

後方散乱ガンマ線による厚さ測定に関する研究(I)

Study on the Measurement of Thickness Using Backscattered Gamma-Rays. (I)

斎藤秀雄・佐藤乙丸*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

1. まえがき

ガンマ線厚さ計の測定法には透過型と後方散乱型があり、被測定物質が移動している場合には主として前者が利用されており、後者はパイプの肉厚測定など一部実用化されている。

筆者らは後方散乱ガンマ線を利用して、溶鉱炉炉壁のカーボン煉瓦の浸食度の基礎研究¹⁻³⁾、コンクリート内の鉄筋の位置ぎめ⁴⁾および厚さ測定における多重散乱ガンマ線と1回散乱ガンマ線との効果⁵⁾など、非破壊的に被測定物質の表面から測定する方式について研究を行ってきました。

本報は、前報^{6,7)}に引きつづき後方散乱ガンマ線を利用し、原子番号の異なるいくつかの被測定物質を用い、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して厚さを測定する場合について試みた実験結果をまとめ、被測定物質ごとの最適ガンマ線源と測定方式（1回散乱ガンマ線成分または多重散乱ガンマ線成分のいずれか）との関係を明らかにしたものである。この結果最適測定法を用いれば、従来の散乱型厚さ計と比べて厚さ測定限度をかなり大幅に伸ばしうることがわかったので以下に報告する。

2. 実験方法

密封ガンマ線源⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁹²Ir を用い、図1に示すような測定配置図で実験を行った。線源を鉛照射容器の中心部に収容し、その線束を 20 mm ϕ に絞り、散乱体に対して 45°の角度で入射させ、135°方向に散乱してくるガンマ線をシンチレーション検出器（2"φ×2"（NaI））とマルチチャンネル波高分析器で測定した。放射線検出器を収容する鉛しゃへい体の内側には、鉛KX線の発生を防止するため肉厚 8 mm、長さ 150 mm、内径 60 mm ϕ の鉄製パイプを取りつけた。この検出部の前面に長さ 30 mm、内径 50 mm および 10 mm ϕ の鉄製コリメータを取りはずしできるように配置し、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した。この検出部の一部を写真1に示す。

図1の測定配置図で、前報で述べたように低原子番号

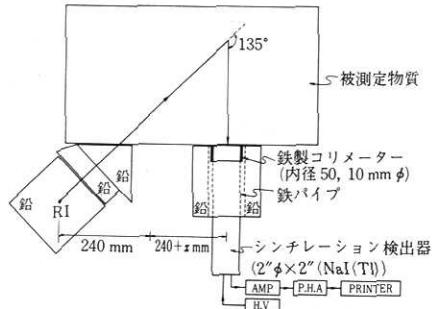
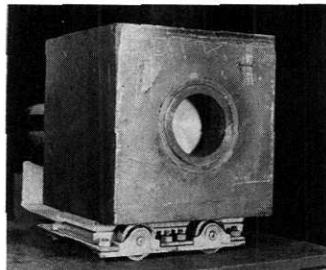
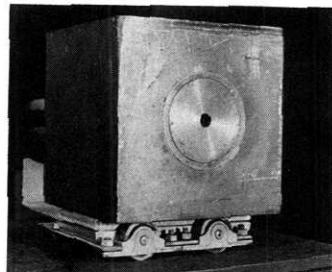


図1 後方散乱ガンマ線の測定配置図



(a) 多重散乱ガンマ線成分の測定方式



(b) 1回散乱ガンマ線成分の測定方式

写真1

物質からの散乱ガンマ線スペクトルを求め、そのスペクトルの積分値（表1）から後方散乱ガンマ線による厚さ測定の特性曲線を求めた。この場合線源部と検出部の前面を散乱体表面に密着し、検出器全体を左右に移動しやすいように小型台車にのせ、20 mmずつ右の方に移動して測定した。また検出部のしゃへい体が線源部に密着し

