しきい値近傍 ^{7}Li(p,n)中性子を用いた BNCT の遮蔽・放射化・全身被ばくに関するモンテカルロ解析

Monte Carlo analyses of shielding, activation and external exposure for BNCT using near-threshold ^{7}Li(p,n) neutrons

*中尾 徳晶[1]，小迫 和明[1]，林崎 規託[2]，片渕 竜也[2]，古林 徹[3]
[1]清水建設(株)技術研究所，[2]東京工業大学原子炉工学研究所，[3]マックスメディカル株式会社

しきい値近傍 ^{7}Li(p,n)中性子を用いた BNCT 装置である循環型液体 Li 標的治療施設を模擬して、MCNP5 モンテカルロコードを用いた放射線輸送計算を行い、遮蔽・放射化・全身被ばく量を評価した。

キーワード：モンテカルロ法、BNCT、遮蔽、放射化、全身被ばく、^{7}Li(p,n)中性子、しきい値近傍

1. 緒言

加速器を用いたホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の装置開発[1]にあたり、高エネルギー中性子発生の少ない Li 標的しきい値近傍反応を用いた放射線輸送計算を MCNP5 モンテカルロコードにより行った。

2. シミュレーション

2-1. 線源

液体リチウム 0.5mm 厚の薄膜を模擬し、陽子を照射した。陽子エネルギーは 1.92MeV(σ =20keV)、電流値は 10mA とし、^{7}Li(p,n)反応による中性子エネルギースペクトル角度分布は C.L.Lee らが評価したデータ[2]を用いた。また、^{7}Li と陽子の反応による 478keV および 17.64MeV γ 線を各生成率で等方に発生させた。

2-2. 遮蔽

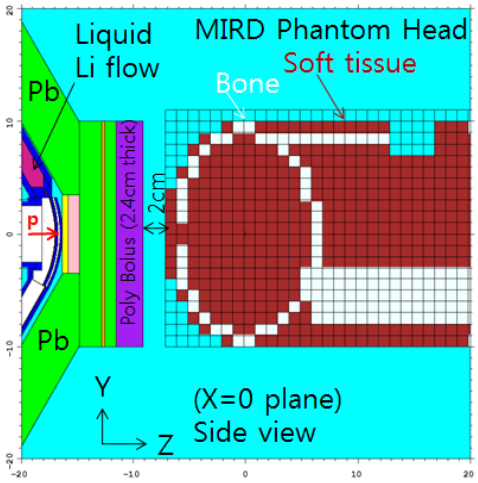
施設はポリエチレン(Poly)10cm 厚、ホウ素入りポリエチレン(B-Poly)10cm 厚、鉄 40cm 厚で構成した。Poly および B-Poly で熱外中性子が効率よく減衰し、B-Poly で熱中性子が捕獲吸収され、中性子捕獲γ 線は鉄で吸収される。壁断面図に沿った放射線毎の減衰分布を算出し、管理基準に応じた遮蔽厚の最適化を行った。

2-3. 放射化

遮蔽計算において MCNP5 コードで評価した中性子束分布を入力値として、DCHAIN-SP2001 コードを用いて残留放射性核種分布をターゲット付近と周囲のステンレス(SUS)、鉛遮蔽部分に関して計算した。この結果を再び MCNP5 コードでγ 線輸送計算を行うことによりビーム停止後の空間線量率を評価した。最初の 1 日までで最も大きな寄与となる核種は、SUS に生成した ^{56}Mn(半減期 2.6 時間)であった。

2-4. 全身被ばく

図のように MIRD ファントムを遮蔽体系に組み込んで放射線輸送計算を MCNP5 により行った。各臓器・組織における中性子およびγ 線によるエネルギー付与から物理線量[Gy]を算出し、これに RBE(中性子 2.5、γ 線 1.0)を乗じて各臓器・組織毎の RBE 線量(生物学的吸収線量)を算出した。ICRP2007 年勧告における評価対象臓器と組織荷重平均の方法を利用して RBE 線量の組織荷重平均を算出し、全身被ばく量を評価した。



参考文献

[1] 古林徹他，電気学会論文誌 C Vol.134, No.9 (2014) pp1406-1413.
[2] C. L. Lee and X. -L. Zhou, Proc. 15th Int. Conf. on the Application of Accelerators in Research and Industry, p.227 (1999).

*Noriaki Nakao[1], Kazuaki Kosako[1], Noriyosu Hayashizaki[2], Tatsuya Katabuchi[2] and Tooru Kobayashi[3]
[1]Shimizu Corporation, [2]Tokyo Institute of Technology, [3]Max medical Co. Ltd.