

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（Ⅲ）
感度補正係数データセットの作成と適用試験

1997年8月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（III） — 感度補正係数データセットの作成と適用試験 —

辻村憲雄¹⁾、森田卓¹⁾、小松崎賢治¹⁾、百瀬琢磨¹⁾、篠原邦彦¹⁾

要旨

平成6～8年度に実施したTLDの定期感度検査の結果を基に、個々のTLDについて感度の個体差を補正する係数（感度補正係数）を定め、それを各年度に実施したTLDの定期感度検査の結果に適用した。その結果、TLD全数の感度分布の幅が、ホウ酸リチウム系TLD、硫酸カルシウムTLDについて、それぞれ約10%→約5%、約5%→約2%まで小さくなることが分かった。

また、個人被ばく管理業務で使用しているTLDの中から無作為にTLDを抽出して既知量の放射線を照射し、その測定値に上記の感度補正係数を適用した結果、同様の補正効果が得られ、感度補正係数の実務への適用性を確認した。

1) 安全管理部 安全対策課

目次

第1章 緒言	1
第2章 TLDの感度基準	2
2-1 JISの均一性基準	2
2-2 土20%合格率及び土13%合格率の計算	3
第3章 感度補正係数(ECF)データセットの作成	9
3-1 ECFデータセットの作成	9
3-2 ECFの効果	9
第4章 適用試験	25
第5章 まとめ	28
参考文献	29

第1章 緒言

平成7年4月から平成8年3月にかけて、TLDによる線量評価精度の向上を目的に個々のTLDの感度の不揃いを補正し均一化するための係数の適用試験を実施してきた。その結果、個々のTLDについて基準に対する感度の大小を補正する係数を予め実験的に定めておき評価の段階で適用することで、補正しない場合に比べてTLD測定値のはらつきが小さくなることを確認した。

そこで、本研究では、このTLDの感度の個体差を補正する係数（以下、「感度補正係数」あるいは「ECF」と記す）を個人被ばく管理実務に適用するための事前準備として、保有する全TLD線量計についてのECFデータセットを新たに作成し、その効果を調べた結果についてとりまとめた。試験は、以下の手順により行った。

- ①過去の定期感度検査の結果を利用して、個々のTLDに対する感度補正係数（ECF）を定め、データセットを作成する。
- ②統計解析により、上記ECFを適用した場合と適用しない場合の効果を調べる。
- ③無作為抽出したTLDに上記のECFを適用し、効果を確認する。

なお、本報告書は「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（II）－感度補正係数の実務適用に関する基礎的検討－」（PNC ZN8410 97-002）[3]の続編である。

第2章 TLDの感度基準

2-1 JISの均一性基準

JIS Z4320-1995「熱ルミネセンス線量計測装置」[1]の、TLDによる線量当量評価値のばらつきに関する規格を下表に示す。個人モニタリング用TLDについては、無作為抽出した50個のTLDに 2mSvの γ 線を照射したときの評価値の最大値と最小値の比が 1.3以下としている。なお、ここで言う「評価値」は、JISの定義によると「指示値」にバックグラウンド補正、線量計の感度補正（ECFの適用）、リーダーの感度補正、校正定数、フェーディング補正、直線性補正、アルゴリズム、平均処理等による補正を行った値である。

表2-1 TLDによる線量当量評価値のばらつきに関するJISの規格[1]

	個人モニタリング用	環境モニタリング用
対象線量	1cm線量当量	空気吸収線量又は 1cm線量当量
試験線量(型式試験)	2mSv	0.2mGy又は0.2mSv
試験個数	50個	50個
合格条件	評価値の 最大値/最小値≤1.3	評価値の 最大値/最小値≤1.3

一方、事業団の場合、保有する全数のTLDについて年一回感度試験を行い、各TLDの読み取り値が基準とする照射線量（約2mSv）に対して±20%以内であることを確認している[2]。このとき、基準値に対するTLDの相対読み取り値の許容される上限は120%、下限は 80%であるので最大値/最小値比は 1.5となり、TLDの感度の個体差を補正していない条件では、上述したJISの基準を満足していないTLDが含まれることになる注1)。

従って、JISの基準を満足するには、次式に示す計算結果から明らかかなように、個々のTLDの感度の基準からのずれの許容幅を±13%以内に変更しなければならない。

$$\frac{100\% + x\%}{100\% - x\%} \leq 1.3 \rightarrow x \leq 13.04 \quad \cdots (2.1)$$

注1) 大洗工学センター等の一部の事業所では既に感度補正係数を実務適用している。

2-2 土20%合格率及び土13%合格率の計算

TLDの感度の基準からのはずれの許容幅を、現在の土20%以内から土13%以内に変更した場合、東海事業所で使用しているTLD線量計のうち基準を満足するものの割合がどの程度変化するかを調べた。

解析の対象とした線量計は、事業団の公式個人線量計であるTLDバッジに使用するもので、 β/γ 線用TLD線量計(UD-808P)が約7,000個、中性子線用TLD線量計(UD-809P)が約6,000個であり、平成6～8年度にかけて年一回の頻度で実施したTLDの定期品質管理試験における感度検査の結果^{注2)}をここでは利用した。一個のTLD線量計につき4個のTLD素子(エレメント)があるため、一年間に得られる総データ数は約52,000に達する。

定期品質管理試験におけるTLD照射条件

照射設備 安全管理別棟設置のTLD自動照射装置(¹³⁷Cs)

照射線量 約160mR^{注3)}

実施期間 通年(4月～12月の間でほとんど終了)

定期品質管理試験における通常の感度検査では、照射した線量を基準値とし、その基準値から土20%を超えるものを不合格としている。しかし、¹³⁷Csによる γ 線の照射線量は年間に2.3%程度減衰するため感度検査の際の照射条件が平成6～8年度にかけて同一ではないこと、照射線量の値そのものが厳密に値付けされているわけではないことに加え、リーダーの校正点が保有する全数のTLDの感度分布を代表しているかどうかが明確に分かっていない(少なくとも現時点では定量されていない)等の理由により、ここでは各年度の感度検査における同一種類のTLD読取り値の全体平均値を、土20%以内あるいは土13%以内に適合するかどうかを調べる際の基準とした。

TLDの感度の基準からのはずれの許容幅を現在の土20%以内から土13%以内に変更した場合の、合格率を次のような手順で計算した。

(1) 同一種類のTLD読取り値の全体平均値を計算する。計算式を以下に示す。UD-808P線量計のID番号*i*、エレメント*j*の読取り値を $E^G_{i,j}$ 、同様にUD-809P線量計については $E^N_{i,j}$ とする。また N_G 、 N_N はそれぞれUD-808P、UD-809P線量計の保有個数である。

(UD-808P線量計のエレメント1,2,4の平均読取り値：⁷Li²¹¹B₄O₇(Cu))

$$\overline{E^G_{i,124}} = \frac{1}{3 \cdot N_G} \sum_i (E^G_{i,1} + E^G_{i,2} + E^G_{i,4}) \quad \cdots (2.2a)$$

(UD-808P線量計のエレメント3の平均読取り値：CaSO₄(Tm))

$$\overline{E^G_{i,3}} = \frac{1}{N_G} \sum_i E^G_{i,3} \quad \cdots (2.2b)$$

(UD-809P線量計のエレメント1の平均読取り値： ${}^7\text{Li} {}^{11}\text{B} {}^{40}\text{O}_7(\text{Cu})$)

$$\overline{E^N_{i,1}} = \frac{1}{N_N} \sum_i E^N_{i,1} \quad \cdots (2.2c)$$

(UD-809P線量計のエレメント2, 3, 4の平均読取り値： ${}^6\text{Li} {}^{10}\text{B} {}^{40}\text{O}_7(\text{Cu})$)

$$\overline{E^N_{i,234}} = \frac{1}{3 \cdot N_N} \sum_i (E^N_{i,2} + E^N_{i,3} + E^N_{i,4}) \quad \cdots (2.2d)$$

(2) 次にTLD線量計 i 、エレメント j の読取り値 $E_{i,j}$ の基準値からの偏差 $B_{i,j}$ を次式から計算する。

$$B^G_{i,j} = \frac{E^G_{i,j}}{E^G_{i,124}} - 1 \quad (j = 1, 2, 4) \quad \cdots (2-3a)$$

$$B^G_{i,3} = \frac{E^G_{i,3}}{E^G_{i,3}} - 1 \quad \cdots (2-3b)$$

$$B^N_{i,1} = \frac{E^N_{i,1}}{E^N_{i,1}} - 1 \quad \cdots (2-3c)$$

$$B^N_{i,j} = \frac{E^N_{i,j}}{E^N_{i,234}} - 1 \quad (j = 2, 3, 4) \quad \cdots (2-3d)$$

(3) それぞれのエレメントに対する感度基準士20%、士13%の合格の条件はそれぞれ次式の通りである。

$$|B_{i,j}| \leq 0.20 \quad \cdots (2-4)$$

$$|B_{i,j}| \leq 0.13 \quad \cdots (2-5)$$

(4) 各エレメントにつき(2-4)(2-5)式に適合するものの数を全数で割った値を、それぞれエレメント毎の士20%合格率、士13%合格率と定義する。また、一個の線量計に四個のエレメントがあるので、それら一箇一箇について(2-4)あるいは(2-5)の"AND"をとったものの割合を線量計の士20%合格率、士13%合格率と定義する。

以上のようにして計算した士20%合格率、士13%合格率の結果を、UD-808P線量計、UD-809P線量計それぞれについて表2-1、表2-2に示す。

注2) 定期感度検査のデータは、APCS固定長テキスト形式でフロッピーディスク（4枚/年）に記録されている。これをMS-DOSのテキスト形式に一旦変換した後、Macintoshの表計算ソフトにロードした。

