

重粒子線治療施設に適用される東芝の先進技術

Application of Toshiba's Advanced Technologies to Heavy-Ion Radiotherapy Facilities

小野 通隆 平田 寛 矢澤 孝

■ ONO Michitaka ■ HIRATA Yutaka ■ YAZAWA Takashi

近年、高齢化と医療診断技術が進んだことでがんと診断される患者数が増加するなか、重粒子線を用いた治療への関心が高まるとともに治療施設の数も増えつつある。

東芝は、長年培ってきた加速器技術を基盤に重粒子線治療装置の事業化を推進してきた。これまで、主に独立行政法人放射線医学総合研究所（以下、放医研と略記）の治療施設整備に参画してきた。更に、地方独立行政法人神奈川県立病院機構 神奈川県立がんセンター（以下、神奈川県立がんセンターと略記）の重粒子線治療装置を受注し装置一式の開発を進めている。放医研施設用に当社の特長である3次元高速スポットスキャンニング照射、ロボットアーム型治療台、及び治療情報システムなどの次世代重粒子線照射システムを開発し導入した。神奈川県立がんセンターにも適用する。今後、回転ガントリなどの新技術も加え、重粒子線施設の国内外への普及に向けて更に貢献していく。

With the increase in cancer patients due to the growth of the elderly population and improvements in diagnostic technologies in recent years, attention is being increasingly focused on heavy-ion radiotherapy and the number of treatment facilities is also increasing.

Toshiba is promoting the development of heavy-ion radiotherapy equipment based on its proprietary technologies cultivated through its experience in the development of accelerator technologies. We have been participating in the development of heavy-ion radiotherapy facilities for the National Institute of Radiological Sciences (NIRS), and have developed three core technologies for next-generation heavy-ion radiotherapy systems: a three-dimensional (3D) scanning irradiation system, a patient handling system using a robot arm-type treatment table, and a treatment information system. In addition to these, we are developing other new technologies including a rotating gantry technology. We have also received orders for equipment for a heavy-ion radiotherapy facility at the Kanagawa Cancer Center called i-ROCK (Ion-beam Radiation Oncology Center in Kanagawa), and have been developing equipment for that facility.

1 まえがき

高齢化社会の進行により、日本人のがん患者は増加を続け、高度がん治療への要望は拡大している。種々ある治療方法のうち放射線治療は、身体的負担を患者に掛けず高い生活の質（QOL：Quality of Life）を実現することができるものとして、年々増加している。その中でも、重粒子線治療は、X線や陽子線に比べて正常組織への影響の少なさ及び治療効果の高さから、その期待が高まってきている。

東芝は、重粒子線治療装置の根幹となる加速器技術、及びビーム制御技術に長年携わり、国内外の加速器システムを構築してきた。これらの技術と実績を基盤として、重粒子線治療装置事業を推進しつつある。

現在、放医研及び神奈川県立がんセンター 重粒子線治療施設（i-ROCK：Ion-beam Radiation Oncology Center in Kanagawa）の施設整備に取り組んでいる。

放医研では、新治療研究棟のE、F治療室に、先進技術である高速スキャンニング照射、ロボットアーム型治療台、及び治療情報システムを組み込み、患者と医療スタッフに優しい治療室として整備した。更に、超電導電磁石を用いて軽量化を実

現した回転ガントリを重粒子線施設として初めて導入する計画を進めている。また、重粒子線棟でも、治療情報システムを導入して、新治療研究棟と合わせた5治療室を同時に管理できるシステムを稼働させている。

当社は、重粒子線治療装置一式を受注する最初の施設として、i-ROCK向け装置を2011年12月に受注した。当社基盤である加速器技術を最大限に活用し、放医研 新治療研究棟の開発で築き上げた差異化技術を採用するとともに、患者位置決めなどの新技術も開発する。2015年度の治療開始に向けて、設計を進めている。

