

円滑な重粒子線治療を可能にする先進的医療システム

Advanced Medical Systems Realizing Smooth Operation of Heavy-Ion Radiotherapy

笠井 茂 三浦 幸雄

■ KASAI Shigeru ■ MIURA Yukio

より多くのがん患者の重粒子線治療を可能にするため、東芝は患者移動システム及び治療情報システムを開発した。患者移動システムは、スカラアーム型（水平多関節型）治療台、天板、及び搬送台車から構成され、1治療室当たりの治療数を増やすことができる。治療情報システムは、新しい患者の受付けから治療照射に至るまでの各段階で利用されるあらゆるシステムと相互に情報連携を行って治療情報を収集し、治療に携わる多くのスタッフが情報共有することで円滑に業務を進められるよう支援する。

In order to treat more cancer patients using heavy-ion radiotherapy systems, Toshiba has developed the following advanced medical systems: (1) a patient handling system consisting of a selectively compliant articulated robot arm (SCARA) type treatment table, a top plate, and a cart, which makes it possible to increase the number of treatments per treatment room by accurately and rapidly determining the beam-irradiation position; and (2) a treatment information system that collects the treatment information in conjunction with the medical information systems used at each step from reception to irradiation, facilitating sharing of the information among the staff involved in the treatment and ensuring smooth operation of the heavy-ion radiotherapy system.

1 まえがき

重粒子線治療は、2003年に厚生労働省から高度先進医療と承認されて以降、一般にも認知されるようになり、近年、わが国をはじめ世界的に多くの重粒子線治療施設の建設計画が進められている。

しかし、炭素イオンを用いる重粒子線治療は、粒子を加速するために大きな加速器が必要であるため、施設の建設コストが他の治療法の施設と比べ高く、結果として治療費が高額となる。そのため、治療費の低減を目指してより多くの患者の治療を可能にするためのシステムが求められている。

東芝は、より多くの患者への治療を可能にするため、患者移動システム及び治療情報システムを開発した。ここでは、各システムの概要と主な特長について述べる。

2 患者移動システム

より多くの患者への治療を可能にする方法の一つとして、加速器のビーム出口である照射ポートの使用回転率を上げ、1治療当たりの照射ポート占有時間を短くすることが挙げられる。

炭素イオンを用いた重粒子線治療の研究開発を行ってい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）は、新たな治療研究棟を2007年から建設するとともに、その新治療研究棟に設置した新しい装置を用いて次世代照射技

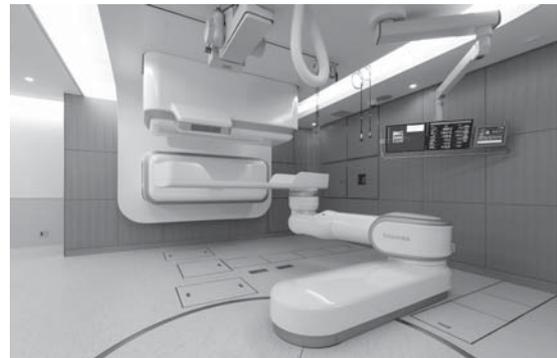


図1. スカラアーム型治療台 — 新治療研究棟の治療室に設置され、高精度の位置決めが可能で治療時間を短縮できる。

SCARA type treatment table

術の開発を進めている。新治療研究棟の建設に際して、放医研は高効率で運用可能なシステムの検討を開始し、当社はその基本設計段階から参画し、新たなシステムの一つとして、患者移動システムを考案し開発した。

患者移動システムは、スカラアーム型治療台、天板、及び搬送台車から構成される。患者移動システムのうちスカラアーム型治療台と天板は、薬事法で定める届出をした医療機器として製品化した。新治療研究棟の治療室に設置されたスカラアーム型治療台を図1に示す。

患者移動システムの運用について図2を用いて述べる。患者移動システムでは、一患者当たりの照射ポートの占有時間を



(a) 搬送台車で治療室へ (b) 治療台で受取り (c) 照射ポートへの位置決め及び照射

図2. 患者移動システムの運用 — システムはスカラアーム型治療台、天板、及び搬送台車で構成され、照射ポート占有時間が短くなるように、治療室での作業を細かく分析した結果に基づき開発した。

