

蛍光ガラス線量計を用いた環境 γ 線量測定法

平成 1 4 年

文 部 科 学 省

科学技術・学術政策局

原子力安全課防災環境対策室

目 次

第1章 序 論	1
第2章 用語の説明	2
第3章 環境モニタリング用蛍光ガラス線量計	6
第4章 線量計の配置	8
4.1 モニタリング地点	8
4.2 収納箱	8
4.3 線量計	8
4.4 収納方法	9
4.5 運搬	9
4.6 モニタリング期間	9
4.7 対照用線量計	9
第5章 測 定	10
5.1 前処理	10
5.2 再生処理	10
5.3 測定方法	10
第6章 校 正	12
6.1 概説	12
6.2 リーダの校正	12
6.3 線量計の校正	13
第7章 モニタリングデータの記録と評価	14
7.1 モニタリングデータの記録方式	14
7.2 モニタリング結果の評価	14
解説1 蛍光ガラス線量計による環境 γ 線量測定における一般的事項	17
解説2 蛍光ガラス線量計の基本的特性データ	22
解説3 蛍光ガラス線量計リーダの基本的特性データ	32
解説4 自己照射線量と宇宙線の寄与	34
付録1 照射時温度と熱処理条件に関する特性試験	36
付録2 環境モニタリングの蛍光ガラス線量計の適用例	40
付録3 参考文献	45

第1章 序 論

本マニュアルは、原子力施設周辺の環境 γ 線量モニタリングの一環として実施される固定地点での積算線量の計測に蛍光ガラス線量計測装置を使用する場合のモニタリング方法について定めたものである。

原子力安全委員会の「環境放射線モニタリングに関する指針」(平成13年3月一部改訂)では、その基本的目標を

- ①周辺住民等の線量を推定、評価すること、
- ②環境における放射性物質の蓄積状況を把握すること、
- ③原子力施設からの予期しない放射性物質または放射線の放出による周辺環境への影響の評価に資すること、
- ④異常事態発生の通報があった場合に、平常時のモニタリングを強化するとともに、緊急時モニタリングの準備を開始できるように体制を整えること、

の4項目に置き、線量については空気吸収線量を測定評価することとし、積算線量の測定には熱ルミネセンス線量計(TLD)、蛍光ガラス線量計および直続式の電子式積算線量計を使用することを推奨している。

近年、蛍光ガラス線量計測装置はその性能が大幅に向上し、低線量域における高精度の測定が可能となり、また素子間のばらつきが少なくフェーディングも無視できるほど小さい等の利点があることから、環境放射線モニタリングへの適用条件が整ってきた。

これら情勢を受けて、JIS Z 4314-1995「蛍光ガラス線量計測装置」(以下「JIS」という。)も個人モニタリング用、作業環境モニタリング用ならびに環境線量モニタリング用として改訂された。

本マニュアルは、上記指針に基づいて地方公共団体および原子力事業者等が行っている積算線量測定に蛍光ガラス線量計を使用する場合について、モニタリング方法の斉一化に資することを目的としてまとめたものである。

第 2 章 用語の説明

(1) ラジオホトルミネセンス

放射線の照射を受けた物質の、紫外線励起による発光現象。

(2) 環境 γ 線

地中、地表面、建造物、大気中等に含まれる放射性物質による γ 線とそれらの散乱線、施設から放出される放射性物質からの γ 線と散乱線および施設からの γ 線と散乱線。本マニュアルでは、主たる測定対象エネルギー範囲を 50keV から 3MeV とする。

(3) 蛍光ガラス素子

ラジオホトルミネセンスの性質を持つ特殊ガラスをプレート状、ロッド状等に形成したもの、またはこれらを金属製の支持体に組み込んだもの(以下「素子」という。)

(4) カプセル

素子を入れる容器。

(5) 蛍光ガラス線量計

素子をカプセル内に収納したもの(以下「線量計」という。)

(6) リーダ

素子を紫外線によって励起し、ラジオホトルミネセンスの光量を計測し、空気吸収線量を指示する装置。

(7) 蛍光ガラス線量計測装置

線量計およびリーダからなる装置(以下「計測装置」という。)

(8) 対照用線量計

モニタリング期間中、比較のため鉛容器内に収納しておく線量計をいう。モニタリング期間中の自己照射、宇宙線等による線量を確認することを目的とするものである。

(9) モニタリングバッチ

一連のモニタリングサイクルで、照射ならびに読み取り履歴を 1 つのグループとして扱う感度(校正定数)のそろった線量計。

(10) 内部素子

リーダの校正のため、リーダに内蔵された素子。

(11) 指示値

リーダの線量指示部が指示した値で、空気吸収線量値。

(12) 増量値(I)

照射（またはモニタリング）後の線量計の指示値(I_a)から、照射（またはモニタリング）前の指示値(I_b)を差し引いた値で次の式による。

$$I = I_a - I_b$$

(13) リーダ校正定数

標準照射した線量計により値付けされた内部素子を用いて、リーダーの指示値を補正するための定数。

(14) ビルドアップ

放射線に照射された素子のラジオホトルミネセンスの光量が、時間の経過とともに増加して安定化すること。

(15) 経時変化

放射線に照射された素子のラジオホトルミネセンス量、すなわち線量指示値が時間の経過とともに変化すること。線量計の場合にはラジオホトルミネセンスのビルドアップ時間がかかなり長く、経時変化は線量計の保管温度に依存する。

(16) 再生処理

素子が記憶しているラジオホトルミネセンス成分を除去し、放射線照射（またはモニタリング）以前の状態に戻すために行う加熱操作。

(17) 熱処理

放射線に照射された素子のラジオホトルミネセンスの光量を短時間にビルドアップさせるために行う加熱操作。

(18) プレドーズ

再生処理直後の線量計の指示値であり、ガラス固有の蛍光成分として **425nm** にピークを持つ減衰の遅いもの。

(19) フェーディング

放射線に照射された素子のラジオホトルミネセンスの光量が、時間の経過とともに減少すること。

(20) 自己照射

線量計に含まれる放射性物質により素子が受ける照射。

(21) モニタリング地点

環境γ線をモニタリングするため、線量計を配置する場所。

(22) 直線性

線量値と測定器指示値との間の比例性、または線量値に対するレスポンス(または校正定数)の一定性をいう。

(23) エネルギー特性

放射線計測器のレスポンスまたは校正定数が放射線のエネルギーに依存する性質をいう。

(24) 方向特性

放射線計測器のレスポンスまたは校正定数が放射線の検出器に対する入射方向に依存する性質をいう。

(25) 校正

標準 γ 線源または標準の測定器を用いて定められた基準の値とモニタ等計測器の指示値との関係を求めること。

(26) 標準照射

計測装置の校正、線量計のばらつきの確認等のため、標準 γ 線源等により線量計に一定線量を照射すること。

(27) 変動係数(C)

n 個の測定値(x_i)の標準偏差の推定値(S_{n-1})の、平均値($\bar{x}$)に対する比で 次の式による。

$$C = \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(28) 指示誤差(E)

線量計の増量値(I)から基準とする空気吸収線量値(D)を差し引いた値の、基準とする空気吸収線量に対する百分率で、次の式による。

$$E(\%) = \frac{I - D}{D} \times 100$$

(29) レスポンス(R)

線量計の増量値(I)を、基準とする空気吸収線量(D)で除した値で次の式による。

$$R = \frac{I}{D}$$

(30) 精 度

計測器の表す値または測定結果の正確さと精密さを含めた総合的なよさ。

(31) ばらつき

測定値の大きさがそろっていないこと。またふぞろいの程度。

(32) 再現性

同一の方法で同一の測定対象を測定者、計測装置、線量計の読み取り場所、読み取り時期のすべて、またはいずれかが異なった条件で測定した場合、個々の測定値が一致する性質または度合。

第3章 環境モニタリング用蛍光ガラス線量計

環境 γ 線のモニタリングに使用される線量計がさらされる環境条件は次のようなものである。

- (1) 環境 γ 線のエネルギーは数十 keV から数 MeV の範囲にわたるが、線量値への寄与は 3MeV 以下が大部分である。
- (2) 線量計をモニタリング地点に 3 ヶ月程度配置した場合の線量値は、地域および場所により異なるが、おおむね 100～400 μ Gy 程度である。
- (3) 線量計は温度変化(−20～40℃)および大きな湿度変化のきびしい条件のもとおかれる。

環境モニタリング用の線量計については、上記の条件を考慮して次の特性に注意しなければならない。

- (i) 線量計間の感度ばらつき
- (ii) 経時変化(ビルドアップおよびフェーディング)
- (iii) 線量直線性
- (iv) エネルギー特性
- (v) 方向特性

これらの特性のうち、特に線量計間の感度ばらつき、経時変化は重要である。また、線量計の自己照射線量の小さいこと、繰り返し使用により線量計のレスポンスに変化をきたさないこと、リーダの安定性は短期、長期のいずれに対しても優れていることも必要である。このため、JIS においても、13 項目について基準が定められている。

現在、環境 γ 線のモニタリング用として市販されている計測装置はこれらの規格基準を十分に満たしている。

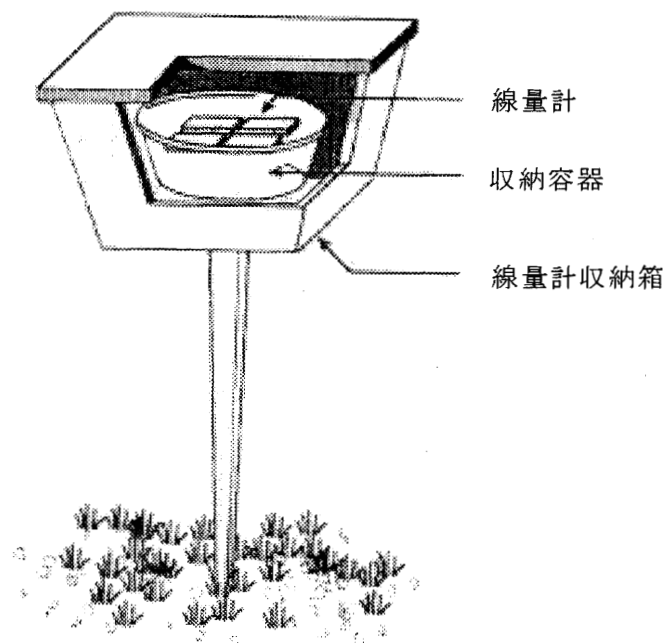
これらの特性がモニタリングの測定値に及ぼす影響を知るためには、実験室における試験データのみならず、種々の環境条件のフィールド試験データ等もまた重要である。このため、それら諸特性についての試験データを解説 2 に、これらを環境で使用した場合の適用例を付録 2 に記述した。

現在、環境 γ 線モニタリング用の線量計については、次のようなことがいえる。

- (1) 新規に購入した線量計は、全数について約 200 μ Gy の標準照射を行い、線量計の健全性を確認する。

- (2) 環境モニタリングにおける同一バッチの線量計間の感度ばらつきは、JIS によれば、 $200\ \mu\text{Gy}$ 程度の積算線量値を照射し、変動係数で表して、 $n(\text{線量計個数})=10$ 個で 0.045 以下であることが要求されている。
- (3) 日常の環境 γ 線モニタリングではエネルギー特性、方向特性についての補正は行わなくてもよい。
- (4) モニタリングには相当個数の線量計を配置するが、それらに共通した校正定数を適用することが一般的である。
- (5) 線量計の配置方向は地表に対し任意でよい(付録 2、6-2 項参照)。しかしながら、特別な理由がなければ線量計は地表に対して水平方向*に配置することが望ましい。

*：第 3. 1 図に線量計の配置方向(例)を示す。



第 3.1 図 線量計の配置方向 (例)

第 4 章 線量計の配置

4. 1 モニタリング地点

原子力施設等周辺の人々の住んでいるところでの線量を測定することが、線量計による環境γ線モニタリングの大きな目的のひとつであるので、

- (1) 施設周辺の集落には、施設を中心としてできるだけまんべんなくモニタリング地点を設けること。
- (2) 測定値が、周囲の代表的な値になるよう、地質上の条件を考慮してモニタリング地点を選ぶこと。モニタリング地点は、その周囲に建物や道路などの工作物からの影響が少なく、環境条件が将来にわたって大きく変わらないような場所であること。

