

感温液晶粒子の温度・色の変換曲線取得への ニューラルネットワークの応用

A Color-to-Temperature Calibration Method for Thermo-Sensitive
Liquid Crystal Particle Using a Neural Network

朱 双東*・小林敏雄*・都 徳熙*

Shuangdong ZHU, Toshio KOBAYASHI and Deoghee DOH

1. はじめに

最近、温度の変化によって色が変わるという特徴を持っている感温液晶を利用して、カラー画像処理技術を用いて、熱伝達や熱対流現象を究明する研究がなされている。感温液晶の温度に対する色の特性を定量化する試みとしては色のNTSCのR, G, B成分に基づいたrgb色図座標を用いるとか、色度図、もしくは、Hue値が使われている。ところが、感温液晶の温度と色の特性は複雑な非線形であり、その定式化が困難であるばかりか、計測可能温度幅は実際の呈色範囲より狭くなっている。そのため、非線形マッピングに強い、ニューラルネットワークを利用して、感温液晶の色/温度変換曲線を得る研究がある^{1),2)}。感温液晶粒子は入射光とカメラが成す相対角度によっても色が変わるという光学的な性質をもっているため、この相対角度が大きような測定の場合には、その相対角度ごとの温度と色の校正データも必要となり、その校正データも多量になって、色に対する温度の関係はさらに非線形性をもつことになる。

本研究では、その相対角度を考慮しなければいけない温度測定の場合、温度と感温液晶の色の変換曲線を得ることにあたって、ニューラルネットワークを適用しその効果を得たので報告する。

2. 感温液晶の相対角度・温度・色の特性

図1は感温液晶粒子(AR15C25R, $d=500\mu\text{m}$, 比重1.02)への入射光(冷光線, ハロゲンランプ, 150W)とカメラ(3板式CCD, カラー, Sony DXC-3000A)が成す相対角度による感温液晶粒子の色相変化を校正する実験である。校正実験は液晶粒子の温度を恒温槽で一定に保ち、相対角度を変化させて行った。また、感温液晶粒子の

*東京大学生産技術研究所 第2部

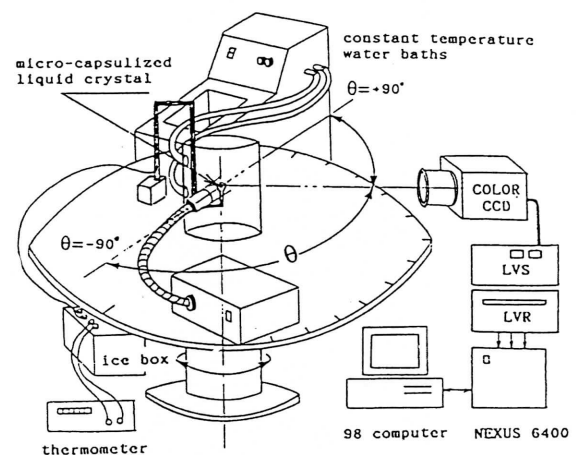


図1 実験図

温度を変化させた場合の相対角度と色の変化の関係を求めている。感温液晶粒子は、恒温水槽内に置かれた細い球形ガラス管(直径2.5mm厚さ0.5mm)の中に注入されている。液晶粒子の温度は、液晶粒子に近接して設置された熱電対で計測される。液晶粒子、光源、およびカメラを同一平面内に設置し、これらが成す相対角度を 0° から 45° の間で 1° 間隔で変化させカラーデータを採取した。カメラからのR, G, Bアナログ信号の記録には、レーザービデオレコーダー(Sony LVR, LVS5000)を、また画像の解析にはイメージプロセッサ(Nexus6400)を用いた³⁾。また、Hue値は次のように定義される。

$$\text{Hue} = \cos^{-1} \{ (2r - g - b) / (6C) \}^{1/2}$$

ここで、 $r = R / (R + G + B)$, $g = G / (R + G + B)$,

$b = B / (R + G + B)$

$C = \{ (r - 1/3)^2 + (g - 1/3)^2 + (b - 1/3)^2 \}^{1/2}$ である。

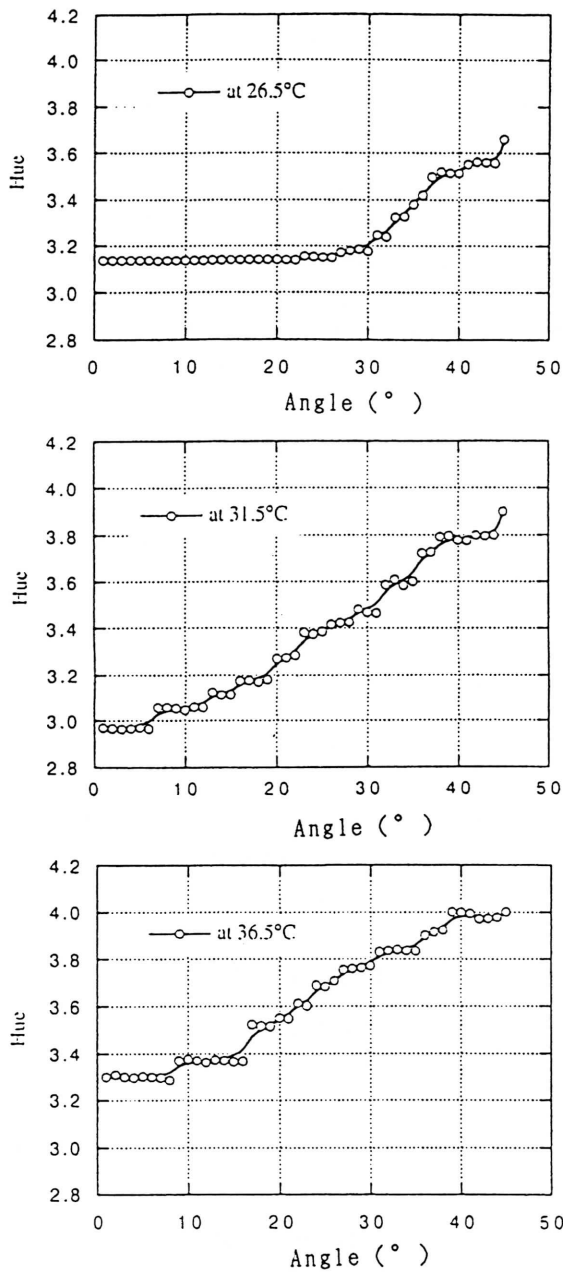


図2 相対角度と Hue 値の関係

図2に相対角度を変えた場合の、感温液晶粒子の Hue 値の変化を示す。感温液晶粒子の温度を一定にして角度を変えた場合、Hue 値が相対角度 (θ) により変化しているのがわかる。また、Hue 値と θ の関係が温度ごとに異なる特性を持つことをもわかる。Hue 値はイメージプロセッサ (NEXUS 6400) から A/D 変換された R, G, B それぞれの濃度値を使う。

図3は相対角度が 0° , 5° , 10° , 15° の時、温度に対す

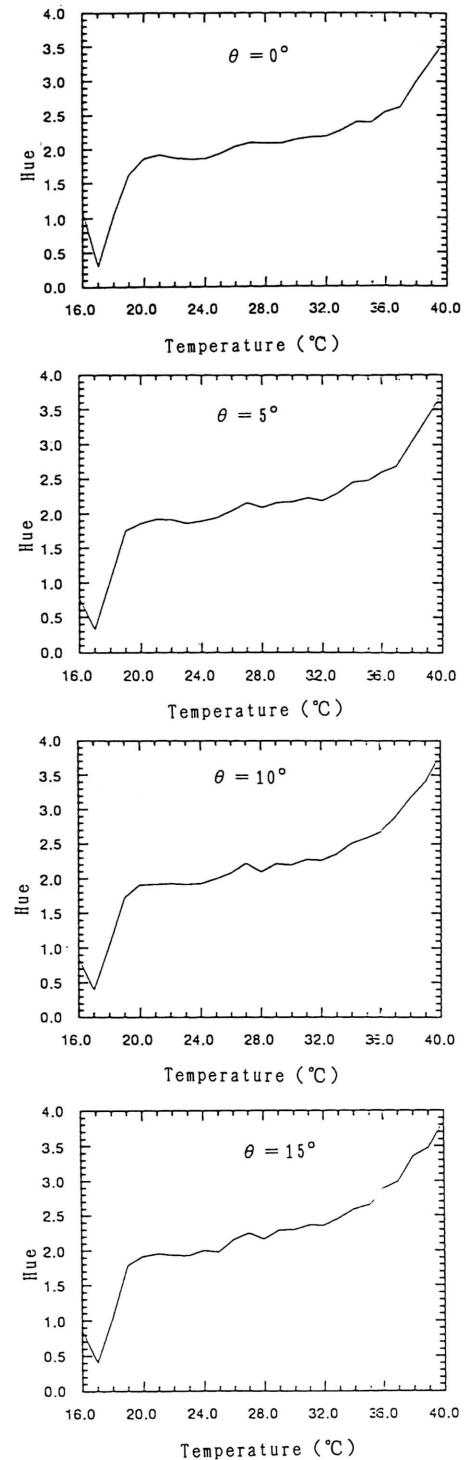


図3 温度と Hue 値の関係

る Hue 値の関係を示す。視角によって Hue 値/温度の変換特性にわずかな差があることがわかる。また、温度が低い領域で一つの Hue 値に対して二つの温度が存在するこ

