

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04539

研究課題名(和文) 火炎を用いた新しい表面機能化プロセスのための固体壁面近傍燃焼機構の解明

研究課題名(英文) Elucidation of Near-wall Combustion Mechanism for New Flame-based Surface Functionalized Process

研究代表者

鈴木 雄二 (Yuji, Suzuki)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：80222066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：火炎は壁面の化学的效果によって大きな影響を受けるが、このような表面反応と気相反応が重畳する燃焼場についての従来の理解は極めて不十分である。本研究では、プラズマ分子線散乱計測により酸素原子の壁面での初期吸着係数を評価し、アルミナが不活性であるのに対し、800℃のステンレス壁面では0.14程度の値を持つことを明らかにした。また、今後アンモニア燃料を導入する際に重要となる窒化の影響について、アンモニア火炎にさらされるステンレス壁面近傍の化学種分布を2光子吸収レーザー誘起蛍光法などにより計測し、また材料中の窒素原子分布を計測して、各種パラメータの影響を系統的に評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、水素火炎における燃焼器ノズル内の壁面反応による逆火の抑制効果、またアンモニア燃料を用いるラジアントチューブバーナなど燃焼炉・燃焼器を構成する金属材料の「望まない窒化」による耐久性の低下に密接に関連しており、カーボンニュートラルの実現のための重要と考えられる水素、アンモニア燃焼の社会実装に重要な役割を果たすと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Flames are greatly affected by the wall chemical effects, but the conventional understanding of the combustion field in which such surface and gas-phase reactions are superimposed is extremely poor. In this study, the initial adsorption coefficient of oxygen atoms on the wall was evaluated by plasma molecular beam scattering measurements, and it was found to have a value of about 0.14 on a stainless steel wall at 800 degC, while alumina is considered inert. The effect of nitriding, which will be important when ammonia fuel is introduced in the near future, was systematically evaluated by measuring the distribution of chemical species near the stainless steel wall exposed to ammonia flame using two-photon absorption laser-induced fluorescence and other methods, and by measuring the distribution of nitrogen atoms in the material.

研究分野：熱工学

キーワード：燃焼 固体壁面 表面機能化 壁面吸着種 レーザー計測

1. 研究開始当初の背景

燃焼現象は加熱用途だけでなく、鉄鋼の脱脂、樹脂フィルムの表面改質など、工業製品の表面機能化にも広く用いられている。その際、火炎は、被加工物表面の流体力学的・熱的な境界条件だけでなく、表面反応による火炎中のラジカルの破壊、あるいは逆に表面反応で生成される化学種の表面からの脱離によって規定される化学的境界条件(壁面の化学的効果)によっても大きな影響を受ける。これまでの永い燃焼工学の歴史の中でも、火炎と壁の干渉効果についてはほとんど熱的な影響のみが検討されており、気相中のラジカル・化学種の固体表面への化学吸着と破壊、および表面反応によって生成されるラジカル・化学種の固体表面からの脱離が気相反応にどのような影響を与えるかについては未解明のままであり、表面反応と気相反応が重畳する燃焼場についての理解は極めて不十分である。研究代表者らは、世界に先駆けて熱炎および冷炎における壁面の化学的効果について定量計測を行い、実際に壁面の化学的効果の影響により火炎構造が変化することを明らかにしており、本研究ではさらなる展開を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、壁面近傍の種々の化学種を計測するための新たな手法の開発と詳細数値解析を組み合わせることによって、気相・表面反応が共存する表面近傍の燃焼場の物理現象を調査するとともに、燃焼応用の表面機能化プロセスの精緻化・省エネルギー化、および新しい表面機能化プロセスの提案のための指針獲得を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、水素火炎、アンモニア火炎における壁面の化学的効果、およびアンモニア火炎における金属壁面の窒化現象について検討するため、(1) プラズマ分子線散乱計測による原子状酸素の吸着反応の定量化(名古屋工業大学・齋木)、(2) アンモニア火炎による窒化現象の計測(東京大学・鈴木・李、産業総合技術研究所・范、大阪大学・赤松)、(3) アンモニア火炎を用いた窒化プロセスのためのシミュレーション(大阪大学・堀)を進めた。

