

医用ボリュームデータの利用 手術ナビゲーションシステム

佐藤 嘉伸

大阪大学・医学部・多面的画像解析分野

yoshi@image.med.osaka-u.ac.jp

http://www.image.med.osaka-u.ac.jp/yoshi/



手術ナビゲーションシステム

手術ナビゲーションの基本原則

3次元位置センサ(モーションキャプチャ)
トラッキング、キャリブレーション
レジストレーション(異種座標系の位置合わせ)

乳癌手術支援システム

3次元超音波画像
拡張現実感 (Augmented Reality)

整形外科股関節手術支援システム

手術器具、部品のナビゲーション

手術ナビゲーションの基本原則: 3次元位置センサ

高精度実時間3次元センサ

光学方式: 高精度 死角が問題

Optotrak 超高精度

精度 0.1 mm,
視野 $1.2 \times 1.2 \times 1.2m^3$,
重量 60kg, 価格 約1200万円

Polaris ポータブル&ワイアレスタイプ

精度 0.35mm,
重量 2kg, 価格 約700万円

磁場方式: 死角なし 金属の影響が問題

Fastrak 精度 0.8 mm, 価格 約150万円.

Aurora超小型(軟性内視鏡,カテーテルの先端位置計測)
精度 1-2 mm, 価格 約700万円.



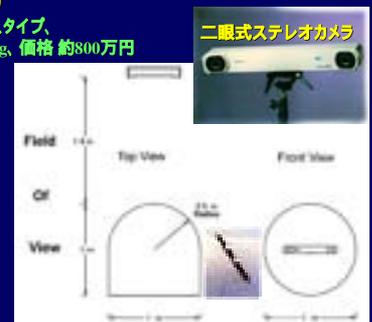
手術ナビゲーションの基本原則: 3次元位置センサ

高精度実時間3次元センサ(モーションキャプチャ)

Polaris (光学方式)

ポータブル&ワイアレスタイプ,
精度 0.35mm, 重量 2kg, 価格 約800万円

赤外線反射
球体マーカー



手術ナビゲーションの基本原則: 3次元位置センサ

磁場方式: 死角なし 金属の影響が問題

Aurora超小型(軟性内視鏡,カテーテルの先端位置計測)

精度 1-2 mm, 価格 約700万円.

腹腔鏡用軟性超音波
プローブの位置計測

軟性プローブ

軟性プローブ

光学センサ
用マーカー

超小型磁気
式センサ

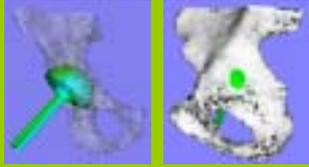
計測範囲

術具・患者のリアルタイムトラッキング (3次元運動計測)



股関節手術支援システム

人工関節設置



手術計画(水色)との比較. 緑色が術中のCup位置
現在の位置よりも5mm 張り進んだ場合のシミュレーション画像

手術ナビゲーション 骨盤骨切り術モニタリング

術中3次元位置データ
マーカ付き骨ノミ
骨盤トラッキング用マーカ
術前骨盤CTモデル

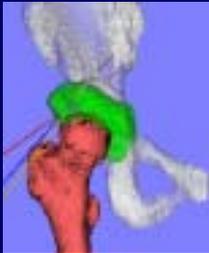
術前モデルと術中3次元データの統合に基づく
術中実時間再構成

術中統合

手術ナビゲーション 骨盤骨切り術モニタリング

術前モデルと術中3次元データの統合に基づく(再構成画像)

術後X線画像



乳癌手術支援システム

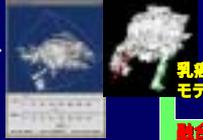


乳癌手術支援システム

超音波画像獲得

3次元超音波モデル再構成

拡張現実感



超音波モデルとビデオ画像の融合(精度 2mm 以下)

手術ナビゲーションの基本原理

自動車ナビゲーション

位置センサ: 人工衛星によるGPS(Global Positioning System)
位置センサによるセンシング位置 = 自動車の位置
位置センサの座標(緯度・経度) = 地図上の座標

手術ナビゲーション

ナビゲーション地図 = 術前3次元CT/MR画像
ナビゲーション対象 = 手術器具
ナビゲーション空間 = 患者の体内



必須要素

3次元位置センサ: 患部とその周辺の位置計測
トラッキング(追跡): 術具と患者(対象)の運動計測
キャリブレーション: 計測マーカ位置 対象の位置
レジストレーション: 位置センサの座標値 地図上の座標値

