

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501197

研究課題名(和文)ヘリカルX線CT装置のレーザー光による教育用模擬装置と画像再構成システムの開発

研究課題名(英文)Development of image reconstruction and educational simulated system of helical scan CT equipment using LASER

研究代表者

小倉 泉(Ogura, Izumi)

首都大学東京・人間健康科学研究科・教授

研究者番号：50204160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らは第3世代ヘリカルX線CT装置を模擬する新たな教育用装置システムの開発を企図し、学生実験に導入できる模擬CT実験システムの構築を行った。本模擬CTシステムはX線ファンビームをライン型のレーザー光で、寝台移動を直動ステージで模擬し、コンベンショナルスキャン並びにヘリカルスキャンによる画像再構成を実現した。構築した本模擬CTシステムは光を用いているため、視覚的にわかりやすく、X線CT装置の動作原理の理解を深める一助として、高い教育効果が期待できる。

研究成果の概要(英文)：X-ray computed tomography (CT) equipment is currently used in everyday clinical settings to visualize internal tissues of the human body and the education and practical training in educational institutions that train medical radiological technicians normally employ actual equipment. However, it is not necessarily easy for students to understand the configuration of X-ray CT equipment or the principle behind image reconstruction, and easy-to-use experimental equipment for educational purposes that combine a CT system and image-processing system are hardly found at training sites. We planned the development of a new educational system that could simulate X-ray CT equipment and constructed a working simulation system that could be used in student experiments. This system can simulate an X-ray fan beam with line-shaped laser light, reconstruct images based on a conventional scan or helical scan, and perform experiments on the effects of helical pitch or on the generation of artifacts.

研究分野：医用電気電子工学、X線診断機器学

キーワード：教材情報システム 教育用模擬CT装置 教育機器 模擬CT装置 模擬CT画像 教育支援システム

1. 研究開始当初の背景

(1) X線CT装置は身体の断層の可視化が行えるため、医療現場においては欠かせない装置となっている。教育現場ではX線被曝の問題がなく、X線CT装置の電気的処理ならびに画像処理を理解するための支援システムがほとんど皆無の状況にあり、安全かつ簡便な教育用の実験装置が求められている。

(2) 研究代表者らはX線CT装置の原理が理解しやすい、レーザー光を用いた第1世代ペンシルビーム X線CT装置の教育用模擬装置を既に開発している。このシステムは画像再構成アルゴリズムより模擬CT画像が取得でき、測定試料の横断面及び縦断面が取得できることを示した。しかしながら、近年、X線CT装置は高速走査かつ高度な処理がなされ、扇状のビーム(ファンビーム)をらせん状に走査する第3世代ヘリカルX線CT装置が主流になっている。そこで、研究代表者らは第3世代ヘリカルX線CT装置をレーザー光により模擬する教育用実験システムの開発に至った。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的はX線被曝の危険性がない、光を用いた教育用模擬CT装置システムを開発し、教育現場の学生実験にシステムを導入することである。光を用いてX線CT装置を模擬した教育用実験装置の特徴はX線被曝の危険性がなく、実際に取得した投影データを用いて画像再構成することにより、模擬CT画像を取得できることが大きな利点である。さらに、光を用いることにより視覚的にわかりやすく、実験装置の動作を目視ができる。

(2) 第3世代のX線CT装置を模擬する新たな教育用装置システムの開発を企図し、学生実験に導入できる教育用模擬CTシステムの構築を行う。模擬CTシステムはCT装置の基本的な構成・原理の理解を助ける教育支援システムとして、高い教育効果が期待できる。さらに、光を用いているため、X線の取扱いの有資格者がいない状況でも実験が可能であり、CT装置への理解に対する学生の自主性を高める効果が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 教育用模擬CTシステムはX線ファンビームをライン型のレーザー光で、寝台移動を直動ステージで模擬する。光源と検出器を被写体に対して輪切り状にスキャンするコンベンショナルスキャンと、らせん状に走査するシングルスライスへのリカルスキャンの2つのスキャン実験を行えるシステムを構築する。

(2) 模擬CTシステムの画像再構成は取得した投影データをファンパラ変換後、フィルタ補正逆投影法 (Filtered Back Projection, FBP) を用いた。ヘリカルスキャンの画像再構成はヘリカル補間に 360° 補間を用い、任意の位置の前後各々1回転の計2回転分の取得データにおいて、任意の位置からの距離による重み付け加算したヘリカル補間を行った。

