

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：23604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04641

研究課題名(和文) 流動する可燃性ガスの消炎距離に基づく最小着火エネルギー推算モデルの確立

研究課題名(英文) Development of simple estimation model for minimum ignition energy of flowing flammable gas based on quenching distance

研究代表者

今村 友彦 (IMAMURA, Tomohiko)

公立諏訪東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50450664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流動する可燃性予混合気の着火条件を明らかにするために、電気スパーク及び熱面を着火源とした実験及び理論解析を行った。まず電気スパークを用いた実験により、数段階の比較的低速な条件下で消炎距離を測定し、静穏時の消炎距離に対する比(無次元消炎距離)が、静穏時と流動時の火炎速度比に依存するとして整理できることを示した。次に熱面を用いた実験では、着火を左右する熱流束の最小値(臨界着火熱流束)が存在すること、その値は可燃性予混合気の熱物性値(ルイス数)と、化学反応の特性時間に対する化学種滞留時間の比(ダムケラー数)とに依存し、この両者により予測できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、流動するプロパン/空気予混合気の消炎距離の流速依存性、着火条件の熱面強度依存性を明らかにし、さらにこれらを可燃性予混合気の物性値をもとにした無次元数で予測できることを示した。これらは可燃性予混合気のリスクアセスメントにおいて、その着火危険性を評価するためのデータとして非常に有用である。また学術的には、燃焼性の弱さからあまり測定データの存在しない、燃焼限界付近の燃焼速度を求める新手法を提案できた点、理論解析と実験結果との比較により熱面着火による臨界条件理論を構築した点で、大きな意義のある研究であったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a series of experiments and theoretical analysis were carried out to clarify the critical condition of ignition for flowing premixed flammable mixture. Quenching distance under comparatively slow flow velocity of flammable mixture was measured using electric spark. The non-dimensional quenching distance which is determined as the ratio of it under flowing to that under stagnant could be arranged by ratio of flame speed between stagnant and flowing. On the other hand, for the ignition by heated surface, it was clarified that there was a critical heat flux for ignition, and its value depended on the thermal physical parameters of premixed mixture (Lewis Number) and Damkohler number which was the ratio of specific stagnation time of species against it of chemical reaction. We developed the prediction model for them based on the above findings.

研究分野：燃焼工学，安全工学

キーワード：着火 消炎距離 熱流束 予混合気

1. 研究開始当初の背景

化石燃料等のエネルギー源や各種冷凍冷蔵空調機器の冷媒は地球温暖化促進物質の主要排出源となることから、水素やプロパン等の可燃性ガスによる代替が期待されていた。その実用化にあたっては可燃性に由来する火災・爆発リスクの管理技術の確立が必要であり、そのためにはこれら可燃性ガスの着火性および着火時の危害度を学術的に定量評価する手法を確立する必要がある。しかし、これらは静穏環境下では標準的試験法も開発され普及しているものの、流動環境下ではその知見がまだ十分整備されているとは言えない状況であった。

2. 研究の目的

以上の背景に基づき本研究では、「可燃性ガスの着火特性に対して、ガスの流動がどのように影響を及ぼすのか」という学術的な問いを解き明かし、得られる知見に基づいて着火性予測手法を確立することを目的とした。特に、精度が高いとされ静穏環境下で確立した知見が得られている、可燃性ガスの消炎距離から最小着火エネルギーを推定する手法に流動の影響を組み込んで、着火性を静穏時から流動時まで連続的に予測可能なモデルを、主として実験により検討することとした。さらに異なる着火源への拡張を見据えて熱面を用いた実験も実施することとした。

3. 研究の方法

本研究は(1)電気スパークを用いた流動プロパン/空気予混合気の消炎距離の測定、(2)加熱壁面を用いた流動プロパン/空気予混合気の臨界着火条件の測定、により構成した。実験結果の観察・解析に理論展開を織り交ぜてそれぞれのモデル化を行い、流動するプロパン/空気予混合気の着火性を評価する手法を構築することとした。詳細は次節に述べる。

