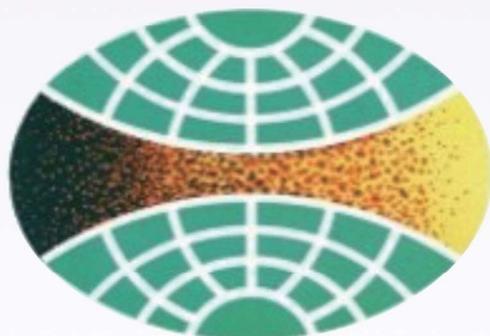


第 32 回
新構造・機能制御と
傾斜機能材料シンポジウム
＜FGMs2023＞

講演要旨集

2023 年 9 月 14 日 (木)・15 日 (金)
宮城県仙台市・東北大学 青葉山新キャンパス
(環境科学研究科本館)



傾斜機能材料研究会
Functionally Graded Materials FORUM of JAPAN

主催： 傾斜機能材料研究会

共催： 国立研究開発法人 物質・材料研究機構

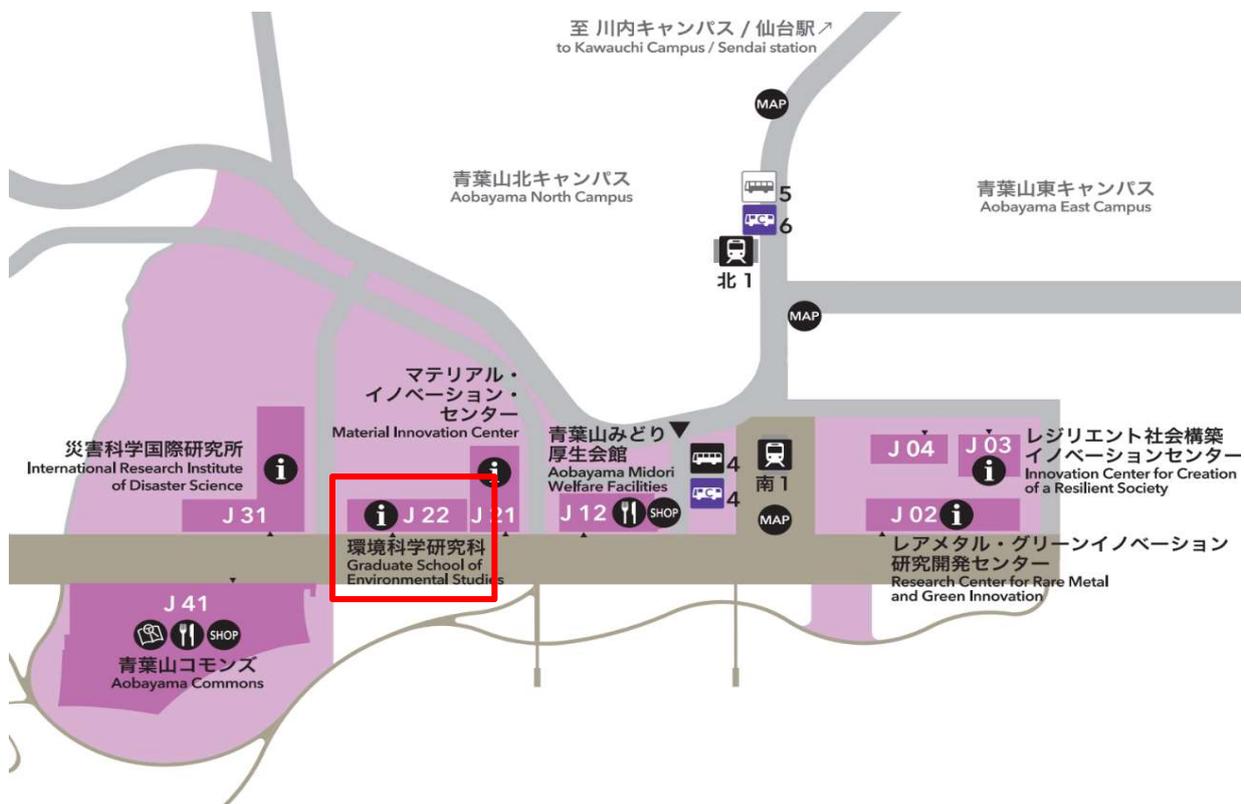
協賛： 日本機械学会，日本複合材料学会，日本金属学会，日本鉄鋼協会，日本熱電学会，日本航空宇宙学会，粉体粉末冶金協会，応用物理学会，東北大学大学院環境科学研究科、青葉工学振興会

開催日： 2023年9月14日（木），15日（金）

会場：東北大学 青葉山新キャンパス
〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
TEL：022-752-2233

アクセス：

仙台市営地下鉄 東西線 仙台駅から青葉山駅下車 南1出口(仙台駅から乗車9分，250円)
環境科学研究科本館(事務室・講義室)まで 徒歩約3分



【環境科学研究科本館 館内地図】



【受付】 環境科学研究科本館 1階 エントランス

【事務局、クローク】 本館 1階 展示スペース 2

【講演会 会場】 本館 3階 304 大会議室

【機器展示】 本館 3階 広場

【休憩室】 本館 3階 広場、4階 404 講義室 1

【無線 LAN】 館内は、無料の無線 LAN を使用できます。

SSID、PW は当日貼り出します。

※PC 作業等される場合は、4階講義室1をご使用ください。

詳細プログラム

開催日：2023年9月14日（木）、15日（金）

会場：東北大学 青葉山新キャンパス（〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1）

目次

特別講演（会場 A 環境科学研究科大会議室）

【特別講演 1】 第1日目 9月14日 13:20～13:50

「パウダー式指向性エネルギー堆積法による傾斜機能材料の3Dプリンティング」

名古屋工業大学 渡辺 義見 先生

司会：成田 史生（東北大学）

【特別講演 2】 第1日目 9月14日 16:10～16:40

「軟X線顕微鏡による接合界面の化学状態可視化とナノテラスへの期待」

PhoSIC/グリーンクロステック研究センター 山根 宏之 先生

司会：渡辺 義見（名古屋工業大学）

【特別講演 3】 第2日目 9月15日 12:50～13:20

「傾斜機能材料：古くて新しいグローバル材料システム」

東北大学 川崎 亮 先生

司会：栗田 大樹（東北大学）

機器展示（本館4階 広場）

第1日目 9月14日（木） 12:00～17:00

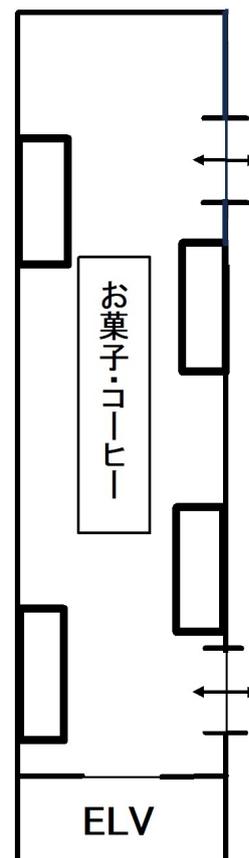
第2日目 9月15日（金） 9:30～14:00

展示企業一覧

- ・ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社
- ・株式会社スギノマシン
- ・株式会社真壁技研
- ・株式会社クリアライズ

広告掲載企業一覧

- ・株式会社守谷刃物研究所



一般講演

発表 15 分、質疑応答 5 分

「奨励賞対象講演」は FGMs 奨励賞 (1 名) の審査対象であることを示しています

9 月 14 日 (木)

開会挨拶(科学研究科本館 3階 大会議室304)

13:10-13:20 篠原 嘉一 会長 (傾斜機能材料研究会)

特別講演1(科学研究科本館 3階 大会議室304)

座長: 成田 史生 (東北大学)

13:20-13:50 14S-1 パウダー式指向性エネルギー堆積法による傾斜機能材料の3Dプリンティング
名古屋工業大学
渡辺 義見

傾斜機能材料研究会・粉末冶金協会合同セッション(本館3階 大会議室304)

座長: 成田 史生 (東北大学)

13:50-14:10 14TJ-1 パウダーDED方式3Dプリンタによる傾斜材料製造機能を利用した金型部品の高付加価値・低コスト化への試み

奨励賞対象講演 1 ○ 田中 智也¹⁾, 近藤 紗也子¹⁾
1) ムツミ工業株式会社

14:10-14:30 14TJ-2 冷間加工を施したオーステナイト系ステンレス鋼SUS304の局部腐食挙動の評価
一般講演 1 ○ 松盛 光敏¹⁾, 菊地 凌太¹⁾, 八田 佳剛¹⁾, 八木 雄太²⁾,
野田 和彦¹⁾, 渡辺 義見³⁾

