

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02133

研究課題名（和文）プラズマ窒化反応とNHラジカルの基礎学術研究の黎明

研究課題名（英文）Basic Study on Plasma Nitriding Process and NH radical

研究代表者

市来 龍大 (Ichiki, Ryuta)

大分大学・理工学部・准教授

研究者番号：00454439

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：各種材料プロセスで多用されるプラズマ窒化反応の素過程を明確にする目的で、NHラジカルと窒化能の相関性を調査した。

パルスアーク型大気圧プラズマジェットにレーザー誘起蛍光法を適用し、ブルーム中のNHラジカル基底種密度を計測した。その結果、窒素-水素動作ガス中の水素ガス分圧比の上昇に伴い、NH密度が指数関数様に減少することが分かった。一方、同一のプラズマで鉄試料の窒化処理を行ったところ、試料表面にドーブされる窒素濃度も同様に指数関数様に減少した。NH密度および窒素濃度の減衰定数はそれぞれ0.92%および0.85%と極めて近い値を示したため、NHラジカルと窒化能に相関性があるという結論に至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマ窒化反応は金属材料の表面硬化に使用され、自動車産業や金型産業など機械コンポーネント製造の分野では必須のプロセス技術である。さらに、各種半導体材料、医療材料、触媒材料など多岐にわたる材料分野でも使用され、近年ではプラズマ農業応用の分野とも関連性が深い。また、窒素はもともと大気の80%を占める元素であるため我が国特有の資源偏在の問題がなく、プラズマ窒化反応は恒久的に使用可能な技術でもある。このように重要な技術の反応素過程が明確になれば、これまででない高速窒化処理などの技術革新や、プロセスの高効率化による材料加工・熱処理産業におけるカーボンニュートラルの促進が期待される。

研究成果の概要（英文）：The correlation between NH radicals and nitriding capability is investigated in order to make clear elementary processes of the plasma nitriding.

The density of NH radicals at the ground state present in the jet plume is measured by the laser-induced fluorescence. As a result, the NH density proved to exponentially decrease with increasing the hydrogen fraction of the nitrogen-hydrogen operating gas. On the other hand, performing nitriding treatment for iron samples with the identical plasma provided that also the concentration of doped nitrogen on the sample surface exponentially decreases with increasing the hydrogen fraction. The decay constants of the NH density and the nitrogen concentration are 0.92% and 0.85%, respectively, from which we concluded that the two factors have a scientific correlation.

研究分野：プラズマ材料科学

キーワード：プラズマ窒化反応 NHラジカル 大気圧プラズマ レーザー誘起蛍光法

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラズマ窒化技術は金属材料表面の高強度化処理など、多岐にわたる産業分野で多用される材料プロセス技術である。しかしながら、プラズマ窒化反応の詳細な素過程が不明確なため体系的な技術革新が難しく、それぞれの学術分野や企業において個々に研究開発が行われている状況にあるといえる。もしプラズマ窒化反応の素過程が明確になれば、例えば効率的な反応だけをピックアップしてそれを高効率化する技術開発につながる可能性が生じ、高速窒化反応の実現やカーボンニュートラルの促進が期待される。

2. 研究の目的

プラズマ窒化反応場において起こりうる化学反応経路は極めて多いため、すべての反応経路を網羅的に調査するのは現実的ではない。一方、鉄鋼表面窒化処理の分野においてはしばしばプラズマ中に存在するNHラジカルが話題に上り、NHラジカルが窒化反応に有効である可能性が議論されてきた。しかしながら、NHラジカルの有効性については明確な科学的証拠は未だ得られていない状況である。

そこで本研究課題では、プラズマ中に存在するNHラジカル密度を計測することにより、NHラジカルとプラズマ窒化反応に相関があるか否かを明らかにする。ここで重要なことは、密度計測の対象は主成分である基底状態の粒子種でなければならず、わずかに存在する励起種の計測では直接的な検証ができないという事実である。