* 東京大学生産技術研究所 第4部

表1 使用したアイソトープの特性と散乱ガンマ線の積分範囲

核種名	放射線強度 mCi	半減期 $T(1/2)$	実効ガンマ線 エネルギー MeV	照射線量率定数 $R \cdot h^{-1} Ci^{-1}$ at 1m	135°方向への散 乱ガンマ線エネ ルギー MeV	多重散乱ガンマ 線の積分範囲 keV	1回散乱ガンマ 線の積分範囲 keV
^{60}Co	19	5.2y	1.250	1.32	0.2412	29~179	116~283
^{137}Cs	80	30y	0.662	0.33	0.206	29~158	116~262
^{192}Ir	60	74.4d	0.347	0.48	0.1602	29~129	96~241

た場合、線源⑤と検出器⑥の中心部間の距離は240 mmであるが、この時の⑤-⑥間の距離を0とした。従って検出部をx mm離したときの⑤-⑥間の実際の距離は $240 + x$ mmとなる。なお測定器の較正およびビームの大きさなどについては前報^{6,7)}で述べた通りである。

3. 実験結果と考察

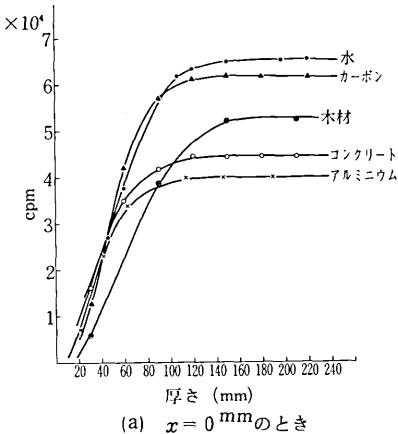
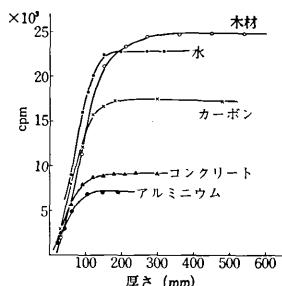
(1) 各種物質の厚さ測定

低原子番号物質の厚さをガンマ線で測定する場合には、検出器の計数効率が高く、散乱ガンマ線計数値が多く、しかも各種物質の厚さ測定限度が大きいことが重要である。

図2(a), (b)はいずれも ^{192}Ir ガンマ線源を用い、 $x=0$ mm, $x=60$ mmのときの後方散乱ガンマ線による厚さ測定の特性曲線を示したものである。縦軸は1回散乱ガンマ線スペクトルから求めた1回散乱ガンマ線計数率(cpm)で表し、また横軸は各種物質の厚さ(mm)で表した。この両者のグラフから $x=0$ mmのときアルミニウム、コンクリート、カーボン、水、木材の飽和厚さはそれぞれ115, 120, 140, 160, 170 mm, $x=60$ mmのときそれぞれ130, 135, 180, 190, 325 mmとなる。このように⑤-⑥間の距離を離して測定した方が各種物質の飽和厚さが大となり、厚さの測定限度が拡大されることがわかる。

またこれらのグラフから⑤-⑥間の距離が小さい場合は、いずれの線源を用いても木材よりもカーボン煉瓦の方が1回散乱ガンマ線計数率が多くなる傾向がある。これは前報⁷⁾で述べたようにカーボンの場合、問題にしているガンマ線エネルギー領域において光電効果よりもコンプトン散乱を起こす確率が大きいからである。この傾向は ^{60}Co の場合にも最も著しく見られ、特に多重散乱ガンマ線成分に顕著である。さらに ^{60}Co は放出エネルギーが高いため、木材からの散乱ガンマ線計数率が他の物質と比べて最低となるが、アルミニウムとコンクリートの厚さ測定の特性曲線はほぼ同じ傾向となり、カーボンからの散乱ガンマ線計数率が最も多くなっている。

