

戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)
特定領域重点型研究開発(次世代ヒューマンインターフェース・コンテンツ技術)

**実世界における「触感」を提供する
ボリュームベース臨場感通信に関する研究開発**

田中 弘美
立命館大学 情報理工学部

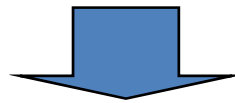
本研究プロジェクトの目的



実世界における「触感」を提供する
ボリュームベース臨場感通信の実現



- ATR「臨場感通信会議」や米国Tele-Immersionプロジェクト等の目指した「臨場感」は物体表面のみを3次元サーフェスグラフィックにより視覚的に提示
- 遠隔医療や遠隔協働作業の実現の途を拓くためには、生体等の弾力など対象に触ることで初めて理解できる「触感」情報を実時間で送受信するハプティックコミュニケーションの実現が期待される。



実世界における「触感」を実時間で提供する
ボリュームベースの臨場感通信の実現

遠隔多地点間で同時に対象に「触る」 感覚を共有するためには？

- 1)仮想環境の対象物を**中身を持った適応的ボリュームモデル**として表現し,
- 2)**最少の操作パラメータ**交信により,
- 3)柔軟物体との**インタラクション**, 対象の**変形挙動**と操作による**反力**, を実世界に忠実 & 高速に**シミュレーション**し,
- 4)その結果を**ボリュームグラフィック**と**ハプティックデバイス**をとおして**視触覚**呈示する.



リアルタイム性(視覚30Hz, 触覚1000Hz)
高精度 & 高速変形シミュレーション

戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)

特定領域重点型研究開発(次世代ヒューマンインターフェース・コンテンツ技術)

研究開発課題名: 実世界における「触感」を提供する ボリュームベース臨場感通信に関する研究開発

目的

遠隔多地点間で、実世界における「触感/触覚(ハプティクス)」を提供する、独自のボリュームベース臨場感通信を医療などの分野で確立することを研究開発する

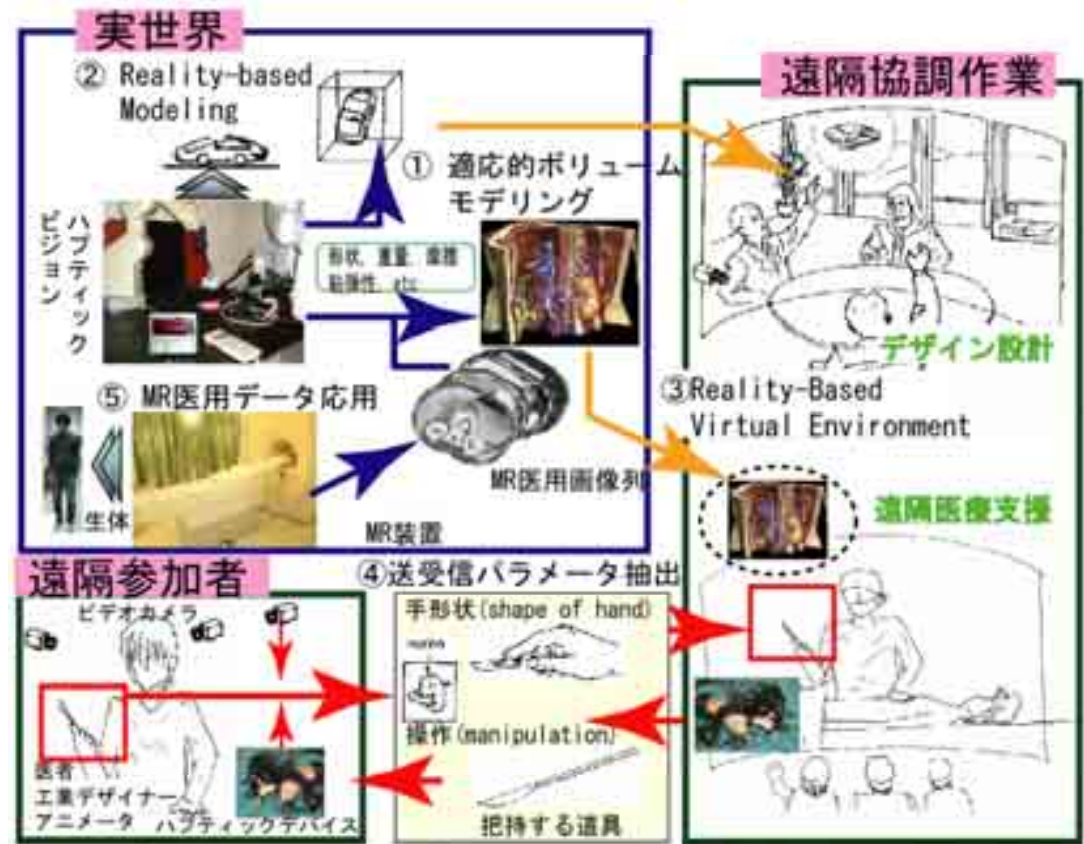
内容・成果

本課題の目標を達成するために、右図に示す、以下の5項目を研究開発する:

- ① Adaptive Gridに基づくボリュームデータの適応的モデリングおよびレンダリングの研究
- ② ハプティックビジョンに基づくリアリティベース・レオロジー物体モデリングの研究
- ③ Deformable Adaptive Gridに基づくリアリティベース変形シミュレーションの研究
- ④ 交信パラメータ(接触・変形操作における手形状・把持物体・把持パターン)自動抽出の研究
- ⑤ MR医用ボリュームデータ応用の研究

社会的意義・波及効果

本計画が実施されれば、遠隔多地点間で工業デザイナーやアニメーターに、実環境と同様の「触る」操作性を持って仮想協調作業空間を提供することが出来る。さらには、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。



「触感」を提供するボリュームベース臨場感通信構想図

実施体制

研究総括・代表 田中 弘美

I : ボリュームデータの適応的モデリング、レンダリングの研究

分担者: 田中 弘美, 田中 寛, Huynh Quang Huy Viet

II : マイクロフォースセンサ試作とリアリティベース・レオロジー物体モデリングの研究

分担者: 平井 慎一, 鳥山 寿之, 田中 弘美, 島田 伸敬, 森川 茂廣(滋賀医大)

III : リアリティベース変形/切断シミュレーションの研究

分担者: 田中 弘美, Huynh Quang Huy Viet, 山口 哲

IV : 交信パラメータ(手形状・把持物体・把持パターン)自動抽出およびシステム構築の研究

分担者: 島田 伸敬, 李 周浩, 山口 哲, 田中弘美

V : MR医用ボリュームデータ応用と穿刺シミュレーション構築の研究

分担者: 陳 延偉, 平井 慎一, 山口 哲, 森川 茂廣(滋賀医大), 来見 良誠(滋賀医大)

本研究の新規性

1) パラメータ同期交信型ボリュームベース触覚通信の実現

⇒ 実時間遠隔協働を保証するために、

各地点の操作時刻の同期がとれたHCVE構築

2) 各地点で同一の物理ベース変形シミュレーション

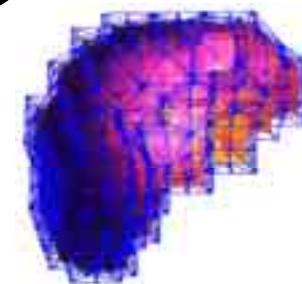
⇒ オンライン・リメッシュボリュームモデルを用いた

物理ベース適応的柔軟物シミュレーション

3) リアリティベース・ボリュームモデリング

⇒ 観測データ(CT/MR画像)の解析による

自動柔軟物ボリュームモデリング



肝臓のオンラインリメッシュ
ボリュームモデル

テーマ I

Adaptive Grid(適応的四面体ボリュームモデル)

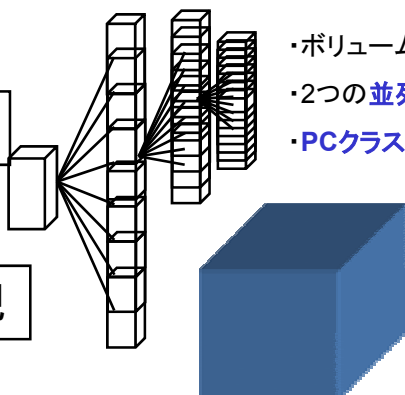
Adaptive Grid

従来: 立方体格子表現

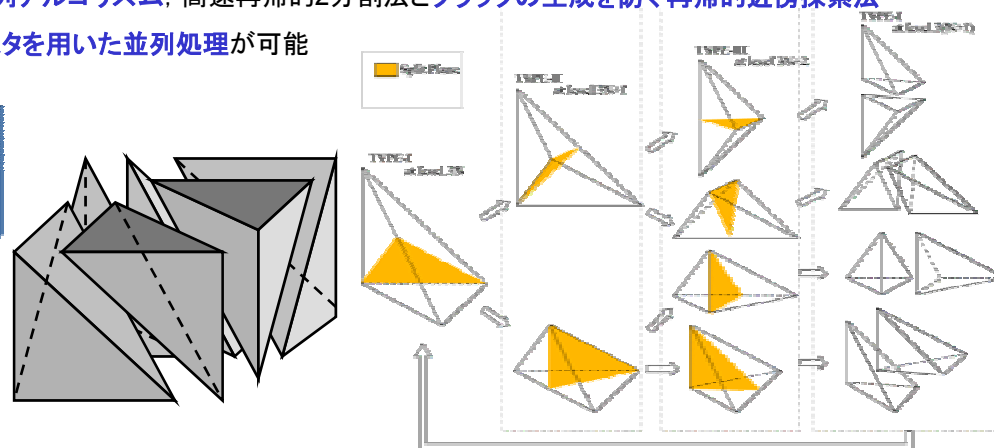
- ・立方体を8分割, 8分木表現
- ・階層間の精度差が8倍もある

適応的四面体格子表現

- ・四面体を2分割, 2分木表現
- ・階層間の精度差が2倍なので高精度で近似できる



- ・ボリュームデータの局所特徴に基づいた適応的サンプリング手法
- ・2つの並列アルゴリズム, 高速再帰的2分割法とクラックの生成を防ぐ再帰的近傍探索法
- ・PCクラスタを用いた並列処理が可能



Adaptive Grid医療分野への応用

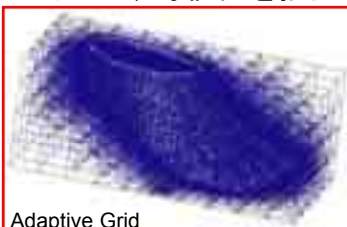
医療分野における診断支援のために, 3次元ボリュームデータの特徴抽出は非常に重要な研究要素である

境界抽出: Adaptive Gridを用いた等値面抽出

- ・ノイズの多い医療ボリュームデータから対象物体の境界を抽出できることを目指す
- ・足のボリュームデータから, 等値面を抽出した結果



Volume Rendering



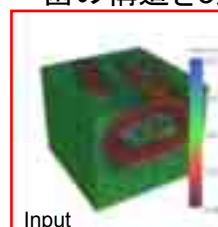
Adaptive Grid



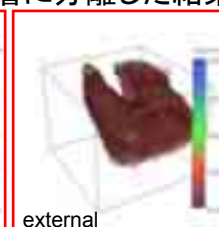
isosurface

領域抽出: 前処理を必要としない並列ボリューム分割

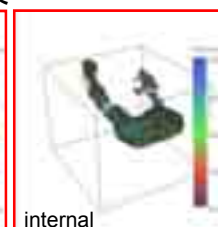
- ・人体等, 複雑な医療ボリュームデータから臓器や骨格, 血管を抽出できることを目指す
- ・歯の構造を3層に分離した結果



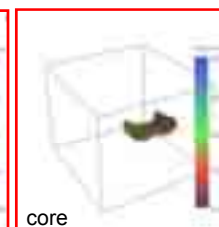
Input



external



internal



core

研究の新規性

- 1) CVの知見に基づくボリュームの認識・理解
- 2) 局所特徴に基づく適応的四面体表現を用いたボリュームCGモデルリング

社会的波及効果の望める分野

- 1) 医療診断支援, 手術シミュレーション
- 2) 高度な知的設計(機械自動設計)・キャラクター設計によるモノづくり革新

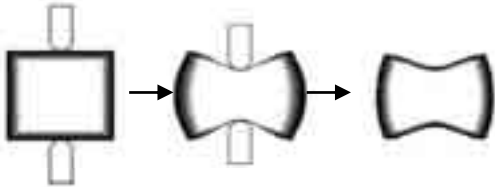
テーマⅡ

ハプティックビジョンに基づくレオロジー特性抽出

柔軟物体の力学モデル化

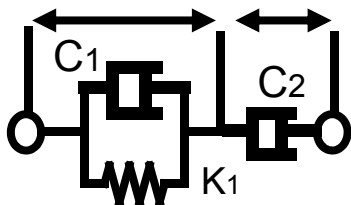
レオロジー特性

変形後、復元するが完全には戻らない



力学モデル

非残留変形部 残留変形部



対象物体

食品
(例)パン生地、肉
人体組織
(例)内臓、筋肉

衣類
(例)麻、綿、ゴム
化学製品
(例)合成繊維

実物体によるレオロジー特性抽出



パン生地

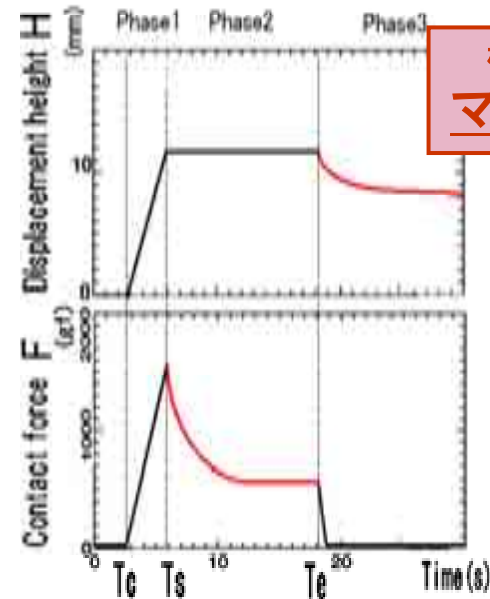
実物体(柔軟物体)

input

output



ハプティックビジョンシステム



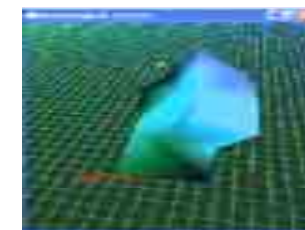
構造力学と流体力学を用いた
マルチフィジクス解析

変形特性パラメータ

input

力と変位の能動的観測

実物体と同様の物体操作を実現



柔軟物変形シミュレータ



ハプティックツール

研究の新規性

- 1) 観察ベースによるレオロジー特性の能動抽出
- 2) 構造力学と流体力学を用いたマルチフィジクス解析

社会的波及効果の望める分野

- 1) 医療 - 手術トレーニング・プランニングシミュレーション
- 2) 定量化が遅れている食品産業

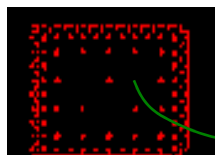
テーマⅢ レオロジー物体に適応する柔軟物シミュレーション

従来と異なった視点

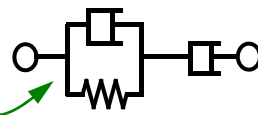
➢レオロジー物体の部分的な物理量(質量分布の密度・部分要素の加速、熱度、化学成分)の相互変動の可視化が必要とされている
➢しかし、これらの問題について研究されていない