3. 研究の方法

(1) プラズマ源

NHラジカルの存在が発光分光法により明確に検出されているという理由から[1]、調査対象として図1に示す独自のパルスアーク型大気圧プラズマジェット窒化系を用いる。ここで動作ガスは窒素ガスおよび水素ガスの混合ガスであり、水素ガス分圧比 f が最重要の実験パラメータである。

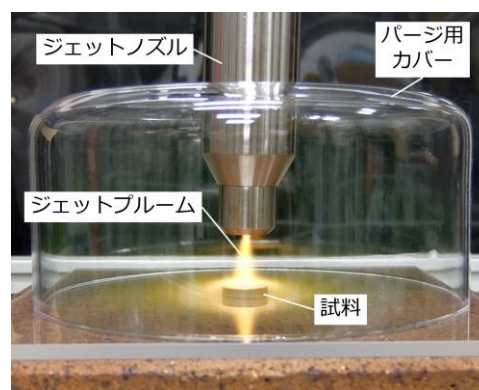


図1 プラズマジェット窒化系

(2) NHラジカル密度計測

プラズマジェット中に存在する基底状態のNHラジカル密度の f 依存性相対変化を計測するため、ここではナノ秒パルスレーザーによるレーザー誘起蛍光法を適用する。過去に行われた燃焼科学の研究により、NHラジカル基底種は約305 nmの紫外光で励起し、その後約336および337 nmの蛍光を発することが分かっている[2]。実験とあわせて反応素過程の数値計算を行い[3]、実験結果と計算結果を突合させることで主要な反応素過程を調査する。

(3) プラズマ窒化処理

窒化反応の供試材には鉄試料を用い、ジェットブルームを大気圧動作ガス雰囲気下で試料表面に照射することで窒化反応を誘発させる。形成された表面窒化層の分析には硬度試験、ボールオンディスクトライボロジー試験、金属組織観察、X線回折法、X線光電子分光法、電子プローブマイクロアナライザーを採用し、多様な視点から調査を行う。

(4) 素過程の多角的調査

反応素過程をさらに多角的に調査するため、レーザー波長を調節することによりNH₂ラジカルの蛍光観測についても試みる[4]。またもうひとつのプラズマ源として、同様の動作ガスにより生成した大気圧誘電体バリア放電を用い[5]、異なるプラズマモードにおける窒素活性種生成の相違について議論する。

4. 研究成果

(1) レーザー誘起蛍光観測系の構築

図2に示すように、光パラメトリック発振式ナノ秒パルスレーザー源を導入し、各種光

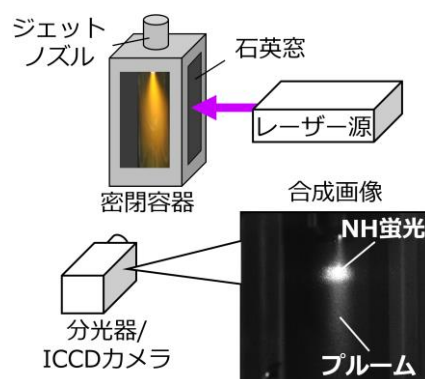


図2 レーザー誘起蛍光観測系

学系を配置・調整し、後述する大気圧プラズマジェット生成・観測系へ紫外線パルスレーザーを照射するための独自の実験系を設計・構築した。加えて、プラズマジェットを大気圧動作ガス下に発生させ、石英窓を通してジェットプルーム中にパルスレーザーを照射し、レーザー照射部からの蛍光を側面から分光器および ICCD カメラで観測するための専用プラズマ生成・観測密閉容器を設計・作製した。

ディレイジェネレータおよびオシロスコープのトリガー機能を併用することで、約 21 kHz で動作するパルスアーク放電と約 10 Hz で動作するパルスレーザーのタイミングの同期を取り、パルスアーク放電の点火から任意の時間後にレーザーを照射し、蛍光を観測できる実験系を完成させた。パルスアーク放電点火直後にジェットプルーム中にレーザーを照射し、レーザーがプルーム中を通過するタイミングで分光計測を行った結果、図 3 に示すように NH ラジカルの A-X(0,0) および A-X(1,1) バンドに相当する蛍光を観測し、世界に先駆けて大気圧プラズマ中の NH ラジカル基底種を検出することに成功した。

