

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 1 報

Thickness Measurement of Carbon Brick by Multiple Backscattered γ Rays—I—

加藤 正夫*・佐藤 乙丸*・斉藤 秀雄*

Masao KATO, Otomaru SATO and Hideo SAITO

1. ま え が き

アイソトープを用いて溶鉱炉の炉壁煉瓦の侵蝕を調べる方法としては、 ^{60}Co などの小線源を内壁から適当なところに埋めておく方法が用いられている。侵蝕に応じて ^{60}Co 線源が溶出し、外壁に達する γ 線量が低下することによって侵蝕度を確認する方式である。しかしこの方法は ^{60}Co 線源が溶銑中に溶けこんで放射能汚染をもたらすこと、作業者に放射線被曝を与えること（被曝量は全く少量であるが心理的に問題になる）、埋め込み作業時に被曝をこうむること、また埋め込んだ箇所が侵蝕をうけるとは限らない、などの難点がある。そこで筆者らはこれらの問題を解決するため、カーボン煉瓦が侵蝕されていない場合と侵蝕されて鉄が入りこんでいる場合とで、後方に散乱してくる γ 線量とくに多重散乱 γ 線量が異なる現象を利用してカーボン煉瓦厚さを測定する方式を検討してみた。その結果、較正曲線をあらかじめ作成しておけばカーボン煉瓦の厚さ 0~200 mm まで非破壊的に外壁から測定できることがわかった。

2. 実験方法

^{60}Co 密封線源約 10 mCi を使い、150×150×150 mm の鉛照射容器の中心部に収容して固定し、そのビームを 20 mm ϕ の線束にしぼり、45° の角度で散乱体（カーボン煉瓦の寸法、500×500×30 mm 6 枚、500×500×300 mm 1 枚）にあて、135° の角度で後方に多重散乱してくる γ 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 × 2" NaI(Tl)）とマルチチャンネル波高分析器を用いて求めた。

シンチレーション検出器の鉛製しゃへい体には、鉛からの KX 線の発生をさけるため内側に肉厚 15 mm 内径 60 mm の鉄のパイプを挿入した。検出器前面には内径 50 mm、長さ 30 mm、肉厚 5 mm の鉄製のリング状コリメーターをとりつけ、多重散乱 γ 線が入射しやすいようにした。さらに検出部全体を容易に移動できるように小型台車にのせ 20 mm づつ移動しながら測定した。

散乱 γ 線のエネルギー較正用線源としては ^{133}Ba およ

び ^{57}Co からの γ 線エネルギーを用いた。図 1 はその結果得られたエネルギー対チャンネルの較正線である。写真 1 はシンチレーションプロンプを線源から離して測定中のものである。図 2 からわかるように、線源部と検出部のしゃへい体が密着しているとき ($x=0$ cm) 線源

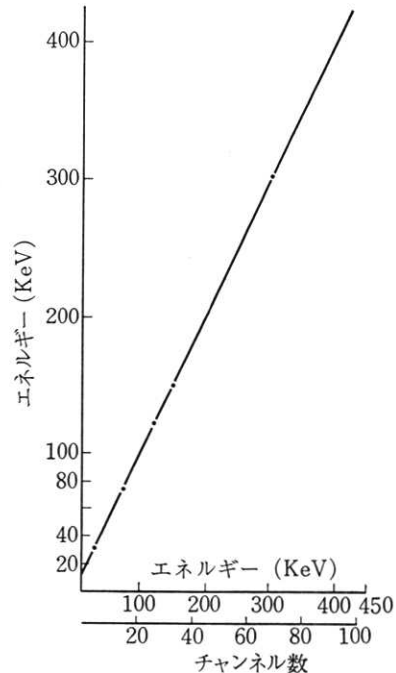


図 1 エネルギーとチャンネルとの較正特性

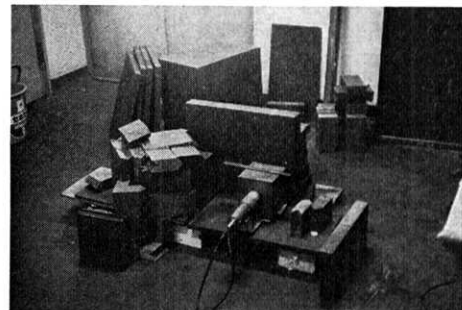


写真 1 線源部と検出部を示す実験中の写真 左側が矢型鉛ブロックで囲まれた線源部、右側が一辺 150mm の立方体鉛容器にシンチレーションプロンプを挿入してある検出部

