

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01706

研究課題名(和文) 粒子集積化技術を基軸としたセラミックスの電磁波焼結プロセスの確立

研究課題名(英文) Development of novel sintering process by powder assembly technique

研究代表者

武藤 浩行 (Muto, Hiroyuki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20293756

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)：セラミック材料の作製には、電気炉中で高温焼成する「外部加熱」が一般的である。これに加え、近年、マイクロ波やレーザー光(広い意味でどちらも電磁波)を照射することで発生する「内部加熱」を利用した焼結法が注目を集めている。「電磁波」が、材料に吸収されることで、光エネルギーが熱に変換され、焼結が可能であることから従来の電気炉による材料合成では得られない特異な材料を開発できると期待される。本提案では、電磁波吸収現象による焼成プロセスを実現するための原料粉末の開発を行った。提案した集積粉末を用いることで、セラミックスのレーザー直接造形が可能であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案する粒子集積法を用いることで、セラミック粒子の見かけの電磁波吸収特性を制御することができることを示した。本研究の主題である焼成プロセスへの展開は、今後、キーテクノロジーとなると考えられるセラミックスのレーザー直接3D造形に関する研究分野を加速させることができると結論され、学術的にも大きく貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：In the fabrication of ceramic materials, high temperature firing using an electric furnace through external heat administration is commonly used. Besides this, recently, sintering via "in situ heating" using microwave or laser irradiation (electromagnetic waves in principle) has attracted significant attention. Through absorption of electromagnetic waves and conversion of photon energy to heat using materials, sintering can be achieved with the possibility of developing materials with unique properties not obtainable using conventional sintering processes. In this proposal, development of raw material powders with electromagnetic wave absorption property for realization of the sintering process was carried out. Using the proposed integrated powder, direct laser moulding of ceramics was found to be feasible.

研究分野：無機材料

キーワード：セラミックス 粉末 3D造形 複合材料 複合粒子 複合顆粒

1. 研究開始当初の背景

(1) はじめに

Society5.0を支える「高度」(複雑造形)で「多彩」(少量多品種)なモノづくりを実践するために、付加製造技術(3Dプリンタ)を代表とした新たなモノづくり革命が起こりつつあり、産業界から熱望される研究分野となっている。このような、次世代モノづくり革命を材料分野として先導するためには、古典的な粉末冶金プロセスを凌駕する新たな概念の提案と系統的な学術体系の確立が急務となる。

一例として、セラミック材料の作製には、原料粉末をプレス成形で圧粉し、これを電気炉中で高温焼成することで、緻密体(焼結体)を得る。より物理的な解釈をすれば、電気炉内で粉末が高温に晒されることで構成原子の激しい振動が起こり、この結果、原子の移動(拡散)が活発になることで焼結が進行する。このような、「外部加熱」によるプロセスに加え、近年、マイクロ波やレーザー光(広い意味でどちらも電磁波)を照射することで発生する「内部加熱」を利用した焼結法が注目を集めている。「電磁波」が、材料に吸収されることで、光エネルギーが熱に変換され、焼結が可能であることから従来の電気炉による材料合成では得られない特異な材料を開発できると期待される。しかしながら、セラミックスの多くは、これらの「電磁波」の吸収に鈍感であることから、研究者の興味の対象とならず研究例が極めて少ない。

先端技術として益々ニーズが高まるとされるレーザーによる3D造形、また、かつて注目を集めたマイクロ波焼結も材料科学的な知見では、「電磁波吸収」という観点から極めて類似した現象であると結論され、これらの物理的な現象を系統的に調査する必要がある。本提案では、電磁波吸収現象が、材料開発の普遍的な技術として確立できるかを学問的に問うものであり、科学的にも実用上も重要な取り組みとなる。

