

重粒子線治療の発展に寄与する診断装置とデザイン

Medical Equipment and Design Approach Contributing to Evolution of Heavy-Ion Radiotherapy

桑原 孝之

乙葉 茂

■ KUWAHARA Takayuki

■ OTOHA Shigeru

東芝グループは、質の高いがん治療への取組みとして、先進の重粒子線治療装置を核としたヘルスケアプロセスの提供を目指している。東芝が開発した加速器などの主要技術に加えて、セットアップに不可欠な技術として、東芝メディカルシステムズ(株)はCT(コンピュータ断層撮影)装置 Aquilion™ を医用リニアアクセラレータ治療室内に設置し、CT画像を用いて患部を短時間で高精度に位置合せするシステムを開発した。また装置のデザインに関して東芝は、治療ワークフローの中で医療スタッフが正確に業務を行いかつ患者の精神面にも配慮し治療室全体を一つの装置と捉えたデザインを採用するとともに、両者の円滑なコミュニケーションを実現するため、治療情報システムには治療進捗状況に応じて患者の精神面に配慮し効率的な治療と安心を自然に提供できるインタフェースデザインを適用した。

As part of the efforts being made to realize high-quality cancer treatment, the Toshiba Group is striving to offer healthcare processes with the advanced heavy-ion radiotherapy system as the core. In addition to key technologies including ion accelerators and irradiation devices developed by Toshiba, Toshiba Medical Systems Corporation has developed an image-guided radiotherapy (IGRT) technology for rapid and highly accurate determination of the beam irradiation position using computer tomography (CT) images taken by an Aquilion™ X-ray CT scanner installed in the same treatment room. Moreover, in the area of design, Toshiba has employed a comprehensive approach that considers both optimal operations for the medical personnel and psychological care for the patient in each medical workflow, regarding the various items of equipment as a whole treatment system. In order to realize smooth communication between medical personnel and patients, Toshiba has also applied a design that provides efficiency and comfort appropriate to the treatment status to the displays of the treatment information system.

1 まえがき

東芝グループは、これまで培ってきた医療分野の高度な技術やデザイン力を生かすことで、重粒子線治療の普及を推進している。

重粒子線などを線源とする定位放射線治療では、正常組織への照射線量を極力減らし、患部だけに線量を集中投与することが求められる。陽子線や重粒子線にはブラッグピークという正常組織への照射線量を低減できる特徴があるが、RBE(生物学的効果比)が大きく一歩まちがえば正常組織に大きなダメージを与えるおそれもあり、患者及び機器のセットアップには高い精度が要求される。また、目的の位置に短時間で多くの線量を照射することで治療成績の向上が求められる。それには、セットアップ時のマージンを極力減らし、大線量を正確に照射しなければならない。

正確なセットアップには画像での誘導(IGRT:画像誘導放射線治療)が不可欠であり、IGRTの精度向上には画像の質も要求される。放射線治療施設やメーカーでは画像の質を向上させる研究開発が精力的に行われている。東芝メディカルシステムズ(株)は、治療ターゲットである患部を画像化する大開口型X線CT装置 Aquilion™ を医用リニアアクセラレータと同室に設

置し、短時間で高精度に照射するシステムを実現している。

医療環境のデザインに関しては、造形面だけではなく、医療スタッフと患者にとって快適な空間を提供するとともに、双方のコミュニケーションを考慮し、医療スタッフの速やかで正確な業務をサポートするインタフェースや、患者の精神面に配慮した造形の創出により、安心し信頼して診療に臨んでもらえることが求められる。東芝は、高品質な医療環境の構築に貢献するため、装置単体のデザインだけでなく、トータルな医療環境を一つのシステムとして捉えたデザインに取り組んでいる。

ここでは、X線及び電子線照射前にCT画像を用いてX線及び電子線を高精度にがん細胞に照射するCT同室システムと、医療環境をデザインする取組みの例として、独立行政法人放射線医学総合研究所(以下、放医研と略記)の新治療研究棟に適用した治療室と治療情報システムのデザインについて述べる。

2 Aquilion™ を用いたIGRT

2.1 IGRTの適用例と課題

現在、使用されているIGRT装置や手法は多数あるが、その性能とセットアップ精度には一長一短がある。X線及び電子線を用いる医用リニアアクセラレータではX線管とフラット

