

## X線出力測定器による診断用X線装置の 線量測定に関する基礎検討

小林亮太<sup>1</sup>, 千田浩一<sup>1,2</sup>, 稲葉洋平<sup>1,2</sup>, 芳賀喜裕<sup>1,3</sup>,  
加賀勇治<sup>3</sup>, 洞口正之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東北大学大学院医学系研究科 保健学専攻, <sup>2</sup>東北大学災害科学国際研究所 災害放射線医学分野,  
<sup>3</sup>仙台厚生病院 放射線部

## Fundamental Study of a Radiation Dose-Measuring Tool for Diagnostic X-Ray Apparatus

Ryota KOBAYASHI<sup>1</sup>, Koichi CHIDA<sup>1,2</sup>, Yohei INABA<sup>1,2</sup>, Yoshihiro HAGA<sup>1,3</sup>,  
Yuji KAGA<sup>3</sup> and Masayuki ZUGUCHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Course of Radiological Technology, Health Sciences, Tohoku University Graduate School of Medicine

<sup>2</sup>International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

<sup>3</sup>Department of Radiology, Sendai Kousei Hospital

Key words : X線測定器, 線量測定, QC (Quality Control), QA (Quality Assurance)

Quality control (QC) of X-ray apparatus is important. Especially, it is very important that radiation dose should be accurately measured.

Recently, the x2 system (RaySafe™, Sweden) has been introduced to measure X-ray output in diagnostic X-ray apparatus. However, there are no detailed reports regarding the fundamental characteristics and performance of the x2 system for dose measurements.

In this study, we evaluated the fundamental performance aspects of the x2 system.

Basically, the x2 measurements were compared with measurements obtained using a calibrated (reference : traceable from the National Standard Exposure) thimble-type 6-mL ion chamber.

In general, the x2 system exhibited good fundamental characteristics (energy dependence, dose linearity, dose-rate dependence, and angular dependence).

Furthermore, the x2 system was easy to handle.

We conclude that the x2 system exhibited satisfactory fundamental performance for QC of diagnostic X-ray apparatus.

### 1. 緒 言

X線診断機器のQC, QA (Quality Control, Quality Assurance) は, 適切な診断や被ばく管理の面

で不可欠である<sup>1)</sup>。2007年に厚生労働省より, 各診療施設にて医療機器の安全管理を行うよう規定された法令も通知されており, QCQAは現在, より重要になっている<sup>2,3)</sup>。

また線量は、臨床画像の画質に大きな影響を与えるため、線量測定を行うことは非常に重要である。さらに、過度な照射は放射線障害を引き起こす危険性があることから、画質と線量の最適化が重要であり、厳密な管理を行うためにも、日常的な線量評価が必要不可欠である。

非接続型 X 線測定器は、線量測定において気温気圧測定や補正を必要とせず、X 線装置の線量測定に関する迅速な QCQA が可能である。しかし非接続型 X 線測定器の線量測定精度に関する報告は、あまりなされていない。

2014 年に RaySafe 社から発売された RaySafe x2 は、簡易かつ迅速に使用できる QCQA 用測定器である。しかし RaySafe x2 の、線量測定精度等の基本特性に関する詳細な報告は未だなされていない。そこで本研究の目的は、一般 X 線撮影領域における RaySafe x2 の線量測定に関する特性を明らかにすることである。

## 2. 方 法

### 2.1 RaySafe x2 の概要

RaySafe x2 は X 線装置から出力される X 線を検出することで測定が可能な、最新の非接続型 X 線測定器である。図 1 に RaySafe x2 の概観を示す。システムは主にベースユニットと検出器からな

