

卒業論文

題目：非接触型 X 線アナライザ Unfors ThinX RAD の不確かさの検討

大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
医療技術科学分野
(指導: 医用物理工学講座 松本光弘 准教授)
05C11007 川手真奈
(平成 26 年 12 月 11 日 提出)

要旨

〈題目〉

非接触型 X 線アナライザ **Unfors ThinX RAD** の不確かさの検討

〈背景・目的〉

一般撮影装置での管電圧、線量、線量率、半価層、照射時間、およびパルスを同時測定するマルチパラメータ測定器として、基本的なニーズを満たすように最適化された最先端のツールとして **Unfors ThinX RAD** (**Unfors RaySafe AB** 社製、スウェーデン) というものがある。そこで、診断領域の撮影装置における **Unfors ThinX RAD** (以下 **Unfors**) の測定値の不確かさを指頭形線量計を用いて検討した。**Unfors** と指頭形電離箱線量計の双方で線量及び半価層を計測し、管電圧、照射時間については設定値との比較評価を行った。

〈方法〉

X 線発生装置は **KX0-50G**、**KX0-80G** (共に東芝社製) を用い、管電圧を 60kV~120kV まで変化させ、**Unfors** (**Unfors RaySafe AB** 社製) と指頭形線量計 (**PTW** 社 30010 型) とで A1 半価層をそれぞれ測定した。

次に、**KX0-50G**、**80G** において管電圧を 50kV~140kV まで 10kV ずつ変化させ、**Unfors** と指頭形線量計とでそれぞれ空気カーマを測定した。また、それぞれの管電圧の設定値と **Unfors** の管電圧表示値との比較を行った。

同様に、**KX0-50G**、**80G** において照射時間を 10、20、40、80、160、320msec と変化させ、**Unfors** と指頭形線量計との線量比較及び、それぞれの照射時間の設定値と **Unfors** のタイマ表示値との比較を行った。

〈結果〉

Unfors の仕様書に記載されている半価層の不確かさは 0.2mmAl であり、**KX0-50G** の 120kV 半価層値のみ差が 0.3mmAl であったものの、それ以外は全て **Unfors** の不確かさの範囲内であった。

KX0-50G、**80G** における指頭形線量計での線量測定値の平均値はそれぞれ全て **Unfors** の不確かさ 5% の範囲内であった。また、X 線発生装置の設定値と **Unfors** の表示値について、管電圧では **KX0-50G**、**80G** 共に相関係数はほぼ 1.0、照射時間では両者の相関係数は 1.0 であった。

〈結論〉

Unfors ThinX RAD は簡単に高精度の測定が可能であり、大変有用な非接触型 X 線アナライザであった。

〈背景〉

一般撮影装置での管電圧、線量、線量率、半価層、照射時間、およびパルスを同時測定するマルチパラメータ測定器として、基本的なニーズを満たすように最適化された最先端のツールとして Unfors ThinX RAD (Unfors RaySafe AB 社製、スウェーデン) がある。Unfors ThinX RAD の主な特徴はフル自動のユーザーインターフェイス、つまり Unfors ThinX RAD には操作ボタンが一切なく、設定も、調整も、レンジ選択も必要なく、すべて自動で行われる。非常にコンパクトなサイズにもかかわらず、世界トップクラスの最先端技術を搭載しており、難なく高精度の測定ができるデバイスである。



〈目的〉

本研究の目的は、診断領域の撮影装置における Unfors ThinX RAD(以下,Unfors)の測定値の不確かさの検討である。Unfors と指頭形電離箱線量計の双方で線量及び半価層を計測し、管電圧、照射時間については X 線コントローラ設定値との比較評価を行った。

〈使用機器・器具〉

- X線発生装置
 - KXO-50G (TOSHIBA 社製)
 - KXO-80G (TOSHIBA 社製)
- 指頭形線量計
 - PTW 社 30010 型 0.6cc
- 電位計
 - PTW 社 UNIDOSE-E EMF331 型
- Unfors ThinX RAD (Unfors RaySafe AB 社製)
- アネロイド型気圧計 No. 7610-20 (SATO-KEIRYOKI 社製)
- 水銀温度計
- 半価層測定用アルミフィルタ及び取り付け器具

〈方法〉

1. 半価層の測定

保健学科 1F の X 線発生装置 KX0-50G と KX0-80G の Al 半価層を Unfors と指頭形線量計とでそれぞれ測定した。

Unfors の測定条件を表 1 に、指頭形線量計の測定条件を表 2、3 に示す。共に焦点検出器間距離 100cm、照射野 5×5cm とした。

表 1 Unfors ThinX RAD での KX0-50G、KX0-80G における半価層測定条件

kV	60	70	80	90	100	110	120
mA	200	200	200	200	200	200	200
msec	100	100	100	100	100	100	100

表 2 指頭形線量での KX0-50G における半価層測定条件

kV	60	80	100	120
mA	250	200	200	200
msec	200	200	100	100

表 3 指頭形線量での KX0-80G における半価層測定条件

kV	60	80	100	120
mA	320	320	320	200
msec	100	100	100	100

半価層の算出は、線量測定結果から対数近似計算より行った。対数近似計算は Al 吸収板のないとき (透過率 100%) の線量、および半価層より少し透過率の小さい Al 吸収板の厚さと少し透過率の大きい Al 吸収板の厚さから式 1 より半価層 $d_{1/2}$ を求めた。

$$d_{1/2} = \{t_b \times \ln(2E_a/E_o) - t_a \times \ln(2E_b/E_o)\} / \ln(E_a/E_b) \quad \text{----- (式 1)}$$

