

# 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)

Study on Some Surface Materials Reducing the Backscattered  $\gamma$  Rays from Concrete

斉藤 秀雄\*・佐藤 乙丸\*  
Hideo SAITO and Otomaru SATO

## 1. ま え が き

放射線を使用する施設の壁や床から二次的に後方散乱する放射線の割合が非常に多く被曝管理上無視できない場合がある。筆者らは前報<sup>1,2)</sup>に引きつづき、コンクリートから後方散乱するX、ガンマ線を低減させる目的で表面材料として鉄板および鉛箔を用いて実験を行った。今回は高分解能のGe(Li)半導体検出器を用い、100 keV前後のガンマ線エネルギーを放出する<sup>57</sup>Co、<sup>170</sup>Tmおよび低エネルギーX、ガンマ線(24.0 keV)を放出する<sup>119m</sup>Snの3つの密封線源を使用した。

## 2. 実験方法

密封線源を鉛照射容器に収容して固定し、その線束を20mm $\phi$ に絞り、散乱体に対して直角に照射し、135°方向に散乱してくるX、ガンマ線を、Ge(Li)半導体検出器(Ortic社製、Be窓厚0.13mm、16 $\phi$ ×4.67mm)で検出し、これをマルチチャンネル波高分析器(Northern Econ II Series)に導いてエネルギースペクトルを求めた。

幾何学的な測定配置は前報<sup>2,3)</sup>で述べたように、線源(S)と検出器(D)との距離を100mmとし、散乱ガンマ線が入射しやすいように検出器のヘッドには厚さ3.3mmの亚克力板に11mm $\phi$ の穴をあけたキャップをか

ぶせた。実験は前回と同様に、無限厚コンクリート上に鉄板および鉛箔を貼布して行った。こうして得られたエネルギースペクトルを積分した全散乱ガンマ線計数率から散乱ガンマ線の低減効果を求めた。また同時に同一配置で24 keVから130 keVまでのX、ガンマ線エネルギーに対するコンクリート、鉄(Fe)、鉛(Pb)の飽和厚さ測定も行った。

このときに使用したGe(Li)半導体検出器の相対計数効率特性は<sup>4)</sup>図1に示したとおりである。この実験のエネルギー範囲は5~100 keV付近であるので、図1から明らかなようにエネルギー相対計数効率は約90%以上である。したがって、検出器の計数効率特性の補正は行わなかった。ただし、図の11 keV付近は検出器特有の

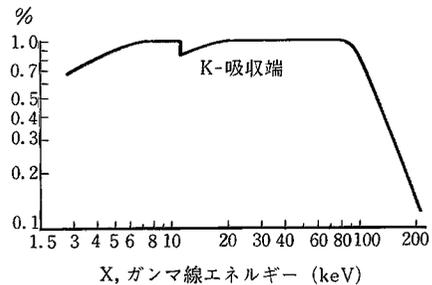


図1 Ge(Li)半導体検出器のエネルギー計数効率特性

表1 使用したガンマ線源の核特性と散乱ガンマ線のエネルギー特性<sup>5)</sup>

線源名	使用した放射能強度 (mCi)	半減期 (T 1/2)	照射線量率定数 (R $\cdot$ h <sup>-1</sup> Ci <sup>-1</sup> at 1m)	一次ガンマ線エネルギー (keV) と放出の割合 (%)	135°方向への1回散乱ガンマ線エネルギー (keV)
<sup>57</sup> Co	5.4	270日	0.09	136.0 (11%), 122.0 (87%) 14.4 (9%), Fe KX 6.4 692 (0.14)	692.0 - 208.7 136.0 - 93.47 122.0 - 86.6 14.4 - 13.74
<sup>170</sup> Tm	120	135日	0.0025	84.0 (3%), 52.0 (4%), 7.0 (3%) } YbKX	84.0 - 65.6 52.0 - 44.3
<sup>119m</sup> Sn	5	250日	0.022	24.0 (16%)	24.0 - 22.2

\* 東京大学生産技術研究所 第4部

表2 Pb, Tm, Sn から放出される特性X線 (括弧内は 135° 方向の1回散乱線)のエネルギー<sup>5, 6)</sup>

単位 (keV)

	K X 線				L X 線				
	K $\alpha_2$	K $\alpha_1$	K $\beta_1$	K $\beta_2$	L $\alpha_2$	L $\alpha_1$	L $\beta_1$	L $\beta_2$	L $\gamma_1$
Pb	72.8 (58.35)	75.0 (59.95)	84.5 (65.88)	87.3 (67.56)	10.45	10.55	12.61	12.62	14.76
Tm	49.77 (42.67)	50.74 (43.38)	57.5 (48.24)	59.0 (49.27)	—	—	—	—	—
Sn	25.04 (23.50)	25.27 (23.30)	28.5 (26.02)	29.1 (26.52)	—	—	—	—	—