等に留意して、モニタリング地点および配置場所を選定すべきである。

4. 2 収納箱

- (1) 通常的环境条件で密閉式の収納箱では、夏期には 45℃程度冬期には -20℃程度の温度変化が予想される。通風性をよくしたり、断熱材を収納箱の内側に張る等の工夫が必要である。
- (2) 特別の目的がないかぎり、収納箱はγ線に対するしゃへい効果の少ない材料で製作しなければならない。付・写真 2. 1 にその一例を示す。
- (3) 収納箱の地上高は、1.0～1.5m の範囲内で一定にすることが望ましい。

4. 3 線量計

- (1) 線量計は、1 モニタリング地点に 3 個以上、リーダ校正用線量計は 10 個以上用いることが望ましい。

3 個の場合、全所要個数は、モニタリング地点数を N 、予備線量計数を A とすると

$$\text{所要線量計数} \geq (3 \times N \times 2^*) + 10 + A \quad (* \text{交換用})$$

となる。

- (2) モニタリング用線量計とリーダ校正用の標準照射した線量計は、レスポンスが類似したものをモニタリングバッチとして選択し、照射ならびに読み取りの履歴がほぼ同一となるように配慮する。

(3) モニタリングバッチの中からモニタリング用線量計と対照用線量計を選ぶ。

4. 4 収納方法

(1) 環境γ線の場合、かつ上記のような収納条件では、線量計は有意な方向特性を示さないが、特に理由がなければ線量計の収納箱内での配置方向は、地表に対し水平とする。また素子同士が互いにしゃへい物とならないように、ある程度の間隔をあけて配置した方がよい(付録 2、6-2 参照)。

(2) 線量計は防塵性・防湿性を考慮した材質の袋等に入れ、モニタリング地点、モニタリング期間を明示しておき、交換時に役にたつようにする。

(3) 上記(1)、(2)項のモニタリング条件は、斉一化することが望ましい。

4. 5 運 搬

モニタリング前の読み取りから配置まで、およびモニタリング後の回収から読み取りまでに線量計の受ける線量は、モニタリング期間中の線量に上のせになる。これらの線量がモニタリング期間中の線量に対し無視できるよう、配置・回収時間を短縮したり、運搬容器をしゃへいしたりすることが望ましい。

4. 6 モニタリング期間

モニタリング期間は、4月～6月、7月～9月、10月～12月、1月～3月の各3ヶ月を原則とする。

4. 7 対照用線量計

素子の自己照射や宇宙線による線量への寄与、線量の読み取りや校正方式に対する変化を調べる目的で対照用線量計による測定を併用することが望ましい。

対照用線量計は、モニタリングに使用する線量計と同じモニタリングバッチの中から6個～10個を選び、モニタリング期間中、一定点に置かれた厚さ5cmの鉛しゃへい体の中に配置する。一定点としては、モニタリング地点の中から1ヶ所、あるいはそれと線量レベルが類似した場所1ヶ所を選ぶ。

第 5 章 測 定

5. 1 前処理

線量計の素子は、汚れや傷などを付けないよう日常の取扱いには注意する。多少の汚れ(指紋、ほこり等)は読み取りへの影響は少ないが、年 1 回程度の定期的な洗浄を行う。

特に再生処理前の素子に、再生処理によって焼き付くような物質(金属片等)が付着している場合や、線量計が高温多湿状態に長期間さらされて素子表面が無色透明の状態から少しでも白い濁りが認められた場合は、指定された方法に従って洗浄を行う。このように白濁の状態になると、測定値が高くまたは低くなる影響が現れる。

5. 2 再生処理

線量計を環境γ線モニタリングに用いる際には、再生処理を毎回行い、素子に蓄積された線量情報を消去してから使用する。処理の手順を以下に示す。

- ①再生処理する素子をカプセルから取り出す。
- ②素子を再生処理容器に挿入する。
- ③その容器を再生処理用のオープンにセットする。
- ④以下の条件で加熱操作を行う。

昇温速度：100℃／h～800℃／h

保持温度：400℃±15℃

保持時間：1 時間

降温速度：20℃／h～400℃／h

- ⑤素子の破損を防ぐため、オープン内温度が 100℃以下になってから素子を取り出す。
- ⑥素子を室温にて 1 時間以上冷却させた後、カプセルに戻す。

5. 3 測定方法

5. 3. 1 線量計

測定における取扱い手順を以下に示す。

(1) モニタリング前の指示値の読み取り

リーダーで指示値を読み取る。読み取りの前にリーダー校正時と同様の条件で素子に熱処理を施す。

再生処理後のプレドーズが異常に高い値を示す線量計は素子を洗浄し、再度再生処理を行い、プレドーズを確認する。

(2) 配置

線量計を各モニタリング地点に配置する。

(3) 回収・熱処理

線量計回収後は、リーダ校正時(6. 2. 1 項参照)と同様の条件で素子に熱処理を施す。

熱処理条件：線量計を $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ の温度で 1 時間加熱後、室温で 30 分以上冷却する。(付録 1 照射時温度と熱処理条件に関する特性試験参照)

(4) モニタリング後の指示値の読み取り

指示値をリーダにより読み取る。

(5) 増量値算出

モニタリング前後の指示値から増量値を求める。

5. 3. 2 リーダ

(1) 装置のウォーミングアップ

リーダ使用時には、読み取り前に十分なウォーミングアップの時間をおく。

(2) リーダ内部素子の校正

標準照射した線量計によるリーダ内部素子の校正はモニタリングの都度行うのが望ましいが、少なくとも年 1 回以上行わなければならない。

(3) リーダの校正

内部素子によるリーダの校正は、測定の都度(一連の照射単位毎に)行わなければならない。

(4) 定期点検

リーダの定期点検は、少なくとも年 1 回以上行うことが望ましい。

5. 3. 3 補正

線量計は、日常のモニタリングではリーダおよび線量計の校正が確実に行われていれば、特別な補正は必要ない。

第6章 校 正

6. 1 概説

計測装置を使用する前には、正確な測定値を得るため「校正」を行う必要がある。

校正には、「リーダの校正」と「線量計の校正」の2つがある。

6. 2 リーダの校正

リーダの校正には、「標準照射した線量計による内部素子の校正」と「日常使用時の内部素子によるリーダの校正」の2種類がある。

6. 2. 1 標準照射した線量計による内部素子の校正

線量測定値のトレーサビリティを確保するため、標準照射した線量計を用いて、リーダに内蔵されている内部素子の線量値の値付けを行う。この操作は、リーダを初めて使用する前および年1回以上の、定期点検時に行わなければならない。

(1) 線量計の標準照射

イ) 標準照射

線量計の標準照射は、照射線量標準とのトレーサビリティが明確な照射線量測定器によって照射線量(率)が測定された γ 線照射装置もしくは標準 γ 線源を用いて JIS Z 4511「照射線量測定器及び線量等量測定器の校正方法」*を参考に行う。

γ 線源としては、 ^{137}Cs または ^{60}Co を用いる。標準照射には、毎回同一の線源もしくは同一核種の線源を用いなければならない。

ロ) 指示値読み取り前の素子の熱処理

読み取り前に、素子に熱処理を行うと、放射線に照射された素子のラジオホルミネセンスの光量を短時間でビルドアップさせるため、経時変化に伴う測定値への影響を少なくすることができる。

熱処理は、標準照射後に、所定の恒温槽を用い、設定温度 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ の雰囲気において、線量計を約1時間(およそ ± 5 分以内)の熱処理を施す。素子は、カプセルから出さずに線量計のままセットしてよい。

日常のモニタリングに用いる線量計についても、必ず同一条件で読み取り前の

* : 最新版を使用することが望ましい。本マニュアル制定時の最新版は1999年版である。

熱処理を行う。

熱処理終了後は、必ず十分室温に戻しておく(およそ30分以上室温にて放置)こと。なお、線量計保管場所および読み取り場所における γ 線量率は、 $0.1 \mu \text{Gy/h}$ 以下でなければならない。

ハ) 内部素子の線量値の値付け

標準照射した線量計を用い、標準照射線量値によりリーダ内部素子の線量値の値付けを行う。

6. 2. 2 内部素子によるリーダの校正

日常の測定においては、リーダの周囲温度等の影響により、指示値に多少の誤差を生じる場合があるので、読み取り前にはリーダの校正定数を求めておかなければならない。リーダの校正定数は、内部素子によるリーダの校正操作を行うことによって自動的に設定することができる。

本操作は、測定の都度(一連の照射単位毎に)行わなければならない。

6. 3 線量計の校正

線量計の校正は、以下のとおり行う。

モニタリングに使用している線量計の素子と同一ロットの素子 10 個に、約 $200 \mu \text{Gy}$ の γ 線の標準照射を実施する。リーダ校正時と同様の読み取り方法により測定を行い、線量計の校正定数を次式により決定する。

$$K = C / \bar{I}$$

$\bar{I}$: 10 個の線量計の増量値の平均値

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^{10} I_i / 10$$

I_i : i 番目の線量計の増量値($i=1, 2 \cdots 10$)

C : 標準照射線量値

K : 線量計の校正定数

線量計の校正は、3 ヶ月毎および各読み取りの前に行うことが望ましい。

なお、使用している線量計のロットに対して指定された補正係数がある場合には、その値をリーダに読み込むことにより感度補正を行っても差し支えない。

第7章 モニタリングデータの記録と評価

7.1 モニタリングデータの記録方式

モニタリングデータを記録する際には、測定条件とそのデータの精度や信頼性に関する情報を含めた一定の書式に記入することが望ましい。記入書式の一例を第7.1表に示す。

共通項目については以下の欄を設ける。

- a) モニタリング区域
- b) 線量計の型名
- c) リーダの型名
- d) リーダの校正定数
- e) 測定日
- f) 測定者

個別のデータ項目に対しては、以下のような欄を設ける。

- ① モニタリング地点
- ② 線量計番号
- ③ モニタリング期間(日数)
- ④ モニタリング前指示値
- ⑤ モニタリング後指示値
- ⑥ 増量値
- ⑦ 線量計校正定数
- ⑧ 平均値
- ⑨ 積算線量値
- ⑩ 備考

7.2 モニタリング結果の評価

あるモニタリング地点の、あるモニタリング期間中の積算線量を評価し、この積算線量が有意な増減を示しているかどうかを判断するため、測定から評価までの手順を以下に示す。

- (1) ある期間、ある地点の測定値(通常3個以上の各増量値)のうち、明らかに異常値*と思われる数値があれば、以後の計算処理のための数値群から除く。
 - (2) 異常値を除いた数値群から、各増量値の平均値を求め、この値を「積算線量値」とする。
 - (3) このようにして求めた積算線量値を、そのモニタリング地点のバックグラウンド線量値(その他の基準となる線量値等)と比較し、線量値の増減を判断する。
-

* : 異常値は、測定の都度、各モニタリング地点の過去の測定データおよび他のモニタリング地点のデータ等を考慮し判断する。

第 7. 1 表 環境 γ 線量モニタリング結果（蛍光ガラス線量計用）の例

a モニタリング区域 _____ b 線量計の型名 _____ c リーダの型名 No. _____

d リーダの校正定数 _____ e 測定日 年 月 日 f 測定者 _____

No.	① モニタリ ング地点	② 線量計番 号	③ モニタリ ング期間 (日数)	④ モニタリ ング前指 示値	⑤ モニタリ ング後指 示値	⑥ 増量値	⑦ 線量計 校正定 数	⑧ 平均値	⑨ 積算線量値 (μ Gy/91d)	⑩ 備 考
						⑤－④				
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							
			月 日							
			～							
			月 日							
			()							

(注) 共通項目で別紙があるときは文書名を記入する
備考は記号をつけて欄外に記入する

解説 1 蛍光ガラス線量計による環境γ線量測定における一般的事項

1. 1 蛍光ガラス線量計計測装置の原理・特徴

銀イオンを含有するある種の磷酸ガラス（銀活性リン酸ガラス）に、放射線を照射し、その後紫外線で刺激すると蛍光を発する。この現象はラジオホトルミネセンス（RPL）と呼ばれ、蛍光量が放射線量に比例することから、線量計に応用されている（解第 1. 1 図）。

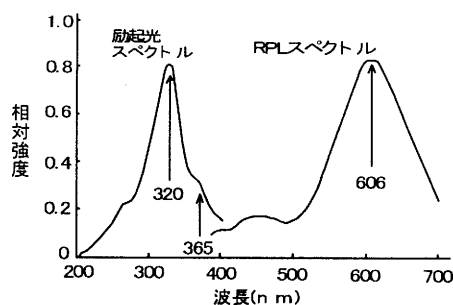
電離放射線がガラス素子に照射されると、電子および正孔の対が作られる。この電子はガラス構造中の Ag^+ に捕獲されて Ag^0 が生ずる。一方正孔はいったん PO_4 四面体に捕らえられるが、時間の経過にともない Ag^+ へ移行し、ついでより安定な Ag^{++} が形成される（解第 1. 2 図）。



