

手術シミュレータにおける 臓器変形手法の並列計算

長坂 学

 三菱プレシジョン株式会社

1

目次

- ・ イントロダクション
- ・ システム概要
- ・ 臓器変形のための数学モデル
- ・ 計算処理の高速化
- ・ システム評価
- ・ まとめ

2

事業内容



フライトシミュレータ



ドライビングシミュレータ



トレインシミュレータ



新規分野の開拓

術中外観(腹腔鏡下胃切除)

内視鏡下手術

※切開部が小さいため、患者の負担が小さい
⇩術者には高度な技術、知識、経験が必要

効果的な訓練装置が必要
VR型内視鏡下手術訓練シミュレータ

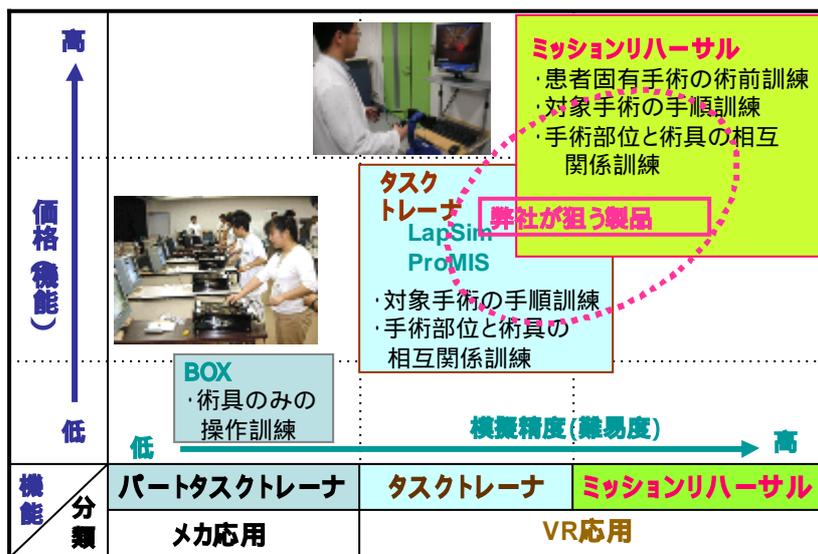
内視鏡(腹腔鏡)

上より Tモニター
撮像装置
光源
気腹装置

トロカール 鉗子類 クリップアプライヤー

独立行政法人 情報通信研究機構(NICT) 殿による委託研究

- '04
 - ・ 技術課題の明確化：小規模実験
 - ・ 計算実験環境整備：VGクラスタ、力覚
 - ・ 連携研究
- '05-'06
 - ・ 実時間力学シミュレーション技術の確立
 - ・ 生体シミュレーション用データの構築
 - ・ 高速演算装置の開発
 - ・ **第一次プロトタイプの開発**
- '07-'08
 - ・ 生体シミュレーション用データ構築法確立
 - ・ **第二次プロトタイプの開発**
 - ・ 訓練シナリオの構築

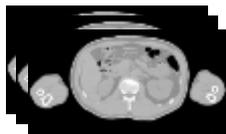


理化学研究所
生体力学シミュレーション特別研究ユニット

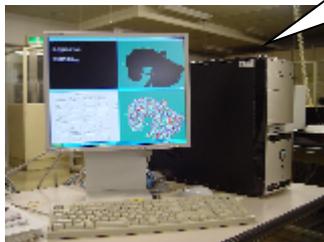
- ・生体力学シミュレーションデータの構築
 - ・MRIデータの歪補正
(CTデータを基準として)
 - ・モデルデータ作成システムの開発
 - ・物理量の付加

横浜市立大学 医学研究院

- ・内視鏡下手術手技訓練の内容の研究
- ・シナリオ開発
- ・手術シミュレータの評価



CT/MRIデータからシミュレーション用
モデルデータを生成 (オフライン)



(a) モデルデータ生成装置



(b) 手術シミュレータ

手術手技のシミュレーション
(臓器の把持・切除、血管クリップ等)

手術シミュレータの要求事項

(a) リアリティ

有限要素モデル (FEM) が最適

(b) 実時間処理

計算機の性能や、モデルの規模に依存する。
出来るだけ大規模なモデルを構築するために
High Performance Computingを利用する
(GPGPU, PCクラスタ)

FEMには2手法が存在

(a) 静解析

計算処理としては連立一次方程式を解く手法であり、
実時間処理するには計算コストは高すぎる

(b) 動解析

計算処理としては数値積分を行う処理であり、
静的モデルと比較すると、計算コストは小さい

動解析FEM

変位 u は、以下の微分式を数値積分する
ことで求められる

$$M\mathbf{a} = \mathbf{f} - C\mathbf{v} - K\mathbf{u}$$

↓ 微分形

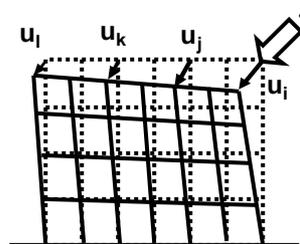
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{v} \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M^{-1}(\mathbf{f} - C\mathbf{v} - K\mathbf{u}) \\ \mathbf{v} \end{bmatrix}$$

