

重粒子線治療における 今後の技術革新と東芝の取組み

Toshiba's Approach toward Technological Innovations in Equipment for Future Cancer Therapy

尾崎 章 吉行 健

■ OZAKI Akira ■ YOSHIYUKI Takeshi

重粒子線治療は、今後治療装置の技術革新に伴っていっそう普及が進み、適用可能な患者数も増加していくものと予測される。将来の装置は、超電導を利用した小型加速器及び小型回転ガントリと、動体追尾技術の進歩による超高速・高精度照射技術が実現すると考えられる。更に、診断技術の進歩やクラウドシステムを利用した医療情報連携の発展により、がんの早期発見と先進医療の普及が加速する。

東芝は、重粒子線治療装置の技術革新を継続するとともに、東芝メディカルシステムズ(株)、医療情報システムメーカー、及び建設会社と連携し、地域連携や病院システム全体の提案を視野に入れた活動を進めている。重粒子線治療を一つのコアプロセスとして、がん検診から、診断、治療、アフターケアに至るヘルスケアプロセスをスルーしたトータルシステムを提供することによって、多くの人々がより早くより良い医療環境で暮らせる社会の実現に貢献していく。

With the expanding use of heavy-ion radiotherapy as a result of continuing technological innovations, the number of applicable cancer patients is expected to further increase in the future. Future facilities will be equipped with a compact accelerator and rotating gantry using high-temperature superconducting magnets, and will feature high-speed and high-precision irradiation technology applying advanced tracking technologies. Furthermore, the early detection of cancer and the dissemination of advanced treatment will be accelerated through the progress of medical information coordination using advanced diagnosis technologies and cloud systems.

Toshiba is continuously realizing innovations in treatment equipment and is making efforts to provide integrated system solutions, including for community collaboration and whole hospital systems, in cooperation with Toshiba Medical Systems Corporation, medical information system companies, and facility constructors. By promoting advancement of the health care processes from cancer detection, diagnosis, and therapy to aftercare, our aim is to contribute to the early realization of a society providing a more comfortable medical environment for the largest possible number of people.

1 まえがき

東芝は、がんの早期発見から、的確な診断、患者が望む治療、そしてアフターケアに至るヘルスケアプロセスに対して、有効な装置やシステムを提供することを目指して活動を続けている。そして、これまで開発してきた様々な先端技術や大型プラントのエンジニアリング技術を活用し、治療装置のコアとなる重粒子線治療装置の実用化に取り組んできた。団塊の世代の多くが高齢化し、今後がん患者数もますます増加すると予測される。

そこでここでは、これまでの論文で述べてきた重粒子線治療装置の個々の技術開発を総合して、重粒子線治療装置をコアとする医療の今後の展望、特に2020年に向けて当社が考えるヘルスケアの展望について述べる。

2 照射装置の高性能化

重粒子線の照射技術、及び患部の位置決め技術は、今後ますます高性能化が進むと考えられる。照射技術では、現在の高速スキャンニング照射技術が更に高度化し、ビームのサイズ

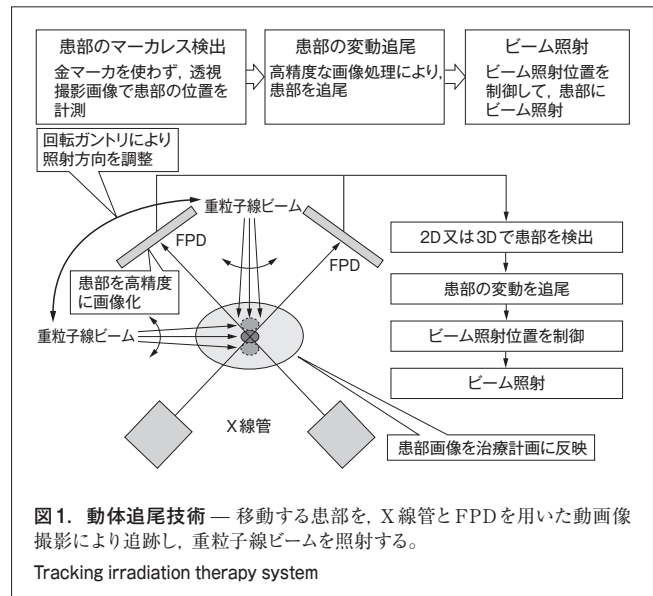


図1. 動体追尾技術 — 移動する患部を、X線管とFPDを用いた動画撮影により追跡し、重粒子線ビームを照射する。

Tracking irradiation therapy system

やエネルギーを高精度かつ高速に制御できるようになる。これらの技術革新により、これまで適用できなかった厳密な照射精度を必要とする臓器のがんや、位置決めが難しい微小がんへの照射など様々な大きさや形状のがんに対して、重粒子線

