

令和 4 年 5 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H03394

研究課題名(和文)フラッシュ焼結の素過程抽出とメカニズム解明

研究課題名(英文)Flash-sintering: its atomistic process and mechanism

研究代表者

吉田 英弘 (Yoshida, Hidehiro)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：80313021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フラッシュ焼結の技術的展開を見据えた、高速・低温焼結の素過程抽出とメカニズム解明を、先端ナノ計測に基づく独自のアプローチにより図った。その結果、強電場下で導入される独自の点欠陥構造や原子拡散促進を解析し捉えることに成功し、高速・低温焼結の素過程とそのメカニズムを明らかにした。またその基礎基盤知見に基づき、難焼結性酸化物セラミックスの高密度化(透光性獲得)、また高速・低温化に向けた技術的指針も得た。こうした学術的知見はセラミックス産業がSDG'sやカーボンニュートラルといった社会的要請に応えるための道筋をもたらすものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フラッシュ焼結は研究開始当初から、セラミックスの新たな高速・低温焼結技術として世界的に注目されていた。本研究において見いだされたアクセプター・ドナー微量添加、および電場・電流波形制御による焼結性向上は、極めて重要な基礎的知見である。本研究ではそれら効果の機構についても解明しており、当該分野の学術的進展をもたらした。とりわけ、波形効果に関しては従来の研究においても必ずしも系統的な調査はなされておらず、本研究で見いだされた焼結挙動の周波数依存性およびその説明は世界的にも当該分野の先駆けとなった。さらに、本研究で得られた知見はカーボンニュートラル社会の実現に向けた技術基盤をもたらすものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have attempted to extract the atomistic processes and elucidate the mechanisms of high-speed and low-temperature sintering through the original approach based on advanced nano-structural analysis, with a view to technological development of flash sintering. As a result, we succeeded in analyzing and capturing the unique point defect structures and atomic diffusion enhancement introduced under a strong electric field, and clarified the atomistic processes and mechanisms of the high-speed and low-temperature sintering. Based on this fundamental knowledge, we also obtained technical guidelines for increasing the density of low-sinterability oxide ceramics (with translucency) and for achieving high-speed and low-temperature sintering. These academic findings will show the way for the ceramics industry to respond to social demands such as SDG's and carbon neutrality.

研究分野：セラミック材料学

キーワード：電場支援焼結技術 フラッシュ焼結 セラミック 粒界 物質輸送

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、セラミックスの焼結緻密化を促進させ、従来の焼結技術よりも低温・短時間でセラミックス緻密体を得る新たな焼結法として、電流・電場の効果を利用した手法が注目されている。圧縮応力下で直流パルス通電によりカーボンダイス中の粉末を直接加熱するパルス通電加圧焼結法(または放電プラズマ焼結;SPS)や、粉末成型体に直流電場を印加する FAST(Field-assisted sintering)はその代表例である。さらに 2010 年、粉末成型体を大気炉中で加熱しながら直流高電圧を印加することにより、通常よりも低温かつ 10 秒以下の短時間で焼結緻密化が完了するフラッシュ焼結(Flash sintering)が Raj(コロラド大ポウルダー)らによって報告された。例えば  $Y_2O_3$  安定化正方晶  $ZrO_2$ (Y-TZP)において、大気中・無加圧で 120V/cm の直流電場を粉末成型体に印加すると、850°C という低温において緻密化がスタートし、わずか 5 秒で緻密化が完了する(M. Cologna *et al.*, *J. Am. Ceram. Soc.*, 93 (2010) 3556)。通常の無加圧・大気中焼結では、原料粉末の焼結緻密化のためには 1400~1500°C の温度を 2 時間以上保持する必要がある。すなわち、フラッシュ焼結はセラミックス焼結プロセスの時間および温度を大幅に低減するものであり、革新的な省エネルギー化に寄与すると期待されている。現在欧米では盛んに基礎研究が進められ、これまでに  $Al_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$  などの様々なセラミックにおいてフラッシュ焼結の発現が確認されている。特に 2014 年以降、論文発表件数が増加傾向を示している。2016 年 3 月には第一回国際会議が開催され、当該分野への関心が急速に高まっている。

