

# TLD測定値の信頼性の向上に関する検討(I)

TLDの異常測定値例とそのパターン解析

1995年11月

動力炉・核燃料開発事業団  
東 海 事 業 所

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Information Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome , Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, JAPAN

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ください。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13  
動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部 技術情報室

© 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(Ⅰ)

## — TLDの異常測定値例とそのパターン解析 —

辻村憲雄<sup>1)</sup>、江尻明<sup>1)</sup>、百瀬琢磨<sup>1)</sup>、篠原邦彦<sup>1)</sup>

## 要旨

動力炉・核燃料開発事業団では、個人の被ばく線量当量の評価にTLDバッジを使用している。TLDバッジの中には合計8個のTLDが内蔵されており、それぞれのTLDの発光量及び相互の発光関係などから、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、中性子線による被ばく線量当量を評価することが可能である。現在年間に約2万個以上のTLDバッジの測定を行っているが、測定結果の中に極くまれに放射線による発光とは考えられないデータが含まれている場合がある。このような異常な測定値は、主にTLD素子の破損や自動リーダーの機械的な故障によって発生する。

本研究では、平成6年度中に測定を実施したTLDバッジの測定データの中から、放射線による発光とは考えられないものを抽出し、その発生頻度及び発生パターンを調べた。データ解析の結果、異常な測定値の総数を把握すると共に、通常被ばく評価に使用している信号以外の情報を利用することで、簡便に異常値を判定する方法を考案し、特にTLD自動リーダーの機械的な故障に伴う異常測定値を迅速に検知することが可能となった。

---

1) 安全管理部安全対策課

## 目次

第1章	緒言	1
第2章	TLDバッジと自動リーダーシステムの概要	4
2-1	TLDバッジの概要	4
2-2	自動リーダーの概要と読取り線量の計算方法	6
2-3	個人線量当量の確定までの流れ	14
第3章	異常値判定のための基礎データ	16
3-1	TLD素子の典型的発光関係	16
3-2	ダークカウント、光学系の感度変化	20
3-3	ブリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係	22
第4章	異常測定値例とそのパターン解析	28
4-1	平成6年度の異常測定値例	28
4-2	平成4年度第4四半期の異常測定値例	36
4-3	外観不良の線量計の照射試験	44
第5章	考察	45
5-1	異常測定値の原因	45
5-2	異常測定値の判定方法	46
第6章	まとめと今後の課題	50
	謝辞	52
	参考文献	53
補遺	TLDの初期フェーディング試験	54
付録	異常測定値リスト(平成6年度分)	58

## 第1章 緒言

動力炉・核燃料開発事業団東海事業所では、昭和57年度より放射線業務従事者（以下、「作業員」と言う）の個人被ばく線量当量の評価にTLDバッジ[1]を使用している。現在年間 6,000名（のべ人数）もの作業員がTLDバッジを着用しており、その年間の測定件数は約2万個以上に及ぶ。

TLDバッジには合計8個のTLD素子が内蔵されており、これらは専用のTLD自動リーダー\* によって測定される。測定されたデータはオンライン回線を通じてホストコンピュータに送られ、所定の線量当量評価式にデータを代入することで線量当量を計算し自動的に出力する。その後、出力結果を目で見確認の作業を行ない、最終評価値として確定するわけであるが、この確認作業の段階（あるいはTLDバッジを測定した段階）で、複数のTLD素子間の発光量の相互関係などから明らかに放射線による発光とは考えられないデータが発見されることが希に存在する。具体例を挙げれば、8個のTLD素子のうち7個がバックグラウンド程度の線量であるのに対し、ただ1個だけが1桁も大きな値が得られる場合である。こうした”正常ではない測定値”を、筆者らは”異常発光”あるいは”異常測定値”と呼称している。

異常測定値によっては、放射線作業に伴う被ばくでは無いことが明らかであるにもかかわらず有意な被ばくとして計算機出力される場合があるため、個人の線量当量を確定する段階でこうした異常値を発見する作業は極めて重要であり、注意を要する。

このようなTLDの異常な測定値が得られる原因は、図1-1に示すように次の3種類に大別される\*\*。

- (1) TLD素子の劣化・破損等
- (2) TLD素子表面やリーダー受光部分への汚れ等の付着による疑似的な発光等
- (3) 自動リーダーシステムの機械的な故障等

このうち(1)については、TLD素子の劣化を「長期の繰り返し使用に伴う諸特性の変化」と定義すると、劣化に伴って何らかの異常な結果が得られたと確認された例はこれまでない。Yamamotoらは、TLDバッジの照射(250mR)・測定を7000回繰り返して実施したときの感度の変化はCaSO<sub>4</sub>(Tm)素子 -4%、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)素子 -10%程度[2]であると報告している。劣化に伴う感度変化はむしろ測定値がやや小さくなる程度と考えられるため、複数のTLD素子間の発光の関係に著しい異常を来す原因にはならない。

一方、TLD素子の破損についてであるが、その定義を「外観検査で蛍光体の付着状況

---

\* UD-7100P型（平成5年度以前は UD-710P型を使用）

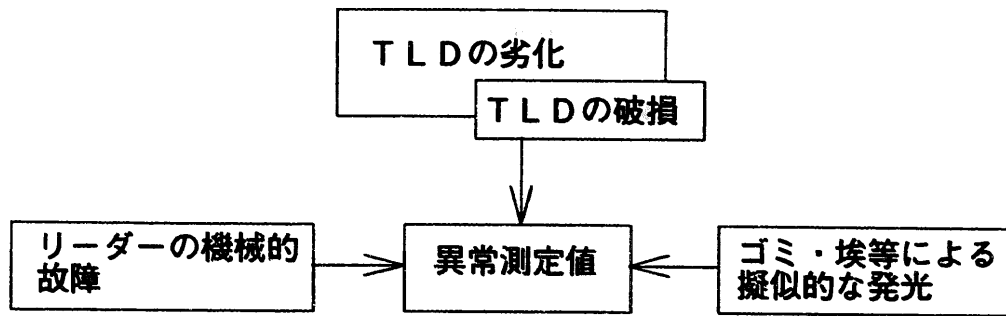


図1-1 異常測定値の要因

等が不良なもの」とすると、異常な値の出たTLD素子の外観検査を行ったところ、何らかの外観上の異常があったという例がこれまでも幾つかある。例えばTLD蛍光体がベーステープ面から剝離している場合などである。TLDの特性が大きく変化する程ではないが外観検査で何らかの異常が認められるものの割合は近年増えつつあり、こうした蛍光体の外観の不良の原因は、長期の使用に伴ってTLD素子が僅かに水分を吸湿し、測定時の加熱によって吸湿された水分が蒸発する際にTLDの結晶構造を壊していくためと考えられる。

また、(2)については、現在TLDの測定に使用しているUD-7100P型自動リーダー（あるいは前機種であるUD-710P型）では、これまでに、動燃内あるいはメーカーにおいても汚れなどの付着による擬似的な発光に伴って異常な値が得られたという報告は極めて少ない。ただし、こうした場合の原因の特定は難しく、多くの場合はTLD素子側の劣化・破損等といった原因で説明されることが多かったため、汚れの付着に伴う異常値が全くなかったとは言えない。また、TLDバッジを作業着と共に洗濯するようなケースが年間に2～3件程度あるが、こうした場合には異常な測定値が得られることが多い。表面に付着した石鹸等の影響と考えられる。

一方、事業団外では、TLD表面を油や黒鉛の粉等で汚した場合の試験の結果[3]や、硫化水素雰囲気中でTLDバッジを使用した場合に異常な値が得られたことなど[4]の報告がある。なお、東海事業所ではTLDバッジについてはないが、環境放射線測定用のTLD（UD-200S）の測定に用いる手動リーダー（UD-502A、UD-505A、ただし現在は使用していない）について、受光部に付着したアルミニウム粉末による擬似的な発光の報告がある[5]。

さらに(3)については、リーダー側の機械的な故障によって異常な測定値が得られたという報告がこれまでもあり、第4章4-2で詳しく説明するが主に光電子増倍管の異常によるものであった。また、機械的な故障とまでは言えないが、リーダー電源投入直後の不安定な電圧印加によるリーダーの感度変動についての実験報告[6]がある。

以上述べたように様々な原因によって、TLDを測定した際に異常な測定値が得られることがあり、また昭和57年のTLDバッジの運用開始からこれまでの間にこうした異常な値が測定された例は少なくない。しかし、それらの処置については、これまで事後保全として異常値の出たTLDを廃棄したり、あるいはリーダーの修理を行ってきただけで、その発生頻度の分析や、詳細な原因の究明はあまり行われていなかった。

そこで本研究では、平成6年度中に測定を行ったTLDのデータの中から、異常な測定値を探しだし、その発生頻度や異常値が得られる場合の出力信号のパターン解析を行った。さらにリーダーの出力信号の情報のみから簡便に異常値を検知する方法について検討を行った。

---

**\*\***この他にも、異常値の要因として、機械的摩擦や振動による熱蛍光（トリボルミネッセンス、triboluminescence）も考えられる。ただし、TLDバッジに用いるCaSO<sub>4</sub>(Tm)、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu) 蛍光体については、それぞれトリボルミネッセンスが起こる可能性は極めて小さいか、ほとんどないとされており[7]、通常無視して良いであろう。

## 第2章 TLDバッジと自動リーダーシステムの概要

### 2-1 TLDバッジの概要

TLDバッジは、 $\beta/\gamma$ 線用 (UD-808P線量計)、中性子線用 (UD-809P線量計) 及び専用バッジケース (UD-887PH1) から構成される。それぞれの線量計のTLD素子構成を表2-1、2-2に、TLDバッジの外観図を図2-1に示す[1]。

$\beta/\gamma$ 線用であるUD-808P線量計は、 ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ が3個、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ が1個、合計4個のTLD素子とその前面に配置した樹脂フィルターから構成される。

エレメントG1、G2、G4は、 ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ を蛍光体に使用したTLD素子であり、フィルターの厚さはそれぞれ17、64、1000mg/cm<sup>2</sup>である。 ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ は実効原子番号は生体組織のそれとほとんど同じ値であるため、所定の厚さのフィルター直下の $\beta/\gamma$ 線による線量当量 (組織吸収線量) の近似量を直接測定することが可能である。また、エレメントG3は  $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ を蛍光体に使用したTLD素子であり、これは100keV以下の低エネルギー $\gamma$ 線に対して特に高い感度を有し、入射 $\gamma$ 線のエネルギーの推定等に使用する。

一方、中性子線用であるUD-809P線量計は、 $\gamma$ 線用TLDが1個、中性子線用TLDが3個の合計4個のTLD素子とその前後に配置したCd及びSnの金属フィルターから構成される。エレメントN1は $\gamma$ 線用、N2~N4が $\gamma$ 線/中性子線用であり、それぞれ ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 、 ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ をTLD素子に用いている。中性子線の検出に用いる ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ は $\gamma$ 線に対しても感度を有するので、中性子線のみによる応答を知るために、 $\gamma$ 線用TLDである ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ を $\gamma$ 線寄与分の補償用のTLD素子として用いる。

中性子線の測定には、人体からの後方散乱中性子線を介して直接入射中性子線に関する情報を推定する、いわゆるアルベド方式を採用している。TLD素子の前後に配置したCd/Snの金属フィルターとの組み合わせによってそれぞれのエレメントの測定対象とする中性子線のエネルギー範囲が異なり、エレメントN2、N3はそれぞれ主に直接入射熱中性子線、直接入射熱外中性子線を測定し、エレメントN4は、人体からの後方散乱中性子線を測定することによって、熱外~MeV領域のエネルギーを持つ直接入射中性子線に関する情報を推定する。 $\gamma$ 線用であるエレメントN1を含めたこれら4個のTLD素子を用いて適切な評価式を組み立てることで、熱中性子線量当量、高速中性子線量当量\*を個別に算定することが可能である。

---

\* 本文中では、0.4eV以上のエネルギーを持つ中性子線を”高速”中性子線と総称する。



表2-1 UD-808P線量計のTLD蛍光体とフィルター構成

エレメント	TLD蛍光体及びフィルター	目的
G1	${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu}) + \text{樹脂 } 17\text{mg}/\text{cm}^2$	$\beta$ 線70 $\mu\text{m}$ 線量当量評価用
G2	${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu}) + \text{樹脂 } 64\text{mg}/\text{cm}^2$	$\beta$ 線エネルギー評価用
G3	$\text{CaSO}_4(\text{Tm}) + \text{樹脂 } 1000\text{mg}/\text{cm}^2$	$\gamma$ 線エネルギー評価用
G4	${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu}) + \text{樹脂 } 1000\text{mg}/\text{cm}^2$	$\gamma$ 線1cm線量当量評価用

表2-2 UD-809P線量計のTLD蛍光体と金属シールド構成

エレメント	TLD蛍光体及び金属シールド*	目的
N1	前;Cd/ ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ /Cd;後	$\gamma$ 線補償用
N2	Sn/ ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ /Cd	直接入射熱中性子線測定用
N3	Cd/ ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ /Cd	主に直接入射熱外中性子線用
N4	Cd/ ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ /Sn	アルベド中性子線測定用

\*蛍光体前面部は0.7mm、それ以外の部分は0.5mm。

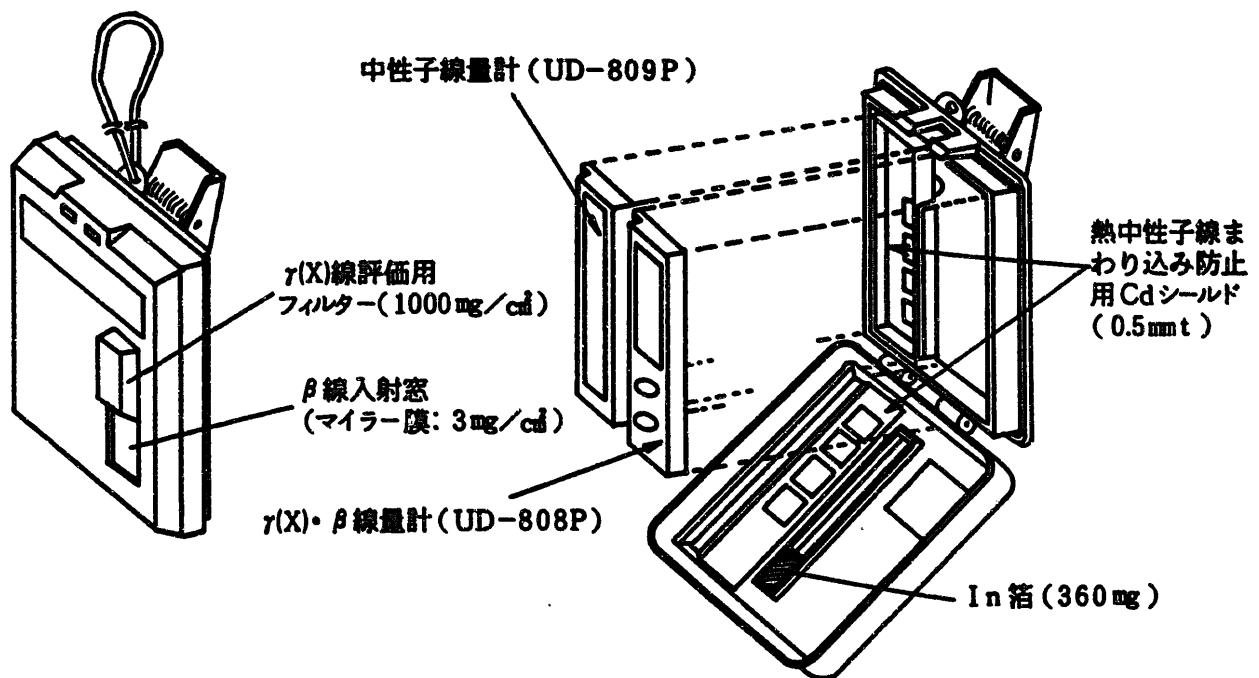


図2-1 TLDバッジの外観図[1]

## 2-2 自動リーダーの概要と読取り線量の計算方法

### (1) 自動リーダーの概要

TLDバッジのTLD素子は、自動リーダー (UD-7100P型\*) で測定する。自動リーダーは、TLD素子を移動し測定位置に固定させる駆動機構、TLD素子を加熱する機構、及びTLD素子が加熱された時に発生する熱蛍光を検出する機構から成る。

図2-2に加熱機構と検出機構の構造を示す。本自動リーダーでは、TLD素子の加熱手段として赤外線ランプを用い、熱蛍光測定手段として光電子増倍管による光電子計数法を用いている\*\*。光電子増倍管の出力信号は、増幅・波形整形された後、ある波高弁別レベル以上のパルス信号がカウンターで計数される。加熱開始から終了までのある一定時間の出力信号を MCS(Multi-Channel Scaling)モードで経時的に計数したものと考えても良い。

### (2) 加熱と計数のタイミング

TLDは昇温に伴いある特定波長を持った熱蛍光を放出するが、そのほとんどは捕獲中心のエネルギー準位に応じて複数の熱蛍光を放出する。TLDバッジに使用するTLDでは、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ が約120℃と約210℃、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ が約100℃と約220℃に加熱されたとき、熱蛍光を放出し[7]、それぞれ温度の低い側の熱蛍光を副ピーク、高い側を主ピークと呼ぶ。線量当量の評価に用いる信号は、熱蛍光量が多く、また経時変化の小さい高温側の主ピークの信号である。

常温から徐々にTLDを加熱することで順番に副ピーク、主ピーク、さらに熱輻射による擬似信号\*\*\*が現れるが、これらの信号を短時間の間に、かつ分離して測定するため、自動リーダーでは適当な時間で調節された3つのパルス電圧で加熱ランプを順次点灯させ、そのタイミングとカウンターのゲートを開くタイミングとを合わせるという方法を用いている。

図2-3にランプ点灯のタイミングとカウンターのゲートを開くタイミングのチャート図を、表2-3にそれらのタイミング時間の設定値(デフォルト値)を示す。一回目の加熱が、経時変化の大きい副ピークの除去、二回目が主ピークの読取り、三回目がTLDに蓄積された放射線のエネルギーを完全に消去し、再使用が可能な状態にするための加熱である。図2-3に示すタイミングでカウンターのゲートを開き、カウンターの計数値はランプ点灯順にプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズとして振り分けられる。図2-4に、自動リーダーで $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子を測定した時に得られる信号と

\* 平成5年度以前はUD-710P型自動リーダーを使用。

\*\* 高線量側ではランダムパルスのパイルアップを防ぐため、周波数カウンターを用いる。ただし、通常の個人被ばく管理業務で周波数カウンターを使用することはないので、本報告では光電子計数系についてのみ取り扱う。

温度変化を測定時間の関数として示す。図2-4に示した熱蛍光信号の大きさを時間（あるいは温度）の関数として表現したものをグロー曲線と呼ぶ。

なお、図2-3に示すようにランプ点灯とカウンターのゲート開のタイミングは完全に同調しておらず、プリドーズ、メインドーズとして測定されたカウント数は、そのまま副ピーク、主ピーク部分のカウント数と同じカウント数になるわけではないことに注意する必要がある。この理由は、固有の厚さを持つTLDは昇温が一樣ではなく熱蛍光の放出時間に時間差が生じること、その時間差による副ピーク及び熱輻射による信号が主ピークに重複することのないようなカウンターのゲートタイミングの設定がなされているためである。例えば、プリドーズの場合、時間幅 $T_3$ で二回目のランプが点灯してもまだゲートが開いており、主ピーク信号の一部もプリドーズとして計数される。また、時間幅 $T_7$ で三回目のランプが点灯する前からポストドーズのゲートが開いており、主ピーク信号の一部がポストドーズとして計数されることになる。

---

\*\*\* 本文中では、ポストドーズを「熱輻射による疑似信号」としているが、これは実際にはLi<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)のみに当てはまる。CaSO<sub>4</sub>(Tm)の場合も、図2-4に示したLi<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)とほぼ同様なグロー曲線が得られるが、ポストドーズ部分の信号は、僅かに熱輻射による疑似信号も含まれるが、そのほとんどは本来メインドーズ部分に計数されるべき主ピークの一部である。これは、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)と比べてCaSO<sub>4</sub>(Tm)の方が熱容量が大きく、2回目の加熱のみでは、蛍光体全体の十分な昇温ができないためである。

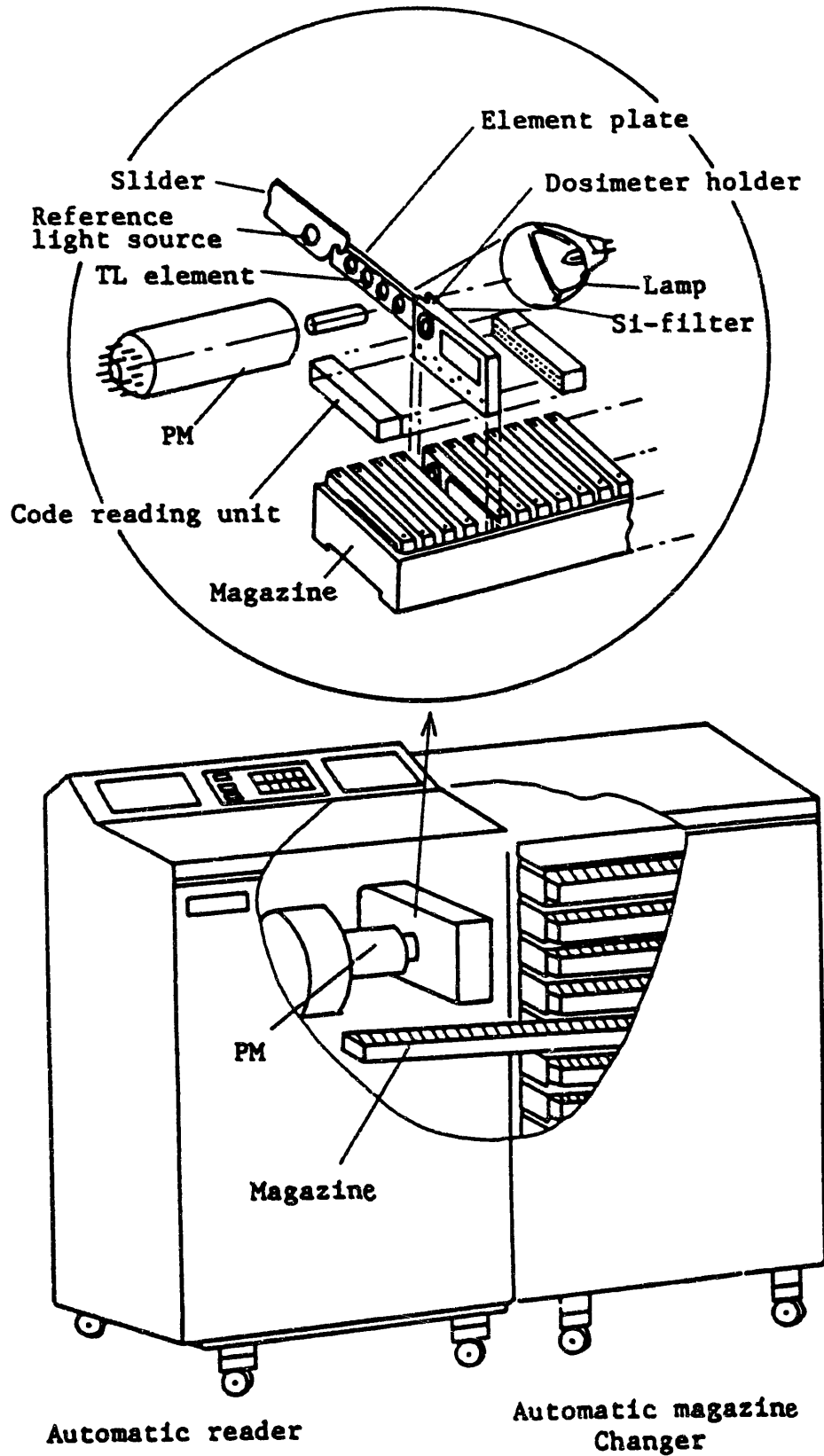


図2-2 TLD自動リーダーの加熱・熱蛍光検出機構部[2]

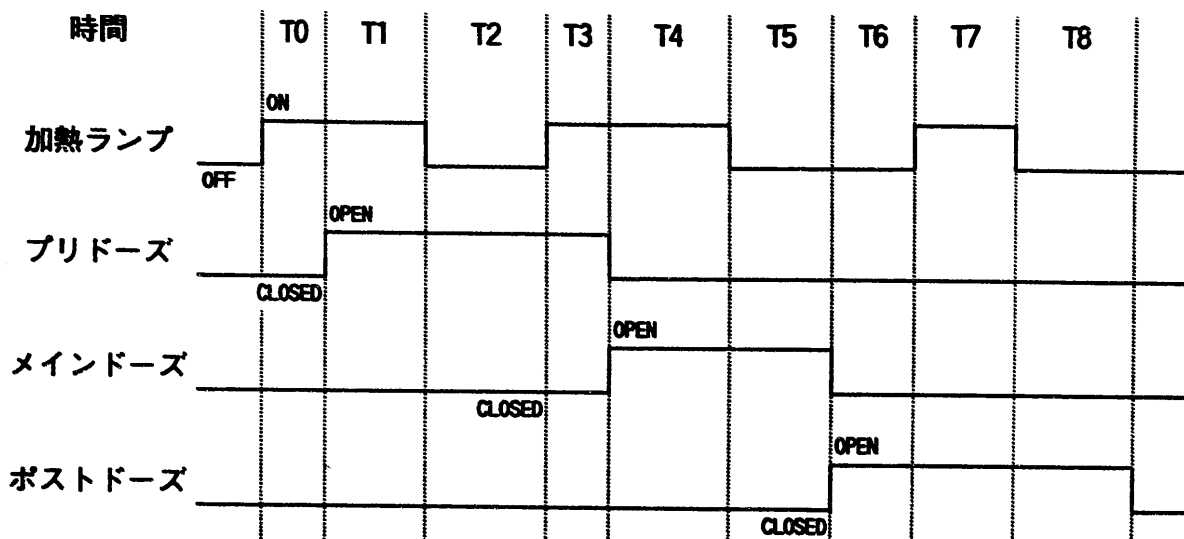


図2-3 ランプの点灯とカウンターゲートを開くタイミング

表2-3 CaSO<sub>4</sub>(Tm)、Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)素子の加熱時間 (初期設定値)

	CaSO <sub>4</sub> (Tm) [msec]	Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (Cu) [msec]	ランプ点灯	カウンター開
T0	1	1	1回目	
T1	65	65	1回目	プリドーズ
T2	500	500		プリドーズ
T3	50	30	2回目	プリドーズ
T4	45	45	2回目	メインドーズ
T5	400	400		メインドーズ
T6	150	150		ポストドーズ
T7	35, 45, 55*	35, 45, 55*	3回目	ポストドーズ
T8	1700	1700		ポストドーズ