(2) 粉末設計

粉末冶金法により製造される工業材料は、粉末を出発原料としており、粉末の質により製造プロセス、素材の特性も大きく異なってくる。我々はこれまでに、粉末の高機能化、高特性化を目指したナノ物質の集積化技術(複合化・顆粒化)に関する研究に取り組んできた。本研究で取り組む、電磁波焼結プロセスの検討に先立ち、粉末集積化技術の確立が重要となる。例えば、ナノ複合材料の作製においては、ナノ物質を添加物質とすることで、電気、磁気、光学、力学、熱的特性の向上や新規特性の付与が期待されている。しかしながら、ナノ物質はマイクロサイズの物質に比べ強い凝集がおこることが知られている。そのため、原料粒子をボールミルなどによって機械的に混合するメカニカルミリング法では、ナノ物質を分散させることができず、得られる複合材料の微構造は凝集構造となる。このような場合、「ナノ粒子」を用いた利点が発揮できず、期待した特性を付与することができない。この問題を解決するために我々はこれまでに、ナノ物質をマトリックス粒子に吸着させた複合粒子(静電吸着粒子)の開発に取り組んできた。精度の高い ordered mixture 状態の粉末を用いることで、ナノ物質が高分散した複合材料を作製することができる。また、ナノ物質同士を顆粒化することで複合顆粒(静電集積粒子)を得ることができ、これを用いることで粒径の微細なナノ複合材料を作製することも可能である。このように粉末設計により、より自由度の高い微構造をデザインできることがわかる。著者らは、粒子間相互作用(静電引力)を利用した粒子設計により、これまでに種々の機能性複合材料を開発することに成功しており、本研究では、電磁波焼結プロセス確立するための粉末設計に精力的に取り組む。

2. 研究の目的

本研究では、「外部電磁波を用いた新規焼結プロセス」の確立のために、

- ：電磁波吸収特性改善のためのナノ粒子の開発
- ：電磁波吸収特性の改善のための集積粒子のナノデザイン
- ：電磁波(レーザー)照射における焼結挙動の調査

を検討する。電磁波として、特に、レーザー光を対象に、電磁波(レーザー)吸収に最適な複合粒子設計指針を提案し、新規なセラミックスの焼結プロセスの確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) 粒子集積技術

静電吸着粒子、静電集積粒子の作製には、粒子表面に生じる表面電荷を緻密に制御する必要がある。基本的な考えとして、二種類の粒子、例えば、マトリックスとなる母材粒子と添加物となるナノ粒子の表面電荷をそれぞれ、相反するように(正と負)制御し、静電相互作用により静電吸着させることで、ナノ・ミクロの複合粒子を作製することができる。表面電荷の調製には、ナノ積層膜の作製プロセスとして知られる交互積層法(Layer-by-Layer: LbL)を利用する。例えば、母材粒子表面を負に、ナノ添加粒子表面を正に調整した際の複合粒子を作製することを考えた場合、それぞれの粒子表面に、均一、かつ十分な電荷密度の表面電荷を付与する必要があり、これらを混合することで、静電引力により複合化が達成される。例えば、初期の粒子表面の電荷

が、負のゼータ電位（負に帯電）を有する粒子を考えた場合、粒子の表面電荷を正に反転させるために、正の電荷を有するポリジアニルジメチルアンモニウムクロリド（Poly (diallyldimethyl ammoniumchloride) : PDDA）に浸漬する。これにより、高分子電解質が負電荷を持つ粒子表面に静電吸着することで、結果として粒子の表面電荷が負電荷から正帯電に反転することになる。更に負に帯電させたい場合、負の電荷を有するポリスチレンスルホン酸ナトリウム（Poly (sodium 4-styrene sulfonate) : PSS）溶液に浸漬することにより、高分子電解質の積層膜が粒子表面に形成され、表面電荷は再び負に帯電した粒子を調製することができる。静電吸着粒子を作製する場合には、サイズの小さいナノ添加粒子にも同様の処理を行い、母材粒子、ナノ添加粒子の表面電荷が、それぞれ、正、負となるようにした後、両者を溶液中で混合することで、静電相互作用（静電吸着）により、母材粒子表面にナノ添加粒子が吸着した複合粒子を得ることができる。また、この原理を用いれば、真球状の静電集積粒子を作製することもできる。先の手順でそれぞれの粒子の表面電荷を、正、負として両者を混合することでヘテロ凝集が生じ、この凝集物に連続的な回転刺激を長時間付与することで顆粒を得ることができる。正、負に調製した出発粒子（一次粒子）は同一種粒子同士、異種粒子同士、また粒径が異なる組み合わせ、粒状とファイバー状などの異形状物質同士でも顆粒化が可能な汎用性の高い集積技術である。

