

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01286

研究課題名（和文）消火剤の時空間分散配布による最適消火戦略の確立のための基礎的検討

研究課題名（英文）A basic research on optimal fire-fighting strategies based on spatiotemporal decentralized supply of fire-fighting agents

研究代表者

岩谷 靖（Iwatani, Yasushi）

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10400300

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、消火活動において火源への消火剤の輸送方法を工夫することで消火効果を向上させる手法を検討した。ここで輸送方法の工夫とは、単に消火剤を一方向から定常的に火源に散布する訳ではなく、時空間的に分散して消火剤を火源に散布することを意味する。時空間分散配布が一方向定常散布よりも高い消火効果を有することを確認するとともに、消火過程の考察を基に、消火剤の相違による空間分散配布の消火効果の特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火災は身近に起こり得る災害の一つであり、被害を軽減するための効率的な消火活動が常に求められている。少ない消火剤で短時間で消火できれば、火災の一次・二次被害を共に軽減できる。従来の多くの研究では消火活動の効率化として効率的な消火剤の開発・改良が行われてきたが、本研究では効率的な消火方法を検討した。同じ消火剤を用いる場合でも、その撒き方を変えれば消化能力も変化する。本研究では、時空間的に消火剤を分散配布することで消化能力が向上することを明らかにし、今後の消火活動を効率化するための指針を示している。

研究成果の概要（英文）：This research investigated approaches of supply of fire-fighting agents that enhance fire-fighting performance. In particular, this research focuses on spatiotemporal decentralized supply of fire-fighting agents, not on normal stationary supply. This research confirms that spatiotemporal decentralized supply has higher fire-fighting performance than normal stationary supply. In addition, this research showed the process of fire-extinguishment in spatiotemporal decentralized supply and demonstrated relationships between fire-fighting agents and fire-fighting performance of spatiotemporal decentralized supply.

研究分野：制御工学

キーワード：火災 消火 最適戦略

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

火災は自然に、または人為的な原因で、日常的に発生しうる災害である。いったん火災が発生すると、炎や熱、煙やガスにより、周囲の人や環境に多大な被害（火災の一次被害）が発生する。現在の消火技術は、多様な状況で発生する火災に充分に対応できていない。たとえば消火剤を火源に供給すると、消火活動と同時に甚大な二次被害が発生する。具体的には、水や粉末消火剤などによる消火活動には、水損・汚損がともなう。二酸化炭素などの不活性ガスによる消火活動は、汚損は極少であるが、窒息やガス中毒などの人体への危害の面で二次被害を起し得る。

迅速に、かつ、より少量の水・消火剤で消火を達成できれば、火災の一次被害と二次被害をともに軽減できる。これまで、消火活動の迅速化と、使用消火剤量の少量化を目指し多くの研究・技術開発が行われてきたが、それらは新しい消火剤の開発が主であった。たとえば、界面活性剤入りの水や、ゲル状、泡状の消火剤などが開発されている。

一方、これまでの研究・技術開発と異なり、消火剤の散布方法を工夫することで消火活動の迅速化と消火剤の少量化が達成される可能性がある。

2. 研究の目的

本課題では、消火剤を散布する時間・空間を制御することで、火災の一次・二次被害をともに最小化する消火戦略の基盤を得ることを目的とする。そのために、消火剤散布源（消火器）の個数と消火剤の量、火源に対して消火剤を散布する相対位置・方向（空間）とタイミング・時間差（時間）の変化が消火過程に与える影響を解析する。そして、この解析結果を火災の一次・二次被害の最小化の観点から捉え直し、最適消火戦略の基盤を確立する。

3. 研究の方法

消火対象は、多孔質バーナ上に形成したメタンの拡散火炎とする。消火剤は、二酸化炭素やヘリウムなどの複数の不活性ガスを用いる。

消火方法は、不活性ガスカプセル消火法と、一般的な消火器を想定した消火剤散布による消火法の二種類を用いた。研究開始当初は、後述の理由により不活性ガスカプセル消火法に限定して考察する予定であったが、当初計画よりも研究が円滑に遂行されたため、一般的な消火器を想定した消火剤散布による消火法の時空間分散散布による消火能力向上についても考察を行った。