\* アニール処理のためメインドーズ信号の大小に応じて変化する。

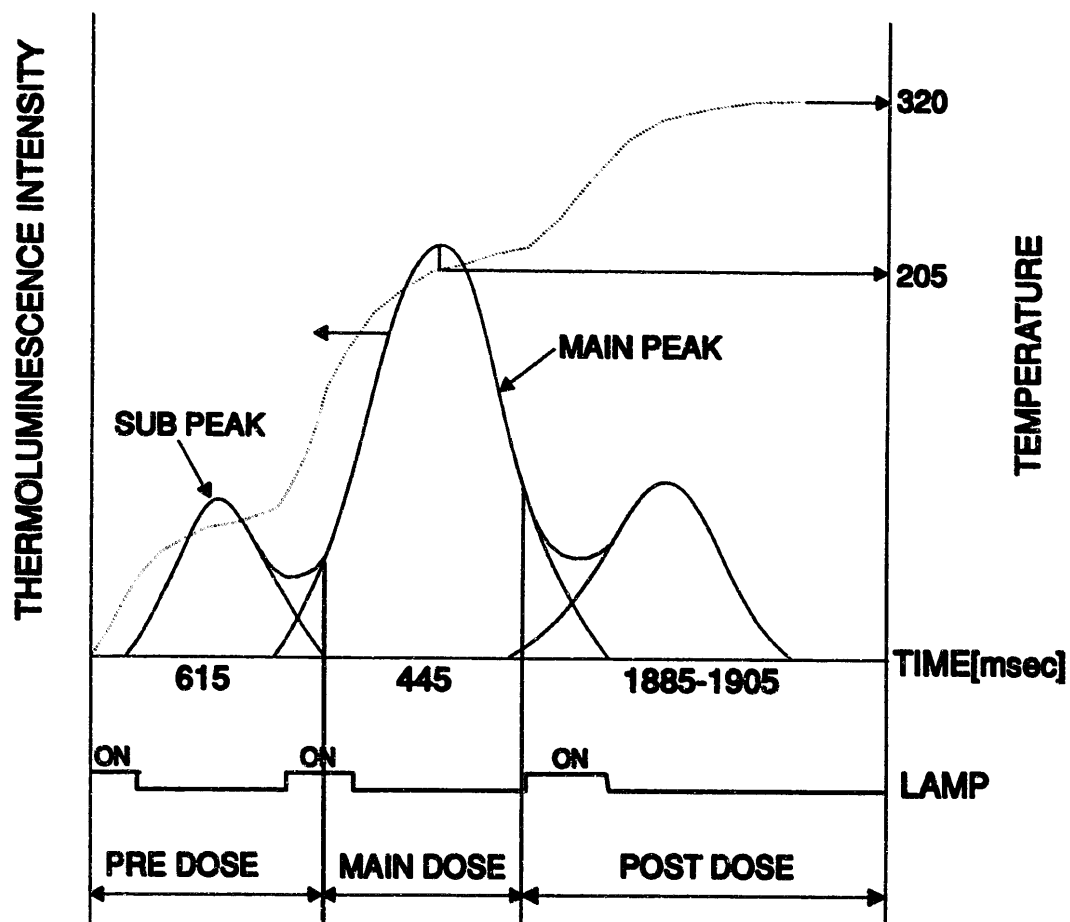


図 2-4  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  のグロー曲線  
 (ここでは、副ピークを通常よりも大きく描いている)

### (3) 読取り線量の計算方法

図2-5にカウンターの出力が線量として計算・出力されるまでの流れを示す。

測定開始時は、まず雑音信号の測定と光学系の感度校正を行い、その後で線量計毎に雑音信号の測定、光学系の感度確認、エレメントの読取り、を線量計の個数だけ繰り返し行う。以下、図2-5に従い、説明する。

#### (1) 光学系の感度補正係数の決定

##### (1a) ダークカウントの測定

TLD線量計の加熱・測定を行う前に、ダークカウント（暗電流などの雑音パルス信号）の測定を行う。測定時間はメインドーズを測定する際のカウンターのゲート開時間と同じ $T_{10}(=T_4+T_5)$ であり、光電子増倍管、プリアンプからの雑音信号を計数する。

##### (1b) 内蔵光源によるカウント数の測定

次に、内蔵光源を用いた光電子増倍管の感度校正を行う。内蔵光源の放出する光（reference light）を直接光電子増倍管に曝露させ、そのときのカウント数を測定する。このときの測定時間は $T_9$ である。

光電子カウンターのカウント数を $C_{RL}$ をすると、雑音信号以外の正味のカウント数 $C_{RL}'$ はダークカウント $C_D$ の寄与分を差し引いて、

$$C_{RL}' = C_{RL} - C_D \cdot \frac{T_9}{T_{10}} \quad \dots(2-1)$$

となる。

##### (1c) 光学系の感度補正係数の計算

(1b)の測定を10回繰り返し行い、その平均カウント数 $\overline{C_{RL}'}$ と、予めリーダーに記憶された基準カウント数 $C_{RL,S}$ の比から光学系の感度補正係数 $F_{RL}$ を求める。この係数は、TLDの測定、線量の計算の際に補正係数として使用する。

$$F_{RL} = \frac{\overline{C_{RL}'}}{C_{RL,S}} \quad \dots(2-2)$$

#### (2) TLD線量計の測定

##### (2a) ダークカウントの測定

(1a)と同様。

##### (2b) 光学系の感度確認

(1b)と同様に内蔵光源によるカウント数を測定し、基準カウント数との比を求め、出力する。これは線量の計算にはせず、線量計を連続測定していく際に汚れや埃等の付着による光電子増倍管の感度変動を調べるために用いる。

## (2c) エレメント読取り

次に、図2-3に示したランプの点灯とカウンターゲートのタイミングチャートに従い、プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの測定をエレメント数（4個）だけ繰り返し行う。

測定されたカウント数に、次式に示すように幾つかの換算係数を乗じて線量の単位に変換する。なお、このときダークカウントの差し引き計算を行うが、これはメインドーズのみ行い、プリドーズ、ポストドーズでは行わない。

$$\text{プリドーズ} \quad D_{PRE} = C_{PRE} \cdot \frac{F_S \cdot F_M \cdot F_R}{F_{RL}} \quad \dots (2-3)$$

$$\text{メインドーズ} \quad D_{MAIN} = (C_{MAIN} - C_D) \cdot \frac{F_S \cdot F_M \cdot F_R}{F_{RL}} \quad \dots (2-4)$$

$$\text{ポストドーズ} \quad D_{POST} = C_{POST} \cdot \frac{F_S \cdot F_M \cdot F_R}{F_{RL}} \quad \dots (2-5)$$

$D_{PRE}, D_{MAIN}, D_{POST}$  : 読取り線量 [mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]

$C_{PRE}, C_{MAIN}, C_{POST}$  : カウント数

$C_D$  : ダークカウント ((2a)の値)

$F_S$  : 基準感度係数 [mR  $^{137}\text{Cs}$  eq./count]

$F_M$  : 材料感度係数

$F_R$  : ランク補正係数

$F_{RL}$  : 光学系の感度補正係数 ((1c)の値)

## (2d) 読取り値の出力

出力表示、あるいは線量当量の計算・評価に用いる読取り値は、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の場合には(2c)のメインドーズの測定値から、メインドーズ測定時に熱輻射による雑音信号（極僅かに含まれる可視光による）の寄与分を差し引く。 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の場合、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子に比べて発光効率が大きくSN(Signal-to-Noise)比が良いのでその必要がない。

$$D(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})) = D_{MAIN} - D_N \quad \dots (2-6)$$

$$D(\text{CaSO}_4(\text{Tm})) = D_{MAIN}$$

$D(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu}))$ :  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の読取り値 [mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]

$D(\text{CaSO}_4(\text{Tm}))$ :  $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の読取り値 [mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]

$D_N$ : 熱輻射による雑音信号（線量換算したもの） (=2.5 [mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.] )

線量計の個数だけ、(2a)～(2d)を繰り返し行う。

表2-4に各補正係数とエレメントの関係を示す。



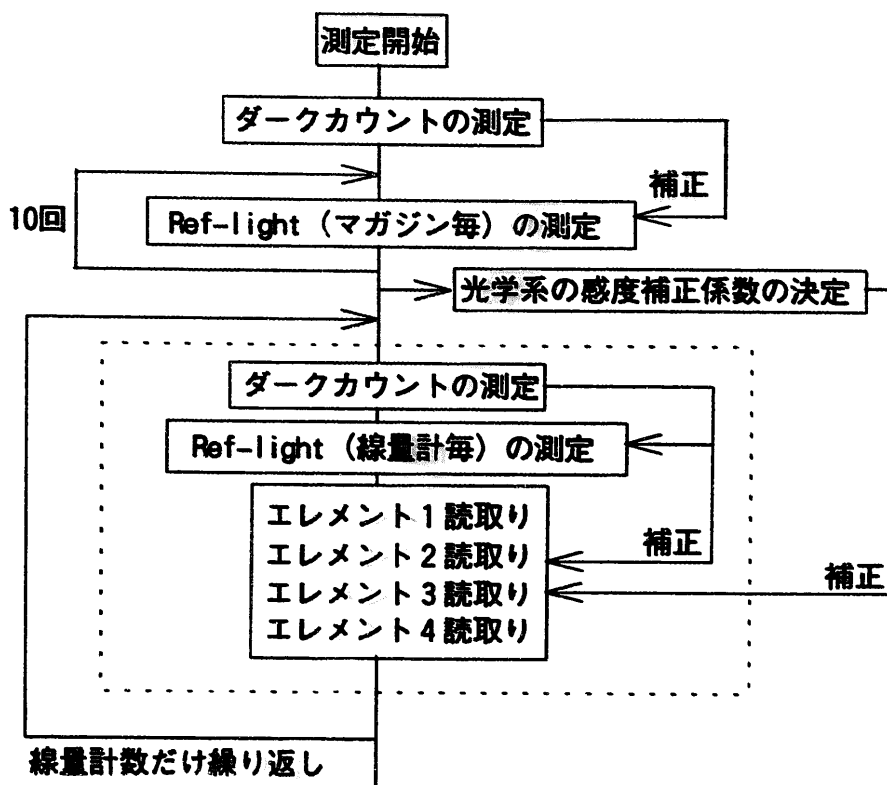


図2-5 エレメント読取りの流れ

表2-4 補正係数とエレメントの関係

	UD-808P線量計				UD-809P線量計			
	G1	G2	G3	G4	N1	N2	N3	N4
基準感度係数	$F_s$							
材質感度係数	$F_M(1)$		-	$F_M(1)$		$F_M(2)$		
ランク補正係数	$F_R(1)$		$F_R(2)$	$F_R(1)$	$F_R(3)$		$F_R(4)$	
光学系補正係数	$F_{RL}$				$F_{RL}$			
熱輻射による雑音	$DN$		-	$DN$				

括弧内の数字は係数の値の独立性を示す。数字が同一のものには同一の係数がかかる。

### 2-3 個人線量当量の確定までの流れ

TLDバッジの測定から個人線量当量値の確定までの一連の流れを図2-6に示す。

定期測定あるいは指定解除の場合の定常モニタリング用のTLDの測定結果は、オンライン回線を通じて大洗工学センターにあるホストコンピューター(FACOM M-1800/10S)に送られ、所定の評価式に従って線量当量を計算した後、線量計測定日報(以下「日報」という)として出力される。日報の一例を図2-7に示す。日報に示される結果は、氏名や所属等の個人情報の他にTLDバッジの各エレメントの読取り値と、線量当量の評価結果、アニールから測定までの日数、指リングの測定結果などである。また不均等被ばく管理用、特殊放射線作業用のTLDバッジについては、ホストコンピューターとは独立にTLD測定室に設置されているパソコンにて、自動的に線量当量を計算し出力する。

これらの出力結果を用いて、個人の被ばく線量当量評価値を確定するわけであるが、この確定作業の段階で異常測定値が発見される場合が多い。異常測定値によって被ばく線量当量の評価値が有意値となった場合には、異常値が検出された以外のエレメントの測定値などから線量当量を評価し、修正する。

なお、ホストコンピューターに送られる情報とは別個にリーダーで測定した生データがプリンター出力される。これには個人情報等は記載されていないものの、TLDの測定にかかわるほとんど全ての情報(リーダー機種番号(1、2号機の区別)、内蔵光源による光学系の校正結果、ダークカウント、TLDのID番号、メインドーズ、プリドーズ、ポストドーズの測定値など)が記載される。

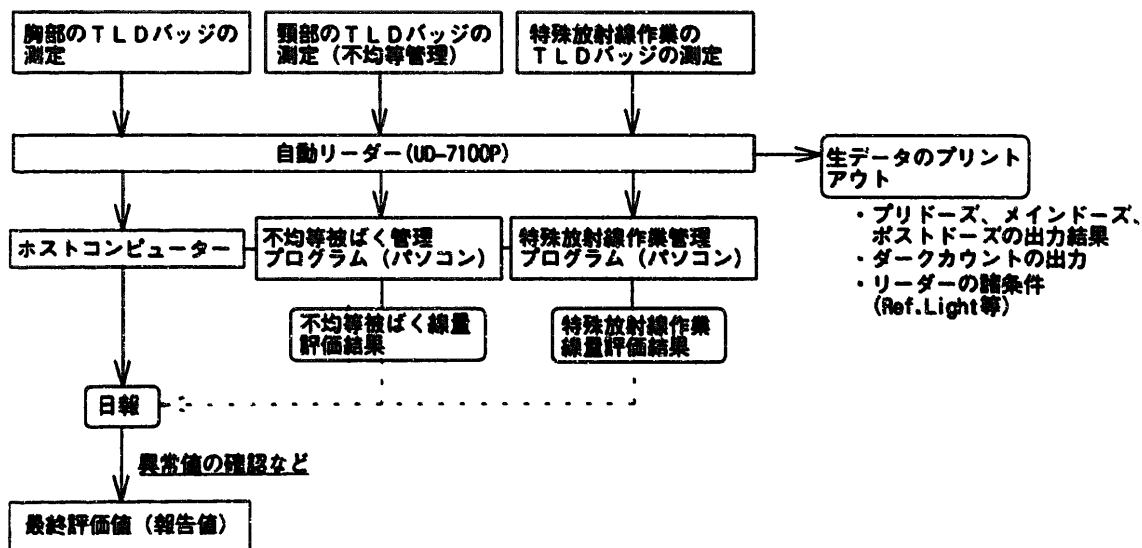


図2-6 TLDバッジの測定から個人線量当量値の確定までの流れ

線量計測定結果日報

評価値の単位 mSv  
mrem

出力日: 1994年01月31日 ページ: 1

管理区分	所属コード	氏名	線量計番号	全身線量計								出リング				送信口	中央検定番号		
				上:TLD 測定日	上:TLD 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値	上:P1 測定値			上:P1 測定値	上:P1 測定値
3	050110	伊藤 アキ	0415	0117	114.0	80	314.0	190	0	0	0	0	0	0	0	0	01910218	31910218	940399
				0131	83.0	80	303.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01910218	31910218	940399
				014													01930517	31930517	940399
3	050110	三ツツミ カンク	0406	0117	104.0	90	376.0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	01890420	31890420	940399
				0131	91.7	90	340.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01890420	31890420	940399
				014													01930517	31930517	940399
3	050110	フシムラ ノリ	0414	0117	106.0	90	301.0	190	0	0	0	0	0	0	0	0	01890401	31890401	940399
				0131	98.5	90	265.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				014													01890401	31890401	940399
3	050110	ニノエ カズシカ	0405	0117	102.0	90	409.0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				0131	91.9	90	385.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				014													01930517	31930517	940399
3	050110	エダ スカ	0416	0117	3.6	0	3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				0131	5.4	0	5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				014													01930524	31930524	940399
3	050110	アサヒ シン	0412	0117	118.0	90	285.0	170	0	0	0	0	0	0	0	0	01930524	31930524	940399
				0131	95.4	90	257.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01930524	31930524	940399
				014													0190911	3190911	940399
3	050110	アサヒ ツツ	0411	0117	4.1	0	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0190911	3190911	940399
				0131	4.4	0	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0190911	3190911	940399
				014													01910218	31910218	940399
3	050110	アサヒ ヨシノリ	0413	0117	106.0	90	326.0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	01910218	31910218	940399
				0131	92.9	90	289.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01931101	31931101	940399
				014															

合計 人数 8

TLD測定 8

全身線量計 0 100MB 0 1105 0

その他 0

図2-7 日報出力例 (ダミー出力であり、線量値は現実のものではない。PNC TN8410 95-378 中央登録番号等は全て安全対策課の職員のものである)

### 第3章 異常値判定のための基礎データ

#### 3-1 TLD素子の典型的発光関係

TLD素子の測定データの中から、異常測定値を探し出す際には、TLDバッジを構成する合計8個のTLD素子の読取り値の相互関係を用いるという方法が有効である。

第2章で述べたように、TLDバッジの各TLD素子はそれぞれの測定の対象とする放射線に対して固有の応答特性を持っているため、取り扱う放射線源の種類に応じてある決まった発光関係を持ち、これらの関係は多くの場合、作業区域（所属部課室）に対応する。これまでのTLDバッジの使用の経験から作業区域に応じた典型的な発光関係が判明しており[8~10]、それらを取りまとめた。

表3-1に作業区域（所属部課室）に応じた典型的なTLD素子の発光関係を示す。表では $\gamma$ 線による1cm線量当量にほぼ相当するエレメントG4の読取り値（ただし、バックグラウンド線量を差し引いたもの）を1.0に規格化した。以下、作業区域毎に簡単に説明する。

##### (1) プルトニウム燃料取扱施設

プルトニウム燃料工場、核燃料技術開発部（特にプルトニウム燃料開発室、転換技術開発室）に所属する作業者の着用したTLDバッジのTLD素子の発光関係は、中性子線が混在する場合と、混在が極めて少ない場合の2種類に大別される。

中性子線の混在割合の大小に関係なく、 $\gamma$ 線については、 $^{241}\text{Pu}$ の娘核種である $^{241}\text{Am}$ による $\gamma$ 線(59.5keV)が最も支配的であるため、低エネルギー $\gamma$ 線に対する感度が高いエレメントG3の値はエレメントG4の値の数倍程度となり、またエレメントG1、G2、G4の間の発光関係には大きな相違は無い。G3/G4比の値は線源周辺の $\gamma$ 線遮蔽状況や鉛エプロンの着用の有無に依存して変化するが、約2~10の範囲である\*。鉛エプロンの外側に装着する不均等被ばく管理用TLDバッジの場合には、 $^{241}\text{Am}$ による59.5keVの $\gamma$ 線を直接に検出するのでG3/G4比は8~10である[8,9]。また、3ヵ月被ばく管理者の場合には胸部に装着したTLDバッジでもG3/G4比が8~10である場合が多い。

一方、中性子線についてであるが、東海事業所のプルトニウム燃料を取り扱う施設の場合、作業者が恒常的に中性子線による被ばくを受けるような場所の中性子エネルギー分布等は比較的一定であり、従ってTLDの発光関係もほぼ一定となる。中性子線正味の発光関係では $N2:N3:N4=1.0:0.4:1.0$ という関係が得られている[9]。なお、エレメントN1は $\gamma$ 線のみを検出するが、TLD素子の前後に配したCd板の低エネルギー $\gamma$ 線の遮蔽効果によって、エレメントG4よりも値が小さくなる。また、中性子線の混在が

---

\* 平成6年度以降はG3/G4比は4~10程度である場合が多い。

無いような場合にはエレメントN1～N4はほぼ同一の値となる。

## (2) 再処理施設

再処理施設でのTLD素子の発光関係についてであるが、中性子線の混在は無視できるため、 $\beta$ 線の混在の有無によってのみ発光関係は変化する。

$\gamma$ 線の場合には、核分裂生成物から放出される $\gamma$ 線のエネルギーは数100keV以上のものがほとんどであり、従ってエレメントG3とエレメントG1、G2、G4の値の間には相違は無く、またエレメントN1～N4についても同様である。ただし、再処理工場工務部分析課・技術課などでは、プルトニウム同位体を取り扱っているため $^{241}\text{Am}$ の59.5keVの $\gamma$ 線によってG3/G4比が5～10程度となり、エレメントN1～N4はエレメントG4等と比べるとやや小さな値となる場合もある。

次に $\beta$ 線についてであるが、定常的な作業の場合には有意な被ばくとして検出されることはほとんどない。ただし、セル内作業のような特別な作業では、 $\beta$ 線による被ばくの可能性がある、その場合にはエレメントG4よりもエレメントG1とG2の値が必ず大きくなる。過去のTLDバッジの測定データの解析例によると、有意な被ばくとして検出されるケースではTLDバッジの $\beta$ 線に対する正味の発光関係は $G2/G1=0.5\sim 1.0$ 程度であり、再処理施設で取り扱う主な $\beta$ 線放出核種 ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ ) [11]の放出する $\beta$ 線エネルギーから考えても $G2/G1=0.5\sim 1.0$ はほぼ妥当な結果である。ただし、 $\beta$ 線のTLDバッジに対する入射方向によってはエレメントG1とG2の発光が逆転する場合があること、バッジケースの $\beta$ 線透過窓の隙間部分から入射した $\beta$ 線が、本来 $\beta$ 線を検出しないよう設計のなされているエレメントG3の発光に影響を与えるらしいことが分かっている。なお、TLDバッジから算定された $\beta$ 線の70 $\mu\text{m}$ 線量当量と $\gamma$ 線の1cm線量当量の割合はほぼ1：1から2：1であるが[10]、 $\beta$ 線のみによる被ばくも希に存在する。

## (3) その他

安全管理部・環境施設部などに所属する作業者の場合には、立入施設によっては $\gamma$ 線による有意な被ばくが認められる場合がある。その場合には $^{241}\text{Am}$ による59.5keVの $\gamma$ 線による被ばくが主であり、G3/G4比は8～10である。また、実験用の標準 $\beta$ 線源の取扱いによってG1、G2がG4よりも読取り値が大きいような場合も僅かながら存在する。

管理区域に入ることのないような作業者については、全てのTLD素子の読取り値はバックグラウンド線量に等しい。

表3-1 TLDバッジのTLD素子の典型的発光関係（バックグラウンド線量を除いた場合）

所属	条件	G1	G2	G4	G3	N1	N2	N3	N4
プルトニウム 燃料工場等	中性子線 混在あり	1.0			2.0~ 10.0 a)	0.5~1.0	N1 + $\alpha$ b)	N1 +0.3 $\times\alpha$	N1 + $\alpha$
プルトニウム 燃料工場等	中性子線 混在なし	1.0			2.0~ 10.0 a)	0.5~1.0	0.5~1.0		
プルトニウム 燃料工場等	不均等被ばく 管理用	1.0			5.0~ 10.0	-	-		
再処理工場等	$\beta$ 線混在なし	1.0			1.0	1.0	1.0		
再処理工場等	$\beta$ 線混在あり	G4 + $\beta$ c)	G4+ (0.5~1.0) $\times\beta$	1.0	1.0	1.0	1.0		
再処理工場等	$\beta$ 線混在なし $^{241}\text{Am}$ 使用 d)	1.0			2.0~ 10.0	0.5~1.0	0.5~1.0		
その他	バックグラウンド のみ	1.0			1.0	1.0	1.0		

- a) 三ヵ月管理者の場合には約10の者の割合が多い。  
b)  $\alpha$ :中性子線量当量に比例した量  
c)  $\beta$ : $\beta$ 線線量当量に比例した量  
d) 主に再処理工場工務部分析課、技術課

(4) TLD素子の感度の個体差による発光関係の変化

TLDバッジを構成するTLD素子の感度は全て等しく揃っているわけではないので、上述した発光関係はある程度の変動を伴うことに留意しておかなければならない。

同一プレート上にある同一種類のTLD素子については、相関係数 $r^2=0.8$ 程度で感度が揃っていることが判明している[12]、UD-808PのエレメントG1、G2、G4及びUD-809PのエレメントN2、N3、N4については同程度の感度を有する一つのグループとした上で、他の種類のTLD素子との発光の関係を調べる必要がある。

また、現在TLD素子の品質管理プログラムでは、 $^{137}\text{Cs}$ 等による $\gamma$ 線の照射を行ったときの読取り値が照射量に対して $\pm 20\%$ 以内のものを合格としており[13]、TLD素子全体での感度のばらつきは $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子で約8%、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子で約5%である。[12] 従って、異なる種類のTLD素子の発光量を比較する場合は、固有のエネルギー依存性が無視できる条件下であっても、10%程度（最大で40%）の値の違いは十分にありうるし、低線量側では統計変動が発光関係に影響を与える点も考慮すべきである。図3-1に $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の読取り値と統計変動の関係[12]を示す。 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の場合、10mR相当程度の読取り値では約15%程度の統計変動がある。

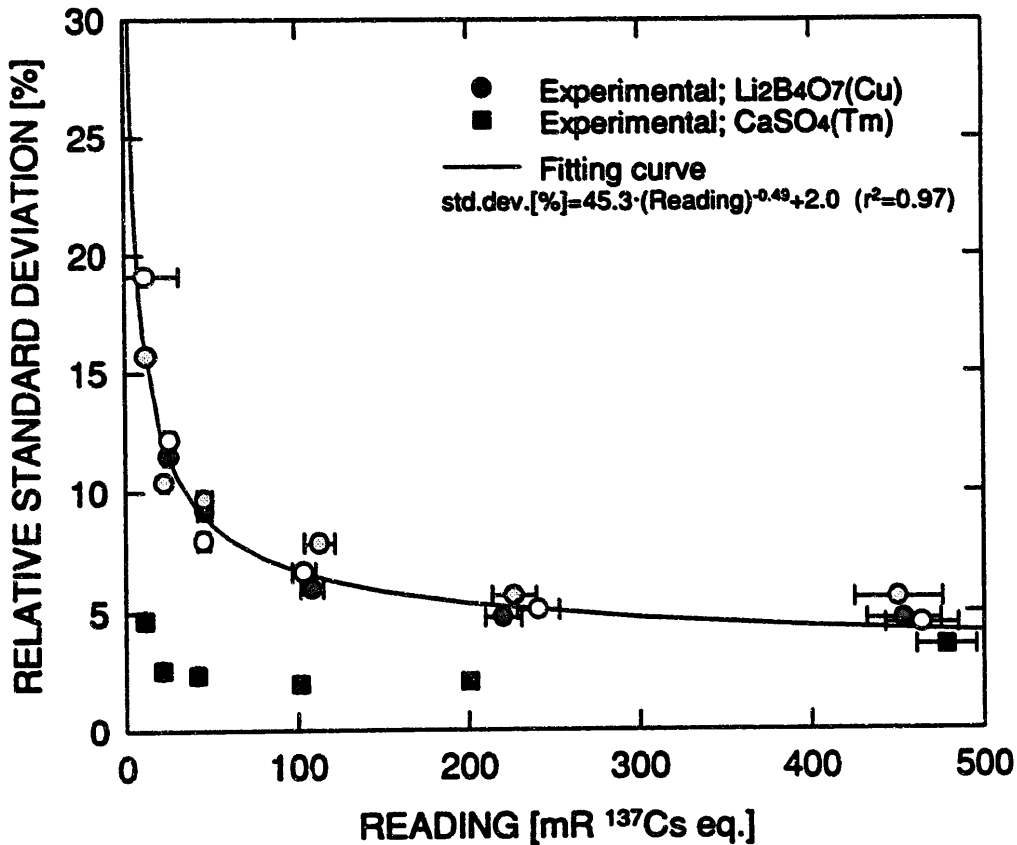


図3-1 TLD読取り値と統計変動の関係[12]

