

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討 (VI)
— 内部監査用線量計の運用準備試験の結果 —

1998年4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)

1998年4月

TLD測定値の信頼性の向上に関する検討 (VI) — 内部監査用線量計の運用準備試験の結果 —

辻村憲雄¹⁾、森田卓¹⁾、百瀬琢麿¹⁾、篠原邦彦¹⁾

要 旨

放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用している熱蛍光線量計 (TLD) の感度が品質管理の基準を満足しているかどうか、あるいは測定に使用するリーダーが適切に校正されているかどうかを定期的に、かつ客観的に確認することを目的に、TLDバッジの内部監査プログラムを計画し、試行した。

このプログラムは、放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用しているものと同様な手続きで作成したTLDバッジに対して計測機器校正施設の¹³⁷Cs照射装置を用いて既知量の線量を照射し、通常の測定処理と同様の手順で測定並びに線量評価結果を出力させるものである。平成9年度第3四半期から第4四半期に使用した内部監査用TLDバッジの測定結果は、何れも基準量に対して感度検査の許容範囲である±20%以内で一致することを確認した。

1) 安全管理部安全対策課

目 次

第1章	緒言	1
第2章	内部監査プログラム計画	2
2-1	実施手順	2
2-2	許容基準の設定	4
第3章	運用準備試験の結果	6
3-1	試験スケジュール	6
3-2	試験結果	7
第4章	今後の課題	12
第5章	まとめ	14
参考文献	15

第1章 緒言

動燃事業団東海事業所では、放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用している全ての熱蛍光線量計（TLD）並びにその読取り装置（リーダー）について、品質管理マニュアル[1]に従って定期的な品質の検査や点検を実施し、個人被ばく線量当量評価値の精度の確保に努めている。

品質管理のためのこれらの検査や点検は、個人線量計を使用して個人の被ばく線量を評価する上での必要条件と言えるものであるが、個人線量計から評価した被ばく線量の値の確かさという意味では比較の対象となる真の被ばく線量が定量できないため、品質管理プログラムが満足いく水準で実施されたかどうか、あるいは何らかの理由によってその結果に障害が生じていないかどうかを確認することができないという問題が指摘されている[2]。

そこで、放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用しているものと同様な手続きで作成したTLDバッジについて、

- ① 計測機器校正施設の ^{137}Cs γ 線照射装置を用いて既知量の線量の照射する。
- ② 通常の測定処理と同様の手順で測定並びに線量評価結果を出力させる。
- ③ 照射した線量と評価値が一致するかどうかを確認する。

という個人線量計に係る内部的な監査プログラムを計画し、平成9年度第3四半期から試行した。

本報告書では、平成9年度第3四半期から第4四半期まで試験的に実施した「個人線量計の内部監査」の結果をとりまとめ、今後、本プログラムを定常業務化する上で課題等を整理した。

第2章 内部監査プログラム計画

2-1 実施手順

内部監査プログラムの試験運用にあたってその計画を立案した。

まず、運用の概略図を図2-1に示す。以下、手順を説明する。

- (1) 内部監査用線量計は、放射線業務従事者用の次期分の個人線量計を作成（アニール・割り付け）するときと同時に作成する。監査の対象とする線量計は、TLDバッジ（ β/γ 線用）とし、定常業務で使用する線量計の中から無作為に抽出する。作成個数は、とりあえず四半期当たり18個とし、バッジケース表面に昇り順の1から18までの番号を書いたラベルを貼る。
- (2) 内部監査線量計は、作業モニタリング扱いとして作業モニタリング管理システムに作成時に登録した。ただし、このシステムは、登録された個人線量計は、放射線業務従事者が着用することを前提にデータ登録形式が構築されているため作業者の氏名、中央登録番号等の情報が必要になる。そのため、ここでは「作業環境線量評価用（通常は、指リング線量計等を用いたセル内の局所線量の評価に使用）」という位置付けで登録した。なお、「個人線量評価用」と「作業環境線量評価用」とで線量評価アルゴリズムに違いはないので、TLDバッジを「作業環境線量評価用」として登録したとしても何ら問題もない。
- (3) 準備した18個のTLDバッジのうち、一カ月につき6個を測定する。そのうち、3個は、計測機器校正施設で γ 線を照射し、残り3個は照射せずに線量計測係居室に保管しておく。
- (4) 内部監査用のTLDバッジの照射は、リーダーの月例点検用の照射（毎月20日頃）の際に行う。計測機器校正施設の ^{137}Cs γ 線照射装置を用い、PMMA製平板ファントム（30×30×15cm）上に粘着テープ等で固定し、 γ 線2.0mSv（1cm線量当量）を照射する。TLDバッジ等による線量当量評価結果は0.1mSv単位で出力されるので、2.0mSvを照射した場合には評価誤差5%までを評価することができる。
- (5) 照射したTLDバッジ（3個）と未照射のTLDバッジ（3個）を測定グループに預け、測定を依頼する。測定時期、リーダー機種番号は特に定めず任意とする。
- (6) TLD測定値から線量評価結果を自動計算させ、「線量計測定評価日報」を出力させる。照射した3個のTLDバッジについては次節で定める許容基準に入ること、未照射の3個については評価値が検出限界未満（“X”）と出力することを確認する。
- (7) 許容基準を満足しない場合、原因の調査などを行う。

