

## CR システムによる Ti ターゲットフラッシュ X 線源の照射線量計測

小 松 真, 佐 藤 英 一

(受付 2003年10月17日)

### Measurement of Irradiation Dose from Titanium Target Flash X-ray Generator with CR System

Makoto KOMATSU and Eiichi SATO

Measurement of radiation from flash x-ray tube was conducted with CR system. Target of x-ray tube was titanium rod that is the same as our developing facility. Irradiation dose could be measured from the brilliance recorded on imaging plate of CR system. The brilliance was 12-bit number in DICOM viewer. Measurement data showed attenuation and diffusion of soft x-ray in the air. However, deviation of spatial distribution and large error per each trial were observed. We could anticipate that these were caused by configuration of the facility. This study shows the problems for improvement of present facility.

#### 1. はじめに

フラッシュ軟 X 線源は医用における高速度撮影光源をはじめとして, 種々の使用用途がある. 現在, 我々は汎用的で簡便なものの実現を目指し, チタン (Ti) をターゲットとしたプラズマフラッシュ X 線源の開発に着手している<sup>[1]</sup>. その過程で, 発生する X 線の特性評価は重要な課題のひとつであるが, 高精度かつ二次元的な計測が可能であるものは少ない. これを実現し, かつ取り扱いが簡単なものとして, Computed Radiography System (CR システム) に注目した<sup>[2-3]</sup>. 本研究では, CR システムの画像のコントラストが線量に相関する事実を用いて, 二次元的な線量計測による試作フラッシュ X 線の特性評価を試みた.

#### 2. フラッシュ X 線管と線量計測システム

##### 2. 1 Ti ターゲットフラッシュ X 線管

図 1 は Ti ターゲットフラッシュ X 線管の断面概念図, およびその駆動系を示したものである. ターゲットは直径 3 mm の Ti ロッドであり, 真鍮製の陽極に固定された. 陰極は内径 10 mm の黒鉛製のパイプであり, ターゲット先端と陰極パイプ断面平面との距離は 15 mm であった. X 線は両極間の放電時に発生するが, その放電に用いる電荷は高電圧電源より高電圧コンデンサーに蓄えられたものを用

---

\* 岩手医科大学 教養部 物理学

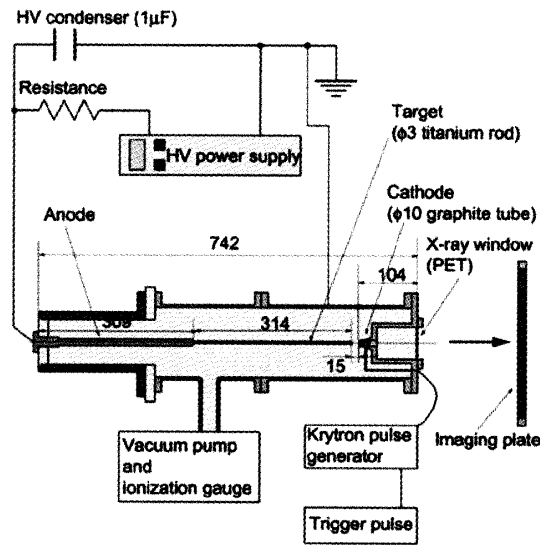


図1 X線管の断面図と駆動系

いた。放電トリガーとして、クライトロン信号発生機による陰極部での小放電を用いた。蓄電電圧は30kV、高電圧コンデンサーの容量は1mFであった。X線管の内部は油拡散ポンプにより、 $1.3 \times 10^{-3}$  Paに保たれた。発生したX線は、厚さ100mmのPET膜を通して照射された。

## 2. 2 CRシステムによる線量計測

CRシステム (Konica) はイメージングプレート (以下, IP) にX線を照射して画像を得て, それをリーダーで読み取り, 画像をDICOMファイルとしてPCに転送して, DICOMビューワーを用いて画像解析するという流れで使用する。CRシステムの通常使用では画像処理が加えられてしまうため, 画像処理を行わないTEST3モードを特別に用意し, 線量が画像コントラストに反映するようにした。

DICOMビューワーによる画像解析では, コントラストを12bit (0-4095の4096段階) であらわす。これを常用対数を用いて相対線量に換算することが出来る<sup>[4]</sup>ため, 基準を1点決めることにより線量計測が可能となる。本実験では, IPをX線管の出射窓から50mmにおいた場合を基準とし, 150mm, 300mmの位置による線量計測をそれぞれ3回ずつ実行し, X線管の特性として, X線の線量とその空間分布を調べた。

