

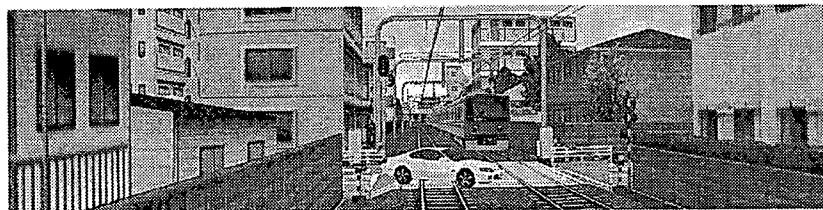
20000 Series Train Simulator

20000系電車シミュレータはモックアップ(車体)・教師操作卓・プロジェクタ・計算制御装置等で構成されています。

さらに、その他の実車機器・関連教材が周囲に設置されており、これらを総合的に活用することにより運転基本動作の見直しを行ったり、非常事故発生を疑似体験することで、事故を未然に防ぐ能力・適切な処置方法が身につく、お客さまに安心してご利用いただける乗務員の育成に寄与しています。

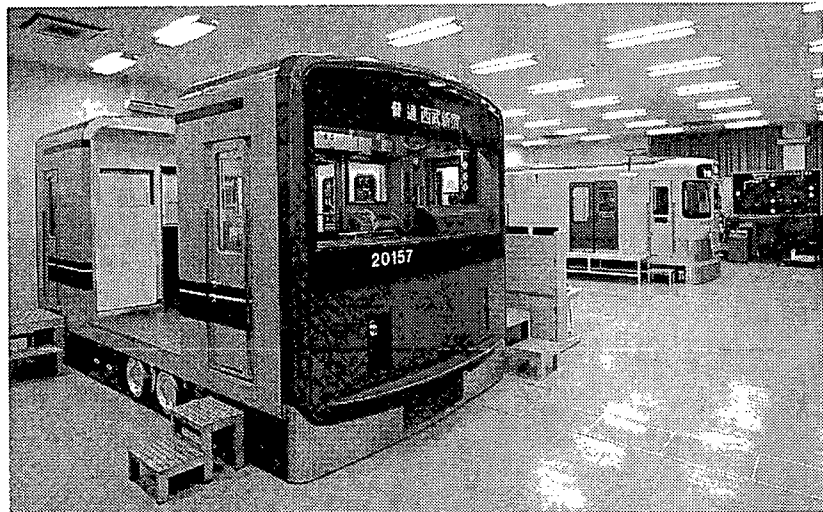
20000 series train simulator consists of the mockup (driver's cab), instructor console, projector, and calculation controlling device. Train crews can review own basic operations and learn skills to prevent or response accidents using comprehensive training utilities in this facility.

Our trainings will develop reliable train crews to contribute safety and stable transportation systems.



リアルタイムCGによる窓外視界映像 / Realtime CG outside view images

シミュレータ外観 / Simulator external view



訓練の項目

Training Menu

事故設定

Accident situation

- 踏切障害・車 (対向列車あり) Obstacle at railroad crossing / Vehicle (with oncoming train)
- 踏切障害・人 Obstacle at railroad crossing / Pedestrian
- 人身事故 Fatal accident
- 架線異常 Overhead wire trouble
- 救援運転 Rescue operation

ほか 全14種

etc., total 14 situations

信号関係

Traffic signals

- 信号故障 Traffic signal failure
- 指導通信式 Substitute communication method under signal breakdown
- 通信式 Communication method under signal breakdown
- 出発信号機直前現示変化 Signal trouble (sudden change)
- 場内信号機異線現示 Signal trouble (different route guidance)

ほか 全11種

etc., total 11 situations

車両故障

Vehicle failure

- VVVFOCR動作 VVVFOCR performance
- ブレーキ不緩解 Brake failure (tightened)
- ブレーキ不足 Brake failure (shortage)
- 連動継電器CB「切」 Interlock electric relay CB "OFF"
- 戸閉保安CB「切」 Closed door secure system CB "OFF"

ほか 全25種

etc., total 25 situations

ATIモニタ取扱訓練

ATI monitor operation training

- 出庫点検機能 Predeparture Vehicle inspection
- パンタグラフ制御機能 Pantograph control
- 正面行先種別設定機能 Destination display setting
- 空調温度設定機能 Air condition setting

通話型非常通報装置取扱訓練

Emergency interactive communicating device operation training

案内放送訓練

Announcement Training

研究・開発用ドライビングシミュレーションシステム

R&D DRIVING SIMULATION SYSTEM

D³SIM[®]

ディーズリウム



主な用途

- 運転支援システムの研究
経路案内、危険警報等の情報提供の研究
- 運転席機器の開発
運転席に試作機器（ディスプレイ、音声機器）を配置し比較検討
- 自動運転システムの研究
運転制御試作ソフトウェアの運転評価
- 道路設計の評価
道路形状・標識などの設計をコンピュータグラフィックスで仮想的に再現し、評価

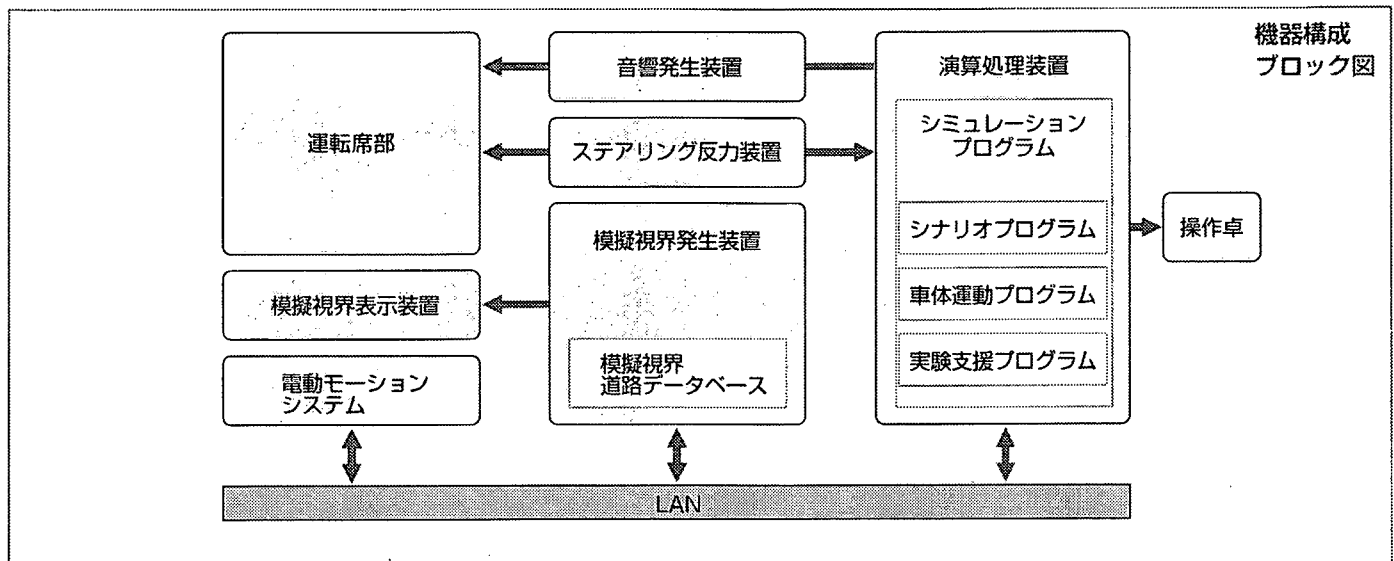
お客様の研究、開発用途に合わせて ハードウェア／ソフトウェアのカスタマイズが可能です

