

動物の革細工制作のための設計支援ツール

大柏卓也^{†1} 五十嵐悠紀^{†2}

概要: 動物の革細工とは革を使って作られる動物の模型である。ヌメ革を使って作成するものであり、この革は水で濡らすと柔らかくなり形を変えることができるという性質を持つ。型紙があれば手で形を形成するだけであるため簡単に作るができる。しかし、初心者が型紙を自作するのは難しい。我々は一枚の革から立体の形を作るためのデザイン支援システムを構築したので報告する。ユーザが作成したい対象の動物の3次元サーフェスモデルを本システムに入力してシステム上でデザインすることで、それを革細工で表現するための型紙を得ることができる。

キーワード: 初心者設計支援, コンピュータグラフィックス, シミュレーション, 革細工

Design Support Tool for Animal Leather Craft

TAKUYA OGASHI^{†1} YUKI IGARASHI^{†2}

1. はじめに

1.1 CGを用いたデザイン

コンピュータグラフィックス(CG)は映画やドラマなどの映像業界だけでなく、医療分野やもの作りなどの場でも活用されるようになってきた。CGの専門家のための技術としてだけではなく、医師やデザイナーなどのCGクリエイターではないユーザへ向けたCGを用いたユーザ支援としての技術としても期待されている。例えば医療分野ではMRIやMSCTなどの医療用機器や心臓モデルをマルチタッチインタラクションにより変形させ観察することで心臓の構造を効果的に理解することを目的とした研究[1]がある。

もの作りではぬいぐるみをデザインするツールやペーパークラフトを作るツールが提案されている。本研究では動物の革細工を対象とした。動物の革細工は旅行先のお土産屋などでも販売されており、そのシンプルな作りで魅力的な造形は人々の興味を惹きつけるものである。一方で、デザインを自作するためには初心者にはキットや本などサンプルになるものがないと作ることが難しい。そこで本研究ではユーザが自分で欲しい動物のモデルを入力することで動物の型紙を入手することができるシステムを提案する。

1.2 動物の革細工

動物の革細工とは図1のように革を使って作られる動物の模型である。ヌメ革という種類の革を使って作成しており、この革は水でぬらすと柔らかくなり形を変えることができる。そして形を作り、乾かすことでその状態で固定される性質を持っている。型紙さえあれば手で形を形成するだけであるため簡単に作るができる。このような革

細工はアトリエなどで体験教室を開催するなどして、子どもから大人まで親しまれている。しかしこの革細工は動物の形になる型紙を用意しなくてはいけないため、初心者にはこれを自作するのが難しいという問題が存在する。また経験者でも一枚の革から立体の形を作るために、経験や勘をたよりに試行錯誤を必要とする作業であり、目的の作品をデザインすることはなかなか難しい。



図1 制作キット[2]を使って作成した革細工。
イノシシ親(左), ウシ親(右)

2. 関連研究

2.1 3次元形状から2次元形状への展開

コンピュータグラフィックスの分野では3次元形状から2次元形状への展開は多くの研究が存在している。中でもテクスチャーマッピングを目的とした研究が多い。角度をベースとした展開手法として Angle Based Flattening++(ABF++)[3]が挙げられる。ABF++により複雑なメッシュをピン止めすることなく展開できるようになった。また Least Squares Conformal Map(LSCM)[4]はポリゴンメッシュの指定の稜線を切れ目として開くようにする展開手法

^{†1} 明治大学先端数理科学研究科

^{†2} 明治大学総合数理学部/JST さきがけ

の1つである。LSCMは任意のサーフェスを展開する能力を持っている。この性質からABF++は有機物を展開するのを得意としており、LSCMは人工物を展開するのを得意としている。また元の3次元サーフェスモデルの長さや面積を保持する展開手法はされているが伸びや縮みを許さない研究はこれまで存在していなかった。また、五十嵐ら[5]は既存の3次元モデルを入力としてそれを包むためのカバーを初心者がデザインするシステムを提案しており、その中でカバー生成のための新たな展開手法「縮まらない展開手法(shrink-free fattening)」を提案した。この手法は3次元モデル上のエッジよりも展開された2次元エッジのほうが必ず長くなるように展開されるため、必ず包むことができるカバーを生成することができる展開手法である。

