506 感温液晶を用いた温度計測法の精度向上に関する研究 Improvement of the Accuracy in Temperature Measurement by Liquid Crystal Thermometry

○学 加藤 規靖 (新潟大工)
Noriyasu KATO

正 藤澤 延行 (新潟大工)
Nobuyuki FUJISAWA

Niigata University 8050 Ikarashi2, Niigata, Japan, 950-2181

The color-change response of thermo-sensitive liquid crystal tracers to viewing angle was studied by rotating the calibration setup under thermal stratification and the calibration error in temperature measurement was examined. The calibration error was found to be small at negative viewing angles in comparison with the positive one, which suggested an improvement of accuracy in temperature measurement.

Key Words :Temperature Measurement, Liquid Crystal, Viewing Angle, Calibration, Uncertainty Analysis

1. 緒言

感温液晶による温度場のフィールド計測技術は工学上重要であり、液晶の光学的特性や液晶を用いた温度計測結果が報告されている。しかし、感温液晶の呈色は観測角度の変化に依存するなどさまざまな問題がある。本研究では観測角度による色の変化を利用し、温度計測の精度向上を目的とする。その基礎データとして、さまざまな観測角度における色、温度の関係を定量的に明らかにする。

2. 実験装置および方法

本実験に使用した感温液晶は呈色範囲が $29 - 35^{\circ}\text{C}$ のカイラルネマティック液晶であり、平均粒径が $10\mu\text{m}$ のマイクロカプセル化された液晶粒子が50%スラリー状態で提供されたものである。この液晶を作動流体である水(水道水を煮沸したもの)に体積濃度0.003%加えて実験した。Fig. 1は液晶の光学的特性を計測するために試作した実験装置である。容器の大きさは $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 50\text{mm}$ のアクリル製の水槽であり、水槽の上下面をそれぞれ一定温度に設定することが可能である。本実験では上面を 36°C 、下面を 28.5°C に設定し、水槽内部に温度勾配一定の温度成層を作り、検定に用いた。温度成層内の温度分布の評価は、6本のK型熱電対を挿入して行った。一方、水槽側面に設置されたストロボ発光装置からのシート光(厚さ3mm)を照射することで液晶の色変化を観察することができる。ただし観測はカラーCCDカメラ(画像解像度 768×494 ピクセル、RGB信号に対して各8ビット)で行った。ここで、ライトシートに対するカメラの観測角度 θ の影響を考察するため、ターンテーブル上に水槽とライトシートを固定し、微小な一定角速度で回転させた。このとき固定されたカメラからは種々の観測角度における液晶の色と温度の関係を撮影することが可能である。ただし、ターンテーブルはステッピングモーターで駆動されており、各画像ごとの観測角度はステッピングモーターのパルス数から計算できる。本実験では1フレーム/秒でカラー画像を取得したが、この条件は観測角度 3° ごとに液晶の色と温度の関係を検定したことになる。観測角度の範囲は -45° から $+30^{\circ}$ で、撮影開始点に設置されたフォトセンサーからのトリガ入力を含図に撮影を開始する。撮影距離は1.7mで撮影範囲は $\Delta x' \Delta z = 1.00\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ の領域である。撮影された検定画像は、リアルタイムでフレームグラバでデジタル化され(640×480 ピクセル、RGBに対し各8ビット)PC内のフレームメモリに格納される。格納されたRGBカラー画像は、コンピュータ内でソフト的にHSI色空間に変換して検定画像とした。

Fig.1 Test section

Fig.2 Top view experimental setup

3. 結果および考察

3. 1 温度成層評価

Fig. 3は温度成層の位置と温度および加熱時間の関係を表している。上下壁面温度が一定であるため、温度勾配は時間と共に直線へと変化し定常状態となった。ただし、本実験装置の場合、定常状態になるまでの時間は約90分を要した。このとき測定温度と直線的温度分布との相違は 0.1°C 以下であり、それは熱電対の測定誤差と同程度であった。

3. 2 観測角度による H S I 変化

Fig. 4 は本実験における一例として、測定温度 (T_m) とヒュー (H)、サチュレーション (S)、インテンシティ (I) それぞれの値との関係を、観測角度 -45° -30° -15° 0° 15° 30° についてそれぞれプロットした図である。ヒューの温度による変化を見ると、観測角度が大きくなるほど温度変化に伴うヒューの変化が大きい。すなわち観測角度 0° の場合に比して観測角度 -45° のときは、かなり広い温度域でヒューの温度による変化量が大きい。測定精度の向上が期待できる。サチュレーションの関係において、観測角度 -45° の場合 3.4°C を越える温度帯域における S の変化がほとんど見られないのに対して 0° では同温度帯域における S の変化が見られる。インテンシティに関しては観測角度の違いで値の違いはあるものの、I の変化量については大きな違いは見られなかった。温度検定を行うにあたっては、これら各角度における H S I の変化が検定に有利に働く点に着目し、さまざまな組み合わせを行うことで従来の温度検定法よりもより高精度な温度検定が期待できる。

3. 3 誤差の評価

感温液晶スプライン温度検定法によって各ピクセルごとの温度を推定し、等温方向すなわち x 方向についての標準偏差を求めた (Fig. 5)。誤差が最も小さく安定した呈色を示しているのは観測角度 -45° のときである。一方、正方向の観測角度は誤差が大きくなっている。低温帯域では誤差が小さく高温帯域では誤差が大きい。これは高温域での H S I の変化量が少ないためであると言える。すなわち、温度変化に H S I 各成分が敏感に反応する温度帯域が誤差の少ない優良な検定区間になりうるといえる。

4. 結言

さまざまな観察角度におけるヒュー、サチュレーション、インテンシティ変化を定量的にあきらかにした。その結果、負の観測角度において比較的良好な温度計測精度が得られた。

参考文献

- (1) 船谷俊平、藤沢延行、松浦勉、弦巻明、機論、66-643, B (2000-3), 121-127.
- (2) N. Fujisawa and S. Funatani, Exp. Fluids, 29 (2000) in press.
- (3) 亀井泰造、笠木伸英、可視化情報、vol14, suppl. no1 (1994), 89-92.

Fig.3 Temperature profile

Fig.4 Optical characteristics of liquid crystal for various viewing angles

Fig.5 Calibration error T_e versus temperature T_m for various viewing angles