一方、 ^{137}Cs , ^{192}Ir の場合に同様の結果が見られるが、 ^{60}Co ほどではない。たとえば ^{192}Ir の多重散乱ガンマ線計数率は $x=60$ mm以上離れるとアルミニウムとコンクリートとでほぼ同一となる。 x をだいに大きくして

(a) $x = 0$ mmのとき(b) $x = 60$ mmのとき図2 ^{192}Ir 線源を用い、1回散乱ガンマ線を利用した各種物質による厚さ測定の特性曲線

くと、密度の小さい物質ほど飽和厚さが、大きくなってくる。しかし、 $x = 200$ mmにして、多重散乱ガンマ線成分で測定したときには、アルミニウムとコンクリートの厚さ測定の特性曲線の傾斜は、著しく小さくなり厚さ測定ができなくなる。したがって厚さ測定を行う場合、被測定物質の種類によって⑤-⑥間に最適距離があるものと考えられる。

(2) 多重散乱ガンマ線と1回散乱ガンマ線との比較

写真1(a), (b)の方式により検出部のコリメーターを交換すること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し、両成分による厚さ測定結果を比べた。 ^{137}Cs ガンマ線源約80 mCiを用い、⑤-⑥間の距離を240 mm($x=0$ mm)と400 mm($x=160$ mm)に固定し、コンクリートの厚さを0~300 mmまで変えて求めたグ

ラフを図3に示す。図の・印は多重散乱ガソマ線成分、◎印は1回散乱ガソマ線成分による厚さ測定の特性曲線である。この特性曲線から飽和厚さを読みとると、 $x = 0, 160$ mmの場合、多重散乱ガソマ線成分ではコンクリートの厚さが160, 240 mm, 1回散乱ガソマ線成分では130, 210 mmとなる。すなわち前者の方が後者よりも1.14～1.23倍厚いものまで測定できることがわかる。

同様に ^{60}Co , ^{192}Ir を用い、アルミニウム、カーボン、水、木材について飽和厚さを求め表2にまとめて示した。この表から ^{137}Cs ガソマ線を除けば $x = 0$ mmのときのアルミニウムとコンクリートの飽和厚さは殆んど同じであるが、カーボン、水、木材の場合は両成分の飽和厚さが大きく異なり、その比がそれぞれ平均1.46, 1.26, 1.15倍になり、また $x = 160$ mmのときはそれぞれ1.26, 1.12, 1.37倍になることがわかる。

このように同一ジオメトリーで多重散乱ガソマ線成分と1回散乱ガソマ線成分とに選別して厚さ測定を行う場合、低原子番号物質の厚さ測定限度は、前者による方が後者による方より約1.00～1.62倍大きくなる。

(3) 最適ガソマ線源と検出方法

散乱型厚さ計の場合、飽和厚さ近くなるにつれて測定誤差が大きくなり、測定値が不正確となる。一般に、使用する一次ガソマ線エネルギー、 \odot ～ \oplus 間の距離、または被測定物質の種類によって厚さ測定の特性曲線が異なるので、この種の測定に最適なガソマ線エネルギーの選定と両成分による検出方法について検討を試みた。

