アクリル樹脂による大強度ガンマ線の測定法

放射線医学総合研究所技術部技術課

齡 亀 一 郎・曾 我 健 吾・山 崎 英 一

(論文受付 昭和44年11月10日)

THE USE OF ACRYL RESIN AS A HIGH LEVEL GAMMA-RAY DETECTOR

By ICHIRO REIKI

KENGO SOGA

EIICHI YAMAZAKI

Division of Technical Service, National
Institute of Radiological Science

(Article received : Nov. 10, 1969)

Summary

The radiation-induced ultraviolet absorption in transparent plastic ($[-CH_2 \cdot C(CH_3)COOR-]_n$, Acrylite, Mitsubishi) has been investigated in detail and found to be a convenient, inexpensive and accurate method of measuring radiation doses between 5×10^4 and 1.8×10^6 rads

In Acrylite the change in absorbance at $330m\mu$ is a linear function of the dose up to about 1.8 megarads. Various factors that may influence the reproducibility of results have been investigated. The calibration curves, relating to the change in absorbance to the dose in rads, measured by the Fricke ferrous sulfate dosimeter, is given.

An example, the measurment of gamma-ray-intensity distribution of our ^{60}Co cylindrical source, is given as the application of this technique to dosimetry.

緒 言

近年放射線化学や食品照射などに大強度の放射線が多く使用されていることは周知のことである。これらの放射線加工において期待される効果は耐熱性、耐薬品性、耐食性、接着性、染色性、機械的強度、耐摩耗性、感触性、触性菌性、の向上などである。医療品分野においても注射バリ、糸などの照射による殺菌や滅菌が行なわれている。さらに最近はこの技術の治療技術への応用がなされるようになった。例えば末梢神経同種移植における殺菌と拒絶反応防止を目的とした照射などである。これらの技術の研究開発段階においては、容易に大強度のガンマ線がえられるコバルト60などの籠形線源が多く

使用されている。さて3,000 (Ci) 程度の籠形線源内部では、最大毎分約 10^4 (R) 程度のガンマ線強度となり、その測定には硫酸鉄線量計が多く使用されているがそのためにはまず線源内部のガンマ線強度の分布をどうしても実測してみる必要がある。これらの目的のために取扱いが容易で、素子の体積が小さく、強度分布の測定に適しているなどの理由で固体の測定素子が種々開発されている。コバルトガラス、銀活性ガラスなどがよく知られている。しかしながら強度分布の測定などに際して多数の素子を使用する場合には費用がかさみ、また目的に応じた形状にできないなどの欠点がある。アクリライト (三菱) $[-CH_2C(CH_3)COOR-]_n$ は組織等価物質であることからファントムや照射容器として多く使用

されている。加工が容易で、入手しやすい安価な材料である。この種のアクリル樹脂を電子線などで照射すると紫外線の吸収が増加する。この現象が放射線検出器として利用できるという可能性は、すでに J. W. BOAG (1958)¹⁾ により、大出力加速器からの電子線パルス線量の測定用として報告されている。われわれは、実際の雰囲気での ^{60}Co ガンマ線に対するアクリライト素子の特性を、実験結果より検討し、また籠形線源内部の強度分布を測定したので、その結果を報告する。

測定の原理、アクリライトの波長対透過率曲線は図1のごとくである。測定は空気の透過率を 100(%) として測定した。測定は全て島津 SP-20 形光電比色計により行なった。図1にみるごとく 330m μ 付近に曲線の谷があり、ガンマ線照射量の増大につれて透過率が減少して行く。

いま、厚さ l の素子に I_0 なる強さの光が入射し、透過光が I であったとき、LAMBERT の法則により、常用対数を用いて、

$$I = I_0 \cdot 10^{-Kl} \text{ または } \log(I_0/I) = Kl$$

K を吸光係数といい、 $\log(I_0/I) = D$ を吸光度 (Absorbance) または光学密度 (Optical Density) という。図1にみるごとく、ガンマ線照射により透過率 (I/I_0) が減少すれば、その逆数である D は増加する。したがって照射前後の吸光度の差 (ΔD) を測定し、(ΔD) と照射線との関係、すなわち検量線を作れば、線量測定器として利用することができる。測定に使用する波長は、一定の照射線量に対して (ΔD) の最も大きく、かつ波長変動に対して安定なところを選ぶ。また測定範囲は比色計指示計器の目盛の 20(%) ~ 80(%) の範囲を使用し、それ以上の範囲を必要とするときは、素子の厚みを変えて拡大する。しかしながらその範囲は比色計の感度によっても制限される。

実験、上述の原理による測定法を吸光度法というが、この方法による測定に際して問題となる点を列記してみると、使用する波長の決定、吸光度変化量の決定法に影響をあたえる素子の厚みや材質的なバラツキ、測定範囲を決定する厚さの決定、素子の洗浄法、線量率線質温度などに対する依存性、褪色の問題、検量線の作製などである。アクリライトは本来測定素子として作られたものではないので、その厚みや、材質的なバラツキは当然予想される。これらは素子の吸光度のバラツキとなるので重要である。われわれが一枚のアクリライト板から切断した厚さ 3mm の素子 95 個についてその照射前の吸光度のバラツキを測定した結果 $\pm 5\%$ であった。一方ガンマ

線照射による洗浄効果の向上とみられる現象があり、照射前の吸光度の大きな素子は異常な測定値を示すことが多いので、われわれは $\pm 2\%$ 以下の素子を選択して使用することとした。そのための歩留まりは約 50% であった。さらにロット間の材質的なバラツキを考慮して検量線は同一シートのみについて使用した。また洗浄方法も測定の精度を左右する大きな原因の一つである。われわれは入手した、アクリライト板から比色計のキャリアーの大きさに合わせて 7mm $\times$ 15mm の大きさに切断した素子を、数日間クローム硫酸中にひたし、使用に際して取りだし、水洗後、中性洗剤中にひたしたガーゼでもみ洗いし、さらに水洗した後、室温で送風乾燥する方法を用いた。線質依存性については今回は ^{60}Co からのガンマ線に限定したので省略した。線量率依存性については 3×10^8 rads/sec までその影響はない¹⁾ とされているが、低線量率で長時間照射する使用法においては、照射中に褪色を生ずる場合が考えられるので褪色量を線量率依存性として考慮しなければならない。したがって褪色の問題は非常に重要である。ある材料が測定素子として使用し得るか否かは、褪色の特性により決定されるといっても過言でなく、使用に際してもその特性を熟知する必要があるので、実験も主としてこの点について行なった。

実 験 結 果

図1 波長対透過率

1. 波長の決定, 照射線量 0, 0.3, 1.5, 30, (MR) の4種について, そのスペクトルを空気透過率を100として測定した. 結果を図1に示す. 図1により $330\text{m}\mu$ を使用することとした.

2. 褪色量の測定, 照射線量 0.2, 0.4, 1.5, 30, (MR) 4種について 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , (C) の各温度の空气中に保存した場合について測定した. その結果の一部を第1表に示す.

a. 照射後の時間に対する褪色量の変化, 0° と 40° (C)

表1 照射直後の値を基準とした褪色量 (%)

照射線量 (R)	保存温度 ($^\circ\text{C}$)	照射後の経過時間 (h)					
		5	10	24	48	72	96
2×10^5	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	4.0	10.8	14.8	17.5
	40	23.6	26.3	26.3	39.4	46.0	48.6
4×10^5	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	2.5	5	11.2	15.6	19.1
	40	16.3	16.3	23.2	32.7	45.6	47.4
1.5×10^6	0	0	0	0	0	0	0
	20	1.5	1.6	3.1	7.5	11.9	14.6
	40	19.1	28.7	45.4	59.5	68.3	72.5
3×10^7	0	0	0	1.3	2.7	3.9	5.3
	20	2.7	2.7	5.3	7.8	10.4	12.7
	40	21.9	35.1	58.1	66.8	68.9	71.0

図2 褪 色

図3 褪 色

で保存した場合に生ずる褪色量の変化を図2に示す. 結果から褪色量が保存温度と照射線量に依存することがわかる.

a. 照射後の保存温度に対する褪色量の変化, 3, 5, 24, 96時間保存後の各温度における照射直後の値を基準とした褪色量(%)の変化を図3に示す. 結果から高温での保存時間はなるべく短かくすべきであることがわかる.

3. 吸光度変化量と照射線量との関係 (検量線) われわれはアクリライトの厚さが, (公称 1mm, 実寸 $1.086\text{mm} \pm 3\%$), (同 3mm, 同 $2.68\text{mm} \pm 3\%$), (同 5mm, 同 $4.412\text{mm} \pm 0.3\%$), の三種について検量線を作った. 吸光度変化量の測定は, 照射前後の差を個々の素子について測定した. 吸光度の測定に際して, 素子についている小さなキズはあまり大きな影響はないが, 一応素子に印をつけて, 光路の位置と方向を再現した. また指脂による汚染は5%程になるので取り扱いはずべてピンセットで行なった. また比色計の感度は, アクリライト素子1個を標準素子として較正し, アクリライトの温度, 湿度, 経時変化などの影響を無視できるように考慮した. 素子に対する照射は, ^{60}Co 筒形線源内部の強度分布の均一な部分に, 厚さ 5mm のアクリライトで作った角柱の中に入れ, 配置して行なった. また同一部分の吸収線量を硫酸鉄線量計で測定した. 結果を図4およびその一部を表2に示す. 3mm 素子については約 $0.1 \sim 1.8\text{Mrads}$ (水中) の範囲で直線性がえられた.

図4 検量線

表2 3mm 素子の実測値

吸収線量 (Mrad)	吸光度変化量	標準偏差
0.129	0.041	0.0016
0.216	0.063	0.0019
0.302	0.088	0.0011
0.452	0.125	0.0025
0.904	0.235	0.0027
1.356	0.347	0.0021
1.808	0.445	0.0020

1mm 素子については、比色計の感度などの関係で直線性はえられず、またこれ以上の照射線量に対しては、素子そのものの破壊をまねくおそれもあり、あまり実用的でない。5mm 素子については、約 0.05~1.1Mrads (水中)の範囲でより高感度の素子として使用しうることがわかる。

検討：まず問題となる褪色について検討してみる。照射した素子の測定は、吸光度のビルドアップがみられないので照射直後に行なうのがのぞましいが 0°C で保存すれば実用範囲では、約 100 時間褪色を無視することができる。また 20°C では約 10 時間ほとんど無視できる。表 3 は他の素子との比較を示す。表 3 にみるごとくコバルトガラスと比較して、24 時間後までの褪色特性はほとんど遜色ない。

したがって、照射直後に吸光度を測定するならば、その扱いはコバルトガラスと全く同等でよく、長時間保存

表3 24時間保存後の比較

材質名	線量 (R)	波長 (mμ)	保存温度 (°C)	褪色量 (%)
アクリライト	10 ⁶	330	25	5.0
コバルトガラス ²⁾	10 ⁶	400	25	3.0
銀活性ガラス ³⁾	10 ⁵	450	室温	14.0

する場合は 0°C で保存すればよい。また照射直後短時間熱処理して、初期の褪色を促進させ、その後の安定状態 (図 2 の 40°C でみられる状態) で測定する方法もあるが、この方法では吸光度変化量が減少して精度が低下し、また素子にキレツが生ずることがあるのでこのましくない。

褪色量の線量率依存性への影響を実験的に明らかにすることは困難であった。しかし 1.5Mrads 照射した素子の褪色量が 30°C で保存して、3 時間後に 2.5% 程度であるから、強度分布などを測定する実用範囲内では、照射中の褪色は全く無視できるであろう。しかし毎分数千 (R) 以下の線量率では、なるべく低い温度にして使用すべきである。たとえば 0°C で照射すれば、100 時間程度は、照射中に褪色が生ずることはなく、その影響は無視できる。次に精度について検討してみる。コバルトガラスについては、その精度は 2% 程度²⁾ であるといわれ、また銀活性ガラスを使用した場合にも同程度 (3%) の値³⁾ が報告されている。アクリライトについても表 2 にみるごとく、ほぼ同程度の値を示し、特に高線量域では全く無視できる。また照射後の素子の吸光度変化量の偏差は ±0.002 程度であるから、低線量域での精度は、素子の厚みを増して、吸光度変化量を多くすれば当然向上する。したがって 3% 以下の精度は特に複雑な補正などをやらなくとも容易にえられ、またこの程度の精度が吸光度法における共通した値といえる。

応用：上述の方法を応用して ⁶⁰CO 3,000 キュリの籠形線源内の強度分布を測定した。測定は厚さ 5mm のアクリライトで角柱を作り、その内部に測定素子 (3mm) を配置して照射した。水平方向の測定に際しては、毎分 2 回転で回転照射をした。結果を図 5 に示す。図 5 からプロテクター底面から 98mm の点を中心として、高さ 30mm 半径 20mm の円柱状体積内で ±2% 以下の均一な照射野がえられことがわかる。

結言：われわれはアクリル樹脂の一種であるアクリライト (三菱) を、大強度ガンマ線の測定に使用することを目的としてその諸特性を検討し、コバルトガラスなどと比較して、実用的には何等遜色のない素子であることをたしかめた。またアクリライトは、組織等価物質であ

図5 籠形線源内部の強度分布

り、ファントム中に挿入しても場を乱すことはなく、さらに素子の単価が切断などの製作時の歩留まりを50%とみてもわずか1円程度であり極めて安価である。今後端末補正のほどされた線源など、複雑な形式の線源が多く使用される傾向のある現状から考えて、非常に有用な測定素子であるとする。

謝辞：実験に対して、助言を頂いた当所企画課近藤民夫先生に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Boag J. W. et al, Radiation dosimetry by transparent plastics, Radiation Res. 9, 589, 1958.
- 2) 横田良助他, ガラスガンマ線線量計, 東芝放射線資料, 31, 14, 1958.
- 3) Becker K. High γ -dose response of recent silver-activated glasses, Health physics 11, 523, 1965.