ただし、

E_o : Al 吸収板のない場合の線量

E_a : $E_o/2$ より少し大きい線量

E_b : $E_o/2$ より少し小さい線量

t_a : E_a が得られたときの Al の厚さ

t_b : E_b が得られたときの Al の厚さ

であり、 $E_a > E_b$ および $t_a < t_b$ である。

2. 空気カーマの測定 (管電圧特性)

まず KX0-50G と KX0-80G において管電圧を変化させ、Unfors と指頭形線量計とで線量をそれぞれ測定した。

次に、それぞれの管電圧の設定値と Unfors の管電圧表示値との比較を行った。

曝射条件は、焦点検出器間距離 100cm、照射野 10×10cm、管電流 200mA、照射時間 100msec、管電圧 50、60、70、80、90、100、110、120、130、140kV とした。

指頭形線量計については空気カーマ (電荷量) を測定した。

測定電荷量 [C] から吸収線量 [Gy] への変換は Wair 値を 33.97J/C として用い、式 2 によって算出した。

$$D [\text{Gy}] = Q \times N_c \times 2.58 \times 10^{-4} \times 33.97 \times k_1 \times F \quad \text{----- (式 2)}$$

D : 吸収線量 [Gy]

Q : 測定電荷量 [C]

N_c : 線量計の校正定数 (5.653E+09 [R/C])

k_1 : 大気補正係数

$$k_1 = [(273.2 + T) \times P_0] / [(273.2 + T_0) \times P]$$

T, P : 測定時気温 [°C]、気圧 [hPa]

T_0, P_0 : 線量計校正時の気温 [°C]、気圧 [hPa]

F : 変換係数

本研究で用いた指頭形線量計はコバルト校正定数であるため、診断領域エネルギーに変換するための変換係数(F)として 0.9425 を用いた。¹⁾

3. 空気カーマ測定 (タイマ特性)

まず KX0-50G と KX0-80G において照射時間を変化させ、Unfors と指頭形線量計とで線量をそれぞれ測定した。

次に、それぞれのタイマの設定値と Unfors のタイマ表示値との比較を行った。

曝射条件は、焦点検出器間距離 100cm、照射野 10×10cm、管電流 200mA、管電圧 80kV、撮影時間 10、20、40、80、160、320msec とした。次に、管電圧のみを 120kV に変更して同様に測定した。

