

ろくろ:掌での 3D モデリング体験を可能にする ヒューマンインターフェイスの検討と制作

今井久嗣^{†1} 鈴木雄貴^{†1} 鈴木宣也^{†1}
赤羽亨^{†1} 柴山史明^{†2} 柴田淳一^{†2}
高木智子^{†2} 小林茂^{†1}

本研究において制作した「ろくろ」は円筒形のセンサ部を多点入力に対応した抵抗膜タッチセンサとし、これを掴む、握る、押し広げる等の作法により、人の立体把握能力を活用した立体的な作法ならではのインタラクションを生み出し、新たなモデリング体験を可能としている。

近年、大衆の 3D モデリングへの関心が高まりつつあり、それをささえるソフトウェアやサービスも増えている。しかし 3D モデリングを行うためのインタフェースは依然としてマウスやキーボードなどの汎用的なデバイスが主であり、人の手が持つ造形能力を十分に活用出来ているとは言い難い。プロトタイプ制作の為の検討及び展示後の評価を元に「ろくろ」の有効性と今後の課題について述べる。

ROKURO:Proposals and Examination of Human Interface for 3D Modeling Experience with Palm

HISASHI IMAI^{†1} YUKI SUZUKI^{†1} NOBUYA SUZUKI^{†1}
KYO AKABANE^{†1} FUMIAKI SHIBAYAMA^{†2} JUNICHI SHIBATA^{†2}
SATOKO TAKAGI^{†2} SHIGERU KOBAYASHI^{†1}

In recent years, there has been growing interest in 3D modeling to the masses. And a variety of software and services to support them. But Interface for amateur to perform a 3D modeling device such as a mouse or keyboard general is still mainly.

It can't take advantage of the full potential of the modeling of hands. "ROKURO" has cylindrical sensor was realized by resistive touch sensor with multi-point input. Cylindrical sensor enables these manners such as pick, hold and push. It creates unique interaction of steric manners, It takes advantage of the power of human solid grasp. This makes it possible to experience of modeling with a high degree of freedom. We describe the effectiveness of ROKURO and future issues based on the review and evaluation after the exhibition for prototyping.

1. はじめに

本研究は、掌での立体的な造形作法を可能にするヒューマンインターフェイス「ろくろ」、及びそれを用いた新たな 3D モデリング体験を提案するものがある。多点入力に対応した抵抗膜タッチセンサを円筒形にして表裏 2 枚組み合わせたものをセンサとし、これを掴む、握る、押し広げる等の作法により、3D モデリング操作を可能とする。自由度の高い立体のセンサにより、人の立体把握能力を活用した立体的な作法ならではのインタラクションを新たに提案するものである。

近年、低価格の 3 次元工作機械や 3 次元造形サービスやものづくりに関する情報共有サイトが広がりを見せている。3D データを印刷するオンデマンドサービス Shapeways[11]はユーザによるデータの出品および販売が可能であり、提供者としてアマチュアの 3D モデラーがそれを支えている。

その中でも注目を集めているのが、「The Vibe iPhone Case」「Cell Cycle」「Sake Set」といったモデル群で、これらは 3D モデリングの方法を簡略化したアプリケーションを提供し、ユーザによるカスタマイズを手助けしている。「Sake Set」を例にとれば、ユーザの好みに合わせ陶製の酒器に形やひねりを与えることが可能なアプリケーションをブラウザ上で提供し、断面図とひねり具合という 2 つのパラメータでの造形により、アマチュアでもすぐに完成形をつくり確認が容易である。

これらが示すことは、3D プリントされる用品がアマチュアに求められているということ、さらにモデリングのツール、特にアマチュアの要求を正確に伝えるインタフェースの仕組みを追求する事が、3D モデリングへのアマチュアの参加を後押しするということである。しかし、先に挙げたインタフェースの多くは新たな要求に最適化されているとは言い難い。上記に示したモデル群で主に用いられているのは GUI で汎用的に用いられてきたトラックバー、テキスト入力形式の流用である。つまり、アマチュアは 3D プリントされた用品、さらには 3D モデリングへの参加を望んでいるにもかかわらず、インタフェースに関しては限られ

^{†1} 情報科学芸術大学院大学
Institute of Advanced Media Arts and Sciences.

