

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03870

研究課題名(和文) 障害物上におけるデトネーション遷移メカニズムの解明(障害物の位置・高さの影響)

研究課題名(英文) Clarification of detonation transition mechanisms over obstacle (effects of obstacle position and height)

研究代表者

小原 哲郎(Obara, Tetsuro)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80241917

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：可燃性の予混合気体中を伝播する燃焼波はデフラグレーション波とデトネーション波に大別することができるが、障害物上でデフラグレーション波がデトネーション波に遷移する過程について実験的に調査した。まず、デトネーション管内に単一の障害物を設置し、障害物上の周りで生じるデトネーション遷移過程について、シュリーレン光学系を用いた可視化観察実験を行った。次に、障害物背後における火炎の伝播過程を明らかにするため、28個のイオンプローブを底面に設置し、イオンプローブからの信号を記録することにより、障害物背後ではChapman-Jouguetデトネーション速度に相当する速度で火炎が伝播していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

障害物上でデフラグレーション波がデトネーション波に遷移する過程については古くから調査されてきたが、障害物付近におけるデトネーション遷移過程については局所的かつ超高速で生じることから十分明らかにされていない。本研究では、超高速ビデオカメラによる可視化観察およびイオンプローブを用いて火炎の位置を検出し、可燃性気体の着火によって生じた圧縮波が障害物で回折することにより渦を形成すること、渦に火炎が巻き込まれて伝播することにより障害物背後に未燃の気体ポケットを形成すること、回折した火炎が障害物方向に伝播すること過程でCJデトネーション波の伝播速度に相当する速度まで加速されることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A combustion wave propagating in combustible premixed gas is classified into a deflagration wave and detonation wave, and deflagration-to-detonation transition processes are experimentally investigated. Firstly, one obstacle is installed in a detonation tube and deflagration-to-detonation transition processes are visualized using schlieren optical method. Next, 28 pieces of multiple ion-probes are flush mounted on a bottom surface. It is clarified that the combustion wave propagating velocity on the bottom surface is almost same as Chapman-Jouguet detonation velocity.

研究分野：Combustion

キーワード：Detonation wave Deflagration wave Detonation transition Obstacle

1. 研究開始当初の背景

燃性予混合気中を伝播する火炎の形態は、デフラグレーション波とデトネーション波に大別することができる。デフラグレーション波は亜音速で伝播するのに対し、デトネーション波は衝撃波を伴って超音速で伝播する性質がある。デフラグレーション波がデトネーション波に遷移する現象はデトネーション遷移過程 (Deflagration-to-Detonation Transition, 以下, DDT と略す) と呼ばれているが, DDT は様々な状況下で発生することが知られている⁽¹⁾。例えば, 管内にらせん状の細線や障害物を挿入すると, デフラグレーション波が加速してデトネーションへ遷移するまでの距離や時間が著しく短くなり, DDT を促進することが知られている⁽²⁾。Gamezo ら⁽³⁾は, 連続した障害物のブロックage比 (Blockage Ratio, 以下, BR と略す) が DDT の発生に及ぼす影響について調べており, 障害物の高さが管径の半分程度である場合に DDT が最も促進されることを数値計算により明らかにしている。この際, 火炎は既燃気体に対する音速の約 50% まで加速した後, 局所爆発を介して DDT が生じる。また, Dorofeev ら⁽⁴⁾によって, 連続した障害物の配置された管の幾何学的寸法を用いることで, DDT 発生有無のしきい値が定量的に表されている。

近年, Maeda ら⁽⁵⁾によって酸素 - 水素予混合気 (以下, 酸水素と略す) といった反応性の比較的高い混合気中において, 連続した障害物の高さが管径の 10 分の 1 程度 (BR 0.1) であっても DDT の生じることを明らかにしている。この際, 障害物背後においては, 局所爆発を介して DDT が生じ, 先頭火炎が既燃気体の音速程度まで加速することを必要としない。さらに, 障害物を入れない場合にはデトネーション波に遷移までの距離 Detonation Induction Distance (以下, DID と略す) が 1.0 ~ 1.5 m であるのに対し, 障害物を挿入することで DID が 140 ~ 200 mm と著しく短縮されることを明らかにしている。

