

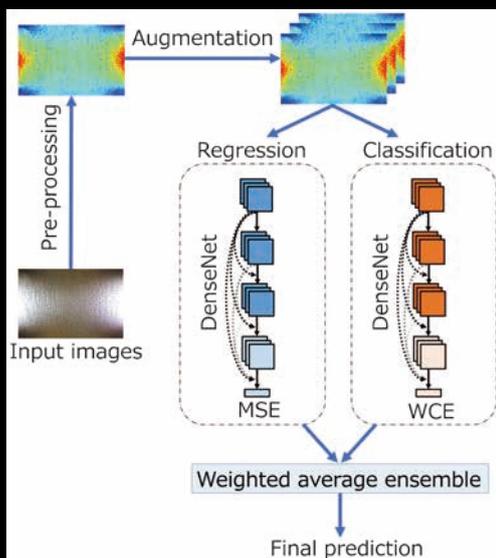
Materia Japan

まてりあ Vol.63

MTERE2 63 (6) 363 ~ 448 (2024)

No.6

2024



紹介 2023年, 2024年度役員・各支部

表彰 第11回高校生・高専学生ポスター賞受賞者

- 深層学習による材料分野の画像解析の発展
- 新開発センサーによる水素のマルチスケール解析
- 材料系教育のための教材研究の現状と展望

**実学
講座**

金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価

2-2 X線を用いた構造計測と解析

2-2-2 X線回折・散乱を用いた色々な計測方法

- 先達からのお便り
- 科学館めぐり 国立科学博物館上野本館 (東京)
- What's 技術士?



世界は
鉄
で
できている。

 **NIPPON STEEL**

日本製鉄



スペシャルサイト

6

2024
Vol.63
No.6

まてりあ

紹介	2023年度, 2024年度役員363	2024年度他団体との任意の合議機関の委員長, 2023年, 2024年度会長, 副会長, 理事, 監事, 副委員長366
	代議員364	2024年度支部長, 支部事務所367
	2024年度任意合議機関の委員長, 副委員長366	
表彰	第11回高校生・高専学生ポスター賞受賞者368	
最近の研究	深層学習による材料分野の画像解析の発展 上杉徳照371	
	深層学習が切り拓く画像解析の地平: 基本から材料分野での応用と問題点を紹介. データが少なくても高効率な学習方法を開発!	
	ポリアニリンを用いた金属中を拡散する水素の可視化技術 柿沼 洋 味戸沙耶 小山元道 秋山英二381	
	高空間分解能かつ高時間分解能な新しい水素可視化手法を紹介. 腐食に伴う微量水素の侵入や純ニッケルの粒界を優先拡散する水素のリアルタイム可視化に成功.	
材料教育	材料系教育のための教材研究の現状と展望 北村一浩390	
実学講座	金属材料実験の手引き 2. 特性の計測評価 2-2 X線を用いた構造計測と解析 2-2-2 X線回折・散乱を用いた色々な計測方法 奥田浩司398	
先達からのお便り	状態図研究と歩んだ50年 大谷博司408	
科学館めぐり	国立科学博物館上野本館(東京都台東区) 平澤 龍410	
What's 技術士?	製造経験を基盤とした大学における技術士の活動 桐野文良413	
はばたく	民間企業から博士課程へ進学して 桐本雄市416	
スポットライト	ほこりセンサを用いた桜島の降灰濃度測定器 川崎拓真 児玉健登 上口知優417	
美しい金属の写真	Mater. Trans., 57(2016), 1652-1659; Figure 7419	
本会記事	会告420	2023年度事業報告437
	掲示板432	2023年度決算437
	会誌・欧文誌 6号目次434	2024年度事業計画442
	新入会員435	2024年度取支予算書442
	次号予告435	行事カレンダー446

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 鋳肌のアンサンブル学習概略。(上杉徳照ら: 材料, 73(2024), p. 158, Fig. 1より転載. 上杉徳照376頁 図4に解説.)

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

複写をご希望の方へ

本会では, 複写複製に係る著作権を学術著作権協会に委託しています. 日本を除く国・地域で当該利用をご希望の方は, 学術著作権協会ホームページ (<https://www.jaacc.org/en/>) にて, 申請先をご確認下さい.
複写以外の許諾(著作物の引用, 転載, 翻訳等)に関しては, 本会へ直接お問い合わせ下さい.

Materia Japan

Volume 63 Number 6 June 2024

Contents

Introductions

Board Members of 2023 & 2024 363

Spring Awards

11th Poster Award for Students of Highschool and National Institute of Technology 368

Recent Research Advances in Image Analysis for Materials Using Deep Learning Tokuteru Uesugi 371
Techniques for Visualizing Hydrogen Diffusion in Metals Using Polyaniline
Hiroshi Kakinuma, Saya Ajito, Motomichi Koyama and Eiji Akiyama 381

Materials Education Current Status and Prospects of Research on Teaching Materials for Materials Education
Kazuhiro Kitamura 390

Practical Courses Experimental Guides for Metallic Materials: 2. Measurement and Evaluation of Material Properties
2-2 Structural Measurement and Analysis Using X-rays
2-2-2 Examples from Materials Studies on Strain in Various Composites Utilizing X-ray Diffraction
Hiroshi Okuda 398

Letters from Seniors Phase Diagram Studies for 50 Years I Have Walked on Hiroshi Ohtani 408

Welcome to Science and Technical Museums
National Museum of Nature and Science in Ueno, Tokyo Ryo Hirasawa 410

What's the Professional Engineers ?
Activities on the University for Professional Engineers of Metals Fumiyoshi Kirino 413

Portrait of Young Researcher
Doctoral Course from the Private Sector Companies Yuichi Kirimoto 416

Spotlights Measuring Device of Sakurajima Volcanic Ash-fall Concentration Using Dust Sensor
Takuma Kawasaki, Kento Kodama and Chihiro Kamiguchi 417

Impressive Metals Photographs Mater.Trans., 57 (2016), 1652-1659: Figure 7 419

NOTICE 420

Published by THE JAPAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

1-14-32, Ichibancho, Aoba-ku, Sendai 980-8544, Japan

<https://www.jim.or.jp/journal/m/> (in Japanese)

©2024 The Japan Institute of Metals and Materials

How to Obtain Permission

The Japan Institute of Metals and Materials authorized Japan Academic Association For Copyright Clearance (JAC) to license our reproduction rights of copyrighted works. If you wish to obtain permissions of these rights in the countries or regions outside Japan, please refer to the homepage of JAC (<https://www.jaacc.org/en/>) and confirm appropriate organizations.

For obtained permission to quote, reproduce; translate, etc., please contact the Japan Institute of Metals and Materials directly in advance.

紹介(2023年, 2024年度)

(2024年4月25日)

公益社団法人日本金属学会2023年, 2024年度役員(会長, 副会長, 理事, 監事)

(50音順)

会長



榎学
東京大学教授

副会長



加藤 秀実
東北大学教授

副会長



河村 能人
熊本大学教授

副会長



吉永 直樹
日本製鉄㈱フェロー

理事



枝川 圭一
東京大学教授



及川 勝成
東北大学教授



大野 宗一
北海道大学教授



茅野 林造
㈱日本製鋼所副本部長



木村 好里
東京工業大学教授



兒島 洋一
㈱UACJフェロー



小山 敏幸
名古屋大学教授



高村 仁
東北大学教授



長滝 康伸
JFE スチール㈱研究技監



中野 貴由
大阪大学教授



波多 聡
九州大学教授



林 重成
北海道大学教授



松田 健二
富山大学教授



松本 洋明
香川大学教授



安田 秀幸
京都大学教授



安田 弘行
大阪大学教授

専務理事



谷山 明
日本金属学会事務局長

監事



後藤 光宏
住友電気工業㈱
研究開発副本部長



正橋 直哉
東北大学名誉教授

公益社団法人日本金属学会 2023年, 2024年度会長, 副会長, 理事, 監事, 代議員 (50音順, 敬称略)

会長(代表理事)

榎 学 東京大学大学院工学系研究科 教授

副会長

加藤 秀実 東北大学金属材料研究所 教授

河村 能人 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長・教授

吉永 直樹 日本製鉄㈱ フェロー

理事* (21名)

枝川 圭一 東京大学生産技術研究所 教授

高村 仁 東北大学大学院工学研究科 教授

榎 学 東京大学大学院工学系研究科 教授

長滝 康伸 JFE スチール㈱スチール研究所 研究技監

及川 勝成 東北大学大学院工学研究科 教授

中野 貴由 大阪大学大学院工学研究科 教授

大野 宗一 北海道大学大学院工学研究院 教授

波多 聡 九州大学大学院総合理工学研究院 教授

加藤 秀実 東北大学金属材料研究所 教授

林 重成 北海道大学大学院工学研究院 教授

茅野 林造 ㈱日本製鋼所新事業推進本部 副本部長

松田 健二 富山大学学術研究部 教授

河村 能人 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長・教授

松本 洋明 香川大学創造工学部 教授

木村 好里 東京工業大学物質理工学院 教授

安田 秀幸 京都大学大学院工学研究科 教授

兒島 洋一 ㈱UACJ R&D センター フェロー

安田 弘行 大阪大学大学院工学研究科 教授

小山 敏幸 名古屋大学大学院工学研究科 教授

吉永 直樹 日本製鉄㈱ フェロー

専務理事**

谷山 明 日本金属学会事務局長

* 理事の任期: 2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

** 専務理事の任期: 2024年定時社員総会当日(4月25日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

監事 (2名)

後藤 光宏 住友電気工業㈱ 研究開発副本部長

正橋 直哉 東北大学 名誉教授

監事の任期: 2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

代議員 (81名)

北海道地区 (3名)

大野 宗一 北海道大学大学院工学研究院教授

林 重成 北海道大学大学院工学研究院教授

橋本 直幸 北海道大学大学院工学研究院教授

東北地区 (7名)

及川 勝成 東北大学大学院工学研究科教授

高村 仁 東北大学大学院工学研究科教授

加藤 秀実 東北大学金属材料研究所教授

野村 直之 東北大学大学院工学研究科教授

亀岡 聡 東北大学多元物質科学研究所教授

平塚 貞人 岩手大学理工学部教授

齋藤 嘉一 秋田大学大学院理工学研究科教授

関東地区 (29名)

石橋 良 ㈱日立製作所研究開発グループ主任研究員

大村 朋彦 日本製鉄㈱技術開発本部主席研究員

伊藤 公久 早稲田大学理工学術院基幹理工学部教授

長田 俊郎 物質・材料研究機構構造材料研究センターグループリーダー

韋 富高 日本冶金工業㈱技術研究所部長

梶谷 敏之 日本製鉄㈱技術開発本部部長

上路 林太郎 物質・材料研究機構構造材料研究センターグループリーダー

苅谷 義治 芝浦工業大学工学部教授

枝川 圭一 東京大学生産技術研究所教授

北園 幸一 東京都立大学大学院システムデザイン研究科教授

榎 学 東京大学大学院工学系研究科教授

木村 好里 東京工業大学物質理工学院教授

小山和也	千葉工業大学工学部教授	林幸	東京工業大学物質理工学院教授
佐藤成男	茨城大学大学院理工学研究科教授	平田秋彦	早稲田大学大学院基幹理工学研究科教授
柴田曉伸	物質・材料研究機構構造材料研究センター上席グループリーダー	廣澤涉一	横浜国立大学大学院工学研究院教授
多田英司	東京工業大学物質理工学院教授	松野泰也	千葉大学大学院融合理工学府教授
田村隆治	東京理科大学先進工学部教授	宮澤靖幸	東海大学工学部教授
土屋由美子	東芝エネルギーシステムズ㈱横浜事業所シニアエキスパート	遊佐覚	㈱IHI 技術基盤センター主幹
堤祐介	物質・材料研究機構構造材料研究センター主席研究員	横田毅	JFE スチール㈱自動車鋼板セクター部主任部員
寺前俊哉	㈱プロテリアルグローバル技術革新センター技師長	吉田英弘	東京大学大学院工学系研究科教授
野田和彦	芝浦工業大学工学部教授		

東海地区 (8名)

東昌史	日本製鉄㈱技術開発本部名古屋技術研究部長	濱田典彦	愛知製鋼㈱未来創生開発部主査
小山敏幸	名古屋大学大学院工学研究科教授	前嶋貴士	㈱豊田中央研究所データ駆動P領域リーディングリサーチャー・主任研究員
嶋陸宏	岐阜大学工学部教授	松本章宏	産業技術総合研究所極限機能材料研究部門キャリアエキスパート
戸高義一	豊橋技術科学大学大学院工学研究科教授	渡辺義見	名古屋工業大学大学院工学研究科教授

北陸信越地区 (5名)

大鳥範和	新潟大学理学部教授	松田健二	富山大学学術研究部教授
榊和彦	信州大学学術研究院(工学系)教授	渡邊千尋	金沢大学理工研究域教授
福元謙一	福井大学附属国際原子力工学研究所教授		

関西地区 (15名)

岸田恭輔	京都大学大学院工学研究科教授	藤原弘	立命館大学理工学部教授
佐野恭司	福田金属箔粉工業㈱技術本部研究開発部部長	村上俊夫	㈱神戸製鋼所技術開発本部所長
瀧川順庸	大阪公立大学大学院工学研究科教授	安田秀幸	京都大学大学院工学研究科教授
鳥塚史郎	兵庫県立大学大学院工学研究科教授	安田弘行	大阪大学大学院工学研究科教授
仲井正昭	近畿大学理工学部教授	山本正敏	山陽特殊製鋼㈱粉末事業部事業部長
中野貴由	大阪大学大学院工学研究科教授	山本隆一	三菱重工業㈱総合研究所主席研究員
西山佳孝	日本製鉄㈱技術開発本部部長	横田明善	㈱島津製作所環境経営統括室長
春名匠	関西大学化学生命工学部教授		

中国四国地区 (5名)

岡田達也	徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授	松木一弘	広島大学大学院先進理工系科学研究科教授
陳中春	鳥取大学大学院工学研究科教授	松本洋明	香川大学創造工学部教授
濱田純一	日鉄ステンレス㈱研究センター部長		

九州地区 (5名)

河村能人	熊本大学先進マグネシウム国際研究センターセンター長・教授	宮原広郁	九州大学大学院工学研究院教授
高須登実男	九州工業大学大学院工学研究院教授	村上恭和	九州大学大学院工学研究院主幹教授
波多聰	九州大学大学院総合理工学研究院教授		

本部枠代議員 (4名)

茅野林造	㈱日本製鋼所新事業推進本部副本部長	長滝康伸	JFE スチール㈱スチール研究所研究技監
兒島洋一	㈱UACJ R&D センターフェロー	吉永直樹	日本製鉄㈱フェロー

代議員の任期：2023年定時社員総会当日(4月21日)から2025年4月予定の定時社員総会の終結のときまで

任意の合議機関の委員長，副委員長(2024年度)

下線は留任．*は理事以外．**は新任．

委 員 会	委 員 長	副委員長	業 務 概 要
1. 刊行事業に係る委員会 (1) 会報編集委員会 (2) 会誌編集委員会 (3) 欧文誌編集委員会 (4) 学術図書類刊行委員会	田 中 秀 明* 佐 藤 英 一* 堀 田 善 治* 枝 川 圭 一	鈴 木 真由美* — — —	会報の刊行に関する業務 会誌の刊行に関する業務 欧文誌の刊行に関する業務 学術図書類の刊行に関する業務
2. 講演会・講習会事業に係る委員会 (1) 講演大会委員会 (2) 講演大会企画委員会 (3) 本多記念講演委員会 (4) セミナー・シンポジウム委員会	林 重 成 林 重 成 林 重 成 及 川 勝 成	安 田 弘 行 安 田 弘 行 安 田 弘 行 土 谷 博 昭*	講演大会の実施に関する業務 講演大会の企画に関する業務 本多記念講演に関する業務 セミナー・シンポジウム・講習会に関する業務
3. 調査・研究事業に係る委員会 (1) 企画委員会 (2) セルフガバナンス委員会* (3) 長期展望委員会 (4) 調査・研究委員会 (5) 調査・研究推進委員会 (6) 戦略推進委員会 (7) 人材育成委員会 (8) 男女共同参画委員会 (9) 国際学術交流委員会	榎 学 榎 学 杉 本 論* 木 村 好 里 木 村 好 里 木 村 好 里 中 野 貴 由 西 畑 ひとみ* 河 村 能 人	河 村 能 人 谷 山 明** — 大 野 宗 一 大 野 宗 一 大 野 宗 一 — 上 田 正 人* 安 田 秀 幸	事業に関する重要な企画に関する業務 セルフガバナンスに関する業務 事業に係る長期展望に関する業務 調査・研究事業に関する業務 調査・研究事業の企画に関する業務 材料戦略活動に関する業務 人材育成活動に関する業務 男女共同参画活動に関する業務 国際学術交流・国際会議に関する業務
4. 表彰・奨励事業に係る委員会 (1) 名誉員検討委員会 (2) 学会賞委員会 (3) 各種賞検討委員会 (4) フェロー選考委員会	吉 永 直 樹 榎 学 小 山 敏 幸 榎 学	加 藤 秀 実 河 村 能 人 松 田 健 二 —	名誉員に関する業務 学会賞に関する業務 各種賞に関する業務 フェローに関する業務
5. 庶務に係る委員会 (1) 広報委員会	宮 本 吾 郎*	—	広報に関する業務

他団体との任意の合議機関の委員長，副委員長

委 員 会	委 員 長	副委員長	事 業 概 要
1. 刊行事業に係る委員会 (1) Materials Transactions 編集委員会	堀 田 善 治*	—	Materials Transactions の共同刊行に関する業務
2. 講演会・講習会に係る委員会 なし	—	—	
3. 調査・研究事業に係る委員会 (1) 材料連合協議会 (2) 材料戦略(企画)委員会 (3) 男女共同参画委員会(合同)	— — 西 畑 ひとみ*	— — 上 田 正 人*	材料系学協会と日本学術会議との連携活動に関する業務 材料戦略委員会の企画に関する業務 日本鉄鋼協会との連携による男女共同参画活動に関する業務

*は理事以外

2024年度支部長，支部事務所

1. 北海道支部

支部長 上田幹人
(北海道大学大学院工学研究院 教授)
副支部長 林 重成
(北海道大学大学院工学研究院 教授)
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 011-706-6354
E-mail: jim_hokkaido@eng.hokudai.ac.jp
熊谷剛彦(助教)

2. 東北支部

支部長 福山博之
(東北大学多元物質科学研究所 教授)
支部事務所 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
東北大学多元物質科学研究所
☎ 022-217-5178
E-mail: miwa.sasaki.d1@tohoku.ac.jp
佐々木美和

3. 関東支部

支部長 藤居俊之
(東京工業大学物質理工学院 教授)
副支部長 木村好里
(東京工業大学物質理工学院 教授)
支部事務所 〒152-8550 目黒区大岡山2-12-1 S8-4
東京工業大学物質理工学院
☎ 03-5734-3141
E-mail: fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp
福島 彩

4. 東海支部

支部長 戸高義一
(豊橋技術科学大学大学院工学研究科機械工学系 教授)
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
☎ 052-789-4640
E-mail: tokai@numse.nagoya-u.ac.jp
堀田依里

5. 北陸信越支部

支部長 井藤幹夫
(福井工業大学工学部 教授)
副支部長 榊 和彦
(信州大学学術研究院(工学系) 教授)
支部事務所 〒930-8555 富山市五福3190
富山大学学術研究部都市デザイン学系
☎/FAX 076-445-6839
E-mail: matsuda@sus.u-toyama.ac.jp
松田健二(教授)

6. 関西支部

支部長 奥田浩司
(京都大学大学院工学研究科 教授)
支部事務所 〒550-0004 大阪市西区靱本町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
E-mail: n-kansai@ostec.or.jp
小松 兼/森 知佐子

7. 中国四国支部

支部長 岡田達也
(徳島大学大学院社会産業理工学研究部 教授)
支部事務所 〒770-8506 徳島市南常三島町2-1
徳島大学大学院社会産業理工学研究部 理工学
域 機械科学系
☎ 088-656-7361 (内線4381)
E-mail: hisazawa.hiromu@tokushima-u.ac.jp
久澤大夢(助教)

8. 九州支部

支部長 金子賢治
(九州大学大学院工学研究院 教授)
副支部長 石丸 学
(九州工業大学大学院工学研究院 教授)
副支部長 安藤新二
(熊本大学大学院自然科学研究科 教授)
支部事務所 〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学大学院工学研究院材料工学部門
☎/FAX 092-802-2950
E-mail: tanaka.masaki.760@m.kyushu-u.ac.jp
田中将己(教授)

M/A、エネルギー関連材料、機能性セラミックス、環境リサイクル、電気電子材料等の開発に不可欠な

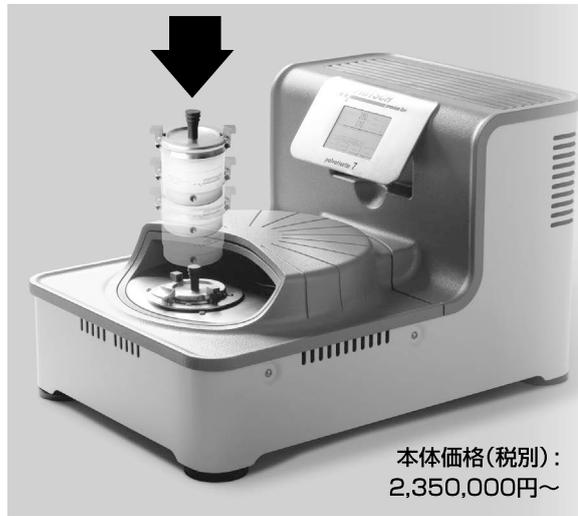
ドイツ フリッチュ社製遊星型ボールミル

“NANO領域” PREMIUM LINE P-7.

明日の遊星型ボールミルはこれだ。

特色

1. 弊社Classic Line P-7と比べて250%の粉碎パワーUP
自転：公転比率：1：-2. MAX 1,100/2,200rpm
粉碎エネルギー：MAX 94G(Classic Line P-7では46G)
2. 容器を本体に内蔵。
外部に飛び出す危険性は皆無に。
3. 容器のサイズは20, 45, 80ccの3種類。
雰囲気制御容器も多数用意。
4. 容器のセット、取り出しも極めて容易に。



本体価格(税別)：
2,350,000円～

容器がセットされる様子。

CLASSIC LINE 遊星型ボールミル P-5/4, P-6, P-7

premium lineと並んで従来どおりの遊星型ボールミルトリオも併せてご提供いたします。



CLASSIC LINE 雰囲気制御容器一例

遊星型ボールミルの パイオニア



本体価格(税別)：
3,000,000円～

フリッチュ社の技術で 容器1個で遊星型に



本体価格(税別)：
1,350,000円～

微量の試料を 対象に



本体価格(税別)：
1,450,000円～

●通常の容器、雰囲気制御容器ともボールも含めて次ぎの材質を御使用いただけます。メノー、アルミナ、ジルコニア、チッカ珪素、ステンレス、クローム、タンダステンカーバイト、プラスチックポリアミド ●容器のサイズ。500, 250, 80, 45, 12cc。 ●乾式のみならず湿式での粉碎が可能。またISO9001, TUEV, CE等の国際安全基準をクリアー

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

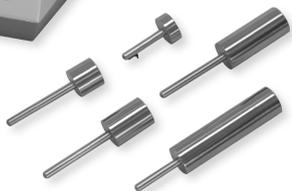
本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7
福岡営業所 〒819-0022 福岡市西区福重5-4-2

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>

Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521
Tel (092)707-6131 Fax (092)707-6131

**研磨機・切断機
期間限定キャンペーン中!!**

詳細はお問い合わせください。



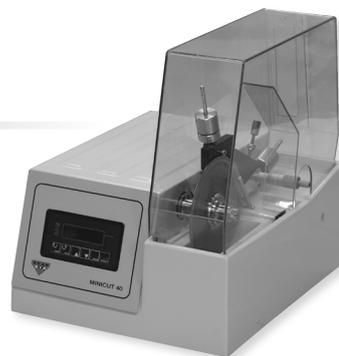
自動研磨機 SCANDIMATIC 33305

ヨーロッパ伝統の重錘を使った昔ながらのシンプルにして堅牢な研磨機。必要最低限の機能のみを搭載。それが経済的な価格を生み出しました。

- φ200mmの研磨盤対応
- 重錘はφ25mm、φ30mmの試料で3個、φ38mmの試料には2個一度に研磨可能
- 研磨盤回転数は40～600rpm、1rpm毎に設定可能
- 本体、PVC製研磨盤、パフを含めて定価100万円(税別)

精密切断機 MINICUT 4000

- 低速で試料にストレスを与えず
- 50～1,000rpmの広い範囲での設定可能
- 切断位置はマイクロメーターで±0.01mmで設定可能
- ダイヤモンド、CBN、SIC製の切断刃を用意



試料埋め込み材料、アクセサリ



SCANDIA社の消耗品は極めて高い評価をいただいております。その代表作がSCANDIQUICKです。

- 試料への密着性が高い常温硬化剤。硬化時間はわずか5分
 - 構成は粉末硬化剤と液体硬化剤。これを10:6の比率で混合
- その他各種有効な消耗品を用意してございます。

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリツシュ・ジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7
福岡営業所 〒819-0022 福岡市西区福重5-4-2

info@fritsch.co.jp <http://www.fritsch.co.jp>
Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364
Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521
Tel (092)707-6131 Fax (092)707-6131

ALLOYS & METALS

品名	純度	形状	品名	純度	形状	品名	純度	形状
純金属			高純度金属			中間合金		
高純度アルミニウム	99.99%	約1kgインゴット	アルミニウム	99.999%	粒状100g入	磷	P>14.5%	粒状
アルミニウム	>99.7%	〃	アルミニウム	〃	約100g塊	シリコン	Si 15%	約1kgインゴット
アルミニウム3N粒	99.9%	粒状1kg入	ビスマス	99.9999%	粒状100g入	マンガン	Mn 25%	〃
アルミニウム4N粒	99.99%	〃	ビスマス	〃	約100g塊	マグネシウム	Mg 50%	約800gインゴット
アルミニウム粉	99.7%	粉末	高純度クロム(4N5)	99.995%	薄片状	クロム	Cr 10%	約1kgインゴット
銀	99.99%	粒状	無酸素銅	99.99%	10×10×1mm	テルル	Te 50%	〃
ポロニクリスタル	99.4%	3~8mm小塊	鉄(マイロンSHP)	99.99%	25×25×2mm	コバルト	Co 10%	〃
ポロニアモルファス	95~97%	粉末	ゲルマニウム	99.9999%	粒状25g入	ニッケル	Ni 30%	〃
ビスマス	99.99%	針状	ゲルマニウム	99.999%	約50g塊	鉄	Fe 10%	〃
コバルト粒(ロシア産)	99.3%	粒状	インジウム	99.999%	粒状100g入	チタン	Ti 50%	〃
電解コバルト(FB)	99.9%	約25×25×10mm	インジウム	〃	約100g塊	ジルコニウム	Zr 50%	〃
金属クロム	99%	塊状	インジウム	99.999%	約100g塊	ボロン	B 2%	粒状
電解クロム	99%	薄片状	マンガン	99.999%	粒状100g入	アルミニウム	Cu 40%	約5~7kgインゴット
クロム粉	99%	粉末500g入	アンチモン	99.9999%	粒状100g入	アルミマグネシウム	Mg 20%	約2kgインゴット
電気	99.99%	約25×50×10mm	アンチモン	〃	約100g塊	アルミマンガン	Mn 10%	約5kgインゴット
電解鉄(アトミロンMP)	99.9%	小片状	テール	99.9999%	粒状100g入	アルミニウム	Ni 20%	〃
電解鉄(アトミロンYL)	〃	小片状25kg入	テール	〃	約100g塊	アルミニウム	Cr 5%	〃
電解鉄(アトミロンFP)	〃	〃	テール	〃	粒状100g入	アルミチタン	Ti 5%	約4~5kgインゴット
電解鉄(アトミロンXL)	〃	〃	テール	〃	約100g塊	アルミシリコン	Si 25%	〃
電解鉄粉	99%	粉末1kg入	亜鉛	99.9999%	粒状100g入	アルミコバルト	Co 5%	〃
ハフニウム	99.6%	スポンジ小塊	亜鉛	99.9999%	約100g塊	アルモリブデン	Mo 5%	〃
インジウム	99.99%	塊状	亜鉛	〃	5φ×150mm塊	アルミタングステン	W 2.5%	〃
マグネシウム200	99.9%	約200g塊	亜鉛	〃	塊状	アルミベリリウム	Be 2.5%	約50gインゴット
マグネシウム100(プリン型)	99.9%	約100g塊	チタン	99.8%	〃	アルミニウム	Fe 50%	塊状
電解マンガン	99.9%	薄片状	高純度シリコンスクラップ	99.999%	〃	アルミジルコニウム	Zr 5%	約5kgインゴット
モリブデン粉	99.9%	粉末	レアアースメタル			アルミボロン	B 4%	約200gインゴット
ニオブグラニュー	99.9%	3~10mm小塊	イットリウム	99.9%	塊状、削状、粉状	アルミバナジウム	V 50%	3~10mm小塊状
ニオブ粉	〃	粉末	ランタン	〃	〃	アルミストロンチウム	Sr 10%	約100gインゴット
電気ニッケル	99.99%	25×25×10mm	プラセオジウム	〃	〃	アルミカルシウム	Ca 10%	約2.5kgインゴット
ニッケルベレット	99.97%	6~12mm球状	ネオジウム	〃	〃	ニッケルボロン	B 15%	1~30mm小塊状
レニウム粉	99.99%	粉末	サマリウム	〃	〃	ニッケルニオブ	Nb 60%	塊状
ルテニウム粉	99.9%	〃	イッテルビウム	〃	〃	ニッケルマグネシウム	Mg 50%	塊状
アンチモン	99.9%	塊状	テルビウム	〃	〃	コバルトボロン	B 15%	1~30mm小塊状
金属シリコン(中国産)	99%	〃	ドスプロシウム	〃	〃	磷	P 5%	インゴット
金属シリコン(ブラジル産)	〃	〃	ホルミウム	〃	〃			
錫インゴット	99.99%	約1kgインゴット	エルビウム	〃	〃			
錫	〃	粒状	ガドリニウム	〃	〃			
タンタル塊	99.9%	3~10mm小塊	ツリウム	〃	〃			
タンタル粉	〃	粉末	ルテチウム	〃	〃			
テルル	99.99%	小球状	セリウム	〃	塊状のみ			
スポンジチタン	99.7%	スポンジ塊	ユーロピウム	〃	〃			
チタン板	JIS 1種	250×250×1mm						
バナジウム粉	99.7%	3~10mm小塊	ミッシュメタル	TRE>97%	5.4φ×6mm200g入			
バナジウム	〃	粉末						
タングステン粉	99.9%	〃						
タングステンスクラップ	99%	板状						
亜鉛インゴット	99.99%	約2kgインゴット						
亜鉛	〃	粒状						
ジルコニウム	>99.5%	スポンジ塊						

お問い合わせは、必ず下記事項をご記入の上、FAXしてください。

「社名」または「大学名」、および「所属と名前」、個人の方は「名前」
 「郵便番号・住所・電話・FAX」・「商品名・純度・形状・希望数量」
 見積・注文でお急ぎの場合は「至急」と明記して下さい。

FAX (03)
3294-9336

株式会社 **平野清左衛門商店**
 〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目5番2号 TEL(03)3292-0811

商品の詳細はホームページでご覧になれます。
<http://1921seizaemon.jp/>
 ●土曜・日曜・祭日休業 ●手形取引はいたしません
 ●輸出はせず国内取引のみ

書籍ガイド

続 金属学プロムナード

— セレンディピティの誕生そして迷走 —

小岩昌宏 著

A5判

2024年6月 定価2,860円(税込)

発行所名: アグネ技術センター

ISBN978-4-86707-017-8

〒107-0062

東京都港区南青山5-1-25 北村ビル

TEL: 03-3409-5329

FAX: 03-3409-8237

URL <https://www.agne.co.jp/books/>



『金属学プロムナード』(2004年刊行)の続編。

本書は、著者が研究者として歩んだ40年の間に、自然科学分野で興味を抱いた事柄、それを解明した人物などに関して調べたことを第1章から第15章に綴った。また、副題の“セレンディピティ”の語源とそのさまざまな解釈を第16章で紹介している。

セラミックス・金属の焼成、 焼結技術とプロセス開発

三浦 秀士, 吉川 昇, ほか48名

A4判・525頁 2024年2月発刊

定価: 88,000円(税込)

アカデミック割引価格: 33,000円(税込)

発行所名: (株)技術情報協会

ISBN: 978-4-86798-009-5

〒141-0031

東京都品川区西五反田2-29-5

日幸五反田ビル8F

TEL: 03-5436-7744

FAX: 03-5436-7745

URL: <http://www.gijutu.co.jp/>



試読可(約1週間)

電子部品、構造部品、放熱部品、モータ、工具、電池など具体的な事例多数掲載。

過熱水蒸気を用いた新規脱脂プロセスやマイクロ波加熱、ミリ波照射など新しい焼成・焼結技術も解説。

Primary大学テキスト

これだけはおさえない化学 改訂版

大野公一・村田 滋・齊藤幸一 ほか著

B5判

2022年12月 2,530円(税込)

実教出版

ISBN: 978-4-407-35590-1

〒102-8377

東京都千代田区五番町5

TEL: 03-3238-7765

FAX: 03-3238-7770

URL: <https://www.jikkyo.co.jp/>



理論化学を高校で学習する基礎から学べるテキスト。平易な言葉で基礎から解説しており、「電子軌道」「ギブズエネルギー」など。大学で必要な知識も学べる。「物質の構造」「物質の状態」「物質の変化と平衡」の章配列。フルカラー印刷で、物質の状態や色の変化を写真で見られ、概念図・モデル図も理解しやすい。

第3巻

「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」

徳永雅亮・山本日登志著

B5判 2023年発刊

定価: 2,300円(税込) + 送料

発行所名: ネオジコンサル

〒604-8127

京都市中京区菊屋町524

アビーロードハウス604

E-mail: hitoshiad_0330@yahoo.co.jp

URL: <https://hitoshiad26.sakura.ne.jp>



第3巻は永久磁石特性で重要となる保磁力とその要因をデータに基づき考察解説している。また着磁特性などモータ特性に影響を及ぼす磁石の異方性(配向度)に関連する実測データを取り考察している。その他磁石別着磁特性、電気抵抗、渦電流他磁石損失特性に関連する要因も解説した。

書籍ガイド・広告募集!

かねてより会員読者より要望されておりました「書籍」情報を発信する広告特集です。

1コマ(1/6頁) ¥18,000(税別)

次回は、12月号(12/1発行)に掲載致します。

広告掲載の
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: <http://www.meihosha.co.jp>

第11回高校生・高専学生ポスター賞受賞者(日本金属学会会長賞2件, 最優秀賞2件, 優秀賞24件)

(2024年3月21日発表 講演番号順)

高校生ポスター日本金属学会会長賞(2件)



添加物を加えた熱分解によるエポキシ樹脂ガラスコート基板からの有用金属の回収(HSP14)

東京都立科学技術高等学校

稲場千怜君, 森田直之君(指導教員)



過マンガン酸滴定における呈色変化(HSP8)

神奈川県立神奈川総合産業高等学校

鍋島秋桜君, 米山洋平君(指導教員)



自己補修機構を有する表面層形成によるアルミニウム材料の耐食性向上について(HSP60)

旭川工業高等専門学校

畠山乃愛君, 平木琉那君,

佐藤丈太郎君, 千葉 誠君(指導教員)



CNNによるNi, CoおよびCを含む鋼材の火花試験を用いた判別に関する研究(HSP11)

花園高等学校

永山正一郎君,

甲南大学 新田直也君(指導教員),

神戸大学 加藤則行君(指導教員)

高校生ポスター最優秀賞(2件)



外部磁力による磁性流体のスパイク形成の条件(その2)(HSP12)

兵庫県立姫路東高等学校

陰山麻愉君, 飯田凌央君, 石井 漸君,

永井 翔君, 中村賢矢君, 富士佳蓮君,

川勝和哉君(指導教員)



Mg-Al水酸化物複合体(合成ハイドロタルサイト)を添加物とした食品廃棄物の熱分解における生成する可燃性ガス量の最大化に関する研究(HSP15)

東京都立科学技術高等学校

片向結子君, 森田直之君(指導教員)



杉末利用材の熱分解におけるMg-Al水酸化物複合体(合成ハイドロタルサイト)を添加物としたことによる可燃性ガス最大化に関する考察(HSP13)

東京都立科学技術高等学校

荒井心優君, 森田直之君(指導教員)



合成ハイドロタルサイトの陰イオン吸着能による海水の脱塩効果に関する考察(HSP16)

東京都立科学技術高等学校

増田恵君, 森田直之君(指導教員)

高校生ポスター優秀賞(24件)



金属葉のふしぎ～アルカリ型燃料電池における高効率Pt/Pd触媒作出の基礎研究～(HSP2)

成田高等学校

小野俊輔君, 鈴木拓海君,

荒野心太郎君, 安藤大輝君, 梅田翔成君,

爰保結菜君, 佐野友里菜君, 古津侑大君,

安田愛菜君, 湯浅義大君,

鳩谷友一郎君(指導教員)



酸化タングステンの水素還元及ぼすマイクロ波急速加熱の影響(HSP17)

福岡県立宗像高等学校

藤原アレックス偉智朗君,

九州大学 小野彩奈君, 劉 家占君,

昆 竜矢君, 大野光一郎君(指導教員)



位置エネルギーを利用した発電及び蓄電の検討(HSP4)

神奈川県立厚木高等学校

新井直哉君, 大木修吾君, 勝又耕平君,

日高周真君, 杉原孝治君(指導教員)



身の回りの菌を調べよう～日本一綺麗な学校を目指して～(HSP19)

岩手県立水沢高等学校

鳥海紗生君, 坂本倫花君,

千葉そよ香君, 新山怜奈君,

高橋一成君(指導教員)



水中衝撃波を用いたAZ31合金の冷間プレス加工と高速変形に関する研究(HSP20)

鹿児島工業高等専門学校

山下琳太郎君, 増田悠汰君,

笹原みさこ君, 山田莉世君,

徳永仁夫君(指導教員)



PEG 添加量が光触媒に及ぼす影響～メチレンブルーを用いた定量評価による検証～ (HSP22)

京都市立京都工学院高等学校

田中希優君, 藤本優生君, 橋本 晴君, 馬谷音々君, 松田拓未君(指導教員)



有機化合物中の硫黄の簡易検出方法の開発 (HSP25)

鹿児島県立国分高等学校

山田楓斗君, 小瀨有貴君, 松永陸月君, 松下零央君, 宇治大五郎君, 河野裕一郎君(指導教員)



マグネシウムとヨウ素を用いた二次電池の開発 (HSP27)

福島県立福島高等学校

小山拓希君, 平野陽太君, 大谷温樹君, 小林 嵐君, 高橋昌弘君(指導教員)



スリンキードロップ現象の力学的説明 (HSP29)

岡山県立津山高等学校

宮地彩史郎君, 植田泰生君, 黒石陸斗君, 小林麟太郎君, 三村侑矢君, 渡邊健矢君, 津田拓郎君(指導教員), 戸田祥太君(指導教員)



失敗しない金樹の作成とその成長プロセス (HSP30)

東京都立小石川中等教育学校

三宅明信君, 加藤優太君(指導教員)



アノード酸化アルミニウム合金の表面特性と封孔処理条件による変化 (HSP40)

旭川工業高等専門学校

太田 響君, 平澤克磨君, 千葉 誠君(指導教員)



乾湿繰り返し試験を用いた大気腐食模擬環境における金属材料の腐食機構とアニオン種の影響 (HSP41)

旭川工業高等専門学校

柴田怜奈君, 東出こはる君, 河嶋咲希君, 千葉 誠君(指導教員)



天然多糖類を利用した金属イオンの捕捉 (HSP42)

兵庫県立宝塚北高等学校

川口拓真君, 笹部祐也君, 金古雄大君, 加藤棕惺君, 上田悠人君, 岸田 純君, 高野悠惺君, 岡本守生君, 浅原素紀君(指導教員)



バックスピンする物体の跳ね上がり現象の解明 (HSP49)

岡山県立津山高等学校

的馬颯汰君, 浅倉修大君, 全本和真君, 加賀寛大君, 黒川龍之介君, 津田拓郎君(指導教員), 戸田祥太君(指導教員)



電子レンジを用いたルビーの生成 (HSP51)

福井県立武生高等学校

増永優太君, 此永士朗君, **城戸良太郎君**, 松田庄平君(指導教員)



旭川の冬の気候を生かしたペルチェ素子の活用 (HSP52)

北海道旭川西高等学校

内林虎雅君, 江花叶恋君, 鎌田廣貴君, 佐藤結斗君, 鈴木琢真君, 石丸高志君(指導教員)



糸状菌の菌種の違いによる生分解性プラスチックの分解能力の差について 第2報 (HSP55)

北海道旭川西高等学校

大橋実愛君, 千貝一矢君, 松井宏翼君, 松浦 且君, 松村 慧君, 石丸高志君(指導教員)



塗膜修復剤内包カプセル分散による自己修復生塗膜の形成とこの性能評価 (HSP59)

旭川工業高等専門学校

三浦昊大君, 加藤華桜君, 田村心君, 千葉 誠君(指導教員)



Mg 電池の固体化及びその性能 (HSP61)

兵庫県立宝塚北高等学校

上田悠人君, 岩本脩君, 内田有香君, 加藤大幹君, 浅原素紀君(指導教員)



バイオリン表裏板の振動の解析 (HSP63)

愛知県立明和高等学校

近藤大智君, 加賀春樹君, 中村謙之君(指導教員)

未来を先導する領域を開拓し、世界に発信する

2024年秋期
第175回
講演大会

公益社団法人

日本金属学会

The Japan Institute of Metals and Materials

2024年

会期

9月18日(水) ▶▶ 20日(金)・25日(水)

会場

大阪大学 豊中キャンパス

25日のみ
オンライン

〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1



講演申込
締切

●一般 ●公募シンポジウム
●共同セッション ●ポスターセッション

●高校生・高専生ポスター

2024年 7月5日(金) 17時

2024年 7月12日(金) 17時

公募シンポジウム

- S1: 特異反応場における時間/空間応答を利用した新奇材料構造創成 VI
Tailoring of novel-structured materials using spatio-temporal responses under exotic reaction fields VI
- S2: ハイエントロピー合金の材料科学 (XI)
Materials Science and Technology in High-Entropy Alloys (XI)
- S3: 計算科学および新規腐食解析に基づく腐食現象の解析・可視化と機械学習による腐食予測 II
Analysis, Visualization and Prediction of Corrosion Phenomena via Computational Science, Machine Learning and Novel Characterization Techniques II
- S4: 極限環境対応構造材料のためのマテリアルDX (II)
Materials DX for the research and development of structural materials for extreme environment (II)
- S5: 材料変形素過程のマルチスケール解析 (VII)
Multi-scale analysis of elementary processes in plasticity (VII)
- S6: 超温度場材料創成学II: Additive Manufacturingによる材料科学の新展開
Creation of Materials by Super-Thermal Field II: Innovation in Materials Science through Additive Manufacturing
- S7: ワイドギャップ結晶の材料科学と高温プロセッシングVI
Materials Science and high temperature processing of widegap materials VI
- S8: 機能コアの材料科学V
New Materials Science on Nanoscale Structures and Functions of Crystal Defect Cores, V
- S9: データ創出・活用による磁性材料の研究開発II
Digital Transformation Initiative R&D for Magnetic Materials II

企画シンポジウム

- K1: 材料化学におけるイノベーションの役割と工業製品への展開IV
Innovations in materials chemistry and their effects on industry IV
- K2: 金属材料研究者のセカンドライフを考える
Second Life of Metals and Materials Researchers
- K3: 自動車技術会・日本鉄鋼協会・日本金属学会共催・第6回自動車関連材料合同シンポジウム「モビリティの未来に貢献する材料技術の最新動向」
Recent Trends in Materials Technology Contributing to the Future of the Mobility Society
- K4: サーキュラーエコノミーの加速に必要な材料科学の課題
Materials Science challenges for accelerating the Circular Economy
- K5: 構造材料開発のための精錬技術
~カーボンニュートラル社会における構造材料発展~
Metal Making Technique for Structure Materials

国際シンポジウム

Advanced science and technology in magnesium and magnesium alloys (仮)

事前参加申込締切: 2024年 8/30(金)

参加方法の詳細はホームページで公開



★詳細は、まてりあ5号会告(337頁)または
本会ホームページをご覧ください。

~皆様のご参加をお待ちしております。~

問
合
先



公益社団法人
日本金属学会 講演大会係

〒980-8544 仙台市青葉区一番町1丁目14-32
TEL: 022-223-3685 E-mail: annualm@jimm.jp

詳しくは
ホームページをご覧ください <https://jimm.jp/>



深層学習による材料分野の画像解析の発展

上 杉 徳 照*

1. はじめに

材料工学およびその関連分野では、微細組織の解析、製品の外観検査、破面の解析など、幅広い領域で画像解析技術が活用されてきた。材料分野における画像解析技術は、多くの場合、専門家による目視検査と手動分析に依存してきた。人による画像解析は強力かつ柔軟であり、広く受け入れられている。しかし、この方法は時間がかかり、解析者に過度な負担を強いる。さらに、個人の主観や疲労が影響するため、結果の一貫性と再現性に課題がある。加えて、解析者の属人的な暗黙知の伝承は難しい。

このような背景から、コンピュータを用いた画像解析が試みられてきた。しかし、従来のコンピュータを用いた画像解析技術には一定の限界があった。これらの問題を解決する方法として、最近では深層学習技術、特に畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) が注目されている。CNNにより、材料分野における画像解析がより高精度かつ効率的に行われるようになりつつある。

本稿では、材料分野における画像解析の新しい技術として深層学習の応用に焦点を当てる。深層学習およびCNNの基本原則について解説し、材料分野における深層学習の応用と現状の問題点を概観する。また、具体的な成果事例を紹介し、この技術の実用化に向けた課題と展望について議論する。

2. 画像解析

画像解析とは、一般的にカメラで取得した画像をコンピュータで分析する技術のことで、画像データから対象に関する情報を抽出し、何らかの記述を得るプロセスを指す。例えば、明るさやコントラストの調整も画像解析だが、一様な値を設定して画像全体に処理を適用すると、部分的に明るすぎたり暗すぎたりする箇所が生じることがある。この問題に対

処するために、例えば適応的ヒストグラム平坦化 (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization: CLAHE)⁽¹⁾ のアルゴリズムが使用される。

適応的ヒストグラム平坦化は画像解析のアルゴリズムの一例であり、画像解析を行う際には、様々なアルゴリズムを組み合わせ、計測 (回帰)、認識 (分類)、検出、セマンティックセグメンテーション (領域分類) などのタスクを実行する。このプロセスは、まず入力画像の取り込みから始まり、前処理を施した後に、特徴量の抽出のための変換処理が行われる。その後、抽出した情報を基に、計測や分類などのタスクを行い、出力結果を得る。特徴抽出の方法には、深層学習を用いる方法と、深層学習以前の方法がある。

画像計測は、画像中の対象から数値データを算出することで、例えば外観検査での傷の数や大きさの数値化が該当する。画像認識は、画像に写っている対象が何であるかを特定することで、画像中の撮影対象をカテゴリーに分けることである。検出は、何が写っているかだけでなく、その位置も特定するものである。セマンティックセグメンテーションは、画像全体や特定部分の検出に留まらず、ピクセルレベルで各画素にラベル付けするタスクである。

画像解析の代表的なアルゴリズムを紹介しておく。画像の統計量に関するアルゴリズムには前述の適応的ヒストグラム平坦化が含まれるが、色空間に関するアルゴリズムには、モノクロ画像を適当なカラー画像に変換する疑似カラーが含まれる。フィルタリングには、空間フィルタリングと周波数フィルタリングがあり、空間フィルタを用いることで、平滑化 (ぼかし)、先鋭化、エッジ抽出などの処理が行われる。平滑化を用いれば、画像内に含まれるノイズが除去でき、エッジ抽出では有用な特徴を抽出することができる。空間フィルタリングの非線形フィルタには、有用なエッジをぼかさずに、不要なノイズを除去することができるバイラテラルフィルタ⁽²⁾ が用いられることが多い。幾何学的変換には拡大縮小、回転、鏡映などが含まれる。二値化には、一定の閾値で二値

* 大阪公立大学大学院情報学研究科学際情報学専攻; 准教授 (〒599-8531 堺市中区学園町 1-1)
Advances in Image Analysis for Materials Using Deep Learning; Tokuteru Uesugi (Department of Interdisciplinary Informatics, Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University, Sakai)
Keywords: *image analysis, deep learning, machine learning, convolutional neural network, surface inspection, fractography*
2024年2月13日受理 [doi:10.2320/materia.63.371]