数値積分

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v} \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_0 \\ \mathbf{u}_0 \end{bmatrix} + \int \left(\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \mathbf{v} \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} \right) dt$$

u, v の更新

- \mathbf{f} : 外力ベクトル
- \mathbf{a} : 加速度ベクトル
- \mathbf{v} : 速度ベクトル
- \mathbf{u} : 変位ベクトル
- M : 質量マトリクス
- C : 粘性マトリクス
- K : 剛性マトリクス



数値積分は、処理速度、数値安定性の観点から
"ルンゲクッタギル法"を用いる

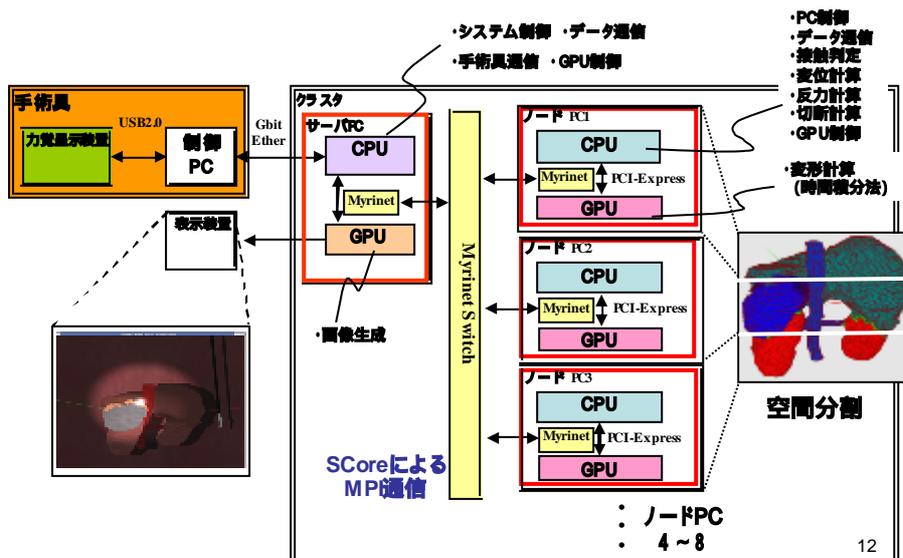
詳細なモデル(大規模化) 数値計算の高速処理



低価格、高性能な計算機システムの構築

1. General Purpose GPU
GPUを用いて数値計算を行う
2. PCクラスタ
並列処理による負荷分散

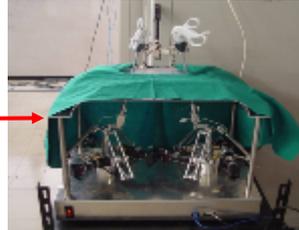
臓器モデルを空間分割し、各部分モデルをノードPCで処理する。



手術シミュレータ(プロトタイプ)



(a) PCクラスタ



(b) ハプティックデバイス

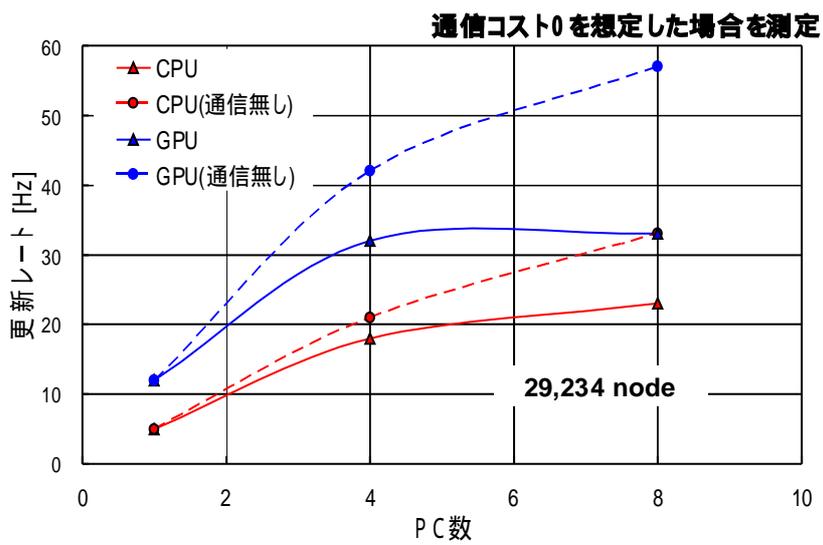


(c) 操作風景

PCスペック

- ・ Xeon Quad-Core 2.33GHz × 2
- ・ GeForce 8800GTX 768MB
- ・ 1GB Memory
- ・ Myrinet Network (2Gbps)
- ・ CentOS4.4 + SCore6.0.1

システム評価



- ・手術訓練シミュレータを目的とした、プロトタイプシステムを構築
- ・手術訓練で必要とするリアリティを達成するために、有限要素法を使用
- ・モデルの大規模化(処理の高速化)を達成するために、PCクラスタを使用 4並列で3倍の性能向上
(29,234ノードの臓器モデルに対し、30 [Hz]の更新レート)

今後の予定

- ・ネットワークコストの低減
- ・多臓器シミュレーション(臓器間の接触)
- ・手術シナリオの構築(腎臓の全摘)

15

御清聴ありがとうございました

本研究は、NICTの委託研究による
共同研究を実施している
理化学研究所チームリーダー横田秀夫、島井博行
横浜市立大学医学部教授 窪田吉信、横山和秀の諸氏に感謝します。
ご指導頂いている横浜国立大学名誉教授 土肥康孝、
梶原景範、藤野勝の諸氏に深謝します。

16