

Title	Improvement of Depth Position in 2-D/3-D Registration of Knee Implants Using Single-Plane Fluoroscopy
Author(s)	山崎, 隆治
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45277">https://hdl.handle.net/11094/45277</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	山崎隆治
博士の専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	第 18513 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 医学系研究科生体統合医学専攻
学位論文名	Improvement of Depth Position in 2-D/3-D Registration of Knee Implants Using Single-Plane Fluoroscopy (X線透視画像を用いた人工膝関節の2次元・3次元位置合わせにおける奥行き位置の改善)
論文審査委員	(主査) 教授 田村 進一  (副査) 教授 中村 仁信 教授 吉川 秀樹

### 論文内容の要旨

#### 〔目的〕

人工膝関節全置換術後の3次元動的な動態情報を定量的に把握することは、最適な人工膝関節の設計や術前計画、手術手技の評価等を行う上で非常に有用である。現在までに、X線透視画像を用いた人工膝関節の3次元姿勢推定手法がいくつか報告されているが、その奥行き位置変数については十分な精度が得られておらず、その変数に相当する大腿骨・脛骨コンポーネント間の内外側方向の偏移を考慮しない手法により解析を行っていた。我々の研究目的は、X線透視画像を用いた人工膝関節の2次元・3次元位置合わせ手法（3次元位置姿勢推定手法）において奥行き位置の精度改善を行い、臨床適用可能な全6自由度（3平行移動成分と3回転成分）の動態解析システムを構築することである。

#### 〔方法〕

X線2次元投影画像から、対象物体の3次元位置姿勢を推定するために、X線透視撮影系のカメラパラメータ（X線焦点と画像面の幾何学的位置）、人工膝関節の幾何学的形状、2次元投影画像上の人工関節の輪郭情報を用いる。カメラパラメータは、Calibration cubeを用いて計算し、人工膝関節の形状情報はComputer Assisted Design (CAD) モデルを使用する。投影画像の輪郭は、画像の歪み補正が施された後、適切なエッジフィルタを用いて抽出する。人工膝関節の3次元位置姿勢は、まず、X線焦点と輪郭を結ぶ全投影線と、CADモデル表面間の距離を最小化するような2-D/3-Dレジストレーションアルゴリズムを用いて同時6自由度推定を行う。次に、奥行き位置変数の1自由度についてのみ、その奥行き方向の誤差評価曲線を利用して独立に最適化を行い、最終的に3次元的位置姿勢を決定する。

システムの精度を検証するために、擬似投影X線画像を使用したComputer Simulation testおよび人工骨モデルを用いたin vitro testを実施し、人工膝関節各コンポーネントの推定精度を、X線焦点からの絶対的な位置・姿勢の決定によって評価した。In vitro testの正確なGround truth dataは、光学式三次元ディジタイザを使用して求め、それらの計測値と本システムによる推定値を比較することによって精度を検証した。最終的に、本システムを実際の

臨床に適用し、患者1膝を対象とした椅子からの立ち上がり動作時での解析を試みた。

#### 〔結 果〕

Computer Simulation testの結果は、奥行き位置の精度が、従来法が2.6 mmに対して提案手法は0.9 mmと改善した。In vitro testの結果は、奥行き位置の精度が、3.2 mmに対して1.4 mmと著しく改善した。このとき、他の5自由度(画像に平行な2平行移動成分と3回転成分)の精度は、従来手法と同程度か良い結果であった(平均0.5 mm、0.5°以内)。臨床適用においては、人工膝関節の3次元動作を定量化し、滑らかな動きを観察することができた。今回の症例では、大腿骨・脛骨コンポーネント間の大きな内外側方向の移動(奥行き位置に相当)は見受けられなかった。

#### 〔総 括〕

本研究では、X線透視画像を用いた人工膝関節の2次元・3次元位置合わせにおいて独自の最適化アルゴリズムを考案し、その奥行き位置変数の精度改善手法の有効性が、Computer Simulation および in vitro test によって示された。本システムは、人工膝関節の内外側移動方向を含めた全6自由度動態解析の可能性を示した。

### 論文審査の結果の要旨

人工膝関節全置換術後の3次元動的な動態情報を定量的に把握するために、現在まで、2次元のX線透視画像と3次元の人工膝関節CADモデルを用いた2次元・3次元位置合わせ手法によって人工膝関節の空間的な位置・姿勢の推定が行われ、動態解析が試みられてきた。しかしながら、投影画像方向の奥行き位置変数については十分な精度が得られておらず、その変数に相当する大腿・脛骨コンポーネント間の内外側方向の移動を解析することは困難であった。

本研究は、1方向X線透視画像を使用した場合の奥行き位置変数の精度低下原因を、誤差評価曲線を作成することで初めて定量的に明らかにした。奥行き位置変数の評価曲線は、他の5変数(画像に平行な2平行移動成分と3回転成分)の曲線と比べて極端にその勾配が小さく凹凸をもつことを示し、そのため曲線の最小値に解が到達しないことが精度低下の一つの原因であることを突き止めた。そしてその結果に基づき、従来の2次元・3次元位置合わせ手法に加え、奥行き位置方向のみにモデルを移動させることによって曲線の最小値を探索し、解を安定に得る手法を考案した。

本手法によるComputer simulation および in vitro test では、奥行き位置変数の精度が著しく改善され、その有効性が示された。臨床適用では、内外側方向を含めた全6変数(自由度)の人工膝関節の3次元動作を定量化し、滑らかな動きを観察することができた。開発した本手法は、非生理的な動作や靭帯の時間的な緩み等による内外側方向の異常な偏移を検知する可能性が十分にある。さらに、歩行動作時等の機能まで考慮した最適な人工膝関節の設計や手術手技の評価等にも有用で、その研究成果は博士学位の授与に値するものと考えられる。