

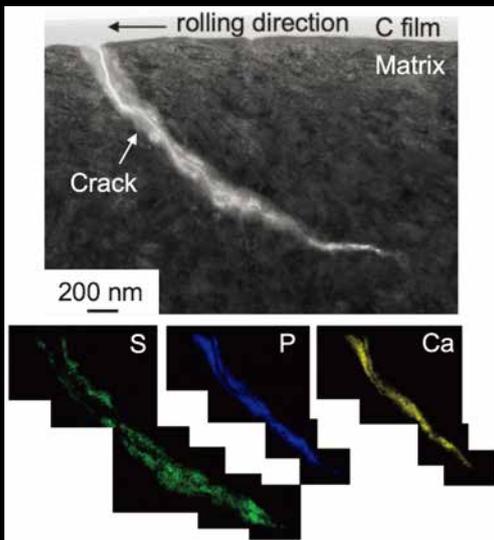
# Materia Japan

まてりあ Vol.63

MTERE2 63 (11) 751~822 (2024)

No.11

2024



表彰 受賞者紹介 (秋)

・ 金属素描 ~スカンジウム~

特集

「過酷環境下における  
材料強度と寿命」

・ スポットライト

・ はばたく

# 材料特性のその場観察

化学反応・  
表面組織

## 加熱ステージ

### FurnaSEM1000

- 1200°Cまで
- EBSD 観察可
- ガス注入キット
- ソフトウェア など



NewTec  
Scientific

## 引張ステージ

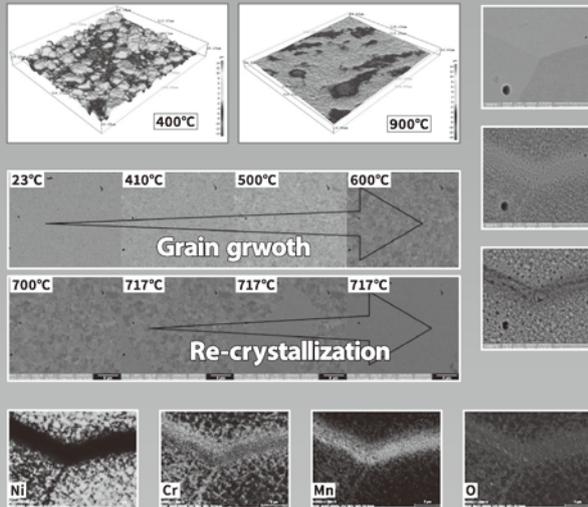
### MT1000

- 引張、圧縮、屈曲試験
- 温度勾配付加熱
- ガス注入キット
- ソフトウェア など

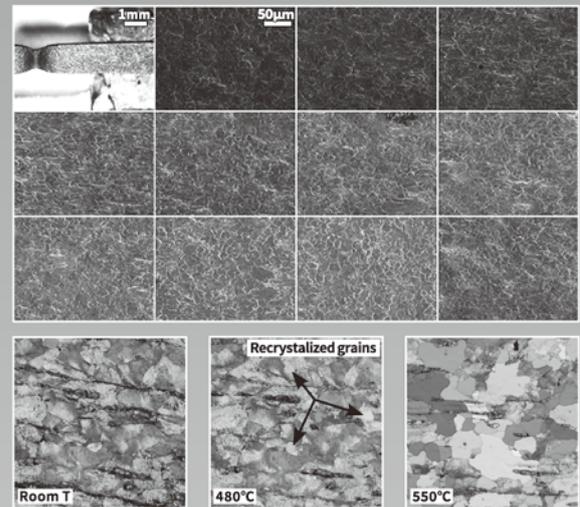


NewTec  
Scientific

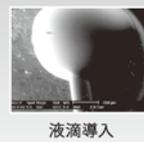
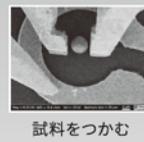
## 表面形態・化学組成・粒成長



## EBSD観察・変形試験



## SEM/FIB 内での試料操作を可能に



kleindiek  
nanotechnik

## BSE 検出器



高温・ガス雰囲気下での  
観察を可能にする BSE 検出器

- 熱電子をカット
- パイプ冷却

crytur

ADS 株式会社 アド・サイエンス

〒102-0071 東京都千代田区富士見2-7-2ステージビルディング13階

03-6824-4510

ads-contact@ads-img.co.jp

https://www.ads-img.co.jp/



金属素描	No. 37 スカンジウム(Scandium) 竹田 修	751
表彰	第21回村上記念賞受賞者	753
	第21回村上奨励賞受賞者	753
	第34回奨励賞受賞者	754
	第47回技術開発賞受賞記事	755
	第4回新進論文賞受賞者	756
	第14回まてりあ賞受賞論文・記事	758
	第3回特別功労賞	759
	第43回優秀ポスター賞受賞者	760

## 特集「過酷環境下における材料強度と寿命」

### 企画にあたって

小山元道 本間智之 諸岡 聡 河野義樹 岩岡秀明 八田武士 圓谷貴夫 763

### モシブチック合金は道なき道を歩み続けることができるか

吉見享祐 関戸信彰 井田駿太郎 764

### チタン合金のギガサイクル疲労における微小内部き裂の非破壊観察

中村 孝 吉中奎貴 薛 高格 藤村奈央 高橋航圭 770

### 水素環境中の金属材料の強度特性に関する研究動向と課題

松永久生 776

### 高強度マルテンサイト鋼の転がり接触疲労におけるき裂形成

梅澤 修 780

### 原子力発電プラントにおけるステンレス鋼溶接部の応力腐食割れ

阿部博志 788

スポットライト	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 大橋実愛 千貝一矢 松井宏翼 松浦 且 松村 慧	794
---------	---	-----

はばたく	世界屈指の研究者を目指して 徳澄 翼	796
------	--------------------	-----

本会記事	会告	797	次号予告	818
	掲示板	816	行事カレンダー	819
	新入会員	817	書評	822
	会誌・欧文誌11号目次	818		

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, 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** 浸炭焼入れ材の転がり接触疲労で形成した表面き裂断面のSTEM像(上)とEDS元素マップ図(下).  
(梅澤 修 著 786頁 図13より改変掲載)

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

複写をご希望の方へ

本会では, 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 11 November 2024

## Contents

<b>Sketch of Metals</b>	No. 37 Scandium	Osamu Takeda	751
<b>Autumn Awards</b>			
	21st The Japan Institute of Metals and Materials Murakami Memorial Award		753
	21st The Japan Institute of Metals and Materials Murakami Young Researcher Award		753
	34th The Japan Institute of Metals and Materials Young Researcher Award		754
	47th The Japan Institute of Metals and Materials Technical Development Award		756
	4th The Japan Institute of Metals and Materials The Best Paper Award for Budding Author		756
	14th Materia Japan Award		758
	3rd The Japan Institute of Metals and Materials Particular Achievement Award		759
	43rd The Japan Institute of Metals and Materials The Metals Best Poster Award		760
<b>Special Issue on Materials Strength and Life in Harsh Conditions</b>			
Preface	Motomichi Koyama, Tomoyuki Homma, Satoshi Morooka, Yoshiki Kawano, Hideaki Iwaoka, Takeshi Hatta and Takao Tsumuraya		763
Can the MoSiBTiC Alloy Continue Down a Pathless Path?	Kyosuke Yoshimi, Nobuaki Sekido and Shuntaro Ida		764
Nondestructive Observation of Small Internal Cracks in Gigacycle Fatigue of Titanium Alloys	Takashi Nakamura, Fumiyoshi Yoshinaka, Gaoge Xue, Nao Fujimura and Kosuke Takahashi		770
Research Trends and Challenges in the Strength Properties of Materials Used in Hydrogen Environments		Hisao Matsunaga	776
Crack Generation in Rolling–sliding Contact Fatigue for High Strength Martensitic Steels		Osamu Umezawa	780
Stress Corrosion Cracking of Stainless Steel Weldments in Nuclear Power Plants		Hiroshi Abe	788
<b>Regular Article</b>			
<b>Spotlights</b>			
Fungi's Degradation Capacity of Biodegradable Plastics	Minori Ohashi, Kazuya Chigai, Kousuke Matsui, Hajime Matsuura and Satoki Matsumura		794
<b>Portrait of Young Researchers</b>			
I'll Become a Top Researcher in the World		Tsubasa Tokuzumi	796

Published by THE JAPAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

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

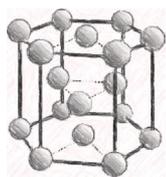
<https://www.jim.or.jp/journal/m/> (in Japanese)

©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.jaac.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.



シリーズ「金属素描」

## No. 37 スカンジウム (Scandium)

東北大学 竹田 修



元素名：Scandium，原子番号：21，原子量：44.96，電子配置：[Ar] 3d<sup>1</sup> 4s<sup>2</sup>，密度：2.992 Mg·m<sup>-3</sup>(293 K)，結晶構造：六方最密(～1607 K)，体心立方(1607～1810 K)，融点：1810 K，沸点：3105 K<sup>(1)</sup>，地殻存在量：21.9 μg·g<sup>-1</sup><sup>(2)</sup> 【写真】(a)酸化スカンジウム，(b)Al-Sc 母合金(いずれも資料提供：住友金属鉱山株式会社)。

本誌60巻3号では原子番号60のネオジウム(Nd)<sup>(3)</sup>を、63巻3号では原子番号62のサマリウム(Sm)<sup>(4)</sup>を取り上げた。今回は、同じ希土類金属(Rare earth metal)の一つであるスカンジウム(Sc)を取り上げる。

Scは、1879年、ユークセン石(Euxenite)の中からスウェーデンの化学者 Lars Frederik Nilson によって発見された。当初の目的は酸化イッテルビウムを単離することであったが、その過程で未知の酸化物として単離された。その後の研究で、この元素は、1870年頃にロシアの化学者 Dmitriy Ivanovich Mendelejev によって予言されたエカホウ素に相当することがわかった。Mendelejev によって予言されたエカホウ素の性質と、スカンジウムの性質は見事に一致し、Mendelejev の提唱した周期表の妥当性が強められた。

金属 Sc は、低密度で、化学的に極めて活性であり、その化合物は化学的、磁氣的に特異な性質を有している。また、Sc の酸化物や金属といった生産物の価格は、他の希土類金属の価格と比較して桁違いに高い<sup>(5)</sup>。

希土類金属は、お互いに化学的性質が似ており、一般的に地殻中に共存して賦存する。しかし、Sc は必ずしも共存せず、地殻中に広く分散した状態で存在する。資源量は希少と思われるが、地殻存在量は 22 ppm 程度でベースメタルである鉛(Pb)や錫(Sn)よりも多い。中間原料である酸化スカンジウム(Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は、ウラン製錬、希土類製錬、アルミニウム(Al)製錬、チタン製錬、タングステン製錬、ニッケル(Ni)製錬など、様々な製錬の副産物として回収されている。近年、Ni 製錬からの供給に注目が集まっており、日本の住友金属鉱山社が積極的な供給を行っている。

金属 Sc の製造のためには、Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> をフッ化してフッ化スカンジウム(ScF<sub>3</sub>)を得る。それを金属カルシウム(Ca)で還元し、粗金属 Sc を得る。さらに再溶解や真空蒸留を行い、高純度 Sc を得る。

現在、金属 Sc は、主に、Al 合金への合金元素として利用されている。Al-Sc 合金の用途は、競技用自転車等の高級スポーツ用品が多い。過去には、戦闘機の構造材料として使用された。他に Sc 化合物として、メタルハライドランプ、レーザー結晶などにも利用されている。近年では、固体酸化物

型燃料電池や半導体バリア材料、ルイス酸触媒などへの応用が期待されている。

合金元素として Sc を微量添加した Al-Sc 合金は、高強度だけでなく、結晶粒が微細で、再結晶化しにくく、耐食性が高いなどの長所がある。Sc は僅かな添加で Al 合金の強化に極めて効果的な元素である。例えば、純 Al(1000系)に Sc を 0.2 mass% 添加すると、降伏強度が10倍以上になる。これは、Al<sub>3</sub>Sc 相の析出強化によるものである。また、Al に Sc を少しずつ添加してゆき、Sc 濃度が 0.5 mass% を越えると、結晶粒の大きさが急激に減少し、1/10程度になる。結晶粒の微細化は、強度や靱性の向上だけでなく、溶接や鋳造時のひけ巣の発生が抑制できるため、溶接部分の肉厚を薄くできるなどの利点がある。一般に高強度 Al 合金は溶接が困難なものが多い。航空機の構造材料として使用されている高強度 Al 合金は、リベットを用いた接合も行われている。Al 合金に Sc を添加することで溶接性が改善されれば、部品接合コストの削減が期待できる。このように、Al-Sc 合金は非常に優れた特性を有しているため、今後、航空機や自動車等の構造材料への応用が期待されている。日本の国家プロジェクト(NEDO 革新的新構造材料等研究開発)においても Sc 添加新規 Al 合金が開発されている<sup>(6)</sup>。

Sc はマグネシウム(Mg)合金にも応用されている。Sc を Mg に添加することで、マルテンサイト変態を実現し、超弾性や形状記憶能を持つ合金が開発されている<sup>(7)</sup>。熱処理による組成制御が可能で、用途に合わせて材料設計が可能であり、宇宙航空材料や医療材料への応用が期待されている。

### 文 献

- (1) 金属データブック改訂4版，日本金属学会，丸善，(2004)。
- (2) R. L. Rundnick and S. Gao: "The Crust", Elsevier Ltd., (2004), 1-64.
- (3) 竹田 修：まてりあ，**60**(2021)，145.
- (4) 竹田 修：まてりあ，**63**(2024)，151.
- (5) 竹田 修，岡部 徹：J. MMIJ，**137**(2021)，36-44.
- (6) 箕田 正：表面技術，**73**(2022)，400-404.
- (7) Y. Ogawa, D. Ando, Y. Sutou and J. Koike: Science, **353**(2016)，368-370.

次号！ 金属なんでもランキング！ No.26 ビッカース硬さ



世界は

鉄で

できている

 **NIPPON STEEL**

**日本製鉄**



## 大会レポート（付設展示会、学生キャリアサポート企画編）

日本金属学会2024年秋期講演大会は、9月18日から20日まで大阪大学・豊中キャンパスにて、贈呈式、ポスターセッション、シンポジウム、一般講演、共同セッションを開催した。9月25日にはオンラインにて高校生・高専学生ポスターセッションを開催した。

大会参加登録者数は1,772名、講演発表件数は1,055件であり、盛会であった。講演会場にて、付設展示会を開催し、機器展示18社、学生キャリアサポート展示7社、カタログ展示1社の出展があった。想定外の猛暑の中での開催となり、出展社、来場者には不便をかけたが、多くの来場があった。以下、付設展示会の出展内容を紹介する。

### ・アドバンスソフト㈱

第一原理計算や分子動力学計算に関する3製品を紹介した。

### ・アドバンス理工㈱

磁性材や新規金属材料用の焼結加熱炉、異種金属の接合材向け装置、昇温・冷却過程における電気抵抗測定技術、濡れ性評価、金属+フィルム多層材の熱抵抗評価などを紹介。

### ・アメテック㈱ ガタン・エダックス事業部

各種EBSD検出器、シミュレーションソフトを紹介した。

### ・㈱池上精機

研磨面積や試料にかかる負荷など、様々な試料研磨の課題を克服する研磨機を実機展示した。

### ・茨城県中性子ビームライン

J-PARC内の2本の中性子ビームライン（材料構造解析装置 iMATERIA）、生命物質構造解析装置（iBLX）を紹介。

### ・㈱エイゾス

研究開発の実験のコストと時間を最小化するAI解析プラットフォームを紹介した。

### ・SKメディカル電子㈱

機能性材料の研究・開発や熱処理、接合などのプロセスで欠かせない加熱源の1つとして高周波誘導加熱装置を紹介。

### ・オックスフォード・インストゥルメンツ㈱

BEXイメージング検出器、CMOS搭載EBSD検出器、最新EBSDデータ解析ソフトウェア、ライブEDS分析システムを紹介した。ランチョンセミナーでも詳細な解説があった。

### ・㈱新興精機

全自動シリアルセクションング振動研磨方式3D顕微鏡と材料情報統合システムを紹介した。

### ・大亜真空㈱

水分・酸素濃度を極限に下げる装置と金属の溶解炉および熱処理炉を紹介した。

### ・電子科学㈱

新製品の昇温脱離水素分析装置を紹介した。

### ・東芝ナノアナリシス㈱

3次元アトムプローブを用いた、セラミックスやNb<sub>3</sub>Al超電導体の分析事例をご紹介した。

### ・NISSHAエフアイエス㈱

昇温脱離型水素分析装置とセンサーガスクロマトグラフを展示した。

### ・日本電子㈱

固体表面の微小領域の観察・元素分析に用いられるEPMA、オージェマイクロプローブ、XPS、XRFなどの各装置の原理や分析領域深さの違いおよびアプリケーションをご紹介。

ランチョンセミナーでも詳細な解説があった。

### ・㈱日本放電技術

新素材の加工に適した小型卓上放電加工機を実機展示した。

### ・ニューメタルズ エンド ケミカルズ コーポレーション㈱

TEM用イオンミリング装置と金属組織観察用常温硬化型樹脂を紹介した。

### ・㈱モルシス

材料設計支援統合システムを中心に分子シミュレーションソフトウェアを紹介した。

### ・㈱UNICO

自社開発のグローブボックスの実機展示とカスタマイズ等の紹介をした。

### ・学生キャリアサポート展示参加企業

石福金属興業㈱/㈱大阪チタニウムテクノロジーズ/産業技術総合研究所/㈱豊田中央研究所/日本軽金属㈱/福田金属箔粉工業㈱/大和工業㈱

機器展示と併設して開催し、各社が学生参加者に向けて自社の会社概要、今後の採用情報、インターンシップ募集情報、研究開発動向等をPRをした。

次頁からは、「誌上展示会」として、材料研究に役立つ機器等の情報を掲載する。是非ご一読頂き、今後の研究開発にお役立て頂きたい。

付設展示会・出展社一覧

<https://confit.atlas.jp/guide/event/jimm2024autumn/exhibitorslist/ja>



# まてりあ「誌上展示会」



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

IS-POLISHERは、研磨でEBSD用観察試料が作製できます。  
「IS-POLISHER」の7つの機能で、今まで難しかった試料作製ができるようになりました。

### 【7つの機能のご紹介】

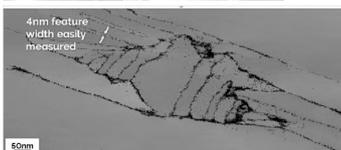
- ①低荷重研磨で試料表面の加工歪を抑え、EBSD観察が可能
- ②荷重設定が25gから行えます
- ③研磨量を2μm単位で設定できます
- ④試料の角度を0.01度単位で変えられます
- ⑤メモリ機能で再現性を向上させます
- ⑥試料を外さずに顕微鏡観察ができます
- ⑦ホルダを使用するので樹脂包埋が不要

### 株式会社 池上精機 北山田オフィス

〒224-0021 神奈川県横浜市都筑区北山田 1-2-5-201 TEL.045-717-5136 FAX.045-717-5137  
URL:<https://is-polisher.com/sk/lp/a-01/> E-mail: [ispp-toiwase@ikegamiseiki.com](mailto:ispp-toiwase@ikegamiseiki.com)



## 高感度 TKD 分析システム「Near-Axis TKD」



### EBSD分析の分析能力をさらに拡張する高感度TKDソリューション

- ・TKDに最適な蛍光スクリーンで、従来型のTKDと比較して10倍の感度を実現
- ・オックスフォード・インストゥルメンツCMOS搭載EBSD検出器に対応
- ・より低いビーム電流測定により、空間分解能を向上
- ・電子線に弱い試料の分析が可能
- ・既設検出器のスクリーン交換も可能
- ・TKDに対応した収集ソフトウェア「AZtecHKL」で、高い信頼性のデータを収集

### オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社

〒141-0001 東京都品川区北品川5-1-18 住友不動産大崎ツインビル東館 URL: [nano.oxinst.jp](http://nano.oxinst.jp)  
TEL/FAX: 03-6744-4702/03-3446-8320 E-Mail: [na-mail@oxinst.com](mailto:na-mail@oxinst.com)



## ナイロン製 内壁ジルコニア 山型邪魔板(バッフル)付きポット

ジルコニア製の内壁2カ所に粉碎効率を上げる為の山型邪魔板(バッフル)を施したジルコニア製ポットです。ポットの両端が取り外しのできる蓋になっているので、使用後の洗浄が簡単です。容量300mlと500mlの2種類があります。

容量	外径	内径	全高	内高
300ml	φ140mm	φ90mm	90mm	50mm
500ml	φ140mm	φ90mm	120mm	80mm

《各種粉碎機のレンタルもごさいます。》



### 株式会社伊藤製作所

〒101-0037 東京都千代田区神田西福田町 2-5 TEL.03-6285-2408 FAX.03-6285-2409  
[www.itoh-mill.com](http://www.itoh-mill.com) E-mail: [itousei@itoh-mill.com](mailto:itousei@itoh-mill.com)



## 書籍：第3巻「永久磁石の保磁力と関連する技術課題」

第1巻、第2巻に引き続きモータ技術者、磁気測定技術者向けの永久磁石の第3巻技術図書。  
今回は元日立金属勤務で電気学会マグネティックス調査専門委員会等で長年磁石業界に従事されてきた徳永雅亮氏に共著頂いた。

### 【主な内容】

- ・保磁力の結晶粒径依存性
- ・異方性磁界と保磁力
- ・保磁力と結晶粒界
- ・永久磁石の着磁性
- ・残留磁束密度と保磁力の角度依存性
- ・電気抵抗と渦電流

著者：徳永雅亮、山本日登志

B5版：118頁 価格：¥2,300+送料 ご注文はHPの書籍注文書から申し込みをお願いします。

### ネオジコンサル(京都市内在)

TEL.090-2204-7294

URL: <https://hitoshiad26.sakura.ne.jp> E-mail: [hitoshiad\\_0330@yahoo.co.jp](mailto:hitoshiad_0330@yahoo.co.jp)



金属大発見!

金属大発見!

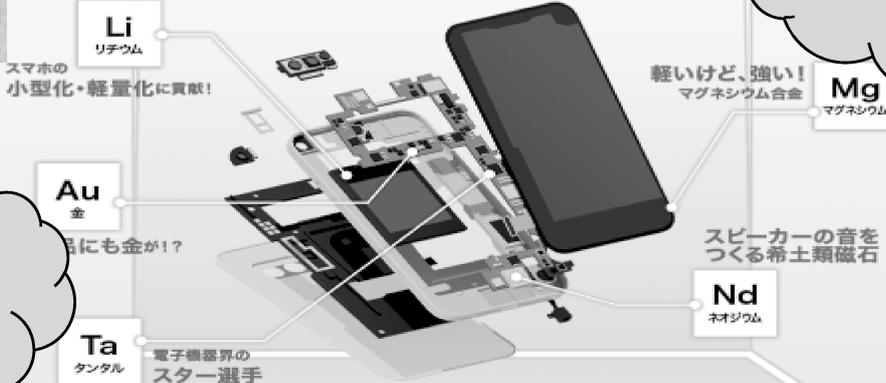


HPをご覧ください。

金属には様々な種類があり、私たちの使っている身の回りのモノに多く使われています。進化する家電や交通手段、インフラを支えているのが、様々な金属です。金属の進化が最先端の技術をつくっているとも書きます。使っている身近なモノにどんな金属が使われているのでしょうか? いろんなモノを大解剖して、すごい金属たちについて

Vol.01 スマホ大解剖!

1987年から使われている携帯電話は今やスマートフォンとなり、軽量化、超多機能化、高速通信化されています。この進化を支えているのがすごい金属たちです。



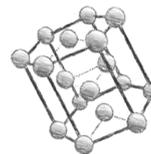
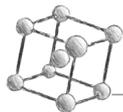
昔の携帯電話は重くて、3キロもありました。しかも機体は電話をかけるだけ。今はポケットサイズのスマホでいろんなことができます。これを可能にしたのがすごい金属たち。しかもまだまだ進化しつづけています。誰かの新たな発見や発明がもししたらスマホの進化につながるかもしれません。一緒にすごい金属探求の冒険にいきましょう! ユース会員を随時募集しています! 特典はコチラ! >>>

金属素描・金属なんでもランキング



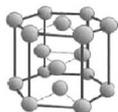
まてりあ企画

「金属素描」「金属なんでもランキング!」



2019年1月から「まてりあ」に掲載している「金属素描」と「金属なんでもランキング!」が [https://jimm.jp/around\\_metal/ranking.html](https://jimm.jp/around_metal/ranking.html) より閲覧できます。

金属素描



金属の物理的・化学的特徴、製法、用途等について紹介しています。意外に知らない事実だけでなく、読んで楽しく、かつ、具体的に役立つ情報を纏めています。

金属なんでもランキング!



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

- ★チタン、ジルコニウム、ハフニウム、コバルト、クロム、マグネシウム、ナトリウム・・・
- ★地殻存在量、密度、融点・沸点、電気伝導度、熱伝導度、比熱、デバイ温度、イオン化エネルギー・・・

etc...

# 日本金属学会誌投稿の手引き

日本金属学会誌への投稿は、次の要件を満たさなければならない。

- (1) 和文であり、未掲載および他のジャーナルに投稿中でないことかつオリジナリティがあること(日本金属学会誌審査及び査読規程に定める範囲において、重複を認める場合がある)。
- (2) 金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- (3) 投稿規程に合致するものであること。
- (4) 軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと。
- (5) 別に定める執筆要領に準拠して作成された原稿であること。
- (6) 論文の著作権を本会に帰属することに同意すること。
- (7) 研究不正行為および研究不適切行為をしないことならびに研究不正行為をした場合は本会の定めるところにより処分を、研究不適切行為をした場合は本会の定めるところにより措置を受けることに同意すること。
- (8) 投稿原稿を作成する基となった生データ、実験・観察・研究ノート、実験試料・試薬等の研究成果の事後の検証を可能とするものを論文掲載後5年間保存することに同意すること。

## 1. 日本金属学会誌に投稿可能な論文

### (1) 学術論文(10頁以内)

金属及びその関連材料の理論、実験並びに技術などに関する学術上の成果を報告し、考察した原著論文で、科学・技術的に質の高い、新規な興味ある内容(結果、理論、手法等)が十分含まれている論文。

Materials Transactions of the Regular Articleに Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、和訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。なお、著者が迅速掲載を希望し、追加費用を負担する場合は、査読期間短縮を含め迅速掲載のための処理を行う。

### (2) レビュー(原則15頁以内)

各専門分野の研究開発の背景や最近の状況および今後の展望等について、重要な文献を引用して、各専門分野の専門家のみならず他分野の専門家や学生等も対象に、その概要を公正にかつわかりやすく解説する論文。Materials Transactionsに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、Materials Transactions 掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「レビュー」等を含めることが望ましい。

### (3) オーバービュー(原則15頁以内)

単なる一般的な review ではなく、執筆者独自の考えに立って review し、取り上げた問題点の中において自説の位置付けを明確にした論文。ただし、事前に「タイトル」「氏名」「要旨」を編集委員会に提出し、了承を得た後、投稿する方式とする。Materials Transactionsに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、Materials Transactions 掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「オーバービュー」等を含めることが望ましい。

### (4) 技術論文(10頁以内)

金属及びその関連材料の実験技術、製造技術、設備技術、利用技術など、技術上の成果、基準、標準化、データベースなど、及び関連する事柄の調査、試験結果を報告した原著論文。

Materials Transactionsに Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、和訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。

### (5) 最近の研究動向(10頁以内)

特集企画や受賞論文等を対象にした最近の研究動向について、関連論文を引用し、Graphical Abstract等を利用しながら、その概要をわかりやすく紹介する論文。

### (6) 速報論文(4頁以内)

速報を要する短い論文。すなわち、新規性のある研究成果、技術開発に関する新知見、新アイデア、提案等。最短2週間で審査を完了する。Mater.Trans.に Web 掲載後6カ月以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、和訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。

### (7) オピニオン(2頁以内)

日本金属学会誌に掲載された論文に対する意見、討論またはそれに対する著者からの回答とする。科学・技術的な発展に貢献できる内容であること。

### (8) その他理事会で決議した分類

## 2. 投稿の方法

日本金属学会誌への投稿は <https://data.jim.or.jp/cgi-bin/jim/jentrytest1.cgi> にて原稿を提出する。

英文掲載済み論文の和訳論文の場合には、英文掲載済み論文 PDF も送付する。

## 3. 原稿

執筆要領に従って原稿を作成し、指定のファイル形式に変換したものを提出する。

### 3.1 記載内容

①題目・著者名・研究機関、②英文概要・Keywords、③本文、④謝辞、⑤文献、⑥Appendix、⑦表・図説明一覧、⑧その後各別紙の表・図を添付する。

### 3.2 単位

SI単位を使用する。

### 3.3 引用文献・脚注

通し番号で[1,2]、あるいは[3-6]のように表し、本文の末尾に一括記載する。著者名、タイトル、誌名はすべて英語表記する(特に決まっていないものはローマ字表記する)。

## 4. 審査

投稿された論文は会誌編集委員会の独自の審査を経て会誌に掲載される。編集委員会から原稿の修正を求められ、あるいは返却されることがある。

## 5. 校正

初校は著者の責任で行う。著者校正は原則として1回とし、誤植の修正に限る。

## 6. 投稿者負担金

6.1 投稿・掲載費用は、無料とする。(別刷の寄贈はありません。)

6.2 カラー図の掲載費用は、無料とする。

※オンラインジャーナルのみ(冊子・別刷はすべてモノクロ表示)。

6.3 学術論文の迅速掲載費用: 11,000円(税込み)

6.4 別刷購入希望の場合は、別途費用を負担する。

～2024年9月18日(水), 大阪大学豊中キャンパスにおいて, 下記の方々が本会の賞を受賞されました。  
おめでとうございます。～

### 第21回 日本金属学会村上記念賞 受賞者(1名)



[骨質金属材料学の構築と金属積層造形法による骨配向化誘導デバイスの臨床応用]

大阪大学大学院工学研究科 教授 中野 貴由 君

受賞者は、骨質金属材料学というべき学際領域の開拓と骨質医療を目指した世界初・日本発の骨配向化誘導可能な金属積層造形製椎間スパーサーの臨床応用に成功した。骨質は、骨密度以外の骨強度因子であり、金属材料学手法を駆使することで骨質指標としてコラーゲン線維/アパタイト結晶の優先配列からなる骨基質配向性を見出した。骨配向化を支配する生体内機序を原子・分子、遺伝子・細胞、組織レベルから解明するとともに、配向化制御法を確立した。金属材料学と骨質科学を融合した基礎から応用にわたる成果は国内外で高く評価され、金属学とそれに関連する学術の発展に著しく貢献した。

### 第21回 日本金属学会村上奨励賞 受賞者(3名)

(50音順)



[粒子・繊維状金属技術による新材料・機能創出と合金の新規応用展開]

東北大学大学院環境科学研究科 准教授 栗田 大樹 君

受賞者は、カーボン繊維、チタン粒子、磁歪鉄コバルト粒子・繊維の利用技術を駆使して新規金属基複合材料を開発し、粘り強く評価を進めて基礎的現象を解明してきた。粉末冶金と磁歪粒子の知見を融合させ、磁歪合金の三次元造形による構造制御に成功し、従来の約5倍の振動・衝撃発電性能を示した。また、磁歪合金を改良し、マイクロ・ナノグラムレベルの質量検出機能付与に成功した。これらの知見を基に金属技術の新規応用展開を目指して研究を進めており、今後の活躍が期待される。



[ナノ炭素添加金属基複合材料の高機能化に関する研究]

東北大学大学院工学研究科 准教授 周 偉偉 君

受賞者は、アルミニウムと炭素界面で起こる反応を意図的に制御することにより、ナノ炭素特有の高強度の活用方法を明確にし、有効な荷重伝達による高強度化と高電導率化を同時に実現した。さらに、レーザ積層造形を活用し、状態図で溶解困難と予想される大量の炭素を強制的に固溶させ、金属材料の高機能化と実用化に貢献した。粉末焼結や積層造形を用いた金属基複合材料開発にも取り組み、炭素を利用した高機能金属材料の開発に邁進していることから、今後のさらなる発展が期待される。



[Additive Manufacturing を中核とした社会基盤材料の組織と力学特性制御に関する研究]

大阪大学大学院工学研究科 准教授 趙 研 君

受賞者は、社会基盤材料を対象とし、Additive Manufacturing (AM) に代表される非平衡プロセスにて生じる特殊な相変態を利用した組織・力学特性制御法の構築に取り組んできた。特に、AM 特有の超急冷や熔融池周囲の温度分布に着目することで、従来材にはない特異組織を有する TiAl 合金を創製し、延性や疲労特性の改善に成功した。さらに、中性子回折法を駆使した変形挙動解析から準安定  $\beta$  型 Ti 合金の変形に及ぼす相変態の影響を解明するなど、先駆的な成果を挙げており、今後のさらなる発展が期待される。

## 第 34 回 日本金属学会奨励賞 受賞者(7名)

(部門別 50 音順)

### [学術部門]

[金属材料への水素侵入および水素拡散に関する研究]

東北大学金属材料研究所 助教 味戸 沙耶 君



受賞者は、金属材料の水素脆化割れ克服のため、金属材料への水素侵入や金属材料中の水素拡散に関する研究を実施している。主な業績として、金属錯体を用いた水素可視化技術の開発や大気腐食環境における金属材料の電位と水素侵入量を同時に測定できる新システムの構築などが挙げられる。現在では、これらの技術のさらなる高精度化に取り組むとともに、金属材料の環境誘起割れ機構の解明にも取り組んでおり、今後のさらなる展開が期待される。

[光反射・吸収スペクトルの自在制御に向けた光学材料の開発]

東北大学大学院工学研究科 助教 石井 暁大 君



受賞者は、光反射・吸収スペクトル制御性に優れる光学コーティングの実現に向け、高屈折率・透明薄膜や黒色・電気絶縁性薄膜を開発し、さらにそれらを用いた高度な光反射・吸収制御を原理実証してきた。主な業績に、「ルチル型  $\text{TiO}_2$  薄膜の低温合成技術の開発」、「黒色絶縁体の開発」、「超高屈折率透明材料の開発」などがある。現在は、以上の技術の社会実装に向け取り組むとともに、研究の幅を広げながら新しい機能性無機材料の開発に取り組んでおり、今後のさらなる展開が期待される。

[水素環境下における構造用金属の変形と破壊に関する研究]

物質・材料研究機構構造材料研究センター 研究員 小川 祐平 君



受賞者は、鉄鋼材料をはじめ、広範な構造用金属材料の水素侵入下における強度・変形・破壊に関する研究に尽力してきた。超高圧水素ガス環境中での疲労き裂の進展メカニズムを転位論・組織学・破壊力学を含むマルチスケールな視点から解明したことに加え、「水素によって強度と延性の双方が向上する」という水素脆化に係る従来常識を覆す鉄鋼材料を見出すことにも成功した。これらの知見から、最近では新たな水素適合構造材料開発指針の構築に取り組んでおり、今後のさらなる発展が期待される。

[多元合金の凝固・相変態過程解明に関する研究]

京都大学大学院工学研究科 助教(現：名古屋大学大学院工学研究科 講師)  
勝部 涼司 君



受賞者は、放射光を用いたその場観察を中心とした実験に基づき、多元合金の凝固・相変態に伴う微細組織の形成過程に関する研究に取り組んできた。主な業績として、「CrMnFeCoCu 合金における液液二相分離と固相変態を介した FCC-FCC 二相組織形成過程の解明」および「高活性合金(TiAl 基, Mg 基)の凝固過程の時間分解 CT-XRD 同期観察手法の開拓」が挙げられる。現在は上記の経験を活かして凝固に基づく新材料創成を指向した研究を進めており、今後のさらなる展開が期待される。

[マテリアルズインフォマティクスを用いた格子欠陥の構造・物性予測および解析手法の開発]

東北大学 金属材料研究所 助教 清原 慎 君



受賞者は、マテリアルズインフォマティクスを用いて、格子欠陥の原子構造予測や物性予測に取り組んできた。パーチャルスクリーニングやベイズ最適化を用いて、様々な自由度を持つ粒界の原子構造を高速決定する手法を開発した。また、多元素から構成される表面の原子構造をベクトル化し、表面物性を予測する手法の開発を行った。さらに内殻電子励起分光法と機械学習を用いた格子欠陥の原子・電子構造予測手法とデータ駆動型の内殻電子励起スペクトル解析法を開発した。



[構造用金属材料における疲労破壊の計測・評価・防止に関する研究]

物質・材料研究機構構造材料研究センター 主任研究員 吉中 奎貴 君

受賞者は、金属疲労の基礎研究に従事し、機械構造物の疲労設計指針の提案や耐疲労合金の開発に取り組んでいる。主な業績として、高強度金属材料の超高サイクル疲労における内部破壊について放射光 CT や真空中疲労試験により指針構築に繋がる成果を創出した。また、巨大地震による損傷原因となる低サイクル疲労について、変形可逆性に着目した合金設計により、世界最高レベルの疲労耐久性を持つ鋼材を開発した。一連の研究は国内外で高く評価され、今後のさらなる発展が期待される。

[技術部門]



[Ti 合金および Mg 合金の材料組織制御と力学特性発現に関する研究]

日本製鉄(株)技術開発本部鉄鋼研究所 主任研究員 石黒 雄也 君

受賞者は、Ti および Mg 合金の組織と力学特性に関する研究に従事してきた。Ti 合金では、酸素が誘起する特異な組織形成と特性発現について、スピノーダル分解が関わる新プロセスを考案し、主要元素である酸素の影響解明に貢献した。Mg 合金では、産業利用上の課題である成形性の改善を目的として、成分最適化と曲げ引張加工を組み合わせた集金組織制御手法を提案し、Al 合金と同水準の優れたエリクセン値を達成した。現在は実用 Ti 合金の研究開発に尽力しており、今後の発展が期待される。

第 47 回 日本金属学会技術開発賞 受賞記事(1 件 10 名)

低サイクル疲労特性に優れた Fe-Mn-Si 系合金の製造技術開発と建築用制振ダンパーへの応用

(まてりあ 63 巻 1 号)



淡路マテリア(株)  
開発グループ  
課長

千葉 悠矢 君



淡路マテリア(株)  
開発グループ  
部長

大塚 広明 君



日鉄ステンレス(株)  
山口製造所  
主幹

天野 智 君



日鉄ステンレス(株)  
八幡製造所  
主幹

犬塚 純平 君



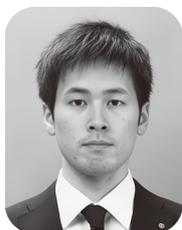
日鉄ステンレス(株)  
研究センター  
主幹研究員

岩崎 祐二 君



(株)竹中工務店  
技術研究所  
主任研究員

井上 泰彦 君



(株)竹中工務店  
技術研究所  
研究主任

本村 達 君



(株)竹中工務店  
技術研究所  
部長

櫛部 淳道 君



物質・材料研究機構  
構造材料研究センター  
上席研究員

澤口 孝宏 君



日本溶接協会  
事業部  
主管

中村 照美 君

## 第4回 日本金属学会新進論文賞 受賞者(6編6名)

(部門別掲載号順)

### [日本金属学会誌部門]

Pt 電極触媒のアンモニア酸化活性に及ぼす Mo の添加効果

(日本金属学会誌 87 巻 4 号)



秋田大学 大学院生(現:(株)SUBARU) ○佐藤 ひかる 君

秋田大学 学生(現:TDK(株)) 佐々木 一心 君

秋田大学大学院理工学研究科 准教授 福本 倫久 君

秋田大学大学院理工学研究科 准教授 高橋 弘樹 君

電界放出型走査電子顕微鏡および X 線光電子分光法によるりん酸鉄化成処理皮膜の微細構造解析(日本金属学会誌 87 巻 8 号)



日本パーカライジング(株)総合技術研究所 研究員 ○宮澤 悠介 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 副主任 中島 圭一 君

東北大学 大学院生 板本 航輝 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 研究員 福島 颯太 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 技術員 安藤 美来 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 副主任 内山 瑛 君

東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター 助教 二宮 翔 君

東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授 西堀 麻衣子 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 センター長 福士 英一 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 エキスパート 吉岡 信明 君

日本パーカライジング(株)総合技術研究所 スペシャリスト 田口 秀之 君

酸化カルシウムを用いた酸素発生用電極からのイリジウムの揮発分離回収法

(日本金属学会誌 87 巻 9 号)



千葉工業大学 大学院生(現:JX 金属製錬(株)) ○高橋 浩介 君

千葉工業大学 大学院生(現:JX 金属(株)) 實方 涼二 君

千葉工業大学大学院工学研究科 准教授 永井 崇 君

### [Materials Transactions 部門]

Chemical Conversion Treatment of AA5083 Aluminum Alloy and AISI 1045 Carbon Steel under Galvanically Coupled Condition in  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ : Effect of pH on Corrosion Resistance

(Materials Transactions Vol.64 No.2)



東北大学 大学院生(現:東京工業大学物質理工学院 助教) ○小鯖 匠 君

東北大学大学院工学研究科 教授 武藤 泉 君

東北大学大学院工学研究科 助教 西本 昌史 君

東北大学大学院工学研究科 准教授(現:島根大学材料エネルギー学部 教授) 菅原 優 君

**Relationship between Cluster-Arranged Nanoplate Formation and Mechanical Properties of Dilute Mg-Y-Zn Alloys Prepared by Combination of Low-Cooling-Rate Solidification and Extrusion Techniques**

(Materials Transactions Vol.64 No.4)



熊本大学大学院生(現：トヨタ自動車九州(株)) ○石崎 誠太郎 君  
熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 教授 山崎 倫昭 君  
名古屋工業大学大学院工学研究科 教授 萩原 幸司 君  
熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 助教 西本 宗矢 君  
熊本大学大学院生(現：メルコセミコンダクタエンジニアリング(株)) 中村 太亮 君  
熊本大学先進マグネシウム国際研究センター 教授, センター長 河村 能人 君

**Effects of High-Pressure Press on the Tensile Properties and Morphology of Polypropylene**

(Materials Transactions Vol.64 No.4)



山形大学 大学院生(現：出光興産(株)) ○伊藤 雪乃 君  
山形大学大学院有機材料システム研究科 准教授 西辻 祥太郎 君  
山形大学大学院有機材料システム研究科 客員教授 佐野 博成 君  
山形大学大学院有機材料システム研究科 客員教授 石川 優 君  
山形大学大学院有機材料システム研究科 客員教授 井上 隆 君  
山形大学大学院有機材料システム研究科 教授 伊藤 浩志 君

◇ ◇ ◇

◇2025年秋賞(村上記念賞, 村上奨励賞, 奨励賞, 新進論文賞, まてりあ賞)のご推薦のご案内は, 次号のまてりあ12号にて会告いたします.

