

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K19203

研究課題名(和文)患者表面3次元データを用いたBNCT線量評価手法の確立

研究課題名(英文)Development of dosimetric evaluation method for BNCT by using 3D patient surface data

研究代表者

高田 卓志(Takata, Takushi)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：60444478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)において、患者照射時にセットアップエラーや位置ずれが生じる場合があり、線量評価の正確性と精度を欠く要因となっている。本研究では、線量評価の正確性と精度の改善を目的として、患者表面3次元データを活用した位置の測定方法と線量計算手法に関する検討を行った。セットアップエラーおよび照射中の位置ずれ計測手法を確立し、それらを反映した線量評価を可能とした。

研究成果の概要(英文)：In boron neutron capture therapy (BNCT) irradiation, a set-up error and a patient displacement cause uncertainty in estimation of delivered dose. Aiming to improve dose estimation accuracy, a methods for patient position measurement as well as dosimetric evaluation were studied by using 3D patient surface data. The measurement techniques for a patient displacement was developed to evaluate delivered dose in consideration of patient set-up error and motion during an irradiation.

研究分野：医学物理学、放射線工学

キーワード：BNCT セットアップエラー 位置ずれ 線量評価 デプスセンサ Kinect

### 1. 研究開始当初の背景

京都大学研究用原子炉 (KUR) では、主に脳腫瘍や頭頸部がんを対象として、現在までに 500 例を超える症例に対してホウ素中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy, BNCT) を施行してきた。これらの実績をもとに、再発悪性脳腫瘍および難治性頭頸部がんを対象として、サイクロトロンを用いた BNCT の臨床試験が開始されている。

KUR を用いた BNCT では、照射の自由度の観点から、ほぼ全ての頭頸部がん症例において座位での照射を実施している。脳腫瘍の症例においても、照射部位等の状況に応じて座位を選択する場合がある。座位によって照射の自由度が改善でき、照射部位や患者の全身状態に応じた照射を行うことが可能となっている。この経験をもとに、加速器ベースの BNCT においても座位の採用が検討されている。しかしながら、照射の自由度に利点がある一方で、頸部の屈曲等を伴うやや窮屈な体位となるケースが多く、以下のような課題があることが明らかとなっている。

- (1) 体位の再現性に乏しい
- (2) 照射中に体位が保持できない場合がある

(1)については、事前シミュレーション時に決定した体位と、治療計画用画像の撮影時の体位、実際の照射時の体位を完全に一致させることが困難であり、患者の位置決め誤差 (セットアップエラー) が大きくなる。さらに(2)による照射中の位置ずれが加わることによって、線量評価の正確性と精度が悪化する要因となっている。

これらの影響を極力低減するための対策として、汎用カメラで撮影した写真による体位の照合や、レーザーマーカーによる位置確認、モニタカメラによる照射中の位置ずれ監視等を取り入れている。これらの対策は一定の効果をおいているものの、患者の位置情報を定量的に取得しているわけではなく、体位の再現性の評価や、セットアップエラーと照射中の位置ずれによる線量誤差の評価において、患者の位置情報を直接的に取り入れるまでには至っていないという現状であった。そこで、患者の位置情報を数値として取得し利用することで、定量的な位置情報を取り入れた評価が可能となると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究では、照射体位の再現性の向上と、セットアップエラーおよび照射中の位置ずれを反映した線量評価手法の確立を目的として、患者位置の測定方法と線量計算手法に関する検討を行った。

### 3. 研究の方法

- (1)位置ずれの計測

患者位置の測定手法の概略を図 1 に示す。本研究では、位置計測装置として Kinect センサー (MICROSOFT CORPORATION, USA) を用いた。Kinect センサーは通常の Color カメラに加えて、距離カメラ (Depth カメラと呼ばれる) を有する装置である。Kinect センサーに搭載されている Depth カメラは、赤外線を用いた飛行時間測定の原理により、512×424 ピクセルの画素毎に 0.5~数 m の距離を、毎秒 30 フレームの率で計測することができる。通常はランダムノイズにより 2~3 m に対して 30 mm 程度の距離計測誤差が生じるが、時間に対して移動平均することで 10 mm 以下程度の精度で計測が可能である。