化する単純二値化を使うこともあるが、大津の二値化⁽³⁾や適応的二値化⁽⁴⁾が用いられる。また、二値化後の画像には膨張・収縮のようなモフォロジー処理を行うことが多い。パターン認識では、特徴抽出後の距離計算や教師あり学習の機械学習が用いられる。画像解析では深層学習以前から機械学習アルゴリズムが広く用いられていた。これらのアルゴリズムはライブラリに実装されており、すべてを最初から実装する必要は少ない。画像解析の標準的ライブラリはオープンソースのOpenCV⁽⁵⁾であり、C/C++やPythonなどで提供されている。

深層学習以前の方法では、画像から特徴量を抽出する変換処理が属人的な技術が必要とし難しかった。膨大なデータから色、輪郭、形状などの特徴を抽出する必要があり、課題に応じた特徴の選定と組み立てには多くの試行錯誤が伴っていた。さらに、複雑な形状やテクスチャの抽出は困難であり、人間のように曖昧な特徴を捉えることが難しいため、適用可能な課題が限られていた。

深層学習が導入される以前から、画像解析は材料分野にも適用されていた。特に、鋼板や鋼管などの表面性状が良好な材料においては、自動検査に画像解析技術が利用されてきた。欠陥判定の精度を高めるためには、ルールの構築が重要であり、特徴抽出後にサポートベクターマシンなどの機械学習が利用されることもあった⁽⁶⁾。

一方、鋳造品の場合、鋼板や鋼管と比較して表面が平滑ではなく、自由曲面を有している。これに加え、鋳造欠陥の種類は多岐にわたり、画像解析を用いた自動検査は困難であるが⁽⁷⁾、人間には鋳造欠陥は判別可能であるため、鋳造品の表面検査は検査員の目視に依存してきた。このような人による画像解析は非常に優れているものの、表面品質の要件を言語化して伝えることは難しい。例えば、日本産業規格では、欠陥の種類別に程度を1級から5級までの5段階で示した標準写真を準備し、肉眼での標準写真との比較による等級分類が定められている⁽⁸⁾。しかし、少数の標準写真からの比較と解釈は検査員の主観に委ねられるため、検査員ごとに等級評価が異なるという問題が生じる。

破面解析の分野でも、人による画像解析が重要な役割を果たしている。破面解析は破面に残された痕跡を調査し、破壊機構や起点を明らかにする手法であり、解析者は破断面の模様を解釈して破面を分類する。この分析には多くの経験が必要で、その経験は言語化できない暗黙知となっており、伝承は容易ではない。なお、破面解析における画像解析の適用も試みられており、画像解析での特徴抽出後にニューラルネットワークなどを用いる機械学習の利用の報告がある⁽⁹⁾。

金属組織の画像解析で一例として挙げられるのが結晶粒径の測定である。従来から、研磨しエッチング処理を施した試験片の顕微鏡画像から手動で切断法(切片法)を用いて結晶粒径が算出されてきた。画像解析では、画像を二値化して結晶粒界と交差する走査線の数をカウントする自動化手法が提案されている⁽¹⁰⁾。この方法では大津の二値化を使用し、二値化画像にモフォロジー処理を施すが、二値化は金属組織の形

状やテクスチャなどの特徴を活用しておらず、二値化された領域が結晶粒界に対応するのか、第二相粒子のようなノイズに対応するのかの分類には限界があった。

3. 深層学習の基本原則

深層学習はニューラルネットワークの層を何層にも深くした学習手法である。ニューラルネットワークは脳の仕組みを模した機械学習手法の一つであり、機械学習の主要な目標は、データから学習して正確な予測を行うモデルを構築することである。重要な点は、モデルが既知のデータの入出力関係を単に再現するだけでなく、未知の入力に対しても正確な出力を提供することである。この未知のデータに対応する能力を汎化と呼び、未知のデータに対する誤差を汎化誤差という。真の汎化誤差を直接知ることはできないため、通常は期待値として扱われる。従って、機械学習の目標は期待値としての汎化誤差の最小化と言える。機械学習についての詳細は本稿では立ち入らないが、材料分野に向けた解説記事も多数存在する⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

ニューラルネットワークは、微分可能な線形変換と非線形変換を組み合わせて作られた計算グラフである。計算グラフは、ノードとエッジによって構成され、ノードでは活性化関数を用いて非線形変換が行われ、エッジでは線形変換が実施される。ノードの集合を層と呼び、これらの層を複数重ねて多層化する。深層学習を含むニューラルネットワークは、全体として微分可能な連続関数であり、誤差逆伝搬法を用いて学習が行われる。学習されるパラメータとは別に、人間が事前に設定する必要のあるパラメータをハイパーパラメータと呼ぶ。ニューラルネットワークのアーキテクチャ(構造)は自由に設計できるため、調整するハイパーパラメータには層の数などが含まれる。ニューラルネットワークの基本は層間のノードが互いに全て結合した全結合層だが、画像処理では特に畳み込み層が一般的であり、畳み込み層を含む深層学習がCNNと呼ばれる。

深層学習以前の特徴抽出アルゴリズムでは人手による試行錯誤が必要だったが、深層学習の畳み込み層では画像の学習に適した特徴を学習し、全結合層で最終的な識別を行う。例えば、図1に示されるVGG16⁽¹³⁾のアーキテクチャでは、13層の畳み込み層と3層の全結合層で構成されている。入力画像に対して畳み込み層の出力結果を特徴マップと呼び、この特徴マップは次の畳み込み層の入力となる。途中でプーリング層を挟み、最終的に特徴マップは全結合層に入力される。

畳み込み層では、画像または特徴マップの入力データが2次元配置されたピクセルの集合として扱われ、隣接するピクセル間の関係を保ちながら線形変換が行われる。例えば、図2では入力データを構成する8×8の2次元ピクセル群から、フィルタと同じ大きさの3×3の小窓を切り出し、フィルタとの内積を計算して一つの値を抽出する。この小窓を画像上で1ピクセルずつスライドさせることにより、6×6の特徴マップが得られる。この操作を畳み込みと呼ぶが、実際



図1 VGG16⁽¹³⁾のアーキテクチャ。(オンラインカラー)

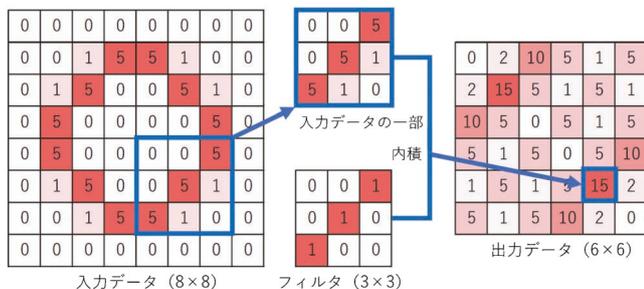


図2 畳み込みの例。(オンラインカラー)

には、画像または特徴マップが深さ(チャンネル)の次元を持つ3次元データであるため、より複雑な操作が必要となる。図2の例では、フィルタが右上から左下への線状を検出するものであり、出力された特徴マップではこの特徴を持つ箇所が強く反応している。畳み込み層で学習されるのはフィルタのパラメータであり、誤差逆伝搬法によってこれらのパラメータが学習される。

深層学習が広く注目されるきっかけとなったのは、2012年のILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)で優勝した深層学習モデルのAlexNet⁽¹⁴⁾である。ImageNet⁽¹⁵⁾は1400万枚以上のラベル付き画像データベース

表1 代表的なCNNモデル(文献⁽¹⁷⁾より改変引用)。

モデル	正解率	パラメータ数	層の深さ
VGG16	71.3%	1.38億	16
VGG19	71.3%	1.44億	19
ResNet50V2	76.0%	0.26億	103
ResNet101V2	77.2%	0.45億	205
ResNet152V2	78.0%	0.60億	307
InceptionV3	77.9%	0.24億	189
InceptionResNetV2	80.3%	0.56億	449
MobileNetV2	71.3%	0.04億	105
Xception	79.0%	0.23億	81
DenseNet121	75.0%	0.08億	242
DenseNet169	76.2%	0.14億	338
DenseNet201	77.3%	0.20億	402

であり、ILSVRCはImageNetを用いて分類精度を競うコンペティションである。AlexNetは現在では特に深層化されたモデルではないが、このコンペティションでは特徴抽出とサポートベクターマシンを組み合わせた従来の画像解析手法の精度を大きく上回った。

AlexNetの登場以降、深層学習モデルの層の深さは飛躍的に増加した。例えば、2014年に発表されたVGG19⁽¹³⁾では19層、2017年にはDenseNet201⁽¹⁶⁾で402層の深層化が行われた。表1では、代表的なCNNモデルのImageNetにおける正解率、パラメータ数、層の深さが示されている⁽¹⁷⁾。層の深さが増加するとパラメータ数はむしろ減少することがある。例えば、VGG19での1億4千万個からDenseNet201では2千万個とパラメータは減少している。CNNを含む深層学習の表現力は、層の深さに対して指数関数的に向上するが、層の幅に対しては多項式的に増加するため、ImageNetの分類精度では、パラメータ数よりも深層化を優先したモデルの方が高い正解率を示す傾向にあるためである。ただし、深層化には誤差逆伝搬法の学習が進まないという問題があり、様々な技術的な工夫が施されている。VGG16⁽¹³⁾やVGG19⁽¹³⁾は16層または19層の比較的浅いモデルだが、ResNet50V2⁽¹⁸⁾、ResNet101V2⁽¹⁸⁾、ResNet152V2⁽¹⁸⁾は残差接続を用いて深い畳み込み層での学習を可能にした。InceptionV3⁽¹⁹⁾はInceptionモジュールごとにネットワークを分岐させてサイズの異なる畳み込みを行い、InceptionResNetV2⁽²⁰⁾ではInceptionモジュールに残差接続を用いて深層化している。MobileNetV2⁽²¹⁾はモバイル端末での使用に適したパラメータ数の削減を行っている。Xception⁽²²⁾はInceptionの改良版で、精度向上とパラメータ数削減を実現している。DenseNet121⁽¹⁶⁾、DenseNet169⁽¹⁶⁾、DenseNet201⁽¹⁶⁾はResNetの改良版で、ショートカット接続を導入することで深層化を可能にしている。

ただし、深層化されたモデルが必ずしも高い汎化性能を持つわけではない。これは機械学習におけるノーフリーランチ定理⁽²³⁾として知られている原則である。ノーフリーランチ定理によれば、どの手法も他の手法に対して常に優れている

わけではないため、課題やデータに応じて適切なアルゴリズムを試行錯誤して選択する必要がある。

表1に示されたモデルは全て画像分類のモデルだが、出力層と損失関数をタスクに合わせて設計することで、分類以外の回帰、検出、セマンティックセグメンテーションも実現可能である。分類ではクラス確率を出力するが、回帰では出力層を実数値に変更し、検出タスクでは入力画像を均等に区切ったグリッドごとにクラス確率と検出領域を出力するよう設計する。セマンティックセグメンテーションでは、ピクセルごとにクラス確率を出力する出力層が必要となる。畳み込み層は共通のモジュールとして複数のタスクに利用できるため、ImageNetの分類タスクで学習済みの表1のモデルの畳み込み層部分を取り出し、他のタスクに適用することもできる。これを転移学習と言い、データ量が少ないタスクを行う時には有効な技術である。

セマンティックセグメンテーションでは、ピクセルごとにクラス確率を出力するために、全結合層を廃止し、畳み込み層のみを用いる。代表的なモデルであるU-Net⁽²⁴⁾は、エンコーダとデコーダを繋げたUの形をしている。エンコーダは画像の特徴を抽出する役割を持ち、画像分類モデルの畳み込み層をバックボーンとしてほぼそのまま活用する。U-Netの発展形として、U-Net++⁽²⁵⁾やU-Net3+⁽²⁶⁾があり、これらのモデルではエンコーダとデコーダの繋がりがより密接になっている。さらにR2U-Net⁽²⁷⁾では、各階層に再帰構造が導入されている。

深層学習分野で広く使用されるライブラリにはTensorflow/Keras⁽²⁸⁾とPyTorch⁽²⁹⁾がある。どちらもPython言語で提供されるオープンソースのライブラリである。これらのライブラリには表1に示された学習済みモデルの大部分が利用可能である。また、GUI(Graphical User Interface)を備えた深層学習ソフトウェアも開発されているが、あらかじめ用意されたアルゴリズムのみを使用するため、精度向上に重要な前処理、転移学習、データ拡張などの拡張性に欠ける。

深層学習による画像解析での最新の進展は、CNNでなくVision Transformer(ViT)⁽³⁰⁾である。ViTは、自然言語処理で使用されているTransformerモデル⁽³¹⁾を、画像認識に応用したものである。ただし、データセットの規模が小さいと、TransformerはCNNに比べて汎化性能が低下する傾向がある。また、CNNは画像の局所的な特徴、特に物体のテクスチャを捉えていることが明らかになっているが、Transformerは画像の大域的な特徴、具体的には物体の形状を捉える⁽³²⁾。材料分野における画像解析では、データセットが小さく、微細組織や表面の複雑なテクスチャが重要な役割を果たすので、TransformerよりCNNが有利である。

4. 深層学習の応用と課題

材料分野での深層学習への適用は着実に進んでいる。鋼板の検査では、最近ではCNNを用いることで欠陥の特徴抽出を自動化し、精度を向上させることが報告されている⁽³³⁾。

表面性状が複雑で自由曲面を有する鋳造品の鋳肌検査にもCNNの有効性が示されている⁽³⁴⁾。さらに、鋳造品では良品と不良品の区別が曖昧な鋳肌検査においてもCNNの有効性が報告されている⁽³⁵⁾。

破面解析においても、最近ではCNNを用いることで破断面のより精度の高い分類が可能になっている⁽³⁶⁾。また、破面解析ではCNNを用いた破面領域のセマンティックセグメンテーションも報告されている⁽³⁷⁾。セマンティックセグメンテーションでの深層学習の利用は特に金属組織の画像解析で進んでいる。鉄鋼材料の様々な組織がセマンティックセグメンテーションで領域分割することが可能なことが報告されている⁽³⁸⁾、結晶粒界についても金属組織画像のセグメンテーションから切断法を用いて結晶粒径を自動で評価するシステムが報告されている⁽³⁹⁾。

材料分野での深層学習の適用が進展する中、深層学習に関する基本的な理解において、作り手側と受け手側の間にしばしば齟齬が見られる。特に、深層学習がどのような基準で解析結果を出すのかが理解しづらいというブラックボックス問題において顕著である。作り手側にとって、深層学習のアーキテクチャとパラメータは明確であり、これらは可視化可能であるため、ブラックボックスとは言えない。しかし、VGG19のように1億4千万個ものパラメータがある場合、これらを個別に確認することは人間にとって不可能である。一方で、深層学習を使用する者にとっては、深層学習はブラックボックスとなり、深層学習によって獲得された機能を人間が理解可能な形で説明を求めるのは自然なことである。

ブラックボックス問題は、人間にも適用可能な表現方法の問題である。例えば、画像が犬か猫かを答える問題では、多くの人は答えられるが、犬と猫を知らない人にそれを説明するのは非常に難しい。犬と猫の違いは存在するが、単純な特徴を特定するのは困難である。同様に、人間による画像解析でも、鋳肌検査のように、判断基準が曖昧で伝達が困難な場合には、標準写真との比較により等級分類を行って、深層学習の作り手側も、このような齟齬を埋める努力を進めており、説明可能な人工知能技術(Explainable AI: XAI)が期待されている。しかし、この技術は局所的な解釈しか提供せず、深層学習の内部を人間が納得する形で説明するのは依然として難しいという現実がある。

人工知能が人間の認識精度を超えたという説も、作り手と受け手の間で齟齬を生んでいる。この論点で引き合いに出されるのが、2015年のILSVRCで優勝したResNetが平均的な人間の正解率を超えたという事例である⁽⁴⁰⁾。しかし、この事例には齟齬の元となる要素がある。深層学習は大量の教師データを必要とし、その教師データは常に正しいことを前提としている。そのため、専門家によって作成された教師データは正解率100%とされており、深層学習が教師役の人間を超えることは不可能である。ただし、平均的な人間は専門家と同じくResNetに及ばない。ImageNetには、多くの珍しい犬の品種が含まれており、平均的な人間が高い正解率を得ることは難しい。この場合、人間の正解率の差は、これま

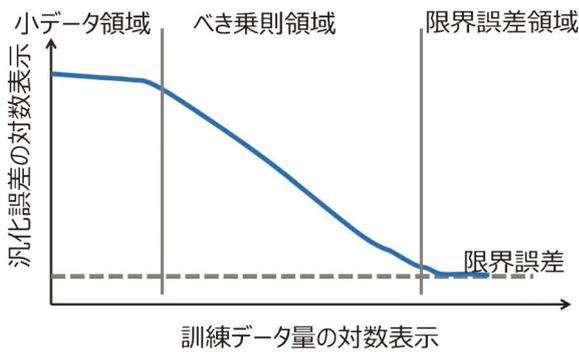


図3 データ量と汎化誤差の経験的な関係(文献⁽⁴¹⁾より改変引用)。(オンラインカラー)

で犬をどれだけ観察してきたかという学習量によって左右される。

深層学習の正解率も、人間と同じく学習量によって大きく変わる。図3で示されるデータ量と汎化誤差の関係によれば、データ量が増加すると、画像解析や自然言語処理などのタスクに関係なく、べき乗則と呼ばれる領域が観察される⁽⁴¹⁾。データ量と汎化誤差のべき指数は、タスクの難しさの指標として使用できる。したがって、ある程度のデータ量を用意し、べき指数を算出した後、目標とする汎化性能に必要なデータ量を見積もることが可能である。べき乗則の領域を超えると、モデルが改善できない限界誤差が存在することが予測される。この限界誤差の原因は、教師データでの誤ったラベル付けであり、これによって不可避な誤差が発生する。実際に、ImageNetのテストデータを調査した研究では、画像の5.83%にラベルの間違いが報告されている⁽⁴²⁾。

まとめると、人間の認識精度を超える深層学習モデルの構築は可能であるが、これは学習に使用したデータの分布範囲内に限られる。そのため、適切な正解データを十分に確保することが必須である。そして、目標の汎化性能に必要なデータ量はべき乗則から経験的に算出することができる。しかし、材料分野での実用的な画像解析において、十分なデータが利用可能な状況は稀である。限られたデータ量で高い汎化性能を達成するためには、多様な機械学習技術の活用が求められる。これらの機械学習技術には、前処理、データ拡張、転移学習が含まれる。

画像解析において、特徴量の抽出を効率化する前処理の役割は深層学習の導入前後で変わらず重要である。主な画像データの前処理手法には、画像リサイズ、グレースケール変換、ぼかし、ヒストグラム平坦化などが含まれる。画像リサイズでは画像サイズを一定の解像度に揃え、機械学習モデルが一定の入力サイズを扱えるようにする。グレースケール変換は、カラー画像をグレースケールに変換し、色情報を省略して輝度情報に注目し、計算量を削減する。逆に、グレースケールを疑似カラーに変換することで、色情報を追加することも効果的である。材料分野で扱われる画像、特に顕微鏡画像などでは、色情報が実質的に不要な場合が多く、この場合

では、グレースケール変換と疑似カラー変換が有効に機能する⁽³⁵⁾。ぼかし処理は、画像の細かなテクスチャやノイズを平滑化し、ヒストグラム平坦化は画像のコントラストを改善し、いずれも特徴量抽出を容易にすることがある。これらの前処理は、具体的なタスクやデータセットに関する知識を用いて、試行錯誤を重ねながら適用される。

データ拡張は、既存データセットに多様な操作を施し新しい訓練データを生み出す手法であり、これにより、画像データに変更を加えるため、一種の前処理とも考えられる。具体的なデータ拡張手法には、回転、平行移動、拡大・縮小、反転、明るさや色調の調整などがあり、これらはタスクやデータセットの性質に応じて選択される。例えば、対象の位置や向きが判断基準に影響しない場合では、画像の回転や平行移動を適用することが適切である。

転移学習は、異なるタスクで獲得された知識を新しいタスクへ適用し、効率的な学習を目指す手法である。転移学習では、元となるドメインから得たデータの事例、特徴、パラメータを新たな目標ドメインへ適用させる。特に画像解析分野では、大規模データセットで訓練されたモデルを基にして、新しいデータセットへのファインチューニングを行うパラメータ転移が一般的である。パラメータ転移では、事前に学習済みの畳み込み層のパラメータをそのまま転移学習として使用するか、もしくは一部の層を目標ドメインのデータに合わせてファインチューニングする。具体的には、ImageNetで事前に訓練された表1で示したようなモデルを利用し、目標ドメインのタスクに適応させることが行われる。

紹介した前処理、データ拡張、転移学習のファインチューニングは、深層学習における画像解析の一般的なアプローチであるが、これらの手法だけでは十分な汎化性能を確保できない場合もある。次節からは、著者が関わった事例を紹介する⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。紹介事例では、これらのアプローチを採用しているが、タスクやデータセットの特性に応じて、新たなアプローチの開発もしている。

5. 回帰と不良品分類を両立する鋳肌検査

ダクタイル鋳鉄管は水道やガス管など広範囲に使用され、鋳型遠心鋳造法で製造されている。この方法は鋳造欠陥を顕著に減少させるが、ピンホールは依然として重要な課題である。鋳肌検査において、どこまでをピンホールとするかの境界が明確でないため、検査員間で品質基準を一貫して伝達する方法が存在しない。その解決策として、日本産業規格では鋳造品の欠陥等級を五段階で示す標準写真を用いた比較法が採用されているが、この方法は定量性に欠け、検査員の主観に大きく依存するため、標準性が不足している。CNNの導入は、これらの問題を解決することが期待される。

最近、CNNは鋳肌検査でも有効性を示しているが、これまでの研究ではブローホールや割れなど明確に識別可能な欠陥に焦点を当てており、ピンホールのように不明瞭な欠陥の識別には対応していない。そこで、この研究では、ダクタイル

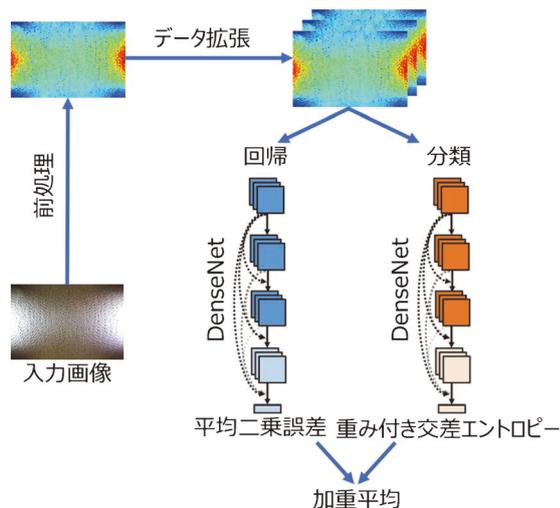


図4 提案するアンサンブル学習の概略(文献⁽³⁵⁾より改変引用)。(オンラインカラー)

ル鉄管の錆検査を自動化するためのCNNベースの手法を開発し、連続値での等級判定を可能にすることで、より高度な品質管理を実現することに貢献する。回帰と不良品分類を組み合わせた新しい錆検査法を提案するだけでなく、前処理とデータ拡張において錆特有の知識を活用し、錆検査における定量性、標準性の問題を解決した⁽³⁵⁾。

提案手法では、錆等級の回帰と不良品の分類を同時に行うため、回帰と分類のアンサンブル学習法を採用した。図4に提案するアンサンブル学習の概略を示す⁽³⁵⁾。初めに錆画像を前処理して意味ある特徴を抽出し、その後、データ拡張を施して画像から汎化性能を高める。これらの画像は、CNNを用いた回帰と分類の弱学習器に入力される。ここで、ImageNetで事前に学習されたDenseNetなどを転移学習またはファインチューニングによって使用する。回帰学習器には平均二乗誤差が、分類学習器には不良品の識別を強化する目的で重み付き交差エントロピーが使用される。最後に、回帰と分類の結果を加重平均して、最終的なアンサンブル学習の出力を得る。この方法により、不良品の見逃しのない確実な分類と回帰を同時に達成することが目指される。

実製造されたダクタイル鉄管の錆画像をデータセットとして使用した。画像は一定条件下で撮影された3,481枚であり、同一の検査員によって5段階の等級に分類された。ピンホールの存在は等級によって異なり、等級1には存在せず、等級2はわずか、等級3は中程度、等級4は不良品ではないが多く、等級5は多すぎて不良品とされた。データセットは訓練、検証、テストデータに分割され、検証データでの精度評価を基に調整を行い、精度評価はテストデータを用いて行われた。クラス不均衡を解消するため、訓練データにはオーバーサンプリングが施された。精度評価では、回帰には二乗平均平方根誤差(Root Mean Squared Error: RMSE)、分類には不良品の再現率が用いられ、回帰モデルでの調整後のCNNを分類モデルにも適用した。

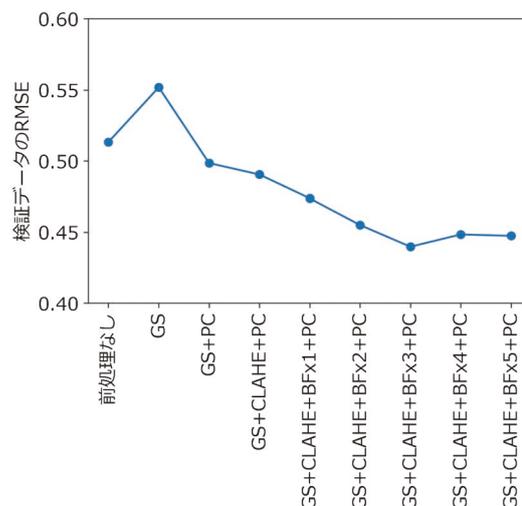


図5 前処理の検証結果(GS: グレースケール, CLAHE: 適応的ヒストグラム平坦化, BF: エッジ保存平滑化, PC: 疑似カラー, 文献⁽³⁵⁾より改変引用)。(オンラインカラー)

前処理では、画像解像度の調整が重要であった。元の画像サイズは 2736×1824 であり、複数の解像度候補から検証データを用いて最適な解像度 798×532 を選定した。リサイズ後にグレースケール変換、適応的ヒストグラム平坦化、エッジ保存平滑化、疑似カラー化を前処理として検証した結果を図5に示す⁽³⁵⁾。グレースケール後のRMSEの悪化に対し、疑似カラー化で改善された。適応的ヒストグラム平坦化とエッジ保存平滑化は錆特有の縞模様のノイズ除去に有効で、RMSE向上に貢献した。最終的に、グレースケール、適応的ヒストグラム平坦化、エッジ保存平滑化3回、疑似カラーの組み合わせが最も効果的であることが確認され、この前処理が選択された。

データ拡張の効果は訓練データに対して移動、縮小・拡大、回転、せん断、反転の操作を行い、検証データの精度評価を用いて効果を検証した。図6に検証結果を示すが、最もRMSEが優れていたデータ拡張の条件は、水平および垂直方向の反転に加えて、水平・垂直方向に0%~2%の範囲でランダムに移動、-2%~+2%の範囲でランダムに縮小・拡大、-2°~+2°の範囲でランダムに回転、0°~2°の範囲でランダムにせん断であり、この条件を最適なデータ拡張条件として採用した⁽³⁵⁾。図6には最適条件から移動、縮小・拡大、回転、せん断をそれぞれ、独立に変化させた時のRMSEも示されており、最適なデータ拡張条件を外れると、反転のみを用いた場合のRMSEまで悪化することがあった。データ拡張なし、反転のみ、最適なデータ拡張条件でのRMSEを比較すると、データ拡張なしに比べて反転のみでもRMSEは大きく向上していたが、反転以外のデータ拡張は視野の変更を伴うため、反転以外のデータ拡張による効果は限定的であった。

前処理とデータ拡張後、図7に示すCNNの比較では、

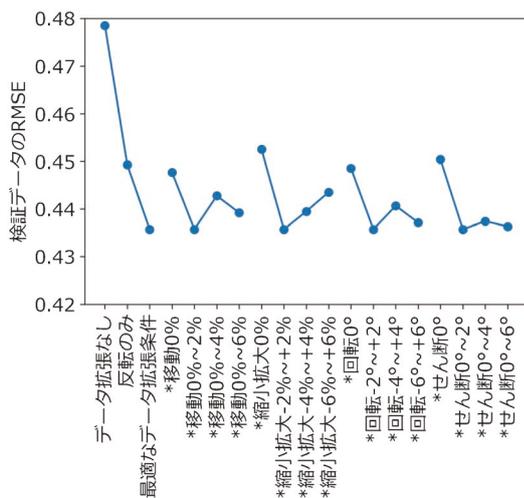


図6 データ拡張の検証結果(文献⁽³⁵⁾より改変引用)．アスタリスク(*)は最適なデータ拡張条件から部分的に変更された条件を示す．(オンラインカラー)

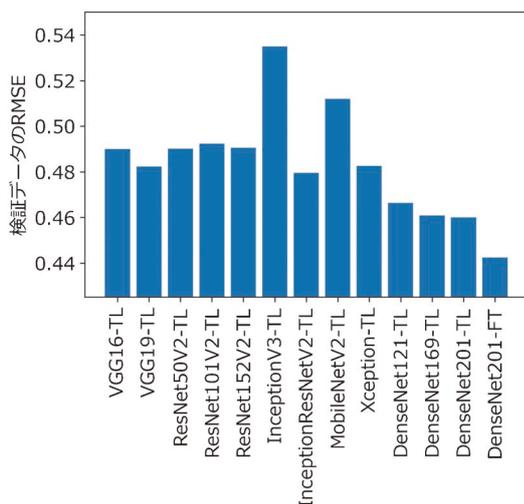


図7 CNNの検証結果(TL: 転移学習, FT: ファインチューニング, 文献⁽³⁵⁾より改変引用)．(オンラインカラー)

ImageNetで事前学習済みのDenseNet201が転移学習で最も優れたRMSEを示した⁽³⁵⁾．深層学習の効果は層の深さに指数的に依存し、DenseNet201の深い構造が良好な結果をもたらした．一部パラメータの再学習を含むファインチューニングは、DenseNet201においてRMSEがさらに改善した．そのため、分類とのアンサンブル学習ではDenseNet201のファインチューニングを使用した．

回帰モデルの損失関数を変更して分類モデルの学習を行い、回帰と分類のアンサンブル学習を実施した．不良品クラスの重みと加重平均の重みは、検証データに基づく再現率から決定された．不良品クラスの重みを上げることで、良品が不良品と分類されやすくなり、再現率は100%に達したが、正解率は低下した．アンサンブル学習では、検証データで再現率100%を達成するために、加重平均の重みを設定した．

テストデータでの推論結果は検証データと同等の汎化性能を示し、不良品分類の再現率は100%を維持した．この結果より、連続値での等級判定と不良品の見逃しのない分類を両立する鑄肌検査法の開発が達成された．今後の課題は、開発した深層学習モデルを鑄物工場に実装する自動システムとして取り入れることである．

6. 材料の種類を考慮した破面分類

金属製品の破損原因を明らかにするためには、破断面の破面解析が不可欠である．破面解析は、製品の品質評価およびその維持・向上を目的とした重要なプロセスである．このプロセスでは、解析者が破断面の模様を精査し、破壊機構に基づいて分類を行う．この作業は、専門家による観察と経験に依存した知的判断を必要とする．解析者の経験は、容易に言語化できない暗黙知として蓄積されるため、その知識の伝承は困難である．さらに、熟練した解析者が徐々に退職していく現状がある．これらの背景から、破面解析の初学者を支援し、熟練解析者の経験を引き継ぐシステムの開発が求められる．

既にCNNを用いた破面分類は報告されているが、これまでの研究では合金鋼とステンレス鋼の違いなど、材料の種類の違いを考慮せずに、全ての材料を同一の破断面クラスで分類していた．熟練した解析者は、材料の違いを暗黙知として考慮しており、この研究では、材料の種類を考慮した転移学習を用いて、CNNによる破面分類の精度を向上させることを目指した．そのため、異なる材料からの学習結果を効果的に利用する新たな転移学習手法として、ステップワイズ元クラス選択法(Stepwise Selection of Source Classes: SSSC)を提案した⁽³⁶⁾．

既存の破断面分類手法では、材料の種類を区別せずに、元ドメインのデータのみを用いた学習が行われている．ディンプル、ストライエーション、ぜい性疲労破面、へき開破面、擬へき開破面、粒界破面、ファンシェーブトパターンの7クラス分類において、元ドメインのみを用いた分類モデルは図8(a)に示され、材料の種類ごとに区別して学習を行った場合は、目標ドメインのみを用いた学習となり、図8(b)に示される⁽³⁶⁾．

元ドメインでの分類、目標ドメインでの分類、元クラス選択による分類の概念図を図9に示している⁽³⁶⁾．目標ドメインの分類では、事例が存在しないクラスがあるため、識別境界が不足している．しかし、元クラス選択による分類では、目標ドメインから有用な元クラスを選択することで、適切な識別境界を設定できる．クラスごとに転移させる事例の選択は、目標クラスと元クラスの組み合わせ最適化問題として扱うことができるので、提案手法であるSSSCでは、元ドメインと目標ドメインのデータを組み合わせた事例を用いて複数のモデルを学習し、目標ドメインのデータでの評価を行い、ステップワイズ法を用いて、最適な元ドメインと目標ドメインの組み合わせを探索する．

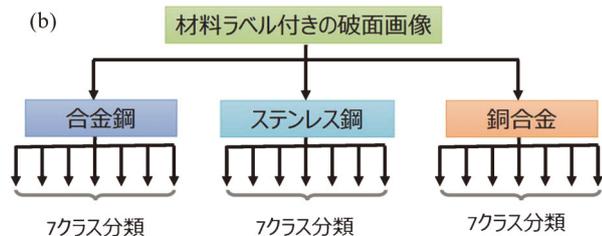
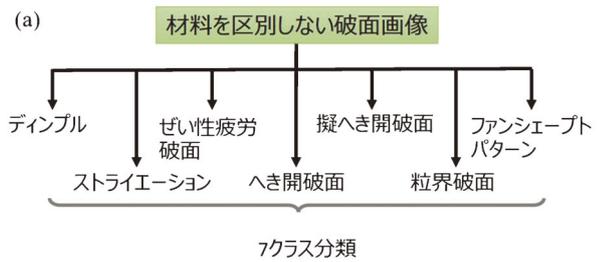


図8 (a) 元ドメインでの学習と (b) 目標ドメインでの学習 (文献⁽³⁶⁾より改変引用)。(オンラインカラー)



図9 元ドメインでの分類, 目標ドメインでの分類, 元クラス選択による分類(文献⁽³⁶⁾より改変引用). 図は特徴空間における識別境界と事例を表しており, 識別境界はクラス間を分離する境界であり, 事例のマーカ形状はクラスの違いを示し, 元ドメインの事例は赤色で, 目標ドメインの事例は青色で表されている。(オンラインカラー)

データセットには, 破面解析において経験豊かな専門解析者によってラベル付けされた走査型電子顕微鏡による破断面画像1033枚が含まれている. このデータセットはドメイン別, つまり材料別に分けられ, 合金鋼からは670枚, ステンレス鋼からは230枚, 銅合金からは133枚の画像が含まれている. クラス別, つまり破面形態の違いに基づく分類では, ディンプル形態の画像が231枚, ストライエーションが212枚, ぜい性疲労破面が164枚, へき開破面が127枚, 擬へき開破面が105枚, 粒界破面が161枚, ファンシエーフトパターンが33枚含まれていた.

使用したデータ量は十分ではなく, また不均衡なデータであったため, オーバーサンプリングによって少数クラスの画像を複製し, データ数を増やしてクラスの不均衡を解消した. 検証データとテストデータの事例数は, それぞれのクラスについて5に設定した. 前処理としては, 画像のリサイズを行った. 図10には検証データの正解率と画像サイズ(解像度)の関係を示し, 画像サイズは360×270が最適であることが確認された⁽³⁶⁾. 早期打ち切り, ドロップアウト, バッ

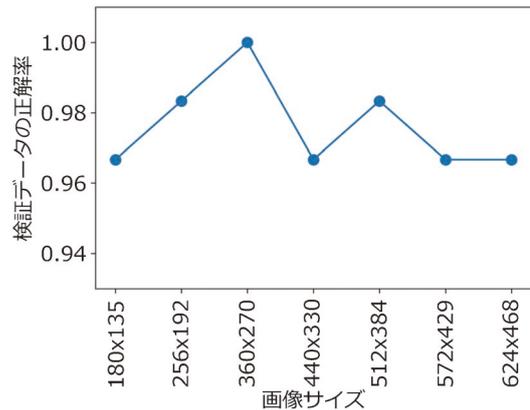


図10 正解率と画像サイズの関係(文献⁽³⁶⁾より改変引用)。(オンラインカラー)

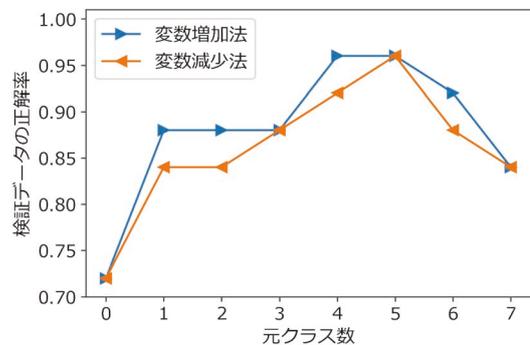


図11 ステンレス鋼での正解率と元クラス数の関係(文献⁽³⁶⁾より改変引用)。(オンラインカラー)

チ正則化といった正則化手法を用い, 活性化関数の種類やノード数などのハイパーパラメータのチューニングについては検証データを使用して行った. データ拡張は訓練データに対して施し, 画像にランダムに移動, 拡大・縮小, 回転, せん断, 反転の操作を加えた. CNN のアーキテクチャ選定では, VGG16, VGG19, ResNet50V2, ResNet101V2, ResNet152V2, InceptionV3, InceptionResNetV2, MobileNetV2, Xception, DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201の中から, 検証データでの結果を基に VGG16を用いたファインチューニングを採用した.

前処理を施したデータとチューニングされた VGG16モデルを用いて, ステップワイズ元クラス選択法による元クラス(元ドメインのクラス)の選択を実施した. 図11には, ステンレス鋼における正解率と元クラス数の関係を, 変数増加法と変数減少法で示している⁽³⁶⁾. 元クラス数が0の場合と7の場合は, それぞれ目標ドメインのみでの学習と元ドメインのみでの学習を意味する. 元クラス数が4または5の場合に最高の正解率が観測された. 元クラスと目標クラスの選択には, 両者のデータ数の比率が影響していることが示されている. 目標クラスの訓練データが十分に多い場合は目標クラスが選択される傾向にあるが, 目標クラスの訓練データが少ない場合は元クラスが選択される傾向にあった.

表2 テストデータの正解率(文献⁽³⁶⁾より改変引用).

ドメイン	目標ドメインでの学習	元ドメインでの学習	提案手法SSSC
合金鋼	93.3%	93.3%	100.0%
ステンレス鋼	72.0%	84.0%	96.0%
銅合金	79.2%	100.0%	100.0%
平均	81.5%	92.4%	98.7%

表2は、目標ドメインでの学習、元ドメインでの学習、そしてステップワイズ元クラス選択法を使用した場合のテストデータの正解率を比較している⁽³⁶⁾。元ドメインでの学習は材料の違いを考慮しない従来の手法で、合金鋼、ステンレス鋼、銅合金における平均正解率が92.4%である。目標ドメインのみでの学習では、材料の種類を明確に区分して直接学習を施した結果、平均正解率が81.5%に下降し、元ドメインのみでの学習結果を下回っている。しかし、ステップワイズ元クラス選択法を適用した場合の平均正解率は98.7%に達し、従来手法に比べて6.3%の改善が見られた。これにより、材料の種類を考慮する転移学習手法であるステップワイズ元クラス選択法が、破面分類の精度を著しく向上させることが示された。この研究で開発されたモデルは、すでに解析者の訓練ツールとして試験的に使用されおり、今後はこのモデルを公開し、広く利用できるようにすることを進めている。

7. おわりに

画像解析は、画像から有益な情報を得るための手段の一つに過ぎず、その結果は視覚化されて誰もが直感的に理解しやすい。深層学習を用いた画像解析技術の進歩により、GUIを搭載した深層学習ソフトウェアの開発も進み、誰もが深層学習を利用できる時代が来ることが期待される。しかし、技術の利用者と開発者の間には深層学習導入以前と同じ隔たりが存在する。特に、深層学習技術の普及において大量の画像データの準備が大きな課題であり、材料分野でのドメイン知識を活かして、限られたデータで優れたモデルを構築することが重要である。本稿では、データが少ない状況下での成果事例を示し、技術の実用化に向けた課題と展望を紹介した。材料分野における深層学習の利用は自動化への顕著な貢献が期待されるが、適切な技術選択とデータの重要性への理解が必須である。深層学習技術が、材料分野における解析手段の新たな枠組みとして確立されることを期待しつつ、本稿がその一助となることを願っている。

本稿で紹介した研究の一部は、文部科学省データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト事業JPMXP1122684766の助成を受けたものである。研究の遂行にあたり、(株)栗本鐵工所の小川耕平氏、堤親平氏、澤田健二氏、中本光二氏、(地独)大阪産業技術研究所の濱田真行氏、喜多俊輔氏、平田智丈氏から学習データの提供を受けた。鋳

肌検査のモデル構築は大阪公立大学教授の中島智晴氏との共同研究である。ここに謝意を表す。

文 献

- (1) S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. ter Haar Romeny, J. B. Zimmerman and K. Zuiderveld: *Comput. Vis., Graphics Image Process.*, **39** (1987), 355–368.
- (2) C. Tomasi and R. Manduchi: *IEEE Int. Conf. Computer Vision*, (1998), 839–846.
- (3) N. Otsu: *IEEE Trans. Sys. Man. Cyber.*, **9**(1979), 62–66.
- (4) M. Sezgin and B. Sankur: *J. Electron. Imaging*, **13**(2004), 146–168.
- (5) I. Culjak, D. Abram, T. Pribanic, H. Dzapov and M. Cifrek: *35th Int. Convent. Informat. Commun. Technol., Electron. Microelectron.*, (2012), 1725–1730.
- (6) 大重貴彦：ふえらむ, **23**(2018), 164–168.
- (7) 染次孝博, 吉村剛治, 秋田伸幸：精密工学会誌, **63**(1997), 1412–1416.
- (8) The Japanese Industrial Standards, “Visual examination and classification of surface quality for steel castings”, JIS G 0588 (1995).
- (9) M. X. Bastidas-Rodriguez, F. A. Prieto-Ortiz and E. Espejo: *Eng. Fail. Anal.*, **59**(2016), 237–252.
- (10) H. Peregrina-Barreto, I. R. Terol-Villalobos, J. J. Rangel-Magdaleno, A. M. Herrera-Navarro, L. A. Morales-Hernández and F. Manríquez-Guerrero: *Measurement*, **46**(2013), 249–258.
- (11) 上杉徳照：軽金属, **73**(2023), 104–111.
- (12) 上杉徳照：山陽特殊製鋼技報, **30**(2023), 3–20.
- (13) K. Simonyan and A. Zisserman: *The 3rd Int. Conf. Learn. Represent.*, (2015).
- (14) A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton: *Adv. Neural Inform. Process. Sys.*, **2**(2012), 1097–1105.
- (15) O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. C. Berg and L. Fei-Fei: *Int. J. Comput. Vis.*, **115**(2015), 211–252.
- (16) G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten and K. Q. Weinberger: *30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition*, (2017), 2261–2269.
- (17) S. Bianco, R. Cadène, L. Celona and P. Napolitano: *IEEE Access*, **6**(2018), 64270–64277.
- (18) K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun: *Lect. Notes Comput. Sci.*, **9908**(2016), 630–645.
- (19) C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens and Z. Wojna: *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition*, (2016), 2818–2826.
- (20) C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke and A. A. Alemi: *31st AAAI Conf. Artif. Intellig.*, (2017), 4278–4284.
- (21) M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov and L. C. Chen: *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition*, (2018), 4510–4520.
- (22) F. Chollet: *30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition*, (2017), 1800–1807.
- (23) D. H. Wolpert: *Neural Comp.*, **8**(1996), 1341–1390.
- (24) O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox: *Lect. Notes Comput. Sci.*, **9351**(2015), 234–241.
- (25) Z. Zhou, M. M. Rahman Siddiquee, N. Tajbakhsh and J. Liang: *Lect. Notes Comput. Sci.*, **11045**(2018), 3–11.
- (26) H. Huang, L. Lin, R. Tong, H. Hu, Q. Zhang, Y. Iwamoto, X. Han, Y. W. Chen and J. Wu: *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech Sig. Process.*, (2020), 1055–1059.
- (27) M. Z. Alom, C. Yakopcic, M. Hasan, T. M. Taha and V. K. Asari: *J. Med. Imaging*, **6**(2019), 014006.
- (28) M. Abadi *et al.*: *12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, (2016), 265–283.

