

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：34324

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24591853

研究課題名(和文) 3次元照射方向の最適化に向けた治療機器の干渉検出シミュレータに関する研究

研究課題名(英文) Development of a collision detection simulator for optimization of 3D irradiation in radiation treatment

研究代表者

澤田 晃 (SAWADA, AKIRA)

京都医療科学大学・公私立大学の部局等・教授

研究者番号：80543446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：照射装置、治療台、患者間の物理的干渉判定と同時に3次元表示する干渉検知シミュレータを開発した。本シミュレータにより、治療計画時にビーム配置と同時にその照射条件における機器間の干渉有無を把握できるため、即座に治療計画の修正が可能となり、更に、干渉判定と同時に呈示する各機器の3次元表示機能は、照射方向の決定に寄与することが示唆された。また、患者視点からの表示機能により、患者から見た照射装置の動きが得られ、患者へ新しい治療説明の方法として有効となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a patient-specific collision detection simulator among a gantry, a couch, and a patient. This collision detection simulator has a capability to help oncologists/physicists to edit their treatment plans with ease and to make a decision of optimum irradiation direction when collision among them is detected. Furthermore, patient-eye-view function may be useful to give patients to new explanation about their treatments as informed consent.

研究分野：放射線治療技術

キーワード：干渉検知

## 1. 研究開始当初の背景

定位放射線治療と強度変調放射線治療等の高精度放射線治療では、3次元且つ多方向からの照射や、照射野内の線量強度分布を変化させた複数の治療ビームを組合せた照射、固定具を用いて照射中心精度を高く維持する等により、正常組織への線量を低減しながら腫瘍への線量を集中させる。定位放射線治療は肺癌や肝臓癌の体幹部腫瘍に対して平成16年に、強度変調放射線治療は脳や頭頸部、前立腺癌に対して平成22年に保険収載となり、施行施設は増加している。近年、これらはX線透視やCT等の画像を利用して標的を確認し、高精度照射する画像誘導放射線治療の枠組みとして行われている。しかし、上記の高精度放射線治療の実施においては、

- (1)固定具やアプリケーションを装着した状態で照射装置や治療台を回転させるため、機器や患者間の干渉が生じる
- (2)患者の体型や姿勢を考慮した患者別の干渉判定は困難である
- (3)機器の干渉を技師の経験や照射装置や治療台の干渉マップにより確認しているが、複雑な照射配置の確認は困難かつ干渉マップの作成には負荷が大きく、精度も十分とはいえない
- (4)機器の干渉は治療計画作成後に検証されることが多く、再計画が必要となるケースが生じるなど課題が多い。

## 2. 研究の目的

本研究では、高精度放射線治療に用いる照射装置や固定具等のアクセサリ、治療台、患者間の物理的干渉判定と同時に3次元表示するシミュレーション手法を確立し、実時間に機器間の干渉判定を行いながら、照射方向の最適化を含む治療計画の作成を可能とする基盤技術の提供および以下のことを明らかにすることを目的とした。

- (1)照射装置や固定具、治療台および人体について、形状および動作を模擬する物体モデルを生成する。
- (2)上記(1)で作成した物体モデル同士の相互干渉を検出すると同時に、機器や人体の物体モデル間の干渉有無を可視化するソフトウェアを開発する。また、治療時の患者の目線による治療機器の見え方の表示手法を考案する。

## 3. 研究の方法

### (1)患者モデルの生成

球や直方体の基本形状の組合せによる簡易人体モデルでは、実際には衝突しない状態を衝突と判定するケースが生じる。そこで、3Dスキャナ(Artéc3D、データデザイン社)を用いて実患者の体表データを3次元距離データとして測定し、表面形状モデルを生成した。処理の負荷を軽減するため、デシメーションにより表面形状モデルのポリゴン数を減らした。

### (2)治療装置モデルの生成

開発元より入手した治療装置 Vero4DRT の3次元設計データを使用してリング、ガントリー、治療台、治療装置周辺パーツの3Dモデルデータを作成し、それらを組み合わせるシミュレータの治療装置モデルを生成した。これにより、本シミュレータの機能の一つである患者視線表示機能において、治療台上の患者からの治療装置の見え方に、より高い臨場感を与えられる。また、Vero4DRTは、鉛直軸周りの回転(リング回転、回転角:  $-60^{\circ} \sim 60^{\circ}$ )とそれに垂直な治療台の駆動方向周りの回転(ガントリー回転軸、回転角:  $-185^{\circ} \sim 185^{\circ}$ )が可能である。回転運動で使用するジョイントに角度制限を設定することで回転角度の制限に対応し、実環境との整合性を高めた。そして、治療装置の可動回転角の範囲に対して、患者と治療装置の干渉の有無を表す干渉テーブルを作成した。