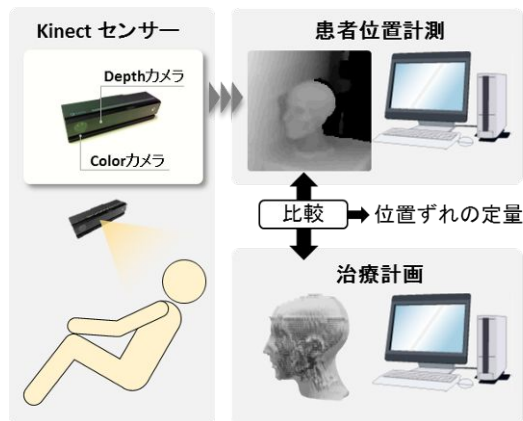


図1 Kinect センサーを用いた患者位置計測

本装置の使用状況を図 2 に示す。図では、KUR の BNCT 用照射設備に設置した様子を示している。患者および患者周辺の構造物 (装置の壁面やコリメータ等) の表面までの距離画像をリアルタイムで計測することができる。



図2 KUR の BNCT 照射設備における設置状況

以下に位置ずれの定量評価手法を示す。距離画像の計測データを任意の座標系 (例えば、ビーム出射点を原点とするビーム軸に沿った座標系) で表された点群データとしてノート PC に格納する。基準位置における距離画像と位置ずれが生じた場合の距離画像の比較演算を行うことで、位置ずれを定量評価する。セットアップエラーを評価する場合、治

療計画において設定した患者位置を基準位置とし、照射中の動きを評価する場合は、照射開始直前に確定した患者位置を基準位置とすることで、位置ずれを定量的に評価することができる。

#### (2)位置ずれを反映した線量評価

セットアップエラーまたは照射中の位置ずれは、治療計画において設定された投与線量の誤差要因となる。そこで、上述した方法により計測した患者位置を反映した線量計算を行う方法について検討した。線量計算には、BNCT 用の治療計画装置である SERA (Simulation Environment for Radiotherapy Applications) を用いることとした。以下に計算方法を示す。まず、上述した方法により計測評価された患者位置をもとに、ビーム入射位置および方向に関するパラメータを算出し、時系列のリストとして出力する。SERA の線量計算モジュール SERA\_Calc への入力としてリストからパラメータを読み込み、線量計算を実行する。最終的に各パラメータに対する計算結果を時間的に積分し、線量評価値として出力する。

### 4. 研究成果

#### (1)位置ずれの計測

位置ずれ計測の実施例を以下に示す。図 2 に示すセットアップを用いて、頭部ファントムの位置計測を実施した。距離画像の計測結果および位置ずれ評価結果を図 3 に示す。図の左が基準位置、右が下方方向に約 3 cm 変位した状態に対応する。図の上段が Color カメラの画像、中・下段が Depth カメラにより取得した距離画像である。

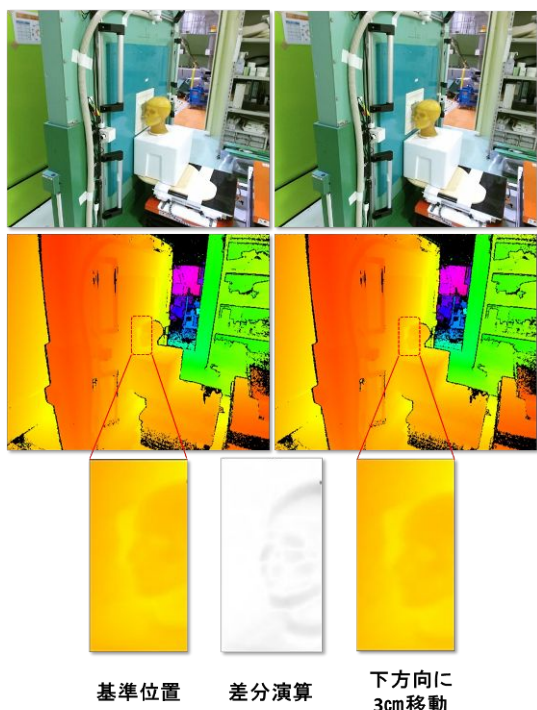


図 3 位置ずれ計測の実施例

Color カメラ画像からも視覚的に位置ずれが生じていることが分かるが、距離画像によって変位後の位置を定量的に取得できていることが分かる。下段中央は、基準位置および変位後の距離画像の差分演算を行った結果である。ずれに伴う距離の変化が大きい箇所がグレーで示されている。頭頂部や顎下部、眼窩周辺のように距離画像においてエッジとなる箇所において距離の変化が大きいことが分かる。このように距離画像の比較演算を用いることで位置ずれの計測が可能である。3 次元の点群データの探索的位置照合を用いることで、平行移動および回転を含む位置ずれを定量的に評価することも可能となる。

