

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 5 月 8 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560839

研究課題名（和文） 放射光及び回折 X 線出力のエネルギー評価のための OSL 線量計
フィルター開発

研究課題名（英文） Filter development of OSL dosimeter for energy evaluation
of synchrotron radiation and X-ray diffraction beam

研究代表者

越田 吉郎(KOSHIDA KICHIROU)

金沢大学・保健学系・教授

研究者番号：90020023

研究成果の概要：

実際に単一光子で求めたエネルギー推定算出式で連続エネルギー X 線の実効エネルギーを求めると、誤差が生じることが判明した。アルミニウムフィルターの厚さを厚くすると誤差の平均が小さくなり、エネルギー推定算出式の精度が良くなった。アルミニウムフィルターの厚さを厚くしても、単一光子で求めたエネルギー推定算出式で連続エネルギーの実効エネルギーを評価すると値が低く評価された。シミュレーションでアルミニウムの厚さを厚くすると、エネルギー推定算出式の精度が良くなったがその厚さは 1mm から 2mm の範囲であることが判明した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：原子力・放射線計測

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：OSL 線量計、フィルター、エネルギー評価、モンテカルロシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

高強度単色 X 線及び連続 X 線の使用環境において、適正に人体へ影響を評価するためにエネルギー特定が必要である。低及び高エネルギーすなわち両極端領域におけるエネルギー特定を精度よく行える評価用フィルターを検討してきた。

本研究の特徴は、低エネルギー光子における有用なフィルターに着眼したところに特色がある。なぜなら、モノエネルギーでの校正と連続エネルギーでの校正においてエネルギー校正が異なることを、シミュレーションおよび放射光で明らかにしてきたことにより、材質としてのプラスチックフィルターの有用性に注目している。また、高エネルギー用フィルターでは鉛やタングステンなどが考えられるが、光子と物質との相互作用を念頭に置いたシミュレーションによりフィルター厚の検討は特異的と言ってよい。

この開発によって、低及び高エネルギー領域におけるエネルギー特定のためのフィルター材質の基準となる基礎データとなる。つまり、検出素子の如何にかかわらず、フィルター材質の標準仕様としてのスタンダードのなりうるものであるので、きわめて意義が大きい。

この O S L 線量計に関しては、Huntley らが開発したものである。その他改良などがなされている。また、その実用化に向けてさまざまな工夫がされており、国内でも鈴木ら¹⁰⁾によって検討されている。しかし、フィルター材質までの検討には至っていない。

2. 研究の目的

個人被ばく線量計では、フィルターのない部分とフィルターのある部分で感度が異なることからエネルギー特定ができる。OSL 線量計は放射線に感度がある Al_2O_3 を用いており、その前面に各種の金属フィルターが設置されている。そのフィルターには Sn や Cu が用いられているが、そのエネルギー特定範囲は 20keV から 1.0MeV あたりである。低いエネルギーではフィルターによる吸収が大きいため酸化アルミニウムへの線量が極端に少なくなりエネルギー特定の校正式に大きな誤差を生じさせていることを明らかにしてきた。

また、連続 X 線の実効エネルギー評価を行う場合、金属フィルターでは光電効果により各エネルギーの減弱に差が生じてしまい、適正な評価ができなくなる。連続 X 線のスペクトルと金属フィルターにアルミニウムを用いたときの減弱の変化はエネルギーごとに異なることも明らかにしてきた。

