

# 人工関節置換術のための 次世代3次元ナビゲーションシステムの開発

若山俊隆<sup>\*1</sup> / 廣瀬雄一<sup>\*2</sup> / 半田隆志<sup>\*3</sup> / 鎌倉吉寿<sup>\*4</sup> / 長島剛宏<sup>\*2</sup> /

鬼頭 縁<sup>\*5</sup> / 清徳則雄<sup>\*2</sup> / 吉澤 徹<sup>\*4</sup>

埼玉医科大学 保健医療学部 医用生体工学科<sup>\*1</sup> / 株式会社レキシー<sup>\*2</sup> /

埼玉県産業技術総合センター<sup>\*3</sup> / NPO3次元工学会<sup>\*4</sup> / アルスロデザイン株式会社<sup>\*5</sup>

近年、人工関節置換術はX線CTによる術前3次元計画の貢献から手術成功率が向上している。一方で、3次元ナビゲーションシステムは手術の成功率をさらに向上させることが明らかになっているが、導入されているケースは5%未満ときわめて少ない。

本研究では、安価で扱いやすく、小型かつ侵襲の少ない次世代3次元ナビゲーションシステムの開発を目的としている。

## 1

### はじめに

2009年の矢野経済研究所の調べによると、わが国における人工関節置換術は、年間11万件（股関節4万件、膝関節7万件）を超え、約7,000件／年の勢いで増加し続けている<sup>1)</sup>。近年ではX線CT技術の発展に伴って、精密で緻密な3次元術前計画が練られ、手術の成功例は大幅に上昇している。しかしながら、100%復帰に関する手術成功率に関しては、未だにそれほど高い数値と言えないのが現実である。綿密な術前計画が練られているものの、術中に重要になるのは、医師の眼であり、手腕であり、そして医師個人がもつ感覚である。つまり、医師の経験と力量に手術成績は大きく依存している。手術を成功させるためには手術器械を術前計画に従った位置に3°、3mm以内に設置す

ることが必要とされている<sup>2,3)</sup>。これを実現できれば、手術後の患者の動作制限は緩和され、再手術の恐れも大幅に低減される。このような手術器械の位置決め精度を3°、3mm以内にするために、現在までに赤外線位置センサを導入したシステムが研究開発されている<sup>4)</sup>。この方法は手術の成功率を向上させることが認められているものの、装置が大型でありコストの問題から導入されているケースは全国で5%未満ときわめて低い。さらに、位置センサ用のマーカーピンを骨に複数本打ち込む必要があるため、復帰後の「生活の質(QOL)」に少なからず影響を与えることが問題といえる。

このような背景から、より侵襲の小さな方法で手術器械を3次元にナビゲートすることが望まれている。われわれのグループは、術中に骨を光3次元測定し、得られた3次元情報から術前計画におけるCT像のSTLデータとマッチングし、小型

姿勢センサを用いることで手術器具を的確な位置と角度に誘導するシステムの開発を行っている。

現在の人工股関節置換術はQOLの向上を配慮して、術野はきわめて小さく、直径100mm以下である。図1(a)に示すように太ももの皮膚を切開した後、大腿骨を脱臼させる。図1(b)に示すように臼蓋部分を露出させ、一方で大腿骨の骨頭を切除する。大腿骨には図1(c)に示すステムを挿入する。臼蓋部分は一度臼蓋リーマーで切削し、カップをはめ込む。このカップの位置決めを $3^{\circ}$ 、3mm以内に行うことが要求されている。この臼蓋の周りには太ももの筋肉などがあるため、従来の3次

元形状測定器では測定視野を確保することができないので3次元計測は困難であった。

NPO3次元工学会と埼玉医科大学では、以前より工業用のパイプや配管の内面形状計測を目的とした小型3次元プローブカメラの開発を行っている<sup>5)</sup>。この手法を用いれば、太ももの筋肉が死角となることなく3次元形状を撮像することができる。光3次元計測によって得られた術中の臼蓋骨の3次元データは、術前計画時に得たCT像のSTLデータとマッチングする。この誘導にしたがって図1(b)の臼蓋部分にリーミングと孔開けが施行できる。これらの作業によって図1(c)に示すような