1) 芝浦工業大学, 2) ナカボーテック, 3) 名古屋工業大学

14:30-14:40 コーヒー・ブレイク

傾斜機能材料研究会・粉末冶金協会合同セッション(本館3階 大会議室304)

座長: 森 孝太郎 (茨城大学)

14:40-15:00 14TJ-3 陽極酸化Al基板のフレキシブル絶縁基板への適用

奨励賞対象講演 2 ○ 千葉 勇人¹⁾, 桑折 仁¹⁾
1) 工学院大学

15:00-15:20 14TJ-4 傾斜組成 La ドープ LiCoO₂エピタキシャル薄膜の電池特性評価

奨励賞対象講演 3 ○ 神永 健一¹⁾, 鈴木 貫太¹⁾, 七澤 太梧²⁾, 安井 伸太郎²⁾, 丸山 伸伍¹⁾
松本 祐司¹⁾
1) 東北大学, 2) 東京工業大学

15:20-15:40 14TJ-5 共沈降法による組成傾斜化Alドープβ-FeSi₂の熱電発電特性

奨励賞対象講演 4 ○ 青木 航介¹⁾, 佐伯 龍聖¹⁾, 松川 祐子¹⁾, 有田 誠¹⁾, 宗藤 伸治¹⁾
1) 九州大学

15:40-16:00 14TJ-6 傾斜機能構造圧電複合材料の新しい製造方法に関する研究
奨励賞対象講演 5 ○ 王 真金¹⁾, 成田 史生¹⁾
1) 東北大学

16:00-16:10 コーヒー・ブレイク

特別講演2 (科学研究科本館 3階 大会議室304)

座長：渡辺 義見 (名古屋工業大学)

16:10-16:40 14S-2 軟X線顕微鏡による接合界面の化学状態可視化とナノテラスへの期待
PhoSIC/グリーンクロステック研究センター
山根 宏之

ナノテラス見学会

引率：栗田 大樹 (東北大学)

16:50-17:40 次世代放射光施設「Nano Terasu」

懇親会

会場：ホテルモントレ仙台

18:30-20:30 〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央4丁目1番8号
TEL：022-265-7110

9月15日(金)

傾斜機能材料研究会・粉末冶金協会合同セッション(本館3階 大会議室304)

座長：松川 祐子 (名古屋大学)

9:00-9:20 15TJ-7

奨励賞対象講演 6

模擬堆肥環境における酢酸セルロースの生分解性評価

○ ガレパンデレ アリア¹⁾, ローヴァ ロヴィサ¹⁾, 栗田 大樹¹⁾, 成田 史生¹⁾

1) 東北大学

9:20-9:40 15TJ-8

奨励賞対象講演 7

ジュズダマの硬い殻の傾斜構造

○ 桑田 力真¹⁾, 石井 大佑¹⁾

1) 名古屋工業大学

9:40-10:00 14TJ-9

奨励賞対象講演 8

引張荷重を受ける超弾性傾斜機能棒の物質力解析

○ 佐藤 佑紀¹⁾, 森本 卓也¹⁾

1) 島根大学

10:00-10:20 15TJ-10

一般講演2

ϵ -FGMを適用したガス開閉装置用スペーサの絶縁特性の向上

○ 柳瀬 博雅¹⁾, 増井 秀好¹⁾, 岡本 健次¹⁾, 早川 直樹²⁾, 加藤 克巳³⁾,
大澤 直樹⁴⁾, 小迫 雅裕⁵⁾, 大久保 仁⁶⁾

1) 富士電機, 2) 名古屋大学, 3) 新居浜工業高等専門学校, 4) 金沢工業大学,
5) 九州工業大学, 6) 愛知工業大学

10:20-10:30

コーヒー・ブレイク

傾斜機能材料研究会・粉末冶金協会合同セッション(本館3階 大会議室304)

座長：森本 卓也 (島根大学)

10:30-10:50 15TJ-11

奨励賞対象講演9

p+/p-Si界面におけるキャリア拡散の制御を用いた熱起電力の向上

○ 行事 明¹⁾, 青木 航介¹⁾, 松川 祐子¹⁾, 佐伯 龍聖¹⁾, 有田 誠¹⁾,
宗藤 伸治¹⁾

1) 九州大学

10:50-11:10 15TJ-12

奨励賞対象講演10

Ca, Fe置換によるNa-Bi-Ti-Oの比抵抗低減の試み

○ 永田 純大¹⁾, 桑折 仁¹⁾

1) 工学院大学

11:10-11:30 15TJ-13

奨励賞対象講演11

Czochralski法で作製したBa₈Cu₆Ge_{40-x}Si_xクラスレートの熱電性能

○ 高木 健太郎¹⁾, 荒木 脩斗¹⁾, 松川 祐子¹⁾, 佐伯 龍聖¹⁾, 有田 誠¹⁾,
宗藤 伸治¹⁾

1) 九州大学

11:30-11:50 15TJ-14

一般講演3

未利用熱の分散型独立電源の熱源としての潜在性

○ 桑折 仁¹⁾, 水戸 洋彦²⁾, 磯田 幸宏³⁾

1) 工学院大学, 2) ミトラボ, 3) 物質・材料研究機構

11:50-12:50

昼休憩

特別講演3 (科学研究科本館 3階 大会議室304)

座長：栗田 大樹 (東北大学)

12:50-13:20 15S-3

傾斜機能材料;古くて新しいグローバル材料システム

東北大学

川崎 亮

13:20-13:30

コーヒー・ブレイク

傾斜機能材料研究会・粉末冶金協会合同セッション(本館3階 大会議室304)

座長：桑折 仁 (工学院大学)

13:30-13:50 15TJ-15

超硬合金傾斜組成層形成におけるペイズ最適化による層組成導出

一般講演4

○山下 順広¹⁾, 宇畑 勲駿²⁾, 國峯 崇裕²⁾

1) 石川工業高等専門学校, 2) 金沢大学

13:50-14:10 15TJ-16

ショットピーニングを施した純Cuの加工表層における結晶学的集合組織の傾斜分布

一般講演5

○佐藤 尚¹⁾, 伊藤 祐哉¹⁾, 渡辺 義見¹⁾

1) 名古屋工業大学

14:10-14:30 15TJ-17

これからの傾斜機能材料について

一般講演6

○篠原 嘉一¹⁾

1) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究センター

表彰式、閉会挨拶(科学研究科本館 3階 大会議室304)

14:35-14:45

篠原 嘉一 会長 (傾斜機能材料研究会)

パウダーDED方式3Dプリンタによる傾斜機能材料を利用した金型部品の高付加価値・低コスト化への試み

○田中智也¹⁾, 近藤紗也子¹⁾

1) ムツミ工業株式会社

Cost reduction and Value addition to die parts using FGMs by powder DED 3D printer

○Tomoya Tanaka¹⁾, Sayako Kondo¹⁾

1) MUTSUMI INDUSTRY.CO.,Ltd. Nagoya, Aichi, Japan

【目的】自動車用部品の分野では、高強度な材料に対する需要が増加している。高強度な被加工材を扱う際、加工部品には損傷を防ぐ処置が必要となる。従来、プレス金型では部品の材質変更や表面処理で対応してきた。しかし、これらの方法は、価格や工期などの課題を有している。容易な表面改質が粉末DED方式3Dプリンタにより実現できれば、上述の課題を解決できる。

基材上にSPM30を直接造形した場合、図1のように造形端部においてSPM30が剥離する。本論では、造形部をFGMsにすることで2合金の接合を図った。

【方法】基材SKD61上面にLAMDA200を用いて、SPM30 (HAP40相当) SKD61混合粉末を2mm積層させた。このとき、図2.に示す積層図のように、積層高さに比例してSPM30比率を増加させた。その後、SPM30粉末を基材上面から4mmの高さまで積層した。

また、造形後の試料に対して、ロックウェル硬さ試験及び組織観察に供し、試料の機能評価を行った。

【結果】図3.は、SKD61/SPM30 FGMの接合後における試料外觀図を示している。造形部端面でのSPM30の剥離は、確認されなかった。界面近傍における材料組成を傾斜化することで、金属間の特性の変化が小さくなり、剥離を抑止できた。また、硬さ試験の結果、造形表面は、SPM30相当を保持しており、機能追加が実行できた。



図1. SKD61/SPM30直接接合の外觀図

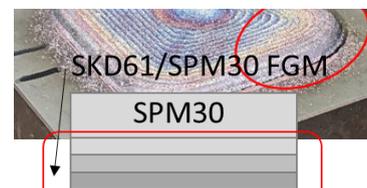


図2. SKD61/SPM30 積層図

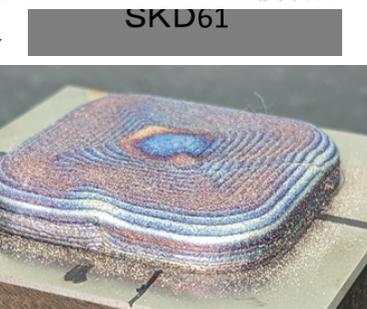


図3. SKD61/SPM30 FGM外觀図

冷間加工を施したオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の 局部腐食挙動の評価

○松盛光敏¹⁾, 菊地凌太¹⁾, 八田佳剛¹⁾, 八木雄太²⁾, 野田和彦¹⁾, 渡辺義見³⁾

1) 芝浦工業大学, 2) (株) ナカボーテック, 3) 名古屋工業大学

Evaluation of Localized Corrosion Behavior of Cold Worked Austenitic Stainless Steel SUS304