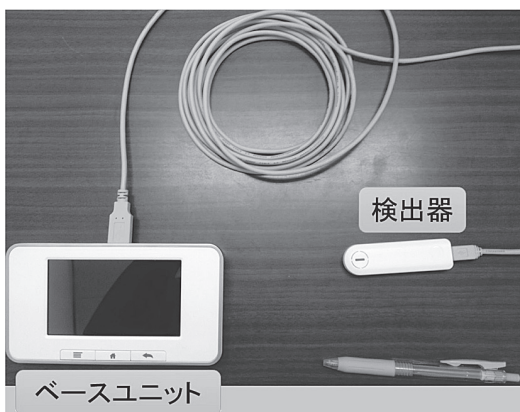


図 1. RaySafe x2 の概観  
非接続型 X 線測定器 RaySafe x2 の主要部分である、ベースユニットと一般 X 線撮影領域用の検出器の写真。

り、これらを接続することで使用できる。X 線を検出すると、照射された X 線の管電圧ピーク、線量、照射時間、線量率などが数値としてベースユニットに表示される。ベースユニット内蔵メモリは照射 1 万回分を記録でき、バッテリーは 10 時間程度の連続使用に対応している。

RaySafe x2 の一般撮影用の検出器は、線量の測定範囲は 1 nGy～9,999 Gy、管電圧ピークは 40～150 kVp である<sup>4)</sup>。検出器は半導体式の積層型センサーを使用しており、線質の測定も可能である。

### 2.2 使用機器

今回実験に使用した非接続型 X 線測定器は、RaySafe x2、および比較用測定器として RTI 社製の非接続型 X 線測定器 Piranha である。基準線量計は、日本品質保証機構 (JQA) 校正済みの Radcal 社製 6cc チェンバー電離箱線量計 Accu-Dose 2186 を使用した。X 線の照射には日立製の X 線装置 DHF-155HII を使用し、角度依存性の測定実験に関しては、東芝製の X 線アンギオグラフィ用 C アーム装置 IXFX-8000V を使用した。なお使用した X 線装置の出力は、変動係数は 0.5% 未満と安定していることを確認済みである。

### 2.3 実験方法

検出器から発生する散乱線による相互影響を考慮し、各測定器を単独に置き、電離箱、x2、Piranha の順で別々に X 線照射を行った。確認のため、各測定器の照射実験後に再度電離箱に対して照射実験を行ったところ、線量測定値の誤差は 1% 未満であった。

#### 2.3.1 後方散乱

はじめに後方散乱の影響の有無 (検出器裏側の感度) について検証するため、床上 50 cm の空中に検出器を配置した場合と、20 cm のアクリル散乱体の上に検出器を乗せた場合で線量の変化を見た。X 線管焦点から検出面までの距離は 120 cm である。管電圧を 50, 70, 90, 110 kV と変化させ、それぞれ 3 回の照射を行った。

#### 2.3.2 エネルギー依存性

エネルギー依存性を調べる実験では、管電流 100 mA、照射時間 100 ms とし、管電圧 50～120 kV において 10 kV 刻みで変化させて線量を測定

した。幾何学的配置は、床上 50 cm の空中に検出器を配置し、X線管～検出器の距離は 120 cm とした。照射野サイズは 17×17 cm とし、各検出器に対して 5 回の照射を行い、平均値を求めた。

### 2.3.3 線量依存性

線量依存性を調べる実験では、管電圧を 80 kV、管電流を 200 mA とし、照射時間を 1～2,000 ms の区間において適宜に変化させて測定した。幾何学的配置や照射野サイズは 2.3.2 と同様であり、5 回の照射から平均値を求めた。

### 2.3.4 線量率依存性

線量率依存性を調べる実験では、管電圧 80 kV、照射時間 100 ms とし、管電流を 10, 20, 50, 100, 200, 320, 640 mA と変化させて測定した。幾何学的配置や照射野サイズは 2.3.2 と同様であり、5 回の照射から平均値を求めた。

### 2.3.5 角度依存性

x2 と Piranha に対して、C アーム装置を使用して X線照射実験を行った。管電圧 80 kV、管電流 100 mA、照射時間は 25 ms、照射野サイズは 8×8 インチ、X線管と検出器の距離は 73 cm とした。角度を 5°～15° 刻みで変化させながら、それぞれの角度で 3 回照射により線量を測定し、平均値を求めた。