研究速報

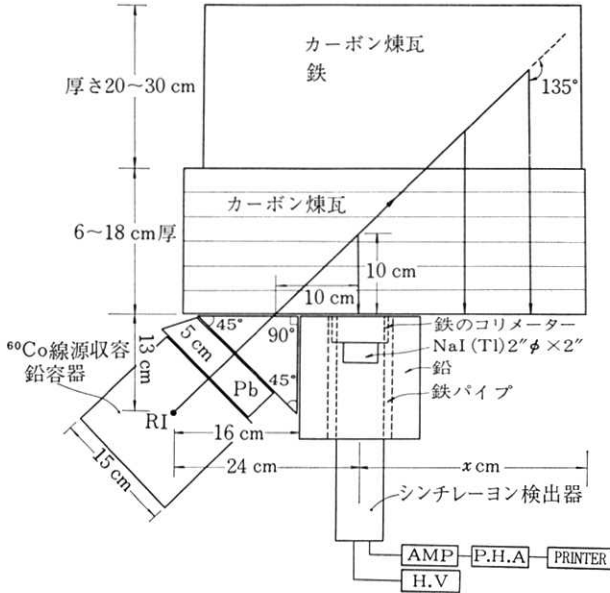


図2 多重後方散乱γ線によるカーボン煉瓦厚さの測定配置図

と検出器（シンチレーターの中心部）との距離は 24 cm となり、両部分が x cm 離れるときには $x+24$ cm の距離になる。写真2は ^{60}Co 線源からのγ線ビームの広がりや X 線フィルムで撮ったもので、カーボン煉瓦一枚（厚さ 3 cm）の裏側に X 線フィルムを置いて 38 時間露出後現像したものである。γ線が 45° の角度で入射しているため楕円形になっている。

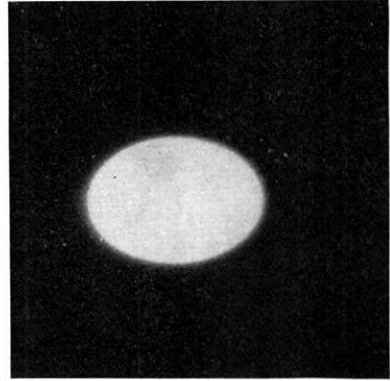


写真2 ^{60}Co γ線ビームの形
(照射容器のコリメーター 20 mmφ、線源とフィルムの距離 420 mm、縦軸 27 mm、横軸 37 mm)

3. 実験結果と考察

1) 散乱γ線スペクトルとカーボン煉瓦厚さ測定

一例として図2に示した測定配置図でカーボン煉瓦厚 3 枚 (9 cm 厚) のうしろに鉄を密着しておき検出器を 2 cm づつ右へ移動し、その移動距離 (x) をパラメーターにして求めたスペクトルを図3に示した。図中 75 KeV 付近にでているピークが多重後方散乱γ線によるものであり、241 KeV 付近にみられるピークが ^{60}Co γ線の一回路後方散乱γ線によるものである。この一回後方散乱γ線のピークは検出部の移動距離 (x) が小さいときに著しくあらわれ、線源と検出器との距離 34 cm すなわち $x=10$ cm 以上になると消滅し、多重後方散乱γ線のみになづく。この図から主として多重散乱

