

# 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2報

Thickness Measurement of Carbon Brick by Multiple Backscattered  $\gamma$  Rays-2-

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報ではカーボン煉瓦の背面に鉄ブロックを置いた場合についての煉瓦厚さの測定法について述べた。しかし溶鋳炉底煉瓦の浸蝕面すなわち鉄とカーボン煉瓦の境界面は平面でなく複雑な曲面をなしているので、第1報の方法では平均的なカーボン煉瓦厚さしか測定できない。そこで、カーボン煉瓦の背後に鉄が存在する場合の鉄の位置ぎめに関する基礎実験を試みた。散乱 $\gamma$ 線を利用して非破壊的に外部から鉄の位置ぎめを行う場合、多重後方散乱 $\gamma$ 線のみ選別して測定する方が有利であるという観点から、第1報と同様の測定方法を用いた。多重散乱 $\gamma$ 線のみを利用したこの種の実験研究はほかに文献がない。

## 2. 実 験 方 法

図1に示すような測定配置で、カーボン煉瓦の厚さは6, 9, 12, 15, 18cmとし、その背後に厚さ1mmから11cmまでの鉄板または鉄ブロックを置き、その両側をカーボン煉瓦ではさんで測定した。この鉄の存在位置を表わす $y$ は、カーボン煉瓦背面における $^{60}\text{Co}$  10 m Ciの入射 $\gamma$ 線ビームの中心から鉄ブロックの左端までの距離をとった。したがって入射ビームのセンターが鉄ブロック左端より右側に来ている場合の $y$ は負の値とした。第1報と同じ装置を用い、検出器を右へずらして線源部と検出器との距離 $x$ を変えながら多重後方散乱 $\gamma$ 線量の

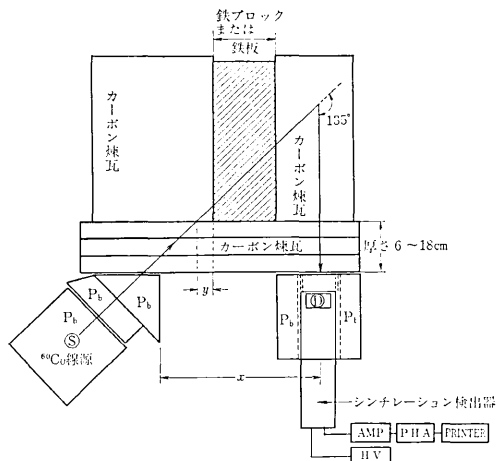


図1 カーボン煉瓦中の鉄の位置ぎめ測定配置図

\* 東京大学生産技術研究所 第4部

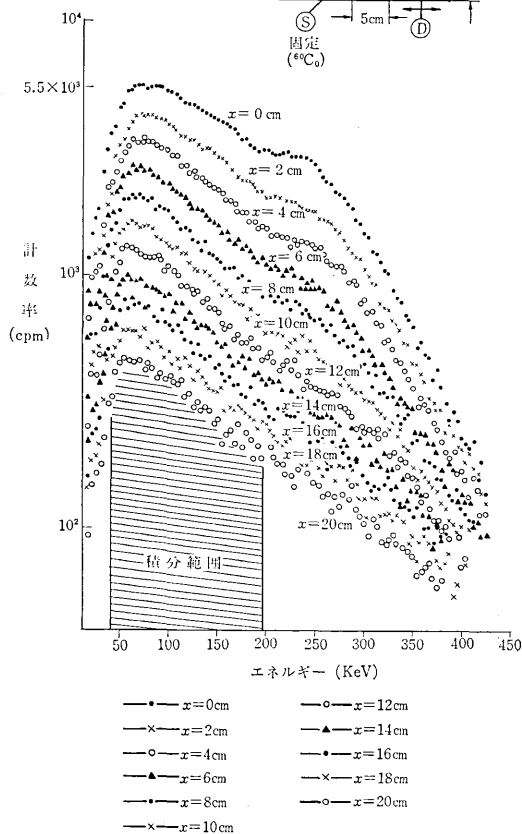
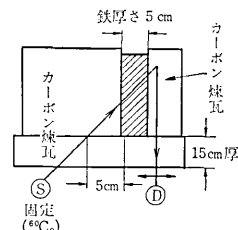


図2  $x$  の変化による後方散乱 $\gamma$ 線エネルギースペクトル変化を求め、カーボン煉瓦のみで鉄が存在しない場合の多重後方散乱 $\gamma$ 線量との差から鉄の位置を測定した。

