

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04836

研究課題名（和文）微小重力環境におけるポリマー材料の火災安全評価

研究課題名（英文）Fire safety standard for polymeric materials in microgravity environments

研究代表者

高橋 周平（Takahashi, Shuhei）

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：40293542

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）：材料の可燃限界の評価は、有人宇宙活動において最重要課題の1つである。本研究では、均質な単一材料と炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のような不均質な材料に対して、スケール解析を通じて燃え拡がり挙動を予測するための簡略化モデルを構築した。単一材料では気相熱伝導が重要となり、厚さの効果を含み開発されたモデルは、材料の熱物性値が適切に与えられていれば、可燃性の限界をよく再現することができた。一方でCFRPは炭素繊維に沿った伝導率が気相熱伝導に比べて大きく、この特性によりCFRPは従来の均質材料とは逆の吹き飛び感度を持ち、対向流速の増加に伴って限界酸素濃度が低下する機構が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、民間企業の参入が著しい軌道上有り宇宙活動、また月面基地建設・火星有人探査などの国際宇宙開発プロジェクトなど有人宇宙環境における火災安全の確立を念頭に、微小重力および低重力環境における固体燃焼の特徴を明らかにする。この中で固体材料の形状（厚み）の影響を考慮したモデルの構築、また、単一素材の材料だけでなく、微量添加剤が含まれる固体材料、複合材のように異方性を持つ固体材料にも応用できる燃え拡がりモデルの構築を行う。この成果は、今後の有人宇宙活動における火災安全基準の策定につながるものである。

研究成果の概要（英文）：The evaluation of the flammability limit of plastics is one of the most important issues for manned space missions. We propose a simplified model for predicting flame spread behavior through scale analysis for homogeneous mono-material plastics and inhomogeneous plastics like carbon fiber reinforced plastics (CFRP). The heat conduction through gas-phase drives the flame spread over a thin homogeneous solid material. The developed model including the thickness effect well represented the flammability limits if the properties of the material are given properly. On the other hand, CFRP has large conductivity along the carbon fiber, which overwhelms the gas-phase heat conduction. Due to such characteristics, CFRP has the opposite blow-off sensitivity of conventional homogeneous plastics, that is, its limiting oxygen concentration decreases with the increase of opposed flow velocity.

研究分野：燃焼工学

キーワード：燃え拡がり 固体材料 複合材 可燃限界 スケール解析

1. 研究開始当初の背景

近年、民間企業による宇宙ビジネス進出が本格的に進み、また、月面基地建设や火星有人探査といった多国間による国際共同宇宙開発プロジェクトも具体的に計画され始めている。軌道上や月面、火星といった地球以外の天体上における有人活動において、火災安全を確保することはもっとも重要な課題の1つとなっている。一方で、火災現象、すなわち固体材料の燃焼や火災の燃え拡がり、および、着火や消炎に関しては、地上環境においてはこれまでに多くのデータが蓄積され、火災安全性を評価する手法も多く提案されている一方で、重力レベルが地上と異なる場合に、火災現象にどのような違いが現れ、それが火災安全評価にどのような影響を与えるかはほとんど明らかになっていない。地上と異なり、微小重力環境においては燃焼によって生じる高温既燃ガスの浮力がなくなるため、この環境を利用して燃焼現象の本質を探る研究は、これまで宇宙環境利用分野としてある程度の知見の蓄積がある。しかしながら、微小重力および低重力環境における火災安全性に注目した研究は、現象論としていくつかの報告はあるものの、系統立てて火災伝播現象を整理し、火災モデルの構築を行った研究は少ない。

微小重力環境において、対向流速を受ける固体材料の着火性・燃焼性が地上環境と比べて大幅に拡大する現象が報告されている。一方で、微小重力環境において、固体材料の燃焼性が大きく抑制される現象も、明らかになっている。例えば難燃材料として知られているアラミド繊維(メタアラミド：NOMEX HT90-40、パラアラミド：Kevlar KE5847)の対向流中における可燃限界を調べると、両者は地上における限界酸素濃度は32%程度でほぼ同じであるが、微小重力環境である低流速域において、NOMEXは限界酸素濃度が低下し、Kevlarは限界酸素濃度が上昇するといった結果が得られた。これらの現象は、固体材料の熱分解温度や発熱量、化学的特性値、周囲雰囲気熱物性値によって説明できることがモデル式から明らかになってきている。本研究は、火災現象を大胆にモデル化し、重要因子を明らかにすることによって、実用的側面の強い火災安全基準評価に対して、燃焼学の観点から論理的かつ合理的な知見を得ることを目的としている。

