

携帯機器上で鶴を折るためのマルチタッチ操作の提案

田中 建伍^{1,a)} 山下 笑香^{1,b)} 田邊 浩亨^{2,c)} 川上 武志^{2,d)} 笹倉 万里子^{1,e)}

概要: 本稿では、携帯機器上でマルチタッチ操作を用いて鶴を折るために考慮しなければならないインタラクション上の問題点とそれに対する解決案を述べる。われわれは現実世界での折り紙の折り方に近い操作で携帯機器上の折り紙を自由に折ることのできるインタフェースの実現を目的として、携帯機器上でマルチタッチ操作を用いた折り紙体験システムを開発している。従来のシステムでは、基本的な折り方である谷折りと山折りのみが折れ、鶴を折る為に必要な花弁折りや中割り折りなどを折ることができない。携帯機器上の折り紙を現実世界での折り紙の操作に近い操作で自由に折ることのできるインタフェースを構築することを目的とし、本稿では、鶴を折ることのできるインタラクション操作を提案する。

A proposal of multi-touch operation for folding paper cranes

KENGO TANAKA^{1,a)} EMIKA YAMASHITA^{1,b)} HIROYUKI TANABE^{2,c)} TAKESHI KAWAKAMI^{2,d)}
MARIKO SASAKURA^{1,e)}

Abstract: We describe the problems and solutions for folding paper cranes on an origami system for the mobile device using multi-touch operations. We have developed an origami system in which we can fold origami freely. Since the current system has ability of making only valley and mountain folds, we cannot make an origami crane. To make an origami crane, we must make other complex folding such as petal fold and split fold. In this paper, we propose a multi-touch operation design including operations for petal and split fold so that we can make an origami crane on the system.

1. はじめに

折り紙とは、紙を折ってさまざまなものの形を作る遊びであり、またそれに使う紙のことである。折り紙は古くからある日本の遊戯として知られているが、近年、様々な観点から研究の対象になっており、産業用途にも折り紙の技術が用いられているものもある [1]。

われわれは、現実世界での折り紙の操作に近い操作で計算機上の折り紙を自由に折ることのできるインタフェースの実現を目的として、携帯機器上でマルチタッチ操作を用いた折り紙体験システムを開発している [2]。この折り紙

体験システムは、計算機上の折り紙を任意の場所で谷折りや山折りで折ることができ、紙飛行機など谷折りのみで折ることのできる折り紙を折ることが可能である。しかし、構築した折り紙体験システムでは谷折り、山折り以外の折り方ができないため、例えば鶴を折ることができない。

そこで、さまざまな折り紙を自由に計算機上で折ることのできるシステムを構築を最終的な目標とし、本稿では、鶴を折るのに必要な折り方の操作方法を提案する。第2節では、鶴を折るために必要な折り紙の折りの技法について述べる。第3節では、計算機上の折り紙で、鶴を折るための問題点について述べ、第4節では、問題点を解決するための方法とマルチタッチ操作によるインタラクションについて述べる。第5節で考察と今後の展望について述べる。

2. 鶴を折る際の折りの技法

まず、現実世界で紙を用いて鶴を折る際の手順を確認す

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
UO, Okayamashi, Okayama 700 - 0082, Japan

² アイビーシステム株式会社
I.P.SYSTEM INC.

