

単色X線およびデュアルX線の簡便な発生法と計測機器への応用

X線発生装置の出力に金属板のフィルタを適用するという非常に簡便な方法で、単色X線やデュアルX線を発生させることができました。この方法を用いることで、X線を利用した機器の測定精度向上や2成分同時計測などが低コストで実現できます。

様々な機器に利用されているX線

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ます。X線を利用した機器には、製造ラインにおける紙やフィルムなどの厚さ計や、骨密度を測定する骨塩量測定器などがあります。これらはX線の吸収量でもの厚さや密度を測ろうとするものですが、X線の吸収は物質やX線のエネルギーによって異なります。正確な計測のためには、計測に最適なエネルギーのX線を用いることが重要となります。

X線の発生法とエネルギースペクトル

通常X線を発生させるには、X線管が用いられます(図1)。その出力は、連続したエネルギースペクトルを持つ制動X線の成分とターゲットの材質による特性X線からなります(図2)。制動X線のエネルギースペクトルの最大エネルギーは管電圧に、強度は管電流によります。特性X線のエネルギーは、ターゲットの元素に固有な線スペクトルです。

連続したエネルギースペクトルのX線から特定

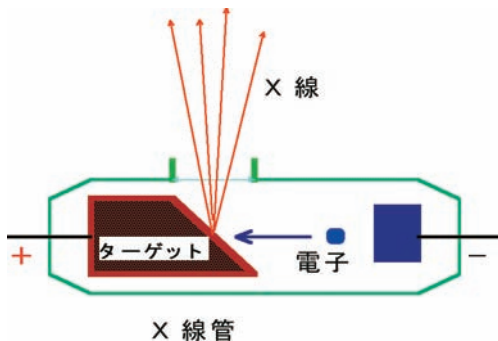


図1 X線の発生方法

X線管の電極間に印可された高電圧により加速した電子は、ターゲットに衝突して、そのエネルギーをX線として放出します。

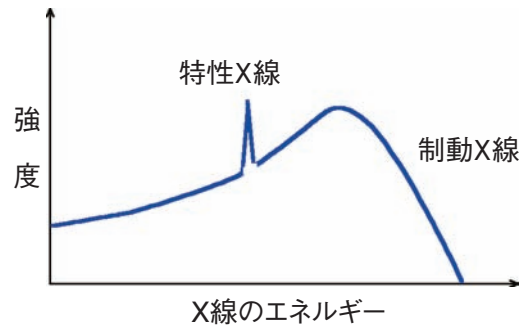


図2 X線のエネルギースペクトル

X線管から出力されるX線は連続したスペクトルを持つ制動X線と線スペクトルの特性X線からなります。

のエネルギーのみを取り出したX線を、白色光から単色の光を取り出すことになぞらえ、単色X線といえます。従来は連続X線に結晶や回折格子をもちいて、回折し、X線を分光する方法で単色化をおこなっていました。

当所では、X線管の出力の前に金属箔のフィルタを配置することにより、単色X線や2つのエネルギーピークを持つデュアルX線を発生する方法を開発しました。以下にその方法を説明します。

金属フィルタによるX線の単色化・デュアル化

X線管からの出力されるX線は、金属フィルタによって吸収されると同時に、フィルタ金属に固有の特性X線が発生します。X線管の電圧・電流およびフィルタの厚さを調整すると、X線管からの出力成分はフィルタでほとんど吸収され、フィルタからの特性X線ピークだけがあらわれる単色X線が得られます(図3)。フィルタに種々の金属をもちいるこ

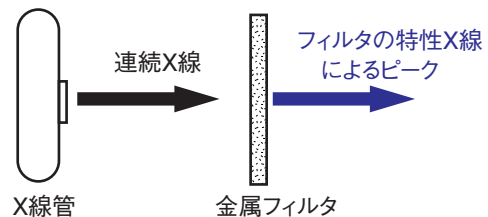
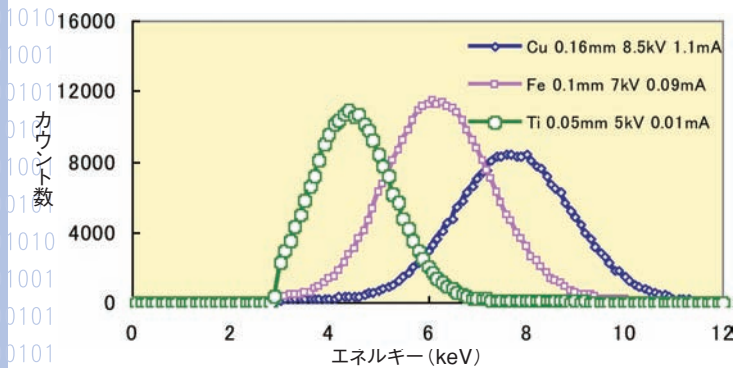


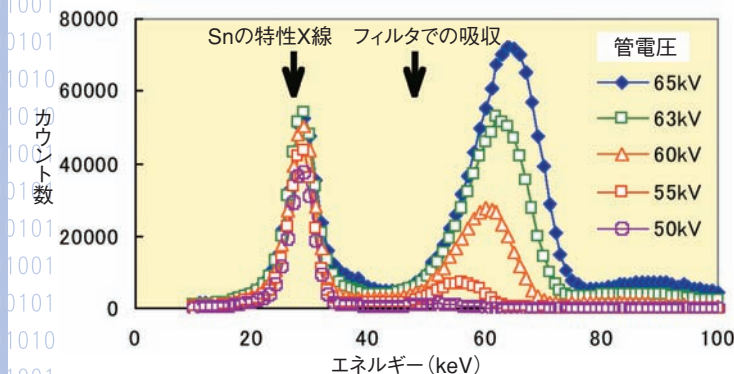
図3 金属フィルタによる単色X線の発生原理

X線管からの連続X線は、金属フィルタで吸収され、フィルタからはその金属固有の特性X線が発生し、ピークをつくります。

101011101010111011101001010100011001010
 100101010100101101010111011101001010101
 010101000110010100110101010110111000110
 010101101110001101010111011101001010101
 100101010100101101010111011101001010101
 010101000110010100110101010110111000110
 1010
 1001
 0101



(1)単色X線の発生 (フィルタ:銅(Cu)、鉄(Fe)、チタン(Ti))



(2)デュアルX線の発生 (フィルタ:1mm厚スズ(Sn))

図4 金属フィルタにより発生した単色X線とデュアルX線

- (1) 種々の金属フィルタに管電圧などの条件を整えることにより、ピークエネルギーの違う単色X線が得られます。
- (2) 単色X線が得られる条件から管電圧を上げていくと、特性X線によるピークより高いエネルギーに、もう一つのピークがあらわれ、デュアルX線となります。

とで、エネルギーの異なる単色X線を得ることができます(図4(1))。

管電圧をさらに上げると、連続な制動X線のより高いエネルギー成分が、フィルタで吸収されずにあらわれるようになり、ピークをつくります(図4(2))。こうして2つのエネルギーピークをもつデュアルX線を得ることができます。

単色X線・デュアルX線の計測機器への応用

計測に適したエネルギーの単色X線を、この簡便な方法により発生し用いることで、X線による機器の精度向上を低コストで実現することができます。

表1 1mm厚スズ箔で発生したデュアルX線による骨塩模擬試料の測定

アルミ厚(mm)	模擬骨塩量(g/cm)	測定値(g/cm ²)
1	0.27	0.25
2	0.54	0.55
3	0.81	0.81
4	1.1	1.1
5	1.4	1.3

またデュアルX線を用いて、その2つのエネルギーピークでの吸収の違いを利用すれば、ラミネートフィルムの2成分の厚さの同時計測や、筋肉の内側にある骨の密度(骨塩量)を精確に測定することも可能となります。

スズ1mm厚、管電圧63kVの条件で得られたデュアルX線を用いて、骨密度(骨塩量)測定を行ないました。模擬試料として、筋肉を5mm厚のポリエチレン、骨を1~5mm厚のアルミニウム板とした指を用いました。測定結果は骨塩量の計算値と精度よく一致しました(表1)。

ラミネートフィルムの2成分計測の例として、100μm厚ポリエチレンフィルム+10μm厚ニッケル箔の模擬ラミネート試料の厚さ測定を試みました。チタン箔フィルタ(厚さ40μm)を用い、管電圧10kVで発生したデュアルX線での同時計測で、ポリエチレンとニッケルの厚さをそれぞれ90μm、10.2μmとする計測値を得ることができました。

金属フィルタによる単色X線、デュアルX線は、X線を利用した様々な機器に応用が可能です。今後も幅広い応用に努めていきたいと考えています。単色X線あるいはデュアルX線に興味をお持ちの方は、下記までご相談ください。

事業化支援部 駒沢支所 放射線安全係
 櫻井 昇 TEL 03-3702-3114
 E-mail: sakurai.noboru@iri-tokyo.jp

101011101010111011101001010100011001010
 100101010100101101010111011101001010101