

表 5 鉄の透過率(表2のパラメータを用いて求めた。)

造紙厚 (mm)	X線装置の管電圧(kVp)																								
	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	1.0E+00
1	5.0E-07	5.7E-06	4.4E-05	1.9E-02	2.8E-02	4.2E-02	5.8E-02	7.7E-02	9.7E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.0E-01
2	3.8E-11	3.1E-09	1.3E-07	1.7E-03	3.4E-03	6.6E-03	1.2E-02	2.0E-02	2.9E-02	3.7E-02	4.6E-02	5.0E-02	6.2E-02	7.8E-02	9.9E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.3E-01
3	2.8E-15	1.9E-12	4.3E-10	2.1E-04	5.8E-04	1.5E-03	3.4E-03	6.8E-03	1.1E-02	1.7E-02	2.4E-02	3.1E-02	3.8E-02	4.6E-02	5.4E-02	6.2E-02	7.2E-02	8.1E-02	9.2E-02	1.0E-01	1.1E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.5E-01
4	2.8E-19	1.1E-15	1.4E-12	3.0E-05	1.1E-04	3.9E-04	1.1E-03	2.7E-03	5.2E-03	8.6E-03	1.3E-02	1.7E-02	2.2E-02	2.7E-02	3.3E-02	3.9E-02	4.6E-02	5.3E-02	6.1E-02	6.9E-02	7.8E-02	8.7E-02	9.7E-02	1.1E-01	1.1E-01
5	2.4E-23	6.9E-19	4.8E-15	4.7E-06	2.4E-05	1.1E-04	4.1E-04	1.2E-03	2.6E-03	4.6E-03	7.1E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.6E-02	3.1E-02	3.6E-02	4.2E-02	4.9E-02	5.6E-02	6.3E-02	7.1E-02	8.0E-02	8.0E-02
6				7.5E-07	5.2E-06	3.2E-05	1.5E-04	5.2E-04	1.3E-03	2.6E-03	4.2E-03	6.2E-03	8.4E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.6E-02	3.1E-02	3.6E-02	4.1E-02	4.7E-02	5.4E-02	6.1E-02	6.1E-02
7					1.2E-06	9.5E-06	5.8E-05	2.4E-04	6.9E-04	1.3E-03	2.6E-03	3.9E-03	5.4E-03	7.3E-03	9.5E-03	1.2E-02	1.5E-02	1.9E-02	2.3E-02	2.7E-02	3.2E-02	3.6E-02	4.2E-02	4.8E-02	4.8E-02
8					2.6E-07	2.9E-06	2.3E-05	1.1E-04	3.7E-04	8.9E-04	1.6E-03	2.5E-03	3.6E-03	4.9E-03	6.6E-03	8.6E-03	1.1E-02	1.4E-02	1.7E-02	2.1E-02	2.4E-02	2.9E-02	3.4E-02	3.9E-02	3.9E-02
9					5.7E-08	8.7E-07	8.9E-06	5.1E-05	2.0E-04	5.1E-04	9.9E-04	1.6E-03	2.4E-03	3.4E-03	4.6E-03	6.2E-03	8.2E-03	1.1E-02	1.3E-02	1.6E-02	1.9E-02	2.3E-02	2.7E-02	3.1E-02	3.1E-02
10					1.3E-08	2.6E-07	3.5E-06	2.6E-05	1.1E-04	3.1E-04	6.3E-04	1.1E-03	1.6E-03	2.3E-03	3.3E-03	4.5E-03	6.1E-03	8.0E-03	1.0E-02	1.3E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.5E-02	2.5E-02
11							1.4E-06	1.3E-05	6.2E-05	1.8E-04	4.0E-04	7.0E-04	1.1E-03	1.6E-03	2.3E-03	3.3E-03	4.6E-03	6.2E-03	8.0E-03	1.0E-02	1.2E-02	1.5E-02	1.8E-02	2.1E-02	2.1E-02
12							5.6E-07	6.2E-06	3.4E-05	1.1E-04	2.6E-04	4.7E-04	7.5E-04	1.1E-03	1.7E-03	2.3E-03	3.5E-03	4.7E-03	6.3E-03	8.0E-03	1.0E-02	1.2E-02	1.5E-02	1.7E-02	1.7E-02
13							2.2E-07	3.0E-06	1.9E-05	6.7E-05	1.6E-04	3.1E-04	5.1E-04	8.0E-04	1.2E-03	1.8E-03	2.6E-03	3.7E-03	4.9E-03	6.4E-03	8.0E-03	9.8E-03	1.2E-02	1.4E-02	1.4E-02
14							8.8E-08	1.5E-06	1.1E-05	4.1E-05	1.1E-04	2.1E-04	3.5E-04	5.6E-04	8.8E-04	1.3E-03	1.9E-03	2.9E-03	3.9E-03	5.1E-03	6.5E-03	8.0E-03	9.7E-03	1.2E-02	1.2E-02
15							3.5E-08	7.2E-07	5.9E-06	2.5E-05	6.8E-05	1.4E-04	2.4E-04	4.0E-04	6.4E-04	9.8E-04	1.3E-03	2.2E-03	2.9E-03	3.9E-03	5.1E-03	6.5E-03	8.0E-03	9.7E-03	1.2E-02
16									3.8E-06	1.5E-05	4.4E-05	9.3E-05	1.7E-04	2.8E-04	4.6E-04	7.5E-04	1.2E-03	2.2E-03	3.1E-03	4.1E-03	5.3E-03	6.6E-03	8.2E-03	1.0E-02	1.0E-02
17									1.9E-06	9.3E-06	2.8E-05	6.2E-05	1.2E-04	2.0E-04	3.4E-04	5.6E-04	9.0E-04	1.4E-03	2.0E-03	2.5E-03	3.3E-03	4.3E-03	5.5E-03	6.8E-03	8.5E-03
18									1.0E-06	5.7E-06	1.8E-05	4.2E-05	8.0E-05	1.4E-04	2.5E-04	4.2E-04	6.9E-04	1.1E-03	1.6E-03	2.2E-03	2.7E-03	3.5E-03	4.5E-03	5.7E-03	7.2E-03
19									5.8E-07	3.5E-06	1.2E-05	2.8E-05	5.5E-05	1.0E-04	1.8E-04	3.1E-04	5.3E-04	8.5E-04	1.3E-03	1.8E-03	2.4E-03	3.1E-03	4.0E-03	5.2E-03	6.1E-03
20									3.2E-07	2.1E-06	7.6E-06	1.9E-05	3.8E-05	7.1E-05	1.3E-04	2.4E-04	4.1E-04	6.7E-04	1.0E-03	1.5E-03	2.0E-03	2.6E-03	3.4E-03	4.4E-03	4.4E-03
21										1.3E-06	4.9E-06	1.3E-05	2.6E-05	5.0E-05	9.5E-05	1.8E-04	3.1E-04	5.3E-04	8.2E-04	1.2E-03	1.6E-03	2.2E-03	2.9E-03	3.8E-03	3.8E-03
22										7.9E-07	3.2E-06	8.5E-06	1.8E-05	3.6E-05	6.9E-05	1.3E-04	2.4E-04	4.2E-04	6.6E-04	1.0E-03	1.4E-03	1.9E-03	2.5E-03	3.2E-03	3.2E-03
23										4.8E-07	2.0E-06	5.7E-06	1.3E-05	2.5E-05	5.1E-05	9.9E-05	1.9E-04	3.3E-04	5.3E-04	8.0E-04	1.1E-03	1.5E-03	2.0E-03	2.5E-03	2.5E-03
24										2.9E-07	1.3E-06	3.8E-06	8.7E-06	1.8E-05	3.7E-05	7.5E-05	1.4E-04	2.6E-04	4.3E-04	6.5E-04	9.3E-04	1.3E-03	1.7E-03	2.3E-03	2.3E-03
25										1.8E-07	8.6E-07	2.6E-06	6.0E-06	1.3E-05	2.7E-05	5.6E-05	1.1E-04	2.0E-04	3.5E-04	5.3E-04	7.7E-04	1.1E-03	1.5E-03	2.0E-03	2.0E-03
26												1.7E-06	4.2E-06	9.1E-06	2.0E-05	4.2E-05	8.6E-05	1.6E-04	2.8E-04	4.4E-04	6.4E-04	9.0E-04	1.2E-03	1.7E-03	1.7E-03
27												1.2E-06	2.9E-06	6.4E-06	1.4E-05	3.2E-05	6.6E-05	1.3E-04	2.3E-04	3.6E-04	5.3E-04	7.5E-04	1.0E-03	1.5E-03	1.5E-03
28												7.8E-07	2.0E-06	4.6E-06	1.1E-05	2.4E-05	5.1E-05	1.0E-04	1.8E-04	2.9E-04	4.4E-04	6.3E-04	8.9E-04	1.3E-03	1.3E-03
29												5.3E-07	1.4E-06	3.2E-06	7.7E-06	1.8E-05	3.9E-05	8.0E-05	1.5E-04	2.4E-04	3.7E-04	5.3E-04	7.5E-04	1.1E-03	1.1E-03
30												3.5E-07	1.4E-06	3.2E-06	5.6E-06	1.3E-05	3.0E-05	6.3E-05	1.2E-04	2.0E-04	3.0E-04	4.5E-04	6.4E-04	9.3E-04	9.3E-04
35												3.5E-07	9.5E-07	2.3E-06	5.6E-06	1.3E-05	3.0E-05	6.3E-05	1.2E-04	2.0E-04	3.0E-04	4.5E-04	6.4E-04	9.3E-04	9.3E-04
40												7.6E-08	2.4E-07	7.8E-07	2.3E-06	6.1E-06	1.4E-05	4.1E-05	7.3E-05	1.2E-04	1.9E-04	2.8E-04	3.9E-04	5.2E-04	5.2E-04