#### (2)位置ずれを反映した線量評価

位置ずれを反映した線量評価の実施例として、図 3 に示したような位置ずれ(下方方向に 3 cm の変位)が生じた場合について、SERA を用いた線量計算を行った。耳下腺がんを想定し、耳下腺周辺を標的体積(腫瘍)、口腔粘膜をリスク臓器として、頭部ファントムの CT 画像上に領域を設定した。位置ずれに伴い標的体積の中心が照射野中心から離れたことにより、腫瘍辺縁部の線量率が低下する結果となった。一例として、基準位置と変位後の位置に 1:1 の時間割合で滞在した場合について時間的に積分した線量を求めると、位置ずれがない場合と比べて腫瘍の線量が低下する結果が得られた。

実際に照射中の位置ずれを反映した線量評価を行う場合、典型的な照射時間である 60 分を想定し、仮に 1 分毎の位置計測結果を使用すると、60 回の独立した線量計算を行い、時間的に積分することとなる。SERA の線量計算モジュールの標準的な計算時間は 5 分程度であり、1 台の CPU で約 5 時間、4 台の CPU を用いることで 1 時間強という合理的な時間内での実行が可能となる。

以上のように、Kinect センサーを用いて計測した位置ずれのデータを SERA に取込んで線量計算に活用することにより、セットアップエラーや照射中の位置ずれを反映した線量評価が可能であることが示された。これにより、投与線量評価の正確性の向上が期待できる。また、セットアップ支援や照射中の位置ずれ抑制のための新規治具開発においても有効に利用できるものと期待される。今後は、実臨床での使用を目指して、実際の使用環境における詳細な試験を実施していく予定である。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Tanaka H., Sakurai Y., Takata T., Watanabe T., Kawabata S., Suzuki M.,

Masunaga S.-I., Taki K., Akabori K., Watanabe K., Ono K, Note: Development of real-time epithermal neutron detector for boron neutron capture therapy, Review of Scientific Instruments, 88, 2017, 056101, 査読有 / DOI:10.1063/1.4982036

Tanaka K., Sakurai Y., Hayashi S., Kajimoto T., Uchida R., Tanaka H., Takaka T., Bengua G., Endo S., Computational investigation of suitable polymer gel composition for the QA of the beam components of a BNCT irradiation field, Applied Radiation and Isotopes, 127, 2017, 253-259, 査読有 / DOI:10.1016/j.apradiso.2017.06.014

〔学会発表〕(計8件)

高田 卓志 他、患者の位置ずれによる線量分布変化に関する検討、第12回日本中性子捕捉療法学会学術大会、平成27年9月4~5日、神戸学院大学

Takushi Takata et al., Estimation method for influence of patient position error in BNCT irradiation: a conceptual study, 8<sup>th</sup> Young Researchers' BNCT Meeting, 13-17 September 2015, Pavia (Italy)

高田 卓志 他、BNCT照射時の患者位置ずれ計測システム、第13回日本中性子捕捉療法学会学術大会、平成28年8月6~7日、東京大学伊藤謝恩ホール

高田 卓志 他、ホウ素中性子捕捉療法における全頭皮照射法の検討、第112回日本医学物理学会学術大会、平成28年9月9~10日、沖縄コンベンションセンター

Takushi Takaka et al., Boron Neutron Capture Therapy for Extensive Scalp Lesions: Treatment Planning Study, The 17<sup>th</sup> International Congress on Neutron Capture Therapy, 2-7 October 2016, Columbia, Missouri (USA)

高田 卓志 他、BNCTにおける体位設定/治療計画CT寝台のカウチトップ共通化、日本放射線腫瘍学会第29回学術大会、平成28年11月25~27日、国立京都国際会館

高田 卓志 他、ホウ素中性子捕捉療法による全頭皮照射 - 熱中性子束分布均一性の改善 -、第14回日本中性子捕捉療法学会学術大会、平成29年9月29~30日、郡山市

Takushi Takata et al., Dosimetric Comparison of Total Scalp Irradiation in Boron Neutron Capture Therapy Using Thermal and Epithermal Neutron Beams, The 9<sup>th</sup> Young Researchers' BNCT Meeting, 13-15 November 2017, Kyoto (Japan)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高田 卓志 (TAKATA, Takushi)  
京都大学・原子炉実験所・助教  
研究者番号: 60444478