Operation of patient handling system

短くするため、天板への患者固定などビーム照射以外の作業はあらかじめ照射ポートとは別の場所で行った後、天板と患者を搬送台車で照射ポートのある治療室へ運び ((a)), 天板と患者をスカラアーム型治療台が受け取って ((b)), 自動的に短時間で高精度位置決めを行い、ビーム照射する ((c)) という運用を目指している。

スカラアーム型治療台は、身長 180 cm、体重 150 kg までの患者の、頭頂部から股間部までの範囲を任意の向きで照射ポートに対して、高い精度で位置決めするための装置である。

図2に示したように、水平方向に大きく動かすことができるように水平多関節型を採用している。産業用として一般に普及している垂直多関節型に比べて、人間のひじに相当する関節を水平方向に逃がすことが可能な形態であるため、治療に

携わる技師や看護師の移動スペースを十分に確保でき、治療台との接触を少なくできるので、使いやすく安全である。

3 重粒子線特有の運用フローに対応した治療情報システム

治療情報システムは、治療に携わる多くのスタッフが業務を円滑に進められるよう支援するシステムである。図3に示すように、新しい患者の受け付けから治療照射に至るまでの各段階で利用される治療計画システムや、SIM (シミュレーション) 室システム、治療室システムといった業務システムと相互に情報連携を行って治療情報を収集する構成としている。こうして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

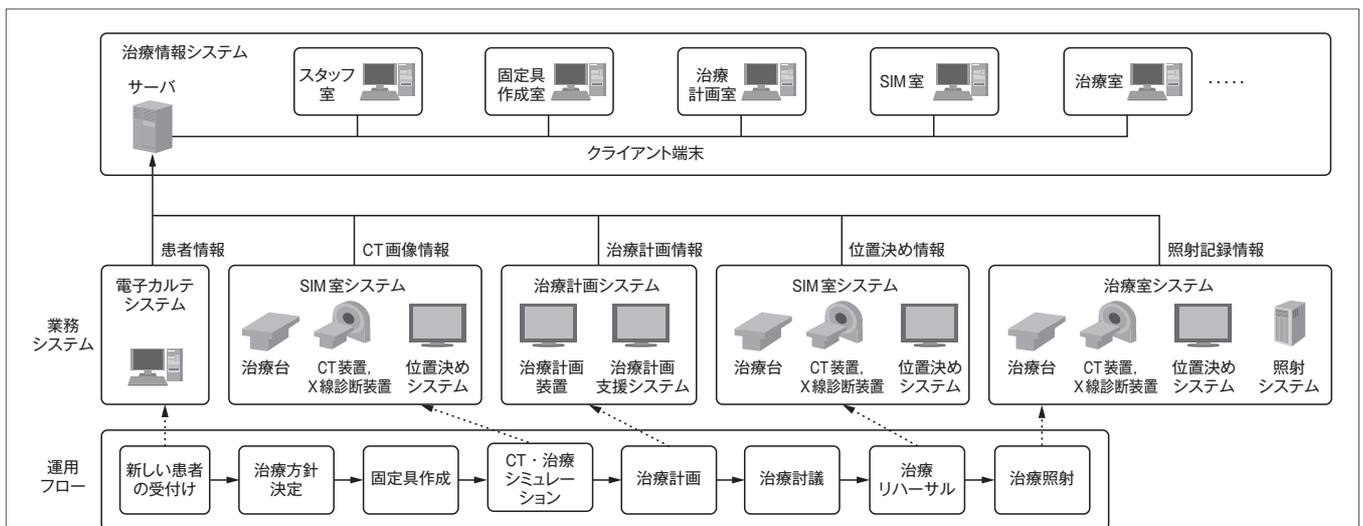


図3. 治療情報システムの情報連携 — 治療照射時に治療室システムから照射記録情報を収集するなど、各治療段階の業務システムと情報連携している。スタッフ全員が患者情報を共有し、業務の効率化と高品質の治療提供が可能になる。

Linkages of information in treatment information system

スタッフの業務効率を向上させ、高品質の治療を数多くの患者に提供できる。

各システムとの情報連携には、HL7 (Health Level Seven) や DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) といった医療情報交換の業界標準プロトコルを採用し、一般の医療用システムにシームレスに対応できるようにしている。

このシステムの特長として、ある治療期間 (例えば1年間や半期) のスケジュールや、1日の各部屋におけるスケジュールの立案を支援する機能 (治療スケジュール管理機能) と、新しい患者の受付けから照射にわたる治療情報を共有できる機能 (タスク管理機能) を持つ。

