

令和 6 年 9 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01249

研究課題名（和文）多機能高送達性ナノ粒子シングルステップ合成を実現する超臨界プラズマ流の創成と制御

研究課題名（英文）Creation and control of supercritical plasma flow for single-step synthesis of multifunctional highly-deliverable nanoparticles

研究代表者

茂田 正哉（Shigeta, Masaya）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：30431521

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：超臨界状態にある二酸化炭素中でプラズマに接する電極を改良し、高電圧パルス放電との組み合わせによりプラズマをロバストに連続維持できるシステムを開発した。適切な光学処理を施すことで溶融電極挙動の可視化に成功した。集団形成されたナノ粒子群の粒径や組成についてのヒストグラムを得て特性を明らかにした。数値計算コードを新規開発し、プラズマ-非電離気体-ナノ粒子群共存系の電磁熱流体力学シミュレーションを実現することで、プラズマ誘発乱流発生の基礎機構やナノ粒子生成過程の解明に成功した。平滑化粒子流体力学法を拡張して金属溶融・流動・凝固・化合物形成・酸化物輸送を同時に再現・解析できる手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い生体親和性と送達性を有する多機能性ナノ粒子のシングルステップでの高速合成が可能となり、工学的なブレイクスルーによる医療分野発展に寄与する。また学問的観点から本プロセスを構成する個々の物理過程を見ると、電磁流体工学・熱工学・化学工学・材料工学にわたる分野横断型研究であるため、本研究を通して得られる学問的知見は、多機能性ナノ材料合成システムの設計指針を与えるのみならず、各種工学分野と共有できる基礎資料を提供することになり、高い学術的貢献度が付随する。加えて、新規開発した可視化計測法や数値計算コードはその汎用性・拡張性から転用も可能であるため、他分野における技術革新の一助となる潜在性を有する。

研究成果の概要（英文）：The electrode in contact with the plasma in supercritical carbon dioxide was improved and a system that could robustly and continuously sustain the plasma by means of high-voltage pulse discharge was developed. The molten electrode behavior was successfully visualized by applying appropriate optical treatment. Histograms of the size and composition of the nanoparticles were obtained and their characteristics were clarified. A new inhouse computation code was developed to simulate the electromagnetic thermofluid dynamics of plasma-nonionized gas-nanoparticle coexisting systems, and the fundamental mechanism of plasma-induced turbulence generation and nanoparticle formation processes were successfully elucidated. Extending the smoothed particle hydrodynamics method, numerical simulation methods were also developed for reproducing and analyzing metal melting, flow, solidification, compound formation, and oxide transport.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学

1. 研究開始当初の背景

近年の医療分野の進歩は目覚しく、人体内において薬剤送達を担うことができる生体親和性が高く多機能性も有するナノ材料の開発が喫緊の課題である。しかしながら、ナノ粒子の合成や機能化には依然として主として液相法が用いられており、多段階的な手順と時間を要する。さらに大気中への有機溶媒の揮発といった環境悪化も招く。これらの問題をシングルステップで、かつクリーンに解決できる流体工学プロセスの創成が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、超臨界プラズマという特異物質相の流れを利用して、生成量・サイズ・組成(機能)を制御しながら、生体親和性が高く多機能で高送達性も有するナノ粒子をシングルステップで、かつクリーンに大量合成するという新手法を流体工学的立場から確立することを目的とした。本研究を通して、実験的研究と理論的研究の両面から課題解決に臨み、ナノスケールの物理化学的な過程とプラズマ相の流動現象の解明を実現する可視化計測法や数理モデル・計算アルゴリズム等を新規に開発することも同時に達成すべき目的とした。

3. 研究の方法

実験的研究では、図1に示す超臨界流体内プラズマ生成器、超臨界流体を生成・維持するための加圧ポンプ、電力供給ユニットを組み合わせた実験システムの改良を進めた。プラズマの生成および維持のためには高電圧を要するため、液中においてもプラズマ生成の可能な高電圧パルス放電用電源を組み入れた。実験観察にはアークプラズマからの強い発光を低減しながら反射光を利用する可視化システムを構築し、溶融電極表面の挙動をハイスピードカメラで撮影した。また、電極表面から放出される元素を同定するために発光分光を行った。さらに、非対称 Abel 逆変換画像分光法を開発し、非軸対称で傾斜しているアークプラズマの温度計測を実施・検証した。ナノ粒子は高圧プラズマ環境で生成し、走査型電子顕微鏡を用いてそれらの粒径および形状の観察を行った。粒径や組成についてのヒストグラムを得て、集団的に形成されるナノ粒子群の特性を明らかにした。