こうした障害物背後における DDT は, 障害物の数が 1 個の場合でも生じる。これまで単一障害物が設置された流路における DDT 過程については, シュリーレン法や自発光撮影, 障害物背後における圧力計測等を用いて考察されてきた。しかし, 局所爆発が発生する際の圧力場や流れ場などについて実験により明らかにすることは極めて困難である。例えば, 密度勾配を可視化するシュリーレン法を用いた場合, 奥行方向で生じる密度勾配が重なって観察されるため, 障害物背後の底面付近における詳細な火炎伝播挙動を明らかにすることは難しい。

2. 研究の目的

本研究では, 障害物背後の底面を伝播する火炎の状況をより詳細に観測するため, イオンプローブを挿入した実験を行った。この測定方法では, 火炎中におけるイオンの導電性の差異を利用することで, 底面上を伝播する火炎の挙動を明らかにすることが可能である⁽⁶⁾。さらに, 実験と並行して 3 次元の数値シミュレーションを同条件にて行い, 実験により得られた結果と比較することで, 壁面近傍における火炎の加速過程を定性的に明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

実験に用いた燃焼管の概略を Fig.1 に示す。燃焼管は, 全長 4,465 mm, 管断面は 100 × 100 mm の矩形管である。障害物は真鍮製のベースプレート上に設置し, 厚さ 5 mm, 高さ $h = 5, 10, 15$ mm のものを用いた。単一の障害物を点火端から $d = 130$ mm の位置に設置した。また, 障害物の設置距離の違いによる DDT 過程を比較するため, $h = 10$ mm の場合には $d = 90$ mm とした実験も行った。燃焼管とダンプチューブは厚さ 75 μm のマイラー膜により仕切られている。実験を行う前にダンプチューブを真空引きした後, 燃焼管に化学量論混合比の酸水素予混合気を初期圧 90 kPa で充填した。障害物背後の底面には 28 個のイオンプローブを設置した。イオンプローブは中心軸となるステンレス線とグランドとなる真鍮製のベースプレートが, 絶縁体を介して構成されている。電離

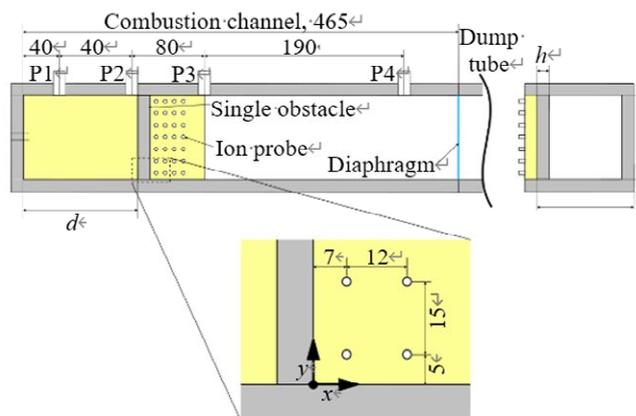


Fig.1 燃焼管と単一障害物の概略

した火炎がステンレス線とベースプレートの間を通過することで電圧が出力される。イオンプローブは電源およびアンプを介さず、オシロスコープに直接接続することにより、火炎により電離した気体により生じる起電圧を測定することにした。火炎がイオンプローブ上を通過した際、各点のイオンプローブの電圧値の変動を記録し、変動した時間および計測点の位置から各点における火炎到達時間および伝播速度などを求めた。

イオンプローブによる火炎到達時間の結果は、MATLAB による Thin-plane spline 法を用いてデータ補間を行った。火炎伝播方向に x 、側壁方向に y をとり、各イオンプローブへの火炎到達時刻を t とする。 x 軸方向には 0.1 mm ごとに 50 mm の範囲、 y 軸方向には 0.1 mm ごとに 100 mm までの範囲に対しスプライン補間を行った。