◇ ◇ ◇

第 14 回 日本金属学会まてりあ賞 受賞論文・記事(3 編 13 名)

(部門別掲載号順)

[まてりあ論文賞] (2 編 12 名)

水素の局所分配制御によるアルミニウム合金の水素脆化・応力腐食割れ防止

(まてりあ 62 巻 6 号)



九州大学大学院  
工学研究院  
主幹教授  
戸田 裕之 君



鳥取大学工学部  
准教授  
清水 一行 君



九州大学大学院  
工学研究院  
助教  
藤原 比呂 君



京都大学大学院  
工学研究科  
助教  
平山 恭介 君



九州大学大学院  
工学研究院  
特任准教授  
Yafei Wang 君



School of Materials Science and  
Engineering, Shanghai Jiao Tong University  
Assistant Professor  
Yuantao Xu 君



九州大学大学院  
工学研究院  
特任助教  
Jianwei Tang 君

層状カルコゲナイドが拓く電子デバイス材料の新展開

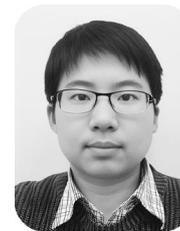
(まてりあ 62 巻 8 号)



東北大学グリーンクロステック  
研究センター  
教授  
齊藤 雄太 君



産業技術総合研究所  
先端半導体研究センター  
研究員  
畑山 祥吾 君



産業技術総合研究所  
先端半導体研究センター  
主任研究員  
張 文 馨 君



産業技術総合研究所  
先端半導体研究センター  
研究チーム長  
岡田 直也 君



産業技術総合研究所  
先端半導体研究センター  
研究チーム長  
入沢 寿史 君

[まてりあ啓発・教育賞] (1編1名)

金属材料実験の手引き

2. 特性の計測評価 2-1 力学特性 2-1-1 引張試験

(まてりあ 62 巻 4 号)



大阪大学大学院  
基礎工学研究科  
准教授

堀川 敬太郎 君

第 3 回 日本金属学会特別功労賞 受賞者(1名)



(公社)日本金属学会  
特別顧問

山村 英明 君

◇日本金属学会秋賞の概要◇ (英語表記はホームページ：[各種賞](#) をご覧ください)

村上記念賞	村上記念会からの寄付を基に金属およびその関連材料の工学の分野における先駆的研究および開発に格段の功績を挙げた4月1日時点で <b>46歳以上</b> の方に授賞する。
村上奨励賞	村上記念会からの寄付を基に金属およびその関連材料の工学の分野で卓越した業績を挙げつつある4月1日時点で <b>40歳以下</b> の若手研究者に授賞する。
奨励賞	金属・材料工学ならびに関連分野において優れた業績を挙げつつある4月1日時点で <b>35歳以下</b> の将来性豊かな若手研究者(技術部門は企業の研究者または技術者)に授賞する。 部門：学術部門，技術部門
技術開発賞	まてりあ“新技術・新製品”の著者で，創意あふれる開発研究を推奨する目的で，金属工学ならびにこれに関連する新技術・新製品などの独創的な技術開発に携わった技術者に対し授賞する。
新進論文賞	前年1ヵ年の日本金属学会誌または Materials Transactions に掲載された第一著者が <b>35歳以下</b> の若手による論文中，学術上または技術上特に優秀な論文に対し授賞する。
まてりあ論文賞	日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した論文で，学術または科学技術上優秀で且つ金属及びその周辺材料に係る分野の進歩発展に顕著な貢献をした論文に対し授賞する。
まてりあ啓発・教育賞	日本金属学会会報「まてりあ」に掲載した記事で，まてりあ記事の特徴を活かし，金属及びその周辺材料に係る啓発や教育に顕著な貢献をした記事に対し授賞する。
優秀ポスター賞	ポスターセッション発表者を対象に，優秀なポスターおよび発表者に対し授賞する。本賞の贈呈は各大学，研究所に委託しこれを行う。
特別功労賞	本会の運営等に特別の功労があった者に対し授賞する。

## 第43回 優秀ポスター賞受賞者 42名

(2024年9月19日授賞決定) (五十音順) ※所属は受賞時のもの



純アルミニウム単結晶上における耐食性皮膜の成長挙動に及ぼす基材結晶方位の影響 (P55)

芝浦工業大学 赤谷優太郎君,  
芹澤 愛君



純Tiを例とした高精度結晶粒界抽出のための模倣画像の自動生成と転移学習手法の構築 (P52)

東京工業大学 尾崎晃一君,  
野平直希君, 田原正樹君, 熊澤逸夫君,  
細田秀樹君



A6061アルミニウム合金上に水蒸気のみを用いて形成した耐食性皮膜が疲労寿命へ与える影響 (P250)

芝浦工業大学 朝田有希子君,  
いすゞ自動車 茂泉 健君,  
芝浦工業大学 芹澤 愛君



キンク組織における連携変形の幾何学的解析 (P164)

東京工業大学 鞆嶋春輝君,  
松村隆太郎君, 稲邑朋也君



液相法 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含有リン酸塩ガラスの構造解析及びイオン溶出挙動調査 (P203)

中部大学 浅野颯斗君,  
名古屋工業大学 高橋実紀君, 小幡亜希子君,  
中部大学 櫻井 誠君,  
産業技術総合研究所 永田夫久江君,  
李 誠鎬君



高温圧縮変形に伴う転位増殖の変形温度及びひずみ速度の影響 (P260)

茨城大学 河野龍星君,  
東京電機大学 小貫祐介君,  
茨城大学 柄澤誠一君, 下村愛翔君,  
三菱マテリアル 大平拓実君, 三田昌明君,  
伊東正登君,  
東北大学 鈴木 茂君,  
茨城大学 佐藤成男君



アルミニウム蒸着マグネシウムのアノード酸化による耐食性の向上 (P296)

北海道大学 荒木琢眞君, 富田駿介君,  
芦澤来虹君, 菊地竜也君



ステンレス鋼ナノピラーの持続的抗菌性に資する表面構造の調査 (P307)

北見工業大学 北澤慶太君,  
大津直史君, 平野満大君



A1200合金におけるIn-situ XRD/DIC同時測定による局所変形領域の観察 (P54)

兵庫県立大学 稲村 慧君,  
足立大樹君



窒化ガリウムおよび磷化ガリウムの転位挙動に及ぼす光環境効果 (P38)

大阪大学 木下凌輔君, 李 燕君,  
大栗洋人君,  
東京大学 栃木栄太君,  
大阪大学 中村篤智君



Fe-Al 合金単結晶についての硬さ試験：低指数結晶面における圧痕周辺での方位変化 (P244)

東京工業大学 大川将司君,  
尾中 晋君



中温用Zn系コアシェル型相変化マイクロカプセルの開発 (P312)

北海道大学 小谷 慧君, 清水友斗君,  
川口貴大君, JEEM Melbert 君,  
能村貴宏君



Fe-Mn-Al-Ni 合金の相変態挙動に及ぼす低温時効の影響 (P122)

九州大学 太田竜資君, 赤嶺大志君,  
東北大学 許 勝君, 大森俊洋君



DIC-EBSDを用いた一軸引張荷重下での純銅多結晶材の整合双晶境界近傍における変形不均一性の調査 (P137)

東京工業大学 小山兼央君,  
尾中 晋君



酸化亜鉛系材料における近赤外応力発光特性の発現(P74)  
 東北大学 **坂谷有彩君**, 大森令央奈君,  
 林 正霄君, 内山智貴君,  
 東北大学・佐賀大学 **鄭 旭光君**,  
 東北大学 **徐 超男君**



SrTiO<sub>3</sub> 単結晶の室温塑性変形挙動に及ぼす Nb 添加の影響(P39)  
 大阪大学 **高原光平君**, 原 陸大君,  
 芝本健志君, 李 燕君, 堀川敬太郎君,  
 中村篤智君



非貴金属触媒を用いた AEM 水電解による重水製造(P208)  
 北海道大学 **佐藤衣吹君**,  
 三井住友信託銀行 **羽田貴英君**,  
 北海道大学 **上田幹人君**, **松島永佳君**



高圧合成を利用した遷移金属-Ge 系チムニー・ラダー化合物の組成および磁性の制御(P184)  
 名古屋大学 **田中洸史朗君**,  
 佐々木拓也君, 丹羽 健君,  
 長谷川 正君



GaP 結晶の塑性変形挙動に及ぼす光環境の効果(P30)  
 名古屋大学 **佐藤琢巳君**, 小椋 優君,  
 横井達矢君, 星野聖奈君,  
 JFCC **松永克志君**



Ti-22V 合金におけるこの固執(P172)  
 九州大学 **田上陽己君**, 森川龍哉君,  
 山崎重人君, 田中將己君



新規遷移金属ケイ化物の超高压合成と相関係(P81)  
 名古屋大学 **柴垣 湧君**, 丹羽 健君,  
 佐々木拓也君, 長谷川 正君



機械学習を使った MoSiBTiC 合金のミクロ組織と硬度の相関の評価(P114)  
 東北大学 **弦木健太郎君**, 赤木和人君,  
 井田駿太郎君, 吉見享祐君



ラジカル水素反応性赤外レーザー蒸着法を用いた MgH<sub>2</sub> エピタキシャル薄膜合成(P99)  
 芝浦工業大学 **下萬祐暉君**, 宗房幸太君,  
 京都大学 **磯田洋介君**, 間嶋拓也君,  
 菅 大介君,  
 物質・材料研究機構 **原田尚之君**,  
 芝浦工業大学 **大口裕之君**



Cr-Te 薄膜の結晶多形変化挙動(P185)  
 東北大学 **鶴田卓也君**, 双 逸君,  
 安藤大輔君, 須藤祐司君



リン添加 Si 単結晶における臨界分解剪断応力の温度依存性と転位運動(P245)  
 九州大学 **杉菌統真君**, 森川龍哉君,  
 山崎重人君, 田中將己君,  
 SUMCO **藤瀬 淳君**, **小野敏昭君**



ガスジェット浮遊法による Ni 融体の表面張力および粘度測定(P152)  
 東北大学 **長草生真君**, 安達正芳君,  
 大塚 誠君, 福山博之君



色素増感太陽電池における N/P 型半導体ヘテロ接合の光応答性(P288)  
 北海道大学 **孫 暁艶君**, 奥村清香君,  
 林 學毅君, 張 麗華君, 渡辺精一君



HCP/FCC 層状構造を有する高強度 Cu-Ge 合金の開発(P262)  
 熊本大学 **樋口竜太郎君**, 西本宗矢君,  
 山崎倫昭君



S50C 鋼及び SCM440 鋼の表面焼入れ深さと磁気ヒステリシス特性(P256)  
 岩手大学 **高橋 諒君**, 佐藤大樹君,  
 村上 武君, 鎌田康寛君,  
 鳥取大学 **清水一行君**,  
 奈良先端大学 **赤瀬善太郎君**



二酸化チタン(110)/[001]小傾角粒界の創製とその伝導特性評価(P47)  
 大阪大学 **平岡創真君**, 古賀修平君,  
 李 燕君, 松田政夫君, 中村篤智君



Ti-Nb-Al 形状記憶合金におけるマルテンサイト逆変態のSEM-DIC解析 (P231)

東京工業大学 **晝間悠斗君**,  
野平直希君, 田原正樹君, 細田秀樹君



PS-PVD法を用いたCu粒子形態制御による大気中低加圧Cu焼結接合の低温化 (P72)

大阪大学 **大場美和君**, 松田朋己君,  
大久保志緒君, 神原 淳君



Al-Si-Mg合金鋳造材の引張特性変化に対する組織学的要因の検討 (P135)

名古屋工業大学 **廣野零二君**,  
徳永透子君, 萩原幸司君,  
トヨタ自動車 手島将蔵君



Ru-Mo-W合金単結晶線材の特性に及ぼす不純物元素の影響 (P100)

東北大学 **米村虎太郎君**, 村上力輝斗君,  
C&A 糸井椎香君, 鎌田 圭君,  
東北大学 堀合毅彦君, 花田 貴君,  
山路晃広君, 吉野将生君, 佐藤浩樹君,  
大橋雄二君, 黒澤俊介君, 横田有為君



鉄におけるらせん転位の二重交差すべり過程の透過電子顕微鏡その場観察 (P265)

島根大学 **福田 英君**, 井上喬仁君,  
木村 崇君, 植田大地君, 三明優衣君,  
荒河一渡君



Acoustic emission analysis of tin laser beam drilling by wavelet transform. (P150)

東京大学 **Louis Galiegue 君**,  
Fabien Briffod 君,  
NIMS Kaita Ito 君,  
東京大学 Takayuki Shiraiwa 君,  
Manabu Enok 君



低エネルギーの電子ビーム照射によるアモルファス HfO<sub>2</sub> 薄膜の結晶化 (P17)

滋賀県立大学 **星島颯太君**,  
仲村龍介君



Thermal Activation in Yielding of Single-Crystalline Tungsten (P248)

NIMS・九州大学 **Tropper Florian 君**,  
NIMS 大村孝仁君



TiのPEO反応のIn-situ Raman分光測定 (P98)

兵庫県立大学 **村田偉誠君**,  
三浦永理君



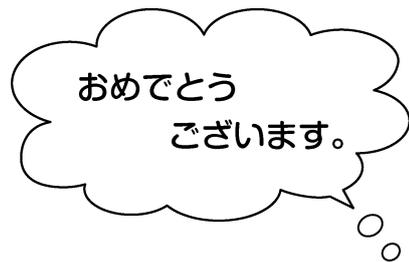
Fabrication of Titanium Oxides Coating on 316L Stainless Steel via Laser Powder Bed Fusion (P308)

東北大学 **Xiao Wang 君**,  
Weiwei Zhou 君, Naoyuki Nomura 君



液相会合体モデルを用いたCo-Al-W熱力学データベースのリアセスメント (P20)

東北大学 **明 祖君**, 上島伸文君,  
及川勝成君



応力誘起デンドライト溶断現象再現に向けたphase-field複数物理モデル (P43)

京都工芸繊維大学 **小林玄征君**,  
九州大学 浅井光輝君,  
京都工芸繊維大学 坂根慎治君, 高木知弘君



## 企画にあたって

小山元道<sup>1</sup> 本間智之<sup>2</sup> 諸岡 聡<sup>3</sup> 河野義樹<sup>4</sup>  
岩岡秀明<sup>5</sup> 八田武士<sup>6</sup> 圓谷貴夫<sup>7</sup>

様々な金属材料の力学特性が測定され、その知見とデータの蓄積が現在における多くの材料開発、特性予測、ならびに機械構造設計の指針となってきた。また、それら知見とデータの蓄積と応用には標準となる評価法と学理が求められ、転位論を含む金属学<sup>(1)</sup>や材料・弾性力学などにおける数多の学術的努力が積み上げられてきた。現代においては、準静的かつ常温、常圧、大気環境における試験データの蓄積、そしてその学理構築の状況は成熟期にあり、近年ではさらに従来知見からは予測し難い高性能材料の探索を目指して、データサイエンスが発展してきている<sup>(2)</sup>。

しかし、高温<sup>(3)</sup>・低温環境や腐食<sup>(4)</sup>・高圧水素ガス環境<sup>(5)</sup>などでは、室温、大気環境とは変形と破壊の様相が全く異なる。また、き裂先端の応力特異場<sup>(6)</sup>やせん断型応力場、多軸応力場などの特殊な力学条件では単純負荷条件とは異なる力学現象が報告されており、特に直接観察が困難である部材内部き裂発生および進展についてはその実用的な重要度に反して未解決課題が多い。これら複雑かつ過酷な条件における強度および破壊に関わる現象は、実際の事故原因に関連していることが多く、時に常温常圧、大気環境における試験結果より重要視される<sup>(7)</sup>。また、原子力部材<sup>(8)</sup>などの極限環境に曝され、かつ大事故が許されない対象では、実環境を想定した材料強度および寿命の測定・解析ならびにそれら結果に基づくシミュレーションが要求される。例えば、BWR (Boiling Water Reactor, 沸騰水型軽水炉)におけるPLR (Primary Loop Recirculation, 再循環系)配管溶接HAZ (Heat Affected Zone, 熱影響部)部の応力腐食割れ現象は部材寿命を支配する重要因子の一つとして挙げられており、研究が進められている<sup>(9)</sup>。これら需要を背景として過酷環境での安全、安心な材料選択および構造設計を確立するため、特殊条件における強度・寿命の評価および学理構築が希求されている。

当然、それら過酷環境における強度、寿命の実験的評価・解析は容易ではないが、最近では様々な環境を模擬した力学装置・評価法の開発や最新顕微鏡<sup>(10)</sup>、中性子回折<sup>(11)</sup>、X線Computed tomography<sup>(12)</sup>などを用いた新規な力学挙動およ

びき裂の解析法の発展が著しく、年々その本性が明らかとなってきている。しかし、過酷環境の特殊性から、多くの力学実験データを測定し、統計的な信頼に足る規模のデータベースを構築、公知とすることのハードルは高く、その力学挙動の包括的理解には骨子となる学理が必要不可欠である。過酷環境における力学挙動の学理構築には多視点的かつ学際的な議論が必要であるが、様々な特殊環境における力学挙動および関連課題を並べて俯瞰的に見る機会は多くない。本特集企画は上述のような過酷環境に焦点をあて、高温、腐食、面圧、長期負荷(ギガサイクル疲労)などが関与する材料強度および寿命を取り扱い、各力学現象の特殊性およびその理解の現状を分野外の研究者も含めて共有することを狙いとしている。また、それら過酷環境の克服に向けた材料選択、探索ならびに開発の最前線も紹介する。この特集企画内容の共有を一助として、我が国の材料科学および機械工学分野を始めとした様々な研究者の興味が実用上重要な過酷環境における未解決課題に向き、問題を解決することを願う。

最後に、大変ご多忙の中本特集企画にご寄稿いただきました先生方に対し、深謝いたします。

## 文 献

- (1) 小柳禎彦, 小山元道, 芹沢 愛, 圓谷貴夫, 長岡 亨, 諸岡聡, 本間智之: 未だあり, **62**(2023), 7.
- (2) 出村雅彦: 未だあり, **58**(2019), 155.
- (3) 佐藤英一: 未だあり, **56**(2017), 161-165.
- (4) 土井康太郎, 寺西 亮, 轟 直人, 小島淳平, 齊藤信雄, 宮部さやか, 小嶋隆幸: 未だあり, **61**(2022), 391.
- (5) 秋山英二: 未だあり, **56**(2017), 230-233.
- (6) 田中将己, 定松 直, 奥山彫夢: 未だあり, **61**(2022), 844-847.
- (7) 森戸春彦: 未だあり, **55**(2016), 447.
- (8) 山本知一: 未だあり, **62**(2023), 153.
- (9) 榊原洋平: 未だあり, **61**(2022), 406-412.
- (10) 赤瀬善太郎, 木口賢紀, 佐藤幸生, 田中智仁, 田辺栄司, 寺本武司, 仲村龍介, 本間智之, 横山賢一: 未だあり, **58**(2019), 67.
- (11) 鈴木謙爾: 未だあり, **48**(2009), 345.
- (12) 上杉健太郎, 星野真人, 竹内晃久: 未だあり, **61**(2022), 65-71.

<sup>1</sup> 東北大学金属材料研究所(〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)

<sup>2</sup> 長岡技術科学大学 <sup>3</sup> 日本原子力研究開発機構 <sup>4</sup> 北見工業大学 <sup>5</sup> 大阪産業技術研究所 <sup>6</sup> 大同特殊鋼 <sup>7</sup> 熊本大学

Preface to Special Issue on Materials Strength and Life in Harsh Conditions

Keywords: *harsh environment, metal fatigue, embrittlement, creep, corrosion*

2024年8月29日受理[doi:10.2320/materia.63.763]

# モシブチック合金は道なき道を 歩み続けることができるか

吉見享祐<sup>1)</sup> 関戸信彰<sup>2)</sup> 井田駿太郎<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

2019年のまてりあ7月号に「Mo-Si 基金属間化合物から MoSiBTiC 合金への展開」<sup>(1)</sup>という記事を寄稿してから、早5年が経過した。原稿の執筆依頼を受けてから、産みの苦しみを味わいながらパソコンの前で悪戦苦闘していたことが、まるで昨日のことのようだ。しかしその一方で、あらためてこの5年間を振り返ると、モシブチック (MoSiBTiC) 合金の研究開発は間違いなく前進した。それを確認できたことは、本稿執筆の大きな成果の一つである。

この間、新型コロナウイルス感染症の拡大によって、世界中で研究活動や人的交流が著しく停滞し、特に国際会議等での情報収集の機会を、しばらくの間、逸することとなった。著者の一人、吉見が、COVID-19パンデミック下で最初に国際会議に出席したのは、我が国で新型コロナウイルス感染症が5類に移行する1年ほど前、2022年5月30日から6月3日の日程で、オーストリア・ロイテで開催された第20回プランゼー・セミナーであった。折しも、COVID-19パンデミックによって世界中でロックダウンによる社会活動や人的交流の強烈的な制限が行われた一方で、オンライン会議システムの発達によって、新しい情報伝達の仕組みが確立されつつあった。そんな中で、世界中の知人・友人らと再会できたのは感無量であった。そして、オンライン会議では得ることのできない、人と人とが、互いに顔色を伺いながらのコミュニケーションによる情報収集の重要性を、あらためて実感した。それと同時に、モシブチック合金が世界でどのように扱われているのかを肌で感じ取ることができたことは、大きな収穫だった。

図1は、2022年の日本ガスタービン学会誌の Vol. 50, No. 5 に寄稿した「マイクロ組織制御によって進化を続けるモシブチック合金 -開発と材料特性の現状-」<sup>(2)</sup>の中で示した、各

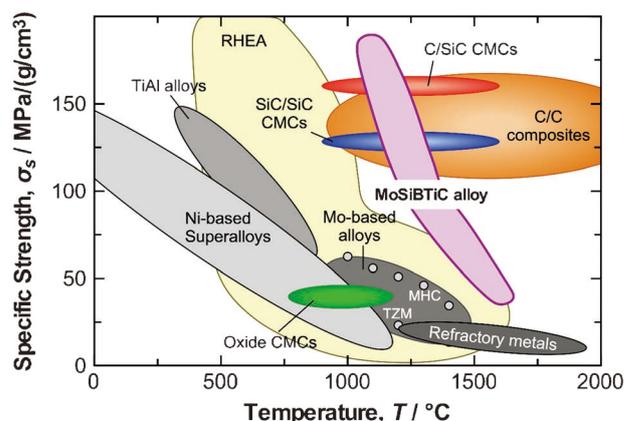


図1 各種耐熱材料の比強度の温度依存性の比較<sup>(2)-(6)</sup>。

種耐熱材料の比強度の温度依存性<sup>(3)-(6)</sup>をまとめたものである。ハイエントロピー合金のデータは、2018年に J. Mater. Res. の Vol. 33 に掲載された、Senkov らの Review<sup>(6)</sup> を引用した。この図から、モシブチック合金の耐熱材料としての位置付けがよくわかる。モシブチック合金の比強度は、SiC<sub>f</sub>/SiC CMC や C<sub>f</sub>/SiC CMC などの SiC マトリックス複合材料と高融点合金類、高融点金属ハイエントロピー合金の間を橋渡しするような存在であり、まさに両者の「帯に短し褌に長し」と思われる不足した特性をカバーすることができる特異な存在だ。加えて、同日本ガスタービン学会誌の記事<sup>(2)</sup>に寄せた、ラーソン・ミラー因子によって整理したモシブチック合金のクリープ強度<sup>(7)-(10)</sup>も、図2に示す。参考までに、NASA から報告された SiC<sub>f</sub>/SiC CMC のデータ<sup>(10)</sup>も併記している。SiC<sub>f</sub>/SiC CMC のクリープは、合金類とは変形や破断の様式が異なるため、破断寿命で単純に比較することには問題を含んでいるかもしれない。しかしそれにしても、負荷応力が 60 MPa 以上では、モシブチック合金の方が破断寿命は総じて長いことは非常に興味深い。

\* 東北大学大学院工学研究科知能デバイス材料学専攻; 1)教授 2)准教授 3)助教(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-02)  
Can the MoSiBTiC Alloy Continue Down a Pathless Path?; Kyosuke Yoshimi, Nobuaki Sekido and Shuntaro Ida (Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai)  
Keywords: molybdenum, alloys, composites, ultrahigh temperature, powder metallurgy, oxidation, gas atomization  
2024年7月16日受理[doi:10.2320/materia.63.764]

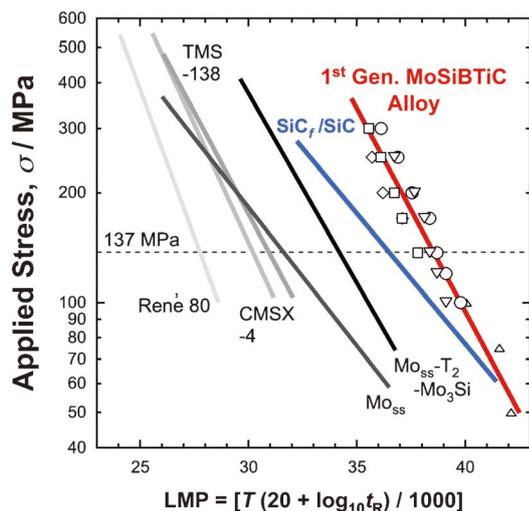


図2 定数20のラーソン・ミラー因子によるモシブチック合金と他の耐熱材料のクリープ強度の比較<sup>(7)-(10)</sup>.

モシブチック合金の魅力の一つは、室温での比較的良好な破壊靱性である。前報<sup>(1)</sup>でも紹介したように、モシブチック合金は室温で  $15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  以上の破壊靱性値を有する<sup>(11)</sup>。しかもこの値は、シェブロンノッチを導入した試験片から3点曲げ、4点曲げ試験によって導出されたものであり、他の材料との比較から工業的にも妥当であると判断できる<sup>(10)</sup>。しかしこの値は、金属間化合物を含む高温強度に優れた合金群としては、異例の高さである。すなわち、モシブチック合金は、単に高温強度に優れた材料というだけではなく、低温の破壊靱性ともバランスの取れた、次世代の熱機関や超高温加工などの高効率化を実現しうる、極めて優れた超耐熱材料である。しかしながら、2014年にモシブチック合金を最初に *Metall. Mater. Trans. A* で報告<sup>(12)</sup>してから10年余、世界的にモシブチック合金の研究開発が活発になったかと言うと、そうでもない、というのが筆者らの正直で、冷静な分析結果である。なぜか？モシブチック合金は優れた性能によって高いポテンシャルを秘めているのに、なぜ世界で大きなムーブメントが起こらないのか？

上述の疑問に対しては、様々な要因が存在するのだろう。そもそも、モシブチック合金は今まさに、道なき道を行んでいるところである。そこで本稿は、モシブチック合金に対して材料学的、あるいは技術的に解決すべき課題について、現在、筆者らが注目するポイントを紹介し、これまでの取り組みと共に、将来への期待をまとめてみたい。

## 2. 材料プロセス

モシブチック合金は、モリブデン合金の一種なのか？金属間化合物系の新しい合金種なのか？はたまた金属基複合材料(MMCs)なのか？といった疑問に対して、筆者らの答えは、「Mo固溶体を母相とするセラミックス相強化型の複合材料」すなわちMMCsの一種と考えている。金属基の複合材料に関しては、これまでAl基<sup>(13)</sup>やMg基<sup>(14)</sup>、Cu基<sup>(15)</sup>、Fe基<sup>(16)</sup>、Ti基<sup>(17)</sup>など数多くの研究報告がなされており、

また、製造プロセスに関しても広く検討がなされている<sup>(18)</sup>。しかしながら、Mo基のモシブチック合金は、上記MMCsの中でもサーメット(Cermet)と呼ばれる超硬合金系に分類され、その代表的なものはCoをバインダーとするWC-Co系超硬合金<sup>(19)</sup>である。WC-Co系超硬合金の製造方法は、粉末焼結法である。WC-Co合金は、1320°Cの共晶温度で液相が生じるが、焼結温度は一般にそれよりも高く、固液二相域で焼結する。しかし、こういったサーメットの製造方法とは異なり、モシブチック合金の基本プロセスは溶解铸造である。モシブチック合金は、液体から凝固過程を経て、複雑で、階層的なマイクロ構造を生成し、これがモシブチック合金の材料特性に重要な役割を果たす。具体的には、複数の共晶反応が存在し、それらが段階的に生じることで階層的なマイクロ構造となる<sup>(20)-(22)</sup>。しかし言い換えれば、現時点では、凝固プロセスの制御以外に、例えば熱間鍛造のような二次加工によってマイクロ構造を制御する術は、検討されていない。なぜならば、モシブチック合金の高温強度が高すぎて、昨今の熱間加工技術ではマイクロ構造を制御することが極めて難しいからである。したがって、現在、モシブチック合金のマイクロ構造制御のためのプロセス技術としては、急冷凝固技術の応用になる。

### (1) Electrode Induction Melting Inert Gas Atomization (EIGA)

Electrode Induction Melting Inert Gas Atomization(通称EIGA)というノズル無しでガスアトマイズする技術が開発されている<sup>(23)</sup>。これは、図3に示すように、原料を棒状の電極とし、その先端を高周波誘導コイルで溶融し、落下する溶湯の液滴を高周波誘導コイル直下で不活性ガスを吹き付けることによって粉末化するプロセスである。この方法では、ノズルを使用しないため、原料を溶融した際にノズルとの反応によって生じる不純物の混入が無く、棒状の電極原料の純度を保った状態で粉末を得ることができる。したがって、ノズルとの反応性の高い活性物質や、ノズル素材よりも融点の高い高融点物質の粉末化に適している。加えて、粉末化の過程で溶湯の液滴は吹き付けられた不活性ガスにより、粉末状に急冷凝固する。すなわち、EIGAによって得られる粉末は、急冷凝固粉末である。このEIGAプロセスを、モシブチック合金に適用した<sup>(24)</sup>。

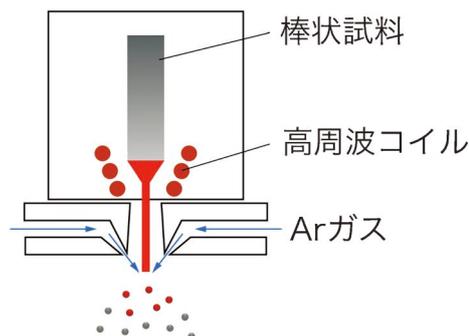


図3 EIGAの模式図。

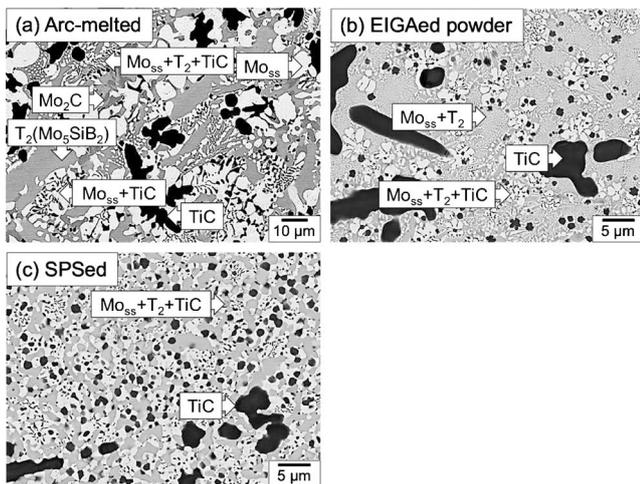


図4 モシブチック合金のマイクロ構造の反射電子像<sup>(25)</sup>。(a) 標準的な非消耗電極型アーク溶解法で作製されたボタンインゴット。(b) EIGA プロセスで作製されたガスアトマイズ粉末。(c) 放電プラズマ焼結法で焼結されたEIGA 粉末の焼結体。

図4に、標準的な非消耗電極型アーク溶解法で作製したモシブチック合金インゴット、それをEIGA プロセスによって得た粉末の内部、そしてその粉末を放電プラズマ焼結 (SPS) 法で焼結した焼結体各々のマイクロ構造<sup>(25)</sup>を示す。この図4の3枚のマイクロ構造写真から、EIGA の急冷凝固効果を定性的に理解することができる。図4(b)はEIGA 粉末のマイクロ構造写真である。図4(b)が図4(a)のおよそ2.5倍の拡大倍率で撮影されたことを考慮すると、TiC デンドライト初晶のサイズに大きな変化はない。しかしその背景には、急冷効果によって生成した直径約1 μm のTiC 粒子と超微細な共晶構造が存在している。この粉末を、1600℃にてSPS したものが図4(c)となるが、EIGA 粉末と比べて共晶組織領域でマイクロ構造がやや粗大化している。これは、1600℃でSPS したことによる熱処理効果である。

図5に、このEIGA 粉末のSPS 焼結体を、1100℃、1400℃、1600℃の3つ温度で、ひずみ速度 $2.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ で圧縮して得られた応力-塑性ひずみ曲線を示す<sup>(25)</sup>。比較のために、熱処理後のインゴット材の応力-ひずみ曲線<sup>(3)</sup>も示す。非常に興味深いことに、EIGA 粉末のSPS 焼結体は、1100℃では降伏後、明瞭な加工硬化を示す。1200℃以上の温度範囲でも、降伏後は流動応力がほぼ一定となる定常変形を示しながら、高ひずみ側で流動応力がわずかに上昇する挙動を示した。1600℃の場合のみ、全ひずみで定常変形となった。また、降伏応力は、1100℃から1300℃の範囲では、EIGA 粉末のSPS 焼結体の方がインゴット材よりも高く、1500℃以上では逆にEIGA 粉末のSPS 焼結体の方がインゴット材よりも低くなった。高温側でEIGA 粉末のSPS 焼結体の降伏応力が低くなるのは、結晶粒微細化によって異相界面およびその周辺のすべり変形が容易になったためである。一方、低温側でEIGA 粉末のSPS 焼結体の降伏応力が高くなる理由は、インゴット材が降伏後に変形応力が低下していく原因と関係している。すなわち、インゴット材は、1100℃で脆性破壊こそしないものの、ひずみの増加と共に

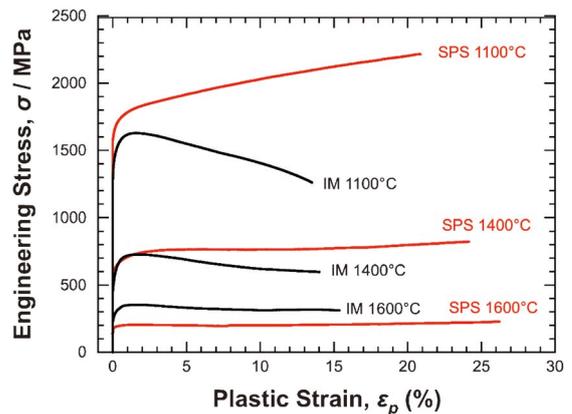


図5 EIGA 粉末のSPS 焼結体<sup>(25)</sup>と熱処理後のインゴット材<sup>(3)</sup>の圧縮変形による1100℃、1400℃、1600℃の応力-塑性ひずみ曲線図。

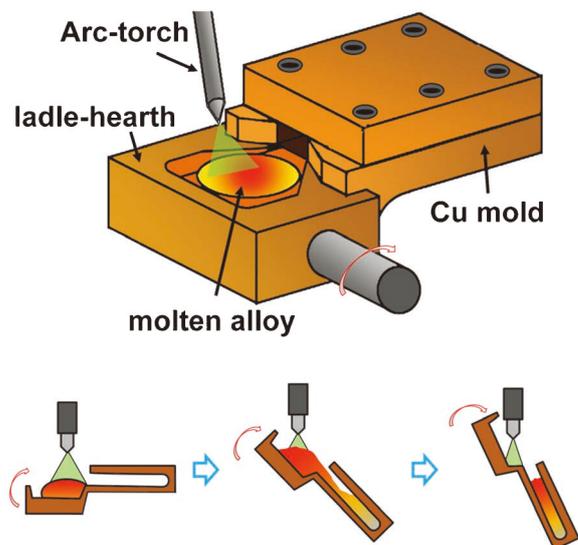


図6 傾角鋳造法の模式図<sup>(3)</sup>。

試料内で微細な裂が大量に発生し、これが進展していくことで変形応力が低下する。しかし、EIGA 粉末のSPS 焼結体では、結晶粒微細化によって塑性変形能が向上し、それによって微細な裂の発生も抑制される。このように、これまでモシブチック合金の材料特性に対するマイクロ構造の効果はほとんど調査されてこなかったが、そこには大きな可能性が秘められている。

## (2) 傾角鋳造

傾角鋳造法は、金属ガラスの製造法として一般的であり、比較的高い急冷凝固効果が得られる。著者らがモシブチック合金の作製に使用した傾角鋳造法は、図6<sup>(3)</sup>に示すように、非消耗電極型アーク溶解法でモシブチック合金を溶解し液体になったところで、銅ハースを傾け、アークトーチを当てながら棒状銅鋳型にモシブチック融体を流し込む方法である。これによって、図7(a)に示すように、直径約4 mm、長さ約50 mm の急冷凝固モシブチック合金を得た<sup>(26)</sup>。冷却速度は、当然のことながら、直接銅ハースに接触する外周部の方が中心部よりも速く、また、凝固が開始する図7(b)の底部

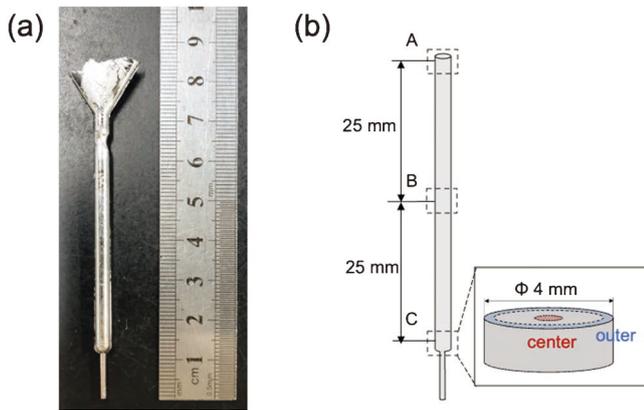


図7 傾角鋳造法によって作製されたモシブチック合金<sup>(26)</sup>. (a) 外観写真. (b) 試料位置の呼称.