数値シミュレーションを活用した理論的研究では、研究代表者が考案・開発してきた数理モデルと数値計算手法を用いて、プラズマ環境下でナノ粒子が均一核生成・不均一凝縮・粒子間凝集により集団的に形成しながら対流・拡散輸送されるプロセスを再現し、不可視の現象を調査した。特に異組成ナノ粒子の集団形成過程について、熱化学的に表現される二元系核生成理論・共凝縮理論を組み合わせ、エアロゾル動力学を基に粒子間衝突・合体による集団成長も同時に表現できる方程式系を組み上げ、数値計算によって定量解析を行った。また、平滑化粒子流体力学法に拡張を施し、高電流条件下での金属溶融・流動・凝固・化合物形成・酸化物輸送を同時に再現・解析できる数値シミュレーションを行った。さらに加熱溶融と冷却を経て異種金属界面における化合物の厚さの推定も行った。加えて、数値計算コード PLASTIPC (PLasma All-Speed Turbulence with Implicit Pressure Code) を新規に開発し、アークプラズマが非電離気体と共存する系の電磁熱流体力学的な基礎物理を捉えるために数値シミュレーションを実施した。

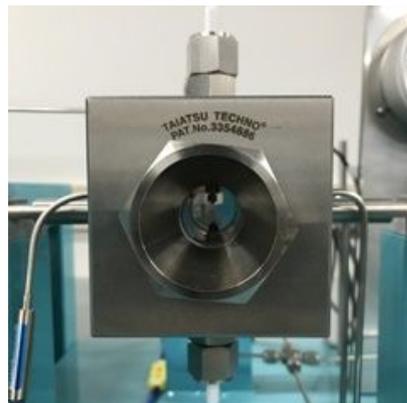


図1 超臨界流体内プラズマ生成実験器

4. 研究成果

超臨界状態にある二酸化炭素中でプラズマに接する電極は、その高活性環境により消耗が著しく、プラズマを維持しにくいという問題があった。そこで電極形状を改良し、高電圧パルス放電と組み合わせることでプラズマをロバストに連続維持できるに至った。プラズマ環境における電極の溶融と蒸発を経る消耗現象は未解明であるため、技術開発に資する基盤的研究も遂行した。図2にその一例としてヘリウム由来のアークプラズマとの相互作用で溶融電極から微小液滴が放出される様子を示す。これは光学的処理を施したハイスピード撮影によって捉えることに成功した映像である。溶融電極の一部が局所的に発光した後に凹み、その内部から隆起し始め、やがて分裂して飛散する過程が明らかになった。