### 3-2 ダークカウント、光学系の感度変化

第2章で述べたように、TLD線量計の測定を行う前に、主に光電子増倍管及びプリアンプからの雑音信号（ダークカウント）の測定と、内蔵光源による光学系の感度校正を行い、リーダーが常に正しい状態に保たれているかどうかを確認する。

光電子増倍管の雑音信号の要因としては、(1)ダイノードからの熱電子放出、(2)ガラスの発光（主に宇宙線による）、(3)光電面からの熱電子放出、が考えられる。前二者の信号は波高弁別により熱蛍光による光電子パルスとの分離が可能であるが、(3)の光電面からの熱電子放出による信号は光電子パルスと区別ができない。UD-7100P型自動リーダーで使用する光電子増倍管（浜松ホトニクス株式会社製 R464）の場合、光電面からの熱電子放出によるカウント数は5カウント/秒程度（常温の場合）であり、従ってメインドーズの測定時間が445msecである  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  素子の測定時にも2~3カウント程度のダークカウントがありうる。ダークカウントは温度によっても変化するが、経験的には通常数カウント程度（多くとも10数カウント程度）であり、線量に換算すると約2~6mR（ $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ の場合）となる。

なお、自動リーダーではダークカウントが300\*カウントよりも大きい場合、エラーメッセージが表示され、自動的に測定を停止する。

一方、光学系の感度変化についてであるが、内蔵光源の放出する光は常に一定量であるため、通常はそれによるカウント数もほぼ一定の値となる。ただし、数多くの線量計の測定を連続して行った場合、微量の埃などが光電子増倍管前面のライトガイド部に付着するため、TLDから放出される熱蛍光の検出効率が次第に小さくなる。

図3-2に、300個のTLD線量計を連続測定した場合の、内蔵光源によるカウント数とデフォルト値の比（11ページの(2b)の値）の変化を示す。測定した線量計の個数が増えるにつれて、デフォルト値に対する内蔵光源によるカウント数の比は次第に減少していくが、最大値と最小値の比は1.03程度であり、埃等による光学系の感度変化は極めて小さいと言える。

なお、自動リーダーでは、デフォルト値に対する内蔵光源によるカウント数の比が $1.00 \pm 40\%$ を超えた場合、エラーメッセージを表示する。

---

\* 平成7年11月より、ダークカウントの上限値を50カウントに設定し直した。



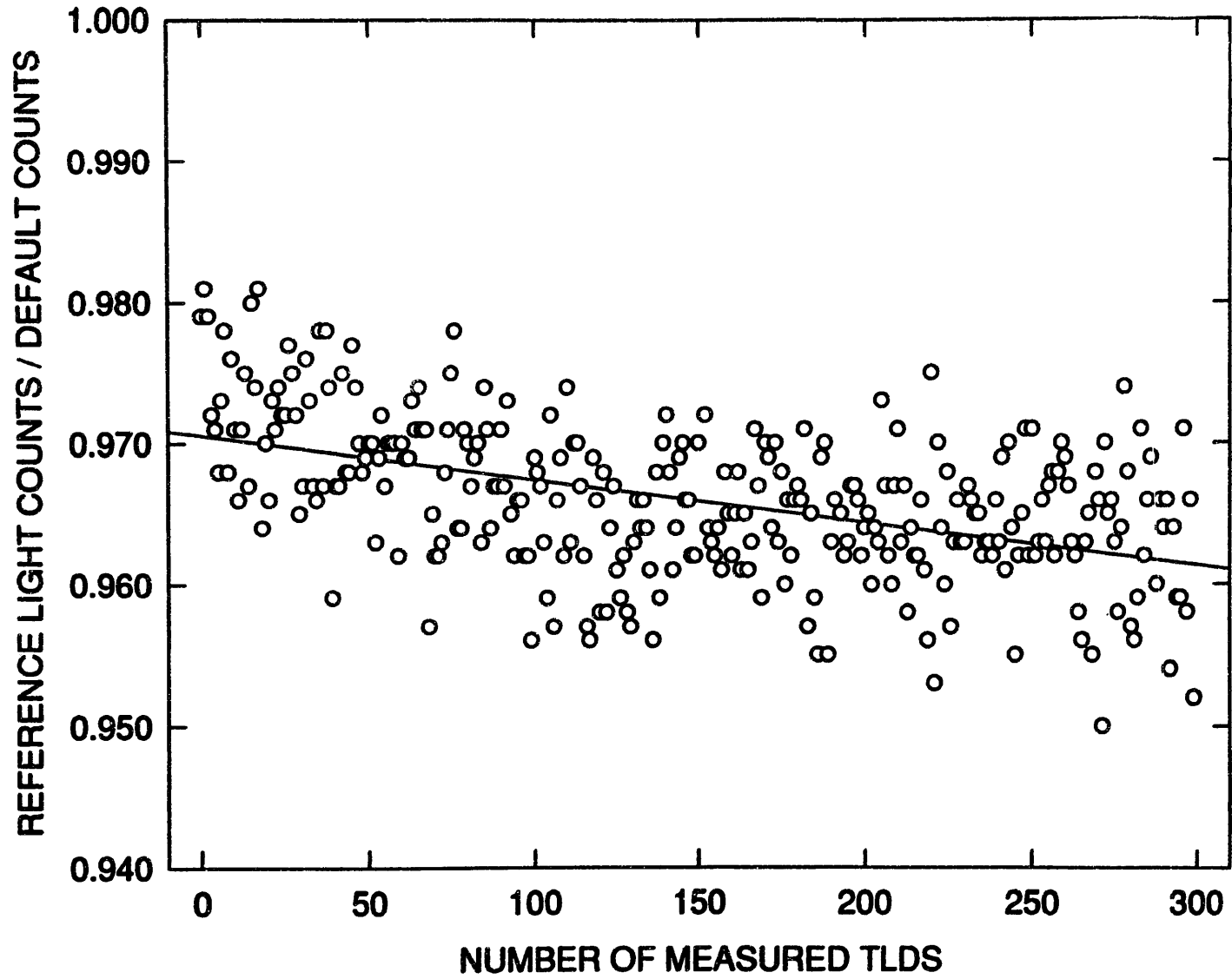


図3-2 多数個のTLD測定に伴う内蔵光源によるカウント数 (ref-light値) の変化

### 3-3 プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係

第2章で説明したように、自動リーダーの測定値であるプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの相互関係は大雑把なグロー曲線とでもいえるものであり、それらの相互の関係を調べることで、正常な加熱や測定がなされたかどうかを知ることができる。

これまでに行ったTLDバッジの各種の照射試験の結果を用いて正常な測定がなされた場合のメインドーズとプリドーズ、ポストドーズの関係を調べた\*。

図3-3(a)~(d)にUD-808P、UD-809P線量計のメインドーズとプリドーズの関係を示す。図(a)~(d)は、それぞれ ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ (エレメントG1,G2,G4)、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ (同、G3)、 ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ (同、N1)、 ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ (同、N2,N3,N4)素子の測定結果であり、これらの図からメインドーズとプリドーズは直線的な関係を持っていることが分かる。これは、プリドーズが照射量に比例することと、2-2節で述べたようにランプの点灯とカウンターのゲートを開くタイミングの相互関係によって、熱蛍光の主ピーク部分の信号の一部がプリドーズ側で計数されているためである。

また、図3-3(d)は ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ の結果であるが、中性子線と $\gamma$ 線の照射を行った場合とでは、メインドーズとプリドーズの関係に相違が見られた。 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ の場合、放射線の線質にグロー曲線は依存しないとされているが[14]、本解析の結果から、メインドーズとプリドーズの境界近傍でのグロー曲線が微妙に異なる可能性がある。

図3-4(a)~(d)は、メインドーズとポストドーズの関係である。図(a)(c)(d)に示した $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の場合、ポストドーズは約30mRの切片を持ったメインドーズの一次関数で表すことができる。メインドーズとプリドーズの関係と同様に、主ピークの一部がポストドーズ側で計数されるため、メインドーズに比例してポストドーズも増加する。約30mRの切片は、熱輻射による擬似的な信号であり、放射線による発光とは関係ない。また、ポストドーズの場合、中性子線と $\gamma$ 線のデータとで有意な相違は無かった。

図(b)は、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ の結果である。前述したように、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ の場合と異なり $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ のポストドーズは昇温しきらなかった主ピーク信号の一部であるため、メインドーズとポストドーズが比例の関係になる。熱輻射による疑似信号も僅かに含まれるが、その疑似信号のカウント数から線量相当へ変換する係数の値が $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ は $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ に比べて極めて小さいため、切片の値は小さい。

表3-2、表3-3に、メインドーズとプリドーズ、ポストドーズの相関式を示す。

\* 用いたデータは、個人線量計の全社クロスチェック(昭和60年~平成5年)、ORNL個人線量計相互比較試験(PDIS14~18)、計測機器校正施設での照射試験の結果等である。誤差棒は、3~15個のデータの標準偏差(1 $\sigma$ )である。

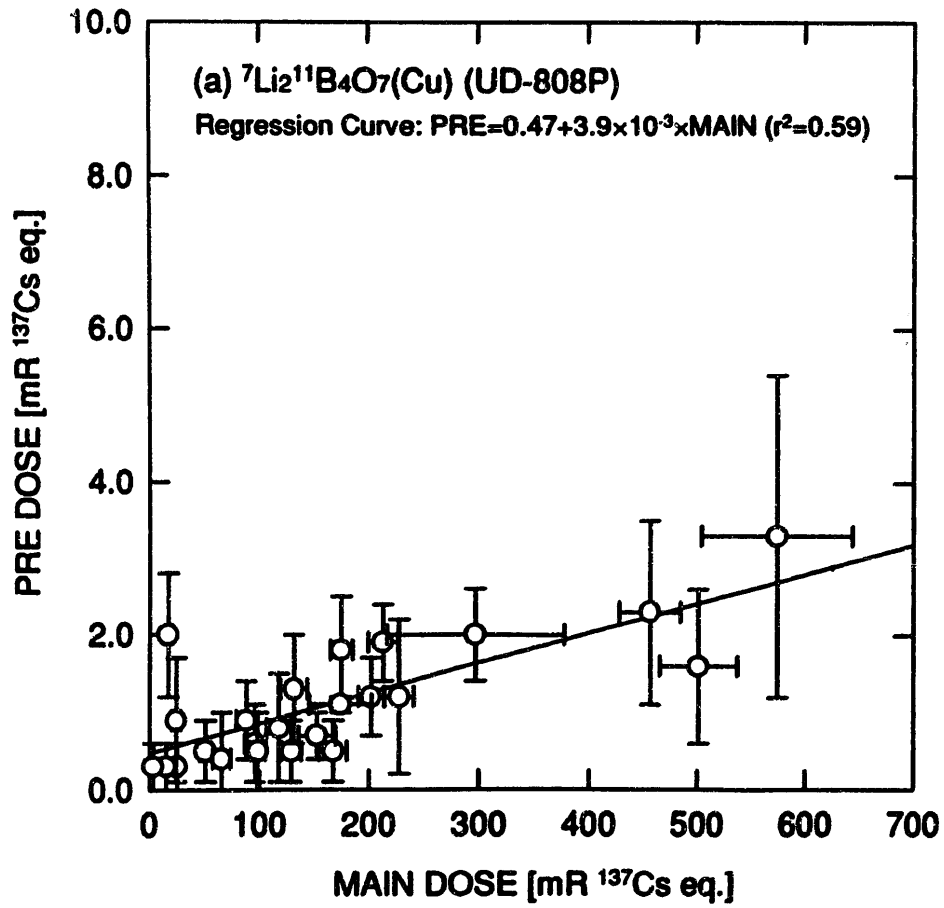


図 3-3 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
 メインドーズとプリドーズの関係

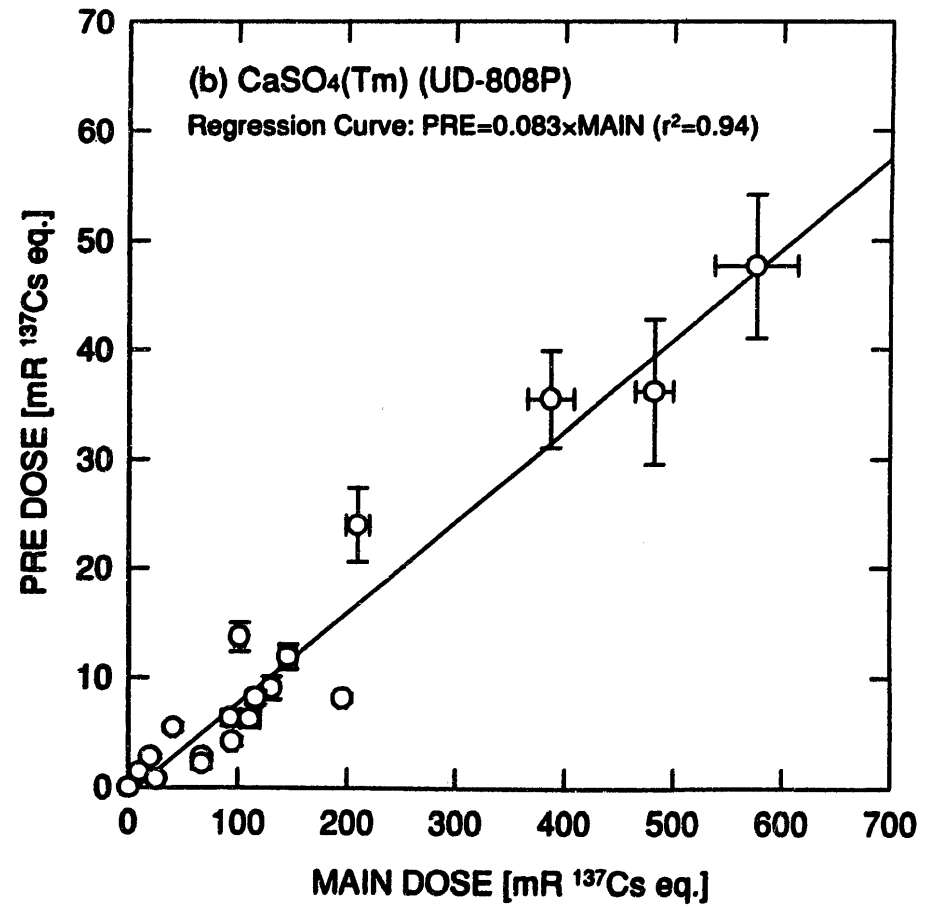


図 3-3 (b) UD-808P線量計の $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の  
 メインドーズとプリドーズの関係

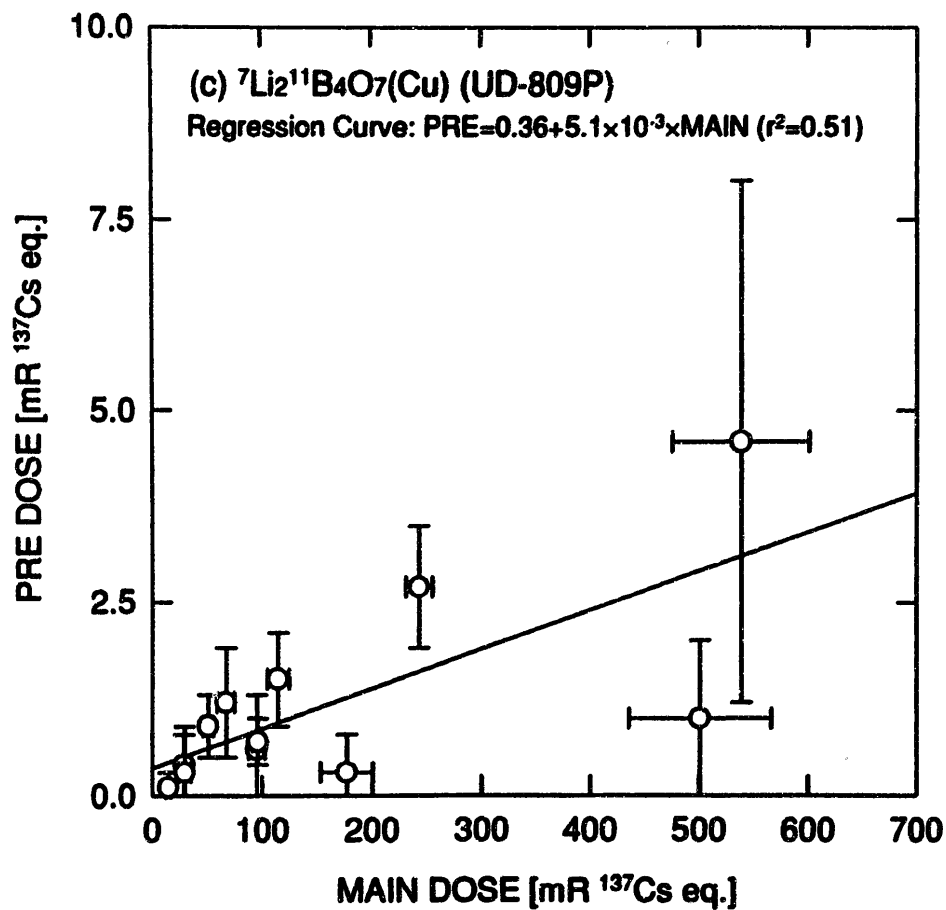


図 3-3 (c) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係

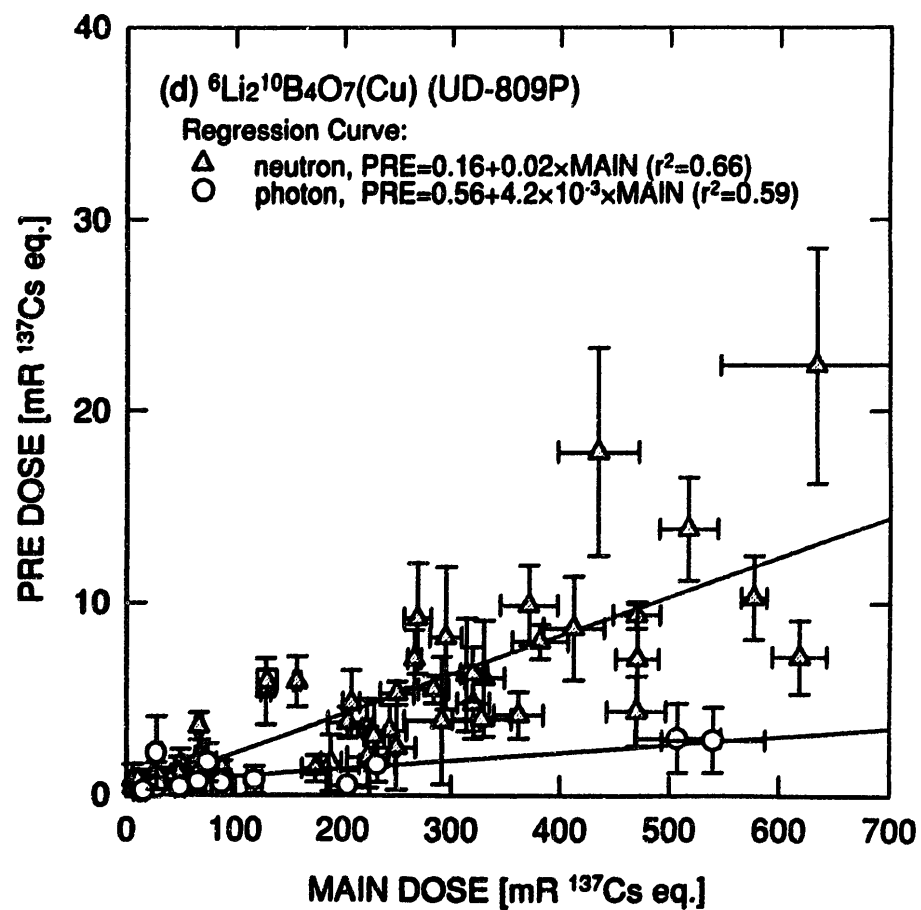


図 3-3 (d) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係

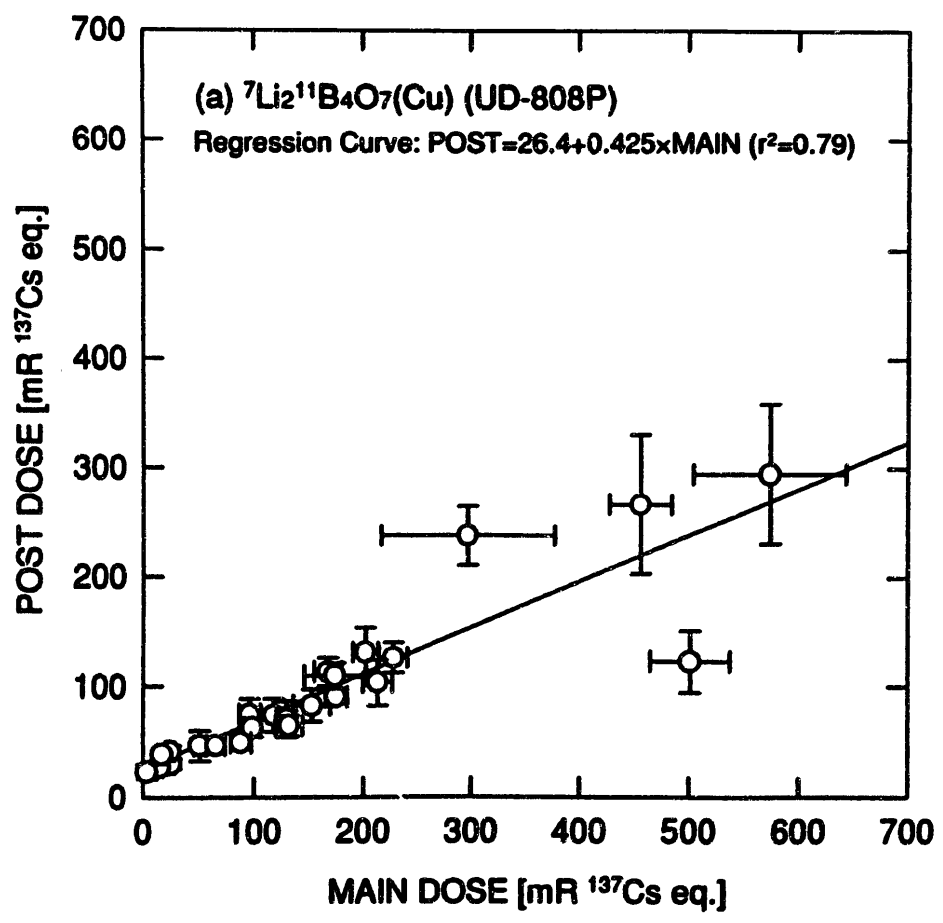


図 3-4 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
 メインドーズとポストドーズの関係

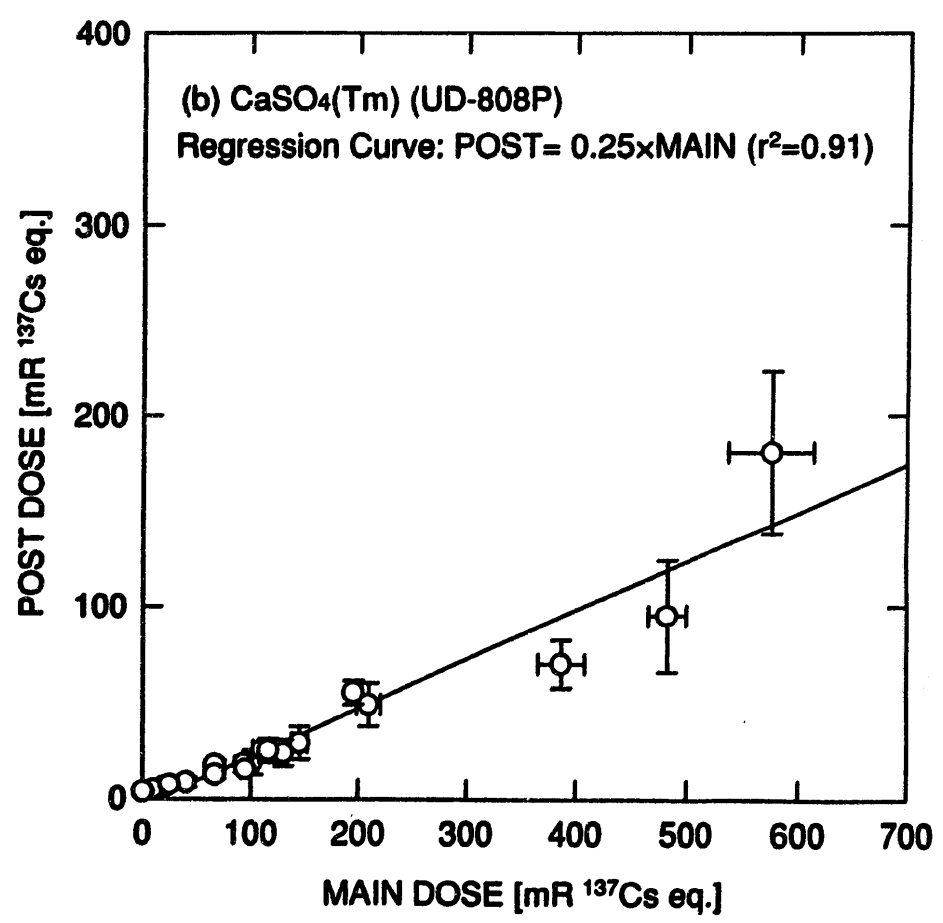


図 3-4 (b) UD-808P線量計の $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の  
 メインドーズとポストドーズの関係

