

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：35309

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K21553

研究課題名(和文)CT装置の高精度線量評価に必要な実効エネルギー計測法の研究

研究課題名(英文)Study on the effective energy measurement method required for high accuracy absorbed dose evaluation of the CT apparatus

研究代表者

五反田 龍宏(Gotanda, Tatsuhiro)

川崎医療福祉大学・医療技術学部・准教授

研究者番号：60711447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：CT装置の医療被曝を正確に評価するためには、X線束の線質を測定することが重要である。本研究では、いかなる施設においてもCT装置の線質評価を簡易的かつ高精度に評価する方法を開発することを目的としていた。初年度は、最もエネルギー依存性の低いGAFCHROMIC EBT3が実効エネルギー特性の評価に優れていることが実証された。また、平台型スキャナのスキャン方法が確立された。最終年度は、CT装置のX線束中心のみの実効エネルギーを計測した。次に、CT装置のX線束全域の実効エネルギーの分布を計測した。本研究では、CT装置の実効エネルギーの2次元分布評価ならびに簡易的計測が可能であることが実証された。

研究成果の概要(英文)：In order to accurately evaluate the medical exposure of the CT apparatus, it is important to measure the quality of the X-ray flux. In this study, we aim to develop a simple and high accuracy method of evaluating the effective energy of CT equipment at any facility. In the first year, it was demonstrated that GAFCHROMIC EBT 3, which has the lowest energy dependence, is excellent in evaluating effective energy characteristics. In addition, a scan method for a flatbed scanner had been established. In the final year, the effective energy of only the X-ray flux center of the CT apparatus was measured using the simple method. Next, the distribution of the effective energy over the entire X-ray flux of the CT apparatus was measured. In this study, it was demonstrated that it is possible to evaluate two-dimensional distribution of effective energy of CT apparatus using simple method.

研究分野：放射線科学

キーワード：実効エネルギー X線CT 線量計測用フィルム GAFCHROMIC EBT3 スキャナ特性

1. 研究開始当初の背景

我が国は世界と比べてX線コンピュータトモグラフィ(CT)装置の普及率が高く、医療被ばくが高い傾向にある。医療被ばくを正確に評価するためには、X線束の線質を定期的に測定することによってCT装置のQA、QCを行うことが重要である。X線束の線質は、被検者の被ばく線量や画質に影響する重要な因子である。線質の指標として実効エネルギー(keV)があげられ、その算出には半価層を測定する必要がある。半価層の測定方法はJIS規格によって定められており、測定値に散乱線を含めないようにするため、線量計から付加フィルタ、壁、床までの距離をそれぞれ50 cm以上離す必要がある。CT装置では、構造上、JISで規定された配置で半価層を測定することができないため、線量計の周囲に円環状の付加フィルタを配置する方法がRandellらの研究(Med.Phys.2000)で行われた。しかし大きな問題点が2点あり、配置的に線量計に散乱線が含まれてしまうこと、評価対象が扇状となっているX線束(照射野)の中央部のみであること、があげられる。他にも、高価な電離箱式線量計が必要であり、加工の難しい円環状付加フィルタが数個必要なことなど未解決の問題点は多く汎用性が低い。

2. 研究の目的

本研究では、線量計測用フィルムを使用して、いかなる施設においてもCT装置の全照射領域でのX線束の線質評価を簡易かつ二次元的に評価する方法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 計測に適した線量計測用フィルムの検討

線量計測用フィルムの特性を検討した結果、実効エネルギーの計測には、エネルギー依存性の低い検出器が適しているため、エネルギー依存性の最も低いGAFCHROMIC Film EBT3 (EBT3)を使用することにした。使用するEBT3に対して、以下の2項目を検討した。

散乱線の影響を検討

散乱体として厚さ15 mmのアルミニウムを使用し、EBT3の表面を基準点と設定した(図1)。散乱体を基準点からX線管に移動させて計測を行った。半導体線量計で同様の計測を

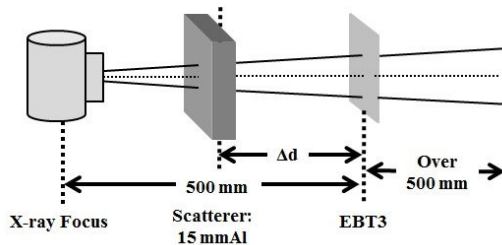


図1. 散乱線の影響を評価するための実験配置図

行い、距離・吸収線量曲線を比較することで散乱線の影響を検討した。

低線量領域における線量・濃度校正曲線を検討

本研究では、定期的に評価することを可能にするため、電離箱式線量計を使用せず半価層を測定する必要があった。半価層測定では線量が半分になる付加フィルタの厚みを測定するため、校正曲線が直線を示す場合、単純に濃度半分の際に線量が半分になることがいえる。EBT3において線量・濃度校正曲線の直線性を検討した。加えて、階段状アルミニウム(図2)を使用して、より簡易的に校正曲線を作成する方法を開発した。