○Mitsutoshi MATSUMORI¹⁾, Ryota KIKUCHI¹⁾, Keigo HATTA¹⁾, Yuta YAGI²⁾,

Kazuhiko NODA¹⁾ and Yoshimi WATANABE³⁾

1) Shibaura Institute of Technology, Koto, Tokyo, Japan

2) Nakabohtec Corrosion Protecting Co., LTD., Chuo, Tokyo, Japan

3) Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Aichi, Japan

1. 目的

ステンレス鋼の開発合金鋼においては、異なる性質を発現する組織をバランス良く制御し複合的な性質を有する鉄鋼材料が存在する。特に、機械的な特性においては、強度、硬度、靱性など様々な性質の向上により、両立できない、あるいは、代償となる失点を補うために、組織制御を駆使することが要求されることがある。オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 は準安定なオーステナイト組織であるため、冷間加工の応力付加で加工誘起マルテンサイト変態することにより、オーステナイト組織にマルテンサイト相を導入できる。同一部材内にてマルテンサイト相の導入率を変化することができれば、組織制御の傾斜機能材料を作製することができる。そこで、本研究では SUS304 鋼に冷間加工を施してマルテンサイト相を導入し、試料の圧縮率と局部腐食挙動の関係を電気化学測定から求めることを目的とした。

2. 方法

供試材として SUS304 鋼を冷間圧縮変形し加工誘起マルテンサイト相を導入したものを試料とし、未圧縮試料を比較試料とした。試験溶液は 0.1M NaCl (M : mol/L) 溶液とし、電気化学測定として分極曲線を測定した。

3. 結果

各試料の分極曲線測定により、マルテンサイト相の存在はカソード分極挙動および局部腐食発生に大きな影響を及ぼさないことがわかった。これは、組織が異なるものの、組成が同一のステンレス鋼において、酸素還元、水素発生挙動ならびに不働態皮膜の安定性、不働態化挙動が変化しないことが一因であると考えられる。ただし、局部腐食発生を示す孔食電位においては優位な差ではないが、マイクロ腐食、マイクロ電池に関わる腐食の促進を考えれば、局部腐食発生後のステンレス鋼素地の露出による溶解挙動においては、マルテンサイト相の影響を考慮する必要がある。

陽極酸化 Al 基板のフレキシブル絶縁基板への適用

○千葉勇人¹⁾, 桑折 仁¹⁾

1) 工学院大学

Application of Anodized Aluminum Substrate to Flexible Insulating Substrates

○Hayato CHIBA¹⁾, Hitoshi KOHRI¹⁾

1) Kogakuin University, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

【目的】

電子機器は高温になると耐久性や性能が著しく低下してしまい、このことが原因で破損や故障してしまう可能性がある。その対策として基板の高熱伝導率化が挙げられる。昨今の電子機器はウェアラブル端末など曲面を有する形状のものも多く、基板にもフレキシブル性が求められている。

そこで、新たなフレキシブル熱電モジュール基板の材料として、熱伝導率が高く、陽極酸化処理を施すことで、表面に絶縁性を有した皮膜が生成される Al であれば、絶縁性とフレキシブル性を両立した幅広い用途の高熱伝導性絶縁基板が実現できる。そこで、本研究では、Al 基板に陽極酸化処理を施し、絶縁性と曲げ耐性（フレキシブル性）との相関を解明することを目的とした。

【実験方法】

基板となる Al 板(純度 99.999%)を、0.50×25×25 mm に加工し、陽極酸化処理を行う前処理として、室温、5 mass%の NaOH と、20 vol%の HNO₃ を用いた。前処理後、0.3 M C₂H₂O₄ 電解液を用い、Al 板を陽極、黒鉛板を陰極とし、浴温 30 °C、電極間距離を 20 mm、直流電源装置で印加電圧 50 V、時間は 10 min, 30 min, 1 h で、陽極酸化処理を行った。皮膜の表面の電気抵抗はデジタルマルチメーターを用いて四探針法で測定し、電氣的耐圧試験はデジタル超高抵抗/微少電流計(ADCMT 8340A)を用いて、V-I 特性を測定した。三点曲げ試験によりフレキシブル性は評価した。

【結果】

陽極酸化 Al 皮膜の電気抵抗は、どの試料もデジタルマルチメーターで測定不可となり、各陽極酸化処理時間によらず絶縁であったと考えられる。V-I 特性は、陽極酸化処理時間が増加するごとに漏れ電流は減少し、漏れ電流が急増するしきい値電圧と、皮膜が破損した電圧の値は増加する事が判明した。フレキシブル性の評価と絶縁性の相関の結果は当日発表する。

傾斜組成 La ドープ LiCoO_2 エピタキシャル薄膜の電池特性評価

○神永 健一¹⁾・鈴木 貫太¹⁾・七澤 太梧²⁾・安井 伸太郎²⁾・丸山 伸伍¹⁾・松本 祐司¹⁾

1) 東北大学, 2) 東京工業大学

【目的】 近年, 光触媒やリチウム二次電池の分野で傾斜組成材料への展開がさかんになっている^[1]. しかし, 既報は粒界などを含むバルク多結晶体が研究対象のため, 材料特性との真の相関の解明にはエピタキシャル薄膜の方が理想的である. これまで当研究室ではガルバノミラー走査型 PLD 装置を独自開発することで^[2], Sr:NaTaO_3 ^[3]や Mg:ZnO ^[4]のナノ傾斜組成エピタキシャル薄膜を作製し構造と光触媒活性の相関を解明してきた. 本研究ではリチウム電池正極材である傾斜組成 La ドープ $\text{LiCoO}_2(\text{La:LCO})$ エピタキシャル薄膜を作製し, La 元素置換と傾斜組成構造の導入が LCO の電池特性に及ぼす影響を調査したので報告する.

【実験手法】 $\text{SrTiO}_3(100)$ 基板上に 50 nm の SrRuO_3 下部電極層を製膜後, La0\% , $\text{La10\%:Li}_{1.4}\text{CoO}_2$ の 2 種のターゲットを高速で打ち分けることで La0\% から La10\% まで膜厚方向に濃度勾配を有する UP-graded 薄膜 (最表面 La10\%), DOWN-graded 薄膜 (最表面 La0\%) をそれぞれ 130 nm 製膜した. 作製したサンプルは XRD によりエピタキシャル成長を確認し, 電解液に 1M $\text{LiPF}_6(\text{EC:DEC}=3:7)$, 負極に Li 金属を用いた CR2032 型コインセルを組み 1 C から 20 C まで充電レートを変えた充放電測定により電池性能を評価した.

【結果と考察】 SIMS 深さ方向分析(Fig.1)から, 作製したサンプルは膜厚方向に線形な La 濃度勾配を有することを確認した. 傾斜組成膜のサイクル特性評価の結果(Fig.2)から, 均一組成膜の La0\% と比較して最表面が La10\% の UP-graded では放電容量, レート性能ともに大幅に向上した一方で, 最表面が La0\% の DOWN-graded ではレート性能の悪化が見られた. La 濃度勾配の向きによる電池性能の差の起源に関する詳細な考察は当日報告する.

【参考文献】 [1] *CrystEngComm*, **24**, 2359-2369 (2022). [2] *Rev. Sci. Instrum.*, **90**, 093901 (2019). [3] *Chem. Mater.*, **33**, 226-233(2021). [4] *Catal. Sci. Technol.*, **12**, 6458-6464 (2022).

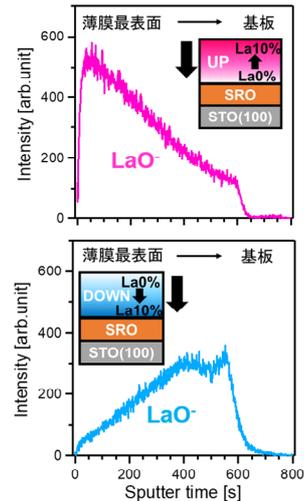


Fig.1 SIMS 深さ方向分析結果 (上: UP-graded, 下: DOWN-graded).

