

## 超微弱ライナック電子線照射場の線量分布の イメージングプレートを用いた評価

### EVALUATION OF THE DOSE DISTRIBUTION IN THE IRRADIATION FIELD OF THE ULTRA-LOW INTENSITY LINAC ELECTRON BEAMS USING AN IMAGING PLATE

下邨広元<sup>#, A)</sup>, 谷口良一<sup>B)</sup>, 奥田修一<sup>B)</sup>, 宮丸広幸<sup>B)</sup>, 松浦寛人<sup>B)</sup>, 小嶋崇夫<sup>B)</sup>

Hiromoto Shimomura<sup>#, A)</sup>, Ryoichi Taniguchi<sup>B)</sup>, Shuichi Okuda<sup>B)</sup>,

Hiroyuki Miyamaru<sup>B)</sup>, Hiroto Matsuura<sup>B)</sup>, Takao Kojima<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Graduate school of engineering, Osaka Prefecture University

<sup>B)</sup> Radiation Research Center, Osaka Prefecture University

#### Abstract

Imaging plates (IP's) are widely used in medical and engineering fields for computed radiography (CR), non-destructive testing (NDT) etc. In the applications of IP's it is important to measure of two-dimensional dose distributions of ionizing radiations. The electron beams from a linear accelerator (linac) the energy can be continuously changed, and the beam position is controllable. However, the intensity of the electron beams is too high for the experimental study. Recently, we succeed in generating ultra-low intensity electron beams. The purpose of this work is to investigate the response of the IP to  $\gamma$ -rays and electron beams and to evaluate the two-dimensional dose distributions in the irradiation fields of the linac electron beams.

#### 1. はじめに

イメージングプレート (IP) は、電離放射線に対し非常に高感度な特性を持つ。そして、電離放射線の二次元の強度分布の画像を読み取り機を介して得ることができる。また、画像情報を消去することで繰り返し使用が可能である。現在、IP は医療用レントゲン撮影や非破壊検査に用いられている<sup>[1]</sup>。

通常の線形加速器 (ライナック) 電子線は、エネルギーや方向は制御できるが、高感度放射線線量計の特性研究などのために十分低い強度には微弱化することはできなかった。近年我々は、大阪府立大学の 16 MeV ライナックを用いて、超微弱電子線の発生に成功し、その照射場を利用して種々の実験を行っている。最近開発した電子線の 1 パルス当たりの最小電荷量は fC の領域である。その結果、この電子線の照射場の測定に IP を用いることが可能になった<sup>[2]</sup>。

IP は、時間の経過に依存するフェーディング特性を持つ。本研究では、この特性を知るために、校正された  $\gamma$  線照射場を用いて、照射終了から読み取りまでの時間を変えてその影響を調べた。そして、フェーディングの影響を受けないようにするのに必要な最適な時間を求めて、IP を読み取った。このような  $\gamma$  線照射場に対する IP の応答を基にして、電子線に対する IP の応答を評価した。

照射場の応用の一例として電子線ラジオグラフィについて報告する。

#### 2. IP の特性

今回の実験では、市販の X 線撮影用の IP (CR SR-VI、富士フィルム) と読み取り機 (AC-7/ST、富士フィルム) を使用した。IP のセンサー層の厚さは 120 $\mu$ m で、寸法は 20 cm x 25 cm、分解能は 0.1 mm  $\times$  0.1 mm である。

照射実験では、IP を読み取り用カセット (タイプ CC) 内に収納された状態で使用した。

吸収線量分布は、位置及び IP 上の PSL の強度から与えられる<sup>[1, 3, 4, 5]</sup>。 $\gamma$  線、電子線の照射線量は、残像が IP に残されなかった程度に十分に低いものであった。IP は読み出し手順の後に繰り返し使用した。

二次元線量計として IP を用いるには、次の主な特性、IP 上の感度の均一性、IP の読み取り時間の再現性、電離放射線照射後のフェーディング特性を考慮しなければならない。

フェーディングは、IP の種類、温度、照射後の読み取り時間によって異なる。本実験において、フェーディングの影響を無視できる読み取り時間を求めて、その時間で読み取りを行った。吸収線量に対応する IP の光刺激発光 (PSL) 信号の強度は、IP の読み取り信号から評価した。

