

## 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 28 年度
研究代表者	所属	芝浦工業大学 工学部 機械工学科	
	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><b>1. 研究の背景および目的</b></p> <p>電力、鉄鋼、化学などの工業プラントでは、高温状態となる設備を冷却するために、相変化を利用した冷却装置として熱交換器等が使用される。それら装置の冷却性能の効率化をはかる上で、平滑面や凹凸面を流下する液膜流の現象解明は重要な課題の一つとなっている。液膜流性状の定量的把握は現象の複雑性から平易ではないが、液膜流の流下速度、温度、厚さが定量的に把握できれば、冷却性能の検討が容易になる。これまで液膜流は波状に厚みなどを変動させながら流下することが知られているが、平滑面に比べ凹凸面の時間変動液膜波形の簡便な測定方法は開発途上である。そこで、本研究では、平滑面および凹凸面上の液膜流についてその性状を測定する方法の構築を目的とする。</p> <p>具体的には、平滑面および凹凸面上に形成された水膜に噴射された微量な染料の移流を観察することで、非接触な流下速度計測を行った。また、染料を追跡することにより通常は測定不可能な凹部での滞留時間を測定することを試みた。</p> <p>本研究により、液膜流性状について簡易かつ高精度の測定技術が開発されれば、プラントの復水器などの設計へ応用でき、工業生産性の向上やプラントの安全性の確保の上でも、重要な意義を持つものと考えられる。</p>			
<p><b>2. 利用施設及び利用日</b></p> <p>・5m 角フード・散水区画 (2016年8月1日-5日, 9月5日-9日, 11月1日-4日, 2月27日-3月2日)</p>			

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、進展度合いについても記載すること。

**実験方法：**

本実験は、東京理科大学火災科学研究センター大規模実験室に設置された散水区画および5m角フードを使用し実施した。実験装置は図1に示すように、アルミフレームに固定された試験体・水膜形成装置（貯水槽＋スリット）・染料噴射装置からなる。試験体には、鋼板（幅  $W = 500 \text{ mm}$ ）および容易に入手できる凹凸面として防火シャッター2種（三和シャッター製スラット A1 型・A3 型；幅  $W = 480 \text{ mm}$ ）を採用した。試験体長さはいずれも  $1000 \text{ mm}$  である。送水装置を用いて流量を任意に変えて貯水槽に水道水を供給し、槽下部のスリットを通して試験体上に水膜を形成した。試験体前面には染料噴射装置（電磁弁＋スプレーノズル）が取り付けられ、水膜に染料（環境に負荷をかけない染料である Rhodamine WT）を噴射できる。噴射時間は  $0.5 \text{ s}$  であり、およそ  $50 \text{ mm}$  の幅をもった染料を水膜上へ帯状に供給する。流下する染料の様子を高速カメラ（撮影速度  $500 \text{ frame/s}$ ）で撮影した。

