

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01704

研究課題名(和文) 新規な光・熱応答性濃厚スラリーの開発と機能性複雑形状セラミックスの高精細造形

研究課題名(英文) Development of new photo/thermo-responsive concentrated slurries for shaping complex and fine structured functional ceramics

研究代表者

飯島 志行 (Iijima, Motoyuki)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号：70513745

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：加温や位置選択的な光照射などの外部刺激によって固化させることができる、セラミックスの原料微粒子が溶剤中に高濃度に懸濁した分散液を設計した。特に、微粒子の表面構造を化学的に設計し、ごく微量の有機添加材で粒子間を架橋することができる新しい固化機構を提案した。設計した分散液の固化挙動の制御因子を明らかにしたうえで、この分散液を活用することで各種材質のセラミックス材料に複雑な形状を付与できることや、セラミックス材料に不可欠な焼成工程を従来法と比較して短縮できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光や熱刺激で固化する分散液の設計を従来手法と比較して圧倒的に少ない有機添加材量で実現できた点、この分散液の固化性を活用して様々なセラミックス材料の複雑形状体が造形でき、セラミックス材料の焼成時間を格段に短縮する手法を構築した点に高い学術的意義がある。これらの成果は、我々の生活や未来社会を支える構造材料、光学材料、センサー材料などを構成する、特異な形状を有するセラミックス材料の効率的な製造技術として社会に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Dispersions which ceramic particles were dispersed into solvents in high concentrations and those can be solidified by external stimuli, such as heating and site selective light irradiation, have successfully designed. A new concept which a small amount of organic additives crosslinks the surface modified particles in the dispersions were proposed. After understanding the control factors of slurry solidification behaviors, it was demonstrated that the designed slurry can be applied for shaping complex structured ceramics and further shorten the sintering process compared to the case of using conventional photo/thermo-responsive slurries.

研究分野：粉体材料プロセス工学

キーワード：セラミックス 刺激応答性スラリー その場固化 高精細造形

様式

C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

光硬化性樹脂中に原料微粒子を高濃度に懸濁させたスラリーを用いたセラミックスの積層光造形や、3Dプリンターで設計した複雑形状鋳型中における濃厚系スラリーのその場固化成形等、セラミックス材料の新しい成形技術が注目されている。これは、従来法では製造できない任意の複雑形状部材を、短い開発期間で生産性よく製造できる期待があるためである。これまでに、上述の手法を中心に Al_2O_3 、 ZrO_2 、 β -TCP を例とした材料で sub-mm スケールの構造を有する複雑形状部材の造形は数多く報告されてきた。しかし、いずれの手法も複雑形状付与に特化した検討が先行し、「微粒子を高濃度分散した樹脂系スラリーを実現する分散剤の選定が経験的である」、「造形用スラリーに多量の光・熱硬化性樹脂が配合されているため、長時間で低速な脱脂焼成工程が強いられる」、「形状付与とセラミックス機能創出のための微構造制御の両立が実現していない」などの課題が壁となり、生産性良く、セラミックスの機能性（強度、靱性や熱伝導率など）を引き出しながら、複雑形状体を製造する実用的手法は実現していないのが現状であった。

2. 研究の目的

上記の課題を受けて本研究では、各種粒子材質に対する応用性に優れ、多成分系スラリーの分散制御も可能であり、樹脂使用量を低減した光・熱硬化性高粒子濃度スラリーの開発をブレイクスルーとして、「バルク体に匹敵する機械的機能を発現する、高精細なセラミックスの三次元複雑構造体を、生産性良く製造するためのプロセッシング手法」の構築を目的とした。

3. 研究の方法

研究代表者はこれまで、粒子材質に寄らずに「多成分・濃厚スラリーの分散」と「スラリー中での粒子集積構造制御」を実現する表面修飾剤としてポリエチレンイミン(PEI)とオレイン酸(OA)の会合体(PEI-OA)を独自に開発してきた[1]。本研究は PEI-OA 会合体で表面処理した粒子間を、少量の多官能アクリレートモノマーにより架橋することでスラリーを固化する新手法を構築する。粒子間の架橋は、PEI とアクリレート間の Michael 付加反応を利用する熱硬化タイプ、およびアクリレート間の光ラジカル反応と Michael 付加とを併用する光硬化タイプを構築する。

