

加速器 BNCT における医学物理の基礎知識

田中浩基、櫻井良憲、鈴木実、増永慎一郎、丸橋晃、小野公二

京都大学原子炉実験所

1951 年に世界で初めて BNCT の臨床研究が実施されてから、これまでに研究用原子炉を用いて約 1000 例の BNCT の臨床研究が実施されてきた。一方で、研究用原子炉の老朽化による休止、都市部へ新規で設置できないことから、1980 年代から BNCT 用加速器中性子源の研究開発が世界の多くの研究施設で行われてきたが、医学物理的な装置開発を行う際に以下の課題があり実現に到っていなかった。

BNCT 用加速器中性子源を設計する際に考えるべき要素は、ターゲットにおける中性子発生量、ターゲットの熱負荷、ターゲットの健全性、システムの放射化、熱外中性子生成のための減速体系などである。中性子発生ターゲットの種類としてはリチウム、ベリリウム、タンタル(などの重金属)が候補として挙げられる。一方、陽子のエネルギーは低エネルギー陽子($<3\text{MeV}$)、中エネルギー陽子($3\text{MeV} < \text{陽子エネルギー} < 8\text{MeV}$)、高エネルギー陽子($>8\text{MeV}$)に分類される。低エネルギー陽子とリチウムを用いる方式はターゲットにおける発生中性子のエネルギーが低いため、低放射化かつコンパクトな減速体系を形成することが可能である。しかしながら、ターゲットにおいて発生する中性子量が少ないため大電流の加速器が必要となる。これによりターゲットの熱入力が大きくなる。またリチウムは融点が 180 度と低いため、ターゲットの熱負荷を低減させる技術が非常に重要となる。さらにターゲット内での陽子の飛程が短いためブリスターリングを克服する必要がある。中エネルギー陽子を用いる場合、リチウムよりも反応断面積が大きいベリリウムがターゲットとして用いられる。また、ベリリウムはリチウムよりも高い融点、高い中性子発生量、高い熱伝導度を持つ。このエネルギー領域の陽子を用いるメリットは発生する中性子のエネルギーが、高エネルギー中性子による核反応断面積のしきいエネルギーよりも低いため、減速体系の放射化が少なくて済むことである。一方、発生する中性子が低いため、大電流の加速器が必要となる。さらに、ブリスターリングを克服する工夫が必要となり、未だに上記システムは実現していない。

京都大学原子炉実験所と住友重機械工業株式会社は上記課題を克服可能な手法として高エネルギー陽子とベリリウムターゲットによるシステムの開発に成功し 2012 年に世界で初めて加速器による BNCT の臨床試験を開始した。

本講演では BNCT 用加速器中性子源の特徴と現状、さらに京都大学原子炉実験所に設置された BNCT 用加速器中性子源の詳細について紹介したい。