フラッシュ焼結の急激な緻密化のメカニズムは、試料に投入される電力由来のジュール熱による急激な上昇と関連付けられてきた(R. Todd *et al.*, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 35 (2015) 1865)。一方、研究代表者および連携研究者は、高分解能透過型電子顕微鏡法(HRTEM)観察と電子線エネルギー損失分光(EELS)分析を用いたナノ計測により、 $Y_2O_3$  や  $BaTiO_3$  においてフラッシュ焼結に伴い酸素イオン欠陥濃度が増加すること(H. Yoshida *et al.*, *J. Ceram. Soc. Japan*, 124 (2016) 388, H. Yoshida *et al.*, *Acta Mater.*, 106 (2016) 344)、また Y-TZP において、高電圧の印加によって一部が窒化すること(N. Morisaki *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 109 (2016) 083104)を世界に先駆けて見出した。これらの結果は、高電圧下で酸化物内部に強還元状態が作り出されたことを意味している。Raj らの研究グループにおいても、高純度  $Al_2O_3$  への微量  $MgO$  添加によってフラッシュ焼結が発現すること(M. Cologna *et al.*, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 31 (2011) 2827)、TZP において強電場印加時に母相とは異なる相が出現すること(J.-M. Lebrun *et al.*, *J. Am. Ceram. Soc.*, 98 (2015) 1493)などの事実を報告している。これらの結果は、ジュール加熱のみではフラッシュ焼結のメカニズムを説明できず、点欠陥・キャリア生成がフラッシュ焼結の発生源に重要な役割を果たしていることを示している。つまり強電場印加で生じる温度効果以外の素過程現象について物理的描像を得ることこそが、フラッシュ焼結を理解し、プロセスの高度化や新規物質創製のために必須であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本応募研究では、各種機能・構造酸化物系セラミックスを対象とし、フラッシュ焼結の基礎データを系統的な焼結パラメータ制御のもとで蓄積すると共に、フラッシュ焼結に伴う微細組織形成過程を追跡した。特に、粒界形成から緻密化過程における点欠陥生成、物質輸送、相変態などの素過程現象を明らかにし、それらに及ぼすドーピング効果・雰囲気効果を実験的に検証することで、フラッシュ焼結プロセスの物理的描像を得ることを第一の目的とした。さらにこの基礎的知見をもとに、フラッシュ焼結を利用したセラミックスの微細組織制御のための理論的指針を構築し、革新的な省エネルギー化を実現する焼結プロセスの確立を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、代表的な構造・機能酸化物系セラミックスを対象とし、焼結パラメータである温度・電場強度・制限電流を制御してフラッシュ焼結の発現条件と緻密化挙動に関する基礎データの蓄積を行う。またフラッシュ焼結の素過程現象の解明のため、アクセプター/ドナー添加および酸化/還元雰囲気制御がフラッシュ焼結に及ぼす影響を調べると共に、微細組織形成過程を透過型電子顕微鏡法を中心としたナノ計測により明らかにする。特に、電場印加に伴って生じる欠陥構成の変化、エレクトロマイグレーションの発生、界面における相変態(気/固/液相の変化、窒化物等の新規物質生成も含む)など電場印加に伴う微細組織変化を明らかにする。このように、未だ不明の点が多いフラッシュ焼結の素過程にナノ計測の立場から光を当てること、フラッシュ焼結を利用したセラミックスの微細組織制御のための理論的指針、さらには革新的な省エネルギー化を実現する焼結プロセスの確立が図られるものと期待される。

### 4. 研究成果

まず本研究では、フラッシュ焼結その場観察のための光学系の整備、印加する電場・電流の波形制御およびデータ収集システムの構築を経て、フラッシュ焼結実験に関する良好なデータ取得技術を確立した。具体的には主要焼結パラメータである温度、電場、電流に加えて、印加する電界の直流/交流/波形/周波数が及ぼすフラッシュ焼結挙動への影響について実験的検証を進め、均一かつ高密度の微細組織を得る上で明確な周波数依存性を世界に先駆けて見出すことに寄与した。こうした設備