a) kengo@momo.cs.okayam-u.ac.jp

b) underthe@momo.cs.okayama-u.ac.jp

c) htanabe@ipsys.co.jp

d) tkawakami@ipsys.co.jp

e) sasakura@momo.cs.okayama-u.ac.jp

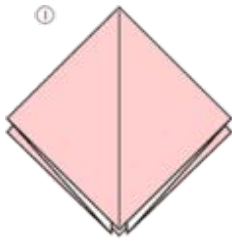


図 1 正方基本形
Fig. 1 Square basic form

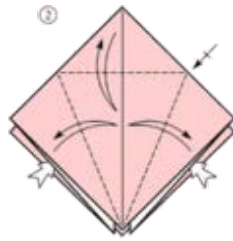


図 2 折り目をつける
Fig. 2 Mark crease

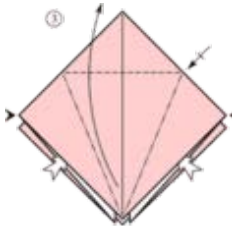


図 3 花卉折り
Fig. 3 Petal fold

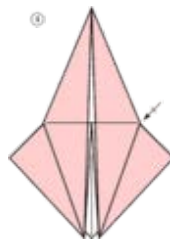


図 4 反対側も花卉折り
Fig. 4 Petal fold
the other side

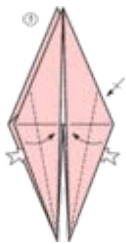


図 5 中心線へ向けて折る
Fig. 5 Fold toward
the center line



図 6 反対側も同様
Fig. 6 As well as the other side

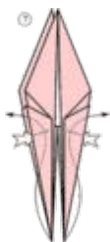


図 7 両側を中割り折り
Fig. 7 Fold in the sides split

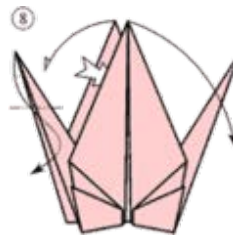


図 8 頭を中割り折り、羽を広げる
Fig. 8 Split fold in the head,
spread its wings



図 9 完成
Fig. 9 Completion

る(図1から図9)*1。

- (1) 正方基本形に折る(図1)
- (2) 点線のように折り目をつける(図2)
- (3) 花卉折りを行う(図3)
- (4) 反対側も同様に花卉折りを行う(図4)
- (5) 中心線に向けて谷折りを行う(図5)
- (6) 反対側も同様に谷折りを行う(図6)
- (7) 両側をそれぞれ中割り折りを行う(図7)
- (8) 鶴の頭を作るため中割り折りを行う(図8)
- (9) 羽を広げるため谷折りを行う(図8)
- (10) 完成(図9)

初めに図1の正方基本形に折る。正方基本形とは、折りを加えられていない初期状態の折り紙の形から、直行する2本の対角線の山折りと、正方形を横に半分にする2本の直行する谷折りで折ったものである。その後折り目に沿って花卉折りを行うと、4つの袋になった二等辺三角形からなる小さな正方形の形になる。

谷折りとは、折り目の線が内側に隠れてしまうように折ることである。花卉折りとは、折り紙が折り重なり、袋のようになっている箇所を広げてから押しつぶすような折り方である。中割り折りとは、折り紙が重なり、開けている箇所へ、折り紙を押し込むような折り方である。

現実世界では、上記の手順で折ることで鶴を折ることができる。第3節では、折り紙体験システムで鶴を折ろうとした際の問題点を述べる。

3. 鶴を折るための問題点

鶴を折るためには、谷折り、山折り以外に次の操作ができなければならない。

- (1) 花卉折り
- (2) 中割り折り
- (3) 頭の部分の折り

谷折り、山折りは折り目を1つつけ、折りたい部分を選択し、折る角度を決めることで折り紙を折る形状が決まる。花卉折り、中割り折りの場合は、谷折りや山折りと同様の方法では、折り紙の折れる形状を決めることができない。これは、花卉折り、中割り折りは、谷折りや山折りを組み合わせ合わせた折り方で、

- 一度に複数の折り目が付く
- 折り目を決めただけでは折り方が一意に決まらない場合がある

という特徴を持っているためである。厳密に言えば、谷折り、山折りも同じ折り目に対して折り方の向きが違う折り方である。われわれのシステムでは、折り方としては谷折りだけを行い、山折りすべき場合は紙を反転して谷折りを行うということで対処してきた。しかし、花卉折りや中割