を精度良く3次元(3D)照射できるようになる。更に加速器及び電源技術の進歩により、超高速スキャンニング照射が実現され、次に述べる動体追尾技術など動く臓器への超高速で高精度な重粒子線照射が可能になる。

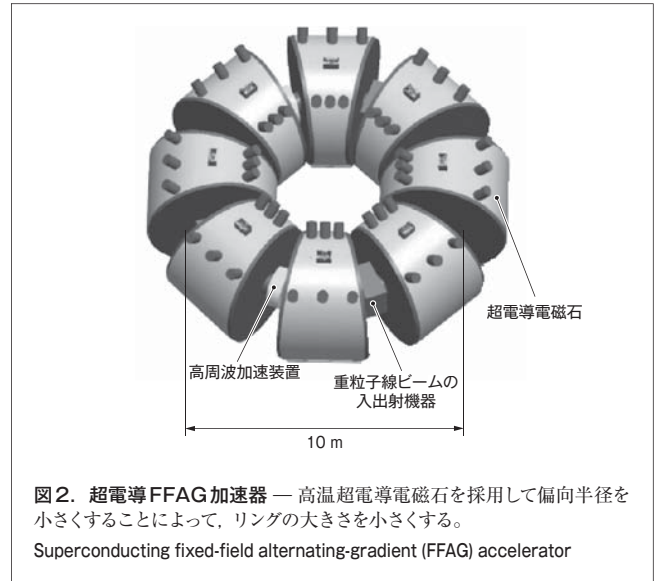
一方、位置決め技術は、高速で高精度な画像処理による自動位置決めシステムが完備され、呼吸などの動きによって変形するがんに対しても、その位置及び形状の変化にリアルタイムで追従できる技術が開発される。この位置決めシステムと前述の高精度・超高速スキャンニング技術を駆使することで、動体を追尾し連続的なビーム照射を行うトラッキング照射法が実用化される(図1)。なお、現在開発中の呼吸同期技術は、患部の位置・形状変化の少ない呼気と吸気が切り替わるタイミングで重粒子線を間欠的に照射するゲーティング照射法であるため、治療時間が通常の連続照射に比べて3倍程度長くなる。

また重粒子線照射の位置決めは、現在の2次元(2D)画像を用いた照合から、3D画像あるいは時間的な変化(動き)も考慮した4次元(4D)画像による照合に移行する。具体的には、X線管とフラットパネルディテクタ(FPD)で得られる静止画像は動画に、あるいは高感度なカラーイメージインテンシファイア(カラーI.I.™)による動画撮影に変更され、より高分解能で高精度なリアルタイム位置決めが行われる。更に、X線CT(コンピュータ断層撮影)装置による3Dあるいは4Dの位置決め技術が進み、患部を3Dの静止画像あるいは動画で処理できるようになり、重粒子線のトラッキング照射に活用される。

3 超電導技術を応用した装置の小型化

重粒子線装置の主加速器は、技術が成熟しているシンクロトロン加速器が主流である。シンクロトロンは、小型化されたとは言え直径約20mのリングであり、この大きさが施設全体の大きさを決めていけると言える。海外では、超電導サイクロトロンによる小型化が計画¹⁾されているが、当社は将来に向けて高温超電導技術を取り入れた固定磁場強集束(FFAG: Fixed Field Alternate Gradient)と呼ばれる加速器システムの採用を検討している。FFAG加速器は、直流磁場(固定磁場)を用いて、大強度で短バンチ(塊)の粒子ビームを得ることができる加速器であり、固定磁場のため超電導化に適した加速器である。超電導FFAGにより、主加速器のリング直径を現在の1/2の約10mにすることができ、施設立地の制約を緩和できる(図2)。また、加速器に用いられる電磁石群は非常に大きな電力を消費するため、電磁石の超電導化は加速器の運転費用を低減するうえでも大きく貢献する。

