukuyama/prospect-2/>
- (4) M. Kucharski, N. Stubina and J. Toguri: Can. Metall. Q., **28** (1989), 7-11.
- (5) 鉱物資源マテリアルフロー2018.



打越雅仁

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
2006年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了
略歴
1997年10月- ファインマテリアル株式会社 研究員
2013年4月- ハンガリーミシュコルツ大学 客員研究員
2018年4月- 現職
専門分野: 金属生産工学, 高純度材料学
◎世界最高レベルの高純度鉄, 高純度コバルト精製方法を開発, 保持. 湿式分離の基礎的知見である水溶液中金属錯体状態の解析, 実用湿式工程の改善に従事.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

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)における産学連携

～非鉄金属産業界初のアウトリーチ指向の人材育成型寄付講座～

岡 部 徹*

1. はじめに

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(通称: JX 金属寄付ユニット)は, JX 金属株式会社の寄付により本学に設置された新しいタイプの寄付講座の集合体である。

非鉄金属に関して新たな環境調和型リサイクル技術を開発するとともに, 次代を担う若い研究者・技術者を当該分野の企業と協力して育成することを目的に, 2012年1月に設立された非鉄金属産業界初のユニークな組織である。

すでに寄付ユニットの運営は8年を超えており, 今は, 第3期(2022年～)の活動を企画し, その具体化に向けて準備を進めている。

本稿では, 非鉄金属産業界初の試みとして取り組んだ, アウトリーチ指向, 人材育成指向の新しいタイプの寄付ユニットの新設の経緯と一連の活動, さらに, 今後の展開や展望についてご紹介したい。

2. 第1期(2012年～2016年)の活動

2012年から5年間の期間で設置された第1期の寄付ユニットは, 非鉄金属産業界関係者に対し, そのユニークな存在と意義・進歩性をアピールすることに重点をおいて活動した。また, 業界関係者に対してだけでなく, 広く一般社会に対する非鉄産業の重要性, 将来性についてアウトリーチを行うことも重要課題とした。さらに, 人材育成, 特に若手研究者・技術者の育成も重要なテーマとして, これまででない新

しいタイプの寄付講座の設置を目指し, 一般社会に対する様々な活動を行なった。

一連の試みは, それまで非鉄金属産業界にはなかった新しい取り組みであったため, 金属産業界の中でも話題となった。

もっとも, 新しい取り組みゆえに, 立ち上げ当初は, 批判や懐疑的な意見も多かったものの, 後には産学両方の関係者からも高く評価されるようになった。

第1期の本寄付ユニットは, 前田 正史, 岡部 徹, 中村 崇, 大藏 隆彦の特任教授4名(独立した4研究室(=独立した4講座))でスタートした。各研究室は, 連携して活動を行い非鉄製錬分野の講義やセミナー等を行う“人材育成”に関する活動だけではなく, 業界関係者に対するシンポジウムも多数開催した。

本寄付ユニットが主催した E-scrap シンポジウムや貴金属シンポジウムなどは, 産業界を中心に250名以上が集まる大規模な会合となった。この盛会ぶりは, 本寄付ユニットの成果を象徴している。

表1には, 本寄付ユニットが主催あるいは共催として行った主な研究会やシンポジウムの活動実績を示した。表からもわかるように, 企業関係者を中心として, 毎回100～300人の参加者が集う大規模な会合が開催されている。

一連の活動は, 現在も続けられており, 本寄付ユニットおよび関連の会合は, 非鉄金属産業界関係者の人的ネットワーク形成の重要な拠点の一つとなっている。

3. 第2期(2017年～)の活動

2017年1月からは, 期間5年間で, 第2期の活動を開始

* 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; 特任教授

Industry-Academia Collaboration at the Endowed Research Unit for Non-ferrous Metals Resource Recovery Engineering (JX Metal Endowed Unit)—The First Initiative in the Field: New Human-Resource-Development Endowed Unit Oriented Towards the Outreach—; Toru H. OKABE (Endowed Research Unit for Non-ferrous Metals Resource Recovery Engineering (JX Metal Endowed Unit. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo.)

Keywords: non-ferrous metals resource recovery engineering, endowed unit, outreach, human-resource-development, industry-academia collaboration

2020年4月10日受理[doi:10.2320/materia.59.472]

表1 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)が主催(あるいは共催)した主なシンポジウム。
この分野の会合の中では参加者数が非常に多く、また参加者の約7割が企業関係者であるのも特徴の一つである。

開催日	場所 (備考参照)	主催等	企画名	参加者数
2013年 1月25日	1	主催	開設1周年記念シンポジウム「非鉄金属産業が支える非鉄金属・レアメタルの循環」	184
2013年 11月 6日	2	主催	非鉄金属・非鉄製錬業分野におけるチリ・日本間の産学官連携国際ワークショップ	77
2014年 1月10日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(貴金属シンポ)	216
2014年 10月 8日	4	主催	非鉄金属・非鉄製錬業分野におけるチリ・日本間の産学官連携国際ワークショップ	48
2014年 11月 6日	3	主催	E-scrap シンポジウム	205
2015年 1月 9日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第2回貴金属シンポ)	190
2015年 11月10日	3	主催	世界の鋼製錬の動向と循環型社会構築に向けた役割	203
2016年 1月 8日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第3回貴金属シンポ)	255
2016年 9月27日	3	主催	E-scrap シンポジウム2016	179
2017年 1月 6日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第4回貴金属シンポ)	273
2017年 3月10日	1	共催	中村崇教授が熱く語る特別シンポジウム	203
2017年 11月10日	3	主催	非鉄製錬におけるマイナーメタルに関するシンポジウム	162
2017年 11月17日	3	共催	チタンシンポジウム2017	158
2018年 1月12日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第5回貴金属シンポ)	234
2018年 3月 9日	3	共催	前田正史教授が熱く語る特別シンポジウム	228
2018年 3月14日	5	共催	第1回非鉄金属資源・製錬・リサイクル特別セミナー@NY	24
2018年 7月30日	6	共催	SDGs 時代における資源開発後の鉱山環境対策のあり方	200
2018年 10月17日	7	共催	鋼原料中の不純物に関する国際セミナー	200
2018年 11月 9日	3	共催	チタンシンポジウム2018	208
2018年 11月30日	3	主催	E-scrap シンポジウム2018	167
2019年 1月11日	3	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第6回貴金属シンポ)	270
2019年 3月 8日	1	共催	佐藤修彰教授と藤田豊久教授が熱く語る特別シンポジウム	112
2019年 3月13日	5	共催	第2回非鉄金属資源・製錬・リサイクル特別セミナー@NY	26
2019年 5月22日	3	共催	今後の循環経済を見据えた希土類国際シンポジウム	80
2019年 8月 5日	6	共催	SDGs のための資源・材料の循環使用に関するシンポジウム	207
2019年 11月15日	3	共催	チタンシンポジウム2019	216
2019年 11月28日	3	主催	素材プロセッシング分野(環境リサイクルを含む)における産学連携に関するシンポジウム	172
2020年 1月10日	8	共催	貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線(第7回貴金属シンポ)	293
合計				4990

備考:

- 1 先端科学技術センターENEOS ホール, 東京大学駒場キャンパス, 東京
- 2 InterContinental Hotel, Santiago, Chile
- 3 生産技術研究所コンベンションホール, 東京大学駒場キャンパス, 東京
- 4 伊藤国際学術研究センター, 東京大学本郷キャンパス, 東京
- 5 The Nippon Club, New York, USA
- 6 日本学術会議講堂, 東京
- 7 東海大学友会館, 霞が関ビル, 東京
- 8 鉄門記念講堂, 東京大学本郷キャンパス 医学部研究棟, 東京

している。第2期では、第1期の活動をさらに発展させ、より広い範囲の一般社会、特に高校生以下の低年齢層やその保護者に対して、本分野の魅力を伝えるアウトリーチにも注力している(図1参照)。

第2期の寄付ユニットは、主に、岡部 徹、中村 崇、所千晴の3人の特任教授が寄付ユニット(3研究室(=独立した3講座))を運営し、小学生から高校生を対象とした講義やセミナー、理科実験等の啓発型の活動を行うとともに、学生の親にもアピールするべく各種のアウトリーチ活動、メディアへの広報活動を行なった(図2参照)。

本寄付ユニットには、非鉄金属産業界初、さらには、産学連携分野でも新しいユニークな取り組みがいくつかあり、その特徴を簡単にまとめると以下のとおりである。

- (1) 将来金属非鉄産業や学術・教育分野を担う人材の育成
- (2) 非鉄金属産業の重要性・将来性を広く一般社会に対して啓発するアウトリーチ活動
- (3) 子供への積極的な啓発活動
- (4) 動画のWeb配信等、ITを駆使した教育・アウトリーチ活動
- (5) メディアに積極的に働きかける活動



図1 2017年1月6日(金)に行われた、寄付研究部門 第2期活動開始の記者会見の様子。

生産技術研究所の藤井 輝夫 所長(当時、現 東京大学 理事・副学長)による挨拶に始まった合同記者会見では、JX 金属株式会社 澤村 一郎 副社長が、第1期の活動の総括と第2期への期待を述べた。また、新たに本寄付研究部門の特任教授に加わった所 千晴 教授(早稲田大学 理工学術院 教授/東京大学生産技術研究所特任教授併任)より今後の抱負と展望が語られた。記者会見には、多くのメディアが集まり、本寄付研究部門への注目度の高さがうかがわれた。



図2 出張授業の様子。2019年10月8日(火)午前、佐賀県武雄市武雄中学校にて、中学1年生240名に対し、JX金属の大井 滋 特別理事(前社長)、所 千晴 特任教授、岡部 徹 特任教授が出張授業を行った。また、同日午後には、理科好きの中学生に対し、JX金属の関係者(技術者・研究者)が中心となって、銅とコバルトの混合溶液から、銅イオンのみを抽出分離し、さらにこれを還元して金属の銅を得る実験を行った。地方での出張授業と出前実験は大いに盛り上がり、講演会の様子はNHK佐賀のテレビニュースをはじめ、新聞等でも報道された。

本寄付ユニットのその他の特筆すべき特徴は、アウトリーチや人材育成を活動の中心に据えているため、寄付金を研究に使わなくてもよい点である。この「アウトプットとして研究成果が求められない新しい活動」については、大井 滋 JX金属特別理事(前社長、当時、執行役員)と筆者らが、「従来にない新しいタイプの寄付講座」の構想を練る議論の中から生まれた、先進的なビジョンおよび制度設計である。同様の運営スタイルや取り組みは、後に京都大学等で開設された寄付講座にも導入されている。

従来型の寄付講座には、上記のような取り組みについて行われた先例が無かったため、本寄付ユニットを立ち上げた当初は、非鉄産業界関係者にその意義や取り組みの重要性・進歩性を説明するのに多大な苦勞を要した。

4. 文部科学大臣表彰 科学技術賞を受賞

人材育成、アウトリーチ型の新しいタイプの寄付講座は、開設当初は、一部の学側の研究者からは冷やかな目で見られることが多かった。なぜならば、企業からいただいた巨額の寄付金を、研究にではなく、広く一般社会に向けた啓発に投じる活動であったからである。

「学術論文の生産を中心とする研究活動以外は、大学で行うべきではない」と考える一部の人は、この寄付講座は「大学で行うべき活動か?」といった批判的な反応も多かった。事実、本寄付ユニットの活動は、材料系の学会をプラットフォームとして行うべきである、との意見も多数寄せられた。

現在でも、一部の研究者、教育関係者は同様の見方をしている。しかし、一連の活動の意義や将来性・重要性について認めてくれる人も次第に多くなっているのも事実である。

2019年4月には「非鉄金属資源循環分野の重要性や将来性の理解増進と普及啓発」に対するわれわれの活動に対し

平成31年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 表彰式



図3 2019年4月17日、JX金属寄付ユニットおよびJX金属の主要メンバーが「非鉄金属資源循環分野の重要性や将来性の理解増進と普及啓発」に関する活動に対して、平成31年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞を受賞した。第1期で行ってきた若手人材や専門家への啓発・育成に加え、一般社会、特に高校生以下の若年層およびその保護者に向けて、出張講義、特別講演、理科実験講座等を数多く開催し、本分野の魅力、重要性、将来性が伝わるよう注力した。一連の地道な普及活動(アウトリーチ活動)の実績が評価された。受賞者：左から、前田正史(京都先端科学大学 学長、東京大学 名誉教授)、岡部 徹(東京大学 副学長、東京大学 生産技術研究所 教授)、所 千晴(早稲田大学 理工学術院 教授、東京大学 生産技術研究所 特任教授)、中村 崇(東京大学 生産技術研究所 特任教授、東北大学 名誉教授)、大井 滋(JX金属株式会社 代表取締役社長(当時)、写真は、代理：宮林良次 JX金属株式会社 常務執行役員)

て、本寄付ユニットおよびJX金属の主要メンバーが平成31年(2019年)度 文部科学大臣表彰 科学技術賞を受賞する榮譽に浴した(図3参照)。

本受賞の対象となった業績は以下のとおりである。

社会の持続的な発展には、環境を保全しながらリサイクルを推進し、資源を循環させる必要があります。

本活動では、リサイクルの推進に不可欠である非鉄金属製錬技術を利用・発展させ、レアメタルをふくむ非鉄金属に関して新たな環境調和型リサイクル技術・システムを構築するために、同分野の専門家が情報交流を促進する場を設けるとともに、非鉄金属資源循環分野の重要性や将来性に関する理解増進と普及啓発を行ってきました。

若手人材や専門家の啓発・育成に加え、本分野の重要性や魅力を一般社会に対して伝える啓蒙活動が多角的に展開され、高度循環型社会に不可欠な非鉄産業の重要性の理解増進と将来性の啓発に寄与したと期待されます。

5. 国内における波及効果

数年が経過し、筆者らの活動とその重要性が広く非鉄業界に認められるにつれて、同様の活動が全国に広がっている。今では、京都大学が三菱マテリアル株式会社と連携し、また、東北大学が住友金属鉱山株式会社と連携して、人材育成型の寄付講座を新たに開設して持続的な発展を目指している。一連の活動は、すでに非鉄金属の学会誌や業界誌に記事

として紹介されている⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。

京都大学の谷ノ内の記事⁽⁴⁾は、京大の寄付講座が最初のアウトリーチ型・人材育成型の寄付講座であると勘違いさせる記述となっている。誤解の無いようにコメントしておく、寄付講座開設の時系列からも明らかなように、京都大学の寄付講座は、本寄付ユニットの活動や実績を踏まえて開設されたものである。

その後、東北大学では、共同研究、人材育成、社会への啓発等、多様な産学連携活動に重点を置いた共同研究部門を開設して、活動を行なっている⁽⁵⁾。今後、同様の活動が業界の枠を超えて全国、全世界に広がることを期待している。

6. ネット配信によるアウトリーチ

2015年から著者らは、非鉄金属関係の情報を広く一般に普及させることを目的として、テンミニッツTV (<https://10mtv.jp/>)のウェブサイトを利用して、非鉄金属系の講義や解説の配信を開始した。現時点は、計4回の収録で合計23話を配信している。全講義の総視聴回数(配信開始～現在)は、延べ2万回以上になっている。

<テンミニッツTV (<https://10mtv.jp/>)配信講義一覧>

https://10mtv.jp/pc/content/lecturer_detail.php?lecturer_id=71

▼第1回収録：2014/12/11 配信開始：2015/04/20～

- 1 レアメタルとは何か～レアメタルをめぐる主要課題
- 2 中国レアアース対日禁輸と日本の資源戦略
- 3 レアな研究者はいかに「精錬」されたか
- 4 夢は「チタン閻魔」～チタンをコモンメタルへ
- 5 紛争鉱物～レアメタルが抱える光と影
- 6 不安な白金族金属～パラジウムが世界に及ぼす影響
- 7 レアメタル資源戦略～四つのポイント
- 8 アニメで入門「身近なレアメタル」
- 9 レアメタルは本当に体に良いのか？

10 岡部徹の世界の鉱山・精錬所アドベンチャー紀行

▼第2回収録：2015/04/20 配信開始：2015/08/06～11～17 レアメタルの光と影(1)～(7)

▼第3回収録：2015/07/09 配信開始：2015/08/13～

18 レアメタルあれこれ～東大岡部研究室潜入レポート

▼第4回収録：2019/08/30 配信開始：2019/09/27～19～23 科学的思考はなぜ大切か(1)「状態図」という概念他

上記の非鉄系の講義シリーズは、「一旦見出すと、すごく興味深い・面白い」という評判で、テンミニッツTVの全シリーズの中でも極めて高い再生視聴率の人気番組となっている。

非鉄系、特にレアメタルの講義をネット配信により行う試みは、国内のみならず世界的にも先駆的な取り組みである。最近では、一般の人に対して「状態図」という概念がいかに重要であるかを解説するなど、非鉄分野にとどまらず材料科学や関連技術の重要性について、様々な講義・解説を行っ

ている。

なお、昨年収録・配信を行った「科学的思考はなぜ大切か(1)「状態図」という概念」等のWeb配信の内容は、最近、書籍化され出版されている⁽⁷⁾。

上記の講義、解説のネット配信は、主として社会人向けである。これに対し、中学生・高校生などの若年層に対して、非鉄分野の重要性の理解を促進する目的で、Web配信用の映像教材も製作した。

この教育用教材は、本所次世代育成オフィス(ONG: Office for Next Generation)、室長：大島まり教授が企画・制作、JX金属から銅製錬等の映像教材提供を得て作成されたものである。2019年1月より、ONG映像教材「未来材料：チタン・レアメタル」としてネット上で無料配信が開始されている。

(https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/articles/z0205_00036.html

<https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/3034/>)

収録内容は、2018年9月22日に埼玉県立浦和第一女子高等学校で開催されたONG企画「出張授業」の内容をベースにした「未来材料：チタン・レアメタル」に関するものである。出張授業は、筆者が単独で行ったが、Web版の収録では、本学大学院生の五十嵐美樹氏(現 タレント、サイエンスエデュテイナー)が聞き手として活躍し、若年層が飽きないように工夫して映像教材を作成した。中高校生向けに、銅製錬やチタン製錬について説明している映像教材は、国内のみならず世界的にも珍しく、先駆的な試みである(図4参照)。

上記のONGの映像教材は、新型コロナウイルスで中学・高校の休校が相次ぐ中、自宅でもネット環境を整えれば、生徒が独自に学習できる教材としても紹介され、外出自粛が求められる状況に対応した講義として、メディアでも話題となった。



図4 生産技術研究所次世代育成オフィス(ONG: Office for Next Generation)、室長：大島まり教授が主催となり、JX金属が、銅製錬等の映像教材の提供を行い制作したONG映像教材「未来材料：チタン・レアメタル」。現在もネット上で無料配信されている。中高校生向けに、銅製錬やチタン製錬について説明している映像教材は、国内のみならず世界的にも珍しい。写真左：筆者、右：五十嵐美樹氏。ONG映像教材：<http://ong.iis.u-tokyo.ac.jp/visual.html> ONG STEAM STREAM (<http://ong.iis.u-tokyo.ac.jp/ong-steam-stream/>)

7. 第3期(2022年〜)における新たな活動に向けて

第2期では、公開講座、出張授業、ネットを利用する講義等のデジタル配信、などに注力し、広く一般社会に向けたアウトリーチを行ってきた。第3期は、これまでの活動に加え、「SDGs実現に向けた取り組み」をキーワードに追加した活動を行う予定である。

具体的には、SDGs実現を目指した、製錬・リサイクル技術の最前線に関するシンポジウムを開催するなど、持続型社会の実現を目指した非鉄業界の存在意義を広く一般社会にアピールする多様な活動を行う計画である。

今後、高度持続型社会を実現するためには、環境調和型のリサイクル技術の開発などが一層重要となる。非鉄金属業界がこの分野において貢献すべき課題は多く、また、本分野を進展させることができる高度な人材の育成は、日本だけでなく世界規模で重要な課題となっている。

第3期は、世界的な視点で持続型社会を捉え、また、多様な人材育成や一般社会への啓発にも注力しつつ、非鉄金属資源の循環工学寄付研究部門をさらに進展させていく予定である。

8. おわりに

著者らが取り組んできた非鉄金属分野の重要性と将来性に関する理解増進ならびに普及啓発活動に対して、理解を示す人が多くなってきたことはありがたい限りである。また、一連の活動に対して、荣誉ある賞を受賞することができ感謝している。

一般の人には目にふれることが少ない非鉄金属分野のアウトリーチ活動を始める契機となったのは、JX金属 大井 滋前社長(現 特別理事)のアイデアと強力なイニシアチブのおかげである。大井前社長と一連の活動を支えてくださった関係者の方々に、この場を借りて心より感謝申し上げたい。

これからも非鉄金属分野の重要性、将来性について広く一般社会に向けてアウトリーチし、同時に、若手人材を育成する活動を多角的に展開していきたいと考えている。本寄付ユニットは、多様な活動を展開しているが、本稿では一部の活動しか紹介できなかった。活動の詳細については、本寄付ユニットのホームページに掲載されている活動記録⁽⁸⁾を参照していただきたい。

一連の活動が、将来、非鉄産業分野の活性化につながり、わが国の産業競争力、ひいては、国際競争力の向上にも寄与することを期待している。

文 献

- (1) 岡部 徹：非鉄製錬分野における産学連携の意義と将来展望，資源素材学会秋季大会(企画セッション：非鉄金属分野における産学連携，2017年9月26日(火)，札幌)講演予稿，(2017)。
- (2) 岡部 徹：これからの産学連携のあり方と課題，資源素材学会秋季大会(企画セッション：非鉄金属製錬における産学連携の推進，2018年9月10日(月)，福岡)講演予稿，(2018)。
- (3) 岡部 徹：「非鉄金属資源循環工学寄付研究部門」および「レアメタル研究会」の活動と教育効果，生研ニュース キャンパスライフ特集号 2018-2019(産官学連携の場としての生研一研究室の窓から)，東京大学生産技術研究所，IIS NEWS(2018) 9.
<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/topics/IISNEWS/2018toku.pdf>
- (4) 谷ノ内 勇樹：非鉄製錬学の永続を目指して～京都大学での新たな取り組み～，資源と素材，3(2018)，100-102。
- (5) 福山 博之：多元物質科学研究所-住友金属鉱山共同研究部門発足～国内非鉄金属製錬業の持続的発展を目指して～，資源と素材，3(2018)，95-96。
- (6) 岡部 徹：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)～業界初：新しいタイプのアウトリーチ指向，人材育成指向の寄付講座の新設と展開～，資源と素材，4(2019)，116-118。
- (7) 現代のリベラルアーツとは何か よりよく生きるための「知の力」，岡部 徹(分担執筆)：テンミニッツ TV(編集)，発行：イマジニア株式会社，(四六判 240ページ，ISBN コード 978-4-14-081808-4(4-14-081808-5)，(2020)，59-102)。
- (8) 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)の活動記録2012-2019総集版(PDF file:11MB)，<http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/>



岡部 徹

★★

1993年 京都大学大学院博士課程修了
1993~1995年 マサチューセッツ工科大学(MIT)博士研究員

東北大学素材工学研究所助手を経て、2001年より東京大学生産技術研究所助教授。09年から教授。15年度より、同研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター センター長。19年度より東京大学 副学長。

◎30年以上、一貫してレアメタルの研究に取り組んでいる。“プロセス技術がレアメタルをコモンメタルに変える”ことを夢見て、チタンなどの新製錬技術の開発を行っている。最近、白金族金属、レアアース、レニウムなどのレアメタルの製造プロセスや新規リサイクル技術、環境技術の研究も行っている。

★★

京都大学における非鉄製錬分野の産学連携 ～非鉄製錬学講座の取り組み～

谷ノ内 勇 樹¹⁾ 宇田 哲 也²⁾

1. はじめに

非鉄金属やレアメタルの製錬・リサイクルに関する産業は、循環型社会の実現に不可欠な基幹産業です。特に近年では、エネルギー消費の少ない製錬プロセスの開発に加え、レアメタルを高濃度に含む都市鉱山からの有用資源の分離技術の開発の重要性が増しており、産業技術の開発と革新、それを支える基礎学問の発展や強力な人材の育成が世界的に求められています。

非鉄製錬分野の産学連携については、企業と個々の大学教員の間で、共同研究などが従前より行われてきました。しかし近年では、それらに加えて、寄附講座や寄付研究部門、共同研究部門など、より大きな枠組みでの連携が活発に推進されています。DOWA ホールディングス株式会社の寄附によって、2004年に東北大学環境科学研究科に環境ビジネス関連の講座が、2009年には秋田大学工学資源学部のリサイクルプロセス講座が設置されました。また、2012年には、JX 金属株式会社により東京大学生産技術研究所に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)が設立され、本分野に関するアウトリーチや人材育成が活発に進められています。2017年には、著者らの所属する非鉄製錬学講座が三菱マテリアル株式会社の寄附によって京都大学大学院工学研究科に設置され、さらに2018年には住友金属鉱山株式会社によって東北大学多元物質科学研究所に非鉄金属製錬環境科学研究部門(住友金属鉱山共同研究ユニット)が設立されました。このように、国内における非鉄製錬分野の産学連携も、未来社会へのより一層の貢献に向けて、新しいステージに進んでいます。

京都大学内には、非鉄製錬プロセスに関わる研究室が複数あります。各研究室において様々な形で産学連携が行われていますが、本稿では2017年に設立された寄附講座「非鉄製錬学講座」の取り組みを紹介します⁽¹⁾⁽²⁾。本寄附講座の活動の概略を示したのち、京都大学の教育リソースを活用して社会人、特に企業の若手技術者に提供している教育プログラムについてその詳細を紹介します。

2. 非鉄製錬学講座の概要

本講座は、三菱マテリアル株式会社の寄附によって、京都大学大学院工学研究科材料工学専攻内に設立されました。今後の非鉄製錬事業を産学両方で担う人材の育成と、非鉄製錬学およびそれを利用したリサイクル技術の発展に資することを目的として、2017年4月より活動を開始しました。

本講座では、先行する寄附講座や寄付研究部門の活動に学びつつ、「教育」を中心に据えた活動を展開しています(図1)。教育のターゲットとしては「企業の若手技術者」「公的研究機関の若手研究者」「京都大学の大学生・大学院生」「理系の高校生」そして「講座のスタッフ自身」を設定しており、非鉄製錬学の永続的な発展を目指して多角的な活動を行っています。

例えば、企業の若手技術者に対しては、次節でその詳細を紹介する通り、産業プロセスの論理的理解の基盤を得るための教育プログラムを提供しています。公的研究機関の若手研究者に向けては、東京大学生産技術研究所のJX 金属寄付ユニットと東北大学多元物質科学研究所の住友金属鉱山共同研究ユニットと協力し、合宿形式の研究討論会を持ち回りで開催しています。また、理系の高校生に向けては、金属系およ

* 京都大学大学院工学研究科材料工学専攻 1)特定准教授 2)教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
Industry-Academia Collaboration for Non-ferrous Smelting at Kyoto University ~Initiatives of Laboratory of Non-ferrous Extractive Metallurgy~; Yu-ki Taninouchi and Tetsuya Uda (Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto)
Keywords: industry-academia collaboration, non-ferrous smelting, non-ferrous extractive metallurgy, endowed chairs, education program, industry engineers
2020年4月17日受理[doi:10.2320/materia.59.477]

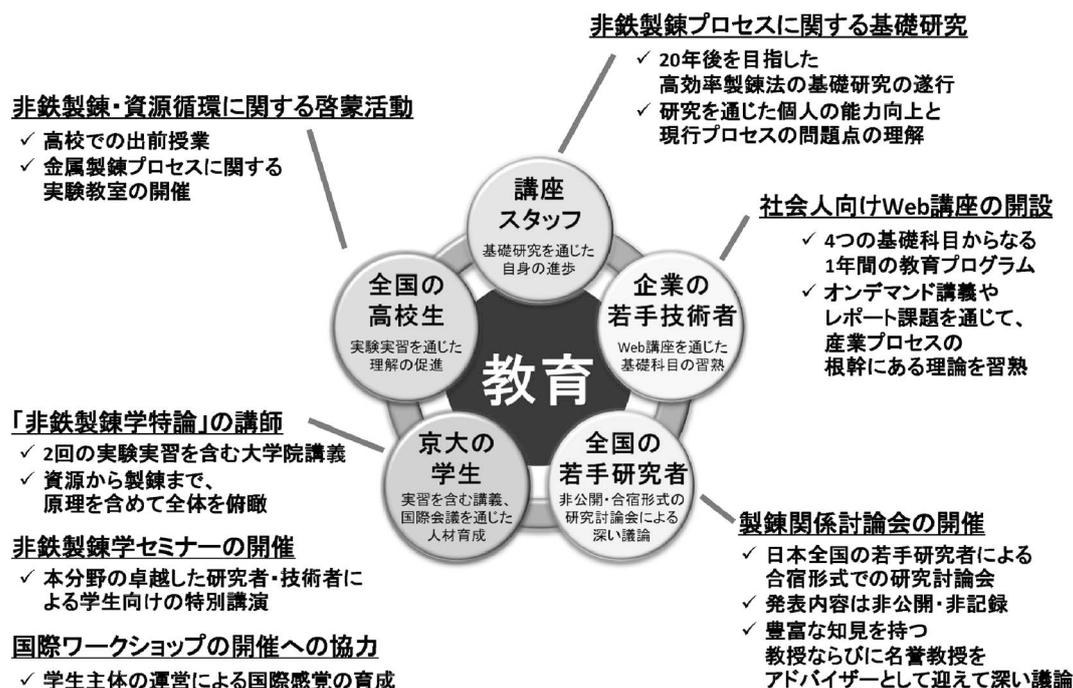


図1 非鉄製錬学講座が進める教育志向の活動⁽¹⁾⁽²⁾.



