

# CCDカメラを利用したTLD素子の 外観検査方法の検討

1997年9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)

## CCDカメラを利用したTLD素子の外観検査方法の検討

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

### 要 旨

TLDバッジの品質の維持・管理のため、現在、保有する全ての線量計について、年一回の外観検査を実施している。この検査では、耐熱樹脂フィルム上に接着している蛍光体に剝離がないかどうか、透明ドーム部が混濁していないかどうか、さらに耐熱樹脂板表面に汚れ等が付着していないかどうかを目視で確認している。しかし、蛍光体が直径約2.5mmと小さい上、その総数が約52,000個にもものぼるため、この検査には多大な労力と時間を要する。

そこで、総画素41万のCCDカメラを利用して、蛍光体の画像をパーソナルコンピュータに取り込み、蛍光体の状態を簡便に識別する手法について検討した。本研究では、その第一段階として、目視検査で外観不良と判定された蛍光体の画像をサンプルとして取得した。また、外観不良のTLDが測定値に与える影響を調べた。

---

1) 安全管理部 安全対策課

## 目 次

第1章	緒言 .....	1
第2章	TLD外観検査の現状 .....	2
第3章	CCDカメラを用いたTLD外観検査方法 .....	4
3-1	機器の構成 .....	4
3-2	蛍光体の画像例 .....	5
3-3	特性に与える影響 .....	9
第4章	システム化検討 .....	14
第5章	まとめ .....	15
参考文献	.....	15

## 第1章 緒言

熱蛍光線量計(TLD)の品質の維持・管理のため、現在、保有する全ての線量計について、年一回の外観検査を実施している[1]。

この検査では、TLDバッジに使用するTLDの場合、耐熱樹脂フィルム上に接着している4個の蛍光体に剝離等がないかどうか、透明ドーム部が混濁していないかどうか、さらに耐熱樹脂板表面に汚れ等が付着していたり破損がないかどうかを目視で確認している。こうした蛍光体の外観上の問題は、蛍光体を加熱する際の”heat sink”となり加熱状態を変化させたり、熱蛍光の検出効率を下げる等の悪影響があるため、こうした線量計を事前に見つけだし廃棄するなどの措置が必要がある。

ただし、線量計数にして約13,000個、TLD素子数にして約52,000個もの目視検査には、次に挙げるような問題がある。

- (1) 全て手作業であること
- (2) 蛍光体が直径約2.5mmと小さいため、肉眼で蛍光体の状態を識別しにくいこと
- (3) 検査結果が記録として残らないこと
- (4) 外観不良の判断基準が定量化されていないこと
- (5) 多大な労力と時間を要すること

そこで、TLD外観検査に伴う労力の軽減と検査記録の保存を目的に、CCDカメラを用いた簡便な外観検査装置の実用化について検討した。本研究では、その第一段階として、市販のCCDカメラとパーソナルコンピューター、画像処理ソフトウェアを利用し、目視検査により外観不良と判断された蛍光体の画像をサンプルとして取得した。また、外観不良の蛍光体が測定値のどのような影響を与えるかを調べた。

## 第2章 TLD外観検査の現状

### (1) TLD素子の構造

TLDバッジに使用するTLD素子の構造を図2-1に示す。厚さ約 $11\text{mg}/\text{cm}^2$ の耐熱樹脂フィルム（ポリイミド）上に蛍光体の薄い層（厚さ $15\text{mg}/\text{cm}^2$ ）が接着されており、蛍光体側は厚さ $28\text{mg}/\text{cm}^2$ の透明ドームで覆われている。蛍光体の直径は約 $2.5\text{mm}$ である。

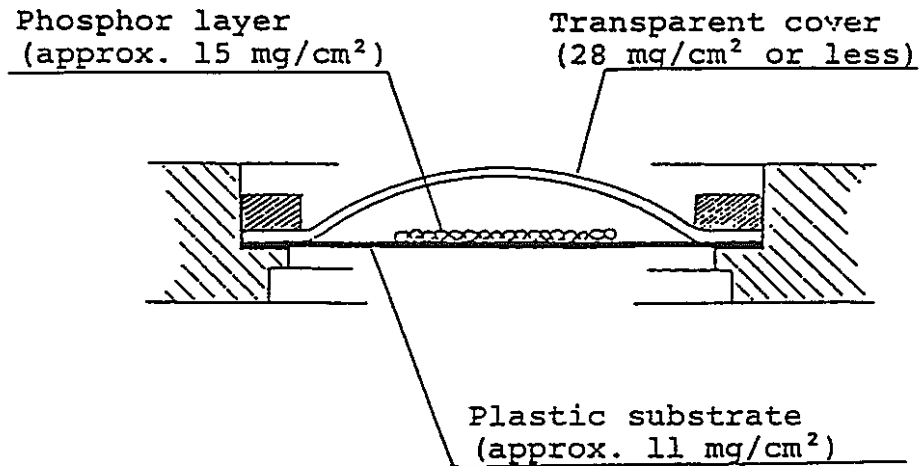


図2-1 TLD素子部分の断面図

### (2) 検査項目

TLDバッジに使用するTLD線量計（ $\beta/\gamma$ 線用UD-808P線量計、中性子線用UD-809P線量計）の外観検査では、主に以下の項目について確認する。