しかしこれらの展開手法は型紙を複数枚使うことを前提としている。本来一枚の型紙から模型を作る革細工の展開手法としてはそのままでは使うことができない。そこで我々ではできる限り少ない型紙に展開できる手法を提案する。

2.2 型紙デザインツール

CGが発達することで洋服や折り紙のようなもの作りを支援するツールが近年多く開発されている。その中でも型紙をデザインするツールは多くのデザイナーを助けている。

洋服の分野ではDressingSim LSX[6]というファッションデザインソフトウェアは3次元衣服形状から2次元の型紙を生成するソフトウェアである。従来の洋服の作成の手法だとパターン作成とサンプル確認の繰り返し作業を長い時間変えて行わなくてはならないが、このソフトを使うことで3次元のシルエットとデザイン線の設定により型紙に展開されるので繰り返し作業を行う必要がなく型紙の作成時間を短縮することが可能になっている。

Plushic[7]は、手書きスケッチを利用してぬいぐるみをデザインするシステムである。入力ストロークと物理的制約を元にぬいぐるみになるような3次元モデルをシミュレーションにより自動で構築し、対応する2次元型紙も自動生成する。素人には難しいぬいぐるみのデザイン工程をコンピュータで支援することで、子どもでも手軽にオリジナルなぬいぐるみが作れることを提案している。

細田らは、可展開面の交差をトリム処理することで3次元形状をデザインするインタラクティブな紙模型用形状構築システム[8]を提案している。通常、コンピュータを用いて紙模型を作成する際には、作り易さからポリゴンメッシュが用いられるため、作品にポリゴンの凹凸が生じてしまう。細田らのシステムではこの問題を可展開パッチの集合による形状表現を用いることで凹凸のない滑らかな局面の紙模型を作れることを提案した。

本論文では動物の革細工を対象としてこれらのようなデザイン支援システムを目指す。革細工の動物はもともと1枚の革から作られるものであり、多くの型紙から模型を作

ってしまうと見た目があまり良くなってしまふ。しかし初心者には少ない型紙で模型となるものを想定しながら作るのは非常に手間がかかりまたうまくいく保証もない。そこで本論文では初心者でも3Dサーフェスモデルを入力するだけで簡単に目的の型紙を作ることができるシステムを提案する。

3. 提案システム

3.1 制約

ペーパークラフトやぬいぐるみとは異なり、本研究で対象としている革細工は一枚の革から作られるものである。そのため複数のパーツに分解することを許さず、また展開した時に型紙の重なりも許されていない。さらに一枚の革から立体形状を作り上げるため、3次元形状と対応する2次元形状のそれぞれの面積が変化しない、つまり伸びてはいけないという制約を持つ。

3.2 システム構成

本システムの構成は以下とする。

- (1) MacBook Pro (Retina, 13-inch, Early 2015), プロセッサ 2.7 GHz Intel Core i5, メモリ 16 GB 1867 MHz DDR3, グラフィックス Intel Iris Graphics 6100 1536 MB
 - (2) Blender2.79と実装したプラグイン
- これらのシステムの上でリアルタイムに稼働する。

3.3 システムの流れ

まずユーザは図2のように自分の作りたい動物のモデルをBlender上に入力する。入力した後はBlenderのツールシェルフを開きアドオンを実行することによって、様々な操作を行っていく。モデルを半分にする処理をするなど本来Blenderの操作を熟知していないと行うことの難しい操作やモデルに対してレイを飛ばすなどBlenderの操作にないものをツールシェルフのボタンを押すことでワンクリックでその処理を行うことができる。

