

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02387

研究課題名(和文) 減災かつユビキタス元素戦略に資する高性能消火剤の創出およびその分子設計指針の確立

研究課題名(英文) Development of novel, high-performance, and phosphorus-free fire suppressants

研究代表者

小柴 佑介 (Koshiba, Yusuke)

横浜国立大学・大学院工学研究院・技術専門職員

研究者番号：60419273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で実施した3つのサブテーマから、次の成果を得ることができた：(1)ナノ化フェロセン分散液が高い消火性能を示すこと、(2)高い燃焼抑制効果を発現する新規化合物を合成したとともに、分解しやすい化合物ほど高い抑制効果を示すこと、(3)マイクロエマルジョン系消火剤が高い消火性能を発現するとともに、液組成が消火性能に及ぼす影響を明らかにできたこと。今回提案した新規消火剤はどれも高性能であり、かつ使用元素のユビキタス化を達成した。従って、我が国における減災戦略およびユビキタス元素戦略に資する知見を得ることができたと結論付けられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来から、ウォーターミストへの添加剤として利用するために、数多くの金属化合物が模索されてきたが、既知化合物の中から宝探的に探索されており、化合物選定に関して明確な学理が無かった。また、粉末消火剤の有効成分としてリン酸塩が用いられているが、リン鉱石には枯渇リスクや産出国のカントリーリスクがある。本研究で提案した新規消火剤は、どれも既存消火剤よりも高性能であるだけでなく、使用元素のユビキタス化を達成した。従って、火災による被害低減およびユビキタス元素戦略に資する社会的貢献ができたと考えられる。これに加え、高性能消火剤の分子設計に資する先駆的指針を示すことができ、ここに学術的意義があると言える。

研究成果の概要(英文)：The key findings of this project can be outlined as follows: (1) aqueous dispersions of nano-sized ferrocene particles exhibited a high ability to extinguish pool fires, (2) novel high-performance fire suppressants were synthesized, and a positive correlation between the ease with which the compounds decompose/break down and their flame inhibition efficiency was found, and (3) new microemulsion-based fire suppressants were prepared and had the higher suppression efficiency than a conventional suppressant. In conclusion, the advantages of the agents suggested in this study lie in their high ability to extinguish fires and in their ubiquitous elements.

研究分野：安全工学

キーワード：消火 火災 消火剤 ユビキタス元素 合成化学 マイクロエマルジョン 火災安全工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

住宅火災による年間死者数は、我が国では千人前後で推移しており、被害が大きい災害の一つである。また、いずれ起こる南海トラフ地震における最悪のシナリオにおいて、火災による損失だけで約 2 万人強の死者および約 75 万棟もの家屋焼失が想定されている。産業火災に関しては、ひとたび発災するとマスメディアで大きく報道される傾向があるため、リスクの社会的増幅理論とも関連して、社会的関心が高いと言える。近年は、危険物施設 1 万施設あたりの火災事故発生率が継続的に上昇している。また、危険物施設では、定常運転時の火災だけではなく、地震などの自然災害時において大規模火災に進展する可能性がある (Natech)。火災による損害は、初期消火の可否によって大きく低減可能であるため、初期消火が最重要視されている。

現在、たとえば粉末消火剤では、その有効成分としてリン酸塩 (ADP) が利用され、世界的に普及している。しかしながら、その原料であるリン鉱石は、経済的枯渇リスクや主要産出国のカントリーリスクといった様々な資源リスクを孕んでいる。我が国はリン鉱石を産出できないため、消火剤において、使用元素のコピキタス化が求められている。

(2) 学術的背景

純水を用いるウォーターミスト ($<1,000 \mu\text{m}$, WM) は、その環境負荷の小ささに起因して、消火剤や消火設備用の次世代消火剤として期待されている。一方で、火災規模が小さい場合には、必要な水蒸気量が生成できないことやミスト液滴自体のモーメントの小ささに起因して、実火災を消火しにくいことが多くの研究者により指摘されている。これは、最も重要な初期消火において、WM が適さない可能性があることを示唆している。従って、WM の消火性能を向上させるための添加剤が希求されている。