単位: mm

半価層	0.061	0.08	0.11	0.36	0.44	0.56	0.73	0.94	1.17	1.39	1.58	1.73	1.87	2.02	2.20	2.42	2.68	2.96	3.24	3.51	3.76	4.01	4.28	4.61
1/10価層	0.21	0.28	0.38	1.22	1.49	1.88	2.44	3.15	3.92	4.63	5.25	5.77	6.23	6.72	7.33	8.06	8.91	9.84	10.79	11.67	12.51	13.34	14.23	15.32

表 6 石膏の透過率(表2のパラメータを用いて求めた。)

遮蔽厚 (mm)	X線装置の管電圧(kVp)																							
	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	4.5E-01	4.8E-01	5.0E-01	8.2E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.1E-01	9.1E-01	9.2E-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	9.6E-01	9.6E-01
2	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-01	8.7E-01	8.8E-01	8.9E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.1E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.3E-01	9.3E-01	9.4E-01
3	1.3E-01	1.6E-01	1.8E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.7E-01	7.8E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-01	8.7E-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	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-01	8.8E-01
5	4.9E-02	6.6E-02	8.6E-02	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-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	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.5E-01
6	4.6E-02	6.2E-02	8.2E-02	5.1E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.8E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.3E-01	6.4E-01	6.5E-01	6.6E-01	6.7E-01	6.8E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.7E-01
7	3.3E-02	4.7E-02	6.4E-02	4.9E-01	5.2E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.8E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.3E-01	6.4E-01	6.5E-01	6.6E-01	6.7E-01	6.8E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.5E-01
8	3.6E-02	4.2E-02	5.1E-02	4.5E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.7E-01	5.8E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.3E-01	6.4E-01	6.5E-01	6.6E-01	6.7E-01	6.8E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.2E-01
9	2.8E-02	3.8E-02	4.7E-02	4.1E-01	4.4E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.4E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.7E-01	5.8E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.3E-01	6.4E-01	6.5E-01	6.6E-01	6.7E-01	7.0E-01
10	2.2E-02	3.5E-02	4.3E-02	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.4E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.7E-01	5.8E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01	6.3E-01	6.4E-01	6.7E-01
11				3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.3E-01
12				2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.1E-01	7.3E-01
13				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	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.0E-01	7.1E-01
14				2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.1E-01
15				2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.1E-01
16				2.1E-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	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01
17				1.9E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01
18				1.8E-01	2.1E-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	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01
19				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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01
20				1.6E-01	1.8E-01	2.1E-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	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01
21				1.5E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01
22				1.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.1E-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	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01
23				1.3E-01	1.5E-01	1.7E-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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01
24				1.2E-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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01
25				1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.1E-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	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01
26				1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.7E-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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01
27				9.9E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.7E-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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01
28				9.0E-02	1.1E-01	1.3E-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	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01
29				8.3E-02	1.0E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.3E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01
30				8.0E-02	9.8E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.7E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01
35				7.5E-02	9.3E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.5E-01	2.7E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01
40				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	2.3E-01	2.5E-01	2.7E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.5E-01

