

総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）

「どこでも高度医療」実現のための 超臨場感コミュニケーション技術の研究開発

研究代表者： 田中 弘美(立命館大学 情報理工学部)
研究分担者： 田中 覚(立命館大学 情報理工学部)
陳 延偉(立命館大学 情報理工学部)
島田 伸敬(立命館大学 情報理工学部)
平井 慎一(立命館大学 理工学部)
野方 誠(立命館大学 理工学部)
李 周浩(立命館大学 情報理工学部)
長谷川 恭子(立命館大学 情報理工学部)
来見 良誠(滋賀医科大学 総合外科学講座)
森川 茂廣(滋賀医科大学 看護学講座)
小森 優(滋賀医科大学 生命科学講座)
田川 和義(立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構)

研究開発課題名: 「どこでも高度医療」実現のための超臨場感コミュニケーション技術の研究開発

1 研究目的

VR手術シミュレータによる遠隔地間での腹腔鏡下低侵襲手術訓練を実現するため、実世界の「触感」立体視覚と「透視」機能を有する“遠隔触覚協働仮想環境”を構築する。

2 研究開発の概要

上記の研究開発目標を達成するために、以下の I をメインテーマとし、II、III、IV、V の4つのサブテーマを並行して研究開発する:

- I. 「一対多」遠隔協働型低侵襲手術訓練システムの構築
 - 1 指導医が複数学生を同時/並行に“手を添えて”遠隔対面指導
 - 1 指導医が助手と協働で複数学生に“手を添えて”遠隔対面指導
 - 患者のin vivoデータに基づく遠隔対面による手術プランニング・リハーサル
- II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション
- III. 軟組織ボリュームデータの「透視」とリアルタイム可視化
- IV. 生体内情報に基づく3次元ボリューム生体モデリング
- V. 一般専用回線およびインターネット回線を用いるパラメータ
交信型ボリュームベース遠隔触覚協働(仮想)環境の構築

3 期待される研究成果及びその社会的意義

【従来】指導医が直接、研修医の手を取って指導する、1:1が基本であった対面の手術訓練

【成果】「一対多」遠隔協働型手術訓練環境では、1指導医が複数の研修医を遠隔から同時/並行に訓練し手術技能を効率的に向上させることが可能。同時に、技能訓練にかかるコストを削減しつつ、医療レベルの維持、さらには地域間での医療レベル格差解消、外科医育成に貢献する、3) “シミュレーションを用いた空間の壁を越える新しい知的モノづくり”の基盤となる革新的な技術開発に繋がる。さらに、4)本格的な遠隔医療診断、遠隔手術実現への途を拓くことができる。



医療の均てん化

- 超臨場感バーチャル技術を用いた医療の均てん化
- 時間的, 空間的, 物理的に情報の不均衡がないことが重要
- 全ての医師に有効な情報提供システムと技術伝承システムの整備が地域密着型医療び普及に不可欠



- ハプティック技術:異なる医療機関で, インタラクティブに指導できる
- 治療手技を多地点で触覚も含めて指導
- 医療技術の地域格差をなくすシステムの構築



安定した遠隔協働を達成

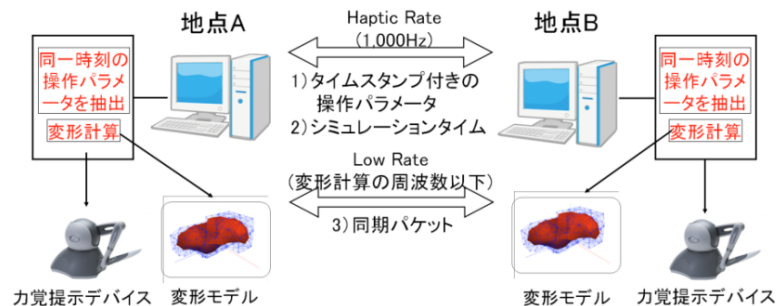
通信遅延: 東近江-滋賀医大間: 約1[msec] 滋賀医大-立命館大学

インターネット回線を用いるパラメータ交信型・P2P方式の遠隔触覚協働仮想環境

- 柔軟物の変形情報はデータ量が多く、低遅延・高レートでの通信に課題
- 各地点の計算機のスペックの違い、ネットワークのレイテンシ・ジッタ・パケットロスに起因する変形相違の解消法が必要