図2 高校生向け実験教室「金・銀・銅を作ろう！」の様子(2017年8月, 京都工学院高等学校の学生が参加)⁽¹⁾.
(a) 溶媒抽出による金とパラジウムの分離,
(b) 灰吹きによる金・銀の分離.

び材料系の工学部への進学ならびに非鉄製錬業への理解を促進するため、実験教室「金・銀・銅を作ろう！」など体験型学習の場を提供しています(図2)。大学の設備を使用するため関西圏の高校生が主な対象となりますが、電解精製や溶媒抽出、灰吹きの実験を通じて、国内の製錬所が都市鉱山のリ

サイクルや廃棄物の処理にも重要な役割を果たしていることを伝えています。

3. 社会人向け Web 講座

非鉄製錬学講座では、製錬・リサイクル産業で働く技術者向けの教育活動として、社会人向け Web 講座を開講しています。製錬・リサイクルに関するプロセス技術の開発・革新には、その根底にある基礎理論の理解が重要となります。その一方、学問分野の多様化にともない、製錬・リサイクル産業を担う技術者の出身学科も多様化しています。特に20代から30代の若手技術者についてその傾向が強く、産業界の人材育成として、金属製錬に関する基礎学問の習熟の重要性が高まっています。社会人向け Web 講座は、このような要望に大学から応える新たな取り組みであり、京都大学の有する教育リソースを積極的に活用した充実の内容となっています。

本教育プログラムは、京都大学大学院工学研究科材料工学専攻の教員を講師とする4つのオンデマンド講義で構成されており、期間は前期・後期を合わせて1年間となります(図3)。秋開始の前期科目は、化学熱力学基礎(全14回、講師：宇田哲也)ならびに状態図と組織形成(全14回、講師：豊浦和明、安田秀幸)であり、前者では化学ポテンシャルの概念を中心にプロセス設計の基礎となる熱力学を、後者では合金熱力学の基礎と三元系まで含めた平衡状態図の読み取り方を学びます。両者とも、京都大学工学部物理工学科材料科学コースの講義を基にしています。春開始の後期科目は、冶金電気化学(全14回、講師：邑瀬邦明、深見一弘)とパソコ

前期科目	化学熱力学基礎	 宇田 哲也 教授	
	状態図と組織形成	 安田 秀幸 教授	 豊浦 和明 准教授
後期科目	冶金電気化学	 邑瀬 邦明 教授	 深見 一弘 准教授
	パソコンによる 化学ポテンシャル図の 書き方と運用	 畑田 直行 助教	

図3 社会人向け Web 講座の4つの科目と担当講師.

ンによる化学ポテンシャル図の書き方と運用(全7回, 講師:畑田直行)です. 前者は, 化学熱力学を習得済みの学部生を対象とした板書形式の講義を利用しており, 電解などの湿式製錬プロセスや電池, めっき, 腐食の根底にある理論を学びます. 後者は, 社会人向け Web 講座のために撮り下ろした講義であり, フリーソフト Chesta を使用して, 多元系の化学ポテンシャル図や錯体を含む電位-pH図の作成方法とその運用を学びます. 受講生には4科目合計で約670ページのテキストが配布され, 必要な時にいつでもどこでも何度でも講義を視聴することができます.

本務のある社会人の方々にとって, 本教育プログラムの受講は簡単なものではありません. ほぼ毎週, 90分程度の講義ビデオを視聴する必要があり, 理解度を試すためにレポート課題も課せられます. さらに, 前期・後期の最後には, 京都で期末試験を受けてもらい, その結果によって各科目の合格・不合格が決まります(図4). これまで, 全ての受講生が全科目に合格しているわけではありません.

このように社会人向け Web 講座は, 本気で学びたい人のための緊張感のある教育プログラムです. 新しい試みであり, 特に第1期生の募集時には, 産業界から賛同をいただけるかを心配していました. しかし, 非鉄製錬に関連する民

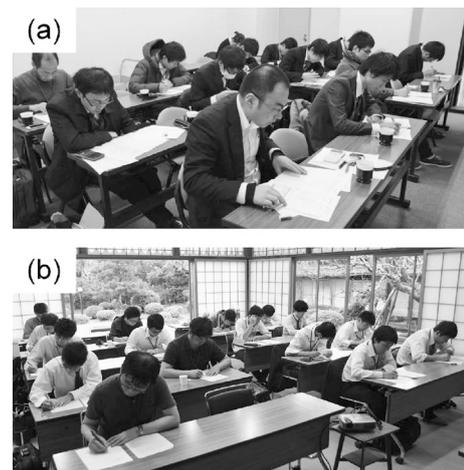


図4 社会人向け Web 講座の期末試験の様子. (a)第1期プログラム前期期末試験(2018年2月京都大学)⁽²⁾, (b)第2期プログラム後期期末試験(2019年10月関西セミナーハウス)⁽³⁾.

間企業・官庁から定員を超える応募をいただき, 7社より計14名の受講生を迎えて, 2017年秋より第1期プログラムを開始することができました(図5). その後, 2018年秋に開始

大阪大学における産学連携の特徴と 材料基礎分野での産学連携

杉山 昌章*

1. はじめに

情報社会の変革や企業活動のグローバル化が急速に進み、研究開発のスピードと質の向上が従来以上に問われる中、大学と企業の関係も急速に変わろうとしている。素材産業分野では、先端解析技術が進化し、計算科学技術の発展だけでなく人工知能の登場も含め、素材プロセス技術と材料組織設計を分けて考える時代ではなくなり、幅広い視野で全体として起きている現象を定量的に解明しながら、新しいプロセス技術と組織設計技術を連動させていかなければいけない。このような時代になると、求められる専門性、実験装置、解析技術も多岐に渡り、大企業においても自社内技術だけでは対応できないフェーズに直面することが増えてくる。しかしながら、契約問題や秘密保持の課題、また利益相反に代表されるコンプライアンスの問題など、理想的な産学連携を実現するためには、多くの課題があるのも事実である。これらの問題を少しずつ解決しながら、日本型の産学連携の在り方を模索していくことが重要である。

筆者は長く企業の研究活動に従事した後、5年前から大阪大学大学院工学研究科の特任教授として赴任した立場である。企業時代に産学連携に絡むこともあり、大阪大学の産学連携に対する取り組み方は非常に柔軟性があり、民間企業にも非常に連携し易い環境が作られていると感じていた。例えば大学内における民間企業の基礎的な自主研究が認められており、その上で、新たな共同研究課題や人材育成の芽を育む機会が提供されている。一朝一夕ではこのような体制はできないと思われるが、それは実際に大阪大学に赴任後にも実感したことである。そこで、これまでの経緯や大阪大学での産学連携の発展の歴史も含め、その特徴を一企業の協働研究所

の視点からではあるが紹介したい。

2. 大阪大学の産学連携の特徴

大阪大学の産学連携の特徴は、他大学に率先して、全学組織的レベルで企業との研究連携契約体制を確立してきたことであろう。これは従来の人と人のつながりから生まれていた委託研究や共同研究に対して、組織対組織への転換をいち早く図ったものだと伺っている。そのコンセプトの「Industry on Campus」に明確に提示されているように、企業の研究活動を大学内に持ってくる、或いは展開するというものである⁽¹⁾。最初にこれを聞いた時には大変驚いたことを覚えている。私も大阪大学基礎工学部の卒業生であるが、もちろん私がいた頃は、大学の中に企業関係の人などはほとんどいなかった時代である。それから35年、大学の生協食堂でも、企業からの研究者に会う時代となったのである。もっとも最初は企業のスタイルを大学に持ち込んで良いものかどうか相当に悩み、実際は、大学の研究室のように振舞いながら学生らとの議論に参画させてもらったことを記憶している。

さて歴史的には、大阪大学では2006年に共同研究講座制度が導入され、企業からの研究者が特任教授や招へい教員の形で大阪大学の共同研究講座に出席を含む様々な形で在籍し、共同研究を展開するようになった。大学側の研究室と密接な連携を行いながら、講座の運営、研究の推進、知的財産の創出などが行われた。この大阪大学における産学連携体制の在り方を、後述するその後の変化と合わせて図1(阪大資料)に示す。この共同研究講座の特徴は、企業からの研究代表者と、対応する大学側の研究代表者が連携して複数年契約で共同研究を展開するが、興味深い点は、大学側の研究代表者が巧みな形で大学本来の運営と企業側のニーズや考え方の

* 大阪大学大学院工学研究科；特任教授，日本製鉄材料基礎協働研究所：所長(〒565-0871 吹田市山田丘1-2)
Features of Industry-University Collaboration Activity on Fundamental Research Field in Osaka University; Masaaki Sugiyama (Nippon Steel Research Alliance Laboratories, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)
Keywords: *industry on campus, research alliance, fundamental research, material science*
2020年6月3日受理[doi:10.2320/materia.59.481]

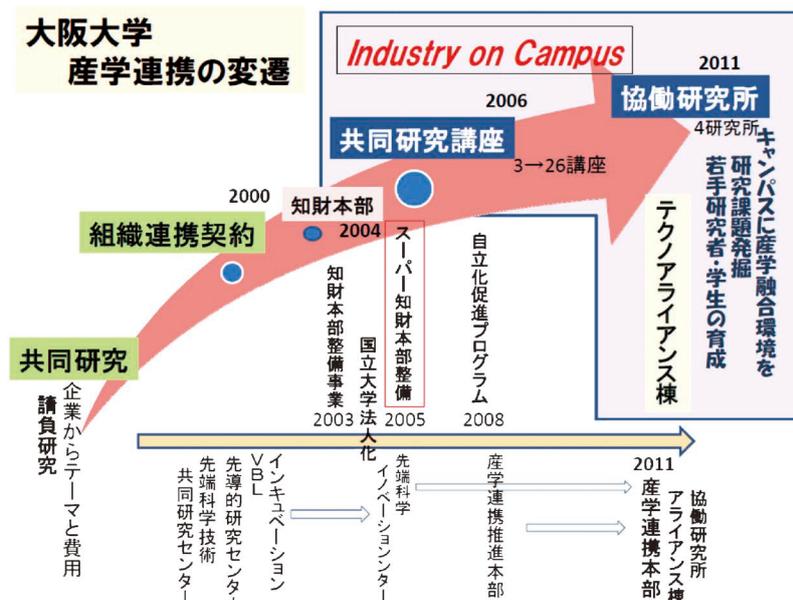


図1 大阪大学の Industry on Campus のコンセプトの発展経緯⁽¹⁾。(オンラインカラー)

橋渡しをしている点である。もちろん上手くいくケースとその逆のケースもあると想像するが、2006年の設立当初は3件でスタートしたが、翌2007年には11件と倍増し、10年後の2016年には40件という数になっていることから、いかに企業側にとっても価値ある制度設計になっているのかが伺える。なお2018年には70件と最近の2年間でも倍増に近い動きであり、これは今の社会の「産学連携」機運が見事に反映されているのではないかと思う。この設置数の変化を図2(阪大資料)に示す⁽²⁾。

この共同研究講座に参画している部門であるが、大阪大学では医学系と工学系が多い。医学系では先端的免疫学研究や創薬関連が強いと思うが、工学系では、鉄鋼から造船、工作機械や部品、化学製品、家電から先進材料、計測事業からIT関連まで、ほとんどすべての業界からの参画が実現している。またこれらは大企業から中堅、さらにはベンチャー企業の立ち上げまで、実に多岐に渡った魅力に溢れた集団となっている。集団と称したのは、後に紹介する協働研究所も含め、特に工学部ではこれら大阪大学に参画している民間企業メンバーの間での情報交換もまた、秘密保持を遵守した上でこのことは常識であるが、盛んに行われているからである。これは数の効果である。また工学部関連の例ではあるが、教授会での必要な審議事項を我々産学連携メンバーにも情報提供、意見交換できる場が作られている。さらに我々の活動状況の一部を学生らにも容易に見てもらえるように、「工学部ギャラリー」の設置など、様々な施策が行われているのである。

なぜこのような活性化された企業集団が大阪大学の中に位置づけられていくのかという事を考えた場合、「Industry on Campus」という概念の卓越性にあると思われる。産学連携を希望する企業の業種、規模、取り組み方により、そこで期



図2 共同研究講座及び協働研究所の年代に伴う件数の推移⁽²⁾。(オンラインカラー)

待する産学連携の在り方は全く異なる様相を呈するのが実情であり、一律の枠組みではうまくいかない。大阪大学の特徴は、そのあたりの企業側の異なるニーズや、研究開発フェーズを非常にうまく実現できる環境を提供可能な仕組みとして作り上げた点にある。企業によっては、自社の研究所の機能の多くを大阪大学内に移したり、逆に自社の事業ドメインとは異なる領域での新しい新規事業を大阪大学内で立ち上げたり、また大阪大学の優れた研究陣とのネットワークを作るリエゾンの役割に徹したり、我々のように基礎研究に主眼をおいた取り組みなど、その形態は様々である。それだけに民間企業同士の交流においても、研究の話だけでなく、社会の在り方や企業活動の在り方など、哲学に近いような意見交換もできる集団となっている。もちろん企業人からみると、大学ならではの不思議なルールもたくさんあり議論沸騰となることもあるが、それは時間が解決してくれるものである。

3. 共同研究講座から協働研究所への展開

共同研究講座の活動が軌道に乗ってくると、当然ながら多分野の先生方との情報交換も増え、また一つの共同研究分野だけでは収まりきれない場面が多々でてくることは容易に想像できるであろう。そのような新しい活動スタイルとして、大阪大学では、包括的な連携を可能とする協働研究所という仕組みが2011年に設定された。図1、及び図2に掲載したように、この協働研究所の設置件数も、最初の5年で3件から7件と倍増し、2018年には、17件、また図には記載できていないが、10年目の2020年は19件と飛躍的な件数の伸びを示し、複数の企業が連携して参画する場合もあるので、現在、共同研究講座・協働研究所は合計で100件、関連企業は120社を超えている。

この協働研究所の特徴であるが、主管部局(例えば工学研究科)に対して他部局との連携も設立条件としていて、多面的な産学共同活動拠点を大阪大学内に設置する点が挙げられる。また研究だけでなく、研究・教育を行うことが提示されていて、まさに人材育成が設立目的に明確に述べられている点も興味深い。もちろん主幹研究室のように学生の生活そのものに責任を持つものではないが、研究推進という点においては、他研究室との連携の中で、学生への研究指導もできる形になっている。また自社企業の若手の育成の場などにも活用することができ、共同研究講座とはまた違う非常に幅広い研究活動、人材育成ができるようになってきている。もっとも、参画するメンバーが多岐に渡っているということは、大学と企業の双方において、秘密保持や研究成果の取り扱い、また開示された情報の取り扱い、さらには連携して研究する学生への意識付けの問題など、一朝一夕では解決されない様々な重要課題が浮上してくるが、そのあたりは、大阪大学が長年培ってきた産学連携に関する取り組みをベースに、日々、個

別議論の中から最適解を導き、またそれらを蓄積しながら前に進んでいる段階である。

このように大阪大学では、他大学と比較しても、かなり大胆な形で産学連携活動が推進されているように思える。またそこで発展してきた仕組みは、今後の日本の産学連携の在り方、それは研究開発だけでなく人材育成も含め、多くの指針を与えているのではないだろうかと推察する。そのような研究活動の中から現在新しくでてきた考え方が、図3(阪大資料)に示す「研究開発エコシステム」である⁽²⁾。これは大阪大学の新しい「産学共創」という取り組みにも表れているが、我々としては基礎研究を重視した上での好循環を造ろうとしているように思える。100件近い産学連携活動、すなわち様々な社会ニーズに触れる環境が大学の中にあると、基礎研究の成果、或いはその研究プロセスの過程で生まれる副産物が、いち早く社会実装される機会が増えてくる。またそこで必ず新しい社会課題が出てくるわけであるが、IndustryがCampusの中にあるために、その新しい社会課題を大学のような研究現場へフィードバックすることも容易となる環境が揃いつつある。もちろん一般の企業の技術開発とはこのようなサイクルの連続であるが、企業内で行われている研究開発サイクルと、大学内で展開される研究開発サイクルが、何か協働研究所にいる人材を通じてオーバーラップできる点に、新しい可能性が秘められている。ここに我が国がこれから考えていかなければならない産学連携の新しい形の人材交流のヒントがあるのでないかと期待している。もちろん、個人情報管理や企業秘密管理が従来以上に厳しくなった現代社会においては、人材交流はそう簡単ではないであろうが、技術立国の日本であるならばこの領域における人材交流、さらには人材流動を具体化できる社会の構築は、個人的には一つの興味深い論点だと考えている。なお大阪大学では、「Industry on Campus」をより学生の教育方面にも展開し、工学研究科ではさらに本年4月より、「産学官連携コース」と



図3 大阪大学の新しい研究開発エコシステムの考え方⁽²⁾。(オンラインカラー)

して新しく「Internship on Campus」をスタートしている。

4. 材料基礎分野での日本製鉄㈱の産学連携

大阪大学では、様々なスタイルでの産学連携活動が展開されていることを紹介してきた。その中で、研究開発エコシステムにみられるように、大学における基礎研究、また学生教育という面での基礎学力強化は、特に我が国の材料研究分野にとっては非常に重要である。鉄鋼材料を始めとして、各素材の基礎となる熱力学や材料組織学、量子力学などの学問領域は、脈々と大学の講義として継続されてきているが、材料学が進歩し、特に計算科学の進歩や計測・分析技術の進歩により今まで見えなかった領域が見えてきたり、計算と実験の双方を上手く組み合わせることで、推定でしかなかった現象に対する新しい事実が見つかったりするケースが増えている。これらの新しい時代を見据えた材料研究に対する研究スタイルを考えると、民間企業内の研究所だけではどうしても対応が十分でない場合が出てくる。また少し時間をかけて取り組まないと、すぐに目的課題を解決する糸口まで辿り着かない現象も多い。さらにこれだけ先端技術が多岐に渡って発展してくると、ある課題を解決する時に必要な分析装置や計算科学手法を必ずしも保有しているとは限らず、判っていても自社内の技術だけでは課題解決しない場面が増えている。特に、大学の先生方が持っている多方面での専門技術は魅力的である。これらを有機的につないでいくためには、従来のように、研究テーマを提示して、ある一定期間後に研究成果を求める共同研究スタイルでは、なかなか新しい局面を切り開けない可能性がある。

特に材料基礎分野であればこそ、大学と企業が組織対組織で包括契約を結んで、共同研究を展開する価値が高い。各社各様で色々な考え方があると思われるが、日本製鉄㈱はそのような観点で、従来の共同研究スタイルから、大阪大学のIndustry on Campus 制度を活用して、これまで、共同研究講座、さらにはその発展形である協働研究所を設立して、産学連携を推し進めている。その様子を図4に示す⁽³⁾。2015年度には、世の中での高強度鋼板のニーズが非常に高まる中、その高強度組織の中核となるマルテンサイト変態の研究を中心にマルテンサイト基礎科学共同研究講座を設立した。この時は、大阪大学のマルテンサイト研究に強い研究室との共同研究でスタートしたが、その後大学内での他分野との連携も深まり、昨年度よりこれを材料基礎協働研究所へと発展させ、幅広く材料基礎研究課題を共同研究テーマの形で推進している。また単に材料分野だけでなく、情報科学やAI関係分野、エネルギーや環境問題など、議論の輪は徐々に拡大されている。大阪大学には人文系も含めた総合大学の魅力もあり、大学内に在勤していることで出会う様々な機会を有効活用し、多方面に渡る専門力を如何に鉄鋼分野のような素材プロセス分野に活用するかも鍵である。また協働研究所は、次世代型の挑戦的課題も展開できる仕組みであることも述べておく。

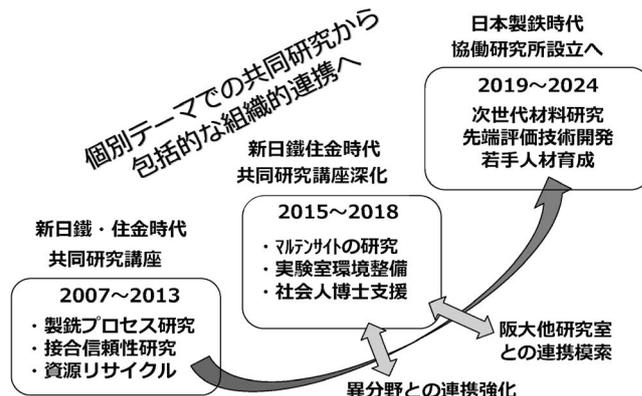


図4 大阪大学との連携を共同研究講座から協働研究所へと展開⁽³⁾。

従来型の共同研究と、この産学共創型の共同研究、協働研究所の違いを筆者の感じている印象にはなるがもう少し説明してみたい。従来は、基礎研究や応用研究の一部において、テーマのアウトソーシング型で大学との共同研究を展開してきたが、日本製鉄材料基礎協働研究所では、大阪大学の中に企業活動の拠点を作り、そこに企業からも人材を直接派遣できる形を取っている。企業課題が判っている研究者が大学内にいることで、大学の中ではそれを課題として明確にしなくても、大学内の基礎研究を展開する中で必要な研究成果をそのまま企業活動に反映出来ることになる。もちろん大学でも、社会に最終的には実装されていく基礎課題がどんなものであるのかを知る機会が増え、そこでの議論から新しい研究テーマが生まれるきっかけとなることも多い。特に基礎研究の分野では、明確な応用課題を提示しないで裾野の広い議論と研究推進が必要であり、なかなか契約書ではコミットメントしづらい場合が多い。やはり産学を繋ぐ人の存在が重要であり、試行錯誤を繰り返しながらではあるが、これは今後の一つの形になっていくのではないかと考えている。

我々がこの仕組みを活かして、材料基礎協働研究所で現在主に取り組んでいる課題は、鉄鋼材料の機械的特性やその他の様々に要求される特性に対して、特に材料組織学的な要素との因果関係を解明していくことを一つの目標としている。一つでも多くのその支配因子を抽出することができれば、様々な形で新しい材料組織設計のシーズ技術が生まれることになり、そこからまた製造プロセスにフィードバックして、より良い製品を造る足掛かりを築いていくことができる。またこのような基礎研究では、得られた支配因子データをタイムリーに活用することが重要であり、大学の中に拠点を構えているメリットもさらに向上する。情報交換や情報提供がいつでも出来るからである。

現在の材料科学は、マクロからメソ、そしてナノ(原子レベル)へと階層的に考えられることが多いが、図5に示すように、それらを有機的につなぐことが重要である。但し、試料サイズが異なればその結果を同一に解釈してはいけない場合もあるし、また原子レベルとマクロな現象を簡単に結びつ

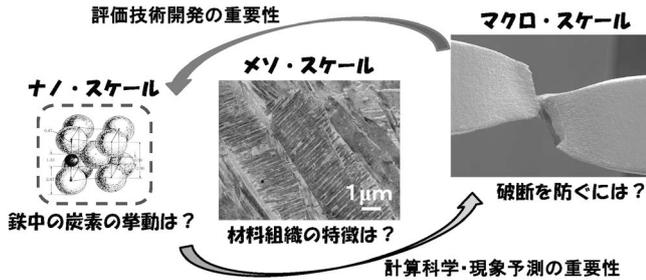


図5 サイズ次元の違う実験結果や解析データを全体像として理解する評価技術の開発と現象予測の重要性。

けることはできない⁽⁴⁾。様々な計算科学的手法や解析手法の工夫が必要であり、そこには時間をかけてじっくりとやるべき領域がたくさんある。これらも大学という環境利点を活かすには好都合である。このような研究環境が功を奏して、最近では、任意の機会でも企業からの研究者が来訪してくることも多く、また大学内においても、様々な研究室の若手・中堅の先生方や学生らが議論に尋ねてくるが増えている。そのような時は、思いがけない視点から新しい着眼点が見つかることが多く、如何に材料研究が素材によらず、一般化された学問体系の中で議論していった方が現象を理解するのに役立つのかを痛感するものである。我々の協働研究所に関わる学生達にも、常にこのようなメッセージを発信しているので、その意味では、大学からみても新しい形での人材教育の手段の一つとなるかもしれない。このあたりは、今後の大阪大学の「研究開発エコシステム」の中でも、大いに議論されていくのではないかと考えている。

