

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01665

研究課題名(和文) 燻焼から有炎燃焼への遷移現象の学理の探究

研究課題名(英文) Scientific insights into smoldering-to-flaming transition

研究代表者

桑名 一徳 (Kuwana, Kazunori)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：30447429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：タバコは多くの火災の原因である。タバコの燃焼は燻焼(炎を生じない燃焼形態)であり、タバコにより紙類や衣類等の可燃性固体が着火すると、その可燃物もはじめは燻焼する。その後、有炎燃焼に遷移すると火災被害が急拡大する。したがって、燻焼から有炎燃焼への遷移の有無がタバコ火災の被害を大きく左右するといえ、この遷移現象の臨界条件を明らかにすることは火災リスクマネジメント上重要である。本研究では、様々な条件で実験を行い臨界条件に関するデータを取得するとともに、燻焼現象を記述する数理モデルを構築した。このモデルは、燻焼状態の解の存在性に基づき、消炎や有炎燃焼への遷移といった臨界条件を予測するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、燻焼状態から有炎燃焼への遷移現象を記述する数理モデルを構築した。モデルの妥当性は、実験結果との比較により検証した。さらに、タバコ火災の初期に見られる自然対流中での燃え広がり現象に関して、遷移メカニズムの検討を行った。これらの検討を踏まえ、構築したモデルを数値流体力学計算に組み込む方法論を検討した。

本研究の成果により、タバコ火災の初期段階で、燻焼から有炎燃焼へ遷移する現象を数値シミュレーションすることが可能になった。これにより、周囲の酸素濃度や流れの影響が遷移現象に及ぼす影響の評価、そしてより正確な火災リスク評価が可能になった。

研究成果の概要(英文)：Smoking materials such as cigarettes cause a number of fires. When a combustible solid is ignited by a smoldering cigarette, the solid also smolders first. If, then, a smoldering-to-flaming transition (SFT) occurs, the burning rate significantly increases, leading to a severe fire damage. Scientific understanding of the critical condition of SFT is crucial for fire risk assessment. The goal of this study is to develop a mathematical model to predict the critical condition.

Experiments were conducted under various conditions to obtain data of the critical conditions for SFT. A model is then developed based on experimental observations. The model describes the process of steady smoldering spread; the critical condition can be predicted by considering the presence of solution.

研究分野：火災安全

キーワード：燻焼 有炎燃焼 タバコ火災

### 1. 研究開始当初の背景

国内の火災の出火原因は放火を除くとタバコが第一位であり、世界的にもタバコの不始末による火災が多く発生している。タバコの燃焼は燻焼（炎を生じない表面燃焼）であり、通常の有炎燃焼と比べると、低温で緩慢な燃焼形態である。タバコにより着火された可燃物はまず燻焼し、その後、消炎する場合と有炎燃焼に遷移し火災が急拡大する場合にわかれる。つまり、タバコ火災の被害を左右するのは燻焼から有炎燃焼への遷移の有無である。したがって、遷移の臨界条件を科学的に理解することは重要である。

燻焼から有炎燃焼への遷移条件を求めるといことは、気相での燃焼反応が維持できる限界条件を求めるといことであり、その意味では気相着火の研究に近い。しかし、固体表面での熱分解反応やそれに伴う可燃性気体の生成が同時に起こるためはるかに複雑な現象である。この遷移現象を対象とした研究は限定的であり、特に理論的研究はほとんど行われていない状況であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、燻焼から有炎燃焼への遷移条件を科学的に解明することである。実験および理論解析を行い、有炎燃焼への遷移を予測できる数理モデルを構築する。

### 3. 研究の方法

現象の詳細な観察や理論解析を容易にするため、まず 1 次元的な燻焼燃え広がりを対象として実験および解析を行う。この実験を擬 1 次元実験と呼ぶ。図 1 に示すように、酸化剤の強制対流中で試料を燻焼させるものである。試料の熱分解により噴出する気体と酸化剤流が対向流を形成し、これらが衝突する淀み点近傍の現象は、1 次元的な取り扱いが可能である。試料には乾燥モグサを円筒状に成型したものをを用いた。この試料は通常の空気中で燃焼させると燻焼する。

