

UDC 621.039.84
539.122.17

散乱ガンマ線スペクトルの挙動 1

— 1回散乱ガンマ線とその応用 —

Behaviour of Backscattered Gamma-Ray Spectrum

— Primary Backscattered Gamma Ray and its Applications —

斉藤 秀雄*・佐藤 乙丸*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

1. ま え が き

散乱ガンマ線を工業的に利用した放射線応用計測器の種類には密度計、厚さ計、レベル計などがある。これらは主として、土木・建設業、化学工業、鉄鋼業などの諸工程において、計測制御の手段として広く利用されている。

筆者らは先に密度の異なるカーボンと鉄を二重積層にした場合について、多重後方散乱ガンマ線によるカーボン煉瓦の厚さ測定に関する実験を試み、多重散乱ガンマ線成分を利用する方式が有利であることを明らかにした¹⁻³⁾。この点を、その他の物質についても確かめるため、⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁹²Irの3線源を用い、カーボン煉瓦を含めて5種類の低原子番号物質をとりあげ、検出器側に内径の異なる鉄製コリメーターを取りつけて、1回散乱ガンマ線成分と多重散乱ガンマ線成分に選別し、両成分のエネルギースペクトルの変化を調べ、一次ガンマ線エネルギーと被測定物質との関係を明らかにした。ここではまず、両散乱成分の選別法と1回散乱ガンマ線を利用した場合について報告する。

2. 実験方法

表1に示した⁶⁰Co(19 mCi), ¹³⁷Cs(80 mCi), ¹⁹²Ir(60 mCi)の密封線源を150×150×150 mmの鉛照

表1 使用したアイソトープの特性と一回散乱ガンマ線エネルギー

核種名	放射線強度(mCi)	半減期(T _{1/2})	実効エネルギー(MeV)	照射線量率定数*	135°方向による1回散乱ガンマ線エネルギー(MeV)
¹⁹² Ir	60	74.4日	0.345	0.48	0.1602
¹³⁷ Cs	80	30年	0.662	0.33	0.206
⁶⁰ Co	19	5.2年	1.250	1.32	0.2412

* 1 Ciの放射線源から1 m離れた距離のR/h

射容器の中心部に収容して固定した。そのビームを20 mm径の線束に絞り、散乱体(表2)に対して45°の角度で入射させ、135°の角度に後方散乱してくるガンマ線のエネルギースペクトルをシンチレーション検出器(2"φ×

表2 使用した低原子番号物質の密度と寸法

物質名	アルミニウム	コンクリート	カーボン	水	木材
密度(g/cm ³)	2.70	2.26	1.69	1.00	0.543
散乱体の寸法(mm)(個数)	600×400×21(16ヶ)	500×400×10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120(各1ヶ)	500×500×30(6ヶ) 120×200×64(18ヶ)	500×450×47, 60, 90, 120(各1ヶ)	400×400×30(20ヶ)

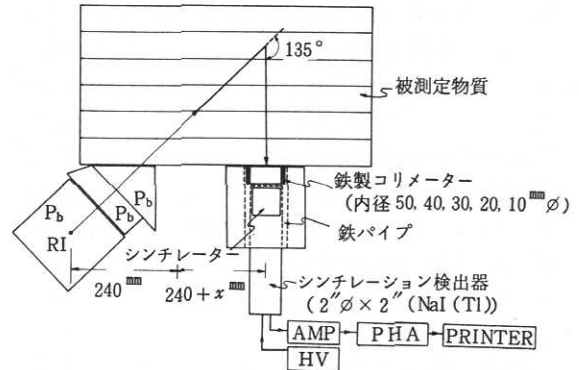


図1 後方散乱ガンマ線の測定配置図

2" NaI(Tl))とマルチチャンネル波高分析器で測定した。このときの幾何学的な測定配置図は図1のとおりである。

検出器用鉛しゃへい体のシンチレーターの部分には肉厚8 mm、内径60 mm径の鉄パイプを挿入し、鉛しゃへい体からのPbKX線がシンチレーターに入射しないようにした(写真1)。この鉄パイプの中に長さ30 mm、内径50,