4. 研究成果

4.1 流動プロパン/空気予混合気の消炎距離

4.1.1 実験装置及び方法

内部が視認できる厚さ 10 mm のアクリル板で製作した、断面 40 mm 角、一辺 300 mm の循環型管路を持つ燃焼容器を用いた。管路内には DC 軸流ファンが取り付けられており、供給電圧を制御することにより最大で約 5 m/s 程度までの範囲で流速を変化させることができる。管路に鉛直に、直径 20 mm の石英ガラス製フランジを備えたタンゲステン製対向電極(直径 2 mm)を設置し、これをネオントランス(15 kV, 20 mA)に接続して着火源とした。電極間隔はダイヤルゲージにより 0.01 mm 単位で制御可能である。電極周辺の放電及び着火挙動はカラー高速度カメラ(Photron NOVA S12, 撮影速度 12000 fps)にて撮影した。

対象の予混合気はプロパン/空気予混合気で、濃度を 2.1 (LFL:燃焼下限界), 3.0, 3.5, 4.0, 5.2, 9.5 (UFL: 燃焼上限界) vol% の 6 段階設定した。流速は 0.0, 1.0, 3.0 m/s とした。1 つの電極間隔・濃度・流速の組み合わせ条件において 5 回の試行を行い、1 度も着火しなかった最大の電極間隔を消炎距離 d_q と定義した。

4.1.2 結果及び考察

(1) 着火挙動

図 1 はプロパン濃度 5.2 vol% における、電圧印加後 12.82 ms の電極周囲の様子を高速度カメラでとらえた写真を、流速別に並べたものである。静穏時(図 1(a))は、火炎面が左右にほぼ均等に拡大し、電極間隙から外へ伝播している様子が観察される。流速 1.0 m/s (図 1(b))になると、火炎面は下流側端部からのみ伝播しており、0.0 m/s の場合に比べて下流側へより遠い位置まで火炎が到達している。さらに流速を増加させると(3.0 m/s, 図 1(c)), 火炎面は 1.0 m/s の場合よりもさらに早期に電極間隙から通り抜けてしまい、より広範囲に伝播して乱れている。

(2) 消炎距離の流速依存性

図 2 は d_q とプロパン濃度 C の関係を示したものである。比較のため Takizawa[1]の結果を合わせてプロットした。本実験の消炎距離は 5.2 vol% の条件において最小値を示し、下に凸な曲線を描いているが、この傾向は Takizawa の結果ともよく一致している。しかし例えば 3.0 vol% 以下の結果で見られるように、希薄組成になるにつれて Takizawa の結果よりも小さい消炎距離を示すようになり、その差も大きくなる傾向がみられる。これは本実験で使用した電極平板寸法が小さいことによる。

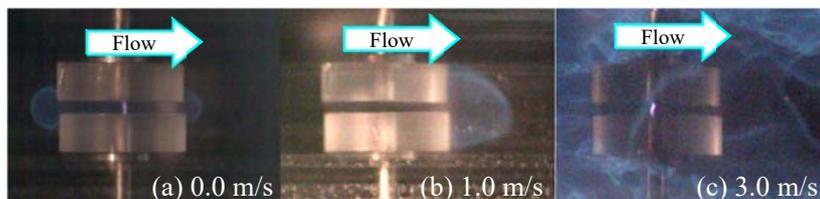


図 1 放電後 12.82 ms における電極周囲の火炎核の伝播挙動

よる。平板寸法が 25 mm より大きいと、それ以上平板寸法が大きくなっても消炎距離には有意な影響がないことを Takizawa は突き止めている。

図3は d_q と流速 u の関係を示したものである。いずれの濃度においても流速が大きくなると消炎距離が狭くなる傾向が認められる。この傾向は比較的大きな流速の場合に見られた結果[2]とは対照的である。本研究で設定した流速の