擬 1 次元実験の結果（例えば図 2）をもとに 1 次元の数理モデルを構築する。モデルの予測結果と実験結果を比較することによりモデルの妥当性を検証する。妥当性を検証した後、数値流体力学計算に組み込むための定式化を行う。なお、モデルには活性化エネルギー等の反応速度パラメータが含まれる。これらのパラメータの値を決定するために、文献調査および試料の熱重量分析を行う。

また、擬 1 次元実験に加えて実火災の初期段階を模擬した自然対流中での燻焼燃え広がり実験も行い、有炎燃焼への遷移条件に関してさらに検討する。そして、本研究で構築するモデルで実験結果を説明できるか検証する。なお、擬 1 次元実験およびそれをもとにした数理モデル構築が本研究の根幹を成すので、以下ではこれらについて主として記す。

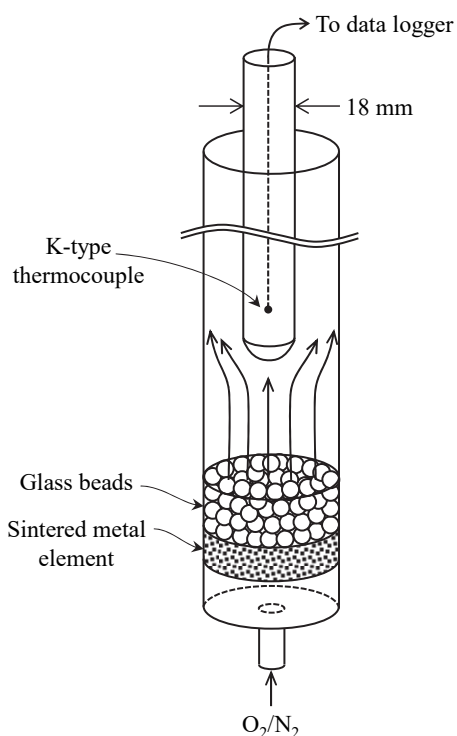


図 1 強制対流中の擬 1 次元燻焼実験

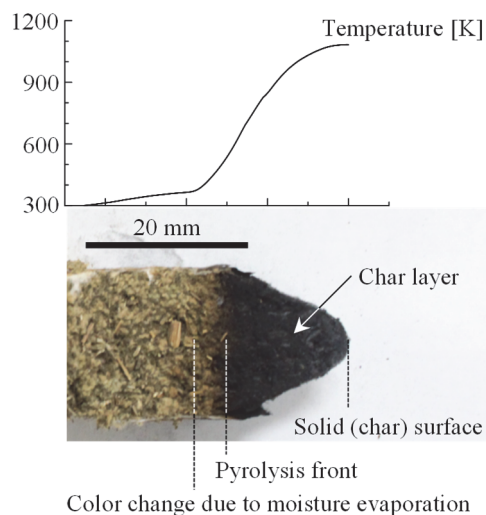


図 2 燻焼後の試料の切断面および温度分布

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験および理論解析の結果

図2からもわかるように、試料は370 K (約100°C)前後で水分が蒸発し、その後温度が500~600 Kに達すると熱分解(炭化)反応が盛んになる。このとき可燃性気体が放出されるとともに固体のチャー(炭化物)が生成する。チャーは表面で酸素と反応し、赤熱する。実験では、試料温度に加えて燃え拡がり速度を計測した。

燻焼燃え拡がり速度および試料の最高温度を、酸化剤流中の酸素質量分率の関数として図3に示す。実線は数理モデル(後述)による予測結果である。酸素質量分率が増加すると最高温度も燃え拡がり速度も上昇する。酸素質量分率が16%未満では燃え拡がりを維持できなかつた。つまり消炎限界が存在する。逆に、酸素質量分率が47%になると有炎燃え拡がりが生じた。この条件が燻焼から有炎燃焼への遷移の臨界条件である。

これらの実験結果に基づき数理モデルを構築した。まず、対象とする現象を再現できる最も簡単な化学反応機構として、次のものを考えた。なお、水分の蒸発潜熱が反応熱と比べると十分小さいことから、水分の蒸発については考慮しなかつた。