単位:mm

半価層	3.53	4.84	6.87	17.55	20.04	23.05	26.45	30.02	33.48	36.70	39.66	42.41	44.89	47.25	49.59	51.86	54.01	56.11	58.14	60.00	61.77	63.70	65.63	67.29
1/10価層	12.21	16.71	23.58	58.60	66.82	76.77	88.00	99.84	111.3	122.0	131.8	140.9	149.2	157.0	164.8	172.3	179.4	186.4	193.1	199.3	205.2	211.6	218.0	223.5

表 7 ガラスの透過率(表2のパラメータを用いて求めた。)

遮蔽厚 (mm)	X線装置の管電圧(kVp)																							
	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	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01	7.9E-01	1.0E+00	8.0E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-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	9.2E-01	9.2E-01	9.3E-01
2	6.1E-02	7.7E-02	9.4E-02	6.0E-01	6.3E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.5E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.8E-01	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01	8.4E-01	8.5E-01	8.6E-01
3	2.3E-02	3.3E-02	4.6E-02	4.8E-01	5.1E-01	5.4E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.3E-01	6.5E-01	6.7E-01	6.9E-01	7.1E-01	7.3E-01	7.4E-01	7.6E-01	7.7E-01	7.8E-01	7.9E-01	8.0E-01	8.1E-01	8.2E-01	8.3E-01
4	9.8E-03	1.6E-02	2.6E-02	3.8E-01	4.2E-01	4.5E-01	4.8E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.1E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.0E-01	7.2E-01	7.4E-01	7.6E-01	7.8E-01	8.0E-01	8.2E-01	8.4E-01
5	4.6E-03	8.9E-03	1.5E-02	3.1E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.4E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-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	7.2E-01	7.4E-01	7.6E-01	7.9E-01
6				2.6E-01	2.9E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.8E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.6E-01	4.8E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.5E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.2E-01	6.4E-01	6.6E-01	6.8E-01	7.1E-01
7				2.1E-01	2.4E-01	2.8E-01	3.1E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.3E-01	5.4E-01	5.6E-01	5.7E-01	5.9E-01	6.0E-01	6.1E-01	6.2E-01
8				1.8E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.7E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.1E-01	5.2E-01	5.4E-01	5.5E-01	5.6E-01	5.7E-01	5.8E-01
9				1.5E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.9E-01	3.1E-01	3.3E-01	3.5E-01	3.7E-01	3.9E-01	4.1E-01	4.3E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.2E-01	5.3E-01	5.4E-01
10				1.3E-01	1.5E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.5E-01	4.7E-01	4.9E-01	5.0E-01	5.1E-01	5.2E-01
11				1.1E-01	1.3E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.8E-01	4.9E-01	5.0E-01
12				9.3E-02	1.1E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.8E-01	4.9E-01
13				8.0E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.7E-01	4.8E-01
14				6.9E-02	8.7E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.7E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01	4.8E-01
15				6.0E-02	7.6E-02	9.5E-02	1.2E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01	4.6E-01
16						8.5E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.8E-01	3.0E-01	3.2E-01	3.4E-01	3.6E-01	3.8E-01	4.0E-01	4.2E-01	4.4E-01
17						7.6E-02	9.4E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01	3.1E-01	3.2E-01	3.3E-01	3.4E-01	3.5E-01
18						6.7E-02	8.5E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01	3.1E-01	3.2E-01	3.3E-01
19						6.0E-02	7.6E-02	9.4E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01	3.1E-01	3.2E-01
20						5.4E-02	6.9E-02	8.6E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01	3.1E-01
21							7.9E-02	9.5E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.7E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01	3.1E-01
22							7.2E-02	8.7E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.0E-01
23							6.6E-02	8.1E-02	9.6E-02	1.1E-01	1.3E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01	2.9E-01
24							6.1E-02	7.5E-02	8.9E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01	2.8E-01
25							5.6E-02	6.9E-02	8.3E-02	9.7E-02	1.1E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.8E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.3E-01	2.4E-01	2.6E-01	2.7E-01
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
35																								
40																								

単位:mm

半値層	1.44	1.96	2.68	7.01	7.99	9.18	10.5	11.9	13.0	13.9	14.7	15.2	15.7	16.2	16.7	17.3	17.9	18.4	19.0	19.5	19.9	20.3	20.8	21.2
1/10面層	5.00	6.74	9.09	23.4	26.7	30.6	35.1	39.6	43.4	46.4	48.7	50.6	52.2	53.8	55.6	57.4	59.4	61.3	63.0	64.7	66.1	67.6	69.0	70.5

表 9 大幅に減衰したX線の広いビームに対する半価層($t_{1/2}$)及び1/10価層($t_{1/10}$)

Simpkinのパラメータを用いた関数近似式により、半価層は透過率 1×10^{-4} から 5×10^{-5} 、1/10価層は透過率透過率 1×10^{-4} から 1×10^{-5} のしゃへい厚の差として求めた。

(単位:mm)

管電圧 (kVp)	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

表10 散乱角90度における照射野400cm²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百分率(a)
 Simpkinらの管電圧(kVp)と散乱角度(θ)を用いた関数近似式より求めた。

管電圧 (kVp)	空気カーマの 百分率
25	0.14
30	0.15
35	0.15
40	0.15
45	0.16
50	0.16
55	0.16
60	0.17
65	0.17
70	0.17
75	0.18
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	0.22
145	0.22
150	0.22

