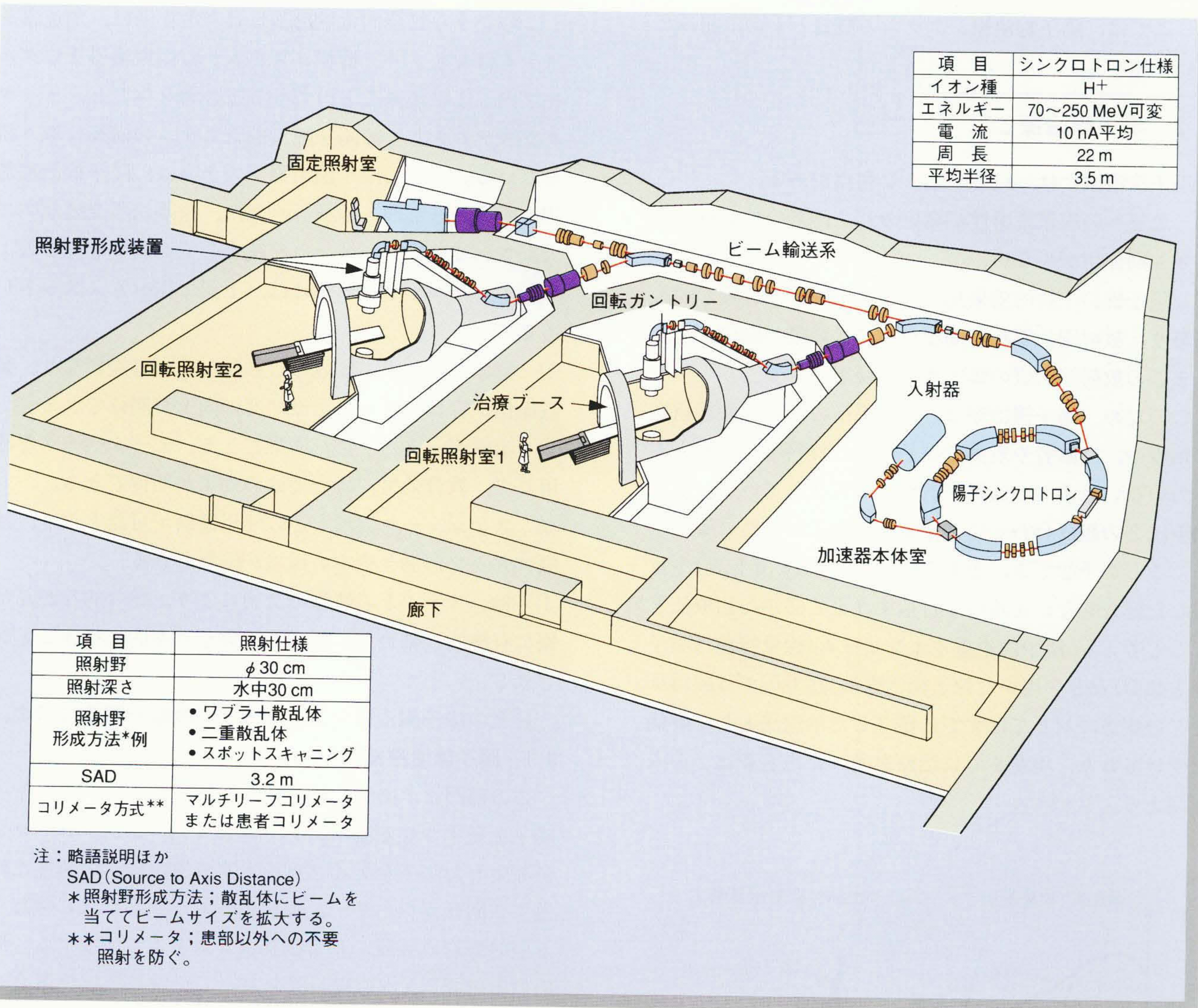


陽子線治療システムへの取組み

Development of Proton Therapy System

宮本 潮 Shio Miyamoto 平本和夫 Kazuo Hiramoto
垣内俊二 Shunji Kakiuchi 加藤千昭 Chiaki Katô



陽子線治療システムの導入イメージ

小型でクリーンなシンクロトロンを陽子加速器とし、回転照射室×2室、固定照射室の治療室を設置した治療システムを示す。このシステムにより、年間、400人以上の患者の治療を目指す。