^{†2} 日本写真印刷株式会社
Nissha Printing Co., Ltd

たものしか提供されておらず選択の余地がない現状にある。これはアマチュアの 3D モデリングという目的、特に好みの反映という点に関して好ましい状況ではなく、3D モデリングの大衆化を阻害しているのではないかと考えられる。

本研究では、補助入力装置としての「ろくろ」を制作し、それを用いて 3D モデリングできるアプリケーションを開発した。特に入力に関して身体的な面、作法へとつながる入力方法が特徴である。多様な入力を生むためにより身体的な動作としての陶芸のろくろを回す所作を参考にし、ツールの選択、操作、といった変形のために行程を分けるのではなく、指や掌の動作を優先しその多様な可能性を微細な変化でも取得することができる入力方法を実現した。これにより、変形させたいという欲求からモデリングまでの操作行程の簡略化、多様なモデリングの入力可能性を拓いている。

2. 先行研究・製品

マウスやキーボード以外のデバイスを用いたモデリング体験を提供しているもの一つとして Sensable 社の PHANTOM[2]があげられる。PHANTOM は位置入力と力出力が可能な触覚デバイスである。3 個のエンコーダ付き制御モータが内蔵され、指先の 3 次元座標を計測し x,y,z に対して計算された力を制御モータが加える。PHANTOM を介し仮想オブジェクトに触れることで形状や質感などに応じた触覚情報をリアルタイムにユーザの指先にフィードバックさせ直感的なモデリング体験を行う事が可能である。

しかし PHANTOM が提示する力覚提示は 1 点のみであり、実世界に置いて人が造形を行う際には指先だけではなく、掌全体の感覚を用い、物体を構成しているサーフェスを知覚ため、ユーザは物足りなさを感じるとしている。

穴吹らの AR-Jig[3]ではハンドヘルドな 1 列に並んだ 12 本のピンアレイで 3 次元デジタル形状の 2 次元曲線を入出力する。また AR-Jig はハンドヘルドであるがゆえユーザはより机等に束縛される事無くモデリング体験を行う事が可能である。この 2 つに関しては、形状が抽象的で汎用性がある反面で、一見しただけでは造形する際の目的がわかりにくいという問題点がある。

造形目的を明確にし、且つハンドヘルドなモデリングデバイスとしてソフトイーサ株式会社が開発・販売している QUMARION[4]があげられる。QUMARION は 1/6 スケールの人間型デバイスである。形状の手足、胴体、首の各部分は手で自由に動かすことができ、関節内部にある 16 個の関節センサにより、特定の瞬間の人間の姿勢をキャプチャーし、コンピュータに入力する。これにより直感的に 3D キャラクターのポーズ付けやモーション作成が可能である。

平本らの FabChair[5]は物理的なモックアップとコンピュータ上の 3 次元モデルを連携させるデザインシステムである。実際に一部の形状を調節しパラメトリックモデルの

変数に代入する事が可能な 1/4 スケールのロッキングチェア型デバイスを用いて、揺れ方やカーブの曲がり具合などの詳細なデザインの検討を実世界で行う事が可能である。

アマチュアを対象とした 3D モデリングデバイスの開発を行うにあたり具体的な形状で造形目的が明確かつハンドヘルドなものは有効的であると考えられる。

その他 3Dconnexion 社から販売されている SpaceNavigator[6]というラバーに覆われたキャップ部分を傾ける・ずらす・ひねる・押す・引くといった操作で 6 軸入力がおこなえ、3 次元アプリケーションで必要な回転、パン、ズームと言った仮想空間上での視点の変更を容易に行うものもある。この様な補助入力装置を用いる事で、マウス、キーボードのみでは達成出来ない身体的な 3D モデリング体験を可能にしているといえる。しかし形状が具体的すぎるが故、使用目的が限られてしまうという問題もある。

デバイスを用いず且つ造形目的が明確なものとして、佐藤らの Rokuro[7]では Microsoft 社のモーションコントローラー Kinect を用い手の形状をリアルタイムで計測しジェスチャを行う事で仮想的な陶芸体験を行う。この場合では正確な入力が行える反面、造形に必要な力覚フィードバックを行う事が出来ず、体験者は不満を覚えると述べている。

以上のことからエンドユーザーが求める 3D モデリング体験として、造形目的の提示、デバイス自体の形状が中程度の具体性を持ち且つフィジカルな要素を持ち、入出力の解像度の高さが求められると考えた。しかしこの全てを補うことは技術的に難しい、今回の制作では日本写真印刷株式会社が持つタッチパネルの立体成形技術を用い、入力の正確さを持ち、且つ体験者が実際に掌全体で触れ操作可能な 3D モデリングデバイスを目指すものとした。

