

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560160

研究課題名(和文) マグネシウム火災に対する革新的消火概念の確立に向けた基礎検討

研究課題名(英文) Fundamental Research on Establishing Novel Extinguishment Methodology for Magnesium Fire

研究代表者

中村 祐二 (NAKAMURA, YUJI)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50303657

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：例えばマグネシウム(Mg)などの金属粉体火災では、可燃物が引火性に優れ、水に触れると水素爆発を起こす可能性があるだけでなく、消火剤を噴霧する際に火源が飛散して消火効率は劣る。ならば薬剤を噴射するという既存概念に囚われない消火方法を提案できないであろうか？本研究では、火災源に対して吸い込み操作を行い消火に至らしめる方法論について詳細な実験装置および観測により検討したものである。結果として、火源に対して吸い込み操作を行った場合には3種類の消火モードが存在すること、それらの発現条件を3つの無次元数で整理できることを示した。以上の成果の一部は特許として現在出願中である。

研究成果の概要(英文)：This work proposes a concept of a novel fire extinguish methodology applicable to any specialized fire (e.g., metal powder fire, fire in highly the enclosed environments) via quick removal of firing matter as well as fume gas utilizing the vacuumed operation. Beyond of the existing fire-fighting strategies, such as, spraying inert gas or fire extinguisher to suppress the flame, the proposed methodology has several merits: 1) damaged area spraying fire-extinguisher can be limited, 2) extinction procedure can be effectively operated in the controlled chamber, 3) fume gas can be also extracted to enable the quick recovery. We firstly justify how this methodology works through the unique test facility developed for this purpose. Vacuuming timing is well-controlled to discuss the extinction behavior effectively. It turns out that there are three distinctive modes for extinction due to the vacuum operation and corresponding three non-dimensional groups can be identified.

研究分野：火災物理

キーワード：消火 火災 安全 燃焼

1. 研究開始当初の背景

マグネシウム (Mg) 粉体は引火性に優れ、水に触れると水素爆発を起こす可能性があるため、水消火ではなく熱伝導率の高い消火剤 (例: 黒鉛粉末) などで火源を覆って消火する (酸素遮断, 放熱促進). しかしながら, 蒸発潜熱を奪えないため消火までに時間を要するだけでなく, 消火剤を噴霧するため火源が飛散して消火効率は劣る. ならば薬剤を噴射するという既存概念に囚われず, むしろある空間に全て吸い込んでそこで集中的に消火すればよいという逆転の発想に至った. この吸い込みによる消火自体, これまでにない概念である.

2. 研究の目的

(1) 新しい消火概念である「吸い込み操作」によって局所燃焼状態にどのような変化がもたらされるかを調べる. それにより本提案概念がどのような火災に対する消火に適用可能かを検討・整理する.

(2) 被燃焼物の吸い込み先であるバッファタンク内 (仮想) での消火を行う条件抽出 (= 吸い込みのみで消えない場合) を行うと同時に, 吸い込み操作時に起こり得るハードウェアに与える問題点を論じる. 以上により吸い込み消火の概念に関する有効性・実効性を詳 (つまび) らかにする.

(3) バッファタンク内での溶融塩溶解プロセスについては, 可溶性固体を局所加熱した際にどのように溶融領域が生成し, どのように溶融物が流動・再固化 (凝固) するのかの非定常解析モデルを構築・モデル精度向上を狙う.

上記(1)(2)は提案時にはなかった追加分になるが, 本テーマが採択になってから実施した試験研究により, 固体燃焼物に吸い込み措置を与えた際, 幾つかの特定モードでバッファタンク内に導入される前に消炎する場合があることがわかった. バッファタンク内へ導入される前の状態をまず明確にするため (すなわち, どの条件でバッファタンク内の消火操作が必要になるのか), 本研究では火災現場に急激な吸い込みを与えた際に実現され得る燃焼場挙動を理解することを第一と位置づける. 一方, バッファタンク内での消火措置については局所加熱されたポリマーが溶融する数値シミュレーションを並行して実施してそれに対応する.

3. 研究の方法

(1) 吸い込みタイミングを高精度に制御でき, 連続的に必要流量を吸い込むことができる「吸い込み試験装置」を開発し (図 1), 火源 (ここでは一例として制御し易い理由で電線燃焼場を対象とする) と吸い込み位置, 吸い込みタイミング, 吸い込み流量などの操

作側の各種パラメータが吸い込み消火で得られる炎の消失過程にどのような影響を与えるのかを実験的に調べた (図 2).