- (a) ドーム混濁
- (b) 蛍光体の剝離・飛散
- (c) 蛍光体の変質
- (d) バブル

上記の外観不良のうち(a)～(c)は、主に長期間の使用に伴う蛍光体の吸湿が原因と考えられている。吸湿された水分が加熱時に蒸発する際に蛍光体の結晶構造を壊すような場合に(a)(b)、蛍光体を耐熱樹脂フィルムに接着している接着剤が加水分解により変質した場合に(c)のような外観上の不良が見られる。また、(d)は蛍光体の裏側の耐熱樹脂フィルムに生じた気泡状の突起であり、耐熱樹脂フィルム中に不純物が混入した場合等に生じる。UD-800シリーズの製造開始初期の頃によく見られたが、最近はほとんどない。一般に、上記の(a)～(d)のうち、(a)～(c)についてはホウ酸リチウム素子に、(d)は硫酸カルシウム素子に見られることが多い。

### (3) 検査方法

外観検査の手順は大略以下の通りである。

- (a) ピンセットでホルダーからTLDプレートを引き出す (図2-2)
- (b) 高圧空気吹き付けにより表面の埃等を除去する
- (c) プレート上に平行に配置している4個の蛍光体を目視検査し、(2)の検査項目について異常のないことを確認する
- (d) 背面(耐熱樹脂フィルム)側に汚れ、バブル等が無いことを確認する

なお、検査スケジュールは、保有する線量計を個体番号が偶数番と奇数番に二分し、前者を第1四半期、後者を第2四半期に実施する。また、配布した線量計を測定したとき、測定値に何らかの異常が認められた場合には、その都度、目視検査を実施する。

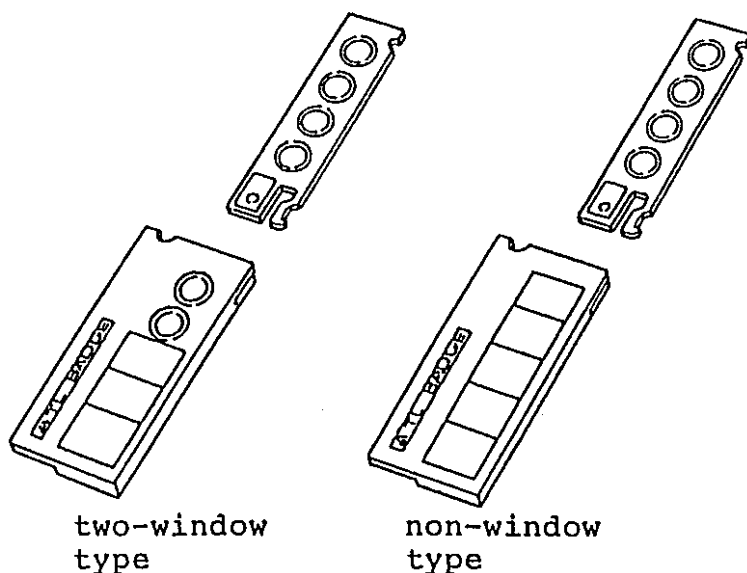


図2-2 ホルダーからTLDプレートを引き出した状態

### 第3章 CCDカメラを用いた外観検査方法

#### 3-1 使用機器

蛍光体の撮影には以下の機器を用いた。使用したCCDカメラの外観を図3-1に示す。

CCDカメラ	富士フィルム株式会社製”フォトビジョンFV-10” 撮像素子：1/4インチCCD固体撮像素子（総画素41万） 解像度：水平400TV以上、垂直350TV以上
パーソナルコンピュータ	Apple社製Power Macintosh 7600/132
画像処理ソフトウェア	Adobe社製PhotoShop 4.0

蛍光体の撮影の際には、ホルダーからTLDプレートを引き出し、図3-2のような体系で実施した。また、撮影時には外部からの光の入射を防ぐため、CCDカメラ全体を厚紙で覆った。

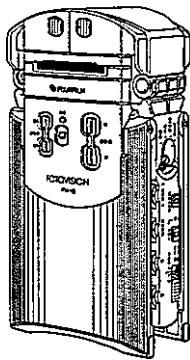


図3-1 CCDカメラの外観図



図3-2 蛍光体撮影風景



### 3-2 蛍光体の画像例

外観検査で不良と判断された線量計はまとめて一カ所に保管されており、その中から外観不良の代表的な例を抽出し、その写真画像を得た。

図3-3(a)～(d)に、蛍光体側の写真画像の例を示す。図は全てホウ酸リチウムの写真画像である。

(a)は正常なホウ酸リチウムの蛍光体の例であり、耐熱樹脂フィルム上に蛍光体の粒が均一に接着されている。この線量計は、平成7年度に実験用として新規に購入したものであるが、その使用頻度は少なくまた湿度等の外的条件によるストレスもほとんどないため、新品の蛍光体と状態は変わらない。蛍光体の色は淡い赤褐色～赤紫色に近い。