3. 形状・システムの検討

3.1 デバイス形状

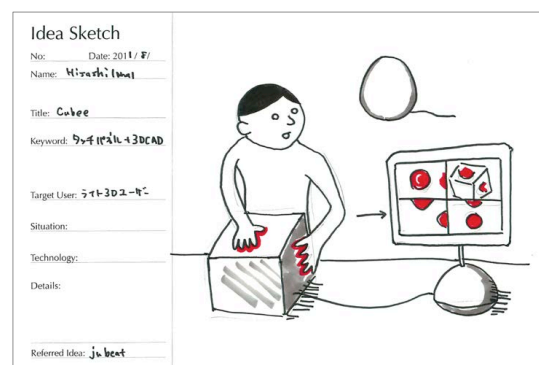


図 1 ボックス型デバイスのアイディアスケッチ

Figure 1 Idea sketch of a box-type device.

3.1.1 ボックス型

図1はボックス型の3Dモデリングデバイスの最初のアイデアスケッチである。立方体の各面には多点入力可能なタッチセンサが内蔵されており、掌で触れ、押し下げることで予め仮想空間上に配置された立方体の3Dオブジェクトを変形させる。デバイス自体の形状は変化しない。しかし3DCADソフトで一般的な前面、上面、側面、パースビューに立方体の各面が対応しており、これにより造形開始から徐々に仮想オブジェクトが変形してもデバイスとの間に生まれたギャップに戸惑う事無く、ある程度のモデリングを行えると考えた。また通常のタッチセンサでは不可能な操作も取り入れる事が可能なのではないかと考えた。例えば、角を撫でる事で微妙なRを作る事は出来ないだろうか。大きさは手に持てるサイズで良いのでは。など詳細についてのアイデア出しを行った。

しかしそもそも立方体から何を作り出すのかといった造形目的や、どういった利点があるのか。という疑問や、技術的難易度、予想コスト、可能であるパフォーマンスとコンセプトのギャップがおそらく大きいとの意見により、「摘む」などといった良い可能性を残したままデバイスの形状について改めてアイデアを出した。

3.1.2 ロクロ型

次のアイデアとしてロクロ型の形状が提案された。両手で包み込める程度の円筒形のデバイスを用い仮想的な「陶芸」を行う事を目的とした形状である。掌全体からの入力や摘むなどの操作を行う。さらに表面をシリコンで覆う事で得られた柔らかな触感によって、ユーザに土を触っている印象をもたせ、ろくろをイメージさせ、且つ造形過程で生まれるギャップを軽減出来るのではないかと考えた。

このロクロ型と先のボックス型と比較した時、造形目的は明確であると感じた。しかし形状があまりにもストレートであること、またロクロにて作成される回転体に必要な断面形状だけを正確に入力出来れば別の形状でも良いのではと考え予備実験を実施した。

3.2 予備実験

3.2.1 想定される作法

現実においてろくろで陶芸を行う際の作法としては、

1. 粘土の塊を押しつぶすし、壁を立ち上げる
2. 側面を内側・外側から押す事で形状を整える。
3. 摘む押すなどの細かな所作により、呑み口や持ち手等の細かな編集を行う。
4. ろくろから完成物を取り出す。

であると考えた。仮想空間で行う際にも同様の作法を想定した。

3.2.2 デバイスのモックアップ



図2 予備実験にて使用したモックアップ

Figure 2 Mock-up for preliminary experiment.

予備実験では被験者に上の作法を行ってもらいながら、操作状況を観察し、先にあげた所作に加え、このデバイスならではの新たな操作方法を抽出した。

予備実験を行うにあたり図2のようなロクロ字型、U字型、I字型のモックアップを作成した(図2)。強度を考慮し5mmの亚克力を芯材とし、側面はシリコンに近い触感を得る為に黒色のウレタンスポンジで覆った。

3.2.3 予備実験・ビデオプロトタイプによる検討

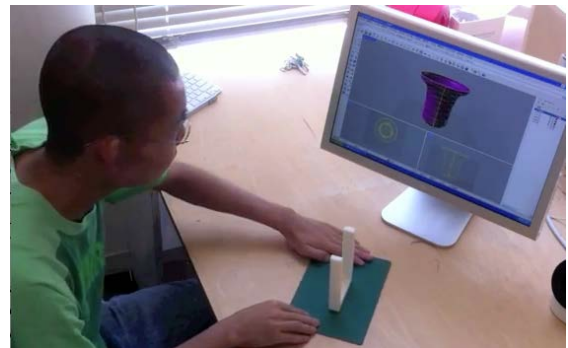


図3 予備実験の様子

Figure 3 Preliminary experiment

学生3名、グラフィックデザイナー、ハードウェアエンジニアを含めた5名を対象として実験を行った。

被験者は図3のようにPCモニタ上に表示された3次元CADソフトRhinoceros[8]の操作画面を見ながらモックアップを操作し、どういった操作をしようとしているのかを逐次口頭で説明してもらった。実験者は被験者の横でPCを操作し、被験者がモックアップに対して行った所作、口頭での説明を元にソフトウェアのオペレーションを行った。オペレーションについては作成したデータの一部を操作することが可能な簡易のパラメトリックモデルを使用した。必要な場合には被験者に操作を止めてもらった。

さらに実験風景からビデオプロトタイプを作成し実験参加者以外からの意見も集めた。

3.3 予備実験・ビデオプロトタイプの結果

ロクロ型を試した被験者2名はいずれものどっくりなどの陶器に近いものを制作した。また両手で包み込むようなジェスチャをしたり、本体下部を片手で掴み、もう片方の

手を上へとスライドさせる事で縦の長さを調節したりといった所作を行った。実験後の意見としてペンやペットボトルの様なオブジェクトも作れるのではないかと意見や、細い棒をあてエッジなどの細かな造形も行う事が出来ないだろうか意見が得られた。

U字型を使用した被験者のうち1名はワイングラスを作成した。その際、側面外側を上からなぞる事で断面形状を描いた。断面作成後はデバイス上部を回し回転体が出来たら良いと意見を言った。実験後の意見として、断面作成後デバイスを前に移動させる事で回転体以外の押し出し体も作る事が出来るのではないかと云ったろくろが持つ更なる可能性を彷彿させる意見が得られた。ネガティブな意見として実際のモデリングが進むにつれデバイス形状と仮想形状のギャップに戸惑うといった意見が得られた。

ビデオプロトタイプに対する意見として、ロクロ型は他の形状に比べ目的が限定的すぎるという印象もあるが、回転を止めて部分的に形を直す、また拡大縮小を行う際の動作が直感的で分かりやすい。U字型については扱いやすさも考えるとインタフェースとして使える気がする。しかし研究の目的からするとロクロ型の方がなじみを感じてより扱いやすい気がするといった意見が得られた。

以上の結果からユーザが初めて見たときの直感的な分かりやすさ、技術的实现性を考慮し、ロクロ型の動作プロトタイプの制作を決定した。

4. プロトタイプの実装

4.1 ハードウェアの構成

最終的なプロトタイプとして制作した「ろくろ」を動作させている様子を図4に、センサ断面図を図5に、システムの構成を図6に示す。

ろくろは図6のように円筒形センサ、PC、ディスプレイによって構成される。使用者からの入力に用いられているセンサを円筒形センサと呼び、机の高さに配置された土台に固定されている。これは両手の掌を用いて多様な入力作法を促すためである。また、土台に固定された芯部分、



図4 「ろくろ」を操作している様子
Figure 4 An example of how Rokuro used

その芯の外側と内側に配置された2枚のタッチセンサ、そのタッチセンサを覆うよう配置されたシリコンカバーによって構成されている。また、2枚のタッチセンサからはシリアル通信を用いて専用のマイコンボードを介しPCへとデータを送信している。

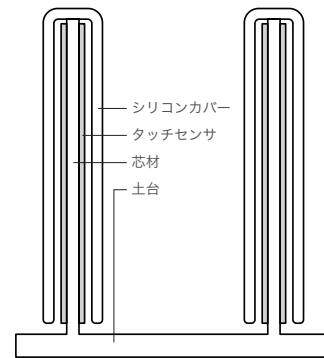


図5 センサ断面図

Figure 5 Cross section of sensor.



図6 ハードウェア構成

Figure 6 Hardware architecture.