- 固体の熱分解(炭化)反応: 燃料 → チャー + 可燃性気体
- チャーの表面燃焼: チャー + 酸素 → 一酸化炭素および二酸化炭素
- 気相燃焼: 可燃性気体 + 酸素 → 燃焼生成物

はじめの炭化反応と2番目のチャーの燃焼反応は固体の界面で起こる不均一反応である。一方3番目の反応は気相反応である。これらの反応に伴う物質およびエネルギー収支を考えると、物質および温度の分布を求められるとともに燻焼燃え拡がり速度を求めることができる。このとき、1番目の炭化反応は炭化領域と未反応燃料領域の界面でのみ起こると考えた。また、2番目の反応はチャー領域と気相の界面でのみ起こると考えた。チャー表面での熱収支として、反応熱に加えて放射熱損失も考慮した。セルロース系試料の熱分解反応の速度パラメータ(特に活性化エネルギー)は文献ごとによらつきが大きいことがわかつたため、試料の熱重量分析結果から反応速度パラメータを決定した。

モデルにより予測された最高温度および燃え拡がり速度を図3に示す。実験結果をほぼ再現することができた。実験結果との誤差につながる要因として、今回の1次元モデルでは解を得るのを容易にするため物性値の温度依存性を無視したことが挙げられる。数値流体力学計算に組み込む際は物性値の温度依存性を考慮できるので、この点については改善できる。チャー表面での放射熱損失を計算するのに必要な放射率の推定が困難であることも実験結果と予測結果の差異の原因である。特にチャー表面に灰が付着することの影響を評価することが困難であった。