特徴

- ハードウェア／ソフトウェアの追加変更が容易に行えます。
- 実車では危険な実験が安全に行えます。
- 実車では困難な均一条件での繰り返し実験が行えます。
- 実車実験では測定できない走行状況他の詳細なデータが記録でき、分析・評価が容易に行えます。
- 既存の研究設備に、構成品の一部を接続し使用することもできます。
- 市販のアイマーク・レコーダと接続することもできます。
- 車両運動を **CarSim** に置換え可能です。

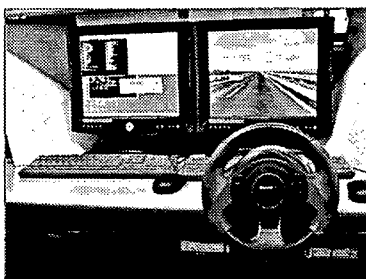
構成

ハードウェアおよびソフトウェアの構成品はモジュール構造となっていますので、用途に合わせて構成機器を選択できます。また、拡張や一部モジュールの変更が容易に行えます。

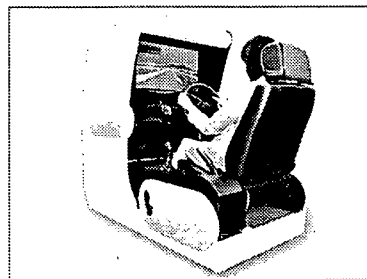


■ 運転席

- ゲーム用運転装置、弊社の教習所向けシミュレータの運転席、実車のボディが使用できます。



デスクトップ



キャビン



アクチュアルキャブ

※1 この装置は、独立行政法人交通安全環境研究所と三菱プレジジョン株式会社の共同開発によるものです。

■ 演算処理装置

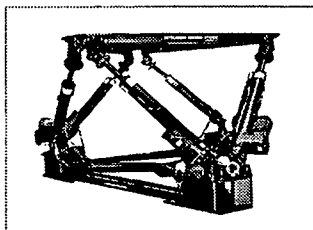
- 高性能PCを使用します。
CPU:Pentium4、1.7GHz以上
MEMORY:256MB以上 (512MB 以上推奨)
OS:Windows
- 更新レート60Hzで動作できます。(オプションで120Hz可能)
- DSP のボードを付加してお客様がMATLABで開発したプログラムを実行することもできます。(オプション)
- お客様のHILSとシミュレーションプログラムとの接続により、実際の車両システムにより近いシミュレーションシステムに拡張可能です。(オプション)

■ 音響発生装置

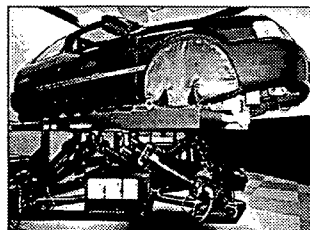
- 車速、エンジン回転数により自車の走行音が変化します。
- 周囲の車の走行音も聴取できます。

■ 動揺装置

- 6自由度の電動モーション・システムと組み合わせることにより加速度感、振動を模擬できます。
- 次のペイロードのものがあります。
500kgf、1,500kgf、3,000kgf。



500kgf の動揺装置



1,500kgf の動揺装置

■ 模擬視界発生装置

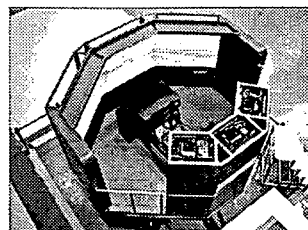
- 高性能PCとグラフィックボードの組み合わせで構成されます。
- 更新レート60Hz、解像度SXGA以上を実現しています。
(2007年5月現在)
- 進化の早い最新のグラフィックボードに対応するため、弊社オリジナルのPC用シーングラフを採用しています。
- 演算処理装置と同期を取ることで映像の動きが滑らかです。
- 模擬視界発生装置のみの交換も容易です。
- 立体視(ステレオ) 描画が可能です。
- 三菱プレジジョン製 VizCompositor、プロジェクションクラスタを用いたシステム構成が可能です。

■ ステアリング反力装置

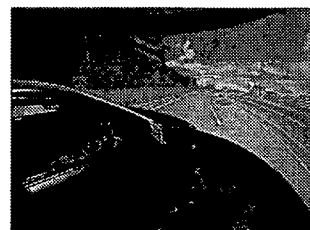
- ステアリング反力装置はスプリング方式と電動方式がありますので、使用目的により選ぶことができます。
- スプリング方式：ゲーム用運転装置、実車ハンドル方式。
- 電動方式：ゲーム用運転装置、ステッピングモータ、ACサーボ方式。
(ステッピングモータ、ACサーボ方式の場合、制御装置が付加されます)

■ 模擬視界映像表示装置

- D-ILA、DLP、液晶プロジェクタ、CRTを目的により選択できます。
- 複数台の表示装置を接続して広視野を実現できます。
- スクリーンは平面、円筒(全周含む)、球面ドームで実績があります。



平面3面スクリーン



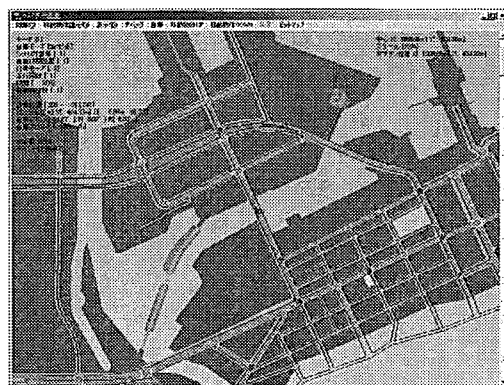
ドームスクリーン

■ シミュレーションプログラム

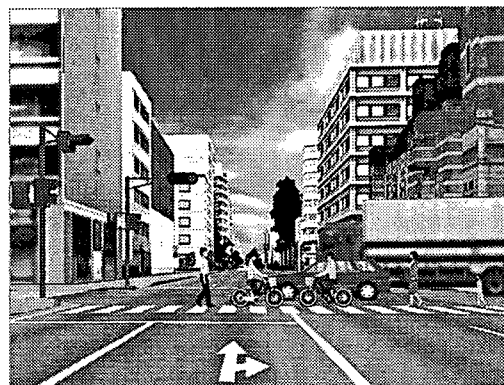
このソフトウェアは、車体運動プログラムと実験支援プログラムおよび他車制御等を行うシナリオプログラムで構成されています。