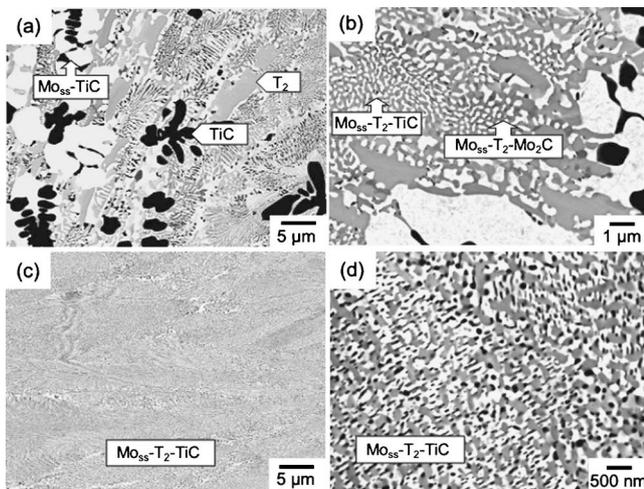


図8 傾角鋳造法で作製された急冷凝固モシブチック合金に対して、図7(b)で示した底部Cの反射電子像<sup>(26)</sup>. (a) 中心部, (b) 高倍率の中心部, (c) 外周部, (d) 高倍率の外周部.

Cの方が、上部AやBよりも速い。図8に、底部Cの中心部付近と外周部各々のマイクロ構造の観察結果を示す<sup>(26)</sup>。中心部付近のマイクロ構造(図8(a), (b))は、図4(b)のEIGA粉末と比べると、粗なMo固溶体がしばしば観察されるなど、急冷凝固効果はやや弱いことが推察される。これに対して、外周部のマイクロ構造は、サブミクロンレベルにまで微細化し、例えば図8(c)は、図8(a)と同じ倍率で観察したが、微細すぎてよくわからない。そこで、図8(b)の2倍の倍率で観察したところ、図8(d)に示すように、100から200 nm程度のMo固溶体とT<sub>2</sub>、TiCの三相の粒子が比較的均一に分散した共晶組織になっていることがわかった。このように、急冷凝固効果を高めることで、複雑で階層的だったモシブチック合金のマイクロ構造は、比較的均質なナノ構造を形成するという新たな知見が得られた。こういった技術を、今後のモシブチック合金の材料プロセスやマイクロ構造制御に応用していくことが重要な課題になると考えられる。

### (3) 3次元積層造形

Zhouら<sup>(27)</sup>は、世界で初めてモシブチック合金の3次元積

層造形に関して、レーザー粉末床溶融結合(L-PBF)法による作製例を報告した。当該研究では、既報のMo-Si-B基合金<sup>(28)-(31)</sup>と同様、急冷効果によって発生する熱応力で、モシブチック合金積層造形体中に多くの微小き裂が発生した。Takedaら<sup>(32)</sup>は、L-PBFで作製したモシブチック合金の内部に存在するマイクロき裂をHIP処理によって低減することを試み、これが機械的性質に対して一定の改善効果があることを示した。一方、Mo-Si-B基合金に関しては、微小き裂の抑制には予備加熱が効果的であることが指摘されている<sup>(31)</sup>。HigashiとYoshimi<sup>(33)</sup>は、電子ビーム積層造形装置を使って、モシブチック合金バルク基材の表面を走査電子ビームで溶融することで積層造形を模擬し、その実行可能性を検討した。その結果、電子ビームを使った予備加熱によって微小き裂の発生を抑制できること、さらに、連続的に多重ビードを生成することで基材が蓄熱し、予備加熱と同様の効果によって微小き裂の発生を抑制できることを見出した。このように、モシブチック合金に対しても積層造形法は適用可能と考えられ、将来、有効な製造プロセスの1つとなる可能性が高い。モシブチック合金粉末の供給体制が整えば、大いに期待できるところである。

## 3. 耐酸化性の改善

市販の耐熱モリブデン合金であるTZMやMHCは、TiCやZrC、HfCといったB1型炭化物分散によって強化されたもので、母相であるモリブデン相はわずかに不純物を含んだ純モリブデンと考えて良い。そして、これらモリブデン合金が高温で酸化すると、MoO<sub>2</sub>やMoO<sub>3</sub>といった酸化物が生成する<sup>(34)</sup>。六価モリブデンのMoO<sub>3</sub>は高温で昇華性があり、気体となって揮発するため、モリブデン合金の酸化は著しい重量減少となる。そこで、モリブデン合金に耐酸化性を付与するためには、不動態皮膜を形成する元素の添加による合金設計が必要である。よく知られる不動態皮膜形成元素はCr、Al、Siであり、そのうちモシブチック合金はSiを含有するが、残念ながら不動態皮膜の形成には量的に不十分であり、何らかの対策が必要であった。

Zhaoら<sup>(35)</sup>は、モシブチック合金に対して、Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相が相平衡することを見出した。したがって、彼女らが調査した合金組成はMo-30Ti-17Si-10C-5B(at%)で、従来のモシブチック合金と比べて、Tiは20 at%、Siも12 at%も高いが、これはTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>と同じTi:Si=5:3になっている。また、Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>生成の一方でMo固溶体量が大きく減じるため、Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub>(T<sub>2</sub>)の生成量を抑えるよう、ボロン量を5 at%減少させた設計になっている。Nanら<sup>(36)</sup>は、上記合金の700°Cから1300°Cの温度範囲の酸化挙動を調査した。その結果を図9に示す。驚くべきことに、この合金は、800°Cを除くほぼ全ての温度域で、優れた耐酸化性を発揮している。唯一、800°Cだけは10時間を超えたあたりから急激な重量減少となり、酸化が進行したことを示している。この温度周辺だけは、長時間にわたって健全な不動態皮膜の維持ができなかった。Nanらは、酸化試験片断面の詳細な観察から、特に800°Cの酸化では試験片のエッジ部から酸化進行が顕著であ

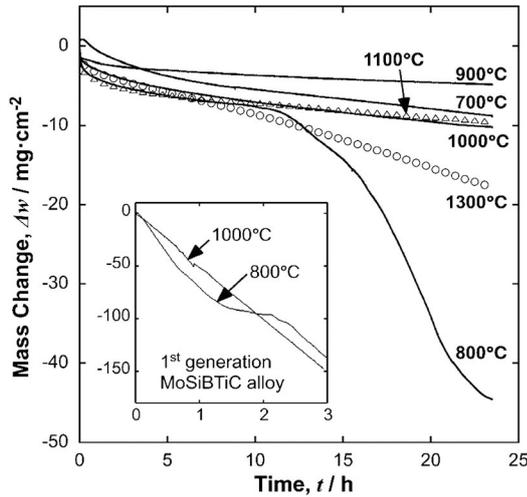


図9 Mo-30Ti-17Si-10C-5B(at%)合金の等温酸化曲線<sup>(36)</sup>.

ったこと、酸化スケールはTiO<sub>2</sub>粒子の隙間をSiO<sub>2</sub>ガラスが埋める複合体となっていること、さらにTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>は極めて酸化の進行が遅く酸化スケール中に残存していたことなどを指摘した<sup>(36)</sup>。これは非常に興味深い発見であり、TiO<sub>2</sub>が当該合金の不動態皮膜形成に強く関与していたことを示している。

Hatakeyamaらは<sup>(37)</sup>、Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>は耐酸化性が高すぎてTiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>複合酸化スケールの生成に十分に関与できていない。そして、TiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>の供給源はMo固溶体中のTiや、T<sub>2</sub>相中のSiだと考え、Mo-xTi-14Si-6C-6B(x=28-54at%)という合金を作製し、その耐酸化性を系統的に調査した。その結果、モリブデン合金の耐酸化性付与に対して極めて新しい、重要な知見を得るに至った。図10に上記合金の800°C、1100°C、1200°Cで得られた等温酸化曲線を示す。驚くべきことに、Ti濃度がx=45at%を超えた辺りから、合金の耐酸化性が劇的に改善されていたのである。これまでなかなか耐酸化性が改善できなかった800°Cでは、100時間後の合金の重量変化は高々±1%程度であり、ほとんど酸化が進行していない。1100°Cや1200°Cでは、Nanらの合金が重量減少を示していたのに対して、Hatakeyamaらの合金は重量増加を示すようになった。このことは、1100°C、1200°Cといった高温領域でも緻密性の高い比較的良好な不動態皮膜が形成したため、MoO<sub>3</sub>の揮発が抑制されていることを示唆している。

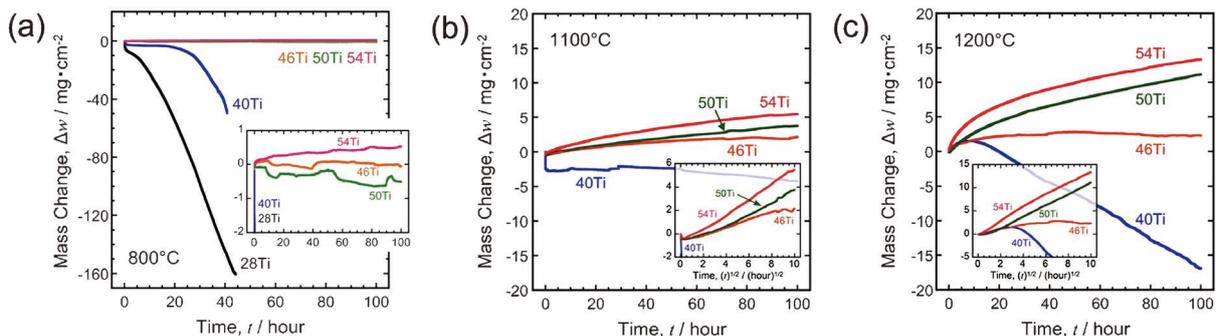


図10 Mo-xTi-14Si-6C-6B(x=28-54at%)合金の等温酸化曲線<sup>(37)</sup>。(a) 800°C, (b) 1100°C, (c) 1200°C。

Hatakeyamaらはこの研究成果の解釈として、Mo-Ti固溶体と生成するTiO<sub>2</sub>のモル体積のバランス、すなわちPilling-Bedworth(PB)比で説明できると主張している<sup>(37)</sup>。今後、モシブチック合金の耐酸化設計のためには、Mo固溶体のTi濃度制御も重要なパラメーターとなる。

その後Nanらは、上記Hatakeyamaらの合金のx=28at%であるMo-28Ti-14Si-6C-6B合金に対して、CrおよびAl添加の効果を調査するため、Mo-28Ti-14Si-6C-6B-(10-y)Cr-yAl(y=0, 5, 10at%)合金の耐酸化性を調査した<sup>(38)</sup>。その結果、AlやCrの添加によって、800°Cの耐酸化性が劇的に改善された。特に、Cr添加は効果的であった。さらにNanらは、米国Wisconsin大学のJ. H. Perepezko教授と共同で、パックセメンテーション法を用いたモシブチック合金に対するボロシリサイドコーティングを試み、耐酸化性改善に対して一定の成果を得ている<sup>(39)</sup>。

以上のように、これまで耐酸化性に対して問題を抱えていたモシブチック合金ではあったが、Ti濃度の増加やCr, Alの添加、さらにはコーティングなど様々な方法で解決策が提案されてきている。今後、機械的性質とのバランスを見ながら耐酸化性の検討を進めることで、モシブチック合金の実装に向けた研究開発がさらに発展していくものと期待している。

#### 4. 終わりに

先述のように、この5年間、材料プロセスと耐酸化性の解決に多大な時間と労力を割いてきた。実装に向けて、この2つの課題は越えなければならない重要課題であり、なんとか解決できるレベルに到達したというのが現状認識である。そして2024年現在から、2030年に向けて、おそらくもうひと山ありそうだ。それは、組成(Composition)-材料プロセス(Process)-ミクロ構造(Structure)-高温強度、破壊靱性、耐酸化性を含む材料特性や材料性能(Properties and Performance)といった全ての問題を統合し、最適化を図ったその先に、実装に耐え得る材料が創製できるのか?という課題である。著者はこのような材料課題の統合を、C-P-S-P<sup>2</sup> Linkageと呼んでいる。そして最適化を進めるためには、従来の手続きを踏まえるならば、一層膨大な時間と労力が必要となる。しかし近年、データ科学の発展によって、材料課題の統合と最適化に要する時間や労力を大幅に圧縮し得ることに期待が高まっている。データ科学では、近年のコンピュー



# チタン合金のギガサイクル疲労における 微小内部き裂の非破壊観察

中村 孝<sup>1)</sup> 吉中 奎貴<sup>\*\*</sup> 薛 高格<sup>\*</sup>  
藤村 奈央<sup>3)</sup> 高橋 航圭<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

鋼材の S-N 曲線は、一般に $10^6 \sim 10^7$  回程度の繰返し領域で水平部、すなわち疲労限度を示す。しかし、この疲労限度以下の応力でも、 $10^7$  回を超える領域において、材料内部を起点として疲労破壊を生じる挙動(内部破壊)が認識されるようになった。この現象は、超高サイクル疲労やギガサイクル疲労と呼ばれ、1980年代にその存在が確認されて以来、国内外で活発な研究が進められてきた<sup>(1)(2)</sup>。しかしながら内部破壊の本質的なメカニズムが明らかにされたとは言い難い。その理由は、極めて小さな内部き裂を観察する手段が無かったことに起因すると思われる。例えば、チタン合金では数十  $\mu\text{m}$  の結晶粒<sup>(3)</sup>が、高強度鋼では数~数十  $\mu\text{m}$  の非金属介在物<sup>(4)</sup>がき裂発生箇所になる。しかし、このような微小き裂を従来の非破壊検査で検出することは困難である。

一方、近年、SPring-8、ESRF、APS など挿入光源を備えた第三世代の放射光施設の登場により、 $1 \mu\text{m}$  を越える高空間分解能を実現する放射光 X 線 CT (SR-CT) が破壊や強度の研究分野で注目されるようになった<sup>(5)(6)</sup>。これまで著者らは SPring-8 で開発が進められているマルチスケール X 線 CT を用いて、チタン合金<sup>(7)-(14)</sup>や高強度鋼<sup>(14)(15)</sup>に発生する内部き裂の非破壊観察を試みてきた。マルチスケール X 線 CT は空間分解  $1 \mu\text{m}$  程度のマイクロ CT と  $200 \text{ nm}$  を越えるナノ CT を併用する新たな手法であり、ギガサイクル疲労の内部破壊を解析する強力なツールになりえる。本報告では、マルチスケール X 線 CT とその場疲労試験を用いた非破壊観察手法を紹介し、これを 2 種類のチタン合金 ( $\alpha + \beta$ )

型 Ti-6Al-4V および  $\beta$  型 Ti-22V-4Al) に適用することで、ギガサイクル疲労における内部き裂の発生・進展挙動と合金種の関連について検討する。

## 2. 内部き裂の非破壊観察手法

SPring-8 のビームライン BL20XU におけるマルチスケール X 線 CT の模式図を図 1 に示す<sup>(16)</sup>。本ビームラインは、1st Exp. Hutch および約  $160 \text{ m}$  下流にある 2nd Exp. Hutch の二つの実験ハッチからなり、マイクロ CT とナノ CT を随時切り替えることができる。マイクロ CT は Sample を通過した X 線の強度を Image Detector で検出するシンプルな投影型 CT であり、空間分解能の物理的限界は  $1 \mu\text{m}$  弱である<sup>(17)</sup>。ナノ CT は X 線の位相シフトを利用する結像型 CT

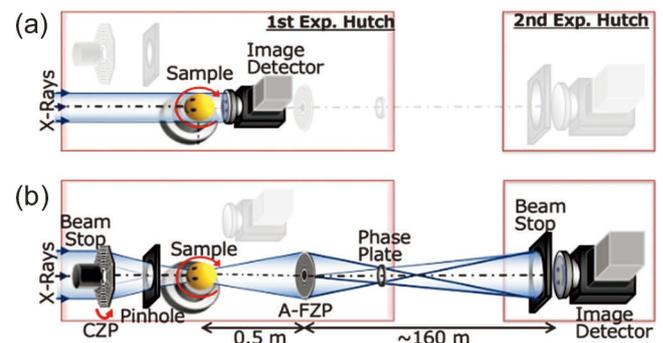


図 1 SPring-8 BL20XU におけるマルチスケール X 線 CT。  
(a) マイクロ CT, (b) ナノ CT。(オンラインカラー)

\* 北海道大学大学院工学研究院 機械・宇宙航空工学部門 1) 特任教授 2) 助教 3) 教授 4) 准教授 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

\*\* 物質・材料研究機構 構造材料研究センター  
Nondestructive Observation of Small Internal Cracks in Gigacycle Fatigue of Titanium Alloys; Takashi Nakamura\*, Fumiyoshi Yoshinaka\*\*, Gaoge Xue\*, Nao Fujimura\* and Kosuke Takahashi\* (\*Division of Mechanical and Aerospace Engineering, Hokkaido University, Sapporo. \*\*Research Center for Structural Materials, National Institute for Materials Science, Tsukuba)

Keywords: *internal crack, nondestructive inspection, synchrotron radiation, tomography, vacuum, titanium alloys*

2024年7月12日受理 [doi:10.2320/materia.63.770]

表1 マルチスケール X 線 CT における撮像条件の例.

Imaging mode	Micro-CT	Nano-CT
X-ray energy (keV)	30	30
Exposure time (msec)	50	500
Voxel size ( $\mu\text{m}$ )	0.5	0.04~0.08
Field of view ( $\text{mm}^2$ )	1×1	0.06×0.06
Total scan duration (min)	~5	~30

であり, Sample 通過時の X 線の位相のずれをコントラストに変換することにより, 200 nm を越える空間分解能を実現している. ナノ CT は, コンデンサーゾーンプレート (CZP) と Pinhole を使用したホローコーン照明システム, フレネルゾーンプレート (A-FZP) 対物レンズ, 位相コントラストイメージング用ゼルニケ位相板 (Phase Plate), 2nd Exp. Hutch に配置された Image Detector など構成される. 本システムの詳細については文献<sup>(16)-(19)</sup>を参照いただきたい.

マルチスケール X 線 CT における撮像条件の例を表 1 に示す. マイクロ CT では  $0.5 \mu\text{m}$  のボクセルサイズで比較的広い視野 ( $1 \times 1 \text{ mm}^2$ ) を観察できる. 一方, ナノ CT のボクセルサイズは  $0.04 \sim 0.08 \mu\text{m}$  と精細であるが, 視野は  $0.06 \times 0.06 \text{ mm}^2$  程度に制限される. 本報告では, はじめに試験片全体をマイクロ CT で調べ, 内部き裂が検出された場合に, ナノ CT による観察を行った.

本システムで材料内部のき裂を明瞭に捉えるには, 20% 程度の X 線透過率が必要である. そこで, 試験片平行部を Ti-6Al-4V :  $\phi 0.7 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ , Ti-22V-4Al :  $\phi 0.6 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  と小径化し<sup>(10)-(14)</sup>, それぞれ 21.4%, 23.3% (X 線エネルギー: 30.0 keV) の X 線透過率を目標とした. 本研究では, これらの小径平行部を有する箇所と, これを試験機側でつかむ箇所を別々の部品で構成する組立式試験片を製作した. 図 2 にこの模式図を示す. 旋削により各供試材から  $0.8 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  の小径平行部 (1) を有する箇所を加工し, その両端につかみ部 (2) をボルト (3) で締結する. この際, 専用組立ジグを用いて, 小径平行部とつかみ部のアライメントを調整した. その後, 同期回転する二つの対向チャックを備えた研磨機に両つかみ部を取付けて仕上げの研磨を行った. 最終的に #2000 までのエメリー紙を用いて, 小径平行部を前述の直径に仕上げた.

この試験片を著者らが開発したその場疲労試験機<sup>(11)-(14)</sup>に取付けて CT 撮像と疲労試験を繰り返した. 図 3 に試験機の外観写真を示す. この試験機は BL20XU における 1st Exp. Hutch の回転台に適合するように設計され, Piezo actuator (Piezomechanik 製, PSt 150 / 10 / 200 - VS15), PMMA cylinder, Load cell などから構成される. Air inlet から圧縮空気を導入することで, 疲労試験中における Piezo actuator の温度を一定に保っている. 本試験機では, デジタルコントローラ (島津製, 4830) を用いた PID フィードバック

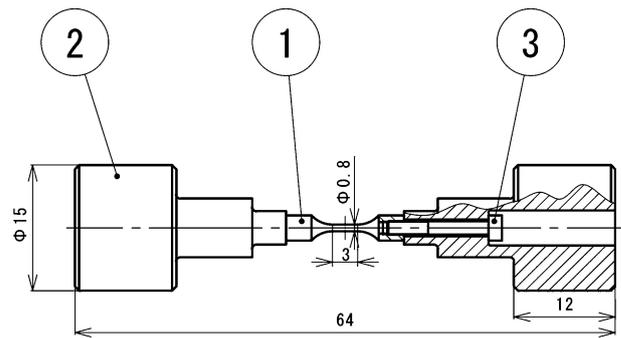


図2 組立式疲労試験片 (1: 平行部を有する小径試験部, 2: 把持部, 3: 取付けボルト).

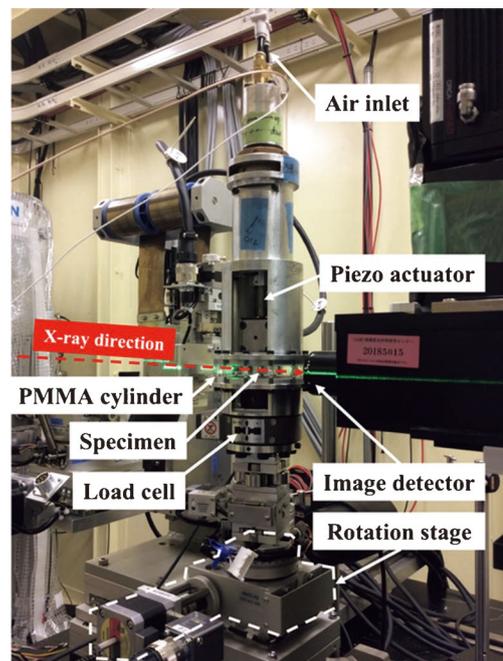


図3 その場疲労試験機 (SPring-8, BL20XU の 1st Exp. Hutch に設置). (オンラインカラー)

ク制御方式が用いられ, 静荷重 ~ 約 300 Hz の任意波形をビームライン上で試験片に負荷することができる.

### 3. 供 試 材

#### (1) $(\alpha + \beta)$ 型 Ti-6Al-4V

$(\alpha + \beta)$  型 Ti-6Al-4V は, 高比強度, 低温韌性, 耐食性など多くの魅力的な特性を兼ね備えているが,  $10^7$  回を超える領域で内部き裂が発生し<sup>(3)(7)-(9)</sup>, 疲労強度の大幅な低下を招くことが知られている. 内部き裂は, ファセット<sup>(3)(7)-(9)</sup>と呼ばれる  $\alpha$  粒に対応する微小平坦部から発生する. 特に, 起点近傍に観察される多数のファセット (マルチファセット)<sup>(9)(20)</sup> は本材料の特異な疲労挙動に関連すると考えられている. 図 4 にマルチファセットの例を示す. 平坦なファセット面はき裂起点近傍に数多く観察されるが, どのファセットが主き裂の起点なのか, また, 複数のファセットがいつど

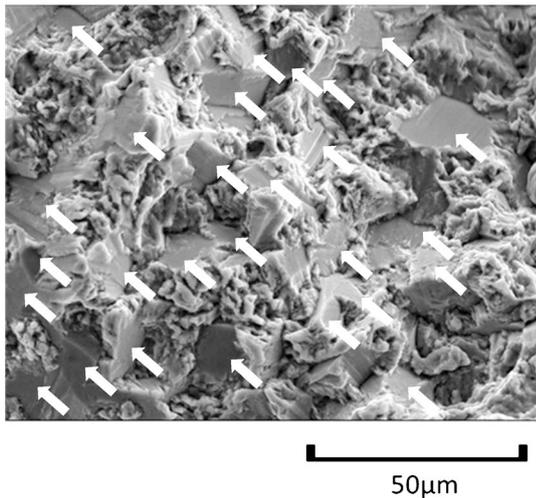


図4 (α+β)型 Ti-6Al-4V の内部疲労破面におけるマルチファセット ( $\sigma_{\max}=600$  MPa,  $R=0.1$ ,  $N_f=5.53 \times 10^7$  cycles).

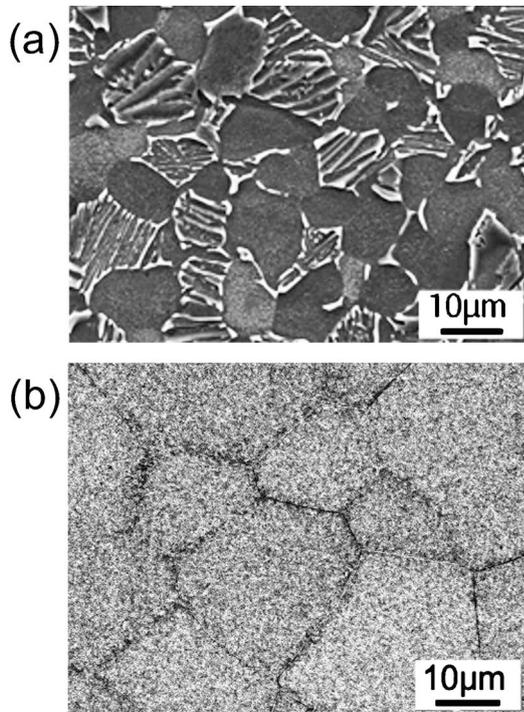


図5 供試材のSEM組織写真。(a) (α+β)型 Ti-6Al-4V, (b) β型 Ti-22V-4Al.

のように形成されるのかなどは、破面情報だけでは判断できない。マルチファセットの形成メカニズムとして、(a)個々のファセットを起点として発生した複数のき裂が進展途中で互いに合体する、(b)一つのファセットから発生したき裂が進展していく途中で複数のファセットを順次形成していく、という二つの説<sup>(21)</sup>が提唱されているが、統一的な見解は得られていない。本報告では、二相組織を有する(α+β)型 Ti-6Al-4V を対象として、起点近傍におけるマルチファセット形成過程に焦点を当てた。供試材には、1203 K に 3.6 ks 保

持後空冷、978 K に 7.2 ks 保持後空冷の熱処理を行った<sup>(7)-(10)</sup>。図5(a)にSEM組織写真を示す。等軸α粒と、α相とβ相とのラメラ粒からなり、平均粒径はいずれも約10 μmである。

## (2) β型 Ti-22V-4Al

βチタン合金は高い強度と成形性を兼ね備えており、航空宇宙産業をはじめ各種先端用途に用いられている。βチタン合金の内部破壊は(α+β)型 Ti-6Al-4V と異なり $10^5$ 回のオーダーでも観察される<sup>(22)</sup>。破壊起点には結晶粒に対応する平坦なファセットが単独あるいは数個程度隣接して観察されることが多く<sup>(12)(22)</sup>、(α+β)型 Ti-6Al-4V のように、多数のファセットが離散的に生じるケース(図4)とは大きく異なる。本報告では、β型 Ti-22V-4Al における起点ファセットの形成過程を調べ、(α+β)型 Ti-6Al-4V との差異を検討する。供試材には、1023 K に 3.6 ks 保持後水冷、823 K に 14.4 ks 保持後空冷の熱処理を施した<sup>(12)</sup>。図5(b)にSEM組織写真を示す。α相が微細に析出した時効β組織であり、平均粒径は20 μmである。

## 4. 内部疲労き裂の発生・進展挙動

### (1) 内部き裂のSR-CT画像

#### (a) (α+β)型 Ti-6Al-4V

$\sigma_{\max}=650$  MPa, 応力比  $R=0.1$ , 周波数 120 Hz の条件でその場疲労試験を行った<sup>(13)(14)</sup>。なお、この応力における疲労寿命は、 $2 \sim 4 \times 10^7$  回程度である。本報告では  $N=1.05 \times 10^7$  から  $1.18 \times 10^7$  回の範囲でCT像を撮影した。その結果、 $1.05 \times 10^7$  回の観察時点で試験片平行部( $\phi 0.7$  mm  $\times$  3 mm)に60個と多数の内部き裂が検出された。その後、 $1.18 \times 10^7$  回までに3個の内部き裂が新たに発生した。検出されたき裂の総数は63個であり、寸法の大きいものからC-1, C-2, ..., C-63と名付けた。き裂の発生箇所は試験片平行部全体にほぼ均一に分布しており、特定の場所に集中する傾向は見られなかった。また、き裂の発生位置とき裂の大きさの間にも有意な関係は認められなかった。き裂発生に関して詳細に検討した結果によれば、内部き裂の発生寿命は起点となった結晶粒の大きさと関係なく、全寿命の20~70%程度に広くばらつく確率的な事象であることが明らかにされている<sup>(8)(9)</sup>。

図6に、内部き裂のマикроCT画像を示す。ここでは、最も小さなき裂の代表としてC-63を、最も大きなき裂の代表としてC-1を選んだ。同図では、α粒(暗部)とα+β粒(明部)がそれぞれ識別され、き裂と組織の同時観察が可能となった。 $N=1.05 \times 10^7$  回において、C-63はα粒内で荷重軸に対して斜めの方向に発生していたが、隣接するα+β粒との境界で停止しており、その後の進展は認められなかった。一方、C-1は $N=1.05 \times 10^7$  回の時点ですでに60 μm程度の大きさに成長していた。その後も進展を続け、 $N=1.10 \times 10^7$  から $1.12 \times 10^7$  回の間α粒を貫いて進む様子(四角点線

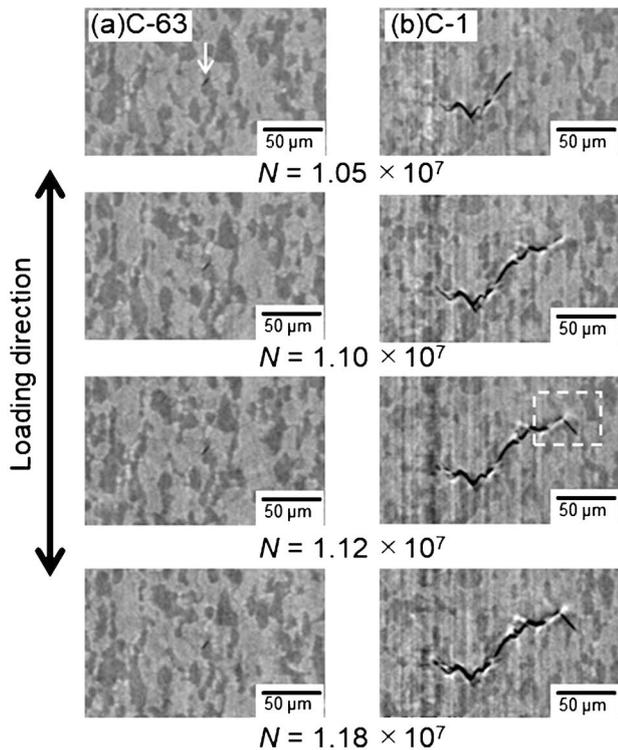


図6 (α+β)型 Ti-6Al-4V における内部き裂のマイクロ CT 像. (a) C-63, (b) C-1.

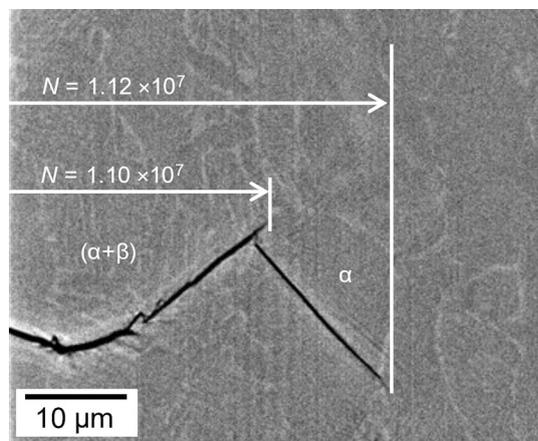


図7 (α+β)型 Ti-6Al-4V における内部き裂のナノ CT 像. 図6(b)における四角枠内の拡大.

