

論文

## 高感度X線異物検査システムにおける安全性と精度向上のための改良

櫻井 昇<sup>\*1)</sup> 北原明治<sup>\*1)</sup> 渡邊是彦<sup>\*2)</sup>  
 富田政一<sup>\*3)</sup> 大島康裕<sup>\*3)</sup> 金澤孝昌<sup>\*3)</sup>

Improvement of safety and accuracy of a highly sensitive X-ray inspection system

Noboru SAKURAI, Akiharu KITAHARA, Yoshihiko WATANABE,  
 Masakazu TOMITA, Yasuhiro OSHIMA and Takamasa KANAZAWA

**Abstract** For the purpose of improving the safety and accuracy of an X-ray inspection system, the dose distribution of the irradiation field was measured by utilizing imaging plates and portable X-ray dosimeters. The images acquired by imaging plates showed the circular high density areas at the center, which were caused by restriction of the X-rays by the irradiation cone attached around the X-ray tube. The densities in the images corresponded to the relative dose intensities. These provided the relative dose distribution of the irradiation field. The dose distribution measured by a portable dosimeter showed similar results. It was also shown that this circular effective irradiation field was controllable by varying the length of the irradiation cone. Optimizing the dose and irradiation field by an irradiation cone is useful and important for improving the safety and the sensitivity of the inspection equipment.

**Keywords** X-ray, X-ray inspection, Dose distribution, Imaging plate, Portable dosimeter, Irradiation cone, Radiation safety

## 1. はじめに

X線を用いた検査装置は、製品の内部欠陥や異物混入の検出などに広く用いられている。従来のX線検査装置においては、X線発生部より連続照射するX線と線状のセンサ(ラインセンサ)の間を検査対象物が移動していくことにより、検査画像が得られる(図1)。近年、X線を連続ではなくパルス状に発生させ(X線フラッシュ点灯)、面状の検出部としてイメージインテンシファイア(II)を採用し、直接2次元画像を得る方法による検査装置が開発されている(図2)。この方式では、高速の検査が可能となるだけでなく、検査画像を撮像する一瞬のみX線を照射するので、X線照射線量が軽減でき、不用意な被曝の可能性が低くなる、などの利点がある<sup>1)</sup>。

装置の検査精度と安全性を高めるためには、X線の照射線量の最適化が重要である。そこで、イメージングプレート(IP)や小型線量計を用いて、装置内の線量分布の測定を試みた。またX線発生部に照射筒を装着した場合の効果を確認し、照射線量の最適化による安全性の向上や、検査精度向上のための検討を行った。

## 2. 方法

### 2.1 測定対象装置

スタビック社製のX線検査装置を測定対象として、装置内部のX線分布を調べた。検査装置の構造は図3に示すとおり、上部にX線発生部、下部にIIおよびCCDよりなる検出部が配置されている。

### 2.2 IPによる線量分布測定

X線が照射される検査面上の線量分布を、IPを用いて測定した。IP(富士写真フィルム SR-2025)を装置内検査面上に配置し、X線を管電圧60kV、電流400 $\mu$ A、パルス長5msの条件で10パルスの照射を行った。照射後、IPをイメージアナライザ(富士写真フィルム BAS-5000 Mac)で読み取り、線量の分布を示す画像を得た。

### 2.3 小型線量計による線量分布測定

個人被曝管理に用いられる電子式小型線量計を使用して、検査面の線量分布を求めた。小型線量計(アロカ マイドースミニ PDM-107)を検査平面上に配置し、2.2と同じ条件で20パルスの照射を行ない、線量計の積算値から、各測定点での線量値を得た。

