

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：72602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K19212

研究課題名(和文) 仮想X線画像を用いた新しい患者セットアップシステムの開発

研究課題名(英文) Patient setup system using a virtual X-ray image

研究代表者

橋本 成世 (Hashimoto, Masatoshi)

公益財団法人がん研究会・有明病院 放射線治療部・医学物理士

研究者番号：40375845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、距離画像センサで得られる深度画像及び骨格データを使用し、治療時の患者体位で得られるX線画像をスキンドメッシュアニメーションによって仮想的に生成するシステムの開発を目指すものである。市販の距離画像センサと治療計画用CT画像を用いることで、リアルタイムに疑似X線画像(DRR)と直接比較可能な画像を生成することに成功した。仮想X線画像の生成精度を向上するには、距離画像センサで取得される骨格データの再現性並びに深さ方向の検出精度をあげることが重要である。本研究の達成により、高精度な患者セットアップを被ばく無しに行え、より安全で高精度な放射線治療の提供へとつながる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to build a system to generate virtual X-ray images of patient position at the time of radiotherapy based on skinned mesh animation from depth images and skeleton data acquired by a range imaging sensor. We constructed a system to generate a virtual X-ray image which can be directly compared with digitally reconstructed radiograph (DRR) in real time using a range imaging sensor and treatment planning computed tomography images. In order to improve the accuracy of the virtual X-ray image, it is necessary to improve the reproducibility of the skeleton data and the detection accuracy of the depth image. This system enables highly accurate and non-invasive patient setup, and will lead to safer and more accurate radiotherapy.

研究分野：医学物理学

キーワード：放射線治療 外部照射 患者セットアップ 距離画像センサ

1. 研究開始当初の背景

放射線治療の患者セットアップには体表マーカが多く用いられる。しかし体表マーカは手足の位置の違いや皮膚のたるみによって簡単に動いてしまい、体軸の傾きや捻じれの補正には限界がある。近年、高精度放射線治療である強度変調放射線治療 (IMRT) や強度変調回転照射 (VMAT) といった照射法が普及し、患者体位の再現性がより重要となった。画像誘導放射線治療 (IGRT) は患者セットアップ精度が向上するため、IMRT あるいは VMAT と併用して用いられることが多い。しかしながら、IGRT においても基本的には体表マーカを基に患者セットアップを行うため、体軸の傾きや体幹部に対する腕の位置の補正が難しく、基本的には被ばくが伴う。体表マーカの問題点に対し、体表を指標とした患者セットアップシステムが市販されている。このシステムは治療計画用 CT 撮影時の体表を基準とし、治療時の患者の体表を合わせ込んでいく手法である。体表近傍の病変である乳がんや頭頸部がん用にはじめ、体表マーカや IGRT だけでは補正が難しい患者セットアップが可能となった。しかしながら、皮膚等の副作用により治療計画時の体位が再現困難な場合にはセットアップが難しく、再度 X 線画像を取得して照射領域再セットアップと再撮影を繰り返し行うこともある。この操作は放射線治療の安全性並びに精度を保つために必要不可欠であるが、被ばくの増加のみならず業務効率の低下を伴う。このような問題は治療時の患者体位から仮想的な X 線画像を取得することで改善できるが、そのようなシステムは存在しない。さらに、仮想 X 線画像の取得ができればセットアップの基準となる X 線画像をベースに体や腕の位置が確認でき、従来以上に高精度な患者セットアップが被ばく無しに行えるようになる。

2. 研究の目的

上記背景のもと、距離画像センサを用い、治療時の患者体位に合わせた仮想的な X 線画像を作成し、患者セットアップが行えるシステムを提案した。本研究の目的は仮想 X 線画像生成システムを開発することである。

3. 研究の方法

本システムでは、距離画像センサで得られる距離画像及び骨格データ (スケルトン) を使用し、スキンドメッシュアニメーションを用いて仮想的に X 線画像を生成した。図 1 に主な処理の流れを示す。治療計画用 CT 画像と治療計画時の体位で取得される骨格データの 2 つのデータを用いて仮想 X 線画像を

成する。CT 画像で描出される体表や骨、肺等の輪郭からマーチング・キューブ法でそれぞれを 3 次元 (3D) メッシュモデルに変換した。また、各 3D メッシュモデルに透過性があるマテリアルを割り当ててモデルの外観から内部の構造が観測できるようにした。骨格データは距離画像センサを用いて取得した。CT 画像と骨格データの位置合わせは、CT 画像と距離画像センサの両方で認識できる金属マーカを用い、それぞれのマーカ位置をプロクラステス解析することで行った。この後、放射線治療時の患者体位で得られる骨格データから 3D メッシュモデルをスキンドメッシュアニメーションで動作させる。最終的に動作後のモデルを描出することで DRR と比較できる仮想的な X 線画像が生成される。図 2 に患者セットアップ中に生成された仮想 X 線画像を示す。本システムでは任意のガントリ角度で得られる画像を複数同時に表示することができる。図 2 では正面像、側面像及び治療ビーム照射方向の 3 方向の画像を同時出力している。