(3) 模擬CTシステムを用いた実験はコンベンショナルスキャンとヘリカルスキャンの2種類について比較を行う。また、ヘリカルスキャンのヘリカルピッチ hp を変化させ、再構成画像のアーチファクトの影響の実験を行うとともに、実験装置の設定によるアーチファクトの影響を検討する。最後に、学生実験に導入する実験項目を考慮した教育用模擬CTシステムを構築する。

4. 研究成果

(1) 開発した模擬CT実験システム

開発した模擬CT実験システムの構成を図1に示す。実験装置はレーザー、測定試料(ファントム)、フォトダイオードアレイ、回転ステージ及び直動ステージから構成されている。光源のレーザーはファンビームを模擬するため、ライン型の赤色半導体レーザーを用いた。レーザーは学生実験への導入も考慮し、可視域の赤色光とした。レーザーの出力光の分布は内蔵した非球面ガラスレンズにより、扇状に広がり、その断面がライン型になっている。光出力のパワーは内蔵した Auto Power Control (APC) 回路により、一定に制御している。光源からの光は Si 系の 16 素子フォトダイオードアレイを用いて検出する。検出器であるフォトダイオードアレイは複数配列することにより長尺化が行え、4 個配列することにより、64 素子のフォトダイオードとした。フォトダイオードアレイの検出信号は 1 個のフォトダイオードアレイ (16 素子) あたり 1 枚の回路基板に電流・電圧変換回路 (I-V 回路) を 16 個配置し、フォトダイオードアレイ数の拡張が行えるようにした。検出器の出力は 64 チャネ

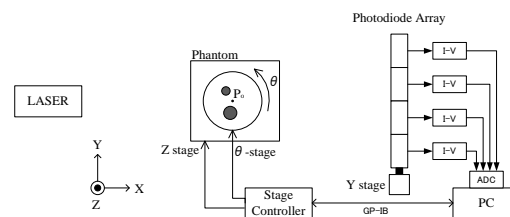


図1 開発した模擬実験システムの構成

ルの A-D 変換器を用いてコンピュータ (PC) に取り込む。レーザー光は回転ステージの回転中心 P_0 を通った光が検出器の中心位置に入射するように、Y 方向のステージを用いて検出器の位置を調整できる。

ファントムの走査は 2 軸ステージコントローラを用い、ファントムの長さ方向である Z 軸方向に走査する直動ステージと θ 方向に回転する回転ステージを用いてスキャンする。回転ステージは Z 軸方向にも走査できるように直動ステージに取り付けた。回転ステージが 1 回転したときの Z 方向の変化量 ΔZ_T とファンビームを模擬したレーザーのビーム厚 D の比がヘリカルピッチ hp となる。

本光学システムはフォトダイオードアレイの配列数を増やすことにより、検出器の幅を増加させることができる構成とし、128 チャンルのシステムも構築した。

(2) 実験操作・画像再構成システム

開発した実験操作・画像再構成システムは診療放射線技師を養成する教育施設での学生が実習することを考慮し、グラフィカルなインターフェースである **Lab VIEW** を用いて構築した。コンピュータに精通していない学生でも容易に実験に取り組める環境とした。実験操作・画像再構成システムの画面は図 2 に示す。図中の左側はコントロールパネルになっており、コンベンショナルスキャンとヘリカルスキャンの選択が行える。ヘリカルスキャンでは hp を任意に設定することができる。図中の右上は実験中のファントムのサイノグラムの取得状況をモニタリングしており、右下はデータの取得終了後にコントロールパネルで選択していた再構成フィルタによる再構成画像を表示する。なお、再構成フィルタは **Shepp-Logan**、**Ram-Lak**、**Hamming** フィルタなどを選択することができる。以降の実験では **Shepp-Logan** フィルタを用いて画像再構成を行った。

