

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23390307

研究課題名(和文)形態・機能情報を同時に映像化可能なフォトンカウンティング形X線CTの開発

研究課題名(英文)Development of a photon counting X-ray CT system which enabled us to image anatomical and functional information of organs

研究代表者

尾川 浩一 (OGAWA, Koichi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：00158817

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円、(間接経費) 4,440,000円

研究成果の概要(和文)：解剖学的形態情報を映像化したX線CT画像に機能情報を付加することを目的とし、エネルギー弁別が4つのエネルギー領域で可能なテルル化カドミウム半導体検出器を新たに開発した。この検出器は1秒間に300フレームの高速データ収集が可能であり、空間分解能は0.2mm×0.2mmと非常に高く世界でも最も最先端のものであり、この検出器で構成されるX線CT装置を用いたデータ収集ならびに画像再構成を行い、X線CT画像を用いた媒質同定や機能イメージング法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study is to develop a new concept in CT imaging, and we developed a new CdTe semiconductor detector which enabled us to measure x-ray photons with four energy windows. The detector could measure x-ray photons with a speed of 300 frames/sec with a pixel size of 0.2 x 0.2 mm, and we developed a new material decomposition method and functional imaging method using the projection data measured with the new detector attached to a new photon counting x-ray CT system.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：X線 CT 半導体検出器 フォトンカウンティング 媒質同定

1. 研究開始当初の背景

- (1) 現在のX線CTでは人体を透過したX線の強度(エネルギーの積分値)を計測して画像再構成を行っているため、体内のおおのこの組織が持つ固有の情報、すなわち組織を構成している元素などの情報が失われている。これにより、軟部組織の定量的な情報の計測は不可能となる。一方、体内の組織のX線の減衰係数を定量的に求めることができれば、従来のX線CTの利用とは全く異なった応用分野が広がる。すなわち、厳密な計測器としてのX線CTの活用が展開し、今まで核医学の画像でしか行うことができなかった動態解析などの機能イメージングをX線CT画像上で実現させることが可能になる。
- (2) 形態情報を高分解能で映像化するX線CTで、同時に個々の領域の組織や機能の情報を提供することが可能になるので、ポジトロンCTなどでは実現できない1mmオーダの高い空間分解能を持つ画像で機能情報が映像化される点が画期的である。
- (3) CT装置の開発メーカーはCT画像から半定量的な情報を得るために、1台のX線管のエネルギーを時分割で切り替えデータ収集を行う、異なる管電圧のX線管を用いてデータ収集を行う、エネルギー感度の異なる2層の検出器を用いてデータ収集を行う、など2つのエネルギー成分の情報を活用することで、この問題に取り組み始めているが、2つのエネルギー情報の利用だけでは限界があり、本質的な問題の解決に至っていない。

2. 研究の目的

- (1) 本研究は解剖学的形態情報を映像化したX線CT画像に機能情報を付加することを目的とし、CTスキャナにおけるデータ収集方法を抜本的に変え、エネルギー弁別可能な半導体検出器によるデータ収集を行い、真の定量計測が可能な全く新しい概念のX線CT装置を構築する。
- (2) 本研究で実施する内容は、最先端の技術を駆使したテルル化カドミウム(CdTe)半導体形状検出器の開発、これを実装したX線CT装置による提案手法の有効性の検証、および媒質同定や機能イメージング法の開発、重粒子線治療の精度向上などのアルゴリズム開発である。

3. 研究の方法

以下の項目に沿って研究を進めた。

- (1) 投影データ計算用シミュレーションプログラムの作成、検証
- (2) 媒質同定のアルゴリズムの開発
- (3) X線検出器の開発
- (4) X線検出器の基本性能の評価
- (5) 試作検出器を用いた実験
- (6) 試作検出器の改良
- (7) 改良版の検出器を用いた実験とシミュレ-

ションとの照合による有効性の検証

- (8) 画像再構成並びに同定アルゴリズムの高速化
- (9) 適用拡大のための研究

4. 研究成果

- (1) スペクトロスコピックCT(SCT)の投影データ計算用シミュレーションプログラムの作成、検証・・・SCT方式と従来のX線CT方式のデータ収集形態の違いを明らかにし、SCTの優位性を検証するためのモンテカルロシミュレーションプログラムを作成した。
- (2) 媒質同定のアルゴリズムの開発・・・連続X線を用い、検出器では物体を透過したX線を4個のエネルギーウィンドウで計測し、これに基づいて媒質同定を行うアルゴリズムを開発した。同定においては、エネルギーウィンドウ毎のデータから画像の再構成を行い、画像上に関心領域を設定し、その内部でのX線の減衰係数を求め、このデータをあらかじめ媒質名が既知である減衰係数データと比較して、最も一致するものを選んでそれを同定結果とした。モンテカルロシミュレーションによって作成したデータに関する同定誤差は1%以内であった。
- (3) X線検出器の開発・・・検出器はテレシステムズ社のCdTe素子を用いたフロンカウンティング形X線検出器を一部仕様変更して検出器部を製作した。試作検出器ユニットの仕様は、面積8mm×8mm(40×40画素)であり、横一列にこのユニットを16個並べることによって幅8mm長さ12.8cmの面検出器を構築した。