指頭形線量計における測定電荷量 [C] から吸収線量 [Gy] への変換は式 2 を用いて算出した。

〈結果〉

1. 半価層の測定

KX0-50G と KX0-80G での半価層測定の結果を図 1、2 に示した。

平成 23 年度の卒業研究¹⁾で指頭形線量計を用いて KX0-50 の半価層を測定した結果が残っていたので比較のために図 1 に示した。

さらに t 検定を行ったところ、確率 p 値はそれぞれ 0.95、0.96 となった。

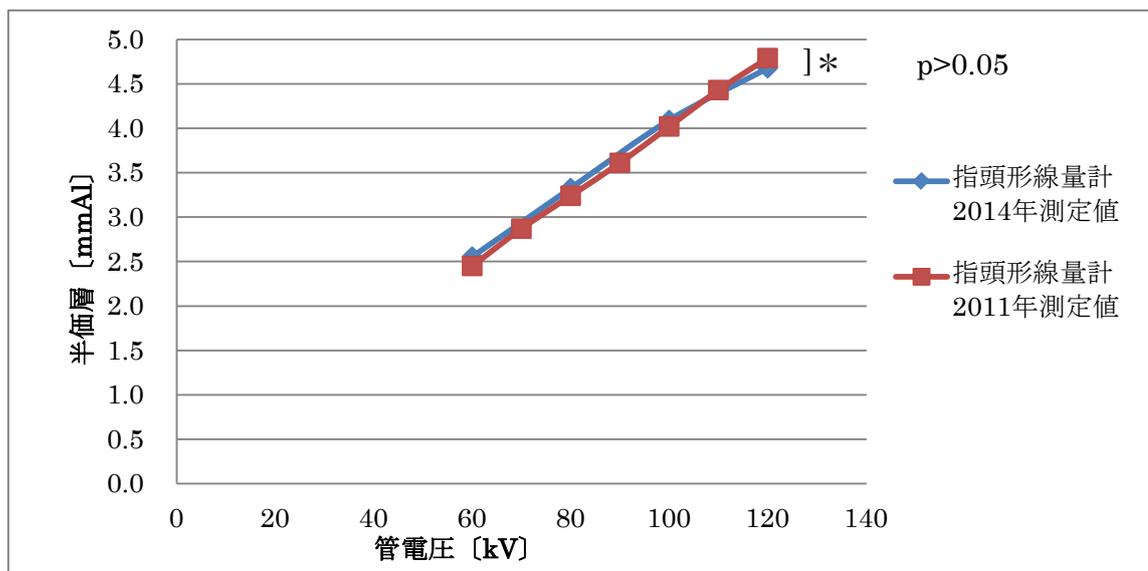


図 1 KX0-50G における半価層の経年比較

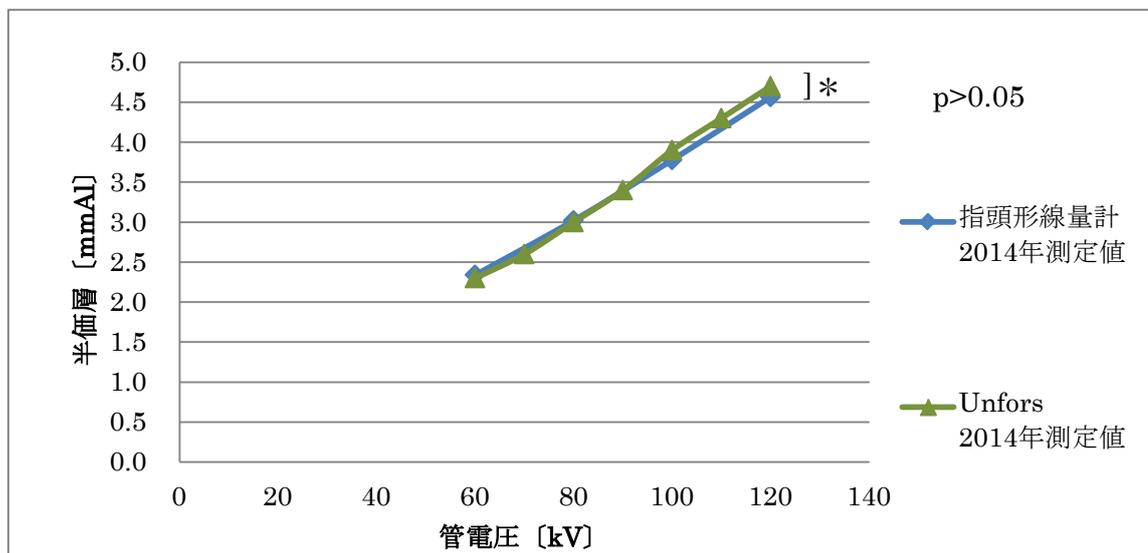


図 2 KX0-80G における半価層の比較

また、Unfors と指頭形線量計での測定値を表 4 に示した。

Unfors の仕様書²⁾に記載されている半価層の不確かさは 0.2mmAl であるので KXO-50G の 120kV の半価層値以外は全て Unfors の不確かさの範囲内であった。

表 4 半価層の測定値

管電圧 [kV]	KXO-50G			KXO-80G		
	Unfors [mmAl]	線量計 [mmAl]	差[mmAl]	Unfors [mmAl]	線量計 [mmAl]	差 [mmAl]
60	2.5	2.6	0.1	2.3	2.3	0.0
70	2.8			2.6		
80	3.3	3.3	0.0	3.0	3.0	0.0
90	3.7			3.4		
100	4.2	4.1	0.1	3.9	3.8	0.1
110	4.6			4.3		
120	5	4.7	0.3	4.7	4.6	0.1

2. 空気カーマの測定(管電圧特性)

KX0-50G と KX0-80G で測定した管電圧特性を図 3、4 に示した。

また、Unfors と指頭形線量計での測定値と不確かさを表 5、6 に示した。

Unfors の仕様書²⁾に記載されている線量の不確かさは 5%であり、KX0-50G、80G 共に指頭形線量計での測定値の平均値は Unfors の不確かさの範囲内であった。

