

(様式第5号)

生体サンプルを用いた位相コントラスト X 線 CT 撮影の基礎的な検討

Feasibility study of phase-contrast X-ray CT imaging using biomedical samples

馬場理香、米山明男

Rika Baba, Akio Yoneyama

(株)日立製作所 研究開発グループ、九州シンクロトロン光研究センター
Research and Development Group, Hitachi Ltd.,
Kyushu Synchrotron Light Research Center

1. 概要 (注：結論を含めて下さい)

従来の放射光を線源とする単色 X 線 CT 計測では、X 線吸収による強度変化を画像化する吸収コントラスト法が用いられている。この方法は生体の中で特に骨や肺の描出に優れているが、吸収量の差の小さい軟部組織の検出は難しいという課題がある。これに対し本研究では、X 線が被写体を通過する際に生じる位相の変化を画像化する位相コントラスト法を検討する。位相コントラスト法は、吸収コントラスト法に比較して高感度であるという特徴を持つ。今回、位相コントラスト法の中でも多色 X 線にも拡張して利用可能なタルボ干渉法を用いて高感度の X 線 CT 撮影系を構築した。生体模擬サンプルとしてホルマリン固定したマウスの肺を位相 CT で撮影したところ、3 次元的な内部構造が観察可能であった。タルボ干渉法により軟部組織を可視化する可能性が示された。

An absorption-contrast X-ray imaging method is generally used for conventional monochromatic X-ray computed tomography (CT) imaging system with synchrotron radiation (SR). The method has a problem that it is difficult to detect soft tissues of small X-ray absorption difference. A purpose of this study is to develop a phase-contrast X-ray imaging method having higher sensitivity than the absorption-contrast method. Our novel CT imaging system uses Talbot interferometric phase-contrast method as available for both monochromatic X-rays and polychromatic X-rays. A lung removed from a germfree mouse and fixed with formalin was measured as a biomedical sample. Internal three-dimensional structures of the lung are detected in the images with the phase-contrast method. The result shows that the novel phase-contrast imaging system using the Talbot interferometric method would be used for detecting the soft tissues.

2. 背景と目的

被写体の 3 次元的な内部構造を非破壊で計測するニーズは大きく、医療および工業分野で超音波、磁気、レーザ、赤外線など様々な技術が開発されている。その中で、X 線計測はリアルタイムで高精細な画像を得ることができることから医療分野で救急対応や治療支援に用いられており、近年のカテーテル術や内視鏡術の普及に伴い利用の場が拡大している。また、工業分野においては、対象の状態を保ったまま内部の異常や劣化を動画や断面像として観察できることから、X 線計測は製品の品質管理において重要な役割を担っている。

被写体内部の構造を非破壊で 3 次元的に観察する手法として、X 線 Computed Tomography (CT) がある。本法は X 線が被写体を透過する際に生じた強度の変化を画像化しており、密度に関する情報を得ることができるため、密度変化を伴う形状や構造など形態の観察に優れている。現在、一般に

X線 CT 撮影で用いられているのは、X線吸収による強度変化を画像化する吸収コントラスト法である。しかし、この方法は生体の中では吸収量の差が大きい骨や肺の描出に優れており、吸収量の差の小さい軟部組織の検出は難しいと言う課題がある。

そこで、本研究では、生体模擬サンプルを用いて、軟部組織の検出に適する X 線 CT 撮影法の検討を行う。位相コントラスト X 線イメージング法は、X 線が被写体を通過する際に生じる位相の変化を画像化する手法である[1]。X 線吸収による強度変化を画像化する吸収コントラスト法に比較して高感度であるという特徴を持つ。位相シフト検出法には X 線干渉法、屈折コントラスト法、タルボ干渉法、伝搬法、等がある。このうち、タルボ干渉法は回折格子を用いる撮像系によって実現可能であり、多色 X 線や発散光にも利用できる手法である。そこで、本研究では、タルボ干渉法を用いて高感度の X 線 CT 計測法の検討を行う。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

実験のために、単色放射光を利用したタルボ干渉撮影系を構築した。撮影系の概要を図 1 に示す。また、装置の仕様を表 1 に示す。エネルギー17.8keV の単色 X 線を非対称結晶を用いて縦方向の幅を広げた後に、被写体に照射する。被写体を透過した X 線は 2 枚の回折格子（位相格子 G1、吸収格子 G2）を通過後に、検出器に入射する。被写体によって生じた位相シフトを 2 枚の回折格子によって画像化する。

本研究では、試料として生体模擬サンプルを用いる。サンプルには、無菌の正常マウスから抽出した臓器の切片をホルマリン固定したものを用いた。実験では、サンプルをホルマリン溶液の中で回転させ、多方向から撮影像を取得する。得られた撮影像を再構成処理し、断面像を取得する。

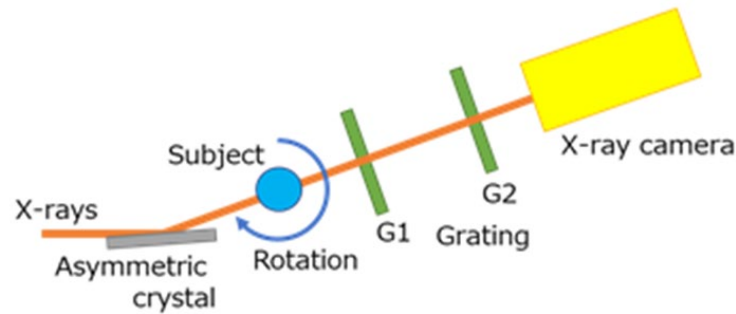


図 1 タルボ干渉撮影系

表 1 装置の仕様

X-ray source	Monochromatic X-ray Energy: 17.8keV
Detector (X-ray camera)	Zyla HF Pitch: 6.5 um Number of pixels: 2560 x 2160 pixels
G1, G2 Grating	Pitch: 5.4 um

4. 実験結果と考察

マウス肺の横方向の断面画像を図 2 に示す。肺組織内の詳細な構造が観察可能であった。本サンプルは吸収量の差の小さい軟部組織から成るため、吸収 X 線撮影ではコントラストが立たず輪郭しか得られないが、位相 X 線撮影では内部構造も得ることが可能であった。実験の結果、タルボ干渉法により軟部組織を可視化する可能性が示された。

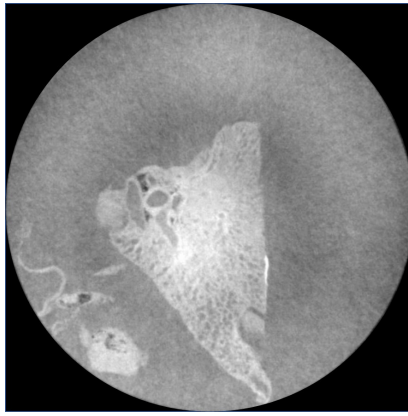


図2 マウス肺のタルボ画像

5. 今後の課題

上記の実験において、時間経過に伴って画像のオフセットの値がシフトするドリフトが発生した。原因は格子の温度変化によるものと推測され、現行のシステムでは制御することが困難であった。今後、ソフトウェアによる改善を試みる予定である。

6. 参考文献

[1] Development of fast phase-contrast X-ray imaging system using Talbot interferometry and pink synchrotron radiation at SAGA Light Source, P27, XNPING2019 (2019)

7. 論文発表・特許

ECR2023 予定

8. キーワード

単色 X 線、位相コントラスト、タルボ干渉法、CT、断面像

9. 研究成果公開について

① 論文（査読付）発表の報告 （報告時期：2024年3月）