シナリオプログラム

- お客様が他車の出現、消去、走行経路等を設定し、自由に走行させることが可能です。
(シナリオはMicrosoftのVisual C++で作成します)
- 交通状況(自車、他車の位置、信号機の状態等)を把握しやすくするためにマップ表示ができます。
- 自車を任意の地点にリポジション可能です。
- 他車は最大84台まで同時制御可能です。
(ただし模擬視界表示に同時に表示可能な台数は、使用する模擬視界発生装置の能力およびデータベースの規模によります)
- 歩行者、自転車も制御し、より複雑な交通環境を再現可能です。



マップ表示画面例



交通環境表示例

車体運動プログラム

- 自社開発した独立4輪モデルを採用しています。(**CarSim** に切り替え可能です。)
- 車両パラメータの変更が可能です。
- 実験データを記録可能です。
- お客様の車体運動プログラムを組み込み可能です。
- お客様が作成したプログラムにより、ステアリング、ブレーキ、アクセル、ウインカー等を制御可能です。(オプション)

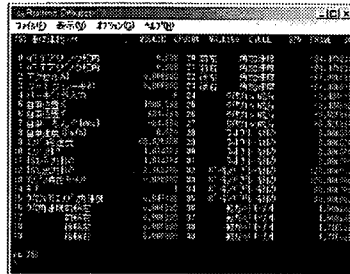
車体運動プログラム [変更可能パラメータ例]

車両質量
ホイールベース
重心高さ
トレッド
タイヤの有効半径(前輪、後輪)
ステアリングあそび領域
アクセルあそび領域
ブレーキあそび域
空気抵抗計数(cd値)

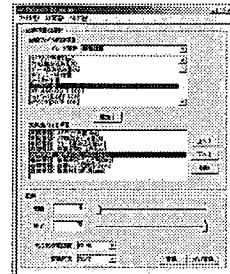
ATトランスミッション(ギア比、伝達効率、最終減速比:4速)
トーイン角(各車輪独立)
ブレーキディスク摩擦係数
ブレーキディスク(内径/外径)
操舵系キングピン回りの弾性係数
キャストトレール
車両投影面積

実験支援プログラム

- リアルタイムにパラメータをモニター可能です。
(1画面最大40パラメータ、最大1000画面まで表示可能)
- 記録データをCSV形式に変換し、市販の表計算ソフトウェアでグラフ化可能です。
- 基本サンプリング周波数は60Hzです。(オプションで120Hz可能)
- 自車および他車の道路状況も記録されているため、解析等に役立てることができます。



リアルタイムモニター画面例



記録データ変換画面例

実験支援プログラム [記録データ例]

車両ダイナミクス関連	運転操作	他車
道路ID	ステアリング角度	道路端点からの距離
センターラインからの偏差	アクセル踏み込み量	センターラインとの角度
センターラインとの角度	ブレーキ踏み込み量	位置 (x軸、y軸、z軸)
道路端点からの距離	サイドブレーキ引き量	ロール角、ピッチ角、ヨー角
交差点内フラグ	ライトスイッチ	加速度
走行距離	ウインカー	速度
自車車両位置 (x軸、y軸、z軸)	ハザードランプ	自車からの距離
ロール角、ピッチ角、ヨー角	ミラー操作	自車からの方位
車体加速度 (前後、左右、上下)	ホーン操作	ブレーキランプ
車体速度 (前後、左右、上下)	シートベルト	ウインカー
車体角速度 (ロール、ピッチ、ヨー)	イグニッションキー操作	車幅灯
車体横滑り角	シフト操作	ヘッドライト
タイヤ横滑り角 (各車輪)	ワイパー操作	
タイヤ力 (x成分、y成分：各車輪)		
エンジン回転数	スキール音発生状態	
エンジン角速度	スキッド音発生状態	
エンジントルク	接触発生状態	
クラッチトルク	衝突発生状態	
トルクコンバータトルク (入力、出力)		
ファイナルトルク	アイカメラ情報	
トランスミッショントルク		
CarSim [®] インターフェースデータ		
		動揺装置 (動揺装置が付加された場合)
		プラットフォーム位置 (x,y,z)
		プラットフォーム姿勢 (ロール角、ピッチ角、ヨー角)
		その他
		信号状態
		環境パラメータ (視程、霧、天候、時刻)
		外部計算機からの制御情報

記録データは基本サンプリング周波数60Hzで記録されます。(オプションで120Hz可能)
 記録の項目はお客さまの御要望によって、変更可能です。(オプション)
 記録する項目数の制限は、使用するPCの能力 (CPU、メモリ、ディスク容量) によって異なります。

資料12

マネキンタイプシミュレータを用いた教育カリキュラムの研究

モデル&シミュレーション教育研究会HPより引用

<http://square.umin.ac.jp/model/siryou.htm>

An Introduction

モデル&シミュレーション医学教育 研究会

シミュレーションを医学教育に利用する、これは誰でも考え付くことである。しかしながら、いざ取り掛かってみると、人間が持つとてつもない複雑性は、行く手に立ちほだかる絶壁の如くである。

これを乗り越えようとするハード面の研究開発も大切であるが、教育ソフトを工夫すれば、一瞬にして現有のハードが教育に役立つものになる。われわれモデル&シミュレーション医学教育研究会の活路は、ここにある。

モデル&シミュレーション

シミュレーションには、色々な種類がある。

当研究会は、モデル（≡シミュレーター）を用いた医学領域のシミュレーションに重点を置いた研究会である。

ハードよりもむしろ教育ソフトに重点を置きたい。

シミュレーション教育の意義

演習と reflection の重要性

講義と実習は、既成の学問体系の追体験になりがちで、これが、せつかくの医学生を盆栽人間化していた。演習は学生が持つ潜在能力を発掘・開発する教育方法であるが、従来の医学部では導入が限定的であった。これは、学んだ結果に重点をおき、学ぶ過程を「飛ばしてしまう」過密カリキュラムによるものかもしれない。

近年の IT 技術の発達、マルチメディアの利用拡大により、シミュレーション、バーチャル医学教材は驚異的な発展をしている。このシミュレーション、バーチャル環境を用いると、医学教育においても演習が容易となり、医学生は自分で計画を立て、実行し、結果を反省（reflection）し、次にまたトライするという過程を踏襲でき、青天井の能力開発が期待できる。

