

先進技術で貢献する東芝の重粒子線がん治療技術

Toshiba's Advanced Technologies Contributing to Heavy-Ion Radiotherapy for Cancer Treatment

飯倉 隆彦

■IIKURA Takahiko

東芝は、今後成長が見込まれるヘルスケア事業において、がん治療に着目し、がんの定期検診における早期発見から、正確な診断、自分らしい生活の質（QOL：Quality of Life）を実現する治療、アフターケアに至るヘルスケアプロセスの提供を目指している。特に、従来から手掛けてきた粒子線加速器・照射技術、超電導技術、情報処理・情報ネットワーク技術を集積させた重粒子線治療装置の開発をがん治療への取組みとして強化している。その先進重粒子線治療装置を核としたヘルスケアプロセスを提供し、質の高いがん治療の普及に貢献していく。

Toshiba has been focusing efforts on cancer treatment in the healthcare field, which is likely to continue to expand in the future. Our objective is to offer healthcare processes from early detection by means of regular cancer examinations, through to precise diagnosis, treatment ensuring the quality of life (QOL) appropriate to individual patients, and aftercare. In particular, we are promoting the development of heavy-ion radiotherapy systems incorporating our range of technologies for particle accelerators, irradiation devices, superconducting magnets, and information processing and networks. By offering healthcare processes with advanced heavy-ion radiotherapy systems as a core, our approach is expected to contribute to high-quality cancer treatment.

推進されるがん対策

日本人の2人に1人ががんにかかる現在、がんは身近な病の一つになった。がんは不治の病と言われてきたが、現在では、早期発見と適切な治療により治療率が格段に向上している（**囲み記事参照**）。

わが国は、1984年から「対がん10か年総合戦略」、1994年から「がん克服新10か年戦略」を策定し、がん対策に取り組んできた。現在では「第3次対がん10か年総合戦略」を推進し、がん研究の推進及び質の高いがん治療を全国に普及させるための対策を展開している。

東芝は、がんの早期発見から、診断、重粒子線治療装置による治療（**囲み記事参照**）、アフターケアに至るがん治療に関わるヘルスケアプロセスの提供を目指している。

東芝の取組み

当社は、人々の生活を支える社会インフラ事業から命を支える医療分野へ事

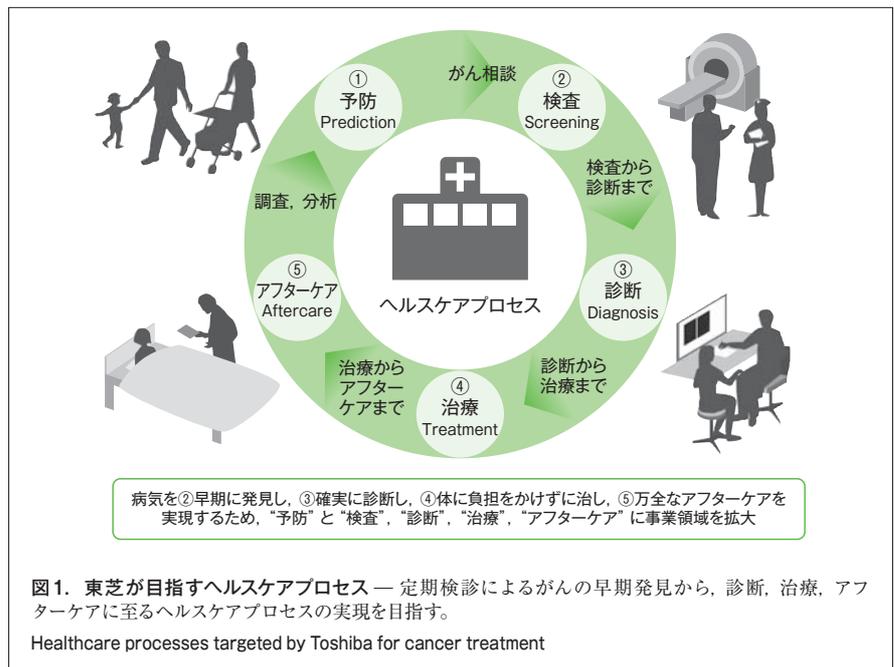


図1. 東芝が目指すヘルスケアプロセス — 定期検診によるがんの早期発見から、診断、治療、アフターケアに至るヘルスケアプロセスの実現を目指す。

Healthcare processes targeted by Toshiba for cancer treatment

業の展開を図っている。社会インフラ事業で培ったプロジェクト管理能力及び先端技術開発力並びに安全管理技術及び情報処理・情報管理技術を基盤に、東芝メディカルシステムズ(株)が持つ診断技術及び医療情報ネットワーク技術を融合し、更に、当社の画像処理技