ポリアニリンを用いた金属中を拡散する水素の可視化技術

柿沼 洋¹⁾ 味戸沙耶¹⁾ 小山元道²⁾ 秋山英二³⁾

1. はじめに

水素は国内で製造可能な環境にやさしいエネルギー資源として、将来的な利用の拡大が期待されている。水素エネルギーを基盤とした社会(水素社会)を実現するには、水素を製造し、取り扱うためのインフラストラクチャーが必要不可欠である。優れた機械的特性を有する金属材料は、水素社会を支える基盤材料として研究・開発が進められているが、一部の金属材料は水素脆化感受性が高いことが知られている。水素脆化とは、腐食等に伴い材料中に水素が侵入することで材料の延性が低下する現象である。従って、水素脆化感受性の高い材料は、水素が材料に侵入しやすい環境では利用が制限される場合があり水素侵入防止技術の開発や優れた耐水素脆性を有する金属材料の開発が行われている。

水素脆化機構の解明や水素侵入防止技術の開発には、材料への水素侵入経路や材料中の水素拡散挙動を正しく理解することが重要である。しかし、金属中の水素原子は汎用的な元素分析に使用される X 線等では検出することが難しい。これまで、金属中の水素の観察を目的とした種々の検出技術が開発されてきた。水素マイクロプリント法(HMT)⁽¹⁾⁻⁽³⁾、二次イオン質量分析法(SIMS)⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾、銀デコレーション法(Ag)⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、走査型ケルビンプローブフォース顕微鏡(SKPFM)⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾、走査型ケルビンプローブ法(SKPM)⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾などはサブミクロメートルスケール以上の比較的広い視野の水素分布を可視化することができる。例えば、SKPFM はナノメートルスケールの非常に高い空間分解能を有するため、水素拡散挙動の金属組織依存性を解析可能である⁽⁴⁾⁽¹⁶⁾。しかし、SKPFM は金属表面近傍でプローブを走査し、金属表面

の仕事関数を計測することで水素分布を解析するため、時間分解能がプローブの走査に律速される場合が多い。従って、広い視野の水素分布を高空間分解能かつ高時間分解能で解析することはできない。従来の水素可視化技術にとって金属中の水素の二次元分布をリアルタイムで可視化することは困難であり、新しい水素検出技術の開発が求められていた。

近年、上述した技術的課題を解決するために、導電性高分子であるポリアニリンを用いた新しい水素可視化手法が開発されている⁽¹⁷⁾⁻⁽²²⁾。ポリアニリンは安価かつ容易に重合可能な導電性高分子として幅広い分野で利用されているが、最近の研究により金属中の水素原子と反応して変色することが明らかにされている⁽¹⁷⁾。さらに、ポリアニリンを用いて金属中の水素を高感度かつリアルタイムで可視化できるハイドロジェノクロミックセンサーが開発されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁹⁾。本稿では、ポリアニリンをベースとしたハイドロジェノクロミックセンサーによる水素の可視化原理やセンサーの応用例について概観する。

2. ハイドロジェノクロミックセンサー

(1) ポリアニリンによる金属中の水素可視化の原理

図1は、ポリアニリンを用いた水素可視化技術の模式図である。水溶液中で金属表面に水素が吸着すると、吸着水素の一部は金属中に侵入する。水素原子は濃度勾配を主要な駆動力として金属中を拡散し、ポリアニリンが成膜された試料の反対側に到達する。このとき、ポリアニリンは水溶液には接触しておらず、空気中で使用されている。金属中の水素原子とポリアニリンが反応すると、ポリアニリンのキノイド構造が水素化され、光学特性が変化すると考えられている⁽¹⁷⁾。

* 東北大学金属材料研究所; 1)助教 2)准教授 3)教授(〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)
Techniques for Visualizing Hydrogen Diffusion in Metals Using Polyaniline; Hiroshi Kakinuma, Saya Ajito, Motomichi Koyama and Eiji Akiyama (Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai)
Keywords: hydrogen visualization, hydrogen diffusion, polyaniline, polycrystalline metals, hydrogen embrittlement, corrosion, hydrogen energy, iron, nickel

2024年4月1日受理[doi:10.2320/materia.63.381]

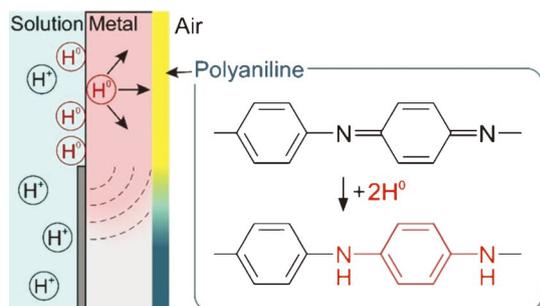


図1 ポリアニリンによる水素可視化の原理⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

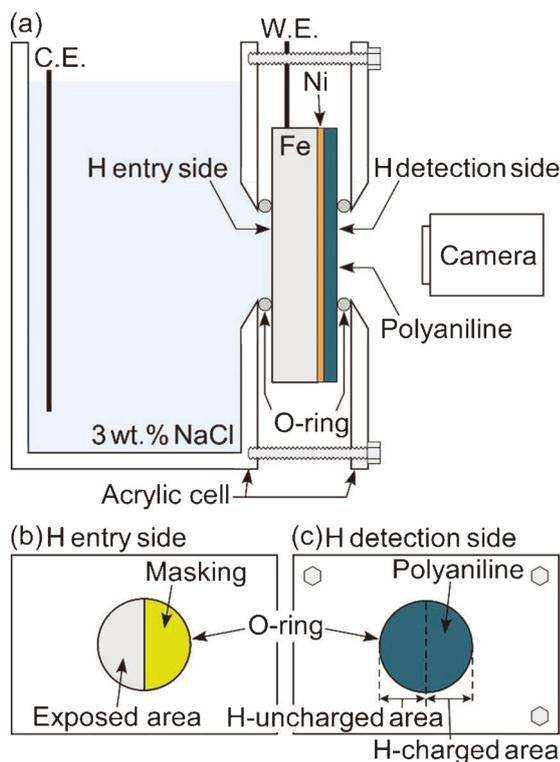


図2 (a)水素可視化試験に使用した電気化学セルと(b)水素侵入側と(c)水素検出側の模式図⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

ポリアニリンは可視光域の色調を変化させるため、色調分布をデジタルカメラ等で撮影することで、金属中の水素分布を容易に解析できる。

上述の水素可視化原理を利用して、Fe板中を拡散する水素の可視化が行われている。図2(a)は、Fe板中を拡散する水素を可視化するための電気化学セルである。焼鈍したFe板(99.5%、厚さ:2mm)を過塩素酸と酢酸の混合溶液中で電解研磨し、水素の拡散を阻害する加工変質層を除去する。試料の片面にはNiの電気めっきを施し、数百ナノメートルのNi層を成膜する。このNi層はポリアニリンの水素化反応を促進する触媒として機能する。さらに、0.5M硫酸-0.5Mアニリン水溶液中で定電位アノード分極を行うことで、Ni層上に厚さ約300nmのポリアニリンを成膜できる。水素可視化試験中は、Fe表面が露出している試料面のみを3

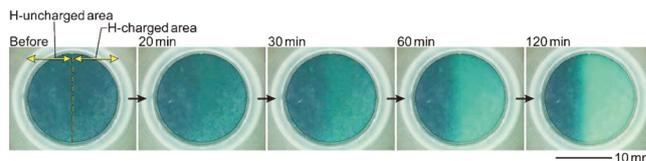


図3 水素チャージ前と水素チャージ中のポリアニリン⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

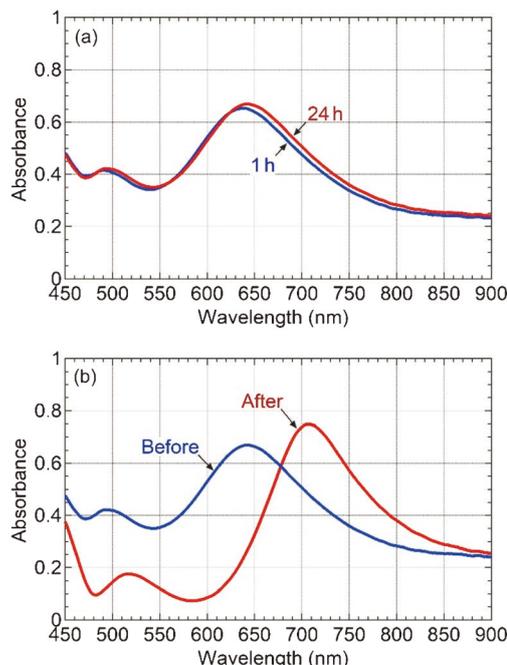


図4 (a)大気中で23時間放置前後と(b)3時間水素チャージ後のポリアニリンの吸収スペクトル⁽¹⁷⁾。(オンラインカラー)

mass% NaCl水溶液に浸漬し、陰極チャージ法によりFe板に水素を導入する。本稿では、水素をチャージするために水溶液に浸漬した試料面を水素侵入側、ポリアニリンが成膜された試料面を水素検出側と呼称する。水素侵入側(図2(b))では試料の右半分を樹脂で被覆し、Oリングの内側の左半分のみ水素をチャージするため、水素検出側(図2(c))の右半分は水素が透過する領域(水素透過域)に相当する。

図3に、水素チャージ前と水素チャージ中のポリアニリンを示す。黄色の点線より左側が非水素透過域、右半分が水素透過域に相当する。水素チャージ開始から20分経過すると、水素透過域のポリアニリンの色調がわずかに明るくなっている。その後、時間の経過とともに水素透過域の色調は変化し続けているが、非水素透過域の色調はほとんど変化していない。これらの結果は、Fe板中を拡散した水素と反応したポリアニリンの色調が変化し、Fe板中の水素の透過量が可視化されたことを示している。

図4は、紫外可視分光光度計を用いて測定したポリアニリンの紫外可視光吸収スペクトルを示している。試料を紫外可視分光光度計に設置する必要があるため、ポリアニリンの重合から紫外可視光吸収スペクトルの測定までは約1時間

要する。重合してから1時間経過後と大気中で水素チャージをせずに23時間放置したポリアニリンの吸収スペクトルを比較すると(図4(a)), ほとんど変化していないことが分かる。これは、大気中で可視光を照射してもポリアニリンの光学特性はほとんど変化しないことを示している。図4(b)は、水素チャージ前後のポリアニリンの吸収スペクトルを示している。水素チャージ前のポリアニリンの吸収スペクトルのピーク波長は約640 nmであり、エメラルジン塩基型のポリアニリンの紫外可視光吸収スペクトルとおおむね一致している⁽²³⁾⁽²⁴⁾。水素チャージを3時間実施すると450 nmから650 nmの波長領域の吸収率が減少し、ピーク波長は710 nmに遷移している。エメラルジン塩基型のポリアニリンが水溶液中で還元されると約630 nmの波長領域の吸収率が減少し、ピーク波長は630–660 nmから780–860 nmに遷移する⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾。従って、Fe板を透過した水素原子によりエメラルジン塩基型のポリアニリンのキノイド構造が還元されてベンゼノイド構造となることで、ポリアニリンの光学特性が変化すると考察される。また、水素ガス雰囲気中ではポリアニリンの吸収スペクトルはほとんど変化しないため⁽¹⁷⁾、図3で示されたポリアニリンの色調変化は水素ガスとの反応ではなく、Fe板を透過した原子状水素との反応に起因すると考えられている。

(2) 画像処理によるポリアニリンの色調変化の定量的解析

金属中の水素は濃度勾配を主要な駆動力として拡散するため、Fe板へ侵入した水素は試料の厚さ方向だけでなく水平方向にも拡散すると考えられる。水素の水平方向への拡散挙動は、ポリアニリンの色調変化を定量化することで詳細に解析できる。図5の挿入画像中の線ABにおける各画素のR(red), G(green), B(blue)値を抽出し、式(1)を用いて対象物の明るさを定量化するために用いられる輝度 Y ⁽²⁷⁾を算出する。

$$Y = 0.229R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

さらに輝度 Y の差分 ΔY を算出する。

$$\Delta Y = Y_t - Y_0 \quad (2)$$

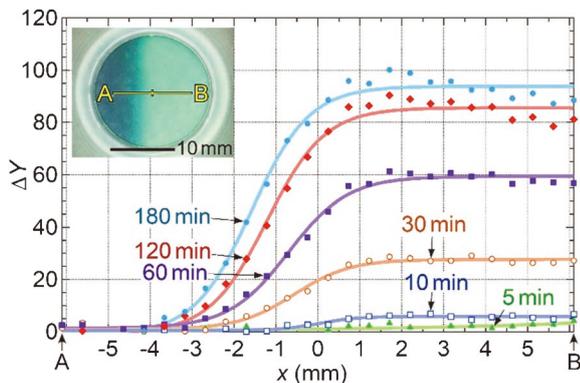


図5 挿入画像中の線ABにおける ΔY のラインプロファイル⁽¹⁷⁾。

但し、 ΔY は時刻 t における値 Y_t と水素チャージ前の初期値 Y_0 との差分である。図5に、挿入画像に示した黄色の線ABにおける ΔY のラインプロファイルを示す。線ABの中心($x=0$)は、非水素透過域と水素透過域の境界に対応している。水素透過域($x=0$ から点Bまでの範囲)では、 ΔY は時間の経過とともに増加している。また、5分経過時では非水素透過域における ΔY は変化していないが、30分経過すると $x=0$ から $x=-3$ の領域で ΔY が上昇している。非水素透過域における ΔY の上昇は水素透過域に近いほど大きく、これはFe板中の水素透過域の水素が非水素透過域へと拡散したことを示している。このように、ポリアニリンとNi層から構成されるハイドロジェノクロミックセンサーは、金属中の水素の透過量の二次元分布を高感度で可視化できる。ポリアニリンは水素原子と反応して可視光域の色調を変化させるため、汎用的なデジタルカメラを用いて撮影可能であり、さらに画像処理を施すことで水素分布を詳細に解析できる。

3. 腐食に伴い金属中に侵入した水素の解析

(1) 水溶液中のFe板の腐食に伴う水素侵入挙動の可視化

金属材料が腐食すると、材料に水素が侵入することがある。腐食に伴い材料に侵入する水素の総量は微量だが、水素侵入は局所的に生じるため、材料中の水素濃度が局所的に上昇して水素脆化が生じる場合がある。従って、腐食環境における水素侵入機構の解明は重要な研究対象となっている。Devanathan型セルを用いた水素透過電流測定試験は、腐食反応に伴う水素侵入をリアルタイムで計測できる数少ない手法の一つである⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。しかし、電極面内の水素の流束の平均値を計測しているため、侵入した水素の分布を解析できず、腐食環境における水素侵入経路の特定は難しい。一方で、ポリアニリンとNi層から構成されるハイドロジェノクロミックセンサーは、腐食に伴い材料中に侵入した微量水素の二次元分布を可視化できる⁽¹⁹⁾。図6の上段の白い四角の領域はFeが露出した10 mm四方の電極面であり、3 mass%のNaCl水溶液に浸漬されている。下段は水素検出側のポリアニリンの外観写真である。試験開始から2時間で腐食の進行に伴うさびが発生しているが、水素検出側では8時間経過後に色調変化が生じている。時間の経過とともにポリアニリンの色調変化は明瞭になっており、腐食の進行に伴

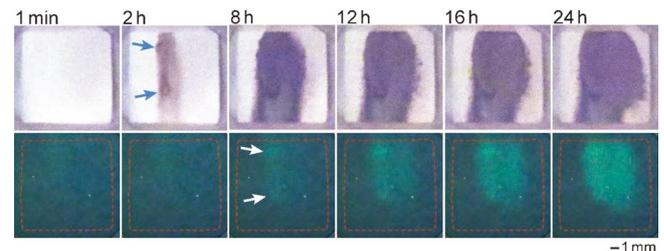


図6 水素可視化試験中の3 mass% NaCl水溶液に浸漬したFe板(上段)とFe板の反対側に成膜されたポリアニリン(下段)⁽¹⁹⁾。

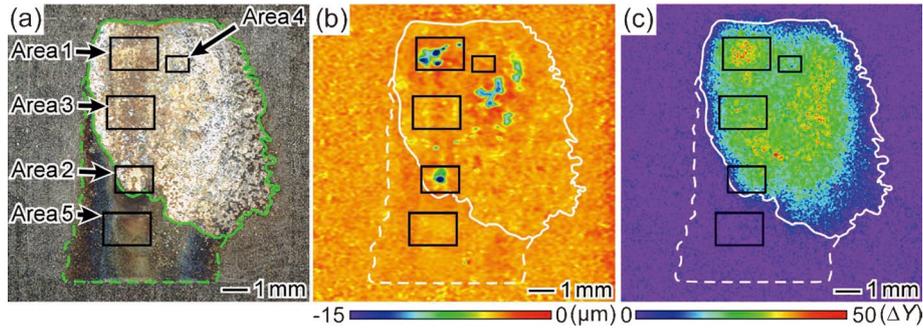


図7 図6の水素可視化試験後のFe板の(a)外観写真と(b)表面粗さ測定結果. (c)図6の24時間経過後のポリアニリンの ΔY の等高線図⁽¹⁹⁾.

い水素が継続的に侵入していることが示されている。24時間経過後の水素侵入側と水素検出側の写真を比較すると、さびが堆積した領域はポリアニリンが変色した領域よりも大きいことが分かる。図7(a)と図7(b)は、試験後のFe板の外観写真と表面粗さ測定結果である。緑色の実線で示された領域ではFe板が溶解し、金属光沢がある。さらに、図7(b)から溶解による表面の凹凸が形成されているのが分かる。一方で、緑色の点線で示された領域ではさびが堆積しているが、溶解による表面の凹凸はほとんどない。これは、緑色の点線で示された領域で腐食はほとんど進行せず、緑色の実線で示された領域の腐食に伴い発生したさびが拡散し、緑色の点線で示された領域に堆積したことを示している。図7(c)は、試験開始から24時間経過後のポリアニリンの ΔY の等高線図である。水素侵入はFe板が溶解した領域で進行しており、Fe板が溶解せずさびが堆積した領域では水素が検出されていないことが分かる。これらの結果から、Fe板が溶解した領域でpHと電位が低下し、プロトンの還元が生じることで、水素侵入が促進されると考えられている。

(2) 大気腐食環境における水素侵入挙動の可視化

自動車鋼板や橋梁などに利用される鉄鋼材料は、塩化物イオンを含む大気腐食環境に曝されることが多い。鉄鋼材料表面に塩化物イオンを含有する液滴が形成されると、液滴下で腐食が進行する。液滴の液性は水分の蒸発によって変化するため、金属表面の電気化学反応も時々刻々と変化する。従って、液滴下では水素侵入挙動も液性や材料の表面状態の変化に伴って複雑に変化すると考えられている^{(30)–(32)}。ポリアニリンとNi層から構成される hidroジェノクロミックセンサーをFe板の片面に作製し、Fe板の反対側にNaCl水溶液の液滴を滴下することで、液滴下の腐食に伴う水素侵入挙動をリアルタイムで可視化できる^{(18) (22)}。図8の上段と下段はそれぞれ3 mass%のNaCl水溶液を滴下したFe板とFe板の反対側に成膜された hidroジェノクロミックセンサーである。水素検出側に描かれている白い点線は、Fe板の反対側に滴下された液滴の位置を示している。液滴を滴下してから60分経過すると腐食が発生し、さびが生成しているが、ポリアニリンの色調は変化していない。時間の経過とと

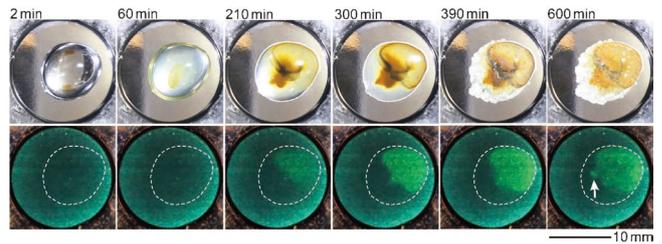


図8 水素可視化試験中の3 mass% NaCl水溶液の液滴を滴下したFe板(上段)とFe板の反対側に成膜されたポリアニリン(下段)⁽¹⁸⁾.

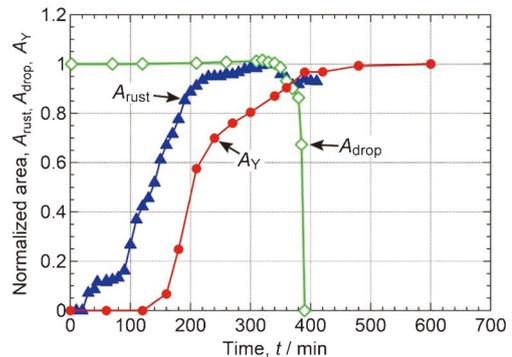


図9 図8の水素可視化試験中のさび発生域(A_{rust})とポリアニリンの色が変化した領域(A_Y)と液滴(A_{drop})の面積の経時変化⁽¹⁸⁾.

もにさびが成長すると、ポリアニリンの色も変化しはじめ、腐食が進行している領域で水素侵入が促進されているのが分かる。また、390分以降は蒸発により液滴が消失し、ポリアニリンの色調変化もほとんど起きていない。しかし、矢印で示した箇所では水素侵入が生じており、液滴が消失後も局所的に水素侵入が生じることが明らかにされている。

図9は、図8の水素可視化試験中のさび発生域(A_{rust})とポリアニリンの色が変化した領域(A_Y)と液滴(A_{drop})の面積の経時変化を示している。液滴を滴下してから30分程度でさびの面積は徐々に増加しはじめ、90分を経過すると急速に増加している。腐食初期過程において水素侵入はほとんど生じず、さび発生域の急激な拡大と共に促進されている。これ

は、腐食の進行に伴い溶解部における pH と電位が徐々に低下し、ある閾値を越えると水素侵入が促進され始めることを示唆している。室温における Fe 中の水素の拡散は非常に速く、試料である Fe 板(99.5%, 厚さ: 0.4 mm)に侵入した水素は 1 分以内にポリアニリンに到達するため、腐食の発生と水素の検出の間に生じたタイムラグは水素の拡散律速によるものではない。液滴が消失するとさびの成長は停止しているが、水素侵入域はわずかに拡大しており、液滴が消失後も水分を含むさび層下では局所的に腐食が進行し、水素侵入が生じることが示されている。

上述のように、ポリアニリンと Ni 層から構成されるハイドロジェノクロミックセンサーは、水溶液に自然浸漬した Fe 板や液滴を滴下した Fe 板へ侵入した微量水素の二次元分布をリアルタイムで可視化できる。また、腐食挙動と水素侵入挙動を同時に観察可能なため、時間と共に動的に変化する腐食反応と水素侵入の関係を詳細に解析できる。

4. 水素拡散挙動の金属組織依存性の解析

(1) 水素ビデオイメージングシステム

金属中の水素の拡散挙動は金属組織に依存することが知られている⁽³³⁾⁻⁽³⁶⁾。特に、粒界や結晶方位は水素の拡散やトラップに寄与すると考えられている。しかし、金属中の水素拡散挙動については未解明な点が多い。例えば、粒界が水素の拡散を阻害するトラップサイトとなるのか、あるいは優先拡散経路となるのかについては多くの議論がある⁽¹⁶⁾⁽³⁷⁾⁻⁽⁴⁰⁾。水素拡散挙動の金属組織依存性を解明するためには、材料中の金属組織の不均一性を網羅できるほど広い視野の水素分布をマイクロメートルスケールの高空間分解能で可視化する必要がある。ポリアニリンは水素と反応すると可視光域の色調が変化するため、光学顕微鏡を用いてポリアニリンの色調分布を観察することで、広い視野の水素分布を高空間分解能で

解析できる。図10は、水素拡散挙動の金属組織依存性を解析するために開発された水素ビデオイメージングシステム(HVIS)の模式図である⁽²⁰⁾。試料の片面を水溶液に浸漬し、陰極チャージを行うことで試料に水素を導入する。試料の反対側にはハイドロジェノクロミックセンサーとしてポリアニリン(図10中の PANI)が成膜されており、試料を透過した水素の流束分布をセンサーの色調分布から解析できる。このとき、倒立型の光学顕微鏡を用いてポリアニリンの色調変化を観察することで、ポリアニリンの色調分布を高空間分解能でリアルタイム解析できる。

(2) 純 Ni 箔の粒界を優先拡散する水素の可視化

上述の水素ビデオイメージングシステムを用いて、多結晶純 Ni 箔中の水素の拡散挙動の解析が行われている⁽²⁰⁾。硫酸酸性アニリン水溶液中で純 Ni 箔を定電圧分極すると、Ni 箔の金属組織に依存しない均一なポリアニリンが成膜される。片面にポリアニリンを成膜した純 Ni 箔と HVIS を用いて、Ni 箔中の水素拡散挙動を可視化した結果を図11に示す。図

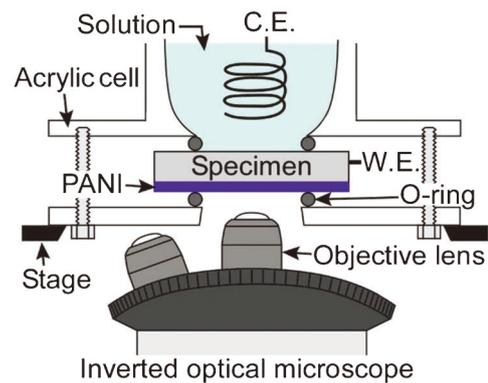


図10 水素ビデオイメージングシステムの模式図⁽²⁰⁾。

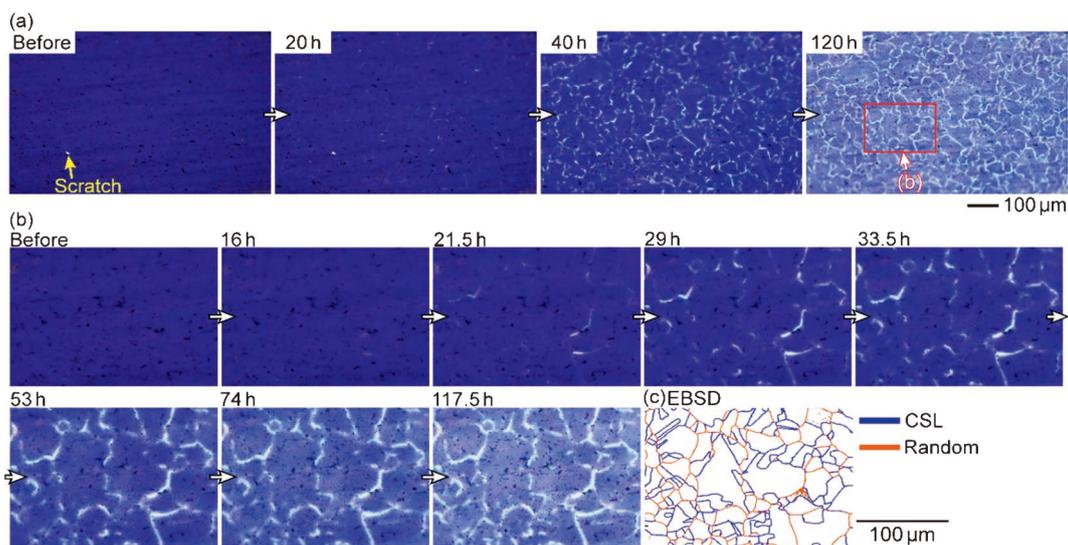


図11 (a)水素チャージ前とチャージ中のポリアニリンの光学顕微鏡写真。(b)(a)の赤い四角で示した領域の拡大図と(c)Ni 箔の粒界マップ⁽²⁰⁾。

11(a)は、水素チャージ前と水素チャージ中のポリアニリンの光学顕微鏡写真である。黄色の矢印で示した白い点は、複数の光学顕微鏡写真の位置を同期させるための目印であり、ポリアニリンの色調変化ではない。水素チャージ前のポリアニリンの色調は均一な紫色だが、20時間水素チャージするとポリアニリンの色調は局所的に白く変色している。これは、Ni 箔中には水素の流束分布が存在することを示している。

図11(a)の赤い四角で示した領域の拡大図を図11(b)に示す。ポリアニリンの色は水素チャージ開始から16時間で局所的に白く変色し、白色化した領域の数も時間の経過とともに増加している。図11(c)は、図11(b)と同じ観察視野のNi 箔の粒界マップである。図11(b)と図11(c)から、Ni 箔の粒界でポリアニリンの色調が変化しており、Ni 箔の粒界における水素の流束は粒内よりも大きいことが分かる。図11(c)において、青と橙の曲線はそれぞれ対応粒界($\Sigma 3$ - $\Sigma 19$)とランダム粒界を示している。白色化した領域とランダム粒界の位置関係が概ね対応しており、Niのランダム粒界が水素の優先拡散経路となることが明らかにされている。

図12(a)および図12(b)は、それぞれポリアニリンの光学顕微鏡写真と図11(c)で示したNi 箔の粒界マップである。図12(a)中のArea 1からArea 4は、それぞれ対応粒界、粒内、ランダム粒界を含む領域と観察視野全体に対応している。Area 1からArea 4における色調の経時変化を定量的に解析するために、各Area内の全ての画素のR, G, B値を抽出し、輝度の差分 ΔY を算出した結果を図12(c)に示す。ランダム粒界を含むArea 3の ΔY は16時間後に急激に増加し始

め、30時間以降は緩やかに増加した。粒内に対応するArea 2と $\Sigma 3$ 粒界を含むArea 1の ΔY の経時変化はほぼ同じであり、18時間経過後にArea 1とArea 2の ΔY は緩やかに増加している。これらの結果は、ランダム粒界の水素の流束は $\Sigma 3$ 粒界よりも大きく、粒内の水素の流束は $\Sigma 3$ 粒界の水素の流束とほぼ同じであることを示している。さらに、Area 4の ΔY はArea 1, Area 2とほぼ同じである。つまり、個々の金属組織における水素の流束を解析するためには、試料表面の水素の流束の平均値ではなく、局所領域の水素の流束を解析する必要があることを示唆している。

金属中には粒界以外にも結晶方位や介在物、転位などの金属組織の不均一性が存在する。従って、水素の流束に及ぼす粒界の影響を明確にするためには、統計的な解析を行う必要がある。ポリアニリンの ΔY は透過水素の積算値の対数に対応するため、 ΔY を解析することで各粒界における水素の流束を比較できる。そこで、各粒界の ΔY の値が60に達した時間を $t_{\Delta Y 60}$ とし、図11(b)の観察視野における長さ $10 \mu\text{m}$ 以上の粒界の $t_{\Delta Y 60}$ を図13に示す。最短の $t_{\Delta Y 60}$ を示しているのは、結晶方位差が $30^\circ \leq \theta < 40^\circ$ の粒界であり、これらの粒界において水素の流束が最大となることを示している。小角粒界($10^\circ \leq \theta < 15^\circ$)はランダム粒界の中で最も水素の流束が小さいが、 $\Sigma 3$ 粒界の水素の流束より大きい。よって、ランダム粒界の水素の流束は $\Sigma 3$ 粒界より大きいことが分かる。また、粒内の $t_{\Delta Y 60}$ は約90時間であるため、小角粒界($10^\circ \leq \theta < 15^\circ$)の水素の流束は粒内よりも大きいと考察される。以上の結果から、特定の対応粒界における対応格子点の密度(Σ 値)と結晶方位差(θ)が、粒界における水素の流束を支配する重要な因子であることが分かる。Zhouらは、第一原理計算と動的モンテカルロ法により、純Niの粒界が水素原子の優先拡散経路になることを報告している⁽³⁷⁾。さらに、Frank-Bilbyモデルに基づいてNiの粒界の水素拡散係数を計算し、水素拡散係数が結晶方位差に依存することを示唆している。Frank-Bilbyモデルによれば、粒界の固有欠陥密度(intrinsic net defect density)は $\theta < 36.87^\circ$ の範囲では θ の増加とともに単調増加し、 $36.87^\circ < \theta < 90^\circ$ の範囲では単調減少する⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。この傾向は、 $30^\circ \leq \theta < 40^\circ$ の範囲で最大となる

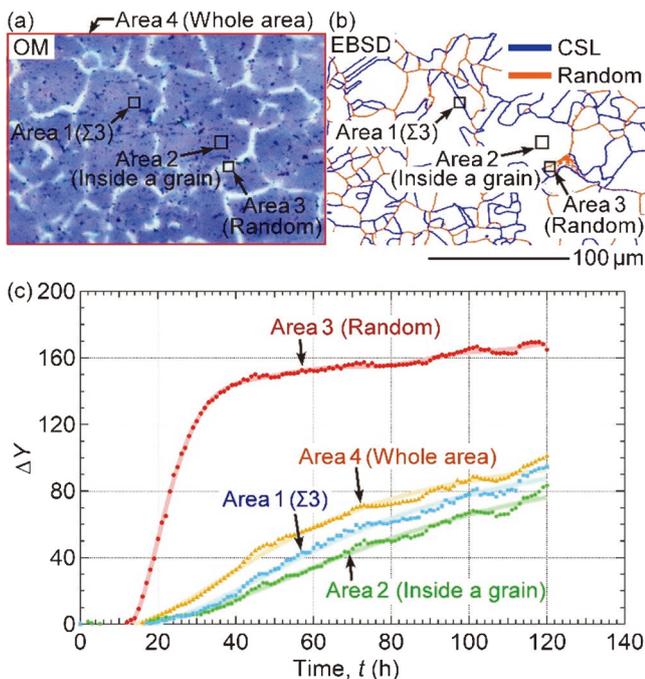


図12 (a)図11(a)に示したポリアニリンの光学顕微鏡写真、(b) (a)と同じ視野のNiの対応粒界とランダム粒界。(c) (a)の四角で示したArea 1からArea 4における ΔY の平均値の経時変化⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

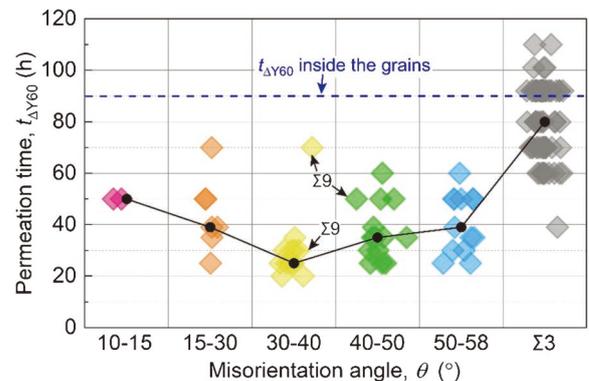


図13 図12(a)の観察視野内の長さ $10 \mu\text{m}$ 以上の粒界の水素透過時間の結晶方位差依存性⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

水素の流束の結晶方位差依存性とよく一致する。したがって、Ni 箔の粒界における水素の流束は、粒界の幾何学的構造によって変化すると考えられている。

(3) スーパー二相ステンレス鋼中の水素拡散挙動

スーパー二相ステンレス鋼はフェライト相とオーステナイト相から構成され、優れた強度と耐食性を有するため過酷な腐食環境で使用されることがある⁽⁴³⁾。しかし、スーパー二相ステンレス鋼に水素が侵入すると水素脆化が生じる場合がある⁽⁹⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾。そのため、HVIS を用いてスーパー二相ステンレス鋼中の水素拡散挙動の金属組織依存性の解析が行われている⁽²¹⁾。図14(a)–(h)は、スーパー二相ステンレス鋼表面のNi 層の上に成膜したポリアニリンの光学顕微鏡写真である。試料の反対側から陰極チャージにより水素を導入することで、スーパー二相ステンレス鋼を透過した水素の流束分布を可視化している。時間の経過とともにポリアニリンの色調は局所的に変化しており、120時間経過後には観察視野の全体で輝度が上昇している。図14(i)は、光学顕微鏡写真と同じ観察視野のスーパー二相ステンレス鋼の各相の分布を示している。図14(d)と図14(i)を比較すると、フェライト相中の水素の流束はオーステナイト相中よりも大きいことが分かる。水素拡散係数は面心立方格子中よりも体心立方格子中で大きくなる傾向があり⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾、スーパー二相ステンレス鋼中においても各相の水素の流束の違いは結晶構造に起因していると考えられている。

水素の拡散挙動をより詳細に解析するために、図14の光学顕微鏡写真の一部の領域を拡大した写真を図15に示す。黄色の点線はフェライト相とオーステナイト相の境界(相界面)を示しており、写真の中央部はオーステナイト相に対応している。試験開始から30時間経過後は、フェライト相からの

み水素が透過しているが、時間の経過とともにオーステナイト相からも水素が検出されている。図16は、図15中に示されている線 AB 上の ΔY のラインプロファイルである。試験開始から26時間まではフェライト相からのみ水素が検出されているが、30時間経過すると相界面近傍のオーステナイト相からも水素が検出されている。さらに、フェライト相における水素の流束は相界面に近づくにつれて小さくなっていることから、フェライト相からオーステナイト相へ水素が拡散すると考えられている。これらの結果は、スーパー二相ステンレス鋼中の水素流束には相依存性があり、優先拡散経路であるフェライト相中の水素がオーステナイト相へ拡散することで、水素のマイクロ分布が生じることを示している。また、オーステナイト相中の水素はほとんどがフェライト相から拡散した水素であるため、オーステナイト相中の水素の分布は相界面からの距離に依存する。図17は、試験開始から

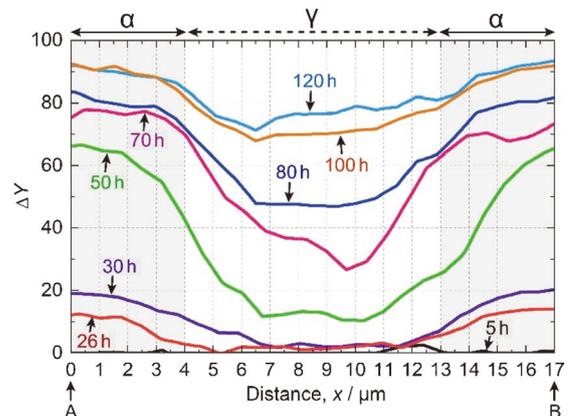


図16 図15中の線 AB における ΔY のラインプロファイル⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

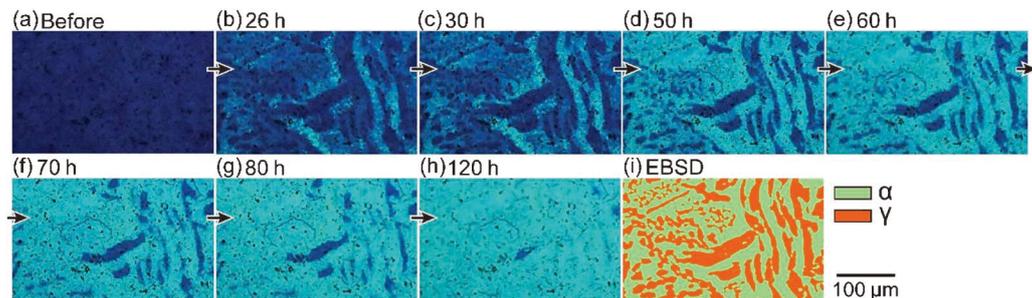


図14 (a) 水素チャージ前と (b)–(h) 水素チャージ中のポリアニリンの光学顕微鏡写真と (i) スーパー二相ステンレス鋼の相マップ⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

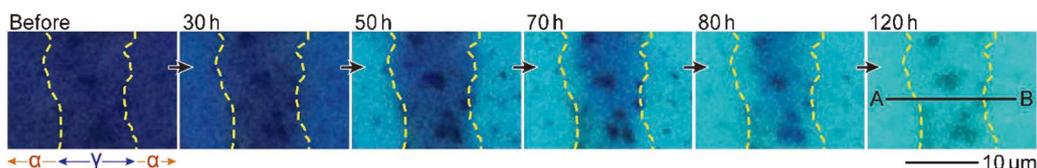


図15 図14で示した光学顕微鏡写真の拡大図⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

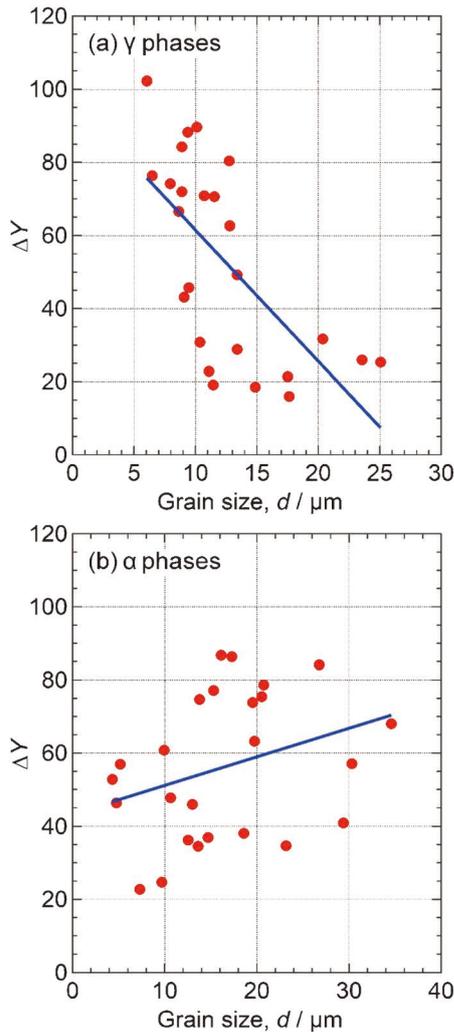


図17 (a)80時間水素チャージ後のオーステナイト相の ΔY と(b)30時間水素チャージ後のフェライト相の ΔY と各相の粒径の関係⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

80時間経過後の、オーステナイト相とフェライト相の中心における ΔY と相界面からの距離の関係を示している。オーステナイト相が小さいほど、オーステナイト相の中心部と相界面の距離が近くなるため、水素の流束は大きくなる。対照的に、フェライト相の場合は、相が大きく相界面から遠くなるほど水素の流束が大きくなることが明らかにされている。

従来技術では実用合金中の水素拡散挙動の金属組織依存性を詳細に解析することは困難であったが、HVISの開発により高空間分解能かつ高時間分解能で水素の拡散を観察可能となった。HVISの時間分解能は観察視野の大きさに依存しないため、サブミリメートルスケールの観察視野でも動画として撮影できる。図18は、サブミリメートルスケールの水素分布を解析可能な従来の水素検出技術とHVISの時間分解能と空間分解能を比較した図である。HVISは、従来の水素可視化技術にとってトレードオフの関係にあった高空間分解能と高時間分解能を同時に実現している。

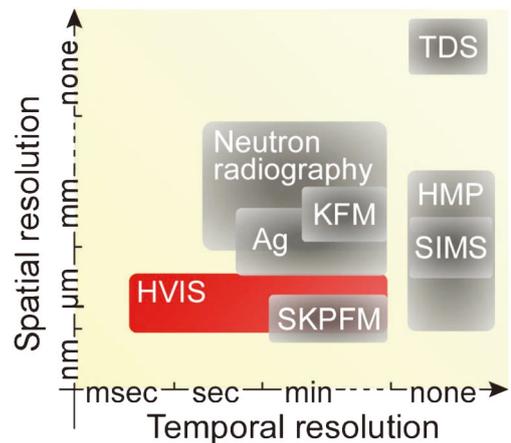


図18 サブミリメートル以上の観察視野の水素可視化に使用される従来手法とHVISの空間分解能と時間分解能⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

5. おわりに

金属材料への水素侵入や材料中の水素拡散挙動は、水素脆化機構の解明や水素侵入防止技術の開発において重要な情報である。本稿では、新しく開発されたポリアニリンを用いた金属中の水素拡散挙動の可視化技術とその応用例について概観した。これまで、材料への水素侵入経路は実験的に解明することが難しく、水素侵入機構も十分に理解されていなかった。ハイドロジェノクロミックセンサーにより腐食現象と水素侵入挙動の同時観察が可能となり、水素侵入において重要な環境因子や材料因子を解析できるようになった。実用環境における水素侵入機構を解明することで、インヒビターの添加や表面処理など、腐食科学的アプローチで効率的に水素侵入を抑制する技術の開発も可能となる。また、金属材料中の水素拡散挙動の金属組織依存性は長年に渡り議論されてきたにも拘らず、依然として不明瞭な点が多い。本稿で紹介したように、HVISは広い視野の水素拡散挙動を高空間分解能かつ高時間分解能で可視化するため、水素拡散に及ぼす材料因子の影響を網羅的に解析できる。これまで計算科学による研究が主流となっていた、粒界における水素の拡散挙動についても実験的な検証が可能となり、水素拡散に及ぼす粒界偏析元素の影響などを考慮した実用的な水素拡散現象のメカニズム解明に期待がかかる。将来的には、水素拡散と個々の金属組織の関係を明らかにし、優れた耐水素脆性を有する合金設計指針の確立に貢献することが期待される。

文 献

- (1) J. Ovejero-García: J. Mater. Sci., **20** (1985), 2623-2629.
- (2) K. Ichitani, S. Kuramoto and M. Kanno: Corros. Sci., **45** (2003), 1227-1241.
- (3) K. Ichitani and M. Kanno: Sci. Technol. Adv. Mater., **4**(2003), 545-551.
- (4) Z. Tarzimgohadam, M. Rohwerder, S. V. Merzlikin, A. Bashir,

L. Yedra, S. Eswara, D. Ponge and D. Raabe: *Acta Mater.*, **109** (2016), 69–81.

(5) M. Koyama, M. Rohwerder, C. C. Tasan, A. Bashir, E. Akiyama, K. Takai, D. Raabe and K. Tsuzaki: *Mater. Sci. Technol.*, **33** (2017), 1481–1496.

(6) K. Takai, Y. Chiba, K. Noguchi and A. Nozue: *Metall. Mater. Trans. A*, **33** (2002), 2659–2665.

(7) E. Akiyama and S. Matsuoka: *Mater. Trans.*, **56** (2015), 793–797.

(8) T. Nagashima, M. Koyama, A. Bashir, M. Rohwerder, C. C. Tasan, E. Akiyama, D. Raabe and K. Tsuzaki: *Mater. Corros.*, **68** (2017), 306–310.

(9) C. Örmek, P. Reccagni, U. Kivisäkk, E. Bettini, D. L. Engelberg and J. Pan: *Int. J. Hydrog. Energy*, **43** (2018), 12543–12555.

(10) M. Koyama, A. Bashir, M. Rohwerder, S. V. Merzlikin, E. Akiyama, K. Tsuzaki and D. Raabe: *J. Electrochem. Soc.*, **162** (2015), C638–C647.

(11) S. Evers, C. Senöz and M. Rohwerder: *Electrochim. Acta*, **110** (2013), 534–538.

(12) H. Katayama, T. Katsumura, T. Akashi and Y. Tsutsumi: *ISIJ Int.*, **61** (2021), 1215–1221.

(13) A. Nazarov, F. Vucko and D. Thierry: *Electrochim. Acta*, **216** (2016), 130–139.

(14) R. F. Schaller and J. R. Scully: *Electrochem. Commun.*, **63** (2016), 5–9.

(15) R. F. Schaller and J. R. Scully: *Electrochem. Commun.*, **40** (2014), 42–44.

(16) Z. Ma, X. Xiong and Y. Su: *Mater. Lett.*, **303** (2021), 130528.

(17) H. Kakinuma, S. Ajito, T. Hojo, M. Koyama and E. Akiyama: *Adv. Mater. Interf.*, **9** (2022), 2101984.

(18) H. Kakinuma, S. Ajito, T. Hojo, M. Koyama, S. Hiromoto and E. Akiyama: *Int. J. Hydrog. Energy*, **47** (2022), 38468–38476.

(19) H. Kakinuma, S. Ajito, T. Hojo, M. Koyama, S. Hiromoto and E. Akiyama: *Corros. Sci.*, **206** (2022), 110534.

(20) H. Kakinuma, S. Ajito, T. Hojo, M. Koyama and E. Akiyama: *Acta Mater.*, **263** (2024), 119536.

(21) H. Kakinuma, S. Ajito, M. Koyama and E. Akiyama: *Int. J. Hydrog. Energy*, **59** (2024), 866–873.

(22) H. Kakinuma, S. Hiromoto, T. Hojo, S. Ajito, M. Koyama and E. Akiyama: *Corros. Sci.*, **232** (2024), 112043.

(23) W. S. Huang and A. G. MacDiarmid: *Polymer*, **34** (1993), 1833–1845.

(24) J. A. Osaheni, S. A. Jenekhe, H. Vanherzeele, J. S. Meth, Y. Sun and A. G. MacDiarmid: *J. Phys. Chem.*, **96** (1992), 2830–2836.

(25) G. E. Asturias and A. G. MacDiarmid: *Synth. Met.*, **29** (1989), 157–162.

(26) A. Ray, G. E. Asturias, D. L. Kershner, A. F. Richter, A. G. MacDiarmid and A. J. Epstein: *Synth. Met.*, **29** (1989), 141–150.

(27) H.-C. Lee: *Color Imaging Science*, Cambridge University Press, Cambridge, (2005).

(28) T. Omura, T. Kudo and S. Fujimoto: *Mater. Trans.*, **47** (2006), 2956–2962.

(29) M. Kawamori and F. Yuse: *Corros. Sci.*, **219** (2023), 111212.

(30) S. Ajito, E. Tada, A. Ooi and A. Nishikata: *ISIJ Int.*, **59** (2019), 1659–1666.

(31) S. Ajito, E. Tada, A. Ooi and A. Nishikata: *J. Electrochem. Soc.*, **166** (2019), C243–C249.

(32) T. Tsuru, Y. Huang, M. R. Ali and A. Nishikata: *Corros. Sci.*, **47** (2005), 2431–2440.

(33) C. Hempel, M. Mandel, C. Schröder, C. Quitzke, C. Schimpf, M. Wendler, O. Volkova and L. Krüger: *Int. J. Hydrog. Energy*, **48** (2023), 4906–4920.

(34) A. J. Haq, K. Muzaka, D. P. Dunne, A. Calka and E. V. Perelo-

ma: *Int. J. Hydrog. Energy*, **38** (2013), 2544–2556.

(35) T. Das, R. Chakrabarty, J. Song and S. Yue: *Int. J. Hydrog. Energy*, **47** (2022), 1343–1357.

(36) H. Iwaoka, M. Arita and Z. Horita: *Acta Mater.*, **107** (2016), 168–177.

(37) X. Zhou, N. Mousseau and J. Song: *Phys. Rev. Lett.*, **122** (2019), 215501.

(38) T. Tsuru and R. M. Latanision: *Scr. Metall.*, **16** (1982), 575–578.

(39) A. Oudriss, J. Creus, J. Bouhattate, E. Conforto, C. Berziou, C. Savall and X. Feaugas: *Acta Mater.*, **60** (2012), 6814–6828.

(40) A. M. Brass and A. Chanfreau: *Acta Mater.*, **44** (1996), 3823–3831.

(41) R. Dingreville and S. Berbenni: *Acta Mater.*, **104** (2016), 237–249.

(42) P. R. M. Van Beers, V. G. Kouznetsova, M. G. D. Geers, M. A. Tschopp and D. L. McDowell: *Acta Mater.*, **82** (2015), 513–529.

(43) S. Amatsuka, M. Nishimoto, I. Muto, M. Kawamori, Y. Takara and Y. Sugawara: *npj Mater. Degrad.*, **7**, 15 (2023), 1–10.

(44) X. Z. Liang, G.-H. Zhao, M. F. Dodge, T. L. Lee, H. B. Dong and P. E. J. Rivera-Díaz-del-Castillo: *Materialia*, **9** (2020), 100524.

(45) A. Świerczyńska, D. Fydrych, M. Landowski, G. Rogalski and J. Labanowski: *Constr. Build. Mater.*, **238** (2020), 117697.

(46) K. Hirata, S. Iikubo, M. Koyama, K. Tsuzaki and H. Ohtani: *Metall. Mater. Trans. A*, **49** (2018), 5015–5022.