*1 <http://ja.wikipedia.org/wiki/折鶴>

り折りなどを行おうとするとその方法では対処できなくなる。

例えば、図3から図4への花卉折りの場合、図2でつけた折り目5つに対して、同時にそれぞれ谷折りを行うことで花卉折りを行っている。現実世界では、図3、図4の花卉折りを行う場合、図2のようにあらかじめ折り目を付けていなくても、目的の形状になるように複数の指を用いて折り紙を動かした後、押しえつめることで折り目を付けることもできる。これは指で複数の箇所をもちながら、それぞれの移動先へ持って行くことができるため、可能な折り方である。

指で一ヶ所しか指定することができなかった場合、折り紙の他の箇所には、形状の変化の仕方が複数ある場合があるため、思った通りの形状に折り紙を折れない場合がある。そのため、計算機上の折り紙で、花卉折り、中割り折りをする場合には、折り紙が折れた後の形状が一通りになるように複数の指を用いて操作を行わなければ、折り紙を思ったように折れないと考えられる。計算機上では花卉折りなどを実現するには一度の操作ではなく分割して行うという方法も考えられるが、現実世界の折り紙に近い操作で折るというわれわれのシステムの目的を達成するためには、現実世界と同様に、花卉折り、中割り折りをする際の組み合わせだった谷折り、山折りを同時に行えることが望ましい。

現実世界で指を用いて操作する場合、3次元で折り紙を操作する。計算機上で折り紙を折る際、折り紙の表示は3次元グラフィックスを用いて3次元で行うことができるが、マウスや画面をタッチする操作は、2次元の操作しかできない。現実世界では例えば紙の裏側に対して折りを行う際には、ただ折り紙の向きを変えるだけで操作可能だが、マウスやタッチ操作などの2次元操作で折る場合には、ただ折り紙の向きを変えるだけではなく操作方法にも工夫が必要な場合がある。

第4節では、折り紙体験システムで鶴を折るための改善策とインタラクションについて提案を行う。

4. 折り紙体験システムの改善策とインタラクションの提案

本節では、まずすでに構築している折り紙体験システムの内部構造について述べる。その後、鶴を折る際の問題点の改善策と実際に折り紙体験システムで折り紙を折る際のインタラクションについての提案、折り紙体験システムで鶴を折る際の具体例を述べる。

4.1 折り紙体験システムの内部構造

折り紙体験システムでは、一枚の折り紙を、折り紙を折る際に付ける折り目と周囲の辺で面を分割して扱っている。「折り目をつける」という動作は一つ以上の面についてその面を分割するということを意味する。折り目によっ

て面を分割することで、谷折りを行う際には、分割した面のどちらかは折れ、もう片方は折れないという判断が容易になる。面の分割前と分割後の状態を木構造として扱っているため、前の折り紙の状態に戻ることができ、木の根まで辿ると折り紙の最初の正方形となる。

現実世界で折り紙が複雑な形状に変化する際、指で形状を調整しながら折っていく時がある。これは、紙の性質に以下の点があるからである。

- (1) しなやかに曲がる
- (2) 折り紙の大きさはかわらない

折り紙は紙であり、しなやかに曲がるため、折り目の位置などをしっかり押しえつけて、形状をしっかり決める必要がある。また、折り紙の大きさは、折り紙を追加する、折り紙を切る等をしないうり変わらない。そのため、折り紙のある部分を動かすと、それ以外の部分の大きさ、形状を維持するように勝手に動く。

計算機上の折り紙でも、現実世界の折り紙と同様に紙全体が折り紙としての大きさ、形状を維持するように動く必要がある。古田ら [3] は、計算機上の折り紙にバネモデルを組み込んでいる。このモデルは折り紙の面を構成する全ての頂点間に網羅的にバネが張られているモデルを使用し、バネが釣り合おうとする力を繰り返し計算することで頂点を適切な位置へ移動することができる。バネモデルを用いることで、折り紙の面をゆがみの無い形状へ変化させ、折り紙全体の形状を得ることができる。われわれの折り紙体験システムでは、このバネモデルを用いて、分割した各面の頂点間にバネを張り巡らせ、それぞれのバネにかかる力を計算することで、複雑な形状の変化をした時の各面の形状のゆがみをなくしている。