わが国では、死亡原因の第1位ががんであり、年々増加傾向をたどっている。がん患者は西暦2000年には47万人に上ると予測され、今後の高齢化社会への移行を踏まえると、これへの対策が急務になっている。

一方近年、健常組織へのダメージを最小限にし、治療後のQOL (Quality of Life) の向上を図る治療法(低侵襲

治療)が脚光を浴びてきている。中でも陽子線治療は、患部への線量集中性に優れるため、今後の低侵襲治療で重要な役割を果たすものと予想する。

日立製作所は、加速器システム・医療情報システム・医療機器を統合したトータルシステムを構築することにより、最先端の陽子線治療に取り組んでいる。

1. はじめに

陽子線治療とは、高エネルギーの陽子をビームとして体外から照射し、がんなどの腫瘍(しゅよう)を治療する方法である。陽子線は従来の放射線と異なって図1に示す線量特性を持つため、正常組織へのダメージを抑え、がん患部の特定領域だけをねらい撃つことが可能となる。

ここでは、陽子線治療システムの概要とその取組みについて述べる。

2. 陽子線治療とは

陽子線治療には、以下のような利点がある。

- (1) 患部への線量集中性が高いので、従来の放射線治療よりも副作用が少ない。
- (2) 陽子線の生物学的効果比は従来の電子線やX線と同等であり、放射線治療が有効ながんには効果が期待でき、今までの放射線治療の臨床実績が使用できる。

このため、陽子線治療は、外科手術の困難な深部組織の治療や、高齢者や重傷者など従来の外科手術に耐える体力のない患者への適用が有効と期待されている。他の治療法との組み合わせによる集学治療法が可能になっていくことが予想でき、患者のQOL(Quality of Life)を重視した総合的ながん治療を目指すうえで必須の治療法となると考える。陽子線や重イオンビーム(線量特性は陽子線と類似)などを用いた粒子線治療は、諸外国では眼腫瘍などの疾患に対してはすでに確立した治療法として評価を受けており、現在までに治療を受けた患者数は2万人を超える。