解第 1. 1 図 ガラス素子の蛍光中心

解第 1. 2 ガラス線量計の測定原理

これらの Ag^0 および Ag^{++} が、共にガラス中の蛍光中心となることが ESR 等により確認されている。ガラス中では蛍光中心は極めて安定であり、これが線量計のフェーディング特性のよい理由となっている。



解第 1. 3 図 照射ガラス素子の蛍光（RPL）スペクトル

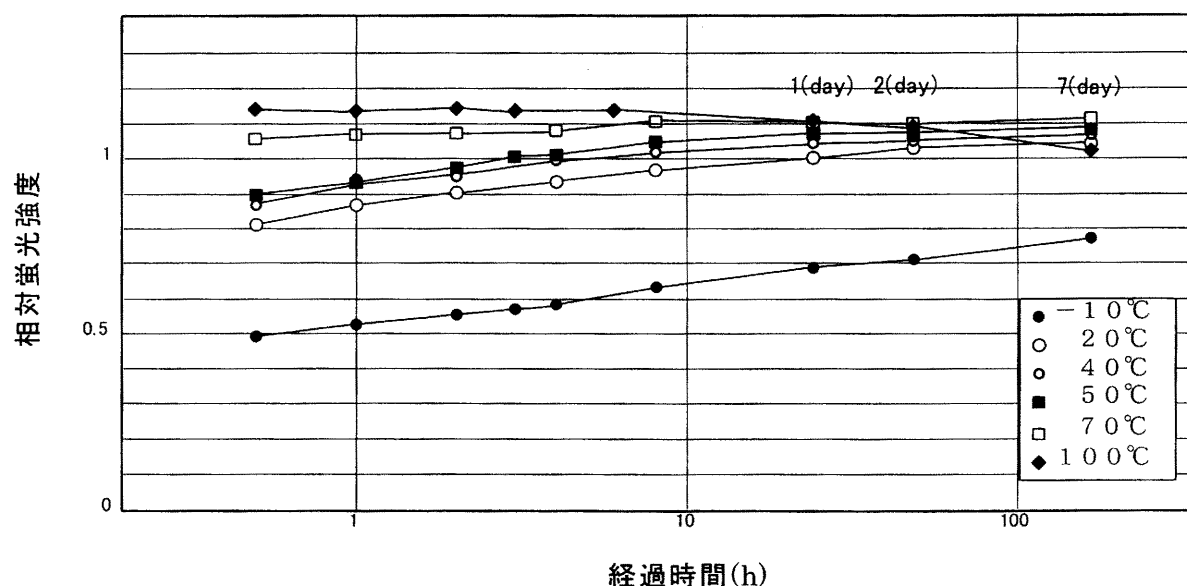
蛍光中心は 320nm の紫外線で励起すると 606nm 近辺に ピークを持つ RPL を効率よく発生する。未照射のガラス素子でも 320nm の紫外線照射により、425nm にピークを持つガラス固有の蛍光（プレドーズ）を発生する（解第 1. 3 図）。

蛍光中心 Ag^{++} が生成する過程はかなり緩慢である。このビルドアップ過程の速度は、ガラスの組成 Ag 量等に依存する。

解第 1. 4 図に線量計（SC-1）の保存温度（ $-10^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ）と相対蛍光強度との関係を経時変化特性（7 日間）として示す。この図から、ガラス素子の保存温度による蛍光中心のビルドアップとフェーディング過程がわかる。

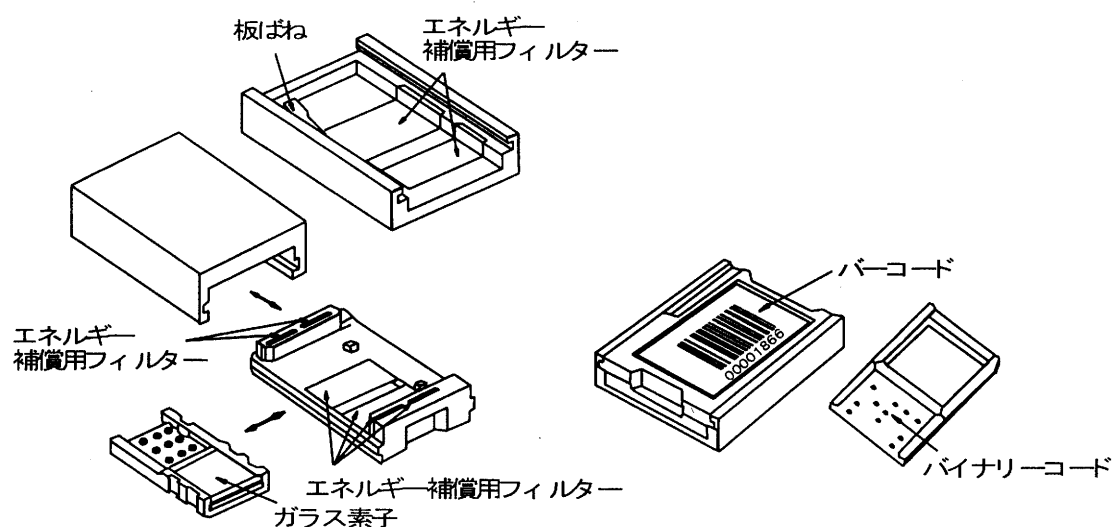
保存温度が高いほど蛍光中心のビルドアップが速く、蛍光強度も大きい。例えば 100°C の場合、約 0.5 時間で蛍光強度が飽和値に達しており、また、10 時間を経過した頃からフェーディングが見られるようになる。70℃以下の保存温度では、フェーディングは見られない。

蛍光強度の飽和値は、保存温度によって数%の差がある。



解第 1. 4 図 蛍光ガラス線量計の保存温度による経時変化特性

ガラスは成分や寸法の均一性を高くすることが可能であり、素子の感度の不均一性を小さくすることができる。プレドーズはロット毎に多少変動する。近年、連続パルス発振のできる窒素ガスレーザーを紫外励起源とした新しいリーダが開発されたことにより、プレドーズを極めて小さくすることが可能となった。また、線量計の読み取りにおけるカプセル開閉操作の自動化が進み、装置の制御およびデータ処理はマイクロコンピュータで行うとともに、外部コンピュータへの接続も可能である等の進展により、性能ならびに操作性が極めて向上した。



解第 1. 5 図 蛍光ガラス線量計 SC-1 の構造

解第 1. 1 表 蛍光ガラス線量計 SC-1 の仕様

項 目	仕 様
測定線種	γ ・X 線 : 32keV～3MeV
測定線量範囲	20 μ Gy ～ 10Gy
エネルギー特性	32keV～1.25MeV : $\pm 20\%$ 以内
フェーディング	3 ヶ月間 1%以下
材質重量組成比 (%)	Na : 11.0、Al : 6.1、P : 31.5、 O : 51.2、Ag : 0.17
寸 法	カプセル : 30mm×40mm×9mm ガラス素子 : 16mm×16mm×1.5mm
重 量	約 15g

現在市販されている線量計 SC-1 の構造を解第 1. 5 図に示す。ガラス素子は、エネルギー補償用フィルターを組み込んだプラスチックケース（カプセル）に収納されている。素子の識別にバイナリーコード（20 ビット）を、線量計にはバーコード（8 桁）が用いられている。また、SC-1 の仕様を解第 1. 1 表に示す。

1. 2 環境モニタリングへの適用モード

線量計を用いた環境モニタリングの方式には様々なモードが考えられる。

- (1) 1 バッチを 2 グループとし、3 ヶ月毎交互にモニタリングに配置する。
- (2) 1 バッチを 3 グループとし、2 グループを 3 ヶ月毎交互にモニタリングに配置し、1 グループを 1 年毎にモニタリングに配置する。
- (3) その他の組合せ。

本マニュアルでは、(1)の方式による場合について記述している。

1. 3 検出限界

モニタリング前線量およびモニタリング後線量の標準偏差は、読み取り時の繰り返しレーザパルス数によって変化する。一般に、読み取り値が小さいほどレーザパルス数により影響する。線量計は、ガラス素子中の RPL（蛍光）中心が読み取り操作によって消滅することがないため、線量値を蓄積させながら継続して使用可能である。反面、保存期間も線量の積算が進みモニタリング前線量が大きくなる。モニタリング前線量と検出限界値との関係について、Piesch らの検討結果を以下に記述する。

標準偏差の計算式：

$$s^2 (H-H_0) = s^2 (H) + s^2 (H_0) + s^2 (H_c) \times (H^2 + H_0^2) / H_c^2$$

ただし

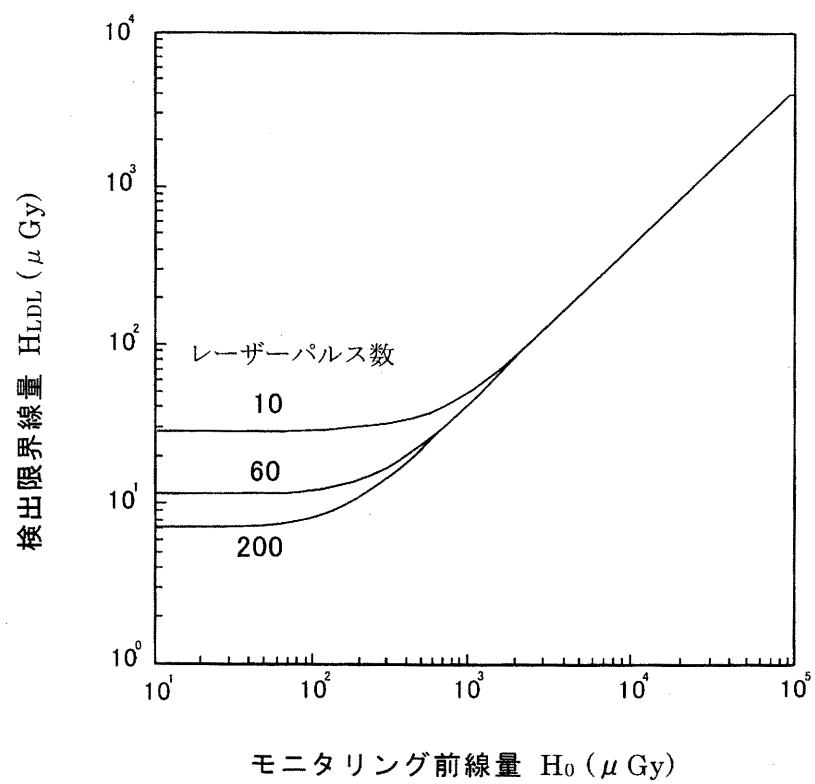
モニタリング前線量および偏差 : $H_0 \pm s (H_0)$

モニタリング後線量および偏差 : $H \pm s (H)$

校正線量および偏差 : $H_c \pm s (H_c)$

検出限界値を $2 \cdot s (H-H_0)$ とした場合の線量と限界値の関係を解第 1. 6 図に示す。

通常使用時におけるモニタリング前線量約 $20 \mu\text{Gy} \sim 30 \mu\text{Gy}$ であり、このときの検出限界線量は、レーザパルス数が 20 および 100 の場合、それぞれ $22 \mu\text{Gy}$ 、 $10 \mu\text{Gy}$ である。