柔軟物体



メッシュモデル

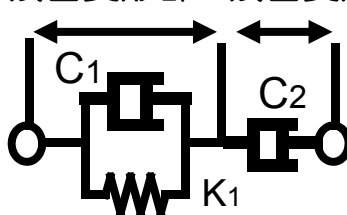


3要素モデル

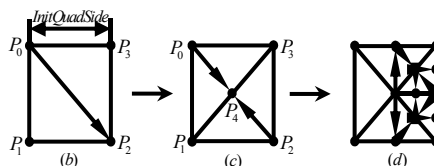
柔軟物体の力学・形状モデル化

力学モデル

非残留変形部 残留変形部



形状モデル



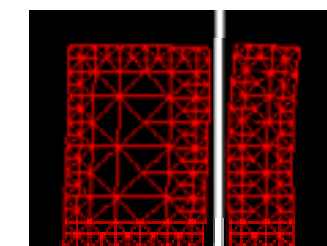
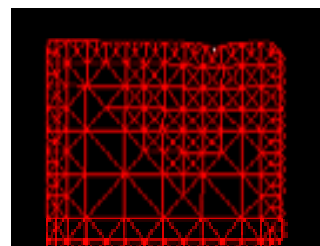
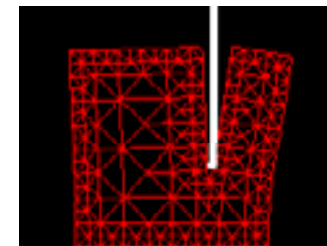
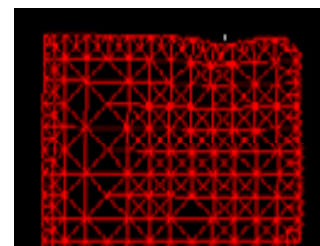
Adaptive meshの再帰的な生成過程に物理特徴量の変化を分割・統合条件にすることにより、meshが物理量の変化に応じて、自動的に格子点が増減する。

機能・性能

変形中のレオロジー物体のモデリングにおいて、変形中の物理特徴量の大きな部分は微細なメッシュで表現し、また、小さな部分を素なメッシュで表現する。

粘弾性変形レンダリング

切断レンダリング



研究の新規性

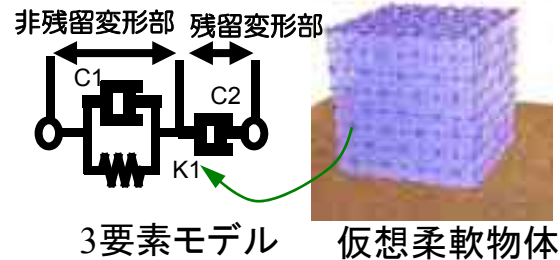
- 1) Adaptive meshが動的に生成される原理の提案
- 2) レオロジー物体の切断レンダリング手法の提案

社会的波及効果の望める分野

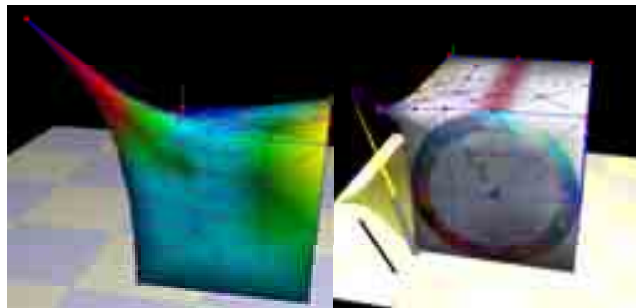
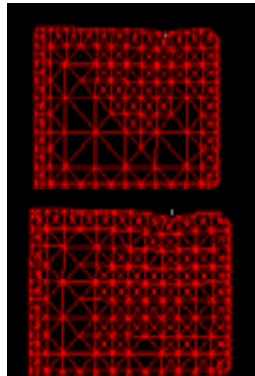
- 1) 医療 - 手術トレーニング・プランニングシミュレーション
- 2) 食品産業

テーマⅢ オンラインリメッシュに基づく柔軟物シミュレーション

柔軟物体の力学モデル



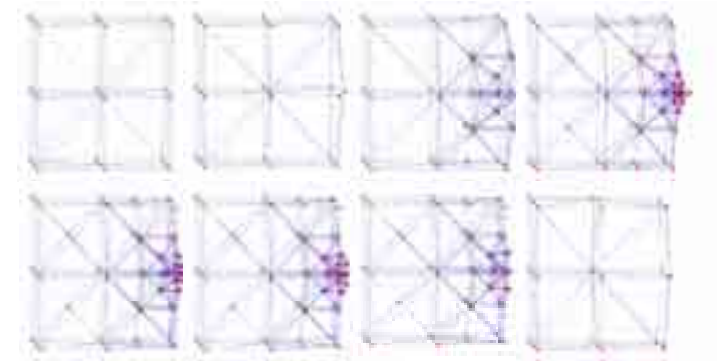
変形シミュレーション



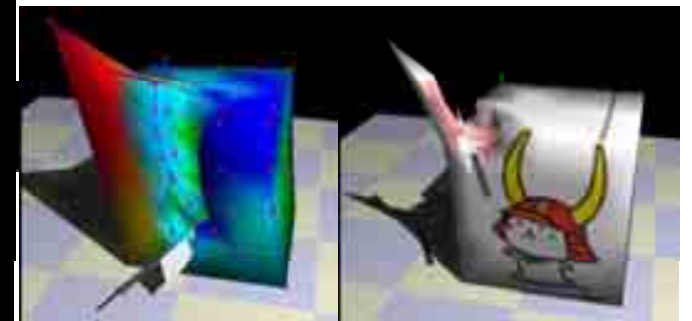
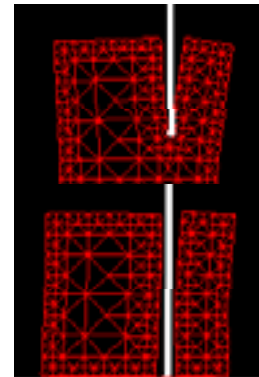
二分割二統合に基づく オンラインリメッシュ

- ✓ 生体組織などの柔軟物体の変形に応じて動的にメッシュ構造を適応させる
- ✓ 四面体要素を物理量の変化に応じて再帰的に二分割二統合
- ✓ メッシュの整合性が保存される
- ✓ 高速・高精度と低コストの両立

適応的変形・切断シミュレーション



切断シミュレーション



研究の新規性

- 1) 変形に応じて動的にメッシュ構造を適応させる
- 2) レオロジー物体の適応的変形・切断シミュレーション

社会的波及効果の望める分野

- 1) 手術シミュレーション
- 2) 高度な知的設計・キャラクター設計によるモノづくり革新

テーマⅣ 実世界の「触感」を提供するボリュームベース臨場感通信

システム構成 —パラメータ交信型



送受信パラメータ

- スタイルス先端の仮想空間内における座標
- 把持されている四面体ID
- スタイルスの姿勢
- ユーザが操作するノードID
- ユーザが操作するノード座

スタイルス



88[byte] < 256[byte] (1000Hz通信制限)

