

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■ 研究成果概要報告書

研 究 課 題		火災旋風のスケール則に関する研究	実施年度 平成 28 年度
研究代表者	所属	山形大学	
	氏名	桑名 一徳	
	問合せ先メールアドレス	kuwana@yz.yamagata-u.ac.jp	
受入担当責任者	氏名	松山 賢	
<p>1. 研究の背景および目的</p> <p>火災時に火炎と旋回流が相互作用すると火災旋風と呼ばれる現象が生じる。これまでに、関東大震災やハンブルグ空襲などにおける大規模火災で数万人の犠牲者が出たことが知られている。一方、東京都などでは木造住宅密集地域が存在し、直下型地震などにより大規模な火災が発生することが懸念されている。しかし、このような大規模火災時に火災旋風が発生する可能性や条件、発生した場合の被害の程度などに関してはほとんどわかっていない。本研究では異なるスケールで火災旋風を発生させ、その性状を計測することにより、火災旋風のスケール則に関する知見を得ることを目的とする。そして、火災旋風が発生する条件や、火災旋風が発生したときにどの程度の被害が生じるのかについて知見を得ることを目指す。</p> <p>平成 27 年度の研究により、地表面付近の火炎近傍にエクマン境界層に起因する渦構造が存在し、これが火炎高さ増大に大きく影響していることが明らかになった。平成 28 年度は、この渦構造に着目し、そのスケール効果を明らかにすることを目的とする。具体的には、直径の異なる燃料容器を用いて可燃性液体をプール燃焼させ、火災旋風発生装置により火災旋風を発生させる。そして PIV 装置による速度計測を実施し、渦構造のスケール効果に関する知見を得る。本研究の最終的な展望は、大規模火災にも適用できるスケール則を提案することと、これらの知見に基づき、火災旋風が発生しにくくなる方法を提案することである。</p>			
<p>2. 利用施設及び利用日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ P I V 燃焼場測定システム (2016 年 1 月 11 日～1 月 12 日) ・ P I V 燃焼場測定システム (2016 年 2 月 2 日～2 月 3 日) 			

3. 実験方法・研究成果、および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

※継続課題の場合は、前年度との関係性、進捗度合いについても記載すること。

実験方法

平成 27 年度と同様な装置を用いて火災旋風を発生させた。装置の概略を図 1 に示す。アクリルパイプを縦に二つに切断し、一定の隙間幅を持つように設置した。中心で可燃性液体をプール燃烧させるとエントレインメントにより周囲空気がパイプ内に流入するが、その際に旋回流が生じるようにパイプを配置した。パイプ内径は 40 cm に固定し、燃料容器には内径 10 または 20 cm の円形容器を用いた。図 1 に示したように、容器の上端が床面と一致するようにした。平成 27 年度に東京理科大学の P I V 燃烧場測定システムを用いた測定では燃料容器径は 20 cm のみであったが、平成 28 年度は 10 cm の容器も使用することにより、流れ構造のスケール則に関する知見を得ることを試みた。

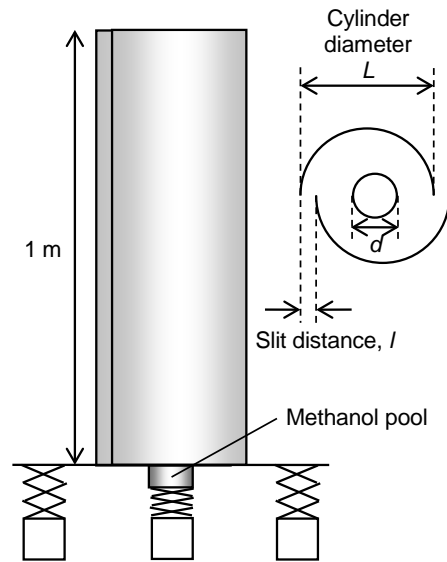


図 1 実験装置図

PIV 測定を容易にするため、輝炎の発光が弱いメタノールを可燃性液体として用いた。後述のように、火炎基部近傍での流れが火災旋風発生に大きな役割を果たすと考えられている。したがって、火炎基部近傍に特に着目して PIV 測定を行った。平成 27 年度よりも詳細なデータを得るため、PIV 計測用のカメラがアクリルパイプにほぼ接するまで近づけて拡大撮影を試みた。その結果、測定範囲が床面から約 60 mm の高さまでに限定され、床面付近の速度分布を詳細に計測することが可能になった。

垂直なレーザーシートを容器の中心を通るように照射し、PIV 計測を行った。トレーサー粒子には石松子を用いた。 $dt = 300 \mu s$ 、15 Hz の条件で測定し、167 組（約 11.1 秒）の測定データの平均の流れ場を求めた。なお、火炎はコマの歳差運動のような回転をしながら旋回する。この周期は数秒程度であり、測定時間の 11.1 秒よりも十分短い。したがって、11.1 秒間の撮影により平均的な速度分布が得られるものと期待できる。

研究成果および考察

燃料容器径 10 および 20 cm の条件での、容器縁における水平方向速度の高さ方向の分布を図 2 および 3 にそれぞれ示す。なおこれらの図では、データの再現性を確認するため、複数回の計測結果を示した。