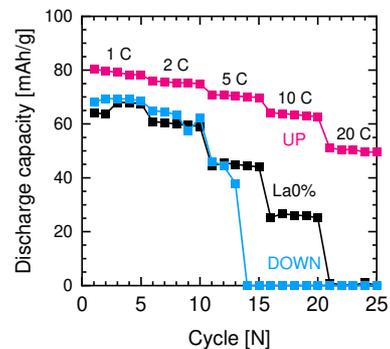


Fig.2 サイクル特性結果.

共沈降法による組成傾斜化 Al ドープ β -FeSi₂ の熱電発電特性

○青木航介¹⁾, 佐伯龍聖¹⁾, 松川祐子¹⁾, 有田誠¹⁾, 宗藤伸治¹⁾

1) 九州大学

Thermoelectric properties of Al-doped β -FeSi₂ with composition gradient introduced by co-sedimentation method

○Kosuke AOKI¹⁾, Ryusei SAEKI¹⁾, Yuko MATSUKAWA¹⁾, Makoto ARITA¹⁾, Shinji MUNETOH¹⁾

1) Kyushu University, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, Japan

【目的】 β -FeSi₂ は優れたゼーベック係数を持つことから、熱電発電材料への応用が期待されている。最近我々は Czochralski 法による結晶引き上げ時の偏析により、不純物元素の分布に空間的な傾斜を伴った n 型 Co ドープ β -FeSi₂ において、バンド構造傾斜によるバイポーラ効果の抑制が熱起電力を向上させることを確認した [1]。一方で、偏析を利用した組成傾斜は系の平衡状態を頼りとするため、材料によっては組成制御が困難となる。本研究では p 型となる Al ドープ β -FeSi₂ について、液体中における粉末の沈降速度の差を利用した共沈降法とその後の粉体焼結による組成傾斜材料の作製を試み、バイポーラ効果の抑制による熱起電力の向上を検証した。

【方法】FeSi₂ 粉末, Al 粉末を物質量比 10 : 1 で混合し、混合粉末をエタノール中で沈降させた。沈殿した粉体塊を乾燥させ放電プラズマ焼結した後、900°C で 20 時間のアニール処理を行った。得られたバルク体から 5.0×5.0×1.5 mm³ の試料を切り出し、XRD による構造解析, EPMA による組成分析を行った。また、試料の沈降時の重力方向に沿って 3°C 差を付与して熱起電力測定を行い、ノンドープ FeSi₂ 試料と比較した。

【結果】XRD より、試料の主相は β 相であることが確認された。また EPMA による組成分析では、Fig. 1 に示すように、Al の分布が沈降時の重力方向に対して傾斜していることが確認された。熱起電力は Fig. 2 に示すように、本来ならばキャリア密度が小さくゼーベック係数の大きなノンドープ試料の熱起電力を、試料上部を高温側として測定した Al 傾斜試料が上回った。これは、Al の置換量が多い試料上部でバンドギャップが小さいために、伝導帯における高温側から低温側への電子の拡散が阻害され、バイポーラ効果が抑制されたためと考えられる。

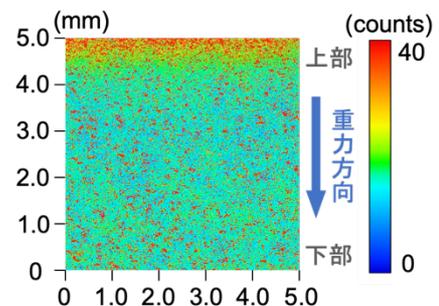


Fig. 1 傾斜試料の Al 分布

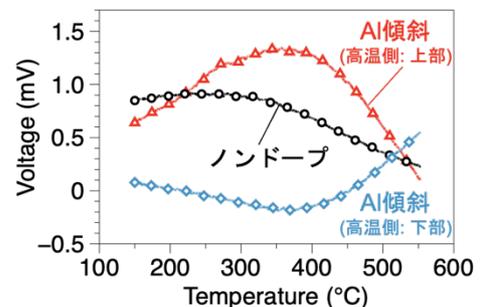


Fig. 2 熱起電力の温度依存性

[1] 松川ら, 第 31 回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム, (2022), 27IJ-5.

傾斜機能構造圧電複合材料の新しい製造方法に関する研究

○王 真金¹⁾, 成田 史生¹⁾

1) 東北大学

A Study on an Innovative Manufacturing Method for Piezoelectric Composite with Functionally Graded Structure

○Zhenjin WANG¹⁾, Fumio NARITA¹⁾

1) Tohoku University, Aoba-ku, Sendai, Japan

【目的】本研究では、革新的な製造法であるアディティブスピンコーティング (ASC) を開発し、エネルギーハーベスティング用の傾斜機能構造圧電複合材料の性能向上を製造方法の最適化によって達成した。ASC によって作製された圧電複合材料を AFGC と呼ぶ。また、傾斜機能構造圧電複合材料のエネルギーハーベスティング効率と耐久性を向上させる新たな展望を提供することを目指し、複合材料の曲げ振動発電性能と耐久性についても調査した。

【実験手法】初めに、ポリフッ化ビニリデン - 三フッ化エチレン(P(VDF-TrFE))粉末とチタン酸バリウム(BaTiO₃, BTO)粒子を N,N-ジメチルホルムアミドに溶解し、指定した体積分率で P(VDF-TrFE)/BTO 溶液を調製した。また、ウェーハーを加熱し、その後溶液をスピンコートして、50 から 0 vol.% BTO (各体積分率 2 層) を 11 回ウェーハー層に加熱積層した。複合材料の BTO 平均体積含有率は 30 vol.% である。スピンコーティングと層加熱の後、ASC でコーティングされたウェーハーを 148° C で 4 時間熱処理し、続いて、複合材料をコロナ分極法によって分極した。その後、複合材料の圧電特性を測定した。最後に、エネルギーハーベスティング効率と耐久性を解明するため、AFGC の曲げ振動発電試験を行った。

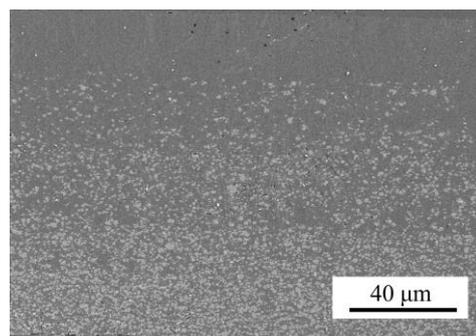


Fig. 1 P(VDF-TrFE)/BTO 複合材料の SEM 写真.

【結果と考察】本研究では、ASC 法を用いて、高耐久性 P(VDF-TrFE)/BTO 傾斜機能構造圧電複合材料を作製し(Fig.1), その性能を評価した。ASC 法によって作製された P(VDF-TrFE)/BTO 傾斜機能構造圧電複合材料は、33 モードにおいてエネルギーハーベスティング効率が向上することが示唆された。また、AFGC の出力電圧は、31 モード下で従来の方法に比べて 12 倍以上であり、AFGC はエネルギーハーベスティング効率が高いことが示された。また、AFGC の長期使用においても、著しい安定性が確認された。

模擬環境における酢酸セルロースの生分解性評価

○ガレパンデレ アリア¹⁾, ローヴァ ロヴィサ¹⁾, 栗田大樹¹⁾, 成田史生¹⁾

1) 東北大学

Evaluation of Biodegradability of Cellulose Acetate in Simulated Compost Environment

○Alia GALLET--PANDELLÉ¹⁾, Lovisa ROVA¹⁾, Hiroki KURITA¹⁾, Fumio NARITA¹⁾

1) Tohoku University, Aoba-ku, Sendai, Japan

バイオベースプラスチックと生分解性プラスチックは、化石燃料への依存やプラスチック廃棄物問題を解決する材料として注目を集めている。生分解性ポリマーの性質は時間により連続的に変化し、時間に関する傾斜機能材料と言える。セルロースは天然ポリマーとして生分解性を持っているが、そのアセチル化によって得られる酢酸セルロースの生分解性解明は挑戦的な課題である。生分解速度は環境および構造のパラメータ（特に置換度 DS）から強く影響を受けるようである[1]。

本研究では、ISO 規格 14855 により酢酸セルロース（DS=1.7）のペレットおよびフィルムの堆肥中の生分解性を評価する。

生分解の程度は発生二酸化炭素測定、表面および化学変化により調査された。試験方法を段階的に改良した結果、生分解度の評価に成功し、5 週間後に CA は $48 \pm 1\%$ 分解された。また、ポリマーの脱アセチル化はフーリエ変換赤外分光法によって確認された。さらに、堆肥の生分解試験に関する貴重な知見が得られ、他のポリマーの生分解性実験にも使用できることが予想される。