(47) Y. He, Y. Li, C. Chen and H. Yu: *Int. J. Hydrog. Energy*, **42** (2017), 27438–27445.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

柿沼 洋

2021年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了
 2021年4月–2023年3月 東北大学金属材料研究所博士研究員
 2023年4月–現職(東北大学金属材料研究所助教)
 専門分野：腐食防食，電気化学，水素脆化
 ◎金属材料の腐食現象の解析，防食技術の開発や金属中の水素可視化技術の開発に従事。マイクロ電気化学計測やハイドロジェノクロミックセンサーを用いた電気化学現象の解析を中心に活動。
 E-mail: hiroshi.kakinuma.a1@tohoku.ac.jp

味戸沙耶

2019年3月 東京工業大学物質理工学院博士課程修了
 2019年4月–2021年1月 東北大学金属材料研究所博士研究員
 2021年2月–現職(東北大学金属材料研究所・助教)
 専門分野：腐食防食，電気化学，水素脆化

小山元道

2012年3月 筑波大学大学院数理物質科学研究科博士課程修了
 2013年12月–2019年3月 九州大学大学院工学研究院 助教
 2019年3月–現職(東北大学金属材料研究所・准教授)
 専門分野：材料強度学

秋山英二

1991年3月 東北大学大学院理学研究科修士課程修了
 2001年4月–2016年3月 物質・材料研究機構
 2016年4月–現職(東北大学金属材料研究所・教授)
 専門分野：腐食科学，水素脆化

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



柿沼 洋

味戸沙耶

小山元道

秋山英二

材料系教育のための教材研究の現状と展望

北村 一 浩*

1. はじめに

筆者は教育大学で、中学校技術・家庭(技術分野)の教員を養成する講座の教員をしており、主に機械分野および金属加工分野の講義や実習を担当しているが、講義や実習を通じて、材料に関する知識が不足していることを痛感する場面が増えている。理系の裾野を広げるためには、すべての生徒に材料の基本的な知識を身につけさせる必要があると筆者は考えている。

平成26年度(2014)から高等学校・理科の教育課程が改訂され、基礎的な科学的素養を幅広く養う科目は、これまでは2科目履修であったが、平成26年度からの課程では、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」が新設され、これらのうち3科目が選択必修科目となった。これらの科目の中で、全ての生徒に履修させる科目として、基礎を付した科目のうち3科目(例 物理基礎、化学基礎、地学基礎)または、「科学と人間生活」を含む2科目(例 科学と人間生活、生物基礎)を選択している生徒が多いことが、教科書需要冊数から明らかになっている。また、現行課程の履修状況は、平成27年度(2015)公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査(普通科等の結果)より、以下のことが明らかになった。

物理分野では、「物理Ⅰ」の履修率が平成14年度(2002)では29.2%であったが、平成27年度には「物理基礎」の履修率が65.6%と大幅に増加した。化学分野でも、「化学Ⅰ」の履修率が平成14年度では69.8%であったが、平成27年度には「化学基礎」の履修率が93.4%と大幅に増加した。生物分野でも、「生物Ⅰ」の履修率が平成14年度では63.8%であったが、平成27年度には「生物基礎」の履修率が94.3%と大幅に増加した。地学分野でも、「地学Ⅰ」の履修率が平成14年度では9.2%であったが、平成27年度には「地学基礎」の履修率が34.6%と大幅に増加した。特に、高等学校の「化学基礎」

の履修率が、93.4%となっていることは、文系・理系問わず生徒が、材料関係のある程度踏み込んだ内容を学習していることを表している。また、高等学校において、課題学習をおこなう「理科課題研究」(選択科目)、日常生活や社会との関連を重視した「科学と人間生活」(選択必修科目)が新設されており、高等学校段階での材料教育の基礎が、ますます強化される方向に進んでいることは、喜ばしいことである。

本稿ではまず、初等・中等段階で行われている材料教育に関連する各科目の、学習指導要領における目標と材料分野の実践例を紹介する。

2. それぞれの校種での学習指導要領における目標と材料分野の実践例

材料に関する学習内容は、初等教育では、小学校の生活科、理科、総合的な学習の時間、中等教育では、中学校の理科、技術・家庭(技術分野)、総合的な学習の時間、高等学校の理科(科学と人間生活、化学基礎、化学)、総合的な学習の時間、課題研究(家庭・農業・工業・商業・水産の各科目)などで行われている。それぞれの校種での学習指導要領における目標と内容、教材研究の例を以下に示す。

(1) 小学校・生活科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、小学校・生活科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・生活科の目標⁽¹⁾

小学校学習指導要領(平成29年(2017)告示)解説 生活科編によると、小学校・生活科の目標は、「具体的な活動や体験を通して、身近な生活に関わる見方・考え方を生かし、自立し生活を豊かにしていくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す」、「(1)活動や体験の過程において、自分自身、身近な人々、社会および自然の特徴やよさ、それらの

* 愛知教育大学 教育学部；教授(〒448-8542 刈谷市井ヶ谷町広沢1)

Current Status and Prospects of Research on Teaching Materials for Materials Education; Kazuhiro Kitamura>(*Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: materials education, teaching materials, elementary and secondary education, technology education, 3D crystal model, shape memory alloy

2024年2月14日受理[doi:10.2320/materia.63.390]

関わり等に気付くとともに、生活上必要な習慣や技能を身に付けるようにする」, 「(2)身近な人々, 社会および自然を自分との関わりで捉え, 自分自身や自分の生活について考え, 表現することができるようにする」, 「(3)身近な人々, 社会および自然に自ら働きかけ, 意欲や自信をもって学んだり生活を豊かにしたりしようとする態度を養う。」である。

(b) 小学校・生活科の材料分野の実践例⁽²⁾

小2生活科, 単元「うごく うごく わたしの おもちゃ」は, 児童が動くおもちゃを, 友達と協力しながら, 児童自身で作り上げる実践である。この単元では, 例えば, 牛乳パック, 紙コップ, 段ボール, イチゴパックなどを工夫しておもちゃを作る。遊びの例には, 紙皿フライング, 輪ゴム飛ばし, ストロー飛行機, 牛乳パックの車などがある。ことごと車(ノタノタ人形)の例を次に示す。

ことごと車(ノタノタ人形)は, 本体がユーモラスな動きをするおもちゃである。このおもちゃは, ねじれたゴムが元に戻る力で粘土などの玉が回転することによって, 本体が引きずられるように動き, 使用する素材によって動きが変わる。本体に, プリンカップ, 牛乳パック, 紙コップ, 段ボール, イチゴパックなどの材料が使われる。この実践例で, 児童は材料について学ぶ。

(2) 小学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 小学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・理科の目標⁽³⁾

小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編によると, 小学校・理科の目標は以下になる。身近な自然の事物・現象の中には, 時間, 空間の尺度の小さい範囲内で直接実験を行うことにより, 対象の特徴や変化に伴う現象や働きを, 何度も人為的に再現させて調べることができやすいという特性をもっているものがある。児童は, このような特性をもった対象に主体的, 計画的に操作や制御を通して働きかけ, 追究することにより, 対象の性質や働き, 規則性などについての考えを構築することができる。主にこのような対象の特性や児童の構築する考えなどに対応した学習の内容区分が「A物質・エネルギー」である。「A物質・エネルギー」の指導に当たっては, 実験の結果から得られた性質や働き, 規則性などを活用したものづくりを充実させるとともに, 「エネルギー」, 「粒子」といった科学の基本的な概念等を柱として, 内容の系統性が図られていることに留意する必要がある。「粒子」といった科学の基本的な概念等は, 更に「粒子の存在」, 「粒子の結合」, 「粒子の保存性」, 「粒子のもつエネルギー」に分けて考えられる。

(b) 小学校・理科の材料分野の実践例⁽⁴⁾

小学校・理科の材料分野の実践例である, 小学校第4学年「温度変化に伴う固体の体積変化を学ぶ発展学習の開発」について示す。

小学校第4学年「金属の温度と体積変化」では, 金属球

を加熱し体積膨張を確認する教材が使われ, この教材により, 児童は加熱した時の体積変化は概ね理解できるが, 冷却時の体積変化が観察できる教具がない。そのため, 金属は冷却しても元に戻っただけで, それ以上冷やしても収縮しない」という誤概念が生じやすい。本実践では, プラスチック板に金属板を貼り付けた「プラメタル」を作製し, 恒温槽中で温度を0°Cから45°Cまで変えながら「プラメタル」の曲がり具合を, レーザ光を使って測定する実験が行われた。この実験により, 児童は金属やプラスチックの膨張・収縮について正しく理解することができた。

(3) 小学校・総合的な時間における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 小学校・総合的な時間における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・総合的な時間の目標⁽⁵⁾

小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 総合的な時間編より, 総合的な学習の時間のねらいや育成を目指す資質・能力を明確にし, その特質と目指すところが何かを端的に示したものが, 以下の総合的な学習の時間の目標である。第1目標, 探究的な見方・考え方を働かせ, 横断的・総合的な学習を行うことを通して, よりよく課題を解決し, 自己の生き方を考えていくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)探究的な学習の過程において, 課題の解決に必要な知識および技能を身に付け, 課題に関わる概念を形成し, 探究的な学習のよさを理解するようにする。(2)実社会や実生活の中から問いを見だし, 自分で課題を立て, 情報を集め, 整理・分析して, まとめ・表現することができるようにする。(3)探究的な学習に主体的・協働的に取り組むとともに, 互いのよさを生かしながら, 積極的に社会に参画しようとする態度を養う。と示されている。

(b) 小学校・総合的な時間の材料分野の実践例⁽⁶⁾

総合的な時間の材料分野に関する実践例を以下に示す。この実践は, 「地元の三川鉱山および阿賀町の近代産業を通じて, 阿賀町の昔の社会や歴史を学ぶ」を学習テーマに, 新潟県阿賀町立三川小学校で行われたものである。これは, 新潟県阿賀町でかつて栄えた三川鉱山について, 学習する取り組みである。まず児童は, 鉱山の選鉱施設について学習するとともに, 三川鉱山について, 有識者から三川鉱山に関する歴史や見聞きした昔の様子を語ってもらった。その後, 三川鉱山跡の現地見学をおこなった後, 昔の産業や暮らしの様子に関する実感を深めた。

(4) 中学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 中学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 中学校・理科の目標⁽⁷⁾

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編によると, 中学校・理科の目標は以下となる。自然の事物・現象に

関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することをめざす。(1)自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。(2)観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。(3)自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。第1分野の目標は、物質やエネルギーに関する事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することをめざす。第1分野の目標は、教科の目標を受けて示しているものであり、第1分野の特質に即して、ねらいをより具体的に述べている。第1分野の目標(1)は、教科の目標の「自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする」を受けて、物質やエネルギーに関する観察、実験などを行い、それらの事物・現象について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるというねらいを示している。目標(2)は、教科の目標の「観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う」を受けて、小学校で身に付けた問題を見いだす力や根拠のある予想や仮説を発想する力などを発展させ、物質やエネルギーに関する事物・現象について規則性を見いだしたり、課題を解決したりする方法を身に付け、思考力、判断力、表現力等を養うというねらいを示している。目標(3)は、教科の目標の「自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養う」を受けて、物質やエネルギーに関する事物・現象に進んで関わり、自然を科学的に探究する活動を行い、科学的に探究しようとする態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。と示されている。

(b) 中学校・理科の材料分野の実践例⁷⁾

生徒の身近な「IH調理器」を教材とした授業実践が行われている。2004年以降、高周波のオールメタル対応のIH調理器が発売されており、鉄やステンレスのみではなく、アルミ容器や銅製の鍋のように、電気抵抗の低い金属でも対応できるようになっている。そもそもIHは「Induction Heating」の略であり、「電磁誘導加熱」を意味している。これは、IH調理器が作る磁界によって、鍋(調理器具)に電磁誘導が起これば、電流が流れることによって加熱されている原理を表している。つまり、IH調理器は電磁誘導が原理であり、磁石は無関係である。IH調理は、磁石と関係があると誤解している生徒が多く、磁石に付かないアルミニウムの鍋は、使用できないと予想していたが、演示実験により使えたため、生徒が驚いていた。生徒は、IH調理器で加熱できる材料と加熱できない材料があることを理解した。

(5) 中学校・技術科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、中学校・技術科における学習指導要領における目標

と教材研究の例を示す。

(a) 中学校・技術科の目標⁸⁾

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説技術編によると、中学校・技術の目標は以下となる。技術の見方・考え方ははたらかせ、ものづくりなどの技術に関する実践的・体系的な活動を通して、技術によってより良い生活や持続可能な社会を構築する資質・能力を次のとおり育成することをめざす。「(1)生活や社会で利用されている材料、加工、生物育成、エネルギー変換および情報の技術についての基礎的な理解を図るとともに、それらに係る技能を身につけ、技術と生活や社会、環境との関わりについて理解を深める」「(2)生活や社会の中から技術に関わる問題を見出して課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通して具体化し、実践を評価・改善するなど、課題を解決する力を養う」「より良い生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて、適切かつ誠実に技術を工夫し創造しようとする実践的な態度を養う。」と示されている。

(b) 中学校・技術科の材料分野の実践例⁹⁾

中学校技術・家庭(技術分野)の材料分野の実践例を以下に示す。これは、中学校技術・家庭(技術分野)のガイダンス授業の授業実践である。授業の初めに、生徒の身近にどのような金属があるかを発表させた。生徒からは、金属(金・銀・銅・鋼・アルミニウム)について、それぞれの金属への理解が深まるように実物を見せながら用途を説明した。生徒に金のインゴットを見せ、その後生徒に渡すと、すごく重いと生徒から歓声が挙がった。次に金属の溶解性を示すため、低融点金属(Sn-Bi合金)を電気コンロで実際に溶かす実演がおこなわれた。金属が融点以上の温度になると液体になり、玉のように丸まり流れることを教員が教卓で実演した。次に形状記憶合金について知るために、教卓の前で熱エンジンの実演が行われた。熱エンジンは、「プーリー型」と呼ばれるもので、2個のプーリーの間に直線記憶処理を施したワイヤ材をつなぎ、上下のプーリーの間に掛け、下部のプーリーに湯が接する程度に保持することにより、プーリーが回転する。このような技術科の授業実践が行われている。

(6) 中学校総合的な学習の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、中学校・総合的な学習の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 中学校学習指導要領総合的な学習の時間の目標¹⁰⁾

中学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編(平成20年(2008)9月)によると中学校での総合的な学習の時間の目標は、以下になる。「探究的な見方・考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、よりよく課題を解決し、自己の生き方を考えていくための資質・能力を次のとおり育成することをめざす。」(1)探究的な学習の過程において、課題の解決に必要な知識および技能を身に付け、課題に関わる概念を形成し、探究的な学習のよさを理解するようにする。(2)実社会や実生活の中から問いを見だし、自分で課題を立

て、情報を集め、整理・分析して、まとめ・表現することができるようにする。(3)探究的な学習に主体的・協働的に取り組むとともに、互いのよさを生かしながら、積極的に社会に参画しようとする態度を養う。」とある。内容について、配慮する事項の中に、「(4)自然体験や職場体験活動、ボランティア活動などの社会体験、ものづくり、生産活動などの体験活動、観察・実験、見学や調査、発表や討論などの学習活動を積極的に取り入れること。」と示されている。

(b) 中学校・総合的な学習の時間の材料分野の実践例⁽¹¹⁾

新居浜市立西中学校の取り組みで、中学校の総合的な学習の時間を利用して、毎年1年生が「ふるさと学習(地域学)」の活動を行っている。この実践はまず、学年集会で共通理解を図った後、個人の学習希望テーマを調査した。その調査を元に5つの講座を設定した。次に、講座別に3名ほどのグループを編成し、各グループごとにテーマを決定した。12月中旬の発表会に向けて発表資料を作成する活動をした。まず事前学習として、新居浜市内の「山根公園」にある別子銅山記念館や当時使用されていた機関車、取銅所、精錬所跡の煙突山などについて事前学習を行った。その後山根公園に行き、3クラスがローテーションを組んで、別子銅山記念館や大山積神社、取銅所を見学した。精錬所跡の煙突山は有志の生徒が登った。別子銅山記念館では、館長さんから丁寧な説明を受けた。取銅所では、理科の先生からその仕組みについて説明を受けたクラスもあった。マイントピア別子では、観光用の鉱山列車に乗り、観光坑道で別子銅山の歴史を学習しながら、銅鉱石発掘の擬似体験を行った。

(7) 高等学校・理科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・理科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・理科の目標⁽¹²⁾

高等学校学習指導要領(平成30年(2018)告示)解説 理科編・理数編によると、高等学校・理科の目標は以下となる。自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。(2)観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。(3)自然の事物・現象に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。この目標は、小学校および中学校理科の目標との関連を図りながら、高等学校理科においてどのような資質・能力の育成を目指しているのかを簡潔に示したものである。初めに、どのような学習の過程を通してねらいを達成するかを示し、(1)では育成を目指す資質・能力のうち「知識および技能」を、(2)では「思考力、判断力、表現力等」を、(3)では「学びに向かう力、人間性等」をそれぞれ示し、三つの柱に沿って明確化している。

(b) 高等学校 理科の材料分野の実践例⁽¹³⁾

この内容は、Ti-Ni形状記憶合金バネと3次元結晶格子モデルを用いて、結晶構造が温度により変化する形状記憶合金の形状変化が変態により起こっていることを通して、結晶構造について理解を深めるための教材を開発する取り組みである。まず生徒は、形状記憶合金ばねにオモリを吊るし、バネの全長を測定した後、形状記憶合金バネをドライヤーで加熱し、縮み距離を測定する。形状記憶合金は、加熱によりマルテンサイト相(面心立方格子)から母相(体心立方格子)にマルテンサイト逆変態起こることによってバネが縮む事を生徒に説明する。次にそれぞれの格子の原子模型を生徒に渡し、原子の移動により結晶構造が変わることを説明した。この実験から、生徒は形状記憶合金が形状変化する原因を結晶構造の変化で説明できることを通して、格子模型を用いた学習により、結晶構造が化学の基本原則を学ぶ上で重要であることに気付いた。以上のことから、本研究で開発した形状記憶合金が形状変化する原因を結晶構造の変化で説明する教材は、結晶構造の理解を促すために有用であることが示唆された。

(8) 高等学校・総合的な探求の時間における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・総合的な探求の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。高等学校学習指導要領(平成30年(2018)告示)から、「総合的な学習の時間」から「総合的な探求の時間」に名称が変更されている。ここでは、高等学校・総合的な学習の時間および総合的な探求の時間両方の材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・総合的な学習の時間の目標⁽¹⁴⁾

高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 総合的な探求の時間編によると、総合的な探求の時間の目標は、探求の見方・考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、自己との存り方生き方を考えながら、よりよく課題を発見し解決していくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)探求の過程において、課題の発見と解決に必要な知識および技能を身に付け、課題に関わる概念を形成し、探求の意義や価値を理解するようにする。(2)実社会や実生活と自己との関わりから問いを見出し、自分で課題を経て情報を集め、整理分析してまとめ・表現することができるようにする。(3)探求に主体的協働的に取り組むとともに、お互いのよさを生かしながら新たな価値を創造し、より良い社会を実現しようとする態度を養う。目標は大きく分けて二つの要素で構成されている。一つは、総合的な探求の時間に固有な見方、考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、自己の在り方、生き方を考えながら、よりよく課題を発見し、解決して行くための資質・能力を育成するという、総合的な探究の時間の特徴を踏まえた学習過程のあり方である。もう一つは、総合的な探究の時間を通して育成することを目指す・資質能力である。育成することを目指す資質・能力は、他教科等と同様に、(1)では総合的な探究の時間において育成を目指す「知識および技能」を、(2)では、「思

考力、判断力、表現力等」を、(3)では「学びに向かう力、人間性等」を示している。

(b) 高等学校・総合的な探求の時間の材料分野の実践例⁽¹⁵⁾

岩手県立黒沢尻北高等学校では、総合的な探求の時間を使い「黒陵教育講座」の一環として、岩手県八幡平市にある「松尾鉱山」についての学習を行っている。学習内容を以下に示す。松尾鉱山の歴史や中和処理の意義、地熱エネルギー利用のあり方について多面的・多角的に理解を深めることを目的とし、八幡市平の松尾鉱山資料館や中和処理施設、松川地熱発電所を訪問し、「松尾鉱山と中和処理施設」について学んだ。まず、黒沢尻北高等学校卒業生の高橋国之先生から、松尾鉱山のあった場所、当時の生活の様子、閉山の理由など歴史的な面や、中和処理に関する化学的な面など幅広い内容について、わかりやすく説明していただいた。説明の合間には、中和処理施設で行っている化学処理について、実験を通して確認した。実験では、生徒が沈殿や反応を観察し、実験から新たな疑問が生じた生徒も居た。別の日に、実際に松尾鉱山中和処理施設や資料館、松川地熱発電所などを見学し、理解を深めた。

(9) 高等学校・課題研究の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・課題研究の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・課題研究の目標⁽¹⁶⁾

課題研究は、生徒が自ら研究テーマを設定し1年間かけて研究や製作を行う授業で、平成元年(1989)改定の高等学校学習指導要領において、家庭・工業・商業・水産の各教科に新設された科目であり、大学での卒業研究に相当する科目である。高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 工業編によると、課題研究の目標は「工業の見方・考え方を働かせ、実践的・体験的な学習活動を行うことなどを通して、社会を支え産業の発展を担う職業人として必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)工業の各分野について体系的・系統的に理解するとともに、相互に関連付けられた技術を身に付けるようにする。(2)工業に関する課題を発見し、工業に携わる者として独創的に解決策を探究し、科学的な根拠に基づき創造的に解決する力を養う。(3)課題を解決する力の向上を目指して自ら学び、工業の発展や社会貢献に主体的かつ協働的に取り組む態度を養う。」とされている。

(b) 高等学校・課題研究の材料分野の実践例⁽¹⁷⁾

工業高校でのたたら製鉄と鍛造の取組の例を紹介する。この研究は、高等学校の「課題研究」の一環として、名古屋市立工業高等学校・機械科で行われたもので、たたら製鉄と鍛造実習の報告は、「日本刀製作プロセスから学ぶ製鉄と加工について」で公表されている。

本取り組みは、課題研究として、1年間行ったもので、生徒8名で取り組んだ。まず、教材用たたら炉をコンクリートブロックの上にレンガを積み上げることで製作し、次にたたら炉の底面に種火を投入した後、たたら炉の上部がいわば

いになるまで松炭を投入し、ブロワで強制送風を行った。さらに、砂鉄と石灰を松炭の上に繰り返し投入した。さらに、石灰20gを混合したものを炉内に振りまき、その後すぐに松炭300gを投入して松炭が燃焼して10cm程下がったところで、およそ50回繰り返し材料を投入した。鋳の組成から見ると、SiやTiなどの不純物は一定量含まれているが、内部のFe量が86.6%とかなり多く含まれていることが測定から明らかになった。次に、玉鋼を、水へし・小割・積沸かしという鍛造を行うために成形する工程に入った。この行程で、玉鋼を赤熱するまで熱したが、沸き花が出るまでは加熱できず、小さな塊になっている玉鋼を鍛接することができず、塊を大きくすることができぬまま課題研究のタイムリミットが来てしまった。鋳の組成から見るとSiやTiなどの不純物は一定量含まれているが、内部のFe量が86.6%とかなり多く含まれていることが明らかになった。

3. ものづくり・技術選修 北村研究室でおこなっている研究

次に、愛知教育大学、ものづくり・技術専修、北村研究室で行っている研究を紹介する。

文部科学省学習指導要領(平成29年度告示)中学校技術・家庭(技術分野)では、「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」の4つの教育内容が示されている⁽⁸⁾。その中で、「C エネルギー変換の技術」の教材として、我々の研究室では、形状記憶合金を中心に、形状記憶ポリマーや釣り糸人筋肉など加熱をすることで動作するアクチュエータ材料を用いた教材の研究を行なっている。また、「A 材料と加工の技術」の教材として、FDM型3Dプリンタを用いたプラスチック材料の加工の教材研究を行なっている。このような教材の一環として、結晶構造などの理解を深めるための3Dプリンタを用いた原子模型教材の開発を行なっている。教材開発の具体的な取り組みを以下に示す。

(1) ミラー指数の学習教材の開発⁽¹⁸⁾

ミラー指数はX線回折や格子変形などで該当する結晶面を表すなど多岐にわたり使用されている。しかし結晶面は三次元空間内に存在する平面であるため、空間的認知が必要となる。本研究では、立方晶{001}面、{011}面、{012}面、{111}面、六方晶{0001}面、{11 $\bar{2}$ 0}面、{10 $\bar{1}$ 0}面、{11 $\bar{2}$ 2}面を表した立体教材を製作した(図1)。製作した教材の効果を検証するために、実際に高等専門学校の学生に対し、教材を使用した学生と使用しなかった学生では学習効果の差がどのくらいあるかを事前・事後試験により明らかにし、教材の学習効果の検証を行なった。

(2) 3Dプリンタを用いたTi-Ni原子模型の開発⁽¹⁹⁾

Ti-Ni形状記憶合金のマルテンサイト変態における母相(B2)とマルテンサイト相(B19')の結晶構造の変化は参考書



図1 ミラー指数学習教材の概要⁽¹⁸⁾。(オンラインカラー)

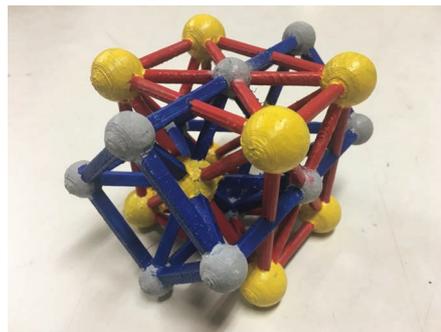


図2 母相構造モデルの概要⁽¹⁹⁾。(オンラインカラー)

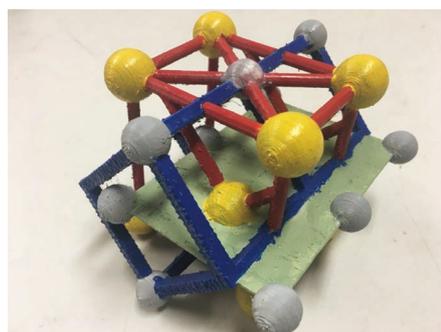


図3 マルテンサイト相モデルの概要⁽¹⁹⁾。(オンラインカラー)

や論文等に示されているが、2次元で描かれているため金属学の初学者は、変態による結晶構造変化を理解することは難しい。本研究では、3Dプリンタで3次元の結晶構造模型を作成することによって、Ti-Ni形状記憶合金でのマルテンサイト変態における変態前と変態後の結晶構造を理解するための模型教材を作成することを目的とした。3DCADデータの作成にはAutodesk社のFusion360を使用した。模型は、作製したCADデータを3D印刷用ファイルに変換し、3Dプリンタへファイルを読み込ませることで行った。造形後、模型表面にサーフェーサー(下地塗装)を行った後、青、赤、黄色、緑の塗料を用いて結晶構造やTiおよびNi原子の配置、格子対応などを表している(図2)、(図3)。

(3) 釣り糸人工筋肉の教材への応用⁽²⁰⁾

近年加熱を行うと動作するアクチュエータの一つとして、釣り糸人工筋肉が注目されている。釣り糸人工筋肉とは、Hainesらの研究グループが2014年に発見した新型人工筋肉であり、形状記憶合金のように伸長収縮動作を繰り返すことができる。また市販の釣り糸をひねり、コイル状に成形することにより製作することができるため、低コスト、軽量、高い量産性を持っている。

釣り糸の材料であるナイロン繊維は、分子の向きが繊維方向に揃って連なっている高分子構造をもっており、この繊維に撓りが加わると、繊維がねじれて断面が「らせん状」になる。このように大量のねじれを挿入していくことで、加熱されたときに元の繊維方向の収縮と膨張が起こり、寸法の異方性が全体で圧縮となって、人工筋肉としての役割を果たす。教材化した人工筋肉は、長さ125mmで、70°Cまで加熱を行うことで7mm程度の変位を得ることができ、中学校技術・家庭(技術分野)のエネルギー変換教材として、有用であることが示唆された(図4)。

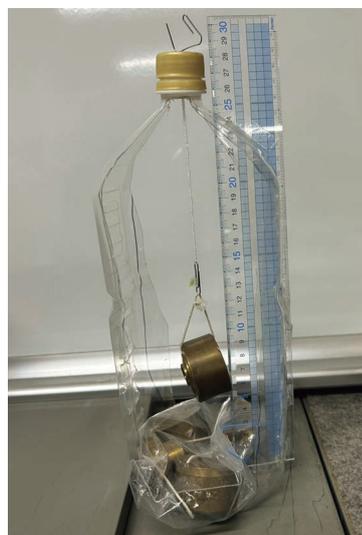


図4 釣り糸人工筋肉教材の概要⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

(4) 形状記憶合金ワイヤを用いた携帯電話のカメラのオートフォーカス機構を模擬した教材⁽²¹⁾

形状記憶合金は、加熱を行うことであらかじめ記憶された形状に戻るスマート材料であり、スマートフォンのカメラのオートフォーカス機構の駆動源として使われている。スマートフォンのカメラのオートフォーカス機構には従来、磁石とコイルを用いた電磁力によってレンズを動作させるVCMアクチュエータが主流であったが、形状記憶合金に通電し加熱

によりレンズを上下させる方式に変更することにより、小型化が可能となった。

本研究では、中学校技術・家庭(技術分野)におけるエネルギー変換分野の教材開発を目的とし、モータなどのアクチュエータの一つとして形状記憶合金を位置付け、教材の多様化を図ることを目的に身近なスマートフォンのカメラのオートフォーカス機構を題材とすることにした。教材化したオートフォーカス機構は、簡単化するためにレンズを取り付けたレンズ部と、その両側に配置する1組の動作部の3点の部品からなっている。教材を動かすアクチュエータには、Ti-Ni形状記憶合金細線を使用しており、形状記憶合金に通電を行うことで駆動部が移動し、レンズ部が上昇する構造になっている(図5)。オートフォーカス機構の評価は、実際に像をスクリーンに写し、スクリーンに映った画像のコントラストを計測することで行った。

(5) 形状記憶合金を用いた、自由研究教材の紹介⁽²²⁾

紹介する形状記憶合金を用いた工作キット教材は、夏休みの自由研究教材として企画された。第一弾の工作キットは、宇宙をテーマにした内容で、月面を背景に、スペースシャトルや宇宙飛行士が形状記憶合金ばねにより上下する内容である。また、宇宙のテーマの他に海や草原、花畑などのテーマも用意されており、発売元のホームページからダウンロードすることができる。

キットには、形状記憶合金、鋼製おもり、磁石、シール付きアルミニウム板、電池ボックス(電線付き)、チューブ、プラスチック容器、取扱説明書が入っている。

本キットの動作原理を図6に示す。図6のように鋼製のおもりの吊るされた形状記憶合金ばねが、プラスチック容器の上部に取り付けられている。また、プラスチック容器の下部には、磁石の上にアルミニウム板を配置した電極が配置されている。形状記憶合金ばねの、おもりが取り付けられている側と反対の端には、電気コードがつながれている。また、アルミニウム板にも電気コードがつながれており、それぞれ電池につながっている。

用いられている形状記憶合金は、逆変態開始温度が60℃程度で、通電により自己発熱することにより、あらかじめ記憶されている短いばねの形状に形状回復する。室温では形状記憶合金ばねの、みかけのヤング率は低く、おもりの重さにより、鋼製のおもりがプラスチック容器下部に設置されているアルミニウム板に接触する。アルミニウム電極の下の磁石により、鋼製のおもりは、アルミニウム電極に強力につく。通電により形状記憶合金に電流が流れ、記憶されている短いばねの形状に変化するとともに、ばねに大きな力が発生し、磁石の力に逆らって、おもりが上昇する。おもりが上昇すると回路が遮断され、ばねに電流が流れなくなる。ばねに電流が流れなくなると、ばねの発生力がなくなり、おもりが下降する。この動きを繰り返すことで、おもりが上下する。

工作キットの第二弾として、粘土のデザインの監修を行なっているタレントとのコラボレーションで、第二弾のキット



図5 オートフォーカス学習教材の概要⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

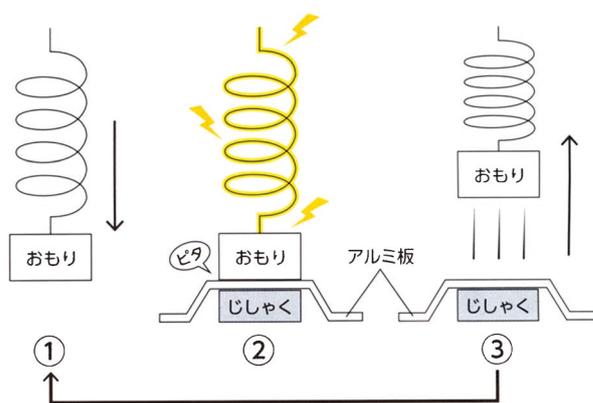
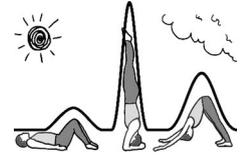


図6 形状記憶合金学習キットの動作原理⁽²²⁾。(オンラインカラー)

が発売された。第二弾のキットは、第一弾の部品の他に、キッチンをイメージした背景と、粘土のレシピ(パンケーキ、ミトン、お花、フライパン、オタマ、フライ返し、泡立て器、時計)が入っている。このキットでは、レシピに従って粘土を作り、鋼製のおもりの上に乗せることで動く。

4. ま と め

このように、初等・中等教育における材料教育は、生活科、理科、総合的な学習の時間、技術家庭(技術分野)、課題研究など、様々な校種の、様々な授業で関わっている。それぞれの段階で、より材料に興味を持つための教育的取り組みが必要である。



2. 特性の計測評価

2-2 X線を用いた構造計測と解析

2-2-2 X線回折・散乱を用いた色々な計測方法

奥田浩司*



2-2-1 はじめに

X線回折は相の同定や定量分析、試料内部の組織や分布、ひずみの評価など、種々の用途に利用されます。本解説ではX線回折を利用した材料評価の入門事項のうち、主にひずみ測定をおこなう場合の考え方に焦点を当てて説明していきます。

X線回折で計測されるものは回折線の位置(面間隔)と回折線の幅になります。回折線の位置からX線が照射された領域の平均としての面間隔、回折線の幅からその領域で理想的な原子位置からどの程度ずれた位置に原子が配置されているかがわかります。面間隔は測定に使用するX線の波長 λ 、面間隔を d とするとBraggの法則⁽¹⁾。

$$2d \sin(\theta_B) = \lambda \quad (1)$$

で決まる角度 θ_B で評価でき、その回折線の広がりには主に2つの因子、すなわち(1)試料の実質的な結晶粒サイズと、(2)内部のミクロスケールでの不均一な原子位置のずれ、例えば内部の格子欠陥の分布などによって決まります。回折線の半値幅に対してこの2つの因子を分離する手法としてWilliamson-Hallの方法⁽²⁾、

$$W \cos(\theta_B) / \lambda = 1/D + 2\varepsilon \sin(\theta_B) / \lambda \quad (2)$$

が用いられます。ここで W は回折の半値幅、 θ_B は回折ピークの角度、 D は結晶のサイズ、 λ はX線の波長で ε はひずみ量で転位密度などと結びつけられるものです。複数の回折ピークの情報を使うことで結晶サイズとひずみを算出できます。ここでのひずみ ε は引張や圧縮によってある領域にわたって平均的に格子定数が増減するひずみとは異なるもので、等方的な材料では転位密度 ρ と転位のバーガースベクトルの大きさ b の間に A を比例定数として

$$\rho = A(\varepsilon/b)^2 \quad (3)$$

の関係が示されており、さらに弾性異方性が強いために指数によってひずみの効果が異なるような場合の取り扱いもUngarら⁽³⁾⁽⁴⁾やWarren-Averbach⁽⁵⁾によって報告されています。

これに対してX線の照射領域の平均的な格子定数のずれという意味でのひずみの評価では、評価対象の試料のどの部分からどの精度で情報が欲しいかにより、試料に対して透過(試料全体の平均)あるいは反射(X線が侵入できる深さまでの平均)の配置を使い、必要な角度分解能が得られる測定方法を選ぶことになります。試料面内で不均一性がある場合にはさらに試料面上でのX線の広がりをスリットなどで制限するなどの工夫をする必要があります。

X線回折によって残留応力などの解析に必要なひずみを評価する場合に大事なことは「必要な角度分解能で正しい角度を測定すること」ことです。X線回折装置はこの目的を比較的容易に達成するために最適化された構成を持っています。基本的な回折計である実験室の粉末回折計の場合の模式図を図1に示します。X線の発生源からフィルターとスリットS1を通して回折計に入ったX線は ω の角度で試料に入射し、 $2\theta(2\omega)$ の角度に置かれた検出器で回折強度が計測されます。このとき、検出器の前にS1=試料間とS2=試料間の距離が等しくなるようにスリットS2を置きます。この条件をブラッグ-ブレンターノの集中条件とよび、2つのスリットと試料の3か所を同じ円(ローランド円)上に置くことで、ある程度広がったX線が試料に照射されても検出器で検出するX線の角度分解能が劣化しにくい実験条件として利用されます。ローランド円は角度 ω が変化すると半径が変化しますので、厳密な集中条件では試料表面は ω によって半径が変化する円弧でなければなりません。したがって集中条件は実際には近似的に成立することになります。図1に示すようにこの3つが同一円上にあれば、試料のどこで

* 京都大学大学院工学研究科；教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

Experimental Guides for Metallic Materials : 2. Measurement and Evaluation of Material Properties:

2-2 Structural Measurement and Analysis Using X-rays: 2-2-2 Examples from Materials Studies on Strain in Various Composites Utilizing X-ray Diffraction; Hiroshi Okuda (Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University, Kyoto)

Keywords: X-ray diffraction, strain, high-Tc superconducting composite tape, bending strain, semiconductor overlayer, warpage

2024年4月15日受理[doi:10.2320/materia.63.398]

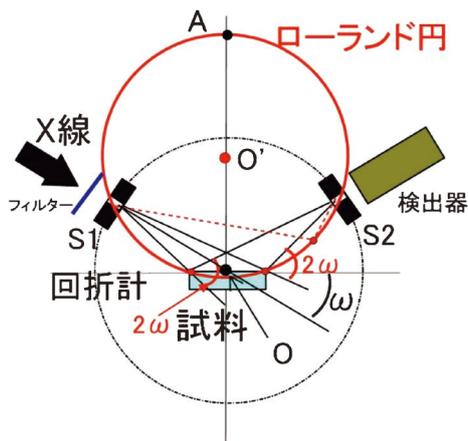


図1 回折計の模式図と集中条件の説明. X線源側のスリット(S1)と試料, 検出器前のスリット(S2)が一つの円上に配置されていると, 試料上のどの位置でもこの円上の円弧, S1-A-S2に対する円周角である \angle (S1-O-S2)の補角が 2ω となり, 等しくなります.

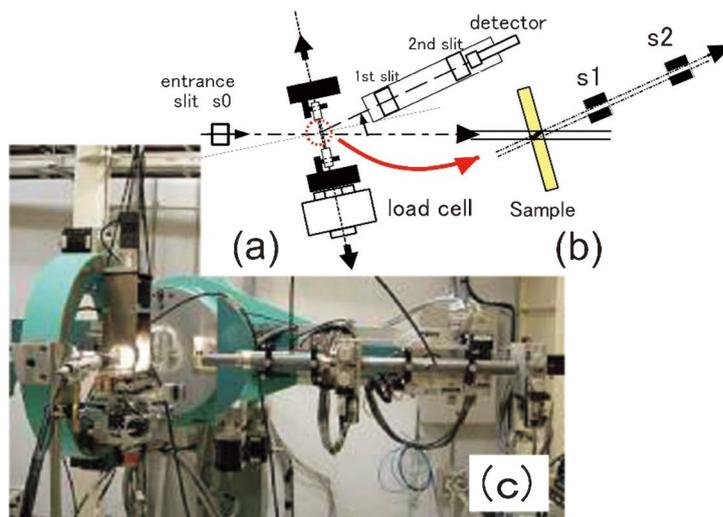


図2 (a)透過配置による引張試験中のひずみその場測定の様子. 試料部分は ω 軸に設置された引張試験機に固定されており(b)に示すように入射スリットs0で定義され, 回折計中心に入射するX線が試料により回折をおこします. 2θ アーム上の2つのスリットs1, s2によって定義される試料方向からの回折線のみ検出器で測定される(c). 測定は入射X線と 2θ アームのスリットで定義される測定方向の交差する領域(交差体積)が常に回折計の中心にあり, 試料内部にあることが必要です.

回折されて検出器に達する経路でも回折角は 2ω になります. 回折線の角度分解能がさらに必要になる場合には, 発散X線を出す発生装置側でスリットによって細く絞るには限界があるため, 発生装置の直後に単結晶を置き, 平行なX線を切り出して利用する結晶モノクロメータを使用します. ここで角度分解能を高くするためには鋭い回折ピークを示す完全性の高い結晶を利用することが必要になります. その反面, 完全性の高い結晶は発生したX線のうち大部分を切り捨てることになり, 発生装置の出力に対して使えるX線強度の効率は大幅に低下します. よく利用される結晶としては完全性の高いものからSiあるいはGe単結晶, LiF単結晶, グラファイトなどがあります. 現在強力なX線源として放射光(シンクロトロン)が利用されています. 放射光は光速に近い電子(または陽電子)を軌道上で周回させることにより, 強い指向性を持つX線を発生させたもので, つくば(高エネルギー加速器研究機構)や兵庫(SPring-8)でX線利用を目的とする専用施設が稼働しており, 仙台(ナノテラス)も2024年4月より稼働を始めています. この放射光を利用する場合には入射X線は最初から極めて平行性が良いため, 上流側で意図的にミラーや結像素子で強く集光している場合を除き, 通常回折実験では入射側は平行X線が入射すると考えて問題ありません. このような平行入射X線に対しては, 検出器側はスリットで強い制限をかける代わりにSiやGeなどの単結晶の回折を利用することもあります.

