

表1 測定機器の比較

項目	型式	測定対象エネルギー	エネルギー特性	フェーディング
蛍光ガラス線量計 (RPLD)	SC-1(東芝硝子製線量計素子)	30keV~3MeV 注)	±20% (32keV~3MeV)	<1%/3か月
	FGD-201(東芝硝子製線量計リダ)			
熱ルミネセンス線量計 (TLD)	UD-200S(松下電器産業製TLD素子)	30keV~10MeV	±30%	約10%/3か月
	1997年4月~1998年3月:UD-512P 1998年4月~1999年3月:UD-5120PGL (松下電器産業製TLDリダ)			

注)JIS Z 4314

表2 積算線量測定結果

(単位: μGy/91日)

地点名	積算線量計	設置期間								全期間の平均
		1997.4~6	1997.7~9	1997.10~12	1998.1~3	1998.4~6	1998.7~9	1998.10~12	1999.1~3	
小平	RPLD	125 ± 1.2	133 ± 1.2	128 ± 3.4	124 ± 1.6	127 ± 1.0	124 ± 3.5	116 ± 3.8	130 ± 1.1	126
	TLD	121 ± 6.1	115 ± 3.1	121 ± 3.1	128 ± 2.4	115 ± 1.0	118 ± 2.3	121 ± 1.8	126 ± 2.5	121
京泊	RPLD	126 ± 1.0	125 ± 1.2	129 ± 3.2	122 ± 0.9	131 ± 1.2	122 ± 3.0	122 ± 3.5	127 ± 1.6	126
	TLD	125 ± 0.9	116 ± 1.3	122 ± 1.0	130 ± 2.6	121 ± 2.5	104 ± 1.2	124 ± 3.0	127 ± 2.4	121
庵ノ平	RPLD	111 ± 1.2	114 ± 1.4	111 ± 3.5	108 ± 0.9	115 ± 1.0	106 ± 3.6	109 ± 1.7	112 ± 1.9	111
	TLD	111 ± 4.6	102 ± 1.6	108 ± 0.7	112 ± 1.1	105 ± 1.1	131 ± 3.3	109 ± 1.2	111 ± 3.5	111
水ヶ段	RPLD	139 ± 1.2	142 ± 1.6	141 ± 3.2	134 ± 1.2	144 ± 1.1	141 ± 4.0	138 ± 2.5	140 ± 1.6	140
	TLD	137 ± 2.8	131 ± 1.6	134 ± 2.7	141 ± 2.8	132 ± 2.8	129 ± 2.6	136 ± 0.8	137 ± 3.4	134
吹揚	RPLD	123 ± 0.8	126 ± 1.5	121 ± 3.2	120 ± 1.0	127 ± 1.0	120 ± 3.1	122 ± 1.7	125 ± 1.4	123
	TLD	123 ± 2.3	116 ± 2.9	120 ± 1.4	126 ± 3.0	118 ± 2.6	115 ± 2.6	124 ± 0.8	122 ± 2.2	120
唐山	RPLD	108 ± 1.5	109 ± 0.5	108 ± 2.9	103 ± 1.4	110 ± 1.2	105 ± 2.5	107 ± 1.9	107 ± 1.6	107
	TLD	105 ± 1.3	97 ± 6.1	105 ± 3.0	108 ± 2.3	101 ± 2.1	101 ± 0.6	104 ± 2.3	107 ± 1.7	104
浜田	RPLD	118 ± 1.4	117 ± 0.0	121 ± 2.7	114 ± 0.8	119 ± 1.1	114 ± 1.4	114 ± 1.4	116 ± 1.5	117
	TLD	118 ± 1.9	111 ± 2.1	113 ± 1.7	118 ± 3.7	108 ± 1.1	109 ± 2.1	116 ± 4.2	119 ± 2.6	114
池ノ段	RPLD	132 ± 0.9	134 ± 0.9	133 ± 2.2	128 ± 1.4	135 ± 1.4	131 ± 2.1	129 ± 2.3	131 ± 1.7	132
	TLD	128 ± 5.1	124 ± 4.4	133 ± 3.8	132 ± 2.2	134 ± 2.3	124 ± 1.8	132 ± 5.0	133 ± 3.5	130
砂岳	RPLD	152 ± 1.3	155 ± 1.3	157 ± 3.4	149 ± 1.2	155 ± 1.7	154 ± 2.0	153 ± 1.3	156 ± 1.7	154
	TLD	148 ± 4.4	143 ± 2.2	155 ± 0.9	145 ± 2.1	152 ± 3.5	140 ± 2.1	150 ± 0.8	153 ± 3.3	148
神田	RPLD	142 ± 1.7	144 ± 1.5	143 ± 4.3	139 ± 0.7	145 ± 1.3	142 ± 2.3	143 ± 3.0	143 ± 1.1	143
	TLD	143 ± 3.0	135 ± 2.5	147 ± 2.4	141 ± 4.0	140 ± 6.1	116 ± 3.0	142 ± 2.2	140 ± 2.7	138
山神田	RPLD	125 ± 1.4	132 ± 1.4	125 ± 3.8	124 ± 1.7	126 ± 1.3	128 ± 1.7	126 ± 1.2	128 ± 1.2	127
	TLD	127 ± 4.2	120 ± 3.1	131 ± 3.9	129 ± 3.7	125 ± 3.2	118 ± 2.6	126 ± 0.8	126 ± 3.0	125
西方小	RPLD	116 ± 1.1	118 ± 1.0	114 ± 2.8	111 ± 1.1	117 ± 1.5	118 ± 1.8	116 ± 1.5	115 ± 1.8	116
