

ている。このデータは、Archer ら<sup>10)</sup>のエクソ線装置から利用線錐方向1メートルの距離における種々の管電圧において測定された空気カーマにより構築した多項式 (1) 又は(2) から導き出されている。

- ・ タングステン陽極管にアルミニウムフィルタを付加したエクソ線管の場合  

$$X_w(\text{kV})=1.222-0.05665\text{kV}+0.001227\text{kV}^2-3.136\times 10^{-6}\text{kV}^3 \text{ (mGy/mA}\cdot\text{min)}\cdots(1)$$
- ・ モリブデン陽極管にモリブデンフィルタを付加したエクソ線管の場合  

$$X_{M_0}(\text{kV})=-1.335+4.385\times 10^{-3}\text{kV}^2 \text{ (mGy/mA}\cdot\text{min)} \cdots(2)$$

ここで、  
 $X_w(\text{kV})$  : タングステン陽極管の管電圧(kV)における空気カーマ(mGy/mA・min)  
 $X_{M_0}(\text{kV})$  : モリブデン陽極管の管電圧(kV)における空気カーマ(mGy/mA・min)  
 kV : エクソ線管の管電圧

(1)および(2)式に管電圧を代入して得られた空気カーマを資料1に示す。

(2) エクソ線の透過率

ある物質 (m) からなる厚さ  $\chi$  のしゃへい体を経て線量率が大幅に減衰しビームの幾何学的形状が広がったエクソ線ビームの次のしゃへい体での透過率 (ここでの「率」は単位時間における事象の変化ではない) は、エクソ線ビームがしゃへい体のない状態での空気カーマ率 ( $X_{um}$ )、としゃへい体がある状態の空気カーマ率 ( $X_{sh}$ ) の比で定義される。なお、透過率はエクソ線のエネルギー分布としゃへい物質の組成・密度・厚みなどに依存する。

$$B = \frac{X_{sh}}{X_{um}} \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここで、 $B$ は透過率

NCRP 147 においては、Legare ら<sup>9)</sup>、および Simpkin<sup>7,13)</sup>の実測データにより作成された鉛、コンクリート、鉄、ガラス、石膏及び木材の透過率曲線を基に Archer ら<sup>10)</sup>が作成した3つのパラメータモデル ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ) を採用した (NCRP 147 付録 A)。

鉛、コンクリート、鉄、ガラス、石膏及び木材に対するエクソ線の管電圧におけるパラメータを表1に示す。

NCRP 147 は、Simpkin<sup>7)</sup>が提案した3つのパラメータを用いる一次エクソ線の透過率を求める近似関数式(4)を採用した。

$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\chi} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \cdots \cdots \cdots (4)$$

ここで、 $\chi$  はしゃへい体の厚さ (mm)。

表1のパラメータを(4)式に代入して求めた鉛、コンクリート、鉄、ガラス、

石膏及び木材による透過率とエックス線管電圧の関係を資料 2 から 7 に示す。

得られた透過率は鉛から木材まで広く適用できること、また、このパラメータは、三相、アルミニウムで濾過したタングステン陽極エックス線とモリブデン陽極エックス線と濾過された乳房エックス線ビームに対して 5kV 間隔で透過率の値が利用可能であり、従来明示されていない透過率等を補間法により求めた煩雑から改善される。

### (3) 半価層及び 1/10 価層

(4)式によって計算された透過率  $1 \times 10^{-4}$  から  $5 \times 10^{-5}$  までのしゃへい体の厚さの差の値を半価層、透過率の  $1 \times 10^{-4}$  から  $1 \times 10^{-5}$  のしゃへい体の厚さの差の値を 1/10 価層とした (資料 8)。

### (4) 散乱係数

Simpkin ら<sup>9)</sup>は、組織類似ファントムに入射する照射野  $400\text{cm}^2$  の一次線の空気カーマ率に対するファントムから 1メートルの距離における空気カーマ率の比 ( $\alpha$ : 散乱係数) を求めるため定格管電圧(kV)と散乱角( $\theta$ )の関数による近似式(5)を提案した。

$$\alpha = 0.016(\text{kV} - 125) + 8.43 - 1.11 \times 10^{-1} \theta + 9.83 \times 10^{-4} \theta^2 - 1.74 \times 10^{-6} \theta^3 \quad (10^{-6}/\text{cm}^2) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、

$\alpha$ : 散乱角  $\theta$  での散乱係数

kV: 管電圧

$\theta$ : 散乱角

式(5)から求めた散乱角  $90^\circ$  における空気カーマ率のファントムに入射する一次エックス線に対する百分率を資料 9 に示す。

## D 結論

### (1) 近似関数式によるデータの採用による有用性について

エックス線の特性は、エックス線の発生原理で明らかかなようにエネルギーの違う光子の集合体であり、連続スペクトルを示している。従って、しゃへい効果も離散的でなく連続した減弱状況を呈する。このようなエックス線の特性について近似関数式によって求めることにより、一次放射線の空気カーマ、しゃへい体の透過率、散乱係数等の算定評価に適用する諸因子の値は、放射線の物質との相互作用に即したしゃへい評価に適している。

### (2) 医薬発第 188 号通知データと比較した場合のメリット

エックス線装置の離散的な管電圧では、これまで通知で示した値と比べて、概して

大きな差は認められないため、NCRP 147 の諸因子の値を採用することにより医療現場での大きな混乱はないと思われる<sup>5)</sup>。一方、医薬発第 188 号通知では鉛、コンクリート以外の材質のしゃへい効果は考慮されなかった。NCRP 147 で採用されているしゃへい体の透過率、半価層及び 1/10 価層は、従来の鉛及びコンクリートの他、鉄、ガラス、石膏ボード等の、エックス線装置の一部やエックス線診療室の出入り口扉等に用いられている材料にもしゃへい評価に適用できる利点がある。また、近似関数式を利用したことによって、エックス線の算定評価が簡易となり、補間法等の煩雑な計算が省略できる利点がある。申請者の書類作成及び審査機関における効率的な分析が可能で、審査のスピード化にも貢献できることが期待される。