### (3)距離表示機能

患者と機器との距離は、患者モデルの各ポリゴンの頂点とドーナツ上の装置の内側のポリゴンの頂点との距離を計算し、長さにより5段階に色付けした直線を描画した。これにより、患者と治療装置との距離を視覚的に把握できる。

### (4)ダイナミックウェーブアーク(DWA)照射の軌道シミュレーション

DWA照射はVero4DRTの新しい放射線照射法であり、リングとガントリーを回転させながら連続照射する。そのため、治療装置および治療台が動的且つ複雑に駆動することになり、機器間の干渉が生じる可能性がより高くなる。そこで、この照射方法をシミュレータ上で再現すべく、入手した軌道サンプルデータからリング角とガントリー角の情報を抽出して干渉有無をシミュレーションした。そして、シミュレーション結果を軌道サンプルデータ内の治療計画、実機のデータと比較した。

## 4. 研究成果

図1に作成した患者モデルを示す。患者は腕への照射を避けるべく、拳上姿勢である。患者モデルのポリゴン数は31,270であった。

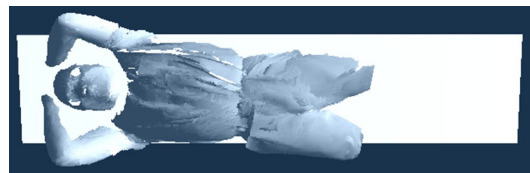


図1 患者モデル

図2に設計データから作成した治療装置モデルを示す。設計データから治療装置のモデルを作成したことで、正確な干渉を模擬できるようになった。また、ガントリーとリングのアーム接続部分や治療台の下部のパーツも表現ができ、シミュレータの写実性が向上した。

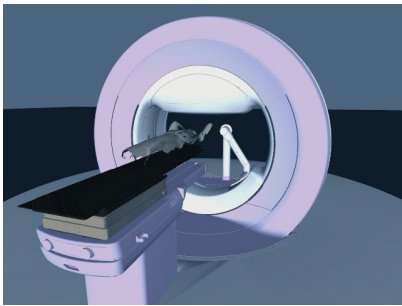


図2 治療装置モデル

図3に患者視点から見た場合のガントリーヘッド部分のヘッドのモデルを示す。患者視点から見た時のガントリーが立体的に表示できていることを確認した。この表示機能は、患者が実治療における患者の不安を軽減するインフォームドコンセントに利用できる。

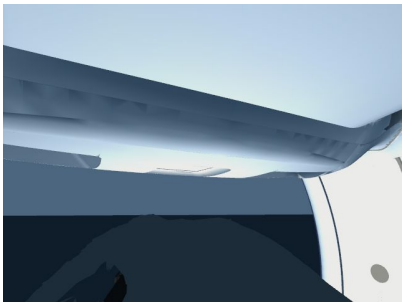


図3 患者視点からの表示

本研究で作成した治療装置のモデルを使用したシミュレータにおいて、患者と治療台が治療装置内の中心位置に配置されている場合のガントリーに対する患者と治療台の干渉の有無を表すマップを図4に示す。

図4からリング角度が正の値の場合はガントリー角度が $10^{\circ} \sim 150^{\circ}$ の時と $-10^{\circ} \sim -100^{\circ}$ の時に干渉が発生しやすく、リング角度が負値の場合はガントリー角度が $10^{\circ} \sim 100^{\circ}$ の時と $-10^{\circ} \sim -150^{\circ}$ の時に干渉が発生しやすいことが確認できる。また、患者と治療台、両方の干渉分布から患者と治療装置との干渉が発生しやすいことを確認した。