K-吸収端エネルギーであり、効率は85%に低下している。表1に<sup>57</sup>Co, <sup>170</sup>Tm, <sup>119m</sup>Sn線源の核特性と散乱特性を、また表2にこれらの線源の特性X線のエネルギーと、括弧内にその1回散乱成分のエネルギーを示した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 鉄と鉛をコンクリート上に貼付したときの散乱ガンマ線スペクトル

図2(a), (b), (c)はそれぞれ<sup>57</sup>Co, <sup>170</sup>Tm, <sup>119m</sup>Sn線源を用い、無限厚コンクリートのみの場合と、その表面に鉄板または鉛箔を貼付した場合についての後方散乱ガンマ線スペクトルである。図2(a)は<sup>57</sup>Coを用い、コンクリートのみの場合と、その表面に厚さ0.9mmの鉄板または厚さ0.1mmの鉛箔を貼付した場合のスペクトルである。図のコンクリートのみと鉄板を貼付したときのスペクトルを比較すると、Fe KX線を除いてほぼ同じ傾向のスペクトルを示し、86.8 keVおよび13.74 keV付近のピークは、それぞれ122 keV, 14.4 keVのガンマ線からの1回散乱ガンマ線成分である。また67 keVおよび59 keV付近の両ピークは、それぞれ122 keVと136 keVのガンマ線からの多重散乱ガンマ線成分と考えられる。

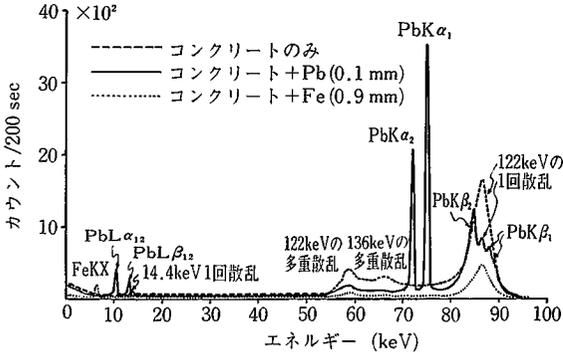
鉛の場合は122 keVのガンマ線がPbのK-吸収端エネルギー(88 keV)に近いので、表2に示したPbの特性X線が大量に生成する。また、86.6 keVの1回散乱ガンマ線成分はPb K $\beta_1$ 線とPb K $\beta_2$ 線の間で生成し、鉛の厚さが0.1 mmの場合は図のように明瞭であるが、鉛の厚さを0.1 mmからしだいに増やし0.7 mmまで変化していくとしだいに減弱する。しかし、Pb KX線のピークは逆に増大し、鉛の厚さ0.6 mmで飽和する。このときの飽和値は厚さ0.1 mmのときのほぼ2倍である。一方、Pb L X線は鉛の厚さ約0.2 mmで飽和に達し、その後は厚さを変えても変わらない。

図2(b)は<sup>170</sup>Tmの場合で無限厚コンクリート上に厚

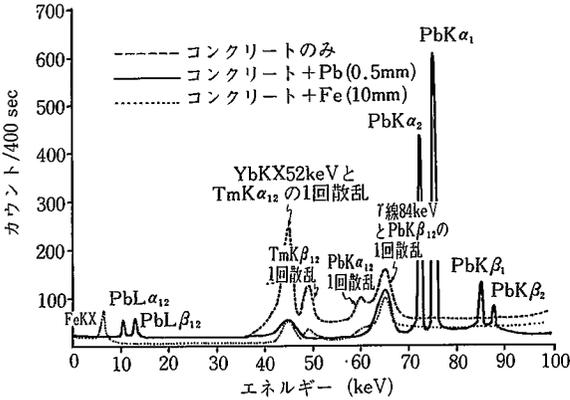
さ10 mmの鉄板または厚さ0.5 mmの鉛箔を貼付したときの散乱ガンマ線スペクトルである。図の44.3 keVおよび65.6 keV付近の両ピークはそれぞれYb KX線とTm K $\alpha_2$ 線および84 keVのガンマ線とPb K $\beta_{12}$ 線からの1回散乱ガンマ線成分が重なり合ったものである。49 keVおよび60 keV付近のピークはそれぞれTm K $\beta_{12}$ 線とPb K $\alpha_{12}$ 線からの1回散乱ガンマ線ピークである。これらの散乱線成分はコンクリートのみと鉄板を重ねたときに見られる。鉛を重ねた場合は散乱成分が少なくただPb L X線成分が生じている。コンクリート上の鉄や鉛の厚さをしだいに厚くすると、全散乱ガンマ線計数率は全体として減弱するが、高エネルギー成分は減弱が少ない。また鉛の場合は<sup>170</sup>Tmからの $\beta$ 線による制動放射X線によって鉛の特性X線が多量に生成する。鉛の厚さを増やすにつれて鉛の特性X線計数率はしだいに増大し、1回散乱ガンマ線成分はしだいに減少していく。

