

# 多重後方散乱ガンマ線によるカーボン煉瓦厚さの測定 第3報

Thickness Measurement of Carbon Brick by Multiple Backscattered  $\gamma$  Rays III

佐藤 乙丸\*・斎藤 秀雄\*・加藤 正夫\*

Otomaru SATO, Hideo SAITO and Masao KATO

## 1. ま え が き

第1報, 第2報は, カーボン煉瓦の背後に鉄ブロックが存在するとき, カーボン煉瓦の厚さおよび鉄の存在位置を,  $^{60}\text{Co}$  からのガンマ線の多重後方散乱ガンマ線を利用して測定する方法について述べた. 第3報は入射ガンマ線のエネルギーが  $^{60}\text{Co}$  と異なる5種類のガンマ線源を用い,  $^{60}\text{Co}$  の場合と同じような配置で実験を試みた結果, すなわち, ガンマ線源のエネルギーの上記測定に及ぼす効果について述べる.

## 2. 実験の方法

線源部(S)と検出部(D)の配置は図1のとおりで, 2 cm $\phi$  のガンマ線ビームをカーボン煉瓦の表面に45度で入射させ, 135度方向に散乱してくるガンマ線を, 2"  $\phi$   $\times$  2" の NaI(Tl) シンチレーターで検出し, 100 CH 波高分析器に導き, ガンマ線のスペクトルを求めることによって厚さ測定を試みた.

線源容器は15 $\times$ 15 $\times$ 15 cm の鉛製のもので, ガンマ線ビームの出口に内径2 cm $\phi$  の穴をあけた鉛製コリメーターを配置してカーボン煉瓦に密着してある. 検出器を収容してある鉛容器には肉厚1.5 mm, 内径6 cm の鉄

