

2009 年度下期未踏 IT 人材発掘・育成事業 採択案件評価書

1. 担当PM

首藤 一幸 PM(東京工業大学大学院情報理工学研究科 数理・計算科学専攻准教授)

2. 採択者氏名

チーフクリエイター: 家室 証(東京大学大学院 情報理工学系研究科
システム情報学専攻)

コクリエイター: なし

3. プロジェクト管理組織

リトルスタジオインク株式会社

4. 委託金支払額

2,975,656 円

5. テーマ名

触覚を伴う CG モデルの作成・体験システムの開発

6. 関連Webサイト

なし

7. テーマ概要

本テーマの目的は、3D のモデルを実空間中で絵を描くような感覚で生成し、さらに生成したモデルを触ることが可能なシステムの構築である。ユーザがペン型の触覚ディスプレイを把持し、ブース内の空間中で手を動かすと、モーショントラックカメラに

よってユーザの手の軌跡が計測、それに応じてリアルタイムに 3D のモデルを生成する。このモデルを描くプロセスにおいて、触覚ディスプレイによる触覚の提示と立体プロジェクタによる立体映像の提示を同時に行うことにより、ユーザに対してあたかも実空間に 3D のモデルを描いたような感覚を提供する。また、生成したモデルとペン型デバイスの衝突により生じる力を物理シミュレーションにより算出し、ペン型触覚ディスプレイを用いて力覚フィードバックを行うことにより、モデルを触った感覚を提示する。

本システムにより、球や立方体等の形状の配置や、形状間のジョイントの接続等の操作による 3D モデルの作成を、三次元空間中に絵を描くような感覚で直感的に行うことが可能になる。それと同時に、作成したモデルが触れるようになることにより、モデルの検証を作成と並行してリアルタイム行うことが可能になり、モデリングの支援が行える。また、従来のように作成した 3D モデルをただ見るだけに留まらず、触って体験することが可能となり、新しい表現の形としての応用が見込める。

8. 採択理由

実空間中で絵を描くような感覚でコンピュータ上 3D モデルを生成できる絵描き／モデリングツールを作るという提案である。家室君はこれまで所属研究室にて実空間中の位置を指し示すことができるペン型デバイスを開発してきており、入力装置としてこれを使う予定である。

肝は、絵を描くような感覚を、どうやって、どの程度達成できるか、だろう。ペンやマウスなど平面上の位置入力デバイスを用いる方式(例: Teddy)でのお絵描き感覚が当面の目標である。入力デバイスの強みは、ペンの姿勢をとれることや、また特に利用者に触覚を感じさせられるところにあるので、お絵描きツールでこういった強みを活かさない手はない。

家室君はこれまで、SIGGRAPH E-Tech や東京ゲームショウをはじめ国内外でこのデバイスを積極的に展示・発表してきている。この外向きの情熱をツール開発・アピールにぶつけて、ああできたね、ということ以上の驚きを私達に与えてくれると信じている。

9. 開発目標

本プロジェクトの目標は、3DCG モデリングをより直感的に、また誰でも簡単に行うことが可能なシステムを構築することである。図 1 のようにユーザの空間的な動作によって立体形状を直接空中に描くような感覚でのモデリングを可能にするとともに、出来上がった形状を触覚ディスプレイを用いて触ることを可能にする。作成の過程にお

いて適切な触覚フィードバックを行うことにより、空中での描画作業に対する支援を実現し、直感的なモデル作成を可能にする。また、作成された形状は物理シミュレーション空間中に生成することで、ユーザが把持した触覚ディスプレイとの衝突力の算出を行い、デバイスを用いて形状を触った感覚の提示を行う。これにより、作成した形状の確認作業等を視覚的な情報だけでなく触覚的な情報にも基づいて行うことが可能になるとともに、出来上がった 3DCG モデルを見るだけでなく触って体験する事が可能となる。