遷移金属化合物が高い消火性能を示すことから、多くの競合研究者がその消火剤への適用を目指してきた。しかしながら、その多くがレアメタル化合物や高毒性の重金属化合物であったため、新規消火剤の提案には至っていない。一方、研究代表者は、枯渇リスクが小さく低毒性のベースメタルの化合物に着目し、研究を行ってきた。特に、フェロセン (FeCp_2 , 図 1) は、火災中で活性鉄種を容易に生成し、ラジカルを負触媒的に失活できるため、高い燃焼抑制効果を発現できる (Koshiba et al., 2012)。この知見を基に、研究代表者はブレイクダウン法で作製したマイクロサイズの FeCp_2 粒子を水中に分散させた FeCp_2 /水分散系を創製し、これが既存消火剤よりも高性能であることを見いだしただけでなく、 FeCp_2 粒径が小さいほど高い消火性能があることを明らかにした (Koshiba et al., 2016)。一方で、系中における FeCp_2 の分散性が悪いほど、消火性能が低下してしまう問題も分かった。この知見は、分散性を向上すれば、更なる性能向上が期待できることを示唆している。多くの既往研究において、消火剤としての最適化合物が宝探的に探索されており、産業上および学術上の問題があった。また、これまでの知見を勘案し、活性種へのかい離が起りやすい化合物ほど燃焼抑制効果が高まることが予想された。

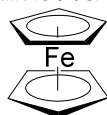


図1 フェロセンの化学構造。

2. 研究の目的

上述の社会的・学術的背景を踏まえ、高性能化および使用元素のコピキタス化を志向した新規消火剤を提案するとともに、次世代高性能消火剤の分子設計に資する先駆的知見を得ることを目的とした。この目的を達成するために、本研究においては、次の 3 つのサブテーマを設定した。

サブテーマ 1: FeCp_2 のナノ化による分散性の向上および消火性能の向上を目指したサブミクロン FeCp_2 /水分散液 (ADSMF) の調製およびその消火特性の解明

サブテーマ 2: 新規化合物の合成および結合エネルギーと消火性能の関係性の解明

サブテーマ 3: 分散性の向上および消火性能の向上を目指した FeCp_2 含有マイクロエマルジョン (FeCp_2 - μE) の調製とその消火性能の解明

3. 研究の方法

(1) サブテーマ 1: ADSMF の調製とその消火特性

良溶媒水溶液 (ASOS) の消火特性評価

先行研究から、ブレイクダウン法を用いて ADSMF を調製することが難しかったため、本研究ではビルドアップ法 (貧溶媒晶析法) を用いて直接的に ADSMF の調製を試みた。これは、脂溶性の FeCp_2 を一旦水溶性の良溶媒に溶解させ、これに貧溶媒かつ消火剤の主成分となる水を

加え、ナノ FeCp₂ 粒子が水中に分散した ADSMF を直接的に調製するアプローチである。この ADSMF には、必然的に可燃性の有機溶媒が含まれることになる。従って、ADSMF 調製法の確立を行う前段階として、ASOS の消火性能の評価を行った。

蒸発特性の向上による消火性能の向上が予想されたため、本研究では水と極小型共沸混合物を形成するエタノール (EtOH)、1-プロパノール (PrOH)、テトラヒドロフラン (THF)、酢酸メチル (EtOMe)、および 1,2-ジメトキシエタン (DME) を良溶媒として用いた。