<sup>\*1)</sup>放射線応用技術グループ <sup>\*2)</sup>安全管理課

<sup>\*3)</sup>(株)スタビック

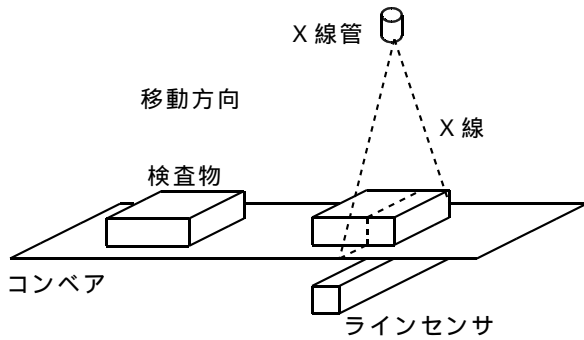


図1 従来方式によるX線検査装置の概略図

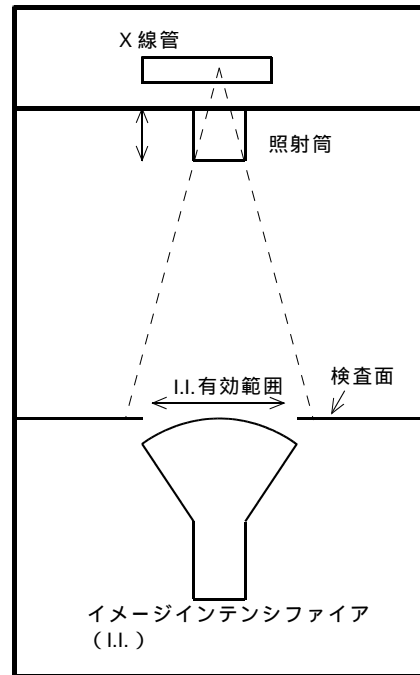


図3 X線検査装置の構造図

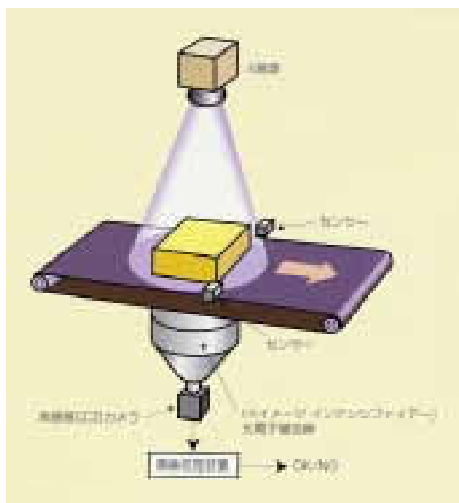


図2 フラッシュ点灯方式によるX線検査装置の概略図

## 2.4 照射筒装着の効果

前述に同様に、検査面上にIPを配置して、検査装置X線発生部の照射口のステンレス製照射筒の長さを変えて照射を行ない、線量分布を求めた。

## 3. 結果

### 3.1 IPによる線量分布測定

X線検査装置内に配置し、X線を照射したIPを、イメージアナライザにより読み出した画像を図4に示す。画像の濃度が照射されたX線の量を表している。通常の検査における照射条件(管電圧、電流、パルス長)では十分な画像が得られなかったため、10パルスを連続照射した。装置上部のX線照射部より発生したX線は、照射口に装着している円筒形の照射筒のため、有効なX線は円錐状に絞られることになる。これは検査面上のIP像では、

濃度の濃い円状の領域として現れ、有効領域を実際に確認することができた。円外の領域ではその濃度差より、線量が大きく減少している(図5)。円状の分布は完全に対称ではなく、領域の片側の境界に、半影状のものが確認できる。これはX線発生部の照射口付近の構造を反映しているものと思われる。

### 3.2 小型線量計による線量分布測定

IPの画像による線量分布はその濃度による相対的なものであるため、小型線量計を用いて、線量の直接的測定を試みた。IPによる線量分布測定の結果とほぼ同様な、円状の分布が得られた。この円状領域内ではほぼ一定の値だった(図6)。また領域外では検出限界以下であった。

### 3.3 照射筒装着の効果

IPにより得られた線量分布で、装置内に照射されているX線はI.Iの有効領域を十分カバーしていることが確認できたが、同時に必要以上の領域にまで広がっていることもわかった。X線発生部に装着した照射筒の長さを変えることにより、装置内の有効なX線照射領域を制御することが可能であるかを調べた。装置内検査面にIPを置き、照射筒の有効長( $f$ )を変化させて照射を行い、IP上に見られる円状画像の半径( $R$ )を測定した(図7)。X線発生部に装着する照射筒を長くするに従って、円形

