

レター

## デジタル一眼レフカメラを用いた簡易カラー光 CT 装置の開発

## Development of a Simple Color Optical CT Using a Digital Single-Lens Reflex Camera

村田千佳\*・寺本篤司\*・藤田広志\*\*

Chika MURATA\*, Atsushi TERAMOTO\* and Hiroshi FUJITA\*\*

**要旨** 本研究では、カラー情報を含む光 CT の基礎的検討を行うため、デジタル一眼レフカメラを用いた簡易的な実験装置を開発し、得られた断層像の色の再現性について検討した。製作した装置は、光源にシャーカステン、検出器にデジタル一眼レフカメラを用いた。ファントムを装置にて撮影し、フィルタ補正逆投影法により画像再構成を行った。得られた断層像について色相を測定し、それらの再現性を評価した。評価の結果、色の再現性に関して高い再現性が得られ、本装置によりカラー情報を含む断層像を取得できることが明らかとなった。

**Abstract** In this study, we have developed an experimental device using digital single-lens reflex camera to perform the basic study of Optical CT including color information, and examined the color and shape reproducibility of the tomogram. As a result, our system can obtain a tomogram containing color information.

キーワード：可視光, CT, 画像再構成

**Key words:** Optical, Computed tomography, Image reconstruction

## 1. 緒言

光 Computed Tomography (光 CT) とは、近赤外光や可視光を用いて物体の断層像を取得する装置である。生体透過性の良い近赤外光を用いたものでは、体厚の薄い部分での断層像の取得が試みられている<sup>1)</sup>。一方可視光では、放射線治療にて 3 次元の線量分布の測定に用いられるゲル線量計の解析装置として光 CT が実用化されている<sup>2)3)</sup>。このように光 CT 装置は様々な応用が考えられており、臨床だけでなく、工学・バイオロジーの分野での活用も期待できる。

光 CT の検出機構では、光の散乱などの影響から、レーザービームとフォトダイオードを用いて投影像を取得していた。しかし、取得時間が長い、3 次元像作成の際に多スライスの走査が必要などの問題があった。この問題に対し Doran らは、検出器にエアリアディテクタを用いることで、時間の短縮、容易な 3 次元画像の作成を実現した<sup>4)5)</sup>。ここで我々は、エアリアディテクタにより撮像する場合の特長として、「光源に可視光を用いることで、波長すなわちカラー情報を容易に取得することができる」という点に着目した。カラー情報を含む断層像の取得が可能になることで、形状だけでなくカラー情

報による詳細な画像解析の実現が期待できる。しかし、これまでカラー情報を含む光 CT に関する検討は行われていない。また、光 CT のカラー化は、屈折や散乱の少ない対象では、民生用のスチルカメラを使って簡易的に実現することもできると考えられる。そこで本研究では、カラー情報を含む新しい光 CT 撮影手法の開発を行うための基礎的検討として、可視光とデジタル一眼レフカメラを用いた簡易的な実験装置の試作と実験を行う。

## 2. カラー光 CT 撮影手法

## 2.1 実験装置

光 CT のカラー化を行うため、デジタル一眼レフカメラを用いた簡易的な実験装置を開発した。カラー光 CT 実験装置の接続図および外観を Fig. 1 に示す。本装置はスキャナ部と演算制御部からなる。

スキャナ部は、光源に医療用シャーカステン、検出器にデジタル一眼レフカメラ (キヤノン EOS 60D, EFS 18-135 mm レンズ) を用い、被写体を回転させる角度分解能 0.018° ステッピングモーター (山洋電機製) で構成されてい

平成 25 年 12 月 2 日受付 平成 26 年 2 月 4 日受理 Received 2nd, December 2013, Accepted 4th, February 2014

\* 藤田保健衛生大学大学院保健学研究科 〒470-1192 愛知県豊明市杣掛町田楽ヶ窪 1 番地 98

Graduate school of Health Sciences, Fujita Health University, 1-98, Dengakugakubo, Kutsukake-cho, Toyoake-city, Aichi 470-1192, Japan

\*\* 岐阜大学大学院医学系研究科 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1 番地 1

Graduate school of Medicine, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu-city, Gifu 501-1194, Japan

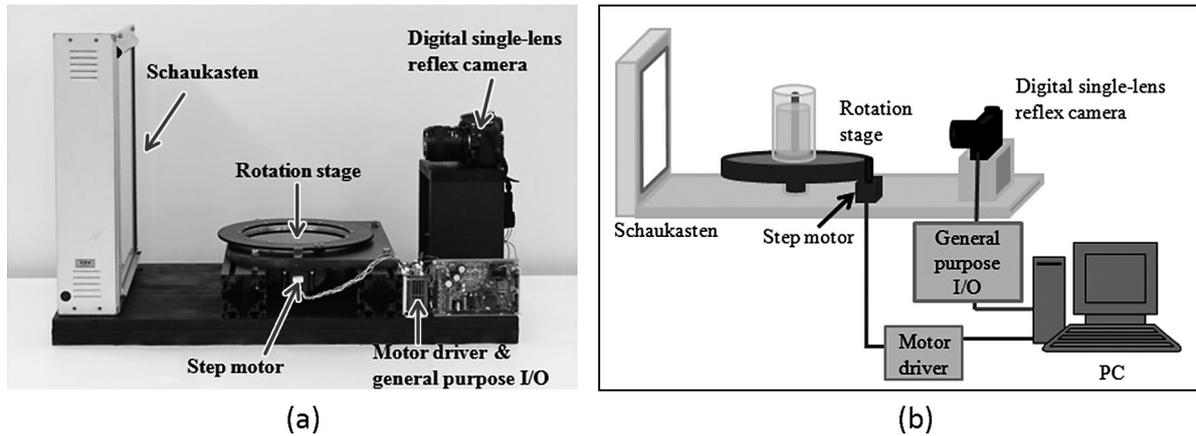


Fig. 1 experimental system of color optical CT  
(a) Schematic of experimental system (b) Photograph of experimental system

る。撮影可能な被写体の最大サイズは直径 200 mm を想定し、それを基に幾何学的配置と被写界深度<sup>6)</sup>を決定した。幾何学的配置は、光源からデジタル一眼レフカメラ内の結像面までの光の軌道中に被写体が収まっている必要がある。また被写界深度は、レンズの最小焦点距離 18 mm において被写体中心に焦点を合わせたとき、被写体全体が鮮明に撮影できるように、前側および後側被写界深度を 100 mm 以上とする必要がある。これらの幾何学的配置と被写界深度の条件を満たし、かつ装置が小型となるよう、カメラの絞り値は最大の 22 に設定した上で、光源-検出間距離 680.4 mm、光源-回転中心間距離 302.4 mm を算出し、それに基づき装置を設計した。このとき、対象物上での被写界深度は 362.34 mm となる。

演算制御部は、パーソナルコンピュータ (Personal computer, 以下 PC) にモータードライバー、デジタル一眼レフカメラのシャッター制御ユニットを接続し、以下に述べるように自動制御する。まず、PC からのパルスによりモータードライバーがステッピングモーターへ指定した角度に回転・停止するよう信号を送る。回転が停止した後、PC から電磁リレー回路を制御し、カメラに接続したリレー信号の ON/OFF を切り替えることでシャッター制御を行う。撮影されたデータはカメラ内のメモリーカードへマトリクスサイズ 5184×3456、JPEG 形式のデジタルカラー画像として保存される。この動作を繰り返し 1 回転分の投影データを取得する。

## 2.2 画像再構成

カラー情報を含む断層像を取得するための画像再構成の流れを Fig. 2 に示す。まず、作製した実験装置によって取得した投影像から中央の水平 1 ラインを取り出しカラーサイノグラムを作成する。サイノグラムは、水平軸が投影データ、縦軸が投影角度を表す。次にカラーサイノグラムを RGB 成分に分解し、得られた 3 枚のサイノグラムを用いて画像再構成を行う。ここで、画像再構成アルゴリズムにはフィルタ補正逆投影法<sup>7)</sup>を用いた。そして、得られた 3 枚の再構成画像を合成することで、カラーの断層像を取得する。なお、これ

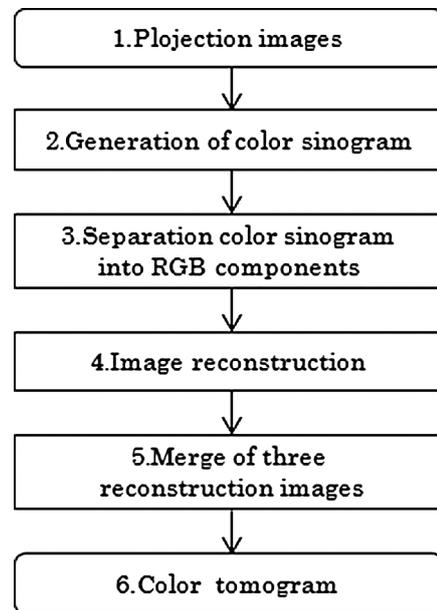


Fig. 2 Flow chart of color image reconstruction

らの処理は Microsoft 社製 Visual C++ 2010 によって開発したプログラムにより自動化した。

## 3. ファントムによる検証

### 3.1 検証方法

製作したカラー光 CT 実験装置にてカラー情報を含んだ断層像を取得できるかについて検証を行った。評価に用いるファントムとして、水 100 ml と食紅を加えた試験管を 3 色分用意し、それらが無色透明のガラス容器内に設置し、周辺を水で満たしたものを利用した (Fig. 3)。このファントムを製作した装置の回転ステージに設置し、1°ピッチでステージを回転させながら撮影を行うことで 360 枚の投影像を取得した。

得られたカラー断層像が正しく再構成されていることを形状の視覚評価により行い、混色することなく物体の色が表現できているかの評価を投影像と断層像の色相の比較をするこ



Fig. 3 Projection image of color phantom

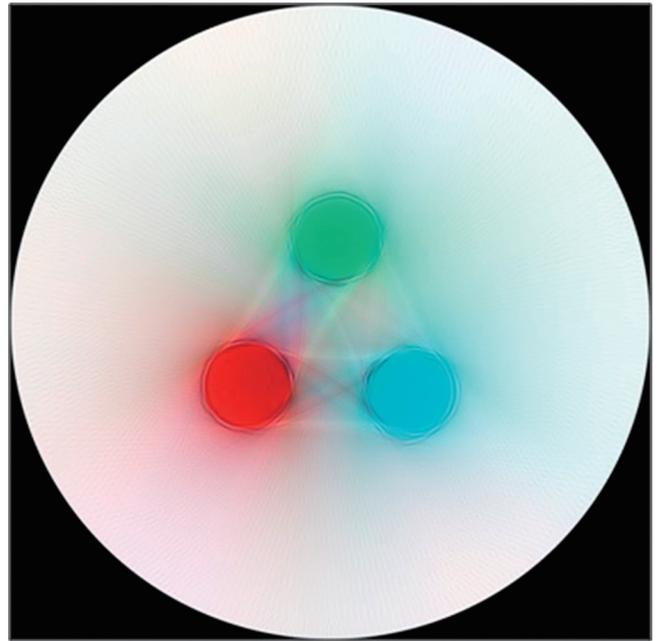
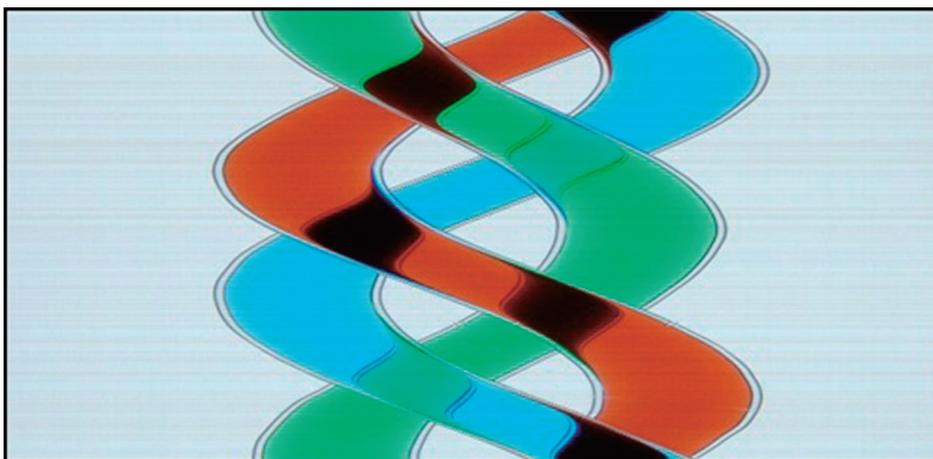


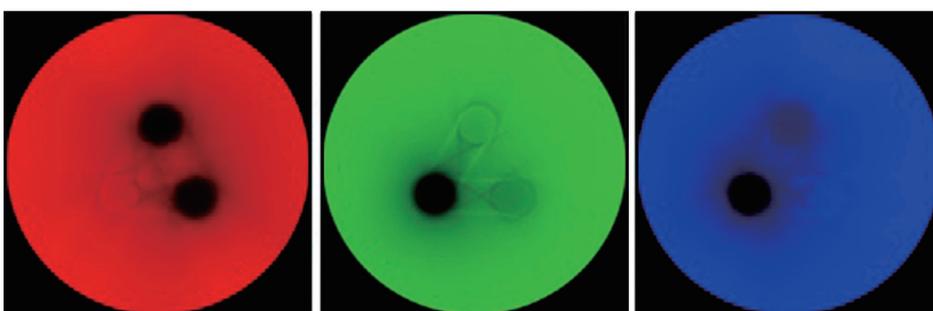
Fig. 5 Color tomogram



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Result of color image reconstruction of the phantom  
(a) Color sinogram  
(b) Sinograms of RGB components  
(c) Reconstructed images of RGB components

とで行った。色相とは、色の違いを角度で表現したもので、色の違いを定量的に表すことができる指標である<sup>8)</sup>。この色相は、モニタ上で RGB 値を測定し、色相に変換することで算出した。断層像と比較する投影像は、Fig. 3 の状態では混色が起きている可能性があり、各色が正確に測定できない。そのため、試験管を 1 色ずつガラス容器中央に設置し、同条件で撮影した投影像を用いて色相の測定を行った。

### 3.2 検証結果

Fig. 2 に示したフローチャートに沿ったファントムの画像再構成過程を Fig. 4 に示し、処理により得られたカラー断層像を Fig. 5 に示す。また、色の再現性の評価を行った結果、投影像の色相は赤、緑、青順に、 $3.0^\circ$ 、 $118.8^\circ$ 、 $212.8^\circ$ 、断層像の色相は、 $2.0^\circ$ 、 $124.5^\circ$ 、 $207.5^\circ$  となり、絶対値誤差は、 $1^\circ$ 、 $5.3^\circ$ 、 $5.7^\circ$  であった。

## 4. 考察

製作した実験装置にて取得したカラー断層像は、色素の入った試験管の接線に沿ってアーチファクトが発生しているが、試験管の位置が確認でき、色も 3 色に分離されていることがわかった。色の再現性に関してはカラー断層像の色相は投影像の色相に近い値が得られた。このことから、投影像の色を画像再構成後の断層像で再現することは可能であることが証明され、製作したカラー光 CT 実験装置にて、カラー情報を含む断層像の取得が可能であることがわかった。今後は、食紅本来の色の再現性について吸光度分布を測定するなど、より詳細な比較を行うことが課題である。また、アーチファクトの発生については、光の屈折によるものと考えられる。

アーチファクトの少ない断層像を取得するために、光の屈折の影響が少ない機構や再構成方法を検討する必要がある。

## 5. 結論

本論文では、カラー光 CT 撮影手法を開発するための基礎的検討として、可視光を用いた実験装置を製作した。検証では、カラーファントムを撮影し、色の再現性の評価を行った。色の再現性は良好であり、カラー情報を含む断層像の取得が可能であることがわかった。今後は屈折の影響が少ない撮像法を検討する予定である。

## 引用文献

- 1) 佐々木芳彰, 後藤昌樹, 高橋 亮, 湯浅哲也, 本谷秀堅, B. Devaraj, 赤塚孝雄, *Med. Imag. Tech.*, **2**, 259 (2004).
- 2) J. C. Gorge, M. Ranade, M. J. Maryanski, R. J. Schulz, *Phys. Med. Biol.*, **41**, 2695 (1996).
- 3) M. J. Maryanski, Y. Z. Zastavker, J. C. Gorge, *Phys. Med. Biol.*, **41**, 2705 (1996).
- 4) S. J. Doran, K. Koerkamp, M. A. Bero, P. Jenneson, E. J. Morton, W. B. Gilboy, *Phys. Med. Biol.*, **46**, 3191 (2001).
- 5) N. Krstajic, S. J. Doran, *Phys. Med. Biol.*, **51**, 2055 (2006).
- 6) 上野千鶴子, 佐伯格五郎, 佐藤政治, 高石泰次, 等々力国香, 藤田直道, “写真用語辞典”, 重版, 新谷雅弘, 日本カメラ社, 東京, 1994, p. 194.
- 7) 山口 功, 市川勝弘, 辻岡勝美, 宮下宗治, “CT 撮影技術学”, 2 版, 株式会社オーム社, 東京, 2009, p. 22.
- 8) 嶋野法之, “色彩工学の基礎と応用”, 初版, コロナ社, 東京, 2010, p. 25.