- パラメータ交信型・P2P方式の遠隔触覚共有手法を開発
- 必要に応じて間欠的にキーフレームを交信することで、各地点間の変形相違を解消



同じモデルを持ち、同じ計算を行う
(同一時刻の操作パラメータを同一の法則で抽出し変形モデルに入力する)

研究の新規性

- 1) 実世界の「触感」と「透視」を提供するボリュームベース超臨場感通信技術
- 2) パラメータ交信型の多地点・多人数インタラクションの同時性を共有する遠隔触覚協働仮想環境構築

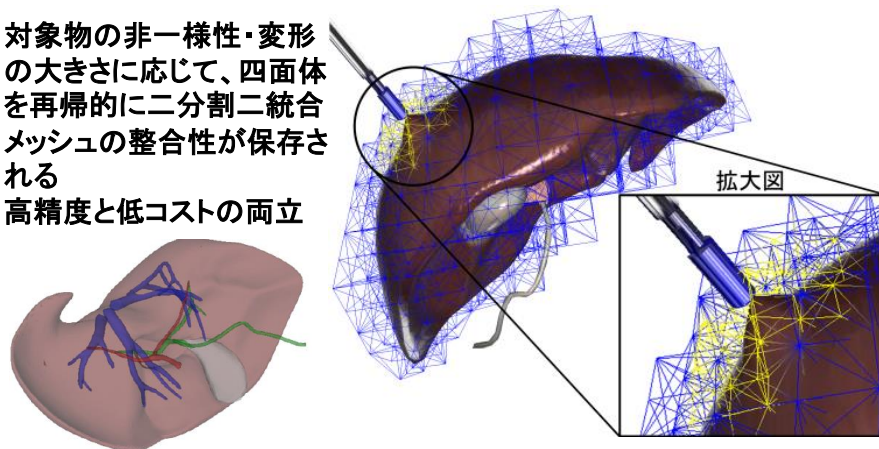
社会的波及効果の望める分野

- 1) 医療: 遠隔教育訓練, 遠隔手術訓練, 遠隔医療, 地域医療

II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション

二分割二統合に基づくオンラインリメッシュ

- 対象物の非一様性・変形の大きさに応じて、四面体を再帰的に二分割二統合
- メッシュの整合性が保存される
- 高精度と低コストの両立



細部モデル(異型)のモデリングと術野への組み込み

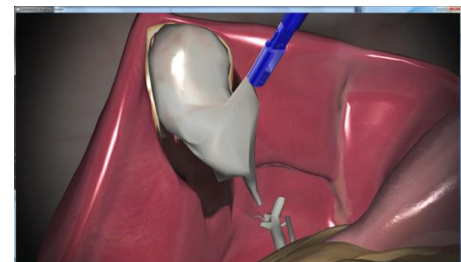
- 臓器形状には個人差。異型を即座に認識しながら手術を進める必要
- 胆嚢管と総胆管の合流部だけでも走行異常とされるものが35%
- これを再現可能なシミュレータが必要



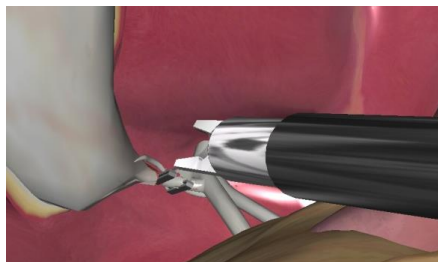
低位結合 癒着 高位結合 前方螺旋状結合 後方螺旋状結合 総胆管との結合

(a) 胆管異常走行の例 (出典: ネット解剖学アトラス)