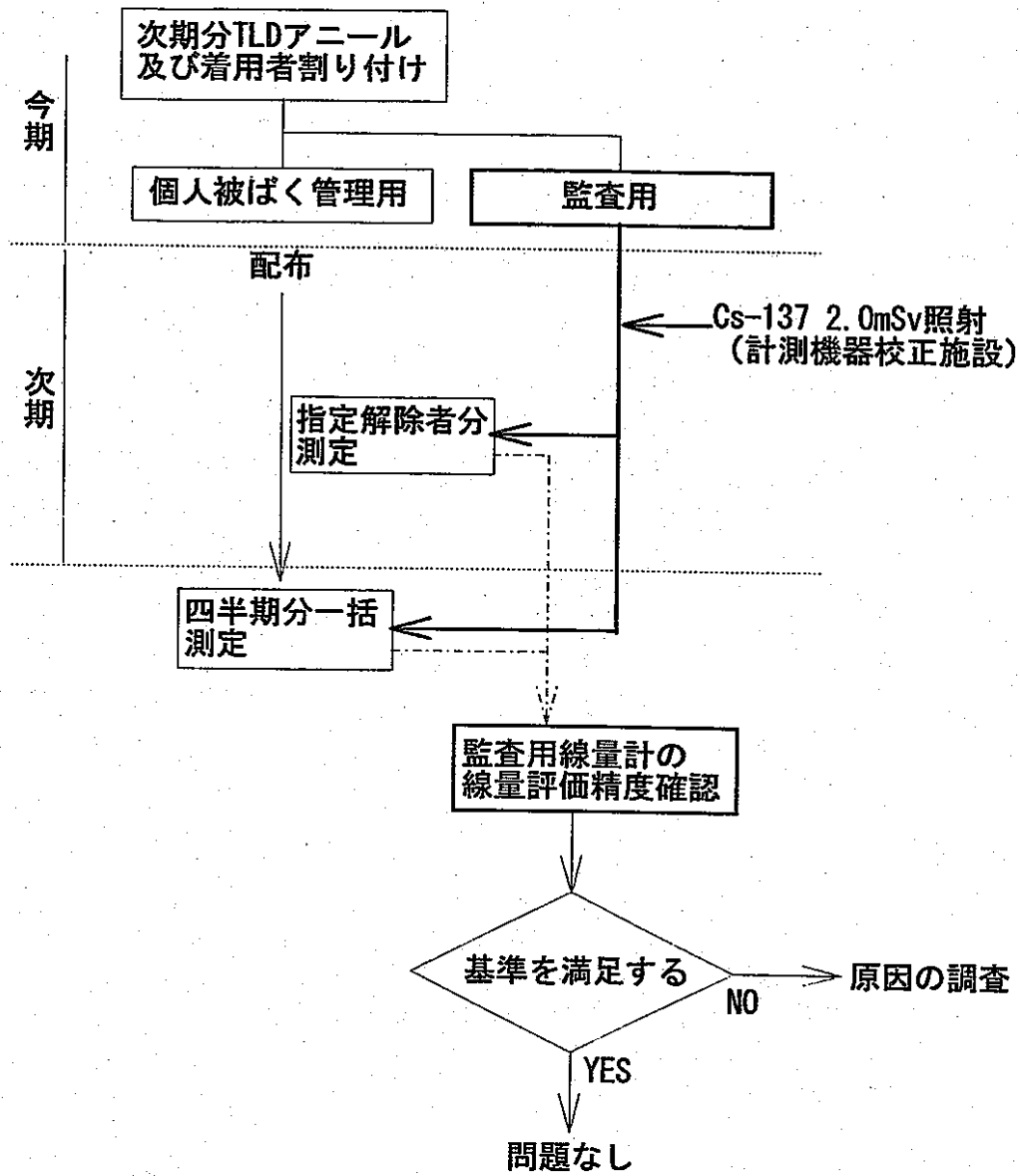


図 2 - 1 内部監査用線量計の運用方法の概略図

2-2 許容基準の設定

個人線量計の内部監査プログラムにおける線量評価結果を評価するための基本式を以下に示す。

$$|B| + S - \varepsilon \leq L \quad \dots (2-1)$$

ここで、

- B : 複数個の個人線量計から評価した線量当量平均値の基準値からの偏差
- S : 複数個の個人線量計から評価した線量当量値の相対標準偏差
- ε : 照射した線量の不確かさ（複数事業所間にまたがらない一事業所内の監査プログラムでは 0.0 を使用）
- L : 許容レベル

である。(2-1)式は、個人線量計の事業所間相互比較における線量評価結果の善し悪しを判定するため提案したものであり[3]、事業所内の内部監査プログラムでもそのまま転用する。

さらに評価結果の善し悪しの度合いを、個人線量計の測定処理業務や品質管理プログラムにおける現行の品質管理手法の改善やのさらなる品質の向上に確実にフィードバックさせるため、過去の個人線量計の事業所間相互比較の実績並びに現在のTLD及びリーダーの品質管理の基準等から、表2-2に示す「目標レベル」、「調査レベル」及び「是正レベル」の三段階の許容レベルとそのレベルを超えた場合の対応措置を定めた[3]。

表2-2 内部監査用線量計の評価精度確認のためのレベル

許容レベル	目標レベル	調査レベル	是正レベル
L	0.15	0.25	0.50

(1) 目標レベル

過去の事業所間相互比較の実績（平均値）から、設定した値であり、次の関係を満たしている場合、個人線量計による線量評価精度は良好に維持されていると判断する。

$$|B| + S \leq 0.15 \quad \dots (2-2)$$

現在の品質管理基準では、TLDの感度の個体差の幅（ 1σ ）はホウ酸リチウム系TLDで約8~10%、硫酸カルシウムTLDで約5%（共にECFを適用しない場合）であるので、特段の理由が無い限り(2-2)式は十分に満足できるレベルである。