注3) F棟設置のTLD自動照射装置による照射線量（感度校正基準量）は、毎年4月に計測機器校正施設の ${}^{137}\text{Cs}$ γ 線自動照射装置による γ 線照射線量率を基準としたTLDを用いた相対測定によって定量される。ベルトスピード2を選択した場合、TLD自動照射装置による照射線量は平成6年4月で165.7(士3.9)mR、平成7年4月で164.0(士2.8)mR、平成8年4月で156.5(士3.9)mRである。

表には、全数の線量計についてのエレメント毎の平均読取り値とその標準偏差、 $\pm 20\%$ 合格率、 $\pm 13\%$ 合格率、及び全体平均に対する購入年度別の相対読取り値（相対感度）を示した。

何ら感度補正もしない条件では、ホウ酸リチウム系TLDは7~10%、硫酸カルシウムTLDは5~6%のばらつきを有している。単一のエレメントだけを見れば、感度検査の合格条件を現在の $\pm 20\%$ 以内から $\pm 13\%$ 以内に変更しても、ホウ酸リチウム系TLDで10~20%、硫酸カルシウムTLDで2~3%合格率が下がる程度である。しかし、単一のエレメントについてではなく一個の線量上にある4個のエレメントの全てが $\pm 13\%$ 以内に入るという条件では、表に示した”線量計合格率”からも分かるように現有の線量計の半分近くがその条件を満足しないことになる。

従って、品質管理試験におけるTLDの感度の基準からのずれの許容幅を $\pm 13\%$ 以内とし、かつ現有するほとんど全てのTLDをこの条件内におさめようとするならば、ECFを用いて感度の不揃いができるだけ小さくする必要があり、ECF適用後の感度分布の幅を6%程度にしなければならない。

なお、参考までに、ECF適用によるTLDの感度の個体差の補正効果の例を図2-1に示す。ここで示した例は、カールスルーエ原子力研究所が個人モニタリングサービスに使用しているTLD（Harshaw社製のTLD-700/TLD-600、蛍光体はそれぞれ ^{7}LiF 、 ^{6}LiF ）にECFを適用した例であり、適用の結果、感度分布の幅が約1~2%まで小さくなっている[4]。

表2-1 UD-808P線量計の定期感度検査結果と±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数		Li2B4O7(Cu)				CaSO4(Tm)	全エレメント 合格率
				G1	G2	G4	G1,G2,G4		
平成6年度	全体	6584	平均読取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	183.6±15.7	181.6±15.6	168.8±17.7	178.0±17.6	166.3±9.1	
			8.5%	8.6%	10.5%	9.9%	5.5%		
			±20%合格率	97.3%	97.6%	93.2%		100%	89.5%
	1982年	4470	相対感度	84.3%	85.4%	74.9%		97.6%	55.9%
			1.04	1.03	0.95	1.01	1.00		
			1.02	1.00	0.92	0.98	1.01		
平成7年度	全体	7331	0.98	0.98	0.97	0.98	0.95		
			0.92	0.98	0.99	0.97	0.99		
			183.6±15.7	169.0±15.2	157.4±15.3	164.3±16.7	161.7±9.0%		
	1982年	4665	10.3%	9.0%	9.7%	10.2%	5.5%		
			97.8%	98.5%	98.5%		100%		96.5%
			75.8%	80.2%	77.4%		98.1%		49.9%
平成8年度	全体	7667	相対感度	1.01	1.03	0.95	1.00	1.00	
			1.04	1.04	0.95	1.01	1.01		
			1.02	1.03	1.00	1.02	0.97		
	1982年	4403	1.01	1.07	1.08	1.06	0.97		
			0.96	0.98	0.98	0.97	1.03		
			0.94	0.96	0.97	0.96	0.99		
	1983年	1391	165.2±14.6	164.3±14.3	151.1±15.8%	160.2±16.2	157.1±9.0		
			8.8%	8.7%	10.4%	10.1%	5.7%		
			97.9%	98.3%	92.5%		100%		90.1%
	1984年	567	82.7%	83.9%	73.1%		97.4%		52.2%
			1.06	1.05	0.95	1.02	0.99		
			1.03	1.01	0.91	0.98	1.00		
	1985年	9	1.01	1.02	0.98	1.00	0.99		
			0.99	1.02	1.04	1.01	1.01		
			0.95	0.95	0.95	0.95	1.04		
	1994年	432	0.98	0.98	0.97	0.98	1.01		
			0.94	0.93	0.93	0.93	1.03		
			0.93	0.92	0.94	0.93	1.01		
	1995年	265							
	1996年	450							
	1997年	150							

表2-2 UD-809P線量計の定期感度検査結果と±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数	${}^7\text{Li} {}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$	${}^6\text{Li} {}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$					全エレメント
				N1	N2	N3	N4	N2,N3,N4	
平成6年度	全体	5665	平均読取り値 [mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq.]	184.4±14.8 8.0%	184.0±16.1 8.8%	182.8±15.6 8.6%	181.9±15.6 8.7%	182.9±15.9 8.7%	
			±20%合格率	98.7%	97.2%	98.2%	98.1%		93.1%
			±13%合格率	88.7%	85.3%	85.9%	85.7%		62.2%
	1982年	4428	相対感度	1.01	1.00	1.00	0.99	1.00	
	1983年	692		0.97	1.01	1.01	1.00	1.01	
	1984年	420		0.97	0.97	1.01	1.02	1.02	
	1985年	125		0.92	1.03	1.00	1.02	1.02	
平成7年度	全体	5689	平均読取り値 [mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq.]	173.2±15.2 8.8%	172.6±12.2 7.0%	171.6±12.2 7.1%	170.0±12.6 7.4%	171.4±12.4% 7.2%	
			±20%合格率	97.6%	99.5%	99.5%	99.3%		96.2%
			±13%合格率	87.9%	93.7%	93.7%	92.1%		73.3%
	1982年	4413	相対感度	1.01	1.01	1.00	0.99	1.00	
	1983年	633		0.98	0.99	0.98	0.97	0.98	
	1984年	402		0.98	1.03	1.03	1.02	1.03	
	1985年	98		1.00	1.08	1.05	1.06	1.06	
	1994年	143		0.85	0.94	0.95	0.95	0.95	
	1995年	143							
平成8年度	全体	6042	平均読取り値 [mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq.]	166.7±14.8 8.9%	164.0±11.0 6.7%	162.3±10.9% 6.7%	160.7±11.5 7.1%	162.3±11.2 6.9%	
			±20%合格率	97.4%	99.8%	99.8%	99.5%		96.6%
			±13%合格率	87.9%	94.6%	94.8%	93.1%		74.8%
	1982年	4256	相対感度	1.03	1.02	1.01	0.99	1.01	
	1983年	643		0.98	1.00	0.99	0.97	0.99	
	1984年	384		0.93	1.02	1.02	1.01	1.01	
	1985年	11		0.94	1.07	0.98	1.03	1.03	
	1994年	148		0.89	0.96	0.94	0.95	0.95	
	1996年	450		0.90	0.98	0.97	0.98	0.98	
	1997年	150		0.88	0.99	0.99	0.99	0.99	