次に「正しい角度」で重要になるのは, 試料の位置が正しい $\omega-2\theta$ の回転軸上にあるか, という点です. 上記の粉末回折計の場合には, 入射X線を利用してゴニオメータの試料回転軸位置を示す細い間隙が開いたジグを試料位置に取り付け, その間隙をX線が通り, 2θ 軸(検出器)の0度の位置で

X線強度が最大になっていることを確認することになります(通常 2θ 軸の零点もこれで決めます). このジグは回折計に必ずついています. この調整手順は回折計の装置マニュアルに必ず記載されています. 放射光での実験の場合には, 上流側で整形されたX線がゴニオメータの回転中心に設置したピンホールを通るように大型ゴニオメータの位置調整をしたのち, 2θ アーム上に距離をあけて2組のスリットを設置し, 検出器が試料位置以外からの散乱回折信号を拾わないように調整します. 放射光施設に設置された回折計の例を模式図とともに図2に示します. 図2(a)は回折計に試料をセットした状態で入力側s0において定義されたX線が試料に当たったのち, 2θ 方向の回折強度を検出している配置であり, 2θ アーム上の2つのスリット(s1, s2)により, 試料位置以外からの散乱が検出器に入ることを防いでいます. このとき検出器が測定している信号は図2(b)に示すように試料内で入射スリットと 2θ アーム上の2つのスリットで定義される試料中の交差体積からの回折強度になります. 試料自体がゴニオメータの回転軸上からわずかにずれている可能性は試料のマウントごとであり, さらに試料表面が正しい位置にあっても, X線の入射角によって試料内部への侵入深さが変化するため, 厳密には試料位置と回転軸のずれは必ず付随します. 回折計での測定で格子定数評価に混入する誤差見積もりの表現として使われるSinclare, Nelson-Rileyの式⁽⁶⁾⁽⁷⁾

$$\frac{\Delta d}{d} \propto \frac{1}{2} \left\{ \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right\} \quad (4)$$

で与えられるように $2\theta = \pi$ に近いほど精度が良くなるため, ひずみの評価では長波長の線源を使い, 評価対象指数の回折が高角度に現れる条件が好まれます. $2\theta = \pi$ では入射した波が逆方向に戻るため, 試料のどの深さで戻ったか(絶対

位置の誤差)は角度に影響しないことが直感的にわかります。

回折測定で試料を透過配置で測定する場合には試料に対して十分な透過能を持つ波長を選ぶ必要がありますが、反射配置によって表面からの深さ分布を計測する場合、透過能が関心のある深さまで透過すればよいという方針で深さ分解能を上げるため、ある程度長波長の X 線を利用する場合があります。

2-2-2 X 線の侵入深さと波長の選択

厚さ t , 線吸収係数 μ の物質を透過したときの X 線の減衰は透過率 T ,

$$T = \exp(-\mu t) \quad (5)$$

で表され、その逆数 μ^{-1} が入射 X 線強度が $1/e$ に減衰する厚さとして透過(侵入)深さの目安となります。X 線の物質への透過深さは電子線より大きく、中性子より小さく、実験室で通常使われる $\text{CuK}\alpha$ 特性 X 線では軽金属で $100 \mu\text{m}$ くらい、鉄合金などでは $10 \mu\text{m}$ くらいが目途になります。図 3 に X 線の波長に対して、いくつかの物質に対する透過能を線吸収係数 μ の逆数で表したものを中性子の場合と合わせて示します。

透過能は X 線の波長によって大きく変化し、高エネルギー(短波長)の場合には散乱実験に使われる冷中性子と同程度の透過能を持ちます。例えば $\text{CuK}\alpha$ 線 (8.04 keV , 0.1542 nm) では軽金属でも $100 \mu\text{m}$ 程度であった透過深さが、 100 keV の高エネルギー X 線では数 cm まで増加することがわかります。一方図から、例えば鉄は矢印で示した位置のように特定の波長で極端に透過能が変化します。これは鉄の K

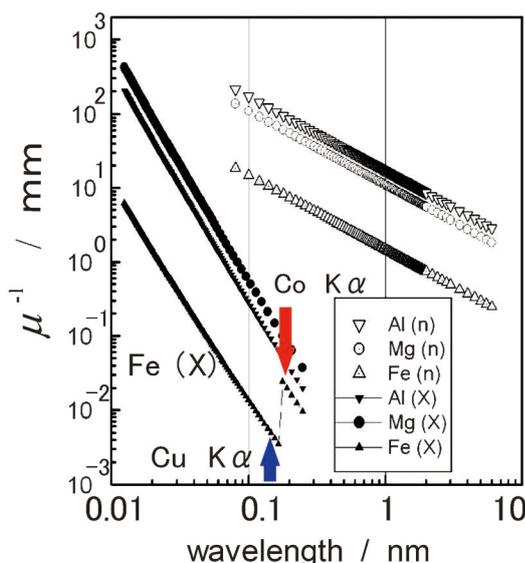


図 3 金属中への X 線、中性子の透過深さ。Al, Mg, Fe に対する X 線(X), 中性子(n)の強度が $1/e$ になる距離を示しています。Fe に対する X 線透過率では波長の短い $\text{CuK}\alpha$ 線の方が $\text{CoK}\alpha$ 線より透過能が低いことがわかります。

吸収端より波長の短い X 線が鉄に入射すると強い吸収を受け、蛍光 X 線を発生するからです。このため、例えば鉄鋼材料に対しては、実験室でよく利用される $\text{CuK}\alpha$ 線と比べ、より波長の長い $\text{CoK}\alpha$ 線 (6.93 keV , 0.1790 nm) の方が高い透過能を持ちます。

2-2-3 X 線回折によるひずみの評価

図 4 はいくつかの状況でのひずみのあらわれ方を模式的に示しています。(a)のように単結晶を一方向に弾性的に引っ張った場合にはひずみはどの位置でも一様となりますが、引張方向に対してどの方向を向いた面間隔を測定するかにより測定するひずみの値が変わります。(b)のように静水圧によって等方的にひずむ場合にはひずみはどの方向にも一様になると期待されます。一方、(c)、(d)のように表面処理(表面に圧縮ひずみ)や曲げ(外側に引張、内側に圧縮)により、ひずみが表面からの深さによって大きく変化する場合、後で説明しますが、X 線が透過する深さを制御して反射配置で測定する必要があります。さらに(e)で示すように引張方向に層状あるいは繊維状の複合構造を持っており、内部に繊維破断などの損傷が生じている場合には損傷付近での応力緩和まで考慮して透過測定で繊維側あるいはマトリックスの格子定数を測定することになります。一方、X 線回折のピークの情報には面間隔を示すもので、ひずみを表すものではないため、本来の(ひずみのない)状態と異なる格子定数を持つ

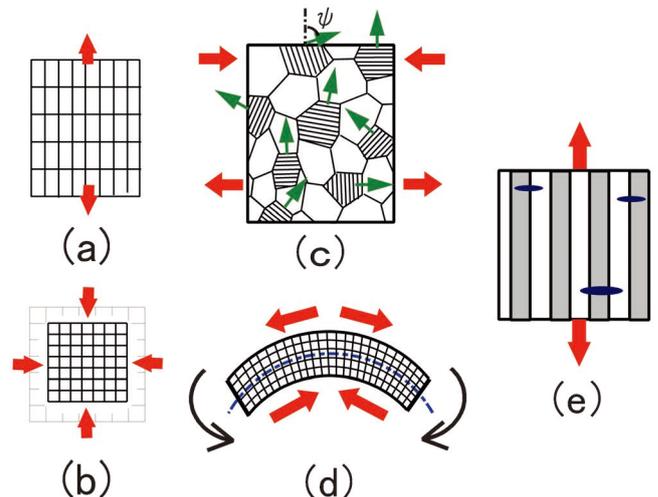


図 4 種々のひずみの模式図。一方向(a)または全方向(b)からの応力負荷のように一様なひずみがかかる場合や、ショットピーニングなどで表面近傍に圧縮応力(c)あるいは曲げモーメントにより表面に引張(d)のように表面からの深さに依存するひずみの場合、さらに強化部材が部分的に破断することにより、その周辺で局所的にひずみが増加する場合(e)などがあります。(a)、(b)では透過法で平均の格子定数を測定することでひずみを求められますが、(c)、(d)の場合は X 線の透過する深さを制御した測定が必要です。(e)の場合は全体の平均値としてのひずみを考えるか、微小な X 線を使い、破断した部分とそれ以外の部分を別々に測定します。

た材料が接合されている場合、たとえば基板上的のひずみエピタキシャル成長膜などでは、ひずみのない状態での面間隔に対して測定面間隔がどれだけずれているかを考える必要があることに注意が必要です。これらについて例を挙げながら見ていくことにします。

2-2-3-1 〈透過法による多芯複合材の引張変形過程〉

複合線材テープ内部の芯材の引張変形中のひずみを透過測定で評価する例について紹介します。

単純な場合として一軸方向の引張の場合に透過配置でひずみを測定する場合は考えます。この場合、引張方向に生じるひずみは図4(a)に示すように、それに対応した方向の面間隔を計測すること、つまりX線の回折の波数ベクトル k_s と入射の波数ベクトル k_i の差である散乱ベクトル q

$$q = k_s - k_i \quad (6)$$

$$|q| = 4\pi \sin(\theta) / \lambda \quad (7)$$

が試料長手方向に向くように配置することにより評価できます。図2は放射光施設の回折計を利用したもので、図に示すように測定する範囲(幅と高さ)を制限する4象限スリットを入射側に1個、検出器側に2つ入れることによって、測定中に図2(b)に示す交差体積が常に試料中心にあるように制御されています。試料の形状は一軸引張とみなせる程度に幅と長さの比を調整し、側方からCCD望遠鏡などで引張試験中の試料が測定中、常に回折計の回転中心位置にあるように観察・制御します。この場合重要なことは

- (1) 引張試験中、常に回折計の回転中心=X線ビーム位置に試料中心を一致するように試料位置を調整すること。
- (2) 試料-検出器間の2つのスリットにより検出器が正確に試料位置だけを見るように調整すること。
- (3) 埋め込まれた芯材のひずみを評価するうえで、応力フリー(無負荷)状態での芯材からの回折角を別途計測すること。

の3点に留意する必要があります。

この配置でAgシースBi₂Sr₂Ca₂Cu₃酸化物(Bi2223)超電導複合線材(以後、簡単のためAg/Bi2223テープと略記します)の引張変形中のひずみの変化を調べた例を図5に示します。テープ試料の構造はAgシース中にBi2223超電導酸化物のフィラメントのc軸がテープ面に垂直に配向した集合組織を持つ多芯材です⁽⁸⁾。引張変形中の複合材の平均ひずみ量に対してBi2223フィラメントのひずみは直線関係から外れており、破断前でも変形中にフィラメントが損傷を受けていることがわかります⁽⁹⁾。Bi2223相の破断を抑制する目的で圧縮予ひずみを付加するため、テープの両面に引張ひずみを与えたステンレスシートが接着されている材料も開発されています⁽¹⁰⁾。図5はAg/Bi2223テープに引張負荷をかけた場合の線材内部のBi2223超電導フィラメントの軸方向ひずみの変化を示したものです。このような超電導複合線材を磁石などの用途に用いる場合、コイルが作る磁場との相互作用により線材にフープ力と言われる軸方向への引張負荷がかかります。酸化物超電導体の場合には引張変形に対する破断ひず

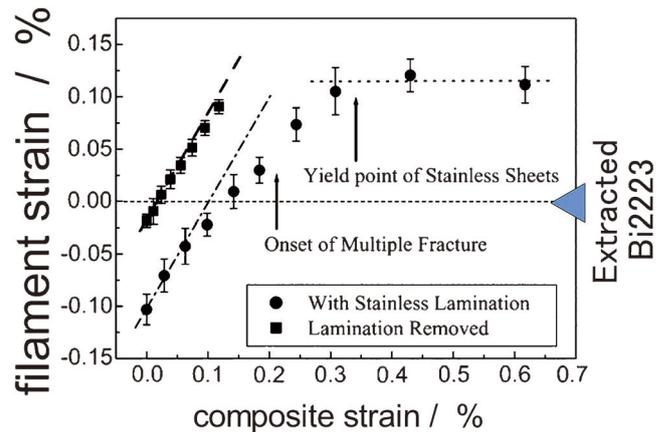


図5 ステンレス強化Ag/Bi2223超電導複合材の引張試験中のBi2223相のひずみ変化⁽¹⁰⁾。縦軸ひずみ0の位置は複合線材からBi2223フィラメントをエッチングによって取り出した試料の格子定数を基準とした。●の点はステンレス板が接着されている試料の変化。横軸は複合体としての伸びから計算した平均ひずみです。

みが小さいため、損傷による超電導特性の不可逆なダメージを受けるひずみ量(不可逆ひずみ)を評価し、対策することが重要です。ひずみ量評価の基準となるBi2223フィラメントの応力フリーのピーク位置は引張試料から抽出したBi2223フィラメントにより決めています。この図よりステンレス貼り付けによる予ひずみ付加により、Ag/Bi2223テープ中のBi2223フィラメントには0.1%程度の圧縮ひずみがかかっていること、引張変形により約0.1%程度のひずみでフィラメントが破断した後もその値はほとんど変化しないまま複合材全体は破断せず伸び続け(横軸)ています。これはBi2223相が破断した後もステンレス板が応力を負担することにより、複合材としては破断せず、次々Bi2223フィラメント中のすでに破断した個所からは離れた次に弱い部分が切れていく、多重破断状態、即ち図4(e)の状態になっていることを示唆しています⁽¹⁰⁾。また、予ひずみを与えているステンレス板を除去した試料(図5の■)でも複合材に外部応力をかけていない状態でごく弱い圧縮ひずみを示しているのは、高温での熱処理後の冷却過程でAgと超電導体の熱膨張率の違いにより、AgシースからBi2223相に圧縮ひずみがかかっているためであると解釈されます。厳密には破断したBi2223フィラメントはAg母相との界面でのせん断応力の伝達によって平均としてはAgと同程度の応力は負担し続けます。このとき、Bi2223フィラメントが破断した領域ではAgシースはすでに降伏しています。このように透過法によると複合材を変形しながら内部の構成要素のひずみを測定することが可能です。現在ではX線のサイズを数μm程度に制御できる放射光のビームラインもあり、複合材の種々の位置でのひずみ分布を計測することも可能です。

2-2-3-2 ひずみの深さ分布、異方性の測定法

表面の焼き入れやショットピーニングによる加工などによ

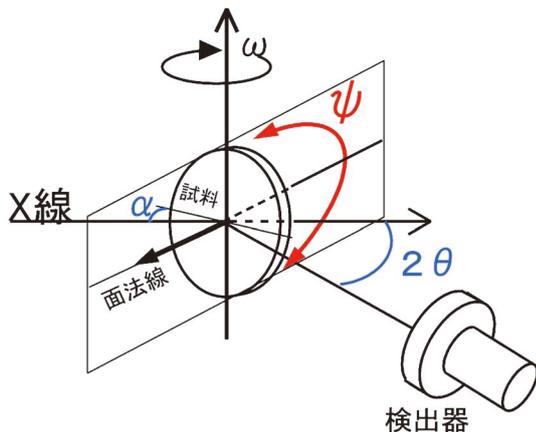


図6 反射配置でのひずみ測定. 検出器の位置 2θ に対して ω (試料の回転)軸を変化させるのが並傾法. ω は $2\theta/2$ の位置にあるとき, 試料を ψ の方向(試料面法線と ω 軸で作る平面内)に傾けるのが側傾法です. 側傾法を使用するためには回折計が ϕ 方向に試料を傾けるための傾斜軸を装備している必要があります.

り, 表面から材料内部に向かってひずみの分布がある場合, あるいは表面面内と面垂直方向でひずみの異方性がある場合などに, X線の透過深さを変化させて回折ピークの位置の変化を調べることにより, 深さによるひずみの変化を評価することができます. 実験室のX線でも使われる方法として図6に示すように並傾法と側傾法が知られています. X線の入射方向と回折線が決まる面(散乱面)に対して並傾法は図6の ω 軸により試料を回転する方法で, 通常の2軸回折計で容易に測定できる点では簡便な方法です. ある回折ピークを観察するための回折角 2θ は面間隔により決まっているので, その回折ピークの位置に 2θ を固定して試料表面に対してX線を α の角度で入射します. 試料表面から L の深さで回折したX線が試料表面から出るときの吸収は, 図のような距離を進むことから, その透過率 T は

$$T = \exp(-\mu L \{1/\sin(\alpha) + 1/\sin(2\theta - \alpha)\}) \quad (8)$$

となるため, 実効的な侵入深さは結晶面法線と試料表面面法線がなす角度の関数として図7のようになります. ひずみの評価には各 α に対して 2θ を走査し, 2θ のピーク位置の変化を調べます. 一方, 側傾法では試料を図7の ψ の方向に倒し, ω と 2θ の関係は通常の $\theta-2\theta$ スキャンを行います. そのため, 試料面法線とX線入射方向および回折方向がなす角は等しくなり, 図6では試料面法線が ω と q の作る平面上を ψ だけ傾いていく配置になります. 図7はアルミニウム板に対してCuK α 特性X線を用い, 220回折と422回折を並傾法, 側傾法で計測した場合の試料への侵入深さを計算したものです. 回折を起こす結晶面と試料表面のなす角を変化させると試料内部に到達する深さが変化します. 並傾法は $\omega-2\theta$ 測定ゴニオで ω , 2θ を変化させるだけで簡単に測定できる一方, α の取りうる角度範囲が評価に使う回折ピークの角度によって制限がかかります. これに対して側傾法では $\omega-2\theta$ の回転軸と垂直な軸で試料を傾斜させるため, ψ は評価する対象の回折線の 2θ の値にかかわらず全範囲($-90^\circ \sim$

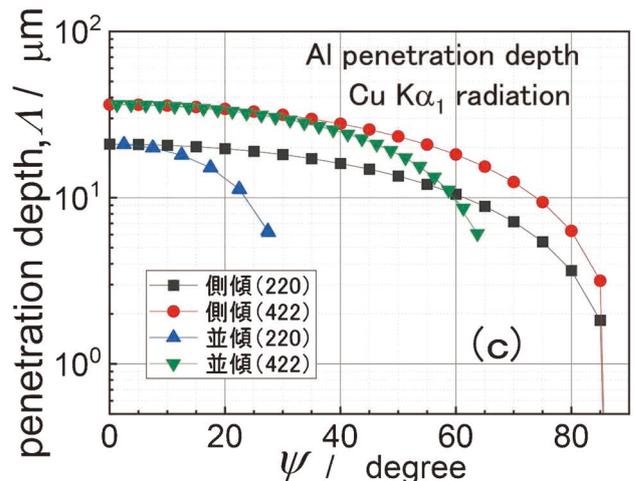
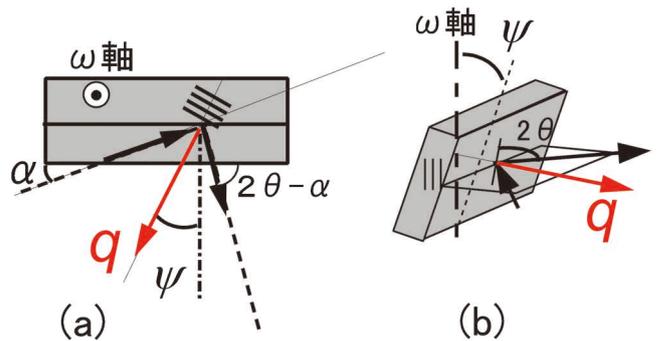


図7 純Al板に対するCuK α 線の計算例. 並傾法(a)・側傾法(b)での結晶面法線方向(=散乱ベクトル q の方向), 試料表面とX線入射方向の角度の関係と220および422回折に対するそれぞれの方法での侵入深さを示しています.

90°)の傾斜が可能になります. ただし, いずれの場合も, 図4(c)の図に示されているように, この傾斜の方向を向いた(回折条件を満たす)結晶方位をもつ結晶粒がX線の侵入する深さにおいて試料中に存在することが前提です. 回折線が観測できるかどうかは試料の組織によることに注意が必要となります. このようなX線で計測したひずみと内部応力の関係を与える比例定数としてX線応力定数が定義されています. 詳しくは解説末尾の参考書などを参考にしてください. 図7では傾きを変えた場合のX線の侵入深さの変化に注目して説明しましたが, もう一つの観点として, 図7での侵入深さが大きく変化しない範囲で考えるという点を前提とした場合, 表面近くに異方性の強いひずみが存在する場合には, 散乱ベクトルの試料表面に対する角度を変化させることにより, 残留ひずみの異方性が解析されます.

2-2-3-3 曲げ変形に対するひずみの評価(1)

ひずみが試料の位置によって異なる値をとる場合, その分布を評価する方法として図4の(c)~(e)の各部分に微小なX線を走査することによって評価する方法と, X線の表面からの侵入深さを制御することにより, 深さ方向の分布を評

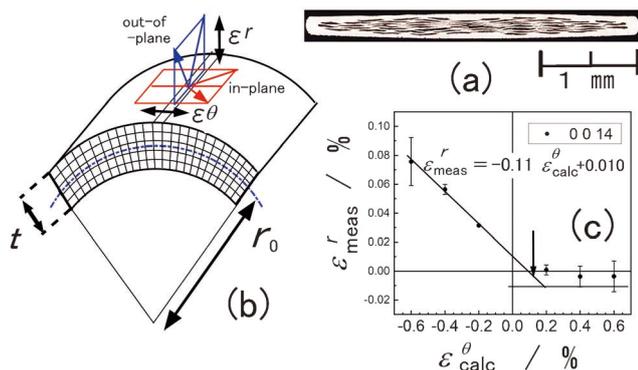


図8 Ag/Bi2223 複合線材の曲げ変形による Bi2223 フィラメントの圧縮・引張側のひずみの評価⁽¹¹⁾. (a) テープ材の断面図. 白が Ag, 黒が Bi2223 フィラメントの部分になります. (b) 曲げ変形でのひずみ評価. 引張側(外側)は Out-of-Plane (テープ面垂直) 方向のひずみを ϵ_{normal} として, 内側から圧縮側のひずみを同様に測定します. 曲げによる接線方向のひずみ $\epsilon_{\text{tangential}}$ はポアソン比によって ϵ_{normal} と関係づけられます. (c) はテープ材の曲げ半径から計算した名目ひずみ, 縦軸は 0.014 回折ピークシフトから得られた Bi2223 フィラメントの垂直方向ひずみの実測値です.

価する方法があります. テープ材の曲げ変形の例として上述の Ag/Bi2223 テープ材を曲げ変形した場合のひずみを X 線の侵入深さを制御することにより評価した結果を示します.

図 8 (b) は厚さ t の板材を試料中心深さでの曲率半径 r_0 で曲げた場合の弾性ひずみの模式図です. 曲げ変形により, 厚さ t の試料中で中立面を挟んで外側では引張ひずみ, 内側では圧縮ひずみがかかります. 超電導複合線材では超電導フィラメントが破断すると抵抗が発生するため, コイル作製に必ず付随する曲げ変形下でのひずみの分布は重要な問題になります. 図 8 (c) に示すように曲げ変形による試料の曲率によって生じるひずみがすべて弾性ひずみだと仮定した場合の試料平均ひずみの計算値 ($\epsilon_{\text{calc}}^{\theta}$) に対して回折によって得られる内部の Bi2223 フィラメントのひずみ (ϵ_{meas}^r) の関係をプロットすることにより, 引張負荷のかかる外側ではひずみがほぼ 0 であり, Bi2223 フィラメントは多重破断状態になっている一方, 圧縮側(内側)では弾性変形状態が保たれていることがわかります. 圧縮ひずみが試料の平均曲げひずみとしては引張側まで残っているのはシース材による圧縮残留応力の影響です. 曲げ変形において引張側で強度に寄与するフィラメントが破断している場合, 正確な応力分布状態を評価するためには力学的な中立軸の位置も変化することに注意が必要です.

正確な X 線の侵入深さを考えるうえで, 図 8 (a) の断面写真にあるように Ag と Bi2223 相が完全に層状に分布しているわけではないとき, 一般には X 線が Ag 部分を透過する場合と Bi2223 相部分を透過する場合で吸収係数は異なるため, X 線が試料を通過する場所によって侵入する深さが異なることとなります. これは試料のある深さでのひずみを測定するという目的を考えると不都合です. その対策として, ここで紹介した例では異常分散効果を利用して Ag と Bi2223 相の線吸収係数がほぼ一致する波長を使い, 表面か

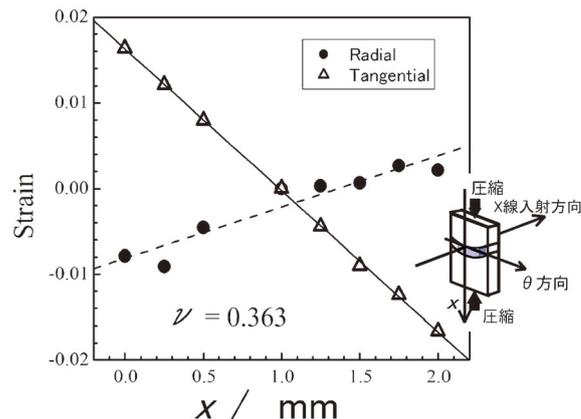


図9 高エネルギー X 線によるバルク金属ガラス梁の曲げ変形時のピークシフト⁽¹²⁾. アモルファスの第一ハローリングのピーク位置の相対シフト量を曲げた試料の端からの高さ(曲げの動径)方向の距離 x の関数として曲げ変形の動径方向 (x 方向, ●) と接線方向 (Δ) についての測定結果.

らの侵入深さが Ag の部分を通ったか Bi2223 相の部分を通ったかには強く依存しない条件で測定しています⁽¹¹⁾. 異常分散効果とは元素固有の吸収端エネルギーを挟んで X 線の吸収係数や散乱因子が大幅に変化する現象で, 例えば図 3 に示す Fe の場合には Fe の K 吸収端の波長を挟んで本来侵入深さの小さなはずの Co K α X 線の方が Cu K α X 線より深くまで透過するといった結果を生じます.

2-2-3-4 曲げ変形に対するひずみの評価(2)

図 9 に超電導試料とは逆の極端な例として金属ガラスの梁の曲げによるひずみ測定例を示します. ZrCuAl バルク金属ガラス試料 (x 方向 3 mm, θ 向 15 mm, X 線進行方向 4 mm) の梁を図中の略図にあるような曲げ変形フォルダーに固定し, 曲げの動径方向を x 方向, 曲げ接線方向を θ 方向として X 線は x - θ 平面に垂直な方向に入射します. 試料上端を $x=0$ として X 線を x 方向に走査し, 照射位置によるアモルファスのハローピーク角度の変化を評価することができます. 本測定は SPring-8 のビームライン 04 でおよそ 40 μm のビーム径の X 線により行われました.

試料の厚さは安定な曲げ変形ができることを念頭に, 上記の試料に対して必要な透過能をもつ X 線として SPring-8 の 118 keV の高エネルギー X 線を利用しています. 図 3 に示したように, 100 keV を超える高エネルギーの X 線では中性子と遜色ない透過能が得られるため, バルク材料の評価が可能になります. イメージングプレート検出器により, アモルファスの一次回折ピークが無ひずみでは真円として観察されます. 試料が曲げひずみを受けることによって回折ピークが動径方向, 接線方向それぞれにどの程度ずれるかを評価することにより, それぞれの方向でのひずみが評価できます. また, これらのひずみの比からポアソン比を得ることができます⁽¹²⁾.

2-2-4 単結晶基板，基板上的薄膜に対するひずみ測定

機能性の薄膜試料の多くは Si, GaAs, サファイヤや MgO などの単結晶基板上に気相あるいは液相成長などの成長方法で単層あるいは多層膜の形で作製されます。エピタキシャル成長によって形成した膜を X 線によって評価する場合，格子整合や膜厚，方位関係のずれなどが評価対象になります。

2-2-4-1 エピタキシャル成長膜の弾性ひずみ

基板と同一の結晶構造とほぼ同一の格子定数を持つ場合，例えば GaAs 基板や InP 基板上に GaInAsP 系の半導体層を形成するといった化合物半導体のエピタキシャル成長の場合，格子整合条件を確認するために X 線回折測定が利用されます。

数十 nm～数 μm 程度の薄膜のひずみを評価する場合，比較的小さな角度差（ $\sim 10^{-2} \sim 10^{-3}$ 程度）が問題になるケースでは，実験室の X 線回折装置の場合は単結晶に溝を掘り，溝の中で 2 回回折を起こして平行性，単色性とも良好な X 線を選び出すチャンネルカットモノクロメータなど，発生装置と回折装置の間に光学部品を入れることにより入射 X 線を単色平行化する仕様のものが使われます。例えば GaAs (001) 基板に対して格子整合する GaInP のエピタキシャル層の評価を例にとると，004 回折線の周辺を $\theta-2\theta$ スキャンで測定することにより，GaAs 基板の 400 回折線に対する GaInP の 400 回折線の位置が一致して観察されるかによって格子整合が評価できます。ここで ω と 2θ 軸を 1:2 の割合で連動して測定する場合を $\theta-2\theta$ スキャンと呼ぶことにします。半導体結晶基板試料を用いる場合，回折線は鋭いため，ゴニオメータの 2θ 軸の垂直面（散乱面）内に測定する結晶面法線が厳密に乗るように調整する必要があります。これは基板がある結晶面からわずかに傾いているオフ基板の場合，そのオフ方向が 2θ 軸垂直面内にあるように基板を面内回転することによって調整できます。結晶成長の都合上基板の面方位にオフセット角がついている場合にはこの点の注意が必要になります。

弾性ひずみの範囲内では，基板とわずかに異なる格子定数を持ったエピタキシャル成長膜の場合，基板面内の格子は整合状態を保ったまま基板垂直方向に面間隔が変化します。このとき，ひずみのない状態で基板と Δa の格子定数差がある膜の場合，例えば (001) 基板の場合に 004 回折などの面垂直方向で格子定数 a_{\perp} を評価すると，弾性定数を c_{ij} ，格子定数を a として

$$a_{\perp} = a(1 + c_{11}/c_{12} \Delta a/a_c) \quad (9)$$

となり，ひずみなしでの膜の格子定数 a_e と基板の格子定数との差， Δa のほぼ 2 倍強程度の格子定数のずれが基板垂直方向に観察されることとなります。図 10 は面内の格子定数は一致する弾性限内で GaAs と格子定数がわずかに異なる GaInP との超格子の 004 回折近傍の回折プロファイルの例を示しています。超格子の場合はその 0 次のピークの位置が超格子部分の基板垂直方向での平均格子定数であり，GaAs

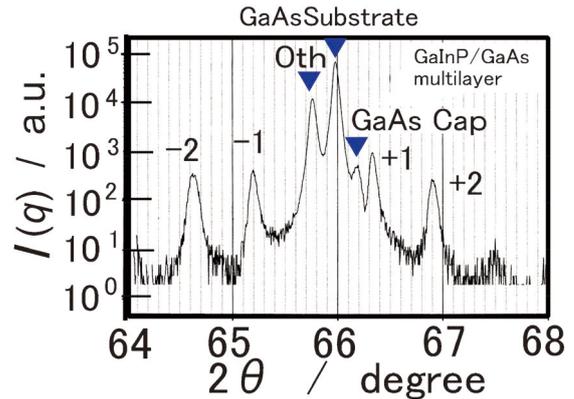


図 10 半導体ひずみ超格子の回折ピークのプロファイルの例。基板は GaAs (001)。

と GaInP の超格子であることから GaInP は格子整合条件よりも In リッチ（格子定数大）であること，超格子部分の平均格子定数が GaAs 基板より大きいためにおこる基板の反りのため，超格子の上部に保護膜として成長された GaAs は引張応力をうけて基板垂直方向の格子定数が GaAs の本来の格子定数より小さくなっていることを示しています。式 (9) で与えられる基板垂直方向の格子定数の異なる層の組み合わせで形成される超格子の構造評価は，基板に平行な各原子面を単純に板と近似してその回折強度を運動学的に計算する Step モデル⁽¹³⁾で測定結果を定量的に再現できます。ただしこの場合は簡単のため基板の反りの効果を無視しています。

一方，無ひずみ状態で基板と異なる格子定数をもつ膜を臨界厚さ， h_c よりも厚く成長した場合，界面転位が入ることによる弾性エネルギーの低下が転位の導入によるエネルギー増加よりも大きくなる，あるいは膜の整合ひずみによって膜内部に生じる応力場によって既存の転位に加わるピーチケラー力で転位が界面に沿って伸びることから，界面に転位組織が発達して面内のひずみを緩和します⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。People & Bean⁽¹⁶⁾による Ge/Si 系の計算では

$$h_c = \frac{b(1 - \nu \cos^2 \alpha)}{2\pi f(1 + \nu) \cos \lambda} \left(\ln \frac{h_c}{b} + 1 \right) \quad (10)$$

が提案されています。ここで ν はポアソン比です。界面への転位導入によりひずみが部分的に緩和された場合，面内格子定数が基板と膜で不一致になります。ひずみの緩和の方法として，(A) 界面転位が導入されることにより格子定数差が解消されるほか，(B) 界面で格子定数のつじつまが合いやすいようにわずかに基板に対する界面方位が傾くといった現象が観察されます。(A) の場合には実際には界面転位の導入過程で成長膜中の転位密度も増加するため，そのまま電子あるいは光デバイスとしては使うことは難しいですが，ひずみの評価方法としては面内方向の成分も含む指数を使った格子定数も併せて測定することなどによって弾性ひずみ量，塑性ひずみ量が評価できます。具体的にはエピタキシャル層の面垂直格子定数 a_{\perp}^e と面内格子定数 a_{\parallel}^e が得られれば，エピタキシャル層の無ひずみ格子定数 a_e が求まる。部分的に緩和され

ている場合は式(7)の Δa が $(a_e - a_{//}^e)$ となり、面内での弾性ひずみが $(a_e - a_{//}^e)/a_e$ 、組成ひずみが $(a_{//}^e a_{\text{sub}})/a_e$ で計算できます。弾性ひずみ成分はバンドギャップの変化など光学測定の結果に影響するため、界面でのひずみの緩和がどの程度進んだかは重要な情報になります。このように面内方向と面垂直方向に回折ピークの位置がずれている場合、これまで説明した ω - 2θ の回折強度を測定する方法ではなく、2次元検出器と多軸のゴニオメータを組み合わせて逆格子空間でのマッピングという形で計測するシステムも市販されており、また放射光のビームラインでも提供されています⁽¹⁷⁾。2次元検出器は例えば小角散乱法のように逆格子原点のごく近傍を測定する場合⁽¹⁸⁾には逆格子平面の原点周辺の2次元データ測定と近似できますが、回折スポット周辺を2次元検出器で測定する場合には逆格子空間中の平面の強度分布を測定しているわけではないことに注意が必要です。図11(a)に示すように、002反射を2次元検出器で測定できるように試料と検出器を設置した場合、2次元検出器が 2θ の方向としては004反射の方向までカバーできる大きさを持っていても004反射を同時に測定できるわけではありません。回折の起こる条件としてブラッグの回折条件、式(1)を図で示すと、入射X線の波数ベクトル k_i と回折の波数ベクトル k_r の差ベクトル、 q が例えば002の回折条件を満たす必要があります。図11(a)のように002反射の回折条件が満たされているとき、同時に測定できる領域は入射側の波数ベクトル k_i を固定したまま回折の波数ベクトルが図の002反射の位置を中心とした球面(エバルト球)上の強度になることに注意が必要です。したがって、このような逆格子上で平面上の強度分布が必要な場合、上記の点を考慮した解析、たとえば付属ソフトなどによる逆格子へのマッピングなどが必要になります。

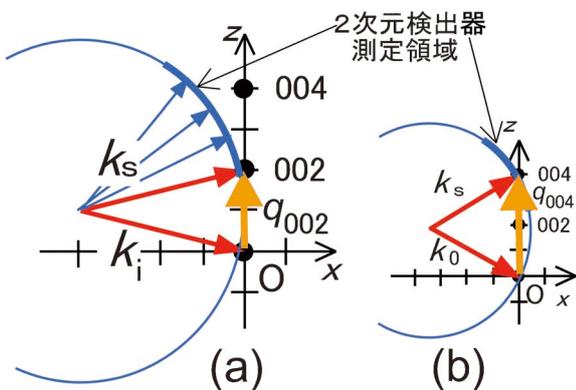


図11 (a) 2次元検出器で002回折ピーク周辺を一度に測定した場合の測定範囲の模式図。測定できるのは k_s が描く球面上(エバルト球)上の強度に限られます。どの回折方向に対しても入射方向は共通(k_0)なので、 2θ の方向として004回折ピークの方角を検出器(青太線)がカバーしていても004回折を同時に観察できない。逆に条件(試料単結晶の向きと検出器の位置)を004回折の条件に合わせると(b)、002回折は測定できなくなります。

2-2-4-2 基板の弾性的な反りと塑性変形による湾曲の評価

基板とエピタキシャル成長膜の格子定数が異なるとき弾性限内であれば面内の格子定数 $a_{//}$ も基板と膜の力の釣り合いで決まる値に変化します。一方、膜厚が h_c 以上の場合には格子定数差の大部分は界面転位によって緩和されていると考えられます。このように、転位によって面内の応力がある程度緩和されている状態でも、組成のずれによる格子定数差が一部弾性ひずみとして残っている場合や、基板とエピタキシャル膜の熱膨張率差がある場合などに面内方向の応力が残っていることがあります。このような場合、転位による緩和がなければ式(9)の面垂直方向の格子定数の考え方と同様に面内の格子定数 $a_{//}$ も基板と膜の面内の力のつり合いで基板の本来の格子定数から変化します。しかし実際には基板は膜の厚さより圧倒的に厚いため、基板の面内格子定数と等しいと近似できます。一方このような場合、基板の片側だけに格子定数の異なる膜が付着するため、曲げモーメントが働き、基板がたわむ場合が多く観察されます。このような現象は格子定数差が界面転位で大部分塑性的に緩和されている場合でも残った弾性ひずみ成分によって引き起こされる場合があります。例えばSi基板上にGaAs結晶を成長させるGaAs/Siの場合、格子定数差(約4%)は界面転位の形で大部分は結晶成長中に緩和することが知られており、その界面を電子顕微鏡などで観察すると高密度での界面転位の配列が観察されます⁽¹⁹⁾。一方でGaAsとSiでは熱膨張係数が異なるため、結晶成長中では界面転位で格子定数差がほぼ緩和されていた場合でも、冷却中にひずみが生じます。このようなエピタキシャル成長膜と基板の間のひずみの一部は冷却中の転位の運動で緩和されますが、マクロにみれば基板全体に曲げ応力のモーメントが残存していることになり、バイメタル温度計と同様に反りを生じます。単結晶基板の反りは曲げ変形の一種になるため、その評価には 2θ (検出器位置)は固定した状態で試料(ω 軸)を回転して結晶面法線方位の試料位置 x による変化を観察します。図11の試料を x 方向に Δx 移動し、 Δx の関数として回折ピークの現れる ω の変化、 $\Delta\omega$ を得ることで基板の曲率半径を近似的には

$$R = \Delta x / \Delta\omega \quad (11)$$

で概算できます。例えばSi基板上にGaAsを1~2 μm 程度成長させた場合、典型的には曲率半径10m~30m程度の基板の湾曲が観察されます。このような基板の反りは曲げ変形によるひずみを基板、成長膜の両方に与えるため、回折データを使って式(9)で格子定数の差から成長膜の組成を決める場合に無視できない影響を与えます。一方でGaAsとSiの100面の面法線は実測として $\langle 011 \rangle$ 方向へ約 0.13° 程度傾いているという観察結果が報告されています⁽²⁰⁾。

これまでの議論は曲げ変形の原因が面内での弾性変形かそれに準じる応力分布で変形がおこる試料の例でした。一方、さらに大きな曲率の塑性変形ひずみにより、単結晶を球殻状あるいは円筒状に加工して利用する場合があります。たとえ

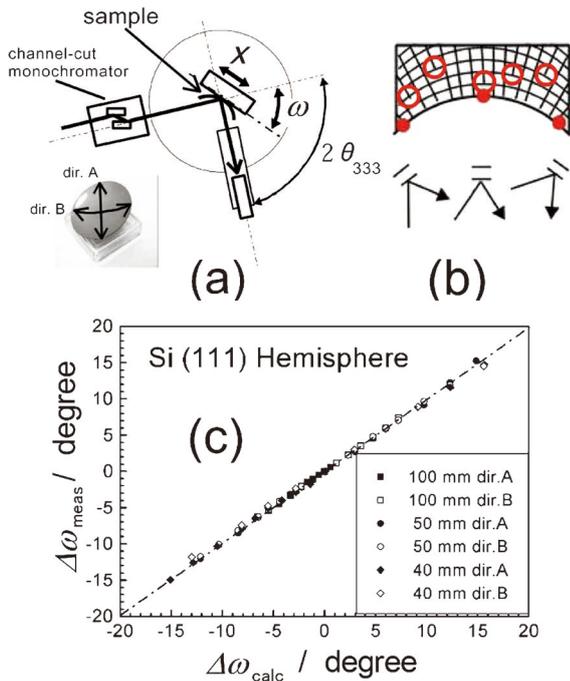


図12 湾曲結晶に対する結晶面法線方向の評価。(a) 湾曲 Si 結晶の333回折線が現れる試料の回転角 ω の測定配置。(b) 塑性変形により湾曲状態を維持するための転位の導入により(111)面が各位置で表面になっている様子の模式図。この曲率を維持するため、○で囲んだように転位が分布する必要があります。(c) 曲率半径 40 mm ~ 100 mm の設計で変形した Si 基板の、設計半径から期待される角度シフト $\Delta\omega_{\text{calc}}$ と(a)のシステムで測定した場合のシフト $\Delta\omega_{\text{meas}}$ の関係。設計通りの(111)面曲率が30°以上の範囲にわたって得られていることを示しています。

ば X 線用のヨハンあるいはヨハンソン結晶⁽²¹⁾⁽²²⁾は図12(a)の写真に示すように単結晶を試料表面が元の表面垂直方位を維持したまま曲率半径数 cm 程度の曲面を持つ形状に変形されています。図1で集中条件について説明しましたが、この条件のうち、試料部分に湾曲単結晶を置くと検出器前のスリットの位置ではきれいに単色化され、集光された X 線が得られるというのがこれらの湾曲単結晶の基本的な考え方になります。ただし単結晶を使用するため、試料の各位置での散乱ベクトルと結晶面法線の方位があてなければ回折が起こりません。ヨハン結晶は回折に使う結晶面(多くは111面)が各位置で都合の良い方向を向くように湾曲させたもの、さらにヨハンソン結晶は湾曲した後に、その表面の位置がローランド円上に来るように表面を曲面研磨して厳密な点集光を意図したものになります。このようにマクロな塑性曲げ変形で組織を維持するためには図12(b)にあるように曲率を維持するために転位を分布させる必要があります。これは幾何学的に必要な(Geometrically Necessary, GN)転位と呼ばれ、例えば結晶同士の傾きを維持するために小傾角粒界では規則的に転位を配置する必要があるといった状況を考えてとわかりやすいと思います。このような場合でも結晶面の曲げ変形量は弾性変形の場合と同様に試料基板の平行方向に x

移動させたときに回折ピークが観察される ω (試料回転軸)の位置のずれ、 $\Delta\omega$ の値から概算で計算できます。ただし大きな曲げの場合、試料の高さが変化する分の補正も必要になります。図12(c)は Si(111)基板を半径 4 cm ~ 10 cm の球殻状に塑性加工した試料に対し、 $\Delta x - \Delta\omega$ の関係からそれぞれの設計半径から期待される各位置での $\Delta\omega_{\text{calc}}$ と図12(a)の配置で測定したその位置での測定値 $\Delta\omega_{\text{meas}}$ の関係を示しています⁽²³⁾⁽²⁴⁾。ただし結晶として面内および面垂直のひずみが弾性ひずみとしてどの程度含まれているかを評価するためには図7の例のように、 $\Delta\omega$ ではなく、 2θ のスキャンによる格子定数の変化を解析する必要があります。X 線でのひずみ測定では基本的に面間隔の変化による弾性ひずみを評価することになりますが、上記のように塑性変形の場合でも単結晶の反りや曲率半径のような場合には評価が可能になります。

2-2-5 最後に

X 線回折によって複合材や基板上的多層材などのひずみを評価する考え方についていくつかの例を示しながら解説しました。それぞれの詳細についての教科書、参考書などについては参考文献⁽²³⁾⁻⁽³⁴⁾などをご覧ください。本稿が X 線回折による試料解析の手がかりを得る一助になれば幸いです。

文 献

- (1) W. Bragg: Proc. Royal Soc. A, **88**(1913), 428.
- (2) G. K. Williamson and W. H. Hall: Acta Metall., **1**(1953), 22.
- (3) T. Ungár and A. Borbély: Appl. Phys. Lett., **69**(1996), 3173-3175.
- (4) I. Groma, T. Ungar and M. Wilkens: J. Appl. Crystallogr., **21**(1988), 47.
- (5) B. E. Warren and B. I. Averbach: J. Appl. Phys., **21**(1950), 595-599.
- (6) A. Taylor and H. Sinclair: Proc. Phys. Soc., **57**(London), (1945), 126.
- (7) J. B. Nelson and D. P. Riley: Proc. Phys. Soc., **57**(London), (1945), 160.
- (8) S. Ochiai, *et al.*: Supercond. Sci. Technol., **20**(2007), 202.
- (9) H. Okuda *et al.*: Physica C., **411**(2004), 114.
- (10) H. Okuda *et al.*: Scr. Mater., **55**(2006), 691.
- (11) H. Okuda *et al.*: Scr. Mater., **58**(2008), 687.
- (12) H. Okuda *et al.*: Mater. Trans., **56**(2015), 774-776.
- (13) A. Segmuller, P. Krishna and L. Esakim: J. Appl. Crystallogr., **10**(1977), 1.
- (14) J. W. Matthews and A. E. Blakeslee: J. Crystal Growth, **27**(1974), 118.
- (15) C. P. Kuo, S. K. Vong, R. M. Cohen and G. B. Stringfellow: J. Appl. Phys., **57**(1985), 5428-5432.
- (16) R. People and J. C. Bean: Appl. Phys. Lett., **47**(1985), 322-324.
- (17) 佐々木拓, 高橋正光: 応用物理, **87**(2018), 409-415.
- (18) 放射光 SAXS ビームラインの案内として
<https://pfwww.kek.jp/saxs/>
http://www.spring8.or.jp/wkg/BL40B2/instrument/lang/INS-0000000535/instrument_summary_view
など
- (19) R. Fischer *et al.*: Appl. Phys. Lett., **48**(1986), 1223-1225.
- (20) R. J. Matyl *et al.*: J. Electr. Mater., **17**(1988), 87-93.
- (21) H. H. Johan: Z. Phys., **69**(1931), 185.

状態図研究と歩んだ50年

豊田理化学研究所, フェロー, 東北大学名誉教授 大谷 博司

2021年3月に東北大学多元物質科学研究所を定年退職し、公益財団法人豊田理化学研究所において引き続き研究活動を続けています。豊田理化学研究所は、1940年(昭和15年)にトヨタ自動車工業株式会社を創業した豊田喜一郎氏によって創設された研究機関です。設立時には豊田家および豊田関係会社からの寄付を受けて財団法人として創始されていますが、その趣旨には、研究事項を限定せず、寧ろ根本的原理の探求を主とすること、国家に対して生産が有用である研究は工業化を図り、学理を追求する研究は益々それを深化させるべきことが述べられています⁽¹⁾。この研究所では、現在でもそれが基本理念として堅実に守られていることを感じます。

さて私はこの研究所で常勤フェローとして、大学在職時からこれまで行ってきた合金状態図の研究を継続しています。私が大学四年生で研究室に配属された当時は、状態図の研究は実験が主体で、計算機が普及し始めてようやく状態図の熱力学的計算(CALPHAD(Calculation of Phase Diagrams)法)ができるようになった時代です。もちろん今のような熱力学計算ソフトウェアもなかったので、今なら関数電卓でできるような計算を自分でプログラムを書いて大型計算機センターで実行する手間と時間のかかる研究を始めました。大学院に進んで与えられた研究テーマは、NaCl型炭化物や窒化物の固溶度の測定と熱力学的解析でした。当時は高張力鋼低合金鋼(HSLA鋼)が登場した頃で、このような基礎的研究が必要とされていたのです。図1は1273 Kにおける当時のV炭化物(VC)とオーステナイト(γ Fe(以下および図では γ と表記))との平衡に関する実験データです⁽²⁾。試料は濃度を変化させたFe-V合金を圧接して拡散対を作製し、一定の炭素活量になるように保持しながら浸炭して作製しました。 γ 単相域と(γ +VC)二相領域では、炭素の等活量線の傾きが異なるので、その傾きが変化する点がVCの固溶度として決定されるわけです。一般に溶体 ϕ への炭化物MCの溶解度は、「溶解度積」という言葉が示すように、 $[x_M]^\phi[x_C]^\phi$ =一定の双曲線で見られることが知られています。ところがこの図の溶解度はこの双曲線から逸脱し、高炭素領域で溶解度がむしろ増加していることが特徴です。この現象は高炭素領域では低炭素領域よりも炭素原子(C)が溶質元素であるVを引きつける力が強くなり、 γ 中にVを多く固溶させることができるために起こります。しかし当時研究室にあった炭素分析装置では、(γ +VC)二相領域の濃度がばらついて等活量線に任意性がどうしても現れます。また、炭素濃度の増加とともにCとVの間の引力的相互作用が強まるために、 γ 単相域では

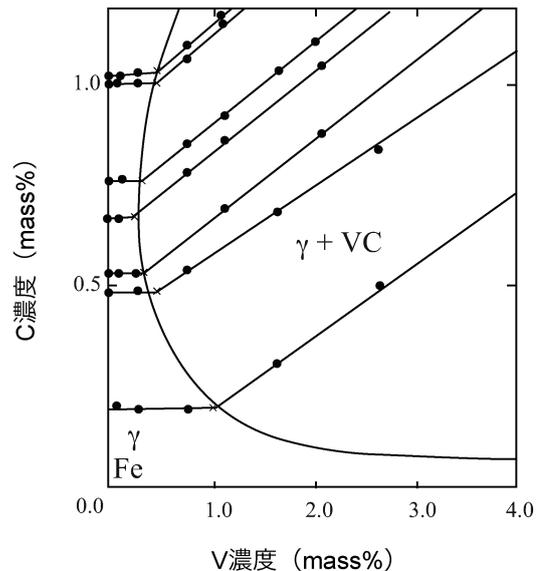


図1 オーステナイトへのV炭化物の固溶度の実験結果。

等活量線にわずかに正の傾斜が現れるはずですが、これも検出は困難でした。これらも手先が器用で観察力のある人なら乗り越えられる障害だったのかも知れませんが、私自身はこの実験結果に自信が持てずに、結局未公開のままにしておきました。しかし最近日本鉄鋼協会の講演で、この高炭素域での固溶度の増加が、浸炭時の異常粒成長挙動を観察した実験結果に対する状態図からの説明となっていることが示されていました⁽³⁾。あの実験結果は正しかったことが実証されたわけですが、若い日の私にもう少し前に進む気持ちがあったらと残念に思っています。

一方でこの研究は、別な意味で今の研究につながる問題を提起してくれました。溶解度の実験値を熱力学モデルにより解析すると、その解析式にはFe-V二元系やV-C二元系に関するパラメータが現れますが、これらがそれぞれの二元系から解析された結果とどうしても合いません。これも今考えれば当たり前のことなのですが、正則溶体近似をはじめとする熱力学モデル自体が自由エネルギーの近似式であり、そこに含まれる熱力学パラメータも実験値を用いて決定されるため、自然の本当の姿を反映するものではありません。従ってある系が近似式で解析されていても、解析した人の技量による信頼性のばらつきが生じることが多く、私自身の中にCALPHAD法そのものに対する疑問が生じてきました。

そこで20年ほど前から、第一原理計算を基盤技術にして

科学館めぐり

国立科学博物館上野本館(東京都台東区)

文責：室蘭工業大学大学院(博士後期課程工学専攻) 平澤 龍
(2024年2月訪問)

国立科学博物館の施設は3カ所に分散しており、東京都台東区上野の上野恩賜公園内に上野本館、東京都港区白金台に附属自然教育園、茨城県つくば市に筑波実験植物園がある。本稿では、上野本館について紹介する(図1)。

上野本館はJR上野駅からすぐの上野恩賜公園内にあり、駅から徒歩数分で行くことができる。日本館と地球館と2つの建物があり、常設のものではおよそ2万5千点と1日ではまわりきれないほど多くの展示品がある。

入り口は日本館の地下1階にある。この建物は、1930(昭和5)年に竣工されたネオルネサンス様式の歴史ある建物で国指定重要文化財である。上から見ると、飛行機の形をして



図1 国立科学博物館の外観。



図2 中央ホールの天井。

おり、中央ホールは1階から3階まで吹き抜けで天井にはステンドグラスがある。このように、展示品だけでなく建物にもみどころがある(図2)。この建物の展示物のテーマは、「日本列島の自然と私たち」である。

日本館1階には、江戸から明治にかけての日本人がどのように自然科学を見て、知ろうとしてきたかについて多くの資料がある。具体的には暦や星、地震、時間、微小の物体の測定道具や、測定の記録を見ることができるなど江戸時代に作成された日本独自の暦が展示されている。それ以前は、中国から輸入された暦が使われていたが、誤差が積み重なりずれが生じてきたため、江戸時代では天文暦を利用した日本独自の暦の作成がはじまり、何度か改暦が繰り返された。明治に入ってから太陽暦が導入され、イギリスの代表的なメーカーであるトロートン・アンド・シムス社製の天体望遠鏡が使用された(図3)。これは1880(明治13)年に明治政府によってイギリスから輸入され、暦の作成だけでなく天体観測に使用されたもので、現在は、国の重要文化財に指定されている。地震に関するコーナーでは、日本で使用されてきた地震計が展示されている。日本は地震が多い国であり、地震についての研究は明治から本格的に始まった。当時日本にいたお雇い外国人や、彼らのもとで学んだ日本人地震学者が地震を記録するために、さまざまな地震計を作成した。また、関東大地震を記録した貴重な地震計とその記録も展示されており、記録から大きな揺れであったことを観ることができる。

日本館2階には、秋田犬のハチ(図4)とカラフト犬のジロの剥製が展示されている。秋田犬のハチは忠犬ハチ公として有名で、飼い主であった東京大学農学部の上野英三郎先生が亡くなったあとも、渋谷駅や旧邸宅に帰ってしまうこともあ

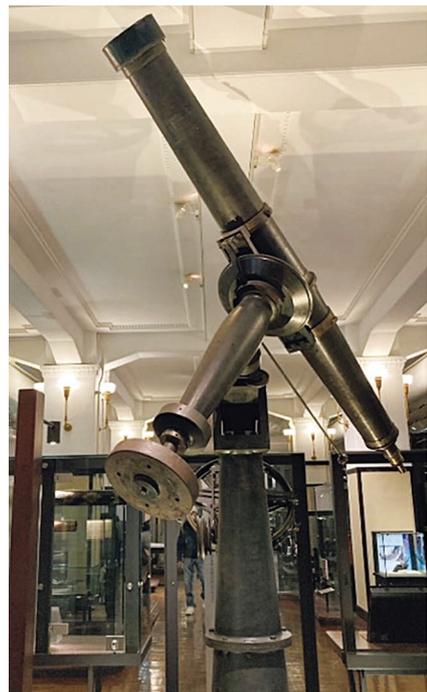


図3 トロートン天体望遠鏡。

ったことから、このようなあだ名がつけられた。渋谷駅にこの忠犬ハチ公の像があることは有名である。カラフト犬のジロは、兄のタロとともに南極観測隊に同行した。天候不良によって輸送できず南極大陸に取り残されたが、1年後、観測隊が再び南極に戻ったときに、兄のタロとともに奇跡的に生き残っていた。兄タロのはく製は、北海道札幌市の北海道大学植物園に展示されている。このように、映画のモデルにもなった有名な犬の剥製も見るができる。

ほかにも日本で初めて化石が発見された首長竜であるフタバズキリュウの全身骨格標本、古墳時代から大正時代までを生きた推定樹齢1600年以上のヤクスギの年輪、アンモナイトの化石など印象深い資料が多数展示されていた。

もう一つの建物である地球館には、地下3階から地上3階までである。1999(平成11)年に常設展示が開始され、2004(平成16)年にグランドオープンした。ここにも多くの展示品があり、「地球生命史と人類」というテーマに沿って展示されている。

地下3階の日本の科学者のコーナーでは自然科学分野のノーベル賞受賞者、日本の自然科学分野に貢献した先人たちの思い出の本や記事、他の研究者とのやりとりの手紙やFAX、過去の講演に使用された資料、実験ノートなどが展示されている(図5)。リチウムイオン電池の開発でノーベル化学賞を受賞した、吉野彰先生の展示もある。ここには、リ



図4 秋田犬ハチの剥製。



図5 日本の科学者のコーナー。

チウムイオン電池の模型だけでなく、研究月報や小学生時代の愛読書であったマイケル・ファラデー先生の「ロウソクの科学」が展示されており、吉野先生の研究生活や原点となった資料を見ることができる。有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリングでノーベル賞を受賞した根岸英一先生のコーナーには、根岸先生が研究グループによく話していた根岸語録が書いてある。そこには研究に対する心構えが書かれており、根岸先生の研究に対する思いを感じることができる。

2階には科学と技術の歩みが展示されており、日本の科学技術の発展の歴史に関する資料についても展示されている。ここには、工部大学校についての展示がある。この学校は、日本の工業の近代化を目指すための人材を育成することを目的に設立され、外国から教員を雇い工学に関する当時の最先端の講義が英語で行われた。学科のひとつに冶金学もあり、ドイツの採鉱冶金学者であるクルト・ネッター先生が招かれた。のちに、東京帝国大学の教授になった野呂景義先生もネッター先生のもとで学んだ。野呂先生は日本各地の製鉄所建設に中心的な役割を果たし、日本の近代化に大きく貢献した。このコーナーには、野呂先生ら当時のネッター先生の教え子たちが翻訳した講義録である、「涅氏冶金学」が展示されている(図6)。

このほかにも地球館には、ジャイアントパンダやライオン、ラクダ、サイなどいろいろな動物の剥製、恐竜たちの骨格標本、世界各地の遺跡から出土した遺物など、日本館よりも多くの資料が展示されている。事前にチケットの購入が必要ではあるが、親子で楽しめる「親と子のたんけんひろばコンパス」もある。また、地球館屋上にはさまざまな種類のハーブが植えられているハーブガーデンや、休憩場所として利用できるスカイデッキがある。飲食物を提供しているカフェやレストランなどもある。このように、1日中いても飽きないような施設となっている。ぜひ、東京を訪問される際には、足を運んでいただきたい。



図6 ネットーの講義録の復刻版「涅氏冶金学」。



図7 大型鋳造地球儀(知恵ふくろう).