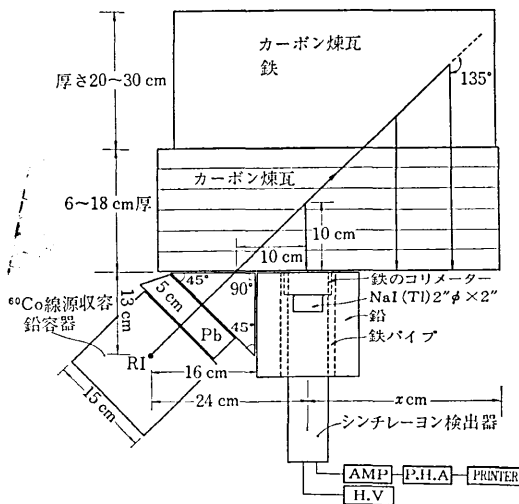


図1 多重後方散乱 $\gamma$ 線によるカーボン煉瓦厚さの測定配置図

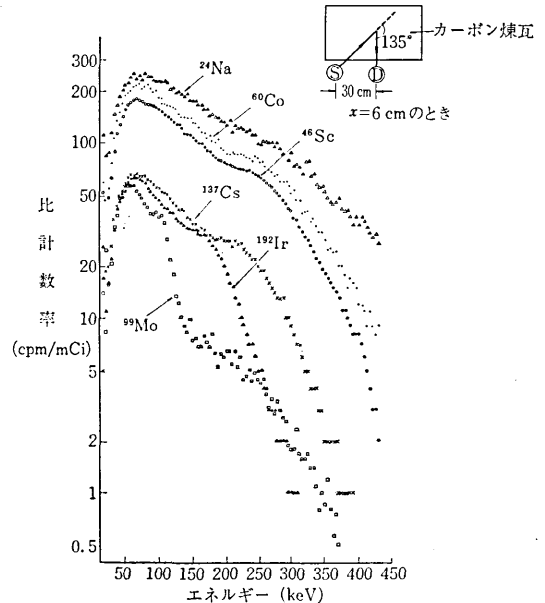


図2  $x = 6$  cm (S, D 間 30 cm) のときのカーボン煉瓦からの多重後方散乱ガンマ線エネルギーの分布

表1 実効エネルギーの異なるガンマ線源の特性と多重散乱ガンマ線のエネルギー積分範囲

核種名	半減期	実効 $\gamma$ 線エネルギー (MeV)	$\gamma$ 線放射定数 $\text{Rm}^2\text{h}^{-1}\text{Ci}^{-1}$	135°方向による1回後方散乱 $\gamma$ 線エネルギー (MeV)	多重散乱 $\gamma$ 線のエネルギー積分範囲 (keV)
$^{24}\text{Na}$	15 h	2.05	1.84	0.2608	29~179
$^{60}\text{Co}$	5.2 y	1.25	1.32	0.2412	29~179
$^{46}\text{Sc}$	84 d	1.005	1.09	0.2304	29~179
$^{137}\text{Cs}$	30 y	0.662	0.33	0.2059	29~154
$^{192}\text{Ir}$	74.4 d	0.347	0.48	0.1606	29~113
$^{99}\text{Mo}$	67 h	0.141	0.18	0.09575	24~83

パイプを埋め込み, かつ, シンチレーターの前面に内径5 cm 長さ3 cm 肉厚5 mm の鉄製コリメーターを置いて, しゃへい用鉛からの PbKX 線がシンチレーターに入射しないようにした.

この配置でSとDの遮蔽容器を密着させたときのSD間の距離は24 cmであり, まずこの配置で後方散乱ガンマ線を測定した後, Sを固定にしDを右へ2 cm ずつ移動させながら測定した. したがってこの移動距離を  $x$  cm とすれば, SD間の距離は  $(x+24)$  cm となる.

図2は  $x = 6$  cm のときの6種類のガンマ線源による

\* 東京大学生産技術研究所 第4部

カーボン煉瓦からの後方散乱ガンマ線のエネルギー分布であるが、比較し易いように各チャンネルの計数率をそれぞれの線源の放射能 (mCi 数) で割って示した。(これを比計数率 cpm/mCi と称す)。したがって六つのスペクトルの上下は、一次ガンマ線の実効エネルギーとガンマ線放出率の大小によって支配されている。

$^{24}\text{Na}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  は表 1 に示したように、実効エネルギーがそれぞれ 2, 1.25, 1, 0.35 MeV のガンマ線をほぼ 200% ずつ放出しているが  $^{137}\text{Cs}$  は 0.662 MeV のガンマ線を 85% 放出しているにすぎない。このため  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{192}\text{Ir}$  のスペクトルは近寄った位置に図示されている。

図 2 のスペクトルのうち、60~75 keV に生じているピークが多重後方散乱ガンマ線によるものであり、右肩にみられる小さなピークが、それぞれの実効ガンマ線エネルギーに対する 135 度方向の一回散乱ガンマ線によるものである。後者のピークエネルギー値は表 1 に示したようにコンプトン散乱式で計算した値とよく一致している。筆者らはこのようなスペクトルのうち表 1 に示したエネルギー範囲の計数率を積算して多重後方散乱ガンマ線量 (cpm) とした。

なお使用した線源のうち、 $^{137}\text{Cs}$  は実験時 72 mCi の英国製のものであり、 $^{24}\text{Na}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  の 4 核種は日本原子力研究所の基準照射物質 (金属または酸化物粉末) を図 3 のアルミニウム製密封容器に収容し、樹脂で固めた後接着剤をねじ山に付けて密封したものをを用いた。これらの線源の放射能は、1 m の距離で測定した線量率をそれぞれのガンマ線放射定数で割って求めたところ、102~6.4 mCi であった。 $^{60}\text{Co}$  の数量はほぼ 10 mCi であった。