NCRP Report No.147 におけるエックス線診療施設のしゃへい設計方法に関する概要と 主な改正点

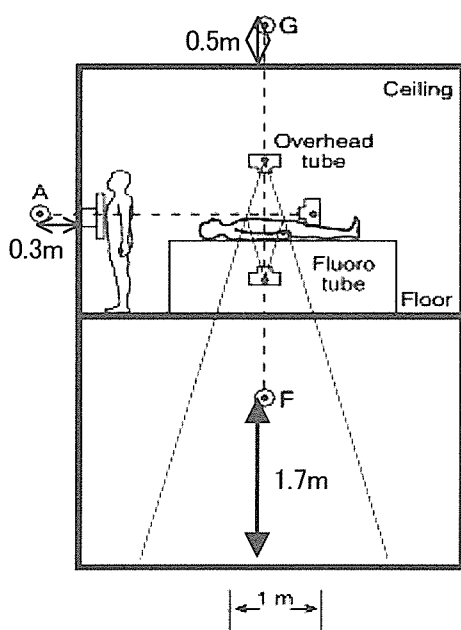
- ①Report No.147 は、Report No.49 “Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV” (1976) の改訂版
 - * なお、放射線治療領域の遮へい評価手法については、Report No. 151 “Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities” (2005) で新しく提示されている。
- ②Report No.49 で考慮されなかった CT 装置、乳房撮影装置、デジタル撮影装置などの近年のモダリティへの対応。
- ③しゃへいパラメータの近似関数式の取り入れ
- ④コンクリートと鉛以外のしゃへい透過率の取り入れ
 - *コンクリートと鉛以外の鉄、ガラス、石膏および木材のしゃへい体透過率の取り入れ
- ⑤一次線に対する使用係数 (use factor)、占有係数 (occupancy factor)、施設稼働負荷 (workload) の見直し。
- ⑥しゃへい評価に使用する放射線量単位系の変更
空気カーマ(Gy) (Report No.49 では照射線量(R))
 - (理由)・実効線量を直接測定することが不可能
 - ・空気カーマから実効線量への変換は、X 線の体内吸収、X 線エネルギースペクトル、曝露する作業者の作業姿勢に依存するため困難
- ⑦管理区域における遮へい設計目標値の設定： 0.1 mGy/週 (5 mGy/年)
 - a. 放射線作業者の実効線量限度 (Report No.116) 50 mSv/年
 - b. 新規での放射線施設設計のための実効線量限度 (Report No.116) 10 mSv/年
 - c. 妊婦の放射線作業者に対する等価線量限度 (Report No.116) 0.5 mSv/月→ Report No.147 では b、c の両基準を満たすために 5 mSv/年に設定 (より安全側)
- ⑧管理区域外の区域における遮へい設計目標値の設定： 0.02 mGy/週 (1 mGy/年)
一般公衆の実効線量限度は ICRP60、Report No.116 では 1 mSv/年であるが、Report No.147 ではいかなる 1 年間においても 1 mSv に設定 (より安全側)
- ⑨使用係数 U (use factor) の変更： 一次遮へい体への一次線入射割合

遮へい体	使用係数U	適用する稼働負荷区分
① 床	0.89	Rad Room (floor or other barriers)
② クロステーブル側壁	0.09	"
③ ②と④に関係しない壁	0.02	"
④ 胸部撮影用受像器	1.00	Rad Room (chest bucky)
⑤ 天井、操作ブース	0	

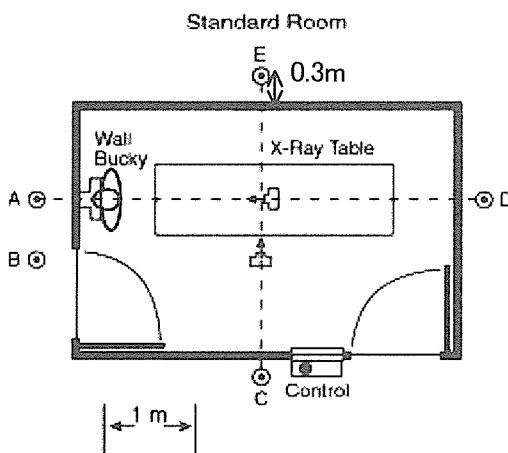
一般的なエックス線撮影室が対象

※ Report No.49 では、床 (U=1) 、4方向の壁 (U=1/4) 、天井 (U=0)

⑩線量評価点の明確化



A~E : 遮へい壁から 0.3m
(Report No.49 と同様)



⑪占有係数 T (occupancy factor) の一部変更

場所	占有係数 T
<ul style="list-style-type: none"> Administrative or clerical offices; laboratories, Pharmacies and other work areas fully occupied by an individual; receptionist areas, attended waiting rooms, children's indoor play areas, adjacent x-ray rooms, film reading areas, nurse's stations, x-ray control rooms 	1
Rooms used for patient examinations and treatments	1/2
Corridors, patient rooms, employee lounges, staff rest rooms	1/5
Corridor doors	1/8
Public toilets, unattended vending areas, storage rooms, outdoor areas with seating, unattended waiting rooms, patient holding areas	1/20
Outdoor areas with only transient pedestrian or vehicular traffic, unattended parking lots, vehicular drop off areas (unattended), attics, stairways, unattended elevators, janitor's closets	1/40

※Report No.49での占有係数T

場 所	占有係数 T
Work areas such as offices, laboratories, shops, wards, nurses' stations; living quarters; children's play areas; and occupied space in nearby building.	1
Corridors, rest rooms, elevators using operators, unattended parking lots.	1/4
Waiting rooms, toilets, stairways, unattended elevators, janitor's closets, outside areas used only for pedestrians or vehicular traffic.	1/16

⑫プレしゃへい体の採用

一次しゃへい体厚の計算では受像器等の撮像構成機器をしゃへい体として考慮できる。

プレ遮へい体	等価厚 x_{pre} (mm)		
	鉛	コンクリート	鉄
Image receptor in radiographic table or wall-mounted cassette holder (attenuation by grid, cassette, and image-receptor supporting structures)	0.85	72	7
Cross-table lateral (attenuation by grid and cassette only)	0.3	30	2