そこで、低エネルギーでも連続 X 線スペクトルに対してほぼ均一に減弱するフィルターとしてプラスチック材質に注目した。プラスチック材質はさまざまあり、選択に苦慮するのであるが、フィルター材質に適した一般的な選択要因は、密度が水とほぼ似通っているものあるいはその 2 倍までのもの、品質が均質であり加工がしやすく均一な面を維持できることなどが挙げられる。現在までに検討しているものの一つとして polystyrene を材質にあげて検討している。銅はかなり減弱し、アルミニウムは低いエネルギー領域で減弱の割合が均一でないことが示される。それに比べてポリスチレンは低エネルギー全体に亘って均一に減弱する。ただ、エネルギーが高くなるとフィルターのないものとはほぼ同じになる。これは光電効果からコンプトン効果へと放射線相互作用の優勢性が移るのが他の物質より低エネルギーで生じてしまうからである。このような欠点はあっても、低エネルギーでのエネルギー特定には支障がないといえる。したがって、最適な有機系物質のフィルターの特定は有用である。高エネルギーではポリスチレンのような有機系の物質では難しいので、高原子番号の単一物質あるいは複合物質が選択の要因となる。選択物質として有力なのは、Bi や W である。化合物では CaWO_4 が考えられる。これらの K 吸収端は 80keV 以下なので、このフィルターでの利用エネルギー範囲は 90keV 以上となる。

3. 研究の方法

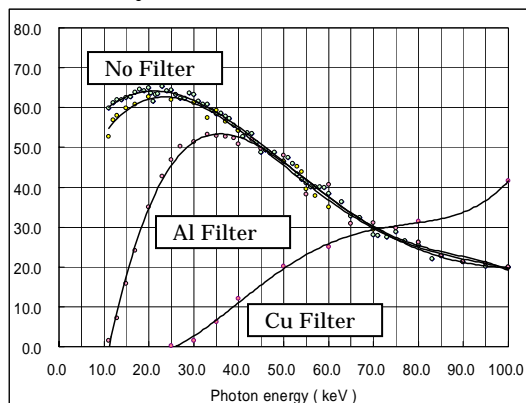
$\text{-Al}_2\text{O}_3$ の O S L 線量計のエネルギー感度は 20keV から 1MeV まで検討してきたプラスチックフィルターおよびアルミニウムフィルター装着によるエネルギー評価は低いエネルギーで不安定であった。低エネルギー光子の場合は、プラスチックフィルターを基準にとると、エネルギー校正が適切であるので、その検証を行う。O S L 素子としては nannoDOT の素子と従来の OSL 素子の比較を行う。読み取りに線量計 reader を用いる。プラスチックフィルターとし、Polystyrene を考慮しているが、密度と組成の検討を行い、他のプラスチック素材での照射を繰り返す。Polystyrene 以外で有望なのは polyester、Polypropylene などである。低エネルギーでほぼ均一に減弱するプラスチックフィルターは有望である。その校正式は以下のである。

$$\text{energy calibration} = \frac{\text{Metal or Plastic Filter}}{\text{Open Window}}$$

次に材質の選択は Trial and error となりがちであるが、近年モンテカルロシミュレーションが有用であることが報告されている。そこで、高エネルギー研究機構の平山研究室で開発されている EGScode を用いてエネルギーごとのレスポンスをシミュレーションすることによって、最適な材質による評価方法を検討する。検討するフィルター材質によるエネルギーレスポンスをシミュレーションにてデータを収集する。

既存の X 線発生装置からの X 線を OSL 線量計に入射させ、その透過 X 線スペクトルを既存の X 線スペクトル解析装置で解析する。このスペクトル内には一次 X 線の透過スペクトルだけでなく、相互作用を起こして散乱してきた散乱 X 線成分が含まれている。以前から得た X 線スペクトルであり今後様々な照射条件下および各種フィルター材質での一次・散乱 X 線スペクトルを収集して解析する必要がある。すなわち、散乱角度によって散乱のスペクトルが変化するため、一次 X 線束方向に対して一次 X 線スペクトルに加わる散乱 X 線スペクトルがかなり影響している。その割合や強度分布を各フィルター材質で実測することで基礎的な解析ができる。これは遮へい材質により散乱 X 線の角度分布が異なることに起因し、フィルター材質の最適化に必要である。