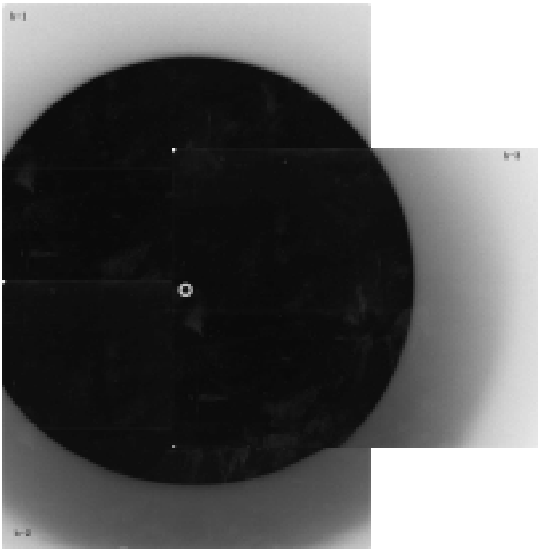


図4 IPによる線量分布図  
中央の白円は撮像中心を示すマーカー

照射条件: 60kV max 400  $\mu$ A 5ms 20pulses  
照射口 - ステージ 49cm  
照射口内径: 15mm  
照射口キャップ先端: 1  $\phi$  単位:  $\mu$ Sv

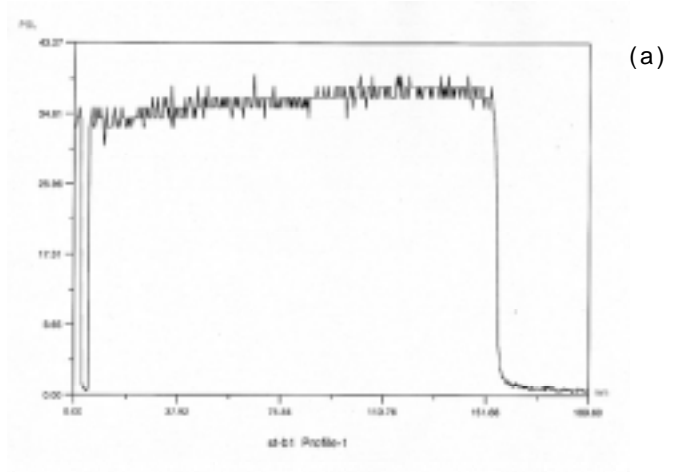
	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25cm
25cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	4	6	2	0	0	0	0
10	0	0	0	6	7	7	6	7	0	0	0
5	0	0	0	7	6	6	7	7	1	0	0
0	0	0	0	7	6	7	6	6	6	0	0
-5	0	0	0	6	6	6	6	6	0	0	0
-10	0	0	0	5	5	6	6	5	0	0	0
-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図6 小型線量計による線量分布測定結果

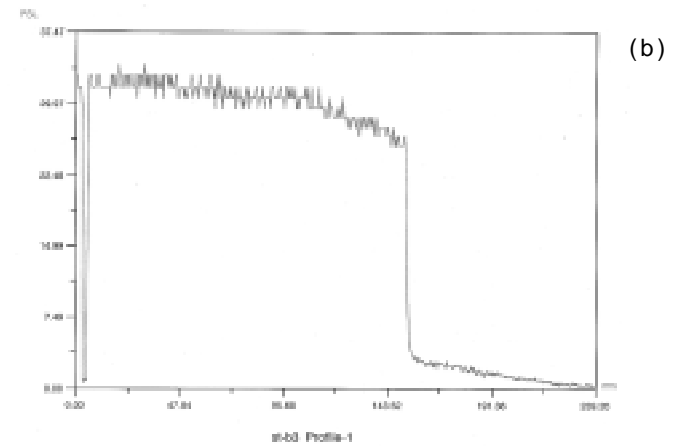
の領域はその形状を変えずに半径が小さくなっていくことが確認できた(表1)。この装置のI.I.の有効直径は約10cmであり、照射筒の有効長(f)を90mm程度にすれば、X線の照射野を最適化することができる(図8)。

#### 4. 考察

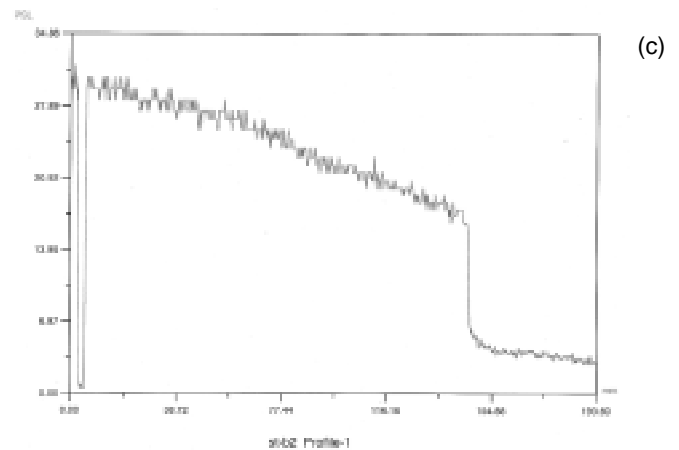
X線を用いた検査装置は製造ライン等での使用が想定され、安全性への配慮が重要である。ラインセンサを用いる方式と比べて、フラッシュ点灯によるX線パルス方式は、X線が撮像時のみ照射され、また撮像に必要なX線量も少ないなどの利点がある。実際の装置表面におけ



