

平成23年度 i-MOSいわてものづくり・ソフトウェア融合テクノロジーセンター
A-STEP研究成果報告書

課題名	仮想立位CT画像の生成とその応用		
研究代表者及び 研究参加者 職・氏名	(研究代表者) 教授・土井章男	(研究参加者) 研究員・高橋弘毅 医師／九州大学医学部助教・馬渡太郎	
研究開発費	1,690千円	研究開発期間	平成23年 8 月 1 日 ～平成24年 3 月31日
研究分野	1. ものづくり関連企業の生産性向上、品質向上 2. ものづくり関連企業の付加価値向上 ③ 産業分野への展開を目的とした研究 4. その他		

1 平成23年度研究成果概要

我々が過去に行った関連研究として、下肢全長の立位レントゲン画像（立位CR画像）上にCT画像から抽出した大腿骨と脛骨部分の3次元骨画像を配置するレジストレーション手法を開発した（図1、図2）。しかしながら、本手法では、正面から取得した立位CR画像上に部分CT画像を配置するため、側面方向の誤差が大きくなる問題点があった。また、精度を高めるため、複数方向のCR画像を撮像する場合、レントゲン技師の負担、被験者の位置による誤差の累積（撮影中の位置移動）、撮影費用が問題点として挙げられる。

今回、提案する方式は、臥位のCT画像から、直接、構造解析による姿勢シミュレーションで、仮想立位CT画像を作成するため、正面方向と側面方向の矛盾もなく、骨切り線や人工関節配置時の誤差の累積を防ぐことが可能である。また、全体の処理は、コンピュータ上で行うため、自動化も可能である。

大腿骨部と脛骨部に対して、立位状態に配置させるには、立位荷重と固定点を設定して、有限要素法による応力シミュレーション結果を利用する。有限要素法に必要な4面体メッシュデータは、CT画像からセグメンテーションされた骨部の表面形状から生成する。モデリングソフトウェアと構造解析ソフトウェアには、ダッソー社のCATIA V5 R19 SP3を使用した。次に構造解析で得られた変形後のメッシュ情報から、大腿骨および脛骨部の立位仮想CT画像を作成する。さらに、正面方向と側面方向の仮想CR画像（仮想透視画像とも呼ばれる、仮想立位CT画像から同じ方向に積算することで容易に求められる）を作成することで、正確な3次元の骨軸情報を得ることが可能であり、本骨軸情報は、姿勢シミュレーションの最終位置に配置するのに使用される。

図3と図4は、テストケースとして、研究代表者の下肢全長CT画像（右足）から膝関節部分と下肢全長部分で4面体メッシュを生成し、応力解析を行った事例である。本事例の形状メッシュは、比較的荒いが、変形や応力部のひずみは正確に表現出来ている。

