

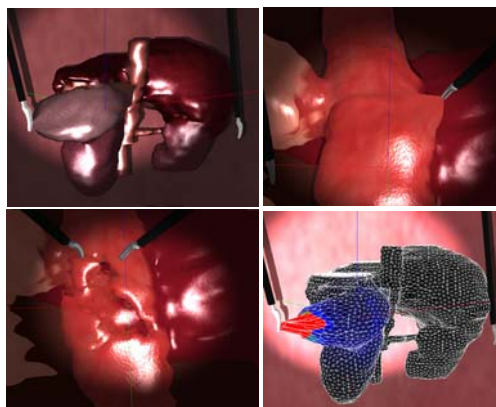
リアルタイムシミュレーションのための GPUクラスタ

平成20年7月25日

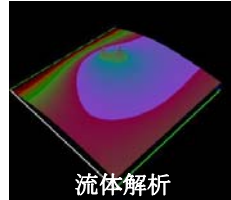
菊川孝明・緒方正人

目次

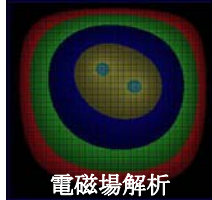
1. 背景・目的
2. GPUの適用
3. ネットワークの強化
4. システム構成
5. デモビデオ
6. 研究予定



リアルタイムシミュレーションを可能とする 低価格な計算プラットフォームの構築



流体解析



電磁場解析



生体運動模擬

NICTからの「手術シミュレータ」研究開発委託

⇒ 最優先のアプリケーションを
内視鏡下手術シミュレータに設定

3

リアルタイムでの生体変形シミュレーションモデル

必要な条件

- ・模擬精度
→ 有限要素法(FEM)が有効
- ・リアルタイム性
→ 計算機の性能と計算量に依存



生体の大規模データ例

FEMの2つの手法を検証

(a) 静的解析

大規模連立一次方程式を解く→共役勾配法(CG法)

(b) 動的解析

時間積分法等

4

MITSUBISHI PRECISION CO.,LTD.

背景・目的

時間積分による計算モデル

力のつりあい式

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

↓ 微分方程式

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

時間積分

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

u, v の更新

f : 外力ベクトル

a : 加速度ベクトル

v : 速度ベクトル

u : 変位ベクトル

M : 質量行列

C : 粘性係数行列

K : 剛性行列

5

MITSUBISHI PRECISION CO.,LTD.

背景・目的

リアルタイム大規模数値計算への対応

① GPUの利用

演算性能が高く、メモリバンド幅が広いGPUを利用する

デバイス	演算性能	メモリバンド幅
CPU Pentium4 3.8GHz	15G FLOPS	8.5GB/Sec
FPGA ALTERA Stratix2 EP2S90	5G FLOPS	9.4GB/Sec
CELL	288G FLOPS	25.6GB/Sec
NVIDIA GPU (G80)	450G FLOPS	76.8GB/Sec

