## 文部科学省

## 国際・産学連携 インヴァースイノベーション 材料創出プロジェクト

## 令和 5 年度 研究成果報告書

## 令和6年3月31日

## 大阪大学接合科学研究所

## 国際・産学連携 インヴァースイノベーション 材料創出プロジェクト

## 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト (6大学連携・出島プロジェクト) 大阪大学接合科学研究所 令和 5年度研究成果報告書

## 目次

| 6大学連携・ | 出島プロジェク  | ト研究成界 | 具報告書 | 春の発刊 | りにあ | たっ  | って・ | •  | •   | •   | • | ••• | •   | • | • | • | ••• | 1   |
|--------|----------|-------|------|------|-----|-----|-----|----|-----|-----|---|-----|-----|---|---|---|-----|-----|
| 6大学連携・ | 出島プロジェク  | ト概要・・ |      | •••  | ••• | • • | • • | •• | •   | ••• | • | •   | ••• | • | • | • | •   | • 2 |
| 大阪大学接合 | 科学研究所令和: | 5年度プロ | ジェク  | ト課題  | ••• | ••  | ••• | •  | ••• | •   |   | •   | •   | • |   | • | •   | 3   |

大阪大学接合科学研究所令和5年度研究成果

| 研究成果報告 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5 |
|--|
| 業績リスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31    |
| 受賞リスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41 |
| 新聞記事・プレス発表等のリスト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42 |

## 会議報告

| 第3回国際会議· | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 44 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 第2回公開討論会 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | 45 |

## 出島コンソーシアム

| 概要· | • • | ••• | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • 4 | 7 |
|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|
| 令和5 | 年月  | 复活  | 動 | 概 | 要 | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • 4 | 8 |

## 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト (6 大学連携・出島プロジェクト) 研究成果報告書の発刊にあたって

大阪大学接合科学研究所 所長藤井英俊

令和 3 年度から開始した「国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクトー DEJI<sup>2</sup>MA: Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture-(以下、6大学 連携「出島」プロジェクト)」は、新概念「インヴァースイノベーション」に基づいて、多様な社会的要 望や地球規模課題を「コア出島」で課題設計し、6大学6研究所の専門性の垣根を越えた「マルチ出島」 を通じて人と知の好循環により課題解決を図ることでイノベーション創出を加速し、社会実装を迅速化す ることを目的としております。すなわち、本プロジェクトは、共同利用・共同研究拠点を含む全国的な拠 点間ネットワーク連携によって、先鋭的な研究力を有する各々の単独拠点のメリットを生かしながら、拠 点間の学際融合・異分野融合による「知」のネットワーク連携によって初めて、単独拠点だけでは課題設 定すら困難であった社会からの要望を研究課題として設定し、多様な社会ニーズに対してスピード感をも って応える、新しいスタイルの共同研究プロジェクトです。

大阪大学接合科学研究所は、この6大学連携「出島」プロジェクトの主幹校として、材料をつなぐ溶 接・接合分野と産学共創の強みを生かしながら、イノベーションのスピード創出に繋がるよう「コア出島」 の機能と好循環を生み出す役割を担っています。今年度は、出島コンソーシアムの活動もより一層活発化 させ、担当の阿部教授を中心に、PLの節原教授と共に活動を展開させて頂いております。出島コンソー シアムは、複数回のセミナー、チュートリアル講座、アドバイザリーフォーラムから構成され、大学側のメン バーは400名を超え、企業メンバーからのに「ニーズ」を受け入れる体制が整っています。組織整備事 業の予算措置による専任教員4名の採用も完了し、具体的な成果を輩出するフェーズに移行いたしました。

弊所としましても、「環境・エネルギー材料」、「バイオ・医療機器材料」、「情報通信材料」の3分野に跨る 個々の研究課題にも積極的に取り組み、26名の教員(特任も含む)が13件の研究課題を掲げて本プロ ジェクトを推進しております。これからも引き続き「尖った出島」の形成を目指すとともに、生み出された 多くのインパクトのある研究成果を、学術論文や国際会議発表等を通して社会に広く情報発信することに これからも鋭意努めて参ります。

引き続き、各位のご協力とご支援を何卒よろしくお願い申し上げます。

## 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト(出島プロジェクト) Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA Project) 6 大学連携・出島プロジェクト概要

6大学6研究所が各々の強みを発揮・連携し、従来(シーズから応用を模索するアプローチ)と は逆に、新概念「インヴァースイノベーション」により、6大学6研究所間連携研究組織(コア出 島・マルチ出島)での異分野融合型連携研究体制で、3分野(環境・エネルギー材料分野、バイオ・ 医療機器材料分野、情報通信材料分野)における社会的要求を起点に課題解決とイノベーション創出 を加速化し、新たな学術研究体系を構築する。

大阪大学接合科学研究所、東北大学金属材料研究所、東京工業大学フロンティア材料研究所での材 料接合、金属、無機材料における世界屈指の学術基盤と、名古屋大学未来材料・システム研究所、東京医科 歯科大学生体材料工学研究所、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構での環境・エネルギー、生体・医 療、エレクトロニクスにおける世界屈指の研究開発基盤を融合し、各研究所のミッションと学術研究推 進を基軸に、新概念「インヴァースイノベーション」に基づいて社会的要求を起点に「コア出島」で 課題設計し、6 研究所の専門性の垣根を越えた「マルチ出島」を通じた人と知の循環で課題解決を加 速化すると共に、イノベーション創出を加速化する。「コア出島」を中核とする「六研連携戦略室」を 研究所間連携の戦略的「司令塔」として主幹校(接合科学研究所)に整備し、各研究所には連携研究 の実施主体「マルチ出島」を整備して、『コア出島・マルチ出島方式』の異分野融合の研究所間連携 体制を構築する。これにより、6 大学 6 研究所間の学際的連携研究体制を格段に発展・強化し、環 境・エネルギー材料分野、バイオ・医療機器材料分野、情報通信材料分野での社会的要求を起点とす る課題解決とイノベーション創出の加速化と迅速な社会実装を通じて、マテリアル革新力の強化を図 ると共に、我が国が世界を先導する新材料技術の創成を目指す。



## 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト (6 大学連携・出島プロジェクト)

## 大阪大学接合科学研究所 令和5年度プロジェクト課題

- 1. 環境・エネルギー材料分野
  - 1-1 プラズマ触媒作用によるメタネーション技術の創生

代表者:節原 裕一 共同研究者:竹中 弘祐、都甲 将

1-2 高張力鋼板とマグネシウムの抵抗スポット脱成分接合技術に関する研究
 代表者:麻 寧緒 共同研究者:池田 倫正、Qian Wang、Paponpat Chaimano、

福井 達海

- 1-3 最新溶接・接合技術による低放射化材料異材接合技術確立と革新的核融合炉発電システム技術の創成
  - 代表者:芹澤 久 共同研究者:藤井 英俊
- 1-4 摩擦攪拌接合による高性能なインバー合金接合部の実現 代表者:山下 享介 共同研究者:潮田 浩作、藤井 英俊、虎本 陸希
- 1-5 ナノ材料の低次元・多元素化と界面機能探索代表者:阿部 浩也 共同研究者:李 飛
- 2. バイオ・医療機器材料分野
  - 2-1 ウイルス不活化メカニズム解明およびウイルス不活化機能性向上のための表面構造形成 代表者:塚本 雅裕 共同研究者:佐藤 雄二、竹中 啓輔、吉田 環
  - 2-2 鉄含有チタン二相合金の強度解析手法の確立と強化因子の特定 代表者: 刈屋 翔太 共同研究者: 近藤 勝義、梅田 純子
  - 2-3 水との相界面を反応場とする粒子合成と機能探索

代表者:阿部 浩也 共同研究者:小澤 隆弘、目代 貴之、八木 唯奈

- 3. 情報通信材料分野
  - 3-1 高品質酸化物薄膜トランジスタの低温形成に向けたプラズマプロセス技術の開発 代表者:節原 裕一 共同研究者:竹中 弘祐、都甲 将、上田 拓海
- 4. 要素材料·技術開発分野
  - 4-1 マルチスケール材料融合によるはんだ材料の高機能化
  - 代表者:巽 裕章 共同研究者:西川 宏、新田 隼也
  - 4-2 健全な継手が得られる陽極接合条件の解明
     代表者:高橋 誠
  - 4-3 プラズマミグハイブリッド溶接を用いた高張力鋼厚板のワンパス溶接法の開発 代表者:田代 真一 共同研究者:田中 学
  - 4-4 多次元セラミック組織を有する人口歯冠インプラント造形 代表者:桐原聡秀 共同研究者:スピレット・フィオナ

# 研究成果

## プラズマ触媒作用によるメタネーション技術の創生

大阪大学接合科学研究所 〇節原裕一、竹中弘祐、都甲 将 名古屋大学未来材料・システム研究所 服部将朋

#### Development of Methanation with Plasma Catalysis Technology

## by OYuichi SETSUHARA, Kosuke TAKENAKA, Susumu TOKO, and Masatomo HATTORI

#### 1. 研究目的

近年、地球温暖化や、世界情勢の緊迫化によりエネルギー問題が顕在化してきており、カーボンニュートラルを目指した炭素循環社会を創生するための方法が模索されている。これらの課題を解決するために、大気中から回収した二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を水素(H<sub>2</sub>)と反応させ、天然ガスの主成分であるメタン(CH<sub>4</sub>)を合成するメタネーションの技術開発が進められている。反応式は以下で表される。

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O; \Delta H = -165.0 \text{ kJ/mol},$$
 (1)

本反応では、触媒を用いることで反応の活性化エネルギーを低減し、熱によって反応を促進する熱触媒 作用による研究が一般的であるが、過熱による触媒の安定性に課題がある。そこで、プラズマと触媒を 併用するプラズマ触媒作用によってメタネーションの低温化を実現することに着目した。本手法におけ る大きな課題は、1. 選択性が低いこと、2. 反応機構が未解明であること、にある。本年度は、プラズマ のみでのメタネーション反応促進における基礎的な研究およびモレキュラーシーブ(MS)を用いて一部の 生成物質を気相中から除去した場合の平衡状態の変化についての調査を行った。

#### 2. 研究成果

Fig. 1 に本研究で用いたプラズマ支援メタネ ーション装置の概略図を示す。外径 50 mm,内 径 42 mm のアルミナチューブ内でプラズマを 生成した。高周波誘導結合アンテナとして 3 巻 きのコイルを用いた。放電管の下流領域にプラ ズマが広がらないよう Cu のメッシュを設置し た。ここで、Cu メッシュは放電体積に比べて十 分に表面積が小さいためほとんどメタネーシ ョンには影響しないことが確認されている。実 験のパラメータとして、放電電力を 400 W、圧 力は 10 mTorr に保った。ガス流量は CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> をそれぞれ 1 sccm、6 sccm で一定とした。

また、MS による気相中粒子吸着の影響を検 討するため、MS 使用無し(w/o MS)、MS をプラ ズマ内に設置(w/ MS on mesh)、MS をプラズマ 外に設置(w/ MS below mesh)の 3 パターンにつ いて調査した。

ガス組成の分析には四重極質量分析装置 (QMS)を用いた。メタネーション効率の評価指 標として、しばしば CH4 収率が用いられる。CH4 収率は以下の式で導出される。





$$CH_4 \text{ yield} = \frac{[CH_4]_{ON} - [CH_4]_{OFF}}{[CO_2]_{OFF}},$$
 (2)

ここで、[molecule]は分子の分圧を示し、添え字 ON、OFF はプラズマの ON、OFF を示す。これ は、変換前の CO<sub>2</sub> が CH<sub>4</sub> に変化した割合を示し ている。

Fig. 2 に w/o MS、w/ MS on mesh、w/ MS below mesh の 3 パターンにおけるプラズマ放電開始後 の CH4 収率の時間変化を示す。w/ MS below mesh では時間とともに CH4 収率が増加していき、t = 300 s 時点で w/o MS と比べて 3 倍以上の CH4 収 率が得られた。一方、w/ MS on mesh では t = 50 ~ 200 s の範囲では w/o MS よりも 1.5 倍ほど高い CH4 収率が得られているものの、その後急激に減 少し、ほとんど CH4 が生成されなくなったことが 分かる。以上の結果は、MS による粒子吸着がメ タネーション反応に有効に働く一方で、その吸着 限界から、MS に寿命が存在することを示唆して いる。プラズマ内の MS の寿命が短くなったこと



Fig.2 CH4 収率の時間依存性

は、MS が分子だけでなく、プラズマ内で生成された様々な短寿命の反応活性種も同時に吸着している ことを示唆している。また、MS の使用によって CH4 収率が増加した理由として、逆反応を引き起こす 酸化源(H<sub>2</sub>O 分子や O, OH ラジカル等)が MS にトラップされたことが考えられる。プラズマ中では様々 な反応性粒子が生成され、それによって化学反応が進行するが、同時にその反応性の高さから望まない 反応も起こりやすく、選択性が低い主な原因となっていた。本結果は、MS の適切な使用が化学反応の 平衡状態を制御しうる可能性を示した。

プラズマ触媒作用におけるメタネーションにおいては、酸化反応を抑制することが重要であることが 明らかになった。今後は触媒とも組み合わせ、さらにメタネーション効率の改善を目指すと同時にその 反応機構についての解明を推進していく予定である。

## 3. 発表論文等

## 原著論文

- Susumu Toko, Taiki Hasegawa, Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Kosuke Takenaka, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Yuichi Setsuhara, Optical emission spectroscopy study in CO<sub>2</sub> methanation with plasma, Japanese Journal of Applied Physics 62 (2023) SI1008/1-5.
- Susumu Toko, Taiki Hasegawa, Takamasa Okumura, Kunihiro Kamataki, Kosuke Takenaka, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani, Yuichi Setsuhara, Contribution of active species generated in plasma to CO<sub>2</sub> methanation, Japanese Journal of Applied Physics 62 (2023) SL1023.

#### 国際会議等発表

- Susumu Toko, Kosuke Takenaka, Yuichi Setsuhara, and Masatomo Hattori, Synergistic Effects of Molecular Sieves and Plasma for CO<sub>2</sub> Methanation, The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA), 20 October, 2023, International Conference Center - Waseda University, Tokyo, Japan.
- S. Toko, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, Y. Setsuhara, Catalytic ability of Cu and Ni in methanation with plasma catalysis, MRM2023/IUMRS-ICA2023, December 11 - 16, 2023, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.

## 高張力鋼板とマグネシウムの抵抗スポット脱成分接合技術に関する研究

大阪大学接合科学研究所 〇麻寧緒、池田倫正、Weihao Li、Paponpat Chaimano 東北大学金属材料研究所 加藤秀実、倉林康太

## Feasibility study on resistance Spot welding of steel and magnesium by ONinshu MA, Rinsei IKEDA, Weihao LI, Paponpat CHAIMANO, Hidemi KATO, Kota KURABAYASHI

## 1. 研究目的

CO2 排出量を削減するため、自動車の車体を軽量化する技術の開発が必要不可欠である。他方、車体の衝 突安全性を確保しなければならない。その二つの要求を両立するため、薄板高張力鋼板と比強度の高い軽量 材料マグネシウムを利用するニーズが高まっており、関連の接合技術を開発しなければならない。一方、鋼 材とマグネシウムの融点がそれぞれ約1500℃、600℃で、3倍ほど異なるため、両金属を同時に溶融溶接する ことが不可能である。そこで、ここでは、マグネシウムのみを溶融させ、薄板高張力鋼板の表面より Ni 成分 を脱成分することで得られる Fe 相と Mg 相の共連続複合組織を介した機械接合を行う。具体的な接合として、 高生産率と低コスト性に優れる抵抗スポット溶接を用いて基礎研究を行う。本技術を確立すれば、車体の軽 量化を通して、CO2 の削減と SDG s に貢献できる。

## 2. 研究成果

## 2.1 58Fe-42Ni 合金とマグネシウム AZ31B の抵抗スポット溶接試験条件

Fig.1 には、Fe-Ni 合金とマグネシウム合金の抵抗スポット溶接試験のセットアップを示す。Fig.2 には、抵抗スポット溶接の電極形状と寸法を示す。電極先端の半径 R は 100mm である。溶接電流の時間変化を Fig.3 に示し、最大電流は 10kA で 60Hz の交流電源を用いた。Fig.4 には、抵抗スポット溶接試験片の形状と寸法を示す。Fe-Ni 合金とマグネシウム合金の板厚はそれぞれ 1.5mm と 1.0mm である。試験片の幅と長さは、それぞれ 30mm と 150mm である。溶接部の重ね領域は 30mm×30mm であった。



Schematic of loop cycle setting



Schematic of welding physical setting Fig.4 Resistance spot welded specimen shape and size

## 2.2 58Fe-42Ni 合金とマグネシウム AZ31B の抵抗スポット溶接強度試験

Table 1 は、抵抗スポット溶接条件試験片の通電時間が変化させた6ケースに対して、引張りせん断試験による強度の変化を示す。Fig.5 は、試験で得られた荷重-変位の曲線を示す。通電時間 2 秒との Case 3 では、引張りせん断強度が最も高く、最大変位も大きい結果となる。6ケースの中で最適な溶接条件である。長時間または短時間の通電加熱ケースでは強度の低下した現象が見られる。

| Table  | 1 Res  | sistance sp          | pot wel         | ding cond          | ditions for             | r strength              |
|--------|--------|----------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | Case   | Welding<br>time (s.) | Loop (<br>(s    | Cycle To<br>.)     | tal weldin<br>time (s.) | g Maximum<br>Load (N.)  |
|        | 1      | 0.5                  | 1               |                    | 0.5                     | 1218.853                |
| Cinala | 2      | 1                    | 1               |                    | 1                       | 2093.466                |
| cycle  | 3      | 2                    | 1               |                    | 2                       | 2979.46                 |
|        | 4      | 3                    | 1               |                    | 3                       | 2686.416                |
| Multi  | 5      | 2                    | 5               | 1                  | 10                      | 1711.98                 |
| cycles | 6      | 2                    | 1(              | )                  | 20                      | 2221.163                |
|        | Parame | eters Squee<br>(n    | ze time<br>ns.) | Hold time<br>(ms.) | Electrode (<br>(N.)     | force Frequency<br>(Hz) |
|        | Value  |                      | 50              | 0.17               | 3920                    | 60                      |



