

# 高精度画像誘導放射線治療の実現を目的とした

## 画像レジストレーションに基づく 4D コーンビーム CT の基盤研究

北海道大学大学院 医学研究科

医学物理工学分野

宮本直樹

### 1. 研究背景・目的

近年、回転型治療ガントリに搭載されたオンボードイメージング装置が、画像誘導放射線治療に代表される高精度放射線治療へ応用され始めている。同装置はコーンビームCT (CBCT) 撮像機能を有しているものが多く、日々の体型変化の確認や高精度な患者位置決めを可能としている。頭頸部や骨盤部などの呼吸性移動を伴わない領域では、CBCTによる高精度な位置決めが可能となっている。一方、肺や肝臓などの呼吸性移動を伴う部位を対象とした場合、再構成画像にモーションアーチファクトが発生する可能性があり、それによる治療精度の低下が懸念される。レーザーセンサ等を用いた4D-CBCTも研究が進められているが、体内臓器と腹部表面の動きは必ずしも相関しているとは限らないため、依然としてアーチファクトが発生する可能性がある。

本研究では、CBCTで得られる投影画像そのものに、呼吸により移動する体内臓器が画像中に含まれていることに着目し、画像レジストレーション技術を利用することで、各投影角度における撮影時の呼吸位相を決定する方法を提案する。呼吸運動を代表する領域、特にターゲットとなる腫瘍自体の呼吸運動を追跡し、その周期性を解析することで、各投影画像の呼吸位相を決定する。これにより、ある呼吸位相で得られた投影画像のみを利用して画像再構成をおこなうことで、モーションアーチファクトの少ない再構成画像を任意の呼吸位相において得ることが可能となる。

提案する 4D-CBCT の実現のためには、呼吸位相を画像解析から決定するアルゴリズムの開発と少数投影データからの再構成アルゴリズムの開発が必要となる。本研究では、前者の画像解析によるターゲット追跡アルゴリズムの開発を重点的に進めた。X 線投影画像内で呼吸運動を代表する特徴的な構造、特に腫瘍自体を画像から認識する際、しばしば認識が困難となるのは、認識対象部位のコントラストが低いことが要因の 1 つとして考えられる。一般的に X 線画像には統計的なノイズが含まれ、わずかな吸収率の差を抽出するためにはノイズの影響を除去する必要がある。本研究では、ノイズ除去に有効なリカーシブ型の画像積算処理を動的な対象に対して適用する方法を開発し、基礎実験によりその有用性を確認した。

## 2. 方法

図1に本研究で提案する4D-CBCTのデータ取得から画像処理および再構成までのフローチャートの一例を示す。今回の研究範囲は破線で囲んだ領域の画像処理部分がメインとなる。リカーシブ型の画像積算処理を動きに伴う対象に適用した場合、動きの早い領域の残像が画像のボケとして現れることがある。この残像の影響はターゲットの認識精度の低下の要因の1つとなり得ると考えられ、呼吸位相の決定に少なからず誤差を与えると考えられる。そこで、時間的に連続的なデータとして得られた画像を順次解析していく過程において、処理中の画像フレームでのターゲット位置に応じて、次フレームにおける画像処理の領域を適応的に変更させるアルゴリズムを組み込んだ。

開発した画像処理アルゴリズムの有用性を評価するために、ターゲットの認識度および位置同定精度の比較評価実験をおこなった。定量的に評価するために、簡単のためX線吸収率の高い金属マーカを認識ターゲットとして使用し、画像処理の有無による比較をおこなった。画像取得体系を図2に示す。胸部の撮影を模擬するために、アクリルファントム内に金属マーカを挟み込み、約400フレーム分の画像を取得した。時系列データとして得られた各画像の上下方向に対して呼吸運動を模擬したシフトを与えることで、追跡ターゲットの呼吸運動を再現した一連の画像を作成した。認識すべきターゲットが呼吸運動する状態を模擬した画像群に対し、以下の2点に関して画像処理の有無による比較評価をおこなった。

- ① ターゲット認識度 (pattern recognition score: PRS)
- ② ターゲット位置同定エラー (registration error)