(2) 数値シミュレーション

アドバンスソフト(株)社製の Advance / FOCUS-i を用いて 3 次元数値シミュレーションを行った。支配方程式は 3 次元の連続の式、運動量保存の式 (Navier-Stokes 方程式)、およびエネルギー保存の式である。乱流モデルは k -SST モデル、スキームは 3 次精度の MUSCL-TVD 法が用いられており、火炎の伝播モデルとして G 方程式が用いられている。 G 方程式では未燃気体を 0、既燃気体を 1 として $0 \leq G \leq 1$ となるように各格子点でスカラー量 G が割り当てられており、これにより火炎の伝播を再現することができる。また、 G 方程式にデトネーション生成項が組み込まれている。すなわち格子内の経過時間が着火遅れ時間を超えると、デトネーションによる生成項が付加され G が増加する。これにより衝撃波などが通過し、高温・高圧となった格子は着火遅れ時間の経過後に自己着火を引き起こすことになり、デトネーションの生成を再現することができる。

Fig.3 に数値計算領域を示す。計算領域は、 $100 \times 100 \times 300 \text{ mm}$ の範囲とし、 y 軸方向の中心軸に対称境界条件を設定し数値計算を行った。計算領域には化学量論混合比の酸水素予混合気を設定し、初期圧力は実験と同様に 90 kPa 、障害物距離は点火端から $d = 90$ および 130 mm とした。格子幅は 1.0 mm 、格子点数は約 150 万点として計算を行った。数値計算で得られた結果は、実験で得られた火炎伝播速度と比較を行った。

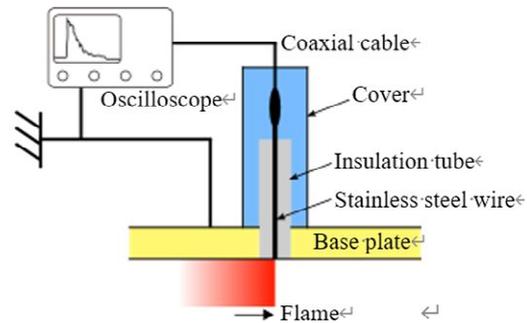


Fig.2 イオンプローブの概略

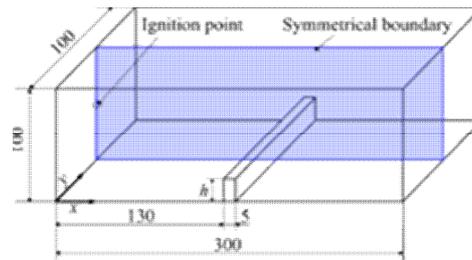


Fig.3 数値計算領域

4. 研究成果

(1) 障害物背後における火炎の伝播状況

実験により得られた、 x, y 座標における火炎到達時間 t の等高線図を Fig.4(a) に示し、火炎の伝播速度が低速の領域では等高線が密に分布することになる。障害物背後における火炎伝播速度を各点への火炎到達時間の勾配として $dt/dx, dt/dy$ を求め、 x および y 方向の分布を表した結果を Fig.4(b) に示す。また、イオンプローブの出力時間から補間した火炎の時間経過による挙動を Fig.5 に示す。これらの結果は、点火端から障害物までの距離が $d = 130 \text{ mm}$ 、障害物の高さが $h = 10 \text{ mm}$ の場合である。