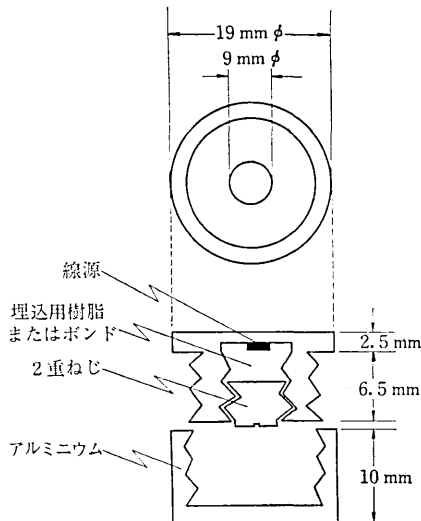


図 3 密封線源収容容器

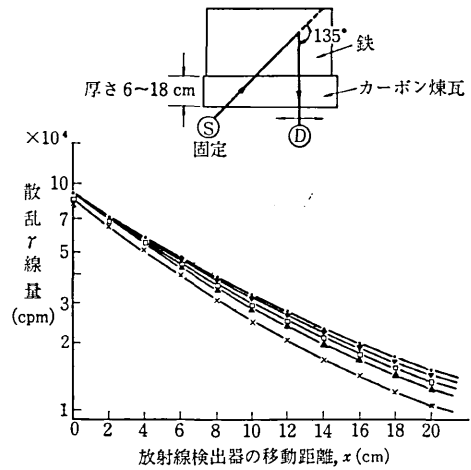


図 4 a. ○ カーボン煉瓦厚 6 cm  
× カーボン煉瓦厚 9 cm  
▲ カーボン煉瓦厚 12 cm  
□ カーボン煉瓦厚 15 cm  
● カーボン煉瓦厚 18 cm  
● カーボン煉瓦無限厚

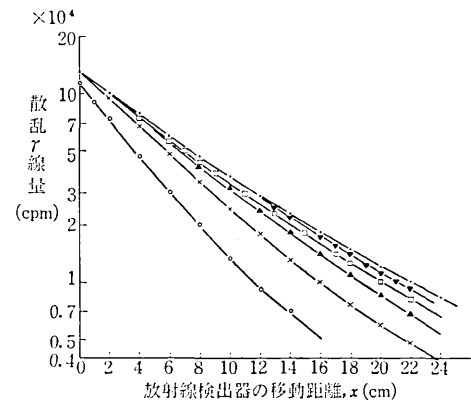


図 4 b.

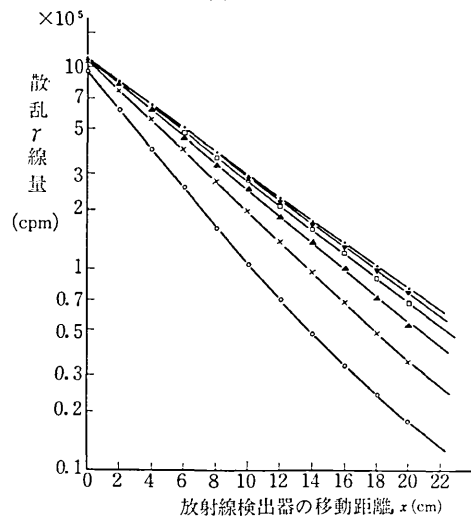
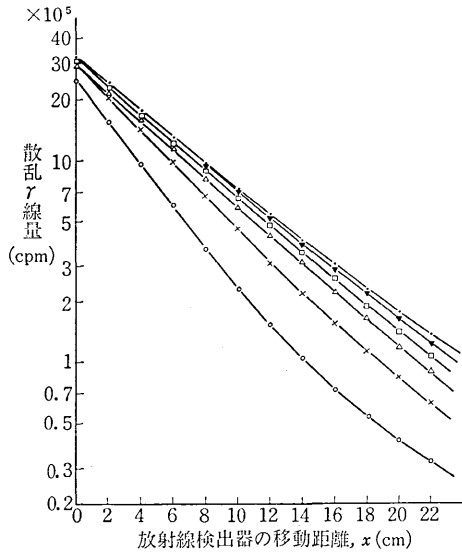
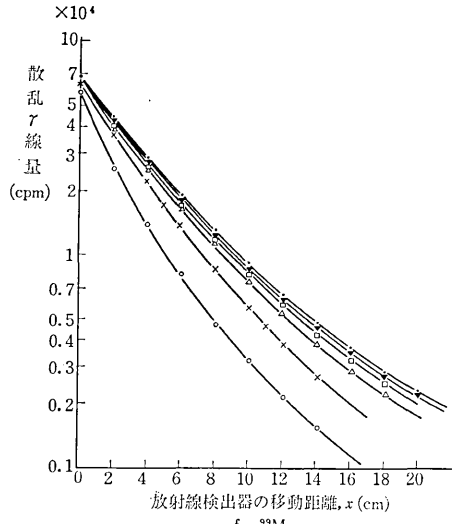


図 4 c.