触覚通信実験



立命館大学BKC—滋賀医科大学間の往復通信時間は約13[msec]で安定した通信を達成

ユーザA

ユーザB

ユーザC

3地点間でも安定したコミュニケーションを達成



新聞発表 日刊工業 07. 7. 6

遠隔地でも触感



立命館大
肝臓モデルで実
手術訓練などに

研究の新規性

- 1) パラメータ交信型ボリュームベース触覚通信の実現
- 2) 各地点で同一の物理ベース変形シミュレーション

社会的波及効果の望める分野

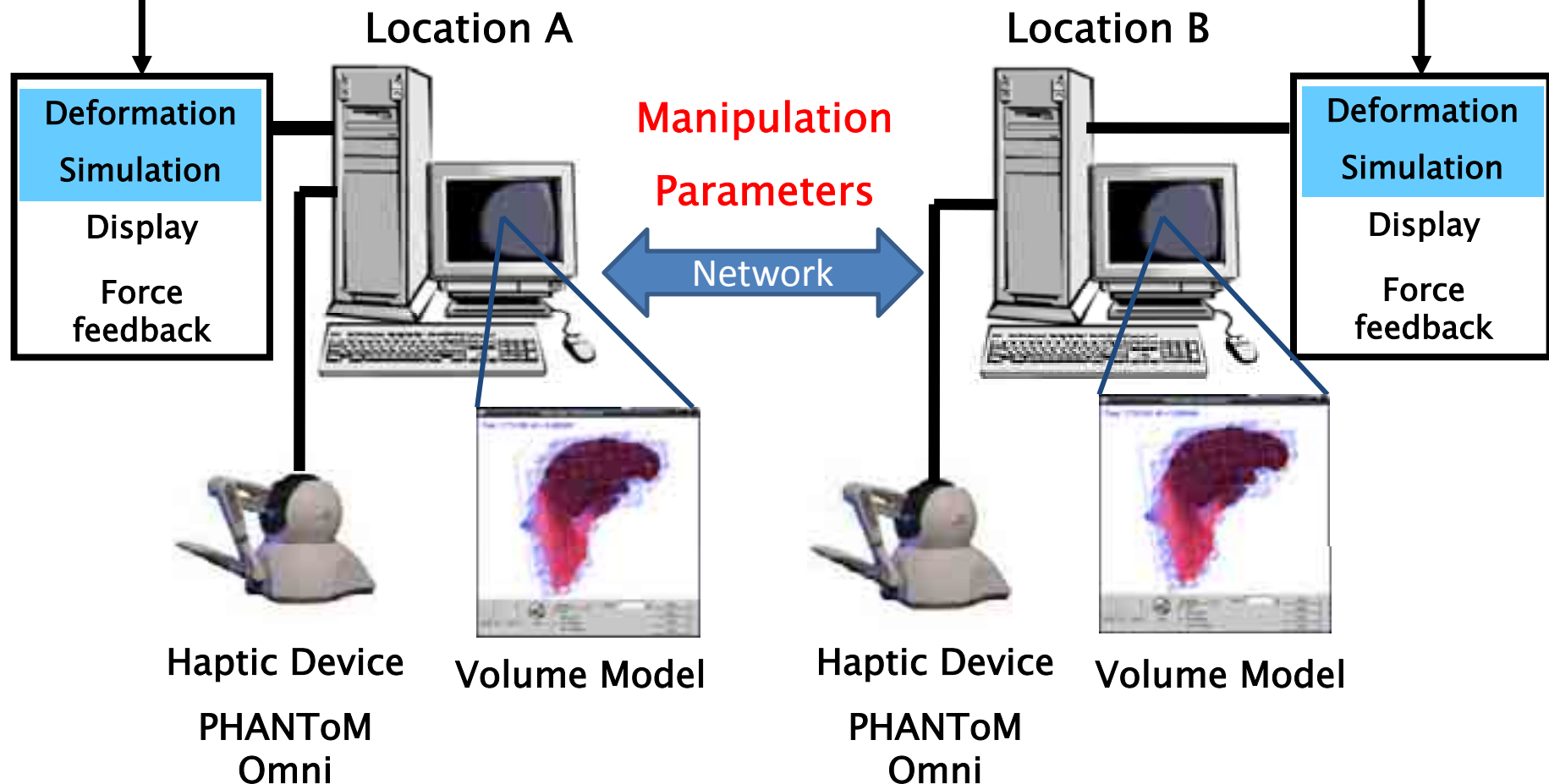
- 1) 遠隔医療支援, 手術シミュレーション
- 2) 高度な知的設計(機械自動設計)
キャラクター設計によるモノづくり革新

パラメータ交信型 ボリュームベース臨場感通信システム

システム構成



操作パラメータのみを交信し、各地点で同一変形モデルを用いて同一シミュレーションを行う

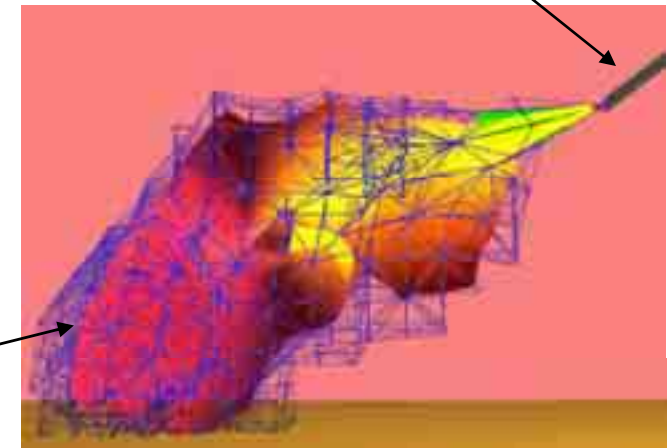
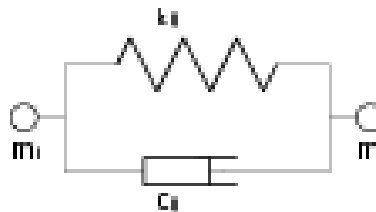


送受信パラメータ

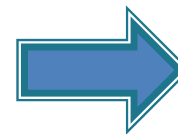
Rits

スタイラス

- ・各ノードが質量 m を持ち、各ノード間に弾性係数 k と粘性係数 c を配置した四面体の集合により三次元形状を表現
- ・各ユーザの操作に応じた反力を算出して提示



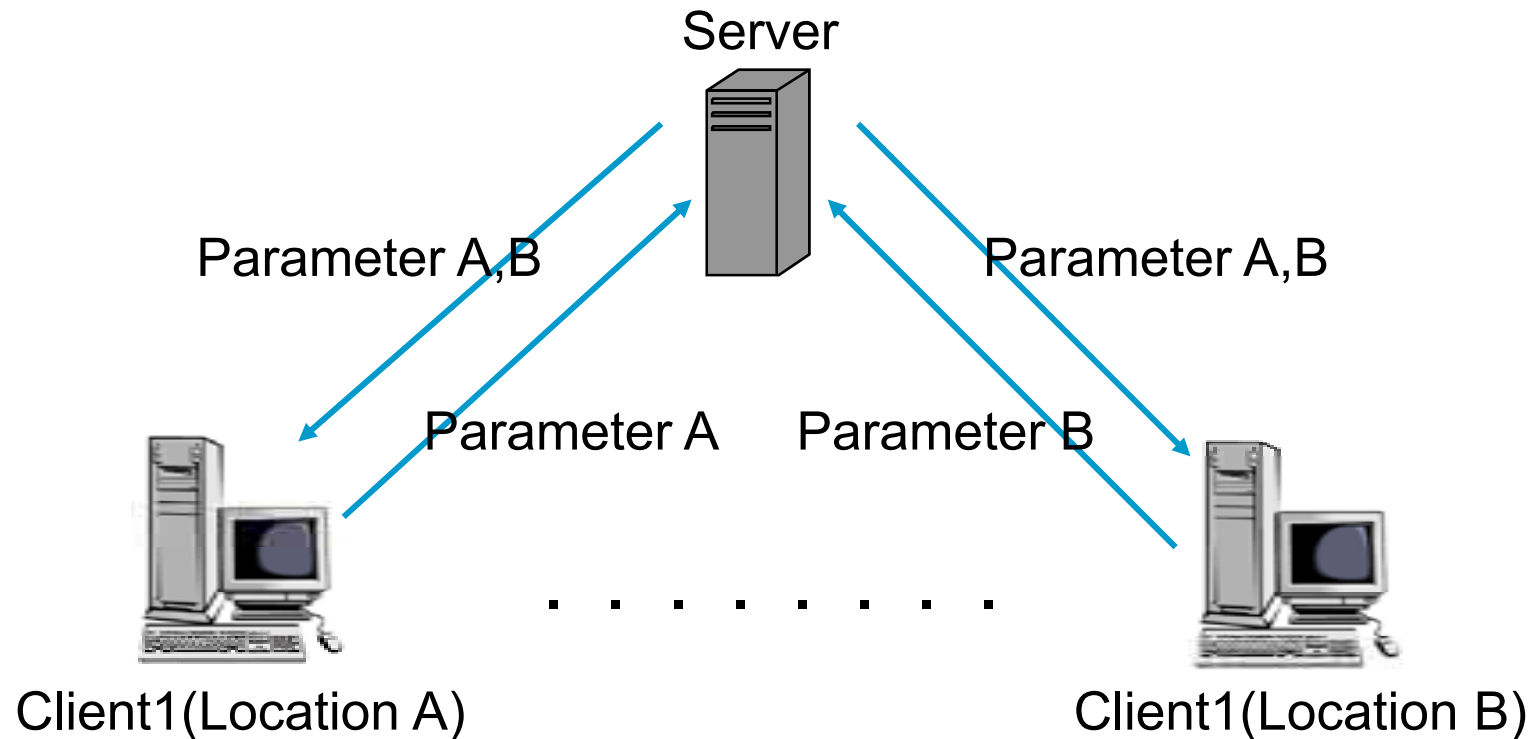
- ・ スタイラス[†]先端の3次元座標
- ・ スタイラスの3次元姿勢
- ・ スタイラスが接触している四面体ID
- ・ ユーザが操作するノードID
- ・ ユーザが操作するノードの3次元座標