ここでは、これら2施設への重粒子線治療装置導入とその技術について述べる。

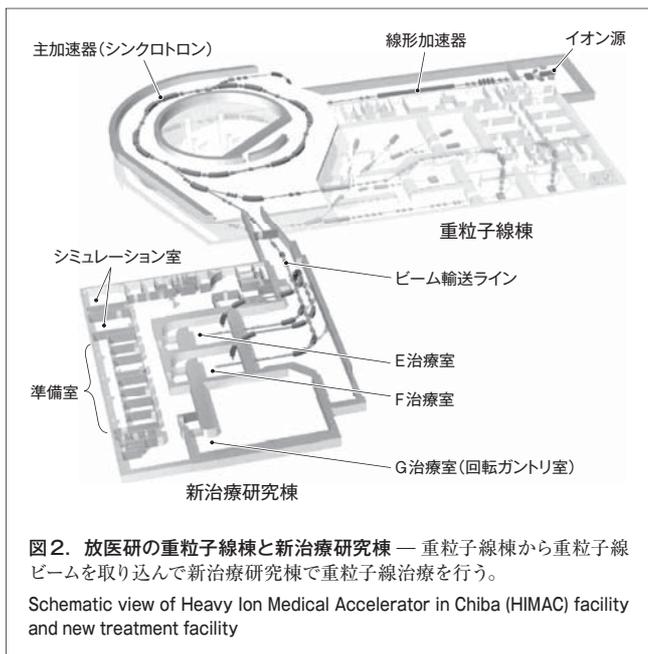
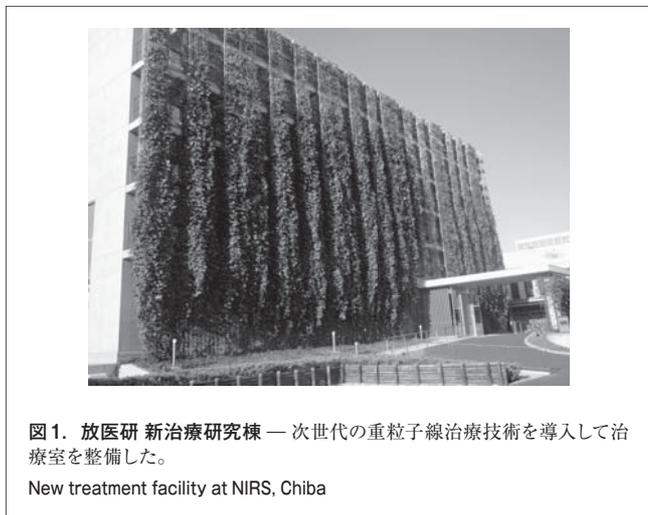
2 放医研での東芝先進技術の深耕

2.1 概要

放医研 重粒子医科学センター病院は、放射線診断・治療に関する臨床試験及び先進医療が行われている。病院に併設された重粒子線を用いたがん治療装置HIMAC（Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）は、1994年6月に建設された

世界で初めての重粒子線治療のための装置である。これまでに7,000件を超えるがん治療実績があり、優れた治療効果に加えて、早い社会復帰ができるなど高いQOLを提供できる治療方法として世界からも評価を得ている。

更なる治療向上と広範の普及を目指すことが放医研のミッションでもある。次世代の重粒子線治療技術を目指して取り組んだ成果が、新治療研究棟に取り入れられている。新治療研究棟は、2010年に竣工（しゅんこう）し、その後約1年間を掛けて治療室を整備した。新治療研究棟の外観を図1に、重粒子線棟と新治療研究棟の構成を図2に示す。新治療研究棟の地下2階に治療エリアが配置され、治療室3室、シミュレーション室2室、及び準備室などで構成される。治療室は、水平・垂直固定照射ポートの2室（E、F室）及び現在整備中の回転ガントリ室（G室）が用意されている。2011年5月から



臨床試験による治療が開始され、2012年9月から先進医療による治療へと移行した。

2.2 東芝の取組み

当社は、重粒子線棟の開発に対して、主加速器（シンクロトロン）の高周波加速空洞、真空排気系、及びビーム輸送系電磁石を納入した。

また、新治療研究棟に対して、ビーム輸送ラインから治療室に至るまでのほとんどの整備に関与した。特に次世代の重粒子線治療技術として、高速スキャンニング照射、ロボットアーム型治療台、及び治療情報システムを放医研と共同で開発し、治療室整備に導入した。