仮想 X 線画像の生成精度は骨格データの検出精度に大きく依存する。本研究では様々な体位が保持できるファントムを撮影し、(1) 骨格データの再現性、(2) 3D メッシュモデルと骨格データの位置合わせ精度、(3) 実際のファントムの移動量と骨格データの移動量の比較を行った。図 3 に距離画像センサでファントムを撮影した配置を示す。再現性評価では同一体位のファントムを 5 回撮影し、骨格データにおけるジョイント位置の変化を計測した。位置合わせ精度は、距離画像センサ上の座標を CT 座標に位置合わせした後の金属マーカ同士の位置誤差で評価した。位置合わせには 12 個の金属球を使用した。移動量の比較では、体位を変化させたファントムを CT 撮影し、体位変化前後の CT 画像上における金属マーカの移動量と骨格データの移動量を比較した。両腕のみを 10 mm 程度動かして体位を変化させた。

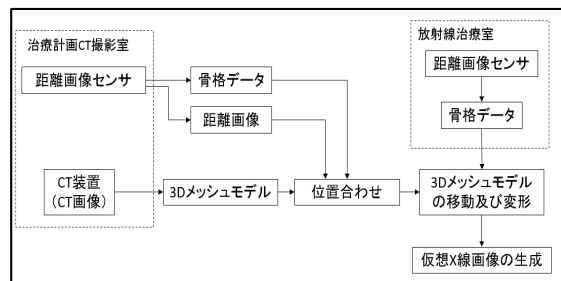


図 1 処理の流れ。

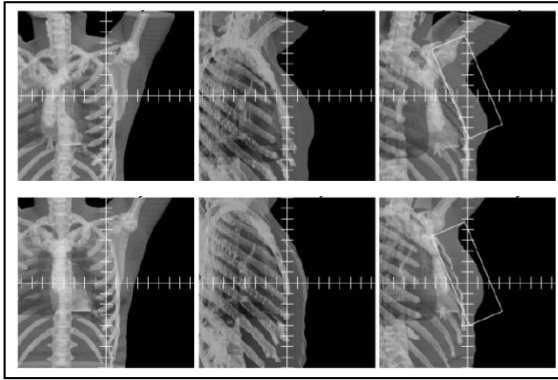


図 2 仮想 X 線画像の例。放射線治療室内の患者体位からリアルタイムに生成される。上段はセットアップ中、下段はセットアップ終了時の仮想 X 線画像。照射野は DICOM RT Plan ファイルから描出される。

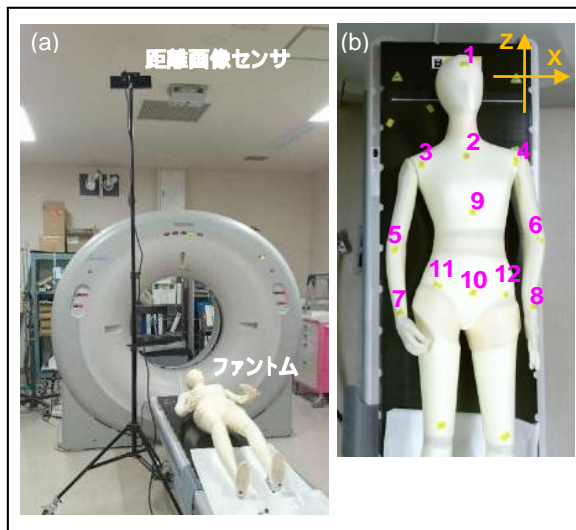


図 3 (a) 仮想骨格データ取得時の配置と (b) 金属マーカの添付位置。体軸方向を Z 軸と定義。

4. 研究成果

(1) 骨格データの再現性

図 5 に骨格データの再現性を示す。ジョイント毎に複数回計測の平均位置を求め、計測毎のジョイント位置から平均位置までのユークリッド距離を算出した。全ジョイントの平均は 4.8 mm だったが、最大で 10 mm を超える状況も観測された。