(b)(c)及び(d)は、それぞれドーム混濁、蛍光体の飛散、蛍光体の変質の例である。外観検査で不良と判断されるものの多くは、図(b)や(c)の例であり、図(d)のように蛍光体表面に変質した成分(白色のもの)が生じるようなものは数的には少ない。経験的には、いずれの例も購入年度が古いほど発生頻度が高い傾向があり、全体的に蛍光体の色が白っぽくなるという特徴がある。一方の硫酸カルシウムについては、このような例の外観不良はほとんど見られない。この理由は、ホウ酸リチウムと硫酸カルシウムの吸湿性の違いによるものと考えられる。

また、図3-4(a)(b)に、蛍光体の裏側の耐熱樹脂フィルム面(加熱ランプ側)の写真画像を示す。(a)は正常な例、(b)が”バブル”が発生したものである。図(b)の”バブル”は直径が約1mmのものであるが、ほとんどの例はそれよりも小さい。

なお、画像処理の際には、照度を下げコントラストを上げることによって、正常な蛍光体と外観不良の蛍光体とを識別しやすいことが経験的に分かった。CCDカメラで撮影した蛍光体の画像は、やや立体感が薄れるものの、十分に外観の状態を確認することが可能である。

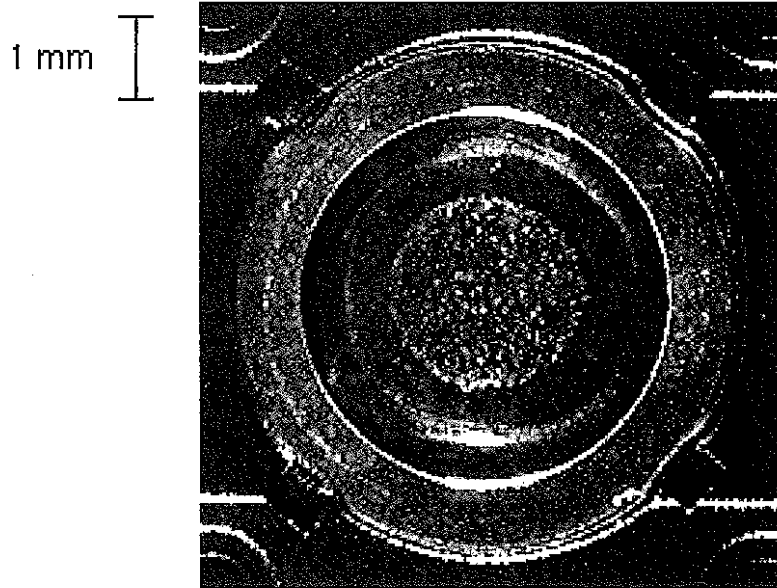


図3-3 (a) 正常な蛍光体の例 (ホウ酸リチウム)

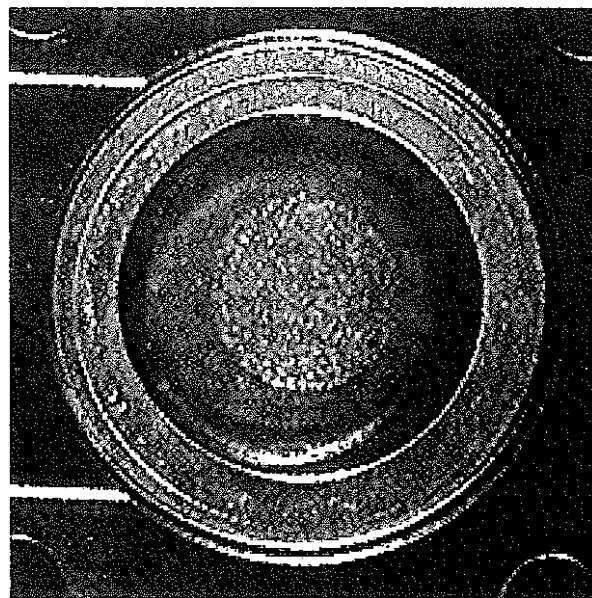


図3-3 (b) ドーム混濁の例 (ホウ酸リチウム)