(a)



(b)



(c)

図5 IP画像中の濃度変化

図4の画像の中心より周辺部に向かって、上方向(a)、右横方向(b)、下方向(c)の濃度変化。横軸は中心からの距離、縦軸はそれぞれの画像における相対的濃度を示す。

る線量率も微小である。安全性の一層の向上を図るには、X線の最適化が重要であるが、今回、IPおよび小型線量計を用いることにより、装置内の線量分布を実際に確

表1 照射筒装着の効果

照射筒	f (mm)	R (cm)
A	40	12.72
B	45	11.63
C	50	10.82
D	55	9.00
E	60	7.66
F	65	7.12
G	70	6.74
H	75	6.30
I	80	5.98
J	85	5.65

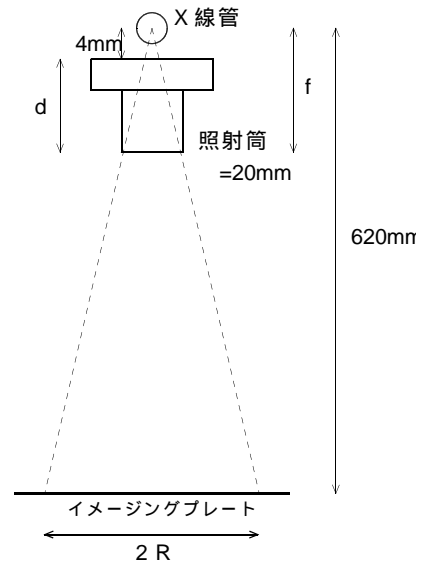


図7 照射筒装着効果測定概略図

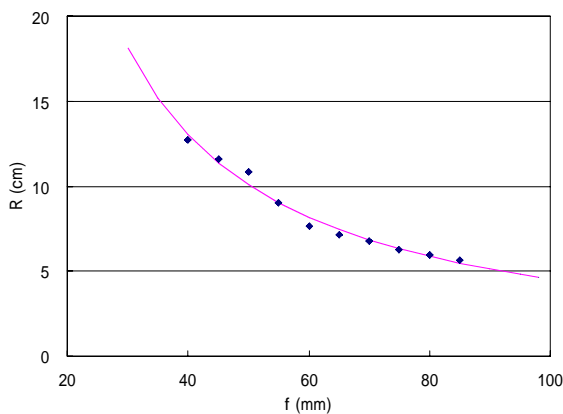


図8 照射筒の照射野への効果

筒長 f(mm)の照射筒を装着した時の照射野  
円形部分の半径 R(cm)の関係を示す

認することができた。X線の照射野は装着した照射筒に制限された円形になっており、I.I.の有効領域を十分カバーしていたが、必要以上の大きさになっていることも判明した。この照射野は照射筒の長さで変えられることが実証されたので、照射筒を調整し、照射野をI.I.の有効領域に一致させることにより、X線量の最適化を図ることができる。

X線量の最適化は、直接線の減少による安全性の向上

だけではなく、装置内の散乱線減少の効果が考えられる。散乱線が減少することにより、装置の遮蔽構造を簡略化でき、製造コストの削減も可能となる。また散乱線は撮像の際のノイズとなるので、散乱線減少により画質向上も見込まれ、検査精度の向上も期待できる。

### 5. まとめ

X線検査装置の安全性および精度の向上を目的に、IPおよび小型線量計を用いて線量分布測定をおこない、実際の装置内の線量分布を得ることができた。

得られた線量分布より、X線の照射野は照射筒により円形となっていることがわかった。また、その大きさは照射筒の長さを変えることにより制御できることが確認できた。

照射筒により照射野を制御して、X線量の最適化を行うことにより、装置の安全性や精度の向上を図ることができた。

### 参考文献

- 1) 曾我信之: 発明と生活, 411, 14 (1999).
- 2) 櫻井 昇, 北原明治, 渡邊是彦, 富田政一, 大島康裕:  
東京都立産業技術研究所研究報告, 3, 163 (2000).

(原稿受付 平成13年8月1日)