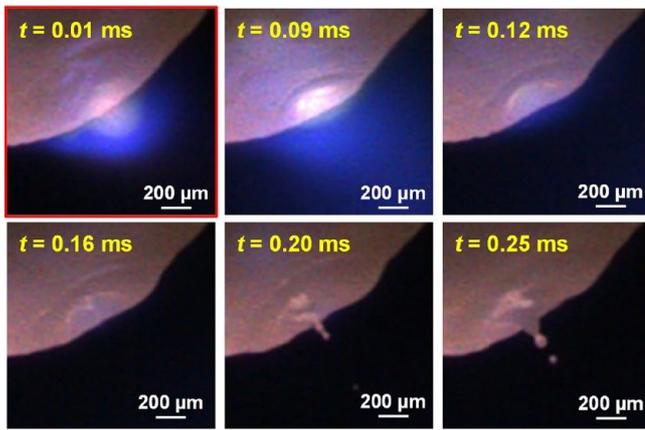


図2 溶融電極からの液滴放出過程

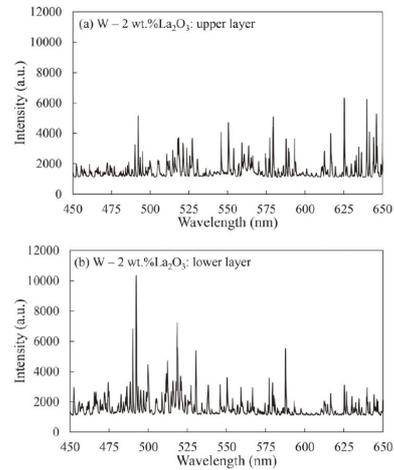


図3 電極近傍領域の発光スペクトル

また、プラズマ生成時に電極周囲に発生する二層の発光領域の由来元素の同定を行った。図3に上層および下層それぞれの発光スペクトルを示す。スペクトルの分析結果より、上層はランタン原子、下層は一価ランタンイオンが主成分であることが明らかとなった。加えて、アークプラズマが非軸対称で傾斜している場合にも適用可能な非対称 Abel 逆変換画像分光法を開発した。図4にプラズマの発光強度に対して Fowler-Milne 法を適用しながら本手法によるデータ処理を施すことで得られた温度分布を示す。最大温度は約 16000 K であり、14000 K 程度の温度域の広がりなど、他の手法で得られた結果とおおよそ一致したことから、本手法は有効であると結論づけられた。

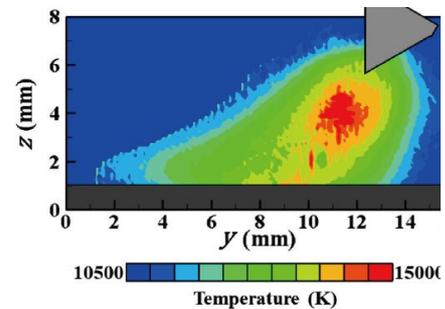


図4 非対称 Abel 逆変換画像分光法により得られたプラズマ温度分布

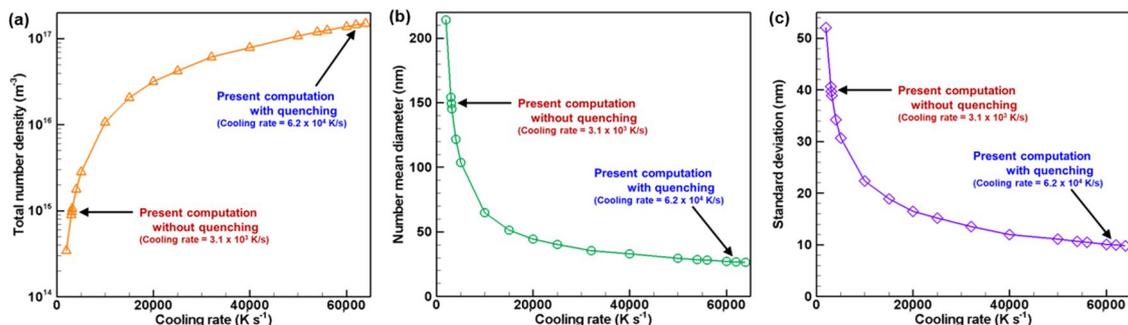


図5 温度低下率が与える効果を示す数値計算結果：(a) ナノ粒子の生成数，(b) 平均粒子直径，(c) 粒度分布の標準偏差

ナノ粒子に関しては均一核生成・不均一凝縮・粒子間凝集を経て集団形成する過程について熱化学に基づく詳細な数値計算を行った。図5にその結果を示す。温度低下率が大きくなるにしたがい、より多くのナノ粒子の生成し、粒子サイズおよびサイズ分布の広がりとはともに小さくなるが、それらは非線形的な関係にあることが明確に示された。

図6(a)-(c)に高圧プラズマを用いた実験によって得られたナノ粒子群の走査型電子顕微鏡写真および粒度分布を示す。実験においても急冷ガスを導入した場合に粒子直径および粒度分布の広がりがともに小さくなる結果が得られた。図6(d)に示す数値計算によって得られた粒度分布も同様の結果を示している。また、飽和蒸気圧が同程度または大きく異なる金属同士の合金ナノ粒子群の形成過程についても、研究代表者が構築した数理モデル・計算アルゴリズムを用いて調査した。図7に冷却過程における銅 - ニッケル系ナノ粒子群の粒径-組成-固液相分布を示す。1600 K においてナノ粒子群は成長途中にあり、それらは全て液体である。300 K では全ナノ粒子が固体になっており、多くの粒子は 150 nm 以下であるものの、300 nm 程度にまで成長した粒子が存在することも示された。図8に 300 K における鉄 - アルミニウム系ナノ粒子群の粒径-組成分布およびアルミニウム含有率分布を示す。この系のナノ粒子の直径は 40 nm から 230 nm にわたっているが、多くの粒子は 70 nm から 100 nm の直径を有していることがわかる。そして、それらのアルミニウム含有率は 25at.% から 27at.% であることが数値的に予測された。実験において得られたナノ粒子群も同様の結果を示したため、本計算予測は妥当であると言える。図9に 300 K におけるコバルト - サマリウム系ナノ粒子群の粒度分布を示す。数値計算および実験の両

