加速器・ビーム科学部会セッション「東北地方における加速器応用技術の展開」

（2）山形大学医学部重粒子線がん治療プロジェクトの現状

(2) Current Status of Heavy Ion Radiotherapy Project of Yamagata University Faculty of Medicine

*岩井 岳夫[1]，後藤 彰[1]，根本 建二[1]，山下 英俊[1]，久保田 功[1]，嘉山 孝正[1]

[1]山形大学医学部

1. 背景

重粒子線がん治療は、ヘリウムより重いイオンを数百 MeV/u 程度まで加速して腫瘍に照射し、がん細胞を死滅させる根治治療法であり、現在ではほとんどの場合炭素イオンを用いて治療が行われている。重粒子線に固有の利点としては、X線や陽子線に抵抗性のがんにも効果が高いこと、分割照射回数が少ないこと、散乱の少ないシャープな線量分布などが挙げられる。この治療法は米国のローレンスバークレー国立研究所で研究が始まったが、千葉市にある放射線医学総合研究所（放医研）の HIMAC(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)で大きく発展を遂げた。現在では世界で 10 施設（国内 5 施設）が稼働中で、治療人数では日本が 80%以上を占め、この分野では日本が完全に世界的なイニシアチブを握っている状況にある。また産業として見ても日本の大手電機メーカー３社が技術的に先行しており、重粒子線治療を国際的に普及させることは、大幅な輸入超過が続いている医療機器の輸出増を目指す国の方針に沿ったものと言える。

こうした背景を踏まえ、山形大学では東北地方初の重粒子線がん治療施設の設置を目指し、約 10 年前から活動を続けてきた。2012 年度に学長が医学部だけのプロジェクトから全学挙げてのプロジェクトに格上げしたところから設置活動が本格化し、2012 年度と 2013 年度補正予算で研究開発費が措置され、省エネルギー・省スペース・容易なオペレーション・廃棄物低減の４つのコンセプトを掲げた「総合病院接続型・国際展開モデル」としての次世代型重粒子線がん治療施設に繋がる研究開発を実施した。2015 年度文部科学省予算において本体装置および建屋の設置のための予算が正式に認められ、現在建屋の設計作業を進めており、2016 年度中には建物の施工に着手する予定である。現計画では平成 30 年度に建物と装置が設置され、平成 31 年秋の治療開始を目指している。

2. 装置の構成

加速器は群馬大学重粒子線医学研究センター用に開発された普及型小型シンクロトロンをベースとしているが、設置に必要な建築面積を最小化するため加速器を地下に配置し、治療室を２階に配置する立体的配置を採っている（図１、重粒子線施設初）。これにより従来の設置面積 3000m^{2}から 2000m^{2}までの縮小を実現する。基本仕様を表１に示し、以下にその構成について概略を述べる。

2-1. 入射器

入射器はシンクロトロン本体の内側に配置される。イオン源は先行施設同様 ECR イオン源で、RFQ と DTL で 4MeV/u まで加速して、ストリッパーで C^{6+}に変換してからシンクロトロンに入射する。

2-2. シンクロトロン

シンクロトロンは前述の群馬大学や神奈川県立がんセンター重粒子線治療施設(i-ROCK)と同様の周長で、最大加速エネルギーは 430MeV/u である。先行施設に比べて省エネルギー化や電源の省スペース化が図られたものになる予定である。

2-3. スキャニング照射装置

本施設では従来の重粒子線治療施設で実施されてきた拡大ビーム法を採用せず、放医研で開発されたペンシルビームスキャニング方式を採用している。これにより、線量分布の向上、補償フィルタや患者コリメータなど患者毎の部品/廃棄物の大幅な削減、建物遮蔽条件の緩和などの改善が期待される。また、深さ方向のビーム調整に挿入物を使用せず、加速器のエネルギー変更のみにて調整する。

2-4. 超伝導回転ガントリー

今年 1 月に放医研において世界で初めて超伝導電磁石を使用した重粒子線治療用 360° 回転ガントリーが完成したところであるが[1]（重粒子線用ガントリーとしては常伝導電磁石を用いたハイデルベルク大学に次いで 2 基目）、本施設では 2 号機となる超伝導 360° 回転ガントリーが設置される。放医研の初号機に比べて更なる小型軽量化が図られ、初号機の 300t を大幅に下回るものになる予定である。

図 1　山形大学医学部重粒子線治療施設　主要構成機器の配置図[2]

表 1　山形大学医学部重粒子線治療装置の基本仕様

加速イオン	C^{6+}
加速粒子数	3×10^{9} ppp 以上
出射ビーム強度	3×10^{7}～1×10^{9} pps 可変
出射エネルギー	50～430MeV/u（可変）、約 600 階調
シンクロトロン周長	63.3m
シンクロトロン偏向電磁石磁場	1.5T 程度
繰り返し周期	最短 6 秒以下、最大フラットトップ時間 30 秒以上
エネルギー変更時間	200ms （飛程 0.5mm ピッチあたり）
スキャニング方式	呼吸同期可能な高速スキャニング
スキャニング速度	水平 80mm/ms 以上、垂直 40mm/ms 以上
回転ガントリーエンドリング直径	約 5.5m
回転ガントリー回転角	±180°
回転ガントリー位置決め精度	±0.2°

出典

[1] 放医研プレスリリース http://www.nirs.go.jp/information/press/2016/01_08.shtml

[2] 東芝プレスリリース http://www.toshiba.co.jp/about/press/2015_11/pr_j1001.htm

*Takeo Iwai[1], Akira Goto[1], Kenji Nemoto[1], Hidetoshi Yamashita[1], Isao Kubota[1] and Takamasa Kayama[1]

[1]Yamagata Univ. Faculty of Medicine