手術ナビゲーションの基本原則

ナビゲーション地図 = 術前3次元CT / MR 画像
 ナビゲーション対象 = 手術器具
 ナビゲーション空間 = 患者の体内

必須要素

3次元位置センサ: 手術室内患部とその周辺の位置計測
 トラッキング(運動計測): 術具と患者の運動計測。
 キャリブレーション(計測系補正):
 センシング位置 対象の位置
 レジストレーション(位置合わせ):
 位置センサの座標 地図上の座標



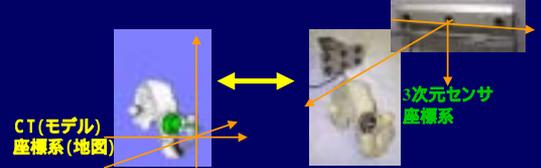
手術ナビゲーションの基本原則

手術ナビゲーション:

キャリブレーション: センシング位置 対象の位置



レジストレーション: 位置センサの座標 地図上の座標



手術ナビゲーションの基本原則

キャリブレーション (計測系補正)
 センシング位置 対象の位置

レジストレーション (位置合わせ, 異種座標系補正)
 位置センサの座標 地図上の座標

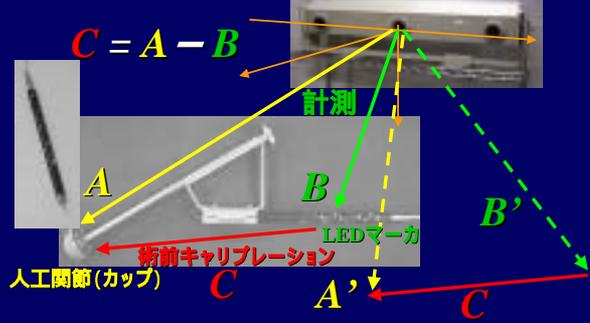
術具・患者のリアルタイムトラッキング (3次元運動計測)



手術ナビゲーションの基本原則:

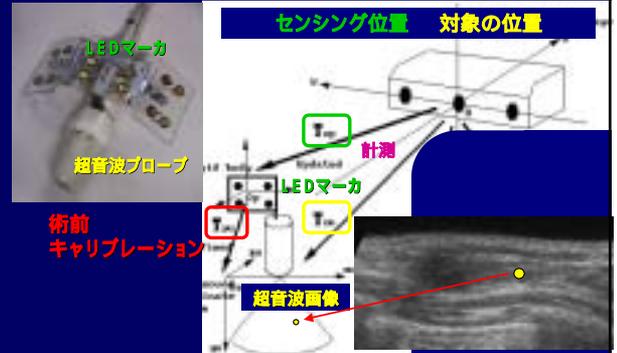
手術器具(人工関節設置器具) キャリブレーション

センシング位置 対象の位置

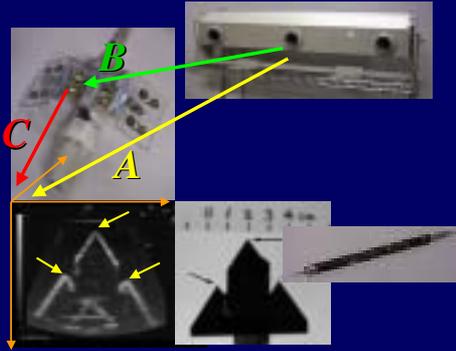


手術ナビゲーションの基本原則:

3次元超音波キャリブレーション



手術ナビゲーションの基本原則： 3次元超音波キャリブレーション



手術支援画像統合システム：概論 超音波キャリブレーション

フリーハンド3次元超音波システム

- 入力(既知):**
- 超音波プローブに取り付けたマーカの位置姿勢を表す座標変換行列 (T_{OP})
 - キャリブレーション座標変換行列 (T_{PU})
 - 超音波画像上の2次元点の座標 (u)

- 出力(未知):**
- 超音波画像上2次元点の3次元座標 (x)

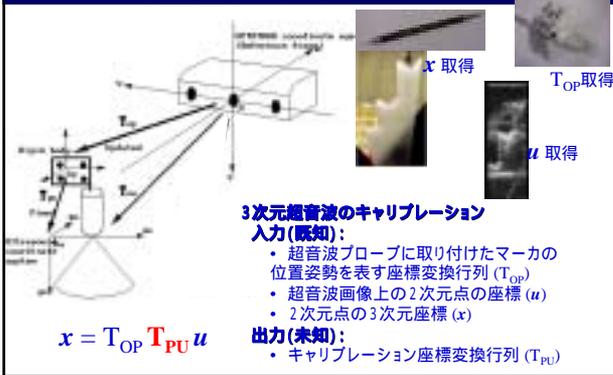
3次元超音波のキャリブレーション

- 入力(既知):**
- 超音波プローブに取り付けたマーカの位置姿勢を表す座標変換行列 (T_{OP})
 - 超音波画像上の2次元点の座標 (u)
 - 超音波画像上2次元点の3次元座標 (x)