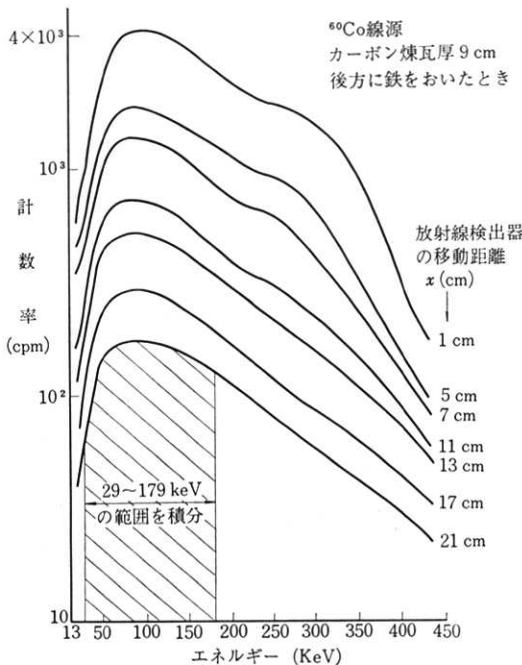


図3 多重後方散乱γ線エネルギースペクトルの一例

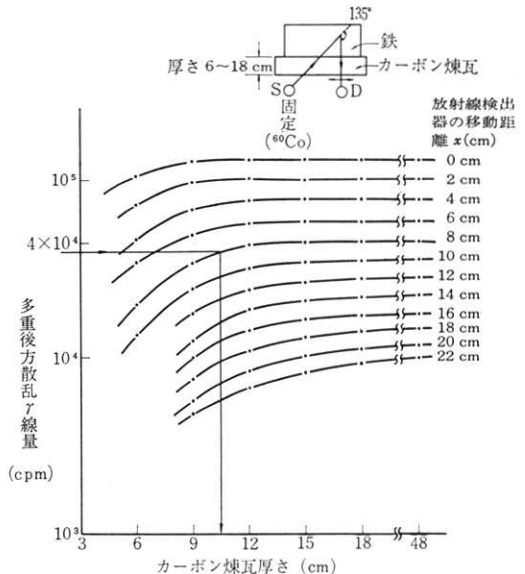


図4 カーボン煉瓦の厚さを図解法で求めるときのグラフ (^{60}Co 線源の場合)

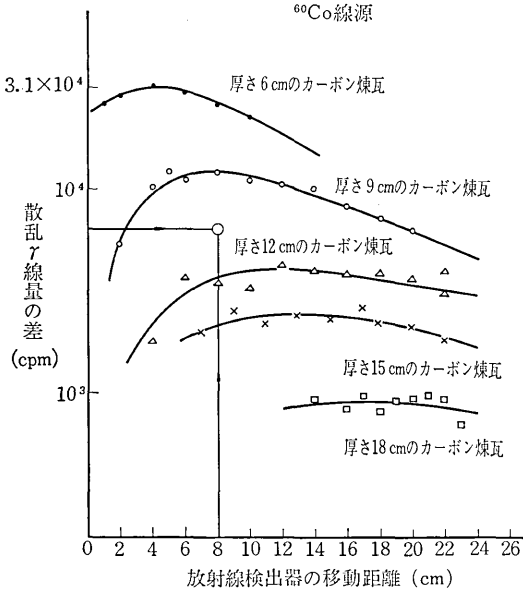


図5 カーボンのみからカーボン煉瓦の後に鉄を置いたときの散乱 γ 線量を差引いて得られた曲線

線成分を含む 29~179 KeV のエネルギー範囲を積分して多重後散乱 γ 線量を代表させることにした。

以上のような実験をカーボン煉瓦の厚さが 6, 9, 12, 15, 18, 48cm の場合について行ない、それらの結果をまとめたものが図4である。この図から多重後散乱 γ 線量と検出部の移動距離 (x) がわかれば、カーボン煉瓦の厚さを求めることができる。すなわち、 $x=8$ cm で 40,000 cpm の場合には図の矢印にしたがってカーボン煉瓦の厚さ 10.5cm となる。図5はカーボン煉瓦のみの多重散乱 γ 線量 (C) からカーボン煉瓦のうしろに鉄を置いて測定したときの多重散乱 γ 線量 (Fe) を差引いた値を縦軸に、 x を横軸にとり、カーボン煉瓦の厚さをパラメーターとしてあらわしたグラフである。この曲線のピークは鉄があるために散乱 γ 線量が減少したことによって生じたものであり、鉄が存在していることを示している。このように図5を作成してみることも鉄の存在の有無を確認することができる。

図6はカーボン煉瓦の厚さを横軸に、散乱 γ 線量を縦軸にとって厚さ測定の限度を調らべる目的で求めたものである。この図から、 $x=0$ cm のときの厚さ測定限度は 9 cm 程度であるが、 $x=8$ cm のとき約 12cm、 $x=22$ cm のとき約 20cm となる。このように x すなわち線源と検出器の距離を離し、多重後散乱 γ 線量を利用して厚さを測定すれば、厚さ測定領域を大きくのばすことができる。