研究速報
と、温度に対する Hue 値の関係が平らである部分が存在することが示されているが、この二つのことは温度と色の関係を関数化することが困難であることを示している。さらに、相対角度ごとにもその特性の差があることは、温度と色の関係を定量的に明確化することを、一層、困難とさせる。

本報告では、相対角度を考慮し、温度と色の関係をニューラルネットワークで学習させることにより、温度に対する色の変換曲線を得ることが出来た。

3. ニューラルネットワークの構造と学習方法

3.1 ネットワークの構造

図4は相対角度を考慮し、温度と色の変化特性改善に用いたニューラルネットワークを表している。入力層は四つのユニットがあり、それぞれ相対角度 θ と図3の Hue 値に該当する R, G, B の三つがユニットへの入力になる。出力ユニットは学習温度 T_N である。

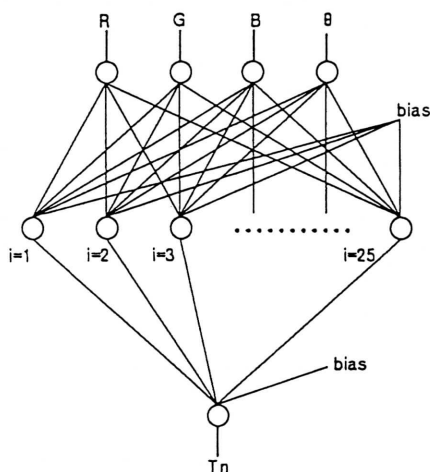


図4 ニューラルネットワークの構造

3.2 学習方法

ニューラルネットワークによる学習はバックプロパゲーション法で、式(1)に示した誤差関数 E が最小となるように結合荷重とオフセット (bias) を調整することである⁴⁾。

$$E = (1/2) \sum (T_N - T_R)^2 \quad (1)$$

すなわち、相対角度 θ と、色 R, G, B を入力として、それぞれの値に対するネットワークの出力 T_N を実際の温度 T_R と一致させる (E が最小値となるまで) ように、パラメータ結合荷重とオフセットを調整することである。

学習に用いたパターンは、入力パターンは、相対角度 θ がそれぞれ 0° , 5° , 10° , 15° である4個であり、出力パ

ターン (教師信号) T_R が 16°C から 40°C まで 1°C 間隔の25個であるので、合計100組である。

3.3 学習結果

図5は $\theta = 15^\circ$, $E = 4.65 \times 10^{-4}$ の場合、実際の温度 T_R とネットワークに再現して得られた温度 T_N との関係を示す。実線は学習温度が再現温度と等しい理想的な場合の関係を示し、 \diamond は学習温度に対する実際の再現温度の関係を示す。この時、学習回数は5000回、平均誤差は 0.063°C 、標準偏差は 0.088°C であった。相対角度を考慮しても、ニューラルネットワークはほぼ実際の温度を出力しており、ニューラルネットワークを用いた相対角度・温度・色変換特性の定式化および較正の有効性を示している。

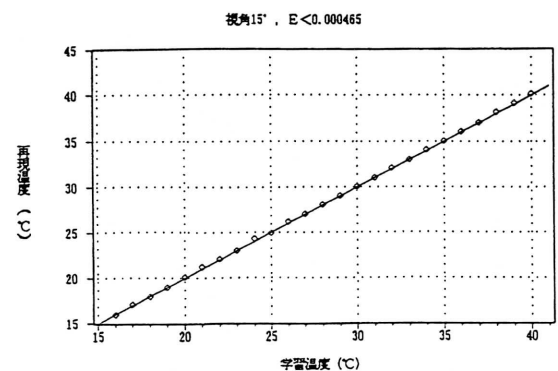


図5 再現結果

4. 終わりに

ニューラルネットワークを利用して、感温液晶の相対角度・色・温度の変換特性の定式化および較正を試み、温度計測が可能となることを示した。また、相対角度の変化に対する較正もニューラルネットワークの利用により容易となった。
(1994年12月27日受理)

参考文献

- 1) 木村一郎他, 感温液晶を用いた温度場の画像計測, 可視化情報 Vol. 12 Suppl. No. 1, p. 7 (1992年7月)
- 2) D.H. Doh, T. Kobayashi, T. Saga, S. Segawa, A study on three dimensional particle imaging thermometry and velocimetry using micro-capsulized liquid crystals, FL OMEKO'93, Seoul, pp. 575-582, 1993
- 3) 都 徳熙, 小林敏雄, 佐賀徹雄, 瀬川茂樹, マイクロカプセル化された感温液晶粒子の光学的特性, 可視化情報 Vol. 13 Suppl. No. 1, p. 163 (1993年7月)
- 4) 靳蕃・範俊波・譚永東, 神経ネットワークと神経計算機原理・応用, 西南交通大学出版社, 1991.12