

学位論文審査結果の報告書

氏 名 薮田 和利

生 年 月 日 昭和 35 年 12 月 24 日

本 籍 (国籍) 日本

学位の種類 博 士 (医 学)

学位記番号 医 第 1186 号

学位授与の条件 学位規程第5条該当
(博士の学位)

論 文 題 目

高エネルギーX線治療におけるCR-39を用いた

中性子測定システム

審 査 委 員

(主 査)

西村恭昌



(副主査)

細野 真



(副主査)

伊本雅之



(副 査)



(副 査)



論文内容の要旨

【背景、目的】

医療用直線加速器において10 MVを超える高エネルギー X 線装置では中性子が発生するため、二次発がんにご注意すべきで、その中性子線量を正確に把握することは重要である。しかし、中性子は直接電離作用を持たないうえ、X 線との分離測定や、中性子エネルギーにより実効線量評価値が大きく変わることなどの理由からその把握は困難であり、実用的で精度の高い測定方法の確立が望まれている。

本研究では、中性子エネルギーによるエネルギー応答特性を持つ固体飛跡検出器の1種である CR-39 プラスチック検出器 (CR-39) を用いて、医療用直線加速器で規格化されている X 線のエネルギー 10, 15, 18, 20 MV における照射野内の中性子エネルギースペクトル分布を特定、その応答特性に応じた補正により実効線量を測定可能なシステムを構築した。また、複数の CR-39 検出器のエネルギー応答特性を取得したうえで、その検出器により医療用直線加速器の中性子実効線量の測定評価を行い実用性について検討した。

【方法】

中性子国家一次標準場の産業技術総合研究所における単色エネルギーの中性子ビームを用い、検出器が個別にもつ、中性子エネルギーに対する応答特性を確認した。X 線ビーム軸上で光核反応により発生する二次中性子のエネルギースペクトルをモンテカルロ計算コード PHITS2.52 にて求めた。校正エネルギー 5 点の寄与率から、中性子実効線量の計算を行った。CR-39 検出器に対して医療用直線電子加速器を用いて二種類のエネルギーの X 線照射を行い線量当量の評価を行った。

【結果】

標準照射による、それぞれの CR-39 検出器における、中性子フルエンスに対する全エネルギーのピット形成率は Baryotrak と C100 は 8.2×10^{-3} , 5.0×10^{-3} と高く、高エネルギー特性を改善する目的で添加物が増やされた TD-1, TNF-1 と、Ortho-carborane が配合された C95 は 3.4×10^{-3} , 2.3×10^{-3} , 2.6×10^{-3} と低値を示した。

二次中性子のエネルギースペクトルは、加速電圧 15-20 MV では、500 keV から 1 MeV のエネルギー領域にピークを認めるが、加速電圧 10 MV ではピークエネルギーが 500 keV 以下に低下し、100 keV より低いエネルギー成分の割合が増加している。標準照射における校正エネルギー別の寄与率は中性子エネルギー 144 keV : 565 keV : 2.5 MeV : 5.0 MeV : 14.8 MeV に対して、20 MV-X 線では 19 : 64 : 15 : 2 : 0、18 MV-X 線では 20 : 66 : 13 : 1 : 0、15 MV-X 線では 20 : 70 : 10 : 0 : 0、10 MV-X 線では 40 : 60 : 0 : 0 : 0 であった。

10 MV-X 線における照射野中心軸上体表面の中性子実効線量は 0.045 ± 0.017 mSv/Gy、20 MV-X 線の場合は 0.85 ± 0.61 mSv/Gy であった。高エネルギー X 線照射に伴う中性子被ばくは X 線エネルギーにより大きな違いがあったが、実測した線量は X 線線量の 1/1000 以下であり、臨床的には問題のないレベルであることが確認された。

【結論】

CR-39 のエネルギー応答特性を確認したうえで、医療用直線加速器で発生する中性子エネルギースペクトルを特定し、寄与率を補正する本測定システムは、実用的中性子線量測定法となりうることが示された。

博士論文の印刷公表	公 表 年 月 日	出版物の種類及び名称
	平成27年 月 日 公表予定	出版物名 医学物理 第34巻 第3号 平成27年 月 日 発行予定
	公 表 内 容	
	全 文	

