

^{137}Cs からのガンマ線による後方散乱飽和厚さの測定

On the Backscattering Thickness Measurement Using ^{137}Cs γ Rays

斉藤 秀雄*・佐藤 乙丸*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

1. ま え が き

後方散乱ガンマ線を利用する厚さ測定について、低原子番号物質に対しては ^{137}Cs と ^{192}Ir ガンマ線源、高原子番号物質には ^{60}Co が適していることを明らかにした。¹⁾ また線源と検出器との距離を変えて測定すれば、厚さ測定範囲を拡大できることも明らかにした。²⁾

今回は ^{137}Cs ガンマ線源を用い、線源と検出器との距離を 300 mm に固定し、3種類の検出器を用いて各種物質の飽和厚さの測定を試み、大段ら³⁾ の行った実験値と比較すると共に、コンクリート表面に用いる散乱ガンマ線低減方法に関する基礎データを求めたので以下に、その結果を報告する。

2. 実験方法

2-1 測定法

図1は ^{137}Cs 70 mCi の密封ガンマ線源を 160 ϕ × 180 mm の円筒状の鉛照射容器 (図2) のほぼ中央に収容し、そのガンマ線ビームを 16 mm ϕ に絞り、散乱体表面に垂直に照射し、135°方向に後方散乱してくるガンマ線成分を電離箱線量率計、Be窓の 1" ϕ × 1 mm NaI (Tl) シンチレータおよび 2" ϕ × 2" NaI (Tl) シンチレータで測定した。後者の両シンチレータの出力はマルチチャンネル波高分析器 (Northern Econ II Series) に接続した。散乱体としては鉛、鉄、アルミニウム、コンクリート、カーボン、木材を用い、その厚さを変えて散乱ガンマ線スペクトルを描き、表1に示したエネルギー範囲を積分し、後方散乱飽和計数率を求めて比較した。

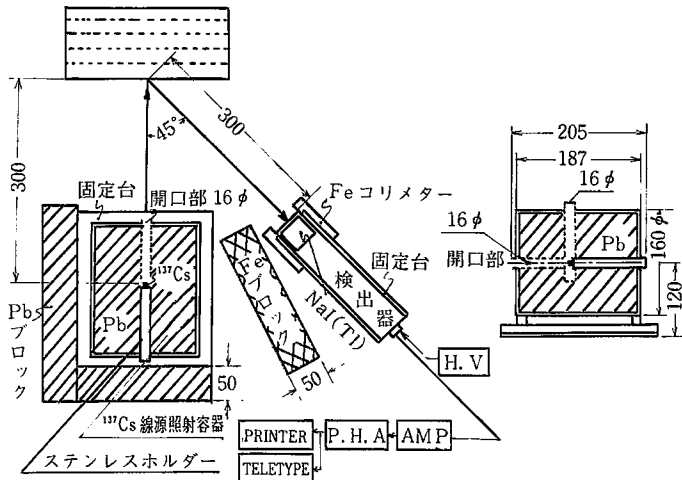


図1 ^{137}Cs ガンマ線の測定配置図

表1 ^{137}Cs ガンマ線の核特性⁴⁾と散乱ガンマ線およびエネルギー積分範囲

線源名	放射強度 mCi	半減期 T 1/2 (年)	形状	放出ガンマ線 エネルギー (keV)	ガンマ線放射定数 $R \cdot \text{h}^{-1} \text{Ci}^{-1}$ at 1 m	積分範囲 (keV) 2" ϕ × 2" NaI (Tl) 1" ϕ × 1mm NaI (Tl)	1回散乱ガンマ 線エネルギー (keV)
^{137}Cs	70	30	塩化セシウム ステンレス密封	662-85%	0.33 (^{137}mBa の寄与含む)	25~250 26~160	206