(2) レーザ吸収性の改善と制御のための粉末設計

本研究では、電磁波としてレーザー光に着目して、セラミックス粒子を用いた粉末床溶融結合法に適用可能な粒子設計と開発を行った。セラミック粒子のレーザー吸収能は低いことから、レーザーを照射しても発熱には至らず造形することが難しく、セラミック材料に関してのレーザー直接造形法は未だ確立されていない。そこで、本研究では、セラミック粒子のレーザー吸収能を改善するための集積粒子（複合粒子、複合顆粒）の設計と試作を行い、レーザー照射による焼結挙動を詳細に検討した。

4. 研究成果

(1) 複合粒子

モデル粒子として、母材粒子として粒径 $20\mu\text{m}$ の Al_2O_3 、ナノ添加粒子としてレーザー吸収性の高い粒径 50nm の SiC を出発原料とし複合粒子を作製した。得られた複合粒子を図 1 に示す。 Al_2O_3 表面に SiC が均一に吸着した複合粒子が得られていることがわかる。図 2(a) に得られた複合粒子粉末に対して、近赤外ファイバーレーザーを用いて照射した領域の SEM 画像を示す。複合化していない Al_2O_3 粉末にレーザーを照射した際は、全く変化が確認されなかったのに対して、 SiC を吸着させることで Al_2O_3 を固化させることができた。レーザー照射により固化した領域の拡大写真を図 2(b) に示す。SEM 画像より Al_2O_3 粒子間にネック構造が確認された。図 1 に示す複合粒子を用いることで、 Al_2O_3 粒子間には均一に、微細な SiC 粒子が存在することになる。ここに、レーザーが照射されることで、 SiC 粒子が選択的にレーザー光を吸収し、局所加熱されることで Al_2O_3 の焼結を促したものと考えられる。用いるレーザー種、またはエネルギー密度から最適条件を更に検討する必要があるが、複合粒子を用いることでセラミックスの直接造形の可能性が見いだされた。レーザー吸収材料としてセルローズナノファイバーを吸着、炭化させることで作製したアルミナ複合粒子等も作製し、同様に直接造形が可能であることを示すことができた。

(2) 複合顆粒

複合粒子に加えて、本研究では、提案する手法により真球状の顆粒作製に関する基礎検討も合わせて実施した。先に示すような静電集積技術を用いることで、平均粒径 140nm の Al_2O_3 、平均粒径 150nm の ZrO_2 を出発原料とした単相、および、これらを任意割合で混合した単分散性の高い球状顆粒を作製することに成功した。これにより平面上で微小な機械振動を加えただけで最密充填構造をとることから、粉末床形成プロセスを一気に短縮できるばかりか均質性の向上も期待できる。これらの顆粒に対して、炭酸ガスレーザーを照射したところエネルギー密度に依存して焼結、溶融を制御することができることが示された。エネルギー密度が低い領域では粉末が未反応で残存しているのに対して、エネルギー密度が高くなるに従って、焼結、溶融により固化できることが示された。顆粒径の最適化等、解決すべき問題は残されているものの、この過程を繰り返すことで積層造形体を得ることができており顆粒を用いたレーザー直接造形の可能性が見出されつつあり、本研究で提示した電磁波によるセラミックス焼結は可能であると結論した。

