

# 〔報告〕 発光ダイオードを光源とした赤外線撮影について

吉田 直人

## 1. はじめに

赤外線撮影は、肉眼では見えづらい文字や下絵などの検出に有用であるが、コダックやコンニカといった主要メーカーが赤外線フィルムの製造を中止したこと、またテレビカメラは画質の問題などもあり、最近ではデジタルカメラを使用した報告例<sup>1,2)</sup>が目立つ。

一方、光源については現在も、撮影用のハロゲンランプが主流である。しかし、地球温暖化への懸念と省エネ化社会への流れの中で、フランスや豪州、アメリカの一部の州では、2012年度までに法律で白熱光源の生産中止を決定しており、日本のメーカーも、特殊用途を除いて生産中止または縮小の動きがある<sup>3)</sup>。従って近い将来、他の光源を選択せざるを得なくなる状況も想定される。その場合、発光ダイオード(LED)が選択肢のひとつとして挙げられるであろう。

本報告は、異なる波長の赤外線LEDを光源としたサンプル撮影を行い、画像の相違等を検討したものである。また、単色光源であるLEDの特徴を活かすことによる資料調査の可能性についても検討したので報告する。

## 2. 撮影機材

LED光源は(株)エビス電子製の赤外線LEDライトA-08K, B-10K, およびC 2-05Kを使用した。これは6.5×10 cmの樹脂ケース内にそれぞれ、735 nm, 850nm, 970 nmのLEDを42個(6×7個)搭載したものである。また、比較のため、撮影用ハロゲンランプ(岩崎電気製PRF500WD)での撮影も行った。それぞれの発光特性を図1に示す。カメラは、RGB3層型のCMOS(FOVEON X3)を搭載したデジタル一眼カメラ(シグマSD14)を使用した。CMOSを保護するフィルターが赤外線カットを兼ねているため、これを取り外し(指一本で容易に着脱可能可能)、また、レンズ(シグマ17-70 mm F2.8-4.5 DC MACRO/HSM)にローカットガラスフィルター(Kenko Pro 1 D R72)を装着することによって、赤外線カメラとして用いた。

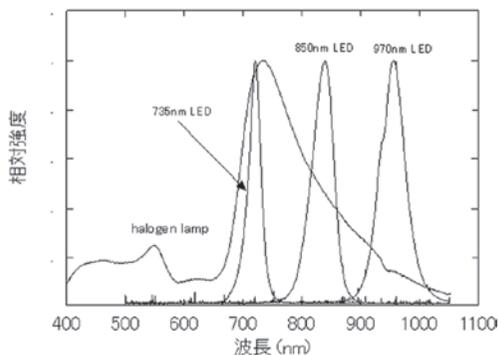


図1 今回の撮影で使用した光源の発光スペクトル  
(Solar Laser Systems社 S-100にて測定)

### 3. サンプル撮影・結果

撮影においては、室内光（蛍光灯）のもとで焦点を合わせて固定したのち、消灯したうえで赤外線撮影を行った。サンプルは机上に平置きし、光源は約1.2 m上方に配置した。レンズ焦点距離は17 mm（最広角）、絞りはf 8に設定し、シャッタースピードは適宜調整して撮影した。

まず、墨と朱墨で文字や記号を描いた渋紙サンプル（写真1）の赤外線撮影を行った（写真2）。このサンプルは、紅型の型紙を想定して作成したものである。短波長ほど拡散反射が強くなるため、柿渋のムラがはっきりと表れ、また水銀系顔料を含んでいる朱墨が認識しやすい画像が得られた。また、長波長ほど焦点がずれていることが墨文字のぼやけ具合からわかる。これは、可視光で焦点合わせを行ったときには必ず起こることであり、緩和するには、焦点距離の短いレンズの使用、絞り値を大きく設定するといったことで被写界深度を上げることが必要となる。画像をリアルタイムで確認出来るライブビュー機能があれば精密な焦点合わせが出来るが、残念ながらこの機種には搭載されていない。ハロゲンランプでの画像は、極大波長の近い735nm LEDでのものに近いものであった。



写真1 渋紙サンプル  
上段に朱墨，下段に墨で文字  
と記号が描かれている

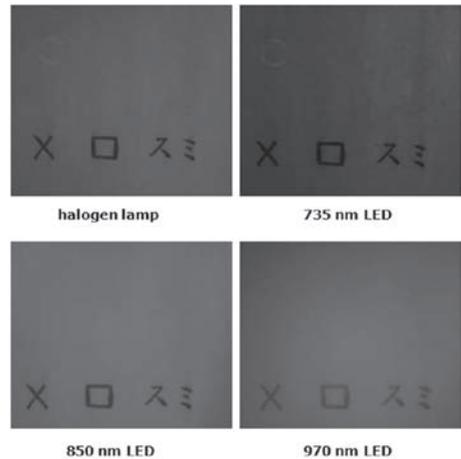


写真2 渋紙サンプルの赤外線写真

続いて、このサンプルを裏返しにし、下に白紙を敷いて撮影を行った。渋紙が厚手のため、肉眼では墨も朱墨も全く見えない。撮影を行った結果、850 nm と970 nm LED によるものは、photoshop によってコントラスト調整を行うことで、不鮮明ではあるが墨線を確認することができた（写真3）。一方、735 nm LED とハロゲンランプによる画像は同様の調整によっても全く認識できなかつた。わずかに250 nm 弱の波長差ではあるが、渋紙に対する透過性の違いが表れている。

