

グリッド環境に対応した生体組織シミュレーション・システムの設計と開発

1. 2002年度の具体的な研究計画

1-1. 股関節手術計画支援のためのグリッドシステム構築に関する研究

1) 人工股関節の選択と設置に関する専門医の知識の記述

研究目標の第一ステップは、多数の人工股関節部品から、ある患者に最適な人工部品の組み合わせと設置位置を計算機が自動的に選ぶシステムの構築をめざしている。そのためには、医師の経験と知識を計算機アルゴリズムに翻訳する必要がある。設置に関する数値など具体的なデータを収集する。

2) 人工関節設置の計算アルゴリズムの作成

手術前後の関節形態、動態、および力学的状態をシミュレーションすることにより、術後関節機能の側面から、手術計画の最適性を客観的かつ定量的に評価できるシステムを構築する必要がある。人工股関節の場合、カップの骨盤への設置、ステムの大腿骨への設置、ヘッドの調節、という3つの計算が必要である。人体の股関節部の形状と人工関節の相対的な位置関係をもとにして、最適な配置の計算アルゴリズムとシミュレーションソフトウェアを構築する。

3) 医用画像の並列処理に関する研究

CTやMRIなどの3次元医用画像データは容量が大きいため、計算資源が大量に必要となる。また、臨床応用の際には計算結果をなるべく早く返すことが現場で要求されるため、並列処理による高速化は必須の技術である。医用画像処理にとって効果的な並列化技法を研究する必要がある。本年度は、基礎的な検討に留める。

4) データ転送に関する検討

本研究では、骨格の3次元モデル構築に関しては、各病院の端末からCTデータをネットワークで手術計画センターに転送して、そこで3次元画像編集のエキスパートが一括して3次元形状モデル再構成を行ない、端末に送り返す方式を考えている。一般病院で、手術計画が迅速に行われるようにするために、どのような形でデータを送受信するのが適切か、学内のネットワークを使用して、工学部と医学部、神戸大学の間で基礎的な検討を行う。

1-2. 換気障害の診断と治療効果予測のためのグリッドシステム構築に関する研究

産学官連携研究員の北岡がすでに構築した肺の構造モデルをベースに、数理モデルによる呼吸動態シミュレーションの手法を初年度に完成することを目標に計画を立てた。計算手法のグリッド化と病院間ネットワークの構築は、次年度以降に展開する予定である。

2. 2002年度の進捗状況と研究成果

2-1. 股関節手術計画支援のためのグリッドシステム構築に関する研究

1) 「人工股関節の選択と設置に関する専門医の知識の記述」に関しては、概略の値は得られた。現在は1名の専門医であるので、複数が良いかどうかを含めた検討が今後必要である。

2) 「人工関節設置の計算アルゴリズムの作成」に関して、ステムの配置およびカップの配置について、概略は完成した。現在計算時間が数時間要しており、今後精度との関連、並列演算などを今後検討する必要がある。人工関節の選択のアルゴリズムは完成していなく、データベースを含めて、今後の課題である。

3) 「医用画像の並列処理に関する研究」において、並列演算の基礎的な検討は終わり、具体的な課題への取り組みは今後の課題である。

4) 「データ転送に関する検討」において、大阪大学工学部、医学部、神戸大学との間で、情報の転送について技術的な課題について検討し、単なる画像の転送でもって、手術支援を行うのが当面は適切であるとの判断をした。

本研究は、大阪大学情報科学研究科の筆者らのグループと医学部・整形外科、医用画像解析のグループとの共同研究であり、研究成果の発表および具体的な成果の図は、参加グループ「コンピューティンググリッド技術の開発と応用」の報告、ネットワーク型股関節手術計画システムの開発に記載した。

2-2. 換気障害の診断と治療効果予測のためのグリッドシステム構築に関する研究

北岡による気道の3次元モデル (*Appl Physiol* 87: 2207-2217, 1999) は、ヒト肺の形態計測データに基づき、機能的な要請を構築原理として構成されたアルゴリズムにしたがって、計算機内に気管支が自動的に生成されるものである(図3)。気管から終末際気管支に至るまで、総計約54,000本の枝が生成されている。最終枝に至るまで、平均15回分岐する。最終枝の直径は平均約0.5mmである。