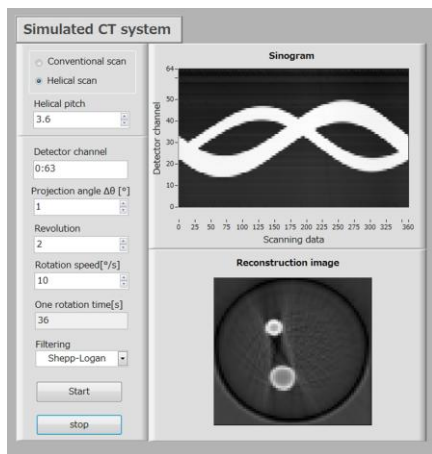


図 2 実験操作・画像再構成システム

(3) コンベンショナルスキャンの結果

コンベンショナルスキャンの再構成画像を図 3 に示す。再構成画像は 2 本の円筒棒で構成したファントムを回転ステージに取り付けたときの結果である。図 3(a) は回転ステージを 1° 毎走査して静止させたときのステップスキャンの結果であり、2 本の円筒棒の断層像が得られている。図 3(b) はデータ取得の高速化をはかるため、回転ステージの回転速度 V_θ を $10^\circ/\text{s}$ で連続走査したときの再構成画像の結果である。データ取得の高速化をはかった実験で得られた図 3(b) は図 3(a) と同様の再構成画像が得られており、回転ステージを回転させながらデータ取得を行っても影響がないことが確認できた。そこで、以降の実験では回転速度 V_θ を $10^\circ/\text{s}$ で行った。

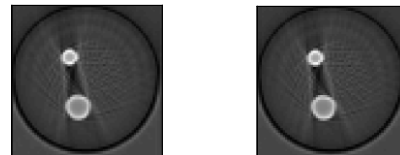
(4) ヘリカルスキャンの結果

2 本の円筒棒で構成したファントムのヘリカルスキャンにより得られた断層像が図 4 であり、ヘリカルピッチ hp は 0.72 とした。図 4 は図 3 の再構成画像とほぼ同等となっていることがわかり、本模擬 CT システムがヘリカルスキャンによる断層像を取得できることを示している。

図 5 はヘリカルスキャンの特徴である高速スキャンを目的に hp を 3.6 とし、回転の走査間隔 1° 、Z 軸の走査幅 3.6 [mm] (走査速度 0.1 [mm/s])、走査間隔 0.01 [mm] で行ったときの結果である。図 5 はファントムの断層像の 3 次元表示であり、本模擬 CT システムにより、任意の面での再構成が行え、Z 軸方向の矢状面の断層像も取得できることがわかる。

(5) ヘリカルピッチによる結果

図 6 は球状試料のファントムの中心部の測定を行った再構成画像の結果である。図 6(a) はコンベンショナルスキャンであり、図 6(b)、(c)、(d) はヘリカルスキャンの hp



(a) ステップスキャン (b) $V_\theta = 10^\circ/\text{s}$

図 3 コンベンショナルスキャンの結果

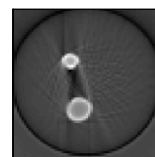


図 4 ヘリカルスキャンの結果

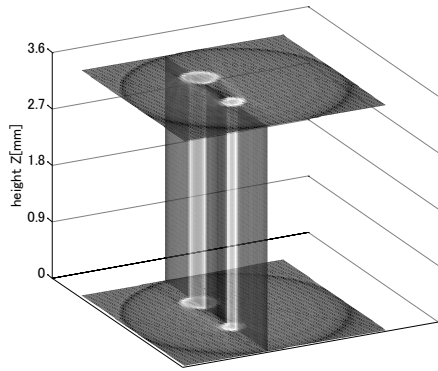


図5 高さ方向に連続走査した再構成画像

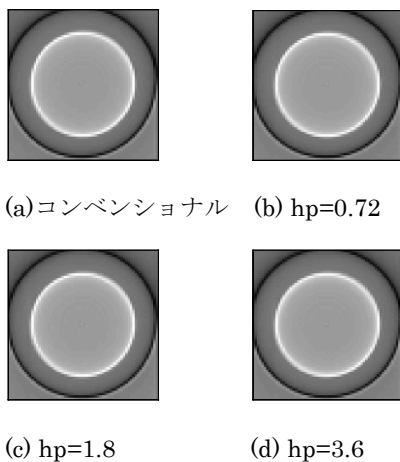


図6 球状試料の中心部の再構成画像

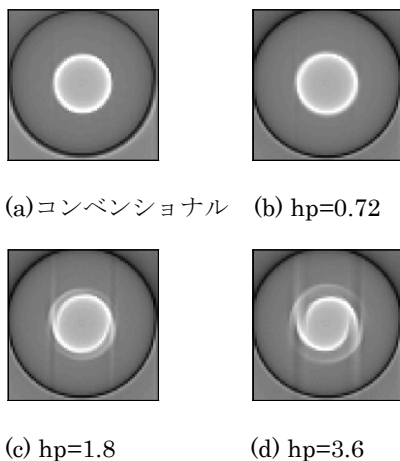


図7 球状試料の下部の再構成画像

が各々0.72、1.8、3.6である。球状試料の中心部はZ軸方向の走査において、球状試料の断面の変化が小さいため、コンベンショナルスキャンの再構成画像に比べ、ヘリカルスキャンのhpによる影響が小さいことがわかる。

