

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06944

研究課題名(和文) 小型プラズマ反応溶射装置による宇宙航空部材への環境適応型光触媒膜の作製

研究課題名(英文) Fabrication of environment-adaptive photocatalytic coatings for aerospace components by means of low power plasma reactive spraying

研究代表者

小林 明 (Kobayashi, Akira)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・客員研究員

研究者番号：70110773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、宇宙航空部品の軽量化のため、独自開発のガストンネル型プラズマ反応溶射装置の小型化、低パワー化を図るとともに、各種軽量部材の表面にTi複合膜を作製し、航空宇宙環境改善に効果のある複合機能材料の開発を目指した基礎研究を行った。プラズマ反応溶射装置のノズル電極の内径8 mm以下では、より小さいガス流量で有効なガストンネルが得られ、1 kW級の低パワーにおいて、プラズマジェットの安定性が向上した。また、プラズマ入力3 kW、溶射距離40 mmにおいて、10秒の短時間溶射で膜厚300ミクロンのTi複合コーティングを作製した。この場合、雰囲気ガスにより、Ti粉末の窒化、酸化を制御できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラスチック、軽金属など軽量材料の表面高機能化に対する入熱の制御の課題がガストンネル型プラズマ反応溶射の小型化、低パワー化、雰囲気制御など本研究成果により解決でき、今後の光触媒膜の開発研究においてすぐれた成果が期待できる。また、Ti複合膜の宇宙航空部材へのプラスチック、軽金属の利用が進むと、その軽量化が達成できるのみならず、宇宙航空機内の環境保全にも寄与する。さらに、新たな表面硬化技術による軽量材料の高機能化は、プラスチック、軽金属部材の需要を今後ますます高め、宇宙航空産業のみならず、自動車やエレクトロニクス等の先端科学技術分野への適用が拡大し、波及効果が大きい。

研究成果の概要(英文)：As aerospace parts, it is necessary to improve the surface functionality of lightweight materials, which is effective in improving the aerospace environment. In this research, the basic research on reducing the size and power of our proprietary gas tunnel type plasma reactive spraying device was conducted, and Ti composite coating was formed on the surface of light metals, plastics, etc.

When the inner diameter of the nozzle electrode of the gas tunnel type plasma reactive spraying device is 8 mm or less, an effective gas tunnel can be obtained with a smaller gas flow rate, and the stability of the plasma jet can be improved at a low power of 1 kW class. In addition, a Ti composite coating with a film thickness of 300 microns was prepared by spraying Ti powder for a short time of 10 seconds at a plasma input of 3 kW. In this case, the nitriding and oxidation of the Ti material can be controlled by controlling the atmospheric gas.

研究分野：プラズマ応用科学

キーワード：プラズマ反応溶射 ガストンネル型 小型化 低電力 複合機能 Ti複合膜 航空宇宙用軽量部材 プラスチックス

1. 研究開始当初の背景

宇宙航空部品に多用される軽金属、プラスチックについては、ガラスや金属に比べて傷つき易い、強度、耐薬品性・耐候性、耐熱性に乏しいなど問題点がある。これを硬質被膜(表面処理)で克服するため、塗布、めっきなどの表面処理が行われている。しかし、これらのプラスチックの表面処理技術は、生産工程が複雑、長処理時間(樹脂めっきには、前処理、電気めっき工程をあわせ、約30工程、3~5時間かかる。)であるなど難点がある。

これに対して、溶射法は簡単に金属被覆ができ、中でもプラズマ溶射は金属のみならず高融点のセラミックスを容易に溶かし、金属、プラスチック表面に硬質膜を作ることができる。ところが、プラスチックの表面改質についてプラズマ溶射法は国内外で現在実用化されていない。この原因は溶射時の熱によるプラスチックのダメージ、衝撃による剥離の問題など課題が多いことにある。このため、いまだプラズマ溶射法による密着性のよい膜作製技術が確立されていない。