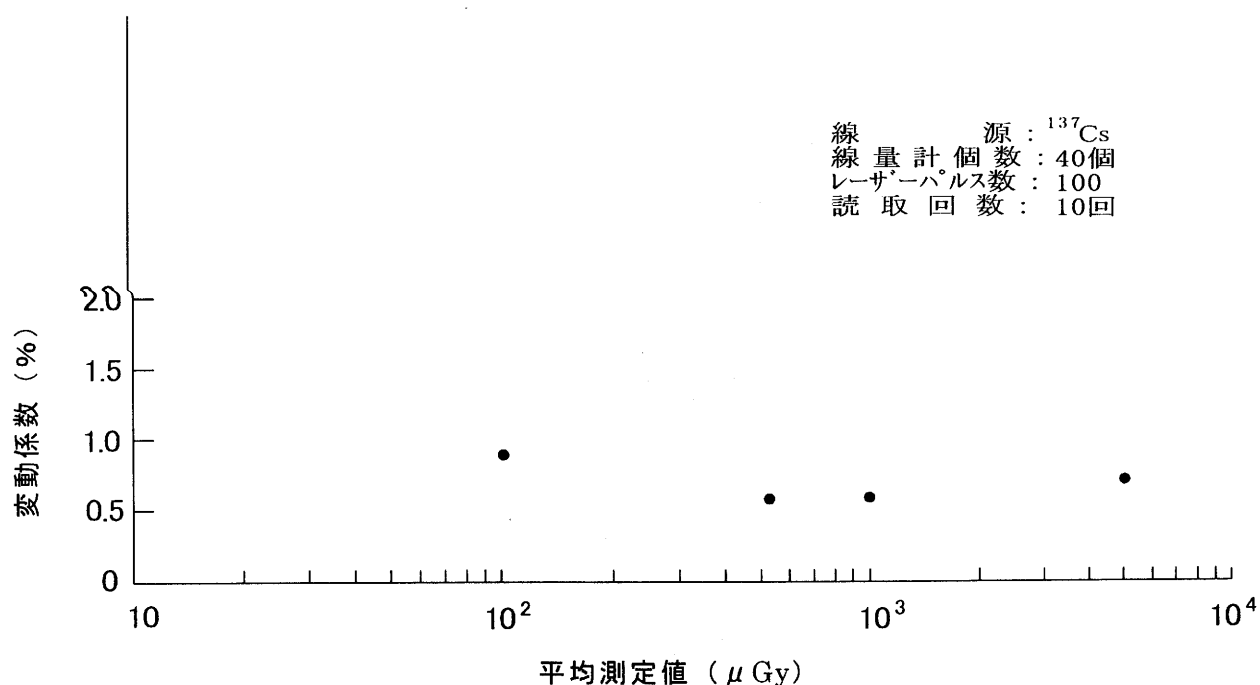
解第 1. 6 図 蛍光ガラス線量計の検出限界

解説 2 蛍光ガラス線量計の基本的特性データ

線量計を環境モニタリングに適用するために確認すべき諸特性試験を、実施した。その試験結果について主なものを以下に記述する。使用した線量計は、A 社製の SC-1 型、リーダは FGD-20 型である。

2. 1 線量計間の感度ばらつき

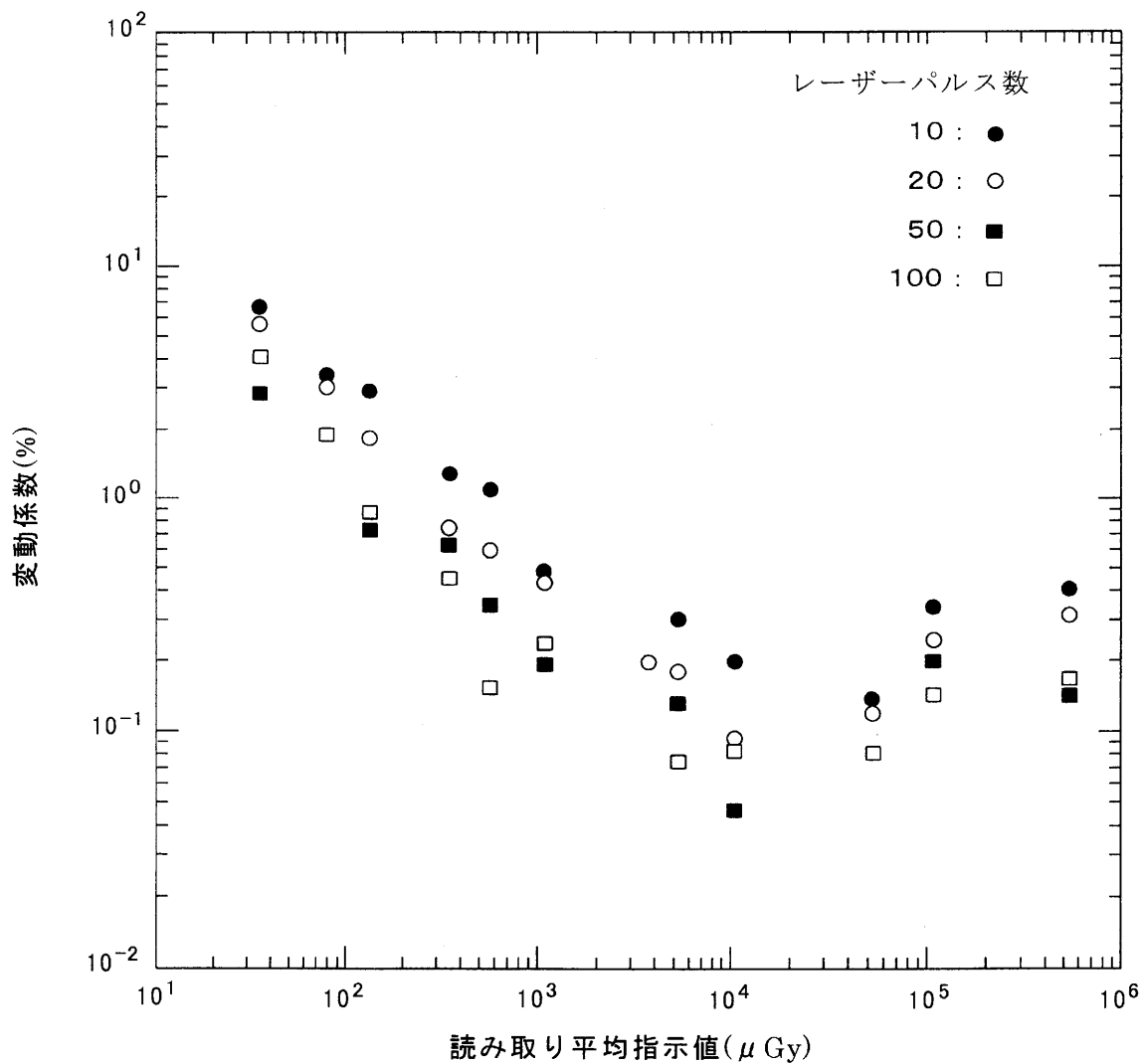
同一ロットの線量計 10 個×4 群を ^{137}Cs — γ 線により、 $100\mu\text{Gy}$ 、 $500\mu\text{Gy}$ 、 1mGy および 5mGy の線量照射時の線量計間の感度ばらつきを解第 2. 1 図に示す。線量計サンプル：40、読み取り時のレーザーパルス数：100 の場合は、読み取り指示値の変動係数は 1% 以下で、線量計間の感度ばらつきは小さい。ただし、変動係数の値は、サンプル数、レーザーパルス数により異なる。



解第 2. 1 図 線量計間の感度ばらつき

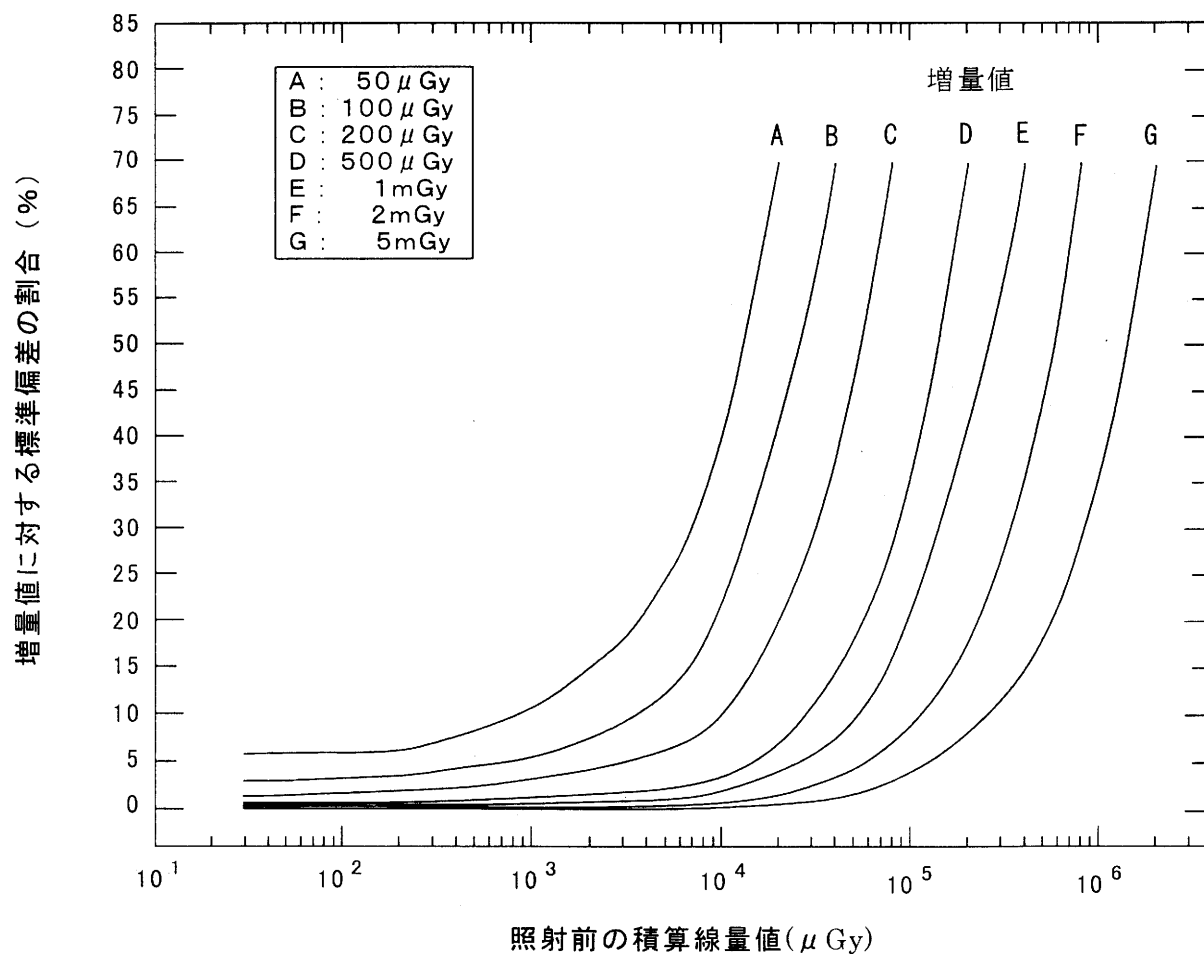
2. 2 リーダ指示値の再現性

1 個の線量計に ^{137}Cs - γ 線により $10\ \mu\text{Gy} \sim 500\ \mu\text{Gy}$ 、さらに $1\ \text{mGy} \sim 500\ \text{mGy}$ を照射し、読み取り時のレーザパルス数を $10 \sim 100$ として、同一の線量率を 10 回繰り返し読み取った時の平均指示値とその変動係数の関係を解第 2. 2 図(1)に示す。指示値が $500\ \mu\text{Gy}$ 以上で変動係数 1%以下、 $50\ \mu\text{Gy}$ で 5%以下と高い再現性が得られている。約 1mGy までの線量範囲では、変動係数の値は線量値の増加に対してほぼ指数関数的に減少している。また、レーザパルス数を多くすることにより変動係数を小さくすることができる。例えば、レーザパルス数を 100 とすると $50\ \mu\text{Gy}$ の低線量の場合においても 2%以下である。



解第 2. 2 図 (1) リーダ指示値の再現性

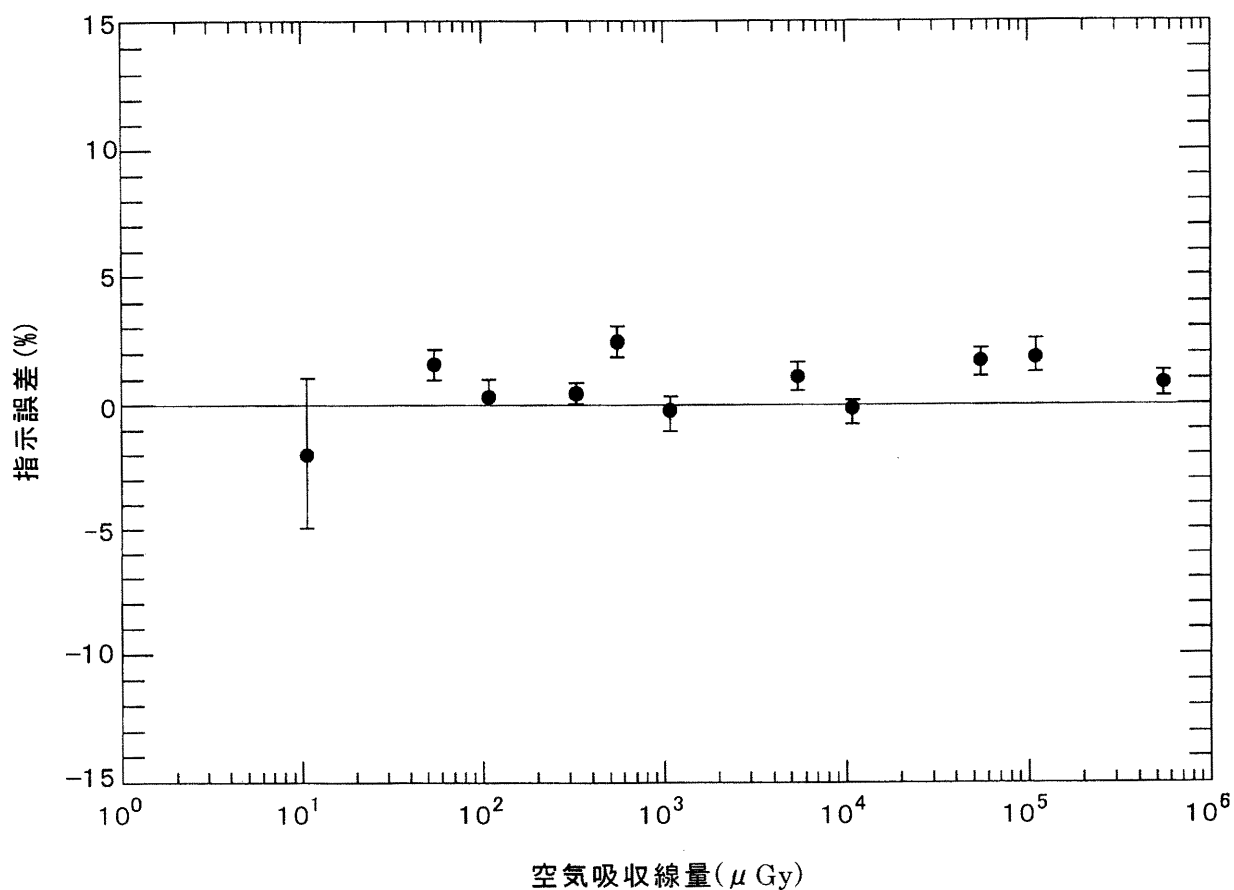
解第 2.2 図(1)の図中の変動係数は同一の線量計を繰り返し読み取った指示値の標準偏差を平均値で除した値(%)である。照射（モニタリング）前の指示値の標準偏差 a と、照射（モニタリング）後の指示値の標準偏差 b から総合標準偏差 ($\sqrt{a^2 + b^2}$) を求め、この値を照射による増量値に対する割合で表し、各増量値について線量計の積算線量値（照射前指示値）との関係を示したのが解第 2. 2 図(2)である。図から、測定したい値（増量値）に対して 10 倍以上の積算線量値が存在すると、著しく精度が低下していくことがわかる。従って、本マニュアルでは、この値の目安をおよそ 1mGy として、モニタリングに使用する前に再生処理を行うこととしている。



解第 2. 2 図 (2) 照射前の積算線量値の測定精度への影響

2. 3 線量直線性（指示値の比例性）

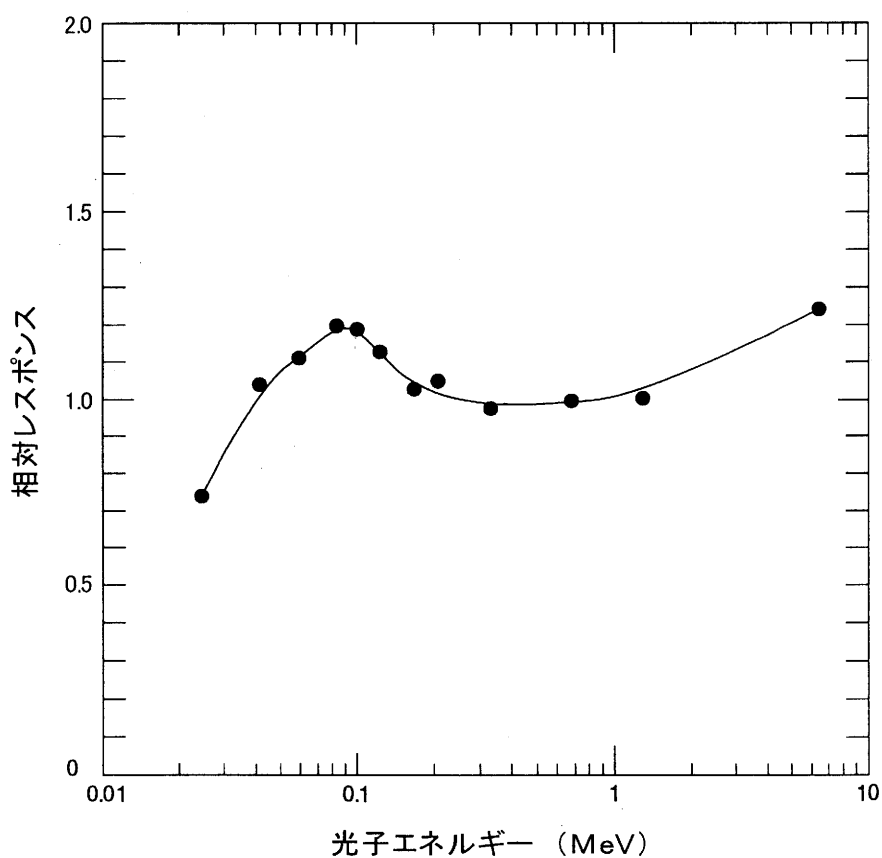
線量計 10 個×2 群について、 $^{137}\text{Cs}-\gamma$ 線で $10\ \mu\text{Gy}\sim 500\ \mu\text{Gy}$ 、さらに $1\ \text{mGy}\sim 500\ \text{mGy}$ の範囲で照射を行い、各線量値に対する指示値の比例性について試験した結果を解第 2. 3 図に示す。 $50\ \mu\text{Gy}$ 以上の線量範囲で $\pm 3\%$ 以内の直線性を有している。



解第 2. 3 図 線量直線性（指示値の比例性）

2. 4 エネルギー特性

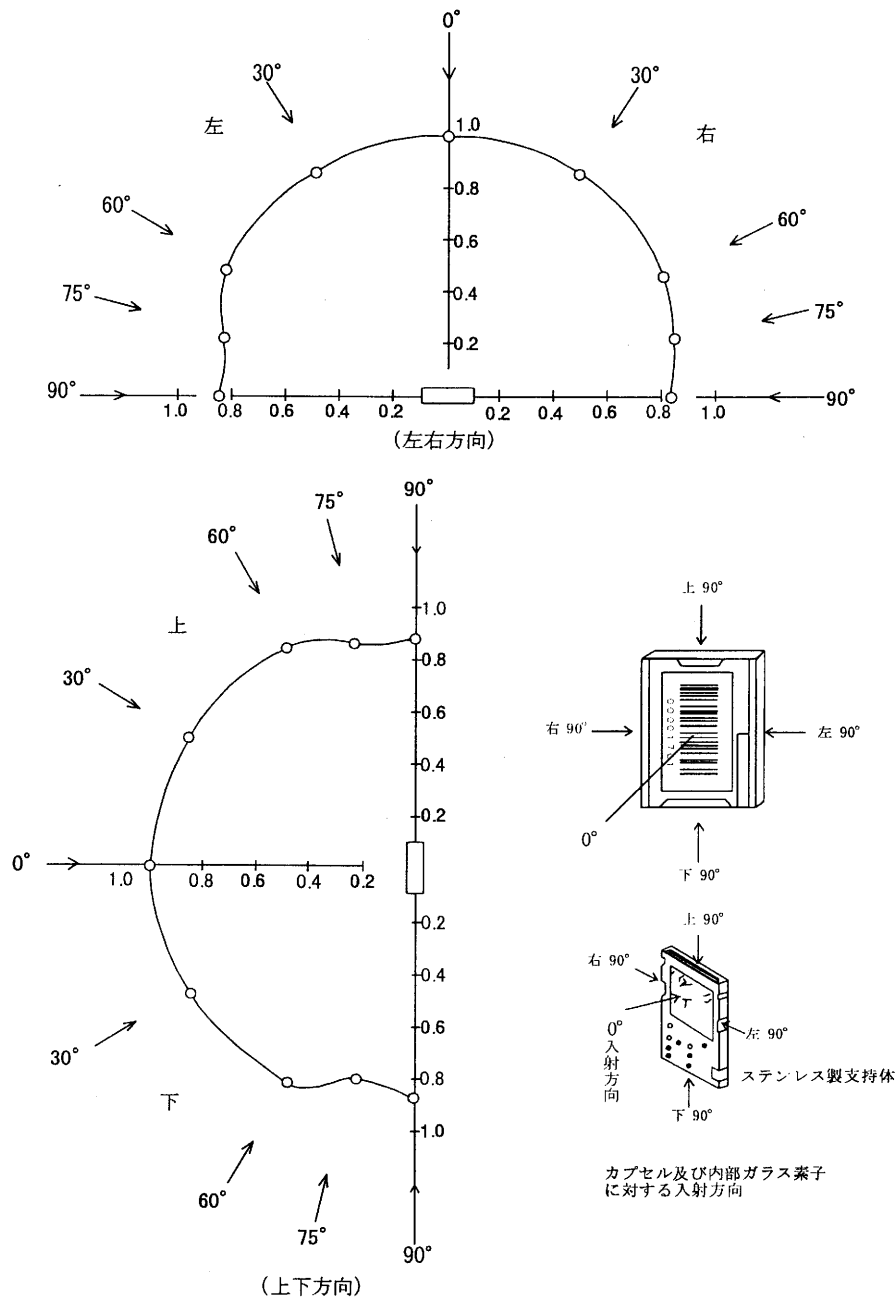
線量計 10 個×12 群について、X 線（実効エネルギー）24 keV～203 keV を 800 μ Gy、 ^{51}Cr （320 keV）と ^{16}N （6.1 MeV）を 400 μ Gy および ^{137}Cs 、 ^{60}Co — γ 線を 800 μ Gy 照射し、エネルギー特性試験結果を解第 2. 4 図に示す。 ^{137}Cs — γ 線に対するレスポンスを基準値とした時、32keV～1.25MeV のエネルギー範囲で $\pm 20\%$ 以内の特性を有している。



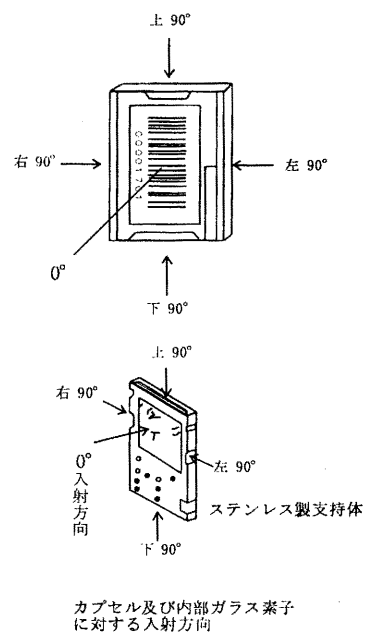
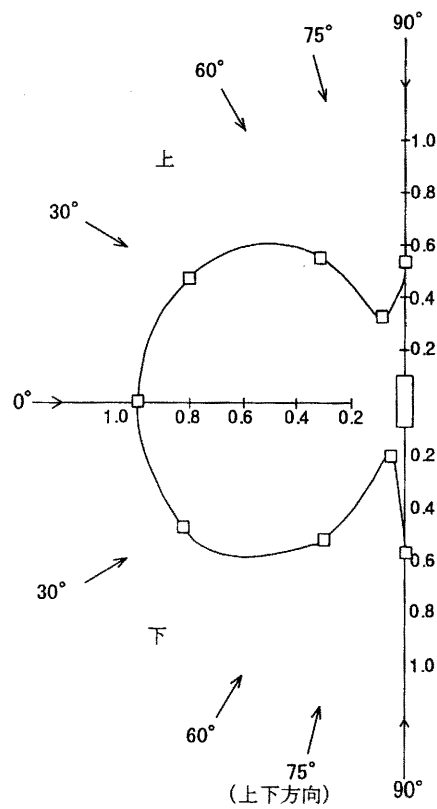
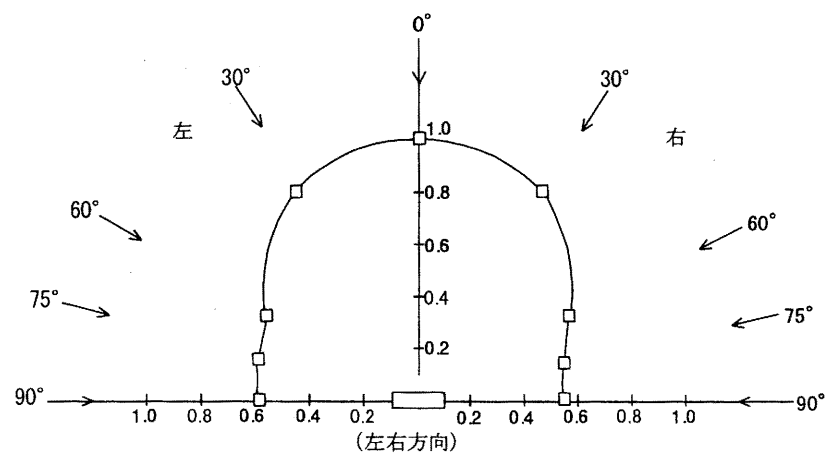
解第 2. 4 図 エネルギー特性