また t 検定の結果、p 値はそれぞれ 0.59、0.65 であった。

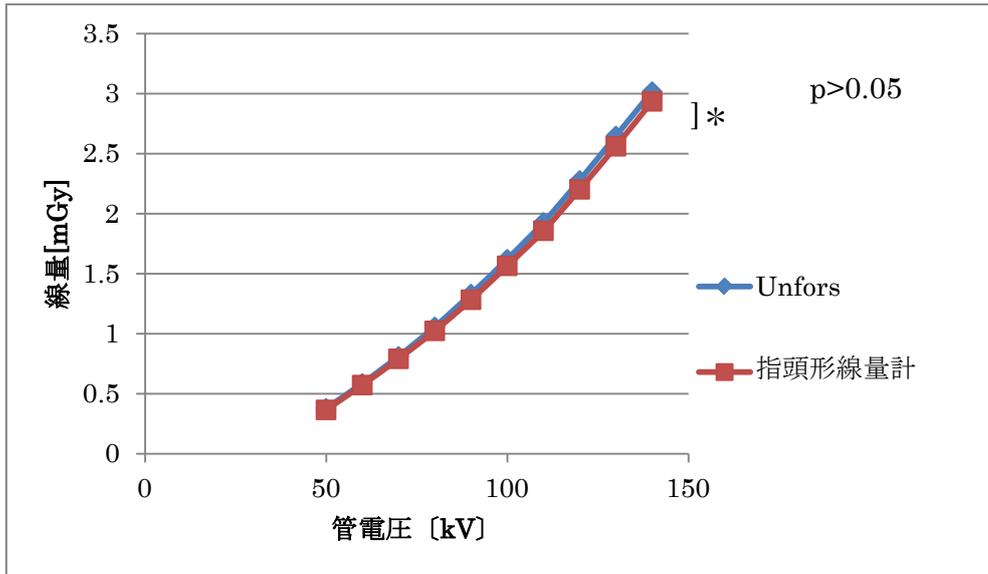


図 3 KX0-50G の管電圧特性

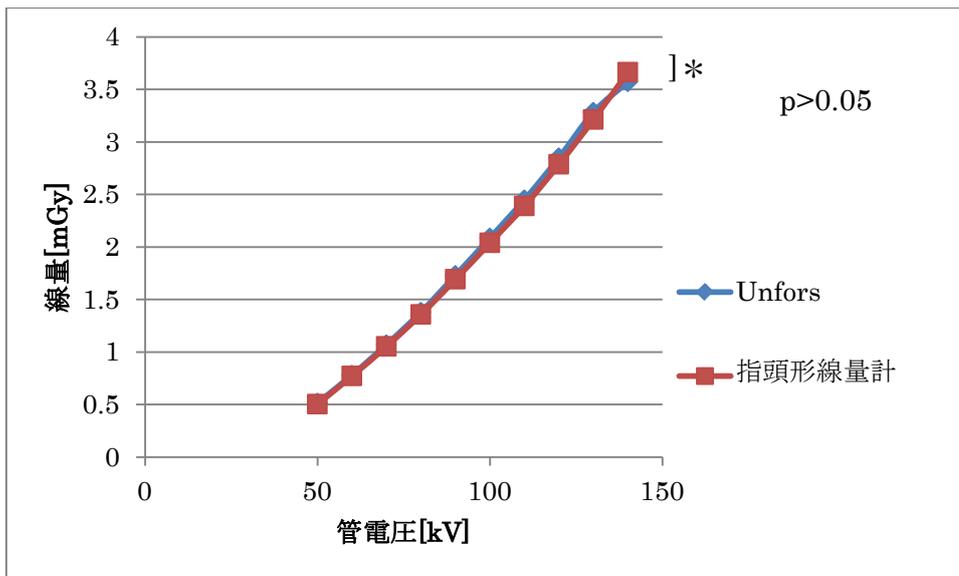


図 4 KX0-80G の管電圧特性

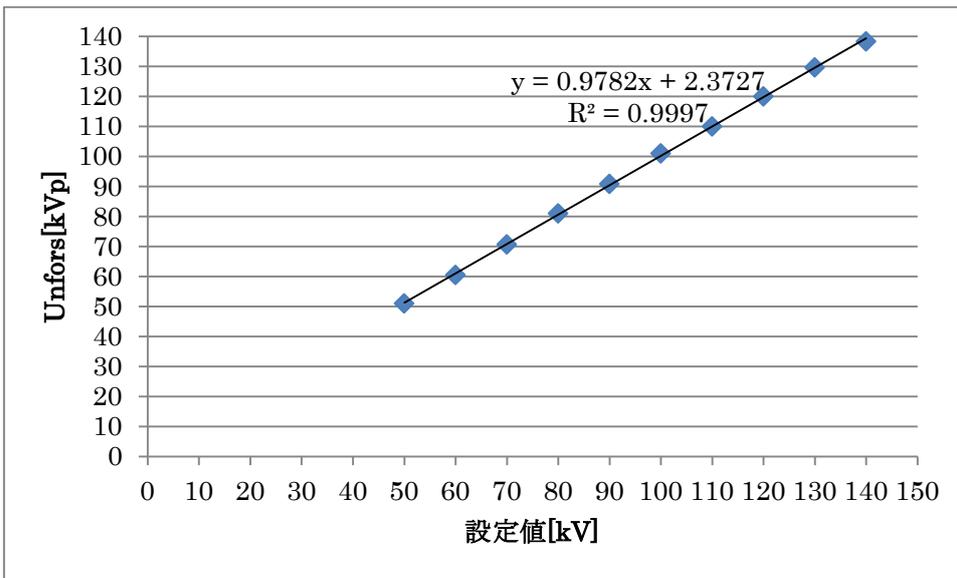
表 5 KX0-50G の測定値

管電圧 [kV]	Unfors		線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5% の範囲 [mGy]	線量平均値 [mGy]
50	0.38	0.36 ~ 0.40	0.36
60	0.59	0.56 ~ 0.61	0.57
70	0.81	0.77 ~ 0.85	0.79
80	1.1	1.0 ~ 1.1	1.0
90	1.3	1.2 ~ 1.4	1.3
100	1.6	1.5 ~ 1.7	1.6
110	1.9	1.8 ~ 2.0	1.9
120	2.3	2.2 ~ 2.4	2.2
130	2.6	2.5 ~ 2.8	2.6
140	3.0	2.9 ~ 3.2	2.9