近年、様々な場面で活用されているこのマルチスケール視点での材料研究上の幾つかの課題やアプローチは、まさに産学連携のメリットを享受できる領域の一つとなっている。大学と企業からの研究者が自由に集まって行う日々の議論から、それらに対する新しいヒントが生まれることが、産学連携ならではの基礎研究の価値の一つである。さらに大阪大学内にいる他企業のメンバーとの出会い、また他大学や、学協会活動などを通して外部との積極的な連携もやり易いというOn Campusならではの利点もある。我々の活動は、大学発の技術をベンチャー化しようとするような産学連携とは少し違うが、大阪大学の特徴を生かした産学連携のスタイルの一つであっても良いと考えている。

現在の大阪大学は、これまで「Industry on Campus」を掲げ、常に新しい産学連携モデルに挑戦してきていると感じる。そして、社会における活動主体が多様化し、それぞれが担う役割が重層的になってきた今、産業界と大学が共に何をを目指すか、何が課題になっているかを考え、新しい知を創り出す、すなわち『共創(Co-creation)』する大学へと変革を遂げようとしていると伺っている。今後のさらなる展開が楽しみである。現在大阪大学内では、このように協働研究所につぐ新しい形、システムでの産学共創が始まろうとしているが、その先には人材という面でも新しい産学の交流が増えて

いくかもしれない。欧米並みの産学での人材交流ができる時代がくれば、日本も変わっていくのではないかと期待する。

5. ま と め

大阪大学の進める現在の産学連携活動について、材料組織設計や素材プロセス分野での基礎研究を展開する一企業の協働研究所の立場から、歴史的な変遷も含めて概説させていただいた。今後の産学連携を考えるにあたり、大阪大学の特徴は、企業の課題の判る人材が容易に大学と交流できる仕組みと、大学内での研究展開を自由に拡大できるその制度設計にあると考えている。昨年「までりあ」に、大学の立場からの産学連携の現状と課題を論じた非常に興味深い記事が投稿されている⁽⁵⁾。情報社会の進歩や我々の生活スタイルの変化の中で、その基盤を支える金属材料の基礎研究の重要性がなかなか外部予算を獲得しづらい現状を鑑みると、それらを必要とする企業側からの大学へのアプローチも重要な時代になったのではないかと感じる。これからの新しい日本の材料基礎研究分野の発展と、そこでの良い人材が育っていくことを心より願ってまとめたい。

本稿をまとめるにあたり、大阪大学側の多くの資料を提供いただいた大阪大学共創機構・機構長補佐の北岡康夫先生に心より感謝いたします。また本原稿を書く機会をいただいた大阪大学理事・副学長の田中敏宏先生(工学研究科田中研究室)に謝意を表します。その他、工学研究科馬場口研究科長、社会連携室の皆様や、大阪大学の多数の兼任教授の先生方に、我々の日々の研究活動を支えていただいております。ここに感謝の意を表します。

文 献

- (1) 文部科学省：科学技術・学術審議会産業連携・地域支部部会，産学官連携推進委員会；2012.6.18(第9回)，資料2「大阪大学産学連携活動Industry on Campusを目指して」より。
- (2) 内閣府未来投資会議構造改革徹底推進会合(イノベーション)第5回：2019.10.31(第5回)資料7「大阪大学が目指すイノベーションエコシステム」p4, p17より。
- (3) 宮原光雄：第13回大阪大学共同研究講座シンポジウム，2019.11.11，『日本製鉄の産学連携の取り組み～「知」「人材」の好循環』講演資料より。
- (4) 杉山昌章：生産と技術，68(2016)，52-57。
- (5) 正橋直哉：までりあ，58(2019)，427-432。



杉山昌章

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
1985年 大阪大学大学院基礎工学研究科 物理系物性学分野博士課程修了(工学博士)
1985年 新日本製鐵先端技術研究所入社
2012年 新日鐵住金先端技術研究所 上席主幹研究員
2015年 大阪大学大学院工学研究科 特任教授
2019年 大阪大学 日本製鐵材料基礎協働研究所 特任教授(所長) 現職
専門分野：金属物性学，鉄鋼材料，電子顕微鏡
◎電子顕微鏡技術を中心に材料の微細組織評価とその特性制御研究に従事。

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

鉄鋼業における炭酸ガス削減の産学連携

齊 間 等*

1. はじめに

炭酸ガスの世界の平均濃度は400 ppm を越え⁽¹⁾、地球温暖化の大きな原因であると指摘されている⁽²⁾。わが国の炭酸ガス排出量は約12億トン⁽³⁾で横ばい傾向にある。しかし世界全体の炭酸ガス排出量は常に増加しており、すでに330億トン⁽⁴⁾を越えた。このままでは、昨年我々が経験した大型で強い台風が来襲するなどの異常気象が、毎年のように発生することになる。それゆえ国ごとの政情や経済状況にもよるが、世界各国がいずれは炭酸ガス排出実質“0”を達成していく必要がある。日本国内を鑑みると電力部門が炭酸ガス排出全体の約4割を占め、次いで鉄鋼部門が約12%の約2億トンとなっている⁽³⁾。当然のことながら、製鉄所の炭酸ガス排出削減はわが国にとって重要な課題である。本報文では、炭酸ガス削減について、当研究室と共同研究先であるJFEスチールと連携して実施している研究内容について述べる。

2. 炭酸ガスの回収技術

製鉄所の炭酸ガス排出量の約7割は製鉄部門からの排出と言われている⁽⁵⁾。高炉では酸化鉄である鉄鉱石をコークスの炭素によって還元しており、その結果として炭酸ガスを22~23%含む高炉ガスが発生する。それゆえ高炉ガスから炭酸ガスを回収することは重要な意味を持つ。炭酸ガスを回収する方法として、アミン法、PSA (Pressure Swing Adsorption) 法、膜分離法等の技術が開発されている。地震国であるわが国にとって、回収した炭酸ガスを地中貯留することは、民意を得にくいと考えられる。そこで再生可能エネルギーから得られる水素等によって炭酸ガスを再資源化、今般言われるところのカーボンリサイクルを行うことが必要となる。炭酸ガスの回収方法の内、PSA 法はドライでクリーン

なガスを製造できることが特徴である。このため不純物に敏感な固体触媒を用いる化学反応に適したガス回収方法と言える。そこでPSA法による高炉ガスからの炭酸ガスの分離回収の技術開発がJFEスチールで行われてきた。これは実高炉ガスからASCOA-3 (Advanced Separation system with Carbon Oxides Adsorption, 3tons/day) と呼ばれるベンチスケール装置を用いて、炭酸ガスおよび一酸化炭素を個別に回収する技術開発⁽⁶⁾である。このベンチ装置での試験において、圧力損失が大きな影響があることが明確になって来た。しかしながら、ガス吸着は、吸着熱による温度上昇と流通ガスによる冷却を伴うため、その挙動は複雑であり、予測が困難であった。当研究室では図1および図2の装置を用いて、温度および圧力変化を詳細に調査した⁽⁷⁾。図1の装置図で窒素のマスフローコントローラーが2つある。上側のマスフローコントローラーは4 L/min に固定し、常時流通させている。下側のマスフローコントローラーは、1 L/min に固定している。こちらは窒素パージが完了したところで三方バ

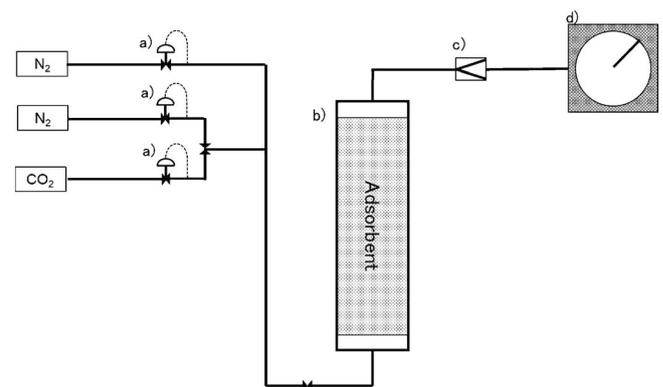


図1 吸着試験装置概要。
(a)マスフローコントローラー (b)吸着塔
(c)背圧弁 (d)ガスメーター

* 九州大学リサーチセンター；教授(〒819-0395 福岡市西区元岡744)
Cooperation Between Industry and Academy on the Reduction of Carbon Dioxide from Steel Works; Hitoshi Saima (Research Center of Steel, Kyushu University, Fukuoka)
Keywords: carbon dioxide, reduction, steel works, cooperation, pressure drop, carbon recycle, biomass
2020年4月20日受理[doi:10.2320/materia.59.486]

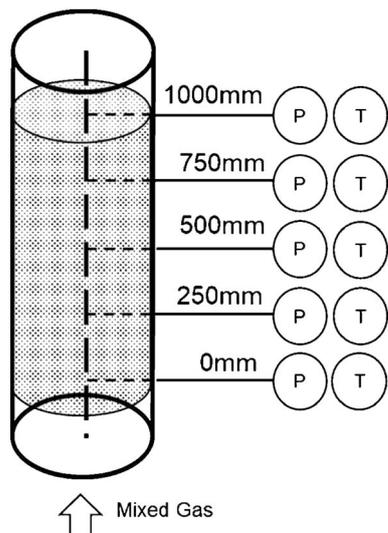


図2 吸着塔内のセンサー配置.

ルブを操作し、炭酸ガスのマスフローコントローラー(1 L/min)と入れ替える．これにより総流量を5 L/minに固定したまま、炭酸ガスの吸着挙動を観察できる．図2に示したように、吸着塔には250 mm おきに熱電対および圧力センサーを設置した．また吸着塔出口には発信器付のガスメーターを設けた．これらセンサーの出力を1秒おきにデータロガーへ記録した．

図3にベンチプラント装置で使用している吸着剤を用いた時の圧力損失の変化を示す．炭酸ガス導入後、圧力損失は徐々に大きくなり、ある点で最大を示した後、わずかに低下する傾向が見られる．この圧力損失の最大点は、その観測ポイントより下側にある吸着剤が炭酸ガスを吸着しなくなったことを意味しており、これを破過と呼ぶ．各高さでの破過時間は、その高さに比例しており、破過時の圧力損失も高さに比例している．

図4に上記実験時の温度変化を示した．炭酸ガスの吸着熱により、ガスが加熱され、その下流域の温度は上昇している．温度が最高となる時間は、破過時間と一致している．破過時間以降、ガス上流側では吸着熱が発生しないので、流入するガスによって吸着剤は徐々に冷却される．破過時の温度は、観測ポイントに因らずほぼ一定である．

これらを踏まえて、圧力損失のシミュレーションを行った．圧力損失については、下記のErgun式が良く用いられる．

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{\mu u_0 (1-\varepsilon)^2}{(\phi d_p)^2 \varepsilon^3} + 1.75 \rho_g \frac{u_0^2 (1-\varepsilon)}{\phi d_p \varepsilon^3} \quad (1)$$

ここで ΔP は圧力損失、 L は層の長さ、 μ はガスの粘度、 u_0 はガスの線流速、 ϕ は真球度、 d_p は吸着剤の直径、 ε は空隙率、 ρ_g はガスの密度である．ここでガスおよび吸着剤の熱収支ならびにガスの物質収支を考慮して、吸着塔の圧力損失をシミュレートした．図5に示したようにシミュレーション結果は、実際の測定結果をよく表しており、Ergun式が

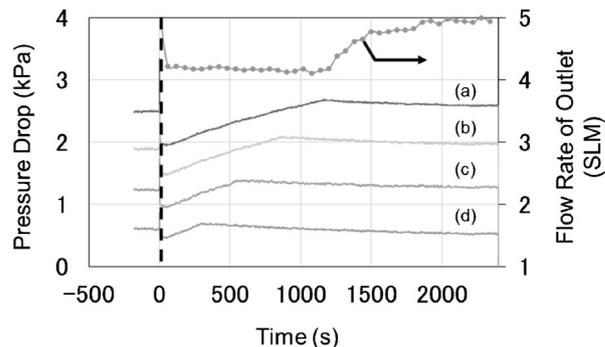


図3 常圧吸着時の圧力損失の推移.
(a)0-1,000 mm (b)0-750 mm (c)0-500 mm
(d)0-250 mm

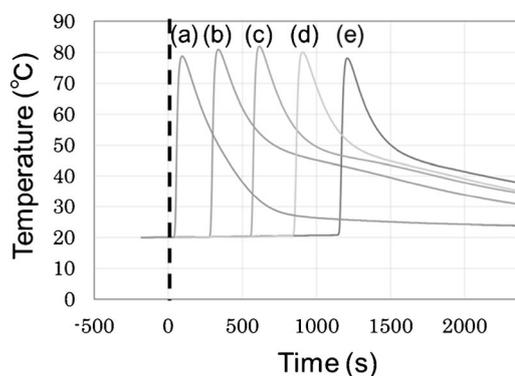


図4 常圧吸着時の温度推移.
(a)0 mm (b)250 mm (c)500 mm (d)750 mm
(e)1,000 mm

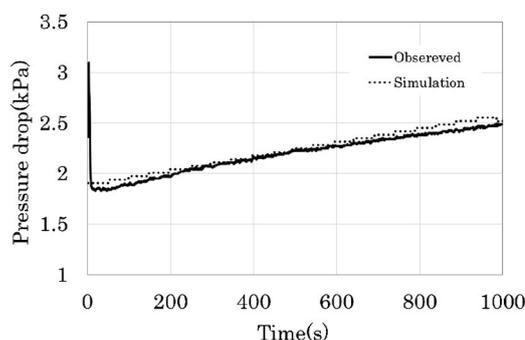


図5 吸着を伴う圧力損失の実測値とシミュレーションの比較.

適用できることが判った．

ベンチプラント用いている吸着剤は直径1.5 mmφの円柱状である．PSAの吸着剤の歴史としては、吸着剤径を小さくすることが行われてきた．これはより純度の高いガスを効率良く得ようとしたためである．一方、高炉ガスを大量に処理しようとする場合、吸着剤径を大きくして、圧力損失を減少した方が有利になるように思われる．そこで直径3.0 mmφの吸着剤をメーカーに試作してもらい、これを用いて吸着試

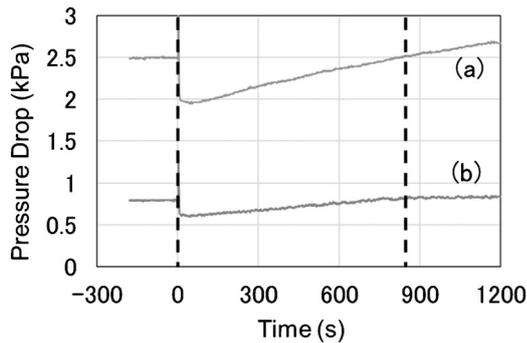


図6 常圧吸着時の圧力損失に対する粒径の影響。
(a) diameter 1.5 mm (b) diameter 3.0 mm

験を行った。結果を図6に示した。この図より明らかなように、吸着剤直径を2倍にすることにより、圧力損失は約1/3に減少した。

図6からは、大口径の吸着剤では破過までに要する時間が短く、炭酸ガス吸着量が減少している懸念がある。そこで大口径の吸着剤を用いて、JFE スチールのベンチプラント装置で分離回収試験を行った。この結果、標準直径の吸着剤と回収量、回収純度に変化が認められない結果となった。すなわち、大口径の吸着剤を用いることにより、炭酸ガスの回収性能を落とすことなく、圧力損失を低減できることが判った。

3. 炭酸ガスの再資源化

前項の冒頭で述べたように、回収した炭酸ガスを再資源化することが必要と考えている。炭酸ガスの再資源化方法は種々提案されており、筆者らも様々なトライアル⁽⁸⁾⁽⁹⁾を行っているが、ここでは鉄触媒によるメタン化⁽⁸⁾について述べる。鉄触媒の代表的な調製方法として沈殿法が知られている⁽¹⁰⁾。この沈殿法は、硝酸鉄水溶液をアンモニア水などのアルカリにより中和し、生成する水酸化鉄を焼成・還元して鉄触媒とする方法である。当研究室では、硝酸鉄水溶液をポンプで循環し、これにアンモニアガスを微小なファインバブルとして供給し、比表面積の大きな触媒を調製する方法(以下、FB法と記す)を開発した⁽¹¹⁾。FB法では、アンモニアの供給量および供給領域が制限されているため、生成する水酸化鉄の粒径が二次的に増大することが抑制されるとのアイデアである。FB法で調製した沈殿鉄触媒は、通常の沈殿鉄触媒に比べ、1.1~1.2倍程度の比表面積を有するのみであった。このFB法触媒を用いてメタン化反応を行っても、図7に示したように、活性は従来触媒と余り変わらないように見えた。また反応後の比表面積は、5.6~5.7 m²/gの範囲にあり、従来触媒と新規触媒の差異が全く認められない状態であった。ところが図7を子細に見てみると、従来触媒は8時間を最大として、活性は低下気味であるのに対して、FB法触媒は徐々に活性が増大する傾向が認められた。そこでFB法触媒を用いて、長時間反応試験を行った。結果を図8

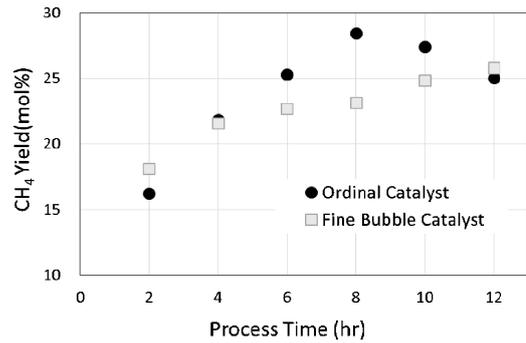


図7 種々の鉄触媒によるメタン収率の推移。

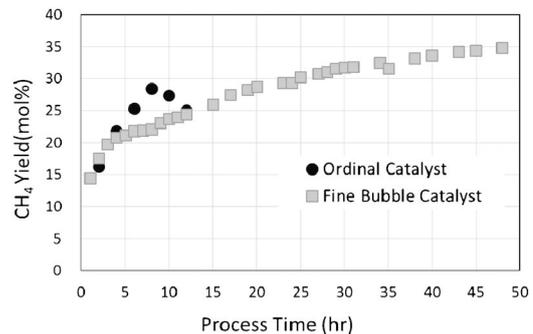


図8 長時間反応でのファインバブル法鉄触媒によるメタン収率の推移。

に示した。FB法触媒によるメタン収率は35%まで向上し、さらに上昇する傾向を示している。50時間反応後のFB法触媒の比表面積は26.3 m²/gまで増加していた。メタン収率増加の要因は明らかではないが、比表面積増加をもたらす何かの現象が関係しているものと推定している。

4. バイオマスの製鉄所利用

炭酸ガスを吸収して成長するバイオマスの利用は、カーボンニュートラルの観点から重要である。しかし、その賦存量が少なく、収集も容易でない点が課題である。一方で、食用油の廃棄物から製造されるバイオ軽油(以下、BDFと記す)は、都市型バイオマスとして、小規模ながら一定の生産量がある。ところがBDFを製造する際に、BDFの10 mass%程度のグリセリンが副生する。この副生グリセリンは、発熱量が低いなどの問題があり、その処分が課題となっている。そこで我々は、この副生グリセリンの分解反応を試みることにした。従来、グリセリンの分解反応には、Ni系触媒が用いられることが多い。しかしながらNi系触媒は高価であり、コーキングが併発する分解反応後に、触媒を効率的に回収するのは難しい。そこで我々は同じⅧ属金属であり、廉価な鉄鉱石を用いることを検討した⁽¹²⁾⁽¹³⁾。鉄鉱石はNi系触媒より活性は低いと考えられる。しかし、活性劣化後は製鉄原料として利用可能であり、付着したコークはカーボンニュートラルな還元剤として活用できるメリットがある。図9に用い

微小領域における金属材料の材料力学

— I . 電解めっきによる金属材料の材料組織解析 —

曾根 正人*

1. はじめに

金属学は長い歴史のある学問であり、その材料特性の定量性や再現性、結晶組織制御において物理学や化学・応用数学といった科学的手法に裏付けられた完成度の高い学問体系を有している。金属材料は、化学プラント・自動車や飛行機を代表とする輸送機器更に日用品のエレクトロニクス分野といった我々の生活で欠くことができないものであり、その用途はさらに広がっている。現代のエレクトロニクスにおいては、半導体の配線に用いる金・アルミニウム・銅がマイクロメートルからナノメートル領域のサイズで成形・利用されており、最新の三次元化・多層化においては、錫や銅・ビスマスなどの材料が利用されている。医用材料としては、チタンやニッケル・様々な貴金属が利用されている。金属学の実用的な応用と金属材料の用途は広がり続けている。

著者は、この20年間に於いて電解めっきの電気化学的研究や材料評価技術の研究を続けてきた。電解めっき技術は、ダマシン法など半導体配線に用いられ、大企業でも利用されている例もあるが、多くの中小企業により支えられている。20年前のめっきに関して最先端の分野は、エレクトロニクスにおける半導体のナノメートルレベルの超微細配線であり、現在は、微小電気機械システム(Micro Electro Mechanical Systems: MEMS)あるいはマイクロマシンが注目されている。この分野で活躍するのは微小領域を制御する電解めっき技術である。MEMSは半導体技術から生まれた技術であり、リソグラフィ技術の一要素である。MEMSは加速度センサやジャイロ、プロジェクターなどに用いられており、スマートフォンで世界のどこに行っても迷わなくなったのは、まさにMEMS技術のおかげである。それでは、電解め

っき技術は微細かつ高精度の造形を必要とするMEMS製造に関して十分な完成度があるかと問われれば、電解めっきによって作製された金属材料は、金属学の分野では深く研究されて来なかったため、未だに不十分であると考えている。この入門講座では、微小領域における金属材料の材料評価技術と題して、めっき材料を通して金属材料の組織解析方法と材料評価技術について議論する。まず今回は、微小領域の金属材料をどのように組織解析するのかについて、現在の技術状況とともに議論し、どのような課題が残っているのかを講じてみようと思う。

1・1 金属材料の材料組織解析と機械的特性評価

金属材料の強度などの機械的特性は、結晶中の転位運動によって決められる⁽¹⁾。この転位の密度や移動をいかに制御するかが、金属材料の強度を決定する。一般的に金属の強化法として、粒界強化(結晶粒微細化強化を含む)、固溶強化、分散強化を含む析出強化、加工強化が挙げられる。これらの強化には転位運動が関係している。粒界強化では、結晶粒界、双晶や集合組織が転位運動を抑制し、そのサイズに応じて強度を決定する。固溶強化は、異種元素と転位の相互作用による転位運動の抑制が起こり、その大きさは異種元素濃度により変化し、結晶格子の変化としても観測される。分散強化を含む析出強化においては、母相とは異なる結晶構造を有する析出物が転位を抑制することにより起こる。加工硬化は室温など比較的低温で塑性変形したとき、降伏後にひずみが大きくなるとともに変形応力が大きくなる現象であり、変形に伴う蓄積転位が後続の転位と相互作用を起こして転位運動を阻害することにより起こる。

したがって金属の物性制御を行う場合、結晶粒・双晶・集合組織そして副次相の析出制御を含めた結晶組織を制御する

* 東京工業大学科学技術創成研究院；教授(〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259-R2-35)
 Mechanics of Metallic Materials in Micro-Scale — I . Metallographic Analysis of Metallic Materials of Electrodeposition—; Masato Sone
 (Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology, Yokohama)
 Keywords: *electroplating, crystal grain, texture, X-ray diffraction, SEM*
 2020年3月12日受理[doi:10.2320/materia.59.490]

ことが重要となる。集合組織制御を含めた金属材料の結晶組織に関しては非常に多くの総説が本誌で報告されているので、詳細に関してはそれらを確認していただきたい⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。問題は、金属材料の結晶組織をどのように解析するかである。そして、その解析した微小領域の材料評価をどのように行うかである。今回説明する金属材料、ニッケル電気めっきの結晶組織解析の議論は、金属材料を学ぶ研究者、特に初心者や異分野の研究者にとって、微小領域における金属材料の材料評価の興味深い研究の一つと提供していただけたと思う。ニッケルめっきは、めっき金属の中でも最も汎用性があり酸化しにくいという長所を有しており、研究対象として扱いやすい材料として知られている。ここでの議論は、著者らが気づいた一見何も落ち度のないように見える「間違いやすい解析例」なので、参考にしていただきたいと思う。ただし「間違いやすい解析例」とは記述するが、研究とは暗中模索の連続というものを示す良い例だと思う。ここで示す解析例の間違いの例は、現在でも様々な論文に見られるものである。なぜこのような間違いが起こりうるのか、そしてどのようにしてそのような初歩的な間違いが起こるのかを考えることは、金属材料研究を進める上で重要と考える。

1.2 ニッケルめっき材料のナノメートルサイズの結晶組織とその解析手法

図1.1に著者が作製した常圧、50°Cの光沢ワット浴(a)と、10 MPa・50°Cの超臨界二酸化炭素めっき浴(光沢ワット浴80 vol%, 二酸化炭素20 vol%)の電解めっきによって得られたニッケル被膜を示している⁽⁵⁾。光沢ワット浴は、極めて一般に使われているニッケルめっきにおいて代表的なニッケルめっき液であり、高品質なニッケル被膜を被覆できるだけでなく、極めて高い反応安定性を有する電解質溶液である。超臨界二酸化炭素めっき浴⁽⁵⁾とは著者が開発したもので、超臨界二酸化炭素と電解めっき溶液(ここではワット浴)、界面活性剤を攪拌して乳濁状態にした電解めっき溶液である。この超臨界二酸化炭素めっき浴に通電し、電解めっきを行った。この二つの基板は真鍮であり、その表面粗さは共に30 nmである。二つの光学顕微鏡での違いは、図1.1(a)では、真鍮基板を作製した時の延伸痕が見られること、電解めっきに特有の水の電気分解に由来する水素気泡の痕(ピンホール)

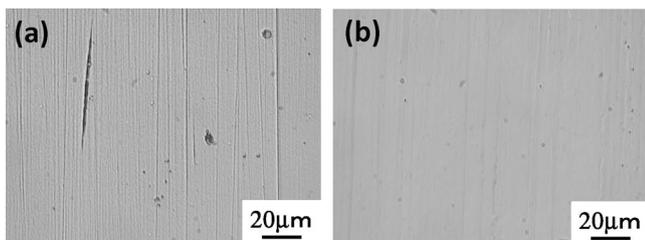


図1.1 光沢ワット浴によるニッケルめっきの光学顕微鏡写真。(a)常圧、50°Cの光沢ワット浴、(b)10 MPa、50°Cの超臨界二酸化炭素めっき浴の電めっきによって得られたニッケル被膜

が見られる。一方、(b)はそれらが無く、平滑である。ビッカース硬度を測った結果、(a)は550 Hv、(b)は705 Hvであった⁽⁶⁾。ニッケルめっきで705 Hvという硬度は、非常に高い値であることを覚えておいていただきたい。

通常めっきと比較し、高い硬度が得られたので、結晶粒のサイズに興味を持った。そこで、純ニッケルの結晶粒界を腐食し、粒界を観測できる硝酸/氷酢酸溶液でエッチングし、ニッケルめっきの断面を走査型電子顕微鏡で観測した。このエッチング液はニッケルの粒界観察に関して標準的なものである。ここで、走査型電子顕微鏡像での違いを議論すると、図1.2(a)では膜厚が6.4マイクロメートルであり、5マイクロメートル前後の結晶粒界が見られ、表面が荒れている。図1.2(b)では膜厚が5.6マイクロメートルで、100 nm程度の結晶粒界が見られること、表面が平滑なことが言える。この結果が得られた当時は、新しい電解めっき技術を開発できたことに驚喜したが、後に奇妙なことに気が付いた。

ニッケルめっきの結晶粒径と硬度の関係については、R. W. Armstrong⁽⁷⁾や U. Erb⁽⁸⁾による研究が広く知られており、多くの引用もされている。前者によれば、結晶粒径12ナノメートルの場合685 Hvが報告されており、後者の場合結晶粒径13ナノメートルの場合620 Hvである。図1.3に彼らの研究を基に、ビッカース硬度と結晶粒径の $-1/2$ 乗の相関をプロットした⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。硬度と結晶粒径の関係は以下の式で表現される。

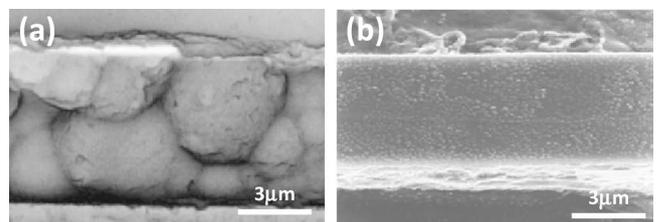


図1.2 ニッケルめっきの断面図の走査型電子顕微鏡写真。図1.1の(a)および、(b)ニッケル被膜を切断し、硝酸/氷酢酸でエッチングしてある

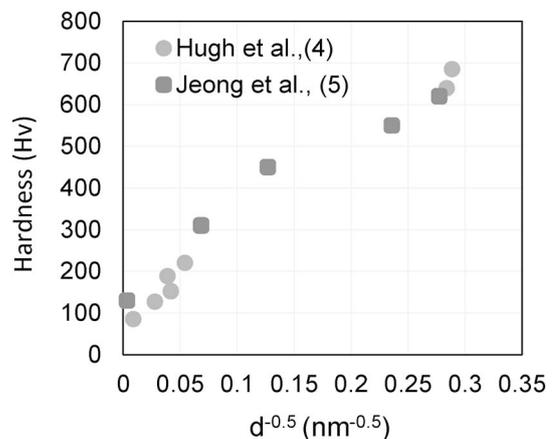


図1.3 ニッケルめっきのホール-ペッチ関係。参考文献(4)(5)に準拠。

$$H_v = H_{v0} + K * d^{-1/2}$$

H_v , H_{v0} , K , d はそれぞれビッカース硬度, 単結晶でのビッカース硬度, 係数, および粒径サイズである. この結晶粒径と硬度の関係は, ホールペッチ関係として知られている. この結果を基に, 図1.1の(a)および(b)のニッケル被膜の硬度550 Hvと705 Hvから結晶粒径を推定すると, それぞれ25および10ナノメートルになる. 図1.2の実験結果とは矛盾している.