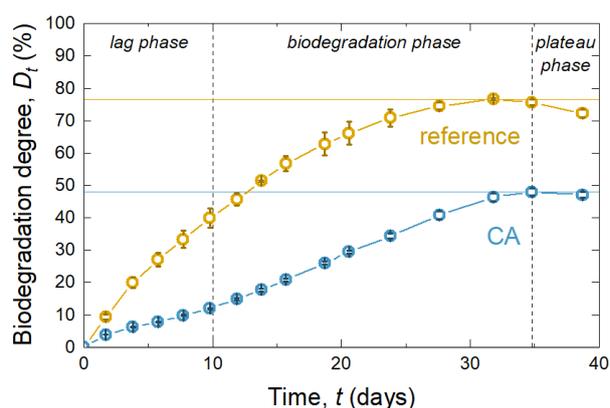


図 1 - CA と標準物質（セルロース）の分解度のグラフ

[1] Yadav, N., Hakkarainen, M., *Chemosphere*, 265 (2021), 128731

ジュズダマの硬い殻の傾斜構造

○桑田力真¹⁾, 石井大佑¹⁾

1) 名古屋工業大学

Gradient structure of Hard Shell of Job's Tears

○Rikima KUWADA¹⁾, Daisuke ISHII¹⁾

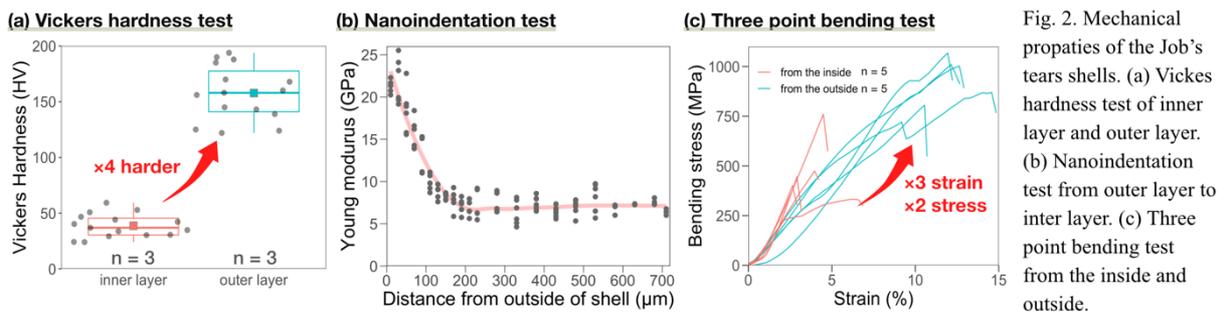
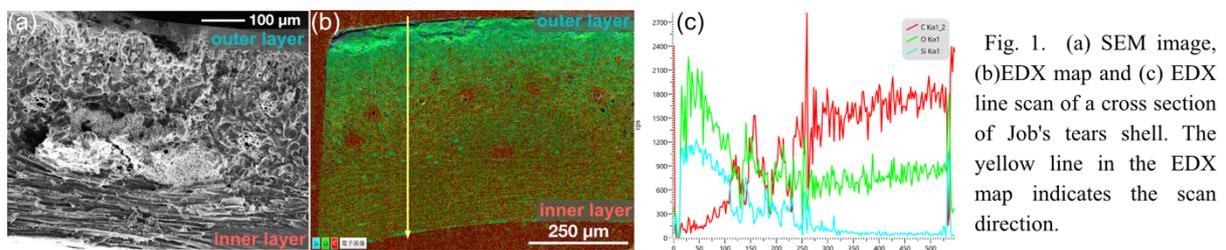
1) Nagoya Institute of Technology, Showa-ku, Nagoya, Japan

目的: 傾斜機能材料 (Functionally Graded Materials, FGMs) は体積全体にわたって組成や構造が徐々に変化し、その結果、局所的に特性が調節された新しい複合材料である。自然界に目を向けると、骨や歯、竹、貝殻、甲殻類の殻などは FGMs であり、少量の資源で軽量性と耐荷重性を両立している。近年、このような自然物を模倣して材料の軽量化・強靱化を目指す研究が注目されている。本研究では、イネ科の植物であるジュズダマ (*Coix lacryma-jobi* var. *lacryma-jobi*) に着目した。ジュズダマの種子は、苞葉鞘というシリカを多く含む薄くて軽く硬い殻で覆われている。苞葉鞘は 740 μm の厚みしかないが、286 N の荷重を耐えられるほど高強度である。この殻の微細構造と化学組成と硬さの空間的な勾配を分析することで、殻が軽量で高強度である要因を調査した。

方法: 走査型電子顕微鏡 (SEM) でジュズダマの殻の断面微細構造を観察し、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX) により殻の断面の化学組成を分析した。ビッカース硬さ試験とナノインデンテーション試験によって殻の断面の外層から内層への硬さの変化を測定した。さらに、万能試験機を用いて荷重をかける方向を変えて殻の 3 点曲げ試験を行い、殻の剛性特性を分析した。

結果: 殻の内層は直径約 2 μm の筒状の植物細胞で構成されていた。植物細胞は外層へ向かうほど小さく等方的な形状になり、密に分布していた。殻の最外層は 100 nm 以下の微粒子が堆積していた。そのため、殻は外層に向かうほど空隙率が減少していた (Fig. 1a)。EDX 分析により、殻の外層へ向かうほどシリカを多く含有していることが判明した (Fig. 1b,c)。ビッカース硬さ試験により、殻の外層が内層の約 4 倍硬いことが判明し (Fig. 2a)、ナノインデンテーション試験では殻の外層から内層に向けて徐々に弾性率が減少することがわかった (Fig. 2b)。3 点曲げ試験では、殻の外層側から曲げた場合は内層側から曲げた場合と比較して 3 倍歪み、2 倍の荷重に耐え、タフネスは 7 倍になった (Fig. 2c)。

これらの結果から、殻の空隙率と化学組成の両方の空間的な勾配により、殻の外層は圧縮に、内層は引張に強くなっていることが示された。この材料特性により、殻は外部からの負荷に耐えられるようになると推測される。



引張荷重を受ける超弾性傾斜機能棒の物質力解析

○佐藤佑紀¹⁾, 森本卓也¹⁾

1) 島根大学

Material Force Analysis of Hyperelastic Functionally Graded Bar under Tensile Load

○Yuki SATO¹⁾, Takuya MORIMOTO¹⁾

Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690-0823 Japan

目的：物質力 (Material forces) は材料科学と工学の多くの分野において重要な解析概念であり，特に欠陥や不均質性の取り扱いに有用である．物質力はエシェルビーによって提唱され，物理的な力ではなく欠陥の配置を決定するパラメータに対する物体の全ポテンシャルエネルギーの負の勾配として定義される．物質力には転位間の相互作用や破壊力学，相境界に生じる力などの例があり，弾塑性や工業材料の損傷，固体の衝撃波，生体組織の再構築など，非弾性効果を表現するために広く利用されている．物質力の概念を傾斜機能材料に適用することで，材料組成や空隙の空間分布に対する最適設計に新たな洞察を得ることが期待される．そこで，本研究では初等的な問題設定として，引張荷重を受ける超弾性傾斜機能棒に対して物質力を理論的および数値的に算出し，汎用有限要素解析ソフトウェアのユーザーサブルーチンを用いて物質力を実装し，その妥当性を検証することを目的とする．

方法：平面ひずみ条件の下で，図 1 のような幅 w ，長さ l の超弾性傾斜機能棒が右側に引張応力 σ_0 を受ける問題を考える．この棒のヤング率は左端から $l/2$ で平均中央値 E_0 を通り，軸に沿って直線的に分布している．まず，超弾性ひずみエネルギー密度関数からエシェルビー応力テンソルを導出し，均一変形場における物質力の理論解を求めた．次に，汎用有限要素解析ソフトウェアのユーザーサブルーチンでエシェルビー応力テンソルを算出し，均一変形場における物質力の数値解を求めた．

結果：超弾性ひずみエネルギー密度関数から求められた理論解と有限要素解析で求められた数値解は完全に一致し，汎用有限要素解析ソフトウェアへの物質力解析の実装結果の妥当性が確認された．