表 6 KX0-80G の測定値

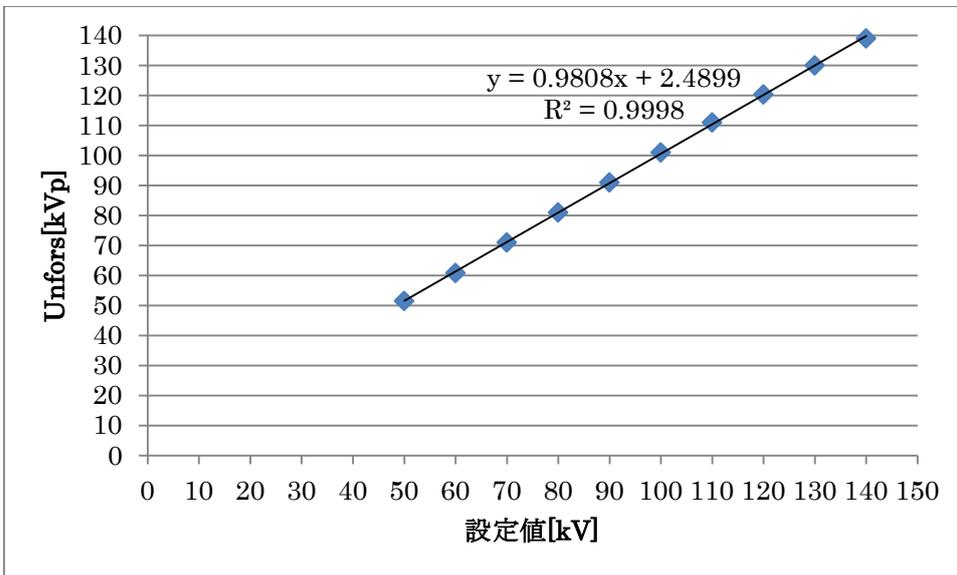
管電圧 [kV]	Unfors		線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5% の範囲 [mGy]	線量平均値 [mGy]
50	0.51	0.49 ~ 0.54	0.50
60	0.78	0.74 ~ 0.82	0.77
70	1.1	1.0 ~ 1.2	1.1
80	1.4	1.3 ~ 1.5	1.4
90	1.7	1.6 ~ 1.8	1.7
100	2.1	2.0 ~ 2.2	2.0
110	2.5	2.4 ~ 2.6	2.4
120	2.9	2.8 ~ 3.0	2.8
130	3.3	3.1 ~ 3.5	3.2
140	3.6	3.4 ~ 3.8	3.7

次に、X線発生装置の設定値と Unfors で測定した管電圧との相関関係を図 5、6 に示した。
KX0-50G、80G 共に相関係数はほぼ 1.0 であった。



相関係数 : 0.9997、決定係数 : 0.99985

図5 KX0-50Gにおける管電圧の相関関係



相関係数 : 0.9998、決定係数 : 0.9999

図6 KX0-80Gにおける管電圧の相関関係

3. 空気カーマの測定(タイマ特性)