4. 研究成果

(1) プラズマ分子線散乱計測による原子状酸素の吸着反応の定量化(名古屋工業大学・齋木)

燃焼反応において重要なラジカルの一つである原子状酸素(O)の表面吸着反応を定量化した。図1に、プラズマ分子線散乱計測装置の模式図を示す。主室は、 10^{-9} Torr 台の超高真空状態に保持される。O原子線は、主室に接続された差動排気ラインにおいて、O₂ガスのプラズマ分解により生成した。第2段目排気室には、分子線を変調するための回転式チョッパーディスクが設置されており、本実験では、スリット開口角度が15°のチョッパーを用いた矩形波変調を採用した。試料表面には、合成石英基板とともに、同じ石英板上に原子層堆積法および真空アークプラズマガンにより、アルミナおよびステンレス(SUS321)の薄膜を蒸着したものをを用いた。表面温度 T_s は、試料ホルダーに備えたPBN/PGヒーターにより調整される。O原子線およびO₂分子線の試料表面に対する入射角は40°とし、それらの散乱信号は、表面に対し垂直方向に設置した四重極質量分析器(QMS)により検出した。図2に、OおよびO₂入射線の飛行時間(TOF)分布を示す。プラズマによりO₂が部分的に分解され、O原子線を形成可能なことが確認できる。Shifted Maxwell-Boltzmann分布に基づくフィッティングから、このO原子線の平均並進エネルギーは約170 meVであり、700 °Cの気体分子のそれに相当することを確認している。

図3に、 $T_s=30$ °Cにおける、石英表面で散乱したOおよびO₂のTOF分布を示す。図2に示した入射線と同じく、O₂よりもOの信号強度が高い。ここで、散乱分子のTOF分布 $R(t)$ は、直接非弾性散乱成分 $R_{dir}(t)$ と吸着-脱離成分 $R_{ads}(t)$ を含むと考えられ、重み係数 γ を用いて、 $R(t) = \gamma R_{dir}(t) + (1 - \gamma)R_{ads}(t)$ で表せる。散乱分子の温度は、直線散乱過程では入射線の並進温度が保持され、吸着-脱離過程では表面温度と平衡となる。図3には、理論式に基づいて得た、OおよびO₂散乱信号のフィッティングカーブを併せて示している。OおよびO₂ともに、直接散乱過程のみ($\gamma=1$)でTOF分

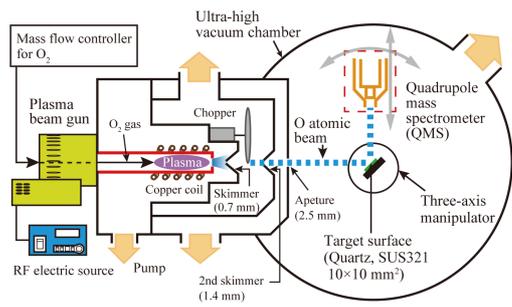


図1 プラズマ分子線散乱計測装置。

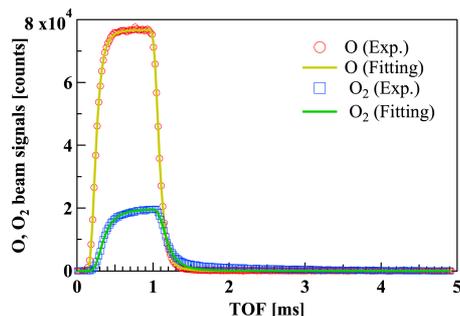


図2 O および O₂ 分子ビームの Time-of-Flight(TOF)分布。

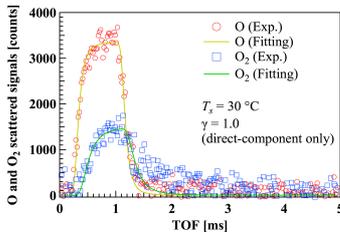


図3 石英表面 ($T_s = 30\text{ }^\circ\text{C}$) における散乱 O および O_2 の TOF 分布.