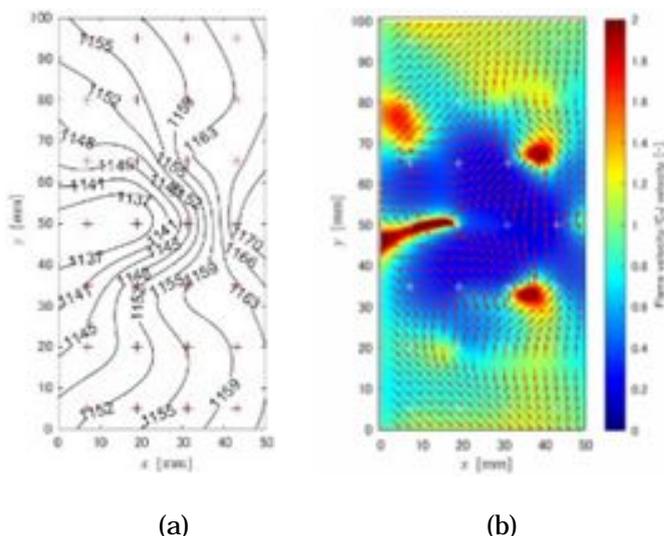


Fig.4 イオンプローブによる障害物背後における火炎の伝播過程 ($d = 130 \text{ mm}$, $h = 10 \text{ mm}$)

Fig.4(a)では管の中心軸付近で等高線が密となり、側壁付近では間隔が広がっている。また、Fig.4(b)では $x=0 \sim 10 \text{ mm}$, $y=20 \sim 30$, および $y=70 \sim 80 \text{ mm}$ の領域においては、火炎伝播速度が Chapman-Jouguet 速度（以下、CJ 速度と略す）の 80% 以上に達しており、火炎が障害物背後で回折し、側壁へ伝播した後下流へ伝播する様子が確認できた。以上より、 $d=130 \text{ mm}$, $h=10 \text{ mm}$ の条件下では火炎が側壁へ向かう過程で DDT が発生したものと考えられる。

(2) 数値計算結果

数値計算で得られた火炎伝播速度、および時間経過に伴う火炎の伝播挙動を Fig.6 に示し、 $d=130 \text{ mm}$, $h=10 \text{ mm}$ の場合である。火炎は $x=0 \sim 10 \text{ mm}$, $y=40 \sim 60 \text{ mm}$ と管の中心軸付近から伝播を開始する。その後は進行方向に向かって凸状に伝播している。 $y=20 \sim 30$, および $y=70 \sim 80 \text{ mm}$ 付近で高温・高圧となった格子において着火して火炎加速を引き起こし、火炎が側壁方向に向かって伝播する様子が確認できる。同条件である Fig.4(a)および Fig.4(b)と比較を行う。計算領域における全体的な火炎の伝播速度は数値計算結果の方が実験結果に比べて高い傾向にあるが、障害物の背後において火炎が管の中心軸付近から側壁に向かって伝播する過程で CJ 速度に相当する速度まで加速する挙動は、数値計算によってもシミュレーションすることができた。

本実験により、イオンプローブを用いることで、シュリーレン可視化画像では得ることの難しい底面を伝播する火炎面の位置を検出することができ、障害物高さ、障害物と点火端との距離の差異による DDT 過程、火炎伝播速度およびベクトル分布等を明らかにすることができた。これからの結果から、複数個のイオンプローブによる測定は DDT の計測においても有用であると考えられる。

(3) 研究成果のまとめ

本研究では、イオンプローブを用いることで、単一障害物背後の底面付近を伝播する火炎の挙動および DDT 過程を明らかにすることを目的としており、同条件下における数値シミュレー

