

^{57}Co および ^{170}Tm 線源による後方散乱型厚さの測定Measurement of Thickness Using Backscattered γ rays from ^{57}Co or ^{170}Tm Sources

斉藤 秀雄*・佐藤 乙丸*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

1. ま え が き

前報¹⁾では中程度のガンマ線エネルギーを放出する ^{137}Cs ガンマ線を用い、各種物質の飽和厚さの測定について述べた。今回は 100 keV 前後の X, ガンマ線を放出する ^{57}Co および ^{170}Tm を用いたところ、 ^{137}Cs と異なった散乱挙動を示すことがわかった。すなわち線源 (S) と検出器 (D) との距離を前報¹⁾と同様に固定し、有効体積の異なる電離箱式線量率計、および両シンチレーターを用い、各種物質 (鉛・錫・鉄・アルミニウム・コンクリート・カーボン・木材) の飽和厚さの測定を試みた。なお前報²⁾で示した Ge(Li) 半導体検出器を用いた実験結果と比較検討した。

2. 実験方法**2-1 測定法**

^{57}Co , ^{170}Tm の密封ガンマ線源はそれぞれ 10 mCi および 340 mCi を用い、これを鉛照射容器 (150 × 150 × 150 mm) のほぼ中心部に収容して固定し、そのガンマ線ビームを 20 mm ϕ に絞り、散乱体表面に垂直に照射し、135° 方向に散乱してくる X, ガンマ線成分を、電離箱式線量率計、Be 窓の 1" ϕ × 1 mm NaI(Tl) シンチレーターおよび 2" ϕ × 2" NaI(Tl) シンチレーターを用いて測定した。この場合、後者の両シンチレーターの出力はマルチチャンネル波高分析器に導いてエネルギー分析を行い、電離箱式線量率計の場合は平均線量率をそのまま読みとった。このときに使用した線源 (S) と検出器 (D) との距離は ^{57}Co の場合 200 mm, ^{170}Tm は 300 mm で行い、さらに前報¹⁾で述べた各種物質の厚さを変えて後方散乱ガンマ線による飽和厚さの測定を試みた。

2-2 使用したガンマ線源について

^{57}Co および ^{170}Tm の X, ガンマ線の核特性は前報²⁾で述べたとおりである。 ^{57}Co および ^{170}Tm 線源を 16 mm ϕ × 78 mm のステンレス製ホルダーの先端に、それぞれ両面テープで接着し、これを鉛照射容器のほぼ中央にできるように固定した。 ^{57}Co は 5 × 5 × 0.02 mm の銅箔に ^{57}Co を拡散させたメスパウアー線源 (米國 N E N 社製) を用

いた。一方、 ^{170}Tm は日本原子力研究所で製造開発したラジオグラフィー用の Tm_2O_3 ペレット状のガンマ線源を用いた。

2-3 検出器の特性について

前報²⁾で述べたように ^{57}Co および ^{170}Tm からの X, ガンマ線は 1 回散乱されると 86.6 keV および 65.6 keV と 44.3 keV のエネルギーになる。2" ϕ × 2" NaI(Tl) シンチレーターを用いた場合は、約 30 keV 以下のエネルギーでは検出器ヘッドの Al による吸収があり、計数効率が低下する。しかし、30 ~ 150 keV のエネルギー範囲では 90% 以上の計数効率を示し、エネルギー特性が良いので補正はしていない。また Be 窓の 1" ϕ × 1 mm NaI(Tl) シンチレーターの場合には、沃素の K 吸収端および約 70 keV 以上のエネルギーにおいて、計数効率が低下する。したがって、全エネルギー範囲を 20 等分に分割し、それぞれの平均エネルギーについてのエネルギー特性の補正を行った。電離箱式線量率計は両シンチレーターの場合と全く同じ位置に設定し、散乱面と 45° の方向になるように配置して測定した。なお、使用した電離箱式線量率計は低エネルギー X, ガンマ線用のもので、前面にはコリメーターをつけないで測定した。

3 実験結果と考察**3-1 2" ϕ × 2" NaI(Tl) シンチレーターによる結果**

各物質が無限厚のときの散乱ガンマ線スペクトルを、それぞれ図 1 (a), (b) に示す。図 1 (a) は、 ^{57}Co からの一次ガンマ線エネルギー 122 keV と 136 keV による 1 回散乱ガンマ線が共に重なり合って 90 keV 付近に、又 62 keV 付近には 1 回散乱ガンマ線成分から生じるエスケープピークと多重散乱ガンマ線成分が重なり合った散乱ピークが見られる。鉛の錫の場合には 75 keV および 25 keV 付近に、Pb および Sn KX 線成分が生成し、鉛の場合の 46 keV 付近には Pb KX から生ずるエスケープピークがわずかに見られる。この散乱ガンマ線成分の全計数率から見ると、カーボンが最も多く、木材・水・アルミニウム・コンクリート・鉛・鉄・錫の順に小さくなっている。

一方、図 1 (b) では、カーボン・木材・水・アルミニ

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

研究速報

ウム・コンクリート・錫・鉄・鉛の順に低減し、65.6keV および 44.3 keV 付近に見られるピークは、 ^{170}Tm からの一次ガンマ線エネルギー 84.0 keV と 52.0 keV から生じた 1 回散乱ガンマ線成分である。これらの両成分の生成率は散乱断面積の大きい、カーボン・木材を用いたとき、44.3keV が多量に生成し、水の場合は両成分共ほぼ等しく、アルミニウム・コンクリートおよび鉄になると、この関係が逆転している。すなわち、65.6 keV の方が多く生成するにいたる。これは低エネルギー成分が散乱体中で吸収されるからである。また、鉛と錫を除き、カーボン・木材・水・アルミニウム・コンクリート・鉄を用いると、1 回散乱ガンマ線エネルギー 44.3keV のエスケープピーク (15 keV 付近) が見られる。一方、高エネルギー側において散乱ガンマ線計数率が多くなっているのは、 ^{170}Tm からの β 線 (0.968 MeV) の制動放射 X 線によるものと考えられる。

3-2 Be 窓の $1''\phi \times 1\text{mm NaI (Tl)}$ シンチレーターによる結果

図 2 の点印は、 ^{57}Co ガンマ線を用い、無限厚コンクリートからの散乱ガンマ線スペクトルである。図のスペクトルは、40 ~ 50 keV を中心とした散乱ピークが見られるが、これは、検出器のエネルギー効率特性がこの付近で大きいからである。このスペクトルをエネルギー計数効率に対して補正すると、図の実線のように、約 86.6 keV を中心に ^{57}Co の 1 回散乱ガンマ線成分のヒストグラムが見られる。

このようにして無限厚のカーボン・木材・アルミニウム・鉛・鉄について調べたヒストグラムを、図 3(a), (b) に示す。図 3(a) は ^{57}Co の場合で、カーボン・木材・アルミニウム・鉛・鉄の順に低減している。図の 35 ~ 70 keV 付近には多重散乱ガンマ線とエスケープピークが見られるが、いずれも低原子番号物質に限り、鉄・鉛になると、その値は小さくなっている。図 3(b) は ^{170}Tm の場合で、カーボン・木材・コンクリート・鉛・鉄の順に低減し、前述と同様に低原子番号物質カーボンや木材のときに、44.3 keV を中心とした 1 回散乱ガンマ線成分が大きく、65.6 keV の成分はわずかにすぎない。しかし、コンクリート・アルミニウムになると、44.3 keV と 65.6 keV の両成分がほぼ同じく生成し、80 keV 付近には ^{170}Tm の制動放射 X 線による影響が多量にあらわれている。また、鉄の場合は両成分共鉄板によって吸収され制動放射 X 線による効果が著しく検出されるようになる。また、鉛の場合は Pb KX 線と 1 回散乱ガンマ線の両成分が重なり合った散乱成分のスペクトルになる。