シミュレーション、バーチャル医学教材は、「医学部における演習」というジャンルに利用できる。ここでは reflection が大きな役割を果たし、学生は何を学ぶべきか自分で決めて自己学習をする。シミュレーションは、講義や実習以外の教育方法で、次世代を任せられる自律型人材を育成する方法となる。

ただ、現有のシミュレーターは長所も多いが、技術的な未熟さに由来する短所も多い。何が今現在、利用できる方法なのかを、見極める必要がある。

患者の前では、はばかれること

教員のFDの場として利用。

Teacher's Training の場として（教員が身に付けるべき教育能力）
また実際の教育でも、患者の前で話すべきでない内容を含む時。

guiding question；知識を植えつけるのではなく、学生が自ら育つように question を。

What? で聞くと；学生が過去に勉強したか、否かを確認するだけの結果。

Why? How? で聞くと；学生が今から勉強するモチベーションにつながる。

ロールプレイ in チームプレイを通して学ぶ医学（職種を超えて、学年を超えて）

医療の現場をシミュレーションで再現し、学習者をチームプレイに参加させ、当事者意識を持たせ、その過程で問題解決能力を与える。関連の知識が残る。

医療の現場には、種々の職種が関与する。立場の違いを認識する事により、さらに思考が練られ、見識が広がる。

おなじシミュレーションを見ても、参加しても、知識の差による視点が違えば、学ぶ内容も異なる。上級生は上級生なりの、下級生は下級生なりの勉強になる。複数の学年にまたがるカリキュラムの構築が可能である。

個々の技能の熟練

いきなり本番、患者に直接。ではなく、シミュレーターである程度習熟してから。

この目的のためには、目的に沿った高度のシミュレーターが必要。

シミュレーション教育は、予習か？復習か？

本を読み、講義を聞いてから練習するのか？

概要を知っているだけで、やってみる。何を勉強すべきか、本人が気がつき自らの努力で知識を得るのか？

従来 of 学問体系との関係

完成された学問体系を整然と学ぶことの大切さを、功を遂げた教員は痛感している。
しかし、初心者である学生には、苦痛。

学ぶ内容は、従来 of 学問体系に記載されたものであっても、学び方の場としてシミュレーションは、魅力的。

シミュレーションは、偽物。医学教育に不適。

シミュレーションは偽物であり、医学教育で実際の患者に勝るものは無い。

シミュレーション医学教育に関する批判は、数多くあります。

ひるがえって考えてみるに、完全無欠の医学教育の方法は、ありません。患者の犠牲 (more or less, consent or not) に成り立っている医学教育は、どう評価されるのでしょうか？
採用する教育の方法については、目的をはっきりさせ、それぞれの長所を利用した応用であるべきかと思います。シミュレーションには、数おおくの長所があります。

モデルを用いたシミュレーションに基づく教育

基本的な考え

技術を中心にすえ、関連の医学知識・技能を一連のものとして捉え、学習をします。

(例 1) 教員が手本を示しながら学習者（研修医、学生）も Hands On の場合

- 1 予習事項の提示。
- 2 事前の理解の確認、＜質問、説明＞
- 3 教員の模範演技 臨床で行うまま real に。
- 4 教員が step 毎に分解して要点を説明しながら行う。
- 5 学生代表に step 毎に分解して要点を説明しながら行わせる。
- 6 他の学生から feedback、教員からも Feedback。
褒める、質問する、不十分なポイントを明らかにする。
- 7 次の学生に行わせる＜5～6を繰り返し＞ 先に終えた学生に指摘／指導させる。
- 8 最後に最初の学生に行わせる。 おそらく模範演技に近い試技になる。
- 9 全体のまとめの説明 feedback を行う。

(例 2) 学生がビデオなどで Hands On 予習を済ませている場合 全体の流れ

(1) 事前の勉強

学生がある程度の予習をする事が必要。

概略が分かるビデオ教材を与え、まず、自分の力で理解することに努めさせる。

何がわからないかを、認識させ、目的意識を持って、実習に臨ませる。

(2) 始めるにあたって、何気なく学生の準備状況を check する。

関連の内容を聞いてみる。

「〇〇の構造は、どうなっていたのだろうか？」

これで、さりげなく学生のレベルがある程度推測できます。

(3) 学生に確認すべき事項 guiding question で誘導すべき項目

(a) 検査・処置の目的

(b) 手技の流れの俯瞰

(4) 具体的な手技の開始

学生に実演をさせる。この時に **guiding question** で誘導すべき項目

(a) なぜ、そうするのか？

解剖学的根拠

生理学的根拠

(b) 予想される患者の精神的・身体的負担、それを取り除く工夫・言葉がけ。

(5) 終わるにあたって

(a) 振り返り

事故を起さないための注意点。

検査の場合、正しい結果を得るために注意すべき点。

学生による自己反省（口頭）

教員による総括

(b) あとかたづけ

(c) 学生による自己反省（ポートフォリオ）

以上の目的に用意しておくべき教材

(A) 学生が予習として、学ぶべき概略が分かる説明

例：到達目標、手技のデモ・ビデオなど

(B) 教員が使えるように **guiding question** の例文

(D) ポートフォリオのフォーマット（学生による自己反省用）

マンツーマンで教える時の 時間の配分について time allowance

(例1と例2に共通)

どのくらいの時間をかけるプログラムなのかを、決めておく。

1 課題、30 分程度か？

教員が **Open ended question** を繰り返す。答えが代表的なものひとつだけでもいいから、とにかく学生に考えさせる。そのためには、学生が答えるのを待つ(**time lag** を与える)、とても時間がかかります。

返答を待つのに時間をかける事は、学生に熟考する癖をつける訓練として、大事なステップです。

この方法では時間をかけるため、内容の量が少なくなるかもしれません。しかし一

分野で得られた知識・技能は、原理さえ把握できていれば、他への応用が可能であり、むやみに量的な拡大を追求する必要はありません。

かといって、いつまでもぐずぐずしている余裕は、ありません。決めた時間内に終了するように、工夫をせねばなりません。

時間内にまとめるためには、全体の流れから、どの部分にどの程度時間を配分すべきか、定型化する必要があります。また、実際にそれを実行するためには「時間を切る」事が必要で、心の中 stop watch をセットしましょう。

限られた時間のなかにも、1分間の独考の時間を与えてみましょう。

すなわち、質問を出し「このことについて、皆さん1分間、じっと考えてください。

1分経ったら、みなさん一人一人から考えを聞きます」と告げます。

1分は、長いです。この1分間の独考で、学生の思考は促進されますし。また、「時間内に終わらせようとして、先生、あせっているのでは？」の懸念を払拭できます。

時間に迫られている雰囲気は、きちんと物を考えさせようとする教育現場には、有害です。

予習、復習、到達目標、ポートフォリオの大切さ

guiding question、open ended question の連続では、やはり時間が足りません。

guiding question、open ended question だけでは、教えたい内容の全てを教える事が出来ません。また、終了後、学生も何か物足りない気がするでしょう。

