OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	低エネルギー光子に対する線量評価の研究
Author(s)	成山, 展照
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144130
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【 87 】

氏名	成山展照（なりやまのぶてる）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 13486 号
学位授与年月日	平成 9 年 12 月 16 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	低エネルギー光子に対する線量評価の研究
論文審査委員	（主査） 教授 山本 幸佳 （副査） 教授 岡田 東一　教授 高橋 亮人　教授 飯田 敏行

論文内容の要旨

シンクロトロン放射光の普及に伴い，従来の可視光，紫外，真空紫外領域から，エネルギーが 1 keV から数10 keV に至る高強度の硬X線も利用されるようになってきている。しかし，このようなエネルギー領域のシンクロトロン放射光は従来から放射線防護上はあまり問題とされなかったため，個人被曝線量計も線量換算係数も不備で，さらに線量評価に不可欠な空洞理論の検証もなされていない。本論文ではそのために，空洞理論の低エネルギー領域での整備を行い，測定法の確立と測定結果の解析技術を発展させ，実際の線量評価に応用している。

第 1 章では，放射光施設の普及，国際放射線防護委員会の新たな勧告を背景に本研究が行われるに至った経緯を述べている。

第 2 章では，X線発生装置からの30～200 keV X線を用いて，テフロン，アルミ，銅，金媒質中の熱蛍光線量計（TLD）応答を測定し，空洞理論の値との比較を行い，その結果，金の場合，両者が大きく異なることがわかり，モンテカルロコードを用いたシミュレーションにより，その原因がTLD線量に対する金媒質からの 2 次電子の寄与が大きいため，応答値が加重係数の精度に大きく影響されるためであることを明らかにしている。そこで，新たにエネルギー透過，反射係数を用いて応答値を計算する方法を提案し，実験値とよく一致する結果を得ている。

第 3 章では，放射光の絶対強度を補正なしに測定できる全吸収型マイクロ熱量計を開発し，平行平板自由空気電離箱の値と±3％以内で一致することを確認し，モニターとしての同電離箱の精度を評価している。さらに，直線加熱型のTLDリーダの開発を行い，放射光からの10～40 keV 単色X線を用いて，フッ化リチウム，ホウ酸リチウム，酸化ベリリウムおよび硫酸カルシウムTLDのグロー曲線を測定し，その面積を積分することによりエネルギー応答，直線性を得ている。その結果，エネルギー応答測定値は空洞理論値より，フッ化リチウム，酸化ベリリウム，硫酸カルシウムで大きく，また，ホウ酸リチウムでは小さく，また，硫酸カルシウム，ホウ酸リチウムでは，直線領域が光子エネルギーに依存することを明らかにしている。

第 4 章では，放射光からの10，30 keV 単色X線を人体軟組織等価な材質からなるファントムに照射し，内部の吸収線量分布をフッ化リテウム，ホウ酸リチウムを用いて測定し，その測定値と，コンプトン散乱における電子束縛効果

および直線偏光を取り扱えるよう拡張されたEGS4コードの計算値を比較し，実験誤差内で一致することを確認している。

第5章では，そのEGS4を用いて，ICRU平板ファントム内の0.02-0.1，0.07，10 mm深さ線量を，1.5 keVから50 keV光子に対してそれぞれ計算し，10 keV以下のエネルギー領域においては，0.02-0.1 mm深さ線量が10 mm深さ線量の代わりにICRP60で定義された実効線量の実際的な指標として適当であることを示している。

