

X선촬영실 내에서의 공간산란선량 변동에 관한 연구

오현주 · 김성수 · 김영일*¹ · 임한영*²
김홍태*³ · 이후민 · 김학성 · 이상석*⁴

Abstract

A Study on the Behavior of the Free Space Scatter dose in X-ray Diagnostic Room

Hyun Joo Oh, Sung Soo Kim, Young Il Kim*¹

Han Young Lim*², Heung Tae Kim*³

Who Min Lee, Hak Sung Kim, Sang Suk Lee*⁴

In this paper, when the X-ray exposure condition is 70, 90, 110 kV, 10 mAs, FFD 180 cm, FSO 10×10, 35×35 cm, toward the 36×36×15 cm acryl phantom, the free space scatter dose rate at the 15th points in X-ray diagnostic room was measured by electrometer and 1800 cc ionization chamber. Therefore, the free space scatter dose distribution profile was drawn, and then, the free space scatter dose contribution percentage was investigated.

The obtained results are summarized as following.

1. The X-ray tube leakage dose rate of the experiment generator at the 1 m from focus was measured maximum 85 mR/hr, minimum 20 mR/hr, therefore, this values was appeared below the KS rules.
2. The free space scatter dose become to larger at the primary X-ray beam around area, and lower at the back ward X-ray tube. The maximum values were 3,812 mR/hr at the front Lt · 1 m · 45° point, minimum 117 mR/hr at the back ward · 1 m · 180° · point.
3. As the more tube voltage and field size increase, the more free sapce scatter dose contribution percentage become to increase, as to 90 kV from 70 kV, increase to 12 %, to 110 kV from 90 kV, increase to 18 %, and then, become to 11 % at the 10×10 cm and 87 % at the 35×35 cm.

*1. 신구전문대학 방사선과 Dept. of Radiotechnology, Sin Gu College

*2. 인산전문대학 방사선과 Dept. of Radiotechnology, In San Junior College

*3. 신흥전문대학 방사선과 Dept. of Radiotechnology, Shin Heung Junior College

*4. 동남보건전문대학 방사선과 Dept. of Radiotechnology, Dong Nam Junior Health College

4. The 89 % of the total produced scatter ray occurred from acryl phantom, at the X-ray tube housing 6 %, at the front · side · back wall 5 %.
5. The free space scatter dose contribution percentage at the one point build up 80 % from the phantom direction, 14 % from the X-ray tube and collimator direction, 2.2 % from the front wall, 1.8 % from the side wall, 1.7 % the back wall.

I. 서 론

X선 촬영시 촬영실 내의 공간에 있어서 공간산란선량 분포는 환자나 술자에 있어 피폭 정도를 인지하는데 중요한 지표¹⁾가 될 수 있음에도 불구하고 지금까지 이 분야의 연구가 없어 막연히 촬영실 내에는 산란선이 존재하고 그 피폭을 받는다고만 생각해 온 것이 보편화된 사실이다.

본 실험에서는 저에너지의 산란선까지도 측정 가능한 electrometer와 1800 cc 전리조를 사용하여, 촬영실 내의 공간산란선량을 측정하고, 산란선 발생원이 되는 팬텀, X선관, 콜리메이터, 주위 벽 등은 물론 조사조건이 공간산란선량 분포에 얼마나 기여하는지에 대해 측정하였으며, 공간산란선량에 의한 피폭저감 인자를 실제적 측면에서 검토하여 보고한다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

- ① RF-500-125 촬영 및 투시장치, 동아X선 기계 제작
- ② Capintec, INC, exposure and rate meter & Capintec ionization chamber 1800 cc(PR-18).

2. 실험방법

1) PR-18 전리조의 방향의존성

PR-18 전리조의 방향을 0° , $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 90^\circ$ 로 하고 50,80,100,120 kV에서 조사선량을 측정하여 상대감도로 표시하였다.

2) X선관 누설선량 측정

KSA 4032, 2(30)에 명시된 선량측정조건에 의해 측정하였으며, 측정점은 45° 간격으로 8개 지점이었다.

3) 공간산란선량 측정

조사야 : 0, 10×10 , 35×35 cm

FFD : 180 cm

관전압 : 70, 90, 110 kV

관전류시간곱 : 10 mAs.

아크릴 팬텀 : $36 \times 36 \times 15$ cmt.

