

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：21601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K15656

研究課題名（和文）X線CT装置におけるビーム幅に影響しない出力測定法の開発と評価

研究課題名（英文）Estimation of primary radiation output for wide-beam computed tomography scanner

研究代表者

福田 篤志（FUKUDA, ATSUSHI）

福島県立医科大学・公私立大学の部局等・准教授

研究者番号：00811704

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、Z軸方向に広いビーム幅をもつX線CT装置の回転中心の自由空気カーマ出力測定において、ビーム幅および回転速度に影響しない出力測定方法を開発し、その評価を行った。また、可搬型フラットパネル検出器を用いて、CT装置のビーム幅を測定する方法を開発し、その評価も行った。さらに、これらの研究から得られた知見を活かし、1回転でCT装置の半価層を測定する新たな手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Z軸方向に広いビーム幅をもつX線CT装置の回転中心の自由空気カーマ出力測定において、ビーム幅および回転速度に影響しない出力測定方法を開発した。本手法によって、測定値の直接線成分と散乱線成分を区別することが可能となった。一例として、管電圧が135 kVかつビーム幅が160 mmの際、散乱-直接線比の結果は5.8%であった。この知見を活かし、回転中心の散乱線を減少させ、1回転で半価層を測定する新たな手法を開発した。本手法は散乱線の寄与を下げることで可能であることから、高精度な半価層測定が可能となった。これらの結果は、散乱線の寄与により測定精度が下がる分野において非常に有意義な結果であるといえる。

研究成果の概要（英文）：Three developments were achieved in this study, (a) a method for measuring primary radiation output in wide-beam CT scanner, (b) a method for measuring X-ray beam width for CT scanner using a portable flat panel detector, and (c) a method for measuring the half-value layer for CT systems in a single-rotation technique.

研究分野：放射線技術学

キーワード：X線CT装置 ビーム幅 出力測定 散乱線 半価層測定 リアルタイム測定器

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 数年来使用されてきた  $CTDI_{vol}$  は Z 軸方向に広いビーム幅をもつ X 線 CT 装置において過小評価となることが報告され、放射線防護の最適化のための指標としては問題が指摘されてきた。
- (2)  $CTDI_{vol}$  の過小評価に対処するために、米国医学物理士会は新しい概念として  $CTDI_{vol}$  に代わり平衡線量測定法を提案した。本手法は Z 軸方向のビーム幅に影響しない反面、43.5kg 以上の  $CTDI$  ファントムを寝台上に正確に配置しなくてはならず平易かつ効果的な方法としては受け入れられてこなかった。
- (3) X 線 CT 装置の回転時間および 1 回転時の X 線照射時間の測定が可能となったことから、 $CTDI_{vol}$  および平衡線量に代わり、Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい X 線 CT 装置の出力測定法を開発する下地が整った。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は新しい X 線 CT 装置の出力測定法を開発することであり、その目的のために下記の開発・実験を実施した。

- (1) Z 軸方向に広いビーム幅をもつ X 線 CT 装置の出力測定において、Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定法を開発すること。
- (2) 可搬型 FPD (Flat Panel Detector) を用いた Z 軸方向の X 線ビーム幅測定法を開発すること。
- (3) 6-cc 電離箱式線量計 (10X6-6, Radcal 社製)、0.6-cc 電離箱式線量計 (10X6-0.6CT, Radcal 社製)、半導体式線量計 (CT Dose Profiler, RTI 社製) を使用して、Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定を実施し、その結果を比較、検討すること。
- (4) 散乱線量を大幅に減少させた 1 回転での X 線 CT 装置の半価層測定法を開発すること。

### 3. 研究の方法

- (1) Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定方法の開発

Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定方法を考案した。X 線の初期出力 (Primary output) は、X 線管に印加された管電圧、管電流、照射時間、ターゲットの材質に依存し、理論的には照射野の大きさに依存しないはずである。これを検証するため、6-cc の電離容積を持ち、かつ時系列での線量波形の取得が可能な電離箱式線量計 (10X6-6, Radcal) をアイソセンターに設置した。CT 装置の管電圧は 80, 100, 120, 135 kVp の 4 種類とし、Z 軸方向の照射野は 40, 80, 120, 160 mm と変化させた。各々の照射野に対する線量率 ( $K_{w/o-A}$ ) のデータを取得し、照射野が 0 mm となる線量率を外挿法にて算出した ( $K_{0-w/o-A}$ )。次に X 軸方向の照射野を制御するために、ガントリー下部に鉛で作成したコリメータを配置し (図 1)、開口部を 40 mm から 80 mm まで 8 mm ずつ増加させて散乱線量率 ( $K_{w-A}$ ) を変化させ、X 軸方向の照射野が 0 mm となる線量率を外挿法にて算出した ( $K_{0-w-A}$ )。これらの  $K_{0-w/o-A}$  および  $K_{0-w-A}$  を比較することにより、同一の線量率が得られるかどうかを確認した。