第6章では，総括として，以上の研究成果と波及効果，今後の課題などをまとめている。

論文審査の結果の要旨

近年，シンクロトロン放射光発生技術の進展はめざましいものがあり，それに伴ってSPring-8に代表される大型装置から，赴伝導磁場を利用したコンパクトな装置に至るまで，様々な目的に応じて多様な放射光の利用が可能となりつつある。また，貯蔵リング内の電子または陽電子ビームの高エネルギー化及び高輝度化の趨勢から，得られる放射光も従来の可視光，紫外，真空紫外領域から，エネルギーが1 keV以下の軟X線はもとより1 keVから数10 keVに至る高強度の硬X線が日常的に利用されようとしている状況にある。しかし，いわゆる電離放射線という概念からすると，シンクロトロン放射光は比較的低エネルギーであるため，従来から放射線防護上あまり問題とされて来なかったし，現在使用されている個人被曝線量計も30 keV程度以下の使用は考えておらず，線量換算係数も10 keVまでしか整備されていない。さらに，線量評価に不可欠な空洞理論も100 keV以下ではほとんど検証されていないのが実状である。しかし，低エネルギーとはいえ，その強度が従来の線源からのX線と比較して数桁大きいことを考慮すると，放射線防護の観点からも見過ごす訳には行かず，上記の問題点を解決しておくことが重要である。本論文ではそのために，低エネルギー光子に対する線量評価を行う上で重要な空洞理論の整備を行い，測定法とその結果の解析技術を発展させ，それらの成果を実際の線量評価に応用して，いくつかの重要な成果を得ている。それらを要約すると次のとおりである。

(1) 30-200 keVのX線をテフロン，アルミ，銅，金などの箔で包まれた熱蛍光線量計（TLD）に照射してその応答を調べ，計算値との比較より，このエネルギー領域での空洞理論の正当性を調べている。その結果，金の場合のみ両者に大きな差異が見られ，モンテカルロコードを用いたシミュレーションより，その原因が金箔からの2次電子の寄与が異常に大きいため，2次電子の減衰程度を表わす荷重係数が精度良く定まらず，そのことか応答値に大きな影響を与えることを明らかにしている。

(2) エネルギー200 keV以下では，媒質からの2次電子は現在線量計として実用的に用いらているTLDの厚さを透過することはできない。この現象を用いて，2次電子の媒質に対するエネルギー透過係数及び反射係数のデータを用いて，線量計の吸収線量の読み値から媒質内の吸収線量への換算係数を求める計算方法を新たに提案し，実験値との一致を確認したモンテカルロ計算値と，金の場合も含めて6％以内で一致することを確認している。

(3) 全吸収型マイクロ線量計を新たに開発して低エネルギー放射線である放射光の絶対強度を補正なしに測定できるようにし，放射光モニターとして使用する平行平板型自由空気電離箱の精度評価を行い，±3％以内の誤差で測定可能であることを確認している。

(4) フッ化リチウム，ホウ酸リチウム，酸化ベリリウム及び硫酸カルシウムの4種類のTLDの線量計としてのエネルギー応答特性及び線量応答の直線性を，従来は連続X線の実効エネルギーから評価していたが，放射光からの10～40 keVの高強度X線を単色として，初めて単色X線を用いて低エネルギー領域でより信頼性の高い特性を得ることに成功している。

(5) 低エネルギーX線に対する放射線防護の観点から，人体軟組織等価な材質からなるファントムに放射光からの10及び30 keVの単色X線を照射し，吸収線量分布をTLDを用いて測定し，コンプトン散乱における電子束縛効果及び直線偏光を取り入れた改良EGS4コードによる計算値と比較し良い一致を得ている。このことは低エネルギー領域の

X線に対しても改良された同コードが使えるということであり，適用範囲の拡張を示している。

(6) EGS4 コードを用いて平板ファントム内の0.02-0.1 mm 及び10mm 深さ線量を1.5 keV から50 keV の光子に対してそれぞれ計算し，従来その評価値がなかった10keV 以下のエネルギー領域においては，実効線量の実際的な指標として国際放射線防護委員会(ICRP)で定義された10 mm 深さ線量の代わりに，0.02-0.1 mm 深さ線量を採用することが適当であると提案している。この提案は低エネルギー領域のX線に対する放射線防護対策の確立に寄与するところ大であると考えられる。

以上のように本論文にはシンクロトロン放射光の普及により，低エネルギーX線に対する放射線防護対策の検討が急がれねばならない状況下において，線量評価の基礎となる空洞理論の低エネルギー領域での整備，単色X線を用いたTLDの精密な校正法の確立，拡張されたEGS4 モンテカルロコードの低エネルギー領域への適用の成功，10 keV 以下のX線に対する新しい深さ線量の提起等数々の成果が収められており，原子力工学及び放射線防護学に寄与するところ極めて大である。よって本論文は博士論文として価値のあるものと認める。