- 出力(未知):**
- キャリブレーション座標変換行列 (T_{PU})

$$x = T_{OP} T_{PU} u$$

手術支援画像統合システム：概論 超音波キャリブレーション



手術ナビゲーションの基本原則

キャリブレーション (計測系補正)
センシング位置 対象の位置

レジストレーション (位置合わせ)
位置センサの座標 地図上の座標

術具・患者のリアルタイムトラッキング (3次元運動計測)

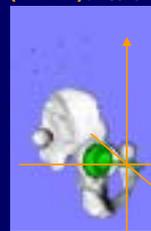


手術ナビゲーションの基本原則： レジストレーション(術前画像)

位置センサの座標 地図上の座標

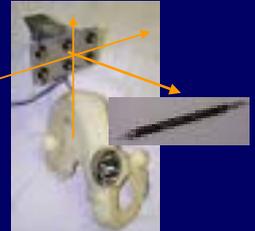
CT(モデル)座標系(地図)

患者座標系(実世界)



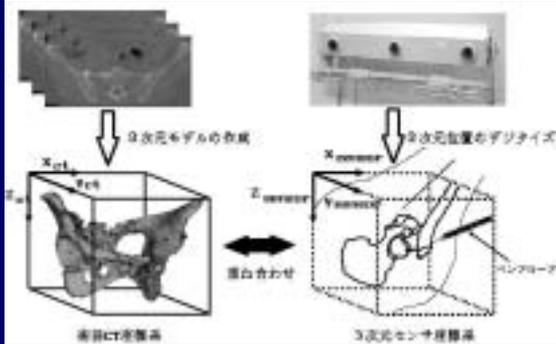
CT画像から作成した
3次元表面モデル

重ね合わせ

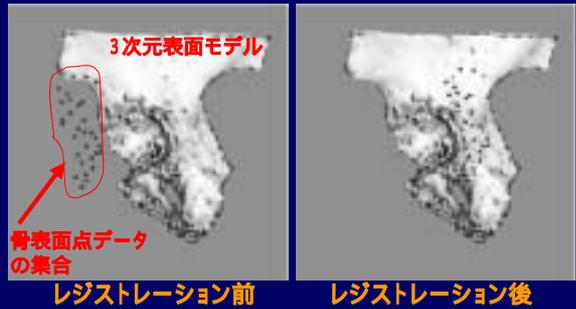


デジタル化により獲得した
骨表面の点データ

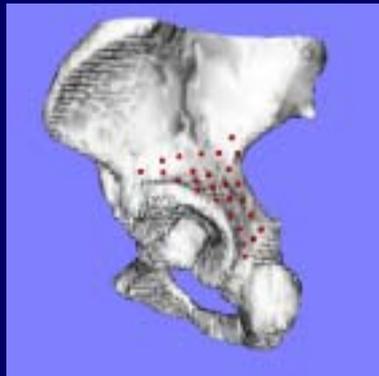
手術ナビゲーションの基本原則：
レジストレーション(術前画像)



手術ナビゲーションの基本原則：
レジストレーション(術前画像)



点集合と表面モデルの
レジストレーション(重ね合わせ)



3次元位置センサにより
獲得した骨表面点の集
合と、CT画像により獲
得した骨表面モデルの
重ね合わせ。

応用システム

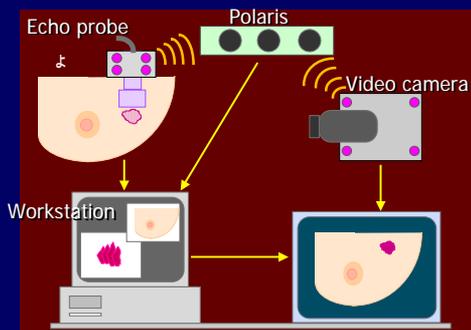
乳癌手術支援システム

目的: 乳房温存手術における切除範囲決定支援
ポイント: 乳房は軟組織であることから術前画像のレジストレーションは困難である。
方法: 3次元超音波による術中画像獲得
・実写画像と3次元超音波モデルの融合による拡張現実感

整形外科股関節手術支援システム

目的: 人工関節置換術、骨切り術における手術器具の誘導
ポイント: 骨は硬組織であることから術前画像のレジストレーションが可能である。
方法: 3次元(ヘリカル)CTによる術前画像獲得
・CTモデルと術中3次元点データによるレジストレーション

