



ホウ素中性子捕捉療法の線量評価技術と患者位置制御技術の開発

人間医工学およびその関連分野

研究者所属・職名： 医学医療系・准教授

ふりがな くまだ ひろあき

氏名：熊田 博明

主な採択課題：

- [国際共同研究加速基金\(国際共同研究強化\(B\)\)「国際標準計測機器による各国のBNCT装置の中性子ビームの測定と国際比較評価」\(2022-2026\)](#)
- [基盤研究\(B\)「BNCTの患者位置変動に追従する高精度照射システムの開発」\(2020-2023\)](#)
- [挑戦的研究\(萌芽\)「高精度モンテカルロ線量評価に基づく治療計画立案を実現する超高速人体モデル計算技術」\(2018-2020\)](#)

分野：医用システム、放射線科学

キーワード：中性子捕捉療法、粒子線治療、治療計画、線量評価、モンテカルロ計算、位置合わせ

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？（研究の背景・目的）

ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）は、ホウ素薬剤と中性子を組み合わせた放射線治療であり、がんが正常組織内に混在していても細胞レベルでがんを破壊する治療法である（図1）。私は、BNCTの臨床研究が原子炉で行われている頃から携わっているが、BNCTを1つのがん治療法として確立、普及するためには、まだ多くの課題があり、特に理工学分野では、高精度な線量評価による治療計画技術や患者の位置合わせ技術、中性子計測技術の高度化が不可欠であるため。

●研究するにあたっての苦労や工夫（研究の手法）

BNCTを確立するためには、患者に対する中性子の照射精度や線量評価精度の高精度化が不可欠である。中性子は、挙動が複雑、多様であるため、X線治療などに用いられている近似式ベースの線量計算法では線量評価精度を担保できないため、モンテカルロ法による線量評価法の実用化が必須であった。モンテカルロ法の“計算に長時間を要する”という課題を克服するため、人体形状の計算モデリング法として“四面体法”を適用することを試みた。さらに、線量評価で導いた照射位置に患者を正確に固定する方法として、モーションキャプチャー技術を応用した位置合わせ技術の開発を行った。

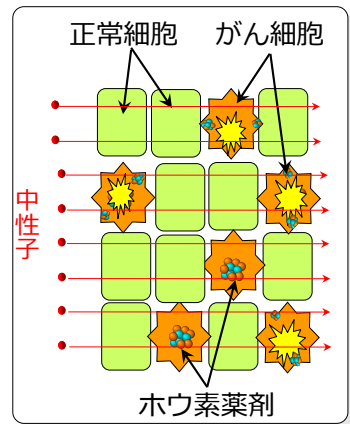


図1 BNCTの治療原理



ホウ素中性子捕捉療法の線量評価技術と患者位置制御技術の開発

人間医工学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

① 複雑形状の人体モデルに対する線量計算では、従来は「ボクセル法」と呼ばれるモデリング法が採用されている。ボクセル法は、評価空間を「ボクセル」と呼ばれる小さい直方体に分割し、それぞれのボクセルに適切な材質を設置することで複雑な形状の計算モデルを定義する（図2の左）。しかし、この手法で精密モデルを定義しようとすると、ボクセルを小さくする必要があり、ボクセルの数が増加するため、モンテカルロ法での計算時間が長時間化する、という問題を抱えていた。これに対して、人体計算モデルを多数の“四面体”を組み合わせて構成することで（図2の右）、粒子の輸送計算処理を効率化できると考え、このモデリング法をBNCTの線量評価に適用することを試みた。様々な形状の計算モデルで、ボクセル法と四面体法で比較評価した結果、四面体法で計算モデルを定義することで、モンテカルロ法での線量計算時間を約40%削減できることを確認した。

② 患者の位置合わせでは、BNCTの照射室ではX線透視が行えない。そこで、照射室内に多数のカメラを配置し、モーションキャプチャー技術を用いてビーム照射口に対する患者の位置関係をリアルタイムで割り出して、患者を照射位置に導く方法の基盤技術を開発した（図3）。ファントムを用いた検証結果から、各部位の座標を±10mm以内の精度で検知できることを確認した。

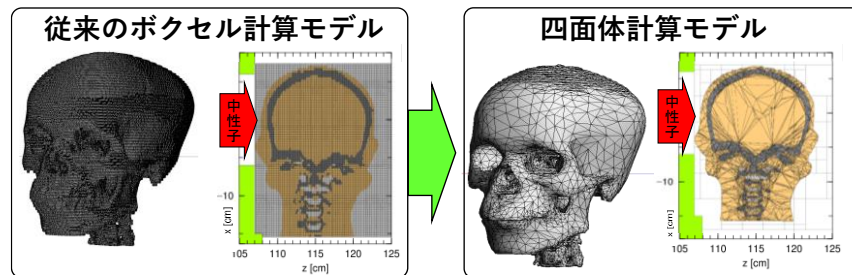


図2 ボクセル法（左）と四面体法（右）での人体形状計算モデル

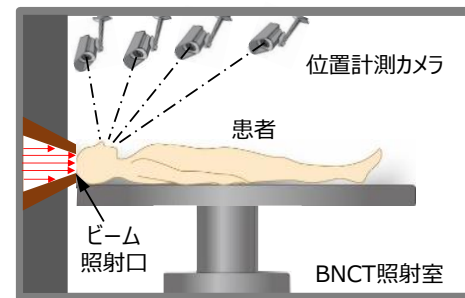


図3 モーションキャプチャー技術による患者位置合わせ法

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

これまでの、BNCT実施に不可欠な周辺機器の基盤技術開発を実施してきた。今後はこれらの技術の医療現場への実用化するとともに、治療装置含めて個々の機器を連動化、統合化することで、さらに治療精度の高度化を図る。また、モンテカルロ線量評価技術は他の放射線治療でも実用化が求められていることから、本技術の他の治療法への応用展開も目指す。

BNCTは日本が世界をリードしていることから、将来的にはこれらの技術の国際標準化を図りたい。

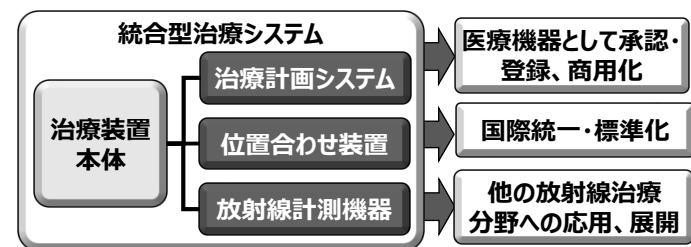


図4 今後の目標：技術の実用化と国際標準化