従いまして、教員が学生に即物的に知識供与する事も、確かに必要です。有益です。ただし時間を 100%、即物的な知識供与に振り向けますと、教える量的には最大化されますが、結局、これが学生から思考の癖を奪う結果に繋がるのです。学生に考える癖をつける、これが出来れば多方面への応用も可能であり、近未来的に学生が大きく成長する基礎になります。

ですから、実務上 大事なものは、この2者のバランスなのです。

時間が足りない、教えられる内容が少ない、これを補うのは予習と復習です。学生が自学自習を出来るように、教材を用意しましょう。彼らがどこまで勉強したら良いのか分かるように、到達目標を用意しましょう。また自分の成長を自分で客観視できるようなポートフォリオを用意しましょう。

資料13

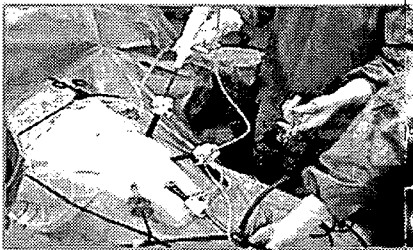
三菱プレシジョン社製「腹腔鏡下手術訓練用シミュレータ（開発中）」

三菱プレシジョン株式会社パンフレットより引用

「生体ボリュームデータに基づく ネットワーク型VR手術手技教育訓練システム」

外科医療の現場では、内視鏡等を用いた低侵襲手術の普及に伴い、術者には高度な知識・技術が要求されるようになりました。しかし、その教育訓練は臨床に依存しており、医療事故の一因となっています。

我々は、VR (Virtual Reality) を応用した手術手技教育訓練システムの研究開発を推進しており、本システムの目的は次のものです。



内視鏡下手術の様子

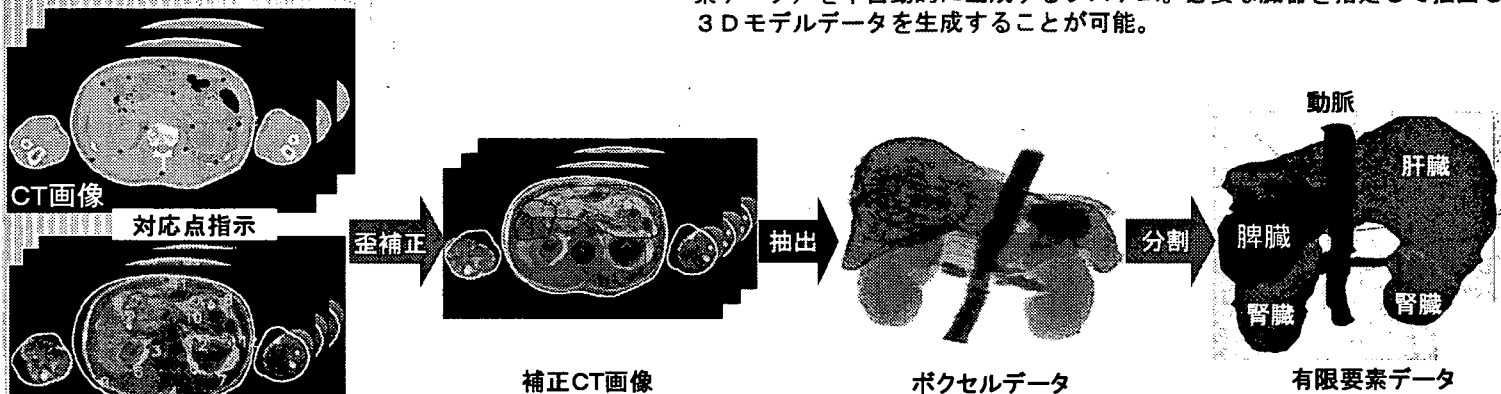
目標アプリケーション

- (1) 高度手術手技（内視鏡下、顕微鏡下、カテーテル）の習得、技能評価を対象とした手術シミュレーション
- (2) 医学生や研修医の教育・訓練を行うことを目的とした手術シミュレーション
- (3) 患者固有のデータにより手術計画を立て、術前訓練を可能とする手術シミュレーション

本システムは主に「生体モデルデータ生成システム」および「手術シミュレータ本体」から成ります。

生体モデルデータ生成システム

CT, MRI等二次元医用画像から、三次元の生体モデルデータ（有限要素データ）を半自動的に生成するシステム。必要な臓器を指定して抽出し3Dモデルデータを生成することが可能。

