

氏名	たなか けんいち 田中 憲一
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2116号
学位授与の日付	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科原子核工学専攻
学位論文題目	${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応を用いた加速器中性子照射場による中性子捕捉療法に関する理工学的研究

論文調査委員 (主査) 教授 長谷博友 教授 小林捷平 教授 伊藤秋男

論文内容の要旨

本論文は、 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応を用いた加速器中性子照射場による中性子捕捉療法の実現性の理工学的検討を目的に行われたものである。その背景には、病院で術中照射によって治療を行いたいという強い要請がある。本論文は、2.5MeV陽子による ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子を減速しての利用、及び、しきい値(1.881MeV)近傍の中性子の直接利用に着目して研究した成果についてまとめたものであり、4章からなっている。

第1章は緒論であり、本論文で取り扱う課題を説明している。その背景として、中性子捕捉療法の歴史と物理的側面、更に加速器中性子を用いる場合の特徴について述べている。

第2章では、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の選択性を阻害する高速中性子及び γ 線の混入量の観点から広島大学原爆放射能医学研究所の加速器(HIRRAC)及び京都大学原子炉重水中性子照射設備(KUR-HWNIF)の中性子ビームを比較することにより、2.5MeV陽子の ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応を用いた加速器中性子照射場の特性とそれによるBNCTの実現性を実験及び計算の両面から論じている。その結果、2.5MeV陽子による ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子に直径20cm、厚さ20~30cmの重水減速体を組み合わせた照射場は、 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 反応線量に対する高速中性子及び γ 線の線量の比の観点から、現在治療への適用が計画されているKUR-HWNIF基準熱外中性子照射モードとほぼ同様な特性を持つことが初めて明らかにされた。

第3章では、しきい値近傍の ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子を直接利用する術中照射BNCTの照射特性及び実現性について述べている。

しきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応では、わずかな電圧変動で中性子の収率及び角度依存性が大きく変化するため、特に精密な模擬計算が必要となる。このような背景から、まず、しきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 及び ${}^7\text{Li}(p, p\gamma){}^7\text{Li}$ 反応をLeeの方法で計算し、それを線源としてMCNP-4Bで輸送計算を行う模擬計算手法の有効性を、角度依存性に配慮してLiターゲットとファントムの距離を変えたときのファントム内の金の飽和放射能及び γ 線線量を実験値と計算値で比較することにより示している。

次に、上記の模擬計算手法を用いて、しきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応直接中性子を用いた術中照射BNCTの線量評価を行っている。一例として陽子エネルギー1.90MeVの場合について、現在日本で脳腫瘍のBNCTに用いられている線量に関するプロトコル(治療線量及び耐容線量は重荷電粒子の物理吸収線量で15Gy、重荷電粒子とは独立して γ 線だけの耐容線量が10Gy)を満たす領域の存在を明らかにしている。これにより、しきい値近傍の ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子が減速体系なしで術中照射BNCTに利用できることが世界に先駆けて示された。特に、生体内での ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 反応線量の寄与を増すために導入したBoron-Dose Enhancer(BDE)が効果的であることが明らかにされた。BDEは、寸法形状・材質などの調節により、腫瘍の位置及び寸法形状に応じた照射方法の最適化を行えるという大きな特徴を持っている。また、現在深部線量を増すために術中照射BNCTに用いられているボイドは、 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応直接中性子とBDEを組み合わせる

場合にも有効であることが初めて示された。

本研究は、加速器中性子による術中照射 BNCT の実現性を、照射の位置・方向の自由度が高いしきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応直接中性子を利用する方法で初めて示したものである。現在病院内で治療照射ができないため術中照射 BNCT を行っていない諸外国でも実施できることから、本研究は、病院に併設した加速器中性子照射システムを用いた術中照射 BNCT が将来の BNCT の標準となり得ることを示唆している。

第4章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、加速器中性子照射場による中性子捕捉療法の実現性の物理工学的検討を目的に、2.5MeV 陽子による ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子を減速しての利用、及び、しきい値 (1.881MeV) 近傍の中性子の直接利用に着目して研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 2.5MeV 陽子による ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子に直径 20cm, 厚さ 20~30cm の重水減速体を組み合わせた照射場が、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の選択性を阻害する高速中性子及び γ 線の線量の ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 反応線量に対する比の観点から、現在治療への適用が計画されている京都大学原子炉重水中性子照射設備基準熱外中性子照射モードとほぼ同様な特性を持つことが初めて明らかにされた。
2. BNCT 用照射場の検討で重要な役割を果たす模擬計算手法の有効性が、しきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応で重要な角度依存性に配慮して Li ターゲットとファントムの距離を変えた実験で示された。
3. 現在日本で脳腫瘍の BNCT に用いられている線量に関するプロトコルを満たす領域の有無及び大きさを模擬計算で評価する方法により、しきい値近傍 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応中性子が術中照射 BNCT に直接利用できることが世界に先駆けて示された。本研究は、将来の BNCT の標準となる可能性が高い、病院に併設した加速器中性子照射システムを用いた術中照射 BNCT の実現性を、照射の位置・方向の自由度が高い直接中性子を利用する方法で初めて示したものである。

以上、本論文は、 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 反応を用いた加速器中性子照射場による中性子捕捉療法を実現するうえで重要な知見を与えるものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。