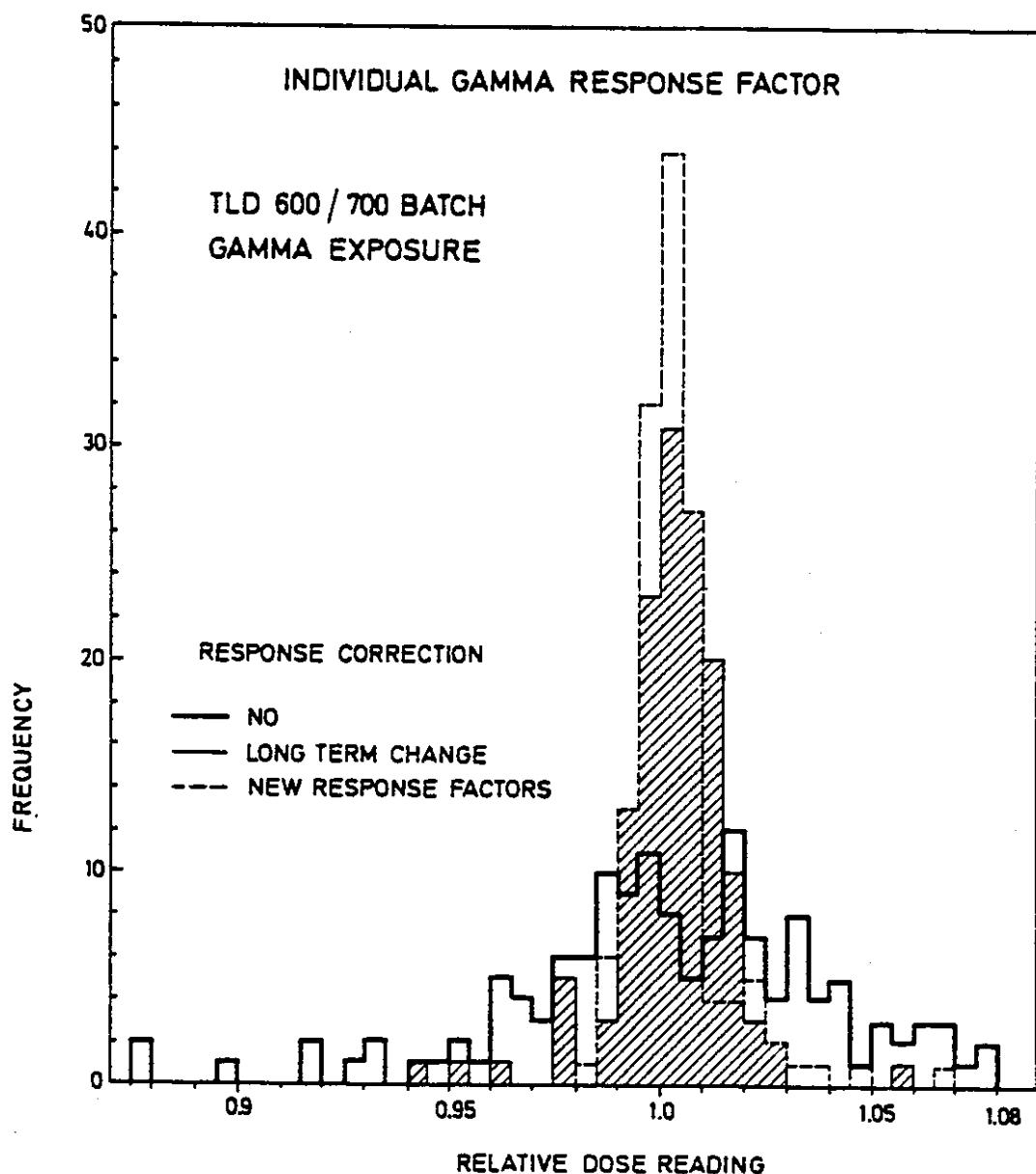


図 2-1 TLD線量計へのECF適用例（カールスルーエ原子力研究所）

第3章 感度補正係数(ECF)データセットの作成

3-1 ECFデータセットの作成

平成6～8年度の定期感度検査の結果をもとにECFを二種類の方法により計算した。

第一の方法は、単年度分の定期感度検査の結果から、個々のエレメント毎について全体の感度分布の中心に規格化する係数をECFとして適用する方法であり、第二の方法は、第一の方法で得られるECFの平成6～8年度までの3年分の平均値をECFとして適用する方法である。

(1) 単年度ECFの計算

次式により、単年度ECF、 $F_{i,j}$ を計算する。

$$F^G_{i,j} = \frac{E^G_{i,j}}{E^G_{i,124}} \quad (j = 1, 2, 4) \quad \cdots (3-1a)$$

$$F^G_{i,3} = \frac{E^G_{i,3}}{E^G_{i,3}} \quad \cdots (3-1b)$$

$$F^N_{i,1} = \frac{E^N_{i,1}}{E^N_{i,1}} \quad \cdots (3-1c)$$

$$F^N_{i,j} = \frac{E^N_{i,j}}{E^N_{i,234}} \quad (j = 2, 3, 4) \quad \cdots (3-1d)$$

(2) 平均ECFの計算

(3-1a)～(3-1d)から計算される単年度ECFの過去3年分の平均を計算する。TLDの廃棄や新規購入により3回分のデータのないものについては、データがある分だけの平均をとる。以上の計算によりTLDのECFデータセットを新たに作成した。

なお、前回の報告書[3]では、ECFを計算する際の規格化基準量として、TLD照射装置による照射線量を用いることを提案しているが、本計算では、TLDの廃棄や新規購入等によって母集団の数が変化しても感度分布の形状は大きく変化しないという前提に基づき、同種類のTLD素子の平均読取り値を基準とした。規格化基準量として、照射線量を使用した場合と同種類のTLD素子の平均読取り値を使用した場合の違いについては後述する。

3-2 ECFの効果

平成7年度及び8年度の定期感度検査の結果に基づく単年度ECFを、それぞれの前年度分の定期感度検査の結果に適用した場合の結果を表3-1、表3-2に示す。また、過去3年間の平均ECFを平成7～8年度の定期感度検査に適用した場合の結果を表3-3、3-4に示す。

(1) 単年度ECFの適用結果

単年度の定期感度検査の結果を基に計算した単年度ECFを、その前年度に実施した定期感度検査結果に適用した。その結果、感度分布の幅が僅かに小さくなる傾向が見られたが、±13%合格率はあまり向上しないというデータが得られた。

(2) 平均ECFの適用

過去3年間の定期感度検査の結果を基に計算した平均ECFを、平成7～8年度の定期感度検査結果に適用した。このとき、例えば平成8年度に新規に購入した線量計については平成8年度一回分の感度検査データしか無いので、適用の対象外としている。

平均ECFを適用した結果、ホウ酸リチウム系TLDで約5%、硫酸カルシウムTLDで約2%まで感度分布の幅が小さくなり、線量計の±13%合格率は95%程度まで向上した。また平均ECFの適用前後における平成8年度実施分のTLDの感度分布を比較した結果を、図3-1から図3-4(UD-808P線量計)、図3-5から図3-8(UD-809P線量計)に示す。平均ECFの適用によって何れのエレメントについても感度が均一化している上、UD-808P線量計のエレメントG1のように分布形状が大きく歪んでいたものが正規分布に近い分布形状に補正されていることが分かる。

単年度ECFと平均ECFをそれぞれ適用し、感度の個体差の補正効果を比較した結果、前者はあまり効果が見られず、一方の後者は劇的な個体差の均一化効果が見られた。前回の報告書[3]で、TLD照射装置による一回の照射で決定したECFと、三回の繰り返しの照射から求めた平均ECFによる感度の個体差の補正効果を比較しており、後者の方が統計変動の寄与が低減できるため僅かに補正効果が良くなるという結果が得られている。ただし、その結果では今回の試験で得られた程の相違は見られず、単年度ECFと平均ECFとで感度の個体差の補正効果に明かな違いが生じる理由は現時点では良く分からぬ。

(3) 規格化基準量について

ECF計算の際の規格化基準量として、TLD自動照射装置による照射線量を用いた場合と、同種類のTLD全数の平均読み取り値を用いた場合の比較についてであるが、今回の適用試験では後者の方法を採用しているものの基本的には両手法ともに同様な感度の個体差の補正効果が得られるものと考えられる。

ただし、後者の方法の場合、TLDの感度は均一化されるけれども、その均一化された感度がリーダーの校正点に合致するとは限らないという問題がある。言い換えれば、これはリーダーの校正に使用している校正用TLDの平均感度の、個人被ばく管理に使用しているTLD全体の平均感度に対する代表性の問題と言っても良い。

平均ECFを平成7、8年度の定期感度検査の結果に適用した場合の、同種類のTLDの平均読み取り値を比較した結果を図3-9に示す。また、その結果を硫酸カルシウムTLD

表3-1 UD-808P線量計の定期感度検査結果に単年度ECFを適用した場合の±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数		Li ₂ B ₄ O ₇ (Cu)				CaSO ₄ (Tm)	全エレメント	
				G1	G2	G4	G1,G2,G4			
平成6年度	全体	5468	平均読取り値 [mR ¹³⁷ Cs eq.]	181.1±18.5 10.2%	176.1±16.7 9.5%	177.8±18.1 10.2%	177.9±17.9 10.0%	166.7±5.3 3.2%		
			±20%合格率	94.0%	96.7%	95.5%		100%	90.0%	
			±13%合格率	79.4%	82.8%	79.8%		99.8%	62.1%	
			1982年	4335	相対感度	1.04	1.00	1.01	1.02	1.00
平成7年度	全体	7013	1983年	633		0.99	0.97	0.98	0.98	1.00
			1984年	402		0.97	0.95	0.97	0.97	0.98
			1985年	98		0.92	0.92	0.92	0.92	1.02
			1982年	4349	相対感度	160.3±14.3 8.9%	163.8±12.9 7.9%	167.4±15.7 9.4%	163.8±14.6 8.9%	162.3±6.0 3.7%
			1983年	1391		96.7%	98.1%	95.0%		100%
			1984年	567		85.7%	90.6%	82.4%		99.9%
			1985年	9		0.96	0.98	1.01	0.97	1.00
			1994年	432		1.02	1.03	1.06	1.04	1.00
			1995年	265		1.01	1.02	1.03	1.02	0.98

表3－2 UD-809P線量計の定期感度検査結果に単年度ECFを適用した場合の±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数	$^{7}\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$	$^{6}\text{Li}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$					全エレメント
				N1	N2	N3	N4	N2,N3,N4	
平成6年度	全体	5468	平均読取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	184.5±16.3 8.8%	182.9±16.6 9.1%	182.8±16.5 9.0%	183.7±16.6 9.0%	183.1±16.6 9.1%	
			±20%合格率	97.7%	97.5%	98.2%	97.9%		92.5%
			±13%合格率	87.5%	85.7%	85.6%	85.4%		58.7%
	1982年	4335	相対感度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	1983年	633		1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	
	1984年	402		1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	
	1985年	98		0.92	0.96	0.95	0.96	0.96	
平成7年度	全体	5407	平均読取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	171.5±14.4 8.4%	170.4±10.5 6.2%	171.4±11.0 6.4%	171.9±10.9 6.3%	171.2±10.8 6.3%	
			±20%合格率	95.9%	98.6%	98.6%	98.4%		95.2%
			±13%合格率	87.7%	95.5%	94.4%	94.7%		78.8%
	1982年	4254	相対感度	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	
	1983年	631		1.01	0.99	0.99	1.00	0.99	
	1984年	381		1.06	1.01	1.02	1.02	1.01	
	1985年	9		1.18	1.16	1.18	1.16	1.17	
	1994年	141		0.96	0.99	1.01	1.00	1.00	