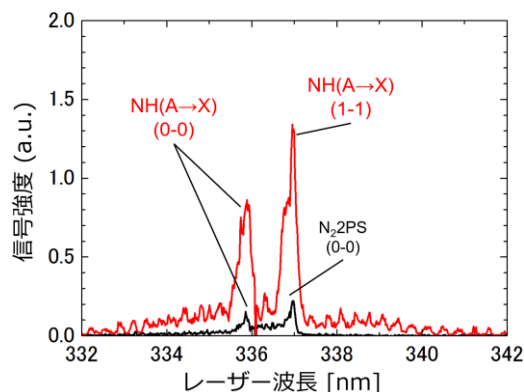


図 3 NH ラジカルの蛍光スペクトル

(2) NH ラジカル基底種密度の調査

詳細なレーザー誘起蛍光観測により、ジェットプルーム中に存在する NH ラジカル基底種について以下のことが明らかとなった。

- ✓ 図 4 に示すように、水素ガス分圧比を $0\% \leq f \leq 1\%$ の範囲において増加させたところ、NH ラジカル蛍光強度は単調に増加した。一方 $1\% \leq f \leq 5\%$ の範囲においては、 f の増加に伴い蛍光強度が急激に、指数関数様に減少することが明らかになった。これはプルーム中の NH ラジカル密度が水素ガス添加に伴い減少することを明示している。NH ラジカル基底種密度の指数関数減衰定数 f_d (密度が $1/e$ 倍になる f の増加量) を算出したところ、 $f_d = 0.92\%$ であった。
- ✓ 反応計算の結果、窒素-水素系において NH ラジカル密度が f の増加に伴い指数関数減少することが再現された。さらに、NH ラジカル密度を減少させる主要な反応経路として、水素原子および水素分子との再結合反応が示された。
- ✓ ジェットプルーム中における NH ラジカル蛍光強度分布を取得した。その結果、図 5 に示すように当該実験系においてはジェットノズル先端から少なくとも 72 mm の距離まで明確な蛍光が見られ、NH ラジカル基底種が比較的遠方まで輸送されていることが明らかとなった。

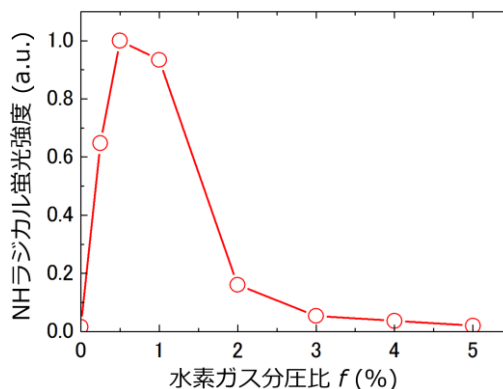


図 4 NH ラジカル密度の f 依存性

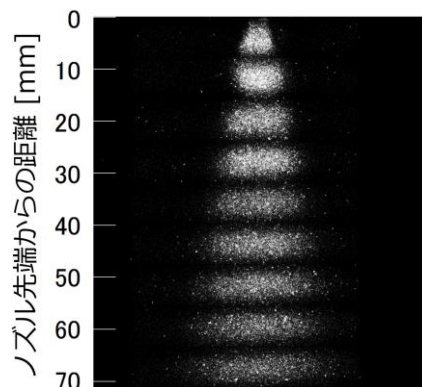


図 5 NH 蛍光の 2 次元マッピング

(3) プラズマ窒化反応の調査

プラズマジェットによる鉄試料の窒化処理実験により、窒素ドーピング特性および窒化層特性について以下のことが明らかとなった。

- ✓ 水素ガス分圧比を $1\% \leq f \leq 5\%$ の範囲において増加させたところ、処理温度および処理時間が同一であるにもかかわらず試料表面にドーピングされる窒素濃度が指数関数様に減少することが明らかとなった。また、窒素濃度の指数関数減衰定数を算出したところ、 $f_d = 0.85\%$ であった。
- ✓ f の増加にともない窒素ドーピング量が減少するという事実が、試料表面に形成される窒化層特性の変化からも明らかとなった。例えば f を 1% および 4% とした場合、前者では試料最表面に化合物層 (鉄窒化物) が明確に形成され、後者では形成されなかった。さらに最表