方において、40 nm から 60 nm が最大となる同様の粒度分布を有するナノ粒子群が得られた。これらのことから、研究代表者が構築した数理モデル・計算アルゴリズムによって、合金系のナノ粒子群形成過程も数値解析的に研究し、最終生成物を数値予測できることが示されたと言える。固相および液相が共存する連続体を平滑化粒子流体力学法によってモデル化し、高電流条件下での金属溶融・流動・凝固・化合物形成・酸化物輸送を同時に再現・解析できる数値シミュレーションを実現した。ここでは、図 10 に溶融金属表面の温度差に起因する表面張力差が流れを駆動する力の瞬間分布を二例示す。対流に支配される不均一な温度分布によって駆動力の大きさと向きも不均一となることが示された。また同様の手法を用いて、加熱溶融と冷却を経て鉄 - アルミニウム界面で生じる金属間化合物の厚さの推定も行った結果、図 11 に示すような分布を得ることができた。他にも溶融金属が斜面を流下しながら放熱し、最終的にはつま先状の凝固相を形成する現象の数値シミュレーションも実現できた。

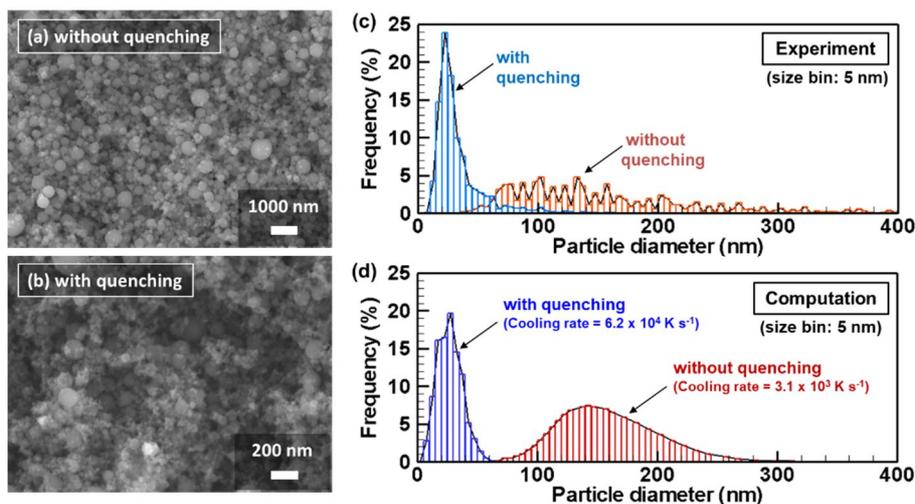


図 6 急冷の効果を示す実験結果：(a)急冷しなかった場合のナノ粒子群の走査型電子顕微鏡写真，(b)急冷した場合のナノ粒子群の走査型電子顕微鏡写真，(c)粒度分布，および(d)数値計算によって得られた粒度分布

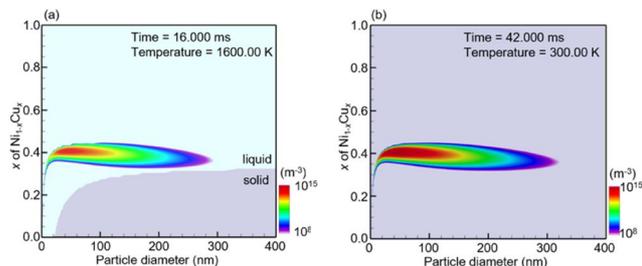


図 7 冷却過程における銅 - ニッケル系ナノ粒子群の粒径・組成-固液相分布：(a)1600 K，(b)300 K

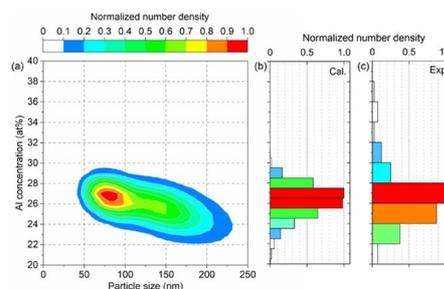


図 8 300 K における鉄 - アルミニウム系ナノ粒子群：(a)粒径・組成成分(計算)，(b)アルミニウム含有率(計算)，(c)アルミニウム含有率(実験)