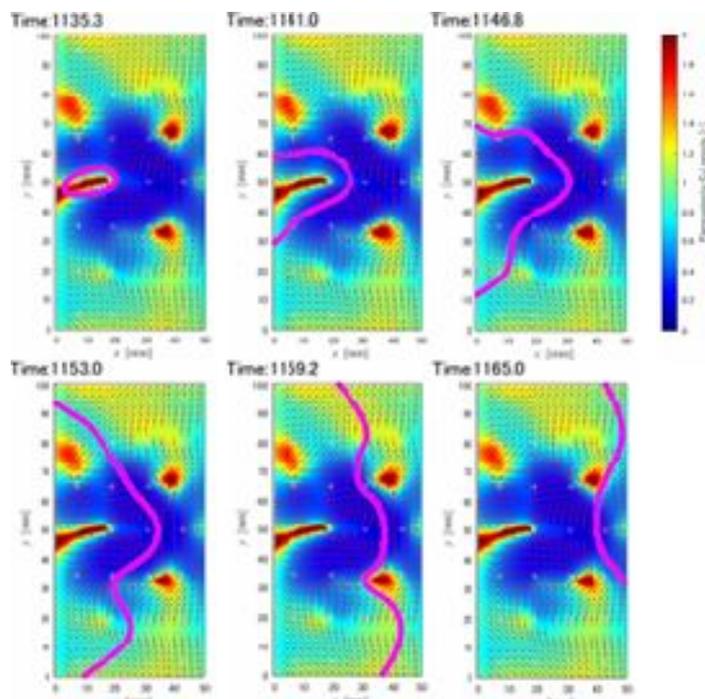


Fig.5 イオンプローブによる障害物背後における火炎の伝播過程 ($d=130 \text{ mm}$, $h=10 \text{ mm}$)

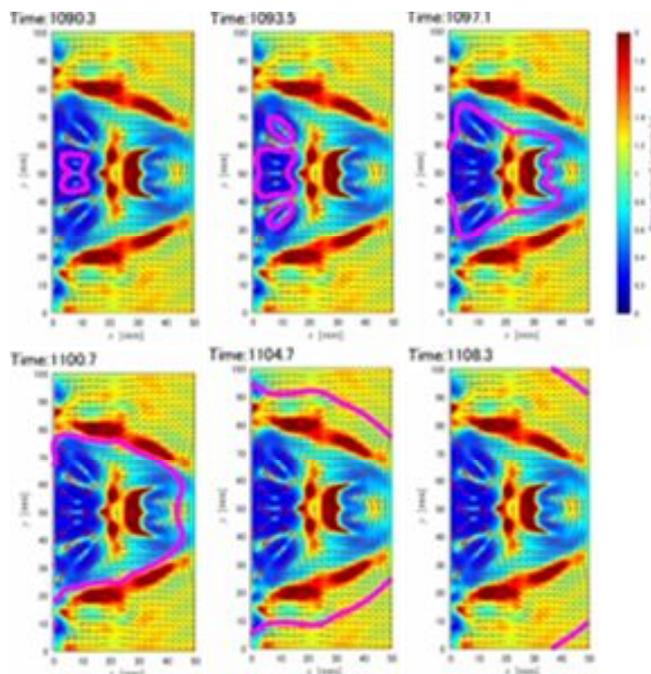


Fig.6 数値シミュレーションによる障害物背後の火炎伝播過程 ($d=130 \text{ mm}$, $h=10 \text{ mm}$)

シヨン結果と比較した。得られた知見を以下に要約する。

点火端から単一障害物までの距離が $d = 130$ mm, 障害物の高さ $h = 5$ mm および $h = 10$ mm の条件において, 回折した火炎が障害物背後を側壁方向に伝播する過程で CJ 速度の 80% を超える速度に達しており, デトネーションに遷移していることをイオンプローブによる出力から明らかにすることができた。

イオンプローブの測定結果が正しいのかを検証するため数値計算結果と比較した。その結果, 障害物背後における底面を伝播する火炎挙動については, 両者は定性的に一致し, イオンプローブによる測定結果に信頼性のあることが明らかにされた。

