

測定可能範囲の大きいガンマ線散乱形密度計

Gamma Backscatter Density Gauge with Large Measurable Ranges

斉藤 秀雄*・佐藤 乙丸*

Hideo SAITO and Otomaru SATO

1. ま え が き

散乱型ガンマ線密度計は土木、建設、資源工学、食品、パルプ、化学工学および金属工学など各産業分野において広範囲にわたって使用されてきた¹⁾。これらの密度測定を行う場合は、一般に線源(S)と検出器(D)との距離を固定して使用する場合が大部分であるが²⁾、どちらか一方を移動する方式についても実験が試みられている^{3) 4) 5)}。

従来の後方散乱ガンマ線による密度計は、特定の密度のときに散乱ガンマ線計数率が最大となる。いわゆる密度に対して凸状の特性曲線を示し、左右いずれかの勾配の部分を利用しているため、密度測定範囲が自ら限定される。筆者らは密度 2.7 g/cm^3 以下のいくつかの被測定物質を取り上げ、線源を固定し、検出器を移動して多重散乱ガンマ線成分、および1回散乱ガンマ線成分に着目して選別計数した。その結果、S-D間の距離を適当に選べば上述の凸状特性曲線がほぼ直線状になり、密度 $0\sim 2.7\text{ g/cm}^3$ の全範囲を同一幾何学的配置で測定することができることを確かめたので以下に報告する。

2. 実験方法

密封線源 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{192}Ir を用い、図1に示すような

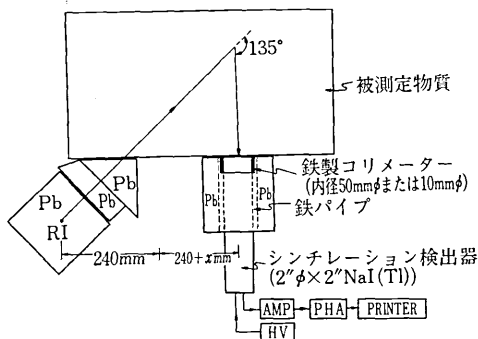


図1 後方散乱ガンマ線による密度測定の配置図

*東京大学生産技術研究所 第4部

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 $20\text{ mm}\phi$ 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 $60\text{ mm}\phi$ の鉄製パイプを取りつけた。この検出器の前面に長さ 30 mm 、内径 $50\text{ mm}\phi$ 、および内径 $10\text{ mm}\phi$ の鉄製コリメーター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、全散乱ガンマ線成分および1回散乱ガンマ線成分とに選別した。図1は測定配置図で線源(S)と検出器(D)の中心部間の距離は 240 mm であるが、このときのS-D間の距離を0とした。したがって検出部を $x\text{ mm}$ 離れたときのS-D間の距離は $240 + x\text{ mm}$ となる。なお、このジオメトリーの詳細については文献6を参照されたい。

3. 実験結果

3-1 1回散乱ガンマ線成分による無限厚層の密度測定

図1の測定配置図により、アルミニウム、コンクリート、カーボン、水、木材の厚さが無限厚のときの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトルは図2のとおりである。このとき使用した線源は ^{137}Cs 約 80 mCi である。この1回散乱ガンマ線エネルギースペクトルを積分¹⁾して1回散乱ガンマ線計数率(cpm)を求め、これを縦軸にし、横軸を密度(g/cm^3)で表した密度特性曲線を図3に示す。この特性において、 $x = 0\text{ mm}$ のときの密度特性曲線が、いわゆる従来のS-D間固定形密度計の特性曲線に相当するものである。 $x = 20, 40\text{ mm}$ に増えるにつれて、この凸状の特性が次第に小さくなり、 $x = 60\text{ mm}$ 以上では凸状特性が消失して直線に近づいている。こうして $x = 100, 120\text{ mm}$ のとき、ほぼ直線状の特性曲線となり、 $x \geq 140\text{ mm}$ では逆に凹状の特性曲線となる。したがって、 $x = 100\sim 120\text{ mm}$ のときの密度特性曲線を利用すれば $0\sim 2.7\text{ g/cm}^3$ の密度を連続的に同一ジオメトリーで測