なお、重粒子線の照射方法の主流になると考えられる高速スキャンニング照射では、深さ方向のビーム到達距離をビームのエネルギーで制御する必要があり、直流を用いるFFAG加速



器でも、ビームのエネルギーを高速で変化させる仕組みが求められる。

更に将来、高温超電導技術の高度化により、超電導技術の課題である冷却能力が改善されると、交流超電導電磁石の使用が可能になる。これによって、現在一般的なシンクロトロンの超電導化も期待できる。

主加速器の超電導化は、主に経済性と普及の観点からの要求であるが、超電導技術の採用で可能になる回転ガントリはがん治療の質を向上させるうえで非常に重要である。回転ガントリを用いて、360°任意の方向から重粒子線を照射できれば、高速スキャンニング照射と組み合わせることで、元来のビーム特性である高い線量集中度が更に向上し、高性能なX線がん治療法であるIMRT(強度変調放射線治療: Intensity Modulated Radiation Therapy)をはるかに超える線量集中度が得られる。独立行政法人放射線医学総合研究所(以下、放医研と略記)では、2011年から5か年計画で超電導回転ガントリの開発が始まっており、当社もこれに積極的に参加している。

4 医療情報連携

がん治療では、がんの早期発見とがん患者のQOL(Quality of Life)の維持が重要であると言われている。これまで当社は、このような観点から様々な医療機器を開発し提供してきた。診断機器として320列Area Detector搭載のCT装置Aquilion ONE™では、空間分解能(0.5mmスライス厚)と時間分解能(1回転0.35秒スキャン)が従来CT装置に比べて格段に高く、複数断面の同時撮影が可能なマルチスライスCT装置を実現した。また、放医研と開発した高速スキャンニング照射装置は、エネルギー可変制御技術も併用することにより、照

射精度を大幅に向上させ、高いQOLが期待できる重粒子線治療の有用性を高めることに貢献した。

将来、これらの機器を最大限に活用し、一人ひとりの患者のQOLを高めるために最良のがん治療を選択できるようにするには、医療情報の効率的な活用が必要である。当社は、重粒子線治療装置向けの治療情報システムを開発し、重粒子線を用いたがん治療フローでの情報管理、及びスケジューリングの最適化を可能にした。今後は、病院全体の患者情報を一元管理したシステムを構築し、診断からアフターケアまで全てをスルーして、患者と医療スタッフの双方にやさしいがん治療環境を提供していくことを目指している。

更に、医療に関わる地域のリソースを有効に活用し、より多くの患者に最適ながん治療を提供する手助けになる仕組みづくりとして、医療情報の病院間連携、地域連携、及びネットワークの構築、地域のがん拠点病院と周辺の総合病院や専門病院との連携、並びにがん患者が最適ながん治療法を選択できる情報提供ネットワークの構築を進めていくことが重要である。

様々なデータを効率良く、しかも高い安全性を保ちつつ連携させるためには、クラウドシステムを導入することが有効である。医療クラウドでは、個々の病院が保有しているハードウェアやソフトウェアをネットワークで共有化することにより、少な

い経費で運用することが可能になる。更に、クラウド上に保管するデータを複数のデータセンターに保管することで、事故や災害によってデータが消失するのを防ぐことができ、緊急時対応としても重要な役割を果たす。このようにメリットの多いクラウド利用であるが、医療に関する個人情報を扱うため、個人情報を保護するためのセキュリティシステムには十分な配慮が必要である。

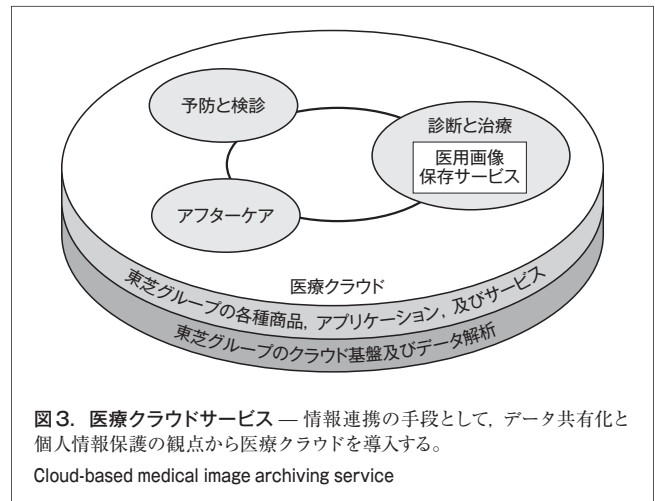


図3. 医療クラウドサービス — 情報連携の手段として、データ共有化と個人情報保護の観点から医療クラウドを導入する。
Cloud-based medical image archiving service