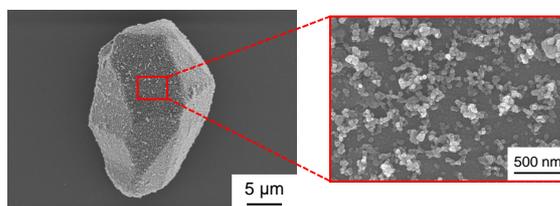


図 1 静電相互作用により作製した $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ 複合粒子

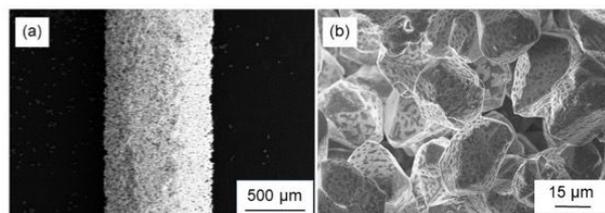


図 2 $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3$ 静電複合粒子を用いたレーザー焼結の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 W. K. Tan, Y. Shigeta, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto	4. 巻 9
2. 論文標題 PMMA-ITO Composite Formation via Electrostatic Assembly Method for Infra-Red Filtering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano9060886	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 W. K. Tan, Y. Shigeta, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto	4. 巻 483
2. 論文標題 Investigation of the anchor layer formation on different substrates and its feasibility for optical properties control by aerosol deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 212-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2019.03.278	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 W. K. Tan, N. Hakiri, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto	4. 巻 14
2. 論文標題 Controlled Microstructure and Mechanical Properties of Al2O3-Based Nanocarbon Composites Fabricated by Electrostatic Assembly Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s11671-019-3061-4	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 W. K. Tan, Y. Araki, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto	4. 巻 14
2. 論文標題 Micro- and Nano-assembly of Composite Particles by Electrostatic Adsorption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s11671-019-3129-1	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 A. Yokoi, W. K. Tan, T. Kuroda, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto	4. 巻 10
2. 論文標題 Design of Heat-Conductive hBN-PMMA Composites by Electrostatic Nano-Assembly	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano10010134	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 K. Matsuyama, T. Tsubaki, T. Kato, T. Okuyama, H. Muto	4. 巻 261
2. 論文標題 Preparation of catalytically active Au nanoparticles by sputter deposition and their encapsulation in metal-organic framework of Cu ₃ (BTC) ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 127124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2019.127124	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 K. Matsuyama, N. Tomiyasu, K. Inoue, R. Yokomizo, T. Okuyama, H. Muto	4. 巻 160
2. 論文標題 Catalytically active PdRu and CuRu bimetallic nanoparticle formation in the mesoporous SiO ₂ by supercritical CO ₂ -assisted immobilization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 104818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2020.104818	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 H. Abe, T. Naka, K. Sato, Y. Suzuki, M. Nakano	4. 巻 20
2. 論文標題 Shape-Controlled Syntheses of Magnetite Microparticles and Their Magnetorheology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 3917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms20153617	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 Kyosuke FUJITA, Yamato HAYASHI, Jun FUKUSHIMA, Hirotsugu TAKIZAWA	4. 巻 127
2. 論文標題 Synthesis of high aspect ratio silver nanowire precursor by two-step ultrasonic irradiation and its application to transparent conductive film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 655-662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19068	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 Kazuma Oikawa, Kei Toyota, Toru Okazaki, Shinji Okada, Shigeaki Sakatani, Yamato Hayashi and Hirotsugu Takizawa	4. 巻 7
2. 論文標題 Enhancement of transient thermal stability and flame retardancy of hydrophobic silica xerogel composites via carbon family material doping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 2187-0764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21870764.2019.1656358	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 K. Oikawa, K. Toyota, S. Sakatani, Y. Hayashi, T. Takizawa	4. 巻 45
2. 論文標題 Facile synthesis and thermal properties of waterglass-based silica xerogel nanocomposites containing reduced graphene oxide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 4201-4207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2018.11.089	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 T. Kuwana, W. K. Tan, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda, H. Muto	4. 巻 66
2. 論文標題 Fabrication of Carbon-decorated Al ₂ O ₃ Composite Powders using Cellulose Nanofiber for Selective Laser Sintering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Power and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 168-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2497/jjspm.66.168	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 W.K. Tan, Y. Shigeta, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda, H. Muto	4. 巻 483
2. 論文標題 Investigation of the anchor layer formation on different substrates and its feasibility for optical properties control by aerosol deposition.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 212-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2019.03.278	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 該当する

