

地域防災減災センター2021年度  
信州における防災減災プロジェクト 支援事業  
成果報告書

(令和 4 年 4 月 28 日)

〔1〕 報告者情報			
フリガナ	ワカツキ カオル	所属部局 職 名	繊維学部 准教授
研究者氏名 (代表者)	若月 薫		
研究プロジェクト名	焚火上に飛散する火の粉の熱的キャラクタリゼーションと火傷防止アプローチの検討		
支援金額	200,000 円		

本成果報告書および別紙のポンチ絵や写真等についてはセンターHPなどで公開を予定しているため、適切な範囲・内容で記載してください。

〔2〕 研究概要・成果
<p><b>1. 研究概要</b></p> <p>キャンプにおいて、焚火に用いる薪や炭の燃焼にともなって舞い上がる火の粉は、熱傷を引き起こす要因になる。焚火の火の粉は、大きく分けて上昇気流に依存、上昇気流と風に依存、上昇気流と風に独立して飛散する特徴をもつ。これらの挙動に対して、落下後も大きな熱エネルギーを有する火の粉との接触が火傷を生じさせる。これまで、熱エネルギーの大きい火の粉の発生及び飛散の機序に基づいた火傷の明確な対策は見出せていない。本研究では、フィジビリティスタディとして、焚火台を用いた焚火における薪のサイズ及び組み方を調査・整理することで焚火の実規模模型を決め、自由空間かつ無風における実規模模型の燃焼性状(発熱速度、中心軸上の温度及び上昇気流速度)及び火の粉の飛散挙動を調べた。また、これらの結果に基づいて、焚火の上昇気流を利用した自律的な火の粉の捕集及び飛散抑制を行うためのろ布の設置可能な高さを明らかにした。これにより、火の粉の飛散挙動に基づいたろ布による捕集に関する要求性能が明確になり、安全・安心で楽しい焚火を行うために新しい知見をもたらすと期待される。</p> <p><b>2. 実験方法</b></p> <p>焚火の実規模模型は、Fig. 1 に示すように4本の薪(樹種: ナラ, 長さ: 300 mm)を井桁に組み構築した。薪の総質量及び平均含水率は、それぞれ <math>3.0 \pm 0.3</math> kg 及び <math>10 \pm 1.0</math> %とした。Fig. 2 に実験装置の概略を示す。燃焼中の模型の質量減少は荷重計により1秒毎に測定し、発熱速度(Q)は準定常状態到達後の20分間の質量減少速度及びナラの単位発熱量(19.6 MJ/kg)から算出した。実験装置中心軸上の温度は、K型熱電対(<math>\phi 0.32</math> mm)を用いて、高さ(z)1,300 mmまでを100 mm 間隔で測定した。また、実験装置中心軸上の上昇気流速度は、二方向管に接続した微差圧計により測定した。上昇気流速度は、微差圧計により得た差圧を熱気流の温度により補正した密度で除することで算出した。</p>



Fig. 1 実規模模型

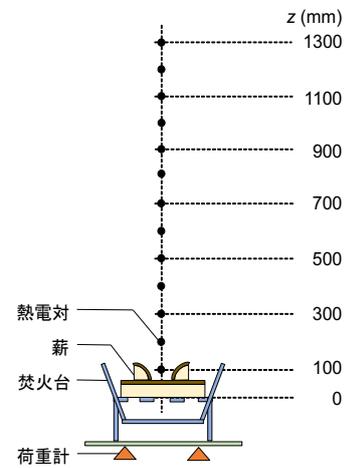


Fig. 2 実験装置

### 3. 研究成果

#### 3. 1 実規模模型の中心軸上の温度

実規模模型の発熱速度は、20.6 kWであった。Fig. 3に、実験装置中心軸に沿った温度減衰の整理手法に基づいて、 $z/Q^{2/5}$ と実験装置中心軸上の温度( $\Delta T$ )との関係を示す。実規模模型の火炎中心軸上の $\Delta T$ は、高さ( $z$ )にともない減衰した。また、 $\Delta T$ は、比較のため併記した McCaffrey のモデル (J. G. McCaffrey, "Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results", NBSIR79-1910, 1979) とほぼ一致した。この結果は、実規模模型の燃焼が一般的な拡散燃焼と同様の燃焼性状であることを示している。つまり、任意の規模の焚火の発熱速度が既知であれば、焚火の中心軸上の高さに対する $\Delta T$ を予測することができる。これにより、上昇気流に沿って飛散する火の粉の捕集をターゲットとするろ布に対して、熱的に劣化し難い設置高さの選定が可能となった。加えて、この整理手法から、焚火の連続火炎領域、間歇火炎領域及び火炎プルーム(熱的上昇流)領域の高さを予測することもできる。実規模模型に対する $\Delta T$ の結果から、連続火炎領域、間歇火炎領域及びプルーム領域の高さは、それぞれ0 - 300 mm, 300 - 670 mm, 670 mm以上と考える。したがって、火炎との接触によるろ布のダメージは、設置高さを670 mm以上とすることで回避できると考える。