(2) 調査レベル

リーダーの校正、TLD線量計の品質管理（感度の一様性の管理）等に何らかの問題あったと考えられるレベルであり、個人線量計による評価値がこのレベルを超え

た場合には、各事業所においてリーダーの校正の再確認、TLDの感度試験、再照射試験等を実施し、原因究明等必要な処置を講じなければならない。

次の関係を満足した場合、リーダー及びTLDの品質管理は基準内であると言える。

$$|B|+S \leq 0.25 \quad \dots (2-3)$$

調査レベルは事業団全体としての線量評価値の信頼度の維持、目標レベルは信頼度の向上を意図したものである。

(3) 是正レベル

是正レベルは、個人の被ばく線量を評価する上で重大な問題があった可能性を表すレベルであり、次の関係を満足しない場合、測定業務の一時中断と徹底した原因究明を必要とする。

$$|B|+S \leq 0.50 \quad \dots (2-4)$$

照射設備の値付け精度の再確認、リーダーの校正の再確認、TLDの感度試験等の結果、何らかの障害があることが判明した場合には、その障害の期間を特定し、必要に応じてその期間中の個人の被ばく線量の再評価、報告の訂正等の処置を講じなければならない。

第3章 運用準備試験の結果

3-1 試験スケジュール

平成9年第3四半期から第4四半期に、以下に示す作業件名で作業モニタリング用線量計配布依頼書を起案し、放射線業務従事者のTLDバッジと同様の手順で内部監査用のTLDバッジを作成した。

作業件名 「個人線量計の内部監査（平成9年度第3四半期）」
「個人線量計の内部監査（平成9年度第4四半期）」

本件におけるTLDバッジのアニール、照射及び測定スケジュールを表3-1と表3-2に示す。TLDの測定には自動リーダー（UD-7100P型）を使用し、1号機と2号機の選択及び測定日については測定グループに一任した。アニールから測定までの所要日数は、最短で17日間、最長で99日間である。なお、同時に測定した6個のTLDバッジを1つのグループとし、便宜的に記号A～Fを付番する。