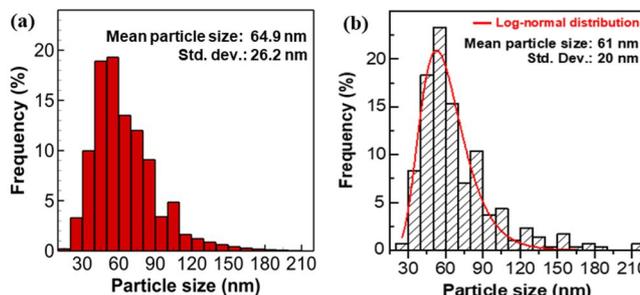


図 9 300 K におけるコバルト - サマリウム系ナノ粒子群の粒度分布：(a)数値計算，(b)実験

アークプラズマが非電離気体と共存する系の電磁熱流体力学的な基礎物理を捉えるために、研究代表者が新規に開発した数値計算コード PLASTIPC (PLasma All-Speed Turbulence with Implicit Pressure Code)を用いて数値シミュレーションを実施した。その結果を図 12 に、従来法によって得られた結果と共に示す。解離性ガス由来のアークプラズマの温度は 2 万 K に及び、急激な熱膨張によって局所逆流が生じるため、プルーム状の外方向噴流も間欠的に生じる。アークプラズマの内部は概ね非圧縮性の亜音速流れであるが、高速の外方向噴流の効果でプラズマ周囲の低温領域は乱流的な様相を呈する圧縮性流れとなり、局所的な超音速流れも生

じることが示された。このような結果は同図に示す従来法では得られなかった。可視化実験によって乱流様構造が示されていること，ほかに電力供給を切った直後のアークプラズマ内の電子数密度の減少速度が本計算と実験結果とでよく一致していることから，開発コードによって初めてアークプラズマが乱流渦を誘発する現象のミニマル過程を捉えることに成功したと言える。

