

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

プルトニウム燃料開発施設における 個人外部モニタリング計画と線量評価法

Individual Monitoring and Personnel Dosimetry System
at PNC Plutonium Fuel Facility

1972年7月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

プルトニウム燃料開発施設における 個人外部被ばくモニタリング計画と線量評価法



実施責任者 原 悌二郎 (安全管理課)
 報告者 本 山 茂 二 (安全管理課)
 関 田 周 敏 (安全管理課)
 石 黒 秀 治 (安全管理課)
 照 沼 捷 (安全管理課)

- 期 間 1971年9月1日 ～ 1972年6月30日
- 目 的 プルトニウム燃料開発施設での個人外部被ばくモニタリングおよび線量評価法の整理と確立をはかることを目的とする。
- 要 旨 動燃東海事業所のプルトニウム燃料開発施設において現在実施している個人外部被ばくモニタリング計画および被ばく線量評価法の全般にわたりその概要を述べた。また線量評価法を確立するための技術データ、特にプルトニウムによる被ばく実効エネルギーを算出した際の線量計照射試験結果を合わせて記述した。
- モニタリング計画については、プルトニウム被ばく形態の特徴、使用している各種線量計、従業員、来訪者等への各種線量計のサービス様式、実施している定常、作業、事故時のモニタリングの概要、被ばく管理基準および過去の外部被ばく状況に関してまとめた。
- 線量評価法については現在使用しているフィルムバッジ線量計、蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計の測定法および線量評価法その他基本的特性に関して各線量計別に整理した。
- 最後に実際のプルトニウム取扱作業場の放射線場を想定してのプルトニウム燃料による線量計照射試験を実施しプルトニウム取扱者の受ける被ばく実効エネルギーと線量評価法との関係を検討した。

目 次

| | | |
|---------|---------------------------------|----|
| I | まえがき | 1 |
| II | プルトニウム燃料開発施設における個人外部被ばくモニタリング計画 | 2 |
| II-1 | プルトニウムによる被ばくの特徴 | 2 |
| II-2 | 外部被ばくモニタリング計画の概要 | 3 |
| II-2-1 | 定常モニタリング | 4 |
| II-2-2 | 作業モニタリング | 4 |
| II-2-3 | 事故時のモニタリング | 4 |
| II-2-4 | 個人用被ばく線量計の交付, 返還 | 5 |
| (1) | 従業員等へのサービス | 5 |
| (2) | 来訪者等へのサービス | 5 |
| (3) | 車両運搬従業者へのサービス | 5 |
| (4) | 被ばく線量計の返還 | 5 |
| (5) | 被ばく線量計の破損, 紛失 | 9 |
| II-2-5 | 個人被ばく線量計の着用法 | 9 |
| (1) | 着用方法 | 9 |
| (2) | 着用部位 | 9 |
| II-2-6 | 被ばく線量の通知および記録の保管 | 9 |
| II-3 | 個人被ばく線量の管理基準 | 11 |
| II-4 | プルトニウム燃料開発施設での外部被ばく状況 | 17 |
| III | 外部被ばく線量評価法 | 23 |
| III-1 | フィルムバッジ線量計 | 23 |
| III-1-1 | 構造 | 23 |
| III-1-2 | 線量読み取り装置 | 23 |
| III-1-3 | 線量測定方法 | 25 |
| (1) | 現像処理 | 25 |
| (2) | 線量算出および校正法 | 25 |
| III-1-4 | ナンバリング | 27 |
| III-1-5 | エネルギー依存性 | 28 |
| III-2 | 蛍光ガラス線量計 | 29 |
| III-2-1 | 検出原理および種類 | 29 |
| III-2-2 | 線量読み取り装置 | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| Ⅲ-2-3 | 線量測定方法 | 31 |
| (1) | 洗 浄 | 31 |
| (2) | 前線量測定 | 32 |
| (3) | 後線量測定 | 32 |
| Ⅲ-2-4 | エネルギー依存性 | 32 |
| Ⅲ-3 | 熱ルミネセンス線量計(1) $\text{CaSO}_4 : (\text{Tm})$ | 32 |
| Ⅲ-3-1 | 原理および構造 | 32 |
| Ⅲ-3-2 | 線量読み取り装置 | 35 |
| Ⅲ-3-3 | 線量測定法 | 37 |
| Ⅲ-3-4 | 諸 特 性 | 38 |
| (1) | エネルギー依存性 | 38 |
| (2) | 熱ルミネセンスグロー曲線 | 39 |
| (3) | 方向依存性 | 39 |
| Ⅲ-4 | 熱ルミネセンス線量計(2) $\text{BeO} : (\text{Na})$ | 40 |
| Ⅲ-4-1 | 構 造 | 40 |
| Ⅲ-4-2 | 線量測定法 | 40 |
| Ⅲ-4-3 | 諸 特 性 | 41 |
| (1) | エネルギー依存性 | 41 |
| (2) | 線量直線性 | 41 |
| (3) | 熱ルミネセンスグロー曲線 | 43 |
| (4) | フェーディング | 43 |
| Ⅳ | 被ばく実効エネルギーと線量評価法 | 44 |
| Ⅳ-1 | 低エネルギー線被ばく | 44 |
| Ⅳ-2 | 線量計照射試験概要 | 44 |
| Ⅳ-2-1 | X線発生装置 | 44 |
| Ⅳ-2-2 | プルトニウム線源 | 45 |
| Ⅳ-2-3 | 照 射 | 45 |
| (1) | X線照射 | 45 |
| (2) | プルトニウムによる照射 | 46 |
| Ⅳ-3 | フィルムより算出した被ばく実効エネルギー | 47 |
| Ⅳ-3-1 | エネルギー算出曲線 | 47 |
| Ⅳ-3-2 | 各種しゃへいと実効エネルギー | 51 |
| (1) | Bare(しゃへいを施さない場合) | 51 |

| | |
|--|----|
| (2) ホモライト板 (10 mm厚) | 51 |
| (3) ゴムグローブ | 51 |
| (4) ホモライト板+鉛板 (1 mm厚) | 51 |
| (5) 鉛板 (1 mm厚) | 52 |
| IV-3-3 プルトニウム燃料取扱作業者の定常管理用フィルムより算出した被ばく実効エネルギー | 55 |
| IV-4 熱ルミネセンス線量計より算出した被ばく実効エネルギー | 56 |
| IV-4-1 エネルギー算出曲線 | 56 |
| IV-4-2 各種しゃへいと被ばく実効エネルギー | 59 |
| IV-5 被ばく実効エネルギーと線量評価法 | 60 |
| IV-5-1 被ばく実効エネルギー | 60 |
| IV-5-2 線量評価法 | 60 |
| IV-5-3 線量測定精度 | 62 |
| V あとがき | 64 |

図 表 目 次

| | |
|---|----|
| Fig. 1 現在動燃東海事業所で使用している個人被ばく線量計 | 3 |
| Fig. 2 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ・ガラスリ ング・TLD) 使用申込書 | 6 |
| Fig. 3 放射性物質・汚染物持出しサーベイ記録 | 7 |
| Fig. 4 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ・ガラスリ ング・TLD) 着用廃止届 | 8 |
| Fig. 5 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ・ガラスリ ング・TLD) 再交付願い | 10 |
| Fig. 6 フィルムバッジ線量計保管パネル | 11 |
| Fig. 7 「外部被ばく線量測定結果」通知書 | 12 |
| Fig. 8 「局部被ばく線量測定結果」通知書 | 13 |
| Fig. 9 個人管理台帳の被ばく記録関係の様式 | 14 |
| Fig. 10 健康管理手帳の被ばく記録関係の様式 | 15 |
| Fig. 11 フィルムバッジ線量計による年度別全身被ばく管理対象者数 | 19 |
| Fig. 12 蛍光ガラス線量計による年度別局部被ばく管理対象者数 | 22 |
| Fig. 13 原研Ⅳ型フィルムバッジ線量計の構造図 | 24 |
| Fig. 14 フィルムの黒化度濃度計 (富士 P-2 型濃度計) | 23 |
| Fig. 15 フィルムバッジ線量計による被ばく線量算出手順のフローシート | 26 |

| | | |
|---------|--|----|
| Fig. 16 | フィルムバッジ線量計のエネルギー特性 | 28 |
| Fig. 17 | 蛍光ガラス線量計線量読み取り装置外観図(東芝FGD-6型) | 30 |
| Fig. 18 | 蛍光ガラス線量計線量読み取り装置のブロックダイアグラム | 30 |
| Fig. 19 | 蛍光ガラス線量計用超音波洗浄器および洗浄用ケース | 31 |
| Fig. 20 | 蛍光ガラス線量計による被ばく線量算出手順のフローシート | 33 |
| Fig. 21 | 蛍光ガラス線量計(FD-P6-3)のエネルギー特性 | 34 |
| Fig. 22 | 蛍光ガラス線量計(FD-P8-3)のエネルギー特性 | 34 |
| Fig. 23 | UD-200S型熱ルミネセンス線量計の構造図 | 35 |
| Fig. 24 | 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の外観図 | 36 |
| Fig. 25 | 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の構成図 | 36 |
| Fig. 26 | 熱ルミネセンス線量計測定手順のフローシート | 37 |
| Fig. 27 | UD-200S型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性 | 38 |
| Fig. 28 | CaSO ₄ :(Tm)の熱ルミネセンスグロ-曲線 | 39 |
| Fig. 29 | UD-200S型熱ルミネセンス線量計の方向依存性 | 40 |
| Fig. 30 | UD-170A(BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性 | 41 |
| Fig. 31 | UD-170A(BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計の線量直線制 | 42 |
| Fig. 32 | UD-170A(BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計の熱ルミネセン スグロ-曲線 | 42 |
| Fig. 33 | UD-170A(BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計のフェ-デイン ク特性 | 43 |
| Fig. 34 | プルトニウムによる線量計照射略図 | 46 |
| Fig. 35 | 被ばく実効エネルギー算出曲線(富士3G高感度フィルム) | 50 |
| Fig. 36 | 被ばく実効エネルギー算出曲線(富士3G低感度フィルム) | 50 |
| Fig. 37 | UD-200S型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性 | 57 |
| Fig. 38 | 熱ルミネセンス線量計(UD-200S)を用いた場合の被ばく実効 エネルギー算出曲線 | 58 |
| Fig. 39 | フィルムによる被ばく線量評価法のフローチャート | 61 |
| Table 1 | 核燃料物質作業従事者被ばく線量の管理基準 | 16 |
| Table 2 | 年度別外部被ばく状況(職員),(全身被ばく) | 17 |
| Table 3 | 職員の各年度4半期別の全身被ばく線量分布 | 18 |
| Table 4 | 原因調査レベル(300mrew/3ヶ月)を超えた事例 | 20 |
| Table 5 | 年度別局部被ばく状況(職員) | 21 |
| Table 6 | プルトニウム燃料開発室のフィルムバッジ線量計の職種別番号一覧表 | 27 |

| | | |
|----------|--|----|
| Table 7 | 現在動燃東海事業所で使用している蛍光ガラス線量計 | 29 |
| Table 8 | ターゲットと実効エネルギーの関係 | 44 |
| Table 9 | フィルタと実効エネルギーの関係 | 45 |
| Table 10 | プルトニウム同位体組成比 | 45 |
| Table 11 | プルトニウムによる線量計照射条件 | 47 |
| Table 12 | 高感度フィルムのAl, Snフィルタ下の黒化度とAl/Sn比 | 48 |
| Table 13 | 低感度フィルムのAl, Snフィルタ下の黒化度とAl/Sn比 | 49 |
| Table 14 | プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく実効 エネルギー(1), シャへの条件 (Bare) | 53 |
| Table 15 | プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく実効 エネルギー(2), シャへの条件 (Homolite板10mm厚) | 53 |
| Table 16 | プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく実効 エネルギー(3), シャへの条件 (ゴムグローブ) | 54 |
| Table 17 | プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく実効 エネルギー(4), シャへの条件 (Homolite板+Lead板(1mm厚)) | 54 |
| Table 18 | プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく実効 エネルギー(5), シャへの条件 (Lead板1mm厚) | 54 |
| Table 19 | プルトニウム燃料取扱作業者の被ばく管理用定常用フィルムよ り求めたAl/Sn比(1) | 55 |
| Table 20 | プルトニウム燃料取扱作業者の被ばく管理用定常用フィルムよ り求めたAl/Sn比(2) | 56 |
| Table 21 | 熱ルミネセンス線量計より算出した被ばく実効エネルギー | 59 |
| Table 22 | フィルムとTLDより求めたプルトニウムによる被ばく実効エ ネルギー | 60 |
| Table 23 | フィルムによる被ばく線量評価法 | 62 |
| Table 24 | フィルムによる線量評価に伴う誤差の程度の比較 | 63 |

I ま え が き

動燃東海事業所では、昭和41年1月初めてプルトニウムの取扱いを開始して以来、現在までに6年間経過した。その間モニタリング計画および線量評価法について検討を加え改善をはかってきた。この度プルトニウム燃料第2開発室の操業開始にともない、大量のプルトニウムを取扱う作業または高次化プルトニウムを取り扱う作業が計画されているため、作業者の被ばく線量は、作業の状況より見て今までの線量に較べかなり高くなることが予想される。このため個人外部被ばく管理を綿密に実施していくことが今まで以上に実要である。

作業者の被ばく線量が、調査レベルをこえるような場合、被ばく線量の算定には信頼性の高い精度が要求される。そのため線量評価法を確立し、プルトニウム燃料開発施設における作業者の外部被ばく線量を管理していくことが急務となった。

以上の状況に対処するため、安全管理課ではプルトニウムによる外部被ばく線量を評価する場合に問題となる低エネルギーガンマ線に着目し、低エネルギー領域における個人被ばく線量計のエネルギー特性比較試験を実施した。

その結果を〔個人被ばく線量計の特性比較試験〕(SN-841-71-15:1971年7月)にまとめた。

本報では、プルトニウム燃料開発施設における外部放射線に関する個人モニタリング計画と外部被ばく線量評価方法について、過去の経験および現状を整理し、個人外部被ばく線量測定および管理業務に従事する人の手引として、またプルトニウム取扱いに従事する人達の参考資料としてまとめたものである。

Ⅱ プルトニウム燃料開発施設における 個人外部被ばくモニタリング計画

Ⅱ-1 プルトニウムによる被ばくの特徴

動燃東海事業所のプルトニウム燃料開発施設の第1開発室は総床面積5080㎡であり1階2035.5㎡、2階1881.0㎡、地下545.5㎡の広さを有し、プルトニウムを含有するセラミック燃料集合体の製造技術の開発を主として行っており、年間使用量は酸化プルトニウムで26Kg、硝酸プルトニウムで約4Kgのプルトニウムを取扱い。第2開発室は総床面積約8977㎡であり、1階4873㎡、2階3856㎡、中2階248㎡の広さを有する。高速増殖炉用および新型転換炉用プルトニウム燃料の製造加工を目的としており、年間使用予定量としてはプルトニウム310Kg、天然ウラン5,900Kg、濃縮ウラン²³⁵U換算で300Kgを計画している。

プルトニウムやウランは主にグローブボックス内で取扱いがグローブボックスはホモライトまたはアクリライト板10mmで包蔵機能を目的に製作されたため、特にプルトニウムやアメリカシウムからのX線やガンマ線に対するしゃへいは考慮されていない。

プルトリウム燃料を取扱い際、グローブボックス作業等がプルトニウムやアメリカシウムより放出されるX線、ガンマ線による被ばくの形態の特徴を以下列挙する。

- (1) プルトニウムからのガンマ線エネルギーは100keV以下の軟成分が多く、中でもPu-241のβ崩壊生成物である²⁴¹Amからの60keVの寄与が大きい。すなわちプルトニウムによる被ばくは低エネルギーガンマ線被ばくである。
- (2) ²⁴¹Amの全被ばく線量に対する寄与が大きかつ時間の経過とともに増大して被ばく量が高くなる。すなわち²⁴¹Amのビルドアップ効果がある。
- (3) グローブボックスでのグローブ作業では手の局部が被ばく管理上重要である。
- (4) プルトニウム燃料の炉内燃焼度が高くなるにつれ、高次プルトニウム同位体比率が高くなり、かつ比放射能が高くなるため、高次プルトニウム取扱時には被ばく量が高くなる傾向がある。
- (5) プルトニウムの各同位体からは自発性核分裂に伴なり中性子線と酸化物の場合には(α, n)反応により生成放出される中性子線による被ばくも受ける。
- (6) 大量のプルトニウム燃料を処理するため臨界事故の潜在的危険性がある。このため計量管

理上の対策と同様に被ばく線量評価方式を含めた事故的のモニタリング計画の確立の必要性が高い。

以上のプルトニウムによる被ばくの特徴をふまえてプルトニウム燃料開発施設において現在実施中の個人外部被ばくモニタリング計画の概要を次にまとめた。

II-2 外部被ばくモニタリング計画の概要

プルトニウム取り扱い作業における作業者の外部被ばく線量を算定し、それをもとに被ばく線量を制限するために外部被ばくに関する個人モニタリングを実施する。

外部被ばく管理のための個人用被ばく線量計として、フィルムバッジ、ガラスリングおよび熱ルミネセンス線量計などを使用し、被ばく線量を測定評価し公式な記録として保存する。現在使用している個人被ばく線量計の外観写真を Fig. 1 に示す。被ばく線量の測定評価は、安全管理課保健係線量評価グループで行なう。上記の測定結果は、安全管理課よりプルトニウム燃料開発部長に通知されるほか個人に対しても健康管理手帳を通じて通知する。また安全管理業務報告に掲載するほか半年毎に原子力局にも報告する。

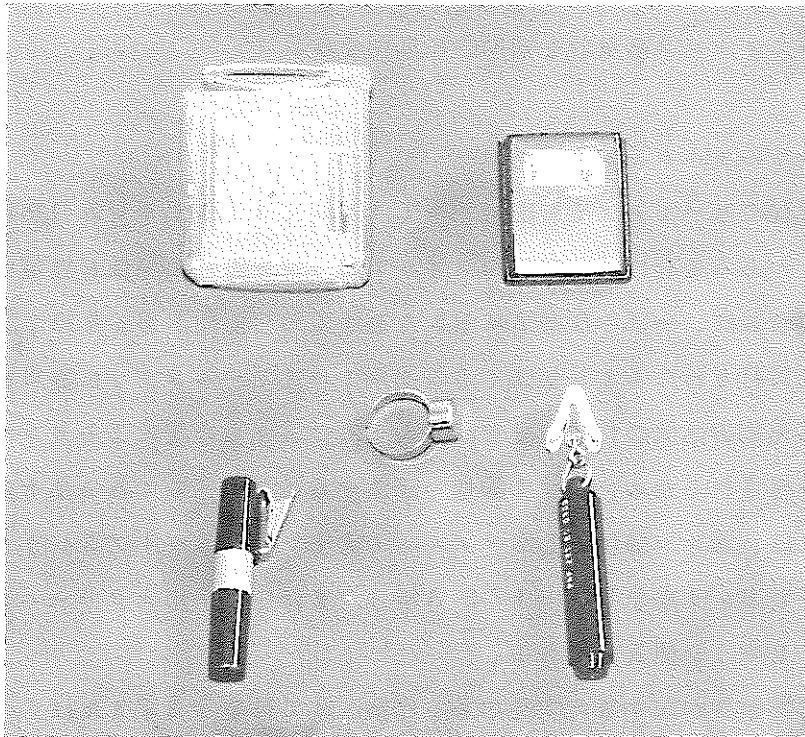


Fig. 1 現在動燃東海事業所で使用している個人被ばく線量計

Ⅱ-2-1 定常モニタリング

全身被ばくに対してはフィルムバッジ線量計を、局部被ばくに対してはガラスリングを個人被ばく線量計として着用する。

フィルムバッジは、プルトニウム燃料第1開発室または第2開発室において常時施設に立ち入る者全員を管理対象者とし、ガラスリングは、グローブボックスまたはフード作業で各所属長から指名された者を管理対象者とし、いずれも3カ月ごとの定期交換によって被ばく線量を測定、評価する。

定期交換日は、4月1日、7月1日、10月1日および1月5日としている。

また中性子線に関するモニタリングについては現在、個人モニタリングは被ばく線量よりみて必要ないが、将来まず作業環境の集積線量測定を実施する予定である。

Ⅱ-2-2 作業モニタリング

高次化プルトニウム取り扱い時におけるような高線量率場の状況での作業を行なう場合、被ばくに関する情報をできるだけ早く知る必要のあることが多い。そのため高線量率区域で作業する作業者に対しては、定常モニタリング用フィルムバッジのほか、被ばく線量を容易に読みとれる熱ルミネセンス線量計を補助的に着用する。

Ⅱ-2-3 事故時のモニタリング

放射線管理規程に基づく被ばく管理レベル（1週間に100ミリレム）を越えた場合または越えたおそれのある場合には、定常用フィルムバッジを臨時に現像し線量を評価する。

臨界事故の場合には、一部の作業者に重大な被ばくの可能性があるため、高被ばく者の医学的救済が有効に行なわれるよう被ばく者の選別（スクリーニング）に重点をおく。また臨界事故のおこった周辺区域の作業者または立入者についても事故によるガンマ線および中性子線被ばくが予想されるため、被ばく線量を評価することが必要である。そのためにフィルムバッジの中には、ガンマ線用としてフィルム（富士フィルムタイプ3G）と熱ルミネセンス線量計（松下製BeO素子UD-170A型）、また中性子用スクリーニングとしてインジウム箔（250^{mg}）を挿入してある。

そのほか、臨界事故が起きる可能性のある作業区域で作業する者または立ち入る者は、臨界事故用ベルトを着用するほか作業区域には数カ所固定式臨界事故時線量計を設置して、中性子線エネルギースペクトルに対する情報を得る。実際に事故が発生した場合、被ばく者のスクリーニングはフィルムバッジ線量計内のインジウムの放射能をGMサーベイメータで測定することにより実施する。フィルムバッジを着用していなかったものは直接体内放射能をサーベイする。1、10、100 rem のスクリーニングレベルを考え、1 rem 以上の被ば

く者から10 mlの血液を採取し、個人中性子線被ばく線量を求める。10 rem以上の者は現場医師の診断を受け、また100 remを超えた者は外部医療機関へ送る目安とする。ガンマ線被ばく線量はフィルムと熱ルミネセンス線量計を用いる。なお臨界事故時のモニタリングの詳細については、「臨界事故時線量評価計画(SN841-71-33:1971年10月)」に記述した。