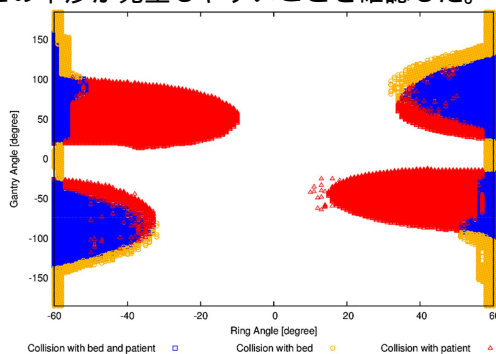


図4 干渉マップ

図5に、改良した距離表示機能の表示例を示す。治療装置から患者と治療台が20 cm 間隔で色分けした。図5から、リング内側上部と患者との距離は直線の色数が少なく距離が短いことが示され、側面や下部の場合は直線の色数が多く距離が離れていることが示された。

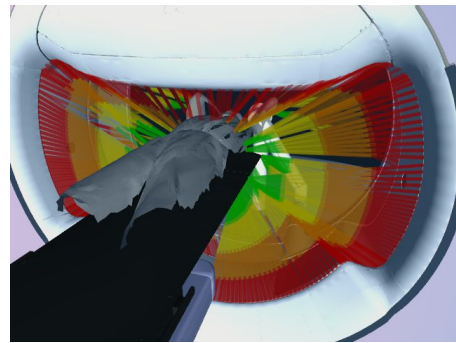


図5 距離表示機

ダイナミックウェーブアーク(DWA)照射の軌道サンプルデータを基に、そのアーク軌道をシミュレーションした。サンプルとして、(リング角,ガントリー角) $=(-30^{\circ}, 30^{\circ})$ から(リング角,ガントリー角) $= (0^{\circ}, 90^{\circ})$ を通り(リング角,ガントリー角) $= (-30^{\circ}, 150^{\circ})$ まで回転する軌道をシミュレーションし、サンプルデータの軌道に沿ってリングとガントリーが回転していることを確認した。また、シミュレーションにおける回転速度を治療装置の実際値へと調整した。表1にDWA照射のリングとガントリーの角度の13組の組合せに対する実際の治療装置、シミュレータの各到達時間と治療装置に対するシミュレータの到達時間の誤差を示す。表1からシミュレータにおけるDWA照射が実際の治療装置の動きに対して1秒以内の残差で模擬できることを確認した。

表1 DWA照射の所要時間のシミュレーション

| リング/<br>ガントリー | 治療装置(秒) | シミュレータ(秒) | 差異(秒) |
|---------------|---------|-----------|-------|
| -30.0/30.0    | 0.0     | 0.0       | 0.0   |
| -28.0/40.0    | 6.2     | 5.8       | -0.4  |
| -23.0/50.0    | 11.6    | 11.2      | -0.4  |
| -15.0/60.0    | 17.1    | 16.8      | -0.3  |
| -8.0/70.0     | 22.5    | 22.3      | -0.2  |
| -2.0/80.0     | 27.9    | 27.7      | -0.2  |
| 0.0/90.0      | 33.3    | 33.1      | -0.2  |
| -2.0/100.0    | 38.7    | 38.7      | 0.0   |
| -8.0/110.0    | 44.2    | 44.3      | 0.1   |
| -15.0/120.0   | 49.6    | 49.7      | 0.1   |
| -23.0/130.0   | 55.0    | 55.3      | 0.3   |
| -28.0/140.0   | 60.3    | 60.8      | 0.5   |
| -30.0/150.0   | 66.4    | 66.2      | -0.2  |

本シミュレータにより、治療計画時に、ビーム配置と同時にその照射条件における機器間の干渉有無を把握できるため、即座に治療計画の修正が可能となり、干渉判定と同時に呈示する各機器の3次元表示は、照射方向の決定に寄与することが示唆された。また、患

者視点からの表示により、患者から見た照射装置の動きが得られ、患者への治療説明の新しい方法として有効となることが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 18 件)

澤田 晃、森山 真光 他、Collision map using a collision detection simulator among treatment apparatus for radiotherapy treatment planning、第 107 回日本医学物理学会学術大会、2014 年 4 月 10 日～2014 年 4 月 13 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

末岡 正輝(澤田 晃)他、Development of hybrid dynamic tumor tracking irradiation using Vero4DRT: A preliminary study、第 107 回日本医学物理学会学術大会、2014 年 4 月 10 日～2014 年 4 月 13 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

田邊 裕朗(澤田 晃)他、Impact of respiratory signal exceeding range of correlation model on predictive accuracy in infrared marker-based dynamic tumor tracking、第 107 回日本医学物理学会学術大会、2014 年 4 月 10 日～2014 年 4 月 13 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

澤田 晃、森山 真光 他、3D collision map creation using patient-specific collision detection、ESTRO 33、2014 年 4 月 4 日～2014 年 4 月 8 日、ウィーン(オーストリア)

末岡 正輝(澤田 晃)他、Development of hybrid dynamic tumor tracking irradiation using Vero4DRT、ESTRO 33、2014 年 4 月 4 日～2014 年 4 月 8 日、ウィーン(オーストリア)

石原 佳知(澤田 晃)他、Development of 4D Monte Carlo dose calculation system for intensity、ESTRO 33、2014 年 4 月 4 日～2014 年 4 月 8 日、ウィーン(オーストリア)

渡邊 大悟(澤田 晃、森山 真光)他、光学位置センサを用いた放射線治療装置の衝突検知シミュレータの精度評価、電子情報通信学会関西支部 第 19 回学生会研究発表講演会、2014 年 2 月 28 日～2014 年 2 月 28 日、同志社大学(京都府・京田辺市)

鴻池 輝(澤田 晃、森山 真光)他、Improvement of collision detection simulator for Vero4DRT using software quality metrics、13<sup>th</sup> AOCMP、2013 年 12 月 12 日～2013 年 12 月 14 日、シンガポール(シンガポール)

澤田 晃、森山 真光 他、Development

of a patient-specific collision detection simulator among gantry, couch, and patient for Vero4DRT、13<sup>th</sup> AOCMP、2013 年 12 月 12 日～2013 年 12 月 14 日、シンガポール(シンガポール)

澤田 晃、森山 真光 他、Development of a patient-specific collision detection simulator among gantry, couch, and patient for Vero4DRT、The 2<sup>nd</sup> ESTRO Forum、2013 年 4 月 19 日～2013 年 4 月 23 日、ジュネーブ(スイス)

澤田 晃、森山 真光 他、Development of a collision detection simulator among treatment apparatus for radiotherapy treatment planning、第 105 回日本医学物理学会学術大会、2013 年 4 月 11 日～2013 年 4 月 14 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

鴻池 輝(澤田 晃、森山 真光)他、放射線治療装置 Vero4DRT シミュレータの衝突回避機能に関する研究、2013 年電子情報通信学会総合大会、2013 年 3 月 19 日～2013 年 3 月 22 日、岐阜大学(岐阜県・岐阜)

椎木 健裕(澤田 晃)他、肺腫瘍動体追尾照射のためのガフクロミックフィルムモデルを用いた簡易的透視被ばく線量測定法の開発、日本放射線腫瘍学会第 25 回学術大会、2012 年 11 月 23 日～2012 年 11 月 25 日、東京国際フォーラム(東京都)

松尾 幸憲(澤田 晃)他、Dynamic Tumor Tracking Irradiation with Real-time Monitoring using Vero4DRT、第 4 回日中韓放射線腫瘍シンポジウム、2012 年 11 月 23 日～2012 年 11 月 25 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

石原 佳知(澤田 晃)他、Four-dimensional Monte Carlo dose calculation method for dynamic tumor tracking irradiation with a gimbaled X-ray head、ASTRO 54、2012 年 10 月 28 日～2012 年 11 月 1 日、ボストン(アメリカ)

澤田 晃、森山 真光 他、Development of a dynamic tumor tracking irradiation system, Vero4DRT, with a gimbaled x-ray head、ESTRO 31、2012 年 5 月 9 日～2012 年 5 月 13 日、バルセロナ(スペイン)

松尾 幸憲(澤田 晃)他、An Initial Experience of Dynamic Tumor Tracking Irradiation with Real-time Monitoring using Vero4DRT、ESTRO 31、2012 年 5 月 9 日～2012 年 5 月 13 日、バルセロナ(スペイン)

澤田 晃、画像誘導放射線治療の基礎、第 71 回日本医学放射線学会、2012 年 4 月 12 日～2012 年 4 月 15 日、パシフィコ横浜(神奈川県・横浜)

〔産業財産権〕

出願状況（計1件）

名称：放射線画像解析装置、放射線治療システム、マーカ部分検出方法およびプログラム

発明者：山田 昌弘、澤田 晃

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 201201599

出願年月日：2013年02月27日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

澤田 晃 (SAWADA, Akira)

京都医療科学大学・医療科学部放射線技術  
学科・教授

研究者番号： 80543446

### (2) 連携研究者

森山 真光 (MORIYAMA Masamitsu)

近畿大学・大学院総合理工学研究科・准教  
授

研究者番号： 00283953