⑬管電圧ごとの患者当たりの稼働負荷 (mA・min/patient) の提示

※AAPMによる米国内医療施設の実態調査のデータ

患者数には、1週間に検査を受けた実患者数を適用 (撮影数を考慮した延べ患者数は適用しない)

kVp ^a	Radiography Room ^b			Fluoro. Tube (R&F room) ^c	Rad. Tube (R&F room) ^c	Chest Room	Mammo. Room	Cardiac Angiography	Peripheral Angiography ^d
	Rad. Room (all barriers)	Rad. Room (chest bucky)	Rad. Room (floor or other barriers)						
25	0	0	0	0	0	0	9.25×10^{-1}	0	0
30	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0
35	0	0	0	0	0	0	1.10	0	0
40	1.38×10^{-4}	0	1.38×10^{-4}	0	0	0	0	0	0
45	7.10×10^{-4}	0	7.10×10^{-4}	0	5.78×10^{-4}	0	0	0	0
50	8.48×10^{-3}	6.78×10^{-3}	1.70×10^{-3}	0	7.65×10^{-4}	0	0	3.40×10^{-1}	8.94×10^{-2}
55	1.09×10^{-2}	4.56×10^{-4}	1.04×10^{-2}	7.02×10^{-2}	7.26×10^{-4}	0	0	4.20×10^{-1}	3.98×10^{-2}
60	9.81×10^{-2}	8.96×10^{-3}	8.91×10^{-2}	1.13×10^{-1}	1.52×10^{-2}	0	0	1.96	6.99×10^{-1}
65	1.04×10^{-1}	3.42×10^{-2}	7.00×10^{-2}	1.87×10^{-1}	2.52×10^{-2}	0	0	4.55	1.50×10^1
70	4.58×10^{-1}	7.25×10^{-2}	3.85×10^{-1}	1.45×10^{-1}	8.89×10^{-2}	2.02×10^{-2}	0	6.03	1.22×10^1
75	5.01×10^{-1}	9.53×10^{-2}	4.05×10^{-1}	1.94×10^{-1}	2.24×10^{-1}	2.36×10^{-3}	0	8.02	1.53×10^1
80	5.60×10^{-1}	1.40×10^{-1}	4.20×10^{-1}	1.72	4.28×10^{-1}	0	0	2.54×10^1	1.10×10^1
85	3.15×10^{-1}	6.62×10^{-2}	2.49×10^{-1}	2.19	2.18×10^{-1}	7.83×10^{-4}	0	4.03×10^1	4.09
90	1.76×10^{-1}	1.41×10^{-2}	1.62×10^{-1}	1.46	5.33×10^{-2}	0	0	2.10×10^1	3.43
95	2.18×10^{-2}	3.51×10^{-3}	1.82×10^{-2}	1.15	4.89×10^{-2}	0	0	1.06×10^1	6.73×10^{-1}

100	1.55×10^{-2}	8.84×10^{-4}	1.46×10^{-2}	1.12	5.87×10^{-2}	3.01×10^{-2}	0	7.40	1.53
105	3.48×10^{-3}	1.97×10^{-3}	1.51×10^{-3}	9.64×10^{-1}	1.05×10^{-2}	0	0	7.02	9.27×10^{-2}
110	1.05×10^{-2}	9.91×10^{-3}	5.51×10^{-4}	7.47×10^{-1}	6.46×10^{-2}	2.14×10^{-2}	0	6.59	3.05×10^{-2}
115	4.10×10^{-2}	3.74×10^{-2}	3.69×10^{-3}	1.44	2.90×10^{-2}	9.36×10^{-2}	0	1.38×10^1	0
120	6.99×10^{-2}	5.12×10^{-2}	1.87×10^{-2}	9.37×10^{-1}	1.04×10^{-1}	4.74×10^{-2}	0	3.35	0
125	4.84×10^{-2}	4.81×10^{-2}	3.47×10^{-4}	1.38×10^{-1}	8.13×10^{-2}	0	0	2.75	0
130	1.84×10^{-3}	1.71×10^{-3}	1.25×10^{-4}	1.53×10^{-1}	4.46×10^{-2}	0	0	3.1×10^{-2}	0
135	7.73×10^{-3}	7.73×10^{-3}	0	1.46×10^{-1}	9.47×10^{-3}	0	0	0	0
140	0	0	0	1.92×10^{-2}	4.26×10^{-3}	0	0	0	0
Total workload: ^e	2.5	0.60	1.9	13	1.5	0.22	6.7	160	64
Patients per week: ^f	110 (Radiography Room)			18	23	210	47	19	21

⑭実稼働負荷が不明な場合に使用する一般的な稼働負荷値の提示

Room Type	Total Workload per Patient ^a (W_{norm}) (mA min patient ⁻¹)	Typical Number of Patients (N) (per 40 h week)		Total Workload per Week (W_{tot}) (mA min week ⁻¹)	
		Average	Busy	Average	Busy
Rad Room (chest bucky)	0.6	120	160	75	100
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	120	160	240	320
Chest Room	0.22	200	400	50	100
Fluoroscopy Tube (R&F room)	13	20	30	260	400
Rad Tube (R&F room)	1.5	25	40	40	60
Mammography Room	6.7	80	160	550	1,075
Cardiac Angiography	160	20	30	3,200	4,800
Peripheral Angiography ^b	64	20	30	1,300	2,000

⑮患者当たりの一次空気カーマ (mGy/patient at 1m) の提示

※受像器や撮影台による減弱は考慮しない

Workload Distribution ^a	W_{norm} (mA min patient ⁻¹) ^{b,c}	K_p^1 (mGy patient ⁻¹) ^d
Rad Room (chest bucky)	0.6	2.3
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	5.2
Rad Tube (R&F Room)	1.5	5.9
Chest Room	0.22	1.2

◎血管撮影装置、CT装置、乳房撮影装置については、受像器 (LI等)、検出器、支持台で一次線をカットする構造となっている (FDA, 2003) ため、一次線は無視できる。