図2は厚さ15cmのカーボン煉瓦の背後に厚さ5cmの鉄ブロックを $y=5$ cmに配置した場合、 $x$ を2cmづつ変えて得られた後方散乱 $\gamma$ 線のエネルギースペクトルであり一例として示したものである。このようなスペクトルのうち斜線で示した多重散乱 $\gamma$ 線エネルギー範囲(41~198 keV)を積分して散乱 $\gamma$ 線量とした。

## 3. 実験結果と考察

図3 aはカーボン煉瓦の厚さ無限厚(①)および厚さ

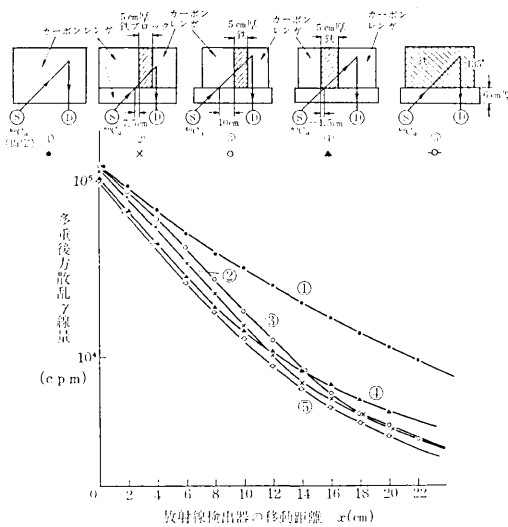


図 3a 厚さ 5 cm の鉄ブロックをはさんだ場合の散乱  $\gamma$  線量の変化

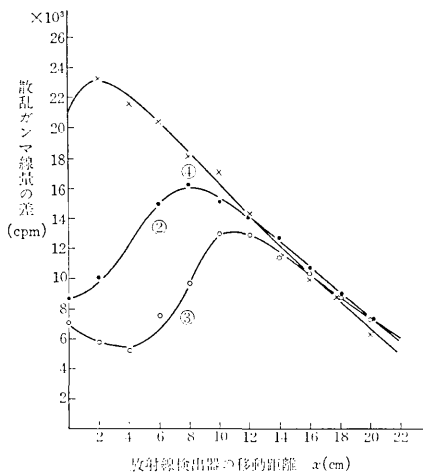


図 3b カーボン煉瓦のみときの散乱  $\gamma$  線量から厚さ 5 cm の鉄ブロックをおいたときの散乱  $\gamma$  線量を引いて得られた曲線

6 cm 背後に鉄のみ配置したとき(⑤), 厚さ 5 cm の鉄ブロックをおき  $\eta=7.5$ (②), 10(③),  $-1.5$ (④)とした場合の多重後方散乱  $\gamma$  線量の変化を,  $x$  を変えて求めたものである. 図から横軸の  $x$  が小さいときは, ②, ③の曲線は①の曲線にほぼ近い散乱  $\gamma$  線量を示すが,  $x$  が大きくなると鉄ブロックがあるために散乱  $\gamma$  線量が減少し①より⑤の曲線に近づく. また④, ⑤の曲線は  $x$  が小さいときはほとんど同じであるが,  $x$  が大きくなると両者の差も大きくなる.

この差を求めるために, ①で測定した散乱  $\gamma$  線量から  $x$  の同じ値の②, ③, ④の配置で測定した散乱  $\gamma$  線量をそれぞれさし引いた. こうして得られた曲線が図 3 b である. この図の②, ③, ④の曲線はそれぞれ横軸の値がほぼ 8, 10, 2 cm のところで最大値を示し, それぞれ図 3 a

の測定配置②, ③, ④の  $\eta$  の値 7.5, 10,  $-1.5$  cm に対応している. この最大値は鉄ブロックの存在によって多重後方散乱  $\gamma$  線量が減少したため生じたものである.