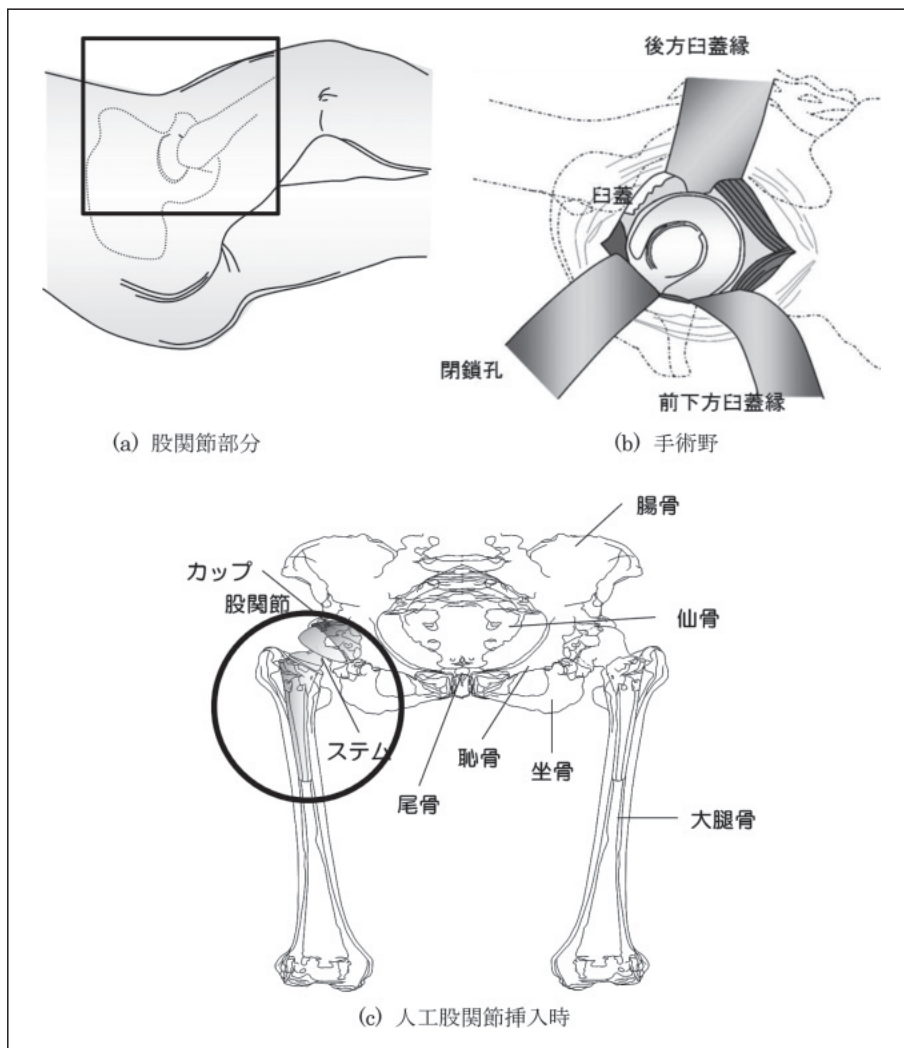


図1 人工股関節置換術

カップとステムの装着が可能となる。このデータと手術器械に取り付けられた姿勢センサから、術前計画に従った的確な角度と位置に手術器械を誘導する。実際の骨の光3次元計測によるデータとX線CTによるSTLデータとのマッチング機能は(株)レキシーによって開発が進められている。小型姿勢センサを用いた誘導システムの開発は埼玉県産業技術総合センターが取組み<sup>6)</sup>、特殊手術器械への組み込みはアルスロデザイン(株)が行っている。本研究は医工連携プロジェクトであるとともに、産官学の共同研究として平成23年度より研究開発が進められている。

## 2 人工股関節置換術のための3次元ナビゲーションシステム

図2に3次元ナビゲーションシステムの概略図を示す。図1(a)の枠の内側部分を拡大している。内面形状計測装置と小型姿勢センサが手術器械に取り付けられている。内面形状計測装置は、レーザー光をリング状に投影するリングビーム素子とCCDカメラが搭載されている。リング状のビームが股関節を照らしながらこれを軸上にスキャンをする。得られた光セクション面から3次元形状を測定することができる。この結果とCT像の

STLデータをマッチングし、術前計画からの位置と角度のずれを求めることができる。術前計画に最適な手術機器の姿勢を小型姿勢センサによって誘導する。最適な位置に手術器械が誘導できれば、再度、内面形状計測装置で骨を測定しマッチングを行う。マッチング結果が良好であれば内面形状計測装置を手術器械から引き抜いた後に臼蓋リマを挿入して手術が施行される。