⑯散乱線、漏えい線に関する患者当たりの二次空気カーマ (mGy/patient at 1m) の提示

漏えい線評価のための使用条件

- ・乳房撮影装置以外： 150kVp, 3.3mA

※漏えい線量限度 0.876 mGy/h at 1m (FDA, 2003) を基準とする

・乳房撮影装置： 50kVp, 5mA

※Report No.49 では、算出された二次遮へい体厚に、さらに1半価層 (HVL) 分の厚さを加えるという過剰な安全側の手法が用いられていた。

Workload Distribution	W_{norm} (mA min patient ⁻¹)	F (cm ²) at d_F (m)		Unshielded Air Kerma (mGy patient ⁻¹) at 1 m				
				Leakage	Side-Scatter	Leakage and Side-Scatter (K_{sec}^1) ^b	Forward/Backscatter	Leakage and Forward/Backscatter (K_{sec}^1) ^c
<i>Rad Room (all barriers)</i>	2.5	1,000	1.00	5.3×10^{-4}	3.4×10^{-2}	3.4×10^{-2}	4.8×10^{-2}	4.9×10^{-2}
<i>Rad Room (chest bucky)</i>	0.60	1,535 ^d	1.83	3.9×10^{-4}	4.9×10^{-3}	5.3×10^{-3}	6.9×10^{-3}	7.3×10^{-3}
<i>Rad Room (floor or other barriers)</i>	1.9	1,000	1.00	1.4×10^{-1}	2.3×10^{-2}	2.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}
<i>Fluoroscopy Tube (R&F room)</i>	13	730 ^e	0.80	1.2×10^{-2}	3.1×10^{-1}	3.2×10^{-1}	4.4×10^{-1}	4.6×10^{-1}
<i>Rad Tube (R&F room)</i>	1.5	1,000	1.00	9.4×10^{-4}	2.8×10^{-2}	2.9×10^{-2}	3.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}
<i>Chest Room</i>	0.22	1,535 ^d	2.00	3.8×10^{-4}	2.3×10^{-3}	2.7×10^{-3}	3.2×10^{-3}	3.6×10^{-3}
<i>Mammography Room^f</i>	6.7	720 ^e	0.58	1.1×10^{-5}	1.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}	4.9×10^{-2}	4.9×10^{-2}
<i>Cardiac Angiography</i>	160	730 ^e	0.90	8.8×10^{-2}	2.6	2.7	3.7	3.8
<i>Peripheral Angiography^h</i>	64	730 ^e	0.90	3.4×10^{-3}	6.6×10^{-1}	6.6×10^{-1}	9.5×10^{-1}	9.5×10^{-1}

⑰有資格者によるしゃへい設計段階での関与及び施設施工後の施設検査等の実施の明確化
医学物理士等の有資格者によってしゃへい設計段階での関与及び構造やしゃへい性能の施設検査の実施等を明記

参考資料

1. NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements, "Structural shielding design for medical x-ray imaging facilities," NCRP Report No. 147, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland, 2004.
2. B. R. Archer and J. E. Gray, "Important changes in medical x-ray imaging facility shielding design methodology. A brief summary of recommendations in NCRP Report No. 147", Med. Phys. 32, 3559-3661 (2005)
3. NCRP 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 10 MeV," NCRP Report No. 49, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland, 1976.

エックス線診療施設の遮へい構造設計

米国放射線防護・測定審議会（NCRP）の勧告

2004年11月19日発行

2005年1月10日改訂

序文

本報告書は、米国放射線防護測定審議会（NCRP）のProgram Area Committee 2（放射線業務の安全性に関する委員会）の後援のもとで作成された。本報告書では、X線診療施設に対する遮へい構造設計について取り扱い、1976年9月に刊行されたNCRP Report No.49 “*Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV*”でのX線診断施設の部分に取って代わるものである。第2弾の報告書としては、Program Area Committee 2において高エネルギーX線・ γ 線放射線治療施設に対する遮へい構造設計について示したNCRP Report No.49の改訂版を近刊中である。

本報告書は、NCRPのScientific Committee 9と米国医学物理学会（AAPM）との合同で作成された。NCRPは、財政的なサポート、AAPMの年次会議でのScientific Committee 9との多くの会合の機会、多くの放射線防護専門家が提供した報告書の技術的な評価をしていただいたAAPMに対し深謝する。

緒言と勧告

- 1.1 目的と適用範囲
- 1.2 数量と単位
- 1.3 管理区域と管理区域外の区域
- 1.4 X線診療施設の遮へい設計目標と実効線量
 - 1.4.1 管理区域
 - 1.4.2 管理区域外の区域
 - 1.4.3 遮へい設計条件
 - 1.4.4 X線フィルムに対する空気カーマ限度
- 1.5 一般的な概念

2. X線診療施設に対する遮へい設計の基本

- 2.1 基本原理
- 2.2 X線診療施設等の種類
 - 2.2.1 一般X線撮影装置
 - 2.2.2 X線透視装置
 - 2.2.3 IVR施設
 - 2.2.4 胸部撮影専用装置
 - 2.2.5 乳房撮影装置（据置型と移動型）
 - 2.2.6 CT装置
 - 2.2.7 移動型X線撮影・透視装置
 - 2.2.8 歯科用X線撮影施設
 - 2.2.9 X線骨密度測定装置
 - 2.2.10 獣医診療用X線施設
 - 2.2.11 その他のX線撮影装置
- 2.3 遮へい設計の基礎
 - 2.3.1 内壁
 - 2.3.1.1 鉛シート
 - 2.3.1.2 石膏板
 - 2.3.1.3 その他の物質
 - 2.3.2 建物の外壁
 - 2.3.3 ドア
 - 2.3.3.1 鉛で裏打ちされたドア
 - 2.3.3.2 木製のドア
 - 2.3.3.3 ドアのインターロック、警告灯、警告表示
 - 2.3.4 窓
 - 2.3.4.1 鉛ガラス
 - 2.3.4.2 板ガラス
 - 2.3.4.3 鉛アクリル
 - 2.3.5 床と天井

- 2.3.5.1 標準重量コンクリート
- 2.3.5.2 軽重量コンクリート
- 2.3.5.3 床建築
- 2.3.6 床から床までの高さ
- 2.3.7 間隙空間
- 2.4 遮へい設計の考慮
 - 2.4.1 防護遮へい体の貫通
 - 2.4.2 接合部
- 2.5 建築基準
- 2.6 寸法と公差

3. 遮へい設計の基本

- 3.1 戦略的な遮へい計画
- 3.2 遮へい設計過程
 - 3.2.1 戦略的計画と予算
 - 3.2.2 基本計画
 - 3.2.3 仮設計
 - 3.2.4 実施設計書の作成
 - 3.2.5 仕様書の作成
- 3.3 書類要件