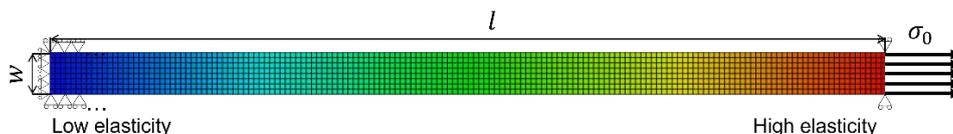


図 1 引張荷重を受ける超弾性傾斜機能棒の解析モデル

ε-FGM を適用したガス開閉装置用スペーサの絶縁特性の向上

○柳瀬博雅¹⁾, 増井秀好¹⁾, 岡本健次¹⁾, 早川直樹²⁾, 加藤克巳³⁾

大澤直樹⁴⁾, 小迫雅裕⁵⁾, 大久保仁⁶⁾

1) 富士電機, 2) 名古屋大学, 3) 新居浜工業高等専門学校

4) 金沢工業大学, 5) 九州工業大学, 6) 愛知工業大学

Insulation characteristics of Spacer for Gas Insulated Switchgear with ε-FGM

○Hironori YANASE¹⁾, Hidetaka MASUI¹⁾, Kenji OKAMOTO¹⁾, Naoki HAYAKAWA²⁾

Katsumi KATO³⁾, Naoki OSAWA⁴⁾, Masahiro KOZAKO⁵⁾, Hitoshi OKUBO⁶⁾

1) Fuji Electric Co., Ltd., Hino, Tokyo, Japan

2) Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan

3) N. I. T. Niihama College, Niihama, Ehime, Japan

4) Kanazawa Institute of Technology, Nonoichi, Ishikawa, Japan

5) Kyusyu Institute of Technology, Kitakyusyu, Fukuoka, Japan

6) Aichi Institute of Technology, Toyota, Aichi, Japan

【目的】

ガス絶縁開閉装置(GIS)では、地球温暖化係数が 25200 と非常に高い SF₆ ガスの使用量および製造コストの削減のため小型化が課題となっている。そこで筆者らは、ガス/固体絶縁においてガス中の電界強度が緩和可能な誘電率傾斜機能材料(ε-FGM)を部材である絶縁スペーサへ適用することにより、GIS の小型化に取り組んでいる。今回、ε-FGM 技術を適用した実サイズの絶縁スペーサを試作し、絶縁特性の向上効果を検討した。

【方法】

SrTiO₃(ε_r = 332)を添加した高誘電エポキシ樹脂と、SiO₂(ε_r = 4)を添加した低誘電エポキシ樹脂の配合比を変化させることで、絶縁スペーサの誘電率を 4~10 に変化させた ε-FGM スペーサを製作した。これを 0.3~0.6 MPa の SF₆ ガス中にセットし、雷インパルス電圧によるフラッシュオーバー電圧(FOV)を評価した。また、同一サイズで誘電率一定の Uniform スペーサも同時に評価した。

【結果】

図 1 に示す通り、ε-FGM スペーサは FOV を 0.5 MPa で Uniform スペーサに対して 21 % , 0.6 MPa で 19 % 向上できることを確認した。絶縁特性が向上できることから、ε-FGM 技術により、従来の Uniform スペーサに対しスペーサ径を 30%小型化できる目途を得た。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業 (JPNP12004) の結果得られたものである。

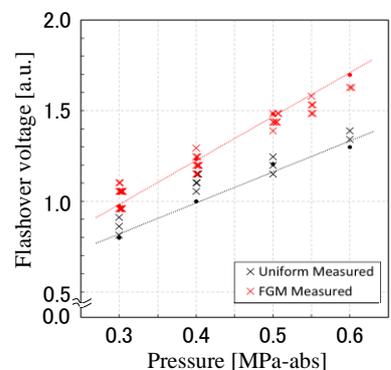


図 1 FOV 測定結果

p⁺/p-Si 界面におけるキャリア拡散の制御を用いた熱起電力の向上

○行事明¹⁾, 青木航介¹⁾, 松川祐子¹⁾, 佐伯龍聖¹⁾, 有田誠¹⁾, 宗藤伸治¹⁾

1) 九州大学

Improvement of thermoelectric voltage in silicon by controlling carrier diffusion on the p⁺/p interface

○Akira GYOJI¹⁾, Kosuke AOKI¹⁾, Yuko MATSUKAWA¹⁾, Ryusei SAEKI¹⁾, Makoto ARITA¹⁾, Shinji MUNETOH¹⁾

1) Kyushu University, Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, Japan

【目的】バンドギャップ(BG)が比較的狭い熱電材料では、バイポーラ効果によって熱起電力が低下するため、少数キャリアの拡散経路へのエネルギー障壁の導入が有効である¹⁾。本研究では、ドーパ量が異なる p 型シリコン(Si)を用いて二層試料を作製し、層界面へのバンドオフセットの導入や、層間でのキャリア濃度差が熱起電力に与える影響を調査した。

【方法】ボロンドープ量が 3.5×10^{20} 、 1.1×10^{19} atom/cm³ の 2 種類の p 型 Si 単結晶(p⁺、p-単結晶)を原料に用いた。Si はドーパ量が高いと BG が狭小化するため、これらを接合すると p⁺側より p 側の伝導帯の下端が高くなると予想される。p⁺と p-単結晶をそれぞれ粉碎し、焼結ダイに順に等量充填後、放電プラズマ焼結により二層試料 p⁺/p-Si を作製した。同様に、p-単結晶から単層の p-Si を得た。これらに対し、サーマルプローブ法による局所的なゼーベック係数(S)と電圧降下ラインプロファイルの測定、および熱起電力の測定を行った。

【結果】S および比抵抗は、p⁺/p-Si のおよその中心を境界にいずれも p 側が高かったことから、想定したバンドオフセットの存在とキャリア濃度差が示唆された。試料の両端が 3 °C 差の時の熱起電力測定の結果より、p⁺/p-Si において、p⁺側を高温にした時(Fig. 1a)には、逆の温度勾配を与えた時(b)よりも全温度域において高い熱起電力を示した。また(a)と単層試料の熱起電力(c)を比べると、p⁺/p-Si は S が低い p⁺-単結晶も原料に用いたにも関わらず、高温域では(a)の方が高かった。一方(b)は高温域で負の値を示した。以上より、積層試料において、電子は伝導帯に導入されたバンドオフセットによって p 側へ拡散しにくかった一方で、ホールは BG が狭くキャリア濃度が高い p⁺側から供給されやすかったと考えられる。

【引用】

1) M. Sakamoto *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, in press (JJAP-105130.R2).

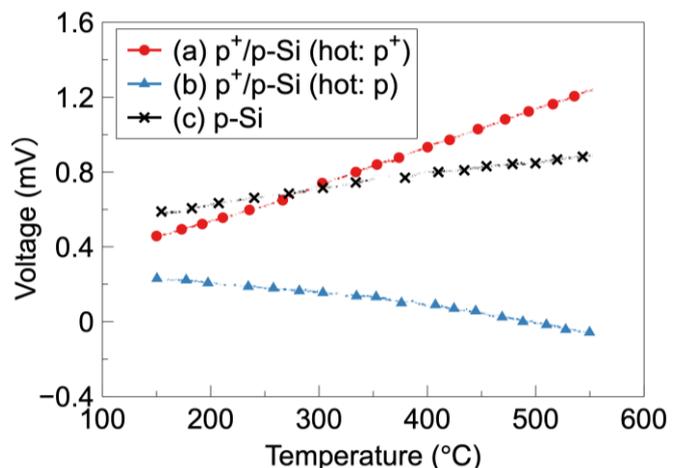


Fig. 1 各試料の熱起電力の温度依存性.

Ca, Fe 置換による Na-Bi-Ti-O の比抵抗低減の試み

○永田 純大¹⁾, 桑折 仁¹⁾

1) 工学院大学

Attempt to Reduce Resistivity of Na-Bi-Ti-O by Ca or Fe Substitution

○Jundai NAGATA¹⁾, Hitoshi KOHRI²⁾

1) Kogakuin University, Sinjuku-ku, Tokyo, Japan

【目的】

当研究室では新規熱電材料の探索を行っており、酸素イオン伝導体の熱電材料としての適用を試みている。Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ は近年高い酸素イオン伝導性を示す酸化物として報告された[1]。しかし、熱電材料としては比抵抗が依然高い。本研究ではヒューム-ロザリー則の観点から、置換する元素として Ca と Fe を選出した。Ca は他の元素と比較して置換サイトの Bi と電気陰性度やイオン半径の差が小さく、エリングラム図から混合時や焼結時に還元が起こりにくいと考えられる。Fe は遷移金属であるので電子伝導を導入する可能性がある[2]。そこで本研究では Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ に対して Ca または Fe を置換し、置換元素および置換量が熱電特性へ与える影響を解明することを目的とした。

【方法】

原料には Na₂CO₃(99 %), Bi₂O₃(99.999 %), TiO₃(99.99 %), CaCO₃(99 %), FeO(99.5 %)を使用した。Na_{0.5}(Bi_{1-x}M_x)_{0.5}TiO₃ (M=Ca, Fe, x=0.05, 0.1, 0.2) となるように各原料は秤量し、原料粉末は乳鉢で混合した。原料混合物はメタルダイスを用いて加圧圧力 29.4 MPa, 加圧時間 20 min でコールドプレスを行った。圧粉体はマッフル炉で 900 °C で 12 h 仮焼し、1100 °C で 20 min 焼結した。結晶相の同定は XRD で行った。

【結果】

光学顕微鏡の観察結果から無置換試料は白色、Ca 置換試料は淡黄色、Fe 置換試料は褐色を呈していた。XRD の結果、第二相のピークが確認できなかったことから単相試料が作製できたと考えられる。ゼーベック係数、比抵抗、熱伝導率の温度依存性は当日発表する。

【文献】

[1] Jinqiang Huang, Fangyuan Zhu, Da Huang, Bing Wang, Tan Xu, Xiangdong Li, Pengyuan Fan, Feng Xia, Jianzhong Xiao, Haibo Zhang, Intermediate-temperature conductivity of B-site doped Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃-based lead-free ferroelectric ceramics, *Ceramics International*, 42, 15, (2016) pp. 16798-16803.

