

固体撮像カメラを利用した温度分布測定*

井上 広行^{*1}, 大滝 英征^{*2}, 石川 義雄^{*2}

Measurement of the Thermal Distribution of a Machine Device Using a Charge-coupled Device Camera

Hiroyuki INOUE, Hideyuki OTAKI, and Yoshio ISHIKAWA

For the purpose of estimating the thermal condition of machine devices, we investigate a new method of measuring temperature using an encapsulated liquid crystal (ECL) film and a charge-coupled device (CCD) camera. When an ECL film is placed in direct contact with subjects, it exhibits some colors accompanying temperature change. But even if these colors are obtained, it is difficult to judge values for temperature or extension of isothermal line with the naked eye because of optical noise. In solving the above problems, we investigate a new photographic recording method of intensifying colors using a CCD camera and graphical processing with a personal computer. The availability of this method is confirmed by analyzing heat conduction in the plate.

Key Words: Measuring Method, Temperature, Liquid Crystals, Charge-coupled Device, Machine Devices, Graphic Processing

1. ま え が き

機械部品は、外部から熱を受けたり、あるいは内部から発熱したりして、いわゆる高温状態で駆動される場合が多い。そしてその熱的状态によっては、機械の性能が低下したり、機構に損傷の及ぶこともある。そこで、熱的状态を判定する一つの指標として、温度分布を測定し、機械の駆動・制御に努めることがなされる。

温度分布の測定には、熱電対等のセンサを用い、離散的な箇所を対象に行われてきているが、機械の保守、安全をより厳格に図ろうとすると、温度分布も面的な広がりを持ったものとして測定するほうがよいと考えられる。

面的な広がりを持って測定できる装置としては、赤外線カメラ利用したものがある。これは赤外線カメラで取り込んだデータをパーソナルコンピュータでソフトウェア的に処理し数種の温度帯域に区分し、色づけしてCRT上に表示するものである。装置は非常に高価であるが、対象物の種類、温度範囲等は限定されず

汎用性が高い。しかし、機械部品においては測定対象物、温度範囲の限定される場合も多く、装置自体も安価で済ませたいという要求がある。そこで本報ではCRT上に表示される画像が赤外線カメラによる場合と遜色ないものとして液晶シートおよび固体撮像カメラを用いた方法を検討してみる。

2. 液晶シート・固体撮像カメラによる温度分布測定

液晶シートはその結晶構造の配列ピッチが温度によって変化し放散光の波長が変わるため、温度に応じて数種の色に発色する。この発色した色とその強弱を解析すれば温度分布を知りうる。肉眼に頼って解析する場合には、視感度が緑、黄色系の色(波長: 530~600 nmの光)には強く、青系の色(波長: 450~530 nmの光)あるいは赤系の色(波長: 600~680 nmの光)には弱いので正確には解析できない。そこで全領域の色について強弱を定量的に測定するため、固体撮像カメラ⁽²⁾を用いることとした。しかしながら、液晶はそれほど強く発色するわけでないので、撮像する際に周辺光の影響を受けやすい。そのため撮影した画像の画像処理には液晶ならではの工夫が必要となる。

(1) 液晶シート

* 平成元年8月25日 東北支部盛岡地方講演会において講演、原稿受付 昭和63年9月26日。

^{*1} 学生員、埼玉大学工学部(〒338 浦和市下大久保255)。

^{*2} 正員、埼玉大学工学部。

液晶シート⁽¹⁾は結晶構造のピッチに応じ、最もよく反射する光の波長が $\lambda=pn$ (p :ピッチ, n :屈折率)であり、橙、水色、紫というような中間的な色あいが発色するものも数多い。このような種類の液晶を用いた場合は、温度変化で発色の状態が変化したとしても、その程度は微小であり温度の増減をその差より把握するのは難しい。

そこで、試行錯誤を重ねた結果、色の3原色に近い色を発色する液晶を選んで用いれば、判定はやさしくなることがわかった。図1はここで用いた液晶シートの発色特性を示したもので、1枚のシートでありながら30~50°Cの間でほぼ3~5°C間隔で赤、緑、黄、青と3原色に近い色で変化を起こす。

(2) 温度分布の測定

液晶シートを測定対象物に当てた場合には青系の色から赤系に色まで混在することとなる。そのため、そのままでは各系の色の強弱、発色した領域などを把握するのは難しい。そこで、各色の強弱、発色した領域を個別的に把握するため、液晶の発色帯域の波長に合わせ青、赤、緑の3枚のフィルタを用いることとした。図2はフィルタの分光透過特性を示したものである。例えば青のフィルタを使ったときには固体撮像カメラのレンズを透過するのは波長の短い青い光だけとなる。そのため液晶シート上で青系統に発色した領域は相対的に明るいものとして、スロット・カード上のメモリに取り込まれ、パーソナルコンピュータ本体のVRAM領域に転送される。赤、緑のフィルタを使った場合も同様である。

CRT上に表現される画面の色と色の強弱は、赤、緑、青それぞれのVRAM領域に書き込まれたデータによって決定される。画面を構成する最小単位であるドットの点灯、非点灯を選別する2値化のしきい値は、液晶の画像を種々取り込んで検討した結果、背景の雑音が最小となり、しかも色づけが鮮明となる8 (本画像処理では16階調の構成が可能)を選んだ。8より小さい場合を非点灯とし、8以上の場合を点灯とした。

さらには、液晶表面が薄いプラスチック皮膜で覆われていることも手伝って、入力画像には周辺光などの雑音がかなり含まれがちとなる。画像には液晶が本来発色するはずのない紫、水色等もでてくる。そこでこれらの雑音の影響をなくし、色の強調と孤立点の除去を行う必要がある。色の強調は、紫、水色等に表示された画素を本来示していたであろう色に戻し、かつ明るさをも増すものである。色の強調を行った画像でも依然として胡麻塩状の雑音成分、いわゆる孤立点が残っている。これを可能な限り減らす。すなわち、画像中

の一つの画素に注目して、その画素が点灯している場合には、その周囲にいくつの画素が点灯しているかによって、その画素の点灯、消灯を決定する。また点灯していない場合は、周囲の画素が何色でいくつ点灯しているかを判断し、その画素を何色で点灯するか、あるいは、そのまま非点灯の状態にしておくかを決定する。本報では周囲3×3画素中に2画素以上点灯している画素があった場合にはそのままとし、そうでない場合には消灯した。また注目した画素が点灯していない場合は周囲の画素のうち、最も点灯数の多い画素の色をその画素に与えている。

次に色の強弱は、複数のドットをひとまとめにして、点灯、非点灯の適切な配分により行う。例えば四つのドットで5通りの、9ドットでは10通りの状態を表

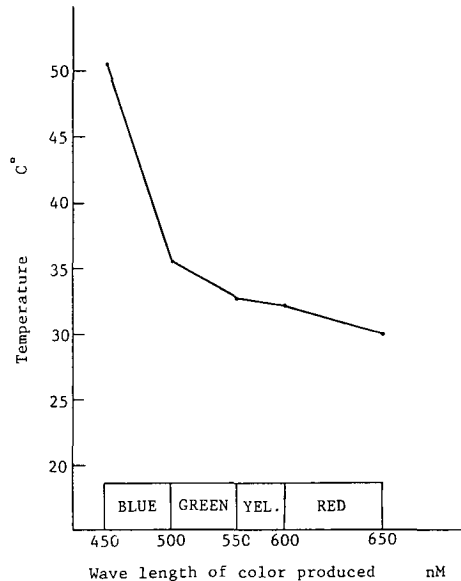


図1 液晶の発色特性

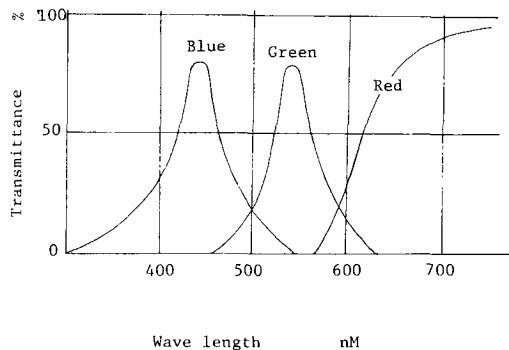
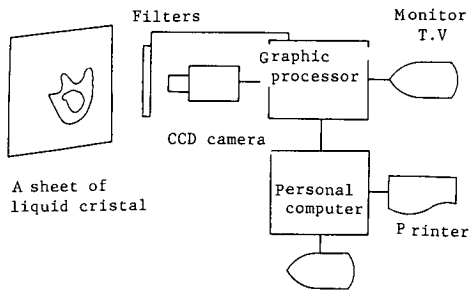
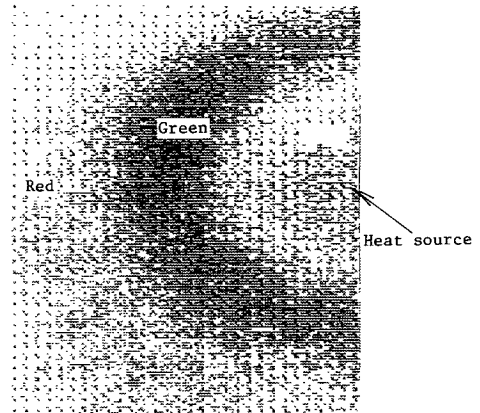