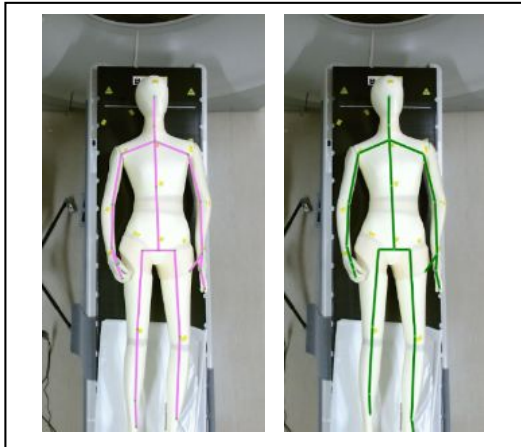


図 4 骨格データの取得例。

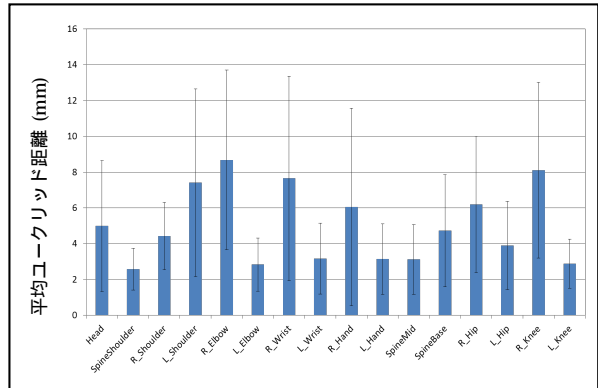


図 5 骨格データの再現性。

(2) 位置合わせ精度

図 6 に位置合わせ精度の結果を示す。全マーカにおいて金属マーカ間の 3 次元距離は 8 mm 以内であり、平均は 4.8 mm であった。図 7 に位置合わせ前の金属マーカ間の相対位置を示す。CT 画像と比較して深度画像の深さ (Y 軸) 方向のマーカの位置が大きく異なっていた。距離画像センサで検出される深さ方向の検出誤差が位置合わせ精度に大きく影響していると考えられる。

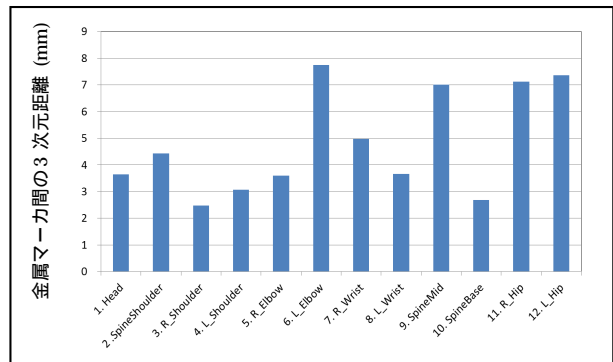


図 6 位置合わせ後の深度画像上のマーカ位置と CT 画像上のマーカ位置の差。

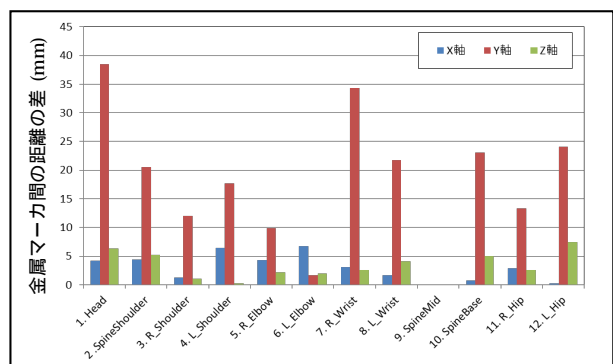


図 7 CT 画像と深度画像のマーカ検出位置の差。CT 画像と深度画像において位置合わせ前の 9 番のマーカから他のマーカまでの距離を軸毎に求めて、その差をプロットした。

(3) 骨格データの移動精度

図 8 に CT 画像から求めた金属マーカの移動量と骨格データの移動量を示す。肘と手首に添付した CT 画像上のマーカ移動量と比較し、骨格データから得られたジョイント位置の移動量は 10 mm 程度の差が認められた。体位を変化させていない部位においても深度画像上の金属マーカで 5 mm、骨格データで 10 mm 程度、CT 画像上の金属マーカの移動量と差が認められた。このことから、骨格データの再現性及び位置合わせ精度が骨格データの移動距離の誤差に大きく影響していると考えられる。