4.2 鶴を折るための問題点

われわれのシステムでは、谷折りは、1) 折れ目をつける 2) 折りたい箇所を選択して指定した折れ目に対して折る、という操作で実現される。その時、指定された動作は、画面上で一番手前の面に対して行う。鶴を折るためには谷折りに加えて次の折り方ができなければならない。

- (1) 花卉折り
- (2) 中割り折り
- (3) 頭や羽の折り

それぞれの折り方で何が問題になるかを検討する。

4.2.1 花卉折りに関する課題

花卉折りと呼ばれる折り方は、鶴においては二等辺三角形の状態から図1の状態となるとき、図3から図4になるときの二カ所で現れる。

花卉折りの特徴は、一度に複数の折り目に対して折り操作が行われることである。例えば、図2では、図3で行う花卉折りを折りやすくするための折り目の設定を行っている。図2では、すでに紙が2重になっているので合計で6

つの折り目が設定されている。図3から図4に至る花卉折りではそのうちの5つの折り目に対しての折りが実際に行われる。われわれのシステムで実現するには、同時に複数の谷折りをを行うという機能が必要となる。

4.2.2 中割り折りに関する課題

中割り折りは、鶴においては図7と図8において現れるが、頭に関する中割り折りには他の問題もあるので、ここでは図7の中割り折りのみを考える。

現実世界での中割り折りは図7の状態から同時に左右を開くものである。これも同時に複数の谷折りをを行うものと考えることができる。しかし、花卉折りが複数の谷折りが関連し合っただけで必ず同時に行わなければならない形になっているのに比べ、中割り折りの複数の谷折りはそれぞれ独立して順番に行ってもなんら差し支えない。従って、この中割り折りはすでに構築している谷折りを順番に行うことで実現可能である。

4.2.3 頭の部分の折りに関する課題

図8の頭の部分の折り方は、名前としては中割り折りであるが、図7の中割り折りとは異なる問題がある。ここでは、面と面との間に別の面を「はさむ」という動作が行われる。

われわれの折り紙体験システムのように、折り操作を画面上で一番手前の面に対して行うという制約を設けていると、例えば図8の状態から頭の部分の折りを行うことはできない。しかし、折り紙を90度左に回転させるなどすると操作が可能になると考えられる。

4.3 折り紙体験システムのインタラクションの提案

現実世界の折り紙の折り方に近い操作方法で計算機上で折り紙を折るために、われわれのシステムでは折り目を先に設定する折り方と折り紙の移動先を指定する折り方の二つの折り方を用意し、それらを自由に組み合わせて折り紙を折れるようにする。

折り目を先に設定する折り方とは、

- (1-1) 折り目を設定 (複数可)
 - (1-2) 折り目に対して、折りたい箇所を設定
 - (1-3) 折る角度、向きを設定
- の順番に指定する方法である。

折り紙の移動先を指定する折り方とは、

- (2-1) 折りたい頂点を選択 (複数可)
- (2-2) 選択した頂点の移動場所をそれぞれ選択
- (2-3) 折る角度を決定

の順番に指定する方法である。実際のシステムの内部では折り目が必要なため、この方法の場合は指定された頂点の移動前後の座標から自動的に折り目を計算する。

現実世界の折り紙を折る際には、上記の操作をいくつか同時に行うことができる。われわれの折り紙体験システムでも現実世界の折り紙と同様にいくつかの折りの操作を同

表1 折り紙体験システムの基本操作
マルチタッチ操作 対応する機能

マルチタッチ操作	対応する機能
ピンチイン・ピンチアウト	(1-1)
頂点の長押し	(1-2), (2-1)
ドラッグ	(2-2)
ドラッグもしくはフリック	(1-3), (2-3)