図 1 Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない出力の測定方法

- (2) 可搬型 FPD を用いた Z 軸方向の X 線ビーム幅測定法の開発

従来 CR にて実施されてきた Z 軸方向の X 線ビーム幅測定は、CR が臨床現場で使用されなくなってきており実施困難となっている。そこで可搬型 FPD を後継機とするため、分解能および X 線照射に対する感度による測定精度を調査し、Z 軸方向の X 線ビーム幅測定が可能となるかを検証した。CR および可搬型 FPD を CT のアイソセンターに配置し、0.5 mm の銅板を FPD の上部、2 mm の鉛板を下部に配置した。画像処理設定を固定して線量-ピクセル値の対数線形関係と飽和ピクセル値を確認した。その後、二倍照射法を用いて公称ビーム幅 40, 80, 120, 160 mm におけるビーム幅を測定した。

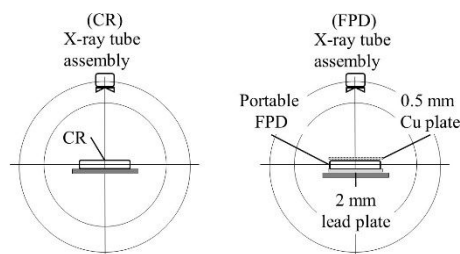


図2 可搬型 FPD を用いた Z 軸方向の X 線ビーム幅の測定方法

(3) 6-cc 電離箱式線量計, 0.6-cc 電離箱式線量計, 半体式線量計を用いた Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定法の比較

(1)にて開発した Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定方法を 6-cc 電離箱式線量計, 0.6-cc 電離箱式線量計, 半体式線量計を用いて検証した。

(4) 1 回転での X 線 CT 装置の半価層測定法の開発

1 回転での X 線 CT 装置の半価層測定法を考案した。(1)で開発した出力測定法より、CT ガントリー内の散乱線はファントムを配置しない状態でも多く存在していることが判明した。これより、X 線 CT 装置の半価層測定時に散乱線が入射すれば、その精度に影響が生じるはずである。これを検証するため、0.6-cc の電離容積を持ち、かつ時系列での線量波形の取得が可能な電離箱式線量計 (10X6-0.6CT, Radcal) をアイソセンターに設置し、ガントリー下部に  $130 \times 170 \times 2$  mm の鉛シートを用いて、5 つの 16 mm 幅を持つ開口部を作成した (Single-Rotation Technique with Lead Aperture: SRTLA)。この開口部に  $100 \times 100$  mm<sup>2</sup>, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 mm 厚のアルミニウムを配置し、1 回転時の時系列での線量波形 (空気カーマ率) を測定した。比較のために、従来から実施されてきたロカライザ法および鉛シートを配置しない 1 回転測定法 (SRT) を実施した。

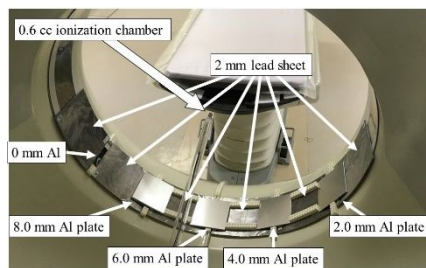


図3 1 回転での X 線 CT 装置の半価層測定方法

#### 4. 研究成果

(1) Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定方法の開発

40, 80, 120, 160 mm のビーム幅設定時、管電圧を 120 kVp とした場合、 $K_{w/o-A}$  の平均値および標準誤差は  $10.94 \pm 0.01$ ,  $11.13 \pm 0.01$ ,  $11.22 \pm 0.01$ ,  $11.31 \pm 0.01$  mGy/s であった。 $K_{0-w/o-A}$  は  $10.67 \pm 0.02$  mGy/s まで低下した。同様に、40, 80, 120, 160 mm のビーム幅設定時の  $K_{0-w-A}$  は、 $10.6 \pm 0.1$ ,  $10.6 \pm 0.2$ ,  $10.5 \pm 0.1$ ,  $10.6 \pm 0.1$  mGy/s であり、 $K_{w/o-A}$  との間には統計的有意差は見られなかった。

(2) 可搬型 FPD を用いた Z 軸方向の X 線ビーム幅測定法の開発

40, 80, 120, 160 mm のビーム幅設定時、CR によるビーム幅測定値は、 $45.2 \pm 0.2$ ,  $85.5 \pm 0.3$ ,  $127.9 \pm 0.4$ ,  $170.6 \pm 0.6$  mm であった。可搬型 FPD の前面に銅板、後面に鉛を配置しなかった場合はデジタル値が飽和し、X 線ビーム幅の測定はできなかった。一方で、銅板と鉛板を使用した場合、可搬型 FPD によるビーム幅測定値は、 $45.5 \pm 0.2$ ,  $85.7 \pm 0.2$ ,  $128.2 \pm 0.2$ ,  $171.2 \pm 0.4$  mm であり、CR による測定値との差は最大 0.6 mm であった。