枠内)が確認された. 図7はこの進展部分のナノ CT 画像である. このき裂はα粒内で荷重軸に対して40°~43°傾いた方向に直線的に成長していることから, せん断応力支配型のすべりき裂と判断される. このき裂進展部の大きさや傾斜した直線的な形態は, 前述した C-63のき裂発生箇所や破面上の多数の平坦なファセットの特徴(図4)と良く一致している. また, き裂は試験片内に多数発生したが, それらが進展過程で合体した形跡は全く認められなかった. 以上の結果は, マルチファセットが複数のファセットから発生した微小き裂の合体により形成されるのではなく, 単一の起点に発生したき裂が徐々に進展する過程で, き裂先端に誘発されて生

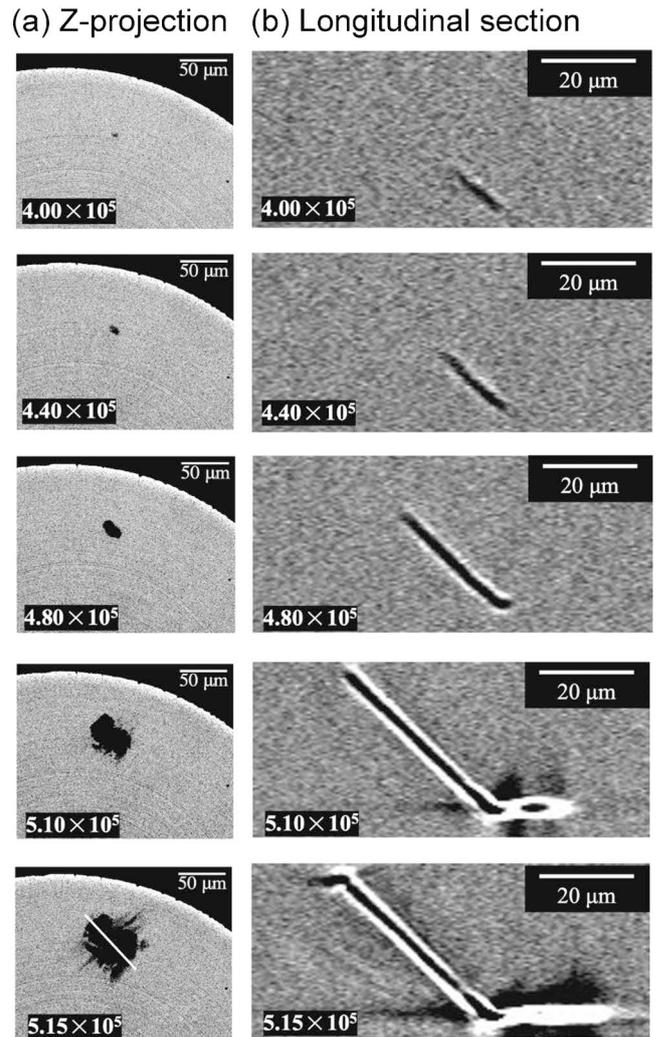


図8 β型 Ti-22V-4Al における内部き裂のマイクロ CT 像. (a) 荷重軸方向の投影図, (b) 荷重軸と平行な縦断面図(図(a)白線位置での断面).

じることを示している<sup>(9)</sup>. また, C-63のき裂がα粒に発生した後に隣接するα+β粒との境界で停止していることや, C-1のき裂がα粒やα+β粒に対応してジグザグに間歇的な進展をしていることから, 微小内部き裂の初期進展は周囲組織の影響を強く受けることが明らかとなった.

#### (b) β型 Ti-22V-4Al

$\sigma_{\max} = 1050$  MPa, 応力比  $R = 0.1$ , 周波数 120 Hz の条件でその場疲労試験と CT 撮像を繰り返し行った<sup>(12)</sup>. その結果,  $4.00 \times 10^5$  回で初めて内部き裂が検出された. このき裂のマイクロ CT 像を, 荷重軸に垂直な面への投影図(Z-projection)と荷重軸に平行な仮想断面図(Z-projection)における白線位置での縦断面)として図8に示す. 縦断面によれば,  $4.00 \times 10^5$  回で検出されたき裂は, 荷重軸方向に対して約45°に傾いていた. このき裂は, 左斜め上方向に優先的に進展しており, せん断型のすべりき裂と判断される. 一方, き裂の右下部先端は $4.80 \times 10^5$  回までほぼ同じ位置にあるが,

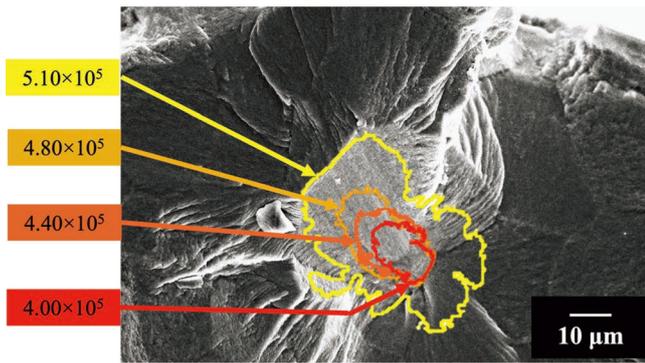


図9  $\beta$ 型 Ti-22V-4Al のファセット形成過程。(オンラインカラー)

5.10×10<sup>5</sup>回で荷重軸と垂直に進展し始めた。5.15×10<sup>5</sup>回では、き裂の左上先端も荷重軸と垂直方向に進展を開始し、モード I 型のき裂進展に移行した。このように、マイクロ CT により数十 μm の微小内部き裂の進展経路が明らかとなった。なお、 $\beta$ 型 Ti-22V-4Al のナノ CT 画像においても、( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V ほど明瞭ではないが、き裂と粒界などの識別はできることが示されている<sup>(11)</sup>。

図8の内部き裂は、その後、5.21×10<sup>5</sup>回で試験片表面に到達して表面き裂に遷移し、5.22×10<sup>5</sup>回で試験片を破断させた。4.00×10<sup>5</sup>回で初めて検出されたき裂は、直前の2.00×10<sup>5</sup>回における撮像では観察されなかったことから、き裂発生寿命は全寿命の約60%程度と判断される。また、内部き裂は試験片平行部中に、この1個しか検出されなかった。この結果は、多数のき裂が発生した( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V と著しく異なる。

起点部の SEM 破面写真に Z-projection のき裂前縁を重ねた結果を図9に示す。ここで4.00~4.40×10<sup>5</sup>回のき裂前縁には別途撮像したナノ CT の結果を用いた。4.00×10<sup>5</sup>回で検出されたき裂は図9の左上方向に優先的に進展し、5.10×10<sup>5</sup>回でファセット面の形成が完了している。すなわち、全寿命(5.22×10<sup>5</sup>回)の約98%がファセットの形成に費やされたことが明らかとなった。この結果は、 $\beta$ 型 Ti-22V-4Al の内部起点型疲労寿命が1結晶粒程度のせん断型き裂の進展過程で決まることを示している。

## (2) き裂進展速度 $da/dN$ と応力拡大係数範囲 $\Delta K$ の関係

マルチスケール X 線 CT による観察からき裂進展速度  $da/dN$  と応力拡大係数範囲  $\Delta K$  の関係( $da/dN$ - $\Delta K$  関係)を求めた。この結果を図10に示す。同図には、内部き裂の進展速度に加えて、高真空中(10<sup>-5</sup>~10<sup>-6</sup> Pa)で計測した表面き裂の進展速度<sup>(23)(24)</sup>もプロットした。同図によれば、( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V のき裂進展速度は  $\beta$ 型 Ti-22V-4Al のそれに比べて1/100以上と低く、特に、2~3 MPa√m の低  $\Delta K$  領域では 10<sup>-13</sup> m/cycle オーダーの極低速となっている。一方、両合金ともに内部き裂の進展速度は高真空中における表面き裂の進展速度とほぼ一致した。このことは、内部き裂の進展速度はき裂の曝される環境(≒高真空)に強く影響されること

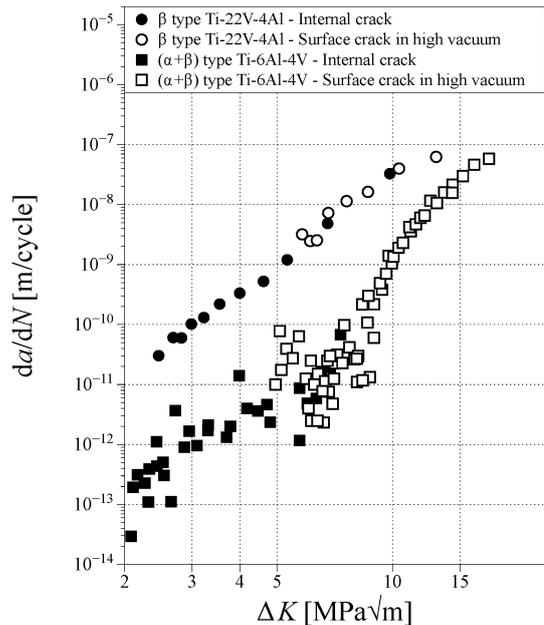


図10 内部き裂および高真空中における表面き裂の進展特性。

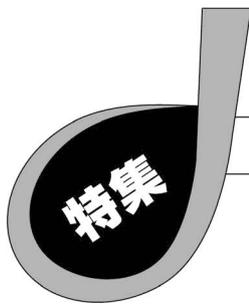
を示している。別途行った大気中の表面き裂進展試験<sup>(23)(24)</sup>では、両合金のき裂進展速度は同程度(10<sup>-9</sup>~10<sup>-7</sup> m/cycle)の範囲に分布し、いずれも内部き裂のそれより高速であった。換言すれば、両合金ともに内部き裂の進展速度は表面き裂のそれより低くなるが、進展速度の低下の度合いは  $\beta$ 型 Ti-22V-4Al に比べて( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V が顕著であった。この理由は、 $\beta$ 型 Ti-22V-4Al の疲労過程が1結晶粒程度のせん断型き裂の発生・進展ではほぼ決まるのに対し、( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V のそれは  $\alpha$ 粒に発生したき裂が、その後の進展過程で周囲の組織構造に強く影響を受けるためと考えられる。著者らは、このような進展挙動の違いや内部き裂先端の真空環境との相互作用が、ギガサイクル疲労における内部破壊を理解する鍵になると考えている。

## 5. おわりに

本報告では、SPring-8における放射光マルチスケール X 線 CT とその場疲労試験による非破壊観察技術を( $\alpha$ + $\beta$ )型 Ti-6Al-4V および  $\beta$ 型 Ti-22V-4Al に適用した。その結果、同じチタン合金に分類される材料であっても、微小内部き裂の発生箇所、進展経路、進展速度は著しく異なることが明らかとなった。今後、本手法を種々の材料に系統的に適用することで、内部疲労破壊の機構解明やこれを抑制する材料設計指針に関わる知見が蓄積されていくと考える。

本報告では高輝度光科学研究センター SPring-8 で行われた実験(BL20XU, 2017B1421, 2018B1289, 2019B2042, 2020A0172, 2021A0172, 2021B0172, 2022A0172)の一部を紹介した。同センターの竹内晃久氏、上梶真之氏、上杉健太郎氏に多大なるご協力を頂いた。供試材として用いた Ti-





# 水素環境中の金属材料の強度特性に関する研究動向と課題

松 永 久 生\*

## 1. はじめに

水素は、カーボンニュートラルやエネルギー安定供給の実現を可能にする二次エネルギー媒体として期待されている。その貯蔵、輸送、供給のいずれにおいても、金属部材の水素への曝露は避けられない。水素は材料の内部に侵入・拡散し、強度や延性の低下、いわゆる「水素脆化」を引き起こす。したがって、機器を安全に使用するためには、水素脆化特性を的確に把握し、材料選択や強度設計に反映させる必要がある。本稿では、水素環境で使用される機器を念頭に置き

つ、水素脆化に関連する研究や取り組みの動向を分類し、今後の課題について述べる。

## 2. 課題の分類と研究動向

解決すべき課題は、水素利用機器の開発や関連する技術、政策、規制の動向に応じて刻々と変化する。したがって、工学的観点からは、特定の材料や現象に関する一過性のブームに流されることなく、新技術や社会情勢を踏まえて柔軟に研究テーマを設定することが肝要である。表1は、横軸を基礎研究から応用研究に分類し、縦軸を時間軸とした課題分類の

表1 水素脆化研究の課題の分類の例。

	基礎 -----> 応用				
	(1) 水素脆化メカニズム	(2) 耐水素材料の探索と開発	(3) 更なる水素脆化特性の解明	(4) 材料選択と強度設計	(5) 規格・基準の合理化
短期	基本メカニズムの更なる解明と整理	水素脆化メカニズムに基づく新しい耐水素材料の設計、試作および評価	影響因子の解明と整理 ■ 水素圧力 ■ 温度 ■ 負荷速度 ■ 不純物元素	新たな試験法の開発(低温・高温, 高サイクル, 混合ガス, etc.)	新材料の規格化(例: JIS化)
↓ 中長期	新たな試験法の開発(高精度化, ハイスループット化)	耐水素性と生産性を両立可能な新材料の開発指針の確立	■ ミクロ組織 ■ 強度レベル ■ 合金成分	材料の水素適合性に求められる条件の整理と柔軟化	基準検討・開発申請の多元化と柔軟化
	シミュレーション技術の高度化		新たな影響因子の探索と調査	影響因子の細分化	より合理的な規格・基準の作成
	異分野連携によるメカニズム解明の加速と高度化 ■ 計測評価 ■ 材料創製 ■ シミュレーション ■ データ科学	材料開発シミュレータの高度化	更なるデータ取得とデータベースの拡充	材料選択指針の合理化	国際調和の促進
				材料選択や強度設計の高度化と自動化	新規採用材・開発材の迅速な採用や保安検査をを可能にする開発・承認スキームの確立

\* 九州大学大学院工学研究院；教授(〒819-0395 福岡市西区元岡744)  
Research Trends and Challenges in the Strength Properties of Materials Used in Hydrogen Environments; Hisao Matsunaga (Department of Mechanical Engineering, Kyushu University, Fukuoka)  
Keywords: hydrogen embrittlement, hydrogen environment, metallic materials, hydrogen compatibility, strength design, cost reduction, codes and standards, industry-academia-government collaboration  
2024年8月5日受理[doi:10.2320/materia.63.776]

例である。以降では、表中の(1)~(5)の項目について順に、動向と課題を述べる。

### (1) 水素脆化メカニズム

水素脆化は、原子からマクロに至るまでの様々なスケールと幅広い時間軸での解釈を要する複雑な現象である。研究の歴史は約150年にわたり、これまでに様々な基本メカニズムが提案されている<sup>(1)</sup>。現在でも多くの研究者が多様な材料について、マクロ、ミクロ、原子の各スケールにおける実験と観察・解析、原子シミュレーションを駆使して研究に取り組んでおり、現象の解釈は年々高度化・細分化している<sup>(2)-(4)</sup>。

図1に、“Hydrogen embrittlement”をキーワードとして、関連する論文の出版数の推移をElsevier社のSciValによって調査した結果を示す。2023年の論文数は、検索にヒットしたものだけで623報に上る。大方の論文が、何らかの形で水素脆化の現象やメカニズムに言及していると思われるが、もはや個人がこのような膨大な研究成果を網羅的に把握することは難しい状況である。今後も研究量の増加と多様化が進むと予想される。個々の研究者にとって、混淆する玉と石を見極める工夫やチームワークがますます重要になるであろう。

最近では、計測評価や材料創製、シミュレーション、データ科学などの異分野の研究者が一体となってメカニズム解明に挑戦する取り組みが増えつつある<sup>(5)(6)</sup>。これにより、研究の高度化が進み、材種や環境条件、力学条件などに応じて複雑に変化する寄与メカニズムの理解と分類がさらに進むことが期待される。

### (2) 耐水素材料の探索と開発

ものづくりにおいては、安価で高強度、さらに加工性や機械的性質に優れた材料が好まれる。しかしながら、一般に、金属の水素脆化感受性は高強度になるほど高まることが知られており<sup>(7)</sup>、耐水素性に優れた材料は総じて低強度で高価であるという現実がある。これに対し、様々な水素利用機器の開発において、軽量化や性能向上、耐摩耗性の確保といった観点から、より高強度・高機能の材料へのニーズが高まっている。

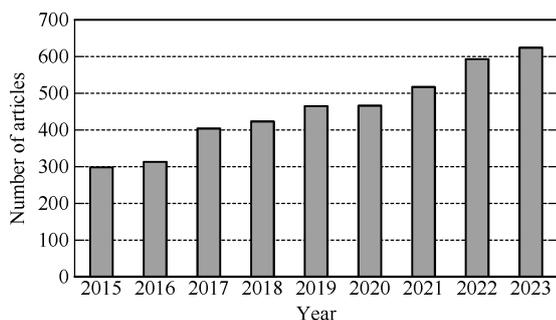


図1 “Hydrogen embrittlement”に関連する論文数の推移 (SciVal)。

このような状況の中、耐水素材料の探索と開発が進んでいる。例えば、(i)高強度かつ溶接可能であり、既に水素ステーションの配管等に多くの使用実績があるHRX19<sup>(8)</sup>、(ii) SUS316Lに比べて高強度で高い耐水素性を有し、厚鋼板として液体水素用途などへの活用が期待されているSTH2<sup>(9)</sup>、(iii)耐水素脆性ばね用ステンレス鋼線HYBREM-S<sup>(10)</sup>、(iv)生産性と形状設計の柔軟化の両立を可能にするSUH660(A286)の3D造形材<sup>(11)</sup>が挙げられる。これらの材料は、いずれもオーステナイト系の鋼であり、安定 $\gamma$ 相の高い耐水素性を活かして材料設計がなされている。

一方、低合金鋼やマルテンサイト系ステンレス鋼など、より安価な鋼についても、高強度かつ高耐水素性を有する材料の探索と開発が期待されている。これを実現するためには、水素による特性劣化や耐水素性発現のメカニズムの解明を進め、決定因子を見極めることが必要である。また、最近では、従来のメカニズムに裏付けられた材料開発だけでなく、メカニズムが完全に明らかでない状況を許容しながら化学組成やミクロ組織の最適化を可能にするデータ駆動型の開発についても研究が始まっている<sup>(6)(12)</sup>。水素脆化分野においても、このような方法により開発の効率化を図る方法の確立が期待される。それを実現するためには、従来のマクロ試験片を用いた強度試験や解析・観察にとどまらず、シミュレーションによる仮想実験や影響因子探索のハイスループット実験をさらに強化する必要がある。

### (3) 更なる水素脆化特性の解明

水素環境における特性低下は、(i)環境条件(例：水素圧力、温度、水素環境中の不純物元素)、(ii)材料(例：ミクロ組織、強度レベル、合金成分)、(iii)負荷形式(例：引張試験、疲労寿命、疲労き裂進展、破壊靱性)、(iv)負荷条件(例：負荷時間、負荷速度、負荷応力・ひずみ、応力拡大係数、 $J$ 積分)といった様々な因子に左右される。開発する機器や部品に応じて、各種因子の組み合わせの下で水素脆化特性を把握する必要がある。また、現象の定量化や解釈に必要な水素の固溶度や拡散係数、水素のトラップ特性なども、重要な研究テーマである<sup>(7)</sup>。

図2に、様々な温度と圧力における水素利用のイメージ図

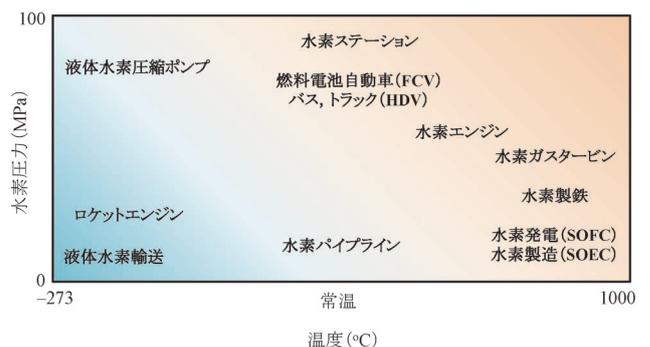


図2 様々な温度と圧力における水素利用。(オンラインカラー)

を示す。これまでに国内外において高圧水素環境中で取得されてきた実験データの多くは、著者が把握する限り、室温を中心に $-80^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ の温度域に散在している<sup>(7)</sup>。一方、最近、液体水素の温度である $-253^{\circ}\text{C}$ までの極低温域でのデータ取得を目指した研究プロジェクト<sup>(13)</sup>や、SOFC/SOEC、水素発電等を視野に入れた $800^{\circ}\text{C}$ 程度までの高温域でのクリープ特性を調査するプロジェクト<sup>(14)</sup>も展開されており、知見の拡充が期待される。それを実現するための試験方法や試験機の開発も重要な課題である。また、今後、水素の大量輸送に不可欠な水素パイプラインの健全性評価に関する知見の蓄積も重要である。パイプラインについては、欧米を中心に日本に先駆けて様々なプロジェクト<sup>(15)(16)</sup>が進められているが、日本では地震荷重負荷後の予寿命評価といった特有の問題<sup>(17)</sup>もあり、独自の基準を発展させて健全性を担保する必要がある。

#### (4) 材料選択と強度設計

(2)で述べた耐水素材料の開発に加えて、水素分野以外で実績があり安価な既存材料を水素環境で使いこなすことも極めて重要である。高圧ガス機器の設計には、公式による設計と解析による設計がある<sup>(18)</sup>。図3に、強度設計のフローチャート<sup>(19)</sup>を示す。公式による設計では、安全係数 $F_s(=\sigma_B/\sigma_{\text{allowable}}$ ,  $\sigma_B$ :引張強さ,  $\sigma_{\text{allowable}}$ :許容設計応力)をもとに無限寿命設計が適用される。起こりうる全ての破壊モードを想定しないかわりに、 $F_s$ を $\sim 4$ と高めに取ることで安全性が確保される。一方、解析による設計では、破壊モ

ードを想定した詳細な評価で安全性を確保することによって安全係数を $F_s=2.4\sim$ と低めに設定し、性能や経済性を向上させることができる。有限寿命が想定されているため、材料の選定や肉厚の決定に加えて、疲労解析による疲労寿命の算出や破壊前漏洩(LBB)の成立の確認、疲労き裂進展解析が必要となる。

国内で水素ステーションの建設が開始された当初は、実験データや知見の不足もあり、使用材料には「水素の影響を受けない」ことが求められ、材料選択は保守的に行わざるを得なかった<sup>(20)</sup>。その後、様々な研究プロジェクトが実施され、知見の充実とともに基準の見直しが進んでいる<sup>(21)(22)</sup>。今後は、さらなる機器の低コスト化を目指して、使用可能材料とその使用範囲を拡大する必要がある。

それでは、高圧水素機器において強度設計を成立させ、安全に使用できる材料(水素適合性を有する材料)とは、どのような材料であろうか。これまで、日本国内においても水素適合性の要件として、水素環境中での延性の確保<sup>(19)-(21)</sup>、水素環境中での引張強さの確保<sup>(23)</sup>など、種々のクライテリオンが提案されてきた。しかし、それらは必ずしも実際の強度設計と結びついておらず、過度に保守的である可能性がある。メーカーがより柔軟に材料選択を行えるようにするために、各用途での使用条件や破損形態を考慮した合理的な基準を設けることが必要である。例えば、「この材料は室温・70 MPaの水素環境中において使用可能か?」という問いに対する答えは、必ずしもYes or Noの二者択一である必要はない。使用条件や求められる寿命に応じて「〇〇の使用条件で△△回までならば安全に使用可能」といった柔軟な判断を行えることが望ましい。このような点について、今後、議論の深化が必要と思われる。

機械・構造物の破壊事故の約8割は金属疲労で起こっている<sup>(24)</sup>。また、高圧ガス機器が繰返し負荷によって破断する際の安全性は破壊前漏洩の成立に左右される<sup>(7)(19)</sup>。したがって、材料選択や強度設計をより合理化なものにするためには、引張特性だけでなく、疲労寿命特性や疲労き裂進展特性、破壊靱性など、想定される破壊モードに即した強度特性の考慮が有効である。このような状況の中、著者らは、材料が水素環境中で図4に示す4つの特性を満足すれば構造材料としての資格があることを提案している。各メーカーが、安全を確保しつつ低コスト化と性能のバランスを最適化する工夫を行い、より優れた製品を開発できるように、守るべき最低ラインとしてのState of the artの基準を発展させていくことが重要である。

#### (5) 規格・基準の合理化

各国で展開されるプロジェクトにおいて、様々な機器で使用される材料の水素脆化に関する研究が実施され、知見の蓄積が進んでいる。それらの多くは、学術論文や技術文書<sup>(23)</sup>、データベース<sup>(25)-(27)</sup>としてまとめられ、公開されている。最新の知見を現場で速やかに活用できるよう、順次規格に反映させていくことが重要である。そのスピードと内容

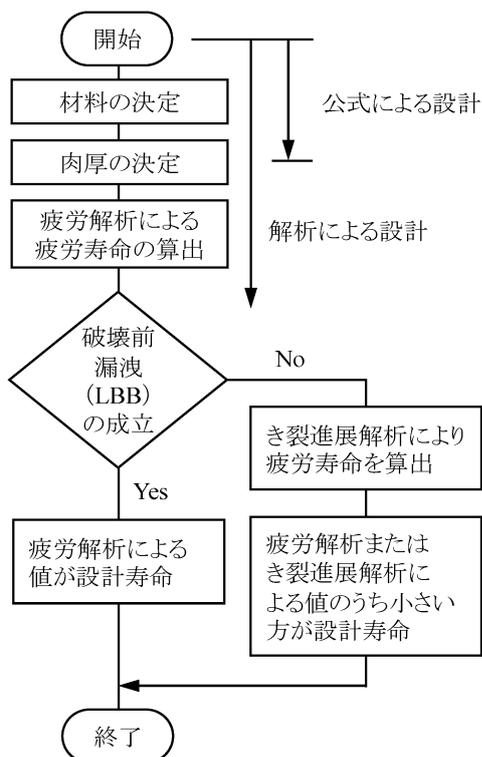


図3 強度設計のフローチャート<sup>(19)</sup>。



# 高強度マルテンサイト鋼の 転がり接触疲労におけるき裂形成

梅 澤 修\*

## 1. はじめに

自動車などの駆動部品では、小型化・薄肉化に伴う高面圧下での転がり疲労損傷の抑制が重要課題となっている<sup>(1)</sup>。すなわち、歯車や軸受のような回転する機械部品は、すべりや転がりを伴う繰返し荷重を受け、歯車ではピッチング、軸受けではフレーキングと呼ばれる転がり接触疲労(転がり疲れ)によるはく離損傷がそれらの寿命を決定する。両者は主に面圧の大小とすべり効果の有無に違いがあるが、これら転がり接触疲労では摩耗も重畳し、表面近傍に大きな圧縮応力とせん断応力が作用する。その結果、非金属介在物からの内部き裂発生、微細組織変化、表面微小き裂など、他の金属疲労現象とは異なった疲労破壊過程を示す<sup>(2)-(5)</sup>。このような駆動部品には、表面硬化して疲労強度を高めた浸炭焼入れ鋼が多用されるが、浸炭窒化、窒化や軟窒化、高周波焼入れやレーザ一焼入れといった表面硬化法も適用される。

転がり接触疲労に影響を及ぼす因子には、材料特性、表面性状、接触面形状、接触条件、潤滑油などが挙げられ、これらの因子が複雑に重畳する。トライボロジー(Tribology)として知られる研究領域であり、これまで数多くの研究が実施されてきたが、転がり接触疲労過程の理解は難しく、その損傷過程の解明には至っていない。すでに優れた書籍<sup>(6)(7)</sup>や関連する解説<sup>(8)(9)</sup>などがあり、まずはこれらを参照いただきたい。本稿では、転がり接触疲労の概要と評価法について簡潔にまとめるとともに、材料組織変化やき裂形成について紹介する。

## 2. 転がり接触疲労

転がり接触疲労(rolling sliding contact fatigue; RCF)では、接触表面が摩擦・摩耗し、摩擦熱の発生や表面性状変化

が生じる。さらに、接触部は一般に線接触もしくは点接触であり、局所的に高圧力が負荷される。実用環境下においては、転がり接触を伴う機械部品は、摩擦低減を目的として潤滑油と併せて使用されることが多く、潤滑油の物理的・化学的特性が疲労過程に影響する。

歯車の損傷は、歯元の損傷と歯面の損傷に大別される<sup>(1)</sup>。歯元の損傷は、歯底部に作用する曲げ応力や衝撃に起因し、衝撃破壊や曲げ疲労破壊が生じる。歯面の損傷は、歯面間の接触に起因し、ピッチング、スコアリング、摩耗が生じる。歯車の損傷形態は歯車間の接触によって生じる相対すべり速度と負荷応力によって変化するが、近年では、高強度鋼の開発や表面硬化処理による歯元曲げ強度の向上から、高トルク・高接触面圧で使用される傾向にあり、ピッチング損傷が歯車の寿命を左右することが多い。ピッチングとは繰返し転がりすべり接触を受ける表面の疲労損傷であり、表面に生じたき裂がきっかけとなり、クレーター状に表面がはく離する現象である。図1に示すように、その剥離形態は内部起点型と表面起点型とに大別され、それぞれの損傷過程は3つの段階に区別される。ピッチング損傷初期のステージIは表面き裂発生である。き裂伝播過程のステージIIでは、き裂成長とともにき裂分岐が生じ、その破面にはストライエーションなどの疲れ損傷が観察される。ステージIIIの急速破断面にはすべりステップやディンプルが観察される。一方、軸受等

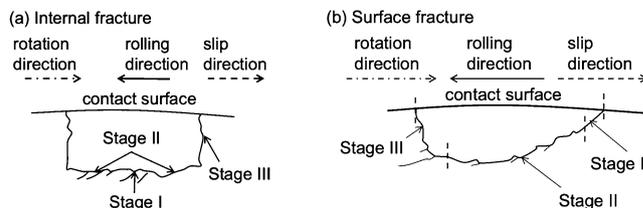


図1 剥離形態の断面模式図：(a) 内部起点型(フレーキング痕)、(b) 表面起点型(ピッチング痕)<sup>(6)</sup>。

\* 横浜国立大学大学院工学研究院；教授(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)  
Crack Generation in Rolling-sliding Contact Fatigue for High Strength Martensitic Steels; Osamu Umezawa (Faculty of Engineering, Division of Systems Research, Yokohama National University, Yokohama)  
Keywords: tribology, pitting, flaking, carburized steel, bearing steel, Hertz contact, lubrication  
2024年6月24日受理[doi:10.2320/materia.63.780]

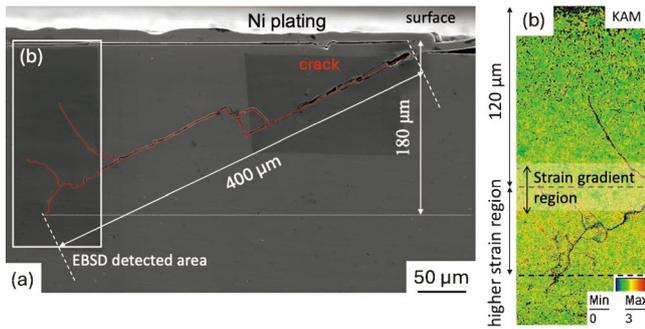


図2 SCM420浸炭焼入れ材の転がり接触疲労(すべり率-40%)後の軌道直下断面:(a)き裂,(b)き裂先端周りの結晶方位差(KAM)マップ<sup>(5)</sup>。(オンラインカラー)

のすべりの発生しない転がり部品では、フレーキング(スポーリング)と呼ばれる内部起点型損傷が発生する。ステージIとステージIIは表面にほぼ並行に表面下で発生・伝播するき裂であり、特徴的な疲れ損傷が観察される。図2にSCM420浸炭焼入れ材のローラピッチング試験におけるき裂形成の例(軌道面直下の周方向断面)を示す<sup>(5)</sup>。表面からの深さ約100~160 μmの領域ではひずみ勾配が形成され、表面直下に比べひずみ量が増大している。深さ約160 μmの領域は摺動表面下の応力分布においてせん断応力最大となる深さと推定され、き裂分岐深さに相当する深さ約120 μmの領域はひずみ勾配領域に対応し、ローラ内部ではせん断応力 $\tau_{yz}$ の応力振幅が圧縮応力 $\sigma_z$ に次いで大きく、主なき裂進展作用応力の一つであることがわかる。(b)は(a)白線内部の電子線後方散乱回折(EBSD)解析結果であり、局所の結晶方位差(KAM)を図示している。き裂分岐が生じている領域は表面近傍部に比べてKAM値が高く、ひずみの導入が示唆される。このひずみ勾配形成は、残留応力測定の結果とも対応関係を示す傾向にある。

図3は人工欠陥を導入したSUJ2焼入れ材における転がり接触疲労の例である<sup>(10)</sup>。最大せん断応力範囲(約100 μm深さ)には、強塑性変形に伴う<111>変形集合組織が形成し、水平き裂はひずみ勾配領域に存在する。フレーキングでは内部介在物起点であることが多く、臨界の介在物径と応力拡大係数範囲(モードII) $\Delta K'_{II}$ との関係

$$\Delta K'_{II} = 2\tau_0 \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

から、フレーキング寿命が推定される。ここで、 $\tau_0$ : 水平方向せん断応力振幅、 $2a$ : 介在物直径である。図4はき裂形成モデルであり、ステージIIが寿命を支配している。その一方、き裂発生は、自由表面(剥離または割れた介在物界面)における局所塑性変形によるものであり、モードIき裂であることが弾塑性FEM解析により導かれた<sup>(10)</sup>。図5に示すように、ひずみ勾配領域にある旧オーステナイト粒界近傍の結晶回転や、微小き裂先端の局所塑性変形集中では、強変形やき裂面摩擦に伴う微細粒組織が認められる。

### 3. 転がり接触疲労試験

材料を評価するための試験には、実用機械そのものを使用

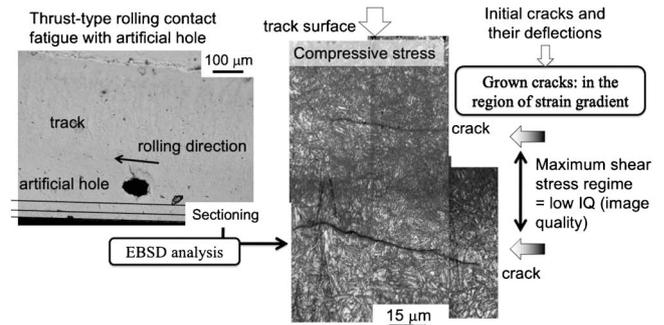


図3 人工欠陥を導入したSUJ2焼入れ材における転がり接触疲労:軌道面と人工欠陥近傍断面のイメージオリティ(IQ)像<sup>(10)</sup>。

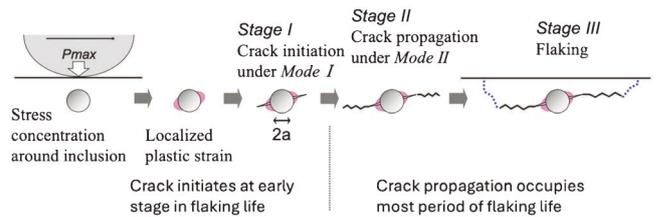


図4 フレーキングき裂形成モデル<sup>(10)</sup>。(オンラインカラー)

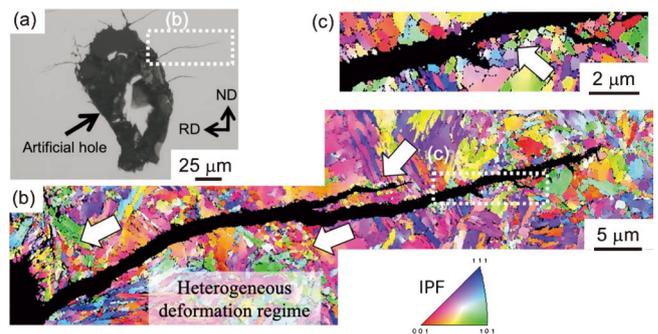


図5 転がり接触疲労により人工欠陥から形成したき裂周りのEBSD逆極点図方位マップ:(a)断面SEM像,(b)EBSD逆極点図方位マップ,(c)(b)拡大図(矢印:微細粒組織)<sup>(10)</sup>。(オンラインカラー)

する試験や、実機の一部を想定した基礎的なモデル試験まで、様々な方法がある。摩擦・摩耗特性を評価するためのモデル試験は、接触形態により点接触、線接触、面接触の3つに分類される。高面圧下での摩擦・摩耗特性を評価する場合には、高面圧条件を再現しやすい点接触試験もしくは線接触試験を選ぶことが多い。一方、面接触試験は、低面圧下で試験する場合や接触面積を一定に保ちたい場合に使用される。

歯車のような転がり接触疲労を伴う機械要素は、接触二面間ですべりを伴うことがある。その際、発生しているすべりの度合いを評価するパラメータがすべり率である。一般的に転がり接触疲労の寿命評価にはローラ試験機が用いられる。この時、回転軸が同一平面上にある低速ローラの周速 $v_s$ 、高速ローラの周速 $v_t$ とすると、低速ローラのすべり率 $\sigma_s$ は

$$\sigma_s = \frac{(v_s - v_f)}{v_s} \quad (2)$$

となる。

### (1) 二円筒式ローラピッチング試験<sup>(6)</sup>

歯車の歯面接触を評価するためのモデル試験には、線接触試験に分類される二円筒接触試験を用いることが多い。歯車のかみ合いの進行に伴って、歯元面と歯末面ではすべりを伴い転がり接触する。歯元面ではすべり方向と転がり方向は逆であるため、すべり率は負となる。歯末面ではどちらも同じとなるためすべり率は正である。ピッチ点ではすべりは発生せず、純転がり接触となる。二円筒に速度差をつけ回転させると、低速ローラにおいてはすべり率が負となり歯元面の接触状態を再現でき、高速ローラにおいてはすべり率が正となり、歯末面の接触状態を再現できる。さらに、二円筒の回転速度を等しくすれば純転がり接触となり、ピッチ点での接触状態を再現可能である。このように、歯面接触は二円筒の接触に置き換えることが可能である。ピッチング損傷は歯車のピッチ点から歯元側に寄った歯面、すなわち、すべり率が負の領域で発生する。