時行うことを可能にするために、以下のマルチタッチ操作を用いる。

- (1) ピンチイン・ピンチアウト (2点タッチ)
- (2) 頂点の位置の画面を長押し (複数点可)
- (3) ドラッグもしくはフリック (複数点可)

ドラッグ操作とは指で画面を押さえたまま動かす操作のことで、フリック操作は指で画面をはじくように動かすことである。ピンチイン操作は2本指を閉じる操作、ピンチアウト操作は2本指で広げる操作である。マルチタッチ操作とそれによって実行できる動作の対応を表1に示す。表中の(1-1)などの番号は折り方の方法の箇条書きの番号と対応している。

ピンチイン・ピンチアウト操作によって折り目を設定する。折り目をつけた頂点は、その折り目を軸にして、折り紙を折る際に位置を変えないよう設定を行うことで、折り紙が現実世界の折り紙を折る時と同じ形状の変化をする。

画面上の頂点を長押しすることで、折りたい箇所、移動させたい箇所を選択する。この操作はマルチタッチ操作により、複数同時に選択することが可能である。一定時間同じ位置を押し続ける長押し操作を折りたい頂点の選択を行うか、同じ位置にとどまらずに2本の指を近づけてピンチイン・ピンチアウト操作を折り目の設定を行うかで、折り目を設定する操作なのか折りたい頂点を選択する操作なのかを区別し、これからどちらの折り方で折るのか判断する。図3、図4や図7のように花卉折りや中割り折りをを行う際の折りの操作で、折りたい頂点を選択し、頂点の移動先へドラッグする際に選択した頂点内の2点を近づける移動や、外側に広がる移動があり、この操作がピンチイン・ピンチアウトと間違った判断をしてしまう恐れがある。このような間違った判断を行わないために頂点を選択し、移動先を設定する操作と、折り目をつける操作で以下のように操作方法を設定している。

- (1) 画面を長押し、ドラッグ、長押しの順の操作で頂点を選択し移動先を設定
- (2) ピンチイン・ピンチアウト操作の際には必ず画面を2本の指でタッチする

頂点を選択し、移動させる操作では、画面を長押し、ドラッグ、長押しの順の操作とし、ドラッグ操作の前後に長押しをすることで折り目をつける操作と区別をする。また、ピンチイン・ピンチアウトで折り目をつける際には、必ず2本の指での操作とすることで、図3、図4や図7の花卉折り、中割り折りの場合のように選択する座標が2点以外の

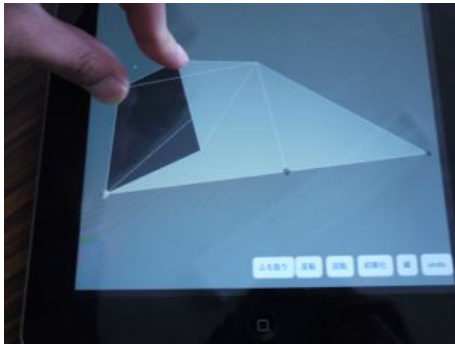


図 10 花卉折りの操作のイメージ
Fig. 10 Petal fold operation

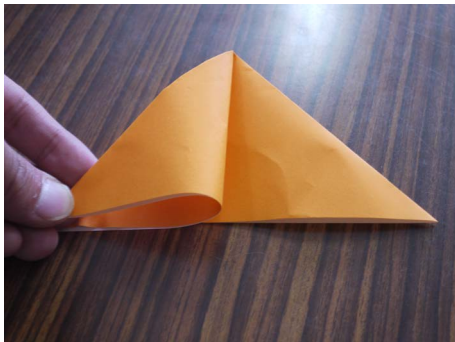


図 11 花卉折りにならない例
Fig. 11 The example I can not be the petal fold

場合は、頂点を選択し、移動先を設定する操作とし問題の解決を行う。ドラッグ、フリック操作は、ドラッグ操作で移動した距離、フリックの速度によって、折る角度を決定する。

