

(様式第5号)

生体模擬サンプルを用いた高速X線CT撮影の基礎的な検討(7)

Feasibility study of fast X-ray CT imaging
using simulation living-body samples (7)

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計測系では1回転の撮影に数時間を要しており、撮影中に被写体が乾燥や熱で変形するという課題があった。これに対し本研究では、被写体の3次元的な内部構造を高速かつ非破壊で撮影する系を構築する。まず、高強度の準単色X線光源と高速・高感度なX線カメラを組み合わせることで、高速なX線CT計測系を構築した。次に、被写体を回転することなく内部の断面像を取得可能な手法として、後方散乱X線撮影法を検討する。今回の実験では、生体模擬被写体として金属製インプラントを加えた下顎ファントムをハムで覆ったサンプルを準備し、放射光による単色X線を用いた撮影系において後方散乱X線の撮影を試みた。非弾性散乱に対する弾性散乱の比(RC比)を実験的に求め、理論値と比較した結果、ハムの外側から内部の模擬骨とインプラントの元素を推定することが可能であった。

Conventional monochromatic X-ray computed tomography (CT) imaging system using synchrotron radiation (SR) has a problem that measurement time is long and living-body samples are transformed by drying and heat. A purpose of this study is to develop a fast nondestructive X-ray imaging system for detecting the internal three-dimensional structural and elemental information of a subject. Our novel CT imaging system uses powerful polychromatic SR X-rays and high-speed and high-sensitive X-ray imager. We also develop an imaging method using back-scattering X-rays without rotation of a subject. An experimental system with monochromatic X-rays of SR was developed, and a ceramic mandibular bone and a metallic implant screw covered with 2-mm-thick ham were measured. The ratio of elastic and inelastic scattering X-rays (RC ratio) was obtained experimentally. As a result of the comparison with the ratio calculated theoretically, the element of the bone and the implant was estimated from the outside of the ham.

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。CTで3次元画像を得るためには、被写体を1回転させて様々な方向からの撮影像を取得する必要がある。これに対し、これまでの放射光を線源とする単色X線計測系では1回転の撮影に数時間を要しており、撮影中に被写体が乾燥で変形したり、熱で変質するという課題があった。

本研究では、この課題を解決するために、被写体内部の3次元断面像を非破壊で取得する高速撮影手法を検討する。これまでに、高速な読み出しが可能で検出感度の高い面検出器と、短い露光時間で十分なX線量を照射する準単色X線光源を用いた高速撮影系を構築し、生体模擬サンプルの3次元観察を可能とした[1]。次に、被写体を回転することなく内部の断面像を取得可能な手法として、後方散乱X線撮影法を検討する。今回の実験では、放射光を用いた単色X線による後方散乱撮影系において、模擬インプラントを加えた下顎ファントムの観察を試みる。また、非弾性散乱に対する弾性散乱の比(RC比)を算出し、RC比から実効原子番号を推定し、物質を構成する元素を画像化する実験を行う。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

放射光を用いた単色X線による後方散乱X線撮影系を構築した。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。全波長の放射光を二結晶分光器で単色化し、X線源として用いる。従来のX線CT撮影系では被写体を回転しながら、被写体を透過したX線を検出する。一方、後方散乱X線撮影系では被写体は固定し、被写体からX線源側に散乱したX線を検出する。

今回構築した後方散乱X線撮影系では、単色X線を用いることで、X線のエネルギーに対する特性および被写体の原子番号に対する特性を明確にする。X線の領域を限定するために、X線源の出力をコリメータで絞り、被写体の正面からX線を照射する。被写体から生じる散乱X線を高精度で検出するために、エネルギー分解能の高いシリコンドリフト検出器 (Silicon Drift Detector: SDD) を用いる。X線の入射方向の正面に検出器がある角度を0°とし、検出器をX線側に150°まで回転させることで、被写体から生じる後方散乱X線を計測する。