* 東京大学生産技術研究所 第4部

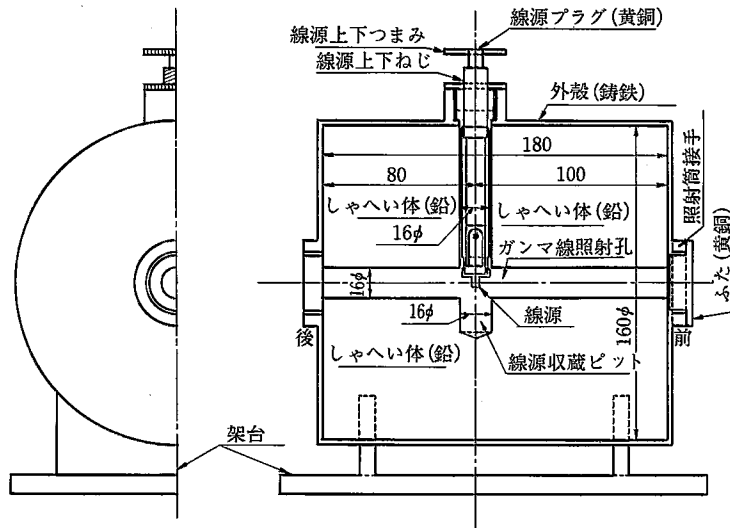


図2 ¹³⁷Cs ガンマ線の鉛照射容器

2-2 使用した ¹³⁷Cs 密封線源の特性と検出器について

表 1 に ¹³⁷Cs ガンマ線源の核特性⁴⁾を、図 3 に 16φ × 125.6 mm のステンレス製ホルダーの先端に英国製の密封線源を接着したところを示した。これを図 2 に示した円筒状の鉛照射容器に取りつけた。図 4 はこの実験に使用した 3 種類の検出器の特性である。図 4 の破線は 2"φ × 2" NaI(Tl) シンチレーター (Harshaw 製 8 S 8 型) の相対計数効率の実測値で、約 30 keV まで示してある。¹³⁷Cs ガンマ線の 135° 方向への 1 回散乱ガンマ線エネルギーは 206 keV であり、かつ、30 keV 以下のエネルギーのガンマ線は少量しか生成しないので、25~250 keV のエネルギー範囲のガンマ線に対し、計数効率を 90% 以上で一定であるので補正はしていない。

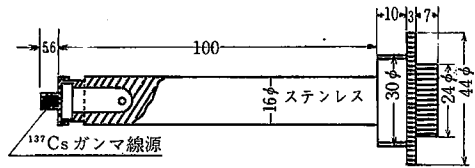


図3 ¹³⁷Cs ガンマ線源のステンレスホルダー

Be 窓の 1"φ × 1 mm NaI(Tl) シンチレーターの場合には ND-13 型 (アロカ製) のものを使用し、このときの窓の厚さは 150 μm である。図 4 の鎖線のように 60 keV 以上のエネルギーおよび 15~30 keV のエネルギー領域で、それぞれ効率の低下が見られる。これはシンチレーターの厚さが 1 mm と薄いためであり、また沃素の K-吸収端効果によるものである。したがって Be 窓のシンチレーターの場合は 1 回散乱ガンマ線成分 (206 keV 前後) を除き、多重散乱ガンマ線成分 (26~160 keV) のみを選別計数したが、計数効率の補正はしていない。

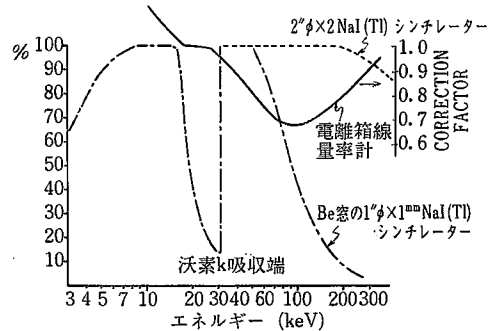


図4 電離箱線量率計の校正定数と両シンチレーターのエネルギー相対計数効率特性

電離箱線量率計はビクトリーン社の 440 RF/C で、電離箱の体積は 314 cc、その入射面にはマイラ膜 1.0 mg/cm² を張ってある。電離箱の前面には厚さ 13.0 mg/cm² のマグネシウム板を用いている。図 4 の実線はその校正

定数の曲線で、約 10~250 keV のエネルギーガンマ線の場合、90 keV 付近で最低 0.67 となり、検出効率が最大となる。また 10 keV 以下のガンマ線で 1.17 以上となるので、窓厚の吸収により急激に検出効率が低下するものと考えられる。なお、電離箱線量率計は図 1 に示した検出器の位置に設置し、電離箱の中心軸が散乱面と 45° になるように配置して測定した。

研究速報

3. 実験結果と検討

3-1 ¹³⁷Cs ガンマ線による各種物質の飽和散乱ガンマ線スペクトル

無限厚の散乱体からの後方散乱ガンマ線スペクトルを図5(a), (b)に示す。図5(a)は2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーターの場合で、200 keV付近に見られるピークが¹³⁷Csの662 keVのガンマ線からの1回散乱ガンマ線成分で、115 keVと75 keV付近のピークは多重散乱ガン

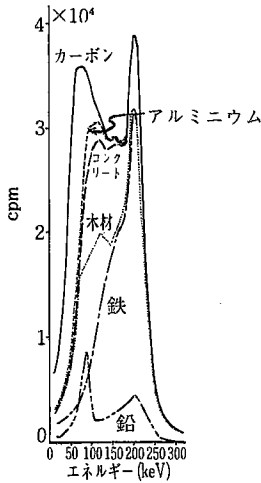


図5(a) 2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーターを用い、各種物質とも無限厚層の飽和散乱ガンマ線スペクトル

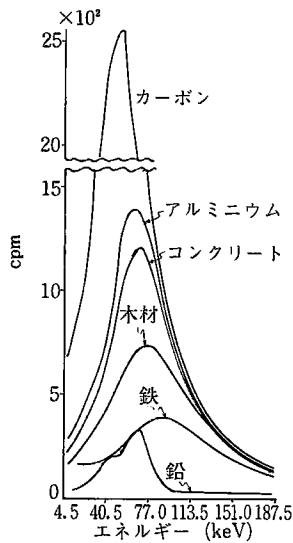


図5(b) Be窓の1"φ×1 mm NaI(Tl)シンチレーターを用いた各種物質とも無限厚層の飽和散乱ガンマ線スペクトル

マ線と PbKX 線の両成分から成っている。ここで鉛の場合は PbKX 線 (75 keV) が相対的に 1 回散乱ガンマ線ピークより大きくなっている。120~150 keV 付近では多重散乱ガンマ線成分が得られており、1 回散乱ガンマ線成分と重ね合わせた幅広いピークが見られる。また多重散乱ガンマ線成分に関しては散乱断面積の大きいカーボン、アルミニウム、コンクリート、木材の順に減少し、そのエネルギーは 80~120 keV である。なおこのうちカーボンのみが、75 keV 付近にあるのはカーボン特有のもので、すでに述べている。⁵⁾

図5(b)はBe窓の1"φ×1 mm NaI(Tl)シンチレーターで測定した多重散乱ガンマ線のピークで、鉄の場合95 keV 付近、木材は77 keV 付近、コンクリートは70 keV 付近、アルミニウムは65 keV 付近、カーボンは50 keV 付近に見られる。これらの散乱ガンマ線ピークが全体的に低エネルギー側に傾いているのは、検出効率が75 keV で65%、100 keV で40%と低下するからであり、この検出効率を補正すると65~100 keV 付近に移動する。また、鉛の場合はPbKX線(75 keV)のエスケープピークが46 keV 付近に小さく現れている。

3-2 飽和厚さの測定

図6(a)(b)(c)は図1に示した線源(S)と検出器(D)との距離を300 mmに固定し、それぞれの散乱体の厚さを変えて散乱ガンマ線スペクトルを求め、表1に示した全エネルギー範囲を積分計数し、全散乱ガンマ線計数率(cpm または mR/hr)を縦軸に、各種物質の厚さ(mm)を横軸にとったものである。図6(a)は電離箱線量計(mR/hr)、図6(b)は2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーター(cpm)および図6(c)はBe窓の1"φ×1 mm NaI(Tl)シンチレーター(cpm)を用いたときの後方散乱飽和厚さの特性曲線である。これらの散乱体からの後

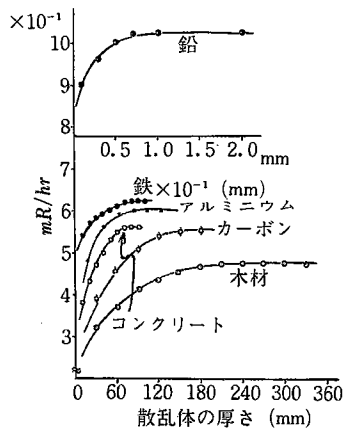


図6(a) 電離箱線量率計を用いた各種物質の飽和厚さ測定

表2 各種物質の飽和厚さと飽和厚さに達した後方散乱ガンマ線計数率およびそのコンクリートを100%に正規化した比飽和計数率との関係

検出器名 散乱成分 物質名	電離箱線量率計			$2''\phi \times 2''$ NaI(Tl) シンチレーター			$1''\phi \times 1''$ NaI(Tl) シンチレーター		
	飽和厚さ (mm)	飽和散乱ガンマ線計数率 (mR/hr)	比飽和計数率 (%)	飽和厚さ (mm)	飽和散乱ガンマ線計数率 (cpm)	比飽和計数率 (%)	飽和厚さ (mm)	飽和散乱ガンマ線計数率 (cpm)	比飽和計数率 (%)
鉛	0.7	10.2×10^{-1}	182.1	2.0	12.0×10^5	12.2	1.5	0.89×10^4	20.2
鉄	7.0	6.2×10^{-1}	110.7	30	10.6×10^5	63.9	20	1.60×10^4	36.4
アルミニウム	84	6.0×10^{-1}	107.1	150	9.7×10^5	109.3	150	4.38×10^4	99.5
コンクリート	70	5.6×10^{-1}	100	120	7.3×10^5	100	130	4.40×10^4	100
カーボン	150	5.52×10^{-1}	98.6	180	6.2×10^5	123.7	—	—	—
木材	210	4.8×10^{-1}	85.7	350	11.8×10^5	75.3	360	3.60×10^4	81.3

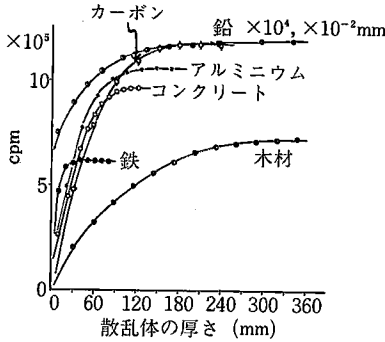


図6 (b) $2''\phi \times 2''$ NaI(Tl)シンチレーターを用いた各種物質の飽和厚さ測定

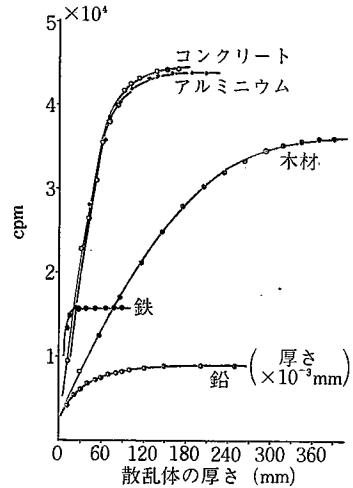


図6 (c) Be窓の $1''\phi \times 1''$ NaI(Tl)シンチレーターを用いた各種物質の飽和厚さ測定

方散乱ガンマ線が飽和厚さに達したときの厚さ、およびそのときの全計数率(cpm)または線量率(mR/hr)をまとめると表2になる。この表の飽和値から言えば電離箱線量率計を除き、両シンチレーターともほぼ同じ値を示している。一方高原子番号物質の場合には電離箱線量率計の方が両シンチレーターに対して2倍以上小さくなっている。これは鉄、鉛からのKX線やLX線を効率よく測定しているためと考えられる。なお鉄の飽和厚さが鉛のそれより、いずれの検出器の場合も1桁以上大きくなっており、この結果は大段ら³⁾が得られた値とほぼ同じ傾向を示している。また各種散乱体が飽和に達したときの散乱飽和計数率を読みとり、コンクリートからの値を100%として表した比飽和計数率も表2に示した。この比飽和計数率によれば電離箱線量率計では、鉄、鉛の場合、コンクリートよりも大きく、カーボン、木材の低原子番号物質になるとわずかに低下している。一方、両シンチレーターとも、鉛の場合には約20%前後まで低下している。

Be窓のシンチレーターを用いた鉄の場合に36.4%となっているのは1回散乱ガンマ線を検出しきれないため、検出効率を補正すれば $2''\phi \times 2''$ NaI(Tl)シンチレー

ターの64%付近に近づくものと思われる。また比重がほぼ同じであるアルミニウムとコンクリートは、散乱ガンマ線計数率も殆んど同じ値を示している

(1980年9月30日受理)

参考文献

- 1) 齊藤, 佐藤: 後方散乱ガンマ線による厚さ測定に関する研究(I), 生産研究 Vol. 31 (2) p. 57~60, 1979
- 2) 齊藤, 佐藤: 後方散乱ガンマ線による厚さ測定に関する研究(II), 生産研究 Vol. 31 (9) p. 36~39, 1979
- 3) 大段, 加藤, 佐藤: γ 線, X線の後方散乱による表面材料の影響, 第4回日本アイントープ会議報文集 p. 645~648, 1961
- 4) アイントープ手帳: 日本アイントープ協会, p. 35~36, 1978
- 5) 齊藤, 佐藤: 散乱ガンマ線スペクトルの挙動2—多重散乱ガンマ線とその応用—, 生産研究 Vol. 30 (6) p. 17~20, 1978