ASOS の消火性能の評価には先行研究 (Koshiba et al., 2016) の装置および方法を採用した。なお、ASOS の消火性能には、液特性 (蒸発特性、可燃性) およびミスト特性 (ザウター平均粒径 (D_{32} , 式 1)、ミスト質量流束 (F)、ミスト速度 (u)) が影響するため、これらも評価した。蒸発特性は、発表論文 (Koshiba et al., 2019) の通り、消火実験と同じ実験条件で噴霧した ASOS ミスト液滴の蒸発速度を測定することで評価した。可燃性の指標として引火点 (F_p) を用い、タグ密閉式引火点試験で測定するとともに、UNIQUAC 法および COSMO-RS 法を用いて推定した。ミスト特性としては、位相ドップラー式粒子分析計 (PDI) を用いて、 D_{32} 、 F 、および u を評価した。

$$D_{32} = \frac{\sum_i n_i D_i^3}{\sum_i n_i D_i^2} \quad (1)$$

ここで、 D はミスト液滴径、 n は液滴個数を示す。

ADSMF の調製法の確立および消火特性評価

本研究では貧溶媒晶析法を用いて直接的 ADSMF の調製を行った。後述の通り、消火性能を勘案して良溶媒には EtOH および 1-PrOH を用いた。まず、FeCp₂ を良溶媒に溶解させ、その後貧溶媒であるイオン交換水を一気に加えることで ADSMF を調製した。なお、調製温度は 5 °C および 25 °C とし、本研究では貧溶媒の滴下速度を実験パラメータとはしなかった。

ADSMF 中の FeCp₂ 粒径を粒度分布測定装置 (SALD-2300) で測定し、Rosin-Rammler 式で評価した。また、ADSMF の消火性能に関しては、発表論文 (Koshiba et al., 2021) の方法で評価した。

(2) サブテーマ 2 : 新規化合物の合成および結合エネルギーと消火性能の関係性の解明

短鎖パーフルオロ酢酸鉄 (Fe-SCPFCS) の合成およびその燃焼抑制機序の解明

本研究では、トリフルオロ酢酸 (TFA) およびペンタフルオロプロピオン酸 (PFP) を出発物質として、Ar 雰囲気中で加熱還流下、FeCl₃ と反応させることで Fe-TFA および Fe-PFP の合成を試みた。純度推定、錯形成の有無、配位サイトといった情報を得た上で、構造構造を同定するために、融点測定、UV-Vis、FT-IR、XRF、NMR、MS 測定を行った。なお、合成した Fe-SCPFCS はともに吸湿性が高く、元素分析や単結晶 X 線構造解析などを実施することができなかった点に留意が必要である。

Fe-SCPFCS の燃焼抑制効果は、研究代表者らが発展開発したろ紙燃焼法 (Koshiba et al., 2015) を用いて評価した。また、燃焼抑制機序の推定のために、速度論解析を行うとともに、TG-MS 分析を行った。

結合エネルギーと消火性能の関係性

本研究では、いくつかのカルシウム化合物を用いて、カルシウム化合物の燃焼抑制効果の評価するとともに、抑制効果と結合エネルギーの関係性を探索した。

(3) サブテーマ 3 : FeCp₂- μ E の調製とその消火特性の評価

先述した通り、FeCp₂ は脂溶性が高いため、水への添加剤として活用するために、一旦油相に溶解させて後にこれを水中に分散/可溶化させる μ E 化技術に着目した。先行研究 (Koshiba et al., 2018) から、FeCp₂- μ E の有用性は明らかにしていたが、用いていた油相種が 1 種類 (n -オクタン) のみであり、消火性能に及ぼす油相種の影響が未解明であった。そこで本研究では、油相として他の炭化水素および不燃性有機溶媒を用いて、FeCp₂- μ E の調整法の確立および油相種影響を明らかにすることをサブテーマ 3 の目的とした。炭化水素として、 n -ペンタン、 n -ヘプタン、 n -デカン、不燃性有機溶媒として Opteon SF33 (OSF33)、AE-3100 (AE)、AS-300 (AS) を用いた (図 2)。

