3 1 9 感温塗料を用いた液体中表面温度分布計測

辻下 正秀[○], 毛笠 明志 (大阪ガス), 若林 卓 (KRI)

2-D Surface Thermometry in Liquid using Temperature Sensitive Paint

Masahide Tsujishita[○], Akeshi Kegasa and Takashi Wakabayashi

[○]e-mail:tsujisita@osakagas.co.jp

Abstract

There was no method for non-contact thermometry on a solid surface in liquid. IR radiation thermometry cannot be applied because of radiation from liquid surface. A new method for non-contact thermometry on the solid surface in liquid was proposed in this paper. Thermo-graphic phosphor method was arranged for this purpose.

Key Words : Thermometry, Surface, Thermo-graphic phosphor, Liquid

1. 結論

伝熱を正確にとらえるには伝熱面の正確な温度計測が不可欠である。液体-固体間の熱伝達を把握するには液体中固体表面温度の計測が必要となる。固体表面の非接触温度計測法としては赤外輻射温度計測法が知られている。しかしながら、液体のほとんどが赤外線を透過せず、さらに液体表面からの輻射が存在するため液体中固体界面の温度計測には利用できない。このため熱電対などの接触式による温度測定のみが行われてきた。近年、固体表面の温度計測技術としてサーモフォスファール法 (TP 法) が提案された。^{(1) (2)} これは固体表面に感温蛍光塗料を塗布し、紫外線照射時に発する蛍光の温度依存性を利用して温度を計測する手法である。

本研究は TP 法の液体中固体表面温度の非接触測定への拡張可能性に着目し、液体中適用時の問題点の抽出、計測法の最適化を行った。これにより TP 法を用いた水及びサラダ油中の金属表面 (鍋底) 温度分布の可視化が可能となった。

2. 問題点の抽出と測定法の最適化

蛍光材料はそれぞれ感温領域を有するため測定対象温度域に感度を有する蛍光体を選択する必要がある。本実験では液体を水、サラダ油 (大豆油, ナタネ油) としたため、対象温度域は 20 - 100 °C, 20 - 300 °C に設定した。この温度領域において蛍光の温度依存性を有する材料を選定する必要がある。ここではそれぞれの温度域に蛍光強度の温度依存性を有する材料として、赤色有機蛍

光体、及び赤色無機蛍光体を選定した。

さらに、TP 法を液体中固体表面温度測定に適用する場合、以下の問題点があげられる。

- 1) 塗装の耐液性
- 2) 液体自身による励起光の吸収

1 の問題は適切なバインダーを選択することで解決できる。本研究ではエポキシ樹脂をバインダーとして液中への蛍光体の溶解を防止した。

2 の問題を解決するには液体ごとに励起光源を選択する必要がある。TP 法では励起光源として紫外線を利用するが、液体ごとに紫外線の透過率は異なるため、対象の液体が透過する波長域の光源を選択する必要がある。これには事前に液体自身の透過率を把握しておく必要がある。

図1 水, サラダ油の光透過率

図1に水とサラダ油の光透過率を示す。水は220 nm 付近まで光を透過するため光源の自由度は高い。一方、サラダ油は350 nm 以下の光は透過しないため、これより長波長の光源を利用する必要がある。

3. 実験装置

水中表面温度測定には蛍光材料として赤色有機蛍光体を、励起光源としてブラックランプ(300 - 400 nm)を利用した。サラダ油中表面温度測定には蛍光材料として赤色無機蛍光体を、励起光源として YAG : THG(355 nm)を利用した。測定対象はアルミ製鍋(内径 200 mm)とした。蛍光体をバインダーに混ぜたものをスプレー法で塗布した。蛍光計測には冷却型 CCD カメラを利用した。

液中での測定に先駆けて、それぞれの蛍光強度の温度依存性を空气中で測定した。温度可変装置の上に鍋と同時に塗布したアルミ片(20 x 20 x 1 mm)を設置し、温度を変化させて蛍光強度を測定した。温度はテーブル温度(銅製)、サンプル表面温度(塗装部、なし部)を熱電対で測定したが、3者とも1度以内で同じ温度を示すことを確認した。

水中表面温度分布測定ではアルミ製鍋に蛍光体を塗布し、これに底面から約 50 mm の高さまで水を注入した。サラダ油中表面温度測定用ではアルミ製鍋に蛍光体を塗布し、底面から 20 mm の高さまでサラダ油を注入した。それぞれをガスコンロ上に設置して昇温した。同時に熱電対により液体中央部の温度を測定した。

励起光は先述の通り水中、サラダ油中表面温度計測それぞれにブラックランプ、YAG レーザーを用いた。蛍光強度は上記の CCD カメラで計測した。昇温時のいくつかのタイミングで蛍光強度の測定を行った。

4. 実験結果と考察

アルミ片について行った蛍光強度の温度依存性を図2に示す。それぞれ、0 - 100 °C, 0 - 300 °C域に蛍光強度の温度依存性を有することが確認できた。この関係を利用して、基準温度と加熱後の蛍光強度を比較することで温度を決定できる。

次に水を入れた鍋の底面について加熱前の一様な温度時(20 °C)の蛍光強度分布と加熱後の蛍光強度分布を測定した。両者の画像と先の蛍光強度の温度依存性から、鍋底の温度分布を決定した。測定結果の一例を図3に示す。同様にサラダ油を入れた鍋底の温度分布測定結果の一例を図4に示す。ともに温度分布が可視化できており、鍋底に温度むらが存在することが確認できた。

温度測定の精度について議論する。これには塗布による伝熱抵抗と測定系の温度分解能を考慮する必要がある。本塗布膜について膜厚測定を行ったところ約 10 μm であった。空气中で塗布部と塗布のない部分での温度差は1度以内であり、塗布による表面温度への外乱による誤差は1度以内と考えられる。

一方、温度分解能は測定器の性能に依存する。本実験で使用了 CCD カメラはフルスケール 16000 カウントである。蛍光強度は有機系蛍光体が 20 - 100 度で 35 % 変化した。100 度で 3000 カウントとすると、分解能は 0.033 度となる。塗布による伝熱抵抗と測定系の温度分解能を考慮すると、本手法の測定精度は1度以内と見積もれる。

図2 蛍光強度の温度依存性

図3 水中金属(鍋底)表面温度分布

図4 サラダ油中金属(鍋底)表面温度分布

5. 結論

本研究では非接触の液体中固体表面温度測定を実現すべく、サーモフォスファール(TP)法に着目して問題点の解決、測定法の最適化を図った。この結果、水及びサラダ油中の金属表面温度分布の可視化が可能となった。

参考文献

- 1) K. Asai, H. Honda and T. Kunimasu, T. Liu and JP Sullivan, AIAA Paper 96-2185, June 1996
- 2) T. Liu, BT. Campbell, SP Burns and JP Sullivan, Appl. Mech. Rev. Vol 50, no 4, p. 227, April 1997