

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K08107

研究課題名（和文）高速三次元レーザスキャンと体熱追跡技術による新しい体表監視システムの開発と評価

研究課題名（英文）Development and evaluation of fast three-dimensional laser scanning and thermo-tracking device for patient body surface monitoring.

研究代表者

林 直樹（HAYASHI, Naoki）

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：00549884

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：当研究の目的は放射線治療において体表面の監視と熱監視を可能とする可搬型のシステムを開発することである。Azure Kinect DKを採用して可搬性を確保し、任意の位置での位置校正を可能にした。我々のシステムはデータ取得部、データ変換部、移動量計算部にて構成される。データ取得には赤外線による深度センサとRGBの2つのモードを利用し、Time of flight法により測定する。データ変換部では透視投影モデルを採用し、形状を点群処理して解析した。移動量計算ではiterative closest pointアルゴリズムによって計算を行った。このシステムは2 mm以内での移動量評価を実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

検出システムにコンピュータビジョンの理論を組み込み、任意の位置での位置認識ができる体表面監視装置を実現したことにより、放射線治療装置の種類や部屋のデザインに制約を受けることなく設置が可能である。また、可搬性を実現したことにより、放射線治療計画時や照射時、また放射線治療以外の場面での利用が可能である。そして、検出精度が2 mmであることから、通常の放射線治療には十分に利用できる。今後計算速度の向上やカメラの性能の向上により高精度放射線治療への応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a portable system for body surface monitoring and thermal monitoring in radiation therapy. The Azure Kinect DK was used as the detector to ensure portability and to enable positional calibration at arbitrary locations. The body surface detection system consisted of a data acquisition section, a data conversion section, and a movement calculation section. The data acquisition section used two modes of infrared depth sensor and RGB to measure the data by the time-of-flight method. The data conversion section applied a perspective projection model and analyzed the geometry by processing point clouds. The iterative closest point (ICP) algorithm was used to calculate the displacement. The performance of this system was evaluated that the displacement was evaluated within 2 mm.

研究分野：医学物理学

キーワード：体表面監視 放射線治療 Interfractional error 光切断法 位置再現性 マルチモダリティ

1. 研究開始当初の背景

近年では、体表面の情報を三次元的に取得して照射前の位置合わせや照射中の体動を監視する技術が放射線治療に応用されてきている。の背景には、X線を用いた患者位置決め装置と体表面情報を効率的に活用し、被ばく線量を減らして低侵襲に高精度で安全な放射線治療を提供できることが挙げられる。この体表監視技術は多くの疾患に利用されるが、現状では主に深吸気乳房照射や小児の照射の治療中監視、頭頸部の位置監視に有効例が示されている。しかし一方で、現在の体表面監視装置は光学ベースでの装置が主流であり、体表に検出可能な擬似ランダム光学パターンを投影し、カメラで検出することで位置情報を取得するシステムなため、放射線治療室内の明度が検出精度に影響することや、体表に直接信号を投影しないと監視ができないという弱点がある。これは、乳房照射では着衣なしでの照射が必要で、小児治療においても暗室下での照射が望ましく、頭頸部においてもシェルの開口部が必要ということである。この状態では、乳房照射患者の羞恥心、小児患者の不安、頭頸部シェル内の位置不確かさのそれぞれを助長する可能性がある。

一方、近年におけるがん治療法は、手術療法・薬物療法・放射線療法をはじめとする三大療法やその他の補助療法との併用療法によって集学的な治療法が主流である。放射線治療の視点からこれを見ると、危険領域に位置する腫瘍を手術療法で縮小してからの化学放射線療法や、血管充実性腫瘍に対するIVR下動注化学療法後の放射線療法、がん細胞の熱に対する耐性を狙っての温熱療法併用の放射線治療などががん治療の効果を上げている。特に最近では、がんの免疫抑制機能に対する免疫抑制信号の伝達を阻害する薬剤(免疫チェックポイント阻害薬)と温熱療法および放射線療法との併用が、進行がんに対する新しい治療法として注目されている。このように、がんの治療方針はキャンサーボード等を通して系統的かつ領域横断的に進化している。しかしながら、患者の位置情報や温熱情報が統一しているとは言えない。手術・薬剤療法・温熱療法・放射線療法の座標情報や画像情報を統一すれば、より系統的かつ定量的な治療が行えると考えられる。例えば、温熱療法のヒートマップと3Dの体表情報、患者位置情報を統合することによって、温熱ガイド放射線治療が可能となるかもしれない。これらの背景より、三次元位置情報および温熱情報を定量的に取得でき、かつ各種モダリティに対応できる新しい体表面監視装置が集学的がん治療に応用されることが望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、放射線治療において治療着用衣や固定具を装着した状態でも体表面の監視を実現するとともに他の治療法の空間的座標との連結を可能とする、三次元レーザスキャン技術とサーモグラフィ機能を統合させた新しい体表面監視装置を開発することである。

3. 研究の方法

今回の研究を実施するにあたり、藤田医科大学、量子科学技術研究開発機構(National Institutes for Quantum Science and Technology: QST)、金沢大学をそれぞれの研究拠点とし、研究を円滑に進めるために研究細目を分けて研究内容を研究者で分担した。図1は各研究拠点における実施項目である。藤田医科大学では林、浅田、安井の各研究者とその大学院生によるチームにより、三次元レーザスキャン機構の開発、熱監視による追跡システムの開発、人工知能を用いた最適な監視領域の推定、数理解析アルゴリズムによる呼吸管理について研究を行った。QSTにおいては森の研究チームを中心に超高速体表位置計測アルゴリズムの開発を行った。金沢大学では武村の研究チームを中心に非剛体レジストレーションアルゴリズムの開発を行った。3カ年の研究期間のうち、2020年度と2021年度の2年間は新型コロナウイルス感染症の蔓延により移動制限が行われたため、各研究拠点間の移動や対面での研究会議および実験は当初の計画通りにできなかったものの、これらの研究の進捗はオンラインミーティングやクラウドデータサービスを活用してできるだけ遅延のないように心がけた。

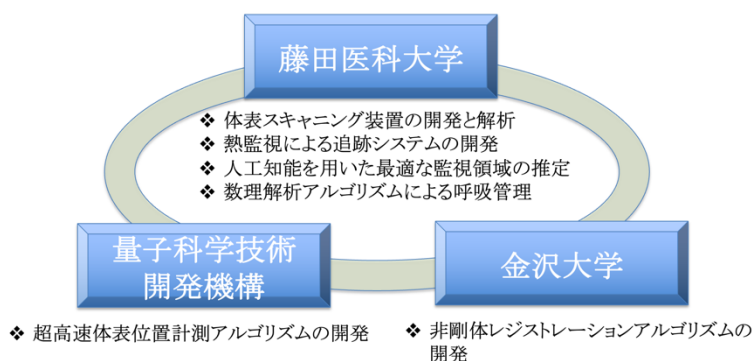


図1 研究拠点と研究項目

そのように行った研究細目を一連の研究プロジェクトに置き換えると次のように項目をまとめることができる。

A. 可搬型体表面検出装置の開発

当研究のコンセプトである、可搬型のシステムに対応するために、Azure Kinect DKを検出器として採用した。我々の体表面検出システムはデータ取得部、データ変換部、移動量計算部にて構成される。データ取得部は赤外線による深度センサと RGB の 2 つのモードで形状を認識し、Time of flight 法により測定する。この Azure Kinect を任意の位置に設置して計測できるように、位置座標校正の手法を開発した。位置座標校正は ChArUro ボード(図 2)とチェスボードが組み合わされた特殊なキャリブレーションボードを用いた。これにより校正された座標系を踏襲し、データ変換部において透視投影モデルを採用し、点群処理をして解析した(図 3)。