面硬度も前者の方が高く、そのため摩擦係数や比摩耗量などのトライボロジー特性は前者が僅かに優れていることが分かった。

- ✓ 90 mm 四方の大型試料にジェットブルームを照射することで、照射中心から離れた位置においてもブルームが試料表面に這う形で接触している状況を作り、同時に試料全体を外部加熱系で均一に処理温度まで上昇させ窒化処理を行った。その結果、図 6 に示すようにジェットノズル先端から 63 mm の距離におけるジェットブルームも窒化能を有していることがはじめて明らかとなった。

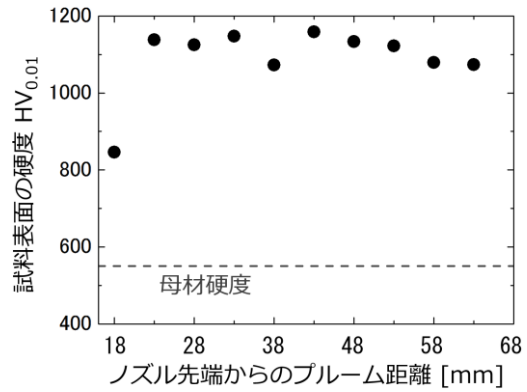


図 6 大型試料最表面の硬度分布

(4) 素過程の多角的調査

大気圧プラズマジェット中における明確な NH_2 蛍光信号は研究期間中に検出できなかった。プラズマ窒化反応の体系的解明の一助とすべく、今後 NH および NH_2 の励起効率の比較調査などを行う必要がある。

誘電体バリア放電については、パルスレーザーの断面積内に放電電力を集中させるため独自にシース状バリアを開発し、図 7 に示すようにバリア放電の集中化に成功した。さらに、集中化させたバリア放電に窒化能があることも検証し、図 7 のように試料表面の数 100 μm 程度の範囲のみ局所的に窒化されることを明らかにした。レーザー誘起蛍光観測の結果、プラズマジェットとは対照的にバリア放電中の NH ラジカル密度が当該レーザー計測系の検出限界以下であることが分かった。この事実は、プラズマジェットとバリア放電では窒化反応素過程が大きく異なることを示唆しており、今後この 2 つのプラズマを比較調査することで反応経路の特定を目指したい。

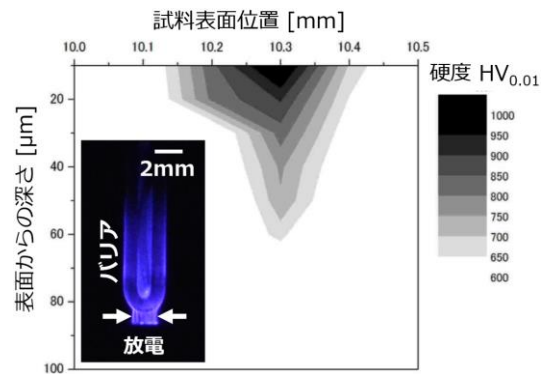


図 7 シース状電極によるバリア放電集中化と試料断面における窒化層の硬度分布

(5) 結論

プラズマ中の NH ラジカル基底種密度および試料表面にドーピングされた窒素濃度は、図 8 に示すように f の増加に伴いともに指数関数減衰を示し、それぞれの減衰定数 f_0 は 0.92% および 0.85% と極めて近い値を示した。この結果は、 NH ラジカル密度およびプラズマ窒化能の相関性が定量的に示された国内外ではじめての研究成果である。

この成果により、今後さらに NH ラジカルを調査する価値が高まった。プラズマ窒化反応のメカニズムが明らかになれば、金属材料の高強度化にとどまらず、医療材料、窒化物半導体、光触媒、プラズマ農業応用など多岐にわたる材料の高性能化・高機能化プロセスの発展に貢献すると期待される。

