

TLD個人線量計測システムの品質保証

－ 現状と今後の課題 －

1997年12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個人線量計測システムの品質保証

－ 現状と今後の課題 －

辻村憲雄¹⁾、百瀬琢磨¹⁾、篠原邦彦¹⁾

要 旨

個人モニタリング・プログラムの結果の社会的信頼性を確保するため、熱蛍光線量計(TLD)並びにTLD読取り装置の品質、点検記録、測定員の資質、マニュアル、手順書類、トレーサビリティ等を含んだ品質保証の体系について、現状の問題点と課題を整理し、とりまとめた。

問題点として、TLD等の品質管理試験結果の統計処理が不十分であり、その結果についての定期的なレビューがなされていないこと、TLDによる線量評価精度に対する要求水準が明確に定まっておらず外部監査的なチェック体制が確立していないことなどを挙げ、対応策を立案した。また、米国の個人線量測定品質保証プログラムを調査し、現在の業務体制と比較した。なお、本報告書は、平成9年7月に安全管理部保安連絡会で発表した内容を資料化したものである。

1) 安全管理部 安全対策課

目次

第1章	緒言	1
第2章	米国の個人線量測定品質保証プログラムとの比較	2
第3章	個人線量計測システムの品質保証	3
3-1	測定処理業務について	3
3-2	人員について	19
3-3	関連文書類について	20
第4章	まとめ	22
参考文献		23
補足説明		24
付録A	DOELAP現地調査項目への適合状況	28
付録B	JIS Z4320「熱ルミネセンス計測装置」への適合状況	42

第1章 緒言

現在、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）並びにTLD読取り装置（TLDリーダー）を利用して得られる測定値から個人の被ばく線量を評価するまでの業務の品質保証を考えたとき、その目的は「個人線量データの社会的信頼性の確保^{注1)}」にある。ここでは、「品質保証」の定義を「品質の機能が十分に発揮されていることを確信するに足る証拠を全ての関係者に提供する活動」と考え、これを達成するため、TLD並びにその読取り装置の品質、点検記録、測定員の資質、マニュアル、手順書類、トレーサビリティ等を含んだ品質保証の体系について、現状の問題点と課題を整理しとりまとめた。

また、現在、TLD並びにTLDリーダーの定期品質管理試験等で使用しているデータ処理用ソフトウェアは、総数約16,000個（平成9年12月現在）のTLDの品質管理を効率的に実施していくことを目的に昭和61年度に整備したものであるが、統計処理機能が貧弱であること、蓄積したデータを多目的に活用できるような、いわゆる“データベース”としての機能が無いこと、さらに、データ処理用ソフトウェアを作動させているパソコンは、IBM互換機等の世界的主流になりつつある機種と互換性の無い機種であり、既に生産中止になっているという問題点がある。そのため、従来の品質管理データ処理用ソフトウェアに、データの統計処理機能や各種の補正機能等など新たな機能を追加した「TLD線量評価支援システム（仮称）」[1]を現在開発中であり、そのシステムに盛り込む主要な機能についても本報告書で整理している。

なお、本報告書は、平成9年7月3日に安全管理部保安連絡会で発表した内容を資料化したものである。

注1) Julianの定義による。なおJIS Z 8101（品質管理用語）によると、品質管理とは「買手の要求にあった品質の品物又はサービスを経済的に作り出すための手段の体系」と定められており、製品の出荷前の活動、特に生産者が製品を経済的に作り出すことに重点が置かれている。一方、品質保証は「消費者の要求する品質が十分に満たされていることを保証するために、生産者が行う体系的な活動」と定義され、上記の品質管理よりもさらに広範囲の活動が含まれる。

第2章 米国の個人線量測定品質保証プログラムとの比較

個人線量計測システムによる個人線量データの信憑性を対外的に立証する際、最も確実に説得力のある方法は、第三者による外部監査/審査の導入であり、西欧諸国等では、こうした制度が1980年代の半ば以降運用されている。国内はこうした制度が未整備の段階であるが、後述する現地調査の際の審査項目は、TLDやTLDリーダーなどの”ハード”の品質管理のみならず、測定値から被ばく線量を評価するまでの一連の手順や人員の資質等といった”ソフト”の品質保証体系を整理・検討する上で参考になるので紹介する。

米国では、個人線量測定サービス会社等を監査を目的とした二種類の個人線量測定品質保証プログラムが運用されている。エネルギー省(DOE)傘下の研究機関を対象とした DEOLAP(DOE Laboratory Accreditation Program for Personal Dosimetry Systems)[2]、個人線量測定サービス会社を含むその他一般を対象とした NVLAP(National Voluntary Laboratory Accreditation Program for Personal Dosimetry Systems)[3] と呼ばれているが、基本的な内容はほぼ同じである。

このプログラムでは、二年おきに個人線量計の線量評価能力に関する試験(ブラインドテスト)と、測定機関の技術能力や施設・設備等の検査を行う現地調査(on-site assessment)により、各測定機関の審査を行っている。現地調査は、表2-1に示すような個人線量測定業務の全般にわたる合計100項目以上の内容について、外部の専門家による主にインタビュー形式で実施される。これらの審査項目の詳細、及びそれらの項目を東海事業所における個人被ばく管理の実際業務あるいは関連マニュアル類に照らし合わせた結果を付録Aにまとめた。業務協力員を含めたスタッフ員の訓練・資格の認定等を除けば、概ねDOELAPの要求事項をクリアしている状況にある。

表2-1 現地調査における審査項目(DOELAP)

審査項目	項目数
総則 (General)	1
人員(組織、資格、訓練) (Personnel)	20
機器・設備 (Equipment and Facilities)	13
品質保証 (Quality Assurance)	9
個人線量計 (Dosimeters)	
- 総則 (General Criteria)	17
- TLD (Thermoluminescence Dosimeters)	16
- フィルム線量計 (Film Dosimeters)	32
校正 (Calibration)	4
測定・評価 (Processing)	15
報告 (Records)	2
試験 (Testing)	2

第3章 個人線量計測システムの品質保証

3-1 測定処理業務について

DOELAPの現地調査の内容等を考慮し、TLDの準備・配布から個人の被ばく線量を確定するまでの業務の項目を業務の流れに沿ってまとめ、それぞれの業務を実施する際の注意事項や確認事項を図3-1にまとめた。合計20個の項目があるが、これらの確認事項について、現状と課題をまとめたものを表3-1に示す

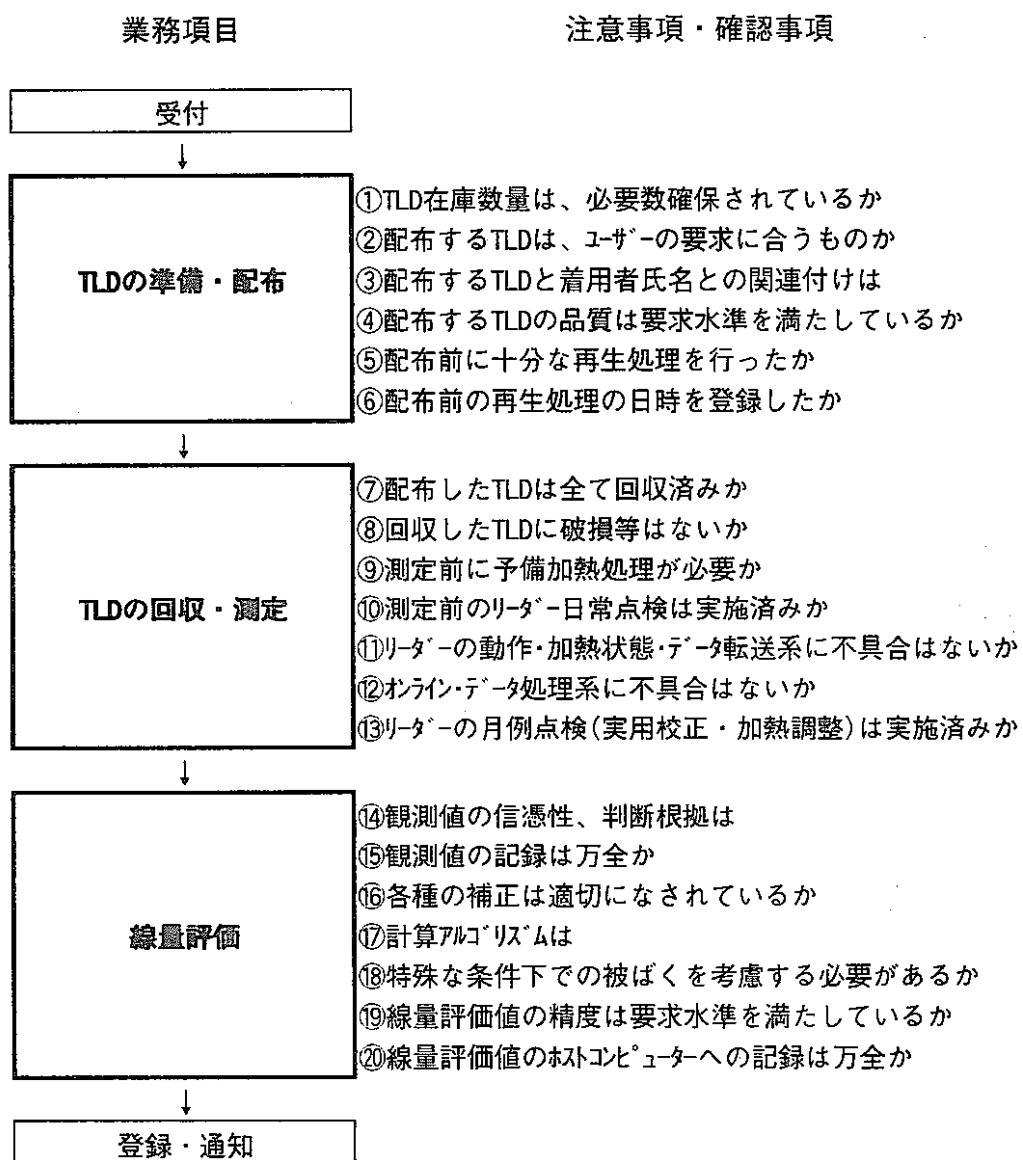


図3-1 個人線量当量を評価するまでの業務における注意・確認事項

表 3-1 個人線量計測システムの業務項目別の現状と課題

項目	現状	今後・課題
① <u>TLDの在庫数量について</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ TLDの定期品質管理試験の結果を報告（四半期報告、年間報告）している。内容は、保有総数、合格数、不合格数（原因内訳）など ・ 新規購入時の受け入れ検査の報告あり ・ 在庫はデータベース化されていない ・ 工程連絡会（毎月1回開催）で、在庫数と四半期毎の使用予定数を報告している。ただし、その報告様式・内容は改善の余地有り 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 在庫管理の考え方を整理中 ・ これまでの品質管理試験結果の推移を分析し、社内資料化した。 ・ 在庫データベースを作成する。内容は、個体番号、購入年度、検査記録シート、総加熱回数、総積算線量、使用の可能的有無、使用不可であれば廃棄日と廃棄理由等 →「線量評価支援システム」
② <u>配布するTLDは、ユーザーの要求に合うかどうか</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原則的に従事者指定申請書に基づく ・ 特別な場合を除いて、線量計測係側からは指導しない ・ 立入施設と必要な線量計の関連が不明な部署がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被ばく形態に応じた必要な線量計の周知（TLD受付窓口にポスターを掲示するとか） ・ 「TLDバッチニュース」の定期的発行による教育 ・ 立入施設と必要な線量計の種類に関連表を作成（放管と協力して毎年作成する）
③ <u>配布するTLDと着用者氏名の関連付け</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ アニール済みTLDの番号が自動的に付番できるよう、システム化されている ・ ラベルシールのバッチケース張り付けと照合は手作業 ・ 「個人認識タグシステム」の取扱いについては現在マニュアル無し 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「個人認識タグシステム」関連のマニュアル作成
④ <u>配布する線量計の品質は要求水準を満たしているか</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ TLD定期品質管理試験（年一回実施、検査項目は外観、感度、ゼロ点線量） ・ 新規購入時受け入れ試験 ・ 「品質管理データ処理用ソフトウェア」を使用、ただし統計処理機能は貧弱であり、データ処理は限りなく手動に近い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ PNC要求水準とJIS等の要求水準の兼ね合いの整理 →要求水準の変更 ・ 「品質管理データ処理用ソフトウェア」の更新・自動化の促進 →「線量評価支援システム」、「外観検査装置」 ・ 統計処理の充実と各種補正のためのデータベースの作成 →「線量評価支援システム」 →①のTLD品質管理試験結果報告へ反映、年間総まとめの定常業務化 →要求水準と品質水準の比較・分析 →ECF、残線量補正を適用した場合の品質水準 ・ TLDの定期感度検査の結果と、③のリーダ-実用校正に使用するTLDの感度差の定量とその基準の設定 ・ TLDの感度検査に使用するTLD自動照射装置の位置付け