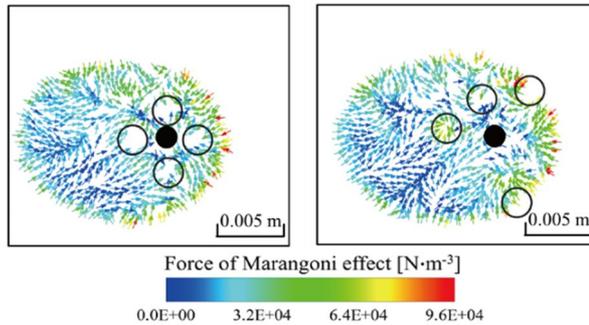


図 10 溶融金属表面に生じる表面張力起因の駆動力の瞬間像

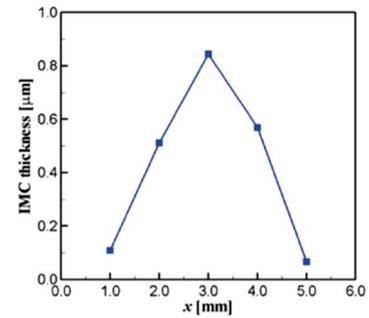


図 11 鉄 - アルミニウム界面に生じる金属間化合物の厚さ分布

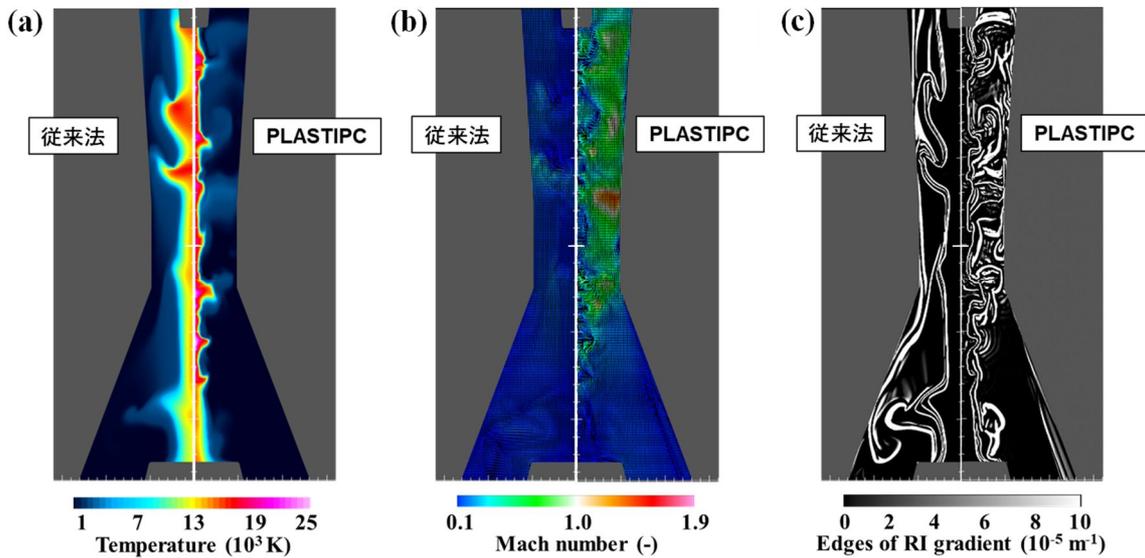


図 12 解離性ガス由来のアークプラズマが非電離気体と共存する系の電磁熱流体シミュレーション結果：(a)温度，(b)マッハ数，(c)屈折率分布の端部抽出

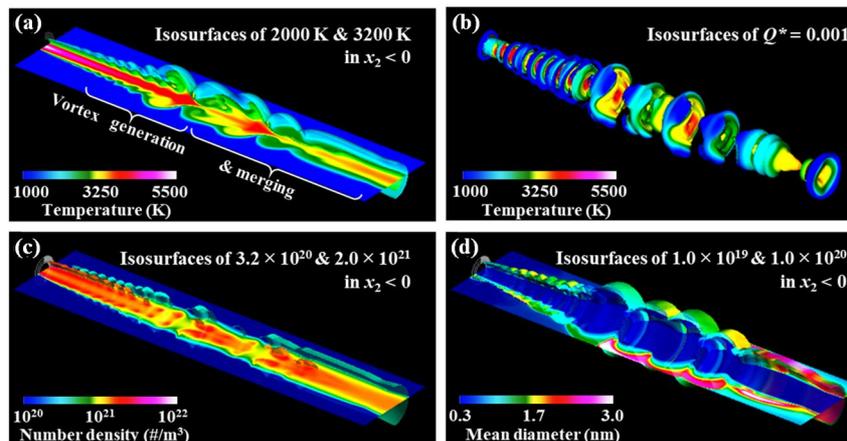


図 13 金蒸気を含む水由来の高反応性プラズマ流と空気の混合系における金ナノ粒子生成過程：(a)温度分布，(b)渦構造，(c)金蒸気原子の空間分布，(d)金ナノ粒子の空間分布