本研究では、Agent-in-water 法を用いて FeCp₂- μ E の調製を試みた。また、静置法および動的分散法 (DLS) を用いてエマルジョン中の油滴径の測定を行い、エマルジョン特性を評価した。なお、消火実験に関しては、先行研究 (Koshiba et al., 2018) に準拠して実施した。

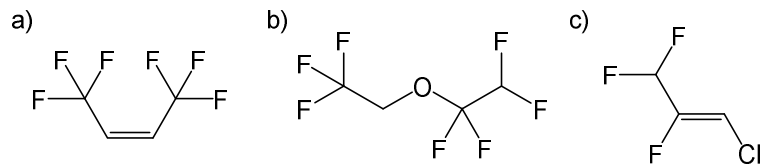


図 2 不燃性有機溶媒の化学構造 . a: OSF33 , b: AE , c: AS .

4 . 研究成果

(1) サブテーマ 1 : ADSMF の調製とその消火特性

ADSMF の性能評価に先立って ,ASOS の消火性能に及ぼす因子について探索した .その結果 ,EtOH aq. および PrOH aq. では ,試験した 1.0–20.0 vol% の濃度域において ,プール火災を消火できただけでなく ,既存強化液消火剤よりも消火時間が有意に短かった .一方で ,THF aq. ,EtOMe aq. ,および DME aq. では >5 vol% の濃度域において消火することができなかった .従って ,以降は良溶媒として EtOH および PrOH のみを用いることとした .ステップワイズ法を用いた重回帰分析から ,EtOH aq. および PrOH aq. ミストの消火性能は ,これと正の相関がある F , u , F_p で説明できることが分かった ($R^2_{adj,EtOH aq.} = .79$, $R^2_{adj,PrOH aq.} = .58$, R^2_{adj} : 自由度修正済み決定係数) .相関分析からは ,予想通り ,蒸発速度が高いほど消火性能が向上することが示された .以上の結果から ,ADSMF における良溶媒としては EtOH および PrOH が優れていることが分かり ,かつ良溶媒水溶液の消火性能に及ぼす要因を特定することができた .

良溶媒として EtOH および PrOH を用いれば ,貧溶媒晶析法により ,サブマイクロン領域の $FeCp_2$ 粒子 ($D_{32, FeCp_2} = 410–691 nm$) からなる ADSMF を調製することができた .スプレートの D_{32} および F の測定から ,ADSMF ミスト間に差が無かったため ,ADSMF 間の消火性能を直接比較することができた .

n -ヘプタンのプール火災を用いた消火実験から 既存消火剤である強化液に比べて ADSMF は消火時間が 1/5 であることが分かった (図 3) .また , ミクロンオーダーの $FeCp_2$ 粒子を分散させた分散液 (ADMF) と比較して ADSMF の消火性能が大きく向上し , $FeCp_2$ 粒子をサブマイクロン化した効果が観測された .ナノ化消火剤の消火性能を報告した研究例は少ないため ,得られた知見は ,学術的に意義があると言える .一方で ,試験した範囲では $FeCp_2$ 粒径が ADSMF の消火性能に及ぼす影響がほとんど認められなかった .この興味深い結果は , $FeCp_2$ 粒径がサブマイクロンオーダーであれば ,容易に火災中で分解され ,活性鉄種が生成できることを示唆するとともに ,消火性能という観点では ,必要以上に $FeCp_2$ 粒子を小さくする必要が無いという ,産業プロセス上の利点を示す結果であると言える .