図2(c)は<sup>119m</sup>Snの場合で無限厚コンクリート上に厚さ5 mmの鉄板または厚さ0.9 mmの鉛箔を貼付したときの散乱ガンマ線スペクトルである。図のコンクリートの場合に限り散乱ガンマ線は<sup>119m</sup>Snの一次X、ガンマ線の後方散乱ガンマ線から成っており、Sn K $\alpha_{12}$ 線とガンマ線エネルギーが接近しているため、両成分が合成されたピークを示している。一方、鉄板と鉛箔を重ねた場合は、これらの1回散乱ガンマ線ピークが減少し、その代わり、Fe KX線およびPb L X線が多量に生成する。特に鉛の場合は多く、表2に示したようにL $\alpha_1$ 線(10.55 keV)とL $\alpha_2$ 線(10.45 keV)が重なり、L $\beta_1$ 線(12.6 keV)とL $\beta_2$ 線(12.62 keV)の場合も同様である。またL $\gamma_1$ 線(14.76 keV)も生成しているが、その値はLX線の約1/5である。これらの特性X線の影響もあって、コンクリートのみときより全散乱ガンマ線計数率は増大している傾向を示している。なお、鉛の場合、鉛のK X線がわずかに生成しているが、<sup>119m</sup>Sn中に含まれている<sup>123</sup>Snなどの不純物の影響によるものと考えられる。

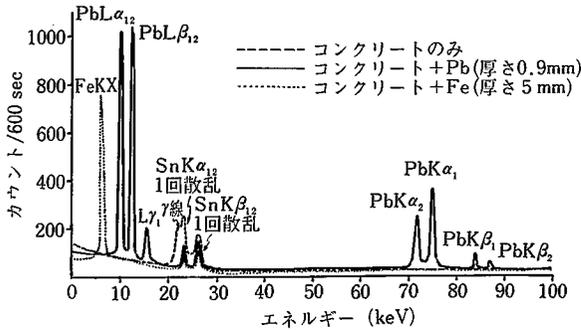
研究速報



(a) Ge(Li)半導体検出器を用い、無限厚コンクリートのみと、その表面材として厚さ0.9mmの鉄板と厚さ0.1mmの鉛箔を貼布したときの散乱ガンマ線エネルギースペクトル ( $^{57}\text{Co}$ )



(b) Ge(Li)半導体検出器を用い、無限厚コンクリートのみと、その表面材として厚さ10mmの鉄板および厚さ0.5mm鉛箔を貼布したときの散乱ガンマ線エネルギースペクトル ( $^{170}\text{Tm}$ )



(c) Ge(Li)半導体検出器を用い、無限厚コンクリートのみと、その表面材として厚さ5mmの鉄板と厚さ0.9mmの鉛箔を貼布したときの散乱ガンマ線エネルギースペクトル ( $^{119\text{m}}\text{Sn}$ )

図2

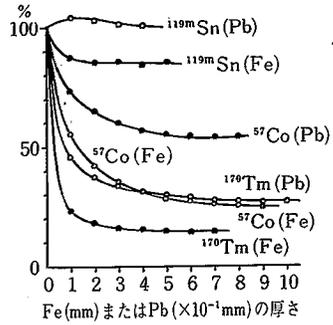


図3  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ を用い、無限厚コンクリート上に鉄板または鉛箔の厚さを変えたときの散乱ガンマ線低減効果の特性

表3  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  ガンマ線源を用い、コンクリートのみを100%にした鉄、鉛の散乱ガンマ線低減率 (単位%)

線源	$^{57}\text{Co}$	$^{170}\text{Tm}$	$^{119\text{m}}\text{Sn}$
散乱体			
コンクリート	100	100	100
鉄	25	15	85
鉛	54	27.5	100

3.2  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ の散乱ガンマ線低減効果について

無限厚コンクリート表面上の鉄板および鉛箔の厚さを変え、全散乱ガンマ線スペクトルを積分し、コンクリートのみときの値で割って後方散乱ガンマ線低減率を求めた。図3は $^{57}\text{Co}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ を用い、コンクリートのみの場合を100%とし、散乱ガンマ線低減率を縦軸、鉄または鉛の厚さを横軸にとったものである。図から明らかなように鉄または鉛の厚さを増やすと共に散乱ガンマ線低減率が低下し、ある飽和値に達する。この飽和値で比べると、 $^{57}\text{Co}$ の場合、鉛の低減率は54%、鉄のそれは25%となる。このようにして求めたものが表3である。この表から $^{170}\text{Tm}$ を用いた鉄の場合、散乱ガンマ線低減率は15%と最も小さく、鉛の場合も $^{57}\text{Co}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ に比べて小さい値になっている。また $^{119\text{m}}\text{Sn}$ と鉛の場合は散乱ガンマ線低減効果がないことを示している。