表 3-1 個人線量計測システムの業務項目別の現状と課題（続き）

項目	現状	今後・課題
⑤ 配布前に十分な再生処理を行ったか	・自動化されており、再生処理していないTLDを配布することとは無い	・何をもって“十分な再生処理済み”とするか？ 特に大線量の照射を受けたTLD（硫酸カルシウム）を再生処理するのに必要な回数が設定 →実験的確認要 →あるレベル以上の線量るとき、プリンターにフラグを自動的に打ち出す（パラメータ50、51の再設定）
⑥ 配布前の再生処理日時を登録したか	・自動化されている ・プリンター出力した紙を保管している。	
⑦ 配布したTLDは全て回収済みか	・個人台帳などで確認 ・未回収の状態では被ばく報告することはシステムの構造上ありえない	・個人台帳のデータベース化
⑧ 回収したTLDに破損等は無いか	・バックケースのβ線窓、樹脂フィルターの破損は回収時に目視で確認 ・洗濯、水没の有無は、ラベルのしみなどから判明 →着用者に事実確認 ・指リング線量計のガラスンプル割れは、測定時に目視で判明 →着用者に事実確認	・バックケースのβ線窓や樹脂フィルターの破損の場合、線量の評価に測定値をそのまま適用できるかどうかの検討が必要
⑨ 測定前に予備加熱処理が必要か	・定常業務での使用実績無し	・フリアニール適用試験の結果をとりまとめ中 →マニュアル化する →温度管理に注意、また必要の判断の基準の設定
⑩ 測定前のリーダー-日常点検は実施済みか	・日常点検を実施 ・電源投入後、ウォームアップ時間に制限あり	・日常点検の項目の再設定 →ランプモニター機能 →ランプ電力量、加熱時間サイクル等のモニター機能 →タミ線量計の測定・健全性確認
⑪ リーダーの動作・加熱状態・データ転送系に不具合は無いか		・不具合があった場合の測定方法 →バックアップ用リーダー（手動型UD-706P）の整備 →東海一大洗リーダー-互換性試験の定常業務化
⑫ オンラインデータ処理系）に不具合はないか	・基本的には問題無し ・ただし、ホストコンピュータが運転を停止した場合は、多数の測定処理は難しい	・将来的には、ホストコンピュータではなく係内のワークステーションなどで一連の業務ができるような体制を検討

表 3-1 個人線量計測システムの業務項目別の現状と課題 (続き)

項目	現状	今後・課題
⑬ リダーの月例点検 (<u>実用校正・加熱調整</u> は実施済みか)	<ul style="list-style-type: none"> ・定期的に実施 <ul style="list-style-type: none"> 実用校正 (読取り感度の校正) 基準有り (報告) 加熱調整 基準有り (報告) パラメータ変更 (報告) 継続性確認用TLD (F棟素子) の測定結果 →未報告 ・月例点検結果を報告 ・概略的なマニュアルは有るが手順書がない ・「月例点検データ処理用ソフトウェア」を使用 ・高線量校正の際の照射はF棟TLD自動照射装置を利用している。→高線量校正時の報告様式は特別無し (通常の月例点検の報告様式に併書き) ・実用校正に使用するTLDの代表性が不明確 	<ul style="list-style-type: none"> ・「実用校正」、「ルーチン」、「基準」のTLDの分類と相互の関連付けを明確化 ・継続性確認用TLD (F棟素子) の測定結果の位置付けを強化←JISの再現性基準を適用 ・高線量校正は原則的に校正室を利用する ・加熱調整の考え方 <ul style="list-style-type: none"> ランプ交換時 徹底的にやる (調整) ランプ交換の無い月例点検 それなりにやる (維持) ・加熱調整時の Pre dose/Main dose/Post doseの相互関係に対する基準の再設定 ・ランプ交換時の加熱調整には、照射直後の酢酸リウムも利用 ・ランプ交換時のゼロ点線量確認の際には、ゼロ点線量の程度の異なる幾つかのグループのTLDを利用し、微調整する (ゼロ点線量差引補正値が複数リーダー間で同程度になるよう) ・ゼロ曲線の加熱調整への適用 ・詳細な手順書を作成 ・月例点検記録の年間のトレンドのとりまとめと分析
⑭ 測定値の信憑性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・複数TLD間の相互発光関係、Pre dose/Main dose/Post dose比、ダークカウント、ref-light値等から確認しているが、全て手作業である ・大線量時にはβ/γ指リング用TLDについては再測定を実施 ・マニュアルに「総合評価」の考え方、発光異常時の考え方が簡単なながらある ・異常値の経験則をまとめた資料有り ・測定担当者と評価担当者によるダブルチェック ・日報にTLD個体番号を打ち出しできるようにしたので、ゼロ曲線の検索・確認が可能になった。また、Pre dose/Main dose/Post dose比によるスクリーニング機能を試験的に「ゼロ曲線解析システム」に組み込んだ (Version2から)。 ・「個人線量計測定評価日報」にTLD個体番号を打ち出しできるようにしたので、必要に応じて品質管理記録に戻れる 	<ul style="list-style-type: none"> ・Pre dose/Main dose/Post dose比、ダークカウント、ref-light値等による確認作業の自動化、並びにダークカウント、ref-light値のトレンド表示 <ul style="list-style-type: none"> →「線量評価支援システム」 ・必要に応じてゼロ曲線を確認→「線量評価支援システム」 ・複数TLD間の相互発光関係については、ECF適用後に、ホストコンピュータ側で自動的に識別 (あやしげなものにフラグを立てる程度) ・硫酸カルシウムTLDと酢酸リウムTLDによる低線量域でのダブルチェック機能の強化 (ホストコンピュータ側での自動処理) ・必要に応じてTLD品質保証書 (在庫管理データベースそのもの) を出力 ・β/γ指リング用TLDについては1回目と2回目の測定値の関連を調査中

表 3-1 個人線量計測システムの業務項目別の現状と課題 (続き)

項目	現状	今後・課題
⑮ 測定値の記録は万全か	<ul style="list-style-type: none"> ・プリント出力、グロ-曲線を保管 (グロ-曲線についてはリーダー-1号機のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> ・全数のグロ-曲線データを保管 →「線量評価支援システム」 →定期的なバックアップをマニュアル化 (システム管理者選任で)
⑯ 各種の補正は適切に なされているか	<ul style="list-style-type: none"> ・現在はエネルギー依存性の補正のみ ・感度の個体差 (ECF管理) は適用せず ・残線量については、個体差に関係なく一律に差し引き 	<ul style="list-style-type: none"> ・ECF、残線量の個体差補正 →「線量評価支援システム」 →補正が適切かどうかは⑩の内部監査プログラム参照 ・フェーディング補正については保留 ・ファントム校正をせずに実用校正で代用しているため応答特性に関するバックデータを充実させておく必要有り ・中性子線に関する校正の考え方、特にフィルター校正に関する整理が必要 (現在、検討中) →フィルターに応じた補正係数の設定・準備
⑰ 計算アルゴリズム	<ul style="list-style-type: none"> ・計算式はマニュアル記載通り (かなりのバグを退治した) ・計算アルゴリズムの改訂履歴については前任者が、改訂日、改訂内容、プログラムリストを保存している 	<ul style="list-style-type: none"> ・アルゴリズム改訂時の確認項目、検査用入力データ等の整備 ・発光関係による判定機能、フックの日報への自動打ち出し
⑱ 特殊条件下での被ばく に関する特別な考慮の 必要性	<ul style="list-style-type: none"> ・現在は「不均等被ばく」を考慮している (不十分な点はあるが一応システム化されている) ・紛失・破損時の取扱いに関する手順書無し ・臨界事故等に対する備えはできていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・50mSvを超えるような被ばくがあった場合の対処項目 ・紛失・破損時の取扱マニュアル
⑲ 線量評価値の精度は要 求水準を満たしている か	<ul style="list-style-type: none"> ・そもそも線量評価精度に関する要求水準、実現可能な水準がはっきりしない ・事業所間相互比較を定期的実施しているが、内部監査的な位置付けにはなっていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業所間相互比較を内部監査としてマニュアル化 ・事業所内監査プログラム (コントロール線量計) →TLD線量計の割付処理時にタミ-の中央登録番号、所属でTLD線量計を作成し、校正室で照射、ルーチンの線量計と一緒に測定する→日報に出力 →評価値と照射量との相違を調べる →⑯の補正の効果の確認、システム全体としての線量評価精度の検証 →バックグラウンドコントロールとしても使用可 ・事業所間相互比較の試験項目の再設定 ・国際相互比較への積極的参加と成果の公開
⑳ 線量評価値のSDBへ の記録は万全か	<ul style="list-style-type: none"> ・何ら修正項目が無い場合にはシステム化している ・修正がある場合は、ホストコンピュータ端末から手入力 ・手順書は一応ある 	<ul style="list-style-type: none"> ・不均等被ばく、作業ミタリク結果との照合作業の自動化

以下、個別に説明する。

① TLDの在庫数量について

現在使用している品質管理データ処理用ソフトウェアには「在庫管理機能」が整備されているが、機能不足等の理由により事実上活用されていない。そのため、約16,000個（平成9年12月現在）に及ぶ線量計の使用の可否を一覧表にまとめた個人線量計台帳に相当するものは無く、保有総数のみが把握されている状況にある。従って、早急に現在の品質管理データ処理用ソフトウェアを更新する必要がある。

本機能は今年度開発する「TLD線量評価支援システム」に盛り込む予定であり、現在、既存の品質管理データ処理用ソフトウェアに記録されている在庫管理のデータを抽出する作業を実施している。新たに作成する在庫管理データベースの記録の内容は、TLDの個体番号毎の購入年度、使用の可否、廃棄理由（使用回数の耐用限度超え、感度不良、残線量不良、ホルダー等破損、蛍光体の劣化・飛散、ドーム混濁、ベーステープ破損、水没、発光異常、紛失等）であり、廃棄理由については下表のように記号化して記録することを予定している。

表3-2 在庫管理データベースの記録項目（案）

個体番号	バッチ番号	購入年度	使用の可否 (可1/否0)	廃棄年度と理由		
				年度	理由	備考
8820001	1	82年 4月	1	-	-	-
8820002	1	82年 4月	0	89年	A	-
8820003	1	82年 4月	0	91年	B	-
...
8960001	10	96年 3月	1	-	-	実験用