#### E 引用文献

- 1) National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical X-ray and gamma-ray protection for energies up to 10MeV. Washington DC: NCRP; NCRP Report, 34 (1970)
- 2) National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for medical use of x rays and gamma rays of energies up to 10MeV. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report, 49 (1976)
- 3) National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical x-ray, electron beam and gamma-ray protection for energies up to 50MeV. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report,102 (1989)
- 4) National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities. Bethesda, MD: NCRP; NCRP Report, 147 (2004)
- 5) 成田雄一郎, 石垣英世, 秋山芳久, 佐藤安男, 木下富士美, 草間経二: 医療用X線装置の遮蔽評価に関する新提案, 日本放射線技術学会雑誌 56 1058-1068 (2000)
- 6) Dixon R.L and Simpkin DJ: Primary Shielding Barriers for Diagnostic x-ray Facilities: a new model. Health Phys. 74: 181-189 (1998)
- 7) Simpkin DL: Transmission Data for Shielding Diagnostic x-ray Facilities. Health Phys. 68: 704-709 (1995)
- 8) Simpkin DL and Dxion RL: Secondary Shielding Barriers for Diagnostic x-ray Facilities: Scatter and leakage revisited. Health Phys. 74: 350-365 (1998)
- 9) Legare JM et all. Blindage contre les grands champs de rayons X primaires et diffuses des appareils triphases au moyen de panneaux de verre, de gypse et de plomb acoustique. Radioprotection 13: 79-95(1977)
- 10) Archer BR et all. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. Med. Phys. 21: 1499-1507(1994)

- 11) Dixon RL. On the primary barrier in diagnostic x-ray shielding. Med. Phys. 21 : 1785-1794 (1994)
- 12) Trout ED and Kelly JP. Scattered radiation from a tissue-equivalent phantom for x rays from 50 to 300 kVp. Radiology 104 : 161-169 (1972)
- 13) Simpkin DL: Shielding requirements for mammography. Health Phys. 53:267-279 (1987)
- 14) Simpkin DL : Fitting parameters for medical diagnostic x-ray transmission data. Health Phys. 54 : 345-347(1988)
- 15) 平成 11 年度厚生科学研究費補助金 健康安全確保総合研究分野 医薬安全総合研究事業「医療機関の放射線管理の適正化に関する研究」主任研究者 古賀佑彦
- 16) 平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金 健康安全確保総合研究分野 地域医療基盤開発推進研究事業「医療放射線の安全確保に関する研究」主任研究者 細野眞

表 1 シャーペイ体ごとのエックス線の減衰曲線を求めるためのフィッティング定数 ( $\alpha$  (mm<sup>-1</sup>),  $\beta$  (mm<sup>-1</sup>),  $\gamma$ )  
管電圧 25—35kV のデータはモリブデン陽極エックス線管、他のデータはタングステン陽極エックス線管