## 3. 実験結果

### 3. 1 X線の距離による減衰

図2はCRシステムより得られた画像であり, 図下のキャプションにX線窓からの距離が記してある。CRシステムの画像は, X線の線量が高いほど黒くなる。そのため中心部のスポット, つまりターゲット部ではX線線量が低く, その周囲で高くなっていることが分かる。これらの画像を白黒反転し, 画像輝度を計測したものを図3に示す。計測結果は図3中のLine A(センターライン)上の2次元分布として得られた。この場合は, 輝度が大きいほど線量が高いことを表しているが, 距離の増加とともに線量が全体的に減衰し, X線のビームラインが拡散してスポットが大きくなっている様子が捉えられた。グラフには3回の計測結果が記してあるが, 各試行間の誤差は距離の増加に伴い大きくなった。

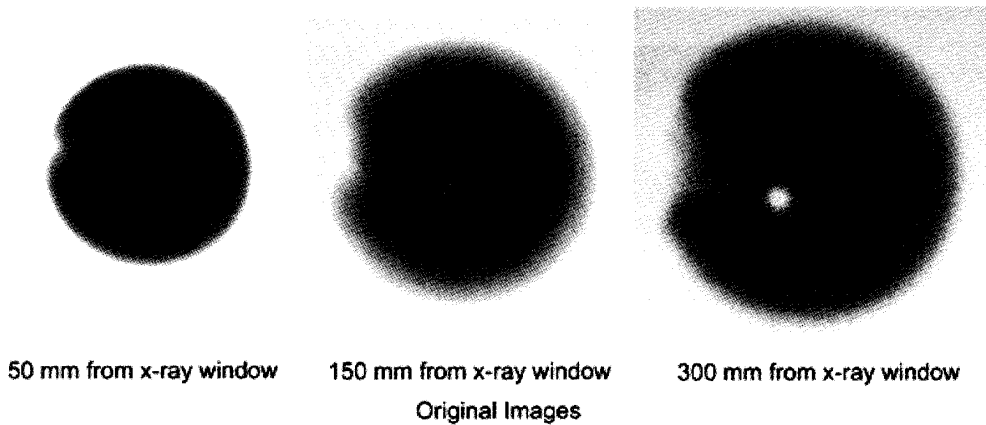


図2 CRシステムより得られたビームスポット像

### 3. 2 X線の空間分布と相対強度

X線のビームスポット径はX線窓より距離50 mmの部位で62 mm, 150 mmの部位で72 mm, 300 mmの部位で92 mmであり, 拡散角は50–150 mm間で5.8 deg., 150–300 mm間で6.6 deg.であった. このように光が拡散していたため, 本研究では相対強度の評価に中心軸上の輝度値を用いることとした. 3回の実験による平均を求めると, X線窓より距離50 mmの部位で1559.3 digit., 150 mmの部位で902.7 digit, 300 mmの部位で488.0 digitであった. これより, 50–300 mm間の50–150 mm間の輝度変化量の比は1.63であった.

### 4. 考 察

本研究方法で評価できるX線管の特性は, 拡散・空間分布・相対線量・再現性である. 本X線管は拡散角が5.8~6.6 deg.であり, 場所により多少の拡散角の変化があった. この原因は計測時の誤差も含め今後の詳細な検討を待たなくてはならないが, プラズマが点光源とは異なる形状・分布をもつことが大きく影響していると予想される. 問題解決には実験のほか, 数値解析が必要となるだろう.

X線に拡散角が存在し, IPが平面であるため, 相対線量評価は中心部近傍以外においてはこれらを考慮した形で行う必要がある. 拡散角と場所の相関が本研究では求められておらず, 結晶分光装置等が組み込まれていないため, 本研究での相対線量の考慮は中心軸上に限った話となる.

過去の実験より, 光源として点光源を仮定し, 基準面と光源の距離を $R$ , 基準面と計測面の距離を $d$ , 基準面–計測面間の空気層の厚さを $d_{AIR}$ , 空気の吸収係数を $\mu$ , 基準面と計測面で得られた画像輝度をそれぞれ $D_0$ ,  $D$ とおくと, 以下の実験式が成り立つ<sup>[4]</sup>.

$$D - D_0 = a \log_{10} \left[ \frac{R^2}{(R+d)^2} \exp(-\mu d_{AIR}) \right] \quad (1)$$

ここに $a$ は定数である. IPの位置から $d = d_{AIR}$ であることを考慮すると, 本実験条件は装置の構成から $R = 169$ [mm] (光源からの距離),  $\mu = \mu_m / \rho = 3.994 / 1.205 = 3.315$ [m] (標準空気5.0 keV)<sup>[5]</sup>,  $d = 100$ [mm] (距離150 mm) または $250$ [mm] (距離300 mm) となる. 距離50 mmのときの画像輝度を $D_{50}$ , 距離150 mmのときの画像輝度を $D_{150}$ , 距離300 mmのときの画像輝度を $D_{300}$ とおき, 上述の各種条

