

カラーイメージインテンシファイア搭載 X線検査装置

X-Ray Inspection System Using Color Image Intensifier

日塔 光一 小長井 主税 野地 隆司

■ NITTOH Koichi

■ KONAGAI Chikara

■ NOJI Takashi

マルチカラーシンチレータを用いて、高感度で測定レンジが広く、しかも長寿命なX線イメージインテンシファイア(X線I.I.)“アルティマージュUltimage™”を開発した。これは出力蛍光面にユウロピウム(Eu)原子を発光源とした酸硫化イットリウム(Y_2O_2S)シンチレータを使用し、赤色、緑色、青色それぞれ異なった強度で発光する。このシンチレータと高感度カラー電荷結合素子(CCD)カメラとを組み合わせることで従来よりも感度を6倍向上させ、検出感度領域で測定レンジを2けた拡大することに成功した。

このX線I.I.を用いて複合材料のサンプルを撮影すると、X線の透過しやすい紙から透過しにくい金属まで同時に撮影できる。カラーシンチレータを用いたI.I.は幅広いX線検査への導入が期待される。

Toshiba has successfully developed a multicolor scintillator-based X-ray image intensifier called the Ultimage™, featuring high sensitivity, a wide dynamic range, and long life. A europium-activated Y_2O_2S scintillator, emitting red, green, and blue photons of different intensities, is utilized as the output fluorescent screen of the intensifier. By combining this image intensifier with a suitably tuned high-sensitivity color CCD camera, the sensitivity of the red color component was enhanced to six times that of a conventional image intensifier. Simultaneous emission of a moderate green color and a weak blue color also covers different sensitivity regions. This results in a double-digit widening of the dynamic range.

With this image intensifier, it is possible to simultaneously image complex objects having a variety of different X-ray transmissions, ranging from paper, water, and plastic to heavy metals. This color scintillator-based image intensifier is being introduced for X-ray inspections in various fields.

1 まえがき

物を壊さずに内部を検査する非破壊検査手法には、X線を用いたラジオグラフィ(透視撮影)や中性子線を用いたラジオグラフィなどがある。特にX線は、100年以上前にレントゲンによって発見され、医療面や産業面など幅広い分野で利用されている。撮影手法は、現在でもモノクロのX線フィルムを用いた手法が大半である。近年、フィルムに代わり輝尽性蛍光シートと呼ばれるものを用いて、暗室を使わずにデジタルで撮影する方法も開発されているが、撮影後にレーザ装置で読み取り、画像化するためリアルタイムで見ることができない。動画での撮影としては、電子管デバイスであるイメージインテンシファイア(I.I.)を用いた胃や腸の検査が医療用で用いられている。これらの撮影方法は、X線でフィルムを黒化(感光)したり蛍光体を発光させたりして画像化したものであるが、取込み画像はモノクロである。X線写真をカラーで表記したりデジタル画像に擬似カラーを加えたりする試みは、古くから医療分野で行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。1951年には、カラーX線写真を用いることでコントラストの少ない軟部組織の読影に際して識別が容易となることが指摘されている⁽⁴⁾。しかし、カラーラジオグラフィは、特殊なカラーフィルムを用いなければ

ならないことや簡単に現像ができないことなどがあり、まだ広く工業分野では普及するところまでには至っていない。ただし、写真やテレビもカラー化の時代となり、検査や診断価値を高めるためにカラーラジオグラフィの持つメリットを活用していくことが求められている。カラー化技術については既に東芝でマルチカラーシンチレータとカラーカメラを組み合わせたシステムが開発され、X線や中性子線の強度に応じて赤色(R)、緑色(G)、青色(B)で測定できることが報告されている⁽⁵⁾。

ここでは、このカラー化技術をI.I.に適用し、その特長と測定レンジ(ダイナミックレンジ)、感度、寿命の観点から実施例をもとに有効性について述べる。

2 カラー化の特長

カラー画像化のメリットとして次の3点を挙げることができる。

- (1) 画像識別度の向上
- (2) ワイドレンジ化(測定ダイナミックレンジ拡大)
- (3) 複数の情報の一元管理

第1の画像識別を容易にする点は、モノクロ画像を256段階(8ビット)の黒から白の輝度に表示するのを65,536段階

(16ビット)で表示するよりも、R8ビット、G8ビットとして表示した方が区別しやすい。人間の目の識別できる色数は、区別できる明暗の段数値より多いからである⁽³⁾。