参考文献

- (1) J.H.S. Lee, Initiation of gaseous detonation, Annual Review of Physical Chemistry, Vol.28, pp.75-104 (1977)
- (2) K.I. Shchelkin, Ya.K. Troshin, Gasdynamics of combustion, National Aeronautics and Space Administration, p.365 (1964)
- (3) V.N. Gamezo, T. Ogawa, E.S. Oran, Flame acceleration and DDT in channels with obstacles: Effect of obstacle spacing, Combustion and Flame, Vol.155, pp.302-315 (2008)
- (4) S.B. Dorofeev, V.P. Sidorov, M.S. Kuznetsov, I.D. Matsukov, V.I. Alekseev, Effect of scale on the onset of detonations, Shock Waves, Vol.10, pp.137-149 (2000)
- (5) S. Maeda, S. Minami, D. Okamoto, T. Obara, Visualization of deflagration-to-detonation transitions in a channel with repeated obstacle using a hydrogen-oxygen mixture, Shock Waves, Vol.26, pp.573-586 (2016)
- (6) T. Yatsufusa, K. Kii, N. Miura, H. Yamamoto, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, Investigation of the measurement characteristics of a multiple-ion-probe method for a propagating methane-oxygen-nitrogen flame, Combustion and Flame, Vol.211, pp.112-123 (2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Iwata Kazuya, Hanyu Naoki, Maeda Shinichi, Obara Tetsuro	4. 巻 244
2. 論文標題 Experimental visualization of sphere-induced oblique detonation in a non-uniform mixture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Combustion and Flame	6. 最初と最後の頁 112253 ~ 112253
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.combustflame.2022.112253	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 Maeda Shinichi, Irokawa Masahiro, Taneichi Daiki, Obara Tetsuro	4. 巻 39
2. 論文標題 Flame acceleration process and detonation transition in a channel with roughness elements on a wall	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	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） 10.1016/j.proci.2022.07.224	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25件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 山本 直希, 顧 楷文, 小原 哲郎, 前田 慎市
2. 発表標題 凸状火炎と垂直衝撃波の干渉によるデトネーション遷移過程の可視化観察
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹原 智輝, 亀山 隼杜, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 気体デトネーションを用いた平面状爆風波生成装置の構築
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 羽生 直樹, 平岡 祐一, 佐藤 亮斗, 野村 圭佑, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 シャボン玉内の高速飛行体により誘起されるデトネーション起爆現象の可視化観測
3. 学会等名 2022年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 種市 大輝, 渡邊 光毅, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 壁面粗さ要素の違いが管内の火炎加速とデトネーション遷移に与える影響
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大豆生田 駿, 松本 弦太, 前田 慎市, 中森 一郎, 小原 哲郎
2. 発表標題 単一障害物を有する管内におけるデトネーション遷移過程の実験ならびに数値シミュレーション
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 悠豊, 林 晃佑, 関口 長愛, 小久保 颯人, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 空冷機構を有する水素・空気パルスデトネーション燃焼器の長時間作動に向けた検討
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 慎市, 羽生 直樹, 平岡 祐一, 小原 哲郎
2. 発表標題 シャボン玉内に充填した可燃性混合気中へ射出した極超音速飛行体周りに誘起されるデトネーション起爆現象の可視化観測
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Koichi Hayashi, Kodai Shimomura, Nobuyuki Tsuboi, Kohei Ozawa, Nicolas H. Jourdain, Kazuhiro Ishii, Edyta Dzieminska, Tetsuro Obara, Shinichi Maeda, Toshiharu Mizukaki
2. 発表標題 Experimental and Numerical Study on Disc-RDE: Relation between Number of Detonation Wave and Pressure
3. 学会等名 AIAA SciTech 2022 Forum, San Diego (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoki Takehara, Hayato Kameyama, Shinichi Maeda, Tetsuro Obara
2. 発表標題 Generation of planar blast waves using a gaseous detonation-driven blast simulator