論文審査結果の要旨

医療用直線加速器において10 MVを超える高エネルギーX線装置では中性子が発生する。その中性子線量を正確に把握することは重要であるが、中性子は直接電離作用を持たないうえ、X線との分離測定や、中性子エネルギーにより実効線量評価値が大きく変わることなどの理由からその把握は困難であり、実用的で精度の高い測定方法の確立が望まれている。藪田和利君は、固体飛跡検出器の1種であるCR-39プラスチック検出器（CR-39）を用いて、医療用直線加速器で用いられる10～20 MV-X線における照射野内の中性子エネルギースペクトル分布を特定、その応答特性に応じた補正により実効線量を測定可能なシステムを構築した。





CR-39検出器における、中性子フルエンスに対するピット形成率は、 2.3×10^{-3} から 8.2×10^{-3} であった。二次中性子のエネルギースペクトルは、15～20 MV-X線では、500 keVから1 MeVのエネルギー領域にピークを認めるが、10 MV-X線ではピークエネルギーが500 keV以下に低下していた。標準照射における中性子エネルギー144 keV:565 keVの寄与率は、10 MV-X線では40:60、15～20 MVでは20:70であった。10 MV-X線における照射野中心軸上体表面の中性子実効線量は 0.045 ± 0.017 mSv/Gy、20 MV-X線の場合は 0.85 ± 0.61 mSv/Gyであった。中性子被ばくはX線エネルギーにより大きな違いがあったが、実測した線量はX線線量の1/1000以下であり、臨床的には問題のないレベルであることが確認された。本研究は、CR-39を用いた中性子測定システムが実用的中性子線量測定法となりうることを明らかにした。

本研究は医学物理学会の機関誌「医学物理」に掲載予定であり、医学物理学コースの学位論文にふさわしい内容である。

2015年2月5日に行われた公聴会で、藪田和利君は上記研究内容を報告し、その後副主査の伊木教授および細野教授、主査の西村教授からの質疑に移った。審査委員からは、CR-39の盤面の形成されたピットの大きさ、深さは結果に影響を与えないのか、CR-39の盤面の形成されたピットの数え方、その視野の設定方法、単色中性子の照射実験は何度行ったか、中性子と反跳陽子の生成数は等しいのか、リニアックで発生する中性子被ばくは人体に問題ないのか、この測定法を実用化する課題は、モンテカルロ法による計算はどれくらい正確かなどについて質問があり、藪田和利君は的確に回答した。以上より、最終試験は合格とし、論文の内容および本人の学識ともに医学博士の学位を授与するに十分であると判断された。

博士學位論文最終試験結果の報告書

平成 27 年 2 月 6 日

審査委員	主査	西村恭昌 
	副主査	細野 真 
	副主査	伊木 雅之 
	副査	
学位申請者氏名	藪田 和利	
論文題目	高エネルギーX線治療におけるCR-39を用いた 中性子測定システム	
要旨	<p>藪田和利君は、現在測定困難な高エネルギーX線治療に伴う中性子線量を、固体飛跡検出器の1種であるCR-39プラスチック検出器 (CR-39) を用いて、その応答特性に応じた補正により実効線量を測定可能なシステムを構築した。二次中性子のエネルギースペクトルは、15~20 MV-X線では、500 keVから1 MeVのエネルギー領域にピークを認めるが、10 MV-X線ではピークエネルギーが500 keV以下に低下していた。標準照射における中性子エネルギー144 keV:565 keVの寄与率は、10 MV-X線では 40:60、15~20 MVでは 20:70であった。10 MV-X線における照射野中心軸上体表面の中性子実効線量は0.045 ± 0.017 mSv/Gy、20 MV-X線の場合は0.85 ± 0.61 mSv/Gyであった。中性子被ばくはX線エネルギーにより大きな違いがあったが、その線量はX線線量の1/1000以下であり、臨床的には問題のないレベルであることが確認された。本研究は医学物理学学会の機関誌「医学物理」に掲載予定であり、学位論文にふさわしい内容である。</p> <p>2015年2月5日に行われた公聴会で、藪田和利君は上記研究内容を報告し、その後副主査の伊木教授および細野教授、主査の西村教授からの質疑に移った。審査委員からは、CR-39の盤面の形成されたピットの大きさ、深さは結果に影響を与えないのか、CR-39の盤面の形成されたピットの数え方、単色中性子の照射実験は何度行ったか、中性子と反跳陽子の生成数は等しいのか、リニアックで発生する中性子被ばくは人体に問題ないのか、この測定法を実用化する課題は、モンテカルロ法による計算はどれくらい正確かなどについて質問があり、藪田和利君は的確に回答した。審査委員は、この研究が藪田和利君の研究成果であることを確認した。</p>	