科学館で見つけた金属材料！

“フルモールド鋳造によって製作された大型鋳造地球儀”

科学博物館の屋外展示スペースに、地球儀とそのなかにフクロウが2羽形づくられた「大型鋳造地球儀(知恵ふくろう)」がある(図7)。これは、2007(平成19)年に行われた企画展に出展され、その後出展先の企業から寄贈されたものであり、フルモールド鋳造によって製作された作品である。この鋳造法は、発泡スチロールで制作物の模型をつくり、模型

を砂型に埋める。この状態で溶湯を流し込み、模型と溶湯を置き換えながら鋳物を作る方法である。この方法の長所は、複雑な鋳物が簡単にできる、型を保管する必要がない、型の修正が容易、抜き勾配が不要などである。この方法で製作されたことによって、フクロウや地球儀の陸地部分など複雑な形が再現されているのを観ることができる。

文 献

- (1) 独立行政法人国立科学博物館：独立行政法人国立科学博物館概要2023, (2023).
- (2) 内田正男：暦の語る日本の歴史, そしえて文庫, (1978).
- (3) 田中和明：まてりあ, **55**(2016), 215-220.
- (4) 筑波常治, 菊池俊彦編：明治の群像7 産業の開発, 三一書房, (1971).
- (5) 菅野利猛：鋳造工学, **76**(2004), 671-678.
(2023年4月12日受理)[doi:10.2320/materia.63.410]

国立科学博物館上野本館へのアクセス

URL <https://www.kahaku.go.jp/>

(〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20)

*JR「上野」駅(公園口)から徒歩5分

*東京メトロ銀座線・日比谷線「上野」駅(7番出口)から徒歩10分

*京成線「京成上野」駅(正面口)から徒歩10分



“What’s 技術士?”

製造経験を基盤とした 大学における技術士の活動

横浜国立大学：工学研究院コーディネーター，
横浜国立大学理工学部非常勤講師，
山形大学工学部非常勤講師，東京藝術大学名誉教授

桐野文良



1. 技術の現場

(1) 研究開発

日本金属学会と日本技術士会金属部会との共同企画で、技術士の活動事例を紹介するものである。3回目となる今回は、大学における技術士の活動の一例を紹介する。筆者は企業の研究所に19年にわたり所属した。その中で、筆者に与えられたミッションは研究所で確立した基礎技術を製造工場へ移管し製造に移行することであった。研究対象となった主な製品は、スパッタリングなどで薄膜技術のみで製造する全固体薄膜リチウム電池に始まり、光磁気ディスク(Magneto-optical disk：通称MO)用記録材料、光磁気ディスク装置(記録再生技術)、業務用デジタルVTR用磁気ヘッド材料およびその製造技術、ハードディスク用材料およびその製造技術、塗布技術で製造する薄型リチウムイオン電池である。

(2) 技術士と学位

開発を行う中で、光磁気ディスクの製品化における光磁気記録膜の主な課題として、①高耐食化、②熱安定性向上の2点があった。①については、金属薄膜腐食の観点から防食技術を確立し、②については、計算機シミュレーションによる熱計算を併用して非品質記録膜の熱安定性向上技術を開発した。それぞれの技術開発により、金属及び応用物理学の2つの部門の技術士試験に合格できた。複数の技術部門に属することは異なる技術分野を知ることになり幅広い活動ができる。あわせて、製品化における学術的な裏付けが評価され、博士(工学)の学位が東北大学より授与⁽¹⁾された。技術士と学位は目指すものではなく結果としていただくものである。学術と製品化技術の融合である。

(3) 企業における技術士活動の基本

筆者が所属した企業には、人々が相交わる『和の精神』、誠実に業務を行う『誠の精神』、そして、新たな分野(業務)を開拓する『開拓者の精神』の3つが、業務遂行上の基本的精神として、入社時から研修を通して奨励されてきた。これはその後の技術士としての活動や技術者倫理の基本として今でも生きている。研究所の技術者には学位を取得すること

を、工場の技術者には技術士となることを企業として推奨している。この両者が両輪となり、さらなる技術の発展に繋がっていくことを目指している。

また、知的財産権の一つである工業所有権について、国内の出願から審査請求、公告に対する異議申し立てなどを経験した。また、外国出願では、アメリカにおける先発明主義、欧州特許庁における特許裁判などを経験し、特許の重要性を痛感した。海外では技術士(Professional Engineer: PE)と学位が技術者の信頼度を高めてくれた。技術士は一定の技術水準にあることを国家が認めるものである。これを生かして、企業では仕事に対する信頼が高まり、工業所有権も含めて自信を持って業務を遂行してきた。また、工場の製造現場において製造に携わる技能者の方々と製造仕様書には書かれていない製造ノウハウを伺うとともに、技術移管では現場にノウハウを構築することに貢献できた。これも技術士として貴重な役割である。学会における活動に加えて、技術士として業務を通じた社内外の方々と交流を活発に行うことができた。特に異分野との交流は考え方や視点が異なるので有用である。そのことが、以後の技術者、研究者として活動していく上で筆者の貴重な財産である。

2. 大学における技術士としての活動

(1) 大学へ活動の場を移す

縁あって、研究や教育の活動の場を大学に移す機会をいただいた。製造業の研究所や工場において培ってきた業務経験をベースとして、最先端の研究成果を用いて次世代社会を担っていく人材を育成していくことになる。異動先の東京藝術大学では、文化財保存学専攻の保存科学研究領域に所属した。例えば、金属を用いた芸術作品には様々な工芸技法が用いられ、多彩な芸術表現が実現されている。企業で培った材料技術など自然科学の眼(技術士の眼)で、文化財をはじめ芸術作品に用いられている材料や制作技法、作品の状態調査から後世への保存技術について研究してきた。

(2) 先人の智慧に学ぶ

金属工芸作品の研究においては、構成する材料やその制作技法、保存状態から保存方法など幅広い視点が求められる。

作品を調査していく中で、現代の我々が忘れてしまった様々な技法が、古人の声として作品から多く聞こえてくる。効率と経済性を重視しがちな現代工業と異なり、制作者の持てる技術、技能の粋を尽くして創る姿が目には浮かんでくる。制作技法についてはいずれも超絶技法が多く用いられており、これらの古人の智慧は時代により陳腐化することなく、現代でも輝いている。特に、江戸時代の制作者は『名ではなくものを残せ』が粋とされ、手間暇を惜しまず最良の方法、最良の材料を用いて制作を行っている。そのため、現代の我々も学ぶことが多い。また、現代の金属をはじめ様々な素材を扱う現場の制作者や職人の方々から、経験した様々な技能、技法について直接伺い、それをもとに制作を体験することは大変貴重な機会である。このように、制作現場に根差した技術や技能に目を向け、自ら経験することが重要であると感じるのも、技術士ならではの感覚である。大学では、様々な伝統技法の保存とその発展が重要な研究テーマの一つである。さらに、作品に潜む芸術性や制作の現場の雰囲気など、形のないものも含めた保存を進めている。まさに『古人恐るべし』と先人への畏敬の念を感じつつ、日々の研究を行っている。さらに、技術士としてのこれまでの経験を生かして、古人の智慧を現代工学に蘇らせる研究や教育に携わる機会が与えられている。この場合、学術と工学(技術、技能)とのバランスが重要である。大学の立場はあくまでも中立であり、多くの工房や研究機関と共同研究を行い易い。特に、人と人を繋ぐこと(媒介者としての役割)がある。これが大学における技術士活動の特徴でもある。また、大学における研究の成果を工業所有権として出願、あるいは大学において出願された特許のメンテナンスでも、これまでの経験を生かしてスムーズに進めることができた。

(3) 技術が社会に与える影響

技術者倫理：科学技術が社会や環境に与える影響は、計り知れず大きい。技術士として学術と工学とを繋ぐ中で、科学技術の研究や開発は、公共の安全、健康、福利の確保を第一に考慮して遂行されなければならない。これが、1970年代後半頃から必要性が求められるようになった技術者倫理である。これに関しては技術士試験の科目にも必須科目として取り上げられており、技術者として備えることの重要性を示している。このように、技術者倫理の実現に向けた活動が技術士には強く求められる。大学での筆者の担当科目は、金属材料学や美術工芸材料学、機器分析法及び機器分析実験、演習、環境と防災の科学等である。この中で、技術士としての経験を基に講義を行ってきた。最近では、工学部生を対象とした技術者倫理ならびに環境論なども行っている。図1に、工学部生対象の技術者倫理と環境論の講義題目を例として示す。これらの講義の内容は、これまでの筆者の技術士としての業務経験と技術者倫理が背景となっている。次世代を担う方々に対して、科学技術や倫理などを伝承しなければならない使命が大学にはあり、その一翼を技術士として筆者は担っている。技術士のあるべき姿を学生が自覚できるように自ら

『技術者倫理』講義題目

1. 技術者倫理の必要性和学ぶ意義
- なぜ今技術者倫理が求められるのか
2. 意思決定と技術者倫理
3. 組織の中の技術者と倫理
4. 技術者としての行動設計
5. 技術者の財産的権利 - 工業所有権との関係
6. 法的責任とモラル責任、説明責任
7. 『幸せ』をもたらす技術者倫理 - まとめにかえて

『環境論』講義題目

1. 環境論-意義と目標 (SDGsの中の環境)
2. 環境科学の基礎
3. 環境とエネルギー
4. 法的規制と自主的な取組み (ISO14000シリーズ)
5. 環境アセスメントと環境社会学
6. ライフサイクルアセスメント
(環境と廃棄物について)
7. 変わりゆく地球-総括にかえて

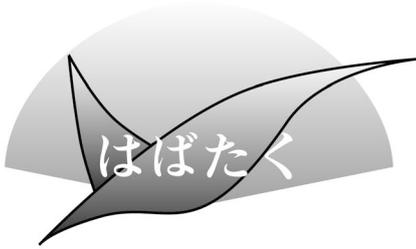
図1 技術者倫理及び環境論の講義題目(例)。

の活動を通して導き、どのように進んできたかをこれまでの経験をもとに伝えている。

労働(工房)安全：安全工学(労働安全)の講義も担当し、自分自身の安全確保をベースに実験室や工房、製造現場などから公共の安全まで具体的な視点から拡張できるように工夫している。これは知識を得るだけではなく、学生自身が意識して日々の実験実習を通しての経験と実践的活動を積み上げる中から構築していくものであることを特に強調している。技術士活動を基礎に取得した労働安全および労働衛生のコンサルタントの有資格者として、さらに活動としての幅を広げてきたことが役立っている。このことは、技術者の活動の幅広さ、奥深さの必要性を講義や演習を通して示している。

(4) 東北地方太平洋沖地震から学ぶ

東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)は、社会と科学技術の関係を再度考える契機となったと指摘⁽²⁾⁻⁽⁴⁾されている。例えば、生活に欠かせない各種のインフラが停止した中での生活(電力の使用制限や計画停電など)を余儀無くされたこと、東京電力福島第一原子力発電所の事故では原子力利用の是非に関する倫理面での検討の甘さなどが指摘されている。



民間企業から博士課程へ進学して

富山大学大学院理工学教育部ナノ新機能物質科学専攻
材料成形加工学講座

桐本雄市

1. はじめに

私は2022年4月に富山大学の大学院博士後期課程に入学し、理工学教育部ナノ新機能物質科学専攻にて附田之欣講師の下、マグネシウム蓄電池用負極材料の合金開発やプロセス開発・評価、Computer Aided Engineering (CAE) 解析計算などに関する研究に日々励んでおります。この度、本稿執筆の機会をいただきましたので、前職の民間企業での経験と合わせて、富山大学大学院博士後期課程における研究活動の現状と今後に向けた抱負を紹介したく存じます。

2. 民間企業での経験

愛媛大学工学部機能材料工学科を卒業後、自動車部品メーカーでアルミニウムダイカスト部品の製品設計やCAE解析を用いてのダイカスト金型の湯道・冷却方案設計の業務に従事しておりました。多種多様な部品の設計や、CAE解析を駆使してダイカストの湯道や金型冷却方案を決定し、解析結果を基に様々な部署の方々と議論を重ねて金型設計に反映させ、金型を製作しておりました。大学では習得することがなかったCAE解析という分野に初めて触れることができ、業務として携わるうちに製造業におけるCAEの重要性を認識するとともに、精度や解析モデルに関しても多くの課題があることが分かりました。その上で、非常に面白い分野だと感じたのを憶えています。その後、完成車メーカーに転職し、ダイカスト工程におけるパワートレイン部品の生産技術業務を経験しました。少品種大量生産という、部品メーカーとは少し違う観点から自動車を製造していく難しさを知りました。その中で、自身で生産工程の課題を見つけ、製品の高品質化に向けた検討や、生産技術の観点からの不良対策や新規部品の試作を、現場と協力しながら時には深夜まで行ってきました。非常に忙しかった反面、とても充実した日々を過ごすことができ、ダイカスト、ひいては鋳造の面白さに惹き込まれていきました。

3. 単ロール式急冷凝固法を用いた研究

単ロール式急冷凝固法とは、ノズル内にピレット状の試料を挿入し、誘導加熱コイルにて試料のみを溶融させ、ノズル内に瞬間的にガス圧力をかけて先端部から溶湯を噴射させ、

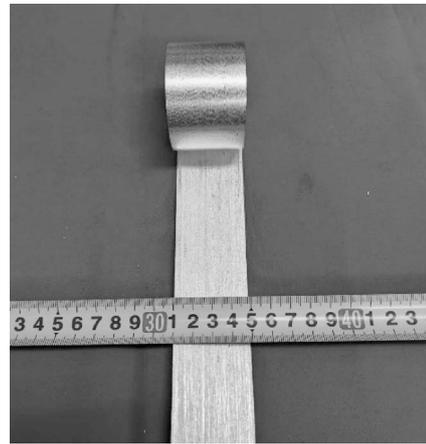


図1 作製した薄帯。(幅44 mm, 長さ4.6 m)

高速回転しているロールに衝突させ、急冷凝固させることで、薄帯を得る工法です(図1)。

大学院博士後期課程では、この方法を用いて、マグネシウム蓄電池の負極に適した薄帯状合金材料を作製するためのプロセス確立と、この薄帯の蓄電池負極活物質としての性能評価を、研究チーム一丸となって推進しております。その中で、実際に薄帯を作製するだけでなく、CAE解析を駆使して得られたモデルの検討や、現物との合わせ込みを実施しております⁽¹⁾。ここで得られる薄帯は、幅、厚みおよび長さといった寸法因子の他、表面で確認できるき裂や孔、内部欠陥の有無が大きく変化することが確認されています。さらに、射出成形やダイカスト、単ロール式急冷凝固法といった冷却速度の速い工法では、品質の良し悪しが作製条件に強く依存します。研究を進める中でこれらを改めて認識することができ、非常に興味深く感じております。

4. 最後に

民間企業を退職し、一念発起して博士後期課程へ進学しました。その中で、国際会議を含めた学会発表や論文執筆、特許出願、様々な企業との共同研究といった、民間企業ではおおよそ経験できないことを主体的に経験しております。また、蓄電池としての性能を考慮しながら合金開発を実施する難しさや奥深さを経験し、知識や経験の不足を再認識する日々です。今後の自身の研究テーマでは、開発した合金や単ロール式急冷凝固法で作製した薄帯の作製条件の電気化学活性への影響の検討も含めて取り組んでまいります。

最後になりますが、本稿執筆という大変貴重な機会を与えてくださいました、富山県立大学の鈴木真由美教授、会報編集委員会の皆様に厚く御礼申し上げます。また、富山大学大学院博士後期課程で現在指導いただいております附田之欣講師、大学とともに研究に取り組んでいる共同研究相手先の皆様、そして、私の企業勤務時代に技術者としての基礎を築いてくださった多くの方々に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

文 献

- (1) Y. Kirimoto, K. Fuke, T. Tsukeda, T. Aida, Y. Nemoto, M. Ikeda, H. Tabata, H. Kurihara and M. Suzuki: J. Japan Inst. Light Metals, **73**(2023), 537-544.
(2024年3月19日受理)[doi:10.2320/materia.63.416]
(連絡先: 〒930-0887 富山市五福3190)

スポットライト

～第9回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

ほこりセンサを用いた桜島の 降灰濃度測定器

鹿児島県立国分高等学校 サイエンス部 3年

川崎拓真 児玉健登 上口知優

1. 研究目的

鹿児島の活火山である桜島では、1914年に起こった大正噴火において噴煙が上空8000mまで到達し、大きな被害があった⁽¹⁾。現在も桜島は噴火を続けており、噴火口より20km以内の33か所の観測点での降灰量の2022年の累計は約20.7 kg/m²であった⁽²⁾。観測点の一つである鹿児島気象台では、ステンレス製のトレーに24時間のうちに積もった灰の質量を測り、それを1m²当たりの値に換算したものを降灰量としている。火山灰は、粒子の重さによって地表に落下するまでの時間が異なり、特に細かい火山灰は空气中に長時間滞留する。そのため、空气中に浮遊している火山灰の量を測る新たな測定方法を確立したいと考えた。一方で降雨観測に用いられるXバンドマルチパラメータ(MP)レーダによる降灰量測定も試みられているが⁽³⁾、実装化には至っていない。

本研究では、空気清浄機などで使用されるほこりセンサを用い、浮遊している火山灰量をリアルタイムで測定することが可能な降灰量測定装置を開発することを目的とし、そのための基礎研究としてほこりセンサを用いた火山灰の質量測定器の開発を行った。

2. 研究方法

(1) 火山灰の測定装置の開発

桜島から噴出されて大気中に浮遊する桜島の火山灰が、ほこりセンサ(GP2Y1010AU, シャープ社製)を通過することにより、ほこりセンサが大気中の火山灰濃度に比例した電圧を出力するものと仮定し、測定を行った。ほこりセンサの制御とデータ収集はマイコンボード(Arduino UNO R3)とパーソナルコンピュータ(PC)で行った。

また、桜島の火山灰の降灰量が正しく測定できるかを確かめるために、国分高校の屋上で採取した桜島の火山灰をほこりセンサに通過させ、通過した火山灰の質量(g)を電子天秤で測定し、ほこりセンサより得られた電圧値(V)と比較・校正を行った。図1は本研究で作製した装置の模式図である。

(2) 粒径の異なる火山灰の測定

火山灰の粒径の違いにより測定値に差が出るかを調べるた

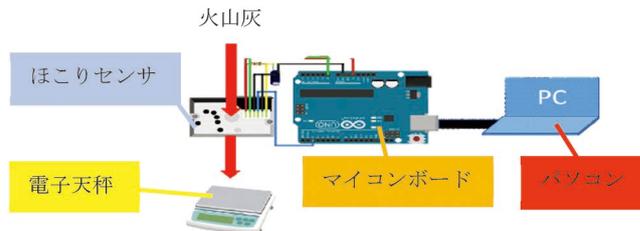


図1 本研究で作製した装置の模式図。(オンラインカラー)

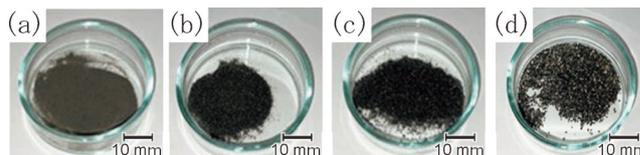


図2 粒径ごとにふるいで分けた各火山灰 (a) 粒径0~75 μm, (b) 75~250 μm, (c) 250~425 μm, (d) 425~810 μm). (オンラインカラー)

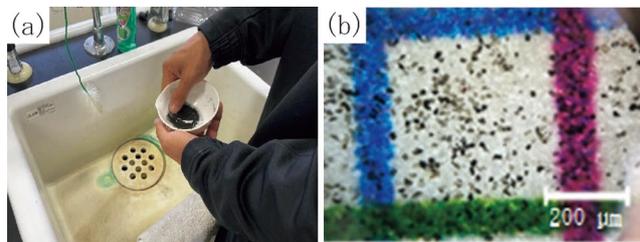


図3 (a) 押し洗いの様子, (b) 光学顕微鏡で観察した火山灰 (粒径0~75 μm). (オンラインカラー)

めに、ふるいを使って図2のように4種類に分けた。分けた火山灰をそれぞれ、2.(1)に記述した方法でほこりセンサに通過させて測定した。また、図2は粒径ごとにふるいで分けた火山灰である。

(3) 火山灰中の鉱物の観察と同定

火山灰の鉱物成分の観察と同定をするために、参考文献⁽⁴⁾をもとにふるいで分けた火山灰を粒径ごとに蒸発皿に入れ、濁りがなくなるまで押し洗いをし、その後乾燥させ、実体顕微鏡(BA80-6S, 島津社製)で観察した(図3)。

3. 結果と考察

(1) 火山灰の測定装置

ふるいなしの火山灰を測定し、グラフの横軸に火山灰の質量 m (g), 縦軸に電圧の積算値 V (V)をとると、図4のように灰の質量が1.0g以上で電圧の積算値が飽和しているように見えた。また、火山灰の質量が0~1.0gの範囲で、ほこりセンサを通過した火山灰の質量とほこりセンサの出力電圧の積算値には正の相関性が見られ、 $V=am$ の関係式で整理するとグラフの傾き a は $81 \text{ V} \cdot \text{g}^{-1}$ となり、直線性を表す決定係数 R^2 の値が0.97となった。実際の火山灰に相当するふ

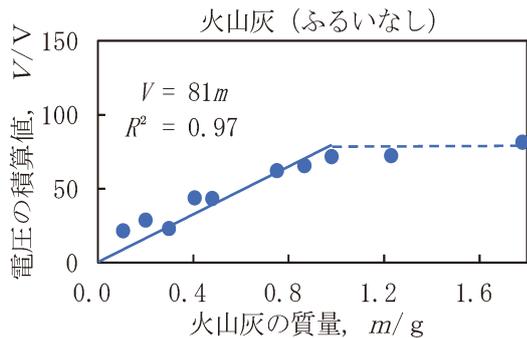


図4 ふるいで分けていない火山灰の測定。(オンラインカラー)

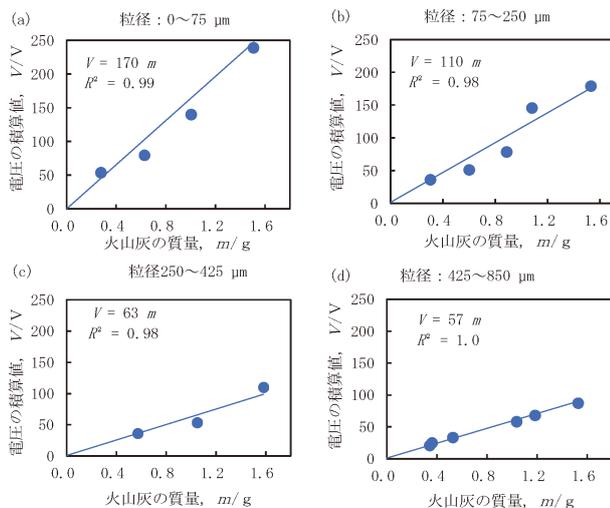


図5 粒径ごとの火山灰測定器の電圧値(積算値) (a) 粒径0~75 μm, (b) 75~250 μm, (c) 250~425 μm, (d) 425~810 μm。(オンラインカラー)

るいなしの火山灰であっても、ほこりセンサで火山灰の量を測定できることがわかった。

(2) 粒径ごとの火山灰の測定

粒径でふるいわけた火山灰4種を測定し、3.(1)と同じようにグラフを作成したところ、図5のようにいずれの粒径でも正の相関性が見られた。また、 $V=am$ の関係式で整理すると表1に示したように各粒径(a) 0~75 μm, (b) 75~250 μm, (c) 250~425 μm, (d) 425~810 μmに対してグラフの傾きはそれぞれ $170 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, $110 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, $63 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$, $57 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$ となり、直線性を表す決定係数 R^2 の値はそれぞれ0.99, 0.98, 0.98, 1.00と、粒径ごとではほぼ変わらない結果となった。粒径が小さくなるほどグラフの傾きが大きくなった。

3.(1)では火山灰の質量が1.0 gまでであれば、測定装置において質量と電圧には線形性があった。一方、3.(2)における図5では、火山灰の質量が1.0 g以上の値もデータとして採用可能であった。これは様々な粒径の火山灰が混在していた3.(1)の試料では、質量が増大するほど粒径の小さい火山灰の粒子による影響が大きくなったためだと考えられる。

また、ふるいなし火山灰の質量が1.0 gの時、電圧の積算

表1 火山灰の粒径ごとの傾きおよび R^2 値。

粒径	(a)	(b)	(c)	(d)	ふるいなし
	0~75 μm	75~250 μm	250~425 μm	425~810 μm	
傾き	$170 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$	$110 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$	$63 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$	$57 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$	$81 \text{ V}\cdot\text{g}^{-1}$
R^2	0.99	0.98	0.98	1.0	0.97

表2 桜島火山灰の粒径ごとの各鉱物の割合(%)。

鉱物名	粒径	(a)	(b)	(c)	(d)	ふるいなし
		0~75 μm	75~250 μm	250~425 μm	425~810 μm	
無色鉱物	石英	13.5	12.7	7.1	4.4	13.2
	長石	24.6	22.8	16.1	5.4	26.4
	計	38.1	35.5	23.2	9.8	39.6
有色鉱物	輝石	57.4	30.9	63.6	64.1	49.4
	磁鉄鉱	4.5	33.6	13.2	26.1	11.0
	計	61.9	64.5	76.8	90.2	60.4

値が一定になった理由としては、粒形が810 μm以上の火山灰が存在していることが関係していると思われる。

(3) 火山灰中の鉱物の観察と同定

火山灰の粒径ごとの鉱物の割合について、表2にまとめた。

粒径が大きくなるにつれて無色鉱物(石英と長石の和)の割合が大きくなっている。逆に粒径が小さくなるにつれて有色鉱物(輝石と磁鉄鉱)の割合が大きくなっている。

一般に、粒径が小さいほど石英、長石の含有量が多くなっていることから、無色鉱物の反射率の増大のため、表2で示すように粒径が小さくなるほど灰の質量に対する出力電圧が上昇し、グラフの傾きが大きくなるという結果になったと考えられる。

4. まとめ

- ほこりセンサは4000円と安く、ほこりセンサを用いた火山灰の質量測定器を安価に作る事ができた。
- 本研究で作製した装置を用いて、ほこりセンサを通過した火山灰の質量を測ることができた。
- 火山灰に含まれる成分によってはほこりセンサの粒径ごとの火山灰に対する測定結果に差が出る事が分かった。

5. 今後の展望

- 実際に桜島付近に火山灰の降灰量測定器を設置し、野外で

の測定を試みる。その後、観測地を増やして鹿児島県の桜島降灰量データと比較する。

- 火山灰の成分以外がほこりセンサの反応に与える影響を、実験を通して明らかにする。
- ほこりセンサを用いた降灰濃度測定器の開発を行う。

文 献

- (1) 鹿児島県：鹿児島島の火山 防災ガイド BOOK，桜島大正大噴火100周年事業実行委員会，(2013)。
- (2) 鹿児島県 危機管理防災局危機管理課「桜島降灰量観測結果」<http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/sonae/sakurajima/sakurajimakouhairyou2.html>(2024年4月2日閲覧)
- (3) 安田成夫，梶尾義雄，國友 優：京都大学防災研究所年報，**55B**(2012)，1-8。
- (4) 野尻湖火山灰グループ：新版 火山灰分析の手引き，地学団体研究会，(2001)，2-32。
(2023年5月29日受理)[doi:10.2320/materia.63.417]
(連絡先：〒899-4332 霧島市国分中央2-8-1)



～美しい金属の写真～

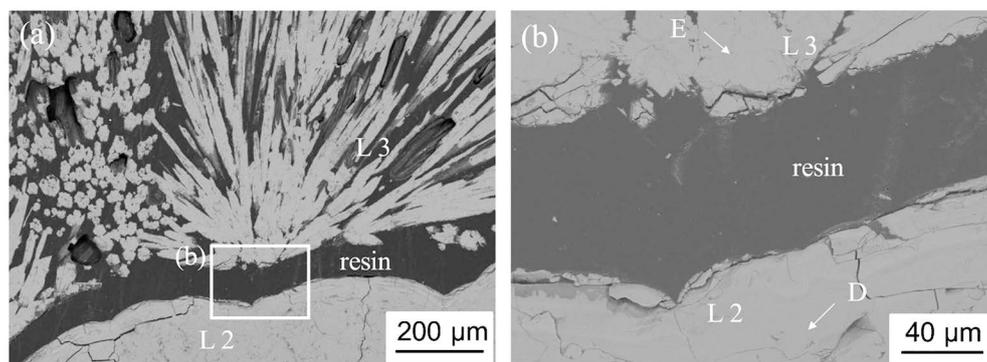


Fig. 7 Backscattered electron image at L2 and L3 layers (a) shown in Fig. 3 and magnified image of their interface (b). Analysis points of D and E are indicated in (b).

<A Model of Scale Formation on Inner Carbon Steel Pipe Walls for Transporting Hot Spring Water :
Motoaki Morita and Osamu Umezawa: Mater. Trans., **57** (2016), 1652-1659 より転載>

本 会 記 事

会 告 2024年秋期(第175回)講演大会参加および講演申込について	420
第12回「高校生・高専学生ポスター発表」募集	424
第22回 World Materials Day Award 募集	425
2024年秋期講演大会ホームページ・バナー広告, 大会プログラム広告, 付設展示会, 誌上展示会各募集要領	426
各種学術賞, 奨励金等候補者推薦について	427
日本金属学会オンライン教育講座開催案内	429
オンデマンド配信: 日本金属学会オンライン教育講座	430
2023年度に活動終了した研究会成果	431
2023年度事業報告および決算報告	437
2024年度事業計画および収支予算書	442
研究集会	428
新入会員	435
掲示板	432
次号予告	436
会誌・欧文誌 6号目次	434
行事カレンダー	446

◎本会へのお問合せは下記URLをご利用下さい。

<https://jimm.jp/contact/>

- 投稿規程・出版案内・入会申込はホームページをご利用下さい。
- 支部行事, 掲示板, 研究集会等の情報はホームページにも掲載しております。

会 告 (ホームページもご参照下さい)

2024年秋期(第175回)講演大会参加および講演申込について

2024年秋期講演大会を, 9月18日(水)から20日(金)まで, 大阪大学豊中キャンパスで開催します。

(会期は9月18日からの3日間になりましたので, ご注意下さい)。

高校生・高専学生ポスターセッションは, 9月18日(水)に大阪大学豊中キャンパスで, 9月25日(水)にオンラインで開催します。(選択された発表方法により開催日が変わります。)

参加申込みは, すべてインターネットでの申込みです。詳細は, 下記参加申込要領をご確認下さい。

なお, 今回から優秀ポスター賞の選考方法が変わります。詳細は「ポスターセッションについて」(本号423頁)をご確認下さい。

～ 講演大会日程(会期は3日間になります。) ～

日 時	行 事
9月18日(水) 9:00～9:40 10:00～17:30 10:00～17:30 18:30～	開会の辞, 贈呈式 ポスターセッション, 高校生・高専学生ポスターセッション シンポジウム講演(一般講演は行いません) 懇親会(会場検討中)
9月19日(木) 9:00～18:00	学術講演
9月20日(金) 9:00～17:00	学術講演
9月25日(水)午後	高校生・高専学生ポスターセッション(オンライン)

◆懇親会

開催日時: 2024年9月18日(水)18:30～(予定)

開催場所・料金: 詳細が決まり次第ご案内いたします。

講演大会の参加申込について

◆申込の種別と申込期間

- (1) 事前申込(8月30日(金)をもって事前参加申込完了となります)
申込期間：2024年5月27日(月)～2024年8月30日(金)
ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/
決済方法：クレジットカード，コンビニ支払，銀行振込
- (2) 後期(当日)申込
申込期間：2024年9月6日(金)～9月25日(水)
ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn_after/
決済方法：クレジットカード
- (3) 相互聴講(鉄鋼協会に参加する本会非会員のみ 現地申込のみ)
申込期間：2024年9月18日(水)～20日(金)
ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn_after/
決済方法：クレジットカード



問合せ先 講演大会係 E-mail: annualm@jimm.jp

◆大会参加費(講演概要ダウンロード権含む)および登壇費 ※年会費とは異なります。

参加費・懇親会の消費税の取扱いは、ホームページ(一覧表 PDF)をご参照下さい。

会 員 資 格	事前参加申込	後期(当日)申込	相互聴講	登壇費
正員	10,000円	13,000円	—	—
非会員の維持員会社社員	10,000円	13,000円	—	10,000円
非会員のシンポジウム共催・協賛の学協会会員	10,000円	13,000円	—	10,000円
2024年3月1日時点で65歳以上の個人会員*1	無 料	無 料	—	—
学生員*2	6,000円	7,000円	—	—
ユース会員*3(中高生会員，高専専科1年生以下，大学3年生以下)	無 料	無 料	—	—*3
非会員*4 一般	24,000円	27,000円	—	10,000円
非会員*4 学生(大学院生含む)	14,000円	16,000円	—	5,000円
鉄鋼協会講演大会参加者(一般，学生問わず) 講演者は選択できません。	—	—	6,000円	—

- お支払後の取消は、ご返金できませんのでご了承下さい。
- 領収書は、決済完了後に申込画面(「講演大会 MyPage」)からダウンロードし、印刷して下さい。

- *1 **65歳以上の個人会員**：会員情報に生年月日の登録がない場合は課金されます。会員情報に生年月日を登録していない方は、参加申込みの前に annualm@jimm.jp まで会員番号・氏名・連絡先・生年月日をお知らせ下さい。
- *2 **学生員**：卒業予定変更等により登録されている会員種別が実際と異なる場合は、事前に会員種別の変更手続きを行うてから，大会参加を申込み下さい。会員情報に登録された卒業年次を超えると、自動で正員に変更されています。
- *3 **ユース会員が高校生ポスター発表以外で発表する場合は、登壇費5,000円が必要です。**
- *4 非会員は講演申込サイトの各講演種別の「非会員はこちら」をクリックして、講演申込みして下さい。非会員の参加申込者には、1年間の会員資格を付与します。ただし特典は重複して付与しません。

◆参加証

「講演大会 MyPage」で「参加証」を印刷し、当日持参して会場に入して下さい(受付は不要です)。

- *「日本金属学会ロゴ入りストラップ付参加証ケース」をお持ちの方はご持参下さい。ケースが必要な方には受付で配布します。

◆講演概要の閲覧・ダウンロード

公開場所：講演大会ウェブサイト(ログイン必要)

公開日：大会2週間前の**2024年9月4日(水)**(特許関係の手続きは、公開日までに済ませて下さい。)

ログイン：ログイン用の ID とパスワードが必要です。

(事前参加申込の方) 参加費を納入済みの方に、概要公開日にログイン用の ID とパスワードを配信します。

(後期(当日)申込の方) 参加申込受理通知に記載の「登録番号」および「パスワード」がログイン用の ID とパスワードです。

◆講演概要集の購入

講演概要集は作成していません。全ての講演概要は、講演大会ウェブサイトで公開をします。これまで概要集のみを購入されていた場合は、大会への参加登録をして、講演大会ウェブサイトから概要を閲覧して下さい。

◆相互聴講について

本会非会員で鉄鋼協会の講演大会に参加された方は、相互聴講料金を本会の講演大会を聴講できます。

申込方法：講演大会当日に鉄鋼協会講演会場の受付で参加証を受け取った後に、金属学会相互聴講申込サイトで申込みおよび決済完了後、決済済み画面と鉄鋼協会講演大会の参加証を日本金属学会受付に提示して下さい。確認後、参加証に「相互聴講」の押印をします。

(注) 鉄鋼協会講演大会の相互聴講は事前申込みとなっています。金属学会の講演大会参加申込を完了した後、鉄鋼協会の相互聴講申込サイトで相互聴講の申込みと決済を行って下さい。

講演の申込について

◆申込期間(締切厳守！)

(1) 一般、公募・企画シンポジウム、共同セッション、ポスターセッション：

2024年5月27日(月)～**2024年7月5日(金)17時**

(2) 高校生・高専学生ポスター発表：2024年5月27日(月)～**2024年7月12日(金)17時**

*講演申込と同時に参加申込が必要です。

*大会申込受付ホーム URL：<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>



講演を申込み前に下記を確認して下さい

- 非会員も大会参加費と登壇費を支払えば、講演申込ができます(詳細は「講演申込要領」の「講演資格」参照.)。
- 講演申込と同時に大会参加申込が必要です。参加申込後、期日までに参加費と必要に応じて登壇費を納入下さい。期日までに参加費を納入しない場合は講演を認めず、欠講として取り扱います。
- 講演申込と講演概要提出は同時に行ってください。(同時に行わないと、講演申込は受理されません)
- 原則、講演申込者＝講演発表者であること。(「講演申込要領」5.を参照)
- 会員資格での申込みには会員番号とパスワードが必要です。**パスワードを紛失または忘れた方は、本会ホームページより再発行を行ってください。**セキュリティ上、電話やメールでの発行は出来ません。

これから入会して講演申込をする方へ

- 下記の入会申込期限までに入会申込を行い、納入期限までに年会費を納入して下さい。
- 年会費納入期限までに会費の払込がない場合は講演を認めません。
- 下記の入会申込みサイトから入会を申込んで下さい。入会申込すると ID(会員番号)とパスワードが即日メールで送信されます。

入会申込 URL：<https://www.jim.or.jp/member/mypage/application.php>

入会申込期限：2024年7月3日(水)

年会費納入期限：2024年7月31日(水)

入会・会費の問合せ先 会員サービス係 E-mail: member@jimm.jp

講演申込要領

- ◆申込方法：大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>)から申込みをして下さい。
一般講演およびポスターセッションの申込みでは、セッションキーワード一覧から第1希望および第2希望のセッションキーワードを選択すること。講演セッション決定の参考にします。
- ◆講演概要：大会申込受付ホームから最新のMS-Wordのテンプレートをダウンロードして作成すること。
分量はA4縦1頁とする。
作成後にフォント埋め込みのpdfに変換して、アップロードする。
- ◆講演件数：一人2件以内。ただしポスターのみ2件は不可。
(受賞講演、基調講演、招待講演等の特殊講演は上記の適用外) 同一研究室の3件以上の連続講演は不可。
- ◆講演時間：一般講演：講演10分、討論5分
公募シンポジウム：講演10～20分、討論5～10分
共同セッション：講演15分、討論5分
(講演時間は講演者自身が管理し、厳守すること。)

1. 発表内容

原則として未発表で講演としてまとめたもの。

2. 講演資格

会員は年会費および参加費を、非会員は参加費および登壇費を納入済であること。

3. 講演者変更および講演取消しについて

- (1) 申込後の安易な講演者変更や取り消しは認めない。
- (2) やむを得ない理由により講演者を変更する場合は、事前に事務局に連絡する。(当日、変更になる場合は必ず座長の了解を得ること。)
- (3) 変更可能な講演者は概要の共著者でかつ会員であること。

4. 連続講演

下記の条件を全て満たす場合のみ配慮するが、希望に添えない場合があることを承諾すること。

- (1) 同一のセッション名で講演申込されていること。
- (2) 講演申込時に備考欄に連続希望する講演の順番、発表者名、タイトル、(可能なら受理番号)を記入していること。
- (3) 申込締め切後の申請でないこと。
- (4) 同一研究室内で3件以上の連続講演でないこと。

5. 講演日の希望

講演申込時に備考欄に記入すること。

申込締め切後は受付けない。

希望に添えない場合があることを承諾すること。

6. プログラム

プログラムは、8月初旬頃、講演大会ウェブサイトに掲載予定です。

ポスターセッションについて

1. 発表方法：8月にホームページに掲載する最新の「ポスター発表資料作成要領」を参照のこと。
2. 優秀ポスター賞へのエントリー：講演申し込み時に「優秀ポスター賞にエントリーする」にチェックして下さい。
3. 優秀ポスター賞の授賞要件：①発表時点で30歳以下の学生および30歳以下の若手研究者。
②過去にこの賞を授賞していない者。
③代理発表者ではないこと。
4. ポスター賞の選考：(1)講演概要査読(1次審査)および当日発表審査(2次審査)で行う。
(2)概要の要件および査読基準
概要中に以下の項目が読者に分かるように明確に記載されていること。
 - ①研究の位置づけと目標、それらの重要性・新規性・独創性・発展性
 - ②研究目的
 - ③実験方法およびその妥当性
 - ④結果(および考察)の論理構成
 - ⑤結果(および考察)の新規性・発展性・重要性

*発表を審査員が審査採点して優秀ポスターを選出し、「優秀ポスター賞」を贈呈します。

講演概要原稿作成・投稿方法

- ・大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn/>)から最新のテンプレート(MS-Word)をダウンロードして下さい。
 - ・ダウンロードしたテンプレートを用いて講演概要を作成して下さい。
- またりあ63巻5号会告またはホームページ(イベント→講演大会→講演登録・参加申込のご案内)をご確認下さい。

日本金属学会2024年秋期(第175回)講演大会 第12回「高校生・高専学生ポスター発表」募集

申込締切日：2024年7月12日(金)

「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2024年秋期(第175回)講演大会
行 事 名 「第12回高校生・高専学生ポスター発表」
開催方法 9月18日(水)大阪大学豊中キャンパスおよび9月25日(水)オンライン
開催日時 2024年9月18日(水)午後または9月25日(水)午後に2時間程度を予定
対 象 者 高校生および3年以下の高専学生
発表方法 9月18日(水)に大阪大学豊中キャンパス、または9月25日(水)にオンラインのいずれか一方で発表
テ ー マ 材料に限定せず、フリーテーマです。(課題研究の成果、科学技術の取組等)
ポスター発表資料：作成要領は別途連絡
講演申込 <https://www.jim.or.jp/convention/2024autumn>
講演概要原稿 不要
参加費および講演聴講

- ① 発表者、共同研究者および指導教員の参加費を免除し、講演大会の発表を聴講できる。
- ② 希望があれば、高校生・高専学生ポスター発表の関係者(親、友人)5名程度までの参加費を免除し、講演大会の発表を聴講することができる。
- ③ (現地開催の場合)指導教員は、事前に参加者リストを提出する。(別途用紙を送付予定)
それをもとに参加証を作成し、現地でお渡しします。
- ④ 指導教員宛てに、参加者用IDとパスワードおよびプログラム1部を事前送付する。
- ⑤ 発表者全員に本会ユース会員の資格を贈呈する。

優秀ポスター賞 優秀な発表には最優秀ポスター賞および優秀ポスター賞を授賞します。

問合せ・連絡先：公益社団法人日本金属学会 講演大会係
〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32
☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312 E-mail: annualm@jim.jp

オンライン発表でのリスクについての注意

下記の注意事項をご確認の上で講演のお申込みをお願いいたします。

講演大会での発表には、現地開催、オンライン開催にかかわらず、以下のようなリスクがあります。特にオンライン開催では、密室から参加することが可能で講演会場のような衆人監視が行われないこと、および講演がWeb上で配信されることから、これらのリスクが高まるのが懸念されます。本会では、リスクを低減するために、考えうる対策を取りますが、最後は参加者のモラルに訴えざるを得ません。これらをご理解の上、十分に注意して講演の申し込みおよび発表をしていただきますようお願いいたします。

〈発表に伴うリスク〉

1. 研究情報を不正に取得される
不正聴講、講演の録画・録音・撮影(スクリーンショットを含む)が行われてしまう
※パスワード発行によって参加者を限定するとともに、録画・録音・撮影等の禁止を周知徹底しますが、最終的には参加者にモラルを守っていただくこととなります。
※本大会で使用するオンライン会議ツールでは録画機能は使えません。
2. 著作権を侵害してしまう
他人が著作権を持つ音声、映像、画像、写真の安易な使用(引用)により、著作権を侵害してしまう
※文献などはこれまでの講演大会と同様、適切な引用がされていれば問題ありません。

第22回 World Materials Day Award 募集

応募期間：2024年7月1日～8月23日

材料系国際学協会連携組織である IOMMMS (International Organization of Materials, Metals and Minerals Societies) では、国際連携活動の一環として、材料系分野のプレゼンス向上のため World Materials Day を制定し(毎年11月の最初の水曜日)、この日に世界同時に、「材料に関する知識とその重要性を社会や若者に啓発する活動」に貢献があった学生を顕彰しております。日本では、11月6日(水)に顕彰いたします。尚、本年は下記日程にて展示および審査を行いますのでご確認の上、多数のご応募をお待ちしております。

募集要項

対象となる活動：次の3部門で募集します。

第1部門：社会における材料の重要性を示すホームページ

第2部門：学園祭やキャンパスオープンデー等での該当する展示物、作品等

第3部門：その他(材料教育プロジェクト、青少年対象の材料実験等)

応募資格者

日本在住の学部学生、修士課程大学院生(グループも可)、高校生・高専学生も可

日本金属学会の会員でなくても応募できるが授賞決定後には会員になることが望ましい。

展示方法

日本金属学会秋期講演大会(2024年9月18～20日、大阪大学)において、応募作品を展示する。

- 展示場への作品の搬入および搬出は応募者が行う。
- 展示パネルと電源は準備しますがそれ以外の備品などは応募者各自が準備すること。

審査方法

- 審査員は理事会で決定し、展示場で審査する。
- 審査の観点：材料啓発活動への寄与度、内容の新鮮さ、表現力、意欲などの個別項目を5点法で採点し総合点で審査する。