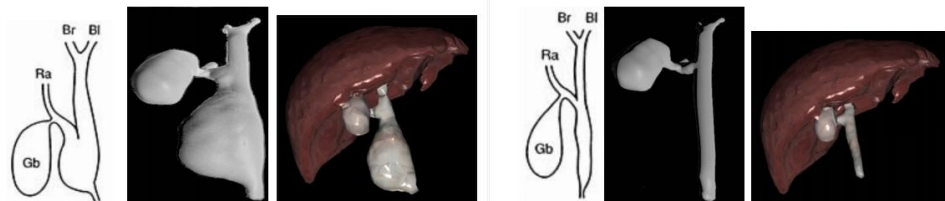
低侵襲手術訓練システムとしての実用化



(a) 胆嚢組織の剥離

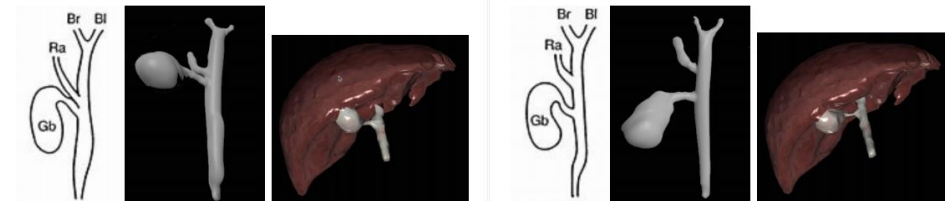


(b) 胆嚢管の切断・クリッピング



(a) 副胆管の膨張

(b) 副胆管と胆嚢の結合



(c) 副胆管と総胆管の結合 1

(d) 副胆管と総胆管の結合 2

(b) モデリング結果と術野への組み込み

研究の新規性

- マルチレート・オンラインリメッシュ型非線形軟組織変形・剥離・切断シミュレーション
- 多重解像度表現された細部モデル(異型)との高速なマージ

社会的波及効果の望める分野

- 手術シミュレータ
- アパレル、食品産業

II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション

適応的四面体メッシュによる軟組織ボリュームモデリングとシミュレーション

1. 実物体との整合性

物理ベース 幾何学的非線形性 材料異方性

- FEMベース
- 共回転系変形モデル
- 異方性材料
- 埋め込み変形モデル

適応的共回転系埋め込み変形モデル

2. 高速性

非一様性 力覚レポート

- St. Venant Kirchhoff体
- 等方性材料
- エッジベースの計算法
- 剥離シミュレーション

適応的エッジベース非線形FEM

3. 多様な操作

変形, 切断, 剥離, 穿刺など。

- オンラインリメッシュ $O(\log n)$