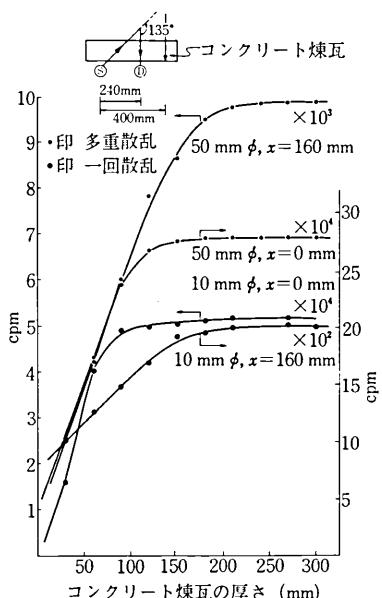


図3 ^{137}Cs 線源を用い、多重散乱ガソマ線成分と1回散乱ガソマ線成分による厚さ測定の特性曲線

表2 $x = 0, x = 160$ mmのときの多重散乱ガソマ線と1回散乱ガソマ線による飽和厚さ

		$x = 0$ mmのとき (単位mm)				
		アルミニウム	コンクリート	カーボン	水	木材
^{60}Co	多重散乱	115	130	210	225	275
	1回散乱	110	120	130	175	240
^{137}Cs	多重散乱	140	160	200	225	330
	1回散乱	125	130	150	175	240
^{192}Ir	多重散乱	115	125	180	195	—
	1回散乱	115	120	140	160	170

$x = 160$ mmのとき (単位mm)

		アルミニウム	コンクリート	カーボン	水	木材
^{60}Co	多重散乱	190	220	315	315	480
	1回散乱	150	200	250	260	350
^{137}Cs	多重散乱	210	240	300	320	540
	1回散乱	150	210	250	280	480
^{192}Ir	多重散乱	190	210	255	330	—
	1回散乱	—	—	—	320	450

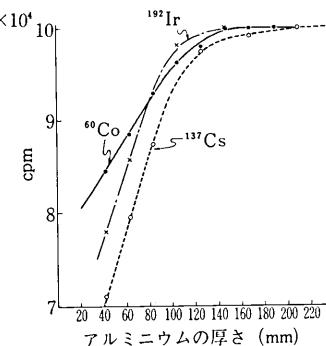
図4(a),(b)は一次ガソマ線エネルギーの異なる ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir を用い、 \odot ～ \oplus 間の距離 $x = 80$ mmとしたとき、アルミニウムからの多重散乱ガソマ線成分と1回散乱ガソマ線成分をプロットし、それぞれ 10^5 cpm, 10^4 cpmに正規化したものである。このグラフから多重散乱ガソマ線の場合(図4(a)), ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir を用いたアルミニウムの飽和厚さはそれぞれ160, 200, 147 mmとなる。したがって $x = 80$ mm付近で測定する場合は、飽和厚さの最も大きい ^{137}Cs ガソマ線源を用いた方がよいことがわかる。同様に1回散乱ガソマ線の場合(図4(b))は、3線源ともアルミニウムの飽和厚さがほぼ150 mmとなるが、特性曲線の勾配の急な ^{137}Cs の方が有利である。この両者の特性を比較してみると1回散乱ガソマ線よりも厚さ測定限度の大きい多重散乱ガソマ線を利用した方がよいことがわかる。

以上のようにしてアルミニウムのほかにコンクリート、カーボン、水、木材について調べた結果が表3である。この表から密度1以下の物質では x が小さい場合には1回散乱ガソマ線成分、 x が大きい場合には多重散乱ガソマ線成分で測定し、 ^{192}Ir ガソマ線源を利用した方が、また密度1以上の物質に対しては x の大小にかかわらず多重散乱ガソマ線成分を用い、 ^{137}Cs ガソマ線源を利用した方がよい。ただしアルミニウムに限って x が大きいときは ^{60}Co の方が最適な線源と言える。

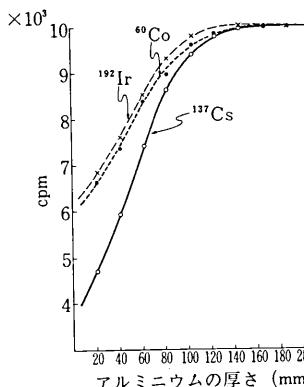
(4) 鉄板の厚さ測定

前報⁶⁾で述べたコリメーター効果による散乱ガソマ線エネルギースペクトルの挙動は、鉄の場合、どのコリメーターを用いてもほぼ同一スペクトルを示し、散乱ガソマ

研究速報



(a) 多重散乱ガムマ線計数率($x = 80\text{ mm}$)を $1 \times 10^5 \text{ cpm}$ に正規化したときの ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir ガムマ線によるアルミニウムの厚さ測定の特性曲線