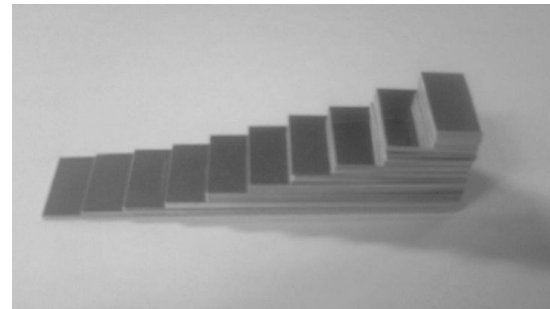


図2. 階段状アルミニウム

(2) EBT3の高精細データ収集方法の検討

EBT3の画像を高精度かつ高い再現性で計測するためには、スキャナの選択とスキャン方法を検討する必要があるため、以下の2項目を検討した。

EBT3に適したスキャナの選択

EBT3に適したスキャナを選択するため、A4フラットベッドスキャナ(EPSON ES-2200)(図3)とモバイルスキャナ(YASHICA S40)(図4)を比較検討した。線量・濃度校正曲線を作成するために照射されたEBT3を使用した。

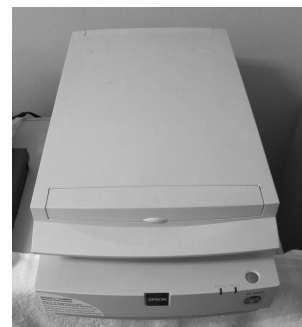


図3. A4フラットベッドスキャナ(EPSON ES-2200)



図4. モバイルスキャナ(YASHICA S40)

EBT3 のスキャン方法の検討

EBT3 を平台型スキャナでスキャンする方法が最も再現性が高く精度が高いことが実証されたが、スキャン時の経時的な変化による影響があることが観察された。そのため、スキャナの電源投入時からの経時的特性、およびスキャン回数による影響の評価を行い、最も適したスキャン方法を検討した。なお、スキャン設定は、すべて反射型で実施した。

(3) X線強度補償フィルタを透過した全域(X軸)の実効エネルギー測定法の開発

純度 99.8% 以上のアルミニウムで自作した階段状付加フィルタと EBT3 を使用して、CT 装置 (Aquilion ONE (CANON) 320 列) の半価層、実効エネルギーを計測した。研究の流れとして、以下の順で検討した。

CT 装置の X 線束中心の実効エネルギー計測法の検討

X 線管を停止した状態で照射できる位置決め時の X 線照射を利用し、EBT3 と階段状付加フィルタを用いて、付加フィルタ厚に対する減弱曲線を計測し、半価層を測定した。X 線管焦点と階段状付加フィルタを可能な限り近づけて、EBT3 は散乱線が可能な限り含まれない距離に配置し、階段状付加フィルタと EBT3 を同時に移動して半価層を測定した(図 5)。EBT3 は平台型スキャナにてデータを取込み、未照射領域、照射領域、フィルタ領域を使用し、種々の雑音を補正した。半価層から実効エネルギーを算出した。

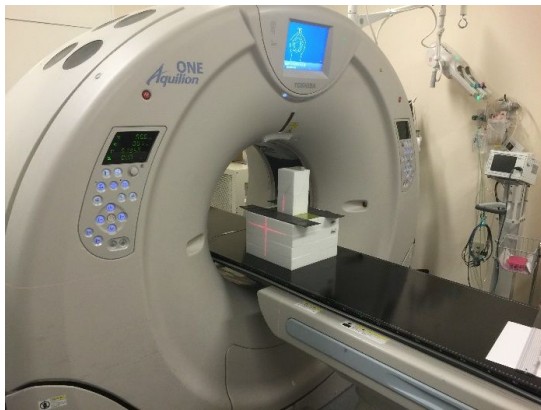


図 5 .X 線束中心の実効エネルギーを計測するための実験配置図

CT 装置の全域の実効エネルギー計測法の検討

EBT3 の線量分布を計測できる特性を利用して、計測範囲を拡大させ二次元での半価層測定を行った。付加フィルタは、純度 99.8% 以上のアルミニウムで、大きさ 200 mm × 200 mm で、厚みが 2 mm を 5 枚、5 mm を 2 枚使用した。減弱曲線の測定は、2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 mm の付加フィルタ厚で行い、X 線束全域での実効エネルギー分布を算出した。

