



(74) 代理人: 弁理士法人ウィルフォート国際特許事務所 (WILLFORT INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒1030001 東京都中央区日本橋小伝馬町 20 番 3 号 W 2 K O D E N M A C H O 3 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

that acquires a reference 2D image which is a two-dimensional image of the specific region at a predetermined reference time and a real-time 2D image which is a two-dimensional image of the specific region at real time; an image simulator that uses the estimated 2D motion and the reference 2D image to generate a pseudo real-time 2D image that simulates the two-dimensional image of the specific region at real time; and an estimation correction unit that corrects the estimated 3D motion on the basis of a comparison between the pseudo real-time 2D image and the real-time 2D image.

(57) 要約: リアルタイムの画像を基に腫瘍の動きをマーカレスで高い精度で追跡することを可能にする。特定領域における標的および組織の動きを追跡する動き追跡装置は、リアルタイムでの標的および組織の三次元の動きを推定した推定 3 D 運動と、リアルタイムでの標的および組織の二次元の動きを推定した推定 2 D 運動とを取得する動き推定器と、所定の参照時点での特定領域の二次元画像である参照 2 D 画像と、リアルタイムでの特定領域の二次元画像であるリアルタイム 2 D 画像とを取得する画像取得器と、推定 2 D 運動と参照 2 D 画像とを用いて、リアルタイムの特定領域の二次元画像を疑似する疑似リアルタイム 2 D 画像を生成する画像シミュレータと、疑似リアルタイム 2 D 画像とリアルタイム 2 D 画像との比較に基づいて、推定 3 D 運動を補正する推定補正器と、を有する。

## 明 細 書

発明の名称：

動き追跡装置、放射線治療システム、および動き追跡方法

### 技術分野

[0001] 本開示は放射線治療の技術に関する。

### 背景技術

[0002] 放射線治療では、電離放射線が標的に照射される。例えば、癌細胞を死滅させるために高エネルギー粒子ビームが腫瘍領域に向けられる。治療の効果を最大化し、治療による副作用を最小限に抑えるには、周囲の健康な組織を温存しながら、放射線を腫瘍に集中させることが重要である。しかしながら、呼吸による人体の動きにより、治療線の精度が低下する恐れがある。したがって、放射線の正確な線量を腫瘍に確実に送達するために動き管理が必要とされる。

[0003] X線イメージングなどのリアルタイムの医療イメージング技術は、体組織のリアルタイムの動きに関する情報を提供する。このような情報は、治療ビームを誘導し、腫瘍に線量を正確に送達するために使用することができる。リアルタイムの医用画像は通常、腫瘍のコントラストが低いため、外科手術によって基準マーカを患者の体内に挿入する場合がある。体内の基準マーカを使用すれば腫瘍の動きの追跡精度は向上するが、基準マーカ自体が侵襲的であり、また基準マーカが患者の体内で移動する恐れもある。

[0004] 特許文献1には、基準マーカを使用せずに標的のリアルタイムの動きを追跡する方法が開示されている。この方法は、予め標的領域を示す画像を生成し、生成された画像をリアルタイム画像と一致させる。例えば、治療前にまずCT画像からデジタル再構成画像（DRR）を作成する。次に、治療中に撮影されたリアルタイムのX線画像とDRRとの間で最適な一致を特定する。対応するCT画像を介して腫瘍の位置が決定される。

[0005] 特許文献2および3には、2D磁気共鳴画像法（MRI）画像などにより

得られる2D運動から腫瘍の3次元(3D)運動を推定する技術を用いたマーカーレス追跡法が開示されている。特許文献2では、線形回帰によって変換モデルを構築し、2次元の動きと3次元の動きの関係を特定している。特許文献3では、機械学習によってその関係を特定している。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特表2006-515187号公報

特許文献2：特表2017-537717号公報

特許文献3：特表2022-513427号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1に開示されているようなマッチングベースの方法は、DRRとリアルタイムX線画像の両方の腫瘍のコントラストがそれらの画像の有効な一致を保証するのに十分となりうる、肺などの特定の位置の腫瘍の治療に対しては適用することができる。しかし、脾臓などの一部の腫瘍では、DRRとリアルタイムX線画像の両方において腫瘍領域周辺の十分なコントラストを得ることは困難であるため、該して有効な一致を得ることができない。さらに、DRRは、通常、CT画像を2次元(2D)平面に投影することによって作成されるので、DRRにおける特徴とリアルタイムのX線画像における特徴とが必ずしも一致しない。これらの理由から、現状ではマッチングベースのマーカーレス追跡方法の活用が制限されている。

[0008] 特許文献2および特許文献3のいずれの方法も、学習段階において、事前知識に基づいて2D運動と3D運動との関係性を確立する。しかし、2D運動と3D運動との関係性は治療中にも変化する可能性がある。そのため、事前知識に基づくこれらの方法では2D運動から3D運動への正確な変換が行われない可能性がある。

[0009] 本開示に含まれるひとつの目的は、リアルタイムの画像を基に腫瘍の動き

をマーカレスで高い精度で追跡することを可能にする技術を提供することである。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本開示に含まれるひとつの態様による動き追跡装置は、特定領域における標的および組織の動きを追跡する動き追跡装置であって、リアルタイムでの前記標的および前記組織の三次元の動きを推定した推定3D運動と、リアルタイムでの前記標的および前記組織の二次元の動きを推定した推定2D運動とを取得する動き推定器と、所定の参照時点での前記特定領域の二次元画像である参照2D画像と、リアルタイムでの前記特定領域の二次元画像であるリアルタイム2D画像とを取得する画像取得器と、前記推定2D運動と前記参照2D画像とを用いて、リアルタイムの前記特定領域の二次元画像を疑似する疑似リアルタイム2D画像を生成する画像シミュレータと、前記疑似リアルタイム2D画像と前記リアルタイム2D画像との比較に基づいて、前記推定3D運動を補正する推定補正器と、を有する。

### 発明の効果

[0011] 本開示のひとつの態様によれば、リアルタイムの画像を基にそのコントラストが明瞭でなかったとしても腫瘍の動きをマーカレスで高い精度で追跡することが可能となる。