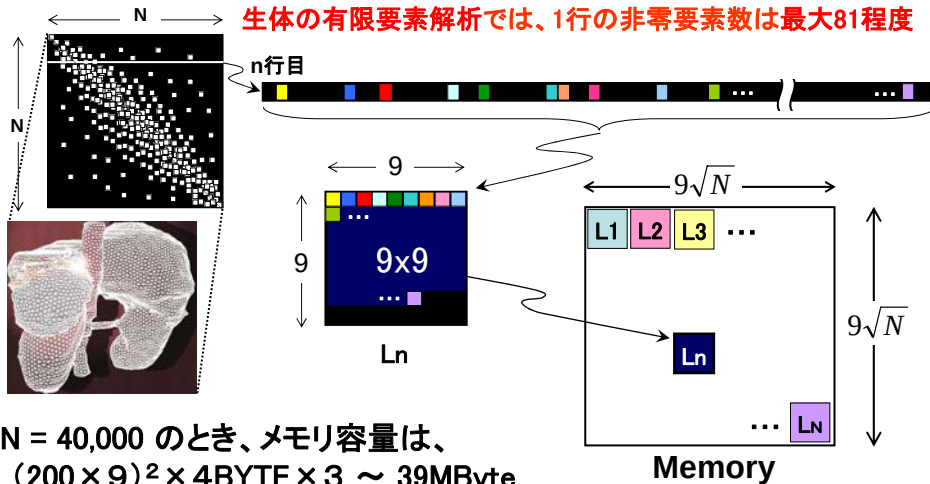
② 複数PCによる並列化

並列化効果を得るために数値計算用通信と画像データ通信を分離する。

6

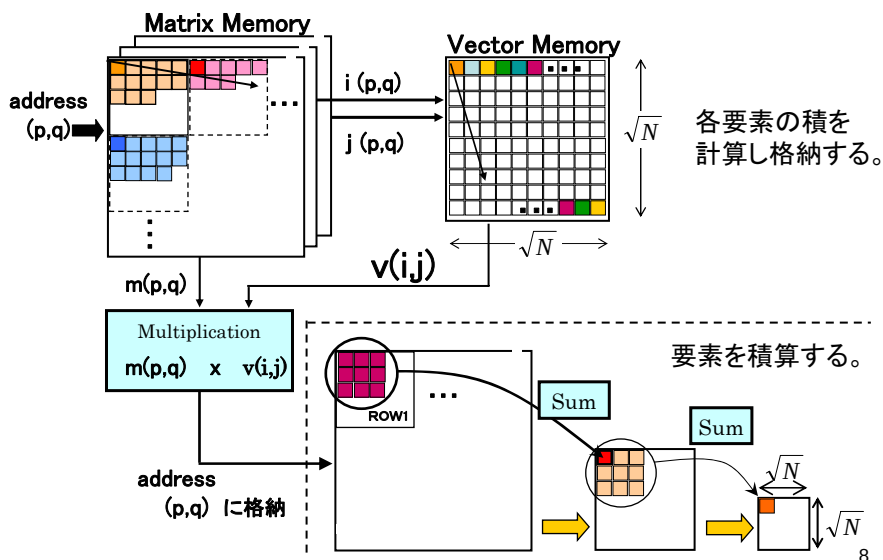
大規模疎行列計算をGPUへ実装する方法

大規模行列の要素をすべて格納することは困難。数GByte必要
 生体の有限要素解析では、1行の非零要素数は最大81程度



7

大規模疎行列計算をGPUへ実装する方法



8

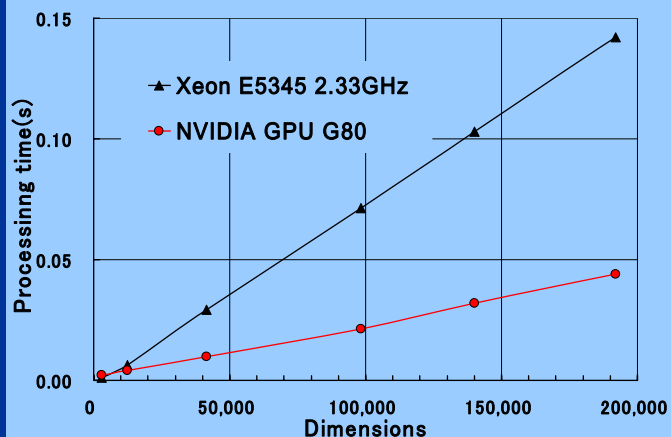
GPU の性能評価（時間積分法を実装した場合）

生体の変形シミュレーション
を実施した場合
200K次元の生体モデル
データに対して処理時間は

GPU: 0.044s

CPU: 0.142s

積分法による変形計算時間



9

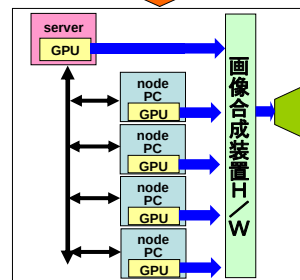
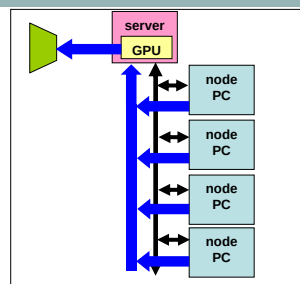
画像生成のためのデータ通信と 数値計算のためのデータ通信を分離