連続 X 線でも、その出力系の中に付加フィルターの材質によって X 線の連続的な形状が異なる。つまり同じ管電圧であっても実効エネルギーに相違を生じさせる。これは、単一光子によるエネルギーレスポンスを基準校正とするときの、大きな問題点である。特に、低エネルギー領域では下図のように基本スペクトルに異なる付加フィルターを挿入することで、エネルギースペクトルが異なってくる。これは他のスペクトルと異なる大きな相違点であり、しかも光電効果領域であるので、実効エネルギー評価には誤差を生じさせやすいことになる。



4. 研究成果

アルミニウムフィルターの厚さを厚くすると誤差の平均が小さくなり、エネルギー推定算出式の精度が良くなった。アルミニウムフィルターの厚さを厚くしても、単一光子で求めたエネルギー推定算出式で、連続エネルギーの実効エネルギーを評価すると値が低く評価された。シミュレーションでアルミニウムの厚さを厚くすると、エネルギー推定算出式の精度が良くなったがその厚さは 1mm から 2mm の範囲であることが判明した。

OSL 線量計など、個人被ばく線量計のすべてで使用されている金属フィルターはほぼ同じ種類のものであるが、回折 X 線や低エネルギー放射光では、銅あるいは錫フィルター自体に光子エネルギーが吸収されてしまい、適正な校正ができない。一方、プラスチックフィルターは軟 X 線あるいは電子線による被ばくを想定したフィルターと認識されている。しかし、低エネルギー光子では有用なフィルターであると着眼したところに特色がある。また、高エネルギー用フィルターでは鉛やタングステンなどが考えられるが、光子と物質との相互作用を念頭に置いたシミュレーションによりフィルター厚の検討は特異的と言ってよい。

この評価方法の開発によって、低及び高エネルギー領域におけるエネルギー特定のためのフィルター材質の基準となる基礎データとなる。つまり、検出素子の如何にかかわらず、フィルター材質の標準仕様としてのスタンダードのなりうるものであるので、きわめて意義が大きい。

光子の減弱は、遮へい材の質量減弱係数、その密度に影響を受ける。質量減弱係数はイリジウム、鉛、ビスマスの順に大きくなるが、それほど大きな差はない。質量減弱係数が大きいことは減弱の割合が大きくなることであるが、もう一つの密度も大きい因子である。密度は、イリジウムが $22.42\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、鉛が $11.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、ビスマスが $9.747\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ である。したがって、イリジウムは鉛の約 2 倍の遮へい効果が期待できる。光子と物質との相互作用において、光電効果・コンプトン効果・電子対生成などが各々主体となる領域を考慮に入れば、鉛単独の使用ではなく、イリジウムあるいはビスマスなどの複合的な使用によって遮へい効果が高くなる可能性がある。また、30keV ~ 40keV に K 吸収端があるバリウム、セシウム、ヨウ素は人体への影響を軽減化する。このことは、鉛のみのフィルター材質による重量の軽減化あるいは新素材開発による

産業の創生にもつながる。加工性に富ませることにより柔軟な遮へい設計が可能となる。また、光子の遮へいのみならず O S L 線量計のバックグラウンド軽減にも応用できる。

今後、高エネルギー研究機構や「みらくる」の放射光装置を用いて、低いエネルギーは 5keV から 30keV まで DOT 及び nanoDOT 線量計に照射し、各エネルギー response を検討する。このとき、金属フィルターのアルミニウムを基準にとるか、プラスチックを基準にとるかの評価基準を確立する必要がある。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

1 . 越田吉郎、松原孝祐、能登公也 : CT 線量におけるファントム内の中心線量と周辺線量の検討、日本放射線安全管理学会、2008 年 12 月 5 日 (金沢)

2 . 越田吉郎、橋本昌幸、金田達也、松原孝祐 : OSL を利用した DOT 線量計の諸特性と応用、日本放射線技術学会、2008 年 4 月 5 日 (横浜)

3 . 越田吉郎、金田達也、橋本昌幸、松原孝祐、小山修司 : OSL を利用した CT 線量計の評価と応用、日本放射線技術学会、2008 年 4 月 5 日 (横浜)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

越田 吉郎(KOSHIDA KITIROU)
金沢大学・保健学系・教授
研究者番号 : 90020023

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし