

紫外線蛍光イメージスキャナーの活用事例

アイメジャー株式会社
一ノ瀬 修一

1. はじめに

私は1986年にフラットベッド型イメージスキャナーの開発設計に関わり、1999年からは、特殊イメージスキャナーのメーカーとして多様な商品を開発した。殊に光源の発光波長を変えることで、従来不可能であった用途が広がった。本稿では、情報機器用光源として見た紫外線光源の変遷、イメージスキャナーの特長、および紫外線蛍光画像の活用事例を紹介する。

2. 紫外線光源の変遷

文字原稿や印画紙写真などの画像入力を目的とした情報機器は、シリコン単結晶を素材とするフォトダイオードを並べ、CCDと呼ぶ電荷転送路を組み合わせたイメージセンサーの登場により普及が始まった。代表的な用途は、ファクシミリやイメージスキャナーである。撮像したデジタル画像をパーソナルコンピュータに送信するイメージスキャナーの構成要素は、光源、レンズ、センサー、インターフェイスなどからなる。

1980年代、光源の選択肢は、水銀蛍光灯やラインハロゲンランプに限られていた。水銀蛍光灯は、水銀蒸気を電子励起して得られる紫外線をガラス管内壁に塗布した蛍光体粉により可視光に変換する光源である。紫外線強度が水銀蒸気圧に依存し、水銀蒸気圧はガラス管壁温度に依存する。そのため、情報機器設計者は水銀蛍光灯の不安定な光量に常に悩まされていた。

一方、液体水銀は人体に有害であるため、その代替品を探し求めた東芝の中央研究所から生まれた光源の成果が、希ガス元素のひとつであるキセノンガスを封入した

蛍光管である。1986年に白黒のファクシミリとして商品化された。われわれは直ちにこの光源をカラーイメージスキャナー用光源として採用し商品化した。常時気体状態であるキセノンガスから紫外線を取り出すことで、情報機器用光源として求められる光量安定性が確保された^{1),2)}。こうしてコンビニエンスストアなどに設置されているデジタル複写機に内蔵されたイメージスキャナーの光源部分は、大半がキセノンガス封入型の冷陰極蛍光管に置き換わった。

1990年代に入り、当時、日亜化学工業所属の中村修二氏により窒化ガリウム系の青色LEDが発明され、固体発光素子の短波長側の選択肢が広がった。信号機の発光素子が、電球方式からLED方式に置き換わったのはご存知の通りである。

情報機器用光源として使用される紫外線光源の歴史も同様で、水銀蒸気を利用した紫外線光源、キセノンガスを封入した冷陰極蛍光管、紫外線LEDへと変遷した。固体発光素子の発光波長は、素材の化合物半導体である窒化ガリウムのエネルギーバンドギャップで決まる。現在、紫外線LEDの発光波長は、365～375 nmのものが市販されている。

3. イメージスキャナーの特長

事例紹介の前に、イメージスキャナー方式の特長について触れる³⁾。デジタル画像は、2次元配列の画素から構成される。1つの画素ごとに被写体上の対応する局所点の濃淡を表す明暗情報を有する。濃淡値の起源は光子(フォトン)であるが、どのような波長の光子をセンサーが捉えたのかを示す特性が分光特性である。単一の分光

特性をもつデジタル画像であればモノクロ画像となり、赤、緑、青それぞれの分光特性を有する独立した3種類の色チャンネルの明暗情報を有した画像であれば、カラー画像になる。ここで、デジタルカメラで撮影したデジタル画像に比べて、イメージスキャナーで撮影したデジタル画像が一般的に綺麗な理由は、イメージスキャナーが搭載するシェーディング補正機構に拠る。

イメージスキャナーは、反射率基準となる白基準反射板と光源を内蔵し、毎スキャン時に、光源、レンズやセンサーなどの構成要素について、イメージスキャナー個体ごとの変動要因を記憶して校正する。これがシェーディング補正である。センサー画素に照射された光子数に比例した出力を得られること、つまり、センサーの線形性が確保されている限りにおいて、イメージスキャナーは簡易的な反射率測定器として機能する。

また、被写体の濃淡情報を16ビット（ $=2^{16}=65536$ 階調）で分解する。その結果、256ステップの濃淡情報のその1ステップについて、さらに256分割した微妙な濃度差を拡大して可視化することが可能となる。言い換えれば、視野角度を拡大する場合はズームと呼ぶが、16ビットの濃度情報をもつイメージスキャナーのデジタル画像は、階調のズームが可能な機械であると言える。

デジタルカメラで撮影する場合、撮影画像全面における照明ムラを10%未満の照度差に抑えることは困難である。そのため、被写体自体がもつ濃度差を強調するために、撮影したデジタル画像のヒストグラムを局所拡大したとしても、単なる照明装置による照明ムラが強調されるだけであり、被写体上のそれまで見えなかったものの判読には適さない。

一方、イメージスキャナーは上述した校正の仕組みを

内蔵し、被写体の濃度再現性や色再現性を確保できるため、いつでもどこでも誰が撮影しても、また、被写体のどこを撮影しても常に同じ値を得られる。また、65536階調の濃淡情報を記録することで、後処理による濃度ヒストグラムの局所に注目した濃度拡大観察が可能となる。その結果、それまで目では見えなかった微かな被写体の濃度差を可視化することが可能となる。このことは、活用事例において様々な用途を広げる重要な機能となる。

4. 活用事例

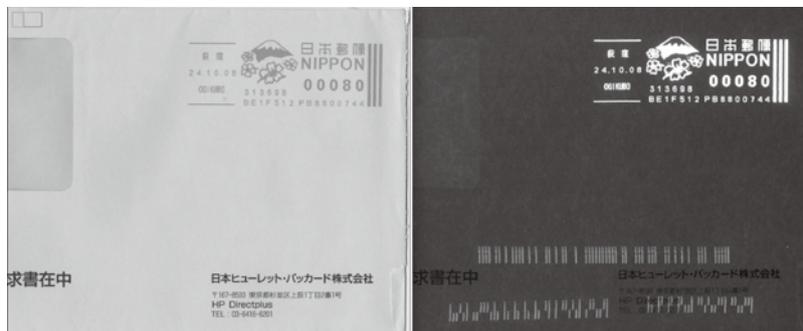
本稿で紹介する活用事例は、紫外線蛍光画像についてのみである。使用するセンサーの分光感度は可視域のみにあり、紫外線に感度を有するセンサーではない。被写体に紫外線を照射することで生じる可視域の蛍光発光画像を捉える装置であることに限定する点をご留意願いたい。

4.1. 蛍光インクを使った印刷物の品質検査

現在、日本国内の郵便物は郵便番号や住所の自動判読後、目に見えない蛍光インクを用いてバーコードが印刷される（図1）。全国に配備した日本郵便の後段の配送先を自動分配する判別部では、この追記されたバーコードを自動判読して類別し、最後の戸別配達に到るまでの効率的な搬送を実現した。自宅に届いた郵便物に暗室でブラックライトを照射すれば追記されたバーコードを観察できる（図1右）。ただし、配送が完了するまで機能すれば十分なため、経時変化で蛍光インクは消失する。

4.2. 消された文字の判読

漢字文字が普及したアジア地域は、木片や竹に墨書した文書が文化的遺物として発掘される。時間とともに劣化消失した文字を判読するために、通常は赤外線が用い



左：可視光反射画像 / 右：紫外線蛍光画像

図1 郵便物に追記された不可視インク

られる。一方、羊の皮を鞣して紙として聖書などの手書きの書籍に使用した西洋では、革からなる紙は非常に貴重であった。用済みの書籍を解体、ヤスリで文字を削り取り、再度製本され、何度も再利用された。この紙は、重記写本（パリンプセスト Palimpsest）と呼ばれ、当時の文化や思想を伝える貴重な記録として、現在も膨大な蔵書の判読が進んでいる。

羊の皮はタンパク質からなり、紫外線を当てると蛍光を発する。そこで、紫外線蛍光のイメージスキャナーが、バチカン教皇庁図書館の羊皮紙の重記写本（パリンプセスト）解読に用いられている。例えば、7世紀、8世紀、9世紀、それぞれの時代に書かれた文字は、紫外線蛍光画像の濃度ヒストグラムで観察すると、時代ごとの濃度差としてグループ分けすることができる。幾度もヤスリで消しては追記され使用されたため、古い時代の文字ほど、その濃度は淡く薄くなっているが、紫外線を当てることでさらにくっきりとコントラストが大きくなり、判読が容易となる。

それまで学芸員は、直接暗箱でブラックライトを当てて肉眼で判読したり、デジタルカメラで撮影する手法を試みたりしていたが、照明光の照明ムラや、カメラレンズの周辺減光により、被写体をもつ微かな濃度差を安定して分離することが困難であった。しかし、シェーディング補正機構を搭載した紫外線蛍光イメージスキャナーの登場により、この時代区分が容易となった。また紫外線蛍光イメージスキャナーは、研究者の肉眼への紫外線

ダメージを無くし、貴重な書籍に紫外線を照射する積算光量を低減できる長所も高く評価された。

4.3. 消えた文字の復元

2011年、東日本大震災が起きたとき、体育館で協力し合って避難生活をする大人たちを見て、自分たちも何かできることはないかと子どもたちが始めたプロジェクトが「ファイト新聞」だった（図2）。毎日、子どもたちは手書きの新聞を書き、体育館の壁に貼り出した。そのファイト新聞を震災時の重要な記録としてアーカイブを行う企画が動き出したときには、新聞に多用された様々な色の蛍光ペンの文字は判読不可能な状態だった。これも紫外線蛍光画像を得ることで、当時の文字がくっきりとコントラストをもって色情報ごとにもそのまま浮かび上がった。

4.4. 消えかかった写真に書かれた文字の判読

インターネットと検索エンジンの普及により収集家の網が世界にまで拡がり、それまでは不可能と諦めていたお宝に低コストで辿り着くことがある。いわゆるロングテールである。松本城の古写真の収集を趣味とする方からの相談で、古写真の判読を依頼された（図3）。古写真に焼き付けられた手書き解説文字が判読できないと言う。一般的に写真印画紙は、白黒写真の場合、銀塩を使っており、消えかかった写真であっても赤外線光源を使うことでコントラストが得られる場合が多い。しかし、この写真は、鶏卵紙と呼ばれる写真だった⁴⁾。可視光反射、可視光透過、赤外線反射、紫外線蛍光のそれぞれのモー