1. 著者名 H. Abe, K. Kuruma, M. Takahashi, K. Sato, T. Naka, Y. Suzuki,	4. 巻 479
2. 論文標題 Magnetite nanocrystal clusters transformed from ferric precursor and their colloidal magnetorheology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 000-000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/479/1/012043	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 H. Abe, A. Kondo, K. Sato,	4. 巻 1
2. 論文標題 Free-Polymer-Induced Gelation of Non-Aqueous Colloids for Direct Ink Writing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ceramics in Modern Technologies	6. 最初と最後の頁 99-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.29272/cmt.2018.0016	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 林 大和	4. 巻 30
2. 論文標題 ナノ材料の現状とプロレッシングによる解決・産官学連携による推進	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本素材物性学会誌	6. 最初と最後の頁 001-005
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 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 Takuya AOYAGI, Daiko TAKAMATSU, Yohei ONODERA, Takashi NAITO, Taigo ONODERA, Tatsuya MIYAKE, Shinji KOHARA, Toshiaki INA, Yamato HAYASHI, Hirotsugu TAKIZAWA	4. 巻 128
2. 論文標題 Vanadium coordination environment in phospho-vanadate glass for improving water durability	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 273-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19238	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 Yuki Maeda, Yamato Hayashi, Jun Fukushima, Hirotsugu Takizawa	4. 巻 73
2. 論文標題 Sonochemical effect and pore structure tuning of silica xerogel by ultrasonic irradiation of semi-solid hydrogel.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasonic Sonochemistry	6. 最初と最後の頁 105476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultsonch.2021.105476	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 Yuki Takano, Yamato Hayashi, Jun Fukushima, Hirotsugu Takizawa	4. 巻 32
2. 論文標題 Room-temperature synthesis of -Ga2O3 nanoparticles from gallium metal via ultrasound irradiation.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 860-865
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2021.01.032	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 -