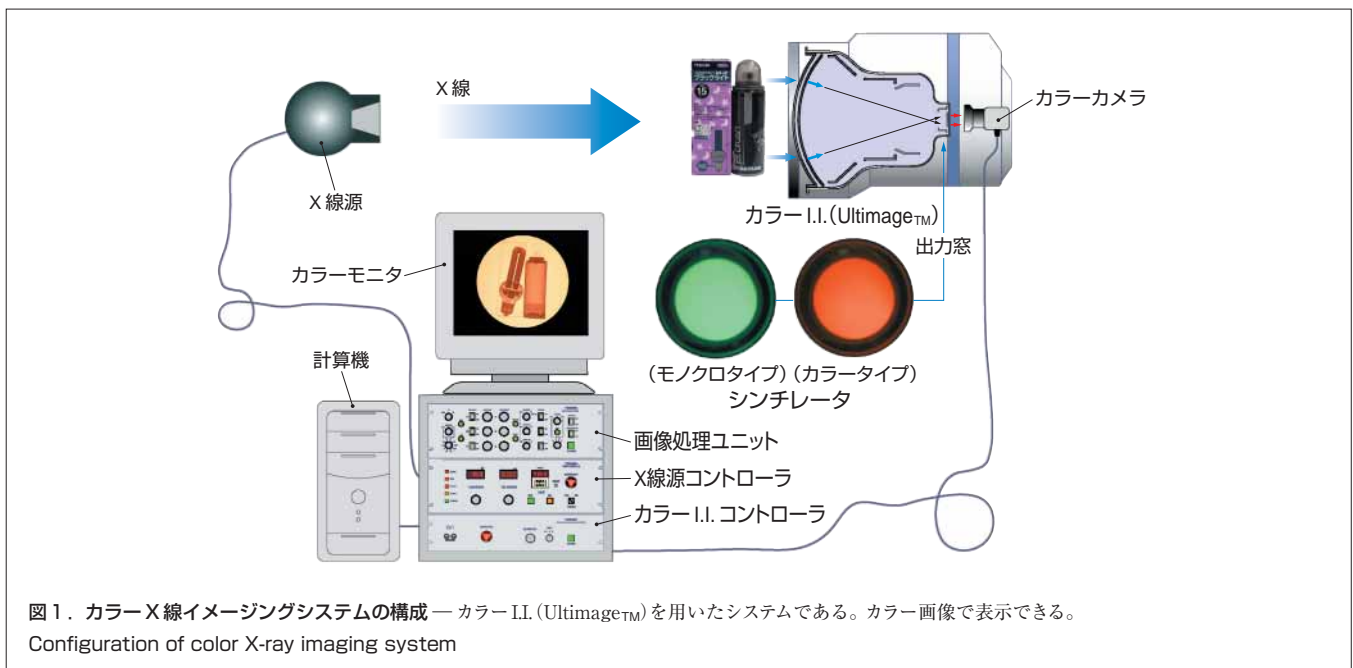
第2のワイドレンジ化する点については、次のような例で説明できる。一般の写真撮影やビデオ撮影でも逆光で撮影すると周りが明るく顔が暗く撮影される。X線撮影でも鋳物などのように厚い部分と薄い部分を撮影する場合、厚い部分に露出条件を合わせると薄い部分が露出過剰となり、逆に薄い部分に合わせると厚い部分は露出不足となる。X線を透過しにくい金属と透過しやすいプラスチックや紙が共存していても同様なことが起きる。従来のX線フィルム撮影ではこのようなことをラチチュード(露出の許容範囲)が狭いといい、測定のダイナミックレンジが狭いことに対応している。これをカラーにすると、X線の透過しにくい(厚い)部分の条件を赤色で記録し、透過しやすい(薄い)部分の条件を緑色で記録すれば、従来2回測定していたものを色情報を用いて1回で撮影できる。

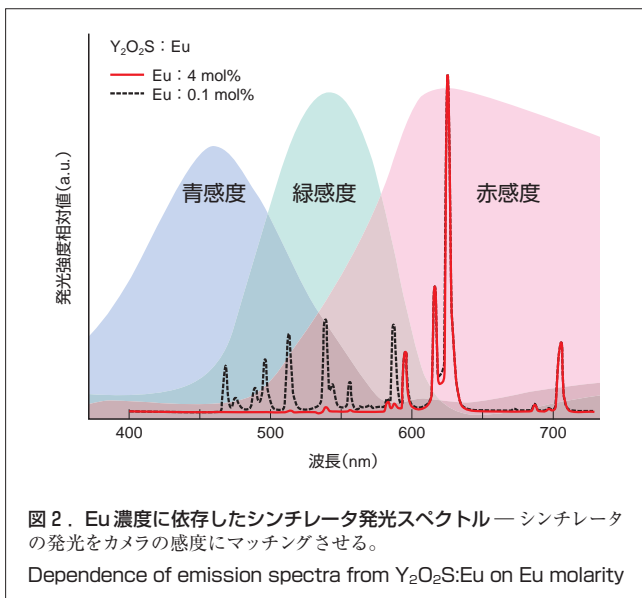
第3の点としては、色情報は一つの画像ファイル又はフィルム上に記録することができる点である。異なる撮影条件で測定したモノクロ画像を重ねても個々の情報の識別は困難である。しかし色相の異なる透明画像を重ねた場合には、個々の識別は可能となる。

3 ワイドレンジ化のシステム構成

図1は、カラーIIを用いた測定システム構成を示したものである。X線源から放出されたX線は被写体を材質や厚さに応じて異なった量として透過してIIに入射される。入射

したX線は入力蛍光面にてX線強度に応じた光に変換され、蛍光面表面の光電膜で光電子を放出する。光電子は収束電極及び陽極で構成される電子レンズの作用で加速されて出力蛍光面に集束される。加速された電子は出力蛍光面を励起して可視画像に変換され、光学レンズを通してカメラで電気信号として変換されてモニタ画面に表示される。特に従来のモノクロタイプと比較して大きく異なる点は、II構造内部の出力蛍光体にマルチカラーシンチレータを用い、カラーカメラで撮像してカラー情報を処理する回路並びに画像処理ユニットでモニタ表示する点である。従来のモノクロIIの出力蛍光体には緑色あるいは青緑色発光体の硫化亜鉛(ZnS)系シンチレータや、酸硫化ガドリニウム(Gd_2O_2S):テルビウム(Tb)シンチレータが利用され、モノクロカメラにより撮像されている。マルチカラーシンチレータには、東芝のカラー化技術で開発した⁽⁶⁾ユーロピウム(Eu)の発光を用いている。酸硫化イットリウム(Y_2O_2S):Euの発光特性は、励起源がX線でなくとも電子線でもR、G、Bそれぞれ同様な割合で発光する。詳しくは、Euのf-f(原子間の遷移)の励起順位によるもので、Eu濃度によって発光色の割合が図2に示す発光スペクトルのように異なる。カメラのCCD撮像素子の感度特性(図の背景で塗られている山の形)に合わせてR、G、Bの発光量を調整しているの、入射されるX線の強度に応じて感度の異なるR、G、Bの信号に変換され、測定のダイナミックレンジが拡大される。モノクロでは白から黒の濃淡として1本の特性曲線しか持たないが、カラーの場合には、3原色のR、G、Bそれぞれの濃淡として3本の特性曲線を持たせることができるため、R、G、B成分ごとに異なった特性を持ち、しかも色別に同時に表示できる。

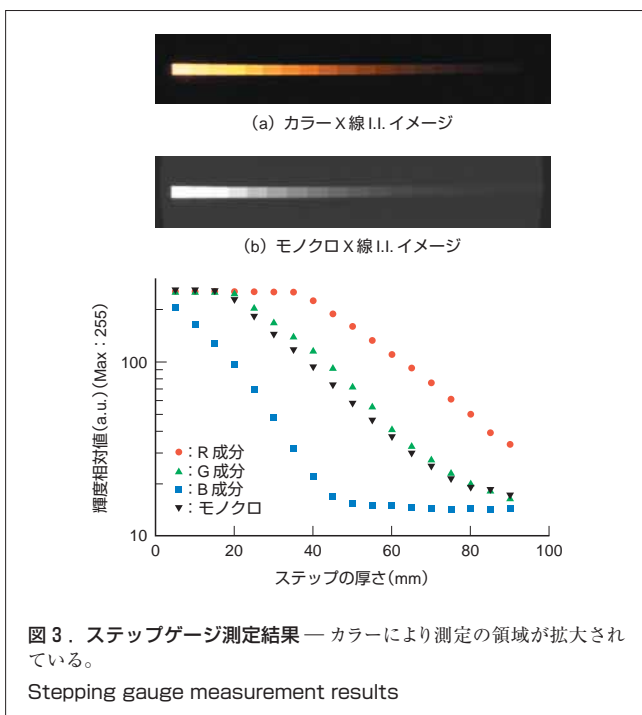




4 性能評価

4.1 ワイドレンジ化と感度向上

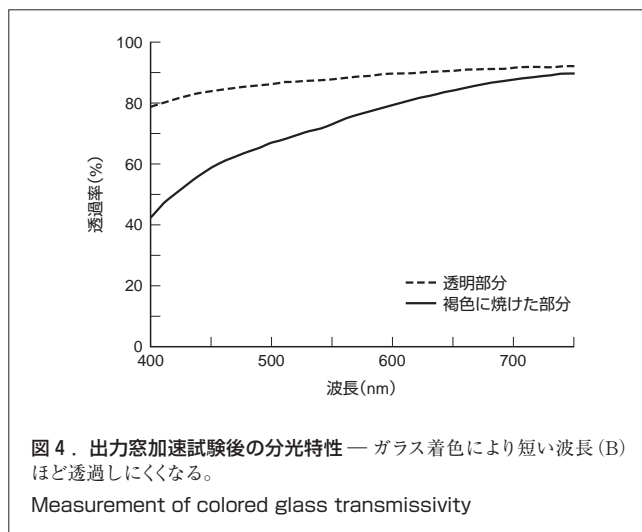
マルチカラーシンチレータを組み込んだカラーI.I.を用いて、アルミニウムの厚さの異なるステップ(1ステップの厚さ5mm)をモノクロI.I.と比較して測定した(図3)。図上の(a)、(b)は撮影した画像を示しており、図下は各ステップの輝度をプロットしている。この結果、モノクロはG成分とほぼ同じ特性を示し、R成分ではより厚い部分まで測定でき、B成分ではより薄い所まで測定でき、カラー化によりワイドレンジ化されたことが示されている。R成分はより厚いところまで見



られるので感度が向上していると言うこともできる。測定の結果、感度は約6倍まで向上することが明らかになった。

4.2 寿命向上

こうした感度向上に伴い、管電圧あるいは管電流を下げて従来と同じ画面を得ることができるようになるので、X線管ともどもI.I.の寿命を長くできると考えられる。ここでは、I.I.の寿命を決める要因となっている感度(輝度)低下について検討した。出力蛍光面は常時約30 keVの高速電子による長期の衝撃により、蛍光体や出力窓に“焼け”と呼ばれる劣化が生じる。テレビのブラウン管などにも見られる現象である。長期間にわたり起こる現象であるため、ここでは加速試験として0.22 mGy/minで220時間使用した後の輝度低下を求めた。R成分で元の状態を100とすると使用後は63%に減衰し、同様にB成分では100に対して46%になった。使用後の出力窓のガラスはカラーセンタが変わって見た目は褐色になっている。そこで、透明部分の光の透過と褐色に焼けた部分の透過分光スペクトルを測定すると図4になり、R成分より波長の短いB成分の透過が悪いことがわかる。カラー化に用いたマルチカラーシンチレータの発光特性は図2に示すように主要遷移がR成分であるため、従来の緑色蛍光体に比べて焼けによるガラス着色の影響を受けにくくなり、感度低下が少なく寿命が向上する。



5 サンプル測定結果

図1に示した被写体のスプレー缶と箱入りの電球型蛍光灯を実際に撮影した結果を図5に示す。(a)はカラー画像、(b), (c), (d)はそれぞれR成分、G成分、B成分を示している。(b)ではスプレー缶の金属部や電球の口金や回路基板の部品がよく見えているが、プラスチックのキャップや紙の箱は認められない。逆に(d)ではプラスチックのキャップや紙の箱は見えているが、金属部分が透過して見るができない。

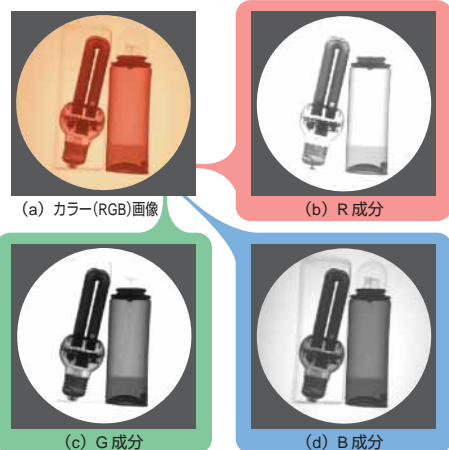


図5. 電球形蛍光灯とスプレー缶の測定結果 — (a)のカラー画像は、金属成分の内部(R成分)や紙、プラスチック(B成分)が同時に撮影されている。

Color CCD camera images of spray can and fluorescent light



外観

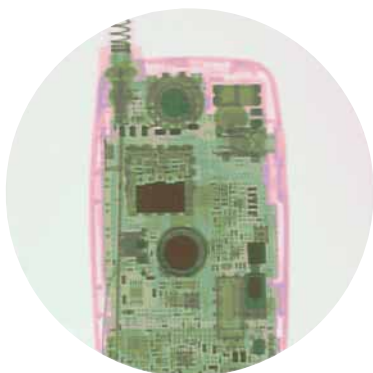


図6. 携帯電話測定結果 — 部品や回路が色別で見やすくなっている。
Image of cellular phone

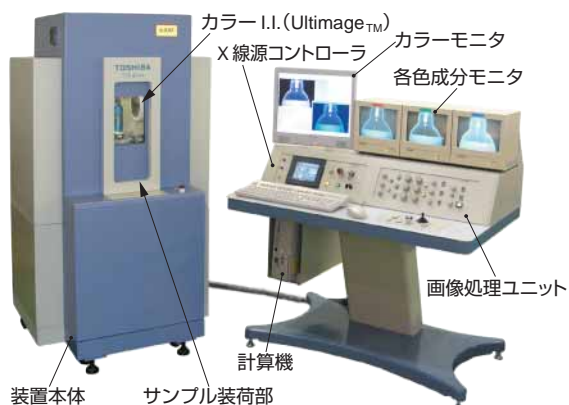


図7. X線検査装置 Finethrough™ TCX4100 — フロントローディング方式で測定物の出し入れが簡単になっている。ジョイスティックで測定位置を見ながら調整ができる。

Finethrough™ TCX4100 X-ray inspection system

(c)では(b)と(d)の中間で、スプレー缶内部の樹脂のノズルが液面と一っしょに認識できる。また、図6には携帯電話を撮影した例を示すが、RGB各色に擬似カラーを対応させて組み合わせたことによりプラスチックや基板、モータなどを異なった色で表現することに成功した。カラーI.I. Ultimage™を搭載したX線検査装置 Finethrough™ TCX4100を図7に示す。

6 あとがき

RGBの感度特性を変えることのできるマルチカラーシンチレータをI.I.の出力蛍光面に使用し、カラーカメラと組み合わせたカラーI.I.のシステム Ultimage™ (アルティマージュ)を開発した。この技術をX線ラジオグラフィ技術に適用し、1回の測定でX線の透過しにくい(厚い)部分と、透過しやすい(薄い)部分を同時に撮影でき、従来のモノクロI.I.よりも6倍感度よくしかも長寿命であることを確認した。特にシンチレータのRGB発光割合とCCDカメラの感度並びにゲインの調整でワイドレンジ化でき、測定対象物に応じて測定レンジをコントロールできる。カラー化されたことで複数の情報を一つの画像ファイルとして記録でき、画像識別度が向上しただけでなく、リアルタイムでも確認できる。現在、文化財研究、原子力部品検査、化学反応モニタ、化粧品検査、自動車部品検査で販売しているが、これらに加えて食品検査や動物用医療検査などの新しい分野への適用も可能である。

文献

- (1) Takahashi, S. Chromatoroentgenography. Tohoku J. Exp. Med., 1952, 56, p.43 - 45.
- (2) 高橋信次,ほか. X線多色撮影法. 日医放誌. 1952, 12, p.1 - 3.
- (3) 篠崎達也. X線像のカラー化およびその応用. 画像技術. 3, 1972, p.81 - 89.
- (4) G.E.Donovan. Roentgenography in Color. Prel. Report. Lancet., 260, 1951, p.832 - 833.
- (5) Nittoh, K. et al. Discriminated neutron and X-ray radiography using multi-color scintillation detector. Nucl.Instr. and Meth. A428, 1999, p.583 - 588.
- (6) Nittoh, K. et al. Extension of dynamic range in X-ray radiography using multi-color scintillation detector. Nucl.Instr. and Meth. A501, 2003, p.615 - 622.



日塔 光一 NITTOH Koichi

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター
機器・システム開発部主査。放射線、量子応用分野の研究・開発に従事。原子力学会、アイソトープ協会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



小長井 主税 KONAGAI Chikara

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター。
放射線計測・検査技術の開発業務に従事。日本原子力学会、レーザー学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



野地 隆司 NOJI Takashi

東芝電子管デバイス(株) イメージングデバイス技術部参事。
イメージ管の開発・設計に従事。日本真空協会会員。

Toshiba Electron Tubes and Devices Co., Ltd.