Ⅱ-2-4 個人用被ばく線量計の交付、返還

(1) 従業員等へのサービス

従業員および外来者のうち長期にわたりプルトニウム燃料第1開発室または第2開発室に滞在する者でフィルムバッジ、ガラスリングなどの個人被ばく線量計のサービスを新たに受ける者は、「定常モニタリング用被ばく線量計使用申込書」を所属長を通じ、安全管理課に提出する。使用申込書をFig.2に示す。

安全管理課では提出された書類をチェックし、線量計を配布する必要があると認めるときは、書類に線量計番号を記入するとともに線量計に番号を付し、申込者に渡す。「定常モニタリング用被ばく線量計使用申込書」は、安全管理課保健係でファイルする。

(2) 来訪者等へのサービス

一日程度の短期間の来訪者や見学者については、臨界事故時における施設内立入者の被ばくを管理するため、管理区域内に立ち入る者に対しては、全員に来訪者用フィルムバッジ線量計をサービスする。管理区域に立ち入らない者については、フィルムバッジをサービスしないが、守衛の受付を必ず行なう。

来訪者用フィルムバッジ線量計は、第1開発室および第2開発室守衛受け付けに備えており、守衛がフィルムバッジの番号を確認し、番号、使用者氏名を記入した後、来訪者等に渡す。

(3) 車両運搬従事者へのサービス

放射性物質車両運搬規則に定められている第1種放射性物質の運搬時における運搬従事者に対しては、Fig.3に示す「放射性物質汚染物持出しサーベイ記録」により個人被ばく線量計を適時サービスする。

(4) 被ばく線量計の返還

所属の移動、退職などにより個人被ばく線量計が不要となった者は、「定常モニタリング用被ばく線量計着用廃止届」に被ばく線量計を添えて、所属長を通じ、安全管理課に提

定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ / ガラスリング / TLD) 使用申込書

N841-72-19

安全管理課長 殿

昭和 年 月 日

所属長 _____ 印

フィルムバッジ 個
 下記により ガラスリング 個 を交付され度お願い致します。
 TLD 個

配布希望年月日 年 月 日

| ※ 線量計番号 | 線量計名 | 所 属 | 氏 名 | 作 業 場 所 | 作 業 内 容 | 作 業 期 間 <small>注)</small> | ※ 分類 | ※ Bio | ※ 手・指 |
|------------|------|-----|-----|---------|---------|---------------------------|---------|----------|----------|
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |
| | | | | | | ~ | | | |

備 考

| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| ※ 配布する必要の有・無 | ※ 配布する線量計 年 月 日 | フィルムバッジ 個 ガラスリング 個 TLD 個 | 課 長 | 係 長 | 係 員 |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|

※印欄は記載しないこと
 注) 作業終了年月日は放射線作業に従事する期限の明らかな場合のみ記入すること。

Fig. 2 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ / ガラスリング / TLD) 使用申込書

安 全 管 理 課

放射性物質・汚染持出しサーベイ記録 放射性物質 所内
汚染物 所外

| | | | |
|--|---------|--|--|
| *発送者名 | 部・課・係 | 場所 | TEL |
| *出荷先 | | 受取者 | TEL |
| *運搬方法 車両名 日時 運搬所要時間 | 運搬責任者氏名 | TEL | 許容生体実効線量 放射性物質車両運搬規則 第4条第1号による <input type="checkbox"/> " 第2号による <input type="checkbox"/> |
| | 運搬従事者氏名 | | |
| *物質の内容および使用状況等 種類 重量 形状および寸法 放射単位数 ³⁾ | | | *容器・包装 使用容器 包装状況 |
| **放射線サーベイ結果 容器表面サーベイ αサーベイ dpm βγサーベイ mR/h (表面) " mR/h (距離 1m) スミヤー 個Max dpm/100cm ² 容器内部サーベイ | | | 運転サーベイ 積載前 mR/h 積載後 mR/h 運転席と放射性物質との距離 m |
| | | | サーベイ場所 年 月 日 放管係員名 |
| *** 被ばく線量評価方法 個人被ばく測定器 }) フィルムバッジ ガラス TLD 実測による 算定による | | 測定器名・番号・氏名 | 保健係員名 受理 年 月 日 |
| 指示(運搬の取扱い) 第1種放射性物質 <input type="checkbox"/> 第2種放射性物質 <input type="checkbox"/> 特別指示 受け取り場所 で放射線係員に通知 <input type="checkbox"/> 運搬車は終了時にサーベイ <input type="checkbox"/> 開封時に放射線係員立合い <input type="checkbox"/> 取扱いは管理区域内に限る <input type="checkbox"/> | | 放射性物質車両運搬規則 ○ 放射性物質の生体実効線量率は容器に入れかつ包装した場合において次に掲げる値をこえてはならない。 (1) 放射性物質から1メートル離れた位置において10ミリレム毎時 (2) 包装の表面において200ミリレム毎時 ○ 第1種放射性物質包装の表面における生体実効線量が10ミリレム毎24時をこえるもの ○ 第2種放射性物質第1種放射性物質以外のもの | |
| 管理区域外持出し基準以下であるので持出しを許可する。 年 月 日 安全管理課長 | | 許容生体実効線量 1) 特殊健康診断を受けていない場合 1週につき300ミリレム又は連続する13週につき3000ミリレム 2) 特種健康診断を受けている場合 1週につき3000ミリレム 3) 放射単位数とは容器内の放射性物質が1m離れた位置における毎時の生体実効線量率をミリレムで表示した数値をいう。 | |

- ① 安全管理課放射線管理係 ② 依頼課 * 発送者が記入 *** 安管保健係が記入
③ 安全管理課保健係 ④ 受取り先 ** 安管放管が記入

Fig. 3 放射性物質・汚染物持出しサーベイ記録

定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ
ガラスリング
TLD) 着用廃止届

昭和 年 月 日

安全管理課長 殿

所属長 _____ 印

下記により
フィルムバッジ 個
ガラスリング 個
TLD 個
が不要となりましたので、被ばく線量計を添えて連絡致します。

| 線量計 | 線量計名 | 所 属 | 氏 名 | 着 用 期 間 | 着 用 廃 止 理 由 | 備 考 |
|-----|------|-----|-----|---------|-------------|-----|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

安全管理課

Fig. 4 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ
ガラスリング
TLD) 着用廃止届

出する。着用廃止届を Fig. 4 に示す。

(5) 被ばく線量計の破損、紛失

個人被ばく線量計が落下等で破損した場合には、新しい線量計と交換する。紛失した場合には、新しい線量計を交付する。

個人被ばく線量計を破損または紛失させた者は、「定常モニタリング用被ばく線量計再交付願い」を所属長を通じ、安全管理課に提出する。再交付願いは、Fig. 5 に示す。

Ⅱ-2-5 個人被ばく線量計の着用法

(1) 着用方法

フィルムバッジ線量計は、原則としてプルトニウム燃料開発施設に立ち入る者全員が管理区域内および非管理区域内を問わず常時着用する。またガラスリングは、管理区域内でグローブボックス作業等を行なうとき着用する。

フィルムバッジは使用しないときには、第1開発室または第2開発室ロビーに設けたフィルムバッジ保管パネルの所定の場所に保管する。保管パネルの外観写真を Fig. 6 に示す。

ガラスリングは使用しないときには、第1開発室または第2開発室のエアロック室に設けたガラスリング保管パネルの所定の場所に保管する。

(2) 着用部位

定常用フィルムバッジ線量計は、原則として衣服または作業衣の表面の胸部または腹部に着用する。被ばく防止用の保護具をつけているときは、その内側に着用する。

ガラスリングは、グローブボックスまたはフード作業など手指等に特に被ばくの可能性がある場合に着用する。

着用部位は、原則として右手中指の背部とする。

Ⅱ-2-6 被ばく線量の通知および記録の保管

四半期(3か月ごと)ごとの外部全身被ばく線量の測定結果および局部被ばく線量の測定結果は、「外部被ばく線量測定結果」(Fig. 7)および「局部被ばく線量測定結果」(Fig. 8)として、安全管理課長よりプルトニウム燃料開発部長に通知するとともに写しを技術部工務課および安全管理課放射線管理係に配布する。1部は控えとして、安全管理課保健係で保管する。

各部課長は、被ばく線量測定結果を従業員等に通知する。

定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ
ガラスリング
TLD) 再交付願い

昭和 年 月 日

安全管理課長 殿

所属長 _____ 印

着用者名 _____

着用期間 年 月 日 ~ 年 月 日

上記の者、下記の事由により、(フィルムバッジ
ガラスリング
TLD) を再交付していただきたく、お願い致します。

記

(事由) _____

Fig. 5 定常モニタリング用被ばく線量計 (フィルムバッジ
ガラスリング
TLD) 再交付願い

安全管理課

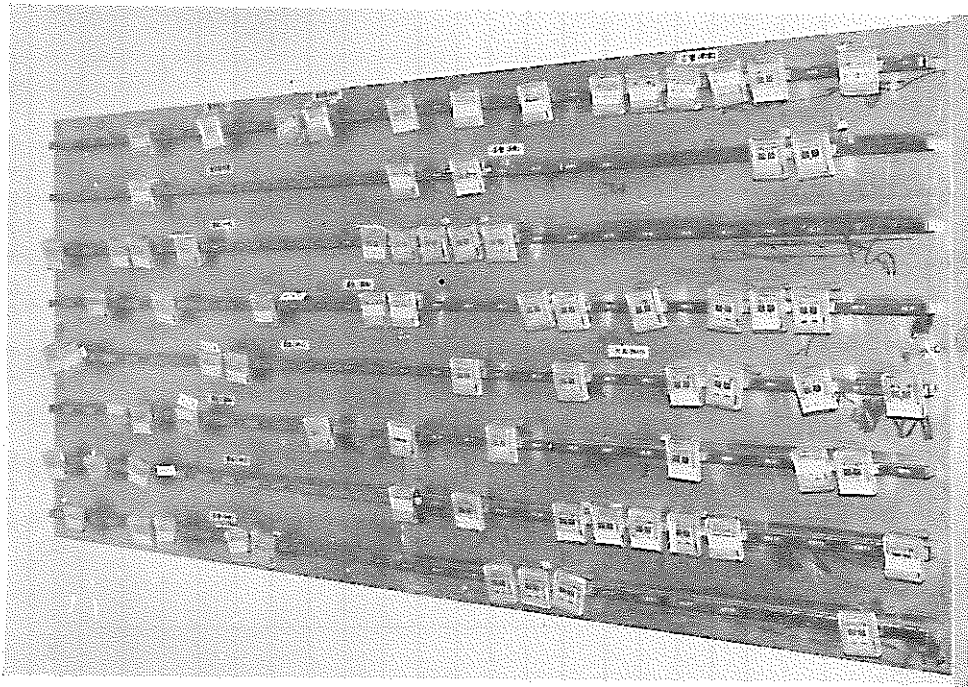


Fig. 6 フィルムバッジ線量計保管パネル

所属の移動等により返還された個人被ばく線量計については、測定結果ができた都度安全管理課長よりプルトニウム燃料開発部長に通知する。一部は控えとして保管する。

被ばく線量の正式の管理記録は、「個人管理台帳」(Fig. 9)に記録し、安全管理課の放射線保健室で保管する。

このほか、従業員等が安全管理に必要な記録を一生を通じて保持できるよう健康管理手帳(Fig. 10 健康管理手帳の被ばく記録関係の様式)を採用している。

II-3 個人外部被ばく線量の管理基準

プルトニウム燃料第1開発室または第2開発室で作業する核燃料物質作業従事者は、放射線障害を防止する目的で定められている個人被ばく線量の管理基準に従って管理される。Table 1に現在動燃東海事業所で定めている管理基準を示す。

核燃料物質作業従事者の定義は、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所で定めたプルトニウム燃料第1開発室保安規程、プルトニウム燃料第2開発室保安規程および放射線管理規程による。

外部被ばく線量測定結果

昭和 月 日
安全管理課

| 現 地 記 載 事 項 | | | | | 被ばく線量 mrem | | | No. | 摘 要 |
|-------------|--------------------------|------|------|------|--------------------------|--|--|-----|-----|
| 氏 名 | 着 用 期 間 | 着用日数 | 使用時間 | 就業個所 | r | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| | 年 月 日 ~ 月 日 | | | | | | | | |
| 判 定 | 現 象 年 月 日 | | | | 測 定 年 月 日 | | | 測定者 | |

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所

Fig.7 「外部被ばく線量測定結果」通知書

放射線被曝個人台帳

昭和 年度

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|--------------|--------|---------------|---------------|
| 番号 | 氏名 | | 男女 | 才 (4月1日現在) | 職出業 員向者 |
| 所 属 | | | | 放射線作業従事者 | |
| (作業内容) | | | | | |
| 放射性物質 | | | | 管理区域随時立入者 | |
| 期 間 | ~ | ~ | | その他 | |
| | 全身被曝線量 | | 手指被曝線量 | | 尿中放射性 物質濃度 |
| | r mrem | n mrem | r mrem | β mrem | |
| 前年度までの 全 集 積 | (×) | (×) | (×) | (×) | |
| | | | | | (採尿 月 日) |
| | | | | | |
| 第 1 四 半 期 | | | | | |
| | | | | | (採尿 月 日) |
| | | | | | |
| 第 2 四 半 期 | | | | | |
| | | | | | (採尿 月 日) |
| | | | | | |
| 第 3 四 半 期 | | | | | |
| | | | | | (採尿 月 日) |
| | | | | | |
| 第 4 四 半 期 | | | | | |
| 年 間 | (×) | (×) | (×) | (×) | |
| 全 集 積 | (×) | (×) | (×) | (×) | |
| 【註】 (×)内には検出限界以下の回数を記入する。 | | | | | |
| 安管課長・放管室長検印 | | | | | |
| 医療上 被 曝 | 自 年 月 至 年 月 | 胸 間接 部 直接 | 枚 枚 | | |

動力炉・核燃料開発事業団(東海・大洗)

Fig. 9 個人管理台帳の被ばく記録関係の様式

| 測定期間 (～より) (～まで) | 全身被曝線量 | | 手指被曝線量 | |
|------------------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | 線量 mrem | 集積線量 mrem | 線量 mrem | 集積線量 mrem |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |
| 年 月 日 | | (×) | | (×) |

| 尿中放射性物質 | | 備考 (放射性物質の種類作業内容など) 自分で記入して下さい | 検 印 |
|---------|--------|--------------------------------------|--------|
| 種類 | 濃 度 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Fig. 10 健康管理手帳の被ばく記録関係の様式

Table 1 核燃料物質作業従事者被ばく線量の管理基準

| 区 分 | 許 容 線 量 | " 勸 告 " の 基 準 | |
|------------------|--|---------------|--|
| 全 身 | 許容集積線量： $D=5(N-18)$ Dは許容集積線量を，Nは年齢 の数を表わす。 許容被ばく線量 3月間につき3レム 緊急作業（男子のみ）12レム | 就 業 制 限 | 許容集積線量または許容被ばく線量をこえるおそれのあるとき |
| | | 要 警 戒 | (1) 被ばく線量が3月間1.3レムをこえたとき (2) 不必要に放射線の被ばくをうけていると安全管理課長が判断したとき。 |
| | | 被ばく原因の調査 | 被ばく線量が3月間0.3レムをこえたとき |
| 局 部 (手または前ばく) | 許容被ばく線量 3月間につき20レム 1年間につき75レム | 就 業 制 限 | 許容被ばく線量をこえるおそれのあるとき |
| | | 要 警 戒 | (1) 被ばく線量が1月間6レムをこえたとき (2) 不必要に放射線の被ばくをうけていると安全管理課長が判断したとき |
| | | 被ばく原因の調査 | 被ばく線量が1月間0.6レムをこえたとき |

II - 4 プルトニウム燃料開発施設での過去の外部被ばく状況

プルトニウム燃料開発施設は昭和41年1月にプルトニウム燃料の取り扱いを開始以来、過去6年間にわたり経験を積んで来た。この間プルトニウム取扱作業等々の外部被ばく管理を実施しかつ管理方式に改良を加えて来た。今回プルトニウム燃料等2開発施設の操業開始にあたり、第1開発施設での過去の個人外部被ばく状況の変遷をまとめた。フィルムバッジ線量計による全身外部被ばく量の状況を職員とその他外来研究員、出向者等について年度別にまとめたのがTable 2である。また各年度、4半期別の詳細な全身被ばく線量分布をTable 3に示す。年間管理対象者数はFig. 11に示す通り年々増加し、現在では200名を超えている。年間集積線量については、フィルムバッジ線量計の最低検出限界を1.0ミリレムと考てそれ以下の場合については0として加算した。43年度に初めて年間1レムを超えた者がでてゐるが、過去6年間に1レムを超えた者は合計2名である。最高は45年度の1270ミリレムである。また3カ月につき300ミリレムの原因調査レベルを超えた者も最も多い45年度で9名、合計16名であった。原印調査レベルを超えた事例をTable 4にまとめた。

蛍光ガラス線量計による年の局部被ばく状況を年度別にまとめてTable 5に示す。管理対象者数はFig. 12に示すとおり年々増加しているが被ばく線量では年間1レムを超えた者は過去に4名だけであり、最大被ばく量は1.4レムであった。1カ月につき600ミリレムの原因調査レベルを超えた者はいない。蛍光ガラス線量計による局部集積線量を求める場合、最低検出限界を20ミリレムとしてそれ以下は0として加算した。

Table 2 年度別外部被ばく状況(職員)
(全身被ばく)

| 年度 (昭和) | 管理対象者 数 職員 (人) * | 年間集積被ばく線量分布(人) | | | | | 個人別年間 最大被ばく 線量 (mrem/year) | 原因調査 レベルを 超えた件数 |
|------------|------------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | | 検出限界 以下 | 10~100 未満ミリレム | 100~300 未満ミリレム | 300~1000 未満ミリレム | 1000ミリレム 以上 | | |
| 41 | 78(24) | 52(8) | 14(2) | 6(0) | 6(1) | 0(0) | 630 | 1 |
| 42 | 101(10) | 47(8) | 29(1) | 15 | 10(1) | 0 | 800 | 0 |
| 43 | 114(8) | 57(8) | 25 | 18 | 13 | 1 | 1,050 | 3 |
| 44 | 147(24) | 63(17) | 42(7) | 28 | 14 | 0 | 650 | 0 |
| 45 | 161(36) | 66(27) | 39(7) | 24(1) | 31(1) | 1 | 1,270 | 10 |
| 46 | 205(59) | 107(53) | 50(4) | 31(2) | 17 | 0 | 980 | 2 |

* ()は外来研究員、出向者等を示す。

Table 3 職員の各年度4半期別の全身被ばく線量分布

| 年度 (昭和) | 4半期 | 各4半期の被ばく線量分布(延人) | | | | | 最大被ばく 線量 ミリレム/3ヵ月 | 300ミリレムをこえ た (人)* |
|------------|------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| | | 検出限界 以下 | 20~100 未満ミリレム | 100~300 未満ミリレム | 300~1000 未満ミリレム | 1000ミリレム 以上 | | |
| 41 | 1 | 68(13) | 7(1) | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 |
| | 2 | 55(17) | 18(2) | 1(1) | 0 | 0 | 110 | 0 |
| | 3 | 51(9) | 18(2) | 5 | 0 | 0 | 180 | 0 |
| | 4 | 50(6) | 16 | 5(1) | 1 | 0 | 340 | 1 |
| | 年合計* | 224(45) | 49(5) | 11(2) | 1 | 0 | | 1 |
| 42 | 1 | 61(8) | 28 | 7(1) | 0 | 0 | 180 | 0 |
| | 2 | 67(5) | 17 | 11(1) | 0 | 0 | 240 | 0 |
| | 3 | 59(5) | 28 | 8 | 0 | 0 | 230 | 0 |
| | 4 | 53(5) | 35(1) | 7 | 0 | 0 | 260 | 0 |
| | 年合計 | 240(23) | 108(1) | 33(2) | 0 | 0 | | 0 |
| 43 | 1 | 63(5) | 30 | 13 | 1 | 0 | 350 | 1 |
| | 2 | 77(7) | 24 | 12 | 1 | 0 | 340 | 1 |
| | 3 | 71(5) | 28 | 10 | 1 | 0 | 330 | 1 |
| | 4 | 65(6) | 37 | 8 | 0 | 0 | 270 | 0 |
| | 年合計 | 276(23) | 119 | 43 | 3 | 0 | | 3 |
| 44 | 1 | 91(5) | 32 | 2 | 0 | 0 | 210 | 0 |
| | 2 | 91(7) | 38 | 7 | 0 | 0 | 250 | 0 |
| | 3 | 63(11) | 60(6) | 14 | 0 | 0 | 210 | 0 |
| | 4 | 70(18) | 44(3) | 20 | 0 | 0 | 270 | 0 |
| | 年合計 | 315(41) | 174(9) | 43 | 0 | 0 | | 0 |
| 45 | 1 | 83(16) | 32(3) | 25(2) | 3 | 0 | 460 | 4 |
| | 2 | 108(27) | 33 | 11 | 2 | 0 | 340 | 2 |
| | 3 | 83(14) | 35(3) | 28 | 2(1) | 0 | 550 | 3 |
| | 4 | 89(8) | 42(2) | 4 | 1 | 0 | 450 | 1 |
| | 年合計 | 363(56) | 142(8) | 68(2) | 8(1) | 0 | | 10 |
| 46 | 1 | 139(8) | 31 | 13 | 0 | 0 | 250 | 0 |
| | 2 | 140(11) | 34 | 18 | 1 | 0 | 300 | 1 |
| | 3 | 122(15) | 52(1) | 18 | 0 | 0 | 280 | 0 |
| | 4 | 136(46) | 33(4) | 12(1) | 1 | 0 | 440 | 1 |
| | 年合計 | 537(80) | 150(5) | 61(1) | 2 | 0 | | 2 |

