

動力学エンジンを用いたリアリティの高い膜の生成と

3次元力覚提示装置による膜の操作が可能な手術シミュレータの開発

Development of a Surgical Simulator with Physics Engine-Based Membranes and Manipulation

using 3D Haptic Device

円藤 祐太郎[†] 小枝 正直[†] 曲淵 敏博[‡] 澤田 篤郎^{*} 大西 克彦^{**} 登尾 啓史^{**}

Yutaro Endo, Masanao Koeda, Toshihiro Magaribuchi, Atsuro Sawada,
Katsuhiko Onishi and Hiroshi Noborio

1. はじめに

剥離手技は、癒着した臓器や膜を引き剥がす外科手術の基本である。失敗すると臓器や血管を損傷するため、多くの経験を積むことが必要で、シミュレータを用いた訓練が行われている。シミュレータを用いることで、時間や場所の制約を受けることなく繰り返し訓練を行うことができる。また現実では訓練が難しい危険な場面や緊急事態の訓練も可能である。

現在、市販されている手術シミュレータとして、三菱プレジジョン社製 Lap-PASS LP-100 や Mimic 社製 dV-TRAiNER などがある。Lap-PASS LP-100 は、コンピュータグラフィックス (CG) で再現した被術者の患部を力触覚提示可能な模擬術具で手術できる。患者の術前 CT から 3次元データを抽出することで、術前に予行演習手術をすることができる [1]。dV-TRAiNER は da Vinci サージカルシステムの術野、ペダル、マスターコントローラを再現し、高解像度 3D モニタにより実際の手術感覚を体験することができる。縫合針のコントロール、剥離、トラブルシュートなどから研修者毎に、個別のトレーニングプログラムを作成可能であり、個人の実績評価などの履歴を閲覧することができる機能を有している [2]。

しかし、既存のシミュレータでは腹腔内に存在する膜の表現に難があり、膜の剥離の訓練には不向きである。そこで本研究では、動力学エンジンを用いて柔軟でリアリティの高い膜を生成し、3次元力覚提示装置を用いて膜との接触、操作が可能なシミュレータの開発を試みた。

2. 動力学に基づく膜の生成

膜の生成には Unity Asset の Obi Cloth [3]を使用した。Obi は CPU ベースのリアルタイム・パーティクル物理エンジンであり、Cloth、Fluid、Rope、Softbody から構成される。それぞれの object はパーティクルと呼ばれる小さな複数の球体で構成され、シンプルなエフェクトから非常に複雑な動作まで行うことができる。また、パーティクルは他の Object と相互に影響し合う。Obi のパーティクルは Blueprint によって決定される。Blueprint は Obi の object を生成する際的设计図となるものである。Obi Cloth では、平面メッシュを用いて Obi Cloth Blueprint が作成される。

[†] 岡山県立大学 Okayama Prefectural University

[‡] 京都大学 Kyoto University

^{*} 宮崎大学 University of Miyazaki

^{**} 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University

今回生成した膜を図 1 に示す。大きさは 2[m]×2[m]×2[m] とし、使用した Blueprint は Cloth sheet である。表面に膜の見た目に近いテクスチャを貼付した。このテクスチャは Adobe の Veins を使い、Unity の Project の Asset 内で新規 Material を作成、その Material の Albedo にテクスチャ画像を選択し、Obi Cloth の両面に Add Component し貼付した。

3. 3次元力覚提示装置による膜の操作

膜の操作は Obi Cloth に Obi Particle Attachment コンポーネントを付加する事で Obi Cloth を空中に固定して行った。3次元力覚提示装置として Sensable Technologies 社製 Phantom Omni を使用した。Phantom Omni は 6 自由度を持つポータブルなハプティックデバイスで、ワークスペースは 16 × 12 × 7[cm] で、最大 3.3[N] のフォースフィードバックを提供することができる。スタイラスには 2 つのボタン Button1, Button2 が付いている。また、Phantom Omni を Unity で扱うため、Unity Asset の Haptics Direct for Unity V1 を使用した。

Phantom Omni と Obi Cloth の接触は、スタイラスの object に Obi Collider コンポーネントを付加する事で可能となった。またスタイラスの Button1 を押した際に Obi Cloth のパーティクルの中からスタイラスの先端に最も近いものを探索し、そのパーティクルの 3次元座標をスタイラスの先端座標に移動させるスクリプトをスタイラスに付加した。これにより、膜を掴む動作と膜を引っ張る動作の再現を行った。

しかし、膜に接触した際、スタイラスを素早く動かすと膜を貫通する問題が発生した。また、膜とスタイラスが接触した際や、Obi Cloth を掴んで引っ張った際の力覚は、今回は発生させていない。

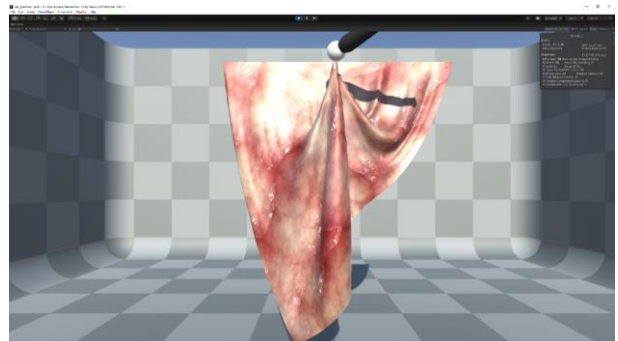


図 1 膜の操作

4. パーティクル数と処理速度の調査

Obi Cloth Object のパーティクル数が多いほど、より自然な動きの膜が生成できるが、計算負荷が増大して処理落ちが発生する。そこでリアルタイムシミュレーションが可能なパーティクル数を調査した。今回使用した PC の構成を表 1 に示す。