モデリングを行うツールとして、チーフクリエイターがこれまでに研究を行ってきたペン型力覚ディスプレイ Pen de Touch を用いることで、モデリングを行う際の空中に絵を描く作業に対する支援や、作成した形状を触った感覚の再現を行う。ユーザの空間的な手の動きをモーショントラッキングシステムによって取得し、その動作軌跡に応じて球や直方体といった立体形状の生成と配置を行う。このような形状を、物理シミュレーションエンジンを用いて構築した環境中に生成することで、ペン型力覚ディスプレイとの接触により生じる力を算出し、算出した衝突力をデバイスにより提示することにより、作成した立体形状を触った感覚を提示することが可能になる。また、作成する 3DCG モデルについては立体映像として視覚提示を行うことで、実際の空間にモデルが存在するという感覚をユーザに提示する。これにより、空中で描いた軌跡が立体形状になるという感覚が再現されることとなり、体験として面白いものになるだけでなく、現実空間で軌跡を描いた位置に立体形状が作成されることとなるため、立体形状の配置等をより直感的に操作することが可能になると予想される。

本プロジェクトの結果として、上述の要素を全て内包した触覚 3DCG モデリングツールが実現された。ユーザの描いた軌跡を平面上に投射した上で二次元形状に当てはめ、そこから算出されるパラメータから立体形状を生成した。生成された形状は立体映像として描画され、視点位置トラッキングにより作った形状を回りこんで観察することが可能であるとともに、Pen de Touch を用いて触ることで形状を確認することができるようになった。また、空中で線画を描くという作業に対して触覚フィードバックによる支援を行い、ユーザが空中での操作を直感的に行うことが可能となった。

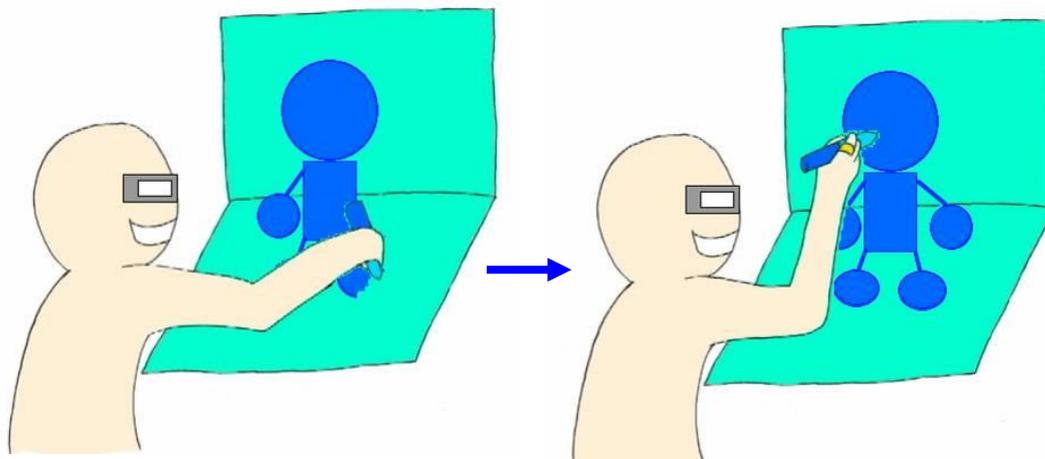


図 1: 本プロジェクトにより実現されるシステムの概念図。空中でペン型触覚ディスプレイを動かすことで、空中に絵を描くかのような感覚で立体形状の生成を行うことが可能である。また、作成したモデルについては、デバイスを用いて触ることで形状の確認や体験が行える。

10. 進捗概要

以下の通り、当初の提案内容を達成し、加えていくつか予定にはなかった開発をお行った:

■ 3D モデリングシステム Pen de Draw の開発

- ペンへの機能付加: ペン先へのボタンの追加
- パレット
- 単純形状(球や直方体)の描画
- 自由形状の描画
- 描画した物体とのインタラクション: ペンを通じた触覚フィードバックや、物体への力の付与(当初未定)
- 視点位置に応じた提示映像の視点変更(当初予定なし)
- 映像提示用 筐体の開発(当初予定なし)

11. 成果

■ ペンへの機能付加

今回のシステムにおいては、空中での描画を行う際に、ユーザが描画の開始と終了を操作可能である必要がある。そこで、従来の Pen de Touch デバイスにボタンを配置し、ユーザが人差し指でボタンを押下することで入力 On/Off を切り替えること