	TLD	120 ± 1.9	110 ± 2.7	122 ± 2.5	117 ± 1.1	116 ± 2.2	110 ± 1.6	118 ± 2.6	118 ± 2.2	117
小蘭	RPLD	131 ± 1.9	136 ± 1.8	128 ± 2.3	128 ± 0.8	132 ± 1.7	131 ± 1.3	132 ± 1.2	130 ± 1.6	131
	TLD	132 ± 2.5	123 ± 1.5	133 ± 2.0	137 ± 1.6	129 ± 2.5	121 ± 2.4	133 ± 3.0	133 ± 2.7	130
妹背	RPLD	149 ± 1.3	153 ± 1.1	149 ± 3.3	144 ± 1.3	149 ± 1.5	151 ± 1.5	150 ± 1.5	148 ± 1.8	149
	TLD	147 ± 3.4	143 ± 2.6	157 ± 3.6	153 ± 4.6	149 ± 1.6	141 ± 2.7	153 ± 3.5	150 ± 3.6	149
別府	RPLD	139 ± 1.8	137 ± 1.8	142 ± 3.0	134 ± 0.8	141 ± 1.4	138 ± 1.5	140 ± 1.9	137 ± 1.7	139
	TLD	140 ± 3.5	131 ± 2.7	141 ± 5.0	142 ± 1.0	136 ± 3.7	129 ± 3.2	142 ± 4.5	143 ± 3.1	138
木場谷	RPLD	131 ± 1.0	129 ± 1.8	135 ± 4.4	126 ± 0.7	132 ± 1.7	129 ± 1.5	131 ± 1.8	127 ± 1.7	130
	TLD	131 ± 3.1	128 ± 2.4	133 ± 3.5	132 ± 2.0	129 ± 3.8	124 ± 3.4	125 ± 3.4	130 ± 1.9	129
監視センタ	RPLD	148 ± 1.3	148 ± 1.2	144 ± 3.6	142 ± 1.3	151 ± 1.4	151 ± 1.6	147 ± 2.0	147 ± 1.8	147
	TLD	146 ± 2.9	143 ± 1.5	145 ± 1.9	149 ± 3.5	141 ± 3.1	138 ± 3.4	144 ± 2.5	148 ± 3.0	144
小ヶ倉	RPLD	129 ± 1.3	131 ± 0.5	127 ± 2.7	127 ± 1.4	131 ± 1.3	130 ± 1.5	130 ± 1.4	130 ± 1.7	129
	TLD	131 ± 3.1	126 ± 2.8	133 ± 2.8	132 ± 0.8	130 ± 0.7	124 ± 2.9	130 ± 2.8	135 ± 3.7	130
羽島浜	RPLD	120 ± 1.2	121 ± 1.3	118 ± 2.8	119 ± 0.9	120 ± 1.2	120 ± 1.2	119 ± 1.4	121 ± 2.1	120
	TLD	122 ± 3.5	112 ± 2.1	123 ± 3.3	116 ± 2.6	114 ± 1.9	109 ± 1.1	117 ± 4.1	118 ± 4.1	116
大河内	RPLD	130 ± 0.5	132 ± 1.4	123 ± 2.5	126 ± 0.8	131 ± 1.6	131 ± 2.2	129 ± 2.0	128 ± 2.4	129
	TLD	136 ± 1.1	125 ± 1.8	130 ± 3.5	129 ± 3.1	124 ± 2.8	125 ± 3.4	125 ± 1.7	129 ± 4.7	128
消防署	RPLD	142 ± 1.3	146 ± 1.4	140 ± 3.1	141 ± 1.6	144 ± 2.1	146 ± 1.1	143 ± 1.7	145 ± 1.9	143
	TLD	147 ± 5.1	144 ± 1.7	137 ± 3.6	144 ± 4.2	140 ± 3.4	139 ± 2.9	140 ± 5.2	141 ± 3.8	142
市民会館	RPLD	133 ± 0.9	135 ± 1.3	133 ± 3.7	130 ± 2.0	134 ± 1.6	138 ± 0.0	134 ± 1.1	134 ± 1.8	134
	TLD	135 ± 2.9	134 ± 3.7	132 ± 1.3	134 ± 2.8	129 ± 2.7	131 ± 3.6	130 ± 1.8	135 ± 3.8	133
東郷中	RPLD	142 ± 1.2	143 ± 1.4	138 ± 3.1	139 ± 1.4	144 ± 1.5	147 ± 1.7	141 ± 0.5	144 ± 1.7	142
	TLD	143 ± 1.3	147 ± 8.7	141 ± 4.6	141 ± 2.6	138 ± 4.5	137 ± 1.3	137 ± 4.6	139 ± 2.5	140
水源地	RPLD	140 ± 1.2	143 ± 0.5	136 ± 1.2	140 ± 1.0	142 ± 1.5	145 ± 0.9	138 ± 1.0	144 ± 3.9	141
	TLD	144 ± 3.1	140 ± 2.3	138 ± 2.8	138 ± 2.0	134 ± 4.5	133 ± 2.3	140 ± 1.4	138 ± 2.6	138
中央公民館	RPLD	141 ± 1.5	140 ± 1.3	143 ± 3.1	135 ± 0.8	144 ± 1.3	139 ± 1.4	143 ± 1.9	137 ± 1.6	140
	TLD	137 ± 0.7	138 ± 1.5	133 ± 1.4	137 ± 2.2	130 ± 3.7	130 ± 2.9	132 ± 2.3	134 ± 3.4	134
全地点の平均	RPLD	132	134	131	128	134	132	131	132	132
	TLD	132	126	131	132	128	124	130	132	129