## 2.3 抵抗スポット溶接界面の SEM 観察結果

引張りせん断強度が最も高い試験片(Case 3)の溶接界面を SEM で観察した結果を Fig.6 に示す。接合界面における Fe、Ni、Mg および Al の元素分布は、急に変化している。より詳細な分析で接合メカニズムの解明が必要である。



Fig.6 Chemical compositions analyzed based on SEM observation

## 最新溶接・接合技術による低放射化材料異材接合技術確立と 革新的核融合炉発電システム技術の創成

大阪大学接合科学研究所 〇芹澤 久、藤井英俊 東北大学金属材料研究所 笠田竜太

## Development of advanced dissimilar joint technology between low activation materials for innovation of fusion reactor power generation system by OHisashi SERIZAWA, Hidetoshi FUJII and Ryuta KASADA

#### 1. 研究目的

次世代発電システムの一つである核融合炉発電システムの実現のためには、高エネルギー照射下において 材料学的安定性を有する、低放射化フェライト鋼やバナジウム合金鋼などの低放射化材料の開発とともに、 特性の異なる高機能材料との異材溶接・接合技術の確立が必要不可欠である<sup>1</sup>。現在、フランスで建設が進め られている核融合実験炉 ITER では、実証実験の一つとして、熱エネルギーの取り出しとトリチウム増殖を 担うブランケットの試験モジュール TBM (Test Blanket Module) が設置される計画であり、日本が開発予定 の TBM は、低放射化フェライト鋼 F82H を構造材料とする水冷却ブランケットである<sup>2</sup>。そのため、F82H と TBM への冷却水配管材料であるオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L) との異材接合技術の確立が必要 不可欠であり、これまでファイバー・レーザーを用いた溶融接合法の確立に向けて研究を進めてきた<sup>13</sup>。

本課題では、溶融接合法で問題となる溶融部のマルテンサイト化を抑制することを目的に、非溶融接合法 である摩擦攪拌接合法(FSW: Friction Stir Welding)の適用可能性を追求する。加えて、水冷却への実適用に 向けて、異材継手の水腐食特性の評価も進める。

## 2. 研究成果

#### 2. 1 応力腐食特性評価試験結果

ファイバー・レーザーを用いた F82H と SUS316L との溶接接合では、溶融部のマルテンサイト化を抑制す る手法して、Ni 基合金の Inconel 625 を中間層として挿入したうえで、レーザーの照射位置を SUS316L 側に 移動することが有効であることが明らかとなった。そこで、長さ 100 mm、幅 50 mm、厚さ 4 mm の F82H と SUS316L との突合せ面に、厚さ 0.1 mm の Inconel 625 をはさみ、出力 4 kW、スポット径 0.2 mm のファイバ ー・レーザーを用いて突合せ溶接を行った。なおレーザー照射位置の SUS316L 側への移動量は、0, 0.1, 0.2 mm の三種類に変化させ、レーザー移動速度は 3 m/min とした。作製した異材継手から長さ 40 mm、幅 10 mm、 厚さ 2.0 mm の試験片を切出し、Fig. 1 に示す治具の中央部にグラファイトウールとともに挟み、Fig. 2 に示 すオートクレーブ内に設置し、純水を用いて、温度 250 ℃、圧力 9 MPa、溶存酸素量 100 ppb、浸漬時間 500 時間の浸漬条件で CBB (Creviced Bent Beam Stress Corrosion Cracking) 試験 <sup>4</sup>を実施した。Fig. 3 に CBB 試験 後の断面をレーザー顕微鏡で観察した結果を示す。シフト量 0 mm の試験と比較してシフト量 0.1, 0.2 mm の 継手は SUS316L と F82H との表面の段差が大きいものの、いずれの試験片も研磨傷は認められるが表面から



Fig. 2 Schematic illustration of corrosion facility.



Fig. 3 Laser microscope observations of F82H/SUS316L joints after CBB test.





Fig. 4 EDS mappings of F82H/ SUS316L joints after CBB test.



(a) Front side
 (b) Back side
 Fig. 5 Overviews of F82H/SUS316L dissimilar joint joined by friction stir welding.
 (Indentation Depth : 1.5 mm, Traveling Speed : 150 mm/min, Rotational Speed : 400 rpm).

のクラック進展は観察されなかった。接合界面近傍を反射電子像(BEI)および EDS で分析した結果を Fig.4 に示す。レーザー顕微鏡観察では SUS316L と F82H の界面は明瞭であるが、反射電子像では界面から SUS316L 側およそ 500 μm 程度の幅で SUS316L とコントラストが異なる観察結果となった。EDS で分析すると、この 領域は Ni 含有量が大きく、中間層である Inconel 625 が溶融して形成された溶接金属部であると考えられる。

#### 2.2 異材接合試験結果

昨年度、SiN系ツールを用いてFSWによりF82HとSUS316Lとの異材突合せ接合継手を作製した際、接合 時のツール負荷荷重、ツール移動速度、ツール回転速度を、それぞれ、1.5 ton、150 mm/min、350 rpm として 接合試験を行い、異材接合継手を作製することに成功したが、接合終了後ツール先端部のプローブが損耗し てしまう結果となった。ツールが損耗する理由は、接合が進むにしたがって、接合線終端部の温度が上昇し、 ツールの強度が劣化してしまったためと考えられる。そこで、接合線上の温度上昇を一定に保つ手法として、 これまでの荷重制御から、ツールの押し込み深さ制御による継手作製を行った。F82H と SUS316L の配置、 ならびにツールの挿入位置はこれまでと同じとし、ツール押し込み深さ、ツール移動速度、ツール回転速度 を、それぞれ、1.5 mm、150 mm/min、400 rpm として接合試験を行った結果、入熱量は抑制されたが、接合 線の途中から攪拌が不十分になってしまう結果となった。原因は、押し込み深さ制御において設定した深さ が僅かに少なかったためと考えられる。次年度、最適な押し込み深さを同定し、接合時の入熱量が低入熱で 均一な条件で、ツールが損耗しない接合方法を確立する予定である。

#### 3. 参考文献

- H. Serizawa *et al.*, Effect of Laser Beam Position on Mechanical Properties of F82H/SUS316L Butt-Joint Welded by Fiber Laser, Fusion Engineering and Design, 89, 1764-1768 (2014).
- (2) H. Serizawa *et al.*, Measurement and Numerical Analysis of Welding Residual Stress in Box Structure Employed for Breeder Blanket System of ITER, Welding in the World, 55, 48-55 (2011).
- (3) H. Serizawa *et al.*, Weldability of Dissimilar Joint between F82H and SUS316L under Fiber Laser Welding, Fusion Engineering and Design, 88, 2466-2470 (2013).
- (4) M. Akashi and T. Kawamoto, The Effect of Molybdenum Addition on SCC Susceptibility of Stainless Steels in Oxygenated High Temperature Water, Boshoku Gijutsu, 27, 165-171 (1978).

## 摩擦攪拌接合による高性能なインバー合金接合部の実現

大阪大学接合科学研究所
 ・山下享介、虎本陸希、潮田浩作、藤井英俊
 東北大学金属材料研究所
 ・山元道
 日本原子力研究開発機構
 ゴンウー、川崎卓郎、ハルヨステファヌス

## Fabricating high performance invar-alloy joints via friction stir welding by oTakayuki YAMASHITA, Riki TORAMOTO, Kohsaku USHIODA, Hidetoshi FUJII, Motomichi KOYAMA, Wu GONG, Takuro KAWASAKI, and Stefanus HARJO

#### 1. 研究目的

インバー合金(不変鋼)は FCC 構造のオーステナイト単相から成る合金鋼である。その最大の特徴は線膨張 係数がオーステナイト系ステンレス鋼の 1/10~1/100 であり、低温靭性や延性に優れる点である。しかし、溶 接金属割れが生じやすいことから、その適用可能範囲は限られていた。近年ではその溶接性を改善するアプ ローチが開発され、LNG 配管などに適用できるようになった。持続可能な社会の実現に向けて、インバー合 金のような高性能な特殊鋼の需要はさらに増大すると予想される。インバー合金をさらに活用していくため には、種々のインバー合金に対する溶接性の改善方法の提案に加えて、接合部の特性を今以上に高性能化さ せる革新的な接合法の実現が必要であると考えられる。

摩擦攪拌接合(Friction stir welding: FSW)は、摩擦による入熱と攪拌による塑性流動によって材料を固相状態 で接合する技術である。接合部に形成される微視組織は、動的再結晶により非常に微細な結晶粒から成り、 優れた機械的特性を発現する。FSW をインバー合金に適用し、優れた機械的特性を有する接合部が得られれ ば、FSW はインバー合金の適用可能範囲の拡大や補修溶接にも資すると予想される。しかし、インバー合金 に対する FSW は報告例が非常に少なく、接合部の微視組織や機械的特性の詳細は不明である。

本研究では、インバー合金の一種であるスーパーインバー合金(Fe-32Ni-5Co (in mass%))に対して FSW を行い、接合部に形成された微視組織を電子線後方散乱回折(Electron backscattered diffraction: EBSD)法により評価

するとともに、その微視組織の変形挙動と機械的特性を引 張変形中その場中性子回折試験により解明することを目 的とした。

#### 2. 研究成果

#### 2.1 FSW 前後の微視組織の変化

Fig.1にEBSD法より得た母材およびFSW 材の結晶方位 マップを示す。FSW 材は代表例として回転速度 300 rpm、 接合速度 400 mm/min で FSW した試料(以下、FSW300-400) から得た結果である。中性子回折のピークプロファイル解 析から母材および FSW 材はいずれもオーステナイト単相 であった。母材の平均結晶粒径は 17.1 μm 程度であった(Fig. 1a)。 600 rpm-150 mm/min の条件で得られた継手攪拌部(FSW600-150) および 300 rpm-150 mm/min の条件で得られた継手攪拌部 (FSW300-150)の平均結晶粒径はそれぞれ 17.4 µm と 6.8 µm であ った。FSW300-400の平均結晶粒径は 2.3 µm であり最も微細化し ていた(Fig.1b)。母材では多数の双晶が見られたが、FSW 材では ほとんど見受けられなかった。Fig. 2 に母材と FSW 材における 中性子回折のピークプロファイル解析から取得したミクロひず みを入熱量の目安となる各試料の回転ピッチ(=接合速度/ツール 回転速度)に対してプロットした結果を示す。なお、母材は回転ピ ッチをゼロとして取り扱った。回転ピッチは大きいほど低入熱な 条件で FSW したことを意味している。ミクロひずみは転位線周 りの弾性ひずみ場に起因する量を表し、転位密度に換算される値 である。FSW 接合部では母材よりもミクロひずみが大きいこと



**Fig. 1** EBSD inverse pole figure maps of (a) base metal and (b) stir zone of FSW300-400.



Fig. 2 The microstrains of base metal and FSWed specimens plotted against rotational pitch.

から、FSW後では母材よりも転位密度が高く、低入熱な条件ほど その量は多いと示唆された。このような微視組織の違いは機械的 特性に大きな影響を及ぼすと予想される。

#### 2.2 巨視的な引張特性

Fig. 3 に公称応力-公称ひずみ曲線を示す。母材は 400 MPa 程度の引張強度と 40%を超える全伸びを有していた。FSW600-150 は母材と同程度の引張強度を示したが、全伸びは母材よりも低下した。FSW300-150 は降伏および引張強度は母材よりも増大していた。FSW300-400 は母材や他の FSW 材と比較して著しい降伏強度と引張強度の増大を示し、引張強度は 600 MPa 程度を示した。 低入熱な条件では良好な強度を示し、優れた接合部が得られた。 Fig. 4 に母材および FSW 材の降伏応力(0.2%耐力)を各試料の平均結晶粒径に対してプロットしたグラフ(Hall-Petch プロット)を示す。プロットは直線近似することができ、粒径と降伏強度の間に相関があり、結晶粒の微細化が FSW 材攪拌部の強度の増大に対する主たる要因であると示唆された。加えて、Fig. 2 より FSW 材の方が母材よりも引張試験前のミクロひずみが大きいことから、 FSW 材の降伏応力の増大には微細化だけでなく、転位密度の増加 も寄与したと示唆される。

## 2.3 引張変形中その場中性子回折

3. 参考文献

**Fig.** 5に母材およびFSW材の*hkl*結晶粒群の格子ひずみを印加応 力に対してプロットしたグラフを示す。母材(**Fig.** 5a)では、弾性 域では印加応力の増大に伴い直線的に増加していたが、巨視的な 塑性変形の開始点( $\sigma_{0.2}^{macro}$ )よりも低い応力で200がその直線から 予測される値よりも大きく増大していた。これは巨視的な塑性変



**Fig. 3** Nominal stress-strain curves of base metal and FSWed specimens.



**Fig. 4** Hall-Petch relationship of the base metal and FSWed specimens.

形の開始前に200が塑性変形していたことを意味する。巨視的な塑性変形の開始後では、方位によらず直線的 に格子ひずみは増大していた。FSW材(Fig. 5bおよびFig. 5c)においても母材と同様にσ<sub>0.2</sub><sup>macro</sup>よりも低い応力で 200の塑性変形の開始が確認された。巨視的な塑性変形の開始後では、220は他の方位と比較して印加応力に 対する格子ひずみの増大が小さい。これは塑性変形の開始に伴う応力緩和に起因すると示唆され、FSW300-400の方がFSW600-150よりもその程度が大きいと予想される。塑性変形中に積層欠陥が発達している場合、 同一指数面である111と222、もしくは200と400において格子ひずみのスプリットが生じることがハイエント ロピー合金などで報告されている<sup>1</sup>。しかし、本研究ではそのようなスプリットは確認されなかったことから、 塑性変形中の積層欠陥の発達はほぼ生じていないと考えられる。



**Fig. 5** Changes in the lattice strains of (a) base metal, (b) FSW600-150, and (c) FSW300-400 plotted against applied true stress.

(1) M. Naeem, H. He, H. Huang, S. Harjo, T. Kawasaki, B. Wang, S. Lan, Z. Wu, F. Wang, Y. Wu, Z. Lu, Z. Zhang, C-T. Liu, and X-L. Wang, Cooperative deformation in high-entropy alloys at ultralow temperatures, Sci. Adv., 6(2020), eaax4002

# Development of low-dimensional and multi-elemental nanomaterials and exploration of interfacial functions

(ナノ材料の低次元・多元素化と界面機能探索)

| 大阪大学接合科学研究所       | ○李 | 飛、 | 阿部浩也 |
|-------------------|----|----|------|
| 名古屋大学未来材料・システム研究所 | 長田 | 実  |      |

by OFei Li, Hiroya Abe and Minoru Osada,

## 1. Research Object

High-entropy design concept, i.e., creating materials by increasing configurational entropy as a driving force, has been introduced to the two-dimensional hydroxides to explore novel materials with improved properties [1]. Several bottom-up methods such as hydrothermal, solvothermal and electrochemical processes have been reported to synthesize high-entropy hydroxides [2~4]. Solubility product constant ( $K_{sp}$ ) is one of the key factors when synthesizing materials from reactions in solutions [2]. The homogeneous precipitation of the targeted elements is important for the formation of high-entropy materials. How to obtain uniform precipitates with multiple metal species differing greatly in  $K_{sp}$  is a vital technical issue in synthesizing high-entropy hydroxides. Solvents are supposed to play vital roles in synthesizing high-entropy

hydroxides via solution-based bottom-up processing. We report a comparative study on the bottom-up synthesis of multi-element hydroxides composed of Mg, Al, Fe and Zn cations to understand the role of solvents [5]. As two common solvents, water and ethylene glycol, a typical polyol, are used. The polyol-derived MgAlFeZn-OH are nanosheets with homogeneous elemental distribution, while the hydrothermal-derived MgAlFeZn-OH are mixtures of plate-like hydroxide layers and rod-like spinel oxides. The coordinating property and the high viscosity of the ethylene glycol provide possibility to mediate the hydrolysis rates and to control the particle growth. The high specific surface area of

the polyol-derived multi-element hydroxide nanosheets guarantees them as excellent adsorbents for adsorbing anionic dyes in aqueous solution.

## 2. Experimental Results

Figure 1 shows the normalized XRD patterns of the polyol- and hydrothermal-derived MgAlFeZn hydroxides and MgAl LDH powders. The MgAlFeZnpolyol can be indexed as a rhombohedral lattice structure. The three main diffraction peaks of MgAlFeZn-Polyol can be assigned to (003), (012), and (110) plane, respectively. The major diffraction peaks of the MgAlFeZn-HT match well with that of MgAl-HT, however, the peak position of each reflection shifts slightly to higher angle. Diffraction



Figure 1 XRD patterns of the polyol- and hydrothermalderived MgAIFeZn hydroxides and MgAI hydroxides.



Figure 2 (a~c) TEM images and (d) EDS mapping of the MgAIFeZn-Polyol hydroxides.

peaks of impurities at around 30° and 35.5° are detected. These impurities might be spinel oxides.

Figure 2 and 3 show the TEM images and elemental maps of the polyol- and hydrothermal-derived

MgAlFeZn hydroxides. The MgAlFeZn-Polyol is composed of nanosheets of lateral size around 20 nm. All the four elements are homogeneously distributed in the nanosheets, as shown in Figure 2d. The composition of the MgAlFeZn-Polyol is determined to be Mg 24.2±0.3 at%, Al 25.0±0.6 at%, Fe 19.1±0.6 at%, and Zn 31.7±0.3 at%. The MgAlFeZn-HT powder has a similar composition to that of the MgAlFeZn-Polyol, i.e., Mg 27.6±0.4 at%, Al 26.5±0.4 at%, Fe 18.1±0.6 at%, and Zn 27.9±0.6 at%. However, three kinds of morphologies exist in the MgAlFeZn-HT. Nanoflakes of lateral size up to 100 nm, elongated nanorods of length up to 200 nm

and particulate aggregates can be clearly observed in Fig. 3a~c. By combining the XRD result of MgAlFeZn- HT, which has two weak peaks of impurities,the nanorods in MgAlFeZn-HT can probably be considered as Fe and Zn co-doped magnesium aluminate spinel oxides. The specific surface area of the MgAlFeZn-Polyol and MgAlFeZn-HT is 352.4 and 167.7  $m^2 \cdot g^{-1}$ , respectively.