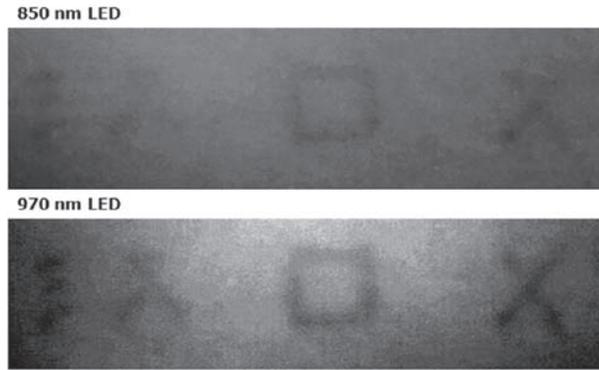


写真3 洗紙サンプルを裏返して撮影した赤外線写真のうち、850 nm と970 nmLED を用いたものは、画像処理によってかすかながら墨字を認識することができた

赤外線による検出は、波長や対象となる材料の性質（構造や光透過・反射特性）などに依存する。CCD や CMOS は1150～1200nm 程度までしか感知しないので、 $2\ \mu\text{m}$  を超える感度を有する赤外線テレビカメラ<sup>4)</sup> ほどの検出力は望めないだろう。しかし、資料や材料の種類ごとに波長を選択することで、より有用な情報を得ることは出来ると考える。この点については、今後さらに検討を進めていきたい。

次に、手板に彩色したサンプルの赤外線撮影を行った。色材は墨、青色色材である群青と藍、さらに赤色色材の丹、辰砂、ベンガラである。画像（写真4）から、特に群青と藍では波長によってコントラスト差が大きく変化することがわかる。また、辰砂とベンガラでも850 nm と970 nm の間ではコントラスト差に比較的大きな相違がみられた。これは、これらの色材の間では近赤外域での反射率変化が大きいためである（図2）。

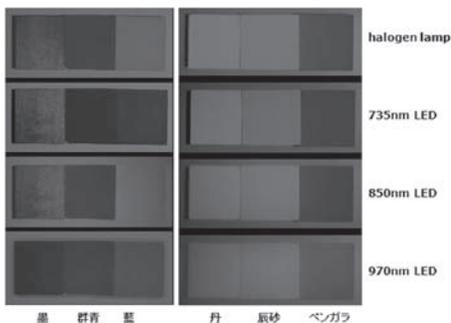


写真4 彩色した手板サンプルの赤外線写真

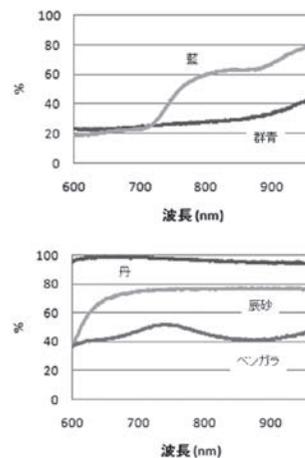


図2 手板サンプルの反射スペクトル  
（日本分光 MV-2000で測定）

写真5は、二代目廣重の浮世絵「江戸名所図会 白鬚明神」のうち、隅田川の部分を一部切り取った写真である。川の水面は青色であるが、手前の川岸に近いほうは濃く、離れた水面は淡く彩色されている。LED光源にて赤外線撮影を行い、左側の舟の先端付近から川岸にかけて（可視光画像に示した A-B 間）の各波長での明るさを画像解析ソフト ImageJ (National Institute of Health, USA) によってプロットした。その結果 (図3), 淡青の部分では波長間の差はほぼ一定であるが、濃青部分では相違が生じ、特に735 nmと970 nmの間では逆転が起こった。XRF などによる調査を行っていないため、色材の種類は分かっておらず、あくまでデモンストレーション的なものではあるが、濃青と淡青で色材が異なる可能性を示唆するものである。