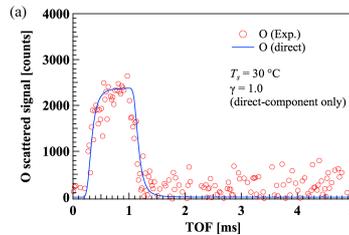
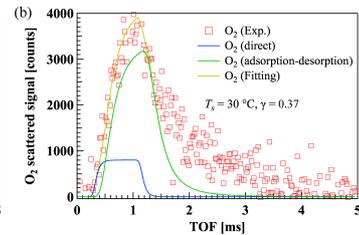


図4 SUS321 表面 ($T_s = 30\text{ }^\circ\text{C}$) における散乱 TOF 分布 (a) O, and (b) O_2 .



布をよく再現できることが分かる. 化学吸着した O は表面上で O_2 へと再結合し脱離すると考えられるが, O_2 信号中の吸着・脱離成分が明確に確認できないことから, 石英表面における O の吸着確率は小さいと予想される. 一方, 図4に, $T_s = 30\text{ }^\circ\text{C}$ における, SUS321での TOF 分布を示す. 石英での結果と違い, O よりも O_2 の信号が強くなるとともに, O_2 の TOF 分布の形状は, 図2に示した入射する O_2 のそれとは大きく異なることが分かる. O_2 の TOF 分布における γ は 0.37 となり, 吸着-脱離成分, すなわち, O の再結合による表面温度になじんだ O_2 を多量に含むことを示している.

入射および散乱時の O と O_2 信号強度の比を用いることで, O の初期吸着係数 S_0 を算出した. 図5および表1に, 石英, アルミナおよび SUS321 表面での, 異なる T_s における S_0 を示す. 石英の S_0 は, $T_s = 30, 200, 400, 600, 800\text{ }^\circ\text{C}$ において, それぞれ, $S_0 = 0.119, 0.067, 0.032, 0.028, 0.022$ であり, T_s の上昇とともに値が小さくなる. これは, 高温ほど物理吸着した O の脱離が促進されるためと推測される. また, アルミナにおける S_0 は石英よりもさらに小さく, 特に $400\text{ }^\circ\text{C}$ 以上ではほぼ吸着しなくなることが分かる. 一方, SUS321 における S_0 は, 石英と比較し1桁程度高く, O に対し強い化学的効果を有することが明らかとなった.

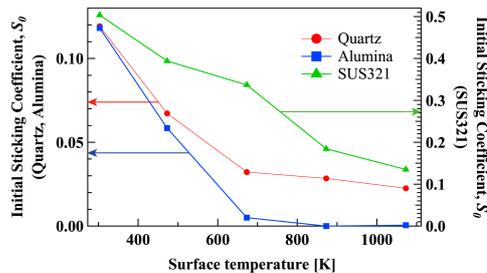


図5 石英, アルミナ, SUS321 表面の O の初期吸着係数 S_0 と壁温 T_s の関係.

Table 1 O の初期吸着係数 S_0 .

T_s [$^\circ\text{C}$]	30	200	400	600	800
Quartz	0.119	0.067	0.032	0.028	0.022
Alumina	0.118	0.058	0.005	0	0
SUS321	0.503	0.394	0.337	0.184	0.135

(2) アンモニア火炎による窒化現象の計測

①アンモニア火炎が窒化に与える影響の評価 (東京大学・鈴木・李, 産業技術総合研究所・范)

図6に窒化実験系の概略を示す. 内径 4 mm の水冷ジャケット付きステンレス製ノズルから 92 cm/s の平均流速で $\text{NH}_3/\text{O}_2/\text{N}_2$ 混合気を噴射させた. $\text{NH}_3/\text{O}_2/\text{N}_2$ 混合気中の酸素分率と当量比は, それぞれ 0.4 と 1.2 とした. 混合気を着火させてアンモニア予混合火炎を形成し, 直径 30 mm, 厚み 3 mm の円板状 SUS310S (耐熱オーステナイト系ステンレス鋼) 製試験片に衝突させた. 金属試験片の火炎衝突面の反対側を赤外線ランプヒーターにより加熱し, 火炎衝突面の温度を放射温度計で計測することにより, 表面温度を $550\text{ }^\circ\text{C}$ に保持した. ノズル出口から試験片表面までの距離は 3.6 mm とした. アンモニア火炎と接触する前後の試験片の表面硬さをナノインデント (ENT-NEXUS, ELIONIX) により測定した. 金属内部に拡散した窒素原子濃度分布は, 走査型電子顕微鏡 (JSM-6610LV, 日本電子) / 波長分散 X 線分光法 (SEM/WDS) により計測した.