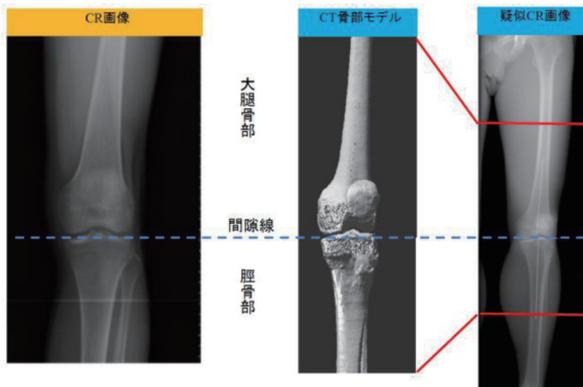


図1 CR画像とCT画像の比較

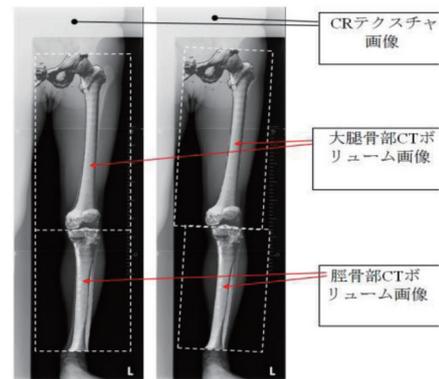


図2 CR画像上に部分CT画像の配置

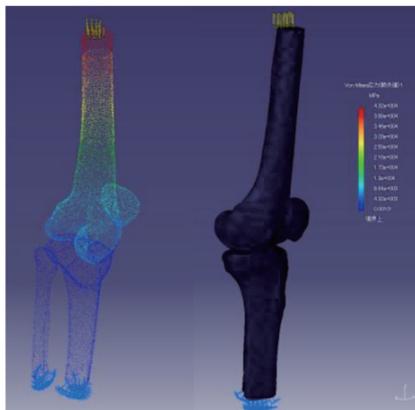


図3 膝関節部の応力シミュレーション例



図4 下肢全長の応力シミュレーション例

レントゲン画像（CR画像）を用いた従来システムの手順は、1）正面CR画像上に骨軸および骨参照情報を描画、2）CR画像上でインプラントのテンプレート（2次元の透明シート）を重ね合わせて、およその設置位置を検討、3）側面（Profile）画像でも側面のテンプレートを重ね合わせ、同時に人工軟骨の厚さを検討、で行っている。同時に、適宜CT/MRI画像から取り出したスライス画像を参照することで、整合性を取っている。しかしながら、この方式では、正面および側面方向で別々に撮影したCR画像を用いているため、正確な配置や廻旋（骨軸に対する回転）が困難である。

そこで、我々は、仮想立位CT画像を用いた処理手順（1. CR/CT画像の撮像、2. 仮想立位CT画像の作成、3. 仮想立位CT画像の評価と修正、4. 仮想立位CT画像上での骨切・人工関節配置、5. 配置後のシミュレーション、6. レポート出力）を提案している。図5は、仮想立位CT画像を作成するための撮影方法である。本手順の特徴は、手作業の軽減、精度向上、術前計画の多視点化、計画情報の再利用、教育的利用が挙げられる。応力シミュレーションで用いたハードウェアは、Dell Precision M6400 Intel Core2 Quad, 2.26GHz, 7.98GB RAM, NVIDIA Quadro Fx 27000Mであった。使用したソフトウェアは、CATIA Ver.5.0である。下肢全長のメッシュ生成時間は、被験者一名に対して、約4時間、解析の計算時間は約10分であった。材料特性デー

タは、CT値（密度）の情報から算出し、ヤング率は19.2 [GPa]、ポアソン比は0.35を用いた。図6は、今回取得したCR/CT画像に対して、メッシュ生成と解析を行った結果事例である。踵付近に固定点を設定し、荷重応力は骨盤部に付加して、大腿骨および脛骨部分のしなりや応力状況を観察した。