3.3 コンクリート、鉄、鉛の後方散乱ガンマ線による飽和厚さ

$^{57}\text{Co}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ 線源を用い、コンクリート、鉄、鉛の厚さをいくつか変えたとき、 $135^\circ$ 方向に後方散乱してくるX、ガンマ線の計数率を測定した。図4は $^{57}\text{Co}$ からの1回散乱ガンマ線86.6 keVのみに着目し、コンクリートの厚さを10, 20, 40, 120 mmに変えたときの散乱ガンマ線スペ

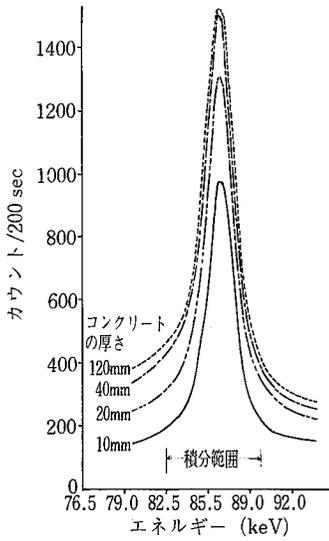


図4  $^{57}\text{Co}$  122 keVを用いたときのコンクリートからの散乱ガンマ線エネルギースペクトル

クトルで、このスペクトルから図に示した範囲を積分して後方散乱ガンマ線計数率を求めた。このようにして得られた結果から、コンクリート、鉄、鉛の後方散乱ガンマ線飽和厚さ特性をまとめたものが図5である。図5からそれぞれのエネルギーのガンマ線に対する飽和厚さを読み取り、これを縦軸に、横軸をエネルギーで示したものが図6である。この図の52 keVの時の値は $^{170}\text{Tm}$ からのYb KX線に着目して求めたものである。鉛とコンクリートの飽和厚さがちょうど1桁ずれており、両者の特性はほぼ直線に近い。

(1980年7月16日受理)

文 献

- 1) 佐藤, 斉藤: 散乱ガンマ線低減効果の研究, 第13回理工学における同位元素研究発表会要旨集 p103, 1976, 6
- 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(1), 生産研究 Vol 32, (8), p32~35, 1980

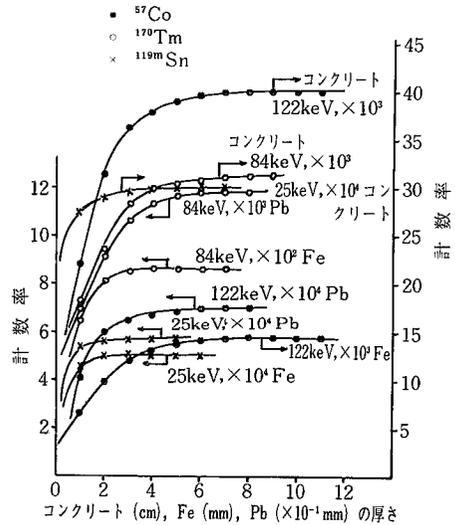


図5 Ge(Li)半導体検出器を用い、入射ガンマ線エネルギーの異なるコンクリート・鉄・鉛の飽和厚さの測定

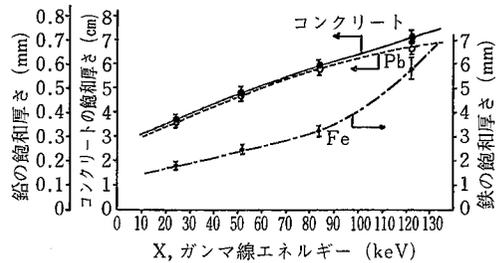


図6 Ge(Li)半導体検出器を用いたコンクリート・鉄・鉛の飽和散乱厚さのエネルギー特性

- 3) 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(2), 生産研究 Vol 32, (9), p16~18, 1980
- 4) 斉藤: 着用物質に対する低エネルギー X,  $\gamma$  線透過特性, 日本放射性技術学会雑誌(35), 1, 13~17, 1978
- 5) アイソトープ手帳, 日本アイソトープ協会 p23~107 1977, 5, 1
- 6) Radiological Health Handbook; Revised Edition 1, 161~162, 1970