パネルディスプレイ (FPD) を組み合わせてコーンビームCT (CBCT) 画像を撮影するIGRT機能搭載装置や、陽子線・重粒子線治療においてもX線管とFPDを2セット対向させたIGRT装置などにより、患者のセットアップを行っている。

しかしCBCTやX線撮影の場合、散乱線除去などが難しく低コントラスト領域の描出に大きな課題があり、軟部組織の描出能が劣るなどの理由から骨を基準とした位置合せが中心になっている。またCBCTでは、架台回転時間で生じる更なる低コントラスト領域の描出や患者拘束時間の課題もある。マーカの埋込みによりがん細胞の位置の特定なども行われているが、患者にとって負担となる。

2.2 CT装置を活用したIGRT

がん細胞の位置ずれを検出し、治療直前に補正できる高精度のIGRTを実現するには、放射線治療計画にも用いられているCT装置が必要であり、これを治療室内に設置することでワークフローも含めた優位性を引き出すことができる。IGRTということばができる前から、治療室内に医用リニアアクセラレータとともに設置したCT同室システム (図1) は臨床を重ねてきている。

CT装置を医用リニアアクセラレータと共通の治療台とし、かつ自走式にすることで、治療直前にCT撮影から求めた位置情報を治療計画時のリファレンス画像と比較して、がん細胞の位置ずれ量を検出する。これを基に照射ビームのアイソセンタを日々調整する。同じ治療台上でCT撮影ができるため、体位変化がなく正確な空間位置を維持できる。

2.3 Aquilion_{TM}を用いたCT同室システムの特長

Aquilion_{TM}は、大開口径で患者へのアクセス性に優れ、高画質、高速撮影、及び低被ばくといった高い性能を備えている。CT同室システムの主な特長は、次のとおりである。

- (1) 放射線治療では患者セットアップ再現性の重要性から患者固定具が用いられる。Aquilion_{TM}は架台開口径900 mm、最大撮影FOV (Field of View) 700 mmであ

り、治療計画時と治療直前のCT撮影を、固定具を使用した治療体位で行うことができる。

- (2) 自走式であることから、治療装置と連携した治療台の回転だけで患者は動く必要がない。CT装置を退避させることで装置周りのクリアランスをまったく犠牲にすることがなく、ノンコプラナ照射 (任意の角度から3次元的に照射) などに対応できる。
- (3) がん細胞の位置確認のため、照射直前に複数回のCT撮影が必要になるが、低被ばく技術で患者の負担を軽減できる。
- (4) がん細胞を描出することで照射野マージンを減らせることから、がん細胞への線量集中度が高くなり、治療効果の向上が期待できる。
- (5) 頭蓋に直接固定するフレームに頼らない非侵襲的な治療が可能になり、分割定位照射にも対応できる。
- (6) 軟部組織のコントラスト分解能が高いため、骨や組織内埋込みマーカを使わず直接がん細胞の位置を確認できる。
- (7) 治療計画用のCT装置が同室にあるので、X線照射のための部屋増設やスタッフの負担を軽減できる。
- (8) 治療装置ソリューションとの連携によるシームレスなワークフローの実現や、DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 標準規格を採用した画像レジストレーションソフトウェアとの連携も容易である。
- (9) 治療装置とCT装置間の患者移動は、治療台の回転機構だけで行うが、その再現性は、据付時のツールを使用した精度確保と、日々のQA (品質保証) のための精度確認ツールにより維持できる。

2.4 今後の取組み

治療計画時のCT画像とIGRTのCT画像の高速転送や、治療計画装置の処理を高速化することにより、患者を長時間拘束することなく治療直前に線量分布計算を含めた再治療計画を作成できる可能性を持ったシステムである。更に、高度化している放射線治療装置側のIGRTソリューションと連携することで、より高精度なIGRTシステムを構築できる可能性もある。今後も引き続き研究開発を進め、より高度な使いやすいシステムを提供していく。

3 医療環境のデザイン

3.1 デザインの考え方と東芝の取組み

東芝グループの医用機器の歴史は長く、放射線医学の契機となった国産初のX線管を1915年に製作、1978年には国産初の全身用CTスキャナを製品化、その他にもMRI (磁気共鳴イメージング) 装置や超音波診断装置など様々な医用機器を他社に先駆けて開発し、画像診断装置の分野をリードしてきた。