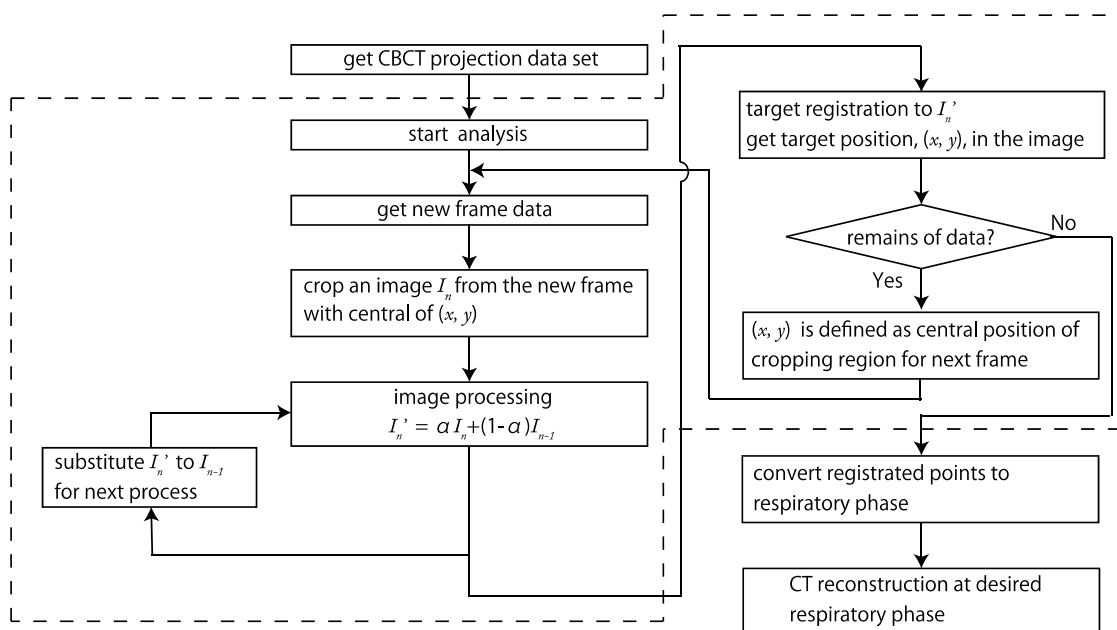


図1 提案する4D-CBCTのフローチャート

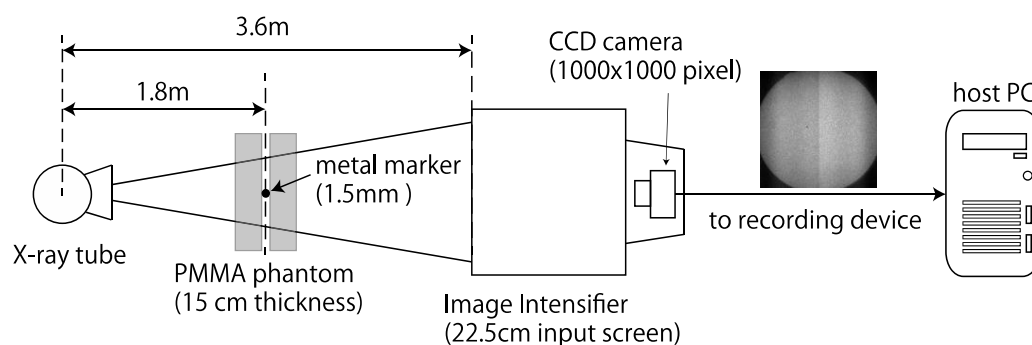


図 2 評価用 X 線画像の取得体系

### 3. 結果

図 3 に X 線画像中のターゲット認識位置、ターゲット位置同定エラー (registration error) およびターゲット認識度 (PRS, 最小 0、最大 100) の時系列データを示す。左列が画像処理無し、右列が画像処理有りの場合の結果である。ターゲット認識位置は、模擬した呼吸運動と同様であり、呼吸による運動するターゲットに対してその位置を同定できていることがわかる。各画像におけるターゲット位置同定エラーを図 1 中段に示した。画像処理を施さない場合、突発的に誤差が大きくなるケースが散見される。これは、ターゲット領域の画像ノイズの影響により、コントラストが低下したことが要因の 1 つと推定される。一方、画像処理を適用した場合、突発的な位置同定エラーは抑制されており、時系列データ全体を通じてエラーを低減できていることがわかる。また、ターゲットの動きに応じて画像処理領域を変更させるアルゴリズムにより、画像積算時の残像が抑えられ、位置同定精度が向上したと考えられる。同様に、図 1 下段に示したターゲット認識度に関しても、画像処理によりターゲット形状がクリアになり、認識度が向上したと考えられる。表 1 にターゲット認識の統計情報をまとめた。今回の実験においては、開発した画像処理アルゴリズムにより、動体に対する認識精度および安定性の向上が認められた。

表 1 画像処理の有無によるターゲット位置同定エラーと認識度の統計解析結果の比較

	Registration error [pixel]				Pattern recognition score [a. u.]			
	Ave.	SD	Min.	Max.	Ave.	SD	Min.	Max.
w/o image processing	2.15	1.21	0.14	9.05	46.67	6.40	23.20	61.60
with image processing	1.48	0.82	0.14	4.39	67.80	4.51	37.35	79.67

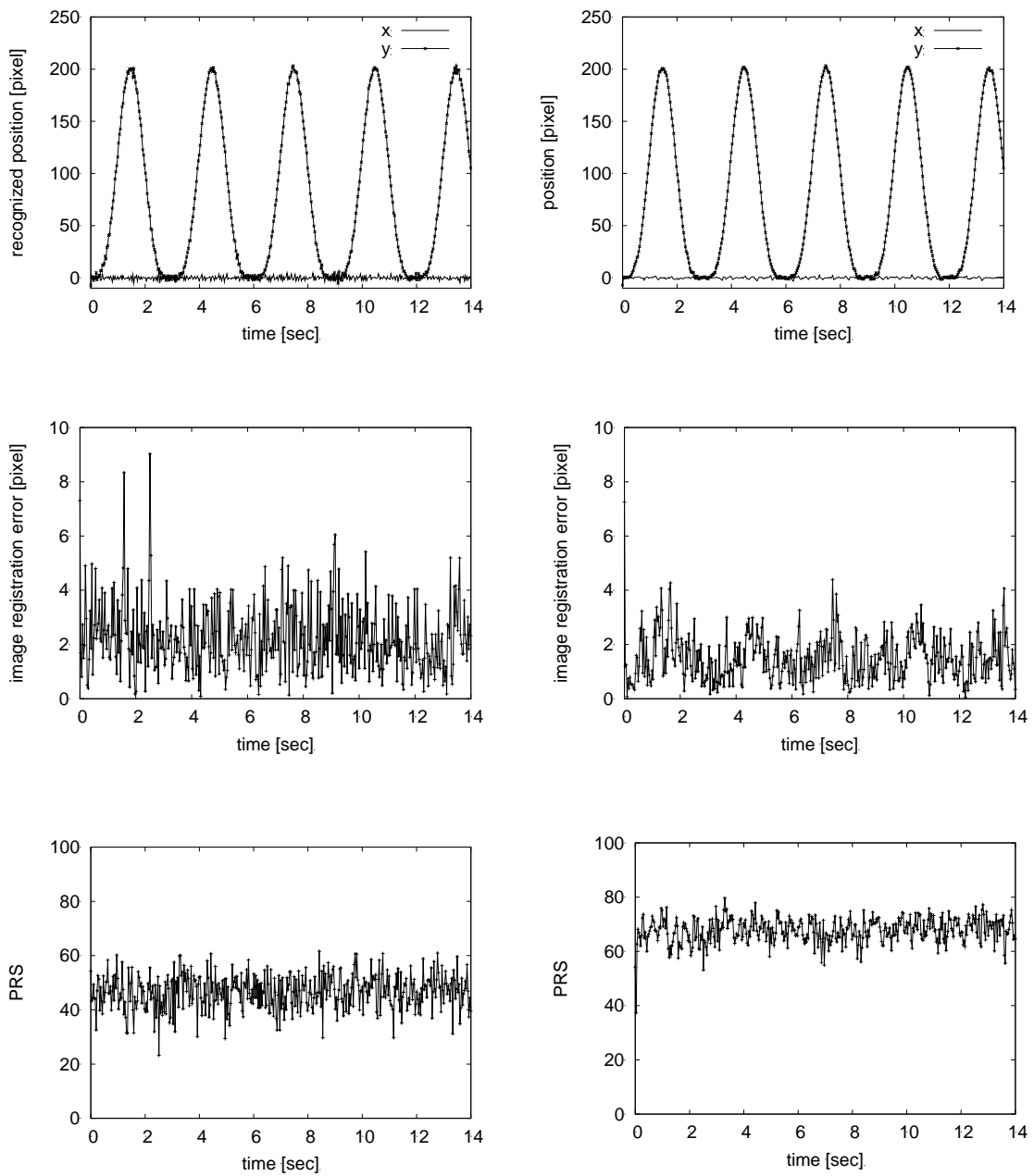


図 3 画像処理の有無によるターゲット認識精度の比較。左列：画像処理無し、右列：画像処理有り。上段：画像内でのターゲット認識座標、中段：ターゲット位置同定エラー、下段：ターゲット認識度。

#### **4. 考察・まとめ**

本研究では、呼吸性移動をともなうターゲットの X 線画像内における位置を同定するために、認識精度を向上させるための画像処理方法を開発した。今回は基礎実験として金属マーカを使用し、その有用性を確認することができた。次の段階として、CT 値が既知である材料を用いて同様の実験をおこない、より実際の撮像条件に近い体系での評価を進める予定である。また、投影角度の変化による追跡対象の見え方の形状変化が位置同定に与える影響の評価を進め、必要に応じて位置同定のためのアルゴリズムに修正を加えていく予定である。

ターゲット位置の認識方法の確立の次の段階として、二次元画像内での座標として得られた同定位置のデータから、呼吸位相を決定する方法を検討する必要がある。また、得られた画像群に対して呼吸位相の区分ができた場合、最終的に得られる再構成画像の画質は投影データ数、角度に大きく依存する。目的に応じて求められる画質は異なるが、最低限必要な投影データ数を得るための方法やデータの欠損に対する補償方法に関しても検討が必要である。4D-CBCT の実現へ向け、これら課題の解決のために継続して検討を進めていきたいと考えている。

#### **謝辞**

本研究を遂行するにあたり、多大なるご支援をいただきました公益財団法人医用原子力技術研究振興財団に厚く御礼申し上げます。