

## IV BNCT開設予定施設・研究施設からの報告

## 2. 筑波大学の「iBNCTプロジェクト」

熊田 博明 筑波大学医学医療系生命医科学域

## iBNCTプロジェクト

筑波大学は、国の特区事業“つくば国際戦略総合特区”（2011年度～）の一環で、研究機関、企業および自治体などと連携し、産官学の研究開発プロジェクト「iBNCTプロジェクト」を発足し、ホウ素中性子捕捉療法（boron neutron capture therapy：BNCT）の確立・普及に寄与し、次世代型BNCT治療装置の開発・実用化をめざした研究開発を実施している。iBNCTプロジェクトには、筑波大学を筆頭に高エネルギー加速器研究機構（以下、KEK）、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）など、加速器・原子力関連の研究機関（アカデミアグループ）、東芝エネルギーシステムズなどの放射線治療装置メーカーや、地元の放射線・原子力に関連する企業および茨城県、つくば市が参画している。

現在世界では、多くのBNCT用加速器中性子源の開発研究が行われており、プロジェクトごとに加速器の形式、中性子の発生方法などが異なっており、いまだ統一化、標準化されていない。この状況において、iBNCTプロジェクトでは、「病院内で一般の医療従事者が簡便に実施できるBNCT」をコンセプトに、これを実現するための技術的な目標として、「原子炉に匹敵する大強度の中性子ビームの発生」かつ「装置の低放射化」を掲げた。具体的な数値目標としては、中

性子強度の観点では「ビーム孔位置での熱外中性子束を $1.5 \times 10^9$  (n/cm<sup>2</sup>/s)以上」もしくは「生体内の最大熱中性子束を $2 \times 10^9$  (n/cm<sup>2</sup>/s)以上」を目標とし、さらに、低放射化に関する目標としては「照射終了後に照射室に入域した際のビーム孔周辺（患者周辺）の残留放射線量を $100 \mu$  Sv/h以下」をめざすこととした。このコンセプトを実現するため、2011年からBNCT治療装置・実証機的设计、製作を実施している。加速器および中性子発生技術の設計・開発は、KEKが中心となって行い、発生した中性子を治療に適用可能なビームへと形成する技術、遮へい設計などは、原子力機構と連携して設計・製作を行った。

## リニアックベースBNCT治療装置・実証機

iBNCTプロジェクトでは前述の開発コンセプトを実現するため、まず、最適なパラメータの検討を行い、つくば型BNCT装置・実証機「iBNCT001」（開発コード）の設計を行った。BNCT治療装置のキーとなる中性子発生方法に関しては、まず、中性子発生用標的材としてベリリウムを採用した。続いて、このベリリウムに入射する陽子ビームのエネルギーと電流値を設定した。ここで、標的材料にベリリウムを用いる場合、ベリリウムに入射する陽子のエネルギーが高くなればなるほど、発生する中性子の最大エネルギーも高くなり、これにより

装置の放射化につながってしまう可能性が生じる。一方、陽子エネルギーが低すぎるとベリリウムから放出される中性子の発生効率が低下するため、大電流の陽子をベリリウムに打ち込まなければならず、ベリリウムの熱除去対策とブリストリング回避などの課題が生じる。これらを踏まえ、当プロジェクトでは、入射する陽子のエネルギーを8MeVに設定した。そして、陽子の平均電流値は5mA以上に設定した。この陽子エネルギーと電流値、そして、ベリリウムとの組み合わせによって、掲げたコンセプト「装置の低放射化」と「原子炉に匹敵する大強度の中性子ビームの発生」を実現できると考えた。最後に、平均電流5mA以上の陽子を8MeVまで加速できる加速器形式として、直線型加速器（以下、リニアック）を採用することとした。このリニアックの開発においては、すでに研究用・産業用の大強度加速器として長年の運用実績のあるJ-PARCのリニアックの基盤技術を応用することとし、同加速器の先端部分のリニアックは、RFQ（radio frequency quadrupole）形式リニアック1台とDTL（drift tube linac）形式リニアック1台の計2台で構成されるBNCT専用リニアックを設計・製作した。表1に、iBNCT001の主な仕様を示す。また、図1には、iBNCT001のリニアック（右：RFQ形式リニアック、左：DTL形式リニアック）を示す。

開発整備したiBNCT001は、茨城県が所管するいばらき量子ビーム研究セン