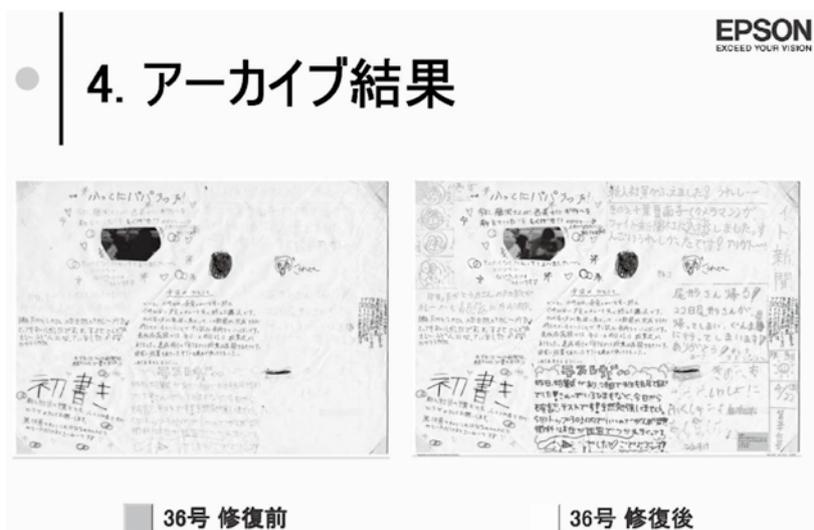


図2 ファイト新聞 ©セイコーエプソン

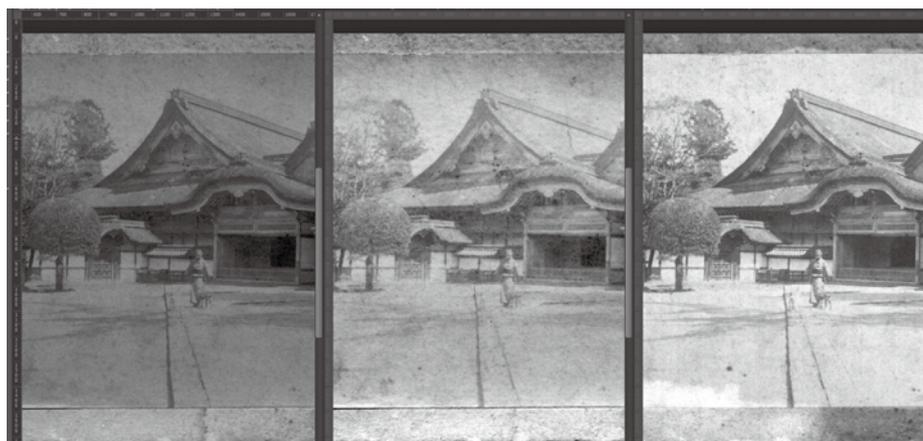
ドのデジタル画像を試したところ、紫外線蛍光画像において、明暗がくっきりとしたコントラストを得て、文字の判読に成功した（図4）。

5. おわりに

デジタル画像の性能比較は、とかく画素数の多い少ないといった競争に陥りがちである。しかし、シェーディング補正機構を搭載したスキャナーには、65536階調もの被写体の濃度差を見分けることが可能な、簡易的な反射率測定器の側面がある。それまで見えなかった文字や画像を可視化する装置として、これからも様々なシーンで活用されるであろう。本稿で取り上げた紫外線蛍光イメージスキャナーの実用はまだ日も浅く、その活用の拡大を読者諸氏に委ねたい。

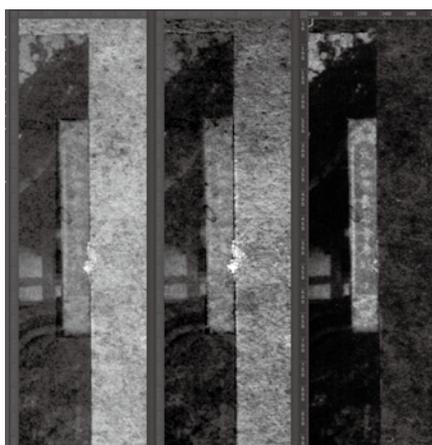
参考文献

- 1) 石神敏彦, 吉池久夫, 尾木 純, 渡辺昭男, 鈴木義一, 西勝健夫, 伊藤一也, 永井芳文, 小林健一, 山崎 繁, 松本秀一: “情報機器用光源の現状と動向 シンポジウム情報機器光源に関する研究調査”, 照明学会誌, Vol. 81, Appendix, pp. 316-317 (1997)
https://doi.org/10.2150/jiej1980.81.Appendix_316
- 2) 鈴木義一: “情報機器用光源総論”, ウシオ電機 光技術情報誌「ライトエッジ」, No. 2 (1995)
<https://www.ushio.co.jp/technology/lightedge/199505/100066.html> (accessed 2021.12.7)
- 3) ㈱トリケップス: 「カラーイメージスキャナ設計技術 1991. 11. 29」, p. 121 (1991)
- 4) イメージスキャナ開発室 イメージスキャナの開発の現場からレポート: 「古写真の解説 消えた文字の可視化 2018.5.19」 (2018)
<http://imeasure.cocolog-nifty.com/blog/2018/05/post-4c08.html> (accessed 2021.12.7)



左：可視光反射画像 中央：赤外線反射画像 右：紫外線蛍光画像

図3 古写真の判読



左：可視光反射画像 中央：赤外線反射画像 右：紫外線蛍光画像

図4 古写真の文字判読