2.3 次世代の重粒子線治療技術

2.3.1 高速スキャンニング照射

重粒子線棟の主加速器で光速の約70%まで加速された重粒子線は、ビーム輸送系を経て各治療室に導かれる。そこで、患者の患部の形に合わせて重粒子線ビームを照射する。開発した高速スキャンニング法を図3に示す。細いビームを高速に動かし、がん病巣の形に合わせて塗りつぶすように照射する方法である。従来の、ビームを広げた後コリメータ（水平及び垂直方向の調整）や補償フィルタ（深さ方向の調整）を用いて形状に合わせる方法と異なり、より正確に患部の形状に合わせることができる。また、高速照射であるため、呼吸により移動する部位でも位置の変化を捉えて照射することができる。放射線量の集中性を更に高められることから、治療時間の短縮につながる画期的な照射方式である。

また、ビーム照射する際に患者体内の深さ方向距離（飛程）を調整する必要がある。従来は、図3に示すレンジシフトを通過させて調整する手法を用いていたが、ビームが多少散乱する欠点があった。最新の方式では、ビームエネルギーを変化させる制御とレンジシフトを組み合わせるハイブリッド方式を採用することでより質の高いビームを得ている。

2.3.2 ロボットアーム型治療台

治療室に対する当社のコンセプトである“患者に優しく、より効率的な治療”を実現するため、次世代型患者移動システムとしてロボットアーム型

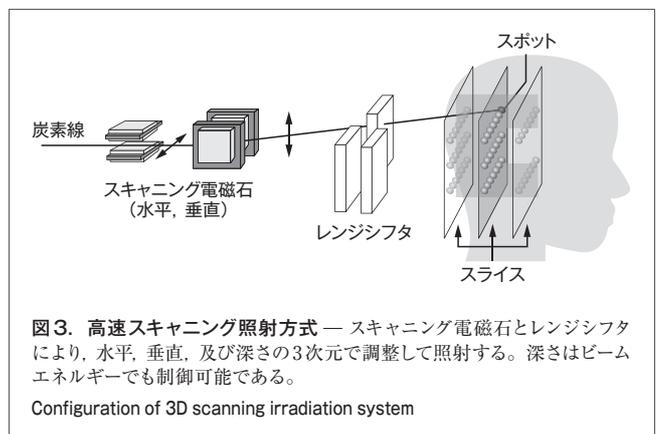




図4. ロボットアーム型治療台 — 位置決め時間の短縮で、患者及び医療スタッフの負担を低減できる。
Robot arm-type treatment table

治療台を開発した。治療室で行われるプロセスの中で、治療照射に費やされる時間は1～2分程度であり、多くの時間は患者の治療台への乗降と患者の照射位置への位置決めで費やされる。この時間を短縮することが患者の負担低減になり、また病院側にとっては効率的運用につながる。

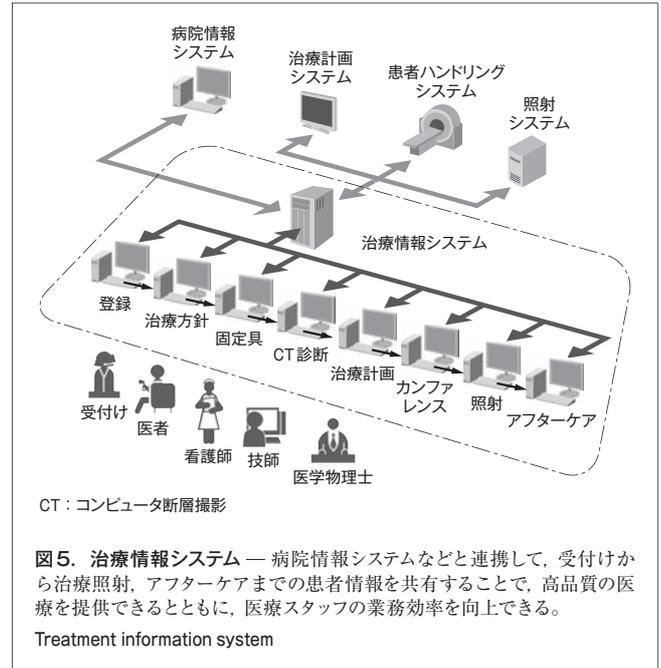
治療室に設置したロボットアーム型治療台を図4に示す。水平方向に大きく移動できる水平多関節型で、関節部を水平方向に移動させることで治療に携わる医療スタッフの移動スペースを確保でき、使いやすく安全な形態にしている。治療台は、患者の頭頂部から股関節までの範囲を照射ポートに対して任意の向きに設定できる。X線で測定したターゲット位置に対するずれ量を基に位置決めソフトウェアで制御して再移動することで、高精度な位置決めを可能にしている。