これらの操作方法を実装することで、花卉折り、中割り折りを現実世界の折り紙に近い操作で折ることができると考えている。現実世界の折り紙を折る操作と、計算機上の折り紙を折る操作には、3次元の操作と2次元の操作という違いがあり、現実世界の折り紙の操作と完全に同じにすることは難しい。計算機上の折り紙の折りの操作を現実世界の折り紙の折りの操作により近づけるために、計算機上の折り紙を立体的に回転、移動させ、タッチ操作ができる画面上に折り紙の折りたい箇所を持つてくるようにできる必要がある。理想的には、任意の角度に回転できるようにするのがよいと考えられるが、システムを簡略化するために今回は最初の状態から左右方向上下方向にそれぞれ90度ずつの回転のみを可能とする。

4.4 鶴を折る具体的操作

第4.3節で提案したインタラクションを用いて、携帯機器上の折り紙で鶴を折る際の操作を述べる。

図1の正方基本形にする際には、

- (1) ピンチイン・ピンチアウトを行い正方形の対角線上に折り目をつける

- (2) フリック、ドラッグ操作で谷折り
- (3) ピンチイン・ピンチアウトを行い2つの頂点が重なっている箇所から角の2等分線となる折り目をつける
- (4) フリック、ドラッグ操作で谷折り

その後、表裏両方にできた二等辺三角形に花卉折りを行うと正方基本形となる。花卉折りをする際、谷折りを行う時と同じ操作をすると、頂点の移動先は同じでも図11のように谷折りとなり折り紙の形状が異なる場合が発生する。マルチタッチ操作で折り紙の複数箇所の移動を指定することで折り紙の形状の変化の仕方を1通りにする。

- (1) ピンチイン・ピンチアウト二等辺三角形の底辺の対頂点から底辺への二等分線上に折り目をつける
- (2) 谷折りをし、元に戻し、補助線をつける
- (3) 図10の黒い小さい点の部分の頂点を2カ所長押しで指定する。

- (4) 次にドラッグ操作で移動したい位置へ指を動かす。

- (5) フリック、ドラッグ操作で折る角度を決める。

折り紙の形状の変化の選択肢が1通りになるため、花卉折りを行うことができる。

正方基本形から再び花卉折りを行う。(図2,3)図2のように折り目をつけず図3の花卉折りを行う場合、折り目によって面を分割できていないため、目的の形状に変化できない恐れがある。

- (1) ピンチイン・ピンチアウトで図2の3ヶ所の点線に折り目をつける

- (2) フリック、ドラッグ操作で谷折りをし、元に戻し補助線をつける

- (3) 移動する頂点を3つの指で長押しし、それぞれ移動したい場所へドラッグする

- (4) フリック、ドラッグ操作で折る角度を決める

折り紙の形状が複雑に変化するが、バネモデルにより、各面の形状を捉えられると考えている。反転し、同様の操作で花卉折りをし、図5の形状になる。

図5、図6では、ピンチイン・ピンチアウトで図5の点線のように折り目をつけ、フリック、ドラッグ操作で中心に向けて谷折りをし、反転し、同様の操作を行う。ここまでで、図7の形状になる。

図7からは頭と尻尾を折るために中割り折りをし、

- (1) ピンチイン・ピンチアウトで図7の白い矢印の位置に折り目をつける

- (2) フリック、ドラッグ操作で谷折り

- (3) 元に戻す(補助線を引くとともに折り紙の面を分割)

- (4) 90度折り紙を回転(尻尾が正面にくるように)