- ① 아크릴 팬텀에 상기 조사조건을 변동시키면서 X선을 조사하여 초점으로부터 1, 2, 3 m 반경의 원둘레에서 45° 간격으로 공간산란선량을 측정하였다.
- ② 전리조 입구만 제외하고 나머지 주위는 1 mmPb+2 mmAl으로 전부 둘러 싸고 그림 1과 같이 팬텀, 콜리메이터, X선관, 전·측·후면 벽에서 나오는 산란선을 측정하였다.
- ③ 초점과 팬텀에서 1 m 떨어진 지점을 정해 놓고 그 지점의 산란선량이 어느 방향에서 얼마나 많이 오는가를 측정하였다.

본 실험의 모든 측정에서 정확성을 기하기 위해 전리조 방향의존성을 고려하여 입사선이 전리조 장축과 수직으로 입사하도록 하였으며, 온도 및 기압에 대한 대기 보정을 실시하였고, 매 측정마다 5회 반복한 평균값을 측정치로 하였다. 또한 공간 산란선 거동은 촬영실 내의 물건위치에도 영향²⁾이 있다고 판단하여 실험의 시작과 종료까지 공간분위기를 일체 변동하지 않고 측정하였다.

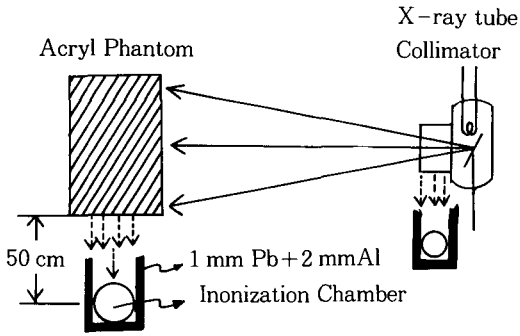


Fig 1. Block diagram of scatter dose measurement.

III. 실험 결과 및 고찰

1. PR-18 전리조의 방향 의존성

전리조의 장축과 X선 중심선속이 수직으로 입사 할 때를 0°로 하고 + 및 -방향으로 30°, 60°, 90°로 입사했을 때의 값을 0°값에 상대감도로서 표시하여 표 1에 나타냈다. 관전압에 따라 상대감도는 약간씩 차이가 있으나 +30°, -60°에서 약간 높았고, -방향보다는 +방향에서 균등도가 좋았다. 관전압이 50 kV로 낮으면 상대감도차가 컸으며 80 kV부터는 그림 2처럼 별차이가 없었다. 따라서 본 연구의 모든 실험은 0°에서 측정하였다.

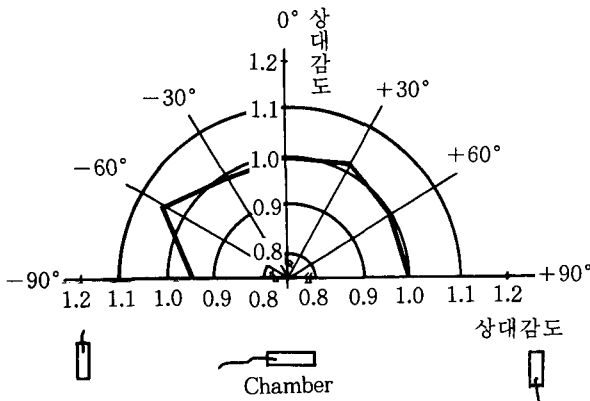


Fig 2. Directional dependence of PR-1800 ionization chamber at the 80 kV.

Table 1. Relative sensitivity of PR-18 chamber.

kV	+90°	+60°	+30°	0°	-30°	-60°	-90°
50	1.08	1.09	1.13	1.0	1.09	1.15	1.06
80	0.99	1.003	1.03	1.0	0.99	1.05	0.95
100	1.01	1.02	1.05	1.0	1.01	1.06	0.97
120	0.99	1.03	1.05	1.0	1.008	1.07	1.02

2. X선관 누설선량

X선관장치로부터의 누설선량은 KS A 4021에 의해 초점으로부터 1 m 거리에서 1시간당 100 mR 이하가 되도록 규정하고 있다. 본 실험 장치에 대한 X선관장치 누설선량은 그림 3과 같이 8개 방향에서 전부 규정치 이하가 되어 누설선량이 적은 것을 알 수 있다.