* この項は年間の管理対象者の延人数を表わす。

** 300ミリレム/3ヵ月は、原因調査レベルを表わす。

()内は外来研究員、出向者等を示す。



Fig. 11 フィルムバッジ線量計による年度別全身被ばく管理対象者数

Table 4 原因調査レベル(300 mrem/3ヶ月)を超えた事例

| 年 度 | 4半期 | 最大被ばく線量 mrem/3ヶ月 | 300 mremを 超えた者(人) | 主たる作業場所 | 作 業 内 容 | 被 ば く 原 因 |
|-----|-----|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| 41 | 4 | 340 | 1 | Rm-125 | 廃液処理 イオン交換 | Pu取扱量の増加 廃棄物のBox内保存 |
| 43 | 1 | 350 | 1 | Rm-125 | 廃液処理 イオン交換 | Pu取扱量の増加 廃棄物のBox内保存 |
| | 2 | 340 | 1 | Rm-125 | 廃液処理 イオン交換 | Pu取扱量の増加 廃棄物のBox内保存 |
| | 3 | 330 | 1 | Rm-125 | 廃液処理 イオン交換 | Pu取扱量の増加 廃棄物のBox内保存 |
| 45 | 1 | 460 | 3 | Rm-125 GB#81 | 廃液処理 | Box内の不要廃棄物の保存 |
| | | 360 | 1 | Rm-125 GB#9AB | 粉末調整 | 高次化Puの開梱 |
| | 2 | 340 | 2 | Rm-125 GB#4, 61, 62B | 廃液処理 イオン交換 | 定常取扱作業 |
| | 3 | 350 | 3 | Rm-135 GB#16, 18 | 分 析 | 高次化Puの分析 |
| | 4 | 450 | 1 | - | 計 量 管 理 | 高次化Puの受入れ |
| 46 | 2 | 300 | 1 | Rm-125 GB#5,81,82 | 廃液回収 | 定常取扱作業 |
| | 4 | 440 | 1 | Rm-125 GB#9, 11 | 混 合 焼 結 | 高次化Puの取扱を特定の者が行 なった。 |

Table 5 年度別局部被ばく状況（職員）

| 年度 (昭和) | 管理対象者数 (人) | 年間集積被ばく線量分布(人) | | | | | | 最大被ばく 線量 ミリレム/年 | *600ミリ レムをこえ た者(人) |
|------------|---------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| | | 検出限界 以下 | 20~100 ミリレム未満 | 100~300 ミリレム未満 | 300~500 ミリレム未満 | 500~1000 ミリレム未満 | 1000 ミリレム以上 | | |
| 41 | 18(5) | 3(5) | 0 | 11 | 3 | 1 | 0 | 600 | 0 |
| 42 | 27 | 2 | 3 | 4 | 9 | 9 | 0 | 820 | 0 |
| 43 | 32 | 1 | 0 | 7 | 11 | 12 | 1 | 1,210 | 0 |
| 44 | 58 | 3 | 2 | 19 | 19 | 15 | 0 | 880 | 0 |
| 45 | 74(13) | 5(9) | 6(2) | 35(2) | 11 | 16 | 1 | 1,380 | 0 |
| 46 | 118(4) | 51(3) | 37 | 18(1) | 6 | 4 | 2 | 1,350 | 0 |

()内は外来研究員，出向者等を示す。

* 原因調査レベルは600 mrem / 1ヶ月である。

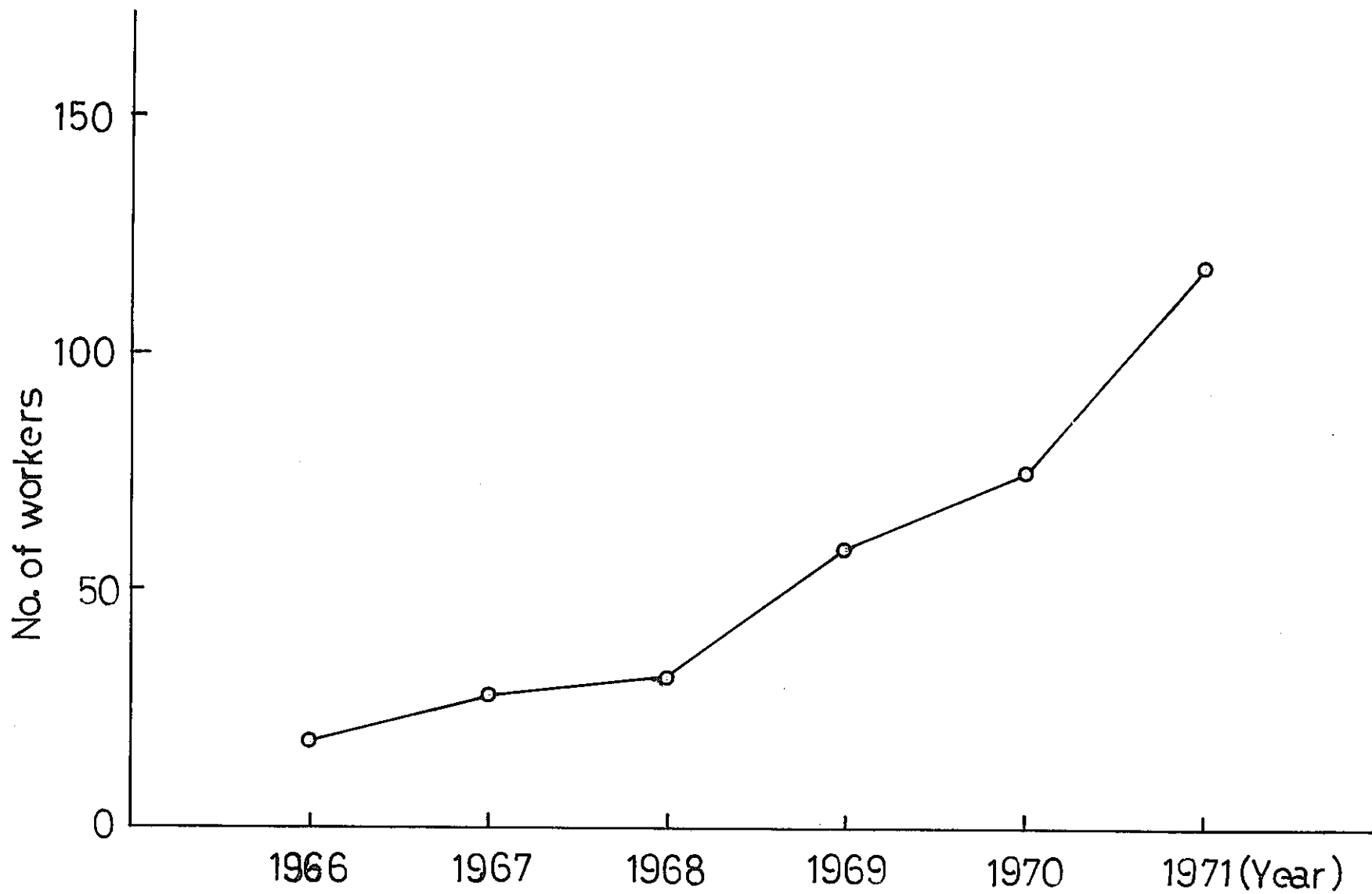


Fig. 12 螢光ガラス線量計による年度別局部被ばく管理対象者数

Ⅲ 外部被ばく線量評価法

Ⅲ-1 フィルムバッジ線量計

Ⅲ-1-1 構造

原研Ⅳ型フィルムバッジケースの材質はプラスチック（アクリペットM，比重1.19）を用い，バッジ内のフィルムやフィルタ等が見えるように透明にし， γ 線用フィルムの潜像退行防止のために湿度の影響を受けにくい構造になっている。原研Ⅳ型フィルムバッジ線量計の構造図をFig. 13に示す。バッジケースは各種フィルタを組み合わせたケース本体とフィルムの出し入れを容易にするためのフィルタ支持部とその他の線量計を入れる部分よりできている。

バッジケースの大きさは $53\text{mm} \times 73\text{mm} \times 11\text{mm}$ である。 β 線測定用としてフィルムバッジの中央部分に厚さの異なるプラスチック穴が3ヶ所設けられて β 線のエネルギーが判定できるようになっている。 γ 線と熱中性子線の分離測定のため（Sn+Pb）と（Cd+Pb）フィルタが設けられている。他に補助フィルタとして γ 線のエネルギー判定用のAl，Snフィルタがあり，これ等のフィルタ類はバッジケースの前面と後面に対称についている。

Ⅲ-1-2 線量読み取り装置

フィルムの黒化度濃度計は富士写真フィルム株式会社製のP-2型濃度計を用いる。外観はFig. 14に示す。この濃度計は全濃度均等目盛で濃度値は4まで直読でき，指示計が大きいいため見やすく，取り扱いに便利である。本装置は透過濃度，反射濃度のどちらでも測定可能である。透過濃度測定に関しては測定部のアパーチュアプレートとフィルタを交換することにより平行濃度と散光濃度の両方が測定可能である。通常は散光濃度にてフィルム黒化度を測定する。



Fig. 14 フィルム黒化度濃度計
（富士P-2型濃度計）

Film Badge Type JAERI-IV

Filter Thickness

- Pl-1 0.45mm
- Pl-2 1.20mm
- Pl-3 3.00mm
- F-1 Cd(0.8mm)+Pb(0.4mm)
- F-2 Sn(0.8mm)+Pb(0.4mm)
- F-3 Sn(150 mg/cm²)
- F-4 Al(150 mg/cm²)

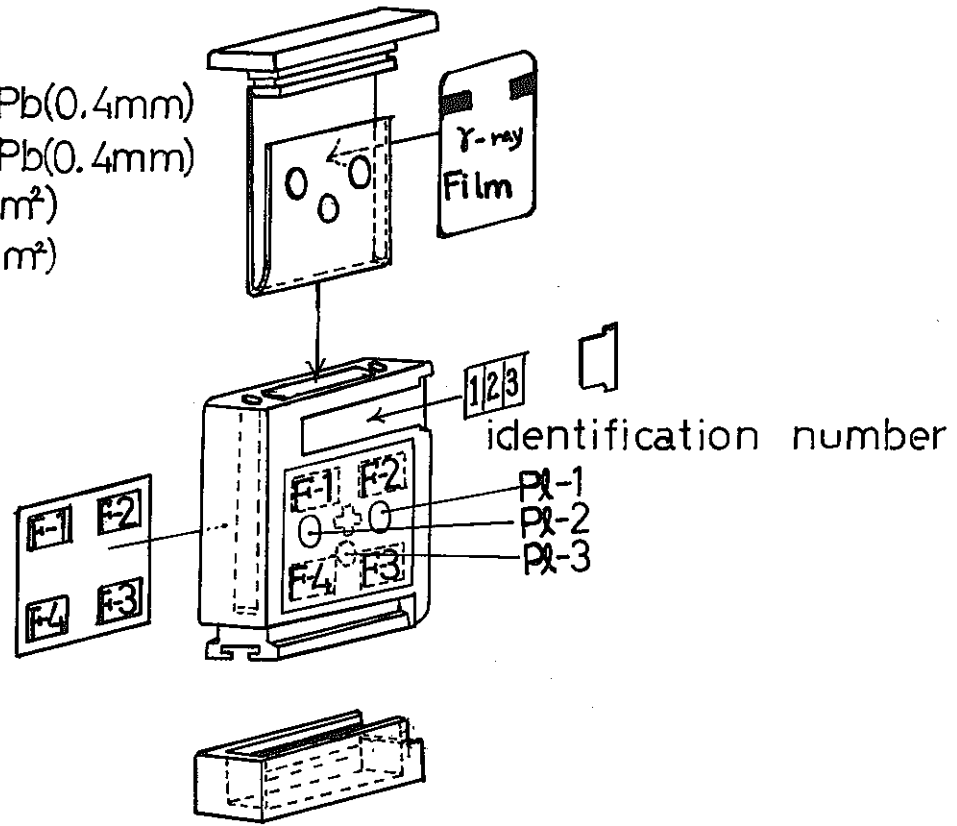


Fig. 13 原研-IV型フィルムバッジ線量計の構造図

Ⅲ-1-3 線量測定方法

(1) 現像処理

フィルムの現像処理に必要な恒温槽は $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ が連続維持できる性能を有しており現像停止および定着液を入れるタンクが3個設けられている。各溶液は1タンクあたり 20ℓ を必要とし、 $3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ の γ 線用フィルムが1回で120枚現像処理できる。乾燥は自然乾燥法を採用している。

フィルムの現像処理は以下の条件で実施される。

| | |
|------|---|
| 現像液 | 富士フィルムハイレンドール現像剤 |
| 現像温度 | $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ |
| 現像時間 | 5分 |
| 停止液 | 水道水 $1,000 \text{ cc}$ に永酢酸 $15 \sim 30 \text{ cc}$ |
| 定着液 | 富士フィルムハイレンフィックス定着剤 |
| 定着時間 | 20分 |
| 水洗 | 30分以上 |
| 乾燥 | 水洗処理後自然乾燥 |

(2) 線量算出および校正法

濃度計についてフィルム上 $\text{Sn}+\text{Pb}$, $\text{Cd}+\text{Pb}$, Al および Sn フィルタ下の黒化度を測定する。次に Al と Sn フィルタ下の黒化度の比 Al/Sn 比を求め、その比が1.1を境にして約 50 keV から 130 keV の間のガンマ線により被ばくしたグループ(第1グループ)と 130 keV 以上のエネルギーのガンマ線により被ばくしたグループ(第2グループ)に分別する。 $\text{Sn}+\text{Pb}$ フィルタ下の黒化厚より Ra 線源照射により求めた照射線量-黒化度の関係曲線を用いて、被ばく線量を求めこれを見掛けの線量と見なす。この見掛けの被ばく線量に補正係数、第1グループに対しては $2/3$ 、第2グループに対しては1を乗じて実被ばく線量(補正線量)を求める。

Ra 線源照射により照射線量-黒化度曲線を求めるには標準線源として $\text{Ra}-226$ (50 mCi) を用いて 2.0 mR から 1 R まで線量で5点、フィルムバッジ線量計を照射する。1点で2ヶの線量計を照射し、照射線量-黒化度曲線を作製する。 Ra 線源を使用する場合の照射時間、線源からの距離および照射線量の関係は米国ヴィクトリーン社の γ -メータを用いて1年に1回校正を実施する。

以上の被ばく線量算出の手順をフローシートにはとめたのが Fig. 15 である。

線量評価法に関するさらに詳しい議論は次の第IV章で述べる。

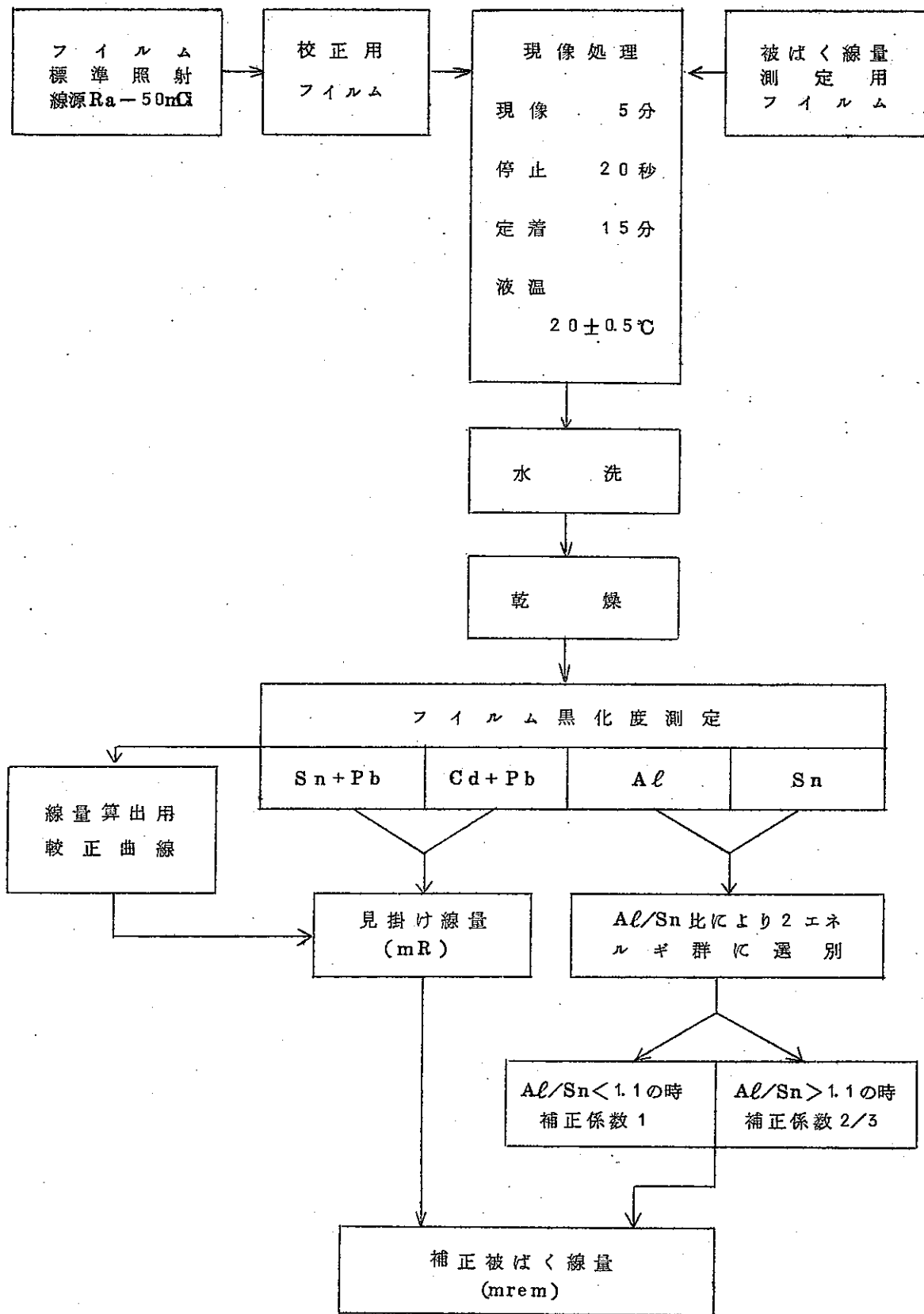


Fig. 15 フィルムバッジ線量計による被ばく線量算出手順のフローシート

Ⅲ-1-4 ナンパリング

フィルムバッジ線量計には鉛粉による番号板を5桁の数字により取り付け、着用者名と対応付けを行なっている。線量計を現場へ配布する前に安全管理課においてX線マーキング装置によりフィルム上に番号を焼き付けし、現像処理の迅速化をはかっている。5桁の数字の分類の方法は例えば10101を考えると上2桁で課を3桁目が係を下2桁が係内での個人番号を示す。

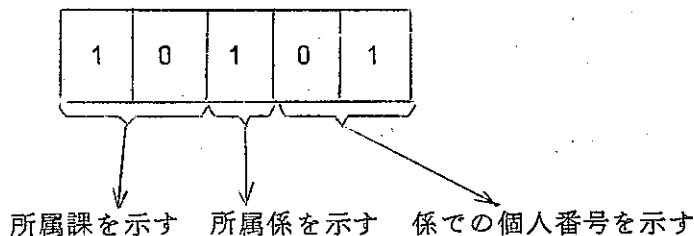


Table 6 に昭和47年6月1日現在の番号付けの方法を示した。X線マーキング装置には千代田保安社製の自己半波整流方式によるネームプリンタを使用、照射条件は10mA, 0.5 secである。

Table 6 プルトニウム燃料開発室のフィルムバッジ線量計の取種別番号一覧表*

| 職 種 | 番 号 |
|----------|-------|
| 管理課庶務係 | 10100 |
| " 技術係 | 10200 |
| " 計量係 | 10300 |
| 設計課 | 11100 |
| 開発課試料係 | 12100 |
| " 開発係 | 12200 |
| 製造第1課回収係 | 13100 |
| " 製造係 | 13200 |
| " 加工係 | 13300 |
| 製造第2課製造係 | 14100 |
| " 加工係 | 14200 |
| 品質管理課分析係 | 14100 |
| " 測定係 | 15200 |
| " 品質係 | 15300 |
| 工務課運転班 | 16100 |
| 安全管理課放管係 | 17100 |
| " 測定係 | 17200 |
| " 保健係 | 17300 |
| 外来研究員等 | 99000 |

*昭和47年6月1日現在

■ 1-5 エネルギー依存性

フィルムは X・ γ 線に対して大きいエネルギー依存性をもつ。種々の物質の適当な厚さのフィルタをフィルムの前に置くと、その下の黒化はフィルム内での X・ γ 線の吸収に応じて、異なってくる。被ばく線量計としては、エネルギー依存ができるだけ小さいことがのぞましい。

富士 γ 線用フィルムと原研Ⅳ型バッジを組合せて X線発生装置と RI線源を用いてエネルギー依存性を求めた。得られたグラフが Fig.16 である。このグラフは (Sn+Pb) フィルタまたは (Cd+Pb) フィルム黒化度より求めたエネルギー依存性カーブである。70 KeV 附近に相対感度比が最大となるピークをもち 200 keV 以上では平坦となる。