東芝は、これらの装置をデザインするうえで、医療スタッフと患者の両者に配慮した造形を創出することで安心し信頼して

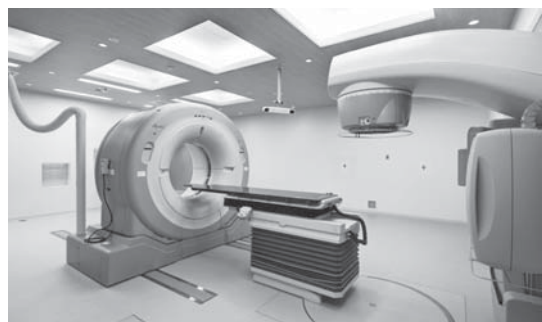


図1. Aquilion_{TM}と医用リニアアクセラレータ — 医用リニアアクセラレータとともに同室に設置された自走式CT装置である。同じ治療台上でCT撮影が可能ことから、正確な空間位置を維持できる。

Aquilion_{TM} self-propelled X-ray CT scanner with medical linear accelerator

診療に臨んでもらえる装置のデザインを目指してきた。その結果、国内外で数多くのデザイン賞を受賞し、高い評価を得ている。しかし従来の装置単体のデザインだけでは高品質な医療環境を構築するには限界がある。そこで東芝は、医療スタッフと患者にとって快適な空間を提供し、双方のコミュニケーションを見直すことで、“おもてなし”の心を基軸とした上質なサービスを提供する医療環境をデザインすることに取り組んでいる。

ここでは、東芝が、放医研と(株)日本設計と協力して行った新治療研究棟の治療室デザイン、及び放医研と協力して行った治療情報システムのデザインについて述べる。これらは、2011年度のグッドデザイン金賞、第42回機械工業デザイン賞、及び平成24年度全国発明表彰発明賞を受賞している。

3.2 治療室のデザイン

新治療研究棟の重粒子線治療装置の開発は、建設を始める段階から治療環境をトータルにデザインすることを目指した。まず開発者間で、治療のために新治療研究棟で過ごす医療スタッフと患者に対して、「医療スタッフにも快適で、深刻な病気の治療に訪れる患者には、身体と心の両面から十分にケアしたい」というコンセプトを共有した。

医用機器の装置デザインでは、患者の精神面に圧迫感を与



図2. 新治療研究棟の治療室デザイン— 明るい色合いと木目を組み合わせて清潔感と温かみのあるインテリアを採用することで、やさしく落ち着いた空間を実現している。

Design of treatment room in new treatment facility at National Institute of Radiological Sciences (NIRS)

えることのない“やさしさ”と、信頼を得るための“先進性”を兼ね備えることを造形の基本コンセプトとしている。しかし、病院の検査室や治療室のように機能面を重視したインテリアとは、空間として調和がとれない場合が多い。したがって、病院のロビーから検査室や治療室にたどり着くまでは快適なイン