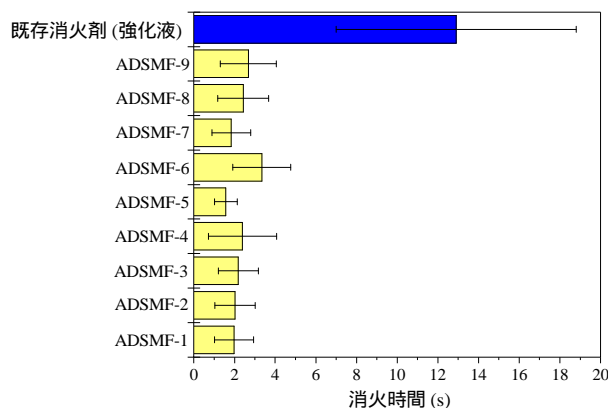


図 3 調製した ADSMF および既存消火剤 (強化液) の消火時間.

(2) サブテーマ 2 : 新規化合物の合成および結合エネルギーと消火性能の関係性の解明

合成した $Fe-TFA$ および $Fe-PFP$ に関して ,融点測定 ,UV-Vis ,FT-IR ,XRF ,NMR .MS 測定の結果 ,(i) TFA および PFP が Bridge 型で配位し ,(ii) Cl^- を錯体構造に含まないこと ,および (iii) 六核錯体であることが分かった .燃焼抑制試験および TG 分析の結果から , $FeTFA$ および $FePFP$ 両錯体ともに ,(i) 低濃度域において ADP よりも高い燃焼抑制効果を発現すること ,(ii) その燃焼抑制効果は $FePFP > FeTFA$ であること ,(iii) 両錯体ともに ,セルロースの燃焼過程における熱分解およびチャーの酸化分解を固相で阻害しないことを明らかにした .TG-MS 分析から ,(i) 両錯体の分解過程における主成分は CF_3 であること ,および (ii) CF_3 の生成能は , $FePFP > FeTFA$ であることを見いだした (図 4) .TG 分析および視野式融点測定から ,両錯体の分解点には有意差を確認できなかったことから ,抑制効果の差異は CF_3 生成能に起因していると結論付けた .

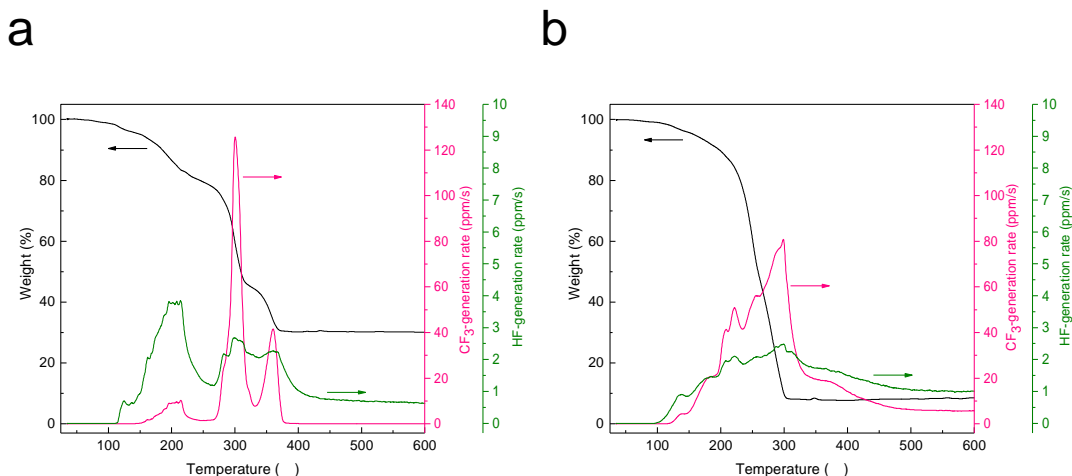


図 4 HF および CF₃ 生成速度および TG 曲線 . a: FeTFA , b: FePFP . 昇温速度 : 10 K min⁻¹
 雰囲気 : He , セル : アルミナ (開放) .