[2] F. Yang, M. Li, L. Li, P. Wu, E. Pradal-Velazque and D.C. Sinclair, Optimisation of oxide-ion conductivity in acceptor-doped Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ perovskite: approaching the limit?, *J. Mater. Chem. A*, 5 (2017) pp. 21658-21662.

Czochralski 法で作製した Ba₈Cu₆Ge_{40-x}Si_x クラスレートの熱電性能

○高木健太郎¹⁾, 荒木脩斗¹⁾, 松川祐子¹⁾, 佐伯龍聖¹⁾, 有田誠¹⁾, 宗藤伸治¹⁾

1) 九州大学

Thermoelectric performance of Czochralski grown Ba₈Cu₆Ge_{40-x}Si_x clathrate

○Kentaro TAKAGI¹⁾, Shuto ARAKI¹⁾, Yuko MATSUKAWA¹⁾, Ryusei SAEKI¹⁾,
Makoto ARITA¹⁾, Shinji MUNETOH¹⁾

1) Kyushu University, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, Japan

【目的】近年、省エネルギー化の観点から、排熱を電気に変換できる熱電材料が注目されており、中でもクラスレート化合物は中温域で使用可能な利点を持ち、有望である。その高電気伝導化には、Czochralski(CZ)法による単結晶化が有効であるが¹⁾、さらなる高出力化には組成の最適化が必要である。そこで本研究では、仕込み組成で $x=5, 12$ の Ba₈Cu₆Ge_{40-x}Si_x クラスレートにおいて、 x がクラスレート相内の Cu 量に与える影響を調査し、その熱電性能を評価した。

【方法】高純度な Ba, Cu, Ge, Si の各単体を、物質量比で 8 : 6 : 40-x : x ($x=5, 12$)となるように秤量し、それぞれアーク熔融法で合金化した。得られた合金を再度熔融し、セラミックス製のシードを用いた CZ 法でインゴットを作製した。以降、これらは仕込み組成を呼称とする。粉末 XRD と WDX による構造及び組成の分析と、ゼーベック係数(S)測定と比抵抗(ρ)測定による熱電性能評価を行った。

【結果】XRD の結果から、作製した試料の主相はいずれもクラスレート相であった。WDX より、上側部分と下側部分を平均した組成は $x=5$ で Ba_{8.00}Cu_{5.21}Ge_{32.48}Si_{6.83}、 $x=12$ で Ba_{8.00}Cu_{5.09}Ge_{22.71}Si_{17.16} であり(Ba=8.00 として算出)、 $x=5$ の方が Cu を多く含んでいた。また、両インゴットにおいて、下部ほど Cu が多く、偏析が確認された。 S はいずれも負の値を示し、Cu を多く含む試料ほど絶対値が大きかった。 ρ は Cu 量の少ない試料ほど小さな値を示し、温度の上昇に伴って増加した。 S と ρ の測定結果から算出した Power factor ($PF=S^2/\rho$)を Fig. 1 に示す。 $x=12$ _上側部分では 540 °C で最大値 19.2 $\mu\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}^2$ を示し、これは実用化の目安 (10 $\mu\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}^2$)の約 2 倍の PF であった。

【引用】1) Z. Zhang, *et al.*, J. Electron. Mater., 50, (2021), 1146–1152.

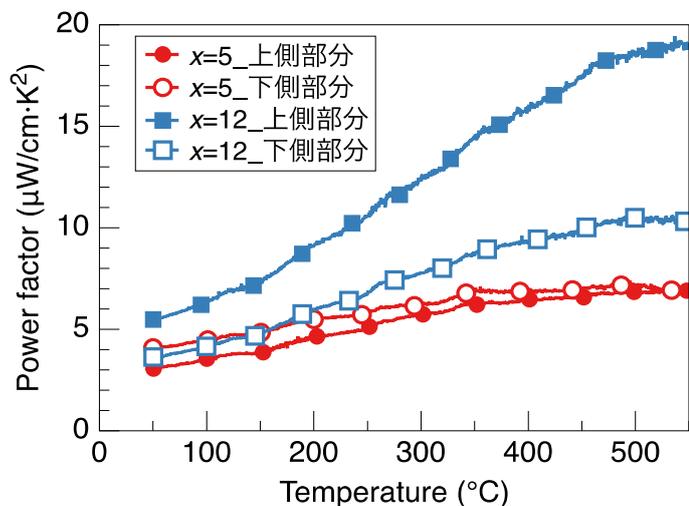


Fig. 1 Power factor の温度依存性.

未利用熱の分散型独立電源の熱源としての潜在性

○桑折 仁¹⁾, 水戸洋彦²⁾, 磯田幸宏³⁾

1) 工学院大学, 2) ミトラボ, 3) 物質・材料研究機構

Potential of Unused Heat as a Heat Source for Distributed Independent Power Generator

○Hitoshi KOHRI¹⁾, Youhiko MITO²⁾, Yukihiro ISODA³⁾

1) Kogakuin University, Sinjuku-ku, Tokyo, Japan

2) MitoLabo, Hachioji-shi, Tokyo, Japan

3) NIMS, Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan

近年、ロシアのウクライナ侵攻によりエネルギー輸入の面で、多大な影響が出ている。大規模な油田等のエネルギー資源を持たない我が国は、原子力発電の推進を政策で進めてきたが、東日本大震災の際の福島第一原子力発電所の事故以来、安全確認が取れるまでその比率を下げざるを得なかった。代替案の自然エネルギーは変動が大きく、安定な電源としては期待できない。そこで、注目されているのが未利用熱である。未利用熱には工業炉などの大規模なものから厨房設備などの小さなものまで様々な規模の人為的に排出される熱のほかにも、火山地帯、温泉、地熱、下水熱、深部地中熱、地表熱など自然由来の熱もあり、その温度範囲は多岐にわたる。広く希薄に存在するこれらの未利用熱の効率的な利用方法には不明な点が多い。そこで本研究では分散型独立電源のニーズ、未利用熱利用システムの受熱方法を調査し、分散型独立電源の熱源として未利用熱の潜在性を精査する。

分散型電源のニーズ調査として島根県のS社にヒアリングを行った。S社は災害対策、防災センサーの製造、設置、施工を行っている。災害復旧現場の作業を行うためにその上流に土石流センサーが設置される。このセンサーは下流の住宅地の安全を守るためでなく、復旧作業を行う作業員の安全を守るために設置される。そのため、迅速に短期間で設置する必要があるが、商用電力の届く範囲ならその設置許可の事務手続きが律速となり、独立電源の必要性がある。また、森度などの法面には水抜き穴があるという情報を得た。そこで、地表面と地上との温度差を利用した熱電発電の可能性について議論された。地中から10 m程度の深度であると15°C程度の温度で一定となることが報告されており、地表と地中との温度差をいかに確保するかが実用化への鍵となる。

厨房設備を使った予備実験では β -FeSi₂モジュールを排気管とCu製水冷ヒートシンクで挟み込んで取り付け発電特性を測定した。その結果、出力は28mW程度であった。排気管の最高温度は300°C程度であるが、モジュールに十分熱が流入しないことが判明した。

謝辞

本研究は新技術振興渡辺研究会の助成を受けたものである。

超硬合金傾斜組成層形成におけるベイズ最適化による 層組成導出

○山下順広¹⁾, 宇畑勲駿²⁾, 國峯崇裕²⁾

1) 石川工業高等専門学校, 2) 金沢大学

Derivation of Layer Compositions by Bayesian Optimization in Forming Compositionally Graded Layers of Cemented Carbide

○Yorihito YAMASHITA¹⁾, Hirotoshi UBATA²⁾, Takahiro KUNIMINE²⁾

1) National Institute of Technology, Ishikawa College, Kitachujo, Tsubata, Ishikawa, Japan

2) Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, Japan

1. 目的

鉄系材料の表面に耐摩耗性が必要な箇所だけに超硬合金層を形成できれば、安価で性能要求を満たした製品が実現できると考えられる。部分的に金属を付加する方法の一つとしてレーザ粉体肉盛法がある。しかし、同方法で形成した超硬合金層は、基材が鉄系材料の場合、超硬合金と材料特性が違うことなどが一因となり、肉盛部におけるき裂の発生が課題となっている。そこで、本研究では超硬合金層の組成の傾斜化を検討した。傾斜組成の組成パターンを考えると層数が増えるほど指数関数的に増加し、実験には多くの時間とコストを要する。そこで、少ない実験回数で目的の値を導出できる機械学習の1つで逐次最適化手法であるベイズ最適化を用いて組成の導出を検証した。