(1) 光架橋性スラリーの設計と応用

球形 SiO_2 微粒子(比表面積:12.6 m^2/g)を非水系溶媒中で PEI-OA 会合体を飽和吸着させたうえで高濃度(30~42 vol%)に分散した。非水系溶媒は SiO_2 微粒子と屈折率を合わせてスラリーを透明化する目的で α -terpineol と THF の混合溶媒(55:45 vol%)を用い、OA 会合度は PEI(Mw1800)のモノマーユニット数に対して 15~50 mol%とした。このスラリーにごく少量(粒子に対して 5 wt%)の多官能アクリレート(2, 3~4, および 5~6 官能型)と光重合開始剤を配合することで粒子間光架橋性スラリーを設計した。得られたスラリーの流動特性をレオメータによる流動曲線の測定、光硬化挙動を光照射前後における貯蔵弾性率の変化、光照射による粒子表面状態の変化を FTIR により評価した。また、設計した光架橋性スラリーを用いて、その場光固化成形やステレオリソグラフィによる複雑形状体の造形を試みた。得られた光硬化体を乾燥後、既報より高速(5~20 $^\circ\text{C}/\text{min.}$)な脱脂・焼成(1350 $^\circ\text{C}$, 30 min.)操作を施すことで成形体の透明緻密化を検討した。

(2) 光架橋性スラリーの多種材質への展開

(1)の粒子間光架橋性スラリーの設計概念を Al_2O_3 へ展開した。非水系溶媒(α -terpineol)において PEI-OA(OA 会合度 15~45 mol%)を飽和吸着させながら Al_2O_3 微粒子(比表面積 6.4 m^2/g)を分散(~40 vol%)したスラリーに対して、多官能アクリレート(対粒子~5 wt%)と光重合開始剤を配合することで粒子間光架橋性 Al_2O_3 スラリーを調製した。得られた Al_2O_3 スラリーに紫外光(365 nm, 120 mW/cm^2 , 40 s.)を照射した際に生じる流動曲線の変化挙動を測定することで、スラリーの光硬化性を評価した。また、設計された粒子間光架橋性 Al_2O_3 スラリーについて、光ファイバーを用いたステレオリソグラフィ法[2]により三次元造形したのち、従来手法より高速な(5~10 $^\circ\text{C}/\text{min.}$, 1600 $^\circ\text{C}$)焼成プロファイルで脱脂・焼成操作を施した。

(3) 熱架橋性スラリーの設計と応用

Si_3N_4 微粒子を α -terpineol 中で PEI-OA 会合体を飽和吸着させたうえで高濃度(~37vol%)に分散した。OA 会合度は PEI(Mw1800)のモノマーユニット数に対して 15~45mol%とした。このスラリーにごく少量(2.3 mol/g- Si_3N_4 ; 5~6 官能型の場合は粒子に対して 1.3 wt%に相当)の多官能アクリレート(2, 3~4, および 5~6 官能型)を配合することで粒子間熱架橋性スラリーを設計した。設計したスラリーをシリコン製鋳型に注型し、40 $^\circ\text{C}$ で最大 2 時間静置することで固化した。得られたスラリーの熱硬化挙動を、加温条件下におけるスラリーの目視観察や貯蔵弾性率の変化により評価した。また、本スラリーの設計概念を Si_3N_4 微粒子と焼結助剤微粒子(Y_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , AlN)を含む多成分系スラリーに応用し、複雑形状体をその場固化成形した。得られた成形体は乾

燥、脱脂後、1750 °C (0.9MPa N₂, 途中 1400°C で 2h.保持)の条件で液相焼結することにより緻密化した。

4. 研究成果

(1) 光架橋性スラリーの設計[3]