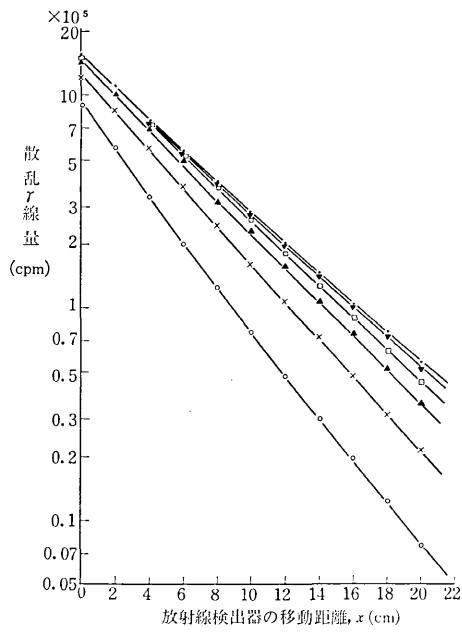
研究速報



d.  $^{137}\text{Cs}$   
図 4 d.



f.  $^{99}\text{Mo}$   
図 4 f.



e.  $^{192}\text{Ir}$   
図 4 e.

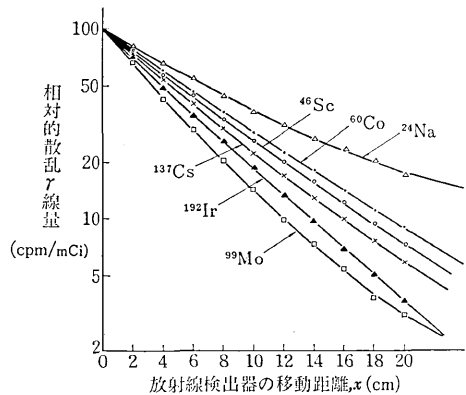


図 5  $x=0$  における cpm/mCi を 100 としたときの  
後方散乱ガンマ線量の変化 (カーボン煉瓦のみ)

3. 実験の結果と考察

カーボン煉瓦の厚さを 18, 15, 12, 9, 6 cm とし、その背後に鉄ブロックを配置して上記測定を行なった結果、図 4 a ~ f が得られた。図からガンマ線の実効エネルギーが減少するにつれて  $x$  が同じ場合の散乱ガンマ線量が低下すること、すなわち a ~ f の順に曲線の勾配が急になっていることがわかる。

この傾向を明らかにするため、カーボン煉瓦のみの場合に関し、多重散乱ガンマ線量を線源の放射能で割って比多重散乱ガンマ線量 (cpm/mCi) であらわし、かつ各線源とも  $x=0$  のときの値を 100 cpm/mCi としてまとめて図示したものが図 5 である。したがって縦軸は相対的比多重散乱ガンマ線量をとっている。この図から一次ガンマ線エネルギーの相違による多重散乱ガンマ線量の変化状況を知ることができる。すなわち  $^{192}\text{Ir}$  線源による曲線が直線的 (すなわち対数的) に低下し、 $^{24}\text{Na}$  と  $^{99}\text{Mo}$  の曲線が凹状に彎曲している。

つぎにカーボン煉瓦の背後に鉄を置いた場合に関し、同様にして表わすと、図 6, 7 が得られる。それぞれ厚さ 9 cm および 15 cm のカーボン煉瓦の背後に鉄ブロックを置いたときの後方散乱ガンマ線量の変化を示しており、一次ガンマ線エネルギー効果は図 5 のカーボン煉瓦