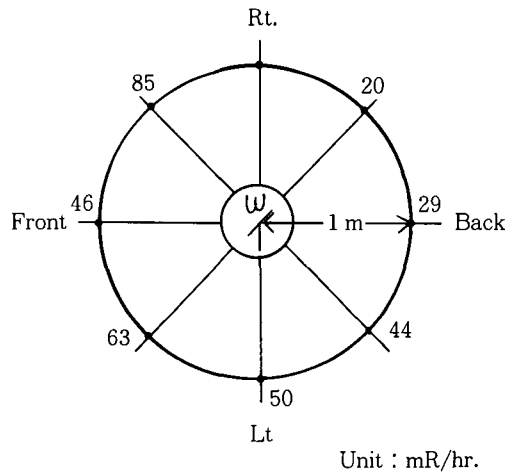


Fig 3. X-ray tube housing leakage dose at the 1 m points from focus.

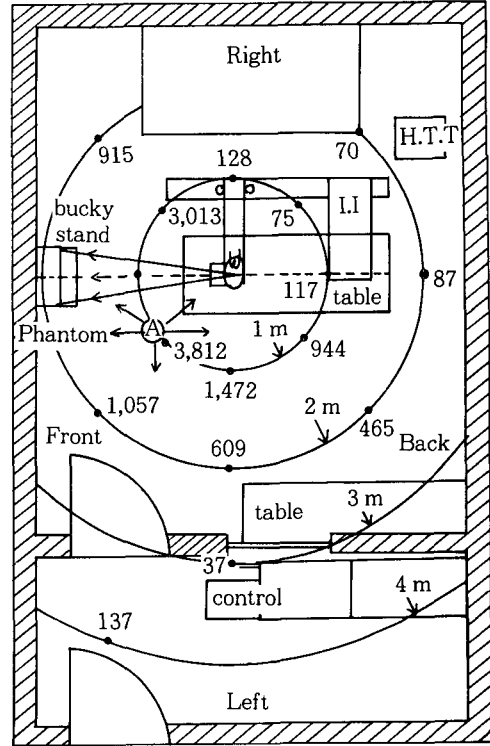
3. 촬영실 내 물체에서의 산란선 발생률

표 2는 물체의 측방에서 나오는 산란선량과 그 비율을 그림 1처럼 측정한 값으로 총 산란선 발생량의 85~89%가 조사야 35×35 cm일 때 팬텀에서 발생되었고, 콜리메이터에서 3.5

~4 %, X선관에서 1.5~2.4 %, 전면 벽에서 2.7~3.5 %, 측면 벽에서 2.2~3.3 %, 뒷면 벽에서 0.9~2 % 정도 발생되었다. 그러나 조사야가 10×10 cm로 줄면 팬텀에서 나오는 산란선이 줄어들어 상대적으로 다른 곳에서 나오는 산란선 발생 퍼센트가 올라간 것으로 보인다. 또한 관전압 증가에 따라 물체에서 발생하는 산란선량을 기여도는 70 kV에서 15~18 %, 90 kV에서 2.9~32 %, 110 kV에서 48~51 % 정도가 되어 표 4에서 나타난 공간산란선량의 관전압 기여도와 같은 경향을 보여 주었다. 또 조사야가 10×10 cm로부터 12.25배 증가한 35×35 cm에서의 산란선량율은 70 kV에서 14.6 배, 90 kV에서 14배, 110 kV에서 13.8배로 증가하여 조사면적 증가와 같은 경향을 보여주었다.

4. 공간산란선량의 촬영실 내 분포

그림 4는 공간산란선량을 측정된 촬영실 내의 평면도에 산란선량의 공간분포를 나타낸 것이다. 표시된 값은 mR/hr이며, 조사조건은 실험장치로 계속 반복조사가 가능하다고 판단되는 동시에 가능한 부하량을 크게 한 110 kV, 10 mAs였으며, 조사야는 35×35 cm, 아크릴 팬텀은 36×36×15 cm이었다. 1.2 m 반경의 원둘레 상의 45° 간격의 지점이었고 3, 4 m 둘레에서는 촬영실 크기 때문에 각각 한 개의 지점에서만 측정하였다. 이하 측정 지점의 좌표



Unit : mR/hr

Fig 4. A place figure of diagnostic X-ray room, and the free space scatter dose distribution at the 1, 2, 3, 4 m point from focus, exposure condition is 110 kV, 10 mAs, FFD 180 cm, FS 35×35 cm, acryl phantom 15 cm.