二円筒式ローラピッチング試験機では、試験片を小ローラ、相手材を大ローラとして、荷重負荷環境下で二つのローラを転がりすべり接触させる(図6)。ローラには焼入焼戻処理を施し、仕上げ研磨する。試験条件であるが、例えば、小ローラ回転速度 1500 rpm、大ローラ回転速度 420 rpm の場合、すべり率は -40% である。これに最大ヘルツ面圧を設定する。試験中、接触部に潤滑油(例えば、90°C、油量 2 L/min、吐出し側)から連続供給する。振動センサによりピッチング損傷を検知して試験を中断し、その転がり数を疲労寿命とする。

### (2) 三円筒型マイクロピッチング試験

三円筒型マイクロピッチング試験機は、等間隔に配置された3つの大ローラと中心に配置されたピン(センターローラ)が3点で転がり接触することにより、短時間でマイクロ・マクロピッチングを発生させる。接触幅(標準は 1 mm 幅)や、大ローラと中心ピンの中心間距離が同じであれば

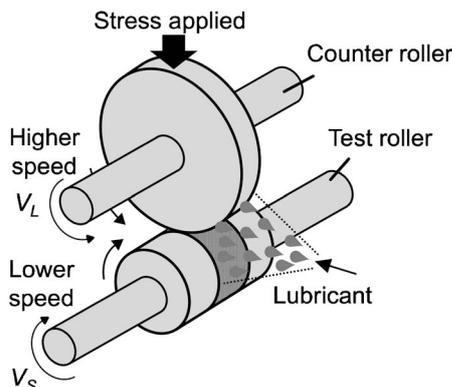


図6 二円筒式ローラピッチング機の概略図。

試験片の直径を変更することも可能である。また、試験片間のインピーダンスと位相変化、抵抗などの変化を検出できる。圧電式加速度計にピッチング発生時の振動が検出された際、試験は自動停止する。0~±200%のすべり率を再現可能で、試験を中断してセンターローラを取り外し、接触面を観察し、その後試験を再開することができる。

## 4. 二固体表面の接触と潤滑

### (1) ヘルツ接触下の応力

歯車や軸受、車輪、レールなどの機械要素の接触部は、負荷を受けると弾性変形して接触領域を形成する。曲面を持つ部材の接触では、接触面は極めて小さく、そこでは高い圧力を生じる。接触領域が固体の表面積に比べて十分に小さいときの接触を特にヘルツ接触と呼び、このときの接触面積や弾性変形量などの接触状態・応力分布はヘルツの弾性接触理論により解析される。このとき、(1)接触する前の表面は摩擦の無い滑らかな二次曲面であること、(2)接触二固体は等質等方性弾性体であること、(3)荷重は接触領域に垂直に作用することが前提条件となっている。接触面は楕円(長半径  $a$  および短半径  $b$ )となる。ヘルツの弾性接触理論と応力分布については、書籍<sup>(6)</sup>等を参照いただきたい。

ヘルツ接触下では、内部に種々の垂直応力  $\sigma$  およびせん断応力  $\tau$  が生じる。半無限連続体を仮定し、線接触下における接触表面 ( $z=0$ ) および表面下 ( $z=0.5b$ ) の応力分布を摩擦係数  $\mu=0$  (図7) と摩擦係数  $\mu=0.2$  (図8) の場合について示す<sup>(11)</sup>。それぞれ、弾性接触幅  $b$  で規格化したヘルツ荷重中心からの距離に対する応力変化を示している。接触表面において垂直応力  $\sigma_y$  と  $\sigma_z$  は完全に一致し、ヘルツ荷重域 ( $-b < y < b$ ) でのみ圧縮応力(負)となり、それ以外の領域 ( $y \leq -b$ ,  $b \leq y$ ) では 0 となる。また、せん断応力  $\tau_{yz}$  は全域で 0 である。一方、表面下では垂直応力は緩やかに減少するが、 $\tau_{yz}$  は大きくなり、 $z=0.5b$  でその振幅は最大となる。そのため、純転がり条件下で使用される軸受では、この深さ領域で疲労損傷が発生しやすい<sup>(12)</sup>。接触応力に比例する接線力(摩擦係数  $\mu=0.2$ )を受けた場合には、表面における  $\sigma_y$  は圧縮側で  $\mu=0$  の場合より大きくなり、また、引張応力(正)を生じる領域もある。すなわち、 $\sigma_y$  の分布は  $y=0$  に対し対称と

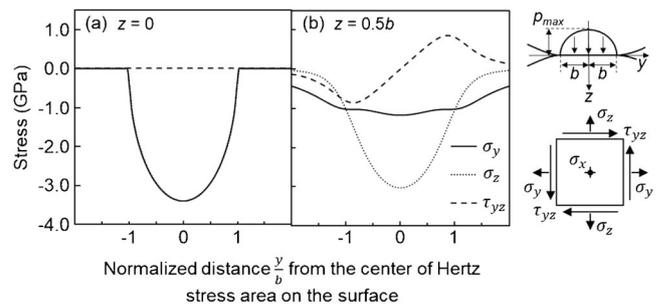


図7 応力分布解析(摩擦係数  $\mu=0$ 、最大ヘルツ荷重  $h_{\max}=3.4$  GPa) : (a) 接触表面 ( $z=0$ )、(b) 表面下 ( $z=0.78b$ )<sup>(11)</sup>。

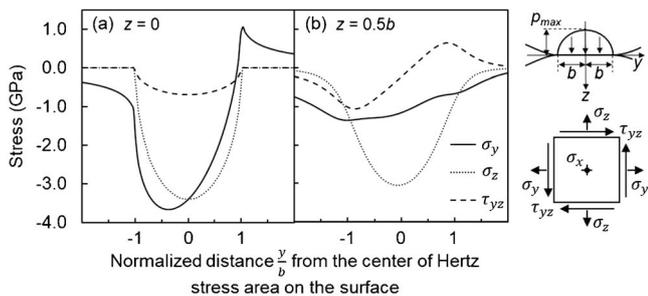


図8 応力分布解析(摩擦係数  $\mu=0.2$ , 最大ヘルツ荷重  $p_{\max}=3.4$  GPa): (a) 接触表面 ( $z=0$ ), (b) 表面下 ( $z=0.78b$ )<sup>(11)</sup>.

はならず、両振りの挙動となる。一方、内部では摩擦の影響は比較的小さく、 $\tau_{yz}$ の振幅は $\mu=0$ の場合と同じである。

以上のように、転がり接触表面下には種々の応力が生じており、この時の主応力および主せん断応力は、モールの応力円を用いて整理できる(図9)。すなわち、主応力 $\sigma_1, \sigma_2$ は、

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) + \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}^2} \quad (3)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) - \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}^2} \quad (4)$$

であり、主せん断応力 $\tau_1, \tau_2$ は、

$$\tau_1 = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_y - \sigma_z)^2 + 4\tau_{yz}^2} \quad (5)$$

$$\tau_2 = -\frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_y - \sigma_z)^2 + 4\tau_{yz}^2} \quad (6)$$

である。ただし、 $\sigma_1 > \sigma_2, \tau_1 > \tau_2$ とした。このとき、座標軸を反時計方向に式(7)を満たす角度 $\theta$ だけ回転した方向を法線とする面が、最大主応力の主面となる。

$$\tan 2\theta = \frac{2\tau_{yz}}{\sigma_y - \sigma_z} \quad (7)$$

ヘルツ接触表面下における主応力面は、ヘルツ荷重中心である $y=0$ で軸対称、かつ $\tau_{yz}=0$ であり(図10(a))、主応力面は傾かない。それ以外の領域では、 $\tau_{yz} \neq 0$ であり、その振幅は表面よりも内部で大きくなるため、表面深さ増加に伴い主応力面の傾きも増加する。一方、摩擦を伴うヘルツ接触下の主応力面は、対称な分布とはならない(図10(b))。主応力面は表面直下で大きく傾き、この主応力面に沿って、塑性流動や表面き裂が形成する<sup>(6)</sup>。

## (2) 潤滑剤を介した二表面の潤滑

潤滑剤を介して二表面が接触するとき、潤滑状態は二表面間の摩擦形態を基に流体潤滑と境界潤滑に大別される。流体潤滑状態では、二表面間に十分な厚さの潤滑膜が存在し、表面同士は接触しない。流体潤滑状態における摩擦係数は比較的低く、潤滑状態は流体力学によって体系的に理解される。一方、境界潤滑状態では、二表面間の潤滑膜は比較的薄く、部分的に表面間の接触が生じて摩擦係数は増大する。

二表面間の潤滑状態を潤滑油粘度、すべり速度、荷重および摩擦係数を用いてそれらの関係性を示すストライベック曲

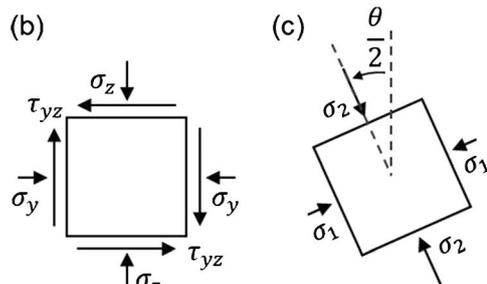
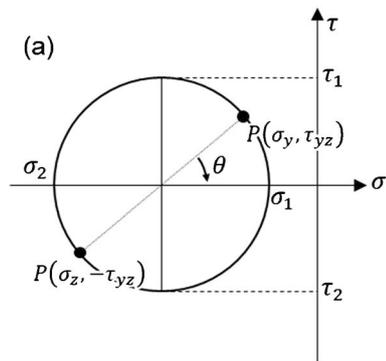


図9 (a) モール円, (b) 垂直な主応力面に作用する主応力と主せん断応力, (c)  $\theta/2$ 傾いた主応力面に作用する主応力。

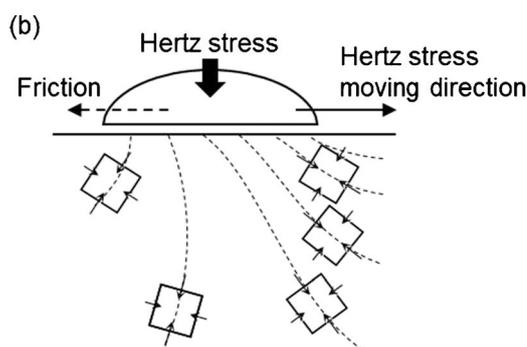
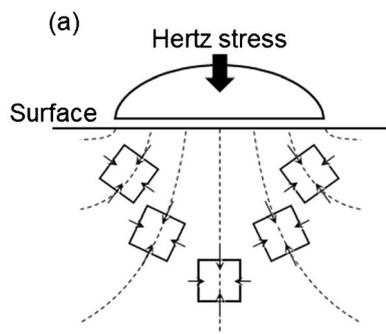


図10 主応力面の傾き: (a) ヘルツ接触, (b) 摩擦を伴う( $\mu=0.2$ )ヘルツ接触<sup>(6)</sup>。

線は、潤滑油粘度、すべり速度、荷重から算出されるハーゼイ数(軸受特性数)と摩擦係数 $\mu$ との関係を示す。ハーゼイ数の大きな領域では二表面は接触せず、潤滑状態は流体力学で整理され、ストライベック曲線上で線形の関係を示す。一方、ハーゼイ数の小さな領域では、表面接触が生じて境界潤滑状態となり、摩擦係数は増加する。また、流体潤滑と境界

潤滑の両方が生じている潤滑状態を特に混合潤滑状態と呼び、2つの潤滑状態の遷移状態として理解される。

## 5. 転がり接触疲労による損傷

### (1) 負荷条件の影響

歯車や軸受などの回転部品では、その使用目的によって接触圧力や回転速度、すべりといった負荷条件が異なる。歯車では、速度伝達比や伝達荷重によって回転速度や荷重が変化し、軸受では、回転速度の上昇に伴って転動体の受ける遠心力が増大するため、外輪と転動体の接触圧力も大きくなる。また、歯車の歯面は、ピッチ点で純転がり接触し、それ以外ですべり接触する。これら負荷条件の疲労寿命に及ぼす影響について多くの研究報告が為されている。

接触面圧が増大するほどき裂発生が生じやすくなり、疲労寿命は減少する。すべりの度合いとすべりの方向が歯車の損傷に影響する<sup>(13)</sup>ため、すべり率を用いて、転がり疲労損傷におけるすべりの影響を評価する。純転がり接触(すべり率0%)の状態からすべりのある状態になるとピッチング寿命が低下する<sup>(6)(11)</sup>。また、すべりがある場合には回転速度やすべりが大きいほどき裂進展速度も増加し<sup>(14)</sup>、回転速度が大きいほどピッチング損傷は小さく、浅くなる<sup>(13)</sup>。すべり率が負に増大するほど表面に負荷される摩擦力(接線力)は増加し、破壊起点は表面となり、主な損傷形態はピッチング損傷となる。そして、ピッチング損傷が増大し<sup>(15)</sup>、形成する表面き裂と接触表面のなす角度が増加する<sup>(6)</sup>。

### (2) 内部状態変化

転がり接触疲労では材料の弾性限を超える大きな荷重が負荷されるため、負荷領域は塑性変形し、残留応力が生じ、材料内部は新たな応力状態を形成する。内部応力状態が変化したことで、それ以降の負荷による変形が生じない状態をシェイクダウン状態と呼び、シェイクダウン状態に達するための最大荷重をシェイクダウン限界と呼ぶ。点接触下の荷重とシェイクダウン状態の関係を図11(a)に示す<sup>(16)</sup>。せん断降伏強度 $k$ と最大ヘルツ面圧 $p_{max}$ の比を摩擦係数 $\mu$ との関係で示しており、(b)弾性領域、(c)弾性シェイクダウン領域、(d)塑性シェイクダウン領域、(e)ラチェッティング領域に分けられ、垂直荷重と表面摩擦力によって、定常状態として到達する内部状態が異なる。それぞれの領域における変形応答を図11(b)-(e)に示す<sup>(17)</sup>。負荷が弾性限を超えると、最初の負荷時に材料は塑性変形して、残留応力を生じ、その後は、弾性応答を示す(c)。さらに、繰返し負荷が弾性シェイクダウン限界を超える場合には、応力-ひずみ応答は安定したヒステリシスループを描き、塑性ひずみは蓄積しない(d)。塑性シェイクダウン限界を超える大負荷を与えた場合は、繰返し負荷に伴い連続的に塑性変形し、破断に至る(e)。表面摩擦力が増大すると、これら領域の境界は低下し、より低い垂直荷重下でも弾性・塑性シェイクダウン状態に達する。また、摩擦係数が小さい( $\mu \leq 0.3$ )場合には、表面下で変形が生じるが、摩擦係数が $\mu > 0.3$ の場合には、降伏点は表面に移動

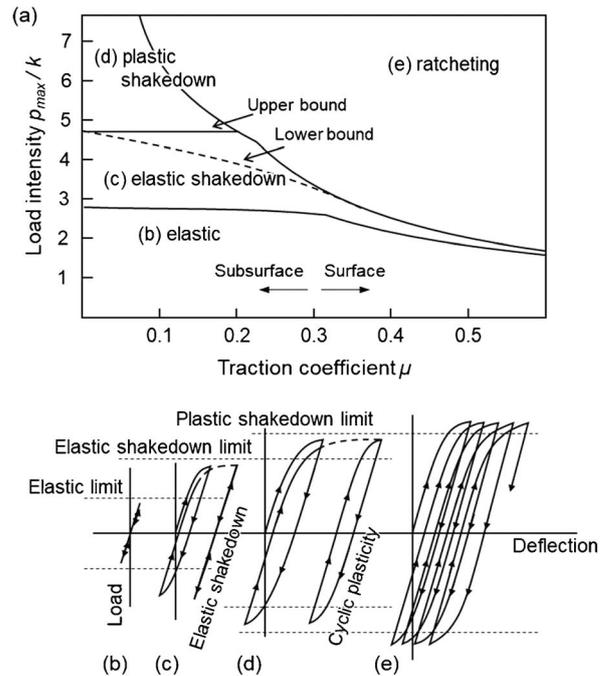


図11 ヘルツ接触におけるシェイクダウン状態領域図(a)と各領域での繰返し応答:(b)弾性、(c)弾性シェイクダウン、(d)塑性シェイクダウン、(e)ラチェッティング<sup>(11)</sup>。

する。荷重が材料の弾性限を超えているとき、負荷領域は最初にシェイクダウン状態に達する。そして、次の負荷時には、周辺の領域が変形する。そのため、材料表面もしくは表面下が一様にシェイクダウン状態に達するには、 $10^3$ 回~ $10^6$ 回程程度の繰返し回数を要する<sup>(18)</sup>。したがって、繰返し負荷に伴い徐々に材料表面および内部の状態は変化し、ある一定の繰返し負荷後に安定なシェイクダウン状態に到達すると推測される。

### (3) 表面下組織

疲労破壊過程は、き裂発生段階とき裂伝播段階とに大別され、高強度材料の一軸疲労ではき裂発生段階が寿命の大部分を占める。しかし、軸受鋼の転がり接触疲労においては、き裂発生が比較的早期に起こり、き裂成長が疲労寿命の大半を占める<sup>(19)</sup>。したがって、き裂成長を抑制するべく様々な方法で圧縮残留応力を付与し、疲労寿命を向上させる<sup>(20)-(23)</sup>。しかし、転がり接触表面直下ではマルテンサイト組織の回復・再結晶が生じて結晶粒は微細化し<sup>(24)</sup>、残留オーステナイトは加工誘起マルテンサイト変態する<sup>(21)(22)</sup>。鉄道レールのように低面圧下で長期にわたって繰返し負荷を受ける場合には、転がり接触表面直下の組織は微細化し、 $\langle 111 \rangle$ 集合組織を呈する<sup>(25)(26)</sup>。この組織変態は転がり接触疲労損傷の前駆段階として知られており、表面を研磨して除去することで損傷を抑制できる。また、歯車のような高面圧かつすべりがある場合の転がり接触では、接触表面直下に塑性流動が形成し、ピッチングき裂は塑性流動に沿って発生・成長する<sup>(6)</sup>。

#### (4) 内部組織変化

表面直下だけでなく、せん断応力が最大となる内部においても、損傷が蓄積し、疲労破壊に影響する<sup>(8)</sup>。せん断応力が最大となる表面深さの領域では表面直下に比べひずみ量が増大し、ひずみ勾配が形成され、き裂の分岐が生じる<sup>(5)</sup>。また、転がり接触表面下の非金属介在物は、応力集中源として働き、き裂発生を早め、疲労破壊を加速することから、高纯净度鋼が要求される<sup>(27)</sup>。

転がり接触疲労過程において、局所的塑性ひずみ蓄積による結晶粒の超微細化に起因した白色型組織変化が生じ、ホワイトバンド(WB)やバタフライ、ホワイトエッチングエリア(WEA)と呼ばれる組織が形成する。白色型組織変化を伴う疲労破壊では、疲労寿命が通常の20%以下に減少する<sup>(28)</sup>ため、その抑制が求められている。WEAはマルテンサイト組織の一部が超微細フェライト粒を形成して生じる<sup>(29)</sup>。転位が再配列する過程で固溶炭素はセメントイトとして析出し、WEA周辺にはセメントイトが形成される<sup>(30)</sup>。WEAはき裂周りに生じやすく、WEAを伴うき裂はホワイトエッチングクラック(WEC)と呼ばれる。WEAやWECの生成要因やこれらの現象の関係性は特定されていない。局所的な加工誘起変態や摩擦に伴う組織変態<sup>(29)</sup>、水素浸入<sup>(31)</sup>がWEA生成要因として提示されている。水素は潤滑油中の炭化水素由来し、転がり接触疲労過程で摩耗部やき裂先端などの新生面から鋼内部へ浸入すると考えられる。

#### (5) 圧縮残留応力

疲労試験前の試料表面および内部には、浸炭焼入れ処理により圧縮残留応力が付与されており、転がり数の増加に伴ってその残留応力値が小さくなり、潤滑油の粘度や添加剤等の違いにより接線力が高い順で進行する傾向にある<sup>(32)(33)</sup>。この変化は、繰返し負荷に伴う表面下組織の回復・再結晶に起因すると考えられる。一方、内部の残留応力状態は、表面と比べてその変化が小さい。したがって、表面と内部の残留応力値の差は、転がり数増加に伴って減少する傾向を示す。これより、圧縮残留応力の変化は表面で顕著であり、表面の圧縮残留応力解放がき裂成長挙動や疲労寿命に影響していると考えられる。

転がり接触表面に働く応力は、転がり方向の残留応力解放に伴い変化する<sup>(33)</sup>。試験前および試験開始直後において、転がり接触表面に圧縮残留応力が付与され、垂直応力 $\sigma_y$ が全ヘルツ荷重域で負値であるとき、転がり接触疲労初期のき裂発生・成長は、せん断応力 $\tau_{yz}$ に起因するモードIIが支配的であると考えられる。その後、残留応力値が上昇する転がり接触疲労後期では、ヘルツ荷重域の端部において $\sigma_y=0$ に応力値が増加する。この時、表面に形成していたき裂は、転がり方向に開口し易くなる。さらに、開口したき裂には、後述のように、潤滑油が流入してき裂成長が加速すると考えられる。すなわち、転がり接触疲労初期では、モードIIき裂の発生と成長とが生じるが、転がり接触疲労後期では、モードIとモードIIの混合によるき裂形成が提示されている。

## 6. 潤滑油の作用

### (1) トライボフィルム

接触している金属表面で起こる反応には腐食や酸化のほか、摩擦によるトライボ化学反応がある。これは摩擦を駆動力とし、接触表面で化学反応を起こすことで、ナノメートルスケールの潤滑被膜であるトライボフィルムを形成する。使用した潤滑油や添加剤によってトライボフィルムの特性<sup>(34)(35)</sup>や分布<sup>(32)(33)</sup>は異なるものの、アモルファス構造を有し、Fe, Zn, Caなどの金属元素とリン酸との化合物や酸化鉄が主な構成物である<sup>(34)(36)</sup>。トライボフィルム中の元素分布は不均一であり、長鎖状と短鎖状のリン酸化合物による層状構造<sup>(37)</sup>や、材料表面近傍のS偏析<sup>(24)(34)</sup>が報告されている。

転がり接触過程で金属表面に形成したトライボフィルムは表面損傷や疲労寿命に影響する<sup>(6)(34)-(36)(38)-(41)</sup>。トライボフィルムが形成した転がり数は $1.0 \times 10^4$ 回から $1.0 \times 10^5$ 回の間であり、接線力挙動が変化した段階と一致する<sup>(32)(33)(42)</sup>。つまり、トライボフィルムの形成は、試料表面の摩耗や表面直下の金属組織変化に起因した接線力の変化と密接な関係にあると考えられる。トライボフィルム分布は、低寿命の試料で不均一<sup>(36)</sup>、長寿命の試料で一様<sup>(33)</sup>な傾向にあり、接線力や疲労寿命に及ぼすトライボフィルム分布の影響は大きいと考えられる。トライボフィルム形成は、摩擦熱や潤滑油中の化学成分起因<sup>(43)-(45)</sup>や、表面下の結晶粒径の影響<sup>(46)-(48)</sup>などの報告があるが、未解明である。

### (2) き裂内部への潤滑油流入

表面き裂内部での油圧発生機構が提案され<sup>(49)</sup>、実験やシミュレーションに基づき議論されている<sup>(33)(50)-(52)</sup>。すべり率が負の領域では、ヘルツ荷重の近寄り側において引張応力場、遠退き側において圧縮応力場が生じる(図8)。そのため、接触表面に形成したき裂は、ヘルツ荷重が近づくにつれて引張応力により開口し、接触領域を通り過ぎる過程で圧縮応力により閉口する。このとき、開口したき裂に潤滑油が流入し(図12(a))、き裂面に開口応力が働く(くさび効果、図12(b))。さらに、き裂の閉口に伴い潤滑油がき裂内部に閉じ込められて、き裂内に大きな油圧を生じる(閉込め効果、図12(c))。

ピッチングき裂周辺のSTEM-EDS分析例を図13に示す<sup>(33)</sup>。き裂面に形成した化合物はアモルファスであり、主

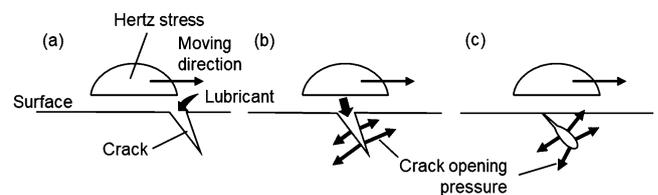


図12 負のすべり率での転がり接触疲労における (a) き裂内部への潤滑油流入、(b) くさび効果、(c) 閉込め効果<sup>(49)</sup>。

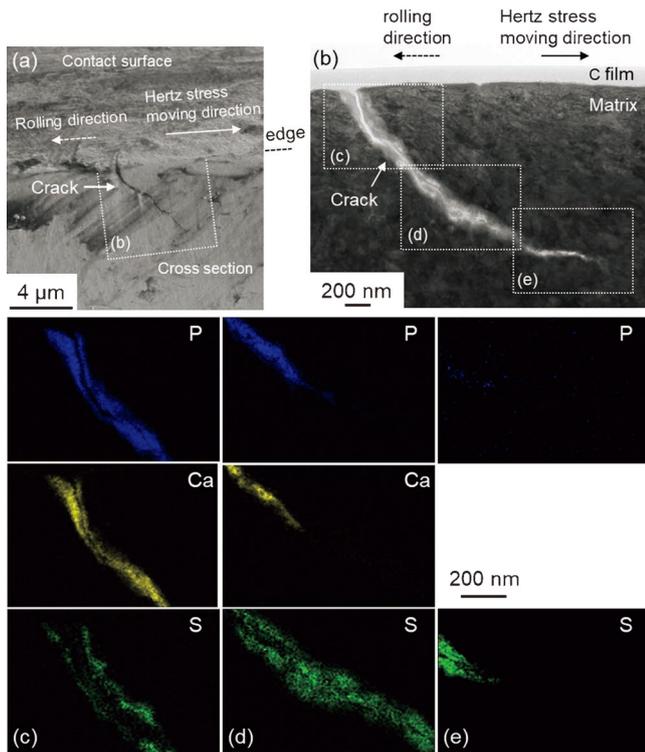


図13 SCM420浸炭焼入れ材に転がり接触疲労(8.2×10<sup>5</sup>回)で形成した表面き裂断面のSTEM-EDS分析：(a)接触表面下断面解析位置，(b)STEM像，(c)-(e)P, Ca, S元素マップ図<sup>(33)</sup>。(オンラインカラー)

な構成元素はトライボフィルムと同様にPやCa, Sである。これらの元素分布は非一様であり，Sはき裂先端および母材と化合物の境界部に偏析し，PとCaは，き裂面に沿って分布する<sup>(24)(53)</sup>。PとCaの分布はほぼ一致しており，これらはき裂面間の摩擦を駆動力に化合物を形成する<sup>(24)(53)</sup>。SはFe新生面との反応性が高く，き裂先端においてFeSを形成する<sup>(24)(44)(53)</sup>。き裂内部に流入した潤滑油は，くさび効果によってモードIのき裂成長を促進し，き裂面に生じたPやCaの化合物はき裂面間の摩擦係数を低下して，モードIIのき裂成長を促進する<sup>(52)</sup>。一方，この表面き裂は数μm程度の大きさであり，接触楕円と比べ小さい。このような場合，ヘルツ荷重の通過に伴いき裂は先端から閉口する<sup>(24)</sup>ため，き裂内部に侵入した潤滑油は吐き出され，潤滑油の閉じ込めによるき裂成長は生じないと考えられる<sup>(50)</sup>。

## 7. 転がり接触表面に形成したき裂の成長

前述の検討を踏まえ，転がり接触疲労の初期と後期に大別してピッチングき裂の発生および成長過程について整理してみる(図14)。転がり接触疲労初期のピッチングき裂は，転がり接触表面との為す角度が比較的小さく(20~30°)，多くの場合，それらは表面直下の塑性流動に沿って形成する<sup>(19)(50)(54)-(56)</sup>。また，仮想き裂進展解析によると，摩擦係数 $\mu=0.05$ の条件下でせん断応力に起因して形成するピッチングき裂は，転がり接触表面と20~30°程度の角度を為して

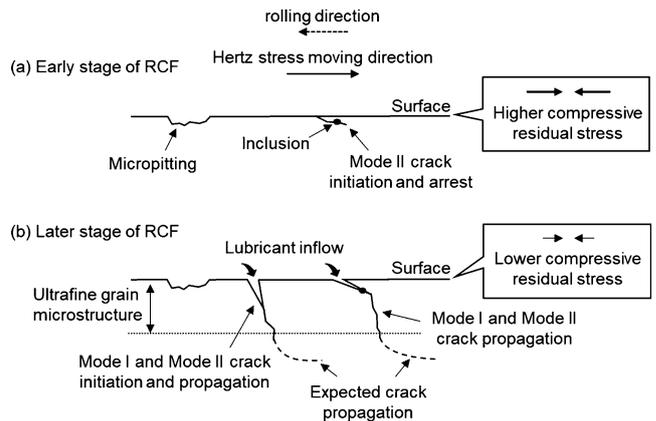


図14 転がり接触表面のき裂成長モデル<sup>(33)</sup>。

形成する<sup>(57)(58)</sup>。さらに，転がり接触表面近傍には圧縮応力が付与されているため，せん断応力に起因して発生したモードIIき裂は開口せず，き裂面間の摩擦によって成長が妨げられる<sup>(57)</sup>。これらの報告に基づけば，転がり接触疲労過程で形成したモードIIき裂は転がり接触表面と比較的低角度をなし，閉口して停滞する。すなわち，き裂は表面下で発生し，塑性流動に沿って成長した後，停滞，もしくは微小はく離してピットを形成する。

一方，転がり接触疲労後期では，圧縮残留応力の解放が進み，転がり接触表面下の内部応力は等方に近づく。転がり接触表面に形成するき裂角度は，主応力面によって決定されるとの仮説が提案されており<sup>(16)</sup>，実際に形成したき裂角度と算出された主応力面の角度は精度よく一致する<sup>(5)</sup>。すなわち，転がり接触疲労の進行に伴って主応力面の為す角度が増加し，形成するき裂角度は低角度から高角度に変化する。さらに，圧縮残留応力下で停滞していたモードIIき裂は，圧縮応力の解放に伴ってき裂面間に働く摩擦力が低下し，き裂成長しやすくなると考えられる。この時，き裂は転がり接触表面と比較的高い角度をなす。同時に，き裂内部に潤滑油が侵入しやすくなるため，上述のように油圧作用によるモードIおよびモードIIき裂の成長が促進され，モードIとモードIIの混合モードが支配的となる<sup>(33)</sup>。

## 8. おわりに

転がり接触疲労の概要と評価法，材料組織変化やき裂形成について，研究室学生とともに取り組んだ検討内容を整理した。長年にわたり，産業界や機械およびトライボロジー分野の技術者・研究者らが中心となって転がり接触疲労の課題に取り組まれている中，2007年NEDOプログラム「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」や2012年から継続している産学公連携プログラム「表面硬化部材の疲労損傷研究部会」を通じて，関係各位から軸受鋼や浸炭焼入れ鋼の転がり接触疲労と表面硬化処理を学ぶ機会をいただいた。その後，2022年に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「極限環境対応構造材料研究拠点」における耐疲労表面硬化材料課題，さらには日本熱処理技術協



# 原子力発電プラントにおける ステンレス鋼溶接部の応力腐食割れ

阿部 博志\*

## 1. はじめに

脱炭素社会の実現やエネルギー安全保障の確立に向けて、日本ではGX(グリーントランスフォーメーション)脱炭素電源法が2023年に成立し、今後のエネルギー政策の方向性が示されている。原子力発電に関しては、「安全性を最優先に最大限活用する」方針の下、既設原子炉については再稼働の加速と実質的な運転期間の延長、また次世代原子炉の開発・建設を進めること等が盛り込まれている。原子力発電プラントを長期に亘って安定して稼働するためには、プラント構成材料の健全性担保、すなわち劣化メカニズムの解明に基づいた具体的な対策が必須である。軽水炉における注視すべき経年劣化事象としては、金属材料については疲労、熱時効、配管減肉、中性子照射脆化等があり、それに加えてSCC(Stress Corrosion Cracking, 応力腐食割れ)が挙げられる。

国内外の原子力発電プラントにおけるオーステナイト系ステンレス鋼のSCC事例を振り返れば、1970年代にBWR(Boiling Water Reactor, 沸騰水型軽水炉)のType304鋼製PLR(Primary Loop Recirculation, 再循環系)配管溶接HAZ(Heat Affected Zone, 熱影響部)部において、溶接熱影響による鋭敏化(Cr欠乏層の形成)を原因とするSCCを経験し、多くのプラントが点検・補修のため長期停止を余儀なくされた<sup>(1)</sup>。その後、鋭敏化感受性がない低炭素ステンレス鋼(Type316L, Type316NG等)が開発され、恒久対策として実機に採用された。しかしながら1990年代から、低炭素ステンレス鋼製構造物にも鋭敏化に起因しないSCCが顕在化した<sup>(2)(3)</sup>。当該部位を調査した結果、製造時の機械加工やグラインダ研削による表面硬化層や、溶接部においては繰り

返し熱ひずみによる硬化ならびに残留応力がSCC発生に寄与していると考えられている。一方でPWR(Pressurized Water Reactor, 加圧水型軽水炉)においては、Ni基合金においてSCCを経験してきているが、ステンレス鋼はSCC感受性を示さないと考えられてきた。しかしながら、近年ではステンレス鋼溶接部においてもSCC事例が報告されてきている。国内外の事例調査と実験室での研究結果から、PWR一次冷却水環境で報告されたステンレス鋼SCC事例に共通して、表面もしくはHAZ部における高硬度ならびに表面機械加工もしくは溶接に起因した高残留ひずみが指摘されている<sup>(4)</sup>。

SCCき裂が検査にて発見された部位に対しては、2003年10月の原子炉等規制法の改正により「(一社)日本機械学会発電用原子力設備規格維持規格(2002年改定)JSME SNA1-2002(以下、維持規格)」を使用した健全性評価が可能になった<sup>(5)</sup>。具体的には、供用期間中検査基準に基づき実施する非破壊検査でき裂が発見されると、詳細な調査を行い、き裂がSCCであると判明すれば、維持規格に基づく構造健全性評価を実施する<sup>(6)</sup>。この評価の主な拠り所となるのがSCCき裂進展速度線図である。これは横軸にき裂先端付近の応力分布の強さを示す物理量である応力拡大係数、縦軸にき裂進展試験により取得したき裂進展速度をとったものであり、鋭敏化SUS304と低炭素ステンレス鋼の評価線図は実測データを包絡すべく作成されている。実機における硬化を模擬したステンレス鋼冷間加工材を用いた高温水中き裂進展試験結果から、冷間加工によってき裂進展速度が増大する事が報告されている<sup>(7)-(9)</sup>。さらなるデータの拡充とそれらの信頼性が求められていると共に、例えば現時点で整備されていない、PWR1次冷却水環境中におけるステンレス鋼SCCに対するき裂進展速度線図の策定を目指す動きがある。

\* 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻; 准教授(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2) Stress Corrosion Cracking of Stainless Steel Weldments in Nuclear Power Plants; Hiroshi Abe(Department of Quantum Science and Energy Engineering Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai.)  
Keywords: SCC(stress corrosion cracking), austenitic stainless steels, welds, delta-ferrite, thermal aging  
2024年8月19日受理[doi:10.2320/materia.63.788]

以上述べてきたとおり、原子力発電プラントにおける低炭素ステンレス鋼の SCC には、力学因子の観点からは溶接残留応力、材料因子の観点からは顕著な硬化やひずみが支配的な役割を果たしていると考えられ、現在も引き続き研究が進められているが、SCC メカニズム解明には至っていない。健全性評価上問題にならないと判断された微小な SCC き裂については、その存在を許容して稼働することが可能であるものの、実際には一旦 SCC が顕在化するとその後の評価や原因調査が不可欠であり、プラントの設備利用率に直結する問題となっている。

BWR 環境における非鋭敏化ステンレス鋼の SCC に及ぼす冷間加工の影響については、本会報の特集記事<sup>(10)</sup>で解説されている。本稿では、BWR 環境におけるオーステナイト系ステンレス鋼溶接部における SCC に対象を絞り、著者らの研究<sup>(11)–(13)</sup>を中心に溶融境界近傍組織の特徴と SCC 進展への影響、ならびに溶接金属の熱時効硬化に及ぼす凝固モードの影響、さらには SCC 進展への影響について述べる。

## 2. 低炭素ステンレス鋼溶融境界近傍の SCC き裂進展挙動

PLR 配管溶接部の SCC を念頭に置いて、鋭敏化ステンレス鋼/低炭素ステンレス鋼溶接部の SCC 進展イメージを図 1 に示す。鋭敏化ステンレス鋼ではき裂は HAZ に沿って進展する傾向があるのに対し、低炭素ステンレス鋼ではき裂は溶融境界から数 mm 離れた位置から発生し、溶接金属に向かって進展している。有限要素解析で求めた 600 A 配管溶接継手近傍の溶接残留応力分布<sup>(2)</sup>を考慮すれば、き裂は最大主応力にはほぼ垂直に進展している。よって、低炭素ステンレス鋼溶接部のように HAZ に Cr 欠乏層が形成されない場合は、残留応力に従い溶接金属に向けて進展するものと考えられる。また、発見されたき裂の大部分はその先端が溶融境界近傍に位置していた。PLR 配管溶接部において発見されたき裂の先端位置について、溶融境界を基準として整理すると、き裂先端の多くは溶融境界から ±500 μm の範囲に位置していたこと<sup>(14)</sup>から、溶融境界近傍におけるき裂の停留あ