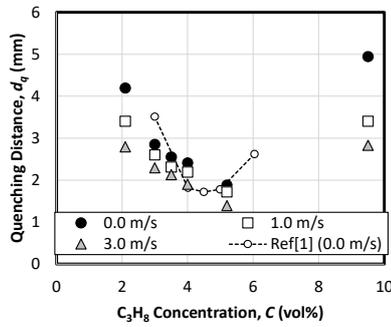


図2 消炎距離とプロパン濃度の関係

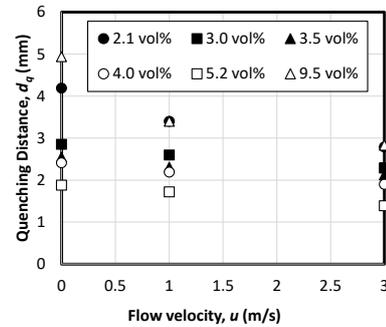


図3 消炎距離と流速の関係

範囲内では、流れと電極平板との衝突により、電極周囲には境界層が形成されて平板と火炎との接触が少なくなること、流れによって電極間隙内を火炎面(火炎核)が通過する時間が短縮されることとの2つの効果により、静穏時に比べて火炎核の電極平板への熱損失が小さくなる。そのために、火炎はより狭い間隔まで通過できるようになる(すなわち消炎距離が小さくなる)。したがって、静穏時($u=0.0$ m/s)の消炎

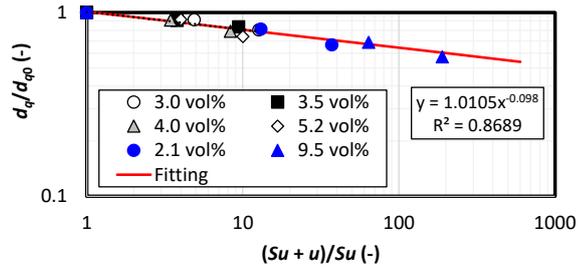


図4 無次元消炎距離と無次元火炎速度の関係

距離 d_{q0} に対する消炎距離 d_q の比 d_q/d_{q0} は、燃焼速度 S_u に対する火炎速度 $S_u + u$ の比 $(S_u + u)/S_u$ (これをここでは無次元燃焼速度と呼ぶことにする)の関数として表現されるべきである。これをプロットしたものが図4である。図4に実験値をプロットするには S_u の値が必要であるが、3.0-5.2 vol%のデータはTakizawaの実験式からフィッティングした値を用いた。2.1, 9.5 vol%のケースは参考にできるデータが乏しいので、3.0-5.2 vol%の結果から得られる近似曲線に合うように燃焼速度を逆算している。3.0-5.2 vol%の結果から得た近似曲線の相関係数 R^2 は0.8689で比較的良好に一致したと認められることから、消炎距離の流速依存性は無次元燃焼速度で記述できるとみられる。一方、燃焼速度の測定によく用いられるバーナー法や定容容器法では、燃焼限界付近の弱い燃焼に対する燃焼速度の正確な測定は困難であるが、消炎距離の測定は比較的事業であることから、本研究で成果は流動するプロパン/空気予混合気の消炎距離の予測法の確立のみでなく燃焼速度の測定法となりうる可能性が示唆された。ただし、さらに流速が大きくなれば、今度は燃焼速度が化学種の拡散に追い付かず消炎すると予想されるから、図4に示す d_q/d_{q0} は極小値をとったのち増加に転じるはずである。今後さらに幅広い流速範囲でのデータを整備して、 d_q/d_{q0} の流速依存性をより広い流速範囲で明らかにすることが望まれる。

4.2 流動プロパン/空気予混合気の加熱壁面着火の臨界条件

4.2.1 実験装置及び方法

4.1で使用したものと同形状の亚克力製燃焼容器及びSUS製燃焼容器を使用した。25 mm角及び10 mm角のセラミックヒーター(坂口電熱製)を、容器に取り付けたフランジを通して流れに対向するように固定した。スライダック(25 mmヒーター)及び高性能交流安定化電源(菊水電子工業製PCR500LE: 10 mmヒーター)によりヒーターへの印加電圧を精密に制御可能とし、その値はパワーメータ(日置電機製PW3335)にて計測した。25 mm角ヒーターの場合は、内蔵熱電対により表面温度を計測した。10 mmヒーターの場合はK型シース熱電対を加熱面表面に耐熱接着剤で貼り付け計測した。