一方, 壁面近傍における気相化学種が窒化現象に及ぼす影響を調査するため, NH ラジカルおよび NH_3 分子の分布を, それぞれ平面レーザ誘起蛍光法 (PLIF) と二光子吸収レーザ誘起蛍光法 (Two-photon Absorption LIF; TALIF) により計測した. NH -PLIF と NH_3 -TALIF の励起波長と検出波長は, それぞれ 305.3 nm/336 nm と 304.8 nm/568 nm とした. 図1に示すように, Nd: YAG レーザの第二高調波より色素レーザを励起させ, BBO 結晶を用いて半波長の紫外パルス光を発生させた. 3枚のレンズを通じてビーム光をシート状に成形し, 火炎に照射した. 励起化学種からの蛍光強度は, バンドパスフィルタ (中心波長: 337 nm, 568 nm) 付き ICCD カメラにより計測した. また, 中心波長 605 nm のバンドパスフィルタを通して, NH_2^* ラジカルからの自発光強度を計測し, 逆アーベル変換を施すことで断面分布を算出した.

図7に, 計測で得られた NH , NH_2^* , NH_3 の分布を示す. 壁面近傍において, NH_3 は $r < 3\text{ mm}$ の領域に分布するのに対し, NH と NH_2^* はより中心軸から遠い領域に位置しており, $r = 3\text{ mm}$ 近傍で噴流軸と平行に火炎面を形成することが判る. 図8に, $550\text{ }^\circ\text{C}$ の条件で NH_3 火炎に5時間晒された試験片の表面硬さ分布および窒素原子の質量分率分布を示す. アンモニア火炎との接触により, 試験片の中心部における表面硬さは 199 kgf/mm^2 から 476 kgf/mm^2 に増大し, 窒素原子の

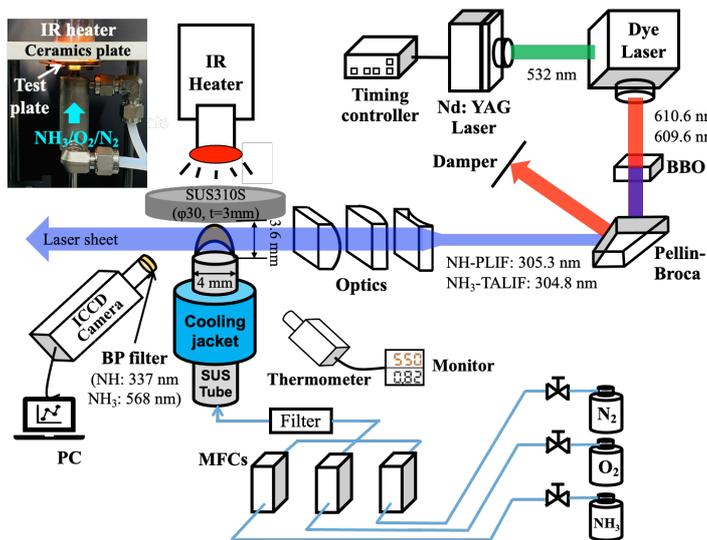


図6 窒化実験系の概略

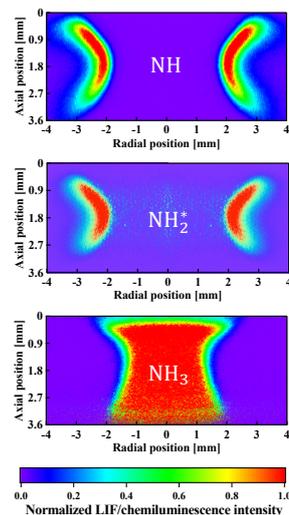


図7 SUS310S 壁面近傍の NH, NH₂^{*}, NH₃ 分布. 0 mm が壁面, 3.6 mm がノズル出口位置.