3-3 厚さを変えたときの散乱ガンマ線スペクトル

図 4(a), (b) は、 $2''\phi \times 2''\text{NaI (Tl)}$ および Be 窓の

$1''\phi \times 1\text{mm NaI (Tl)}$ の両シンチレーターを用い、鉄とコンクリートの厚さをそれぞれ変えたときの ^{57}Co からの散乱ガンマ線スペクトルである。これらのスペクトルは厚さを変えると、しだいに飽和値に近づき、鉄で 7.0 mm, コンクリートで 70.0 mm で飽和している。同様に図 5(a), (b) は ^{170}Tm を用い、 $2''\phi \times 2''\text{NaI (Tl)}$ シンチレーターによって木材およびコンクリートの厚さを変えて求めた散乱ガンマ線スペクトルである。木材では 65.6 keV の 1 回散乱ガンマ線成分よりも 44.3 keV の 1 回散乱ガンマ線成分の方がより多く生成し、厚さを変えても同じである。しかし、コンクリートはこれが逆転し、しかも 80 keV 付近には制動放射 X 線が生成しており、厚さが厚くなるほど顕著に現れている。このような傾向は、これらより原子番号の大きい鉄などにも見られ、木材などとは違った散乱ガンマ線スペクトルを示している。一方、44.3 keV から生ずる 15 keV 付近のエスケープピークは厚さを変えてもほとんど変わらない。これは 44.3 keV の散乱成分の生成量の変化が相対的にあまり大きくないからである。

3-4 飽和厚さ

前述した図 2 ~ 図 5 の散乱ガンマ線スペクトルおよびヒストグラムの全エネルギーについて計数率を積分し、各種物質の飽和厚さ特性曲線を求めたものを図 6 に示す。図の縦軸に積分した全散乱ガンマ線計数率 (cpm) を、横軸には散乱体の厚さ (mm) で示した。このときの検出器は Be 窓の $1''\phi \times 1\text{mm NaI (Tl)}$ シンチレーターである。またこの場合の飽和厚さは木材・コンクリート・アルミニウム・鉄・鉛の順に小さくなっている。一方、3 種類の検出器を用い、コンクリートの飽和厚さ特性曲線を求めると図 7 になる。この場合、コンクリートの飽和厚さは両シンチレーター共ほぼ同じ傾向を示すが、電離箱式線量率計を用いた場合は両シンチレーターに比べて小さくなっている。このような方法により鉛・鉄・アルミニウム・コンクリート・カーボン・木材の飽和厚さを求め、コンクリートの散乱ガンマ線飽和計数率 (cpm, mR/hr) を 100% に正規化したときの比飽和散乱ガンマ線計数率 (%) で示したものを表 1 に示す。この表から両シンチレーター共飽和値は、各種物質共ほぼ同じ厚さを示しているが、電離箱式線量率計では鉛以外の場合、二 ~ 三倍小さくなっている。しかし、鉛を用いた ^{57}Co の場合には両シンチレーターよりも電離箱式線量率計を用いた方が 1.4 ~ 1.6 倍多い。これは Pb KX 線、L X 線を効率よく測定するためと考えられる。また散乱ガンマ線飽和計数率から言えば、両シンチレーターの場合、mCi 数に換算すると ^{170}Tm よりも ^{57}Co の方は 3 ~ 4 桁多く、電離箱式線量率計の場合

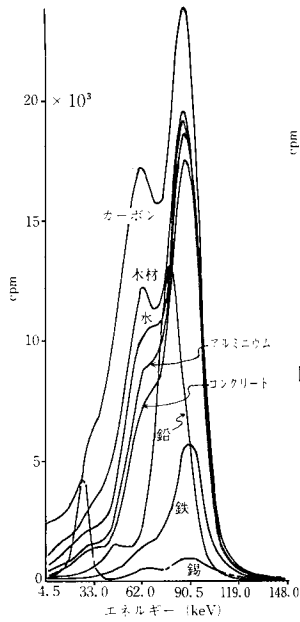


図1(a) ^{57}Co ガンマ線を用い、各種物質共無限厚の飽和散乱ガンマ線スペクトル

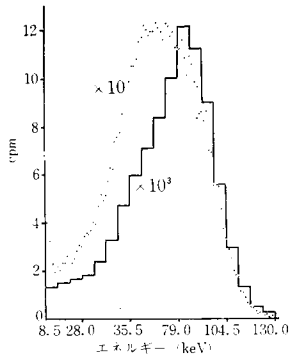


図2 ^{57}Co ガンマ線を用い、無限厚コンクリートからの飽和散乱ガンマ線スペクトル(点印)とそのスペクトルを補正したヒストグラム(実線)

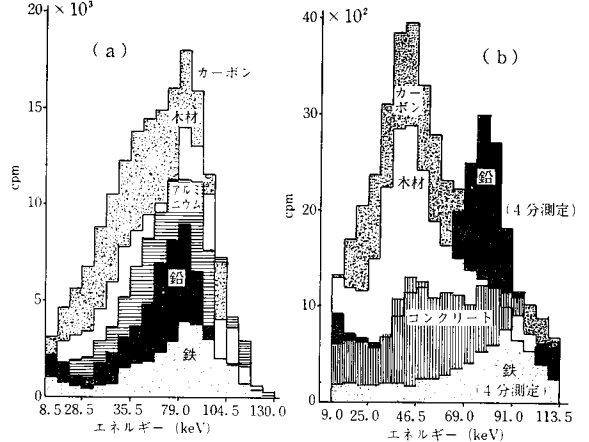


図3 各種物質共無限厚のときの散乱ガンマ線スペクトルを補正したエネルギーヒストグラム

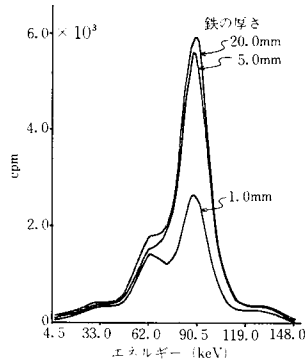


図4 ^{57}Co ガンマ線を用い、鉄およびコンクリートの厚さをそれぞれ変えたときの散乱ガンマ線スペクトル

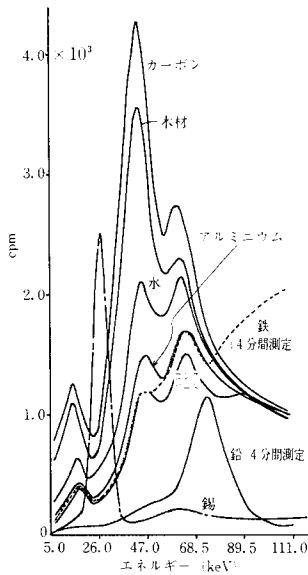
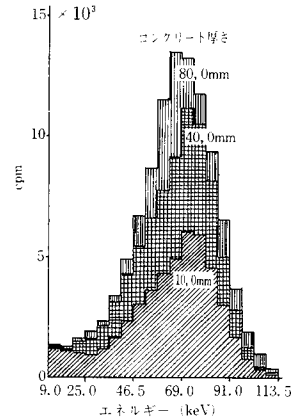


図1(b) ^{170}TmX ガンマ線を用い、各種物質共無限厚の飽和散乱ガンマ線スペクトル

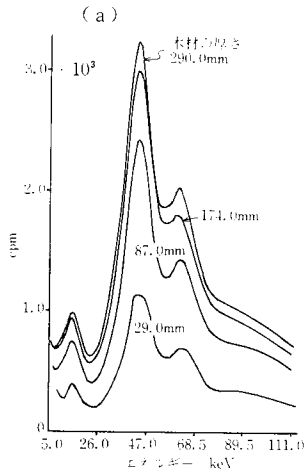
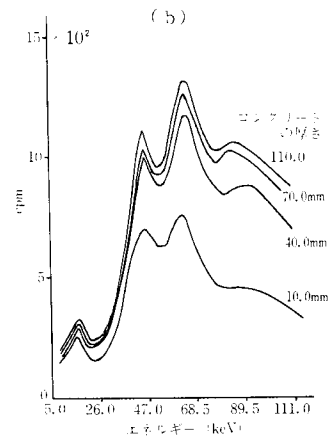


図5 ^{170}TmX ガンマ線を用い、木材およびコンクリートの厚さをそれぞれ変えたときの散乱ガンマ線スペクトル



研究速報

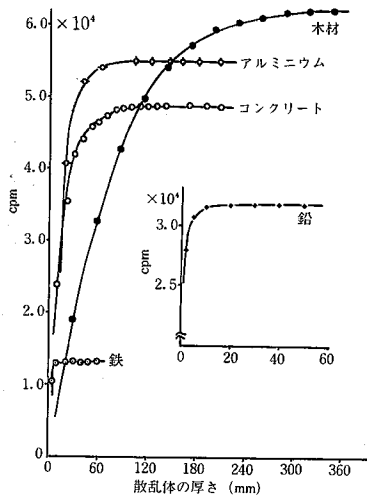


図6 Be窓の1"φ×1mm NaI(Tl)シンチレーターを用いた各種物質の飽和厚さ測定 (⁵⁷Co)