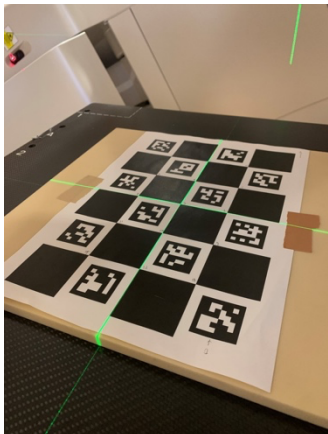


図 2 座標校正用 ChArUro ボード

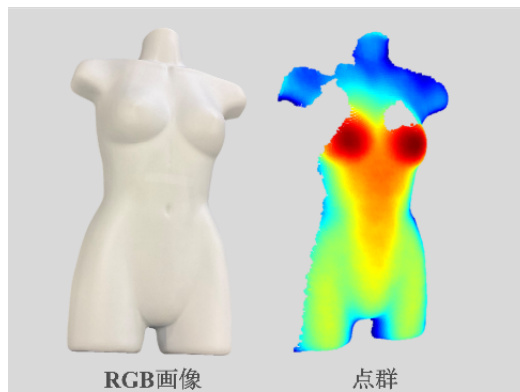


図 3 RGB 画像と点群画像

B. 体表面監視装置の導入が及ぼす影響

体表面監視装置を用いて検出をする際の被検出体の形状の変化による検出正確度および検出精度の違いについて明らかにするために、3種類のファントム(頭部、胸部、骨盤部)を用いて評価を行った。我々のシステムはまだ完成していなかったため、我々装置の検出原理に類似している市販品(VOXELAN: ERD社)とExacTrac(BrainLAB)を用いて評価を行った。評価項目としては座標一致度、検出正確度、検出精度である。CBCTで撮像した被検出体の形状を基準としてVOXELANおよびExacTracでの位置との比較を行った。

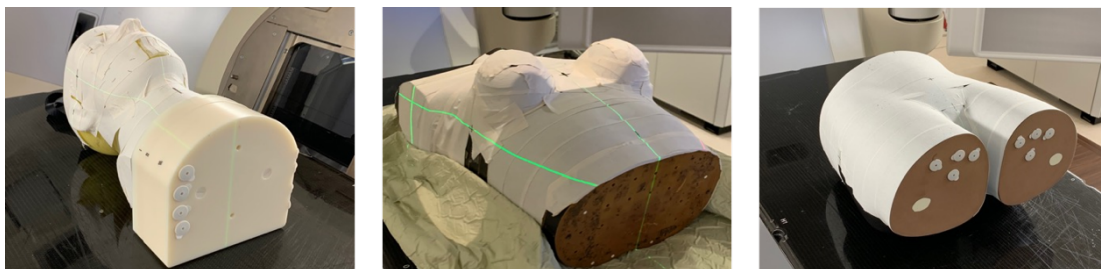


図 4 非検出体の形状の違いによる評価に用いたファントム

C. 非剛体レジストレーション技術の応用

検出体の一部が変形している場合に、その形状が参照基準画像と違うために検出値が悪化することがある。これを回避するためや、治療過程での照射後の変化を検出するために一部の領域に対して非剛体レジストレーションを行う。しかし、非剛体レジストレーションのアルゴリズムの違いにより検出結果に影響する可能性がある。その影響を明らかにするために、DIRARTを用いて4種類の基本的なアルゴリズム(Horn-Schnuck Optical Flow, Combined HS & LK Optical Flow (HSLK), Iterative Optical Flow (IOF), Free Form Deformation (FFD))と市販のアルゴリズム(MiradaRTx, Mirada Medical)を用いて、デモ画像に対する比較を行った。

4. 研究成果

A. 可搬型体表面検出装置の開発

検出センサの設定位置の影響を明らかにするために、Azure Kinectの設置位置を変えた場合の検出正確度と検出精度を評価した。Kinect1では被検出体に対してLong方向に、Kinect2ではLateral方向にAzure Kinectの光軸が平行になるように設置をした。図5はその認識位置誤差である。基本的に1.5 mm以内であり、突発的なエラーを含めても2 mm以内に収まった。すべて

の方向で設置位置により平均値に差はみられなかった。位置誤差の標準偏差はセンサの光軸と平行の方向である Kinect1 では Long 方向、Kinect2 では Lateral 方向において最大であり、それぞれ 0.40 mm、0.48 mm であった。この研究成果の一部は日本医学物理学学会第 121 回学術大会および AAPM2021 にて発表し、現在論文投稿中である。