2. 研究の目的

本研究においては、平板試料の可燃限界に着目し、重力環境が地上と異なった環境で可燃限界がどのように変化するかを、火災モデルを構築することにより明らかにし、このモデル化を通して、可燃限界の変化に大きく影響を与える因子の特定を行う。この火災現象のモデル化においては、サンプルの物性値や形状などを詳細に考慮した数値計算的なアプローチも考えられるが、近年のポリマー材料は多様化しており、また単一物質だけで構成されず、機能性を持たせるために微量化学物質が添加剤として加えられたり、また、複合材のように、複数のポリマーを組み合わせる構成されたり、熱伝導性などに異方性を有しているものも多い。これらの高機能材料を詳細数値計算で再現する場合には、ポリマーに含まれる各化合物の特性や含有量などが既知であることが必要であるが、素材メーカーで生産される多くの製品に対して、これらの物性値をすべて特定することは極めて困難である。このため、数値計算的アプローチで研究されているポリマー試料は、PMMAのように、その特性がよく知られ、単一成分かつ等方性のものに限られる。

これに対し本研究では、平板固体試料上を伝播する火炎を、スケール解析の手法を用いて大胆に単純化し、火災伝播に重要な影響を与える無次元パラメータを導出して火災安全性を議論する。本研究においては、特に材料の厚さが可燃限界に与える影響に注目してモデル化を行うとともに、CFRPのような熱伝導率の異なる材質による複合材のモデル化も行った。

3. 研究の方法

本研究においては、火災周りのエネルギー式をスケール解析の手法を用いて、固体試料上の燃え拡がり現象をモデル化し、その結果を実験と比較する。これまでに、比較的厚みを有する単一材料の燃え拡がりにおいては、低周囲流速環境において限界酸素濃度が熱的に薄いと仮定した場合と比較して増大する実験結果が得られている。この傾向を説明するために、本モデルでは以下のように予熱帯の厚み方向へ貫通距離の概念を導入し、その効果を β という無次元数で評価する[1]。

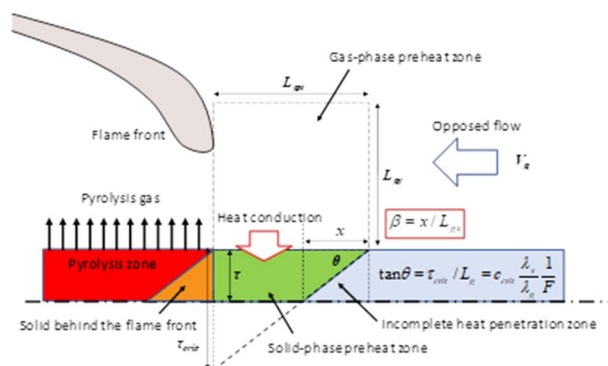


図1 貫通距離の概念を導入した予熱帯のモデル

$$\beta = \frac{B_2 \varepsilon (1 - \alpha) \sigma (T_v^4 - T_\infty^4) F}{c_{crit} R_{rad} \lambda_s (T_v - T_\infty)} \tau = \frac{B_2 \varepsilon (1 - \alpha) \sigma (T_v^4 - T_\infty^4) F}{c_{crit} \lambda_s (T_v - T_\infty)} \tau = f(\lambda_s, T_v, \tau)$$

この β を導入すると、無次元燃え拡がり速度 η は以下の式で表される。

$$\eta + \frac{R_{rad}}{1 - \beta/2} + \frac{1}{Da} = 1 \quad \text{式 1}$$

この式から、材料の厚みが増すとふく射損失の効果が増大したときと同様の効果が表れることが示唆される。

また、CFRP に関しては、固相内熱伝導が支配的であると仮定して、以下のようなバランス式を構築した[2]。

$$V_f \rho_s c_s \tau (T_v - T_\infty) + \varepsilon \sigma (T_v^4 - T_\infty^4) \frac{\alpha_s}{V_f} \sim \lambda_g (T_f - T_v) \sqrt{\frac{Pr x_p V_g}{\alpha_g}} \quad \text{式 2}$$

この式からは、燃え拡がり速度 V_f が、対向流速 V_g の増加とともに大きくなることが示唆される。これらのモデルの詳細は、文献 1 および 2 を参照されたい。

