

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02804

研究課題名（和文）外場を用いたイオン伝導性セラミックス創製プロセスの構築

研究課題名（英文）Processing for fabrication of multivalent cation conducting ceramics by external field

研究代表者

鈴木 達（SUZUKI, Tohru）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：50267407

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：セラミックスにおいて、結晶方位制御は特性向上に有効であり、その手法を精緻化することは重要となる。本研究においては、研究代表者が開発した「強磁場を用いたバルクセラミックス結晶配向制御技術」をイオン伝導セラミックスへ適用し、結晶配向がイオン伝導性に与える影響の解明とイオン伝導性の向上を目指した。特に多価イオンを導電種とするセラミックスに注目し、その結晶配向イオン伝導セラミックスの創製と特性への影響について詳細に検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多価カチオンはアルカリイオンに比べると遙かに科学的に安定であり、1価イオンと比較した場合には一度に2倍以上の電荷を輸送出来る。そのため多価カチオン二次電池は、安定でありながらエネルギー密度が大きくなり、特にMg2価イオンを用いる場合には、現在のLiイオンでの安全性や資源的な問題、材料毒性についても克服が可能となる。このイオン伝導体は2次電池における固体電解質としての使用が期待され、無機系固体電解質の使用を可能とすれば、現在問題となっている電解液とMg金属負極との反応による劣化を抑制し、実用化に向けた開発が期待出来る。

研究成果の概要（英文）：Development of crystallographic orientation in bulk ceramics is effective in improving their properties and it is important to sophisticate the method to control the orientation. In this research, the method for crystallographic orientation by the strong magnetic field which was developed by the representative investigator was applied to the ion conductive ceramics and we aimed to clarify the effect of crystallographic orientation on the conductivity and improve the ionic conductivity. Especially, we focused on the ceramics whose conductive species is multivalent ions and investigated in detail fabrication of the oriented ionic conductive ceramics and effects on the properties.

研究分野：セラミックスプロセス

キーワード：イオン伝導体 強磁場 結晶配向 焼結 多価イオン

1. 研究開始当初の背景

金属のような加工熱処理による組織制御が容易でないセラミックス材料では、出発原料粉の性状や固化過程における粒子の配列が最終的なセラミックスの微構造を決定する要因となることから、原料粉や創製プロセスの選択は、最終的なセラミックス材料の特性の決定に大きな影響を与える。それゆえ先端セラミックスへの新しい機能の付与や性能向上のためにはプロセスの高精度化が要求される。結晶構造に異方性を持ち、伝導性が結晶方向に依存する物質の場合には、この中でも配向というパラメータで微構造の秩序を制御していくことにより、その特性に飛躍的な改善を期待することが出来る。多価カチオンの固体イオニクス中における伝導においても、結晶配向がその伝導特性に影響を与えることは必至である。種々の物質における多価イオンの伝導機構は未だに不明であり、その解明は、多価イオンの伝導性を向上させるために不可欠である。そこで、一軸結晶配向とすることで伝導機構の解明にも資する物質を作製し、さらにその知見に基づき導電性の向上を行うことが期待出来る。

2. 研究の目的

従来のイオン伝導体ではカチオン系ではプロトンおよび Li イオン、またアニオン系では酸化物イオンを伝導種とするイオン伝導体について、その特性改善が検討されてきている。本提案においては、イオン伝導体として特に Mg^{2+} または Al^{3+} という多価イオンを伝導種とする物質に注目し、高伝導固体イオニクス材料の創製プロセスの構築を目指す。また、結晶配向が導電性に及ぼす影響について調査し、伝導性に優れたイオン伝導セラミックスの開発指針を提案する。これらのイオン伝導セラミックスを 2 次電池の固体電解質へ適用する場合には、一般的にはイオン伝導速度を上げるために 600 から 1000 という温度が必要となる。そのため、高抵抗界面の形成、熱および電気化学的サイクルによる微小亀裂の生成、およびデバイス化における共焼結時の不整合性などが応用に向けて課題となる。そこで、微小亀裂形成抑制に資する熱膨張制御にも着目し、その可能性についても検討した。