3. 2 実規模模型の中心軸上の上昇気流速度

Fig. 4に実験装置中心軸に沿った速度減衰の整理手法に基づいて、 $z/Q^{2/5}$ と実験装置中心軸上の速度 $v/Q^{1/5}$ との関係を示す。実規模模型においてプルーム領域である $z = 805$  mmの上昇速度( $v$ )は、3.5 m/sであり、併記した McCaffrey のモデルと一致した。この結果は、任意の規模の焚火の発熱速度が既知であれば、焚火の中心軸上の高さに対する上昇気流速度を予測可能なことを示している。実規模模型の場合、プルーム領域である $z = 670$  mm及び2000 mmにおける上昇気流速度は、それぞれ3.6 m/s及び2.7 m/sと予測できる。この範囲の上昇気流速度は十分大きく、上昇気流を利用した自律的な火の粉の捕集が可能と考える。

#### 3. 3 火の粉の飛散

実規模模型における火の粉は、上昇気流の流れに①依存して垂直方向に飛散、②独立して飛散した。Fig. 5に上昇気流に独立して飛散した火の粉の外観例を示す。今回観測した火の粉の大きさは、最小で6 mmであった。また、最大飛散範囲は、焚火中心から半径1.8 mであった。上昇気流に依存して飛散した火の粉を観察すると、上昇気流の水平方向への拡がり範囲をカバーしてろ布を配置することで捕集が可能と考える。今後、独立して飛散した火の粉に対して、その捕集に必要なろ布の性能及び配置方法の検討を行い、安全に焚火を楽しめるろ布のデザインを明らかにする予定である。

#### 4. 成果の公表状況

研究成果の一部は、特許出願するとともに日本火災学会研究発表会(2022年5月28日、29日オンライン)において発表する。

特許出願 出願日：2022年3月30日

出願：特願2022-56346(未公開)

学会発表 題目：焚火の粉捕集のための通気性シート近傍の熱気流の流動特性

発表者：宮代侑歩, 渡邊憲道, 若月薫(信州大学), 上矢恭子(公立諏訪東京理科大学)

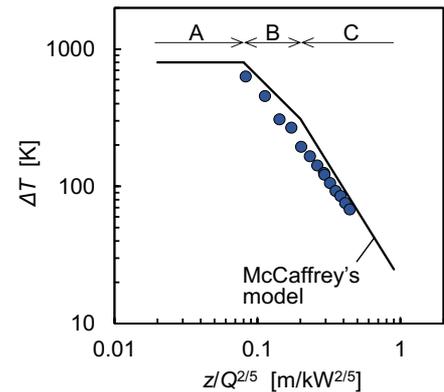


Fig. 3 火炎中心軸上温度減衰 (A: 連続火炎領域, B: 間歇火炎領域, C: プルーム領域)

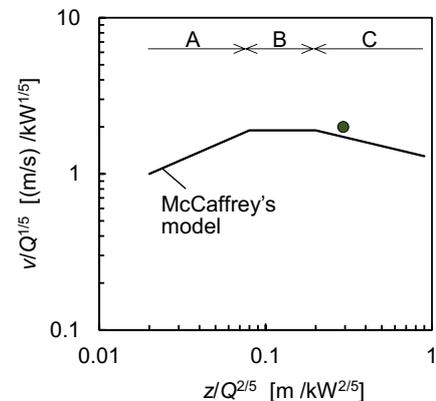


Fig. 4 火炎中心軸上速度減衰 (A: 連続火炎領域, B: 間歇火炎領域, C: プルーム領域)

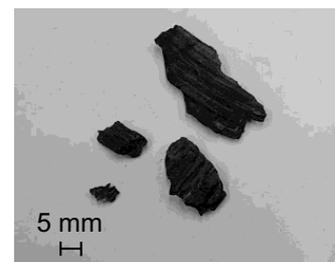


Fig. 5 上昇気流に独立して飛散した火の粉の例