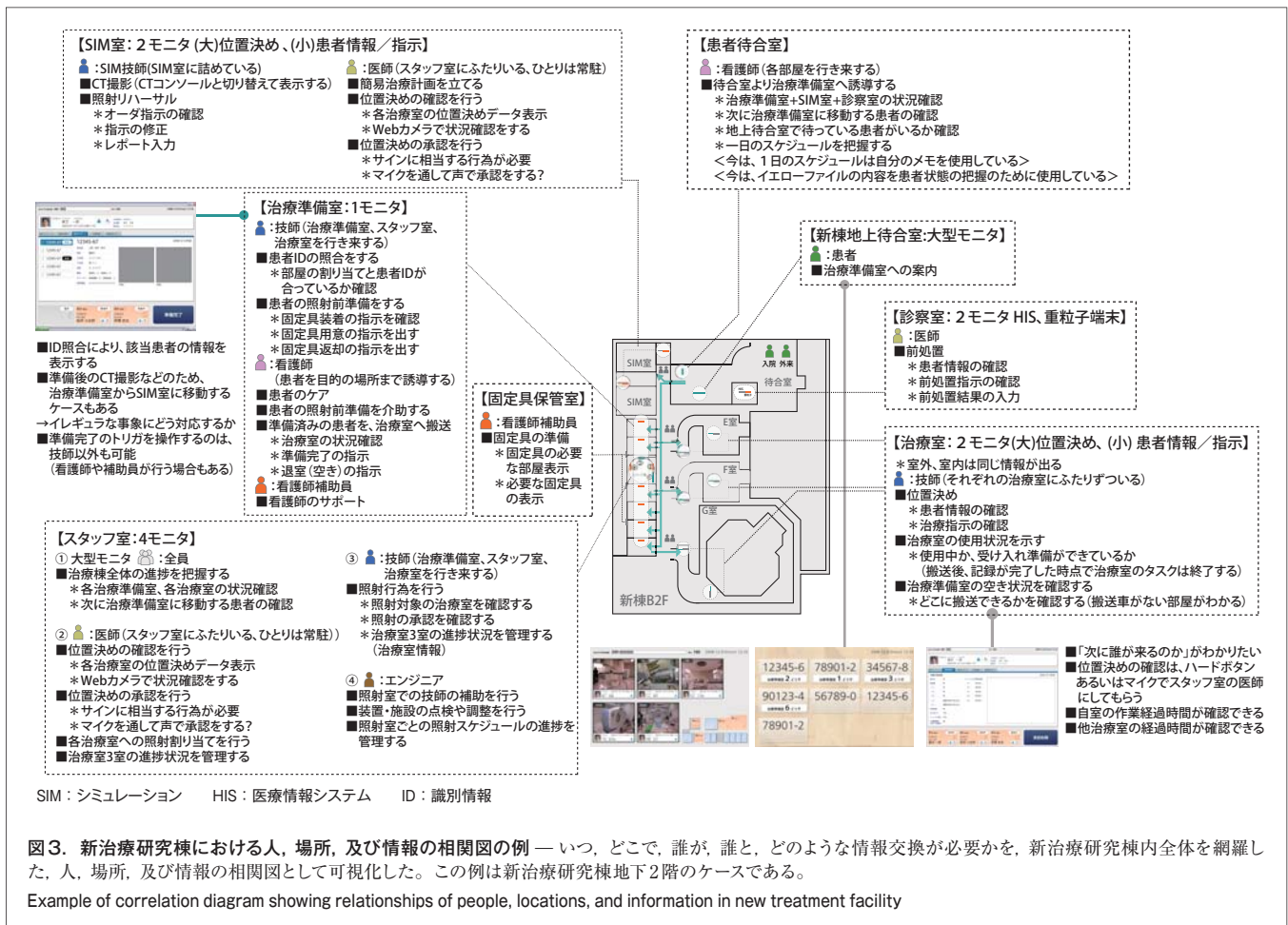


図3. 新治療研究棟における人、場所、及び情報の相関図の例— 一つ、どこで、誰が、誰と、どのような情報交換が必要かを、新治療研究棟内全体を網羅した、人、場所、及び情報の相関図として可視化した。この例は新治療研究棟地下2階のケースである。

Example of correlation diagram showing relationships of people, locations, and information in new treatment facility

テリアが続いても、最後に検査室や治療室に入った患者は、そのギャップにとまどい緊張することになる。

そこで、重粒子線治療室全体を一つの装置と捉えてデザインした。室内のインテリアは、明るい色合いと木目を組み合わせて清潔感と温かみのある空間とした。重粒子線の照射ポート周辺は、患者を包み込むような曲面の中にレイアウトし、やさしく落ち着ける空間としてデザインしている。患者に近接するアーム型治療台は、曲線を生かした軽快な造形とし、重厚な機構部分を感じさせることなく柔らかくやさしい印象を持ちながら、SF（サイエンス フィクション）のような未来的なフォルムで先進性を表現し、一目で安心と信頼が得られることを意図した（図2）。

この治療室デザインは、新治療研究棟全体のインテリアとの調和も図られ、医療スタッフと患者が過ごす全ての時間において統一したコンセプトの空間を連続させ、前述したギャップをなくすことに成功している。

3.3 治療情報システムのデザイン

治療情報システムは、新しい患者の受付から治療照射までの各工程で、受付事務や、医師、看護師、技師、医学物理士など全てのスタッフが患者の情報と状況を共有し、円滑なコミュニケーションを実現することで業務の効率を向上させ、高品質の医療を患者に提供するものである。このシステムのインターフェースデザインを行うにあたり、放医研の協力の下、いつ、どこで、誰が、誰と、どのような情報交換を必要としているのかについて、人、場所、及び情報の相関関係を可視化して共有した（図3）。これにより、個別のユーザーが持つ特性に当てはめながら、それぞれの情報が何のために存在するのかをユーザー目線で理解することができた。