4. X線診療施設の遮へい計算

- 4.1 概念と用語
 - 4.1.1 遮へい設計目標
 - 4.1.2 居住区域までの距離
 - 4.1.3 占有係数
 - 4.1.4 稼働負荷と稼働負荷区分
 - 4.1.5 使用係数
 - 4.1.6 一次遮へい
 - 4.1.6.1 遮へいされていない一次空気カーマ
 - 4.1.6.2 一次遮へい前
 - 4.1.7 二次遮へい
 - 4.1.7.1 漏えい線
 - 4.1.7.2 散乱線
 - 4.1.7.3 二次線による全寄与
- 4.2 遮へい計算方法
 - 4.2.1 一般的な遮へい概念
 - 4.2.2 一次遮へい体による遮へい計算法
 - 4.2.3 二次遮へい体による遮へい計算法
 - 4.2.4 一般的なX線撮影室およびX線透視室に対する付加的方法
- 4.3 不確定要素

5. 遮へい計算例

5.1 心血管造影室

5.2 胸部撮影専用室

5.3 一般 X 線撮影室

5.3.1 撮影室の床

5.3.1.1 クロステーブル真下の床に対する一次遮へい体厚の計算

5.3.1.2 床に対する二次遮へい体厚の計算

5.3.2 撮影室の天井

5.3.3 撮影室の胸部受像器を含む壁

5.3.3.1 一次遮へい：胸部用受像器

5.3.3.2 二次遮へい：胸部用受像器側の壁

5.3.4 撮影室における暗室側の壁

5.3.5 撮影室におけるクロステーブル側の壁

5.3.6 撮影室内の操作用防護壁

5.4 X 線透視室

5.4.1 X 線透視室の床に対する二次遮へい体厚の算出

5.4.2 X 線透視室の床に対する一次遮へい体厚の算出

5.5 乳房撮影装置

5.6 CT 室

5.6.1 DLP 法

5.6.2 等線量マップ法

5.6.3 注意事項

5.7 X 線骨密度測定装置（二重エネルギー X 線吸収測定（DEXA））

5.8 遮へい設計報告

6. 放射線防護に関する施設検査

6.1 はじめに

6.2 空隙検査

6.3 遮へいの妥当性評価

6.3.1 遮へい体の有無および遮へい体厚決定のための遮へい構造完成前施設検査

6.3.2 遮へい体の有無および遮へい体厚決定のための透過率測定

6.3.3 遮へい体の妥当性の決定

6.3.3.1 一次遮へい体：胸部ブッキー面上の壁

6.3.3.2 二次遮へい体：胸部ブッキー面外の壁

6.3.3.3 クロステーブル側の壁

6.3.3.4 一次線の影響がない場所の二次遮へい

6.3.3.5 床

6.3.3.6 総括

6.3.4 CT 装置の測定

6.4 調査報告

6.5 問題の是正

6.6 必要書類

付録 A. 透過率データ

付録 B. 一次遮へい体厚の算出

付録 C. 二次遮へい体厚の算出

C. 1 散乱線

C. 2 漏えい線

C. 3 総二次遮へい体と二次線透過率

C. 4 一般的な事例

付録 D 放射線防護検査を実施するための放射線測定器

緒言と勧告

1.1 目的と適用範囲

放射線遮へいの目的は、作業従事者と一般公衆への放射線被ばくを許容可能なレベルにまで制限する事である。この報告書は X 線診療施設に対する遮へい設計と遮へい設備に関わる勧告と技術情報を提示する。本報告は X 線診療施設に関する NCRP Report No.49 の勧告に取って代わる。適切な遮へい材の選択や遮へい体厚の計算において様々な要因を考慮するための議論を含む。本報告書は、主に放射線防護の専門家向けであるが、診療に X 線を使用するための新たな施設計画に関わる専門家、建築家、病院管理者にとって興味ある問題となっている。

報告書に使用される用語と記号は、152 頁の用語集にて定義される。本報告書での全ての勧告は、shall や should で示される。

- ・ shall : 放射線防護の現在許容される基準を満たす必要がある勧告
- ・ should : 実行可能もしくは実際的な場合、適用される助言的勧告 (費用対効果など)

1.2 量と単位

X 線に対する遮へい計算で使用される推奨量は、空気中のある点で測定された、非荷電粒子によって生成された単位空気量当たりの全荷電粒子の初期運動エネルギーの総和として定義される空気カーマ (K)¹である (ICRU, 1998a)。

¹本報告書では、記号 K は更にある数量を説明するのに適切な下付き記号を用いることで、量的空気カーマを指す (記号 Ka の代わりに、Kp : 一次線による空気カーマ)。

空気カーマの単位は、特別名称グレイ (Gy) とともに、kg 当たりのジュール (J/kg) で表される。現在、米国における多くの放射線測定器は、以前の特別名称 R (レントゲン) を用いて、照射線量を測定するための設計、校正がされている (ICRU, 1998a)。

照射線量は、標的空気中の光子によって生成された荷重粒子が完全に空気中で停止するまでに空気中で生成される電荷量のことを言い、kg 当たりのクーロン (C/kg) で示される (ICRU, 1998)。この報告書で議論される放射線防護量の直接測定に関して、照射線量 (R) で校正された測定器による測定値を 114 で割って空気カーマ K (Gy) を算出する。診療用 X 線を使用する施設周辺の遮へいに対する透過率測定に用いられるレントゲン (R) で校正された測定器では、透過率は数量比であるため空気カーマへの変換の必要はない。

電離放射線源による人への被ばくの限度に対し推奨される放射線防護量は、実効線量 (E)、つまり特定の臓器や組織への荷重等価線量の合計として定義される (※各等価線量は、組織や器官に対する組織荷重係数によって荷重される) (NCRP, 1993)。特定の臓器や組織に対する W_T という値は、全身が不均一に被ばくする際、臓器や組織に起因する障害の割合 (癌や遺伝的影響から) を示す。特定の組織や臓器に対する等価線量は、電離放射線の種類や対象となる放射線の生物学的効果比を考慮して組織や臓器における平均吸収線量 (D_T) に放射線荷重係数 (W_R) を掛けることで得られる。本報告書で考慮される放射線、いわゆる X 線では、 W_R 値は 1 である。

NCRP は過去の出版物で SI 単位系を採用した (NCRP, 1985)。更に本報告書では、非 SI 単位系が建築業界では一般に使用されるので、建材の特性を表示するのに SI 単位系と非 SI 単位系の両方を時折使用する。