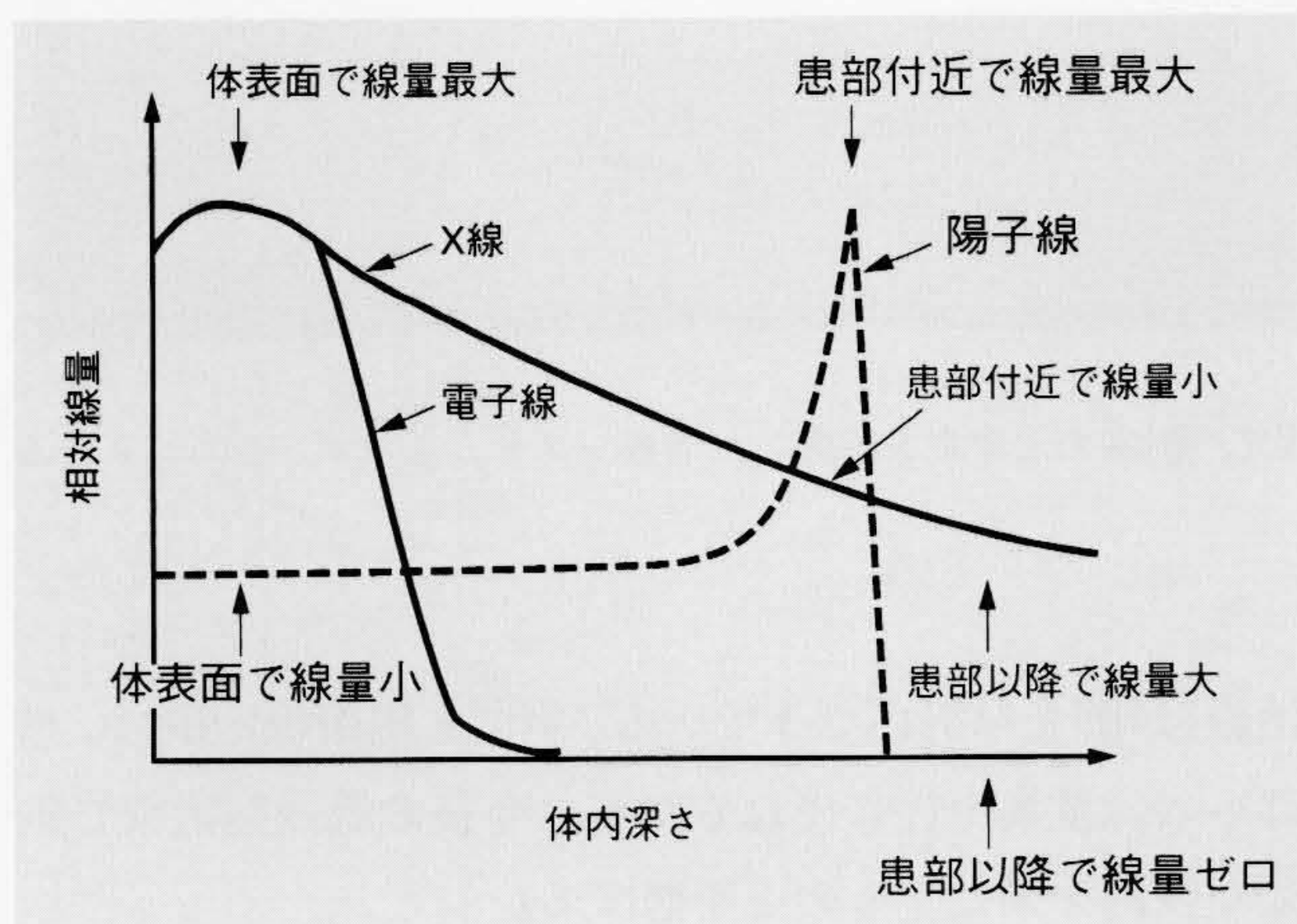


図1 陽子線の特徴

陽子線は、患部付近で相対線量が最大になる特性を持つ。従来のX線、電子線による放射線治療よりも正常組織へのダメージが少ない。

陽子線治療はこれまで主に研究用加速器を用いて行われていたが、現在調整中の国立がんセンター東病院に見られるように、小型で操作が容易であり、経済性に優れた医用加速器が臨床治療専用施設で用いられていくものと予想する。

3. 陽子線治療システム

このような社会的背景を基に日立製作所は、加速器システムはもとより、情報システムから医療機器までグループ内でまとめることのできる総合力を生かし、トータルシステムとしての陽子線治療システムの構築に取り組んでいる。日立の陽子線治療システムは、陽子線治療部門、画像診断部門、治療計画部門、遠隔診断支援部門に大別される装置・システムを統合して構成する。このようなトータルシステム化には、下記に述べるメリットがある。

- (1) 情報のリンク、装置の自動化などが可能になり、装置操作が容易になって治療精度の向上が期待できる。
- (2) 治療データベースが構築できる。データベースを活用して、教育効果、研究補助の効果が期待できる。
- (3) スケジュール管理などの運用補助が可能となり、治療スタッフが働きやすい環境が構築できる。
- (4) 他システムとの情報の交換により、総合的ながん治療に有機的に結合し、陽子線治療を効率的に行うことができる。