2.3.3 治療情報システム 治療情報システムのイメージを図5に示す。このシステムは、患者の受付から治療照射までの一通りの治療の流れの中で、時々刻々変わる患者情報をスタッフ全員が共有することで、各スタッフの業務効率を向上させ、高品質の治療を多くの患者に提供するものである。また、治療部位及び治療計画の異なる様々な患者に対して、最適なタイミングで、より多くの患者が治療を受けられるようにするためのスケジューリング機能を持っている。この治療情報システムは、今後の重粒子線治療を効率的に安全に進めるために、不可欠なものになると考える。

2.4 次世代回転ガントリへの取組み

新治療研究棟では、G治療室を回転ガントリ室として整備する計画である。回転ガントリは、重粒子線を任意の方向から照射できるようにするもので、従来の固定方向（水平、垂直）からの照射に比べて治療範囲が格段に広がり、患者の負担軽減と治療対象部位の拡大が期待できる。

回転ガントリは、陽子線を用いたがん治療施設では、普及が進んでいる治療設備である。しかし重粒子線は陽子と比べ



て質量が大きいため、粒子を照射ポートに導くビームラインの偏向電磁石の必要磁場が大きくなり、ガントリの大型化を伴うため実用化が進んでいない。

放医研では、超電導電磁石を採用することで、回転ガントリの軽量化を実現し、重粒子線回転ガントリの実用化を進める計画である。当社は、長く培った超電導技術を生かして、設計及び製作に協力していく。

3 神奈川県立がんセンター i-ROCKのコンセプト

3.1 概要

神奈川県立がんセンターでは、現在建設を進めている新病院の一施設としてi-ROCKを導入し、2015年度からの治療開始を目指している。現在整備中の施設を含めて、i-ROCKは国内で5番目の重粒子線治療施設となる予定である。当社は、2011年12月にi-ROCK向け重粒子線治療装置一式を受注した。

i-ROCKの概要を表1に、完成予想図を図6に示す。

重粒子線治療は、診断から始まり、治療計画作成、治療照射、アフターケアまでが一連のフローである。当社は、これらをまとめて使いやすいシステムをつくるため、加速器や、照射系、治療室内機器、診断機器などのハードウェアを構築し、医療スタッフの視点で統合されたソフトウェア（治療情報システム）と連携したシステムを提供する。

3.2 システムのコンセプトと特長

システム構築にあたり、以下をコンセプトに掲げている。

- (1) 患者の心身に優しい、QOLを重視した治療 重粒子線治療が持つ患者の身体に優しい治療に加えて、装置の面からも患者の心身に負担を掛けない治療装置を目指

表1. i-ROCKの概要
Outline of i-ROCK facility

項目		概要
施設	建設地	神奈川県立がんセンター敷地内(横浜市旭区)
	構造	RC造(一部鉄骨造)
	階数	地下2階, 地上1階(地下2階で新病院棟と連絡)
	建築面積	3,000 m ²
	建屋面積	6,500 m ²
装置	線種(種類)	炭素
	最大加速エネルギー	430 MeV/n
	最大照射野	15×20 cm ²
	強度(加速粒子数)	1.2×10 ⁹ pps
	治療室数	全4室(水平:2室, 水平/垂直:2室)
	照射方法	スキャンニング法及びワブラー法