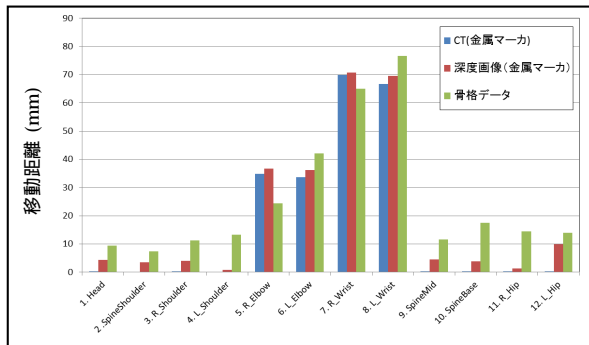


図 8 異なるファントム体位における金属マーカ並びに骨格データの移動距離。

本研究において、考案した仮想 X 線画像の生成システムを構築することに成功した。CT 画像で計測された金属マーカの移動距離と仮想骨格データの移動距離には 10 mm 程度の差が観測された。誤差を小さくするためには、骨格データの再現性及び深さ方向の検出精度の向上が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

K. Nakagawa, K. Nawa, M. Hashimoto, S. Aoki, Y. Kaneko, H. Yamashita and A. Haga, A Half-Arc Multiple Deep-Inspiration Breath-Hold Volumetric Modulated Arc Therapy for a Lung Tumor with 10 MV Flattening-Filter-Free Beams and an Image Sensor Measuring a Distance Map to Thorax Surface: An Initial Clinical Experience, International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 6, 2017, 31, 査読有.

T. Kozuka, M. Nakano, M. Hashimoto, K. Gomi, K. N. Murofushi, M. Sumi, J. Yonese and M. Oguchi, Acute and late complications after hypofractionated intensity modulated radiotherapy in prostate cancer, 5, 2017, 269, 査読有.

[学会発表](計 6 件)

橋本成世、適応放射線治療、日本放射線技術学会第 71 回東京支部春期学術大会、2017 年 5 月 1 日、駒沢大学。

M. Hashimoto, Y. Ito, R. Takahashi, M. Nakajima, F. Matsubayashi, S. Saotome, N. Kitamura, T. Sato, T. Kozuka, M. Oguchi, Four-dimensional dose reconstruction for lung cancer in volumetric modulated arc therapy, 58th Annual Meeting of the American Society for Radiation Oncology, 2016 年 9 月 25 日, Boston, USA.

橋本成世、中野正寛、伊藤康、高橋良、松林史泰、橋本竹雄、芳賀昭弘、名和要武、佐藤智春、小塚拓洋、小口正彦、距離画像センサを用いた患者セットアップシステム、第 112 回日本医学物理学会学術大会、2016 年 9 月 8 日、沖縄コンベンションセンター。

M. Nakano, A. Haga, J. Kotoku, T. Magome, Y. Masutani, S. Hanaoka, K. Nakagawa, Four-Dimensional Cone-Beam CT Iterative Reconstruction with Time-Ordered Chain Graph Model for Non-Periodic Organ Motion and Deformation, American Association of Physicists in Medicine 58th Annual Meeting and Exhibition, 2016 年 7 月 31 日, Washington, D.C., USA.

橋本成世、科研費取得による研究の発展、第 110 回日本医学物理学会学術大会、2015 年 9 月 19 日、北海道大学。

橋本成世、伊藤康、高橋良、高橋太郎、上間達也、五月女達子、明石華名、松林史泰、作美明、坂田洞察、佐藤智春、小塚拓洋、小口正彦、肺がんに対する VMAT における 4 次元線量再構成、第 110 回日本医学物理学会学術大会、2015 年 9 月 19 日、北海道大学。

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計1件）

名称：放射線治療システム、画像生成法
発明者：橋本成世、小口正彦、橋本竹雄、

小塚拓洋

権利者：橋本成世、小口正彦、橋本竹雄、
小塚拓洋

種類：特許

番号：2016-121730

出願年月日：2016年6月20日

国内外の別：国内

取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

6. 研究組織

(1)研究代表者

橋本成世（HASHIMOTO Masatoshi）

がん研究会・放射線治療部・医学物理士

研究者番号：40375845

(2)連携研究者

芳賀昭弘（HAGA Akihiro）

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：30448021

名和要武（NAWA Kanabu）

東京大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：00456914

中野正寛（NAKANO Masahiro）

がん研究会・放射線治療部・医学物理士

研究者番号：50780384

高橋良（TAKAHASHI Ryo）

がん研究会・放射線治療部・診療放射線技師

研究者番号：10716757

松林史泰（MATSUBAYASHI Fumiyasu）

がん研究会・放射線治療部・診療放射線技師

研究者番号：60716760

伊藤康（ITO Yasushi）

がん研究会・放射線治療部・診療放射線技師

研究者番号：90627564

小塚拓洋（KOZUKA Takuyo）

がん研究会・放射線治療部・副部長

研究者番号：30300932

小口正彦（OGUCHI Masahiko）

がん研究会・放射線治療部・部長

研究者番号：50169257