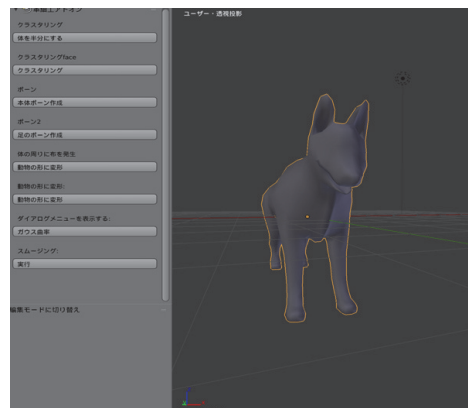


図2 入力した犬の3Dモデルと革細工アドオンのツールシェルフ

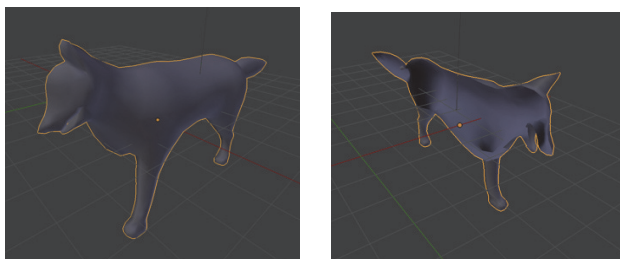


図 3 右) 右から見た半分になった犬のモデル ; 左) 左から見た犬のモデル

最初にユーザは動物の体を半分にする必要がある。これは半分にするだけで型紙として展開しやすくするためであり、また動物は基本的に左右対称なので半分して作っても問題ないためである。図 3 は半分にされた動物のモデルである。半分にしたのちに頭の部分と胴体の部分を切り離す必要がある。頭は耳や口など複雑に作られている部分が多く半分にしてもうまく展開することができないためである。そのため頭は簡易化させる必要があり胴体と分離させて型紙を作ることにした。ユーザは頭の部分を選択する必要がある。頭と胴体が切り離されたらそれぞれの部位に対して展開を行っていく。胴体では革細工を作るのに不要な部分のメッシュを消す必要がある。図 4(左)は不要な部分を切り取った胴体のモデルである。

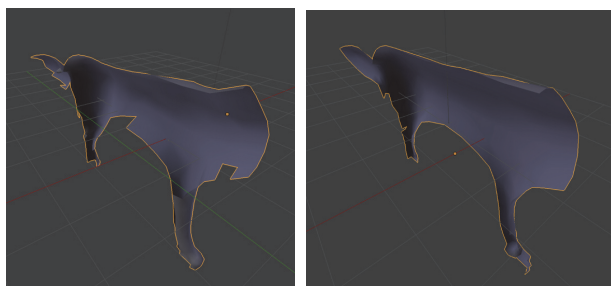


図 4 不要な部分を切り取った胴体のモデル(左)と外形ストロークのスムージングとメッシュの再配置を行なった後のモデル(右)

次に外形のストロークを行い外形を滑らかに整える。メッシュごと不要な部分を切り取ったため外形がメッシュの形になってしまっていて非常に不自然だからである。そしてメッシュの再配置を行うことによりガウス曲率を 0 に近づけ歪みを小さくする。(図 4 右)メッシュの再配置では全ての頂点に対して対象の頂点とその頂点と隣接している頂点群の平均をとる処理を行った。

歪みを十分小さくすることができたのちに、UV 展開を行う。図 5 のように UV 展開をすることで型紙がどのくらい歪んでいるのかを色によって判断することが可能である。Blender では ABF と LSCM のどちらかを選んで展開することができる。