を可能にした。

デバイスのペン先部に対して図 2 のようにボタンを配置した上で、ボタンの端子と電子回路を二軸ケーブルで接続した。入力情報の取得と PC への送信は、将来的に圧力センサ等を追加することでユーザの握り具合等の情報を取得する可能性も考慮し、Arduino Duemilanove を用いて行った。これにより、ボタンの On/Off 情報をリアルタイムで取得することが可能となった。



図 2: ペン先部にボタンを配置した Pen de Touch デバイス

■ ペンの軌跡の取得と、触覚提示による描画のサポート

ペンタブレットのような従来の入力インタフェースにおいては、ユーザの持つペン型のインタフェースと机やタブレット等の平面が物理的に接触した状態で使用されるため、ユーザは二次元の平面上でインタフェースを動かして作業を行っていた。今回提案するシステムにおいては、ユーザはペン型のインタフェースを空中で動かして描画作業を行うこととなるため、自分が操作を行っている空間的な位置が分かりにくく、またその操作自体がどのような結果を生むのかが直感的に理解しづらくなるといった問題が生じる。そこで Pen de Touch デバイスによる力覚提示により、ユーザの操作の支援を行うこととした。

本システムにおける立体形状の生成は、ユーザが空中に描いた動作軌跡に基づいて行う。ここで、ユーザが描く動作軌跡は二次元の線画とする。これは、空中に絵を描くという通常は行われ得ない作業においても、描画は二次元的な動作として捉えられるという考えに基いている。このことから、動作に対する力覚提示により、ユーザに対して空間中にバーチャルな平面の存在を想起させ、その平面上で描画を行っているかのような感覚を提示することが望ましいと考えられる。このような感覚の生起を目

的とし、以下のような 2 通りの描画方法を実現した。

第 1 に、ユーザの描画可能位置を特に限定せず、空間的に自由な描画作業中に常に一定の力覚が提示される方法である。この方法においてはユーザは自由に手を動かして所望の位置に軌跡を描くことが可能であり、その際に一定の力覚が提示されることで、あたかもユーザが想定した平面に一定の押付力でもって描画を行っているかのような感覚が再現される。平面を指定せずにユーザが自由に描画を行うことができるため、容易かつ素早い描画が可能となる。この描画方法においては、ユーザは立体形状を生成したい位置に手を伸ばした上で、ボタンを押下することで描画が開始される。軌跡を描いた上でその終端においてボタンを離すことで、描画作業が完了することになる。

第 2 に、ユーザが描画を開始する前に空間中にバーチャルなキャンバスを配置し、そのキャンバス上で描画を行う方法である。ここで言うバーチャルなキャンバスは物理シミュレーション空間中に平面として配置され、ユーザの持つ Pen de Touch デバイスとの衝突判定に基づいて提示すべき力覚が算出されるため、ユーザはバーチャルなキャンバスを触った感覚を得ながら、その上に描画を行うことが可能となる。前述の空中に直接描画を行う方法と比較すると、キャンバスを配置するという手間が加わるものの、キャンバスの配置により立体形状を生成する位置を細かく指定できるのに加え、平面が存在することによって描画がより直感的に行えるようになるという利点がある。この描画方法においては、まずユーザがボタンを押下した際に、ペンの先端位置にペンの軸に対して垂直なキャンバスが表示される。ユーザはボタンを押したまま空間中で手を動かすことでこのキャンバスを動かし、所望の位置においてボタンを離すことで、表示された位置においてキャンバスの位置と姿勢が確定し、物理シミュレーション空間において表示されたキャンバスと重なる位置に平面が生成される。図 3 のように、キャンバス上でボタンを押下しながら手を動かすと、物理シミュレーション空間中でデバイスと同様に動くポイントの位置座標が保存される。これにより、実際にはユーザの手がキャンバスを突き抜けた位置に存在していたとしても、動作軌跡として保存されるのはキャンバス上に存在するポイントの位置座標となるため、得られる軌跡はキャンバス上で描かれた二次元的な曲線となる。