表3－3 UD-808P線量計の定期感度検査結果に平均ECFを適用した場合の±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数		Li2B4O7(Cu)				CaSO4(Tm)	全エレメント
				G1	G2	G4	G1,G2,G4		
平成7年度	全体	7251	平均読取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	162.7±9.2 5.7%	165.2±8.4 5.1%	166.0±9.6 5.8%	164.6±9.2 5.6%	161.8±2.9 1.8%	
			±20%合格率	99.8%	100%	99.8%		100%	99.7%
			±13%合格率	97.4%	98.2%	96.3%		100%	93.5%
	1982年	4439	相対感度	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	
	1983年	1423		1.01	1.02	1.03	1.02	1.00	
	1984年	581		1.01	1.02	1.02	1.02	1.00	
平成8年度	全体	7067	平均読取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	162.9±7.4 4.5%	161.8±6.6 4.1%	159.3±7.6 4.8%	161.4±7.4 4.6%	156.8±3.6 2.3%	
			±20%合格率	99.8%	99.9%	99.9%		100%	99.7%
			±13%合格率	98.2%	99.2%	98.8%		100%	97.5%
	1982年	4403	相対感度	1.02	1.01	0.99	1.01	1.00	
	1983年	1391		0.99	0.99	0.97	0.98	1.00	
	1984年	567		1.00	1.01	0.99	1.00	1.02	
	1985年	10		0.94	0.93	0.95	0.94	1.02	
	1994年	432		0.99	0.98	0.98	0.98	1.01	
	1995年	265		1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	

表3-4 UD-809P線量計の定期感度検査結果に平均ECFを適用した場合の±20%及び±13%合格率の計算結果（平成6～8年度）

年度	購入年度	個数		$^{7}\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$		$^{6}\text{Li}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$			全エレメント
				N1	N2	N3	N4	N2,N3,N4	
平成7年度	全体	5661	平均読み取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	173.1±8.6 5.0%	171.6±7.4 4.3%	171.9±7.6 4.4%	171.8±7.5 4.3%	171.8±7.5 4.4%	
			±20%合格率	100%	100%	100%	100%		100%
			±13%合格率	98.5%	99.6%	99.7%	99.7%		97.7%
			相対感度	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
平成8年度	全体	6042	平均読み取り値 [mR ^{137}Cs eq.]	168.7±7.6 4.5%	163.5±6.4 3.9%	163.0±6.5 4.0%	162.4±6.5 6.5%	163.0±6.5 6.5%	
			±20%合格率	100%	100%	100%	100%		100%
			±13%合格率	98.9%	99.8%	99.9%	99.9%		98.6%
			相対感度	1.00	1.01	1.01	1.00	1.01	
				0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	

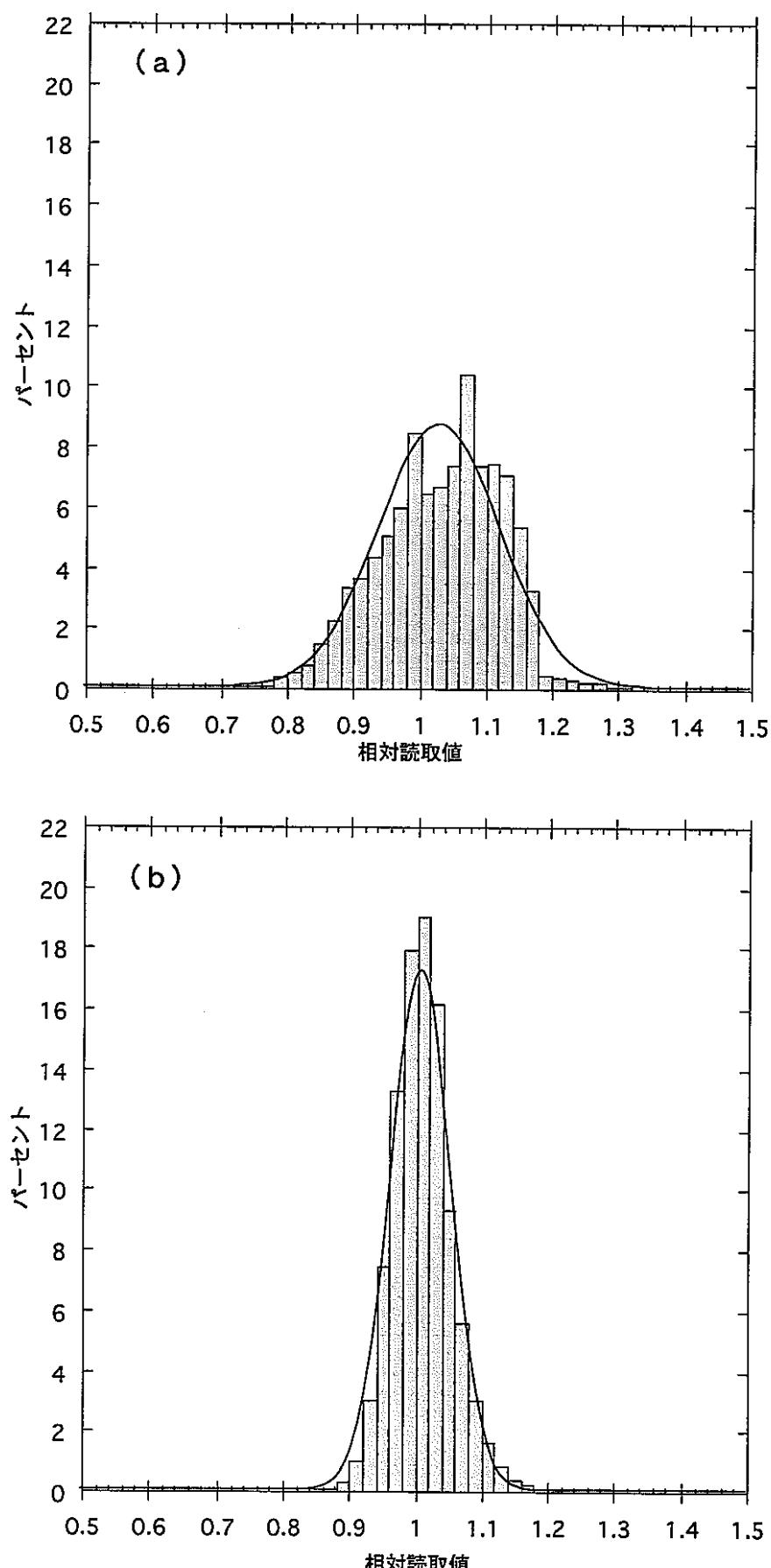


図 3-1 エレメント G1 の相対感度分布（平成 8 年度）

(a) ECF 適用せず (b) 平均 ECF 適用

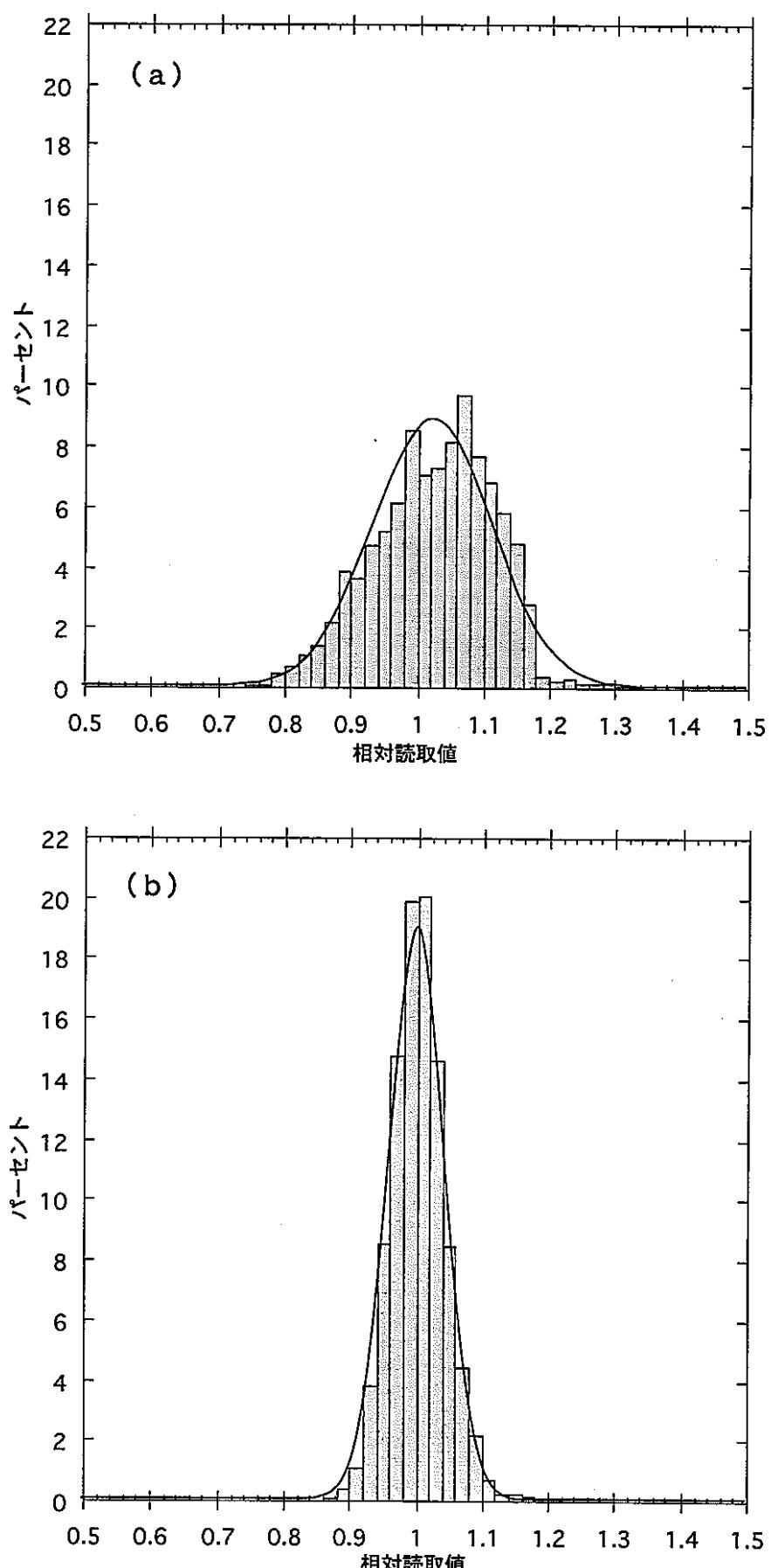


図3-2 エレメントG2の相対感度分布(平成8年度)