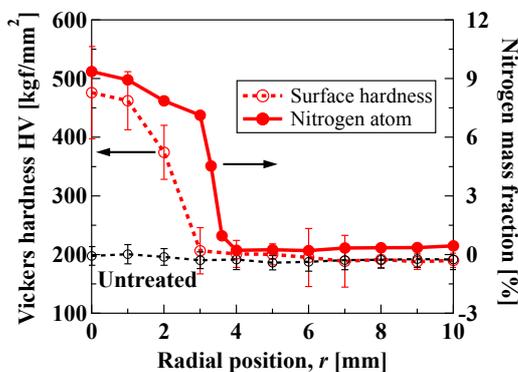


図8 NH₃/O₂/N₂ 火炎に5時間さらされた SUS310S 壁面の表面硬さおよび窒素原子濃度の半径方向分布.

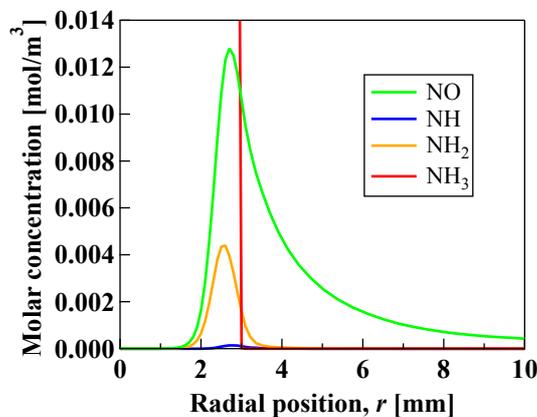


図9 2次元数値解析により得られた NO, NH, NH₂, NH₃ の壁面での半径方向分布.

質量分率は9.4%まで増加した。一方、表面硬さが増加する領域が $r < 3$ mm であることに對し、窒素原子は $3 < r < 4$ mm の領域においても検出される。 $3.3 < r < 4$ mm では窒素原子の質量分率は固溶限界よりも低く、窒素原子が金属原子と結合せず固溶化した状態でオーステナイトに存在するため、窒化物として析出せず、表面硬さの増加に繋がっていないと考えられる。一方、 $r = 3$ mm での質量分率は固溶限界を超えているが、表面硬さは増加していない。この領域では、島状の窒化物の析出が確認されており、表面硬さと窒素原子濃度の測定点に相対誤差があるため、このような結果になったと考えられる。

図9に、別途行った数値解析より得られた壁面上の NH, NH₂, NH₃, NO のモル濃度分布を示す。この結果から、 $2 \text{ mm} < r < 3 \text{ mm}$ の領域においてはいずれの化学種も分布するが、NH₃ 濃度が極めて高いため、試験片の中心近傍においては NH₃ に起因する窒化効果が支配的であるといえる。一方、 $3 \text{ mm} < r < 4 \text{ mm}$ の領域では、NH₃ はほぼ存在せず、濃度が大きい順に NO, NH₂, NH となっている。しかし、NO は $r > 4 \text{ mm}$ においても存在するにもかかわらず、窒素原子が材料中に拡散していないことから、 $3 \text{ mm} < r < 4 \text{ mm}$ の領域における窒化は、主として NH₂ ラジカルに起因すると考えられる。

本研究では、NH₃/O₂/N₂ 予混合火炎による SUS310S の窒化におけるラジカル種の影響に注目し、火炎に晒された後の試験片表面の硬さ及び窒素原子濃度分布、気相中の化学種分布を計測した。NH₃ が存在しない $3 \text{ mm} < r < 4 \text{ mm}$ の領域においても、試験片内部への窒素原子の拡散が確認され、表面反応を考慮した数値解析結果から、NH₂ が窒化に寄与する可能性を示唆した。

②メタン・アンモニア混焼火炎の実験計測 (大阪大学・赤松)

アンモニア噴流火炎の壁面衝突を観察可能な実験装置を用いて、アンモニア火炎の自発光撮影および熱流束の計測を行った。図10に実験装置の概略図を示す。バーナは三重管構造とした。バーナ中心軸から順に酸素、燃料、酸素が噴出される。図11に火炎の自発光画像を示す。アンモニア単体では火炎を安定に形成できなかったため、アンモニア混焼率0% (メタン単体)、30%、