この段階で, 金属組織を研究している研究者らは結論が見えていると思う. しかし, 2001年当時, 著者らは全く理解できなかった. 最も信頼できるエッチング液を用いて, 結晶粒サイズを調べているからである. ここで当然X線回折パターンを取るの基本的である. 図1.4に, 図1.1の(a)および(b)に対応するニッケルめっき被膜のX線回折パターンを示す⁽¹²⁾. この図の各反射の半値幅の大きさから, 得られたニッケルの結晶粒サイズが非常に小さく, ナノメートル領域であることが予想できる.

そこで, 透過型電子顕微鏡観察を行った. 集束イオンビーム(FIB)加工機で薄膜化し, 得られた透過型電子顕微鏡像が, 図1.5である. 通常電解めっきで作製した(a)のニッケル被膜の結晶粒径は19.8ナノメートル, 超臨界二酸化炭素めっき浴で作製した(b)のニッケルの結晶粒径は11.1ナノメートル

である⁽⁹⁾. この結果から, 既報の学術雑誌で得られてきたニッケルめっきのホールペッチ関係と矛盾しない結論が得られた. ただし, ここで11.1ナノメートルの結晶粒径は, アモルファス領域に入ると考えられていた値である. この場合, 逆ホールペッチ関係の領域で軟化が始まるはずである. それに関しては, 8年後の2013年に二酸化炭素が水に溶けて炭酸ができ, 電気化学反応場で還元されて, 炭素が境界偏析したことにより, ナノ微細粒ニッケルが形成することが分かった⁽¹³⁾.

これらの研究結果から, 多くの知見が得られる. 当たり前のことであるが, 金属の微細組織を研究する上で, 対象としている金属がどのようなものであるかを考える必要がある. そして光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡・透過型電子顕微鏡とX線回折法を複合しなければ, 微小領域における金属材料の材料評価は間違える危険性を伴うのである. 特に図1.2で得られたエッチングした断面の走査型電子顕微鏡図は何であったのであろうか. 我々は, 電解めっき成長における集合組織であると考えている. 金属の集合組織の機械的強度への寄与に関しては, 本講座の別の所で改めて詳細に述べる予定である. ニッケル電解めっきのような極めてありふれた材料であり, しかも光沢ワット浴のようなありふれたニッケルめっき液を用いた電解めっきですら, 単純ミスを誘発するのである.

1.3 ニッケルめっき材料のサブマイクロメートルサイズの結晶組織とその解析手法

前節でナノメートルサイズのニッケルめっきの結晶組織に関して議論した. そこで, 読者はこう考えたはずである. マイクロメートルサイズの結晶なら間違えることはないであろう. しかし, マイクロメートルサイズのニッケル結晶の解析にも落とし穴がある. この節では, 走査型電子顕微鏡とX線回折法という強力な武器をもってしても間違えやすい問題を説明する.

前節では, 光沢ワット浴を用いたが, 今回はMEMSやエレクトロニクス機器で非常によく用いられるスルファミン酸ニッケルめっき浴で作製したニッケルめっき金属を議論する⁽¹⁴⁾. 図1.6に, めっき反応条件すなわち電流密度を変えたニッケルめっき表面の走査型電子顕微鏡写真を示す. 図1.6(a)に見える一見単結晶と間違えるような幾何学的な組織は, ファセットと呼ばれるもので, めっき金属の成長様式に起因する集合組織である⁽¹⁵⁾. それに対し図1.6(b)および(c)では, 平滑なめっき被膜が見られ, 図1.6(a)と比較して結晶が微細化しているかに見える. そこで, X線回折パターンを測定し, X線回折ピークの半値幅を用いてScherrerの式により, 結晶粒径を計算した.

$$\text{平均粒径 (nm)} = \lambda / \beta \cos \theta$$

ここで, λ はX線の波長, β は回折ピークの半値幅, θ はブラッグ角である. その結果, 図1.6(a), (b), (c)の結晶粒径は, それぞれ22, 14, 16ナノメートルの結果が得られた. ナノ結晶であるようである. 図1.6の(b)および(c)の表

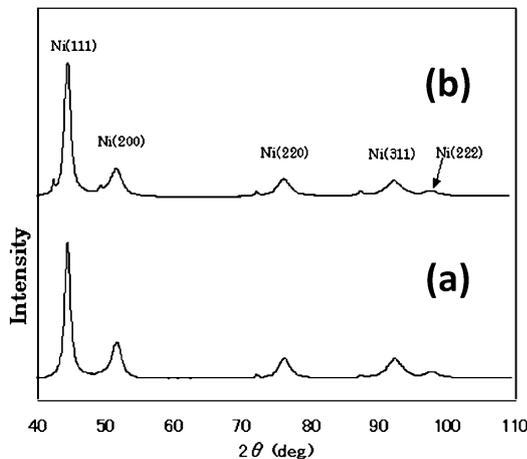


図1.4 ニッケルめっきのX線回折パターン. 図1.1の(a)および, (b)のニッケル被膜

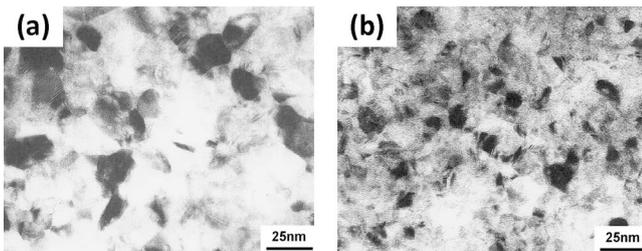


図1.5 ニッケルめっきの断面図の透過型電子顕微鏡写真. 図1.1の(a)および, (b)ニッケル被膜をFIBにより薄膜化してある

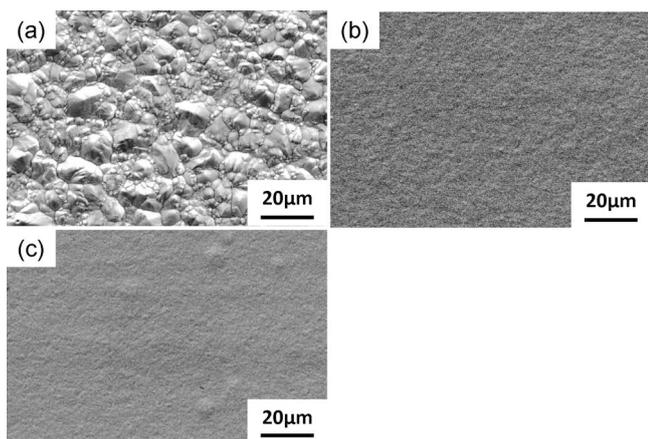


図1.6 高速スルファミン酸浴によるニッケルめっきの走査型電子顕微鏡写真：60°Cかつ(a) 10 mA/cm², (b) 20 mA/cm², (c) 50 mA/cm²

面もナノ結晶のように見える⁽¹⁶⁾。

そこで、ビッカース硬度を測定した。その結果、図1.6 (a), (b), (c)のビッカース硬度は、180, 350, 320 Hvの値が得られた。もし光沢ワット浴の結果や既報の研究成果を考慮しない場合は、研究手法としては問題ないわけであるから、計測結果として報告しても何ら問題はなかっただろう。しかし、図1.3の結果と比較すると全く整合していない。硬度180, 350, 320 Hvは、100~800ナノメートル前後の粒径に対応するはずである。X線回折法を用いて、なぜこんな結果が出るのであろう。しかし、この100~650ナノメートルの結晶粒径という領域が問題なのである。X線回折ピークの半値幅を用いる Scherrer 法は大体200ナノメートル前後に測定限界がある⁽¹⁷⁾。すなわち、200ナノメートル以上では結晶粒径の値そのものが議論できないのである。

マイクロメートル前後の結晶粒を観察する手法としては、酸エッチング、研磨したのちに電子線後方散乱解析 (EBSD)、また、集束イオンビーム加工機に付属している走査型イオン顕微鏡 (SIM) による解析がある。酸エッチングは前節で述べたように、めっき金属では集合組織を含む異なる情報が得られることがある。EBSDはベストであるが、サンプル作製が困難である。そこで、サンプルの一边をSEM像で計測し、SIMの精度を校正して結晶粒径を測ることにした。図1.7に集束イオンビームで切削加工した10×10×20マイクロメートルの角柱を示す⁽¹⁸⁾。SIM像は結晶粒界の計測に優れている。図1.7の(a), (b), (c)から、複雑な結晶構造が見える。図1.7(a)では、平均2.55マイクロメートルの大きく複雑な形状の結晶粒が確認される。次に図1.7(b), (c)では、それぞれ350 nm, 400 nmの結晶粒が見られた。この結果は図1.3の結果と矛盾しない。

このように考えると、ナノメートルの結晶粒と同様サブマイクロメートルの結晶粒を有する金属の組織解析には細心の注意を払う必要があることがわかる。

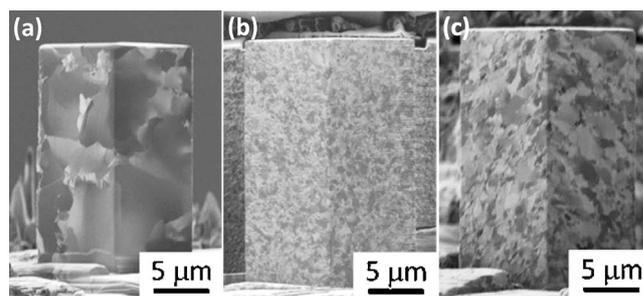


図1.7 高速スルファミン酸浴によるニッケルめっきからFIBにより切削加工した10×10×20マイクロメートルの角柱の走査型イオン顕微鏡写真(めっきの成長方向は角柱の上方向)。(a) 10 mA/cm², (b) 20 mA/cm², (c) 50 mA/cm²

1・4 金属材料の微小領域における結晶組織の解析法について

以上の二つの節において、ナノメートルの結晶粒を有するニッケルめっき、サブマイクロメートルからマイクロメートルの結晶粒を有するニッケルめっきの組織解析に関して議論した。ナノメートルの結晶粒を有するニッケルめっきでは、金属組織を研究する上でのエッチングによる組織解析が集合組織と結晶粒の誤認による結晶粒サイズの誤算を招いた。硬度という機械的特性評価を行わなかったらその誤算に気が付かなかっただろう。透過型電子顕微鏡とX線回折パターンおよび硬度測定により、正しい組織解析が得られたのである。一方、サブマイクロメートルからマイクロメートルの結晶粒を有するニッケルめっきでは、光学顕微鏡による表面観察を重視したこと、X線回折パターンによる粒径計算の測定限界を考慮にいれなかったことが、誤算を招いたのである。

エッチングによる結晶粒径の観察、走査型電子顕微鏡や透過型電子顕微鏡による結晶粒径の解析、X線回折法による Scherrer 法を用いた粒径計算、そのどれもが確立された分析法であり、間違っているわけではない。我々は、その金属材料がどのように作製されたものであり、過去の研究を基にどのような結晶組織が形成されるはずであるかを調べ、想定されるサイズに合わせた分解能を有する解析法を選択し、その解析法に合わせたサンプル作製方法で試験片を作製し、組織解析を行えば全く問題なかったのである。更に硬度や降伏強度など機械的特性評価を行い過去の文献と比較して、その妥当性を確認すれば良いのである。今回述べた研究例は、金属の結晶組織を研究している研究者の方々にとっては、当たり前のことであるが、初心者や分野外の研究者が陥りやすい間違いである。金属学の重要性もここにある。

硬度や降伏強度など機械的特性評価は長い歴史を有しており、バルク材料では確立した方法論である。しかし、微小領域の材料評価においては、降伏強度、流動応力更にはヤング率などの機械的特性の評価に関しては話が変わる。この点に関して次回議論する。

また、はじめに双晶や集合組織に関して論じたにも関わら

金属二次資源の再溶融リサイクルプロセスにおける不純物除去性の熱力学解析

盧 鑫*

1. はじめに

金属生産は社会・経済の発展と深く結び付いている。図1に各金属の世界生産量の歴史的な変化を示す。生産規模は何十億トン(鉄鋼)から数万トン(コバルト)まで大きく異なるが、生産量は、いずれも急激に増加している⁽¹⁾。特に、2000年以降の経済発展の加速に伴って、10年間で各金属の生産量はおよそ倍に増加した。その中で、ニッケルとコバルトは、耐熱材料として航空機のジェットエンジンや発電機の高圧タービン等に使われている。また、リチウムイオン電

池(LiBs)の正極に不可欠な材料として、ニッケルとコバルトのエネルギー産業、電気自動車等の分野への需要が増加している。シリコンは、太陽光発電システムにとって不可欠な材料として、近年需要量が継続的に伸びている。

従来、これらの金属は天然鉱石を原料とし抽出、製錬(一次製錬)されている。しかし、鉱石を原料とした一次製錬は、下記のような環境問題や資源問題等を有し、金属素材の持続的な供給が懸念されている。

- エネルギー多消費及び温室効果ガスの排出⁽²⁾⁻⁽⁴⁾
- 鉱石品位の低下⁽⁵⁾
- 資源の偏在、供給の寡占(特にコバルト等)⁽⁶⁾
- 鉱山開発、採鉱等を含む一次製錬プロセスの生物多様性への負荷⁽⁷⁾

そこで、都市鉱山に蓄積されている使用済み金属製品である金属二次資源の効率的なリサイクルが、資源の持続的な供給問題や、天然資源からの金属抽出に伴う環境問題の解決に重要である⁽⁸⁾。図2に、金属二次資源のリサイクルフローのイメージを示す。金属二次資源は、一般的に様々な元素が添加された合金として存在しており、一次資源の鉱石とは異なる物理化学的特徴を有する。合金元素は回収目的金属のリサイクルに対して不純物となることが多く、再溶融プロセスによりスラグ相や、ガス相、溶媒金属等へ除去することが重要である。この課題に対して、著者は熱力学解析に基づき、再溶融プロセスにおける各不純物元素の除去限界あるいは回収目的金属の精製限界を定量的に評価した。本稿では、代表例として、ニッケル、コバルト、及びシリコンなどの二次資源の再溶融リサイクルにおける合金元素の除去限界を系統的に評価した研究成果を報告する。

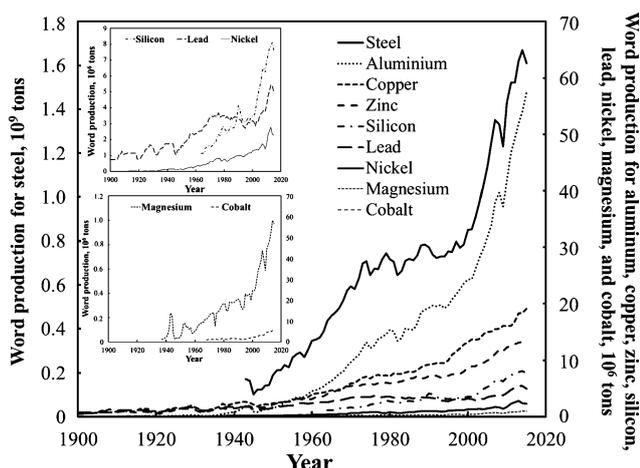


図1 1900年以降の鉄鋼、アルミニウム、銅、亜鉛、シリコン、鉛、ニッケル、マグネシウム、コバルトなどの世界生産量変化。

* 東北大学大学院工学研究科金属フロンティア工学専攻; 助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02-304)
 Thermodynamic Evaluation on the Removability of Impurity Elements during the Recycling of Secondary Metal-resources by Re-melting;
 Lu Xin (Department of Metallurgy, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai)
 Keywords: thermodynamic evaluation, distribution tendency, rare-metal recycling, re-melting, impurity removal
 2020年3月30日受理[doi:10.2320/materia.59.495]

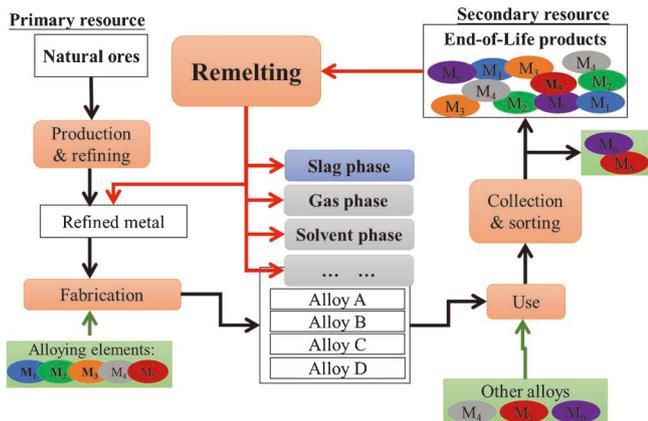


図2 金属二次資源のリサイクルフロー。
(オンラインカラー)

2. 金属リサイクルにおける不純物の除去及びその熱力学

金属二次資源は、一次資源の鉱石と異なる物理化学的特徴を有する。金属製品を製造する際、性能を最大化するため様々な合金元素を添加する。そのため、使用済金属製品における元素の組み合わせは天然資源よりも遥かに複雑になる。一例として、図3にNi基とCo基スーパーアロイ(超合金)の組成を示す。スーパーアロイは最も重要なニッケル、コバルト系合金であり、耐腐食性や耐酸化性、高温強度といった特性を担保するために、Ni, Coを基材としつつ、添加される合金元素の組成には非常に大きな幅がある。図3に示すように、典型的なNi基スーパーアロイは、Niの他、Fe, Cr, Mo, W, Ti, Al, Co, Mnなどの合金元素を含む。特に、代表的な合金元素であるCr, Fe, Moなどを10 mass%以上を混入した合金も存在する。使用済みNi基スーパーアロイからNiをリサイクルする際、それらの合金元素は不純物として取り扱われ、回収目的金属であるNiからの除去可能性はNiのリサイクルの資源効率にとって極めて重要である。

使用済み金属製品などの金属二次資源のリサイクルにとって、回収目的金属元素を他の合金元素と効率的に分離すること、いわゆる回収目的金属の精錬性が肝心である。再溶融プロセスを利用した目的金属のリサイクルについて、合金元素の除去限界はその合金元素の目的金属溶媒相と他の相への平衡分配率によって決定される。図4に典型的な合金元素除去法として、酸化、蒸発、溶媒抽出及び一方向凝固の概念図を示す。一般的に、アルミニウムや鉄、マグネシウム、チタン、ニッケルなどの金属の再溶融プロセスにおいて、合金元素はスラグ相(あるいはフラックス相)、あるいはガス相へ除去される。その場合、合金元素の除去限界はその合金元素の目的金属溶媒相とスラグ相(あるいはフラックス相)、及び目的金属溶媒相とガス相への平衡分配率に依存する。一方、他の溶媒金属を使って、シリコン二次資源を抽出・精錬する際、合金元素の除去限界はその合金元素の溶媒金属とシリコンへの分配率で決められる。また、一方向凝固法でシリコン

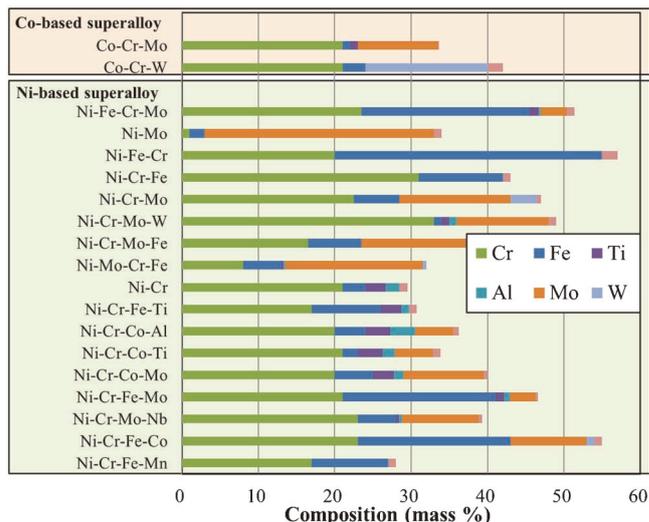


図3 典型的なニッケルおよびコバルト基スーパーアロイの組成(ASTM標準; C, P, S及び他の微量元素は含まない)⁽⁹⁾。(オンラインカラー)

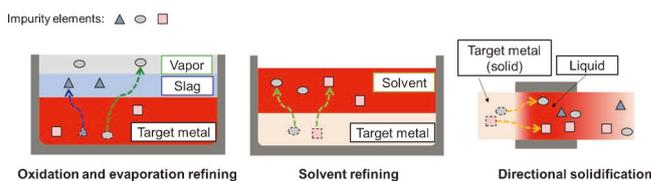


図4 酸化や蒸発、溶媒抽出、一時凝固による回収目的金属から合金元素の除去の概念図。(オンラインカラー)

をリサイクルする際、合金元素の除去限界は液体シリコンと固体シリコンへの分配率に決定される。再溶融などのリサイクルプロセスにおける合金元素の除去性は、温度、酸素分圧、真空度、スラグ組成、溶媒金属種類などに大きく影響され、熱力学的な解析に基づいて、定量的に評価できる。

典型例として、合金元素の目的金属相、スラグ相、ガス相への平衡分配率を表すパラメーターを以下の式を用いて導出した⁽⁹⁾⁻⁽¹⁷⁾。

$$M(1) \text{ (in molten metal)} = M(g) \text{ in gas} \quad (1)$$

$$L_{\text{gas/metal}} = \frac{p_M}{p_{\text{metal}}} = \frac{a_M(1)p_M^\circ}{p_{\text{metal}}} = \frac{\gamma_M(1)x_M(1)p_M^\circ}{p_{\text{metal}}} \quad (2)$$

$$M(1) \text{ (in molten metal)} + \frac{n}{2} O_2(g) = MO_n \text{ in slag} \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{x_{MO_n} \gamma_{MO_n}}{x_M(1) \gamma_M(1) (p_{O_2}/p^\circ)^{n/2}} \quad (4)$$

$$L_{\text{slag/metal}} = \frac{x_{MO_n}}{x_M} = \frac{K_3 \gamma_M(1) (p_{O_2}/p^\circ)^{n/2}}{\gamma_{MO_n}} \quad (5)$$

ここで、 $L_{\text{gas/metal}}$ と $L_{\text{slag/metal}}$ は合金元素のガス相と目的金属相、及びスラグ相と目的金属相への分配率である。 p_M° , p_M , p_{metal} はそれぞれ純物質 M の蒸気圧(atm), 溶媒中に溶解する合金元素 M の蒸気圧(atm), 回収目的金属の蒸気圧(atm)である。 $a_M(1)$, $\gamma_M(1)$, $x_M(1)$ はそれぞれ回収目的金属中に溶解する合金元素 M の純液体基準の活量, 活量係数

及びモル分率である。 γ_{MO_n} , x_{MO_n} は酸化物 MO_n の純物質基準の活量係数及びモル分率である。 p_{O_2} , p° は酸素分圧 (Pa) 及び気圧単位の換算係数 (101325 Pa/atm) である。 K_3 は反応式 (3) の平衡定数である。 l, g はそれぞれ液体, 気体を示す。

K_3 は以下の式を用いて計算した。

$$K_3 = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ_3}{RT}\right) \quad (6)$$