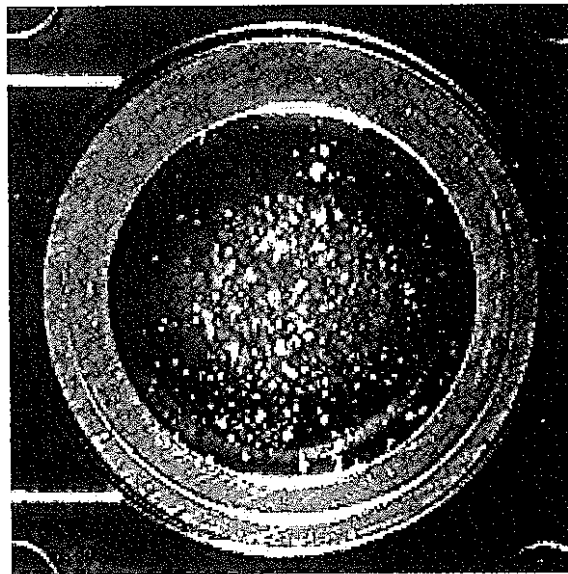


図3-3 (c) 蛍光体飛散の例 (ホウ酸リチウム)

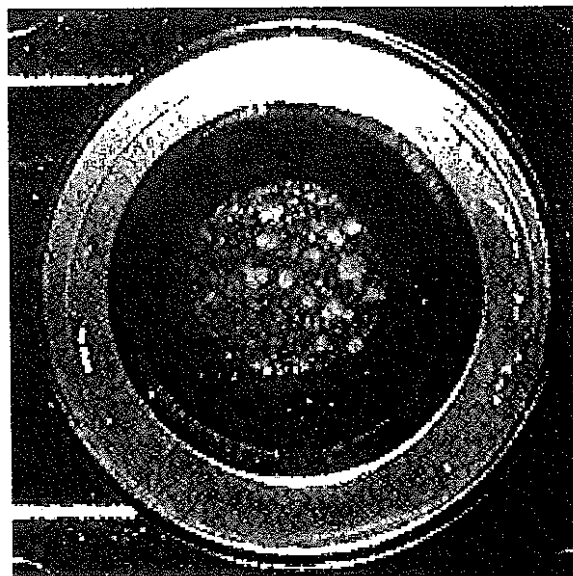


図3-3 (d) 蛍光体変質の例 (ホウ酸リチウム)

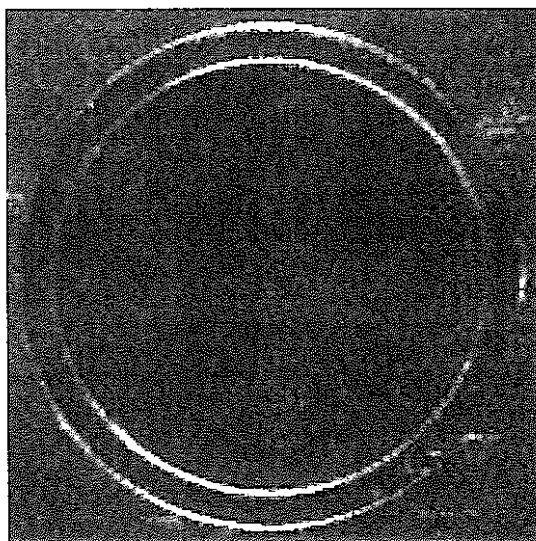


図3-4 (a) 正常な耐熱樹脂フィルム

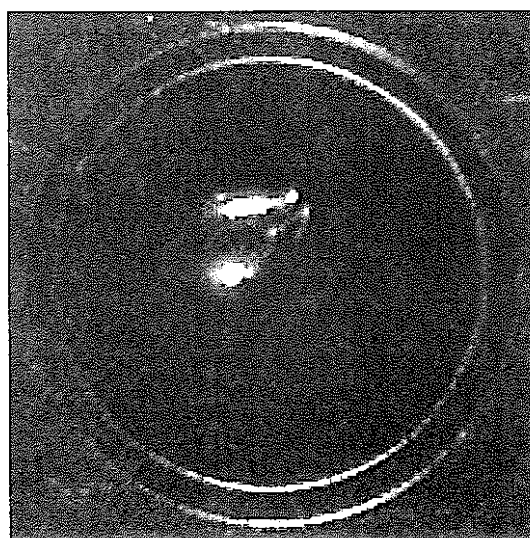


図3-4 (b) バブルが形成された耐熱樹脂フィルム

### 3-3 特性に与える影響

昭和57年度に購入した線量計のうち、実験用として長期にわたって保管しておいたTLD (UD-808P 45個、UD-809P 45個) の外観検査を実施し、蛍光体の状況に応じて以下に示す4段階のランクに分類した。分類は、TLDの外観検査に常時携わっている3名の作業員の経験則に基づいた。

ランク	判定*	外観の状態
A	極めて状態が良い	新規購入のものと同様
B	状態が良い	新規購入のものに近い ごく僅かなドーム混濁
C	使用可能な程度には良い	ドーム混濁、蛍光体の僅かな飛散
D	使用不可	極度のドーム混濁 蛍光体の剝離、飛散、変質