## 3. 結 果

### 3.1 後方散乱

図 2 は、各測定器について、後方散乱の有無が線量測定の結果に与える影響を示すグラフである。縦軸は散乱なしのときと比べた散乱ありのときの線量比率、横軸は設定管電圧値とした。電離箱は後方散乱の影響があったが、x2 と Piranha は、共に後方からの散乱線は線量測定結果に寄与しなかった。

### 3.2 エネルギー依存性

図 3 は x2 および Piranha の線量測定におけるエネルギー依存性を示すグラフである。縦軸は電離箱での線量測定値を 1 として比較した、x2、Piranha それぞれの測定値の割合であり、横軸は設定管電圧値である。双方の測定器において、管電圧を変化させても、電離箱での測定値と比べて

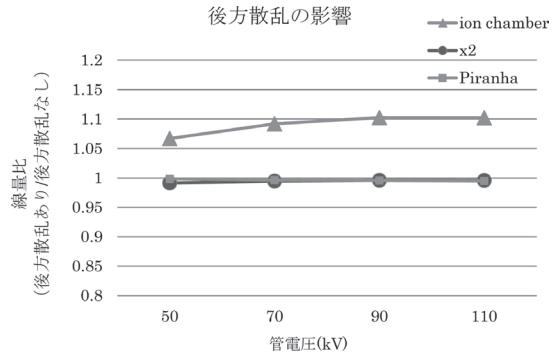


図 2. 後方散乱が各測定器の線量測定に与える影響 x2, Piranha, 電離箱を用いて、後方散乱の有無による線量測定値の変化を示したグラフである。横軸に X線発生装置の設定管電圧値を、縦軸に、後方に散乱体があるときの測定値を散乱体なしのときの測定値で除した数値を示した。

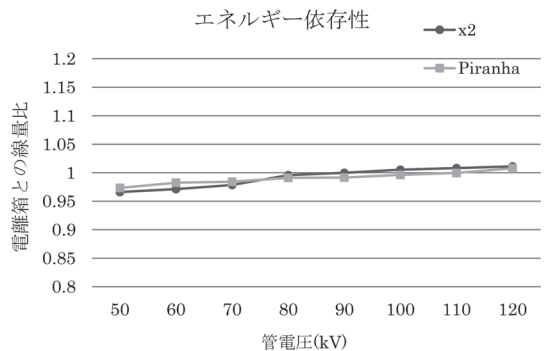


図 3. 非接触型 X線測定器による線量測定時におけるエネルギー依存性 x2, Piranha の線量測定において、管電圧を変化させたときの特性を示したグラフである。横軸に X線発生装置の設定管電圧値を、縦軸に電離箱での測定値と比較した測定値の比率を示した。

±3% 未満の範囲に測定値が示され、エネルギー依存性は比較的良好であった。

### 3.3 線量依存性

図 4 は x2 の線量測定における線量依存性を示すグラフである。縦軸は x2 の線量測定値、横軸は電離箱での線量測定値を示した。直線的なグラフとなり、 $R^2$  値は 1 だった。また Piranha での結果も直線的なグラフになり (図は省略)、 $R^2$  値は

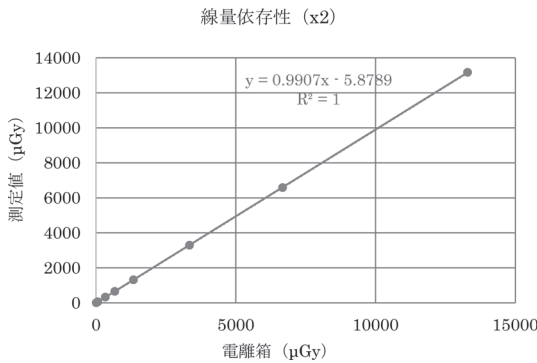


図 4. RaySafe x2 による線量測定時における線量依存性  
x2 の線量測定において、照射線量を変化させたときの特性を示したグラフである。横軸に電離箱での測定値を、縦軸に x2 での測定値を示した。図中に直線の式と R<sup>2</sup> 値を示した。