これらの図より、複数回の計測で同様な速度分布が得られていることを確認できた。しかし、床面付近に存在する水平方向速度の最大値にはばらつきが見られた。最大値が床面から数ミリメートルの範囲に存在し、この領域へトレーサー粒子を定常的に供給するのが困難であったためである。したがって、速度の最大値ではなく、速度境界層の厚みについて議論する。

図2および3より、境界層厚さは容器径が10 cmの場合は20 mm程度、容器径20 cmの場合は40 mm程度である。したがって、今回の測定範囲では境界層厚さは容器径にほぼ比例している。これは、容器径が6 cmのときに境界層厚さが10 mm程度という過去の報告（大西・桑名、日本燃焼学会誌 58, 167-171, 2016）とも矛盾していない。平成27年度の研究と比べて火炎基部近傍を特に拡大して計測したため、境界層厚さのスケール効果について知見を得ることができた。

この速度境界層は火炎基部を燃料に近づける役割を果たす。高温の火炎が燃料に近づけば、燃料の気化が促進され、燃焼の激しさが増す。つまり、この速度境界層の存在が火災旋風発生時の激しい燃焼の原因の一つである。したがって、このような速度境界層の形成を妨げるような仕組みを導入すれば、火災旋風の発生を抑制できる可能性がある。関東大震災後には、多くの方が火災から避難していた場所（被服廠跡）で火災旋風が発生し、約38,000人が死亡した。本研究で得られたスケール則が正しいとすれば、大規模火災旋風、例えば直径10 mのものであれば、速度境界層厚さは2 m程度だと予想される。例えば植栽などの手段で速度境界層の形成を妨げることができれば、関東大震災のときのような惨事を防ぐことができるかもしれない。今後の研究では、本研究で得られた知見を火災旋風の発生抑制方法へとつなげられることが望まれる。

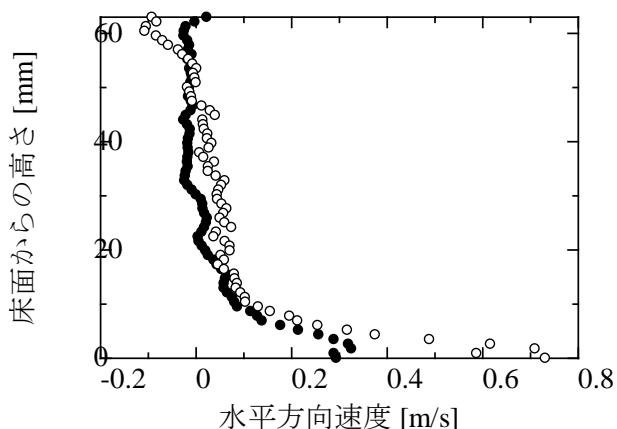


図2 水平方向速度の分布（容器径 10 cm）

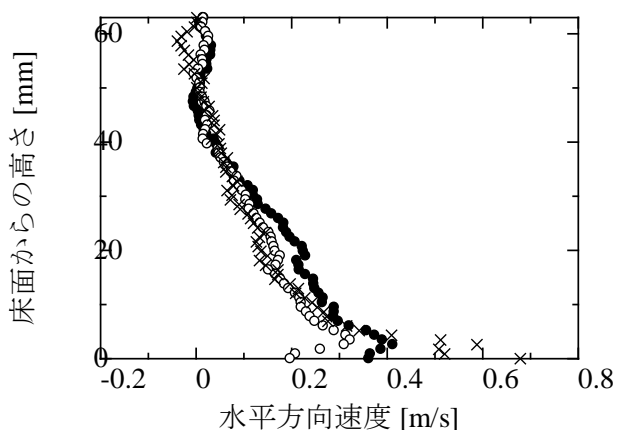


図3 水平方向速度の分布（容器径 20 cm）

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

本研究により、火災旋風を発生させるのに重要な役割を果たす速度境界層のスケール則について知見が得られた。大規模火災において、このような速度境界層の形成を妨げることができれば、火災旋風の発生を抑制できるはずである。今後は、大規模火災時に発生する火災旋風の模型実験や、火災旋風の発生抑止方法に関する研究において、本研究の成果が活用されることが期待される。

5. 成果の公表状況（学会への発表、学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

- 日本火災学会 平成 29 年度研究発表会（東京都新宿区）で発表（平成 29 年 5 月 21 日）
- 第 8 回スケールモデリング国際会議（8th International Symposium on Scale Modeling、米国オレゴン州ポートランド）で発表予定（平成 29 年 9 月 12～14 日）

6. 経費の使用状況

消耗品費・会議費・印刷費等		旅費		人件費	
事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	事 項	金額(円)
計測消耗品	110,191	実験実施	175,140		
実験装置	140,562	研究打合せ	19,200		
送料	1,312				
小計	252,065	小計	194,340	小計	0
東京理科大学 負担分 総計 379,407 円					
山形大学 負担分 総計 66,998 円					

※スペースが足りない場合はページを増やしても構いません。

※上記 5 に記載された成果公表については、別刷 1 部をご提出願います。PDF ファイル等の電子データでも構いません。

※本成果報告概要書に記載された内容は、本拠点の成果報告として Web 等で公開されることをお含み置き下さい。

※本成果報告概要書と併せて、研究報告書を提出頂いても構いません。（フォーマットは問いません。）

※後日開催予定の成果講評会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについても提出願います。（学内での報告に使用）