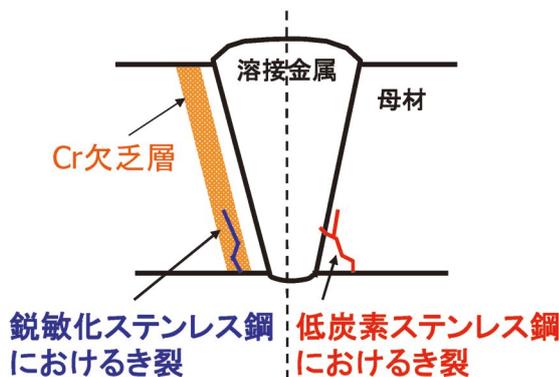


図 1 鋭敏化ステンレス鋼/低炭素ステンレス鋼溶接部の SCC 進展イメージ。(オンラインカラー)

るいは進展遅延が考えられる。しかし、これは比較的マクロな観察事実に基づくものであり、一部では  $\delta$  フェライト相 (以下、 $\delta$  相) の母材への希釈が影響している可能性がある、との指摘もある<sup>(15)</sup>。また、き裂が溶融境界を越えて溶接金属にき裂が進展しにくいことは実験室でも再現されている<sup>(16)</sup>が、き裂進展と溶融境界近傍の微視組織との関わりについては明らかにされていなかった。

オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属は数～十数%程の  $\delta$  相を含んだ二相組織になっており、一般的には SCC 感受性が低いと言われている<sup>(17)</sup>が、実機シュラウド及び PLR 配管で溶着金属中へとき裂が進展した溶接部では、母材との希釈の影響により、溶融境界近傍のフェライト分率が 5%以下に低減していることが報告されている<sup>(3)</sup>。ここで、溶融境界近傍の微視組織について考察する。一般的な溶接部において、溶融境界を挟んだ溶着金属側には、母材は溶融するが溶加材による溶着金属成分とは混じり合わず、母材の成分のまま凝固する、いわゆる unmixed zone が存在し、一方で母材側には、結晶粒が粗大化し粒界で局部溶融した partially melted zone が存在するため、溶融境界はかならずしも明瞭ではない場合が多い<sup>(18)</sup>。その模式図を図 2 に示す。特に異種材溶接部では、ごく限られた範囲で急激に組成が遷移することになるので、主に機械的特性の観点から注意が必要になる<sup>(19)–(22)</sup>。

オーステナイト系ステンレス鋼溶接部では母材と溶加材が同種材であることから、溶融境界近傍での合金元素の大きな偏りはないと考えられるが、フェライト量や形態などの組織的な特徴が異なる可能性があり、場合によっては SCC 感受性が局所的に増大することが報告されている<sup>(23)</sup>。よって、溶融境界近傍におけるき裂の停留あるいは進展遅延のメカニズムを解明するためには、unmixed zone あるいは partially melted zone における組織的な特徴を明らかにし、それがき裂進展に与える影響を検討する必要がある。

著者らの研究<sup>(11)</sup>では、SUS316NG 製 400A 配管溶接部を供試材として、溶融境界近傍における高温水中 SCC 進展挙動を調査し、き裂の先端位置と経路長さを微視組織毎に統計処理することによってき裂進展遅延効果を評価し、 $\delta$  相のき裂進展遅延への寄与を明らかにした。DeLong 組織図<sup>(24)</sup>を用いて、SUS316L 溶化材と SUS316NG 母材の Cr 当量/Ni 当量比を算出したものが図 3 である。溶化材の Cr 当量/Ni 当量比は FA モード凝固領域に位置しており、母材のそれは FA および AF モード凝固領域のほぼ境界線上に位置してい

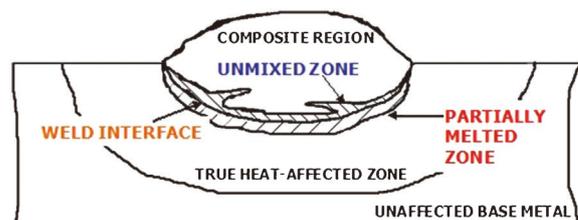


図 2 溶融境界近傍に形成される不均一領域。(オンラインカラー)

ることがわかる。溶融境界近傍の組織写真を図4に示す。ごく一部において partially melted zone の粒界上に島状  $\delta$  相が晶出, unmixed zone は FA モード凝固であったと判断された(図4(a))が, 大部分では partially melted zone における  $\delta$  相晶出は認められず, unmixed zone は AF モード凝固であった(図4(b))。次に, 高温水中 SCC 進展挙動を, CBB (Crevice Bent Beam, すきま付き定ひずみ曲げ)試験により評価した。供試材から採取した板状試験片の表面を湿式エメリー紙で#600研磨仕上げとし, 1%曲げひずみを負荷シラフタイトールで隙間を付け, 高温高圧水(温度: 288°C, 圧力: 9 MPa, 溶存酸素濃度: 8 ppm, 入口電気伝導度: 約1.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  調整))中に1000 h 浸漬した。試験後の試験片観察例を図5に示す。溶接金属に向かって進展したき裂の大部分はその先端が溶融境界直上に位置しているが, 一部は溶接金属内にまで進展している。溶接金属内を進展するき裂の経路と微視組織の関係に着目すると, き裂は島状  $\delta$  相に達してからそれを迂回した後, 最寄りの  $\delta$  相に達する, という過程を繰り返しながら蛇行して進展している。これは, き裂の進展経路上, この場合はセル境界に島状  $\delta$  相が分布していることによると考えられる。別途実施した同

様の SCC 試験結果に基づいて, 溶融境界を基準としたき裂先端位置のヒストグラムを図6に示す。その中でき裂先端が母材の  $\gamma/\gamma$  界面(粒界)上にあるもの, 溶接金属の  $\delta/\gamma$  界面上にあるもの, 溶接金属の  $\gamma/\gamma$  界面上にあるもの, の3種類に分類した。これから, 溶融境界を越えて100  $\mu\text{m}$  以上進

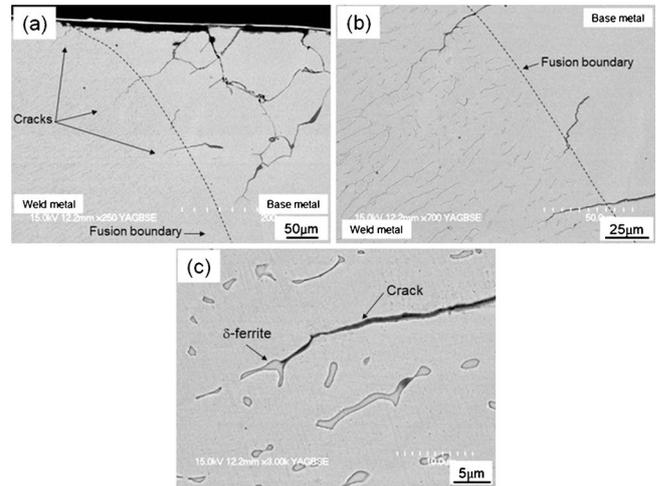


図5 溶融境界近傍における SCC き裂<sup>(11)</sup>。

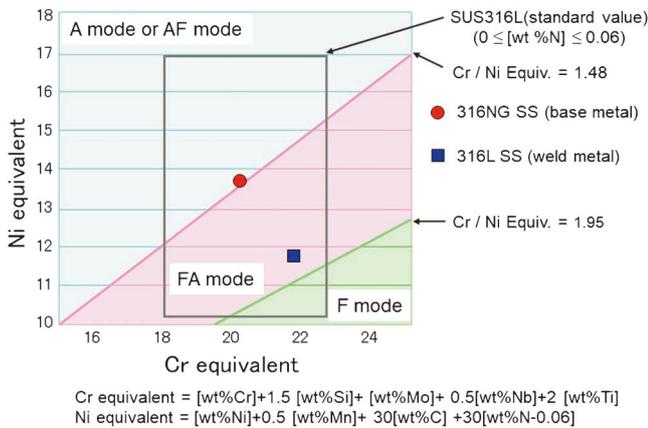


図3 ディロングの組織図を用いた凝固モードの予測<sup>(11)</sup>。(オンラインカラー)

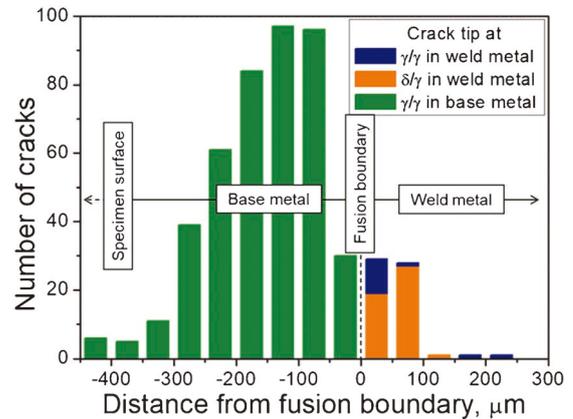


図6 溶融境界を基準としたき裂先端位置のヒストグラム<sup>(11)</sup>。(オンラインカラー)

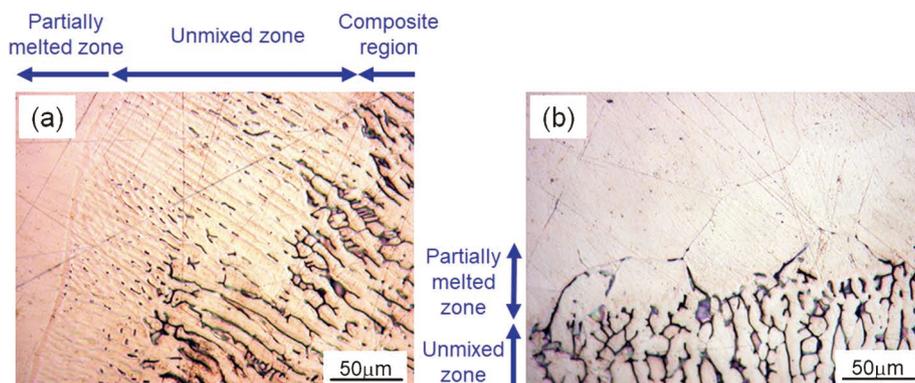


図4 SUS316NG 溶接試料の溶融境界近傍組織<sup>(11)</sup>。(オンラインカラー)

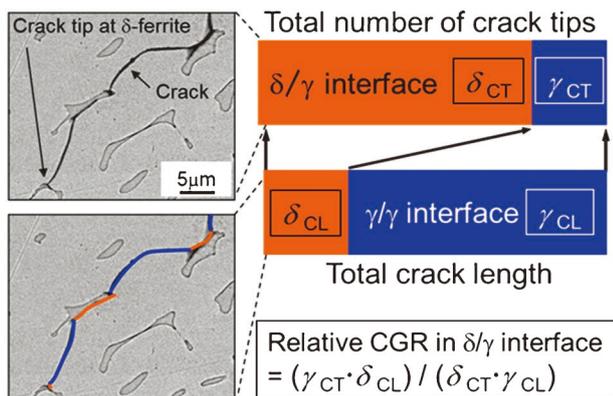


図7 き裂経路長さとき裂先端位置による $\delta/\gamma$ 界面と $\gamma/\gamma$ 界面における相対的なき裂進展速度の導出<sup>(11)</sup>。(オンラインカラー)

展しているき裂が極端に少なくなっていることがわかる。すなわち、溶融境界から100  $\mu\text{m}$  までの範囲の溶接金属においてき裂が停留あるいは進展遅延している事を示唆している。次に、先端が溶融境界上、あるいは溶接金属内に位置しているき裂計60本について、き裂先端位置とき裂経路を $\delta/\gamma$ 界面と $\gamma/\gamma$ 界面に分けて、その統計をとることで、 $\delta/\gamma$ 界面ならびに $\gamma/\gamma$ 界面におけるき裂進展速度を相対的に比較できると着想した(図7)。その結果、 $\delta/\gamma$ 界面では $\gamma/\gamma$ 界面に比べき裂進展速度が0.043倍との結果を得た。今回行ったCBB試験環境とBWR実機炉水環境が異なることから、得られた遅延効果は実機と必ずしも同一ではないものの、少なくとも $\delta$ 相が溶融境界近傍においてき裂進展遅延をもたらす微視組織要因であることが明らかになった。これ以降、オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属<sup>(25)-(28)</sup>や2相ステンレス鋳鋼<sup>(29)</sup>の高温水中SCC試験において、同様に $\delta$ 相がSCCき裂進展遅延/停留に寄与することが報告されてきている。

### 3. ステンレス鋼溶接金属の熱時効挙動ならびにSCCへの影響

国内BWRシュラウド溶接金属内を進展するSCCき裂の調査結果に基づけば、き裂はフェライト/オーステナイト相界面を進展しており、また界面近傍(界面より数nm)にCr欠乏層は認められなかったこと、そして溶接金属内部の硬さはHv250~280と高めの値であった、ことが報告されている。このことから、低温時効により溶接金属が硬化した可能性がある。原子力プラントにおける熱時効脆化については、二相ステンレス鋳鋼で多く経験されている。この原因は、フェライト相がスピノーダル分解<sup>(30)</sup>によるCrリッチ相とFeリッチ相への分離やG相(Ni, Si, Mn主体の金属間化合物)析出とされている。オーステナイト系ステンレス鋼溶接部は、溶接プロセスの際に発生する高温割れを防ぐために、5~10%程度の $\delta$ 相を含有する。 $\delta$ 相は、BWRの冷却水程度の温度域においても、長時間の時効によってはスピノーダル分解を起こす可能性があり、これに伴って硬度が増し、靱性

あるいは耐食性の低下につながる事も考えられるが、オーステナイト系ステンレス鋼溶接部を対象とした低温時効感受性については知見が不足していた。上述したとおり、 $\delta$ 相はSCCき裂進展遅延をもたらす微視組織要因であるが、 $\delta$ 相のスピノーダル分解がこれに影響する可能性がある。ここでは、溶接金属の熱時効硬化に及ぼす凝固モードの影響<sup>(12)</sup>、ならびにそれが高温水中SCC進展挙動に及ぼす影響<sup>(13)</sup>について検討した結果について述べる。

ステンレス鋼には4種類の凝固モードがあり、主に溶接金属の化学組成によって決まる。一般にオーステナイト系ステンレス鋼溶接部は5~10%程度の $\delta$ 相を含んでおり、実機においては大部分がFAモードで凝固している。一方で凝固速度が高くなると、凝固モードが局所的にFAからAFに遷移することがあり、また凝固モードによってフェライト分率・形状、成分分布が異なる。SUS316L板材を2種類の316L系溶接フィラーを用いて突き合わせTIG溶接することでそれぞれ凝固モードがFAモード、AFモードの供試材を作製した。作製した供試材の組織観察結果を図8に示す。フェライト分率はFAモード材が12.7%、AFモード材が2.5%であった。

オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の $\delta$ -フェライトを対象としたスピノーダル分解については、詳しい熱時効データが無いため、2相ステンレス鋳鋼CF-8、CF-8Mの時効データ<sup>(31)</sup>を参考にして時効条件を決定することにした。これに基づけば、スピノーダル分解のノーズは400°C近傍にあるが、炉水温度領域への等価時間換算が可能な温度加速の上限は約335°Cであった。例えば、スピノーダル分解が始まるまで288°C時効ではおよそ5年かかるものと推察されるが、335°C時効ではおよそ1000時間に短縮されると考えることができる。これより熱時効温度を335°Cとした。時効時間は最大8000時間に設定した。

FA材、AF材それぞれの未時効材および335°C・8000時間時効材のフェライト相のTEM明視野像を図9に示す。FA材、AF材どちらにおいても時効材にのみ特徴的なまだら模様が観察される。これは、フェライト相内の成分揺らぎに起因した分散コントラストによるものと考えられる。スピノーダル分解または核生成-成長によりフェライト相がCrリッチな $\alpha'$ 相とFeリッチな $\alpha$ 相に分離した場合、図9に示したようなまだら模様が観察されることが報告されてお

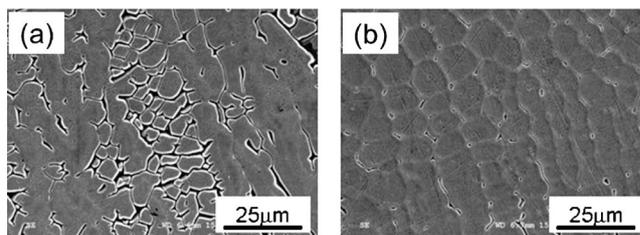


図8 凝固モードの異なる供試材の組織観察結果：(a) FAモード凝固、(b) AFモード凝固<sup>(12)</sup>。

り<sup>(32)(33)</sup>, FA材, AF材どちらにおいても335°C・8000時間の時効により $\delta$ 相がスピノーダル分解した可能性が極めて高いと考えられた. 溶接試料における335°C時効による各相のビッカース硬さの変化を図10に示す. どちらの試料におい

てもオーステナイト相は時効の有無にかかわらず硬さがほぼ一定であったのに対し, フェライト相は時効と共に明確に硬化した. 前述したTEM観察結果と併せて考えると, フェライト相における硬化はスピノーダル分解によるものと考えられた.

FA材とAF材の間でフェライト相の硬化挙動に明確な違いが見られた. 2000時間までの時効においては, AF材のフェライトの硬化速度はFA材のそれに比べ高かった. また, FA材においては8000時間まで一様に硬化したのに対し, AF材においては2000時間, ビッカース硬さにして350 Hvを超えたあたりから次第に軟化した. 二相ステンレス鋼を400°C近傍で長時間時効した場合, フェライト相中で分離したCrリッチ相とFeリッチ相それぞれの領域が次第に拡大していくことが報告されている<sup>(34)(35)</sup>. その場合フェライト相全体の硬さは低下すると予想されるので, 2000時間以降にAF材のフェライト相において確認された軟化は, 時効によりナノメートル・スケールで細かく分離したCrリッチ相とFeリッチ相が, さらに長時間時効することで次第に粗大化していくことにより引き起こされたものであり, 硬さが低下しても時効による組織変化は継続して進行していたものと考えられた.

次に, これらの時効材を用いて高温水中CBB試験によりSCC発生・進展状況について調査した結果<sup>(13)</sup>について述べる. CBB試験に供した材料は, FA材・AF材の未時効材ならびに335°C・13,200時間時効材の計4種である. ここでは, AF材の溶接金属から発生・進展したき裂の様相を図11に示す. 熱時効の有無によらず, き裂は $\delta$ 相を迂回して進展し, 多くは先端が $\delta$ 相に達したところに位置していた. したがって今回の熱時効条件の範囲においては, き裂進展経路上に存在する島状 $\delta$ 相がSCCき裂進展遅延に支配的な役割を果たすことが示唆された. 一方で, オーステナイト系ステンレス鋼に450°Cで熱時効熱処理を施すと,  $\delta$ 相の優先酸化が生じて高温水中での伸びが低下するとの報告<sup>(36)</sup>や, 熱

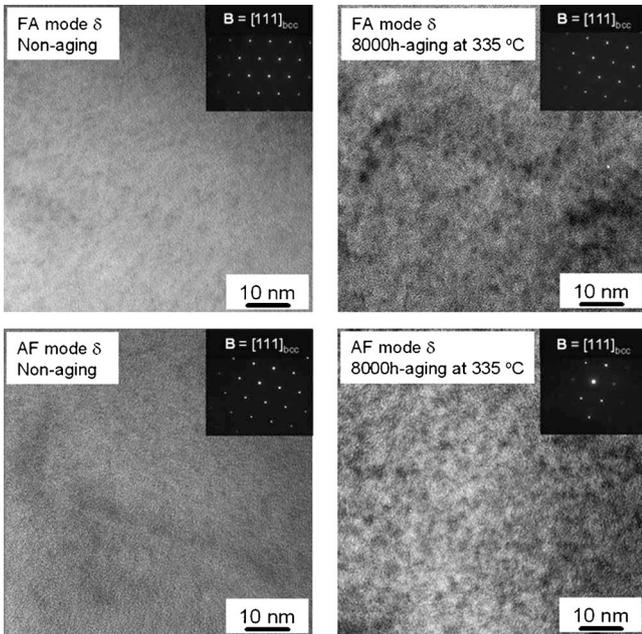


図9 FA材, AF材それぞれの未時効材および335°C・8000時間時効材のフェライト相のTEM明視野像<sup>(12)</sup>.

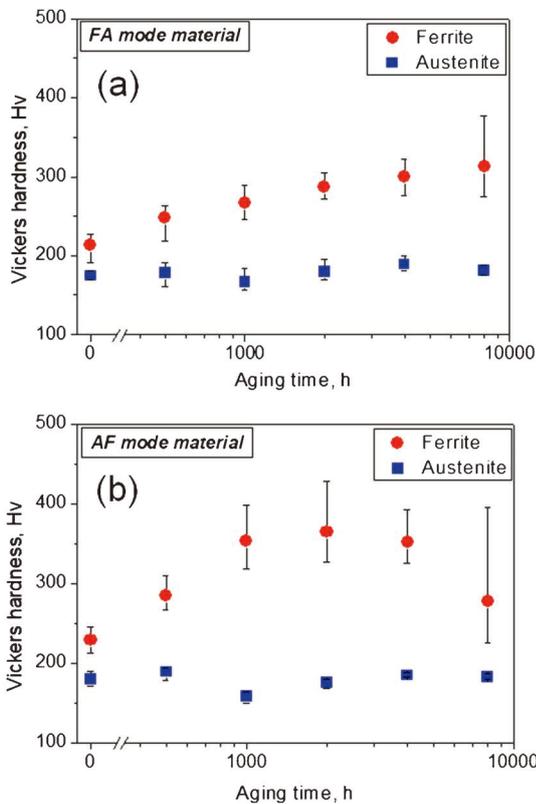


図10 335°C時効に伴う各相のビッカース硬さの変化<sup>(12)</sup>. (オンラインカラー)

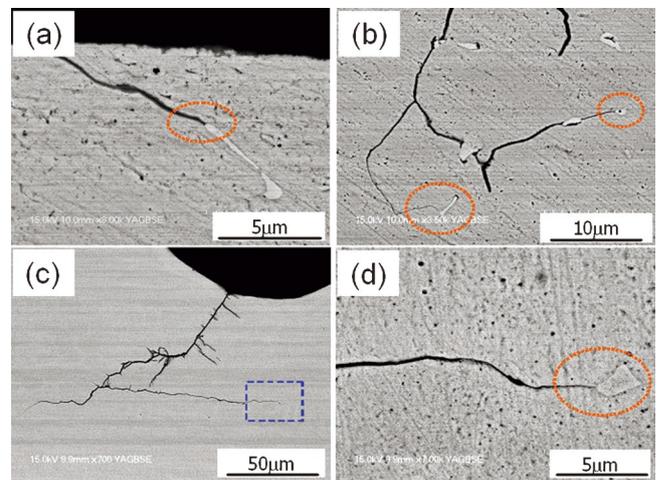


図11 AFモード凝固材の溶接金属から発生・進展したSCCき裂の様相. (オンラインカラー)



# スポットライト

～第11回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

## 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

北海道旭川西高等学校 理数科

大橋実愛 千貝一矢 松井宏翼  
松浦 旦 松村 慧

### 1. はじめに

本研究は、令和4年度理数科1班の継続研究である。先行研究では、イチゴとキュウリの葉面に付着した糸状菌が生分解性プラスチックを分解することが分かった。また、イチゴとキュウリの葉面に付着した糸状菌の生分解性プラスチック分解能力の比較では、キュウリ由来の糸状菌の方が分解能力が高いことが分かった。そこで、私たちは糸状菌の菌種の違いによって生分解性プラスチック分解能力に差が生じていると考え、本研究ではイチゴが所属するバラ科とキュウリが所属するウリ科の葉面に付着した糸状菌の菌種を同定し、分解能力との関係を調べた<sup>(1)</sup>。

### 2. 使用した糸状菌

バラ科：イチゴおよびバラの葉面由来の糸状菌。

ウリ科：キュウリおよびカボチャの葉面由来の糸状菌。

- ・イチゴとキュウリは、先行研究で培養していた糸状菌を使用した<sup>(1)</sup>。
- ・バラとカボチャは、苗から育てた葉面由来の糸状菌を使用した。どちらも5月9日から育て始め、51日後の6月28日にバラの葉面に糸状菌の付着が見られ、一方カボチャは78日後の7月25日に糸状菌の付着が見られた。

### 3. 実験方法と結果

#### (1) 糸状菌の培養

ポテトデキストロース寒天(粉末)とクロラムフェニコール、精製水で培地を作成し、2種(バラ、カボチャ)の葉面由来の糸状菌をそれぞれ培地に載せ、クリーンベンチ内において室温で培養した。

#### (2) 単離

既培養のイチゴ・キュウリ由来菌と本研究で培養したバラ・カボチャ由来菌の4種類の糸状菌を単離した。その結果、単離したシャーレ上の菌を電子顕微鏡で確認したところ、糸状菌の特徴を持つ菌のみ確認できたことや、今回の研究に協力してくださった酪農学園大学の小八重善裕准教授に

も糸状菌のみ存在が認められることを確認して頂いたため、私たちは正確な単離をすることができたと判断した(図1)。

#### (3) 耐久実験(9月6日～10月6日)

対象植物の葉面に付着した糸状菌を培養し、その培地上に5cm角に切った生分解性プラスチックを載せて接触させた。この生分解性プラスチックフィルムは、市販の農業用マルチシートを使用しており、材料はポリプロピレンアジペートテレフタレートである。そして、耐久実験器具(図2)に生分解性プラスチックの一端を固定し、反対端にクリップと糸でペットボトルを吊り下げた。その後、ペットボトルに水を注ぎ、生分解性プラスチックがちぎれた時の水の質量(荷重)を記録した。キュウリ葉由来およびイチゴ葉由来の糸状菌を付着させた生分解性プラスチックを5, 10, 15, 20, 25, 30日間放置したサンプルをそれぞれ3つずつ作製し、耐久実験を行った。

その結果、図3より、本研究で実施した30日間の耐久試験において、放置した日数にかかわらずキュウリ葉由来の糸状菌が付着した生分解性プラスチックのほうがイチゴ葉由来の糸状菌が付着した生分解プラスチックよりも低い荷重でちぎれていることがわかる。したがって、キュウリ葉面由来の糸状菌の方がイチゴ葉面由来の糸状菌より生分解性プラスチック分解能力が高いと考えられる。この結果は先行研究とよく一致している。



図1 バラ葉面由来の糸状菌。(オンラインカラー)



図2 耐久実験器具。(オンラインカラー)

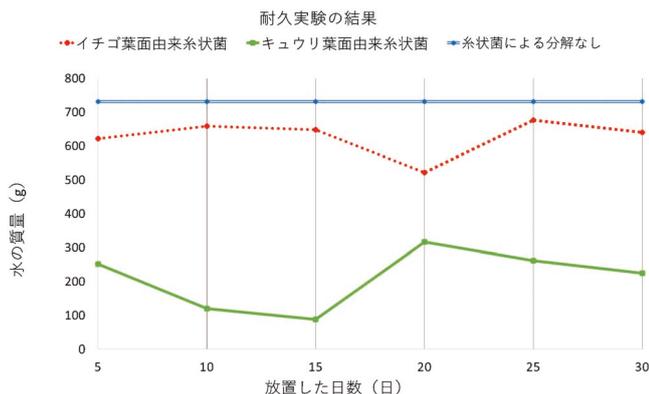


図3 経過日数と生分解性プラスチックがちぎれた時の水の質量(荷重)。(オンラインカラー)

#### (4) 糸状菌の塩基配列同定

PCR法とシーケンス解析を用いて糸状菌の塩基配列を同定した。同定した糸状菌はイチゴ・キュウリ・バラ・カボチャ(赤)・カボチャ(白)の5つである。カボチャの糸状菌は赤と白の2種類のコロニーが形成されたため、両方とも同定した。

##### 【手順】

- ①単離した培地から菌糸を取り、スライドガラス押しつぶし法を用いてDNAを取り出した。
- ②マイクロチューブに5サンプル分のPCRに必要な試薬(75 μL)(表1)を入れた。
- ③試薬が入ったマイクロチューブから8連チューブのうち5個のチューブに試薬15 μLとそれぞれのDNAを1 μLずつ入れた。
- ④サーマルサイクラーを使って増幅プログラム(表2)でPCRを行った。
- ⑤PCR産物に電気泳動を行い、1800塩基付近のバンドを取り出し、DNAを再び抽出してシーケンス解析を行った。
- ⑥シーケンス解析より得た塩基配列(図4)をBasic Local Alignment Search Tool(BLAST)検索にかけ菌種を同定した<sup>(2)</sup>。

##### 【結果】

イチゴ由来の糸状菌: *Fsarium venenatum*

キュウリ, バラ, カボチャ由来の糸状菌: *Fsarium oxysporum*

このことから、イチゴとキュウリで糸状菌の菌種が異なっていたため生分解性プラスチック分解能力に差が生じたと推察した。

#### 4. 新たな課題

イチゴの糸状菌の塩基配列をBLAST検索したところ、*F. venenatum*とともに*F. oxysporum*も候補に挙がった。さらに、バラとイチゴのシーケンス解析時の波形が同じだったこと、1塩基しか変わらないことからシーケンスのエラーの可能性もあるため再び同定を行う必要があると考えている。

表1 試薬とその添加量.

試薬	添加量(μL)
KODImix	40
Forward プライマー(NS1)	2.5
Reverse プライマー(EF3)	2.5
脱イオン水	30,000

表2 増幅プログラム.

操作	設定温度(°C)	設定時間(s)
予備加熱	98	10
熱変性	98	10×40回
アニーリング	58	5×40回
伸長反応	68	1×40回
反応停止	68	10
冷却	12	∞

バラ	-GTTGGTTTCTAGGACCGCGTAATGATTAATAGGGACAGTCGGGGGCATCAGTATTCAA
イチゴ	TGTTGGTTTCTAGGACCGCGTAATGATTAATAGGGACAGTCGGGGGCATCAGTATTCAA
キュウリ	-GTTGGTTTCTAGGACCGCGTAATGATTAATAGGGACAGTCGGGGGCATCAGTATTCAA
カボチャ白	-GTTGGTTTCTAGGACCGCGTAATGATTAATAGGGACAGTCGGGGGCATCAGTATTCAA
カボチャ赤	-GTTGGTTTCTAGGACCGCGTAATGATTAATAGGGACAGTCGGGGGCATCAGTATTCAA

図4 シーケンス解析より得た糸状菌の塩基配列。(オンラインカラー)

#### 5. 今後の展望

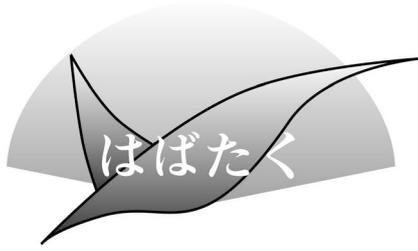
- 再び糸状菌の塩基配列同定実験を行い結果を比較する。
- (i)今回と同じ結果になった場合、バラ葉由来およびカボチャ葉由来の糸状菌で耐久実験を行い、同じ菌種でも生分解性プラスチック分解能力に差が生じるか調べる。
  - (ii)今回の結果と異なり、キュウリ葉由来およびイチゴ葉由来の糸状菌の菌種が同じだった場合、培地に載せた菌の量の違いに着目して生分解性プラスチック分解能力に差が生じた理由を調べる。

旭川医科大学助教 春見達郎先生, 酪農学園大学准教授 小八重善裕先生, 並びに私たちに協力して下さった西高3年生の皆様へ感謝申し上げます。

#### 文献

- (1) 北海道旭川西高等学校理科数科探究1班: 植物の違いによる生分解性プラスチックの分解調査, (2022).
- (2) Y. Hosino and S. Morimoto: Soil Sci. Plant Nutr., **54**(2007), 701-710.

(2024年7月1日受理)[doi:10.2320/materia.63.794]  
(連絡先: 〒070-0815 旭川市川端町5条9-1-8)



## 世界屈指の研究者を目指して

国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)  
若手国際研究センター (ICYS)  
徳 澄 翼

私は2019年3月に大分工業高等専門学校(大分高専)専攻科を修了後、2024年3月に九州大学大学院総合理工学府にて博士(工学)を取得し、現在、物質・材料研究機構(NIMS)、若手国際研究センター(International Center for Young Scientists: ICYS)のリサーチフェロー(Research Fellow: RF)<sup>(1)</sup>として、日々研究を行っております。この度は「はばたく」に寄稿するという貴重な機会をいただきましたので、これまでの研究経歴と現在の研究生活について述べていただきます。

大分高専では薬師寺輝敏先生のご指導の下、SCM435 切削摩擦加工材の疲労特性に及ぼす圧縮残留応力について研究しました。切削摩擦加工後の試験片最表面軸方向には、2100~2600 MPa もの高い圧縮残留応力が発生します。一般に圧縮残留応力は疲労強度の向上に有効とされている通り、実際、切削摩擦加工材の疲労強度は上昇した(←この上昇量にも面白さがあった)のですが、切削摩擦加工材の面白さはこれだけではありません。この面白さをまとめた論文を筆者は大学院在学中に第一著者として投稿したのですが、3か月程度の査読期間を経た後、理由が開示されることなくリジェクトされたのは大変ショックでした。しかしながら、高専在学期間の終了間際に執筆・投稿した論文<sup>(2)</sup>は査読を経て掲載されましたので、高専での研究成果をととも良い形で終えることができましたと記憶しています。また、研究成果を発表するための文章・プレゼンテーションを学ぶことができた、貴重な3年間であったと感じています。

九州大学大学院では、中島英治先生、光原昌寿先生および山崎重人先生らのご指導の下、長周期積層(Long-Period Stacking Ordered: LPSO)構造型 Mg 合金のキンク形成とキンク強化について研究しました。蛇足ですが、中島・光原研究室(後の光原研究室)を最後に修了したドクターであることには、望外の喜びを感じています。

さて、この合金には塑性加工によってキンクが導入されることで強度が従来の強化理論では説明できないほど劇的に向上する、日本発の新しい材料強化法という面白さがありました<sup>(3)</sup>。また、キンクには回位(disclination)と呼ばれる格子欠陥の存在が示唆されていました。筆者がこの研究を始めた当初は、「回位」の存在はまさしく「怪異」のようだと思っていました。すなわち、要約しますと、筆者はその回位に注

目し、キンク形成の素過程は回位のペアの運動によって生じること<sup>(4)</sup>と、キンク強化機構として、キンク周囲に実在する回位の弾性応力場が転位運動の抵抗となること<sup>(5)</sup>を明らかにしました。これらの成果は、多くの方々のご支援によって一流誌である *Acta Materialia* とその姉妹誌に掲載され、筆者の中で大きな自信となりました。大学院時代は多くの研究者の方々と交流することができ、そこで得られた繋がりは筆者にとって非常に大切なものです。その繋がりのお蔭で、今の自分があります。これからの研究活動でその繋がりをさらに強く、広くできるよう、努めて参ります。今日では、NIMS の ICYS-RF として多軸応力状態における微細組織の損傷・発達挙動について研究しており、ようやく1報目の論文を執筆中です。

金属材料の研究をしていて NIMS を知らない方はほとんどいないと思いますが、ICYS については知らない方も多いと思いますので、ここで紹介させていただきます。ICYS-RF とは、NIMS 内の任期付きポスドクのようなものです。「のようなもの」とあえて付記したのは、通常のポスドクとは違い、1人の研究者として独立して自由な研究活動を行うことができるからです。そして、その自由な研究活動に対して、充実した金銭的サポートに加え、NIMS 内外からメンターが2名選ばれ、自身の研究について議論・アドバイスを受けることができます。私の場合は、上路林太郎博士と柴田曉伸博士がメンターとして、加えて、土谷浩一 ICYS センター長らが日々手厚いサポートをしてくださっております。NIMS の充実した共用設備群は、ICYS-RF であれば自由に使用可能です。「○○の実験をしたい!」という希望は、大体叶います。ところで、ICYS-RF のうち日本人の割合は4割程度で、ICYS での公用語は英語です。これは、新型コロナウイルスの影響を受けて留学できなかった筆者にとっては疑似的に留学生活をしているかのようで、非常に新鮮な環境です。また、月に2回 ICYS セミナーが開催され、自身の専門分野とは全く別の分野の最先端の研究成果を知ることができます。一方、自身の研究内容とは全く無関係と思っていたものが自分の研究に活かせると気付いたときには、自分の研究をさらに独自のものへと磨き上げることもできます。まだまだ大変未熟な筆者ですが、今後は、この最高の研究環境を大いに活用し、世界屈指の研究者を目指して、日々の研究活動に取り組んで参ります。

これまで、そして日々の研究活動に対し、温かいご指導・ご鞭撻・ご支援・ご交流をいただいております皆様、ならびに本稿執筆の機会を設けていただいた北原弘基先生をはじめとする編集委員の方々へ厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- (1) <https://www.nims.go.jp/icys/jp/research/>, “徳澄翼”の項, (2024年10月7日閲覧).
- (2) 薬師寺輝敏, 徳澄 翼, 後藤真宏: 日本機械学会論文集, **85** (2019), 19-00131.
- (3) 河村能人: まてりあ, **54** (2015), 44-49.
- (4) T. Tokuzumi, S. Yamasaki, W. Li, M. Mitsuahara and H. Nakashima: *Materialia*, **12** (2020), 100716.
- (5) T. Tokuzumi, M. Mitsuahara, S. Yamasaki, T. Inamura, T. Fujii and H. Nakashima: *Acta Mater.*, **248** (2023), 118785. (2024年9月30日受理) [doi:10.2320/materia.63.796] (連絡先: 〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

# 本 会 記 事

会 告	2025年会費お払込みのお願い	797
	今後の講演大会開催予定	797
	外国会員の定義の見直しおよび会費改定のお知らせとお願い	797
	シニア会員制度・終身会員制度について	797
	2025年春期講演大会参加および講演申込の募集	798
	2025年春期大会会誌・欧文誌講演原稿募集	801
	2025年春期講演大会高校生・高専学生ポスター発表募集案内	809
	日本金属学会オンライン教育講座開催案内	810
	オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座	813
	金属学会セミナー(特別講座)	814
掲示板	次号予告	816
新入会員	行事カレンダー	817
会誌・欧文誌11号目次		818

◎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)