4. 研究成果

(1) 線量計測用フィルムの検討

散乱線の影響を検討

EBT3 と半導体線量計の散乱体からの距離による吸収線量のグラフを図 6 に示す。EBT3 の散乱線の影響は、10 mm 以下で大きく、50 mm 以上ではほぼ検出できなくなった。

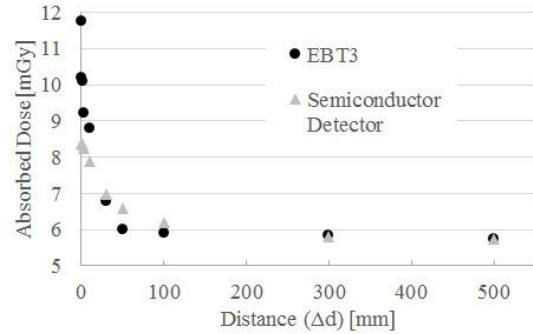


図 6 . EBT3 と半導体線量計の吸収線量の変化

低線量領域における線量・濃度校正曲線を検討

階段状アルミニウムを使用した簡易法と標準的な方法で作成した線量・濃度校正曲線を図 7 に示す。標準的な方法と比較して、簡易法は非常に少ない X 線の照射で同程度の精度が実現可能だった。

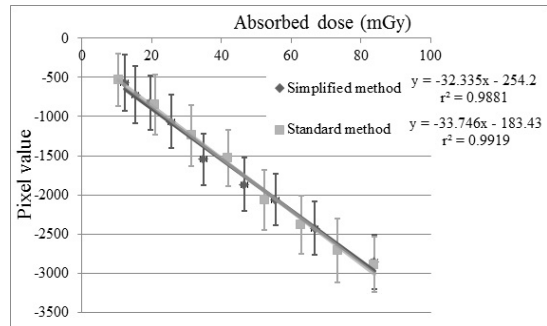


図 7 . 簡易法と標準的な方法で作成した線量・濃度校正曲線

(2) EBT3 の高精度データ収集方法の検討

EBT3 に適したスキャナの選択

A4 フラットベッドスキャナとモバイルスキャナで測定した線量・濃度校正曲線を図 8 に示す。モバイルスキャナと比較して、フラ

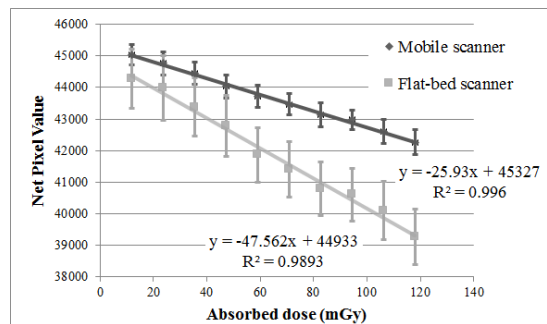


図 8 . A4 フラットベッドスキャナとモバイルスキャナの線量・濃度校正曲線

ットベッドスキャナの方が精度と感度が高く、吸収線量に対するコントラストも大きかった。

EBT3 のスキャン方法の検討

フラットベッドスキャナの電源投入から 1 時間毎の濃度変化と、各時間で 5 回連続スキャンしたときの濃度変化を図 9 に示す。スキャナの電源投入後 5 時間以降かつ連続スキャン 3 回目のデータを使用することが最も高精度に計測できることが実証された。

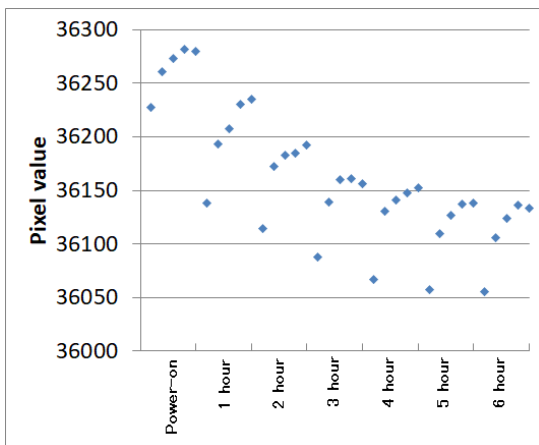


図 9. フラットベッドスキャナの経時的変化による濃度変化

(3) X 線強度補償フィルタを透過した全域(X 軸)の実効エネルギー測定法の開発

CT 装置の X 線束中心の実効エネルギー計測法の検討

CT 装置の X 線束中心において、EBT3 と階段状付加フィルタを使用した簡易的方法で計測した減弱曲線を図 10 に示す。アルミニウム半価層は 9.14 mm となり、実効エネルギーは 58.4 keV となった。誤差 5% 以下の精度で簡易的に計測できることが実証された。