(a) 外観

(b) 施設内部

図6. i-ROCKの完成予想図 — 加速器や、照射系、治療室内機器、診断機器などと治療情報システムを連携させて、患者に優しい重粒子線治療を目指している。

Rendering of i-ROCK facility at Kanagawa Cancer Center

す。治療室への入室から短時間で治療を受けることができ、しかも高精度な治療を行えるシステムを提供する。また、デザインにより心理的負担も軽減する。

(2) 多くの患者の治療が行える施設 限られたスタッフで、多くの患者の治療が行える効率の良い治療装置を提供する。治療スケジュール作成や、カルテ作成、データ一元管理、データ集計・解析などを行う治療情報システムと最新の照射装置及び治療室内機器技術を適用し、年間1,000人以上の患者の治療を可能にする。

(3) 治療、研究、及び人材育成に一体的に活用できる最新技術 重粒子線治療の普及と治療成績の更なる向上に向けて、治療技術の高度化や標準化などの研究が研究機関を中心に進められている。この施設では、重粒子線治療の普及に必要な人材育成や治療技術の向上に貢献する。これらのコンセプトの下、装置には次の特長を持たせる。

(1) 最新の照射技術の適用 2種類の照射方法が取り入れられるが、スキャンニング照射は放医研と共同で開発した実績ある最新の技術を提供する。ワブラー照射^(注1)

(注1) ビームを患部の大きさに以上に広げ、これをコリメータなどで患部の形に合わせて遮る拡大ビーム照射法。

は普及型の技術を組み込む。

- (2) 治療室設備の高度化 放医研で実績のあるロボットアーム型治療台を採用し、X線位置決め装置及びCT(コンピュータ断層撮影)装置と組み合わせた最新設備の治療室にする。
- (3) 治療情報システム 病院情報システムと連携させて、治療開始前の事前段階から治療照射完了まで一貫した治療のフロー管理を実施する。
- (4) 普及型加速器設備 普及型炭素線治療装置をベースとして、入射器(イオン源と線形加速器)及び主加速器(シンクロトロン)を構成し、安定してビームを供給する。
- (5) 患者に優しいデザインを取り込んだ治療環境 患者が安心できる治療室、シミュレーション室、及び固定具室のデザインにするとともに、診察室や、処置室、待合室なども統合したデザインにする。

4 あとがき

がん人口がますます増加する社会において、重粒子線治療への関心は更に高まっていくと推定される。当社は、放医研及び神奈川県立がんセンターでの装置整備の実績を積み、重粒子線治療設備において世界をリードするメーカーを目指す。

今後、超電導による回転ガントリなどの新技術も携え、重粒子線施設の国内外への普及とQOLの向上に向けて、更に貢献していく。

文献

- (1) 白井敏之 他. 次世代重粒子線がん治療システムの現状と将来 — 新治療研究棟における3次元スキャンニング照射臨床試験の開始—. 放射線科学, 55, 1, 2012, p.20-33.
- (2) 神奈川県立がんセンター. “重粒子線治療施設(i-ROCK)”. <<http://kcch.kanagawa-pho.jp/newcenter/heavyion.html>>, (参照2012-12-12).



小野 通隆 ONO Michitaka, D.Eng.

電力システム社 原子力事業部 粒子線プロジェクト部長, 工博。粒子線治療装置の事業推進に従事。日本原子力学会, 電気学会, 低温工学・超電導学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



平田 寛 HIRATA Yutaka

電力システム社 原子力事業部 粒子線プロジェクト部主幹。粒子線治療装置の事業推進に従事。日本加速器学会, 日本機械学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



矢澤 孝 YAZAWA Takashi, D.Eng.

電力システム社 原子力事業部 粒子線プロジェクト部担当部長, 工博。粒子線治療装置の事業推進に従事。電気学会, 低温工学・超電導学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.