The surface of the polyoland hydrothermal-derived MgAIFeZn hydroxides is positively charged. The zeta potential value is 11.1 and 15.6 mV for MgAlFeZn-Polyol and MgAlFeZn-HT in neutral aqueous suspension, respectively. They were used as adsorbents for Congo red (CR) removal in aqueous solution. Fig. 4 shows the CR removal efficiency for MgAlFeZn hydroxides in 0.1 mM and 0.2 mM CR aqueous solutions. Regardless of the CR concentrations, both in 0.1 mM and 0.2 mM,



Figure 3 (a~c) TEM images, (d) and (e) EDS mapping of the MgAIFeZn-HT hydroxides.



Figure 4 Time dependency of removal efficiency for polyoland hydrothermal-derived MgAlFeZn hydroxides in 0.1 and 0.2 mM CR aqueous solutions, respectively.

the MgAlFeZn-Polyol reaches high removal efficiency in less time than MgAlFeZn-HT. In 0.1 mM CR solution, the removal efficiency of MgAlFeZn-Polyol is 86.3 % in 30 seconds and increases to 99.7 % in 3 minutes. The MgAlFeZn hydroxides nanosheets show faster adsorption kinetics and higher maximum adsorption capability (819.7 mg·g<sup>-1</sup>) toward CR than the hydrothermal-derived MgAlFeZn hydroxides (223.7 mg·g<sup>-1</sup>).

## 3. References

- (1) S. K. Nemani, M. Torkamanzadeh, B. C. Wyatt, V. Presser and B. Anasori, Commun. Mater., 2023, 4, 16.
- (2) F. Li, S.-K. Sun, Y. Chen, T. Naka, T. Hashishin, J. Maruyama and H. Abe, Nanoscale Advances, 2022, 4, 2468-2478.
- (3) F. Li, N. Kannari, J. Maruyama, K. Sato and H. Abe, J. Hazard. Mater., 2023, 447, 130803.
- (4) A. J. Knorpp, A. Zawisza, S. Huangfu, A. Borzì, A. H. Clark, D. Kata, T. Graule and M. Stuer, RSC Adv., 2022, 12, 26362-26371.
- (5) F. Li, K. Yoshida, N. Van Chuc, M. Osada and H. Abe, RSC Adv., 2024, 14, 75-82.

ウイルス不活化メカニズム解明および ウイルス不活化機能性向上のための表面構造形成 大阪大学接合科学研究所 〇竹中啓輔、佐藤雄二、塚本雅裕 大阪大学工学部 吉田環

東京工業大学フロンティア材料研究所 松下伸広 東北大学大学院歯科研究科 陳 鵬

Surface structure formation to improve virus inactivation functionality and elucidate the virus inactivation mechanism by OKeisuke Takenaka, Yuji Sato, Masahiro Tsukamoto, Tamaki Yoshida, Nobuhiro Matsushita, Peng Chen

## 1. 研究目的

世界的な流行となった新型コロナウイルス感染症は、経済や暮らしに大きなダメージを与えた。ウイルス 感染症が発生した場合に、迅速かつ的確な対応を可能とし、社会・経済活動への影響を最小限に留めること に貢献する技術開発が求められている。純銅は抗菌・ウイルス不活化作用を有する材料であり新型コロナウ イルスに対しても有効であることが分かっている。銅の表面ではウイルスは4時間ほどしか活性を維持でき ないことが分かっており、ステンレスなどと比較して1/20以下の時間である。不特定多数の人が触れるドア ノブや手すりといった製品に純銅コーティングを施すことで感染症拡大防止の効果が期待できる。さらにコ スト削減および長寿命化の観点からも膜厚が薄く密着強度の高いコーティング技術が求められている。

そこで我々の研究チームでは、青色半導体レーザーを用いたマルチビーム金属堆積法を用いて SUS304 基 板上への純銅の皮膜形成に取り組んできた<sup>1-3</sup>。青色半導体レーザーは純銅に対する光吸収率が高いレーザー である。マルチビーム金属堆積法は粉末を中央から供給し、複数のレーザーを周囲から照射することで基材 の溶融を最小限に留めた皮膜形成を実現できる照射方法である。これまでに皮膜形成に必要な粉末への入熱 量に関しては報告してきたが、それらは1ビードの皮膜形成に関わる結果であった。そのため、広い面積へ の銅コーティングを実現するためには複数のビードで平滑な面となるようなレーザー照射条件を調査し、1 ビードの皮膜との形成過程の違いを明らかにする必要がある。

本課題では、1ビード皮膜の形成ではステンレスと銅の異種材料接合となるが複数ビードでのコーティン グ皮膜の形成においてはビードの重なった部分が銅同士の同種材料接合となる点に着目した。ステンレスと 銅では熱伝導率や融点、濡れ性といった諸特性が大きく異なる。そのため1ビードの皮膜を形成する際と同 ーの条件で形成したコーティング皮膜には空隙が発生し皮膜品質が低下するという課題があった。したがっ て広い面積に平滑なコーティング皮膜を形成するには異材接合領域と同材接合領域の比が重要な因子となる。 そこで本研究では、ビードが重なる箇所の皮膜品質が低下するメカニズムを解明し高品質で平滑なコーティ ングを実現することを目的とし、ビード間距離(ハッチング距離)をパラメータに実験を行った。

#### 2. 実験方法

実験装置の概略図を Fig.1 に示す。波長 450 nm、最大出力 200 W の青色半導体レーザーモジュール 2 台か ら出射したレーザー光を光ファイバーで伝送しレンズで加工点に重畳した(Fig. 1(a))。スポット径は半値全幅 で 233 µm とした(Fig.1(b))。純銅粉末は粉末供給機から Ar ガスで搬送し、加工ヘッド中央のノズルより加工 点に供給した。ステージを x 軸方向にハッチング距離だけ移動させ、y 軸方向への皮膜形成を繰り返すこと で 15 mm×15 mm の範囲に銅コーティングを行った。ビード間距離(ハッチング距離)と皮膜品質(粗さ、空隙、 希釈)の関係を明らかにするため、レーザーの出力は 160 W に、掃引速度を 50mn/s に固定してハッチング距 離を 110 µm から 310 µm まで変化させた。使用した純銅粉末の平均粒径は 21 µm であり、加工点からの粉末 供給量を 50 mg/s に固定した。基材には 15 mm<sup>w</sup>×15 mm<sup>1</sup>×5 mm<sup>1</sup> の大きさの SUS304 平板を使用した。形成し た皮膜はマイクロカッターで断面を切断し、樹脂埋め・研磨ののち光学顕微鏡による断面観察を行った。



Figure 1. (a) Schematic diagram of copper coating with multi-beam B-LMD method, (b) beam profile of laser at the processing area

## 3. 実験結果

銅コーティング皮膜の断面観察写真を Fig. 2 に示す。ハッチング距離が(a)110 µm のとき、希釈率は 6 %と 小さいものの皮膜内部に空隙が多く、表面粗さが Sa 40 µm と凹凸のある表面であった。ハッチング距離が (b)150 µm のときには希釈率は 11% であり空隙も少なく、表面粗さが Sa 10 µm と平滑な高品質な皮膜が形成 された。ハッチング距離が(c)310 µm のときは空隙もなく表面は Sa 5 µm と平滑であったものの希釈率は 68 % と希釈の大きい皮膜となった。

本実験結果より、ハッチング距離が小さいと基材への入熱量が不足して空隙の発生と表面粗さが高くなり、 ハッチング距離が大きいと基材への入熱過多となるために希釈が増加して皮膜品質の低下につながってしま うことがわかった。、今回形成したコーティング皮膜上での抗菌・ウイルス不活化作用試験については現在東 北大学にて実施中である。



Figure 2. Cross-sectional image of copper layer on the SS304 substrate for the hatching distance of (a) 110  $\mu$ m, (b) 150  $\mu$ m and (c) 310  $\mu$ m with the output power of 160 W and scanning speed of 50 mm/s

## 4. 参考文献

- Sato, Y., Tsukamoto, M., Shobu, T., Funada, Y., Yamashita, Y., Hara, T., ... & Abe, N. (2019). In situ X-ray observations of pure-copper layer formation with blue direct diode lasers. Applied Surface Science, 480, 861-867.
- Hara, T., Sato, Y., Higashino, R., Funada, Y., Ohkubo, T., Morimoto, K., ... & Tsukamoto, M. (2020). Pure copper layer formation on pure copper substrate using multi-beam laser cladding system with blue diode lasers. Applied Physics A, 126, 1-6.
- (3) Asano, K., Tsukamoto, M., Funada, Y., Sakon, Y., Abe, N., Sato, Y., ... & Yoshida, M. (2018). Copper film formation on metal surfaces with 100 W blue direct diode laser system. Journal of Laser Applications, 30(3).

## 鉄含有チタンニ相合金の強度解析手法の確立と強化因子の特定

大阪大学接合科学研究所 東北大学金属材料研究所 ○刈屋翔太,梅田純子,近藤勝義 千葉晶彦,山中謙太

## Identification of Strengthening Factors for Ti-Fe Duplex Alloy

by ○Shota KARIYA, Junko UMEDA, Katsuyoshi KONDOH, Akihiko CHIBA and Kenta YAMANAKA 1. 研究目的

汎用チタン合金の添加元素であるバナジウムは、産出量の 87%を中国とロシアが占めており、その価格と 供給は地政学的影響を強く受ける.また、バナジウムは強い毒性を有することから医療用材料、特に長期間 体内に存在する生体材料として使用するには懸念が残る.これに対して、当研究グループでは、資源的に豊 富に存在し、Ti の精錬工程で不可避的に混入する Fe を合金化元素として活用した Ti-Fe 合金について研究を 進めてきた.粉末冶金法で作製した Ti-4 wt%Fe 合金は、Fe 含有量の多いβ相と Fe 含有量の少ないα相の二 相からなる Ti-6Al-4V 合金に類似した組織を有する.しかも、1120MPa の引張強さと 20%の破断伸びを兼ね 備えており、Al 成分を添加せずとも Ti-6Al-4V 合金と同等以上の引張特性を発現する.これら引張特性につ いて、従来、Hall-Petch の経験式、複合測、Labusch モデル等の強化量予測式が用いられてきた.しかしなが ら、これらは均質であることを前提としているため、二相合金である Ti-Fe 合金への適用は困難である.また、 その組織因子(結晶粒径、β 相体積率、β 相の分布形態、それぞれの相の強度、配向性、etc.)は非常に複雑 で相互に影響し合い、いずれか1 つを独立因子して制御することは不可能である.ゆえに、それぞれの引張 特性への寄与を定量的に整理することは困難であった.一方、近年では機械学習を用いて鉄鋼材料の強度予 測の可能性が報告されている[1].そこで、本研究では、機械学習<sup>III</sup>を用いて Ti-Fe 二相合金の強度予測モデル を構築し、これを基にそれぞれの引張特性を決定づける主な組織因子の特定を目指す.

#### 2. 研究成果

#### 2.1 データセットの構築

異なる組織を持つ2種類の焼結体(焼結ままとその後 に溶体化処理を付与)に圧延加工を施して試料を作製し た.前者を non-ST 材,後者を ST 材と呼ぶ.先ず, non-ST 材および ST 材の代表的な微細組織と,その応力ひずみ曲 線を Fig.1に示す. (a) non-ST 材は  $\alpha$  相(暗部) および  $\beta$ 相(明部)が層状に分布した組織を有するのに対して, (b) ST 材は等軸状の  $\alpha/\beta$  相結晶粒からなる組織を示した. また,組織解析を行った結果,結晶粒径は製法に寄らず 同等であったが, $\beta$  相面積率および1つながりの  $\beta$  相の長 さは,ST 材がやや大きい傾向にあった.次に,常温引張



Fig. 1 Ti-6%Fe 組成を有する(a) non-ST 材および (b) ST 材の COMPO 像と(c)その引張特性.

試験の結果, non-ST 材は UTS: 1377 MPa, 破断伸び: 11.9% であったのに対して, ST 材は UTS: 1164 MPa, 破断伸び: 22.2% であった. Fe 添加量に関わらず, non-ST 材は ST 材と比較して強度に優れる反面, 延性に劣る傾向にあった. これらの組織・強度解析結果を基に,  $\beta$  相面積率,  $\alpha/\beta$  相の結晶粒径および Schmid 因子, 引 張方向およびこれに直交する方向の  $\beta$  相粒長およびその比, 付与するひずみと応力からなるデータセットを 作成した.

#### 2.2 強度予測モデルの構築と強度を決定する組織因子の特定

Ti-0, 2, 4, 6%Feに関する上述のデータセットを基に機械学習モデルを構築し、これを用いて、機械学習モデルの作成に使用していない Ti-1%Fe (ST)の強度予測を行った.その結果をFig. 2 に示す.実験値(黒)と予測値(緑)は大きく乖離しており、予測精度が高くないことが分かる.これは多数の組織因子を用いて機械学習モデルを構築したことに起因する過学習による結果と考えられる.そこで、BICを用いて組織因子の選定を行った.その結果、引張方向のβ相粒長、β相面積率、α相の結晶粒径、β相のシュミット因子の4つが選択された.これを用いて再度、機械学習モデルを構築し、応力ひずみ曲線を予測した(赤).その精度は、組織因子の選択前と比べて大き



**Fig.2 Ti-1%Fe(ST)**の応力ひずみ曲線 と機械学習モデルによる予測結果.

く向上しており、その誤差は、変数選択前は70 MPa 程度であったのに対して、変数選択後には約20 MPa となった.ここで、これら4つの組織因子とUTSの関係を調査したところ、 $\beta$ 相の Schmid 因子を除く3つの組織因子の相関係数の絶対値は0.7を超える高い値を示したが、 $\beta$ 相の Schmid 因子とUTSの相関係数の絶対値は0.03 と非常に低い値を示した.そこで、これを除いた3つの組織因子を用いて機械学習モデルを構築し、応力ひずみ曲線を予測した(ピンク).その誤差は20 MPa と組織因子を3つとしたにも関わらず、同等の精度を示した.以上より、Ti-Fe 合金の強度特性は $\beta$ 相面積率、引張方向の $\beta$ 相粒長、 $\alpha$ 相の結晶粒径の3つの組織因子に依存することが明らかとなった.

#### 3 β相の分布形態が強度特性に及ぼす影響の検討

上述の予測モデルの構築は, 圧延加工に 起因する β 相分布を持つ試料に対して行 った.これに対して,熱処理を施すことで, β相は結晶粒界にネットワーク上に形成さ れることを、同じ  $\alpha+\beta$  二相合金である Ti-3Al-2V 合金にて確認した. そこで, れら β 相の分布形態が強度特性に及ぼす 影響を,同様に機械学習を用いて調査した. その際, β 相の分布形態について, Persistent homology[2]を用いた定量化を試みた. Persistent homology では、穴が形成される までの時間を b, 穴が消滅するまでの時間 を d と表す. 本研究では、 ネットワークの サイズを表す指標として d, ネットワーク の完成度を表す指標として L(=b-d)/d を採 用した.機械学習に取り込む際には,直径 をdとして算出した面積平均を用いた.こ こで,熱処理前後の微細組織と, Persistent homology による L/d の解析結果, 機械学習 による強度予測モデルの精度をFig.3に示



Fig. 3 (a), (b) 第二相のネットワーク分布形成のための熱処理 前後の微細組織(-1)と, Persistent homology による組織評価結 果((-2) 0 < L/d < 0.25, (-3) 0.25 < L/d < 0.5, (-4) 0.5 < L/d),お よび(c)引張応力の実験値と予測値の関係と(d)機械学習に用 いていない試料の応力ひずみ曲線とその予測結果.

す. L/d が 0.5 を超える領域は、いずれも周囲を  $\beta$  相により囲まれていることが分かる.特に、(b)の試料においてはネットワークの完成度と L/d 値に相関がみられる.その面積平均を算出したところ、(a)では 0.25 であったのに対して、(b)では 0.30 とわずかではあるが増加した.続いて、2.2 で明らかにした二相合金の引張特性を支配する組織因子に加えて、Persistent homology を用いて定量化した d および L/d の 2 つの組織因子を加えて機械学習による強度予測モデルの構築を試みた.前項 2.2 と同様に BIC を用いて引張特性を支配する組織因子を同定した結果、β 相面積率、ネットワークの完成度 (L/d)、α 相の結晶粒径が選択された.引張方向のβ 相粒長の代わりに Persistent homology により定量化したネットワークの完成度 (L/d) が選択されていることがわかる.これらを用いて強度予測モデルを構築した結果、予測モデルの構築に用いた試料の予測精度が train データ、test データに関わらず 0.99 を超える高い値を示すだけでなく、予測モデルの構築に用いなかった試料の応力ひずみ曲線においても、実験値と予測値の誤差は 15 MPa 以内であり、高い精度でその応力ひずみ曲線を予測できていることがわかった.以上より、Persistent homology を用いたβ 相の分布形態の定量化により得られた値は強度を予測するための組織因子として有用であり、Fig.3 に示した複雑なβ 相分布形態を持つ near α-Ti 合金の強度特性は、β 相面積率、ネットワークの完成度 (L/d)、α 相の結晶粒径の3 つの組織因子に強く支配されることが明らかとなった.

## 3. 参考文献

[1] Z. L. Wang and Y. Adachi, "Property prediction and properties-to-microstructure inverse analysis of steels by a machine-learning approach," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 744, pp. 661–670, 2019, doi: 10.1016/j.msea.2018.12.049.