## 3 内面形状計測装置と姿勢センサそしてマッチング

図3(a)に内面形状計測装置を示す。直径10mm、長さ120mmの小型プローブである。光源には半導体レーザーを用い、円錐ミラーによって点状の光からディスク状の光を生成している。ディスク状のビームは臼蓋の骨に照射され、骨による散乱光を内面形状計測装置内のCCDによって撮像する。図3(b)は実際にX線CTによって撮像された人工股関節置換術を必要とする患者の股関節の石膏モデルである。図3(c)は内面形状計測装置によって撮像された光セクション面であり、図3(d)は一軸スキャンによって撮像された点群データである。

図4は静電容量型3軸加速度センサである。15

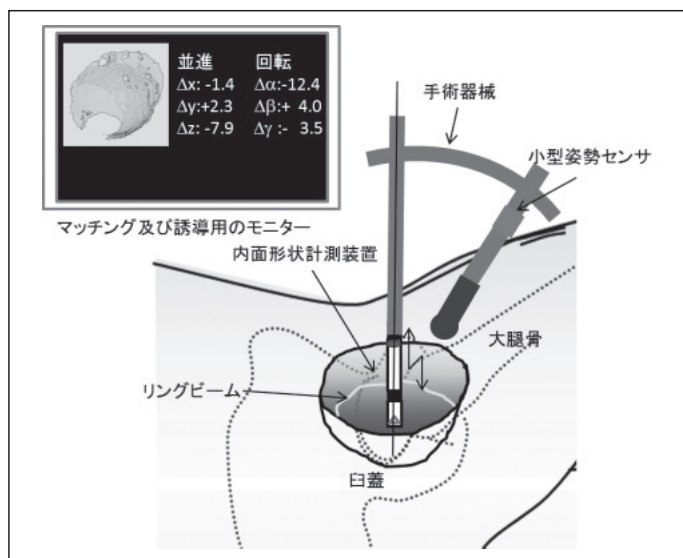


図2 3次元ナビゲーションシステム

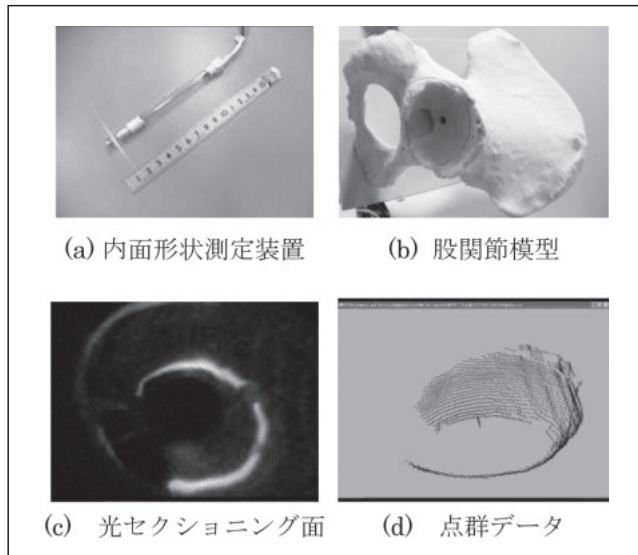


図3 内面計測の測定結果

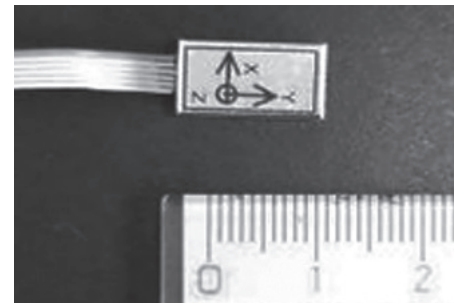


図4 使用した姿勢センサ

×14×10mmと小型であり、これを手術器械に取り付けることで1°以内の精度で姿勢を誘導することができる。時間応答は0.1~0.5secを達成しており、聴覚情報による姿勢誘導を達成している。

今回、**図3(b)**に示す石膏模型を用いて、内面形状計測用3次元プローブカメラによる点群データとX線CTによるSTLデータの比較、評価を行った。**図5**はX線CTによるSTLデータとマッチングを行った結果を示す。点群データが内面形状計測用3次元プローブカメラで取得された測定結果である。灰色で示されている部分はSTLデータで