(a) ECF適用せず (b) 平均ECF適用

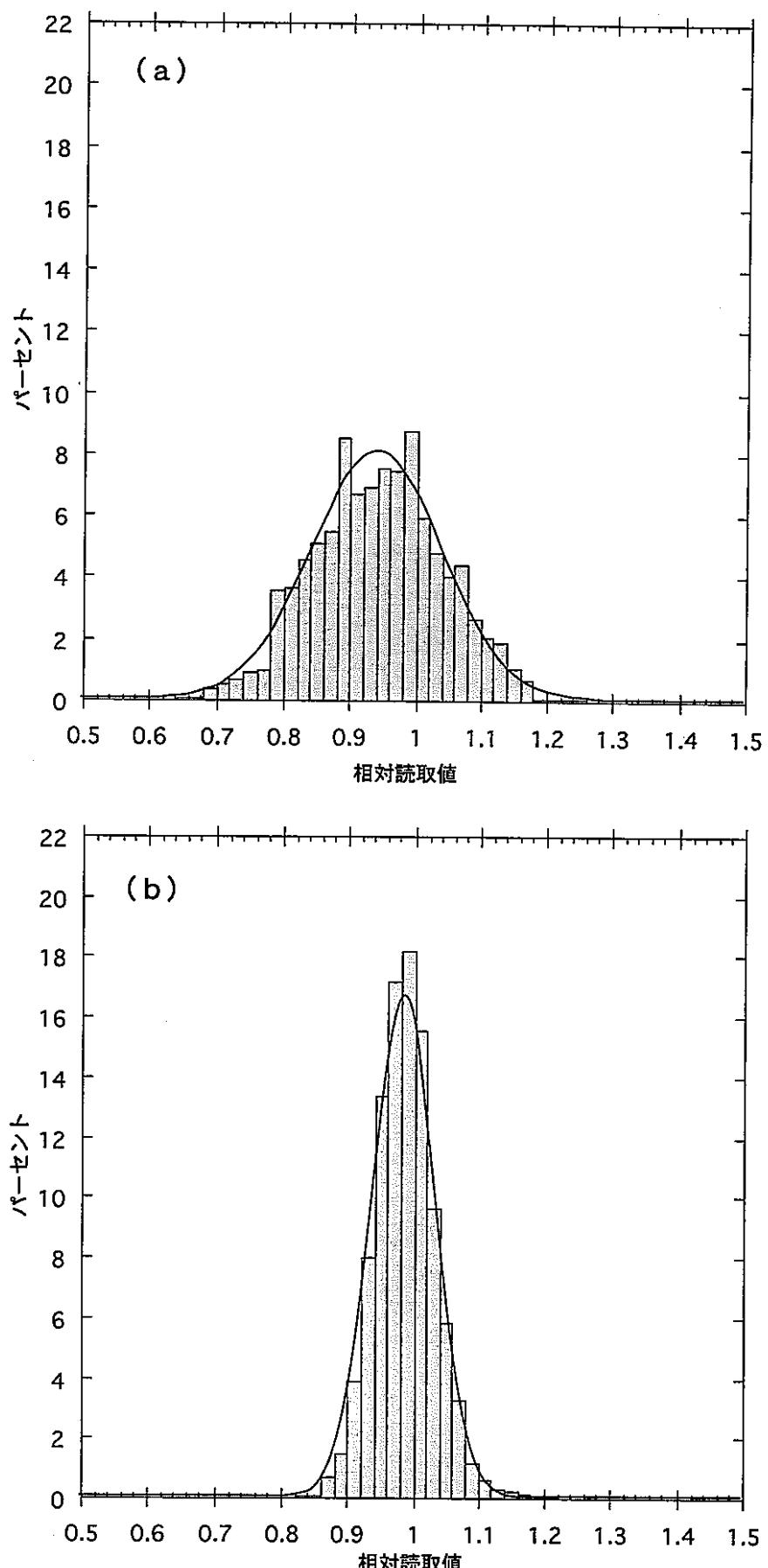


図3-3 エレメントG4の相対感度分布(平成8年度)