は少なくとも国内には前例は無く、ここで得られた技術的ノウハウは当該分野の発展に極めて重要である。

ジルコニア ( $ZrO_2$ ) やハイドロキシアパタイト、イットリア ( $Y_2O_3$ ) といった様々な酸化物セラミックスを対象として基礎データの収集を図ると共に、フラッシュ焼結により得られる多結晶試料について、通常焼結と比較したときの電場印加に伴って生じる粒界形状、相変態挙動の変化等を調査した。フラッシュ焼結体について、通常焼結と比較したときの電場印加に伴って生じる粒界、相変態、内部ひずみの変化を調査し、特に粒界における原子構造や点欠陥構造を知るための HRTEM・STEM 観察、EELS 等各種分光計測を行った。さらに、 $Y_2O_3$  のフラッシュ焼結に対するアクセプター/ドナー微量添加効果を系統的に調査し、高密度化の指導原理を得た。実際、適切な添加元素を用いることで、透光性を帯びた  $Y_2O_3$  焼結体を得ることが出来た。これまでに研究代表者らは、 $Y_2O_3$  をはじめ様々な酸化物セラミックスにおいて、その焼結性や高温変形挙動に及ぼす微量添加効果を系統的に調査し、それが添加元素のイオン価数とイオン結合性によって決まることを突き止めてきた。これに

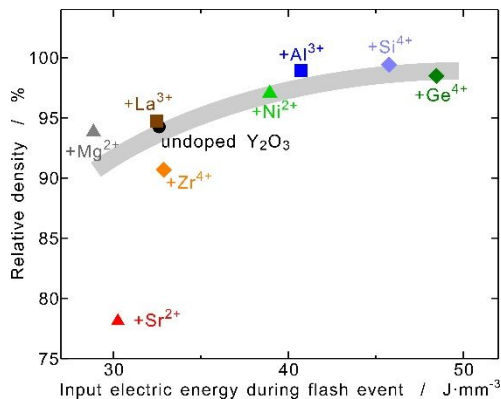


図 1 1mol%アクセプター/ドナー添加  $Y_2O_3$  のフラッシュ焼結実験における、投入電力量と焼結体の相対密度の関係[1]。

対し、フラッシュ焼結実験におけるフラッシュ現象発現温度に対する効果は非常に複雑であり、むしろ添加元素が酸化物を形成する時の電気伝導率に相関があった。また、投入電力量の詳細な検討をふまえて、高密度化には電力をいかに効率的に投入できるかが重要であることを明らかにした。フラッシュ焼結中の投入電力量と材料の最終密度を図 1 に示す[1]。Si や Ge の添加によって高い電力を投入することが出来、最終的な焼結体の相対密度も 100% 近いものが得られている。このことは、材料の電気伝導率と関係しており、材料の電気伝導率を微量添加によって適切に制御することでフラッシュ焼結により高密度体を得ることができるという新たな理論的指針をもたらす結果である。

加えて特筆すべき成果の一つは、交流電場を用いたフラッシュ焼結における、高密度化の指導原理を見出した点にある。透光性を帯びた高密度  $Y_2O_3$  多結晶体を、通常焼結よりも数百度低温かつ 1 分という短時間で得ることが可能であることを示した[2]。ホール伝導体とされる  $Y_2O_3$  においては、その電気伝導率の温度依存性やフラッシュ焼結挙動に複雑な周波数依存性が見いだされたが、その起源を消費電力の立場から、試料の電流応答波形の詳細な解析を通して初めて解明した。こうした解析は、フラッシュ焼結に関する従来研究では考慮されてこなかった点であり、非常に独創性の高い知見であると言える。さらに原子配位や点欠陥構造を XRD・XPS・HRTEM・STEM・EELS 等によって多面的に調査し、通常の大気中での焼結では見いだされない非平衡構造が強電場下で導入されることを明らかにした。実際、 $ZrO_2$  セラミックスにおいても高温塑性流動試験においても、これを支持する結果が得られており、多くの従来研究で指摘されてきたフラッシュ焼結における熱的效果に重畳する形で非熱的效果が存在することを示せた。フラッシュ焼結の起源として有力な考え方は熱暴走メカニズムであるが、本研究を通して、フラッシュ焼結で非平衡構造が導入されること、それが酸素欠陥に関連する点欠陥であること、つまり非熱的效果の重要性を明らかにした。このことは、フラッシュ焼結における物質輸送促進のメカニズムとも直結する新たな展開をもたらすと期待される。