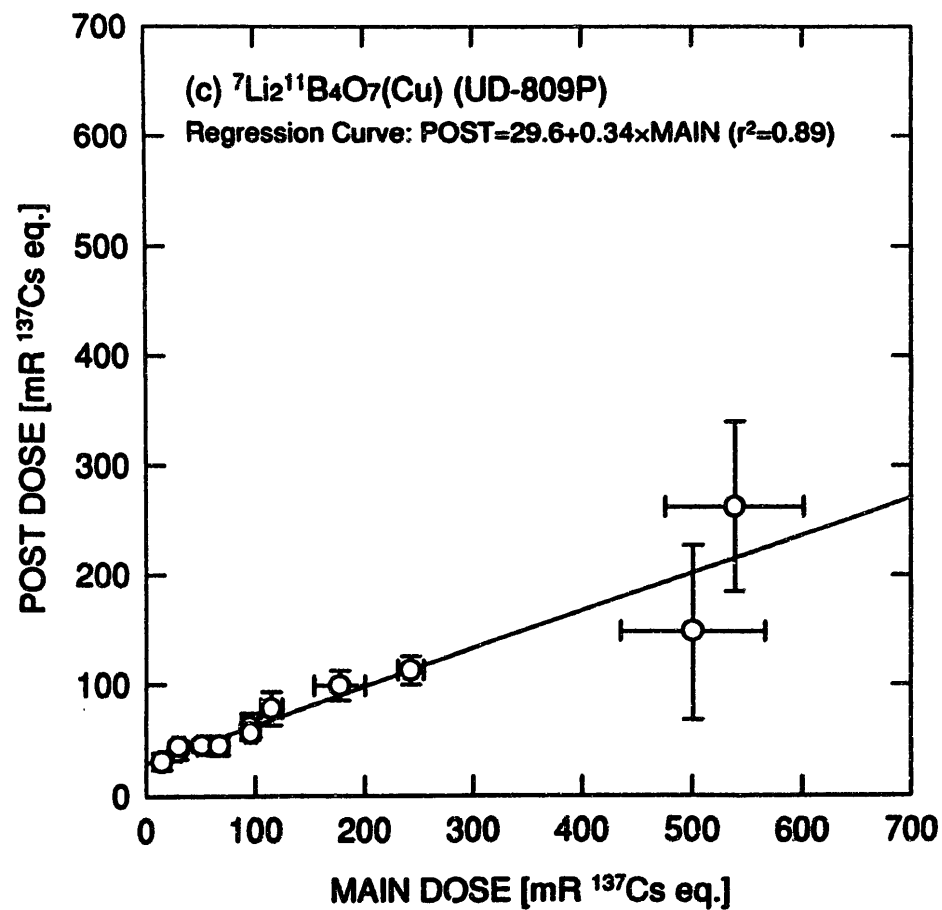


図 3-4 (c) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係

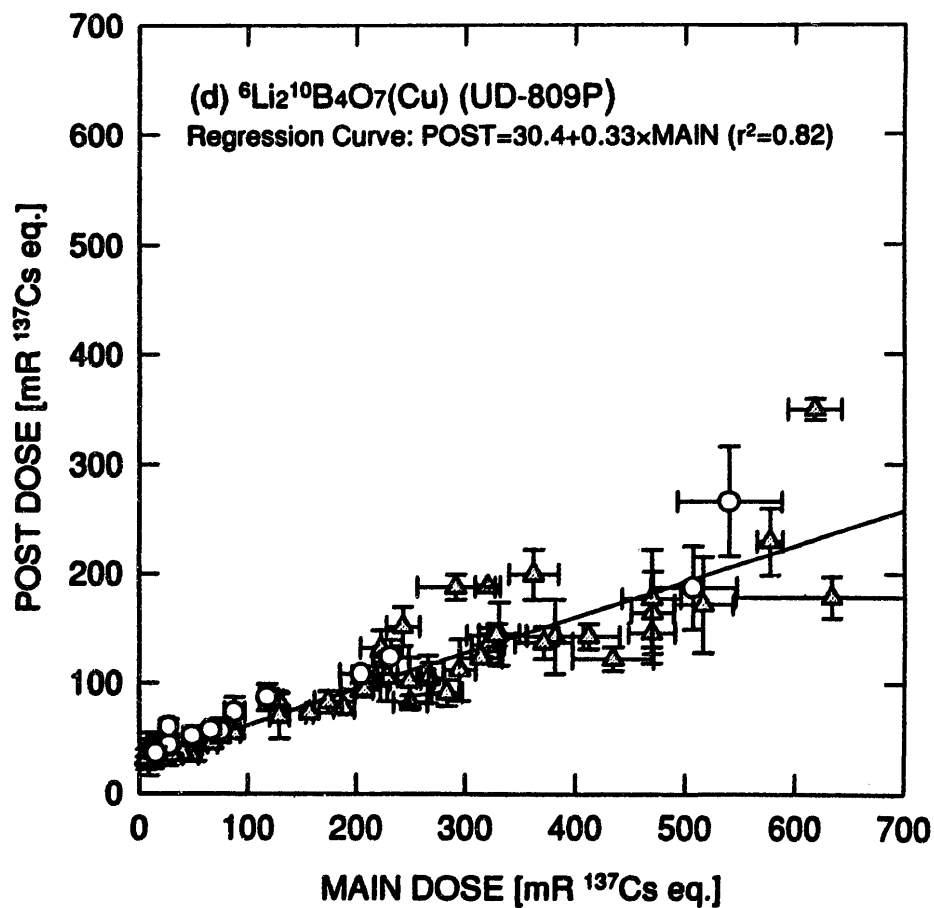


図 3-4 (d) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係

なお、プリドーズは初期フェーディングの影響によって経時変化が極めて大きいが、TLDの測定は照射後1日間以上放置してから実施しており、本節で示したプリドーズとメインドーズの関係に対する初期フェーディングの影響は小さい。照射後、数時間の間の初期フェーディングによるプリドーズとメインドーズの経時変化についての試験結果を補遺にまとめた。

表3-2 メインドーズとプリドーズの関係

蛍光体	エレメント	相関式[mR <sup>137</sup> Cs eq.]	相関係数(r <sup>2</sup> )
<sup>7</sup> Li <sup>21</sup> B <sup>4</sup> O <sup>7</sup> (Cu)	G1, G2, G4	PRE=0.47+3.9×10 <sup>-3</sup> ×MAIN	0.59
	N1	PRE=0.36+5.1×10 <sup>-3</sup> ×MAIN	0.51
<sup>6</sup> Li <sup>210</sup> B <sup>4</sup> O <sup>7</sup> (Cu)	N2, N3, N4	PRE=0.16+2.0×10 <sup>-2</sup> ×MAIN <sup>a</sup>	0.66
		PRE=0.56+4.2×10 <sup>-3</sup> ×MAIN <sup>b</sup>	0.59
CaSO <sub>4</sub> (Tm)	G3	PRE=0.08×MAIN	0.94

a. 中性子線照射試験 (γ線の混在あり)

b. γ線照射試験

表3-3 メインドーズとポストドーズの関係

蛍光体	エレメント	相関式[mR <sup>137</sup> Cs eq.]	相関係数(r <sup>2</sup> )
<sup>7</sup> Li <sup>21</sup> B <sup>4</sup> O <sup>7</sup> (Cu)	G1, G2, G4	POST=26.4 + 0.43×MAIN	0.79
	N1	POST=29.6 + 0.34×MAIN	0.89
<sup>6</sup> Li <sup>210</sup> B <sup>4</sup> O <sup>7</sup> (Cu)	N2, N3, N4	POST=30.4 + 0.33×MAIN	0.82
CaSO <sub>4</sub> (Tm)	G3	POST=0.25×MAIN	0.91

## 第4章 異常測定値例とそのパターン解析

### 4-1 平成6年度の異常測定値例

平成6年度（平成5年4月～平成6年3月）に測定を行った定常モニタリング用のTLDバッジの日報出力結果から、異常な測定データを抽出した。異常の判定の方法は、表3-1に示した典型的発光関係を利用した主観的な判断によるものであり、従って判定基準は定量化されたものにはなっていない。ただし、今回抽出した異常測定データのほとんどは、複数個のTLDがバックグラウンド線量あるいは同等の読取り値であるのに対して、唯一個だけが飛び抜けて読取り値が大きいものを重点に選んでおり、抽出したデータは十分に“正常ではない”といえるものである。

なお、抽出したこれらの異常値の中で被ばく線量当量が有意と出力されたものについては、異常値以外のTLDの相互の発光関係などから線量当量を評価し、個人の被ばく線量当量を確定する段階で修正を加えている。

#### (1) 異常測定値例

図4-1(a)に、異常値を抽出する際に比較参照したエレメントの読取り値と異常と思われるエレメントの読取り値の比較を示す。比較参照としたエレメントは、異常値以外の全てのエレメントの読取り値がバックグラウンド線量程度の場合には最も感度の高いエレメントG3とし、バックグラウンド線量を超えるような場合には、異常値が得られたエレメントと測定対象とする放射線が同様であるものの平均値とした。何らかの異常があると判定されたエレメントは全て  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  素子であった。

図中に示した破線は正常な測定値の場合に予想される関係であり、ほとんど全てのプロットは比較参照としたエレメントの読取り値よりも大きく、中には10倍を超えるものもあった。また、逆に予想される値よりも10倍程度小さなものも一例だけ存在した。

図4-1(a)の低線量域を拡大したものを図4-1(b)に示す。なお今回抽出した異常測定データを一覧表にまとめたものを巻末に付録として示す。

#### (2) 異常値の件数

平成6年度のTLDバッジの全測定件数に対する、異常値が認められたTLDバッジの測定件数（同一TLDバッジ中の複数のTLDに異常が合った場合にも1個と数える）の割合を表4-1に示す。異常測定値と判断されたものの総数は、全測定件数のうち約0.5%であった。

また、平成6年4月6～11日、平成6年10月27日の測定においては、異常値が認められる件数が多く、特に平成6年10月27日測定分では約半数に何らかの異常が認められた。



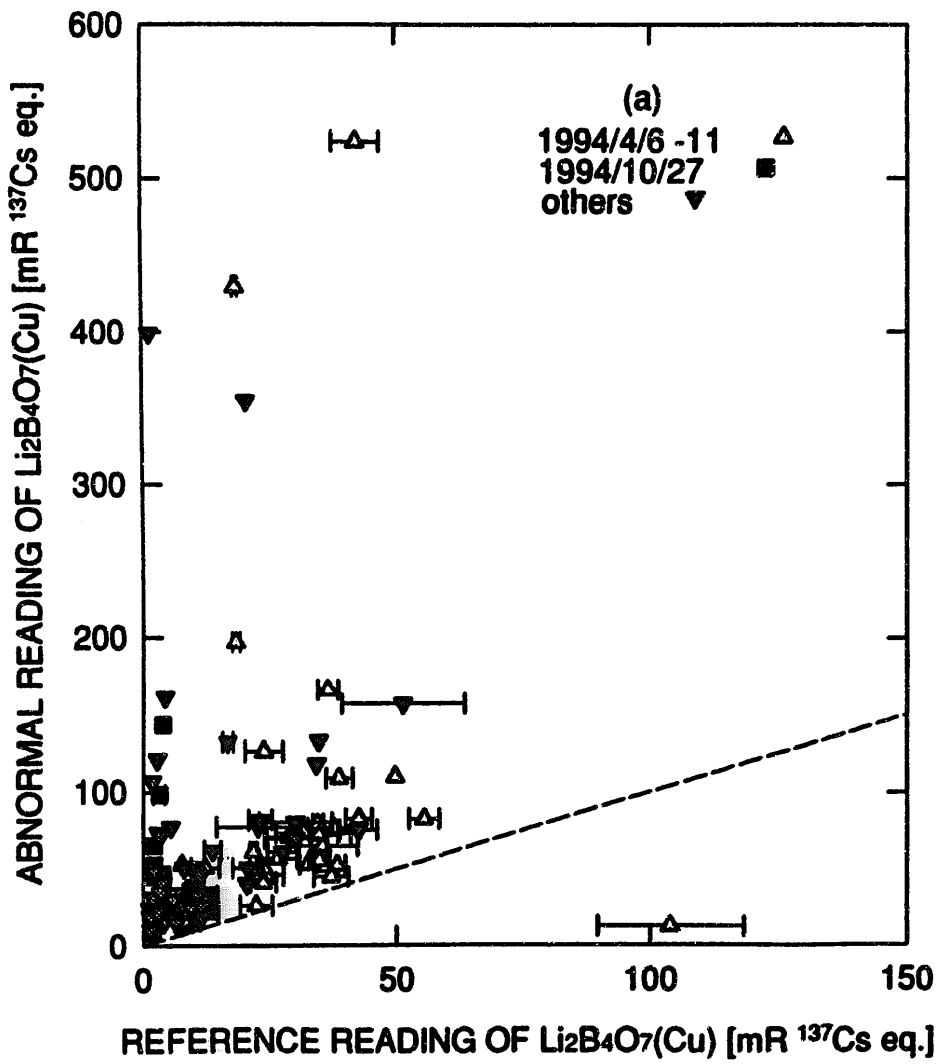


図 4-1 (a) 異常測定値と比較参照とした正常な読取り値の比較  
(破線は 1 : 1 の場合)

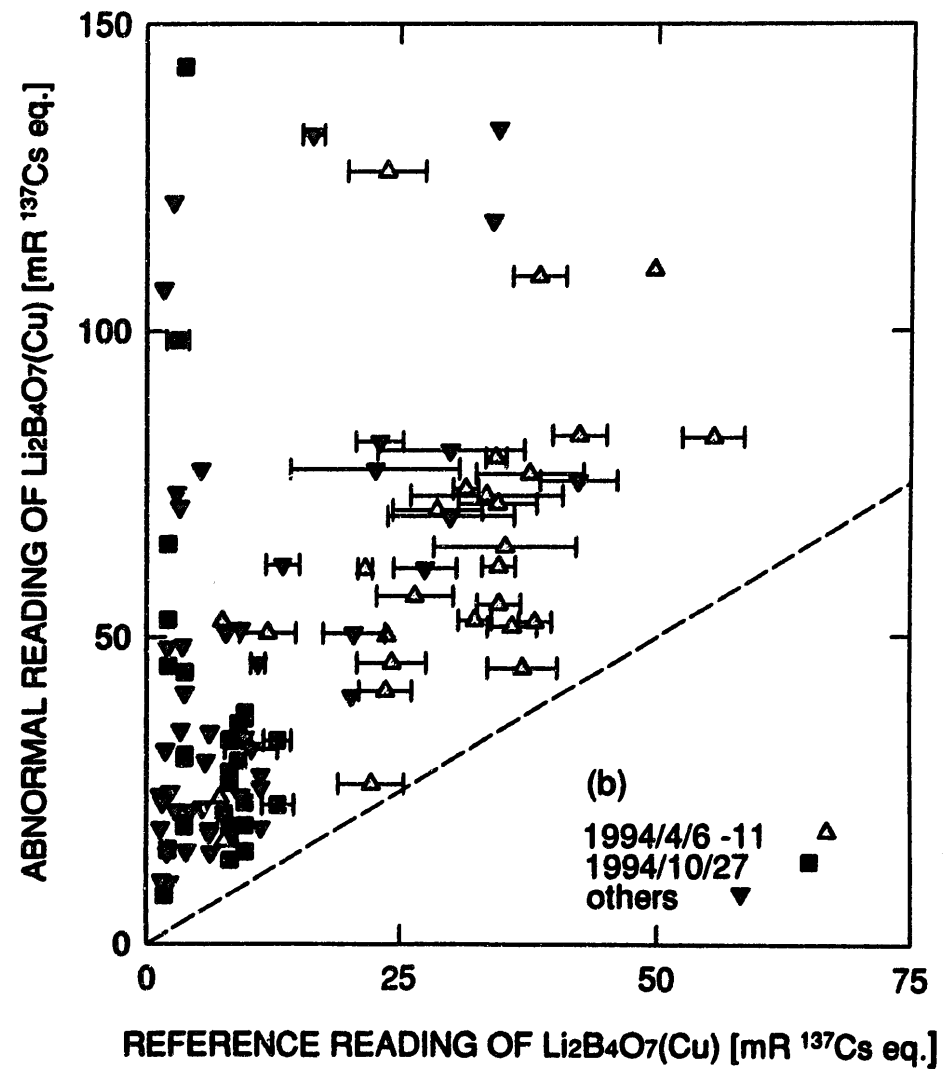


図 4-1 (b) 異常測定値と比較参照とした正常な読取り値の比較 (拡大図)  
(破線は 1 : 1 の場合)

線量計の種類、製造時期、エレメント別に抽出した異常値の数を表4-2にまとめた。異常値が得られたTLDバッジは平成6年度年間で合計87個であるが、UD-808P、UD-809P線量計別に見るとそれぞれ55、40個であった。UD-808P線量計の方が異常値の数がやや多いが、これはUD-808P線量計の方が配布している実数が多いためである。また製造時期別では1982～83年に導入したものに異常測定値が圧倒的に多いが、これはその時期に製造された線量計が個人被ばく管理業務で使用する線量計の80%以上を占めていることによる。

また、エレメント別に見るとエレメントG4、N1に異常値が多い傾向にある。ただし、異常測定値を見つけだす際には、エレメントG4やN1など線量当量の評価に最も影響を及ぼすようなエレメントの値に注目する機会が多いため、この結果だけからはエレメントG4とN1が他のエレメントに比べて異常値が起こる可能性が高いと断定できない。

表4-1 異常測定値の発生割合

測定期間	TLDバッジの 測定件数	測定値に異常が 認められた件数	異常値の 発生割合[%]
平成6年度	18723	87	0.5
平成6年4月6～11日 (平成5年度第4四半期分 の定期測定)	2255	34	1.5
平成6年10月27日 (指定解除者の測定)	17	9	52.9

表4-2 異常測定値と判定されたエレメント数

線量計 製造時期	異常値の あった 線量計数	エレメント別異常値数				異常値の あった エレメント数
		G1	G2	G3	G4	
UD-808P						
全体	55	12	18	0	35	65
1982年製造	27	10	11	0	14	35
1983年製造	18	1	4	0	15	20
1984年製造	0	0	0	0	0	0
1990年製造	2	0	1	0	1	2
1994年製造	8	1	2	0	5	8
UD-809P		N1	N2	N3	N4	
全体	40	27	11	4	9	51
1982年製造	34	23	10	4	6	43
1983年製造	5	3	0	0	2	5
1990年製造	1	1	1	0	1	3

### (3) プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係

異常測定値のメインドーズ、プリドーズ、ポストドーズの関係と、図3-2、3-3に示した正常な場合の関係を比較した。

図4-2(a)～(c)にそれぞれメインドーズとプリドーズの関係を示す。図(a)～(c)はそれぞれUD-808P線量計の ${}^7\text{Li}2^{11}\text{B}407(\text{Cu})$  (エレメントG1、G2、G4)、UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}2^{11}\text{B}407(\text{Cu})$  (エレメントN1)、 ${}^6\text{Li}2^{10}\text{B}407(\text{Cu})$  (エレメントN2、N3、N4)の結果である。平成6年4月6～11日及び同年10月27日は異常値の発生割合が多かった時期であり、それぞれプロットを△、□印とし、それ以外の時期の異常値については▽印で示した。

図の結果から異常値の場合のメインドーズとプリドーズの関係は、実験的に得られた正常な場合の関係と大きく異なっていることがわかる。通常の個人被ばく管理業務で予想されるメインドーズの値は最大でも数100mR相当程度であり、その場合のプリドーズはたかだか数mR相当でしかない。図に示したようにプリドーズがメインドーズよりも極端に大きく、しかも1000mR相当にも達するような測定値は正常な測定条件はあり得ず、また仮に何らかの理由によってメインドーズの信号がプリドーズとして計数されたとしても1000mR相当に達することはない。

一方、メインドーズとポストドーズの関係を図4-3(a)～(c)に示す。図(a)～(c)は図4-2(a)～(c)と同様である。メインドーズとプリドーズの関係と同様に、ポストドーズの値がメインドーズの値に比べて大きいものも多く、プリドーズと同様に1000mR相当以上のものもあった。

なお、今回抽出した異常データについては、その測定時のダークカウントは全て通常レベル(数カウント程度)であった。

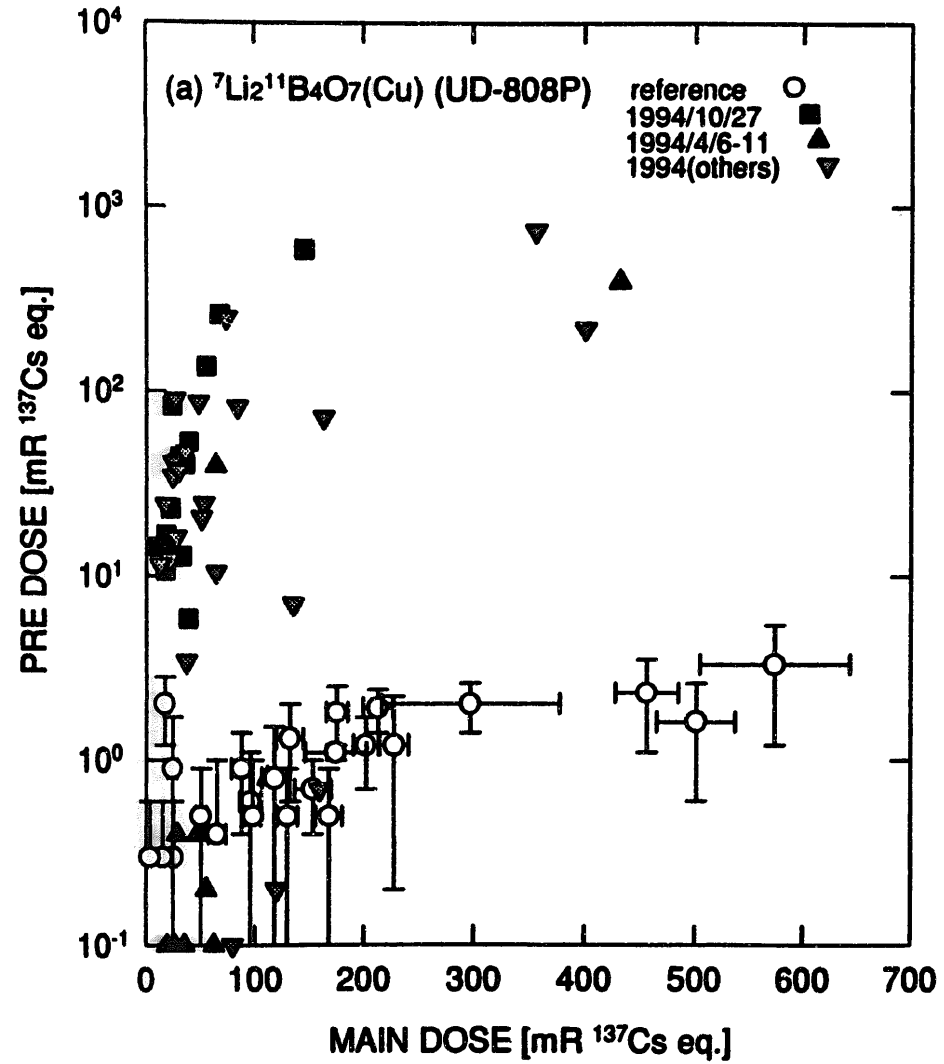


図 4-2 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとプリドーズの関係

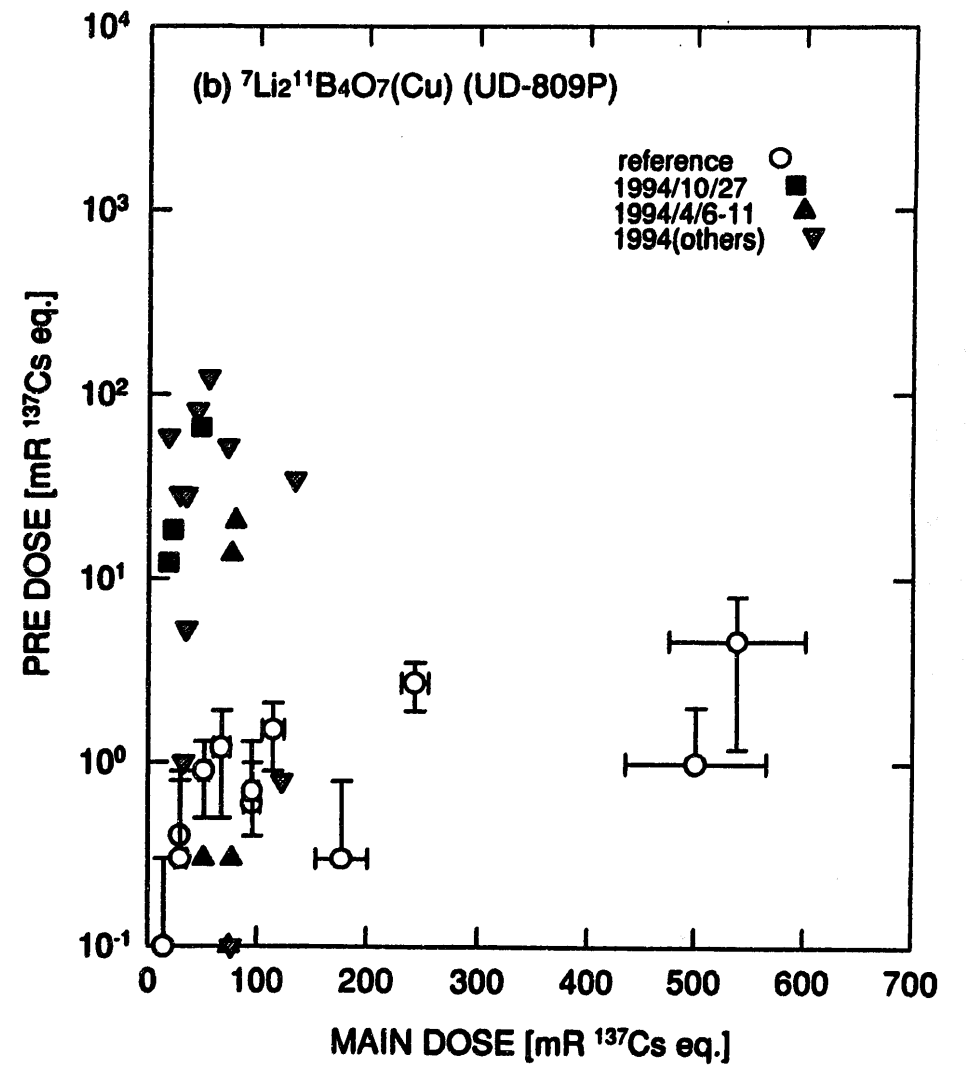


図 4-2 (b) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとプリドーズの関係

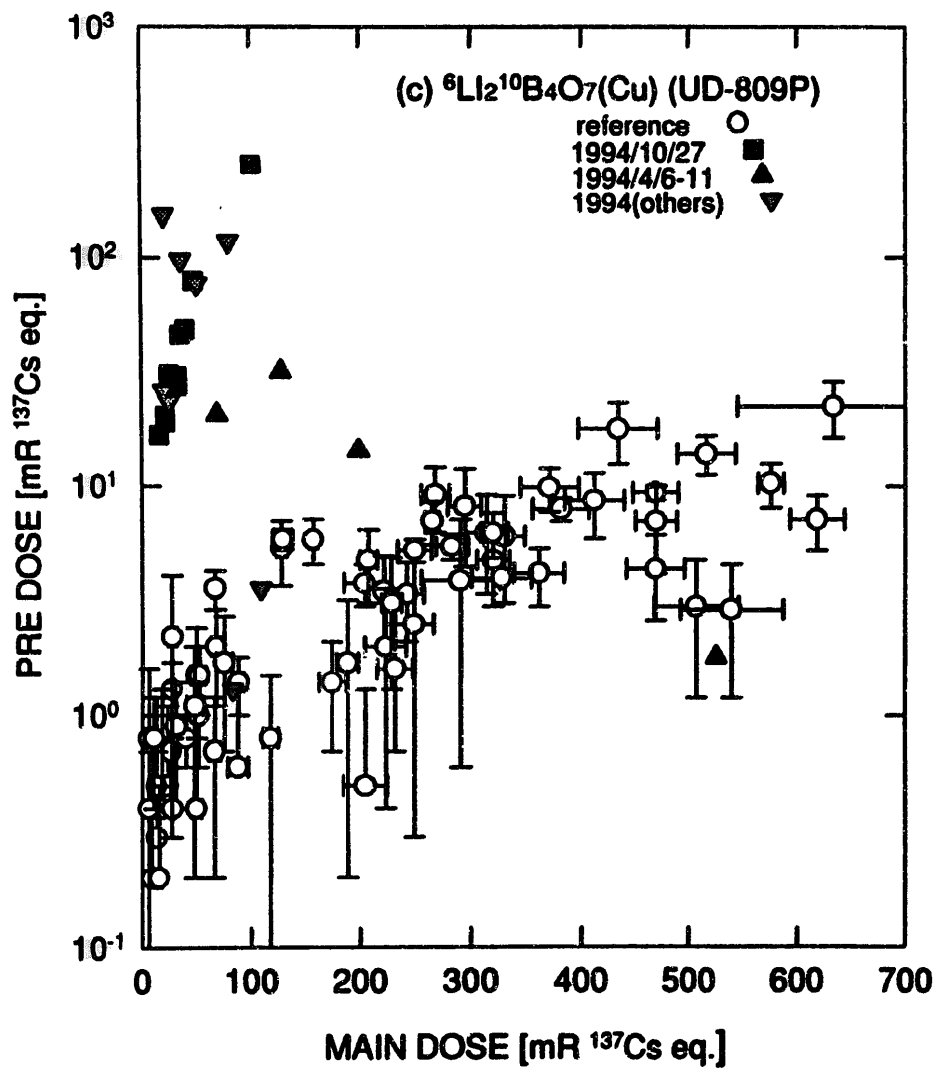


図 4-2 (c) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値の  
 メインドーズとプリドーズの関係