管電圧 (kV)	鉛			コンクリート			石膏			鉄			ガラス			木 (0.55gcm <sup>-3</sup> )		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
25	49.520	194.000	0.3037	0.39040	1.6450	0.2757	0.15760	0.71750	0.3048	9.3640	41.250	0.3202	0.38040	1.54300	0.2869	0.022300	0.043400	0.1937
30	38.800	178.000	0.3473	0.31730	1.6980	0.3593	0.12080	0.70430	0.3613	7.4060	41.930	0.3959	0.30610	1.59900	0.3693	0.021660	0.039660	0.2843
35	29.550	164.700	0.3948	0.25280	1.8070	0.4648	0.08878	0.69880	0.4245	5.7160	43.410	0.4857	0.23960	1.69400	0.4683	0.019010	0.038730	0.3732
40				0.12970	0.1780	0.2189												
45				0.10950	0.1741	0.2269												
50	8.801	27.280	0.2957	0.09032	0.1712	0.2324	0.03883	0.08730	0.5105	1.8170	4.840	0.4021	0.09721	0.17990	0.4912	0.010760	0.001862	1.1700
55	7.839	25.920	0.3499	0.07422	0.1697	0.2454	0.03419	0.08315	0.5606	1.4930	4.515	0.4293	0.08552	0.16610	0.5112	0.010120	0.001404	1.2690
60	6.951	24.890	0.4198	0.06251	0.1692	0.2733	0.02985	0.07961	0.6169	1.1830	4.219	0.4571	0.07452	0.15390	0.5304	0.009512	0.000967	1.3330
65	6.130	24.090	0.5019	0.05528	0.1696	0.3217	0.02609	0.07597	0.6756	0.9172	3.982	0.4922	0.06514	0.14430	0.5582	0.008990	0.000647	1.3530
70	5.369	23.490	0.5881	0.05087	0.1696	0.3847	0.02302	0.07163	0.7299	0.7149	3.798	0.5378	0.05791	0.13570	0.5967	0.008550	0.000539	1.1940
75	4.666	22.690	0.6618	0.04797	0.1663	0.4492	0.02066	0.06649	0.7750	0.5793	3.629	0.5908	0.05291	0.12800	0.6478	0.008203	0.000642	1.0620
80	4.040	21.690	0.7187	0.04583	0.1549	0.4926	0.01886	0.06093	0.8103	0.4921	3.428	0.6427	0.04955	0.12080	0.7097	0.007903	0.000864	0.9703
85	3.504	20.370	0.7550	0.04398	0.1348	0.4943	0.01746	0.05558	0.8392	0.4355	3.178	0.6861	0.04721	0.11400	0.7786	0.007686	0.001056	1.0150
90	3.067	18.830	0.7726	0.04228	0.1137	0.4690	0.01633	0.05039	0.8585	0.3971	2.913	0.7204	0.04550	0.10770	0.8522	0.007511	0.001159	1.0810
95	2.731	17.070	0.7714	0.04068	0.0971	0.4406	0.01543	0.04571	0.8763	0.3681	2.654	0.7461	0.04410	0.10130	0.9222	0.007345	0.001133	1.1160
100	2.500	15.280	0.7557	0.03925	0.0857	0.4273	0.01466	0.04171	0.8939	0.3415	2.420	0.7645	0.04278	0.09466	0.9791	0.007230	0.000934	1.3090
105	2.364	13.410	0.7239	0.03808	0.0786	0.4394	0.01397	0.03815	0.9080	0.3135	2.227	0.7788	0.04143	0.08751	1.0140	0.007050	0.000620	1.3650
110	2.296	11.700	0.6827	0.03715	0.0744	0.4752	0.01336	0.03521	0.9244	0.2849	2.061	0.7897	0.04008	0.08047	1.0300	0.006921	0.000198	3.3090
115	2.265	10.210	0.6363	0.03636	0.0720	0.5319	0.01283	0.03271	0.9423	0.2579	1.922	0.8008	0.03878	0.07394	1.0330	0.006864	-0.000391	0.6469
120	2.246	8.950	0.5873	0.03566	0.0711	0.6073	0.01235	0.03047	0.9566	0.2336	1.797	0.8116	0.03758	0.06808	1.0310	0.006726	-0.000831	1.0060
125	2.219	7.923	0.5386	0.03502	0.0711	0.6974	0.01192	0.02863	0.9684	0.2130	1.677	0.8217	0.03652	0.06304	1.0310	0.006584	-0.001214	1.1920
130	2.170	7.094	0.4909	0.03445	0.0716	0.7969	0.01155	0.02702	0.9802	0.1969	1.557	0.8309	0.03561	0.05874	1.0370	0.006472	-0.001539	1.2850
135	2.102	6.450	0.4469	0.03394	0.0726	0.9099	0.01122	0.02561	0.9901	0.1838	1.440	0.8391	0.03481	0.05519	1.0490	0.006306	-0.001731	1.4650
140	2.009	5.916	0.4018	0.03345	0.0748	1.0470	0.01088	0.02436	0.9964	0.1724	1.328	0.8458	0.03407	0.05145	1.0570	0.006191	-0.001849	1.5300
145	1.895	5.498	0.3580	0.03296	0.0788	1.2240	0.01056	0.02313	0.9987	0.1616	1.225	0.8519	0.03336	0.04795	1.0630	0.006115	-0.001869	1.4980
150	1.757	5.177	0.3156	0.03243	0.0860	1.4670	0.01030	0.02198	1.0130	0.1501	1.132	0.8566	0.03266	0.04491	1.0730	0.006020	-0.001752	1.4830

資料 1 エックス線装置の管電圧と利用線錐方向の1メートルの距離における  
空気カーマ・換算係数及び実効線量

管電圧 (kV)	空気カーマ ( $\mu$ Gy/mAs)	換算係数 <sup>1)</sup> (E/Ka)	実効線量 <sup>2)</sup> ( $\mu$ Sv/mAs)
25	23	0.295 <sup>3)</sup>	6.9
30	44	0.416	18.1
35	67	0.624 <sup>3)</sup>	42.0
50	18	1.106	19.4
55	21	1.220 <sup>3)</sup>	26.0
60	26	1.308	33.6
65	31	1.367 <sup>3)</sup>	41.8
70	36	1.407	50.7
75	42	1.424 <sup>3)</sup>	59.7
80	48	1.433	69.2
85	55	1.433	78.8
90	62	1.433	88.9
95	69	1.433	99.5
100	77	1.433	110.5
105	85	1.433	121.8
110	93	1.433	133.4
115	101	1.433	145.2
120	110	1.433	157.1
125	118	1.433	169.2
130	127	1.433	181.3
135	135	1.433	193.4
140	143	1.433	205.5
145	152	1.433	217.5
150	160	1.433	229.2

- 1) エックス線装置の管電圧によるエネルギースペクトルが光子エネルギーに対応するとして、該当する換算係数を用いる。また、エックス線のエネルギースペクトルは、発生時のものと吸収又は散乱後とは異なっているが、漏えい線量の算定に当たって、発生時のエネルギーの換算係数を用いる。なお、管電圧が80kVを超える場合は、換算係数の最大値1.433を用いる。
- 2) 実効線量=空気カーマ×換算係数
- 3) ラグランジェ補間して求めた値。

資料 2 鉛の透過率(表1のパラメータを用い、式(4)より求めた。)