不活性ガスカプセル消火法は、研究分担者が平成23～25年度に挑戦的萌芽研究の助成を受け、開発・提案している消火法である。この消火法の詳細は以下の通りである。まず、不活性ガスをバルーンに充填し、不活性ガスと空気の混合を抑制する。不活性ガスを充填したバルーンを不活性ガスカプセルと呼ぶ。このカプセルを火源まで何らかの方法で輸送する。カプセルが火炎に触れ、破裂することで、高濃度不活性ガスを直接火炎に供給する。不活性ガスカプセル法の選定理由は、(a) 実験結果の再現性が高い、(b) 位置・速度・時間を正確に制御できる、(c) 実験を簡便に実施できる、などの理由で、消火の基礎的検討に適しているためである。カプセルの輸送、すなわちカプセルの位置制御は、リニアアクチュエータ（直動機構：指定した速度・タイミングで直線方向の位置を制御できる機械）により、機械的かつ自動的に行う。この実験設定においては、カプセル数は、消火器数を意味する。不活性ガスカプセル消火法による消火の様子を図1に示す。

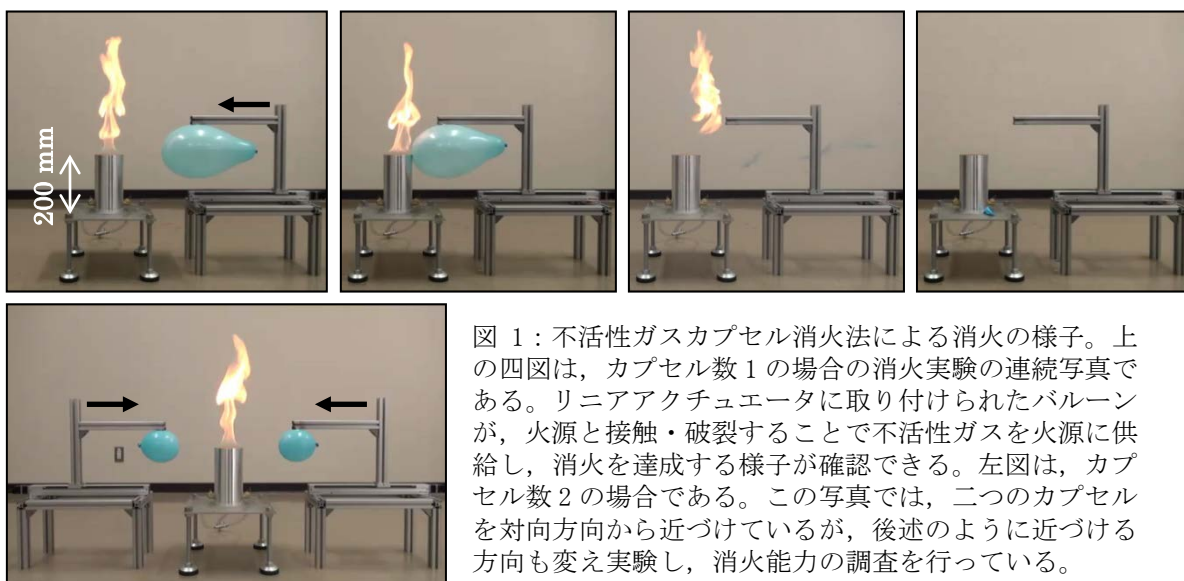


図1：不活性ガスカプセル消火法による消火の様子。上の四図は、カプセル数1の場合の消火実験の連続写真である。リニアアクチュエータに取り付けられたバルーンが、火源と接触・破裂することで不活性ガスを火源に供給し、消火を達成する様子が確認できる。左図は、カプセル数2の場合である。この写真では、二つのカプセルを対向方向から近づけているが、後述のように近づける方向も変え実験し、消火能力の調査を行っている。