ΔG°_3 は反応式 (3) の標準ギブスエネルギー変化である。 R は気体定数, T は絶対温度 (K) である。

また, 他の溶媒金属を使用した溶媒抽出法によって金属二次資源 (例えば: シリコン) をリサイクルする際, 合金元素の除去限界は以下のように決められる⁽¹⁷⁾。

$$M(s) \text{ in solid metal} = M(l) \text{ in molten solvent} \quad (7)$$

$$K_7 = \frac{a_M(\text{sol.})}{a_M(s)} = \frac{\gamma_M(\text{sol.})x_M(\text{sol.})}{\gamma_M(s)x_M(s)} \quad (8)$$

$$L_{\text{solvent/metal}} = \frac{x_M(\text{sol.})}{x_M(s)} = \frac{K_7\gamma_M(s)}{\gamma_M(\text{sol.})} \quad (9)$$

ここで, $L_{\text{solvent/metal}}$ は合金元素の溶媒金属相と目的金属相への分配率である。 $a_M(\text{sol.})$, $\gamma_M(\text{sol.})$, $x_M(\text{sol.})$ は, それぞれ溶媒金属相に抽出した合金元素 M の純液体基準の活量, 純液体基準の活量係数及びモル分率である。 $a_M(s)$, $\gamma_M(s)$, $x_M(s)$ はそれぞれ回収目的金属相における合金元素 M の純固体基準の活量, 純固体基準の活量係数及びモル分率である。 K_7 は反応式 (7) の平衡定数である。 sol. は溶媒金属相, s は固体を示す。

一方向凝固法を用いたシリコンなどをリサイクルする際, 合金元素の除去限界は以下のように決められる⁽¹⁸⁾。

$$M(s) \text{ in solid metal} = M(l) \text{ in molten metal} \quad (10)$$

$$K_{10} = \frac{a_M(l)}{a_M(s)} = \frac{\gamma_M(l)x_M(l)}{\gamma_M(s)x_M(s)} \quad (11)$$

$$L^{\text{liquid/metal}} = \frac{x_M(l)}{x_M(s)} = \frac{K_{10}\gamma_M(s)}{\gamma_M(l)} \quad (12)$$

ここで, $L^{\text{liquid/metal}}$ は合金元素の溶融した金属部分と凝固した金属部分への分配率である。 K_{10} は反応式 (10) の平衡定数である。 特筆すべきこととして, ここで示された $L^{\text{liquid/metal}}$ はシリコンの一方向凝固の一般的な解析に使われている偏析係数の逆数である。

合金元素の除去限界を解析するため, 回収目的金属融体及び固体中における合金元素の活量係数, 溶媒金属中における合金元素の活量係数, スラグ相における合金元素の酸化物の活量係数, 合金元素の標準蒸気圧, 合金元素の酸化, 蒸発, 凝固などの反応の標準ギブスエネルギー変化などの熱力学的なパラメーターを知ることが重要である。 合金元素の活量係数については, 熱力学的計算方法である CALPHAD (Calculation of PHase Diagrams) 法を用いて計算を行った。 CALPHAD 法における, 溶液の混合ギブスエネルギーを計算するため Redlich-Kister 型の式が幅広く使われている⁽¹⁹⁾。 Redlich-Kister 式に基づいて, 溶液の過剰項を示すことで, 溶液中の各成分の活量係数は相互作用係数を利用すれば計算することができる。 回収目的金属は単一金属の場合, 例えば Si 中における合金元素の活量係数は次式で計算される⁽¹⁷⁾。

$$RT \ln \gamma_M = {}^0\Omega_{Si-M}^{liq}x_{Si}^2 + {}^1\Omega_{Si-M}^{liq}x_{Si}^2(4x_{Si} - 3) + {}^2\Omega_{Si-M}^{liq}x_{Si}^2(2x_{Si} - 1)(6x_{Si} - 5) + {}^3\Omega_{Si-M}^{liq}x_{Si}^2(2x_{Si} - 1)^2(8x_{Si} - 7) \quad (13)$$

CALPHAD 法に基づいて, シリコン希釈融体中における合金元素の活量係数の解析は, 先行研究で検討したしたので, 詳細についてはそちらを参考してほしい⁽¹⁸⁾。

回収目的金属は合金である場合, 例えば Ni-Co 合金における合金元素の活量係数は次式で計算される⁽⁹⁾。

$$RT \ln \gamma_M = x_{Ni} \left[\begin{aligned} & x_{Co} {}^0\Omega_{M-Ni} (1 - x_M) + {}^1\Omega_{M-Ni} (-x_{Ni} + 2x_Mx_{Ni} + 2x_M - 2x_M^2) \\ & + {}^2\Omega_{M-Ni} (x_M - x_{Ni}) (-x_{Ni} + 3x_Mx_{Ni} + 3x_M - 3x_M^2) \\ & + {}^3\Omega_{M-Ni} (x_M - x_{Ni})^2 (-x_{Ni} + 4x_Mx_{Ni} + 4x_M - 4x_M^2) \end{aligned} \right] \\ + x_{Co} \left[\begin{aligned} & {}^0\Omega_{M-Co} (1 - x_M) + {}^1\Omega_{M-Co} (-x_{Co} + 2x_Mx_{Co} + 2x_M - 2x_M^2) \\ & + {}^2\Omega_{M-Co} (x_M - x_{Co}) (-x_{Co} + 3x_Mx_{Co} + 3x_M - 3x_M^2) \\ & + {}^3\Omega_{M-Co} (x_M - x_{Co})^2 (-x_{Ni} + 4x_Mx_{Co} + 4x_M - 4x_M^2) \end{aligned} \right] \\ + (-x_{Ni}x_{Co}) \{ {}^0\Omega_{Ni-Co} + 2{}^1\Omega_{Ni-Co} (x_{Ni} - x_{Co}) + 3{}^2\Omega_{Ni-Co} (x_{Ni} - x_{Co})^2 \} \\ + \Omega_{M-Ni-Co} x_{Ni}x_{Co} (1 - 2x_M) \{ {}^0\Omega_{Ni-Co} + 2{}^1\Omega_{Ni-Co} (x_{Ni} - x_{Co}) + 3{}^2\Omega_{Ni-Co} (x_{Ni} - x_{Co})^2 \} \quad (14)$$

ここで, Ω は各成分の相互作用係数であり, 温度の関数である。

$${}^p\Omega = {}^pA + {}^pB \cdot T + {}^pC \cdot \ln T + {}^pD \cdot T^2 \quad (2-7)$$

ここで, pA , pB , pC 及び pD は定数である。 p は Redlich-Kister 式のパラメーターの級数を示し, 一般的に 0~3 の範囲にある。 各合金系において, CALPHAD 法に基づいた各成分間の相互作用係数のアセスメントに関する研究は既に行われている。 それらの相互作用係数を利用すれば, 各温度, 各濃度において合金元素の活量係数が計算できる。

再溶融プロセスに使用するスラグ中の合金元素の活量係数

は, スラグ組成の調整によって制御されるが, 本研究では, 実際のスラグにおける酸化物の活量係数を考慮しながら, 第一近似としてスラグ中酸化物の活量係数を 1 と仮定して, 合金元素の分配傾向の計算を行った。 また, 想定した再溶融プロセスにおける酸素分圧について, 溶融した回収目的金属とその金属の酸化物の平衡によって決めた。 例えば, 再溶融プロセスを利用して Ni 基スーパーアロイをリサイクルする時, 系の酸素分圧は純 Ni 融体と純 NiO の平衡酸素分圧として計算した。 さらに, 各反応の標準ギブスエネルギー反応及び各純物質の標準蒸気圧について, 熱力学データベースを引

用した⁽²⁰⁾.

3. 都市鉱山から金属二次資源の精錬性を表す合金元素の除去限界の地図

再溶融プロセスを用いた金属二次資源のリサイクルにおける各合金元素の除去限界に関する熱力学的解析結果の典型例として、使用済み Ni-基スーパーアロイを再溶融する際含まれる32種の合金元素の回収目的金属相(ニッケル)、スラグ相、ガス相への分配傾向を図5に示す⁽⁹⁾。スーパーアロイに含まれる代表的な合金元素は四角プロットで示す。解析の結果、銀、ピスマス、鉛、亜鉛が蒸発によるガス相へ除去され、スーパーアロイの代表的な合金元素であるアルミニウム、クロム、チタン、モリブデン、タングステンその他ニオブ、シリコン、タンタル、ジルコニウム、ウラン、ボロン、セリウム、イットリウム、ランタン、ジスプロシウム、マグネシウム、カルシウム及びマンガンなどが酸化によるスラグ相へ除去されることが可能であることを明らかにした。しかし、コバルト、レニウム、鉄、アンチモン、すず、銅、ヒ素、ゲルマニウム及び白金族元素(プラチナ、パラジウム、金)は金属相へ分配され、蒸発あるいは酸化により除去することが困難であることがわかった。これらの除去困難な元素は、再溶融プロセスの前に合金ソーティングなどによって分離することがニッケルリサイクルの資源効率にとって重要である。

先行研究で得られた結果を加えて、使用済み鉄鋼、銅、鉛、亜鉛、アルミニウム、マグネシウム、チタン、ニッケルおよびコバルトなどの金属二次資源の再溶融プロセスにおいて酸化及び蒸発による混入した合金元素の除去限界の熱力学的な解析結果を図6のレーダーチャートにまとめた⁽⁹⁾⁻⁽¹⁶⁾。回収目的金属相、スラグ相、ガス相は回収金属ごとにそれぞれ色で区別した。想定したリサイクルプロセスは右側に示す。スラグ相及びガス相の区域に分布された合金元素は、そ

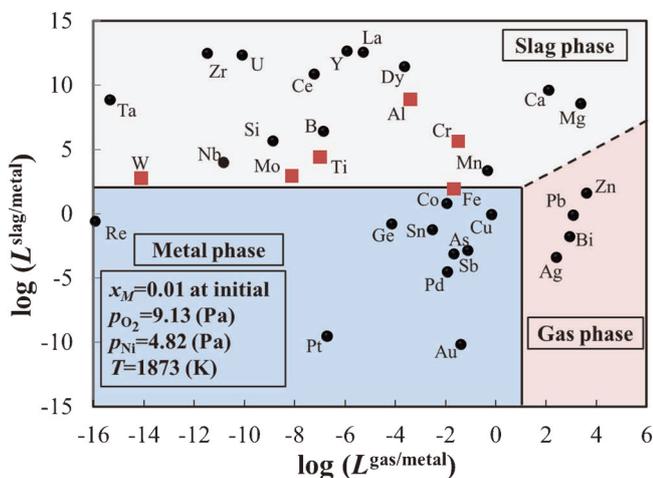


図5 再溶融を用いた使用済み Ni 基スーパーアロイのリサイクルの際酸化及び蒸発による各合金元素の除去限界⁽⁹⁾。(オンラインカラー)

れぞれ酸化及び蒸発によって除去できると示唆される一方、回収目的金属相区域に分布された合金元素は除去できない。

解析の結果、再溶融プロセスによって、軽金属であるアルミニウム、マグネシウム、チタンの二次資源をリサイクルする場合に、合金元素の除去は非常に困難であることが明らかになった。しかし、銅、鉛、亜鉛などの金属二次資源の再溶融プロセスにおいて、回収目的金属相へ分配された合金元素は銅などの二次精錬プロセスによって回収できる。こういったことにより、既存の非鉄金属製錬において、乾式法により副産物や廃棄物などの人口資源から貴金属などを回収する場合にも、銅や鉛などを吸収金属として利用して、貴金属を吸収金属相中に抽出してさらに分離する方法が一般的である。一方、鉄鋼、ニッケル、コバルト基金属二次資源の再溶融プロセスにおいて、混入した合金元素の大部分は酸化あるいは蒸発によって除去されるが、トラップエレメントとして金属相に分配される合金元素も多く存在し、再溶融プロセスによる除去は熱力学的に不可能である。従って、金属二次資源のリサイクルの資源効率を向上するため、事前処理として合金ソーティングによるトラップエレメントを含む合金の分離は重要である。混入した合金元素の熱力学的な除去限界を十分に活用することは非常に役に立つと考えられる⁽⁸⁾。

前述した熱力学的解析方法を用いて、各リサイクルプロセスにおける金属二次資源の精錬の可能性が評価、比較できる。図7に再溶融プロセスを用いて、酸化、蒸発、金属溶媒抽出による使用済みシリコンウェハのリサイクルにおける際、各合金元素の除去限界を示す⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。また、シリコン中の溶解度や溶解温度、コストなどを考慮し、金属溶媒抽出法の候補溶媒として、アルミニウム、銅、鉄、鉛、スズ及び亜鉛を選択した。図5と同じように、スラグ相、ガス相及び溶媒相の区域に分布された合金元素は、それぞれ酸化、蒸発及び溶媒抽出によって除去できると示唆される。一方、真中の溶融シリコンの区域に分布された合金元素は除去できなく、一旦収集した使用済みシリコンウェハ中に混入すると

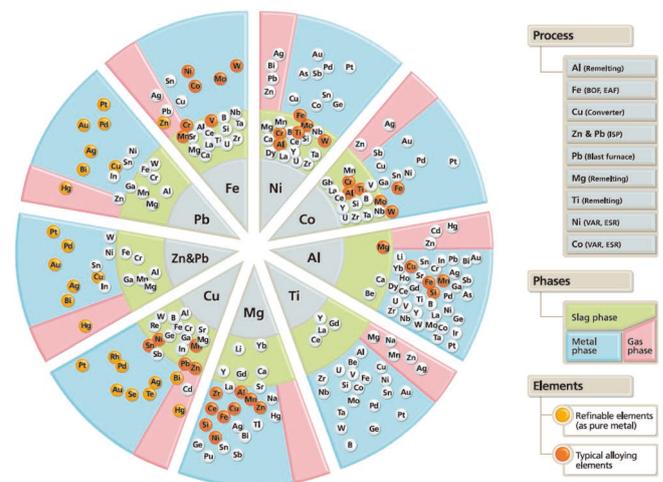


図6 再溶融プロセスを用いた金属二次資源のリサイクルにおいて酸化及び蒸発による各合金元素の除去限界⁽⁹⁾⁻⁽¹⁶⁾。(オンラインカラー)

研究室紹介

エネルギー利用のための水素化物の材料科学(東北大学金属材料研究所折茂研究室)

東北大学金属材料研究所水素機能材料工学研究部門；助教
佐藤豊人

私の所属研究室(折茂研究室)は、東北大学金属材料研究所水素機能材料工学研究部門と材料科学高等研究所デバイス・システムグループに所属するメンバーで構成されております。所属部局は異なりますが、研究室の主要研究テーマは、将来の水素社会構築に不可欠である「水素」に着目して、エネルギー利用のための水素化物の材料科学を念頭に置き、高効率でのエネルギー変換・貯蔵・輸送などに適した様々な材料(水素化物)の創製と社会実装を目指した研究を行っております。

当研究室では、主に(1)再生可能エネルギー媒体としての水素を原子として貯蔵する材料研究(水素貯蔵材料)⁽¹⁾、(2)高速イオン伝導材料やそれを実装した次世代電池材料研究⁽²⁾⁽³⁾、(3)数万気圧(=数GPa)の高圧合成技術による新たな水素化物探索およびその物性研究⁽⁴⁾を遂行しております。

水素は、物質内で図1に示すプロトン(H⁺)、ヒドリド(H⁻)、電荷中性の水素(H⁰)、共有結合性を有する水素(H^{cov.})というように様々な状態で存在し、その状態に依存して、多様な材料特性・物性が出現されます⁽⁵⁾。そのため、上記のいずれの研究テーマにおいても水素がどのような状態

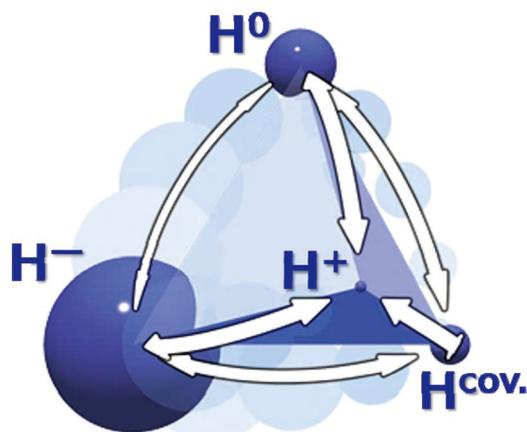


図1 四面体の各頂点に水素の結合状態と大きさを示す水素ダイアグラム⁽⁵⁾。(オンラインカラー)

でどこに位置し、どのような動きを伴って物質固有の特性・物性が出現されるか?の理解が基礎研究のみならず、産業利用への展開を目指す応用研究においても重要なキーワードになります。この理解を深める上で、X線や中性子に代表される量子ビームの利用も不可欠になります⁽⁶⁾。当研究室では、各研究テーマを効率的かつ迅速に遂行するために所属研究室内で実施可能な材料合成・評価、理論計算に加え、国内外の大型放射光・中性子散乱実験施設(SPring-8, J-PARC, 米国オークリッジ国立研究所 SNS等)でのX線・中性子回折実験や中性子非弾性散乱実験等も相補利用して研究活動を実施しております。

これまでの研究成果の一例として、共有結合性水素とヒドリドが共存する錯体水素化物における水素吸蔵過程(水素化反応)と水素放出反応(脱水素化反応)に関して、研究室内で材料合成・評価を行い、原子位置を明らかにするX線・中性子回折、原子・分子の動きを明らかにする中性子非弾性散乱、理論計算も相補利用して、その反応機構が解明されました⁽¹⁾。当研究室では、水素化物に着目しておりますが、このような合成から評価・解析に至る一連の流れは、材料の研究開発で必要不可欠なプロセスとなっております。従って、このプロセスで用いられた評価手法および得られた知見は、水素化物を含む新しい材料の研究開発や反応プロセスの解明につながることを期待されます。

更に当研究室は、「水素」をキーワードに、国内の著名な研究者とともに、水素を「使いこなす」ためのサイエンス(2018-2022年度文部科学省科学研究費助成事業 新学術領域研究「ハイドロジェノミクス」、領域代表 折茂慎一⁽⁷⁾)、再生可能エネルギー媒体としての水素を効率的に貯蔵する材料に関する国際共同研究(JST 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP) 日本-スイス共同研究 再生可能エネルギー媒体としての水素研究、研究代表 佐藤豊人)、産学連携による共同研究活動などにも取り組んでおります。

詳しい研究紹介は、当研究室のホームページ(<http://www.hydrogen.imr.tohoku.ac.jp/index.html>)を参照下さい。

文 献

- (1) T. Sato, L.L. Daemen, Y.Q. Cheng, A.J. Ramirez-Cuesta, K. Ikeda, T. Aoki, T. Otomo and S. Orimo: ChemPhysChem, **20** (2019), 1392-1397.
- (2) S. Kim, H. Oguchi, N. Toyama, T. Sato, S. Takagi, T. Otomo, A. Dorai, N. Kuwata, J. Kawamura and S. Orimo: Nat. Commun., **10**(2019), 1081.
- (3) K. Kisu, S. Kim, M. Inukai, H. Oguchi, S. Takagi and S. Orimo: ACS Appl. Energy Mater., **4**(2020), 3174-3179.
- (4) S. Takagi, T. Ikeshoji, T. Sato and S. Orimo: Appl. Phys. Lett., **116**(2020), 173901.
- (5) S. Takagi and S. Orimo: Scr. Mater., **109**(2015), 1-5.
- (6) T. Sato, S. Takagi, S. Deledda, B.C. Hauback and S. Orimo: Sci. Rep., **6**(2016), 23592.
- (7) <https://www.hydrogenomics.jp/>

(2020年5月28日受理)[doi:10.2320/materia.59.500]

(連絡先: 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

思い出の教科書、この一冊!

“金属物理—材料科学の基礎—”

藤田英一 (著) アグネ技術センター 1996年

東北大学金属材料研究所 木口賢紀

図1は私の本棚に鎮座する外観の写真である。本書が一見きれいに見えるが、24年前に購入した本で未だに座右の書であり続けている。本書と並んで写っているセラミック材料学、セラミック材料の物理、物質の対称性と群論、固体材料の科学、Scanning Transmission Electron Microscopy、半導体結合論などいずれも他に類を見ない書籍であると思っている。その中で、敢えて私の専門から少しはずれる「金属」を書名に関する本書について紹介したいと思う。ここに写るいくつかの書籍については、本コーナー「思い出の教科書、この一冊!」で今後紹介される予定になっているので、楽しみにして欲しい。本書はかなり頑丈に作られているらしく、先の地震(3.11)の発生直後の本棚の写真(図2)には、書棚に見えないことから手前の本の山に埋もれてしまっているのだろう。同時に落下(飛んだ?)Williams and Carterの重量級の電子顕微鏡の教科書は1メートル近く離れた場所から見つかりハードカバーが深く傷ついていた。

セラミックス系の専攻の出身である私は、本企画の編集チームの中で恐らく唯一金属学を専攻していない。そんな私にとっての本書との馴れ初めは博士後期課程に在籍していた1996年(平成8年)に遡る。当時、ジルコニアの単結晶の成長と強弾性(双晶変形)の研究に従事しており、材料組織や格子欠陥など体系的に学ぶ必要があったとき、ふと大学生協の書籍部で手に取ったのが藤田英一先生の本書との出会いであった。バブル崩壊や兵庫県南部地震の余波も覚めやらぬ1996年のことである。本書は、A5版661ページにおよび、一見すると、東京化学同人で出版されている化学系の翻訳本の様な分厚さに加え、質実剛健と呼ぶにふさわしい紙面は、学生にとっては一見敬遠しそうになる。しかし、ざっと目を通してみるとオリジナルの図表が示されているほか、著名な研究者による豊富なデータが引用されている。それ以上に、引き込まれるような文章により材料科学に対する著者の想いが展開されているため、専門外のものが読んでもその想いが伝わってくる。決して手を抜くことなく専門的な内容にまで踏み込みつつも読みやすく記述されている。なにより、金属学に留まることなく材料科学として共通する学術の普遍性に重きを置いている点が門外漢にも分かりやすいのだと思われる。

本書のもう一つの特徴として、回折結晶学と電子顕微鏡学の2章だけで計100ページ近い分量を割いていることが挙げられる。全体の約1/6に及ぶ力の入れようである。私が修士課程の1年生の時、時間割の関係で金属系の専攻に遠征し、回折結晶学の講義を受講していた。しかし、運動学的回折理論しか知らなかった当時、動力的回折理論、分散面、第一ボルン近似など私にとっては難解な内容で、電子回折やTEMというものに対してすっかり参ってしまっていた。そこに、リベンジの機会を与えてくれたのが本書なのであった



図1 いくつかの名著と並んで、手前の銅線は簡易落下防止柵。震度6弱に耐えました。



図2 3.11発生直後の筆者の机。本に埋もれて座席が見えない。銅線の柵の本は多くが落下した。

(図3)。

ここで、本書の全体像について概観してみよう。本書は全17章から構成される。特に、第1章は他書に類を見ない内容である。金属物理学小史、そして紀元前の金属物理学と人類史との関わり合いそして、本多光太郎先生、村上武次郎先生、増本量先生、茅誠司先生、西山善次先生といった金属学の近代史に名を連ねる錚々たる先生方のお名前が並ぶ。実ははずかしいことながら、本書を手にした学生の時分には、まさか10年後これらの先生方の縁の地で電子顕微鏡を中心とした研究・教育に従事するとは思ってもせず、この第1章には目もくれなかった。第2章に入って専門的な内容が始まる。金属結合と結晶構造に始まって、規則合金、平衡状態図、時効析出・相分離、点欠陥、拡散、焼結理論、回折結晶学、転位論、融液・アモルファス、マルテンサイト変態、照射損傷、電子顕微鏡、金属電子論、電気伝導と超伝導、磁性と構造から物性、そして格子欠陥とその評価法まで網羅されている。なぜか、強度学には触れられていない。確認したわけではないが、分量的な制約があったのではないだろうか。この膨大な内容について、他書の安直な焼き直しではなく、オリジナルの精緻なスケッチと本質を突いた説明によって、様々な分野で構築されてきた学問を包括的にまとめ、金属物理学に対する1人の著者の想いが本書全体にわたって貫かれている。これこそが本書を名書たらしめているのだと思う。

本書つまり従来の冶金学と金属物理学のギャップを埋めるべく、従来の冶金学に転位論、金属電子論、新材料をバランス良くまとめ、さらにこれらを解析に必須な回折結晶学や電子顕微鏡学についてまで1冊にまとめられている。出版されてから既に24年が経ち、少々内容が古くなってきている感も否めないが、材料科学を志す学生や研究者にとって未だ色褪せない名書であり続けている。1冊の本でこれだけの内容が学べ、それでいて良心的な価格設定は、材料科学に関わる方にお勧めできる書籍の1つだろう。

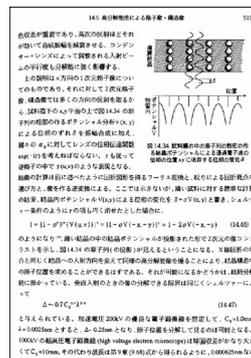


図3 TEMの入門書に遜色のない内容。

(2020年7月6日受理) [doi:10.2320/materia.59.501]

本 会 記 事

会 告	2020年秋期講演大会ご案内	502
	会費自動振替制度のご案内	502
	永年会員制度について	502
	第44回技術開発賞募集	502
	第71回金属組織写真賞作品募集	502
	2021年度講演大会委員候補者の推薦のお願い	503
	会誌編集委員会からのお知らせ	507
会誌・欧文誌	9号目次	507
	次号予告	513
掲示板		509
	行事カレンダー	516
新入会員		514

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

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

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2020年秋期(第167回)講演大会のご案内

～オンラインにより開催いたします。～

会 期 2020年9月15日(火)～9月18日(金)

詳 細 ホームページ → 2020年秋期講演大会をご参照下さい。

会費の自動振替のご案内

2021年度会費自動振替のご案内を申し上げます。ホームページからのお手続きを宜しくお願いいたします。

- ・ホームページ: 入会・会員→会費支払方法
- ・2021年度会費自動振替申込締切 **2020年10月2日(金)**

問合せ・申込書送付先

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
(公社)日本金属学会 会員サービス係 宛
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: member@jim.or.jp

永年会員制度について

本会では長年にわたり本会の発展に尽された会員の労に報いるため、永年会員制度を設けております。自己申告制となっておりますので、該当すると思われる方は、はがき、FAX 又は E-mail にて会員番号、生年月日およびおおよその入会年を記入の上、本会事務局宛お問い合わせ下さいようお願いいたします。申し出られた方について調査確認し、該当者については理事会に諮り、承認の上ご案内申し上げます。

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

受付締切 毎年9月30日

永年会員資格付与 毎年1月1日

問合せ先 (公社)日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312
E-mail: member@jim.or.jp

第44回技術開発賞 「新技術・新製品」記事募集

応募締切: 2020年11月2日(月)

賞の対象 まてりあ「新技術・新製品」記事に掲載された記事(第60巻1号から)

表 彰 2021年9月の秋期講演大会

申込 URL <https://gijyutsu.jim.or.jp/entry>

詳 細 まてりあ8号454頁 or ホームページ: 本会賞の募集

問 合 先 (公社)日本金属学会各賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: award@jim.or.jp