\* 通常の品質管理では、A,B及びCランクのものは、さらに感度検査、ゼロ点線量検査を実施し、使用可能かどうかを判別する。

次に、TLDを十分に除湿、アニールした後、TLD自動リーダー1号機で測定し、ゼロ点線量（メインドーズ）とポストドーズの関係を調べた。ゼロ点線量は未照射時の発光量であり、それが大きな値の場合には線量評価の際の誤差要因となる[2]。そのため、現在は全数のTLDについて年一回のゼロ点線量検査を実施し、ホウ酸リチウムについては  $50 \mu\text{Sv}$ 以下、硫酸カルシウムについては  $10 \mu\text{Sv}$ 以下を合格としている[1]。また、ポストドーズは熱輻射による信号であり線量評価には使用されない。ただし、ゼロ点線量近傍では、ゼロ点線量とポストドーズの間に比例の関係があることが分かっている[2]。

図3-5 (a) (b)に、それぞれ  ${}^7\text{Li}2^{11}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$ 、 ${}^6\text{Li}2^{10}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$ のゼロ点線量（メインドーズ）とポストドーズの関係をランク別に調べた結果を示す。ランクAとランクBではメインドーズとポストドーズの关系到明確な違いがなかったため、図では同じマークで示した。図からも明らかなように、メインドーズ、ポストドーズは、共に蛍光体の外観が悪くなるにつれ増大し、特に使用不可(D)と判定されたものについてはそのほとんどが現在のゼロ点線量検査の合格基準( $50 \mu\text{Sv}$ )を満足しない。一方、使用可(A,B及びC)と判定されたものは、そのほとんどが合格基準を満たしている。このことは加水分解によって変質した蛍光体は、高温領域で通常の熱輻射信号以上の信号が観測されていることを意味する。

これを確認するため、目視検査でランクAとランクD（外観が図3-3 (d)と同様のもの）と判定された ${}^7\text{Li}2^{11}\text{B}4\text{O}7(\text{Cu})$ のゼロ点線量検査時のグロー曲線を比較した例を図3-6に示す。約60~110チャンネルの領域がメインドーズ、約110チャンネル以降

の領域がポストドーズとしてカウントされるが、ランクDと判定されたものはランクAのものに比べてそれら領域内の測定カウント数が多く、特にエレメント#4で顕著である。メインドーズのゲート幅は、通常は高温領域の熱輻射信号を検出しないよう設定されているが、図の例のようにポストドーズの信号が極端に大きな場合には、その一部がメインドーズ領域内でもカウントされゼロ点線量の合格基準を超える測定信号が得られる。

また、ドーム混濁の場合はゼロ点線量にはあまり影響しない。ただし、混濁したドームによって熱蛍光が遮られるため、リーダーの熱蛍光検出効率が低下し、感度が通常のものよりも低くなると考えられる

現在の外観検査の合否の判定基準は、これまでの経験に基づいたものではあったが、ゼロ点線量検査の合否の基準とほぼ等価であることが確認された。従って、TLDの品質管理においては外観検査とゼロ点線量検査を併用することで、より確実に不良なTLDを見つけだすことができると考えられる。

また、現在の外観検査では、外観の状態を確認し使用可能かどうかを判別するだけであるが、今後は、例えば同一時期に購入したTLDの中から無作為に100個程度を抽出し、目視検査により蛍光体の外観をランク分けし、ランクCとランクDがどの程度の割合で存在するかといった情報を更新の必要があるかどうかの目安にするという管理方法も考えられる。