術やデータ管理技術を重粒子線治療に集積し、適用した先進の重粒子線治療装置を核とするヘルスケア事業の確立を目指している。

当社は、図1に示すように、定期検診によるがんの早期発見から、診断、治療、アフターケアに至るヘルスケアプロ

がん治療法について

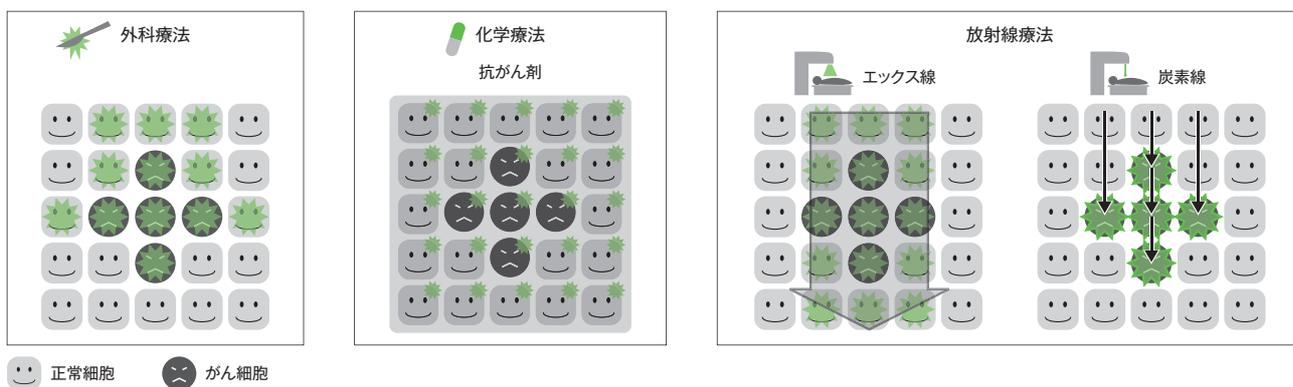
がんの治療法としては外科療法（手術）、化学療法（抗がん剤）、及び放射線療法がある。がんは単に治りさえすればよいというものではなく、その人の社会復帰を十分に考えて、臓器や体の形をあまり損なわないように治療することが望まれる。質の高いがん治療の一つとして注目されている放射線療法では、“がん細胞周囲の正常細胞にはできるだけ少ない放射線線量で、標的

のがん細胞には放射線線量を集中させ、正常細胞をできるだけ損なわないようにする”ことを目指している。

放射線療法は、体にメスを入れる外科療法に比べ身体的負担が少なく、全身療法である化学療法に比べ局所治療ができるため全身への影響が少ない点にメリットがある。放射線療法は外科療法に付随する補助的な治療法ではなく、がんを根治できる

治療法である。特に、重粒子線による治療は、粒子線のエネルギーのピークをがん細胞に合わせることで、正常細胞の障害を少なくすることができる（図A）。

米国では全悪性腫瘍患者の60%が放射線療法による治療を受けているのに対し、日本では20～25%程度に過ぎず、今後、普及していくと考えられている。



図A. 重粒子線がん治療のイメージ—重粒子線は、他の治療法に比べ、正常細胞の障害を少なくすることができる。

セスの実現を提案する。

その中で、当社は加速器の応用事業として、独立行政法人放射線医学総合研究所（以下、放医研と略記）に協力し、次世代の重粒子線治療装置の開発を進めてきた。放医研新治療研究棟に開発した装置を納入して、現在実際の治療が行われており、1日の照射患者数が20名を超える実績を挙げている。

重粒子線治療は、切らずに治せる治療方法の一つで、患者が自分らしいQOLを維持するうえで有効な治療方法として注目を集めている。他の放射線治療に比べ照射回数が少ないため、仕事を持った人でも1日又は半日の休暇を複数回とるだけで、通常の生活を送りながらの治療が可能である。治療にあたっての体への負担が少なく早期の社会復帰が容易な治療方法と言える。