「新技術・新製品」記事の問合せ先

まてりあ係 E-mail: materia@jim.or.jp

第71回金属組織写真賞作品募集

応募締切: 2020年11月2日(月)

募集部門

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

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

申込要領 応募は, 下記 URL の申込フォームにより説明文を入力し, 写真作品データを提出して下さい。

URL <https://picture.jim.or.jp/entry>

【写真作品】

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

詳 細 まてりあ8号455頁 or ホームページ: 本会賞の募集

問 合 先 (公社)日本金属学会 金属組織写真賞係

☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

E-mail: award@jim.or.jp

2021年度講演大会委員候補者の推薦のお願い

講演大会委員および調査研究委員は、2021年4月の定時社員総会日が交替時期となっており、学会活動の一層の活性化を図るため、各界から積極的にご協力いただける気鋭の人材を求めています。

以下の要領で、次期講演大会委員候補者の推薦を募集いたします。

1. 講演大会委員選出：約110名程度を選出します。
2. 構成員の任期：2021年定時社員総会当日から2年後の定時社員総会終了時まで。
3. 組織の体制(講演大会委員会、調査研究委員会)

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

4. 講演大会委員会の構成員

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

5. 調査研究委員会組織の構成員

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

6. 委員候補者の資格：金属学会正員であり、2021年4月末時点で45歳以下の方

7. 推薦資格：現講演大会委員および現調査研究委員または2名以上の正員の連名による推薦(自薦も可)自薦の場合も、上記の推薦者は必要です。

8. 推薦用紙記入方法

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

推薦された方は、講演大会企画委員会において次期委員候補者を協議いたします。

推薦用紙はホームページよりダウンロード出来ます。

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

9. 候補者推薦締切：2020年10月1日(木)

問合・送付先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

公益社団法人日本金属学会講演大会委員会担当係 ☎ 022-223-3685 E-mail: stevent@jim.or.jp

講演大会セッション（委員専門分野）

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード	
1分野	1.材料と社会	材料と社会	1.1	教育	専門教育、共通教育、企業での教育、生涯教育、小・中・高校生への教育、カリキュラム、授業の実際、教材・教育の評価、社会人教育	
			1.2	歴史・材料考古学	金属学・材料科学の歴史、金属技術の歴史・変換、材料考古学、文化財保存	
			1.3	技術革新・技術伝承	IoT、マテリアルインターフェース、マテリアルソフトウェアエンジニアリング、材料情報、知的所有権、その他の金属学・材料学に関連した新分野・境界分野	
			1.4	環境	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、環境低負荷材料、易リサイクル材料・設計、易解体設計、マテリアルセレクション、省材料設計、高寿命材料・設計、材料のリサイクルシステム、材料資源環境システム、再資源化用途開発、土壌浄化、環境修復	
			1.5	ダイバーシティ	男女共同参画、LGBTI、国際化、学際協力、世代間・業種間融合	
			1.6	新領域・その他		
	12.先進機能材料	先進機能材料	12.1	萌芽材料		
		12.2	新領域・その他			
2分野	2.物性	物性	2.1	磁気機能・磁気物性	磁気的性質、磁気光学的性質、電子状態、熱磁気効果（スピンゼーベック効果、異常ネルンスト効果、磁気熱量効果、磁気ハイパーサーミア等）、核物性等	
			2.2	半導体機能・電気物性	誘電的性質、光学的性質、電子輸送、薄膜・表面・界面物性、熱的性質（ゼーベック効果、ペルチェ効果等）、原子輸送、金属絶縁体転移等	
			2.3	構造物性	結晶成長、結晶構造、準結晶構造、非晶質固体構造、格子ダイナミクスと安定性、相転移（変態）、不整合・整合構造、格子欠陥、粒界等	
			2.4	物性評価	照射効果、ナノスケール量子効果、トンネル効果、メスbauer効果、核磁気共鳴、分光・発光・回折一般等	
			2.5	新領域・その他		
	9.電気・磁気関連材料	電気・電子・光関連材料		9.1	伝導・実装材料	電気伝導材料、電極材料、電子実装材料、配線材料、マイクロ接合材料、フラーレン、カーボンナノチューブ、熱伝導材料等
				9.2	半導体・誘電体材料	半導体材料、誘電体材料、圧電体材料、センサー材料、太陽電池、High-k材料、低次元物質、ナノ粒子・（超）微粒子、原子クラスター等
				9.3	光・電磁波関連材料	光学結晶材料、光記録材料、液晶材料、光ファイバー材料、光学ガラス材料、テラヘルツ等
				9.4	強相関電子系材料	超伝導材料、トポロジカル絶縁体、強相関電子系材料、マルチフェロイック材料等
		磁性材料		9.5	ソフト・ハード磁性材料	ソフト磁性材料（高透磁率材料（合金系、フェライト系、アモルファス、ナノ結晶等）、永久磁石材料（希土類系、合金系、フェライト系等）、電波吸収体・ノイズ抑制体材料等
				9.6	スピントロニクス・ナノ磁性材料	磁気抵抗効果（AMR、GMR、TMR等）材料、スピンメモリ・センサー材料、スピンカロリトロニクス材料、スピン注入技術、スピン流制御技術、スピン（軌道）トルク制御技術、磁気記録・磁気デバイス用材料、磁性（超）薄膜・多層膜・磁性金属人工格子、磁気スキルミオン等
				9.7	磁気機能材料	磁歪材料、磁気冷凍材料、フラストレーション材料、反強磁性材料、相転移誘起材料（磁場誘起相変態等）等
				9.8	新領域・その他	
				9.9	新領域・その他	
3分野	3.組織	相安定性・相変態	3.1	熱力学・状態図・相平衡	熱力学、状態図、相平衡、準安定、非平衡、相転移、金属間化合物、規則-不規則転移、磁気転移等	
			3.2	拡散・相変態	拡散、偏析、析出、拡散変態、規則-不規則変態、不連続析出、粒界・相界面上析出等	
			3.3	マルテンサイト変態・変位型相変態	マルテンサイト変態、変位型相変態（ベイナイト変態含む）、形状記憶・超弾性材料、磁性形状記憶合金、TWIP・TRIP、エージング・テンパリング、双晶変形、熱・応力・磁場・電場誘起相変態、組織制御、組織形成と機械的性質、プロセス（粉末冶金・複合材料含む）、SMAアクチュエータ・応用、マルテンサイト変態に関わる材料機能（ダンピング、磁気・弾性熱量効果等）	
			3.4	合金・アモルファス・準結晶	アモルファス、金属ガラス、準結晶、高エントロピー材料等	
		組織制御	3.5	組織制御技術	時効・析出・熱処理、加工、加工熱処理、合金元素添加、急冷凝固、メカニカルアロイング、界面接合強化、複合化、多層化、薄膜、積層造形、ミルフィーユ構造、コーティング、シミュレーション等	
			3.6	再結晶・粒成長・集合組織	回復・再結晶、集合組織、粒成長、粒界、異相界面、双晶等	
	3.7		組織観察・分析	電子顕微鏡、STM、AFM、FIM、3次元アトムプローブ、X線・中性子線回折、EPMA、XPS、イメージング・マッピング技術、放射光等		
	分析・解析・評価		3.8	計算材料科学・材料設計	理論、シミュレーション等	
			3.9	新領域・その他		
			11.1	計算材料科学・材料設計	計算材料科学・材料設計、第1原理電子論計算、分子シミュレーション、分子動力学法、モンテカルロ法、CALPHAD法、フェーズフィールド法、有限要素法、境界要素法、セルラーオートマトン、マルチスケール解析、マルチフィジクス解析等	
			11.2	データ科学	マテリアルズインフォマティクス、マテリアルズインテグレーション、機械学習、深層学習、強化学習、転移学習、逆問題、データ同化、ニューラルネット、最適化、データベース、ビッグデータ、人工知能等	
		11.3	新領域・その他			

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
4分野	4.力学特性	力学特性の基礎	4.1	強度・力学特性	力学（格子欠陥、弾性、塑性、破壊力学、有限要素法、分子動力学、マイクロメカニクス等）、転位の基本的特性（運動、増殖、相互作用等）、転位と各種格子欠陥の相互作用、変形（弾性、擬弾性、塑性、粘性、粒界、変形双晶等）、各種強化機構、破壊機構（き裂やポイド発生・成長・合体等）
			4.2	塑性・疲労・破壊	延性、靱性、静的および動的破壊、破壊靱性値、疲労、応力腐食割れ、水素脆性、遅れ破壊、寿命
			4.3	高温変形・クリープ・超塑性	高温変形、クリープ、クリープ疲労、超塑性
			4.4	力学特性評価	力学特性の評価法、力学的挙動の予測（応力-ひずみ曲線、クリープ曲線等の予測、寿命予測等）、合金設計、複合材料（材料システム）設計、データベース
		力学特性と組織	4.5	欠陥と組織	転位組織、転位セル、変形帯、強加工、双晶、ポイド、亀裂
			4.6	多結晶組織	粒成長、再結晶、双晶、偏析、粒界析出、粒界反応型析出
			4.7	金属間化合物	金属間化合物、規則相、高温変形
			4.8	超微細粒組織	微細粒、バルクナノメタル、強化機構
			4.9	新領域・その他	プラストン、キック変形、ディスクレネーション、ミルフィーユ構造
5分野	5.材料化学	耐食性・耐酸化性	5.1	腐食・防食	水溶液腐食、電気化学測定、表面皮膜、腐食環境解析、孔食、すき間腐食、応力腐食割れ、大気腐食、高温高圧水腐食、水素脆化、異種金属接触腐食、エロージョン・コロージョン、腐食事例、耐食合金、耐食コーティング、腐食抑制・防錆剤、電気防食、等
			5.2	高温酸化・高温腐食	高温ガス腐食、溶融塩腐食、水蒸気酸化、エロージョン・コロージョン、超臨界環境等、耐熱材料、耐熱コーティング、超合金、金属間化合物、セラミクス材料、酸化物の特性
		表面・界面	5.3	湿式表面処理・湿式めっき	電解・無電解めっき、アノード酸化、エッチング、化成処理、電気化学的な成膜、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.4	気相プロセス・薄膜・厚膜作製技術	PVD、CVD、スパッタリング、プラズマプロセス、イオン注入・イオン打込み、イオンミキシング、コーティング、クラスター制御、表面処理、表面改質等、エッチング、アッシング、リソグラフィ、マイクロ・トライボロジー、マイクロ・マシニング、マイクロ・ボンディング、ケミカルメカニカルポリッシング（CMP）、溶射、肉盛り、拡散浸漬処理、ぬれ性、摩擦・摩耗・潤滑等
			5.5	表界面反応・分析	表面物性・反応、表面の構造と結晶学、吸着・脱離、表面の熱・統計力学、表面の電子状態およびエネルギー・計算科学、電気化学反応、表面・界面の作製技術、表面分析法（各種化学分析・機器分析、極微量分析、極小領域分析、状態分析、プローブ顕微鏡、顕微分光、環境やプロセスのその場分析、成分画像解析等、各種分析装置の開発、化学センサー、モニタリング法等）、コロイド材料
			5.6	触媒	触媒材料（貴金属・卑金属触媒、金属間化合物触媒、ナノ構造触媒、規則性多孔体、有機金属、光触媒等）、触媒反応（酸化、水素製造、C-H活性化、クロスカップリング、界面分子変換、排気ガス浄化等）、触媒技術と反応プロセス開発、触媒理論
			5.7	新領域・その他	
6分野	6.材料プロセス	環境・リサイクルプロセス	6.1	環境・リサイクル技術	LCA、リスクマネジメント、資源経済、環境・資源政策、材料の環境信頼性評価、製造物責任、事故解析、材料安全など、環境低負荷材料、易リサイクル材料、易リサイクル設計、易解体設計、マテリアルセレクト、省材料設計、高寿命材料、高寿命設計など、分離プロセス、再資源化プロセス、材料のリサイクルシステム、材料資源循環システム、リサイクル化学、クローズドプロセス、再資源化用途開発など、
			6.2	製・精錬の物理化学	資源・原料、各種および新製・精錬法、冶金熱力学、化学反応工学、移動速度論、高温プロセス解析、数値流体力学、高純度化、分離・回収・精製、環境・リサイクル等
		溶融・凝固プロセス 高温プロセス	6.3	融体・高温物性	熱力学的諸量、融体物性、モデリング等
			6.4	凝固・結晶成長・ casting 技術	結晶成長、過冷却、非晶質、準結晶、輸送現象、高純化、 casting、鋳物、ダイキャスト、単結晶製造技術、半溶融加工、溶射、反応性溶射、溶射素過程、等
		固相プロセス 固相・溶接プロセス	6.5	塑性変形・塑性加工技術	塑性加工、高ひずみ速度加工、強加工プロセス、極限環境プロセス等
			6.6	粉末・焼結・造形技術	粉体製造、超微粉、粉体成形・粉末冶金（焼結プロセスを含む）、メカニカルアロイング、焼結合成プロセス、粉末射出成形（金属射出成形、セラミック射出成形）、3次元造形（3Dプリンター）、コールドスプレー、スプレーフォーミング、エアロゾルデポジション、アトマイズ等
			6.7	接合・溶接・実装・接着・複合技術	メカニカルプロセス、常温接合、拡散接合、超音波接合、摩擦圧接、摩擦攪拌接合、爆発圧接、電磁圧接、溶接、ろう付け、接着、精密接着、メッキ・プロセス、はんだ付け、実装、マイクロ接合、力学特性、信頼性 等
		材料評価、プロセス評価技術	6.8	材料評価技術	非破壊検査、非破壊定量評価、残留応力解析、センシング技術、信頼度評価等、各種プロセス・シミュレーション、テラヘルツ
		6.9	新領域・その他		

新分野	大分類	中分類	No	セッションキーワード	キーワード
7分野	7.生体・医療・福祉	生体材料基礎・生体応答	7.1	細胞機能・組織再生	細胞機能、細胞間相互作用、シグナル伝達、細胞・生体組織評価、細胞増殖・分化、組織修復（Tissue Engineering）、DDS（Drug Delivery System）、ゲノム解析・編集、細胞適合性、細胞配向、代謝回転、恒常性、石灰化、各種臓器、骨・歯牙、血管、骨芽細胞、破骨細胞、OCY（オステオサイト）、骨系細胞、細胞外基質、がん、細胞小器官、RNA、DNA、遺伝子組み換え、細胞培養、骨形態計測法、染色法、足場材料、機能性タンパク質等
			7.2	構造生体機能化	機能発現、バイオメカニクス、計算科学、金属組織・組織制御、弾性・塑性変形機構、力学機能発現（弾性率、強度、延性、疲労、破壊）、スキャフォールド、インプラント、双晶変形、生体組織、組織配向性、人工関節、人工歯根、熱処理、多孔化、機能・組織評価法、Co-Cr合金、ステンレス鋼、生体用セラミックス、リン酸カルシウム系材料、PEEK、整形外科用材料等
			7.3	表界面生体機能化	生体/材料界面、表面修飾、ナノ表面・界面、感染防御・制御、表界面機能、骨伝導・骨誘導、バイオセンサー、抗菌性、タンパク質吸着、コーティング、化学処理、表面分析・評価、PVD、CVD、コーティング材料等
		生体材料設計開発・臨床	7.4	生体・医療・福祉材料	バイオマテリアルサイエンス、生体情報・計測、リハビリテーション医学、ユニバーサルデザイン、リアフリー、生体機能代替、福祉用具・支援機器、ウェアラブル、IoT、AI、非磁性・低磁性・低弾性・高弾性、生体活性ガラス、生分解性材料、耐摩耗性材料、歯科用合金、生体用ハイエントロピー合金等
			7.5	生体用Ti・Ti合金	Ti・Ti合金、低弾性率、形状記憶、超弾性、オッセオインテグレーション、集合組織、人工骨・関節、相変態・組織制御、機能評価法、電子顕微鏡、β型Ti合金、ユビキタス元素、計算機シミュレーション等
			7.6	Additive Manufacturing・テーラード医療材料	付加製造、3Dプリンタ、金属積層造形、金属粉末、異方性/等方性、形状/組織制御、力学特性、残留応力、生体モデリング、形状計測、格子構造、薬物送達システム、マイクロマシン、マスカスタマイゼーション、テーラード医療、遠隔地診療、レーザービーム、電子ビーム、順シミュレーション・逆問題解析、溶融池シミュレーション、リアルタイムモニタリング等
			7.7	生体安全性・有効性評価	医用画像・バイオイメージング、生体シミュレーション、レギュトリーサイエンス、生体情報・計測、医療技術倫理、細胞毒性、疾病、代謝異常、骨吸収、金属アレルギー、耐食性、疲労、疾病治療、医療機器、臨床研究、臨床応用、GLP等
			7.8	新領域・その他	
8分野	8.構造材料	金属材料	8.1	Fe・Fe合金	Fe・Fe合金の原理・原則、鉄鋼材料、ステンレス合金、相変態（パーライト、ベイナイト、マルテンサイト、マッシュ等）、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.2	Cu・Cu合金	Cu・Cu合金の原理・原則、配線材料、熱伝導材料、相変態、組織制御、力学特性、計算材料科学
			8.3	Ti・Ti合金	Ti・Ti合金の原理・原則、相変態、組織制御、強化機構、成型性、ゴムメタル、耐食性、表面処理、計算材料科学
		軽金属材料	8.4	Mg・Mg合金	Mg・Mg合金の原理・原則、相変態、長周期積層構造、組織制御、強化機構、キンク変形、ミルフィーユ構造、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
			8.5	Al・Al合金	Al・Al合金の原理・原則、相変態、GPゾーン、クラスター、組織制御、強化機構、成型性、集合組織、耐食性、計算材料科学
		セラミックス材料	8.6	セラミックス材料	セラミックス材料の原理・原則、相変態、構造相転移、焼結、組織制御、機能材料、強化機構、破壊、成型性、耐熱性、計算材料科学
		耐熱材料	8.7	ジェットエンジン・ガスタービン耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、高融点金属、金属間化合物、セラミックス、超高温材料、金属基複合材料、金属間化合物基複合材料、セラミックス基複合材料、プラスチック基複合材料、炭素繊維強化型複合材料、SiC繊維強化型複合材料、ジェットエンジン、ガスタービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.8	蒸気発電耐熱材料	耐熱鋼、超合金、耐熱合金、蒸気タービン、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
			8.9	耐熱特性	耐熱合金、耐熱セラミックス、超高温材料、耐熱複合材料、コーティング、組織制御、相安定性、状態図、拡散、粒界、クリープ、疲労、破壊、寿命予測、高温酸化・腐食、熱機関、燃焼、熱伝導、熱膨張、熱衝撃、熱遮蔽、鍛造、粉末冶金、積層造形、熱間プロセス、計算材料科学、データベース
		機能性構造材料	8.10	機能性構造材料	アモルファス材料、金属ガラス材料、準結晶材料、制振材料、インテリジェント・スマートマテリアル、積層造形、計算材料科学
		複合材料	8.11	複合材料	複合材料、スポーツ用品材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
			8.12	ポーラス材料	ポーラス材料、積層造形、接合、組織制御、トポロジー最適化、力学特性、熱特性、電磁気特性、計算材料科学
			8.13	新領域・その他	
9分野	10. エネルギー関連材料	原子力材料	10.1	原子力材料	原子炉材料、核融合炉材料、ビーム関連材料、照射損傷、照射効果
		熱電材料	10.2	熱電材料	熱電変換、熱電素子、ゼーベック効果、ペルチェ効果、熱伝導、電気伝導、など
		水素・電池関連材料	10.3	電池材料・イオン伝導材料	電極材料、電解質材料、イオン伝導材料、電池設計、電池関連物性、など
			10.4	水素化合物・水素貯蔵・水素透過・水素関連物性	金属水素化合物、錯体水素化合物、水素貯蔵、水素透過、水素脆化、水素利用、水素関連物性、機能・プロセッシング、金属-水素相互作用、同位体効果、など
		新領域・その他	10.5	新領域・その他	センサー材料、熱伝導材料、など

特集企画の投稿募集

下記テーマに関する特集企画の投稿を募集いたします。

■貴金属のリサイクル関連技術の最前線 II (Special Issue on Frontier of Recycling Technology for Precious Metals II)

貴金属はレアメタルの中でも経済的価値が特に高い金属材料である。また、貴金属は、一般的には宝飾用途のイメージが強いが、電子・電気製品や各種触媒にも多量に消費されており、ハイテク製品や環境・省エネ製品に必須の金属材料として、その需要は近年ますます高まっている。寡占化した資源供給国が主導する資源戦略政策や投機筋の動きなどの様々な理由を背景として、貴金属の価格は乱高下する危険性を常に有している。そのため貴金属含有スクラップからの貴金属の回収は、日本の産業力の維持の観点でも極めて重要な取り組みであり、産学を挙げてその技術開発が活発に進められている。

会誌81巻4号(2017年)に特集「貴金属のリサイクル関連技術の最前線」が掲載された。その後も、日本金属学会の協賛のもと、特別・合同シンポジウム「貴金属の製錬・リサイクル技術の最前線」が東京大学生産技術研究所で毎年開催されており、毎回200名を超える参加者が集まり活発な議論が交わされている。

このような状況を踏まえ、本企画では、貴金属のリサイクルや精製に関する現状と最前線の研究開発について再度特集する。

上記テーマに関する特集を、日本金属学会誌85巻8号(2021年8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85巻第8号(2021年)

原稿締切日：2020年12月1日(火)

- 投稿に際しては、日本金属学会会誌投稿の手引・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。

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

日本金属学会誌掲載論文
 Vol. 84, No. 9 (2020)

——オーバービュー——

実環境における水素侵入を再現するための水素添加法
 大村朋彦

——論文——

Al 高濃度 AIX (X = H~Sn) 合金中の相互作用エネルギーの FPKKR 法の第一原理計算：I 基本的特徴と Fermi-Dirac 分布による熱電子励起効果
 安里光裕 劉 暢 藤間信久 星野敏春 毛利哲夫

Si 単結晶のマイクロトライボロジーに及ぼす雰囲気と温度の影響
 高木 誠 長江昂亮 木内亮介 岩田博之 坂 公恭

Materials Transactions 掲載論文
 Vol. 61, No. 9 (2020)

——Regular Article——

Materials Physics

Dispersing InP Nanocrystals in Nano-polycrystalline Diamond during the Direct Conversion from Graphite
 Rei Fukuta, Naoya Yamamoto,

Yohei Murakami, Fumitaro Ishikawa, Hiroaki Ohfuji, Toru Shinmei and Tetsuo Irifune

Effect of Nb on Thermal-Shock Resistance of Austenitic Heat Resistant Cast Steel

Tetsuya Okuyama, Takumi Higashizono, Ngo Huynh Kinh Luan and Masaki Kudo

Mixing Entropy of Exact Equiatomic High-Entropy Alloys Formed into a Single Phase

Akira Takeuchi

Nanocrystalline TiO₂ Powders Prepared by Xerogel Hydrothermal in Water: Characterization Photocatalytic Oxidation of Acetone

CuiPing Liu and YuWen Zhu

Microstructure of Materials

Effects of Process Parameters on the Microstructure and Hardness of Semi-Solid AlSi9Mg Aluminum Alloy Prepared by RAP Process

Yongfei Wang, Yi Guo and Shengdun Zhao

Influence of Morphology of Cementite on Kinetics of Austenitization in the Binary Fe-C System

Toshinobu Nishibata, Koutaro Hayashi, Takayuki Saito, Manabu Fukumoto and Masanori Kajihara

Mechanism of White Band (WB) Formation due to Rolling Contact Fatigue in Carburized SAE4320 Steel

Kohei Kanetani and Kohsaku Ushioda

Mechanics of Materials

Effect of Weld Line Direction on Tensile Deformation Behavior—Development of Forming Technology for Tailor-Welded Blank Application 2nd Report—

Masahiro Saito, Yoshiaki Nakazawa, Kenichiro Otsuka, Masanori Yasuyama,

Masatoshi Tokunaga, Tohru Yoshida and Shunji Hiwatashi

Development of a Numerical Simulator for 3-D Dynamic Fracture Process Analysis of Rocks Based on Hybrid FEM-DEM Using Extrinsic Cohesive Zone Model

Daisuke Fukuda, Erina Nihei, Sang-Ho Cho, Sewook Oh, Yoshitaka Nara, Jun-ichi Kodama and Yoshiaki Fujii

Effect of Formic Acid on Corrosion Behavior of STBA24 Low-Alloyed Steel and Its Weldment in Simulated Boiler Water Containing Chloride Ions

Li-Bin Niu, Shoichi Kosaka, Masaki Yoshida, Yusuke Suetake and Kazuo Marugame

Characterization of the Compressive Stress Drop in the Plateau Region in Porous Metals with Unidirectional Pores

Mahiro Sawada, Daiki Ichikawa, Matej Borovinšek, Matej Vesenjajk and Shinsuke Suzuki

Materials Chemistry

Investigations on Manufacturing of Magnesium Alloy Powder by Air Atomization

Kenji Date and Taku Iwaoka

Influence of Al Concentration and Zn Addition on the Corrosion Resistance of Rolled Mg-Al-(Zn)-Ca Magnesium Alloys

Isao Nakatsugawa, Naobumi Saito, Kazutaka Suzuki, Yasumasa Chino, Yuta Fukuda, Tomomi Ito, Masafumi Noda and Yoshio Gonda

Reduction Characteristics of Pure Gale Limonite Pellets in Gaseous Environments

Guofeng Gao, Xiaolei Zhou, Zhe Shi and Lanpeng Liu

Effects of Heat Treatment on the Structures and Wear Behaviors of HVOF-Sprayed Ni-MoS₂ Coatings

Jiun-Ren Hwang, Yu-Liang Liu, Chia-Hua Chang and Ming-Chang Jeng

Investigation of Refractory Corrosion by Na₂O-B₂O₃ Flux and Its Ability of Dissolving of Mn Oxides during a Melting Process for a Copper Alloy in the Atmosphere, Including Mn as Easily Oxidized Element

Itaru Hasegawa, Takuya Koizumi, Masanori Suzuki and Toshihiro Tanaka

Microstructure and Micro-Hardness of Al₂O₃-TiO₂ Coating by Plasma Spraying on SKD61 Steel

Pham Thi Hong Nga and Van-Thuc Nguyen

Effect of Iron Addition on Corrosion Behavior of Ni₂₀Cr-xFe Alloys in Air Containing NaCl-KCl-CaCl₂ Vapor at 570°C

Hubby Izzuddin, Shigenari Hayashi, Suzue Yoneda, Takashi Kogin, Eiji Ishikawa and Manabu Noguchi

Formation of Reaction Layer and Dissolution Behavior of Alkali and Alkaline-Earth Iron Phosphate Glasses in Water

Atsushi Ihira, Tatsuaki Sakamoto, Akira Saitoh and Hiromichi Takebe

Pd-Dispersed CeO₂ Catalyst Prepared from Dealloying the Pd-Ce-Al Ternary Amorphous Alloy Used for Oxidation Reaction