日立の陽子線治療システム構成の概略を図2に示す。

3.1 陽子線治療部門

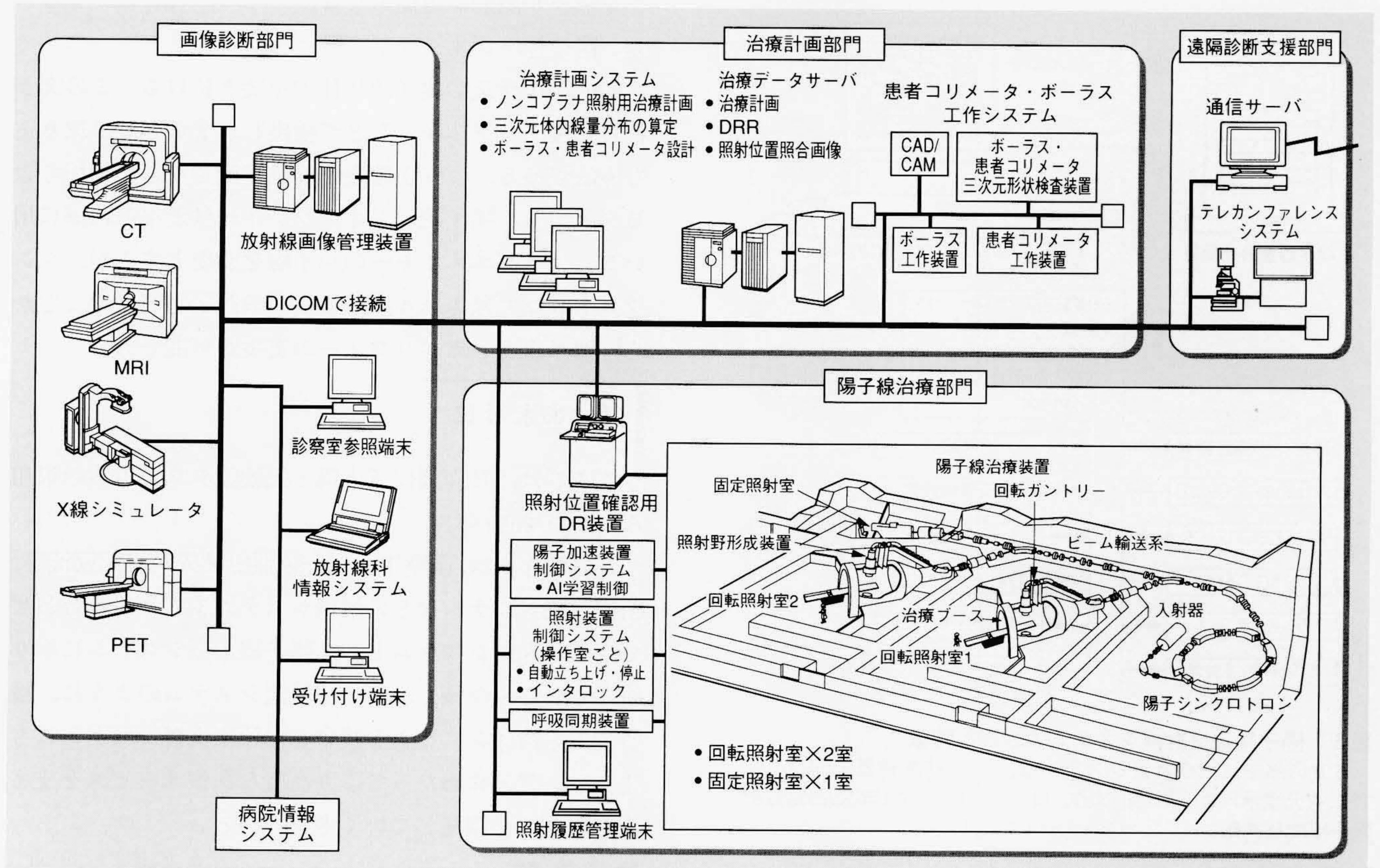
この部門は、必要な体内深さに到達する高エネルギー陽子を発生させる陽子シンクロトロン、シンクロトロンが発生した陽子をアイソセントリックな任意の角度に輸送する回転ガントリー、線状ビームを患部形状に整形する照射野形成装置、および制御システムで構成する。照射位置確認用X線透視装置を用いて正確な照射位置合せを行うDR(Digital Radiography)装置も備える。

3.2 画像診断部門

治療計画用画像を撮影するX線CT、陽子線をシミュレートして治療計画を確認するX線シミュレータなどの画像診断機器、および撮影画像の保管、読影の支援を行う放射線画像管理装置で構成する。またX線CTやMRI、PETといった画像診断機器は、陽子線治療適用判断のための診断や治療効果判定にも使用する。

3.3 治療計画部門

治療計画では、患者個別の治療を行うため、患者ごと



注：略語説明 CT (Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), PET (Positron Emission CT)
DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), DRR (Digital Reconstruction Radiography)

図2 日立の陽子線治療システムの構成概略

質の高い陽子線治療を行うためには、陽子線治療部門と画像診断部門、治療計画部門、さらには遠隔診断支援部門との連携が必要である。

に画像診断機器で撮影した画像を使用して照射系で設定すべきパラメータを決定する。陽子線は、X線や電子線と線量特性が異なり、線量の局所集中性があるため、日立製作所はこの特性を生かすノンコプラナ照射(三次元照射)を前提として治療計画システムを開発している。これは、日立製作所が研究開発を進めてきた三次元画像処理技術や、放射線治療計画システムをベースとした三次元陽子線治療計画システムである。このシステムの構成と特徴を図3に示す。ボリュームレンダリングによる診断支援、およびリージョングローイング法による病巣・正常組織・体表の半自動抽出という実用性の高い機能を備え、スムーズな操作を図っている。陽子線の線量分布計算では、最新のペンシルビーム法による計算機能によって線量分布を評価し、将来のコンフォーマル照射(後述)へも対応する。治療計画の結果は、照射ビームをシミュレートして治療計画を確認するX線シミュレータ、照射領域に合わせて陽子ビームを整形する治療器具(ボラス、コリメータ)の製作を行う患者コリメータ・ボラス