以下に各機能の概要について述べる。

3.1 治療スケジュール管理機能

重粒子線治療では、がんの部位や進行具合などによって標準治療法 (治療プロトコル) が定められており、合計1～20回程の治療照射を週3～4回のペースで間隔を空けずに行う。このため、日々来院する患者を順次治療する方式の場合は、1日に治療する患者数のばらつきが大きくなる。結果として、より多くの患者を治療することができない、混雑する日は患者を待たせるなど、患者やスタッフに負担が掛かるといった課題があった。

治療情報システムでは、これらを解決するため、患者が来院する、固定具作成、CT (コンピュータ断層撮影) 装置による撮影、治療リハーサル、及び治療照射を一連の治療枠として定義し、あらかじめある期間 (例えば1年間) に治療可能な人数分の治療枠を作成しておき、新しい患者を受け付けるときにその中の該当する治療枠を使用する機能を提供している。

また、人手により年間1,000人規模の治療枠をスケジュールリングすることは非常に手間が掛かるため、次に示すような条件を設定することで、自動的に年間の治療枠をスケジュールリングする機能を提供している (図4)。

- (1) 固定具作成、CT撮影、治療リハーサル、及び治療照射の各工程の原則としての実施日間隔
- (2) 1日のうち治療に使うことができる施設の稼働時間
- (3) 休日や機器のメンテナンスなどで治療が実施できない日
このスケジュールリングでは、最適化技術 (数理計画モデル) を駆使して次に示すような特長を持たせることで、スタッフにわかりやすく、多くの患者を治療できる治療枠を生成できる⁽¹⁾。
 - (1) 負荷平準化 期間中でもっとも治療患者数が多い日の患者数を最小にする
 - (2) 規則性 同じ治療プロトコルが同じ曜日に繰り返されるようにする

一方、1日当たりの各部屋におけるスケジュールの立案では、一つの施設に水平方向だけ照射ができる治療室や水平と垂直両方の照射ができる治療室があることと、照射ビームのエネルギー切替えのタイミングを考慮する必要がある。このため、

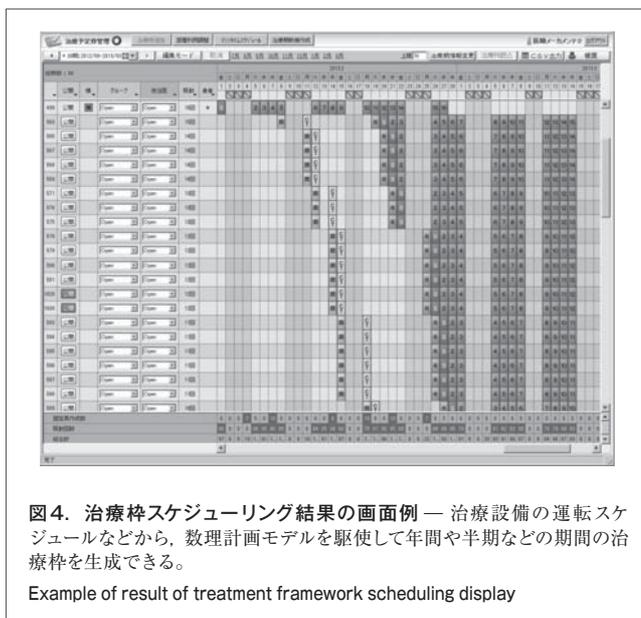


図4. 治療枠スケジュールリング結果の画面例 — 治療設備の運転スケジュールなどから、数理計画モデルを駆使して年間や半期などの期間の治療枠を生成できる。

Example of result of treatment framework scheduling display

治療プロトコルや水平・垂直照射方向、照射ビームのエネルギーなどから各治療室当たりの治療患者数ができるだけ平準化されるよう割りふりを行うとともに、食事制限や時間制限 (例えば、午前の上半) などを配慮し各部屋の治療順をスケジュールリングできる機能を提供している。

3.2 タスク管理機能

治療の各段階におけるスタッフへの作業指示や作業レポートの登録及び表示を行い、従来、紙を用いてスタッフ間で共有していた患者情報や治療記録 (照射録) を電子化することができる。重粒子線治療では、医師や、看護師、技師、物理士など多くのスタッフが関わり、作業エリアも病院や、治療計画室、SIM室、治療室など各段階で異なるが、どの端末からでも必要な情報を必要ときに見ることができると、スタッフの業務を効率的に行うことができる。