サーバPCで画像生成する場合、
任意の計算ノードPCが転送するデータ量は

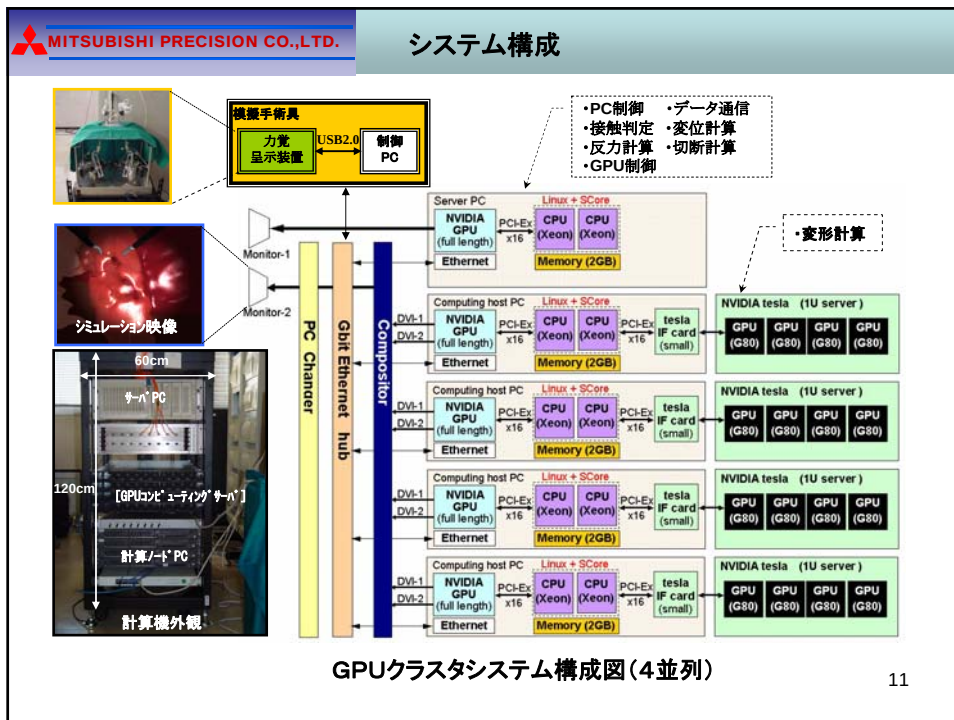
総データ量 (節点数)	他nodePCへの 送信データ量		serverPCへの 送信データ量	
	4並列	8並列	4並列	8並列
6,140	313	313	1,683	882
11,740	494	494	3,159	1,632
17,362	677	677	4,700	2,458
29,234	1,016	1,016	7,693	3,994

不要となる

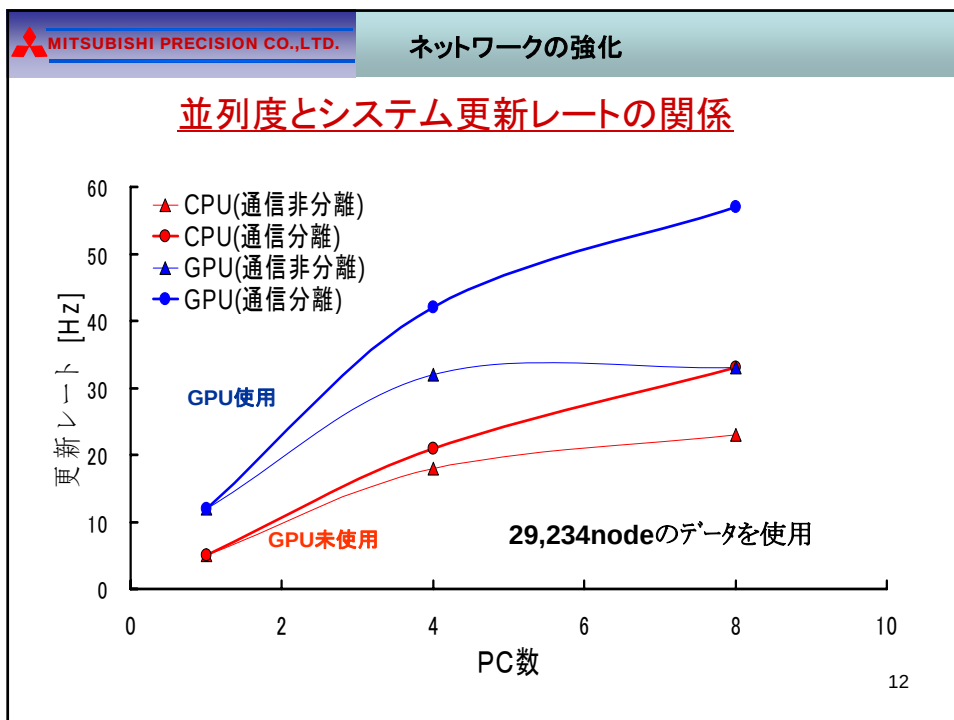
画像合成装置H/Wを用い、ノードPCの
映像をクラスタのネットワークを使わずに
送信する。⇒ネットワーク負荷を軽減



10



11



12

研究予定

- **GPU間の通信の高速化**
画像データ通信と同様に、数値計算データを
直接転送可能とする
- 生体モデルへの非線形性の導入
- オブジェクト(臓器)間の接触検知と力の伝播を
高速に行うための構造と手法

13

ご静聴ありがとうございました。

ご指導頂いた横浜国立大学 土肥康孝名誉教授に深
謝します。

本研究成果は、NICT 民間基盤技術研究促進制
度の委託研究による

14