表3-1 内部監査用TLDバッジの運用スケジュール（第3四半期分）

	グループA		グループB		グループC	
	照射用	未照射用	照射用	未照射用	照射用	未照射用
線量計個数	3	3	3	3	3	3
ラベル番号	No. 1~3	No. 4~6	No. 7~9	No. 10~12	No. 13~15	No. 16~18
アニール日	1997年10月20日					
照射日	10月27日 (2.0mSv)	—	11月21日 (2.0mSv)	—	12月24日 (2.0mSv)	—
測定日	11月6日		12月2日		1月14日	
測定リーダー	2号機		2号機		1号機	

表3-2 内部監査用TLDバッジの運用スケジュール（第4四半期分）

	グループD		グループE		グループF	
	照射用	未照射用	照射用	未照射用	照射用	未照射用
線量計個数	3	3	3	3	3	3
ラベル番号	No. 1~3	No. 4~6	No. 7~9	No. 10~12	No. 13~15	No. 16~18
アニール日	1998年1月5日					
照射日	2月6日 (2.0mSv)	—	2月26日 (2.0mSv)	—	4月2日 (2.0mSv)	—
測定日	2月10日		3月20日		4月14日	
測定リーダー	2号機		1号機		1号機	

3-2 試験結果

内部監査用のTLDバッジ（グループA）を測定した結果、出力された「線量計測定評価日報」を図3-1に一例として示す。「日報」に出力される線量評価値は、アニールから測定までのバックグラウンド線量を自動補正した値である。

(1) 線量評価結果

平成9年度第3四半期と第4四半期に照射/測定した内部監査用TLDバッジによる線量評価結果をそれぞれ表3-3、表3-4に示す。また、図3-1に、グループ別に基準値に対する評価値の比の推移をプロットしたものを示す。なお、図中には現時点でのTLDの感度検査の許容基準（±20%）も点線で示した。

照射した計18個のTLDバッジによるγ線1cm線量当量の評価値は、1.6～2.4mSvの範囲内であり、TLDの感度検査の許容範囲内であった。また、今回の試験結果からは系統的な過大あるいは過小評価の傾向は見られなかった。

未照射のTLDバッジについては、評価値はいずれも検出限界未満（<0.1mSv）であった。

(2) 調査レベル等との比較

(2-1)式からグループ別に、 $|B|+S$ を計算した結果を図3-2に示す。図中に点線で示した調査レベル、実線で示した是正レベルを超えるものはなかった。ただし、目標レベル内に入ったものは6グループ中僅かに1グループのみであった。

動力炉核燃料開発事業団
東海事業所 安全対策課
97年11月06日

< 測定処理口報 >

非常作業コード: 040 作業件名: 個人線量計の内部監査 (H9年度第3四半期) 管理区分: 97-10 測定日: 97年11月06日

所属課室名: 安全対策課 (nth) MS-1 MS-2 MS-3 (単位: mrem)
N-F (nf) 1105 200ST1 200ST2 (r) 2005

氏名	非定常NO	G-1	G-2	全身γ	B-1 開始	B-2 終了	ひずみβ	N-G	N-TH	N-EP	測定値
001	0225	0183	180	0212 1020-1231	0224 1020-1231	0	-	-	-	-	-
002	0205	0205	200	0223 1020-1231	0202 1020-1231	0	-	-	-	-	-
003	0206	0180	170	0229 1020-1231	0199 1020-1231	0	-	-	-	-	-
004	7044	7058	0	7054 1020-1231	7052 1020-1231	0	-	-	-	-	-
005	7045	7028	0	7019 1020-1231	7023 1020-1231	0	-	-	-	-	-
006	7038	7084	0	7084 1020-1231	7043 1020-1231	0	-	-	-	-	-
007				1020-1231			-	-	-	-	-
008				1020-1231			-	-	-	-	-
009				1020-1231			-	-	-	-	-
010				1020-1231			-	-	-	-	-
011				1020-1231			-	-	-	-	-
012				1020-1231			-	-	-	-	-
013				1020-1231			-	-	-	-	-
014				1020-1231			-	-	-	-	-
015				1020-1231			-	-	-	-	-
016				1020-1231			-	-	-	-	-

図3-1 線量計測定評価日報の一例

表3-3 監査線量計の測定結果 (第3四半期分)