技術的な面においては他に、ハイドロキシアパタイトのような絶縁性の高いセラミックスにおける、フラッシュ焼結を含む電場の働きを利用した高密度化の方法論を見出した。すなわち、誘電体である  $BaTiO_3$  やハイドロキシアパタイトのような絶縁性の高い酸化物においては、従来技術のように一定の電圧を印加し続ける制御手法では、サージ電流を発生させやすい。こうした材料に対してサージが起こると、局所的な電流パスが形成され、その電流パス近傍でのみ緻密化が進行することになる。そこでサージ電流の発生しないような制御技術が求められ、実際高密度ハイドロキシアパタイトの作製に成功した。このように、本研究によりセラミックスの高密度化のための指針を構築することができた。さらに基礎研究を積み上げていくことで、カーボンニュートラルや SDG's といった社会的要請に応えるべく、革新的な省エネルギー化を実現する焼結プロセスの確立が図られるものと期待される。

#### < 引用文献 >

[1] H. Yoshida, H. Hayasaka, K. Soga, K. Morita, B.-N. Kim, T. Yamamoto, "Doping effect on the flash sintering of  $Y_2O_3$ : Promotion of densification and optical translucency", *J. Eur. Ceram. Soc.*, **40** (2020) 6053-6060.

[2] K. Nambu, K. Morita, K. Soga, T. Yamamoto, H. Masuda, H. Yoshida, "Densification of  $Y_2O_3$  by flash sintering under an AC electric field", *J. Eur. Ceram. Soc.*, **42** (2022) 567-575.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 1. Yamato Sasaki, Koji Morita, Takahisa Yamamoto, Kohei Soga, Hiroshi Masuda, Hidehiro Yoshida	4. 巻 194
2. 論文標題 Electric current dependence of plastic flow behavior with large tensile elongation in tetragonal zirconia polycrystal under a DC field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 113659
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scriptamat.2020.113659	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 Hidehiro Yoshida, Hitoshi Hayasaka, Kohei Soga, Koji Morita, Byung-Nam Kim, Takahisa Yamamoto	4. 巻 40
2. 論文標題 Doping effect on the flash sintering of Y2O3: promotion of densification and optical translucency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 6053-6060
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jeurceramsoc.2020.06.041	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 吉田英弘, 山本剛久	4. 巻 55
2. 論文標題 電場支援焼結における電場・電流効果の学理に向けて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 37-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/materia.59.37	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 Yoshida Hidehiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Fundamentals of Sintering: Theory and Practice I. Various Sintering Methods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 570 ~ 575
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/materia.58.570	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 Yoshida Hidehiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Fundamentals of Sintering: Theory and Practice ?II. Densification Kinetics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 677 ~ 683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.58.677	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 Yoshida Hidehiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Theory and Practice . Densification Behavior of Multi-particle Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 782 ~ 788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.58.782	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 Yoshida Hidehiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Fundamentals of Sintering: Theory and Practice . Development of Electric Current-assisted Sintering Techniques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 37 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.59.37	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 Yamashita Yudai、Itoh Asa、Tokunaga Tomoharu、Yoshida Hidehiro、Yamamoto Takahisa	4. 巻 13
2. 論文標題 Blue photoluminescence at room temperature from Y2O3-doped ZrO2 polycrystals sintered by flash sintering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 035506 ~ 035506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab7710	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 Morisaki Nobuhiro, Yoshida Hidehiro, Kobayashi Tetsuro, Tokunaga Tomoharu, Yamamoto Takahisa	4. 巻 101
2. 論文標題 Intergranular amorphous films formed by DC electric field in pure zirconia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 3282 ~ 3287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.15485	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 Nambu Kohta, Morita Koji, Soga Kohei, Yamamoto Takahisa, Masuda Hiroshi, Yoshida Hidehiro	4. 巻 42
2. 論文標題 Densification of Y2O3 by flash sintering under an AC electric field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 567 ~ 575
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2021.10.029	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24件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 フラッシュ現象を利用したTZPセラミックスの低温・高速速塑性流動