モデルにより予測された燻焼燃え拡がり速度と最高温度を図4に示す。燻焼限界が生じるメカニズムを明らかにするため、次の3ケースの計算結果が記されている。

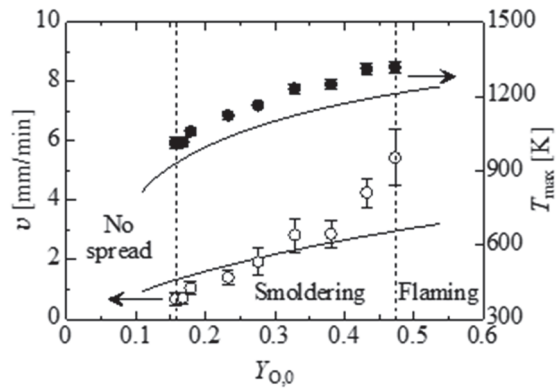


図3 燻焼燃え拡がり速度および最高温度と酸化剤流中の酸素質量分率の関係

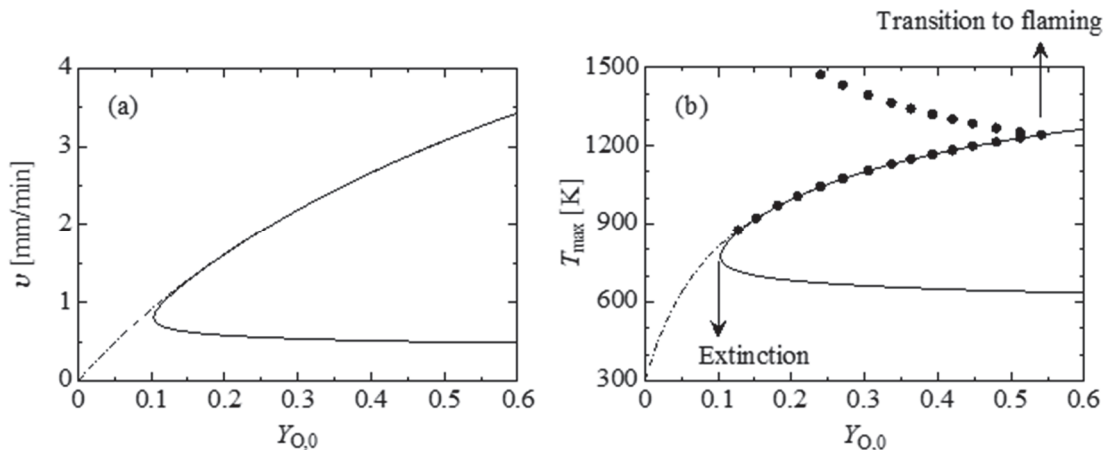


図4 予測された燻焼燃え拡がり速度(右図)および最高温度(左図)と酸素質量分率の関係

- (A) 気相反応を考慮せず、チャーの酸化反応が無限に速い（酸素の拡散律速）と仮定した場合（破線）
- (B) 気相反応を考慮せず、チャーの酸化反応速度式としてアレニウス則を用いた場合（実線）
- (C) 気相での燃焼反応を考慮した場合（黒丸）

まず破線で表したケース(A)の場合、消炎も有炎燃焼への遷移も起こらない。酸素質量分率（横軸）が減少して0に近づくと、燃え拡がり速度も0に近づき、最高温度は室温に近づく。つまり、チャーの酸化反応が無限に速いなら消炎限界は存在しない。一方、アレニウス型のチャーの酸化反応速度を仮定すると実線のような解が得られる（ケース(B)）。この場合、酸素質量分率が約0.1の限界値を下回ると解が存在しない。すなわち消炎する。逆に酸素質量分率が限界値を上回ると二つの解が存在する。このうち下側の解では酸素質量分率の増加に伴い燃え拡がり速度および最高温度が減少するという非現実的な解であり、実現することは無い。上側の解のみが物理的に意味を持つ。以上のことから、燻焼燃え拡がりの消炎は、チャーの酸化反応速度の有限性のために生じることがわかる。逆に、燻焼燃え拡がりが起きているときにチャーの酸化反応速度が低下するような変化が生じれば消炎しやすいと言える。

次に、ケース(C)のように気相での燃焼反応を考慮すると、酸素質量分率が約0.55の限界値を超えると最高温度の解が存在しなくなる。これは、有炎燃焼への遷移が生じることに対応している。気相での燃焼反応が強化される条件（酸素濃度の上昇、対流に依る酸素供給、温度上昇など）が達成されると有炎燃焼への遷移が起こる。

以上のように、さまざまなケースで解を求めることにより、消炎や有炎燃焼への遷移を生じさせる要因が明らかになった。

図4(b)に黒丸で示したケース(C)では、有炎燃焼に遷移する臨界条件よりも酸素質量分率が小さければ2つの解が存在する。これらの解における気相温度分布を調べたところ、上部解ではチャー表面における温度勾配が正であり、下部解では負であることがわかった（図5）。そして臨界条件（図4(b)の黒丸の一番右の点）では、温度勾配がゼロになる。これは可燃性気体の熱面着火と同様な状況である。したがって、温度勾配がゼロになる条件を探すことにより臨界条件を得ることができる。図6はそのようにして求めた臨界条件を気相のひずみ速度の関数として表したものである。ひずみ速度は、図1のような実験において燻焼面に向かう酸化剤流速にほぼ比例する量である。図6より、ひずみ速度が増加すると有炎燃焼に遷移する臨界条件における酸素質量分率が低下することがわかる。これは燻焼面に向かう酸化剤流速が増加すると有炎燃焼に遷移しやすくなることを意味しており、直感的にも納得できる結果である。本研究で構築したモデルにより、有炎燃焼に遷移する臨界条件のパラメータ依存性を求めることができる。