No.	7-2-1日	照射日	測定日	照射量 [mSv]	評価値 [mSv]	評価値/照射値	
1 (8823671)	10/20	10/27	11/ 6	2.0	1.8	0.90	
2 (8823893)	10/20	10/27	11/ 6	2.0	2.0	1.00	0.92±0.08
A 3 (8824281)	10/20	10/27	11/ 6	2.0	1.7	0.85	
4 (8824896)	10/20	-	11/ 6	-	X	-	-
5 (8824345)	10/20	-	11/ 6	-	X	-	-
6 (8824363)	10/20	-	11/ 6	-	X	-	-
7 (8824921)	10/20	11/21	12/ 2	2.0	1.8	0.90	
8 (8824929)	10/20	11/21	12/ 2	2.0	1.6	0.80	0.90±0.10
B 9 (8824965)	10/20	11/21	12/ 2	2.0	2.0	1.00	
10 (8824975)	10/20	-	12/ 2	-	X	-	-
11 (8825007)	10/20	-	12/ 2	-	X	-	-
12 (8825027)	10/20	-	12/ 2	-	X	-	-
13 (8835457)	10/20	12/24	1/14	2.0	2.0	1.00	
14 (8835467)	10/20	12/24	1/14	2.0	2.4	1.20	1.00±0.20
C 15 (8835623)	10/20	12/24	1/14	2.0	1.6	0.80	
16 (8835713)	10/20	-	1/14	-	X	-	-
17 (8835719)	10/20	-	1/14	-	X	-	-
18 (8835723)	10/20	-	1/14	-	X	-	-
四半期平均						0.94±0.13	

Xは検出下限未満(<0.1mSv)を意味する。

表3-4 監査線量計の測定結果 (第4四半期分)

No.	7-2-1日	照射日	測定日	照射量 [mSv]	評価値 [mSv]	評価値/照射値	
1 (8970780)	1/ 5	2/ 6	2/10	2.0	2.2	1.10	
2 (8970782)	1/ 5	2/ 6	2/10	2.0	2.1	1.05	1.10±0.05
D 3 (8970804)	1/ 5	2/ 6	2/10	2.0	2.3	1.15	
4 (8970808)	1/ 5	-	2/10	-	X	-	-
5 (8970812)	1/ 5	-	2/10	-	X	-	-
6 (8970820)	1/ 5	-	2/10	-	X	-	-
7 (8970822)	1/ 5	2/26	3/20	2.0	1.6	0.80	
8 (8970824)	1/ 5	2/26	3/20	2.0	1.7	0.85	0.83±0.03
E 9 (8970844)	1/ 5	2/26	3/20	2.0	1.7	0.85	
10 (8970848)	1/ 5	-	3/20	-	X	-	-
11 (8970860)	1/ 5	-	3/20	-	X	-	-
12 (8970862)	1/ 5	-	3/20	-	X	-	-
13 (8970864)	1/ 5	4/ 2	4/12	2.0	1.7	0.85	
14 (8970866)	1/ 5	4/ 2	4/12	2.0	1.6	0.80	0.83±0.03
F 15 (8970874)	1/ 5	4/ 2	4/12	2.0	1.7	0.85	
16 (8970880)	1/ 5	-	4/12	-	X	-	-
17 (8970888)	1/ 5	-	4/12	-	X	-	-
18 (8970890)	1/ 5	-	4/12	-	X	-	-
四半期平均						0.92±0.14	