2. 5 方向特性

線量計 5 個×9 群について、 ^{137}Cs — γ 線および X 線（実効エネルギー80keV）を $800\mu\text{Gy}$ 照射し方向特性試験結果を、それぞれ解第 2. 5 図および解第 2. 6 図に示す。正面と左右上下各 30° 、 60° 、 75° 、 90° の角度範囲で、正面入射方向を基準とした時、 ^{137}Cs の場合±15%以内の特性を有している。



解第 2. 5 図 方向特性 (^{137}Cs)

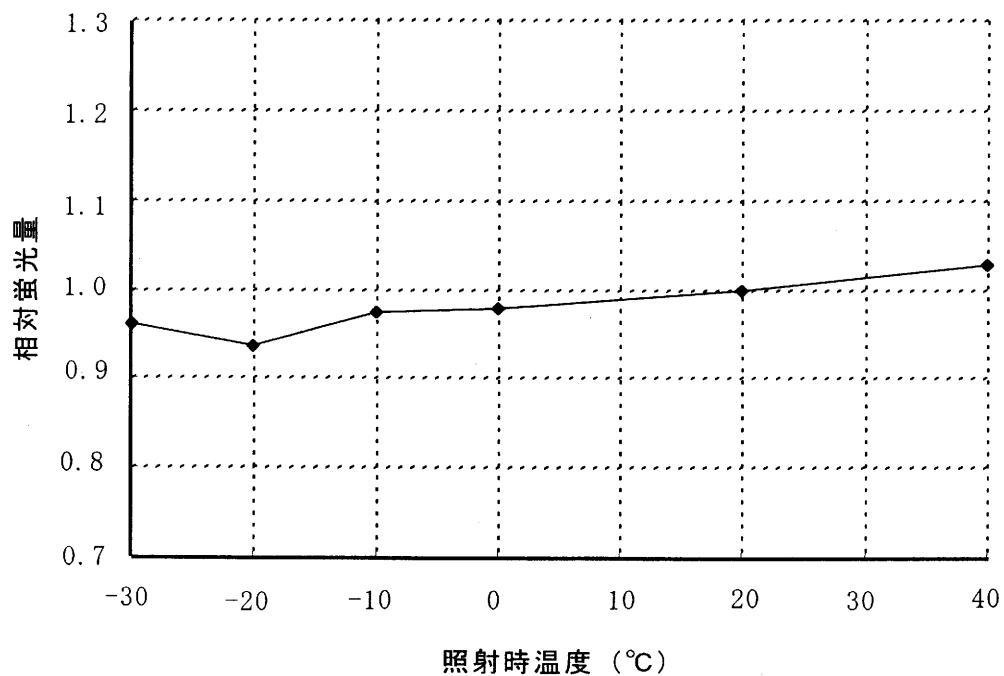


解第 2. 6 図 方向特性 (80keV X線)

2. 6 温度に対する安定性

周辺温度が -30°C 、 -20°C 、 -10°C 、 0°C 、 20°C および 40°C の各環境下で10個 $\times$ 6群の線量計に ^{60}Co 500 μGy を照射し、各温度毎に読み取り値の相違を調べた。熱処理条件は、 70°C 1時間として測定を行い、試験の結果を解第2. 7図に示す。各読み取り値の照射時温度依存性は、 20°C の指示値を基準としたとき -20°C において6.3%の低下を示したが、 -10°C ～ 40°C の範囲においては $\pm 3.0\%$ 以内であった。

温度特性に関する参考文献を付録3に示す。



解第2. 7図 温度に対する安定性

2. 7 湿度に対する安定性

環境温度 40℃、相対湿度 45%に設定した恒温恒湿装置の中に、 ^{60}Co 500 μGy を照射した線量計を 10 個入れ、48 時間後に取り出して指示値を読み取り、増量値の平均値を求め、次に同一温度で相対湿度 90%についても同様の測定を行った。その結果、湿度 45%時の指示値を基準としたとき、湿度 90%時の変化率は 2%以下であり、照射時の湿度による指示値への影響は認められなかった。

2. 8 光に対する安定性

^{60}Co 300 μGy を照射した線量計 10 個について指示値を読み取り、照射前後の指示値から増量値を求め、次に、カプセルから素子を取り出し 3000 ルックスの光を 1 時間照射し、その後カプセルに素子を戻して指示値を読み取り、増量値を求めた。その結果、光を照射する前の指示値に対する変化率は -1 % ~ -4 % の範囲で、光による指示値への影響はほとんど問題とならなかった。

2. 9 経時変化特性

線量計 15 個 $\times$ 3 群に ^{60}Co 線源により 5mGy の照射を行い、周囲温度が 0℃、20℃および 40℃の場所でそれぞれ保管した。また、各場所に未照射の線量計を併せて保管し、バックグラウンド測定用とした。

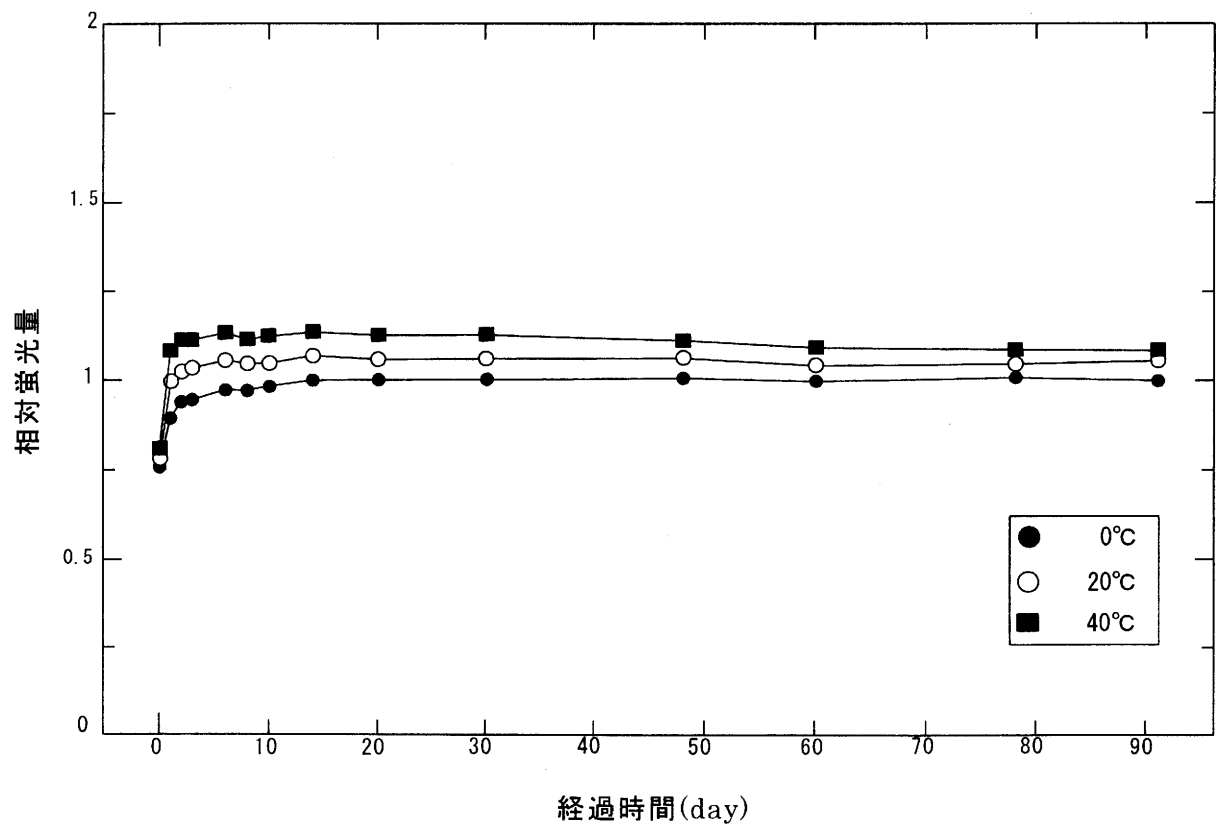
これらの線量計について 1 日 (24 時間) 以降 91 日間計 14 点の経過時間毎に増量値を求め、照射した線量計の増量値の平均値から、未照射線量計の増量値の平均値 (自然放射線による増量分) を差し引き、約 3 ヶ月間の各時期における平均値 (評価値) を求めた。20℃における 24 時間後の評価値を基準としたときの各経過時における評価値との比を求め、経時変化を調べた。これらの結果を解第 2. 8 図に示す。照射後 1 日以降 91 日間における経時変化は 0℃の場合 0.90~0.99、20℃の場合 1.0~1.05、40℃の場合 1.09~1.08 であった。

これらの結果をみると、0℃、20℃の場合は、基準とした 24 時間後の評価値よりも 1~2 週間後の評価値の方がビルドアップによりやや高い値となり、それ以降は 1%~2%低い値となった。また、40℃の場合は 2%~3%の範囲で高い値を示すが、91 日後の値は 24 時間後の値と比較して 1%程度低い値となった。いずれの保管温度においても、はっきりしたフェーディングは認められなかった。

2. 10 再生処理反復性

再生処理回数の異なる線量計 10 個×3 群（再生履歴 60、40、0 回）について ^{60}Co 300 μGy 照射を 25 回繰り返し再生処理反復性試験を行った。再生処理回数毎の平均値に対し、各群の初回から 5 回までの平均値を基準とした結果、 $\pm 3\%$ 以内であり、ほとんど感度等に変化は見られなかった。

なお、製造メーカーでは、再生処理の回数限度の目安として 40 回程度を推奨している。



解第 2. 8 図 経時変化特性試験

解説 3 蛍光ガラス線量計リーダの基本的特性データ

線量計リーダを環境モニタリングに適用するために確認すべき特性試験を実施した。その試験結果について主なものを以下に記述する。

3. 1 電源電圧の変動に対する安定性

線量計 10 個を用意し、 ^{60}Co 線源によって $300\ \mu\text{Gy}$ を照射する。各線量計を、電源電圧を定格電圧に設定したリーダによって読み取り、指示値を求める。続いて、リーダの電源電圧を、定格値の $+10\%$ および -10% の電圧に設定して同様の操作を行い、それぞれの指示値を求める。

電圧電源を定格電圧に設定した場合の指示値を基準値とし、電源電圧を変化させた場合の指示値から基準値を差し引いた値の、基準値に対する百分率を求める。

その結果、定格電圧 100V における指示値を基準として、電源電圧を 90V および 110V に変化させた場合の指示値の変化率は、 $-0.9\sim-2.6\%$ の範囲であった。

3. 2 温度に対する安定性

線量計 1 個を用意し、 ^{60}Co 線源によって 5mGy を照射し、周囲温度 20°C に設定した恒温恒湿槽内で 24 時間以上放置したリーダを用いて線量計の指示値を求める。続いて、リーダの周囲温度を 5°C および 40°C に保持して、同様の操作を行い、それぞれの指示値を求める。

周囲温度 20°C における指示値を基準値とし、周囲温度 5°C および 40°C におけるそれぞれの指示値から基準値を差し引いた値の、基準値に対する百分率を求める。

その結果、 20°C における指示値を基準とした場合の 5°C および 40°C における指示値の変化率は、それぞれ $+1.8\%$ と $+0.7\%$ であった。

3. 3 湿度に対する安定性

線量計 1 個を用意し、 ^{60}Co 線源によって 5mGy を照射し、環境温度 40°C 相対湿度 45% に設定した恒温恒湿槽内で 24 時間以上放置したリーダを用いて、線量計の指示値を求める。続いて、リーダを相対湿度 80% の環境に保持して、同様の操作を行い、指示値を求める。

相対湿度 45%の場合の指示値を基準値とし、相対湿度 80%の場合の指示値から基準値を差し引いた値の、基準値に対する百分率を求める。

その結果、相対湿度 45%における指示値を基準値とした場合の相対湿度 80%における指示値の変化率は -1.3% であった。

3. 4 光に対する安定性

線量計 10 個を用意し、それらの線量計に ^{60}Co 線源によって $300\ \mu\text{Gy}$ を照射する。各線量計の照射後指示値を求め、基準値とする。続いて、光源に水銀灯を用い 3000 ルックスの光をリーダの素子挿入部周辺に垂直に照射した状態で、各線量計の照射後指示値を求め、それらの値から基準値を差し引いた値の、基準値に対する百分率を求める。

その結果、光照射前の指示値を基準とした場合、光照射時における指示値の変化率は、 $-0.7\%\sim+0.2\%$ の範囲であった。

解説 4 自己照射線量と宇宙線の寄与

線量計による環境 γ 線量の測定・評価に重要な自己照射線量と宇宙線補正線量を評価するため、湖上および洞窟内において特性試験を実施した。

4. 1 測定原理

一般に、環境における大地からの放射線による積算線量は、3 ヶ月当たり $90 \mu\text{Gy}$ 程度の非常に微少な値である。このため、積算線量測定器による線量評価において、検出器の自己汚染による検出器固有のバックグラウンド線量を把握し、測定値の補正等を検討する必要がある。

この検出器固有のバックグラウンド線量を求めるためには、通常検出器を厚さ 5cm の鉛またはこれと同等のしゃへい効果を有する鉄等のしゃへい体に入れて、大地や家屋からの放射線を十分減衰させた状態で測定を行っている。しかしながら、宇宙線の高エネルギー成分は厚さ 5cm 程度の鉛等でしゃへいすることができないため、検出器固有のバックグラウンド線量の測定値に含まれている。

環境の空間線量を A （主に大地からの放射線および空気中のラドンとその娘核種による放射線）、検出器固有のバックグラウンド B 、宇宙線による線量を C 、しゃへい体内における宇宙線線量を C' とすると、一般に、検出器固有のバックグラウンドの補正は、次式のように行われる。

$$\frac{(A+B+C)}{\text{環境中線量}} - \frac{(B+C')}{\text{しゃへい体内線量}} = A + (C - C') \cdots \cdots (1)$$

(1) 式で $(C - C')$ はしゃへい体により減衰した宇宙線の軟エネルギー成分からの線量である。この値は、 A が極めて小さな場所、すなわち、大きな淡水湖の中央または海上において、測定器をしゃへいしない場合としゃへいした場合とについてそれぞれ積算線量を測定し、次式のように両者の差から求める。

$$\frac{(B+C)}{\text{しゃへい体外線量}} - \frac{(B+C')}{\text{しゃへい体内線量}} = (C - C') \cdots \cdots (2)$$

この値を宇宙線補正線量として評価し、(1) 式より差し引けば A のみの線量を評価することができる。

4. 2 評価試験

1) 線量計の宇宙線補正線量評価試験

宇宙線補正線量を評価するため、潤沼湖（茨城県茨城町）の湖上中央（水深 2.6m）において 1 ヶ月にわたってボートを係留し、しゃへい体外としゃへい体内（鉛 5cm）に線量計を配置して宇宙線線量の評価試験を実施した。

試験の結果、宇宙線補正線量は $5.2 \mu\text{Gy}/90\text{d}$ であった。この値は、(1) 式の A に比較して無視できる値であることがわかった。また、この値は TLD (UD-200S) と比較して約 20%低い値である。

2) 線量計の自己照射線量評価試験

自己照射線量を評価するため、宇宙線成分の寄与を十分無視できる地下洞において、約 3 ヶ月にわたって線量計を配置し、線量計自体の自己照射線量を測定した。洞窟内のバックグラウンド成分の影響をなくすため、線量計を 10cm 厚の鉛しゃへい体内に配置した状態で測定を実施した。

試験の結果、自己照射線量値は 90 日換算で $22.8 \mu\text{Gy}/90\text{d}$ であった。この値は TLD (UD-200S) と比較すると、約 20%低い値である。

付録 1 照射時温度と熱処理条件に関する特性試験

1. 試験方法

線量計 15 個を一定温度に保持された恒温恒湿槽内に設置し、外部より ^{137}Cs 線源によりそれぞれ同一の線量の照射を行う。照射後は、線量計を室温にて一定時間(30 分)経過後、3 個ずつ 5 群に分け、リーダによる指示値読取り前の熱処理条件を 5 通りとして、各条件下の指示値(増量値)を比較する。設定温度は、 -30°C から $+40^{\circ}\text{C}$ までの範囲で 6 通りとし、それぞれの試験結果を検討する。

2. 試験条件

線 量 計 : A 社製 SC-1

読取装置 : " FGD-20

照射時温度 : -30°C , -20°C , -10°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$, $+40^{\circ}\text{C}$

照射線量 : 約 $200\ \mu\text{Gy}$ (Cs-137:1 照射 62 時間)

読取り条件 :

- ① 熱処理無し…室温にて 24hr 保管後に指示値を読み取る。

(保管温度 : $15\sim 20^{\circ}\text{C}$)

- ② 熱処理 70°C : 0.5hr

- ③ " 70°C : 1hr

- ④ " 70°C : 2hr

- ⑤ " 100°C : 0.5hr

なお、②～⑤熱処理時は、熱処理後に室温にて 30～40 分冷却後、指示値を読み取る。

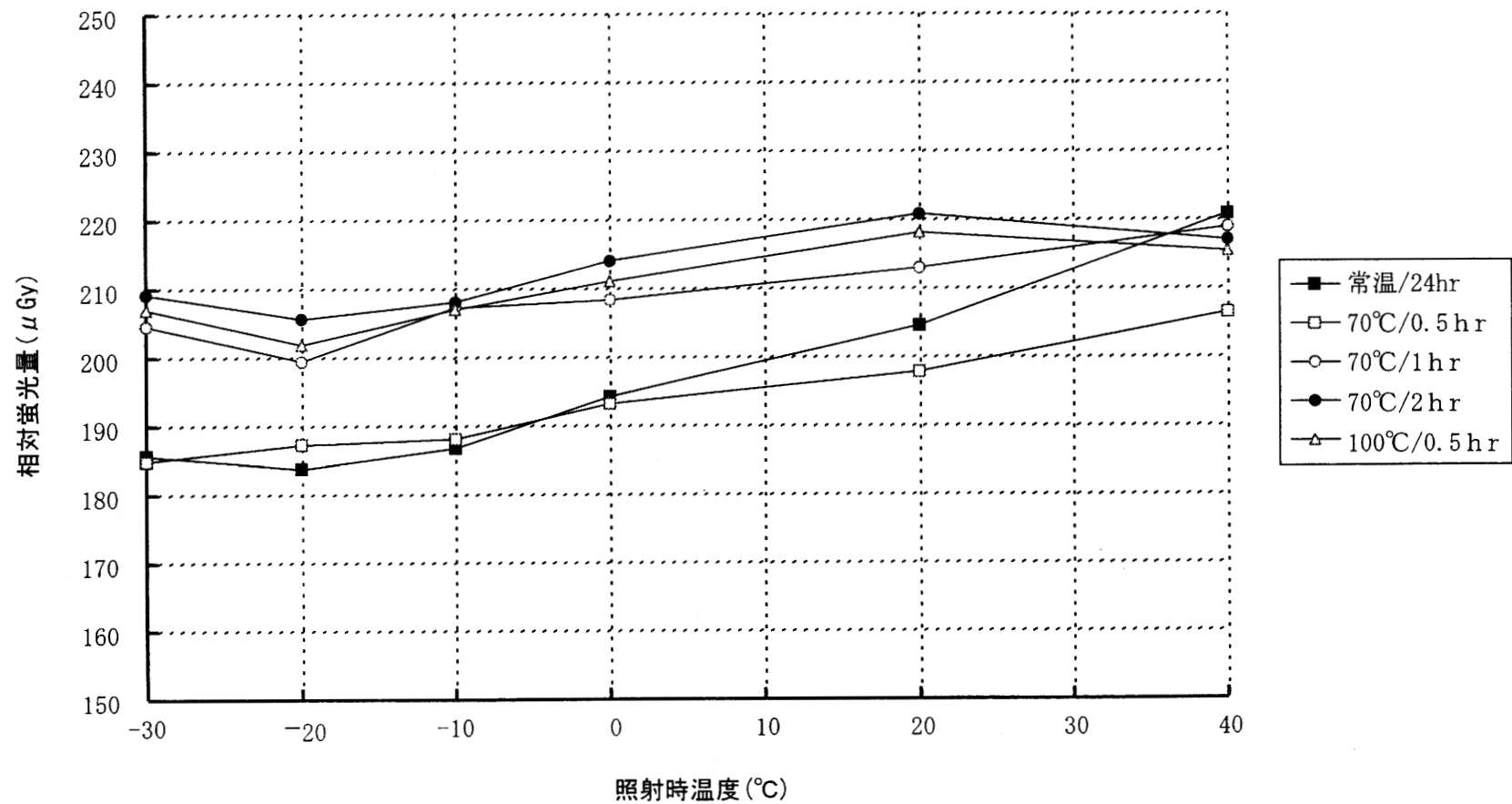
3. 試験結果

照射時温度を $+20^{\circ}\text{C}$ 、常温 24hr 保管後における値を基準とした、各温度・各条件における特性試験結果および相対感度を付第 1. 1 表に示す。また、照射時温度と熱処理の関係を付第 1. 1 図に示す。

付第 1. 1 表 照射時温度と熱処理条件に関する特性試験結果

[上段：蛍光量 (μ Gy)、下段：相対感度]

温度 条件	-30℃	-20℃	-10℃	0℃	+20℃	+40℃	各条件の 相対感度
常温 24hr	185.8	183.9	186.7	194.3	204.5	220.7	0.96 ± 0.07
	0.91	0.90	0.91	0.95	1.00	1.08	
70℃ 0.5hr	184.8	187.2	188.2	193.3	197.9	206.5	0.95 ± 0.04
	0.90	0.92	0.92	0.95	0.97	1.01	
70℃ 1hr	204.7	199.5	207.3	208.3	212.9	218.9	1.02 ± 0.03
	1.00	0.98	1.01	1.02	1.04	1.07	
70℃ 2hr	209.3	205.8	208.2	214.1	220.9	216.9	1.04 ± 0.03
	1.02	1.01	1.02	1.05	1.08	1.06	
100℃ 0.5hr	206.9	202.0	206.9	211.1	218.2	215.4	1.03 ± 0.03
	1.01	0.99	1.01	1.03	1.07	1.05	
各温度の 相対感度	0.97 ± 0.06	0.96 ± 0.05	0.97 ± 0.05	1.00 ± 0.05	1.03 ± 0.05	1.05 ± 0.03	



付第1. 1図 照射時温度と熱処理の関係

4. 考察

- (1) 照射時の温度：+20℃においては、読み取り前に素子に熱処理を施した場合は、70℃：0.5hr の条件を除き、熱処理を施さない場合(常温：24hr 保管)の指示値と比較して4～8%高い値を示す。
- (2) 各熱処理条件における指示値の照射時温度依存性は、常温：24hr 保管の場合は-10～+8%と顕著であるのに対して、70℃：1hr, 70℃：2hr 及び 100℃：0.5hr の3つの条件では、それぞれ同一条件下の指示値の照射時温度依存性が小さい。
- (3) 照射時の温度が+40℃の時は、どの条件においても、他の照射時温度よりも高い指示値を示す。
- (4) 以上の結果から次のことがわかる。
 - ① 読取り前に素子に熱処理をすることにより、照射時における蛍光量の温度依存性を小さくすることができることがわかる。
 - ② 熱処理温度 70℃：0.5hr の条件下では、特に照射時の温度が低い場合には常温：24hr 保管の場合と同様に他の熱処理条件と比較して低く、また指示値の照射時温度依存性が大きい。この原因は、熱処理の時間が30分間と短く、ビルドアップが不十分であることによるものと思われる。これに対して70℃：1hr と70℃：2hr および 100℃：0.5hr の3つの条件下においては、いずれも各照射時温度における感度変化はおよそ±3%以内と安定している。
 - ③ 熱処理をする場合、100℃の温度雰囲気内では、素子をカプセルから取り出した状態で加熱操作を行う。しかし、70℃の温度雰囲気内では、素子をカプセルから取り出さずに加熱操作を行うことができる。このように、熱処理操作の簡便さの点からも、熱処理条件としては70℃：1hr または 70℃：2hr が適当であると考えられる。

付録 2 環境モニタリングへの蛍光ガラス線量計の適用例

1. 再生処理とプレドーズの測定

線量計素子の再生処理後のプレドーズ測定データ例を付第 2. 1 表に示す。

付第 2. 1 表 プレドーズ試験

レーザパルス数：100 読取回数：10 回

線 量 計 No.	読 取 値 (μ G y)
1731	17.3
1732	17.5
1733	17.6
1734	17.3
1735	17.5
1736	17.4
1737	17.3
1738	17.2
1739	17.9
1740	17.9
平 均 値	17.5 ± 0.3

2. 感度特性のばらつき測定

40 個の線量計にそれぞれ同一線量の照射を行い、線量計間の感度ばらつきを試験したデータ例を付第 2. 2 表に示す。

付第 2. 2 表 感度のばらつき試験

レーザパルス数：100 読み取り回数：10 回 線源： ^{137}Cs 線量計個数：40 個

空気吸収線量 (μGy)	増 量 値 (μGy)			変 動 係 数 n=40 (%)
	平 均 値	最 大 値	最 小 値	
100	99.5 $\pm$ 0.9	100.9 $\pm$ 1.1	96.9 $\pm$ 1.2	0.90
500	493.9 $\pm$ 3.0	502.1 $\pm$ 1.8	487.7 $\pm$ 1.3	0.61
999	985.4 $\pm$ 6.2	998.5 $\pm$ 2.9	969.7 $\pm$ 4.1	0.63
4996	4965.2 $\pm$ 38.6	5040.1 $\pm$ 9.1	4882.1 $\pm$ 7.7	0.78

3. モニタリングバッチの選定

製造過程のロット番号が同じ線量計を、上記 1～2 項の試験により基本性能を確認の上、モニタリングに配置する 2 つのグループと予備品とを選定する。

4. 蛍光ガラス線量計の配置

TLD による従来の積算線量モニタリングでは、3 ヶ月毎に測定記録している。この方式は TLD の感度、精度、フェーディング等の諸特性から妥当と考えられる。線量計も本質的にはこれと同じモニタリングサイクルを採用することが望ましい。モニタリングバッチの中からグループ 1 とグループ 2 とを選定する。グループ 1 の配置とグループ 2 の回収を同時に行い、これを交互に繰り返すことが合理的である。

なお、線量計の配置、読み取り、再生方式には様々なバリエーションが考えられる（解

説 1. 2 参照)。ある 1 年度内のモニタリングのバリエーション例を付第 2. 1 図に示す。

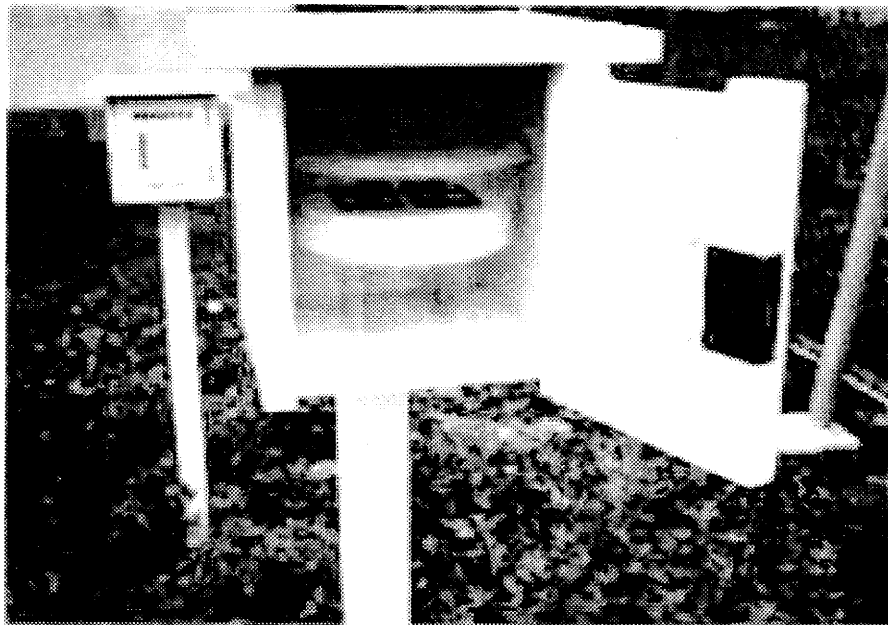
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	
	配置	回収	配置	回収	
グループ 1	☆		☆		☆
グループ 2		☆		☆	

☆：線量計の再生処理・校正を示す。(測定毎)

付第 2. 1 図 蛍光ガラス線量計によるモニタリングバリエーション

5. 蛍光ガラス線量計の配置方法

線量計の配置例を付・写真 2. 1 に示す。



付・写真 2. 1 蛍光ガラス線量計の配置例

6. モニタリングの例

6-1 TLD との比較試験

8月から11月までの92日間にわたり、日本原子力研究所東海研究所のモニタリングポストおよびモニタリングステーションの中から4地点を選び、線量計をTLD（2機種）と並行してフィールド試験を行い、TLDとの相互比較を行った。各地点の配置線量計の数は、TLD3個、線量計4個である。対照用線量計としてTLDと線量計を厚さ5cmの鉛しゃへい体の中に入れ、バックグラウンド線量値を測定した。

これらの試験結果を付第2.3表に示す。

付第2.3表 蛍光ガラス線量計とTLDとの比較試験結果

モニタリング地点	積算線量評価値（ μGy ）*		
	TLD		蛍光ガラス線量計
	UD-200S	UD-804PQ	SC-1
MS-4	118.7 $\pm$ 7.0 (1.04)	114.4 $\pm$ 3.5 (1.01)	113.6 $\pm$ 3.6 (-)
MS-3	86.4 $\pm$ 5.2 (1.08)	79.4 $\pm$ 4.4 (0.99)	79.8 $\pm$ 3.7 (-)
MP-13	100.4 $\pm$ 5.2 (1.08)	92.5 $\pm$ 2.6 (0.99)	93.2 $\pm$ 4.3 (-)
MS-2	94.3 $\pm$ 3.5 (1.06)	83.8 $\pm$ 1.7 (0.95)	88.6 $\pm$ 2.8 (-)
BG**	52.4 $\pm$ 2.6	51.5 $\pm$ 1.7	65.5 $\pm$ 2.1

*：（ ）内数値は、SC-1の値を基準とした相対感度を示す。

**：5cm厚鉛しゃへい体内におけるバックグラウンド線量値

6-2 蛍光ガラス線量計の配置比較試験

線量計の配置方法を 8 通りとし、約 3 ヶ月間モニタリングを行い、積算線量評価値を比較した結果を付第 2. 4 表に示す。

地表に対して水平方向・垂直方向とも、線量計同士を密着した場合には、間隔を 5cm とした場合よりも評価値が約 5%低下する結果が得られたが、配置の方向に相違があっても各評価値間に有意差は認められない。また、線量計同士の間隔を 1cm とした場合と 5cm とした場合とを比較すると、ほとんど差異は認められない。

このことから、線量計の設置する方向の相違による測定値への影響は少なく、更に線量計同士 1cm 程度間隔をあけることにより、各線量計間の吸収等による測定値への影響は無視できることがわかる。

付第 2. 4 表 配置方法の相違によるモニタリング結果の比較

配置方法	評価値 $\pm\sigma(\mu\text{Gy})$	変動係数(%)	相対感度
①水平密着	98.7 $\pm$ 2.4	C.V.=2.4	0.97
②水平 1cm 間隔	99.6 $\pm$ 1.3	1.3	0.98
※③水平 5cm 間隔	101.5 $\pm$ 1.2	1.2	—
④水平重密着	95.6 $\pm$ 3.1	3.2	0.94
⑤水平重 5cm 間隔	100.6 $\pm$ 1.3	1.3	0.99
⑥垂直密着	97.4 $\pm$ 2.9	3.0	0.96
⑦垂直 1cm 間隔	100.0 $\pm$ 2.1	2.1	0.99
⑧垂直 3cm 間隔	102.0 $\pm$ 1.8	1.7	1.00

※：相対感度は、③による評価値を基準

付録 3 参考文献

- 1) 藤村亮一郎, 山下忠興: 放射線による固体現象と線量測定, 養賢堂, (1985).
- 2) 財団法人放射線計測協会:
放射線計測機器の規格化に関する対策研究成果報告書 (1983).
- 3) Piesch, E., Burgkhardt, B.: Radioprotection, **29**, 39 (1994).
- 4) 石渡達也他: 第 32 回理工学における同位元素研究発表会要旨集, 107 (1995).
- 5) 松浦賢一他: 日本保健物理学会第 32 回研究発表会要旨集, 57 (1997).
- 6) 西田由博: 保健物理, **33**, 134 (1998).
- 7) 田島義徳他: 鹿児島県環境保健センター所報, **1**, 103 (2000).
- 8) 山崎興樹他: 新潟県保健環境科学研究所年報, **16**, 90 (2001).

本分析法の制定に関する調査検討、及び本マニュアルの作成は、下記の方々のご協力を
得て行いました。ご尽力に対し深く御礼申し上げます。

阿部 史朗	(財) 日本分析センター
石黒 秀治	(財) 原子力研究バックエンド推進センター
泉 幸男	(財) 放射線計測協会
今村 博香	鹿児島県
岩島 清	(株) 環境管理センター、放射線審議会測定部会長
植頭 康裕	核燃料サイクル開発機構
岡野 眞治	(財) 放射線影響協会
片桐 浩	日本原子力研究所
小林 秀雄	日本原子力研究所
小村 和久	金沢大学
白石 文夫	元立教大学
田村 務	(財) 放射線計測協会
殿内 重政	新潟県
中村 吉秀	(社) 日本アイソトープ協会
沼宮内 弼雄	(財) 放射線計測協会
浜田 達二	(社) 日本アイソトープ協会
平井 保夫	茨城県
藤高 和信	放射線医学総合研究所
船本 久雄	日本原子力発電株式会社
水書 利雄	(財) 放射線計測協会
南 賢太郎	日本原子力研究所
村上 博幸	日本原子力研究所
村松 康行	放射線医学総合研究所
望月 民三	(財) 放射線計測協会
森内 茂	日本原子力研究所
吉田 芳和	(財) 放射線計測協会
吉清水克己	(財) 日本分析センター

(敬称略・五十音順)

(所属は、ご協力を頂いた時点における所属機関名を記した。)

放 射 能 測 定 法 シ リ ー ズ

1. 全ベータ放射能測定法	昭和51年 9月 (2訂)
2. 放射性ストロンチウム分析法	昭和58年12月 (3訂)
3. 放射性セシウム分析法	昭和51年 9月 (1訂)
4. 放射性ヨウ素分析法	平成 8年 3月 (2訂)
5. 放射性コバルト分析法	平成 2年 2月 (1訂)
6. NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ 機器分析法	昭和49年 1月
7. ゲルマニウム半導体検出器による ガンマ線スペクトロメトリー	平成 4年 8月 (3訂)
8. 放射性ジルコニウム分析法	昭和51年 9月
9. トリチウム分析法	平成14年 7月 (2訂)
10. 放射性ルテニウム分析法	平成 8年 3月 (1訂)
11. 放射性セリウム分析法	昭和52年10月
12. プルトニウム分析法	平成 2年11月 (1訂)
13. ゲルマニウム半導体検出器等を用いる 機器分析のための試料の前処理法	昭和57年 7月
14. ウラン分析法	平成14年 7月 (2訂)
15. 緊急時における放射性ヨウ素測定法	平成14年 7月 (1訂)
16. 環境試料採取法	昭和58年12月
17. 連続モニタによる環境γ線測定法	平成 8年 3月 (1訂)
18. 熱ルミネセンス線量計を用いた環境γ線量測定法	平成 2年 2月 (1訂)
19. ラジウム分析法	平成 2年 2月
20. 空間γ線スペクトル測定法	平成 2年 2月
21. アメリシウム分析法	平成 2年11月
22. プルトニウム・アメリシウム逐次分析法	平成 2年11月
23. 液体シンチレーションカウンタによる 放射性核種分析法	平成 8年 3月 (1訂)
24. 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリー のための試料前処理法	平成 4年 8月
25. 放射性炭素分析法	平成 5年 9月
26. ヨウ素-129分析法	平成 8年 3月
27. 蛍光ガラス線量計を用いた環境γ線量測定法	平成14年 7月
28. 環境試料中プルトニウム迅速分析法	平成14年 7月

蛍光ガラス線量計を用いた環境 γ 線量測定法

平成14年 7月31日 第1刷 発行

発 行 所

財 団 法 人 日 本 分 析 セ ン タ ー

〒263-0002 千葉県千葉市稲毛区山王町 295-3
電 話 (043) 423-5325 (代表)
(043) 424-8663 (直通)
F A X (043) 423-4071