88[byte]

[†]: ハプティックデバイスの入力用ペン型インタフェース

NTP (Network Time Protocol) サーバを用いた同期方法



各地点から操作データをサーバに集め、操作時刻を揃えて各地点へ同時配信

- ⇒ 各地点へ届く操作データの時刻が揃う/同期が取れる
- ⇒ 変形の入力(全地点でのスタイラスの位置と姿勢)が同一であるため、各地点での変形(の軌跡)が等しい

オンライン・リメッシュ ボリウムモデル

-物理ベース適応的柔軟物シミュレーション-

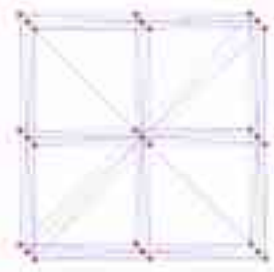
オンライン リメッシュとは？



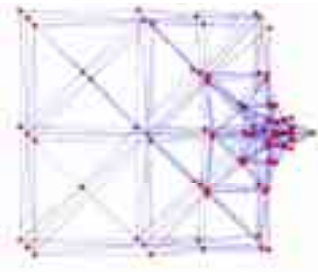
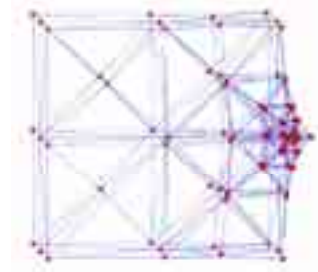
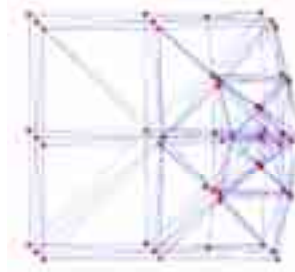
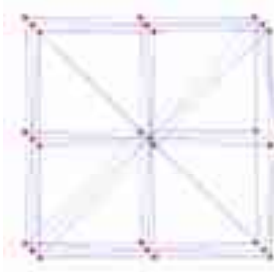
オンラインの変形に応じて：

全体の精度を保証し&メッシュ構造の整合性を保存
しつつ注目領域（接触/変形領域）を局所的に修正
（格子点の挿入・消去）

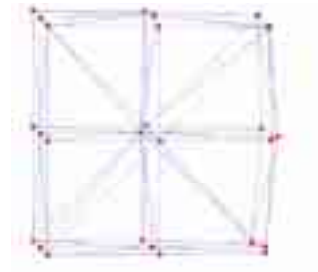
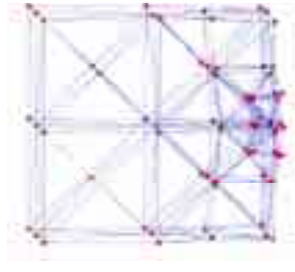
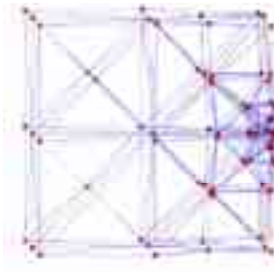
⇒局所再分割&再統合による局所多重解像度モデル



初期状態



最大変形

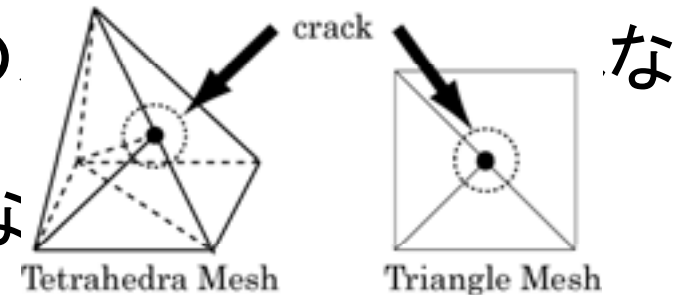


なぜボリウムモデルの **Rits** オンラインリメッシュが難しいのか？

- **問題点1)メッシュの品質の保存が困難:**
 - ⇒ 数回再分割を繰り返すと初期メッシュの品質(アスペクト比, radius-edge比)が失われる
- **問題点2)メッシュの整合性の保存が困難:**
 - ⇒ メッシュ整合化は極めて高計算コストを要し
実時間応用には相容れない
- **問題点3)再分割プロセスが不可逆:**

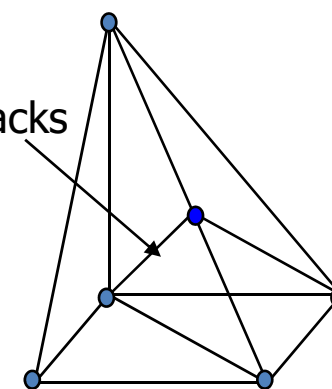
⇒ 簡略化すると再分割前の
い。

⇒ 初期メッシュに復元されな



既存研究

- サーフエスベース変形モデル
 - 布のドレープ/顔表情変化のアニメーション
 - オンラインリメッシュが実現されている.
- ボリュームベース変形モデル
 - オフラインで多重解像度モデルを予め準備している
 - ドロネー四面体分割法 ⇒ × 計算コストが高い.
 - 細分化・簡略化処理に $O(n^2)$
 - クラック修正/メッシュ整合化に $O(n^3)$
 - × 視覚的にも触覚的にもリアルタイム性がない
 - × sliver(細長い四面体)が発生する可能性がある



* C. Paoli et al. 2006: "Online Remeshing for Soft Tissue Simulation in Surgical Training"

二分分割二統合によるオンラインリメッシュ

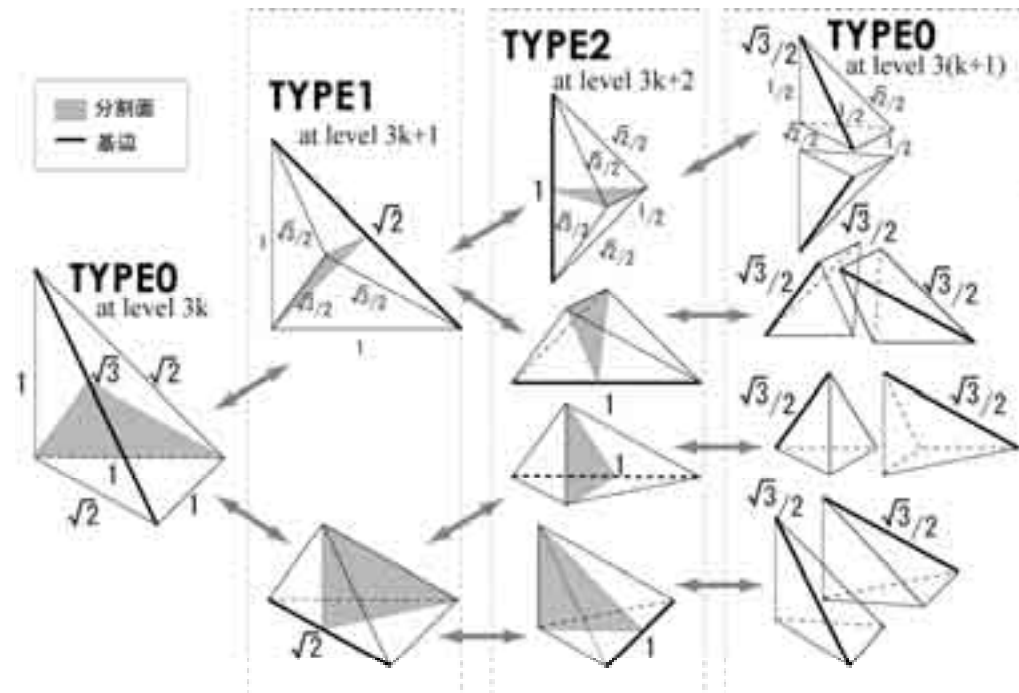
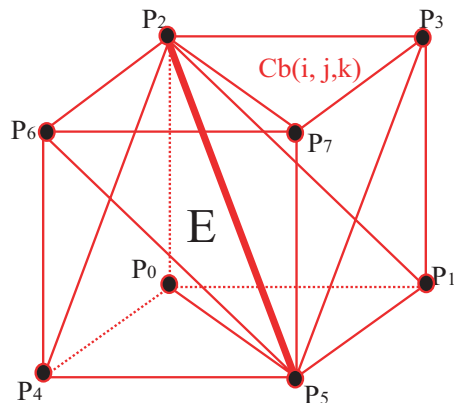
直方四面体の再帰的二分割&二統合

