

ノート

デュアルX線による2成分厚さ計測

櫻井 昇* 鈴木 隆司*

Thickness Measurement of 2-component Products by Dual X-ray

Noboru Sakurai*, Takashi Suzuki*

キーワード: 厚さ計測, デュアルX線, 2成分

Keywords: Thickness measurement, Dual X-ray, 2component

1. はじめに

X線はその透過力などの特徴を生かして、レントゲン撮影や非破壊検査など、医療や産業分野に広く利用されている。特に物質でのX線吸収量を測ることにより、その物質の量を計測することが可能になるので、フィルム厚さ計、たばこ量目計などに用いられている。

X線の吸収は、X線のエネルギーと吸収する物質の種類によって異なる(図1)。エネルギーの異なる2つのX線に対する吸収の違いを利用すれば、2成分からなる測定対象についてそれぞれの量を求めることが可能となる。これは筋肉中に存在する骨について、体外から骨密度(骨塩量)を計測する方法などに応用されている。

X線管で発生したX線は連続的なエネルギースペクトルをもつ連続X線(白色X線)であるが、2成分を計測するためには必要なエネルギー成分だけのX線を用いなければならない。従来は、連続X線を回折格子で単一エネルギー(単色)化するなどの方法が用いられてきた。筆者らは連続X線に金属フィルタを適用して、2つのエネルギーピークをもつX線(デュアルX線)を発生する方法を開発し、骨密度測定への応用を試みた⁽¹⁾。

今回新たな応用として、金属フィルタで発生した低エネルギーのデュアルX線を用いて、ラミネートフィルムのような薄ものの2成分の厚さ計測について検討を行ったので報告する。

2. 実験の方法

2.1 X線の吸収による物質計測の原理

あるエネルギー(E)のX線が物質に吸収される時、X線の強度は次の式で表される。

$$I(E) = I_0(E) \exp(-\mu(E)\rho t) \dots\dots\dots (1)$$

$I(E)$: 吸収がない場合のX線の強度

$\mu(E)$: 物質の質量減弱係数(cm^2/g)

ρ : 物質の密度(g/cm^3)

t : 物質の厚さ(cm)

測定対象が2つの物質からなる場合には、次のようになる。

$$I(E) = I_0(E) \exp(-\mu_1(E)\rho_1 t_1 - \mu_2(E)\rho_2 t_2) \dots\dots\dots (2)$$

ただし添字1,2は2つの物質における各量を表す。

このときそれぞれの物質の単位面積あたりの量(ρt)は、2つのエネルギー E_L および E_H のX線の吸収量より、次のように求めることができる。

$$\rho_1 t_1 = \frac{L - HR_2}{\mu_1(E_H)(R_1 - R_2)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_2 t_2 = \frac{L - HR_M}{\mu_1(E_H)(R_1 - R_2)} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $L = \ln(I_0(E_L) / I(E_L))$