3. 研究の方法

Al^{3+} を伝導種とする物質として $Al_2(WO_4)_3$ に、また、 Mg^{2+} とを伝導種とする物質として NASICON 型と言われる結晶構造をもつ $(Mg_{0.1}Hf_{0.9})_{4/3.8}Nb(PO_4)_3$ 、さらに類似の結晶構造となる β -硫酸鉄型をもつ $MgZr_4(PO_4)_6$ に着目した。これらの物質は固相反応法、共沈法で作製した前駆体の熱処理、ゾルゲル法で作製した前駆体の熱処理により、それぞれ合成した。

合成した粒子を遊星型ボールミル等により粒度分布を調整し、分散剤を適量添加することでスラリーを作製した。それぞれの粒子を分散したスラリーを 12T の静磁場または回転磁場中にてスリップキャストにより成形した。成形後は 350MPa の冷間等方圧プレス処理後に電気炉で焼結した。焼結後試料は XRD により相の確認、電子後方散乱回折法 (EBSD) による配向方位と配向性の測定を行った。また、イオン伝導度評価には Nyquist プロットを用い、 $(Mg_{0.1}Hf_{0.9})_{4/3.8}Nb(PO_4)_3$ では熱膨張係数も測定した。

4. 研究成果

Fig.1 には、磁場中成形または無磁場での成形後に焼結した $Al_2(WO_4)_3$ の EBSD 結果を示す。磁場印加をしていない試料 (Fig.1(a)) では種々の色の粒子が観察され、結晶方位はランダムであることを確認できる。回転磁場を用いた場合 (Fig.1(b)) には、磁場回転面と平行な試料面においては、ほぼ全ての結晶粒において青色となっており、(010)面が集積しており、b 軸配向となっている。

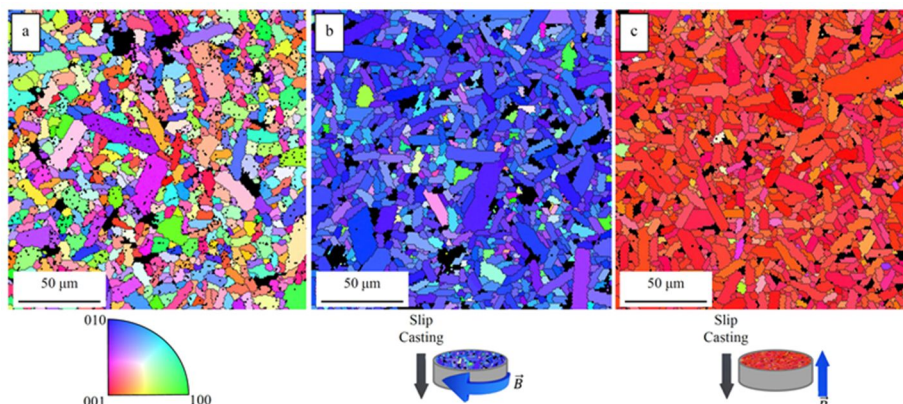


Fig. 1 $Al_2(WO_4)_3$ での磁場印加制御による配向方位の造り分け (EBSD による結晶方位解析)

また、静磁場を用いた場合には (Fig.1(c))、静磁場印加方向垂直の試料面において赤い結晶粒がほとんどとなり、c 面が集積している、すなわち c 軸が一軸で配向していることを確認できる。このように磁場印加手法を駆使することにより、配向軸の作り分けを可能とした。このことは、c 軸が磁化容易軸で b 軸が磁化難易軸であることを示しており、初めて見出した。

Fig.2 には、配向方位に依存したイオン伝導度の測定結果を示す。b 軸方位でのイオン伝導度が最も高く、c 軸方位が低いことを明らかにし、ランダム体ではその間となっていた。b 軸方向にてイオン伝導度が最も高いことは単結晶の傾向と一致しており、本手法により物性を反映させたイオン伝導改善が多結晶セラミックスにおいても可能であることを示した。

Fig.3 には、 $(\text{Mg}_{0.1}\text{Hf}_{0.9})_{4/3.8}\text{Nb}(\text{PO}_4)_3$ における配向制御を示す。静磁場を用いた場合には (Fig.3(A))、静磁場印加方向垂直の試料面において赤い結晶粒がほとんどとなり、c 軸が一軸で配向している。回転磁場を用いた場合 (Fig.3(B)) には、ほぼ全ての結晶粒において青色となり、a 軸配向となっている。磁場印加をしていない試料 (Fig.3(C)) では種々の色の粒子が観察され、結晶方位はランダムであることを確認できる。しかし、焼結の緻密性が低く、また不純物となる異相や組成の不均一性が観察された。

また、Fig.4 には静磁場にて c 軸配向させた試料における EBSD 結果から計算した鉛直方向と c 軸の傾きの分布を示す。鉛直方向 (磁場印加方向) と c 軸とのなす角を傾き角とし、縦軸に極点図における MRD 値をプロットしたものである。傾きが 10° 以下となる結晶粒は 57% あり、また c 軸が 20° 以上傾いている粒子は全体の 10% 程度しかなく、高い配向性が得られている。これらの配向方位を制御した試料におけるイオン伝導度を測定したところ、c 軸配向方向での伝導度が最も高いことを見出し、単結晶の作製が出来ていない本物質においてイオン伝導の優先方位を初めて明らかにした。しかしながら、 $\text{Al}_2(\text{WO}_4)_3$ と比べてその伝導度の異方性は限定的となった。焼結において緻密化不足と組成の不均一も認められることから、微構造をさらに精緻に作り込むことが必要だと考えられる。

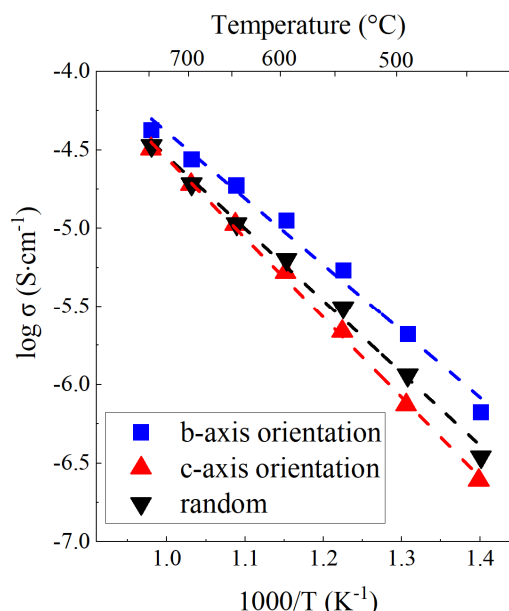


Fig.2 $\text{Al}_2(\text{WO}_4)_3$ での配向方位に依存したイオン伝導度

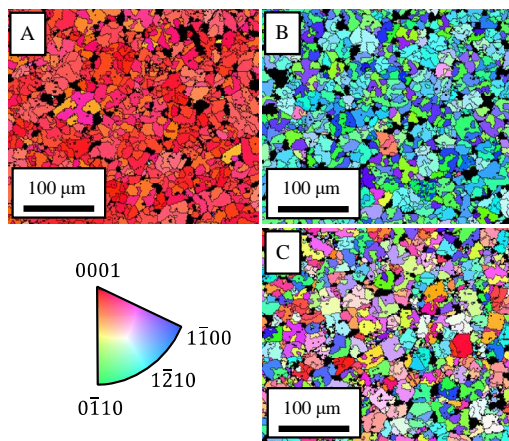


Fig.3 $(\text{Mg}_{0.1}\text{Hf}_{0.9})_{4/3.8}\text{Nb}(\text{PO}_4)_3$ での磁場印加制御による配向方位の作り分け (EBSD による結晶方位解析)