2) 鉄板をカーボン煉瓦の前においたときの厚さ測定

溶鉱炉の炉底部部のカーボン煉瓦の厚さを測定するに

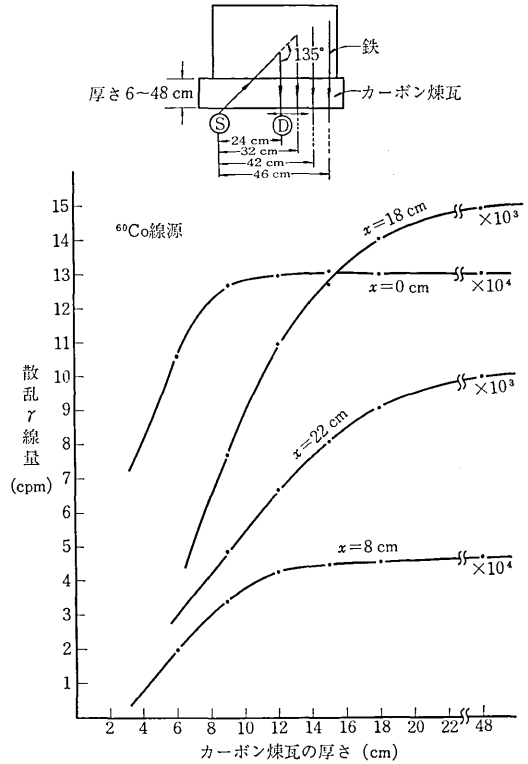


図6 カーボン煉瓦の後に鉄を置いたときのカーボン煉瓦の厚さ測定

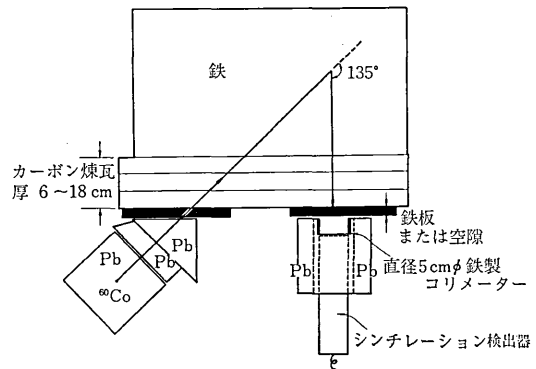
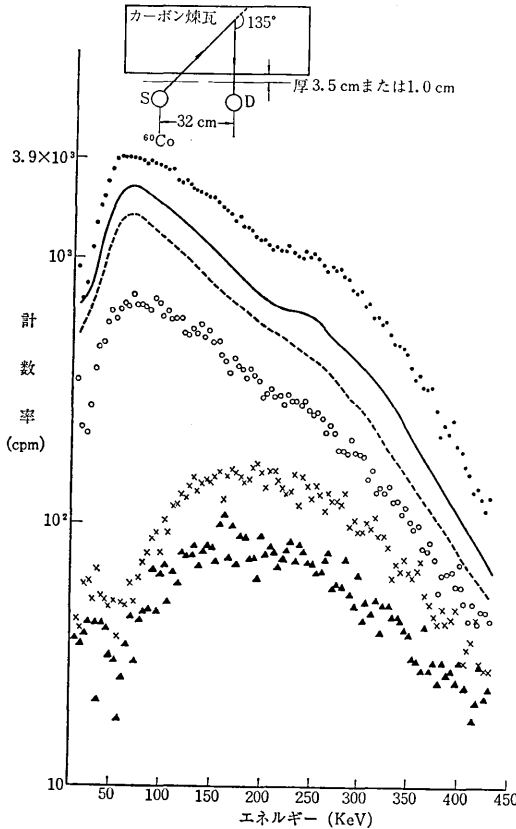


図7 カーボン煉瓦の前に鉄板または空隙を置いた場合の測定配置図 (注: カーボン煉瓦厚 6~18cm を 6~48cm に、直径 5cmφ を内径 5cmφ に訂正)

は、出銑、出滓口付近のように鉄皮のないところは別であるが、一般には炉壁が鉄皮で被われているために外部から非破壊的に γ 線で測定する場合に問題になる。この点を調らべるために厚さ 3.5cm および 1.0cm の鉄板をカーボン煉瓦の前面において実験を試みた。

図7はその測定配置図で図2と基本的に同じである。図8は線源と検出器との距離、32cm すなわち $x=8$ cm のときのカーボン煉瓦からの散乱 γ 線エネルギースペクトルである。図中 ▲ 印は線源と検出器側の両側に鉄板