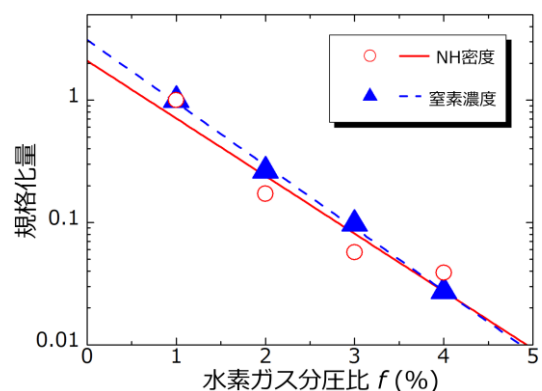


図 8 プラズマ中 NH 密度とドーピングされた窒素濃度の比較

[1] H. Nagamatsu *et al.*: Surf. Coat. Technol. **225**, 26 (2013).
 [2] S. Naing and D. Shimokuri: J. Jpn. Soc. Exp. Mech. **17**, 204 (2017).
 [3] B. S. Truscott *et al.*: J. Phys. Chem. A **119**, 12962 (2015).
 [4] C. Brackmann *et al.*: Spectrochimica Acta A **184**, 235 (2017).
 [5] K. Kitamura *et al.*: Proc. 21st Int. Conf. Gas Discharge and their Appl., 433 (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ando Shoho, Koyanagi Koki, Ichiki Ryuta, Otsu Takefumi, Furuki Takashi, Kanazawa Seiji	4. 巻 144
2. 論文標題 大気圧熱プラズマジェットにより窒化した鉄鋼表面のトライボロジー特性	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 159 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.144.159	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 薬師寺 海斗、若林 咲希、上田 理人、白井 祐大、市来 龍大、立花 孝介、古木 貴志、金澤 誠司、吉村 信次	4. 巻 63
2. 論文標題 大気圧バリア放電によるマスクレス局所窒化および処理面積の制御	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 熱処理	6. 最初と最後の頁 205 ~ 210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14940/netsushori.63.205	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 KINUMOTO Taro, TOMITA Toru, SATO Mai, MATSUOKA Miki, ICHIKI Ryuta	4. 巻 91
2. 論文標題 Surface Treatment of Boron Doped Diamond by Atmospheric-Pressure Nitrogen Plasma Jet: Effects on the Electrochemical Characteristics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 057002 ~ 057002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.23-00021	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 Ichiki Ryuta, Yagawa Noritake, Furuki Takashi, Kanazawa Seiji	4. 巻 108
2. 論文標題 Extension of Treatable Area in Atmospheric-Pressure Plasma-Jet Nitriding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 354 ~ 359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2021-124	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 N. Yagawa, R. Ichiki, K. Tachibana, T. Furuki, S. Kanazawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Dependence of Ground-State NH Radical Fluorescence in Atmospheric-Pressure Pulsed-Arc Plasma Jet on Operating Gas Composition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Conference on Reactive Plasmas	6. 最初と最後の頁 197 ~ 198
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 Ichiki Ryuta, Komatsu Tomoki, Yakushiji Kaito, Tachibana Kosuke, Furuki Takashi, Kanazawa Seiji, Yoshimura Shinji	4. 巻 29
2. 論文標題 Ignition-area extension of dielectric barrier discharge under high temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Results in Physics	6. 最初と最後の頁 104791 ~ 104791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinp.2021.104791	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 市来龍大	4. 巻 61
2. 論文標題 大気圧プラズマ窒化法の研究とその意義	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 熱処理	6. 最初と最後の頁 100 ~ 104
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 市来 龍大	4. 巻 89
2. 論文標題 プラズマプロセスによる金属の表面窒化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 338 ~ 342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.89.6_338	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 市来 龍大	4. 巻 65
2. 論文標題 大気圧誘電体バリア放電による鉄鋼の窒化処理法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 359 ~ 364
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 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 市来龍大
2. 発表標題 大気圧プラズマを応用した窒化技術の研究
3. 学会等名 日本表面真空学会スパッタリングおよびプラズマプロセス技術部会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Ichiki, K. Tachibana, T. Furuki, and S. Kanazawa
2. 発表標題 Correlational Study on Ground-State NH Radical Density and Nitriding Capability using Atmospheric-Pressure Plasma
3. 学会等名 28th IFHTSE Congress (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Ando, K. Koyanagi, R. Ichiki, T. Otsu, T. Furuki, S. Kanazawa
2. 発表標題 Tribological Properties of Nitrided Layer and Oxidized Spot Formed by Nitriding Treatment using Atmospheric-Pressure Plasma Jet
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Kometani, R. Ichiki, T. Nakatani, M. Sonoda, T. Furuki, S. Kanazawa
2. 発表標題 Investigation of Corrosion Resistance of Mg Alloys Oxidized by Atmospheric Pressure Plasma Jet
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Wakabayashi, M. Ueda, A. Takeda, R. Ichiki, K. Tachibana, T. Furuki, S. Kanazawa
2. 発表標題 Laser Induced Fluorescent Observation of NH radicals in Dielectric Barrier Discharge for Nitriding Treatment
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 レーザー誘起蛍光法による大気圧プラズマ中NHラジカル密度変化の検出
3. 学会等名 日本熱処理技術協会第96回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 プラズマ中NHラジカル密度と鉄中Nドーパ量の相関
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市來龍大, 米谷理玖, 山口力樹, 中谷達行, 園田正樹, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型プラズマジェット表面酸化処理によるMg合金の溶解性低減
3. 学会等名 第33回日本MRS年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田理人, 若林咲希, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司, 佐々木徹
2. 発表標題 点電極とシース状バリアを併用した誘電体バリア放電におけるプラズマ局所窒化処理実験
3. 学会等名 第76回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小柳皓幹, 安藤祥歩, 市來龍大, 大津健史, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットした鉄鋼表面および酸化皮膜部のトライボロジー特性
3. 学会等名 第76回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹田周, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型大気圧プラズマジェット中のNH ₂ ラジカルのレーザー誘起蛍光観測の試行
3. 学会等名 第76回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 城戸杏介, 上田理人, 若林咲希, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 誘電体バリア放電の高温拡張化を応用した窒化面積拡大可能性の調査
3. 学会等名 第27回プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池永優希, 竹田周, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 シート状レーザーによるプラズマジェット中NHラジカル基底種の2次元分布観測
3. 学会等名 第27回プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Ichiki
2. 発表標題 Study on NH Radicals and New Nitriding Techniques with Atmospheric-Pressure Plasmas
3. 学会等名 第32回日本MRS年次大会 国際シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Yagawa, R. Ichiki, K. Tachibana, T. Furuki, S. Kanazawa
2. 発表標題 Dependence of Ground-State NH Radical Fluorescence in Atmospheric-Pressure Pulsed-Arc Plasma Jet on Operating Gas Composition
3. 学会等名 11th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yakushiji, S. Wakabayashi, R. Ichiki, K. Tachibana, T. Furuki, S. Kanazawa
2. 発表標題 Elucidation of Ignition-Area Extension of Barrier Discharge under High Temperature and its Application to Precise Control of Nitridable Area
3. 学会等名 11th International Conference on Reactive Plasmas (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米谷理玖, 竹下大貴, 市來龍大, 中谷達行, 園田正樹, 林信哉, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットによる医療用Mg合金に適した酸化被膜形成の調査
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 若林咲希, 薬師寺海斗, 上田理人, 白井祐大, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 電界解析による高温下バリア放電の放電範囲制御性の調査および超局所窒化への応用
3. 学会等名 第75回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤祥歩, 市來龍大, 大津健史, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットを用いた窒化処理におけるトライボロジー特性の調査
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢川智健, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型大気圧プラズマジェット中NHラジカル密度の水素流量比依存性
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryuta Ichiki
2. 発表標題 Nitriding Process by Atmospheric-Pressure Plasmas
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市來龍大
2. 発表標題 大気圧放電を利用した金属材料窒化技術の研究 ~応用から基礎へ~