Ai Nozaki, Ryo Deguchi, Hiroshi Ichiwara, Ryota Kameo and Masao Morishita

Materials Processing

Electron Microscopy on Cu Element Distribution in Spheroidal Graphite Cast Iron

Takeshi Nagase, Toru Maruyama, Kazunori Asano and Yoshio Igarashi

Reduction of Elongation Anisotropy in Cold-Rolled and Annealed Al-7% Si Alloy Strips Fabricated by Vertical-Type High-Speed Twin-Roll Casting

Yohei Harada, Hiroki Shinohara, Tomoo Goda and Shinji Kumai

Engineering Materials and Their Applications

Cu₂O Nanoparticles: A Simple Synthesis, Characterization and Its Photocatalytic Performance toward Methylene Blue

Nguyen Thi Tuyet Mai, Mateus Manuel Neto, Pham Van Thang, Nguyen Ngoc Trung, Nguyen Cong Tu, Ta Ngoc Dung, Huynh Dang Chinh and Luu Thi Lan Anh

Prediction of Face-Centered Cubic Single-Phase Formation for Non-Equiatomic Cr-Mn-Fe-Co-Ni High-Entropy Alloys Using Valence Electron Concentration and Mean-Square Atomic Displacement

Kodai Niitsu, Makoto Asakura, Koretaka Yuge and Haruyuki Inui

Environment

Corrosion Behavior of Diecast Mg-Al-Mn-Ca-Si Magnesium Alloy

Yoichi Mori, Seiji Sugimura, Akihiko Koshi and Jinsun Liao

—Technical Article—

Evaluation of Deterioration Damage for Liquid Oxygen/Hydrogen Combustion Chamber of Copper Alloy by Replica Method for Oxide Film

Mitsuharu Shiwa, Masao Hayakawa, Tomoyuki Hashimoto, Masao Takegoshi and Eiichi Sato

Announcement

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

◇東京工業大学 准教授 公募◇

所 属 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所・未来産業技術研究所

職名・人数 准教授 1名

専門分野 多機能医用デバイス材料に関わる材料科学、金属工学、金属化学などの分野(望ましい人物の例)

- ・分野横断的な学理を創成する意欲と提案をもつ方
- ・異分野融合と協働により大きなシナジー効果を生み出す気概のある方
- ・ポスト・コロナ時代に向けた新医用材料の研究に意欲的な方

職務内容

- ・上記研究の遂行とそれに関わる職務
- ・科学技術創成研究院フロンティア材料研究所を主所属、未来産業技術研究所を副所属とし、准教授としてのそれらの運営に関わる職務
- ・教育組織としてライフエンジニアリングコースおよび物質理工学院材料系材料コースに所属し、日本語および英語にてそれらの大学院および学士課程に関連する学生の研究教育指導、講義、演習、実験の担当および運営に関わる職務

応募資格

- ・博士の学位を有し、関連する分野で十分な研究および教育の経験を有すること。
- ・上記専門分野あるいは関連分野において先導的かつ国際的な研究実績があり、新しい分野を積極的に開拓できること。

勤務予定地 すすかけ台キャンパス(最寄り駅：すすかけ台)

着任予定 令和3年4月1日、またはそれ以降のなるべく早い時期

応募締切 令和2年10月5日(月)必着

選考方法 書類審査ならびに面接
 書類選考の後、面接、セミナー等をお願いする場合があります。面接等に伴う旅費等の経費は自己負担でお願いします。
 書類選考の後に推薦状をお願いします。

応募書類* 1. 略歴調書(写真添付、高卒以上の学歴、職歴、受賞歴、電子メールアドレス Researcher ID と Google Scholar プロフィールの登録名を記入すること)
 2. 業績調書：①学術論文(査読有)、②国際会議論文、③総説・解説、④著書、⑤特許等に分類/基調講演や招待講演は明記/学術論文と国際会議論文の被引用数(Citation)とそれらをまとめたh指数(h-Index)を使用したデータベース名*とともに付記。それぞれ出版年順に、新しいものから古いもの順に記載すること。
 *Google Scholar Citations, Scopus, または Inspire

3. 主要原著論文別刷り5編(コピー可、原則として英文)

4. 競争的研究資金及び外部研究資金の獲得実績(科学研究費補助金、受託研究費、その他の競争的資金に分類/名称、課題名、研究期間、総額、代表・分

担、本人配分額(研究代表者でない場合は明記)

5. これまでの研究・教育の実績(A4用紙1枚程度に要約)
6. 着任後の研究・教育の構想概略(A4用紙1枚程度に要約)
7. 社会活動(学会活動における役職を含む)に関する実績、その他特記事項
8. 業績・人物について照会できる関連分野の研究者(国内1名、海外1名)の氏名、役職、所属、連絡先、メールアドレス
9. http://www.msl.titech.ac.jp/assets/files/employment/ApplicationForm_Name.xlsx からダウンロードした Excel の書式に必要項目を書き込んだファイル。

書類提出方法 (電子メール)
 応募書類は1-8までは電子データ(PDF)とし、9のエクセルシートと併せ、ZIPファイルとし、下記のアドレスまで電子メールの添付ファイルとして送付して下さい。タイトルは「研究院准教授応募」として下さい。
 (郵送)
 電子メールでの提出が難しい場合、提出書類は印刷版(1部)に加えて、電子データ(PDF)をCD-ROMディスクあるいはUSBメモリに入れて、封筒に「研究院准教授応募書類在中」と朱書きした上、簡易書留にて送付して下さい。

問合せ・書類送付先 准教授選考委員長 細田秀樹
 (電子メール hosoda.h.aa@m.titech.ac.jp)
 (郵送)〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R3-28 東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 事務室気付

その他 公募に関する事項は下記ページをご参照下さい。
<http://www.hyoka.koho.titech.ac.jp/eprd/recently/koubo/koubo.php>

◇豊橋技術科学大学大学院工学研究科 機械工学系 教員(助教)公募◇

募集人員 助教1名

所 属 機械工学系 材料・生産加工分野

専門分野 各種構造・機能材料におけるナノレベルでの組織制御および強度・破壊特性評価に関する分野

応募資格 博士あるいはPhDの学位を有するかつ着任までに取得見込みの方

担当科目 工学実験、機械創造実験、プロジェクト研究などに関する科目

- ※ 日本語を母語としない場合は、学内諸業務ができる日本語運用能力を有する方
- ※ 教育研究のグローバル化を推進するため、英語による学生指導補助ができる方が望ましい
- ※ 男女共同参画の視点から、女性教員の採用を積極的に進めます

採用予定時期 令和3(2021)年4月1日以降できるだけ早い時期

勤務形態 常勤(任期あり)
 任期：5年(テニュアトラック制度を適用する可能性がある)

提出書類 (1) 履歴書(市販用紙可、写真貼付、連絡先として電話番号、メールアドレスを明記、所属学会を記載すること)
 (2) 研究業績リスト(著書、査読付き学術論文、国際会

議論文, その他(国内会議論文, 総説・解説, 招待講演, 特許, 受賞, 社会貢献実績等)に分類して記載)

- (3) 主要論文別刷(3編, コピー可)
 - (4) 学会及び社会における主な活動状況(所属学会, 学会等における役職・委員歴, 国際会議・国内学会での委員歴, など)
 - (5) 外部資金獲得実績(科研費, 産学連携プロジェクト, 財団助成金, 機関内競争経費, など) 代表者・分担者の別を明記。その他アピールできる事項)
 - (6) これまでの研究概要(A4判, 2ページ程度)と今後の研究計画(A4判, 1ページ以内)
 - (7) 教育についての実績と抱負(A4判, 1ページ以内)
 - (8) 応募者について所見を伺える方2名の連絡先(氏名, 所属, 職位, 電話, 電子メールアドレス)
- ※ なお, 選考状況により別途書類の提出を求めています。

- 選考方法**
- (1) 書類審査(選考は本学の教員選考基準による)
 - (2) 面接: 書類審査により適格とされた応募者に対し個別に連絡した後, 実施します
- ※ 選考結果に関する個別の問合せには応じない

応募締切 令和2年(2020)年11月2日(月)(必着)

書類送付先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
豊橋技術科学大学 大学院工学研究科 機械工学系系長 伊崎昌伸
※ 「材料・生産加工分野教員(助教)応募書類在中」と朱記し, 書留で郵送して下さい

問合せ先 機械工学系 教授 三浦博己
☎ 0532-44-6697, E-mail: miura@me.tut.ac.jp

- その他**
- (1) 応募書類は返却しません(返却を希望される場合: 返信用の封筒(切手あるいは着払いの伝票が添付されたもの)を同封して下さい)
 - (2) 個人情報保護法に基づき, 応募書類に含まれる個人情報には本選考の用途以外には使用しません
 - (3) 面接等, 来学に関わる費用は応募者の自己負担となります
 - (4) 選考結果は, 審査終了次第, 本人宛に通知します
- ※ 必ず下記の URL をご参照下さい。
<https://www.tut.ac.jp/about/kyoin-koubo.html>

◇大阪大学大学院基礎工学研究科 准教授または講師公募◇

職名人数 准教授または講師 1名
所 属 大学院基礎工学研究科(機能創成専攻 機能デザイン領域 制御生産情報講座)
(学部は基礎工学部・システム科学科・機械科学コースを兼任)
勤務場所 豊中キャンパス(大阪府豊中市待兼山町1-3)
専門分野 力学特性・物性に優れた先端材料の創出, 材料の力学特性・物性の根源的解明・制御を目指す材料科学, 固体力学, 計算科学に関する研究教育分野
職務内容

- ・上記の専門分野に関連する研究
- ・上記の専門分野に関連する大学院・学部学生に対する教育・研究指導
- ・基礎工学研究科及び大学における管理運営業務

応募資格

- (1) 博士の学位を有する方
- (2) 大学院博士後期課程の教育研究指導を担当できる方
- (3) 当該分野における研究実績があり, 新しい分野の開拓や機械科学に関する融合研究に意欲のある方

- 採用日** 2021年4月1日(以降できるだけ早い日)
契約期間 期間の定めなし
試用期間 6か月
応募書類
 - (1) 履歴書(写真貼付, 現住所, 連絡先(TEL, E-mail等), 学歴(高等学校卒業以降), 職歴, 研究歴, 資格, 賞罰等を任意の書式で記載すること)
 - (2) 論文目録(a. 原著学術論文, b. 国際会議論文(査読付), c. 総説・解説, d. 著書, e. その他に分類し, 全著者名, 論文題名, 発表誌名, 発行年, 巻号, 頁等を記載すること)
 - (3) 主要原著学術論文の別刷またはコピー(5編以内)
 - (4) 現在までの主要な研究内容と成果(A4用紙1ページ程度, 論文目録と対応させて記述)
 - (5) 受賞名とその内容
 - (6) 特許等とその内容
 - (7) 所属学会および社会等における活動状況
 - (8) 各種研究補助金の取得状況(代表・分担を明記)
 - (9) 着任後の教育・研究についての計画と抱負(A4用紙1ページ程度)
 - (10) 応募者に関して意見を伺える方2名の氏名と連絡先(海外の方も可)

応募方法及び問合せ先 応募(応募書類提出)は原則, 「JREC-IN Portal Web 応募」機能を用いて行って下さい。

<https://jrecin.jst.go.jp/>
https://jrecin.jst.go.jp/seek/html/help_detail/katsuyou/loginmae/user01-2.html

「JREC-IN Portal Web 応募」機能で応募できない場合に限り, 郵送での応募も受け付けます。

郵送希望の場合, 応募書類のハードコピーと全応募書類の電子ファイルを収めた電子媒体(USBメモリもしくは, CD-R/DVD-R等)を同封の上, 下記の宛先に郵送下さい。
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3

大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 専攻長教授 和田成生

- ※ 封筒に「機能デザイン領域制御生産情報講座教員 応募書類在中」と朱書きして下さい
※ 簡易書留で郵送して下さい(メールによる応募は受け付けません。)
※ 応募書類や電子媒体は選考終了後も返却いたしません

応募期限 2020年10月30日(金) 必着

選考方法 書類審査による一次選考の後, 面接等による二次選考を行います。なお, 適任の候補者が得られない場合には, 最終候補者を選考しないことがあります。

- ※ 面接のための旅費及び宿泊費等は応募者の負担とします。海外在住の方には, オンラインでの面接が可能です。

◇大阪大学 産業科学研究所 教員公募◇

募集・人数 教授(常勤) 1名
所 属 産業科学研究所 エネルギー・環境材料研究分野
勤務場所 吹田キャンパス(大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1)
専門分野 エネルギー・環境材料研究分野
職務内容 上記概要に関する研究・教育の実施
応募資格 [必須条件]

- ・博士の学位を有する研究者
- ・専門分野に顕著な研究業績がある方
- ・大学院の学生の教育・研究指導が行える方

採用日 2021年4月1日以降の出来るだけ早い時期
応募書類 ①履歴書(写真添付) ②研究業績リスト (1)原著論文(レビュー論文を含む) (2)査読のある国際会議論文(ブ

ロシーディングス) (3)総説・解説 (4)著書 (5)特許 (6)総サイテーション数とサイテーション数がトップ10の原著論文リスト(web of scienceなどを使用して、サイテーション数を記載すること。使用した検索ツールを明記して下さい。) (7)受賞歴 (8)外部資金獲得状況(間接経費含む研究経費額(代表のみ)、資金制度・研究費名、期間、研究課題名) (9)招待講演のリスト ③主要論文(5編以内、インパクトファクターとサイテーション数を付記、別刷り添付) ④従来の研究概要(主要論文との関係が分かるように、図式等を含めA4 2ページ以内) ⑤着任後の研究計画(図式等を含めA4 2ページ以内) ⑥教育に対する抱負(A4 1ページ以内) ⑦照会可能な方2名の氏名及び連絡先

※応募書類は、当該教員選考以外の目的には、一切使用しません。教員選考終了後には、責任をもって破棄いたしますので、ご了承下さい。

送付・問合せ先 上記書類をPDFにし、必ずパスワードを付して、下記アドレスにお送り下さい。パスワードは別送して下さい。(書類の容量が10MBを超える場合は、10MB以下になる様に分割して送付して下さい。)応募のメールのタイトルは「【応募】エネルギー・環境材料研究分野 教授」として下さい。

大阪大学産業科学研究所 所長 関野 徹

☎ 06-6879-8508

E-mail: isir-koubo-2020ene@sanken.osaka-u.ac.jp

応募期限 日本時間にて **2020年10月9日(金)23時 必着**

選考方法 書類審査後、面接審査を実施します。

※面接審査の案内は書類審査通過者にのみいたします(なお、結果は選考終了後に連絡します)。

※面接のための旅費及び宿泊費等は応募者の負担とします。

◇兵庫県立大学 化学工学専攻 教員公募◇

募集人員 教授 1名

(本学では、男女共同参画を推進していますので女性研究者の積極的な応募を歓迎します)

所 属 化学工学専攻

専門分野 化学プロセス工学

教育担当 大学院：〈博士前期〉流体工学関連科目

〈博士後期〉化学工学関連講究

学 部：化学工学概論，化学工学実験，卒業研究

その他関連分野を担当する場合がある

応募資格 1. 博士の学位を有し、上記の研究と教育に熱意と意欲をお持ちの方

2. 国籍は問わない。ただし、学内の諸業務の遂行が可能な日本語能力を有すること

着任時期 令和3年4月1日 (予定)

応募書類 1. 履歴書(写真貼付、学歴は高等学校卒業以降、職歴、賞罰等)：様式1

2. 研究業績(著書、論文等)：様式2および主要論文別刷り(10編まで、コピー可)

3. 教育歴および学会・社会における活動等：様式3

4. これまでの主要な研究概要(2000字程度)：様式4

5. 教育・研究への抱負(2000字程度)：様式5

6. 推薦書1通または応募者に対して意見を伺える方2名の氏名・役職と連絡先を記載した書類

応募締切 令和2年9月30日(水)(必着)

選考方法 書類審査および面接(模擬授業を含む)による

書類提出先 〒671-2280 兵庫県姫路市書写2167

兵庫県立大学姫路工学キャンパス 総務課気付

大学院工学研究科長 川月喜弘 宛

※封筒に「(第223号)化学工学専攻教授 応募書類在中」と朱書きし、簡易書留で送付すること。なお、原則として応募書類は返却しません。

問合せ先 化学工学専攻 専攻長 森下政夫

☎ 079-267-4913(直通)

E-mail: koubo223@eng.u-hyogo.ac.jp

公募のURL

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/outline/koubo/index.html>

◇兵庫県立大学大学院 工学研究科 材料・放射光工学専攻 教員公募◇

募集人員 教授 1名

(男女共同参画を推進していますので女性研究者の応募を歓迎します)

所 属 材料・放射光工学専攻

専門分野 材料設計学

概 要 非鉄金属材料を主な対象として、新規プロセス開発による材料設計・創製、および先端組織解析に関する研究と教育が実施できる人材。

教育担当 大学院：〈博士前期〉材料設計工学，材料工学特別演習
〈博士後期〉材料組織・設計学講究

学 部：基礎材料工学Ⅰ，基礎材料工学Ⅱ，非鉄金属材料学，卒業研究

応募資格 博士の学位を有し、上記専門分野の研究と教育に意欲がある方。

着任時期 令和3年4月1日

応募書類 公募のURL：<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/outline/koubo/index.html> から所定の用紙をダウンロードして下さい。

1. 履歴書(写真貼付、学歴は高等学校卒業以降、職歴、賞罰等)：様式1

2. 研究業績(著書、論文等)：様式2および主要論文別刷り(10編まで、コピー可)

3. 教育歴および学会・社会における活動等：様式3

4. これまでの主要な研究概要(2000字程度)：様式4

5. 教育・研究への抱負(2000字程度)：様式5

6. 推薦書1通または応募者に対して意見を伺える方2名の氏名・役職と連絡先を記載した書類

応募締切 令和2年9月30日(水)必着

選考方法 書類審査および面接(模擬授業を含む)による

書類提出先 〒671-2280 兵庫県姫路市書写2167

兵庫県立大学姫路工学キャンパス 総務課気付

大学院工学研究科長 川月喜弘 宛

*封筒に「材料・放射光工学専攻教授(材料設計学)応募書類在中」と朱書きし、簡易書留で送付すること。応募書類は原則として返却しません。

問合せ先 材料・放射光工学専攻 専攻長 菅誠一郎

☎ 079-267-4925

E-mail: koubo221@eng.u-hyogo.ac.jp

◇九州大学 大学院工学研究院
機械工学部門 教員募集◇

募集人員 教授 1名
所属 九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門 材料力学講座
教育研究分野 固体力学の基礎と応用に関する研究(例えば、各種構造材料の疲労破壊、水素脆化、クリープ等の実験・評価、および計算力学などによるそれらの解析)
担当科目 学部：工学部機械航空工学科機械工学コースにて、材料力学関連科目(材料力学、弾性力学、機械工学実験第一など)を担当
大学院：工学府水素エネルギーシステム専攻等にて材料力学関連科目(破壊力学など)を担当(英語による授業を含む)
着任時期 令和3年4月1日
勤務形態 常勤(任期なし)、試用期間あり(3ヵ月)
応募資格 博士の学位を有し、大学院博士課程で英語による教育・研究指導を行う能力を持ち、当該研究分野において優れた業績のある方。
提出書類 (1) 履歴書(写真貼付、学歴、職歴を記載。連絡先とE-mailを明記)
(2) 研究業績(学術論文、国際会議 Proceedings、著書、総説、特許、招待講演(国内会議、国際会議に分類：プレナリー講演、基調講演、招待講演)、新聞報道に分類。主要論文の別刷(コピー可)を5編添付)
(3) 科学研究費・共同研究費・受託研究費等の競争的資金の獲得状況(代表者分のみ)
(4) 教育実績
(5) 所属学協会における活動歴(国内学会役員・委員、国際会議委員など)
(6) 受賞歴
(7) これまでの研究の概要(2,000字以内)
(8) 今後の研究計画(2,000字以内)
(9) 応募の動機ならびに教育と研究についての抱負(1,000字以内)
(10) 応募者について意見を伺える方2名以上の氏名、所属および連絡先
※(1)~(10)を正本1部(印刷)および電子データを提出のこと
選考方法 書類による1次審査後、面接(プレゼンテーションを含む)による2次審査実施(選考に関わる旅費等の経費は、自己負担となります。)
公募締切 令和2年10月15日(木)必着
応募書類提出先および問合せ先
〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学 大学院工学研究院 機械工学部門
教授 戸田裕之
(☎ 092-802-3246, E-mail: toda@mech.kyushu-u.ac.jp)
※「応募書類在中」と朱書き簡易書留で郵送下さい。応募書類は返却いたしません。
備考 機械工学部門の詳細は、<http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/j/>を参照下さい。

集 会

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)主催

◇材料分野における SDGs シンポジウム◇

@渋谷 QWS+ライブストーリーミング配信

- 日 程：2020年11月27日(金)
シンポジウム 14:00~18:00
交流会・意見交換会 18:00~(交流会は開催しない可能性あり)
- 開催会場：渋谷スクランブルスクエア第1期(東棟)15階
SCRAMBLEHALL
<https://shibuya-qws.com/>(渋谷 QWS：渋谷駅直上)
- 主催：東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 共 催：東京大学、渋谷スクランブルスクエア株式会社
- 協 賛：(一社)軽金属学会、(一社)資源・素材学会、(公社)日本化学会、(公社)日本金属学会、(一社)日本鉄鋼協会(依頼予定)
- 協 力：東京大学 生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター、レアメタル研究会
- 開催内容：材料、とくに金属材料分野における SDGs(持続可能な開発目標)についての講演会、およびパネルディスカッションを企画している。講演会の後、非鉄金属等の材料関係者を加えた講演者とのパネルディスカッションを計画中。講演や討論会は、ライブ Web 配信を予定。
- 申込方法：約1カ月前に、関係 Web ページ上で案内します。
- 問い合わせ：東京大学 生産技術研究所 岡部研究室
シンポジウム事務局
E-mail: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp

■登壇者：

なぜ企業は SDGs に取り組むのか(50分)

沖 大幹 東京大学 教授、国際連合大学 上級副学長
国連大学上級副学長として、また、環境科学の第一人者として国連が取り組む SDGs と日本が取り組むべき課題について、大所高所のご講演をお願いしている。

SDGs 実現のための金属資源循環利用の方向性と課題(50分)

星野 岳穂 東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 特任教(元 経済産業省 資源エネルギー庁 審議官)
材料の動的マテリアル・フロー分析や資源循環の将来予測等の研究成果を基に、基盤材料マネジメントの最適な姿を見だし、その実現のための政府および産業界に対する政策提言をお願いしている。

未来社会デザインとメタラジー(50分)

田中 敏宏 大阪大学 統括理事 副学長(前 日本鉄鋼協会 会長)
鉄鋼材料を中心として、SDGs の観点から多角的なご講演をお願いしている。

司会：所 千晴 早稲田大学 理工学術院 教授、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 特任教授
モデレータ：岡部 徹 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 特任教授

◇ ◇ ◇

◇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 (一社)軽金属学会, (一社)資源・素材学会, (一社)新金属協会, (公社)日本化学会, (公社)日本金属学会, (一社)日本チタン協会, (一社)日本鉄鋼協会
- 参加登録・問い合わせ 岡部研 学術支援専門職員 宮崎智子 (tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

〈2020年度レアメタル研究会のご案内〉 (2020年7月29日現在)

- 第92回 2020年9月25日(金)(2020年度 第2回)←次回
(↑Zoom を利用する講演のネット配信を予定)
- 第93回 2020年11月6日(金)(2020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: 2020年11月27日(金)寄付ユニット特別シンポジウム(会場: SHIBUYA QWS(渋谷キューズ)を予定)
- 第94回 2021年1月8日(金) (2020年度 第4回)
★貴金属シンポジウム(第8回)+新年会★(合同開催)
- 第95回 2021年3月12日(金) (2020年度 最終回)

- 第92回 2020年 9月25日(金) 14:00~
An 棟2F コンベンションホール
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: 非鉄金属, 特殊金属の動向

- 午後2:00~ 最近の非鉄業界の動向について(仮)(60分)
三井金属鉱業株式会社 金属事業本部 本部長
常務執行役員 角田 賢 講師

- ニオブやタンタルの過去, 現在, 未来(仮)(40分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹 講師

- 新生 TANIOBIS GmbH(ドイツ駐在員からの最新情報・話題提供)(仮)(60分)
~特別企画: 海外・ドイツ・ゴスラーからの On Line 講演~
TANIOBIS GmbH(JX 金属グループ)
Senior Project Manager 野瀬 勝弘 講師

- ★講演の順序は変更する可能性があります★
午後6:00~ 研究交流会・意見交換会(← Web での開催を企画予定)

- 第93回 2020年 11月6日(金) 14:00~
An 棟2F コンベンションホール
オンラインでの開催を予定 (←Zoom を利用する講演のネット配信を計画中)
★チタン関係シンポジウム★(合同開催)
テーマ: チタンの過去, 現在, 未来, そして私の夢
午後2:00~ 講 演: 企画中

- 東大基金:
★チタンの夢とロマン基金★ <https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt109>
★貴金属研究・若手育成支援基金★ <https://utf.u-tokyo.ac.jp/project/pjt112> を立ち上げました。
できるだけ多くの皆様から, 少額でも構いませんので「継続的なご寄付」をお待ちしております。

- *レアメタル研究会ホームページ*
https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/rc40_j.html



まてりあ第59巻10号 予告

金属なんでもランキング! No. 11 電気陰性度
[最近の研究] 酸素発生反応に対する触媒活性発現のメカニズムとその応用に関する研究東大 八木俊介
摩擦プロセスの新たな活用 —摩擦誘起薄膜合成—芝浦工大 田邊匡生 大崎淳也 伊藤孝郁 塚田大智 小山 裕

[新 進 気 鋭] 金属粒子の高温酸化を利用した自己治癒セラミックスの研究開発東北大 丸岡大佑
[入 門 講 座] 微小領域における金属材料の材料力学 II. 金属材料のサイズ効果と機械的特性の評価東工大 曾根正人
—他—

—編集の都合により変更になる場合もございます—

新 入 会 員

(2020年6月20日～2020年7月20日)

正 員

GUAN Kai 東京大学	エルテファト アフマディ 北海道大学	半 那 拓 株式会社アルバック
新井 徹	大石 泰生 公益財団法人高輝度光科学研究センター	藤原 昂太 地方独立行政法人大阪産業技術研究所
有田 佳織 株式会社安川電機	柴田 昭市 防衛省防衛装備庁	宮川 仁 国立研究開発法人物質・材料研究機構
石原広一郎 株式会社日立金属安来製作所	崔 正原 大阪大学	森 大輔 三重大学
稲見 栄一 高知工科大学	西本 大夢 住友金属鉱山株式会社	