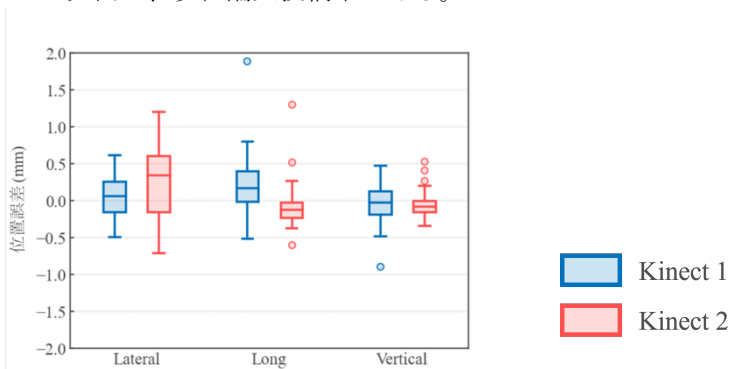


図 5 検出器の設置位置の違いによる検出正確度・精度の違い

B. 体表面監視装置の導入が及ぼす影響

図 6 に頭部ファントムにおける IGRT 装置間の座標一致度を示す。VOXELAN と CBCT の残余誤差は lateral 方向と vertical 方向を除いて、各軸で 0.8 mm、0.8° 以内であった。lateral 方向と vertical 方向の残余誤差は最大 1.9 mm と 2.2 mm であった。ExacTrac と CBCT の残余誤差は各軸で 0.4 mm、0.3° 以内であった。その他、胸部ファントムや骨盤ファントムについても同様に評価をし、概ね同じような結果を得られた。光切断法を使用するアルゴリズムであることから、陰影が生じることや、レーザ光で検出できない領域がある場合にはその欠損領域のエラーにより結果に影響を及ぼすことがわかった。このことから C. で示す非剛体レジストレーションの応用が有効であることを明らかにした。この研究の一部は AAPM2020 で発表し、研究成果の前用は現在論文投稿中である。

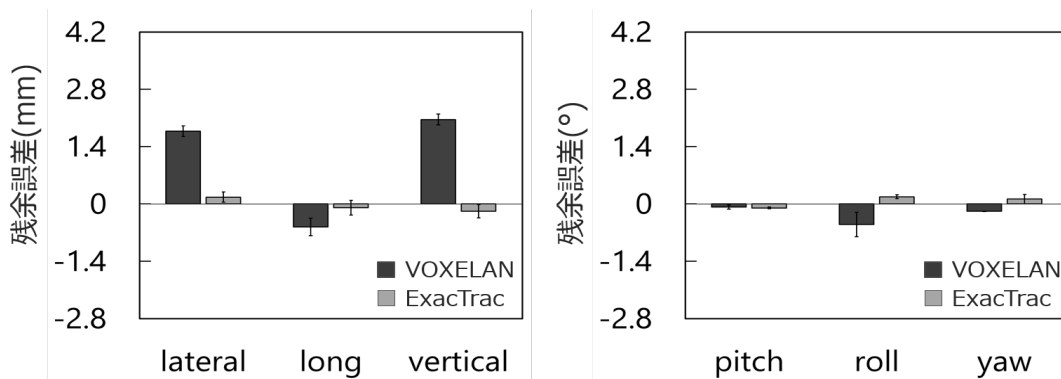


図 6 頭部ファントムにおける各 IGRT 装置の座標一致度

C. 非剛体レジストレーション技術の応用

患者モデルデータを用いて 4 つの基本的な DIR アルゴリズムおよび市販品とのアルゴリズムを用いて変形正確度・精度の違いを比較したところ、被変形体の形状の違いにより変形正確度と精度が異なることが明らかとなった。図 7 に示すように、IOF の結果が最も悪かったが、これは被変形体の画像コントラストやストラクチャー定義が影響したものと考えられる。この研究成果の一部は日本医学物理学学会第 123 回学術大会で発表し、AAPM2022 で追加情報を発表予定であり、研究の全容については論文にて公表する予定である。

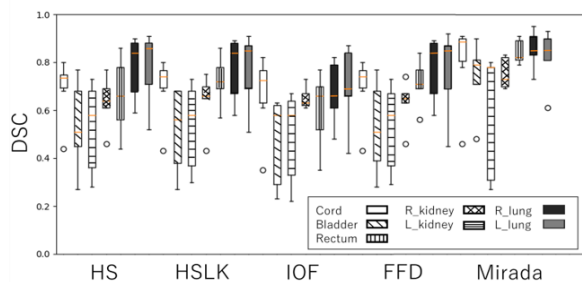


図 7 非剛体レジストレーションアルゴリズムの違いによる変形正確度・精度の違い

[論文と Proceedings]

- (1) Komori R, Hayashi N, Saito T, Amma H, Muraki Y, Nozue M: Improvement of patient localization repeatability using a light-section based optical surface guidance system in a pre-positioning procedure. Cancer Radiother Vol26(4), 547-556, 2022
- (2) Shun Kurata, Yasunori Saito, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Riki Oshika, Naoki Hayashi. Simple evaluation of the accuracy of irradiation position for single isocenter multiple target stereotactic radiotherapy. Jpn. J Med Phys Vol.41 63-63, 2021.
- (3) Riki Oshika, Shinichiro Mori, Yasuhiko Tachibana, Akihiro Nomoto, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Shun Kurata, Naoki Hayashi. Development and feasibility of a simple portable body surface monitoring device using an infrared camera in radiotherapy. Jpn J Med Phys Vol.41 113-113, 2021.