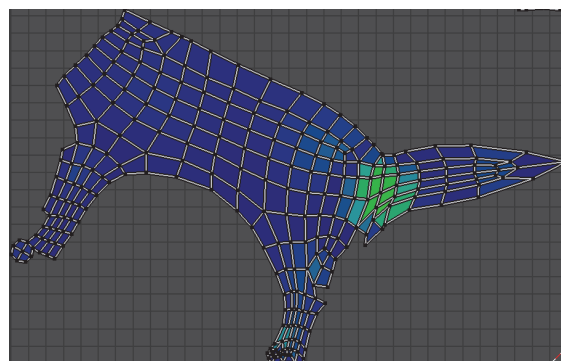


図 5 UV 展開を行った胴体の型紙

頭はまず頭のモデルの簡易化を実行する必要がある。図 6(左)は簡易化させたモデルを使ってどのような頭の形になったかを示した画像である。元のモデルの形と比べるとシンプルになり展開がしやすくなっていることがわかる。次に胴体と同じ操作を施して頭の型紙を作成する。頭を展開させた結果を図 6(右)に示す。型紙を展開し終わったら、図 7 のように画像として出力することで型紙を得る。

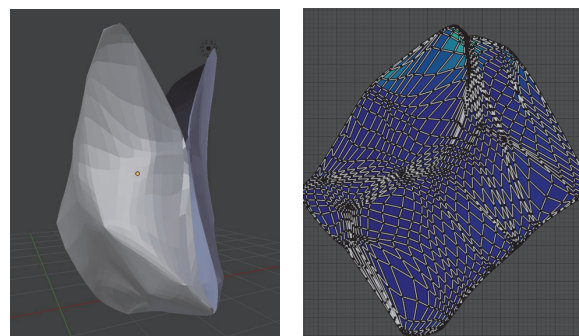


図 6 簡易化させた頭のモデル(左)と型紙(右)

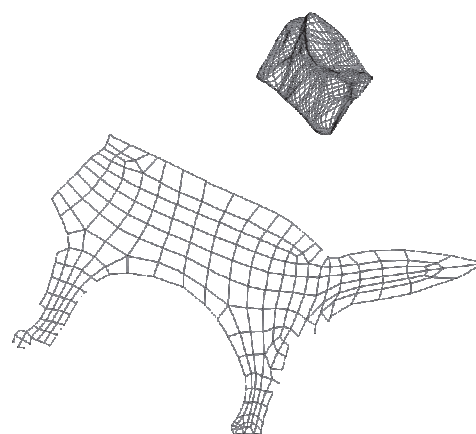


図 7 出力された画像

4. アルゴリズム

4.1 入力するモデルの制約

本システムでは作成したい対象の動物の 3 次元サーフェ

モデルを入力する。システムに必要なものは頂点データ、辺データ、面データである。テクスチャ情報やマテリアル情報などは必要ない。対象とする形状は左右対象であり4足歩行の動物にターゲットを絞ることとした。何故ならばこれだけにターゲットを絞っても多くの動物が表現可能であるためである。また鳥や魚のようにターゲットを増やしてしまうとユーザの手による修正が増えてしまい、操作が複雑化してしまうためである。これは「初心者が簡単に動物の革細工を作る」という本来の目的を満たせなくなるため今回はターゲットにしないことにした。

また3次元モデルは頂点数をおよそ500~1000個に簡略化させたサーフェスモデルを使用する。既存3次元モデリングソフトなどで編集してから入力するか、blenderで簡略化処理を施す。1枚革で、革を曲げて模型を作るため複雑な動物の顔は表現することが難しい。そのため顔の部分のみ簡易化させる必要がある。本来動物の革細工は一枚の革で大まかに動物の形を模るものであり3Dモデルの複雑な顔の形状を細かく再現する必要はなく簡易化させても問題ない。

4.2 システムのデータ構造

Blenderで頂点、辺、面の各データを扱うにはBlender内の情報と取り出す必要がある。Blenderにはpythonが内蔵されており、内部コマンドを制御することにより様々な情報を入手することができる。bpyモジュールをインポートすることによりBlenderのデータをスクリプトで処理することが可能になる。また内部メッシュ編集はbmesh APIを用いて頂点、辺、面の各データを操作した。