<sup>#</sup> dw105008@edu.osakafu-u.ac.jp

### 3. 照射実験

#### 3.1 Co-60 を線源とする $\gamma$ 線の照射実験

$\gamma$  線照射実験は、照射に対する IP の応答特性と IP のフェーディング特性を調べるために行った。実験では、大阪府立大学放射線研究センターの  $\gamma$  線照射設備を使用した。図 1 は、3.7 GBq のコバルト 60 の  $\gamma$  線源による照射実験の構成を示す。非破壊検査用の照射装置は、 $\gamma$  線源を格納する鉛製容器、線源案内管と、誘導管から成る。 $\gamma$  線源は、手動クランクアウト機構を介してガイドチューブの先端に導入された。熱蛍光線量計 (TLD、UD-802PQ、Panasonic) を、ある点における線量計として用いた。素子は 4 種類あり、今回の実験には、素子 No.3 (EL3) を用いた。EL3 の測定対象は、 $\gamma$  線、X 線、 $\beta$  線である。EL3 の蛍光材料は  $\text{CaSO}_4$  (Tm) で、シールド材料は樹脂である。EL3 の測定線量範囲は、10  $\mu\text{Sv}$  ~ 500 mSv (1 mR ~ 50 R) である。

$\gamma$  線の照射実験では、TLD と IP が線源から 400 mm 離れた位置に配置され、IP に対して  $\gamma$  線を垂直に照射した。実験中の温度は 20°C であった。 $\gamma$  線照射後、IP の読み出しまでの時間を変化させて同様の実験を行った結果、フェーディングが平衡に達し減少が緩やかになるのが、15 分以降であった。

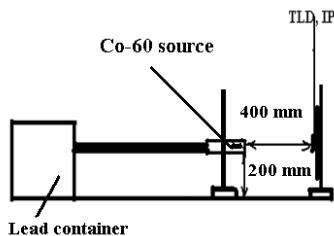


Figure 1. Schematic diagram showing the configurations of the irradiation experiment with Co-60  $\gamma$ -rays.

#### 3.2 超微弱電子線の生成

大阪府立大学の S バンドライナックとビーム輸送系を、図 2 に示す。

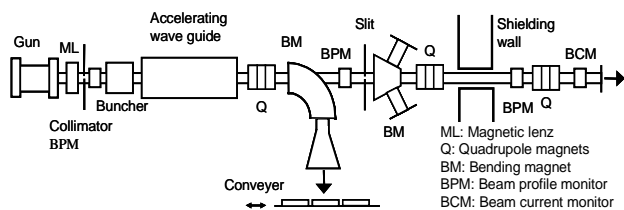


Figure 2. Schematic diagram of the OPU S-band linac and the beam-transport system.

ライナックから生成された超微弱電子線が、この実験に使用された。超微弱電子線を発生させるためにライナックの構成機器を次のように制御した。

- ①電子銃からの電流注入が安定した条件下で、熱電子銃の陰極のヒータ電流を減少させることによって電子線を微弱化した。
- ②電子線を加速した後、運用条件が安定した状態となるように、エネルギーの最大値を決定した。
- ③電子線は直進方向に輸送された。電子線の強度は、水冷ビームスリットを用いて減少させた。そのビーム減衰率は約 1/350 であった。
- ④電子線は遮蔽壁を通して輸送され、照射実験のために使用された。上記の結果得られた電子線の最小電荷量は、1 パルスあたり約 1 fC であった。集束された電子線の像の観測は、ZnCdS シンチレータと CCD カメラを用いて観察した。この監視システムは、電子線微弱化調整の過程で使用した。

電子線の強度は、あらかじめ特性を測定した放射線線量計で測定した。今回の実験では、微弱化された電子線のエネルギーは 8 MeV、パルス幅は 4  $\mu\text{s}$ 、電荷量は、1 パルスあたり約 10 pC だった。

