

# 東邦大学学術リポジトリ

Toho University Academic Repository

タイトル	Low dose low scattering X ray computed tomography with high spatial energy resolutions using a cooled cadmium telluride detector
別タイトル	冷却CdTe 検出器を使った高い空間・エネルギー分解能の低線量・低散乱X線CT
作成者（著者）	森山, 穂高
公開者	東邦大学
発行日	2020.01.30
掲載情報	東邦大学大学院医学研究科 博士論文 内容の要旨及び審査結果の要旨.
資料種別	学位論文
内容記述	主査：寺田一志 / タイトル：Low dose low scattering X ray computed tomography with high spatial energy resolutions using a cooled cadmium telluride detector / 著者：Hodaka Moriyama, Manabu Watanabe, Shinya Kusachi, Yasuyuki Oda, Eiichi Sato / 掲載誌：Ultramicroscopy / 巻号・発行年等：199：62-69, 2019
著者版フラグ	none
報告番号	32661乙第2917号
学位記番号	乙第2762号
学位授与年月日	2020.01.30
学位授与機関	東邦大学
DOI	info:doi/10.1016/j.ultramic.2019.01.014
メタデータのURL	<a href="https://mylibrary.toho-u.ac.jp/webopac/TD84260475">https://mylibrary.toho-u.ac.jp/webopac/TD84260475</a>

# 博士學位論文

論文内容の要旨

および

論文審査の結果の要旨

東邦大学

森山穂高より学位申請のため提出した論文の要旨

学位番号乙第 2762 号

学位申請者 : 森 山 穂 高

学位論文 : Low-dose low-scattering X-ray computed tomography with high-spatial-energy resolutions using a cooled cadmium telluride detector

(冷却 CdTe 検出器を使った高い空間・エネルギー分解能の低線量・低散乱 X 線 CT)

著 者 : Hodaka Moriyama, Manabu Watanabe, Shinya Kusachi, Yasuyuki Oda, Eiichi Sato

公表誌 : Ultramicroscopy 199 : 62-69, 2019

論文内容の要旨 :

【はじめに】冷却されたテルル化カドミウム (CdTe) 検出器のエネルギー分解能は高く、これまで CdTe 検出器を用いたフォトンカウンティング式のデュアル、トリプル、そしてクアッドエネルギーの X 線 CT スキャナーを製作した。しかし、これら 3 種の CT スキャナーは、散乱フォトンや低い空間分解能のため、血管を鮮明に描出することは難しかった。これらの事由により、本研究では被写体への入射線量の低減、X 線ビーム径と被写体からの散乱線の減少、空間分解能の改善を目的としたトリプルエネルギー CT (TE-CT) を構築した。また、この低線量・低散乱の TE-CT スキャナーを用いて、ヨウ素 (I) とガドリニウム (Gd) の造影剤による K エッジ撮影を行った。

【方法】構築した TE-CT スキャナーは、X 線源と検出器の距離は 1.02m で、被写体に乗るターンテーブルの中心から検出器までの距離は 0.22m であった。検出器は高いエネルギー分解能の冷却 CdTe で、入射線量や散乱フォトンを減らすために 4 つの鉛製ピンホールを使用した。まず、X 線源に直径 2mm の第 1 ピンホールを取り付け、X 線ビーム径を縮小させた。次に、0.5mm の第 2 ピンホールを被写体前方に配置することによりビーム径を絞り、被写体への入射線量も減少させた。さらに、被写体後方にも 0.5mm の第 3 ピンホールを配置し、散乱フォトン数を最小限に減少させた。また、空間分解能を改善するため、CdTe 検出器にも 0.3mm のピンホールを取り付けた。TE-CT では X 線源と CdTe 検出器を固定し、ターンテーブル上の被写体が速度 25mm/s、ストローク 60mm で往復運動することによる並進スキャンを行い、プロジェクションデータを得た。被写体の並進スキャンと回転を

繰り返すことによってCT撮影を行い、断層像を再構成した。

**【結果】** X線量率は被写体への入射線量を計算するために電離箱を用いて測定した。管電流 0.33mA の一定条件下で、線量率は管電圧を増すことにより増加した。管電圧 100kV において線量率は 26.8Gy/s であった。

X線スペクトルはスキャナー内のCdTe検出器を用いて測定した。スペクトルの最大フォトンエネルギーは100keVで管電圧に相当し、タングステンのK系列特性X線が観測された。また、アメリカシウム241の $\gamma$ 線を用いて測定した59.5keVでのエネルギー分解能は1.1%であった。

TE-CT撮影における管電圧は100kVとし、被写体を透過するフォトンの最小フォトンカウントレートが2kcpsとなるように調整した。同じ濃度30mg/mlのI(イオパミドール)とGd(ガドペン ト酸メグルミン)の造影剤で満たされた2本のガラスバイアルのTE-CT撮影における管電流は0.17mAで、15-33keVのエネルギー範囲を用いたときにはIおよびGd造影剤の画像濃度はほぼ等しかった。次いで、エネルギー範囲33-50keVでのI-KエッジCTではI造影剤の濃度が高く、50-100keVでのGd-KエッジCTではGd造影剤の濃度が高くなった。

犬の心臓ファントムの冠状動脈を直径15 $\mu$ mのヨウ素マイクロ微粒子で満たし、管電流を0.18mAに調整してTE-CTを行った。15-33keVのエネルギー範囲では心筋の濃度が高く、冠状動脈を画像化することは難しかった。一方、33-50keVのI-KエッジCTでは心筋濃度は減少し、動脈が高コントラストで抽出された。50-100keVの範囲を使用すると心筋濃度はわずかに増加し、動脈のコントラストはわずかに低下した。

続いて、ウサギの頭部ファントムの血管を酸化ガドリニウム( $Gd_2O_3$ )のマイクロ粒子で満たし、管電流を0.33mAまで増加させてTE-CTを行った。15-33keVのエネルギー範囲では骨や筋肉の画像濃度が増加し、血管は抽出されなかった。しかし、エネルギー範囲を33-50keVに増加させると、骨および筋肉の濃度が減少した。さらに、50-100keVのGd-KエッジCTでは、骨・筋肉の濃度は減少し、太い血管が高コントラストで観察された。

**【結語】** 100kVの管電圧で、IおよびGd-KエッジCTにおけるエネルギー範囲はそれぞれ33-50keVと50-100keVで、IとGd造影剤を使用した鮮明なKエッジCT画像を同時に撮影することが出来た。フォトンカウンティングCTに関するこれまでの研究データと比較して、入射線量は0.3mGyまで減少し、空間分解能は0.3mmまで改善された。さらに、ピンホールを用いることで散乱フォトン数が減少し、画質の向上にも成功した。

# 1. 学位審査の要旨および担当者

学位番号乙第 2762 号	氏 名	森 山 穂 高
学位審査担当者	主 査	寺 田 一 志
	副 査	島 田 英 昭
	副 査	前 谷 容
	副 査	堀 正 明
	副 査	寺 原 敦 朗

## 学位論文の審査結果の要旨 :

本学位論文は将来の臨床応用を目指すフォトンカウンティング式CTの開発に於ける基礎研究の重要な一部をなす研究である。フォトンカウンティング式CTの開発に於ける様々な問題点のうち特に散乱線の減少と空間分解能の改善を図るものである。

申請者の所属する研究グループは低侵襲に悪性腫瘍の診断を行うことを目指し画像診断機器の開発・研究を継続的に行ってきた。これまでに造影Kエッジ血管造影、蛍光X線カメラ、様々なフォトンカウンティング式CTの開発を行っている。本論文に於いて申請者はこれら先行研究の結果を参考に基本構造として冷却されたテルル化カドミウム (CdTe) 検出器を用いたフォトンカウンティング式のトリプルエネルギーのX線CTスキャナー (TE-CT) を採用し、入射線量の低減、X線ビーム径と被写体からの散乱線の減少、空間分解能の改善を図るため新たに4つの鉛製ピンホールを加えたTE-CTを作成した。更に実際にこの低線量・低散乱のTE-CTスキャナーを用いてヨウ素 (I) とガドリニウム (Gd) の造影剤のKエッジ撮影を行い、得られた画像を解析した。その結果、IとGdの鮮明なKエッジCT画像を同時に撮影できた。また過去の研究結果と比較して入射線量は減少し、空間分解能は改善された。すなわちフォトンカウンティング式CTに鉛製ピンホールを加えることにより散乱フォトンが減り、画質が向上することが証明された。

2019年11月25日17時30分より書類審査となった島田教授を除く審査委員の参加の上学位審査会が行われた。申請者はプレゼンテーションに於いて先ずフォトンカウンティング式CTと従来型の積分型CTとの違い、X線エネルギー情報 (スペクトル) を活用するスペクトラルCTとして一部で既に臨床に使用されている dual energy CT の意義と限界、未来の理想のスペクトラルCTとしてのフォトンカウンティング式CTの開発、といったバックグラウンドを分かりやすく説明し、所属する研究グループの過去の一連の研究成果、本論文に至った研究アイデアを得た経緯、実際に自分で行った工夫、などを詳細に述べた。その後は本論文の内容を説明することとどまらず、過去の研究結果の画像と直接比較し画質の向上を明瞭に示し、また臨床化が成功すれば極めて高画質な画像が得られることが期待されるなど将来性について述べた。

プレゼンテーション終了後は書類審査での質問を含め参加者により多数の活発な質疑応答がなされた。いずれの論点においても申請者は適切に詳細に且つ多面的具体的に回答し、本論文の研究執筆を行っただけでなくこの分野における造詣の深さを示した。重要な論点としては、今回の結果から期待される臨床応用としては鉛のピンホールの代わりにX線グリッドを用いて散乱線を低減したCdTeアレーによるコーンビームCTが考えられること、臨床応用を目指す上で最も妨げとなるものは入力フォトンが過密になった時にフォトン数の過小評価とエネルギーの過大評価が起きるパイルアップであろうこと、現在は既に臨床で使用されている造影剤であるIとGdを実験に使用しているが今後フォトンカウンティング式CTが実用化されるならば造影剤の主要構成元素に合わせたKエッジCT撮影を行うことが出来るので他のあらゆる元素を用いた造影剤の開発が期待されること、新生血管が増生するがんにとどまるナノ粒子造影剤が開発されれば実効原子番号イメージングにより詳細な腫瘍の画像化の可能性があること、現在の研究では原子番号の大きい造影剤についての検討が主であるが撮影のエネルギーレンジを自由に変えることができるので原理的には軟部組織の撮影にも有用であること、などである。

本論文はフォトンカウンティング式CTに鉛製ピンホールを加えることにより入射線量の低減、散乱線の減少、空間分解能の改善、画質の向上が得られることを証明したもので、フォトンカウンティング式CTの開発に於いて重要な基礎的研究であるとみなされることから、学位に値すると審査委員全員が了承した。