図 13 に同数値計算コードによるシミュレーションによって得ることのできた，金蒸気を含む水由来の高反応性プラズマ流が空気と混合する系の瞬間場を示す。Kelvin-Helmholtz 不安定性によってプラズマ流が渦輪を形成し，周囲の低温空気を巻き込んでいる様子を捉えることに成功した。高温のプラズマ域を輸送される金蒸気原子は低温化が始まる空気との境界領域で均一核生成と不均一凝縮を経て金ナノ粒子群へと相変化する。さらに周囲へ拡散する過程で，粒子間凝集によってさらに成長するため，プラズマ流からより離れたところで大きな粒径を有するナノ粒子群が存在することを明らかにできた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Masaya Shigeta	4. 巻 62
2. 論文標題 Progress of computational plasma fluid mechanics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SL0801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acd8c2	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 Kenta Iida, Hisaya Komen, Masaya Shigeta, Manabu Tanaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Splashing of tungsten-based anode during arc discharge	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-39274-4	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 Jian Wang, Yusuke Hirayama, Zheng Liu, Shunsuke Tsurumi, Masaya Shigeta, Makoto Sugimoto, Joe Yoshikawa, Shoichi Kumon, Kimitaka Sato	4. 巻 976
2. 論文標題 D03-ordered Fe3Al magnetic nanopowders synthesized by low oxygen induction thermal plasma	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 173277
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jallcom.2023.173277	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 Shingo Tomita, Joe Yoshikawa, Makoto Sugimoto, Hisaya Komen, Masaya Shigeta	4. 巻 4
2. 論文標題 SPH Simulation of Molten Metal Flow Modeling Lava Flow Phenomena with Solidification	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Dynamics	6. 最初と最後の頁 287-302
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/dynamics4020017	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 Yuto Yamashita, Masaya Shigeta, Hisaya Komen and Manabu Tanaka	4. 巻 36
2. 論文標題 Asymmetric Abel inversion in imaging spectroscopy for tilted TIG arc plasma	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Welding International	6. 最初と最後の頁 425-433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09507116.2022.2084822	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 Takamasa Fukazawa, Keigo Tanaka, Hisaya Komen, Masaya Shigeta, Manabu Tanaka & Anthony Bruce Murphy	4. 巻 36
2. 論文標題 Numerical investigation for dominant factors in slag transfer and deposition process during metal active gas welding using incompressible smoothed particle hydrodynamics method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Welding International	6. 最初と最後の頁 297-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09507116.2022.2059147	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 Shinnosuke Chikuchi, Masaya Shigeta, Hisaya Komen & Manabu Tanaka	4. 巻 36
2. 論文標題 Particle simulation of nugget formation process during steel/aluminum alloy dissimilar resistance spot welding and thickness estimation of intermetallic compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Welding International	6. 最初と最後の頁 434-442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09507116.2022.2084821	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 Y. Hirayama, M. Shigeta, K. Takagi and K. Ozaki	4. 巻 898
2. 論文標題 Spatial composition distribution of a Ni-Cu binary alloy powder in a thermal plasma process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 162792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.162792	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 山下 悠登, 茂田 正哉, 古免 久弥, 田中 学	4. 巻 39
2. 論文標題 傾斜ティグアークプラズマを対象とした画像分光法における非対称Abel逆変換処理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 溶接学会論文集	6. 最初と最後の頁 233-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2207/qjaws.39.233	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 田中 慶吾, 茂田 正哉, 古免 久弥, 田中 学	4. 巻 39
2. 論文標題 発光分光分析を用いたティグ溶接中のタングステン電極周囲における発光元素の同定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 溶接学会論文集	6. 最初と最後の頁 248-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2207/qjaws.39.248	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 飯田 健太, 田中 慶吾, 茂田 正哉, 古免 久弥, 田中 学	4. 巻 39
2. 論文標題 交流ティグ溶接における電極飛散を支配する因子の実験的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 溶接学会論文集	6. 最初と最後の頁 260-266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2207/qjaws.39.260	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 Kwangjae Park, Yusuke Hirayama, Masaya Shigeta, Zheng Liu, Makoto Kobashi, Kenta Takagi	4. 巻 882
2. 論文標題 Anisotropic Sm-Co nanopowder prepared by induction thermal plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 160633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.160633	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 Masaya Shigeta, Yusuke Hirayama, Emanuele Ghedini	4. 巻 11
2. 論文標題 Computational Study of Quenching Effects on Growth Processes and Size Distributions of Silicon Nanoparticles at a Thermal Plasma Tail	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano11061370	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 Y. Hirayama, M. Shigeta, Z. Liu, N. Yodoshi, A. Hosokawa, K. Takagi	4. 巻 873