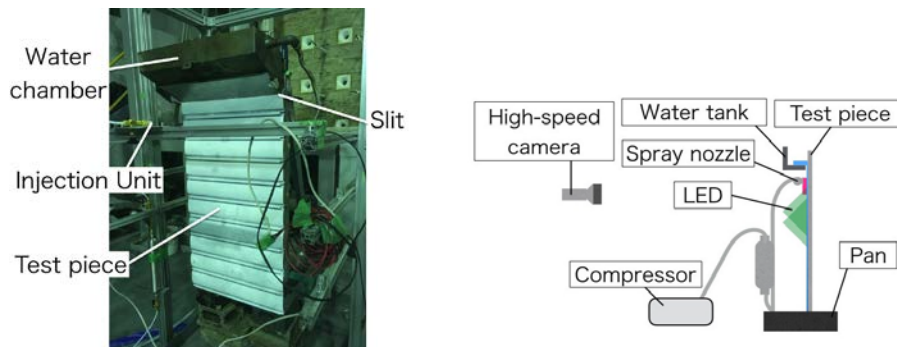


図1：実験装置（左：写真，右：概念図）

**研究成果および考察：**

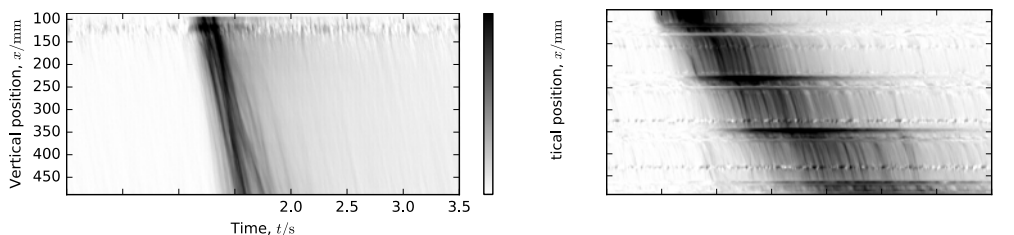


図2：時系列画像（左：鋼板，右：凹凸面）

流下水膜上に噴射された染料は水膜と一体化し流下するため、染料位置の時間変化を追跡することで、流下速度を求めることができる。図2には、鋼板および凹凸面の時系列画像を示す。時系列画像とは、縦軸をスリットからの鉛直距離、横軸を撮影開始からの時間とした染料濃度分布（画像内の輝度）の時間変化を表したものである。染料の存在する（輝度の

低い) 帯状の領域が左上から右下へ存在し、染料の流下を捉えることができた。また、鋼板の流下速度に比べて、凹凸面では流下速度が小さく(帯状領域の傾きがゆるやかで)、凹部で滞留が発生し帯状領域が階段状になっていることも確認できた。

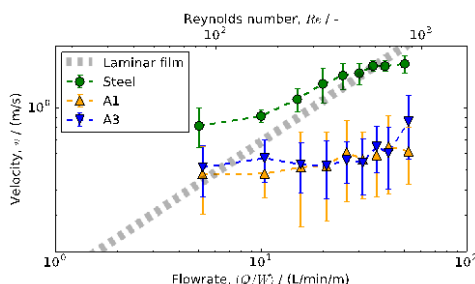


図3：流量と流下速度の関係

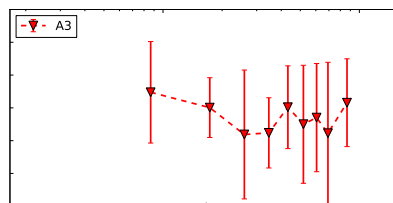


図4：凹部の滞留時間

図3は時系列画像の染料分布から求めた液膜の流下速度である。平板における流下速度(緑線)は理論解(灰点線)と比較的良好一致を示し、低流量・高流量領域での速度増加の鈍りも、他の研究での報告と定性的に一致している。凹凸面上の水膜流下速度は凹部に水膜が流れ込んで滞留・減速しているために鋼板の50%-60%程度であり、流量増加に伴う流下速度の増加傾向も鋼板に比べゆるやかであった。2種の凹凸形状についての流下速度の差は平均7.1%程度で、スラット形状による流下速度の違いは大きくなかった。

図4には凹凸面の凹部における滞留時間を示す。これは時系列画像の凹部における時間の飛びを画像解析によって求めた。低流量領域では流量増加に伴って滞留時間が減少し、高流量領域では明確な流量依存性は見られなかった。これは凹部に流れ込む流量が飽和していることを意味し、凹凸による液膜の破断と液滴(水しぶき)の飛散が無視できないことを間接的に示している。

#### 申請時の計画に対する達成度合い

上記のように、計測しにくい凹凸面の流下速度を、染料分布の追跡と時系列画像の解析という新しい手法で解析することに成功した。しかし、計画のうち加熱系における実験実施には至らず、液膜温度計測も行えていない。継続課題にて実施予定である。

#### 4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

今回提案した流下速度の計測手法は、染料噴射装置および観察系に耐熱加工を施すことで加熱系にも適用できるものと考えられる。また、現在までに予備実験として壁面上の非接触温度分布計測手法を開発中であり、平成 29 年度の継続課題では加熱条件での液膜流下速度計測および液膜温度（液膜に触れている側の壁面温度）計測を行っていきたい。

#### 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）

佐藤勇太, 伊達匠, 林怜史, 丹下学, 大宮喜文, 散水システムを用いて鋼板・シャッター上に形成された水膜の流下速度測定, 2017 年度日本建築学会大会（中国）学術講演会, (2017 年 9 月発表予定)

Yuta Sato, Takumi Date, Satoshi Hayashi, Manabu Tange, Yoshifumi Omiya, Direct measurement of falling water film velocity on vertical flat walls and roller shutters, The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, TFEC9-1199. (2017 年 10 月発表予定)

#### 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)
実験材料費	207,550	旅費（豊洲一運河）	29,428		
重量シャッター部材	85,644				
実験材料フレーム他	29,592				
小計	322,786	小計	29,428	小計	
東京理科大学 負担分 総計 352,214 円					
芝浦工業大学 負担分 総計 0 円（芝浦工業大学内で行った予備実験費は除く）					

※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）