⇒四面体の形状は3種類⇒ **メッシュ品質が保存**

□ **高速** ⇒ 再分割&再統合処理は $O(\log n)$

□ **メッシュの整合性の保存** ⇒ 再帰的近傍探索によるクラック発生回避可

□ **再分割プロセスが不可逆**



実験

1. オンラインリメッシュモデルの計算コスト評価

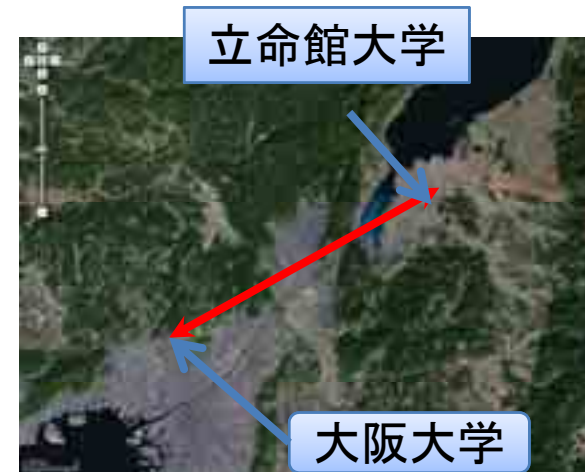
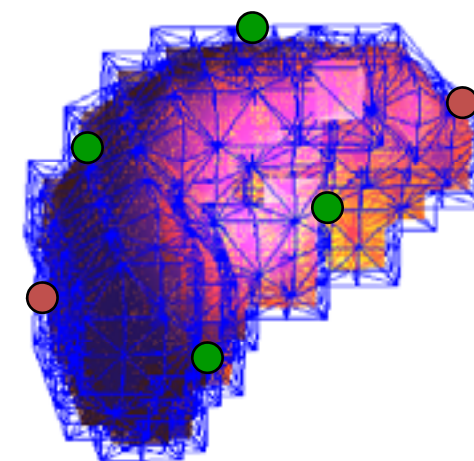
2. 操作時刻同期法に基づく変形精度評価

⇒各地点で任意点の座標を記録し

変形の軌跡を比較

- 通信遅延を100[msec]に制御
- 両端の2点に正弦波状に変位を与える
- 各地点で任意4点の座標を記録
- 各地点間の座標の平均差とその標準偏差を算出

3. WANを介した52キロ間での遅延評価

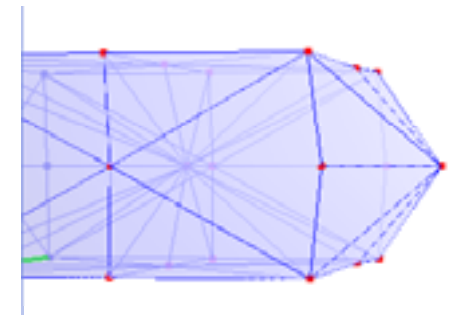
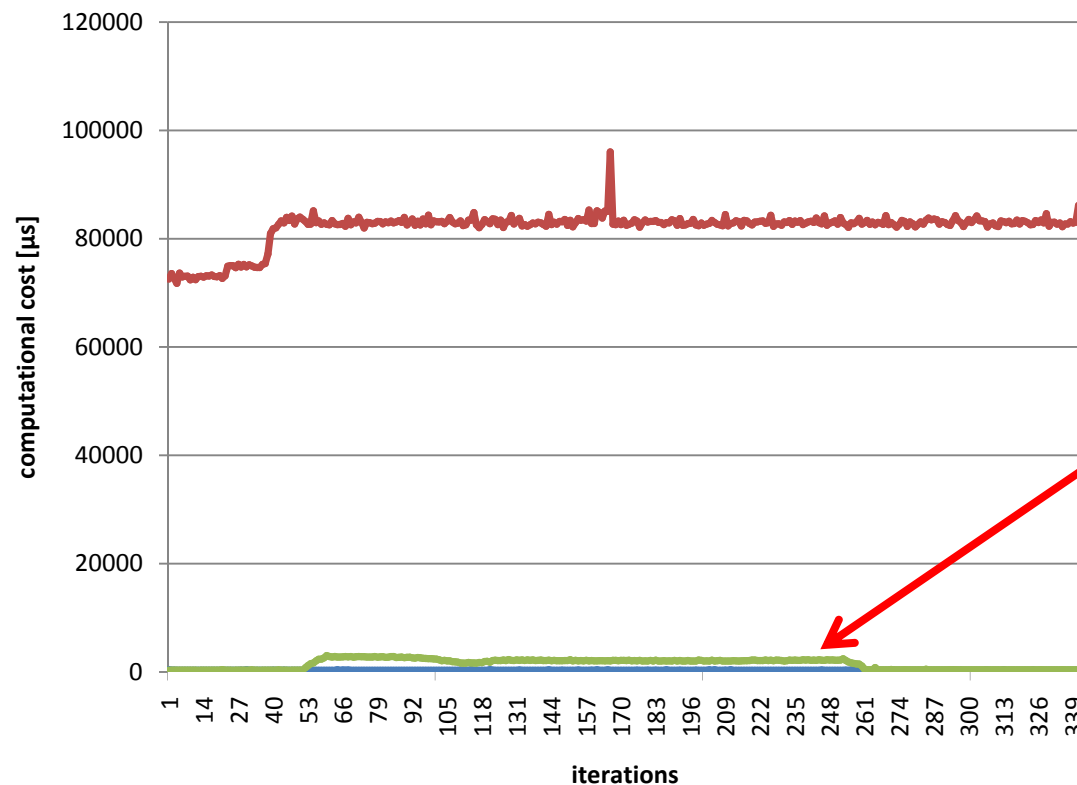