3. 学会等名 2021年度静電気学会東北・関西・九州支部合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Ichiki, N. Yagawa, K. Tachibana, T. Furuki, and S. Kanazawa
2. 発表標題 Investigation on Treatable Area by Pulsed-Arc Jet Nitriding Based on NH Radical Emission
3. 学会等名 12th Asia-Pacific International Symposium on Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Ichiki, K. Kojima, N. Yagawa, K. Tachibana, T. Furuki, and S. Kanazawa
2. 発表標題 Relationship of NH Radicals Produced by Pulsed-Arc Plasma and Efficiency of Steel Nitriding
3. 学会等名 Material Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Komatsu, R. Ichiki, K. Yakushiji, K. Tachibana, T. Furuki, and S. Kanazawa
2. 発表標題 Effect of Applied Voltage Polarity on High-Temperature Extension Phenomenon of DBD
3. 学会等名 12th Asia-Pacific International Symposium on Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢川智健, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型大気圧プラズマジェットによる窒化可能面積の調査
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薬師寺海斗, 市來龍大, 小松智紀, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 点電極を用いた誘電体バリア放電におけるプラズマ点火面積の制御と局所窒化処理の原理実証
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市來龍大, 矢川智健, 西田脩, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型プラズマジェット中NHラジカルのレーザー誘起蛍光観測
3. 学会等名 39th Symposium on Plasma Processing/34th Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢川智健, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェット窒化におけるNH発光特性と処理可能範囲の相関の調査
3. 学会等名 第74回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薬師寺海斗, 市來龍大, 小松智紀, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 平板型バリア放電窒化処理系におけるプラズマ点火面積と処理範囲の制御
3. 学会等名 第74回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢川智健, 西田脩, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 パルスアーク型大気圧プラズマジェット中の基底状態NHラジカルのレーザー誘起蛍光観測
3. 学会等名 第25回プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薬師寺海斗, 若林咲希, 小松智紀, 市來龍大, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 高温下誘電体バリア放電によるプラズマ点火面積に応じた範囲の窒化处理
3. 学会等名 第25回プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryuta Ichiki
2. 発表標題 Demonstration of Bright Nitriding for Steel with Pulsed-Arc Plasma Jet
3. 学会等名 4th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市來 龍大
2. 発表標題 大気圧プラズマによる金属表面窒化法の問題・課題
3. 学会等名 電気学会プラズマ材料表面処理技術の動向調査専門委員会第1回研究会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市來龍大, 川述圭樹, 小松智紀, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 平板型バリア放電の高温・高電圧拡張現象
3. 学会等名 38th Symposium on Plasma Processing/33rd Symposium on Plasma Science for Materials
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神原優華, 市來龍大, 矢川智健, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェット室化における処理可能面積の調査
3. 学会等名 第24回プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島健人, 市來龍大, 神原優華, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットを用いた光輝室化の水素流量比依存性と処理時間依存性
3. 学会等名 第73回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松智紀, 市來龍大, 川述圭樹, 立花孝介, 古木貴志, 金澤誠司
2. 発表標題 バリア放電の高温拡張化における極性依存性および窒素ドーピングの調査
3. 学会等名 電気学会放電・プラズマ・パルスパワー研究会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 プラズマ材料表面処理技術の動向調査専門委員会	4. 発行年 2023年
2. 出版社 電気学会	5. 総ページ数 73
3. 書名 プラズマ材料表面処理技術の最新動向	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 医療用吸収材料及びその製造方法	発明者 市來龍大, 中谷達行, 園田正樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-000902	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

大分大学放電プラズマ研究室 大気圧プラズマによる金属材料の高性能化
<https://www.eee.oita-u.ac.jp/elec/plasma/research/metal.html>

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	立花 孝介 (Tachibana Kosuke) (10827314)	大分大学・理工学部・助教 (17501)	
研究 分担者	金澤 誠司 (Kanazawa Seiji) (70224574)	大分大学・理工学部・教授 (17501)	

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