東芝のコンセプト

重粒子線治療装置の技術要素の構成を図2に示す。

当社は、先進の重粒子線治療装置に

よる質の高いがん治療を普及させるために、次のコンセプトの実現を目指している。

- (1) 多くの患者に治療機会を与える。
- (2) 高い治療効果を提供する。

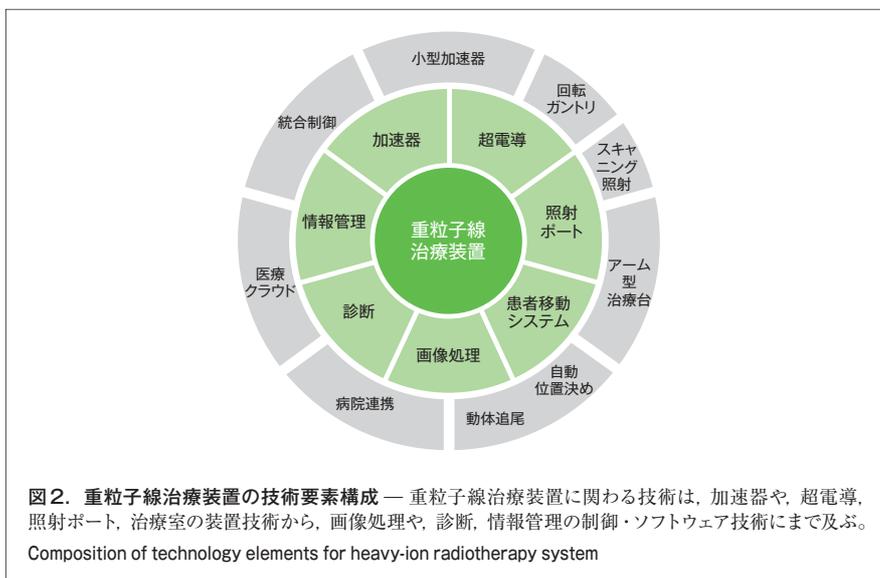


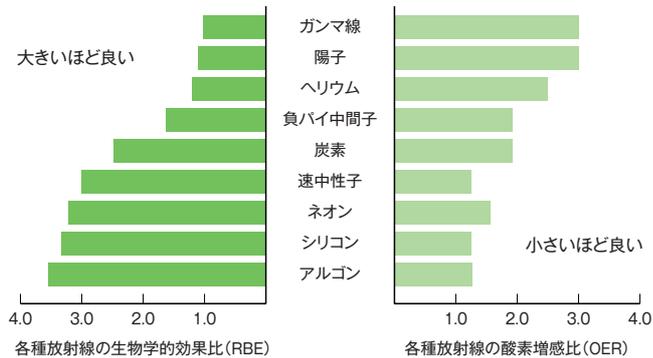
図2. 重粒子線治療装置の技術要素構成—重粒子線治療装置に関わる技術は、加速器や、超電導、照射ポート、治療室の装置技術から、画像処理や、診断、情報管理の制御・ソフトウェア技術にまで及ぶ。
Composition of technology elements for heavy-ion radiotherapy system

重粒子線治療のメリット

現在、世界各地で放射線療法が進められているが、その多くがもっとも軽い陽子（水素イオン）を用いている。ところが、放医研での10年以上の臨床試験を通じて、重粒子線（炭素）は陽子線より生物学的効果が大きいといった優れた性質を持つことが明らかになってきた（図B）。

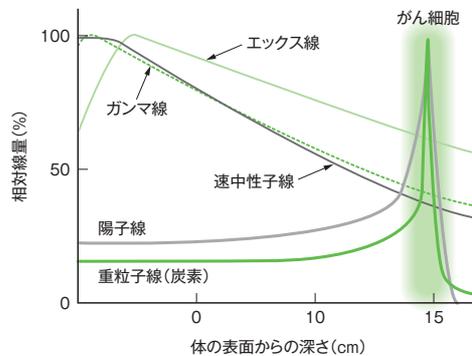
体内に入射した重粒子線は、比較的体表面から深い位置まであまりエネルギーを細胞に与えずに速い速度で通り抜け、途中で急に速度を落として多くのエネルギーを細胞に与えて線量のピークを作り、その後は体内で停止する（図C）。このピークをブラッグピークと呼び、その深さや大きさ、あるいは重粒子線を止める位置は、くさび状のフィルタなどを使って、自由に調節することができる。このため、このピークを標的となるがん細胞に調整すれば、狙った標的に高い線量を集中して効果的に照射することが可能になる（図D）。

現在運転中の重粒子線を使った治療施設は、国内では放医研、兵庫県立粒子線医療センター、及び国立大学法人 群馬大学重粒子線医学研究センターに、海外ではドイツ ハイデルベルグと中国 蘭州の近代物理研究所にある。更に、国内では公益財団法人 佐賀国際重粒子線がん治療財団 九州国際重粒子線がん治療センターと地方独立行政法人 神奈川県立病院機構 神奈川県立がんセンターが、海外ではドイツやイタリアなどの数施設が建設中である。



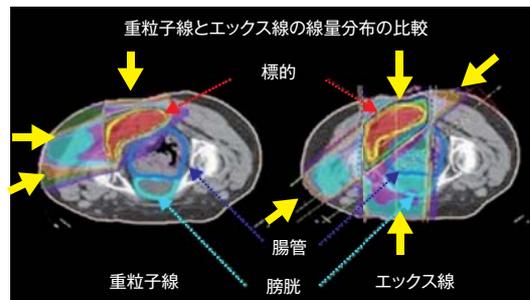
図提供：放医研

図B. 粒子線の効果の比較 — 生物学的効果比は、放射線の生体に対する作用の程度を示すもので、大きいほど効果がある。一方、酸素増感比はがん細胞の放射線に対する感受性の度合いを示すもので、小さいほど効果が期待できる。



図提供：放医研

図C. 重粒子線と他の放射線の体内での線量分布 — 重粒子はエネルギーに応じてある深さで急に線量が強くなるため、ピークの部分をがん細胞に合わせることで、正常細胞の障害を少なくできる。



写真提供：放医研

図D. 重粒子線の優れた線量分布 — 骨盤部のがん細胞に対し、エックス線と重粒子線を照射したときの線量分布を比較すると、黄色線で囲われた標的には、どちらも高線量が照射されていることがわかる。しかし、エックス線では膀胱（ぼうこう）や消化管といった周囲の正常細胞にも照射が加わるが、重粒子線ではこれらを除けることができる。