### 図面の簡単な説明

[0012] [図1]本実施形態による粒子線治療システムの一例を示す構成図である。  
[図2]ガントリ回転軸から見た患者および治療台の概略配置を示す配置図である。  
[図3]動き追跡装置による動き推定のプロセスを説明するための図である。  
[図4]3D DVFおよび2D DVFを模式的に例示した図である。  
[図5]3D DVFから2D DVFを取得する処理の一例を説明するための図である。  
[図6]3D DVFから2D DVFを取得する処理の他の例を説明するための図である。

[図7]粒子線治療システムの一連の処理を示すフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0013] 本発明の実施形態について図面を参照して以下に説明する。

[0014] 図1は、本実施形態による粒子線治療システムの一例を示す構成図である。本実施形態の粒子線治療システムは、一例として陽子線治療（Proton Beam Therapy：PBT）を行う治療システムである。

[0015] 図1を参照すると、粒子線治療システムは、動き追跡装置10、治療コントローラ15、加速器20、ビーム輸送システム21、ガントリ22、一対のX線源30、および一対のX線撮像検出器31を備える。追跡装置10は、動き推定器11と、医用画像取得器12と、医用画像シミュレータ13と、推定補正器14とを備える。

[0016] 図2は、ガントリ回転軸から見た患者および治療台の概略配置を示す配置図である。図2には、図1に示されたガントリ回転軸23の方向に見た患者43および治療台32が示されている。

[0017] 患者43は、治療台32上に載置される。ガントリ22はガントリ回転軸23の軸として回転し、患者43に照射する粒子線のビーム方向を変化させることができる。X線源30aおよび30bは、X線撮像検出器31aおよび31bをそれぞれ使用して特定の領域を含む患者43の身体の一部を撮像するために、患者43を通過するX線を放出する。特定の領域は具体的には関心領域（Region of interest、以下「ROI」ともいう）42である。ROI42には、標的40および組織が含まれる。標的40は、粒子線ビームを照射する対象となる癌細胞群である。組織は人体内で特定の機能を果たす細胞群である。

[0018] 粒子線治療システムの動作の一例では、適切なエネルギーを有する荷電粒子ビームが加速器20から抽出され、ビーム輸送システム21を介してガントリ22に輸送される。ガントリ22は、患者43の周りを回転して、治療用ビームをさまざまな角度で標的40に向けることができる。加速器20、ビーム輸送システム21、およびガントリ22は、治療コントローラ15に

より、治療計画と動き追跡装置 10 によって推定された患者 43 の動きとに基づき制御される。

[0019] 図 3 は、動き追跡装置による動き推定のプロセスを説明するための図である。

[0020] 患者 43 に対して治療を行う間のリアルタイム測定の前に、医用画像取得器 12 は参照時点の二次元画像（以下「参照 2D 画像」ともいう）を取得する。参照 2D 画像は、呼吸が所定の位相の時点で取得される二次元画像である。以下、所定の位相を参照位相ともいい、その参照位相の時点を経験する時点を経験するともいう。例えば、完全に息を吐ききった時点を経験する位相とする。

[0021] 動き推定器 11 は、予め構築された動きモデルを用いて、ROI 42 内の組織のリアルタイム三次元の動きおよび二次元の動きを推定する。以下、推定される三次元の動きを「推定 3D 運動」ともいい、推定される二次元の動きを「推定 2D 運動」ともいう。

[0022] 医用画像シミュレータ 13 は、参照 2D 画像と推定 2D 運動とを用いて、疑似的なリアルタイムの二次元画像（以下「疑似リアルタイム 2D 画像」ともいう）を生成する。例えば、推定 2D 運動に従って参照 2D 画像を変形することにより疑似リアルタイム 2D 画像を生成することができる。医用画像シミュレータ 13 は、複数の平面における疑似リアルタイム 2D 画像を生成する。

[0023] その後、実際の治療でリアルタイムの計測が行われるとき、医用画像取得部 12 は、リアルタイムの現実の二次元画像（以下「リアルタイム 2D 画像」ともいう）を取得する。医用画像取得部 12 は、複数の平面におけるリアルタイム 2D 画像を取得する。

[0024] 推定補正器 14 は、医用画像シミュレータ 13 で生成された複数の疑似リアルタイム 2D 画像と、医用画像取得部 12 で取得された複数のリアルタイム 2D 画像とを比較し、比較結果に基づいて、予め動き推定器 11 にて推定された推定 3D 運動を三次元空間上で補正する。疑似リアルタイム 2D 画像とリアルタイム 2D 画像との差分を基に推定 3D 運動を三次元空間上で補正

することにより、推定3D運動は、現在の実際の標的40および組織の動きをより正確に表すものとなる。

[0025] 上述した動き推定器11にて用いられる動きモデルは、一例として、予め治療計画中に撮影された4DCT画像および／または治療前または治療中に撮影された4DコーンビームCT (4-dimensional cone-beam computed tomography: 4DCBCT) 画像に基づいて構築することができる。例えば、4DCT画像および／または4DCBCT画像に対して主成分分析 (Principal Component Analysis: PCA) を行って動きモデルを構築してもよい。他の例として、4DCT画像および／または4DCBCT画像を学習データとして機械学習を行って動きモデルを構築してもよい。4DCT画像は、立体的な時間変化を表す四次元のCT画像である。4DCBCT画像は、立体的な時間変化を表す四次元のコーンビームCT画像である。動きモデルは、測定されたサロゲート41の動きを入力として、ROI42内の組織の三次元の動きを推定した推定3D運動を出力する。推定2D運動は、例えば推定3D運動から算出することができる。推定3D運動および推定2D運動は、一例として、変形ベクトル場 (Deformation Vector Field: DVF) の形式で表される。以下、三次元のDVFを3D DVFともいい、二次元のDVFを2D DVFともいう。これらはそれぞれ三次元および二次元の運動を表す。

[0026] 図4は、3D DVFおよび2D DVFを模式的に例示した図である。

[0027] 図4を参照すると、3D DVFにおいては、各ボクセルに対して三次元変位の変位ベクトルを表す矢印が付加されている。これは、ROI内の特定位置の特定時刻における参照時点の位置に対する三次元の変位を示している。2D DVFにおいては、各ピクセルに対して二次元変位の変位ベクトルを表す矢印が付加されている。特定位置の参照時点の位置に対する特定時刻における投影軸に沿って平面に投影される組織の加重平均運動が示されることが考えられる。なお、DVFのベクトルの方向は、ボクセルあるいはピク



セルを指すように逆方向にすることもできる。

[0028] 図5は、3D DVFから2D DVFを取得する処理の一例を説明するための図である。本例においては、3D DVFは、X線撮像検出器31bが画像を検知する二次元平面上に投影される。投影軸に沿って存在するボクセルの三次元ベクトルを加重平均して、画像検出器の平面上の対応するピクセルの二次元ベクトルとする。

[0029] 図6は、3D DVFから2D DVFを取得する処理の他の例を説明するための図である。本例においては、まず最初に、3D DVFを使用して、組織等の三次元形状を示す3Dボリュームをレンダリングする。次いで、3DボリュームをX線撮像検出器31bの二次元平面に投影することにより、デジタル再構成画像（以下「DRR」ともいう）を作成する。次に、非剛体画像レジストレーション（Deformable Image Registration: DIR）により、DRRを参照時点におけるDRRに変形可能に位置合わせすることにより、2D DVFを生成する。

[0030] なお、本実施形態では、推定3D運動から推定2D運動を取得する例を示したが、これらに限定されることはない。他の例として、動きモデルとして、組織の三次元の動きを推定するための3次元動きモデルと、二次元の動きを推定するための二次元動きモデルとを構築し、それらを用いることにしてもよい。二次元動きモデルは、二次元の医用画像を用いて構築することができる。二次元動きモデルにより2D DVFを生成し、リアルタイム2D運動を記述することができる。

[0031] 推定されたリアルタイム2D DVFのリアルタイム2D運動は、参照時点で撮影された参照2D画像を変形させるために使用される。参照2D画像は、参照時点における3Dボリュームに対応する。リアルタイム2D運動を使用して変形された参照2D画像は、治療中に撮影されるリアルタイム2D画像を疑似した疑似リアルタイム2D画像として提供される。

[0032] 疑似リアルタイム2D画像と実際に測定されたリアルタイム2D画像との比較により、動き推定器11で生成された推定3D運動を補正するための補

正情報が生成される。

[0033] 一例として、疑似リアルタイム2D画像を、実際に測定されたリアルタイム2D画像に厳密に位置合わせした結果として二次元の補正ベクトルが得られる。次に、その二次元の補正ベクトルを三次元に逆投影して、事前に生成された推定3D運動を補正するための三次元の補正ベクトルが作成される。

[0034] また他の例として、疑似リアルタイム2D画像を、実際に測定されたリアルタイム2D画像に合うように変形した結果として2D DVFが得られる。2D DVFは、所定の変換プロセスによって3D DVFに変換することができる。3D DVFは、事前に生成された推定3D運動の補正に適用される。

[0035] 図7は、粒子線治療システムの一連の処理を示すフローチャートである。

[0036] ステップ501にて、治療前に、4DCTおよび4DCBCTからの情報を使用して動きモデルが構築される。

[0037] ステップ502にて、動きモデルと参照デジタル放射線写真(Digital Radiography: DR)との間の対応づけが確立されるように、基準フェーズの4DCBCT画像を撮影するのと同じタイミングで、基準DRを撮影する。

[0038] ステップ503にて、治療中に、サロゲートとして使用される横隔膜の動きが測定され、動きモデルの入力として使用される。次に、動きモデルは、ROI内の組織の動きを推定するリアルタイム3D DVF(以下「推定リアルタイム3D DVF」ともいう)を生成する。

[0039] ステップ504にて、推定リアルタイム3D DVFを使用して、リアルタイムの3Dボリュームを生成する。更に、そのリアルタイムの3Dボリュームを二次元平面に投影してリアルタイムのDRRを作成する。更に、そのリアルタイムのDRRに対して、参照3Dボリュームから作成された参照DRRを非剛体画像レジストレーション(DIR)することにより、推定リアルタイム2D DVFを生成する。なお、ここでは一例として非剛体画像レジストレーションを用いたが、これに限らず、剛体画像レジストレーションを用

いてもよい。

- [0040] ステップ505にて、参照DRに推定リアルタイム2D DV Fを適用し、疑似的なリアルタイムDR（以下「疑似リアルタイムDR」ともいう）を生成する。
- [0041] その後、ステップ506にて、実際にリアルタイムDRの測定が行われる。
- [0042] そして、ステップ507にて、疑似リアルタイムDRと、実際に測定されたリアルタイムDRとが比較される。
- [0043] 次に、ステップ508にて、ステップ507の比較結果により、2つの画像間の各ピクセルの変位を記述した補正2D DV Fを生成する。
- [0044] ステップ509では、補正2D DV Fを三次元に逆投影して、予め生成された推定3D DV Fのリアルタイムの補正を表す補正3D DV Fを生成する。
- [0045] ステップ510では、補正3D DV Fを用いて推定リアルタイム3D DV Fを補正し、補正後の推定リアルタイム3D DV Fを用いて腫瘍および組織の位置を決定する。決定された腫瘍および組織の位置の情報が治療コントローラ15に送られ、治療コントローラ15は、その位置の情報に応じて治療ビームの方向付けを行う。
- [0046] また、他の例として、複数回の補正を繰り返すことにより、より正確な3D DV Fを生成し、そのより正確に補正された推定リアルタイム3D DV Fを用いて腫瘍および組織の位置を決定することにしてもよい。ステップ510にて推定リアルタイム3D DV Fを補正した後、ステップ504に戻り、その補正された推定リアルタイム3D DV Fを使用して、リアルタイムの3Dボリュームおよび2Dボリュームを生成するという反復処理により、ステップ508にて生成される補正2D DV Fとステップ509にて生成される補正3D DV Fとをゼロに近づけることができる。これにより、処理に要する計算時間は増えるが、より正確な3D DV Fにより腫瘍および組織のより正確な位置を得ることができる。

[0047] 上述した本発明の実施形態は、本発明の説明のための例示であり、本発明の範囲をそれらの実施形態にのみ限定する趣旨ではない。当業者は、本発明の範囲を逸脱することなしに、他の様々な態様で本発明を実施することができる。また、以下に示す事項も本開示の技術的範囲に含まれる。ただし、本開示に含まれる事項が以下に示すものだけに限定されることはない。

(事項1)

[0048] 特定領域における標的および組織の動きを追跡する動き追跡装置は、リアルタイムでの前記標的および前記組織の三次元の動きを推定した推定3D運動と、リアルタイムでの前記標的および前記組織の二次元の動きを推定した推定2D運動とを取得する動き推定器と、所定の参照時点での前記特定領域の二次元画像である参照2D画像と、リアルタイムでの前記特定領域の二次元画像であるリアルタイム2D画像とを取得する画像取得器と、前記推定2D運動と前記参照2D画像とを用いて、リアルタイムの前記特定領域の二次元画像を疑似する疑似リアルタイム2D画像を生成する画像シミュレータと、前記疑似リアルタイム2D画像と前記リアルタイム2D画像との比較に基づいて、前記推定3D運動を補正する推定補正器と、を有する。

[0049] これによれば、推定2D運動に従って参照2D画像を変形することにより生成した疑似リアルタイム2D画像と、現在のリアルタイム2D画像と、の比較に基づいて、推定3D運動を補正するので、リアルタイム2D画像のコントラストが明瞭でなかったとしても標的の動きをマーカレスで高い精度で追跡することが可能になる。

(事項2)

[0050] 事項1に記載の動き追跡装置において、前記動き推定器は、予め撮像された画像に基づいて構築された動きモデルを用いて、前記推定3D運動および前記推定2D運動を特定する。

[0051] これによれば、事前知識に基づいて推定された運動を、リアルタイムの画像と、推定された運動に基づく疑似画像との比較に基づいて補正するので、治療中の運動が事前の推定から変化しても、腫瘍の動きを高い精度で追跡す

ることができる。

(事項3)

[0052] 事項1に記載の動き追跡装置において、前記動き推定器は、前記推定3D運動を三次元ベクトル場として推定し、前記推定2D運動を二次元ベクトル場として推定する。

[0053] これによれば、運動をベクトル場として推定することにより演算による加工が容易な情報として運動を推定することができる。

(事項4)

[0054] 事項3に記載の動き追跡装置において、前記動き推定器は、前記推定3D運動の三次元ベクトル場を二次元平面に投影することにより前記推定2D運動の二次元ベクトル場を生成する。

[0055] これによれば、推定3D運動の三次元ベクトル場を二次元平面に投影することにより推定2D運動の二次元ベクトル場を生成することで、少ない演算量で推定2D運動の情報を得ることができる。

(事項5)

[0056] 事項3に記載の動き追跡装置において、前記動き推定器は、前記参照時点の三次元形状を二次元平面に投影した投影画像を、非剛体画像レジストレーションによって、前記推定3D運動に基づく三次元形状を前記二次元平面に投影した投影画像に一致させるように変形した変形画像における二次元形状の運動を示す二次元ベクトル場を、前記推定2D運動の二次元ベクトル場として生成する。

[0057] これによれば、高い精度で推定2D運動の二次元ベクトル場の情報を得ることができる。

(事項6)

[0058] 事項1に記載の動き追跡装置において、前記推定補正器は、複数の二次元平面について、前記疑似リアルタイム2D画像を前記リアルタイム2D画像に位置合わせする二次元補正ベクトルを算出し、算出された複数の前記二次元補正ベクトルに基づいて三次元補正ベクトルを生成し、前記三次元補正ベ

クトルを用いて前記推定 3 D 運動を補正する。

[0059] これによれば、二次元補正ベクトルに基づいて三次元補正ベクトルを生成し、その三次元補正ベクトルを用いて推定 3 D 運動を補正するので、高い精度で実際の標的および組織の動きを表すことができる。

[0060] (事項 7)

事項 1 に記載の動き追跡装置において、前記動き推定器が、前記推定補正器により補正された前記推定 3 D 運動を使用して、前記標的および前記組織の前記推定 3 D 運動および前記推定 2 D 運動を算出することにより、前記推定 3 D 運動の補正を反復する。

[0061] これによれば、擬似リアルタイム 2 D 画像がリアルタイム 2 D 画像をより正確に再現するため、推定 3 D 運動の正をより正確に行うことができる。

## 符号の説明

[0062] 1 0…動き追跡装置、1 1…動き推定器、1 2…医用画像取得器、1 2…医用画像取得部、1 3…医用画像シミュレータ、1 4…推定補正器、1 5…治療コントローラ、2 0…加速器、2 1…ビーム輸送システム、2 2…ガントリ、2 3…ガントリ回転軸、3 0…X線源、3 0 a…X線源、3 0 b…X線源、3 1…X線撮像検出器、3 1 a…X線撮像検出器、3 1 b…X線撮像検出器、3 2…治療台、4 0…標的、4 1…サロゲート、4 2…関心領域、4 3…患者

## 請求の範囲

- [請求項1] 特定領域における標的および組織の動きを追跡する動き追跡装置であって、
- リアルタイムでの前記標的および前記組織の三次元の動きを推定した推定3D運動と、リアルタイムでの前記標的および前記組織の二次元の動きを推定した推定2D運動とを取得する動き推定器と、
- 所定の参照時点での前記特定領域の二次元画像である参照2D画像と、リアルタイムでの前記特定領域の二次元画像であるリアルタイム2D画像とを取得する画像取得器と、
- 前記推定2D運動と前記参照2D画像とを用いて、リアルタイムの前記特定領域の二次元画像を疑似する疑似リアルタイム2D画像を生成する画像シミュレータと、
- 前記疑似リアルタイム2D画像と前記リアルタイム2D画像との比較に基づいて、前記推定3D運動を補正する推定補正器と、
- を有する動き追跡装置。
- [請求項2] 前記動き推定器は、予め撮像された画像に基づいて構築された動きモデルを用いて、前記推定3D運動および前記推定2D運動を特定する、
- 請求項1に記載の動き追跡装置。
- [請求項3] 前記動き推定器は、前記推定3D運動を三次元ベクトル場として推定し、前記推定2D運動を二次元ベクトル場として推定する、請求項1に記載の動き追跡装置。
- [請求項4] 前記動き推定器は、前記推定3D運動の三次元ベクトル場を二次元平面に投影することにより前記推定2D運動の二次元ベクトル場を生成する、
- 請求項3に記載の動き追跡装置。
- [請求項5] 前記動き推定器は、前記参照時点の三次元形状を二次元平面に投影した投影画像を、画像レジストレーションによって、前記推定3D運

動に基づく三次元形状を前記二次元平面に投影した投影画像に一致させるように変形した変形画像における二次元形状の運動を示す二次元ベクトル場を、前記推定 2 D 運動の二次元ベクトル場として生成する、  
請求項 3 に記載の動き追跡装置。

[請求項6] 前記推定補正器は、複数の二次元平面について、前記疑似リアルタイム 2 D 画像を前記リアルタイム 2 D 画像に位置合わせする二次元補正ベクトルを算出し、  
算出された複数の前記二次元補正ベクトルに基づいて三次元補正ベクトルを生成し、  
前記三次元補正ベクトルを用いて前記推定 3 D 運動を補正する、  
請求項 1 に記載の動き追跡装置。

[請求項7] 前記動き推定器が、前記推定補正器により補正された前記推定 3 D 運動を使用して、前記標的および前記組織の前記推定 3 D 運動および前記推定 2 D 運動を算出することにより、前記推定 3 D 運動の補正を反復する、  
請求項 1 に記載の動き追跡装置。

[請求項8] 請求項 1 に記載の動き追跡装置と、  
前記追跡装置によって推定/補正された前記 3 D 運動に基づいて、  
前記標的に治療用放射線を送達する治療コントローラと、  
を有する放射線治療システム。

[請求項9] 特定領域における標的および組織の動きを追跡するための動き追跡方法であって、  
コンピュータが、  
リアルタイムでの前記標的および前記組織の三次元の動きを推定した推定 3 D 運動と、リアルタイムでの前記標的および前記組織の二次元の動きを推定した推定 2 D 運動とを取得し、  
所定の参照時点での前記特定領域の二次元画像である参照 2 D 画像



と、リアルタイムでの前記特定領域の二次元画像であるリアルタイム 2 D 画像とを取得し、

前記推定 2 D 運動に従って、前記参照 2 D 画像を変形することにより、疑似リアルタイム 2 D 画像を生成し、

前記疑似リアルタイム 2 D 画像と前記リアルタイム 2 D 画像との比較に基づいて、前記推定 3 D 運動を補正する、  
を有する動き追跡方法。

[図1]

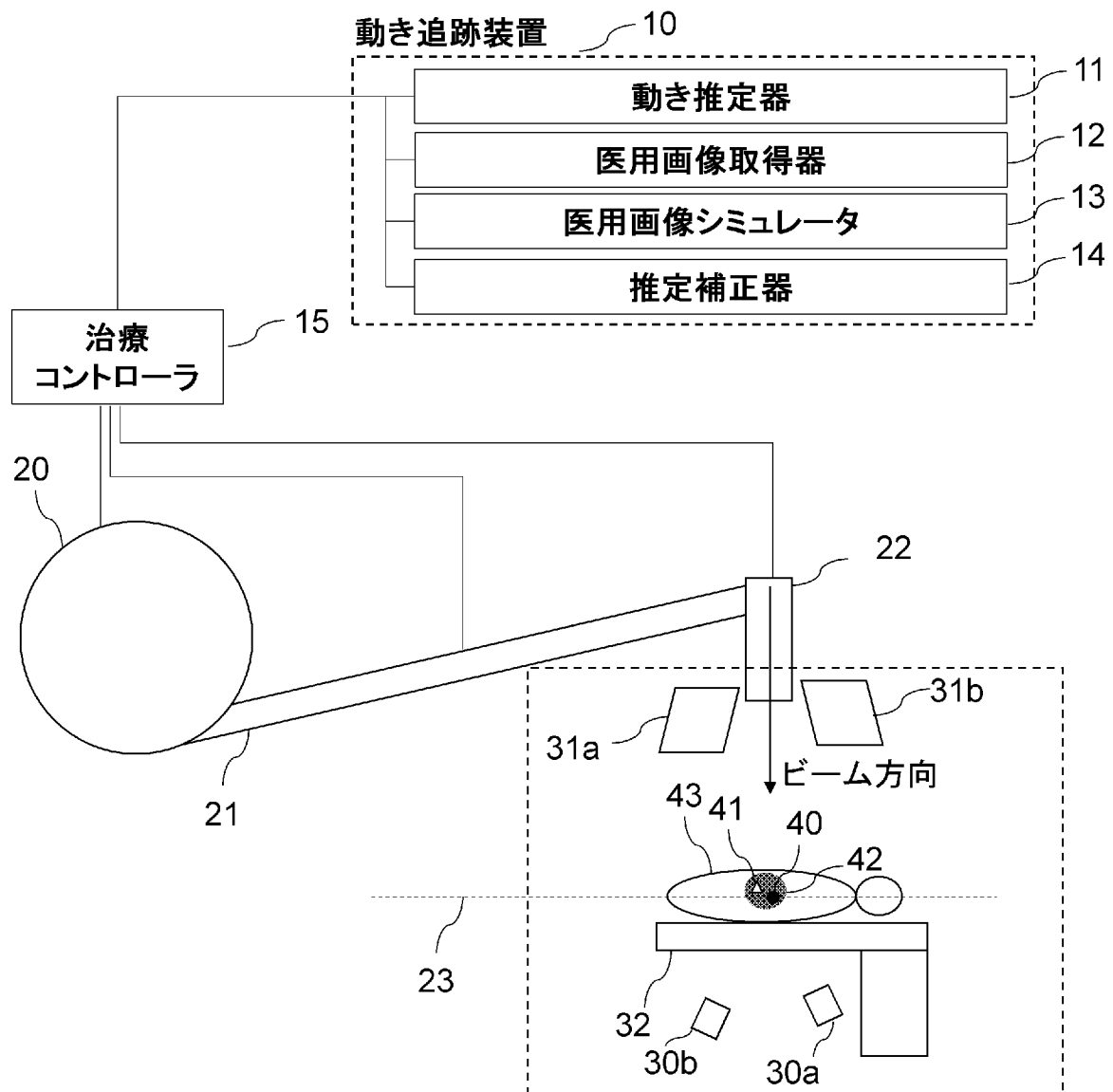


図1

[図2]

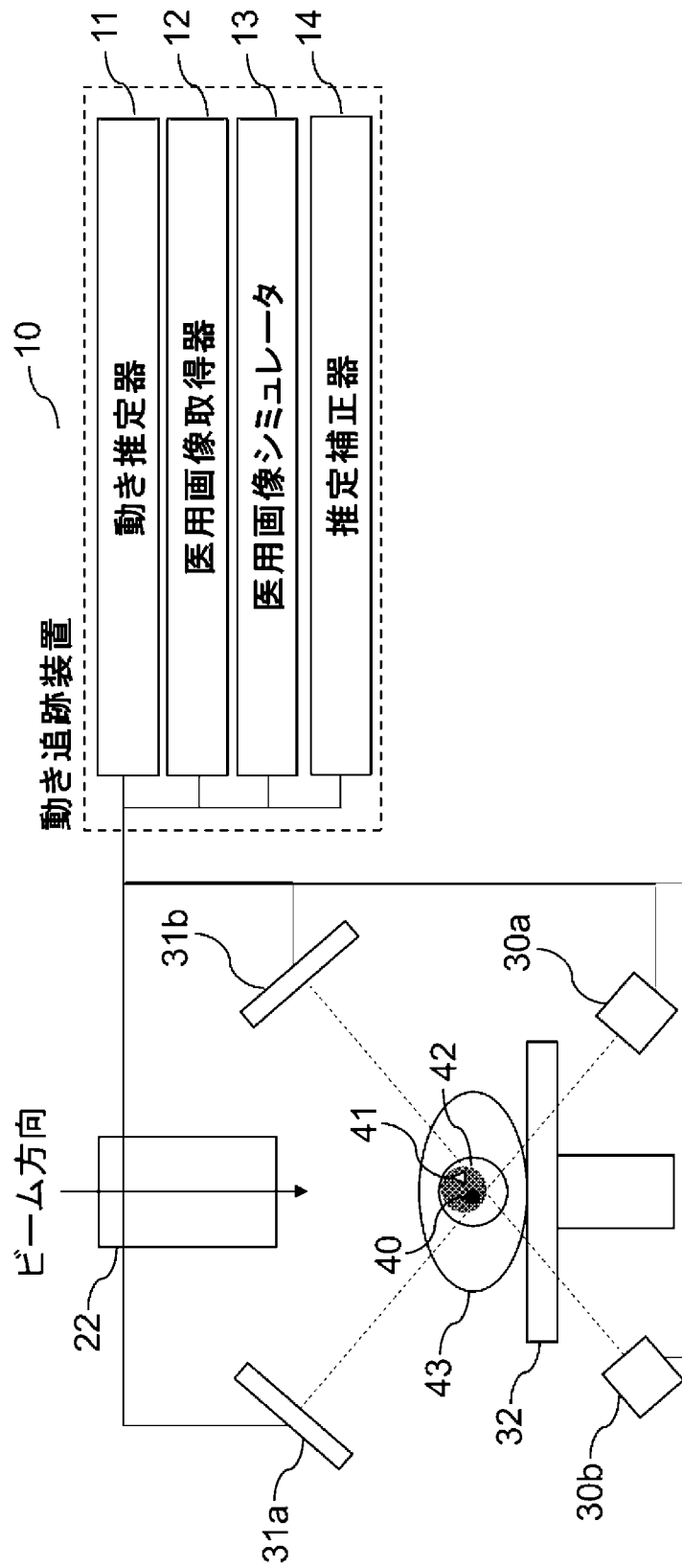


図2

[図3]

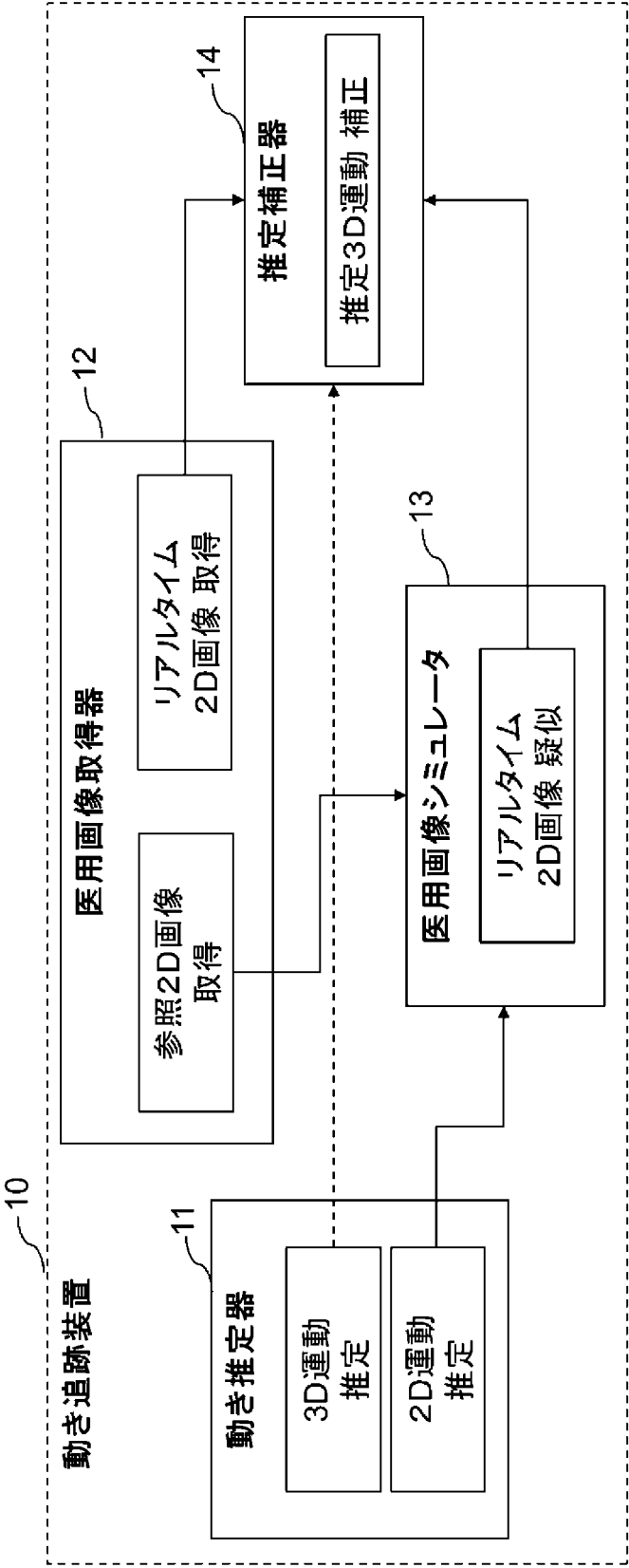


図3

[図4]

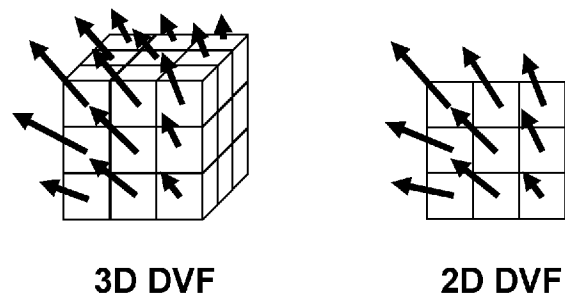


図4

[図5]

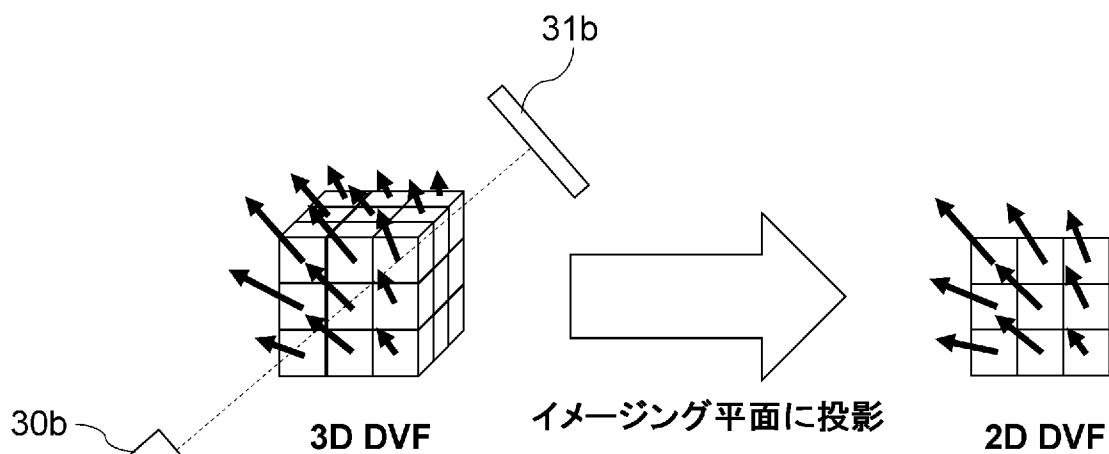


図 5

[図6]

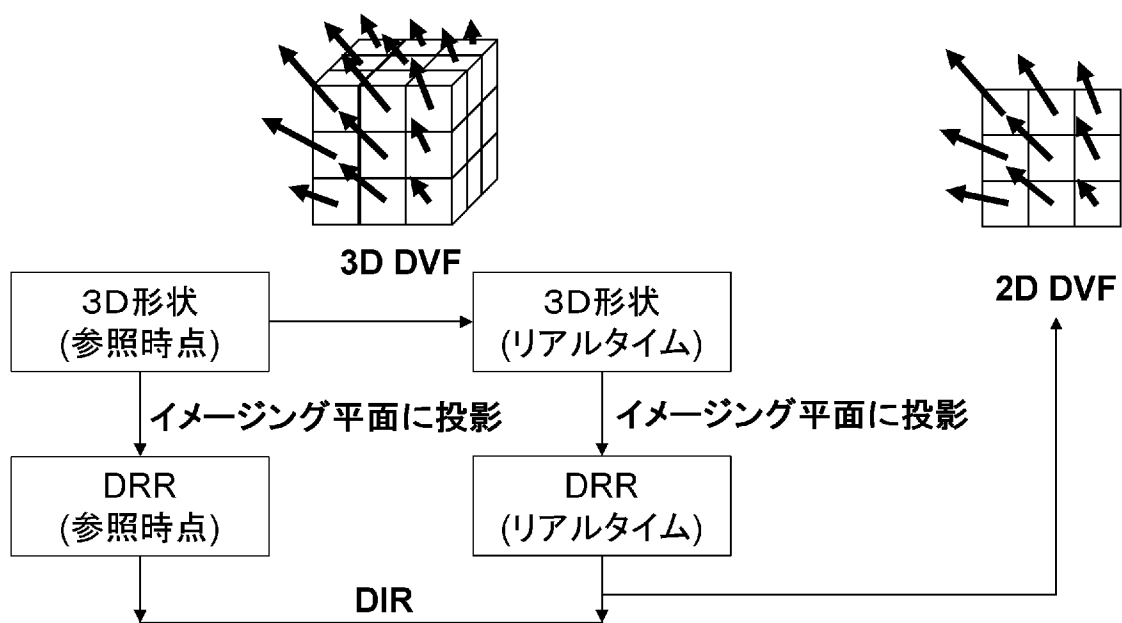


図 6

[図7]



図 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/003699

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****A61B 6/00**(2024.01)i; **A61N 5/10**(2006.01)i

FI: A61B6/00 570; A61B6/00 550Z; A61N5/10 M

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B6/00-6/58; A61N5/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | FASSI et al. Tumor Tracking Method Based on a Deformable 4D CT Breathing Motion Model Driven by an External Surface Surrogate. International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, 2014, vol. 88, Issue 1, pp. 182-188 | 1-9                   |
| A         | JP 2008-514352 A (ACCURAY INC.) 08 May 2008 (2008-05-08)                                                                                                                                                                        | 1-9                   |
| A         | JP 2022-517581 A (PIE MEDICAL IMAGING B. V.) 29 March 2022 (2022-03-29)                                                                                                                                                         | 1-9                   |
| A         | JP 2019-503260 A (ELEKTA LTD.) 07 February 2019 (2019-02-07)                                                                                                                                                                    | 1-9                   |
| A         | US 2009/0180589 A1 (WANG et al.) 16 July 2009 (2009-07-16)                                                                                                                                                                      | 1-9                   |
| A         | US 2008/0212737 A1 (UNIVERSITY OF MARYLAND, BALTIMORE) 04 September 2008 (2008-09-04)                                                                                                                                           | 1-9                   |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 March 2024

Date of mailing of the international search report

19 March 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)  
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915  
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.  
**PCT/JP2024/003699**

| Patent document<br>cited in search report |              |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|--------------|----|--------------------------------------|-------------------------|--------------|----|--------------------------------------|
| JP                                        | 2008-514352  | A  | 08 May 2008                          | US                      | 2006/0074292 | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | WO                      | 2006/039009  | A2 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | CN                      | 101076282    | A  |                                      |
| -----                                     |              |    |                                      |                         |              |    |                                      |
| JP                                        | 2022-517581  | A  | 29 March 2022                        | US                      | 2020/0222018 | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | WO                      | 2020/144374  | A1 |                                      |
| -----                                     |              |    |                                      |                         |              |    |                                      |
| JP                                        | 2019-503260  | A  | 07 February 2019                     | US                      | 2017/0216627 | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | US                      | 2017/0216625 | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | WO                      | 2017/132522  | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | WO                      | 2017/130140  | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | CN                      | 108883297    | A  |                                      |
|                                           |              |    |                                      | CN                      | 109152926    | A  |                                      |
| -----                                     |              |    |                                      |                         |              |    |                                      |
| US                                        | 2009/0180589 | A1 | 16 July 2009                         | WO                      | 2009/091997  | A1 |                                      |
| -----                                     |              |    |                                      |                         |              |    |                                      |
| US                                        | 2008/0212737 | A1 | 04 September 2008                    | WO                      | 2006/113323  | A2 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | EP                      | 2540346      | A1 |                                      |
|                                           |              |    |                                      | CA                      | 2781536      | A  |                                      |
| -----                                     |              |    |                                      |                         |              |    |                                      |



A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

A61B 6/00(2024.01)i; A61N 5/10(2006.01)i

FI: A61B6/00 570; A61B6/00 550Z; A61N5/10 M

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

A61B6/00-6/58; A61N5/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922-1996年

日本国公開実用新案公報

1971-2024年

日本国実用新案登録公報

1996-2024年

日本国登録実用新案公報

1994-2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                                    | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | FASSI et al., Tumor Tracking Method Based on a Deformable 4D CT Breathing Motion Model Driven by an External Surface Surrogate, International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, 2014, Volume 88, Issue 1, Pages 182-188 | 1-9            |
| A               | JP 2008-514352 A (アキュレイ インコーポレイテッド) 08.05.2008 (2008 - 05 - 08)                                                                                                                                                                      | 1-9            |
| A               | JP 2022-517581 A (パイ メディカル イメージング ビーヴィ) 29.03.2022 (2022 - 03 - 29)                                                                                                                                                                  | 1-9            |
| A               | JP 2019-503260 A (エレクト リミテッド) 07.02.2019 (2019 - 02 - 07)                                                                                                                                                                            | 1-9            |
| A               | US 2009/0180589 A1 (WANG et al.) 16.07.2009 (2009 - 07 - 16)                                                                                                                                                                         | 1-9            |
| A               | US 2008/0212737 A1 (UNIVERSITY OF MARYLAND, BALTIMORE) 04.09.2008 (2008 - 09 - 04)                                                                                                                                                   | 1-9            |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“I” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.03.2024

国際調査報告の発送日

19.03.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

蔵田 真彦 2U 3602

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告  
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/003699

| 引用文献  |              |    | 公表日        | パテントファミリー文献 |              |    | 公表日 |
|-------|--------------|----|------------|-------------|--------------|----|-----|
| JP    | 2008-514352  | A  | 08.05.2008 | US          | 2006/0074292 | A1 |     |
|       |              |    |            | WO          | 2006/039009  | A2 |     |
|       |              |    |            | CN          | 101076282    | A  |     |
| ----- |              |    |            |             |              |    |     |
| JP    | 2022-517581  | A  | 29.03.2022 | US          | 2020/0222018 | A1 |     |
|       |              |    |            | WO          | 2020/144374  | A1 |     |
| ----- |              |    |            |             |              |    |     |
| JP    | 2019-503260  | A  | 07.02.2019 | US          | 2017/0216627 | A1 |     |
|       |              |    |            | US          | 2017/0216625 | A1 |     |
|       |              |    |            | WO          | 2017/132522  | A1 |     |
|       |              |    |            | WO          | 2017/130140  | A1 |     |
|       |              |    |            | CN          | 108883297    | A  |     |
|       |              |    |            | CN          | 109152926    | A  |     |
| ----- |              |    |            |             |              |    |     |
| US    | 2009/0180589 | A1 | 16.07.2009 | WO          | 2009/091997  | A1 |     |
| ----- |              |    |            |             |              |    |     |
| US    | 2008/0212737 | A1 | 04.09.2008 | WO          | 2006/113323  | A2 |     |
|       |              |    |            | EP          | 2540346      | A1 |     |
|       |              |    |            | CA          | 2781536      | A  |     |
| ----- |              |    |            |             |              |    |     |