工作システム、実際の治療を行う陽子線治療部門へそれぞれ転送される。

3.4 遠隔診断支援部門

陽子線治療は現在普及段階であり、その専門家も限られる。また、欧米と異なって医学物理師の制度のないわが国では、医師・技師への負荷も少なくないと予想する。このような中で、陽子線治療施設どうしや協力医療機関との間でカンファレンスを行うことは医療サービス向上につながると考え、遠隔カンファレンス支援システムの導入も視野に入れている。

3.5 その他の情報システム

受け付けや、患者管理など業務の効率化・省力化を図り、施設として有機的に機能するための情報システムである。それ以外にも、病院との情報共有のために病院情報システムとの連携や、診察室で患者に対して診断結果を参照しながら症状や治療方法の説明など、十分なインフォームドコンセント(十分な説明に基づく同意)を行うためのシステムが必要である。

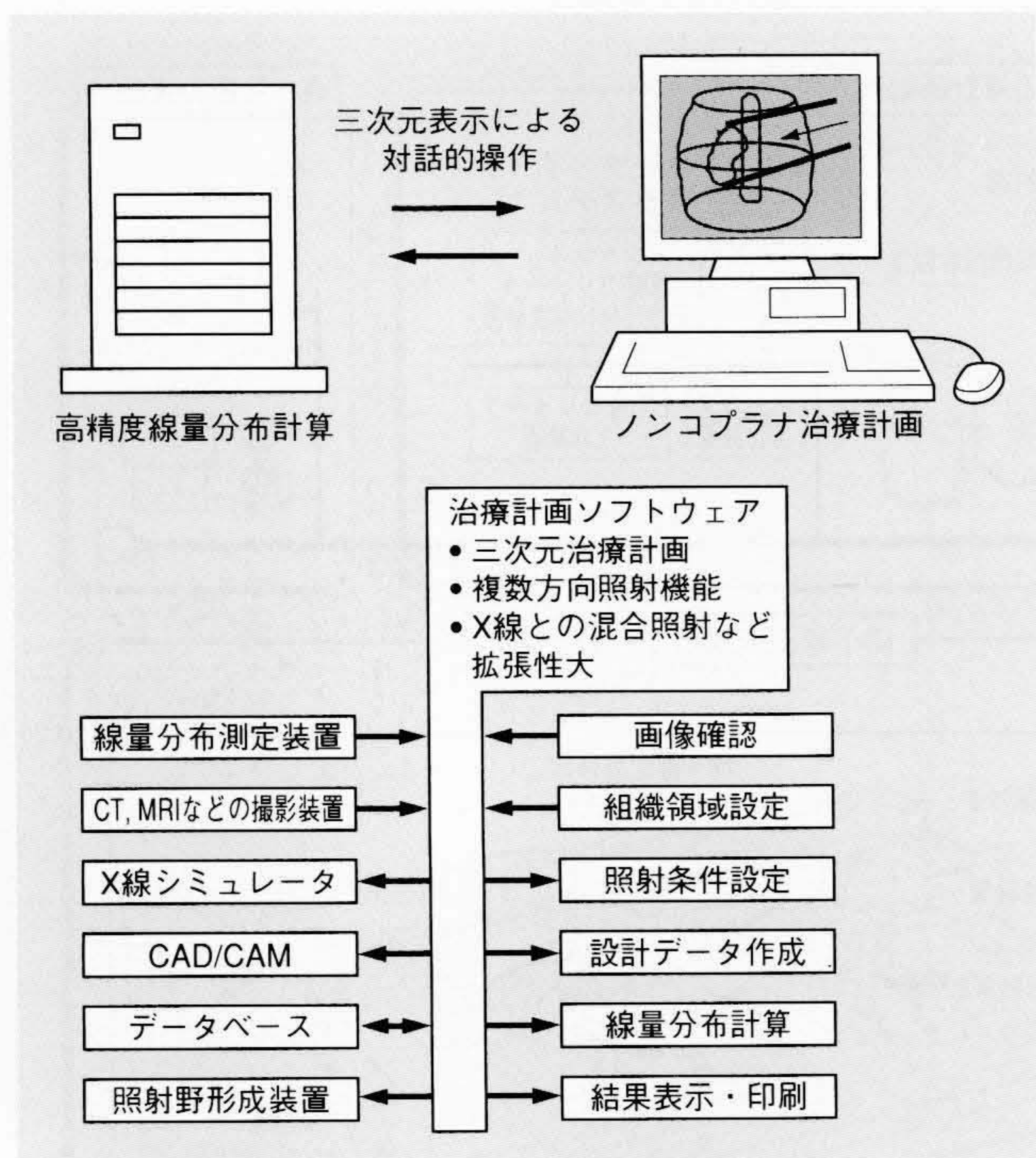


図3 陽子線治療計画システムの構成と特徴

日立の陽子線治療計画システムは、(1)高精度線量分布計算、(2)三次元表示による対話的操作、(3)ノンコプラナ(三次元)治療計画を特徴とする。

4. 陽子線治療システムの拡張性

陽子線治療では、その局所制御性をさらに高めるための治療法が研究されている。日立製作所は、システムの拡張性を重視し、既存の治療法や照射技術はもちろんのこと、以下に述べる先進的な照射法にも対応可能なシステムを構築する。

(1) 呼吸同期照射

呼吸によって動く病巣に対し、呼吸の静止期に同期させて陽子線を照射し、病巣をねらい撃つ方法である。放射線治療での呼吸同期照射システム開発の実績に、日立製作所が開発した加速器制御技術(拡散共鳴取出し)による高速なビームのオン・オフをプラスして、正確な呼吸同期照射を行うことができる。

(2) コンフォーマル照射(原体照射)

陽子線の線量特性を利用して病巣形状にフィットさせ、周囲の正常組織へのダメージをより減少させる照射法である。例えば、病巣を幾つかの領域に分け、スキヤニング照射(分割照射)を行うなどの方法を取る。日立の陽子線治療システムでは照射深さを短時間で変更することが容易であり、スキヤニング照射と照射深さの変更を組み合わせることにより、腫瘍形状をトレースするコン