4.2 円筒型センサ

円筒形センサに用いているタッチセンサはタッチパネルで用いられる技術をシリンダー形状に成形したもので、マトリクス状に配置した抵抗膜方式によりセンサと指との接点を、指からの押し込み圧をプリンテッドフォースセンサによりセンシングする。円筒形センサの反応点の間隔を縦横10mmとし直径75mmとすることで、タッチセンサ自身のたわみによる反応点への干渉を防ぎつつも、圧力の弱段階から強段階までの反応幅を拾うことのできる精度を実現している。円筒形という立体的なセンサに対する使用者の動作には複数の指、両手の指、掌など、入力形状や入力圧の異なる人体の部位が用いられ、複数の指でつまむ、両手の指で押し広げる、掌で包み込むなど多様なパターンを生む可能性がある。それらの微細な入力の変化を捉えることを可能にする為である。

使用者と円筒形センサとの入力作法、特に外側をなぞる動作、強弱をつけた押し込み動作、この二つを実現するためには指とタッチセンサが直接触れる構成では難しく、そ

の中間に滑りがよく柔らかな素材をタッチセンサと干渉しない構成で配置する必要があった。そこで、タッチセンサを厚さ 5mm のシリコンを用いて上から下まで覆うように配置することで、指からの入力を、シリコン素材を介してタッチセンサへ反応させる構成とし、結果、上記2つの入力動作を可能にしている。また、タッチセンサとシリコンカバーの間には上から下まで一定の隙間を与える事でタッチセンサとシリコンカバーの接触による誤作動を防ぎ、正確な値の取得を実現している。

タッチセンサは 4mm のプラスチックを芯材に図2のように外側と内側計二枚のタッチセンサで値を取得している。それぞれのタッチセンサからは専用のマイコンボードを介して同時並行で PC へとデータを送信している。

4.3 ソフトウェアの構成

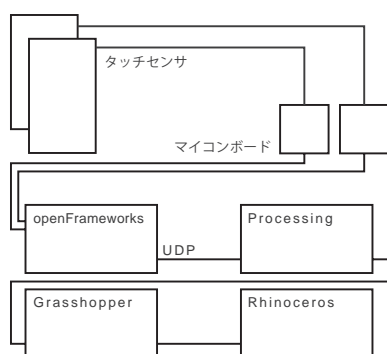


図 7 ソフトウェア構成

Figure 7 Software Architecture.

マイコンボードからのデータを openFrameworks[9]を用いて開発したアプリケーションで受け取り、各データを Processing[10]で処理した後、描画を 3 次元 CAD ソフト RhinoCeros とそのグラフィカルアルゴリズムエディターのプラグインである Grasshopper[11]を用いておこなっている。以上計3つのプログラミング環境を介しており、その通信には UDP を用いている。はじめに openFrameworks によるアプリケーションではセンサからのデータを受け取る処理をおこなう。センサの外側と内側の識別、反応した接点の位置情報、接点への加圧値などを Processing へと送信している。Processing では個別の位置情報と加圧値を紐づけたデータを格納し、センサ外側内側2つを合算した値を Grasshopper へと送信する処理をおこなっている。Grasshopper で扱う総データ量の決定には、円筒形でのスムーズな描画とその解像度のトレードオフを用いている。いくつかの値を試した後、縦 12 横 36 のグリッド構成、計 512 の配列とし、それをもとに 3D 描画をおこなっている。

5. 展示と結果

図 8 は 2012 年 3 月 23-25 日に東京都、アクシスギャラリーにて行った「Public-ation」展での「ろくろ」の展示構成

である。

追加要素としてセンサ右前にタブレット端末、左前に 3D 出力された物を配置している。タブレット端末には「ろくろ」で 3D モデリングを行った後 PC 上でさらに編集を行い、表面をメッシュ上に加工した物を表示させている。3D 出力されたモデルは「ろくろ」がもつ入力の解像度の高さを表している。これら2つは「ろくろ」で提案しようとしている 3D モデリング体験の可能性を想像させる目的で配置した。



図 8 展示構成

Figure 8 Display configuration.