透過厚 (mm)	25	30	35	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
0.0	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
0.1	7.1E-05	2.9E-04	9.6E-04	6.8E-02	8.6E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01
0.2	3.0E-07	3.9E-06	2.9E-05	1.1E-02	1.7E-02	2.6E-02	3.8E-02	5.1E-02	6.7E-02	8.2E-02	9.9E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.9E-01	3.0E-01
0.3	1.9E-09	6.9E-08	1.3E-06	2.5E-03	4.8E-03	8.5E-03	1.4E-02	2.2E-02	3.1E-02	4.1E-02	5.2E-02	6.4E-02	7.9E-02	9.9E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.8E-01
0.4	1.3E-11	1.3E-09	6.4E-08	7.2E-04	1.6E-03	3.2E-03	6.1E-03	1.0E-02	1.6E-02	2.3E-02	3.1E-02	3.9E-02	4.7E-02	5.4E-02	6.1E-02	7.3E-02	8.4E-02	9.6E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01
0.5	9.3E-14	2.7E-11	3.3E-09	2.3E-04	5.7E-04	1.3E-03	2.8E-03	5.9E-03	9.0E-03	1.4E-02	2.5E-02	3.7E-02	4.1E-02	4.9E-02	5.9E-02	6.7E-02	7.8E-02	8.4E-02	9.6E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.4E-01
0.6	6.6E-16	5.9E-13	1.7E-10	7.7E-05	2.2E-04	5.8E-04	1.4E-03	2.9E-03	5.2E-03	8.4E-03	1.2E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.6E-02	2.9E-02	3.2E-02	3.4E-02	3.6E-02	3.8E-02	4.1E-02	4.3E-02	4.6E-02	4.8E-02	5.1E-02
0.7	4.7E-18	1.1E-14	8.8E-12	2.8E-05	9.0E-05	2.6E-04	6.9E-04	1.6E-03	3.1E-03	5.3E-03	8.1E-03	1.1E-02	1.5E-02	1.9E-02	2.1E-02	2.3E-02	2.4E-02	2.5E-02	2.6E-02	2.7E-02	2.8E-02	2.9E-02	3.0E-02	3.1E-02
0.8	3.3E-20	2.3E-16	4.6E-13	1.0E-05	3.8E-05	1.2E-04	3.6E-04	8.9E-04	1.8E-03	3.4E-03	5.5E-03	8.1E-03	1.1E-02	1.5E-02	1.7E-02	1.8E-02	1.9E-02	1.9E-02	2.0E-02	2.1E-02	2.2E-02	2.3E-02	2.4E-02	2.5E-02
0.9	2.3E-22	4.8E-18	2.4E-14	4.0E-06	1.6E-05	5.9E-05	1.9E-04	5.0E-04	1.1E-03	2.2E-03	3.7E-03	5.7E-03	7.9E-03	9.9E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.3E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.5E-02	1.5E-02	1.6E-02	1.6E-02	1.7E-02
1.0	1.6E-24	1.0E-19	1.2E-15	1.5E-06	7.0E-06	2.8E-05	9.8E-05	2.8E-04	6.9E-04	1.4E-03	2.6E-03	4.1E-03	5.8E-03	7.4E-03	8.6E-03	9.4E-03	1.0E-02	1.0E-02	1.1E-02	1.1E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.3E-02	1.3E-02
1.1					3.1E-06	1.4E-05	5.2E-05	1.4E-04	4.3E-04	9.4E-04	1.8E-03	2.9E-03	4.3E-03	5.9E-03	7.2E-03	7.6E-03	7.8E-03	7.8E-03	8.0E-03	8.3E-03	8.6E-03	9.0E-03	9.3E-03	9.7E-03
1.2					1.4E-06	6.7E-06	2.8E-05	7.9E-05	2.6E-04	6.2E-04	1.2E-03	2.1E-03	3.2E-03	4.2E-03	5.0E-03	5.5E-03	5.8E-03	5.9E-03	6.1E-03	6.3E-03	6.5E-03	6.8E-03	7.0E-03	7.3E-03
1.3					6.2E-07	3.3E-06	1.5E-05	5.5E-05	1.6E-04	4.1E-04	8.6E-04	1.5E-03	2.4E-03	3.2E-03	3.8E-03	4.2E-03	4.5E-03	4.6E-03	4.8E-03	4.9E-03	5.0E-03	5.1E-03	5.3E-03	5.5E-03
1.4					2.8E-07	1.6E-06	8.0E-06	3.2E-05	1.0E-04	2.7E-04	6.0E-04	1.1E-03	1.8E-03	2.4E-03	3.0E-03	3.3E-03	3.4E-03	3.5E-03	3.6E-03	3.7E-03	3.8E-03	3.9E-03	4.1E-03	4.2E-03
1.5					1.2E-07	8.1E-07	4.3E-06	1.8E-05	6.4E-05	1.8E-04	4.2E-04	8.1E-04	1.3E-03	1.9E-03	2.3E-03	2.6E-03	2.7E-03	2.7E-03	2.8E-03	2.8E-03	2.9E-03	3.0E-03	3.1E-03	3.2E-03
1.6							2.3E-06	1.1E-05	4.0E-05	1.2E-04	2.9E-04	6.0E-04	1.0E-03	1.4E-03	1.8E-03	2.0E-03	2.1E-03	2.1E-03	2.1E-03	2.2E-03	2.2E-03	2.3E-03	2.4E-03	2.5E-03
1.7							1.3E-06	6.3E-06	2.5E-05	8.0E-05	2.1E-04	4.4E-04	7.6E-04	1.1E-03	1.4E-03	1.6E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.8E-03	1.8E-03	1.9E-03	1.9E-03
1.8							6.8E-07	3.7E-06	1.6E-05	5.3E-05	1.4E-04	3.2E-04	5.8E-04	8.6E-04	1.1E-03	1.2E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.4E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.5E-03
1.9							3.7E-07	2.1E-06	9.8E-06	3.5E-05	1.0E-04	2.3E-04	4.4E-04	7.9E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.5E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.8E-03	1.8E-03
2.0							2.0E-07	1.2E-06	6.1E-06	3.5E-05	1.0E-04	2.3E-04	4.4E-04	7.9E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.5E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.8E-03	1.8E-03	1.9E-03
2.1							7.3E-07	3.8E-06	1.6E-05	5.0E-05	1.3E-04	2.5E-04	4.6E-04	8.2E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.5E-03	1.6E-03	1.6E-03	1.7E-03	1.7E-03	1.8E-03	1.8E-03	1.9E-03
2.2							4.3E-07	2.4E-06	1.1E-05	3.5E-05	9.3E-05	1.9E-04	3.1E-04	5.0E-04	7.0E-04	8.5E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04	9.0E-04
2.3							2.6E-07	1.5E-06	7.0E-06	2.5E-05	6.8E-05	1.4E-04	2.4E-04	3.7E-04	5.2E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04
2.4							1.5E-07	9.5E-07	4.7E-06	1.8E-05	5.0E-05	1.1E-04	1.9E-04	2.8E-04	3.7E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04	4.3E-04
2.5								5.9E-07	3.1E-06	1.2E-05	3.7E-05	8.4E-05	1.5E-04	2.0E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04	2.3E-04
2.6								2.1E-06	8.7E-06	3.7E-05	1.1E-04	1.8E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04	2.0E-04
2.7								1.4E-06	6.1E-06	2.0E-05	6.8E-05	1.2E-04	1.5E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04	1.6E-04
2.8								9.3E-07	4.3E-06	1.5E-05	4.3E-05	9.2E-05	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04
2.9								6.2E-07	3.0E-06	1.1E-05	2.8E-05	5.3E-05	7.7E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05	9.8E-05
3.0								4.1E-07	2.1E-06	7.9E-06	2.1E-05	4.1E-05	7.3E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05	7.8E-05
3.5									3.7E-07	1.7E-06	5.4E-06	1.2E-05	1.9E-05	2.3E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05	2.5E-05
4.0									6.4E-08	3.7E-07	1.4E-06	3.4E-06	8.0E-06	8.2E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06	8.4E-06