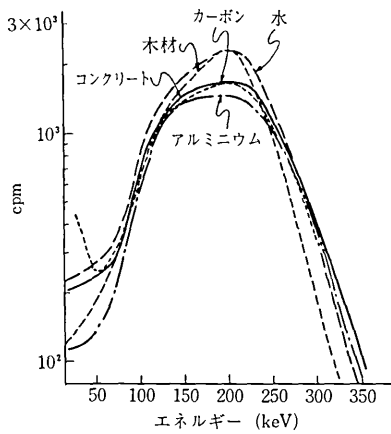


図2 ¹³⁷Csガンマ線源を用い、各種物質の厚さが無限厚のときの1回散乱ガンマ線エネルギースペクトル

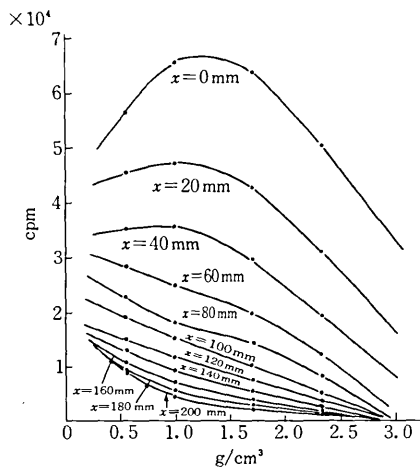


図3 ¹³⁷Csガンマ線源を用い、各種物質の厚さが無限厚のとき、1回散乱ガンマ線計数率(cpm)と密度(g/cm³)との特性曲線(xを変えたとき)

定することができる。このような特性を¹³⁷Csのほか⁶⁰Co、¹⁹²Irガンマ線源についても調べてみたが、いずれの場合もx=100~120mmで直線状の特性が得られた。

図4にこれら三つのガンマ線源による直線状密度特性曲線をまとめ、縦軸の目盛りを拡大して示した。この図から¹³⁷Cs、¹⁹²Ir、⁶⁰Coの順に密度特性曲線の傾斜が小さくなっていくので、密度測定精度もわるくなることわかる。

3-2 1回散乱ガンマ線成分による有限厚層の密度測定

厚さが有限の場合、すなわち実験室等で一定の容器に試料を入れて、その試料の密度を測定することを想定し、材料の厚さを変えて密度特性曲線を求めてみた。図5の

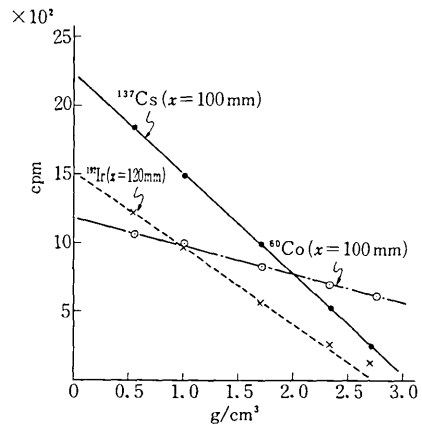


図4 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs、¹⁹²Irガンマ線を用いた1回散乱ガンマ線の密度特性曲線

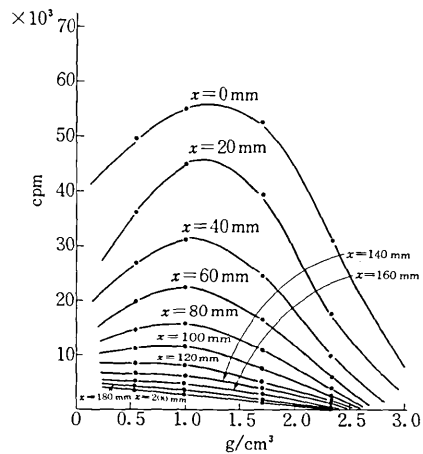


図5 ¹⁹²Irガンマ線源を用い、各種物質の厚さが150mmのとき、1回散乱ガンマ線計数率(cpm)と密度(g/cm³)との特性曲線(xを変えたとき)

特性曲線は¹⁹²Irガンマ線源を用い、アルミニウム、コンクリート、カーボン、水、木材の厚さがそれぞれ150mmのとき、1回散乱ガンマ線計数率(cpm)で求めた密度特性曲線である。この特性は図3の場合と同様の傾向をもち、x=0からx=160mmまでは凸状の特性曲線を示し、x=180、200mmで、ほぼ直線状の密度特性曲線を示す。こうして⁶⁰Co、¹³⁷Csガンマ線源についても同様の結果が得られた。