#### 3.3 超微弱電子線の照射実験

図 3 は、超微弱ライナック電子線の照射実験の配置構成を示す。電子線は、集束磁石を使用した厚さ 50 $\mu\text{m}$  の Ti 真空窓に集中していた。Ti 真空窓から 400 mm 離れた位置に配置された IP は、電子線により垂直に照射された。実験中の温度は 20°C であった。照射時の電子の総電荷量は、電子線のパルスの数を変えることにより変化させた。フェーディングを考慮して、電子線の照射から 15 分後に IP を読み取り機に挿入した。この実験において、X 線バックグラウンドとなる制動放射 X 線の影響は、電子の照射量と比較して無視できる程度であった。

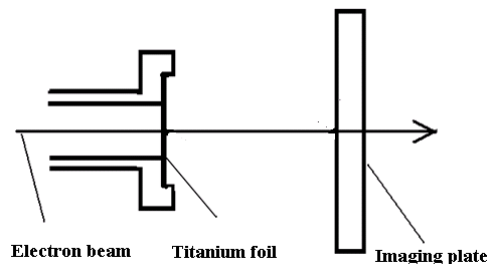


Figure 3. Schematic diagram of the experimental setup of the ultra-low intensity linac electron beam irradiation.

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 $\gamma$ 線照射実験の結果と考察

IP の二次元線量計としての基本的な特性は、 $\gamma$  線を使用することによって研究されてきた。IP のセンサー層内の吸収線量を評価することは困難である。今回の実験では、TLD を用いて測定吸収線量からそれを評価した。 $\gamma$  線照射線量率は、 $0.039 \text{ (nC / kg) / s}$  であった。測定には、同じ IP と TLD が繰り返し使用された。図 4 に、 $\gamma$  線照射線量と読み出し過程で取得した IP の出力 PSL 信号との関係を示す。

誤差の主な原因は、 $\gamma$  線照射線量率の誤差と IP 画像の均一性からのずれであった。データの最大誤差は約 3% であった。IP の出力 PSL 信号の均一性は、図に示した各データポイントを評価し、1% 以下の誤差であった。以前の研究では、それが 1.6% であることが報告されていた<sup>[1]</sup>。図 4 は、IP の線形応答を示す。これらの結果は  $\gamma$  線に対して、高い精度で二次元線量計として IP の適用可能性を示す

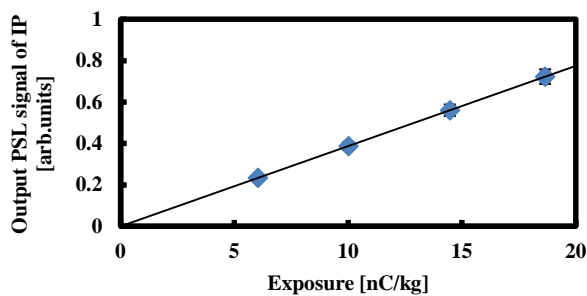


Figure 4. Relation between the  $\gamma$ -ray exposure and the output PSL signal of IP.

### 4.2 超微弱電子線の照射実験の結果

図 5 は、IP の応答を調べるために使用される超微弱電子線の典型的な像を示す。

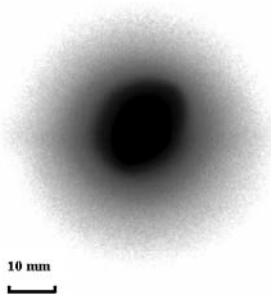


Figure 5. Typical image of the ultra-low intensity linac electron beams.

### 4.3 超微弱電子線の照射実験の結果と考察

図 6 は、照射電子線の電子の電荷と、IP の出力 PSL 信号との関係を示している。この場合、PSL 信号は、電子線強度分布の最大値に対応する。電子の電荷の誤差は、電荷高感度モニターによる測定誤差である。図 6 では、IP の線形応答を見ることができる。

$\gamma$  線、電子線を用いた本研究の結果より、超微弱電子線の照射場の二次元線量分布を IP を用いて高い精度で評価できることがわかった。電子線照射での照射線量率は、 $\gamma$  線照射の線量率に比べて極めて高い。電離放射線の異なる種類、異なるエネルギーで IP の感度を比較するために、更なる実験を準備中である。IP の感度の評価は、TLD を使用して吸収線量を求めることによって行われる。