50%の3条件の実験を実施した。熱流束についても計測した。今回は窒化プロセスの定量化は検討できなかったが、アンモニア火炎の壁面衝突過程と熱流束の計測に成功した。

(3) アンモニア火炎を用いた窒化プロセスのシミュレーション (大阪大学・堀)

火炎の窒化プロセスにおける表面反応を適切に予測するためには、壁面と火炎の相互作用を適切に把握することが必要となる。ここでは、噴流火炎の壁面衝突過程の計測結果を用いて、提案する計算手法の精度を検証した。

計算は圧縮性を考慮した連続の式、運動量保存式、化学種保存式、エネルギー保存式を支配方程式として採用した。壁面近傍における火炎の消炎現象、壁面近傍の温度と化学種濃度の予測に加え、東京大学が提案する表面反応モデルを導入可能とするため、燃焼反応に対して、燃料の素反応を直接計算した。さらに、化学種保存式においては、選択拡散効果についても考慮できるようにした。乱流モデルには RANS を用いた。壁面温度を推定するために、固体内部の温度分布を熱伝導方程式により計算した。さらに、気相と固体領域間の熱移動を考慮する、熱連成解析を採用した。計算時間の削減のため、反応計算の常微分方程式ソルバにおいてヤコビアン行列を解析的に求める手法を採用した。さらに、MPI+OpenMP のハイブリッド計算と MPI 領域間の計算負荷を平準化するダイナミックロードバランスを採用し、計算時間を削減した。計算精度は Sandia Flame D のベンチマーク火炎を用いて検証し、十分に火炎を予測できることを確認した。

計算精度は、水平に設置した金属円盤に対して、鉛直上向きに火炎を衝突させ、金属円盤の半径方向の温度分布を計測した実験結果を用いて検証した。図 12 に実験結果と計算結果の比較を示す。横軸は金属板の半径方向距離をノズル半径で無次元化している、縦軸は円盤端面 $r=r_b$ における壁面温度 T_0 [K]との温度差を表している。計算結果は実験値の傾向を概ね再現していることから、計算精度は十分であるといえる。

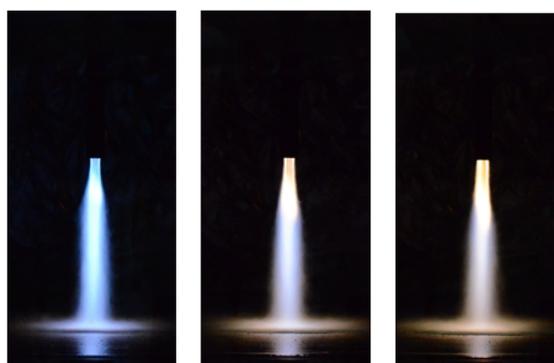
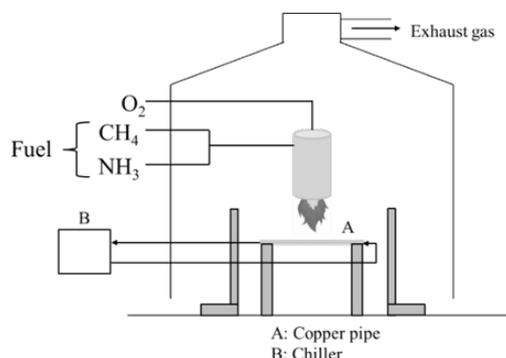