〔学会発表〕 計81件 (うち招待講演 33件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 武藤浩行, 野々村航希, 横井敦史, タンワイキアン, 河村剛, 松田厚範
2. 発表標題 微構造制御のための真球状複合顆粒の作製
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤堀智也, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 粒子複合化のための表面電荷自動調整法の確立
3. 学会等名 第58回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村雅輝, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 AD法によるナノ金属酸化物分散セラミックス複合膜の作製と光学特性
3. 学会等名 第58回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行, Tan Wai Kian, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範
2. 発表標題 粉末冶金を基本とした高エントロピー材料合成のための基礎検討
3. 学会等名 第5回材料WEEK
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村雅輝, 野々村航希, 横井敦史, タンワイキアン, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 回転力学場による原料粒子の静電集積技術の確立による真球複合顆粒の作製
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会 2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上颯太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合顆粒を用いたマルチスケール微構造設計
3. 学会等名 無機マテリアル学会, 第139回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 砂田拓人, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 真球状複合顆粒を出発原料として用いた複合材料の内部構造制御のための基礎検討
3. 学会等名 日本セラミックス協会, 東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤優作, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電集積技術を用いた高次集積複合顆粒の設計と作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大森直人, 野々村航希, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を用いた粒子集積過程における顆粒形成機構の調査
3. 学会等名 日本セラミックス協会, 東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 W.K. Tan, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda, H. Muto
2 . 発表標題 Microstructure Control of Al2O3-ZrO2 Composites by Electrostatic Nano-Assembly Technique
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Inoue, A. Yokoi, W. K. Tan, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto
2 . 発表標題 Microstructural Design of Composite Materials using Spherical Composite Aggregate Obtained by Electrostatic Nano-assembly Technique
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Yokoi, W.K. Tan, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto
2 . 発表標題 Development of thermal conductive PMMA based h-BN composite via electrostatic nano-assembly technique
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Ogasawara, A. Yokoi, W.K. Tan, Go Kawamura, A. Matsuda and H. Muto
2 . 発表標題 Improvement of Packing Structure of Green Body via Electrostatic Nano-Assembly Technique
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Muto, A. Yokoi, W. K. Tan, G. Kawamura, A. Matsuda
2 . 発表標題 Advanced Composite particles Integration Process via Electrostatic Assembly Method
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. K. Tan, K. Asami, G. Kawamura, H. Muto and A. Matsuda
2 . 発表標題 Formation of Fe@C core-shell nanoparticles for Fe-air battery and the effect of sulfide addition on its performance
3 . 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. K. Tan, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto
2 . 発表標題 Facile Design of Nanocomposites by Electrostatic Assembly and their Properties
3 . 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W.K. Tan, T. Kuwana, A. Yokoi, G. Kawamura, A. Matsuda and H. Muto
2 . 発表標題 Design of Al ₂ O ₃ -based Composite Particles for Selective Laser
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 武藤浩行
2. 発表標題 セラミックの3Dレーザー直接造形の実現のために3Dプリンタ/レーザー焼結によるセラミックス造形・製造の開発・技術動向と活用事例、今後の展開
3. 学会等名 日本技術情報センター（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 微粒子のナノ・マイクロ集積技術と次世代ものづくりへの展開
3. 学会等名 第4回グリーンソサエティーセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tan Wai Kian, 武藤浩行
2. 発表標題 学位論文紹介: The study of ZnO formation: From my perspective
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部 第58回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 次世代を担う新事業・ビジネス創出セミナー：次世代の付加製造技術を支える粉末設計 ～セラミックの3Dレーザー直接造形の実現のために～
3. 学会等名 日本技術情報センター（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 「エンジニアリングセラミックスに関わるプロセス技術の革新」：粒子集積化技術の確立と次世代ものづくりへの展開
3. 学会等名 第51回エンジニアリングセラミックスセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 集積粉末を用いた複合材料のマルチスケール微構造制御
3. 学会等名 2019年度 セラミックス総合研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 粒子集積技術の確立と次世代製造プロセスへの展開
3. 学会等名 セラミックス造型技術講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾畑成造, 立石賢司, 齋藤祥平, 横井敦史, Tan Wai Kian, 武藤浩行
2. 発表標題 静電吸着法を用いたSiC-BN 複合粒子の作製
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上颯太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 真球状複合顆粒を出発原料としたマルチスケール微構造設計
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小笠原亮太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 高次に集積化されたセラミックス粉末の設計とレーザ積層造形への応用
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤堀智也, 井上颯太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合顆粒の設計とマクロ構造制御されたセラミック部材の開発
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 横井 敦史, 都築 圭太, Tan Wai Kian, 河村 剛, 松田 厚範, 武藤 浩行
2. 発表標題 複合顆粒の組成比制御による多孔質傾斜材料の開発
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 Kazuyoshi Sato, Naokatsu Kannari, Takeshi Hashishin, Hiroya Abe
2. 発表標題 Nanocrystals Technologies for Energy and Environmental Applications