授賞

① World Materials Day Award：優秀作品1作品(または1グループ) 副賞5万円

② 各部門賞：各部門1作品に表彰、賞状のみ。

贈呈は World Materials Day に受賞者の所属する機関で行う。

応募要領

- メールによる申込み記載事項(応募者名、住所、所属、作品名、応募分野・部門、展示方法(web、実物、写真、ビデオ等)、展示必要スペース・重量などを明記して応募下さい。

申し込み 下記アドレス宛にお申込下さい。

(応募様式はホームページからダウンロードして下さい)

参考

過去の受賞者による体験記事を「まてりあ」に紹介しておりますので、ご参考にして下さい(まてりあ58巻1号～3号)。

申込・問合せ 〒980-8544 仙台市青葉区一番町1-14-32

(公社)日本金属学会 World Materials Day Award 募集係

☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312

E-mail: stevent@jimm.jp

～ ご応募お待ちしております。～

2024年秋期講演大会
大会ホームページ・バナー広告, 大会プログラム広告(まてりあ9号付録),
付設展示会, 誌上展示会(まてりあ11号)各募集要領

本会2024年秋期講演大会は、9月18日(水)～20(金)の3日間、大阪大学・豊中キャンパスにて開催いたします。本講演大会にて、各種広告、付設展示会の出展を募集いたします。

■大会ホームページ・バナー広告

掲載期間 2024年7月～(会期終了後もアーカイブで閲覧できます)
 アクセス数 195,701アクセス(約2ヶ月, 前回参考値)
 サイズ タテ80ピクセル×ヨコ160ピクセル(静止画)
 データ形式 静止画のPNG(.png), JPEG(.jpg), GIF(.gif)
 リンク先アドレスも合わせてご指定下さい。
 バナーデータ(+リンク先指定)入稿後, 1週間程度で掲載いたします。
 掲載料金 1枠50,000円(税別)
 ※バナーデータ制作費は別途です。
 ※本会維持員様, プログラム広告掲載会社様, 付設展示会出展社様は50%OFF。
 申込 随時受付
 申込最終締切 8月20日(火)

1コマ 間口1,800mm, 奥行き900mm(予定)
 展示台(テーブル), バックパネル(高さ2100mm×幅1800mm), 椅子をご用意します。
 ※電気使用容量を制限する場合がございます。
 (例: 1コマ200Wまで)
 出展料金 機器展示: 1コマ 140,000円(税別)
 書籍展示: 1コマ 90,000円(税別)
 (出版社様限定です)
 申込締切 8月20日(火)
 ※規定数に達し次第, 先着順に締切ります。

〈カタログ展示〉

展示部数 2点(A4サイズ, 8頁以内)につき, 30部以内
 出展料金 2点につき30,000円(税別)(1点増すごとに10,000円(税別)追加)
 申込締切 8月20日(火)

■講演大会プログラム広告(冊子)

発行予定日 9月1日 まてりあ9号付録
 原稿サイズ A4 1頁 天地260mm×左右180mm
 1/2頁 天地125mm×左右180mm
 入稿形態 完全データ(グレースケール)
 掲載料金 後付モノクロ1頁 70,000円(税別)
 後付モノクロ1/2頁 40,000円(税別)
 ※広告データ制作費は別途です。
 ※付設展示会出展社様は50%OFF。
 申込締切 7月31日(水)
 広告データ締切 8月2日(金)

■まてりあ11号・誌上展示会

付設展示会のフォローアップ広告を募集致します。
 発行予定日 11月1日(水)
 掲載料金 1枠(1/4頁) 28,000円(税別)
 申込締切 9月26日(木)
 広告原稿締切 9月26日(木)
 ※本広告企画は, 付設展示会に出展されていない企業様も出稿できます。

上記の他, ランチョンセミナー, 学生キャリアサポート企画等の協賛メニューは, 企画ができ次第ご案内いたします。
 下記までお問い合わせ下さい。

■付設展示会

展示会会期 9月18日(水)～20日(金)9:00～17:00
 ※20日は, 13:30まで(予定)
 搬入日: 9月17日(火)
 14:00～16:00(予定)
 展示会場 大阪大学・豊中キャンパス

■申込・問合せ先

〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4
 友野本社ビル7F
 株式会社 明報社
 (担当: 月岡太郎 または, 営業担当者まで)
 ☎ 03-3546-1337 FAX 03-3546-6306
 E-mail: tsukioka@meihosha.co.jp
 (または営業担当のアドレスまで)
 URL: <http://www.meihosha.co.jp>

〈機器・書籍展示〉

研究開発用機器, 書籍, ソフトウェア等の出展を募集いたします。

各種学術賞・奨励金等候補者推薦について

本会は下に示す各種の学術賞や奨励、助成等の候補の推薦者に指定されており、積極的な推薦を行っております。会員各位にはこれらの候補として適当と思われる方の推薦または自薦をお願いいたします。

推薦または自薦は次の各号によるものとします。

- (1) 推薦または自薦の資格は、本会会員とする。
- (2) 推薦または自薦に際しては、各学術賞等の所定の書式の推薦書及び資料を提出する。
- (3) 推薦または自薦の期限は、原則として各学術賞等の推薦締切の2ヶ月前とする。

推薦又は自薦しようとするときは「〇〇賞に推薦(自薦)」と明記の上、上記(3)の期限までに、各学術賞等の所定の推薦書及び資料を添えて、本会事務局までお申し出下さい。書類審査の後、理事会で推薦を決定いたします。

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2023年の例)(本会締切は2ヶ月前)
科学技術に関する黄綬、紫綬、藍綬褒章	文部科学省	5月27日
文部科学大臣表彰 科学技術賞、若手科学者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	7月21日
文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 http://www.mext.go.jp/	文部科学省	9月30日
日本学術振興会賞 https://www.jsps.go.jp/jsps-prize/	日本学術振興会	4月4日
育志賞 http://www.jsps.go.jp/j-ikushi-prize/	日本学術振興会	5月31日
朝日賞 http://www.asahi.com/shimbun/award/asahi/	朝日新聞社	8月25日
日本産業技術大賞 http://corp.nikkan.co.jp/p/honoring/nihonsangyogijyutsutaishou	日刊工業新聞社	1月31日
東レ科学技術賞、東レ科学技術研究助成 http://www.toray-sf.or.jp/	東レ科学振興会	10月8日
本多記念賞、本多フロンティア賞、本多記念研究奨励賞 http://hondakinenkai.or.jp/	本多記念会	9月10日
大河内賞 http://www.okochi.or.jp/hp/top.html	大河内記念会	8月12日
全国発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	8月31日
地方発明表彰 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/top/hyosho_top.html	発明協会	3月31日
井上学術賞 http://www.inoue-zaidan.or.jp/f-01.html	井上科学振興財団	9月17日
井上春成賞 http://inouesho.jp/	科学技術振興機構	2月28日
岩谷直治記念賞 http://www.iwatani-foundation.or.jp/	岩谷直治記念財団	8月31日
浅田賞、三島賞 https://www.isij.or.jp/commendation/	日本鉄鋼協会	9月30日
風戸賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	10月15日

本会が推薦者に指定されている各種学術賞等	募集者	各賞等の推薦締切(2023年の例)(本会締切は2ヶ月前)
風戸研究奨励賞 http://www.kazato.org/application/	風戸研究奨励会	12月9日
グリーン・サステイナブルケミストリー賞 http://www.jaci.or.jp/gscn/page_03.html	新化学技術推進協会	11月19日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月7日
KONA 賞、研究助成、援助 http://www.kona.or.jp/jp/	ホソカワ粉体工学振興財団	7月12日
サー・マーティン・ウッド賞 http://www.msforum.jp/about_sir_martin/	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	7月12日
機械振興賞 http://www.jspmi.or.jp/tri/prize/index.html	機械振興協会	5月31日
素形材産業技術賞 https://sokeizai.or.jp/japanese/award/skill_h22.html	素形材センター	5月19日
日本塑性加工学会賞 http://www.jstp.jp/about/award/	日本塑性加工学会	8月27日
日本溶接協会 貢献賞、技術賞、溶接注目発明賞 https://www.jwes.or.jp/jp/somu/award/index.html	日本溶接協会	11月13日
熱・電気エネルギー技術に関する研究助成 http://www.teet.or.jp/08_4.html	熱・電気エネルギー技術財団	10月28日
藤原賞 http://www.fujizai.or.jp/index.htm	藤原科学財団	12月15日
報公賞、工学研究奨励助成金 http://www.hattori-hokokai.or.jp/	服部報公会	5月18日
陸賞 http://www.jsndi.jp/honor_award/	日本非破壊検査協会	12月31日
山崎貞一賞 http://www.mst.or.jp/Portals/0/prize/index.html	材料科学振興財団	4月30日
山田科学振興財団研究奨励 http://www.yamadazaidan.jp/jigyo/kenkyu.html	山田科学振興財団	2月28日
江崎玲於奈賞 https://www.i-step.org/prize/esaki/	茨城県科学技術振興財団	3月15日
薄膜技術に関する研究助成 https://www.samco.co.jp/foundation/recruitment/	サムコ科学技術振興財団	3月15日
工学教育賞 https://www.jsee.or.jp/award/	日本工学教育協会	1月12日
高分子学会賞 https://main.spsj.or.jp/c5/c15php	高分子学会	9月30日
ヒロセ賞 https://www.hiros-w-isf.or.jp/	ヒロセ財団	11月30日
ATI 研究助成 https://www.ari.or.jp/	新世代研究所	6月17日

◇ ◇ ◇

2024年度 高温材料の変形と破壊研究会

2024年度の「高温材料の変形と破壊研究会」を下記のとおり開催いたします。本研究会は、様々な材料における高温変形と破壊、また、高い力学特性を生み出す材料の内部組織に注目し、実験的ならびに計算的研究成果について基礎的な観点から討論して、高温材料の長寿命化・高強度化のための原理・原則を見直すことを目的としています。今年度は、多様な材料を対象とする微小領域の力学特性を議論し、それらを素過程とするマクロスケールの機械的性質の発現機構について明確化することを目的として活動している「微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング研究会」(代表世話人 物質・材料研究機構 大村孝仁)と共同で開催いたします。皆様どうぞ奮ってご参加ください。

(代表世話人 物質・材料研究機構 澤田浩太)

日時 2024年9月11日(水)午後～9月13日(金)昼頃
会場 小京都の湯 みくまホテル(<https://mikuma.jp/>)
 大分県日田市隈 1-3-19 ☎ 0973-23-3000
参加費 7,000円(税込)
 ※定員に達した場合は申込をお断りさせていただく場合がございます
交流会費 3,000円(税込)
宿泊費 11,000円(1泊, 税込)
講演・聴講申込 <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd65tOC3DCtUh3V008SsZ3lD7wZ3uJRdYcPo-4ZgRqZZQg4RQ/viewform?vc=0&c=0&w=1&flr=0>
申込締切 2024年7月19日(金)
問合せ先 物質・材料研究機構 クリープデータユニット 猿田真美子
 E-mail: saruta.mamiko@nims.go.jp
 ※講演発表者以外の共同研究者(共著者)が研究会への参加を希望される場合は、別途参加申し込みが必要です。
 ※聴講のみのご参加も歓迎いたします。

第六回 状態図・計算熱力学研究会

(共催：(一社)合金状態図研究会)

現在、CALPHAD法による状態図・相平衡の計算は、材料開発やマイクロ組織形成の解析などを目的として広く行われるようになってきました。これまでのCALPHADのデータベースは室温以上の温度域で有効な関数を与えられており、室温以下の温度域について計算はできるものの得られる熱力学量の信頼性は保証されていないという問題があります。一方で近年は磁気熱量効果による水素の液化を含め低温域での

熱力学の重要性が高まっており、今回の研究会ではこの低温域の熱力学について特集をします。

研究会代表世話人 物質・材料研究機構 阿部太一

日時 2024年7月2日(火) 12:50-17:10(予定)
場所 オンライン開催(Teamsを予定)

参加費 無料

プログラム(依頼講演)

12:50-13:00 開会挨拶 NIMS 阿部太一
 13:00-13:20 CALPHAD 会議報告 NIMS 大沼郁雄
 座長 島根大学 榎木勝徳
 13:20-14:10 低温域における計算状態図の取り組み

東北大学 大森俊洋

計算状態図手法であるCALPHADは、多元系への拡張性が高い一方、多くの場合、下限温度は298.15 Kに設定されており、極低温域では自由エネルギーが発散してしまい利用することができない。本講演では、極低温域から高温までの計算を可能にする第3世代CALPHADの取り組みを紹介し、実例を示しながら今後の課題について議論したい。

14:10-15:00 相転移の制御によるエネルギー変換磁気機能材料の開発 島根大学 藤枝 俊
 相転移の制御により様々な磁気機能材料の開発が期待される。本講演では、磁場誘起1次相転移の制御による磁気冷凍材料の開発について述べる。また、Jahn-Teller効果に起因した構造相転移近傍で負の巨大磁歪を示す新材料の開発についても概説する。

15:00-15:20 一休憩—

座長 九工大 徳永辰也

15:20-16:10 極低温下における準安定オーステナイト系ステンレス鋼の変形挙動

NIMS 和田健太郎

準安定オーステナイト鋼では塑性変形に伴い相変態が生じるが、低温における実用鋼の変形挙動を調査した研究は限られている。常温～液体窒素温度において引張試験を行い、低温環境で特有の変形メカニズムを調査した。

16:10-17:00 極低温域に至る熱力学データベース

NIMS 森下政夫

水素液化用磁気冷凍材料やEV用レアアース磁石などを創成し、GXを達成するためには、高温から極低温に至るCALPHADデータベース作りが不可欠である。本講演ではその方法論を提言する。

17:00-17:10 閉会挨拶 NIMS 阿部太一

参加申込締切 2024年6月25日(火)

申込方法 件名を[参加申込]として、①ご氏名、②ご所属、③E-mailアドレスを明記の上、下記の申込先までメールをお送り下さい。

参加申込先 NIMS 阿部太一

E-mail: abe.taichi@nims.go.jp

日本金属学会オンライン教育講座 開催案内

New!!

『結晶学の基礎』

日 時 一日目 2024年8月26日(月)13:00~16:30
二日目 8月27日(火)13:00~16:30

講義概要

本講座では、一定の周期で配列した原子あるいは分子からなる物質の構造、すなわち「結晶構造」を理解する上で必要な知識とこの結晶構造を明らかにするための最も一般的な実験ツールである X 線回折について学びます。

本講座では、当日に受講できない方や理解を深めたい受講者の方のために、開催後に講義録画のオンデマンド配信を行います。受講申し込み者は追加料金なしに視聴できます。

プログラム

2024年8月26日(月)13:00~16:30

13:00~14:00 結晶の幾何学(結晶系, 単位胞, ブラベー格子)
14:00~14:15 一休憩—
14:15~15:15 結晶構造と結晶面(ミラー指数)・結晶方位の記述法
15:15~15:30 一休憩—
15:30~16:30 X線の基本的性質(電磁波, X線発生, X線吸収)

2024年8月27日(火)13:00~16:30

13:00~14:00 原子による散乱, 結晶からの回折強度
14:00~14:15 一休憩—
14:15~15:15 非結晶物質(気体, 液体, ガラス, アモルファス)への応用
15:15~15:30 一休憩—
15:30~16:30 その他の応用の紹介: 小角散乱・異常散乱

受講方法 オンライン(Zoom)

講師紹介 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構客員教授, 京都大学名誉教授 松原英一郎先生

1977年3月京都大学工学部冶金学科卒業。1984年8月ノースウエスタン大学 Ph.D. 東北大学助手・同大学講師・京都大学助教授を経て、1999年9月東北大学金属材料研究所教授。2005年4月京都大学工学研究科教授。2020年4月より現職。

コーディネーター 株式会社プロテリアル 部長 西内武司

申込方法 <https://www.jim.or.jp/seminarsymposium/> よりお申込み下さい。

申込締切 2024年8月19日(月)

受講料

対象者	受講料	2講座目以降の受講料※
正員	20,000円	15,000円
学生	8,000円	6,000円
非会員	40,000円	30,000円

※本会維持員会社社員, 協賛学協会会員は正員扱い。
※学生は会員, 非会員の区別なし

※本年度開催のオンライン教育講座を2講座以上受講する場合, 2講座目からは割引料金となります。

※本会の維持員社員は正員と同額の受講料です。さらに, 維持員が同一講座に3名以上の申込みをすると受講料がさらに25%オフとなります(申込前にご相談ください)。ただし, 複数受講との重複割引はありません。

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

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 セミナー・シンポジウム参加係

E-mail: meeting@jimm.jp ☎ 022-223-3685 ☎ 022-223-6312

協賛予定

応用物理学会, 軽金属学会, 資源・素材学会, 自動車技術会, ステンレス協会, 電気化学会, 電気学会, 日本 MRS, 日本化学会, 日本機械学会, 日本材料科学会, 日本材料学会, 日本磁気学会, 日本自動車工業会, 日本セラミックス協会, 日本塑性加工学会, 日本チタン協会, 日本鉄鋼協会, 日本物理学会, 日本分析化学会, 粉体粉末冶金協会

オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座 「金属製錬の熱力学」

配信：2024年8月1日(木)～8月30日(金)

金属製錬は、鉱石から酸素や硫黄、不純物を除去して目的の金属を得る技術として、現代社会の構築に大きく貢献してきました。資源の枯渇や地球温暖化が進み、低品位鉱石や都市鉱山の活用が求められ、カーボンニュートラルに向けて様々な取り組みがなされる中、その重要性はさらに高まっています。

本講義では、高温反応での乾式製錬に焦点をあて、その原理となる化学熱力学における化学ポテンシャル、相平衡、状態図などの基礎概念や法則について解説します。さらに、不純物除去のためのスラグ—金属—気体間平衡反応など製錬プロセス解析への化学熱力学の活用について解説します。これらは同様に化学熱力学を活用する湿式製錬や電解精錬を学ぶ上での基礎にもなります。

2023年11月17日および18日に開催した当該講座の録画をオンデマンドで視聴いただきます。配信期間中は好きな時間に聴講できます。

講師紹介

東京大学名誉教授 月橋文孝 先生

1977年3月東京大学工学部金属工学科卒業。1982年3月東京大学大学院工学系研究科金属工学専門課程博士課程修了、工学博士。1982年4月東京大学工学部金属工学科助手、1986年10月東京大学講師、1988年1月東京大学助教授を経て、1999年4月東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻教授。2020年3月東京大学定年退職。2020年6月東京大学名誉教授。

コーディネーター 大阪大学教授 小泉雄一郎、東京大学准教授 松浦宏行

- カリキュラム 1 時限目：熱力学変数
2 時限目：化学ポテンシャルと平衡
3 時限目：状態図と相平衡
4 時限目：製錬プロセスへの適用

視聴期間 2024年8月1日(木)～8月30日(金)

視聴方法 オンデマンド配信システム UIshare から視聴いただきます。

視聴方法および資料のダウンロードの方法は受講申し込み者にメールで案内します。

資料は同システムのウェブサイトからダウンロードいただけます。

申込方法 <https://www.jim.or.jp/seminarsymposium/> よりお申込み下さい

申込締切 2024年8月8日(木)

受講料

対象者	1 講座基本料金	2 講座目以降割引料金※
正員	20,000円	15,000円
学生	8,000円	6,000円
非会員	40,000円	30,000円

※本会維持員会社社員、協賛学協会会員は正員扱い。
※学生は会員、非会員の区別なし

※本年度開催のオンライン教育講座を複数申込される場合、2 講座目からは割引料金となります。

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込

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 セミナー・シンポジウム参加係

E-mail: meeting@jimmm.jp ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

協賛予定

エネルギー資源学会、エレクトロニクス実装学会、応用物理学会、化学工学会、環境資源工学会、金属系材料研究開発センター、軽金属学会、軽金属製品協会、合金状態図研究会、資源・素材学会、ステンレス協会、スマートプロセス学会、素形材センター、電気化学会、電気学会、日本アルミニウム協会、日本 MRS、日本化学会、日本ガスタービン学会、日本機械学会、日本混相流学会、日本材料科学会、日本材料学会、日本磁気学会、日本伸銅協会、日本セラミックス協会、日本塑性加工学会、日本チタン協会、日本鋳造工学会、日本鉄鋼協会、日本熱物性学会、日本物理学会、日本分析化学会、日本マグネシウム協会、日本溶接協会、熱処理技術協会、廃棄物資源循環学会、粉体粉末冶金協会、溶接学会

2023年度に活動終了した研究会成果報告

No. 75「キンク研究会」成果報告書

1. 活動期間：2015年3月～2024年2月(9年間)

2. 研究会活動目的：

近年、長周期積層構造型マグネシウム合金で発見されたキンク変形という特異な変形挙動を題材に、回位などの新たな視点から材料の変形と破壊についての基礎的議論を深めるとともに、キンク変形を利用した高強度構造材料の開発を進め、新しい材料研究領域の構築に展開していくことを目的とする。

3. 研究会活動概要

2015年から上記目的に基づいて活動を開始した本研究会では、毎年度、研究会を開催し、毎回3名程度の講師を招いて、キンク形成およびキンク強化に関わる最新の話題提供を受け、参加者のあいだで時間を惜しまず活発な議論を行った。活動期間中の研究会は、計8回開催された。2018年度からは、新学術領域研究『ミルフィーユ構造の材料科学』の研究活動と協働し、毎年秋の学会講演大会では、公募シンポジウム『ミルフィーユ構造の材料科学』をシリーズ開催した(計6回)。本公募シンポジウムでは、基調講演を含め、毎回、30件を超える多数の一般講演があり、活発な議論がなされた。また、2019年度から発足した軽金属学会の『LPSO/MFS 構造材料研究部会』とも密接に連携を行い、学協会の垣根を越えた研究活動を展開した。活動期間後半(3年の延長、特例により1年延長)の2020年度には、新型コロナウイルス感染症蔓延の影響から、対面の活動が著しく制限されたものの、オンラインでの会合等に切り替え、研究会活動を継続した。研究活動終盤においては、本研究会活動の成果を公開する目的で、日本金属学会シンポジウムをハイブリッド形式で開催(2023年2月18日、東京工業大学)した。

本研究会は、長周期積層構造(LPSO)型マグネシウム合金で見出されたキンク変形と、そのキンク形成に伴う顕著な合金強化挙動の発見を発端として活動を開始した。研究期間中盤からは、新学術領域研究との共創的活動によって、層状構造の概念をLPSOからミルフィーユ構造へと拡張・発展させ、マグネシウム合金のみならず、チタン合金やアルミニウム合金等の合金、MAX相 Ti_3SiC_2 に代表されるセラミックス、さらにはポリエチレンやポリプロピレン等の高分子材料にまで研究対象を大幅に拡大させることができた。分野の垣根を越えた共同研究を推進し、深い議論を重ねることにより、これら三大材料におけるキンク変形現象の普遍性を明らかにするとともに、キンク変形を着眼点として、個々の材料の力学特性を再認識する成果を得ることができた。

金属材料におけるキンク変形そのものは、1940年代から知られた現象で、一般には巨視的な座屈現象として捉えられてきたため、材料強化とは逆の強度劣化因子として扱われてきた。しかし、本研究会活動を通じて、LPSOマグネシウム

合金のみならず、他のミルフィーユ構造を持つ合金でもキンク導入によって合金強化が図れることが見出されたことは大きな成果となった。キンク変形が塑性変形の担い手となり、かつ、ミクロな破壊起点を作らずに変形が進行することがキンクによる強化を得るための必須条件となることが明らかとなった。これにより、キンクに対する既存概念を覆し、キンクを材料強化に積極的に活用する新たな材料設計の方向性を見出した。

本研究会活動においては、ミルフィーユ構造を持つ材料におけるキンク形成およびキンク強化を理論的に説明する検討も進めた。マルテンサイト変態の現象論を洗練させた運動学的理論からは、キンク変形によって生ずるキンク界面での幾何学的適合条件から、割れの生じないキンク界面には回位発生を伴うことを定量的に示した。この結果は、LPSOマグネシウム合金を用いた実験により実証され、回位のフランクベクトルの実測にも成功している。また、微分幾何学を基礎として、転位論と回位論を統一的に扱うことにより、転位と回位の可換性を数学的に証明した。さらに、この新しい理論的枠組みで、回位の応力場解析およびフランクベクトルの定量化手法も確立させた。

研究会活動の延長が認められた直後、いわゆるコロナ禍に見舞われ、対面での研究会や会合が一切不可能となったものの、オンラインでの活動に切り替えることで、研究そのものを中断させることなく、本研究会活動を終えることができた。長期にわたる研究活動の中では、当初予測しなかった室温におけるキンク界面移動現象を捉えるなど、今後の新たな研究展開に結びつくような新奇現象も見出すことができた。最後に、本研究会活動に対し、多大なるご支援をくださった会員諸氏に深く感謝申し上げます。

4. 成果の公表先

日本金属学会誌へオーバービューとして投稿予定

5. 研究会世話人：

中島英治(九州大学)、藤居俊之(東京工業大学)、阿部英司(東京大学)、河村能人(熊本大学)、相澤一也(日本原子力研究開発機構)、三浦誠司(北海道大学)、君塚肇(名古屋大学)

No. 80「高エネルギー環境用材料評価研究会」成果報告書

1. 活動期間：2018年3月～2024年2月(6年間)

2. 研究会活動目的：

原子炉あるいは核融合炉材料に関連する様々な国内あるいは国際会議が開催され、その多くは最新の研究やトピックスなどのその時期に応じた研究成果の発表の場として位置づけられている。本研究会は、高エネルギー環境で使用される材料の研究開発に携わってきた研究者が抱えている材料の損傷、腐食、脆化などについて、基本的かつ根本的な疑問、懸念および問題点などを学術的に十分議論するための場として定義する。特に、材料の照射効果についてこれまでに得られ

ている照射データベースに基づき、照射欠陥や照射損傷組織の形成の素過程、それらが材料の力学的性質や物理的・化学的性質に及ぼす影響について、また照射損傷過程に及ぼす環境因子(雰囲気、温度、磁場、電場など)の影響について、より基礎的な視点から検討する

3. 研究会活動概要(実施状況・研究会成果等)

本研究会では、関連する様々な原子力・核融合炉材料の寿命決定因子に着目し、その影響評価における諸問題について議論する場を提供した。原子力・核融合炉材料の環境を考慮し、材料の「寿命」をこれまでに得られている照射効果データベースに基づき、照射欠陥や照射損傷組織の形成の素過程、それらが材料の力学的性質や物理的・化学的性質に及ぼす影響について、より基礎的な視点から議論を行った。具体的には、材料の寿命に係る照射効果機構、照射試験法、照射後の観察法、測定法や評価法ならびに計算模擬試験法などにおける問題点の抽出と正確な材料の寿命評価に向けた議論に絞った。研究対象材料としては、軽水炉構造材料(オーステナイト系ステンレス鋼)、高速炉構造材料(フェライト鋼)、核融合炉構造材料(フェライト・マルテンサイト鋼、SiC 複合材料、タングステン材料、バナジウム材料)と「多岐にわたり、各種材料の照射硬化、照射脆化、照射環境腐食、微細組織変化について、実験的かつ計算学的なアプローチから検討・議論された。また、将来の材料照射研究を担う若手人材育成を目的に大学院生や若手研究者を対象にポスターセッションを開催し、秀逸な研究発表に優秀ポスター賞を授与した。以下に、各年度で開催された研究会：「材料照射研究会」の活動状況を記す。

- 2018/11/27～11/28「原子力材料と寿命評価」京都大
- 2020/1/9～1/10「Irradiation 3.0に向けて」東北大
- 2020年度 COVID-19感染拡大を懸念し開催断念
- 2021/11/18～11/19「原子力イノベーションを見据えた材料開発研究」北海道大
- 2022/12/7～12/9「Irradiation 3.0に向けて」仙台国際センター
- 2023年度 主催者及び代表世話人の体調不良により開催断念

4. 成果の公表先

日本金属学会誌への投稿予定

5. 研究会世話人：橋本直幸(北海道大学大学院工学研究院)

掲 示 板

〈公募類記事〉

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；16,500円

ホームページのみ掲載；11,000円

〈新刊案内〉

会員による出版案内(書誌情報の掲載)

〈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。

原稿提出先：電子メール(受け取りメールの確認をして下さい)

E-mail: materia@jimmm.jp

公 募

◇東北大学大学院工学研究科 教員公募◇

公募人員 准教授 1名

所 属 材料システム工学専攻 マイクロシステム学講座
材料システム計測学分野

専門分野 安心・安全で持続可能な社会実現のため、材料や構造体の非破壊的な計測法・評価法の創出および応用に関する教育と研究を行う

応募資格 当該分野の教育・研究に意欲と熱意があり、博士の学位を有する、または着任までに取得見込みの方

担当授業科目 「学部」：数学物理学演習Ⅱ，材料科学総合学実験，材料科学総合学基盤研修，材料科学総合学卒業研修等 「大学院」：材料計測学，(前期)材料システム工学修士研修等，(後期)材料システム工学博士研修等

任 期 なし

公募締切 2024年6月14日(金)17:00

着任時期 2024年10月1日(火)

提出書類 (1)履歴書，(2)学位論文題目，(3)研究業績概要(A4版2頁以内)，(4)主要論文5編の別刷り(コピー可)，(5)研究業績リスト：学術論文，参考論文，著書，特許(出願件数：申請中を含む，登録件数，主要特許10件前後のリスト(特許出願・公開・公告No，発明者氏名，発明題目))等，(6)獲得外部研究資金(科研費等)一覧(大学や公的研究機関所属の場合)，(7)受賞，(8)招待講演等，(9)教育業績(担当科目等)，(10)所属学会，(11)学会活動歴(委員会等)，(12)研究活動，(13)社会活動等に関する一覧表，(14)今後の研究計画(A4版2頁以内)，(15)教育活動に関する抱負(A4版2頁以内)，(16)照会可能な方2名の氏名と連絡先(住所，電話，E-mail)，(17)応募者の連絡先(住所，電話，E-mail)，(18)応募者の研究業績等に関するデータベースのURL(Scopus, KAKEN等)

書類送付先 東北大学大学院工学研究科 マテリアル・開発系長 武藤 泉
E-mail: depthead@material.tohoku.ac.jp

問い合わせ先 東北大学大学院工学研究科材料システム工学
専攻長 徐 超男
☎・FAX 022-795-7348
E-mail: chao-nan.xu.c8@tohoku.ac.jp

※件名を「教員公募書類(材料システム工学専攻 マイクロシステム学講座 材料システム計測学分野 准教授)」として
電子メールで送付して下さい。

※詳細: http://www.material.tohoku.ac.jp/news/files/jobs_20240416.pdf

集会

◇レアメタル研究会◇

- 主催 レアメタル研究会
■主宰者 東京大学生産技術研究所 教授 岡部 徹
■協力 (一財)生産技術研究奨励会(特別研究会 RC-40)
■共催 東京大学マテリアル工学セミナー
レアメタルの環境調和型リサイクル技術の開発研究会
東京大学生産技術研究所 持続型エネルギー・材料統合研究センター
東京大学生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門(JX 金属寄付ユニット)
- 協賛 (公社)日本金属学会 他
■開催会場 東京大学生産技術研究所 An 棟 2 階 コンベンションホール
〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1
(最寄駅: 駒場東大前, 東北沢, 代々木上原)
- 参加登録・問い合わせ: 岡部研 学術専門職員 宮崎智子
(参加登録: okabelab@iis.u-tokyo.ac.jp)
(問い合わせ: tmiya@iis.u-tokyo.ac.jp)

《2024年度 レアメタル研究会等の今後の予定》

- 第111回 2024年7月26日(金)(2024年度 第1回)←次回
(関連イベント: 2024年9月20日(金)★寄付研究部門主催 関連イベント★)(会場: 生産技術研究所コンベンションホール)
- 第112回 2024年9月27日(金) (2024年度 第2回)
- 第113回 2024年11月15日(金) (2024年度 第3回)
★チタンシンポジウム(第8回)★(合同開催)
(関連イベント: 2024年11月22日(金)★日本学術会議主催 公開シンポジウム★)(会場: 日本学術会議講堂)
- 第114回 2025年1月10日(金) (2024年度 第4回)
★貴金属シンポジウム(第12回)+新年会★(合同開催)
- 第115回 2025年3月21日(金) (2024年度 第5回)

令和6年度 レアメタル研究会のご案内

(2023.4.18現在)

■第111回 2024年7月26日(金)14:00~

An 棟 2F コンベンションホール
リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会

テーマ: EV は、本当に環境にやさしいのか?
午後2:00~ 講演【敬称略】

- EV 等の環境性能評価(仮)(50分)
日本メタル経済研究所 特任アナリスト 武井泰典
 - EV は、本当に環境にやさしいのか?(30分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
 - EV と LIB の現状と課題(仮)(50分)
早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 研究院客員教授 宇恵 誠
 - EV の最近の状況(仮)(50分)
ニデック株式会社 顧問, 東京大学 名誉教授 小関敏彦
- 総合討論:
司会: 東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
パネリスト
東京大学 生産技術研究所 准教授 八木俊介
日本メタル経済研究所 特任アナリスト 武井泰典
早稲田大学 ナノ・ライフ創新研究機構 研究院客員教授 宇恵 誠
- ニデック株式会社 顧問, 東京大学 名誉教授 小関敏彦
東京大学 生産技術研究所 特任教授 黒川晴正

午後6:00~

研究交流会・意見交換会 @An 棟 2F ホワイエ

■第112回 2024年9月27日(金) 14:00~

An 棟 2F コンベンションホール
リアル講演会+講演のネット配信(Zoom Webinar & YouTube)のハイブリッド研究会

テーマ: バッテリーメタルの現状と将来
午後2:00~ 講演【敬称略】

- レアアース, リチウム, ニッケルなどの現状と将来展望(仮)(60分)
豊田通商株式会社 金属資源部 技術チーム チームリーダー兼)リバースサプライチェーン事業部 バッテリー 3R グループ 守山 武
- バッテリーメタルの現状と将来(40分)
東京大学 生産技術研究所 教授 岡部 徹
- コバルトの現状(資源, 製錬, 用途)と将来展望について(仮)(60分)
東京大学 生産技術研究所 特任教授 黒川晴正
<このあと総合討論を予定>
午後6:00~
研究交流会・意見交換会 @An 棟 2F ホワイエ

レアメタル研究会ホームページ

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

日本金属学会誌掲載論文
Vol. 88, No. 6 (2024)

— 論 文 —

Ni系箔ろうでろう付したフェライト系ステンレス鋼
重ね継手の塩酸溶液中の腐食挙動

備前嘉雄 宮沢靖幸

降温MDF後の冷間MDFによるAZX611Mg合金の結
晶粒超微細化と機械的特性調査

大場洋次郎 中村 亘 高橋明宏 小林正和 三浦博己

Materials Transactions 掲載論文
Vol. 65, No. 6 (2024)

— Regular Article —

Materials Physics

Accelerating the Bleaching Rate of Photochromic
WO₃ Composite Films for Smart-Window Applica-
tions by Adding Low-Molecular-Weight PEG

Tatsuhiko Matsumae, Yutaka Nishigaichi
and Hidetoshi Miyazaki

Microstructure of Materials

Microstructures and Thermoelectric Properties of
Heusler Fe₂VAl Alloys Containing Oxide Nanopar-
ticles

Masashi Mikami, Kosuke Ogasawara,
Hidetoshi Miyazaki and Yoichi Nishino

Equiaxed to Columnar Transition of
Ti46Al8Nb0.5B Intermetallics during Directional
Solidification

Lidan Qu, Yongzhe Wang,
Hongsheng Ding, Ruirun Chen, Jingjie Guo and Wei Li

Effects of Yttrium Addition on Bending Deforma-
tion Behavior of Magnesium

Takaya Fujihara, Kenta Oka, Masayuki Tsushida,
Hiromoto Kitahara and Shinji Ando

Mechanics of Materials

Effect of Line Weld Angle on Fatigue Properties
of Crossed Laser Spot Welding Joints

Motoki Mizuno, Shintaro Shibata, Tomohito Tsudo,
Tadashi Kado, Hiroyuki Akebono and Atsushi Sugeta

Effect of Mean Torsional Stress on Very High Cy-
cle Torsional Fatigue Strength of High Strength
Steel

Yoshinobu Shimamura, Yusuke Hayashi,
Masao Kinefuchi, Ryota Tanegashima, Kazuya Sugitani,
Yusuke Sandaiji, Tomoyuki Fujii, Shoichi Kikuchi
and Keiichiro Tohgo

Materials Chemistry

Trace Analysis of Au in Carbonaceous Gold Ores
by Inductively Coupled Plasma Optical Emission
Spectrometry and Mass Spectrometry

Ikumi Suyama, Diego M. Mendoza, Takashi Kaneta
and Keiko Sasaki

Distribution of Platinum between the SiO₂-CaO-
Al₂O₃-TiO₂ Slag System and Molten Copper

Yuki Takahashi, Takashi Murata and Katsunori Yamaguchi

Materials Processing

Derivation of Plunger Injection Input to Prevent
Gas Defects by Algebraic Approach for Aluminum
Alloy Diecasting

Song Qi, Yuto Takagi, Ken'ichi Yano, Tadao Kondo,
Takao Ishikawa and Shuhei Baba

Microstructure and Mechanical Properties of YAG
Laser Welded Spheroidal Graphite Cast Iron

Fumitaka Otsubo and Kiyotaka Fukumatsu

Fundamental Aspects of Wire Arc Additive
Manufacturing for Aluminum Foams

Ryosuke Suzuki, Takaya Ikeda, Keishi Fujiwara,
Kazuya Mita, Yoshihiko Hangai, Hidetoshi Fujii
and Shigeaki Kobayashi

Engineering Materials and Their Applications

Materials Informatics Approach to Cu/Nb
Nanolaminate Microstructure Correlations with
Yield Strength and Electrical Conductivity

Takayuki Shiraiwa, Koki Yasuda, Fabien Briffod,
Mark Jhon, Fergyanto Gunawan, Rahul Sahay,
Nagarajan Raghavan, Arief S. Budiman and Manabu Enoki

Brazing of Ferritic Stainless Steel with Ni-25Cr-
6P-1.5Si-0.5B-1.5Mo Amorphous Brazing Foil
Having a Liquidus of 1243 K with Continuous Con-
veyor Belt Furnace in Low-Oxygen Atmosphere

Yoshio Bizen, Kiichi Kanda and Yasuyuki Miyazawa

Development of Ti Bipolar Plates with Micro-
Structured Surface Film for Proton Exchange
Membrane Fuel Cells

Haruka Sato, Junko Imamura and Takumi Nishimoto

Environment

Steel Corrosion Induced by *Gluconacetobacter* sp.
in Diesel Fuel Sludge

Toshinori Mizuguchi, Noriko Hashimoto, Etsuko Goto,
Kenji Takigawa, Jumpei Kondou, Kenji Sakai
and Yukihiko Tashiro

— Rapid Publication —

Green Synthesis of Cu-Nanoparticles Using Tea
Stem: Structural Properties and Application for
Catalytic of Methylene Blue

Fan Huang, Wenchang Zhao, Xiyao Liu and Tzu-Hsing Ko

新 入 会 員

(2024年3月22日～2024年4月22日)

正 員

大村 敏之 白井国際産業株式会社
北川 潔 株式会社北川鉄工所
北原 卓真 サンデン株式会社
坂根 慎治 京都工芸繊維大学

住田 弘祐 マツダ株式会社
田中 靖人 株式会社NITTAN
西尾 和秀 石川県工業試験場
野元 恵太 The University of Sydney

橋本 賢樹 福井工業高等専門学校
花岡 健一 長野県工業技術総合センター
深見 一弘 京都大学
渡辺 好郎 日立Astemo株式会社

学 生 員

石田 凜太郎 早稲田大学
稲村 慧 兵庫県立大学
大井 脩司 名古屋大学
岡崎 由芽 東北大学
越智 勇斗 香川大学
折原 周平 東北大学

カストロ・グイサ ガブリエル・マウリシオ 京都大学
神谷 大輝 九州工業大学
川東 鈴佳 香川大学
佐藤 李行 茨城大学
高瀬 和人 近畿大学
中江 友哉 愛媛大学

中野 智哉 横浜国立大学
西中 悠真 豊橋技術科学大学
二宮 凜太郎 金沢大学
藤原 照巳 大阪公立大学
宮坂 郁之祐 北海道大学
山田 隼哉 京都大学

外国学生会員

李 賀 京都工芸繊維大学

ユース会員

青 栞名 岡山県立倉敷天城高等学校
阿久澤 千嘉 神奈川県立横須賀高等学校
浅見 優衣 北海道旭川西高等学校
芦谷 原波輝 鹿児島県立国分高等学校
新井 直哉 神奈川県立厚木高等学校
荒井 心優 東京都立科学技術高等学校
荒川 瑠奈 北海道旭川西高等学校
荒野 心太郎 成田高等学校
安藤 大輝 成田高等学校
池田 真海 北海道旭川西高等学校
生駒 大翔 北海道旭川西高等学校
石崎 嵯弥 鹿児島県立国分高等学校
石橋 翼 北海道旭川西高等学校
伊地知 夢乃 鹿児島県立国分高等学校
伊藤 壮琉 北海道旭川西高等学校
稲生 壮馬 高槻中学校
稲場 千怜 東京都立科学技術高等学校
岩崎 優輝 岡山県立倉敷天城高等学校
宇治 大五郎 鹿児島県立国分高等学校
内林 虎雅 北海道旭川西高等学校
馬谷 音々 京都市立京都工芸院高等学校
梅田 翔成 成田高等学校
江花 叶恋 北海道旭川西高等学校
蛭原 楓 鹿児島県立国分高等学校
及川 隼 宮城県仙台第三高等学校
及川 萌果 岩手県立水沢高等学校
大木 修吾 神奈川県立厚木高等学校
太田 響 旭川工業高等専門学校
大谷 温樹 福島県立福島高等学校
大場 樹 高槻中学校
大橋 実愛 北海道旭川西高等学校
小笠原 暖乃 北海道旭川西高等学校
緒方 健友 鹿児島県立国分高等学校
岡村 芽依 北海道旭川西高等学校
尾田 悠太 北海道旭川西高等学校
小田崎 愛子 山口県立下関西高等学校

小野 俊輔 成田高等学校
小野 心花 鹿児島県立国分高等学校
小瀨 有貴 鹿児島県立国分高等学校
加上 櫻子 岡山県立倉敷天城高等学校
加賀 春樹 愛知県立明和高等学校
片向 結子 東京都立科学技術高等学校
片山 璃乃 北海道旭川西高等学校
勝又 耕平 神奈川県立厚木高等学校
加藤 華桜 旭川工業高等専門学校
金田 明日実 山口県立下関西高等学校
嘉部 陽日 長野県飯山高等学校
鎌田 大地 北海道旭川西高等学校
鎌田 廣貴 北海道旭川西高等学校
上地 夏帆 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
河嶋 咲希 旭川工業高等専門学校
川元 陽登 鹿児島県立国分高等学校
木口 晃大朗 仙台市立仙台青陵中等教育学校
北澤 美優 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
木立 明日華 北海道旭川西高等学校
久保 琴葉 北海道旭川西高等学校
窪田 龍太郎 北海道旭川西高等学校
藏原 享佳 鹿児島県立国分高等学校
此永 士朗 武生高校
小林 嵐 福島県立福島高等学校
小山 拓希 福島県立福島高等学校
近藤 大智 愛知県立明和高等学校
齋藤 華 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
齊藤 祐樹 滋賀県立虎姫高等学校
坂本 倫花 岩手県立水沢高等学校
迫田 悠希 鹿児島県立国分高等学校
笹原 みさこ 鹿児島工業高等専門学校
佐藤 丈太郎 旭川工業高等専門学校
佐藤 奨真 千葉県立佐倉高等学校
佐藤 大雅 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
佐藤 友星 岩手県立水沢高等学校
佐藤 麻央 北海道旭川西高等学校

佐藤 結斗 北海道旭川西高等学校
佐藤 諒弥 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
真田 大豊 神奈川県立神奈川総合産業高等学校
佐野 友里菜 成田高等学校
澤田 紘伽 北海道旭川西高等学校
篠原 芽生 北海道旭川西高等学校
柴田 怜奈 旭川工業高等専門学校
白田 愛奈 北海道旭川西高等学校
末澤 拓巳 岡山県立倉敷天城高等学校
鈴木 一平 北海道旭川西高等学校
鈴木 琢真 北海道旭川西高等学校
鈴木 拓海 成田高等学校
須見 詩織 北海道旭川西高等学校
高岡 夏歩 都立両国高校
高野 玲音 岩手県立水沢高等学校
高橋 健弥 岩手県立水沢高等学校
高村 美羽 東京都立小石川中等教育学校
高柳 大翔 北海道旭川西高等学校
竹内 琉斗 北海道旭川西高等学校
武田 綺萌 北海道旭川西高等学校
竹之内 匠 鹿児島県立国分高等学校
田下 慈晃 北海道旭川西高等学校
田中 颯人 長野県飯山高等学校
田中 希優 京都市立京都工芸院高等学校
田中美羽 北海道旭川西高等学校
谷口 奏音 北海道旭川西高等学校
谷口 日和 滋賀県立虎姫高等学校
田村 心 旭川工業高等専門学校
千貝 一矢 北海道旭川西高等学校
千葉 ぞよ香 岩手県立水沢高等学校
手嶋 陽菜 山口県立下関西高等学校
徳澤 巧真 岡山県立倉敷天城高等学校
徳久 慶太 山口県立下関西高等学校
鳥海 紗生 岩手県立水沢高等学校
中井 涼日 山口県立下関西高等学校
中谷 果英 北海道旭川西高等学校

中野里咲	山口県立下関西高等学校	古川朝陽	神奈川県立横浜緑ヶ丘高等学校	宮本悠雅	宮城県仙台第三高等学校
鍋島秋桜	神奈川県立神奈川総合産業高等学校	古津侑大	成田高等学校	村上賢伸	北海道旭川西高等学校
新山怜奈	岩手県立水沢高等学校	前田月菜	岩手県立水沢高等学校	村上優羽	北海道旭川西高等学校
西野唯音	北海道旭川西高等学校	増岡絢音	山口県立下関西高等学校	森山心路	鹿児島県立国分高等学校
西村理沙	高槻高等学校	増田 恵	東京都立科学技術高等学校	安田愛菜	成田高等学校
西山 颯	北海道旭川西高等学校	増田悠汰	鹿児島工業高等専門学校	八巻厚太	宮城県仙台第三高等学校
橋立隼汰	長野県飯山高等学校	増永優太	武生高校	山口洸大	高槻高等学校
橋本 晴	京都市立京都工学院高等学校	松井宏翼	北海道旭川西高等学校	山口遥大	東京都立小石川中等教育学校
畑 結心	岡山県立倉敷天城高等学校	松浦 旦	北海道旭川西高等学校	山越健弘	神奈川県立横浜緑ヶ丘高等学校
畠山乃愛	旭川工業高等専門学校	松岡恵佑	鹿児島県立国分高等学校	山下琳太郎	鹿児島工業高等専門学校
畠中皇樹	北海道旭川西高等学校	松崎良亮	都立三鷹中等教育学校	山田楓斗	鹿児島県立国分高等学校
花谷陽咲	宮城県仙台第三高等学校	松下零央	鹿児島県立国分高等学校	山田莉世	鹿児島工業高等専門学校
浜田拓音	北海道旭川西高等学校	松田祐枇	滋賀県立虎姫高等学校	山本貫介	岡山県立倉敷天城高等学校
林 祐太朗	高槻中学校	松永睦月	鹿児島県立国分高等学校	湯浅義大	成田高等学校
林 優里花	山口県立下関西高等学校	松原恵仁	山口県立下関西高等学校	横井心太郎	滋賀県立虎姫高等学校
東出こはる	旭川工業高等専門学校	松村 慧	北海道旭川西高等学校	吉井凌太	山口県立下関西高等学校
日高周真	神奈川県立厚木高等学校	松本碧空	神奈川県立神奈川総合産業高等学校	吉田啓太	千葉県立佐倉高等学校
平木琉那	旭川工業高等専門学校	松本真咲	山口県立下関西高等学校	吉野 壮	千葉県立佐倉高等学校
平澤克磨	旭川工業高等専門学校	三浦晃大	旭川工業高等専門学校	吉本日和	北海道旭川西高等学校
平野陽太	福島県立福島高等学校	水阪裕斗	鹿児島県立国分高等学校	六角夢翔	北海道旭川西高等学校
藤井虹色	北海道旭川西高等学校	水元あおい	鹿児島県立国分高等学校	渡邊ひより	北海道旭川西高等学校
伏見 惺	神奈川県立神奈川総合産業高等学校	三宅朱峰	岡山県立倉敷天城高等学校		
藤本優生	京都市立京都工学院高等学校	三宅明信	東京都立小石川中等教育学校		



