

可搬型加速器中性子源 RANS-II の遮蔽性能研究

Study on shielding performance for an accelerator-driven transportable neutron source

*橋 雅人¹, 小林 知洋², 池田 裕二郎², 羽倉 尚人¹, 河原林 順¹, 大竹 淑恵²
¹東京都市大学, ²理化学研究所

インフラ構造物の劣化診断技術要請に応えるため理化学研究所の加速器小型中性子源 RANS(RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Source)を用いた中性子の診断技術開発が進められている。屋外作業となるインフラ構造物劣化診断には、更なる中性子源の小型化が必須であり、可搬型中性子源のプロトタイプ RANS-II の開発が開始された。RANS-II の線源ステーション部に着目し、ターゲット周辺の構造材および遮蔽評価を行った。

キーワード：可搬型加速器，中性子源，モンテカルロ粒子輸送計算，放射線遮蔽

1. 緒言

RANS-II は、Li ターゲットに 2.49MeV 陽子を入射し ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応で中性子を発生させる。この反応は比較的低い陽子エネルギーで中性子発生が可能で、発生する中性子エネルギーが低く、遮蔽体を含めて中性子源全体重量を小さくできる利点がある。そこで、本研究では、粒子輸送計算コード PHITS[1]による系統的な計算により線量率低減と遮蔽体軽量化の観点から検討評価を行い、遮蔽体性能を最適化することを目的とする。

2. 計算・遮蔽評価

RANS-II では、直径 2cm、厚さ 80 μm の Li ターゲットに 2.49MeV の陽子線を照射し、中性子を発生させる。Li ターゲットから発生する中性子線源の特性を確認するため、ターゲット中心から半径 10cm 離れた位置に、0 度から 90 度まで 30 度おきに表面積が 4cm² の仮想検出器 4 台を置きそれぞれの角度の中性子スペクトルを求めた(図 1)。

次に、発生する中性子線と中性子の反応によって発生するガンマ線を効率的に遮蔽するために必要な材料を選択した。選択では材料の中性子の減速・吸収および γ 線の減衰特性を考慮した。遮蔽構造は柔軟性を考慮してターゲット周辺を覆う多層体とした。遮蔽の最適化では各材料の厚さ、配置をパラメータとして中性子線、 γ 線、それぞれの寄与と全線量の評価を行った。また ICRP による線量限度 (12.5[$\mu\text{Sv/h}$]) を参考に、遮蔽材表面が 10[$\mu\text{Sv/h}$]以下となる線量を目指とした。一方、全体重量はできるだけ軽量化を意識して標準的な中型トラックの積載量である 6.5[t]以下を目指とした。

3. 結果・考察

図 1 より発生中性子は、陽子入射方向に沿って前方性が高く、角度の増加に従って中性子エネルギー及びその強度は小さくなった。ターゲットの前方は中性子ビーム取り出し部である厚さは必要であるが、中性子源としての外部に対する遮蔽能力は 90 度方向の評価が妥当である。その強度は前方と比べて約 8 分の 1 であった。

遮蔽材料は、減速能の高いポリエチレン、熱中性子の吸収効率の高いボロン及び γ 線の吸収効率の高い鉛を選択した。遮蔽体構成は、Li ターゲットを中心に、5cm を単位厚さのボロン入りポリエチレン(BPE)と鉛(Pb)の層を合計 6 層として配置と厚さを 4 つのケース(case1-4)について外側線量と総重量をパラメータとして最適化した。図 2 の結果を示す。内側から第 1,2 層(BPE)、第 3 層(Pb)、第 4,5 層(BPE)、第 6 層(Pb)の構成(case3)が最適であることが示された。

参考文献

[1] Tatsuhiko Sato et.al, Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.07, J. Nucl. Sci. Technol.2018

*Masato Tachibana¹, Tomohiro Kobayashi², Yujiro Ikeda², Naoto Hagura¹, Jun Kawarabayashi¹ and Yoshie Otake²
¹Tokyo City Univ, ²RIKEN

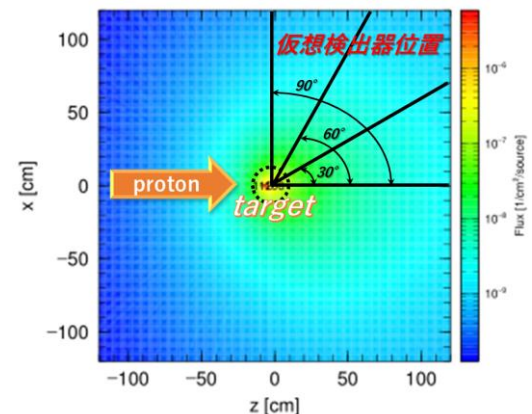


図 1：陽子線照射時の中性子スペクトル

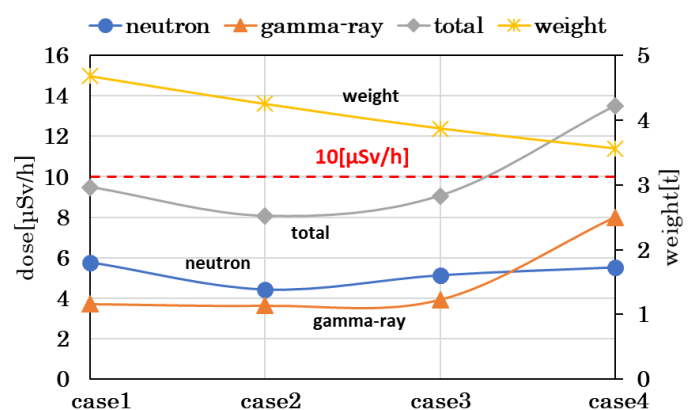


図 2：各ケースの表面線量率及び重量