図7は球状試料のファントムの下部の測

定を行った再構成画像の結果である。球状試料の下部はZ軸方向の走査において、球状試料の断面の変化が大きくなる。図7(a)はコンベンショナルスキャンであり、図7(b)、(c)、(d)はhpが各々0.72、1.8、3.6である。ヘリカルピッチhpが0.72のとき、コンベンショナルスキャンとほぼ同様の再構成画像が得られている。しかし、ヘリカルピッチhpが1.8、3.6では球状試料の断面の変化が大きくなるため、再構成画像に風車状アーチファクトが生じ、hpの値が大きくなるほど、風車状アーチファクトの影響が大きくなり現れていることがわかる。一般に、シングルスライスヘリカルCT装置ではhpを2以上で用いるべきではないと言われている。このように、本模擬CTシステムを用いることで、コンベンショナルスキャン並びにヘリカルスキャンによる再構成画像の比較が行え、ヘリカルピッチと再構成画像の風車状アーチファクトとの関係を検討することができる。

(6) 再構成画像の検討

本模擬CTシステムは光を用いているため、ファントムで光を遮光することになる。そこで、ファントムでの遮光による再構成画像への影響について、シミュレーションを行った。シミュレーションにおけるファントムは実験に用いた2本の円筒棒のファントムを想定し、コンピュータ上で数値ファントムを作成した。図8(a)は数値ファントムの再構成画像の結果である。図8(b)は数値ファントムの投影データであるサイノグラムにおいて、遮光を模擬するため、2値化を行った後に、画像再構成を行った結果である。図8(b)は2値化処理をしているため、図8(a)の再構成画像に対し、ファントムの周辺部の濃度が高くなっていることがわかる。これは本模擬CTシステムで得られた再構成画像の実験結果と同様の影響を示している。このことから、本模擬CTシステムでは投影データが検出器に光が入射するか遮光されるかのデータになっていることがわかり、画像再構成したファントムの周辺部の濃度が高くなることわかる。この点が実際のX線CT装置で得られる再構成画像との大きな違いである。

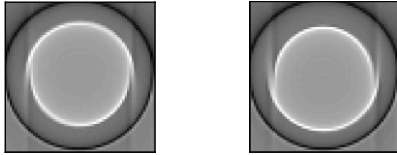
(7) 本模擬CTシステムの実験装置の検討

本模擬CTシステムの実験装置の設置において、回転ステージの回転中心Poを通った光が検出器の中心位置からずれた場合について検討を行った。図6のコンベンショナルスキャンの実験において、検出器の設置位置をY方向にステージを用いて、±2mm移動させて実験を行った。図9(a)、(b)は検出器の設置位置を各々ΔY=2mm、ΔY=-2mm移動させたときの再構成画像である。位置ずれのないコンベ



(a) 再構成画像 (b) 2値化後の再構成画像

図8 数値ファントムの結果



(a) $\Delta Y=2[\text{mm}]$ (b) $\Delta Y=-2[\text{mm}]$

図9 検出器の位置ずれの影響の結果

ンショナルスキャンで取得した再構成画像である図6(a)に比較し、球状試料の再構成画像が円形にならず、アーチファクトが生じていることがわかる。このことから、本模擬CTシステムの実験装置の設置において、検出器のY方向の調整が重要であるとともに、検出器がずれた場合の実験が行えることを示している。

(8) 学生実験への導入

実際に学生実験に導入するため、教育用模擬CTシステムを構築し、実験項目および実験方法、測定試料(ファントム)の検討を行い、テキスト等の教育用資料を作成した。さらに、本教育用模擬CTシステムを用いた学生実験の予備実験を学生、教員、実際の医療現場の診療放射線技師により、各々実施した。この予備実験で得られた改善点等を本教育用模擬CTシステムにフィードバックした。図10は学生による学生実験の内容を予備実験している様子である。本教育用模擬CTシステムは改善点等をフィードバックすることにより、一層充実したシステムとして完成させることができた。

