

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		加熱条件下の液膜流性状の測定方法に関する研究	実施年度 平成 29 年度
研究代表者	所属	芝浦工業大学 工学部機械工学科 准教授	
	氏名	丹下 学	
	問合せ先メールアドレス	tange@shibaura-it.ac.jp	
受入担当責任者	氏名	大宮 喜文	
<p>1. 研究の背景および目的</p> <p>オフィスビルや商業施設など、建築物には大型のガラス壁面が利用されている。しかし、火災時に高温となったガラスは、ひび割れや破損によって十分な防火性能を示せない可能性がある。壁面の温度上昇を抑える手段の一つとして、散水システムによる遮熱が挙げられる。これは火災がある側の壁面上に水を吹き付けて作った水膜に熱を受けとらせるもので、効果が実験的に実証されている[1]。また、水膜による冷却は建築分野だけでなく原子炉の冷却にも応用されている[2, 3]。</p> <p>しかし、流下水膜は、その表面に波が発生し水膜厚さや速度が一様でないことが知られ、加熱条件によっては、細い筋状の流れ（リビュレット状流れ）が発生し、筋状の乾き面が発生する[3]。つまり、壁面全体を安全に遮熱するためには、時間平均・空間平均的な議論から求めた水量では不十分で、加熱量と散水量が温度分布に与える影響を調査する必要がある。</p> <p>本研究は、ガラス壁面を試験体として、加熱量・散水量と温度分布の関係を調べることを目的とする。具体的には、輻射加熱されたガラス壁面に感温塗料を塗布し、ガラス壁面の温度分布を非接触計測した。</p> <p>参考文献：</p> <p>[1]大宮ら，日本建築学会環境系論文集，612，7--13，2007。 [2]Ambrosini, W. et al., Nuclear Technology, 112, 227--237, 1995。 [3]Li, C. et al., Heat Mass Transfer, 54, 473--482, 2017。</p>			
<p>2. 利用施設及び利用日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 5m 角フード・散水区画（2017 年 7 月 31 日 ～ 8 月 11 日） ・ 5m 角フード・散水区画・ICAL 試験装置（2017 年 11 月 15 日 ～ 11 月 21 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。

前年度との関係性

前年度は、壁面上の流下水膜の流下速度を計測することを目的として、水膜に染料を添加して、染料位置を追跡する実験を非加熱条件で行った。今年度は水膜が奪う熱量を計測するため、加熱条件での実験を行った。

実験方法

図 1 に実験系の概観を示す。実験系は、流下水膜形成装置・試験体・放射パネル・撮影系からなる。流下水膜形成装置から流出した水は曲率半径 500 mm の円弧状板によって加速され、試験体上に水膜を形成する。試験体には幅 518 mm、高さ 1000 mm、厚さ 6 mm の網入板ガラスを用いた。試験体の輻射を受ける側に、ガラス面側から順に、感温塗料 ($\text{Ru}(\text{phen})_3^{2+}$)、油性白塗料、油性黒塗料、親水コート剤を塗布した。

加熱のための放射パネルは東京理科大学が所有する ICAL 試験装置を使用した。ICAL 試験装置と試験体との距離を変えることで試験体に入射する熱流束を調節した。試験体の加熱されない側から感温塗料を青色 LED で照らし、塗料から発される蛍光を高速カメラ (100 fps) で撮影した。

入射熱流束 q は 10, 15, 20 kW/m^2 とし、流量 G は 20 L/min から 10 L/min まで減少させていった。さらに $q=20 \text{ kW/m}^2$ では、乾き面の観察を目的にさらに流量を下げた。蛍光強度と温度の関係を用いて、高速カメラ画像の輝度値分布から温度分布を求めた。

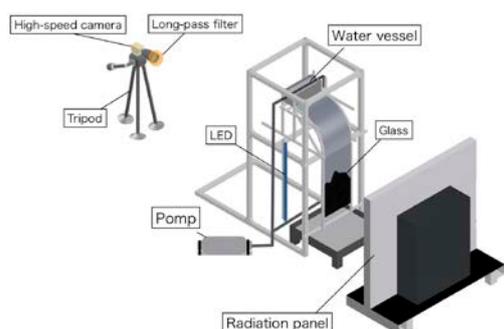


図 1：実験装置の外観 [4].

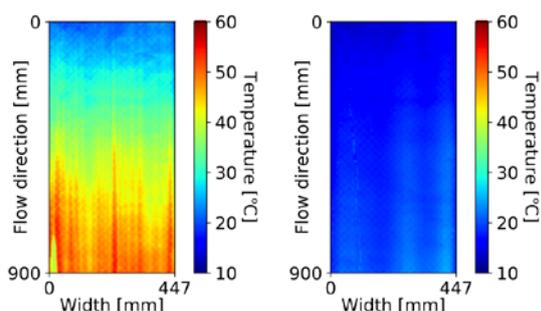


図 2： $q=20 \text{ kW/m}^2$ における試験体の温度分布 ($G=5.0 \text{ L/min}$ (左), 20.0 L/min (右)) [4].

研究成果・考察

図 2 は $q=20 \text{ kW/m}^2$, $G=5 \text{ L/min}$ および 20 L/min における温度分布である。液膜は輻射加熱されながら流下していくため、試験体も上部より下部の温度が高くなり、流量が少ないほど上下の温度差は大きい。また $G=5 \text{ L/min}$ の条件では、試験体下部に筋状の高温領域が

観察された。これは、加熱による表面張力不安定性によりリビュレット状流れが生じて液膜が破断されたため、目視でも筋状の乾き面が確認された。

図 3 には、 $q=20 \text{ kW/m}^2$ の各流量における流下方向温度の変化（図中実線）を示す。流量が少ないほど、温度上昇が大きくなった。温度変化の回帰直線（図中点線）は、実験結果をよく近似していたが、 $G=5.0 \text{ L/min}$ においては下流において流下方向の温度上昇率が低下した。これは、水膜蒸発による熱輸送の影響が原因と考えられる。

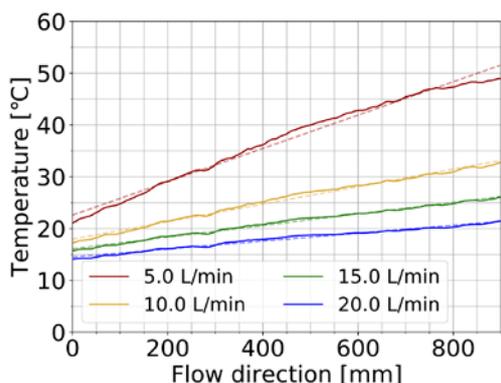


図 3：流下方向の温度変化； $q = 20 \text{ kW/m}^2$ 。

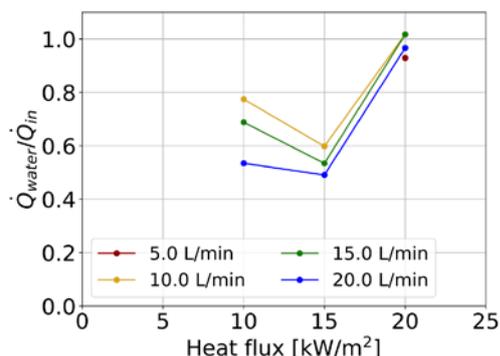


図 4：水膜が持ち去る熱量の割合

図 4 は、放射パネルによる輻射伝熱量 Q_{in} に対する水膜が加熱量 Q_{water} の割合を示す。 $q=20 \text{ kW/m}^2$ では、この割合が 1 に近くなった一方で、他の熱流束条件では、0.5 から 0.8 と比較的小さい値が得られた。また、同一の熱流束条件では $G=10\text{--}20 \text{ L/min}$ の範囲で、流量が大きく温度差が小さくなるほど、割合が小さくなった。これは、熱散逸の大小関係から予想される傾向とは矛盾するが、蛍光強度から温度を換算する式が低温側で妥当ではなく、正確な温度差が求められていない可能性が考えられる。また、温度差が小さいために計測誤差が相対的に大きくなることも要因となりうる。

参考文献：

[4]河野ら，2018 年度日本建築学会大会（東北）学術講演会，2018（発表予定）。

4. 今後の展望（今後の発展性，見込み等についても記述）

本研究では，輻射加熱下にあるガラス壁面の温度分布を計測し，水膜遮熱の効果を定量的に評価した．熱流束が上昇するほど，または，水膜の流量が減少するほど壁面温度上昇が大きくなり，特に高熱流束，低流量条件では水膜にリビュレット状流れや乾き面を観察することができた．乾き面の発生条件を的確に捉えることができたので，加熱状況に応じた適切な水量を推定する用途に本手法が有効であると言える．

全熱流束条件で流量が増加するほど輻射伝熱量に対する水膜が持ち去る熱量が小さくなる傾向が得られたが，これについては物理的な説明ができていない．感温塗料による温度計測の妥当性検証を含めて，今後の検討・考察が求められる．

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）

河野蒼，佐藤勇太，丹下学，大宮喜文，流水膜により遮熱された輻射加熱下ガラス壁の温度分布測定，2018年度日本建築学会大会（東北）学術講演会，2018（発表予定）．
（考察をすすめ，さらに学術誌への投稿を予定している）

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)
セラミックブランケット	38,880				
工事用水中ポンプ	27,972				
実験補助費	194,400				
ポリエステルカットロープ他	4,701				
実験備品、試験体	229,495				
カプラープラグ	254				
小計	495,702	小計		小計	
東京理科大学 負担分 総計 495,702 円					
芝浦工業大学 負担分 総計 0 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）