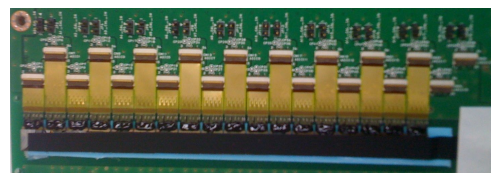


図1 試作したCdTe検出器の外観

- (4) X線検出器の基本性能の評価・・・試作検出器に対して、基本性能を評価した。調査項目とその結果は、エネルギー分解能(4.4%FWHM 122keV)、均一性(1.26%)、計数率特性(0.4Mcps/pixel)、空間分解能(2 lpm)などである。その他、画素毎のエネルギースペクトルの変動、エネルギースペクトルの経時的変動、感度変動なども調査を行った。この結果、この検出器は世界で最も高速かつ空間分解能が高いものの一つであることが確認できた。
- (5) 試作検出器を用いた実験・・・試作検出器を用いた実験では、さまざまな媒質(液体、固体)を用いた実験ファントムを作製しスペクトロスコピックCTを実施した。液体としては濃度や成分の異なるアルコールを用いた。また、固体としてはアクリル、アルミニウム、マグネシウム、金、プラチナなどを用いた。このほか、医療で現在使っているガドリニウム、ヨウ素などの造影剤や今後使うことが予想される金コロイド、プラチナコロイドなども試験した。これらのファント

ムを回転台の上に置き、被検体を回転させながらデータの収集を行い、CT画像として画像再構成した。フォトンカウンティング検出器で得られるデータにはさまざまな問題もあるが、生データに対して種々の補正を施しシステムをチューニングすることで、個々の媒質の線減衰係数を非常に高い精度で計測することが可能であることがわかり、理論値ともほとんど一致した。しかしながら、計測データにはチャージシェアリングやスモールピクセルエフェクトなどの本質的に避けられない誤計測が発生するため、高いエネルギーのウィンドウや最低のエネルギーウィンドウの計測値は若干、理論値とずれる傾向があった。

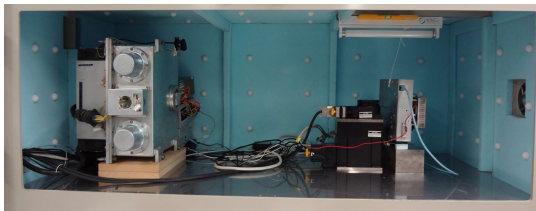


図2 実験装置の外観

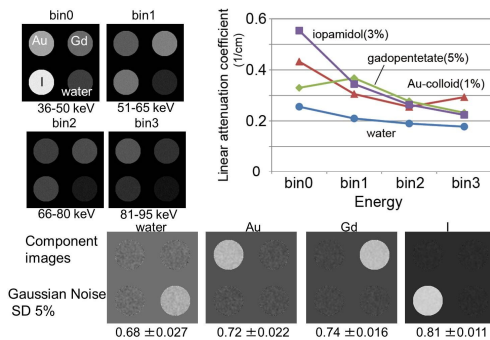


図3 k-edge画像による媒質同定の例

- (6) 試作検出器の改良・・・試作検出器の改良に関しては、これを実施する予定であったが、ハードウェアの基本仕様に関わる部分の仕様の変更には非常に高額な費用が発生することがわかり、仕様レベルの変更をソフトウェアレベルにとどめることとした。これによって、当面研究に必要な装置性能が満たされた。
- (7) 改良版の検出器を用いた実験・・・フォトンカウンティング計測の優位性についてはSN比や再構成値の正確さに関して改良版の検出器とエネルギー積分形の検出器と比較した。この結果、フォトンカウンティング計測は特に低線量でのイメージングに優位であったが、再構成値の精度はほぼ互角であることがわかった。
- (8) 画像再構成ならびに同定の高速化・・・媒質同定法に関しては、試作検出器を用いた実験データを従来から研究されている媒質同定法に適用し、同定の精度などを検証した。媒質同定法としては、主成分分析を用いた方法、特異値分解を用いた方法ならびに最小二乗法を用いた方法である。この結果、媒質同定を行うためのCT画像を作る際の投影データにおいて、そのエネルギーウィンドウ設定値の精度が特に重要である事がわかった。このため、

急遽、アイソトープを用いた正確なキャリブレーションを実施して媒質同定の精度を向上させた。また、kエッジを利用した媒質同定についても検討を行い、従来よりもその精度を向上する方法を考案した。