ユーザはこれらの 2 つの描画方法を自由に切り替えて利用することが可能であり、これによりモデリング作業が能率的かつ正確に行えるようになった。

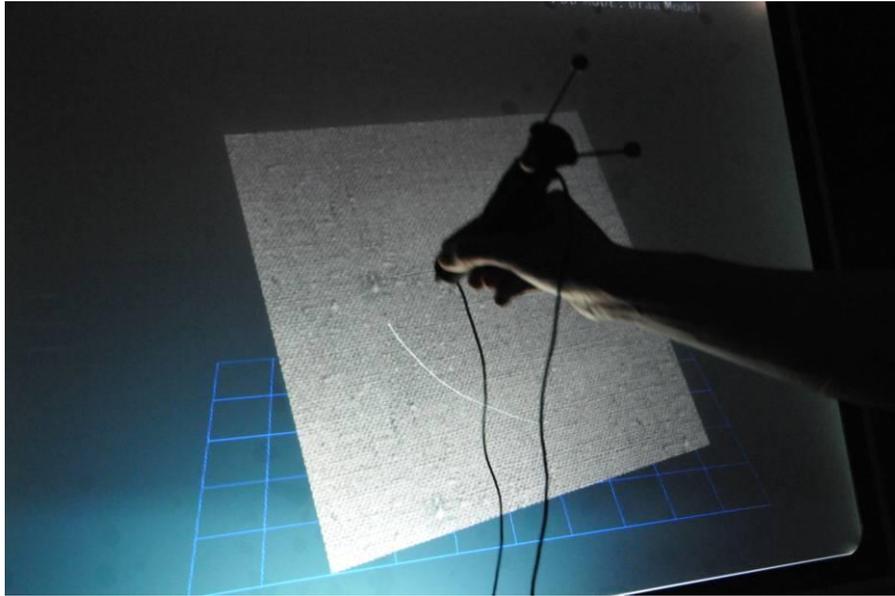


図 3:キャンパス上での描画。PhysX による衝突力の算出と Pen de Touch による力覚提示により、バーチャルな作業平面が教示されている。

■描画軌跡に対する平面の割り当てと、平面に対する軌跡の投射

描画前にキャンパスを配置しない場合、まず、描画軌跡に対して二次元平面を割り当てる。

続いて、キャンパスなり、割り当てた二次元平面なりに対して、描画軌跡を投射する。二次元平面上に投射された軌跡を元にして、立体形状を生成する。

■立体形状の生成

二次元平面上の軌跡が得られたら、それを元にして、パレット(後述)上で指定された立体形状の種類に応じた立体形状を生成する。パレットで指定できる立体形状の種類には、次のものがある。

- ・球
- ・直方体
- ・メッシュ形状(自由形状)

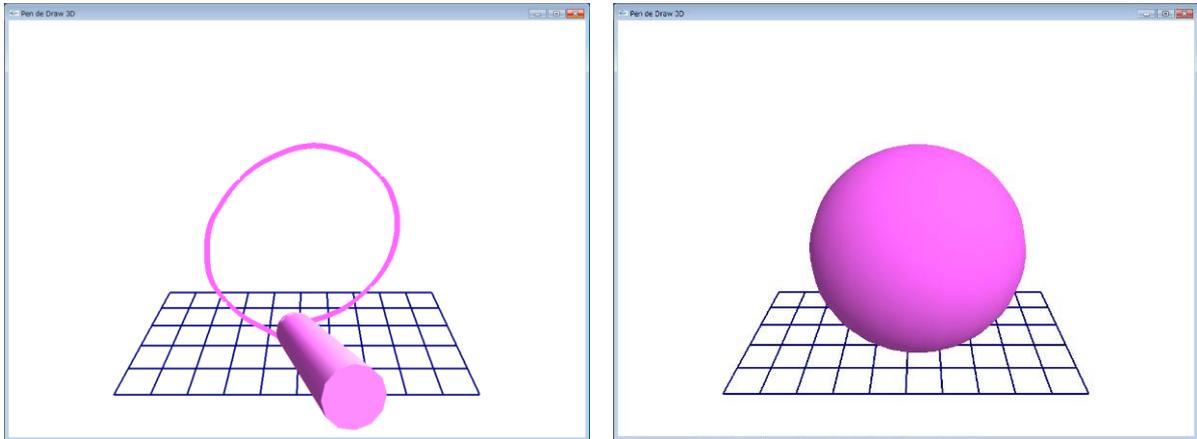


図 4: 動作軌跡からの球形状の生成。左図においてユーザがキャンバス上に描いた軌跡からパラメータの算出が行われ、右図のように球の立体形状が生成される。

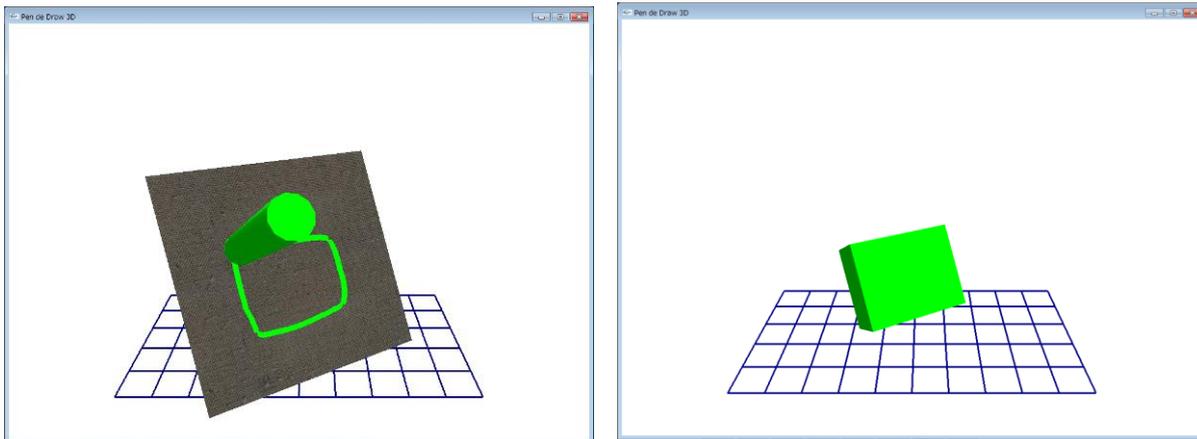


図 5: 動作軌跡からの直方体形状の生成。左図においてユーザがキャンバス上に描いた軌跡からパラメータの算出が行われ、右図のように直方体の立体形状が生成される。

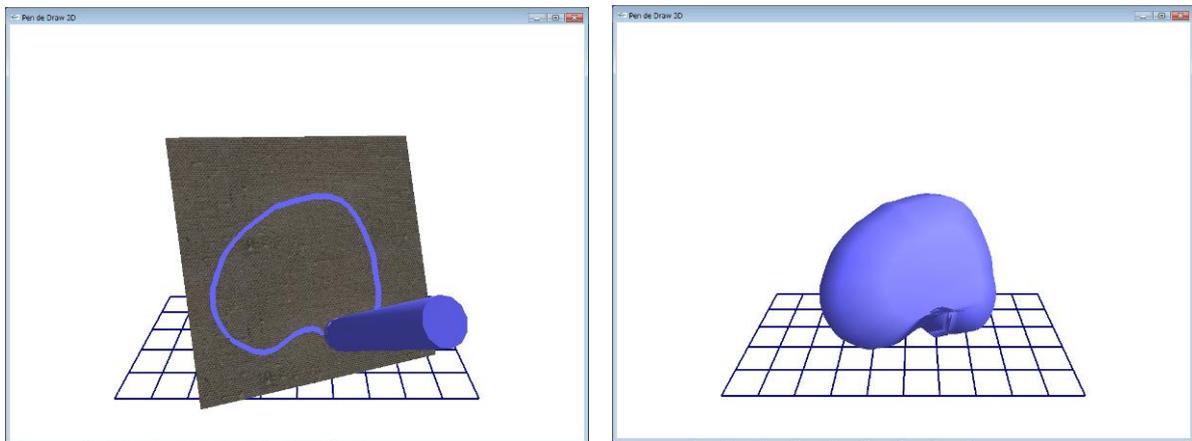


図 6: 動作軌跡からの三角形メッシュ形状の生成。左図においてユーザがキャンバス上に描いた軌跡から頂点群が生成され、右図のような立体形状が生成される。

■パレット

タッチパネル上でボタンを押すことで操作選択が可能なパレット型のインターフェースの実装を行った。

実装したパレットを図 7 に示す。図左半面が、操作選択のためのボタンとなっている。ユーザは手に持った Pen de Touch デバイスで図 8 のようにタッチパネル上をつつくことにより、描画操作の選択を行うことが可能となっている。また、作成する形状の色や固さについても選択可能とし、多様な形状を持ったモデルを作成可能にした。また、作成した形状の削除についてもボタン操作により可能にした。

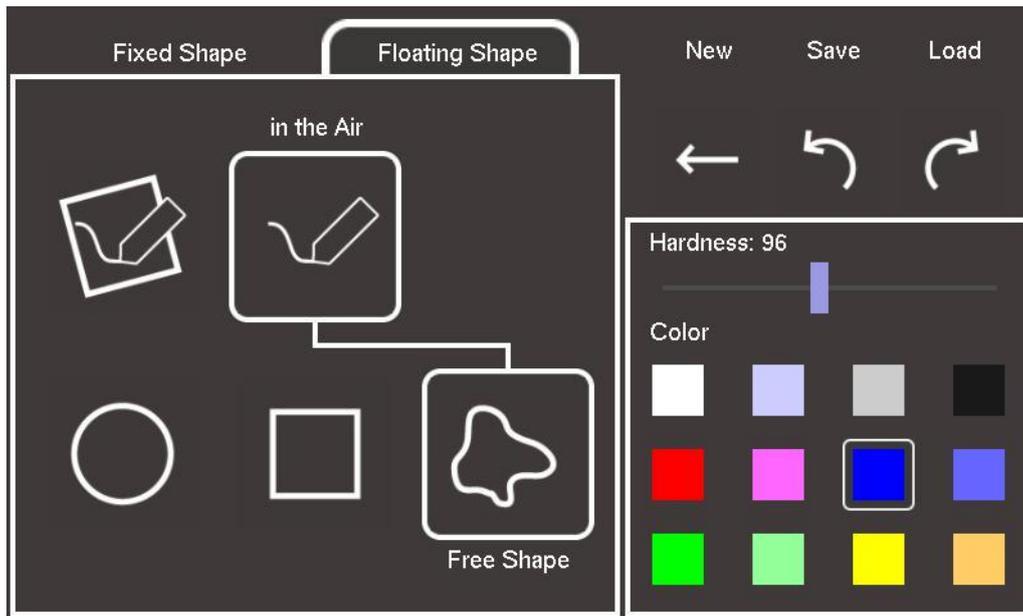


図 7: 表示される操作選択用パレット



図 8: タッチパネルをつつくことによる操作選択

■映像提示用の筐体

グラフィックボードとして Quadro FX 3800 を、ディスプレイとしては 3D プロジェクタである ViewSonic 社の Sight3D を用いた。

展示用システムに 3D プロジェクタ Sight3D を用いるにあたり、図 9 のようなスクリーン付きの筐体を作成した。筐体の寸法は 900×700×1400 (mm)程度であり、

スクリーンは約 40 インチの大きさとなっている。筐体内部にはプロジェクタや PC 等が配置可能である。



図 9: 作成した展示用筐体。寸法は W900×D700×H1400(mm)程度で、スクリーンサイズは約 40 インチ。内部に立体映像提示用のプロジェクタ、PC 等を配置可能。

Pen de Touch システムにこれらの立体映像提示系を統合したシステム(図 10)を、2010 年 5 月 1 日から 5 月 5 日までお台場の日本科学未来館で行われた予感研究所 3 にて展示した。立体映像により表示されたバーチャル物体との触覚インタラクションの効果を確認した。



図 10: 立体映像との触覚インタラクションシステム。空中に浮かんだ立体映像を Pen de Touch デバイスで触って動かしたり、形を確認したりすることができる。

■ 視点位置に応じた提示映像の視点変更

前述の実装ではユーザの頭部位置は固定という仮定の下で描画を行っているため、ユーザが頭部を動かした際には 3DCG モデルの見かけ上の位置と実際に存在する位置の間にずれが生じるという問題が生じる。そこで、ユーザが装着した 3D 眼鏡の位置をトラッキングし、視点位置に応じて適切な映像が提示されるようにした。

ユーザの頭部位置のトラッキングは、図 11 のように 3D 眼鏡に配置したマーカを、OptiTrack カメラにより撮影することによって行った。取得した視点位置に応じて描画に用いる視点位置と視錐台を算出し、描画に反映した。

以上の実装により、ユーザの頭部位置に応じて適切な映像の描画が行われることとなり、図 12 のように、作成した形状を回り込んで様々な方向から観察することが可能となった。



図 11: マーカを配置した 3D 眼鏡 (nVidia 3D Vision)

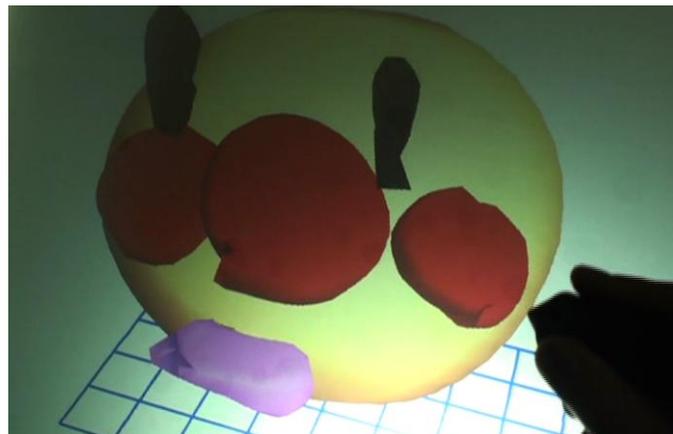


図 12: 視点位置に応じた立体映像の生成。図上では正面から、
図下では右側に回り込んで作成したモデルを観察している。

■ 3D モデリングシステム Pen de Draw・映像提示用筐体・視点変更機能の統合

これまでに解説した要素を統合し、実際に展示が可能なレベルの 3DCG モデリングシステムの構築を行った。

図 13 に、構築したシステムの外観を示す。システムを体験するユーザは、3D 眼鏡を装着し、Pen de Touch デバイスを右手に把持した状態で筐体の前に立つ。筐体全面に配置されたパレットで行いたい操作を選択し、空中でデバイスを持った手を動かして線画を描くと、描いた軌跡に応じて立体形状が自動生成される。ユーザは複数の形状を組み合わせて、所望の 3DCG モデルを作成することが可能となっている。PhysX シミュレーションによる衝突判定を行い、ユーザに対して提示すべき力覚情報を算出した上で、デバイスのモータに対して電流が印可されることにより、ユーザの指先に対して力覚フィードバックが実現される。これにより、ユーザは作業平面を感じながら空中で描画作業を行えると共に、作成したモデルを触ることによる形状の確認や体験を行うことが可能である。図 14 に、システムを用いて作成したモデルの例を示す。

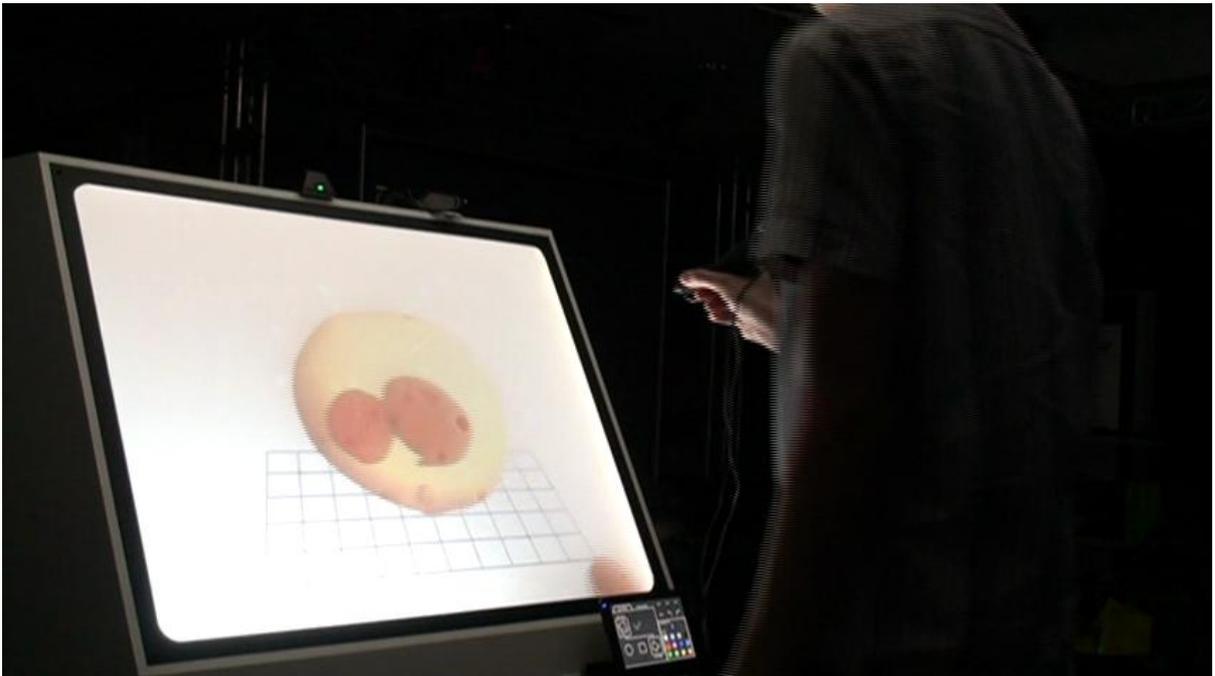


図 13: 構築した Pen de Draw システムを用いた 3DCG モデリングの様子

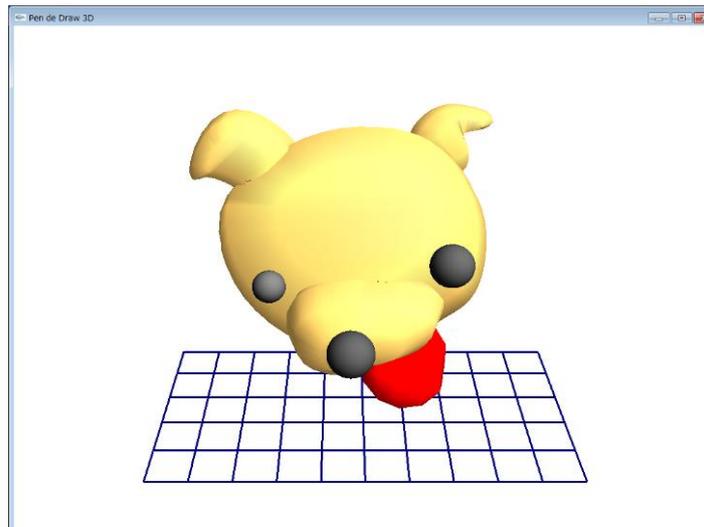


図 14: システムを用いて作成された 3DCG モデルの例

12. プロジェクト評価

本プロジェクトの成果は、描画機能、映像提示用筐体、視点変更機能、およびそれらの統合である。最終的にはメッシュ形状(自由形状)の描画までやり遂げてくれた。しかしやはり、クリエイタの活動、考え方の中心は常に、博士後期課程学生としての自身の活動であった。修士論文のまとめ、修士までの研究成果のデモ(5月)などで多忙だったためか、描画機能の開発はなかなか進まず、4月初めの時点で球と直方体の描画ができ始めるにとどまっていた。その頃になって「描画は、球・直方体といった単純な立体までにとどめようかと考えている」とクリエイタから聞き、びっくりした。PMからの期待がまったく伝わっていないことに驚き、PMとして反省した。

このように、描画機能の達成度については、当クリエイタならもっとできた、と考えている。しかしこれは考えようによっては、今後発展する余地が極めて大きいということでもある。開発終盤、5~6月の進み具合は素晴らしかった。あのスピードを再び発揮して、描画機能・物体とのインタラクション機能として達成したかったことをやり遂げて欲しい。

13. 今後の課題

プロジェクトの成果は、今後いくらでも、研究成果として発表、デモされていくだろう。その点、クリエイタのこれまでの実績は本当に素晴らしい。

「力覚提示」を軸として、その意義を追求するというのは、短い博士後期課程の年限を考えると、当面は妥当な作戦だろう。ただ、装置が大掛かりなので、普及の見込

みは依然低いと考えざるを得ない。力覚提示デバイスの普及に何かしらブレイクスルー(Wii リモコンを使うとか???)が見えないのだとしたら、中・長期的には、力覚にこだわらずに、もっと大勢を幸せにできるテーマ・研究分野へ行って欲しいとも思う。