[2] Y. Hiraoka, T. Nakamura, A. Hirata, E. G. Escolar, K. Matsue, and Y. Nishiura, "Hierarchical structures of amorphous solids characterized by persistent homology," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 113, no. 26, pp. 7035–7040, 2016, doi: 10.1073/pnas.1520877113.

### なお,昨年度申請した課題について,以下の論文を発表した.

S. Kariya *et al.*, "Novel tensile deformation mode in laser powder bed fusion prepared Ti–O alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 892, 146057, 2023, doi: 10.1016/j.msea.2023.146057.

## 水との相界面を反応場とする粒子合成と機能探索

大阪大学接合科学研究所 〇小澤隆弘、上村昌史、八木唯奈、伊福大翔、目代貴之、阿部浩也 名古屋大学未来材料・システム研究所 長田 実

#### Particle design and functional exploration using the phase interface with water as a reaction field

# by OTakahiro KOZAWA, Masashi UEMURA, Yuina YAGI, Hiroto IFUKU, Takayuki MOKUDAI, Hiroya ABE and Minoru OSADA

#### 1. 研究目的

ナノテク技術の振興により多種多様なナノ材料が合成され、機能発現の要素材料として扱われるようになっている。また、2次元化など、ナノ材料の形態制御に関する方法論に関しても広く研究が行われている。一 方で、有害な化学物質を使用するなど、ナノ材料の合成プロセスは環境面での課題を抱えている場合も少な くない。

我々は「水」に着目した低環境負荷な粒子合成法の開発を行っている。特に、水との相界面を反応場とし て利用する合成に着目している。この相界面とは、水溶液が固体に接した固液界面や水蒸気が固体に接した 固気界面である。共沈法や水熱合成などをはじめ、水は合成溶媒として古くからボトムアップ合成に用いら れているが、多くはバルク水中での析出反応に基づいている。一方、水との相界面では、例えば、固液界面 では反応種の特異な界面集積、水蒸気が接する固体表面では物質拡散やイオン種の交換反応、などが利用で きる。しかし、それらに着目した粒子合成はほとんど行われていない。そこで本研究では、水との相界面現 象を積極的に活用する方法論を開発するとともに、有害な化学物質を使用せずに粒子のサイズや形態が制御 できる可能性を調べることを目的とした。本年度は、球状の緻密な固体粒子を水蒸気中で加熱分解すること により、「迷路状」の多孔質粒子を合成した。また、固液界面を利用することで、金属ナノ粒子の還元剤フリ ー合成を試みた。

## 2. 研究成果

#### 2. 1 水蒸気加熱による迷路状多孔質粒子の創製

炭酸塩や水酸化物に代表される無機塩は、加熱による脱炭酸や脱水などの分解反応を経て、酸化物に変化 する。このとき、低速昇温(例えば1℃/min)で加熱すると、分解生成ガスが気孔形成剤となり、50 nm 以下 の微小な細孔を有する多孔質酸化物粒子が作製できる。多孔質粒子は大きな表面積を有することから、吸着 剤、電極材料、触媒担体などとして幅広く利用されている。しかし、高温加熱による粒成長で細孔が閉塞す る、単純な熱分解法ではマクロ孔と呼ばれる 50 nm 以上の細孔は形成できない等の課題がある。

本課題では、水蒸気雰囲気下での熱分解法により、マク ロ開気孔からなる迷路状多孔質粒子を合成した[1,2]。 MnCO<sub>3</sub>の一次粒子が緻密に集積した球状粒子を合成し、水 蒸気発生装置を取り付けた横型管状炉を用いて加熱(昇温 速度5°C/min)したところ、750°C保持においてMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>相 が生成した。その粒子形態は元のMnCO<sub>3</sub>の球状形態およ びサイズをほぼ維持し、粒子表面はMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>の一次粒子がラ ンダムな方向に成長した特異な微構造を有した(Fig. 1a)。 球状粒子表面には開いたマクロ孔が存在し、多孔質球内部 はランダム成長した粒子の壁で区切られた迷路状の細孔 構造が自発的に形成された(Fig. 1b)。一方、通常の大気加 熱でMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>相を得るには加熱温度900°Cを要したため、 細孔の閉塞や粒子間のネック形成(焼結)が過度に進行し、 平滑な表面を有したMn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 焼結粒子が生成した。

平行に配置したカンチレバーで粒子一粒を挟み込みな がら圧縮荷重や粒子の変形量を測定することで、迷路状多 孔質粒子の力学的物性評価を行った(Fig.1c)[3]。約3 µm



**Fig. 1.** (a,b) SEM images of macroporous Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres and its cross-sectional surface. (c) Schematic illustration of a single-particle compressive test. (d) Stress-strain curve and (e) typical snapshots of the macroporous Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres.

の多孔質 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粒子は外的応力を変形によって 許容することが可能で、2 段階の圧縮挙動を示す ことを明らかにした(Fig 1d,e)。一方、粒子径が 約 10 μm の多孔質 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>粒子では、変形するこ となく破壊が生じた。

合成した多孔質  $Mn_3O_4$  粒子は表面にマクロ開 気孔を有し、内部は迷路状であることから、微粒 子の捕集や分離に適した構造といえる。例えば、



**Fig. 2.** (a) Photo of nanoparticle collection from carbon dispersion, (b) crosssectional SEM image of the Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C composite particles, and (c) cycle performance of Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> anodes for Li-ion batteries.

カーボンナノ粒子が分散した溶液に多孔質 Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>球を添加し、振動あるいは撹拌するだけで、カーボンナノ 粒子は捕集され溶液の透過性は向上した(Fig. 2a)。本原理を基に、平均粒子径 35 nm のカーボンナノ粒子を 取り込んだ Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C 複合粒子を作製し(Fig. 2b)、リチウムイオン二次電池(LIB)の負極としての性能を評 価したところ、サイクル安定性に優れた高容量負極として作動することを見出した(Fig. 2b)[4]。

迷路状かつマクロ開気孔からなる細孔構造を活かし、現在、廃棄 LIB からのリチウム資源回収への適用を 進めている。溶液内からの資源回収で Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 複合粒子とし、加熱することで Mn 系正極粒子への変換・ 再利用を試みている。加えて、多孔質球の磁性材料化も検討している。多孔質磁性粒子を用いた生体分子の 濃縮や磁気分離等、バイオ・医療分野への応用に向けた取り組みを進めている。

#### 2.2 金属ナノ粒子の還元剤フリー合成

Au やAg ナノ粒子はバイオ・医療分野においても多様な用途で用いられており、今後も需要が高まると予 想される。しかし、それらの合成で使用される還元剤は環境負荷が高いという問題がある。この解決のため、 還元機能を有する生体親和性ポリマーを用いた方法[5]や還元剤を全く使用しない方法(還元剤フリー合成) [6]の開発を進めている。後者に関して、水溶液と固体の界面を利用する方法を試みている。界面近傍でクラ スターサイズの金化合物を析出させ、そのサイズ効果による低温熱分解を経て Au ナノ粒子を得る着想であ る。この合成コンセプトを、固液界面に集積しやすい反応種を選択して検証した結果、反応後に Au ナノ粒子 のコロイド溶液が得られ、その溶液は Au ナノ粒子の局在表面プラズモン共鳴により赤色を呈した(Fig. 3)。



**Fig. 3.** (a) UV-Vis spectrum of the Au NPs colloid obtained in this study (Inset: appearance of the Au NPs colloid), (b) XRD pattern of the synthesized particles, and (c) Typical SEM image of the Au NPs.

### 3. 参考文献

- [1] 小澤隆弘,多孔質球状酸化物粒子及びその製造方法,特開2019-48733
- [2] T. Kozawa, Preparation of macroporous Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres via thermal decomposition in water vapor, *ChemistrySelect*, 3 (2018) 1419-1423.
- [3] T. Kozawa, Y. Li and K. Hirahara, Formation mechanism of maze-like open macropores in Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres by heating in water vapor and their single-particle compressive behavior, *Adv. Powder Technol.*, 33 (2022) 103844.
- [4] T. Kozawa, F. Kitabayashi, K. Fukuyama, M. Naito, Carbon nanoparticle-entrapped macroporous Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microsphere anodes with improved cycling stability for Li-ion batteries, *Sci. Rep.*, 12 (2022) 11992.
- [5] Y. Yagi, K. Kozawa, T. Mokudai, M. Osada, H. Abe, submission in preparation
- [6] Y. Yagi, K. Kozawa, T. Mokudai, M. Osada, H. Abe, submission in preparation

## 謝辞

本研究成果の一部は、6大学6研究所間連携プロジェクト(国際・産学連携インヴァースイノベーション 材料創出プロジェクト、DEJI<sup>2</sup>MA)および環境研究総合推進費(20211R04)の助成を受けた。

## 高品質酸化物薄膜トランジスタの低温形成に向けたプラズマプロセス技術の開発

大阪大学接合科学研究所 
 ○節原裕一、竹中弘祐、都甲 将、上田 拓海 東京工業大学フロンティア材料研究所 神谷利夫、井手啓介

## Development Plasma Processing Technology for Low-temperature Formation of High Quality Functional Thin Films by oYuichi SETSUHARA, Kosuke TAKENAKA, Susumu TOKO, Takumi UEDA, Toshio KAMIYA and Keisuke IDE

## 1. 研究目的

フラットパネルディスプレイの大型化・高性能化・多機能化により、高精細、高フレームレートのデ ィスプレイの開発やフレキシブルデバイスやウェアラブルデバイスといった従来のディスプレイとは 異なる機能を持つ新たなデバイスの開発が求められている。本研究では、新規デバイスの高機能化に向 けた機能性酸化物薄膜形成における低温・低ダメージプロセスを実現するため、プラズマ制御による低 温プロセスの開発を行っている。特に、製膜中の精密なプロセス制御が必要な酸化物半導体薄膜の低温 形成に向けて、マグネトロン放電に誘導結合プラズマを重畳することにより、スパッタ粒子の供給束と 薄膜の結晶性や組成に影響する反応性粒子の供給束を独立に制御することが可能な、プラズマ支援反応 性スパッタリング製膜技術を開発し、これまでに低温で高品質な a-IGZO 薄膜形成を実現している。本 年度は、新規の機能性酸化物半導体を用いた高性能 TFT の低温作製を目指して、プラズマ支援反応性 スパッタリング製膜系を用いて、機能性半導体材料として注目されているアモルファス酸化ガリウム (a-GaO) 薄膜を用いた薄膜トランジスタの形成を試み、その特性評価を行った。

#### 2. 研究成果

プラズマ支援反応性スパッタリング法を用いた a-GaO 薄膜の製膜に向けて、スパッタリング装置の準備 および薄膜形成を行った。直径 100 mm の絶縁性の Ga2O3(純度 99.99%)の焼結体を用いて a-GaO 薄膜を形 成するため、プラズマ支援反応性スパッタリング装置を RF マグネトロンスパッタ放電を可能にする装置 に改良した。低インダクタンスアンテナに高周波電流(13.56 MHz)を投入して高周波誘導結合型プラズマ (ICP)を生成し、ターゲットに高周波電圧(13.56 MHz)を印加することにより、スパッタリング製膜を行 った。放電ガスとして Ar+H2 混合ガスを用い、H2 流量を変化させた条件にて a-GaO 薄膜形成を行った。 また、その薄膜をチャネル層として用いた薄膜トランジスタ(thin film transistor : TFT)を作製し、電気的特 性の評価を行った。この結果、H2 流量を変化させると電気抵抗率を絶縁体から半導体に大きく変化させる



Fig. 1. Variation of the film density of a-Ga<sub>2</sub>O thin films as a function of H<sub>2</sub> flow rate ratio.



Fig. 2. Optical bandgap energy and Urbach energy of a-Ga<sub>2</sub>O thin films as a function of H<sub>2</sub> flow rate ratio.

ことができることを明らかにした。

そこで、これらの要因を調べるために、酸化物半導体の薄膜中の欠陥密度と関連がある、膜密度の H<sub>2</sub> 流量比依存性を調べた。Fig.1 に結果を示す。H<sub>2</sub>流量比を変化させて製膜した a-GaO 薄膜の膜密度は、H<sub>2</sub> 流量比が 0%から 0.5% 増加すると 5.36 g/cm<sup>3</sup> から 5.26 g/cm<sup>3</sup> に急激に減少したのち、H<sub>2</sub>流量比増加に伴っ て緩やかに減少し 5% で 5.09 g/cm<sup>3</sup> となった。パルスレーザー堆積法(PLD)で作製した a-GaO 薄膜では、膜 密度が 5.2 g/cm<sup>3</sup>以上の場合にのみ電気伝導度が得られ、膜密度の増加とともに電気伝導度は指数関数的に 増加する <sup>1)</sup>。本研究では、膜密度が 5.25 g/ cm<sup>3</sup> と高い a-GaO 薄膜が、抵抗率< 10<sup>5</sup> Ωcm 程度で半導体特性 を持つことから、先行研究とほぼ一致する結果が得られた。

つぎに、紫外可視分光法の結果を用いて推定した、a-GaO 薄膜の光学的バンドギャップエネルギー:*E*g と アーバックエネルギー:*E*u の H<sub>2</sub> 流量比依存性の結果を Fig.2 に示す。H<sub>2</sub>流量比の増加に伴い、*E*g は 0.5% までは 4.10 - 3.94eV でほぼ一定であったが、5.0%では 2.53eV と大幅に減少した。 一方、*E*u は 0.35%の 319meV から H<sub>2</sub>流量の増加とともに 1071meV まで単調に増加した。 *E*u は伝導帯(CB)と価電子帯(VB) のテール状態の組み合わせである。 これは、サブギャップの乱れと欠陥分布の程度を表し、アモルファ ス乱れや欠陥不純物などに起因すると考えられる。このことは、高 H<sub>2</sub>流量比領域における小さな *E*g 値は、 サブギャップの乱れを反映しているが、基本的なバンドギャップには対応していないことを示している。a-GaO 薄膜の構造の乱れは、H<sub>2</sub>流量比の増加とともに増加する傾向がある。さらに、この場合、製膜過程で a-GaO 薄膜に発生するサブギャップの乱れは、酸素欠損、水素欠陥不純物、アモルファスの乱れの組み合わせによる ものであると考えられる。

## 参考文献

<sup>1)</sup> J. Kim, T. Sekiya, N. Miyokawa, N. Watanabe, K. Kimoto, K. Ide, Y. Toda, S. Ueda, N. Ohashi, H. Hiramatsu, H. Hosono, and T. Kamiya, NPG Asia Mater. **9**, e359 (2017).

## 3. 発表論文等

## 原著論文

- Kosuke Takenaka, Masashi Endo, Hiroyuki Hirayama, Susumu Toko, Giichiro Uchida, Akinori Ebe, Yuichi Setsuhara, Analysis of residual oxygen during a-IGZO thin film formation by plasma-assisted reactive sputtering using a stable isotope, Vacuum 215 (2023) 112227.
- Kosuke Takenaka, Hiroyuki Hirayama, Masashi Endo, Susumu Toko, Giichiro Uchida, Akinori Ebe, Yuichi Setsuhara, Analysis of oxygen-based species introduced during plasma assisted reactive processing of a-IGZO films, Japanese Journal of Applied Physics 62 (2023) SL1018.
- Kosuke Takenaka, Shota Nunomura, Yuji Hayashi, Hibiki Komatsu, Susumu Toko, Hitoshi Tampo and Yuichi Setsuhara, Stability and gap states of a-IGZO TFTs fabricated with plasma-assisted reactive process: Impact of sputtering configuration and post-deposition annealing, Thin Solid Films **790** (2024) 140203.

## 国際会議等発表

- Kosuke Takenaka, Hibiki Komatsu, Susumu, Toko, Akinori Ebe, Yuichi Setsuhara, Formation of Ga-based amorphous oxide thin film transistors using plasma-assisted reactive processes, 25<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry(ISPC25), May 21 – 26, 2023, Kyoto, Japan.
- Yuichi Setsuhara, Kosuke Takenaka, Akinori Ebe, Reactivity-Control Plasma Processes for Low-Temperature Formation of High-Quality Oxide Thin-Film Transistors, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (Thermec2023), July 03 – 07, 2023, Vienna, Austria.
- Kosuke Takenaka, Susumu Toko, Yuichi Setsuhara, Keisuke Ide and Toshio Kamiya, Development of Plasma Processing Technology for Low-temperature Formation of High Quality Functional Thin Films, The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), 20 October. 2023, International Conference Center, Waseda University, Tokyo, Japan.