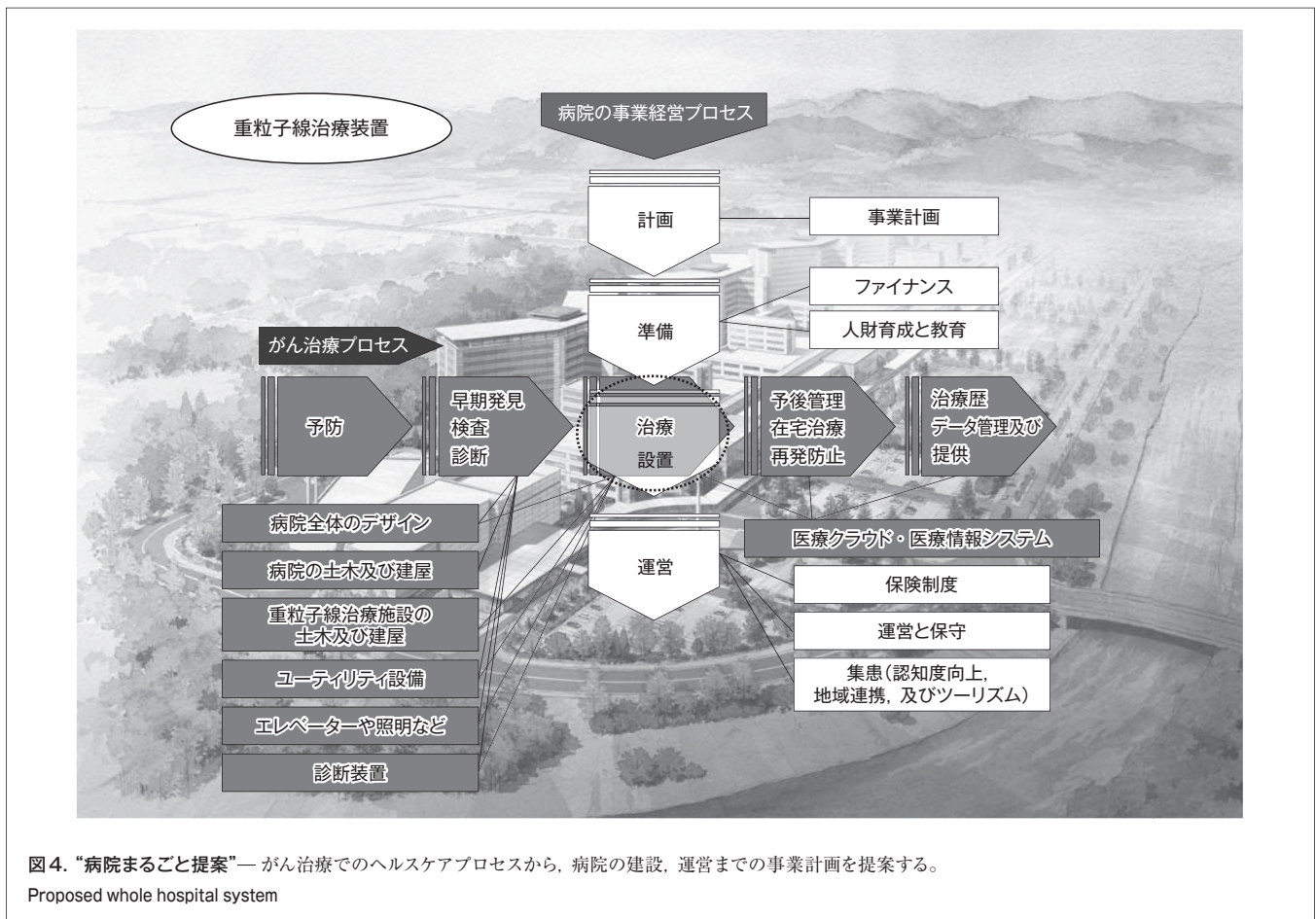


図4. “病院まるごと提案” — がん治療でのヘルスケアプロセスから、病院の建設、運営までの事業計画を提案する。
Proposed whole hospital system