実験条件として流速を0.0-4.0 m/sの範囲で、プロパン濃度を2.1(LFL)-9.5(UFL) vol%の範囲で数段階変化させた。所定の流速・濃度の組み合わせ条件において、供給電圧を設定して10回の試行を行い、1回でも着火がみられた最小の電圧を最小着火電圧と定義した。なお1試行当たりの加熱時間は最大10分間とした。

4.2.2 結果及び考察

(1) 着火挙動のモデル化

非常に簡略化して考えると、本実験の系は予混合気の流れが熱面に衝突して形成される淀み流の着火とみなせる。熱面上に原点をとり、流れの方向(の逆向き)に x 軸、その垂直向きに y 軸をとるとき、1次元流れを仮定するとエンタルピー及び化学種の輸送は x 軸方向にだけ生じるとみなせるので、以下の2式が支配方程式となる。

$$-ax \frac{dY}{dx} = \frac{1}{Le} \frac{d^2Y}{dx^2} - \Lambda Y \exp \left[\frac{\beta(T-1)}{\gamma(T-1)+1} \right] \quad (1)$$

$$-ax \frac{dT}{dx} = \frac{1}{Le} \frac{d^2T}{dx^2} - \Lambda Y \exp \left[\frac{\beta(T-1)}{\gamma(T-1)+1} \right] \quad (2)$$

ここで a は伸縮ひずみ速度であり、流速 u に比例する量である。式(1)はエネルギー保存式、式(2)は化学種保存式を表している。 T, Y はそれぞれ無次元化された温度及び混合気質量分率で、 Le はルイス数 (熱拡散率と拡散係数の比)、 β はゼルドビッチ数 (無次元活性化エネルギー) である。その他変数の詳細な定義は文献[3]に記載してある。式(1), (2)を連立して数値的に解くと図 5 が得られる。横軸 (熱流束 q_w) がある値に至るまでは3つの解をもつが、最上段の解が燃焼解である。したがって q_w がある値を超えると燃焼解のみしか存在しないので着火せず、逆にある値よりも q_w が小さければ最下段の解 (未燃解) に至ってしまうので着火しない。すなわち、着火を支配する臨界の熱流束 (臨界着火熱流束 $q_{w,c}$) が存在することが示唆される。その値は、ひずみ速度 a の増加に伴って増加している。

このことをふまえると、 $q_{w,c}$ は可燃性予混合気の物性値とひずみ速度に依存するので、

$$q_{w,c} = f_1(\rho, c, \lambda, D, \Delta T, S_u, a) \quad (3)$$

となる。これを無次元化すると式(4)を得る。

$$q_{w,c}^* = \frac{q_{w,c}}{\rho c s \Delta T} = f_2\left(\frac{\lambda}{\rho c D}, \frac{\rho c S_u^2}{a \lambda}\right) \quad (4)$$

ここで、

$$Le = \frac{\lambda}{\rho c D}, \quad Da = \frac{\rho c S_u^2}{a \lambda} \quad (5)$$

である。

これを解くと $q_{w,c}$ は Da のおよそ 0.5 乗に反比例する (後述の図 8 赤線)。 Da の定義式(5)と比較すると、 $q_{w,c}$ は燃焼速度 S_u に依存しないことになる。ただし、解析結果から Da のべき乗数は厳密に-0.5 ではないから、これはすなわち若干は燃焼速度に依存することも示している。