Table 2. The produced scatter radiation dose and percentage from the various materials.

scatter material	F · S(cm)		35×35				10×10					
	kV		70		90		70		90		110	
	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%
X-ray tube	25	2.4	32	1.5	52	1.5	20	12.3	23	9.2	35	9.3
Collimator	42	4	76	3.6	117	3.5	23	14.2	33	13.3	67	17.5
Phantom	890	84.8	1,882	88.6	2,966	89.2	61	37.8	133	53.5	215	56.4
Front wall	36	3.5	57	2.7	90	2.7	20	12.3	21	8.4	24	6.3
Side wall	35	3.3	53	2.3	74	2.2	19	11.7	20	8.0	21	5.5
Back wall	22	2.0	23	1.3	26	0.9	19	11.7	19	7.6	19	5
Total	1,050	100	2,123	100	3,325	100	162	100	249	100	381	100

설명은 X선이 나가는 방향을 기준해서 전방(0°), 그 반대를 후방(180°), 좌측방향(좌), 우측방향(우)과 반경(m)을 1, 2, 3, 4로, 각도를 0°, 45°, 90°, 180° 등을 조합한 것으로 하였다.

공간 산란선량 조사조건에 따라 크게 변동하며^{3,4)} 촬영실 내의 장치 종류나 물건 배치 등에 따라서도 달라 질 수 있기 때문에 표시된 값은 본 실험 조건 및 분위기에서 5회 반복 측정한 평균값이며 측정하는 동안 물건의 위치에 전혀 변동없이 실시하여 공간산란선량 분포도에 대한 신뢰도를 높였다. 총 15개 측정 지점에서 보면 전방·좌·1·45° 지점이 가장 적게 나타났는데, 후방·우·1, 2·45° 지점에서 가장 적게 나타난 것은 X-TV의 LI 영상장치가 가려져 있으므로 야기된 것으로 판단되어 고찰에서 이 지점을 제외하기로 한다. 전방과 후방의 공간 산란선량 분포를 비교해 보면 후방·1·180° 지점이 117 mR/hr, 전방·좌·1·45° 지점이 3,812 mR/hr이므로 전·후방에서 약 33배의 차이가 되었으며, 이들 방향 2 m 지점에 있어서는 12배 차이가 되었다. 또 전방·좌·1·45° 지점과 측방·좌·1·90° 지점을 비교해 보면 13배, 이들 방향 2 m 지점에서는 7배 정도 차가 생기고 있는 점으로 보아 공간 산란선량 분포는 전방에서 측방향, 후방향으로 갈수록 현저하게 감소하는 것을 볼 때 산란선으로부터의 보호는 전방보다는 측방, 측방보다는 후방에서, 거리는 멀수록 보호 받는다는 것⁵⁾을 알 수 있겠다. 각 방향의 지점이 1 m에서 2 m로 멀어지므로써 공간산란선량 분포는 전방·좌·2·45° 지점에서 3.6배로 줄고, 측방·좌·2·45° 지점에서 2.4배, 후방·좌·2·45° 지점에서 2배, 후방·2·180° 지점에서 1.4배로 줄어들고 있음을 볼 때, 각 위치마다 줄어드는율이 달라지고 있어 일반적으로 생각하고 있는 거리역자승 법칙에 적용된다고 볼 수가 없는 것으로 생각되는데, 이는 촬영실 내의 모든 물체에서 산란이 반복되고 있는 관계로 이해 할 수 있다. 제어반이 있는 측방·좌·3·45° 지점은 37 mR/hr.로, 전방·좌·4·60° 지점은 137 mR/hr.로 나타났는데 앞의 3 m 지

점은 벽으로 차단되어 있고 뒤의 4 m 지점은 차단이 없는 지점으로 거리는 멀지만 많이 측정된 것으로 본다. 따라서 차단체를 이용한다는 것은 방어상 중요한 의미를 갖고 있음^{2,4,5)}을 알 수 있다.

공간산란선량 분포는 조사야 및 조사조건이 변동되면 다르게 되는데 그 변동율을 표 3, 4에 나타내었다. 표 3은 조사야 크기에 따른 공간산란선량 분포 기여도를 초점 1 m 주위의 값들을 퍼센트로 나타낸 것으로 각 관전압에서 공히 0 cm에는 2 % 정도, 10×10 cm에서는 11 %, 35×35 cm에서는 87 %의 기여도를 나타내고 있어 조사야 인자에 따라 공간산란선량 분포는 크게 변화 됨⁶⁾을 알 수 있다. 또한 초점 2 m 주위에서도 같은 경향을 보여주고 있었다.