当社は、今後クラウド技術を活用して、グループ及び関連会社が提供する機器や装置、アプリケーション、及びサービスをより使いやすく連携し、地域のヘルスケアを向上させて患者のQOLを可能な限り高めるソリューションを提供していきたい(図3)。

5 ヘルスケアプロセスから“病院まるごと提案”へ

当社は、がん治療の分野で東芝メディカルシステムズ(株)と連携し、がんの早期発見のためのスクリーニングや診断から治療、治療後のアフターケアまで、医療施設でのワークフロー全般に関するあらゆるニーズへのトータルソリューションの提供を目指す。

がんの検出と診断では、MRI(磁気共鳴イメージング)装置や、X線CT装置、超音波診断装置などが不可欠であるが、その画像データを4章で述べた地域連携ネットワークで共有することが可能になる。

がん治療でのヘルスケアプロセスでは、ここまで述べてきた検診から診断、治療、アフターケアの他にも、健康増進や、予防、高齢者を対象にしたがん快癒後の福祉や介護などについてもソリューションを提供していく。

更に当社は、建設会社とも連携し、病院の建築から運営までを視野に入れた提案も考えている。特に、重粒子線治療施設の経験がない海外の事業計画者に対しては、事業計画の作成から、ファイナンスの準備、人材の育成と教育、施設の整備、

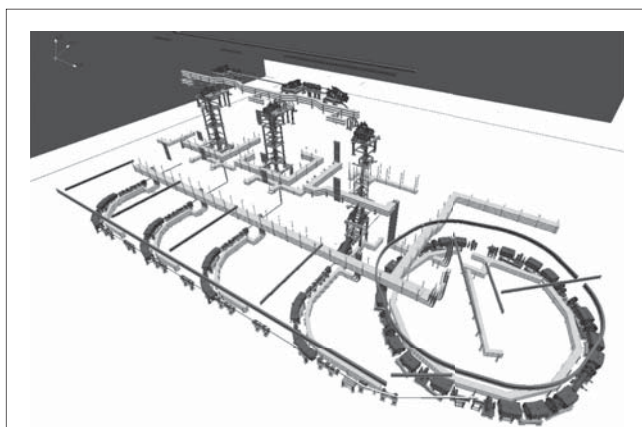


図5. 3D CADによる重粒子線治療装置の配置設計 — 建屋と重粒子線治療装置の3Dモデルを作成して、現地工事計画の最適化を図っている。

Layout of equipment for heavy-ion radiotherapy facility prepared using three-dimensional computer-aided design (3D CAD)

及び運営までを含む“病院まるごと提案”を行い、がん治療の早期立上げと先進医療の普及に貢献していく(図4)。

重粒子線施設では、建屋と装置の全体最適化が重要である。このため、3Dモデルの利用を進めている(図5)。当社は、独自に開発した6DCAD™(3Dモデル+物量+工事人員+工程の6次元化)を適用することで、3Dモデルから計算される物量と工事人員をパラメータとした工事計画の最適化と工事管理を行い、現地工程の信頼性と工事品質の向上を図っている。

6 あとがき

今日では、がんは不治の病として治療を諦める病気ではなく、がんを正しく理解し適切な処置を行うことでQOLを維持し、できる限り仕事を継続しながら、あるいは日常生活を送りながら、通院によるがん治療をすることが普通になりつつある。

当社は2020年に向けて、がん治療の分野で先進的な技術開発を行うとともに、トータルソリューションを提供し、増え続けるがん患者が少しでも高いQOLを維持できるよう活動を続けていく。

文 献

- (1) "IBA sells Prototype of Next Generation Carbon Therapy System". IBA Group Homepage. <<http://group.iba-worldwide.com/iba-sells-prototype-next-generation-carbon-therapy-system>>, (accessed 2012-11-20).



尾崎 章 OZAKI Akira

電力システム社 原子力事業部技監。新型炉、核融合、加速器などの先端エネルギー分野の技術開発及びシステムエンジニアリング業務に従事。日本原子力学会、電気学会、プラズマ・核融合学会会員。

Nuclear Energy Systems & Services Div.



吉行 健 YOSHIYUKI Takeshi

電力システム社 原子力事業部 粒子線プロジェクト部部長代理。重粒子線がん治療システムのプロジェクト管理業務に従事。日本加速器学会、日本原子力学会会員。技術士(原子力・放射線部門)。

Nuclear Energy Systems & Services Div.