

個人被曝管理用機器の特性の比較・検討

Study and Comparison on Characteristics of various Personnel
Dosimeters used in Tokai Reprocessing Plant.

1983年11月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

1983年11月

個人被曝管理用機器の特性の比較・検討

Study and Comparison on Characteristics of various Personnel
Dosimeters used in Tokai Reprocessing Plant.

実施責任者 大和愛司 *

報告者 遠藤清志 * 大柿一史 **

野田喜美雄 * 江花 稔 ***

圓尾好宏 * 小林博英 ***

米沢秀成 * 宮部賢次郎 ****

期 間 1983年6月13日～1983年11月14日

目 的 個人被曝線量計の性能、特性等についてこれまでの使用経験に基づき解析・評価を行い、運用にあたっての改善を行う。

要 旨 セル内等比較的高線量率場での放射線作業が近年増加して来ており、これに伴い作業者の被曝管理も綿密に計画され、また使用する線量計も多岐にわたってきている。

セル内作業において、被曝管理の完全化を期すため、同一作業者に対し数種の線量計（全身被曝管理用としてTLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計）を着用させて管理を行った結果、アラームメータの誤作動といった線量計の機能に関する問題や、各種線量計間の測定値が一致しないといった性能に関する問題が生じた。

放射線作業が増え多様化していく現状から、上記問題の解決は急務であるため、安全管理部内にワーキンググループを組織して検討を行った。その結果、機能上の問題に対しては取扱い手順の誤りや性能の劣化に起因するものが多く、操作マニュアルの見直しと徹底、使用前点検法の見直し等が必要であることが明らかとなった。また測定の性能上の問題については各線量計の特性のうち、エネルギー依存性や方向依存性等が異なるために線量計間の測定値の差を大きくしていることが明らかとなった。

* 放射線管理第二課

** 放射線管理第二課（原燃サービス）

*** 放射線管理第一課

**** 安全対策課

目 次

1.はじめに	1
2.線量計の使用の現状	2
2.1 種類	2
2.2 各線量計の役割	2
(1) 線量計の使用目的	2
(2) 線量計の測定値の比較	3
2.3 使用方法・着用方法	4
(1) TLDバッジ	4
(2) アラームメータ	4
(3) ポケット線量計	5
2.4 管理方法	5
3.線量計の使用上の問題点	6
3.1 アラームメータの誤作動	6
3.2 各線量計の測定値の不一致	8
(1) 一般的傾向	8
(2) アラームメータとポケット線量計	8
(3) アラームメータと非定常管理用TLDバッジ	8
4.線量計の諸特性	13
4.1 一般仕様	13
(1) TLDバッジ	13
(2) アラームメータ	14
(3) ポケット線量計	15
4.2 線量評価に関する特性	16
(1) 測定誤差	16
(2) エネルギー依存性	21
(3) 方向依存性	25
5.線量計の使用上の問題点に対する検討	29
5.1 アラームメータの誤作動についての検討	29
(1) 誤作動の主な原因	29
(2) 操作手順の改善による効果	29
5.2 各線量計の測定値の不一致についての検討	34
(1) 一般的傾向の場合 (AM>TLD, AM>PD)について	34

(2) 一般的傾向からはずれる場合 (AM<PD)について	3 6
6. 線量計の運用に関する改善提言	4 2
6.1 TLD パッジ	4 2
6.2 アラームメータ	4 2
(1) 早期に改善すべき項目	4 2
(2) 長期的に改善すべき項目	4 4
6.3 ポケット線量計	4 5
(1) 早期に改善すべき項目	4 5
(2) 長期的に改善すべき項目	4 6
7. まとめ	5 0
別添1 アラームメータ着用時の取扱い手順	5 1
別添2 アラームメータ警報発生機能確認手順	5 2
別添3 検討委員会開催日程	5 3

1. はじめに

放射線作業に伴う個人被曝線量の管理は従来より特殊放射線作業計画等に従い作業解析を行い、これを基礎に被曝線量の予測を行ってきた。即ち、作業解析に基づき予定した作業時間が経過した場合作業を中断するという「時間管理」が基本となっている。一方、この時間管理に対応するものとしてはあらかじめ計画した被曝線量に達するまで作業を続ける「アラーム管理」の手法もありそれぞれ種々の特徴を有している。

近年、特にセル内等比較的高線量率場での作業が増加してきているが、作業解析に必要な諸データが事前に充分に入手できない場合もあり被曝線量評価の精度を低下させるおそれがある。このような場合、特にアラームメータ（JIS Z 4311で規定する個人用照射線量警報計）への依存度が高まり、やむを得ずアラーム管理を導入する場合もある。この様な時には特に、アラームメータに対して高い信頼性が要求される。また放射線作業件数の増加とともに、アラームメータの使用台数も増え誤作動や測定データのバラツキといった使用上の問題点もいくつか生じてきている。

上記の現状に鑑み、放射線管理の補助測定器であるアラームメータ等が性能や特性について充分理解され有効に利用されるようにするために、アラームメータ、ポケット線量計（JIS Z 4308で規定するポケット照射線量計のP D型）及びTLDバッジ（以後これらを称して線量計と言う）についての保守管理の現状を調査するとともに各種線量計の諸特性を整理し、管理法の改善、問題の解決についての検討を行った。

検討は部内から委員を選出し、ワーキンググループを構成して進めた。現在かかえている問題点のうち線量計の動作に関する機能上の問題については取扱い方法や保守点検方法の改善について検討を行い、また性能上の問題については諸特性データを基に現状の問題点に対する解釈を試みた。

さらに、以上の検討結果にたって、線量計の運用に関して現状を改善すべき諸点について提言をとりまとめた。

2. 線量計の使用の現状

2.1 種類

現在、再処理工場において放射線作業時の被曝管理のために使用されている線量計としてはTLDバッジ、アラームメータ、ポケット線量計及びTLDを用いた指リング線量計等がある。又これらの付属機器としてTLD読み取り装置やアラームメータ及びポケット線量計の充電器等がある。

今回実施した線量計の特性や性能の比較、使用上の問題点の検討は、全身被曝測定用線量計についてのみを行い、局部被曝測定用の指リング線量計については除外した。

2.2 各線量計の役割

TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計はそれぞれ線量計着用者の被曝線量を測定するために用いられるが、さらにこれら各線量計の測定値を相互比較することにより、測定結果の妥当性の評価も行っている。

(1) 線量計の使用目的

TLDバッジには定常管理用と非定常管理用の二種類がある。このうち定常管理用TLDバッジは一定期間着用され、得られた測定値は個人被曝線量の公式な値として記録される。

一方、非定常管理用TLDバッジは特殊放射線作業等の作業期間毎の個人被曝線量及び集団線量の評価用として用いられる。

アラームメータ及びポケット線量計は、使用後直ちに測定値が得られることから非定常管理用TLDバッジを補佐する線量計として使用される他、計画被曝線量を超過しないようにするため特にアラームメータはその警報発生機能を活用して使用されている。

また、アラームメータとポケット線量計が同時に着用された場合、アラームメータの測定値が日々の被曝管理のための実績値として使われ、ポケット線量計の測定値は参考値として位置付けられる。

TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計の使用目的とその内容を表2.1に示す。

表 2-1 線量計の使用目的と内容

線量計		主な使用目的	内容
TLD バッジ	定常管理用	従事者及び隨時立入者の定常的な被曝管理	○ 1ヶ月間または、3ヶ月間着用して個人被曝線量を測定する。
	非定常管理用	特殊放射線作業時等に於ける作業管理及び作業者の被曝管理	○ 特殊放射線作業期間等に継続して着用し、期間中の被曝線量、作業に伴う総被曝線量を測定評価する。
アラームメータ		○ 特殊放射線作業時等における作業管理及び作業者の被曝管理 ○ 警報発生機能を活用した作業管理	○ 作業期間中の日々の被曝線量管理 ○ 日々の計画被曝線量管理
ポケット線量計		特殊放射線作業時等における作業管理及び作業者の被曝管理	○ 作業期間中の日々の線量管理 ○ アラームメータと併用される場合もある。

(2) 線量計の測定値の比較

各種線量計から得られる測定値は作業者の被曝線量として評価される他、各測定値を相互比較することにより測定値の妥当性及び測定器の健全性の確認に利用できる。また、以前には作業環境の放射線状況のチェック（ β 放射線場の有無）についても検討を行った例がある。

イ アラームメータとポケット線量計の測定値の比較

作業者が着用したアラームメータとポケット線量計との測定値を比較すると一般的にポケット線量計の測定値（以後PDと称す）の方がアラームメータの測定値（以後AMと称す）よりも小さく、これらの比すなわちPD/AMは、たとえば最近行われたセル内作業の場合約0.8という値が得られている。

これは、これら二種の線量計のエネルギー特性等が影響しているものと思われる。一方この傾向からはずれる場合、たとえばAM<PDは、ポケット線量計の衝撃、 β 線の影響、アラームメータあるいは、ポケット線量計の故障などが考えられ、AM>>PDについてもポケット線量計の衝撃や故障あるいはアラームメータの故障などが考えられPD/AMは測定値の評価に重要な情報を与えてくれる。

ロ TLDバッジとアラームメータの測定値の比較

特殊放射線作業等の作業毎に着用する非定常管理用TLDバッジとアラームメータの測定値の作業期間にわたっての合計値を比較すると、これら二種の線量計のエネルギー特性等の

違いからセル内作業の場合、一般的にAM/TLDは約1.2 (AM>TLD) の関係にあることを確認している。

又、一般的な傾向からはずれる場合TLDバッジの測定値が比較的信頼性の高いことからアラームメータの故障などの判断の参考としている。

2.3 使用方法・着用方法

(1) TLDバッジ

定常管理用TLDバッジは管理区域内入室時に左胸に着用し作業内容により1ヶ月または、3ヶ月管理を行なっている。非定常管理用TLDバッジは管理区域内での非定常作業時に使用され、個々の作業単位毎の集積線量の評価を行なっている。

(2) アラームメータ

アラームメータは高放射線量率の場所での作業、又はこれに準ずる区域等での作業において、作業者の被曝線量を測定するとともに、あらかじめ設定された線量に達すると警報を発し作業者に知らせるために使用される。

通常アラームメータは充電器に装着・保管されており、使用時には充電終了の緑ランプが点灯していることを確認した上で充電器から取り出しその警報設定を行なう。アラームメータの警報設定値は作業担当課と放管二課とが協議して決定する。

警報設定値は計画被曝線量の0.7~0.9倍とし10mR単位のきりのよい値とする。

計画被曝線量に0.7~0.9の係数を乗じる理由は次の2点である。

- ① アラームメータの計数値の信頼性に関する裕度を見込む。
- ② アラームが吹鳴してから退出が完了するまでの被曝線量を考慮に入れる。

アラーム設定後ポケット線量計と共に養生袋に入れ作業者の右胸に着用させる。

作業者は次のいずれかの場合にセル内等の高線量率である作業場所より退出する。

- ① 予定された仕事が終了した場合
- ② 予定された時間が経過した場合
- ③ アラームメータが吹鳴した場合
- ④ 共同作業者のアラームメータが吹鳴した場合

退出後、アラームメータの指示値を読み、電源をOFFにし、充電器に入れ、充電・保管する。(現在校正定数は使用していない。)

アラームメータの使用過程を図2-1に示す。

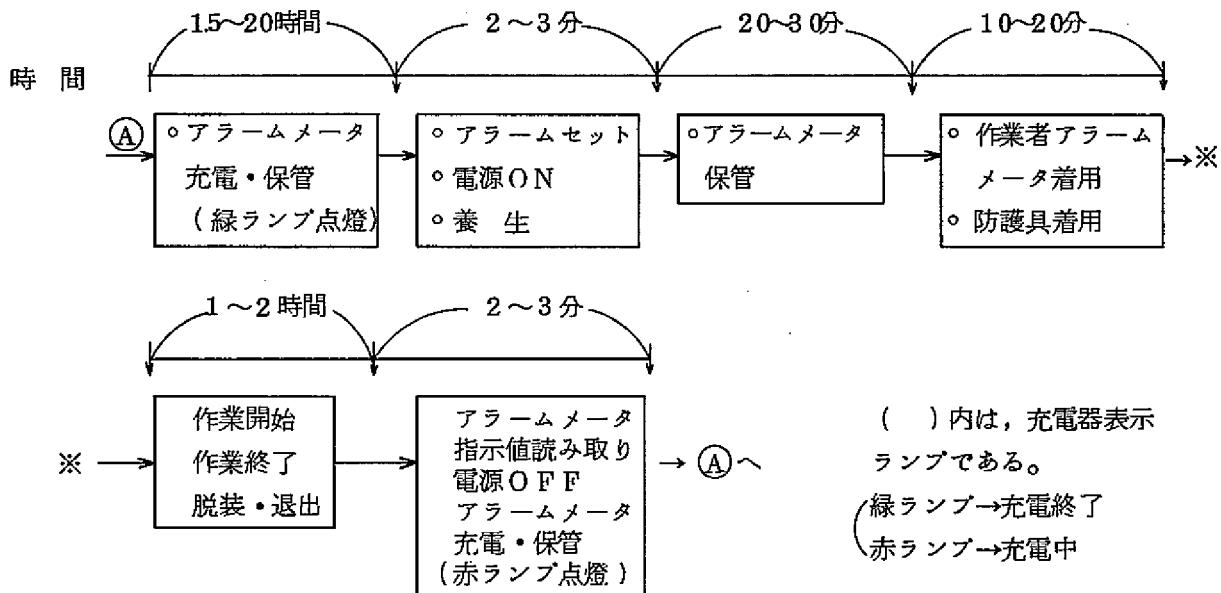


図 2-1 アラームメータの使用過程

(3) ポケット線量計

ポケット線量計は放射線作業に従事する者の被曝線量を測定するものであり、作業内容によってはアラームメータと併用されたり、また単独で使用されたりする。アラームメータと併用する場合のポケット線量計の使用方法は次のとおりである。

- ① 充電器にポケット線量計を挿入し指示値をゼロにあわせる。
- ② 着用前にポケット線量計の指示を読み取り、アラームメータと共に養生袋に入れ作業者に着用させる。(アラームメータと併用する時)
- ③ 作業終了後、ポケット線量計の指示を読み取る。
- ④ デシケータ内に保管する。

2.4 管理方法

TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計のそれぞれについて現時点における購入時、使用時、維持管理及び定期点検時の管理内容を表6-1に示す。

3. 線量計の使用上の問題点

3.1 アラームメータの誤作動

個人被曝管理用機器の使用に際しての第1の問題点は、アラームメータの誤作動である。

セル内作業において発生したアラームメータの誤作動経験例を表3-1に示す。

アラームメータを実際の放射線作業に使用した場合に生じた誤作動は、次の4種類に分類される。

- ① 計数不良
- ② 警報設定値未満で吹鳴
- ③ 警報設定値以上でも吹鳴せず
- ④ 操作中吹鳴

①は、検出器が計数しなかったもの、あるいは異常な計数をしたものである。②および③は、アラーム機能が不良となったものである。④は、警報設定値切換えスイッチを操作した際に吹鳴したものである。

アラームメータの役割および測定値の取扱いの現状については、前章で述べた。アラームメータの誤作動は被曝管理および作業管理の現状に照らして大きな問題である。計数不良は、被曝管理に必要な日々の実績値が得られず、一方、アラーム機能の喪失は作業管理の主要な手段の1つを失うことを意味するからである。

警報設定値に達した時に間違いなく吹鳴することが、アラームメータの基本的要件である。

アラームメータの誤作動についての検討は第5章で行う。

表3-1 アラームメータの誤作動経験例（1983年4月20日～10月7日）

故 生 発 日	警報設定値 (mR)	指 示 値 (mR)	誤 作 動 状 況	故 生 障 月	警報設定値 (mR)	指 示 値 (mR)	誤 作 動 状 況
4/25	70	1	計数不良 (PD: 37 mrad)	6/20	40	1	警報設定値未満で吹鳴
4/25	70	63	警報設定値未満で吹鳴	7/5	50	20	警報設定値未満で吹鳴
4/26	70	0	計数不良 (PD: 44 mrad)	7/8	40	1	計数不良 (PD: 10 mrad)
5/2	40	23	警報設定値未満で吹鳴	7/11	40	12	警報設定値未満で吹鳴
5/4	40	44	警報設定値以上でも吹鳴せず	7/15	40	0	計数不良 (PD: 18 mrad)
5/4	50	92	警報設定値以上でも吹鳴せず	7/16	40	1	計数不良 (PD: 22 mrad)
5/14	40	16	警報設定値未満で吹鳴	7/23	40	0	計数不良 (PD: 24 mrad)
5/18	40	10	警報設定値未満で吹鳴	7/26	40	11	警報設定値未満で吹鳴
5/23	70	30	警報設定値未満で吹鳴	8/4	20	24	計数不良 (PD: 1 mrad)
5/27	50	0	計数不良 (PD: 32 mrad)	8/12	40	0	計数不良 (PD: 20 mrad)
6/2	—	—	設定レンジスイッチ 切換で吹鳴				
6/4	—	—	設定レンジスイッチ 切換で吹鳴				
6/4	70	12	警報設定値未満で吹鳴				

3.2 各線量計の測定値の不一致

線量計の使用に際して顕在化した第2の問題点は、各種線量計の測定値の不一致である。

セル内機器の補修工事において、TLDバッジ、アラームメータおよびポケット線量計の測定値に相違がみられた。

(1) 一般的傾向

放射線作業者が着用したアラームメータとポケット線量計との測定値の関係を、図3-1に示す。アラームメータおよびポケット線量計の測定値は各作業時の実績値である。

図3-1より、ポケット線量計の測定値とアラームメータの測定値との比は、 $PD/AM = 0.8$ である。全体の傾向として $AM > PD$ であることがわかる。

セル内作業において作業者が着用したTLDバッジとアラームメータとの測定値の関係を図3-2～4に示す。TLDバッジの測定値は、特殊放射線作業期間ごとに着用した非定常用TLDバッジによる γ 線被曝線量測定値である。アラームメータの測定値は各作業時に着用したアラームメータの測定値の特殊放射線作業期間にわたっての合計である。

図3-2～4より、アラームメータの測定値とTLDバッジの測定値との比は $AM/TLD \approx 1.2$ である。作業内容や作業者の所属に関係なくほぼ等しい比の値を示した。

同上作業における実績から、TLDバッジ、アラームメータおよびポケット線量計の測定値の間には、 $AM > PD$ および $AM > TLD$ という関係のあることがわかった。しかし、図3-1～4より $AM < PD$ あるいは $AM < TLD$ となる場合のあることもわかるように、一般的な傾向からはずれる例も存在する。

各線量計の測定値が著しく異なることは、被曝管理の現状に照らして問題となる。

(2) アラームメータとポケット線量計

アラームメータおよびポケット線量計の測定値は、作業単位毎の個人被曝線量の管理に使われている。現状では、アラームメータの測定値が日々の実績値として使われ、ポケット線量計の測定値は参考値として位置付けられている。両者の扱い方には軽重があるが、常に対比しながら評価されるので両者の間の大きな差は被曝管理上最も関心を呼ぶ点の1つとなる。

差の理由が明確ならば問題はない。たとえば、作業場での β 線の線量への寄与が有意であり、ポケット線量計が β 線の影響を受けたことがわかれば、両者の差は明解に説明しうる。両者の差から、 β 線の寄与の度合を判断することも可能である。

一方、両者の差の理由が明確でない、あるいは推定できない場合には被曝管理におけるデータの解釈に混乱をもたらすことになる。

被曝管理上は両者の数値の解釈が無理なくできることが重要である。

(3) アラームメータと非定常管理用TLDバッジ

先にも述べたように、アラームメータおよび非定常管理用TLDバッジ（以後は単にTLDバッジと称する。）の測定値は、作業期間毎の個人被曝線量および集団線量の集計に用いられ

ている。公式値として使用されるのは TLD パッジの測定値である。しかしながら、TLD パッジの測定及び評価は一つの特殊放射線作業等の終了後に行なわれるため、作業期間中ににおける日々の集積値の算定にはアラームメータの測定値が使われている。したがって、作業期間中における個々の作業者の計画被曝線量と集積線量との比較はアラームメータの測定値を積算した集積線量に基づいて行われている。

作業期間終了時のアラームメータの集積値と TLD パッジの測定値とが大きく異なった場合には放射線管理上問題が生じる。

アラームメータの集積値が TLD パッジの測定値よりも大きくなつた場合には、作業期間中の予想よりも実際の被曝線量が低かったことを意味するから被曝管理上の問題はない。

しかしながら、TLD パッジによる実際の被曝線量が予想、すなわちアラームメータの集積値を大きく下回った場合には、計画被曝線量と実績値との差に関して期間中の作業管理が妥当であったかどうかが問題となる。この場合には、計画被曝線量の算出法あるいは作業方法の管理が適切でなかつたのではないかという被曝管理上の問題が生じる。

各線量計の測定値の利用の現状から判断して、各線量計の測定値は許容された精度の範囲内で一致することが望ましい。一致しない場合には一致しない理由が明解に説明できなければならない。理由が不明な場合は、放射線管理上の考察の対象とすべきである。

各線量計間の測定値の関係についての検討は第 5 章で行う。

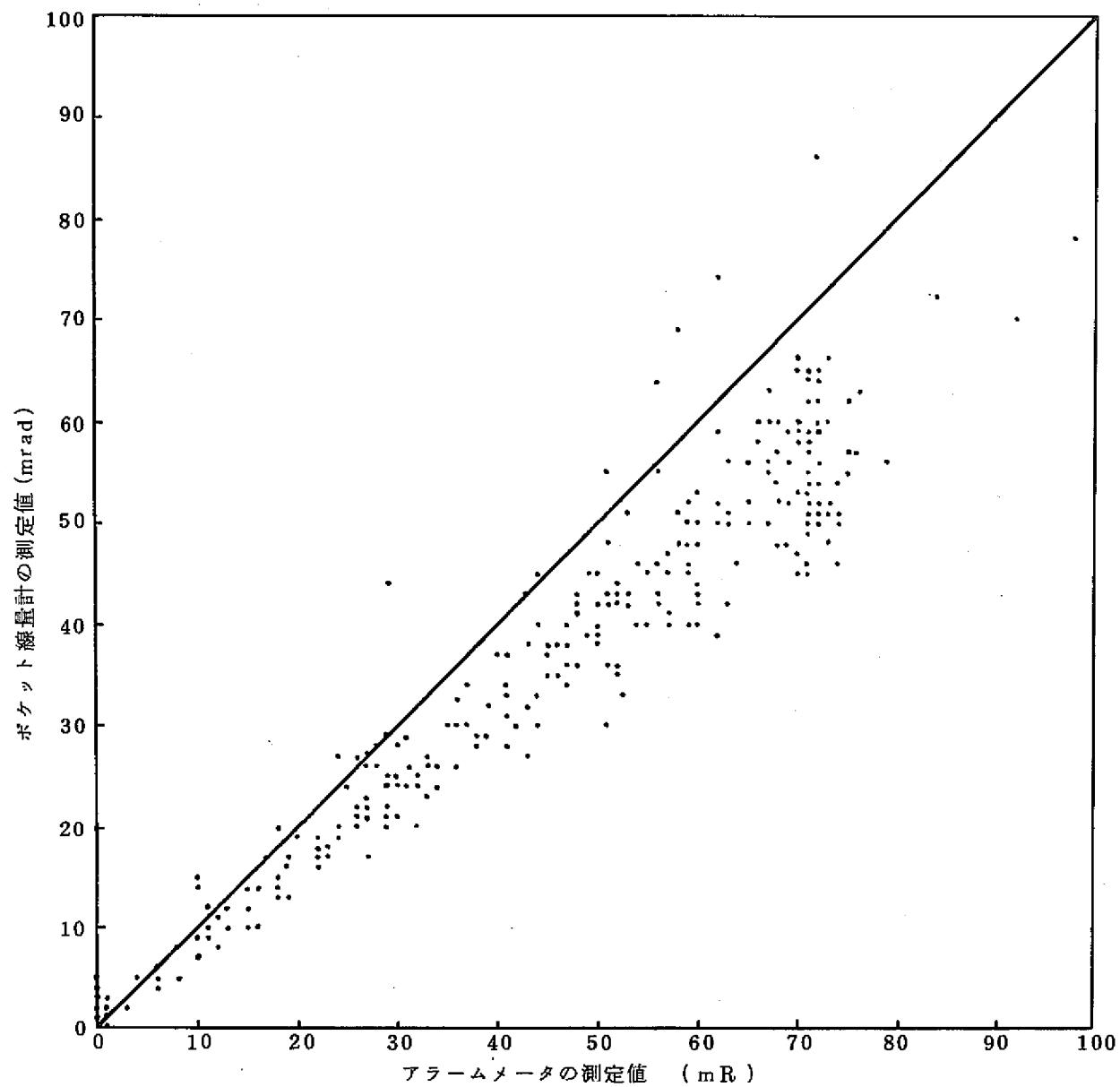


図 3-1 アラームメータとポケット線量計の測定値の関係 (1983. 4. 20.~5. 9.)

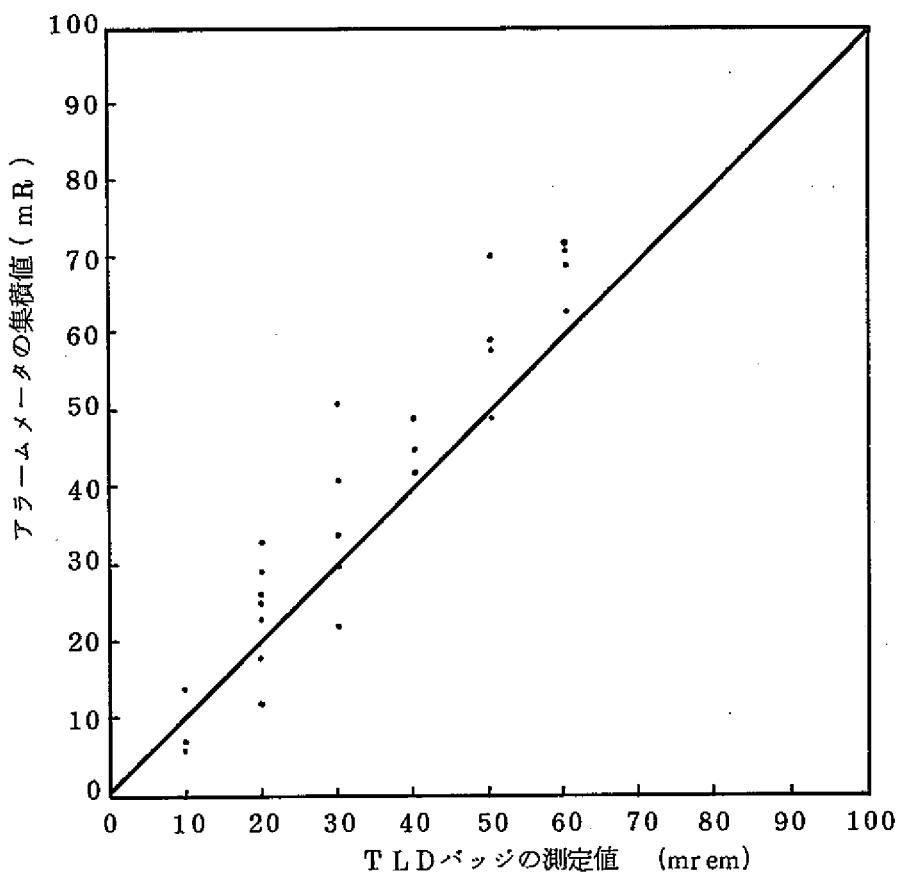


図 3-2 セル内線量測定及び散水除染における TLD と AM の測定値の関係

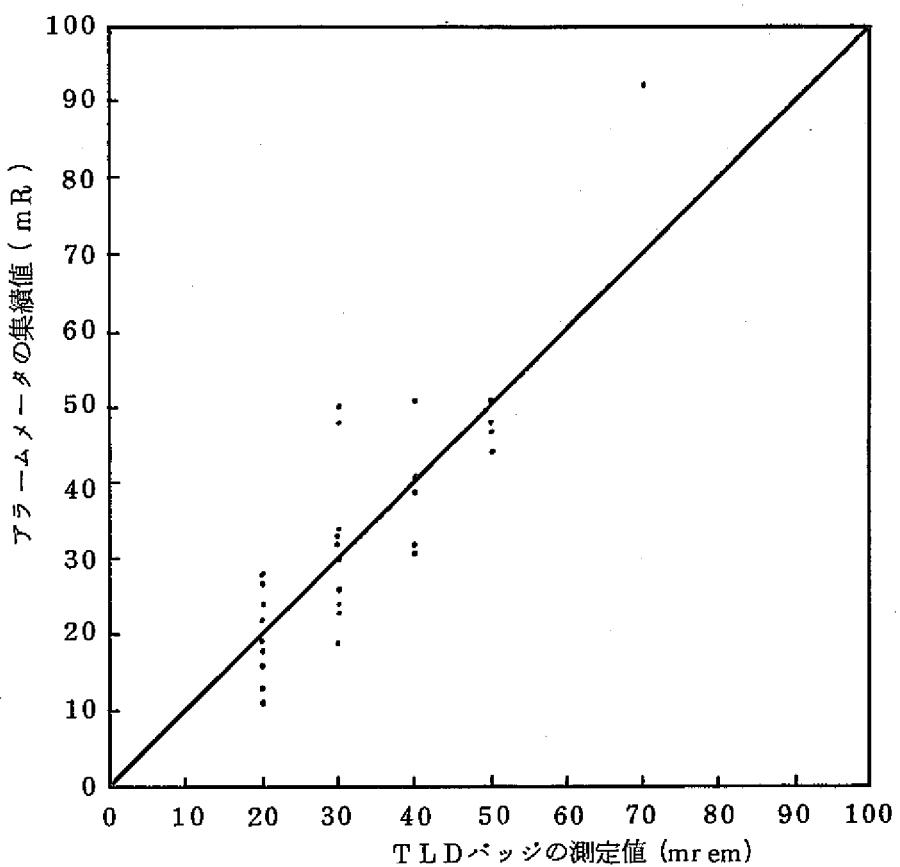


図 3-3 セル内除染及び養生作業における TLD と AM の測定値の関係

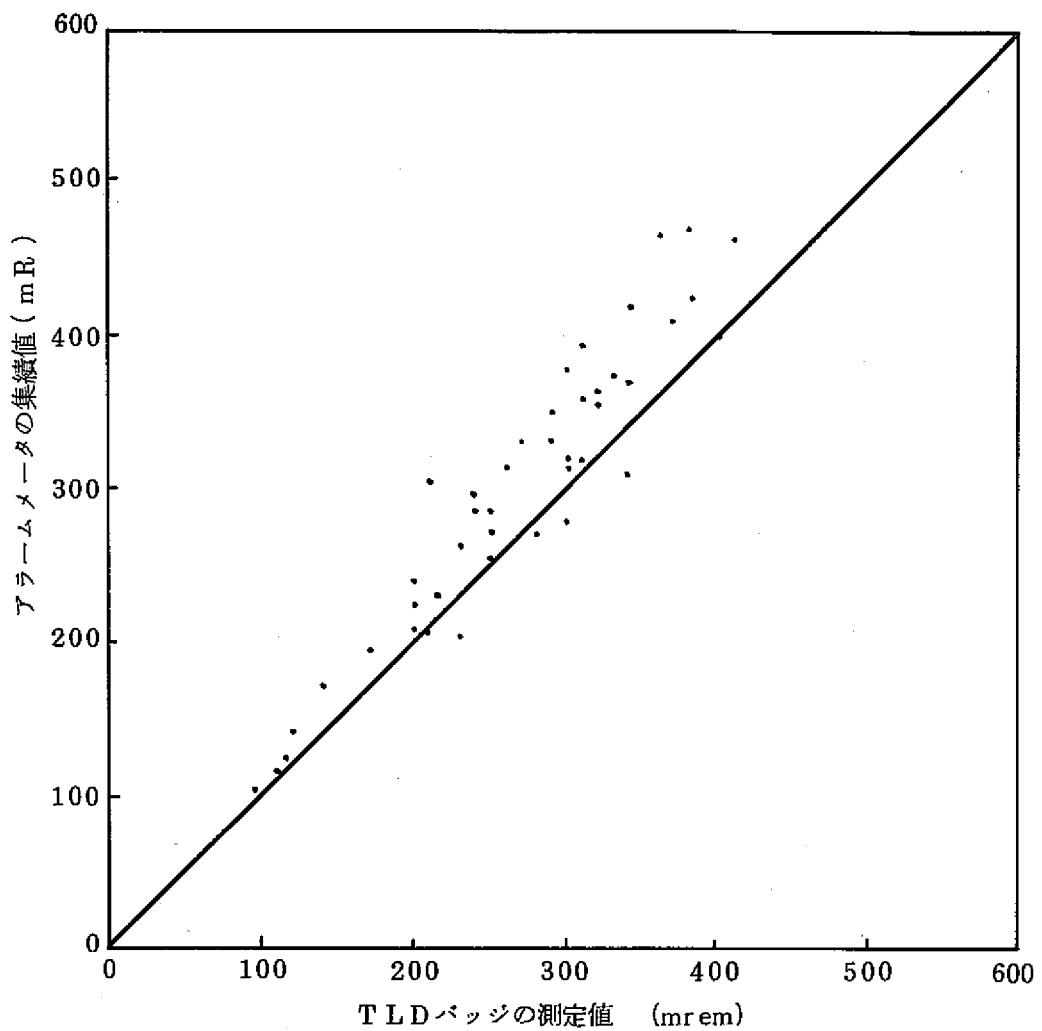


図 3-4 セル内除染及び養生作業における TLD と AM の測定値の関係

4. 線量計の諸特性

4.1 一般仕様

現在、東海事業所再処理工場で使用されている個人被曝線量計について、各メーカーが示している性能・特性を下記に示す。

(1) TLDバッジ(製造メーカー：松下産業機器㈱)

イ. 型式： γ ・ β 線量計(UD-808P)

中性子線量計(UD-809P)

バッジケース(UD-887PH1)

ロ. TLD材質： $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu) 及び CaSO_4 (Tm)

ハ. 測定線種： γ ・X線, β 線, 中性子線

ニ. 測定可能範囲： γ ・X線 10mrem～1000rem

β 線 100mrem～1000rem

中性子線 20mrem～200rem

ホ. エネルギー範囲： γ ・X線 30keV～2MeV

β 線 200keV～4MeV

中性子線 热中性子～数MeV

ヘ. エネルギー依存性： γ ・X線 $\pm 20\%$ 以内(30keV～2MeV)

ト. 線量直線性： γ ・X線 $\pm 10\%$ 以内(1mrem～100rem)

チ. フェーディング： $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu)系エレメント 10%/月以内

CaSO_4 (Tm)エレメント 3%/月以内

リ. 使用温度範囲：-10°C～40°C

ヌ. 外形寸法：62h×60w×27t mm

ル. 重量：約60g

ヲ. 外観：外観を図4-1に示す。

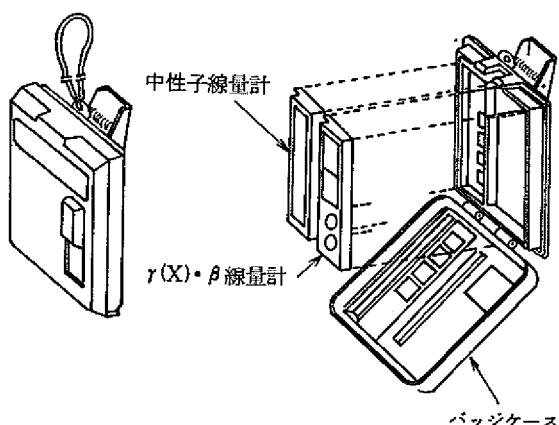


図4-1 TLDバッジの外観

ワ. 線量読取：UD-710P型自動TLDリーダ

(2) アラームメータ（製造メーカー；富士電機製造株）

- イ. 型式 : NRD3蓄電池式
- ロ. 検出器 : GM計数管
- ハ. 測定線種 : X線および γ 線
- ニ. 測定可能範囲 : 000~999mR (発光ダイオードによるディジタル3桁)
- ホ. エネルギー範囲 : γ 線 100keV~2MeV
- ヘ. エネルギー依存性: 土20%以内 (100keV~2MeV)
- ト. 線量率直線性 : 土15%以内 (^{137}Cs 線源 10mR/h~5R/h)
- チ. 積算精度 : 土10%以内 (^{137}Cs at 100mR/h)
- リ. 警報設定 : レンジ切換スイッチと設定ディジスイッチにより 10mR~450mRの警報設定可能。
- ヌ. 警報音 : 100ポン(距離20cmにて), 電子ブザー音
- ル. 電源 : 充電式
(1) 専用蓄電池 7N-90AA-CM-2L×1
(2) 連続使用時間(完全充電)
約24時間(線量表示しない場合)
約1.5時間(連続警報音発生時)
- ヲ. 電源電圧チェック：バッテリー表示ランプ付
- ワ. 外被形式 : 金属ケース
- カ. 使用温度範囲 : -10°C~45°C
- ヨ. 外形寸法 : 132h×60w×31t mm
- タ. 重量 : 約300g
- レ. 外観 : 外観を図4-2に示す。

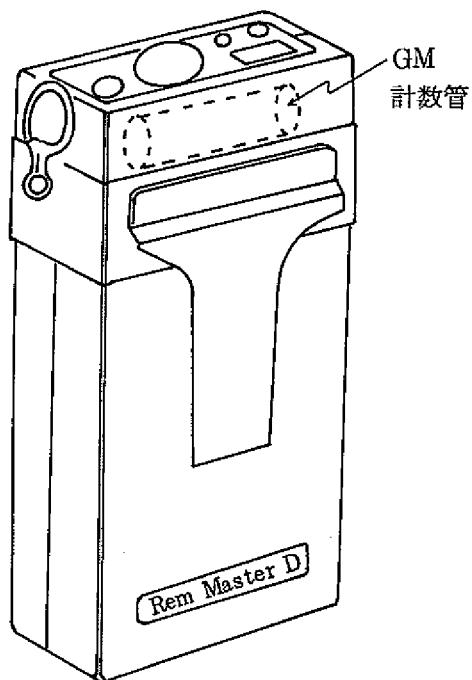


図 4-2 アラームメータの外観

(3) ポケット線量計 (製造メーカー; S. A. NOUVELLE PHYSIOTECHNIE)

- イ. 型式 : SEQ. 6
- ロ. 検出器 : 電離箱
- ハ. 測定線種 : γ ・X線, (β 線)
- ニ. 測定可能範囲 : $\sim 0.1 \text{ rad}$, $\sim 0.2 \text{ rad}$, $\sim 0.5 \text{ rad}$ (3種)
- ホ. エネルギー範囲: $10 \text{ keV} \sim 2 \text{ MeV}$
- ヘ. エネルギー依存性: $\pm 10\%$
- ト. 線量直線性 : $\pm 10\%$ ($10 \text{ keV} \sim 2 \text{ MeV}$)
- チ. 電気的絶縁 : エネルギーレンジの 0.5% 以下／日
- リ. 外形寸法 : $15 \text{ mm} \phi \times 103 \text{ mm}$
- ヌ. 重量 : 40 g
- ル. 外観 : 外観を図 4-3 に示す。

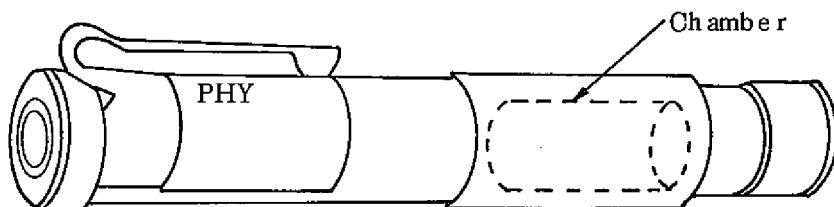


図 4-3 ポケット線量計の外観

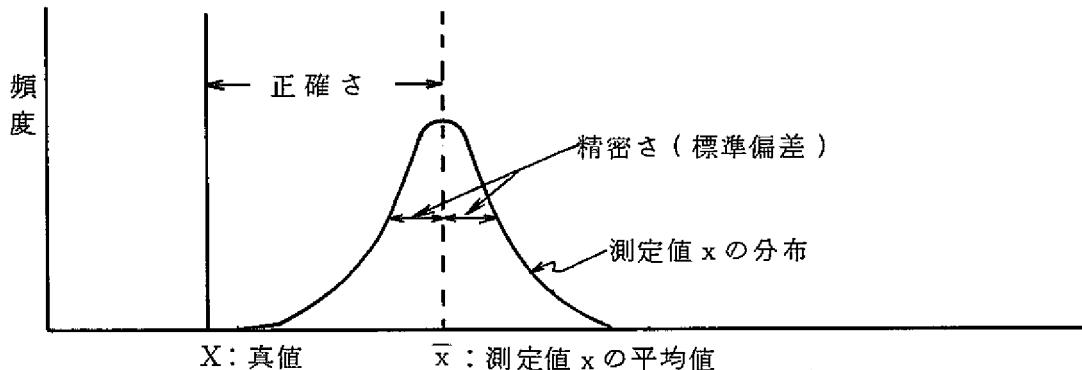
4.2 線量評価に関する特性

(1) 測定誤差

イ. 測定誤差の定義

一般に測定誤差を論ずる場合，“正確さ”と“精密さ”的両方について考える必要がある。

下図に示すように、測定値 x の分布の幅、すなわち測定値 x のバラツキの度合を“精密さ”で示し、その測定値の平均値 \bar{x} と真値 X とのズレを“正確さ”で表現する。ここでは、測定



誤差を正確さ及び精密さについて個別に評価した。なお、精密さを表現するため以下に示す変動係数(%)を用いる。

$$\text{変動係数}(\%) = \frac{\text{測定値の標準偏差}(\sigma_{n-1})}{\text{測定値の平均値}(\bar{x})} \times 100 = \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$$

なお、以下に示す各種線量計についての測定誤差は、線量計の正面を照射し、高エネルギーの γ 線 (^{60}Co) を用いた照射条件の良い実験において得られた結果を示していることに注意すべきである。したがって作業時に着用した場合の実際の測定誤差は、線量計が使用される放射線場のエネルギースペクトル（エネルギー特性、特にアラームメータ）や、照射位置・方向（方向依存性、特にアラームメータ）、装着部位の違い、ポケット線量計にあっては読み取りの個人差等の要因が複合した結果として表れる事になるので、以下に示す個々の値よりもさらに大きくなる可能性が考えられる。

ロ. TLD パッジの測定誤差

TLD パッジについては、現在東海事業所で使用している TLD パッジ 25 個を対象とした照射実験データより $\gamma(X)$ 線量評価用素子 ($^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7$ (Cu)) の感度のバラツキ（精密さ）及び真値からのズレ（正確さ）を求めた。結果をそれぞれ図 4-4, 4-5 及び表 4-1 に示す。

感度のバラツキ “精密さ” は、約 10mR の照射時においては、10%程度であり、100 mR 以上の線量においては 5%程度であった。

一方、測定値の真値からのズレ “正確さ” は良好であり、10mR から数 10R の線量に

及んで土2~3%以内であった。

すなわち、TLDバッジにより約10mRの測定値が得られた場合、これは真の照射線量よりも約3%程度高い値を示し、さらに変動係数が10%程度のバラツキをもつた分布の中にあることを意味している。

表4-1 TLDバッジ照射試験結果

照 射 線 量 [mR]	平 均 値 (\bar{x}) (mrem)	標 準 偏 差 (σ_{n-1}) (mrem)	変 動 係 数 ($\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$) [%]	(\bar{x} -照射線量)×100
				照 射 線 量 [%]
11.7	12.0	1.5	12.5	2.6
35.1	35.4	2.6	7.3	0.85
105	102	6.1	6.0	-2.9
1050	1047	32	3.0	-0.29
1.04×10^4	1.02×10^4	250	2.5	-1.9

線源⁶⁰Co, サンプル数25

ハ. アラームメータの測定誤差

アラームメータについては、50台のアラームメータに対して実施された照射実験のデータを基に、これを整理して表4-2および図4-6, 4-7に示す。50mR, 250mRの線量についてのデータのみであるが、各々のバラツキ(精密さ)は、約7%で比較的小さい。真値からのズレ(正確さ)については、双方とも約1%となり良好な結果であった。

したがってアラームメータにより測定値が得られた場合真の値を推定するのには標準偏差のみ考慮すれば良く 1σ が約7%以内の分布の中にあることがわかる。ただしこの場合、校正定数を用いた場合であることに注意する必要がある。

表4-2 アラームメータ照射試験結果

照 射 線 量 [mR]	平 均 値 (\bar{x}) [mR]	標 準 偏 差 (σ_{n-1}) [mR]	変 動 係 数 ($\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$) [%]	(\bar{x} -照射線量)×100
				照 射 線 量 [%]
50	50.5	3.74	7.4	1.0
250	252.5	16.7	6.6	1.0

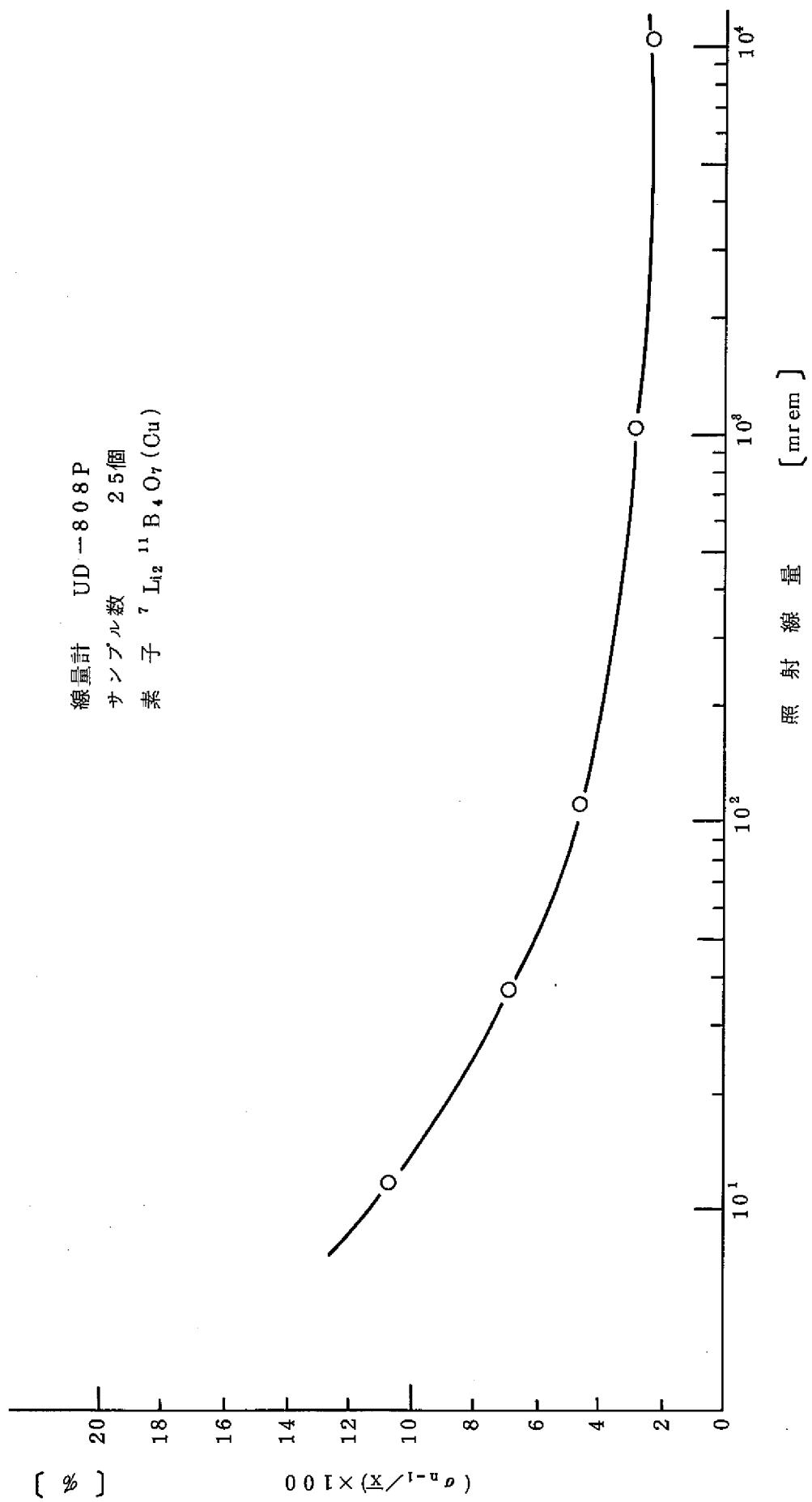


図 4-4 TLD ベッジの感度のバラツキ

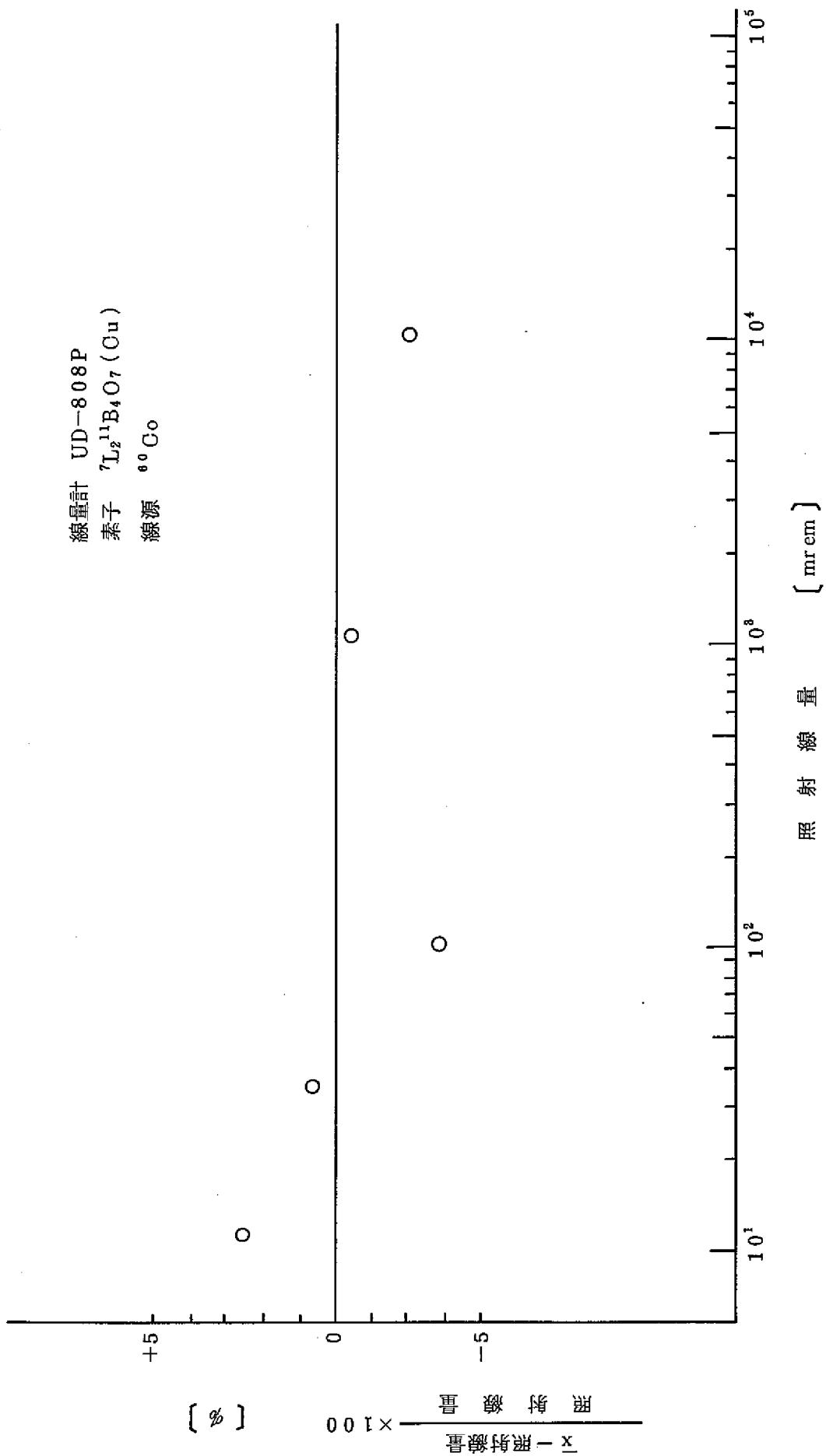


図4-5 TLDバッジの測定値の平均値と照射線量のズレ

ニ. ポケット線量計の測定誤差

ポケット線量計の受け入れ試験のデータを基に、測定誤差について整理した結果を表4-3に示す。またポケット線量計の測定誤差に関する特性が、既に何回か使用されたものと未使用のものとでどの様に変化するかに注目して照射試験を行った結果を表4-4に示す。

表4-3 ポケット線量計照射試験結果I

照射線量 [mR]	ポケット線量計の フルスケール (rad) (本数)	平均 値 (\bar{x}) [mrad]	標 準 偏 差 (σ_{n-1}) [mrad]	変 動 係 数 ($\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$) [%]	($\bar{x} - \text{照射線量} \times 100$)
					照 射 線 量 [%]
45.1	0.1 (40本)	39.4	2.5	6.3	-12.6
90.1	0.1 (40本)	79.6	5.1	6.4	-11.7
	0.2 (20本)	86.1	5.9	6.9	-4.4
	0.5 (20本)	78.7	5.1	6.5	-12.7
182.4	0.2 (20本)	170.9	11.7	6.8	-6.3
	0.5 (20本)	157.7	8.0	5.1	-13.5

注) いずれのポケット線量計も未使用品である。

表4-4 ポケット線量計照射試験結果II

照射 線量 [mR]	使 用 経 験	ポケット線量計の フルスケール (rad) (本数)	平 均 値 (\bar{x}) [mrad]	標 準 偏 差 (σ_{n-1}) [mrad]	変 動 係 数 ($\frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}} \times 100$) [%]	($\bar{x} - \text{照射線量} \times 100$)
						照 射 線 量 [%]
73	無	0.1 (10本)	64.5	2.3	3.6	-11.6
		0.2 (99本)	69.0	4.6	6.7	-5.5
	有	0.2 (60本)	71.5	5.1	7.1	-2.1
21	無	0.1 (10本)	18.2	1.1	6.0	-13.3
		0.2 (99本)	20.6	2.0	9.7	-1.9
	有	0.2 (60本)	20.4	2.3	11.3	-2.9

照射試験結果から得られたバラツキ(精密さ)に関する図を図4-6に示す。

図より、約20mR～約200mRの範囲において、感度のバラツキは最大で約10%である。

70mRぐらいからおよそ200mRまでは約7%以下である。フルスケールの違いでみると0.1 rad及び0.5 radのポケット線量計の方がフルスケール0.2 radのものより、バラツキが小さい傾向にあり約6～7%となっている。使用経験の有無による感度のバラツキ(精密さ)

は、未使用のポケット線量計の方が小さいように見えるが必ずしも有意であるとはいえない。

正確さ（測定値の平均値と照射線量とのズレ）について図4-7に示す。約20~200mRの範囲において最大で約15%程度の誤差があり、なかでもフルスケールが0.1 radで未使用のポケット線量計及びフルスケールが0.5 radで既使用のポケット線量計が悪くおよそ10~15%の誤差を示す。フルスケールが0.2 radのポケット線量計は、約10%内に入っている。使用経験の有無の違いでは、有意な差があるとは言えないがフルスケールが0.2 radで既使用のポケット線量計の方が良いように見える。フルスケール0.2 radで未使用のポケット線量計は、線量が高くなるにつれて平均値の照射線量からのズレが大きくなっている。感度のバラツキが比較的小さい（精密さが良好）フルスケールが0.1 rad及び0.5 radのポケット線量計は測定値の平均値と照射線量とのズレが多少大きく（正確さが劣る），バラツキの大きい（精密さが劣る）フルスケールが0.2 radのポケット線量計については、ズレが小さい（正確さが優れている）という結果になった。

以上よりポケット線量計については正確さについては約15%，またバラツキについては照射線量やフルスケールの違いにもよるが約10%を見込む必要があるといえよう。

(2) エネルギー依存性

TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計のエネルギー依存性について図4-8に示す。

イ. TLDバッジ及びポケット線量計のエネルギー依存性

TLDバッジは、40keVから120keVの範囲で、感度が1より大きくなるが、60keV付近のピークでも約1.2であり低エネルギー領域から高エネルギー領域にわたり良いエネルギー依存性を示す。

ポケット線量計は、低エネルギー領域から高エネルギー領域までほぼ感度が1となり良いエネルギー依存性を示す。

以上の結果、TLDバッジ及びポケット線量計のエネルギー依存性は、低エネルギー領域($\approx 30\text{ keV}$ X線)から高エネルギー領域(${}^{60}\text{Co}\gamma$ 線)まで良好であることがわかる。

ロ. アラームメータのエネルギー依存性

アラームメータについては、100keV以下で感度が低くなっている。すなわち100keV付近で感度がほぼ1であるのにに対し、40keV付近では0.2以下となっている。逆に100keVを越えると感度が徐々に増し140keV付近で約1.2となる。高エネルギー領域において感度は1~1.1の間でありTLDバッジやポケット線量計より多少高目(≈ 1.1 倍)であった。

以上の結果アラームメータの読み取り値については、高エネルギー領域(${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{60}\text{Co}\gamma$ 線)においてはPD, TLDの値にほぼ一致するものと考えられる。しかし、低エネルギー領域(100keV以下)においてアラームメータの感度は急激に低下しているため、PDあるいはTLDバッジによる評価線量に比べて小さくなる。

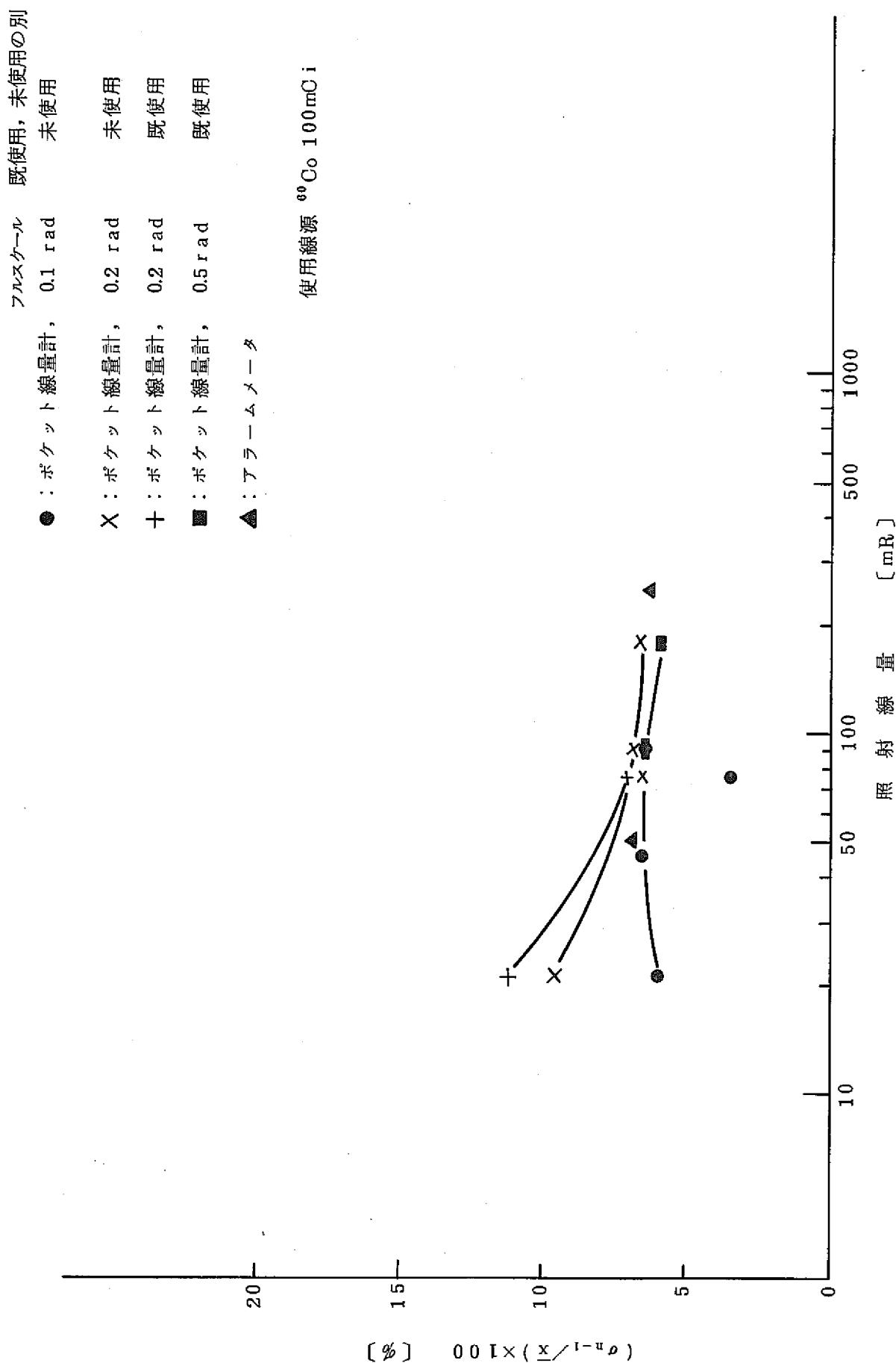


図4-6 アラームメータとポケット線量計の照射線量に対する精密さ

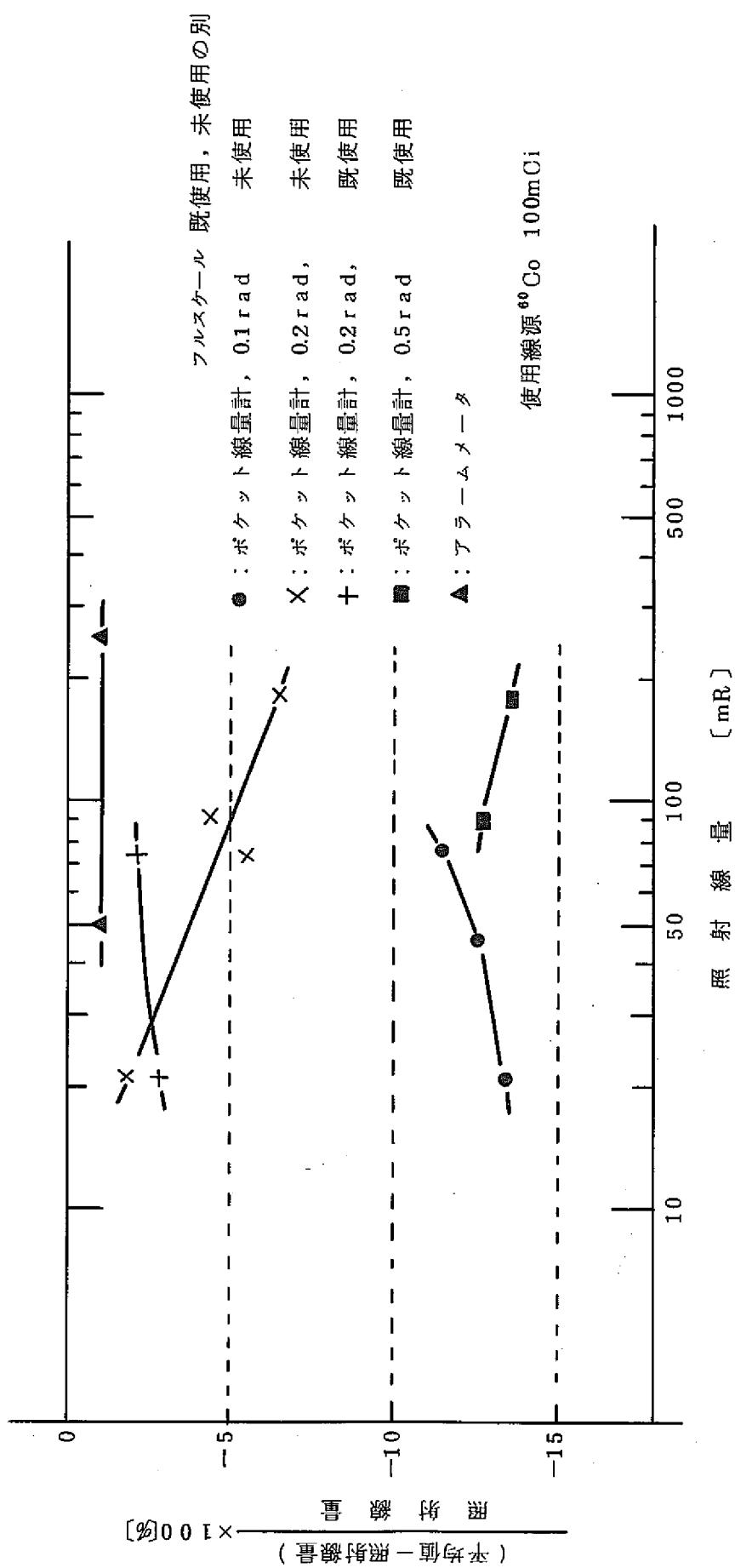


図 4-7 アラームメータとボケット線量計の照射線量に対する正確さ

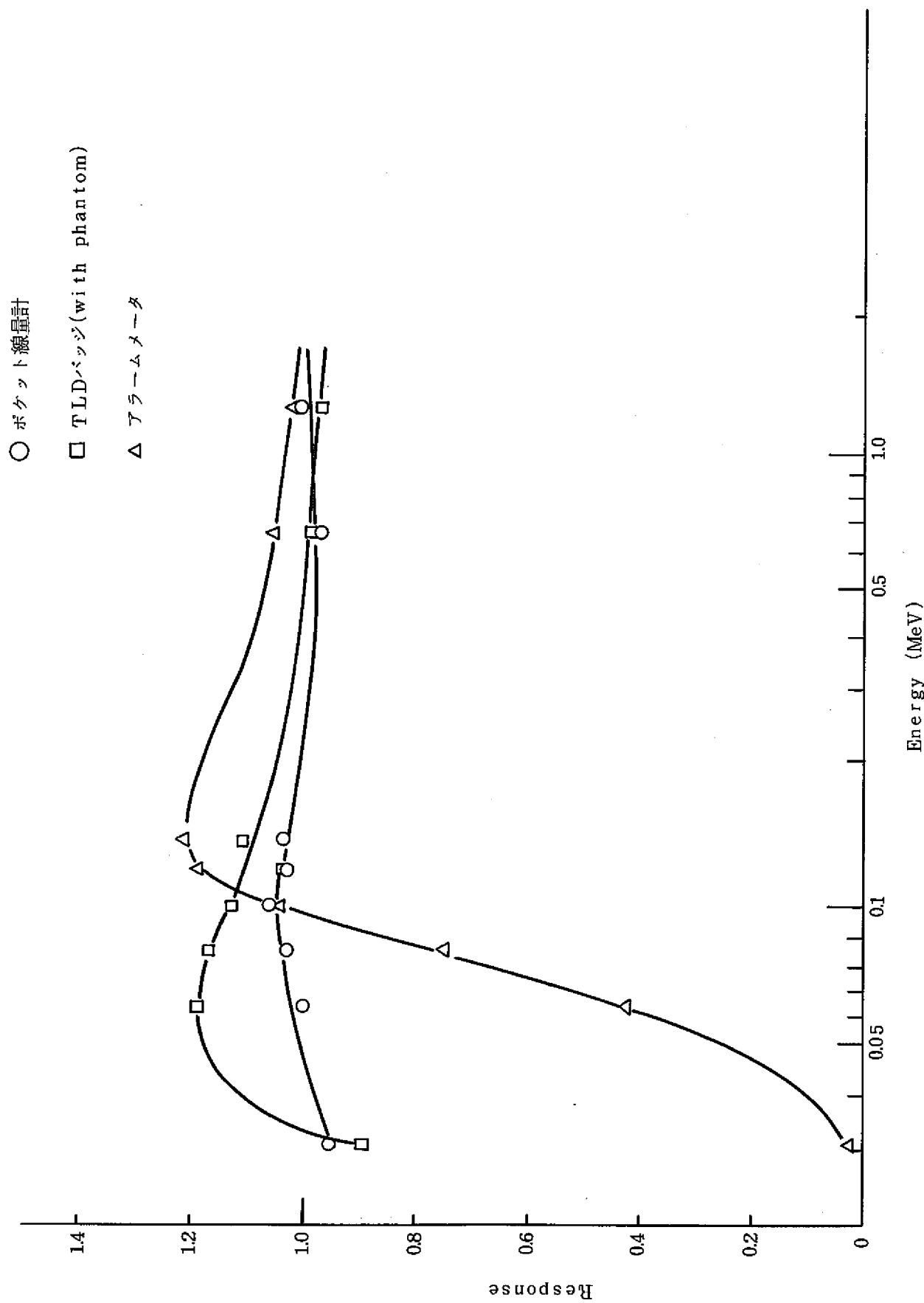


図 4-8 ポケット線量計, TLDバッジ及びアラームメータのエネルギー依存性

(3) 方向依存性

イ. TLD パッジの方向依存性

TLD パッジの方向依存性を図 4-9(1), 4-9(2) に示す。同図から TLD パッジは ^{60}Co γ 線の様な高エネルギーの γ 線に対しては左右方向 (図 4-9(1)) 及び上下方向 (図 4-9(2)) のいずれについても良好な方向依存性を示している。しかしながら低エネルギー領域 (たとえば 60 keV の X 線) においては (図 4-9(1)) $30^\circ, 60^\circ$ 方向では感度の低下は 20% 以内であるが、側面 (90°) においては感度が低下し正面の感度に対して約 0.3 となる。上下方向についても同様な傾向がある。

ロ. アラームメータの方向依存性

アラームメータについては、 ^{60}Co γ 線 (図 4-10) では正面 (0°) に対する側面 (90°) の感度が 5% 程度低くなるが方向依存性は無視し得る程度と考えられる。しかしながら、エネルギーが低下するに伴い側面での感度が高くなっている。たとえば左側面 (90°) においては 80, 100, 140 keV の X 線に対し、それぞれ正面 (0°) の感度の約 2.5, 4 及び 5 倍も高くなる。

この様に TLD パッジとアラームメータの低エネルギー領域における測定データは、それらの方向依存性及びエネルギー特性とあいまって複雑なものとなっている。

ハ. ポケット線量計の方向依存性

ポケット線量計については、その形状とエネルギー特性のデータから低エネルギー領域から ^{60}Co γ 線程度のエネルギー範囲にわたり方向依存性は良好と考えられる。

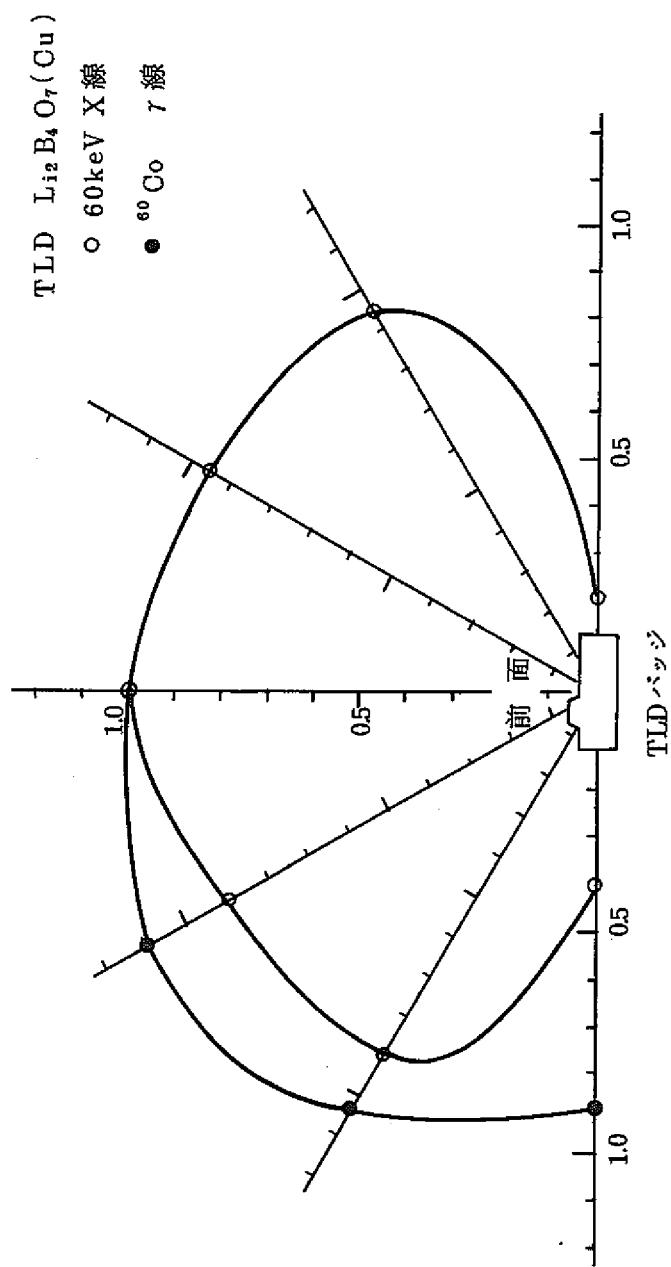


図 4-9(1) TLDベッジの方向依存性(左右方向)

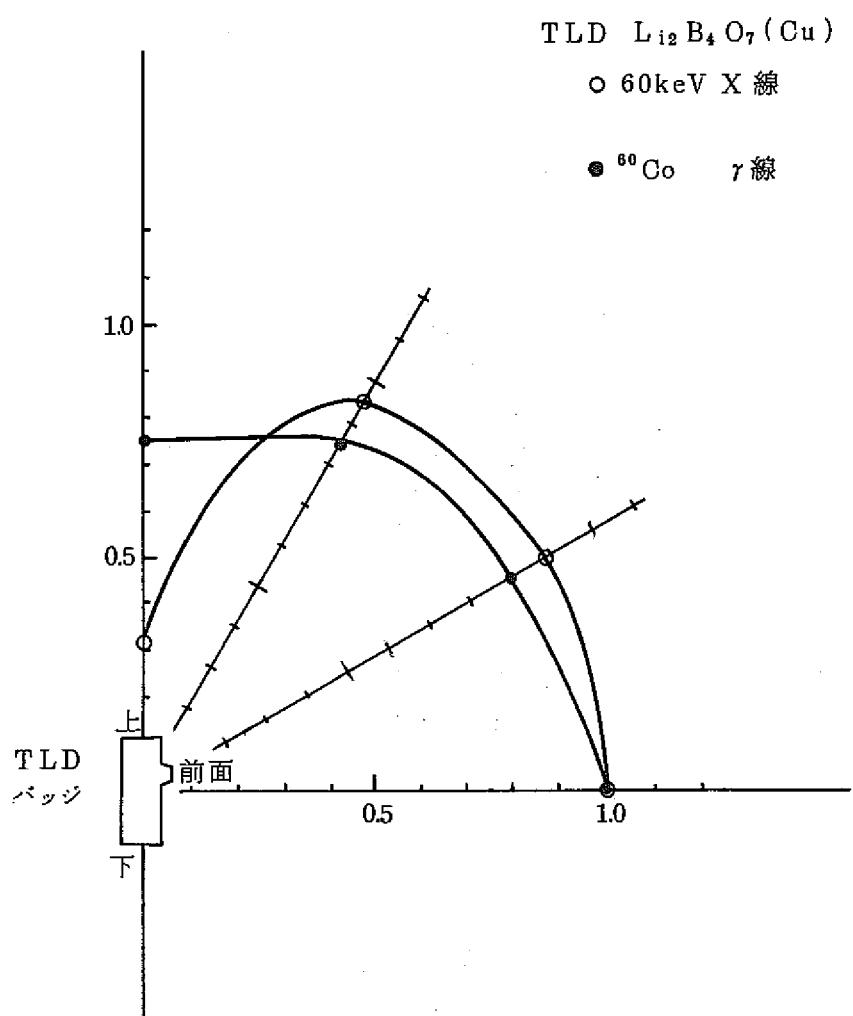


図 4-9(2) TLD バッジの方向依存性（上下方向）

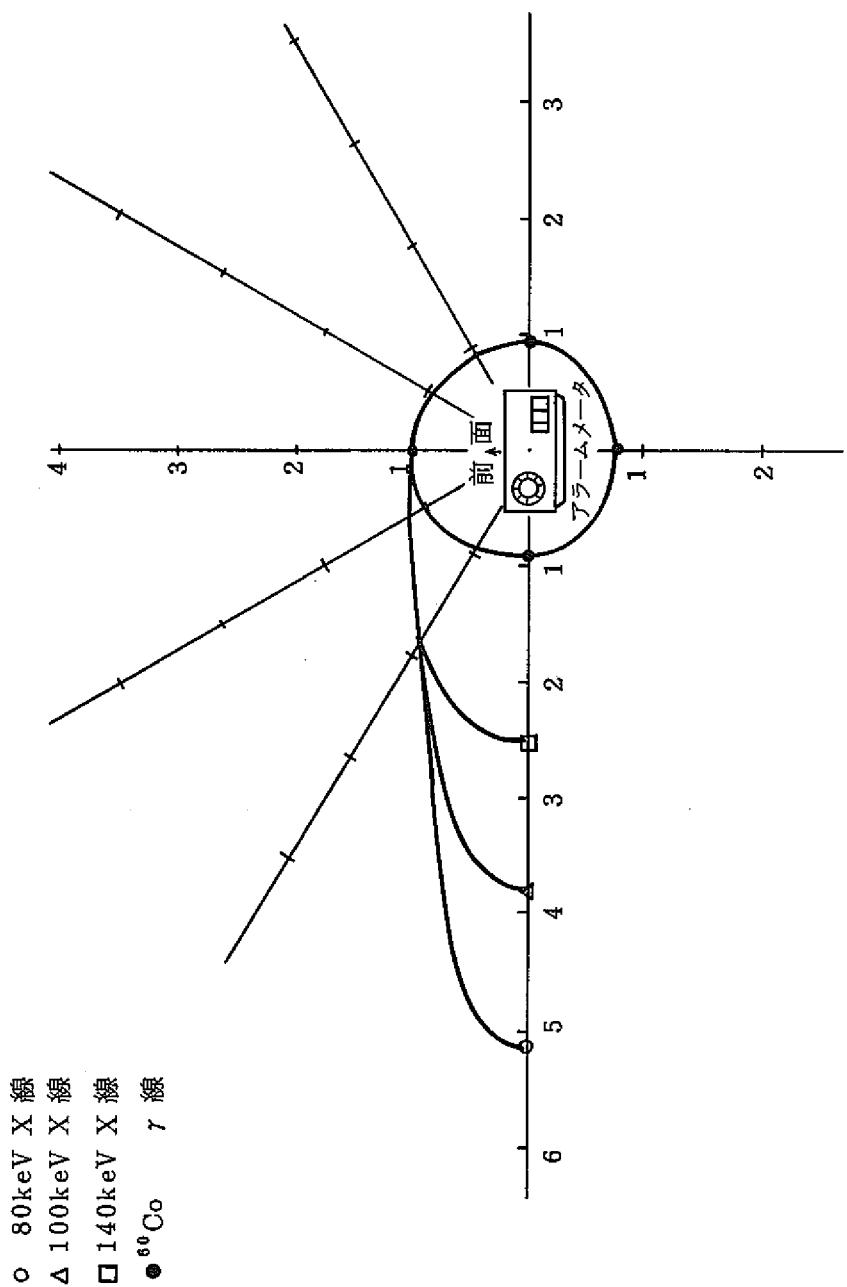


図 4-10 アラームメータの方向依存性(左右方向)

5. 線量計の使用上の問題点に対する検討

5.1 アラームメータの誤作動についての検討

(1) 誤作動の主な原因

1983年4月から9月までに再処理工場で使用していて不具合を生じたアラームメータのうち放射線管理第一課に修理依頼されたものに関して症状の調査を行い故障原因を追求した。その結果を誤作動状況別に分類し表5-1に示した。同表からわかるように以下に示す誤作動状況項目に対しその故障原因是主として次の様に分類することができる。

誤作動状況	主な故障原因
① 計数不良	電気部品の故障
② 警報動作不良	操作手順の誤り
③ 操作中吹鳴	操作手順の誤り
④ その他（機能不良）	電気部品の故障

東海事業所で使用しているアラームメータの故障原因是表5-1に代表されるものと考えその対策を検討した。この結果、正しい操作手順に従うこと及び使用前に行う点検方法を改善することにより大部分の故障の防止及び発見ができることが明らかとなった。表5-1の右の欄には故障の防止、発見方法を示した。故障の防止及び発見に対する具体的な改善提言については第6章で詳述する。

(2) 操作手順の改善による効果

本検討委員会の発足当時（1983年6月），一部の委員によりアラームメータの誤作動に対する原因調査が進められていた。その結果、先に述べた主な故障原因のうち明らかに操作手順の誤りに起因しているものがみりつけられたため、検討委員会の答申結果を待つことなく早速現場における取扱い方法の改善を行った。以下にその内容を示す。

1 取扱い方法の改善

(a) 使用に際しては、次の操作手順に従う。

- ① 充電完了の緑ランプが点灯していることを確認した上で充電器から取出す。
- ② 電源スイッチがOFFの状態で、あらかじめ決められた警報設定値にセットする。
- ③ 電源スイッチをONの状態まで動かし、アラーム吹鳴の確認及び電源の投入を行う。
- ④ ディスプレイボタンを押し、線量値がゼロであることを確認する。
- ⑤ アラームメータの番号及び警報設定値を記録する。
- ⑥ 養生袋に収納し、シーラーにより密閉する。
- ⑦ 着用する作業者に手渡す。
- ⑧ 作業者は、裏表を間違えないように注意しながら、所定の部位に着用する。

表5-1 アラームメータ誤作動原因

アラームメータ番号	修理依頼月日	誤動作状況	原因調査結果	故障の防止・発見方法
AM. 3 3	4. 2 5	計数不良 AM表示 1 mR時, PD指示 37 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
AM. 2 3	4. 2 7	計数不良 AM表示 0 mR時, PD指示 44 mrad であった。	再現性あり。HV回路故障及びGM管不良。	
KR. 1 0	5. 2 3	計数不良 AM表示 42 mR時, PD指示 27 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
ASP. 0 8	5. 3 0	計数不良 AM表示 0 mR時, PD指示 32 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
PU. 0 8	8. 8	計数不良 AM表示 24 mR時, PD指示 1 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
KR. 0 5	7. 1 5	計数不良 計数せず。	再現性あり。GM管破損。	使用前に線源等を用いて照射を行い、その指示値を確認する。
PU. 0 5	7. 1 8	計数不良 AM表示 1 mR時, PD指示 22 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
KR. 0 1	7. 2 3	計数不良 AM表示 0 mR時, PD指示 24 mrad であった。	再現性あり。GM管不良。	
AM. 1 0	8. 5	計数不良 高目に表示。	再現性あり。高压回路のR-12破損。	
AM. 0 1	8. 1 2	計数不良 AM表示 0 mR時, PD指示 20 mrad であった。	再現性あり。高压回路のR-12破損。	
AM. 0 4	8. 1 2	計数不良 高目IC表示。	再現性あり。高压回路のR-12破損。	

表5-1 (つづき)

アラームメータ番号	修理依頼月日	誤動作状況		原因調査結果	故障の防止・発見方法
		警報設定値吹鳴	設定値70mRに對し63mR吹鳴した。		
AM. 35	4. 25	警報設定値未満で吹鳴	設定値70mRに對し30mR吹鳴した。	再現できず。	
を し	5. 2	警報設定値未満で吹鳴	設定値70mRに對し30mR吹鳴した。	再現できず。	
AM. 61	5. 23	警報設定値未満で吹鳴	設定値40mRに對し16mR吹鳴した。	再現できず。	
PU. 01	5. 23	警報設定値未満で吹鳴	設定値40mRに對し11mR吹鳴した。	再現できず。	
KR. 02	5. 23	警報設定値未満で吹鳴	設定値50mRに對し20mR吹鳴した。	再現できず。	正しい操作手順に従い取扱う。
ASP. 09	6. 6	警報設定値未満で吹鳴	設定値70mRに對し12mR吹鳴した。	再現できず。	アラームメータへ警報設定値以上のペルスを入力し警報が正常に発生することを電気的に確認する。
AM. 03	6. 20	警報設定値未満で吹鳴	設定値40mRに對し1mR吹鳴した。	再現できず。	
KR. 02	7. 6	警報設定値未満で吹鳴	設定値50mRに對し20mR吹鳴した。	再現できず。	
PU. 09	7. 11	警報設定値未満で吹鳴	設定値40mRに對し12mR吹鳴した。	再現できず。	
PU. 01	7. 26	警報設定値未満で吹鳴	設定値40mRに對し11mR吹鳴した。	再現できず。	
AM. 09	5. 4	警報設定値未満で吹鳴せず	設定値40mRに對し44mR吹鳴した。	再現性あり。ディスプレイスイッチシートの為、電池劣化。	
AM. 16	5. 4	警報設定値未満で吹鳴せず	設定値50mRに對し92mR吹鳴した。	再現性あり。GM管不良及びPower SW不良。	

表5-1 (つづき)

アラームメータ 番号	修理依頼 月日	誤作動状況	原因調査結果	故障の防止・発見方法
PU. 02	6. 6	操作中吹鳴 設定レンジスイッチ切換で吹鳴。	再現できず。	正しい操作手順に従い取扱う。
ASP. 03	6. 6	操作中吹鳴 設定レンジスイッチ切換で吹鳴。	再現できず。	
ASP. 12	8. 12	操作中吹鳴 電源ONで異常警報吹鳴。	再現できず。	
AM. 30	6. 24	操作不良 ディスプレイボタンが押せない。	再現性あり。ディスプレイスイッチ不良。	
AM. 25	7. 11	電池不良 充電せず。	再現性あり。ボルト内部間でショート、回路多化。	
AM. 26	7. 11	操作不良 ディスプレイボタンを押しても表示せず。	再現性あり。電池多化の為容量不足。 (充電端子接続しても1分程度で緑点灯)	
AM. 05	7. 14	操作不良 BGが高い。(ディスプレイボタンが押せない。)	再現性あり。ボディーの変形による。	
AM. 22	7. 14	操作不良 BGが高い。(ディスプレイボタンが押せない。)	再現性あり。ボディーの変形による。	
AM. 65	7. 15	操作不良 BGが高い。	再現できず。ただし電池容量不足及びフローメータ不良。	
AM. 45	9. 1	電池不良 表示せず。	再現性あり。電池容量不足。	
AM. 56	9. 1	作動せず 表示せず。	再現できず。	
ASP. 07	9. 12	アラーム出づ 電池表示正常でアラーム吹鳴せず。	再現性あり。電池取り出し線断線。	

本操作手順のポイントは、警報設定値のセットを、アラームメータの電源がOFFの状態で行うことである。電源がONの状態で設定値を変更することはしない。

これは、アラームメータの警報設定方式が、電源スイッチをONにされた時点で設定される様に設計されているためである。

一旦電源をONにした後に警報設定値を変更すると意図した値とは無関係な任意の値がセットされるおそれがある。

- (b) 週に1回、警報設定ダイヤルを数回転させる。

この操作は警報設定ダイヤルの接点の劣化を防止するために行う。

- (c) ぶつけたり、落としたりしたアラームメータは使用を中止し回収する。

ぶつけたり落としたりしたことによる衝撃で計数不良等の異常が生じたおそれのあるアラームメータを排除することを意図している。使用を中止し回収したアラームメータは、動作が正常であるかどうかを点検する。

□ 改善効果

取扱い方法の改善を実施してからは、それ以前に比べてアラームメータの誤作動の発生率が減少した。

長期間にわたる放射線作業におけるアラームメータの誤作動の発生率を、表5-2に示す。

表5-2より、アラームメータの取扱い方法を改善した6月14日以降は、それ以前に比べて発生率が低下していることがわかる。

したがってアラームメータの誤作動のうち、操作手順の誤りに起因するものはかなりの部分を占めているものと考えられる。しかし、発生が皆無になったわけではない。誤作動を防止するための管理方法の見直しについては、第6章で述べる。

表5-2 アラームメータの誤作動発生率

		取扱い方法の 改 善 前 (~6/13)	取扱い方法の 改 善 後 (6/14~)
	誤作動発生率 (誤作動台数 延べ使用台数)	1.08 (<u>13</u> 1200)	0.22 (<u>10</u> 4474)
内 訛	計 数 不 良	23 (<u>3</u> 13)	60 (<u>6</u> 10)
	警報設定値未満で吹鳴	46 (<u>6</u> 13)	40 (<u>4</u> 10)
	警報設定値で吹鳴せず	15 (<u>2</u> 13)	0 (<u>0</u> 10)
	操 作 中 吹 鳴	15 (<u>2</u> 13)	0 (<u>0</u> 10)

(1983年4月20日～8月31日)

単位：%(故障内訛数/誤作動台数)

5.2 各線量計の測定値の不一致についての検討

TLDバッジ、アラームメータ、及びポケット線量計は、購入時検査及び定期検査を受けて使用に供されている。線源校正あるいは照射試験の際には、 ^{60}Co 線源を用い、決められた幾何学的配置のもとで標準照射を行っている。標準照射と同一の条件で照射されたならば、各線量計の測定値は、検査で許容された誤差の範囲内で一致するはずである。

しかしながらすでに述べてあるように、実際の放射線作業における被曝管理の経験では、TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計の各測定値の間に一般的にAM>TLD及びAM>PDという関係があった。またこの一般的な傾向とは逆にアラームメータの測定値がポケット線量計の値よりも低い(AM<PD)という例もまれに観測された。

測定値の間にこのような関係がみられる理由としては主に線量計の諸特性の相違や着用方法、耐衝撃性の違いが関係しているものと考えられ検討を行った。

(1) 一般的傾向の場合 (AM>TLD, AM>PD)について

アラームメータがTLDバッジやポケット線量計よりも測定値が高目に出る傾向にある原因としては各線量計のエネルギー依存性や方向依存性の相違があげられるためそれについて検討を行った。

1 エネルギー依存性による影響

各線量計は4.2において述べたとおりそれぞれ異なったエネルギー依存性を示す。特に注目する必要があるのは、アラームメータが140KeV付近で約1.2という高い感度を示し、100KeV以下では感度が急激に低下することである。

そこで作業環境における γ 線エネルギーが実効的にどれくらいの範囲にあるのか調査を行った。

(a) 作業環境の γ 線エネルギー分布

作業環境の γ 線エネルギースペクトルを知るために、セル内の空間、床面及び機器内の γ 線スペクトロメトリーを行った。結果をそれぞれ図5-1, 5-2, 5-3に示す。結果より本セル内の主要核種は、 ^{106}Ru , ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{134}Cs 及び ^{137}Cs であることが判る。

また作業者の着用したTLDバッジ内の各素子の測定値からも入射 γ 線のエネルギーを評価することができる。

セル内作業において着用されたTLDバッジの一部について、 γ 線のエネルギーに関する情報を解析した結果、作業環境の γ 線エネルギーはほぼ200~300KeV以上であることがわかった。

上記セル内のスペクトロメトリーの結果及びセル内作業者の着用したTLD素子からのエネルギー情報の評価結果より、作業環境のエネルギースペクトルは、200~1500KeVが卓越していることがわかる。

(b) 線量計の応答

作業環境の γ 線エネルギーを200~1500KeVとした場合、図4-8からも明らかのようにアラームメータは他の線量計よりも感度が大きく、特に200KeV付近では約1.2倍感度が高い。

ロ 方向依存性による影響

各線量計の方向依存性については、4.2において述べた。方向依存性に関して注目する必要があるのは、低エネルギー領域においてアラームメータの側面方向の感度が上昇する点である。エネルギーの低下に伴い、側面方向からの照射についての感度は増加する傾向にある。

(a) 着用中の線量計に対する放射線の入射方向

放射線作業は、一般に線源と向き合って行う場合が多い。バルブ交換作業及びフィルタ交換作業などが代表例である。多くの場合には、作業対象の線源以外に、作業場に複数の線源が分布している。本章で考察の対象としている放射線作業のようなセル内作業では、作業場の線源分布状況は複雑である。

空間上有る点に関する照射方向は均等分布ではない場合もある。しかし、セル内の作業者に着用された線量計に関しては、特定の機器に密着して行う作業を除き作業者がセル内で様々な方向を向くことを考慮すれば照射方向は水平面に対して均等分布であるとみなせる。

(b) 線量計の応答

作業環境のエネルギースペクトルは、200~1500KeVが卓越していることは前述した。

アラームメータは、エネルギーの低下に伴い側面方向の感度が増加する。一方、TLDバッジ及びポケット線量計は、アラームメータと比較して方向依存性は少ない。特に200~1500KeVの範囲では、方向依存性は小さい。

以上の検討より、各線量計の測定値に関する前述の関係は、アラームメータの方向依存性の特異性が1つの要因となっている。アラームメータについて、200KeV付近のエネルギー領域における側面方向からの照射が、TLDバッジ及びポケット線量計と比較して、測定値を有意に増加させている。

ハ 一般的傾向の原因

TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計の測定値を比較した時、AM>TLD及びAM>PDという結果が一般的に得られることの理由として、アラームメータのエネルギー依存性及び方向依存性が特異的であることを挙げた。測定する放射線が高エネルギーであれば目立たないこれら二つの特性の違いが、再処理工場の様な核燃料取扱い施設、散乱線の多いセル内などにおいて顕著になったものと考えられる。

実際には、二つの特性が複雑に影響していると考えられる。各線量計の特性の相違による

測定値の不一致を定量的に評価するためには、さらに詳細な解析が必要である。

(2) 一般的傾向からはずれる場合 ($AM < PD$) について、

一般的な傾向として $AM > PD$ であることを述べ、考察した。しかし、 $AM < PD$ となった作業者も若干存在する。

$AM < PD$ となった理由としては、アラームメータの値が低く出たこと、及びポケット線量計の値が高く出たこと、の2点が考えられる。

イ 共同作業者が着用した線量計との比較

図3-1に示した点の内、 $AM < PD$ となった作業者を選んで、 $AM < PD$ となった理由の解説を試みた。4名の作業者について、ポケット線量計の指示値、アラームメータの指示値、 PD/AM の値及び $AM/作業時間$ の値を求め、それぞれの共同作業者についての値と比較した結果を、表5-3に示す。

表5-3より、 $AM < PD$ となった理由は、アラームメータの値が低く出たこと、あるいはポケット線量計の値が高く出たこと、の2点のいずれかであることがわかる。

No.1では、区分Bの作業者に比べて区分Aの作業者は、 $AM/作業時間$ の値が小さい。5名は共同作業者なので、作業場所及び作業内容はほぼ等しい。区分Aの作業者のみ、 $AM/作業時間$ の値が有意に低いことは、アラームメータの値が実際の値よりも低く出たことを示している。

No.2では、区分Bの作業者に比べて区分Aの作業者は、 PD 値が大きい。5名の作業者について $AM/作業時間$ の値には有意な差はない。区分Aの作業者の PD/AM 値が大きくなつた理由は、ポケット線量計の値が実際の値より高く出たことである。No.3及びNo.4も同様と考えられる。

ロ 一般的傾向からはずれる場合の原因

アラームメータの測定値よりもポケット線量計の測定値が大きくなる場合の原因を調査するためには①アラームメータの測定値が通常よりも低くなってしまったこと及び②ポケット線量計の測定値が通常より高目に出てしまったことの二通りについて考察する必要がある。

本検討委員会でこれら二通りのケースについて検討を行ったが明確な原因については究明できなかった。今後しばらくデータを蓄積し、詳細な解析を行う必要がある。

(a) アラームメータの測定値の低い原因

アラームメータに対して何かが遮蔽として働いたかあるいは何らかの原因により GM 管のプラトー域が変化し計数効率が低下したことが考えられるが、詳細については不明である。

(b) ポケット線量計の測定値の高い原因

前述の作業環境においては、ポケット線量計に対する β 線の効果は無視できる。したが

って原因の1つに、衝撃による誤作動が考えられるが、データ数が不足していること、再現することが困難なことによりこの点についても詳細は不明である。

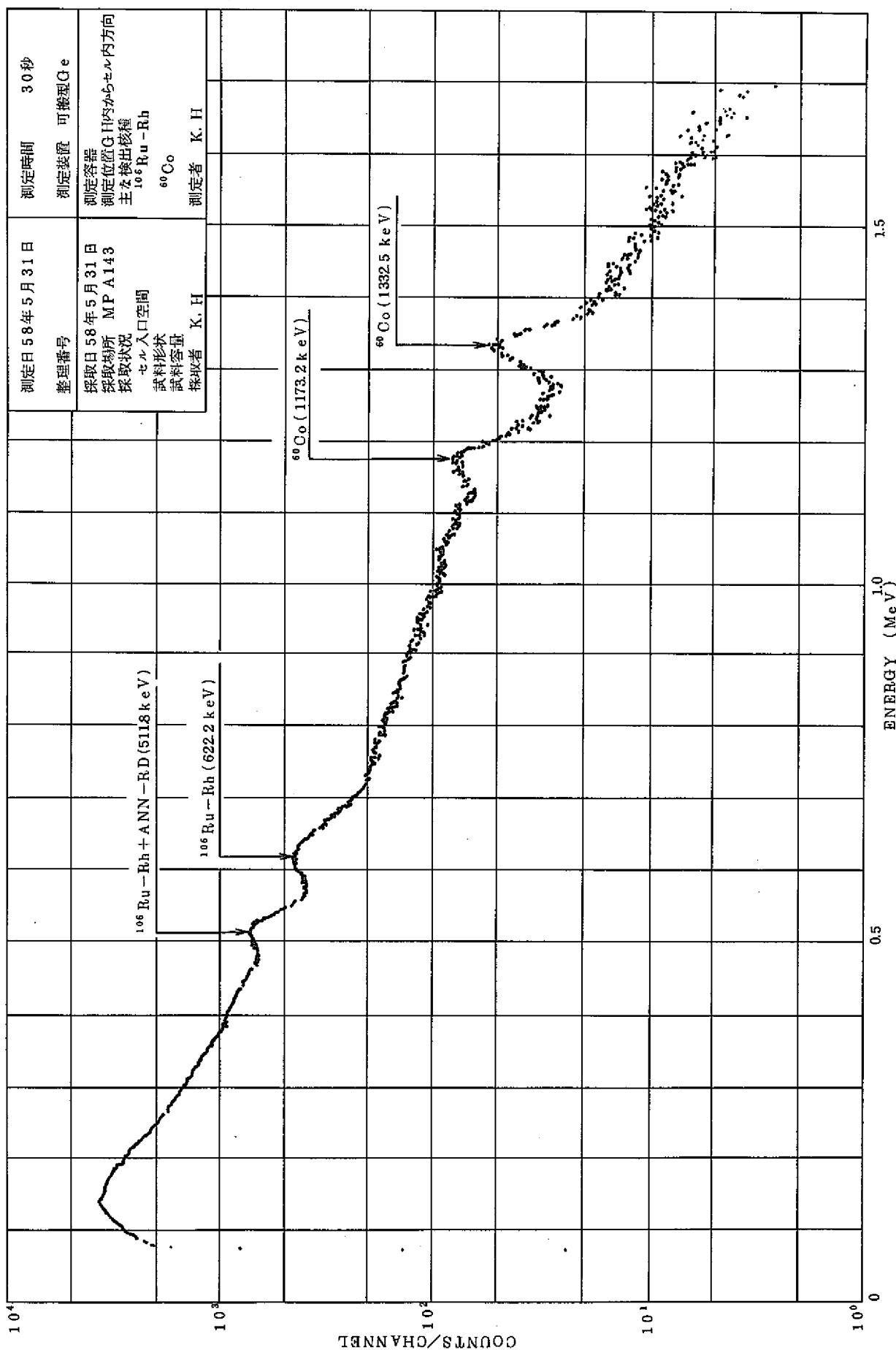


図 5-1 セル内 γ線エネルギースペクトル

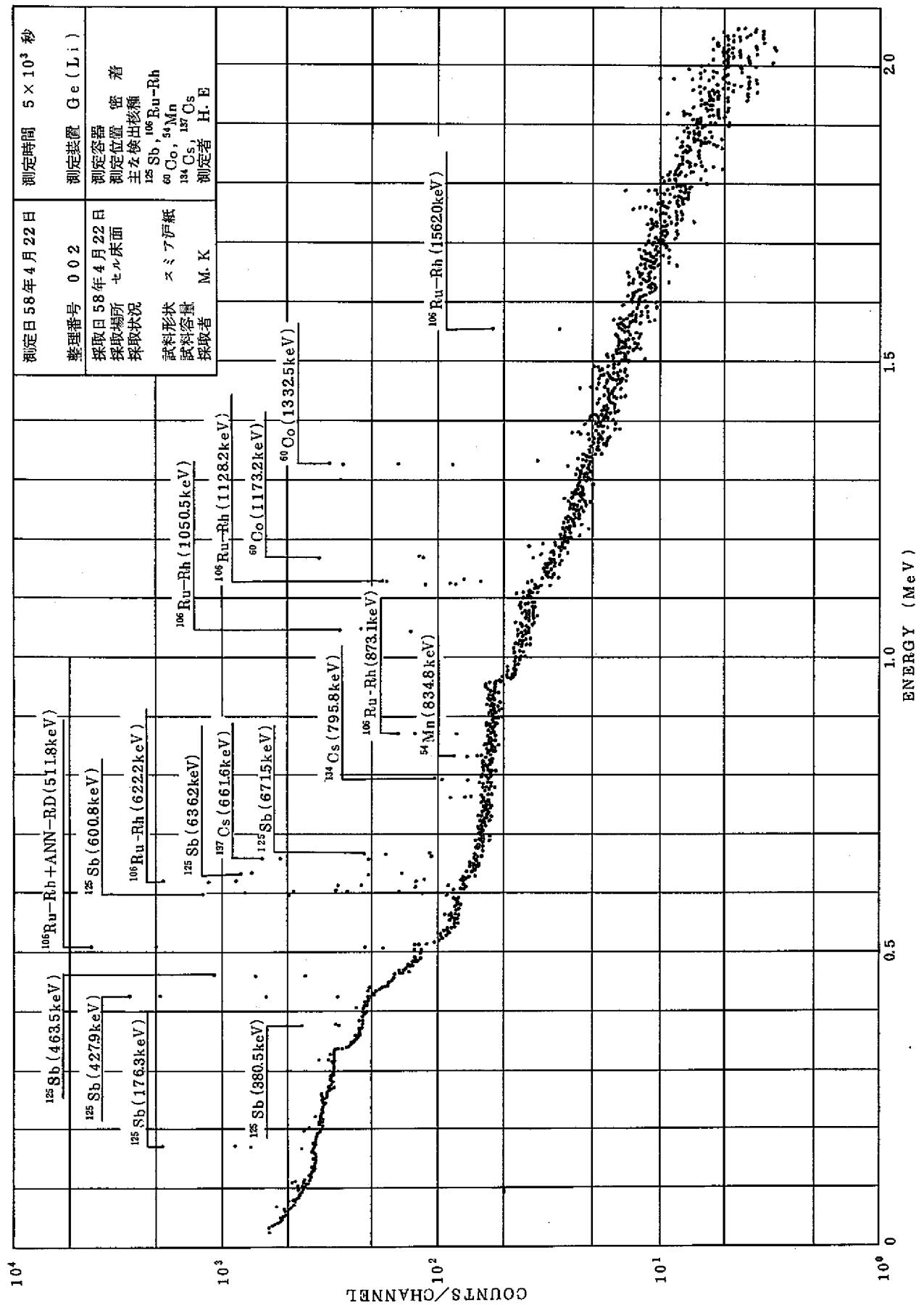


図5-2 セル床面汚染核種

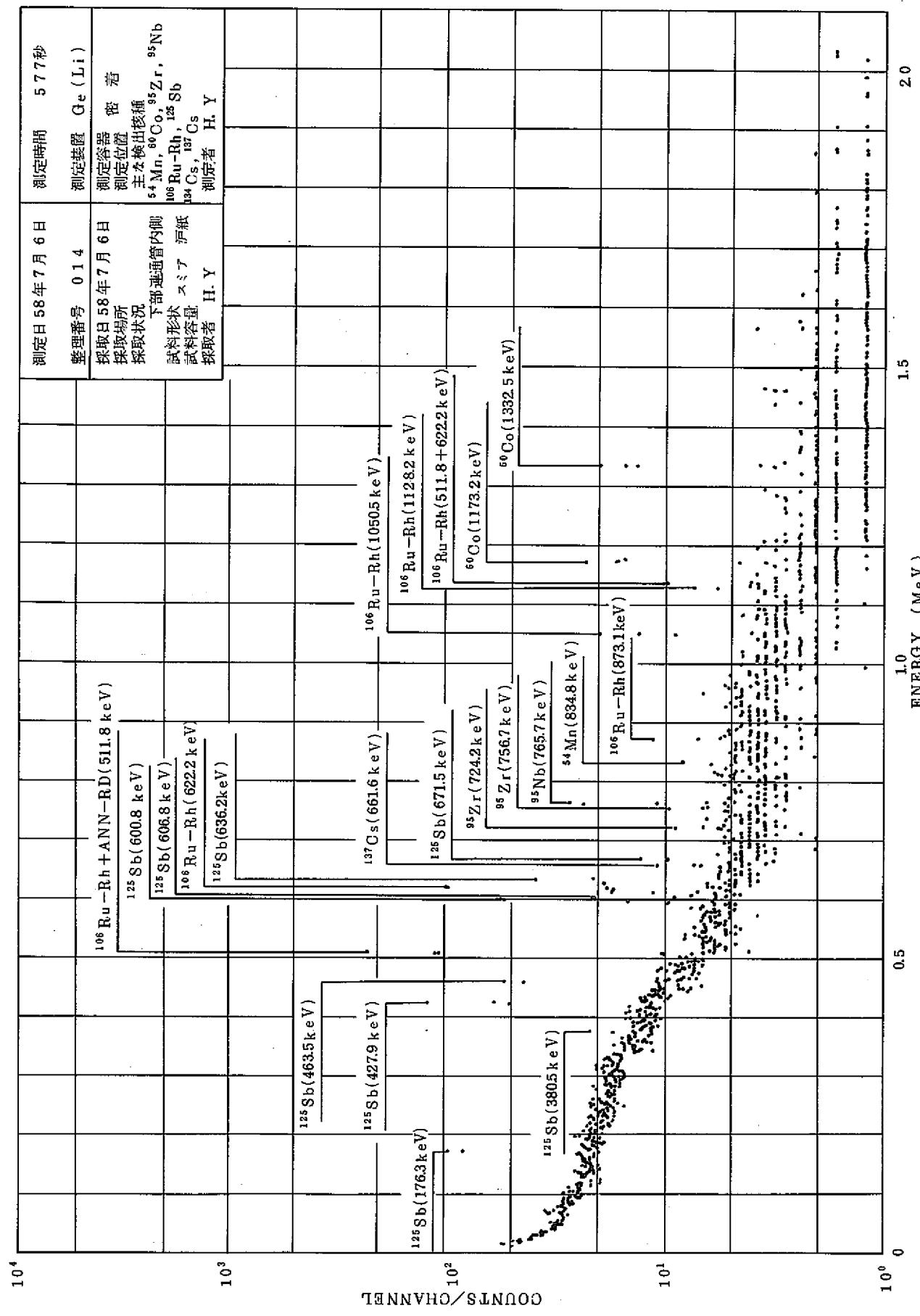


図 5-3 機器内汚染核種

表5-3 AM<PDの作業者と共同作業者との比較

No. 1		4月25日	作業内容	漏れウェスによるトレイ上ふきとり除染	
区分分 ^{*)}		PD値(mrad)	AM値(mR)	PD/AM	AM 作業時間 (mR/h)
A		4.4	2.9	1.52	6.7
B		3.8	4.6	0.83	9.5
B		4.2	5.1	0.82	9.0
B		3.9	5.0	0.78	10.0
B		3.6	4.7	0.77	9.1
No. 2		4月27日	作業内容	漏れウェスによるトレイ上ふきとり除染	
A		6.9	5.8	1.19	15.8
B		5.9	6.2	0.95	18.6
B		4.7	5.7	0.82	15.5
B		5.2	6.5	0.80	19.5
B		4.3	5.6	0.77	16.8
No. 3		4月28日	作業内容	トレイ上ビニールシート養生	
A		6.4	5.6	1.14	14.0
B		4.3	6.0	0.72	13.3
B		5.2	7.3	0.71	16.8
B		4.5	7.1	0.63	20.3
No. 4		5月6日	作業内容	貯槽鉛遮蔽用パイプ枠組み手直し	
A		8.6	7.2	1.19	16.6
B		6.0	7.2	0.83	16.6
B		5.1	6.3	0.81	16.4
B		5.0	6.2	0.81	16.2

*) 区分A : PD/AMの値が大きく、考察の対象とした作業者。

区分B : 区分Aの作業者と共にセル内作業を行っていた共同作業者。PD/AMの値の大きい順番に並べた。

6. 線量計の運用に関する改善提言

本委員会で検討した結果、TLDバッジ、アラームメータ及びポケット線量計の現在の運用方法に対して明らかになった改善すべき事項を以下に示す。

改善提言の内容は、極めて重要なものから改善した方が望ましいものまで広範囲にまたがり、また、使用元での調整だけで対応可能なものや、保守管理元、あるいはメーカの協力を要するもの、さらには、改善作業の難易もあるため早期に改善の必要なものと長期的に改善すべきものとに分類して示した。

なお、現在使用している線量計の選定方法や着用条件の良否といった運用の以前の問題については今回検討していないので、ここでは触れない。

6.1 TLDバッジ

TLDバッジについてはTLDバッジ及びそのリーダを含めて現在の運用方法に特に大きな問題はない。TLDバッジの定期点検（照射試験）の頻度を現在の年1回から年2回へ変更すること、ならびにこの時のロットからの抜き取り方法（抜き取り率、手法）を明確化することの2項目で充分であると考えられる。

6.2 アラームメータ

(1) 早期に改善すべき項目

イ 購入時

- ① 測定放射線エネルギーの実態に合った指定…例えば 100 keV～2 MeV
 - ② エネルギー依存性の指定……………例えば 100 keV～2 MeVにて±20%以内
 - ③ 方向依存性の指定……………例えば 100 keV～2 MeVにて±20%以内
- 線量評価に関する諸特性の調査結果から、アラームメータについては特にエネルギー依存性と方向依存性が重要因子であることが明らかとなった。このため購入にあたっては上記の点に留意した内容の仕様にて発注作業を行う必要がある。

アラームメータの方向依存性は低エネルギー領域において側面方向の感度が高くなる。これは安全側の作用として働くが他の線量計との比較を行う場合、解釈が複雑になるので改善しなければならない。

ロ 使用時

- ① マニアルを見直し、警報設定作業を電源投入よりも先に行う様回路設計されていることを明記する。
- ② 操作のより確実化を図る場合は操作の専任者をおく。
- ③ 警報動作試験を行う。

放射線管理マニアルにはアラームメータの取扱い手順が定められている。この手順に従い正しく操作すれば誤作動は大幅に低減されていたはずである。したがって、警報設定作業と電源投入作業の前後関係について深い注意が払われずに操作されたものと考えられるため、この点に注意するようマニアルを見直さなければならない。アラームメータの着用時の取扱いマニアルの例を別添1に示す。

また、使用前に機能が正常であるか否かも点検しなければならない。

警報動作試験は次の様にして行うことができる。

現在使用している富士電機製造株のアラームメータ（N R D 3）には蓄電池を充電するための充電端子が設けられている。この端子を利用して電気パルスを入力することにより、警報設定値でアラームが正常に吹鳴することを確認することができる。このための試験手順を別添2に示す。

機能に関する試験については、試験装置の組立てが必要であり、このためには保守管理元との調整を早期に行わなければならない。

ハ 維持管理時

① アラームメータの使用時間、充電時間を記録、積算する。

特に使用時間については電池の使用履歴を把握するために重要であり、記録し積算しておくべきである。

ニ 定期点検時

① アラームメータの電池を年1回新品と交換する。

② アラームメータの充電器については年2回定期的に点検する。

充電可能な電池は一般的に充放電を繰り返すことにより次第に性能が低下する。そこでアラームメータの使用の有無にかかわらず電池は年1回新品と交換しなければならない。また、スイッチの切り忘れ等による過放電を行った時もただちに新品の電池と交換しなければならない。

充電器についてはこれまで定期点検がなされていなかったので年2回定期的に電圧、負荷容量等についての点検をすべきである。

ホ 現在所有するアラームメータの改善

① エネルギー依存性の改善

② 方向依存性の改善

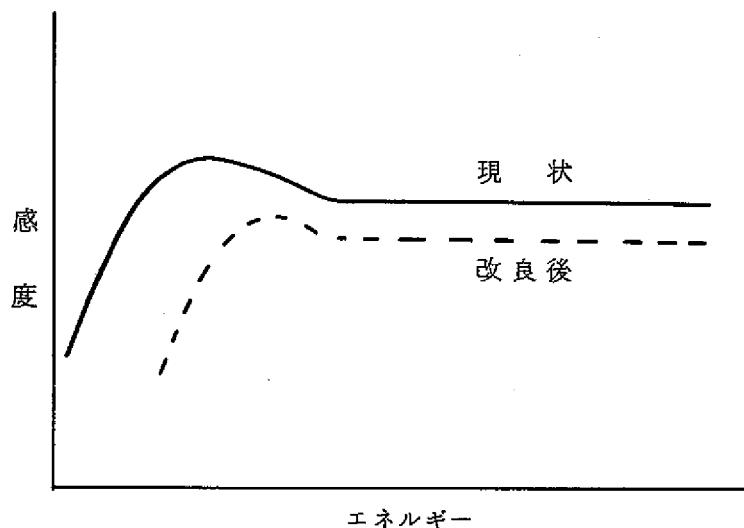
現在所有しているアラームメータはエネルギー依存性及び方向依存性に問題があるため改善しなければならない。

特性の改善は以下の方法で行うことができる。

(a) エネルギー依存性の改善

鉛板等をGM管に巻き付けることにより特性を次図の様に改善することができる。た

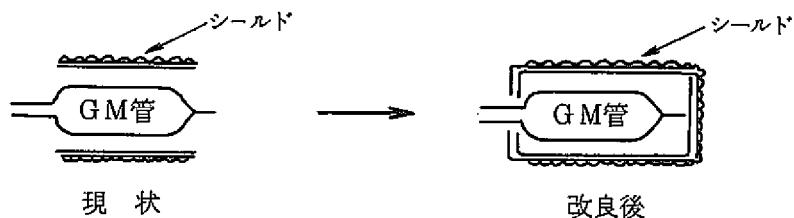
だし感度は少し低下する。



(b) 方向依存性の改善

アラームメータの方向依存性は図4-10に示す様に、その側面において、入射 γ 線が低エネルギーになるほど感度が上昇する。この原因是、エネルギー補償用シールドが、GM管の側面のみに巻かれているためである。

したがって、鉛等のシールド板の巻き方を、GM管の全体を覆うようにすることにより改善することができる。



(2) 長期的に改善すべき項目

イ 購入時

- ① エネルギー依存性の改善
- ② 方向依存性の改善
- ③ 信頼性の向上
- ④ 充電器の改良

上記諸特性の改善については製造メーカーと打合せを行い、改善をしていかなければならぬ。また、アラームメータの使用頻度は今後さらに増加することが予想され、かつ厳しい環境での使用がなされることを考えると信頼性の高いアラームメータの開発をしていかなければならない。

アラームメータに装着されている電池があると何時間使用可能であるか、あるいは現在充電中の電池は充分使用に耐え得るかといった問題は極めて重要であるが、また、それを確実に想定することも極めて困難である。現時点では年1回電池を交換することにより対応していくこととするが、充電器を改良するなどしてこれらの問題を解決していくべきである。

□ 使用時

- ① 計数感度試験を行う。
- ② 充電器の電圧確認試験を行う。
- ③ 校正定数を使用する。

適当な γ 線源（またはバックグラウンド）を利用してアラームメータに使用している検出器（GM管）が正常に作動することを確認しなければならない。このための装置を設計製作していく必要がある。また充電器については電圧確認用の回路を追加し、正常に充電が行われていることをチェックすべきである。

現在、アラームメータの校正定数は0.8～1.2の間にあるが使用はされていない。測定値を他の線量計の値と比較する場合、校正定数を使用すべきである。

6.3 ポケット線量計

(1) 早期に改善すべき項目

イ 購入時

- ① 正確さ及び精密さについて規格以内のものを購入する。

……例えば正確さ±15%以内、精密さ±10%以内

購入時においては正確さ及び精密さに関する仕様を明確に示し、受入れ検査を実施してこれを確認しなければならない。

ロ 使用時

- ① ポケット線量計の充電能力の確認を行う。
- ② 充電器は使用前に外観及び機能の検査を行う。
- ③ 取扱い注意事項を明確にする。

ポケット線量計の使用開始にあたっては充電器を用いて充電を行い、機能が正常であるか確認してから使用しなければならない。また取扱いに関する注意事項については、放射線管理マニュアルに定めてある内容を再度周知するとともに、定常的に使用する場所においては注意事項を明示して周知の強化を図るべきである。

ハ 維持管理時

- ① 低湿度保管を遵守する。
- ② 保管前にはポケット線量計を充電する。

ポケット線量計やその充電器は、デシケータ等の低湿度の場所で保管するよう保管場所を

改善しなければならない。またポケット線量計の保管前には充電を行って指示値を零にする。こうすることによって次回の使用時にはリーク率の目安が得られるため、これをマニアル化し改善すべきである。

ニ 定期点検時

- ① ポケット線量計は年2回定期的に点検を行う。

現在、ポケット線量計の点検は購入時に行われる受入検査でしか実施されていないため、これを定期的に実施しなければならない。

(2) 長期的に改善すべき項目

イ 購入時

- ① 正確さ及び精密さについて検査されたものを購入する。

購入にあたっては、トレーサビリティの確立した国内機関において正確さ及び精密さについての検査を実施したりえで納入する様にし、特性のそろったものを受け入れるべきである。

ロ 使用時

- ① 必要な場合、校正定数を使用する。

特に他の線量計と測定値を比較する時、校正定数を使用すべきである。

ハ 維持管理時

特になし。

ニ 定期点検時

- ① 充電器は年2回定期的に点検を行う。

充電器については現在定期点検が実施されていない。充電機能について定期的に点検すべきである。

以上各線量計に対する管理の改善内容を現状と比較して表6-1に示した。

表 6-1 個人被曝線量計管理の現状とその改善案(1/3)

項目		TLD パッジ		TLD リーダー	
購入時	現状の管理	改善後の管理	現状の管理	改善後の管理	
使用前点検	4.1(1)に示す。	現状通り	メーカ仕様による	現状通り	
使用度	使用の都度		使用の都度		
点検項目	1. 外観検査 2. 素子の健全性確認 アニールによる残光線量確認	現状通り	感度チェック	現状通り	
点検方法	認 残光線量 1mR以下		機器装備の基準光源にてリ ーダー感度のチェック	現状通り	
使用方法	防滴形ケースに入れ左胸に 着用	現状通り	管理された密封気中で要領 書に従い使用	現状通り	
維持・管理時	通常密封気中では、特に問 題はない。	使用元 定められた保管・ 管理を実施する。 保守	通常密封気中では、特に問 題はない。	通常密封気中では、特に問 題はない。	
頻度	1回/年	2回/年	1回/月 (感度試験) 2回/年 (総合検査)	現状通り	
定期点検時	点検項目 照射試験		(感度試験) (総合検査) 1. 感度校正 2. 点検清掃 3. 低圧電源 4. 表示部の動作 5. 駆動機構部 6. 感度校正 7. ノイズチェック 8. データウブ ット確認	現状通り	
点検方法	ロット毎の抜き取り検査	抜き取り方法を明確にし, 定常的に行う。	要領書に従い実施	現状通り	

表6-1 個人被曝線量計管理の現状とその改善案(2/3)

項目	アラームメータ		充電器
	現状の管理	改善後の管理	
購入時	4.1 (2)に示す。	特に方向依存性を明示する。エネルギー依存性、方向依存性の改良をすすめる。信頼性の向上をはかる。	メーカー仕様に従つている。
使用前点検	頻度	使用の都度	改善後の管理
使用時	点検項目	1. 充電（緑ランプ点灯）の確認 2. 設定値確認	特に実施しない。 1. 外観検査 2. 電圧確認
	点検方法	各点検項目が明確でない。	要領書を作成し、それに従い実施する。
使用時	頻度	PDと共に養生袋に入れ作業者に着用させる。	マニアルに従い操作手順に関する注意を明記する。 受渡し者、読取り者等を選任する。 装着方法（方向、装着部位、養生方法）をマニアル化し明確にする。 校正定数を使用する。
維持・管理時	頻度	使用しない時は、充電器に接続している。	通常零透気中では、特に問題はない。
定期点検時	点検項目	1. 点検清掃 2. 低圧電源 3. 高圧電源 4. 表示器の動作 5. 線源校正 6. 警報動作 7. イヤホーンの動作チェック 8. バックグラウンドの測定 9. ノイズチェック	現状の項目に以下の項目を追加する。 10. 1回/年バッテリーの交換
	点検方法	保守管理元にて点検整備要領書に従い実施している。	要領書を作成し、それに従い実施する。

表 6-1 個人被曝線量計管理の現状とその改善案(3/3)

項目	ポケット線量計		現状の管理	改善後の管理	電器
購入時	4.1(3)に示す。		受入検査を行い規格に合ったものを受入れる。 メーカに性能試験を実施させる。	メーカ仕様に従っている。	改善後の管理
使用前点検時	頻度	使用の都度	現状通り	特に実施していない。	使用の都度 外観及び機能検査等を実施する。
	点検項目	1. 外観検査 2. 充電が正常に行われる	現状に下記の規格を入れる。 充電時0~+10%F.Sであること。		
使用中	点検方法	充電器を用いて指示値を零に合わせる。 着用前に指示値を読み取る。	要領書を作成し、それに従い実施する。		要領書を作成し、それに従い実施する。
	使用方法	A.Mと共に養生袋に入れ作業者に着用させる。	注意事項(衝撃を与えない等)を作成し、P.Dにはる。着用部位を決める。必要時には校正定数を用いる。	特に定まっていない。	
維持・管理時	頻度	管理方法が明確でない。	デシケータ等の湿度の低いところに保管する。 充電してから保管する。	特に定まっていない。	注意事項を作成し、徹底する。 例)ほこり、湿気のあるところでは使用しない。 デシケータ等の湿度の低いところに保管する。
	定期点検時	一部照射試験を実施している。	2回/年	特に実施していない。	
	点検項目	1. 外観検査 2. リークテスト 3. 照射試験	基準±20%以内	1. 外観検査 2. 電圧チェック	要領書を作成し、それに従い実施する。
	点検方法	要領書を作成し、それに従い実施する。			

7. ま　と　め

特殊放射線作業時においては作業者が種々の線量計を着用し、それぞれの線量計の有する機能を活用して効果的な被曝管理を実施している。これまで多くの被曝管理を経験した結果、各種個人被曝管理用線量計に関する問題点としては、線量計の機能が正常に作動しないという機能上の問題と、各線量計間の測定値の差異が大きくかつ変化するという性能上の問題とに分類することができる。

これらの問題を解決するために各線量計の保守管理の現状及び諸特性を調査し検討を行った。(別添3に検討委員会開催日程を示す。)この結果、機能上の問題についてはこれまで実施されている定期的な保守、点検に加えさらに改善等を加える必要があることがわかった。例えばポケット線量計に対しては保管時にあらかじめ充電を行い指示値を零にしておくことが次回の使用時にリーコ率の目安を得るのに役立つので、この手法を取扱いマニアルに加えるべきことや、アラームメータに対しては充電方法や電池の管理、特に使用前点検の方法については改善が必要であることがわかった。しかしながら取扱いマニアルに従わなかったために生じたトラブルも見受けられ、正しい使用法に従う事は基本的であることであり最も重要であることを喚起したい。

性能上の問題については、各種線量計の感度のバラツキに加えエネルギー依存性が異なっていること、さらにそのエネルギー依存性が方向依存性を有していることが各線量計間のバラツキを大きくし問題を複雑化している原因と考えられる。再処理工場内での作業区域における γ 線のエネルギーはTLDバッジによる評価結果から200~300 keV以上と推定されることを考えると特にアラームメータのエネルギー依存性についてはJISに定める性能を満してはいるものの改善していく必要があり、これは別途進められねばならない。現時点においてはこれらの諸特性をよく理解した上でモニタリングプログラムを立案し線量計を選択し、着用させるべきであり、また各種測定データの解釈においてはこれら諸特性を考慮して評価、解析することが必要である。

今回提言した改善すべき項目は使用元での調整はもちろんのこと特に保守管理元や対メーカとの調整が必要である。早急にこれら各関係部門と調整を行い改善されることを望むものである。

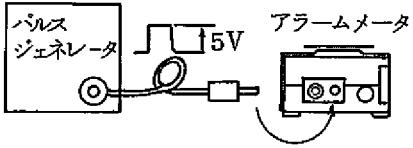
別添 1

アラームメータ着用時の取扱い手順（N R D 3型）

取扱い手順	備考
a. 使用しない時は、充電器に装着しておく。	○ 充電器の電源が入っていることを隨時確認する。
b. 使用に際しては、必要な個数を確認する。	○ 不足が予想される場合には、補充の手続きをとる。
c. 充電完了の緑ランプが点灯していることを確認したらうえで充電器から取出す。	○ 特定のアラームメータにかかるよう、なるべく均等に使用する。
d. 電源スイッチがOFFの状態であらかじめ決められた警報設定値にセットする。	○ 左記事項が取扱いのポイントである。電源がONの状態で設定値を変更してはならない。
e. 電源スイッチをCの位置にセットし、警報が吹鳴することを確認する。	アラームメータは、電源をONにされた時点で警報設定されるように設計されているからである。一旦電源をONにした後に警報設定値を変更すると任意の値がセットされるおそれがある。
f. 電源スイッチをONの位置まで動かし、電源の投入を行う。	○ アラームメータの番号は、放管番号である。例えば、AM. (), PU. () 等。
g. ディスプレイボタンを押し、線量値がゼロであることを確認する。	○ 湿気を防ぐため、養生する必要がある。
h. 着用する作業者に対応するアラームメータの番号及び警報設定値を記録する。	○ 装着用の金具が着いている方が裏側である。
i. 養生袋に収納し、シーラにより密閉する。	
j. 着用する作業者に手渡す。	
k. 作業者は、裏表を間違えないように注意しながら、グリーン服またはアンバー服の右胸に着用する。	

別添 2

アラームメータ警報発生機能確認手順

使用前点検要領	判定基準
 <p>警報設定値の10倍のパルス数を入力した時、数字表示器が警報設定値を表示し、警報が吹鳴することを確認する。</p> <p>(例) 警報設定値を50mRとした時、パルスを10Hzの信号なら50秒間入力するか、または、500パルスに設定したバースト信号を入力し、500個のパルス数が入力した時、警報が吹鳴することを確認する。</p>	<p>警報設定値を表示し、警報が吹鳴すること。</p>

別添 3

検討委員会開催日程

開催回数	開 催 日	作 業 内 容
第1回	6月13日(月)	主旨説明 審議項目の決定
第2回	6月23日(木)	各委員担当項目の審議
第3回	7月12日(火)	各委員担当項目の審議(つづき)
第4回	7月26日(火)	各委員担当項目の審議(つづき)
(事務局会議	8月30日(火)	報告書原案作成について)
第5回	9月 8日(木)	報告書原案審議
第6回	9月22日(木)	原案報告書改訂内容審議
第7回	10月20日(木)	改訂報告書内容審議
第8回	11月14日(月)	第二次改訂報告書内容審議 閉 会