図6は⁶⁰Co、¹³⁷Cs、¹⁹²Irを用い、x=200mmのときについて、図4の場合と同様にして求めた密度特性曲線である。ただし、試料の厚さは⁶⁰Coの場合180mm、¹³⁷Csの場合は120mm、¹⁹²Irの場合は150mmである。図6から¹³⁷Cs、¹⁹²Irはほぼ同じ傾斜を示しているが⁶⁰Coは傾斜が小さい。

研究速報

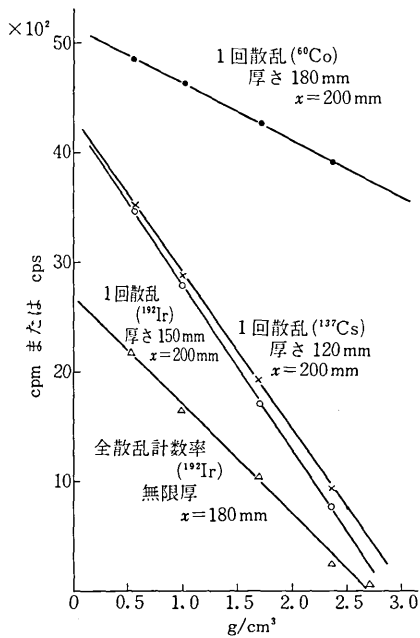


図6 無限厚さによる全散乱ガンマ線計数率 (cps) と有限厚さによる1回散乱ガンマ線計数 (cpm) の密度特性曲線

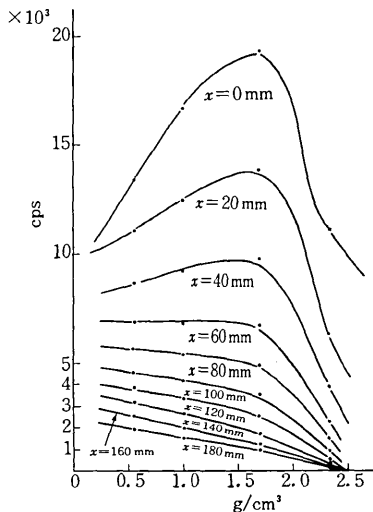


図7 ^{192}Ir ガンマ線源を用い、各種物質の厚さが無限厚のとき、全散乱ガンマ線計数率 (cps) と密度 (g/cm^3) との特性曲線 (x を変えたとき; 検出器側に内径50mmφのコリメーターを使用)

つぎに、試料の厚さを上述の値の前後に変えて密度特性曲線を求めてみたところ、いずれの線源を用いても、60～180mmの厚さの範囲内では $x = 200\text{mm}$ ではほぼ直線状になることが確かめられた。

3-3 全散乱ガンマ線分による無限厚層の密度測定

この方式の密度測定法は現用されている密度計と全く

同じである。筆者らは図1の配置で検出器 (D) のみを変化させて密度特性曲線を求めてみた。図7は ^{192}Ir 線源を用いたときの結果であり、各種物質とも無限厚のとき全散乱ガンマ線計数率 (cps) で求めたものである。この場合、 x が大きくなるにつれて図3または図5と同じ傾向を示し、 $x = 180\text{mm}$ ではほぼ直線状の密度特性曲線が得られた。しかし、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 線源を用いて同様の特性曲線を求めてみたところ、 x が大きくなるにつれて凸状の特性は弱まるが、密度 $1.69\text{g}/\text{cm}^3$ のカーボン煉瓦の場合、全散乱ガンマ線計数率 (cps) が大きいため、 $x = 200\text{mm}$ 以内では直線状の密度特性曲線が得られなかった。比較のために図7の直線状の密度特性曲線を、図6の左下方に図示して置いた。

3-4 多重散乱ガンマ線成分による密度測定

図1の配置で無限厚および有限厚の試料について多重散乱ガンマ線計数率 (cpm) のみ選択測定して密度特性曲線を求めてみたところ、3つのガンマ線源ともに x を200mmまで変化しても直線状の密度特性曲線は得られなかった。ただし、試料の厚さが60～180mmの場合、 ^{137}Cs と ^{192}Ir はアルミニウム、コンクリートを除いた木材、水、カーボンの試料について、 $x = 200\text{mm}$ のときに直線状の密度特性曲線を示した。また ^{60}Co の場合に限り、カーボン、水、木材の順に多重散乱ガンマ線計数率 (cpm) が減少し、直線状の密度特性曲線が得られた。しかし、前述した直線の傾きが逆になっており、平川ら⁸⁾の $1.7 \sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲内での計算値と傾向が一致する。