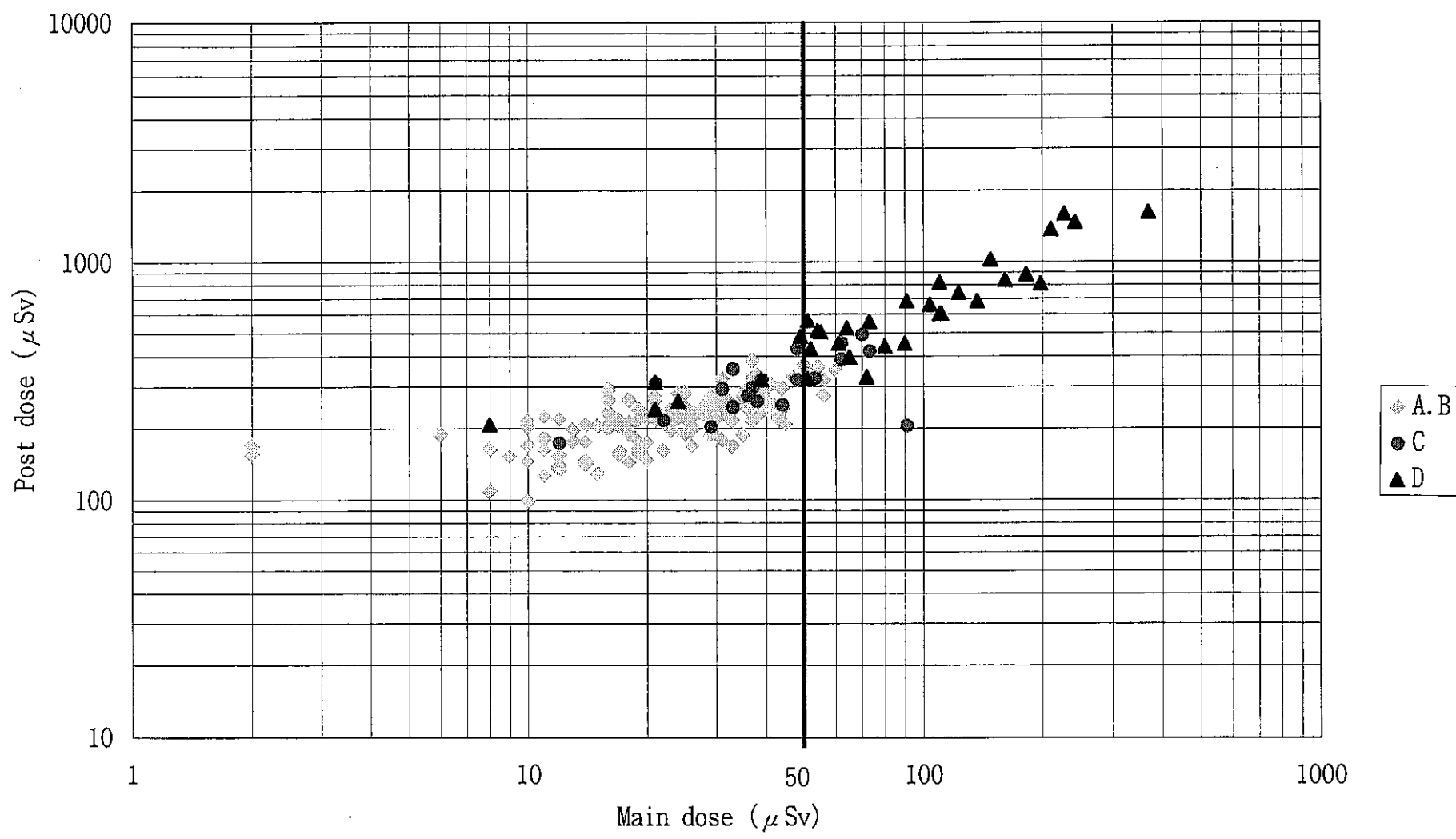
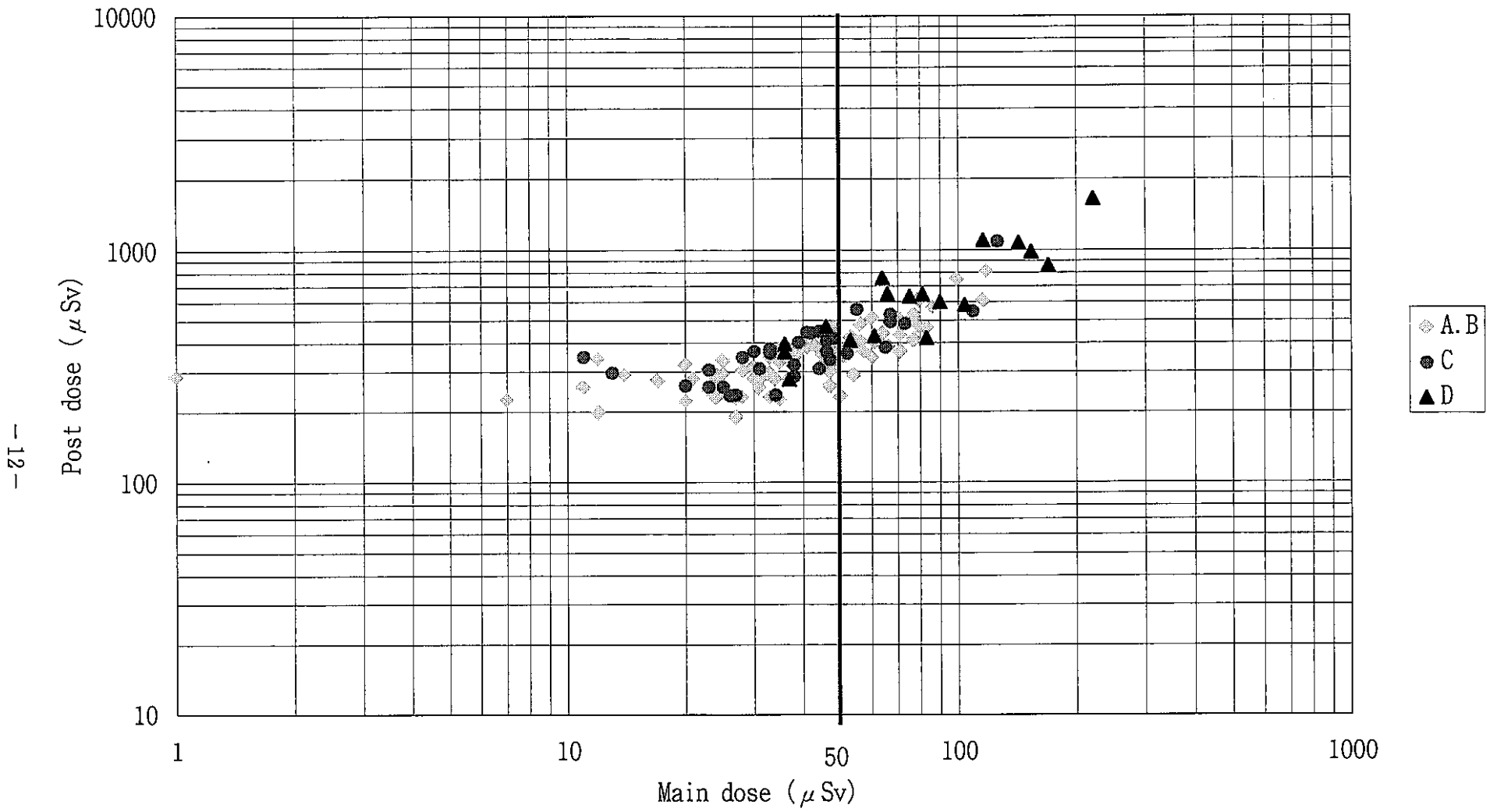