オンラインリメッシュ計算コスト評価

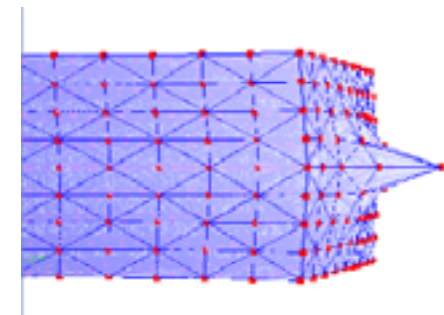
エッジの伸縮率により分割統合

$$\sigma = \frac{|L_c - L_{init}|}{L_{init}}$$

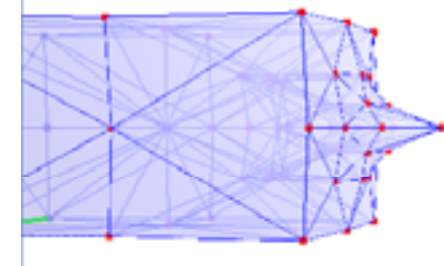
L_{init} : エッジの初期長
 L_c : 現在のエッジ長



Low resolution

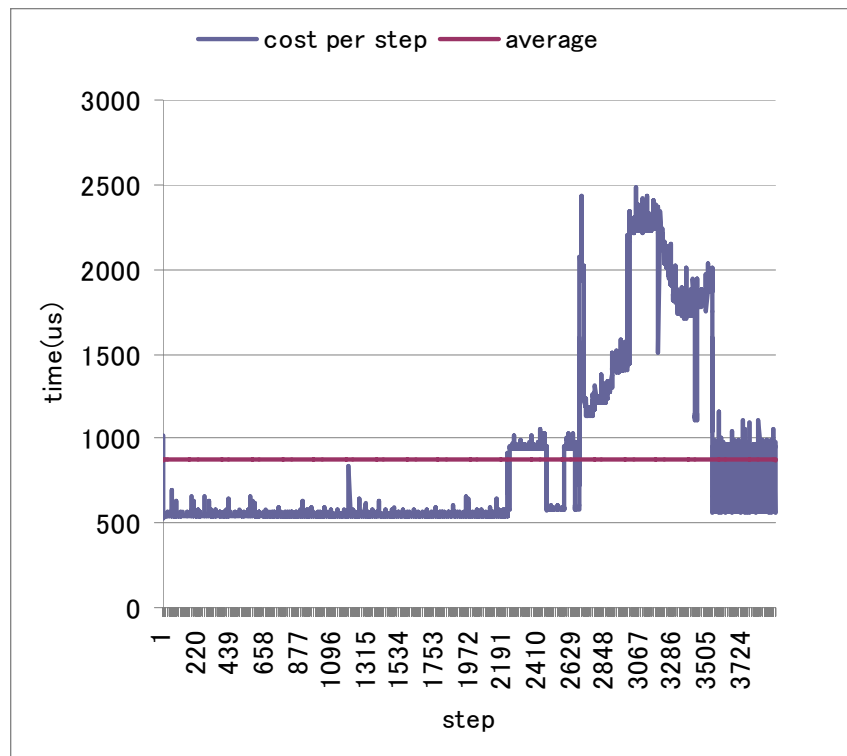


High resolution

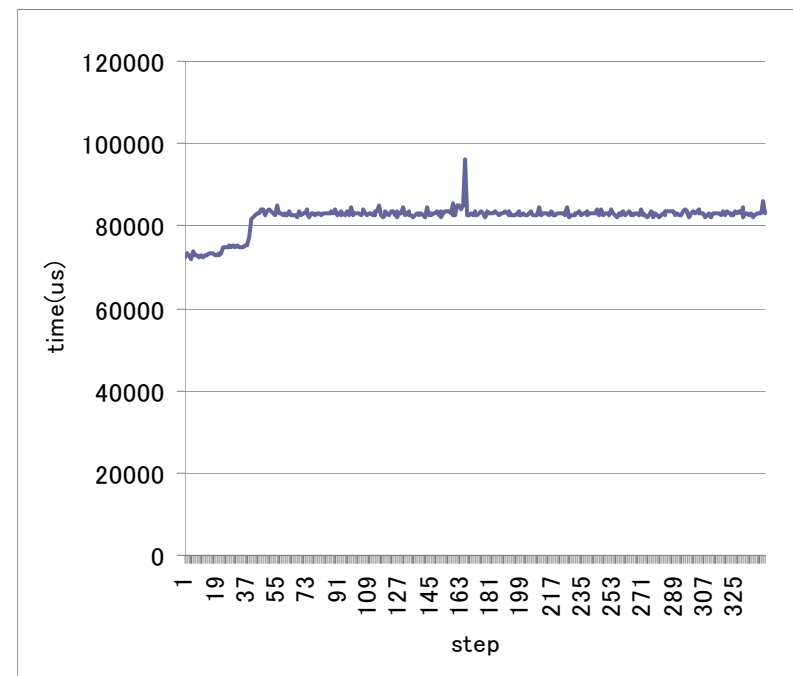


Adaptive resolution

実験結果 (合計)処理時間

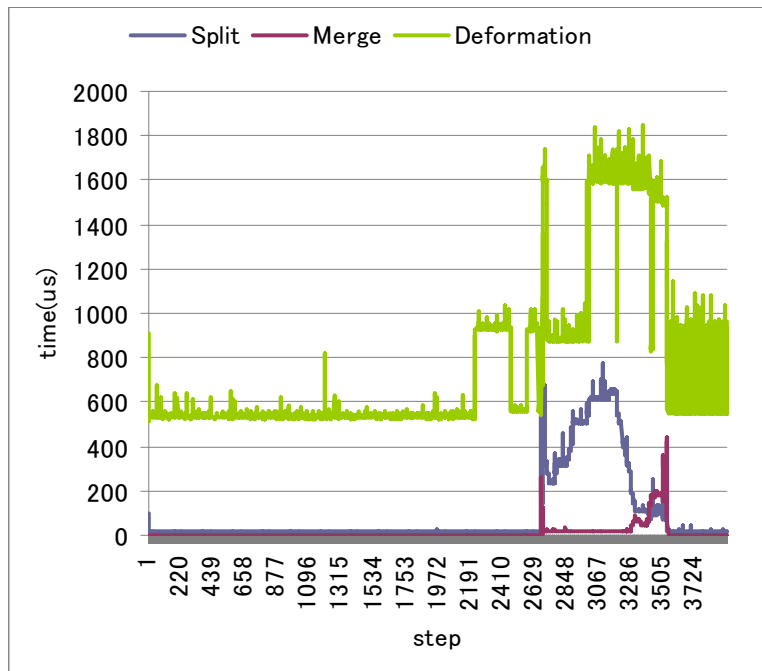


分割＋統合＋変形の処理時間



レベル12の正規四面体メッシュモデルの
処理時間

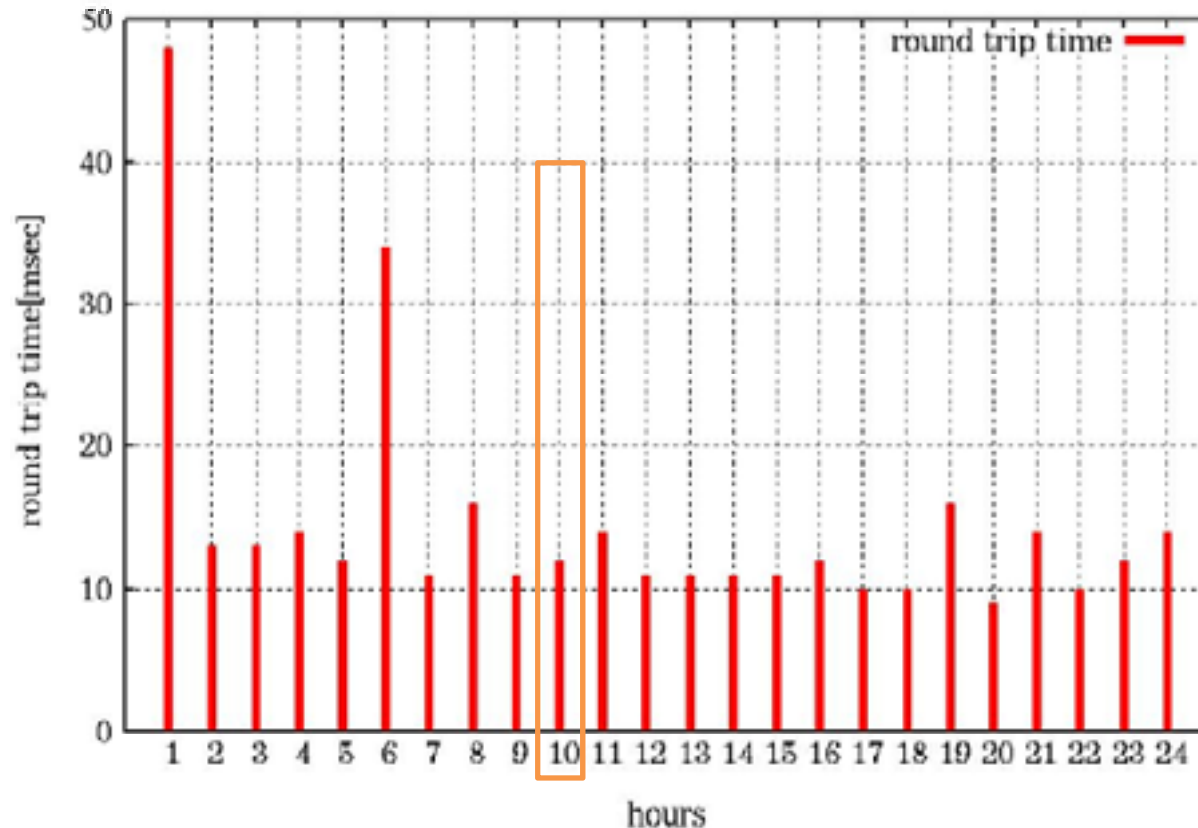
実験結果 分割, 統合, 変形の処理時間



遅延評価実験結果

Network Traffic

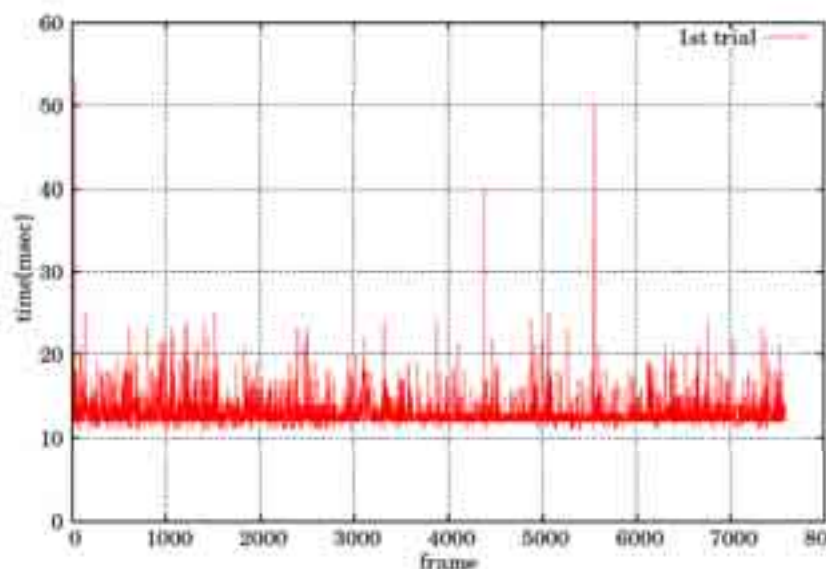
1時間毎の往復時間の推移



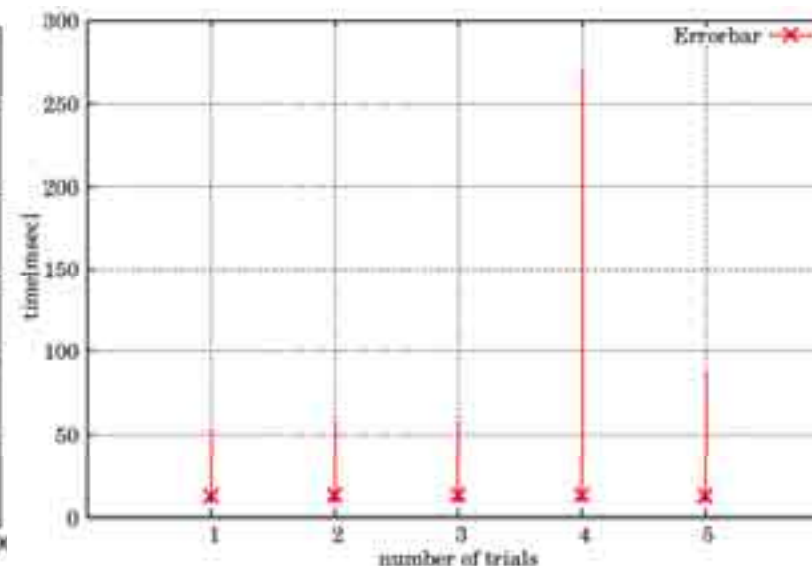
立命館大ー大阪大学(約52キロ)

通信速度は時間帯により左右される

遅延評価実験結果(約52キロ)



一回目の通信の往復時間



5回の平均, 最大, 最小時間

往復時間の最小・最大・平均時間[msec]

	1st	2nd	3rd	4th	5th
Maximums	53.1	57.2	57.2	268.7	87.1
Minimums	10.9	10.9	10.9	11.0	10.9
Averages	13.1	13.2	13.2	13.6	13.1



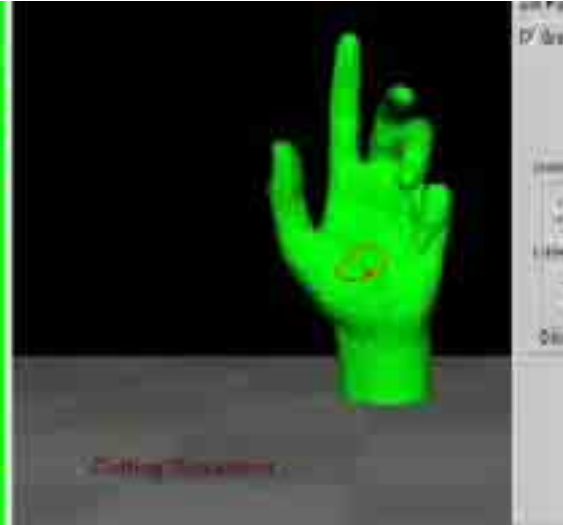
穿刺シミュレーション



穿刺実験



ポリウムモデルを
遠隔地間で共有



切断シミュレーション



地点A

Network
100Mbps

地点B

研究成果：公表文献等

	平成17年度	平成18年度	平成19年度	合 計
誌上発表数	19件(8件)	37件(12件)	27件(20件)	83件(20件)
口頭発表数	35件(6件)	60件(14件)	47件(16件)	142件(36件)