また、工程連絡会（各工程の責任者による定例の連絡会議）で、使用可能個数と次の四半期の使用予定個数を報告し、個人線量計の不足等が生じないように調整している。ただし、使用可能個数の内数である現在着用中の個数、回収済みでこれから測定する個数、新たな線量計として準備可能な個数とが、明確に把握されていないという問題点があり、ホストコンピューターのサブデータベース（東海事業書個人被ばく管理システムの一部、作業用のテンポラリーファイルである。以下、「SDB」と言う。）の情報を活用するなどして、詳細な在庫数量を把握できるような方法を検討している注2)。また、年度始めに、各部課室に対して放射線業務従事者数の年間の増減数（前年度と比べての）をアンケート調査するなどして、年間の使用予定個数を推定し、必要に応じて不足分を新規に購入する等の措置を講じることが

注2) 平成9年10月より対応した。

できるような体制を整える必要がある。

② 配布するTLDは、ユーザーの要求に合うものか

配布する個人線量計は、TLDバッジの他に指リング線量計（ γ 線用、 β/γ 線用の二種類）、不均等被ばく管理のための頸部用TLDバッジなどがあるが、それらの選択は原則的に放射線業務従事者指定申請書（申請課起案）による申請に基づいている。ただし、同一の部課室・作業内容であっても申請された線量計の種類が統一されていないケースが稀に見られるため、放射線業務従事者指定申請の段階で、必要な個人線量計の種類やモニタリング期間の選択が作業環境の放射線状況と照らし合わせて適切なものであるかどうかを、施設を所轄する放射線管理部門がチェックしたり、TLDの受付時に線量計測係側で再度確認するようが体制を確立する必要がある。

③ 配布するTLDと着用者氏名の関連付け

アニール済みのTLDの個体番号が、自動的に着用者に付番するようシステム化されており、SDBを検索することで、どのTLDを誰が着用しているかを随時検索することができる。

また、平成8年度より運用を開始した「個人認識タグ・システム」については、その取扱方法が現在マニュアル化されていないので、早急に作成する必要がある。

④ 配布するTLDの品質は要求水準を満たしているか

現在、保有する全数のTLDについて、年一回の定期品質管理試験を実施し、感度並びにゼロ点線量の値が基準内であること、外観等に異常のないことを確認している。ただし、これらの検査結果は、データベース化されておらず、大規模な統計処理がなされていない。そのため、現在の品質管理データ処理用ソフトウェアに、必要な機能を追加し更新していく必要がある。

また、TLDに関する東海事業所の品質管理基準[4]とJISの要求水準[5]を比較した結果（付録B参照）、東海事業所のTLDの感度の個体差の許容範囲は、JISの要求を満足していないことが判明した。そのため、個々のTLDの感度の個体差を予め実験的に定量し線量評価の段階で補正することによって、JISの要求水準を満足するような体制を整備する必要がある。この際、定期品質管理試験で得られた感度検査のデータをその補正に適用することが可能なことを実験的に確認しているので[6][7]、更新する品質管理データ処理用ソフトウェアにこうした補正係数のデータベースを作成するような機能を追加していく。

また、定期品質管理試験の結果を年度末に報告しているが、その内容は許容範囲を満たさないTLDの数量のみであり、例えば全数のTLDの感度分布の幅がどの程度で

あるか、ゼロ点線量の平均値とその標準偏差はどの程度か、製造バッチ(batch)別の不合格率はどの程度なのか、といったことについてはこれまで全く分析されていない。このためこれらの統計処理結果を資料化するなど、定期的なレビューを実施する。

⑤ 配布前に十分なアニールをおこなったか

配布前のアニール処理から、着用者氏名の付番までの流れは自動化されており、アニールしていないTLDを配布することはシステムの構造上あり得ない。

ただし、大線量の照射を受けたTLDについては、一回のアニール処理では蛍光体中に蓄積されたエネルギーが十分に消去できない場合がある。そのため、測定値の大小に応じた必要アニール回数を設定する必要がある。例えば、個人被ばく管理業務で使用しているTLDバッジのうち、不均等被ばく管理のため頸部に装着するTLDバッジのエLEMENT G3 (CaSO₄(Tm)) の場合は、特有のエネルギー依存性により発光量が最大50mSv相当(線量当量に換算して約5mSv)に達することがある。

また、TLDを一斉にアニールする際に、十分アニールされていないもの判別するような基準を設定し、自動化を促進していく。

⑥ 配布前のアニール日時を登録したか

アニール日時のSDB登録はシステム化されており、特段の問題もない。

なお、TLDのアニール及び測定日時は、リーダーに内蔵のCPUの内部クロックによるものであるが、それについてはリーダーの運転前に行う「日常点検」で確認している他に、ホストコンピューターにデータを転送するパソコン側の内部クロックと照合した後、ホストコンピューターに転送している。

⑦ 配布した線量計は全て回収済みか

個人線量計の回収時に各部課室から提出してもらう「個人線量計回収チェックリスト」及び「個人線量計管理台帳」にて確認する。さらに、回収した線量計を測定した後、予めSDBに登録していた配布線量計リストと測定済み線量計とを照合して、未測定分をリスト出力し最終的な確認を実施している。このため、個人線量計を未回収あるいは未測定の状態、個人の被ばく線量を評価・報告することはない。

⑧ 回収した線量計に破損等はないか

バッジケースのβ線入射窓、1000mg/cm²樹脂フィルターの破損等については、回収時に目視で確認している。また、線量計の水没(洗濯等)の有無については、線量計表面に張り付けているラベルのインクの滲みから判断できるため、着用者に電話で事実確認を行っている。また、バッジケースのふたの留め金が破損し、バッ

ジケース中のTLDを着用者が適切ではない位置に入れて返却する場合は極く稀にあるが、そのような場合はケースのふたが完全に閉まらないような構造になっているため、回収時に判断できる。

なお、DOELAPの現地調査の項目にある「線量計の放射性核種による汚染」については、管理区域からの退出時に身体表面サーベイにて確認済みである。

⑨ 測定前に予備加熱処理が必要か

現在のモニタリングプログラムでは、初期フェーディングによる影響を防ぐため、TLDを回収した翌日に測定することとしている。ただし、緊急の測定時や放射線従事者指定の解除を急ぐ場合に迅速にTLDを測定する手法として、主ピーク温度よりも低温度でTLDを加熱処理し強制的に初期フェーディングによる影響を排除する手法を検討している。現在、その試験結果をとりまとめ中であり、今後マニュアル化する予定である。

⑩ 測定前のリーダー日常点検は実施済みか

⑪ リーダーの動作・加熱状態・データ転送系に不具合はないか

測定前に必ず、ディスプレイの表示確認、動作確認、光学系の感度確認を実施し、またリーダーの動作設定パラメーターをプリンター出力し、前日の設定と変わっていないことを確認している。ただし、その出力フォーマットは数値データの羅列であり、個々のパラメーターの意味、その数値を識別しやすい形態にはなっていないので改善を要する。

さらに、リーダーの各機能に異常がないことの確認を徹底するため、今後は、次の項目についても日常点検の項目に加えることを検討する。

- ・ランプモニターを利用した加熱サイクルの健全性確認
- ・光電子増倍管の温度の計測による冷却ファンの健全性確認
- ・電源投入時のウォームアップ並びにシステム全体の機能の健全性の確認を目的とした1マガジン分（計50個）程度のダミー線量計の測定

また、現在、TLDバッジ用手動リーダー（型式UD-706P）の実運用準備を行っている他、大洗工学センター保有のTLD自動リーダーと東海事業所の自動リーダーの互換性確認試験を平成8年度に試験的に実施したなど、TLD自動リーダー故障時のバックアップ体制の準備を進めている。

⑫ オンライン・データ処理系に不具合はないか

ホストコンピューターが故障した場合、あるいは休日（土日）や夜間等でホストコンピューターの運転が停止している場合、個人被ばく線量の計算・評価ができないという問題がある。少人数であれば、TLDのオフライン測定値と「個人線量計管

理台帳」に記載している線量計の個体番号、着用者の氏名、アニール日より手計算あるいはパソコン（表計算ソフト等注3）より個人の被ばく線量を計算することが可能であるが、多人数の場合は迅速な評価は難しい。

そのため、SDBに登録されている、現在着用中の個人線量計の個体番号、着用者氏名、アニール日の情報をテキスト形式で毎週末に線量計測系の端末にダウンロードしておき、線量計の測定データと結合させ、ホストコンピューターと同じアルゴリズムで個人の被ばく線量を計算するような計算プログラムを準備しておく必要がある。

⑬ リーダーの月例点検（実用校正・加熱調整）は実施済みか

現在、毎月一回、TLDリーダーの月例点検を行い、実用校正（TLDの熱蛍光のリーダー読取り感度の校正）並びに加熱調整を実施している。実用校正は、TLD並びにTLDリーダーシステムの国家標準とのトレーサビリティを確保する上で、また加熱調整は適正な条件でTLDを測定する上で欠くことのできない作業である。

ただし、現在のリーダーの月例点検には以下のような問題点がある。

- a) 実用校正に使用するTLDの抽出条件が不明確であり、個人被ばく管理業務で使用するTLDに対する代表性が明確になっていない。両グループの感度中心（平均感度）が一致していれば何ら問題もないが、もしずれているならば系統的な誤差の要因になる。実用校正で使用する線量計、個人被ばく管理業務で使用する線量計、さらに新規購入時等の際の基準とする線量計の間の関連性を明確にしておく必要がある。詳細については補足資料を参照のこと。
- b) 継続性確認用TLD（月例点検終了後、点検の前後でTLDの読取り条件が変化していないことを確認するため使用する線量計であり、安全管理棟のTLD自動照射装置で約1.6mSv照射する）の位置付けが明確化されておらず、その結果が月例点検報告書等に反映していない。JISの再現性の基準である「10回の繰り返し測定における個々のTLD測定値の変動係数 $\leq 7\%$ 」を、月例点検の際の基準として導入することを今後検討する。。
- c) 高線量域での校正（周波数カウンターの校正）の際、現在はTLD自動照射装置を用いて校正に使用するTLDを照射しているが、TLD自動照射装置はJISで言う「実用照射装置」に該当しないため、今後は計測機器校正施設の ^{137}Cs 照射装置を原則的に使用する必要がある。

注3) PC9821 Na12の”TLD.EXE (version 1.3)”、Power Macintosh 7600/132の「線量評価支援ホルダー」内の表計算ソフト(Excel)が使用可。

- d) 月例点検等で実施する加熱調整を、厳密な調整を目的としたものと維持確認を目的としたものの二種類に分け、点検実施項目、基準等を見直す必要がある。前者の加熱調整は主に加熱ランプを交換した場合、後者の加熱調整は加熱ランプの交換を伴わない場合に適用する。
- e) 維持確認を目的とした加熱調整の点検実施項目は、現状通りで良いと考えられるが、加熱状態が適切であるかどうかを判断するためのパラメーターである硫酸カルシウムTLDの Post/Main比に、より厳密な基準を適用すべきである。現在のマニュアル[4]では Post/Main比が10~25%ならば適正としているが、これは熱容量が一個一個異なるTLD全てに対する許容範囲であるので、加熱調整の際に同じTLDを常に使用するという条件のもとでは、例えばデフォルトとして定めた値 Post/Main比15%に対して±10%以内（すなわち13.5%~16.5%内）といったような基準の方が、加熱状態を維持するという目的では堅い条件と言える。加熱調整に使用するTLD素子を変更する場合にのみ、デフォルトの Post/Main比を再設定する。
- f) 厳密な調整を目的とした加熱調整の際には、新たに二種類の点検項目を追加する。追加する点検項目は、照射直後（10分）のホウ酸リチウムTLDの Pre/Main比の確認と、ゼロ点線量のレベルの異なる複数のグループのTLDの測定によるゼロ点線量レベルの厳密な確認である。前者は、副ピークと主ピークを適切に分離し、フェーディングの影響を小さくするための点検項目であり、松下産業機器株式会社の資料によると、約2mSv照射し10分後に測定した場合の Pre/Main比が 1.0~1.2の範囲内のとき適正としている。また、後者については、ゼロ点線量確認用TLD（過去に被ばく歴の無い専用のもの）の他に、ルーチンで使用している最古のバッチから抽出したもの、過去の品質管理試験で残線量が基準を満足しなかったもの等を新たに利用し、これらグループ間のゼロ点線量の関係を調べることで、特に複数リーダー間のゼロ点近傍での微妙な加熱状態の整合をとることができる[8]。
- g) 加熱調整で使用する一連の条件パラメーター（加熱ランプの印加電圧、ランプ点灯時間）を変更した場合のグロー曲線の変化等を調べ、資料化する。それを参考に、加熱調整に関する詳細な手順書を作成する。
- h) これまで、月例点検の結果のとりまとめ、結果に対する定期的なレビューを実施していない。最近、平成8年度に行ったTLD自動リーダーの月例点検記録を社内資料[9]としてとりまとめたので、平成9年度以降の分についてはそれをベースに年度始めを目安に社内資料化する。また、リーダーの故障・修理記録、OSのバージョン（現在はIBM-DOS 6.3）、リーダー制御ソフトウェア（7100P.EXE）の改訂履歴とバージョン情報等も同時に資料化していく。
- また、"scandisk"や"defrag"等のOSコマンドを使用し、ハードディスクの定期的なメンテナンスを実施する。

⑭ 測定値の信憑性は

現在は、複数TLD素子間の相互発光関係、Pre dose/Main dose/Post dose比、ダークカウント、ref-light値、並びにグロー曲線からTLD測定値の妥当性、異常発光等が無いことを確認しているが、一部システム化されているものを除き、全て手作業である。そのため、今後、以下の項目について整理する。

- a) Pre dose/Main dose/Post dose比、ダークカウント、ref-light値を常時監視し、マガジンチェンジャーに装填したTLD全数の測定終了後、そのトレンドを表示したり、異常値を自動検索できるようシステム化する。
- b) 必要に応じてグロー曲線を検索し、専用プリンターにTLDの個体番号、簡単な判定結果とともに出力できるようシステム化する。
- c) 複数TLD素子間の相互発光関係については、感度補正係数の適用前提に、ホストコンピューター側で異常な発光値を識別し、「個人線量計測定評価日報」に判定フラグを打ち出すような判定アルゴリズムを作成する。また、低線量域での線量評価精度の向上を目的に、ホウ酸リチウムTLDと硫酸カルシウムTLDによるダブルチェックをプログラム化する。
- d) 平成9年3月より、「個人線量計測定評価日報」にTLD線量計の個体番号も表示するよう出力プログラムを変更したので、その番号を検索キーに品質管理データベースの中から目的とする線量計の品質管理記録を検索し、図3-2に示すような「TLD品質管理帳票」として専用プリンターに出力できるようシステムを構築する。

⑮ 測定値の記録は万全か

現在は、ホストコンピューターに測定値が自動的に転送される他、プリンター出力や、一部グロー曲線として保存しているが、今後は、全数の測定データをグロー曲線として記録する。記録の定期的なバックアップの体制の整備（マニュアル化）や専任のシステム管理者（Windowsユーザー）を育成する必要がある。

⑯ 各種の補正は適切になされているか

現在は、個々のTLDの感度の個体差の補正はしておらず、またゼロ点線量についてはその大小に関係なく一律の値（ $25\mu\text{Sv}$ 相当）を差し引いているが、今後は、両補正共にそれぞれのTLDの品質に応じた自動補正を行う。この際の補正係数は、④のTLDの品質管理試験結果の統計処理結果を基に作成する。また各種の補正が適切になされているかどうかについては、⑰で説明する「事業所内監査プログラム」を導入することで定期的な確認が可能になる。

また、これは⑰にも関係するが、リーダーの読取り感度の校正の際に、現在は「ファントム校正」を行わず「実用校正」で代用しているため、ファントム装着時

図 3 - 2 個別管理帳票 (案)

種類 (UD-808P)		個体番号 (8970001)		安全対策課線量計測係								
検査種別	年月日	ILMN ト	感度検査	ECF	残線量検査	外観検査	総加熱回数	積算線量	備考			
購入時	97年 5月	E1	-20%	○	1.00							
		E2	+10%	○	1.00							
		E3	+ 1%	○	1.00							
		E4	-15%	○	1.00							
定期	98年 5月	E1										
		E2										
		E3										
		E4										
定期 (再検査)	98年 6月	E1										
		E2										
		E3										
		E4										
定期	99年 7月	E1										
		E2										
		E3										
		E4										

における特性データを充実させるとともに、中性子線に対する「校正」の考え方を整理し、トレーサビリティ体系における「フィールド校正」の位置付けを明確にしておく必要がある。この詳細については補足説明を参照のこと。

⑰ 計算アルゴリズムについて

ホストコンピューターの線量計算アルゴリズムについては、専任の管理者を置き、プログラムの改訂履歴（改訂内容、改定日、プログラムリスト等）を保存している。現在、前任者を含め計3名の者が線量計算アルゴリズムにアクセスしたり改訂したりすることができるが、外部の者が勝手に改変を加えること等がないことを保証するため、ダミー入力用のTLD測定値を用いた計算アルゴリズムの簡便な健全性確認プログラムを用意するなどして日々確認することが望ましい。

⑱ 特殊条件下での被ばくに関する特別な考慮が必要か

特殊な被ばく管理の形態として、鉛エプロン着用時の被ばく形態を想定し、現在は「不均等な被ばく形態での個人被ばく管理」を考慮している。ただし、例えば、高線量率下でのセル内作業などの場合は、体表面に対して多方向から入射するような条件に近いと考えられるが、こうした条件下における個人の被ばく線量（実効線量当量）を評価する際の考え方について十分整理されているとは言い難い。これまでに実施していた様々な特殊放射線作業、あるいは今後予定している特殊な放射線作業での被ばく形態を整理し、過不足無く個人の実効線量当量を評価する上で、必要な個人線量計の個数と装着位置を細分化したあとで、改めて合理的な個人被ばく管理ができるよう類型化していくような措置を講じる必要があるかもしれない。また、従来の作業モニタリングを、作業管理のためのモニタリングと作業計画のための（実験的な意味合いを含む）モニタリングに分けるという考え方もある。

また、放射線業務従事者の実効線量当量限度（50mSv/年）を超えるような被ばくが仮に生じた場合、対応措置として、使用したTLDやリーダーの品質管理記録の証明書、測定記録（グロー曲線）、あるいは必要に応じてTLDの感度等の再試験が必要になると考えられる。こうした際の対応措置・手順についてマニュアル化しておく必要がある。なお、「特殊な被ばく条件」には該当しないが、個人線量計の紛失・破損等の際の取扱いに関する手順書が現時点で用意されていないので準備する必要がある。

⑲ 線量評価値の精度は要求水準を満足しているか

TLDによる線量評価結果から、図3-1に示した流れ図のうち⑥のTLD線量計の品質管理あるいは⑬のリーダー月例点検に線量評価上、重大な障害をもたらすような問題があったかどうかを常時監視するような体制が整備されておらず、またそもそ

もTLDによる線量評価精度に対する要求水準が明確に定められていない。そこで、線量評価結果の善し悪しをTLDの品質管理やリーダーの校正にフィードバックするような二種類の内部監査プログラムを新たに導入する。

a) 事業所間監査プログラム

事業所間監査プログラムは、従来、「個人線量計の事業所間相互比較（通称「クロスチェック」と呼称）」として、事業団の各事業所を対象に例年実施されているものであり、これまで不明確であったその位置付けを品質保証プログラムの一環として改めて位置付け直したものである。昭和55年度から平成7年度まで過去16回分の事業所間相互比較の結果を分析し、線量評価結果に対して目標レベル（15%以内）、調査レベル（25%以内）、是正レベル（50%以内）の三段階の許容範囲を設定し、これらのレベルを満足しているかどうかによって各事業所のTLDやリーダーの品質管理の水準が分かる。なお、設定したこれら許容範囲の数値の根拠については社内資料[10]を参照のこと。

b) 事業所内監査プログラム

事業所内監査プログラムは、上述の事業所間監査プログラムとは異なり、各事業所単位で独立した監査プログラムである。具体的には、TLDの作成の段階で、ダミーの氏名（コントロールA等）、中央登録番号、部課室名でTLDバッジ等の個人線量計を作成して計測機器校正室で既知量の線量を照射し、それをルーチンの測定処理業務の中に混ぜ、通常の手順通り「個人線量計測定評価日報」に出力させるものである。評価結果の善し悪しの判断は、前述の目標レベルを適用し、例えば2.0 mSv照射した線量計については、1.7～2.3mSvと出力されれば、TLD並びにリーダーの品質の水準が適切な状態に維持されていると判断することができる。また、許容範囲内であっても、年間を通して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、実用校正に使用しているTLDとその他のTLDとの感度中心がずれている可能性が考えられるので、こうした場合には実用校正に使用しているTLDを再抽出するといった措置を講じる必要がある。また、本監査プログラムは、⑩のTLDの感度の個体差の補正やゼロ点線量の補正等が適切になされているかどうかを確認する目的でも活用できる。

また、個人線量計国際相互比較の結果を動燃技報等に公開していく。

⑩ 線量評価値のSDBへの記録は万全か

定常モニタリング用の個人線量計については、システム化されており、TLD測定値並びに線量評価値は自動的にSDBに登録される。ただし、「不均等被ばく管理」、「作業モニタリング管理」については、TLD測定室に設置しているホストコンピュータとは独立のパソコンで計算し、定常モニタリング結果と相違がある場合のみ、その値をSDBに手動により入力するという方法が現在採られている。複

数の間人により誤入力がないよう確認しているが、線量評価値のSDBへの記録をより確実なものにするため、他の社内資料[11]でも述べているように、今後は「不均等被ばく管理」、「作業モニタリング管理」共に、その管理システムをSDBの一部としてホストコンピューターに移設すべきである。

3-2 人員について

表2-1に示したDOELAPの現地調査の項目からも分かるように、DOELAPでは個人線量計測システムの品質保証体系のうち、スタッフ員の訓練・教育、並びに資格認定等についてかなりのウェイトを割り当てており、事業団においても、職員並びに業務協力員等の階層別教育の準備・導入が計画されている。

線量計測係では、これまで主にOJTによる人員の育成を行ったきたが、個人の技術レベルのさらなる向上を図るため以下のような対策を行ってきた。

a) 技術情報交換会

平成7年度より、係内の技術系の職員・業務協力員を対象とした技術情報交換会（通称「コロキウム」）を月一回の頻度で開催し、各自の職務内容の紹介、機器の取扱説明、マニュアル類の解説、各種の調査結果等について発表している。

b) 小集団活動の活性化

定常業務の改善を目的とした小集団サークルの他に、TLDの品質管理技術の開発に係わる専門の小集団サークルを設置し、R&D的なアプローチによる問題解決型の活動を展開している。その成果をこれまでに計4冊の社内資料としてまとめており、若手技術者の教育の一環として活用されている。

また、今後の課題として以下に示す3項目を抽出した。

a) 業務協力員の職能基準の作成

現在、業務協力員については、職員の職能基準に相当するものが無いため、新たに作成する。例えば、TLDの測定処理に使用する機器類の取扱、線量計並びに機器類の点検や校正に関する業務を遂行する際の、資格の認定やその資格認定に必要な経験年数や教育・訓練の項目を明確に定める必要がある。

b) 機器・パソコン類のシステム管理者の専任

機器・パソコン類のシステム管理者が現在は明確に定められていないため、これを専任する。システム管理者は、機器毎に日々の点検記録類や関連文書類の整理、また必要に応じてハードディスクのバックアップ等の責任を有する。

c) 業務の割り当ての見直し

外部被ばく管理に係わる現在の職務体制では、図3-1に示した業務の流れのうち、「線量計の準備・配布（①～⑥）」並びに「線量計の回収・測定（⑦～⑫）」までを業務協力員（総括責任者1名、測定員4名）が、「線量評価（⑭～⑳）」までを職員（2名）が担当している。また、この他に④⑬のTLD線量計並びにリーダーの品質管理を職員（1名）が担当している。

このうち、職員が担当している、⑭～⑰及び⑳の線量評価に係わる業務、④のTLD線量計の品質管理、並びに⑬のTLDリーダーの校正業務については、ある程度

ルーチン化しているので、「TLD線量評価支援システム」を整備するなどしてデータ処理を自動化したり、手順書を新たに作成するなどして、徐々に業務協力員に移行していくべきである。一方、職員は、ルーチン業務の指揮・監督の他に、例えば、⑱の特殊な被ばく条件に対する対応、⑲の線量計監査プログラムの結果・品質管理試験結果の報告類の監査や総括的レビュー等の定期的実施、マニュアル類の作成・管理、設備更新計画などルーチン業務を支援するために必要な関連業務、研究開発（文献調査、学会発表、論文投稿、成果報告書の作成）、JIS等の外部コンサルティング業務等に専念できるような体制を早期に確立したいものだ。

3-3 関連文書類について

個人被ばく管理業務の内容や考え方を記した「個人被ばく管理マニュアル（外部被ばく管理）」、TLD並びにTLDリーダーの品質管理基準等を記した「TLD及びTLD読取り装置の品質管理マニュアル」以外にも、関連する文書類として、発注時の仕様書・検査書、個人あるいはグループ単位で作成している「手順書」、参考資料として活用しているメーカー作成のマニュアルや報告書（英文を含む）、さらに社内の技術資料等があり、何れもTLD個人線量計測システムの品質の裏付けとなる重要文書類である。しかし、これらのうち、手順書やメーカー報告書については担当者による個人管理がなされているのみであり、またメーカーマニュアルについても現在使用可能なものと機器を更新したため既に使用されなくなったもの等が混在しており、整理されていない状況にある。

そのため、これら一連の文書類を整理して共通ファイル化するとともに、係内資料として一元的に登録管理（登録番号を付番する）していく必要がある。表3-3に外部被ばく管理業務で使用しているマニュアル等の文書類の一覧を示す。

また、係内で作成した社内の技術資料については、登録番号、表題、作成者、作成日、要旨等がデータベース化されているが、定常業務に関連深い資料とそうでない資料の分類がなされていないので、それらを整理し、既存のマニュアルの付録にそのリストを添付するなどの措置が必要であろう。

表 3-3 関連文書類リスト

種 類	表 題	作成者
内部マニュアル	個人被ばく管理マニュアル（外部被ばく管理）	線量計測係
	TLD及びTLD読取り装置の品質管理マニュアル	同上
	個人被曝管理マニュアル（外部被曝管理編）（注）	同上
	個人被曝線量計に係る品質管理要領（注）	同上
内部手順書	TLD異常測定値の判別と対処方法（コキム資料）	線量計測係
	TLD指リング線量計作成・測定作業手順書	線量計測係
メーカーマニュアル	ガンマ線自動照射装置取扱説明書（TLB-M95-P01）	松下産業機器(株)
	TLBリーダ加熱調整マニュアル（TLB/HM-02）	同上
	TLDバッジ自動読取り装置取扱説明書	長瀬産業(株)
	TLバッジ読取り装置LAN接続型取扱説明書	
	TLDグロー曲線解析プログラム取扱説明書（Ver.1.0から2.0への追加仕様）	
	不均等被ばく管理システム更新取扱説明書	(株)ケーシーエス
	ATLD制御用プログラム取扱説明書 自動熱処理炉取扱説明書	(株)富士通 長瀬産業(株)
メーカーレポート類	実効線量当量に係るTLBの諸特性等に関する研究	松下産業機器(株) & 中部電力(株)
	法令改正に伴う外部被曝線量当量評価式の変更について	松下産業機器(株)
	TLバッジの測定値に異常値が発生したときの解説	同上
	TLバッジの硫化水素に対する応答	同上

(注) 現在使用せず

第4章 まとめ

個人モニタリング・プログラムの結果の社会的信頼性を確保するため、TLD並びに読取り装置の品質、点検記録、測定員の資質、マニュアル、手順書類、トレーサビリティ等を含んだ品質保証の体系について、現状の問題点と課題を整理し、とりまとめた。

(1) 測定処理業務

個人モニタリング・プログラムのうちTLDの配布準備から評価までの測定処理業務を計20個の小項目に分け、それらについて現状の問題点を整理した。その結果、大きな問題点として、TLD等の品質管理試験結果の統計処理が不十分であり、その結果についての定期的なレビューがなされていないこと、TLDによる線量評価精度に対する要求水準が明確に定まっておらず外部監査的なチェック体制が確立していないことなどを挙げ、対応策を立案した。前者のTLD等の品質管理試験結果の統計処理については、今年度開発する「線量評価支援システム」にその主要な機能を整備する予定である。また、後者については、二種類の監査プログラムを新たに導入する。

(2) 人員

業務協力員の職能基準の作成、機器・パソコン類のシステム管理者の専任、さらに職員と業務協力員の業務の割り当ての見直しについてまとめた。

(3) 関連書類

マニュアル、メーカー作成マニュアル、手順書類等を整理する。

参考資料

- [1] 辻村憲雄、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD線量評価支援システムの概念設計」、PNC ZN8410 98-020、1998
- [2] U.S. Department of Energy(DOE),
"Department of Energy Standard for the Performance Testing of Personnel Dosimetry Systems", DOE/EH-0027, 1986
- [3] R.L.Gladhill, J.Horlick and E.Eisenhauer,
"The National Personnel Radiation Dosimetry Accreditation Program",
NBSIR 86-3350, 1986
- [4] 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およびTLD読取り装置の品質管理マニュアル」
PNC PN8520 93-002、1993
- [5] JIS Z 4320、「熱ルミネセンス線量計測装置」、1995
- [6] 辻村憲雄、江尻明、小松崎賢治、百瀬琢麿、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、1997
- [7] 辻村憲雄、森田卓、小松崎賢治、百瀬琢麿、篠原邦彦
「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－」、PNC PN8410 97-268、1997
- [8] 辻村憲雄、森田卓、小松崎賢治、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（IV）－ゼロ点線量の製造年度別差引補正－」、PNC PN8410 97-274、1997
- [9] 辻村憲雄、小松崎賢治、森田卓、百瀬琢麿、篠原邦彦
「TLD自動リーダーの月例点検記録（平成8年度）」、PNC PN8450 97-006、1997
- [10] 辻村憲雄、百瀬琢麿、篠原邦彦
「個人線量計の事業所間相互比較の結果（昭和55年度～平成7年度）」
（平成9年度資料登録予定）
- [11] 辻村憲雄、百瀬琢麿、二之宮和重、篠原邦彦
「次世代公式個人線量計測システムの概念設計」、PNC ZN8410 97-197、1997

補足説明

(1) TLDの分類

TLD自動照射装置で照射した全数TLDの測定結果より、全体の感度分布を調べ、分類する。測定は、主リーダー（1号機）で行い、このときの感度中心を \overline{M}_F [mR ^{137}Cs eq.]とする。

クラス	条件
Special	\overline{M}_F に対して±2%以内
Normal	\overline{M}_F に対して±20%以内（現在の条件）

次に、これらのTLDを用途別にStandard、Calibration、Routineの3種類に分類する。

名称	用途	抽出条件
Standard	東海事業所の基準TLD	クラスSから抽出
Calibration	リーダー校正等に使用	クラスNから抽出/入るもの
Routine	ルーチンで使用	クラスNに入るもの

さらに、Calibration用TLDを、用途別にさらに次のように分類する。

名称	用途	
Coarse	リーダー実用校正用（粗調整）	A
Fine	リーダー月例校正用（微調整）	B
Monitor	リーダー継続性確認用	C
Reserve	予備	D

Course、Fine、Monitorは、さらにリーダー1号機用と2号機用に分割する。

次に、これらのTLDの感度を、Standard用TLDに規格化する係数 f を次式のようにグループ別に定める。

$$\begin{aligned} \overline{M}_{S(G3)} &= f_{A \rightarrow S(G3)} \cdot \overline{M}_{A(G3)} = \overline{M}'_{A(G3)} \\ \overline{M}_{S(G124)} &= f_{A \rightarrow S(G124)} \cdot \overline{M}_{A(G124)} = \overline{M}'_{A(G124)} \end{aligned} \quad \dots(1)$$

注意事項

- 係数 f を決定するときは、Standard用TLDとCalibration用TLDを同じリーダーで同時測定する。
- リーダーの月例校正の際は、係数 f で補正後の値を用いる。（Calibration用TLDとRoutine用TLDの感度中心を一致させるため）
- 係数 f は、主リーダーの加熱ランプ交換・Calibration用TLDの変更の都度再設定
- Standard用TLDは、感度分布データを基に（原則として）毎年更新する。

(2) 加熱調整

加熱調整用TLDを、次のように分類する。

Heat-Timing Check	リター-月例校正・加熱ランプ交換時用	H
Zero-Point Check	リター-月例校正・加熱ランプ交換時用	Z
Residual Reading check	加熱ランプ交換時用	R

H、ZグループのTLDには、UD-815P線量計を使用する。Rグループは、Routine用TLDの中からゼロ点線量の大小に応じて適当数抽出する。(例：新規購入(RN)、最古(RO)、ゼロ点線量不良(RX)のもの。この順序にゼロ点線量が増加する。)

グループ	月例点検	ランプ交換時
H	硫酸カルシウムのPre/Main, Post/Main比を確認する。許容範囲を現在よりも厳しくする。 例 Pre/Main=10(±2)% Post/Main=20(±3)%とか	硫酸カルシウムのPre/Main, Post/Main比については、月例校正と同様。さらに照射直後(10分で統一)の硝酸リチウムのPre/Main比を確認する。当然ながらゲロ-曲線(Standard Glow)を取り込む
Z	Main値を確認する。さらにPost値も確認する	月例点検と同様
R	未使用	Main, Post値を確認し、ゼロ点線量補正値の初期設定値の妥当性を確認* 1・2号機の相違が生じないように調整

* ゼロ点線量検査の結果をデータベースに取り込むことを前提。そのデータを基に、(1)の感度と同様にクラス分けをする。現在実施中の小集団活動では、個体番号に応じた3グループぐらいに分類できそうな感度が得られているので、グループ別の差引補正係数を決定する。Gr-RのTLDの目的は、ランプ交換後もこの設定したゼロ点線量差引補正係数を使えるかどうかの確認のため。

(3) 感度検査

安全管理別棟に設置しているTLD自動照射装置の位置付けの詳細については、社内資料「TLD自動照射装置による感度校正基準量の評価」を参照のこと。

従来の感度検査の考え方は、「TLD自動照射装置によって供給される”照射線量”に対してTLDの読取り値が±20%以内であること」であったが、今後、「TLD自動照射装置で照射した全数のTLDの読取り値の平均に対して、それぞれのTLDの読取り値が±20%以内であること」に変更する。このとき、全数のTLDの読取り値の平均は次式から計算する。

$$X_{BS2} = 182.63 \times (0.5)^{d/30 \times 365} \text{ [mR } ^{137}\text{Cs eq./} \text{^\circ}\text{C} \cdot \text{h}^{-2}] \quad \dots(2)$$

ここで、 d は平成2年4月16日から感度検査を実施した日までの経過日数である。かつては、感度分布の中心 \overline{MF} と X_{BS2} が一致しないという問題があったが、係数 f の適用により $\overline{MF} = X_{BS2}$ と見なすことができる。

TLD自動照射装置で照射したTLDの読取り値を M_F としたとき、その感度検査の基準は次式の通りである。

$$0.8 \leq \frac{M_F}{X_{BS2}} \leq 1.2 \quad \dots(3)$$

ただし、感度補正係数(ECF)の実務適用を前提とし、近い将来は次式に変更する。

$$\frac{1}{1.5} = 0.67 \leq \frac{M_F}{X_{BS2}} \leq 1.5 \quad \dots(4)$$

なお、現在の感度検査ではベルトスピード2(約160mR)を使用しているが、TLD測定値の統計変動を3%程度におさえるため、来年度以降、ベルトスピード3に変更する。

(4) ECFの計算

単年度分の感度検査の結果から、単年度ECFを X_{BS2}/M_F より決定する。このときの規格化基準量は(2)式を利用する。次に、過去3年分の感度検査データより平均ECFを計算し、その平均ECFを今年度分の感度検査データに適用した結果、以下の項目について確認する。

- ・ $\overline{M_F}$ が X_F に一致していること
- ・ $\overline{M_F}$ のばらつき(1 σ)が硝酸リチウムで5%、硫酸カルシウムで2%程度になること
- ・ $\overline{M_F}$ に対して±13%を超えるものを抽出し、再試験を行うこと

(5) グループC(Monitor)に対する基準

グループC(Monitor)のTLDは、リーダー月例校正に伴う全作業が終了した後、校正前後で測定値に変化がないことを確認するため使用しているが、現在、その許容範囲が設定されていない。そこで、JISの再現性基準をそのまま適用し、一個一個のTLDについて年間の変動係数が7.5%以下であることを確かめる。

(6) 中性子線に対するトレーサビリティについて

TLDバッジによる現在の中性子線量当量の基本評価式は以下の通り。

$$H_n = N_n \cdot (N_{\gamma(2)} \cdot M_{(2)} - N_{\gamma(1)} \cdot M_{(1)}) \quad \dots(5)$$

M : TLDの読取りカウント。(1)(2)はそれぞれ ${}^7\text{Li}2{}^{11}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$ 、 ${}^6\text{Li}2{}^{10}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$

N_γ : それぞれのTLDの読取りカウントから γ 線の線量(見掛けの線量)に変換する係数[mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq./count]

N_n : TLDの読取り線量(見掛けの線量)を中性子線による線量当量に換算する係数[mSv/mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq.]

事業所の基準の中性子線源を基本に据え、それをTLDバッジの校正体系及び線量評価式に組み入れることを前提として、係数 N_n を中性子標準場での校正定数 N_s と実作

業環境下での相対校正定数（補正係数） N_R に分ける。

$$H_n = N_R \cdot N_S \cdot (N_{\gamma(2)} \cdot F_{(2)} \cdot M_{(2)} - N_{\gamma(1)} \cdot F_{(1)} \cdot M_{(1)}) \quad \dots (6)$$

- M : TLDの読取りカウント。(1)(2)はそれぞれ ${}^7\text{Li}2{}^{11}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$ 、 ${}^6\text{Li}2{}^{10}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$
 F : 感度補正係数（無次元）
 N_{γ} : それぞれのTLDの読取りカウントから γ 線の線量（見掛けの線量）に変換する係数[mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq./count]
 N_S : 中性子標準場で照射したとき、TLDの読取り線量（見掛けの線量）を中性子線による線量当量に換算する係数[mSv/mR ${}^{137}\text{Cs}$ eq.]
 N_R : 中性子標準場と実作業環境下の中性子エネルギー分布による違いを補正する係数（無次元）

従来の(5)式を(6)式に変更することで、次のような利点が生まれる。

- ・ (6)式の中で係数 N_R を除いた部分までは、国家標準の中性子源にトレーサブルであり、全事業所で共通の中性子線量評価式として使える。
- ・ 係数 N_R については、事業所毎に、使用場所毎に設定する。
- ・ N_S を決定するための中性子標準線源としては、 ${}^{252}\text{Cf}$ が適当である。
- ・ N_S の決定に ${}^{252}\text{Cf}$ を使用した場合、係数 N_R の値は、核分裂スペクトルに対しては1.0、それよりもソフトなスペクトルの場合には1.0未満、ハードなスペクトルの場合には1.0以上となる。校正定数と作業環境中の中性子スペクトルとの関連性がイメージとしてつかみやすい。

付録A DOELAP現地調査項目への適合状況

DOELAPの現地調査の項目を翻訳し、それに対する現在の業務の適合状況を下記の評価基準に基づき評価した。評価結果を表に示す。

ランク	評価
A	満足している
B	ほぼ満足している
C	不十分な点があり、現在対策を検討中
D	不十分な点がある
-	対象外

審査項目	問題点	評価
General		
原子力事業者は、利用可能な最新版の測定処理手順、線量計仕様書、品質保証マニュアル、他の関連書類（機器製造者の取扱説明等）を持っているべきである。これらの最新版の書類は全てのルチンの測定処理業務を遂行するのに使用されていること。	<ul style="list-style-type: none"> 測定処理手順書が完成していないもの一部がある。 製造業者作成の取扱説明書等の関連図書が一部未整理。 	B
Personnel		
1 職務組織体制は、個人線量計測プログラムのための現在の組織図と一致していること。	・問題なし	A
2 個人線量計測プログラムに対して技術的責任を有する者の資格・能力は、（組織における）地位と一致していること。	・問題なし	A
3 技術的責任を有する者は、概して、個人線量計測に関する十分な技術的知識と運営管理（の能力）を持っていること。	・問題なし	A
4 技術的責任を有する者は、全ての線量計測データの認定について保証すること。	・問題なし	A
5 個人線量計測の品質保証に関して責任を有する者の資格・能力は、（組織における）地位と一致していること。	・問題なし	A
6 品質保証マニュアルの維持と改訂の責任は明確に定められていること。	・問題なし	A
7 個人線量計測プログラムの全スタッフ員は、文書化された品質管理プログラムに精通し、遂行すること。	・問題なし	A
8 技術員と監督員間のコミュニケーションが十分であること。	・問題なし	A
9 線量計の測定処理と他の原子力事業者の業務との間には、独立の組織関係があること。	・該当せず（複数の機関を対象にしたモニタリングサービスについての質問と考えられる。）	一
10 指定された者は、測定処理業務を割り当てたり、タイムリーな測定処理を保証する権限を執行していること。	・問題なし	A
11 主要な機器の維持管理、校正、機器の運用に関する責任が、明確に割り当てられていること。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Personnel (Continue)		
12 割り当てられたスタッフ員は、線量計の測定処理機器に関する知識を有しており、割り当てられた職務を遂行するに足る能力を有していること。	・問題なし	A
13 品質保証マニュアルには、スタッフ員の資格・能力を保証するための行為が記載されていること。	・資格、能力に関する厳密な規程は無い。	C
14 品質保証マニュアルには、スタッフ員が測定処理を行えるようにするための訓練プログラムが記載されていること。	・線量計の測定処理に関する訓練プログラムが無い。	C
15 測定処理手順が改訂された場合に、割り当てられたスタッフ員を再教育するような項目が品質保証マニュアルにあること。	・測定処理手順が改訂された場合の再教育に関するプログラムは無い。	C
16 スタッフ員の資格・能力は、次の方法によって年一回審査されること。 ・技術的な資格を有する者による測定処理手順の遂行に関する観察 ・測定処理手順に基づく筆記試験	・左項に該当する審査プログラムは無い。	C
17 資格・能力レビューの日付並びに調査結果の記録が、審査のために入手可能であること。	・左項に該当する審査プログラムは無い。	C
18 全ての測定処理手順を遂行する上で必要な専門技術が、文書化されていること。測定処理を行う者の訓練プログラムに、これらの技術が含まれていること。さらに、訓練は以下のものを含む。 ・資格・能力が証明できるまでの監督期間 ・割り当てられた測定処理手順を遂行する際の出来映えを評価したり、スタッフ員に（その結果を）知らせる体制 ・定期的な再教育、並びに再教育期間中に業務遂行の不足点を直すような体制	・新人に対する監督期間の規程が無く、また文書化されていない。 ・資格、能力を認定するような体制が確立されていない。	C
19 割り当てられた測定処理の責任と訓練プログラムに含まれる技術的分野の間の一致が明確であること。	・線量計の測定処理に関する訓練プログラムが不備。	C
20 それぞれのスタッフ員が修了した訓練過程の記録が、レビューのため入手可能であること。	・線量計の測定処理に関する訓練プログラムが不備。	C

審査項目	問題点	評価
Equipment and Facilities		
1 認可の対象となる全ての測定処理で使用される設備並びに機器に関するリストと説明が、研究所で入手可能であること。そのリストで、設備並びに機器とその校正記録との関連付けができること。	・新規に導入した機器類については、マニュアル等にリスト化されていないものがある（例、個人認識タグ発行機等）。	B
2 線量計測システムに適切な線量読取り機器が使用されていること。	・問題なし	A
3 アニール炉が必要な場合、それがアニール専用確保されていること。	・問題なし	A
4 認可の対象となる測定処理業務に必要な財源・資源を獲得したり、維持したりする方法があること。	・問題なし	A
5 早急対応の観点から、ルーチン業務でバックアップ機器を用意したり、修理したりする体制が確立されていること。また他のDOELAP認可済みの原子力事業者のサービスを利用するような体制が確立されていること。このような手順は、個人あるいは線量計測システムが管理基準を満足できない事態が生じた場合、サービスの継続を保証するものである。	・バックアップ用としてTLDバックアップ用自動リーダーを現在整備中。 ・大洗工学センターの自動リーダーとの互換性を試験的に実施。	C
6 線量計の測定処理機器は、校正記録と十分に対応付けができるよう個別認識されていること。	・問題なし	A
7 それぞれの測定処理手順において原子力事業者が定めた精度や正確さのレベルで機器が運用されていることを保証するための十分な管理がなされていること。機器類が基準を満足しなかった場合に実施される手順が文書化されていること。	・問題なし	A
8 機器類の動作の安定性を評価するのに役立つため、予防保全的なメンテナンス、修繕の記録がそれぞれの機器（部分についても）について入手可能であること。	・修理、エラーメッセージ発生の記録は保管されているが、体系的に整理されていない。	B
9 サービス契約、あるいは機器の自前でのメンテナンス能力や在庫部品（の確保）が、機器の運転状況の継続性を保証するのに十分であること。	・問題なし（ただし在庫部品一覧表を今後作成する）	A
10 測定処理施設的环境パラメータ（バックグラウンド放射線を含む）が、測定され記録されていること。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Equipment and Facilities (continue)		
11 測定処理に使用する主な機器の校正及びその検証に関する記録は、 以下のものを含んでいること。 ・機器の名称と説明 ・製造者名 ・型式、形式、通し番号、他の認識マーク ・校正や検証が必要な機器の変数の特定 ・校正の対象となる線量測定レンジ ・それぞれの測定処理での要求に合致する許容誤差（機器の耐用力を考慮して） ・定期的な校正のスケジュール（校正/検証の日付含む） ・直近の校正/検証の日付と結果（測定の不確かさの評価を含む） ・機器の校正について責任を有するスタッフ員あるいは地位の特定、ないしは外部サービスによる校正の特定 ・標準の特定、国家標準あるいは国家が認定した測定系とどのような関連があるかの特定	・問題なし	A
12 機器の校正は、ある決まった間隔で検証されること。この間隔は、 機器の形式、製造仕様、蓄積された安定性データ、あるいは他の合理的 計画から決定される。全ての場合で、測定処理者は測定値の信頼性を 証明すること。	・問題なし	A
13 全ての測定処理機器のメンテナンスについて義務が割り当てられており、 日々の検証のため全ての機器は適切な作業手順でなされている。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Quality Assurance		
1 技術員は、文書化された品質管理プログラムに精通しており、遂行すること	・問題なし	A
2 品質管理プログラムは、スタッフの間でテスト結果の変化を評価できるように体系化したものであること。	・レビューはなされていない。	B
3 監督員は、監査結果を審査すること、不足分の修正を行うこと。	・問題なし	A
4 相互比較プログラムや外部の測定保証プログラムへの各研究所の参加の記録は、品質保証マニュアルで定められた実践と一致すること。	・内部実施の「事業所間相互比較」は品質保証マニュアルに規定されていない。	C
5 測定処理施設内の複数の場所で測定処理がなされている場合には、線量計測定データの一様さを評価するための相互比較試験を実施すること。	・該当せず	—
6 文書化された品質保証体系は、記録保持と行為について明確に説明していること。これらの記録と行為は、線量計の受け取りから、ユーザーへのデータの最終通知までの過程を網羅している。	・問題なし	A
7 文書化された測定処理手順、機器、あるいは設備から逸脱した場合の記録が、遂行能力の低下が起こらないことを示すため保存されること。	・故障、修理記録のまとめ方に不備な点がある。	B
8 品質保証プログラムには、外部チェックを盛り込むこと。 ・測定処理の管理（光源、演算装置） ・監査のための「ライン」線量計 ・未照射の線量計	・監査線量計については平成9年10月から試験適用中であり、今後マニュアル化を予定している。	C
9 測定処理業務に関する包括的記録（例えば、日誌など）が管理されていること。この記録には、校正/検証、並びに管理システムの記録と関連付けができるような十分な確認を含んでいること。この記録は、測定処理業者の施設での監査の際に入手可能であること。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Dosimeters - General		
1 線量計の受け取り、取扱、保管についての行動は、品質保証マニュアルにある条項と一致すること。	・問題なし	A
2 全ての線量計の個体認識及び追跡・検索のためのpositiveなシステムが利用されていること。	・問題なし	A
3 全ての線量計材料についての許容基準が確立されていること。この基準は、品質保証マニュアルに文書化していること。	・問題なし	A
4 測定処理に使用するシステムと対応付けができるような十分な情報が、線量計の個体認識コードに含まれていること。	・バッジケース表面にスペースの都合上着用期間が記載されていない。	B
5 線量計測システムに関する文書には、(線量計の)設計・仕様が記載されていること。その仕様には、ルーチンの測定処理中で線量計が記録できるような最小と最大の線量レベルが記載されていること。	・問題なし	A
6 線量計カードやフィルムpacketsの適切な組立を確認する手順が文書化されていること。	・問題なし	A
7 文書化された手順によって、(次のものが)検証されている。 ・フィルター材質が線量計デザインに合致する。 ・フィルターは線量計の適切な位置に配置されている。	・問題なし	A
8 線量計ホルダーが要求仕様に合うことを確認する手段が確立している。	・問題なし	A
9 品質保証マニュアルに、発行前における線量計の取扱が記述されている。	・問題なし	A
10 サービスで使用されている線量計は、全ての必要な要件が実践されていることを確認するため、定められたスケジュールや頻度でさなれていること	・問題なし	A
11 線量計測材料(有感エレメント)が線量計デザインに合致することを確認するための選別手順があること。この手順には、蛍光体の種類、感度(の確認)が含まれる。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Dosimeters - General (Continue)		
12 個体認識のためのシステムは、熱蛍光エレメントが固定式、非固定式の両者についても正確に個体認識することを保証するに十分であること。このシステムは、個々の熱蛍光エレメントと線量計中での位置やフィルターとの関係も認識できること	・ TLDホルダー側面の光学読取りさん孔の光学読取りの誤読に対する備えがない。	B
13 習熟度テストの間に使用された、同じ線量計タイプやモデル、有感エレメントが、職業被ばくを評価するのに使用されること。	・ 国内には習熟度テストに相当するものは無い。	-
14 測定処理された線量計に関して入手可能な情報は、以下のものを含む。 ・放射線種 ・線量の定義 ・線量記録の取扱に関する責任 ・線量を決定する際に使用された校正手順 ・品質管理 ・線量計測サービスの一環として行われる特殊な測定処理手順 ・バックグラウンドコントロール線量計の取扱と使用に関する指示 ・測定処理中に記録された例外の特定	・問題なし	A
15 サービス中あるいはバックグラウンドコントロール線量計の受け取りに対する責任の割り当てがなされていること。また、これを網羅する手順があり、以下の内容を含む。 ・線量計の個人認識、線量計のタイプ、従うべき適切な測定処理手順 ・内部、外部のコントロール線量計の個体認識 ・測定処理サイクル中での、個人線量計あるいは有感エレメントの追跡方法 ・顧客から戻ってこない線量計を特定するような方法 ・測定前に、線量計や有感エレメントの重大な汚染を識別する方法 ・バックグラウンドコントロール線量計の取扱間違いを特定する方法	・問題なし	A
16 研究所内における線量計の位置が文書化されていること。	・問題なし	A
17 線量計保管場所におけるバックグラウンド放射線等の環境パラメータが、十分な保管状態にあることを確認する目的でモニターされていること。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Dosimeters - Thermoluminescence Dosimeters		
1 熱蛍光エレメントを読みとったり、再生処理したりする機器が、システムに対して適切であること。	・問題なし	A
2 適切な運転条件にあることの証明並びに確認についての手順書があり、またその責任が任命されていること。このチェックは以下の内容を含む。 ・リーダ-内における熱蛍光エレメントの位置の再現性 ・運転時における印加電圧の変化や暗電流のドリフトに対する安定性 ・加熱サイクルの再現性、蓄積されたエネルギーを一定割合で読み出すことを保証するもの ・ゼロオフ出力 ・不活性ガスのパーセント ・デジタル読取り	・現状で問題ないといえるが、運転員が明確に任命されていない。	B
3 線量計ケースから有感エレメントを取り出す方法が文書化されており、遂行されていること。その方法は、有感エレメントから情報を失うことを防止するようなものであること。	・問題なし	A
4 TLDリーダ-の運転と安定性は、少なくとも毎日、照射済みの線量計あるいは内蔵光源によって確認されていること。機器の状態が安定するまで、測定がなされないことを示す記録があること。	・リーダ-のウォームアップ時間を毎回計測、記録しているわけではない。	B
5 熱蛍光放出（線量特性）と換算係数の間の関係を確立するため、十分な測定がなされていること。この換算係数は、機器の測定値から線量当量へ変換する係数である。	・問題なし	A
6 技術員は、TLD測定処理機器の運転条件並びに重要機能を理解していること。次にものを含む。 ・加熱/温度サイクル ・不活性ガスのパーセント ・アニールサイクル ・機器の不具合の認識と説明	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Dosimeters - Thermoluminescence Dosimeters (Continue)		
7 TLDリーダ-に (TLDを) 装填したり、取り出したりする手順が、文書通り実施されていること。	・問題なし	A
8 測定処理手順には、読取りサイクル中で選んだ線量計測データについてのビューを含む。	・問題なし	A
9 発行前に、TLDあるいは蛍光体は十分なア-ルサイクルを受けること。ア-ルサイクルは、時間、温度、冷却率、湿度、光について再現可能であること。	・問題なし	A
10 残線量は、TLDの発行前に、確立された手順でチェックされること。	・大線量の照射を受けたTLDに関する残線量率の基準が不明確	C
11 光に対して感度を有する熱蛍光物質の被ばくを最小にするような注意が払われていること。	・問題なし	A
12 熱蛍光物質の汚染 (例えば、チョーク、ダスト、グリス、放射性物質) を防ぐような注意が払われていること。	・問題なし	A
13 有感エレメントの (線量計への) 装填は、定められた手順でなされていること。装填手順は、見掛けが同じで種類の違う熱蛍光物質の取り扱いに伴う混乱や、パウダ-状の熱蛍光物質の混入を防ぐものであること。	・問題なし	A
14 通過中に、損傷や不明な被ばくを受けることを防ぐため、TLDはユーザ-に発行する前に適切にパッケージされること。	・パッケージされているわけではないが、特段の問題も無し	A
15 通常の条件下における熱蛍光物質のフェーディング特性が文書化されており、使用予定の期間に亘って考慮されていること。	・問題なし	A
16 それぞれのタイプ、モデルの線量計に使用する熱蛍光物質は、線量計測処理で必要な加熱処理に耐えることができる。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Calibration		
1 線量計測システムの校正並びに検証に関する概略が、品質保証マニュアルに記載されていること。そのマニュアルでは、校正業務、参照した材料、使用された測定保証プログラムを特定していること。	・問題なし	A
2 線量計測システムは、放射線源や放射線発生装置による既知線量に対して校正されていること。校正施設の放射線場は、校正された機器で測定すること。機器の校正は、国家標準にトレーサブルであるか、あるいは線源の放射能の測定に基づいていること。後者のケースでは、その線源は一次標準にトレーサブルであること。標準線源のジオメトリに注意を払うこと。	・問題なし	A
3 校正手順は、施設の放射線源、並びに潜在的な被ばくのレベルから見て適切であること。	・問題なし	A
4 それぞれのタイプ、モデルの線量計のエネルギー応答特性が、適切な放射線カテゴリーでの校正によって把握されていること。線量計の応答特性は、使用されるべき被ばく線量域にわたって決定されていること。	・問題なし ・なお、将来の法令改正に備えた特性試験データを取得しておく必要がある。	A

審査項目	問題点	評価
Processing		
1 測定処理手順は、能力のある技術員がその手順通りに業務を遂行できるくらい詳細に文書化されていること。	・詳細な手順書を作成中。	B
2 全ての測定処理員は、測定処理手順書に定められた手順に従うこと。	・問題なし	A
3 測定処理業務に関する包括的記録（例えば、日誌など）が管理されていること。この日誌には、校正/検証、並びに管理システムの記録と関連付けができるような十分な確認を含んでいること。この記録は、測定処理施設の監査の際に入手可能であること。	・問題なし	A
4 文書化された測定処理手順、機器、あるいは設備の使用からの逸脱が生じた場合、その逸脱の期間中、遂行能力が満足していたことを示す記録があること。	・問題なし	A
5 線量計測処理に技術的責任を持つ者、あるいはその代表者は、線量計測データの最終的な認定をすること。この人者は、疑問点のあるデータに関する決定をすること。	・問題なし	A
6 線量解釈の妥当性を明示するため、アルゴリズムが十分に文書化されていること。その文書には次のものが含まれる。 ・アルゴリズムは、再度の決定（再検証）が可能な基本データを利用して作成されており、テストされている。 ・アルゴリズムの不確かさに関する分析によって、線量計に対する線量解釈の精度や正確さが明らかになっている。 ・アルゴリズムが開発された当時、その処理管理が考慮されており、文書化されていた。 ・アルゴリズムの属性と制限が文書化されている。	・アルゴリズムの不確かさは明確に評価されていない。	B
7 生データから線量を計算するための計算モデルやアルゴリズムは、線量計測システムに対して十分である。	・問題なし	A
8 全ての測定処理手順が、性能低下が起こらないことを確認するため監査されている。	・問題なし	A

審査項目	問題点	評価
Processing (Continue)		
9 品質管理線量計のさし込みに対する測定処理手順が準備されていること。これらの線量計は、以下のように、校正線量計の標準と関連付けが前もってなされていること。 ・適切な線源によって品質管理線量計が照射されている。 ・照射方法の再現性が良いことを示す記録がある。 ・品質管理データの評価が、測定処理技術員の管理外でなされている。 ・原子力事業者は、どのような頻度でBlank並びに品質管理線量計が使用されるかを決定しておくこと。この決定は、測定処理される線量計の全数、機器の安定性、使用される品質管理チェックの種類、他の適切な理由に基づいていること。	・問題なし	A
10 品質管理線量計の線量は、(基準の移行の) 基準測定器を用いての測定や、既知の放射能の線源による校正によって決定されること。機器の校正並びに線源の放射能は、一次標準に対してトレーサブルであること。	・問題なし	A
11 直近の上手くいった品質管理線量計と、管理基準を満足しなかった最初の品質管理線量計の間で生じたデータに関する詳細なレビューのための手順があること。	・詳細な手順なし	C
12 線量測定結果は、その測定を行ったときに、個人認識され記録されること。	・問題なし	A
13 線量計測システムの使用できる線量レンジは、対象となる全ての放射線カテゴリーで確立されており、文書化されていること。	・問題なし	A
14 サービス中の線量計からの線量測定データを受け入れる際の管理基準は、定められており、遂行されること。	・問題なし	A
15 技術部長あるいは指名者は、線量の報告前に、線量計の例外データについてレビューすること。	・明確な規定はない。	C

審査項目	問題点	評価
Reports		
1 品質保証マニュアルには、論争の対象となる線量計測データ報告の取扱や解明に関する概略が記載されている。	・問題なし	A
2 線量報告は以下のものを含む。 <ul style="list-style-type: none"> ・測定処理業者の名称と住所（もし原子力事業者と違うならば） ・原子力事業者の名称 ・日付けと線量計の特定（測定処理業者と契約代理者の認識コードを含む） ・ルチンの測定処理手順から外れた場合の説明（それが線量結果に影響する場合） ・技術的責任者の署名やコメント 	・問題なし	A
Testing		
1 DOEの基準に沿った習熟度テストのための手順が定められていること。それは、ルチンの測定処理手順と一致していること。	・該当せず	—
2 認可が求められるそれぞれの放射線カテゴリーに対する試験計画が、測定処理スタッフが利用できること。	・該当せず	—

付録B JIS Z4320「熱ルミネセンス線量計測装置」への適合状況

JIS Z4320-1995「熱ルミネセンス線量計測装置」への、TLDバッジの性能の適合状況を一覧表にまとめた。

ほとんど全ての項目について、事業団の公式線量計であるTLDバッジはJISの要求を満足しているが、試験項目1の「評価値のばらつき」のみJISの要求を満足していない。ただし、これはTLDバッジの性能上の問題ではなく、TLDの品質管理における感度の許容範囲がJISの要求に比べてあまいためである。

現在、TLDの感度の個体差の許容範囲として、基準に対して上下限を±20%以内としているが、感度補正係数を適用するなどして、JISの要求に合わせて上下限を±13%に変更する必要がある。新規購入の際の受け入れのための許容範囲、感度補正係数を適用しない場合での許容範囲、感度補正係数を適用した場合での許容範囲（±13%）を、個別に設定し直し、マニュアル化していく必要がある。

TLDバッジのJIS Z4320への適合状況(1)

試験項目	個数	線源	線量レベル	合格条件	試験結果 (PNC等の現状、バックデータ整備状況)
1 評価値のばらつき	50個	γ 線	2mSv	最大値/最小値の比が1.3以下 ($\pm 13\%$ の品質管理基準を要求)	・東海事業所:TLD品質管理基準は $\pm 20\%$ →要検討! ・他の事業所:ECF適用後の均一性がどの程度か?
2 評価値の再現性	10個	γ 線	2mSv	10回繰り返し測定し、各線量計 の評価値の変動が7.5%以下	・212mRで、杓酸リウムは3.4%、硫酸カルシウムは1.8% (参考A) ・33.5mRで杓酸リウム6.6%、硫酸カルシウム6.6% (参A) ・15個、約210mRを12回。杓酸リウム3.3%、硫酸カルシウム1.0% (参B) ・5個、約60mRを3回。杓酸リウム3.5%、硫酸カルシウム2.6% (参C)
3 評価値の比例性	n個×5組	γ 線	0.1mSv ~100mSv	照射量からの変動許容幅が 0.1mSv $\pm 30\%$, 0.3mSv以上 $\pm 10\%$	・10mR~80R。杓酸リウム $\pm 3\%$, 硫酸カルシウム $\pm 5\%$ (参C) ・10mR~10R。杓酸リウム $\pm 8\%$, 硫酸カルシウム $\pm 7\%$ (参A) ・メカでは1000Rまで実験的に確認済み (参F)
4 評価値の 光子エネルギー依存性	n個×6組	γ 線 (25, 45 80, 120, 662 1250keV)	5mSv	基準エネルギー(662keV)に対して 評価値の変化率の許容幅 $\pm 30\%$	・UD-808P系TLDバッジ、補正無しレスポンスの変化の最大変化幅 は60keV近辺で -15% 程度 (参E) ・UD-810P系TLDバッジ、補正無しレスポンスの変化の最大変化幅 は60keV近辺で $+15\%$ 程度 (参A)
5 評価値の β 線エネルギー依存性	n個×2組	^{90}Sr - ^{90}Y ^{204}Tl	5mSv	基準エネルギー(^{90}Sr - ^{90}Y)に対して 評価値の変化率の許容幅 $\pm 30\%$	・生レスポンス、エレメント#1 (17mg/cm ²) $^{204}\text{Tl}/^{90}\text{Sr}$ - ^{90}Y =0.55 (参G) ・生レスポンス、エレメント#1 (17mg/cm ²) $^{204}\text{Tl}/^{90}\text{Sr}$ - ^{90}Y =0.72 (参E) ・補正後の評価値については問題なし
6 評価値の方向依存性	n個×9組	γ 線 ^{137}Cs	1mSv	基準(0°)に対して左右上下 30°、60°のそれぞれで $\pm 20\%$	・ ^{60}Co , 0~90°まで $\pm 10\%$ 以内 (参C) ・ ^{60}Co , UD-808Pは $\pm 5\%$ 以内、UD-810Pは $\pm 11\%$ 以内。(参A)
7 評価値の経時変化	n個×7組	γ 線	5mSv	20°C、7, 30, 90日後で15%	・室温で41日間。杓酸リウム $\pm 7\%$, 硫酸カルシウム $\pm 2\%$ (参C) ・20°C, 112日間。杓酸リウム12%以下, 硫酸カルシウム5%以下 (参A) ・室温, 100日間。杓酸リウム約30%, 硫酸カルシウム約4% (参D)
8 検出下限	n個	—	—	十分な再生処理後の読取り値と 標準偏差から計算。検出下限は 0.1mSv以下。	・杓酸リウム系 10個の読取り値=1.83 \pm 0.76mR (参A) → LLD=1.83+2.26 \times 0.76=3.5mRになる? →要検討! (検出下限の定義から洗いなおす必要)

TLDバッジのJIS Z4320への適合状況(2)

試験項目	個数	線源	線量レベル	合格条件	試験結果 (PNC等の現状、バックデータ整備状況)
9 残線量(1) 検出下限への影響	n個	γ線	100mSv	照射後、検出下限が 0.1mSvを 超えないこと	・ 硝酸リウム系 10~40R照射, 2回フェール後の測定値 4~5mR (参C) →要検討!
残線量(2) レスポンスへの影響	n個	γ線	100mSv 2mSv	100mSv照射後、2mSv照射した時 レスポンスの変化率が±10%以内	・ バックデータ無し ・ たぶん問題ないと思う。→要検討!
10 自己照射	n個	—	—	30日間保管。自己放射線量の許 容幅 0.1mSv以下。	・ 鉛の影響→ 7.5mR/30日の前例有り(参I)→改善済み ・ 錫、カドミウムは問題なし
11 光に対する安定性				セロ放電灯等、3klx以上照射	
(1) 検出下限への影響	n個	—	—	24h以上照射、0.1mSv超えない	・ 蛍光灯直下10cm(約5000lx)に1h放置(ハンガー込み)。10個 ゼロ点線量はほとんど変わらない。(参A) ・ プレートに太陽光に30秒間曝射。硝酸リウム10~20mR(参I)
(2) レスポンスへの影響	n個	γ線	2mSv	168h以上照射、レスポンス変動率10%	・ 蛍光灯直下10cm(約5000lx)に1h放置(ハンガー込み)。 212mR照射結果→影響無し(参A)
12 湿度に対する安定性	n個×2組	γ線	2mSv	温度40℃。湿度50%、90%以上に 48時間以上放置する。 両者の違い20%以内	・ 10×2個のTLDバッジ。両条件の相違は。硝酸リウム 1.5% 以下、硫酸カルシウム 4.1%以下(参A)
13 落下に対する安定性	n個×2組	γ線	2mSv	一方を1mの高さからコンクリートに1回 落下させる。他方との違い10%内	・ 10個のUD-801A7°レートを高さ2mから50回落下。トリウムセン スは1mR以下。(参H) ・ 硝酸リウムでは無視可能、硫酸カルシウムでは有意値有り(参I)
14 再生処理反復性	n個	γ線	2mSv	2mSvの照射後、メーカー指定の寿命回 数だけ再生処理する。再度、 2mSv照射後の値が始めの10%以内	・ 250mRの照射・測定を繰り返し実施。7000回で硝酸リウムで 10%、硫酸カルシウムで4%の感度変化(参F)
15 リターンの電源変動に対する 安定性	n個	γ線	2mSv	定格電圧±10%のときの測定値の 変化率が±10%以内	・ スライダックで電源電圧を90, 100, 110V 112mR照射後の読取り値の変動は 3.5% (参A)

TLDバッジのJIS Z4320への適合状況(3)

	試験項目	個数	線源	線量レベル	合格条件	試験結果 (PNC等の現状、バックデータ整備状況)
16	リーダーの温度安定性				20±2℃を基準として、5±2℃ 40±2℃に24時間以上放置	
	(1) バックデータへの影響	n個	—	—	基準に対する変化率の許容範囲 は検出限界の0.2倍以内	・バックデータ無し。光電子増倍管の雑音?
	(2) レスポンスへの影響	n個	γ線	2mSv	レスポンス変化率の許容範囲は±10%	・UD-710PでUD-808P 10個測定。変化率 3.8%以下 (参A)
17	リーダーの湿度安定性				50%基準、80%以上に24h以上放置	
	(1) バックデータへの影響	n個	—	—	基準に対する変化率の許容範囲 は検出限界の0.2倍以内	・バックデータ無し。
	(2) レスポンスへの影響	n個	γ線	2mSv	レスポンス変化率の許容範囲は±10%	・UD-710PでUD-808P 10個測定。変化率 3.2%以下 (参A)
18	リーダーの振動・落下安定性	n個	γ線	2mSv	振幅1mm, 50~60Hzの垂直振動1h 及び1cmの高さから木面への落下 でレスポンス変動率10%以内	・バックデータ無し
19	リーダーの光に対する安定性	n個	γ線	2mSv	キルン放電灯等で3klxの光をリーダー 正面に照射。レスポンス変動率10%内	・リーダーUD-710P前面20cm、蛍光灯より5klx照射。 レスポンス変化率 1.0%以下 (参A)

データの出典リスト

- (A) 「実効線量当量に係るTLDの諸特性に関する研究」(中部電力—松下産業機器 共同研究)、昭和59年 …楢円柱水ファントム使用 (エネルギー特性試験はETL)
- (B) 「TLD自動リーダーの感度変化に関する考察」(PNC PN8410 95-098)、1996年
- (C) 「Li₂B₄O₇(Cu)蛍光体を用いた自動読取型TLDバッジの性能・特性」(PNC N841-83-84)、1983年 …楢円柱水ファントムを使用 (エネルギー特性試験はPNC)
- (D) フェーディング試験の結果 (小泉、大洗工学センター)
- (E) 「法令改正に伴う外部被曝線量当量評価式の変更について」(松下産業機器株式会社内部資料)、1989年 …PMMA平板ファントム (エネルギー特性試験は放計協)
- (F) "Construction of a Composite Thin-Element TLD Using an Optical-Heating Method", Health Physics, 43, 4, 1982
- (G) 「個人被ばく管理技術検討会資料」(平成4~6年度分)
- (H) 「中性子線用TLD個人被曝線量計及び中性子線量評価法の開発(中間報告書)」(動燃—松下共同研究報告書)、1979年
- (I) 「TLバッジに異常値が発生したときの解説」(松下産業機器株式会社内部資料)