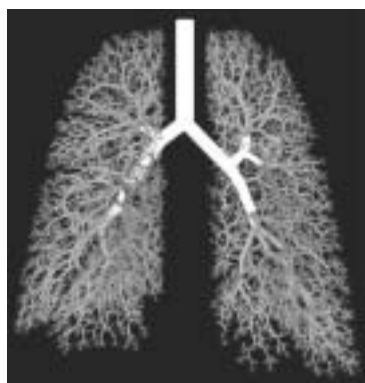


図3 . 気道の3次元モデル

呼吸という現象は、肺実質の変形と気道内の気流が相互作用する、いわゆる構造流体連成問題で、基本的には、流体や弾性体を扱う連続体力学の範疇で扱うことので

きる問題であるが、スケールの異なる膨大な数の枝の流れを計算することは現代の計算パワーをもってしても極めて困難である。また、何らかの方法で計算を実行したとしても、得られた結果と比較する実測値がない場合は精度検証ができない。実測可能な情報で遂行できるシミュレーション手法を構築するためには、目的に応じて問題を単純化することが必要である。臨床上最も重要なのは、普通の呼吸状態（安静呼吸という）でどのように空気が肺内に分配されているかということである。安静時換気分布を推定する方法として、換気を肺の弾性変形と気流抵抗による換気の再分布の2段階に分割してモデル化した。

呼吸に伴う肺の変形は、肺をスポンジのような多孔性の弾性体とみなして、弾性理論により定式化した（図4）。気流抵抗は、気道モデルの幾何学的特性から概算し、変形モデルに組み合わせることによって、安静呼吸時の換気分布を推定した。この手法は、正常状態だけでなく、喘息発作などの病的状態のシミュレーションにも応用可能である。図5は正常時と喘息発作時の仮想換気画像である。シミュレーションの妥当性は、肺機能検査の一種である窒素洗い出し曲線を再現することで、検証された（図6）。この研究は、呼吸生理学の基礎的臨床的研究として、極めて意義深いものである。