(b) 1回散乱ガムマ線計数率($x = 80\text{ mm}$)を $1 \times 10^4 \text{ cpm}$ に正規化したときの ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir ガムマ線によるアルミニウムの厚さ測定の特性曲線

図4

表3 各種物質に対する最適ガムマ線源と検出方法

物質	線源	散乱成分
アルミニウム	^{137}Cs or ^{60}Co	多重散乱
コンクリート	^{137}Cs	"
カーボン	^{137}Cs	"
水	^{192}Ir or ^{137}Cs	1回散乱, 多重散乱
木材	^{192}Ir	" "

線計数率が若干異なるだけである。

1回散乱ガムマ線のみを利用する鉄板の厚さ測定法に関しては、すでに田尻⁸⁾らが ^{60}Co ガムマ線源を用いて試みているが、それによれば厚さ測定限度は約40mmとされている。これに対し多重散乱ガムマ線成分のみを利用する方式を用いると図5に示すように厚さ測定限度は約60mm以上となる。この図は、 $x=0\text{ mm}$ (◎-○間240mm)のときの計数率を 10^4 cpm に正規化し、 ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir の三つのガムマ線源について求めたものである。このときの飽和厚さは ^{60}Co で70mm, ^{137}Cs では85mm,

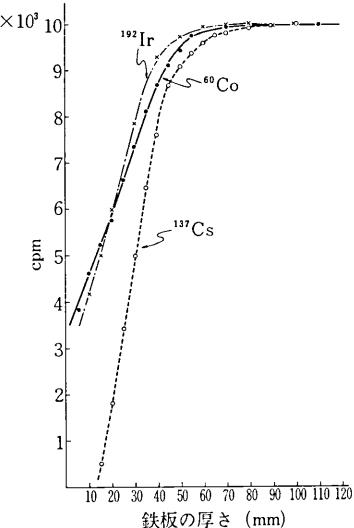


図5 多重散乱ガムマ線計数率($x = 0\text{ mm}$)を $1 \times 10^4 \text{ cpm}$ に正規化したときの ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir ガムマ線による鉄板の厚さ測定の特性曲線

^{192}Ir では70mmである。また特性曲線の勾配から言えば ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{60}Co の順に小さくなっているので ^{137}Cs 線源を用いるのが最適と言える。

(1978年11月22日受理)

参考文献

- 1) 加藤, 佐藤, 斎藤; 多重散乱γ線によるカーボン煉瓦厚さの測定, (第1報), 生産研究, 25卷, 12号, 541~544, 1973.
- 2) 佐藤, 斎藤, 加藤: 同上(第2報), 生産研究, 26卷, 1号, 36~39, 1974.
- 3) 佐藤, 斎藤, 加藤: 同上(第3報), 生産研究, 26卷, 3号, 126~130, 1974.
- 4) 佐藤, 斎藤: 散乱ガムマ線による鉄筋コンクリート中の鉄筋の位置ぎめ, 第12回理工学における同位元素研究発表会要旨集. p 20. 1975, 6.
- 5) M. KATO, O. SATO and H. SAITO : A Study on the applications of backscattered gamma-rays to gauging. Proc. of ERDA Symp. on X- and Gamma-Ray Sources and Applications, Michigan, 1976, 5.
- 6) 斎藤, 佐藤: 散乱ガムマ線スペクトルの挙動1. 1回散乱ガムマ線とその応用, 生産研究, 30卷, 4号, 13~16, 1978.
- 7) 斎藤, 佐藤: 散乱ガムマ線スペクトルの挙動2. 多重散乱ガムマ線とその応用, 生産研究, 30卷, 6号, 17~20, 1978.
- 8) 田尻, 島田, 三塚, 山手: ガムマ線散乱法による密度および厚み測定, 第5回日本アイソトープ会議報文集, 4~43~4~45, 1963.