3. 学会等名 VJW&WSE 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication of High-Throughput Nanomaterial Processing for Practical Application
3. 学会等名 27th European Advanced Materials Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication Concepts and Realization of Nanomaterial for Sustainable Development Goals
3. 学会等名 EMN Quantum 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication Concept of Nanomaterial for Sustainable Development of Goals(SDGs)
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 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication of Polycrystal Silver Nanowire TC film by Organic Precursor Splay Painting Reduction method for Sustainable Development Goals (SDGs)
3. 学会等名 EMN Mauritius Meeting on Nanowires (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication Concept and Application of Polycrystal Silver Nanowire Transparent conductive film for Sustainable Development of Goals
3. 学会等名 21st International Symposium on Eco-materials Processing and Design (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 都築圭太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合顆粒の精密設計と傾斜気孔構造を有する多孔質セラミックスの開発
3. 学会等名 セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑名崇矢, Tan Wai Kian, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 セラミックスのレーザ直接造形を可能とする高次複合原料粉末の設計
3. 学会等名 セラミックス基礎科学討論
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 ものづくり改革を支える高次粉末設計
3. 学会等名 第4回日本機械学会イノベーション講演会 iJSME2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 粒子集積化による次世代モノづくりへの挑戦
3. 学会等名 JFCAイブニングセミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野々村航希, 井上颯太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村 剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 電相互作用による無機微粒子の集積化
3. 学会等名 無機マテリアル学会 第137回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tan Wai Kian, 重田雄一郎, 横井敦史, 河村 剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合ADセラミックス膜の作製手法の開発と微構造制御,
3. 学会等名 無機マテリアル学会 第137回講演会 ,2018,2018,0,0
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を利用した粉末集積技術と応用
3. 学会等名 2018年度 セラミックス総合研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都築圭太, 横井敦史, Tan Wai Kian, 河村 剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合顆粒による傾斜気孔構造を有する多孔質セラミックスの開発
3. 学会等名 粉末粉体冶金協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名崇矢, 松崎達也, Tan Wai Kian, 河村 剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 セラミックスのレーザ直接3D造形のための複合原料粉末の作製
3. 学会等名 粉末粉体冶金協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名崇矢, 松崎達也, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 レーザー直接造形を可能とする集積原料粉末の開発
3. 学会等名 第56回粉末に関する討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 原料粒子の集積化による新たなモノづくり
3. 学会等名 第184回フィラー研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小笠原亮太, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 高分子3Dプリンタにより作製した骨格構造を利用したマクロ構造制御されたセラミック添加高分子複合材料の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上颯太, 野々村航希, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 複合集積顆粒を用いた傾斜材料の微構造制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野々村航希, 井上颯太, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を利用した 真球状単分散複合集積顆粒の作製と複合材料の微構造設計
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tan Wai Kian, Yokoi Atsushi, Go Kawamura, Matsuda Atsunori, Muto Hiroyuki
2. 発表標題 Controlled optical properties of nanocomposites films formed by aerosol deposition method
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 集積化粒子を原料としたナノ複合AD膜の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上颯太, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を利用した湿式造粒法の確立
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部 第56回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小笠原亮太, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 3Dテンプレートを用いた複合材料のマクロ組成制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部 第56回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都築圭太, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 局所ネック架橋構造を有する多孔質セラミックスの作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部 第56回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 名高矢, 松崎達也, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 セラミック直接造形のための原料粉末開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会東海支部 第56回東海若手セラミスト懇話会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wai Kian Tan, Yuichiro Shigeta, Hiroyuki Muto
2. 発表標題 Investigation on the Anchor Layer Formation Mechanism of Aerosol Deposition
3. 学会等名 Advanced Nanomaterials Conference 2018 (ANM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野々村航希, 飯盛仁, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 表面電荷の精密制御による微粒子の集積化
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名崇矢, 松崎達也, Tan Wai Kian, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 セラミックスのレーザー直接3D造形のための粒子設計
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名崇矢, 松崎達也, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 レーザー直接造形のための原料粉末設計
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都築圭太, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 局所架橋構造を有する新規多孔質材料の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野々村航希, 飯盛仁, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 表面電荷制御による複合顆粒の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武藤浩行