多岐にわたる治療ワークフローの中で、患者と医療スタッフの接点は数多く存在する。患者の精神面の安静安定は、患者自身のためであることは言うまでもなく、医療スタッフにとっても治療をスムーズに行うために重要である。インターフェースデザインでは、患者情報に治療進捗状況を加えてどの端末からも確認できるようにし、治療のどの段階でも医療スタッフと患者が的確なコミュニケーションを図れるようにしている。コミュニケーションに必要な情報は、同じ内容でも、場所と対応するスタッフによって、図4に示すようにデザインを変えている。治療のプロセスに応じておもてなしの対応が自然にできるように、医療スタッフが患者にどう声をかけ、どうエスコートするかをイメージしてデザインした。また表示画面の配色は、色相心理学の中でも沈静効果の高いシアン系をベースとし、患者の目に触れても精神面に作用しないように配慮した。

治療情報システムのデザインは、医療スタッフの効率的な業務進行はもちろんのこと、スタッフ間の円滑な情報共有と患者の状態を常に把握できる情報提供により、治療行為に患者をもてなすというサービス行為を加えた高品質な医療の提供を実現している。

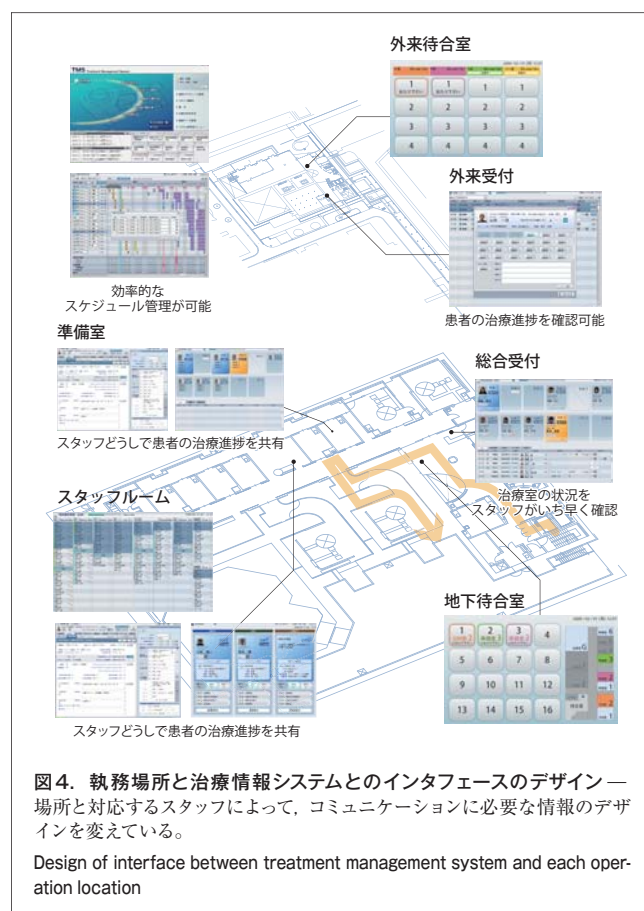


図4. 執務場所と治療情報システムとのインターフェースのデザイン — 場所と対応するスタッフによって、コミュニケーションに必要な情報のデザインを変えている。
Design of interface between treatment management system and each operation location

4 あとがき

ここでは、患者及び機器のセットアップを高精度で実現するため、Aquilion™のCT画像を用いて高精度にがん細胞を位置合せするCT同室システムの有効性と、放医研の新治療研究棟で実現した新しい医療環境のデザインについて述べた。

今後も、これらの技術やデザインの実績を生かし、より高品質な重粒子線治療の発展に貢献していく。

文献

- (1) 小野通隆 他. 次世代重粒子線照射システム. 東芝レビュー. 65, 12, 2010, p.59 - 61.



桑原 孝之 KUWAHARA Takayuki

東芝メディカルシステムズ(株) 治療事業部 開発担当グループ長。放射線治療システムの開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



乙葉 茂 OTOHARA Shigeru

デザインセンター 社会インフラデザイン担当参事。
社会インフラシステムのユーザーインターフェースやコンセプトの開発に従事。
Social Infrastructure Design Group