同様にして厚さ 6 cm のカーボン煉瓦の背後に, 厚さ 10 cm の鉄ブロックを置いたときの散乱  $\gamma$  線量の変化を求めたものが図 4 a であり, この場合の  $\eta$  の値は 10, 6.5, 0 cm とした. 鉄ブロックの厚さが 2 倍となったため,  $x$  が大きくなるにつれて全体的に⑥'の曲線に近づいている. 図 4 b は図 3 b に相当するグラフであり, 鉄による  $\gamma$  線の吸収が増加するため, 図 3 b よりも最大値が約 20% 大きくなっている. 図 5 は同様にして得られたカーボン煉瓦厚さ 9 cm のときのものである. この場合(I),

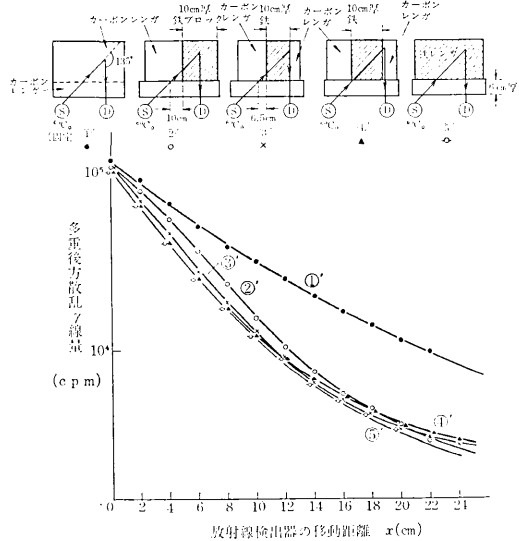


図 4a 厚さ 10 cm の鉄ブロックをはさんだ場合の散乱  $\gamma$  線量の変化

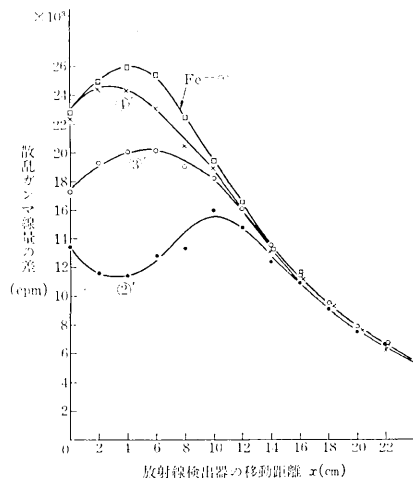


図 4b カーボン煉瓦のみときの散乱  $\gamma$  線量から厚さ 10 cm の鉄ブロックをおいたときの散乱  $\gamma$  線量を引いて得られた曲線

研究速報

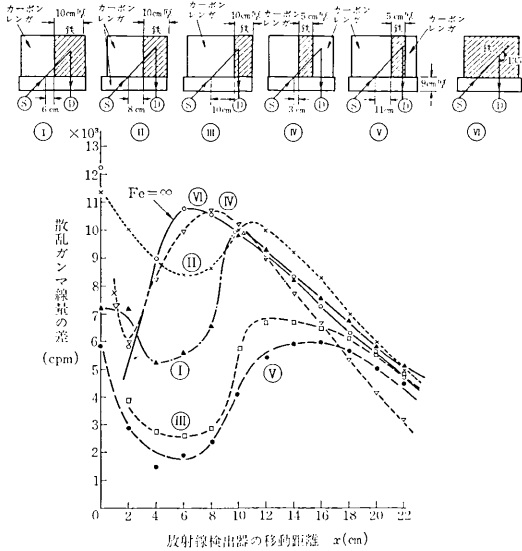


図 5 前面のカーボン煉瓦の厚さを 9 cm にした場合の図 3 b, 図 4 b に相当する曲線

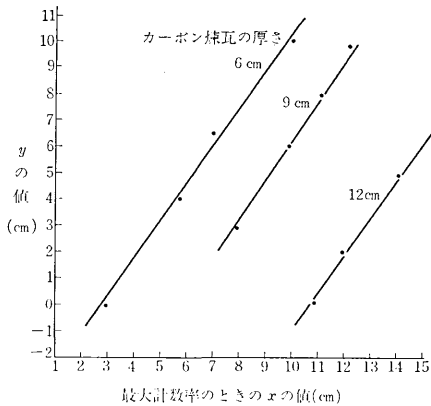


図 6  $x$  と  $y$  の相関関係

(II), (III) の鉄の厚さは 10 cm, (IV), (V) は 5 cm である。さらにカーボン煉瓦の厚さを 12, 15 cm にした場合についても同様の図を描き、最大値を示す  $x$  の値を横軸、 $\gamma$  線ビームの入射点から鉄ブロックの左端までの距離  $y$  (図 1 参照) を縦軸にとって  $x$  と  $y$  の相関関係を求めると図 6 が得られる。この図から、カーボン煉瓦の厚さが既知であれば、最大値を示す  $x$  の値を求めて  $y$ 、すなわち鉄の存在位置をきめることができる。例えば  $x=8$  cm のところで最大値を示し、かつカーボン煉瓦の厚さが 6 cm であれば  $y=7.5$  cm のところに鉄が存在することになる。