[学会発表]

- (1) 林 直樹 IGRT の概要と役割
第 78 回日本放射線技術学会学術大会総会 横浜 2022 年
- (2) Daisuke Yamanaka, Shinichiro Mori, Keisuke Yasui, Riki Oshika, Naoki Hayashi
Evaluation of detection accuracy for moving objects with an infrared depth camera
The 123rd Scientific meeting of Japan society of medical physics 横浜 2022 年
- (3) Masato Horita, Naoki Hayashi, Keisuke Yasui, Akihiro Takemura
Comparison of the matching accuracy between 5 different deformable image registration algorithms.
The 123rd Scientific meeting of Japan society of medical physics 横浜 2022 年
- (4) Shun Kurata, Yasunori Saito, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Riki Oshika, Naoki Hayashi. Simple evaluation of the accuracy of irradiation position for single isocenter multiple target stereotactic radiotherapy. The 121st Scientific meeting of Japan Society of Medical Physics. 横浜, 2021 年
- (5) Riki Oshika, Shinichiro Mori, Yasuhiko Tachibana, Akihiro Nomoto, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Shun Kurata, Naoki Hayashi. Development and feasibility of a simple portable body surface monitoring device using an infrared camera in radiotherapy. The 121st Scientific meeting of Japan Society of Medical Physics. 横浜, 2021 年
- (6) Kazuki Ouchi, Naoki Hayashi, Takuma Ogawa, Tatsunori Saito, Hiroshi Anma, Keisuke Yasui: Evaluation of Coordinate Coincidence Among Multiple Image Guidance Systems
American Association of Physicists in Medicine annual meeting 2020 2020 年
- (7) 大内一輝, 林直樹, 齋藤龍典, 安間啓, 長谷川晋也, 野末政志: 異なる画像誘導装置の検出位置座標一致性の評価 中部放射線医療技術学術大会 2019 年
- (8) Naoki Hayashi, Yuma Takada, Tsutomu Mizuno, Taro Murai
Comparison of dose distribution and dose indexes in whole breast irradiation plans with/without breath-hold technique using dynamic movable head of tilt/pan angles.
The 61st annual meeting of American Association of Physicists in medicine 2019 年
- (9) Tatsunori Saitoh, Naoki Hayashi, Syoya Hasegawa, Hiroshi Amma, Masashi Nozue
Evaluation of inter-/intra-fractional variation in deep breath-hold left breast irradiation using 3D patient surface guidance.
The 61st Annual meeting of American Association of Physicists in Medicine 2019 年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shun Kurata, Yasunori Saito, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Riki Oshika, Naoki Hayashi	4. 巻 41
2. 論文標題 Simple evaluation of the accuracy of irradiation position for single isocenter multiple target stereotacti radiotherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J Med Phys	6. 最初と最後の頁 63-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Riki Oshika, Shinichiro Mori, Yasuhiko Tachibana, Akihiro Nomoto, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Shun Kurata, Naoki Hayashi	4. 巻 41
2. 論文標題 Development and feasibility of a simple portable body surface monitoring device using an infrared camera in radiotherapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The 121st Scientific meeting of Japan Society of Medical Physics	6. 最初と最後の頁 113-113
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Shun Kurata, Yasunori Saito, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Riki Oshika, Naoki Hayashi
2. 発表標題 Simple evaluation of the accuracy of irradiation position for single isocenter multiple target stereotacti radiotherapy
3. 学会等名 The 121st Scientific meeting of Japan Society of Medical Physics
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Riki Oshika, Shinichiro Mori, Yasuhiko Tachibana, Akihiro Nomoto, Keisuke Yasui, Masaya Ichihara, Shun Kurata, Naoki Hayashi
2. 発表標題 Development and feasibility of a simple portable body surface monitoring device using an infrared camera in radiotherapy
3. 学会等名 The 121st Scientific meeting of Japan Society of Medical Physics
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安井 啓祐 (Yasui Keisuke) (50804514)	藤田医科大学・医療科学部・講師 (33916)	
研究分担者	浅田 恭生 (Asada Yasuki) (60308848)	藤田医科大学・保健学研究科・教授 (33916)	
研究分担者	森 慎一郎 (Mori Shinichiro) (60415403)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 物理工学部・グループリーダー(定常) (82502)	
研究分担者	武村 哲浩 (Takemura Akihiro) (70313674)	金沢大学・保健学系・教授 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------