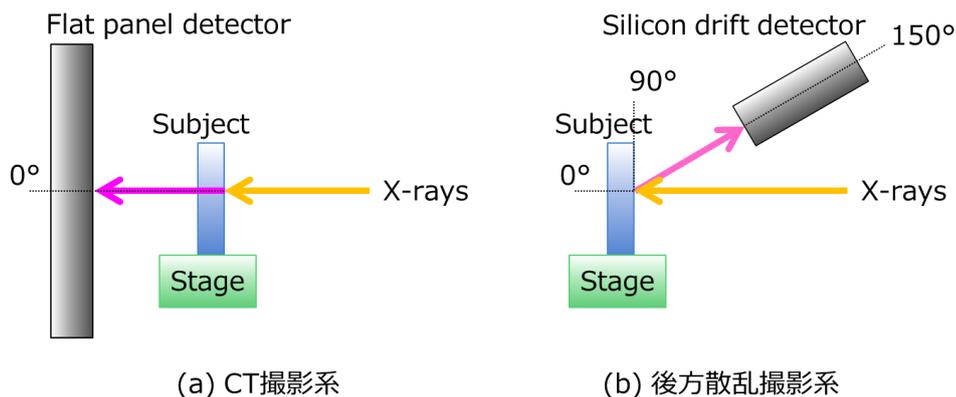


図1 撮影系

表1 装置の仕様

X-ray source	Monochromatic X-ray Energy: 30keV
Collimator	Material: Pb, Size: 0.5 x 6.0 mm
Detector	Amptek Fast SDD (CdTe) Gain: 30, Shaping time: 4.8μs
Stage	Distance: 60mm, Step: 0.2mm

4. 実験結果と考察

セラミック製の模擬下顎骨に、同じセラミック製の模擬歯と金属製の模擬インプラントの土台(スクリュー)をはめ込み、表面に皮膚を模擬したハム(厚さ約2mm)を被せ、下顎ファントムを作成した。正面から撮影したファントムの吸収X線画像を図2に示す。模擬歯と模擬インプラントは正面から見て、ほぼ同じ断面に位置している。

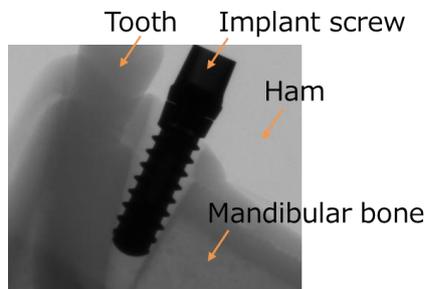


図2 下顎ファントムの吸収 X 線画像

図 1(b)の後方散乱撮影系を用い、図 2 の下顎ファントムを撮影した。被写体を水平および垂直方向に平行移動させ、各位置で計測を行いながら被写体全体をスキャンした。エネルギー30keV で後方散乱撮影を行い、非弾性散乱と弾性散乱の画像を求め、非弾性散乱に対する弾性散乱の比 (RC 比) を算出した。RC 比の画像を図 3 に示す。

図 3 の画像は、同一の素材から成る歯と骨の領域では同等の値となっており、同じ元素において RC 比は同等の値を示した。金属製インプラント領域の RC 比はセラミック製の骨よりも高い値を示しており、これは実効原子番号が大きいほど RC 比が増加するという文献[2]の結果と一致した。

エネルギー30keV における RC 比の理論値を図 4 に示す。図 3 において算出された RC 比の平均値は骨の領域で 0.146、インプラント領域で 0.181 であった。これらの値は、図 4 において原子番号 19 と 21 に相当する。下顎ファントムに用いた模擬骨の主成分は原子番号 20 のカルシウム、模擬インプラントの主成分は原子番号 22 のチタンと推定され、他の元素との混合により実効原子番号は小さくなることから妥当な値と考えられる。

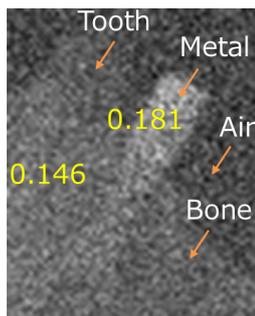


図 3 30keV における RC 比の画像

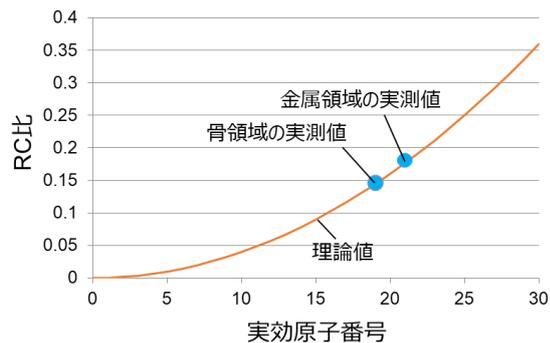


図 4 30keV における RC 比の理論値と実測値

5. 今後の課題

上記の実験の結果、後方散乱 X 線画像から算出された RC 比を用いて、物質の内部構造の元素を可視化する可能性が示された。次回の実験では、図 1(a)の CT 撮影系を用いて吸収 X 線による断面画像を撮影し、散乱 X 線画像との比較を行う予定である。

6. 参考文献

- [1] ECR2019 proceedings DOI:10.26044/ecr2019/C-2040,10.26044/ecr2019/C-1218(2018)
- [2] 米山明男,他,実効原子番号 Zeff を可視化する新しいイメージング法,Isotope News,724(2014)

7. 論文発表・特許

ECR2020 proceedings

8. キーワード

単色 X 線、後方散乱 X 線、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: 2020 年 7 月)