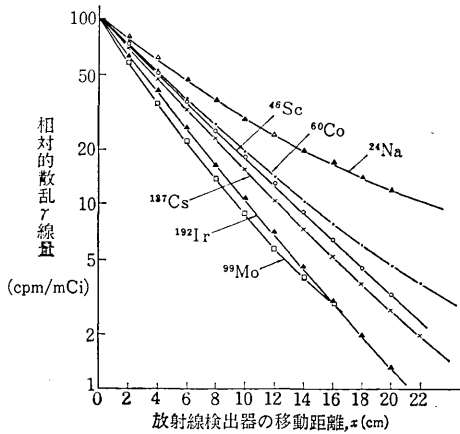


図 6 厚さ 9 cm のカーボン煉瓦の背後に鉄を置いたときの後方散乱ガンマ線量の変化

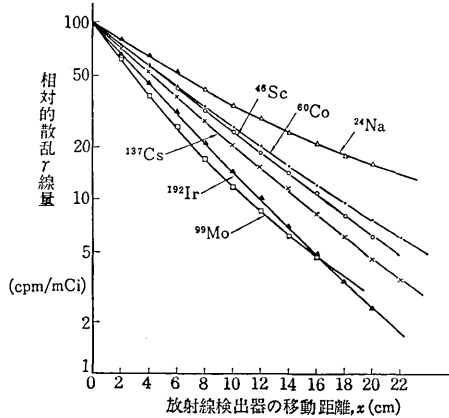


図 7 厚さ 15 cm のカーボン煉瓦の背後に鉄を置いたときの後方散乱ガンマ線量の変化

表 2 各線源によるカーボン煉瓦厚さ測定のパーク値 (cpm/mCi)

線源	<sup>24</sup> Na	<sup>60</sup> Co	<sup>48</sup> Sc	<sup>137</sup> Cs	<sup>192</sup> Ir	<sup>99</sup> Mo
カーボン煉瓦厚さ (cm)						
6	—	3200	2500	1200	—	—
9	1250	1200	1000	450	920	1300
12	500	440	430	265	400	364
15	340	260	170	95	140	270
18	160	140	130	50	90	200

表 3 各線源によるカーボン煉瓦厚さ測定の際のパークの位置 (x の値, cm)

線源	<sup>24</sup> Na	<sup>60</sup> Co	<sup>48</sup> Sc	<sup>137</sup> Cs	<sup>192</sup> Ir	<sup>99</sup> Mo
カーボン煉瓦厚さ (cm)						
6	—	4	4	2	—	—
9	9	8	6~7	4	2	2
12	12	12	7~8	4	4	3
15	10	9	10	9	8	4
18	9	9	8	9	7	4

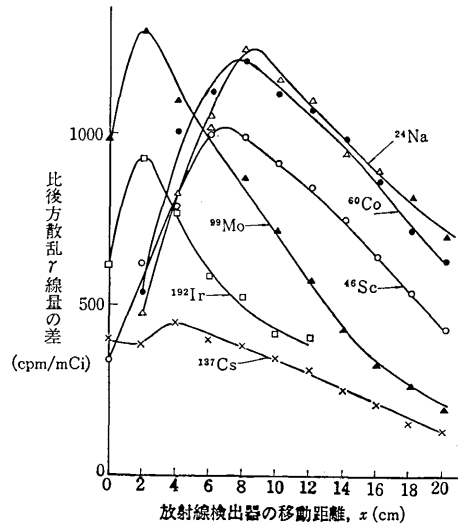


図 8 a. カーボン煉瓦無限厚のときの後方散乱線量からカーボン煉瓦 9 cm の背後に鉄を置いたときの値を引いたグラフ

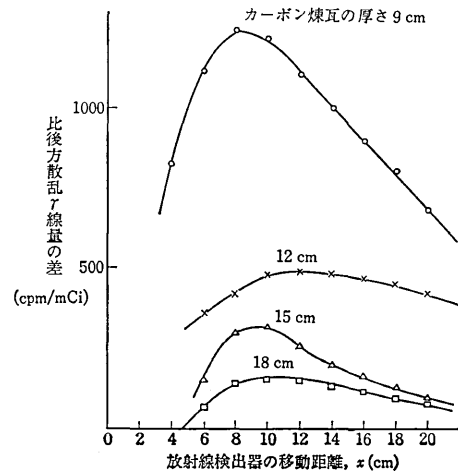


図 8 b. <sup>24</sup>Na を用いた鉄の前面のカーボン煉瓦の厚さを変えた場合のグラフ

のみの場合とほぼ同じ傾向である。

前報と同様に無限厚のカーボン煉瓦を置いたときの比後方散乱ガンマ線量 (cpm/mCi) から厚さの異なるカーボン煉瓦の背後に鉄を置いたときに得られる値をさし引き、x の値を横軸にして表すと図 8 が得られる。図 8 a はカーボン煉瓦の厚さ 9 cm の場合のもので、鉄の存在によって散乱ガンマ線量が減るため、各ガンマ線源とも対応する位置にピークを生じている。図 8 b は <sup>24</sup>Na を用いた場合のものである。