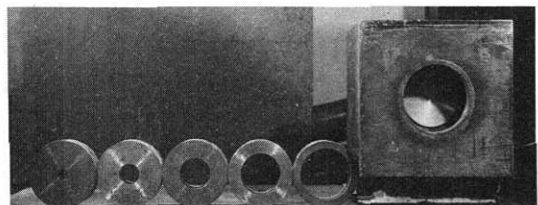


写真1 検出器用鉛しゃへい体(右側)と挿入する鉄製コリメーター(左端から内径10, 20, 30, 40, 50 mm径)

* 東京大学生産技術研究所 第4部

研究速報

40, 30, 20, 10 mm 径の鉄製リング(コリメーター)を取りつけ、被測定物質の厚さを変えて、散乱ガンマ線のエネルギースペクトルを求めた。この場合、図1に示すように線源部と検出部の前面を散乱体の表面に密着し、検出器全体を左右に移動し易いように小型台車にのせて、20 mm ずつ右の方に移動して測定した。図1は線源部のしゃへい体が密着した場合(両しゃへい体の間隔 x は 0 mm)を示し、線源(S)と検出器(D)(シンチレーターの中心部)との距離は 240 mm である。もし両しゃへい体が x mm 離れたとき、すなわち、検出部を x mm 移動させたときの S-D 間の距離は $x + 240$ mm となる。

なお、測定器のエネルギー校正に用いたガンマ線源は、 ^{57}Co (122 keV, 136 keV), ^{133}Ba (80 keV, 276 keV, 302 keV, 356 keV, 382 keV), ^{153}Gd (93 keV, 103 keV, EuKX 線 41 keV) および ^{75}Se (96 keV, 120 keV, 140 keV, 270 keV, 280 keV) である。また一次ガンマ線のビームの大きさは線源からの距離 420 mm のところで縦軸 27 mm, 横軸 37 mm の楕円形であった¹⁾。

3. 実験結果と考察

(1) コリメーターを変えたときの散乱スペクトル

低原子番号物質からの散乱ガンマ線エネルギースペクトルは、一次ガンマ線エネルギー、検出部の前面においたコリメーターの寸法、線源と検出器との距離、および各種散乱材の厚さなどによって異なる。そこでこれらの関係を調べるため、表1に示したアルミニウム、コンクリート、カーボン、水、木材などの物質を用い、検出部の前面に鉄製のコリメーター(内径 50, 40, 30, 20, 10 mm 径)をつけた場合について、後方散乱ガンマ線のエネルギースペクトルを求めた。

図2(a), (b), (c)はそれぞれ ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir 線源を用い、 $x = 0$ mm のときに無限層厚のコンクリート煉瓦から散乱したガンマ線のスペクトルである。図中の●印は 50 mm 径、○印は 40 mm 径、×印は 30 mm 径、▲印は 20 mm 径、◐印は 10 mm 径の鉄製コリメーターを用いたときのものである。50 mm 径のコリメーターを用いたときは3線源とも 100 keV 中心に多重散乱ガンマ線成分がみられ、また、それぞれ、241 keV, 206 keV, 160 keV 付近に1回散乱ガンマ線成分が見られる。このような傾向は、上述のように S-D 間 (x) が小さい場合、入射ガンマ線エネルギーが単一である ^{137}Cs 線源に著しく、またアルミニウム、コンクリート、カーボンによく見られる。 ^{60}Co , ^{192}Ir 線源ではこの傾向は比較的少なく、多重散乱ガンマ線が主となる。

40 mm 径になると、 ^{60}Co をのぞいて多重散乱ガンマ線成分が次第に少なく、30 mm 径では両成分ともほぼ等しくなり、20 mm 径、10 mm 径になるにつれて1回散乱ガン

マ線成分が中心となる。 ^{60}Co の場合は一次ガンマ線エネルギーが大きいため、それだけ散乱回数も多く、10 mm 径の鉄製コリメーターでも多重散乱と1回散乱の両成分が同じ程度になってプラットなピークを形成し、両成分共選別はできない。しかし 4 mm 径のコリメーターを用いて実験したところ、241 keV を中心とする ^{60}Co の1回散乱ガンマ線ピークのみが得られた。

同様に図3(a), (b), (c)は図2(a), (b), (c)と同様に、飽和厚さの木材からの散乱ガンマスペクトルである。 ^{60}Co の場合は鉄製コリメーターの内径が小さくなるにつれて、多重散乱ガンマ線成分が減少し、しだいに1回散乱ガンマ線成分に近づく。この傾向は入射ガンマ線エネルギーが小さくなると共に著しく、 ^{192}Ir 線源になると、コリメーターを変えても多重散乱ガンマ線成分が殆んど見られなくなり、1回散乱ガンマ線成分のみとなる。

このように使用する被測定物質の種類、一次ガンマ線エネルギーなどによって異なる散乱ガンマ線成分を、適当な内径の鉄製コリメーターによって多重散乱ガンマ線成分と1回散乱ガンマ線成分に選別することができる。

(2) 1回散乱ガンマ線スペクトル(10 mm 径の鉄製コリメーター使用)

1) x (S-D 間の距離)を変えたとき

図4(16ページ)は ^{137}Cs ガンマ線源を用いたときのカーボン(無限層厚)からの1回散乱ガンマ線スペクトルである。これらのスペクトルは検出部を $x = 0$ mm から $x = 140$ mm まで 20 mm ずつ移動して測定したときのもので、 x をしだいに大きくすると計数率は少なくなり、それだけバラツキも大きく標準偏差による誤差もしだいに大きくなる。

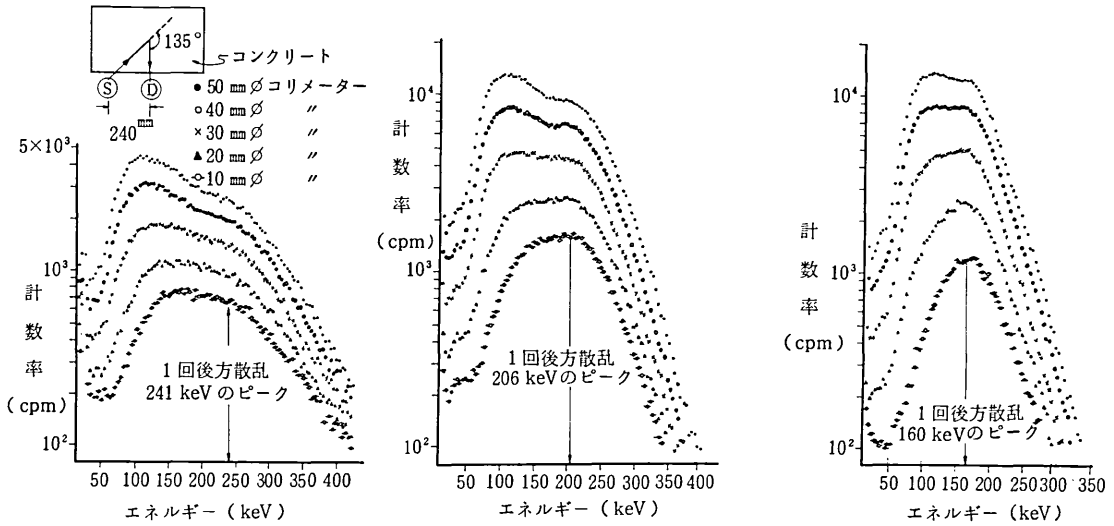
2) S-D 間を 300 mm と 240 mm に固定したとき

図5(a), (b), (c)はそれぞれ ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir 線源を用い、S-D 間を 300 mm に固定し、コンクリートの厚さを 30, 60, 90, 120 mm に変化させたときの散乱スペクトルである。コンクリートの厚さ 90, 120 mm では、3者ともほぼ飽和に達しており、これ以上厚さを増加しても変化がみられない。このスペクトルの最大計数率(cpm)を読みとると表3になる。この表からコンクリートの厚さが 30 mm と 60 mm の場合を比較すると計数率の変化は

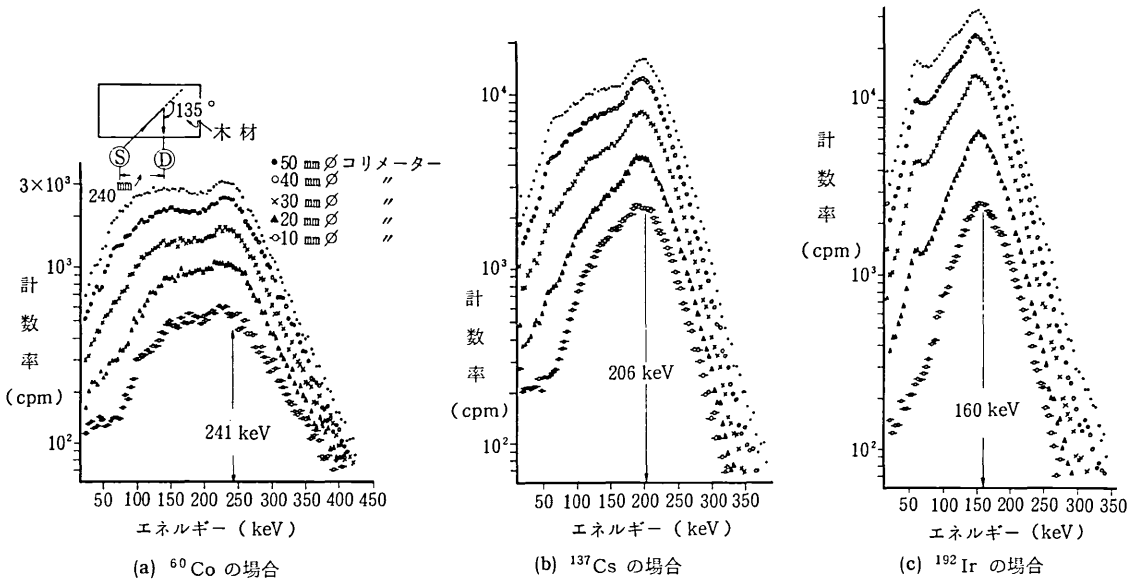
表3 ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir によるコンクリート煉瓦からの最大計数率

	^{60}Co	^{137}Cs	^{192}Ir
コンクリート厚さ 30 mm	140	90	60
” 60 mm	200	220	115
” 90 mm	260	330	200
” 120 mm	290	370	230

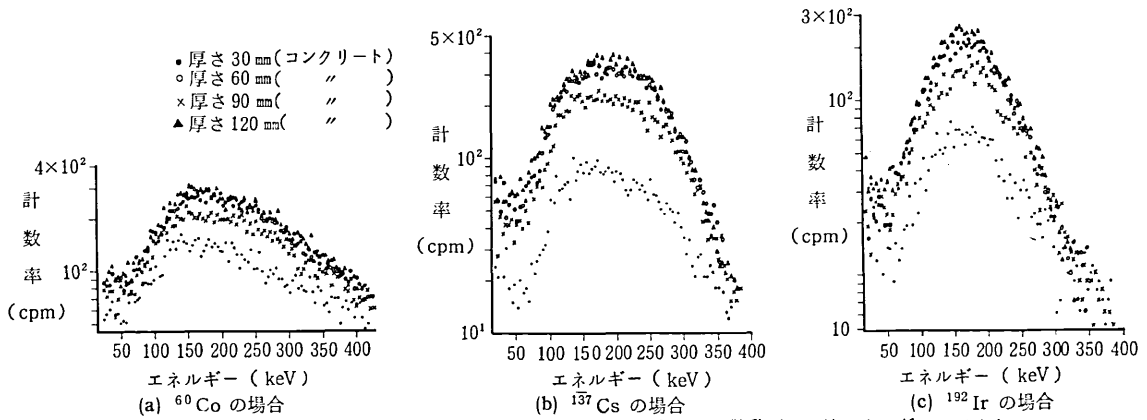
(単位 cpm)



(a) ^{60}Co の場合 (b) ^{137}Cs の場合 (c) ^{192}Ir の場合
 図2 コリメーター効果によるコンクリートからの散乱ガンマ線エネルギースペクトル



(a) ^{60}Co の場合 (b) ^{137}Cs の場合 (c) ^{192}Ir の場合
 図3 コリメーター効果による木材からの散乱ガンマ線エネルギースペクトル



(a) ^{60}Co の場合 (b) ^{137}Cs の場合 (c) ^{192}Ir の場合
 図5 S-D間の距離を300mmに固定したときのコンクリートからの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトル

研究速報

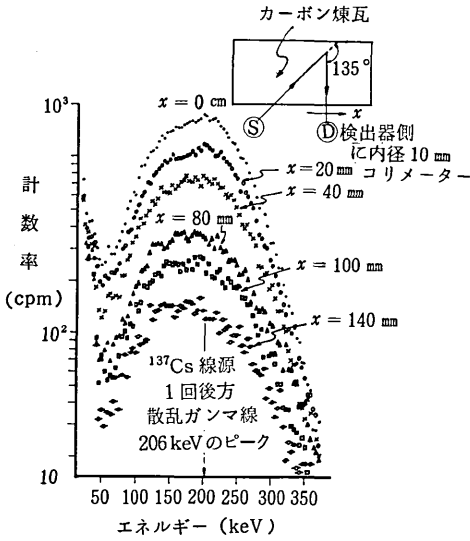


図4 x (S-D間)を変化したとき、カーボン煉瓦(無限層厚)からの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトル

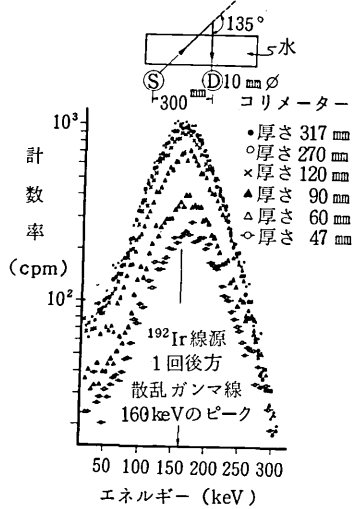


図6 線源と検出器との距離300 mmのときの水からの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトル (¹⁹²Irの場合)

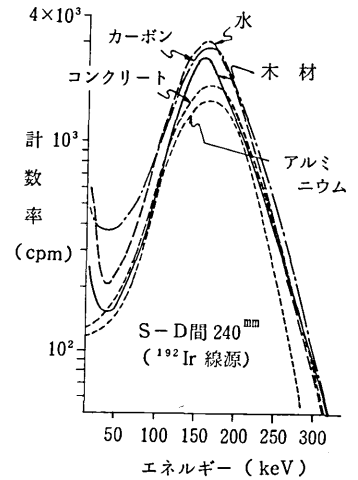


図7 飽和厚さの各種散乱材からの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトル

⁶⁰Co, ¹⁹²Irよりも¹³⁷Csの方が大きい。

図6は¹⁹²Ir線源による水からの散乱ガンマ線スペクトルで、S-D間は図5と同様に300 mmである。このスペクトルから飽和厚さが270 mm~317 mmであることがわかり、図5のコンクリートと比べるといっそう厚くなっている。

図7は飽和厚さの各種散乱材を用い、S-D間の距離を240 mmに固定したときの¹⁹²Irからの散乱ガンマ線スペクトルである。この場合、水、カーボン、木材、コンクリート、アルミニウムの順で散乱スペクトルが小さくなり、水からの散乱成分が最大である。このスペクトルには示していないが、S-D間の距離340 mm以上離れると、この順序が木材、水、カーボン、コンクリート、アルミニウムと変わり、密度の大きい順に低減し、木材からの散乱成分が最大となる。この結果は密度測定への応用の可能性を物語っており、別報で詳述したい。

以上の結果から低原子番号物質からの散乱ガンマ線は検出器側にとりつけた内径の異なる鉄製コリメーターに

よって多重散乱ガンマ線成分と1回散乱ガンマ線成分とに選別でき、それぞれ別々に測定できることがわかった。また1回散乱ガンマ線成分は一次ガンマ線エネルギー、および各種散乱材の厚さと検出器の測定位置によって異なってくる。これを利用して例えば、図3(b),(c)および図6などの散乱スペクトルから、比重1以下の低原子番号物質の厚さ測定には、¹⁹²Irまたは¹³⁷Cs線源を用い、多重散乱ガンマ線よりも1回散乱ガンマ線を利用した方がよいことがわかる。(1978年1月25日受理)

参考文献

- 1) 生産研究 多重後方散乱γ線によるカーボン煉瓦厚さの測定(第1報)25巻,12号,1973
加藤,佐藤,斉藤
- 2) 生産研究 同上
(第2報)26巻,1号,1974,佐藤,斉藤,加藤
- 3) 生産研究 同上
(第3報)26巻,3号,1974,佐藤,斉藤,加藤