KX0-50G と KX0-80G で測定したタイマ特性を図 7、8 に示した。

また、Unfors と指頭形線量計での測定値を表 7~10 に示した。

Unfors の仕様書²⁾に記載されている線量の不確かさは 5%であり、全てにおいて指頭形線量計の平均値は Unfors の不確かさの範囲内であった。

また t 検定の結果、p 値は KX0-50G では共に 0.96、80G ではそれぞれ 0.97、0.98 であった。

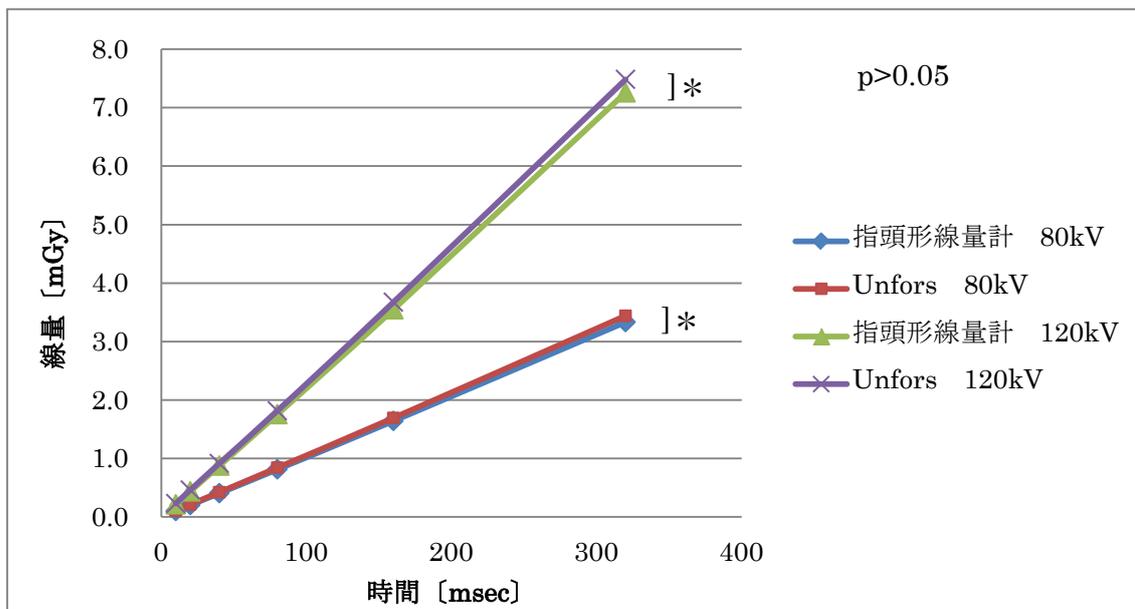


図 7 KX0-50G におけるタイマ特性

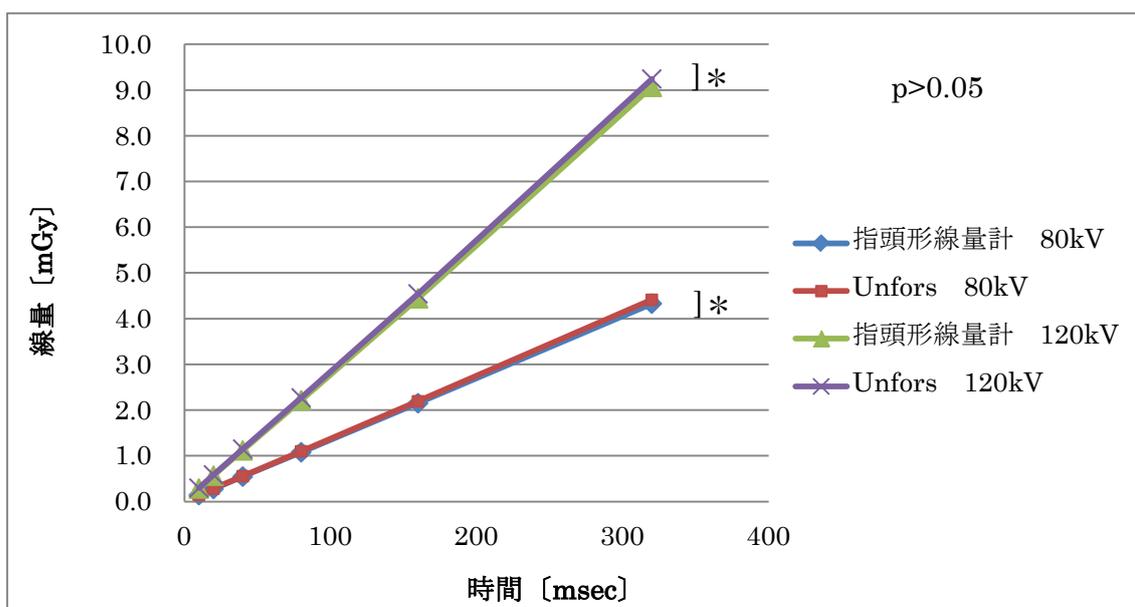


図 8 KX0-80G におけるタイマ特性

表7 KX0-50Gにおける管電圧 80kV での測定値

タイマ [msec]	Unfors			線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5%の範囲 [mGy]		線量平均値 [mGy]
10	0.11	0.10	~ 0.11	0.10
20	0.21	0.20	~ 0.22	0.20
40	0.42	0.40	~ 0.44	0.41
80	0.8	0.76	~ 0.84	0.8
160	1.7	1.6	~ 1.8	1.6
320	3.4	3.2	~ 3.6	3.3

表8 KX0-50Gにおける管電圧 120kV での測定値

タイマ [msec]	Unfors			線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5%の範囲 [mGy]		線量平均値 [mGy]
10	0.23	0.22	~ 0.24	0.22
20	0.46	0.44	~ 0.48	0.44
40	0.92	0.87	~ 0.97	0.88
80	1.8	1.7	~ 1.9	1.8
160	3.7	3.5	~ 3.9	3.6
320	7.5	7.1	~ 7.9	7.3

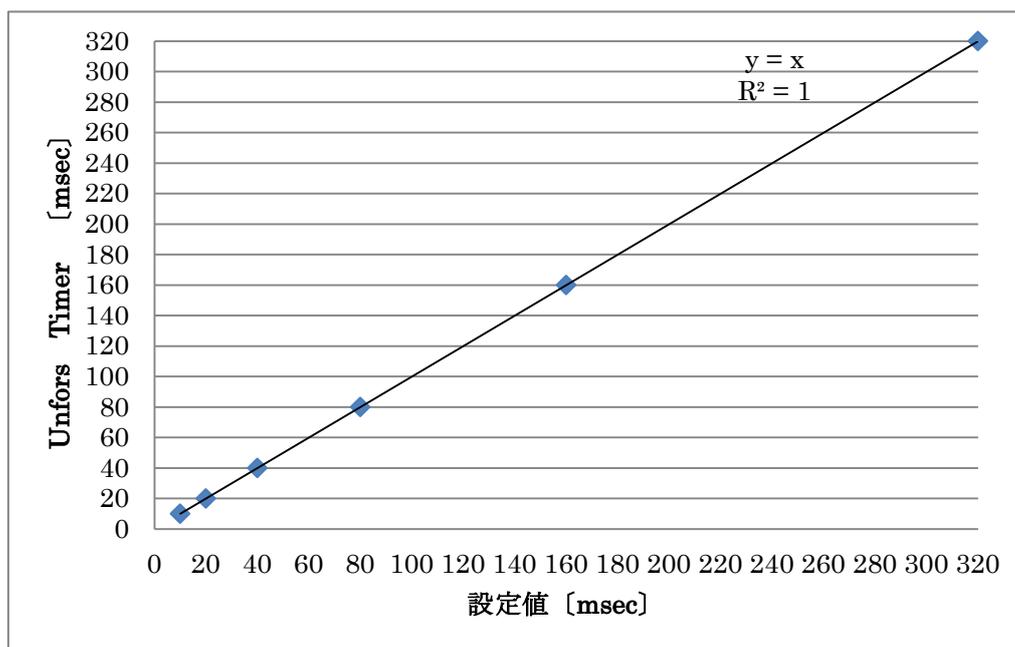
表9 KX0-80Gにおける管電圧 80kV での測定値

タイマ [msec]	Unfors			線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5%の範囲 [mGy]		線量平均値 [mGy]
10	0.14	0.13	~ 0.15	0.14
20	0.28	0.27	~ 0.29	0.28
40	0.56	0.53	~ 0.59	0.55
80	1.1	1.0	~ 1.2	1.1
160	2.2	2.1	~ 2.3	2.2
320	4.4	4.2	~ 4.6	4.3

表 10 KX0-80G における管電圧 120kV での測定値

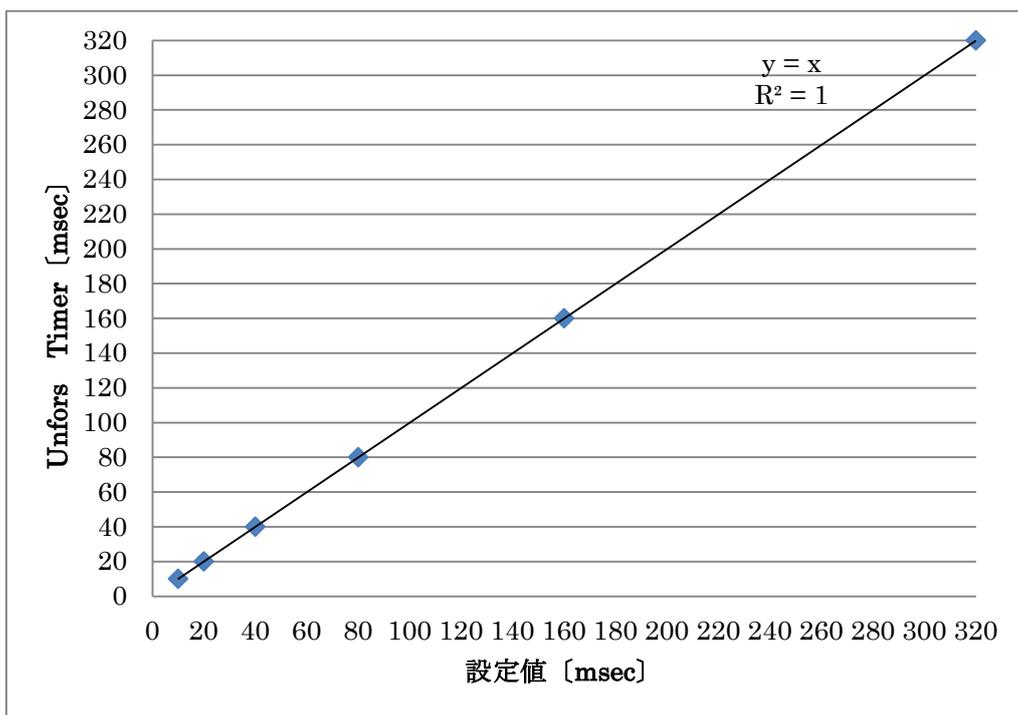
タイマ [msec]	Unfors				線量計
	線量 [mGy]	不確かさ 5%の範囲 [mGy]			線量平均値 [mGy]
10	0.30	0.29	~	0.32	0.29
20	0.59	0.56	~	0.62	0.57
40	1.2	1.1	~	1.3	1.1
80	2.3	2.2	~	2.4	2.2
160	4.5	4.3	~	4.7	4.5
320	9.2	8.7	~	9.7	9.1

次に、装置の設定値と Unfors で測定した管電圧との相関関係を図 9~12 に示した。
 全てにおいて両者の相関関係は 1.0 であった。



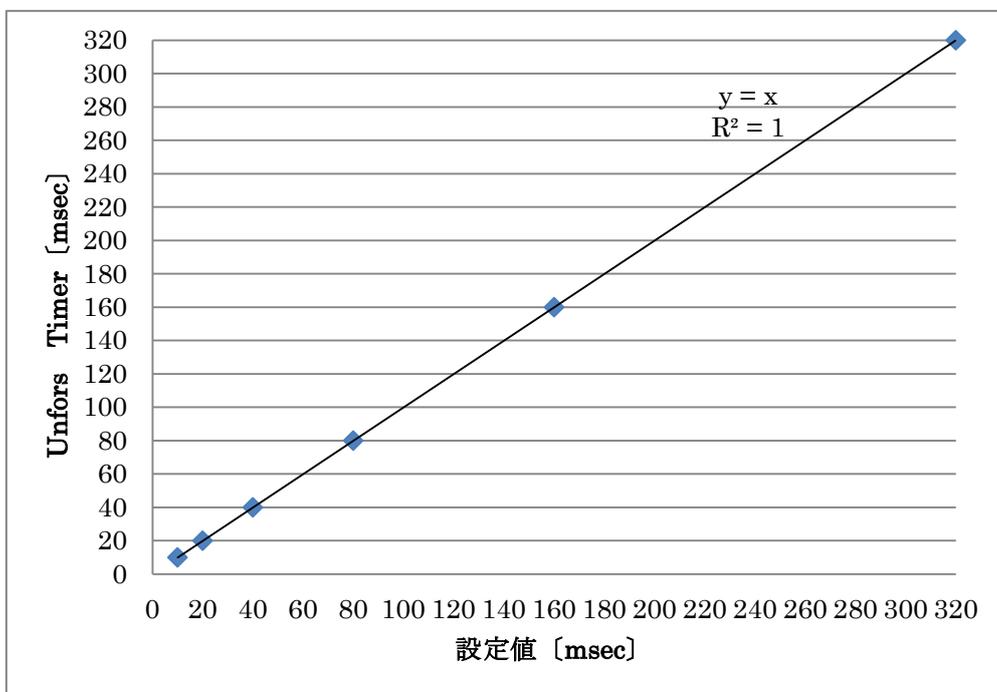
相関係数 : 1.0、決定係数 : 1.0

図 9 KX0-50G における管電圧 80kV での照射時間の相関関係



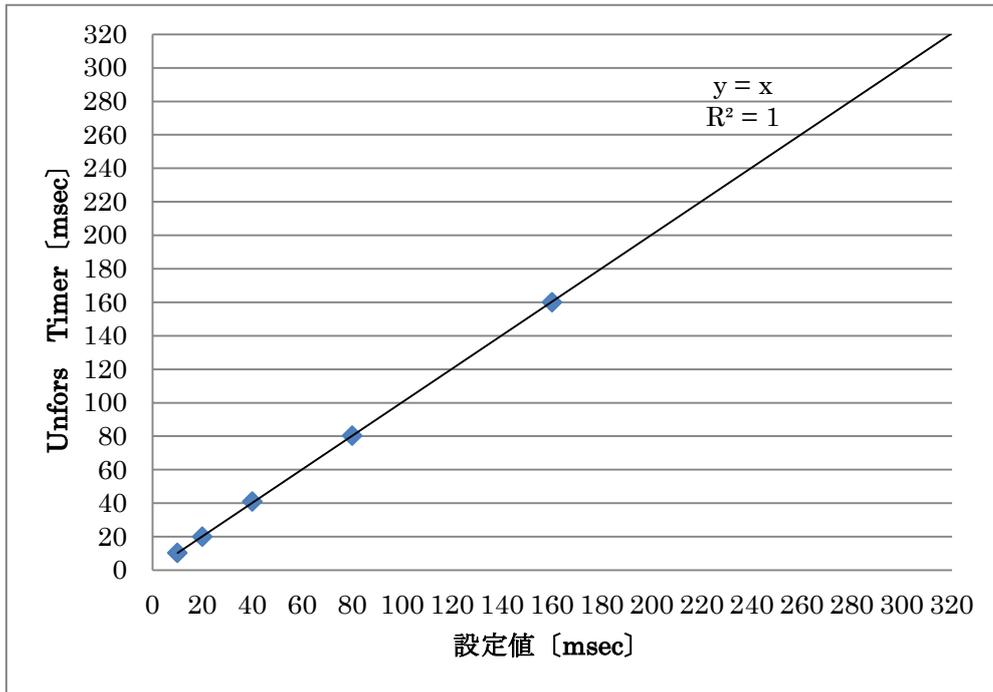
相関係数 : 1.0、決定係数 : 1.0

図 10 KX0-50G における管電圧 120kV での照射時間の相関関係



相関係数 : 1.0、決定係数 : 1.0

図 11 KX0-80G における管電圧 80kV での照射時間の相関関係



相関係数 : 1.0、決定係数 : 1.0

図 12 KX0-80G における管電圧 120kV での照射時間の相関関係

〈考察〉

まず半価層についてであるが、図 3、4 より半価層は概ね 0.2mmAl という不確かさの範囲内で十分測定できているという結果が得られた。しかし、管電圧 120kV では KX0-50G においては不確かさの範囲から少し外れているが、線量計による半価層測定においても一般的に 0.2mmAl 程度の不確かさを有しているため十分の精度であると考えられる。

次に指頭形線量計で測定した線量と **Unfors** で測定した線量とを比較すると、図 5、6、9、10 より全ての測定値において **Unfors** の不確かさ 5% の範囲内に線量計測定値（平均値）が入っており、十分な測定精度であることが確認できた。

また、**Unfors** の仕様書²⁾に記載されている半価層と線量の不確かさはそれぞれ 10% と 5% であるが、実際の測定データから計算すると半価層については 1.3%、線量については 0.25% の不確かさが得られたため、記載されている不確かさを十分に満たしていた。

そして図 1、2、3、4、7、8 より、行ったすべての t 検定で有意差はみられなかった。

管電圧計測においても X 線発生装置の設定値と **Unfors** との比較において、図 7、8 よりどちらの装置でも相関係数 0.99 と非常に高い相関関係が得られたことから管電圧計測は非常に高精度である。照射時間においては図 11～14 より相関係数 1.0 という完全な相関関係が得られたことから照射時間計測は完璧な精度である。

最後に、半価層の測定においても、管電圧特性の測定においても、タイマ特性の測定においても KX0-80G のほうが KX0-50G と比較して同じ条件でも高い線量であった。これは、 KX0-50G の管球固有濾過は $1.1\text{mmAl}/75\text{kV}$ であるのに対し、 KX0-80G は $0.7\text{mmAl}/75\text{kV}$ であることに起因していると考えられる。

〈結論〉

半価層、線量、管電圧、照射時間の全てにおいて Unfors での測定値は十分不確かさの範囲内であり、Unfors は簡単に高精度の測定が可能であり、大変有用な非接触型 X 線アナライザであった。

<謝辞>

本論文を作成するにあたり、多くの有益な助言を賜りました大阪大学大学院医学系研究科
医用物理工学講座 松本光弘 准教授に深く感謝申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 元木 亜由美. Image-guided radiotherapy における kV-imager の被曝線量評価～EPID images vs CBCT～. 大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻 医療技術分野 卒業論文. 2011.1
- 2) Unfors ThinX RADーアンフォース・スィネクス・ラド仕様書