Xは検出下限未満(<0.1mSv)を意味する。

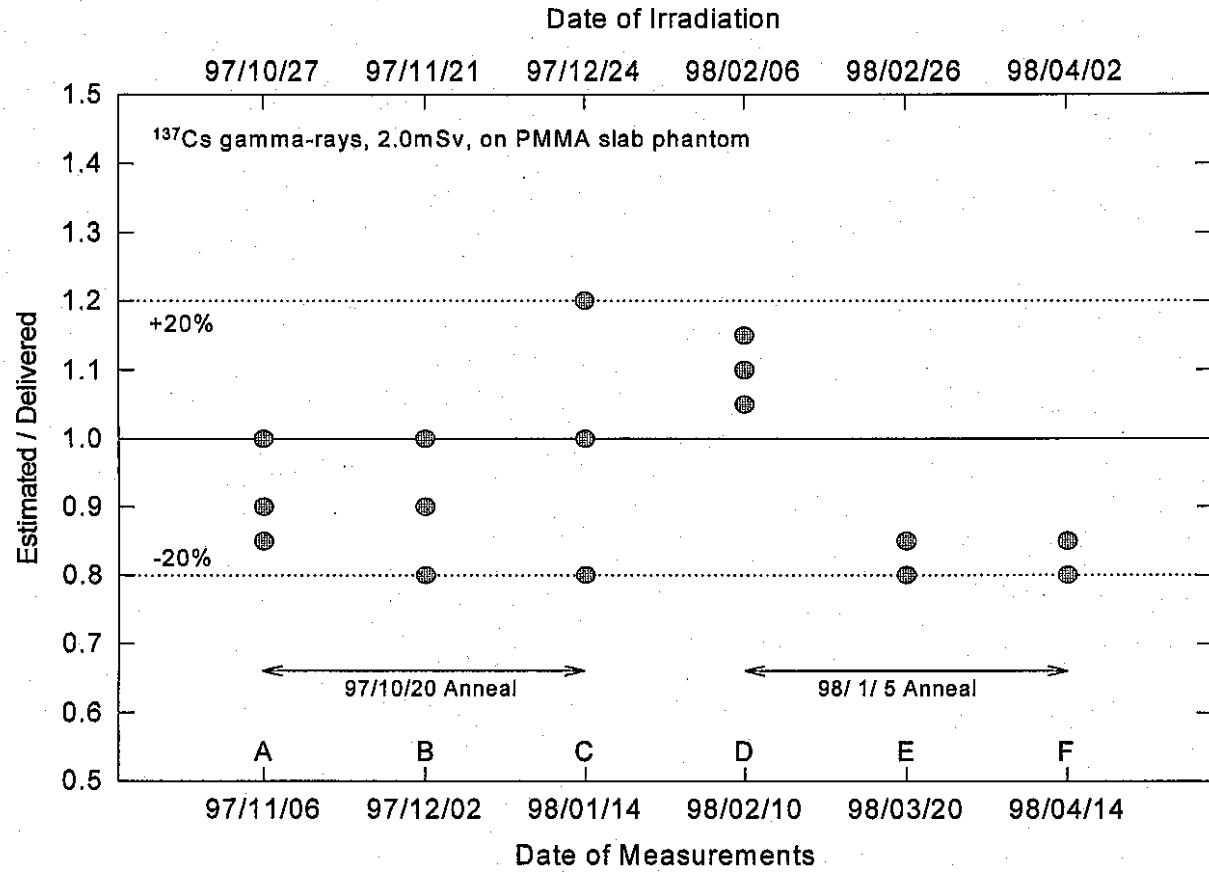


図3-2 内部監査線量計による線量評価結果の基準値に対する比

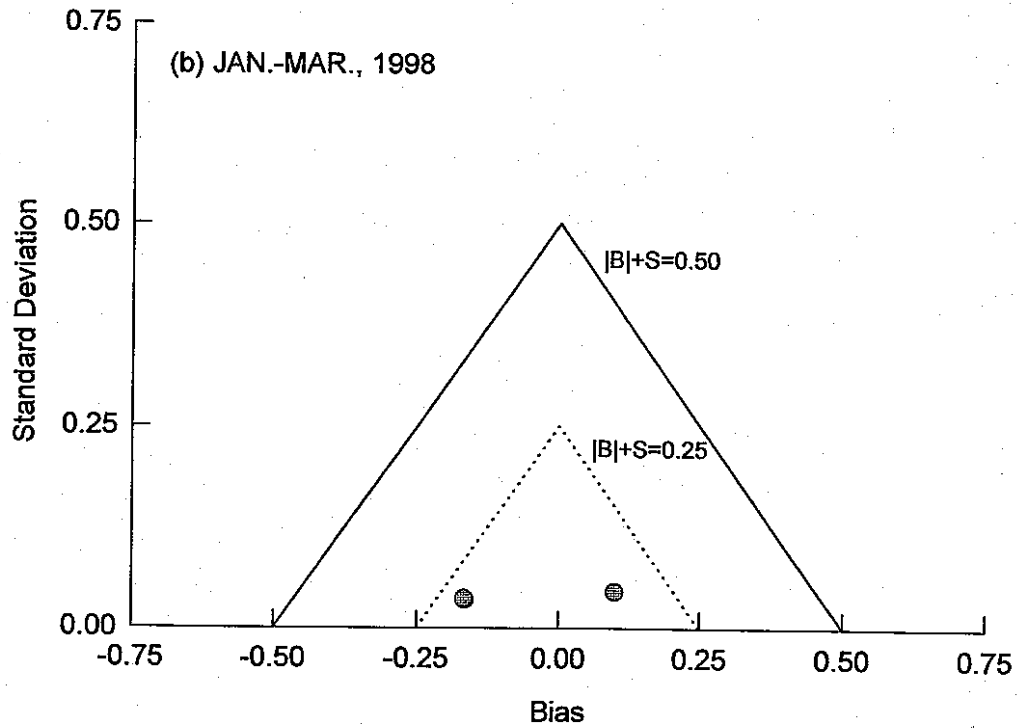
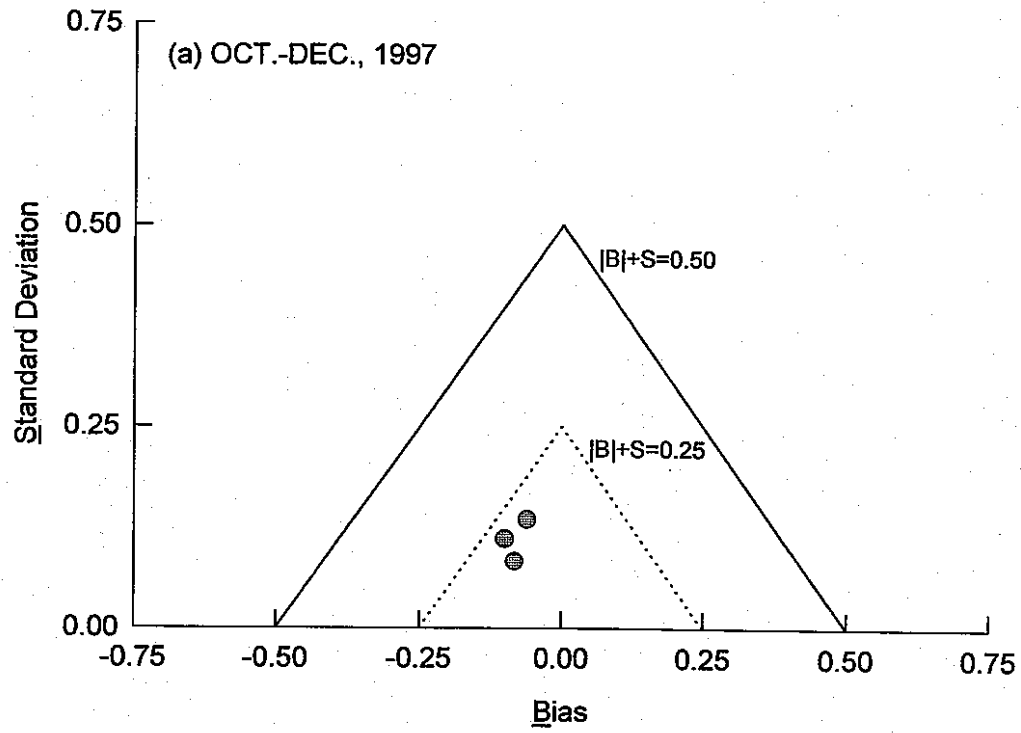


図 3 - 3 監査線量計測定結果の調査レベル等との比較

第4章 今後の課題

(1) 内部監査用線量計の登録に係る課題

平成9年度に実施した内部監査線量計の運用準備試験では、作業モニタリング扱いとして作業モニタリング管理システムに登録した。ただし、このシステムは、定常モニタリング用の個人線量計の発行・測定等を一元的に管理しているホスト計算機上のサブデータベース(SDB)とは独立に、TLD測定室内のパソコンで運用しているものであり、パソコンの耐用年数や運用面で問題が生じてきている。

そのため、作業モニタリング管理システムをホスト計算機に移設し、定常モニタリング用の個人線量計と全く同じような形態で運用することを現在試行しているが注1)、SDBのデータベース構造は「放射線業務従事者が着用する個人線量計を管理する」という前提で設計されているため、内部監査用線量計のように着用者の氏名や中央登録番号等の情報をそもそも持っていない線量計は登録・管理できない。

従って、内部監査用線量計による線量評価結果を定型の日報として出力をさせるためには、仮の氏名、中央登録番号及び所属部課室名といった情報をもとに線量計を登録しておく必要があるが、定期的に行う放射線業務従事者の被ばく統計処理の際に内部監査用線量計のデータを検索・集計しないようにSDBの既存のユーティリティプログラム群を変更する必要がある。

(2) 内部監査用線量計の個数と監査カテゴリーについて

今回の運用準備試験では、四半期当たり18個のTLDバッジを使用した。"監査"としてはサンプル数が少なすぎるので、将来的には四半期当たり100個程度、年間にして400個程度を内部監査用として使用するべきである。400個/年は、年間の総測定件数の約1.5%に相当する。