(2) 着火時間と供給パワーの関係

図 6 は着火時間 t_{ig} (加熱開始から着火までに要した時間) とヒーター単位面積当たり供給パワー P/A の関係を示したものである。 P/A を増加させると着火時間が短縮され、かつ、流速の大小による差が小さくなった。一方 P/A を減少させると着火時間が指数関数的に伸び、最終的には t_{ig} が無限大 (すなわち不着火) となる傾向がみられた。この「 t_{ig} が無限大」となる P/A (よりもわずかに大きな) 値が概念的には着火を左右する臨界の熱流束値 ($q_{w,c}$: 臨界着火熱流束と呼ぶことにする) に対応すると考えられる。この値は流速が大きくなると大きくなった。また、 t_{ig} と P/A の関係に及ぼす濃度の影響はほとんど見られなかった。ここまでの傾向はヒーター寸法にかかわらず認められたが、 $q_{w,c}$ の値は 10 mm ヒーターのほうが 25 mm ヒーターの場合よりも、いずれの流速・濃度の場合も有意に大きかった。すなわち、10 mm ヒーターのほうが着火させにくいことを示している。

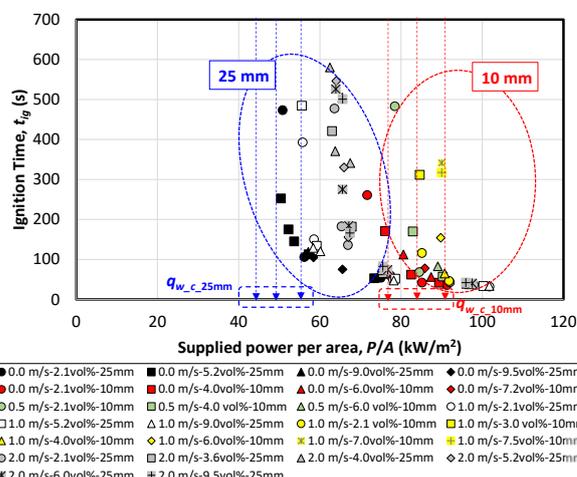


図 6 着火時間と供給パワーの関係

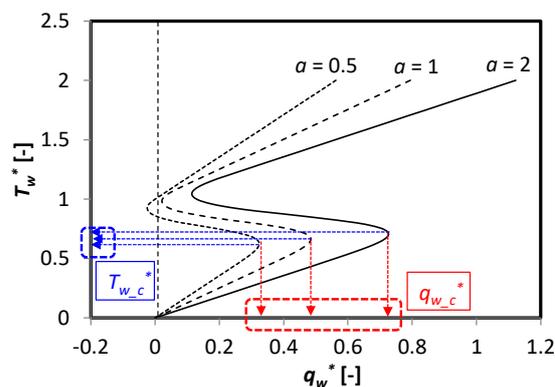


図 5 理論解析により得られたヒーターから未燃気への熱流束 q_w と表面温度 T_w の関係

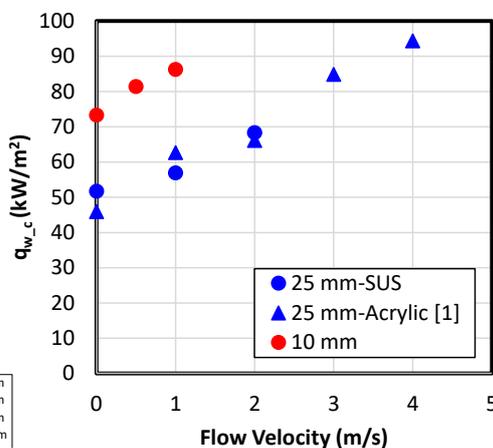


図 7 $q_{w,c}$ と流速の関係

(3) 臨界着火熱流束のふるまい

いま、ヒーターから未燃予混合気へ流れる熱流束を q_w , C をヒーターの熱容量, T_w をヒーター温度, t を時間にとると、以下の式が成り立つ。

$$q_w = \frac{P}{A} - \frac{C}{A} \frac{dT_w}{dt} \quad (6)$$

着火は $q_w > q_{w,c}$ の条件で成り立ち、 $q_{w,c}$ は前節に述べた観察結果の通り流速に依存するが濃度には依存しないとすると、供給パワー P/A が $q_{w,c}$ に対して比較的大きな場合は右辺第2項（すなわち dT_w/dt ）が少々大きくても容易に $q_{w,c}$ を超えるので早期に着火する。逆に供給パワーが $q_{w,c}$ をわずかに超える場合は右辺第2項が十分小さくならないと着火しないから、 t_{ig} が長くなり着火温度もその分上昇する。したがって着火時の P/A と dT_w/dt の関係をプロットし、 $dT_w/dt \rightarrow 0$ となる P/A を $q_{w,c}$ と定義した。図7は $q_{w,c}$ と流速の関係を示したもので、いずれのヒーター寸法でも流速が大きくなると着火しにくくなることを示している。これは経験的にも妥当であるし、(1) で述べた理論解析の結果とも符合する。