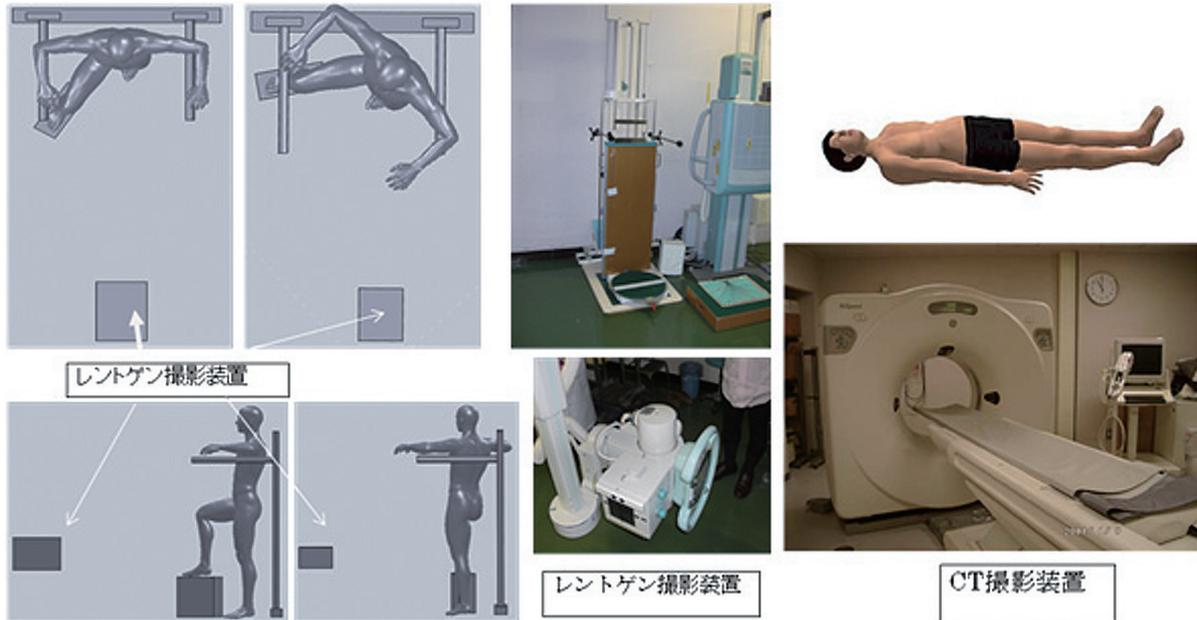


図5 CR/CT画像の撮像方法

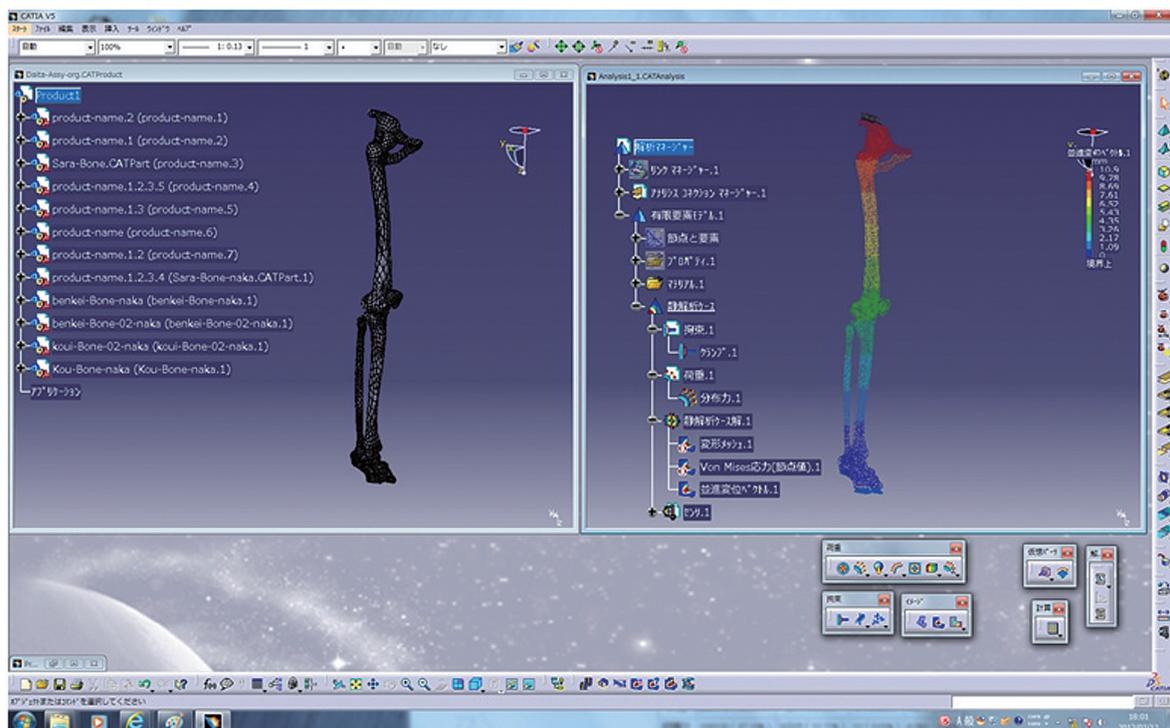


図6 解析結果例 — 使用したCATIA Ver. 5.0の対話操作画面
(左側がメッシュ構造、右側が応力状況を表している)

2 採択課題の到達目標及び目標達成状況

【到達目標】

正面から撮影した下肢全長のレントゲン画像（CR画像）から算出した大腿脛骨外側角（Femorotibial Angle: FTA）と仮想立位CT画像から作成した正面方向の仮想CR画像に対するFTAの違いが0.5度以内にする。また、並列計算とスレッドプログラミング処理で、現状の処理速度を5倍以上、高速にする。また、6名以上のボランティアに対して、左足および右足の下肢全長のCR画像（正面方向および側面方向）と下肢全長のCT画像を撮影し、生成された仮想立位CT画像と撮影されたCR画像を比較・検討して、シミュレーションの精度を高めるのに使用する。