2. 論文標題 Anisotropic Nd-Fe ultrafine particles with stable and metastable phases prepared by induction thermal plasma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 159724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.159724	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22件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Computational Studies of Thermal-Plasma-Induced Turbulence on Nanopowder Generation and Sustained Arc Discharge
3. 学会等名 The 75th Annual Gaseous Electronics Conference & The 11th International Conference on Reactive Plasmas (GEC 2022/ICRP-11) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Computational Studies on Nanopowder Formation and Turbulence Generation in Thermal Plasma Applications
3. 学会等名 The 5th International Union of Materials Research Societies - International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (IUMRS-ICYRAM 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Mathematical Modelling and Simulations of Thermal Plasma - Nanopowder Fabrication Processes
3. 学会等名 National Conference on Recent Developments and Evolving Trends in Plasma Science and Technology & Pre-conference Workshop on Modelling and Simulation of Industrial Plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 高温金属溶接シミュレーションへの粒子法の適用
3. 学会等名 Prometech Simulation Conference 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 数学的記述と計算アルゴリズム構築に根差した熱プラズマ流 - 材料創製プロセスの研究
3. 学会等名 日本伝熱学会東北支部 春季講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 数値プラズマ流体工学の事例紹介 熱プラズマ誘発乱流が支配するナノ粒子生成およびアーク消弧プロセス
3. 学会等名 第38回九州・山口プラズマ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 SF6系アークプラズマの乱流誘発メカニズム解明に向けた数値シミュレーション
3. 学会等名 応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会第40回新領域研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 熱プラズマ誘発乱流が関係するナノ粒子生成およびアーク消弧プロセスの数値解析的研究
3. 学会等名 日本学術振興会 第153委員会 第155回研究会『高気圧プラズマプロセスを左右するガス流場の 詳細計測・制御と数値解析』（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴見 俊介, 杉本 真, 茂田 正哉
2. 発表標題 熱プラズマ下流域における二元系合金ナノ粒子生成プロセスの数値解析的研究
3. 学会等名 スマートプロセス学会2022年度学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Computational Plasma Fluid Mechanics -- Studies on Nanopowder Fabrication and Plasma-Induced Turbulence --
3. 学会等名 The 22th Gaseous Electronics Meeting (GEM 2022)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Mathematical Descriptions and Numerical Analyses of Thermal Plasma - Nanopowder Production Processes
3. 学会等名 Faculty of Science, Suez University Symposium in "Higher Performance Computing for Mathematics and Applications" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Mathematical Descriptions and Numerical Predictions of Thermal Plasma - Nanopowder Production Systems
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Shigeta
2. 発表標題 Modelling and Simulation of Turbulent Thermal Plasma Flows for Nanoparticle Mass Fabrication
3. 学会等名 5th Asia Pacific Conference on Plasma Physics, AAPPs-DPP2021 as on-line Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 熱プラズマ流を利用した材料プロセッシングの数値解析的研究
3. 学会等名 化学工学会 第52回秋季大会, SY-56 [熱工学部会シンポジウム] (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 電磁熱流体工学の観点からみたアーク溶接
3. 学会等名 溶接学会東北支部 第33回溶接・接合研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 熱プラズマ：シミュレーション予測
3. 学会等名 2023 プラズマ材料工学研究会/NEXTA フォーラム『熱プラズマスプレー技術の進展とカーボンニュートラルに向けた展開』（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 茂田 正哉
2. 発表標題 プラズマ熱物性データを組み込んだ高温材料プロセスの数値モデリングとシミュレーション
3. 学会等名 日本熱物性学会 セミナーシリーズ 第5回「高温での材料プロセスのシミュレーションと熱物性」（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 MASAYA SHIGETA, YASUNORI TANAKA, YUKI INADA
2. 発表標題 COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF TURBULENCE GENERATION BY SF6 ARC PLASMA IN A MODEL CIRCUIT BREAKER
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Gas Discharges and their Applications (GD 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 Masaya Shigeta
2 . 発表標題 Numerical Study of Axial Magnetic Effects on Silicon Nanopowder Cloud Around an Argon Thermal-Plasma-Jet-Induced Turbulent Flow Field
3 . 学会等名 ASME-JSME-KSME Fluids Engineering Division (AJKFED2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 M. Shigeta, Y. Inada and Y. Tanaka
2 . 発表標題 Two-Dimensional Axisymmetric Simulation of Arc-Plasma-Induced Turbulence of SF6 and Air Flows in a Converging-Diverging Cylinder
3 . 学会等名 The 25th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC25) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Kishimoto, M. Sugimoto, M. Shigeta, M. Tanaka and T. Watanabe
2 . 発表標題 Time-Dependent Numerical Simulation of Heat and Mass Transports in Water Plasma Jet with Air Entrainment
3 . 学会等名 The 25th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC25) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Tsurumi, M. Sugimoto, M. Shigeta, J. Wang and Y. Hirayama
2 . 発表標題 Numerical Study of Collective Formation Process of Fe-Al Alloy Nanoparticles in Thermal Plasma Tail Using Two-Component Co-condensation Model
3 . 学会等名 The 25th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC25) (国際学会)
4 . 発表年 2023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	田中 学 (Tanaka Manabu) (20243272)	大阪大学・接合科学研究所・教授 (14401)	

	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 協力者	渡邊 隆行 (Watanabe Takayuki) (40191770)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	

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			
オーストラリア	オーストラリア連邦科学産業研究機構			
イタリア	ボローニャ大学			