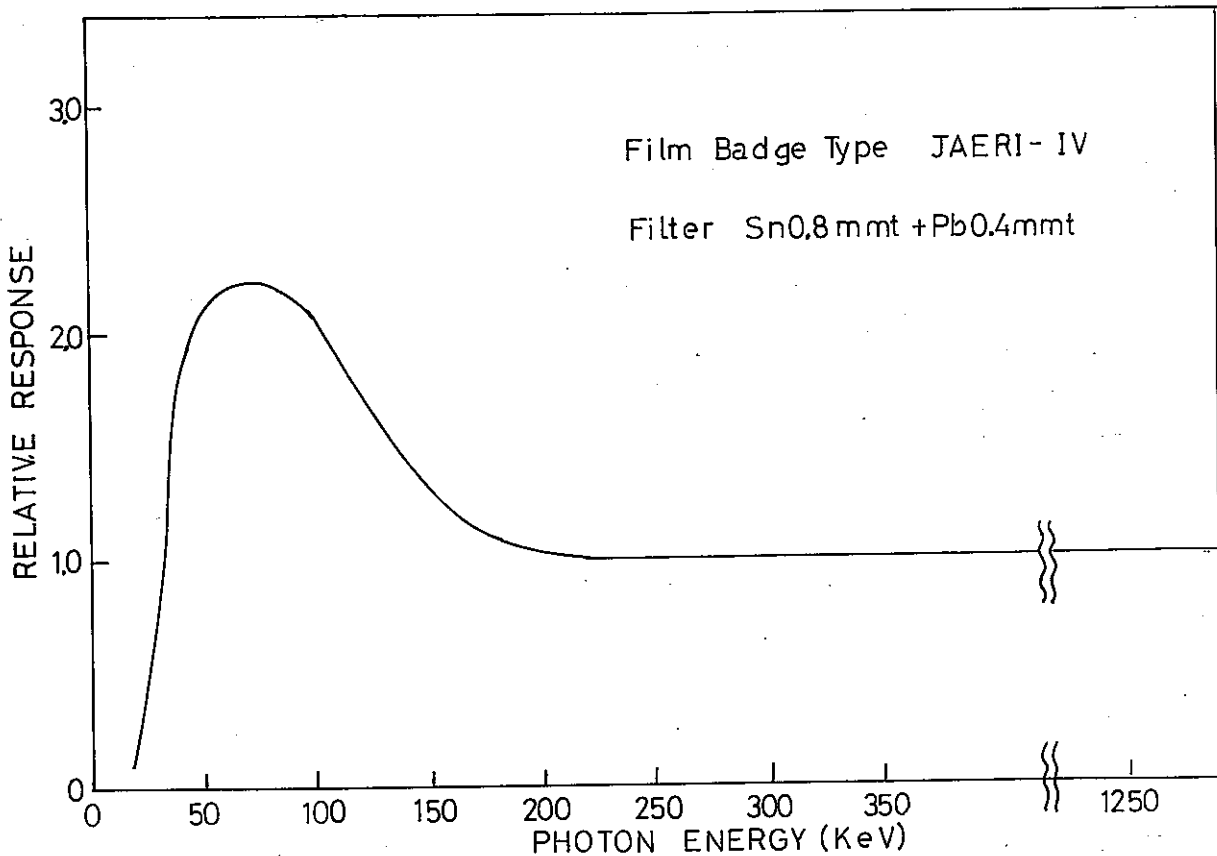


Fig.16 フィルムバッジ線量計のエネルギー特性

III-2 蛍光ガラス線量計

III-2-1 検出原理および種類

銀を含んだアルカリ・アルミノ・りん酸塩ガラスは放射線被ばくにより着色中心が生じ、その着色中心の吸収帯に属する光で刺激すると蛍光を発する。この蛍光量が放射線被ばく線量と比例関係にあるので蛍光量を測定することにより被ばく量を知りガラス線量計として利用できる。

蛍光を発する現象をRadio photoluminescence 現象と言い、銀を含んだリン酸塩系ガラスはこのRadio photoluminescence 現象が安定しており感度一定のものを製作しやすいため、広く応用される。

現在、動燃東海事業所で被ばく管理に使用している蛍光ガラス線量計は東芝製FD-3型で大きさにより2種類用いている。線量計の名称、寸法、基体および添加物をまとめてTable 7に示す。

Table 7 現在動燃東海事業所で使用している蛍光ガラス線量計

| 名 称 | 寸法 (mm) | フィルタ | 基体 (wt%) | 添加物 (wt%) |
|---------|---------|-----------|---------------------------------------|----------------------|
| FD-P6-3 | 6×6×3.3 | 黄銅 1.2 mm | LiPO ₃ 47% | AgPO ₃ 6% |
| FD-P8-3 | 8×8×4.7 | Sn 0.5 mm | Al(PO ₃) ₃ 53% | |

FD-P6-3型ガラスは黄銅1.2mmフィルターでエネルギー依在を補正したリング形のをプルトニウム燃料を取扱うグローボックス作業者の手の局部被ばく管理に、またFD-P8-3型ガラスはSn0.5mmのフィルタを施してグローボックス周辺の空間積分線量測定に使用している。測定範囲は両者ともに20mR~3,000Rである。

III-2-2 線量読み取り装置

線量読み取り装置には東芝製FGD-6型装置を用いて測定する。本装置の外観写真をFig. 17にまたブロックダイアグラムをFig. 18に示す。光源からの光線を光学系で適当な光束として検出素子に照射し、検出素子からの蛍光を光電変換部で電流に変換する。光電流は直流増幅器で増幅され指示計に指示される。

本装置を用いて線量を測定する場合には光源の強さおよび光電子増倍管の感度を較正するために蛍光ガラスに似た照合ガラス(銀の代わりにマンガン等を添加したもの)を用いて装置の感度補正を行なう。

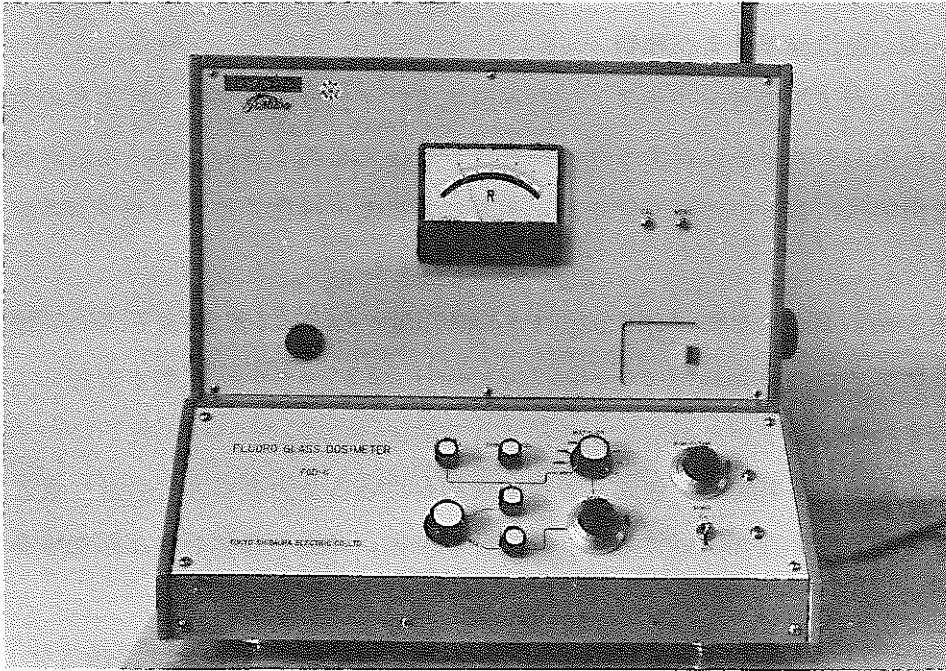


Fig. 17 蛍光ガラス線量計線量読み取り装置の外観図

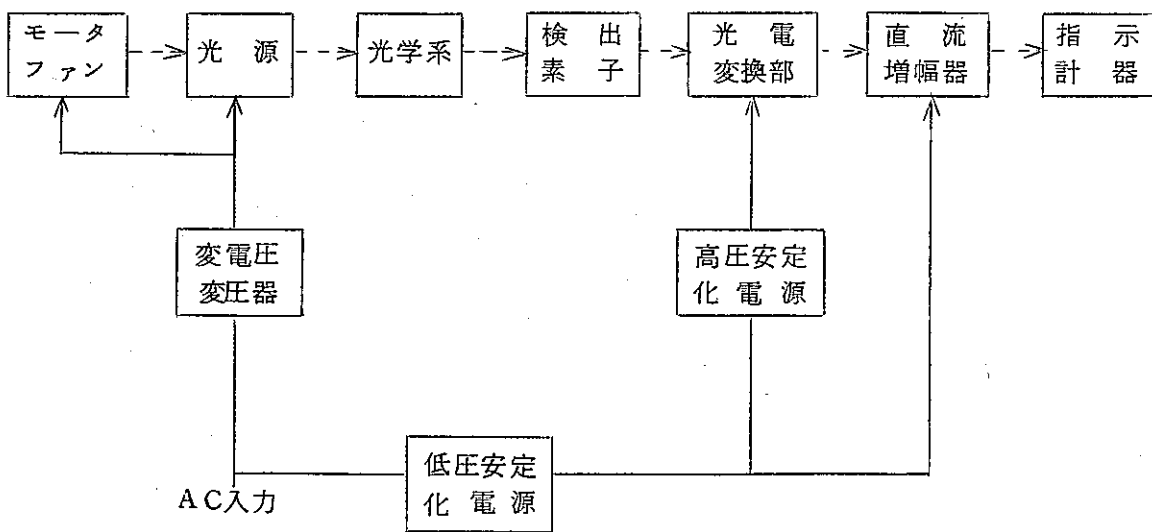


Fig. 18 蛍光ガラス線量計線量読み取り装置のブロックダイアグラム

Ⅲ-2-3 線量測定方法

(1) 洗 浄

蛍光ガラス線量計は他の線量計に比べて、多くの特徴をもっているが、測定上問題となるのは線量計の洗浄である。リーダーで蛍光量を測定する場合、線量計に付着したゴミ等が線量測定精度を大きく左右する因子となるため、線量測定の前に線量計を洗浄する必要がある。洗浄に用いる超音波洗浄器および洗浄用ケースの外観を Fig. 19 に示す。

洗浄工程

中 性 洗 剤 5%水溶液で超音波洗浄10分

水 道 水 3分間洗浄を流す

蒸 留 水 1分間洗浄

特級エチルアルコール 超音波洗浄5分

乾 燥 恒温乾燥器30分程度

ピンセット 線量計をきずつけないためテフロン製

洗浄用ケース 厚さ9mm テフロン穴径10mmφ

セル用穴 1.5×25mm²

底 部 30～40メッシュ ステンレス製



Fig. 19 蛍光ガラス線量計用超音波洗浄器および洗浄用ケース

(2) 前線量測定 (Pre-dose)

蛍光ガラス線量計は自然放射能または前回使用した場合の被ばく線量等が前線量 (Pre-dose) として線量計に蓄積されているため、ある期間の被ばく線量を算出するときには前もってこの前線量を測定し、着用後の後線量 (Post-dose) より差し引かなければならない。

(3) 後線量測定 (Post-dose)

現場での着用後、前線量測定と同手順で後線量を測定する。リーダーのダイヤルの値より次式により被ばく線量を計算する。

$$\boxed{\text{被ばく線量}} = \boxed{\text{ダイヤル値}} \times \boxed{\text{倍率}} \times \boxed{\text{補正係数}} - \boxed{\text{Pre-dose}}$$

ここでダイヤル値とはリーダーの零位法測定時のダイヤル目盛値であり、倍率は倍率器の値、補正係数は線量計を包むホルダーやフィルターの条件により異なる値であり手の局部用ガラス線量計 (FD-P 6-3) を黄銅 1.2 mm のケースに入れた場合、補正係数は 2.70 であり作業環境の空間積分線量測定用 (FD-P 8-3) ガラスを 0.5 mm の Sn フィルターで包んだ場合には補正係数は 0.90 を現在採用している。

以上の被ばく線量測定手順をフローシートに示したのが Fig. 20 である。

III-2-4 エネルギー依存性

蛍光ガラス線量計もフィルムバッジ線量計と同じく低エネルギー領域では低エネルギー依存性を示す。FD-P 8-3 ガラスと Sn 0.5 mm のフィルターを組み合わせた線量計と FD-P 6-3 ガラスと黄銅 1.2 mm のフィルターを組み合わせた線量計について X 線発生装置と RI 線源を用いて低エネルギー依存性を検討した。得られた結果をグラフにまとめた。Fig. 21 に FD-P 8-3 型ガラスを Sn 0.5 mm のフィルターで包んだ場合のエネルギー特性カーブを、また Fig. 22 に FD-P 6-3 型ガラスを黄銅 1.2 mm のフィルターで包んだ場合の特性を示す。P 8 型および P 6 型ともに照射エネルギーが 100 keV 前後で相対感度比が約 2 程度の値を示し P 6 型については約 200 keV でまた P 8 型については約 300 keV 附近で相対感度比が 1.0 で平坦となる傾向を示す。

III-3 熱ルミネセンス線量計(1) $\text{CaSO}_4 : (\text{Tm})$

III-3-1 原理および構造

熱ルミネセンス線量計は線量計を放射線で照射し、熱ルミネセンス素子を加熱すると内部に蓄積された放射線エネルギーが光の形で放出されるので、その光量を検出することにより、線

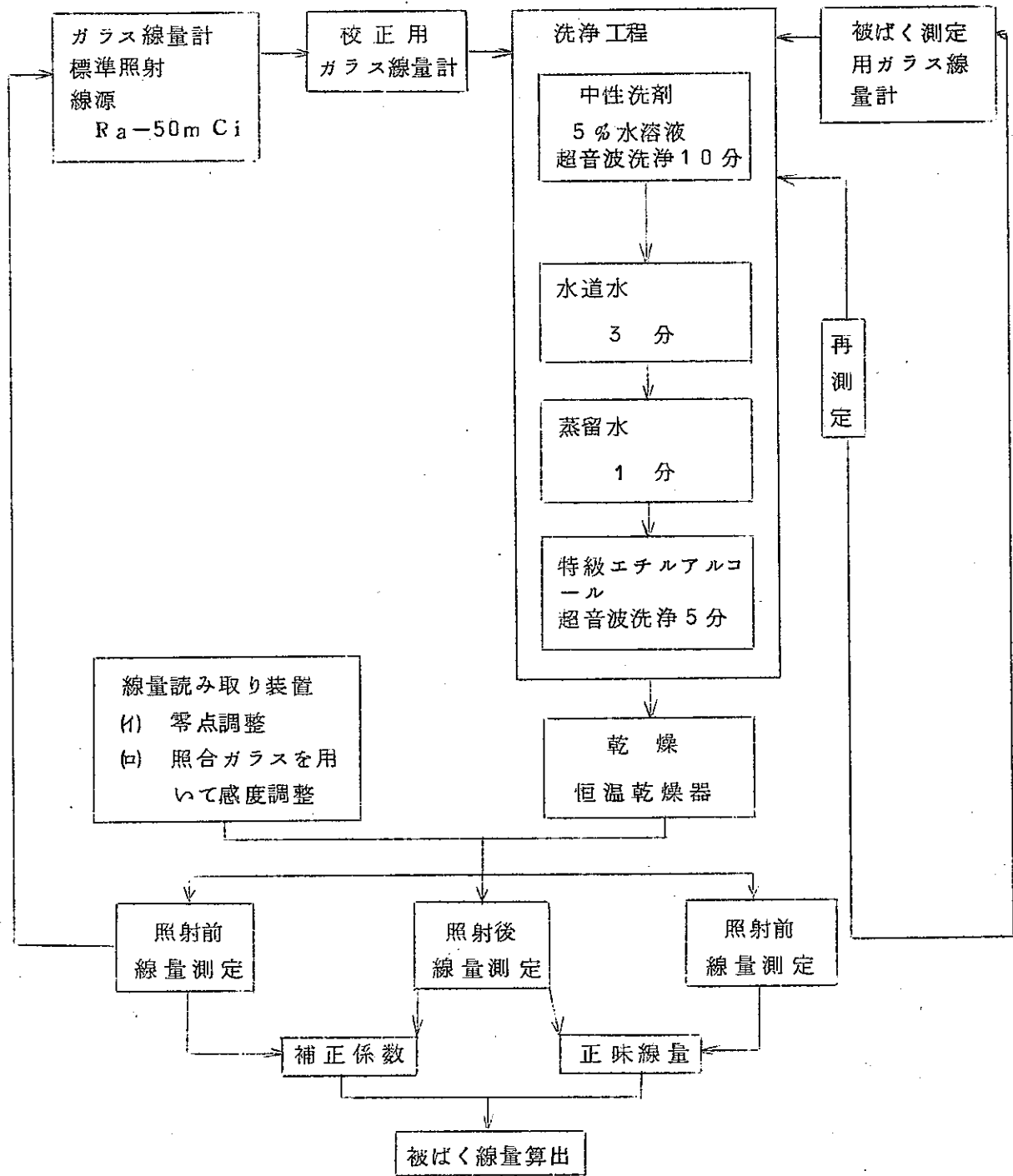


Fig. 20 蛍光ガラス線量計による被ばく線量
算出手順のフローシート

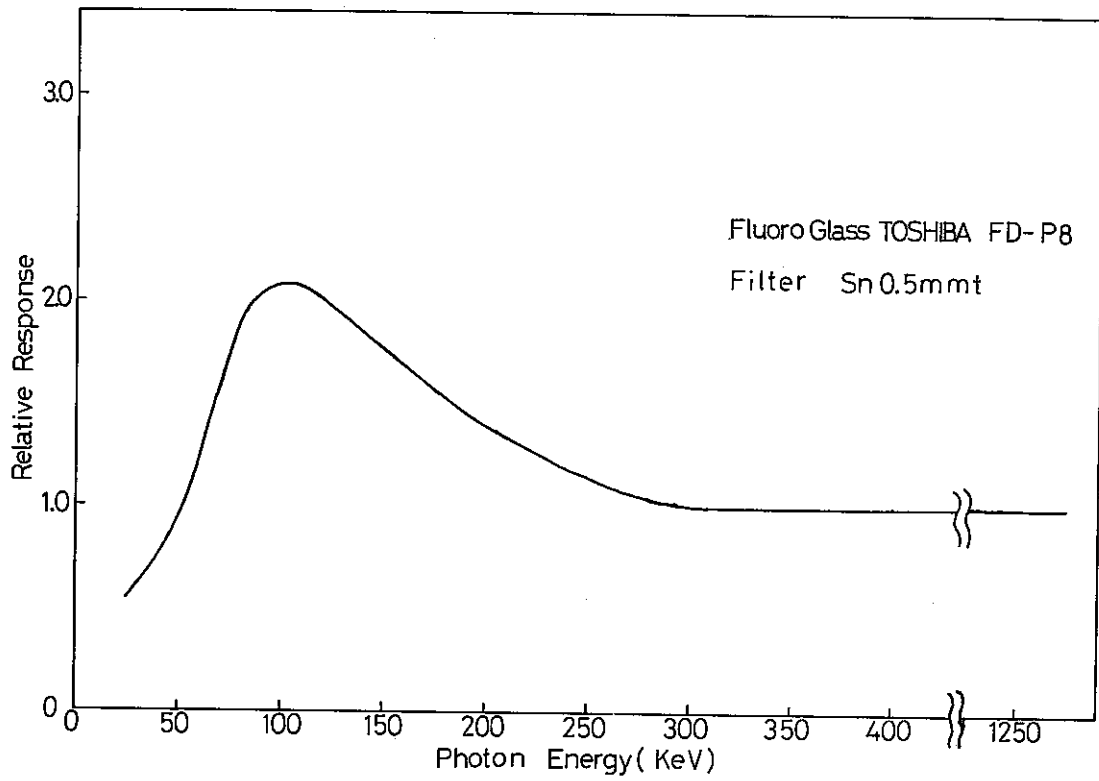


Fig. 21 螢光ガラス線量計 (FD-P8型) のエネルギー特性

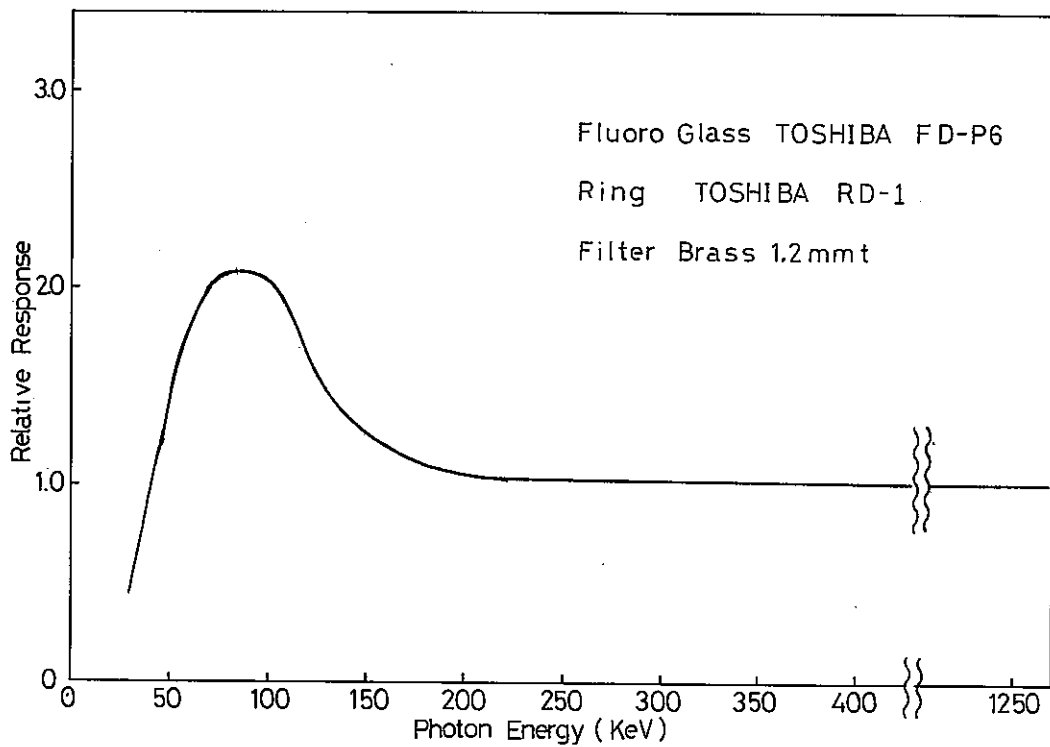


Fig. 22 螢光ガラス線量計 (FD-P6型) のエネルギー特性

量を測定する。素子を一定時間加熱することにより生じた発光を光電子増倍管で検出し、その出力電流を積分して得られた電圧をデジタル表示して、その積分値で線量を求めるものである。

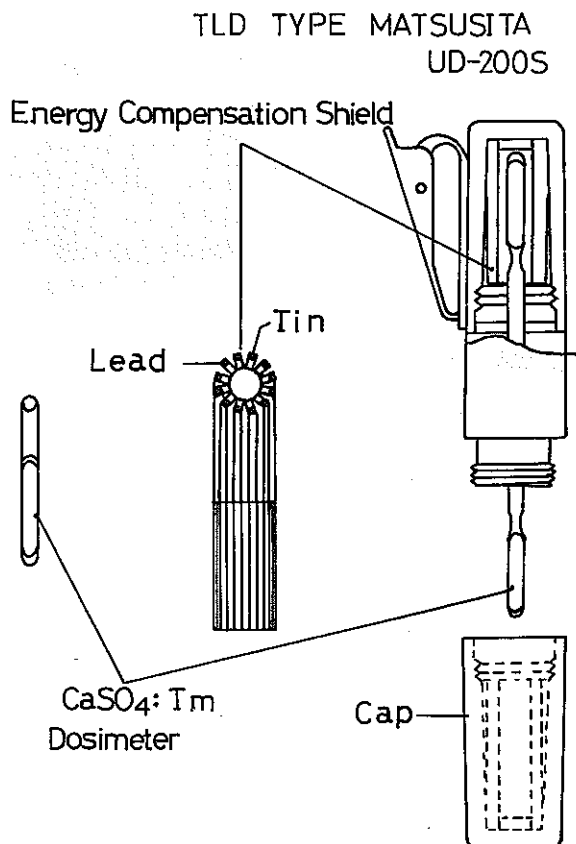


Fig. 23 UD-200S型熱ルミネセンス線量計の構造図

松下電器産業株式会社で製作販売している熱ルミネセンス線量計 (TLD) UD-200S 型線量計は硫酸カルシウム (CaSO_4) を基材とし、それにトリウム (Tm) を添加した粉末をガラスアンプルに入れその回りをエネルギー依存を補正するためのフィルタで包んだ線量計である。ガラスアンプルは上下2本入っている。線量計の構造図を Fig. 23 に示す。フィルムバッジ線量計に比較して軽量小型で着用に便利な構造になっている。また線量計の測定可能範囲は $0.1 \text{ mR} \sim 20 \text{ R}$ である。