大きさ 2x2[m]、パーティクル数 900、1600、2500、3600、4900 とした Obi Cloth Object を作成した (図 2)。パーティクル数は Blueprint の変更により行った。Blueprint は 3次元モデリング用ソフトウェア Blender を用いて作成した。Blender では、平面メッシュを細分化することで各パーティクル数に応じたメッシュを作成した (図 3)。

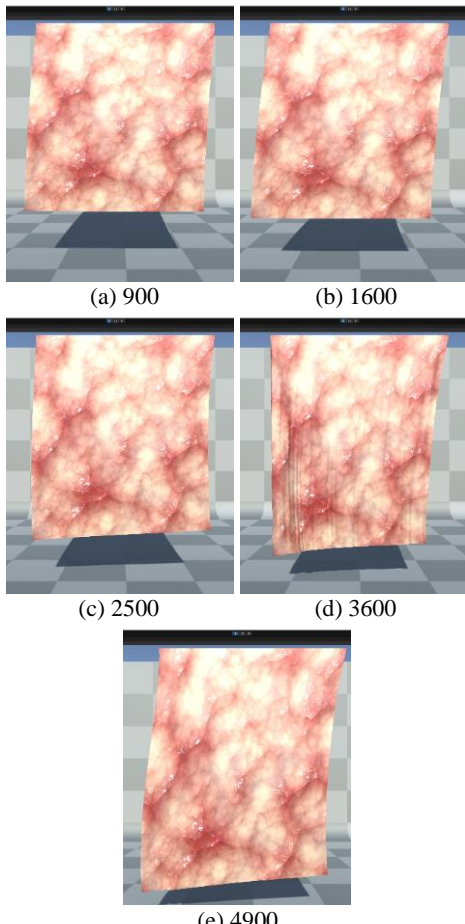


図 2 パーティクル数を変化させた Obi Cloth Object

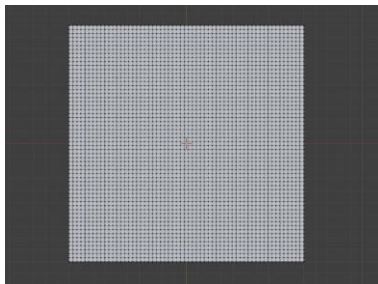


図 3 Blender で作成した平面メッシュの細分化例

シミュレーション実行後、Obi Cloth の揺れが収まり静止するまで待機し、その後の FPS 値をそれぞれ 10 回計測して平均値を算出した。FPS 値は Unity Editor の Stats Window に表示される値を読み取ることで計測した。計測結果を表 2 に示す。パーティクル数が 4900 の Obi Cloth Object では、30 [fps] を下回り、リアルタイムシミュレーションが困難となることが確認できた。

次に、スタイラスによって膜を操作した際の FPS 値を調査した。ここでの膜の操作とは、図 1 のように、膜の中心付近を掴んで上辺中央付近まで引き上げる状態とした。静止状態で 30 [fps] 以上となった Obi Cloth Object のみを用いて計測した。計測結果を表 3 に示す。いずれのパーティクル数でも静止状態と比較して FPS 値は大幅に減少することが確認されたが、30fps 以上を維持できた。

表 1 PC の構成

OS	Windows10 Education 22H2 64bit
CPU	Intel Core i5-12600 3.30 [GHz]
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1650
RAM	16.0 [GB]
I/O ボード	玄人志向 IEEE1394-PCIE2

表 2 静止状態での平均 FPS 値

パーティクル数	900	1600	2500	3600	4900
平均 FPS	450	400	254	123	23

表 3 操作時の平均 FPS 値

パーティクル数	900	1600	2500	3600
平均 FPS	286	250	174	36

5. おわりに

本研究では動力学エンジン Obi を用いて柔軟でリアリティの高い膜を生成し、3次元力覚提示装置 Phantom Omni を用いて膜との接触、操作が可能なシミュレータの開発を試みた。リアルタイムシミュレーション可能な Obi Cloth Object のパーティクル数を調査した結果、静止状態、操作時ともに 3600 程度であり、これを用いてシミュレータを開発することでリアリティの高い膜の表現が可能であると考えられる。今後、この Obi Cloth Object を用いて剥離操作の実現や力覚の提示などに取り組む予定である。

謝辞

本研究は MEXT 科研費 24K07407 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 槇山和秀, 蓼沼知之, 大竹慎二, 藤岡あずみ, 山中弘行, 上野大樹, 逢坂公人, “患者特異的シミュレータの研究開発と手術の数値化”, 横浜医学, 74 巻, pp.15-23, 2023.
- [2] 杉本真樹, 志賀淑之, 磯部陽, 西原佑一, 佐田尚宏, 遠藤和洋, “手術支援ロボット da Vinci 認定資格取得後継続的トレーニング:Virtual reality と 3D プリンティングによる実物大臓器・体腔実体モデルシミュレーション”, 日本コンピュータ外科学会誌, 17 巻, 2 号, pp.73-81, 2015.
- [3] Obi <https://obi.virtualmethodstudio.com/>