燃焼抑制試験の結果 , Ca(acac)₂ , Ca(OAc)₂ , Ca(OH)₂ , CaCO₃ は消炎が確認でき , かつ前者の 2 化合物は ADP よりも高い燃焼抑制効果を示すことが分かった . 速度論解析および Ca 周りの結合エネルギーと最小消炎濃度との関係から , 結合エネルギーが小さい化合物ほど高い燃焼抑制効果を発現することを見いだした . この興味深い関係性は , 燃焼抑制効果を発現するアニオンを有するカルシウム化合物 (CaCl₂ , CaBr₂ , CaI₂) でも成り立つだけでなく , それぞれ ADP の 2.4 倍 , 4.5 倍 , 4.6 倍の燃焼抑制効果を示すことが分かった .

これらの結果から , 中心金属がよりかい離しやすく , かつ構造に燃焼抑制効果を示す官能基などを導入することで , より高性能な消火剤を創製することができると結論付けられる (図 5) . この知見は , 今後の新規高性能消火剤分子を設計する際の指針になり得ると考えられ , ここに学術的意義があると言える .

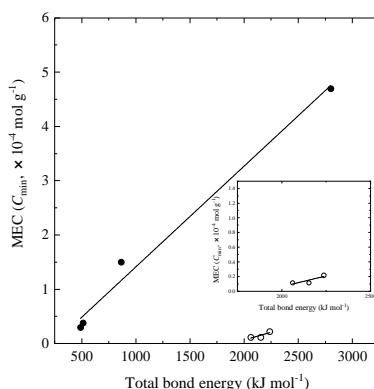


図 5 最小消炎濃度 (MEC) および結合エネルギーの関係性 . 挿入図は拡大図である .

(3) サブテーマ 3 : FeCp₂-μE の調製とその消火特性の評価

調製した条件下においては , 油相として *n*-ペンタン , *n*-ヘプタン , OSF33 , AE , および AS を用いた場合 , FeCp₂-μE を調製することができた . また , プール火災を用いた消火実験から , (i) 火災中での FeCp₂ の放出しやすさに起因して , 低沸点な油相ほど消火性能が高いこと , (ii) 可燃性油相よりも不燃性油相を用いた方が , 消火性能が向上すること , (iii) 安定性が高い μE ほど消火性能が高いことを見いだした .

μE 系消火剤に関しては , 研究代表者が提案した消火剤であり , 新規性が高い . また , μE 系消火剤の液設計に資する基礎的知見を本研究で得ることができたため , ここに学術的意義があると言える .

<参考文献>

- Koshiya Y. et al., *Fire Saf. J.* 51 (2012) 10–17.
- Koshiya Y. et al., *Fire Saf. J.* 83 (2016) 90–98.
- Koshiya Y. et al., *J. Loss Prev. Process Ind.* 62 (2019) 103973.
- Koshiya Y. et al., *Fire Saf. J.* 73 (2015) 48–54.
- Koshiya Y. et al., *Fire Saf. J.* 98 (2018) 82–89.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 6件）

1. 著者名 Koshiba Y., Yamamoto Y., Ohtani H.	4. 巻 62
2. 論文標題 Fire suppression efficiency of water mists containing organic solvents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Loss Prevention in the Process Industries	6. 最初と最後の頁 103973
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jlp.2019.103973	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 Koshiba Y., Haga T., Ohtani H.	4. 巻 109
2. 論文標題 Flame inhibition by calcium compounds: Effects of calcium compounds on downward flame spread over solid cellulosic fuel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fire Safety Journal	6. 最初と最後の頁 102865
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.firesaf.2019.102865	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 小柴佑介	4. 巻 422
2. 論文標題 ユビキタス元素戦略を志向した新規カルシウム系消火剤の創製	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 石灰石	6. 最初と最後の頁 64～71
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 -
1. 著者名 Koshiba Y., Tsunokuma Y., Ohtani H.	4. 巻 118
2. 論文標題 Synthesis and combustion inhibition efficiency of iron short-chain perfluorocarboxylates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fire Safety Journal	6. 最初と最後の頁 103224
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.firesaf.2020.103224	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 Koshiba Y. Hirakawa Y.	4. 巻 25
2. 論文標題 Combustion inhibition ability of calcium halides: An experimental study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Case Studies in Thermal Engineering	6. 最初と最後の頁 100984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.csite.2021.100984	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 Koshiba Y., Sugimoto M.	4. 巻 28
2. 論文標題 Fire-suppression capability of surfactant-free aqueous dispersions of submicron-sized ferrocene particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Case Studies in Thermal Engineering	6. 最初と最後の頁 101459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.csite.2021.101459	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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 平川, 大谷英雄, 小柴佑介
2. 発表標題 ハロゲン化カルシウムの燃焼抑制効果に関する研究
3. 学会等名 平成31年度日本火災学会研究発表会 (東京都新宿区)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小柴佑介, 入谷, 大谷英雄
2. 発表標題 フェロセンを含有したノイゲン/アルカン/水マイクロエマルジョンの調製とその消火性能
3. 学会等名 平成31年度日本火災学会研究発表会 (東京都新宿区)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小柴佑介
2. 発表標題 動的光散乱法によるフェロセン含有マイクロエマルジョンのエマルジョン特性の評価とその消火性能の検証
3. 学会等名 2019年度機器分析技術研究会 (愛知県岡崎市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊, 大谷英雄, 小柴佑介
2. 発表標題 金属dppf錯体の燃焼抑制効果
3. 学会等名 第52回安全工学研究発表会, (新潟県長岡市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小柴佑介
2. 発表標題 可燃性液体の危険性評価: 水/アルコール混合系の引火点の測定と予測
3. 学会等名 実験実習技術研究会 2020 (鹿児島県鹿児島市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角熊, 大谷英雄, 小柴佑介
2. 発表標題 パーフルオロカルボン酸鉄の合成とその燃焼抑制効果
3. 学会等名 第52回安全工学研究発表会 (新潟県長岡市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小柴佑介, 角熊, 大谷英雄
2. 発表標題 鉄-短鎖 PFCA 錯体の合成およびその燃焼抑制効果
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 小柴佑介, 吉田, 大谷英雄
2. 発表標題 難燃性有機溶媒を油相としたフェロセン含有マイクロエマルジョンの調製とその消火性能
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 小柴佑介
2. 発表標題 パーフルオロカルボン酸鉄の合成とその新規消火剤としての可能性
3. 学会等名 2020年度機器・分析技術研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本, 大谷英雄, 小柴佑介
2. 発表標題 サブミクロンフェロセン分散液の調製法の確立と消火性能の評価
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 平川, 大谷英雄, 小柴佑介
2. 発表標題 カルシウム化合物の消火性能に関する研究
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 小柴佑介, 原田
2. 発表標題 不燃性有機溶剤を油相としたフェロセン含有 O/W マイクロエマルジョンの調製とその消火性能
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 小柴佑介, 杉本
2. 発表標題 貧溶媒晶析法を用いたサブミクロンフェロセン/水分散液の直接調製およびその消火性能
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 小柴佑介
2. 発表標題 ユビキタス元素戦略を志向した新規カルシウム系消火剤の創製
3. 学会等名 第 80 回石灰石鉱業大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小柴佑介
2. 発表標題 環境対応型ハイドロフルオロ系有機溶剤を油相としたフェロセン含有マイクロエマルジョンの調製と消火特性：新規消火剤としての可能性
3. 学会等名 令和3年度機器分析技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薄木, 熊崎美枝子, 小柴佑介
2. 発表標題 (DPPF)ZnX ₂ (X= Br, I) の合成とその燃焼抑制効果
3. 学会等名 第54回安全工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小柴佑介, 原田
2. 発表標題 フェロセン含有 9E0/ハイドロフルオロオレフィン/水マイクロエマルジョンの消火特性
3. 学会等名 第54回安全工学研究発表会
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
---------	---------