

本研究では、感温性を有し、発光強度が温度によって変化する感温塗料(Temperature Sensitive Paint : TSP)を用いて PHP 内部における気液温度の計測を試みた。TSP を PHP の内部に接触させ、可視化ガラスを通して観察することで、内部流動に干渉することなく温度分布を連続的に計測することができる。また、作動流体に蛍光染料を混ぜ、流動との同時計測を行った。本実験では PHP の加熱部および冷却部に注目し温度分布および内部流動の同時計測を行い、特徴的な熱流動場について考察を行った。

装置は PHP 本体、TSP を塗布したガラス板、および断熱ホルダーで構成される PHP 系統、ボルトスライダ、恒温槽、および3エリアを分割し水冷ブロックで構成される温度制御系統、熱電対とデータロガーを含む測定系統、カメラと励起光源を含む光学系統で構成されている。流路の半分のみが TSP に接触するよう、ストライプ状に TSP を塗布した。TSP の塗布面が流路に接触するようにガラス板で流路を密閉し、ガラス板の上から励起光を照射し、観察することによって TSP が塗布されている部分で温度分布を計測し、塗布されていない部分は流動を観察することができる。作動流体は、流動を観察しやすくするため発光性のある Rhodamine 6G を蒸留水に 0.5mmol/L で溶かしたものをを用い、作動流体を視認できるようにした。

蛍光体が有する感温性は撮影した画像におけるピクセル位置によって異なっており、計測精度を向上させるためには各ピクセルに対して温度校正関数を取得する必要がある。このような温度校正方法を In-situ calibration と呼ぶ。本実験では、4×4pixel ごとに mean filter を適用して平均発光強度比を取得し、それぞれの空間において二次の多項式近似を用いて温度校正関数を導出した。以上により、液体の流動と温度場の同時計測環境を整えた。

計測した結果、液滴付着部分の温度が相対的に低温であることが分かった。これは、液滴が蒸発するためだと考えられる。液滴が蒸気へと相変化することによって潜熱を壁面から吸収するためだと考えられる。また、加熱部において作動流体の温度は壁面温度より低温であると考えられるため、気液の熱伝達率の違いが影響している可能性も挙げられる。気相と比較して液相は熱伝達率が高いため、壁面から熱を吸収しやすく壁面温度が低下するのだと考えられる。冷却部方向から流れ込む作動流体の温度は加熱部における壁面温度よりも低温であり、液相の熱伝達率は蒸気よりも高いため、壁面から熱を吸収しやすく温度が低下しているのだと考えられる。また、加熱部では蒸発が起りやすいため、液スラグが蒸発することによって潜熱を壁面から吸収し、流路内壁面温度が低下したと考えられる。

蒸気領域を液膜が覆っているとき、蒸気流入後も温度が上昇し続けていることが分かった。液膜が TSP 表面を覆っていない場合、流路内壁面温度は下がった。冷却部においては流路内壁面温度よりも作動流体の温度のほうが高いため、加熱部から作動流体が流入すると流路内壁面温度は上昇する。しかし、蒸気の熱伝達率は液相と比較して低いため、同じ作動流体でも蒸気通過時には壁面へと熱が伝わりにくく、冷却部では熱がヒートシンクに放出されるため流路内壁面温度は低下する。一方で、蒸気領域が液膜で覆われている場合、液相-流路内壁面間の熱伝達となるため温度低下は生じにくい。また、この蒸気領域において凝縮が生じている場合も温度上昇が生じると考えられる。蒸気が凝縮することによって潜熱を壁面に放出するため、流路内壁面温度が上昇するのだと考えられる。

本課題では、PHP の加熱部および冷却部において内部流動および温度分布の計測を行い、以下の知見が得られた。

- (1) 加熱部に液スラグが流入するとき、流路内壁面温度は低下する。
- (2) 冷却部において加熱部から直接液スラグが流入するとき、流路内壁面温度は上昇する。
- (3) 冷却部において十分に冷やされた液スラグが通過するとき、流路内壁面温度は低下する。
- (4) 冷却部において液膜を伴う蒸気が流入するとき、流路内壁面温度は上昇する。

これにより、議論が続いている PHP 内部温度変化について重要な実験的事実を取得することが出来た。