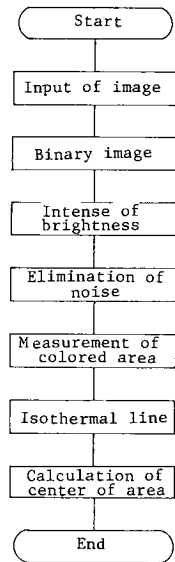
図2 フィルタの分光透過特性



(a) 画像処理装置の構成

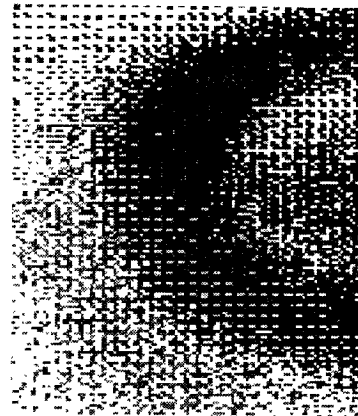


(a) 取り込んだままの画像



(b) 画像処理の手順

図 3 温度分布測定の手順



(b) 2 値化処理後の画像

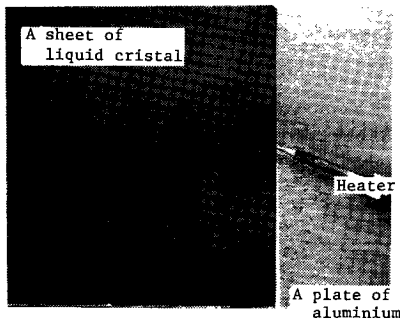


図 4 固体撮像カメラに取り込む原画像



(c) 2 値化, 孤立点除去, 境界線処理を行った画像

図 5 画像処理後の画像

現できるわけであるが、ひとまとまりとして扱うドットの数多くするにつれ、表現できる明るさの段階が増えていく。しかし、これとは逆にそれだけ表現画素の大きさも大きくなり、画面は粗くなり温度分布の把握も難しくなる。そこで、液晶上に発色した色を取り込み、その色の状況より温度状況を的確に把握しうるひとまとまりとすべきドット数をまず決める必要性がある。ここでは4ドットを1画素とした。しかし、上記のようにドットの配分により表現するいわゆる面積階調だけによると、画面上で明暗がなめらかに変化する部分ではスロットカード上でA/D変換したデータが段階的に変化するのでしほ模様を生じる。そこでサンプリングされたデータの中間階調画像に乱数を重ね合わせた後に、量子化を行うディザ法を用いてこれを補った。

このようにして表示された画像は、さきに述べたひとまとまりにした画素を1単位としたモザイク状の画像となるが、温度帯域を明確にしその境界をはっきりした画像として捕らえることができる。

図3はこのようにして構成した温度分布測定の手順を示したものである。

3. 実験結果

図4は固体撮像カメラに取り込んだ原画像の一例を示したものである。これはアルミ板(板厚1mm)上に液晶シートのマイラ膜面がぴったりと接触するように置いたうえで、アルミ板の端部を加熱した場合についてカラー写真撮影したものである。熱はアルミ板を介して液晶シートに伝達される。液晶は図1に示したように3℃程度の帯域で色が変わるとはいえ、肉眼では

色の強弱、発色領域を判別しにくい。とりわけ緑、青等の領域の判定は難しいことがわかる。そこで、前章で述べたような2値化処理および色の強調のみを行った画像を求めた。図5(b)はその例を示したものであるが、機械部品の温度状況を的確に知り、保守を図るには温度帯域の境界が明確でなく、雑音も多く、まだ錯誤を生じやすい。そこでさらに前述したような手法により孤立点の除去、温度分布の境界線処理を行った画像が図5(c)である。青色と緑色、緑色と赤色の間に白い空間があるが、これは温度が滑らかに変化している領域における液晶の発色不良によるものである。しかし、温度分布状況を把握し、保守、安全を図るには十分なものといえそうである。

4. ま と め

機械部品の熱的状態を把握する一つの指標として温度分布を液晶シート、固体撮像カメラを用いて測定する手法を検討した。

液晶シートは温度により数色に発色するものの、その発色程度はそれ程鮮明なものではなく、画像処理上種々の工夫を要する。本研究では赤、緑、黄色、青に発色する液晶シートを用いた上で、この色を個別的に固体撮像カメラに取り込みやすい波長を有するフィルタを用いているのが特徴である。これによって雑音の処理、温度帯域の把握が容易化され、機械部品の温度分布把握に役立つものとなった。

文 献

- (1) 立花・ほか5名、液晶、(1974)、164、共立出版。
- (2) 島川、I/O、No. 9(1986)、273。