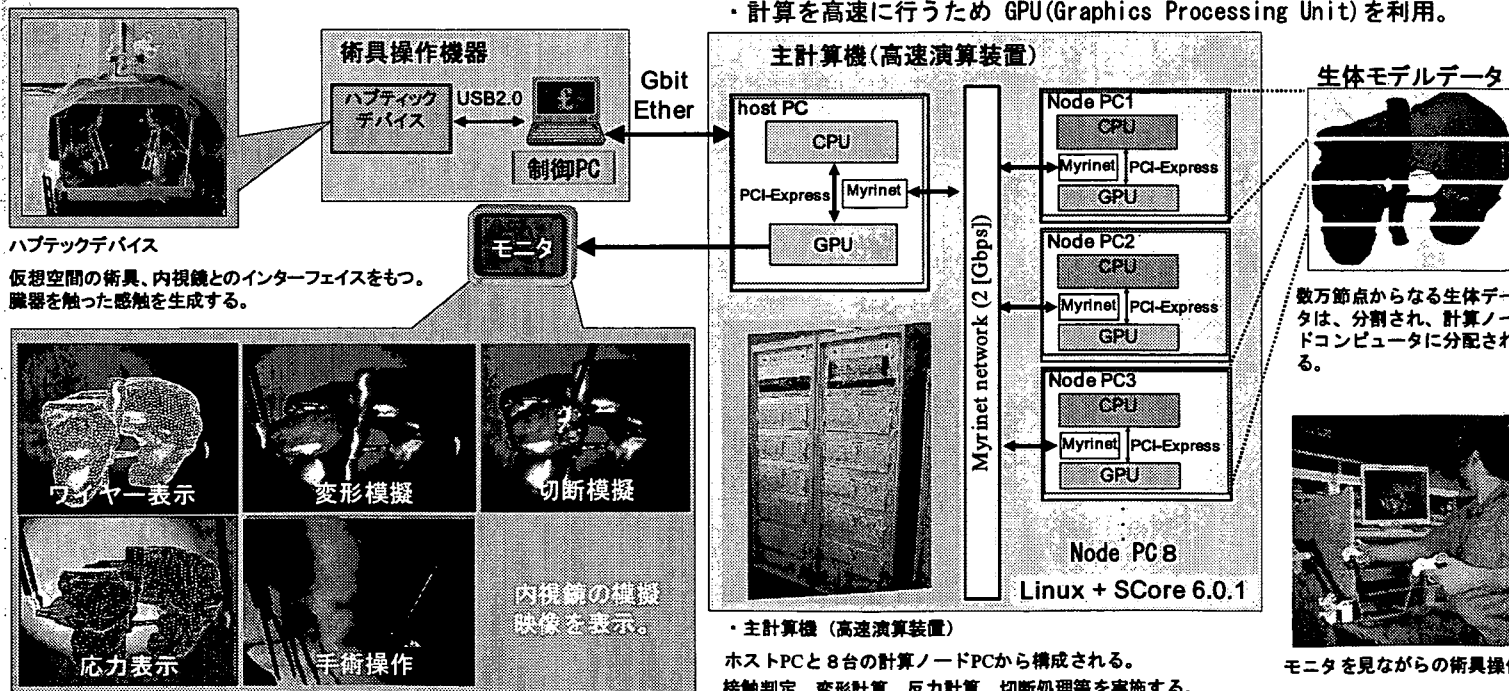


*CT, MRI画像データ提供：理化学研究所

手術シミュレータ本体

生体モデルデータに基づき、手術シミュレーションを実施する。

- ・計算はPCクラスタ (SCore Cluster) により並列に実施する。
- ・計算を高速に行うため GPU (Graphics Processing Unit) を利用。



・主計算機 (高速演算装置)
ホストPCと8台の計算ノードPCから構成される。
接触判定、変形計算、反力計算、切断処理等を実施する。

モニターを見ながらの術具操作

共同研究先 独立行政法人 理化学研究所 生体力学研究ユニット
横浜市立大学 医学研究院 大学院医学研究科

本展示内容は「独立行政法人情報通信研究機構 民間基盤技術研究促進制度」の委託研究「生体ボリュームデータに基づくネットワーク型VR手術手技教育訓練システム」による成果です。 研究期間：平成16年9月～平成21年3月

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

1. 中尾 恵, 河本 敏孝, 杉浦 忠男, 湊 小太郎, “弾性変形モデルに対する頂点数を保存した切開方法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp.585-594, Dec 2007.
2. M. Nakao, K. Minato, N. Kume, S. Mori and S. Tomita, “Vertex-preserving Cutting of Elastic Objects”, IEEE Virtual Reality, p. 377-378, Mar. 2008.
3. M. Nakao, S. Yano, T. Matsuyuki, T. Kawamoto and K. Minato, “Interactive Volume Manipulation for Supporting Preoperative Planning”, Stud. Health Tech. Inform. (MMVR), Vol. 125, pp. 316-321, Jan 2008.
4. M. Nakao, A. Kawashima, K. Minato, M. Kokubo, “Simulating Lung Tumor Motion for Dynamic Tumor-Tracking Irradiation”, IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, pp. 4549-4551, Oct 2007.
5. Y. Kuroda, M. Nakao, T. Kuroda, O. Oshiro, “Haptic Rate for Surgical Manipulations with Fingers and Instruments”, Medicine Meets Virtual Reality, pp.230-232, Long Beach, Jan. 29 - Feb. 1, 2008.
6. T. Kuroda, Y. Masuda and O. Oshiro, “Construction of Training Environment for Surgical Exclusion with a Basic Study of Multi-finger Haptic Interaction”, IEEE Proc. of World Haptics, pp.525-530, Tsukuba, Mar. 22-24, 2007.
7. M. J. Rissanen, Y. Kuroda, M. Nakao, N. Kume, T. Kuroda and H. Yoshihara, “Toward Visualization of Skill in VR: Adaptive Real-Time Guidance for Learning Force Exertion Through the “Shaping” Strategy”, Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WorldHaptics), pp. 324-329 Tsukuba, Japan, March 22-24, 2007.
8. デジタル・フォレンジックを取り入れた手術動画像生体情報同時記録システムの開発、和田則仁、古川俊治、森川康英、北島政樹、医療情報学26回連合大会論文集、1100-1101、2006.11
9. 医師教育の現状と今後の課題 臨床研修修了後の教育—大学病院の場合、北島政樹、和田則仁、日本医師会雑誌、135(3)、592-595、2006.06

III. 研究成果の刊行物・別刷

Vertex-preserving Cutting of Elastic Objects

Megumi Nakao*
Nara Institute of Science
and Technology

Kotaro Minato
Nara Institute of Science
and Technology

Naoto Kume
Kyoto University

Shin-ichiro Mori
University of Fukui

Shinji Tomita
Kyoto University

ABSTRACT

This paper proposes vertex-preserving cutting methods on finite element models for interactive soft tissue simulation. Unlike existing methods, we aim to shape variety of incisions using only initial vertices of tetrahedral meshes. Neither tetrahedral decomposition nor vertex creation is used. The number of vertices is preserved. This avoids increase of computation cost as well as allows fast update of physical status of finite element models. To preserve 3D shape and sharp feature of initial meshes through on-the-fly mesh modification, constraints are introduced to the topological update scheme. In our model, the size of stiffness matrix is constant. Our framework efficiently simulates several varieties of smooth incisions with sufficient quality for surgical simulation, and also achieves interactive performance in complex meshes with thousands of elements.

Keywords: Soft Tissue Cutting, Finite Element Modeling, Interactive Simulation

1 INTRODUCTION

Virtual cutting of deformable, elastic objects is one of key elements for interactive application like virtual surgery. The simulation of cutting has two main aspects: geometric, topological aspect regarding how to define 3D shape of incision, and physical aspect concerned with deformation and reaction force. Tetrahedral meshes are popular representation to model volumetric 3D geometry of objects. Removal of tetrahedral elements is a simple approach to model incision and new physical status after cutting elastic objects[3]. Since only removal of elements have problems of yielding visual artifacts and of decreasing total volume of the models, topological adaptation is required. One approach for topological update is subdivision of tetrahedral meshes[1][2], which defines incision using newly created small elements. Splitting mesh on the boundary of elements[4] is another approach. Combined methods have been well explored[5]. However, so far, most algorithms for topological change are complex and increase their computation cost in progress of cutting manipulation. This drawback is mostly derived from procedural new vertex creation which depends on initial mesh topology.

This paper presents new vertex-preserving cutting methods of finite element models for interactive surgical simulation. The key concept is to model incision geometrically and physically while preserving the number of vertices. Neither tetrahedral decomposition nor vertex creation is used. This avoids increase of computation time and allows fast update of physical status of the model. To preserve 3D shape and sharp feature of initial meshes through on-the-fly mesh modification, constraints are introduced to the topological update scheme. Our algorithms efficiently simulate several varieties of smooth incisions, and achieved interactive performance in complex meshes with thousands of elements.