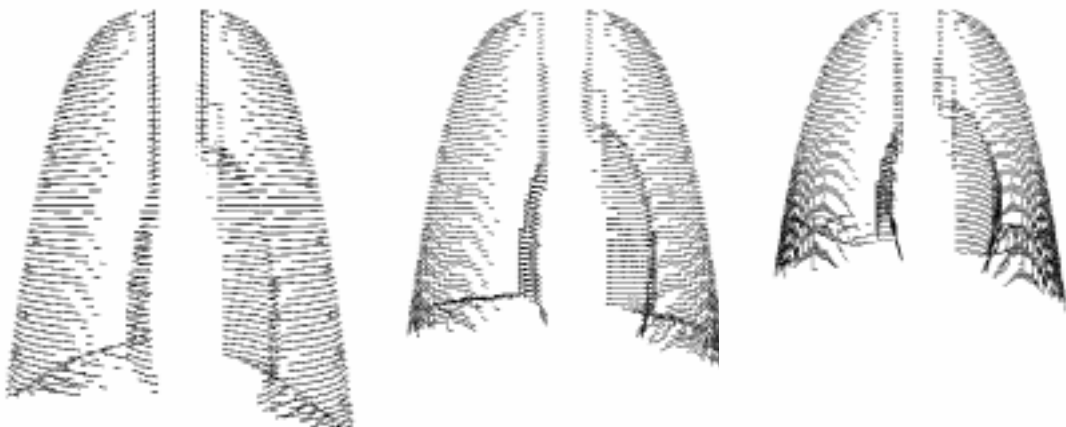


図4．肺の変形シミュレーション。左より、最大吸気時、安静呼気時、最大呼気時。

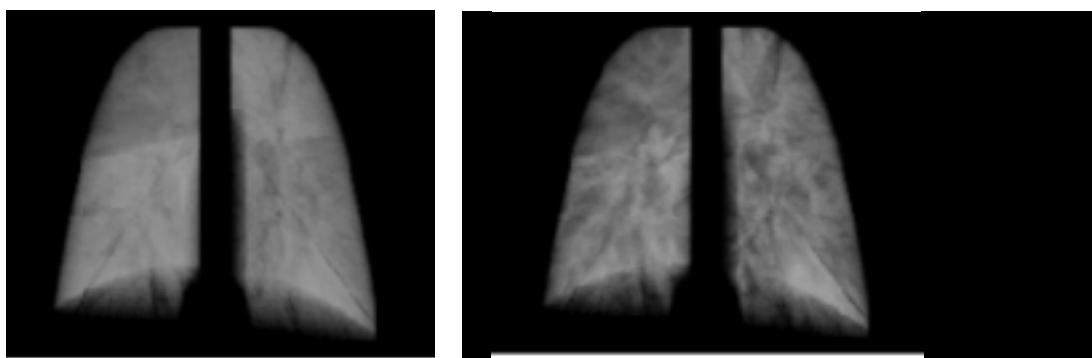


図5．換気シミュレーションによる3次元換気画像 左：正常時、右：喘息発作時

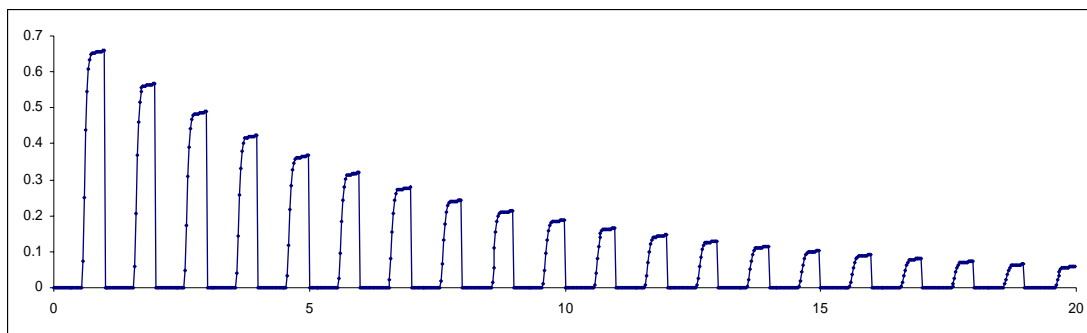


図6 . 多呼吸室素洗い出し曲線シミュレーション

数学モデルの確立と平行して、臨床 CT 画像から、肺の内部構造（気管支、肺動静脈、肺実質、病変部）をマッピングして、個別の構造モデルを作成する技法の開発にも着手した。2003 年 2 月に購入した医用画像解析ソフトウェア（バーチャルプレイス）を用いて、肺と中等大の気管支の領域抽出が可能になった。さらに、吸気呼気 CT 画像を用いて換気分布を算出する方法を考案した（図7）。本手法は、3 次元画像の位置あわせを行なうことにより、変位ベクトル場を求めて、その微分演算により、局所の換気率を計算するものである。正常者にも存在する生理的な不均等換気が明瞭に画像化されており、画期的な新技術である。

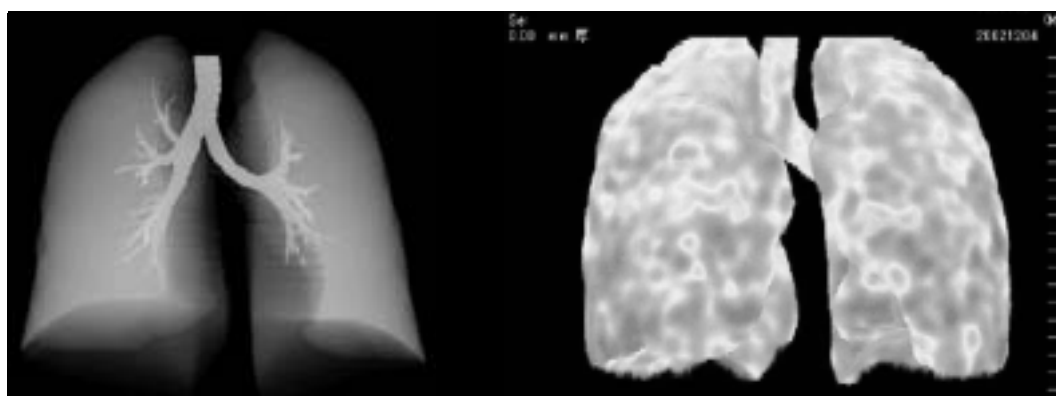


図7 . 臨床3次元CT画像の構造機能マッピング。左：肺と気道、 右：換気画像。

要約すると、

- (1) 数学モデルによる呼吸シミュレーション手法を確立した。
- (2) 臨床CT画像から個別の構造モデル作成手法を確立した。また、臨床CT画像から換気分布を算出する手法を確立した。
- (3) 患者データの解析と治療効果シミュレーションをグリッド環境で行なう準備が整った。