フォーマル照射が可能となる。

(3) 陽子線ラジオグラフィー

300 MeV付近の陽子線は体内を突き抜ける。この突き抜けた陽子をフィルムなどで検出し、情報として取り込む方法である。より正確な照射位置確認などに使用できると考える。陽子線ラジオグラフィーは通常の治療に用いる、より高エネルギーの陽子線を必要とするが、シンクロトロンではエネルギーアップの改造が容易なことから、陽子線ラジオグラフィーの実現が可能である。

5. おわりに

ここでは、日立製作所の陽子線治療システムへの取り組みについて述べた。

日立製作所は、医療用加速器・照射装置から医療機器、治療計画システムなどの情報システムまでを組み合わせ、トータルシステムとして陽子線治療システムに取り組んでいる。今後も、陽子線治療システムのように、機器装置と情報システムを統合した治療支援システムにも注力し、将来にわたってより高度な医療サービスを支えるシステムを開発していく考えである。

参考文献

- 1) 特集 粒子加速器に関する日立システム技術, 日立評論, 79, 2(平9-2)

執筆者紹介



宮本 潮

1993年日立製作所入社, 医療システム推進本部 マーケティング部 所属
現在, 情報・機器を含めた新規医療システムの推進, 拡販支援に従事
E-mail: co@cm. o3head. hitachi. co. jp



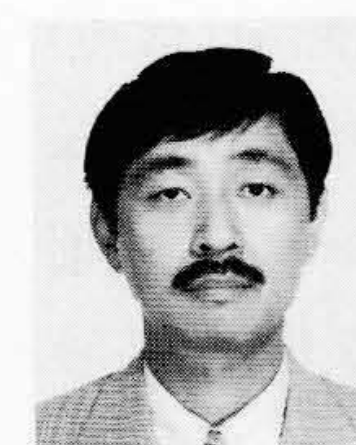
垣内俊二

1981年日立製作所入社, 日立工場 核融合加速器開発センター 陽子線治療システム開発タスク 所属
現在, 陽子線治療システムの開発・設計に従事
工学博士
電気学会会員



平本和夫

1978年日立製作所入社, 電力・電機開発本部所属
医療用加速器システムの研究・開発に従事
工学博士
日本物理学会会員, 日本原子力学会会員, 日本医学物理学会会員
E-mail: hiramoto@erl. hitachi. co. jp



加藤千昭

1990年日立製作所入社, システム開発研究所 第1部 所属
現在, 治療計画システムの研究・開発に従事
日本医学物理学会会員, 日本医用画像工学会会員, 計測自動制御学会会員
E-mail: c-kato@sdl. hitachi. co. jp