## マルチスケール材料融合によるはんだ材料の高機能化

大阪大学接合科学研究所 〇巽裕章、新田隼也、西川宏

# Enhanced thermal conductive performance of solder-based composite joint utilizing Cu porous materials by OHiroaki TATSUMI and Hiroshi NISHIKAWA

## 1. 研究目的

近年、情報化社会の急速な発展や電気自動車の普及、エネルギー使用の高効率化、ヘルスケア分野の拡大 などにより、半導体デバイスの小型化、高集積化、高効率化が急務となっている。これらのデバイスは、電 子機器の性能向上や省エネ化を実現し、持続可能な社会の構築に貢献している。しかし、デバイスの性能向 上に伴い、はんだ接合部の高熱伝導化や高信頼化が重要な課題となっている。従来、はんだ材料への元素添 加による新規合金組成が長年にわたって検討されてきたものの、求められる特性には至っていない。

これまで著者らは、はんだ材料を基材とした複合材料・構造として、Cu ポーラス材料の気孔にはんだを溶 融・浸透させて得られる Cu ポーラス材料・はんだ複合構造を提案し、はんだの2倍以上の優れた熱伝導性を 実証した<sup>1)</sup>。また、NiOで被覆した ZrO<sub>2</sub>ナノ粒子を添加したナノ粒子複合 Sn-In はんだを提案し、基材となる Sn-In はんだに対して 36%優れた引張強度が得られることを示した<sup>2)</sup>。

本課題では、本手法を発展させたはんだ基複合構造を創出する接合技術の開発と、デバイスへの応用の可 能性を探ることを目的とする。本報告では、上述の Cu ポーラス材料・はんだ複合構造として、一方向に配列 した気孔を有するロータス型ポーラス Cu を用いた手法と、そのデバイスへの応用事例について報告する。

## 2. 研究成果

## 2.1 ロータス型ポーラス Cu・はんだ複合構 造の熱伝導性評価

ロータス型ポーラス Cu シートとはんだシートを 用いて接合部を作製した。本研究では、Fig.1 に示す 厚さ 0.2 mm、開口率が約 50%のロータス型ポーラ ス Cu シートを使用した。はんだシートには Sn-3Ag-0.5Cu (SAC305) はんだを用いた。接合プロセスの模 式図を Fig. 2 に示す。直径 10 mm の上下の Cu ディ スクの間に挟むようにロータス型ポーラス Cu シー トとはんだシートを積層して配置し、N2 中でリフロ ーすることによって接合部を作製した。接合温度を 250 ℃、接合時間を 60 s とし、接合部のボイドを減 らすためにはんだ溶融中に二度真空引きを行った。 得られた Cu-Cu ディスク接合部の定常熱伝導率測 定を行った。

ロータス型ポーラス Cu-はんだ複合構造を形成した Cu-Cu ディスク接合部を作製した。Fig. 3 に接合部の断面観察結果を示す。ロータス型ポーラス Cu の気孔に対してはんだが狙い通り充填された構造を形成することが明らかとなっている。得られたサンプルに対して、定常法を用いて接合部の熱抵抗を算出した。その結果、接合部の見かけの熱伝導率を算出した。その結果、接合部の見かけの熱伝導率 55 W/m・Kであった。SAC305 はんだ単体の熱伝導率 55 W/m・K に対して、約 2.5 倍の優れた高熱伝導性を示すことが明らかとなった。



Fig.1 ロータス型ポーラス Cu シート



Fig. 2 ロータス型ポーラス Cu・はんだ複合構 造の形成プロセス



Fig. 3 断面 SEM 観察結果 1)

## 2.2 ロータス型ポーラス Cu・はんだ複合構 造を用いたモジュール試作評価

ロータス型ポーラス Cu-はんだ複合構造をダイア タッチ部とベースアタッチ部に用いて、片面冷却構 造の簡易なパワーモジュールを作製した。模式図を Fig. 4 に示す。抵抗ヒーターを内蔵した 5 × 5 mm の TEG チップ、絶縁基板 (FJ コンポジット社製、 Cu/Si3N4/Cu 基板<sup>3)</sup>、および Cu ベース板を、挟み込 んだ接合材料とともに載置し、リフローにより接合 した。チップ表面の温度 ( $T_i$ )と Cu ベース板裏面中央 の温度 ( $T_c$ )を計測しながらチップに所定の電流を 流して発熱させ、このときのチップ表面から Cu ベ ース板裏面までの熱抵抗  $R_{h(j-c)}$ を算出した。

ロータス型ポーラス Cu-はんだ複合構造を活用し たベースアタッチ部の X 線透過画像を Fig. 4 に示 す。ロータス型ポーラス Cu とその気孔に充填され たはんだが、それぞれ薄灰色および濃灰色として観 察される。白色として観察されるボイドがほとんど 見受けられず、気孔にはんだが良好に充填されてい ることが確認できた。次に、チップ-Cu ベース板間 の熱抵抗を測定した。ダイアタッチ部とベースアタ



Fig. 4 試作モジュールの断面模式図



Fig.5 接合部の透過X線観察結果

ッチ部の2層の接合層にはんだのみを用いた場合と比較した。その結果、接合層にロータス型ポーラスCu・ はんだ複合構造を用いた場合、はんだ単体に比べて約13%熱抵抗を低減できることがわかった。

- 3. 参考文献
- H. Tatsumi and H. Nishikawa, Anisotropic Highly Conductive Joints utilizing Cu-Solder Microcomposite Structure for High-Temperature Electronics Packaging, *Materials and Design*, 223, 111204 (2022)
- (2) S. Nitta, H. Tatsumi, and H. Nishikawa, Strength-enhanced Sn-In low-temperature alloy with surface-modified ZrO<sub>2</sub> nanoparticle addition, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34, 2066 (2023)
- (3) H. Tatsumi, S. Moon, M. Takahashi, T. Kozawa, E. Tsushima, and H. Nishikawa, Quasi-direct Cu-Si3N4 bonding using multi-layered active metal deposition for power-module substrate, *Materials and Design*, 238, 112637 (2024)

## 健全な継手が得られる陽極接合条件の解明

## 大阪大学接合科学研究所 〇高橋 誠

## Elucidation of the Conditions for Anodic Bonding That Yields Sound Joints by OMakoto TAKAHASHI

## 1. 研究目的

陽極接合は、アルカリ金属などの動きやすい陽イオンを含むガラスと金属もしくは半導体を接触させ、両 者の間に導体側を陽極として電圧を印加することで接合を行う方法である。電圧を印加するとガラスの中で 電場が働き、その電場から力を受けてガラスに含まれる可動な陽イオンが陽極である導体と接した側から陰 極の側に向かって移動する。その結果、ガラス中の導体との接触面近傍には陽イオン欠乏層が生じる。陽イ オン欠乏層は陽イオンの移動から取り残された O<sup>2</sup>イオンを過剰に含むため強い負電荷を帯びており、その負 電荷と導体表面に現れる正電荷の間に働くクーロン力によってガラスと導体が強く密着する。さらに陽イオ ン欠乏層中で働く強い電場の作用で O<sup>2</sup>イオンがガラスと導体の接触面に移動し、導体の構成元素を酸化させ て反応層を形成することで恒久的な接合が成立する。

陽極接合の進行に必要なガラス中の陽イオンの拡散移動を活性させるために従来は材料を 500K から 700K程度に加熱してから電圧の印加を行っていた。しかし接合する材料同士の線膨張率の差が大きい場合、 この程度の接合温度であっても接合後の冷却中に大きな残留応力が生じ、ガラスの破損や得られた継手の変 形の原因となる。また加工対象によっては接合中の熱変性を抑えるために極力接合温度を下げることが望ま しい場合もあり、これらの問題が陽極接合の応用対象を大きく制限してきた。そこでこれらの課題を解決す るため低温での陽極接合の研究を行い、アルミニウム層を仲立ちとしたソーダライムガラス同士の重ね陽極 接合では従来の接合温度より大幅に低い 333 K(60 ℃) での接合を達成した。しかしホウケイ酸ガラスの一 種である硬質ガラス同士を同じくアルミニウム層を仲立ちとして重ね陽極接合した場合、接合界面全面が密 着した継手は 433 K 以上の接合温度でしか得られなかった。これらの接合では、ガラスの品種や接合温度に かかわらず接合中にガラスを流れる電流が運んだ電荷の接合面での面密度が100 C/m<sup>2</sup>を超えると接合界面全 体が密着した継手が得られることが実験的に見いだされた。陽極接合においてガラス中を流れる電流のキャ リアは移動するイオンなので、電荷量はガラスから接合界面に供給されアルミニウムと反応した O<sup>2</sup>イオンの 量を代表しており、従って界面反応による接合の進行をよく示していたものと考えられる。接合中にガラス 中を移動する電荷量で健全な継手が得られる条件を整理することができれば、ガラスを流れる電流量と陽極 接合のパラメータである接合温度・接合電圧の関係を明らかにすることで健全な継手が得られる接合条件を 予想することができる。そこで、接合の条件を系統的に変化させた陽極接合を行い、電圧印加中に移動する 電荷量と接合の進行の関係を検討した。

#### 2. 研究成果

#### 2. 1 健全な陽極接合界面の形成に必要な導体側材料の酸化量

健全な陽極接合継手を得るために必要な接合中のガラス中の電荷移動量と導体側材料の酸化量を関係づけ るため、導体層を仲立ちとしたガラス板同士の重ね陽極接合を仲立ちの導体層の厚さと電圧印加時間を系統 的に変えて行い、得られた継手の接合界面の状態を観察した。

継手材料にはソーダライムガラス Matsunami 50 を用いた。厚さ1 mm の両面磨きガラス板を幅 25 mm、長 さ 50 mm の長方形に切断し、その片面に真空蒸着で 5 nm、10 nm、20 nm の 3 通りの厚さのアルミニウム層 を施した。以後アルミニウム層の厚さを Dとする。これらの板の上に同じ Matsunami 50 の厚さ1 mm、幅 25 mm、 長さ 40 mm の長方形の板をアルミニウム層をはさんで重ね合わせ、純アルゴン雰囲気中で接合温度  $T_b$  = 443 K に加熱してからアルミニウム層を陽極、両側のガラス板の外側の面を陰極として 400 V の接合電圧を印加し て陽極接合を行った。まず D = 20 nm で電圧印加時間  $t_b$  = 5400 s、D = 10 nm、5 nm で  $t_b$  = 3600 s で接合を行 い、アルミニウム層が完全に酸化された継手を得た。次に D = 20 nm で、 $t_b$  = 669 s、 $t_b$  = 1461 s の 2 通りの電 圧印加時間で、D = 10 nm で  $t_b$  = 669 s での接合を行った。こうして得られた接合界面の状態を透明なガラス を通して観察した。

それぞれ Fig. 1(a)、(b)、(c)の外観写真に示すように、 $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 5400 \text{ s}$ 、 $D = 10 \text{ nm} \cdot t_b = 3600 \text{ s}$ 、 $D = 5 \text{ nm} \cdot t_b = 3600 \text{ s}$ .

示された。それぞれの継手中でアルミニウム層の酸化が完 了するまでに移動した電荷量 ( $q_b$ ) は D = 20 nm で 293 C/m<sup>2</sup>、 D = 10 nm で 184 C/m<sup>2</sup>、D = 5 nm で 72 C/m<sup>2</sup> であった。 D = 20 nm、10 nm の継手では接合界面全体が密着していた が、接合中に移動した電荷量が 100 C/m<sup>2</sup> より小さくなった D = 5 nm の継手の接合界面には未密着部が残存していた。 このことから、アルミニウムとソーダライムガラスの陽極 接合界面の密着が達成されるには 10 nm の半分、5 nm 程度 の厚さのアルミニウムが酸化される必要があると考えられ た。(アルミニウム層は両側のガラスとの界面から酸化され るため)

D = 20 nm で $t_b = 1461 \text{ s}$   $\geq$   $t_b = 669 \text{ s}$  の継手、D = 10 nm で  $t_b = 669 \text{ s}$  の継手の外観をそれぞれ Fig. 2(a)、(b)、(c)に示す。 これらの継手の接合界面には未酸化のアルミニウム層が残 存していた。 $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 1461 \text{ s}$  の継手の接合界面は全 体が密着していたが、 $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 669 \text{ s}$ 、 $D = 10 \text{ nm} \cdot$  $t_b = 669 \text{ s}$  の継手の接合界面には未密着部が残存していた。 これらの継手の接合中に移動した電荷量は  $D = 20 \text{ nm} \cdot$  $t_b = 1461 \text{ s}$  で 163 C/m<sup>2</sup>、 $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 669 \text{ s}$  で 82 C/m<sup>2</sup>、  $D = 10 \text{ nm} \cdot t_b = 669 \text{ s}$  で 82 C/m<sup>2</sup> であり、接合界面全体が密 着していた  $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 1461 \text{ s}$  の継手では同じく界面全 体が密着していた D = 10 nm でアルミニウム層を完全に酸 化させた継手、未密着部が残存していた  $D = 20 \text{ nm} \cdot$  $t_b = 669 \text{ s}$ 、 $D = 20 \text{ nm} \cdot t_b = 669 \text{ s}$ の継手では同じく未密着部 が残存していた D = 5 nm でアルミニウム層を完全に酸化さ



Fig. 1 長時間の電圧印加で接合した

陽極接合継手



Fig.2 電圧印加時間を変えて接合した 陽極接合継手

せた継手の接合中に移動した電荷量に近い値になった。これらの結果から、アルミニウムとガラスの陽極接 合界面の密着が達成される電荷移動量の閾値は、電圧印加中に接合界面で酸化される必要のあるアルミニウ ムの量を反映しているものと考えられた。

#### 2.2 陽極接合の進行に対する接合電圧の影響

硬質ガラスの陽極接合をより低温・短時間で行うことを可能にするため、硬質ガラスの陽極接合を接合電 圧と接合温度を変えて行い、接合の進行に接合電圧が与える影響を観察した。

継手材料には硬質ガラスの Tempax を用いた。厚さ 1 mm の両面磨きガラス板を幅 25 mm、長さ 50 mm の 長方形に切断し、その片面に真空蒸着で仲立ちのアルミニウム層を施した。この板の上に同じ Tempax の厚 さ 1 mm、幅 25 mm、長さ 40 mm の長方形の板をアルミニウム層をはさんで重ね合わせ、純アルゴン雰囲気 中で 3 通りの T<sub>b</sub>、433 K、473 K、513 K に加熱してからアルミニウム層を陽極、両側のガラス板の外側の面 を陰極として 600 V の V<sub>b</sub>を印加して陽極接合を行った。接合中にガラスを流れる電流を測定し、得られた継 手の接合界面を透明なガラスを通して観察した。得られた結果は同様の接合を接合電圧 400 V で行ったとき の結果と比較した。

 $V_b = 600 V$  での接合の結果と接合中にガラス中を移動した電荷量を Table 1 に  $V_b = 400 V$  の結果と並べて示した。表中、〇は接合界面全体が密着、×は接合直後に界面に未密着部が残存、△は接合直後は界面全体が

 $\mathcal{T}_{\mathbf{b}}$ 

emperat

密着していたが、その後時間の経過と ともに一部に剥離が生じたことを示す。 電荷量は接合界面の面積に対する電荷 の面密度( $q_b$ )を括弧内に単位 C/m<sup>2</sup>で 示した。 $V_b = 600$  V での接合では同じ  $T_b$ 、hでの  $V_b = 400$  V での接合と比べて  $q_b$ が 1.3~1.5 倍となり、それに伴い全面 密着の継手を得るのに必要な電圧印加 時間が短くなった。また  $V_b = 600$  V で は、接合時間を長くすることで  $T_b = 393$ K での接合も可能になった。

Table 1 接合電圧・温度・時間を変えて行った陽極接合の結果

(Voltage application time,  $t_{\rm b}$  / s) 225 450 510 900 1800 3600 14400 57600  $V_{\rm b}$ 400 V (135.7) (23.2) (73.0) 433 600 V (104.6) (199.9) ∆ (26.3) ∆ (46.6) ∆ (72.1) 400 V (13.7) (97.4) 473 0 (109.1) 600 V 0 (122.1) ∆ (99.3) O (145.0) 400 V (62.8) (91.0) 513 600 V O (85.9) O (133.3)

## プラズマミグハイブリッド溶接を用いた高張力鋼厚板のワンパス溶接法の開 発

大阪大学接合科学研究所 〇田代真一、田中学

## Development of single-pass welding process of high-strength steel using plasma-MIG hybrid system by Oshinichi TASHIRO and Manabu TANAKA

## 1. 研究目的

厚鋼板の溶接に対する需要は、建設、土木機械、橋梁、造船、鉄道産業等の分野で特に高い。Plasma-GMA (Gas Metal Arc)溶接法はプロセスメカニズムが複雑であり[1,2]、その制御には高い技術が要求されるものの、厚 鋼板に対しても1パスでの低入熱、深溶込み溶接が可能な長所を持つ。しかしながら、一般的に板厚が増加 するほどプラズマアークがキーホールを貫通しにくくなり、裏面側のキーホール形成が不安定となることで 溶接が困難となることが知られている。本稿では GMA シールドガス中に酸素ガスを添加し溶融池表面張力を 低下させることでキーホール形成を容易にし、これが溶接性に及ぼす影響について検討した結果について報告 する。

## 2. 研究成果

Table 1 に実験条件を、Figure 1 に実験装置構成の模式図を示す。先行極となるプラズマ溶接及び後行 極となる GMA 溶接の電流はそれぞれ直流 220 A、直流パルス 160 A とした。母材は板厚 9 mm の高張力鋼板 としルートギャップを 1.5 mm に設定した。GMA シールドガスには純 Ar、Ar+2%02及び Ar+20%CO2を用い、ガ ス種の違いが溶接性に及ぼす影響を検討した。溶接中のアーク及び溶融池の挙動をレーザ照明付き高速度 ビデオカメラにて撮影した。溶接後にはキーホール断面及び溶接ビードマクロ断面を観察した。

| Pa                 | arameters               | Value/Unit   |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Base r             | netal thickness         | 9 mm   |  |  |  |  |  |  |  |
| Plasma welding     | Welding current         | 220 A  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Stand-off of the torch  | 3 mm   |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Shielding gas           | Pure Ar; 15 1/min  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Pilot gas               | Pure Ar; 2.5 1/min   |  |  |  |  |  |  |  |
| GMA welding        | Welding current setting | 160 A  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Wire feeding speed      | 5.3 m/min  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Voltage                 | 25 V   |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | CTWD                    | 20 mm  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Wire diameter           | 1.2 mm   |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | Shielding gas           | Pure Ar; Ar + 2% O <sub>2</sub> ; Ar +<br>20% CO <sub>2</sub> ; 10 1/min |  |  |  |  |  |  |  |
| Welding travel spe | ed                      | 40 cm/min  |  |  |  |  |  |  |  |
| Back shielding gas |                         | None   |  |  |  |  |  |  |  |
| Root opening       |                         | 1.5 mm   |  |  |  |  |  |  |  |

#### Table 1 Experimental condition.



Figure 1 Experimental setup for (a) hybrid welding and (b) observation system.

Figure 2 に各条件における溶接ビードマクロ断面写真を示す。溶融部は上部側の GMA 溶着金属部と下部 側の母材溶融金属部に分かれていることがわかる。Ar 及び Ar+2%02 の場合、下部側で溶込みが不完全であ り、ポロシティの発生も確認できる。これに対して、Ar+20%C02 では完全溶込みが得られており、上部側の 余盛高さも低く抑えられている。これらの違いを検討するために Figure 3 にキーホール断面写真を示し た。母材表面でのキーホール径は Ar、Ar+2%02 及び Ar+20%C02 でそれぞれ 5.48、6.27、7.67 mm となって おり、Ar+20%C02 で特に大きくなることがわかる、裏面では Ar+20%C02 でのみ母材の溶融が見られキーホー ルが形成されている。以上の結果から、GMA のシールドガスに酸素が多く含まれるほど溶融池表面張力が 低下しキーホールが貫通しやすくなるため、入熱が深部まで達することで厚板においても深溶込みが得ら れやすくなることが明らかになった。ただし、表面張力の過度の低下は溶融池の溶落ちを引き起こすため、 酸素量の適切な制御が不可欠となるものと思われる。



Figure 2 Weld bead cross-section in (a) pure Ar, (b) Ar + 2% O<sub>2</sub>, and (c) Ar + 20% CO<sub>2</sub> shielding gas.



**Figure 3** Keyhole cross-section of 9 mm weld beads in (a) pure Ar, (b) Ar + 2% O<sub>2</sub>, and (c) Ar + 20% CO<sub>2</sub> shielding gas.

## 3. 参考文献

 K. Ishida, S. Tashiro, K. Nomura, D. Wu, M. Tanaka, J Manuf Process, Vol. 77, 743, 2022.
 D. Wu, K. Ishida, S. Tashiro, K. Nomura, X. Hua, N. Ma, M. Tanaka, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 200, p. 123551(12pp), 2023.

#### 分野:要素材料·技術開発分野

Ceramic Stereolithography of Yttria Stabilized Zirconia for dental applications.

大阪大学接合科学研究所 ○スピレット・フィオナ、桐原聡秀 産業技術総合研究所四国センター 吉原 久美子 by ○Fiona Spirrett, Kumiko Yoshihara, and Soshu Kirihara

## 1. Background

There are strict mechanical, chemical, and thermal requirements of dental materials for application as dental crowns, bridges, and veneers [1]. Various ceramic materials fulfil these requirements and are traditionally shaped by the dental CAD-CAM method (Fig 1 a), where a precise prosthetic is milled from the ceramic. This method has inherent limitations, such as material waste and wear of cutting tools due to the hardness of ceramics. The ceramic stereolithography method can be used to accurately shape these components without the need for tooling, and with reduced waste due to layer-wise fabrication (Fig 1 b) [2].

For dental applications, Yttria Stabilized Zirconia is becoming a preferred material over Alumina and Porcelain due to its superior mechanical properties and esthetics. With Yttria stabilization of 3-8 mol%,

the properties of this ceramic can be changed for the intended purpose (Table 1). 3 mol% YSZ is preferred for mechanical strength and hardness, but 5 mol% YSZ has superior translucency for the natural appearance of a human tooth for dental crown applications [3]. Fabrication of dental crowns by ceramic stereolithography using these materials is expected to form accurate, patient-specific prosthetics with excellent properties.

#### 2. Experimental Procedure and Results

In the ceramic stereolithography method, ceramic particles are dispersed in a photosensitive resin and spread across a build platform at a defined layer thickness. A 355 nm UV laser is used to selectively scan the surface of the material, solidifying it by photopolymerisation. 2D cross sectional data is joined by laser curing and consecutive layers are processed to form a 3D composite green part (Fig 2). The green part is then sintered to remove the resin content and densify the ceramic.

Resin composition has a large impact on processability of the photosensitive paste and must be non-toxic for application in dentistry. A range of commercially available and custom resins

were investigated for curing behavior. Monomer, dispersant, and photoinitiator were combined at varying concentrations and scanned by a 355 nm UV laser with a spot size of 50  $\mu$ m at a power of 300 mW and scan speed of 1000 mm/s to process a thin film disc of 50 mm diameter. Extent of curing was observed and results are expected to inform suitable resin selection for photosensitive YSZ paste creation for ceramic stereolithography.

Computational modelling was used to visualize the deformation and maximum stress of YSZ dental crowns with occlusal force for comparison with other ceramic material protheses (Fig. 3a). The model surface was represented by a fine mesh and faces were selected on occlusal areas of the bridge model. A







Table 1 Dental Zirconia material properties.



Figure 2 Schematic of the ceramic stereolithography method.

fixed support was defined under the crown teeth, and a force of 200-300 N was applied to two occlusal areas on the bridge models, and the values of deformation and stress were measured. An initial model using dental zirconia resulted in a maximum principal stress and total deformation not exceeding 20 MPa and 0.6 mm respectively, however further analysis is required to assess and compare bridge models of varying YSZ.

Ceramic dispersions of 45-54% YSZ were mixed by planetary centrifugal mixer, and disc and rod samples were fabricated by ceramic stereolithography and sintered in an electric furnace. The samples were inspected by Scanning Electron Microscopy and flexural strength testing. Rod samples of 45% 5.6 YSZ suffered from curling and



Figure 3 (a) Computational visualization of YSZ crown deformation with occlusal force, (b) fabricated YSZ crown model.

delamination during sintering due to low solid content. A large variation in flexural strength in the vertical axes was thought to be caused by cracking in the sample, but showing greater strength in the vertical direction is consistent with literature for compression molded YSZ (Fig 4a). Samples created using 3 YSZ paste of 51.57vol% had the highest maximum measured flexural strength over 1200 MPa, close to values in literature, however showed large variation (Fig 4b) [4]. 3 Y and 5.6 Y slurries were used to fabricate dental bridge samples by ceramic stereolithography (SZ-2500, SK-Fine) (Fig. 3b).

3-5 YSZ samples fabricated by ceramic stereolithography must be further optimized to improve flexural strength to be competitive with values in literature of 1500 MPa and 600MPa for 3 Y- and 5 YSZ respectively. Future work will include evaluation of suitable photosensitive resins for YSZ dental crown fabrication, optimization of ceramic pastes and stereolithographic processing, thermal post-processing, and mechanical characterization.



Figure 4 (a) 3-point bend test of 5.6 YSZ rod samples created by stereolithography using 45% dispersion paste. (b) Biaxial bend test results for 3 YSZ disc samples created by stereolithography using ~50-54% dispersion pastes.

## 3. References

- Bajraktarova-Valjakova E, Korunoska-Stevkovska V, Kapusevska B, et al. Contemporary Dental Ceramic Materials, A Review: Chemical Composition, Physical and Mechanical Properties, Indications for Use, Maced J Med Sci; 6, 1742–1755 (2018)
- (2) Gibson I, Rosen D, Stucker B. Additive Manufacturing Technologies, Springer New York, (2015).
- (3) Branco AC, Colaço R, Figueiredo-Pina CG, et al. Recent Advances on 3D-Printed Zirconia-Based Dental Materials: A Review, Materials; 16, 1860 (2023).
- (4) Zhang Y, and Lawn BR, Novel Zirconia Material in Dentistry, Journal of Dental Research. 97, 140-147 (2018)

## 令和 5 年度接合科学研究所が関連する業績リスト

### 【研究所間連携共著論文】

- Fei Li, Kanako Yoshida, Nguyen Van Chuc, Minoru Osada , Hiroya Abe, "Understanding the role of solvents in bottom-up synthesis of multi-element hydroxides", the Royal Society of Chemistry RSC Adv, 14, 75-82, (2024), [DOI: 10.1039/d3ra07344k]
- (2) Shota Kariya, Ammarueda Issariyapat, Abdollah Bahador, Junko Umeda, Jianghua Shen, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba, Katsuyoshi Kondoh, "Novel tensile deformation mode in laser powder bed fusion prepared Ti-O alloy", Materials Science & Engineering A, Volume 892, 146057, (2024), [https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.146057]
- (3) Tomoyuki Mihara, Kosuke Nozaki, Yasuyuki Kowaka, Mengtian Jiang, Kimihiro Yamashita, Hiroyuki Miura, Satoshi Ohara "Enhanced Photocatalysis of Electrically Polarized Titania Nanosheets" Nanomaterials, 14, 171 (2024), [https://doi.org/10.3390/nano14020171]

#### 【査読付き学術論文】

- Ayaka Oi, Fiona Spirrett, Soshu Kirihara, "Stereolithography Additive Manufacturing of Glass/Ceramic Composite Components with Self-similar Structures", Journal of Smart Processing for Materials, Environment & Energy 12(4), 229-235 (2023). [DOI: 10.7791/jspmee. 12. 229]
- (2) Fiona Spirrett, Ayaka Oi, Soshu Kirihara, "Additive manufacturing of composite glass/ceramic structures with self-similar geometries", Open Ceramics 17 (2023). [DOI 10.1016/j.oceram.2023.100509]
- (3) Shota Kariya, Amarueda Issariyapat, Abdollah Bahador, Junko Umeda, Jianghua Shen, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba, Katsuyoshi Kondoh, "Novel tensile deformation mode in laser powder bed fusion prepared Ti-O alloy", Mater. Sci. Eng. A 892, 146057 (2023). [ https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.146057]
- (4) Milica Milošević, Marija Radoičić, Satoshi Ohara, Hiroya Abe, Jelena Spasojević, Lidija Mančić, Zoran Šaponjić, "Advanced photocatalysis mediated by TiO2/Ag/TiO2 nanoparticles modified cotton fabric", Cellulose, 30, 4749-4771 (2023). [DOI 10.1007/s10570-023-05165-0]
- (5) Giichiro Uchida, Kodai Masumoto, Mikito Sakakibara, Yumiko Ikebe, Shinjiro Ono, Kazunori Koga, Takahiro Kozawa, "Single-step fabrication of fibrous Si/Sn composite nanowire anodes by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li-ion batteries", Sci. Rep., 13, 14280 (2023). [DOI 10.1038/s41598-023-41452-3]
- (6) Takashi Naka, Jaroslav Valenta, Takayuki Nakane, Satoshi Ishii, Minako Nakayama, Hiroaki Mamiya, Kanji Takehana, Naohito Tsujii, Yasutaka Imanaka, Yoshitaka Matsushita, Hiroya Abe, Tetsuo Uchikoshi, Hitoshi Yusa, "Phase transitions and slow spin dynamics of slightly inverted A-site spinel CoAl2-xGaxO4", J. Phys.: Condens. Matter, 36, 125801 (2024). [DOI 10.1088/1361-648X/ad12fc]
- (7) Tomoki Omae, Teruya Yamada, Daiki Fujikake, Takahiro Kozawa, Giichiro Uchida, "Development of nanostructured Ge/C anodes with a multistacking layer fabricated via Ar high-pressure sputtering for high-capacity Li+-ion batteries", Appl. Phys. Express, 17, 026001 (2024). [DOI 10.35848/1882-0786/ad2785]

- (8) 山下享介,諸岡聡、ゴンウー、川崎卓郎、ハルヨステファヌス、北條智彦、興津貴隆、藤井英俊、 "引張変形中その場中性子回折を用いた 0.15C-5Mn 鋼における残留オーステナイトと加工誘起マル テンサイトの役割のその場観察"、鉄と鋼、110、241-251 (2024). [https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2023-059]
- (9) T. Yamashita, S. Harjo, T. Kawasaki, S. Morooka, W. Gong, H. Fujii, Y. Tomota, "Martensitic Transformation Behavior of Fe-Ni-C Alloys Monitored by In-situ Neutron Diffraction during Cryogenic Cooling", ISIJ int., 64, 192-201 (2024). [DOI: https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2023-208]
- (10) Shinichi Tashiro, "Interaction Mechanism of Arc, Keyhole, and Weld Pool in Keyhole Plasma Arc Welding: A Review", materials, Vol.17, p. 1348(24pp), (2024). [https://doi.org/10.3390/ma17061348]
- (11) Xiao Xiao, Dongsheng Wu, Hisaya Komen, Lingran Meng, Wang Zhang, Pengkang Zhao, Shinichi Tashiro, Anthony B. Murphy, Manabu Tanaka, "Influencing mechanisms of melt behavior on metal vapor characteristic and columnar grain formation in wire-arc directed energy deposition of titanium alloy", Additive Manufacturing), Vol. 82, p. 104029, (2024). [https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104029]
- (12) T. Yuji, S. Tashiro, H. Kinoshita, K. Yasui, T. Bouno, Z. Wu, D. Wu, W. Poonthong, S. A. Rahman, S. B. Mamat, M. Tanaka, "An investigation on plasma-MIG hybrid welding process of thick plate aluminum", Journal of Advanced Joining Processes, p. 100188 (6pp), (2024). [https://doi.org/10.1016/j.jajp.2024.100188]
- (13) Fan Jiang, Xiangjun Gao, Bin Xu, Guokai Zhang, Chenglei Fan, Shinichi Tashiro, Manabu Tanaka, Shujun Chen, "Numerical analysis of arc physics and energy transfer under circumferential gas constraint effect", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 221, p. 125082 (19pp), (2024).
  [https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.125082]
- (14) Xinxin Wang, Shinichi Tashiro, Manabu Tanaka, Ngoc Quang Trinh "Numerical investigation of the arc behaviour and air transport during pulsed tungsten inert gas arc-based additive manufacturing", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 128, pp. 5385-5403, (2023). [https://doi.org/10.1007/s00170-023-12233z]
- (15) Xinxin Wang, Shinichi Tashiro, Manabu Tanaka, Anthony B. Murphy, "Numerical Investigation of the Iron and Oxygen Transport in Arc Plasma During an Activated Tungsten Inert Gas Welding Process", Plasma Chemistry and Plasma Processing, (2023). [https://doi.org/10.1007/s11090-023-10359-2]
- (16) Wenyong Zhao, Yanhong Wei, Shinichi Tashiro, Manabu Tanaka, Anthony B. Murphy, "Numerical investigations of arc plasma characteristic parameters evolution and metal properties in GMAW-based WAAM of Al alloy with an integrated model", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 99, pp. 321-337, (2023). [https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.05.047]
- (17) Wenyong Zhao, Shinichi Tashiro, Anthony B. Murphy, Manabu Tanaka, Xiangbo Liu, Yanhong Wei, "Deepening the understanding of arc characteristics and metal properties in GMAW-based WAAM with wire retraction via a multi-physics model", Journal of Manufacturing Processes, Vol. 97, pp. 260-274, (2023). [https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.05.008]

- (18) Hanh Van Bui, Ngoc Quang Trinh, Shinichi Tashiro, Tetsuo Suga, Tomonori Kakizaki, Kei Yamazaki, Ackadech Lersvanichkool, Anthony B. Murphy, and Manabu Tanaka, "Individual Effects of Alkali Element and Wire Structure on Metal Transfer Process in Argon Metal-Cored Arc Welding", materials, Vol. 16, p. 3053 (16pp), (2023). [https://doi.org/10.3390/ma16083053]
- (19) S. Toko, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, "Improving the efficiency of CO<sub>2</sub> methanation using a combination of plasma and molecular sieves", Result in Surfaces and Interfaces 14, 100204 (2024). [DOI 10.1016/j.rsurfi.2024.100204]
- (20)都甲 将,奥村 賢直,鎌滝 晋礼,竹中 弘祐,古閑 一憲,白谷 正治,節原裕一, "プラズ マ触媒作用を用いた二酸化炭素還元反応の促進に関する基礎研究",スマートプロセス学会誌 13, 31-36 (2024). [DOI 10.7791/jspmee.13.31]
- (21) T. Hasegawa, S. Toko, K. Kamataki, K. Koga, and M. Shiratani "Improving the efficiency of Sabatier reaction through H<sub>2</sub>O removal with low-pressure plasma catalysis", Japanese Journal of Applied Physics 62, SL1028 (2023). [DOI 10.35848/1347-4065/ace831]
- (22) S. Toko, T. Hasegawa, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, "Contribution of active species generated in plasma to CO<sub>2</sub> methanation" \_\_\_\_\_\_ Japanese Journal of Applied Physics, 62 SL1023 (2023). [DOI 10.35848/1347-4065/acdad9]
- (23) S. Toko, T. Hasegawa, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, "Optical emission spectroscopy study in CO<sub>2</sub> methanation with plasma", Japanese Journal of Applied Physics 62, SI1003 (2023). [DOI 10.35848/1347-4065/acc66a]
- (24) K. Takenaka, H. Komatsu, K. Ide, T. Sagano, S. Toko, T. Katase, T. Kamiya and Y. Setsuhara, "Hydrogen-included Plasma-assisted Reactive Sputtering for Conductivity Control of Ultra-Wide Bandgap Amorphous Gallium Oxide", Japanese Journal of Applied Physics, Accepted. [DOI 10.35848/1347-4065/ad364e]
- (25) K. Takenaka, S. Nunomura, Y. Hayashi, H. Komatsu, S. Toko, H. Tampo and Y. Setsuhara, "Stability and gap states of a-IGZO TFTs fabricated with plasma-assisted reactive process: Impact of sputtering configuration and post-deposition annealing", Thin Solid Films, 790, 140203 (2024). [DOI 10.1016/j.tsf.2024.140203]
- (26) 竹中 弘祐、節原 裕一、江部 明憲, "プラズマ支援反応性プロセスを用いた酸化物半導体薄 膜形成",真空ジャーナル 186 号 PP. 10-15.
- (27) K. Takenaka, H. Hirayama, M. Endo, S. Toko, G. Uchida, A. Ebe, Y. Setsuhara, "Analysis of oxygen-based species introduced during plasma assisted reactive processing of a-IGZO films", Japanese Journal of Applied Physics, 62, SL1018 (2023). [DOI 10.35848/1347-4065/acdb7e]
- (28) K. Takenaka, M. Endo, H. Hirayama, S. Toko, G. Uchida, A. Ebe, Y. Setsuhara, "Analysis of residual oxygen during a-IGZO thin film formation by plasma-assisted reactive sputtering using a stable isotope", Vacuum 215, 112227 (2023). [DOI10.1016/j.vacuum.2023.112227]
- (29) Shunya Nitta, Hiroaki Tatsumi, Hiroshi Nishikawa, "Strength-enhanced Sn-In lowtemperature alloy with surface-modified ZrO<sub>2</sub> nanoparticle addition", Journal of

Materials Science: Materials in Electronics, 34, 2066 (2023). [DOI 10.1007/s10854-023-11344-3]

- (30) Sendong Ren, Hao Chen, Ninshu Ma, Jingjia Chen, Shuhei Saeki, Yoshiaki Iwamoto, Jianguo Yang, "Investigation on the fracture behaviour of Al-CFRP cross-lap joint fabricated by coaxial one-side resistance spot welding", Polymers, 16, polym16060738, 1-22 (March 2024). [https://doi.org/10.3390/polym16060738]
- (31) Weihao Li, Peihao Geng, Ninshu Ma, Chuantong Chen, "Effect of thermal-mechanical conditions on strength of silanized Al alloy/CFRTP hybrid joint made by thinning controlled hot pressing", Materials Today Communications, Volume 38, 108507, p1-15( March 2024). [https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108507]
- (32) Hongbo Xia, Yongdian Han; Lianyong Xu; Caiwang Tan; Liqun Li; Haoyue Li; Xiaoye Zhao; Kaiping Zhang; Qian Wang; Ninshu Ma, "Toward understanding the fractured mechanism in laser welded-brazed Al/steel interface by in-situ SEM tensile observations", Journal of Materials Processing Technology, Volume 325 (January 11, 2024).
  [ https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118294]
- (33) Seungyeop Baek, Junyeong Kim, Taeyang Kwak, Taejin Lee, Hyun-chul Lee, Chuantong Chen, Peihao Geng, Ninshu Ma, Seung-Joon Lee, Dongjin Kim, "Al heat affected zone-less resistance element welded lap joints of Al alloy and 1 GPa class steel: transition of microstructure and fracture with heat transfer", Journal of Materials Research and Technology, 3541-3565, 28 (Jan. 2024). [https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.210]
- (34) Sendong Ren, Hao Chen, Ninshu Ma, Weihao Li, Shuhei Saeki, Yoshiaki Iwamoto, Jianguo Yang, "Coaxial one-side resistance spot welding for cross-lap joints of Al5052 and CFRP: Thermal process and strength evaluation", Journal of Materials Research and Technology, 28, 1032-1043, (2024). [https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.076]
- (35) Weihao Li, Peihao Geng, Qian Wang, Ninshu Ma, Shuaijie Zhao, Chuantong Chen, "Effect of thermal condition on isothermal-pressing joined strength of silanized Al alloy/carbon fiber-reinforced polyamide-6", Journal of Materials Research and Technology, 24, 8035-8052, (2023). [https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.043]

## 【解説記事】

- (1) 野澤貴史,渡辺淑之,中島基樹,安堂正己,加藤太一朗,阮 小勇,黒滝宏紀,黄 彦瑞,谷川 博康,鎌田康寛,清水一行,大畑 充,庄司博人,清水万真,中田隼矢,鈴木茂和,長坂琢也, 申 晶潔,伊藤隆基,何 磊,旭吉雅健,福元謙一,森下和功,陳 昱婷,佐藤紘一,加藤太治, 宮本光貴,岩切宏友,沖田泰良,叶野 翔,阿部弘亨,近藤創介,笠田竜太,岡 弘,柴山環樹, 橋本直幸,駒崎慎一,遊佐訓孝,櫻井 浩,鈴木宏輔,中里直史,岸本弘立,芹澤 久,森 裕 章,大塚哲平,原 正憲,近田拓未,"幅広いアプローチ(BA)活動における核融合炉構造材料 開発",プラズマ・核融合学会誌, Vol. 100, No. 2, 77-102. (2024)
- (2) Fiona Spirrett, Soshu Kirihara, "Environmental Control of Solid Electrolytes by Stereolithography Additive Manufacturing", Journal of Smart Processing for Materials, Environment & Energy 12(4), 219-224 (2023).

## 【国際会議発表】

- Fiona Spirrett, Soshu Kirihara, "Computational Modelling for Cereamic Stereolithography Processing", Young Ceramists Additive Manufacturing Forum, August 31 (2023), Leoben, Austria.
- (2) Fiona Spirrett, Kumiko Yoshihara, Soshu Kirihara, "The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA-3)", October 20, Tokyo, Japan.
- (3) Fiona Spirrett, Soshu Kirihara, "Computational Modelling for Ceramic Stereolithography to Support Sustainable Engineering", Advanced Materials Research Grand Meeting MRM 2023, December 14 (2023), Kyoto, Japan.
- (4) Soshu Kirihara, Fiona Spirrett, "Stereolithographic Additive Manufacturing of Ceramic Components with Functional Geometries for Environmental Modulations", Materials Research Society (MRS 2023), December 11-16 (2023), Kyoto, Japan.
- (5) Soshu Kirihara, "Fabrication of Geometrically Modulated Structures by Stereolithographic Additive Manufacturing", Materials Research Society (MRS 2023), December 11-16 (2023), Kyoto, Japan.
- (6) Soshu Kirihara, Fiona Spirrett, "Stereolithographic Additive Manufacturing of Solid Electrolytes for Effective Energy Storage", 48th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (ICACC 2024), January 28-31 (2024), Florida, USA.
- (7) Fiona Spirrett, Ayaka Oi, Soshu Kirihara, "Fabrication of complex components for functional and structural applications by ceramic stereolithography", 48th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (ICACC 2024), January 28-31 (2024)
- (8) H. Serizawa, H. Kishimoto, H. Fujii and T. Nozawa, "Research on Corrosion Property of F82H/SUS316L Butt-Joints", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA 2023), October 20 (2023), Tokyo, Japan.
- (9) H. Mori, H. Serizawa, T. Kato, T. Hirose, T. Nozawa and H. Tanigawa, "Numerical Analysis for Evaluation of Cold Crack Susceptibility in Laser Beam Welds of Dissimilar Materials' Joints for Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel F82H and Type 316 Austenitic Stainless Steel", International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials, THERMEC' 2023, July 2-7 (2023) Wien, Austria.
- (10) Fei Li, Hiroya Abe, "Bottom-Up Synthesis of High-Entropy Hydroxide Nanosheets and Their Potential Applications", XVIII Conference & Exhibition of the European Ceramic Society, July 2-5 (2023), Lyon, France.
- (11) Fei Li, Hiroya Abe, "Sintering Behavior of High Entropy Cerate Nanoparticles Synthesized by Polyol Process", The International Conference on Sintering 2023, August 27-30 (2023), Gifu, Japan.
- (12) Takahiro Kozawa, Hiroaki Tatsumi, Hiroshi Nishikawa, "Synthesis of macroporous microspheres through a thermal decomposition in water vapor and its application to nanoparticle collection", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), October 20 (2023), Tokyo, Japan.
- (13) Fei Li, Minoru Osada, Hiroya Abe, "Synthesis of Multi-Element (Hydr)Oxide Nanoparticles and Their Applications", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), October

20 (2023), Tokyo, Japan.

- (14) Hiroya Abe, "Bottom-up synthesis of 2D multi-element hydroxides and their applications", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), October 20 (2023), Tokyo, Japan.
- (15) Fei Li, Hiroya Abe, "Sintering Behavior of High Entropy A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Oxide Nanoparticles Synthesized by Polyol Process", The 15th Pacific RIM Conference of Ceramic Societies (PACRIM15), November 5-9 (2023), Shenzhen, China.
- (16) Fei Li, Hiroya Abe, "Polyol-Derived Layered High-Entropy Nanomaterials and Their Applications", The 15th Pacific RIM Conference of Ceramic Societies (PACRIM15), November 5-9 (2023), Shenzhen, China.
- (17) Fei Li, Naokatsu Kannari, Jun Maruyama, Kazuyoshi Sato, Hiroya Abe, "Design of defective hydroxide nanosheets by multi-doping and their possible applications", MRM2023/IUMRS-ICA2023, December 11-16 (2023), Kyoto, Japan.
- (18) Ninshu Ma, Chaimano, Paponpat Chaimano, Rinsei Ikeda, Hidemi Kato, "3D coupling analysis of electric-thermal-mechanics phenomena in micro resistance spot welding of Pt and Inconel600", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), October 20 (2023), Tokyo, Japan.
- (19) T. Yamashita, R. Toramoto, M. Koyama, K. Ushioda, H. Fujii, "Deformation and Martensitic Transformation Behavior in Stir Zone of Friction Stir Welded Fe-Ni-Co Invar Alloy", 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture -DEJ1<sup>2</sup>MA 2023-, October 20(2023), Tokyo, Japan.
- (20) Tamaki Yoshida, Keisuke Takenaka, Yuji Sato, Peng Chen, Hiroyasu Kanetaka, Nobuhiro Matsushita and Masahiro Tsukamoto, "Pure copper layer formation for anti-virus by multi-beam laser metal deposition with blue diode lasers", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA-3), October 20(2023), Tokyo, Japan
- (21) Tamaki Yoshida, Keisuke Takenaka, Yuji Sato, Kento Morimoto, Masahiro Tsukamoto, "Pure copper layer coating with multi beam laser metal deposition system with blue diode lasers", SPIE Photonics West 2024, January 27-February 1(2024), San Francisco, United States
- (22) Shinichi Tashiro, Kazuya Ishida, Kazufumi Nomura, Dongsheng Wu, Manabu Tanaka, "Elucidation of arc coupling mechanism in plasma-MIG hybrid welding process through spectroscopic measurement of 3D distributions of plasma temperature and iron vapor concentration", 7th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics, (2023.11.12-2023.11.17), A-10-I3, Nagoya, Japan.
- (23) Shinichi TASHIRO, Ngoc Quang TRINH, Tetsuo SUGA, Tomonori KAKIZAKI, Kei YAMAZAKI, Anthony B Murphy, Ackadech LERSVANICHKOOL, Hanh Van BUI, Manabu TANAKA, "Elucidation of droplet detachment mechanism in metal-cored arc welding", IIW Annual Assembly, (2023.07.16-2023.07.21), Doc.XII- 2619-2023, Singapore.
- (24) Jingbo Liu, Fan Jiang, Shujun Chen, Shinichi TASHIRO, Manabu TANAKA, "Study on the active control of variable polarity plasma arc welding process based on the characterizable parameters of the molten pool", IIW Annual Assembly, (2023.07.16-

2023.07.21), Doc.XII-2607-2023, Singapore.

- (25) K. Takenaka, H. Komatsu, K. Ota, S. Toko, K. Ide, T. Kamiya and Y. Setsuhara, "Formation of amorphous gallium oxide thin film transistors using plasma-assisted reactive processes", 16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma 2024) / 17th International Conference on Plasma Nano Technology & Science (IC-PLANTS 2024), 13th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-13), March 3-7, 2024, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- (26) S. Toko, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, "Catalytic ability of Cu and Ni in methanation with plasma catalysis", MRM2023/IUMRS-ICA2023, December 11-16 (2023), Kyoto, Japan.
- (27) S. Toko, T. Okumura, K. Kamataki, K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Setsuhara, "Experimental study on the effect of plasma-catalyst interaction on methanation reaction", 97th IUVSTA Workshop on plasma-assisted conversion of gases for a sustainable future, December 17-21 (2023), Cerklje na Gorenjskem, Slovenia.
- (28) K. Takenaka, T. Komatsu, S. Toko and Y. Setsuhara, "Fabrication of amorphous gallium oxide thin film transistors by plasma-assisted reactive processes", The 44th International Symposium on Dry Process (DPS2023), November 21 - 22, 2023, Winc Aichi, Nagoya, Japan.
- (29) Y. Setsuhara, S. Toko K. Takenaka, and M. Hattori, "Synergistic Effects of Molecular Sieves and Plasma for CO<sub>2</sub> Methanation", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), 20 October. 2023, International Conference Center, Waseda University, Tokyo, Japan.
- (30) K. Takenaka, S. Toko, Y. Setsuhara, K. Ide and T. Kamiya, "Development of Plasma Processing Technology for Low-temperature Formation of High Quality Functional Thin Films", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3), October 20(2023), Tokyo, Japan, International Conference Center, Waseda University.
- (31) Y. Setsuhara, K. Takenaka, A. Ebe, "Reactivity-Control Plasma Processes for Low-Temperature Formation of High-Quality Oxide Thin-Film Transistors", International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS, (THERMEC '2023), July 03 - 07(2023), VIENNA, AUSTRIA.
- (32) K. Takenaka, H. Komatsu, S. Toko, A. Ebe, Y. Setsuhara, "Formation of Ga-based amorphous oxide thin film transistors using plasma-assisted reactive processes", 25<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry(ISPC25), May 21 - 26(2023), Kyoto, Japan.
- (33) Hiroaki Tatsumi, "High-Thermal-Performance Power Semiconductor Module using Solder/Copper Composite Joints", The 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA-3), October 20 (2023), Tokyo, Japan.
- (34) Hiroaki Tatsumi, Hiroshi Nishikawa, "Enhanced Thermal Conductivity in Micro Composite Structure Joints Utilizing Porous Cu Sheets", The 5th International Conference on Nanojoining and Microjoining (NMJ 2023), November 27-29 (2023), Leipzig, Germany.

- (35) Shunya Nitta, Hiroaki Tatsumi, Hiroshi Nishikawa, "Tensile strength of Sn-In Eutectic Solder with Surface Modified ZrO<sub>2</sub> Nanoparticles", The Advanced Materials Research Grand Meeting (MRM2023/IUMRS-ICA2023), December 11-16 (2023), Kyoto, Japan.
- (36) <u>Paponpat Chaimano</u>, Ninshu Ma, Kunio Narasaki, Tetsuo Suga, Sendong Ren, "3D modeling for electric-thermal-mechanics phenomena in micro resistance spot welding spark plug of Pt and Inconel600", 9th International Conference on Welding Science and Engineering WES2023 (2023 年 7 月 24-27 日), Harbin, China.

## 【国内会議発表】

- Fiona Spirrett, Ayaka Oi, Soshu Kirihara, "Composite glass/ceramic stereolithography of Hilbert curve structures", 2023 年度スマートプロセス学会学術講演会, 2023 年 11 月 10 日, 大阪.
- (2) 鶴田菜摘,スピレット・フィオナ,桐原聡秀,"地質構成の可視化に基づく液状化現象の対策を めざした地質埋入構造の造形",2023年度スマートプロセス学会学術講演会,2023年11月10 日,大阪.
- (3) 芹澤 久,藤井英俊,笠田竜太, "最新溶接・接合技術による低放射化材料異材接合技術確立と 革新的核融合炉発電システム技術の創成",国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創 出プロジェクト(DEJI<sup>2</sup>MA) (文部科学省教育研究組織改革分関連プロジェクト) 令和5年度 公開討論会(第2回 出島コンソーシアムセミナー),2024年3月9日,名古屋
- (4) 芹澤 久,中里直史,森 裕章,岸本弘立,中島基樹,野澤貴史, "F82H/SUS316L 異材継手の 水腐食特性に関する基礎的検討",日本金属学会174回大会,2024年3月12-15日,東京
- (5) 谷川泰亮, 刈屋翔太, 梅田純子, 近藤勝義, 坪川翼, 堀本里加子, 池田穂香, "Ti-3A1-2V 焼結 圧延材におけるネットワーク組織形成と力学特性に及ぼす熱処理の影響", 粉体粉末冶金協会 2023 年度春季大会(第131回講演大会), 2023 年 6 月 6-8 日, 東京.
- (6) 谷川泰亮, 刈屋翔太, 梅田純子, 近藤勝義, 坪川翼, 堀本里加子, 池田穂香, "Near-α型 Ti 合金の熱処理によるネットワーク組織形成と力学特性向上", 日本金属学会 2023 年秋期講演大 会, 2022 年 9 月 19-22 日, 富山.
- (7) 刈屋翔太, A. Issariyapat, A. Bahador,梅田純子,近藤勝義, "LPBF により作製した酸素固 溶チタン合金の塑性変形機構",粉体粉末冶金協会 2023 年度春季大会(第131回講演大会), 2023 年 6 月 6-8 日,東京.
- (8) 小澤隆弘, "微構造制御された機能性粒子の開発とエネルギー分野への応用", 第141 回マイク ロ接合研究委員会, 2023 年 5 月 12 日, 東京
- (9) 小澤隆弘, "資源循環ナノ粒子回収に適用可能なマクロ多孔体の開発",実装フェスタ関西 2023, 2023 年 7 月 7-8 日,大阪
- (10) 小澤隆弘, "多孔質球を用いた炭酸リチウムナノ粒子の捕集とリチウムイオン電池用正極合成への応用",日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム,2023年9月6-8日,京都
- (11) 李飛, 阿部浩也, "Synthesis of Multi-Component Oxide Nanoparticles and Their Applications", 日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム, 2023年9月6-8日, 京都
- (12) 阿部浩也, "磁性粒子の合成・分散制御と磁気粘性効果", JFPS 機能性流体 FPS のフロンティ ア展開に関する第4回研究委員会, 2023 年9月 15日, オンライン
- (13) 伊福大翔,八木唯奈,上村昌史,吉田加菜子,阿部浩也, "金ナノ粒子の還元剤フリー固定化と その応用",スマートプロセス学会 2023 年度学術講演会,2023 年 11 月 10 日,大阪
- (14) 八木唯奈,吉田加菜子,阿部浩也, "界面活性剤を利用する金ナノ粒子の還元剤フリー合成",