2. 方法

本研究では、まず、レーザ粉体肉盛法により基材に S45C を、原料粉末には Co-88mass%WC 粉末と Ni-based Self Fluxing Alloy (SFA)粉末の2種類の粉末を用いて、長さ 10mm のビードの層を WC の割合を変えながら4層積層し超硬合金傾斜組成層を形成した。各層の WC 割合は、10%、30%、50%、70%および 88%の5種類とし、全ての組合せを考え 125 種類の傾斜組成層を形成した。各超硬合金傾斜組成層において、AE センサを用いてき裂数および代替的 AE 信号エネルギーを評価し、ベイズ最適化を用いてき裂数ゼロとなる傾斜組成層の導出を行った。

3. 結果

超硬合金傾斜組成層を形成した結果、組合数 125 通りの内、5つの組成パターンにおいてき裂数がゼロとなった。き裂数がゼロではなかった 120 通りの組成パターンの内、ランダムに選定した5つの組成パターンを初期データとして計算した結果、8回の繰り返し計算で、き裂数ゼロとなる組成パターンを導出でき、無作為に実験を行うよりも効率的に結果が得られることを確認した。

ショットピーニングを施した純 Cu の 加工表層における結晶学的集合組織の傾斜分布

○佐藤尚¹⁾, 伊藤祐哉¹⁾, 渡辺義見¹⁾

1) 名古屋工業大学

Graded Distribution of Crystallographic Texture around Shot-Peened Surface of Pure Cu

○Hisashi SATO¹⁾, Yuya ITO¹⁾, Yoshimi WATANABE¹⁾

1) Nagoya Institute of Technology, Showa-ku, Nagoya, Japan

【目的】 ショットピーニング(SP)は、無数の硬質粒子を高速で材料表面に衝突させる表面加工技術である。我々は、近年、SPを施した純 Cu 板の加工表面に形成した結晶学的集合組織を調査した¹⁾。その結果、Cu の<011>方向と加工面法線方向が平行で、かつその<011>方向を軸として回転しながらランダムに結晶方位が分布した{011}繊維集合組織が、純 Cu への SP によって加工表面に形成することを見出した。この{011}繊維集合組織は、SP で生じる変形様式が一軸圧縮変形であることに起因して形成する。しかし、SP で生じるひずみ量は加工表面から内部に向けて小さくなるため、SP で形成する結晶学的集合組織は表面から内部に向けて傾斜分布していることが期待できる。本研究では、SP を施した純 Cu 板の加工表面に対し、研磨と観察を繰り返すことで加工表面から内部に向けた結晶学的集合組織の変化を調べた。

【方法】 供試材として厚さ 3 mm の純 Cu 圧延板(99.96%)を用いた。この圧延板より 15 mm×15 mm×3 mm の試料を切り出し、400 °Cで 1 h の焼鈍に供した。その後、作製した試料に対して SP を施した。投射材は粒径 210 μm~300 μm のジルコン粒子(ZrSiO₄)である。また、投射圧力および投射時間をそれぞれ 0.6 MPa および 45 min とした。その後、SP を施した面に対して加工表面から 19 μm だけ研磨し、電子線後方散乱回折法(EBSD)にて加工表面の結晶方位分布を測定した。さらに、本研究では、試料厚み方向に対する結晶方位分布の変化を評価するため、同様の方法で研磨および観察を繰り返し、SP を施した純 Cu 板の加工表面から内部に向けた結晶学集合組織の変化を調査した。なお、本研究では、マイクロメーターを用いることで研磨量の測定を行った。

【結果】 加工表面からの距離が 19 μm の領域では、加工面法線方向と Cu の<011>方向が平行になった{011}繊維集合組織が形成していた。この結果は、過去の我々の研究結果と一致している¹⁾。その後、加工表面からの距離が 25 μm に到達すると{011}繊維集合組織が崩れはじめ、その距離が 40 μm になると Cu の<111>方向と加工面法線方向が平行になった{111}繊維集合組織が形成していた。この加工表面近傍に形成した結晶学的集合組織の傾斜分布は、SP にて導入されるひずみ量の観点から説明可能であることが分かった。

【参考文献】 1) H. Sato *et al.*: *Phys. Status Solidi B*, **259** (2022), 2100550 (10 pages).

これからの傾斜機能材料について

○篠原嘉一

国立研究開発法人物質・材料研究機構

The Prospective of Functionally Graded Materials

○Yoshikazu SHINOHARA

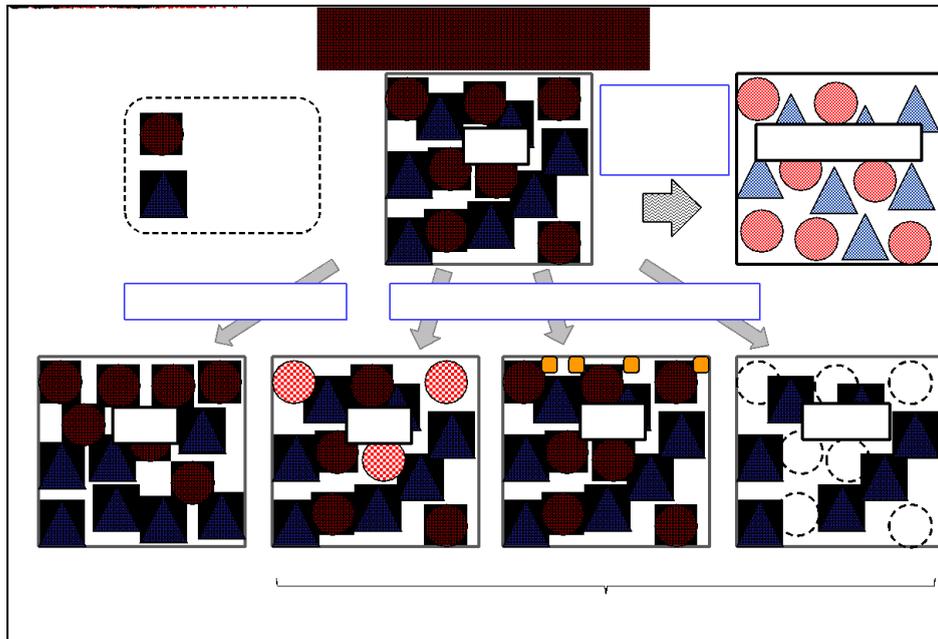
National Institute for Materials Science, Tsukuba, Ibaraki, Japan

自然界における傾斜構造を観察すると、傾斜構造は高度に進化した組織構造であり、生物進化そのものである。生物の場合は外部の刺激に応じて組織構造そのものが変化し、世代交代しながら最適化されていく。このインテリジェント性ゆえに、傾斜構造は生物進化における最新形態と見ることができる。

材料においても、中性子線照射による変質、昇温による析出、加工による転位運動、表面反応、熱励起などでは、利用環境下で材質が変化して環境適応性が高まるケースがある。外部の刺激に応じて材料内で機能分布が変化するものであり、生物進化と同様の機能変化といえる。さらに世代交代しながら機能を適所へ再配置することができれば、材料も時間と共に進化することができる。世代交代(マテリアルリサイクル)しても元の機能が再現または別機能が発現できる材料、これは世代交代によって進化を繰り返してきた生物そのものである。生物進化を参考にした傾斜機能材料の概念分類を図1に示す。

Multifunctionを含む広義の傾斜機能材料を中心に、製造時の機能配置に基づくオリジナル傾斜機能材料、外部刺激による機能発現に基づくアダプティブ(環境適応型)傾斜機能材料、世代交代による機能の再配置に基づくリジェネラティブ(再生型)傾斜機能材料に分類している。

図1 傾斜機能材料の概念分類



第 32 回新構造・機能制御と傾斜機能材料シンポジウム実行委員会

委員長
委員

成田 史生（東北大学）
篠原 嘉一（物質・材料研究機構）
渡辺 義見（名古屋工業大学）
宗藤 伸治（九州大学）
長谷崎和洋（徳島大学）
桑折 仁（工学院大学）
松川 祐子（名古屋大学）
佐藤 尚（名古屋工業大学）
栗田 大樹（東北大学）
王 真金（東北大学）

2023 年 9 月 14 日発行

発行 傾斜機能材料研究会
(事務局 一般財団法人航空宇宙技術振興財団内)
〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 1-17-26
仙台 TM ビル 4F

電話022-397-6911

Email : staff@fgms.net

URL: <https://fgms.net/>

無断転写・転載を禁ずる