4. 研究成果

構築したモデル式を用いて、実験と比較した結果を以下に示す。図 2 は厚みの異なる PMMA に関して対向流速を変化させたときの限界酸素濃度を示したものである。この図から、PMMA は厚みが増えると対向流速が 20cm/s 以下の領域で限界酸素濃度が異なってくるのが分かる。このような低周囲流速環境は、微小重力環境および低重力環境において特有のものであるため、十分注意が必要であるが、式 1 で表されるモデルは、この限界酸素濃度が厚みとともに増加する傾向を定量的によくとらえていることが分かる。同様のモデル式をポリカーボネートに適用した結果においても、定量的によく再現していることが分かった。

一方で、対向流速が 30cm/s 以上においては厚みによる限界酸素濃度の違いは顕著でない。このため、従来の理解では、比較的薄い材料においては試料厚みの影響は小さいと考えられてきたことが予想される。しかしながら、本研究の結果から周囲流速が遅い条件においては、これまで熱的に薄いとみなされていた材料に関しても、厚みにより限界酸素濃度が異なってくるのが分かる。これらの知見およびその傾向を定量的に表現できるモデルの開発は、今後の有人宇宙活動における材料スクリーニングに対して十分活用できると考えられる。

また、CFRP に関しては図 3 に示すような実験結果が得られた。この図から CFRP は 100cm/s 程度のかかなり大きな対向流速においても、対向流速と増加とともに限界酸素濃度が低下する傾向があることが分かる。また、このときの燃え拡がり速度を計測すると、対向流速の増加とともに増加していることが分かる。これらは、PMMA などの単一材料では見られなかった挙動であり、CFRP 内の炭素繊維の熱伝導の高さに起因する現象と考えられる。式 2 から CFRP の燃え拡がり速度および可燃限界における火災温度を導出すると、

$$V_f \sim A(\sqrt{V_g} + \sqrt{V_g - B}) \quad \text{式 3}$$

$$T_{f,cr} - T_v \sim \sqrt{\frac{4\lambda_s \tau (T_v - T_\infty) \varepsilon \sigma (T_v^4 - T_\infty^4)}{Pr x_p \rho_g c_g \lambda_g V_g}} \propto V_g^{-0.5} \quad \text{式 4}$$

のように表される。式 3 から、燃え拡がり速度が対向流速 V_g の増加に従って大きくなるのが分かる。これは図 3 右の傾向と合致する。また、可燃限界における火災温度は対向流速の増加とともに低下することが式 4 から示されるが、これは対向流速の増加に従い限界酸素濃度が低下することを意味し、この傾向は図 3 左の実験結果と合致する。

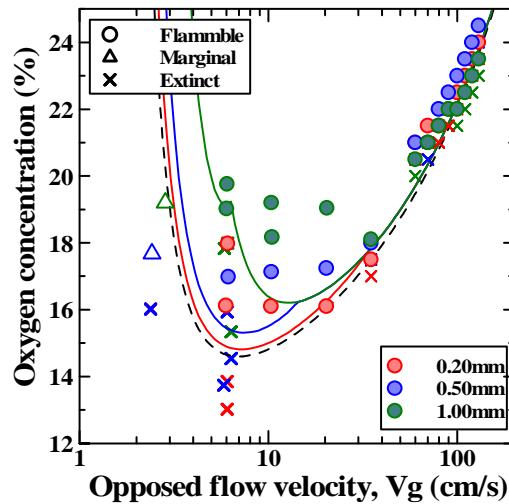


図 2 厚みの異なる PMMA の可燃限界とモデルによる予測限界

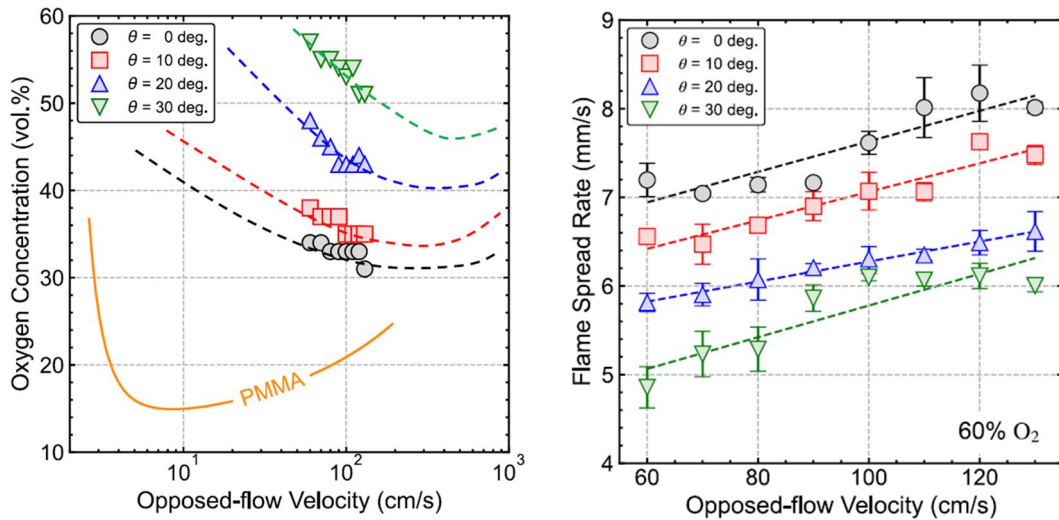


図3 CFRPの限界酸素濃度(左)および燃え拡がり速度(右)