図3-5 (a)  ${}^7\text{Li}_2{}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$  のランク別ゼロ点線量とポストドーズの関係





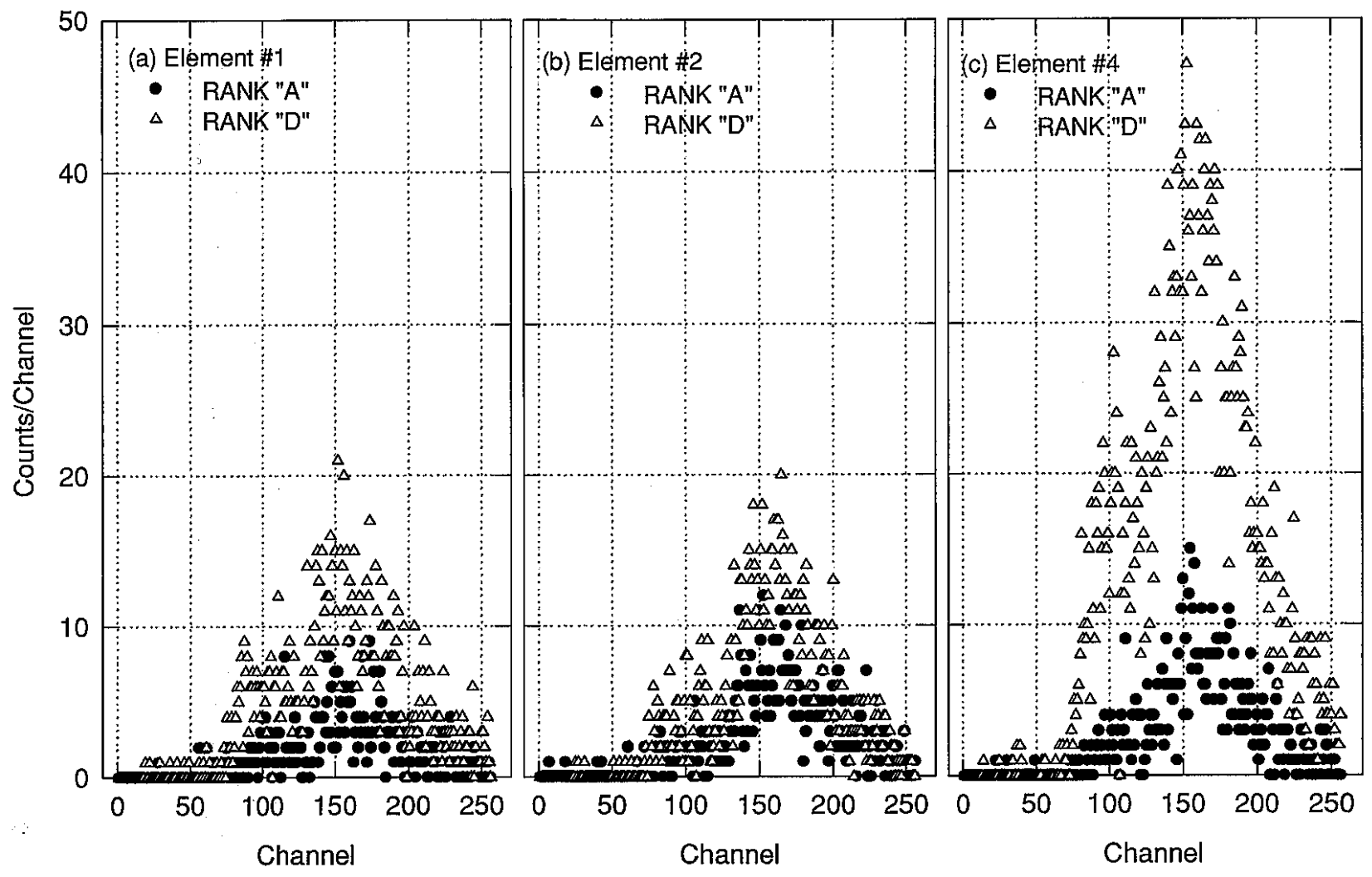


図 3-6  ${}^7\text{Li}211\text{B}407(\text{Cu})$ のゼロ点線量検査時のグロー曲線

## 第4章 システム化検討

CCDカメラを利用して蛍光体の画像写真をパーソナルコンピュータに取り込み、ディスプレイ上に拡大投影することによって、肉眼による蛍光体の外観状態の識別が容易になり、また検査結果を記録として残すことが可能になる。第3章で試験的に使用した機器では、TLDプレートをホルダーからの抜き出す作業、カメラ部にセットする作業を全て手作業で実施したが、これらの作業を自動化することによって従来の方法による外観検査に伴う負担をかなり軽減することができる。

そこで、CCDカメラを利用した外観検査装置のシステム化について検討した。

外観検査装置は、図4-1に示すようにTLD駆動・カメラ部、データ処理用パソコン、データ記憶装置からなり、マガジンにセットしたTLD線量計を自動的に順次カメラ部に移動させる構成とする。この際、TLDの個体番号を自動で読取り、画像にその番号をスーパーインポーズする。TLD線量計の駆動系、個体番号の読取りは、現在のTLD自動リーダー(UD-7100P型)の駆動部と同じものを使用する。

主要な機能は以下の通りである。

- ・ TLD自動搬送、TLDの個体番号読取り
- ・ 高圧空気吹き付けによる埃の除去