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Energetic Materials and their Applications (ISEM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinichi Maeda, Masahiro Irokawa, Daiki Taneichi, Tetsuro Obara
2. 発表標題 Experimental study on deflagration to detonation transition in a channel with densely arranged roughness elements on the wall
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Energetic Materials and their Applications (ISEM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Koichi Hayashi, Kodai Shimomura, Nobuyuki Tsuboi, Kohei Ozawa, Nicolas H. Jourdain, Kazuhiro Ishii, Edyta Dzieminska, Tetsuro Obara, Shinichi Maeda Toshiharu Mizukaki
2. 発表標題 3D numerical study on flow field in disc-RDE
3. 学会等名 AIAA Propulsion and Energy 2021 Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Koichi Hayashi, Kazuhiro Ishii, Tomohiro Watanabe, Nobuyuki Tsuboi, Kohei Ozawa, Nicola H. Jourdain, Edyta Dzieminska, Xinmeng Tang, Tetsuro Obara, Shinichi Maeda, Toshiharu Mizukaki
2. 発表標題 Experimental and Numerical Study on Disc-RDE: Flow Structure and its Performances
3. 学会等名 2021 AIAA SciTech Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江田 健汰, 山本 直希, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 凸状火炎と衝撃波の干渉によるデトネーション遷移過程の可視化実験
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 晃佑, 田中 悠豊, 関口 長愛, 小久保 颯人, 前田 慎市, 小原 哲郎, 丹野 英幸
2. 発表標題 同軸熱電対を用いたデトネーション波の伝播による管内壁面温度変化の計測
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 慎市, 林 晃佑, 関口 長愛, 田中 悠豊, 小原 哲郎, 丹野 英幸
2. 発表標題 同軸熱電対を用いたパルスデトネーション燃焼器の内壁面温度計測に向けた検討
3. 学会等名 第61回航空原動機・宇宙推進講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 色川 正弘, 種市 大輝, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 粗い壁面を有する管内におけるエチレン・酸素混合気中のデフラグレーション・デトネーション遷移過程の化学発光計測
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梶原 健吾, 大豆生田 駿, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 単一障害物を有する流路におけるデトネーション遷移に関する実験
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 晃佑, 小池 匠, 田中 悠豊, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 空冷機構を有する水素・空気パルスデトネーション燃焼器の作動実験
3. 学会等名 第53回流体力学講演会 / 第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田 慎市, 平岡 祐一, 渡邊 一樹, 羽生 直樹, 小原 哲郎
2. 発表標題 デトネーション管の内径が気体デトネーション駆動高速ガス銃の飛行体射出速度に与える影響
3. 学会等名 第53回流体力学講演会 / 第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 悠豊, 青井 瑞樹, 関口 長愛, 池田 北斗, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 姿勢制御用スラスタへの応用を目指した準バルプレス水素・空気パルスデトネーションスラスタの推力計測実験
3. 学会等名 第63回航空原動機・宇宙推進講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 亀山 隼杜, 新垣 裕大, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 気体デトネーションを用いた爆風生成装置の形状が爆風特性に与える影響の評価
3. 学会等名 2023年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上 悠, 大豆生田 駿, 松本 颯斗, 前田 慎市, 中森 一郎, 小原 哲郎
2. 発表標題 単一障害物を有する流路におけるデトネーション遷移過程に関する実験および数値シミュレーション
3. 学会等名 2023年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西村 聡真, 會澤 宗一郎, 前田 慎市, 小原哲郎, 丹野 英幸
2. 発表標題 液体推進剤回転デトネーションロケットエンジンの内部現象可視化を目指した Linear Detonation Channel 実験装置の検討
3. 学会等名 2023年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 渡邊 光毅, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 異なる壁面粗さ要素を有する障害物がデフラグレーション・デトネーション遷移現象に与える影響
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 悠豊, 林 晃佑, 関口 長愛, 小久保 颯人, 青井 瑞樹, 前田 慎市, 小原 哲郎
2. 発表標題 水素・空気パルスデトネーション燃焼器の空冷による長時間作動
3. 学会等名 第55回流体力学講演会 / 第41回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>熱工学研究室 http://park.saitama-u.ac.jp/~netsu/</p>
--

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	石井 一洋 (Ishii Kazuhiro) (20251754)	横浜国立大学・大学院工学研究院・教授 (12701)	
研究分担者	前田 慎市 (Maeda Shinichi) (60709319)	埼玉大学・理工学研究科・准教授 (12401)	

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