1.3 管理区域と管理区域外の区域

管理区域は、放射線による職業被ばくが放射線防護担当者の監督下にある、立入りの制限された区域である。ここでは立入り、滞在、作業状況は、放射線防護目的のために管理される。X線診療施設では、これらの区域は、一般的にX線装置が使用される隣接エリア、すなわちX線撮影室、X線装置操作ブース、放射線防護目的で立入り、滞在、作業状況への管理を要すその他の区域をさす。これらの区域での作業者は、放射線科医や放射線技師であり、電離放射線の利用にあたり特別な訓練を受け個人被ばく量が測定される。

管理区域外の区域とは、病院、診療所内の他のすべてのエリア、事業所周辺地域をさす。訓練を受けた放射線従事者やその他の従事者と同様に、一般公衆に対してもフィルム読影室またはトイレのような管理区域付近の常時人が立ち入る区域に注意事項を掲示する必要がある。本報告書ではこれらのエリアについても管理区域外の区域として取り扱う。

1.4 X線診療施設に対する遮へい設計目標と実効線量

本報告書で遮へい設計目標 (P) は、医療従事者や一般公衆の防護のために構築される遮へい体の設計計算や評価で使用される空気カーマのレベルである。管理区域、管理区域外の区域にはそれぞれの遮へい設計目標が存在する。新規施設の管理区域および管理区域外の区域に適用する場合、X線診療施設の遮へい設計のアプローチ、および遮へい設計目標と放射線診療従事者・一般公衆に対するNCRPが勧告する実効線量限度との間の関係は以下で議論される。入射空気カーマ K に対する実効線量 E の関係は複雑であり、放射線感受性臓器を透過する際の身体中におけるX線吸収、X線エネルギースペクトル、線源からの曝露状況に依存する。人は常に動いており、一方向からのみ被ばくするとは限らないため、多方向からの被ばくが想定される。実効線量 E は直接測定できないため、実効線量 E に基づいて遮へい設計を行うことは現実的ではない。それ故に、本報告書の目的である遮へい設計目標は、遮へい体を透過した最も近い滞在区域のある点における空気カーマ K (mGy) で記述される。例えば4章で議論されるとおり、X線診療室側の壁までの最短距離が0.3m未満にならないよう、安全側に立った想定がされる。

遮へい設計目標 (P) は、一台のX線装置または一式のX線装置に対して、遮へい壁透過後の基準点で評価された実用的な値である。この報告書で推奨される安全側に立った想定で使用する場合、遮へい設計目標は管理区域および管理区域外の区域に対する本報告書での勧告値である実効線量 E のそれぞれの年間限度を超えないことを保証する。X線診療装置の稼働負荷には以前から週単位を使用していたので、遮へい設計目標は週単位の値で示す。

1.4.1 管理区域

管理区域内で働く被雇用者（放射線診療従事者）は、一連の業務分担で顕著に被ばくする可能性をもち、放射線の使用と管理に直接責任をもつか、その関わりがある者である。彼らはたいてい放射線安全管理に関するトレーニングを受けており、日常的に被ばく線量をモニタリングしている。

NCRPは累積実効線量 E が10mSvと作業員自身の年齢との積を超えないことにより、従事者個人の実効線量限度を50mSv/yと勧告している（医療被ばくおよび自然放射線による被ばくを除く）（NCRP, 1993）。そのような線量限度があるにも関わらず、NCRP（1993）

では新たな施設設計する際の実効線量 E を累積実効線量限度 10mSv/年にすべきであると勧告している。さらに考慮すべき事項として、妊娠している放射線作業員に対し、胎芽・胎児への等価線量限度 (HT) 0.5mSv/月を超えないようにすべきである (NCRP, 1993)。両方の勧告を満たすために、本報告書では新規施設設計のための実効線量限度 E 値の 1/2 つまり 5mSv/年に基づき、週当たりの管理区域に対する遮へい設計目標として空気カーマ 0.1mGy (空気カーマ 5mGy/年) を勧告する。本報告書で採用される P 値は、妊娠中の作業員の管理区域への常時立入りを考慮している。

管理区域に対する遮へい設計目標値(P)

空気カーマ 0.1mGy/週 (5mGy/年)

1.4.2 管理区域外の区域

管理区域外の区域とは、患者や医療施設への訪問者、放射線源を日常的に扱わない医療従事者のような人が滞在する区域をさす。X線診療施設ではない隣接区域も管理区域外の区域に該当する。

一般公衆への年間の実効線量限度に対する ICRP (1991) と NCRP (1993) の両勧告に基づき、遮へい設計では管理区域外の区域における全ての人の被ばく量を 1mSv/年を超えないように制限しなければならない。NCRP(1993)の指針を放射線診療施設に適用するための検討後、NCRPは放射線診療施設内、およびその付近の管理区域外の区域で個人を防護するのに適切な線源管理は、いかなる1年間においても実効線量 1mSv であると結論付けた。この勧告では、週当たりの管理区域外の区域に対する遮へい設計目標として空気カーマ 0.02mGy を適用することで、本報告書に挙げられる放射線診療施設に対して目標を達成することができる。

管理区域外の区域に対する遮へい設計目標値(P)

空気カーマ 0.02mGy/week (1mGy/y)

1.4.3 遮へい設計条件

上記の P 値を使用する X線診療施設は、管理区域・管理区域外の区域に対してこの報告書で勧告される実効線量 E よりも低い実効線量となる。本報告書で勧告される遮へい設計方法は安全側に立った考えを示すものである。この安全側の考え方を示す例とそれぞれの関連ある影響を以下に示す。

- ・ 患者により一次線は 1/10~1/100 に減弱するが、患者による一次線の顕著な減弱は無視する。
- ・ 勧告される遮へい体厚の計算は、X線が直角に入射すると仮定する。仮定できない場合、その影響は入射角度により変化するが、入射角が直角でない場合でも遮へい体透過による減弱はある。
- ・ 遮へい計算では、特定の遮へい物質以外の X線の行程中に存在する物質 (例：鉛カーテン、鉛エプロン、天井に取り付けられた遮へい体、収納設備) を無視する。付加的物質がある場合、その影響の程度は変化する、付加的物質により透過率は減少する。
- ・ X線装置からの漏えい線は、連邦基準の X線装置に対する最大漏えい線評価条件 (空気カーマ 0.876mGy/h) を使用する (FDA, 2003a)。FDA の漏えい線評価条件は通常の診療には使用されないため、臨床上での漏えい線はこの値よりもずっと低い。最大