図 10 アンモニア噴流火炎を用いた実験装置 図 11 メタン・アンモニア混焼条件における壁面衝突噴流火炎。数字はアンモニア混焼率。

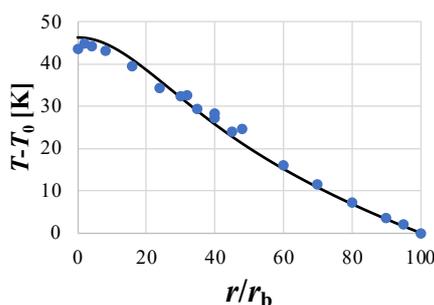


図 12 壁面温度の数値予測。点：実験，実線：計算

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8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 Yang, Y, Hori, T, Sawada, S, Akamatsu, F	4. 巻 -
2. 論文標題 Towards the Development of Low-NO Ammonia Co-combustion Furnaces: Numerical Investigation into the Secondary Injection System using the Conjugate Heat Transfer Method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 -
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 Yang Yinan, Hori Tsukasa, Sawada Shinya, Akamatsu Fumiteru	4. 巻 368
2. 論文標題 Numerical investigation on the effects of air-staged strategy and ammonia co-firing ratios on NO emission characteristics using the Conjugate heat transfer method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Fuel	6. 最初と最後の頁 131591 ~ 131591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fuel.2024.131591	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 Fan Yong, Wang Ziyue, Wang Yejun, Lee Minhyeok, Kulatilaka Waruna D., Suzuki Yuji	4. 巻 39
2. 論文標題 Species structures in preheated ammonia micro flames	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 4427 ~ 4436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.proci.2022.07.267	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 Feng Peijie, Lee Minhyeok, Wang Daoyuan, Suzuki Yuji	4. 巻 48
2. 論文標題 Ammonia thermal decomposition on quartz and stainless steel walls	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 29209 ~ 29219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2023.04.106	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 Mizuno Tomotaka, Suzuki Yuji, Lee Minhyeok	4. 巻 348
2. 論文標題 Ignition and extinction characteristics of n-alkane cool flames on a heated wall with different surface reactivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Fuel	6. 最初と最後の頁 128587 ~ 128587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fuel.2023.128587	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 Wang Daoyuan, Lee Minhyeok, Suzuki Yuji	4. 巻 1
2. 論文標題 Nitriding Effects of Ammonia Flames on Iron-based Metal Walls	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Ammonia Energy	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18573/jae.8	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 LI Gengyu, SUZUKI Yuji, LEE Minhyeok	4. 巻 65
2. 論文標題 Investigation of Premixed Cool Flame Ignition Characteristics under Mildly-Elevated Pressures by Using TDLAS	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 178 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.2301	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 Lee Minhyeok, Fan Yong, Ju Yiguang, Suzuki Yuji	4. 巻 231
2. 論文標題 Ignition characteristics of premixed cool flames on a heated wall	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Combustion and Flame	6. 最初と最後の頁 111476 ~ 111476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.combustflame.2021.111476	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 李 敏赫、鈴木 雄二	4. 巻 63
2. 論文標題 予混合冷炎の着火および分布における壁面の化学的效果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 93 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.63.204_93	査読の有無 無
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 齋木 悠	4. 巻 63
2. 論文標題 プラズマ技術と燃焼計測技術による壁面の化学的效果の解明とモデル化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 101 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.63.204_101	査読の有無 無
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29件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Suzuki, Y.
2. 発表標題 Quantitative Measurement of Wall Chemical Effects for Hydrocarbon/ammonia Flames
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC), Kaohsiung (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yang Yinan, Bai Zhiren, Tsukasa Hori, Sawada Shinya, Fumiteru Akamatsu
2. 発表標題 Towards accurate simulation on a three- dimensional turbulent partially premixed flame with detailed chemistry and radiative heat transfer
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC), Kaohsiung (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Xu, X., Lee, M., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Measurements of NH ₃ and NH ₂ * Profiles in Ammonia Counterflow Diffusion Flames
3. 学会等名 2nd Symp. on Ammonia Energy, Orleans (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 許 星長, 王道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 NH ₃ /NH ₂ Distribution Measurements in Ammonia Diffusion Flames
3. 学会等名 第60回日本伝熱シンポジウム, 福岡, F124
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火炎によるステンレス鋼の窒化過程における壁面温度の影響
3. 学会等名 第60回日本伝熱シンポジウム, 福岡, F132
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yujian Xing, 王道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火炎による金属壁面の窒化に対する水蒸気濃度の影響
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2023, 神戸, E124
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王 道遠, Yujian Xing, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火災による金属の窒化におけるラジカル種の影響,
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム講演論文集, 秋田, A213
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 許 星長, 王 道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア拡散火災における複数化学種分布のレーザ計測
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム講演論文集, 秋田, D323