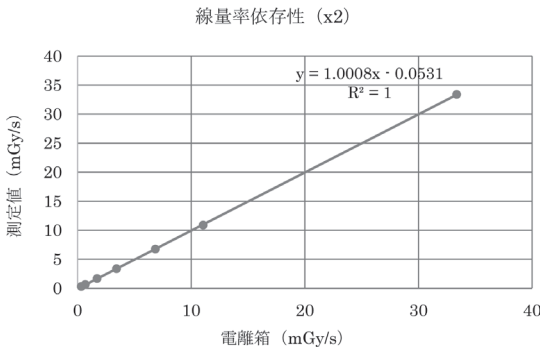


図 5. RaySafe x2 による線量測定時における線量率依存性  
x2 の線量測定において、照射する線量率（管電流）を変化させたときの特性を示したグラフである。横軸に電離箱での測定から算出した線量率を、縦軸に x2 での測定から算出した線量率を示した。図中に直線の式と R<sup>2</sup> 値を示した。

1 であった。

### 3.4 線量率依存性

図 5 は x2 の線量測定における線量率依存性を示すグラフである。縦軸は x2 にて測定した線量率であり、横軸は電離箱で測定した線量を設定照射時間で除算して求めた線量率である。双方の測

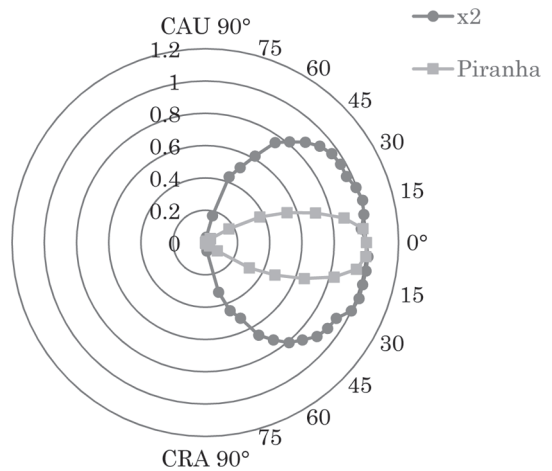


図 6. 非接触型 X 線測定器による線量測定時における頭尾・尾頭方向の角度依存性  
x2, Piranha の線量測定において、X 線が検出器に入射する角度を、検出器の頭尾方向 (CRA) および尾頭方向 (CAU) に変化させたときの特性を示したグラフである。角度 0° での測定値を基準とし、各角度における線量の比率を示した。

定器において直線的なグラフが得られ (Piranha に関する図は省略)、R<sup>2</sup> 値は 1 であった。

### 3.5 角度依存性

図 6 は頭尾・尾頭方向の角度依存性、図 7 は右前斜・左前斜方向の角度依存性についてそれぞれ示したグラフである。角度 0° (検出面に垂直方向) での測定値を 1 とし、X 線入射角度を変化させたときの測定値の割合をプロットした。x2 は角度がついた照射でも感度があった一方で、Piranha は検出面に垂直付近の角度以外では、著しく低い測定値を示した。x2 は角度 30~40° のときに 90% 以上の線量測定値であった一方で、Piranha は 5~10° で 90% を下回った。

## 4. 考 察

X 線装置の照射線量は、適切な画像撮影や患者の被ばく管理などの面で非常に重要な項目であり、正しく管理されなければならない。線量測定において、高精度かつエネルギー依存や線量依存がほとんどないことから、電離箱線量計が基準と