また、監査のカテゴリーについては今回の試験では ^{137}Cs の γ 線のみを対象とした。TLDの感度検査やリーダーの校正は ^{137}Cs の γ 線を基準にしているため、品質管理のプログラムが手順通りに、許容範囲内で維持されているかを確認するという目的では十分と言える。ただし、線量評価アルゴリズムの定期的な確認あるいはアルゴリズムを改訂したときの線量評価結果の検証という目的のため、将来的には β 線(^{90}Sr - ^{90}Y)、低エネルギーの γ 線(^{241}Am)、さらに中性子線(^{252}Cf 等注2))まで監査のカテゴリーを広げるべきであろう。

また、指リング線量計についてもこうした監査を開始する。

(3) 監査用線量計の照射作業の分担について

監査用線量計の照射とその測定・評価は今回の試験では係内で実施した。しかし、より客観性を持たせるため、将来的には監査用線量計の照射を他グループ(例えば、

放射線管理第1課の計測グループ)に一任するという方法も考えられる。

(4) 各種の補正計算及び系統誤差のチェック体制について

内部監査用線量計のうち未照射のTLDバッジの測定結果は、バックグラウンド線量が正しく補正されているかどうかの定期的な確認として利用できる他、平成10年度から運用試験を開始する予定の「TLD線量評価支援システム」のTLDの感度の個体差の補正機能、ゼロ点線量補正機能のデバッグ等にも有用である。

また、照射済みTLDバッジによる線量評価結果が基準内であったとしても系統的に過大あるいは過小評価の傾向が見られる場合には、リーダーの校正に使用しているTLDと個人被ばく管理業務で使用しているTLDの感度差が原因と考えられるので、そうした系統的な誤差に関するチェック体制を確立していく必要がある。

(5) 内部監査プログラムの位置付け

現在の個人外部被ばく管理業務では、TLDの作成及び測定までを、あくまでも事業団の業務に対するサポートとして、すなわち業務協力という体制で実施している。しかし、近年、業務そのものがかなり定型化してきていること、並びに作業手順書類が整備されつつあることなどから、将来的には業務委託というかたちでTLDの品質管理、TLDの作成・測定から評価までの作業を分離する方向で現在検討を進めている。こうした場合、今回試験運用した監査用線量計による線量評価結果のチェックは事業団側の主業務になる。

注1) 平成9年度に作業モニタリング用SDBの整備作業及び起動試験を行った。平成10年4月から本格的な動作試験を行っている。

注2) 現在の中性子線量当量評価式は、プルトニウム燃料取扱施設の平均的なエネルギー分布に合わせて校正定数などが設定されている。そのため、 ^{252}Cf による核分裂中性子に対してはエネルギー分布の違いにより3倍程度過大に線量当量が評価・出力される。

第5章 まとめ

放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用している個人線量計（TLD）の感度が品質管理の基準を満足しているかどうか、あるいは測定に使用するリーダーが適切に校正されているかどうかを定期的に、かつ客観的に確認することを目的に、TLDバッジの内部監査プログラムを計画し、試行した。

このプログラムは、放射線業務従事者の個人被ばく管理に使用しているものと同様な手続きで作成したTLDバッジに対して計測機器校正施設の¹³⁷Cs照射装置を用いて既知量の線量の照射し、通常の測定処理と同様の手順で測定並びに線量評価結果を出力させるものである。平成9年度第3四半期から第4四半期に使用した内部監査用TLDバッジの測定結果は、何れも基準量に対して感度検査の許容範囲である±20%以内で一致することを確認した。

この内部監査プログラムによって、個人線量計による線量評価値の確かさについて定期的に、かつ客観的に確認でき、さらにその評価結果の善し悪しをTLDの品質管理やリーダーの月例点検にフィードバックさせる体制が確立した。本内部監査プログラムは平成10年度以降も継続する。

なお、本報告書は平成9年度下半期の安全管理部小集団活動の成果をまとめたものである。

参考文献

- [1] 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読取り装置の品質管理マニュアル」、PNC PN8520 93-002、1993
- [2] 辻村憲雄、百瀬琢磨、篠原邦彦
「TLD個人線量計測システムの品質保証 - 現状と今後の課題 -」
PNC ZN8410 98-012、1997
- [3] 辻村憲雄、百瀬琢磨、篠原邦彦
「個人線量計の事業所間相互比較の結果と考察（昭和55年度～平成7年度）」
PNC ZN8410 98-043、1998