これらの結果から，スケール解析により導出したモデルは CFRP の特徴を定性的に表しているといえる．今後の課題として，定量的に表されるようさらなる改良[3]が必要と考えられる．

参考文献

- [1] Takahashi, S., Oiwa, R., Tokoro, M., Kobayashi, Y., Flammability Limits of Flat Materials with Moderate Thickness in Microgravity, *Fire Technology*, Vol. 57, 2387-2406, 2021.
- [2] Takahashi, S., Kobayashi, Y., Matsukawa, N., Matsumoto, K., Simplified model for predicting flammability limit of homogeneous and inhomogeneous solid materials, *ISSM9*, 2021.
- [3] Kobayashi, Y., Matsukawa, N., Matsumoto, K., Takahashi, S., Theoretically predicting the flame-spread limit of carbon-fiber-reinforced plastic, *Proc. Combustion Institute*. Vol. 39, 4135-4143, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5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 Yoshinari Kobayashi, Naoki Matsukawa, Keisuke Matsumoto, Shuhei Takahashi | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Theoretically predicting the flame-spread limit of carbon-fiber-reinforced plastic | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute | 6. 最初と最後の頁 4135-4143 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.proci.2022.07.130 | 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 Yoshinari Kobayashi, Keisuke Matsumoto, Naoki Matsukawa, Shuhei Takahashi | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic with different carbon fiber orientations | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute | 6. 最初と最後の頁 3899-3907 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.proci.2022.08.131 | 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 Kobayashi Yoshinari, Oiwa Rikiya, Tokoro Misuzu, Takahashi Shuhei | 4. 巻 232 |
| 2. 論文標題 Buoyant-flow downward flame spread over carbon fiber reinforced plastic in variable oxygen atmospheres | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Combustion and Flame | 6. 最初と最後の頁 111528 ~ 111528 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.combustflame.2021.111528 | 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 Kobayashi Yoshinari, Terashima Kaoru, Oiwa Rikiya, Tokoro Misuzu, Takahashi Shuhei | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic under variable flow velocity and oxygen concentration: The effect of in-plane thermal isotropy and anisotropy | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute | 6. 最初と最後の頁 4857 ~ 4866 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.proci.2020.06.380 | 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 Kobayashi Yoshinari, Nakaya Shinji, Tsue Mitsuhiro, Takahashi Shuhei | 4. 巻 120 |
| 2. 論文標題 Flame spread over polyethylene-insulated copper and stainless-steel wires at high pressure | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Fire Safety Journal | 6. 最初と最後の頁 103062 ~ 103062 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.firesaf.2020.103062 | 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 Takahashi Shuhei, Oiwa Rikiya, Tokoro Misuzu, Kobayashi Yoshinari | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Flammability Limits of Flat Materials with Moderate Thickness in Microgravity | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Fire Technology | 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) 10.1007/s10694-021-01121-1 | 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 Shuhei Takahashi, Kaoru Terashima, Muhammad Arif Fahmi bin Borhan, Yoshinari Kobayashi | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Relationship Between Blow-Off Behavior and Limiting Oxygen Concentration in Microgravity Environments of Flame Retardant Materials | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Fire Technology | 6. 最初と最後の頁 169-183 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10694-019-00880-2 | 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 Yoshinari Kobayashi, Kaoru Terashima, Muhammad Arif Fahmi bin Borhan, Shuhei Takahashi | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Opposed Flame Spread over Polyethylene Under Variable Flow Velocity and Oxygen Concentration in Microgravity | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Fire Technology | 6. 最初と最後の頁 113-130 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10694-019-00862-4 | 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27件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋周平 |
| 2. 発表標題 ISS/「きぼう」における固体燃焼実験 -FLAREプロジェクトの進捗- |
| 3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Naoki Matsukawa |
| 2. 発表標題 Theoretically predicting the flame-spread limit of carbon-fiber-reinforced plastic |