学 生 員

青沼拓実 仙台高等専門学校	川西 潤 兵庫県立大学	趙 一方 九州大学
赤井周平 九州大学	河野竜也 九州大学	寺本昌由 茨城大学
赤津利也 長岡技術科学大学	北川賢介 鳥取大学	時合孝貴 千葉工業大学
足立浩暢 早稲田大学	北角健太郎 神戸大学	戸倉凜太郎 北海道大学
阿部慶樹 芝浦工業大学	木村智遥 北海道大学	富田康平 熊本大学
新城イタロ 北海道大学	工藤拓人 北海道大学	Nah Hayoon 大阪大学
井窪亮太 北海道大学	工藤幹央 北海道大学	中川一沙 岩手大学
伊澤陸斗 北見工業大学	國枝暁人 岩手大学	中川寛大 金沢工業大学
石黒雄大 名古屋工業大学	黒田知暉 芝浦工業大学	中川 航 兵庫県立大学
石坂篤史 北海道大学	桑葉秀一 早稲田大学	中所弘晶 関西大学
井田唯斗 山形大学	河野竜大 名古屋大学	中田宝美 大阪市立大学
井手隆裕 広島大学	児玉 崇 宇都宮大学	長友真裕子 北海道大学
稲田祐樹 東京大学	近藤晋太郎 東京工業大学	中村浩輔 東北大学
稲玉侑里子 早稲田大学	嵯峨山 諒 関西大学	中村友馬 大阪大学
井上蒼太 東北大学	佐々木勇祐 大阪大学	中山耕作 群馬大学
井上真志 近畿大学	佐藤駿介 東北大学	名和佑太 神戸大学
今井翔太 関西学院大学	佐藤遼馬 大阪大学	西 遼太郎 東京大学
今泉 薫 国立研究開発法人産業技術総合研究所	清水悠佑 九州大学	西川侑希 大阪大学
上田菜海 北海道大学	下地雄貴 大阪大学	西谷弥輝 鳥取大学大学院
植竹亮太 北海道科学大学	下村 翔 鳥取大学	西山隆之 京都大学
宇佐見太毅 名城大学	白井克哉 大阪大学	新田魁洲 東京大学
宇都宮智樹 関西大学	菅井 匠 長岡技術科学大学	新田純也 長岡技術科学大学
浦部聖大 芝浦工業大学	鈴木幸四郎 旭川工業高等専門学校	沼澤時生 秋田大学
大木弘樹 兵庫県立大学	鈴木慎也 金沢大学	沼田春子 東北大学
大熊悠斗 茨城大学	砂田宗一郎 関西学院大学	野尻英史 東北大学
大澤 守 鳥取大学	関本 涉 大阪大学	芳賀僚太 東北大学
大野弘人 北海道大学	千田雅也 北海道大学	橋野達郎 京都大学
大本 篤 大阪大学	仙北拓也 北海道大学	橋本隼也 広島大学
大森翔太 北海道大学	添田和優 東北大学金属材料研究所	橋本拓也 北海道大学
岡 壮磨 九州工業大学	高井良真里奈 九州大学	浜崎友貴 金沢大学
小笠原佑衣 九州工業大学	高嶋佑伍 北海道大学	濱田秀馬 熊本大学
岡丈慎治 九州大学	高田優介 宇都宮大学	濱田留那 旭川工業高等専門学校
岡田皓稀 関西大学	高橋 駿 千葉工業大学	濱本大地 関西大学
奥村 峻 九州工業大学	高橋巡季 鹿児島大学	林 雄也 北海道大学
小佐野公佑 東北大学	高橋真道 東京工業大学	原 一貴 東北大学大学院
角田陽太郎 京都大学	高橋快生 弘前大学	原 英利 芝浦工業大学
柏原諒平 茨城大学	高松晃大 東京農工大学	原口圭祐 北海道大学
加藤駿平 東北大学	武田瑛範 北海道大学	日野雄太 大阪大学
加藤徹也 横浜国立大学	多田龍生 大阪大学	平澤晃大 旭川工業高等専門学校
加藤 僚 名城大学	田中健嗣 大阪大学	廣瀬天思 北海道大学
蟹江宏太 名古屋大学	田中 遥 九州工業大学	福富達哉 宇都宮大学
金子拓磨 東京大学	谷口宗大 東京工業大学	藤井聡汰 北海道大学
兼山 凱 大阪府立大学	譚 安富 筑波大学	藤坂飛翔 秋田大学
上角亮太 熊本大学	段野下宙志 横浜国立大学	舟本将崇 名古屋大学
亀尾亮太 兵庫県立大学	張 仲景 名古屋大学	許 禎佑 北海道大学
亀瀧裕介 九州大学	中迫未菜美 関西大学	星 亨 東北大学

星野孝男 同志社大学
星野拓巳 宇都宮大学
星野諒哉 北海道大学
本城悠吾 茨城大学
本田祥基 北海道大学
前田将輝 鳥取大学
前出淳志 名古屋大学
真壁太一 東北大学
牧野仁志 名古屋大学
増田呼人 東北大学
松井大輝 千葉工業大学
松枝里奈 東京都立大学
松岡佑亮 名古屋大学

松原悠真 兵庫県立大学
松本潮 京都大学
眞子大輝 九州工業大学
三宅遼吾 京都大学
村田和也 千葉工業大学
村山達彦 東京農工大学
森口裕樹 兵庫県立大学
森本健一郎 神戸大学
森脇誠也 富山大学
Yao Lying 北海道大学
矢木誠一郎 東京工業大学
柳原創 東北大学
山岸駿之介 岡山大学

山口真功 岩手大学
山崎瞭 北海道大学
山瀬和葉 北海道大学
山田拓海 東海大学
山田智大 東北大学
山中佑太 群馬大学
山本輝帆 名古屋工業大学
山本瑞貴 群馬大学
李子豪 東北大学
LUU VU NHUT 長岡技術科学大学
和田慧良 北海道大学
渡辺大樹 秋田大学

外国一般会員

li baishun 東北大学

Yang Lin Taiyuan University of Technology

外国学生会員

CHEN Hui 東京大学
GUO Longfei 北海道大学
LIU Pengfei 東北大学
YIN WUJUN 東京大学
林時温 北海道大学
Ng Kok Long トロント大学

邱子翔 広島大学
胡皓宇 東京大学
侯若谷 東京大学
Gong Lizhikun 北海道大学
降東陽 北海道大学
朱尚萍 九州工業大学

Dong Mingqi 東北大学
朴聖鎮 東京工業大学
袁欣偉 東北大学
楊少文 東北大学
李正旭 千葉大学

2020年度支部事務所

1. 北海道支部

支部事務所 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学大学院工学研究院
☎/FAX 011-706-6842
E-mail: jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp

5. 北陸信越支部

支部事務所 〒930-8555 富山市五福3190
富山大学学術研究部
☎/FAX 076-445-6839
E-mail: matsuda@eng.u-toyama.ac.jp

2. 東北支部

支部事務所 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学金属材料研究所
☎ 022-215-2124 FAX 022-215-2126
E-mail: jim-tohoku@imr.tohoku.ac.jp

6. 関西支部

支部事務所 〒550-0004 大阪市西区鞠本町1-8-4
(一財)大阪科学技術センターニューマテリアル
センター
☎ 06-6443-5326 FAX 06-6443-5310
E-mail: n-kansai@ostec.or.jp

3. 関東支部

支部事務所 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
工学部4号館334号室
東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻
☎ 03-5841-7107
E-mail: nakaya@wood3-staff.t.u-tokyo.ac.jp

7. 中国四国支部

支部事務所 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1
岡山大学工学部機械システム系学科
☎ 086-251-8027 FAX 086-251-8266
E-mail: takemoto@mech.okayama-u.ac.jp

4. 東海支部

支部事務所 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
名古屋大学工学研究科マテリアル工学系専攻内
日本金属学会東海支部事務局
☎ 052-789-3372
E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp

8. 九州支部

支部事務所 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地
九州大学大学院工学研究院
☎/FAX 092-802-2943/092-802-2944
E-mail: saito@zaiko.kyushu-u.ac.jp

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
2020年9月				
2	関西支部第22回塑性加工基礎講座「入門 塑性加工シミュレーション」(同志社大)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansosei@mail.doshisha.ac.jp	定員 50名
2~4	第7回若手研究者および技術者のための高温強度講習会(実習付き)(兵庫県加古郡)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	申込 7.3
2~4	日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム(北大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3662-5232 fall33@cersj.org http://www.ceramic.or.jp/ig-syuki/33/	
3~4	第12回「役に立つ真空技術入門講座」(大阪電気通信大)	日本表面真空学会 関西支部	TEL 06-6605-2738 office@jvss-kansai.jp https://www.jvss.jp/	定員 100名
8~10	資源・素材2020(仙台)	資源・素材学会	info@mmij.or.jp	
9~11	2020年度工学教育研究講演会(北大)	日本工学教育協会 北海道工学教育協会	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp https://www.jsee.or.jp/	
9~11	第23回 XAFS 討論会(東広島)	日本 XAFS 研究会	jxafs23@hiroshima-u.ac.jp	
9~11	第22回日本感性工学会大会(中央大)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske22	
11	第114回シンポジウム「アルミ板材の冷間成形 CAE の高精度化と自動車への適用」(東京)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 http://www.jilm.or.jp	定員 90名
14~16	第26回結晶工学スクール(2020年)(東大)	応用物理学会	TEL 03-3828-7723 igarashi@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho	8.31
15	日本金属学会第4回ポスターセッション「高校生・高専学生ポスター発表」(オンライン開催)(7号397頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 https://www.jim.or.jp/convention/2020autumn	
15~18	日本金属学会秋期講演大会(オンライン開催)(7号396頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 annualm@jim.or.jp	参加予約 8.31
16~19 開催中止	The 15th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (Slovenia)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://www.jsem.si/15th-ISEM2020-Ljubljana/	
17~18	第13回トライボロジー入門西日本講座(関西大)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp/ http://www.tribology.jp	9.4
18	SPring-8 シンポジウム2020(兵庫県)	SPring - 8 ユーザー協同体 (SPRUC) 他	TEL 0791-58-2785 sp8sympo2020@spring8.or.jp http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2020/sp8sympo2020/	
24~25	第45回複合材料シンポジウム(北大)	日本複合材料学会	TEL 03-5981-6011 jscm@asas-mail.jp https://www.jscm.gr.jp	
25	第92回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号513頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
28~30	第17回日本熱電学会学術講演会(オンライン)	日本熱電学会	http://www.thermoelectrics.jp/conference.html	
30	第338回塑性加工シンポジウム「金属積層造形技術の最前線」—高機能・高付加価値製品の開発—(刈谷)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	80名
2020年10月				
2	第2回粉末冶金入門講座(名古屋他)	粉体粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 https://www.jspm.or.jp	
6(延期)	第72回白石記念講座—進化するポリマー—自動車における金属材料との共存共栄—(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
13	第4回EBSD法による損傷評価講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	9.4
13~14	第13回材料の衝撃問題シンポジウム(京都)	日本材料学会	http://www.jsms.jp impact13@jsms.jp	
13~16	第6回材料 WEEK(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp	
14(延期)	第241回西山記念技術講座 最近の電気炉技術の進歩—平成30年を振り返る—(大阪)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
14~15	第38回初心者のための疲労設計講習会(京都)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimuj@jsms.jp http://www.jsms.jp/	10.7
14~15	第48回日本ガスタービン学会定期講演会(Web)	日本ガスタービン学会	gtsj-office@gtsj.org http://www.gtsj.org/	
15	第16回フラクトグラフィシンポジウム(京都)	日本材料学会	fractosym@jsms.jp http://www.jsms.jp/	講演 7.31
16~17	第83回塑性加工技術フォーラム「使ってみよう!ものづくり現場で活かせる AI・IoT 技術」(諏訪)	日本塑性加工学会 他	http://www.jstp.or.jp	定員 60名
19~22	The 8th conference of Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT8) 第8回アジア結晶成長・結晶技術国際会議(宮崎)	アジア結晶成長および結晶技術学会 他	TEL 06-6879-8730 yamanoi-k@ile.osaka-u.ac.jp https://www.opt.miyazaki-u.ac.jp/hikari/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
22(延期)	第242回西山記念技術講座「最近の電気炉技術の進歩—平成30年を振り返る—」(早稲田大)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/	
22~23	第42回安全工学セミナー「危険現象講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	
22~23	第168回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用～基礎編～」(名大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 35名
24~25	日本銅学会第60回記念講演大会(東工大)	日本銅学会	TEL 03-6803-0587 dou-gakkai@copper_brass.gr.jp	
28~29	第56回 X線分析討論会(大阪市立大)	日本分析化学会 X線分析研究懇談会	TEL 072-823-9361 nagai@ourstex.co.jp https://xbun.jsac.jp/conference/no56.html	講演 7.31
28~30	第41回日本熱物性シンポジウム(相模原)	日本熱物性学会	TEL 086-251-8046 jstp@okayama-u.ac.jp http://jstp-symp.org/symp2020/index.html	
29	第410回講習会「超精密加工/計測技術①—光学部品の高精度要求に応える先端事例と最新動向」(中央大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/	定員 40名
2020年11月				
6	第93回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号513頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
6~8	軽金属学会第139回秋期大会(東京都立大)	軽金属学会	http://www.jilm.or.jp/	予約申込 9.30
9~11	第49回結晶成長国内会議(JCCG-49)(オンライン)	日本結晶成長学会	TEL 070-5047-3339 jacg-49@jacg.jp https://www.jacg.jp/jp/event/conference.html	
11	日本希土類学会第38回講演会(東京)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 kidorui@chem.eng.osaka-u.ac.jp http://www.kidorui.org/	10.21
11~12	第42回安全工学セミナー「プラント安全講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	
11~13	トライボロジー会議2020秋(別府)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp	
14~15	第71回塑性加工連合講演会(鳥取大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.jp/	
19~21	2020年日本表面真空学会学術講演会(オンライン)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 taikai@jvss.jp https://www.jvss.jp/annual/mtg2020/	
22	日本機械学会関東支部山梨講演会(山梨大)	日本機械学会関東支部	TEL 055-220-8471 http://society.me.yamanashi.ac.jp/jsme/2020/	8.18
25~27	第41回 超音波エレクトロニクス基礎と応用に関するシンポジウム(阪大)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 042-443-5166 h.nomura@uec.ac.jp https://www.use-jp.org/	講演 8.21
26~27	第2回粉末冶金基礎講座(京都), 第2回粉末冶金実用講座(京都)	粉末粉末冶金協会	TEL 075-721-3650	定員 各100名
2020年12月				
1~2	第30回 傾斜機能材料シンポジウム(徳島大)	傾斜機能材料研究会	http://www.fgms.net/	10.30
2~4	第61回高圧討論会(オンライン)	日本高圧力学会	TEL 070-5658-7626 touronkai61@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/61forum/	講演 9.15
7~11	Materials Research Meeting 2020 (MRM2020)(横浜)	日本 MRS	TEL 03-6264-9071 info_mrm2019@jmru.org https://mrm2020.jmru.org	
8~11	COMPSAFE2020(第3回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	COMPSAFE2020 実行委員会	secretary@compsafe2020.org http://www.compsafe2020.org	
9~11	第47回炭素材料学会年会(オンライン)	炭素材料学会	TEL 03-5227-8632 tanso-desk@bunken.co.jp http://www.tanso.org/contents/event/conf2020/index.html	
14~17	第1回地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム(奈良)	日本鉄鋼協会	TEL 075-223-2311 http://web.apollon.nta.co.jp/CUUTE-1/cuute-1@nta.co.jp	
27	材料分野における SDGs シンポジウム(東京)(本号512頁)	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	TEL 03-5452-6314 okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/	
2021年1月				
8	第94回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号513頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
28~29	第42回安全工学セミナー「安全マネジメント講座」(オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2848 jsse-2004@nifty.com http://www.jsse.or.jp/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2021年2月				
2~3	Mate2021第27回『エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術』シンポジウム(横浜)	スマートプロセス学会他	TEL 06-6878-5628 mate@sps-mste.jp http://sps-mste.jp/	
2021年3月				
12	第95回レアメタル研究会(東大生産技研)(本号513頁)	レアメタル研究会	TEL 03-5452-6314 tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp https://www.okabe.iis.u-tokyo.ac.jp/japanese/index_j.html	
27~31	The International Conference on Sintering 2022 (Sintering 2022国際会議)(岐阜)	Sintering 2022 国際会議組織委員会	https://www.sintering2022.org	
2021年7月				
5~8	The 7th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2022)(富士吉田)	粉体工学会	http://ceramics.ynu.ac.jp/iccci2022/index.html iccci2022@ynu.ac.jp	
2021年11月				
28~12.2	The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9)(高松)	日本表面真空学会	iss9@jvssjp https://www.jvss.jp/iss9/	参加 9.22



- 2020年秋期講演大会(9月15日(火)~18日(金))は、オンラインにより開催いたします。
- 2021年度会費自動振替、永年会員制度についてご案内を申し上げます。本号会告502頁をご覧ください。
- 今年も多数の「新技術・新製品」記事、「金属組織写真賞作品」のご応募をお待ちしております。



2019, 2020年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

委員長	大塚 誠						
副委員長	竹田 修						
委員	池尾直子	石本卓也	井田駿太郎	上田恭介	梅津理恵	大石 郁	
	大野直子	小幡亜希子	木口賢紀	北村一浩	小島淳平	小柳禎彦	
	近藤亮太	齊藤信雄	齊藤敬高	佐々木秀顕	佐藤紘一	佐藤豊人	
	杉浦夏子	芹澤 愛	高島克利	高山直樹	田中秀明	趙 研	
	佃 諭志	堤 祐介	圓谷貴夫	寺西 亮	寺本武司	土井康太郎	
	徳永透子	轟 直人	永井 崇	長岡 亨	中村篤智	野山義裕	
	長谷川 誠	春本高志	藤枝 俊	細川裕之	本間智之	三井好古	
	宮崎秀俊	宮澤知孝	宮部さやか	盛田元彰	森戸春彦	諸岡 聡	
	山中謙太	山本剛久	横山賢一	吉矢真人	吉年規治	李 海文	

まてりあ 第59巻 第9号 (2020) 発行日 2020年9月1日 定価(本体1,700円+税)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

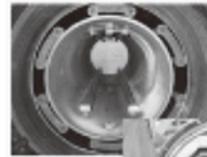
発売所 丸善雄松堂株式会社

〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町 10-10

高温真空 3000℃への挑戦

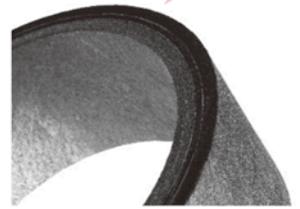
URL:<http://www.mechanical-carbon.co.jp/>

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



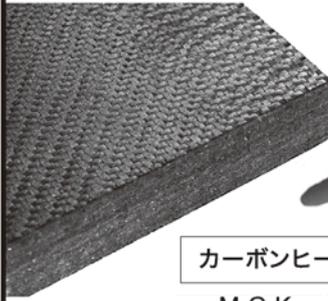
炉の改修

ハイブリット成形断熱材

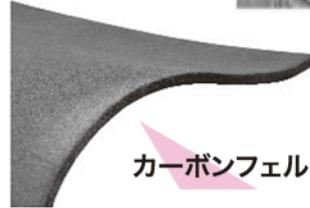


高断熱+省エネ

カーボンフェルト



6面シート
貼り



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



メカニカルカーボン工業株式会社

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

日本金属学会発行誌 広告のご案内

まてりあ(会報)

前付) 1色1P ¥100,000 1/2P ¥60,000

後付) 1色1P ¥95,000 1/2P ¥55,000

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ¥70,000 1/2P ¥40,000

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明報社

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル

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

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

新製品

Agilent 5900/5800 ICP-OES

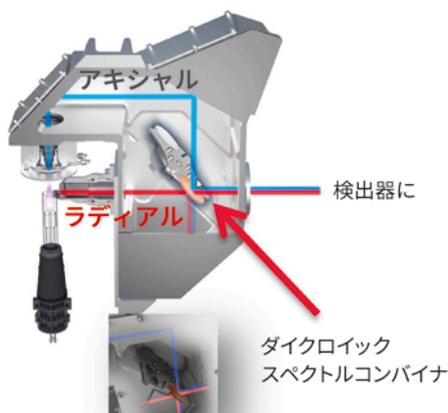
迅速測定や高いマトリクス耐性等の特長を継続して、さらなるコンパクトサイズ、独自技術によるコンパクト光学設計により検出下限・分解能向上、スマート機能搭載等、今まで以上に優れたICP-OESを発売。



Agilent 5800 ICP-OES
VDV あるいは RV



Agilent 5900 ICP-OES
SVDV 搭載

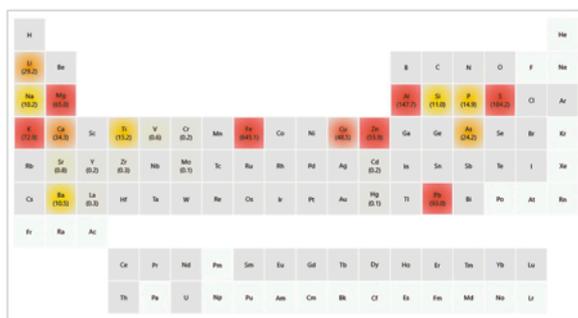


- SVDV: シンクロナス・パーティカル・デュアルビュー
ラディアルビューとアキシシャルビューの同時測定を実現
- VDV: パーティカル・デュアルビュー
ラディアルビューとアキシシャルビューの連続測定を実現
- RV: ラディアルビュー

さらにコンパクトなサイズ

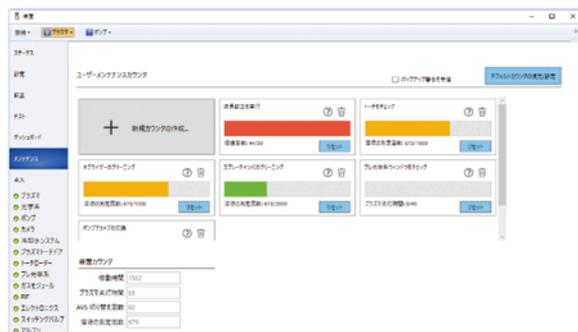
幅	奥行き	高さ	質量
625 mm	740 mm	887 mm	90 kg

5110 に比べて設置面積 20 % 削減、質量 15 % 減



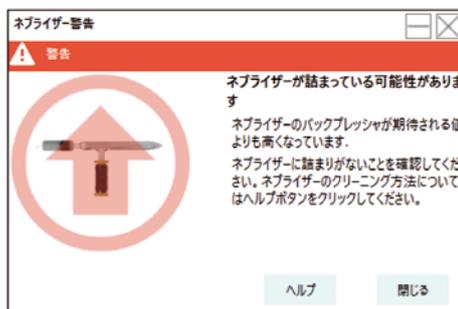
IntelliQuant 2.0

サンプルを測定するごとに全波長範囲をスキャンします。



アーリーメンテナンスフィードバック機能

決まった間隔ではなく実際の使用状況に応じてコンポーネントの日常メンテナンスをスケジュールすることで、ダウンタイムを減らします。



Neb Alert 機能

ネブライザを継続的にモニタリングし、クリーニングが必要なときや漏れが生じている場合にアラームがでます。

アジレント・テクノロジー株式会社
〒192-8510 東京都八王子市高倉町 9-1
フリーダイヤル 0120-477-111
www.agilent.com/chem/jp



有機EL チップコンデンサ 太陽電池 ガラス
シリコン基盤 ショットキー トランジスタ 基板
コンクリート セラミクス 焼結体 BGA LED

磁性体
電池
パン
ルウエ

脆弱な試料

も空隙・形状破壊なし乾式切断

「試料切断」、任せてください

水・油厳禁試料

も変形・ダレなし乾式切断

材料 サファイア 歯
セラチン
発泡
ース薬

リチウム
フランス
エアロゲ
メラなど

DWS3400/横型ダイヤモンドワイヤーソー

DWS3500/多機能型ダイヤモンドワイヤーソー

meiwafosis.com
メイワフォーシス 株式会社

東京 TEL (03) 5379-0051 FAX (03) 5379-0811
〒160-0022 新宿区新宿1-14-2 KI御苑前ビル

名古屋 TEL (052) 686-4794 FAX (052) 686-5114
〒464-0075 名古屋市千種区内山3-10-18 PPビル3F

大阪 TEL (06) 6212-2500 FAX (06) 6212-2510
〒542-0074 大阪市中央区千日前1-4-8 千日前M'sビル9F

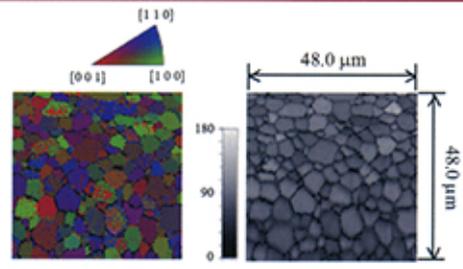
仙台 TEL (022) 218-0560 FAX (022) 218-0561
〒981-3133 仙台市泉区泉中央1-28-22プレジデントシティビル3階

テクノロジーラボ 東京都立産業技術研究センター 〒135-0064 東京都江東区青海2-4-10 製品開発支援ラボ318

- ✓ **チャージアップなし**
- ✓ **粒状性なし 極薄膜**
- ✓ **熱ダメージゼロ**



【0.25nm帯電防止膜で精密なEBSD極表面解析に】



(a) Crystal orientation (b) PQ value
Fig.3 Crystal orientation and PQ value distributions in $48 \times 48 \mu\text{m}^2$ region obtained by EBSD.

従来、絶縁体試料は電子線照射による帯電によって、広範囲を高分解能測定することは困難で、結晶粒内の分域構造など詳細な結晶形態の分析はできません。また、コーティング膜の不良があれば、試料はビームで帯電し、得られた結果は結晶方位のデータに影響を与えてしまいます。この文献では、EBSDデータとXRDやAFMから得られたデータの比較において、集計結果は整合しています。オスミウム被膜が0.25nmと極薄膜でも完全に電子線から試料を保護し、十分な反射データを得られることが判りました。

参考文献: チタン酸ジルコン酸鉛多結晶
日本機械学会論文集 別冊 74巻 739号 A編
大阪工業大学 機械工学科 上辻 靖智 様

あなたならどちらを使う？



- ✓ **「ちきゅう」で採用!**
- ✓ **不純物の無い分析**
- ✓ **全行程わずか5分**

【地球深部探査船「ちきゅう」で使用されています!】

CADE-Eは海底下数千メートルから「ちきゅう」船上で掘削された岩石試料のSEM観察に使用されています。複雑な表面構造の試料を回り込みよくコーティングできるためチャージアップ無くクリアなSEM観察像を得られます。操作が容易であり膜厚設定が簡便なため、はじめて使用する方でも再現性高く高純度のカーボン膜をコートすることができます。



▲地球深部探査船「ちきゅう」



▲SEM観察に使用されているCADE-E