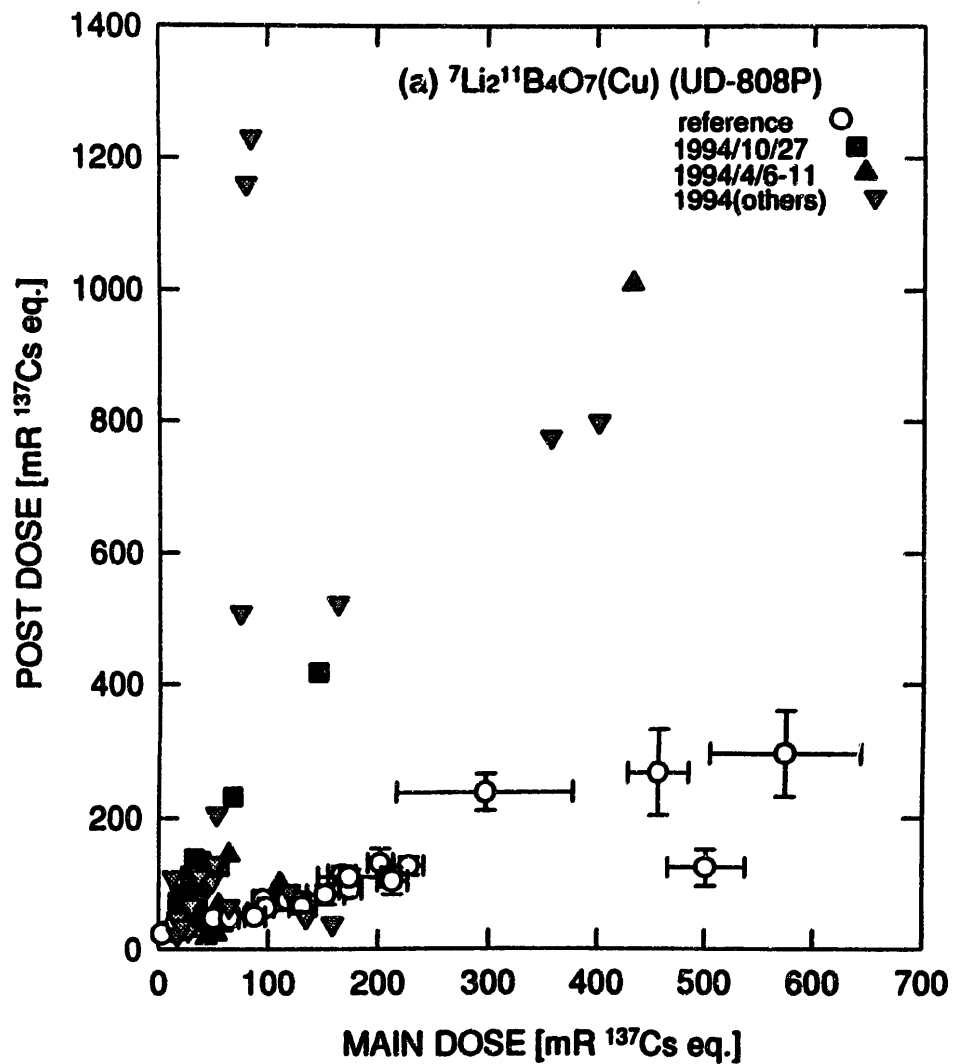


図 4-3 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとポストドーズの関係

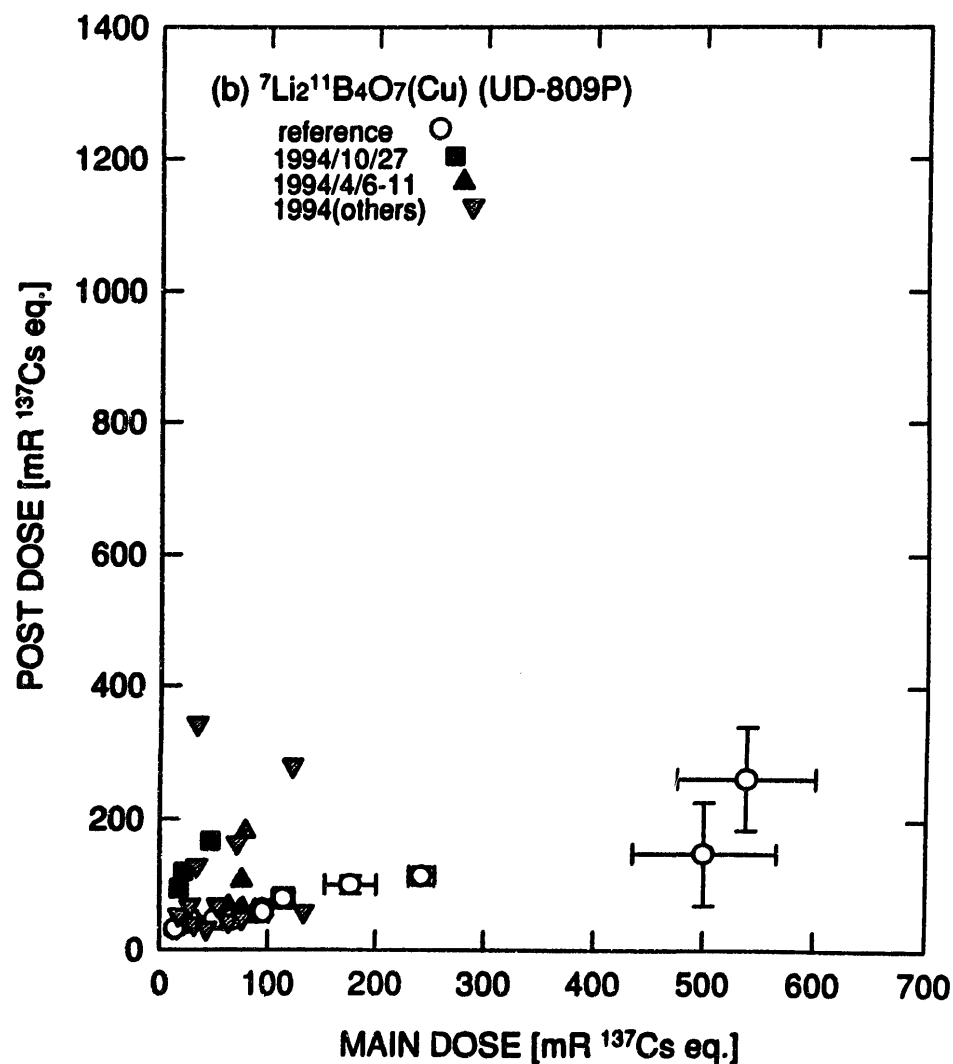


図 4-3 (b) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとポストドーズの関係

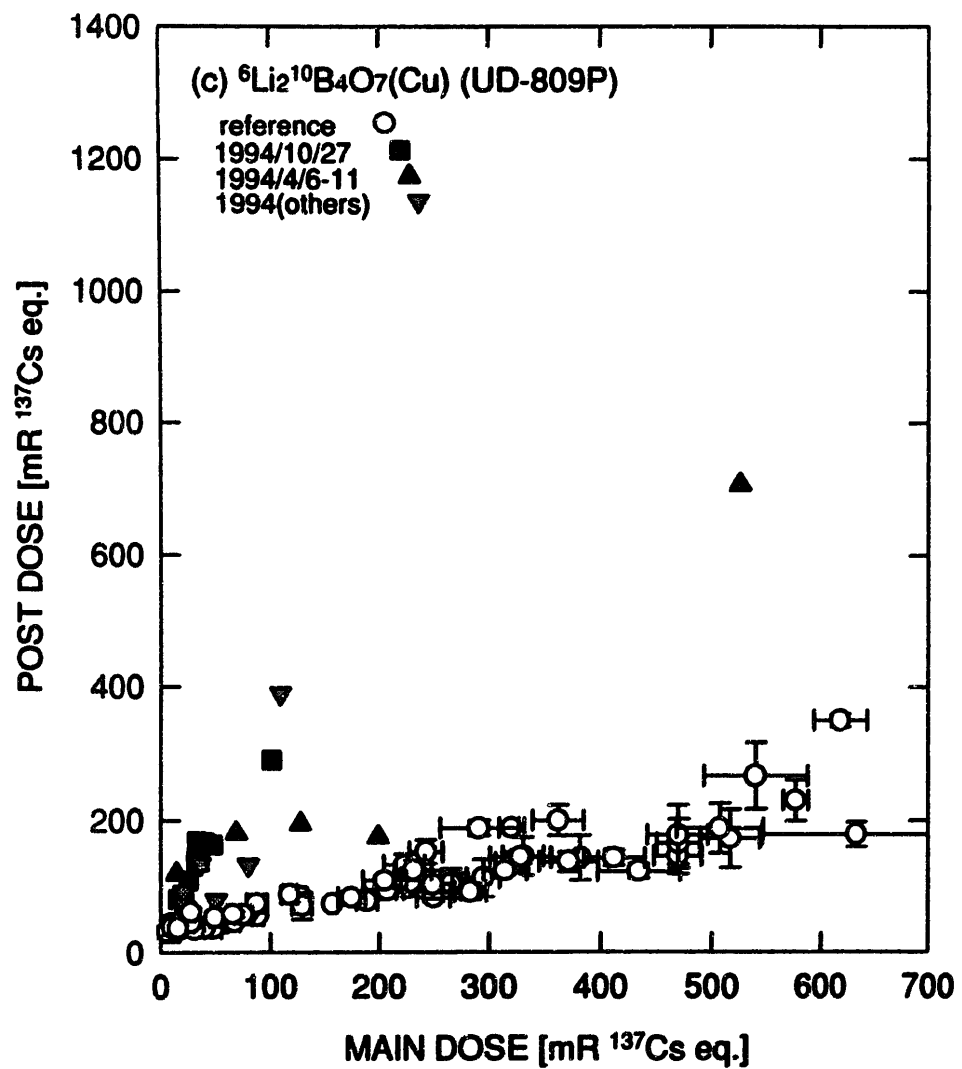


図4-3(c) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値の  
 メインドーズとポストドーズの関係

#### 4-2 平成4年度第4四半期の異常測定値例

平成5年1月5日に第3四半期分の指定解除者のTLDバッジの測定を実施したとき、一部異常な測定値が得られた。測定した日は、連休明け直後に第一回目の測定を実施したときであった。

##### (1) 異常測定値例

約30個のTLDバッジの測定を実施したうち、連続した約10件の測定値に何らかの異常が見られた。ただし、複数のTLD素子間の発光関係が明らかに通常とは異なるという程度のものではなく、平成6年度の異常測定例のようにバックグラウンド線量レベルのものが有意な被ばく線量当量と評価されるケースは無かった。

図4-4に、比較参照としたエレメントの読取り値と異常測定値の比較を示すが、全体的に線量は小さめであり、また比較参照としたものと比べて極端に異なる測定値ではないことがわかる。

##### (2) ダークカウントの変動

測定開始から終了までの66個の線量計（TLDバッジ数は33個）の測定を連続して実施したときのダークカウントの変動を図4-5に示す。測定開始から約10～30個目の間で急激にダークカウントが増大し、最大約80カウントにまで達した。参考までに図4-6に翌日（1月6日）に測定を行った約130個の線量計について同様のグラフを示すが、ダークカウントは平均して1～2カウント程度、最大でも7カウントであった。

##### (3) プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係

図4-7(a)(b)にダークカウントと $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子のそれぞれプリドーズ、ポストドーズの関係を示す。このときの測定では、被ばくの有無にかかわらずプリドーズの値は数mR程度、被ばく線量によっても若干変化するがポストドーズは50mR程度と予想され、それらの予想値からの変動の傾向はダークカウントの増減と一致している。

(50個目付近の測定でポストドーズが若干増えているが、これは $\beta$ 線による有意な被ばくによるものであった。) 平成6年度の異常測定値例では、ダークカウントは全て通常レベルであり、プリドーズ、ポストドーズの増大とは何ら関係も無かった点を考慮すると、平成5年1月5日の測定で得られた異常値は平成6年度のものとは原因が異なると考えられる。

ダークカウントが増大した10～30個目の測定の際のメインドーズとプリドーズの関係、メインドーズとポストドーズの関係をそれぞれ図4-8(a)～(d)、図4-9(a)～(d)に示す。(a)～(d)はそれぞれUD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子（エレメントG1、G2、G4）、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子（エレメントG3）、UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子（エレメントN1）、 ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子（エレメントN2、N3、N4）の結果である。



Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)素子の場合、プリドーズ、ポストドーズともに実験的に得られた正常な場合に比べて値が大きく、またそのメインドーズと比較しての増大傾向もほぼ同様である。一方、CaSO<sub>4</sub>(Tm)素子の場合、ダークカウントの増大に関係なく正常な場合の関係と同様であり、これはダークカウントの増大が異常値が得られたことに関係があるとすれば、SN比の良いCaSO<sub>4</sub>(Tm)素子ではダークカウントの増減はメインドーズに大きな影響を与えないことで説明できる。

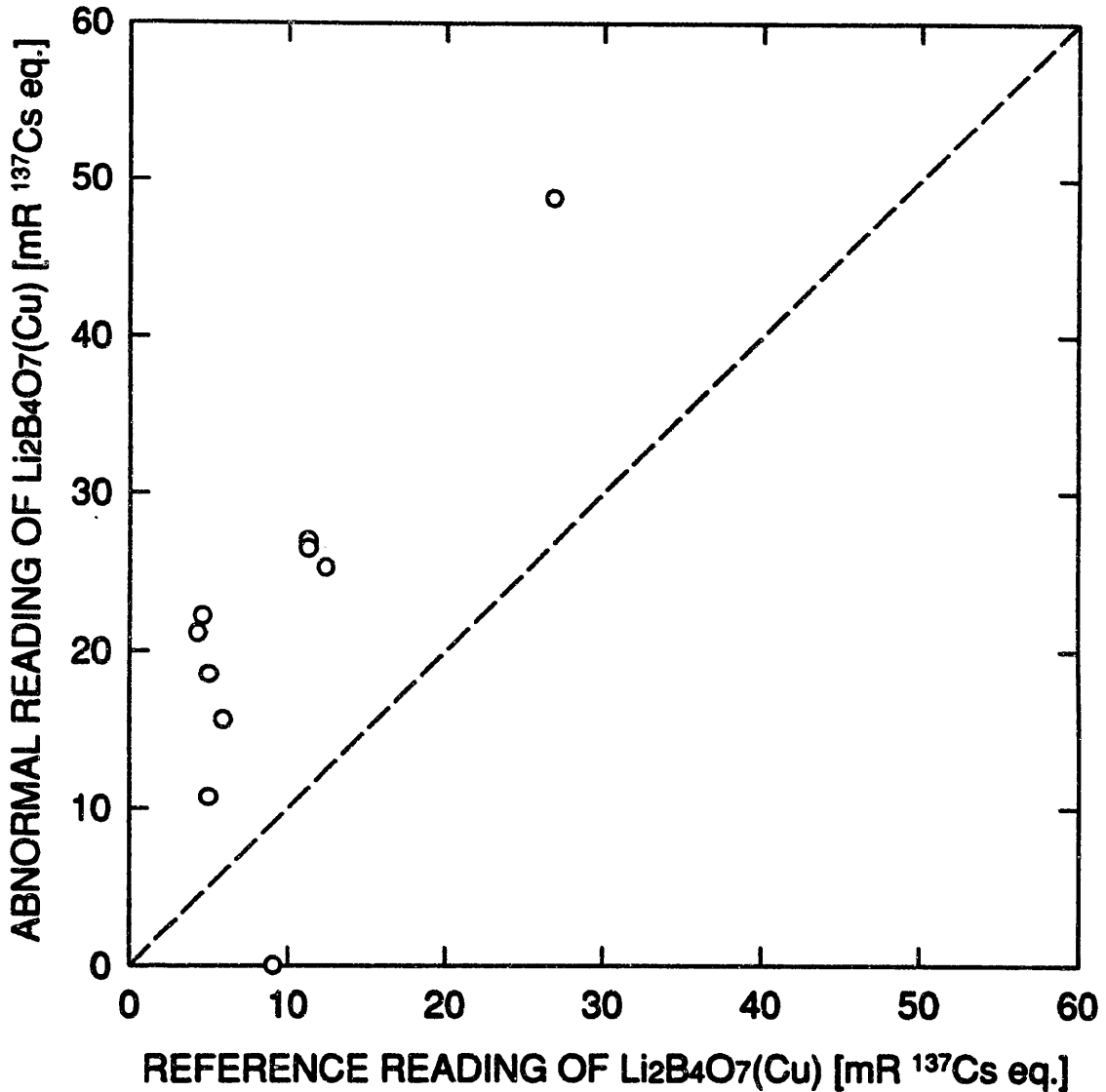


図4-4 異常測定値と比較参照とした正常な読取り値の比較  
(破線は1:1の場合)

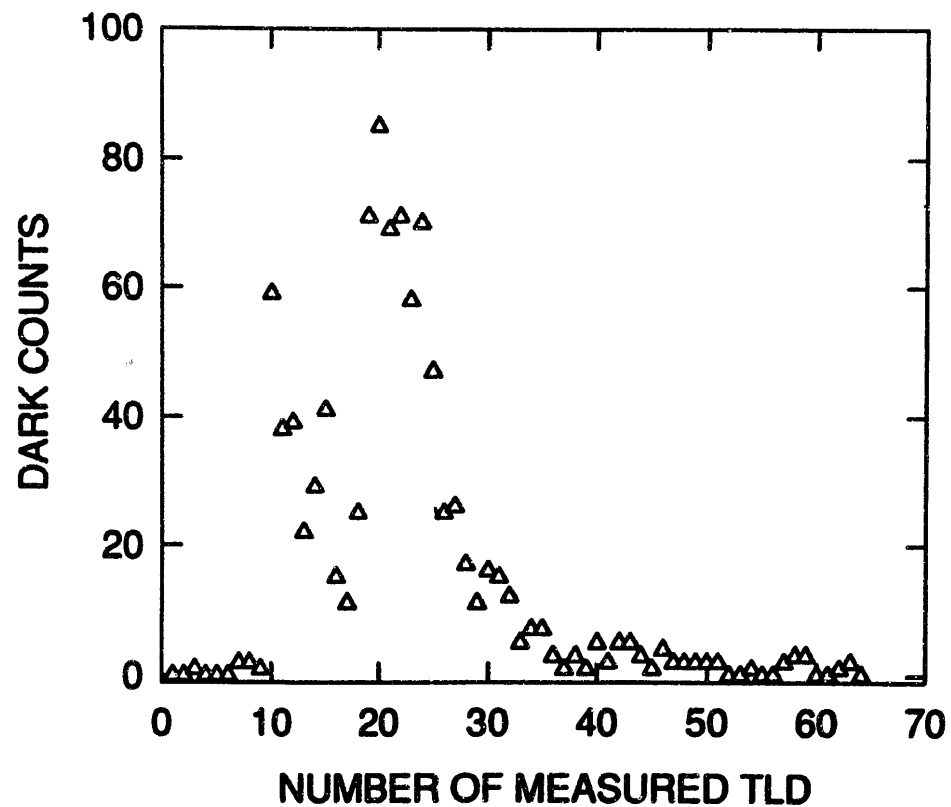


図4-5 ダークカウントの変動 (平成5年1月5日測定分)

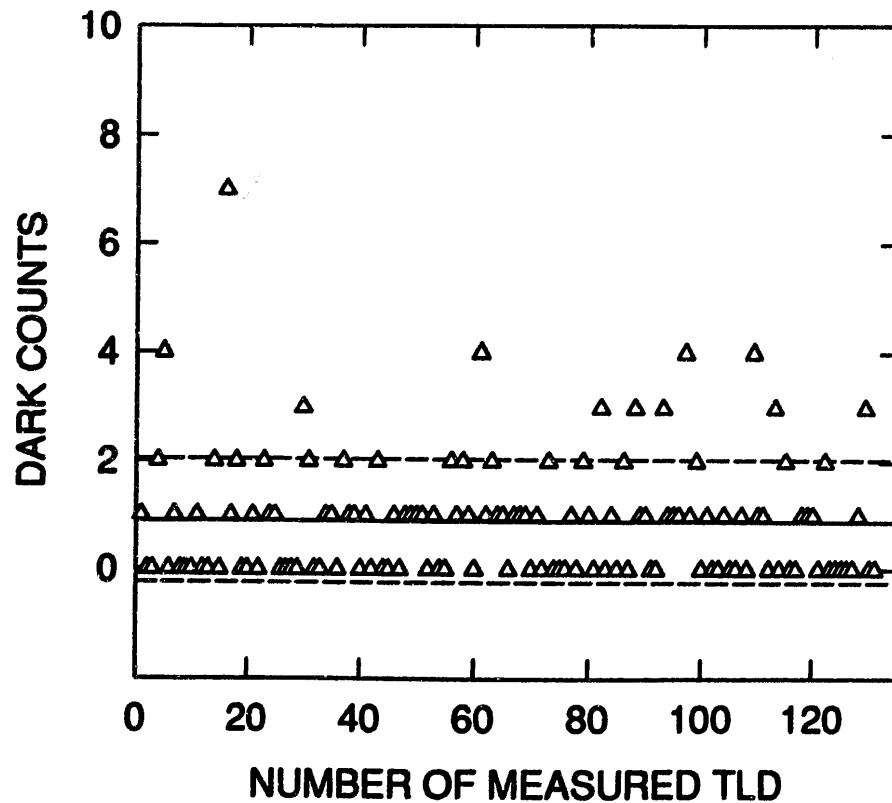


図4-6 ダークカウントの変動 (平成5年1月6日測定分)

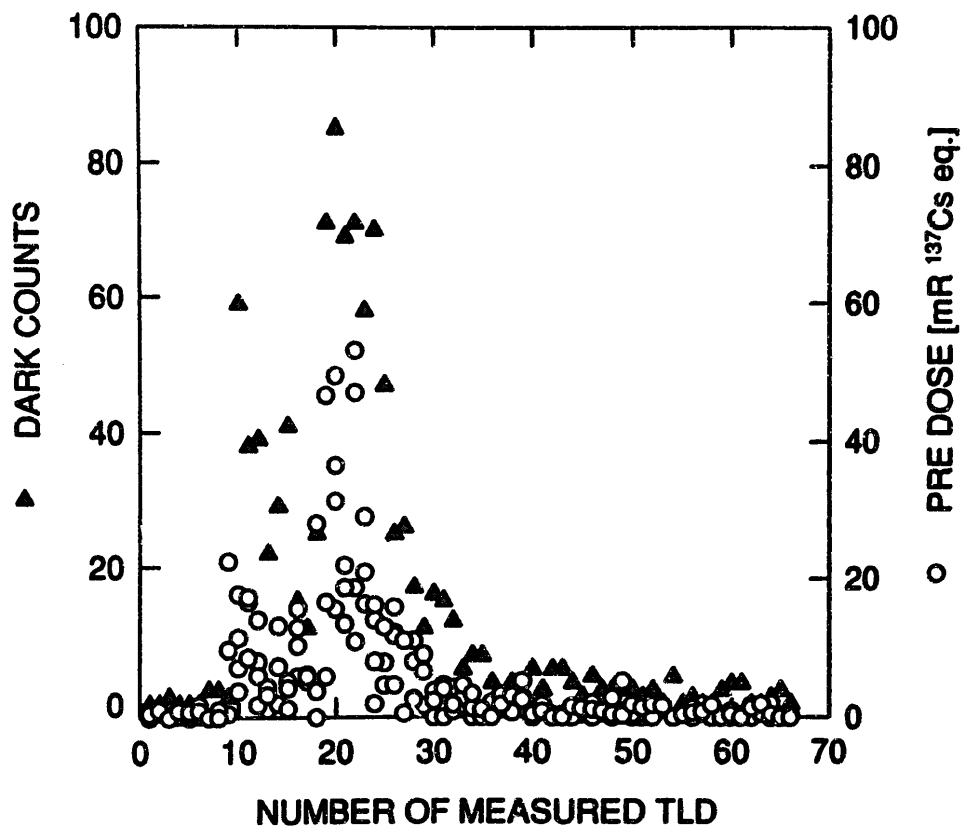


図 4-7 (a) ダークカウントとLi<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)素子のプリドーズの関係

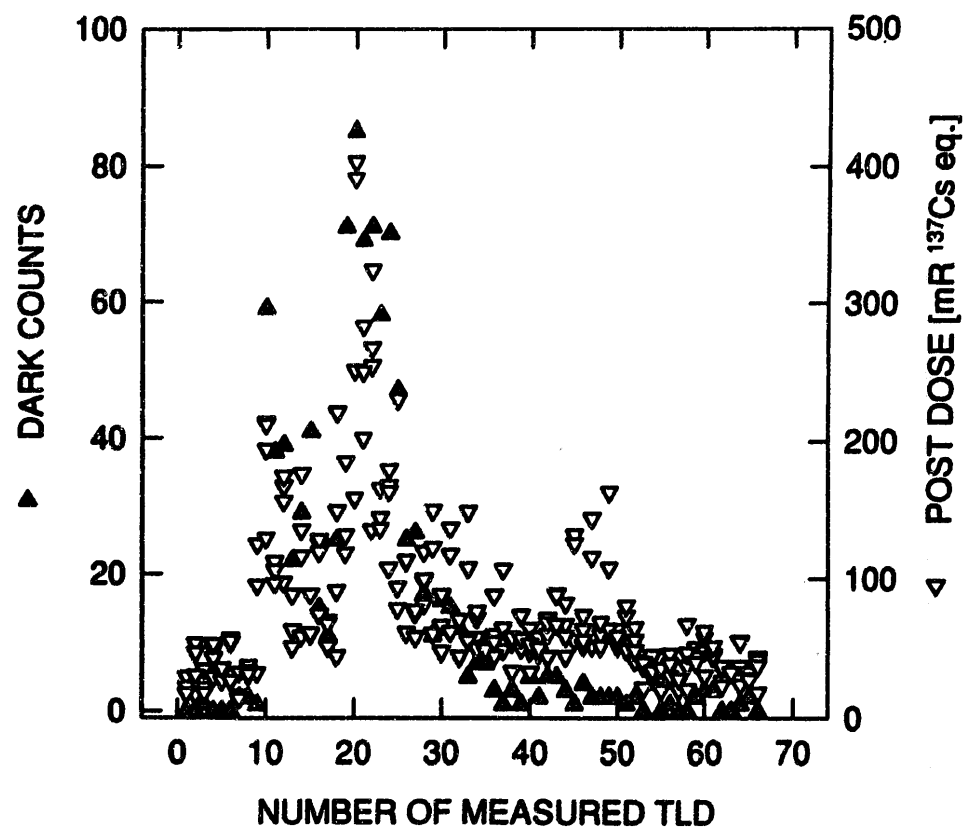


図 4-7 (b) ダークカウントとLi<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)素子のポストドーズの関係