一般的な消火器を想定した消火剤散布による消火法では、消火器数は1とし、消火ノズルの位置・向きを制御するパターンを変え、消火能力を調査する。この場合の詳細な研究の方法は、研究成果と併せて後述する。

4. 研究成果

下記に記した(1)から(4)までの成果は不活性ガスカプセル消火法によるものであり、(5)は一般的な消火器を想定した消火剤散布による消火法によるものである。

(1) カプセルに不活性ガスとしてヘリウムを充填し消火実験を行い、消火器数やガス充填量を変え、消火能力を調査した。カプセル数は1または2であり、2の場合は火源へのカプセルの突入方向を90°(直交)、135°、180°(対向)の三パターンで実験を行った。実験結果を図2に示す。ここでは、消火確率を用いて消火能力を評価する。消火確率とは、同条件の消火実験において消火が達成された割合である。消火確率は高い方が良く、消火確率1は消火実験中の全試行で消火できたことを意味する。カプセル数1の場合、消火剤量を増してもガス充填量3L以上では消火確率は増加せず、消火確率1は達成できない。カプセル数2の場合、消火器の相対角度が135°と180°で消火確率1が達成できたが、相対角度90°では消火確率1は達成できない。180°では、ガス充填量4Lの場合、全試行において一つのカプセルが破裂することだけで、消火が達成できた。これは破裂しなかったもう一方のカプセルが壁となり消火剤を反射することで効率的な消火が行われたためと考えられる。カプセル数2において一つのカプセルしか破裂しなかったことは、結果として空間に散布された消火剤量が少ないことを意味しており、火災の二次被害低減の観点から望ましいものである。以上により、消火剤の時空間散布の有効性を定量的に示すことができた。

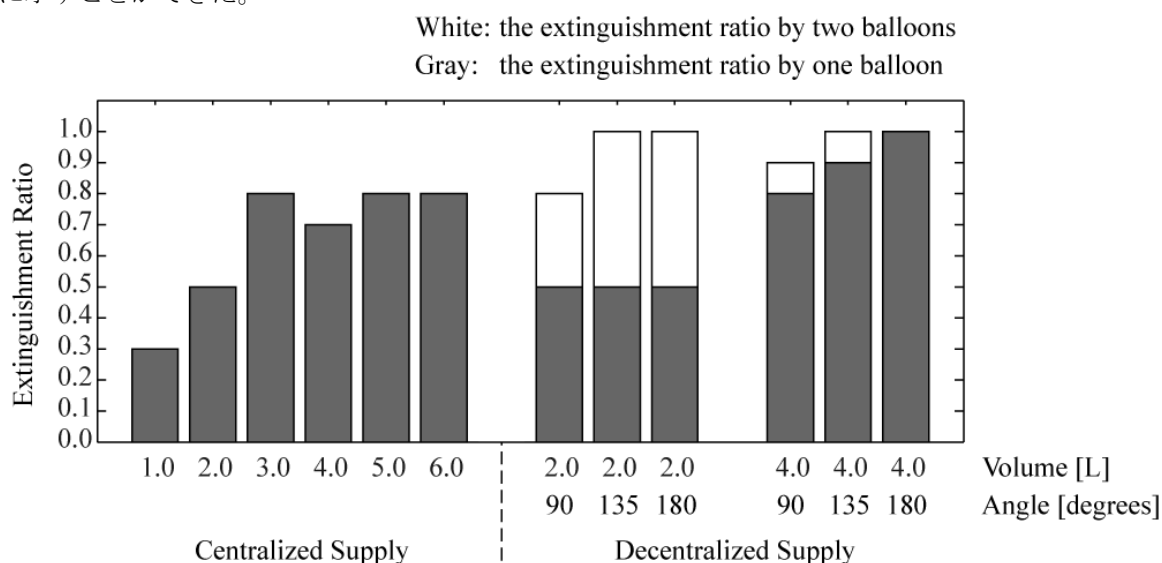


図1：実験結果。消火対象：メタンの拡散火炎，消火剤：ヘリウム（不活性ガス），消火方法：不活性ガスカプセル法。消火確率は高い方が良く，消火確率1は消火実験中の全試行で消火できたことを意味する。