- (5) 3本の指で中割り折りで間に挟み込まれる部分を2点、中に挟み込む頭の部分を1点長押し選択する

- (6) 中に挟み込む部分を目的の位置へドラッグしながら、他の2点は折り紙を広げるようにドラッグ

- (7) フリック、ドラッグ操作で折る角度を決定

- (8) 中に挟み込む部分を目的の位置へ移動後、ピンチイン・ピンチアウトで中に挟み込む部分の中心線に折り目をつける
- (9) フリック、ドラッグ操作で2点を同様の折り目で90度折る
- (10) 反転し、(4)から(9)と同様の操作を行う
ここまで折ると、図8の形状になる。次に鶴の顔の部分を作る。

- (1) ピンチイン・ピンチアウトで図8の線のように折り目をつける
- (2) フリック、ドラッグ操作で谷折り
- (3) 元に戻す(補助線を引くとともに折り紙の面を分割)
- (4) 3本の指で中割りで間に挟み込まれる部分を2点、中に挟み込む頭の部分を1点長押しし選択する
- (5) 中に挟み込む部分を目的の位置へドラッグしながら、他の2点は折り紙を広げるようにドラッグ
- (6) フリック、ドラッグ操作で折る角度を決定
顔の部分は、非常に細かい操作と現実世界の折り紙で折る時と違い、中に押し込むために重なっている部分を広げて、閉じる操作を分けて行う必要がある、折りの操作、折り紙の形状の変化が難しい問題がある。

最後に羽を広げるため、

- (1) 90度折り紙を回転(羽を正面に向ける)
- (2) ピンチイン・ピンチアウトで折り目をつける
- (3) フリック、ドラッグ操作で折る角度を決定する
- (4) 反転し、(2)、(3)と同様の操作を行う
ここまでで、図9のように鶴が完成すると考えている。

5. おわりに

折り紙体験システムで鶴を折るための問題点を挙げ、その問題に対する解決策とインタラクションを提案した。これらの解決策とマルチタッチ操作によるインタラクションを折り紙体験システムに採用することで、鶴を折ることが可能になると考える。

計算機上の折り紙と現実世界の折り紙を比べたとき、計算機上の折り紙が現実世界の折り紙らしくみえるかという問題がある。計算機上で折り紙を表現する際の一般的な問題として、折り紙の厚みの問題がある[4]。折り重なった際に現実世界の折り紙では紙が重なり、厚みができるが、折り紙体験システムでも、折り紙は平面として扱っているため、折り重なった際に紙と紙が同一平面上に表示され現実世界の折り紙のように表現できない。折り紙の厚みの問題を解決するために、折り紙の厚みを考慮したシステムを実装するか、折り紙を描画する際に折り重なっている部分をずらして描画するシステムを考えている。

現実世界の鶴は、羽を広げる際、軽く引っ張り、鶴にふくらみを持たせることができる。折り紙体験システムの折り紙には、そういった操作ができない。今後そのような操

作の実現も考えたい

本稿で述べたインタラクションを折り紙体験システムで行うことで、携帯機器上の折り紙で鶴を折ることができるようになると思う。しかし、われわれの目標である、「自由に折り紙が折れる」システムにするためには、例えば「風船」のように折り紙が折り重なっている間に、折り紙を挟み込む操作や、「手裏剣」の場合のように、複数の折り紙を合体する操作などが行えるようにしたい。

参考文献

- [1] 日本応用数学会 監修 野島 武敏, 萩原 一郎 編: 折紙の数理とその応用, 共立出版株式会社 (2012).
- [2] 田中 建伍, 川上 武志, 竹島 哲, 笹倉 万里子: マルチタッチ操作による折り紙体験システム, 情報処理学会 インタラクション 2012(2012).
- [3] 古田 陽介, 三谷 純, 福井幸男: マウスによる仮想折り紙の対話的操作のための計算モデルとインタフェース, 情報学会論文誌, vol.48, no.12, pp.3658-3669 (2007).
- [4] 三谷 純, 鈴木 宏正: 折り紙の構造把握のための形状構築とCG表示, 情報処理学会論文誌, vol.46, no.1, pp.247-254 (2005).