(3) 患者と医療スタッフに優しい。

これらに基づいて先進の重粒子線治療装置を実現するための技術を開発している。その技術開発内容を図3に示す。

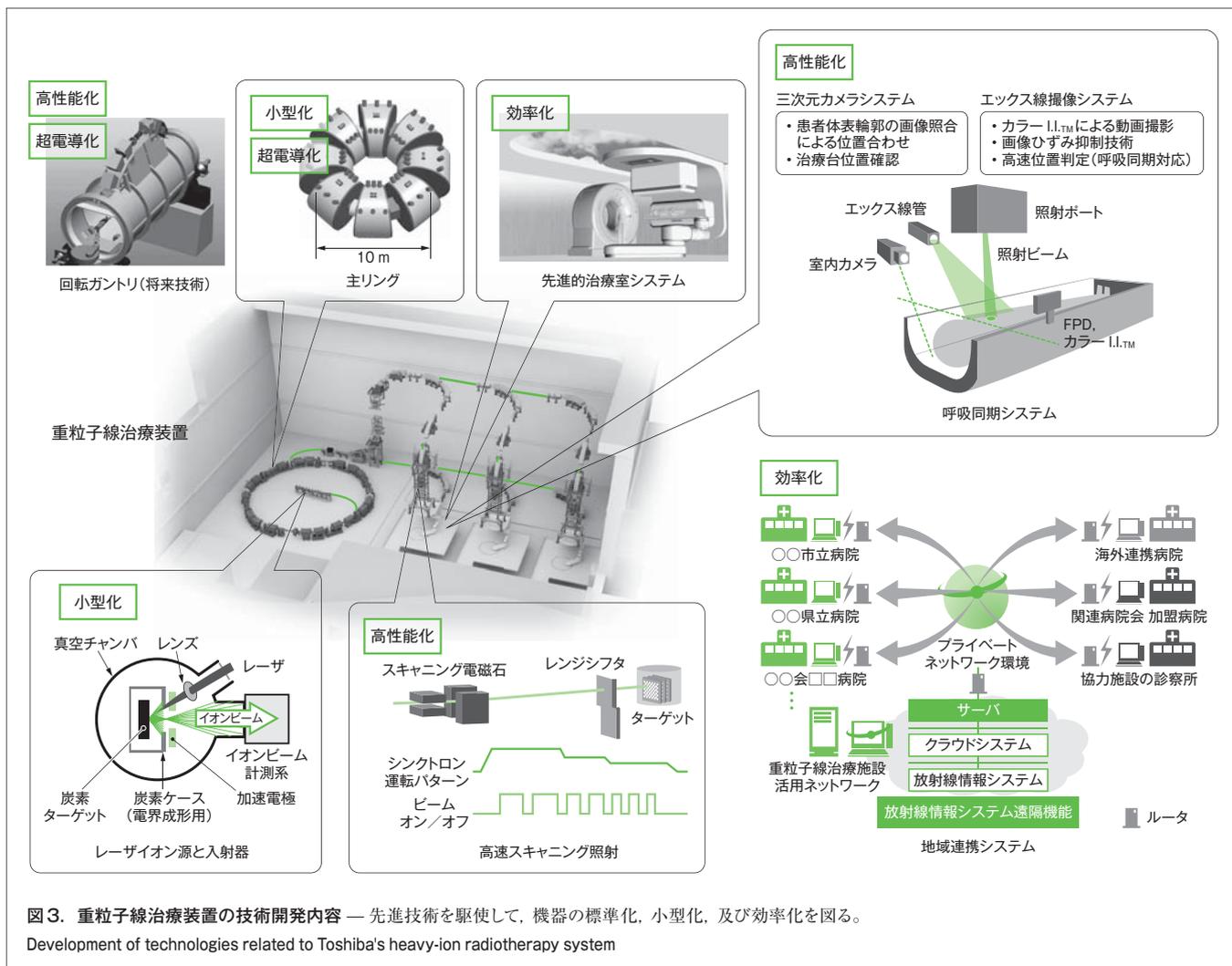
■多くの患者に治療機会

多くの患者に治療機会を与えるため

には、より狭い敷地に設置可能な重粒子線治療装置の普及及び治療時間の短縮が必要である。このため、加速器、照射ポート、及び治療室機器の標準化を進め、複数の施設で機器とシステムの共通化を図る。更に、当社の世界最先端の超電導技術による加速器（囲み記

事参照）や、回転ガントリを含む照射系の小型化と省エネ化を実現する。

また、治療時間の短縮を図るため、医師や、放射線技師、医学物理士、看護師などの医療スタッフの意見を取り入れ、患者情報及び病院情報を一元管理する治療情報システムにより、治療スケ



ジュールの最適化と効率化を図る。更に、治療室占有時間の短縮では、アーム型治療台など先進型の患者移動システムにより患者自身による移動を減らし、高精度の自動位置決めシステムにより位置決め時間を短縮する。

治療室占有時間の短縮効果としては、現行の治療室占有時間30分を15分に短縮することで、1施設3室で96回照射/日(8時間)、250日稼働/年の施設で、24,000回照射/年となり、1人平均12回の照射で治療完了とすると、2,000人/年の治療能力を持つ施設になる。

■高い治療効果

高い治療効果を提供するためには、重粒子線ビームを3次元複雑形状のがん細胞に合わせ高速で走査しながら

照射する高速スキャニング照射、及び早期発見された微小がんや難治がんを治療できる細いビームを照射する高精度のペンシルビームを適用する。現行のエネルギー変更1秒及びビーム径5 mmから、エネルギー変更0.3秒及びビーム径3 mmへの向上を達成する。

更に、患者へ360°のあらゆる方向からビームを照射できる回転ガントリの導入により、治療部位と治療範囲の拡大を図る。また、フラットパネルディテクタ(FPD)やカラー I.I.TM(イメージインテンシファイア)を使い、高精度のリアルタイム画像に基づく動体追尾照射技術を適用する。動体追尾照射には、呼吸により移動し形状を変える臓器のがん細胞に対し、呼気と吸気切替え時の臓器が停止した瞬間に一定のタイミングでビー

ムを出すゲーティング照射、及び移動する臓器そのものをビームが追跡するトラッキング照射がある。

■患者と医療スタッフに優しい

医療スタッフに優しい治療装置とするためには、医師や、放射線技師、医学物理士、看護師などの医療スタッフが装置の運用にあたって、わかりやすく操作しやすいものでなければならない。そのため、患者個人に合わせた照射用データや、診断データ、治療をサポートする管理データ、操作用ガイドなど、的確な情報を適時に提供する。

患者に対しては、治療時間の短縮に加え、治療室や待合室で好みの音や、香り、優しい光を提供して、心的負担の軽減を図るとともに、診療の流れの中で

ヒッグス粒子発見に貢献した東芝の超電導・加速器技術

2012年7月4日、欧州合同原子核研究機関 (CERN) がヒッグス粒子と見られる新しい粒子を発見したと発表した。ヒッグス粒子と見られる新しい粒子の発見には当社の加速器及び超電導技術が貢献している (図E)。

ヒッグス粒子と見られる新しい粒子は、スイスとフランスの国境にある周長27 kmの“大型ハドロン衝突型加速器 (LHC)”を使って、ほぼ光速まで加速した陽子どうしを正面衝突させることで発見された。

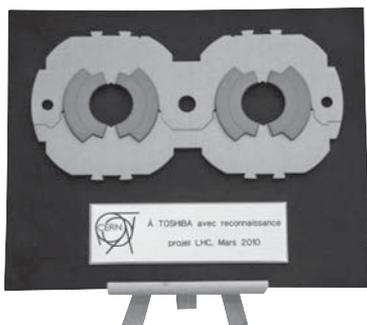
当社は、LHCに対し、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (KEK) を通じて、“粒子検出用超電導ソレノイドコイル” (2001年) と “超電導4極電磁石” (2004年) を納入した。

“超電導4極電磁石”は、直径約1 cmの陽子ビームを直径0.1 mm以下に絞り込

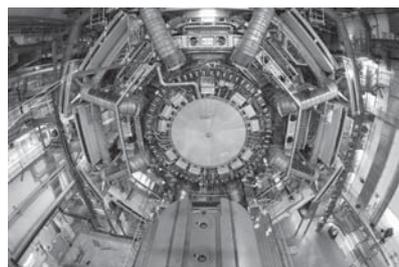
み、ビームどうしを正面衝突させるもので、非常に高い精度が要求される。

一方、粒子検出用超電導ソレノイドコイルは、衝突によって発生した粒子を測定するアトラス検出器の重要な構成要素で、衝突で発生した粒子を分析するために不可欠

な磁場を作るための大型ソレノイドコイルである。発生した粒子がこの磁石を通り抜け磁石の外側に配置された様々な検出器に到達できるように、物質的に透明とみなせるように非常に薄く、軽量に設計された超電導電磁石である (図F)。



図E. CERNから授与された楕 — LHCへの貢献が顕著な企業として、2010年3月“A TOSHIBA avec reconnaissance projet LHC, Mars 2010”を授与された。



写真提供：CERNアトラス実験グループ

図F. アトラス検出器 — ヒッグス粒子発見に貢献したアトラス検出器の重要な構成要素である粒子検出用超電導ソレノイドコイルは、衝突で発生した粒子を分析するために不可欠な磁場を作る。

患者の動きに合わせた病院全体のデザインの統一や、患者に対する掲示、案内などを充実させる。当社が提案する治療室のイメージを図4に示す。

■ヘルスケアプロセスの実現

これまで述べたコンセプトに加え、定

期検査結果や診断情報を、地域の医療・検査機関及び外科や内科などの他の診療科と情報連携して共有することで、がんの早期発見から、重粒子線治療装置によるがんの早期治療、治療後のアフターケアに至るヘルスケアプロセスの実現を目指していく。

東芝が考える重粒子線治療

重粒子線がん治療の技術動向と当社の取り組みを紹介した。重粒子線治療は、今後も技術革新に伴い、ますます普及が進み適用患者も増加していく。重粒子線治療は、患者の自分らしいQOLの確保と高い治癒率から近い将来がん治療の主力になると考える。当社は、コンセプトに基づいて先進の重粒子線治療装置を提供し、質の高いがん治療の普及に貢献していく。



図4. 治療室のイメージ — 治療室や待合室で、患者の好みに合わせて音や、香り、優しい光を提供し、患者の心的負担を軽減する。

Cancer treatment room



飯倉 隆彦
IIKURA Takahiko

電力システム社 原子力技師長。
日本原子力学会、日本機械学会会員。
Power Systems Co.