つぎに鉄ブロックおよび鉄板の厚さの検出限度を調べる目的で、 $y$  の値を一定すなわち 10 cm とし、カーボン煉瓦の背後に厚さ 1 mm~11 cm の鉄板を置き、図 3 b と同じ様にして求めた結果が図 7 である。 $y$  が一定で

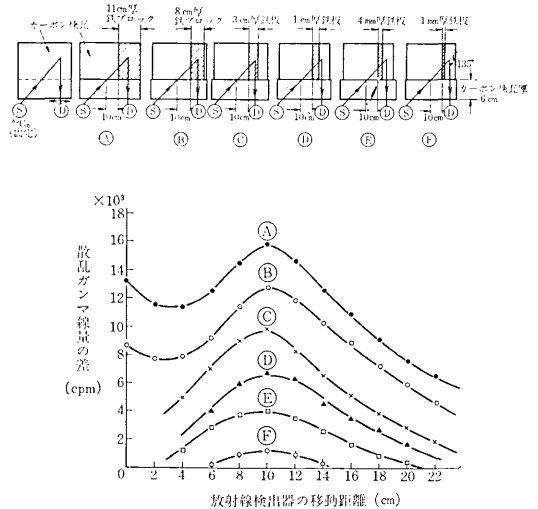


図 7  $y$  を 10 cm にし鉄ブロックの厚さを 11 cm から 1 mm まで変えた場合の図 3 b に相当する曲線

あるため一定の  $x$  の位置 (この場合たまたま  $x=y=10$  cm となった) に最大値が生じており、かつ鉄の厚さが薄くなるにつれて曲線がなだらかになると同時に、最大値 (cpm) も減少してきている。この図は厚さ 6 cm のカーボン煉瓦の背後に鉄を置いた場合のもので、この場合は約 1 mm 厚さの鉄板まで位置ぎめできることがわかる。

しかしカーボン煉瓦の厚さが大となるにつれ、散乱  $\gamma$  線量が減少し、薄い鉄板の位置ぎめは困難となる。上記と同様の実験を試みた結果によれば、厚さ 12, 15 cm のカーボン煉瓦の場合、鉄の位置ぎめができる鉄板厚さの最小値はそれぞれ 2.4, 1 cm であった。鉄板の厚さを横軸にとり、最大値を縦軸にして上記の結果を示すと図 8 が得られる。この場合、カーボン煉瓦の厚さ 6 cm と 9 cm のとき  $y=10$  cm で、その他は  $y=5$  cm のときの値をとった。

さらに、前面のカーボン煉瓦の厚さを 6, 9, 12, 15 cm に変えた場合、厚さ 5 cm の鉄ブロックの存在によって低減する散乱  $\gamma$  線計数率を求め、カーボン煉瓦前面への入射ビームの位置から鉄ブロック左端までの距離  $\approx (y$

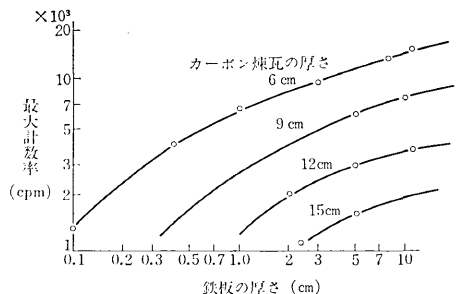


図 8 鉄板の厚さによる最大計数率 (ピーク値) の変北

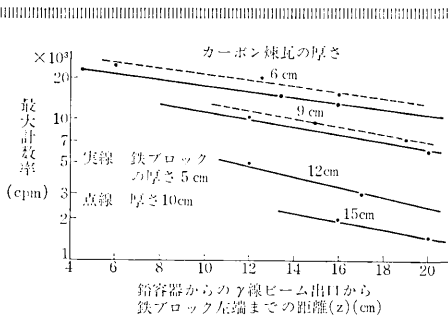


図 9 カーボン煉瓦厚さによる最大計数率の変化

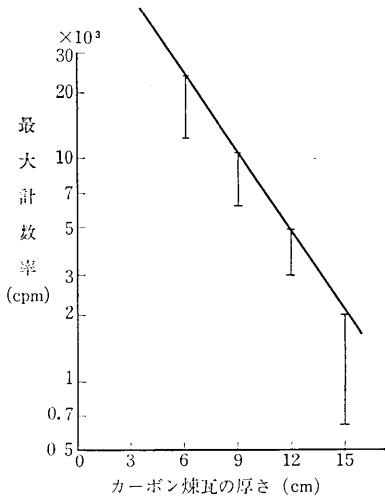


図 10 カーボン煉瓦厚さの推定

とカーボン煉瓦の厚さとの和)を横軸にし、最大値を示す点を描くと図9の実線が得られる。点線は厚さ 10 cm の鉄ブロックが存在する場合、同様にして求めたものである。図からカーボン煉瓦の厚さによって最大値が大きく変わることがわかる。カーボン煉瓦の厚さを横軸にして最大値の分布を求めると図 10 が得られる。この図を参照してカーボン煉瓦の厚さを推定できる。