Ⅲ-3-2 線量読み取り装置

UD-200S 型線量計 ($\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$) および次に述べる UD-170A 型線量計 ($\text{BeO} : \text{Na}$) は松下電器産業株式会社製の UD-502A 型線量読み取り装置を用いて線量測定を行なう。本装置の外観図を Fig. 24 にまた構成図を Fig. 25 に示す。本装置の線量表示

は4桁デジタル表示で0.1mRから200Rまでの表示範囲をもつ。その他零ブランキング、レンジ、オーバ表示が前面パネルに付いている。測定時間は測定しようとする素子により異なるが10秒～20秒で線量算出可能である。

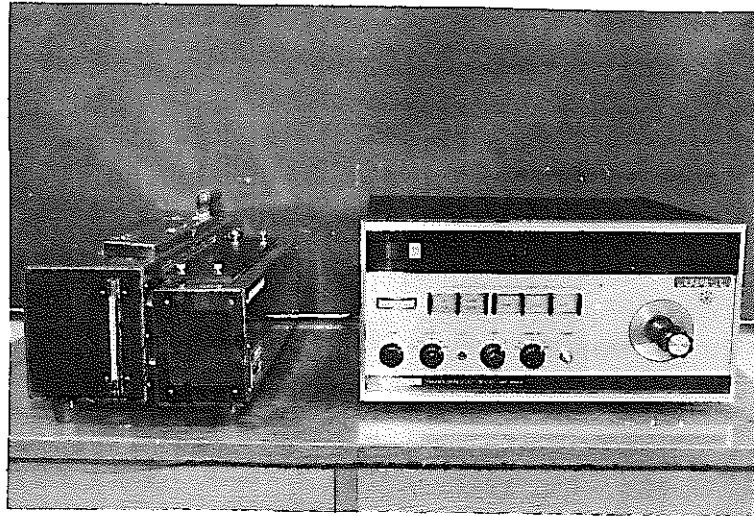


Fig. 24 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の外観図

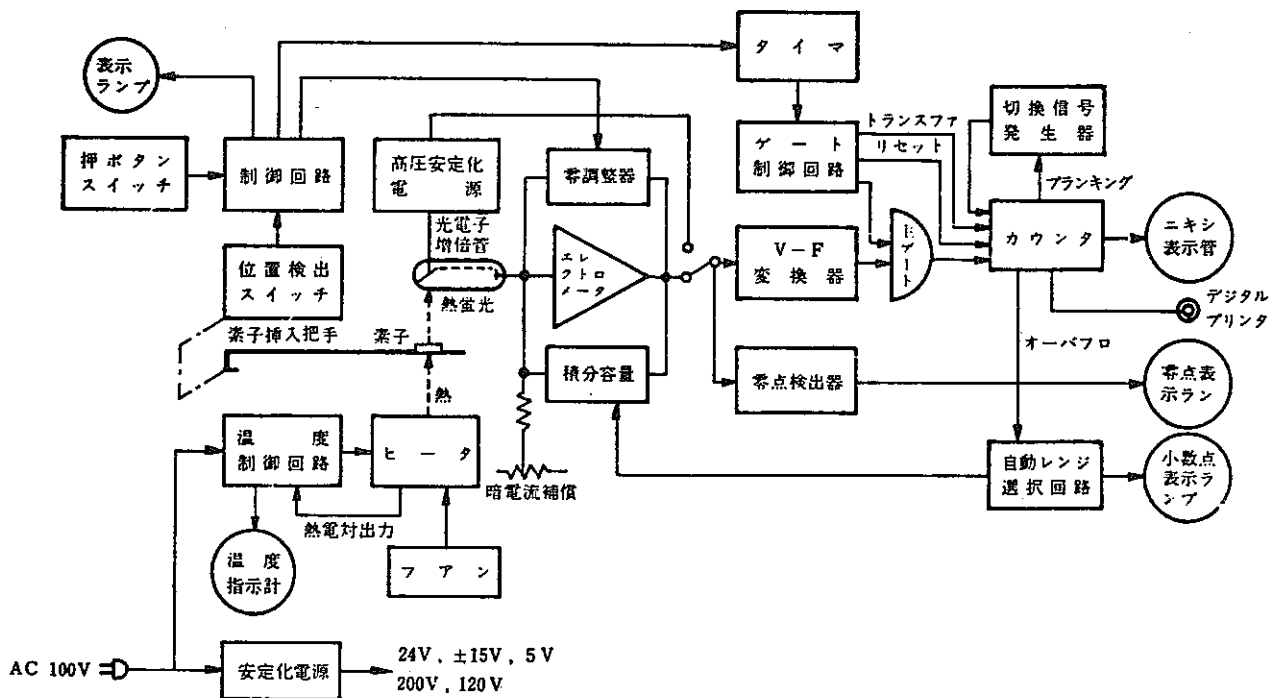


Fig. 25 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の構成図

III-3-3 線量測定法

UD-200S型熱ルミネセンス線量計を被ばく管理のため作業現場へ配布する場合には、線量計素子をアルコールでゴミや油等を良くふき取り、凝信号を防止するとともに熱蛍光線量計用熱処理炉（松下電器産業株式会社製 UD-602型）を用いて温度400℃で約1分間アニーリングして残留線量が1mR以下である事を確認して後配布する。

照射された線量の測定を行なう場合には読み取り装置の較正を以下の手順で実施する。AC電源を入れ約30分程度経た後TEMPつまみで、温度計で400℃を確認する。温度調整後、HIGH VOLつまみにより表示電圧を各素子に決められた電圧に調整する。高圧を調整して光電子増倍管の感度を較正した後、RI-螢光体較正光源を素子挿入孔に入れPERIOD SECをCALにしてSTARTボタンを押し、6sec間の積分値を求める。この積分値も各素子により定められた較正光源指示値を示していることを確認する。以上温度調整、電圧調整およびRI-螢光体較正光源による較正を実施した後、PERIOD SECを各素子により10秒または12秒にセットして、線量計の被ばく線量を測定する。

UD-200S型線量計の場合には表示値×1/10を被ばく線量に、またUD-170A型線量計については表示値×2を被ばく線量とする。

以上の測定手順をまとめてフローシートに示したものがFig.26である。

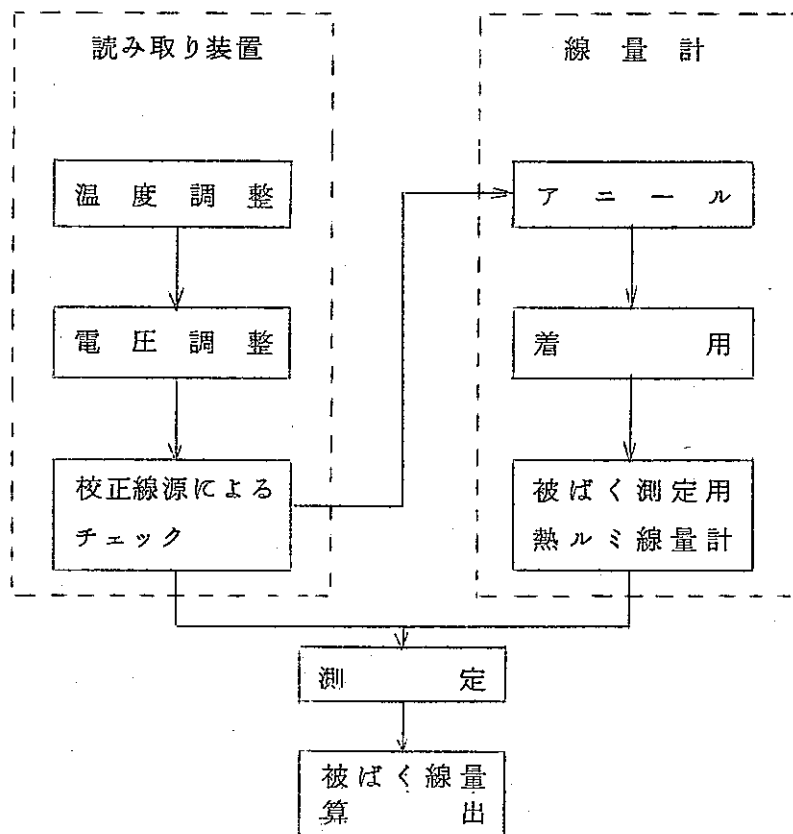


Fig.26 熱ルミネセンス線量計測定手順のフローチャート

Ⅲ-3-4 諸特性

(1) エネルギー依存性

硫酸カルシウム ($\text{CaSO}_4:\text{Tm}$) のエネルギー依存性は低エネルギー領域主として 200Kev 以下で大きくオーバーレスポンスするが UD-200S 型ではエネルギー特性補償用フィルタを入れてあるため Fig.27 に示すように約 30Kev 以上では 1 に平坦な特性を示し、良いエネルギー依存性をもっている。このためプルトニウムからの低エネルギーガンマ線による被ばく線量測定には向いている。

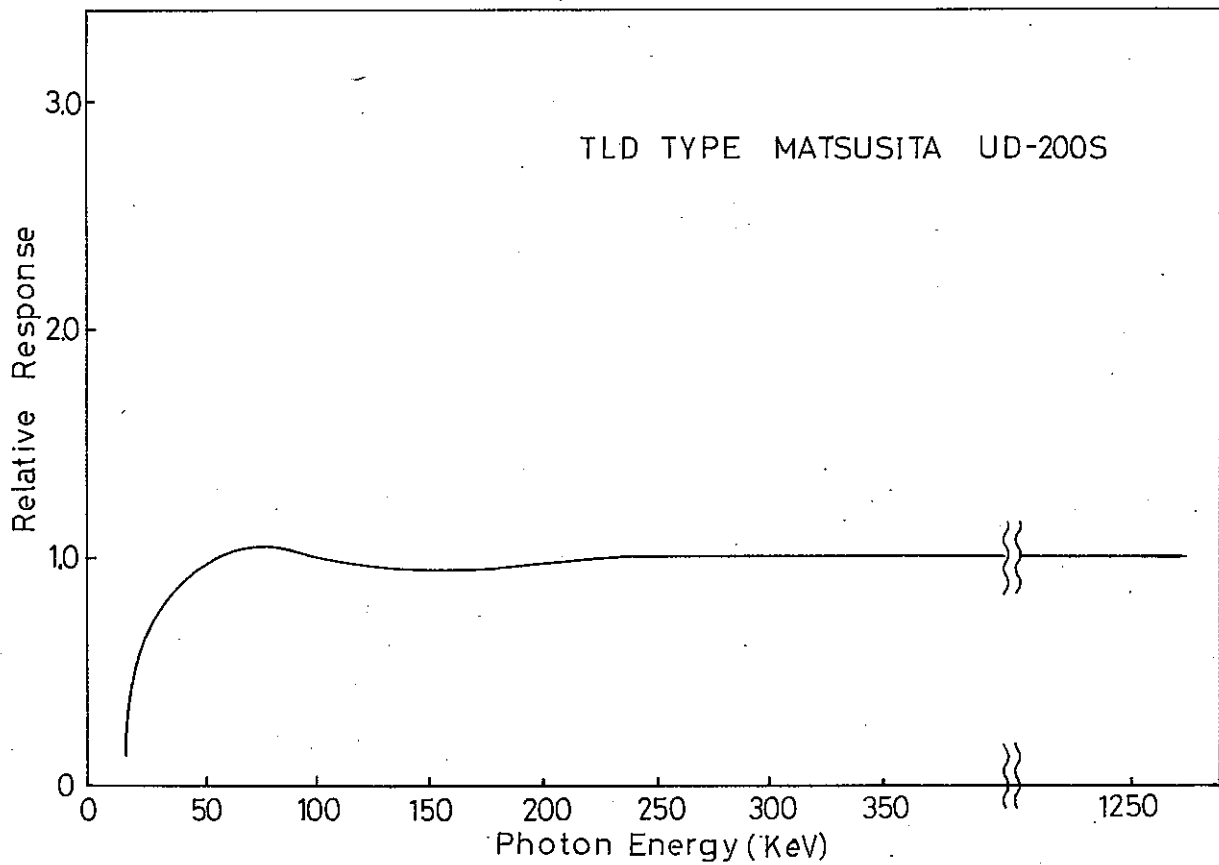


Fig.27 UD-200S型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性

(2) 熱ルミネセンスグロウ曲線

UD-200S 型線量計のグロウ曲線は Fig.28 に示すように 200℃ に主ピークをもち、100℃ と 120℃ 附近に副ピークをもつグロウ曲線を示す。測定上注意すべき特性として 100℃ と 120℃ の副ピークはフェンシング効果が認められ照射直後の線量測定には注意を要する。照射後 2 日経過した素子についてはこの副ピークに基づく誤差は消滅するが照射直後等に線量測定する場合には熱処理炉または沸騰水により 100℃ で 2～3 分間ブレマニールして副ピークを消去させる手段を構じた後線量測定をしなければならない。

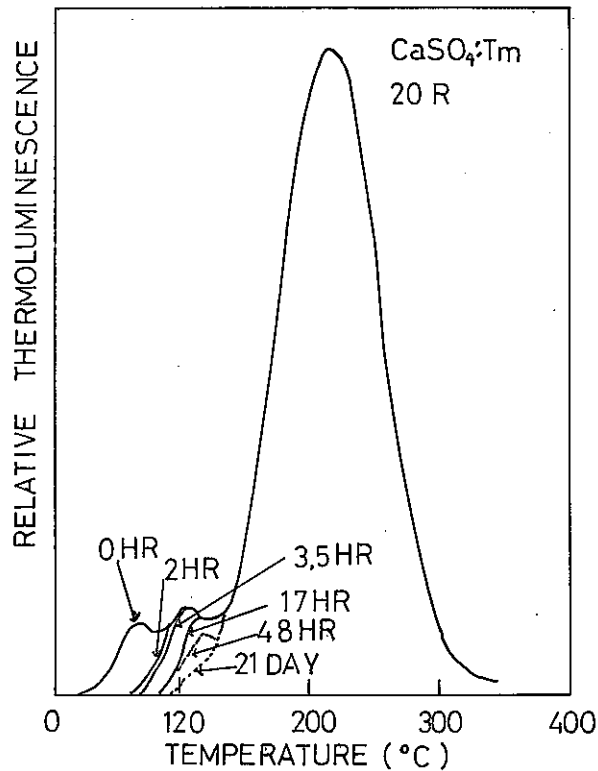


Fig.28 $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ の熱ルミネセンスグロウ曲線 (照射直後, 2 時間, 3.5 時間, 17 時間, 48 時間, 21 日)

(3) 方向依存性

UD-200S 型熱ルミネセンス線量計の方向依存性を示す特性曲線を Fig.29 に示す。スケッチに示すような 0 度または 180 度での比感度を 1 とした場合 90 度方向では 120Kev で約 10% 程度の変化が認められるが、この値は被ばく管理上問題となる値ではない。プルトニウムによる約 100Kev 前後でのガンマ線に対する個人被ばく線量計としてはすぐれた特性を UD-200S 型線量計はもっている。

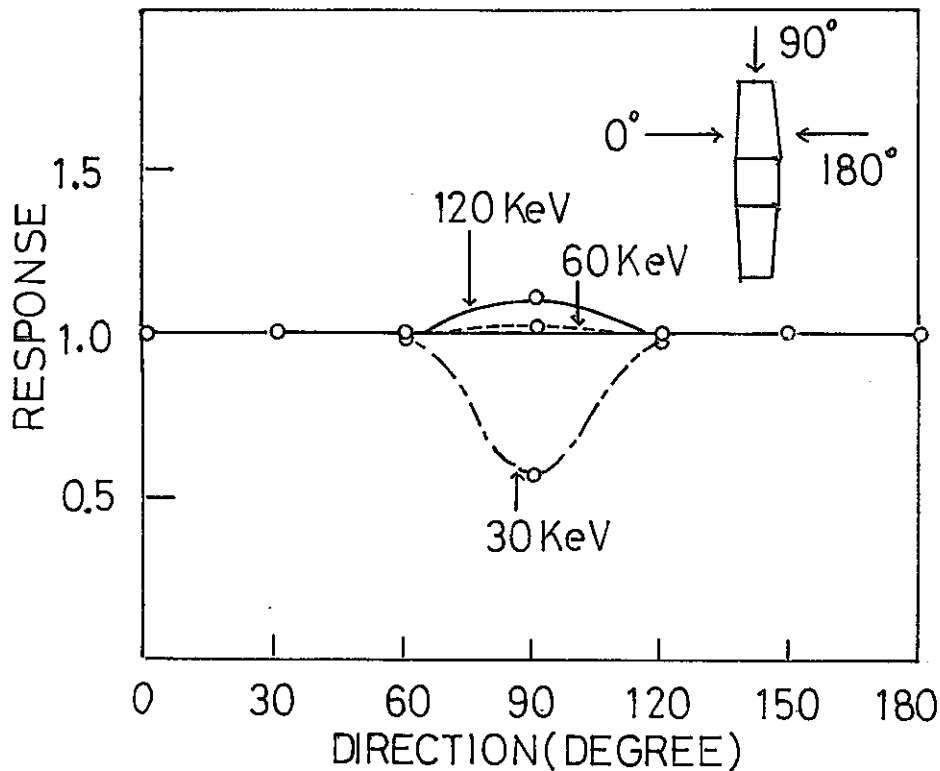


Fig. 29 UD-200S型熱ルミネセンス線量計の方向依存性

III-4 熱ルミネセンス線量計(2) BeO:(Na)

III-4-1 構造

本線量計は事故時特に臨界事故時のように高い外部被ばくを受けた場合の線量測定に使用するものである。BeOの光電吸収に対する実効原子番号は7.4~7.6で生体のそれ(Z=7.5)に近いという特性をもっているため生体の吸収線量の測定に向いている。

松下電器産業株式会社で製造販売しているUD-170A型熱ルミネセンス線量計はガラスアンプルの中にBeOの粉末を入れたもので、特にエネルギー特性補償用のフィルタは付けずに簡単なプラスチックのケースにアンプルを入れただけである。UD-170A型線量計はプルトニウム燃料開発施設において着用するフィルムバッジ線量計の中へ収められている。

III-4-2 線量測定法

UD-170A型線量計の線量読み取り装置はIII-3-2で述べた装置を使用する。線量測定はUD-200S型線量計の測定と同様で温度調整、電圧調整、PI較正光源による較正の後、線量測定を行なう。被ばく線量は表示値X2で表わす。

Ⅲ-4-3 諸特性

(1) エネルギー依存性

$Co-60$ に対する感度を1とした場合のUD-170A型線量計のエネルギー依存性をFig.30に示す。

30Kev前後の低エネルギー領域で約30%程度の過大応答を示すが、この値は他の線量計素子に較べて低い値である。UD-170A型線量計は動燃東海事業所では臨界事故時に受ける高いガンマ線被ばく線量の測定用に使用するため低エネルギー領域の30%程度の過大応答は事故時のガンマ線エネルギースペクトルよりみて問題とならない。Fig.30によりUD-170A型線量計は特にエネルギー依存補償用フィルタを必要とせず、ガラスアンプルをプラスチックのケースに入れフィルムバッジ線量計に入れて使用する。

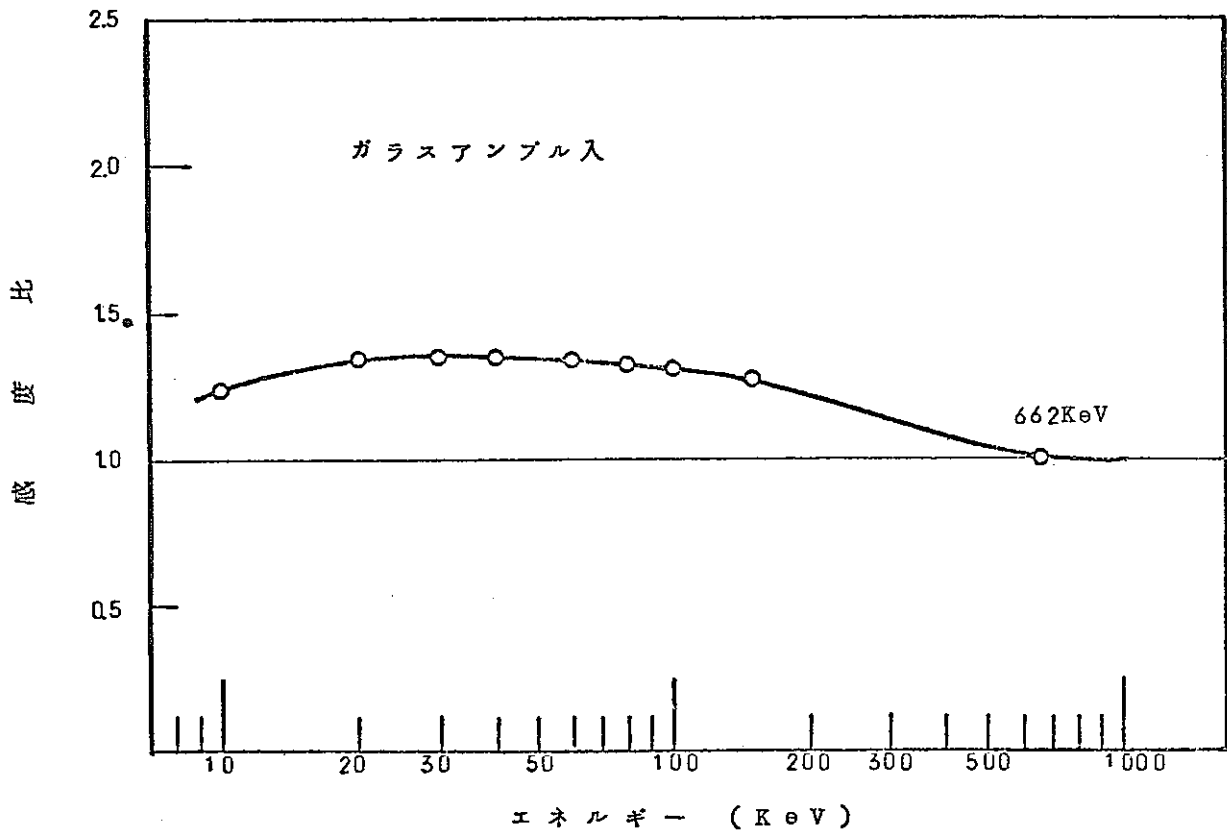


Fig.30 UD-170A (BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性

(2) 線量直線性

UD-170A型線量計の線量直線性の特性をFig.31に示す。200Rまでは蛍光発光量と照射線量の比が1で直線性を示し、それ以上も補正係数を乗じることにより算出可能である。しかし直線領域が200Rまででも充分使用目的にかなりものである。