### 2025年会費お払込みのお願い

2025年の会費納入時期となりました。個人会員の方は、下記いずれかの方法にてお払い込み下さいますよう、お願い申し上げます。

◎郵便振込み：本年11月中旬頃、「ゆうちょ銀行郵便振込み用紙」を郵送いたします。ゆうちょ銀行にてお支払い願います。

◎クレジットカード・コンビニ支払：会員マイページにログインの上、手続き願います。領収書もホームページで発行できます。

### 会費のお支払い確認

ホームページ→入会・会員→会員マイページ→(ID・パスワード)でお支払いおよび確認が可能です。

問合先 (公社)日本金属学会 会員サービス係  
☎ 022-223-3685 E-mail: member@jimm.jp

### 今後の講演大会開催予定

- 2025年春期(第176回)  
日程：2025年3月8日(土)～10日(月)  
会場：東京都立大学南大沢キャンパス
- 2025年秋期(第177回)  
日程：2025年9月17日(水)～19日(金)  
会場：北海道大学札幌キャンパス

## 外国会員の定義の見直しおよび 会費改定のお知らせとお願い

来年度の会費等の見直しにつきまして、まてりあ7号および10号会告にてお願いをしております通り、本会における会員サービスの拡充と物価上昇に伴う経費負担増の一部を補うため、2025年(令和7年)1月より正員(31歳以上)および外国一般会員(31歳以上)の皆様の会費を20%値上げさせていただきますことといたしました。なお、その他の皆様の会費につきましては据え置きとしております。会員の皆様にはご負担をおかけいたしますが、引き続き本会活動にご協力賜りますようお願い申し上げます。詳細はまてりあ7号502頁および10号727頁またはホームページ(入会・会員)をご覧ください。

## シニア会員制度・終身会員制度について

シニア会員制度、終身会員制度の本年の締切日は、**2024年11月29日(金)**です。申請を希望される方は、まてりあ9号および10号会告または、本会ホームページ(入会・会員→会員案内・入会案内)をご確認の上、手続きをお願いいたします。



## 2025年春期(第176回)講演大会参加および講演申込の募集

2025年春期講演大会を、3月8日(土)から10日(月)まで、東京都立大学南大沢キャンパスで開催します。

ご講演発表ならびに皆様のご参加を下記の通り募集します。

高校生・高専学生ポスターセッションは、3月8日(土)に東京都立大学南大沢キャンパスで、3月13日(木)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。前回から優秀ポスター賞の選考方法が変わりました。詳細は、ポスターセッションの項目をご確認下さい。

～講演大会日程(会期は3日間です。)～

日 時	行 事
3月8日(土) 9:00～9:40 9:50～11:50 午後 13:00～17:30 18:30～	開会の辞, 贈呈式 学会賞受賞講演, 本多記念講演 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)
3月9日(日) 9:00～18:00	学術講演
3月10日(月) 9:00～17:00	学術講演
3月13日(木)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：2025年3月8日(土)

開催場所・料金：詳細が決まり次第案内いたします。

## 講演大会参加申込

### ◆申込の種別と申込期間

1) 事前申込(2月19日(水)をもって事前参加申込完了となります)

申込期間：2024年11月15日(金)～2025年2月19日(水)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring/

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：2025年2月25日(火)～3月13日(木)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring\_after/

決済方法：クレジットカード



3) 相互聴講(鉄鋼協会参加者 現地申込のみ)

申込期間：2025年3月8日(土)～10日(月)

ウェブサイト URL：https://www.jim.or.jp/convention/2025spring\_after/

決済方法：クレジットカード



問合せ先：講演大会係 [annualm@jimm.jp](mailto:annualm@jimm.jp)

～ 各申込期日のご確認をお願いします。～

◆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
2025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	—	5,000円*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](mailto: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ってから、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、講演申込みをして下さい。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)。

\*「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(ログインが必要です)

公開日 : 大会2週間前の**2025年2月22日(土)**(特許関係の手続きは、公開日までに済ませて下さい。)

閲覧のためのログイン方法が変わります！

① confit 共通アカウントを作成(今回のみで OK。次回から不要)



②学会で配信する「参加者個別認証コード」と結びつける作業をする。

※参加者個別認証コードは会員番号や会員パスワードではなくなります。

参加者個別認証コード：

(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「参加者個別認証コード」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「参加者個別認証コード」をお使い下さい。

◆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行い、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

鉄鋼協会の講演大会に参加された方は、相互聴講料金で本会の講演大会を聴講できます。

資格：日本鉄鋼協会に参加登録された方(会員資格問わず)。

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」の押印をいたします。

(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。

## 講演申込

### ◆申込期間(締切厳守！)

- 1) 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:  
2024年11月15日(金)~12月26日(木)17時
  - 2) 高校生・高専生ポスター: 2024年11月15日(金)~2025年1月8日(水)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/2025spring/>



### 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手続きをして下さい。入会申込をすると 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12月24日(火)

年会費納入期限: 2025年1月31日(金)

入会・会費の問合せ先: 会員サービス係 [member@jimm.jp](mailto: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/2025spring/>)から申込み。

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) 申込締切り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。

申込締切り後は受け付けない。

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、2025年2月初旬頃に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：2025年2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

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



### 会誌2025年春期大会講演精選論文原稿募集 欧文誌 Selected Papers from JIMM Spring Meeting (2025)原稿募集

下記の投稿論文を募集いたします。多くのご投稿をお待ちしております。

◎日本金属学会誌「2025年春期大会講演精選論文」89巻9号および10号(2025年)掲載

Materials Transactions「Selected Papers from JIMM Spring Meeting (2025)」66巻9号および10号(2025年)掲載

◎原稿締切 2025年5月1日(木)

◎予備登録、投稿および審査方法は、一般投稿論文に準ずる(ホームページの会誌・欧文誌投稿の手引き・執筆要領参照)。

◎欧文誌掲載論文は投稿掲載費用を必ず負担する。(会誌掲載論文は投稿掲載費用無料)



## 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/2025spring/>) 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。
- 講演の題名、著者・所属、本文のすべてを記入した完成版の講演概要ファイルを PDF に変換して下さい。
- 講演申込と同時に PDF ファイルをアップロードして、講演概要を提出して下さい。(※同時に行わない場合は、講演申込は受理されません)
- 使用言語：日本語または英語
- 原稿サイズ：A4 判縦 1 頁
- 原稿作成時の注意事項：
  - (1) MS-Word のファイルを PDF に変換する際は、フォント埋め込みを必ず行うこと。
  - (2) 発表者氏名の前に必ず○印を付けること(申込画面上で講演者にチェックを入れる)。
  - (3) アップロードの前に文字、図表等の品質を確認してから、アップロードすること。
- 提出原稿の修正：講演申込期間内のみ差し替えが可能。  
原則として提出期限後の原稿の差替えは認めない。

題目は Web 登録と同一の題目を記載すること。

**講演題目(日本語題目)**  
**Presentation Title(英語題目)**

所属 A<sup>1</sup>, 所属 B<sup>2</sup>, 所属 C(現〇〇)<sup>3</sup> ○発表者氏名<sup>1</sup>, 共著者氏名<sup>2</sup>, 共著者氏名<sup>3</sup> (日本語所属、氏名)  
Affiliation A<sup>1</sup>, Affiliation B<sup>2</sup>, Affiliation B(Present:\*\*\*\*)<sup>3</sup> ○Speaker<sup>1</sup>, coauthor<sup>2</sup>, coauthor<sup>3</sup>(英語所属、氏名)

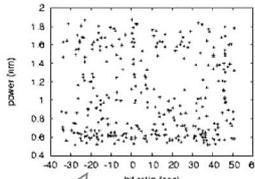
所属、著者名は Web 登録と同一のものを記載すること。

学生の表記方法:学部(B)、修士(M)、博士(D)、ポスドク(P)  
記載例:氏名(M)<sup>1</sup>

【緒言】

・原稿は A4 サイズ 1 ページにまとめること。  
・フォントの種類やサイズは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。ただし、特殊フォントは使用しないこと。

段 組 み 不 可



・図・表の大きさは自由ですが、小さくなりすぎないようにすること。  
・図・表のキャプションは日本語・英語のいずれか。  
・図・表には番号を付け、本文中で説明すること。

【実験方法】

【結果】

概要作成に当たっては、以下の注意事項を遵守してください。  
・原則として未発表でかつオリジナリティがあること。  
・軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと  
・宣伝や商用目的とする内容でないこと。  
・研究不正行為及び不適切行為をしていないこと。  
・誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

【結語】

・講演概要はカラー表示されます。  
・フォント埋め込み PDF ファイルに変換して、アップロードしてください。  
・アップロードしたファイルはそのまま公開されますので、アップロードする前に印刷して、正しく表示されているか、鮮明であるかを確認してください。

原稿作成時には、上の作成要領は削除してください。

### 講演概要の要件と査読

講演大会に投稿された全ての講演概要は、下記の査読基準に基づき、その分野の専門家が査読し、採否を判定する。査読の結果、「掲載不適当」と判定された場合は、理由を示して著者に返却します。

#### (講演概要の要件および査読基準)

- (1) 概要のテンプレートに基づいた概要であること。
- (2) 講演内容を的確に表す題目であること。  
好ましくない題目例：〇〇に関する研究、〇〇〇〇について
- (3) 未発表であること。
- (4) 金属およびその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- (5) 内容に誤りが無いこと。
- (6) 研究不正行為または不適切行為に該当する内容を含まないこと。
- (7) 宣伝や営利目的、軍事目的の内容を含まないこと。
- (8) 誹謗中傷に類する内容を含まないこと。

## 講演申込・概要原稿提出手順

入力された情報および登録された概要原稿は、プログラムにそのまま反映されますので、お間違えのないようにご登録下さい。

\*申込者は、講演者本人に限ります。

\*申込締切り直前はアクセスが集中してサーバーに負荷がかかり遅れが生じることもありますので、早めに申込み下さい。

### (会員)

- (1) 金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025spring/>)」から、各講演区分の「会員申込」をクリックする。
- (2) 認証画面が表示されたら、ID(会員番号)、パスワードを入力してログインする。
- (3) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要のpdfをアップロードする。  
\*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (4) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (5) 申込が完了すると、受付完了通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。  
\*「講演大会 MyPage」のログインIDとパスワードは、会員ID(会員番号)とパスワードです。
- (6) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (7) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

### (非会員)

- (1) 金属学会「大会受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025spring/>)」から、各講演区分の「非会員申込」をクリックする。
- (2) 講演申込み画面に必要事項を入力し、講演概要のpdfをアップロードする。  
\*申込みの前に、講演概要を作成しておいて下さい。
- (3) 内容を確認し、必要があれば修正し、講演を登録する。
- (4) 申込が完了すると、申込受理通知がメールで届き、「講演大会 MyPage」にログインできるようになります。  
\*「講演大会 MyPage」のログインIDとパスワードは、申込受理通知に記載された、秋期講演大会用の参加登録番号、パスワードです。
- (5) 参加費および登壇料のお支払いは「講演大会 MyPage」でクレジットカード、コンビニ支払い、請求書支払いが可能です。
- (6) 請求書や領収書も「講演大会 MyPage」でダウンロード印刷が可能です。

### 講演内容の確認・修正

講演申込期間内のみ、大会 My ページで登録内容の確認と修正(差し替え)が可能です。

金属学会「大会申込受付ホーム(<https://www.jim.or.jp/convention/2025spring/>)」から、「講演大会 MyPage」にログインし(ID、パスワード必要)、内容確認・修正後、登録を行って下さい。修正登録後、修正受理通知のメールが届きます。

☆すべての申込がインターネット申込となりますので、  
ご協力をお願い申し上げます。ご不明な点はお問合せ下さい。

連絡・問合せ先：TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312  
E-mail: [annualm@jimm.jp](mailto:annualm@jimm.jp)  
(公社)日本金属学会 講演大会係

《登録画面入力の際の注意事項》

入力項目	注 意 事 項
セッションキーワード (一般、ポスターのみ)	まてりあ第63巻第11号805頁の講演セッションキーワード一覧から <b>第1希望(必須)</b> および <b>第2希望(必須)</b> のセッションキーワードを選択する。
公募シンポジウム	まてりあ第63巻第11号808頁のテーマ要旨を参照の上、申し込むシンポジウム番号を選択する。
共同セッション	まてりあ第63巻第11号804頁に掲載のテーマから、申し込むセッションの番号を選択する。
キーワード	キーワードを1語以上入力する。(最大10語入力可.) 特に対象とする材料、物質、合金名をキーワードの中にもめる。
共同研究者数 所属機関数	共同研究者人数：最大15名まで 所属機関数：10施設まで
申込者氏名	姓・名の順で、漢字、かなで入力する。 「申込者」が「講演者」となるようにチェックを入れる。 共同研究者は非会員でも可。
ローマ字氏名	名・姓の順で、半角英字で入力する。
所属機関略称	<b>慣用の略称で記入</b> する。研究時所属と現所属が異なる場合は両方記入する。 [例：東北大工(現日立中研)] 大学院生と学生の区別：それぞれ(院生)、(学生)と所属の後に表示する。 [例：東北大工(学生) 東北大工(院生)]
講演題目	和文題名は全角75文字まで、英文題名は100文字まで。 <u>講演概要原稿の題名と一致させること。</u>
要旨	講演概要の要旨を記入する。全角100文字以内。
概要原稿	<b>講演概要原稿作成要領に従って作成した pdf ファイル。</b> アップロードする概要原稿の内容と申込欄に入力した題目・著者名が同一であることを確認すること。 変更がある場合は概要原稿の修正版を期日内に再提出する。
その他・備考欄	連続講演を希望する場合は、講演申し込み要領の4.連続講演を参照して申し込むこと。申込締切後の希望は受付けない。 その他の講演希望日等があれば備考欄に記入すること
会員番号	講演者は必ず会員番号(ID)を記入する。共著者はわかる範囲で可。
著作権	同意できない場合は申込できない。
プログラム公開	同意できない場合は申込できない。
講演概要の WEB 公開	講演概要の WEB 公開に同意できない場合は、申込できない。 講演概要は、開催日 2 週間前に参加申込者のみに公開。

公募シンポジウム

2025年春期講演大会では下記の公募シンポジウムを実施する。  
別紙のテーマ要旨を参照の上、申し込み下さい。

- S1 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウム VI—マルチスケール構造制御による材料設計の新展開—
- S2 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング
- S3 材料表面の化学 II—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—
- S4 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 VII

日本鉄鋼協会との共同セッション

日本金属学会と日本鉄鋼協会とは下記の共同セッションを実施する。  
日本金属学会、日本金属学会のいずれかの講演大会に参加申込した方は聴講可能。

- ① 「チタン・チタン合金」 (2025年春の会場は日本鉄鋼協会)
- ② 「高温溶融体の物理化学的性質」 (2025年春の会場は日本金属学会)

講演大会セッション (委員専門分野)

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

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

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

# 2025年春期講演大会公募シンポジウムテーマ要旨

2025年春期講演大会では、下記4テーマの公募シンポジウムを実施します。  
講演を申込む場合は、希望するシンポジウムを選択して申込下さい。

## S1 材料機能特性のアーキテクチャー構築シンポジウム VI—マルチスケール構造制御による材料設計の新展開—

Architecture construction for functions and properties of materials VI—New frontier of multiscale structure control for materials design—

材料機能特性のアーキテクチャー研究会が春期講演大会に合わせて企画する公募シンポジウムの第VI弾である。結晶構造や格子欠陥から相界面を含む組織まで、マルチスケールにわたる材料の構造全体をアーキテクチャーとして捉えている。とくに格子欠陥と相界面は機能特性の発現原理と密接に関連し、これらの制御によって材料の機能と特性を最適化できることから、これまで企画した公募シンポジウムでは、構造用材料と機能性材料の分類や金属とセラミックスなど材料の枠組みを問わず、専門分野の垣根を越えて広く議論を展開してきた。研究会終了の総括とする今回、これまで同様に多種多様な材料を対象として、機能特性制御の最も重要な組織因子である格子欠陥と相界面に関する多彩な現象の類似と相違に着目し、アナロジーで体系化する切り口で多角的に議論することで、異なる専門分野にも共通する基礎学理の再認識と理解を深める機会とする。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

東京科学大学物質理工学院材料系教授 木村好里

(シンポジウム co-chairs) :

足利大 小林重昭 東北大 関戸信彰 産総研 田中孝治  
熊本大 連川貞弘 東工大 細田秀樹 東北大 吉見享祐

## S2 微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング

Nano-mechanical characterization and multiscale modeling

ナノインデンテーション法や TEM・SEM その場変形などの微小領域力学特性評価手法が発達し、様々な材料への応用が拡大している。測定機器の発展がめざましい一方、測定データの解析法や解釈には課題が多い。また、微小領域の力学挙動とマクロ特性との関係におけるマルチスケールモデリングも重要な課題である。本シンポジウムは、2019年より6年間にわたって進めてきた研究会「微小領域の力学特性評価とマルチスケールモデリング」を総括し、多様な材料を対象とする微小領域の力学特性を議論して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議論する。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

物質・材料研究機構 構造材料研究センター長 大村孝仁

(シンポジウム co-chairs) :

NIMS 井 誠一郎 北科大 堀内寿晃 北大 池田賢一  
日大 高木秀有 NIMS 譯田真人

## S3 材料表面の化学 II—めっき・耐食性・耐酸化性・触媒研究の新展開—

Chemistry on Material Surfaces II: The-state-of-the-art research in plating, aqueous and high temperature corrosion, and photocatalysis

材料表面と溶液や気体などとの化学反応は、めっき、化成処理、腐食、高温酸化、触媒などの分野で重要な研究対象となっている。また、表面化学反応を積極的に利用したナノポーラス材料などの開発も活発化している。しかし、材料表面と溶液・気体との化学反応の本質にせまるには、その場解析が不可欠であるが空間・時間分解能や分析精度などには制約がある。さらに不均一反応であるため理論的な取り扱いも発展途上にある。反応起点や律速段階の学理の深化には課題が多く、関連分野の研究者および企業での開発者が一同に会して問題点を抽出・議論することが必要な時期にきている。本シンポジウムでは材料表面の化学に関して、主にめっき・触媒・耐食性・耐酸化性の分野から講演を募り、研究者間での意見・情報交換、討論を行う。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

大阪大学 大学院工学研究科教授 土谷博昭

(シンポジウム co-chairs) :

NIMS 廣本祥子 北大 上田光敏 東北大 竹田 修  
防衛大 田邊豊和 阪大 森 浩亮

## S4 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 VII

Tailoring of novel-structured materials using spatio-temporal responses under exotic reaction fields VII

非平衡状態を利用したナノ・マイクロ組織を有する材料の開発や物性探索では、極限反応場や特殊環境下の非平衡励起状態、緩和過程に代表される時間変化を利用した\*エキゾチックな\*時間的・空間的応答の理解・制御が重要である。同趣旨にて開催した過去6回のシンポジウムでは2件の基調講演に加え、常に15件程度の一般講演があった。このように会員の興味が高いことを踏まえ、2025年春期講演大会でも継続開催する。基調講演に計算機を用いた非平衡反応プロセスの解析について発表して頂き、特異反応場での時間/空間応答を利用したナノ・マイクロ組織形成過程をキーワードとする一般講演も交えて新規材料開発に向けた課題などを討論する。

### テーマ責任者

(シンポジウム chair) :

筑波大学数理物質系物質工学域准教授 谷本久典

(シンポジウム co-chairs) :

東北大 森戸春彦 illumines 中村貴宏  
大阪公立大 堀 史説 東北大 田中俊一郎  
大阪公立大 岩瀬彰宏

# 日本金属学会2025年春期(第176回)講演大会 第13回「高校生・高専学生ポスター発表」募集案内

申込締切日：2025年1月8日(水)

本会では最新の研究成果を発表・討議する場として毎年春秋2回の「講演大会」を開催しています。この講演大会では、若い生徒や学生に金属および材料学分野に対して興味や理解を高めてもらうため「高校生・高専学生ポスターセッション」を開催しています。2025年春期講演大会では、2025年3月8日(土)に「東京都立大学南大沢キャンパス」で、3月13日(木)に「オンライン」で、「第13回高校生・高専学生ポスターセッション」を開催します。

発表者は、2025年3月8日(土)に「東京都立大学南大沢キャンパス」で現地発表または3月13日(木)に「オンライン」発表のいずれかで発表いただきます。

ポスターセッションでは、研究成果の発表を大学の教授や企業の研究者等の専門家に直接聞いてもらい、質疑応答が受けられる貴重な機会であり、さらにポスターの内容や発表の応答などを審査して、優秀な発表には会長による賞を授与します。金属および材料学分野に興味があり、本講演大会でポスター発表していただける生徒は奮ってご応募下さい。

発表者と指導教員は講演大会に無料で参加でき、研究者の最新の研究成果の発表を無料で聴講いただけます。詳細は、「高校生・高専学生ポスター発表要領」でご確認下さい。

また、高校生・高専学生ポスター発表された方で希望者全員に、ユース会員の資格を贈ります。

## 「高校生・高専学生ポスター発表」要領

学 会 名 日本金属学会2025年春期(第176回)講演大会

行 事 名 「第13回高校生・高専学生ポスター発表」

開催方法 3月8日(土)東京都立大学南大沢キャンパスおよび3月13日(木)オンライン

開催日時 2025年3月8日(土)午後または3月13日(木)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 3月8日(土)の東京都立大学南大沢キャンパス、または3月13日(木)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/2025spring>

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 優秀な発表には日本金属学会会長賞、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](mailto: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、オンライン開催によらず、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懸念があります。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。これらを理解の上、十分に注意して講演の申し込み及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。

# 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』(開催延期再案内)

日 時 一日目 2025年2月6日(木)13:00~16:30  
二日目 2月7日(金)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。この講座では、2022年に開催した同タイトルの講座をブラッシュアップした内容で講義いたします。

本講座は、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

#### 2025年2月6日(木)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)

#### 2025年2月7日(金)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 ㈱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 2025年1月30日(木)

### 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(申込前にご相談下さい)。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銀行振込のいずれかをご利用下さい。

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](mailto:meeting@jimmm.jp) ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

協賛予定 応用物理学会, 軽金属学会, 資源・素材学会, 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

## 『構造材料(2) 非鉄材料編』

日時 一日目 2024年11月28日(木) 13:30~16:45  
二日目 2024年11月29日(金) 13:30~16:45

講義概要 鉄および鋼以外のすべての金属を非鉄金属といい、数えきれないほどの種類の非鉄金属が活用され、現代社会を支えています。本講座では、代表的な非鉄金属である、銅合金、チタン合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金について基礎から解説を行います。

## プログラム

## 2024年11月28日(木)

13:30~15:00 銅合金(講師:門前亮一先生)  
15:00~15:15 一休憩—  
15:15~16:45 チタン合金(講師:新家光雄先生)

## 2024年11月29日(金)

13:30~15:00 アルミニウム合金(講師:里 達雄先生)  
15:00~15:15 一休憩—  
15:15~16:45 マグネシウム合金(講師:鎌土重晴先生)

受講方法 オンライン(Zoom)

## 講師紹介

## 金沢大学名誉教授 門前亮一先生

1977年3月 東京工業大学工学部金属工学科卒業;1979年3月 東京工業大学総合理工学研究科材料科学専攻修士課程修了;1982年12月 東京工業大学総合理工学研究科材料科学専攻博士課程修了,工学博士取得(東京工業大学);1983年1月 金沢大学工学部機械工学科助手;1987年12月 金沢大学工学部機械システム工学科助教授;1998年11月 金沢大学工学部機能機械工学科教授;2008年4月 金沢大学理工研究域機械工学系教授;2020年3月 同退職(金沢大学名誉教授),現在に至る。

## 大阪大学特任教授,東北大学名誉教授 新家光雄先生

1973年3月 名古屋大学工学部金属工学科卒業;1975年3月 名古屋大学大学院工学研究科金属工学及び鉄鋼工学専攻修士課程修了;1978年3月 名古屋大学大学院工学研究科金属工学及び鉄鋼工学専攻博士課程後期満了退学;1978年4月 名古屋大学大学院研究生;1979年5月 豊橋技術科学大学生産システム工学系教務職員;1979年7月 工学博士取得(名古屋大学);1980年4月 豊橋技術科学大学生産システム工学系助手;1988年6月~1989年5月 カーネギー・メロン大学客員助教授;1989年4月 豊橋技術科学大学生産システム工学系助教授;1995年4月 豊橋技術科学大学生産システム工学系教授;1998年7月~1998年12月 デイトン大学 客員教授,米国国防総省ライトパターンソン材料研究所外国人研究員;2003年12月 博士(歯学)取得(愛知学院大学);2005年10月 東北大学金属材料研究所生体材料学研究部門教授;2009年11月~2014年3月 東北大学金属材料研究所所長;2014年4月~2015年4月 日本金属学会会長;2016年3月 東北大学定年退職(名誉教授);2016年4月 大阪大学特任教授;2021年4月 日本チタン学会会長,現在に至る。

## 東京工業大学(現,東京科学大学)名誉教授,神戸製鋼所顧問 里 達雄先生

1974年3月 東京工業大学工学部金属工学科卒業;1979年3月 東京工業大学大学院理工学研究科金属工学専攻修了,工学博士取得(東京工業大学);1979年4月 東京工業大学工学部金属工学科助手;1988年5月 英国マンチェスター大学客員研究員;1991年4月 東京工業大学工学部金属工学科助教授;1999年8月 東京工業大学工学部金属工学科教授;2012年4月 東京工業大学精密工学研究所先端材料部門教授;2015年3月 同退職(東京工業大学名誉教授);2015年4月 神戸製鋼所顧問,現在に至る。

## 長岡技術科学大学教授・学長 鎌土重晴先生

1980年3月 豊橋技術科学大学工学部生産システム工学課程卒業;1982年3月 豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了;1991年3月 工学博士取得(豊橋技術科学大学);1982年4月~1991年3月 津山工業高等専門学校金属工学科および情報工学科にて研究教育に従事;1991年4月 長岡技術科学大学工学部機械系助手;1992年4月 長岡技術科学大学工学部機械系助教授;2004年10月 九長岡技術科学大学工学部機械系教授;2015年9月 長岡技術科学大学理事・副学長;2021年4月 長岡技術科学大学学長,現在に至る。

コーディネーター 熊本大学教授 山崎倫昭, JEF テクノリサーチ株式会社経営企画部長 船川義正

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11月21日(木)

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名以上が申込みすると受講料がさらに25%オフとなります(申込前にご相談下さい). 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銀行振込のいずれかをご利用下さい.

問合先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム参加係

E-mail: [meeting@jimm.jp](mailto:meeting@jimm.jp) ☎ 022-223-3685 FAX 022-223-6312

### 協賛予定

エネルギー資源学会, 応用物理学会, 金属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, 素材材センター, 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, 日本材料科学会, 日本材料学会, 日本磁気学会, 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, 日本物理学会, 日本分析化学会, 粉体粉末冶金協会, 腐食防食学会, 表面技術協会, 日本チタン学会, 日本歯科理工学会, 日本人工臓器学会, 日本バイオマテリアル学会, 生体医工学会



### 2024年度オンライン教育講座 今後の予定

- 構造材料(2) 非鉄材料編 (開催日: 2024年11月28日(木), 29日(金))
- 結晶学の基礎 開催延期再案内 (開催日: 2025年2月6日(木), 7日(金))

### オンデマンド配信: オンライン教育講座 今後の予定

- 構造材料(1) 鉄鋼材料編 (配信: 2024年11月5日(火)~12月2日(月))

◇お申込みは, 下記 URL よりご案内しております.

<https://jimm.jp/event/online/index.html>

~ご参加お待ちしております. ~





# オンデマンド配信：日本金属学会オンライン教育講座 「構造材料(1) 鉄鋼材料編」

配信：2024年11月5日(火)～12月2日(月)

鉄鋼材料は構造材料として最も多く用いられており、現代社会を土台から支えています。本講座では、鉄鋼材料を新たに使用する、扱うという技術者の皆様を対象に「鋳鉄」、「鉄鋼・薄板」、「鉄鋼・厚板」、「ステンレス鋼」について基礎から解説を行います。

## 講師紹介

### 金沢大学特任教授 潮田浩作 先生

1976年3月東京大学理学部物理学科 卒業； 1978年3月東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了； 1978年4月～2017年3月新日本製鐵株式会社； 1983年6月～1985年6月スウェーデン金属研究所客員研究員； 1989年6月工学博士取得(東京大学)； 2007年4月～2014年3月新日本製鐵株式会社フェロー； 2014年4月～2017年3月新日鐵住金株式会社顧問； 2011年4月～金沢大学連携講座特任教授； 2017年7月～日鉄総研株式会社シニアアドバイザー； 2017年8月～大阪大学接合科学研究所特任教授； 2019年4月～愛媛大学客員教授，現在に至る。

### 九州大学教授 植森龍治 先生

1981年3月九州工業大学工学部金属工学科 卒業； 1983年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科材料科学専攻修士課程修了； 1983年4月～2014年3月新日本製鐵株式会社； 2014年4月～九州大学鉄鋼リサーチセンター教授，現在に至る。

### 早稲田大学名誉教授 中江秀雄 先生

1964年3月早稲田大学理工学部金属工学科 卒業； 1970年10月早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了，博士(工学)取得； 1971年1月～1983年3月日立製作所機械研究所； 1983年4月～早稲田大学理工学部金属工学科教授； 1984年4月～早稲田大学鋳物研究所研究員； 2012年3月同退職(早稲田大学名誉教授)，現在に至る。

### 元九州大学教授 菊池正夫 先生

1971年3月京都大学工学部金属加工学科卒業； 1976年3月京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了 工学博士(京都大学)； 1976年4月～1982年3月京都大学および大阪大学にて教育・研究活動に従事； 1982年4月～2003年9月新日本製鐵株式会社； 2003年10月～2005年9月株式会社日鉄テクノリサーチ； 2005年10月九州大学鉄鋼リサーチセンター教授； 2010年4月九州大学鉄鋼リサーチセンター特任教授； 2015年4月新日鐵住金ステンレス株式会社技術アドバイザー，2019年3月同退職，現在に至る。

コーディネーター 熊本大学教授 山崎倫昭, JEF テクノリサーチ取締役 西日本ソリューション本部長 船川義正

- カリキュラム 1：鉄鋼・薄板 (講師：潮田浩作先生)  
2：鉄鋼・厚板 (講師：植森龍治先生)  
3：鋳鉄 (講師：中江秀雄先生)  
4：ステンレス鋼(講師：菊池正夫先生)

視聴期間 **2024年11月5日(火)～12月2日(月)**

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。

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

申込締切 **2024年11月12日(火)**

## 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，協賛学協会会員は会員扱い。
- 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銀行振込のいずれかをご利用下さい。

協賛予定 エネルギー資源学会，応用物理学会，金属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，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，日本材料科学会，日本材料学会，日本歯科理工学会，日本磁気学会，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，日本チタン学会，日本鋳造工学会，日本鉄鋼協会，日本バイオマテリアル学会，日本物理学会，日本分析化学会，腐食防食学会，粉体粉末冶金協会，表面技術協会



## 金属学会セミナー(特別講座)

### 相平衡と相変化の計算科学：凝固現象編

日本金属学会「セミナー・シンポジウム委員会」企画

実用材料における微視組織の形成過程を理解するためには、平衡状態図と凝固現象に関する基礎的知見と熱力学の基本原則に対する理論的知見が必要です。本セミナーでは、熱力学の基本原則について詳細に説明し、同基本原則に基づく CALPHAD 法による状態図計算と凝固現象のシミュレーションについてわかりやすく解説します。

「相平衡の熱力学」では、実験科学と最も親和性の高い熱力学的な基本関係式が Gibbs エネルギーであることを導出します。熱力学の第一法則と第二法則によると、恒温・恒圧の平衡状態における物質では、Gibbs エネルギーが最小値に達し、物質全体にわたって化学ポテンシャルの値が均一になります。ここで、化学ポテンシャルは、Gibbs エネルギーに対する Euler の一次形式と最も整合性の高い示強変数です。また、平衡状態では、Gibbs-Duhem の関係式によって全示強変数の束縛関係が規定されます。

「CALPHAD 法による相平衡計算」では、多元系物質のモル Gibbs エネルギーを適切な数学関数で表すための手法について詳細に説明します。また、上記の数学関数を用い、熱力学の基本原則に基づいて多元系物質の平衡状態図や物性値を精度良く評価するための計算技法について解説します。

「凝固の熱力学と凝固伝熱解析」では、熱力学的な観点より凝固学の基礎を紹介し、巨視的な凝固現象に対する解析手法である凝固伝熱解析について説明します。一方、「フェーズフィールド法による凝固解析」では、微視的な凝固現象を理解するために不可欠な凝固溶質偏析の解析モデルと凝固条件との関係を説明し、任意の凝固条件に対する偏析計算が可能なフェーズフィールド法について解説します。

本セミナーが、凝固現象を事例とする相平衡と相変化の計算科学に対する理解を深めるための一助となれば幸いです。

開催日時 1 日目：2024年11月7日(木)10:00~16:30

2 日目：2024年11月8日(金)10:00~16:30

開催方式 対面とオンラインのハイブリッド形式。オンラインは Zoom にて実施します。

対面開催会場 エッサム神田ホール1号館 6階 中会議室1(601)(東京都千代田区鍛冶町3-2-2)

(<https://www.essam.co.jp/hall/>)

募集定員 対面参加50名。オンライン参加100名。

#### プログラム

##### 【1 日目】11月7日(木)10:00~16:30

9:30~10:00 受付

10:00~11:30 「相平衡の熱力学1」 講師 梶原正憲

11:30~12:50 一昼食一

12:50~14:20 「相平衡の熱力学2」 講師 梶原正憲

14:20~14:30 一休憩一

14:30~16:00 「CALPHAD 法による相平衡計算1」 講師 阿部太一

16:00~16:30 質疑応答

##### 【2 日目】11月8日(金)10:00~16:30

9:30~10:00 受付

10:00~11:30 「CALPHAD 法による相平衡計算2」 講師 阿部太一

11:30~12:50 一昼食一

12:50~14:20 「凝固の熱力学と凝固伝熱解析」 講師 大出真知子

14:20~14:30 一休憩一

14:30~16:00 「フェーズフィールド法による凝固解析」 講師 大出真知子

16:00~16:30 質疑応答

テキスト 講義資料を pdf ファイルで配布する予定です。

基礎的知見に対するさらに詳細な解説については、以下の図書をご参照下さい。なお、受講料には図書代は含まれておりません。

(1)梶原正憲；相平衡の熱力学 ー熱力学体系の理解のためにー，コロナ社(2021)

(2)阿部太一；計算状態図入門，内田老鶴圃(2024)

講 師 東京工業大学(現, 東京科学大学)名誉教授 梶原正憲,  
物質・材料研究機構 グループリーダー 阿部太一,  
物質・材料研究機構 主任研究員 大出真知子

企画世話人 物質・材料研究機構 グループリーダー 阿部太一, 物質・材料研究機構 主幹研究員 井誠一郎

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

申込締切 2024年10月30日(水) **\*当日申込みできます. 但し, 対面参加のみです.**

受講料

受講資格	事前申込	当日申込※
正会員・維持員社員	15,000円	18,000円
学 生	8,000円	10,000円
非会員	23,000円	25,000円

○協賛学協会の会員は正会員扱い.  
○学生は会員, 非会員の区別なし

受講料支払方法 ①カード決済 ②コンビニ決済 ③銀行振込のいずれかをご利用下さい.