(2) (1) ではバルーンの高さや輸送速度は一定としていたが、高さや速度を変化させ消火能力の調査を同様に行った。消火能力を向上するための高さや速度には最適な値が存在することが確認された。

(3) ヘリウムのほかに、窒素、アルゴンについても消火能力の調査を同様に行った。これらの消火能力は、不活性ガスの熱容量で特徴付けることができることが分かった。特に消火に最適なゴム風船の輸送速度範囲は、不活性ガスの熱容量の増加とともに拡大することもわかった。一方で、速度が大きい場合は、理論値からのずれも大きくなることも確認された。これは消火カプセル輸送時にカプセルが揺れ、火炎との接触位置や破膜位置が変化することに起因するものと考えられる。

(4) より良い消火方法を追求するための基盤として、消炎特性とその消火機構について、高速度カメラとレーザシート法を利用した可視化により消火過程を調査した。その結果、消火にはFirst flowとSecond flowの2つの流れが影響し、それらが適切な破膜位置と破裂位置で形成されることで消火が達成されていると考えられることがわかった。

(5) 一般的な消火器を想定した場合の消火剤の時空間分散散布による最適消火戦略の検討として、二種類の実験を行った。一つは人間が消火ノズルを操作することを想定したもので、もう一つは消火ノズルを機械的に自動操作することを想定したものである。前者では、ステッピングモータとリニアスライダを用いて人の消火器による消火動作を模した小規模消火実験を行った。この結果、スイング周波数1 Hzと6-7 Hzで、消火確率分布が極大値を示すことがわかった。後者では、2軸リニアアクチュエータを用い、火炎の直上から消火剤である二酸化炭素を噴出させたまま、8の字などの経路でノズルを動かし消火実験を行った。この結果、消火効率の高い消火剤散布方法を定性的に特徴付けた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroyuki Torikai	4. 巻 56
2. 論文標題 Extinguishing Characteristics of a Pool Fire with a Rubber Balloon Filled with Inert Gases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fire Technology	6. 最初と最後の頁 385-399
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10694-019-00929-2	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 Yasushi Iwatani, and Hiroyuki Torikai	4. 巻 7
2. 論文標題 Improvement of fire extinguishing performance by decentralized supply of fire-fighting agents	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Open Journal of Safety Science and Technology	6. 最初と最後の頁 87-95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/ojsst.2017.73008	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9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 奈良翔太，鳥飼宏之
2. 発表標題 2軸リニアアクチュエータを用いた効果的な気体消火剤の空間散布方法の検討
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会 第50回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥飼宏之，村岡龍之介
2. 発表標題 ゴム風船消火カプセルの火炎突入速度とその消火特性の関係
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 大川浩祐, 鳥飼宏之
2. 発表標題 消火器ノズルの最適操作に関する研究
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 村岡龍之介, 鳥飼宏之
2. 発表標題 不活性ガス充填ゴム風船の拡散火炎への衝突速度とその消火特性
3. 学会等名 日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村岡龍之介, 鳥飼宏之
2. 発表標題 不活性ガスを充填したゴム風船の輸送速度とその消火効果
3. 学会等名 第96期流体工学部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村岡龍之介, 鳥飼宏之, 岩谷靖
2. 発表標題 不活性ガスを充填したゴム風船の輸送速度と消火特性の関係
3. 学会等名 平成30年度日本火災学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩谷靖, 鳥飼宏之
2. 発表標題 火源への消火カプセル標的輸送とその消火効果
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第309回研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroyuki Torikai, Shinya Kudo
2. 発表標題 Extinguishing Method of Diffusion Flames Using a Rubber Balloon Filled with Inert Gases
3. 学会等名 8th International Symposium on Scale Modeling (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鳥飼宏之
2. 発表標題 不活性ガスシャボン玉を用いたカプセル消火法における消火過程の観察
3. 学会等名 可視化情報学会 全国講演会
4. 発表年 2017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	鳥飼 宏之 (Torikai Hiroyuki) (50431432)	弘前大学・理工学研究科・准教授 (11101)	