- マルチレート
- GPU

適応的質点バネモデル

時空間適応的 変形シミュレーション

適応的四面体(多重解像度)メッシュ

特徴

- 高品質メッシュ
 - アスペクト比: 0.64-1.1
- メッシュ等方性
- 八分木を用いる方法と比較して、解像度の変化が滑らか。
- 直方性

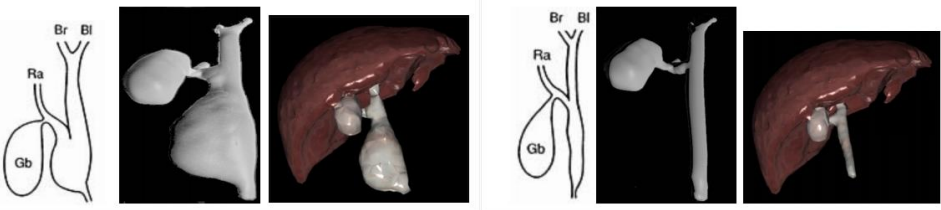
二分割・二統合 メッシュ等方性 直方性

細部モデル(異型)のモデリングと術野への組み込み

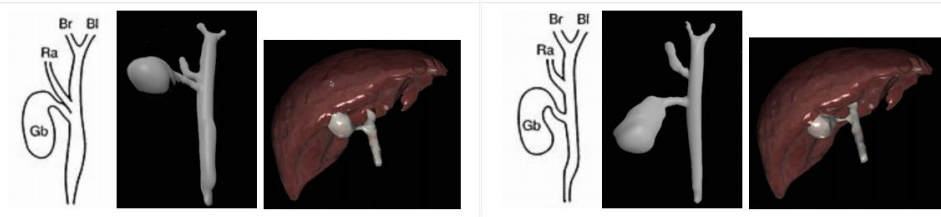
- 臓器形状には個人差。異型を即座に認識しながら手術を進める必要
- 胆嚢管と総胆管の合流部だけでも走行異常とされるものが35%
- これを再現可能なシミュレータが必要



(a) 胆管異常走行の例 (出典: ネット解剖学アトラス)



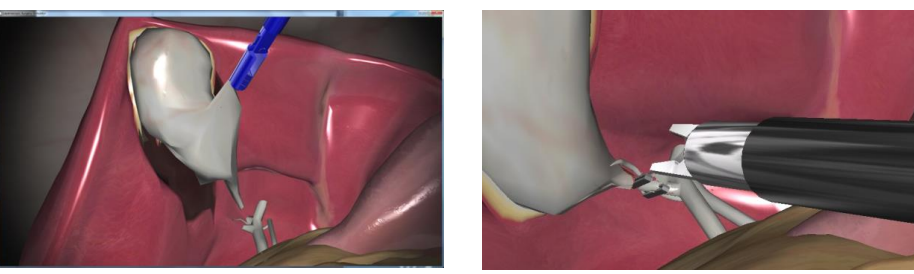
(a) 副胆管の膨張 (b) 副胆管と胆嚢の結合



(c) 副胆管と総胆管の結合1 (d) 副胆管と総胆管の結合2

(b) モデリング結果と術野への組み込み

低侵襲手術訓練システムとしての実用化



(a) 胆嚢組織の剥離 (b) 胆嚢管の切断・クリッピング

研究の新規性

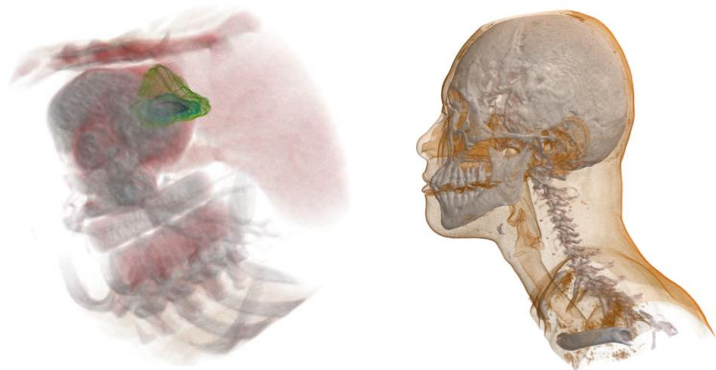
- マルチレート・オンラインリメッシュ型非線形軟組織変形・剥離・切断シミュレーション
- 多重解像度表現された細部モデル(異型)との高速なマージ