管電圧(kV)









資料 6 石膏の透過率(表1のパラメータを用い、式(4)より求めた。)

透線厚 (mm)	25	30	35	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	
0	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00	
1	4.9E-01	4.8E-01	5.0E-01	8.8E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.1E-01	9.2E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.5E-01	9.5E-01	9.5E-01	9.6E-01	9.6E-01	9.6E-01	9.6E-01	9.6E-01	9.6E-01	9.7E-01	9.7E-01	9.7E-01
2	2.3E-01	2.6E-01	1.9E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.4E-01	8.6E-01	8.7E-01	8.8E-01	8.8E-01	8.9E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.1E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.4E-01
3	1.3E-01	1.6E-01	1.1E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.8E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.3E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.5E-01	8.6E-01	8.7E-01	8.8E-01	8.8E-01	8.9E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.1E-01	9.1E-01
4	7.8E-02	9.9E-02	1.2E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.3E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.8E-01	7.8E-01	8.0E-01	8.2E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-01	8.6E-01	8.7E-01	8.7E-01	8.8E-01	8.8E-01	8.8E-01
5	4.9E-02	6.6E-02	8.6E-02	5.6E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.4E-01	7.4E-01	7.6E-01	7.9E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.5E-01	8.5E-01
6	3.2E-02	4.6E-02	6.2E-02	5.1E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.9E-01	6.3E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.5E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.3E-01
7	1.9E-02	2.4E-02	3.6E-02	4.2E-01	4.5E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.5E-01	5.8E-01	6.1E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.1E-01
8	1.1E-02	1.8E-02	2.8E-02	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.8E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.7E-01
9	7.6E-03	1.3E-02	2.2E-02	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.2E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01
10	4.9E-03	1.0E-02	1.8E-02	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.2E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.5E-01
11	8.1E-03	1.4E-02	2.9E-02	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.7E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.4E-01
12	6.4E-03	1.2E-02	2.7E-02	2.7E-01	3.0E-01	3.3E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.7E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.3E-01
13	5.1E-03	9.7E-03	2.5E-02	2.8E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.7E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.3E-01
14	4.1E-03	8.1E-03	2.3E-02	2.6E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.6E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.2E-01
15	3.0E-03	7.0E-03	2.0E-02	2.4E-01	2.7E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.6E-01	4.8E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.1E-01
16	2.2E-03	5.0E-03	1.5E-02	2.1E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.0E-01
17	1.7E-03	4.0E-03	1.2E-02	1.9E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.3E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	6.8E-01
18	1.3E-03	3.0E-03	9.0E-03	1.7E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.6E-01
19	1.0E-03	2.3E-03	7.0E-03	1.5E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.8E-01	6.0E-01	6.0E-01
20	8.0E-04	1.8E-03	5.5E-03	1.4E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.8E-01	5.8E-01
21	6.0E-04	1.4E-03	4.5E-03	1.3E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.6E-01	4.8E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.2E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.6E-01
22	4.5E-04	1.1E-03	3.5E-03	1.2E-01	1.5E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.6E-01	4.8E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.3E-01
23	3.5E-04	8.5E-04	2.5E-03	1.1E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.3E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.6E-01	4.8E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.1E-01
24	2.8E-04	7.0E-04	2.0E-03	1.0E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.0E-01
25	2.2E-04	5.5E-04	1.5E-03	9.0E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.0E-01
26	1.7E-04	4.5E-04	1.2E-03	8.0E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.6E-01	4.8E-01	4.9E-01	4.9E-01
27	1.3E-04	3.5E-04	9.5E-04	7.0E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.7E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.8E-01	4.8E-01
28	1.0E-04	2.8E-04	7.5E-04	6.0E-02	8.0E-02	1.0E-01	1.3E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.6E-01	4.6E-01
29	8.0E-05	2.2E-04	6.0E-04	5.0E-02	6.5E-02	8.5E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.6E-01	3.8E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.4E-01	4.4E-01
30	6.0E-05	1.7E-04	4.5E-04	4.0E-02	5.0E-02	6.5E-02	8.5E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.3E-01	4.3E-01
35	4.9E-04	5.9E-02	7.5E-02	9.3E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.3E-01	4.6E-01	4.6E-01	4.8E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.4E-01	5.4E-01
40	2.8E-04	4.4E-02	5.8E-02	7.4E-02	9.2E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.8E-01	4.8E-01