ある。マッチングにはIterative Closest Point法(ICP法)を用いた。実験では様々な回転角度および並進位置に点群データを配置し、その角度および並進位置からマッチング処理を行った。再配置された点群データとSTLデータとの平均自乗距離(RMSD)を計算し評価を行った。**図5(b)**には回転角度に対するRMSDの変化を示している。回転角度34°以内であれば、RMSDが1mm以内でほぼ一定の値となり、再配置位置はほぼ一意となることが今回の基礎実験で明らかになった。

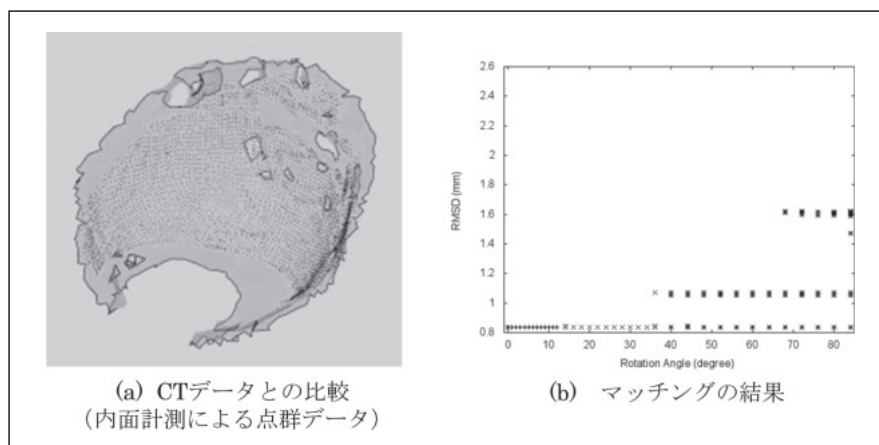


図5 評価結果

## 4

## まとめ

われわれのグループは、人工股関節置換術のための次世代3次元ナビゲーションシステムを、産官学の共同研究として開発を行っている。今回のシステムには内面形状計測装置を有し、得られた点群データと術前のCTによるSTLデータの間でマッチングを行った。小型姿勢センサによって術前計画の位置と角度に手術器械をナビゲーションできることを明らかにした。今後はさらに精度を高めるとともに、医療分野で活用されることを念頭に置いたシステムの開発を進めていく。

### 謝 辞

本研究の一部は、独立行政法人 科学技術振興機構より平成23年度・25年度 研究成果最適展開支援プログラム フィージビリティスタディステージ(シーズ顕在化タイプ)の「開創部の骨形状を術中、光学的に3次元計測し、人工関節の個別最適化を実現する手術支援システムの研究開発(AS2311126F)」と「1時間以内で手術完了できる人工関節手術ナビゲーションシステムの臨床応用試作の開発(AS2421540P)」の支援を得て行われたので、ここに感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 矢野経済研究所, 「2010年版メディカルバイオニクス(人工臓器)市場の中期予測と参入企業の徹底分析」(2010). [http://www.yano.co.jp/market\\_reports/C52200900](http://www.yano.co.jp/market_reports/C52200900)
- 2) 中村卓司: “TKA手術の全貌 ナビゲーション手術人工膝関節置換術 [TKA] のすべて 安全・確実な手術のために”. メジカルビュー, 2007
- 3) 鎮西清行: “手術ナビゲーションの臨床での使用実態に関するアンケート結果報告”. J JSCAS 9: 115-134, 2007
- 4) 笹間俊彦、中程 啓、佐藤嘉伸、菅野伸彦、西井 孝、大園健二、越智隆弘、田村進一: “股関節手術ナビゲーションのための表面モデルに基づくレジストレーションの精度評価”. 電子情報通信学会論文誌 J83-D-II: 378-386, 2000
- 5) T. Yoshizawa, M.Yamamoto and T.Wakayama: “Inner profile measurement of pipes and holes using a ring beam device”. Proc. SPIE 6382, 63820D1-63820D6, 2006
- 6) 半田隆志、見木太郎、佐野公治、廣瀬秀行、井筒隆文、古賀 洋、木之瀬隆: デジタル式座位姿勢計測器の開発と評価. 日本生活支援工学会誌 11(1): 34-42, 2011