また鉄ブロックの厚さ 10 cm のとき 5 cm の場合と比べてその最大値が、カーボン煉瓦厚さ 6 cm のとき約 2 割、9 cm のとき約 1 割多くなっている。一方カーボン煉瓦の背後に鉄ブロックを一様に置いた場合、同様にして求めた最大計数率値は、図 4 b および図 5 に示したように、鉄ブロックの厚さ 5~10 cm のものを置いた場合と比べてそれほど大きくなっていない。

このことは図 8 に示した鉄ブロックまたは鉄板の厚さを変えた場合の最大値の変化を求めたグラフからも推定できる。すなわち図には鉄ブロックの厚さ 10 cm または 11 cm までしか示していないが、曲線の形からこれ以上厚くなるにつれて飽和値に近づくことが伺われる。したがって厚さ 5 cm 以上の鉄ブロックが存在する場合は最大値からカーボン煉瓦の厚さを推定しても、鉄ブ

ックの厚さによる誤差は小さい。しかし厚さ 5 cm より小さい鉄板が存在する場合は、最大値が低下するのでカーボン煉瓦の厚さの推定は、誤差が大きくなり困難となる。

以上の結果から、カーボン煉瓦中の厚さ 5 cm 以上のブロック状鉄を位置ぎめするには、まず  $^{60}\text{Co}$  線源の位置を左右に数 cm ずらして数回次の測定を行う。すなわち検出器と線源の距離を 2 cm ずつ変えて後方散乱  $\gamma$  線量の変化を求め、カーボン煉瓦のみのときの対応する後方散乱  $\gamma$  線量から差し引き、鉄の存在によって生ずる最大計数率値 (cpm) とそのときの  $x$  値を求める。数回の測定値のうち最大計数率値のもっとも大きい値を基準にして、図 10 からカーボン煉瓦の厚さを決める。カーボン煉瓦の厚さがきまれば、図 6 によって、 $x$  の値から  $y$  を求めればよい。

#### 4. おわりに

多重後方散乱  $\gamma$  線によるカーボン煉瓦中の鉄の位置ぎめは、カーボンが鉄と比べて低エネルギー  $\gamma$  線に対する光電効果が小さく、大部分散乱することを利用したものである。鉄は 100 keV 以下の  $\gamma$  線をほとんど光電効果によって吸収するが、カーボンはコンプトン散乱が支配的である (20 keV 以下で光電効果の方が多くなる)。一般に位置ぎめを行なう場合は 1 回散乱  $\gamma$  線を選別利用の方が有利であると考えられる。ただ前面のカーボン煉瓦が厚くなると 1 回散乱  $\gamma$  線が多重散乱され検出器に到達しなくなるので、少くともカーボンの場合は多重散乱  $\gamma$  線による方が有利といえよう。

この位置ぎめ方法は非破壊的であるという利点があるが、カーボン煉瓦厚さの決定に  $\pm 1$  cm 程度の誤差を伴うこと、およびカーボン煉瓦のみの場合と比較測定する必要があるという難点がある。また左右の方向だけでなく上下方向の鉄の位置を走査するのに、同じような測定を繰返さなければならないので測定に時間がかかる。したがって測定器を改良し、必要なデータが 1 回の走査によって得られるようにすることが必要であろう。

さらにこの位置ぎめ方法は、カーボン厚さ 15 cm 程度までが限度で、18 cm になるとカーボン煉瓦のみの場合との差が小さくなり計数誤差との関係で測定困難となる。測定の配置を最適に選び、すなわち  $\gamma$  線の入射角と散乱角を最適にし、かつ  $^{60}\text{Co}$  線源の数量を大きくすれば、カーボン煉瓦の厚さ測定限度をいくらか増やすことが可能と考えられるが、せいぜい 2~3 cm 程度であろう。

(1973 年 11 月 19 日 受理)