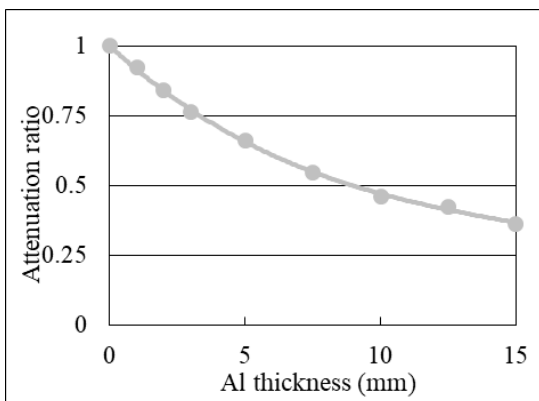


図 10. CT 装置の X 線束中心での減弱曲線

CT 装置の全域の実効エネルギー計測法の検討

CT 装置の全照射領域の半分の実効エネルギー分布を図 11 に示す。寝台と平行方向の実効エネルギーでは、CT 装置の X 線管近くに配置されているボウタイフィルタの厚みに

あまり変化がなく影響は少なかったが、ボウタイフィルタが中央から側方(寝台と垂直方向)では厚みが増加しているため、実効エネルギー分布は側方に行くほど高くなった。しかし、中心から 190.5 mm 以上離れている場合は、非常に厚いボウタイフィルタで減弱した X 線量が少ないため検出することが難しくなり、計測精度が低下した。以上のことから、中心から 165.1 mm 以下であれば、実効エネルギーの二次元分布が可能であることが実証された。

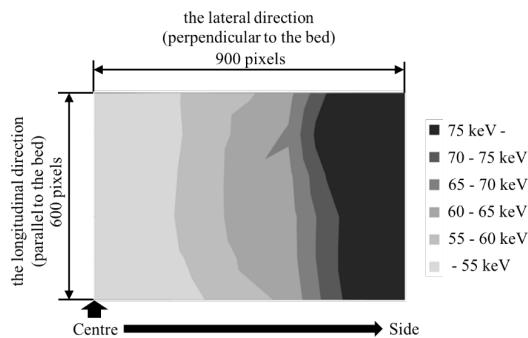


図 11. EBT3 を使用した CT 装置 (320 列) の実効エネルギー分布

本研究では、実効エネルギーの二次元分布評価ならびに、安価で短時間かつ簡易的に計測できるので、あらゆる CT 装置において定期的に管理ができることに加え、患者の被ばく管理や画質評価ができる可能性を示唆している。

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 14 件)

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Evaluation of effective energy distribution of 320-multidetector CT using GAFCHROMIC EBT3, IFMBE Proceedings, 査読有, 68, 2018, 525-528

DOI: 10.1007/978-981-10-9023-3_94

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Influence of scattered radiation on Gafchromic EBT3, IFMBE Proceedings, 査読有, 65, 2017, 1037-1040

DOI: 10.1007/978-981-10-5122-7_101

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Effective Energy Measurement Using Radiochromic Film: Application of a Mobile scanner: Polish Journal of Medical Physics and Engineering, 査読有, 22, 4, 2016, 85-92

DOI: 10.1515/pjmpe-2016-0015

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Simplified method for creating a density-absorbed dose calibration

curve for the low dose range from Gafchromic EBT3 film: Journal of Medical Physics, 査読有, 41, 4, 2016, 266-270
DOI: 10.4103/0971-6203.195192

〔学会発表〕(計 16 件)

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Evaluation of effective energy distribution of 320-multidetector CT using GAFCHROMIC EBT3: World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering, 2018.6.3, 「プラハ(チェコ)」

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Influence of scattered radiation on Gafchromic EBT3: The joint conference of the European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC) and the Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering (NBC), 2017.6.11, 「タンペレ(フィンランド)」

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Effective energy evaluation of 320-multidetector CT using Radiochromic Film: European Congress of Radiology, 2017.3.1, 「ウィーン(オーストリア)」

Tatsuhiro Gotanda, Toshizo Katsuda, et al: Temporal characteristic of the scanner influencing dosimetry using radiochromic film: 1st European Congress of Medical Physics, 2016.9.1, 「アテネ(ギリシャ)」

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1)研究代表者
五反田 龍宏 (Tatsuhiro, Gotanda)
川崎医療福祉大学・医療技術学部・准教授
研究者番号：60711447

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：

(4)研究協力者 ()