注) 積算線量±標準偏差を表示している。平均の欄には平均値のみを表示している。

表3 対照用(鉛容器内に設置)の積算線量測定結果

(単位: μGy/91日)

地点名	積算線量計	設置期間								全期間の平均
		1997.4~6	1997.7~9	1997.10~12	1998.1~3	1998.4~6	1998.7~9	1998.10~12	1999.1~3	
対照用	RPLD	45.3 ± 1.11	45.9 ± 0.89	52.7 ± 1.05	43.7 ± 1.27	47.3 ± 0.95	43.0 ± 1.28	48.3 ± 0.73	48.8 ± 0.90	46.9
	TLD	54.8 ± 1.95	49.7 ± 0.96	48.8 ± 0.76	50.4 ± 1.45	47.8 ± 1.63	48.6 ± 1.17	47.3 ± 1.19	49.3 ± 0.98	49.6

注) 積算線量±標準偏差を表示している。平均の欄には平均値のみを表示している。

RPLDについては、TLDと同様に約3か月間環境場に暴露し、その間の積算線量を読み取っている。同一の線量計の繰り返し読取回数は5回である。RPLDの特性として、同一ロットのRPLD素子間のばらつきは極めて小さいので、線量計毎に測定値の校正を行う必要がないものとされている⁷⁾ことから、測定のためごとの標準線源照射による積算線量の補正は行っていない。

2. 3. 4 評価方法

1回の調査で積算線量計を約3か月間環境場に暴露しており、積算線量として評価するため全て91日間の積算線量として換算してある。標準偏差はモニタリング後の線量増量値のみを考慮した値である。また、積算線量として評価する場合は、読み取り値に対してGrubbsの検定により棄却を行い、地点毎の平均値をもってその地点の積算線量(評価値)としている。

3 結果及び考察

3. 1 積算線量(評価値)の比較

3. 1. 1 全測定値での比較

表2に測定結果を示す。

全調査期間の全地点平均値は、RPLD 132 μ Gy/91日、TLD 129 μ Gy/91日であり、RPLDが3 μ Gy/91日大きかった。今村らの結果⁴⁾と同様にRPLDの方が大きかったが、両測定器の差は小さかった。

図2にRPLD及びTLDによる積算線量の全地点平均値の変動を示す。RPLDについては周期的な季節変動はみられないので外気温の影響は受けないものと考えられる。TLDについては、夏場に極小を、冬場に極大を示す季節変動が伺える。これは、気温が高くなると熱的フェーディングの効果が大きくなる⁹⁾TLDの特性を反映したものと考えられる。

図3にTLD及びRPLDによる積算線量の相関を示す。両測定の間には有意水準1%で正の相関が認められる。

図4にRPLD及びTLDによる積算線量の測定値範囲を示す。RPLDによる積算線量の測定範囲の幅の大きさは3~16 μ Gy/91日、平均8 μ Gy/91日であった。TLDでは、この値は6~31 μ Gy/91日、平均14 μ Gy/91日であり、今村らの結果⁴⁾と同様に、RPLDのほうがTLDより年間の変動が小さい。

RPLD及びTLDによる積算線量の比をRPLD/TLD比として、図5に示す。RPLD/TLD比の平均値は、0.99~1.05で地点による大きな差はないといえる。RPLD/TLD比の幅は全地点では0.81~1.22であった。RPLD/TLD比の幅が最大の地点は庵之平(0.81~1.11)ついで神田(0.97

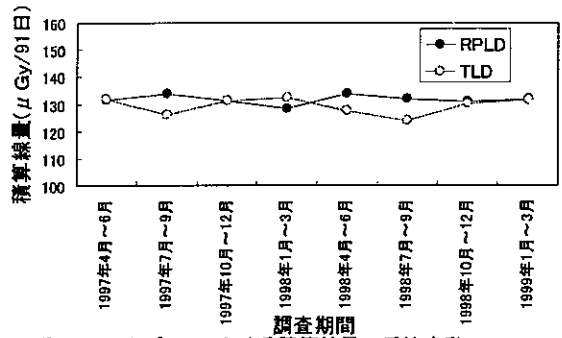


図2 TLD及びRPLDによる積算線量の季節変動

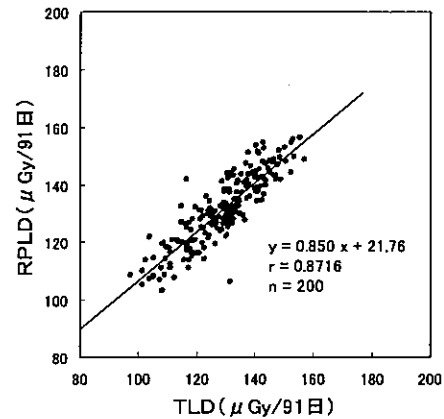


図3 TLD及びRPLDによる積算線量間の相関

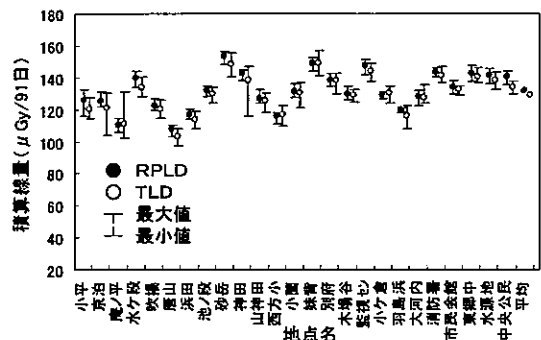


図4 RPLDとTLDの測定値範囲

~1.22)であった。RPLD及びTLDによる積算線量に差がなければ、RPLD/TLD比は1に近い値となることになるので、RPLD/TLD比と基準値1とに差がないかどうかの検定を行ったところ、危険率5%で有意に差があり、1より大きいという結果になった。また、RPLD及びTLDによる積算線量の全平均値について、危険率5%で二つの平均値の差の検定を行うと、RPLDによる積算線量がTLDによる積算線量より大きいといえるという結果になった。

すなわち、統計的に見ると、危険率5%でRPLDによる積算線量がTLDによるものより大きいといえる。

3. 1. 2 地点別の比較

地点別にRPLD及びTLDによる積算線量の平均値を比較した場合、西方小及び小ヶ倉ではTLDの方が $1\mu\text{Gy}$ 大きく、庵之平、妹背及び別府では両者が等しかった。他の20地点ではRPLDの方が大きく、その差は最大で $6\mu\text{Gy}$ （地点名：水ヶ段及び中央公民館）であった。

地点別にRPLD及びTLDによる積算線量の平均値の差の検定を行ったところ、25地点中4地点（水ヶ段、唐山、砂岳、中央公民館）で危険率5%でRPLDによる積算線量がTLDによるものより大きいといえる。

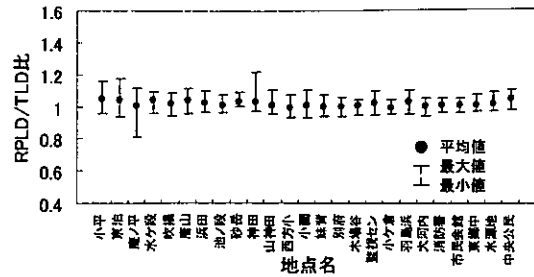


図5 RPLD/TLD比

3. 2 棄却前の測定値の比較

積算線量計本来の特性を評価するためには、棄却前の結果でばらつき等を調べた方がよいので、その検討を行った。

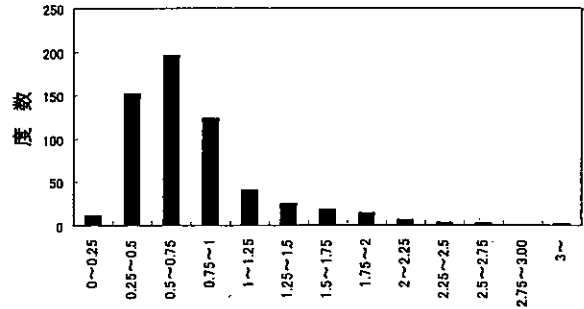


図6 読取再現における変動係数

3. 2. 1 同一素子の読取再現のばらつき

RPLDは、TLDと異なり、同一素子を繰り返し読み取り測定できることから、5回繰り返し読み取りを行って、積算線量を求めている。同一素子を5回読み取ったときの変動係数の分布を図6に示す。読取再現（5回）における変動係数は、0.0~7.7%の範囲内にあり、一部に、異常値と考えられる大きい変動係数が出現している。メーカー公表値から変動係数2%超を異常値とすると、その出現割合は600回中16回(2.7%)であった。

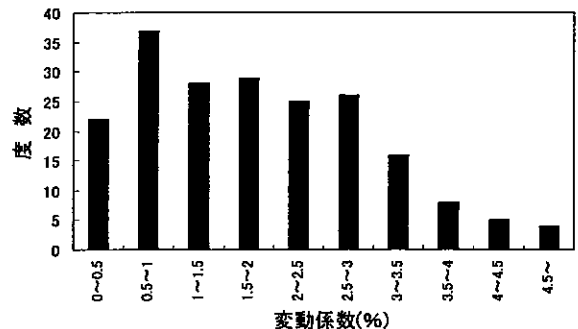


図7-1 RPLDの同一地点における線量計間の感度ばらつきにおける変動係数(%)

3. 2. 2 同一地点における線量計間の感度ばらつき

RPLDは同一地点に3個の素子を設置している。図7-1にRPLDの同一地点における線量計間の感度ばらつきにおける変動係数の分布を示す。感度ばらつきにおける変動係数は0.0~5.6%の範囲内にあり、一部に、異常値と考えられる大きい変動係数が出現している。JIS Z 4314¹⁰⁾に従い変動係数4.5%超を異常値とすると、その出現割合は200回中4回(2.0%)であった。

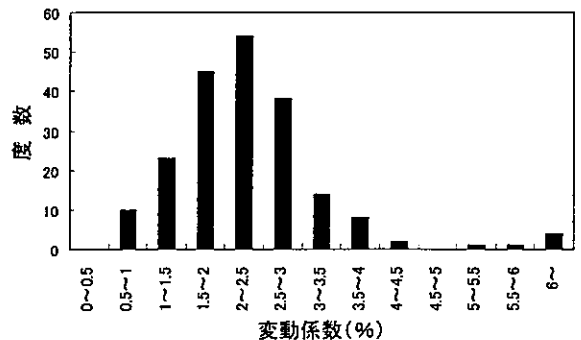


図7-2 TLDの同一地点における線量計間の感度ばらつきにおける変動係数(%)