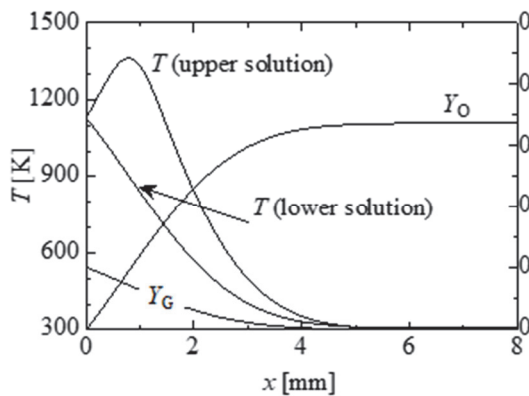


図5 気相での温度・質量分率分布

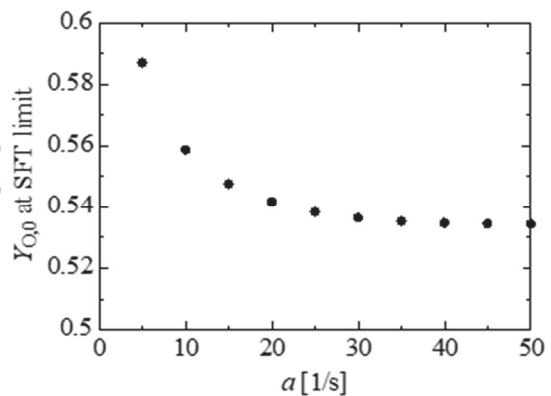


図6 臨界条件とひずみ速度の関係

以上にまとめた擬1次元実験およびその数理モデル構築に加えて、自然対流中での燻焼燃え拡がり実験も実施した。これは火災初期の燻焼状態を模擬するものである。この実験結果の解析により、有炎燃焼への遷移において自然対流による熱伝達が重要な役割を果たすことと、気相反応として一酸化炭素の燃焼を考えなければならないことが明らかになった。これらの知見をもとに擬1次元モデルを拡張し、多次元的な数値流体力学計算に組み込む方法を検討した。これにより、火災初期の燻焼状態から有炎燃焼に遷移する過程を数値モデルで記述することが原理的には可能になった。

一方、紙屑類や綿製品の上にタバコを置いて有炎燃焼に遷移するか否かを実験したところ、強制対流の存在により遷移しやすさが影響を受けるなど、本研究で得た結果と定性的に一致した傾向が得られた。しかし、遷移の有無や遷移に至る時間については実験ごとのばらつきが大きく、統一かつ定量的な情報を得るのは困難であった。これは、紙屑といった可燃物のかさ密度など



の実験パラメータを詳細に制御するのが容易ではなかったためである。燻焼のしやすさや有炎燃焼への遷移のしやすさという観点から可燃物の特性を表現できるようなパラメータの考察等が、実火災における有炎燃焼への遷移を定量的に予測するにあたって今後検討すべき課題である。

## (2) 研究成果のまとめと今後の展望

本研究の成果をもとに、実火災の初期段階において燻焼燃え拡がりから有炎燃焼に遷移する様子を記述するモデルを構築できた。これは、火災リスクの評価や火災原因調査において大きく貢献できるものである。一方で、実火災での遷移現象を正確に予測するのは困難であった。つまり、遷移に至るまでの時間を定量的に予測するのは困難であった。この大きな要因として、灰の付着により化学反応や熱移動が影響を受けることや、紙屑や折りたたまれた衣類といった実火災の可燃物の物性値を正確に記述することの困難さが挙げられる。今後、有炎燃焼への遷移も含めて正確に計算できる火災シミュレーションを可能にするためには、これらの要因に関する検討が不可欠である。

また、本研究の実施により、可燃性気体の着火に関する新たな知見も得られた。可燃性気体が一定のパワーで加熱されている高温面により着火する現象を、本研究で構築したモデルを応用することにより記述することができた。本研究の内容は、可燃性固体の燻焼のみではなく、可燃性気体の着火現象にも応用できるものである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 O. Kadowaki, M. Suzuki, K. Kuwana, Y. Nakamura, G. Kushida	4. 巻 38
2. 論文標題 Limit conditions of smoldering spread in counterflow configuration: Extinction and smoldering-to-flaming transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 5005 ~ 5013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.proci.2020.05.002	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 J. Gao, X. Qi, D. Zhang, T. Matsuoka, Y. Nakamura	4. 巻 38
2. 論文標題 Propagation of glowing combustion front in a packed bed of activated carbon particles and the role of CO oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 5023 ~ 5032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.proci.2020.05.041	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 T. Yamazaki, T. Matsuoka, K. Kuwana, Y. Nakamura	4. 巻 38
2. 論文標題 Study on the flaming-transition behavior of a downwardly smoldering biomass stick utilizing low pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the Combustion Institute	6. 最初と最後の頁 5073 ~ 5080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.proci.2020.07.100	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 T. Imamura, K. Uehara, K. Nakata, S. Maruyama, K. 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 2021年
3. 雑誌名 Fire Safety Journal	6. 最初と最後の頁 103025.1 ~ 8
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 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 254 ~ 257
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 -