5.1 アンケート結果

イベント来場者 455 人の内 30%の人がアンケートに回答した。その中で「ろくろ」に対しては 40 名程度の人が印象に残ったと回答し、ポジティブな意見として、楽しかった。実際のろくろを操作しているようなしていないような不思議な気持ちになった。触った感じが面白い。触りたいという衝動に駆られた。ろくろ意外にもアイデアが広がりそう。操作に慣れれば結構思ったように作る事ができる。というコメントを得られた。ネガティブな意見では、センサ自体がもう少し「ぐにゃっ」と変形した方が良いというコメントが得られたがこれは表面のシリコンカバーの柔らかさなど素材面からのアプローチにより改善されると考えるまた、ソフトウェアでテクスチャを貼るなど細かな微調整をしたい。といったコメントも得られた。

5.2 体験者の観察結果

老若男女問わず、まず円筒形センサに触ってみるという行動を確認できた。子供連れの家族が体験していただいた際には、1歳ほどの子供も円筒形センサに触り、問題なくモデリングを行うことができた。(図9)

このことから年齢性別問わず 3D モデリングへの入り口をひらくという大きな目的を達しているのではないだろうか。

またほとんどの体験者が手元の円筒形センサを確認せずにディスプレイに視線を固定していた。これから、まさに

操作行程の簡略化を実現できていると考えられる。

つまり、使用者自身が触ってその影響を表示によって確認する、この繰り返しによって操作できることを学び、反応することが確認できた後はすぐに自分の意図を反映させるべく上部や下部、外側や内側、押し込んだり、つまんだり、さらには押し広げたりと、操作を理解する導入の段階から多様な作法へ段階までの移行がシームレスに経験されていることがわかる。

さらにほとんどの使用者は複数回のやり直しをおこなっている。これは、最初こそ自身の意図通りにモデリングすることは出来ないが、納得いかない結果をやり直し、自分の好みを実現したいという思いからではないだろうか。

制作されたモデリングデータに関して、好みの反映という点において使用者それぞれが制作し終えたモデルを確認した所、残念ながら描画の解像度に関係し、使用者個別の特徴づけられるようなバリエーションを確認する事は出来なかった。

しかし、女性と男性という大きなグループで仕上がるモデルに違いが見受けられた。特に女性が制作したモデルが滑らかな断面図を実現していた。おそらく、指や掌のサイズの違い、加圧する力の変化量によるもので、タッチセンサのマトリクスの解像度、プリンテッドフォースセンサの閾値に関して今回の設定と女性の身体的特徴との相性が良かったのではないかと思われる。これについては、身体的な入力からくる微細な変化の取得を実現できていると捉えている。

ろくろという名前から、センサ部を回転させようとした来場者もいた。

6. おわりに

現在のプロトタイプで実現したのは、ろくろに触れ掌からの入力を行うシンプルな作法であったが、多くのユーザはろくろが提供した新たな 3D モデリング体験を得たのではないだろうか。また会期中ろくろの誤動作を抑える目的でリセットが行えるなど、迅速なアップデートが行われた。これは入力部分に駆動部を持たないこのデバイスならではのであると考えられる。

今後、シリコンカバーの柔度調整、デバイス回転機能追加、所作の追加、デバイスを持ち上げ仮想空間上での視点移動を行うなど、センサ以外の構成要素についても改善しアマチュアのみならず全ての大衆に向けたろくろならではの 3D モデリング体験を実現させたい。



図 9 小さなお子様が 3D モデリングを行う様子
Figure 9 An example of how Rokuro used by a small child.

謝辞 本研究は、情報科学芸術大学院大学と日本写真印刷株式会社との共同研究「タッチパネル入力の深化と拡張」の一部として行われました。プロジェクトメンバー皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Shapeways, <http://www.shapeways.com>
- 2) Thomas H. Massie and J.K. Salisbury: The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects; Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.295-302 (1994)
- 3) 穴吹まほろ, 石井裕: AR-Jig: 3次元デジタルモデリングのためのハンドヘルドタンジブルユーザインタフェース, VRSJ, Vol.13, pp.151-160, (2008)
- 4) QUMARION, <http://quma.jp/quma/>
- 5) 平本知樹, 田中浩也: FabChair: パラメトリックモデルと連動した物理的な家具デザイン支援ツールの研究, 情報処理, Vol.03, pp.647-650, (2011)
- 6) SpaceNavigator, <http://www.3dconnexion.jp/products/>
- 7) 佐藤 慧太, 山本 敏雄, 松山 克胤, 今野 晃市: Rokuro: ジェスチャを用いたモデリングインタフェースの実装と検討, 情報処理, Vol.03, ROMBUNNO.2EXB-54, (2012)
- 8) Rhinoseros, <http://www.rhino3d.com/>
- 9) openFrameworks, <http://openframeworks.jp/>
- 10) Processing, <http://processing.org/>
- 11) Grasshopper, <http://www.grasshopper3d.com/>