4.3 光(レイ)の交差判定

立体のまま展開すると歪みが強くなってしまい目的の形にするには難しい。そこで動物は基本左右対称になっていることを利用し動物を半分に割ってから展開することにした。x座標が0より大きい頂点を残し他の頂点を削除することで半分にすることができる。入力されたモデルはサーフェスモデルなためこのような作業を行うことで平面に近づけることができる。しかしそれだけではまだ歪みが強い。革細工として使わないお腹の部分や足の裏の部分などのメッシュを消すことにした。モデルの下からモデルにレイを飛ばし、モデルと交わった部分の面を選択する。図8が実際にモデルに行った時の結果の図である。その次にモデルの斜め上からレイを飛ばし交わった面の選択を解除する。図9が実際に行った時の結果の図である。このようにすることで革細工を作る時に不要な部分のメッシュを消しつつモデルを一枚の型紙に展開する時の歪みを小さくすることができる。

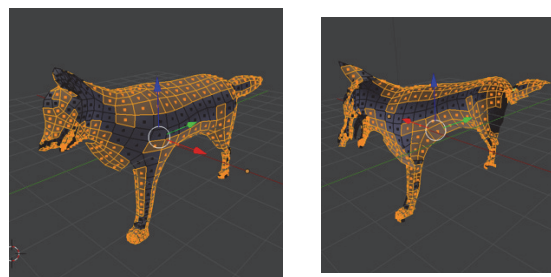


図8 UV展開を行った胴体の型紙

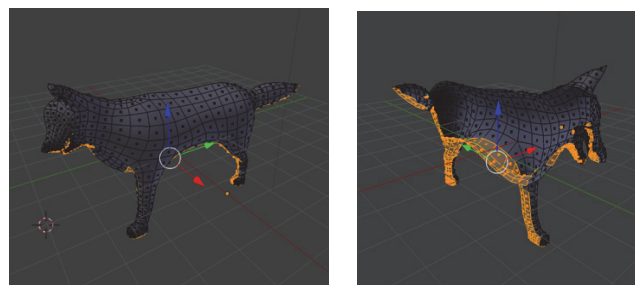


図9 斜め上からレイを当て交わったメッシュの選択を解除した時に残る選択されたメッシュ

4.4 外形ストロークのスムージングとメッシュの再配置

前節で行った不要なメッシュの消去作業により残ったモデルの外形ストロークがメッシュの形状になってしまうことを防ぐために、外形ストロークのスムージング機能が必要である。この機能によりガタガタになってしまったモデルの外形ストロークを滑らかなストロークに戻す。またUV展開をする前に、メッシュの再配置を行った。これにより外形近くのメッシュの歪みを分散させることができる。メッシュの再配置は全ての頂点に対して行われる。対象の頂点とその頂点と隣接している頂点群の平均をとることで滑らかな曲線にすることが可能である。このときに一つの頂点ごとにメッシュを更新すると平均をとった後の頂点が他の頂点の平均化に使われてしまう。こうなると形状が大きく変わってしまうので全ての頂点の再配置計算が終わった後にメッシュを更新すること必要がある。メッシュの再配置をすることでガウス曲率が0に近づき歪みが減っていることを確認することができた。

ガウス曲率は曲面の形状を表していると言える。これは本来滑らかな曲面に対して定義されているものであるが、多面体のように三角形分割された面から構築される形状に対して頂点にその周囲の曲率が集中したとみなし、近似的にガウス曲率を計算することができる。この近似ガウス曲率の計算手法はある頂点に対してその頂点を含む周囲の三角形の要素から計算する。この近似ガウス曲率 K は以下の計算式(1)から求めることができる。

$$K = \frac{2\pi - \sum_i \theta_i}{S/3} \quad \dots(1)$$

$\sum_i \theta_i$ とは対象の頂点を持つ角度の総和であり S は対象の頂点を持つ面の面積の総和である。この計算式から図 10 の α が小さければ小さいほどガウス曲率が 0 に近いといえ歪みが小さく平面展開が可能であると言える。