申請特許数	2件(件)	2件(件)	3件(件)	7件(件)
登録特許数	件(件)	件(件)	3件(件)	3件(件)
受賞数	1件(件)	2件(件)	件(件)	3件(件)
報道発表数	件(件)	件(件)	1件(件)	1件(件)

報道発表

RITS

- 「遠隔地でも触感」,
- 日刊工業新聞,
- 2007年7月6日

遠隔地でも触感

立命館大 肝臓モデルで実証
手術訓練などに応用

立命館大学理工学部の中核施設である遠隔操作実験環境構築センター（以下、遠隔センター）が、肝臓の手術訓練に活用できる「肝臓モデル」を開発し、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。この実験は、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。この実験は、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。

遠隔センターは、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。この実験は、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。この実験は、遠隔操作で触覚を再現する実験に成功した。

倍速ロボ製品化

プレス間搬送 年内、車製造向け
エイチアンドエフ

エイチアンドエフは、プレス間搬送に活用できる「倍速ロボ」を開発し、年内に車製造向けに製品化する。この倍速ロボは、プレス間搬送に活用できる。この倍速ロボは、プレス間搬送に活用できる。

線材、銅使用量30%減

シールド処理

エイチアンドエフは、線材の銅使用量を30%減らす「シールド処理」を開発した。このシールド処理は、線材の銅使用量を30%減らす。このシールド処理は、線材の銅使用量を30%減らす。

化学物質情報を共有

材料・完成品 eBAS

エイチアンドエフは、化学物質情報を共有する「eBAS」を開発した。このeBASは、化学物質情報を共有する。このeBASは、化学物質情報を共有する。

まとめと今後の課題

実世界における「触感」を実時間で提供する

パラメータ同期交信型ボリュームベースの臨場感通信の実現

課題：

- 同期方法の改良

- ⇒ NTPサーバによる時刻同期：システム時刻取得

- » GetLocalTime(ローカル日時を取得する関数)精度不十分

- » ⇒ システム時刻とフレームカウンットの併用

- HCVE型遠隔協働実アプリケーションへ拡張