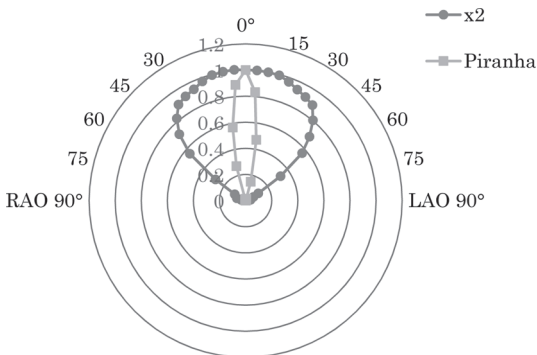


図7. 非接触型X線測定器による線量測定時における右前斜・左前斜方向の角度依存性  
x2, Piranhaの線量測定において、X線が検出器に入射する角度を、検出器の右斜前方向(RAO)および左斜前方向(LAO)に変化させたときの特性を示したグラフである。角度0°での測定値を基準とし、各角度における線量の比率を示した。

して用いられる。しかし電離箱は気温・気圧の測定やそれに伴う補正が必要であるため、セットアップに時間等を要する。本研究で用いた非接触型のX線測定器は、気温気圧補正などが不要であり、ケーブル接続だけの簡単なセットアップにより、照射されたX線の測定評価が可能な装置である。したがって非接触型X線測定器は、放射線機器を扱う医療施設において、日常のQCQAを行うときに非常に有用であると考えられ、本研究でも報告を行ってきた<sup>5-11)</sup>。新しく発売されたRaySafe x2は、X線の検出直後に、照射されたX線データを波形と共に確認できることが特長のひとつである。さらにRaySafe x2は、本体がタッチパネル式で使いやすく、従来装置と比べて簡単に使用できる<sup>12)</sup>。

現在、非接触型のX線測定器としては、RTI社製のPiranhaが比較的多く用いられ、評価報告がなされている<sup>13,14)</sup>。そこでPiranhaを比較対象として、RaySafe x2の線量測定実験を行った。

後方散乱に関する実験では、x2とPiranhaは同様の結果になり、後方散乱線は測定結果に寄与していなかった。

エネルギー特性実験では、x2, Piranha共に、

同等の傾向のエネルギー依存性を示した。両者ともに約3%以内のエネルギー依存でありQCQAに十分に使用可能であると思われた。

線量特性実験、線量率特性実験においても、x2, Piranha共に電離箱での測定値に比例した、良好な結果が得られた。変動は誤差範囲であり、線量や線量率に依存して線量測定値が変化することはないと言える。

頭尾方向、尾頭方向の角度特性実験では、x2は双方向とも良好であった、一方、Piranhaは斜め方向の照射に対して正確な測定ができないことがわかった。右前斜方向、左前斜方向の角度特性実験では、左右ともx2は比較的に良い特性を示したのに対し、Piranhaは低感度であった。Piranhaは左右とも角度10°程で1/2まで低下するが、そのときx2は0°のときと変わらず正確に測定できており、x2は左右方向の角度依存性も良好であることが分った。角度依存を調べた2つの実験より、x2は検出面に対して垂直方向でなくてもある程度の検出能を持つが、一方Piranhaは検出面に垂直にX線を照射しなければ、正確な測定ができないと言える。この差異が現れた原因の1つとして、検出器自体の大きさや構造など、幾何学的な要因が考えられる。

今回の実験結果から非接触型X線測定器RaySafe x2はPiranhaに比べ、角度特性で優位と言える。その他の項目については、実験を行った範囲において、両者の特性は同等であった。

## 5. 結 論

新しい非接触型X線測定器RaySafe x2について、RTI社製のPiranhaと線量測定に関する比較実験を行った。2つの測定器間において、後方散乱、エネルギー依存性、線量依存性、線量率依存性に関して、大きな差異は見られなかった。しかし角度依存性についてはx2が優れているという結果が見られた。今回の比較測定実験から総合的に判断し、x2は基本特性が良好であり、使用前のセットアップの簡易性や、解析の利便性に優れたX線測定器であると思われた。ゆえにRaySafe x2は、X線装置の線量測定に関するQCQAを行