TLDは同一地点に6個の素子を設置している。図7-2にTLDの同一地点における線量計間の感度ばらつきにおける変動係数の分布を示す。感度ばらつきにおける変動係数は0.5~15.3%の範囲内にあり、一部に、異常値と考えられる大きい変動係数が出現している。TLDの線量計間のばらつきは一般に5~6%⁶⁾といわれており、6%超を異常値とすると、その出現割合は200回中4回(2.0%)であった。

RPLD, TLDともに、出現割合は小さいが異常値が出現することから、当センターでは測定値を評価するにあたってはGrubbsの棄却検定法を用いている。Grubbsの棄却検定後の線量計間の感度ばらつきにおける変動係数は、RPLDで0.0~3.4%, TLDで0.5~6.3%でほぼ基準以内であった。

3.3 対照用(鉛容器内に設置)の比較

表3に鉛容器内で積算線量を測定した対照用の結果を示す。対照用の結果は、平均でRPLD 46.9 μ Gy/91日, TLD 49.6 μ Gy/91日となり、今村らの結果⁴⁾と異なり、RPLDの方が小さかった。鉛容器内での測定値は自己照射線量寄与と宇宙線による寄与との合計と考えられる⁶⁾。今回の調査で使用したRPLDの素子と今村らが使用した素子の製造ロットは異なることから、RPLDは製造ロットにより自己照射線量寄与が大きく異なることがあると推察される。

4 まとめ

調査結果をもとに、RPLDとTLDの比較を行った。

- 1) RPLDによる積算線量はTLDと比較して平均で3 μ Gy/91日高く評価された。
- 2) RPLDによる積算線量には周期的な季節変動はみられなかった。TLDでは、フェーディングが原因と考えられる夏場に最小、冬場に最大となる季節変動を示した。
- 3) RPLD及びTLDによる積算線量の間には有意な正の相関が認められた。
- 4) RPLDによる積算線量の幅はTLDによるものに比べ測定範囲の幅は小さく、年間変動は小さかった。
- 5) RPLD/TLD比は1に近い値となったが、この比を統計的に基準値1と比較した場合、1より大きかった(危険率5%)。
- 6) RPLD及びTLDによる積算線量の地点別平均値を比較すると、TLDが大きい地点が2地点、等しい地点が3地点、RPLDが大きい地点が20地点であった。
- 7) 地点別にRPLD及びTLDによる積算線量値を統計的に比較すると、25地点中4地点でRPLDが大きかった(危険率5%)。その他の地点では差があるとはいえなかった。
- 8) RPLD, TLDともに小さい出現率ながら、異常値と考えられる測定値が出現することがわかった。評価する場合には何らかの棄却検定を行った上で評価することが必要であり、当センターではGrubbsの棄却検定法を用いている。
- 9) RPLDは素子の製造ロットにより自己照射線量寄与が大きく異なることがあることがわかった。

参考文献

- 1) 鹿児島県；川内原子力発電所周辺環境放射線調査計画(平成12年度)
- 2) 原子力安全委員会；環境放射線モニタリングに関する指針(平成元年3月, 平成12年8月一部改訂)
- 3) 原子力安全委員会；緊急時環境放射線モニタリング指針(昭和59年6月, 平成12年8月一部改訂)
- 4) 今村和彦, 狸々伸博, 他；積算線量測定における測定機器の比較, 鹿児島県環境センター所報, 12, 55~60(1996)
- 5) 財団法人放射線計測協会；放射線計測機器の規格化に関する対策研究成果報告書(平成5年3月)
- 6) 科学技術庁；熱ルミネセンス線量計を用いた環境 γ 線量測定法(平成2年改訂)
- 7) 東芝硝子株式会社；東芝ガラス線量計環境モニタリングシステム技術説明書(平成7年4月)
- 8) 松下電器産業株式会社；放射線熱蛍光線量計技術資料
- 9) 植松甲之介, 息明雄, 他；ガラス線量計を用いた環境ガンマ線量測定, 第29回理工学における同位元素研究発表会要旨集, 13(1992)
- 10) 日本規格協会；JIS Z 4314(1995)