タスク管理機能は、“治療方針決定”や、“固定具作成”などの段階単位に画面が分かれており、各画面では業務に対応した治療情報や作業指示を見て、作業レポートを作成することができる。一例として、固定具作成の画面を図5に示す。画面左側に、医師が治療方針決定で登録した照射方向や、体位、CT撮影方向などの固定具作成指示情報が表示され、画面右側に固定具作成の作業結果を入力できるようになっている。

またタスク機能では、スタッフが手入力した作業結果だけでなく、治療計画システムや治療室システムなど各業務システムとの治療情報の共有もできる。一例として、治療照射の画面を図6に示す。照射方向や1回線量、照射ビームのエネルギーなどの治療情報を参照できる。画面左側に全ての治療照射の治療情報が表形式で表示され、治療計画システムから収集した治療計画情報 (予定) を上段に、治療室システムから収集した治療照射情報 (実績) を下段に並べて表示している。

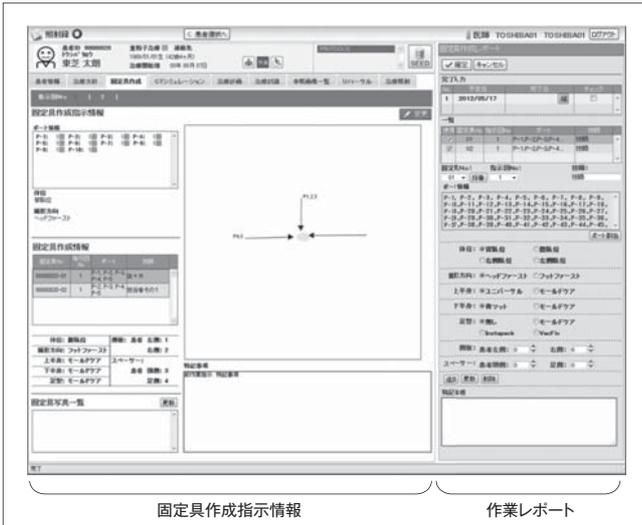


図5. 固定具作成の画面例 — 画面左側に照射方向など作業指示情報を表示し、画面右側に作業レポートを入力できる。
Example of fixture creation display

また、画面右側には、今回の治療照射の予定と実績が表示され、情報の確認ができるようになっている。

4 あとがき

より多くの患者への重粒子線治療を可能にし更なる治療数増加を目指して、当社は患者移動システム及び治療情報システムを開発した。

今後は、重粒子線治療の機会を更に増加させるため、治療時間そのものの短縮化に取り組んでいく。

文 献

- (1) 榎原 静 他. 重粒子線がん治療を支える患者スケジューリング技術. 東芝レビュー. 65, 11, 2010, p.25 - 29.

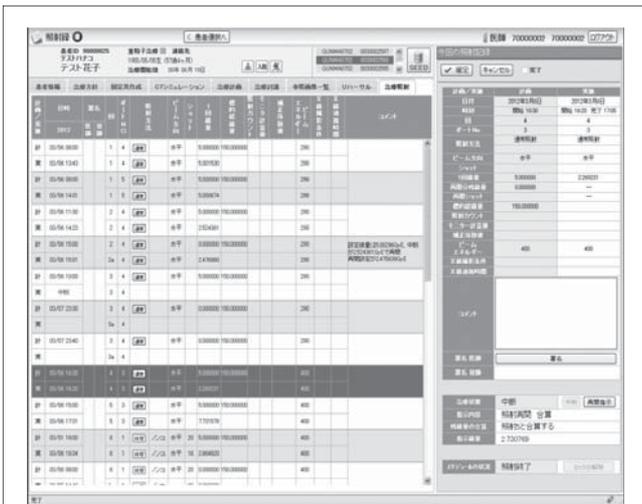


図6. 治療照射の画面例 — 治療計画システムから収集した予定と治療室システムから収集した実績が表示され、情報の確認ができるようになっている。
Example of therapeutic irradiation record display



笠井 茂 KASAI Shigeru
電力システム社 原子力事業部 原子力開発設計部主査。
重粒子線照射機器及び治療室内機器の開発に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



三浦 幸雄 MIURA Yukio
電力システム社 原子力事業部 原子力開発設計部参事。
重粒子線治療情報システムの開発に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.