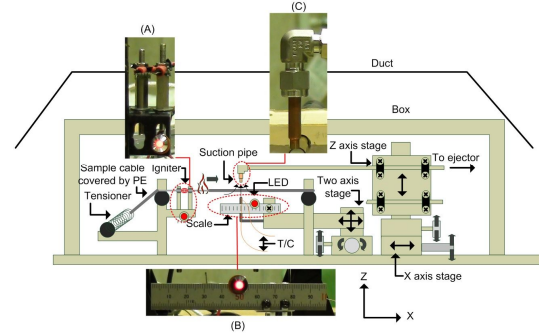


図 1 開発した吸い込み消火システム

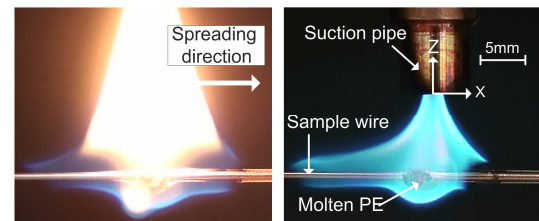


図 2 吸い込み操作を燃焼場に与えた際の一例

(2) 試験結果から消炎に至るパターンを「モード」として大別し, それぞれのモードがどのような無次元数で整理 (マップ) できるかを最終目標として検討した. これにより, 特定の系に限らず汎用性を持つマッピングを目指す.

(3) 加熱面に近接した可溶固体が溶融・流動する非定常過程を汎用熱流体ソフトウェア FLUENT に適切なモデルを取り入れることにより数値予測する.

4. 研究成果

(1) 吸い込み消火システムにおいて吸い込み速度 (流量), 吸い込みタイミングを変化させた結果, 条件に応じて時定数の異なる消炎モードに大別されることがわかった. 具体的には, 吸い込み直後に消炎に至るモード (MODE I), 少し時間を置いて消炎に至るモード (MODE II) である. 各モードでの消炎に至るまでの様子を図 3 に示す.

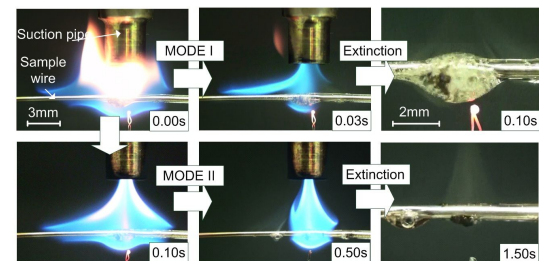


図 3 各モード (MODE I, MODE II) での消炎過程

(2) 吸い込み消炎過程における燃焼ガスおよび可燃物である溶融固体 (この場合は電線被覆材であるポリエチレン) の挙動を観察す

るためシュリーレン光学系を構築して観察した。図4にその一例を示す。図に示されるように、吸い込みを与えた瞬間(左)において密度場がA-Cの3区画に別れ、それぞれの箇所が個別に消炎状態に向かうことで最終的な消炎が達成される。以下の例の場合、Cが最後まで炎が生き残るため、この条件は、Cでの消炎を支配する消炎モードとして整理される。

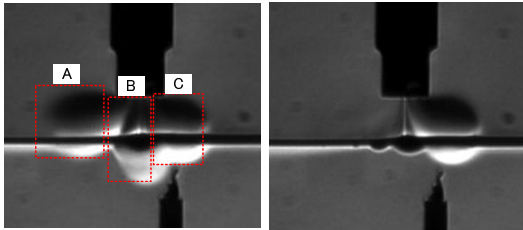


図4 吸い込み消火過程でのシュリーレン画像

(3) 吸い込みを与えた場での速度分布、局所温度などを計測した結果、MODE Iは吹き消え消炎に分類され、MODE IIは熱伝導が支配する消炎に分類されることが推定された。前者は、吸引によりガス燃焼場全体が燃焼を持続できない状態になることで実現され、後者は燃焼場が吸引流れにより冷却されて熔融進展が阻害されることに起因する。図5に条件に依存した消炎モードの発現領域についてまとめた例を示す。

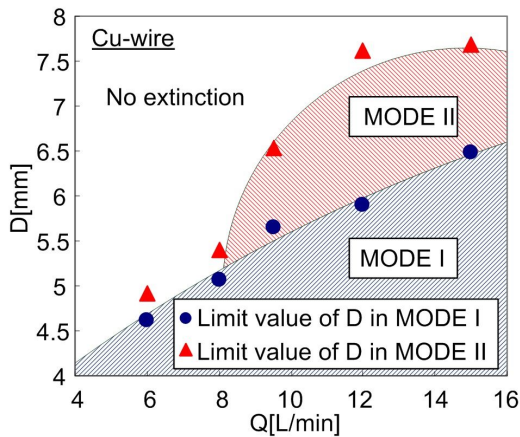


図5 MODE IおよびMODE IIが発現する条件範囲

(4) より詳細な観察により、炎の消失だけでは判断つかない「熔融物が吸引しつくされて消炎するモード」の存在も明らかとなった。この存在はシュリーレンにより熔融物の影画像の時間変化から明らかとなったものであり、本研究ではこれをMODE IIIと呼ぶことにする(図6)。以上より、吸引操作によって得られる消炎にはMODE I~IIIという3種類があることが実験的に確認された。このうちMODE IおよびMODE IIは吹きつけ型消火でも得られ得るモードであるが、MODE IIIについては吸い込み消火操作に特有なものである。

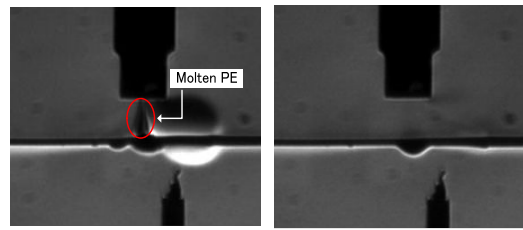


図6 熔融燃料が吸引口内に吸い込まれて消炎した例

(5) 消炎モードを無次元数で整理することを試みた結果、図7に示すように各モードを支配し得る無次元数(Da , K , Γ ; それぞれMODE I, II, IIIに相当)でどの消炎モードがどの程度現れ得るのかを知ることができる。 Da は気相の化学反応と滞在時間との比(ダムケラー数), K は固体表面への入熱と放熱の比(熱バランス), Γ は固体燃料の燃焼による消費速度と吸引による消失速度の比である。これらは物質と吸引速度(流量)を決めると自然に決まる(物質およびオペレーションという初期値で与えられる固有値)。縦軸は無次元数の大きさを表しているが、これらが1を下回ったときにそのモードでの消炎モードが発現し得ることを表す。横軸の吸引流量が増加すると、この図で示した関係性の場合、まずは熱バランスが崩れることでの消炎モード(MODE II)が発現し、更に吸引流量を増加させると引き飛び消炎(MODE I)が発現し、更に増加させると可燃物不足での消炎が発現する。どの条件で吸い込み操作をするかによって、バッファタンク内での消火対応の最適化が決まるが、この関係性が明らかになったことで最適な消火法を提案するために重要となる前提条件を明確にすることができた。

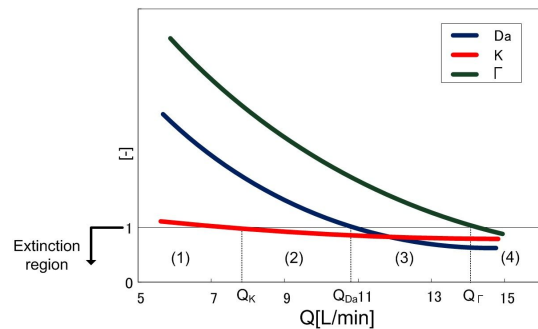


図7 無次元数による消炎モード発現順序の整理

(6) ただし、MODE IIIの状況が続くと、現在の吸引消火システムでは、吸引管内に引き込まれてすぐに固化してしまい、吸引物が管壁にへばりつき、吸引効率も低下につながる。Mg粉体火災へ適用することを考えた際には管壁への不着はさほど影響しないと思われるが、少なくとも吸引過程において(バッファタンク内に導入する前の過程における)管壁との衝突・摩擦現象が燃焼持続あるいは凍結にどのように関わり得るのかを十分に検討する必要がある。そもそもはバッファタンク

ク内で消火するという概念を想定していたが、本実験により、最適設計をすることで「管壁との干渉により消炎を促す」ことも可能になることがわかった。Mg 粉体細い配管の中で輸送される際、配管との間でどのような熱および運動量の授受があり、それが燃焼継続にどのように影響するのかについては、吸い込み消火を実装するために必要となる要素研究であることがわかった。本件については継続検討課題とする。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

薄木太一, 中村祐二, 若月 薫, "吸い込み法による消火法の検討", 平成 25 年度日本火災学会研究発表会概要集, 熊本 (2013.6), pp.130-131.

Usuki, T., Nakamura, Y., and Wakatsuki, K., "A Novel Extinction Strategy for Space Fire; Vacuum Extinction Method", Proc. 29th International Symposium on Space Technology and Science, Nagoya, Japan (2013.6), 2013-o-4-09 (on USB).

薄木太一, 中村祐二, 若月 薫, "宇宙船における新しい消火方法: 吸い込み消火法に関する諸検討", 日本マイクロ重力応用学会第 27 回学術講演会 (JASMAC-27) 講演論文集, 東京 (2013.11)

薄木太一, 中村祐二, 若月 薫, "吸い込み消火時に現れ得る消炎モードの整理", 第 51 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, vol. + , 浜松 (2014.5)

中村祐二, 薄木太一, 若月 薫, "吸引による消火過程で発現する消火モードの整理", 平成 26 年度日本火災学会研究発表会概要集, 東京 (2014.5), pp.236-237.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 消火装置及び消火方法

発明者: 中村祐二, 薄木太一, 若月 薫

権利者: 消防庁長官

種類: 特許

番号: 特願 2013-113052

出願年月日: 2013 年 5 月 29 日

国内外の別: 国内・海外

海外特許 (Fire Extinguishing Apparatus and Fire Extinguishing Method, Taiwan ROC, 2014.7.22)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

北海道大学産学・地域協働推進機構 HP
http://www.mcip.hokudai.ac.jp/cms/cgi-bin/index.pl?page=contents&view_category_lang=1&view_category=1311

豊橋技術科学大学研究者紹介 HP
http://www.tut.ac.jp/university/faculty/me/5478_seeds3.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 祐二 (NAKAMURA, Yuji)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50303657

(2) 研究分担者

若月 薫 (WAKATSUKI, Kaoru)

信州大学・大学院繊維学科・准教授

研究者番号: 60408755

(3) 連携研究者

(該当なし)