図8は(1)で述べた次元解析結果に従って、 $q_{w,c}$ を式(5)に示すレイス数及びダムケラー数に対してプロットしたものである。ここで、式(5)中のひずみ速度は流速とヒーター寸法の相互作用を受けると考えて、 $a = u/L$ と置き換えて Da を算出している。レイス数 Le に対してはばらつきはあるが、おおむね Le の増加に従って $q_{w,c}$ が増加している。 Le の増加は熱拡散が化学種拡散に卓越することを示すので、エンタルピーの減少を伴い火炎は弱化するから着火しにくくなるはずであり、実験結果は理論と一致する。また Da に対しては比例係数こそ理論解析結果と異なるものの、 Da に対してほぼ0.5乗の依存度を示しており、実験により観察された $q_{w,c}$ のふるまいは理論解析の結果から良好に説明できることが分かった。

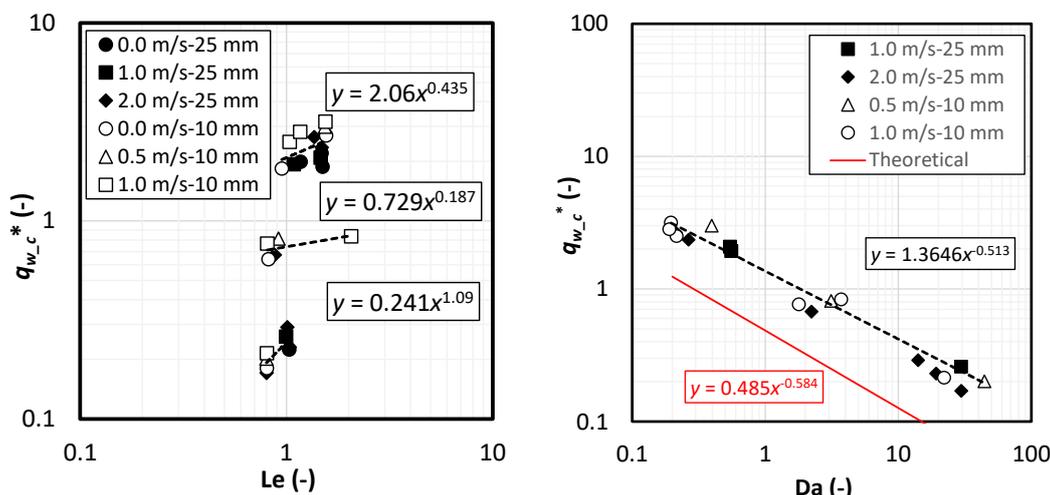


図8 $q_{w,c}^*$ のレイス数及びダムケラー数に対する依存性

4.3 まとめ

本研究により流動するプロパン/空気予混合気の着火特性について以下の知見を得た。

- (1) 流動するプロパン/空気予混合気の消炎距離は、本研究で設定した流速の範囲内では、流速の増加に伴って狭くなる。これは流れの影響で火炎核から電極平板への熱損失が低下することによる。したがって静穏時の消炎距離との相違は火炎速度の違いに起因すると考えられるので、無次元火炎速度を導入することにより流速の大小を問わず統一的に消炎距離の値を予測できるモデルを構築した。このモデルは消炎距離及び最小着火エネルギーの推定のみならず、特に燃焼限界付近での燃焼速度の推定にも応用できる可能性が示唆された。
- (2) 流動するプロパン/空気予混合気を熱面に衝突させた場合、熱面から未燃予混合気への熱流束がある値（臨界着火熱流束）以上であれば着火に至ることを示した。その値は可燃性予混合気の物性値（レイス数）と、化学反応の特性時間に及ぼす化学種滞留特性時間の比（ダムケラー数）の関数として表現したモデルを構築した。