*e-mail: meg@is.naist.jp

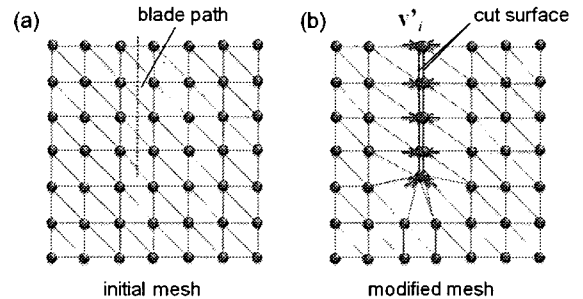


Figure 1: Modeling of incision through vertex relocation and element removal for vertex-preserving finite element modeling. The progressive cutting is supported by update of vertices around the blade. Some vertices are constrained to preserve 3D shape and sharp feature of initial meshes.

2 VERTEX-PRESERVING CUTTING

2.1 Overview

We model the blade of the scalpel as a line segment PQ , and the elastic object as a tetrahedral mesh (V, E) , with vertices V and tetrahedral elements E . Figure 1 briefly explains our basic concept using 2D outline of the process. When a blade path is given as the dotted line shown in (a), the vertices of the intersected elements are projected onto the path. The two parallel lines (surfaces in the 3D virtual space) composed by relocated vertices are used to shape the cut surfaces. Some vertices are constrained to preserve 3D shape and sharp feature of initial meshes.

After the vertices have been relocated, removing elements that intersect the blade path makes it possible to model the tiny space between cut surfaces and simulate the physical behavior of the incision. In the finite element modeling, the stiffness matrix must be updated through relocation of vertices and the elimination of elements. Note that with methods that use element decomposition to represent the cutting process, the size of the stiffness matrix increases. However, in this model the size is constant. We utilize this feature for solving linear equation in finite element formulation, and present fast deformation algorithms for time-varying stiffness matrix.

2.2 Cut Surface Generation

This section introduces the proposed topological update algorithms for vertex-preserving cutting. Figure 2 illustrates the basic process for generating a new geometry of incision: cut surfaces by relocation of existing interior vertices of three tetrahedral elements. Firstly, we define the blade at time t by P_tQ_t . The movement of the blade from time $t-1$ to t forms square-shaped surface trajectory S_t . This surface is called **sweep surface** as described in [5]. When the sweep surface intersects an edge of a tetrahedral element, the element is thought to be cut, and cut surfaces are configured through the relocation of vertices. In order to handle progressive cut, at least one vertex of the cut element should be updated onto the blade P_tQ_t . When a tetrahedral element is cut, the vertices of the element are projected orthogonally onto the sweep surface S_t .

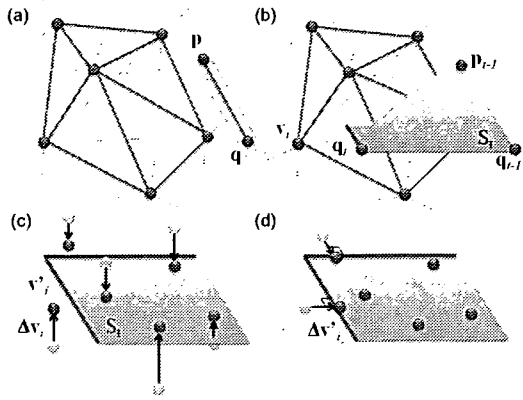


Figure 2: Creating cut surface by vertex relocation.

This update for intersected tetrahedra make possible to define cut surfaces.

$$\Delta v_i = \{ \mathbf{n}_t \cdot (\mathbf{v}_i - \mathbf{p}_t) \} \mathbf{n}_t \quad (1)$$

where \mathbf{n}_t is the normal vector of the sweep surface S_t .

Vertices that are updated outside of sweep surfaces S_0, S_1, \dots, S_t generate visual artifact that the shape of incision does not depend on the movement of the blade. Therefore, such vertices are again relocated by projecting them onto the boundary of given sweep surfaces as shown in Figure 2(d). The boundary of sweep surfaces are composed by several line segments $(\mathbf{p}_k, \mathbf{p}_{k-1})$ ($k = 1, \dots, t$) and the blade position $(\mathbf{p}_t, \mathbf{q}_t)$ at time t . We obtain the minimum distance between the vertex \mathbf{v}_i and one of boundary line segments, and relocate the vertex to the nearest boundary of sweep surfaces. For example, in case of projecting the vertex onto the blade $(\mathbf{p}_t, \mathbf{q}_t)$, additional update $\Delta v'_i$ is defined as the following equation:

$$\Delta v'_i = \frac{\{ (\mathbf{q}_t - \mathbf{p}_t) \cdot (\mathbf{v}_i - \mathbf{p}_t) \}}{\| \mathbf{q}_t - \mathbf{p}_t \|^2} (\mathbf{q}_t - \mathbf{p}_t) \quad (2)$$

The surface vertex must be updated to a new position that approximately forms initial surface around it. Therefore, our model constrains relocation of the surface vertex on its tangent plane. Intersection between the sweep surface S_t and the tangent plane S'_t of the vertex \mathbf{v}_i defines an intersection line. The surface vertex \mathbf{v}_i is updated to the intersection line using its perpendicular.

3 RESULTS

Figure 3 demonstrates interactive cutting and deformation examples using a plate model that represents $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 5\text{mm}$ soft tissue or skin. The bottom edge of this model is fixed. Our demonstration system allows users to cut into the model at any position and to deform it interactively. Deformation of incision by different external force and curved incision can be also simulated. Relocation of vertices and additional update onto the boundary of the sweep surfaces form smooth cut surfaces which along with the blade trajectory. Cutting two organ models were simulated using texture-based volume rendering as shown in Figure 4. Cutting procedure is interactively simulated with sufficient visual quality for surgery simulation.

4 CONCLUSION

This paper proposed vertex-preserving cutting on finite element models for interactive surgical simulation. The key concept was to model variety of incisions while preserving the number of vertices. Methods for topology modification by vertex relocation with constraint and fast finite element computation were presented. Our

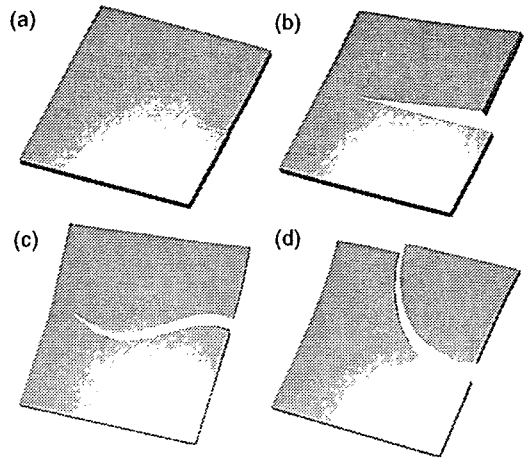


Figure 3: Interactive simulation examples of vertex-preserving cutting for finite element models. (a) Interactive partial cutting and (b) deformation of incision. (c) curved cut and (d) complete cutting.

