ガンマ線線量計としての板ガラスの利用

田代 仁・作花 済夫・曾我 直弘

(京都大学化学研究所)

Use of Ordinary Plate Glass as a Gamma-Ray Dosimeter

By Megumi TASHIRO, Sumio SAKKA and Naohiro SOGA

(Institute for Chemical Research, Kyoto University, Takatsuki City, Osaka)

Abstract

The gamma-ray dose rate distribution in a small closed space, 80 mm in dia., 110 mm in high, was determined by the use of small pieces of ordinary plate glass, 15×6×1.72 mm, as a dosimeter. The technique of the measurement was described. The advantageous features of the glass dosimeter, i.e., its small size, convenient usage, and preciseness in the measurement, were discussed. A brief description of the construction of a small Co-60 irradiator, in which the measurement was made, was appended.

緒 言

ガンマ線線量を測定するための線量計にはイオン箱、化学線量計など種々のものがあるが、近年ガラスも線量計として利用されるようになった。ガラス線量計の特徴はまずその取り扱いが簡便なこと、すなわちガンマ線照射前後のガラスの色または蛍光変化を分光光度計で測定するだけでガンマ線照射線量を求めることができること、及び小さな寸法、たとえば 3×3×1 mm 程度の形状で照射線量測定が十分可能なことである。したがってガラス線量計は特に線量率の変化勾配が急で、しかも計器の持ち込みができない狭い空間の分布を細かく測定するのに便利である。

ガンマ線線量計としては特にその目的のために調製したガラス、たとえば微量の銀またはコバルトを含有するガラスを使用する場合と、普通の板ガラスを使用する場合がある。前者については Schulman¹⁾, Kreidl²⁾ などの研究があり、これらのガラスはガンマ線照射量とガラス着色量(可視部)とが比例する線量範囲が広く、また照射後の褪色速度が小さいので、 $10^3 \sim 10^5$ レントゲンの高線量が精確に測定できるといわれる。銀を含有するガラスは低線量のガンマ線照射によっても蛍光を発する性質が与えられるために、これを利用すれば 10 レントゲン程度の低線量の測定も可能で、これについては浅原・宗像などの研究がある³⁾。

普通の板ガラスは上記特殊ガラスにくらべて照射中または照射後の褪色速度が大きいく、変色が僅かなために高線量の測定しかできないことなどの欠点があるが、品質の揃ったものが廉価に得られる点で線量計として使用するのにきわめて便利である。板ガラスが $10^3 \sim 10^6$ レントゲン範囲の線量計として十分使用できることを始めて報告したのは Bauman⁴⁾ で、その後近

藤⁵⁾ は板ガラスを線量計として使用する場合に褪色その他の影響を補正する式を提出した。

本報告は板ガラスを線量計として使用する場合、どの程度の精確さで密閉された空間内のガンマ線線量率分布が測定できるかを実際の試験によって確かめた結果を記したものである。ガンマ線線量率分布を測定した空間は、10 キュリーコバルト 60 線源を装備した小型ガンマ線照射装置の試料照射室で、以下まず照射装置の構造について簡単に説明した後、線量率の計算方法および線量率分布の測定結果を述べる。

I. 照射装置の構造

使用したガンマ線照射装置は神戸工業株式会社に設計製作を依頼し、著者らの研究室に設置したもので、①鉛による遮蔽が十分で特別の遮蔽室に設置する必要がないこと、②照射しようとする試料の出し入れが容易に迅速にできること、③照射時にコバルト線源を試料室の底に接近させることができるので線源のキュリー数が小さくても比較的高線量のガンマ線を試料に照射させることができること、などの利点をもっている。照射装置の断面図を 図-1 に示す。装置の全重量は約 1000 kg、外径は 43 cm、高さは 64 cm で、鉛から成り鑄鉄の壁で囲んである。中央のアルミニウム製円筒容器 (M) (直径 80 mm、高さ 110 mm、底面の厚さ 1 mm、側壁の厚さ 3 mm) が試料を照射する場所、その上方の真鍮製の蓋 (B) (直径 90 mm、厚さ 160 mm) をウインチ (L) で上げて試料を入れる。試料照射室の下には鉛の回転円筒があり、ガンマ線源はその円筒の表面の孔に 図-1 に示すように埋めてあるので、鉛円筒をハンドル (E) で回転させることによって、照射室の底に接近させることができる。蓋をあけ

A : Aluminium can H : Pilot lamp
B : Brass cover I : Steel rope
C : Co-60 source J : Steel shaft
D : Cast iron cover K : Switch
E : Handle L : Winch
F : Lead drum M : Working chamber
G : Lead wall

Fig. 1. The cross section of the irradiator.

て試料を照射室に入れる場合には鉛円筒を 180 度回転させ、線源を試料室の底から 16 cm (鉛円筒の直径) 離れた位置に置く。この場合には鉛円筒自体が鉛の遮蔽壁としてはたらくので、照射室に手を入れても差支えない。図-2 は鉛円筒表面のガンマ線源の構造を詳しく示したもので、線源はコバルト 60 で直径 10 mm、厚さ 2 mm のコイン型 4 枚からなり、アルミニウム小容器 (N) に入れ、ネジ (P) によって鉛円筒の孔に固定してある。線源強度は全部で 9.8 キュリー (昭和

A : Aluminium can N : Aluminium case
C : Co-60 source O : Filler
F : Lead drum P : Screw pin
M : Working chamber Q : Spring

Fig. 2. The cross section of the Co-60 source

33 年 2 月 5 日) である。線源が図-2 のように試料室においた試した位置にある場合、試料室の底面の中心の底に接近料と線源の間隔は 7 mm で、その線量率は後述するように約 45×10^3 roentgen/hr である。線源から離れた位置で試料を照射するには試料室 (A) 内部にビニル薄板の棚をつくり、その上に試料を置く。

II. 線量率の計算

板ガラスにガンマ線を照射する場合、ガラスの光吸収の増加とガンマ線線量率の関係は近藤⁵⁾によれば次式で表わされる。

$$\mu = k \cdot \tau^{1-\lambda} \cdot d \cdot e^{-bd} \cdot \frac{1}{1-\lambda} \cdot f(t/\tau) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 d = ガンマ線線量率 (k roentgen/hr)

$\mu = 420 \text{ m}\mu$ の光に対する被照射ガラスの単位長さ (cm) についての光吸収係数の増加。

τ = 照射時間 (hr)。

λ = 褪色の指数。絶対温度 T のとき

$$\lambda = e^{-11+0.03T} \text{ で与えられる。}$$

t = 照射終了後光吸収測定までに経過した時間。

$f(t/\tau)$ = 褪色の因子。これは

$$f(t/\tau) = (1+t/\tau)^{1-\lambda} - (t/\tau)^{1-\lambda}$$

により与えられる。

k = 板ガラスに対する常数 ($= 1.60 \times 10^{-2}$)

b = 板ガラスに対する常数 ($= 2.2 \times 10^{-2}$)

この式で褪色の指数 (λ) は温度 (T) のみの函数であるが、著者らが使用した板ガラスについては λ は照射時間によっても影響を受けることを実験的に確かめた。すなわち、いま照射完了後直ちに光吸収の測定を行なうならば $f(t/\tau) \equiv 1$ であるから、上式は

$$\mu = k \cdot \tau^{1-\lambda} \cdot d \cdot e^{-bd} \cdot \frac{1}{1-\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

次に同一線量率 (d) のところで τ_1 および τ_2 時間だけ照射したときの吸収係数の増加を μ_1 , μ_2 とすると (2) 式からそれぞれ

$$\mu_1 = k \cdot \tau_1^{1-\lambda} \cdot d \cdot e^{-bd} \cdot \frac{1}{1-\lambda}$$

$$\mu_2 = k \cdot \tau_2^{1-\lambda} \cdot d \cdot e^{-bd} \cdot \frac{1}{1-\lambda}$$

の 2 式が得られる。したがって $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{\tau_1}{\tau_2} \right)^{1-\lambda}$ となり、

照射温度が一定なら (1) 式に示した上記の λ 定義 ($\lambda = \text{const}$) から $\log \frac{\mu_1}{\mu_2}$ と $\log \frac{\tau_1}{\tau_2}$ との間には直線関係が成立するはずであるが、著者らの用いた市販板ガラスでは温度一定 (15°C) でも直線関係は得られなかった。よって τ による λ の変化を求めたところ τ が 1 ~ 40 時間の範囲で、 λ は次式であらわされることを

知った。

$$\lambda_e = 0.120 e^{0.0076 \tau} \dots\dots\dots (3)$$

λ の代わりに λ_e としたのは τ によって変化することを示すためである。ただし (3) 式の λ_e は照射温度が 15°C のときの値である。さらにまた著者らは (3) 式を (2) 式に代入する場合、(2) 式中の常数 b はほとんど 0 に等しくなることを実験的に確かめた。以上述べた点について修正を行なうと (2) 式は

$$d = k'' \cdot \mu \cdot (1 - \lambda_e) / \tau^{1-\lambda_e} \dots\dots\dots (4)$$

となる。この式は室温 (15°C) 照射を行ない、照射完了後ただちにガラスの光吸収の測定を行なう場合に適用できる式である。式中 λ_e は (3) で表わされる。 k'' の値は 1.47×10^3 で、これはフリッケ線量計⁶⁾を標準とし比較によって求めた。以下の測定にはこの (4) 式を使用した。

III. 照射室内部の線量率分布の測定結果と考察

1枚の板ガラスから 15×6×1.72 mm の寸法のガラス片を多数切り取り、これを 図-3 に示すように照射室内の 48 個の点(縦、横それぞれ 1 cm ごとに 1 点をとる)に置き、ガンマ線を照射した後、取り出してただちに 420 m μ の光についてのガラスの光吸収の増加を分光光度計 (日立 EPU-2 A 型) で測定した。分光光度計による光吸収測定の際の誤差は光吸収が光学密度 (Optical density) で 0.1~1 の範囲にある場合がもっとも少ないので、この範囲に入るように

Fig. 3. Dose rate distribution in the working chamber.

ガンマ線照射時間を定めた。測定光波長を 420 m μ に選んだのは近藤⁵⁾が指摘しているように板ガラスの吸収変化はこの波長のところが大きいからである。測定結果を 図-3 に示す。図中斜線をひいた小矩形はガラス片を置いた位置、その近くに記した数字は線量率の測定値を示す。分光光度計を用いてガラスの光吸収測定を行なうときに実際に光吸収が測定される部分はスリット (15×2.5 mm) によってしぼられた光が通過する部分 (15×2.5×1.72 mm) であり、図に示した矩形はこの有効部分の断面 (2.5×1.72 mm) である。ガラス線量計で求めた線量率 (近くに記した数字) はこの有効部分 (15×2.5×1.72 mm) の平均の線量率である。図-3 の実線は照射室内の各点の線量率測定結果から求めた線量率等高線である。図には 30, 20, 15, 10, 6, 4, 3, 2×10³ roentgen/hr の 8 本の等高線を示した。照射室内で線源にもっとも近い場所の線量率は約 40×10³ roentgen/hr、最も離れた場所のそれは約 1×10³ roentgen/hr である。線源に近い場所の線量率勾配ははなはだ大きく、たとえば、線量率が 45×10³

Fig. 4. Variation of dose rate on the center axis of the working chamber with change in the distance from the Co-60 source.

roentgen/hr の点では縦方向の線量率勾配は 40×10^3 roentgen/hr/cm である。寸法の小さなガラス線量計はこのような勾配の大きな場所の線量率測定にはもとも適している。

図-4 (a) は 図-3 に示した線量率測定結果を用いて、コバルト 60 線源に対して縦方向（試料室の中心軸上）における線量率と線源からの距離の関係を図示したもの、図-4 (b) はこれを対数軸にかきなおしたものである。図-4 (b) において測定点はほぼ 1 本の直線上にならんでおり、この直線から 3 % 以上離れているものはない。これよりガラス片の不均一性による誤差、光吸収測定の際の誤差は非常に少ないことがわかる。

図-3 の点線は線源の強度と位置から計算によって求めた線量率分布で、実測によって求めた線量率分布（実線）と比較するために求めたものである。計算には次式⁷⁾を使用した。

$$D = 5.2 \times 10^3 \cdot C \cdot E / R^2 \dots\dots\dots (5)$$

ただし C は線源の強度(キュリー)(今の場合 C は 9.8), E はコバルト 60 から放出されるガンマ線光子のエネルギー (Mev) (コバルト 60 では 1.33 Mev と 1.17 Mev の 2 種類のガンマ線光子が同時に放出されるので, $E = 1.33 + 1.17 = 2.5$), R は線源からの距離(cm),

D は線源から R なる距離の点における線量率 (roentgen/hr) である。計算にあたってはコバルト 60 線源の強度が線源の中心に集中していると仮定した。計算により求めた等高線が実測値と異なる理由は鉛容器の壁によってガンマ線が散乱されるためと思われるがなお研究を要する。

総 括

板ガラスをガンマ線線量計として使用することによって、大型の計器を持ち込むことのできない狭い空間内のガンマ線線量率分布が容易にしかもかなり精確に求めることができることを実例で示した。

参 考 文 献

- 1) J.H. Schulman, C.C. Klick, H. Rabin. *Nucleonics*, **13**, 30 (1955)
- 2) N.J. Kreidl, G.E. Blair. *Nucleonics*, **14**, 34 (1956)
- 3) 浅原準平, 宗像元介. 計測, **9**, 453 (1959)
- 4) R.G. Bauman. *Nucleonics*, **14**, 90 (1956)
- 5) 近藤宗平. 物性論研究, **2**, 29 (1957)
- 6) "Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy", **Vol. 14**, p. 179-181 (1956) United Nations
- 7) エス・グラストン著, 金関義則, 服部学訳, "原子力ハンドブック (下巻)", p. 619 (1956)

(2/12/60受付)

素地の諸性質に及ぼす坏土のねりかたの影響

(粘土粒子の配向性に関する研究, I)

素 木 洋 一・加 藤 博 之

(東京工業大学)

Effect of Different Method of Kneading on the Properties of Clay Bodies

Studies on the Orientation of Clay Particles, I.

By Yoichi SHIRAKI and Hiroyuki KATO

(Tokyo Institute of Technology)

Abstract

In order to demonstrate the effect of different methods of kneading clay bodies on the orientation of particles, which most certainly should be closely related to some important properties of greens as well as of fired articles, a graphite clay mass and a soft porcelain body have been processed by hand wedging, by wedging table, and by ordinary- and vacuum augers. The clay masses so obtained were cut along different directions to get the test pieces for measuring the included air volume, the plasticity, the drying velocity, the strength of greens, the expansion and shrinkage, the property of desintegration under water, and also the properties of fired articles.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) As long as the volume of included air is concerned wedging table has proved to be the best, which was followed by hand wedging. Both gave the bodies showing largest extension.