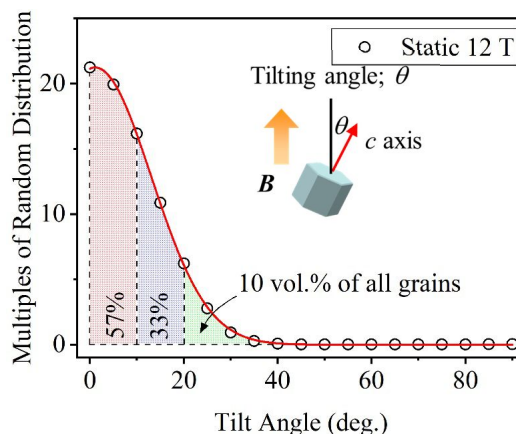


Fig.4 $(\text{Mg}_{0.1}\text{Hf}_{0.9})_{4/3.8}\text{Nb}(\text{PO}_4)_3$ での静磁場配向における c 軸と試料垂直方向の角度分布

Fig.5 には配向制御した試料において測定した熱膨張を示す。a 軸配向方向では負の熱膨張係数を持ち、c 軸配向方向では正の値となり、ランダム試料では負の熱膨張を持つことを確認した。これは高温 X 線回折から求めた各軸における熱膨張係数と整合する傾向となり、多結晶体であっても結晶配向制御を行うことで、軸方向に依存した熱膨張を得ることが可能であることを明らかにした。この結果より配向した c 軸を傾げることにより負から正までの任意の熱膨張特性に制御可能であることを示し、磁場の印加方向を自在に調整することが可能であることから結晶配向方位を任意に傾げることによって NASICON 型化合物のバルク材としての特定方向における熱膨張を効果的に制御できることを提唱した。これは、電池セル等のデバイス化における共焼結時や熱サイクルによる不整合性を起因とする微少亀裂抑制手法の一つとなる。

MgZr₄(PO₄)₆ 粒子は pH を調整して前駆体を合成し、煅焼により作製した。pH ~1.1 では 1000°C で不純物相の ZrP₂O₇ の生成が確認されたが、pH ~10.1 では不純物相の生成が確認されなかったことから、pH 条件の変更によって副相の生成を抑制できることが示唆された。

Fig.6 には MgZr₄(PO₄)₆ 煅焼後合成粒子の外観観察を示す。200nm 程度の粒子を合成できたが、スケールアップに向けた合成条件では粒子同士がネックを形成して凝集しており、この粒子では磁場中スリッキャストでの成形を行っても結晶配向制御をすることができなかった。そこで、遊星型ボールミルを用いた粉砕処理を行った後で、スラリーを調整し磁場中成形、焼結を行った。

焼結は放電プラズマ焼結 (SPS) を用いて 1150°C、10 分保持、100MPa 荷重にて行った。この焼結条件においても完全に緻密化することが難しく、さらなる焼結条件の最適化を行う必要がある。

Fig.7 には MgZr₄(PO₄)₆ における静磁場、回転磁場、無磁場中での成形後に焼結した試料の XRD 結果を示す。静磁場を用いた場合には c 軸が配向していることを確認し、c 軸が磁化容易軸であることを明らかにした。しかし、回転磁場を用いた場合には a 軸と b 軸の配向が混合していた。これは、a 軸と b 軸の格子定数の値が非常に近く、磁化率がほぼ同じだと推測され、a 軸と b 軸とが区別されずに配向されたものと考えられる。

MgZr₄(PO₄)₆ 配向試料において伝導度測定を行ったところ c 軸一軸配向試料で最も伝導度が低く、回転磁場を使用した a 軸、b 軸配向となる試料での伝導度が高くなったが、この場合においてもその異方性は小さかった。この場合にも、さらなる緻密化が必要となる。

以上のように多価イオンのイオン伝導体において、伝導イオン種が Al³⁺ または Mg²⁺ となり、また伝導機構が 2 次元ネットワークと 3 次元ネットワークとなる物質に着目し、結晶方位を揃える結晶配向が伝導性に及ぼす影響について検討した。

2 次元ネットワーク伝導機構となる Al₂(WO₄)₃ の場合には伝導種が 3 価のイオンであっても配向することにより伝導特性を向上させることが可能であることを示した。3 次元ネットワーク伝導機構の場合においても伝導性に結晶軸依存性があることを見出したが、結晶構造が NASICON 型であっても β-硫酸鉄型であってもその伝導度異方性は小さかった。これは緻密性が低かったことと、焼結中における組成の不均一性も原因であると考えられ、今後さらに焼結性を向上させることで、伝導度の絶対値も向上させて異方性への影響を検討する必要がある。

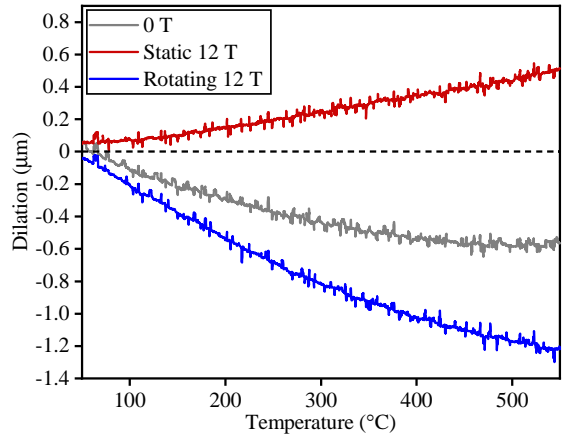


Fig.5 (Mg_{0.1}Hf_{0.9})_{4/3.8}Nb(PO₄)₃ における熱膨張の配向方位依存性

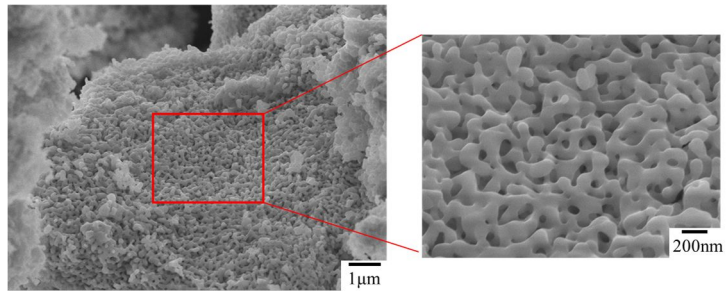


Fig.6 MgZr₄(PO₄)₆ 合成粒子の SEM 像

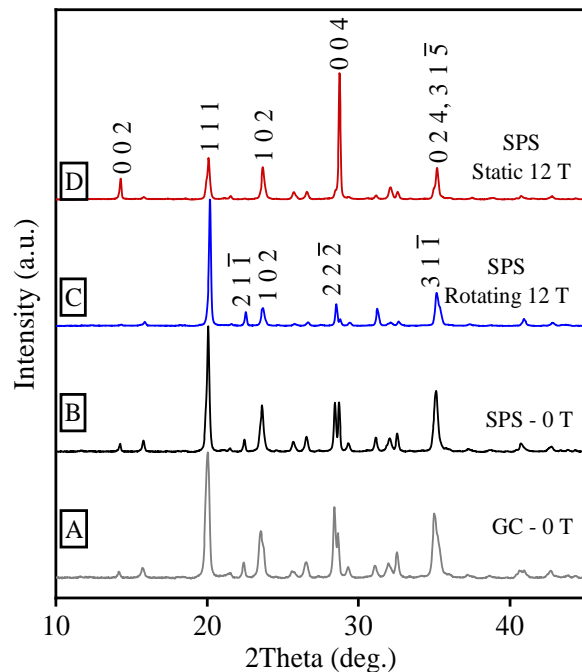


Fig.7 MgZr₄(PO₄)₆ の磁場中および無磁場中成形後焼結体の XRD 結果。(A) 無磁場成形体、(B) 無磁場成形後 SPS 焼結、(C) 回転磁場中成形後 SPS 焼結、(D) 静磁場中成形後 SPS 焼結。