(a) ECF適用せず (b) 平均ECF適用

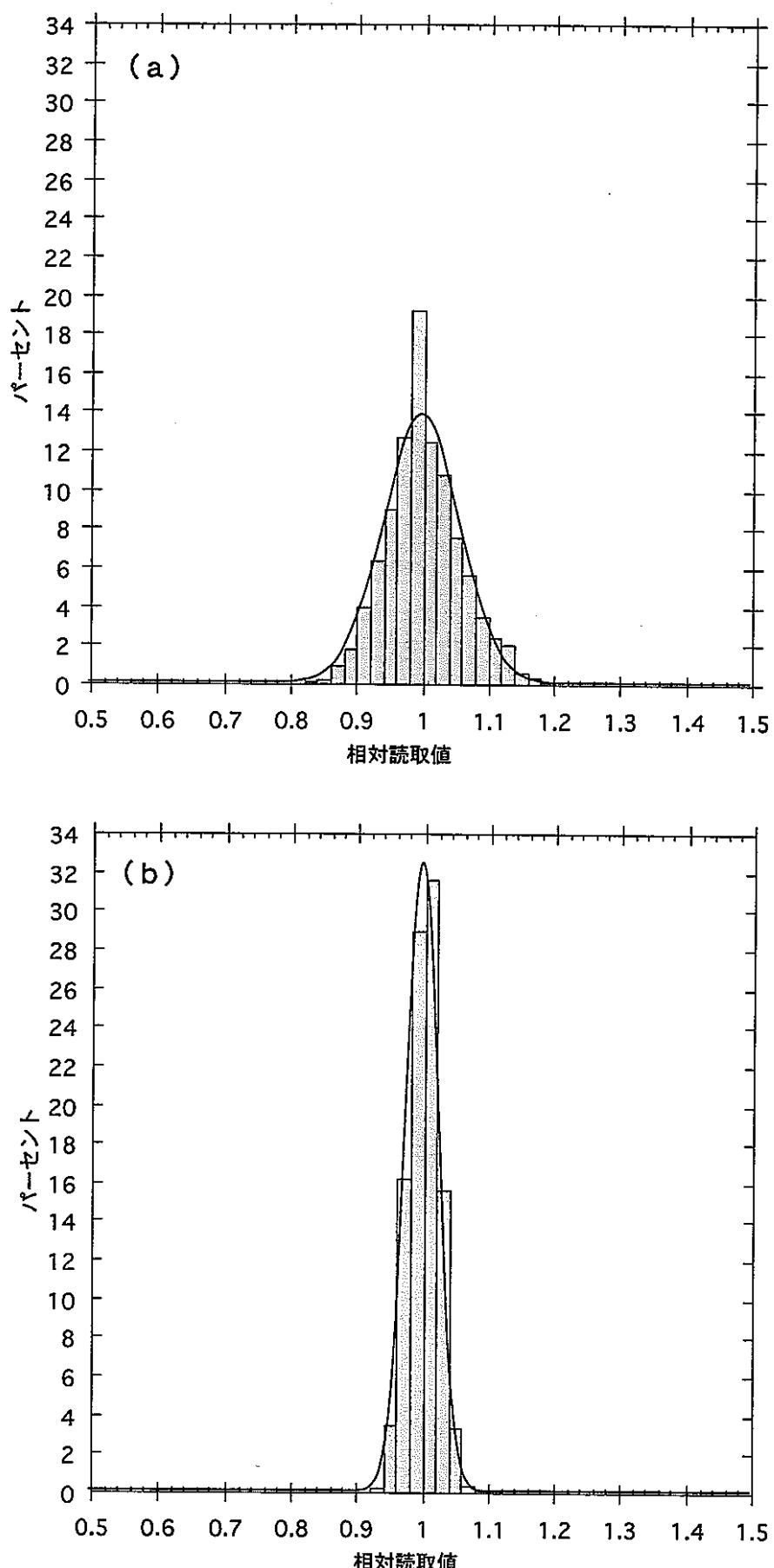


図 3-4 エレメントG 3の相対感度分布（平成8年度）

(a) ECF適用せず (b) 平均ECF適用

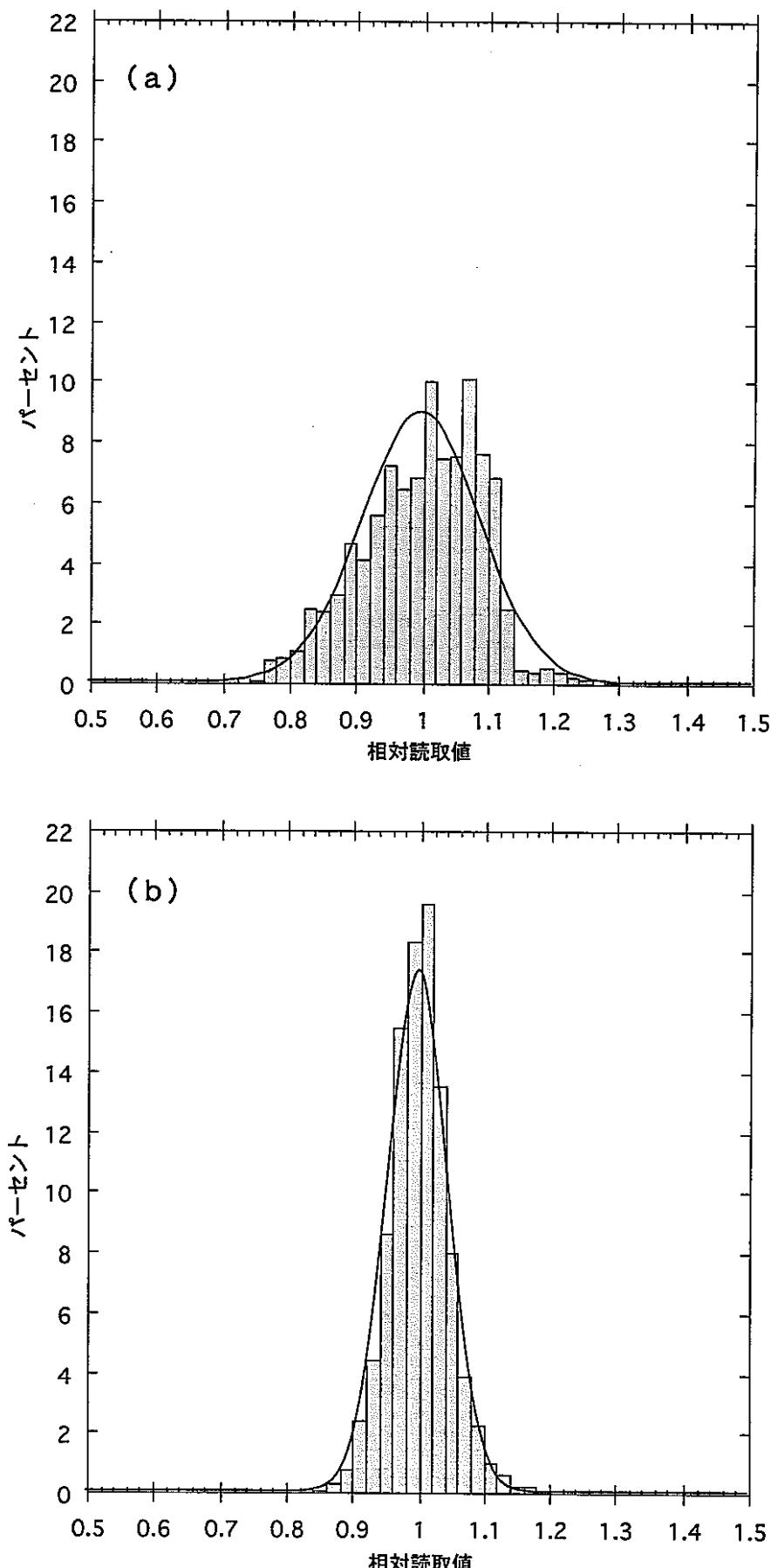


図3-5 エレメントN 1の相対感度分布（平成8年度）

(a) ECF適用せず (b) 平均ECF適用

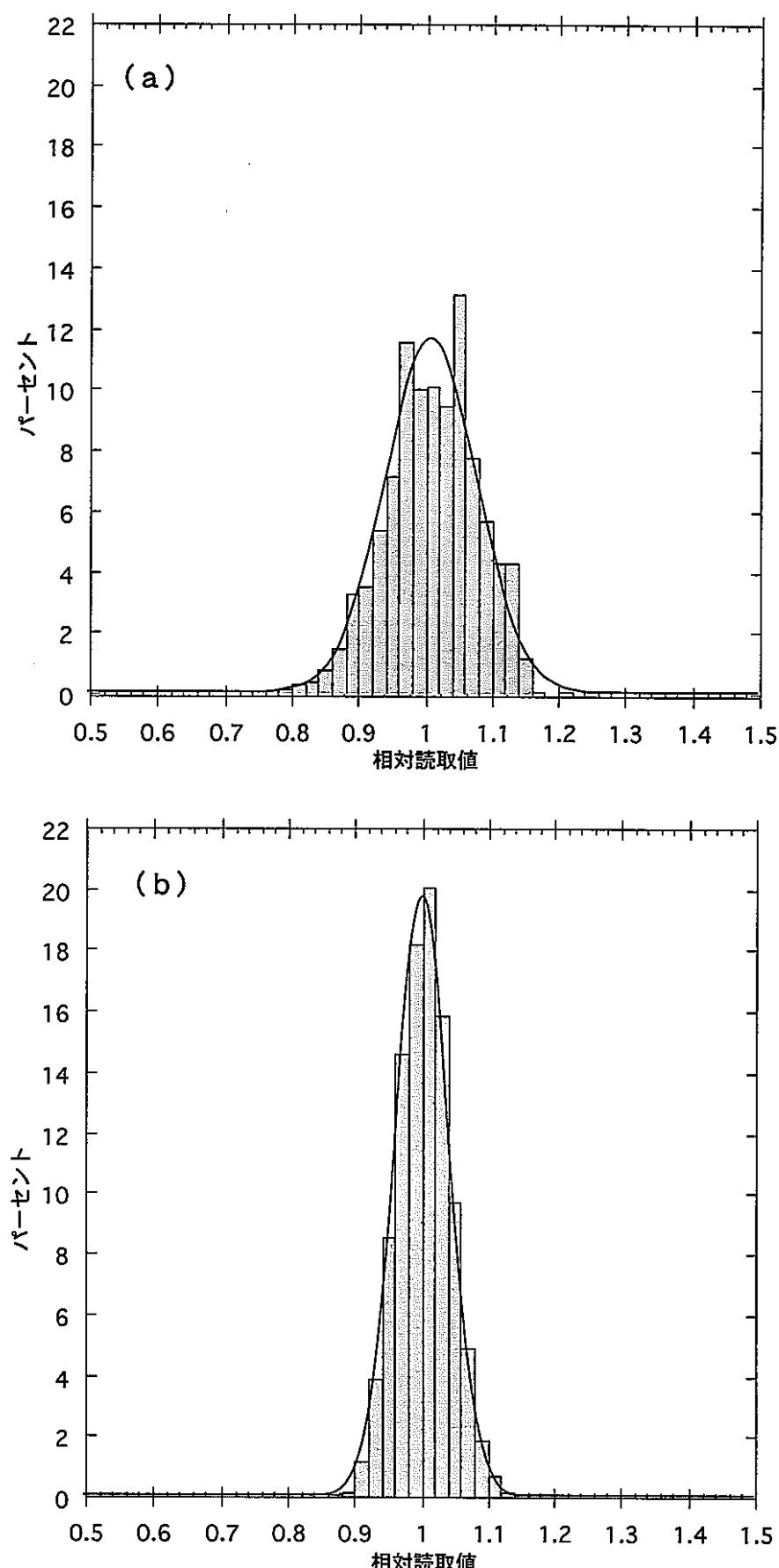


図 3-6 エレメントN 2の相対感度分布（平成8年度）

(a) ECF適用せず (b) 平均 ECF適用

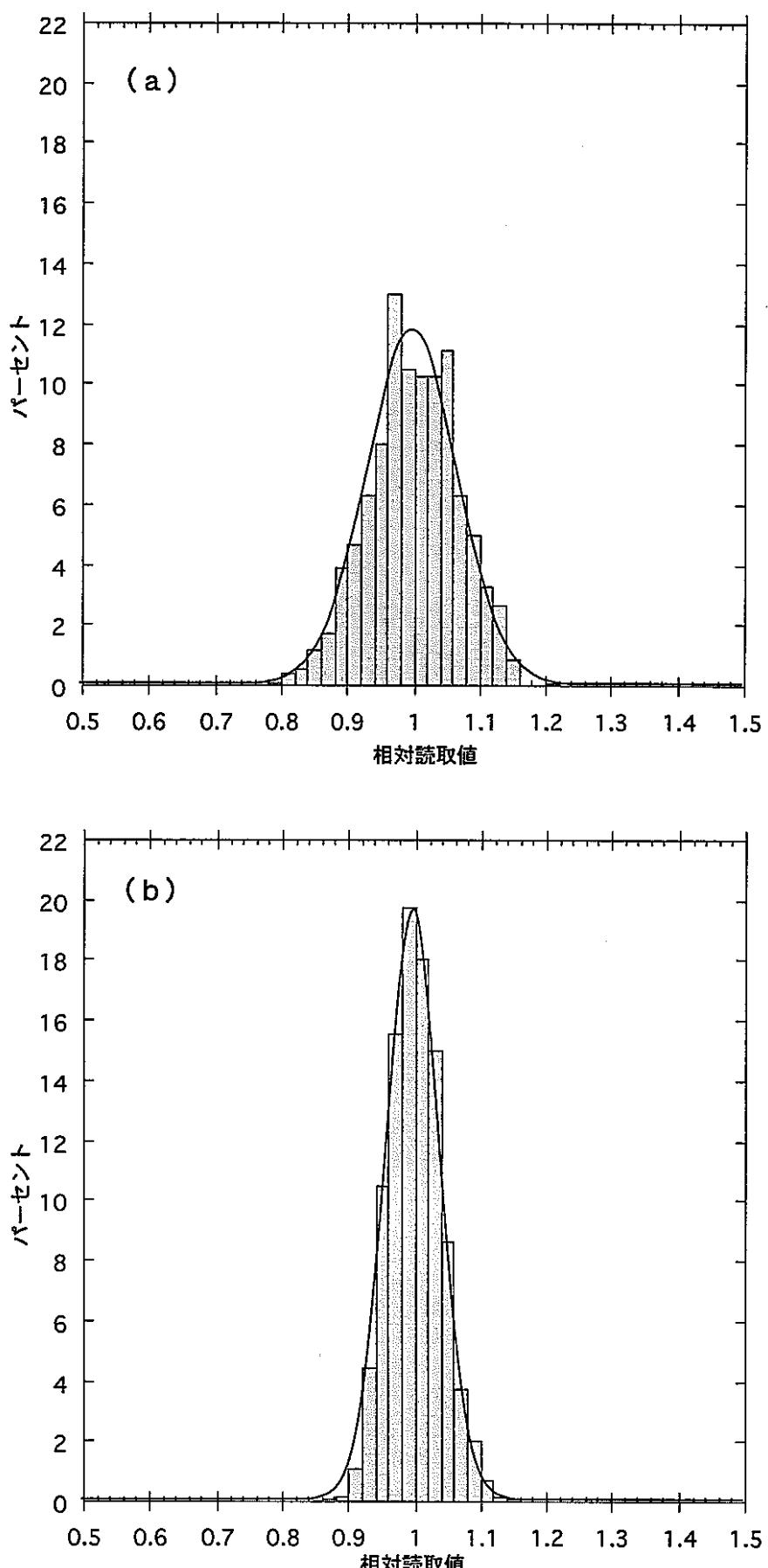


図3-7 エレメントN 3の相対感度分布（平成8年度）

(a) ECF適用せず (b) 平均ECF適用

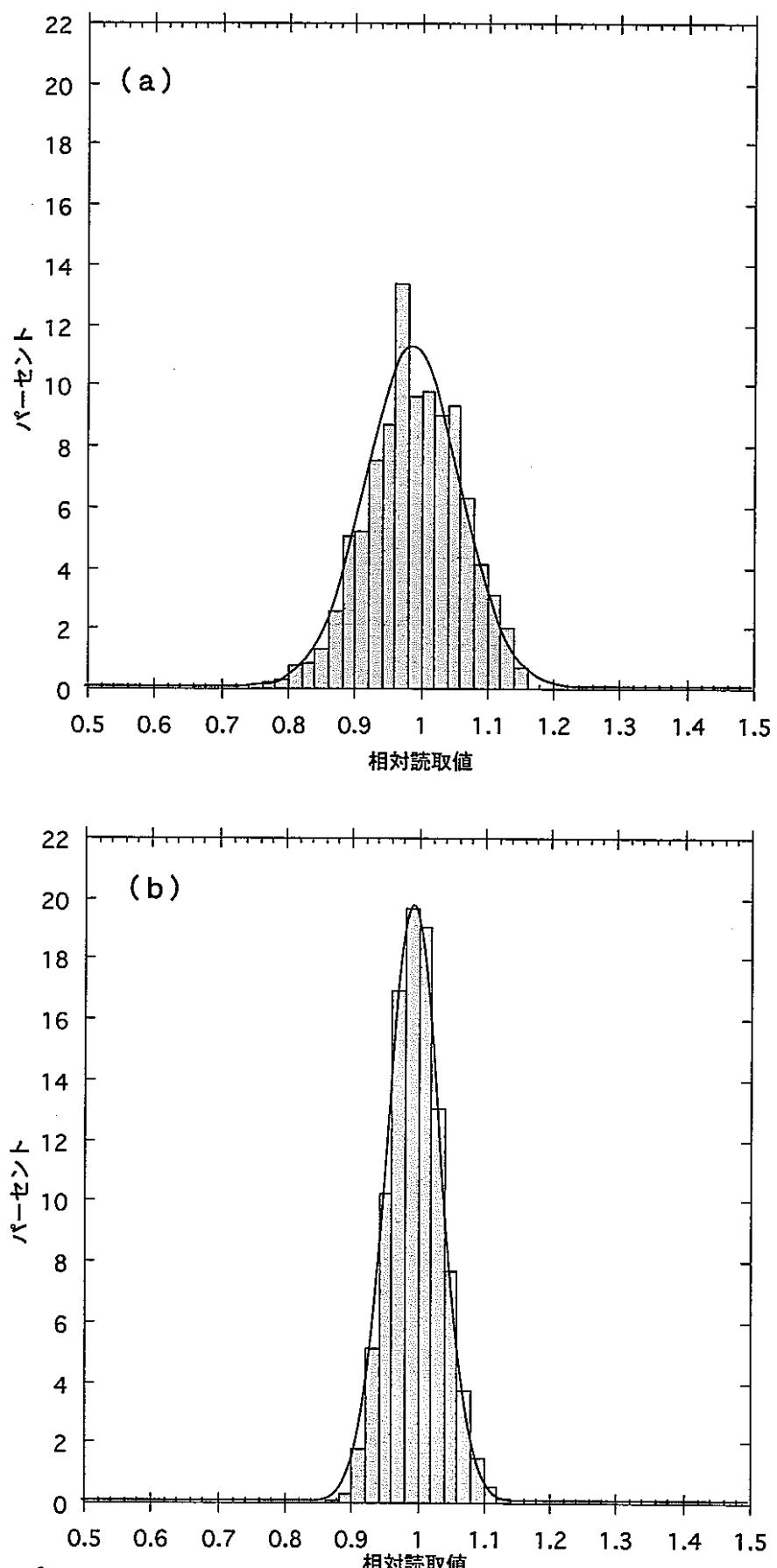


図 3-8 エレメント N 4 の相対感度分布（平成 8 年度）

(a) ECF 適用せず (b) 平均 ECF 適用

の平均読み取り値で規格化した結果を表3-5に示す。平均ECFの適用により、それぞれのエレメントの読み取り値のばらつきが小さくなると同時に、例えばUD-808P線量計については同種類のTLDであるエレメントG1、G2、G4の感度も均一に揃えるような効果がある。しかし、UD-809P線量計については、いずれのエレメントもECF適用後であっても、UD-808P線量計に比べて高い読み取り値を与えていた。これは、同一の線量を受けたとき、UD-808P線量計とUD-809P線量計の測定値に有意な違いが生じることを意味する。このような違いが生じる理由は、現時点でのリーダーの校正に使用しているUD-809P線量計の感度が、UD-809P線量計全体の感度を代表していないためである注4)。従って、TLD全体を代表するようなリーダー校正用TLDを再抽出することなく、今回作成した平均ECFデータセットを個人被ばく管理の実務にそのまま適用する場合には、表3-5に示した相対感度で一律に割る必要がある。