しかもこのピークの位置は一次ガンマ線のエネルギーが大きいほど x の値の大きいところに生じており、ピー

(p. 24 へつづく)

## 研究速報

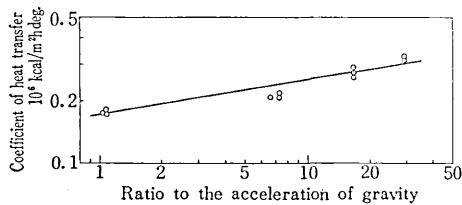


Fig. 7

coefficient within this range of acceleration is shown in Fig. 7. The steam velocity was maintained about 5 m/sec during the measurement and the heat flux was also kept almost constant. Since high speed motion pictures of the condensing process have not yet been obtained, the data on the critical diameters of departing drops are not available at present. However, it has been known

that the tendency of the change in the heat transfer coefficient seen in Fig. 7 is fairly agreeable to the theoretical prediction by the authors.

(Manuscript received, December 24, 1973)

## References

- 1) Citakoglu, E. and J. W. Rose: *Int. J. Heat Mass Transfer*, 12 (1969) 645.
- 2) Katsuta, K.: *Proc. 8th National Symposium on Heat Transfer* (in Japanese) (1971) 89.
- 3) Tower, R. E. and J. W. Westwater: *Chem. Engng. Symposium Series*, 66, No. 102 (1970) 21.
- 4) Tanasawa, I. and J. Ochiai: *Trans. Japan Soc. Mech. Engrs.* (in Japanese) 38, No. 316 (1972) 3193.
- 5) Tanasawa, I. and F. Tachibana: *Proc. 4th Int. Heat Transfer Conf.*, Vol. 6, Cs. 1.3 (1970)

(p. 41 よりつづく)

ク値 (cpm/mCi) は表2のように一次ガンマ線のエネルギーとその放出率の大きさに応じて変っている。<sup>99</sup>Moのみピーク値が大きいのは、mCi数の測定誤差によるものと考えられる。

さらに鉄の前面のカーボン煉瓦の厚さを変え、各線源ごとにピークの位置 ( $x$  の値) を求めると表3の結果が得られる。すなわち  $x$  の値が最も大きくなるのが、<sup>24</sup>Naと<sup>60</sup>Coの場合はカーボン煉瓦の厚さ12 cmのときで、<sup>46</sup>Sc, <sup>137</sup>Cs, <sup>192</sup>Irなどでは15 cm前後である。これは測定の幾何学的配置とガンマ線エネルギーによって、カーボンのガンマ線吸収断面積が異なることによるものである。

## 4. む す び

以上の結果から鉄の前面にあるカーボン煉瓦の厚さを測定するには、図4のような較正曲線を作り、 $x$ がある値のときの散乱ガンマ線量 (cpm) から厚さを推定することもできるが、この方法では、カーボン煉瓦が厚くな

ると不正確となる。したがって複雑ではあるが、図8bのようなぐらふを求めておき、そのピーク値からカーボン煉瓦の厚さを求めればかなり正確に求められる。

実験はカーボン煉瓦の厚さ18 cmまでしか行わなかったが、表3のようにどの線源を用いた場合もピーク値が得られた。しかも引き算する前の無限厚のカーボン煉瓦からの比後方散乱ガンマ線量 (cpm/mCi) が、 $x=4\sim 12$ において10000~500 cpm/mCiであるので、その標準偏差はほぼ100~22 cpm/mCiである。したがってカーボン煉瓦の厚さ18 cmまでは十分測定可能である。

また一般に一次ガンマ線エネルギーが大きいほど厚いカーボン煉瓦の測定が容易となるが、<sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>192</sup>Irを比較した場合でいえば、<sup>60</sup>Coについて<sup>192</sup>Irがすぐれている。また<sup>99</sup>Moのように一次ガンマ線エネルギーが低い場合でも、カーボン煉瓦の厚さ18 cm程度まで測定できることは注目値する。

(1974年1月9日受理)