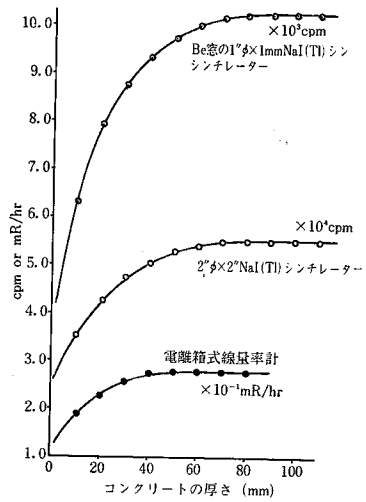


図7 ¹⁷⁰TmX, ガンマ線を用い, 電離箱式線量率計および両シンチレーターによるコンクリートからの飽和厚さ測定

表1 電離箱式線量率計および両シンチレーターを用いた各種物質の飽和厚さ, 飽和厚さに達した散乱ガンマ線計数率 (mR/hr, cpm) および, コンクリートを100%に正規化した比飽和計数率(%)との関係

測定系	線源名	散乱材						
		鉛	鉄	アルミニウム	コンクリート	カーボン	木材	
電離箱式線量率計	⁵⁷ Co	飽和厚さ (mm)	1.0	3.0	30.0	30.0	—	80.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (mR/hr)	3.0×10^{-1}	2.7×10^{-1}	2.2×10^{-1}	2.3×10^{-1}	—	2.5×10^{-1}
		比飽和計数率 (%)	130.4	117.4	95.7	100	—	108.7
	¹⁷⁰ Tm	飽和厚さ (mm)	0.5	4.0	30.0	40.0	180.0	200.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (mR/hr)	3.0×10^{-1}	2.4×10^{-1}	2.6×10^{-1}	2.8×10^{-1}	2.5×10^{-1}	2.4×10^{-1}
		比飽和計数率 (%)	107.1	85.7	92.9	100	89.3	85.7
Be窓の1"φ×1mm NaI(Tl)シンチレーター	⁵⁷ Co	飽和厚さ (mm)	0.7	10.0	80.0	80.0	190.0	285.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (cpm)	7.65×10^4	3.23×10^4	13.15×10^4	11.6×10^4	9.66×10^4	14.78×10^4
		比飽和計数率 (%)	66.0	27.8	113.4	100	183.3	127.4
	¹⁷⁰ Tm	飽和厚さ (mm)	0.5	9.0	80.0	70.0	150.0	260.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (cpm)	3.6×10^3	2.60×10^3	11.5×10^3	12.0×10^3	26.3×10^3	19.0×10^3
		比飽和計数率 (%)	30.0	21.7	95.8	100	220.0	158.0
2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーター	⁵⁷ Co	飽和厚さ (mm)	0.6	7.0	70.0	70.0	155.0	280.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (cpm)	2.33×10^5	1.17×10^5	4.50×10^5	3.93×10^5	7.02×10^5	5.00×10^5
		比飽和計数率 (%)	59.3	27.8	114.5	100	178.6	127.2
	¹⁷⁰ Tm	飽和厚さ (mm)	0.7	8.0	70.0	70.0	150.0	280.0
		散乱ガンマ線飽和計数率 (cpm)	2.57×10^4	1.65×10^4	6.35×10^4	5.50×10^4	14.0×10^4	10.45×10^4
		比飽和計数率 (%)	46.7	30.0	115.5	100	254.5	190.0

4. む す び

は2桁多くなっている. 比飽和計数率では両シンチレーターに言えることは, コンクリートより低原子番号物質の方が1.2~2.5倍多い. また, アルミニウムとコンクリートを比較すると, 両線源とも飽和厚さおよび比飽和散乱ガンマ線計数率がほぼ同じ傾向を示しているが, 鉄は6種類の物質のうちで最も小さい値になっている. なお前報²⁾で述べたジオメトリーは今回の実験と異なり, 線源(S)と検出器(D)との距離を大きくすることによって飽和厚さが全体的にわずかに拡大していることがわかった.

後方散乱ガンマ線を利用した応用計測器の場合, 使用する検出器によって被測定体の測定範囲, 測定感度(cpm)などが異なってくる. このことは本研究の結果から明らかである. 本成果が散乱型計測器の設計の一助になれば幸いである. (1981年6月18日受理)

参 考 文 献

- 1) 斉藤, 佐藤: ¹³⁷Csからのガンマ線による後方散乱飽和厚さの測定, 生産研究 33(1) p.38~41 1981
- 2) 斉藤, 佐藤: コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(3), 生産研究 32(10) p.488~491 1980