う測定器として有用であると考える。

## 謝 辞

実験に際しご協力頂きました，東北大学医学部保健学科診療放射線技術科学専攻，伊藤拓未，稲野理穂，三瓶司，松田拓馬の各氏に心から御礼申し上げます。

なお本研究の一部は，独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業の学術研究助成基金助成金（課題番号；24300179）の助成を受けた。

## 文 献

- 1) Chida, K., Saito, H., Ito, D., Shimura, H., Zuguchi, M., Takai, Y.: FFT analysis of the X-ray tube voltage waveforms of high-frequency generators for radiographic systems, *Acta Radiol.*, **46**(8), 810-814, 2005
- 2) 厚生労働省：良質な医療を提供する体制の確立を図るための医療法等の一部を改正する法律の一部の施行について，医政発，第 0330010 号，1-12, 2007
- 3) 厚生労働省：医療機器に係る安全管理のための体制確保に係る運用上の留意点について，医政発，第 0330018 号，1-6, 2007
- 3) Unfors RaySafe : RaySafe x2 Specifications, 2-7, Sweden, 2013
- 4) 千田浩一，佐藤弘之，斎政博，佐々木正寿，有馬宏寧，洞口正之，坂本澄彦：新しい X 線アナライザ NOMEX の性能評価，*臨放*，**40**, 753-756, 1995
- 5) 斎政博，千田浩一，榊田秀晴，板垣良二，石屋博樹，佐々木正寿，有馬宏寧：X 線アナライザによる X 線量測定—X 線装置管理を目的とした検討—，*日放技学誌*，**51**(7), 827-832, 1995
- 6) 石屋博樹，千田浩一，大石幹雄，ほか：Non-invasive 型 X 線アナライザの性能評価：透視条件における検討，*東北大学医療技術短期大学部紀要*，**5**(1), 77-82, 1996
- 7) 砂金芳朋，千田浩一，佐々木齊喜，ほか：付加フィルターが X 線アナライザ測定値に及ぼす影響，*東北大学医療技術短期大学部紀要*，**6**(2), 67-73, 1997
- 8) 渡辺暁，千田浩一，佐藤弘之，ほか：Non-invasive 型 X 線管電圧測定器 (TYPE 9001) の性能評価，*東北大学医療技術短期大学部紀要*，**7**(2), 115-122, 1998
- 9) Chida, K., Inaba, Y., Masuyama, H., Yanagawa, I., Mori, I., Saito, H., Maruoka, S., Zuguchi, M.: Evaluating the performance of a MOSFET dosimeter at diagnostic X-ray energies for interventional radiology, *Radiol. Phys. Technol.*, **2**(1), 58-61, 2009
- 10) 森島貴顕，千葉浩生，片平美明，千田浩一，小野寺理沙：新型リアルタイム患者皮膚被曝線量計の性能評価，*臨放*，**56**, 779-785, 2011
- 11) Inaba, Y., Chida, K., Kobayashi, R., Kaga, Y., Zuguchi, M.: Fundamental study of a real-time occupational dosimetry system for interventional radiology staff, *J. Radiol. Prot.*, **34**(3), 65-71, 2014
- 12) Heintz, P., Chambers, G., Sandoval, D.: Evaluation of the New RaySafe Unfors x2 Dosimetry System, *Medical Physics.*, **41**(6), 150, 2014
- 13) 猪岡由行，有賀英司，西尾直美，大島隆嗣：非接続型 X 線出力アナライザの精度評価，*日放技学誌*，**69**, 1153-1160, 2013
- 14) Brateman, L., Heintz, P.: Solid-state dosimeters: A new approach for mammography measurements, *Medical Physics.*, **42**(2), 542-557, 2015