3. 学会等名 第167回超塑性研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 強電界下におけるセラミックスの高温物質輸送現象 新たなセラミックスプロセスの開拓
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 強電界下でのセラミックスの物質輸送現象
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yoshida
2. 発表標題 Electroplasticity and shaping
3. 学会等名 DFG Summer School on Electric and Magnetic Field-assisted Processing of Inorganic Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yoshida
2. 発表標題 Superplastic forming of oxide ceramics enhanced by strong electric field
3. 学会等名 Materials Science and Engineering (MSE) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yoshida, Y. Sasaki, T. Yamamoto
2. 発表標題 Superplastic forming of oxide ceramics enhanced by strong electric field
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramics Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Yoshida, Y. Sasaki, T. Yamamoto
2. 発表標題 Electric field-activated superplastic deformation in tetragonal zirconia polycrystals
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田英弘, 山本剛久
2. 発表標題 通電支援焼結における電場 / 電流効果とは
3. 学会等名 第24回通電焼結研究会 通電焼結プロセスによる材料研究の新展開 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南部洸太, 早坂仁志, 森田孝治, 曾我公平, 山本剛久, 吉田英弘
2. 発表標題 フラッシュ焼結により製造された無添加およびSi <sub>4</sub> +添加イトリア多結晶体の蛍光特性
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度秋季大会 (第124回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木和, 吉田英弘, 曾我公平
2. 発表標題 TZPの低温超塑性変形応力における電場 / 電流効果
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期 (第165回) 講演大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 吉田英弘, 南部洸太, 佐々木和, 山本剛久
2. 発表標題 フラッシュ焼結を利用した多結晶Y2O3蛍光体の作製
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田英弘, 山本剛久
2. 発表標題 フラッシュ焼結とその周辺技術
3. 学会等名 2019年度第1回バルクセラミックスの信頼性に関するワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 フラッシュ焼結の現状と展望
3. 学会等名 日本学術振興会第124委員会第157回会議(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 フラッシュ焼結 原理と周辺技術
3. 学会等名 粉末冶金技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 構造セラミックスの新展開 電場支援プロセスを利用した新たな微構造と機能創製
3. 学会等名 日本学術振興会第176委員会第37回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 電場支援による構造セラミックス材料の創出と新規力学特性
3. 学会等名 第18回 五セラミックス機関（東工大-名工大-JFCC-AIST-NIMS）合同講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshida, T. Yamamoto
2. 発表標題 Field-assisted and flash sintering and processing of oxide ceramics
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit.（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田英弘, 山本剛久
2. 発表標題 フラッシュ焼結によるセラミックスの緻密化と関連技術
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成30年度春季大会（第121回講演大会）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshida, K. Morita, B.-N. Kim, T. Yamamoto
2. 発表標題 Flash-sintering and related phenomena in oxide ceramics
3. 学会等名 the 12th International Symposium on Advanced Processing and Manufacturing Technologies for Structural and Multifunctional Materials and Systems (APMT12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshida, Y. Nakagawa, A. Uehashi, T. Yamamoto
2. 発表標題 Electric-current-controlled synthesis of BaTiO <sub>3</sub> under a high DC electric field at elevated temperatures
3. 学会等名 2018 Conference on Electronic and Advanced Materials (EAM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yoshida, H. Motomura, Y. Sasaki, H. Masuda, T. Yamamoto
2. 発表標題 Flexural deformation in TZP under the occurrence of flash event
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 高温物質輸送現象に基づくセラミックスの組織制御および機能創出
3. 学会等名 日本セラミックス協会2022年年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田英弘
2. 発表標題 フラッシュ焼結の現状と今後の展望 セラミックス通電プロセスの可能性
3. 学会等名 第6回次世代ジルコニアセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yoshida, Y. Sasaki, H. Masuda, K. Morita, T. Yamamoto
2. 発表標題 Electric Field-assisted Plastic Flow in Structural Oxide Ceramics
3. 学会等名 Thermec ' 2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>           マテリアル工学専攻 吉田（英）研究室（構造セラミック材料学）  <a href="http://www.ceramic.t.u-tokyo.ac.jp/">http://www.ceramic.t.u-tokyo.ac.jp/</a>            研究者総覧  <a href="https://samurai.nims.go.jp/profiles/yoshida_hidehiro">https://samurai.nims.go.jp/profiles/yoshida_hidehiro</a>            NIMS Researchers Directry service  <a href="https://samurai.nims.go.jp/profiles/yoshida_hidehiro?locale=en">https://samurai.nims.go.jp/profiles/yoshida_hidehiro?locale=en</a> </p>
--

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

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
---------	---------