図 1 には、光架橋性スラリーの外観、流動曲線、光照射前後における貯蔵弾性率変化の様子を示す。また、光照射後のスラリーから粒子を遠心分離し、溶剤で十分に洗浄後、乾燥することで得た粒子の FTIR 測定結果も併せて示す。溶媒の屈折率制御に伴って、スラリーに高い透明性を付与できることが確認された。また、スラリーの流動曲線ではいずれの粒子濃度においても、せん断速度の上昇と下降過程の間でヒステリシスは認められず、せん断により崩壊する粗大な凝集体が存在しない、分散性の高い濃厚系スラリーが設計できた。このスラリーに紫外光を照射すると、照射後まもなくスラリーの貯蔵弾性率が著しく増大し、スラリーが光硬化することが認められた。スラリーの粒子濃度が高いほど光照射に対する応答性と貯蔵弾性率の増大幅が大きいことも認められ、平均粒子間距離が縮まるに従って、より効果的にスラリーが光硬化することが確認された。光照射前後のスラリーから粒子を回収し、その界面構造を FTIR により評価したところ、光照射後に多官能アクリレート由来のカルボキシル基に帰属される吸収が増大していた。さらに、光硬化体の破断面を SEM により観察したところ、粒子間に繊維様構造が生成している様子も確認されていることから、多官能アクリレートによって粒子間が架橋されたものと考えられる。この光硬化性を活用して、シリコン鋳型中におけるその場光硬化プロセスやステレオリソグラフィ法によって、cm スケールの厚みを有する成形体や、数 10 μm オーダーの微細構造を有する複雑形状成形体が造形可能であった(図 2)。図 3 には粒子間光架橋性スラリーの光硬化体を脱脂・焼成した様子を示す。スラリーに配合された多官能アクリレート量が極めて少ないことに起因して、本スラリーから得られた硬化体は 5~20 °C/min. の高速条件で脱脂・焼成を施しても、構造崩壊を引き起こすことなく透明緻密化が可能であった。さらに、得られた SiO₂ ガラス焼結体は高い直線透過率を有しており、曲げ強度(84MPa)、ビッカース硬さ(9.66 GPa)ともに既報と同等の物性値を有していることも確認された。本研究で開発が実現した粒子間光架橋性スラリーは、従来の光硬化性スラリーと比較して樹脂使用量が格段に少ない点に特徴があり、造形体の構造を維持しながら脱脂・焼成工程を大きく削減できる点に主要なインパクトがある。

(2) 光架橋性スラリーの他材質への展開性実証[4]

(1)で構築した光架橋性 SiO₂ スラリーの

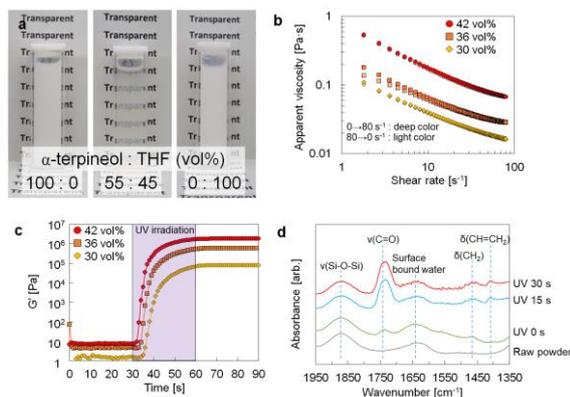


図 1 粒子間光架橋性 SiO₂ スラリーの(a)外観、(b)流動曲線、(c)光照射前後における貯蔵弾性率、および(d)SiO₂ 粒子の FTIR スペクトル(文献[3]より転載, CC-BY-4.0)

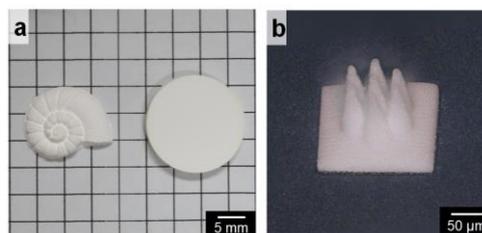


図 2 粒子間光架橋性 SiO₂ スラリーを用いた(a)その場光硬化プロセスおよび(b)ステレオリソグラフィ法により得られた造形体(文献[3]より転載, CC-BY-4.0)

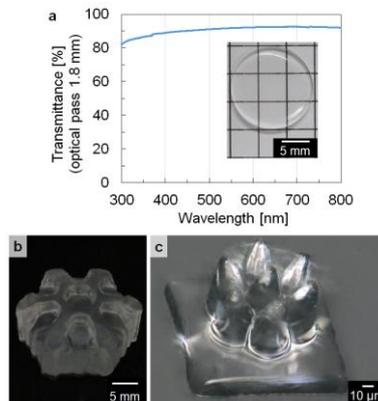


図 3 (a) SiO₂ 焼結体の概観と直線透過率および(b)(c)複雑形状 SiO₂ 焼結体の概観(文献[3]より転載, CC-BY-4.0)

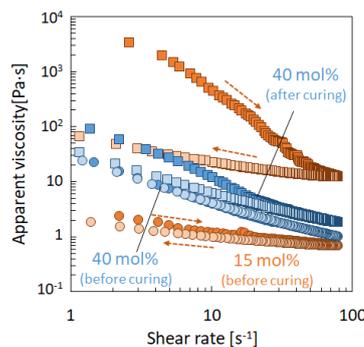


図 4 粒子間光架橋性 Al₂O₃ スラリーの光照射前後における流動曲線

設計概念を Al_2O_3 に応用した。図 4 には検討の一例として、異なる OA 会合度の PEI-OA を用いて調製した 35vol% Al_2O_3 スラリーと、このスラリーに紫外光を照射して部分硬化させたスラリーの流動曲線を示す。照射前のスラリーについては、いずれの OA 会合度の PEI-OA を用いた系においても、せん断速度の上昇と下降過程で流動曲線にヒステリシス性は認められず、(1)の系と同様にせん断により崩壊する粗大な凝集体が存在しないスラリーが得られた。また、OA 会合度が 40 mol%の方が 15 mol%の系と比較して粘度が相対的に高く、OA 会合度によって溶剤に対する粒子界面の親和性が異なることが示唆された。これらのスラリーに紫外光を照射したところ、OA 会合度が 40 mol%の系では粘度がわずかに増大した一方で、OA 会合度が 15 mol%の系では粘度が大きく増大したうえ、流動曲線に顕著なヒステリシス性も発現し、スラリーが効果的に光硬化することが明らかになった。後者のスラリー中に光ファイバーを介して位置選択的に照射したところ[2]、図 5 に示すような微細構造を有する立体造形が可能であり、従来の光硬化性スラリーを利用した場合と比較して高速な焼成条件(5~10 °C/min., 1600 °C, 2 h.)を経ても、造形物の形態を崩壊させることなく焼結緻密化させることにも成功した。

(3) 熱架橋性スラリーの設計[5]

図 6 には、 Si_3N_4 微粒子を用いた熱架橋性スラリーの設計において多官能アクリレートの官能基数がスラリーの硬化挙動に及ぼす影響を評価した事例を示す。40 °C でスラリーを静置し、所定時間後に鋳型を立てかけたところ、1 官能アクリレートを配合した系では時間経過とともにスラリーの流動性が向上した一方で、多官能アクリレートを配合した系ではスラリーが徐々に増粘する様子が観察され、官能基数の増大に伴ってスラリーの硬化性が向上することが明らかとなった。特に、5~6 官能アクリレートを配合した系においては、2 時間の静置後にスラリーが脱型可能なほどに硬化した。また、スラリーの貯蔵弾性率の経時変化を評価したところ、目視観察と同様に、1 分子当たりの官能基数の多い多官能アクリレートを配合した系で貯蔵弾性率がより効果的に増大する様子が確認された。硬化体の断面を SEM により観察したところ、粒子間に架橋様構造の生成が確認され、多官能アクリレートによって PEI-OA で修飾された粒子間が架橋されたものと考えられる。これらの知見に基づいて、5~6 官能アクリレートをを用いて Si_3N_4 微粒子に焼結助剤を加えた多成分熱架橋性スラリーを調製した。このスラリーをシリコン鋳型中でその場固化させたのち、液相焼結を施した焼結体の外観、構成相および微構造を図 7, 8 に示す。鋳型構造を反映した外観を有し、針状 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 粒子、粒界ガラス相、TiN ナノ粒子(TiO_2 由来、図 8(b)中の矢印)からなる緻密体(相対密度

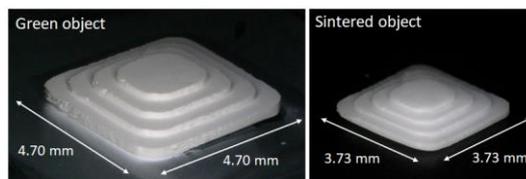


図 5 粒子間光架橋性 Al_2O_3 スラリーから作製した(左)造形体と(右)焼結体(文献[4]より転載)

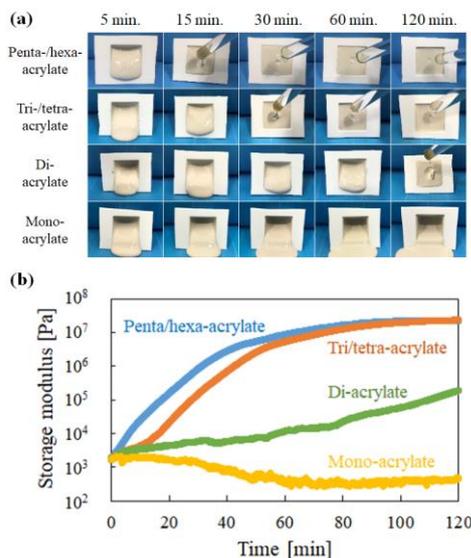


図 6 異なる多官能アクリレートをを用いて調製した粒子間熱架橋性 Si_3N_4 スラリーの 40 °C における硬化特性((a)外観および(b)貯蔵弾性率の変化)(文献[5]より転載)

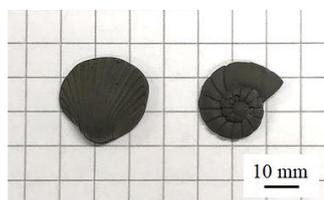


図 7 粒子間熱架橋性 Si_3N_4 /焼結助剤スラリーのその場固化成形と液相焼結を経て作製した Si_3N_4 緻密体の外観(文献[5]より転載)

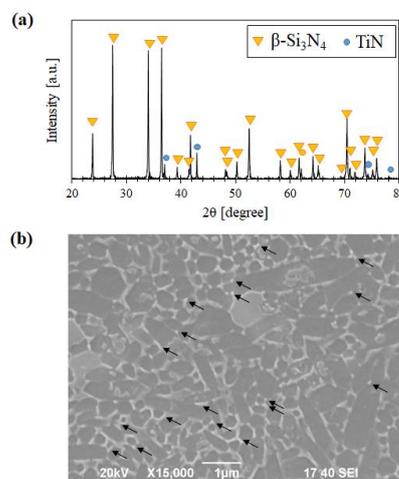


図 8 粒子間熱架橋性 Si_3N_4 /焼結助剤スラリーのその場固化成形と液相焼結を経て作製した Si_3N_4 緻密体の(a) XRD プロファイルと(b)微構造(文献[5]より転載)

98%)を得ることに成功した。このプロセスで作製された Si_3N_4 焼結体の三点曲げ強度は 765 ± 65 MPa、破壊靱性は $7.3 \pm 0.5 \text{ MPa m}^{1/2}$ であり、 Si_3N_4 焼結体として遜色無い力学特性を有することも明らかとなった。

<引用文献>

- [1] M. Iijima et al., *Ind. Eng. Chem. Res.* 54 (2015) pp. 12847–12854.
- [2] T. Ibi et al., *Microfluid. Nanofluid.* 22 (2018) Article No. 69.
- [3] R. Arita et al., *Commun. Mater.* 1 (2020) Article No. 30.
- [4] S. Morita et al., *Adv. Powder Technol.* 32 (2021) pp. 72–79.
- [5] M. Iijima et al., *Adv. Powder Technol.* 32 (2021) pp. 472–479.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryoya Arita, Motoyuki Iijima, Yoko Fujishiro, Seitaro Morita, Taichi Furukawa, Junichi Tatami, Shoji Maruo	4. 巻 1
2. 論文標題 Rapid three-dimensional structuring of transparent SiO ₂ glass using interparticle photo-cross-linkable suspensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 Article No. 30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s43246-020-0029-y	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 Seitaro Morita, Motoyuki Iijima, Yuanyi Chen, Taichi Furukawa, Junichi Tatami, Shoji Maruo	4. 巻 32
2. 論文標題 3D structuring of dense alumina ceramics using fiber-based stereolithography with interparticle photo-cross-linkable slurry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 72 ~ 79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2020.11.016	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 Motoyuki Iijima, Kenta Hasegawa, Junichi Tatami	4. 巻 32
2. 論文標題 Nonaqueous gel casting using multicomponent concentrated slurries through Michael additive reaction for fabricating silicon nitride dense ceramics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 472 ~ 479
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2020.12.028	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 飯島志行、多々見純一	4. 巻 28
2. 論文標題 多機能性修飾剤による濃厚系スラリーの分散制御とセラミックスプロセッシング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan	6. 最初と最後の頁 40 ~ 44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Seitaro Morita, Motoyuki Iijima, Junichi Tatami	4. 巻 31
2. 論文標題 Hetero-assembly of colloidal particles in concentrated non-aqueous suspensions by polymer dispersant design	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Adv. Powder Technol.	6. 最初と最後の頁 746-754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2019.11.029	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19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 飯島志行、有田凌也、藤城陽子、古川太一、多々見純一、丸尾昭二
2. 発表標題 光架橋性濃厚スラリーの分散状態がシリカガラスの光造形に及ぼす影響
3. 学会等名 粉体工学会 2020年度春期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山野井慶彦、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 光硬化性ピッカリングエマルジョンの設計と複雑形状多孔質シリカ焼結体の作製
3. 学会等名 粉体工学会 2020年度春期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯島志行、森田聖太郎、陳元依、野田洋平、古川太一、多々見純一、丸尾昭二
2. 発表標題 粒子間光架橋性スラリーと光ファイバーを用いたアルミナセラミックスの三次元造形
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤諒太、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 粒子間二元架橋反応により光硬化するスラリーを用いた高強度セラミックス成形体の成形
3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山野井慶彦、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 光硬化性ビッカリングエマルションの作製条件が多孔質成形体の微構造に及ぼす影響
3. 学会等名 粉体工学会2020年度秋期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Seitao Morita, Yuanyi Chen, Taichi Furukawa, Junichi Tatami, Shoji Maruo
2. 発表標題 Design of Interparticle Photo-cross-linkable Alumina Slurries and Application to Fiber-based Stereolithography
3. 学会等名 45th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西山健互、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 SiO ₂ ナノ粒子を用いた粒子間光架橋スラリーの設計とナノインプリント成形
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角田聖那、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 ヘテロ集積した高濃度スラリーの流動特性に及ぼす粒子径の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2021 年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Momoko Kataoka, Junichi Tatami
2. 発表標題 Design of functionalized polyethyleneimine as versatile surface modifier for processing nanoparticles in nonaqueous solvents
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Seitaro Morita, Ryoya Arita, Junichi Tatami
2. 発表標題 Polyethyleneimine based multifunctional dispersants: toward versatile approach to control the stability of non-aqueous dispersions
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Ryoya Arita, Yoko Fujishiro, Shoji Maruo, Junichi Tatami
2. 発表標題 Novel photoresponsive slurry system designed by tailor-made functional dispersants for complex shaped and rapid dewaxable green compacts
3. 学会等名 XVI Conference and Exhibition of the European Ceramic Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Ryoya Arita, Seitaro Morita, Junichi Tatami
2. 発表標題 Processing transparent silica glass with complicated shapes by photo-responsive slurries designed using multifunctional polymer dispersants
3. 学会等名 EUROMAT2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoyuki Iijima, Ryoya Arita, Junichi Tatami
2. 発表標題 Processing transparent SiO ₂ glass by pressureless sintering of green body from photo-curable slurry: effect of particle dispersion
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 諒太、飯島 志行、多々見 純一
2. 発表標題 光硬化性スラリーの粒子間架橋構造制御に基づく成形体の強度向上
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山野井 義彦、飯島 志行、多々見 純一
2. 発表標題 光硬化性濃厚SiO ₂ スラリーを用いた多孔質セラミックス成形体の設計
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田聖太郎、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 非水系スラリーの分散制御を目的としたポリアクリル酸 - オレイルアミン会合体の設計
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田聖太郎、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 反応性高分子分散剤を用いて設計した低樹脂量型光硬化性Al ₂ O ₃ スラリーの硬化挙動制御因子
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川健太、飯島志行、多々見純一
2. 発表標題 マイケル付加反応を用いた非水系スラリーのその場固化挙動に及ぼす粒子界面と多官能アクリレートの影響
3. 学会等名 第56回粉体に関する討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯島志行、森田聖太郎、長谷川健太、有田凌也、多々見純一
2. 発表標題 多機能性修飾剤を用いた外場応答性スラリーの設計とセラミックスの複雑形状成形プロセスへの応用
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

横浜国立大学 多々見・飯島研究室ホームページ
http://ceramics.ynu.ac.jp/

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	丸尾 昭二 (Maruo Shoji) (00314047)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	
研究分担者	多々見 純一 (Tatami Junichi) (30303085)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授 (12701)	

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