資料 8 大幅に減衰したエックス線の広いビームに対する半価層( $t_{1/2}$ )及び1/10価層( $t_{1/10}$ )

表1のパラメータを用いて式(4)により、半価層は透過率 $1 \times 10^{-4}$ から $5 \times 10^{-5}$ 、1/10価層は透過率 $1 \times 10^{-4}$ から $1 \times 10^{-5}$ のしゃへい体の厚さの差の値として求めた。(コンクリートの密度は $2.35\text{g/cm}^3$ 。)

(単位: mm)

管電圧 (kV)	鉛		コンクリート		鉄		ガラス		石膏		木材	
	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層
25	0.012	0.040	1.36	4.74	0.061	0.21	1.44	5.00	3.53	12.2	23.8	81.8
30	0.015	0.053	1.86	6.41	0.08	0.28	1.96	6.74	4.84	16.7	28.5	96.8
35	0.021	0.071	2.53	8.59	0.11	0.38	2.68	9.09	6.87	23.6	34.5	116
50	0.067	0.23	6.36	21.8	0.36	1.22	7.01	23.4	17.6	58.6	64.4	214
55	0.079	0.27	7.66	26.3	0.44	1.49	7.99	26.7	20.0	66.8	68.5	228
60	0.094	0.32	9.25	31.7	0.56	1.88	9.18	30.6	23.1	76.8	72.9	242
65	0.11	0.37	11.0	37.5	0.73	2.44	10.5	35.1	26.5	88.0	77.1	256
70	0.13	0.42	12.6	42.6	0.94	3.15	11.9	39.6	30.0	99.8	81.1	269
75	0.15	0.49	13.8	46.4	1.17	3.92	13.0	43.4	33.5	111	84.5	281
80	0.17	0.57	14.7	49.2	1.39	4.63	13.9	46.4	36.7	122	87.7	291
85	0.20	0.66	15.3	51.4	1.58	5.25	14.7	48.7	39.7	132	90.2	300
90	0.23	0.75	15.9	53.3	1.73	5.77	15.2	50.6	42.4	141	92.3	307
95	0.25	0.84	16.5	55.2	1.87	6.23	15.7	52.2	44.9	149	94.4	314
100	0.28	0.92	17.0	57.1	2.02	6.72	16.2	53.8	47.3	157	95.9	319
105	0.29	0.97	17.7	59.1	2.20	7.33	16.7	55.6	49.6	165	98.3	327
110	0.30	1.00	18.3	61.0	2.42	8.06	17.3	57.4	51.9	172	100	333
115	0.30	1.01	18.8	62.8	2.68	8.91	17.9	59.4	54.0	179	101	336
120	0.30	1.02	19.3	64.3	2.96	9.84	18.4	61.3	56.1	186	103	342
125	0.31	1.02	19.7	65.6	3.24	10.8	19.0	63.0	58.1	193	105	350
130	0.31	1.04	20.1	66.8	3.51	11.7	19.5	64.7	60.0	199	107	356
135	0.32	1.06	20.4	67.8	3.76	12.5	19.9	66.1	61.8	205	110	365
140	0.32	1.09	20.7	68.8	4.01	13.3	20.3	67.6	63.7	212	112	372
145	0.33	1.13	21.0	69.9	4.28	14.2	20.8	69.0	65.6	218	113	377
150	0.34	1.18	21.4	71.0	4.61	15.3	21.2	70.5	67.3	224	115	383

資料 9 散乱角90度における照射野400cm<sup>2</sup>の組織類似ファントムから1メートルの距離における空気カーマのファントムに入射する一次エックス線に対する百分率  
散乱角90度について、式(5)より求めた。

管電圧 (kV)	空気カーマ の百分率
25	0.14
30	0.14
35	0.15
40	0.15
45	0.15
50	0.16
55	0.16
60	0.16
65	0.17
70	0.17
75	0.17
80	0.18
85	0.18
90	0.18
95	0.19
100	0.19
105	0.19
110	0.20
115	0.20
120	0.20
125	0.21
130	0.21
135	0.21
140	0.21
145	0.22
150	0.22

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）  
「医療放射線の安全確保と有効利用に関する研究」  
(H22-医療-一般-027)（主任研究者：細野眞）

分担研究報告書

診療用放射性同位元素使用室への入退出時における患者の  
スリッパ等の履き替えの必要性に関する検討

分担研究者 山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 環境物理室長

研究協力者

金谷 信一	東京女子医科大学病院 核医学・PET検査室
小高喜久雄	国立国際医療研究センター病院 放射線診療部
渡邊 浩	横浜労災病院 中央放射線部
池淵 秀治	社団法人日本アイソトープ協会
中村 伸貴	社団法人日本アイソトープ協会
柳田 幸子	社団法人日本アイソトープ協会

研究要旨

診療従事者及び患者が核医学施設からの入退出の際、診療用放射性同位元素（以下、RIと略す。）使用室等の管理区域用（RI専用）のスリッパ等に履き替えることが推奨されている。一方、患者の高齢化が急速に進行している状況下において、履き替えたRI専用スリッパ等が原因で、核医学検査等において患者が転倒するケースが散見されている。この状況に鑑みて、医療現場において、医療安全の確保の面からも、また、スリッパ等の履き替えによる衛生上の問題からも強く改善が求められている。

RI汚染拡大を想定した解析の結果、日常の放射線診療において、施設内の一部の場所（RI管理区域内のトイレ）を除いてRI汚染及び汚染の拡大は殆ど認められないこと。また、RI汚染による他の患者の推定被ばく線量も極めて少ないことから、RI汚染防止を考慮したRI専用スリッパ等の履き替えの必要性は殆ど認められないことが明らかにされた。ただし、男子トイレにおいてRI汚染が発生する可能性が認められた。