これは緻密性が低かったことと、焼結中における組成の不均一性も原因であると考えられ、今後さらに焼結性を向上させることで、伝導度の絶対値も向上させて異方性への影響を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 KOBAYASHI Kiyoshi、SUZUKI Tohru S.	4. 巻 90
2. 論文標題 Extended Distribution of Relaxation Time Analysis for Electrochemical Impedance Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 017004 ~ 017004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5796/ELECTROCHEMISTRY.21-00111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 FUKUSHIMA Kenta、SUZUKI Tohru S.、OZBILGIN Cem Eren、KOBAYASHI Kiyoshi、ABE Hiroya、SUZUKI Yoshikazu	4. 巻 130
2. 論文標題 pH-controlled synthesis and spark plasma sintering of fine and homogeneous MgZr ₄ (PO ₄) ₆ powder	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 243 ~ 248
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2109/JCERSJ2.21149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ozbilgin Cem E.、Kobayashi Kiyoshi、Tamura Shinji、Imanaka Nobuhito、Suzuki Tohru S.	4. 巻 48
2. 論文標題 Anisotropic thermal expansion and ionic conductivity of a crystal-oriented, Mg ²⁺ -conducting NASICON-type solid electrolyte	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 10733 ~ 10740
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ceramint.2021.12.289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ozbilgin Cem E.、Kobayashi Kiyoshi、Tamura Shinji、Imanaka Nobuhito、Suzuki Tohru S.	4. 巻 104
2. 論文標題 Enhanced ionic conductivity of aluminum tungstate by crystallographic orientation in a strong magnetic field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 6364 ~ 6372
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jace.18001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Kiyoshi, Hirai Kenya, Uchikoshi Tetsuo, Sakka Yoshio, Akashi Takaya, Suzuki Tohru S.	4. 巻 6
2. 論文標題 Production of crystal-oriented lanthanum silicate oxyapatite ceramics with anisotropic electrical conductivity and thermal expansion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Open Ceramics	6. 最初と最後の頁 100100 ~ 100100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceram.2021.100100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KOBAYASHI Kiyoshi, SUZUKI Tohru S.	4. 巻 89
2. 論文標題 Free Analysis and Visualization Programs for Electrochemical Impedance Spectroscopy Coded in Python	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 218 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Le Tonquesse Sylvain, Hassam Christopher, Michiue Yuichi, Matsushita Yoshitaka, Pasturel Mathieu, Mori Takao, Suzuki Tohru S., Berthebaud David	4. 巻 846
2. 論文標題 Crystal structure and high temperature X-ray diffraction study of thermoelectric chimney-ladder FeGe (~1.52)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 155696 ~ 155696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.155696	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 SUZUKI Tohru S.	4. 巻 128
2. 論文標題 Advanced control of crystallographic orientation in ceramics by strong magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1005 ~ 1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20176	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Kiyoshi, Suzuki Tohru S.	4. 巻 59
2. 論文標題 Theoretical modelling of electrode overvoltage for an all-solid-state electrochemical device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SIIG04 ~ SIIG04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab78e6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 NAKANO Hiromi, SUZUKI Tohru, KAN Akinori	4. 巻 67
2. 論文標題 Fabrication and Anisotropic Electrical Property for Oriented Ceramic of Li-(Nb,Ta)-Ti-O System under High-magnetic Field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 208 ~ 212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.67.208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KOBAYASHI Kiyoshi, SUZUKI Tohru S.	4. 巻 88
2. 論文標題 Development of Impedance Analysis Software Implementing a Support Function to Find Good Initial Guess Using an Interactive Graphical User Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 39 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.19-00058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki Tohru S., Takahashi Satoshi, Uchikoshi Tetsuo, Ishigaki Takamasa, Kobayashi Kiyoshi	4. 巻 60