乳癌手術支援システム

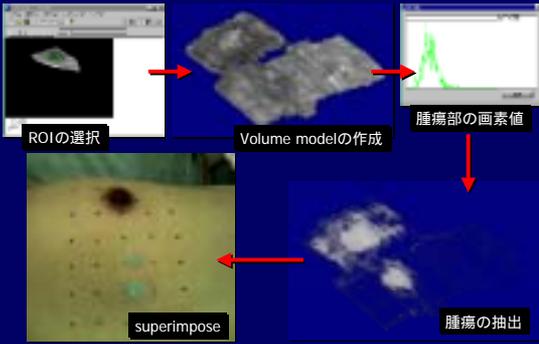


大阪大学腫瘍外科と多元画像の共同研究

乳癌手術支援システム



乳癌手術支援システム



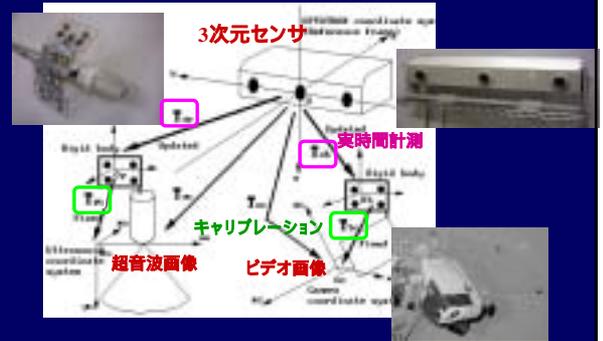
乳癌手術支援システム



乳癌手術支援システム



乳癌手術支援システムの基本原理: キャリブレーション(術中画像)



整形外科股関節手術支援システム

人工関節部品(カップ)の設置角度誘導
骨ノミの誘導



大阪大学整形外科と多元画像の共同研究

整形外科股関節手術支援システム



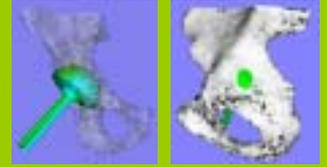
人工股関節手術



大阪大学整形外科菅野伸彦先生提供

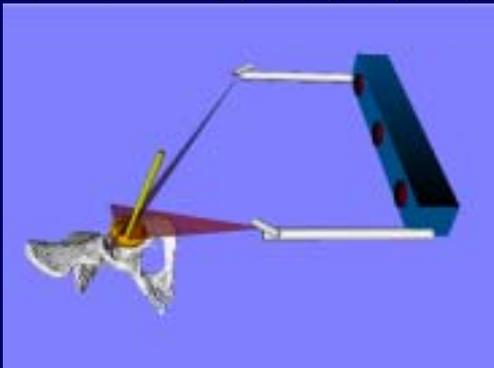
人工股関節設置ナビゲーション画面

人工関節設置



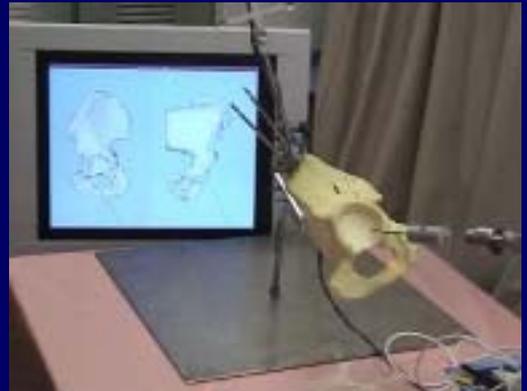
手術計画(水色)との比較。緑色が術中のCup位置
現在の位置よりも5mm 掘り進んだ場合のシミュレーション画像

レーザーガイダンスシステム



大阪大学整形外科、多元画像、日立製作所、東京大学による共同開発

レーザーガイダンスシステム



今後の研究

術中実時間3次元解析およびロボット制御

手術室をマルチメディア空間にする。
遠隔コックピットからの快適ロボット手術。

- ・術中変形の実時間解析・可視化
- ・術中3次元 / 4次元解析
- ・マルチモダリティ統合による**4次元手術記録**
- ・ネットワーク型(遠隔)手術支援システム
- ・手術ロボットとの統合

課題

「ポリウムデータの解析」シリーズ

- 第1回 ポリウムデータの可視化
- 第2回 ポリウムデータの情報量
- 第3回 ポリウムデータの定量化
- 第4回 ポリウムデータの利用(手術ナビゲーション)

の授業の感想を述べよ、

1. 良かった点, 改善すべき点など、
2. 来年以降の授業に対する提案など、
3. その他感想, なんでも