2. 発表標題 ナノ物質活用のため原料粉末デザイン
3. 学会等名 マテリアル・ファブリケーション・デザインセミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辰巳舞帆, 野々村航希, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を利用した高速表面電荷制御システムの構築
3. 学会等名 第56回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 重田雄一郎, 上山駿, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 AD法において成膜初期段階に観察されるアンカー層形成機構と基盤材質の関係
3. 学会等名 第56回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松崎達也, 横井敦史, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 レーザー局所加熱焼結に利用するための複合粒子設計
3. 学会等名 第56回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本直也, 横井敦史, 井上颯太, 野々村航希, 河村剛, 松田厚範, 武藤浩行
2. 発表標題 静電相互作用を用いた原料粉末の複合化・顆粒化と複合材料の微構造制御
3. 学会等名 第56回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sato, C. Iwata, N. Kannari, H. Abe,
2. 発表標題 Growth of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.803}/\text{Gd}_{0.2}\text{Ce}_{0.801.9}$ nanocomposite as cathode material of intermediate-temperature solid oxide fuel cell
3. 学会等名 CAMS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kuwabara, K. Sato, N. Sekiguchi, H. Nakazawa, S. Yagishita,
2. 発表標題 Growth of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ nanocomposites through a colloidal approach
3. 学会等名 CAMS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原 駿, 佐藤 和好, 関口 なつ美, 中澤 ひかる, 柳下 定寛
2. 発表標題 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2(\text{CZ})$ 固溶体ナノ結晶および $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CZ}$ 複合体の合成とその高温挙動評価
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 K. Sato, N. Kannari, H. Abe
2. 発表標題 Growth and Application of Aqueous Dispersed Oxide Nanocrystal
3. 学会等名 6th International Solvothermal and Hydrothermal Association Conference (ISHA2018), (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 和好
2. 発表標題 水溶液を反応場とする酸化物ナノ結晶複合体の合成と燃料電池への応用
3. 学会等名 第2回粉体グリーンプロセス研究会講演会, (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 大和
2. 発表標題 ナノ材料の現状とプロレッシングによる解決・産官学連携による推進
3. 学会等名 日本素材物性学研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 大和
2. 発表標題 産学・産官学連携における予算獲得とその重要性-ナノ材料におけるケーススタディ-
3. 学会等名 第 57 回東海若手セラミスト懇話会 秋期講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication of Polycrystal Silver Nanowire Flexible Transparent Conductive Composite Film by Organic Precursor Painting Reduction Method
3. 学会等名 The 5th International Conference of Competitive Materials and Technology Processes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication of Metal Nanoparticle Related Material by Using Ultrasonic Hot Spot Reaction in Solid-Liquid Interface
3. 学会等名 The 6th International Solvothermal and Hydrothermal Association Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication and Characterization of Flexible Polycrystal Silver Nanowire Transparent Conductive Film
3. 学会等名 The 12th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication of Polycrystal Silver Nanowire Transparent conductive film by Organic Precursor Splay Painting Reduction method
3. 学会等名 The 2018 EMN Carbon Nanostructures/Quantum Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication Concept and Application of Polycrystal Silver Nanowire Transparent conductive film for Sustainable Development of Goals
3. 学会等名 21st International Symposium Eco-Materials Processing & Design, January 12 to 15, 2020, Yantai, China (Keynote) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamato Hayashi
2. 発表標題 Fabrication and Application of Polycrystal Silver Nanowire Transparent conductive film by SDGs-oriented Organic Precursor Splay Painting Reduction method
3. 学会等名 The 44th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林 大和
2. 発表標題 ナノゾルダー技術とサステナブル社会実装応用に関する研究開発
3. 学会等名 第31回新産業技術促進検討会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 大和
2. 発表標題 超音波に立脚した実用ナノ材料合成と SDGs および産学連携推進
3. 学会等名 化学工学会反応工学部会ソノプロセス分科会 2020 年度講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 武藤浩行, 羽切教夫	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 7
3. 書名 透明導電膜の新展開 多様な材料・形成技術の可能性	

1. 著者名 タン ワイ キアン, 武藤浩行, 河村剛, 松田厚範	4. 発行年 2018年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 331
3. 書名 1-Dimensional Metal Oxide Nanostructures: Growth, Properties and Devices Chapter4 Progress, Perspectives and Applications of 1-ZnO Fabrication by chemical Methods	

1. 著者名 林 大和	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 650
3. 書名 ナノ粒子塗工液の調整とコーティング技術	

1. 著者名 Tan Wai Kian, 武藤浩行	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 318
3. 書名 エアロゾルデポジション法の新展開	

1. 著者名 Xing Wei, Atsushi Yokoi and Hiroyuki Muto	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 250
3. 書名 Nano / Micro-composite Particles: Preparation Processes and Applications	

〔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	河村 剛 (Kawamura Go) (10548192)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13904)	
研究分担者	佐藤 和好 (Sato Kazuyoshi) (40437299)	群馬大学・大学院理工学府・准教授 (12301)	
研究分担者	林 大和 (Hayashi Yamato) (60396455)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	

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