研 究 速 報



カーボン煉瓦のみの場合
 検出器の移動距離 ($x=8\text{ cm}$ のとき)
 検出側に内径 $5\text{ cm}\phi$ 鉄コリメータ使用
 ● 両側共に 3.5 cm 空気
 ○ {線源側 3.5 cm 厚鉄を置いたとき
 検出側 3.5 cm 空気
 × {線源側 3.5 cm 空気
 検出側 3.5 cm 厚鉄を置いたとき
 ▲ {線源側 } 3.5 cm 厚鉄を置いたとき
 検出側 }
 実線—両側共に 1.0 cm 厚空気
 破線 {線源側 1.0 cm 厚鉄を置いたとき
 検出側 1.0 cm 空気

図8 厚さ 3.5 cm および 1.0 cm の鉄板の有無による散乱 γ 線エネルギースペクトルの変化

厚 3.5 cm を置いて測定した場合、 \times 印は検出器側にだけ厚さ 3.5 cm の鉄板を置き、線源側には 3.5 cm の空隙を設けた場合のものである。この両スペクトルともにピーク値は ^{60}Co の一回後方散乱 γ 線のエネルギーに近い値を示し、検出器側の鉄板によってエネルギーの低い多重後方散乱 γ 線成分が吸収されていることを示している。したがって、これらの場合には厚さ測定は不可能である。

一方○印は検出器側を空隙とし、線源側のみに鉄板を置いた場合のエネルギースペクトルで、●印は両側とも 3.5 cm の空隙を設けて求めた場合のものである。ともに多重後方散乱 γ 線ピークが明瞭にみられはば相似のスペ

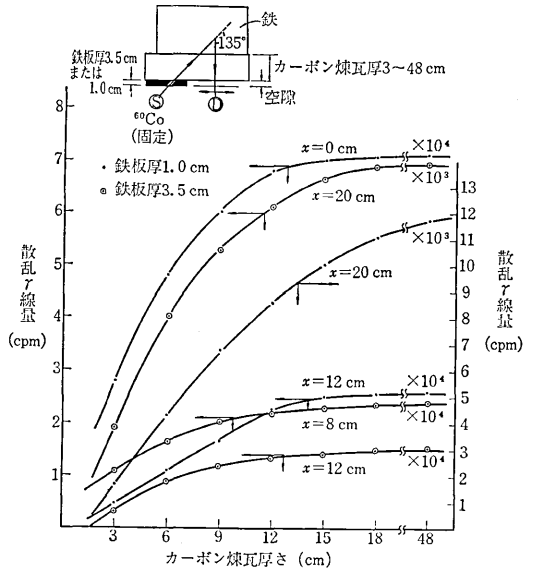


図9 線源側に鉄板厚さ 3.5 cm および 1.0 cm をおき検出器側を空隙にしたときのカーボン煉瓦の厚さ測定

クトルとなっており、厚さ測定が可能であることを示している。

さらに厚さ 3.5 cm の鉄板の代りに厚さ 1.0 cm の鉄板を置いて比較したところ、両者ともほとんど相似のスペクトルになった。図中の実線は両側ともに 1.0 cm の空隙を設けた場合の散乱 γ 線エネルギースペクトルで、破線は検出器側に厚さ 1.0 cm の鉄板を置き、検出器側に 1 cm の空隙をとった場合のものである。両者ともにほとんど同じ散乱 γ 線エネルギースペクトルを示している。

以上の結果をカーボン煉瓦の厚さ ($0\sim 20\text{ cm}$) を横軸に散乱 γ 線量 (cpm) を縦軸にとり、 x をパラメーターにしてまとめると図9が得られる。この場合の配置では図に示すように線源側に厚さ 3.5 cm または 1.0 cm の鉄板を設置し、検出器側に同じ厚さの空隙を設けてある。この図から $x=0\text{ cm}$ の場合、厚さ 1.0 cm (●印) の鉄板を置いたときのカーボン煉瓦厚さの測定限度は約 12 cm であるが、 $x=20\text{ cm}$ 離れると $18\sim 20\text{ cm}$ まで拡張されることがわかる。また厚さ 3.5 cm (○印) の鉄板を用いると厚さ 1.0 cm の鉄板を置いたときよりも散乱 γ 線量が減少し、測定範囲も小さくなる。すなわちカーボン煉瓦厚さ 18 cm ぐらいが測定限度となる。

4. ま と め

この実験は炉底煉瓦の侵蝕状況を外部から検査するための基礎研究の一環として行なったものである。この過程で、多重後方散乱 γ 線を利用し、線源と検出器との距離を適当に選べば、従来の散乱 γ 線型厚さ計と比べてかなり厚さ測定領域を拡大できることが明らかとなった。

(1973年10月11日受理)