4. 考察とむすび

図4の密度特性曲線から、たとえば、密度 (g/cm^3) が1.0と1.5 g/cm^3 のときの1回散乱ガンマ線計数率 (cpm) の差を求めると、 ^{60}Co の場合1070 cpm、 ^{137}Cs では3795 cpm、 ^{192}Ir では2755 cpm、となる。このようにして図4と図6に示した特性曲線から、試料の厚さが異なる場合について計数率の差をまとめて示したものが表1である。表1の数値が大きい程測定精度がよくなることを示している。したがって試料が無限厚の場合は ^{137}Cs ガンマ線源を用い、 $x = 100\text{mm}$ (S-D間距離340mm) で測定するのが最も適していることがわかる。また、有限厚さの場合は厚さが小さくなるにつれて直線状の勾配も次第に小さくなるが、上述と同様に ^{137}Cs が適している。

図6の全散乱ガンマ線計数率 (cps) を用いたとき、同様にして求めると540 cpsとなり、直線状の傾斜が比較的大きい1回散乱ガンマ線のときよりもさらに大きいので測定精度は一層向上することになる。したがって全散乱ガンマ線計数率 (cps) を用いた場合には $x = 200\text{mm}$

表1 1回散乱ガンマ線計数率(cpm)による無限厚さ(図4), および有限厚(図6)から求めた計数率の変化

試料	単位 cpm	
	無限厚	厚
S-D間距離 (mm)	$x = 100$	$x = 120$
^{60}Co	1070	1000
^{137}Cs	3795	2450
^{192}Ir	3450	2755

試料	単位 cpm				
	有限厚				
S-D間距離 (mm)	$x = 200$	$x = 200$	$x = 200$	$x = 200$	$x = 200$
厚さ	180 mm	150 mm	120 mm	90 mm	60 mm
^{60}Co	400	350	150	130	70
^{137}Cs	985	850	700	420	150
^{192}Ir	—	750	580	400	300

の距離で, ^{192}Ir が適していることになる。

表1に示した値を使用時のmCi数で割ってみると, 無限厚, 有限厚およびガンマ線源の種類ともに, 散乱ガンマ線計数率の値は大きな変化がなく, むしろしゃへい効果および半減期の方から考えてみると ^{137}Cs ガンマ線源が適していると言えよう。

次に, ^{60}Co の場合, 密度特性曲線の傾斜が逆転することを述べた。試料の厚さを変えてこの傾向を調べてみたところ, ちょうど厚さが60mmのとき1回散乱ガンマ線計数率が密度に関係なく, ($0.543 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$) ほぼ一定になることが明らかになった。したがってこの特性を利用すれば, 密度が変化するような場合でも, 密度に無関係に他のパラメーターの計測が可能となり, 新しい応用が考えられよう。(1979年7月26日受理)

参考文献

- 1) 大野: 放射性同位元素装置機器(γ), 密度計 Radioisotopes, **22**, (5), 271~278 1973
- 2) D. TAYLOR and E. PIRIE: The design of gamma backscatter density gauges. IEEE Trans. on Nucl.

- 3) O. CIFTCIOGLU and TAYLOR: A gamma-backscatter density gauge with differential-mode counting. Nucl. Inst. and Methods. **94** 54~59 1971
- 4) K. LIN, E. RIRIE and D. TAYLOR: A moving gamma-source methods of measuring soil density. Nucl. Inst. and Methods. **72** 325~328 1967
- 5) Masao. KATO, otomaru. SATO and Hideo SAITO: A study on the applications of backscattered gamma-rays to gauging. Proc. of ERDA Symp. on X- and Gamma-Ray source and Applications, 230~233 1976
- 6) 齊藤, 佐藤: 散乱ガンマ線スペクトルの挙動1. 1回散乱ガンマ線とその応用, 生産研究 **30** (4), 13~16 1978
- 7) 齊藤, 佐藤: 後方散乱ガンマ線による厚さ測定に関する研究(I), 生産研究 **31** (2), 57~60 1979
- 8) Seiichi HIRAKAWA, Yoshinobu FUJINAGA and Hiroshi OHKUMA: Simulation of gamma-ray multiple scattering in rocks. Bulletin of the Japan Petroleum Institute. **13** No 2 Nov. 267~272 1971