【目標達成状況】

仮想立位CT画像結果を評価するために、健康な成人8名に対して、岩手医科大学付属病院にて、CR写真と下肢全長のCT画像を取得した。CR画像は、左足、右足ごとに正面および45度の側面を撮像し、CT画像は下腹部からつま先までの下肢全長を一度に撮像した。CT画像の解像度は、512×512×1300、ピッチ幅は、(0.683, 0.683, 1.996)である。被験者のデータ取得では、岩手県立大学倫理委員会、岩手医科大学倫理委員会の承認を受け、計測における危険度や影響、計測内容を十分説明した後、各被験者の同意書を得てから、撮像した。CATIA Ver.5.0を用いて行ったシミュレーション結果は、九州大学医学部、および岩手医科大学の医師に評価して頂いた。

3 今後の展望

仮想立位CT画像の作成は、健常者1名のCR/CT画像で行ったが、残りの7名に対しても、同様に作成して、その評価を行いたい。また、下肢全体をまとめてシミュレーションすることで、より精度の高い仮想立位CT画像が作成可能と考えられる。本研究成果は、「いわて発」高付加価値コバルト合金によるイノベーションクラスターの形成事業（文部科学省の地域科学技術振興施策（平成22年8月～平成25年3月））にも活用される。最終的には、臨床での使用に耐えられることを目標とするが、初年度の目標は、仮想立位CT画像に対して、複数（3名以上）の医師による視覚評価（5段階評価）で、平均4.0以上の満足度が得られることである。

4 研究経費の効率的・効果的使用

- (1) 研究の質的高度化をはかり、岩手県立大学の学術的価値を高める。
- (2) 科学研究費を中心とした外部資金獲得の向上。
- (3) 研究の中から、スパンの長いものと短期的に実用化可能なものを選別し、バランス良く研究を持続的に発展させるために、経費配分は以下の事項に留意して行った。
 - 1) 本研究費は、プロジェクト全体の連携、発展に寄与するよう使用する。
 - 2) 原則として高額機器等は既存または別研究費によるものを使用し、研究そのものについて本研究は使用する。
 - 3) 中堅若手研究者を重視した実践的研究組織を編成し、ソフトウェア情報学部内の研究室、他大学の研究者、他の組織の参加者等の支援を受けながら運営する。

5 当該資金に関連した外部資金等の獲得状況

(1) 助成金等の名称：文部科学省科学研究費（基盤C）

- ・研究課題名：人工関節置換術および骨切り術の術前計画支援に関する基礎的研究
- ・代表・分担の別：（代表）土井章男
- ・期間：平成22年4月～平成25年3月

(2) 助成金等の名称：文部科学省 地域科学技術振興施策

- ・研究課題名：「いわて発」高付加価値コバルト合金によるイノベーションクラスターの形成事業
- ・代表・分担の別：（分担）土井章男
- ・期間：平成22年4月～平成25年3月

6 その他

本研究テーマは、平成24年度の科学技術振興機構の復興促進プログラム（A-STEP）に提案している。また、本研究に関連した特許（特願2007-183768、膝関節の大腿骨及び頸骨の骨軸自動抽出方法、ならびに骨軸自動抽出プログラム）は、科学技術振興機構の大学特許価値向上支援プログラムに応募している。

7 論文、学会発表、講演の実績

【論文】

- 1) 土井章男、高橋弘毅、馬渡太郎、女鹿幸夫、3Dテクスチャ表示技術を用いたポリウムレンダリングシステムの開発とその応用, *Medical Imaging Technology*, 1-9頁、30巻、2号、2012.
- 2) A. Doi, T. Takahashi, T. Mawatari, and S. Mega, “Development of a volume rendering system using 3D texture compression techniques on general-purpose personal computer, *IEEE iCAST2011:3rd Int. Conf. On Awareness Sci & Technology*, 2011, Dalian, China.
- 3) A. Doi, H. Takahashi, S. Mega, and T. Mawatari, “Volume manipulation using cut and paste operations and its applications”, *Proc. of JSST 2012 International Conference on Simulation Technology*, 2012/9, Kobe (Japan), (to be appeared).

【学会発表】

- 1) 土井章男、高橋弘毅、“仮想立位CT画像の作成とその応用”、日本VR学会第16回テレ-immージョン研究会、2012.
- 2) 土井章男、高橋弘毅、女鹿幸夫、馬渡太郎、“ストロークを用いたポリューム画像操作と整形外科手術への応用”、芸術科学会第1回東北支部研究会、2011.

8 受賞、特許