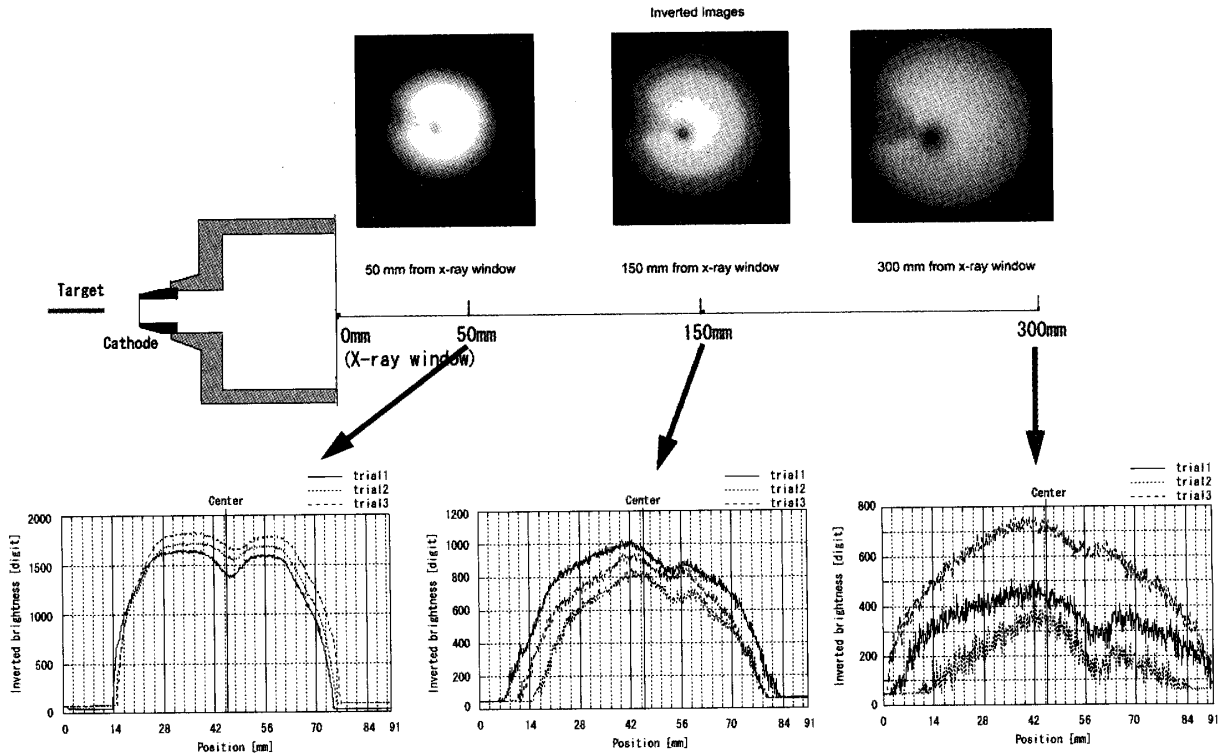


図3 DICOMビューワーによる中心断面上12-bitコントラストの2次元分布計測結果

件を代入すると,

$$\frac{D_{350} - D_{50}}{D_{150} - D_{50}} = 2.097 \quad (2)$$

と求められる. 一方, 実験結果より求められた値は1.63であり, 式(2)の値よりも小さい. この原因は種々の問題が考えられ, 構造に起因するX線の指向性や想定外の計測エラーも関係があるかもしれない. しかし, 本実験結果より見られる最も大きな原因は, プラズマ形成が非対称であることと考える.

本実験では詳細データとして検討はしなかったが, 図3より電極方向に線量の小さい部分が帯状・扇状に広がっていることが観察できる. これまで, 我々は電極の影響やロッドの湾曲について, これらの影響について予想は出来たが詳細な定量実験を行ったことがない. さらに, 憶測の域は出ないものの, これは再現性にも影響を与えるものとする. 本実験では3回の実験を通し, 比較的バラつきが大きいことを確認した. 特にX線窓より300mm離れた位置での計測では, 誤差が50%以上にもなる部分が多い. 50mmの位置でも12.5%と比較的大きい誤差である. そして誤差の最も大きい部分は, グラフよりターゲットの影に当たる線量の小さい部分である. この装置上の問題は, 今後の最適化と改良においては, はじめに解決しておかなくてはならない問題であるとする.

以上, 本実験では想定した範囲内での特性評価については実現できたが, X線管の特性については構造上の問題を中心とした改善内容を提示する結果となった.

## 参考文献

- [1] M. Komatsu, E. Sato, Y. Hayashi et al., Proc. 25 th. Int. Cong. HSPP, SPIE 4948 : 574-579, 2002.
- [2] E. Sato, R. Germer, Y. Hayashi et al., Proc. 25 th. Int. Cong. HSPP, SPIE 4948 : 604-609, 2002.
- [3] E. Sato et al, Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Sch. Lib. Art. Sci. 37 : 13-22 ,2002
- [4] 小松真, 佐藤英一, 小島英則, 高山和喜, 高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 2003講演論文集, 2003(出版中)
- [5] J. H. HUBBELL, Int. J. Appl. Radiat. 33, p. 1279(1982)