- (9) 画像再構成の高速化・・・GPU(Graphic processor unit)を用いた高速演算法を開発し、高速化をはかった。これにより従来の再構成よりも約1/20の速度で画像を作成することに成功した。さらに、スペクトロスコピックCTの適用拡大に関しては、重粒子線治療の研究グループとその適用可能性についての検討を行った。重粒子線治療では個々の領域を構成する媒質の原子番号の情報が治療精度を改善することにつながるため、本提案手法の適用は有用であると考えられる。

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8件)

尾川浩二、“フォトンカウンティングCT”, 医学物理, vol.33, No.3, pp.105-111, 2014 (査読なし)

Futoshi Kaibuki, Mariko Matsumoto, Koichi Ogawa, “Evaluation of CT images in the very low x-ray flux with a photon counting detector with a CdTe semiconductor,” Conf. Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, (CD-ROM), 2013 (査読有り)

Mariko Matsumoto, Futoshi Kaibuki, Koichi Ogawa, “K-edge imaging with a photon counting CT system,” Conf. Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, (CD-ROM), 2013 (査読有り)

Takeshi Maji, Mariko Matsumoto, Futoshi Kaibuki, Koichi Ogawa, “Material decomposition using a singular value decomposition method,” Conf. Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, (CD-ROM), 2013 (査読有り)

Koichi Ogawa, Mariko Matsumoto, Takeshi Maji, Futoshi Kaibuki, Tsutomu Yamakawa, “Material decomposition with a photon counting x-ray CT,” Annual Meeting on European Congress of Radiology, DOI: 10.1594/ecr2013/C-0092, 2012(査読有り)

Toru Kobayashi, Koichi Ogawa, Futoshi Kaibuki, Tsutomu Yamakawa, Tatsuya Nagano, Daisuke Hashimoto, “Accuracy of linear attenuation coefficients measured with a photon counting CT system,” Conf. Record on IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, pp. 3596-3599, 2012 (査読有り)

尾川浩二、“フォトンカウンティングCT

技術の開発と臨床応用の可能性 ”、映像情報メデikal vol.44, No.13, pp.1160-1163, 2012(査読無し)
Koichi Ogawa, Toru Kobayashi, Futoshi Kaibuki, Tsutomu Yamakawa, Tatsuya Nagano, Daisuke Hashimoto, Hideyuki Nagaoka, “Development of an energy-binned photon-counting detector for x-ray and gamma-ray imaging,” Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A, vol. 664, pp.29-37, 2012(査読有り)

〔学会発表〕(計 11 件)

松本真梨子、貝吹太志、尾川浩一、“フォトンカウンティングCTによるk-edgeイメージング”、第107回日本医学物理学会学術大会、2014年4月10日～4月13日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

貝吹太志、尾川浩一、“光子計数形検出器による低線量下でのCT画像再構成値定量性の評価”、第107回日本医学物理学会学術大会、2014年4月10日～4月13日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

尾川浩一、“photon counting CTの開発と媒質分離”、第10回重粒子線医工連携セミナー(招待講演)、2014年3月28日、群馬大学医学部(群馬県前橋市)

貝吹太志、松本真梨子、尾川浩一、“歯科用CT装置に要求されるフラットパネル検出器の性能”、第106回日本医学物理学会学術大会、2013年9月16日～18日、大阪大学医学部(大阪府吹田市)

尾川浩一、“photon counting CT”、第105回日本医学物理学会学術大会(招待講演)、2013年4月11日～4月14日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

貝吹太志、松本真梨子、尾川浩一、村田乾、橋本大輔、長野竜也、山河勉、“検出器ギャップを含む不完全投影データからのCT画像の再構成”、第105回日本医学物理学会学術大会、2013年4月11日～4月14日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

馬路武志、貝吹太志、尾川浩一、山河勉、長野竜也、“フォトンカウンティング型CTを用いた媒質分離”、第105回日本医学物理学会学術大会、2013年4月11日～4月14日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

松本真梨子、小林透、貝吹太志、尾川浩一、山河勉、長野竜也、“フォトンカウンティングCTによる媒質の線減衰係数の測定”、第105回日本医学物理学会学術大会、2013年4月11日～4月14日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

尾川浩一、“フォトンカウンティングCT技術の開発と臨床応用の可能性2”、第103回日本医学物理学会学術大会(招待講演)、2012年4月12日～4月15日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

貝吹太志、小林透、尾川浩一、橋本大輔、長岡秀行、長野竜也、山河勉、“CdTe半導体を用いた光子計数型X線検出器の開発”、第103回日本医学物理学会学術大会、2012年4月12日～4月15日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
小林透、貝吹太志、尾川浩一、山河勉、長野竜也、橋本大輔、長岡秀行、“フォトンカウンティング形検出器を用いたX線CT画像の評価”、第103回日本医学物理学会学術大会、2012年4月12日～4月15日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ip.k.hosei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾川浩一 (OGAWA, Koichi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：00158817