$H = \ln(I_0(E_H) / I(E_H))$

$R_1 = \mu_1(E_L) / \mu_1(E_H)$

$R_2 = \mu_2(E_L) / \mu_2(E_H)$

2.2 計測に適したX線のエネルギーの検討

測定対象中の2つの成分について式(2)および(3)で求める場合、X線の2つのエネルギーにおいて、それぞれの成分での吸収量の違いが大きいことが精度よく計測で

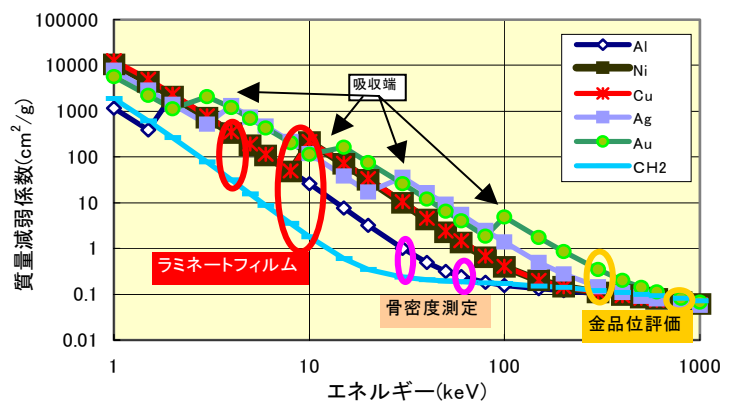


図1. 種々の物質におけるX線(γ線)の質量減弱係数

* 駒沢支所

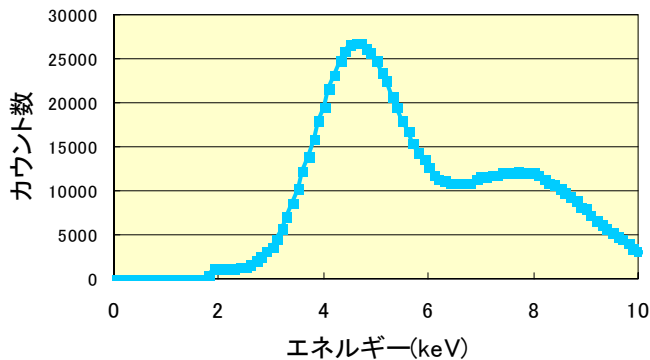


図2.チタン箔フィルタを用いて発生したデュアルX線
発生条件 フィルタ: Ti 40 μ m 管電圧: 10kV

きる条件となる。つまり2つのエネルギーのX線に対する質量減弱係数(μ)の比が、2成分において大きく異なることにほかならない。逆に、計測には質量減弱係数の比が異なるような2つのエネルギーのX線を用いる必要がある。

種々の物質の質量減弱係数を見てみると、物質の種類によりエネルギーに対する μ の値の変化が異なることがわかる(図1)。今回測定の対象とした、ポリエチレンなどの高分子フィルムと金属箔からなるラミネートフィルムについては、X線のエネルギーが5~10kVの領域において、高分子フィルムの主成分であるCH₂の質量減弱係数の変化が一定であるのに対し、ニッケル、銅などの金属については、吸収端で大きく質量減弱係数が変化することがわかる。このエネルギー領域のデュアルX線を用いることで、2成分の計測が可能であると考えられる。

2.3 デュアルX線の発生

5~10kVの領域におけるデュアルX線を発生させるために、フィルタとして4.9keVの特性X線を持つチタンを、またX線源として最大管電圧10kVのX線発生装置を使用した。検出器にはNaI(Tl)シンチレータを用いて、多重波高分析装置によりX線のエネルギースペクトルを観察し、チタン箔の厚さおよびX線管の管電圧・電流を変えてデュアルX線発生に最適な条件を求めた。

得られたデュアルX線を用いて、ポリエチレンとニッケル箔からなる試料を測定し、それぞれ厚さを求めた。

3. 結果と考察

3.1 チタン箔フィルタによるデュアルX線

管電圧10kVのX線管出力に、厚さ40 μ mのチタン箔をフィルタとして適用した結果、二つのエネルギーピークを持つデュアルX線が得られた(図2)。4.9keV付近に現れている第1のピークはチタンの特性X線によるピークである。8keV付近に出現している第2のピークは、連続X線のエネルギーの低い部分がチタン箔フィルタにより吸収された結果生じたものである。フィルタ金属の特性X線のエネ

表1. デュアルX線による2層物質の厚さ測定結果

	ニッケル (Ni)	ポリエチレン (PE)
試料厚 (μ m)	10.0	100
実験から求めた試料厚 (μ m)	10.2	90
偏差 (%)	2.4	-10

デュアルX線の発生条件: チタン箔厚40 μ m 管電圧10kV

ルギーとX線管に印可する管電圧の大きさを調整することにより、同様なデュアルX線を得ることが可能である。

3.2 デュアルX線による2成分の厚さ計測

チタン箔フィルタにより得られたデュアルX線により、ポリエチレンとニッケル箔からなるラミネート試料の測定を試みた。結果は、表1に示すように実際のポリエチレン、ニッケル箔の厚さとよく一致した。

2成分計測の要件となる、質量減弱係数の違いをもたらすX線のエネルギーは、測定対象の物質の組み合わせによって異なる。骨と筋肉が測定対象となる骨密度測定においては、30~70keVのエネルギー領域での質量減弱係数の変化の違いが大きく、測定に適していることがわかる(図1)。よりエネルギーの高い領域(100keV~)では、金、銀、銅などの金属においてもエネルギーによる質量減弱係数の違いが大きくなっている(図1)。この領域のエネルギーのデュアルX線、または対応するガンマ線源を使用すれば、合金中の各成分量(金含有量)の測定が可能である⁽²⁾。

今回使用した金属フィルタによるデュアルX線の発生方法は、フィルタの種類や厚さ、X線管の管電圧の選択により、異なるエネルギーピークのデュアルX線を発生させることができるので、いろいろな2成分測定に応用が可能と考えられる。

(平成18年10月23日受付, 平成18年12月1日再受付)

文 献

- (1) 鈴木・櫻井:「デュアルX線の発生方法と骨密度測定への応用」, 東京都立産業技術研究所研究報告, No.8 pp.43-46 (2005)
- (2) T. Suzuki, R. Kitsutaka, T. Muto and S. Morisaki: "Determination of the Purity of Gold Alloys Using Gamma-Ray Transmission Techniques", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, No.11, p.6242-6247 (1998)