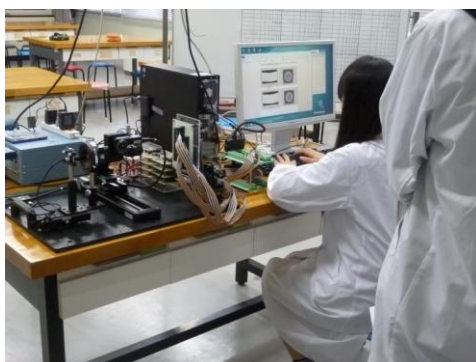


図10 教育用模擬CTシステムを用いた学生実験の様子

(9) 結言と展望

診療放射線技師を養成する教育現場において、ヘリカルCT装置の模擬実験システムを開発し、さらに学生実験へ導入できるレーザー光を用いた教育用模擬CT装置システムを構築した。

① 本模擬CTシステムはX線ファンビームを模擬したライン型のレーザー光と1次元フォトダイオードアレイを用いて構築しており、さらに、寝台移動を模擬した直動ステージを組み合わせることによりヘリカルスキャンを行うことができる。本模擬CTシステムは光を用いているため、X線被曝の問題がなく、学生実験等において、X線の取扱いの有資格者がいない状況でも実験が可能であり、学生の自主性を高めることが期待できる。

② 本模擬CTシステムを用いることでコンベンショナルスキャンとヘリカルスキャンを模擬した再構成画像が得られることを示した。ヘリカルスキャンにおいて、 360° 補間を用いた再構成画像が取得でき、ファントムの矢状面の断層像が得られることを示した。また、本模擬CTシステムを用いることでヘリカルピッチが再構成画像に与えるアーチファクトの影響等の実験を行えることを示した。

③ 本模擬CTシステムを学生実験に導入することを考慮し、投影データの再構成画像並びに実験装置の設置における検討を行った。本模擬CTシステムでは投影データが検出器に光が入射するか遮光されるかのデータになっており、画像再構成したファントムの周辺部に影響が現れることを示した。また、実験装置の回転台の回転中心と検出器の中心が位置ずれを生じている場合、球状試料の再構成画像が円形にならず、アーチファクトが生じることを示した。

④ 診療放射線技師を養成する教育現場の学生実験に導入できる教育用模擬CTシステムを構築し、テキスト等の教育用資料を作成した。さらに、本教育用模擬CTシステムを用いた学生実験に向けた予備実験を実施し、改善点等をフィードバックさせ、システムを完成させた。完成させた教育用模擬CTシステムは平成27年度から、研究代表者の所属する大学の正規授業に導入する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

- ① 小倉泉、山口達也、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、篠田之孝、ライン型レーザー光を用いたヘリカルCT装置の教育用模擬システムの構築、日本保健科学学会誌、査読有、Vol.17、 No.4、

〔学会発表〕（計 5件）

- ① 山口達也、小倉泉、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、篠田之孝、レーザー光を用いた教育用模擬ヘリカル CT システムの検討、平成 27 年電気学会全国大会、No.1-006、2015 年 3 月 24 日、東京都市大学（東京都・世田谷区）
- ② 山口達也、小倉泉、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、篠田之孝、レーザー光を用いたヘリカル CT 装置の教育用模擬実験システムの検討、平成 26 年電気学会 A 部門大会、No.21-C-a1-4、2014 年 8 月 21 日、信州大学（長野県・長野市）
- ③ 山口達也、小倉泉、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、篠田之孝、レーザー光によるヘリカル CT 装置の教育用模擬実験システムの構築」、平成 26 年電気学会全国大会、No.1-010、2014 年 3 月 18 日、愛媛大学（愛媛県・松山市）
- ④ 山口達也、小倉泉、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、篠田之孝、ヘリカル CT 装置のレーザー光による教育用模擬システムの構築、平成 25 年電気学会 A 部門大会、No.12-P-1、2013 年 9 月 12 日、横浜国立大学（神奈川県・横浜市）
- ⑤ 小倉泉、乳井嘉之、安部真治、根岸徹、山口達也、篠田之孝、ヘリカル CT 装置のレーザー光による教育用模擬装置の構築の検討、平成 25 年電気学会全国大会、No. 1-016、2013 年 3 月 22 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

6. 研究組織

(1)研究代表者

小倉 泉 (OGURA Izumi)
首都大学東京・人間健康科学研究科・
教授
研究者番号：50204160

(2)研究分担者

安部 真治 (ABE Shinji)
首都大学東京・人間健康科学研究科・
教授
研究者番号：80192996

乳井 嘉之 (NYUI Yoshiyuki)
首都大学東京・人間健康科学研究科・
准教授
研究者番号：20279780

篠田 之孝 (SHINODA Yukitaka)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：80215988

(3)研究協力者

山口 達也 (YAMAGUCHI Tatsuya)