(3) 6-cc 電離箱式線量計, 0.6-cc 電離箱式線量計, 半体式線量計を用いた、Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定法の比較

管電圧が 80, 100, 120, 135 kVp, 管電流を 100 mA に設定した際、6-cc 電離箱式線量計にて得られた  $K_{w/o-A}$  の平均値および標準偏差は  $11.6 \pm 0.1$ ,  $18.7 \pm 0.1$ ,  $26.8 \pm 0.1$ ,  $33.4 \pm 0.1$  mGy/s であった。同様に 0.6-cc 電離箱式線量計にて得られた  $K_{w/o-A}$  は  $11.9 \pm 0.1$ ,  $19.2 \pm 0.1$ ,  $27.4 \pm 0.1$ ,  $34.2 \pm 0.1$  mGy/s, また半体式線量計にて得られた  $K_{w/o-A}$  は、 $11.9 \pm 0.1$ ,  $19.1 \pm 0.1$ ,  $27.5 \pm 0.1$ ,  $34.3 \pm 0.2$  mGy/s であった。6-cc 電離箱式線量計に比較して、0.6-cc 電離箱式線量計, 半体式線量計の値は高くなる傾向が認められた。Z 軸方向のビーム幅および回転速度に影響しない新しい出力測定方法では散乱線の影響を少なくすることができるが、線量計のエネルギー依存性に関しては補正することができない。ここから、これらの測定値の乖離は比較的多く発生している散乱線に対するエネルギー依存性が原因と考えられた。

#### (4) 1回転でのX線CT装置の半価層測定法の開発

管電圧が80, 100, 120, 135 kVpに設定した際、ロカライザ法による半価層の平均および標準誤差は $3.28 \pm 0.01$ ,  $4.22 \pm 0.01$ ,  $5.17 \pm 0.01$ ,  $5.91 \pm 0.01$  mmであった。過去に報告されているSRT法を用いた場合、同様の管電圧で $3.50 \pm 0.02$ ,  $4.47 \pm 0.01$ ,  $5.44 \pm 0.02$ ,  $6.17 \pm 0.02$  mmなり、散乱線の影響により値が高くなっている。一方で今回開発したSRTLAでは、 $3.37 \pm 0.02$ ,  $4.24 \pm 0.01$ ,  $5.22 \pm 0.01$ ,  $5.90 \pm 0.02$  mmであり、ロカライザ法と遜色ない測定値となった。ロカライザ法ではCT装置の焦点サイズやボウタイフィルタを選択できないことから、SRTLAは有用であることが判明した。

以上の(1)~(4)の成果は、Z軸方向にX線CT装置におけるビーム幅に影響しない出力測定法の開発と評価において非常に有意義な結果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Fukuda Atsushi, Lin Pei Jan P., Ichikawa Nao, Matsubara Kosuke	4. 巻 20
2. 論文標題 Estimation of primary radiation output for wide beam computed tomography scanner	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 152-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/acm2.12598	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Ichikawa Nao, Matsubara Kosuke, Fukuda Atsushi, Yamamoto Hiroyuki	4. 巻 76
2. 論文標題 Measurement Accuracy of CT Beam Width with a Portable Flat-panel Detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Radiological Technology	6. 最初と最後の頁 161 ~ 167
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Fukuda Atsushi, Ichikawa Nao, Tashiro Masami, Yamao Tensho, Murakami Katsuhiko, Kubo Hitoshi	4. 巻 76
2. 論文標題 Measurement of the half-value layer for CT systems in a single-rotation technique: Reduction of stray radiation with lead apertures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 221 ~ 226
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2020.07.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Fukuda Atsushi, Ichikawa Nao
2. 発表標題 Estimation of Primary Radiation Output with Two Ionization Chambers and a Solid-state Detector for Wide-beam Computed Tomography Scanner
3. 学会等名 The 76th annual meeting of the Japanese Society of Radiological Technology
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ichikawa Nao, Matsubara Kosuke, Fukuda Atsushi
2. 発表標題 Evaluation of the Effect of Bow-tie Filter on Beam Width of CT System.
3. 学会等名 The 76th annual meeting of the Japanese Society of Radiological Technology
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fukuda Atsushi, Ichikawa Nao
2. 発表標題 Measurement of Source Isocenter Distance, Fan Angle, and Effective Beam Diameter in Modern CT System
3. 学会等名 The 75th Annual Meeting of the Japanese Society of Radiological Technology
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Fukuda, Nao Ichikawa
2. 発表標題 A New Method of Measuring Radiation Output Not Involved in Beam Width in Modern CT System
3. 学会等名 The 74th annual meeting of the Japanese Society of Radiological Technology
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Fukuda, Nao Ichikawa
2. 発表標題 A New Method for Measuring Radiation Output Not Involved in Beam Width in Wide-Beam CT Scanner
3. 学会等名 The 60th annual meeting of the American Association of Physicists in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	バージニアコモンウェルス大学		