Table 3. The free space scatter dose contribution(%) as a function of field size, to the 1 m points at the tube focus.

FS kV	0 cm	10×10 cm	35×35 cm	총계 %
70 kV	2.6	11	86.4	100
90 kV	1.9	11.1	87	100
110 kV	1.8	11.2	87	100

표 4는 관전압 크기에 따른 공간산란선량 분포 기여도를 초점으로부터 1 m 주위의 값들을 퍼센트로 나타낸 것으로 조사야 10×10 cm에서나 35×35 cm에서 공히 70 kV 때는 19 %, 90 kV 때는 31.5 %, 110 kV 때는 49.5 %로 나타나 70 kV에서 90 kV로 20 kV 증가 할 때는 12.5 %, 90 kV에서 110 kV로 20 kV 증가 할 때는 18 % 증가를 보였다. 이같은 현상은 2 m 주위 값들도 같은 경향을 보여주었다. 이러한 현상은 관전압이 공간산란선량 분포의 인자라는 것을 알 수 있으며, 표 3, 4에서 볼 때 공간산란선량 분포는 조사야가 크고 관전압이 높으면 커진다는 것과 관전압 보다 조사야가 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 mAs 량을 증가시키면 공간산란선량 분포도 그에 비

례해서 증가됨을 인지 할 수 있었다.

Table 4. The free space scatter dose contribution (%) as a function of tube voltage, to the 1 m points at the tube focus.

FS \ kV	kV			총계 %
	70 kV	90 kV	110 kV	
0 cm	24.6	29.2	46.2	100
10×10 cm	19	31.6	49.4	100
35×35 cm	19	31.5	49.5	100

5. 공간산란선량 분포의 방향성 기여도

표 5는 그림 4에서 전리도가 X선관장치나팬텀에서 1m 떨어진 위치, 즉 A점에서 화살표 방향으로 개방하고 나머지는 납으로 전리도를 차폐한 상태에서 산란선량을 측정된 결과 이들을 퍼센트로 나타낸 것이다. 이는 A점에서의 공간산란선량이 어떤 방향에서 몇 퍼센트로 기여하는가를 알고자 한 것으로 조사야 35×35 cm, 90 kV 이상에서는 팬텀 방향에서 14%, 전방의 벽 방향에서 2.2%, 측방 벽에서 1.8%, 후방 벽에서 1.7% 정도로 기여되었다. 이와같은 경향은 菊地 등⁷⁾에 의한 환자에서 77%, 다중서터에서 13.3%, X선관에서 9%, 벽에서 0.7%라는 보고와 같은 경향을 보여 산란선은 주로 피사체(팬텀)에서 발생하여 촬영실 공간으로 퍼지는 것을 알 수 있었다. 이는 또 앞서의 표 2에서 산란선 발생이 팬텀에

서 88% 이상 발생하는 것에 맥락을 같이 하는 것으로 생각된다. 따라서 촬영실 공간산란선량을 줄이기 위해서는 X선관이나 콜리메이터의 완전한 차폐와 가능한 조사야를 축소시킬 필요가 있다고 본다.

6. 납 에프론에 의한 공간산란선량의 차폐효과

투시하면서 술자가 환자에 카테터 작업 등을 할 때, 주로 납 에프론을 착용하고 시행하는데, 이때 얼마나 많은 차폐효과가 있는지를 측정해 보았다. 조사조건은 관전류시간곱 4 mAs, 관전압 70, 90, 110 kV 조사야 35×35 cm였으며, 납에프론은 팬텀으로부터 30 cm 떨어진 곳에 위치하였다.

차폐효과는 표 6에 나타낸 것 처럼 70,

Table 6. The free space scatter dose shield effect of lead apron under the condition of fluoroscopy, exposure condition is 70, 90, 110 kV, 4 mAs, FFD 100 cm, FS 35×35 cm, acryl phantom thickness 15 cm. unit : mR/hr.

Apron shield \ kV	Apron shield		effect (%)
	no	yes	
70	2,234	43	98.1
90	4,078	79	98.1
110	5,368	158	97.1

Table 5. The direction contribution rate (%) and the free space scatter dose toward the one point (A point in Fig 4) from the various materials direction.