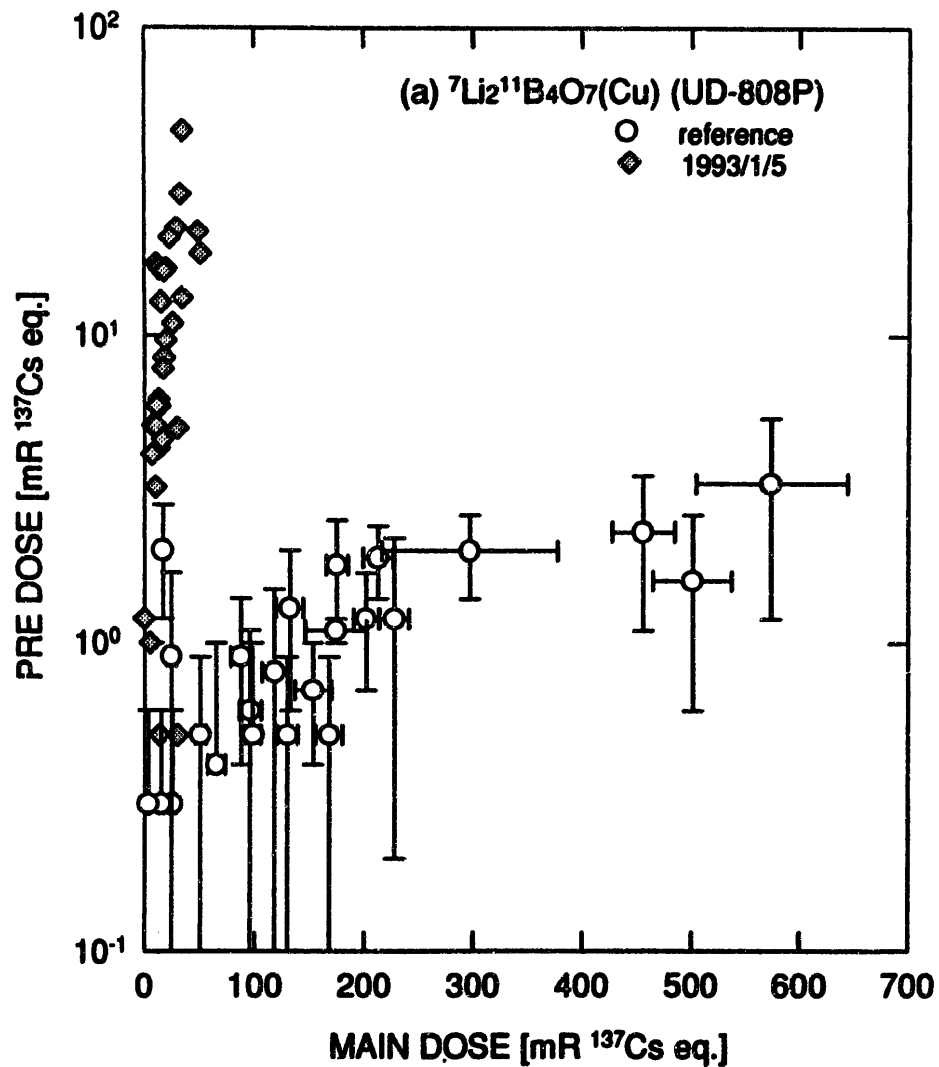


図4-8 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

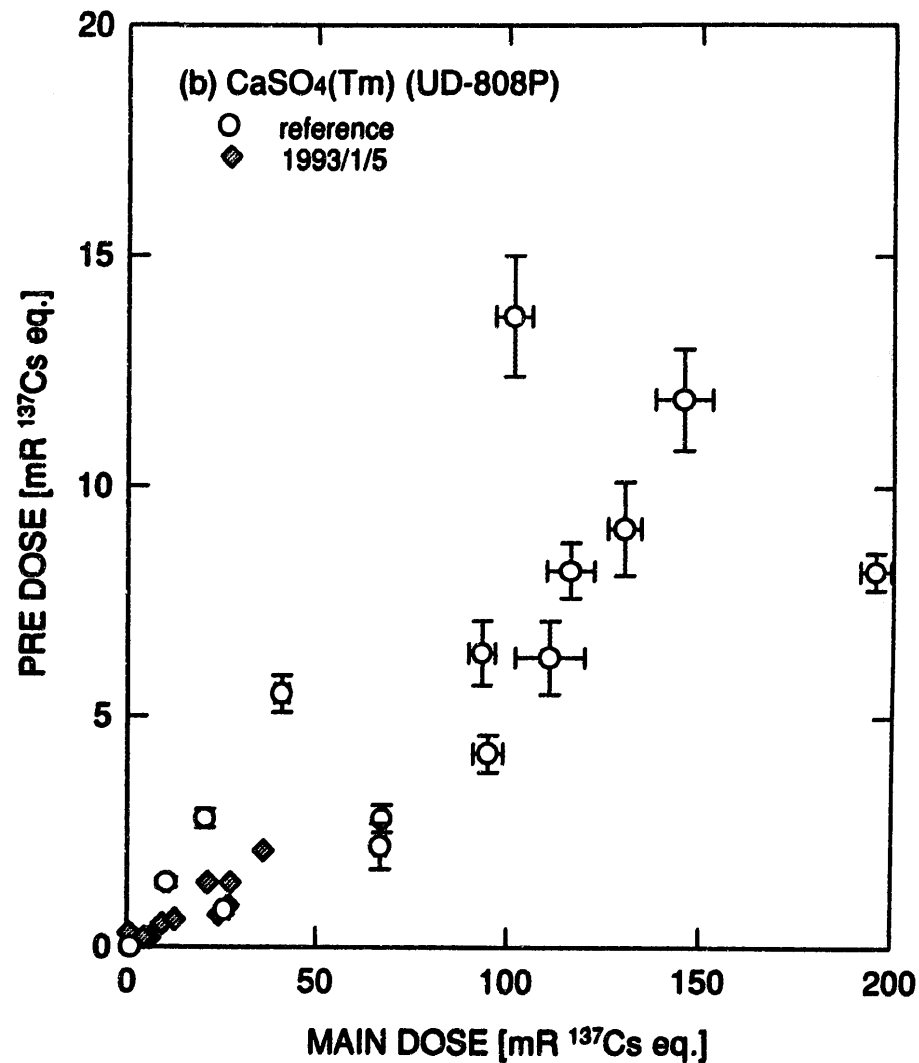


図4-8 (b) UD-808P線量計の $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

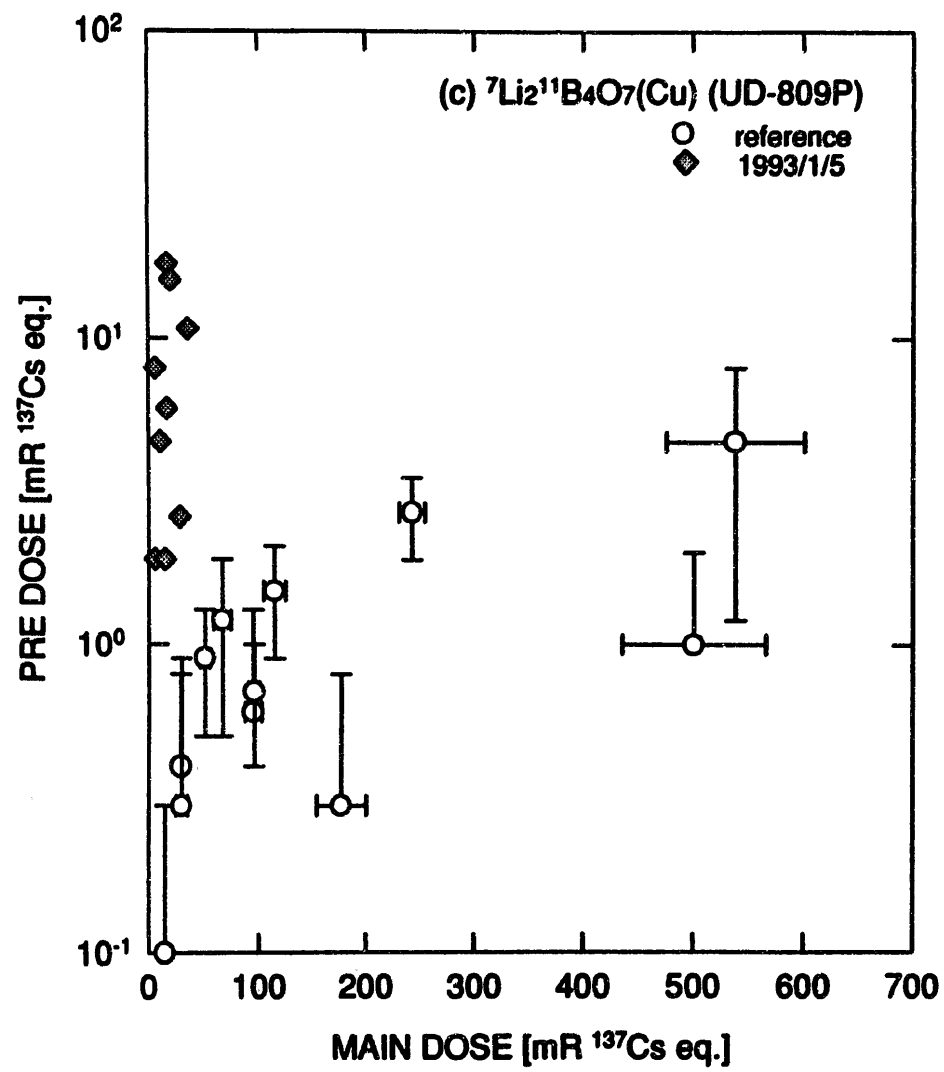


図 4-8 (c) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

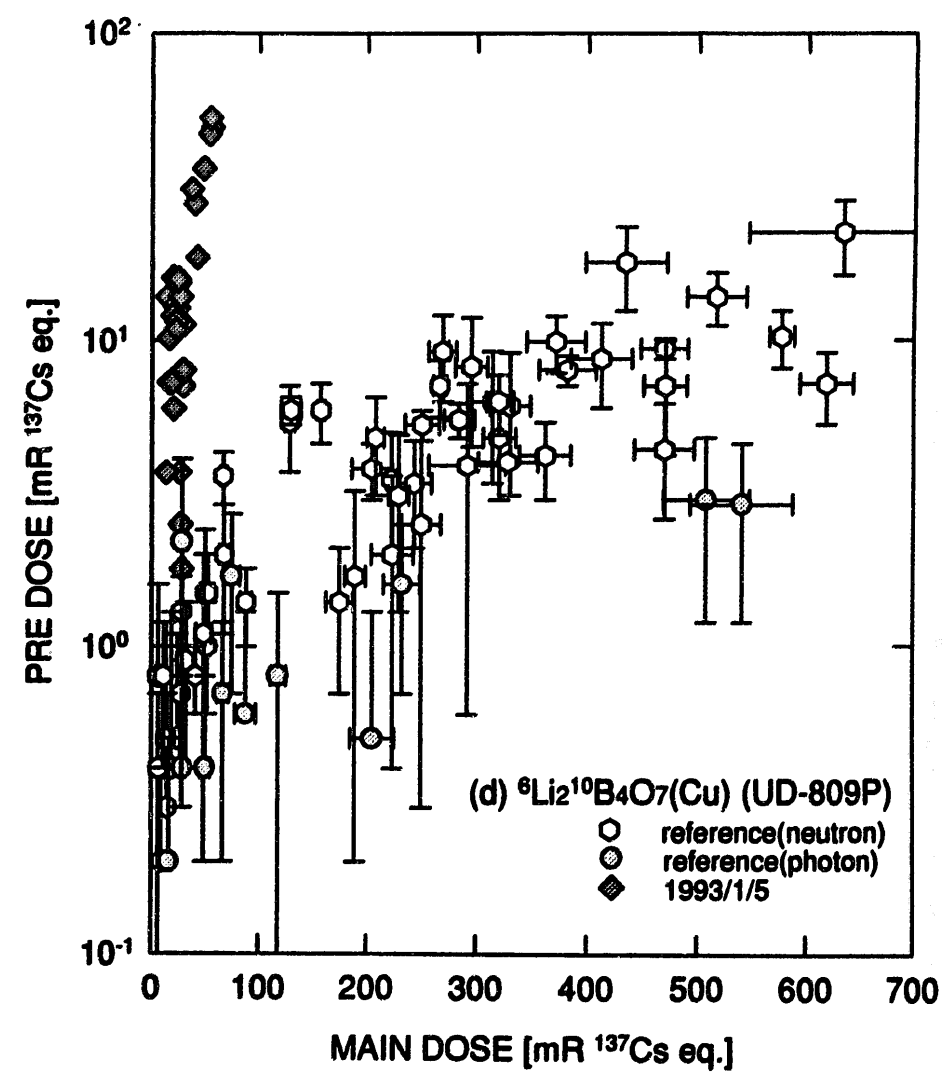


図 4-8 (d) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとプリドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

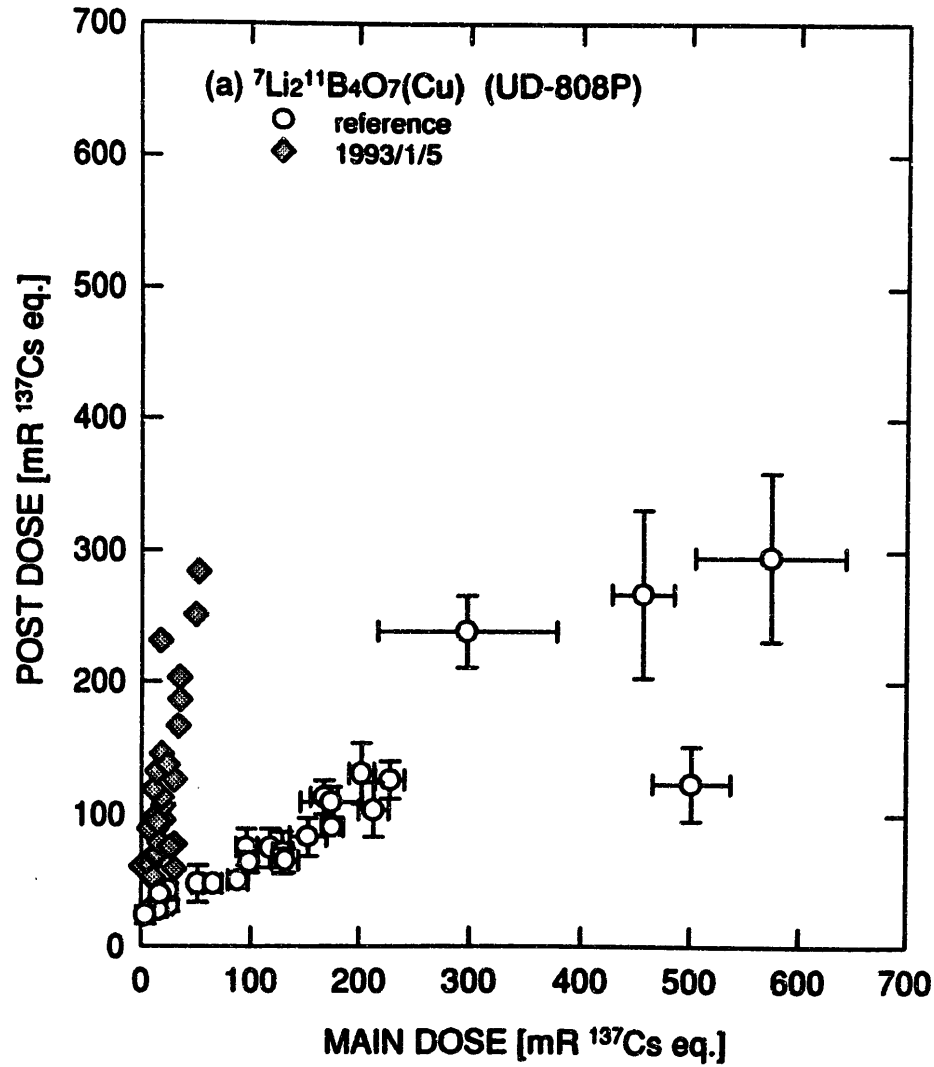


図 4-9 (a) UD-808P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

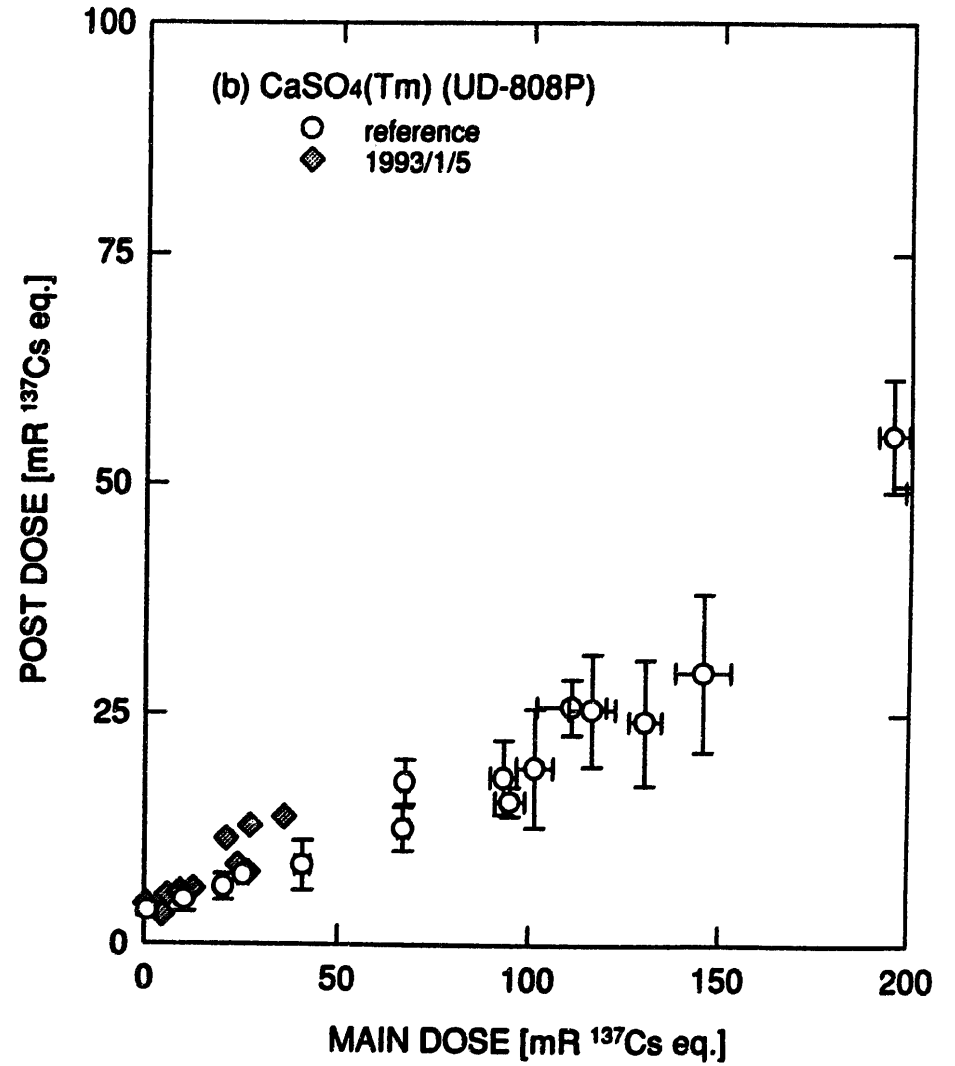


図 4-9 (b) UD-808P線量計の $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

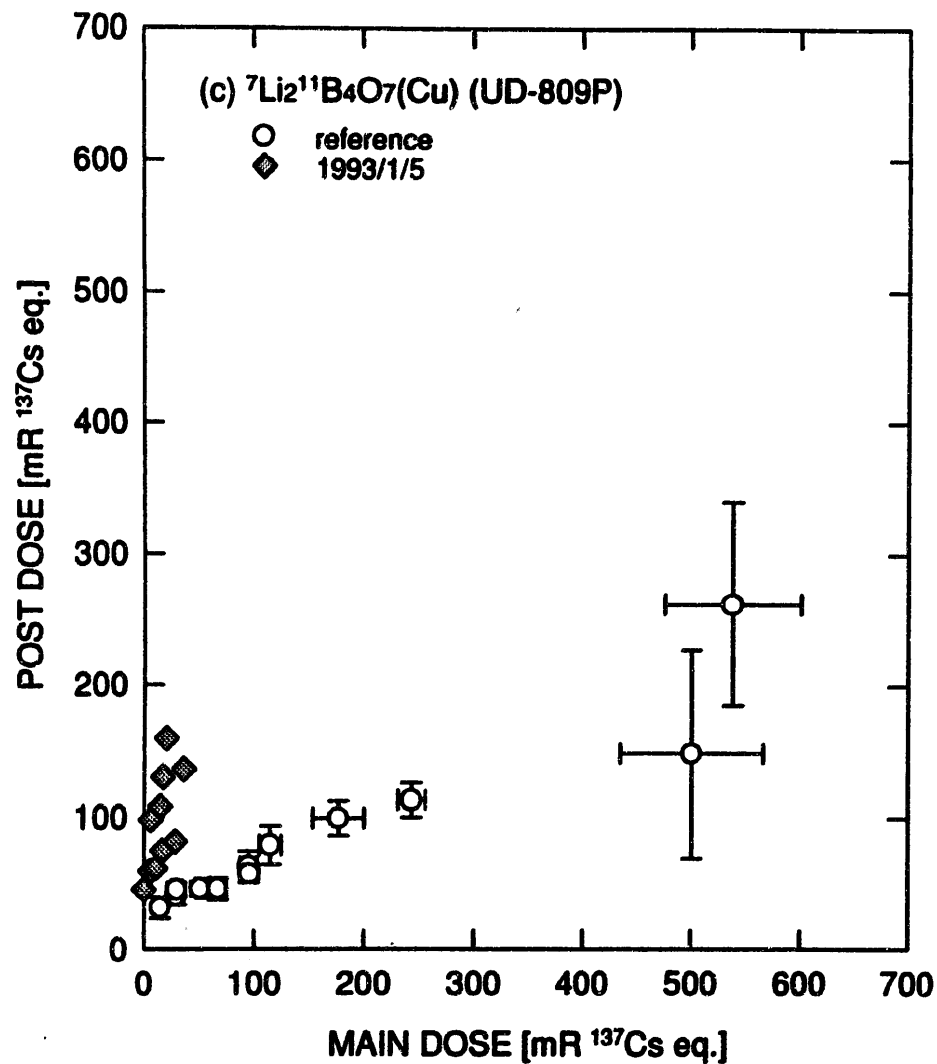


図4-9(c) UD-809P線量計の ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

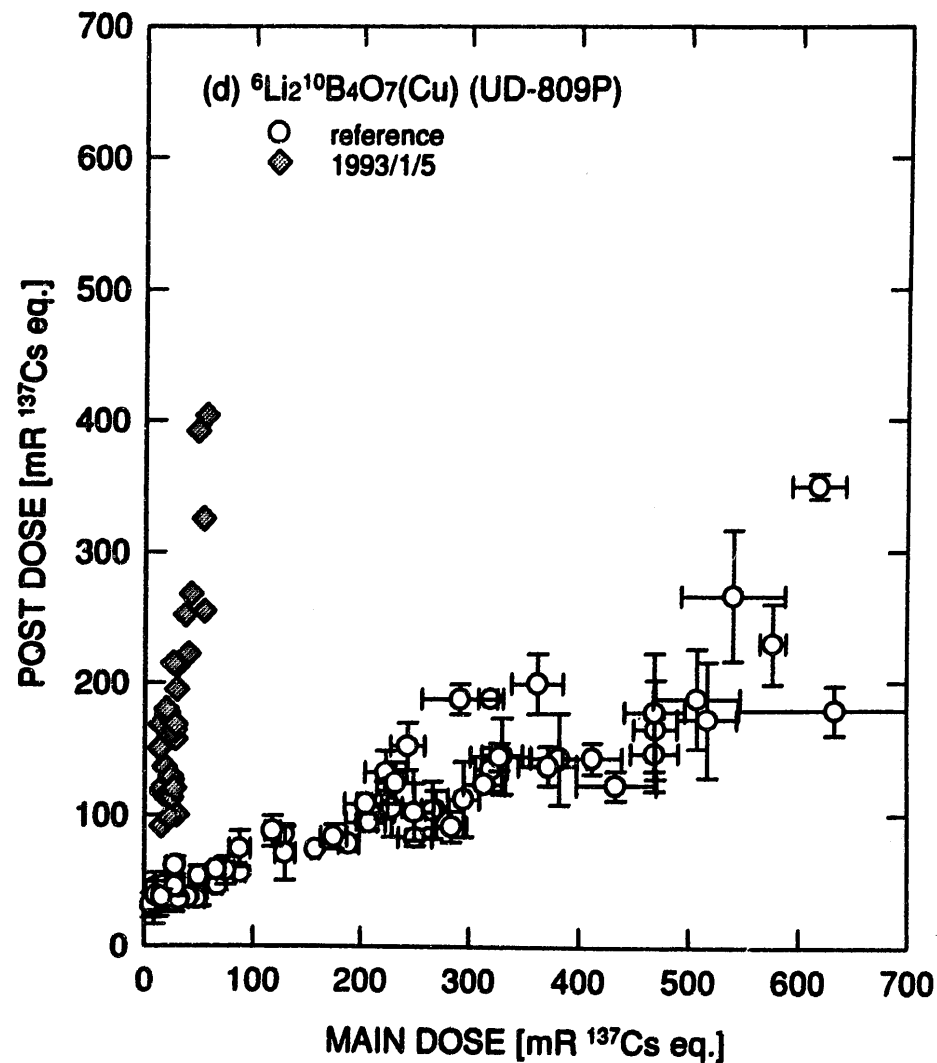


図4-9(d) UD-809P線量計の ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の  
メインドーズとポストドーズの関係  
(ダークカウントの増大した20個の線量計の測定分)

#### 4-3 外観不良の線量計の照射試験

昭和62、63年の品質管理試験で外観が不良と判定され、現在個人被ばく管理業務で使用していないTLDバッジの照射・測定試験を実施した。

使用した線量計は、(1)蛍光体を固着しているベーステープの加熱側面に気泡状の突起ができているもの（通常「バブル」と呼んでいる）、(2)蛍光体側の透明カバー内に曇りが生じているもの、(3)蛍光体を線量計に固定している”たが”に歪みがあったり、蛍光体の一部が剝落しているもの、の3種類に分けられる。

一覧を表4-3に示す。

表4-3 試験に使用した線量計個数と  
外観検査で不良となった理由の内訳

	UD-808P	UD-809P
(1) バブル	31	11
(2) くもり	0	7
(3) 破 損	2	5

計測機器校正施設にて、 $^{137}\text{Cs}$ 線源を用いて200mR（空気吸収線量1.75mGy）の照射を行い、照射後1日経過した後、測定を行った。測定結果は全て照射した線量と±20%以内で一致し、また外観検査上何らかの異常のあるエレメントと正常なエレメントの測定結果とでプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの相互関係に有意な違いは認められなかった。



## 第5章 考察

### 5-1 異常測定値の原因

第4章で示したTLDの異常測定値の根本的な原因はまだ十分に解明されていない。

平成6年4月、及び10月27日の測定で、異常な測定値が得られた全てのTLD線量計について、再測定を実施したが異常値は再現せず、また外観検査上も何ら問題も無かった。従って、従来はTLD素子の劣化や破損などが異常測定値の原因であるとされる場合が多かったが、異常測定値のプリドーズ、ポストドーズの関係やそれらの値が1000mR相当にも達する（5000カウント以上）場合があることなどを考慮すると、TLD素子に問題があるわけではなく光電子増倍管からの出力信号を積分する回路の発振が主な原因ではないかと考えられる。

また、平成4年度第4四半期の異常測定値例の原因としては、ダークカウントの急激な増大、ダークカウントの増大と異常測定値の発生との間に相関があること、長期同リーダーを使用していなかった（ただし通電はしている）という状況等を考慮すると主に光電子増倍管に何らかの問題があったと考えられる。

暖房などによる室内の温度の急激な変化は、光電子増倍管の雑音信号の増大、不安定さを増大させるので、こうした場合には測定開始前にリーダーの十分なウォーミングアップを行う必要があるだろう。

## 5-2 異常測定値の判定方法

### (1) 異常測定値の判定基準

従来、異常値を検知する場合には典型的な発光関係を用いた主観的な判断による方法を用いている。こうした方法には、ある種の経験則的な部分はあるけれども、それぞれのTLD素子の測定対象とする放射線の種類、TLDの応答特性、作業環境の放射線場の特性といった放射線の測定に関する種々の条件に裏付けられたものであり、異常測定値を発見する上で有効な方法と言える。

他方、複数のTLD素子に異常な測定値が同時に得られた場合の判断が難しく異常を検知できない場合があることに加えて、こうした典型的な発光関係を用いた主観的な判断による異常値の検知はその判定基準が定量化されておらず担当者によっては判断結果が異なる可能性があること、ある程度の熟練を要することなど、の問題点があり、むしろ方法論としては、

「相互の関係としてではなく個々のTLDの測定データのみから定量化された判定基準を用いて”正常ではない”測定結果を見つけだした後、複数のTLD素子間の典型的な相互関係と照らし合わせた上で、”異常な”測定結果であることを確認する」

というロジックの展開の方が、望ましい。

そこで第4章で示した異常測定値のプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの相互関係が、正常な測定の場合の関係と大きく異なる点に着目し、それらの関係から異常値を検知する方法について検討した。プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの相互関係は、前述したように大雑把なグロー曲線と考えることができ、正常な場合の相互関係と異なるものは正常なグロー曲線ではないことを意味する。

表3-2、3-3の正常な測定の場合のメインドーズとプリドーズ、ポストドーズの関係を基に、一例として表5-1に示す異常測定値の判定基準を設定した。低線量側の統計変動や実験的に得られた正常な関係の主にTLD感度の個体差によるばらつき等を考慮し、判定式にはかなりの余裕を見込んだ。

第4章で示した異常測定値全てについて、メインドーズとプリドーズの関係を図5-1(a)(b)に示す。(a)(b)はそれぞれ ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 、 ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の結果であり、図中に表5-1の判定式を実線で示した。プロットの記号は図4-1と同様であり、平成5年1月5日の測定分のみ◇印で示した。同様にメインドーズとポストドーズの関係について図5-2(a)(b)に示す。

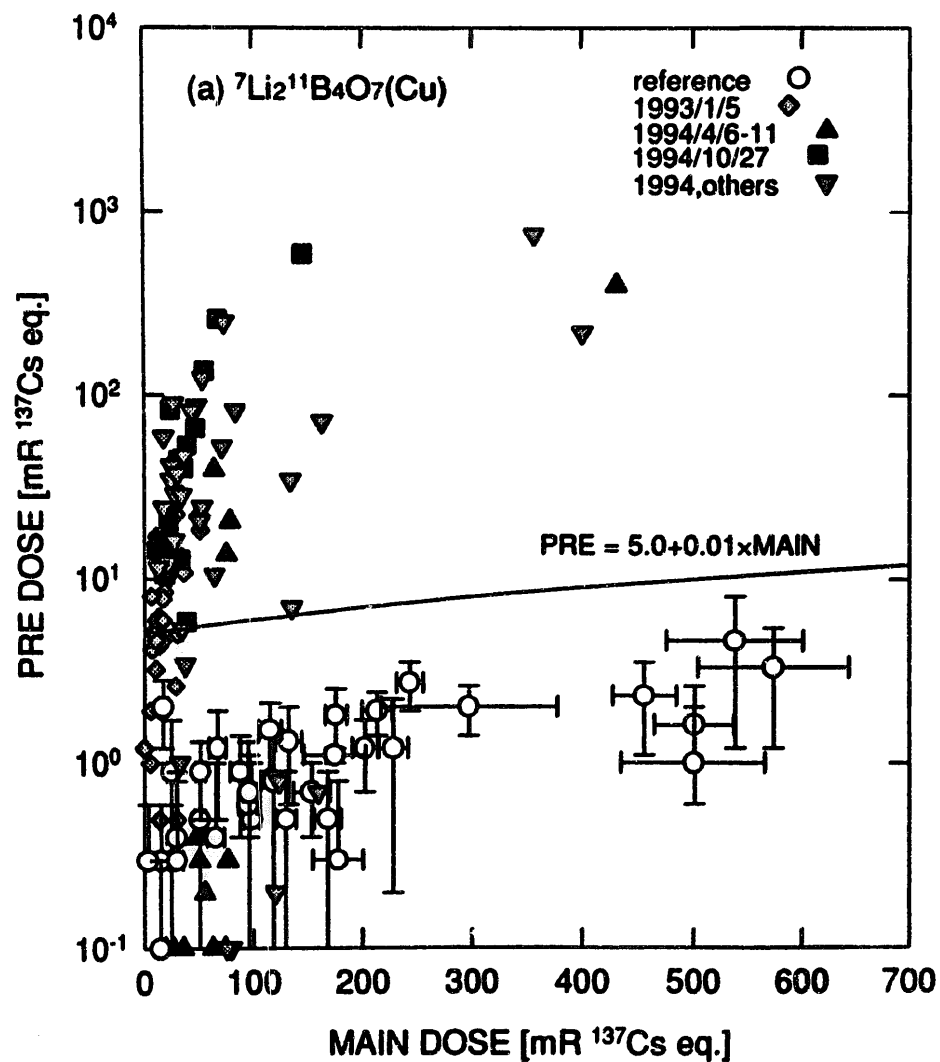


図 5-1 (a)  ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  素子の異常測定値のメインドーズとプリドーズの関係と異常値判定基準 (実線)

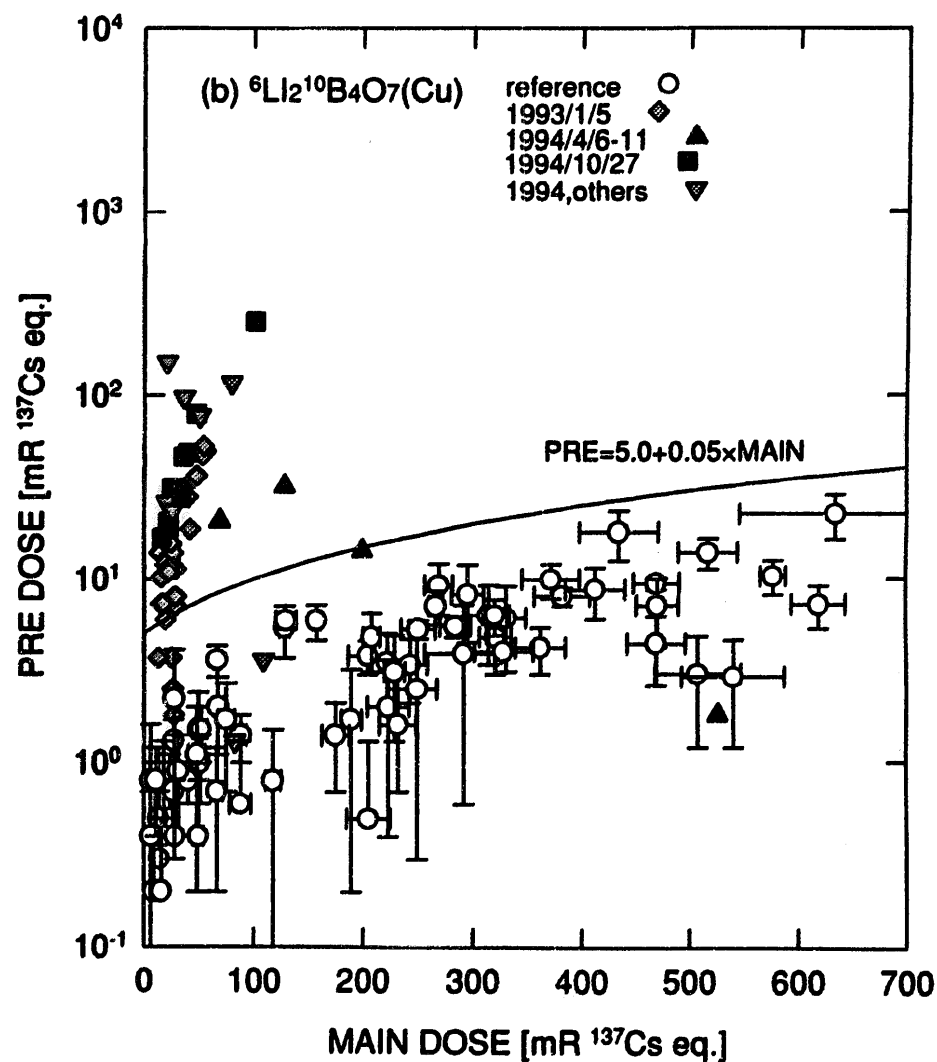


図 5-1 (b)  ${}^6\text{Li}_2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  素子の異常測定値のメインドーズとプリドーズの関係と異常値判定基準 (実線)

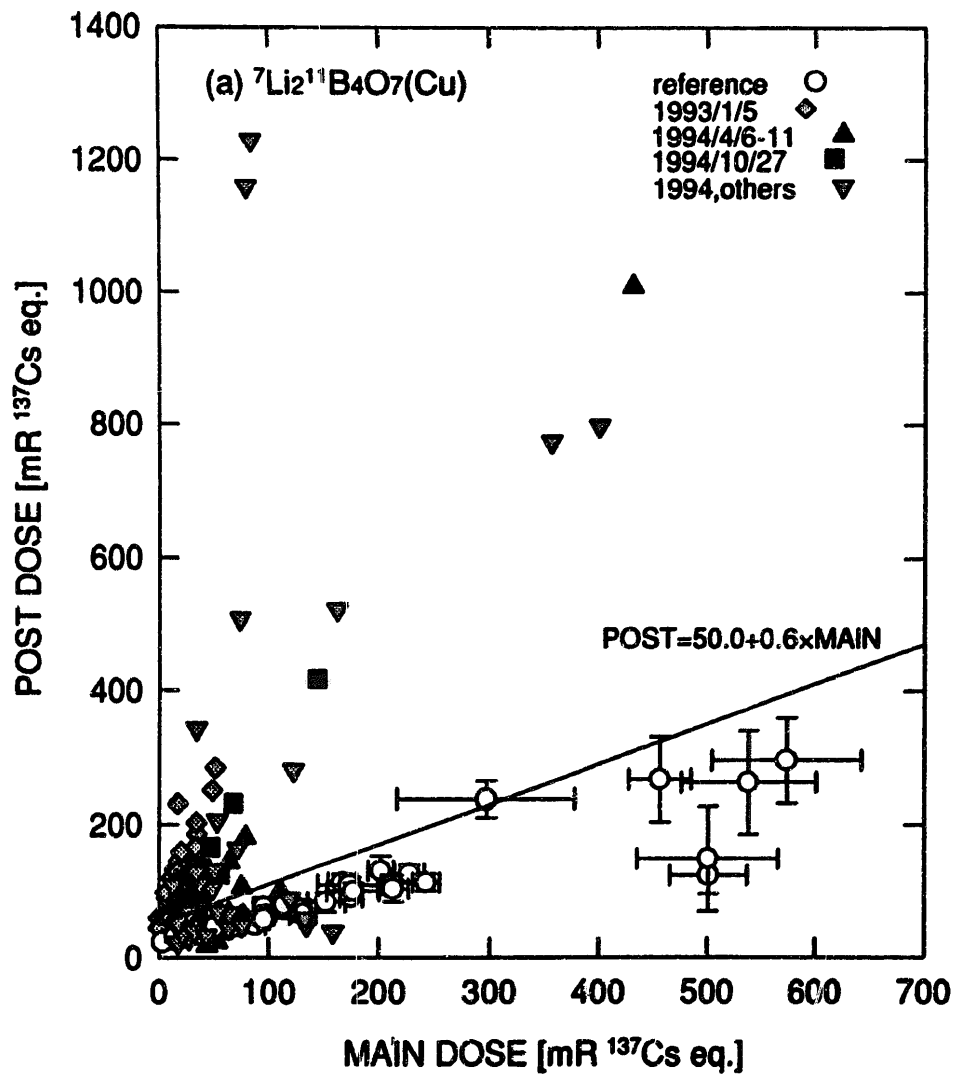


図5-2 (a)  ${}^7\text{Li}2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとポストドーズの関係と異常値判定基準 (実線)

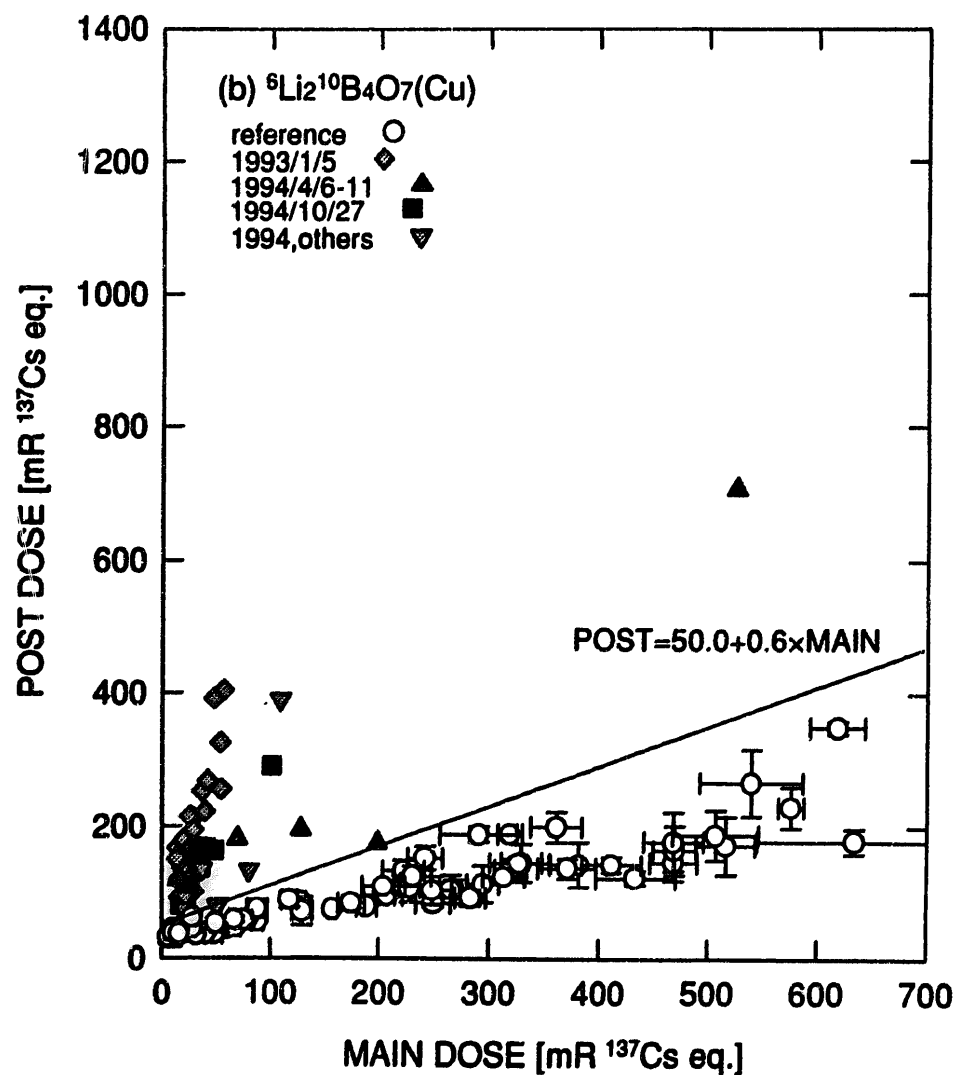


図5-2 (b)  ${}^6\text{Li}2{}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の異常測定値のメインドーズとポストドーズの関係と異常値判定基準 (実線)

表5-1 プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズを用いた異常値の判定式

蛍光体	エレメント	異常値の判定式 [mR <sup>137</sup> Cs eq.]	
		式番号	式番号
<sup>7</sup> Li <sup>211</sup> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (Cu)	G1, G2, G4, N1	PRE > 5.0+0.01×MAIN	(1)
		POST > 50.0+0.6×MAIN	(3)
<sup>6</sup> Li <sup>210</sup> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (Cu)	N2, N3, N4	PRE > 5.0+0.05×MAIN	(2)
		POST > 50.0+0.6×MAIN	(3)

## (2) 判定結果

平成6年度分の異常測定値について、表5-1の判定式(1)～(3)を用いて異常かどうかの判定を行った。巻末に示した付録の異常値一覧表には、異常値毎に判定の結果を示しているが、ここでは判定の結果、異常と判断される割合等について述べる。結果を表5-2に示す。プリドーズ、ポストドーズが共に異常と判定されたものは全体の約50%、一方が異常と判定されたものは全体の約70%であり、単純な判定基準ではあるが十分に異常値を検知することができた。また異常ではないと判定されたものが約30%あったが、それらの多くは判定式(3)で判定条件近傍の関係にあるものであった。

表5-3は、平成5年1月5日に測定を実施した分（ダークカウントが増大したときの測定分）について、(1)～(3)を用いて判定した結果である。70個のエレメント中ほとんどが異常と判定された。

表5-2 判定結果（平成6年度分）

	プリドーズ		ポストドーズ	プリドーズ、ポストドーズ	
	(1)	(2)	(3)	(1,2)AND(3)	(1,2)OR(3)
抽出エレメント数	93	23	116	116	116
異常判定数 (判定割合%)	53 (57.0)	18 (78.3)	61 (52.6)	53 (45.7)	79 (68.1)

表5-3 判定結果（平成5年1月5日測定分）

	プリドーズ		ポストドーズ	プリドーズ、ポストドーズ	
	(1)	(2)	(3)	(1)(2)AND(3)	(1)(2)OR(3)
抽出エレメント数*	40	30	70	70	70
異常判定数 (判定割合%)	25 (62.5)	24 (80.0)	65 (92.9)	49 (70.0)	65 (92.9)

\* ダークカウントが増大した10個のTLDバッジの測定分

## 第6章 まとめと今後の課題

### (1) まとめ

平成6年度に測定を実施したTLDバッジの測定データを中心に、それらの中から異常測定値を抽出し、その発生頻度を調べたりパターン分析をするなどして、異常値を速やかに検知する方法について検討した。

その結果、平成6年度については定常モニタリング用のTLDバッジの全測定件数約2万個のうち約0.5%に複数のTLD素子間の発光の相互関係等に何らかの異常が見られ、またそのときのプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係も正常な場合の関係と大きく異なっているものが多いことが判明した。

さらにプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係を利用した異常値の判定基準を決定し、その判定式を用いることによって、70%以上の異常値を検知することができた。TLDの測定時にプリンターに打ち出される生データ出力に、この判定式を用いた正常な測定がなされたかどうかの判定結果をつけ加えることを現在検討している。今後、多くのデータを蓄積して、判定式の最適化を図ることにより、異常測定値の検出率を向上させることが期待できる。

また、今回の報告では、異常な測定値の得られる根本的な原因の究明には至らなかった。異常な測定値の多くが、その異常を再現しない点などを考慮すると、TLD素子の破損等によるものではなく、リーダーの回路系側の問題と考えられる。異常測定値を速やかに判定する方法も大切であるが、むしろそのような異常測定値が発生しないようにすることの方がより重要であり、今後メーカーと共同で異常測定値の原因の究明にあたっていく必要がある。なお、現在、異常測定値が出た場合にはその測定結果（リーダーの機種番号、ダークカウント、プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズ、線量計のID番号）を記録するとともに、線量計の外観検査と再測定を徹底している。

### (2) 今後の課題

今回プリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの関係を利用して正常なグロー曲線を示しているかどうかを大まかに判定する方法を提案したが、それらの関係だけでは異常測定値の原因を特定したりする情報に乏しい。現在使用しているUD-7100P型自動リーダーは、測定したグロー曲線をコンソールパネルに画面表示する機能を有しており、そのグロー曲線を別途パソコンに取り込み、正常なグロー曲線との比較等を行うことによって異常があるかどうか、あるいは異常値の原因の特定など、より精密な判定や解析が可能になると考えられる。

また、複数のTLD素子間の典型的な発光関係を利用して異常値を検知する方法についても、TLD素子の感度の個体差や統計変動等を考慮に入れて判定基準を数式化し、TLD

の測定の段階で何らかのエラーメッセージをプリントアウトしたり、場合によっては線量当量を異常値以外のTLDの測定結果から推定評価するプログラムの開発についても検討すべきであろう。

個々のTLDのグロー曲線の診断と、複数のTLD素子間の発光関係を利用した異常値の判定方法を組み合わせることで、ほとんど全ての異常測定値を検知することが可能になると考えられ、またグロー曲線のパソコンへの取り込みは個人の線量当量の記録保存の観点からも重要であると考ええる。

## 謝辞

本報告書は、東海事業所安全管理部小集団活動の一環で実施した活動（サークル名、まっこうくじら *External*）の成果を取りまとめたものである。

従来の小集団活動の形式に捕らわれない、変則的な活動にもかかわらず、このような検討の機会と発表する場を与えて下さった安全対策課小集団活動推進部会の皆様には心より感謝します。

TLDの異常値の原因を究明する際に、主に技術的な側面から御助言を頂きました松下産業機器株式会社の空増昇氏に深く感謝します。



## 参考文献

- [1] 中田啓、石黒秀治、宮部賢次郎、野村幸広  
「 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 蛍光体を利用した自動読取型TLDバッジの性能・特性」  
PNC N841-83-84、1983
- [2] O. YAMAMOTO, Y. YASUNO, S. MINAMIDA, S. HASEGAWA, H. TSUTSUI, M. TAKENAGA and T. YAMASHITA  
"CONSTRUCTION OF A COMPOSITE THIN-ELEMENT TLD USING AN OPTICAL-HEATING METHOD", Health Physics, 43, 3, 383-390, 1982
- [3] P. Plato and P. Ward  
"GLOW CURVE ANALYSIS OF PANASONIC LITHIUM BORATE TLDs USING COMPUTERIZED DATA ACQUISITION METHODS", Master thesis, The University of Michigan, 1982
- [4] 「TLバッジの測定値に異常値が発生したときの解説」  
「TLバッジの硫化水素に対する応答」、松下産業機器(株) 内部資料
- [5] 福田整司、斎藤節子、野田喜美男、小泉勝三、石井みどり  
「TLDリーダーの感度変化についての考察」、PNCT843-77-07、1977
- [6] 辻村憲雄、磯野矢一、百瀬琢麿、宮部賢次郎、野村保  
「TLD自動リーダーの感度変化に関する考察」、PNC PN8410 95-098、1995
- [7] 藤村亮一郎、山下忠興；「放射線による固体现象と線量測定」、養賢堂、1985
- [8] 辻村憲雄、百瀬琢麿、野村保  
「東海事業所における体幹部不均等被ばく及び局部被ばく事例の解析」  
PNC ZN8410 94-337、1994
- [9] 辻村憲雄、有澤潤、百瀬琢麿、篠原邦彦、野村保  
「プルトニウム燃料製造施設におけるTLDバッジと固体飛跡検出器の相関関係」  
PNC ZN8410 95-239、1995
- [10] 平成6年度個人被ばく管理技術検討会（主査：百瀬琢麿）検討資料、1995  
（資料登録予定）
- [11] 永井博行、青沼利行、児玉俊一、大峰守、石田順一郎  
「新型電離箱式 $\beta/\gamma$ 線サーベイメーターの特性評価」、PNC PN8410 94-255、1995
- [12] 辻村憲雄、有澤潤、百瀬琢麿、篠原邦彦、野村保  
「TLDバッジの $n/\gamma$ 分離性能と中性子線量当量評価値の誤差の定量に関する検討」  
（資料登録中）
- [13] 野村保、二之宮和重、小松崎謙治、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
- [14] 福田整司他  
「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）」  
（非公開）、1979

## 補遺 TLDの初期フェーディング試験

計測機器校正施設で $\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ ) 600mR(空気吸収線量 5.26mGy)の照射を行い、照射直後の初期フェーディングによるTLDの読取り値の経時変化を調べた。試験には合計80個のUD-808P線量を利用した。

$^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の試験結果をそれぞれ表1、2に示す。照射後1~3時間経過後の測定では線量計10個( $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子30個、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子10個)、24時間後の測定では線量計30個の平均読取り値と標準偏差を調べた。

図1にメインドーズの経時変化を示す。ここでは24時間後の読取り値を1.0に規格化した。 $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の場合、24時間経過した後の値と比べて照射後1時間では約1.3倍の値を示す。これは、フェーディングが特に大きい副ピークの信号がメインドーズ側で計数されているためである。表1に示すように、副ピーク部分の信号であるブリドーズは照射後1時間では照射した線量の40%以上もあり、その後急激に減衰し、1日後では数mR相当となる。

図2(a)(b)にそれぞれブリドーズ/メインドーズ比、ポストドーズ/メインドーズ比の経時変化を示す。 $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子の場合、照射後1時間ではブリドーズはメインドーズの30~40%となるが、本文中で示した異常測定値のようにブリドーズがメインドーズよりも値が大きくなることはない。また、時間が経過するにつれてポストドーズ/メインドーズ比が大きくなる傾向があるが、これはメインドーズが次第に減少するためである。

一方、 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子の場合、初期フェーディングによる読取り値の経時変化は、 $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 素子と比べると極めて小さい。

表1 Li28407(Cu)素子のプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの経時変化 (照射線量600mR、TLDバッチ数10個)

経過時間 [h]	読取り値[mR 137Cs eq.]			相対値 (24時間後に規格化)			プリ/メイン 比[%]	ポスト/メイン 比[%]
	プリドーズ	メインドーズ	ポストドーズ	プリドーズ	メインドーズ	ポストドーズ		
1.0	266±43.6	739±82.4	298±82.4	79.8±51.6	1.29±0.21	1.01±0.35	36.1±5.2	40.3±9.4
1.5	208±50.3	737±87.5	310±54.2	62.4±41.8	1.28±0.22	1.05±0.37	28.0±5.1	42.7±9.9
2.0	171±43.6	714±100	303±59.5	51.5±34.8	1.24±0.23	1.03±0.30	23.9±4.9	42.7±8.0
2.5	109±23.2	668±80.1	296±89.6	32.7±21.6	1.16±0.20	1.00±0.37	16.3±2.8	44.0±9.8
3.0	127±31.7	720±70.5	322±73.9	38.2±25.7	1.25±0.20	1.09±0.34	17.6±3.8	45.3±12.3
24	3.3±2.1	574±69.5	295±63.9	1.00±0.63	1.00±0.12	1.00±0.22	0.6±0.3	52.3±13.0

表2 CaSO4(Tm)素子のプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの経時変化 (照射線量600mR、TLDバッチ数10個)

経過時間 [h]	読取り値[mR 137Cs eq.]			相対値 (24時間後に規格化)			プリ/メイン 比[%]	ポスト/メイン 比[%]
	プリドーズ	メインドーズ	ポストドーズ	プリドーズ	メインドーズ	ポストドーズ		
1.0	62.5±3.1	597±25.2	160±41.3	1.31±0.19	1.04±0.08	0.88±0.31	10.5±0.7	26.8±7.0
1.5	58.5±5.8	598±39.7	165±33.2	1.27±0.17	1.04±0.10	0.91±0.28	9.8±0.9	27.5±5.3
2.0	57.7±3.8	621±28.9	168±27.2	1.21±0.15	1.08±0.09	0.93±0.27	9.3±0.7	27.3±5.2
2.5	57.7±8.0	591±35.3	201±29.1	1.21±0.24	1.03±0.09	1.11±0.31	9.7±1.0	34.1±5.4
3.0	59.7±8.4	612±42.9	184±33.1	1.25±0.20	1.06±0.10	1.02±0.30	9.8±1.3	30.2±6.1
24	47.7±6.6	576±38.1	181±42.5	1.00±0.14	1.00±0.07	1.00±0.24	8.3±0.9	31.8±8.7

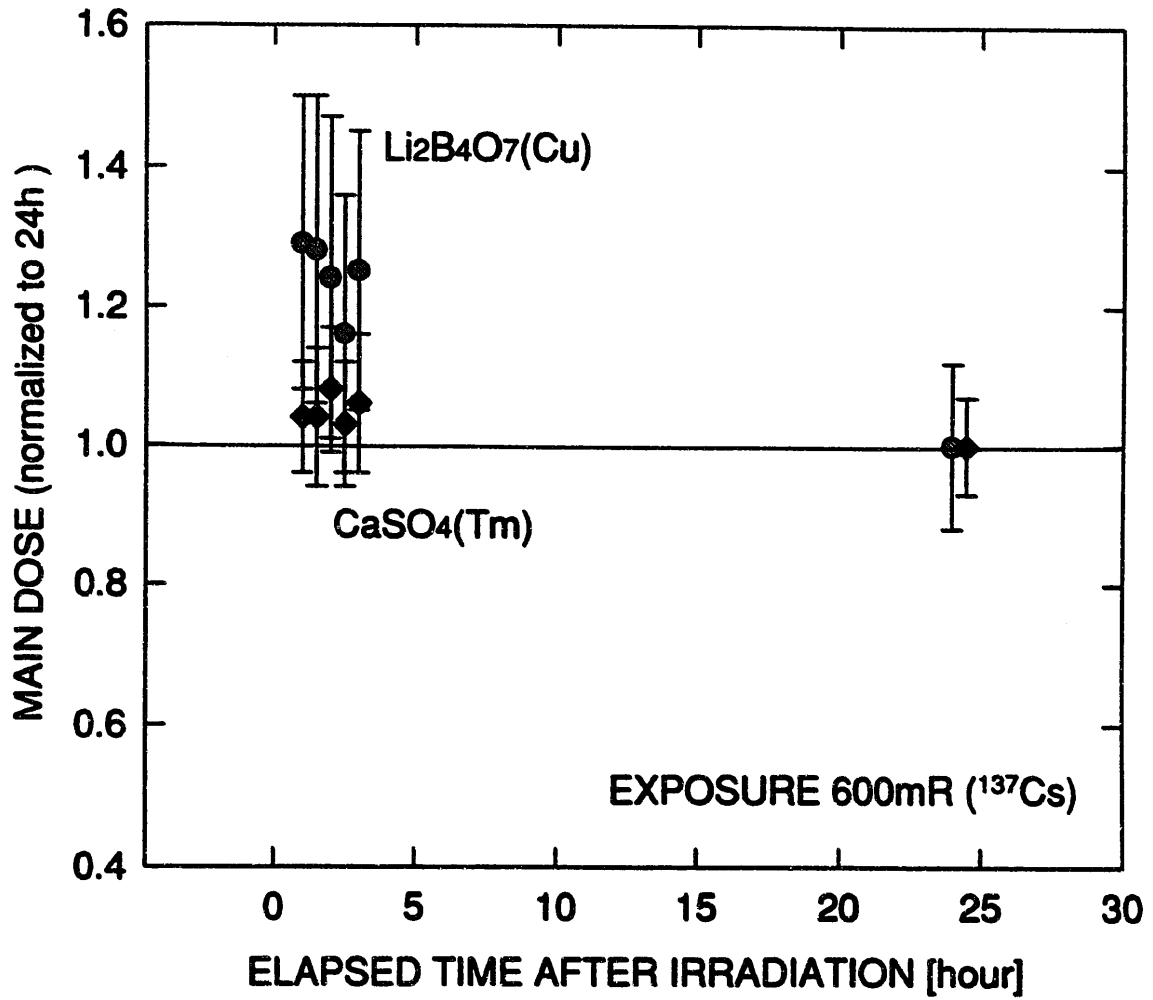


図1 メインドーズの経時変化 (24時間後に規格化)

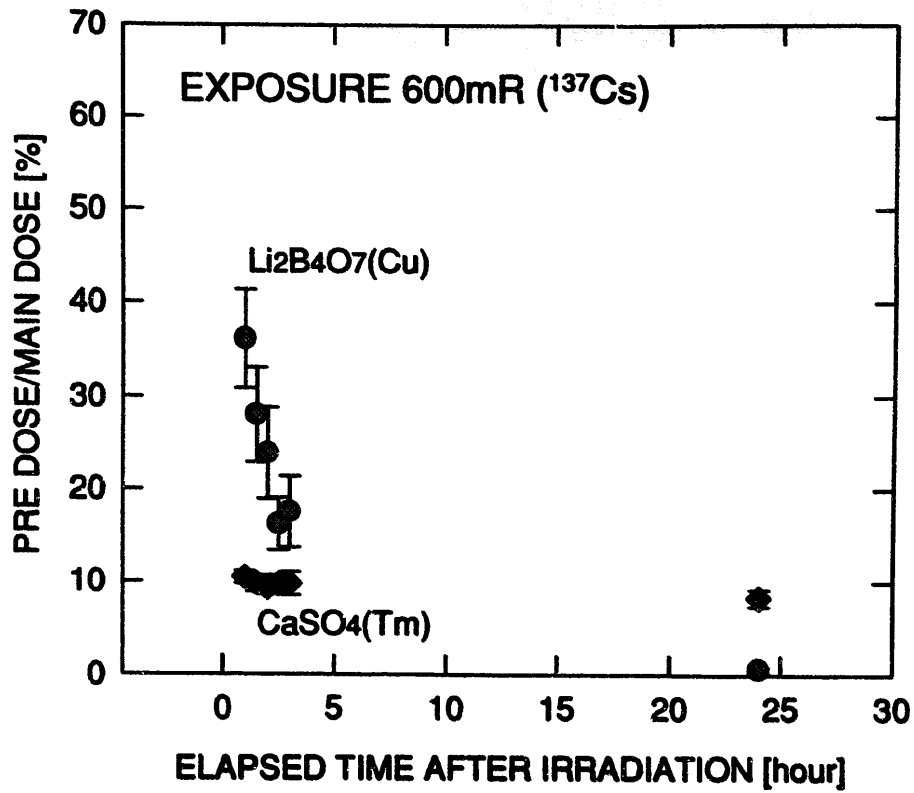


図 2 (a) プリドーズ/メインドーズ比の経時変化

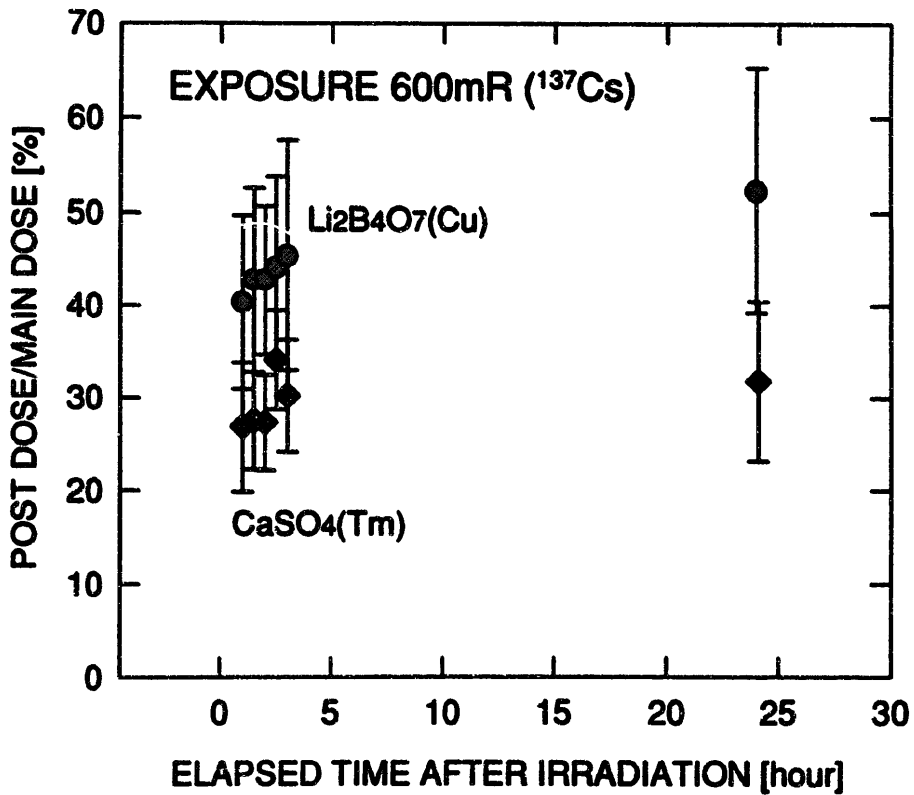


図 2 (b) ポストドーズ/メインドーズ比の経時変化

## 付録 異常測定値リスト（平成6年度分）

平成6年度に測定を行ったTLDバッジの測定データの中から異常と思われるものを抽出し、一覧表にまとめた。

表の内容は、便宜上付けた異常測定値の番号、測定日（940406は1994年4月6日）、TLDのID番号、エレメント1～4の読取り値[mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]、異常と思われるエレメント、そのエレメントのプリドーズ、メインドーズ、ポストドーズの値[mR  $^{137}\text{Cs}$  eq.]及び第5章の判定式を用いた異常の判定結果である。エレメント1～4の読取り値のうち、異常と思われるものは太字で示した。

異常値の判定結果についてであるが、左側のカラムから、(1)式によるプリドーズの判定結果、(2)式によるプリドーズの判定結果、(3)式によるポストドーズの判定結果、プリドーズとポストドーズの両者に異常のあったもの、プリドーズとポストドーズの一方に異常のあったもの、である。異常と判定されたものは1、異常ではないと判定されたものは0と表記した。

No.	測定日	TLD No.	読取り値[mR <sup>137</sup> Cs eq.]				異常 コメント	[mR <sup>137</sup> Cs eq.]			判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
1	940406	8835918	128	95.3	92.3	100	N4	0.0	14.7	119	0	1	0	1		
		9835374	118	68.6	78.6	12.2										
2	940406	8836102	47.2	40.9	35.1	45.4	N4	1.8	526	707	0	1	0	1		
		9835638	36.1	37.6	42.1	524										
3	940406	8836758	29.7	21.7	25.5	61.6	G4	39.3	64.1	144	1	1	1	1		
		9845296	35.5	36.3	32.0	35.1										
4	940406	8837016	36.1	31.2	28.4	51.7	G4	0.4	54.2	44.0	0	0	0	0		
		9846726	32.4	35.3	38.8	37.6										
5	940406	8837026	31.9	38.0	26.3	56.7	G4	0.0	59.2	51.5	0	0	0	0		
		9846734	32.6	22.3	26.5	24.4										
6	940406	8837030	27.1	25.1	63.8	45.8	G4	0.0	48.3	46.7	0	0	0	0		
		9846736	27.4	27.5	19.9	21.8										
7	940406	8837058	29.8	32.0	25.2	52.8	G4	0.2	55.3	61.0	0	0	0	0		
		9846744	30.4	31.3	33.9	33.9										
8	940406	8837064	46.4	34.6	30.1	109	G4	0.0	111	99.0	0	0	0	0		
		9846746	35.1	42.5	38.0	38.7										
9	940406	8837078	73.9	40.9	27.5	60.4	G4	0.1	62.9	47.8	0	0	0	0		
		9846752	22.4	33.0	35.0	30.4										
10	940408	8823514	11.0	10.3	7.3	23.9	G4	0.1	26.4	29.1	0	0	0	0		
		9822702	47.9	22.8	13.8	26.4										N1
11	940408	8835250	37.2	33.0	27.3	52.4	G4	0.0	54.9	22.6	0	0	0	0		
		9823972	38.1	40.2	35.7	38.8										
12	940408	8835256	42.5	39.1	26.3	26.2	N1	13.7	75.6	106	1	1	1	1		
		9824658	73.1	36.4	34.3	37.9										

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
13	940408	8835270	31.3	37.7	265.0	44.1	N4	20.6	79.1	181	1	1	1	1		
		9824674	26.0	29.0	36.4	76.6										
14	940408	8835272	33.7	36.7	23.9	55.4	G4	0.0	57.9	37.1	0	0	0	0		
		9824676	50.6	37.6	33.1	33.3										
15	940408	8823098	16.9	10.4	10.4	26.2	G4	0.4	28.7	40.8	0	0	0	0		
		9821930	27.7	19.7	21.1	20.2										
16	940408	8835314	35.2	46.7	23.7	50.3	G4	0.0	52.8	24.2	0	0	0	0		
		9824698	41.5	37.6	32.0	35.1										
17	940408	8835326	24.4	35.1	24.2	44.9	G4	0.4	47.4	41.7	0	0	0	0		
		9824712	41.7	37.7	32.1	36.6										
18	940408	8835328	26.3	31.6	44.4	39.0	N1	7.7	67.3	134	1	1	1	1		
		9824714	64.8	40.2	31.2	38.5										
19	940408	8835352	31.1	32.6	26.7	79.3	G4	0.0	81.8	54.4	0	0	0	0		
		9824740	57.4	35.7	33.4	34.2										
20	940408	8835514	31.9	31.9	71.5	39.9	N1	0.1	74.3	60.0	0	0	0	0		
		9824846	71.8	34.9	36.6	41.7										
21	940408	8835516	34.9	25.8	53.9	25.4	N2	68.7	73.3	269	1	1	1	1		
		9824848	49.5	70.8	36.9	35.8										
22	940408	8823004	7.6	7.9	7.5	52.6	G4	0.0	55.1	67.5	0	0	0	0		
		9823334	11.6	16.5	20.0	15.3										
23	940408	8823006	13.0	5.4	7.7	16.8	G4	0.1	19.3	26.9	0	0	0	0		
		9823338	11.4	17.4	20.5	14.0										
24	940408	8821664	27.4	26.0	17.5	23.9	N2	31.7	128	195	1	1	1	1		
		9823308	55.1	126	23.9	27.0										



No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
25	940408	8823492	15.1	13.8	7.6	11.6	N1	0.0	53.2	40.5	0	0	0	0		
		9822672	50.7	14.5	11.7	15.5										
26	940411	8820208	16.5	13.5	9.9	32.9	G4	0.1	35.4	37.1	0	0	0	0		
		9820208	17.3	15.4	21.9	21.6										
27	940411	8821196	430	17.7	41.0	18.7	G1 N2	400 14.3	432 199.0	1910 175.0	1	0	1 1	1 0	1 1	
		9821134	16.2	197	20.9	39.6										
28	940411	8821324	40.1	110	49.7	21.2	G2	0.8	112	87.0	0	0	0	0		
		9821224	16.3	39.5	24.5	34.4										
29	940411	8821396	33.1	36.0	124	28.8	N1	0.0	85.0	52.2	0	0	0	0		
		9821354	82.5	39.9	31.5	35.5										
30	940411	8821482	14.9	15.9	77.4	41.2	G4	0.0	43.7	17.6	0	0	0	0		
		9821700	19.9	22.3	26.0	26.0										
31	940411	8821530	39.5	42.1	104	45.8	N1	0.0	85.4	51.8	0	0	0	0		
		9821942	82.9	85.5	51.5	103										
32	940411	8821540	21.7	22.3	88.5	20.7	N1	0.0	63.7	65.9	0	0	0	0		
		9821956	61.2	30.7	23.4	27.9										
33	940411	8821676	31.8	29.9	101	32.9	N1	0.3	76.7	62.4	0	0	0	0		
		9822016	74.2	68.0	42.4	50.2										
34	940411	8821806	37.6	37.9	111	33.6	N1	128	168	398	1	1	1	1		
		9822096	166	63.7	46.7	73.6										
35	940520	8000119	3.7	2.0	3.6	0.5	N2	77.1	51.1	78.9	1	1	0	0	1	
		9820639	3.3	48.6	7.9	8.2										
36	940520	8821198	7.7	6.0	9.7	33.6	G4	46.7	36.1	73.0	1	1	1	1		
		9821190	12.4	10.2	11.3	8.3										

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
37	940620	8000149	6.3	5.0	9.3	24.3	G4	89.8	26.8	36.8	1		0	0	1	
		9820665	51.3	10.5	6.6	9.3	N1	124	53.8	68.1	1		0	0	1	
38	940628	8835325	20.8	355	20.3	40.4	G2	751	357	775	1		1	1	1	
							G4	38.0	42.9	81.0	1		1	1	1	
39	940630	8820287	5.5	22.3	5.6	4.4	G2	40.9	24.8	72.3	1		1	1	1	
		9821657	5.8	8.2	10.7	6.7										
40	940706	8835403	53.5	118	34.1	30.1	G2	0.2	120	88.2	0		0	0	0	
41	940708	8823567	29.2	31.8	24.2	24.8										
		9823501	61.3	24.7	24.4	21.1	N1	0.0	63.8	43.9	0		0	0	0	
42	940713	8823672	8.0	21.8	4.4	3.9	G2	34.2	24.3	72.0	1		1	1	1	
		9823738	5.9	7.2	9.7	9.1										
43	940823	8823528	45.7	10.5	6.2	9.5	G1	87.3	48.2	103	1		1	1	1	
		9846596	10.2	11.1	12.1	10.7										
44	940919	8820256	399	2.6	1.4	1.1	G1	221	401	799	1		1	1	1	
		9835828	1.7	2.3	1.5	1.7										
45	941003	8836398	10.5	8.6	4.0	9.3										
		9821266	15.2	8.1	6.0	9.3	N1	59.1	17.7	52.7	1		0	0	1	
46	941003	8821476	6.4	6.3	6.3	3.5										
		9825050	3.6	34.4	18.8	18.1	N2	97.3	36.9	134		1	1	1	1	
						N3	152	21.3	91.2		1	1	1	1		
						N4	26.1	20.6	72.4		1	1	1	1		
47	941003	8821748	21.0	20.3	16.3	50.6	G4	24.5	53.1	206	1		1	1	1	
		9820566	22.4	22.9	16.9	19.6										

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
48	941007	8823760	45.9	51.5	83.6	157	G4	0.7	159	38.5	0	0	0	0		
		9823810	59.2	47.2	45.8	53.0										
49	941014	8836147	8.2	8.0	6.4	15.0	G4	24.3	17.5	46.5	1	0	0	1		
50	941019	8820097	13.7	12.1	8.0	7.8	N1	5.3	34.3	128	0	1	0	1		
		9820257	31.8	25.5	17.8	14.3										
51	941019	8821289	61.9	13.5	32.6	10.5	G1	10.5	64.4	65.0	1	0	0	1		
		9823805	11.6	14.2	15.9	12.1										
52	941019	8821959	24.4	1.9	1.3	1.8	G1	0.0	26.9	65.1	0	0	0	0		
53	941027	8825179	33.1	22.8	11.8	20.2	G1	40.0	35.6	64.2	1	0	0	1		
		9835727	12.1	12.0	12.6	15.4	G2	12.7	25.3	50.2	1	0	0	1		
54	941027	8820305	4.0	3.3	1.3	3.9	N4	253	101	290	1	1	1	1		
		9822493	3.3	9.0	4.9	98.5										
55	941027	8820309	52.8	15.5	2.1	65.3	G1	136	55.3	125	1	1	1	1		
							G2	16.6	18.0	71.4	1	1	1	1		
							G4	262	67.8	232	1	1	1	1		
							N1	12.2	17.8	93.4	1	1	1	1		
							N2	79.0	47.8	163	1	1	1	1		
56	941027	8822457	17.2	28.1	3.5	26.3	G1	14.5	19.7	77.4	1	1	1	1		
							G2	43.8	30.6	92.7	1	1	1	1		
							G4	40.6	28.8	112	1	1	1	1		
							N2	46.0	35.7	136	1	1	1	1		
							N3	16.7	16.3	80.8	1	1	1	1		
							N4	20.3	21.8	81.0	1	1	1	1		

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
57	941027	8822397	8.4	19.2	3.8	143	G2	23.0	21.7	83.5	1		1	1	1	
		9825057	G4					590	145	418	1		1	1	1	
			N1	44.2	30.3	30.8	19.7	66.1	46.7	166	1		1	1	1	
			N2					30.2	32.8	139		1	1	1	1	
			N3					27.4	33.3	168		1	1	1	1	
			N4					19.0	22.2	64.7		1	1	1	1	
58	941027	8822299	13.9	15.1	9.7	36.6	G2	10.6	17.6	71.6	1		1	1	1	
		9000029	G4					53.0	39.1	134	1		1	1	1	
			N1	19.4	37.6	9.6	23.1	18.4	21.9	118	1		1	1	1	
			N2					48.4	40.1	167		1	1	1	1	
			N4					30.8	25.6	109		1	1	1	1	
59	941027	8836495	16.0	35.8	9.1	29.9	G2	5.8	38.3	93.1	1		1	1	1	
							G4	12.8	32.4	138	1		1	1	1	
60	941027	8820809	21.3	9.8	7.7	9.5	G1	83.2	23.8	58.4	1		0	0	1	
61	941027	8836639	8.0	2.3	1.8	4.5	G1	14.3	10.5	28.4	1		0	0	1	
62	941104	8824372	6.1	3.7	2.4	24.9	G4	16.2	27.4	29.3	1		0	0	1	
		9823746	3.8	6.6	5.7	11.0										
63	941104	8820589	3.0	1.6	1.7	5.1										
		9821883	3.3	107	2.7	6.4										
64	941110	8820703	3.8	14.9	2.1	1.1	G2	0.0	17.4	22.0	0		0	0	0	
		9822887	5.4	6.9	8.1	5.9										
65	941110	8836273	2.2	3.2	5.9	5.0										
		9824887	29.8	7.3	6.9	8.6										

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
66	941130	8820380	27.6	19.1	11.3	12.4	G1	37.0	30.1	66.5	1		0	0	1	
							G2	12.2	21.6	34.5	1		0	0	1	
		9820294	25.6	12.2	11.1	17.8	N1	28.8	28.1	67.4	1		1	1	1	
67	941205	8820471	2.3	0.7	1.6	2.7										
		9823687	1.7	2.9	6.0	23.2	N4	23.4	25.7	48.7		1	0	0	1	
68	950109	8822526	31.0	26.8	39.5	22.7										
		9820864	69.0	80.5	24.3	24.3	N1	52.4	71.5	164	1		1	1	1	
						N2	1.3	83.0	60.4		0	0	0	0		
69	950110	8000001	44.8	133	34.6	23.6	G2	7.0	135	61.4	1		0	0	1	
70	950110	8824812	14.9	17.9	16.8	16.4										
		9823834	132	24.3	16.2	16.6	N1	34.6	134	58.4	1		0	0	1	
71	950111	8820592	18.6	22.4	35.9	13.6										
		9820478	18.4	18.8	77.4	26.7	N3	117	79.9	133		1	1	1	1	
72	950111	8948117	4.4	161	4.2	3.3	G2	72.1	163	523	1		1	1	1	
73	950125	8948263	31.6	3.9	1.9	3.7	G1	28.3	34.1	342	1		1	1	1	
74	950201	8948418	5.2	3.7	2.3	10.0	G4	11.5	12.5	109	1		1	1	1	
		9820686	2.1	3.1	2.0	4.1										
75	950228	8948327	8.0	9.6	5.4	77.4	G4	0.1	80.0	1160	0		1	0	1	
		9946821	6.8	5.9	4.5	6.4										
76	950302	8824953	1.9	2.3	3.8	0.9										
		9835541	40.9	3.4	2.7	2.9	N1	82.3	43.4	32.4	1		0	0	1	
77	950302	8822225	145	121	120	48.1										
		9821925	75.5	46.1	43.8	37.4	N1	0.0	78.0	57.0	0		0	0	0	

No.	測定日	TLD No.	エレメント読取り値				異常 エレメント				判定結果					備考
			E1	E2	E3	E4		Pre	Main	Post	PRE(1)	PRE(2)	POST(3)	AND	OR	
78	950302	8824023	6.6	9.4	7.9	6.9	N1	2.1	53.3	41.5	0	0	0	0		
		9820077	50.8	14.5	11.0	11.6										
79	950306	8948235	6.6	7.3	3.4	34.8	G4	3.4	37.3	111	0	1	0	1		
		9846260	3.1	5.6	6.7	4.3										
80	950306	8822793	1.5	3.3	2.7	1.5	N1	0.8	123	281	0	1	0	1		
		9835483	121	6.2	5.9	4.8										
81	950314	8836046	24.2	81.9	16.8	18.2	G2	82.5	84.4	1230	1	1	1	1		
		9835522	20.0	23.5	26.3	22.3										
82	950314	8821855	3.6	5.7	3.0	5.5	N1	0.1	76.1	48.1	0	0	0	0		
		9824913	73.6	5.1	3.5	6.0										
83	950316	8821112	1.0	10.3	1.5	3.9	G2	5.1	12.8	55.8	0	0	0	0		
		9835550	0.2	1.5	2.5	3.3										
84	950316	8821139	0.8	1.7	1.4	1.2	N1	3.0	21.4	28.8	0	0	0	0		
		9835533	18.9	3.8	4.6	3.3										
85	950322	8948135	7.2	5.7	3.3	71.3	G4	252	73.8	508	1	1	1	1		
86	950322	8948292	2.1	48.4	2.1	2.2	G2	20.6	50.9	131	1	1	1	1		
87	950331	8948193	5.5	4.2	2.9	21.9	G4	29.2	24.4	52.2	1	0	0	1		
		9835609	0.2	6.0	4.8	5.1										