以上を踏まえて、核医学施設の入退出に際してRI専用スリッパ等に履き替えを行わない場合の条件として、当該実施医療機関において放射能汚染防止にかかるガイドライン（履き替えガイドライン）を作成し、これを常に遵守することを提案した。

## A. 研究目的

放射能汚染の拡大防止を想定して、核医学施設の診療用放射性同位元素使用室（以下、RI 使用室と略す。）等へ入退出する者の履物の履き替えを推奨している。一方、患者の高齢化の進捗により、核医学画像検査に伴い履物の履き替えによって患者が転倒するなどによる医療の安全確保を危惧する事例が生じている。

本研究は、医療の安全確保の観点から、当該 RI 使用室の入室時に履き替えを行わない場合の放射能汚染拡大を検証し、核医学診療患者の転倒防止等を図り医療の安全確保に資することを目的とする。

## B. 研究方法および結果

### B.1 研究方法

- ① 平成 17 年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」（主任研究者：油野民雄・旭川医科大学放射線医学教室教授）・山口一郎分担研究報告書「診療用放射性同位元素使用室への入退出時における患者のスリッパ履き替えの必要性についての検討」
- ② 平成 15 年度厚生労働科学研究費補助金（厚生労働科学特別研究事業）「国、自治体を含めた院内感染対策全体の制度設計に関する緊急特別研究」（主任研究者：小林寛伊・N T T 東日本関東病院名誉院長）・大久保憲分担研究報告書「医療施設における院内感染（病院感染）の防止について」

以上の各報告書を検証し、放射線安全及び医療の安全確保に関する検討を行った。

#### B.1.1. 前提となるモデル

患者のスリッパ等の履き替えに関連する放射能汚染について検討するに先だち、日常の RI 使用室の汚染状態を測定した。次に、RI 使用室等内の床が RI で汚染されていることを想定し、RI 使用室等内の患者（あるいは診療従事者）が履物を履き替えなくて管理区域外に退出した場合の RI 汚染状況について、第三者の被ばく線量により推計した。

#### B.1.2. シナリオの設定

##### 1) RI 使用室等内の汚染の程度

- ① RI 使用室等内の法令で定めている放射線測定による表面汚染密度を調査し、調査データを基に変数として設定する。

##### 2) 線源の存在条件

RI 使用室等内の RI 汚染が患者のスリッパ等により管理区域外に拡大すると仮定する。

- ① 汚染の程度のうち汚染密度は変数とした。
- ② 汚染の程度のうち汚染面積は変数とした。



### B.2.1. 結果

スリッパ等の履き替えの有効性は、床の汚染事故の発生確率やスリッパ等の履き替えによる汚染拡大防止の効果などにより決定される。そこで、スリッパ等の履き替えの必要性について検証した。

#### 1) RI 使用室等内の床の汚染状況の測定結果

先ず、RI 使用室等内の床の汚染の状態を測定した。

床面で最も高い表面汚染密度は、管理区域内トイレ ( $8.5\sim 20.4\text{Bq/cm}^2$ ) で、F-18 に由来する汚染が最も高く検出された。その他、保管廃棄室 ( $0.0015\text{Bq/cm}^2$ )、処置室 ( $0.0012\text{Bq/cm}^2$ )、準備室 ( $0.0008\text{Bq/cm}^2$ )、体外計測室 ( $0.0005\text{Bq/cm}^2$ )、廊下 ( $0.0002\text{Bq/cm}^2$ ) では、表面密度限度の 1/1000 以下で、日常の放射線管理では検出できない程度に低い値であった。

#### 2) 床の汚染に由来した被ばく線量の推計

履き替えを行わないと仮定して、RI 使用室等内の床が RI 汚染しており、患者又は診療従事者のスリッパ等を経て管理区域外に持ち出して汚染が拡大したと想定した場合の、一般公衆等の線量を推計した。

F-18 汚染密度が  $2\text{Bq/cm}^2$  と仮定した場合の第三者の被ばく線量をシミュレーションすると、以下のような結果が推計された。

- ① 受付事務職員：  $0.4\mu\text{Sv/年}$
- ② 外来患者、家族、介護者：  $30\text{nSv/年}$
- ③ 入院患者（1ヶ月入院）：  $0.48\mu\text{Sv/年}$
- ④ 清掃職員：  $1.34\text{mSv/年}$

この結果から、清掃職員 ( $1.34\text{mSv/年}$ ) が最も高い線量を被ばくする推計された。清掃職員の被ばく線量が大きくなる要因はトイレの清掃であると考えられる。しかしながら、清掃職員の1年間の被ばく線量は、管理区域内で被ばく管理される職業被ばくの線量限度  $20\text{mSv}$  よりも低い値である。その他の診療従事者及び他の患者が受ける被ばく線量は、公衆被ばくの線量限度である年間  $1\text{mSv}$  の 1/1000 以下であった。

#### 3) 履き替えによる転倒リスクにおいて考慮されるべき要件

転倒リスクは医療機関内のインシデントレポートからデータをすることも考えられ、正確なデータがあれば事故のインパクトをより適切に評価することができる。

しかしながら、ヒヤリ・ハット事例（重要事例）情報データベースにおける転倒事故事例にはスリッパ履き替えに起因した客観的な登録データはない。

特定機能病院、国立病院・療養所の医療機関を対象として、インシデント事例（患者に傷害を及ぼすことはないが、日常診療の場において“ヒヤリ”としたり“ハッ”とし

たりした事例)を収集し、集計・分析した結果等を広く医療機関、国民に公表しているこの医療安全対策ネットワーク事業(ヒヤリ・ハット事例収集・分析)における平成14年全般コード化情報集計結果によると転倒事故は3739件発生している。このうち、件数が多い事例は移動中の1107件(30%)、その他の療養生活に関する事例1241件(33%)である。また、移動介助で219件(6%)、着替え中には55件(2%)であった。