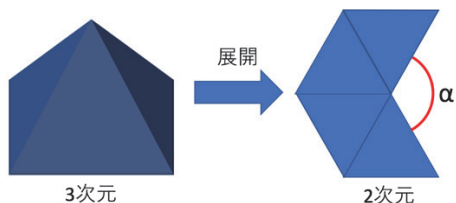


図 10 頂点に対する近似ガウス曲率

4.5 頭部の簡略化

本来革細工はシンプルな作りでありモデルが精密に作られて入ればいほど不要な情報が増え型紙に展開するのが難しくなってしまう。そのためモデルが精密に作られる顔の部分は事前に blender 上で簡略化させてから展開させることとした。そのためこのシステムでは胴体と頭を切り離し別々に展開する必要がある。この頭と胴体の切り離しはユーザの手作業によって行われる。

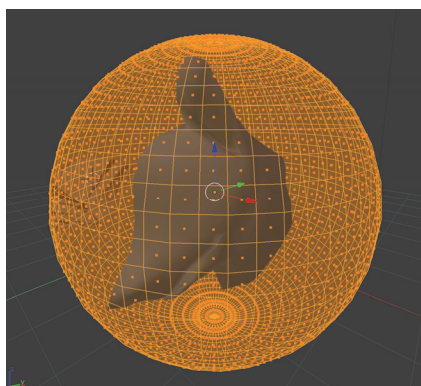


図 11 簡略化させたいモデルの周りに球体を設置

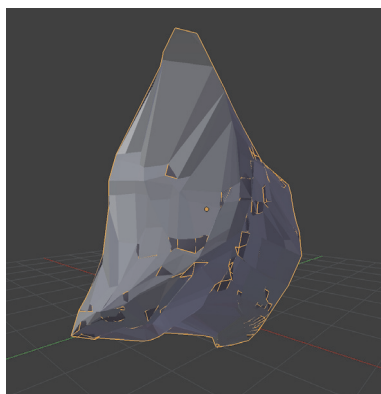


図 12 最も近いターゲットの頂点にメッシュを収縮させた

簡易化の手法としてモデルの周りに球体モデルを設置させ球体の頂点を簡易化したいモデルの最近接頂点に移動させるという方法をとった。これによりポリゴン数を減らして口などの革細工に必要な部分を除く目的の形に近いものを作ることができるようになる (図 11, 12)。

4.6 UV 展開の歪みの確認

4.3 節から 4.5 節の工程を行うことで歪みの少ない型紙への展開が可能になった。そこで Blender の機能にある UV 展開を使って型紙を作ることにした。Blender では展開した時の歪みを色によって知ることができる。元の 3 次元の面と展開した 2 次元の面の面積の歪みが小さい順に青、緑、黄、赤と表示される。これによりユーザは展開図がどのくらい歪んでいるのかを知ることができる。普通の球体を中央に切れ目を入れて展開したものを図 13 に示す。外側にくにつれて歪みが大きくなっているのが確認できる。この機能を使うことで 4.3 と 4.4 の工程を行うことにより UV 展開の歪みが小さくなっていることが確認できた。図 14 には犬のモデルを頭以外展開した結果を示す。歪みを小さくすることに成功しているのがわかる。ツールシェルフの出力のボタンを押すと頭と体の型紙が PNG 形式で出力される。頭と体を左右対称に組み合わせることで型紙にすることができる。

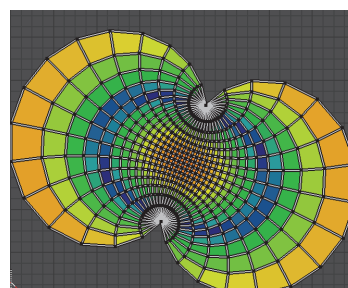


図 13 球体を UV 展開した結果

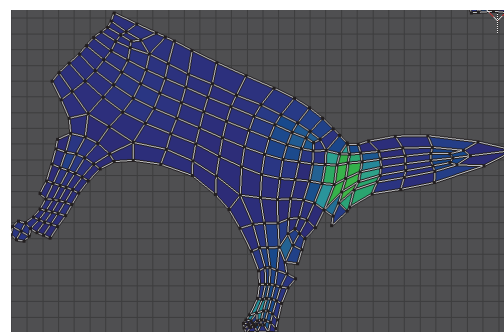


図 14 歪みが少なくなった型紙

5. 結果

2 枚の型紙から犬の模型を制作した(図 15, 16)。本来の革細工では一枚の型紙から模型を作るが本システムでは頭と胴体を切り離して型紙を出力したため図 15 のように 2