**※当日申込みはカード決済のみです.**

問 合 先 〒980-8544 仙台市青葉区一番町 1-14-32

(公社)日本金属学会 セミナー・シンポジウム係

E-mail: [meeting@jim.or.jp](mailto:meeting@jim.or.jp) ☎ 022-223-3685 ☎ FAX 022-223-6312

協賛予定

合金状態図研究会, エネルギー資源学会, 金属材料研究開発センター, 素形材センター, 資源・素材学会, 軽金属学会, 日本  
本铸造工学会, 日本塑性加工学会, 日本鉄鋼協会, 日本チタン協会, 日本材料学会, 日本材料科学会, ステンレス協会, 日  
本アルミニウム協会, 軽金属製品協会, 日本ガスタービン学会, 日本機械学会, 日本 MRS, 日本物理学会



〈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@jimmp.jp

☎・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 接合界面制御学講座 助教)」として電子メールで送付して下さい。

※詳細：https://www.material.tohoku.ac.jp/news/files/jobs\_20240917.pdf

◇地方独立行政法人大阪産業技術研究所  
研究職員公募のご案内◇

公 募

◇東北大学大学院工学研究科教員公募◇

公募人員 **助教 1名**

所 属 材料システム工学専攻 接合界面制御学講座

専門分野 ミクロからマクロスケールの界面創製を通じたデバイスや構造物の高機能化と安全性・信頼性向上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Ⅰ・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」：(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 5年(再任可)

公募締切 **2024年11月29日(金)17:00**

着任時期 2025年4月1日(火)以降できるだけ早い時期

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

募集人員 **1名(常勤，任期無し(定年制))**

専門分野 金属材料・材料工学分野

主たる職務 金属系新材料の創成および加工熱処理プロセスの開発(接合，材質制御など)，金属系構造材料の力学的特性の計算・評価および材料組織の分析・評価，中小企業への技術支援及び企業からの依頼試験や受託研究，その他の業務

応募資格 ・昭和55年4月2日以降に生まれた人  
・学校教育法に基づく大学(短期大学を除く)若しくは大学院，若しくは高等専門学校専攻科，又はこれと同等の学校を卒業又は修了した人(令和7年3月までに卒業又は修了見込みの人を含む)

応募締切 **令和6年11月14日(木)**

着任時期 令和7年4月1日(予定)

提出書類 ①経歴等記入票，②大学等の卒業証明書及び学業成績証明書，③大学院の修了証明書及び学業成績証明書(該当者のみ)，④大学教授等の推薦書【任意】，他

選考方法 第1次選考(書類選考)，  
第2次選考(筆記試験，個別面接，12月7日または8日)，  
第3次選考(個別面接，令和7年1月12日)

問合せ先 地方独立行政法人 大阪産業技術研究所  
法人経営本部 総務部 採用担当  
☎ 0725-51-2519

その他 職員採用選考案内の詳細は以下のページをご確認下さい。  
URL = https://orist.jp/orist/recruit/fulltime/

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 持続型材料エネルギーインテグレーション研究センター

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：東京大学 生産技術研究所 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)

★チタンシンポジウム(第8回)★(合同開催)  
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：チタンの現状と将来  
講演【敬称略】

- チタンの現状と将来(仮)(60分)  
株式会社大阪チタニウムテクノロジーズ 代表取締役社長  
川福純司
- チタンの製錬プロセスについてのこれまでの研究とこれから挑戦したいこと(仮)(40分)  
岩手大学理工学部助教 関本英弘
- 熔融チタンから低酸素濃度のチタンを直接製造する革新的  
技術の開発(仮)(40分)~チタン製品の爆発的普及へと期待~  
東京大学生産技術研究所教授 岡部 徹
- 当社チタン事業の変遷(仮)(60分)  
東邦チタニウム株式会社 常務執行役員 チタン事業部長  
三戸武士

2024年度レアメタル研究会等の今後の予定

- 第113回 2024年11月15日(金)(2024年度 第3回)←次回  
★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)

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

令和6年度レアメタル研究会のご案内 (2024.9.27現在)

- 第113回 2024年11月15日(金) 14:00~  
An 棟 2F コンベンションホール

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

新 入 会 員

(2024年8月21日~2024年9月30日)

正 員

- |                    |                     |                 |
|--------------------|---------------------|-----------------|
| 浅野 領太 千住金属工業株式会社   | 土橋 奈未 田中貴金属工業株式会社   | 本庄 正弥 ニデック株式会社  |
| 一ノ瀬 律生 有限会社南信熱錬工業  | 橋口 佳介 三井住友信託銀行株式会社  | LI Ruoqi 大阪大学   |
| 齋藤 啓次郎 東京大学        | 馬場 洋樹 ブルカージャパン株式会社  | 渡部 将平 株式会社島津製作所 |
| 高 桑 脩 九州大学         | 日向 泰山 株式会社アライドマテリアル |                 |
| 手塚 一博 ダイジェット工業株式会社 | 藤村 明生 住友電気工業株式会社    |                 |

学 生 員

- |                       |            |            |
|-----------------------|------------|------------|
| Miqdad Al Muflih 大阪大学 | 神里 祐樹 大阪大学 | 馬場 達大 大阪大学 |
| 井上 陽 関西大学             | 熊倉 悠斗 関西大学 | 日比 大誠 大阪大学 |
| 岩崎 陽 大阪大学             | 田中 碧人 大阪大学 | 平子 綾音 大阪大学 |
| 上垣 勇翔 関西大学            | 蔦原 敬登 東北大学 | 深作 昂生 大阪大学 |
| 岡 達也 大阪大学             | 出口 優紀 大阪大学 | 藤井 尋子 大阪大学 |
| 加藤 翔太 名城大学            | 中島 潤 京都大学  | 松宮 志音 京都大学 |

外国一般会員

PARK NOKEUN Yeungnam University

外国学生会員

JANG Seongmo Pukyong National University	Jongwon Lee Yeungnam University	HO YU-XUAN 九州大学
	Park JeongBin Pukyong National University	

ユース会員

古市健太郎 東京大学	梅澤 翔吾 八戸工業高等専門学校
------------	------------------

日本金属学会誌掲載論文  
Vol. 88, No. 11 (2024)

——オーバービュー——

微視的ひずみ分布解析法：機能の多様性とその需要

小山元道 清水一行 李志遠 古賀紀光 西川嗣彬  
森川龍哉 不動寺浩

——レビュー——

レビュー：銅微粒子・ナノ粒子を用いた焼結性接合材料  
田村一樹 西尾正樹 グエンマイタン 米澤 徹

——論 文——

Zr-Ni-Al 金属ガラスの疲労せん断帯厚化の支配要因  
および形成条件 鞆田顕章 中村雄飛 朱 世杰

組織数値計算および主成分分析に基づく Cu-Co-P 合金  
における組織-特性関係の理解  
後藤潤大 小山敏幸 新井俊太郎

Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> 配向無加圧焼結体の作製と高温圧縮挙動に及  
ぼす気孔率の影響 清 英一 池田賢一 三浦誠司  
森田孝治 鈴木 達 目 義雄

Materials Transactions 掲載論文  
Vol. 65, No. 11 (2024)

——Regular Article——

Materials Physics

Molecular Dynamics Study on Vibrational Characterization of Single-Walled Carbon Nanotubes

Kaito Kosugi, Koki Kawaguchi, Naoki Matamoto  
and Kazuhiro Tada

Microstructure of Materials

Analysis of Microstructure Formation Process of MgCoY Amorphous Ribbon by TEM Observation and In-Situ Small Angle Scattering Measurement

Kyosuke Hirayama, Jyunnosuke Oishi, Hiroshi Okuda,  
Yoshiaki Maegawa, Michiaki Yamasaki,  
Yoshihito Kawamura and Noboru Ohta

Mechanics of Materials

Impact of Clay Mineral Type on Rock Properties under Drying and Wetting Cycles

Masanori Kohno, Tomohiko Yoshida  
and Tsuyoshi Nishimura

Materials Processing

Production of Solidified Body from a Melt and Its Electrical Conductivity of CsSnBr<sub>3</sub> Using Precursor Prepared by Mechanochemical Reaction Process

Kiyoshi Kobayashi, Shogo Miyoshi and Tohru S. Suzuki

Engineering Materials and Their Applications

Age Hardening Behavior and Mechanical Properties of Al-11%Zn-3%Mg-1.4%Cu (-0.2%Ag) Alloys

Tomo Ogura, Yasuhiro Aruga, Takuya Kochi and  
Norihito Mayama

Formation of Fayalite for Insulating Layer of Powder Magnetic Core

Junghwan Hwang,  
Seishi Utsuno, Ken Matsubara and Masataka Mitomi

Effects of Operating Temperatures and Discharge Currents Gallium - 30Tin / Natrium-Silicate / Graphite All-Solid-State Batteries

Kuan-Jen Chen, Fei-Yi Hung and Hsien-Ching Liao

Effect of Solution Heat Treatment on Dendritic Segregation and Creep Strength of Ni-Base Single Crystal Superalloy TMS-238

Tadaharu Yokokawa, Toshio Osada, Chihiro Tabata,  
Takuma Kohata, Yuji Takata, Michinari Yuyama  
and Kyoko Kawagishi

One-Pot Sonochemical Synthesis of Carbon Nanoions from Silicon Carbide in Pure Water

Jungwen Yeh, Yasushi Hasebe and Masaya Uchida

——Rapid Publication——

Visualization of Microscopic Hydrogen Diffusion in Polycrystalline Pure Ni Using an Ir Complex

Saya Ajito, Hiroshi Kakinuma, Motomichi Koyama  
and Eiji Akiyama

Erratum



まてりあ 第63巻12号 予告

〔金属なんでもランキング!〕 No.26 ビッカース硬さ

〔最近の研究〕 SiC 基板上のグラフェンへの Li インターカレーション過程での積層構造変化

.....遠藤由大 秋山了太 保原 麗 長谷川修司

〔実学講座〕2章 特性の計測評価 2-3 磁気特性の計測と解析/磁気測定への応用：動的磁化測定(測定法) .....小野寺礼尚 喜多英治  
—他—

(編集の都合により変更になる場合がございます)

# 行事カレンダー

太字本会主催(ホームページ掲載)

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
2024年11月				
1	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	<b>fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/8GMnvbfTvFJBy1Mo8</b>	
1	第264回塑性加工技術セミナー「自動車メーカーにおける板金プレスシミュレーションの活用事例と将来展望」(大同大)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 100名
1	関西支部材料セミナー1「電子顕微鏡による組織観察・分析の基礎と応用」	日本金属学会関西支部	<b>TEL 06-6443-5326</b> <b>n-kansai@ostec.or.jp</b>	
1~3	第31回機械材料・材料加工技術講演会(M & P 2024)(富山大)	日本機械学会	https://jsmempd.com/conference/mpdconf/2024/	
5	関西支部材料セミナーテーマ2「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)(10号733頁)	日本金属学会関西支部	<b>TEL 06-6443-5326</b> <b>n-kansai@ostec.or.jp</b>	募集 50名
5~12.2	オンデマンド配信 オンライン教育講座「構造材料(1)鉄鋼材料編」(本号813頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685</b> <b>meeting@jimm.jp</b>	11.12
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/	
7~8	金属学会セミナー(特別講座)「相平衡と相変化の計算科学：凝固現象編」(東京+オンライン)(本号814頁)	日本金属学会	<b>TEL 022-223-3685</b> <b>meeting@jimm.jp</b>	事前 10.30 当日可
8	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	<b>fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/8GMnvbfTvFJBy1Mo8</b>	
8	日本希土類学会第42回講演会(横浜)	日本希土類学会	TEL 06-6879-7352 office@kidorui.org https://www.kidorui.org/lecture.html	参加 10.18
8~10	軽金属学会第147回秋期大会(群馬大)	軽金属学会	https://www.jilm.or.jp/	
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/	
12	GXに向けた自動車分野の溶接・接合技術の展開(東京+オンライン)	日本溶接協会	TEL 03-5823-6324 mikio_ebata@jwes.or.jp https://www.jwes.or.jp/committees/process/symposiums/	参加 11.5
12~13	第46回安全工学セミナー(東京+オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
13	実用表面分析セミナー2024(神戸大)	日本表面真空学会 関西支部	https://www.jvss.jp/chapter/kansai/kansai_jitsuyou25/	
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
13~15	第71回材料と環境討論会(那覇)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 ysm.hng-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/71.html	
14~15	第186回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用~応用編~」(Web開催)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
15	第34回材料フォーラムTOKAI(豊橋)(10号734頁)	日本金属学会東海支部	<b>TEL 0532-44-6695</b> <b>oba@me.tut.ac.jp</b>	10.28
15	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	<b>fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp</b> <b>https://forms.gle/8GMnvbfTvFJBy1Mo8</b>	
15	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド)(本号817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/	
18	第251回研究会「機能性磁気デバイスのための磁性薄膜の成膜技術」(東京+オンライン)	日本磁気学会	TEL 03-5281-0106 https://www.magnetics.jp/	
18	第440回講習会「レーザー加工技術の現在(いま)~実用技術から最新研究まで~」(明治大+オンライン)	精密工学会	TEL 03-5226-5191 jspe_koushu@jspe.or.jp https://www2.jspe.or.jp/form/koshukai/koshukai_form.html	定員対面 60名
18~20	第53回結晶成長国内会議(JCCG-53)(工学院大)	日本結晶成長学会	jccg-53@jacg.jp https://www.jacg.jp/jp/event/2024/jccg-53/	
19	2024年度 理研小型中性子源システム RANS プロジェクト シンポジウム(理研シンポジウム)(埼玉)	理化学研究所	kishinomiya@riken.jp http://rans.riken.jp	
20	No. 24-127 AI, リモート時代の資料作成, プレゼン技術(オンライン)	日本機械学会	https://www.jsme.or.jp/event/24-127/	
20~21	第2回「水素が関わる材料科学の課題共有研究会」(豊田)(10号731頁)	日本金属学会研究会 No.87	<b>k.asano@aist.go.jp</b> <b>https://unit.aist.go.jp/epri/hius-s/ja/events/index.html</b>	参加 11.2

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
21	第21回ヤングメタラジスト研究交流会(東京)(9号672頁)	日本金属学会関東支部	miyazawa.t.ab@m.titech.ac.jp	参加 10.24
21~22	軽金属基礎技術講座「アルミニウムの製造技術」(掛川)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 jilm-general@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/	定員 40名
21~22	第62回高温強度シンポジウム(姫路)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimu@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/	参加 11.1
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, 材 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/	
28~29	第56回溶融塩化学討論会(千葉)	電気化学会溶融塩 委員会	https://msc.electrochem.jp/symposium/ symposium.html	
28~29	オンライン教育講座「構造材料(2)非鉄材料編」(本号811頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	11.21
29	第97回 塑性加工技術フォーラム「部材軽量化技術の最先端」(東京)	日本塑性加工学会 他	http://www.jstp.or.jp	定員 50名
29	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東 支部	fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp https://forms.gle/8GMvbfTvFJBy1Mo8	
29	第2回 国際連携を見据えたマグネシウム・チタン若手研究会(オンライン開催)	軽金属学会	TEL 03-3538-0232 jilm-general@jilm.or.jp http://www.jilm.or.jp/	定員 100名
29	腐食防食部門委員会第357回例会(大阪)	日本材料学会	jimu@office.jsms.jp	11.22
30	令和6年度連合講演大会(信州大)	日本金属学会・日 本鉄鋼協会北陸信 越支部	https://jim-isij-hs2024.sakura.ne.jp/	
2024年12月				
2~4	The 22nd Asian BioCeramics Symposium (ABC2024)(第22回アジアバイオセラミックス会議)(北九州)	日本セラミックス 協会生体関連材料 部会	TEL 093-695-6025 tmiya@life.kyutech.ac.jp http://www.ceramic.or.jp/bseitai/ ABC2024/index.html	
4~6	日本中性子科学会第24回年会(名古屋)	日本中性子科学会	jsns2024@phi.phys.nagoya-u.ac.jp https://www.jsns.net/jsns2024top	
5	日本表面真空技術部会2024年12月研究例会「金属積層造形の最新技術と適用検討」(東京+オンライン)	日本表面真空学会	TEL 03-3812-0266 office@jvss.jp https://www.jvss.jp/jpn/activities/41/ index.php	60名 100名
5~6	第57回安全工学研究発表会(富山+ハイブリッド)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
5~6	第39回分析電子顕微鏡討論会(オンライン開催)	日本顕微鏡学会 分析電子顕微鏡分 科会	TEL 011-706-6768 bunseki.touron.39@gmail.com https://sites.google.com/view/bunseki- touron-39/	11.26
5~6	電気加工学会全国大会(2024)(姫路)	電気加工学会	TEL 086-251-8037 shinonaga@okayama-u.ac.jp http://www.jseme.or.jp/	
6	転位論：ナノスケールの力学と動的挙動(オンライン開催)(10号732頁)	日本金属学会関東 支部	fukushima.a.ad@m.titech.ac.jp https://forms.gle/8GMvbfTvFJBy1Mo8	
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/	
10~11	第50回腐食防食入門講習会(東京)	腐食防食学会	TEL 03-3815-1161 naito-113-0033@jcorr.or.jp https://www.jcorr.or.jp/yotei/50.html	12.2
11~12	第33回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム(FGMS-2024)(松山)	傾斜機能材料研究 会	https://fgms.net/event-info/domestic- symposium/	10.11
11~13	2024年度 JCOM 若手シンポジウム(淡路島)	日本材料学会	TEL 075-761-5325 JCOM2024wakate@office.jsms.jp https://www.jsms.jp/index_4.html	
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	
12	関西支部材料セミナーテーマ3「金属材料の腐食損傷の基礎とその評価」(大阪大)(10号734頁)	日本金属学会関西 支部	TEL 06-6443-5326 n-kansai@ostec.or.jp	募集 30名
13	第55回 エンジニアリングセラミックスセミナー「エンジニアリングセラミックスの塑性変形・破壊の最新動向」(東大)	日本セラミックス 協会	encera@cersj.org https://www.ceramic.or.jp/bkouon/index_ j.html	定員 100名
13	第98回 塑性加工フォーラム「国産半導体技術を支えるものづくり」(東京+オンライン)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	定員 80名
13	関西支部第34回塑性加工基礎講座「入門 結晶塑性シミュレーション(実習付き)」(京大)	日本塑性加工学会 関西支部	TEL 090-9280-0383 kansai@jstp.or.jp	11.29

開催日	名称・開催地・掲載号	主催	問合せ先	締切
20	2024年度 関東支部 見学会(千葉)(10号732頁)	日本金属学会関東支部	harumoto.t.aa@m.titech.ac.jp https://forms.gle/ 3T9LmxqTKW3pM2mV9	12.2
20~21	第35回信頼性シンポジウム—安心・安全を支える信頼性工学の新展開—(電通大)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 RESYMPO2024@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
2025年1月				
10	レアメタル研究会(東大生産技研)(本号817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	
17	AM研究会第11回委員会・セミナー(阪大中之島センター)	日本金属学会AM研究会	https://ji-am.jp TEL 06-6879-4448	
21~22	第32回超音波による非破壊評価シンポジウム(東京)	日本非破壊検査協会(東京)	TEL 03-5609-4015 beppu@jsndi.or.jp https://sciences.jsndi.jp/	
23~24	第46回安全工学セミナー(東京+オンライン)	安全工学会	TEL 03-6206-2840 jsse-2004@nifty.com https://www.jsse.or.jp/	
24	第61回X線材料強度に関する討論会「LabX線はどこまで進化するか」(草津)	日本材料学会	TEL 075-761-5321 jimmu@office.jsms.jp http://www.jsms.jp/	
28~29	第31回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム(Mate2025)(横浜)	スマートプロセス学会他	TEL 06-4798-2078 mate@glm-p.com https://glm-p.com/mate2025/index.htm	
2025年2月				
6~7	オンライン教育講座「結晶学の基礎」(本号810頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 meeting@jimm.jp	1.30
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)(本号798頁)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	講演 12.26 参加事前 2.19
8, 13	第13回「高校生・高専学生ポスター発表」(本号809頁)	日本金属学会		1.8
21	レアメタル研究会(東大生産技研/ハイブリッド)(本号817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5月				
14~16	2025年度塑性加工春季講演会(姫路)	日本塑性加工学会	http://www.jstp.or.jp	
2025年6月				
15~19	第41回熱電変換国際会議および第7回アジア熱電変換国際会議(仙台)	第41回熱電変換国際会議組織委員会他	ict2025@intergroup.co.jp https://ict2025.jp	事前 3.31
2025年7月				
1~4	COMPSAFE2025(第4回安心・安全・環境に関する計算理工学国際会議)(神戸)	日本計算工学会他	compsafe2025@compsafe2025.org	
2025年9月				
17~19	日本金属学会秋期講演大会(北海道大学)	日本金属学会	TEL 022-223-3685 annualm@jimm.jp	64-5号 会告予定



- 2025年度の会費納入をお願いする時期となりました。ご継続のお手続きをお願いいたします。(本号797頁)
- 2025年春期講演大会関係の申込みが始まります。各期日をご確認の上、お申込み下さい。(本号798頁)



多結晶マテリアルズインフォマティクス

宇佐美徳隆 編著

大野 裕 杏掛健太郎 工藤博章 小島拓人 横井達矢 著

「マテリアルズインフォマティクス」とは、材料科学とデータサイエンスの交差点に位置する重要な学問分野であり、そこでは材料の特性や挙動を理解し、最適化するために、計算手法や機械学習を活用する。本書は、JST-CREST プロジェクト「多結晶材料情報学による一般粒界物性理論の確立とスマートシリコンインゴットの創製」に参画した主要メンバーが、著者とそれぞれが構築したデータ収集法や可視化手法、機械学習モデル、組織解析手法、粒界原子構造の計算手法などの研究基盤を多結晶材料に適用した事例を紹介したものである。その内容は、多結晶材料情報学を支える結晶学と情報学の基礎、および多結晶シリコンをモデル材料にして創出された研究成果から構成されている。まず、社会インフラとして構造物、情報機器、太陽電池などに用いられている多結晶材料の基本的な性質や構造、成長過程についての解説があり、初心者にも理解しやすい基礎知識を提供している。次章には情報学の基礎として、機械学習や統計的手法を用いたデータ解析の方法論などのデータ駆動型の

アプローチの説明があり、実際のデータセットを用いたケーススタディも含まれている。続いて、多結晶材料の設計や特性予測に関する具体的な応用例を紹介することで、研究者や技術者がマテリアルズインフォマティクスを実際にどのように活用していくかをイメージしやすくしている。さらに、著者らの6年半にわたる研究プロジェクトの成果やこの分野のトレンドについても触れられており、今後のマテリアルズインフォマティクスの方向性を考えるうえで非常に参考になる。

総じて、本書「多結晶マテリアルズインフォマティクス」は、材料科学の研究者や技術者にとって非常に有益なリソースであり、データ駆動型のアプローチを通じて、新たな材料の発見や開発に貢献することが期待される。興味のある方には是非、手に取っていただきたい一冊である。

(日本原子力研究開発機構 諸岡 聡)

〔2024年5月 A5判 共立出版 172頁 本体3,600円+税〕



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	永瀬文嗣	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11号 (2024) 発行日 2024年11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 発行人 谷山 明  
 〒980-8544 仙台市青葉区一番町一丁目14-32 印刷所 小宮山印刷工業株式会社  
 TEL 022-223-3685 FAX 022-223-6312 発売所 丸善雄松堂株式会社  
 〒104-0033 東京都中央区新川 1-28-23

## 分子／結晶模型モデル (組み立て用キット)

プラスチックの原子と結合を使った教育学習用の分子／結晶構造の模型です。原子は色で区別され、正しい角度に設定された分枝を持ち、決められた長さの結合長で繋ぎ合わされます。直径1cmと6mmの原子を使う2種類のモデルサイズがあります。

### 基本セット

- Basic Structure (1cmモデル) Class Set ¥11,000.-  
硫酸、塩化ナトリウム、ダイヤモンド、グラファイト、金属、酸と塩基、洗剤、ナイロン、アモルファス構造の学習用(原子 515 個)
- Lattice (1cmモデル) Class Set ¥11,550.-  
ダイヤモンド、グラファイト、塩化ナトリウム、8および12配位金属、塩化セシウム、セ閃亜鉛鉱、ウルツ鉱、ルチル、氷構造の学習用(原子380個)
- Organic and Inorganic Chemistry (1cmモデル) Class Set ¥11,550.-  
アルカン、アルケン、アルキン、環構造、酸素／窒素／硫黄／リンの官能基、ベンゼン環、ポリマー、複素結晶の学習用(原子 500 個)



### 結晶セット

- Carbon Nanotube (原子150個) ¥3,960.-
- Diamond (原子450個) ¥8,800.-
- Beta-Quartz (原子1,400個) ¥17,160.-
- Mica (原子1,550個) ¥31,680.- その他、多数あり

(製作 : Cochranes of Oxford Ltd.)

## 30,000件のセラミックス状態図データベース Phase Equilibria Diagrams, Version 5.1 (ACerS-NIST)

新規購入価格 ¥330,000.-

(シングルユーザー用／マルチユーザー用)

Version 4.1/4.2/4.3/4.4/4.5からのアップグレード価格あり(¥220,000～¥66,000)

### 検索条件

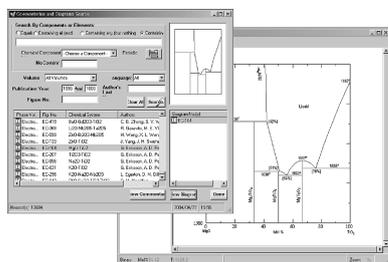
■元素記号、成分系 ■著者名、出典書誌名、出版年 ■状態図番号

### 収録物質系

■酸化物とその混合系 ■カルコゲナイド(硫化物、セレン化物、テルリド)  
■ブニチド類(第15族元素) ■炭化物類、炭酸塩類、ケイ化物類、ケイ酸塩類  
■アクチニドおよび希土類 ■半導体材料 ■第3族元素 ■塩類とその混合系

データソース/Phase Diagrams for Ceramists他の1898年以降のACerSとNISTの刊行物

\*Version 5ではすべての図がPDFで収録され、このバージョンではJAVAは不要です。



システム要件 : Windows 7～10、2GB RAM、ディスク空き容量4GB 媒体 : USB

化学プロセス用の物性データベース

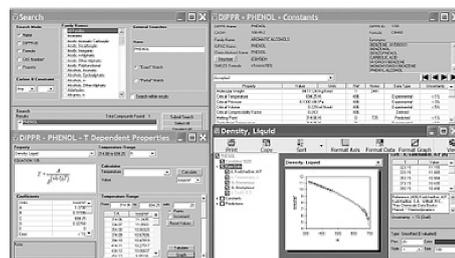
## DIPPR with DIADEM Elite (Design Institute for Physical Property Data)

価格 ¥572,000.-/¥82,500.- (一般/教育)

2,280化合物についての49種類の熱物性値(実測値)、複数の推算式、文献データと15種類の温度依存物性には推算式の係数などのデータベースです。AIChE推奨のインターフェイスソフトウェア(DIADEM)付きのスタンドアロンシステムです。

### おもな機能(DIADEM/Elite)

- 検索対象 : Name, Formula, CAS番号、物性データ
- 物性値 : 実測値、推算式による予測値
- データ表示 : テーブルとグラフプロット
- 複素化合物データの重ね合わせプロット
- MDL Chimeプラグインによる構造式の立体表示
- ユーザーデータベースの作成

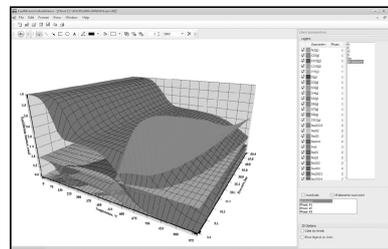


システムプラットフォーム :  
Windows 8/10/11 (AIChE DIPPR Project 801)

## 化学反応／平衡計算ソフトウェア HSC Chemistry for Windows, Ver.10.x

年間使用料 ¥418,000.-/¥165,000.- (一般/教育)

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



システムプラットフォーム : Windows /8/10/11  
(Autototec Research Oy. 製作)

※表記の価格は税込です。

## 株式会社 デジタルデータマネジメント

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

# Materials Transactions 投稿の手引き

Materials Transactions (Mater. Trans.)への投稿は、次の要件を満たさなければならない。

- (1) 英文であり、未掲載および他のジャーナルに投稿中でないことかつオリジナリティがあること (Materials Transactions 審査及び査読規程に定める範囲において、重複を認める場合がある)。
- (2) 金属とその関連材料の学術および科学技術の発展に寄与するものであること。
- (3) 軍事研究であると判断される内容を含んでいないこと。
- (4) 投稿規程に合致するものであること。
- (5) 別に定める執筆要領に準拠して作成された原稿であること。
- (6) 論文の著作権を本会に帰属することに同意すること。
- (7) 掲載が決定した場合は、この規程に定める投稿・掲載料を支払うこと。
- (8) 研究不正行為および研究不適切行為をしないことならびに研究不正行為をした場合は本会の定めるところにより処分を、研究不適切行為をした場合は本会の定めるところにより措置を受けることに同意すること。
- (9) 投稿原稿を作成する基となった生データ、実験・観察・研究ノート、実験試料・試薬等の研究成果の事後の検証を可能とするものを論文掲載後5年間保存することに同意すること。

## 1. Mater. Trans. に投稿可能な論文

### (1) Regular Article (10頁以内)

金属及びその関連材料の理論、実験並びに技術などに関する学術上の成果を報告し、考察した原著論文で、科学・技術的に質の高い、新規な興味ある内容(結果、理論、手法等)が十分含まれている論文。

日本金属学会誌の学術論文に Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、英訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。

なお、著者が迅速掲載を希望し、追加費用を負担する場合は、査読期間短縮を含め迅速掲載のための処理を行う。

### (2) Review (原則15頁以内)

各専門分野の研究開発の背景や最近の状況及び今後の展望等について、重要な文献を引用して、各専門分野の専門家のみならず他分野の専門家や学生等も対象に、その概要を公正にかつわかりやすく解説する論文。日本金属学会誌およびまてりあに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、日本金属学会誌およびまてりあ掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「レビュー」等を含めることが望ましい。

### (3) Overview (原則15頁以内)

単なる一般的な review ではなく、執筆者独自の考えに立って review し、取り上げた問題点の中において自説の位置付けを明確にした論文。ただし、事前に「タイトル」「氏名」「要旨」を編集委員会に提出し、了承を得た後、投稿する方式とする。日本金属学会誌およびまてりあに Web 掲載後2年以内であれば投稿ができる。その事を脚注に明記する。また、日本金属学会誌およびまてりあ掲載論文と異なる部分がある場合は、その事を脚注に明記する。なお、論文題目中に「オーバービュー」等を含めることが望ましい。

### (4) Technical Article (10頁以内)

金属およびその関連材料の実験技術、製造技術、設備技術、利用技術など、技術上の成果、基準、標準化、データベースなど、および関連する事柄の調査、試験結果を報告した原著論文。

日本金属学会誌もしくはまてりあに Web 掲載後2年以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、英訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。ただし査読の結果、返却もあり得る。

### (5) Current Trends in Research (10頁以内)

特集企画や受賞論文等を対象にした最近の研究動向について、関連論文を引用し、Graphical Abstract 等を利用しながらその概要をわかりやすく紹介する論文。

### (6) Rapid Publication (4頁以内)

速報を要する短い論文。すなわち、新規性のある研究成果、技術開発に関する新発見、新アイデア、提案等。最短2週間で審査を完了する。迅速掲載のための費用を負担しなければならない。日本金属学会誌の速報論文に Web 掲載後6ヵ月以内であれば、著者および内容が基本的に同一の場合に限り、英訳した論文を投稿できる。その事を脚注に明記する。

### (7) Opinion (2頁以内)

Materials Transactions に掲載された論文に対する意見、討論またはそれに対する著者からの回答とする。科学・技術的な発展に貢献できる内容であること。

### (8) その他理事会で決議した分類

## 2. 投稿の方法

Mater. Trans. への投稿は <https://mc.manuscriptcentral.com/matertrans> にて原稿を提出する。

和文掲載済み論文の英訳論文の場合には、和文掲載済み論文 PDF も送付する。

## 3. 原稿

執筆要領に従って原稿を作成し指定のファイル形式に変換したものを提出する。

### 3.1 記載内容

①題目・著者名・研究機関、②英文概要・Keywords、③本文、④謝辞、⑤文献、⑥Appendix、⑦表・図説明一覧、⑧その後各別紙の表・図を添付する。

### 3.2 単位

SI 単位を使用する。

### 3.3 引用文献・脚注

通し番号で [1,2], あるいは [3-6] のように表し、本文の末尾に一括記載する。著者名、誌名、タイトルはすべて英語表記する(特に決まっていないものはローマ字表記する)。

## 4. 審査

投稿された論文は欧文誌編集委員会の独自の審査を経て欧文誌に掲載される。編集委員会から原稿の修正を求められ、あるいは返却されることがある。

## 5. 校正

初校は著者の責任で行う。著者校正は原則として1回とし、誤植の修正に限る。

## 6. 投稿者負担金

6.1 投稿・掲載費用を支払う(公開日から1年間有効の電子ジャーナル購読権 ID/Password を寄贈)。

6.2 カラー図の掲載費用は、無料とする。

※オンラインジャーナルのみ(冊子・別刷はすべてモノクロ表示)。

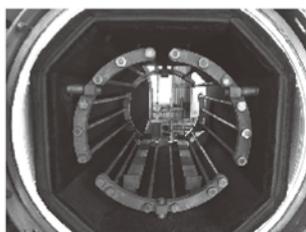
6.3 Regular Article の迅速掲載費用: 11,000円(税込)。

# 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



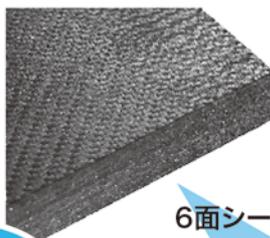
カーボンヒーター



シール



6面シート  
貼り



カーボンフェルト



## CO<sub>2</sub>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](mailto:mck@mechanical-carbon.co.jp)



# 日本金属学会発行誌 広告のご案内

## まてりあ (会報)

前付) 1色1P ¥100,000 (税別) 1/2P ¥60,000 (税別)

後付) 1色1P ¥95,000 (税別) 1/2P ¥55,000 (税別)

※表紙回り、カラー料金等お問い合わせ下さい。

## 春・秋期講演大会プログラム

後付) 1色1P ¥70,000 (税別) 1/2P ¥40,000 (税別)

広告ご掲載についてのお問い合わせ・お申込み

株式会社 明 報 社

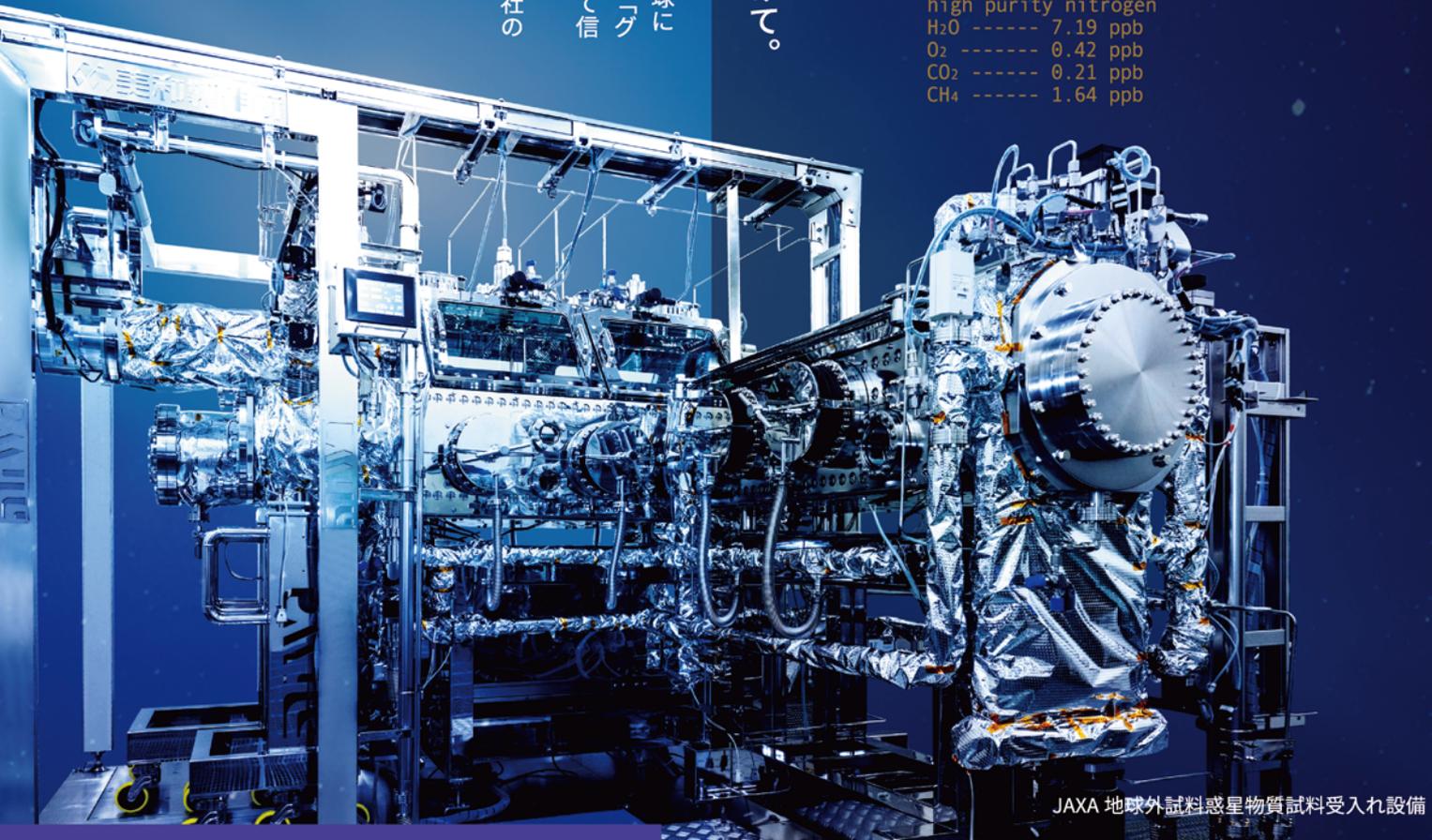
〒104-0061 東京都中央区銀座7-12-4 友野本社ビル  
TEL (03) 3546-1337 FAX (03) 3546-6306  
E-mail [info@meihosha.co.jp](mailto:info@meihosha.co.jp) HP [www.meihosha.co.jp](http://www.meihosha.co.jp)

## クリーンな空間の創造。 超ドライ超低酸素科学技術の多様なニーズに向けて。

「はやぶさ」「はやぶさ2」「オシリスレックス」ミッションは、地球に試料カプセルを届けた後の今もなお研究は続けられています。当社「グローブボックス」は、その厳しい環境下での使用においても継続して信頼を頂き、その分析に活用され続けています。  
また、地球外物質の研究以外にも、数々のプロジェクトに当社の製品が使用されております。

Clean Chamber  
high vacuum performance  $5 \times 10^{-7}$  Pa or under  
basic material SUS304  
The parts facing the room are electrically composite polished baked at high temperature up to 120°C

high purity nitrogen  
H<sub>2</sub>O ----- 7.19 ppb  
O<sub>2</sub> ----- 0.42 ppb  
CO<sub>2</sub> ----- 0.21 ppb  
CH<sub>4</sub> ----- 1.64 ppb



JAXA 地球外試料感星物質試料受入れ設備

### 設計・製作・販売

- グローブボックス ●高真空グローブボックス ●クリーンチャンバ
  - ガス循環精製装置 ●窒素除去装置 ●真空電気炉 ●高真空電気炉
  - クリーンオープン ●水素還元炉 ●ラミネート装置 ●封止装置
  - ドライルーム ●高気密恒温恒湿室 ●高気密低濃度CO<sub>2</sub>室
- その他、特殊試験・製造装置の製作をいたします。

※当社のすべての製品は、日本国内でのみご利用いただけます。



株式  
会社

美和製作所

本社・工場 〒567-0028 大阪府茨木市畑田町11番50号

TEL: 072-625-1138 FAX: 072-625-1178

東京営業所 〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町32番地

TEL: 03-5256-1138 FAX: 03-5256-1145

URL: <https://www.miwass.co.jp> E-mail: [info@miwass.co.jp](mailto:info@miwass.co.jp)