2. 論文標題 Anisotropic Electric Conductivity and Battery Performance in C-axis Oriented Lanthanum Silicate Oxyapatite Prepared by Slip Casting in a Strong Magnetic Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1949 ~ 1953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.Y-M2019832	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KOBAYASHI Kiyoshi, SUZUKI Tohru S.	4. 巻 88
2. 論文標題 Development of Impedance Analysis Software Implementing a Support Function to Find Good Initial Guess Using an Interactive Graphical User Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 39 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.19-00058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Kiyoshi, Suzuki Tohru S.	4. 巻 59
2. 論文標題 Theoretical modelling of electrode overvoltage for an all-solid-state electrochemical device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SI1G04 ~ SI1G04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab78e6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Kiyoshi, Suzuki Tohru S.	4. 巻 102
2. 論文標題 Growth of small GeO ₂ single crystals on a polyvinyl chloride substrate at room temperature using oversaturate aqueous solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 12 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki
2. 発表標題 Multi-dimensional orientation in ceramics by external fields
3. 学会等名 8th International Congress on Ceramics (ICC8) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. S. Suzuki, S. Azuma, T. Uchikoshi, K. Yoshida
2. 発表標題 Alignment of tubal pores in textured ceramics by magnetic-field assisted colloidal processing
3. 学会等名 THERMEC2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木達、東翔太、打越哲郎、吉田克己
2. 発表標題 強磁場を用いた細孔および結晶方位を配向制御したB4C の創製
3. 学会等名 日本セラミックス協会秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長瀬敦資、清野肇、打越哲郎、鈴木達
2. 発表標題 強磁場を用いた高強度多層配向アルミナの創製
3. 学会等名 日本セラミックス協会秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki
2. 発表標題 Fabrication of transparent polycrystalline ceramics by colloidal processing and SPS
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木達
2. 発表標題 強磁場を用いたバルクセラミックスの微構造制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会九州支部秋季研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. S. Suzuki, S. Azuma, T. Uchikoshi, K. Yoshida
2. 発表標題 Alignment of tubal pores in textured ceramics by magnetic-field assisted colloidal processing
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM 14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. S. Suzuki, S. Azuma, T. Uchikoshi, K. Yoshida
2. 発表標題 Alignment of tubular pores in B4C by magnetic-field assisted colloidal processing
3. 学会等名 European Ceramics Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki
2. 発表標題 Fabrication of transparent polycrystalline ceramics by colloidal processing and SPS
3. 学会等名 GFMAT-2 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki
2. 発表標題 Crystallographic orientation control in ceramics by external fields
3. 学会等名 PacRim-13 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru S. SUZUKI, Kiyoshi KOBAYASHI
2. 発表標題 Control of crystallographic orientation in ceramics by external fields
3. 学会等名 The 36th International Japan-Korea Seminar on Ceramics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki, Koji Morita, Byung-Nam Kim
2. 発表標題 Fabrication of Transparent Ceramics by Colloidal Processing and SPS
3. 学会等名 Material Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru S. Suzuki
2. 発表標題 Orientation control in ceramics by external fields
3. 学会等名 ICACC2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 義和 (SUZUKI Yoshikazu) (40357281)	筑波大学・数理物質系・准教授 (12102)	
研究分担者	田村 真治 (TAMURA Shinji) (80379122)	大阪大学・工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	小林 清 (KOBAYASHI Kiyoshi) (90357020)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員 (82108)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------