表3-5 平均ECF適用後の平均読み取り値（エレメントG3に対する相対値）

	UD-808P		UD-809P	
	G1,G2,G4 ($^{7}\text{Li}^{211}\text{B}4\text{O}_7(\text{Cu})$)	G3 ($\text{CaSO}_4(\text{Tm})$)	N1 ($^{7}\text{Li}^{211}\text{B}4\text{O}_7(\text{Cu})$)	N2,N3,N4 ($^{6}\text{Li}^{10}\text{B}4\text{O}_7(\text{Cu})$)
平成7年度	1.02	1.00	1.07	1.06
平成8年度	1.03	1.00	1.08	1.04

注4) 平均ECF適用後のUD-809P線量計の読み取り値が、UD-808P線量計に比べてやや高いことの理由は、厳密に言えば、リーダー校正用UD-809P線量計の代表性の問題以前に、もっと根の深い問題を内包している。それは、同種類のTLD素子であるUD-808P線量計のエレメントG4とUD-809P線量計のエレメントN1の感度（カウント数/線量）を比べると、エレメントN1の方が8%程度感度が高いという点にある。一方、自動リーダーUD-7100P型では、 $^{7}\text{Li}^{211}\text{B}4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子に対する材質感度補正係数（カウント数から線量に変換する係数）として、UD-808P線量計とUD-809P線量計とで別々の値を設定できないため、どちらか一方に合わせてリーダーを校正すると、結果的に他方の感度がずれてしまうことになる。