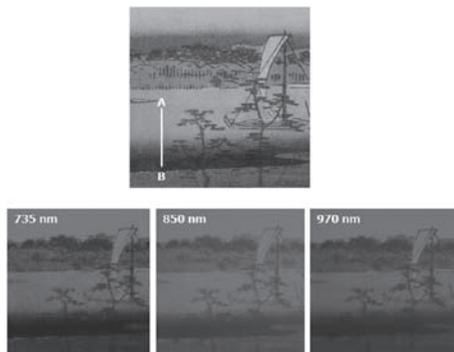


写真5 二代目廣重「江戸名所図会 白鬚明神」  
隅田川の部分  
上段：可視光写真 下段：赤外線写真

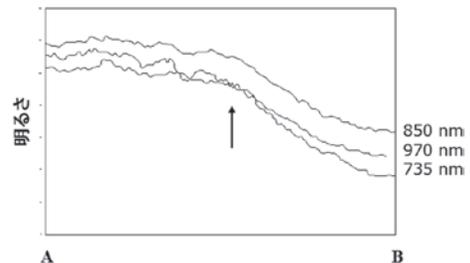


図3 写真4で示した A-B 間の各波長の LED 光源で赤外線写真の明るさをプロットしたもの。矢印は淡青と濃青の境界を示す。

発光波長帯の狭い LED を光源として撮影することで、波長間の相対的な明るさやコントラスト差から、同系色の色材での同一性の判断、さらには同定につながる情報が得られる可能性がある。これは、バンドパスフィルターを使って可視光撮影することにより、色材の分析が可能であることを示した筆者の既報<sup>5)</sup> や、ロングパスフィルターを使った近赤外撮影で顔料の区別を試みた小川らの報告<sup>6)</sup> と考え方は基本的に同じである。ただし、それには定量的な評価が必要であることは赤外線でも変りない。撮影条件や解析法などといった具体的な方法論、また、LED を使うことの優位性についてのもっと詳しい検証を今後も進めていきたい。

#### 4. さいごに

近赤外線 LED は近年価格が下がり (1000 nm を超えるものはまだ安いものでも2,000円程度であるが)、チップを多数使った光量の大きい光源も手に入りやすくなった。これとあわせて「はじめに」でも述べたように、今後白熱光源の行く末がどうなるかという事情もきっかけとなり、LED による赤外線撮影について検討する運びとなった次第である。

赤外線 LED は決して使い勝手のいいものではないことが今回の撮影を通してわかった。735 nm LED を除いては光が目に見えないため、どこを照射しているか分からず、さらに露出決定が困難であること。また、照射角が狭いため、近距離に配置すると、サンプルへの照射光量が均一にならず、ムラが発生することもあるためである。デジタルカメラだからこそ使える光源である。撮り直しのできないフィルムでの使用は二の足を踏むかもしれない。

今回の検証により、いくつかの波長での撮影により、特に近赤外域で反射率の変化が大きい

色材については、その種類に関する情報が得られる可能性があることが分かった。これは波長域の狭いLEDの特徴を活かしたものである。まだ着手したばかりで、厳密な条件設定や解析には至っておらず、途中経過の段階なので報告とした。今後さらに検証を進め、随時結果を公表していきたい。

#### 謝辞

洪紙サンプルをご提供いただきました沖縄県立芸術大学 柳悦州教授に深く御礼申し上げます。

本報告は科学研究費補助金 若手 (B) 「デジタルカメラを用いた文化財資料表面付着物の簡便な判別方法の研究」による平成21年度の成果の一部である。

キーワード：赤外線発光ダイオード (Infrared LED)；赤外線撮影 (Infrared Photography)；非破壊分析 (Non-destructive Analysis)

#### 参考文献

- 1) 大久保治：科学の眼もデジタルへーデジタル近赤外線撮影法一、『元興寺文化財研究所創立40周年記念論文集』（元興寺文化財研究所 元興寺文化財研究所民俗文化財保存会編），pp.134, クバプロ（2007）
- 2) 川野邊渉：ラインセンサを用いた可視光・赤外線デジタル撮影システム，保存科学，37，147-152（1998）
- 3) (株) 東芝ライテック 2008年4月14日付けプレスリリース  
(<http://www.tlt.co.jp/tlt/topix/press/p080414/p080414.htm>)
- 4) 三浦定俊，石川陸郎：最近の赤外線テレビカメラの利用，保存科学，19，21-28（1980）
- 5) 吉田直人：色材の“デジタルカメラ分光分析”に関する基礎的検討，保存科学，48，51-59（2009）
- 6) 小川絢子，佐藤香子，荒井経，二宮修治：赤外線撮影による天然岩絵と新岩絵具の判別法，文化財保存修復学会第30回記念大会研究発表要旨集，170-171（2008）

# Infrared Photography Using LED Light Source

Naoto YOSHIDA

Recently, near infrared light emitting diode (LED) of various wavelength has become available at low cost. The purpose of this study is to investigate the usage of near infrared LED as a light source for infrared photography.

First, infrared images of a paper sample were taken with 735 nm, 850 nm, 970 nm LED and halogen light illumination. As a result, it was found that penetration depth is deeper with longer wavelength.

Then, images of color material samples were taken. It was found that different wavelength gives different relative contrast between color materials, consistent with their reflectance.

These results point out that LED can be not only a light source substitute for halogen lamp, which has been commonly used until now, but possibly a useful tool for scientific research which gives information on color materials.