核医学施設入退出時や入室後の転倒リスクは、患者の年齢、核医学検査を実施する装置の特徴、核医学診療室等における構造設備等に依存する。

本邦においては、医療技術の進歩により早期診断・早期治療が定着しつつある。それに伴い国民の長寿化への移行と、同時に患者の老齢化が一層進んでいる。また、SPECT又はPET等の核医学検査装置の大部分が外国製品に依存しているために、大多数の装置の台座、ステージは欧米人の体格に合わせた台座、ステージの高さになっている。従って、ステージ等から患者が下りる際に、足下との距離が図りがたい等の不安定により、スリッパ等を履く際に転倒しやすい状況を作っている。また、RI使用室等の構造設備は、医療法施行規則において「壁、床その他放射性同位元素によって汚染されるおそれのある部分の表面は、平滑であり、気体又は液体が浸透しにくく、かつ、腐食しにくい材料で仕上げること。」と規定し、床面が滑りやすくなっていることも、転倒リスクを多くしていると推定される。

#### 4) スリッパ等の履き替えを推奨しない場合の利益

スリッパ等の履き替えを行わない場合の利点については以下のことが考えられる。

- (1) SPECTやPET装置ステージからの乗り降りの際の転倒が防止できる。
- (2) RI使用室等の出入り時の履き替えによる転倒が防止できる。
- (3) 歩行困難患者への対応が軽減できる(転倒防止のため、歩行困難患者の靴を脱がさず、ベッドにろ紙を敷いて撮影している医療機関もある)。
- (4) 複数人のスリッパ等の使用による感染等の衛生上の広がり防止できる(どこの医療機関でも年間数例程度は共用スリッパ等への履き替えを拒否されることがある)。
- (5) 靴の間違いが防止できる(履き替えをやめるとスリッパ等からの履き間違えを減らせる。大学病院では年間複数人の患者が他人の靴で帰宅するとされている)。
- (6) 履き替えをやめると、多数の実習生など学生の入室時にスリッパ等が足りなくなる問題が回避できる。
- (7) 履き替えをやめると、静電気によるスリッパ等への細かいゴミの付着が防げるので、清潔が保てる。
- (8) 災害等の避難の際に怪我が防止できる。
- (9) 緊急時に患者誘導を迅速に行うことができる。

## C. 考察

### 1) 線量推計結果について

#### ① 受付事務職員の線量

900cm<sup>2</sup>の汚染であった場合でも、職員の実効線量は年間 0.4μSv に過ぎない。このため、年間 10μSv 以下であるので、そのリスクは放射線安全面で無視できる。

#### ② 外来患者、家族、介護者

900cm<sup>2</sup>の汚染であった場合の患者等の実効線量は年間 30nSv に過ぎない。従って、①と同様、年間 10μSv 以下であることから、国際基準としてこの程度の線量はほぼ無視できる。むしろ、RI を投与された患者からの線量の方が大きいいため、検査数が多い施設では、管理区域からの退出の基準や他の検査の制限などの行為基準の設定を検討した方が有益かもしれない。

#### ③ 入院患者

900cm<sup>2</sup>の汚染であった場合の入院患者の実効線量は年間 0.48μSv であり、放射線安全は確保できる。

#### ④ 清掃職員

A 施設ではトイレの汚染が 20Bq/cm<sup>2</sup> であり、シミュレーション計算とほぼ同程度であった。線源との接触時間などをかなり過大評価してもトイレを汚染した排泄物からの被ばく線量は比較的少ないと考えられる。ただし、看護職員や清掃職員の安全を確実に確保するために、少なくとも検査前に利用する (RI 投与後の初回排尿) トイレは管理区域内に設けるなど対策を講じた方がよいかもしれない。

また、尿が周辺に漏れると PET (陽電子) によるエネルギー付与が無視できなくなることがある。また、放射性医薬品等を投与した患者の排尿によって、周囲が RI により汚染されることにより表面汚染密度が限度を超える可能性がある。管理区域から退出前に利用するトイレは管理区域内に設けることは、放射線安全管理という観点からは正当化される。

一方、検査 120 分後に管理区域を退出した場合には、退出直後に公衆トイレで排尿した場合の周囲汚染はかなり過大に評価しても特殊な状況でなければ法令で定める表面密度限度を超えない。ただし、表面密度限度は再浮遊係数等を見直すとより合理的にできる可能性があるかもしれない。このように、医療機関内のトイレでは容易に検出できる放射能汚染が起こり得る。これらの点を考慮して汚染拡大防止の対策として、核医学施設の入退出に際して RI 専用スリッパ等に履き替えを行わない場合の条件として、放射能汚染防止にかかるガイドライン (履き替えガイドライン) を作成し、これを遵守することを提案する。

## 2) スリッパ等の履き替えを廃止した場合の放射線防護のための代替案

- ① RI 使用室前に汚染ふき取りマットをおくことにより、汚染数量を低減できる可能性がある。上記の計算において、ふき取りマットをおくことを前提にすれば、その効率を乗じて評価できる。
- ② 患者が管理区域を退出する際に、汚染がないことを確認する場合、履物を変える必要はないこととする。この場合は上記の評価が必要ない。
- ③ 最も大きく放射能汚染する場所は男子トイレである。管理区域の内外に関わらず、放射性医薬品の投与後、比較的短時間の患者が利用するトイレは床が汚染する可能性がある。とりわけ、陽電子放出核種は、当該トイレ清掃作業者の皮膚に相対的に大きなエネルギーを与えうる。このため、トイレの床面の汚染を拡大しないための工夫が必要となる。

最近、水分検知シートを活用した放射能汚染検知シートが市販されており、それを利用するのも一つの方法である。このように、十分な教育訓練と確実な日常モニタリングの実施が求められる。