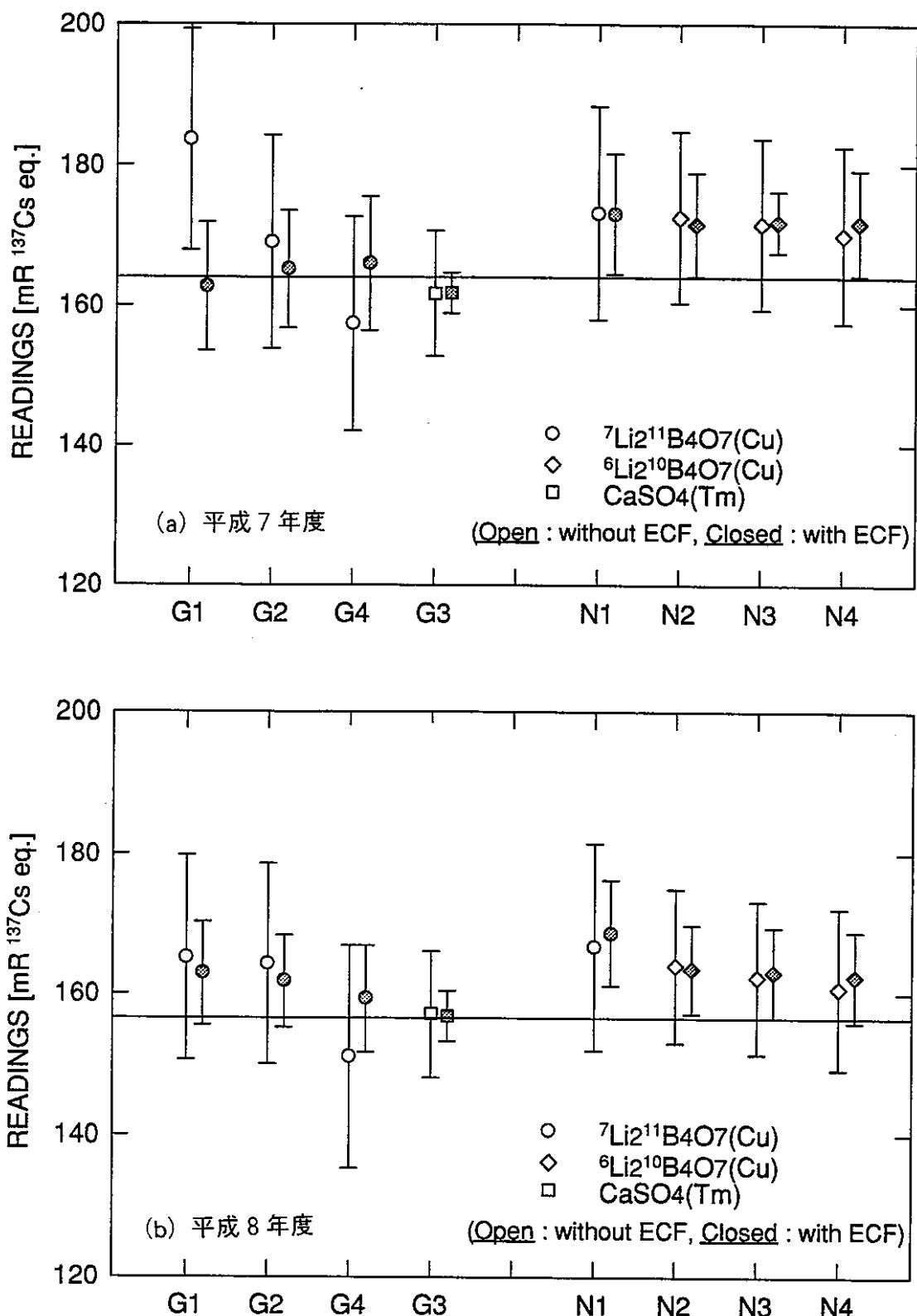


図 3-9 平均ECFを平成 7 年度及び平成 8 年度の感度検査結果に適用した結果

第4章 適用試験

個人被ばく管理業務に使用しているTLD線量計の中から無作為に幾つかの線量計を抽出して、安全管理別棟に設置しているTLD自動照射装置 (^{137}Cs) を用いて照射線量80～160mRの γ 線を照射し、その測定値に今回作成したECFデータベースの平均ECFを適用しない場合と適用した場合で評価値のばらつきがどのように変化するかを調べた。また、計測機器校正施設の ^{137}Cs γ 線自動照射装置を用いて照射線量10mRの γ 線を照射し、同様の効果を調べた。

TLD自動照射装置を用いて照射線量80～160mRの γ 線を照射した場合の試験結果を表4-1～表4-3に示す。平均ECFの適用によって、硫酸カルシウムTLDについては評価値のばらつきは2%未満まで小さくなった。また、ホウ酸リチウム系TLDについても、ばらつき5%程度まで小さくなっており、評価値の最大/最小比は全て1.3を下回った。

また、計測機器校正施設で10mRを照射した場合の結果を表4-4に示す。ホウ酸リチウム系TLDについては、ECFの効果はほとんど見られない。これは、10mR程度の低線量域では、TLDの感度の個体差よりも統計変動や残線量（未照射時の発光量）の個体差の方がより大きな誤差要因になるためである。一方、ホウ酸リチウム系TLDに比べて発光効率の大きい硫酸カルシウムTLDの場合は、10mR程度の線量域でも評価値のばらつきは約2%まで小さくなる。

以上より、今回作成した平均ECFによる評価値のばらつきの低減効果が確認された。

表 4-1 約80mR照射時の平均ECFの効果確認試験結果

種類	ECFの有無		G1	G2	G4	G1,2,4	G3
UD-808P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	85.5±10.0 11.7%	85.2± 6.8 8.0%	72.5± 1.8 2.5%	81.1± 9.1 11.2%	78.2± 5.4 7.0%
		最大値/最小値				1.36	1.18
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	83.2± 4.7 5.7%	81.8± 2.4 3.0%	77.7± 1.3 1.7%	80.9± 3.8 4.7%	79.7± 1.5 1.9%
		最大値/最小値				1.13	1.05
			N1	N2	N3	N4	N2,3,4
UD-809P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	88.9± 5.0 5.6%	81.6± 4.5 5.5%	79.7± 2.4 3.1%	83.4± 5.2 6.2%	81.6± 4.2 5.1%
		最大値/最小値	1.15				1.19
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	83.6± 3.5 4.2%	79.1± 1.6 2.0%	75.5± 3.9 5.2%	81.7± 3.7 4.6%	78.8± 4.0 5.1%
		最大値/最小値	1.10				1.25

(リーダー1号機で測定)

表 4-2 約160mR照射時の平均ECFの効果確認試験結果 (1)

種類	ECFの有無		G1	G2	G4	G1,2,4	G3
UD-808P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	151.2± 7.8 5.2%	160.6± 21.9 13.6%	143.0± 11.4 7.9%	151.6± 15.7 10.4%	154.2± 7.9 5.1%
		最大値/最小値				1.52	1.14
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	150.7± 2.4 1.6%	155.7± 11.2 7.2%	154.6± 6.3 4.1%	153.7± 7.3 4.8%	154.9± 3.0 1.9%
		最大値/最小値				1.21	1.05
			N1	N2	N3	N4	N2,3,4
UD-809P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	162.2± 15.9 9.8%	149.4± 5.6 3.7%	151.8± 9.4 6.2%	148.8± 13.5 9.0%	150.0± 9.3 6.3%
		最大値/最小値	1.26				1.27
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	168.4± 9.7 5.7%	147.2± 7.3 4.9%	158.1± 5.7 3.6%	151.6± 8.3 5.5%	152.3± 8.1 5.3%
		最大値/最小値	1.16				1.21

(リーダー1号機で測定)

表 4-3 約160mR照射時の平均ECFの効果確認試験結果（2）

種類	ECFの有無		G1	G2	G4	G1,2,4	G3
UD-808P 20個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	166.0±15.0 9.0%	169.0±15.8 9.4%	149.4±10.7 7.2%	161.5±16.1 10.0%	152.9± 8.1 5.3%
		最大値/最小値				1.50	1.29
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	163.5± 8.0 4.9%	163.1± 7.4 4.5%	160.7± 5.5 3.4%	162.4± 6.9 4.3%	154.7± 2.4 1.6%
		最大値/最小値				1.16	1.04
			N1	N2	N3	N4	N2,3,4
UD-809P 20個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	171.1±17.7 10.3%	168.4± 8.7 5.1%	166.5±12.0 7.2%	168.7± 9.2 5.5%	167.9± 9.8 5.8%
		最大値/最小値	1.39				1.29
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	168.8± 9.7 5.8%	164.6± 8.2 5.8%	165.2± 8.3 5.0%	168.8± 9.6 5.7%	166.2± 8.6 5.2%
		最大値/最小値	1.18				1.22

(リーダー1号機で測定)

表 4-4 10mR照射時の平均ECFの効果確認試験結果

種類	ECFの有無		G1	G2	G4	G1,2,4	G3
UD-808P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	12.6±1.9 14.9%	11.4±1.9 16.9%	11.9±3.3 27.6%	12.0±2.4 20.2%	10.3±0.5 5.4%
		最大値/最小値				1.91	1.22
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	11.7±1.4 11.6%	11.0±2.0 18.3%	13.3±3.4 25.5%	12.0±2.5 21.1%	10.5±0.3 2.5%
		最大値/最小値				2.74	1.08
			N1	N2	N3	N4	N2,3,4
UD-809P 10個	ECF 無し	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	10.4± 1.4 13.5%	11.9±2.2 18.8%	10.8±2.0 18.8%	11.1±2.0 17.7%	11.2±2.1 18.7%
		最大値/最小値	1.44				1.96
	ECF 適用	平均読取値 [mR ^{137}Cs eq.]	10.1± 1.5 14.7%	12.1±1.8 15.2%	11.1±2.0 17.7%	11.2±1.7 14.9%	11.5±1.8 15.9%
		最大値/最小値	1.45				1.67

(リーダー1号機で測定。測定時のゼロ点線量差引補正值は一律に2.5mRである。)

第5章 まとめ

(1) 平均ECFの適用について

平成6～8年度に実施したTLDの定期感度検査の結果を基に、現有する全てのTLD線量計（UD-808P 約7,000個、UD-809P 約6,000個）について個々のTLDの感度の不揃いを補正するためのECFデータセットを作成し、その効果を調べた。その結果、過去三年間分の定期感度検査の結果を利用して計算した平均ECFの適用によって、感度分布の幅がホウ酸リチウム系TLDについては約5%、硫酸カルシウムTLDについては約2%まで小さくなることが判明した。

また、この平均ECFの適用することで、JISに定めるTLDの感度の基準からのずれの許容幅（±13%以内）を現有TLDの90%以上が満足することが可能になる。

(2) 今後の予定

平成8年度より一部試験適用を開始したTLDグロー曲線解析システムをベースに、定期品質管理支援、ECFデータベース作成及び自動補正機能等を追加した「TLD線量評価支援システム（仮称）」を平成9年度に新たに構築する。今回作成したECFデータセットは、そのデータベースの初期入力値として使用する。平成10年度第1四半期を目標に個人被ばく管理実務へのECFによる感度の不揃いの自動補正の試験適用を開始し、平成10年度半ばからの本格適用を目指す。

また、「全社個人被ばく管理技術検討会」で、TLD定期感度検査試験における感度の許容限度の再設定と事業所間における品質管理基準の整合性について検討する。

なお、本報告書の試験結果は、平成8年度下半期の安全管理部小集団活動の一環として行った活動の成果をまとめたものである。

参考文献

- [1] JIS Z4520-1995 「熱ルミネセンス線量計測装置」
- [2] 野村保、二之宮和重、小松崎賢治、江尻明、磯野矢一、高安哲也
「TLD及びTLD読み取り装置の品質管理マニュアル」、PNC PN8520 93-002、1993
- [3] 辻村憲雄、江尻明、小松崎賢治、百瀬琢磨、篠原邦彦
「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（II）－感度補正係数の実務適用
に関する基礎的検討－」、PNC ZN8410 97-002、1996
- [4] B.Burgkhardt and E.Piesch
"A Computer Assisted Evaluation Technique for Albedo Thermoluminescence
Dosemeters", Radiat.Prot.Dosim., 2, 4, 221-230, 1982