枚の型紙が必要となった。このため模型にする際に首の部分をホチキスにより接合した。顔の型紙ではメッシュが集中している部分を補助線として記入しその部分を曲げることにより犬の顔の形に変形することができた。しかし顔を簡易化させているためこのシステムでは複雑な造形の顔を持つ動物には不向きであることがわかった。本システムによっておおよその型紙を作り、その型紙をユーザが修正することで複雑な形の革細工を作ることが可能になる。



図 17 出力した型紙 上が頭で下が胴体の型紙



図 18 本システムでデザインした型紙を用いて制作した犬の革細工

6. まとめと今後の課題

本稿では初心者でも簡単にオリジナルデザインの動物の革細工が作れるシステムを提案した。実際の革を用いて立体を作成してしまうと、革は何度も濡らしたり乾かしたりすることはできないため、形を一度でうまく作らなければならない。また、思った通りの3次元形状にならなかった場合は型紙に戻ってデザインし直す必要がある。本提案システムであらかじめシミュレーションを行い、本提案システムではモデルを入力することで型紙を入手することができるため型紙を作る手間が減り初心者が革細工作成に対し

て難しく感じている工程がなくなり参入しやすくなった。

現状では胴体と頭を分けて展開したため2枚の型紙から模型を作成することになっている。本来動物の革細工は一枚の革からできており接合する箇所がないため、今後は一枚の革から作れるようにすることでよりクオリティの高い革細工が作ることが可能と考えている。また3次元から2次元への編集を可能にすることで、よりインタラクティブなシステムへと発展させたい。現状では平面として生成したものを折り曲げているが、紙ではなく革という素材であるため、革の素材を考慮したシステムへと発展させたい。

謝辞 本研究の一部は JST さきがけ(JPMJPR16D1)の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 小山 裕己, 五十嵐 健夫, 井尻 敬, 稲田 慎, 黒崎 健一, 白石 公, 中沢 一雄. 三次元心臓モデルのリアルタイム形状変形を実現するマルチタッチインタラクションシステムの技術開発. 医療情報学, vol. 34, no. 5, pp. 221-232. 2014.
- [2] コウノトリくらぶ/株式会社 足立 革細工動物キット
- [3] [Sheffer 05] Sheffer, A., Lévy, B., Mogilnitsky, M., and Bogomyakov, A., "ABF++: Fast and robust angle based flattening", ACM Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 2, pp. 311-330 (2005)
- [4] Lévy, B., Sylvain, P., Nicolas, R. and Jerome, M., "Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation", in In SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (2002), pp. 362-371, ACM Press (2002)
- [5] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi, Hiromasa Suzuki. "Interactive Cover Design Considering Physical Constraints." Computer Graphics Forum (Proceedings of Pacific Graphics 2009), Vol. 28, No. 7, pp. 1965-1973, Jeju, Korea, Oct. 2009.
- [6] DressingSim LSX http://www.digitalfashion.jp/new/product/dressingsim_lsx/index.html
- [7] Yuki Mori and Takeo Igarashi. "Plushie: An Interactive Design System for Plush Toys", ACM Transactions on Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007), Volume 26 Issue 3, Article No. 45, July 2007.
- [8] 細田翔, 三谷純, 金森由博, "可展面間の交差に基づくトリム処理を組み入れた対話的紙模型用形状構築システム", 情報処理学会全国大会講演論文集, 77巻4号 pp4. 77-4. 78, March. 2015.