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 T. Yamazaki, T. Matsuoka, Y. Li, Y. Nakamura	4. 巻 56
2. 論文標題 Applicability of a low-pressure environment to investigate smoldering behavior under microgravity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fire Technology	6. 最初と最後の頁 209-228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10694-019-00911-y	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 船島康史, 飯塚洋行, 桑名一徳, 櫛田玄一郎	4. 巻 61
2. 論文標題 フィンガリング不安定性が狭い空間における燃え拡がり挙動に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 250-257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.1901	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 R. Yamada, K. Kuwana	4. 巻 14
2. 論文標題 Scaling laws of flow structures around geometrically similar fire whirls	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jtst.2019jtst0009	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 桑名一徳, 矢崎成俊	4. 巻 58
2. 論文標題 火炎伝播のモデル方程式	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 伝熱	6. 最初と最後の頁 42-52
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 山崎拓也, 松岡常吉, 中村祐二
2. 発表標題 低圧場を用いたくん焼から有炎燃焼への遷移条件の検討
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 山崎拓也, 安田大晃, 松岡常吉, 中村祐二
2. 発表標題 無機塩類がくん焼に及ぼす影響の調査
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 山崎拓也, 松岡常吉, 中村祐二, 桑名一徳
2. 発表標題 くん焼から有炎燃焼への遷移に関する実験的検討
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 T. Yamazaki, Y. Li, T. Matsuoka, A. Salim, T. Li, K. Saito, Y. Nakamura
2. 発表標題 A Flaming Transition of Smoldering Thin-rod Biomass in Low Pressure
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 山崎拓也, 松岡常吉, 中村祐二
2. 発表標題 低圧場を用いたくん焼から有炎燃焼への遷移過程の調査
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 M. Suzuki, K. Kuwana, Y. Nakamura, G. Kushida
2 . 発表標題 1-D modeling of smoldering-to-flaming transition
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 H. Iizuka, K. Kuwana, G. Kushida
2 . 発表標題 Testing a reduced model of flame spread over a thin solid in a narrow channel
3 . 学会等名 27th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Iga, K. Kuwana
2 . 発表標題 Generation of fire whirls over a line fire in a crossflow: an experimental study on the role of near-ground flow
3 . 学会等名 27th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Kuwana
2 . 発表標題 Flame/smoldering spread in a narrow channel
3 . 学会等名 16th International Conference on Flow Dynamics ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
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 後藤舞香, 桑名一徳, 櫛田玄一郎, 上形泰英, 矢崎成俊
2. 発表標題 床面近傍での燃え拡がり不安定性の定量評価
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 青山奈実季, 桑名一徳, 櫛田玄一郎
2. 発表標題 狭い空間における燻焼および有炎燃え拡がり機構の実験的検討
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 門脇督, 桑名一徳, 中村祐二, 櫛田玄一郎
2. 発表標題 酸化剤流中におけるセルロースの燃焼形態について
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, 櫛田玄一郎
2. 発表標題 狭い空間における水平方向の燻焼燃え拡がりのモデリング
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 桑名一徳, 矢崎成俊
2. 発表標題 蔵本・シバシンスキー方程式の精度に関する検討
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部直人, 桑名一徳, 櫛田玄一郎
2. 発表標題 紙の燃え拡がり現象における燃焼形態に関する研究
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田悠作, 鈴木麻友, 桑名一徳
2. 発表標題 酸素供給量がセルロースの燃焼形態に及ぼす影響
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 船島康史, 増山紋加, 桑名一徳, 櫛田玄一郎
2. 発表標題 狭い空間における燃え拡がり速度
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木麻友, 柴田悠作, 桑名一徳
2. 発表標題 燻焼から有炎燃焼への遷移現象
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑名一徳, 矢崎成俊
2. 発表標題 2次元空間における界面追跡方法のG方程式への応用
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018
4. 発表年 2018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	中村 祐二  (Nakamura Yuji)  (50303657)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (13904)	

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