研究代表者は一般研究B(H15-H17):ガストンネル型プラズマ反応溶射による航空宇宙用超耐熱材料の開発に関する研究において、新開発のガストンネル型プラズマ反応溶射により高機能のTiN膜をTBCに被覆し、航空宇宙用耐熱材料として使用できる複合コーティングを作製し、その作製プロセスを明らかにしている。以後、H23-H24の挑戦的萌芽研究:プラズマ溶射によるプラスチック樹脂の表面硬化技術の開発と宇宙航空部材への適用、H26-H28の基盤研究(一般)宇宙航空部品の軽量化のためのプラズマ溶射によるプラスチックの表面高機能化において、プラズマ溶射によるプラスチック樹脂の表面硬化技術を確立し、プラスチック表面上に100-200ミクロンの緻密なCu膜、Ni膜、Ti膜、Al膜を作製するなど、プラズマ溶射によるプラスチックの表面高機能化を図り、その宇宙航空部材への適用を検討してきた。本研究では、これらの成果をもとに、さらに小型の汎用プラズマ反応溶射による光触媒TiO₂膜の作製を行い、殺菌、有害物質除去機能などを持つ航空宇宙用環境材としての新しい適用を図る。

2. 研究の目的

宇宙航空部品の軽量化には、軽金属、プラスチックの利用が欠かせないが、強度、硬度など機械的特性、耐熱性など環境特性に劣り、その表面高機能化が求められる。しかし、これまでの表面改質技術には工程が複雑、高コストであるなどの問題がある。本研究では、科研費(挑戦的萌芽研究、一般研究)の成果をもとに、独自開発のガストンネル型プラズマ反応溶射の汎用性を図るため小型化を図るとともに、宇宙航空部材の表面に光触媒機能を持つTiO₂膜を作製し、殺菌、有害物質除去など航空宇宙環境改善に効果のある複合機能材料の開発を目指した基礎研究を行う。

具体的には、プラスチック、軽金属の表面処理として、ガストンネル型プラズマの改良により、1kW級小型プラズマ反応溶射プロセス技術を確立する。これを用いて、プラスチック材、軽金属に対して、Ti粉末材料を用いた反応溶射により作製した光触媒膜の機能性を解明する。さらに、殺菌、有害物質除去など航空宇宙環境改善に効果のある環境適応型コーティングとして、宇宙航空部品への適用性を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、ガストンネル型プラズマ反応溶射装置の小型・低パワー化を図り、その汎用性を上げるとともに、ガストンネル型プラズマ反応溶射によりプラスチック樹脂、軽金属の表面環境機能を改善するため、以下の研究方法で研究を行った。

- (1) ガストンネル型プラズマ溶射(10-20kWタイプ)によりプラスチック樹脂表面に溶射した金属膜について、これまでの皮膜組織・構造、硬度・密着性、耐熱性、耐食性などの機能性に関するデータをまとめるとともに、ガストンネル型プラズマ反応溶射による複合機能材料の作製、環境機能発現についての調査研究を行った。
- (2) 本研究では、ガストンネル型プラズマ溶射の小型化のため、プラズマ切断用の汎用のDC電源(60 A, 100 V)を使用した。この電源の最大電力は6 kWである。図1にそのプラズマトーチの概略図を示す。この場合、渦流ノズル内径:25 mmを20 mmとし、ガスダイバーターノズル径は、10 mm, 8 mmにした。作動ガス流量:150 l/minを30-80 l/minにすることによって、従来のプラズマ電流:200 A(10kW)を80 A以下に減少させ小型化することができた。このプラズマ溶射の性能の確認のため、トーチのガストンネルの効果を調べるとともに、プラズマ溶射装置の性能、低電力ガストンネルプラズマジェットの特長、安定性を調べた。
 - ① 低電力ガストンネル型プラズマ溶射装置のガストンネルの効果、より詳細な作動ガス流の効果を確認するため、低パワーガストンネル型プラズマとして、プラズマトーチ出口ノズル周辺の圧力分布を測定した。この場合低パワーのためガス流量を100 l/min以下とした。圧力