参考文献

[1] Takizawa, K., et al, “Quenching distance measurement of highly to mildly flammable compounds”, Fire Safety Journal, 71, 58-68, 2015.
 [2] Ballal, D., Lefebvre, A.H., “Ignition and Flame Quenching of Flowing Heterogeneous Fuel-Air Mixtures”, Combustion and Flame, 35, 155-168, 1979.
 [3] 飯塚洋行, 桑名一徳, 今村友彦: “加熱壁面に衝突する予混合淀み流の着火条件”, 日本火災学会論文集, 70(1), 1-8, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Tomohiko Imamura, Kosuke Uehara, Keita Nakata, Shoya Maruyama, Kazunori Kuwana	4. 巻 120
2. 論文標題 Quasi-steady characteristics of flowing propane/air mixture ignited by a heated surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fire Safety Journal	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.firesaf.2020.103025	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 飯塚洋行, 桑名一徳, 今村友彦	4. 巻 70
2. 論文標題 加熱壁面に衝突する予混合淀み流の着火条件	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本火災学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-8
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 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 Tomohiko Imamura, Kosuke Uehara, Keita Nakata, Shoya Maruyama	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Ignition behavior of Flowing Propane by a Hot Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety 2019	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 桑名一徳, 今村友彦	4. 巻 20
2. 論文標題 可燃性予混合気の熱面着火の相似則 - 加熱壁面に衝突する淀み流の場合 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 251-254
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11395/jjsem.20.254	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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中澤誠人, 苅谷優行, 下村蓮, 桑名一徳, 今村友彦
2. 発表標題 高温表面による流動プロパンの着火特性
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑名一徳, 今村友彦
2. 発表標題 加熱壁面近傍の予混合淀み流中の着火・消炎に関する理論的検討
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiko Imamura, Kosuke Uehara, Keita Nakata, Shoya Maruyama
2. 発表標題 Ignition Behavior of Flowing Propane by a Hot Surface
3. 学会等名 Asia Pacific Symposium on Safety 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今村友彦, 上原航祐, 中田啓太, 丸山将也
2. 発表標題 流動するプロパンの高温表面による着火特性
3. 学会等名 2019年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiko Imamura, Kosuke Uehara, Keita Nakata, Shoya Maruyama, Kazunori Kuwana
2. 発表標題 Quasi-steady characteristics of flowing propane/air mixture ignited by a heated surface
3. 学会等名 13th International Symposium on Fire Safety Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村友彦, 上原航祐, 中田啓太, 丸山将也
2. 発表標題 流動するプロパンの高温表面による着火特性
3. 学会等名 2019年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤誠人, 苅谷優行, 下村蓮, 桑名一徳, 今村友彦
2. 発表標題 循環するプロパン / 空気混合気の加熱壁面による着火のエネルギーと燃料濃度の影響
3. 学会等名 2020年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中澤誠人, 桑名一徳, 今村友彦
2. 発表標題 加熱壁面による循環するプロパン / 空気混合気の着火特性に及ぼす燃料濃度の影響
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今村友彦, 中澤誠人, 大江峻生, 桑名一徳
2. 発表標題 加熱壁面に衝突する流動プロパン / 空気混合気の着火条件の定常解析
3. 学会等名 第53回安全工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今村友彦, 鈴木悠大, 竹田典一, 中澤誠人, 桑名一徳
2. 発表標題 流動するプロパン / 空気予混合気の着火臨界条件に及ぼす熱面寸法の影響
3. 学会等名 2021年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤誠人, 鈴木悠大, 竹田典一, 桑名一徳, 今村友彦
2. 発表標題 加熱壁面によるプロパン / 空気予混合気の着火臨界条件の相似則
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村友彦, 河合哲兵, 嶋田壮志
2. 発表標題 流動するプロパン / 空気予混合気の消炎距離
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2021
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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