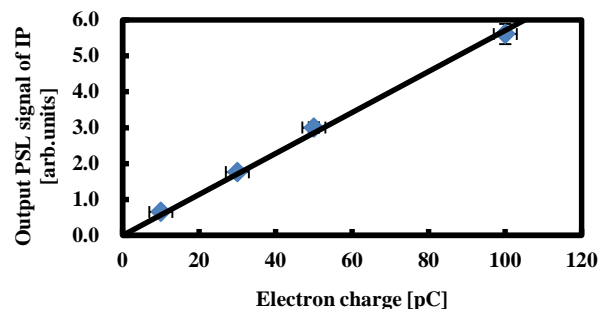


Figure 6. Relation between the electron charge in the irradiated electron beams and the output PSL signal of IP.

### 4.4 モデル試料による電子線ラジオグラフィ

照射の為の幅広い電子線を得るために、厚さ 2mm のアルミニウム板を、真空窓の外側にディフューザとして配置した。モデル試料は、直径 60mm、厚さ 2mm の円形のガラス板である。試料を薄膜テープで IP の照射面側に固定した。Ti 真空窓と試料との間の距離は 400 mm である。図 7 は、電子線のエネルギー 8 MeV、電荷量約 10 pC の電子線に対して得られた試料の画像を示す。

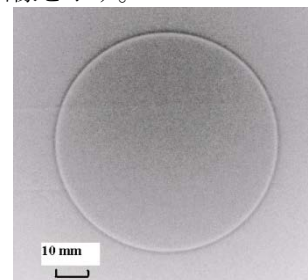


Figure 7. The IP image of the glass plate model sample irradiated with a broad electron beam from a linac.

図 7 に示すように、電子の線量は、試料の縁部で局所的に高くなる。この現象は、電子の散乱特性の挙動に起因する。

本研究の結果は、高エネルギー電子の二次元照射線量分布をモニタするための IP の重要性を示唆している。

## 5. 結論

本研究では、電子線の二次元照射線量計としての IP の応答を調べた。大阪府立大学放射線研究センターの C0-60 の  $\gamma$  線照射施設、16 MeV の S バンド電子線ライナックを実験に使用した。

$\gamma$  線照射実験では、IP の感度の均一性による誤差は 1%以内であることが分かった。 $\gamma$  線の照射と、IP の出力 PSL 信号との間の直線関係を得た。

超微弱電子線照射の実験において、電子線のエネルギーが 8 MeV、電荷量は 10 pC~100 pC であった。電子の電荷と IP の出力 PSL 信号との間に直線関係を得た。これらの結果は、超微弱電子線二次元線量分布が IP を用いて比較的高い精度で得られることを示した。

モデル試料による電子線ラジオグラフィ像で、高エネルギー電子の散乱挙動に応じて、試料の縁部で局所的に高くなる特徴のある像が得られた。この結果は、電子の局所照射線量の測定に関連し、高エネルギー電子線を使用した新しいイメージング法の開発への IP の応用の重要性を示している。

## 謝辞

この研究の一部は、2012-2013 年度 KEK 大学等連携支援事業の支援により行われた。

## References

- [1] J. Miyahara, Y. Amemiya, and T. Matsushita, *Imaging Plate, J. Phys. Soc. Jpn.* 45 (1990), pp. 398-404. [in Japanese]
- [2] R. Taniguchi, T. Kojima, and S. Okuda, *Radiat. Phys. Chem.* 76 (2007), pp. 1779-1782.
- [3] K. Tanaka, T. Yabuuchi, T. Takahashi, T. Ikeda, and S. Okuda, *Rev. Sci. Instrum.* 76, 013507 (2005), pp. 1-5.
- [4] K. Takahashi, *J. luminescence* 100, 1-4 (2002), pp. 307-315.
- [5] J. Shiraishi, D. Tatsumi, H. Huuma, A. Utsunomiya, K. Kusumi, and K. Doi, *Jpn. J. Radiological Technol.* 57 (2001), pp. 860-867.