社会的波及効果の望める分野

- 手術シミュレータ
- アパレル、食品産業

Ⅲ. 手術シミュレーションを支援するための遠隔可視化・高精細半透明可視化

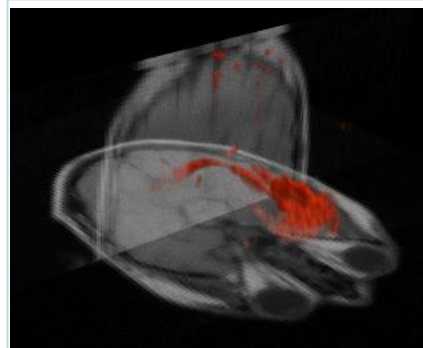
独自の粒子ベースレンダリング手法



ネットワークデータ通信



高精細半透明可視化



病変部のポリウムを
人体スライス画像と融合



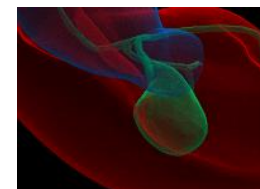
200万ポリゴンで4.1 fps

遠隔可視化



手術シミュレータ

インターネット



遠隔多地点で
可視化



手術プランニングとトレーニング

研究の新規性

- 1) 信頼性の高い半透明(融合)可視化
- 2) 手術シミュレータと連動した遠隔可視化

社会的波及効果の望める分野

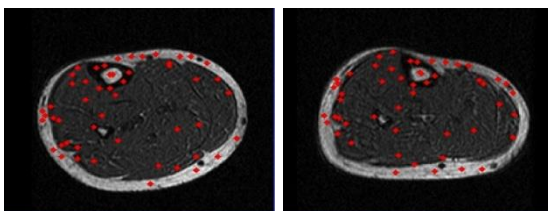
- 1) 遠隔手術支援, インフォームド・コンセント
- 2) 手術トレーニングのための教育支援

IV. CT/MRIを用いた体内計測による生体組織力学パラメータの獲得

内部変形計測による生体組織力学パラメータの獲得

- CT/MRIを用いた内部イメージング技術による生体組織の変形パラメータの推定
- 外部から負荷を加えた状態で複数の内部画像を撮影し変形場を計算し、分布負荷をフォースセンサで計測

TPS+SURFによる内部変形場の計算



自然状態

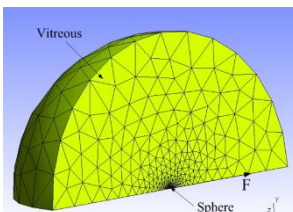
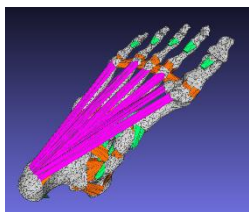
変形状態

マイクロフォースセンサを用いた接触力推定



ピエゾ抵抗を用いたマイクロフォースセンサを柔軟指の中に埋め込むことにより、対象物にダメージを与えることなく、法線力と接線力を計測

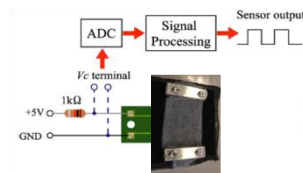
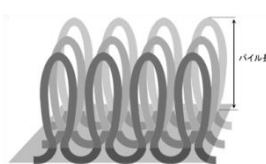
非一様生体組織の変形計算



生体組織力学パラメータを用いて生体組織の非一様な変形特性を計算

布地を用いた柔らかい触覚センサ

導電性繊維を用いたセンサを用いて垂直力と滑りを計測



研究の新規性

- 1) 内部変形計測による生体力学パラメータ推定
- 2) 布地を用いた柔らかいセンサ

社会的波及効果の望める分野

- 1) 医療: 患者データに基づく手術プランニング・リハーサル
- 2) 遠隔医療診断・治療

今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

I. 「一対多」遠隔協働型低侵襲手術訓練システムの構築

- ・提示映像の遅れに対して原因を究明し改良する

II. 軟組織ボリュームモデリングと手術シミュレーション

- ・他の症例や、より多くの異形バリエーションへの展開を図る。
- ・軟組織シミュレーション手法を発展させる
- ・非圧縮性および材料非線形性を考慮可能な手法と発展させる

III. 軟組織ボリュームデータの「透視」とリアルタイム可視化

- ・手術のプランニングやリハーサルへ発展させる
- ・遠隔可視化と精密半透明可視化のソフトウェアをユーザに提供する

IV. 生体内情報に基づく3次元ボリューム生体モデリング

- ・治療診断の低侵襲化を加速する

V. パラメータ交信型ボリュームベース遠隔触覚協働(仮想)環境の構築

- ・シミュレータの完成度を高め臨床実習に用いる



1-2年後の実用化を目指す