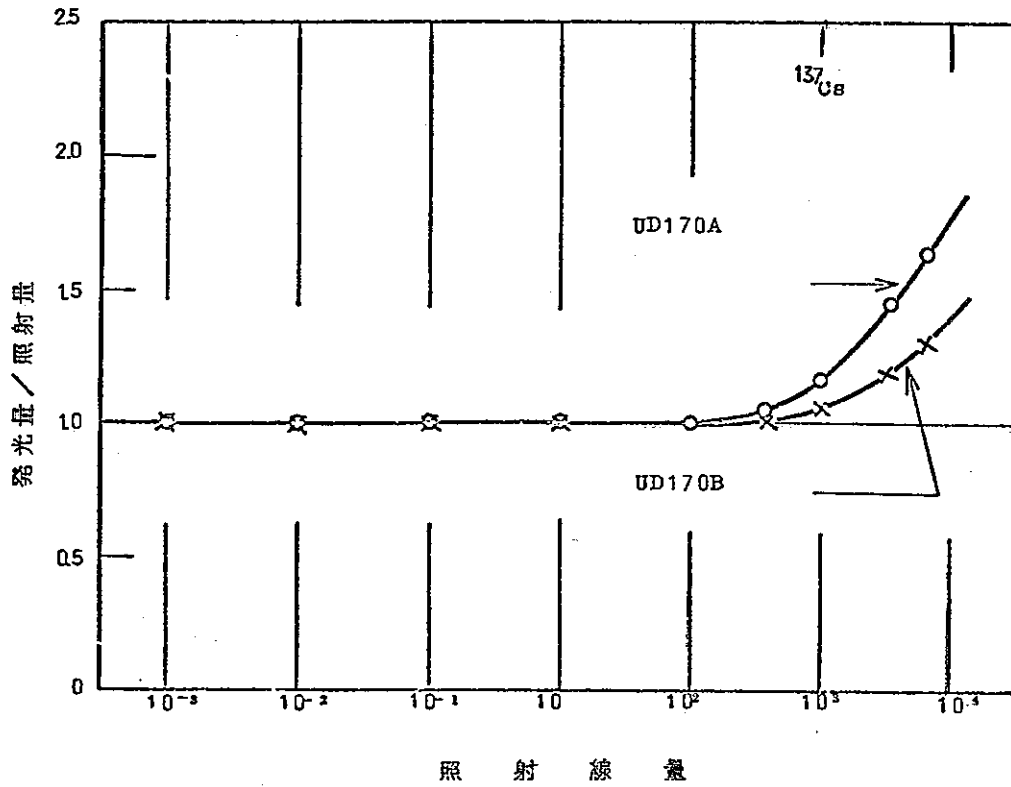


Fig.31 UD-170A (BeO:Na) 型熱ルミネセンス線量計の線量直線性

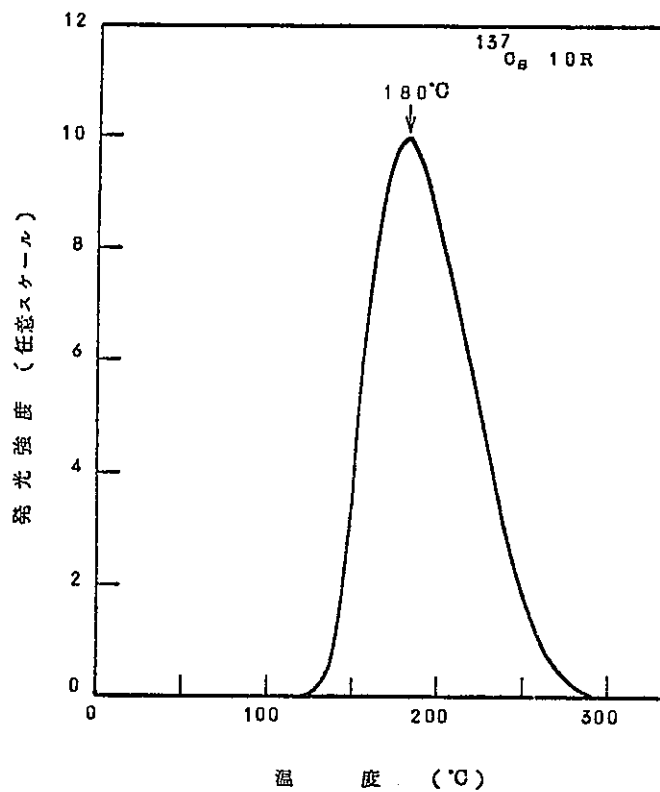


Fig.32 UD-170A (BeO:Na) 型熱ルミネセンス線量計の熱ルミネセンスグロー曲線

(3) 熱ルミネセンスグロウ曲線

BeOのグロウ曲線をFig.32に示す。180°Cにピークをもつ、非常に単純な曲線であり高温、低温側のすそに副ピークはない。この性質は線量測定の精度上有利である。約4000Åの近紫外の螢光を発光する。

(4) フェーディング

フェーディング特性をFig.33に示す。照射後1~2日で数%減少し、その後は安定で半年間で10%程度の減衰である。また光によるフェーディングも多少認められるので、素子を直接太陽光にさらすことはさける注意が必要である。

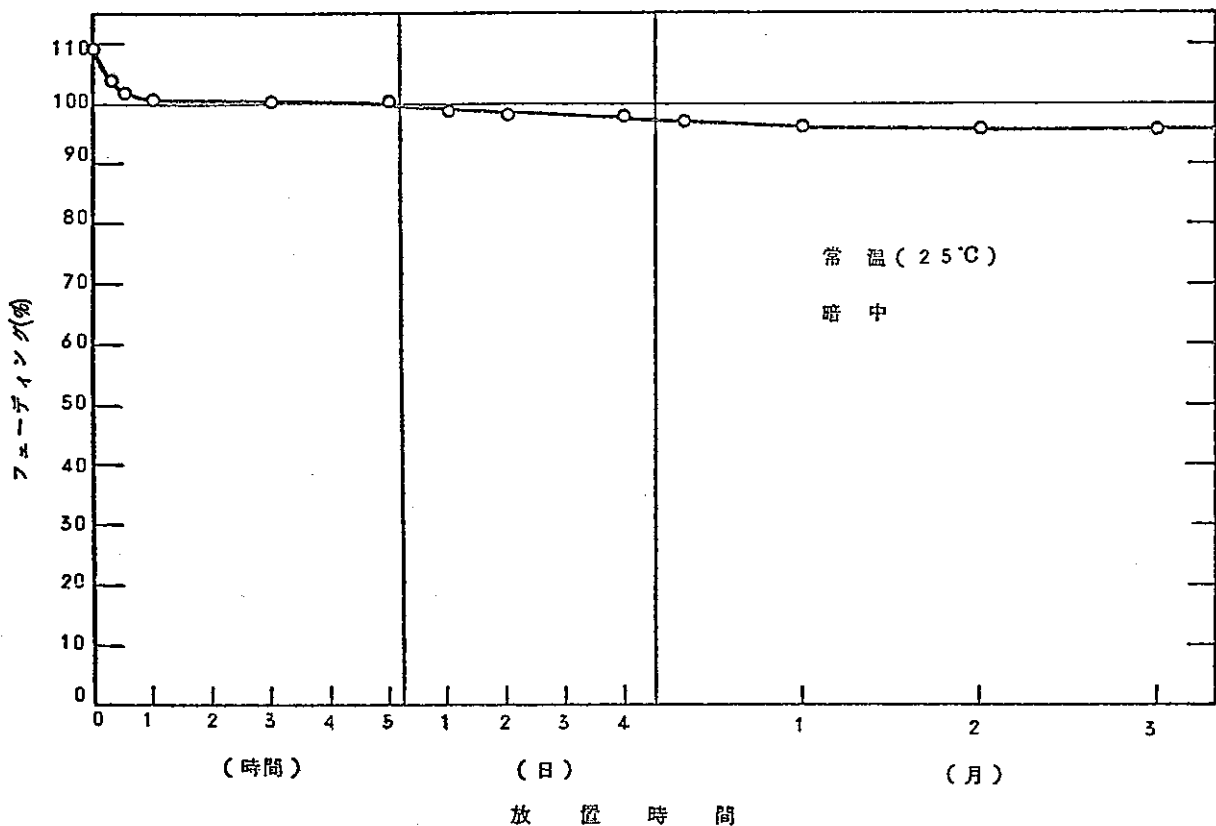


Fig.33 UD-170A(BeO:Na)型熱ルミネセンス線量計のフェーディング特性

IV 被ばく実効エネルギーと線量評価法

IV-1 低エネルギー線被ばく

プルトニウム燃料取扱作業者がグローブボックス作業時等に受けるプルトニウムやアメリカウムからのX線およびガンマ線の被ばく実効エネルギーを求めることは線量評価上重要である。既に第III章で述べたように、フィルムバッジ線量計や蛍光ガラス線量計は低エネルギー領域ではエネルギー依存があり線量評価の際注意を要する。プルトニウムからは17Kevから300Kevの間で各種のエネルギーのX線およびガンマ線が放出されているが、17Kevの転換X線とPu-241の β 崩壊生成物であるAm-241からの60Kevのガンマ線が大きな放出割合を示す。この内17KevのX線はプルトニウム燃料をグローブボックス内でアルミニウムのキャンに入れて取扱うため被ばく上考えない。従って60Kevを中心に検討を加えた。

まず、X線発生装置を用いて18Kevから188Kevまでの低エネルギー領域での現在動燃で使用しているフィルムバッジ線量計、蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンスのエネルギー依存性を調べた。次に実際にプルトニウム燃料を用いて各種しゃへい条件下で被ばく線量計を照射して被ばく実効エネルギーを求め、最後にプルトニウム燃料取扱者が着用した定常モニタリング用フィルムバッジ線量計を用いて、プルトニウム取扱作業者の被ばく実効エネルギーを算出した。

IV-2 線量計照射試験概要

IV-2-1 X線発生装置

低エネルギー領域での各種被ばく線量計のエネルギー依存性および被ばく実効エネルギー算出用カーブを求めるためにX線発生装置を用いて線量計を照射した。使用した装置は深部治療用X線発生装置(島津製作所 信愛1号, 定格電圧200KVp, 電流6mA)で、各種ターゲットおよびフィルタを組み合わせることにより18KeV~188KeVの範囲の実効エネルギーを求めた。エネルギーとターゲットおよびフィルタの関係をTable 8とTable 9にまとめた。

Table 8 ターゲットと実効エネルギーの関係

| 実効エネルギー (KeV) | ターゲット | 管電圧 (KeV) | 管電流 |
|------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| 18 | Mo | 65 | 3 |
| 26 | Sn | 80 | 0.4 (最低電流) |
| 33 | Ba(NO ₃) ₂ | 90 | 0.4 |
| 47 | Dy ₂ O ₃ | 100 | 0.4 |

Table 9 フィルタと実効エネルギーの関係

| 実効エネルギー (KeV) | フィルタ厚 (mm) | 管電圧 (KVp) | 管電流 (mA) |
|------------------|---------------|--------------|-------------|
| 55 | Cu(2)+Al(2) | 60 | 4 |
| 85 | Cu(4)+Al(2) | 100 | 4 |
| 100 | Cu(9)+Al(2) | 120 | 4 |
| 133 | Cu(10)+Al(3) | 147 | 4 |
| 152 | Cd(8)+Al(3) | 166 | 4 |
| 166 | Cd(9)+Al(3) | 188 | 4 |
| 188 | Cd(11)+Al(3) | 200 | 4 |

IV-2-2 プルトニウム線源

プルトニウムを線量計照射線源として用いた。使用したプルトニウムはPuO₂粉末500gをアルミニウムのキャン(0.5mm厚)に入れオープンポートボックス内に設置した。プルトニウムの各同位体組成比はTable 10に示す通りで、いわゆる高次化プルトニウムと呼ばれるものである。

Table 10 プルトニウム同位体組成比

| 核種 | 組成比 |
|--------|--------|
| Pu-238 | 0.494% |
| Pu-239 | 68.18% |
| Pu-240 | 22.02% |
| Pu-241 | 7.268% |
| Pu-242 | 2.037% |

IV-2-3 照射

(1) X線照射

個人被ばく線量計の低エネルギー依存性と被ばく実効エネルギー算出曲線を得る目的で、X線発生装置によりフィルムを照射した。標準照射線量は米国ヴィクトリー社のローメータを用いて求めた。照射線量は100mR~200mR程度照射し、フィルムよりの線量算出を容易にした。また照射エネルギーは18KeVから188KeVまでの間で各種フィルタおよびターゲットを組み合わせて11点を採用した。

(2) プルトニウムによる照射

プルトニウムによる線量計照射はプルトニウム粉末500gをAlケースに入れオープンポートボックス内に設置し、ポート部に各種遮へいを施として線量計に照射させるガンマ線エネルギースペクトルを変化させた。遮へい条件、照射線量率および照射線量をまとめてTable 11に示す。線量計の照射状態を示す略図をFig.34に示す。

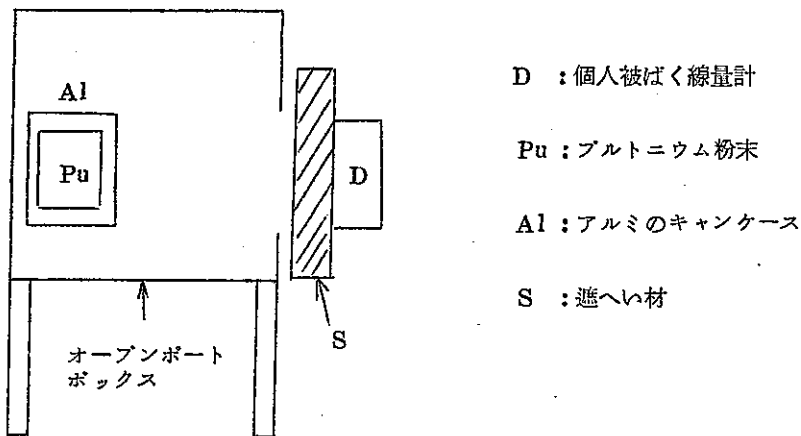


Fig.34 プルトニウムによる線量計照射略図

Table 11 プルトニウムによる線量計照射条件

| しゃへい条件 | 線量率 (mR/hr) | 照射時間 (hr) | 照射線量 (mR) | 照射フィルム番号 |
|--------------------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| Bare | 18.0 | 3.0 | 54 | 7, 8, 9 |
| | | 4.7 | 85 | 19, 20, 21 |
| | | 16.3 | 293 | 4, 5, 6 |
| Homolite (10mm厚) | 14.2 | 5.0 | 72 | 10, 11, 12 |
| | | 16.3 | 232 | 1, 2, 3 |
| | | 42.0 | 596 | ト, チ, リ |
| Glove (1mm厚) | 12.0 | 4.0 | 48 | 13, 14, 15 |
| | | 6.0 | 72 | ヌ, ル, ヲ |
| | | 27.1 | 312 | イ, ロ, ハ |
| Homolite + Lead(1mm厚) | 24.2 | 26.0 | 63 | ヘ, ホ, ニ |
| | | 65.3 | 158 | 16, 17, 18 |
| Lead(1mm厚) | 25.3 | 16.6 | 42 | ワ, カ, ヨ |

IV-3 フィルムより算出した被ばく実効エネルギー

IV-3-1 エネルギー算出曲線

X線を照射したフィルムを第三章の Fig.15 に示すフローシートに従って現像処理をした後アルミニウムフィルタとスズフィルタ下の黒化度を求め両者の比Al/Snを求める。18KeVから188KeVのX線照射後のAl/Sn比の一覧をTable 12とTable 13にまとめた。Table 12に富士フィルム3Gタイプの1枚目の高感度フィルムの値でTable 13に2枚目の低感度フィルムに関してのAl/Sn比の値である。Al/Sn比のX線エネルギー別の値をグラフに示したのがFig.35とFig.36でありFig.35は高感度フィルム、Fig.36は低感度フィルムのグラフである。Fig.35とFig.36より明らかなように高感度フィルムと低感度フィルムのAl/Sn比はほぼ同じ傾向をもつ曲線を示すことがわかる。

この2つのグラフを用いるとAl/Sn比よりフィルムに照射された被ばく実効エネルギーを求めることができる。通常Al/Sn比よりエネルギーを求める場合Ra線源を用いてフィルムを標準照射しアルミニウムとスズのフィルタ下の黒化度と照射線量の関係を示すグラフを作成しこのグラフを用いて今エネルギーを求めようとするフィルムのフィルタ下の黒化度を線量(見掛けの線量)に直してAl/Sn比よりエネルギーを求めるが、動燃東海事業所では線量測定ルーチン業務に簡便なエネルギー決定を組み入れる必要上見掛けの線量に直さないで、黒化度の比より直接エネルギーを算出する方法を用いる。

Table 12 高感度フィルムのAl, Sn
フィルタ下の黒化度とAl/Sn比

| 照射線のエネルギー | フィルム番号 | Al下黒化度 | Sn下黒化度 | Al/Sn | Al/Snの平均値 |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| 18 KeV | P-23 | 1.12 | 0.34 | 3.29 | 3.35 |
| | P-39 | 0.84 | 0.38 | 2.21 | |
| | P-07 | 1.84 | 0.42 | 4.38 | |
| | P-30 | 1.34 | 0.38 | 3.53 | |
| 26 KeV | P-40 | 3.00 | 1.02 | 2.94 | 2.29 |
| | P-41 | 2.16 | 1.28 | 1.69 | |
| 33 KeV | P-09 | > 4 | 0.96 | - | - |
| | P-15 | > 4 | 1.26 | - | |
| | P-03 | > 4 | 1.26 | - | |
| | P-14 | > 4 | 1.52 | - | |
| 47 KeV | P-04 | 1.60 | 0.80 | 2.00 | 2.00 |
| | P-38 | - | 0.86 | - | |
| 55 KeV | P-08 | > 4 | > 4 | - | - |
| | P-01 | > 4 | > 4 | - | |
| | P-32 | > 4 | > 4 | - | |
| 85 KeV | P-35 | > 4 | > 4 | - | - |
| | P-25 | > 4 | > 4 | - | |
| | P-29 | > 4 | > 4 | - | |
| 100 KeV | P-05 | 3.96 | 3.70 | 1.07 | 1.10 |
| | P-16 | 3.90 | 3.46 | 1.13 | |
| 133 KeV | P-18 | > 4 | 4.00 | - | 1.03 |
| | P-12 | 3.58 | 3.40 | 1.05 | |
| | P-21 | 3.74 | 3.74 | 1.00 | |
| 152 KeV | P-10 | 2.02 | 2.06 | 0.98 | 1.01 |
| | P-17 | 1.90 | 1.82 | 1.04 | |
| 166 KeV | P-06 | 2.16 | 2.16 | 1.00 | 1.00 |
| | P-20 | 2.32 | 2.32 | 1.00 | |
| 188 KeV | P-33 | 1.04 | 1.04 | 1.00 | 1.00 |
| | P-11 | 1.22 | 1.26 | 0.97 | |
| | P-28 | 1.18 | 1.16 | 1.02 | |

Table 13 低感度フィルムのAl, Sn
フィルタ下の黒化度とAl/Sn比

| 照射線のエネルギー | フィルム番号 | Al下黒化度 | Sn下黒化度 | Al/Sn | Al/Snの平均値 |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| 18 KeV | P-23 | 0.20 | 0.13 | 1.54 | 1.64 |
| | P-39 | 0.18 | 0.14 | 1.29 | |
| | P-07 | 0.30 | 0.14 | 2.14 | |
| | P-30 | 0.22 | 0.14 | 1.57 | |
| 26 KeV | P-40 | 0.46 | 0.26 | 2.30 | 1.97 |
| | P-41 | 0.36 | 0.22 | 1.64 | |
| 33 KeV | P-09 | 1.00 | 0.20 | 5.00 | 3.46 |
| | P-15 | 0.71 | 0.24 | 2.96 | |
| | P-03 | 1.32 | 0.26 | 5.08 | |
| | P-14 | 1.00 | 0.30 | 3.33 | |
| 47 KeV | P-04 | 0.32 | 0.18 | 1.78 | 1.95 |
| | P-38 | 0.38 | 0.18 | 2.11 | |
| 55 KeV | P-08 | 1.64 | 0.94 | 1.74 | 1.83 |
| | P-01 | 1.74 | 0.92 | 1.89 | |
| | P-32 | 1.70 | 0.92 | 1.85 | |
| 85 KeV | P-35 | 1.20 | 0.94 | 1.28 | 1.31 |
| | P-25 | 1.62 | 1.20 | 1.35 | |
| | P-29 | 1.58 | 1.22 | 1.30 | |
| 100 KeV | P-05 | 0.92 | 0.83 | 1.11 | 1.13 |
| | P-16 | 0.92 | 0.80 | 1.15 | |
| 133 KeV | P-18 | 0.96 | 0.90 | 1.07 | 1.10 |
| | P-12 | 0.83 | 0.73 | 1.14 | |
| | P-21 | 0.86 | 0.80 | 1.08 | |
| 152 KeV | P-10 | 0.41 | 0.40 | 1.03 | 1.06 |
| | P-17 | 0.43 | 0.40 | 1.08 | |
| 166 KeV | P-06 | 0.50 | 0.49 | 1.02 | 1.01 |
| | P-20 | 0.46 | 0.46 | 1.00 | |
| 188 KeV | P-33 | 0.22 | 0.22 | 1.00 | 1.00 |
| | P-11 | 0.29 | 0.29 | 1.00 | |
| | P-28 | 0.27 | 0.27 | 1.00 | |

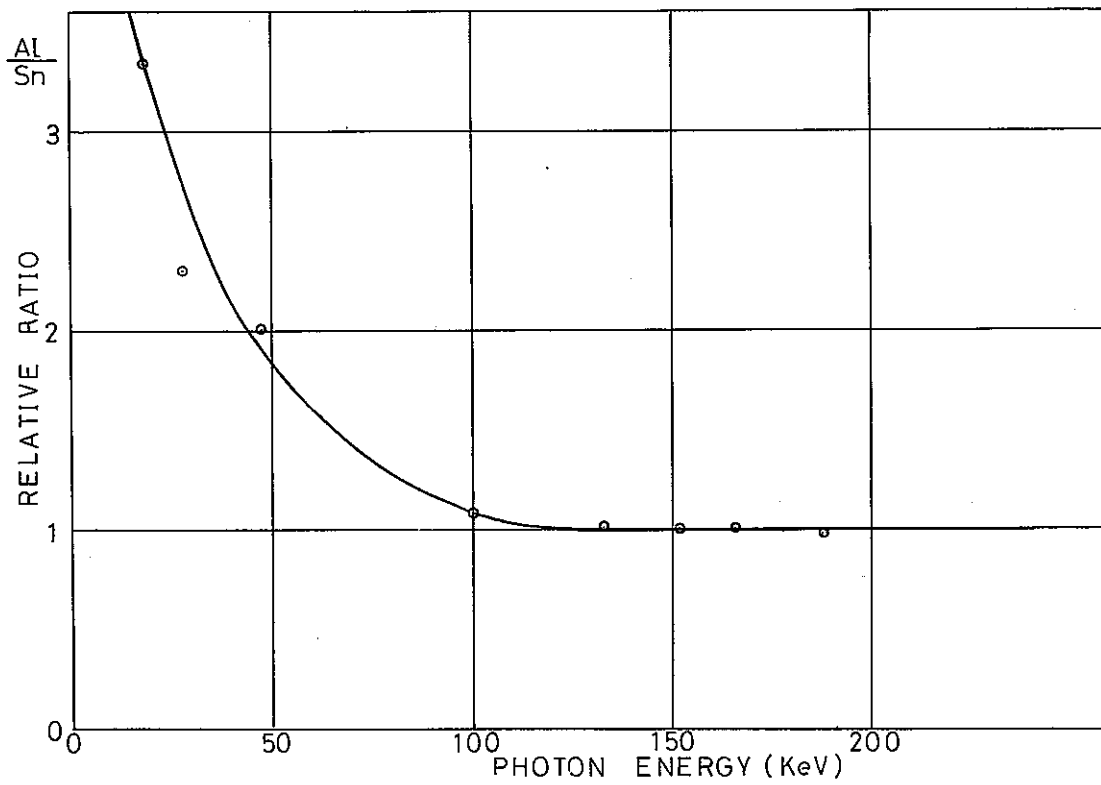


Fig. 35 被ばく実効エネルギー算出曲線
(富士3G高感度フィルム)

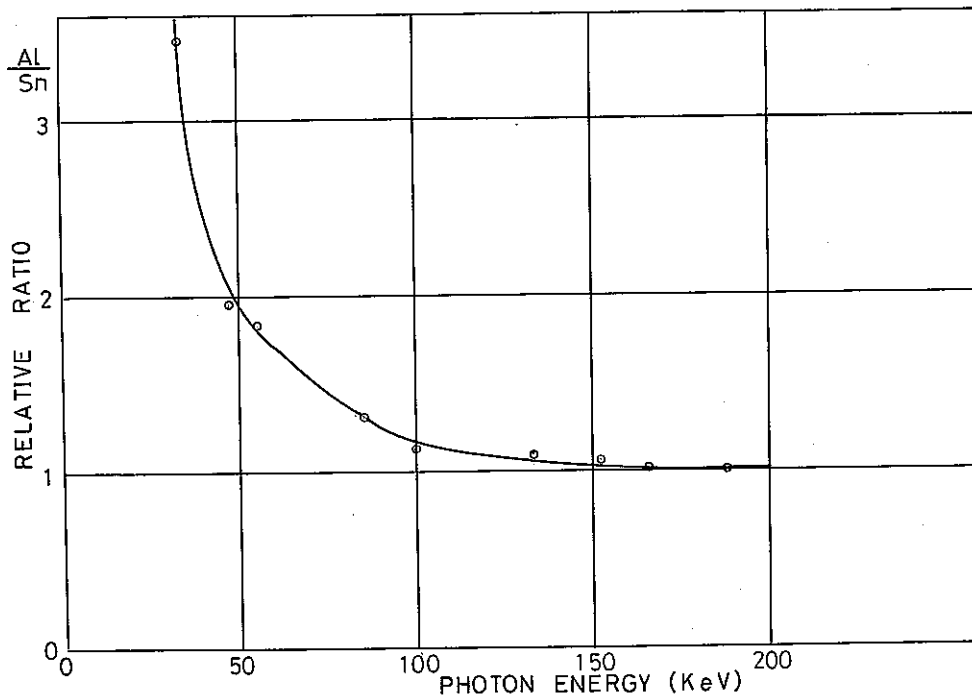


Fig. 36 被ばく実効エネルギー算出曲線
(富士3G低感度フィルム)

IV-3-2 各種しゃへいと実効エネルギー

プルトニウム線源を用いて、フィルムバック線量計を照射し、Al/Sn比を求めて被ばく実効エネルギーを算出した。この照射の際、線源と線量計の間に各種のしゃへいを施してエネルギーを変化させた。しゃへい条件としては、(1) 何もしゃへいを施さない場合 (Bare)、(2) 厚さ10mmのホモライト板 (3) グローブボックスに使用するゴムグローブ (4) ホモライト板+鉛板(1mm厚) (5) 鉛板(1mm厚)の5種類を考えた。この各種しゃへい条件は現在プルトニウム燃料開発施設でプルトニウム取扱作業者が受ける被ばく状況をほとんど表わしているものと考え。各しゃへい条件下での高感度フィルムと低感度フィルムの両者についてのAl/Sn比および被ばく実効エネルギーに関する試験結果を以上個別的に列挙する。

(1) Bare (しゃへいを施さない場合)

照射線量として54mR、85mRおよび293mRの3点をとり合計9枚のフィルムをプルトニウム燃料で照射した。フィルムバック1枚目の高感度フィルムおよび2枚目の低感度フィルムのAlおよびSnフィルタ下の黒化度はTable 14に示すとおりである。高感度フィルムと低感度フィルムではほぼ同じAl/Sn比を示し、1.28から1.49の間に分布し平均で1.38被ばく実効エネルギーは65KeVから80KeVの間に分布し、その平均は73KeVであった。

(2) ホモライト板(10mm厚)

上と同じく照射線量は72mR、232mR、596mRの3点で合計9枚のフィルムを照射した。その結果をTable 15に示す。Al/Sn比は1.33から1.37の間に分布しその比の平均は1.36であり、被ばく実効エネルギーは74KeVから77KeVの間に分布し、平均は75KeVであった。

(3) ゴムグローブ(1mm厚)

照射線量は48mR、72mRおよび312mRの3点で合計9枚のフィルムを照射した。結果をTable 16に示す。Al/Sn比は1.28から1.41の間に分布し、平均は1.36被ばく実効エネルギーは72KeVから80KeVに分布し、平均エネルギーは74KeVであった。

(4) ホモライト板+鉛板(1mm厚)

照射線量は63mRと158mRの2点で合計6枚のフィルムを照射した。結果をTable 17に示す。Al/Sn比は1.00から1.07の間に分布し、平均は1.04であった。鉛板をしゃへい材に施すことによりフィルムに照射されるX線およびガンマ線の低エネルギー領域(軟成分)に較べて高エネルギー領域(硬成分)の相対的比率が高くなり、AlとSn

フィルタ下の黒化度は、ほぼ等しくなる。このしゃへい条件下での被ばく実効エネルギーは一義的には定まらず約130KeV以上であった。

(5) 鉛板(1mm厚)

照射線量を42mRにとり3枚のフィルムを照射した。Al/Sn比の平均は1.03で被ばく実効エネルギーも(4)と同じく130KeV以上であり一義的には定まらない。結果をTable 18に示す。

Table 14 プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく
 遮へい条件 Bare 実効エネルギー(1)

| 照射番号 | フィルム番号 | 見掛け線量 (Sn+Pb)mR | Al下の 黒化度 | Sn下の 黒化度 | Al/Sn比 | Al/Sn比 の平均値 | 被ばく実効 エネルギー |
|--------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 54 mR | 7-1 | 50 | 1.26 | 0.96 | 1.31 | 1.36 | 7.4 keV |
| | 8-1 | 50 | 1.26 | 0.92 | 1.37 | | |
| | 9-1 | 50 | 1.20 | 0.86 | 1.40 | | |
| | 7-2 | — | 0.28 | 0.22 | 1.27 | 1.28 | 8.0 keV |
| | 8-2 | — | 0.28 | 0.22 | 1.27 | | |
| | 9-2 | — | 0.28 | 0.21 | 1.29 | | |
| 85 mR | 19-1 | 100 | 2.15 | 1.49 | 1.44 | 1.44 | 6.9 keV |
| | 20-1 | 110 | 2.36 | 1.64 | 1.44 | | |
| | 21-1 | 110 | 2.30 | 1.60 | 1.44 | | |
| | 19-2 | — | 0.40 | 0.34 | 1.18 | 1.34 | 7.6 keV |
| | 20-2 | — | 0.54 | 0.38 | 1.42 | | |
| | 21-2 | — | 0.54 | 0.38 | 1.42 | | |
| 293 mR | 4-1 | 260 | >4 | 3.30 | — | — | — keV |
| | 5-1 | 290 | >4 | 3.60 | — | | |
| | 6-1 | 290 | >4 | 3.54 | — | | |
| | 4-2 | — | 1.16 | 0.76 | 1.53 | 1.49 | 6.5 keV |
| | 5-2 | — | 1.21 | 0.82 | 1.48 | | |
| | 6-2 | — | 1.20 | 0.82 | 1.46 | | |
| | | | | | 平均 | 1.38 | 7.2.8 keV |

Table 15 プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく
 遮へい条件 Homolite板(10mm厚) 実効エネルギー(2)

| 照射線量 | フィルム番号 | 見掛け線量 (Sn+Pb)mR | Al下の 黒化度 | Sn下の 黒化度 | Al/Sn比 | Al/Sn比 の平均値 | 被ばく実効 エネルギー |
|--------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 72 mR | 10-1 | 130 | 1.90 | 1.46 | 1.30 | 1.37 | 7.4 keV |
| | 11-1 | 130 | 1.97 | 1.42 | 1.39 | | |
| | 12-1 | 130 | 1.94 | 1.36 | 1.43 | | |
| | 10-2 | — | 0.42 | 0.32 | 1.31 | 1.33 | 7.7 keV |
| | 11-2 | — | 0.44 | 0.32 | 1.38 | | |
| | 12-2 | — | 0.42 | 0.32 | 1.31 | | |
| 232 mR | 1-1 | 400 | >4 | 3.48 | — | — | — keV |
| | 2-1 | 410 | >4 | 3.60 | — | | |
| | 3-1 | 390 | >4 | 3.60 | — | | |
| | 1-2 | — | 1.14 | 0.80 | 1.43 | 1.37 | 7.4 keV |
| | 2-2 | — | 1.18 | 0.86 | 1.37 | | |
| | 3-2 | — | 1.12 | 0.86 | 1.30 | | |
| 596 mR | ト-1 | 1180 | >4 | >4 | — | — | — keV |
| | チ-1 | 1120 | >4 | >4 | — | | |
| | リ-1 | >1200 | >4 | >4 | — | | |
| | ト-2 | — | 2.62 | 1.98 | 1.32 | 1.35 | 7.5 keV |
| | チ-2 | — | 2.66 | 1.92 | 1.39 | | |
| | リ-2 | — | 2.60 | 1.96 | 1.33 | | |
| | | | | | 平均 | 1.36 | 7.5 keV |

Table 16 プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく
 遮へい条件 Glove 実効エネルギー(3)

| 照射線量 | フィルム番号 | 見掛け線量 [Sn+Pb]mR | Al下の 黒化度 | Sn下の 黒化度 | Al/Sn比 | Al/Sn比 の平均値 | 被ばく実効 エネルギー |
|--------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 48 mR | 13-1 | 80 | 1.60 | 1.16 | 1.38 | 1.34 | 7.6 keV |
| | 14-1 | 80 | 1.62 | 1.22 | 1.33 | | |
| | 15-1 | 80 | 1.64 | 1.25 | 1.31 | | |
| | 13-2 | — | 0.36 | 0.28 | 1.29 | 1.28 | 8.0 keV |
| | 14-2 | — | 0.38 | 0.30 | 1.27 | | |
| | 15-2 | — | 0.38 | 0.30 | 1.27 | | |
| 72 mR | ヌ-1 | 100 | 2.15 | 1.51 | 1.42 | 1.39 | 7.2 keV |
| | ル-1 | 110 | 2.22 | 1.60 | 1.39 | | |
| | ヲ-1 | 110 | 2.14 | 1.56 | 1.37 | | |
| | ヌ-2 | — | 0.50 | 0.35 | 1.43 | 1.38 | 7.3 keV |
| | ル-2 | — | — | — | — | | |
| | ヲ-2 | — | 0.50 | 0.38 | 1.32 | | |
| 312 mR | イ-1 | 400 | >4 | >4 | — | — | — |
| | ロ-1 | 460 | >4 | >4 | — | | |
| | ハ-1 | 410 | >4 | >4 | — | | |
| | イ-2 | — | 1.54 | 1.06 | 1.45 | 1.41 | 7.1 keV |
| | ロ-2 | — | 1.66 | 1.18 | 1.41 | | |
| | ハ-2 | — | 1.62 | 1.18 | 1.37 | | |
| | | | | | 平均 | 1.36 | 7.4.4 keV |

Table 17 プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく
 遮へい条件 Homolite板(10mm厚)+Lead板(1mm厚) 実効エネルギー(4)

| 照射番号 | フィルム番号 | 見掛け線量 [Sn+Pb]mR | Al下の 黒化度 | Sn下の 黒化度 | Al/Sn比 | Al/Sn比 の平均値 | 被ばく実効 エネルギー |
|--------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 63 mR | ニ-1 | 60 | 0.62 | 0.62 | 1.00 | 1.02 | >13.0 keV |
| | ホ-1 | 60 | 0.64 | 0.62 | 1.03 | | |
| | ヘ-1 | 60 | 0.62 | 0.61 | 1.02 | | |
| | ニ-2 | — | 0.18 | 0.18 | 1.00 | 1.00 | >13.0 keV |
| | ホ-2 | — | 0.18 | 0.18 | 1.00 | | |
| | ヘ-2 | — | 0.18 | 0.18 | 1.00 | | |
| 158 mR | 16-1 | 150 | 1.14 | 1.08 | 1.06 | 1.06 | >13.0 keV |
| | 17-1 | 160 | 1.22 | 1.14 | 1.07 | | |
| | 18-1 | 160 | 1.14 | 1.09 | 1.05 | | |
| | 16-2 | — | 0.28 | 0.26 | 1.07 | 1.07 | >13.0 keV |
| | 17-2 | — | 0.28 | 0.26 | | | |
| | 18-2 | — | 0.28 | 0.26 | | | |
| | | | | | 平均 | 1.04 | >13.0 keV |

Table 18 プルトニウムにより照射されたフィルムより求めた被ばく
 遮へい条件 Lead板(1mm厚) 実効エネルギー(5)

| 照射番号 | フィルム番号 | 見掛け線量 [Sn+Pb]mR | Al下の 黒化度 | Sn下の 黒化度 | Al/Sn比 | Al/Sn比 の平均値 | 被ばく実効 エネルギー |
|-------|--------|--------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 42 mR | ワ-1 | 40 | 0.54 | 0.52 | 1.04 | 1.05 | >13.0 keV |
| | カ-1 | 40 | 0.54 | 0.52 | 1.04 | | |
| | ヨ-1 | 40 | 0.54 | 0.51 | 1.06 | | |
| | ワ-2 | — | 0.16 | 0.16 | 1.00 | 1.00 | >13.0 keV |
| | カ-2 | — | 0.16 | 0.16 | 1.00 | | |
| | ヨ-2 | — | 0.15 | 0.15 | 1.00 | | |
| | | | | | 平均 | 1.03 | >13.0 keV |

Ⅳ-3-3 プルトニウム燃料取扱作業者の定常管理用フィルムより算出した被ばく実効エネルギー

プルトニウム燃料取扱作業者が着用した定常被ばく管理用フィルムのA ℓ とSnフィルタ下の黒化度を測定しⅣ-3-2で求めたのと同じ手法を用いてA ℓ /Sn比より実際にグローブボックス作業を行っている状態での被ばく実効エネルギーを算出した。

昭和46年10月1日より12月31日まで着用したフィルムの内100mR以上被ばくしたグループについてはTable 19に示し、昭和47年1月5日より3月31日までの着用したフィルムに関する結果をTable 20に示す。A ℓ /Sn比の平均は前者の場合1.22で後者の場合で1.20であった。この値はともにフィルムパック1枚目の高感度フィルムに関するデータである。このA ℓ /Sn比より算出した被ばく実効エネルギーは前者が88KeV後者が86KeVである。

Table. 19 プルトニウム燃料取扱作業者の被ばく
管理用定常用フィルムより求めたA ℓ /Sn比 (1)

(昭和46年10月1日~昭和46年12月31日)

| 着用者 | Sn+pb下 黒化度 | 見掛 線量(mR) | A ℓ 下 黒化度 | Sn下 黒化度 | A ℓ /Sn |
|-----|---------------|--------------|-------------------|------------|--------------|
| A | 1.33 | 250 | 2.55 | 1.99 | 1.28 |
| B | 0.86 | 100 | 1.32 | 1.10 | 1.20 |
| C | 1.02 | 150 | 1.92 | 1.45 | 1.32 |
| D | 0.77 | 80 | 1.16 | 1.00 | 1.16 |
| E | 1.04 | 160 | 1.90 | 1.42 | 1.34 |
| F | 1.00 | 140 | 1.54 | 1.30 | 1.18 |
| G | 0.95 | 130 | 1.38 | 1.14 | 1.21 |
| H | 1.12 | 180 | 2.10 | 1.72 | 1.22 |
| I | 1.02 | 150 | 1.68 | 1.42 | 1.18 |
| K | 1.02 | 150 | 1.48 | 1.20 | 1.23 |
| L | 0.92 | 120 | 1.60 | 1.23 | 1.30 |
| M | 1.24 | 220 | 2.10 | 1.72 | 1.22 |
| N | 1.44 | 280 | 2.86 | 2.20 | 1.30 |
| O | 0.97 | 140 | 1.52 | 1.28 | 1.19 |
| P | 1.10 | 180 | 1.94 | 1.54 | 1.26 |
| Q | 1.18 | 200 | 1.93 | 1.72 | 1.12 |
| R | 0.99 | 140 | 1.59 | 1.30 | 1.22 |
| S | 0.83 | 90 | 1.16 | 1.08 | 1.07 |
| T | 0.88 | 110 | 1.40 | 1.20 | 1.17 |
| | | | | 平均 | 1.22 |

Table 20 プルトニウム燃料取扱作業者の被ばく管理用
定常用フィルムより求めたAl/Sn比(2)

(昭和47年1月5日~昭和47年3月31日)

| 着用度 | Sn+Pb下 黒化度 | 見掛け 線量(mR) | Al下 黒化度 | Sn下 黒化度 | Al/Sn |
|-----|---------------|---------------|------------|------------|-------|
| A | 0.82 | 80 | 1.24 | 1.04 | 1.19 |
| B | 2.02 | 150 | 3.63 | 2.80 | 1.30 |
| C | 1.58 | 280 | 2.40 | 2.01 | 1.19 |
| D | 1.06 | 150 | 1.75 | 1.36 | 1.29 |
| E | 0.99 | 130 | 1.60 | 1.30 | 1.18 |
| F | 0.88 | 100 | 1.48 | 1.14 | 1.30 |
| G | 0.78 | 80 | 1.04 | 0.93 | 1.12 |
| H | 1.52 | 290 | 2.68 | 2.26 | 1.19 |
| I | 1.99 | 440 | 3.60 | 3.02 | 1.19 |
| J | 0.76 | 70 | 1.00 | 0.88 | 1.14 |
| K | 1.22 | 210 | 2.04 | 1.80 | 1.13 |
| L | 1.33 | 240 | 2.50 | 2.23 | 1.12 |
| M | 0.72 | 60 | 0.93 | 0.84 | 1.11 |
| N | 0.83 | 80 | 1.16 | 0.98 | 1.18 |
| O | 1.32 | 230 | 2.48 | 1.96 | 1.27 |
| P | 1.29 | 220 | 2.12 | 1.72 | 1.23 |
| Q | 0.94 | 120 | 1.60 | 1.30 | 1.23 |
| | | | | 平均 | 1.20 |

IV-4 熱ルミネセンス線量計より算出された被ばく実効エネルギー

IV-4-1 エネルギー算出曲線

CaSO₄ (Tm)を材料に(松下電器産業(株)製のUD-200S型TLDを用いて、各種しゃへい条件下で線量計照射を行ない、被ばく実効エネルギーを求めた。

まずエネルギー算出用曲線を作製した。UD-200S型TLDのエネルギー依存はFig. 37に示すように素子を特殊なフィルタでしゃへいした場合としない場合では特に低エネルギー領域で大きく異なる。

この特性を逆に利用すると、同一照射条件でしゃへいした状態としゃへいしない状態で照射し両者の比を求めて照射エネルギーを算出することが可能である。Fig. 37を用いてしゃへいしない状態の読み取り線量としゃへいした状態での読み取り線量の比とエネルギーの関係をFig. 38に示す。このグラフを用いると未知のエネルギーのガンマ線で同一照射条件で2通の照射をし両者の比よりエネルギーが求まる。

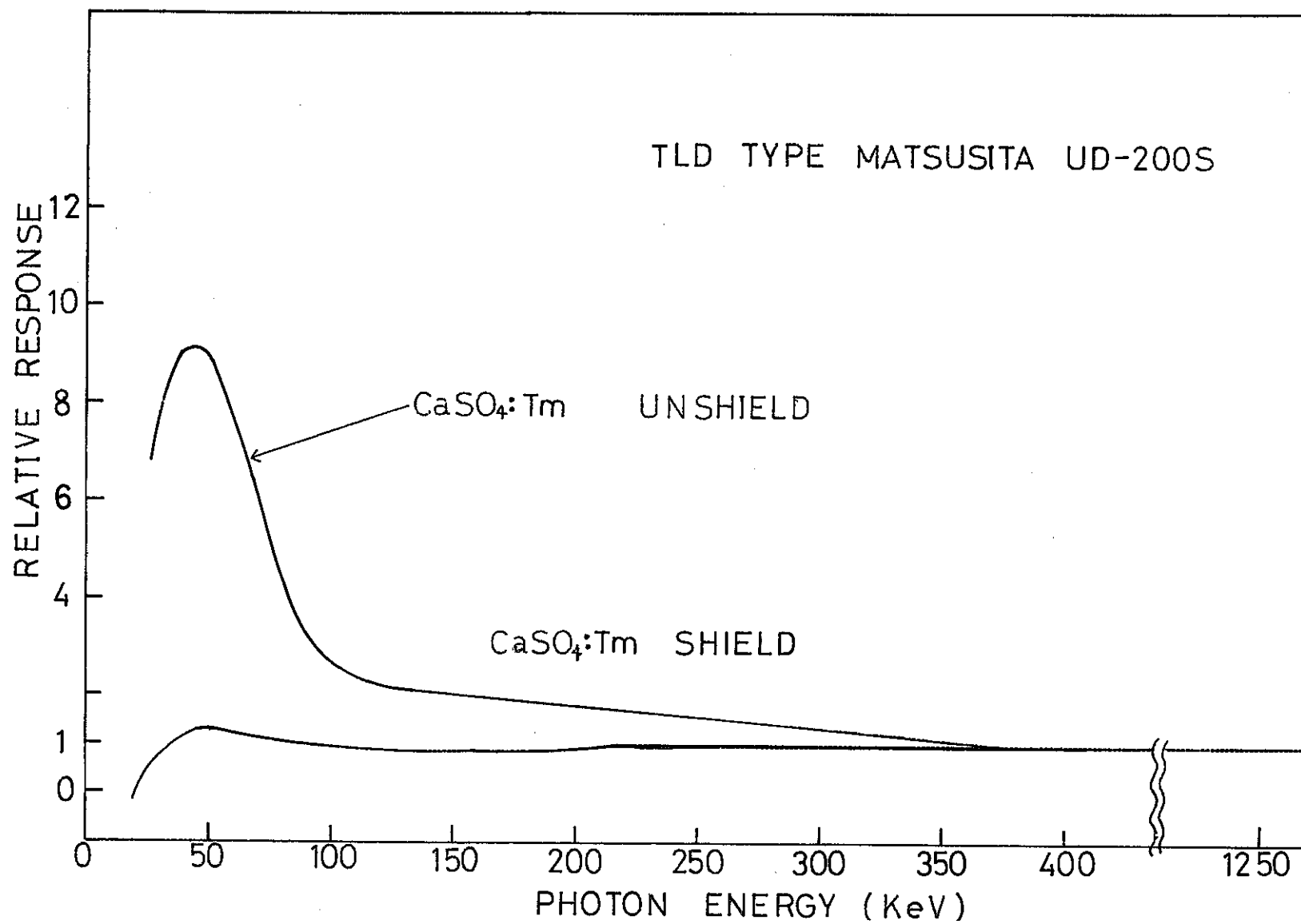


Fig. 37 UD-200S型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性

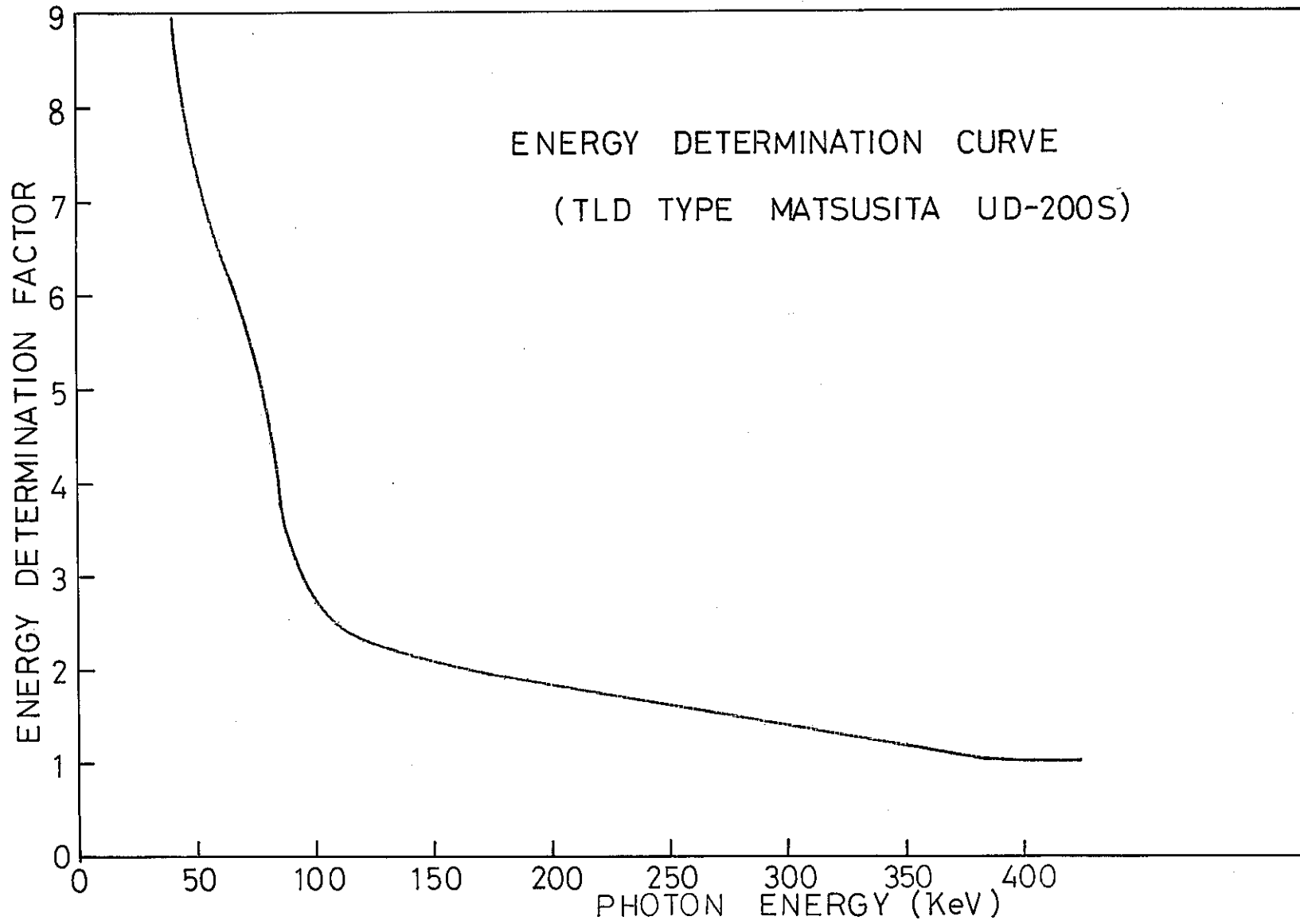


Fig. 38 熱ルミネセンス線量計 (UD-200S) を用いた場合の被ばく実効エネルギー算出曲線

IV-4-2 各種種しゃへいと被ばく実効エネルギー

フィルムの場合と同様にオープンポートボックス内にプルトニウムの粉末を入れ、線源と線量計の間に各種種しゃへいを施して、各しゃへい条件下での被ばく実効エネルギーを上で求めエネルギー算出曲線 Fig. 38 を用いて、算出した。しゃへい条件としては (1)何もしゃへいを施さない場合 (Bare) (2)ホモライト板 (10 mm厚) (3)ゴムグローブ板 (1 mm厚) (4)ホモライト板 (10 mm厚) + 鉛板 (1 mm厚) の4条件下で照射した。この条件下でのエネルギー依存補正用フィルタ無しの状態での読み取り線量とフィルタを付けた状態での線量の比、および Fig. 38 より算出した被ばく実効エネルギーとまとめて Table 21 に示す。結果は Bare 状態で 74 KeV, ホモライト板で 80 KeV ゴムグローブで、90 KeV およびホモライト板 + 鉛板の状態では、320 KeV 以上のエネルギーであった。

Table. 21 熱ルミネセンス線量計より算出した被ばく実効エネルギー

| しゃへい条件 | 読み取り線量 (mR) | | 線量比 ($\frac{①}{②}$) | 平均値 | 被ばく実効エネルギー (KeV) |
|-------------------------------|-------------|--------|-----------------------|----------------|------------------|
| | しゃへい無し① | しゃへい有② | | | |
| Bare | 863 | 162 | 5.33 | 5.22 | 74 KeV |
| | 806 | 162 | 4.98 | | |
| | 1082 | 176 | 6.15 | | |
| | 1003 | 216 | 4.64 | | |
| | 125 | 25 | 5.00 | | |
| Homolite (10 mm厚) | 989 | 194 | 5.10 | 4.41 | 80 KeV |
| | 796 | 168 | 4.74 | | |
| | 858 | 223 | 3.85 | | |
| | 640 | 162 | 3.95 | | |
| | 1756 | 482 | 3.64 | | |
| | 1983 | 473 | 4.19 | | |
| | 2440 | 468 | 5.21 | | |
| | 2150 | 497 | 4.33 | | |
| | 1916 | 419 | 4.57 | | |
| 2350 | 524 | 4.48 | | | |
| Glove | 641 | 221 | 2.90 | 3.26 (2.82) | 90 KeV (100) |
| | 975 | 236 | (4.13) | | |
| | 793 | 289 | 2.74 | | |
| Homolite + Lead (1 mm厚) | 157 | 109 | 1.44 | 1.31 | >320 KeV |
| | 148 | 95 | 1.56 | | |
| | 122 | 117 | 1.04 | | |
| | 141 | 119 | 1.18 | | |

IV-5 被ばく実効エネルギーと線量評価法

IV-5-1 被ばく実効エネルギー

フィルムとTLDを用いて算出したプルトニウムによる被ばく実効エネルギーを各しゃへい条件別にTable 22 にまとめた。

Table 22 プルトニウムとTLDより求めたプルトニウムによる被ばく実効エネルギー

| しゃへい条件 | フィルムより求めたエネルギー | TLDより求めたエネルギー |
|-----------------------------|----------------|---------------|
| Bare | 73 KeV | 74 KeV |
| Homolite板 (10 mm厚) | 75 KeV | 80 KeV |
| Glove | 74 KeV | 90 KeV |
| Homolite板(+) Lead(1 mm厚) | >130 KeV | >320 KeV |
| Lead | >130 KeV | - |

フィルムより求めたエネルギーとTLDより求めたエネルギーは各しゃへい条件下で良い一致を示している。また、IV-3-3でプルトニウム燃料取扱作業者が着用した定常モニタリング用フィルムより求めたエネルギー86KeVと88KeVとも良い対応を示す。すなわちグローブボックス作業者が受ける被ばく実効エネルギーは約80KeV前後でこの値はプルトニウムからのガンマ線がアルミニウム(0.5 mm厚)のキャンとホモライト板あるいはゴムグローブを通過した状態の被ばくガンマ線状でのエネルギーに相当する。すなわち現在のプルトニウム燃料開発施設での作業状況を良くエネルギーの値より表現している。また被ばく実効エネルギー80KeVという値はAm-241の60KeVのガンマ線の寄与が実効エネルギーひいては被ばく線量に大きく作用することを示唆している。

IV-5-2 線量評価法

以上のエネルギーに関する結果を基にフィルムバッジ線量計を用いてプルトニウム燃料取扱作業者の受けた被ばく線量評価法 Fig. 39 に示すフローシートに従って述べる。

まずフィルム上Sn+Pb, Cd+Pb, AlおよびSnフィルタ下の黒化度を濃度計にて測定する。次にAlとSnフィルタ下の黒化度の比Al/Snを求めその値が1.1より大と小の2グループに分別する。Al/Sn比が1.0となるのは高感度フィルムと低感度フィルムともに被ばく実効エネルギーが約130KeV前後であり黒化度測定上の誤差、AlとSnフィルタの厚さのバラッキ、その他のバラッキ等を考慮に入れて10%の許容を考えAl/Sn比が

1.1で2つのグループに分別する。すなわち比が1.1より大きいグループは130KeVより低いエネルギーで被ばくしたグループであり、比が1.1より小さい場合、例えばホモライト板+鉛板等のしゃへい条件下で被ばくした時等が相当するが、この場合には被ばく実効エネルギーが130KeV以上のグループである。

次にRa線源でフィルムを標準照射しSn+Pbフィルタ下の黒化度と照射線量の関係を示す被ばく線量算出用校正曲線を作成する。このグラフより実際にプルトニウム燃料取扱作業者が着用したフィルムのSn+Pbフィルタ下の黒化度より見掛けの被ばく線量DOSE(Sn+Pb)を求める。Al/Sn比が1.1以下、すなわち130KeV以上のエネルギーでの被ばくした場合の実被ばく線量(DH)は見掛けの線量と等しいとみなす。またAl/Sn比が1.1以上の場合すなわち130KeV以下のエネルギーで被ばくした場合の実被ばく線量(DL)は見掛けの線量DOSE(Sn+Pb)に2/3を乗した値を、実被ばく線量とみなす。この低エネルギーグループに対する補正係数はⅢ-1で示したフィルムのエネルギー依存性カーブにおいて照射エネルギーが130KeVの場合、約1.56倍のオーバーレスポンスを補正する係数である。厳密に言えばこの補正係数は各エネルギーにより異なるわけであるがルーチン業務として被ばく線量測定を実施する現場では線量算出操作がきわめて複雑であり、フィルム毎にエネルギーを決め各々

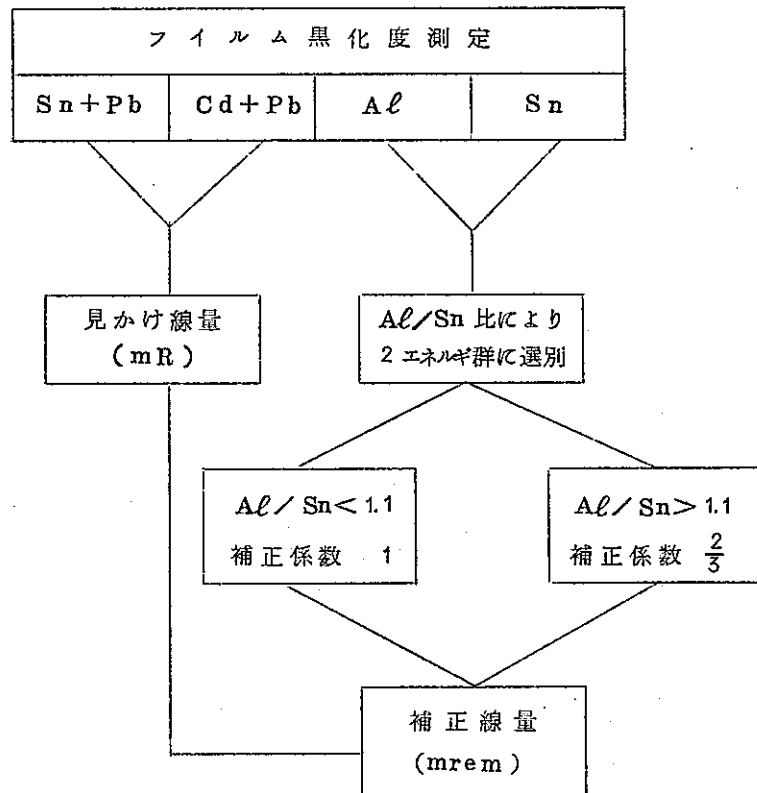


Fig. 39 フィルムによる被ばく線量評価法のフローチャート

についての補正係数を見いだすことは現実的でない。既に述べたように被ばく実効エネルギーで 130 KeV を境に 2 つのグループに大別し、低エネルギー被ばくの場合は補正係数を $2/3$ 、高エネルギー被ばくの場合は 1 を採用し補正線量を求める。この補正係数の値は Fig. 16 を見ても明らかのように安全側の評価を示す。以上の線量評価法をまとめたものが Table 23 である。

Table 23 フィルムによる被ばく線量評価法

| 比較項目 | グループ名 | 低エネルギーグループ | 高エネルギーグループ |
|---------------|-------|---|---|
| 被ばく実効エネルギー | | 50~130KeV | >130KeV |
| Al/Sn 比 | | >1.1 | <1.1 |
| 見掛けの線量(mR) | | Dose (Sn+Pb) | Dose (Sn+Pb) |
| 補正係数 | | $\frac{2}{3}$ | 1 |
| 補正被ばく線量(mrem) | | $DL = \frac{2}{3} \text{Dose}(\text{Sn}+\text{Pb})$ | $DH = \text{Dose}(\text{Sn}+\text{Pb})$ |

IV-5-3 線量測定精度

以上述べた作業手順に従って線量評価を実施した場合の精度について検討した。線量評価の誤差の原因としては線量計固有のバラツキ、校正、読み取り装置、入射エネルギーや入射方向等が含まれるが、全てを含む状態で誤差を考える。プルトニウムによりフィルムバッジ線量計を照射し以上述べた評価法で算出した被ばく線量と射照線量の比を求めた。線量計を照射する際の線源と線量計の間のしゃへい条件としては実際のプルトニウム取扱作業環境を想定して (1) ホモライト板 (10 mm 厚) (2) ゴムグローブ (1 mm 厚) (3) ホモライト板+鉛板 (1 mm 厚) (4) 鉛板 (1 mm 厚) の 4 条件について求めた。その結果は Table 24 に示す通り、補正線量/照射線量比は 0.95 から 1.22 の間におさまり現場で被ばく管理を実施していく上で、十分な精度を有するものとする。

線量評価の精度について ICRP-12 「作業者の放射線防護のためのモニタリングの一般原則」第 101 項に日常モニタリングにおいて要求される精度は「全身または体内の器管に対する年線量当量の上限を算定するときの不確かさは 50% を超えるべきではない。これらの線量が 2 rem 以下の場合には、1 rem の不確かさは容認できる。この不確かさには線量計とその校正における固有の誤差のみならず、入射エネルギーと入射方向に対する線量計の感度の変化による誤差を含んでいる。」とある。また科学技術庁内の個人被ばく線量の測定アニュアル策定検討会ワーキンググループが提案している測定誤差に関する項に「本マニュアルに伴う記録に値すべき測定値の誤差は、すべての要素を考慮した後において、真の被ばく線量の値に対して $\pm 50\%$ または 20 ミリレムまたはミリラッド以内のいずれかであることが必要である。」とある。以下両者ともに $\pm 50\%$ の提案していることを考慮すると、今回プルトニウムによる

線量計照射試験より得た最大22%の誤差は、作業現場での複雑な被ばく形態を考慮しても、ルーチン業務として線量評価する場合には、特に問題はないものとする。

Table 24 フィルムによる線量評価に伴なり
誤差の程度の比較

| | 照射線量 (mR) | フィルム 番 号 | 見掛け線量 (mR) | $\frac{A\ell}{Sn}$ 比 | 補正線量 (mrem) | 補正線量 照射線量 | 前項の 平均値 |
|---------------------------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|----------------|--------------|------------|
| Homolite (10mm厚) | 72 | 10 | 130 | 1.30 | 87 | 1.21 | 1.22 |
| | | 11 | 130 | 1.39 | 87 | 1.21 | |
| | | 12 | 130 | 1.43 | 87 | 1.21 | |
| | 232 | 1 | 400 | 1.43 | 267 | 1.15 | |
| | | 2 | 410 | 1.37 | 273 | 1.17 | |
| | | 3 | 390 | 1.30 | 260 | 1.12 | |
| | 596 | ト | 1180 | 1.32 | 787 | 1.32 | |
| | | チ | 1120 | 1.39 | 747 | 1.25 | |
| | | リ | 1200 | 1.33 | 800 | 1.34 | |
| Glove | 48 | 13 | 80 | 1.38 | 53 | 1.10 | 1.00 |
| | | 14 | 80 | 1.33 | 53 | 1.10 | |
| | | 15 | 80 | 1.31 | 53 | 1.10 | |
| | 72 | ヌ | 100 | 1.42 | 67 | 0.93 | |
| | | ル | 110 | 1.39 | 73 | 1.01 | |
| | | ヲ | 110 | 1.37 | 73 | 1.01 | |
| | 312 | イ | 400 | 1.45 | 267 | 0.86 | |
| | | ロ | 460 | 1.41 | 307 | 0.98 | |
| | | ハ | 410 | 1.37 | 273 | 0.88 | |
| Homolite + Lead (1mm厚) | 63 | ニ | 60 | 1.00 | 60 | 0.95 | 0.97 |
| | | ホ | 60 | 1.03 | 60 | 0.95 | |
| | | へ | 60 | 1.02 | 60 | 0.95 | |
| | 158 | 16 | 150 | 1.06 | 150 | 0.95 | |
| | | 17 | 160 | 1.07 | 160 | 1.01 | |
| | | 18 | 160 | 1.05 | 160 | 1.01 | |
| Lead (1mm厚) | 42 | ワ | 40 | 1.04 | 40 | 0.95 | 0.95 |
| | | カ | 40 | 1.04 | 40 | 0.95 | |
| | | ヨ | 40 | 1.06 | 40 | 0.95 | |

V あ と が き

現在動燃事業団東海事業所のプルトニウム燃料開発施設で実施している個人外部被ばくモニタリング方式と外部被ばく線量評価法全般にわたりその概要を述べた。

プルトニウム燃料を取り扱う作業現場での被ばくの形態の変化に応じてモニタリング法および線量評価法の改善をはかってきた。今回本報告書にまとめたものは過去の経験の蓄積を整理したもので、個人外部被ばく管理および線量測定の実務関係者の管理マニュアルとして活用されることを期待する。

なお動燃東海事業所での個人外部被ばく測定用線量計として現在はフィルムバッジ線量計を使用しているが、近い将来、再処理施設での個人被ばく管理をも考慮に入れて、熱ルミネセンス線量計を主体とする新しい線量計を現在開発中である。