| 3. 学会等名 39th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMBUSTION（国際学会） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keisuke Matsumoto |
| 2. 発表標題 Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic with different carbon fiber orientations |
| 3. 学会等名 39th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMBUSTION（国際学会） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本圭佑 |
| 2. 発表標題 過重力環境下における熱的に薄いPMMAシートの下方向燃え拡がり |
| 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 松川直生 |
| 2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの燃え拡がり限界の理論的予測 |
| 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 岡村康希 |
| 2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの対向流燃え拡がりにおける非燃焼部の熱的影響 |
| 3. 学会等名 JASMAC-34 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 鳥飼宏之 |
| 2. 発表標題 FLARE projectにおける「きぼう」の微小重力環境を利用した低速気流中におけるろ紙上の燃え拡がり |
| 3. 学会等名 JASMAC-34 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shuhei Takahashi |
| 2. 発表標題 Simplified model for predicting flammability limit of homogeneous and inhomogeneous solid materials |
| 3. 学会等名 9th International Symposium on Scale Modeling (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shuhei Takahashi |
| 2. 発表標題 Flammability of Flat Solid Materials in Reduced Gravity Environment -FLARE FLARE2 ,the ISS Orbital Experiment Projects |
| 3. 学会等名 Lunar Surface Science Workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshinari Kobayashi |
| 2. 発表標題 Buoyant-Flow Downward Flame Spread Over Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastic In Oxygen-Enriched Atmospheres |
| 3. 学会等名 13th Asia-Pacific Conference on Combustion (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高橋周平 |
| 2. 発表標題 FLARE/FLARE2軌道上実験による可燃性評価法の開発 |
| 3. 学会等名 JASMAC-33 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松川直生 |
| 2. 発表標題 炭素繊維配合方向の異なる炭素繊維強化プラスチックの下方燃え拡がり挙動 |
| 3. 学会等名 JASMAC-33 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松本圭佑 |
| 2. 発表標題 対向流速中に置かれたCFRPの火炎伝播挙動に及ぼす炭素繊維配合方向の影響 |
| 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 高橋 周平 |
| 2. 発表標題 熱的に薄い固体材料の可燃限界に及ぼす厚みの影響 |
| 3. 学会等名 日本マイクログラフィティ応用学会 第32回学術講演会 (JASMAC-32) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大岩 力哉 |
| 2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチック CFRP の燃え拡がり挙動のモデル化 |
| 3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス 2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 所 美鈴 |
| 2. 発表標題 蛇腹折りされたプラスチック材の山数が可燃限界に及ぼす影響 |
| 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 Yoshinari Kobayashi |
| 2. 発表標題 Opposed-flow flame spread over carbon fiber reinforced plastic under variable flow velocity and oxygen concentration: The effect of in-plane thermal isotropy and anisotropy |
| 3. 学会等名 38th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMBUSTION (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshinari Kobayashi |
| 2. 発表標題 Opposed-flow flame spread over flat polyethylene in microgravity |
| 3. 学会等名 12th Asia-Pacific Conference on Combustion (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kaoru Terashima |
| 2. 発表標題 Effect of opposed flow velocity on limiting oxygen concentration of flame retardant materials |
| 3. 学会等名 12th Asia-Pacific Conference on Combustion (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shuhei Takahashi |
| 2. 発表標題 Fire safety standard in space environments -flame spread in micro/reduced gravity |
| 3. 学会等名 59th KOSCO (The Korean Society of Combustion) Symposium (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 高橋周平 |
| 2. 発表標題 対向流を受ける厚みの異なる平板試料の可燃限界 |
| 3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 寺嶋薫 |
| 2. 発表標題 対向流中の厚みを有する平板プラスチック材の可燃限界 |
| 3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会 第31回学術講演会 (JASMAC-31) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小林芳成 |
| 2. 発表標題 高圧力下でのポリエチレン被覆導線の燃え拡がり |
| 3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会 第31回学術講演会 (JASMAC-31) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 寺嶋薫 |
| 2. 発表標題 固体平板材料の異方性が限界酸素濃度に及ぼす影響 |
| 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 小林芳成 |
| 2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックCFRPの燃え拡がり - 炭素繊維配合方向が燃え拡がり挙動に及ぼす影響 - |
| 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 大岩力哉 |
| 2. 発表標題 固体平板材料の熱分解特性がふく射消炎限界に及ぼす影響 |
| 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 所美鈴 |
| 2. 発表標題 固体材料の形状が限界酸素濃度に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム |
| 4. 発表年 2019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 |
|---------|---------|
|---------|---------|