F · S(cm) \ open direction	35×35						10×10							
	kV		70		90		110		70		90		110	
	mR/hr, %	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	mR/hr	%	
Tube and collimator	266	16.2	4.34	14	629	14	46	18	63	15.7	72	15.3		
Phantom	1,250	76.6	2,494	80.3	3,607	80.3	147	58	272	67.7	432	72.4		
Front wall	42	2.6	67	2.2	100	2.2	21	8.2	23	5.7	26	4.4		
Side wall	39	2.4	56	1.8	80	1.8	21	8.2	23	5.7	25	4.2		
Back wall	36	2.2	54	1.7	77	1.7	20	7.8	21	7.8	22	3.7		
Total	1,633	100	3,105	100	4,493	100	255	100	402	100	597	100		

90 kV에서는 납에프론을 착용하므로써 공간산란선량이 1/52로 감소하여 98 % 차폐가능하였으며, 110 kV에서는 1/40로 감소하여 97 % 차폐효과를 나타내었다. 그러나 납에프론으로 차폐가 되지않는 부위, 즉 얼굴이나 손, 팔 등에는 상당한 공간산란선량이 피폭 됨을 알 수 있었다.

IV. 결 론

진단 X선 촬영실 내의 공간산란선량 분포를 촬영, 투시조건 하에서 구하고 공간산란선의 발생원에 대한 기여도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험장치의 X선관장치 누설선량은 초점으로부터 1 m 거리에서 최고 85 mR/hr 최저 20 mR/hr로 한국공업규격의 규정치 이하가 되었다.
2. 초점 1 m 주위에서 공간산란선량의 최고값은 전방·좌·1·45° 위치에서 3,812 mR/hr 였고, 최저는 후방·1·180° 위치에서 117 mR/hr로 1차선속에서 멀어질수록 적어져 후방·180° 위치에서 가장 적게 되었다.
3. 공간산란선량 분포 기여도는 관전압 증가에 따라 70 kV에서 19 %, 90 kV에서 31.5 % 110 kV에서 49.5 %로 되었고, 조사야 변동에서도 10×10 cm에서는 11 %, 35×35 cm에서는 87 %로 증가되었다.
4. 산란선 발생은 89 %가 팬텀에서 발생되었고, X선관장치는 6 % 전·측·후면 벽에서 5 % 정도 발생하였다.
5. 공간산란선량 분포의 방향성 기여도는 팬텀 방향에서 80 %, X선관장치 방향에서 14 %, 전면 벽 방향에서 2.2 % 측면 벽 방향에서 1.8 %, 후면 벽 방향에서 1.7 %가 되었다.
6. 투시 조건 하에서의 납에프론에 의한 공간

산란선량의 차폐효과는 70, 90 kV에서는 1/52로 감소하여 98 % 정도 차폐효과가 있었으며 110 kV에서는 1/40로 97 % 차폐효과가 있었다.

이들과 같은 결과에서 볼 때, 공간산란선으로부터 피폭을 줄이려면 X선관장치의 차폐를 충분히 실행하는 동시에 산란선 발생원의 주체가 되는 팬텀 조사야를 가능한 줄이고, 차폐물을 이용하거나, 전방이나 측방 쪽 보다는 후방 쪽으로 거리를 멀게 하므로써 이루어진다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. 小野·外：X線撮影空間の散乱線の舉動，日本放射線技術學會雜誌，第49卷 第8號，p. 1383, 1993.
2. 小倉·外：ポータブルX線撮影における室内散乱，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 47, No.8, p.1346, 1991.
3. 中澤·外：心臓カテーテル室における室内散乱線量分布について(第2報) フィルタ効果，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 47, No. 8, p. 1345, 1991.
4. 小創·外：ポータブルX線撮影における室内散乱線量分布の測定，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 46, No. 2, p.190, 1989.
5. 安部·外：ポータブル室における室内散乱線量分布の測定(第二報)，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 46, No, 8, p. 1313, 1990.
6. 泉田·外：心臓カテーテル室における散乱線量分布について，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 46, No. 8, p. 1313, 1990.
7. 菊地·外：X線撮影室内の散乱X線スペクトル解析，日本放射線技術學會雜誌，VOL. 40, No. 5, pp. 738~739, 1984.