測定は、0.5 mm内径のピトー管と圧力センサーにより行った。ガスダイバーノズル径は、10、及び8 mmとした。

- ② 小型プラズマトーチについて、低パワーガストネル型プラズマジェットを点火して、放電パラメータとして、プラズマジェットの電流、電圧を測定し、電流-電圧特性、及び、作動ガス流量の影響について調べた。この場合Arガス流量は、 $Q = 30 - 80 \text{ l/min}$ で変化させた。また、低パワープラズマジェットの安定性を観測した。
- (3) 以上の低パワー小型プラズマトーチの実験結果をもとに、1-3 kW級のガストネル型プラズマ反応溶射装置を開発し、高融点材料の金属セラミックス混合皮膜作製、複合機能材料作製の実験を行った。このプラズマ反応溶射装置の主な改良点は以下である。
 - ① カソードとしてW電極棒を使用し、プラズマの点火は、高周波スタータにより行った。
 - ② ガスダイバーターノズル径を減少させた。従来20 mmであったものを12 mm, 10 mm, 8 mmとした。(1-3 kWタイプでは、ガスダイバーターノズル径: 8mm)
- (4) 3 kW級ガストネル型プラズマ反応溶射装置により、Ti金属・合金粉末等をプラスチック樹脂、Al等軽金属表面に溶射し、光触媒機能を付加したTiO₂金属/プラスチック複合材料を作製した。
 - ① 図1に示すガストネル型プラズマ反応溶射では低パワーガストネル型プラズマジェットの出力は、DC電源(最大80 A)を用い、3 kWまでの低パワーで操作できる。また、ガスダイバーターノズルは、直径8 mmとした。
 - ② ガストネル型プラズマ反応溶射の実験条件を表1に示す。この場合、アーク電流を $I = 20-80 \text{ A}$ とし、Arガス流量を50 l/minとしたが、雰囲気ガスとして、10 l/minのO₂ガスを用いた。また、基板として表面にブラスト処理されたSUS304基板: 50mm角、2-3mm厚を用い、溶射距離 $L = 40 \text{ mm}$ になるように試料固定装置に取り付けた。
 - ③ 金属粉末としては、チタン粉末(20-40 μm)のほか、銅粉末(50 μm)を用いた。これらの粉末を分析したXRDパターンにより、その金属のピークのみが確認されている。トーチ出口電極の付近から溶射粉末を5 l/minのArガスでガストネルプラズマ中へ5-6 g/minで供給した。この場合、溶射時間10-30 sを調整して異なる厚みの金属膜をプラスチック、Al、SUS等の基板表面上に作製した。

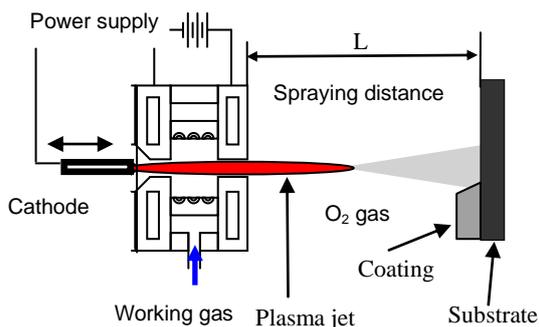


図1 ガストネル型プラズマ反応溶射装置

表1 プラズマ溶射条件 (3 kW class)

Arc current	20-80 A
Voltage	40-50V
Spraying distance	40 mm
Working gas Ar flow rate	50 l/min
Powder feed rate	5 g/min
Spraying time	10-30 s

- (5) 基板表面に作製した金属/プラスチック複合皮膜の評価を以下の方法で行った。
 - ① 作製した金属/プラスチック複合材料の皮膜特性について、断面の組織観察は、光学顕微鏡OMによって行うとともに、そのマイクロ構造は、電子顕微鏡SEM、FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope)等で観測、分析して解明した。また、皮膜の酸化を調べるため、X線回折装置X-Ray Diffractometer (Cu-Kα, 40 kV, 40 mA)を用いて金属膜の結晶構造の分析を行なった。TiO₂の結晶構造(ルチル型とアナターゼ型)の結晶比率について、より光触媒機能の高いアナターゼ型を増加させるよう適性条件を決定した。
 - ② 作製した金属/プラスチック複合の皮膜の硬さや引っ張り強度など機械的特性、傾斜機能性について、皮膜の硬さ測定には微小ビッカース硬度計を使用し、試験加重50 g、保持時間20 sの条件で表面から厚さ方向に20 μmごとに5点の測定を行ない、その平均値を求めた。それらの金属・合金皮膜とプラスチック樹脂との複合・接合機構などを検討した。
 - ③ 以上の金属・セラミック・プラスチック複合材料等、複合機能材料の作製機構、性能等の解明を進めた。

4. 研究成果

ガストネル型プラズマ溶射装置の小型低パワー化を図り、小型プラズマ反応溶射により、Ti金属粉末等をプラスチック樹脂、軽金属表面に溶射し、表面の複合化による環境機能に優れたTi複合機能材料を作製し、その複合・接合機構などを解明するとともに、環境特性の高機能化を図り航空宇宙部品への適用に関する研究を行い、以下の結果を得た。

- (1) ガストネル型プラズマ溶射(10-20kWタイプ)による金属、セラミックス粉末溶射について、これまでの結果・データをまとめるとともに、プラスチックの表面処理技術について調査研究を行い、現状の問題点(高温環境、酸化腐食環境など)を明らかにし、

10 kW 以下でも高品質の溶射が可能であり、低パワー化が可能であるガストンネル型プラズマ溶射法を用いた本研究の特徴を明らかにした。

- (2) 1 kW 級 (750-1500W) 低電力ガストンネル型プラズマ溶射装置について、プラズマ溶射装置の性能の向上を図るため、より詳細な Vortex 作動ガス流の効果を確認し、プラズマジェットの放電特性など基本的性質を明らかにし、前述のような装置の改良をおこない、1 kW 級プラズマ反応溶射装置の確立を行った。

① 低電力ガストンネル型プラズマトーチの圧力特性

ガストンネル型プラズマ溶射装置においてガストンネルの効果を調べるため、作動ガス流量を $Q = 30-80 \text{ l/min}$ で変化させた場合のトーチノズル出口での半径方向圧力分布を測定した結果を図 2 に示す。最小圧力は、中心軸上 $r = 0 \text{ mm}$ に位置し、ノズル壁 4 mm での圧力が大気圧となる。ガス流量 $Q = 30, 40 \text{ l/min}$ ではノズル中心軸と内壁との圧力差はほとんどないが、50 l/min 以上では圧力差は流量とともに増加する。60 l/min 以上では、ボルテックスガストンネルが効果的に生成されていることがわかる。このように、電極の内径が 8 mm の場合、12 mm、10 mm の場合と比較して 50 l/min でも効果が確認されている。

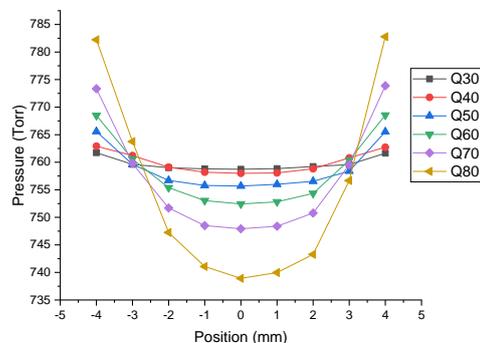


図 2 トーチノズル出口での半径方向圧力分布(ガス流量: $Q = 30-80 \text{ l/min}$)

② ガストンネル型プラズマジェットの放電特性

3 kW DC 電源を用いて生成した 0.5-2 kW の低電力ガストンネル型プラズマジェットの放電特性を調べた。この場合、ガスダイバーターノズルの内径は 8 mm で、Ar 作動ガス流量を $Q = 30-80 \text{ l/min}$ に変化させた。25 A から 40 A の範囲では、電流-電圧 (V-I) 特性は垂下特性(負特性)となり、放電電圧は、電流とともに直線的に減少する。流量が大きいほど、その勾配は小さくなり、垂下特性はゆるくなった。 $Q = 80 \text{ l/min}$ では電圧は 60 V から 54 V まで減少した。ガストンネルの効果と同様、流量が大きいほどプラズマのピンチ効果が強くなるためと考えられる。このため、 $Q = 80 \text{ l/min}$ ではプラズマジェットの安定性が向上し、35A、55 V のときプラズマジェットの長さは、30 mm 以上となった。一方、一定電流の 40A のとき、放電電圧は、Ar ガス流量とともに直線的に増加し、ガス流量に対しては正特性となる。ガス流量が 30 から 80 l/min になると放電電圧は 38 V から 55 V に増加した。

プラズマジェットの安定性については、20 A で点火後 10 s まで放電電圧は不安定であった。30 s 後になると、放電電圧は一定となり、プラズマジェットは安定となった。しかし、30 A では、ピーク電圧 (5 秒後 90 V) が、抑制され、放電電圧はより短い時間 9 s で一定の 40 V となった。プラズマジェットは中心軸に拘束され安定であった。

- (3) 低電力ガストンネル型プラズマ反応溶射装置 (3 kW 以下) の性能の向上を行い、それによる Cu 粉末、Ti 粉末などを用いてプラスチック樹脂、PET 基板表面に作製した金属膜について、皮膜組織・構造、硬度、反応性 (酸化、窒化) について以前のデータと比較した。

① 1 kW 級低電力ガストンネル型プラズマ溶射装置では、ノズル電極の内径が 12 mm、10 mm の場合、プラズマ電流: 20-35 A (1.5 kW 以下)、溶射距離 20-30 mm、作動ガス流量 50 l/min、溶射時間 30 秒の溶射条件で銅粉末の溶射を行い、80 ミクロン以上の膜厚の Cu コーティングが得られた。また、3 kW 級 (72A、45V) のガストンネル型プラズマ溶射では、100 ミクロンの Cu コーティングが PET 基板上に 10 秒の短時間で得られた。Cu 金属膜の機械的特性として、ビッカース硬さは $H_v = 120$ で PET の 10 倍の硬さとなった。高品質の Cu 膜が可能である適正溶射条件では、XRD による分析により Cu 金属膜の酸化はほとんど観測されなかった。

② ガストンネルの効果がある作動ガス流量 50 l/min で Ti 金属粉末のプラズマ溶射を行った。1-3 kW 級ガストンネル型プラズマ反応溶射装置により、PET 基板表面に 10 秒間溶射し、100 ミクロンの Ti/プラスチック複合材料を作製することができた。作製した Ti/TiN, TiO₂ 溶射膜の品質、反応性の評価をより精緻に行うため、1 kW 級プラズマ反応溶射装置による効率的 TiO₂ 膜作製の追加実験を行い、これをもとに、装置の改良・性能向上を行い、1 kW 級低電力ガストンネル型プラズマ反応溶射装置についてトーチの改善・改修を完了した。

- (4) 小型省電力 1-3 kW 級ガストンネル型プラズマ反応溶射装置により、表 1 に示す実験条件において得られた Ti 複合コーティングについて以下の結果を得た。

① 2 kW 級の小型のガストンネル型プラズマ溶射トーチにより、作動流量、出力、溶射時間、溶射距離などを変化させ、Ti 粉末を使用し大気圧中で、SUS 表面 Ti 複合コーティングを作

製し、熔融特性を明らかにした。プラズマ電流48 A、電圧47 V、溶射距離40 mmにおいて、10秒の短時間にステンレス基板上に200ミクロンの膜厚のTi/TiN/TiO₂コーティングを得た。その溶射プロセスにおける反応性については、X線回折装置によりTiに加えて、TiN及び、TiO₂の存在を確認した。また、ノズル電極の内径が8 mmの場合、窒素+酸素の雰囲気中（8 l/minの酸素ガス）でプラズマ電流48 A、電圧57 Vで、SUS基板中心部のTi複合膜厚：340 μmが10秒の短時間で得られた。図3は得られたTi複合皮膜の表面の光学顕微鏡写真である。基板は直径20 mm のマスキングがなされている。

- ② Ti複合コーティングの色は金色でなく、灰白色であったが、これは、窒化、酸化が同時に起きたからである。Ti複合コーティングの色は溶射条件に依存し、雰囲気ガスの酸素により、窒化が抑制され酸化がより進み、コーティングの金色は灰白色に変化したものと考えられる。X線回折装置（XRD）により酸化特性について調べた、この複合Tiコーティングの表面の代表的XRDパターンを図4に示した。このXRDパターンには、TiNとTiO₂のピークが観察され、窒化、酸化が同時に確認された。このときTiのピークも観察され、未反応のTi粒子が存在することがわかった。
- ③ その反応メカニズムとして、Ti粉末がプラズマに投入されると溶射中の超高温状態での酸化窒化に加えて、溶射後の膜の表面で加熱され、酸化、窒化が同時におきることが考えられる。その化学組成・構造は、ガストンネル型プラズマ溶射反応プロセスにおいて雰囲気ガス（N₂, O₂）を変化させることにより、窒化によるTiN、酸化によるTiO₂の形成をコントロールできることを確認した。

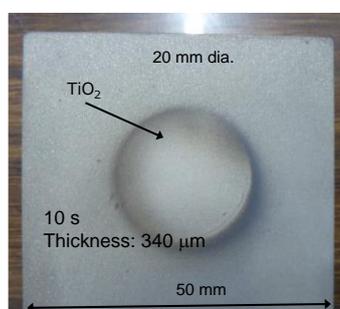


図3 SUS 基板上の20mm直径のTi複合皮膜の表面の光学顕微鏡写真 (48 A, 10 s)

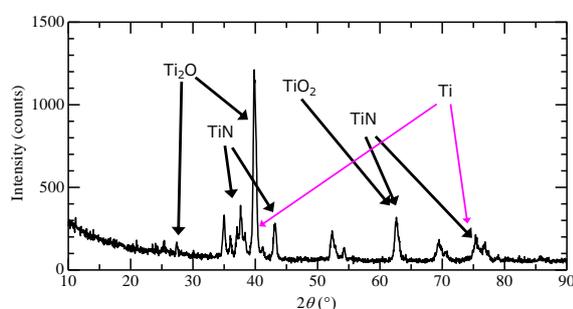


図4 Ti複合コーティングの表面のXRDパターン

- (5) 以上の本研究で得た結果は、学術誌「プラズマ応用科学」、英文誌“Frontier of Applied Plasma Technology”等に論文発表するとともに、R1年に山梨で開催された国際会議ISAPS2019（第12回プラズマ応用科学国際シンポジウム）等において発表した。また、プラズマ応用科学会主催の国際ワークショップ、IAPS2019（H31年沖縄）、IAPS2020（R2年大阪）IAPS2021（R3年東京）、IAPS2022（R4年福岡）において発表した。
- (6) ガストンネル型プラズマ反応溶射の小型化、低パワー化、雰囲気制御など本研究成果により、プラスチック、軽金属など軽量材料の機能化に対して入熱の制御の課題を解決でき、今後の耐熱性、耐食性、光触媒膜など機能性向上の開発研究に寄与できる。また、Ti複合機能膜の宇宙航空部品への利用が進むと、その軽量化が達成できるのみならず、宇宙航空機内の殺菌、有害物質除去など環境保全にも寄与する。さらに、プラスチック、軽金属など軽量材料の高機能化は、宇宙航空産業のみならず、自動車やエレクトロニクス等の先端科学技術分野への適用拡大につながる。

<引用文献>

- ① Y.Arata and A.Kobayashi, “Application of gas tunnel to high-energy-density plasma beams”, *J. Appl. Phys.* **59-9** (1986), 3038-3044.
- ② Y.Arata, A.Kobayashi, and Y.Habara, “Basic Characteristics of Gas Tunnel Type Plasma Jet Torch”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **25-11** (1986), 1697-1701.
- ③ Y.Arata, A.Kobayashi, and Y.Habara, “Ceramic coatings produced by means of a gas tunnel type plasma jet”, *J. Appl. Phys.*, **62-12** (1987), 4884-4889
- ④ A.Kobayashi, Property of an Alumina “Coating Sprayed with a Gas Tunnel Plasma Spraying”, *Proc. of ITSC.*, (1992), 57-62.
- ⑤ A. KOBAYASHI, R. MONGKOLNAVIN, Y. ANDO, H. KOIZUMI, K. KOMURASAKI, Y. OKA, Functionalization of Plastic Surface by Plasma Spraying, *Applied Plasma Science*, Vol.**26-1** (2018), 3-10.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 12件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Doleker Kadir Mert, Karaoglanli Abdullah Cahit, Ozgurluk Yasin, Kobayashi Akira	4. 巻 177
2. 論文標題 Performance of single YSZ, Gd2Zr2O7 and double-layered YSZ/Gd2Zr2O7 thermal barrier coatings in isothermal oxidation test conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 109401 ~ 109401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109401	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 Kobayashi Akira	4. 巻 186
2. 論文標題 Special issue with selected papers from the 12th international symposium on applied plasma science (ISAPS 2019)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 110055 ~ 110055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2021.110055	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 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihoro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN	4. 巻 13
2. 論文標題 Ti Composite Coatings Formed by Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 79-80
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 該当する
1. 著者名 Ryszard SITEK, Malgorzata ZIELINSKA, Akira KOBAYASHI, and Jaroslaw MIZER	4. 巻 13
2. 論文標題 Influence of Plasma Nitriding on Microstructure of Nickel Superalloy Haynes 282	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 81-82
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 該当する

1. 著者名 Yasutaka ANDO, Shiryu IGARASHI, Tomoki HANEISHI, Xuefen WANG, Yoshimasa NODA, and Akira KOBAYASHI	4. 巻 12
2. 論文標題 Photo-Catalytic Titania Film Deposition by 1kW Class APS Equipment Using Air Working Gas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 27-32
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 該当する

1. 著者名 M. Mohammadi , A. Kobayashi , S. Javadpour and S.A.J. Jahromi	4. 巻 167
2. 論文標題 Evaluation of hot corrosion behaviors of Al 2 O3-YSZ composite TBC on gradient MCrAlY coatings in the presence of Na2 SO4 -NaVO3 salt	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 547-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2018.04.042	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 R. El-Sheikhy and A. Kobayashi	4. 巻 167
2. 論文標題 Observations on crack branching of zirconia coating manufactured by plasma spray technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 564-576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2018.04.024	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 Rattachat MONGKOLNAVIN, Jutha CHAITRAKRANKIT, Yoshihoro OKA, and Akira KOBAYASHI	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of 1 kW Class Gas Tunnel Type Plasma Jet and its Application to Effective Plasma Spraying	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 13-19
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 該当する

1. 著者名 Manabu SAITO, Yu IIJIMA, Ai MOMOZAWA, Yutaka KAMEYAMA, Daigo TERUTSUKI, and Akira KOBAYASHI	4. 巻 27
2. 論文標題 Biocompatibility of Sandblasted Titanium and Aluminum Substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Plasma Science	6. 最初と最後の頁 28-33
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 Akira Kobayashi, Hiroyuki Watanabe, Yoshihiro Oka, Rei Kawashima	4. 巻 11
2. 論文標題 Summary of IAPS Conference: IAPS 2018	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 67-72
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 Akira KOBAYASHI, Ratachat MONGKOLNAVIN, Yasutaka ANDO, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yoshihiro OKA	4. 巻 26
2. 論文標題 Functionalization of Plastic Surface by Plasma Spraying	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Plasma Science	6. 最初と最後の頁 3-10
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 該当する

1. 著者名 Yasutaka ANDO, Yoshimasa NODA, Sagr Hadi HSIAN A., Geoffrey Kibiegion RONOH, Alabi Kelvin OLUWAFUNMILADE and Akira KOBAYASHI	4. 巻 25
2. 論文標題 Application of TiO ₂ Film Deposited by Low Power Atmospheric Plasma Spray Equipment to DSSC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Plasma Science	6. 最初と最後の頁 65-70
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 該当する

1. 著者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yuki MORIWAKI, Yoshihiro OKA, Rattachat MONGKOLNAVIN, and S. YUGESWARAN	4. 巻 10
2. 論文標題 Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying and It's Application to Metal Coating	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 59, 64
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 該当する

1. 著者名 Xi WANG, Boyu ZHANG, Fengzhi WU, 安藤康高, 小林 明	4. 巻 29
2. 論文標題 大気エアプラズマプレカーサ溶射による透明アクリル基材上へのTiO2皮膜の形成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 プラズマ応用科学	6. 最初と最後の頁 74-78
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 該当する

1. 著者名 Akira Kobayashi, Rei KAWASHIMA, Hiroki WATANABE, and Takaomi MATSUTANI	4. 巻 14
2. 論文標題 Summary of IAPS Conferences: IAPS 2020 and IAPS 2021	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontier of Applied Plasma Technology	6. 最初と最後の頁 25-32
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 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihiro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN	4. 巻 31
2. 論文標題 Research on Low Power Gas Tunnel Type Plasma Reactive Spraying	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma Application & Hybrid Functionally Materials	6. 最初と最後の頁 3-8
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 該当する

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 19件）

1. 発表者名 Rattachat MONGKOLNAVIN, Nonthakij CHEEJAROEN, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Characteristics of Vortex Flow in Low Power Gas Tunnel Type Plasma Torch
3. 学会等名 IAPS Meeting 2020/International Workshop: IAPS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihoro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN
2. 発表標題 Ti Composite Coatings Formed by Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2020/International Workshop: IAPS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihiro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN
2. 発表標題 Progress of Research on Low Power Gas Tunnel Type Plasma Reactive Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2021/International Workshop: IAPS 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nonthakij CHEEJAROEN, Rattachat MONGKOLNAVIN, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Stability of Low Power Gas Tunnel Type Plasma Jet
3. 学会等名 IAPS Meeting 2021/International Workshop: IAPS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasutaka ANDO, Fengzhi WU, Yoshimasa NODA, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Study on Stabilization of Plasma Jet in Atmospheric Air Plasma Spray
3. 学会等名 IAPS Meeting 2021/International Workshop: IAPS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nonthakij Cheejaroen, Rattachat Mongkolnavin, and Akira Kobayashi
2. 発表標題 New Design of Low Power Gas Tunnel Type Plasma Torch
3. 学会等名 ISAPS2019 : 12th International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Kobayashi, Hiroyuki Koizumi, Kimiya Komurasaki, Yasutaka Ando, Yoshihiro Oka, and Rattachat Mongkolnavin
2. 発表標題 Ti/TiO ₂ /TiN Photocatalytic Coating Formed by Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying
3. 学会等名 ISAPS2019 : 12th International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Ando, Yoshimasa Noda, and Akira Kobayashi,
2. 発表標題 High Rate Deposition of Titanium Oxide Film by Thermal Plasma Assisted Combustion Synthesis Method
3. 学会等名 ISAPS2019 : 12th International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihoro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN
2. 発表標題 Progress in Research on Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2019/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka ANDO, Naoaki TAKAHASHI, Alabi Kelvin OLUWAFUNMILADE, Ettayebi Zine ELABIDINE, Yoshimasa NODA, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Effect of Sodium Chloride Addition to Titanium Oxide Powder on Porosity of the Film Deposited by Low Power APS Equipment
3. 学会等名 IAPS Meeting 2019/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Elackad Rajappan KAVITHA, Selvakumar MEIYAZHAGAN, Subramaniam YUGESWARAN, Kalidass SURESH, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Synthesis of Brown Titania Nanoparticles by Microplasma Treatment
3. 学会等名 IAPS Meeting 2019/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jutha CHAITRAKRANKIT, Rattachat MONGKOLNAVIN, Yoshihiro OKA, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Development of Small Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2019/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ettayebi ZINE ELABIDINE, Akira KOBAYASHI, Yoshimasa NODA, and Yasutaka ANDO
2. 発表標題 Aluminum Oxide Film Deposition by Low Power APS Equipment Using Air Working Gas
3. 学会等名 IAPS Meeting 2019/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Kobayashi, Hiroyuki Koizumi, Kimiya Komurasaki, Yasutaka Ando, Yuki Moriwaki, Yoshihiro Oka, Rattachat Mongkolnavin, and Subramaniam Yugeswaran
2. 発表標題 Low Power Gas Tunnel Type Plasma Spraying and It's Application to Metal Coating on Light Materials
3. 学会等名 International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Jutha Chaitrakankit, Rattachat Mongkolnavin, and Akira Kobayashi
2. 発表標題 Development of Small Power Gas Tunnel Type Plasma Generator
3. 学会等名 International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasutaka Ando, Hsian Sagr Hadi A, Yoshimasa Noda, and Akira Kobayashi
2. 発表標題 Rapid Nitriding of 304 Stainless Steel by Sub Atmospheric Thermal Plasma Nitriding Method
3. 学会等名 International Symposium on Applied Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasutaka ANDO, Hsian Sagr HADI A, Alabi Kelvin OLUWAFUNMILADE, Ettayebi Zine ELABIDINEYoshimasa NODA, and Akira KOBAYASHI
2. 発表標題 Oxide Film Deposition by Low Power APS Equipment Using Air Working Gas
3. 学会等名 IAPS Meeting 2018/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihoro OKA, Norizah REDZUAN, Rattachat MONGKOLNAVIN, and S. YUGESWARAN
2. 発表標題 TiN and TiO ₂ Coatings by Low Power Gas Tunnel Type Plasma Reactive Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2018/International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira KOBAYASHI, Hiroyuki KOIZUMI, Kimiya KOMURASAKI, Yasutaka ANDO, Yoshihiro OKA, and Rattachat MONGKOLNAVIN
2. 発表標題 Final Report of Research on Gas Tunnel Type Plasma Reactive Spraying
3. 学会等名 IAPS Meeting 2022/International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Akira Kobayashi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Institute of Applied Plasma Science	5. 総ページ数 73
3. 書名 ADVANCES IN APPLIED PLASMA SCIENCE	

〔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	安藤 康高 (Ando Yasutaka) (60306107)	足利大学・工学部・教授 (32201)	

	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	小紫 公也 (Komurasaki Kimiya)		
研究協力者	岡 好浩 (Oka Yoshihiro)		

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1件

国際研究集会 IAPS Meeting 2022/International Workshop: IAPS 2022	開催年 2022年～2022年
---------------------------------------------------------------	--------------------

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