- ・ 1エレメントづつカメラ部に異動させ、ディスプレイ上に大画面で蛍光体を表示
- ・ マウス操作によって、移動制御と合否判定
- ・ 合否判定結果のデータベース作成
- ・ ビデオテープもしくは画像ファイルに記録（検査日と個体番号をスーパーインポーズする）

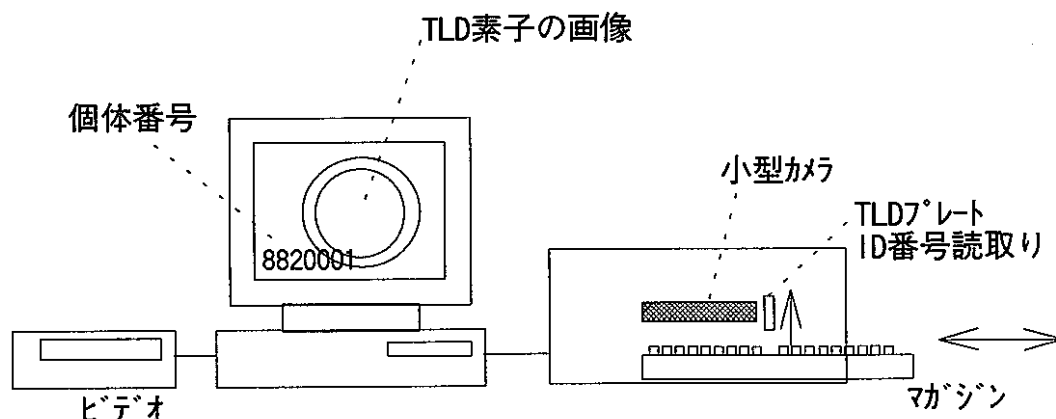


図4-1 TLD外観検査装置案

## 第5章 まとめ

市販のCCDカメラと画像処理ソフトウェアを用い、TLD線量計の外観検査への適用を検討した。その結果、次のような成果が得られた。

- (1) 蛍光体画像を拡大投影することにより、蛍光体の外観状態の識別が容易になる。
- (2) 外観検査で不良と判定されたものの中から代表例をサンプル画像として取得した。
- (3) 外観検査で不良と判定された蛍光体のほとんどがゼロ点線量検査で合格基準を満たさない。
- (4) 目視検査による蛍光体の外観のランク分け結果から、線量計の更新の必要性を判断できる可能性がある。

また、CCDカメラを利用したTLD素子の外観検査装置の設計案を提示した。この装置の運用により、従来の外観検査の方法に伴う負担が大幅に軽減するとともに、検査結果を記録として残すことが可能になる。

## 参考文献

- [1] 野村保、二之宮和重、小松崎賢治、江尻明、磯野矢一、高安哲也  
「TLD及びTLD読取り装置の品質管理マニュアル」、PNC PN8520 93-002、1993
- [2] 辻村憲雄、森田卓、小松崎賢治、百瀬琢磨、篠原邦彦  
「TLD測定値の信頼性の向上に関する検討（Ⅳ） — ゼロ点線量の製造年度別差引補正の効果 —」、PNC PN8410 97-274、1997