会員情報のご変更手続きのお願い

本会への会員情報のご登録は、最新のものになっておりますでしょうか。

[本会ホームページ](#) → [入会・会員](#) → [会員マイページ](#)より確認ができますので、ご利用下さい。



まてりあ 第63巻7号 予告

〔金属素描〕No. 35 錫

〔特集〕「大型放射光施設 SPring-8における構造解析技術の最前線」

〔解説〕微視組織の影響下における金属材料の加工硬化のモデリングと結晶塑性解析 ……北見工大名誉教授 大橋鉄也

—他—

～編集の都合により変更になる場合がございます。～

2023年度の事業の概要は、次の通りである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①2023年度は公益社団法人に移行した11年目の事業年度であり、定款に定める公益目的事業を推進した。新型コロナウイルス感染症が5類感染症に移行したことから、春・秋期講演大会の現地開催、理事会を始めとした会議や研究集会等のハイブリッド開催を含む現地開催を再開した。
- ②刊行事業では、会報は月平均76ページで、冊子体は4,900部を刊行するとともに、電子ジャーナルを刊行した。5件の特集記事を含め、魅力ある会報に向けた多様な記事の掲載を継続した。また、新企画としてインタビュー記事「What's 技術士」の掲載を開始した。会誌は月平均25ページで、オンラインジャーナルを刊行した。冊子体は290部(第87巻5・6号から270部)を発行した。掲載論文数の減少により、冊子は2号ずつ合併して偶数月に発行した。欧文誌 Materials Transactions は平均205ページで、オンラインジャーナルを刊行した。冊子体は160部(Vol. 64 No. 4 から140部)を発行した。インパクトファクター向上のため、「Current Trends in Research」カテゴリ論文の掲載を継続するとともに、被引用数の多い論文の著者への Top Cited Paper Certificate の発行を継続した。共同刊行学協会で一本化した編集システムを使用して投稿から査読・審査を実施した。理数探求用教材は、企業等に動画を依頼することとした。すべての既刊図書類の電子化を行い、一部を除いて会員に無料提供した。
- ③講演会・講習会事業では、2回の講演大会を開催した。春期講演大会は東京大学で開催し、講演件数629件、参加者1,117名であった。秋期講演大会は富山大学で開催し、講演件数は1,002件、参加者数は1,560名であった。公募シンポジウムは春期4テーマ、秋期9テーマ、企画シンポジウムは春期1テーマ、秋期4テーマと活発に開催した。ポスターセッションは春期151件、秋期278件であった。高校生・高専学生ポスターセッションは春期41件、秋期10件で、いずれも現地とオンラインで開催した。また、現地で機器展示および企業の技術セミナーを開催した。さらに、学生を対象とした学生キャリアサポートセミナーを春に、企業技術セミナー、機器展示は、春、秋ともに現地で開催した。金属学会シンポジウムは1件をオンラインで開催し、オンライン教育講座5件をオンラインで実施し、3件をオンデマンド配信した。支部では昨年度より多い39件の講演会・講習会を開催した。
- ④調査・研究事業では、9分科で活動を実施した。10テーマの研究会と1テーマの若手研究グループが活動を行った。また、4テーマの産学協創研究会が活動を行った。第4回日本金属学会フロンティア研究助成10件を採択し、助成金を交付した。支部では22件の研究会を開催した。男女共同参画委員会では、秋期講演大会期間中に女性会員の集いを現地開催した。KIM との交流としてKIM 年次大会へ表敬訪問するとともに、KIM-JIM Symposium を第2回国際セッションと合同開催として、日本、韓国、インド、インドネシア、中国、豪州、台湾、タイから総勢22名が参加して、秋期講演大会で開催した。JIM/TMS Young Leader の相互派遣については、本会から前々年、前年と合わせて3名の派遣者を派遣し、TMS からの派遣者3名を春期講演大会に受け入れた。ASM International との連携事業を継続した。
- ⑤表彰・奨励事業では春表彰10件、秋表彰9件を授賞した。名誉員4名を推戴し、フェロー1名を認定した。各賞の贈呈式は秋表彰のみで行った。特別功労賞、増本量賞、谷川・ハリス賞、研究技能功労賞、論文賞の対象等の改訂を行った。支部でも主に若手を対象とした19件の授賞を実施した。
- ⑥庶務では、定時社員総会を開催し、理事会はほぼ2ヶ月ごとに開催して業務執行理事による業務執行報告を行なった。法令で定められた申請書類や定期提出書類を提出した。広報活動を推進し、講演大会参加者へのネクストラップの配付、会員へのカレンダーの送付等を行って新ロゴマークを周知した。会員へのインタビューを行ってホームページに掲載した。
- ⑦会計では、公益法人の財務3基準である、収支相償、公益目的事業比率、遊休財産額保有上限額をいずれも達成した。なお、本年度は会費収益の80%を公益目的事業に配賦した。

公益社団法人 日本金属学会 2023年度決算

正 味 財 産 増 減 計 算 書

2023年3月1日から2024年2月29日まで

(単位:円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1)経常収益				
特定資産運用益	19,939,701	25,092,309	-5,152,608	
特定資産受取利息	19,939,701	25,092,309	-5,152,608	
退職給付引当資産	690,336	690,807	-471	
減価償却引当資産	0	86	-86	
刊行事業資金	6,390,000	6,390,035	-35	
刊行事業拡充賛助寄付資金	0	733	-733	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
講演会・講習会事業資金	5,990,000	5,990,054	-54	
国際会議開催準備資金	0	0	0	
調査・研究事業資金	4,057,730	5,290,464	-1,232,734	国債資金満期解約
調査・研究事業拡充資金	0	0	0	
国際学術交流資金	41,080	1,734,000	-1,692,920	国債資金満期解約
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	210,604	235,500	-24,896	
研究技能功労賞資金	2,819	119,000	-116,181	
奨励賞・奨学賞等資金	20,026	841,590	-821,564	
谷川・ハリス賞資金	6,041	255,000	-248,959	
増本量賞資金	14,096	595,000	-580,904	国債資金満期解約
村上賞資金	1,466,969	1,900,040	-433,071	
受取入金	102,000	84,000	18,000	
受取入金	102,000	84,000	18,000	
受取会費	63,853,456	64,467,191	-613,735	
正員受取会費	31,088,016	31,232,087	-144,071	
学生員受取会費	3,465,540	3,483,871	-18,331	
維持員受取会費	28,150,000	28,625,000	-475,000	
外国会員受取会費	1,149,900	1,126,233	23,667	
事業収益	88,875,932	83,302,528	5,573,404	
刊行事業収益	52,051,688	47,970,706	4,080,982	
会報購読費収益	1,807,010	1,731,132	75,878	
会誌購読費収益	4,056,614	3,992,310	64,304	
欧文誌購読費収益	7,852,500	8,961,208	-1,108,708	購読者数減
会報別刷等収益	3,471,930	3,023,840	448,090	
会誌別刷・審査収益	482,000	464,970	17,030	
欧文誌別刷・審査収益	26,574,370	22,124,658	4,449,712	投稿者数増
刊行事業広告収益	4,058,560	4,319,480	-260,920	
単行本収益	2,827,344	2,870,453	-43,109	
著作権料収益	921,360	482,655	438,705	
講演会・講習会事業収益	34,391,603	34,224,821	166,782	
講演大会参加費収益	23,059,000	22,855,000	204,000	
講演概要集収益	366,000	396,000	-30,000	
講演大会懇親会参加費収益	747,000	478,209	268,791	
金属学会シンポジウム参加費収益	371,000	776,000	-405,000	シンポジウム開催減
金属学会シンポジウム予稿集収益	1,480	5,960	-4,480	
セミナー参加費収益	4,792,000	6,150,000	-1,358,000	セミナー開催減
講演会・講習会事業広告収益	3,479,746	2,110,733	1,369,013	講演大会広告増
講演会・講習会事業委託収益	368,619	150,000	218,619	
支部講演会・講習会事業収益	1,206,758	1,302,919	-96,161	
調査・研究事業収益	2,254,441	735,201	1,519,240	
調査・研究事業収益	2,254,441	735,201	1,519,240	研究集会参加費収益増
表彰・奨励事業収益	178,200	371,800	-193,600	
審査・投稿料収益	178,200	371,800	-193,600	
受取補助金等	6,877,477	1,224,000	5,653,477	
受取助成金	6,877,477	0	6,877,477	秋期講演大会助成金ほか
受取地方公共団体助成金	0	1,224,000	-1,224,000	
雑収益	98,892	37,382	61,510	
受取利息	2,816	1,979	837	
雑収益	96,076	35,285	60,791	
支部受取利息・雑収益	0	118	-118	
経常収益計	179,747,458	174,207,410	5,540,048	
(2)経常費用				
事業費	173,545,488	156,751,951	16,793,537	
刊行事業費	80,311,488	77,475,098	2,836,390	
給料手当	25,973,999	25,111,066	862,933	職員数増
退職給付費用	1,712,952	1,785,070	-72,118	
福利厚生費	4,252,717	4,261,666	-8,949	
会報刊行費	33,952,306	34,089,990	-137,684	
会誌刊行費	1,816,639	1,705,774	110,865	
欧文誌刊行費	11,662,734	9,830,795	1,831,939	掲載数増
学術図書類刊行費	940,141	690,737	249,404	
講演会・講習会事業費	55,676,496	45,687,117	9,989,379	
給料手当	15,584,399	15,066,640	517,759	職員数増
退職給付費用	1,027,771	1,071,042	-43,271	
福利厚生費	2,551,630	2,556,999	-5,369	
講演大会開催費	28,017,193	21,270,410	6,746,783	秋期大会現地開催費増
講演大会懇親会費	851,478	847,954	3,524	
本多記念講演開催費	83,352	64,640	18,712	
金属学会シンポジウム開催費	174,732	452,328	-277,596	
セミナー開催費	1,392,671	987,873	404,798	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
国際会議開催費	3,507,500	172,940	3,334,560	ICSMA20助成金
支部講演会・講習会開催費	2,485,770	3,196,291	-710,521	
調査・研究事業費	29,281,324	25,161,445	4,119,879	
給料手当	2,597,400	2,511,107	86,293	
退職給付費用	171,295	178,507	-7,212	
福利厚生費	425,272	426,166	-894	
関連団体連携事業費	103,000	103,000	0	
日本工学会費	129,686	100,540	29,146	
材料戦略委員会費	2,500	2,500	0	
科研費委員会費	2,500	2,500	0	
人材育成委員会費	10,000	10,000	0	
男女共同参画委員会費	58,577	113,832	-55,255	
調査・研究委員会費	2,839,913	2,472,663	367,250	
研究会費	3,811,223	1,690,703	2,120,520	研究会集会増
研究助成費	15,000,500	15,000,500	0	
企画委員会費	5,000	5,000	0	
セルフガバナンス委員会費	2,500	2,500	0	
国際学術交流委員会費	4,121,958	1,616,396	2,505,562	TMS への渡航費(前年度派遣者の繰越含む)
支部調査・研究事業費	0	925,531	-925,531	
表彰・奨励事業費	7,717,051	7,906,744	-189,693	
給料手当	2,597,400	2,511,107	86,293	
退職給付費用	171,295	178,507	-7,212	
福利厚生費	425,272	426,166	-894	
名誉員費	3,500	338,670	-335,170	
各種賞検討委員会費	1,159,503	988,965	170,538	
学会賞費	715,800	542,550	173,250	
学術貢献賞費	3,500	3,500	0	
学術功労賞費	3,500	3,500	0	
技術賞費	100,850	124,500	-23,650	
技術開発賞費	53,800	31,507	22,293	
金属組織写真賞費	82,876	112,537	-29,661	
研究技能功労賞費	330,650	436,000	-105,350	
功績賞費	263,100	154,750	108,350	
功労賞費	3,500	3,500	0	
奨励賞・奨学賞等費	372,360	524,502	-152,142	
谷川・ハリス賞費	68,400	64,000	4,400	
増本量賞費	207,500	207,500	0	
まてりあ賞	3,500	3,500	0	
村上賞費	912,500	1,013,700	-101,200	
論文賞費	216,800	76,319	140,481	
フェロー費	19,100	2,500	16,600	
支部表彰・奨励事業費	2,345	158,964	-156,619	
貸倒引当損	559,129	521,547	37,582	
管理費	17,656,140	16,040,992	1,615,148	
給料手当	5,194,798	5,022,212	172,586	
退職給付費用	342,590	357,014	-14,424	
福利厚生費	850,542	852,333	-1,791	
会議費	125,459	537,634	-412,175	
旅費交通費	2,234,036	873,380	1,360,656	理事会等現地出席費増
通信運搬費	992,789	804,749	188,040	
減価償却費	272,660	218,589	54,071	
消耗什器備品費	476,365	270,722	205,643	
消耗品費	19,930	16,544	3,386	
修繕費	2,826	0	2,826	
印刷製本費	697,525	468,550	228,975	
光熱水料費	61,854	40,684	21,170	
賃借料	528,000	528,000	0	
保険料	7,942	12,130	-4,188	
諸謝金	20,046	20,046	0	
租税公課	3,091,500	2,732,000	359,500	
送金手数料	231,579	166,597	64,982	
賞状・賞牌・副賞費	0	445,482	-445,482	
支払負担金	45,000	36,200	8,800	
システム管理費	707,774	568,642	139,132	
委託費	1,606,755	1,592,124	14,631	
貸倒引当損	71,150	72,047	-897	
雑費	75,020	405,313	-330,293	
経常費用計	191,201,628	172,792,943	18,408,685	
評価損益等調整前経常増減額	-11,454,170	1,414,467	-12,868,637	
特定資産評価損益等	-3,465,964	0	-3,465,964	
当期経常増減額	-14,920,134	1,414,467	-16,334,601	

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
経常外収益計	0	0	0	
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	-14,920,134	1,414,467	-16,334,601	
一般正味財産期首残高	1,096,200,185	1,094,785,718	1,414,467	
一般正味財産期末残高	1,081,280,051	1,096,200,185	-14,920,134	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,494,832	1,900,040	-405,208	
未経過償還差額金の償却額	173,635	30,380	143,255	
刊行事業拡充賛助寄付金	50,000	50,000	0	
一般正味財産への振替額	1,494,832	1,900,040	-405,208	
特定資産評価損益等	-6,834,621	0	-6,834,621	
当期指定正味財産増減額	-6,610,986	80,380	-6,691,366	
指定正味財産期首残高	447,134,686	447,054,306	80,380	
指定正味財産期末残高	440,523,700	447,134,686	-6,610,986	
III. 正味財産期末残高	1,521,803,751	1,543,334,871	-21,531,120	

(注) 1. 小科目の対前年度比較30%超かつ50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。

2. 人件費の配賦率は、刊行事業50%、講演会・講習会事業30%、調査・研究事業5%、表彰・奨励事業5%、法人会計10%としている。



2023年度決算 貸借対照表

2024年2月29日現在

(単位：円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減
I. 資産の部			
1. 流動資産			
現金預金	75,778,652	77,655,985	-1,877,333
未収会費	2,913,164	3,093,331	-180,167
未収金	2,333,809	2,909,842	-576,033
貸倒引当金	-157,402	-180,087	22,685
前払金	440,000	1,369,737	-929,737
棚卸資産	4,869,243	4,827,586	41,657
流動資産合計	86,177,466	89,676,394	-3,498,928
2. 固定資産			
(1)特定資産			
退職給付引当資産	85,822,366	82,492,734	3,329,632
減価償却引当資産	11,831,594	9,918,133	1,913,461
刊行事業資金	305,000,000	305,000,000	0
刊行事業拡充賛助寄付資金	128,700,000	128,650,000	50,000
講演会・講習会事業資金	306,500,000	306,500,000	0
国際会議開催準備資金	3,000,000	6,500,000	-3,500,000
調査・研究事業資金	262,187,760	269,959,118	-7,771,358
調査・研究事業拡充資金	85,000,000	85,000,000	0
国際学術交流資金	98,947,140	102,000,000	-3,052,860
表彰・奨励事業資金	50,000,000	50,000,000	0
学会賞資金	11,465,105	11,510,000	-44,895
研究技術功労賞資金	6,790,490	7,000,000	-209,510
奨励賞・奨学賞等資金	52,518,465	54,000,000	-1,481,535
谷川・ハリス賞資金	14,551,050	15,000,000	-448,950
増本量賞資金	33,952,450	35,000,000	-1,047,550
村上賞資金	103,599,000	103,974,686	-375,686
特定資産合計	1,559,865,420	1,572,504,671	-12,639,251
(2)その他固定資産			
什器備品	2,363,849	2,249,306	114,543
減価償却累計額	-1,503,727	-1,112,278	-391,449
リース 什器備品	4,665,624	4,665,624	0
減価償却累計額	-3,996,840	-3,237,936	-758,904
小計 什器備品	7,029,473	6,914,930	114,543
減価償却累計額	-5,500,567	-4,350,214	-1,150,353
ソフトウェア	16,477,560	14,823,160	1,654,400
減価償却累計額	-10,273,634	-8,751,622	-1,522,012
リース ソフトウェア	0	0	0
減価償却累計額	0	0	0
小計 ソフトウェア	16,477,560	14,823,160	1,654,400
減価償却累計額	-10,273,634	-8,751,622	-1,522,012
商標権	162,700	162,700	0
減価償却累計額	-108,466	-54,233	-54,233
小計 商標権	162,700	162,700	0
減価償却累計額	-108,466	-54,233	-54,233
電話加入権	50,300	50,300	0
敷 金	2,400,000	2,400,000	0
保証金	0	0	0
その他固定資産合計	10,237,366	11,195,021	-957,655
固定資産合計	1,570,102,786	1,583,699,692	-13,596,906
資産合計	1,656,280,252	1,673,376,086	-17,095,834
II. 負債の部			
1. 流動負債			
未払金	2,699,853	2,094,197	605,656
前受金	39,869,769	39,728,167	141,602
預り金	5,415,729	4,298,429	1,117,300
リース債務	219,984	758,904	-538,920
その他流動負債	0	0	0
流動負債合計	48,205,335	46,879,697	1,325,638
2. 固定負債			
リース債務	448,800	668,784	-219,984
退職給付引当金	85,822,366	82,492,734	3,329,632
固定負債合計	86,271,166	83,161,518	3,109,648
負債合計	134,476,501	130,041,215	4,435,286
III. 正味財産の部			
1. 指定正味財産			
寄付金	440,523,700	447,134,686	-6,610,986
(うち特定資産への充当額)	440,523,700	447,134,686	-6,610,986
2. 一般正味財産			
一般正味財産	1,081,280,051	1,096,200,185	-14,920,134
(うち特定資産への充当額)	1,081,280,051	1,096,200,185	-14,920,134
正味財産合計	1,033,519,354	1,042,877,251	-9,357,897
正味財産合計	1,521,803,751	1,543,334,871	-21,531,120
負債及び正味財産合計	1,656,280,252	1,673,376,086	-17,095,834

公益社団法人日本金属学会 2024年度事業計画

(自 2024年3月1日 至 2025年2月28日)

2024年度の事業の概要は、次のとおりである。(詳細は本会ホームページ/情報公開を参照のこと。)

- ①2024年度は公益社団法人としての12年目の事業年度であり、引き続きセルフガバナンスに基づいて、公益目的事業を公正かつ適切に推進する。
- ②刊行事業については、機関誌3誌の刊行を推進する。会報「まてりあ」においては、金属をはじめとする材料に関して学術的・技術的知見を幅広く得たいときに手軽に読め、かつ研究開発活動の一助となる情報誌であることを目指し、入門講座や講義ノートに加え、実学講座等の記事カテゴリーの一層の充実を図る。また、誌面や記事構成の改定等を推進する。日本金属学会誌は、日本語で書かれた最新知見の発信や高度な専門性のある提案・意見交流・学理追求の場として維持向上を図るために、積極的な投稿勧誘、Materials Transactionsに掲載されたReviewやOverview、特集論文の和訳掲載等を推進する。Materials Transactionsは、日本の代表的な材料系英文論文誌でありつづけるよう、より一層高度化するとともに、インパクトファクターの更なる向上を目指し、特集やReview, Overview, Current Trends in Researchの掲載や査読の厳格化等によって掲載論文の質を向上させる。さらに、質の高い論文が掲載されていることの周知や被引用数の多い論文の著者への認定等の掲載論文引用の促進、掲載論文引用の積極的な要請等の施策を推進する。また、共同刊行における編集の一体化を推進する。
- ③講演会・講習会事業については、with/post コロナ時代に即した事業の形態を検討し、適切かつ効果的なオンライン利用の方策を検討する。最新の研究や技術を発信し、大学・企業・研究所を越えた多様かつ多くの研究者や技術者が集い交流する魅力ある講演大会を目指して、講演大会のプログラムや日程を検討するとともに、魅力ある公募ならびに企画シンポジウムの開催や他学協会との連携企画の拡充等の施策を推進する。基礎から最新の研究や技術までを学べるセミナーやシンポジウムの開催や次世代を担う人材の教育と育成に貢献する教育講座を開催するとともに、高校生・高専生が材料の魅力を理解するための機会を作る。また、会員の活発な交流や材料分野での人材育成をより一層推進する。
- ④調査・研究事業については、国際舞台における我が国の材料科学を先導していくことを目指し、再編した分科の特長を活かす協力体制による活動を推進する。また、研究会、若手研究グループに加えて、分野を超えた取り組みを強化すべき研究課題に対して産・学・官が連携して課題解決に取り組むことを目的とした産学協創研究会の活動を推進するとともに、新たに材料共通の基盤技術・基礎学理の発展を目的とした研究会を創設する。さらに、若手研究者を対象とした研究助成事業の拡充を図る。金属及び関連材料に興味を持つ若い世代を育てることを目指し、学校教育の支援や青少年向けイベントの開催、若手交流等の人材育成に関する事業を拡充する。国際学術交流は、KIM, TMS, IIM等との交流および秋期講演大会における国際シンポジウムの開催を推進する。男女ともに学会で活躍できる環境作りのために男女共同参画事業を行う。
- ⑤表彰・奨励事業については、若手や民間企業の研究者・技術者を含め多様な層への授賞を推進する。
- ⑥学会の活動を広く周知するために、アウトリーチ等の広報活動を推進する。
- ⑦庶務については、引き続き法令等および本会の定めにより、公正かつ適切に行う。
- ⑧会計については、引き続き最新の公益法人会計基準および公益認定等ガイドライン等に則り、公正かつ適切に行う。

公益社団法人 日本金属学会 2024年度収支予算書

2024年3月1日から2025年2月28日まで

(単位：円)

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
I 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1) 経常収益				
特定資産運用益	23,675,234	21,577,114	2,098,120	
特定資産受取利息	23,675,234	21,577,114	2,098,120	
退職給付引当資産	693,369	693,369	0	
減価償却引当資産	87	87	0	
刊行事業資金	6,391,000	6,391,000	0	
刊行事業拡充賛助寄付資金	1,286	1,286	0	
講演会・講習会事業資金	5,991,625	5,991,625	0	
調査・研究事業資金	4,690,464	5,290,464	-600,000	国債再投資・利率減
調査・研究事業拡充資金	6,000	6,000	0	
国際学術交流資金	1,428,000	40,800	1,387,200	国債再投資
国際会議準備資金	550	550	0	
表彰・奨励事業資金	1,050,000	1,050,000	0	
学会賞資金	231,003	210,018	20,985	
研究技術功労賞資金	98,000	70	97,930	
奨励賞・奨学賞等資金	693,450	945	692,505	国債再投資
谷川・ハリス賞資金	210,000	150	209,850	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
増量賞資金	490,000	350	489,650	
村上賞資金	1,700,400	1,900,400	-200,000	
受取入金	100,000	100,000	0	
受取入金	100,000	100,000	0	
受取会費	61,860,000	61,910,000	-50,000	
正員受取会費	30,500,000	31,500,000	-1,000,000	会員減
学生員受取会費	3,200,000	3,200,000	0	
維持員受取会費	27,000,000	26,000,000	1,000,000	口数増
外国会員受取会費	1,160,000	1,210,000	-50,000	
事業収益	85,873,050	85,376,603	496,448	
刊行事業収益	45,392,050	45,994,603	-602,552	
会報購読費収益	1,863,110	1,924,885	-61,775	
会誌購読費収益	3,350,400	3,735,633	-385,233	
欧文誌購読費収益	10,483,204	9,689,373	793,831	購読単価増
会報別刷等収益	3,231,250	3,263,400	-32,150	
会誌別刷・審査収益	390,000	390,000	0	
欧文誌別刷・審査収益	20,040,000	20,040,000	0	
刊行事業広告収益	4,518,000	4,860,000	-342,000	
単行本収益	516,086	1,091,312	-575,225	図書類の電子化による販売数減少
著作権料収益	1,000,000	1,000,000	0	
講演会・講習会事業収益	40,145,000	38,710,000	1,435,000	
講演大会参加費収益	26,000,000	25,950,000	50,000	
講演大会懇親会参加費収益	1,490,000	1,050,000	440,000	
金属学会シンポジウム参加費収益	600,000	600,000	0	
金属学会シンポジウム予稿集収益	10,000	10,000	0	
セミナー参加費収益	5,590,000	5,590,000	0	
セミナーテキスト収益	30,000	30,000	0	
講演会・講習会事業広告収益	4,265,000	3,320,000	945,000	昨年度広告数想定
支部講演会・講習会事業収益	1,600,000	1,600,000	0	
講演会・講習会事業委託収益	560,000	560,000	0	
調査・研究事業収益	0	0	0	
調査・研究事業収益	0	0	0	
表彰・奨励事業収益	336,000	672,000	-336,000	
審査・投稿料収益	336,000	672,000	-336,000	
受取補助金等	0	1,000,000	-1,000,000	
受取国庫助成金	0	0	0	
受取地方公共団体助成金	0	1,000,000	-1,000,000	秋期講演大会助成金額減
受取負担金	0	0	0	
受取負担金	0	0	0	
受取寄付金	25,000,000	20,000,000	5,000,000	
受取寄付金	25,000,000	20,000,000	5,000,000	刊行事業拡充賛助寄付資金から振替
雑収益	21,100	21,100	0	
受取利息	1,000	1,000	0	
雑収益	20,000	20,000	0	
支部受取利息・雑収益	100	100	0	
経常収益計	196,529,384	189,984,817	6,544,568	
(2)経常費用				
事業費	180,602,373	175,246,906	5,355,467	
刊行事業費	78,901,349	78,202,897	698,452	
給料手当	26,313,040	26,339,000	-25,960	
退職給付費用	1,771,491	1,686,500	84,991	
福利厚生費	4,372,897	4,161,461	211,436	
会報刊行費	33,465,765	33,191,646	274,119	
会誌刊行費	1,963,242	2,300,037	-336,795	
欧文誌刊行費	9,640,914	9,150,253	490,661	
学術図書類刊行費	1,374,000	1,374,000	0	
講演会・講習会事業費	55,806,052	58,114,401	-2,308,349	
給料手当	15,787,824	15,803,400	-15,576	
退職給付費用	1,062,895	1,011,900	50,995	
福利厚生費	2,623,738	2,496,877	126,861	
講演大会開催費	28,107,620	26,603,449	1,504,171	システム管理費，印刷製本代増
講演大会懇親会費	1,000,000	1,040,000	-40,000	
本多記念講演開催費	92,500	132,300	-39,800	
金属学会シンポジウム開催費	672,385	722,385	-50,000	
セミナー開催費	1,155,090	1,835,090	-680,000	開催数減
国際会議開催費	0	3,500,000	-3,500,000	国際会議開催費助成なし
支部講演会・講習会開催費	5,304,000	4,969,000	335,000	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
調査・研究事業費	37,208,351	30,845,299	6,363,052	
給料手当	2,631,304	2,633,900	-2,596	
退職給付費用	177,149	168,650	8,499	
福利厚生費	437,290	416,146	21,144	
関連団体連携事業費	21,500	21,500	0	
日本工学会費	172,540	347,540	-175,000	
材料戦略委員会費	10,000	10,000	0	
科研費委員会費	1,000	1,000	0	
人材育成委員会費	140,000	140,000	0	
男女共同参画委員会費	170,000	100,000	70,000	
調査研究委員会費	2,020,568	1,979,563	41,005	
研究会費	4,500,000	4,500,000	0	
研究助成費	22,500,000	15,000,000	7,500,000	助成数 5 件増
企画委員会費	2,000	2,000	0	
セルフガバナンス委員会費	10,000	10,000	0	
国際学術交流委員会費	2,561,000	3,661,000	-1,100,000	Young Leader 派遣数減 3 名→1 名
支部調査・研究事業費	1,854,000	1,854,000	0	
表彰・奨励事業費	8,686,621	8,084,309	602,312	
給料手当	2,631,304	2,633,900	-2,596	
退職給付費用	177,149	168,650	8,499	
福利厚生費	437,290	416,146	21,144	
名誉員費	147,600	157,700	-10,100	
各種賞検討委員会費	720,568	679,563	41,005	
学会賞費	799,060	587,850	211,210	
技術賞費	100,600	93,550	7,050	
技術開発賞費	214,600	326,100	-111,500	
金属組織写真賞費	110,700	72,200	38,500	
研究技術功労賞費	636,700	721,900	-85,200	
功績賞費	342,100	153,250	188,850	
奨励賞・奨学賞等費	428,200	330,900	97,300	
谷川・ハリス賞費	57,300	63,700	-6,400	
増本量賞費	212,300	204,350	7,950	
まてりあ賞	28,800	5,100	23,700	
村上賞費	1,195,500	1,155,750	39,750	
論文賞費	221,500	96,350	125,150	
フェロー費	12,350	4,350	8,000	
支部表彰・奨励事業費	213,000	213,000	0	
管理費	20,146,622	18,378,718	1,767,904	
給料手当	5,262,608	5,267,800	-5,192	
退職給付費用	354,298	337,300	16,998	
福利厚生費	874,579	832,292	42,287	
会議費	870,000	700,000	170,000	
旅費交通費	2,500,000	1,000,000	1,500,000	対面出席者増
通信運搬費	1,300,000	800,000	500,000	通信・運搬料金値上げ
減価償却費	267,237	189,900	77,337	
消耗什器備品費	45,000	45,000	0	
消耗品費	2,350,000	2,350,000	0	
修繕費	10,000	10,000	0	
印刷製本費	500,000	500,000	0	
光熱水料費	40,000	35,726	4,274	
賃借料	528,000	528,000	0	
保険料	12,000	12,100	-100	
諸謝金	20,000	20,000	0	
租税公課	2,732,000	3,200,000	-468,000	
送金手数料	133,000	132,500	500	
支払負担金	12,000	50,000	-38,000	
システム管理費	285,900	285,900	0	
委託費	1,600,000	1,582,200	17,800	
雑費	450,000	500,000	-50,000	
経常費用計	200,748,995	193,625,624	7,123,371	
評価損益等調整前経常増減額	-4,219,611	-3,640,808	-578,803	
評価損益等	0	0	0	
当期経常増減額	-4,219,611	-3,640,808	-578,803	

科 目	当 年 度	前年度予算額	増 減	備 考
2. 経常外増減の部				
(1)経常外収益				
経常外収益計	0	0	0	
(2)経常外費用				
固定資産除却損	0	0	0	
経常外費用計	0	0	0	
当期経常外増減額	0	0	0	
当期一般正味財産増減額	-4,219,611	-3,640,808	-578,803	
一般正味財産期首残高	1,092,961,439	1,094,624,747	-1,663,308	
一般正味財産期末残高	1,088,741,828	1,090,983,939	-2,242,111	
II. 指定正味財産増減の部				
特定資産受取利息	1,700,400	1,900,400	-200,000	
未経過償還差額金の償却額	10,194	30,380	-20,186	
刊行事業拡充賛助寄付金	50,000	50,000	0	
一般正味財産への振替額	26,760,594	21,980,780	4,779,814	25,000,000円を受取寄付金へ振替
当期指定正味財産増減額	-25,000,000	-20,000,000	-5,000,000	
指定正味財産期首残高	422,194,880	437,054,306	-14,859,426	
指定正味財産期末残高	397,194,880	417,054,306	-19,859,426	
III. 正味財産期末残高	1,485,936,708	1,508,038,245	-22,101,537	

- (注) 1. 小科目の対前年度予算額比50万円超の増減の理由および補足説明を備考欄に記載した。
2. 人件費の配賦率は、刊行事業50%、講演会・講習会事業30%、調査・研究事業5%、表彰・奨励事業5%、法人会計10%としている。



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
2024年6月				
3～30	オンデマンド配信：オンライン教育講座「弾性異方性の考え方」(4号283頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
3～5	日本顕微鏡学会第80回学術講演会(千葉)	日本顕微鏡学会	TEL 03-6457-5156 jsm-post@microscopy.or.jp http://conference.wdc-jp.com/microscopy/conf2024/	
7～6回	2024年度粉末冶金講座(ハイブリッド開催)	粉末粉末冶金協会	TEL 075-721-3650 info@jspm.or.jp https://www.jspm.or.jp/	
10～12	第29回計算工学講演会(神戸)	日本計算工学会	TEL 03-3868-8957 office@jcses.org http://www.jcses.org/koenkai/29/	
13～14	第15回核融合エネルギー連合講演会—フュージョンエネルギーによる脱炭素社会の実現—(八戸)	プラズマ・核融合学会, 日本原子力学会	FAX 052-735-3185 plasma@jspf.or.jp	400名程度
13-14, 27-28	界面コロイドラーニング第40回現代コロイド・界面化学基礎講座(東京・大阪)	日本化学会コロイドおよび界面化学部会	https://colloid.csj.jp/202403/learning-40th-tokyo/ TEL 011-706-7110 jigyoukikaku_01@colloid.csj.jp	
17～18	第28回動力・エネルギー技術シンポジウム(京都)	日本機械学会	TEL 03-4335-7615 https://www.jsme.or.jp/event/24-10	
18	機械材料・材料加工のシミュレーション・計測と力学(第4回：材料への治癒・修復機能付与)(オンライン開催)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/event/24-27/	
19～20	オンライン教育講座「電子顕微鏡と格子欠陥の基礎」(5号351頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
21～7.4	初心者のための電気化学測定法-基礎編(電気化学セミナーA)(オンデマンド)	電気化学会	TEL 03-3234-4213 seminar@electrochem.jp https://www.electrochem.jp/seminar/	
24	第93回技術セミナー「カーボンニュートラル実現に向けた環境・エネルギー関連装置における腐食問題と対策」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/	6.18
27	第64回塗料入門講座 前期(東大生産技研)	色材協会関東支部	TEL 03-3443-2811 adminr@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
27	第199回腐食防食シンポジウム「リスクベースマネージメント(RBM)の展開」(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/199.html	6.21
2024年7月				
2	第六回状態図・計算熱力学研究会(オンライン)(本号428頁)	研究会No.85	abe.taichi@nimis.go.jp https://jimm.jp/event/research_meeting/	6.25
1～31	オンデマンド配信：オンライン教育講座「金属材料の耐環境性(2) 高温酸化・高温腐食の基礎-熱力学・速度論・高温強度-」(5号353頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	
2	第六回 状態図・計算熱力学研究会(オンライン開催)	No.85「状態図・計算熱力学研究会」	abe.taichi@nims.go.jp	参加 6.25
3～5	第61回アイソトープ・放射線研究発表会(東京)	日本アイソトープ協会	TEL 03-5395-8081 happyoukai@jrias.or.jp https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/	
11-12	第55回トライボロジー入門講座(東京+オンライン開催)	日本トライボロジー学会	TEL 03-3434-1926 jast@tribology.jp http://www.tribology.jp/	
18	第64回塗料入門講座 後期(東大生産技研)	色材協会関東支部	TEL 03-3443-2811 adminr@jscm.or.jp http://www.shikizai.org/	定員 100名
18～19	第58回 X線材料強度に関するシンポジウム(名城大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/meeting/xsym_regist.html	
22-26	第12回対称性・群論トレーニングコース英語講座(つくば)	日本結晶学会	TEL 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/	
25-26	講習会「粉末 X線解析の実際」(東工大)	日本結晶学会	crsj-xray@conf.bunken.co.jp http://analytsci.org/xrd2024/	定員 200名
26	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド開催)(本号433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	
26	第438回講習会「測長の基礎から応用-精密光計測技術」(中央大)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form2.html	定員 60名
29-31	第30回結晶工学スクール(2024年)(上智大)	応用物理学会	TEL 03-3828-7723 divisions@jsap.or.jp https://annex.jsap.or.jp/kessho	参加 7.12
29-8.2	第12回対称性・群論トレーニングコース日本語講座(つくば)	日本結晶学会	TEL 029-864-5196 tyoshimi@post.kek.jp http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/	
2024年8月				
1～30	オンデマンド配信：オンライン教育講座「金属製錬の熱力学」(本号430頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	8.8
2	第132回シンポジウム「カーボンニュートラルに対応する自動車へのアルミニウム活用最前線」(芝浦工大)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 https://www.jilm.or.jp/	定員 120名

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
26~27	オンライン教育講座「結晶学の基礎(オンライン)」(本号429頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp https://jimm.jp/event/online/2024/ group_002.html	8.19
27	第8回統合的先端研究成果発表会(ハイブリッド開催)	軽金属奨学会	TEL 06-6271-3179 grant@lm-foundation.or.jp http://www.lm-foundation.or.jp/	
2024年9月				
6~8	2024年度工学教育研究講演会(九大伊都キャンパス)	日本工学教育協会他	TEL 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp http://www.jfes.or.jp/	
10-12	第37回秋季シンポジウム(名大)	日本セラミックス協会	TEL 03-3362-5232 fall37@ceramic.or.jp https://fall37.ceramic.or.jp/	
11	2024年度高温材料の変形と破壊研究会(日田市)(本号428頁)	研究会No.83	saruta.mamiko@nims.go.jp	7.19
12-14	第26回日本感性工学会大会(東京)	日本感性工学会	TEL 03-3666-8000 jske@jske.org https://www.jske.org/taikai/jske26	
17-19	日本実験力学会2024年度年次講演会(山形大学)	日本実験力学会	TEL 025-368-9310 office-jsem@clg.niigata-u.ac.jp https://jsem.jp/event/Annual24/index.html	事前 7.21
18-19	第36回疲労シンポジウム(函館)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@jsms.jp http://fatigue.jsms.jp	講演 6.14
18~20	日本金属学会秋期講演大会(大阪大学豊中キャンパス)(本号420頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	講演 7.5 高校生ポスター 7.12
24	第12回「高校生・高専学生ポスター発表」(オンライン)(本号424頁)			
26~28	第60回熱測定討論会(京都府立大)	日本熱測定学会	TEL 03-6310-6831 netsu@mbd.nifty.com https://www.netsu.org/60touron/index.html	
27	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド開催)(本号433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	
2024年10月				
8-9	第6回EBSD法による損傷評価講習会(京都+オンライン)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	9.11
8~9	第14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 impact14@office.jsms.jp	講演 6.28
16, 30	第253・254回西山記念技術講座「最新シミュレーション技術の進歩と鉄鋼業への展開」(大阪)(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://isij.or.jp/event/event2024/ nishiyama253.html	
18-20	第37回計算力学講演会(仙台)	日本機械学会	TEL 03-4335-7610 https://www.jsme.or.jp/conference/ cmdconf24/index.html	
20-24	The 10th International Symposium on Surface Science (ISSS-10)(北九州)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 iss10@jvss.jp https://www.jvss.jp/conference/iss10/	
2024年11月				
6-7	NIMS AWARDシンポジウム2024(つくば)	物質・材料研究機構	TEL 029-859-2240 https://www.nims.go.jp/nims-award-symposium/	
8~10	第75回塑性加工連合講演会(琉球大)	日本塑性加工学会	TEL 03-3435-8301 http://www.jstp.jp/	
13~15	第65回高圧討論会(盛岡)	日本高圧力学会	TEL 070-5545-3188 touronkai65@highpressure.jp http://www.highpressure.jp/new/65forum/	参加事前 9.13
15	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド開催)(本号433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	
15	第26回ミレニアム・サイエンスフォーラム(東京)	ミレニアム・サイエンス・フォーラム	TEL 090-8024-7568 msf@oxinst.com http://www.msforum.jp/	
17-22	15th International Symposium of Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '24(ALC'24)(松江)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/division/mba/alc/ alc24/	
21	第75回白石記念講座 データ駆動型材料開発の最前線とその適用例(東京)	日本鉄鋼協会	TEL 03-3669-5933 educact@isij.or.jp https://www.isij.or.jp/event/event2024/ shiraishi75.html	
22	日本学術会議公開シンポジウム「サステナブル社会への移行における資源循環の役割」(東京)	日本学術会議 材料工学委員会, 合工学委員会, 環境学委員会他	TEL 03-5286-3320 info@mmij.or.jp	
25~27	第45回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(東京)	超音波エレクトロニクス協会	TEL 03-3259-0766 use-sponsor-app@iuse.or.jp https://www.use-jp.org/	

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2024年12月				
9-11	第50回固体イオニクス討論会(豊中)	固体イオニクス学会	TEL 022-217-5341 ssij@ssj-j.org https://www.ssi-j.org/symp/ssij50/	
11~13	Asian Thermal Spray Conference 2024(アジア溶射会議2024)(東北大)	日本溶射学会	TEL 06-6722-0096 jtss@jtss.or.jp	
2025年1月				
10	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド開催)(本号433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	
2025年3月				
8~10	日本金属学会春期講演大会(東京都立大学南大沢キャンパス)予定	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	63-11 会告予定
21	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド開催)(本号433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	



公益社団法人
日本金属学会

2024年 日本金属学会オンライン教育講座 ご紹介

- 電子顕微鏡と格子欠陥の基礎(開催日:2024年6月19日(水), 20日(木))
- 結晶学の基礎 (開催日:2024年8月26日(月), 27日(火))
- マルチスケール材料科学 (開催日:2024年10月28日(月), 29日(火))
- 構造材料(2) 非鉄材料編 (開催日:2024年11月28日(木), 29日(金))

～ 皆様のご参加お待ちしております。～

2023, 2024年度会報編集委員会 (五十音順, 敬称略)

編集委員長	田中秀明					
編集副委員長	鈴木真由美					
委員	李誠鎬	池尾直子	石川史太郎	井田駿太郎	岩岡秀明	植木洸輔
	上田恭介	宇部卓司	大塚誠	岡弘	小笹良輔	川崎由康
	川西咲子	河野義樹	木口賢紀	北原弘基	北村一浩	國枝知徳
	小嶋隆幸	小島淳平	小山元道	齊藤雄太	佐々木秀顕	佐藤豊人
	篠原百合	新里恵多	鈴木賢紀	高橋弘樹	高山直樹	竹田修
	田辺栄司	Chang Tso-Fu Mark	塚田祐貴	圓谷貴夫	寺西亮	土井康太郎
	豊木研太郎	永井崇	永瀬丈嗣	袴田昌高	長谷川誠	八田武士
	藤井進	細川明秀	本間智之	松浦昌志	松垣あいら	松本洋明
	三井好古	宮崎秀俊	宮部さやか	森谷智一	諸岡聡	山田亮
	山中謙太	山本知一	横井達矢	吉年規治	米田鈴枝	

まてりあ 第63巻 第6号(2024) 発行日 2024年6月1日 定価1,870円(本体1,700円+税10%)送料120円

発行所 公益社団法人日本金属学会

〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32

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

発行人 谷山明

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

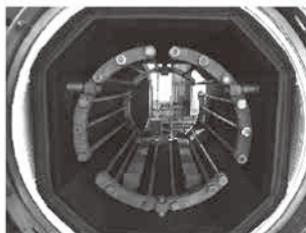
〒160-0002 東京都新宿区四谷坂町10-10

高断熱+省エネ

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
- 回転式アルミ脱ガス装置用ローター
- 高温真空炉 炉内メンテナンス、カーボンヒーター
- メカニカルシール、パッキン等の摺動部品修理・改造

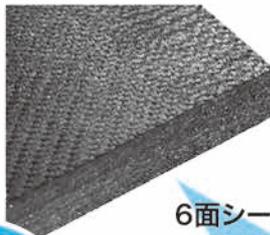
高温真空炉



カーボンヒーター



シール



6面シート
貼り



カーボンフェルト

CO₂削減



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



チタンなど、 高融点金属の受託溶解は お任せください!

響いてこそ技術
SINFONIA

ガスアトマイズ受託溶解

高純度な金属粉末製造を実現

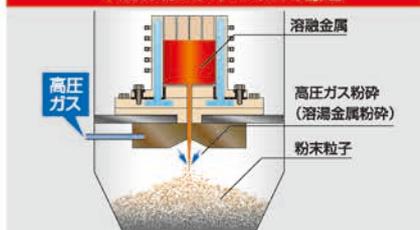
3種類のアトマイズ方式

3種類のアトマイズ方式をご用意!

- スカルガスアトマイズ方式
- 電極方式
- ディスクアトマイズ方式 **NEW**



スカルガスアトマイズの原理



高融点金属粉末の用途例

金属3Dプリンタ

航空機部品にも活用可能



金属成膜

スパッタリング

各種粉末
冶金製品

シンフォニア テクノロジー 株式会社

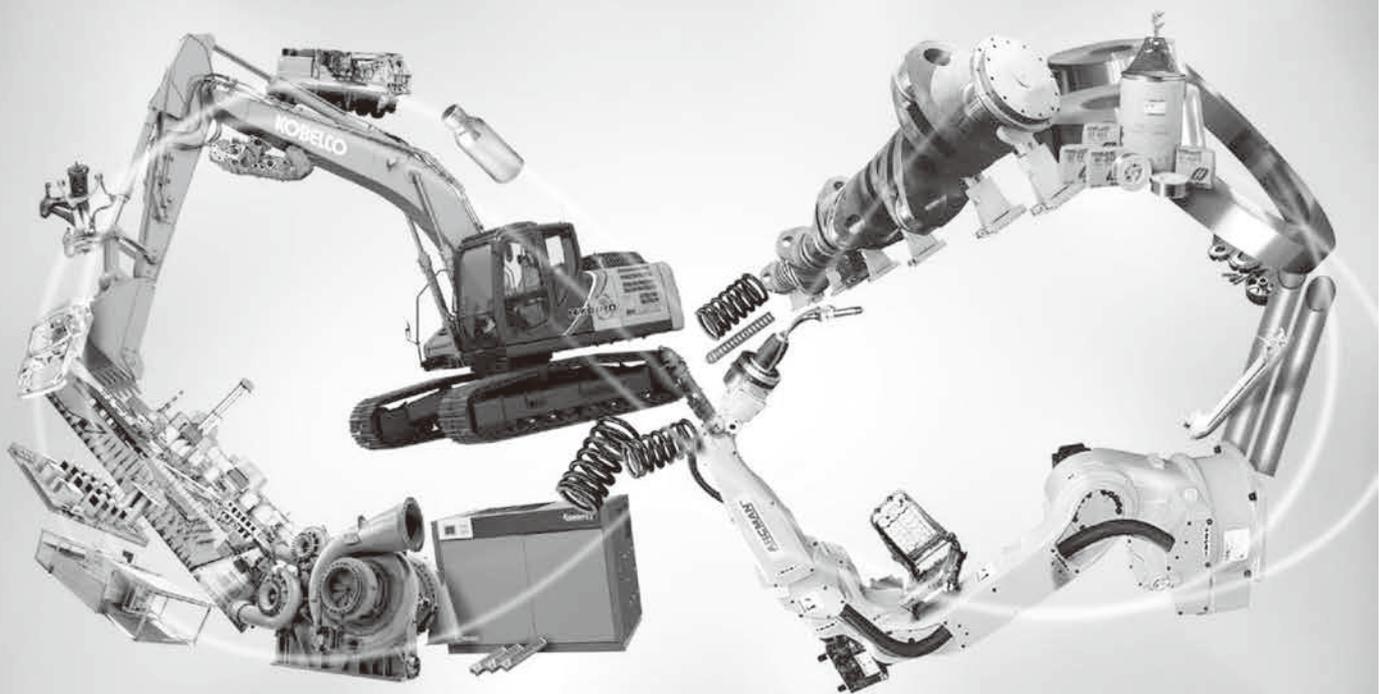
産業インフラ営業部

〒105-8564 東京都港区芝大門1-1-30 芝NBFタワー
☎03-5473-1832

受託溶解の
詳細はこちら



領域を超えると、
可能性は無限大。



乗り物の軽量化。工場の省エネ化。水素ビジネスの推進。電力の安定供給。
人々の暮らしを支え、社会の課題に挑んできた私たちの独自の「技術力」は、
幅広い事業分野それぞれが持つ、知見を掛け合わせることで磨かれてきました。
これからも、複合経営ならではの領域を超えた開発力を活かし、
「技術」の無限の可能性に挑んでいきます。

「素材」「機械」「電力」で、未来を切りひらく。

KOBELCO
神戸製鋼グループ