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋木悠, 杵淵郁也, 鈴木雄二
2. 発表標題 プラズマ分子線散乱法による原子状酸素表面吸着反応の計測
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム講演論文集, 秋田, E121
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田凌晟, 齋木悠
2. 発表標題 大気圧非平衡プラズマジェットによる窒素原子の表面反応挙動の調査
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム講演論文集, 秋田, P215
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yinan Yang, Tomoya Nakai, Tsukasa Hori, Shinya Sawada, Fumiteru Akamatsu
2. 発表標題 Numerical Analysis of NO Emission Characteristics in a 10-kW Class Combustion Furnace with Ammonia Co-Firing
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム講演論文集, 秋田, D121
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fan, Y., Wang, Z., Wang, Y., Lee, M., Kulatilaka, W. D., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Effect of thermal dissociation in rich preheated ammonia micro flames
3. 学会等名 39th Int. Symp. Combustion (Combustion 2022), Vancouver, 4D03 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, D., Lee, M., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Nitriding effects of ammonia flames on metal walls under different surface temperatures
3. 学会等名 1st Symp. on Ammonia Energy, Cardiff Univ., AP04 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 李 耕宇, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 予混合冷炎の着火特性解明のためのHCHO濃度とガス濃度の同時計測
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム, 岐阜, A313
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王 道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火炎による金属壁面の窒化に関する研究
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム, 岐阜, A333
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮川絢麻, 丹羽紘章, 齋木悠
2. 発表標題 表面反応によるラジカル消失がアンモニア・空気予混合火炎に及ぼす影響
3. 学会等名 第59回日本伝熱シンポジウム講演論文集, A321
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Peijie Feng, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 Mutual Interaction between Ammonia Thermal Decomposition and Nitriding on Metal Surface
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2022, 東京, H134
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王 道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火炎による窒化現象における金属壁面温度の影響
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム講演論文集, 東京, B214
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gengyu Li, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 Investigation of pressure effect on cool flame ignition characteristics with simultaneous measurements of HCHO concentration and gas temperature
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム講演論文集, 東京, A223
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上文哉, 齋木悠
2. 発表標題 大気圧プラズマジェットによる金属酸化物表面における水素・酸素原子吸着の評価
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム講演論文集, 東京, C412
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Feng, P., Lee, M., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Effect of Wall Surface Materials on Ammonia Pyrolysis
3. 学会等名 13th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC), Abu Dhabi (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuno, T., Lee, M., and Suzuki, Y.,
2. 発表標題 Ignition and Extinction Characteristics of Wall-stabilized Premixed n-Alkane Cool Flames
3. 学会等名 13th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC), Abu Dhabi (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野 智貴, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 直鎖アルカン壁面安定化冷炎の着火・消炎特性に対する壁面の化学的効果
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム, C134
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 慧, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 壁面安定化冷炎の着火特性における圧力依存性
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム, C134
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Peijie Feng, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 Effect of Wall Surface Materials on Ammonia Pyrolysis
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2021, A112
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 道遠, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 アンモニア火炎が金属壁の表面硬さに与える影響
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム講演論文集, B114
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野 智貴, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 直鎖アルカンの壁面安定化冷炎における壁面の化学的効果
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム講演論文集, E125
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gengyu Li, 李 敏赫, 鈴木 雄二
2. 発表標題 TDLASを用いた予混合冷炎の着火特性における圧力依存性の計測
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム講演論文集, A224
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 駒澤圭悟, 村上文哉, 齋木悠
2. 発表標題 大気圧ヘリウムプラズマジェットによる水素・酸素原子の吸着反応の評価
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム講演論文集, A123
4. 発表年 2021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	赤松 史光 (Akamatsu Fumiteru) (10231812)	大阪大学・大学院工学研究科・教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	堀 司 (Hori Tsukasa) (40744066)	大阪大学・大学院工学研究科・講師 (14401)	
研究分担者	范 勇 (Fan Yong) (40748662)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	齋木 悠 (Saiki Yu) (60550499)	名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授 (13903)	
研究分担者	李 敏赫 (Minhyeok Lee) (80828426)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師 (12601)	

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		
	米国	プリンストン大学	テキサスA & M大学