スマートプロセス学会 2023 年度学術講演会, 2023 年 11 月 10 日, 大阪

- (15) 上村昌史,吉田加菜子,阿部浩也, "銀ナノ粒子の還元剤フリー液相合成とその応用」,スマートプロセス学会 2023 年度学術講演会,2023 年 11 月 10 日,大阪
- (16) 李飛,吉田加菜子,長田実,阿部浩也, "Role of Solvents in Bottom-Up Synthesis of Multi-Element Hydroxides",日本セラミックス協会 2024 年年会,2024 年 3 月 14-16 日、熊本
- (17) 山下享介,ゴンウー,小山元道,川崎卓郎,ハルヨステファヌス,潮田浩作,藤井英俊, "スーパーインバー合金の摩擦攪拌接合攪拌部の微視組織と機械的特性",日本金属学会 2024 年春期 第174 回講演大会,2024 年 3 月 13-15 日,東京
- (18) 山下享介,虎本陸希,潮田浩作,藤井英俊,小山元道,ゴンウー,川崎卓郎,ハルヨステファヌ ス,"摩擦攪拌接合による高性能なインバー合金接合部の実現",マテリアル革新力強化のため の6大学6研究所間連携体制の構築(コア出島・マルチ出島)6大学連携プロジェクト 公開討 論会,2024年3月9日,愛知
- (19) 虎本陸希,山下享介,潮田浩作,藤井英俊, "SUS316L における線形摩擦接合部の組織形成機構 と耐水素脆化特性",日本鉄鋼協会 第186 回秋期講演大会,2023 年 9 月 20-22 日,富山
- (20) 山下享介,潮田浩作,藤井英俊,ゴンウー,ハルヨステファヌス,川崎卓郎, "摩擦攪拌接合した中 Mn 鋼攪拌部の変形挙動と残留オーステナイトの安定性",日本金属学会 2023 年秋期第 173 回講演大会,2023 年 9 月 20-22 日,富山
- (21) 虎本陸希,山下享介,潮田浩作,藤井英俊, "線形摩擦接合した中炭素鋼継手の水素脆化感受性",2023年度溶接学会秋季全国大会,9月13-15日,富山
- (22) 山下享介,潮田浩作,藤井英俊,ゴンウー,ハルヨステファヌス,川崎卓郎, "引張変形中その 場中性子回折法を利用した摩擦攪拌接合した中 Mn 鋼攪拌部の変形挙動解析",2023 年度溶接学 会秋季全国大会,9月 13-15 日,富山
- (23) 吉田環,徳本潤平,竹中啓輔,佐藤雄二,塚本雅裕, "青色半導体レーザーマルチビーム金属堆 積法による純銅コーティングにおける不安定因子の解明",レーザー学会学術講演会第44回年 次大会,2024年1月16-19日,東京
- (24) 吉田環,竹中啓輔,佐藤雄二,陳鵬,松下伸広,塚本雅裕,"ウイルス不活化メカニズム解明お よびウイルス不活化機能性向上のための表面構造形成",6大学連携プロジェクト公開討論会, 2024年3月9日,愛知
- (25) 吉田環,竹中啓輔,佐藤雄二,塚本雅裕, "青色半導体レーザマルチビーム金属堆積法による純 銅コーティング皮膜の形成",レーザ加工学会第100回記念講演会,2024年3月18-19日,東 京
- (26) Jingbo Liu, Shinichi TASHIRO, Fan Jiang, Shujun Chen, Manabu TANAKA, "Analysis of Molten Metal Mass Transfer Mechanisms in Variable Polarity Plasma Arc Welding of Aluminum Alloys", (一社) 溶接学会 2023 年度 秋季全国大会, 2023 年 9 月 13-15 日, 208, 富山
- (27) 田代 真一, Ngoc Quang TRINH, 菅 哲男, 田中 学,山岡 弘人,猪瀬 幸太郎,渡辺 康介, 兵間 賢吾,田辺 祥大, Hanh Van BUI, "高張力鋼の Plasma-GMA 溶接におけるシールドガス 中の酸素が溶接性に及ぼす影響",(一社)溶接学会 2023 年度 秋季全国大会,2023 年 9 月 13-15 日,209,富山
- (28) 都甲 将,奥村 賢直,鎌滝 邦弘,竹中 弘祐,古閑 一憲,白谷 正治,節原 裕一, "プ ラズマを用いた CO<sub>2</sub>の水素還元における選択性の制御",2023年度第84回応用物理学会秋季学 術講演会,2023年9月19-23日,熊本城ホール他&オンライン
- (29) 都甲 将,奥村 賢直,鎌滝 晋礼,竹中 弘祐,古閑 一憲,白谷 正治,節原 裕一, "酸素原子 の除去によるプラズマ触媒作用を用いた CO2 還元反応の効率化",第41 回プラズマプロセシン

グ研究会, 2024年1月23-25日, 東京工業大学大岡山キャンパス

- (30) 都甲 将,服部 将朋,竹中 弘祐,節原 裕一, "プラズマ触媒作用によるメタネーション技術の創生",令和5年度6大学連携プロジェクト公開討論会,2024年3月9日,名古屋大学
- (31) 都甲 将,奥村 賢直,鎌滝 邦弘,竹中 弘祐,古閑 一憲,白谷 正治,節原 裕一, "プ ラズマを用いた CO<sub>2</sub>のメタン化におけるモレキュラーシーブの活用",2024 年第 71 回応用物理 学会春季学術講演会,2024 年 3 月 22-25 日,東京都市大学世田谷キャンパス&オンライン
- (32) 竹中 弘祐、上田 拓海、都甲 将、江部 明憲、節原 裕一, "プラズマ支援反応性パルス DC スパ ッタリングを用いた a-IGZO 薄膜の特性制御", 2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 2024 年 3 月 22 日-25 日,東京都市大学世田谷キャンパス&オンライン
- (33) 新田隼也, 巽裕章, 西川宏, "表面改質 Zr0<sub>2</sub>ナノ粒子を添加した Sn-In 共晶合金の機械的特性 と組織変化", (一社)エレクトロニクス実装学会 実装フェスタ関西 2023, 2023 年 7 月 6-7 日, 大阪
- (34) 新田隼也, 巽裕章, 西川宏, "Sn-In/ZrO<sub>2</sub>ナノ粒子複合合金におけるナノ粒子表面の分散性への 影響", (一社)エレクトロニクス実装学会 第33回マイクロエレクトロニクスシンポジウム (MES2023), 2023年9月6-8日, 愛知
- (35) 巽裕章,磯野浩,平瀬加奈,井手拓哉,西川宏,"ロータス型ポーラス銅・はんだ複合構造を活 用した高放熱モジュールの試作評価",(一社)スマートプロセス学会エレクトロニクス生産科学 部会 第 30 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(Mate2024),2024 年1月 23-24 日,神奈川
- (36) 高橋 誠, "低温陽極接合による異種ガラス同士の接合", 2023 年度 溶接学会春季全国大会, 2023 年4月25日-5月9日, オンライン開催
- (37) 高橋 誠, "健全な陽極接合界面の形成に必要な導体側材料の酸化量", 2023 年度 溶接学会秋 季全国大会, 2023 年9月13-15日, 富山
- (38) 高橋 誠, "陽極接合の進行に対する接合電圧の影響",日本金属学会 2023 年秋期講演(第 173 回)大会,2023 年9月 19-22 日,富山
- (39) 高橋 誠, "多層陽極接合", 第 30 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, 2024 年 1 月 23-24 日, 横浜

【受賞リスト】

- 1) 藤井英俊(大阪大学・教授)、第55回市村賞「市村学術賞」貢献賞、(2023年4月17日)
- 2) 伊藤鉄朗(大阪大学・D1)、溶接学会全国大会優秀研究発表賞、溶接学会、(2023年4月25日)
- 3) 山下享介(大阪大学・助教)、溶接学会全国大会優秀研究発表賞、溶接学会、(2023年4月25日)
- 4) 魚澄将俊(大阪大学・助教)、溶接学会全国大会優秀ポスター発表賞、溶接学会、(2023 年 4 月 25 日)
- 5) WU DONGSHENG (大阪大学・助授)、第 14 回レーザー加工全国大会優秀論文賞受賞(中国)、中国光学 学会レーザー加工委員会(2023年5月14日)
- 6) 藤井英俊(大阪大学・教授)、第 20 回本多フロンティア賞(The Honda Frontier Award)、公益財団法人本田記念会、(2023 年 5 月 26 日)
- 7) 相原巧(大阪大学・D3)、軽構造接合加工研究委員会講演奨励賞、溶接学会 軽構造接合加工研究 委員会、(2023年6月2日)
- WU DONGSHENG (大阪大学・助授)、国際溶接学会 (IIW) ヘンリー・グランジョン賞、国際溶接学会 (2023 年 7 月 16 日)
- 9) 伊澤誠一郎(大阪大学、東京工業大学・准教授)東京工業大学 挑戦的研究賞 末松特別賞(2023 年 8月31日)
- 10) 木内夏美(大阪大学・M1)、日本鉄鋼協会第 186 回秋季講演大会学生ポスターセッション優秀賞、 日本鉄鋼協会、(2023 年 9 月 21 日)
- 11) 虎本陸希(大阪大学・M2)、日本鉄鋼協会第 186 回秋季講演大会学生ポスターセッション奨励賞、 日本鉄鋼協会、(2023 年 9 月 21 日)
- 12) 三浦拓也(大阪大学・助教)、日本金属学会第3回新進論文賞(The Japan Institute of Metals and Materials The Best Paper Award for Budding Author)、日本金属学会、(2023年9月21日)
- 13) 伊澤誠一郎(大阪大学、東京工業大学・准教授) 有機分子バイオエレクトロニクス分科会論文賞 応用物理学会(2023年9月22日)
- 14) 小澤隆弘(大阪大学・助教)、第 21 回 APT Distinguished Paper Award、粉体工学会(2023 年 10 月 10 日)
- 15) 伊澤誠一郎(大阪大学/東京工業大学・准教授)、有機 EL 討論会第 36 回例会講演奨励賞、「超低 電圧で駆動する青色有機 EL」、有機 EL 討論会(2023 年 11 月 16 日)
- 16) 八木唯奈(大阪大学・M1)、スマートプロセス学会 2023 年度学術奨励賞、スマートプロセス学会 (2023 年 12 月 26 日)
- 17) 北口大悟(大阪大学・M2)、軽金属溶接協会研究成果発表会優秀発表賞、軽金属溶接協会(2023 年 11月28日)
- 18)藤井英俊(大阪大学・教授)、日本鉄鋼協会学術功績賞、日本鉄鋼協会(2024年3月13日)
- 19) 小山元道(東北大学・准教授)、山下享介(大阪大学・助教)、日本鉄鋼協会澤村論文賞、日本鉄 鋼協会(2024年3月13日)
- 20) 吉田環(大阪大学・B4)、優秀ポスター賞、レーザ加工学会第100回記念講演会(2024年3月18日)
- 21) 西川宏(大阪大学・教授)、巽裕章(大阪大学・講師)、中脇啓貴(大阪大学・D2)、第 30 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(Mate2024)優秀論文賞、スマートプロ セス学会エレクトロニクス生産科学部会(2024年1月24日)
- 22) Paponpat Chaimano(大阪大学・M1)、Excellent Poster Award to Young Researcher、第 9 回 International Conference on Welding Science and Engineering WES2023(2023年7月24-27日)

【新聞記事・プレス発表等のリスト】

- 1) 藤井英俊(大阪大学・教授)、「居間からサイエンス〜大震災にも耐えうる!金属をくっつける新技術」、BS テレ東(2023 年 7 月 26 日)
- 2)藤井英俊(大阪大学・教授)、椋田宗明(大阪大学・特任研究員)、「阪大、薄板の摩擦撹拌接合で 新技術 銅・アルミで成功」、日刊工業新聞(2023年9月8日)
- 3)藤井英俊(大阪大学・教授)、森貞好昭(大阪大学・特任准教授)、「阪大・日特陶など、摩擦撹拌 接合ツール開発 板厚 15mmの大型素材向け」、日刊工業新聞(2023年9月13日)
- 4) 伊澤誠一郎(大阪大学、東京工業大学・准教授)「世界最小電圧で光る青色有機 EL の開発に成功」 (EurekAlertr! 2023 年 9 月 20 日、東工大 HP 2023 年 9 月 21 日)
- 5) 阿部浩也(大阪大学・教授)、「新たな価値創造に向けて!溶接・接合技術―微粒子接合と材料開発 ー」、日刊工業新聞(2023 年 12 月 21 日)



## 国際会議 (DEJI<sup>2</sup>MA-3) 開催報告 Report of the DEJI<sup>2</sup>MA-3

国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト (DEJI<sup>2</sup>MA プロジェクト)の第 3 回国際会議 (The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI<sup>2</sup>MA-3))が、2023 年 10 月 20 日 (金) に早稲田大学国 際会議場 (井深大記念ホール) において開催されました。

まず、本国際会議のチェアマンである早稲田大学の川原田洋先生より開会挨拶と本プロジェクトの概 要が紹介されました。その後、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構の宇高勝之機構長より挨拶があり、 本プロジェクト成功への期待が寄せられました。次に、国内外の研究者から 12 件の招待講演が行われ ました。講演者は Mohd Syamsul 先生(マレーシアサインズ大学)、Woosuck Shin 先生(産業技術総合 研究所)、巽裕章先生(大阪大学)、井出啓介先生(東京工業大学)、稲葉優文先生(九州大学)、阿 部浩也先生(大阪大学)、Renzhi Ma 先生(物質・材料研究機構)、山本瑛祐先生(名古屋大学)、 Qingshuo Wei 先生(産業技術総合研究所)、上田恭介先生(東北大学)、松元亮先生(東京医科歯科大 学)、梅津理恵先生(東北大学)で、最先端の研究成果が報告されました。その後、ポスターセッショ ンが行われ、72 件の発表がありました。活発な議論はその後の懇親会まで引き続き行われ、インヴァー スイノベーション材料創出のための大変有益な機会となりました。参加者は 112 名で、国際会議 DEJI2MA-3 は成功裏に終了しました。



川原田先生の開会挨拶



Dr. Shamsul (Universiti Sains Malaysia)の招待講演



異先生の招待講演



ポスターセッション

## 令和5年度公開討論会開催報告

国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト(DEJI<sup>2</sup>MAプロジェクト)の令和5年 度公開討論会(第2回出島コンソーシアムセミナー)が、2024年3月9日(土)に名古屋大学ES総合館にお いて開催されました。まず、今回の開催校である名古屋大学未来材料・システム研究所の成瀬所長、およ び幹事校である大阪大学接合科学研究所の藤井所長の開会挨拶で始まりました。今回の公開討論会では、 各校のプロジェクトリーダーである節原裕一先生(大阪大学)、加藤秀実先生(東北大学)、真島豊先生 (東京工業大学)、川下将一先生(東京医科歯科大学)、川原田洋先生(早稲田大学)、長田実先生(名 古屋大学)から、それぞれの研究所・機構での連携研究活動の報告や最新の研究成果について発表があり、 活発な質疑応答が行われました。途中、ポスターセッションを挟み、当該プロジェクトで取り組む環境・ エネルギー材料分野、バイオ・医療機器材料分野、情報通信材料分野、要素材料・技術開発分野から67件 のポスター発表が行われました。出島コンソーシアムセミナーとしては初の対面行事となり、企業会員と も積極的な議論が交わされ、今後の共同研究の展開に向けた意見交換が行われました。活発な議論はその 後の意見交換会まで引き続き行われ、インヴァースイノベーション材料創出のための大変有益な機会とな りました。参加者は102名で、公開討論会は成功裏に終了しました。



加藤先生講演



川原田先生講演



ポスター会場



ポスターセッション

# 出島コンソーシアム

## 【概要】

6大学連携・出島プロジェクトでは、令和5年8月1日に「出島コンソーシアム」を発足した。その設 立趣意は、「6大学6研究所間の学際的連携研究を社会実装に繋げるための産学連携活動を発展・強化す ること(インバースイノベーションの加速化)」および「産学連携活動の一環として実施するセミナー等 による人材育成(若手教員・研究者、学生)」である。

具体的な活動として、「出島コンソーシアムセミナー(企業セミナー)」、「アドバイザリーボード フォーラム(講演会)」、「チュートリアル講座(講習会/勉強会)」を実施する。

このコンソーシアムは企業会員、学術会員、学生会員からなり、入会金および会費は無料としている。 「出島コンソーシアムの URL (https://www.jwri.osaka-u.ac.jp/rokken/index.html)」からオンライン で入会申込が可能である。



文部科学省組織整備事業「マテリアル革新力強化のための6大学6研究所間連携体制の構築(コア出島・ マルチ出島)」 【R5年度活動報告】

チュートリアル講座を2回、アドバイザリーボードフォーラムを1回、出島コンソーシアム・セミナー を2回、開催した。企業向けの出島コンソーシアム・セミナーでは、第1回セミナー「金属材料の高機能 化が拓く次世代技術創出~基礎研究と応用研究の技術融合にむけて~」としてオンラインで東北大学金属 材料研究所の教員(梅津先生、山中先生)による研究紹介が行われた。第2回セミナーは名古屋大学にて 令和5年度6大学公開討論会として開催された。



- 2023年12月1日 第1回チュートリアル講座(東工大・神谷先生) 「光電デバイスの原理と評価」 (オンライン開催)
- 2023年12月7日 第1回セミナー(東北大・梅津先生、山中先生) 「金属材料の高機能化が拓く次世代技術創出 ~基礎研究と応用研究の技術融合に向けて~」 (オンライン開催)
- 2024年1月24日第2回チュートリアル講座(東工大・神谷先生)「学生と教員のためのpythonとChatGPT活用法」<br/>(オンライン開催)
- 2024年2月21日 第1回アドバイザリーボードフォーラム 講師:塙 隆夫先生/日本学術会議 会員 東京医科歯科大学 名誉教授 大阪大学大学院工学研究科 特任教授 神戸大学大学院医学研究科 客員教授 「日本学術会議における未来の学術振興構想 一材料工学及びバイオマテリアルに関する事例」 (オンライン開催)
- 2024年3月9日 第2回セミナー(公開討論会/名大) (現地開催)

# 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト 令和5年度研究成果報告書 発行日 令和6年3月31日 発行者 大阪大学接合科学研究所 研究所間連携戦略室 連絡先 阿部 浩也 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ケ丘11-1 Tel:06-6879-4360

http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/research/research06\_3.html