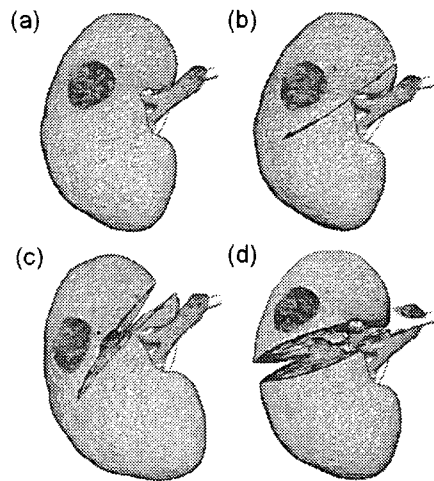


Figure 4: Vertex-preserving cutting on an organ model. (a) initial kidney, (b) partial cut, (c) deformation of incision and (d) another cut with deformation

algorithms efficiently simulate several varieties of smooth incisions, and achieved interactive performance in complex meshes with thousands of elements. We continue to improve the cutting framework and to develop interactive preoperative rehearsal system.

REFERENCES

- [1] D. Bielser, P. Glardon, M. Teschner, and M. Gross. A state machine for real-time cutting of tetrahedral meshes. *Journal of Graphical Models(Elsevier Science)*, 66(6):398–417, 2004.
- [2] D. Bielser and M. H. Gross. Interactive simulation of surgical cuts. *Proc. Pacific Graphics*, pages 116–125, 2000.
- [3] C. Forest, H. Delingette, and N. Ayache. Removing tetrahedra from manifold tetrahedralisation: Application to real-time surgical simulation. *Medical Image Analysis*, 9(2):113–122, 2005.
- [4] H. W. Nienhuys and A. F. van der Stappen. Combining finite element deformation with cutting for surgery simulations. *Eurographics*, pages 274–277, 2000.
- [5] D. Steinemann, M. Harders, M. Gross, and G. Szekel. Hybrid cutting of deformable solids. *IEEE Virtual Reality*, pages 35–42, 2006.

弾性変形モデルに対する頂点数を保存した切開方法

中尾 恵^{*1} 河本 敏孝^{*1} 杉浦 忠男^{*1} 湊 小太郎^{*1}

Vertex-Preserving Cutting Methods for Deformable Elastic Models

Megumi Nakao^{*1} Toshitaka Kawamoto^{*1} Tadao Sugiura^{*1} and Kotaro Minato^{*1}

Abstract - This paper proposes vertex-preserving cutting methods of finite element models for interactive soft tissue simulation with visual and haptic feedback. Compared to related study, our methods describe both 3D geometry and physics of soft tissue incision while not subdividing model elements. This approach does not change the number of vertices, which avoids increase of computation time and allows fast and stable update of stiffness matrix. Some experiments on general-purpose PC confirmed that valid cutting representation is possible and the shapes of finite element elastic models are similar to those of real elastic materials. Also, the algorithms are about 5 times faster than conventional approach and real-time simulation is achieved.

Keywords : Soft Tissue Cutting, Finite Element Modeling, Interactive Simulation

1 はじめに

メス等によって対象物を切り開く手技、いわゆる切開手技は外科手術の基本であり、外科医が最初に身につけなければならない手技の一つである。医療手技の中でも切開や剥離は、力の加減を誤ることで血管を傷つけるなど重大な切創事故に繋がる可能性があり、切開時の術具操作や物理現象の習熟は必要不可欠である。また、体表や臓器に対する切開箇所や長さ、方向などは手術全体の安全性、術後の回復などにも影響を与えるため、綿密な計画が求められる。

これまでに手術シミュレーションに関する研究開発 [1] において、多くの医療手技がシミュレート対象とされ、臓器や術具の物理モデルが提案されてきた。例えば、縫合 [2]、穿刺 [3]、触診 [4] などのシミュレータの開発例がある。切開のアプリケーションも多数報告されており、外科手術計画支援 [5][6]、トレーニングのための血の流出などの表現 [7]、切開時の反力生成 [8][9] などが試みられている。一方、切開時の臓器や軟組織の物理的振る舞いのシミュレーションに関して 10 年に渡って様々なアルゴリズムが提案されているが、物理現象の複雑さとその計算コストの大きさから、部分的な切開表現に留まっており、今も実用的なモデルの確立を目指して研究が進められている。

弾性変形のアニメーションのためのモデルには、ばね質点系 [10] や有限要素法 (Finite Element Method, FEM) [2][4][11] に代表されるメッシュベースのアプローチ、充填球モデル [12] やその他のメッシュレスの

アプローチ [13][14] が知られる。各変形モデルの特徴については [15] に委ねる。弾性体に対する切開のモデリングに関する従来研究では、多くの弾性変形モデルと同様に、主にばね質点系や有限要素法の定式化に基づいて切開対象となる弾性体の力学特性がシミュレートされてきた。D. Bielser らはばね質点系における要素分割、メッシュ修正のアプローチ [16][17] を提案した。本アプローチは [18][19][20][21] でも採用され、改良がなされている。いずれも高速なシミュレーションが達成されているが、一般に切開が進むにつれて頂点数が増大し、力学計算に要するコストが急増する。また、要素分割により系の動的なパラメータ調整が必要となり、新たに生成される微小要素が系の安定性、解の精度に悪影響を及ぼしやすいという特徴がある。

有限要素モデルは連続体力学に基づいた高精度でかつ安定なシミュレーションが可能であるが、一方で解の導出に要する計算コストが問題である。特に切開に関しては、大規模な剛性マトリクスの更新とその逆行列の算出が必要となる。N. Ayache らにより切開前のメッシュをそのまま使い、前処理や要素の削除により切開をシミュレートする方法 [22][23] が提案されているが、質量が保存されず、切開創部分にメッシュ構造に依存した視覚的なアーチファクトが発生する。頂点の再配置と生成によって滑らかな切断面を構成する試み [24][25] や、軟組織の破断をモデル化した例 [26] もあるが、剛性マトリクスの更新に要する計算コストの大きさから、簡単なモデルのみにシミュレーションが限定されていた。

本論文では、弾性変形モデルに対する頂点数を変化させない切開方法を提案する。従来方法とは異なり、

^{*1}奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

^{*1}Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology