

論文名 Title	平坦折紙のCG用幾何モデルの生成手法	A generation method of flat origami model for CG
著者 Author(s)	田中慎一, 金森由博, 三谷純	Shinichi Tanaka, Yoshihiro Kanamori, Jun Mitani
受理年月日 Date of acceptance	2016/3/31	
掲載 First publish	『折り紙の科学』 (“Science of Origami”) 2016/3/31 Vol. 5 No. 1 page 17-27	
備考 Note		

日本折紙学会
Japan Origami Academic Society
www.origami.jp

平坦折紙の CG 用幾何モデルの生成手法

田中慎一 金森由博 三谷純
筑波大学
305-8573, 茨城県つくば市天王台 1-1-1
tanaka@npal.cs.tsukuba.ac.jp
{kanamori, mitani}@cs.tsukuba.ac.jp

A generation method of flat origami model for CG
Shinichi Tanaka, Yoshihiro Kanamori, Jun Mitani
305-8573, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, JAPAN

要約 折紙のように薄い素材が多層に重なってできる形状を忠実に再現した CG 画像または映像の制作には多大な手間を要する。そこで本稿では、平坦折紙を対象として写実的な CG 制作に利用可能な幾何モデルを生成する手法を提案する。提案システムでは、ORIPA により計算された折りたたみ構造情報を用いて、紙の厚みを考慮した平坦折紙の幾何モデルを自動生成することができる。また、その形状の微調整を行うためのユーザインタフェースの実装も行った。この手法により、紙の厚みや紙のずれ形状を考慮した平坦折紙の CG 用の幾何モデルを容易に作成することができる。

Abstract: It is not easy to create geometrical models like origami, which consist of thin sheets overlapping in layers. Therefore, it takes much time and effort to make realistic CG of origami. In this paper, we propose a new method for generating geometrical models of flat origami. We develop a system that automatically generates a geometric model with paper thickness by referring to configurations of the folded structure calculated by ORIPA. Also, we develop a user interface that can perform fine adjustment of the shape with the model. Our approach makes it easier to create geometric models of flat origami for CG, while considering paper thickness and misalignment.

Keyword : flat origami, modeling.

1. はじめに

写実的な CG 画像や映像を作成するためには、対象とする物体の幾何形状を詳細にモデリングすることが重要である。しかしながら、折紙のように薄い素材が複雑に折り重なってできる形状の幾何モデルを作成することは容易ではない。そのため、折紙の形状を忠実に再現した CG 作品の制作には多大な手間を要する。そこで本研究では CG 制作に利用可能な折紙の幾何モデルを簡易に生成できる手法を提案する。

写実的な折紙の CG 作品を制作するためには、紙の厚みによって生じる立体形状や紙のずれ形状までモデリングする必要がある。これらのことは紙が平坦に折り重なっているような部分の形状を作成する際に特に重要であるため、本研究では平坦折紙を対象として扱うこととした。平坦折紙の構造を計算機上に構築する手法はこれまでに研究されているが、

既存研究の多くは紙の厚みを考慮しておらず、これらの手法でモデル化された平坦折紙の形状情報には紙の厚みにより生じる立体形状が含まれない。そのため、平坦折紙は厚さ 0 の平面多角形が同一平面上に重なった状態で表現され、そのままレンダリングを行っても本物らしく見えない。提案手法では、ORIPA[6]から出力される平坦折紙の折りたたみ構造情報を基に、紙の厚みや紙のずれ形状を考慮した平坦折紙の CG 用の幾何モデルを生成することができる。

2. 関連研究

本節では、本研究に関連する既存研究について記述する。はじめに平坦折紙のモデル化に関する研究について、次に折紙の CG 用の幾何モデル生成に関する研究について述べる。

2.1 平坦折紙のモデル化に関する研究

これまで平坦折紙の構造を計算機上にモデル化する研究が行われてきた。Kato ら[2]は、折り図画像に含まれる記号情報から折り操作を解析し、計算機内の折紙モデルを逐次更新することで計算機上に折紙形状を取り込む手法を提案している。三谷[4]は、表裏に 2 次元バーコードが分散配置された紙を用い、それを折りたたんだ状態を撮影した画像から折りたたみ構造を認識して計算機上にモデル化する手法を提案している。また、三谷の開発した折紙の展開図専用エディタ ORIPA[6]には、平坦折紙の展開図を入力として、その折りたたみ後の面と面の重なり関係を構築する手法が実装されている。しかしながら、これらの手法でモデル化された折紙は、厚さ 0 の平面多角形の集合として表現され、紙の厚みにより生じる立体形状を持たない。そのため、ここで生成されるモデルをそのままレンダリングしても本物らしく見えない。

本研究では紙の厚みにより生じる立体形状を考慮することで、CG 制作に利用可能な幾何モデルを生成することを目指す。紙の厚さを考慮に入れた折紙の研究としては、横山ら[3]の研究が挙げられる。横山らは厚さを持った紙を平坦に折るシミュレーションを行い、その際に生じる紙の厚みとずれを実際のコピー紙および画用紙を折った場合との比較実験を行っている。しかしながら、横山らの手法で作成可能な形状は、4 つ折りや 8 つ折りのような、紙を折り重ねていく操作で作ることのできるものに限定される。本稿の提案システムでは、ORIPA[6]によって折りたたみ構造を計算することが可能な平坦折り紙を扱うことができる。

2.2 折紙のモデリングに関する研究

CG 制作に用いるための折紙の幾何モデルの生成に関しては、Nistch[8]が 3DCG 制作ソフトウェア Maya を用いて折紙の CG 作品を作成する方法について述べている。折紙のように面が多層に折り重なる幾何モデルを作成する際には、実際に紙を手で折る場合と比べて複雑で煩雑な操作が必要になることが多い。例えば、現実世界において重なった紙をまとめて折る操作は容易な作業であるが、モデリングソフトでこれを行う場合、折り操作の回転軸との距離に応じて、重なっている面の配置をそれぞれ微調整する必要がある。また、面の自己干渉が起りやすいということからも、手作業でモデリングを行うことは容易ではない。Miyazaki ら[1]や古田ら[7]は、マウスを用いた折紙のシミュレータの研究および開発を行っている。また、Paczkowski ら[10]はマルチタッチ・インタフェースを用いて、紙のような薄い素材のモデリングを行うためのシステムを開発している。これらのシステムは

紙の形状モデリングに特化しているため、簡単な構造の折紙であれば直感的に作成できるようになっている。しかしながら、前述した重なった面を折る操作など、そもそも 1 枚の面からすべて手作業で折紙のモデリングをすることは困難である。自動で折紙の形状を構築する手法としては、Tachi[9]の開発したシステムが挙げられる。Tachi は、剛体折り可能な折紙を対象として、その制約条件に基づく面の動きをシミュレートすることで、折紙の展開図からそれを折ってできる形状を生成する手法を提案している。制約条件により望んだ形状を得ることが難しい場合もあるが、ユーザがすべて手作業でモデリングを行う場合に比べて手間はかからない。また、2.1 節で述べたような手法で折紙を計算機上に構築する場合、折紙は複数の平面多角形が同一平面上で重なっているような状態で表現されることが多い。三谷ら[5]は、そのような折紙の 3 次元構造を視覚的に容易に理解できるような、ノンフォトリアリスティックのレンダリング手法を提案している。この手法はレンダリングを行う前にレンダリング対象の折紙モデルの幾何形状を再構築する点に特徴がある。しかしながら、三谷らの手法は折り図のようなイラストの生成を目的としているため、構築される折紙の幾何モデルの形状はデフォルメされたものであり、そのままレンダリングしても本物らしく見えない。

本稿の提案手法では、システムによる自動処理で平坦折紙の大まかな形状を構築し、その形状に対してユーザが微調整を行うことで幾何モデルを生成する。そのため、すべて手作業でモデリングする場合と比較して、容易に CG 制作に利用可能な幾何モデルを生成できる。

3. 提案手法

提案手法の流れを図 1 に示す。まず折りたたみ構造情報を読み込み、これに基づいて紙の厚さの分だけ面をずらして配置することで、立体形状を持った幾何モデルを自動生成する。その後、ユーザが幾何モデルの形状の微調整を行い、面にずれや傾きを与えることで幾何モデルが完成される。以降、3.1 節で平坦折紙の折りたたみ構造情報について、3.2 節で立体形状の自動構築について、3.3 節でその形状の微調整を行うためのインタフェースについて順に説明する。

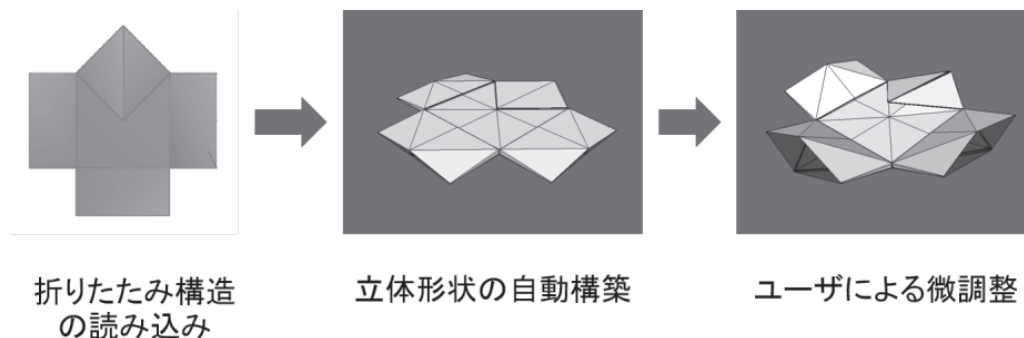


図 1: 提案手法の流れ図.

3.1 折りたたみ構造情報

提案システムでは、ORIPAにより生成される折りたたみ構造情報を入力として扱う。この折りたたみ構造情報は、折紙を構成する多角形の各頂点位置と面の接続関係に関する情報と2面間の上下関係を表す行列で構成される。本稿では、「風車」や「ねじり折り」のように面の重なり順にサイクルが含まれる折紙は対象から外し、2面間の上下関係が定まる折紙を扱うこととした。

3.2 立体形状の自動構築

3.1節で説明した折りたたみ構造情報を用いて、紙の厚さによる立体形状を持った折紙の幾何モデルを生成する。ここでは、厚さ方向での面の配置変更と、接続辺の表現の追加という大まかに2つの処理を行う。以降、これらの処理について順に説明する。

3.2.1 厚さ方向での面の配置変更

3.1節で説明した折りたたみ構造情報において、平坦折紙は同一平面上に重なりあう平面多角形の集合で表現される。このような折紙モデルに対して、三谷ら[5]は、その構造を視覚的に識別できるようにする手法を提案している。本研究では、立体形状の構築のために、まずこの手法を用いることとした。三谷らの手法では、折り紙モデルの構成面を法線方向に一定間隔に再配置することで、折紙全体の厚みを表現する。各面の配置場所は、紙の厚さとその面の重なり順番の積で決定される（各面の重なり順番は、面の上下関係を表す行列から得られる）。ここで問題となるのが紙の厚さである。紙を2つ折りする操作では、全体の大きさが半分になる一方で厚さが2倍になるため、紙の厚さを一定とすると重なりが多い箇所で極端に厚みが生じて違和感が生じる場合がある。横山ら[3]の研究では、折った間に多くの紙が入っていれば外側の紙は内側の紙と自分自身により圧縮されるとして、紙を2つ折りした際の紙1枚の厚さは次式で表現すると実測値に近い値が得られることが示されている。

$$x = d \cdot a^{i-1} \quad (1)$$

ここで、 x は紙1枚の厚さ、 d は基本の紙の厚さ、 a は折り曲げた紙の間に存在する紙の枚数、 i は実際の値とのずれを調整するパラメータであり、 $d = 0.5$, $i = 0.8$ とした際に実測値とのずれが最小であったと述べられている。ここで問題となるのが折紙の大きさであるが、本研究においては「それらしく見える」ことを重視し、試行の結果、上記のパラメータに対して折紙の一辺の長さを200と設定することとした。

しかしながら、平坦折紙を構成する面を厚さ方向に平行に再配置するだけでは、紙が折り重なることで生じる面の歪みを表現することはできない。そこで、提案手法では、前述した三谷ら[5]の手法を適用した後、次のような処理を追加で行うことで、面に歪みを与えることとした。以降、折紙を構築する面（折りたたみ構造の構成要素として元々与えられていた面）を Face、Face を分割して作られる多角形の面を Subface と呼ぶものとする。

Step 1. 厚さ方向に重なる他の Face の輪郭線で Face を Subface に分割する。

Step 2. 厚さ方向の隙間を埋めるように Subface を再配置する。

Step 3. Subface を結合する。

処理の流れを図2に示す。(i)のような Face の集合が与えられたとき、Step 1.では、(ii)のよ

うに Face を Subface に分割する． Step 2.では，(iii)のように Subface の再配置を行う． Step 3.では，(iv)のように Subface の結合を行う．以降，それぞれの Step で行う処理の詳細について述べる．

Step 1.では，三谷[11]の手法を用いて Face の分割を行う．それぞれの Face は，厚さ方向から見たときの他の Face の輪郭線によって，複数の Subface に分割する．図 3 のように，4 つの Face F_1 - F_4 (図左) が重なっているとき (図中)，各 Face をその他の Face の輪郭線で分割する (図右)．例えば，図 3 における Face F_2 は着色された 3 つの Subface に分割される．

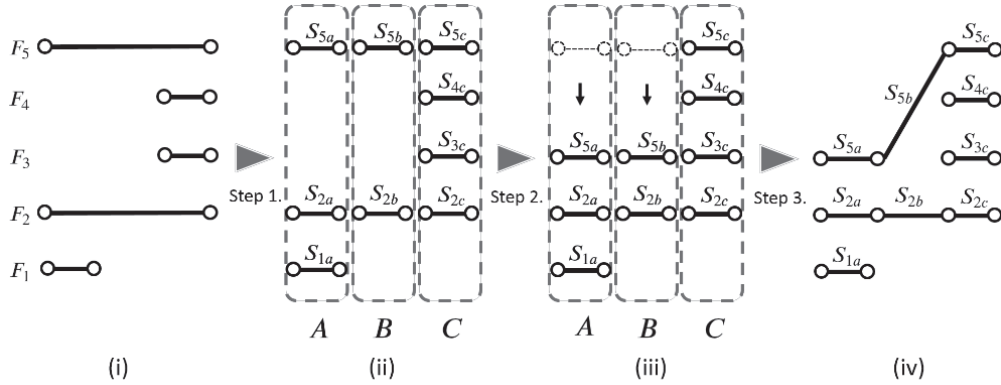


図 2: 追加処理の流れ図．

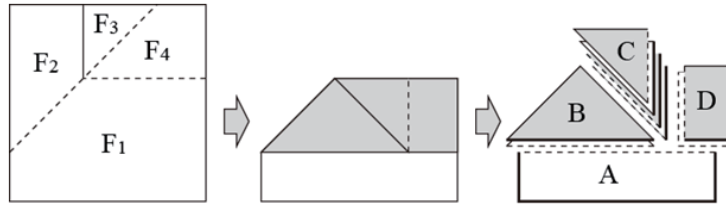


図 3: Face 分割の例 (画像出典: [11]) ．

Step 2.では，法線方向に Subface を再配置する．ここで，法線方向に互いに重なり合う Subface の集合を Subface Group と呼ぶものとする (図 3 の場合，A, B, C, D の 4 つの Subface Group が形成される．各々の Subface はいずれか 1 つの Subface Group に属し，複数の Subface Group に属することはない)．このとき，Subface 間に法線方向の隙間がなくなるように，Subface Group ごとに Subface の再配置を行う．Subface の再配置の例を図 4 に示す．Subface の再配置は Subface Group ごとに行われ，各 Subface の配置場所は，その Subface の Subface Group 内での重なり順番で決定される (ここで，Subface の重なり順番は，法線方向で最も下に重なる Subface の重なり順番を 0 番とした)．図 4 (左) において，Subface Group A に含まれる Subface S_{1a} , S_{2a} , S_{5a} の重なり順番はそれぞれ 0, 1, 2 となる)．重なり順番 k の Subface は，重なり順番 0 の Subface の配置場所から $k \times$ (紙の厚さ) だけ法線方向に離れた場所に配置する．

Step 3.では，同一の Face から作成された Subface を結合する処理を行う．Subface の結合は，Subface を構成する頂点のマージによって行う．Subface 結合の例を図 5 に示す．法線方向の配置場所が等しい 2 頂点の組は，その 3 次元座標も等しいため，マージ前と後で頂点の座標の変化はない．例えば，図 5 (左) において， S_{5a} の右側の頂点と S_{5b} の左側の頂点はそれぞれ異なる位置に図示されているが，実際には 3 次元座標上で同一の位置に配置さ

れている．法線方向の配置場所が異なる 2 頂点の組は，法線方向でより高い位置に配置されている頂点に他方の頂点をマージすることとした．例えば，図 5（左）における S_{5b} の右側の頂点と S_{5c} の左側の頂点の結合の場合， S_{5c} の左側の頂点に S_{5b} の右側の頂点がマージされる．

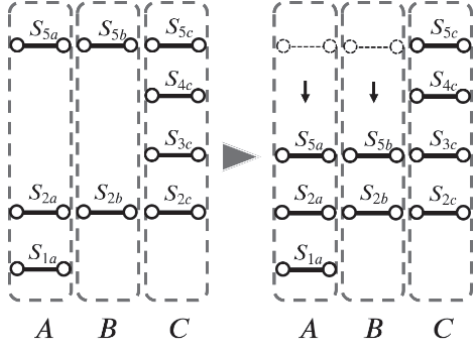


図 4: Subface 再配置の例.

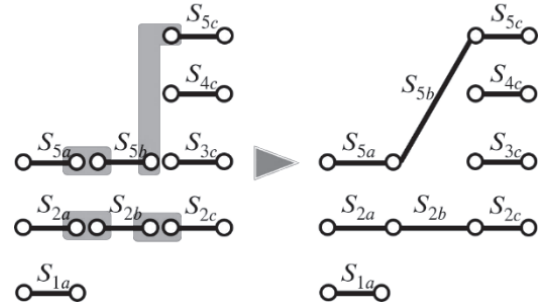


図 5: Subface 結合の例.

3.2.2 接続辺の表現の追加

折紙を構成する面を法線方向に再配置することで重なっている紙の間の隙間や紙の厚みの表現を行ったが，この操作によって法線方向で接続する面が分離されてしまう．三谷ら [5] は，再配置を行った後で接続関係にある面の中に継ぎ手となるような面の追加を行っている．提案手法においても，これに則って継ぎ手となる面を追加する処理を行う．1 つの継ぎ手は 3 枚の四角形の面で構成され，図 6 のように，断面が台形になるように配置される．ここで，一番内側の継ぎ手の高さ（台形の高さ）を h とした場合，それをまたいで配置する継ぎ手の高さは $2h$ となるようにする（ここで，継ぎ手の高さ方向は，平坦折紙の法線方向と垂直であることに注意されたい）．間にある継ぎ手の高さの最大値が nh (n は 0 以上の

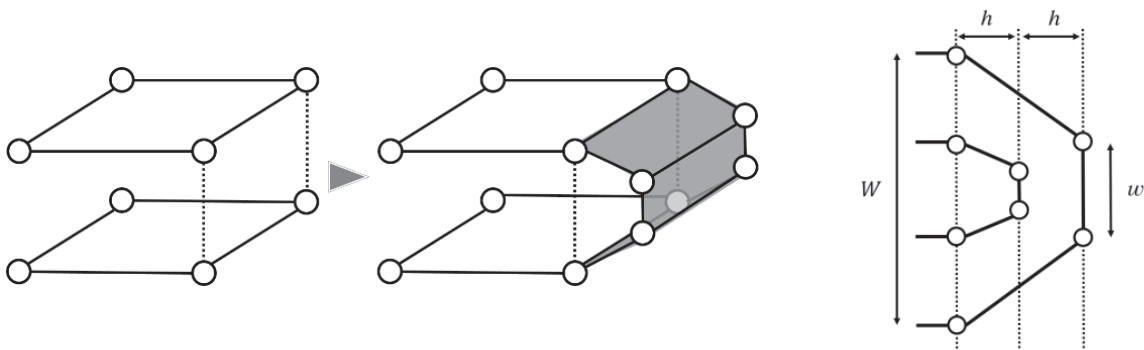


図 6: 継ぎ手を追加する様子.

整数)であった場合は， $(n + 1)h$ となるようにする．三谷ら [5] の手法において h は式(1)で求められる紙の厚さの 2 分の 1，台形の上辺の長さ w は底辺の長さ $W \times 0.6$ とされており，本システムでもこの値を用いた．

しかしながら，三谷ら [5] の手法では，図 7 のような構造において点 A と D，B と C がそれぞれ同一の場所に位置したとき，継ぎ手同士が干渉するという問題が課題として残されていた．本稿で対象とした折紙の中にもこのような構造を持つものは少なくない．そこで，提案手法ではこの問題を解決するため，継ぎ手を作成する前段階において，継ぎ手を作成する辺の両端の頂点をその継ぎ手の高さ方向の逆方向に移動させる処理を行った．その様

子を図 8 に示す. 図は水平方向から見た面の様子であり, 図中の丸と線分はそれぞれ頂点と辺を表す. ある辺 E の移動距離は, E を内部に含む最も大きい継ぎ手の高さに微小な正数 ε を加えた値とした. ε は互いに向かい合う継ぎ手の間に設ける距離であり, 本システムでは, $\varepsilon = 0.05$ と設定した. ここで問題となるのが, 辺 E の両端の頂点の移動方法である. 図 9 に問題となる例を示す. 図は法線方向から見た面の様子であり, 図中の実線の線分は辺を表す. 図左において太く強調された辺は, 継ぎ手を作成する辺 (移動対象の辺) である (図 10-12 も同様). 図 9 に示すように, 単純に継ぎ手の高さ方向と逆向きに移動させた場合, E の両端点の属する面の形状が歪んでしまう. このとき, 元の面からはみ出す部分がある面と干渉を起こす場合がある. そこで, このような問題を防ぐため, ここでは以下のように頂点ごとに移動方法を決定することにした.

(1) 移動する 1 つの辺が接続する頂点 v の移動

図 10 に示すように, 頂点 v を 2 辺 E, E' の端点, 辺 E の移動距離を d とする (辺 E' の移動距離は 0). このとき, 頂点は, 面の法線方向から見た際に辺 E と平行かつ距離が d の直線 l と辺 E' との交点に移動する.

(2) 移動する 2 つの辺が接続する頂点 v の移動

図 11 に示すように, 頂点 v を 2 辺 E_1, E_2 の端点, 辺 E_1 の移動距離を d_1 , 面の法線方向から見た際に辺 E_1 と平行かつ距離が d_1 の直線を l_1 , 辺 E_2 の移動距離を d_2 , 面の法線方向から見た際に辺 E_2 と平行かつ距離が d_2 の直線を l_2 とする. このとき, 頂点 v は 2 直線 l_1, l_2 の交点に移動する. ただし, 図 12 に示すように, 2 直線 l_1, l_2 が交点を持たない場合, 次のような方法で決定する. 頂点 v を端点を持つ辺のうち 2 辺 E_1, E_2 の属する面に含まれる辺をそれぞれ E'_1, E'_2 とする. l_1 と E'_1, l_2 と E'_2 の交点をそれぞれ v_1, v_2 とし, この 2 頂点のうち d_1 と d_2 の大きい方に対応する頂点に移動する.

しかしながら, この移動方法を(2)で l_1, l_2 が平行に近いような場合に適用したとき, 頂点が元の位置からかけ離れた場所に配置されてしまうことが考えられる. このような場合には, 「 l_1, l_2 の交点と頂点 v があまりに離れている場合には, l_1, l_2 が平行であるとみなす」, 「 l_1, l_2 の交点が頂点 v を含む多角形上にできるかで場合分けする」などの方法で対処する必要がある. この問題は, 今後の課題としたい.

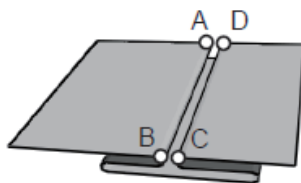


図 7: 辺を近づけたときに継ぎ手が干渉するケース (画像出典: [5]).



図 8: 継ぎ手干渉の回避.



図 9: 辺を単純に移動させた場合.

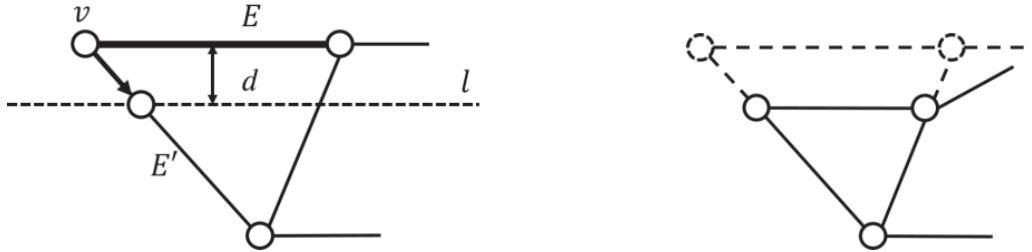
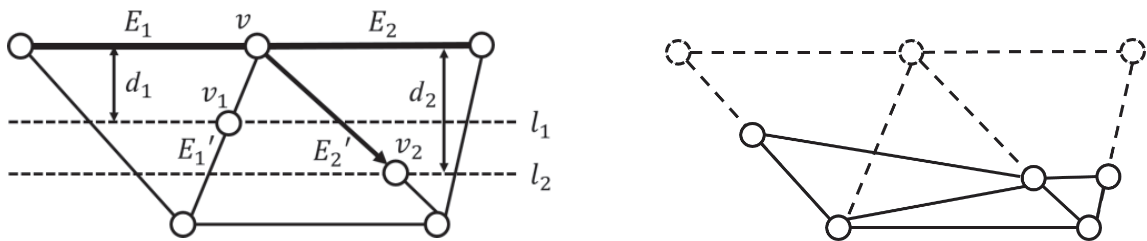


図 10: (1)のパターンの頂点の移動.

図 11: (2)のパターンの頂点の移動 (l_1, l_2 が交点を持つ場合).図 12: (2)のパターンの頂点の移動 (l_1, l_2 が交点を持たない場合).

3.3 形状の微調整

個々の折紙作品特有の細かな形状を作成するために、手作業による簡単な微調整を行うことのできるユーザインタフェースの実装を行った。ユーザは、マウス操作により頂点を移動させることができる。しかしながら、単純に選択した頂点のみを移動させた場合、面の形状が歪んでしまうことが考えられる。ここで、古田ら[7]が提案するバネマスモデルを、本研究において手作業による微調整を行うためのユーザ支援機能として用いた(図 13)。同一の面に属する頂点間に仮想のバネを配置し、これをシミュレートして頂点位置を修正することで、ユーザの微調整により面の形状が大きく歪むことを防ぐことができる。古田ら[7]のシステムでは、頂点にかかる力の数値計算のために次式を用いている。

$$\mathbf{F}_p = \sum_q \left(1 - \frac{L_{pq}}{|\mathbf{r}_{pq}|} \right) \mathbf{r}_{pq} \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{F}_p は頂点 p にかかる力、 k はバネ定数、 L_{pq} はバネの自然長、 \mathbf{r}_{pq} は頂点 q に対する頂点 p の相対位置である。本システムにおいては、 L_{pq} を2頂点 p, q を両端点に持つ辺の初期の長さとした。各頂点の運動方程式の数値計算はオイラー法を用いて行う。式(3)、式(4)により頂点 p の速度 \mathbf{v}_p と位置 \mathbf{r}_p を求めることができる。ここで、 d は減衰定数、 Δt は時間刻み幅であり、古田ら[7]は $d = 0.2$ 、 $\Delta t = 1$ フレームとしている。これらの計算式やパラメータの設定は物理的に正しいものではないが、形状編集操作の支援としては十分それらしい動きを計算できるとして、本システムではこれらを用いて実装を行った（本システムでは60分の1秒ごとに頂点座標の再計算および再描画を行うため、 Δt は実時間では60分の1秒（約0.0167秒）である）。

$$\mathbf{v}_p(t + \Delta t) = d\mathbf{v}_p(t) + \frac{\mathbf{F}_p(t)}{m} \Delta t \quad (3)$$

$$\mathbf{r}_p(t + \Delta t) = \mathbf{r}_p(t) + \mathbf{v}_p(t)\Delta t \quad (4)$$

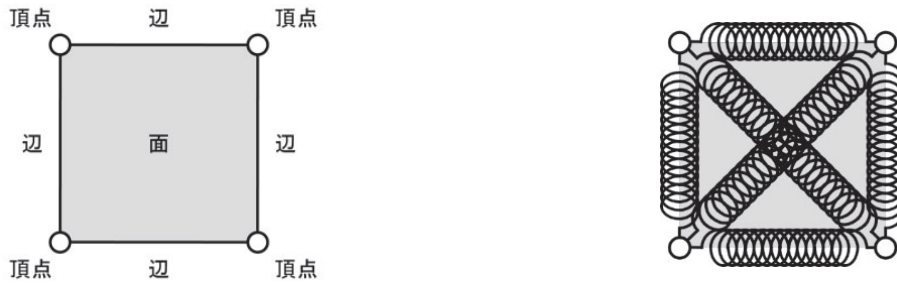


図 13: 古田ら[7]のバネの配置方法.

4. 結果

ここでは提案システムで作成した幾何モデルを示す。幾何モデル生成の様子を図 14 に示す。ORIPA で(a)のように形状推定される折りたたみ構造情報を入力としたとき、提案システムによって(b)のような幾何モデルが自動生成される。これに対して、開発したユーザインタフェースを用いてユーザが形状編集を施すことで(c)のような幾何モデルが作成できた。この幾何モデルの自動生成にかかった時間は数秒程度、手作業による修正の時間は5分ほどであった。これを mentalray for Maya 2015 でレンダリングした画像が図 15 (左) である。この際、レンダリングで得られる表面の質感を考慮して、ノイズ画像をバンプマップとして使用した。また、接続関係にある面の上に継ぎ手表現として追加した面にずれを与えることで、図 15 (右) の右上部分に見られるような、「裏面のはみ出し」表現を行うことができる。面の継ぎ手を追加したことの副次効果として、数値計算によって折紙を計算機上にモデル化した場合に扱うことが難しいこのような現象を容易に再現できるようになった。さらに、図 16 (左) では継ぎ手同士が干渉して隙間がなくなっていたが、継ぎ手の干渉を防ぐ処理を行ったことで、図 16 (右) のように、構造上存在する隙間を忠実に再現することができた。また、その他に本システムを用いて作成した幾何モデルを図 17 に示す。これらの幾何モデルもすべて数分程度で作成することができた。このことから、

提案手法によって CG 制作に利用可能な平坦折紙の幾何モデルを簡単に作成することが可能になったと言える。

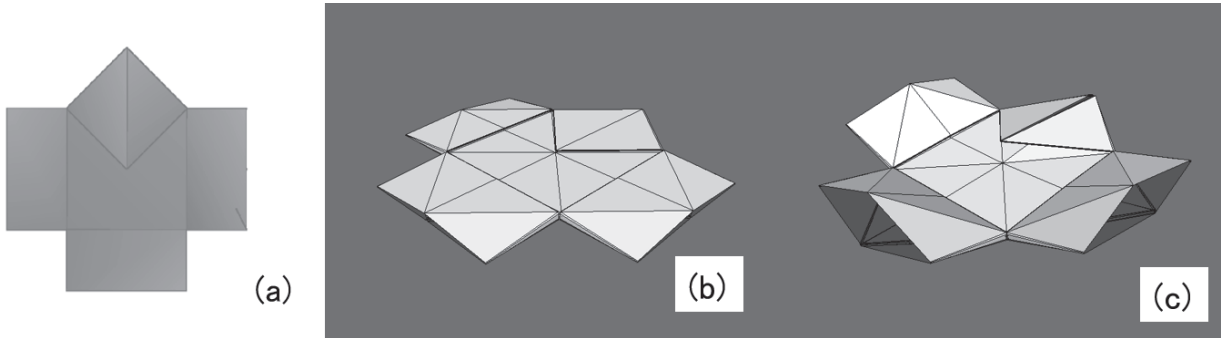


図 14: 幾何モデル生成の様子.

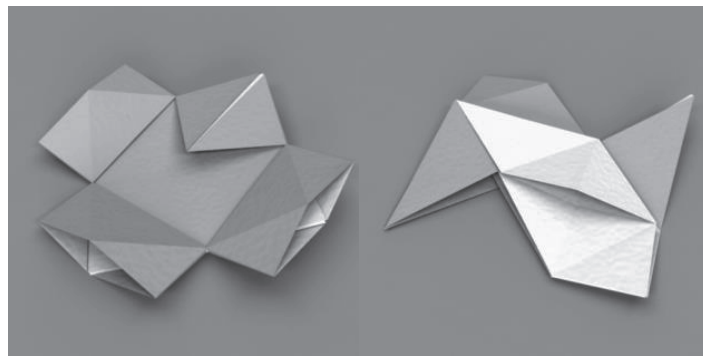


図 15: やっこ (左) とアルファベットの N (右).

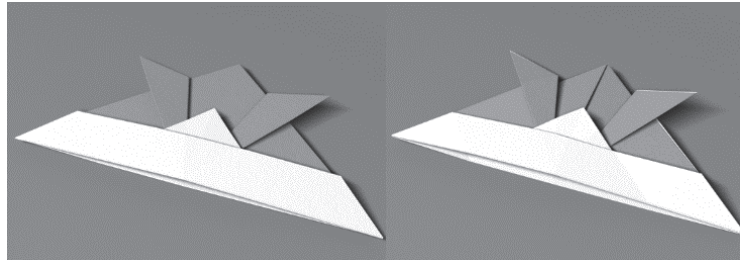


図 16: 継ぎ手が干渉して隙間が埋まっているモデル (左) と隙間が再現されているモデル (右).

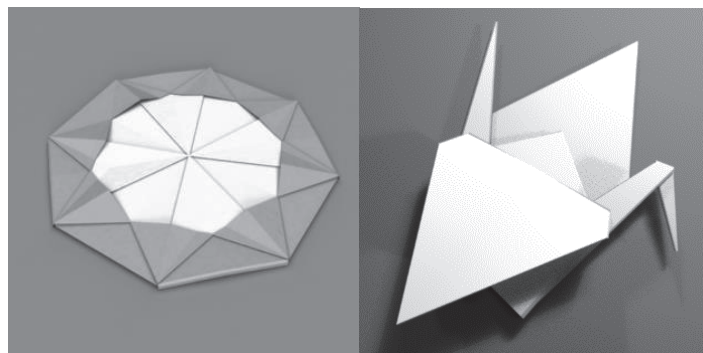


図 17: メダル (左) と鶴 (右).

5. まとめ

本稿では、CG制作に利用可能な平坦折紙の幾何モデルを簡易な方法で生成できる手法を提案した。この提案手法を実装したシステムを用いて、4節で示したような幾何モデルを生成できた。3節で提案した継ぎ手の干渉回避の方法は、今回試した折紙モデルに対してはすべてうまく機能した。しかしながら、各辺の長さが極端に異なる多角形平面を構成面に含むような折紙に対しては、3.2.2節で述べたような問題により、望ましい形状が得られないと考えられる。この問題の解決は今後の課題としたい。また、全て手作業でモデリングした場合との作業時間の差異や、本システムで生成した幾何モデルの満足度をユーザテストによって調査し、システムの評価も行いたい。

参考文献

- [1] Miyazaki, S. , Yasuda, T. , Yokoi, S. and Toriwaki, J. , "An Origami Playing Simulator in the Virtual Space", The Journal of Visualization and Computer Animation, Vol. 7, No. 1, pp. 25. 1996.
- [2] Kato, J. , Watanabe, T. , Hase, H. and Nakayama, T. , "Understanding Illustrations of Origami Drill Books", 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 6, pp. 1857-1873, 2000.
- [3] 横山卓弘, 高井昌彰, "厚さを持った折紙シミュレーションとその評価", グラフィックスと CAD, 101-4, pp. 19-24, 2000.
- [4] 三谷純, "二次元バーコードを用いた紙の折りたたみ構造の認識とモデル化", 情報処理学会研究報告, 2005-CVIM-150, pp. 115-122, 2005
- [5] 三谷純, 鈴木宏正, "折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.
- [6] 三谷純, "折紙の展開図専用エディタ(ORIPA)の開発および展開図からの折りたたみ形状推定", 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 9, pp. 3309-3317, 2007.
- [7] 古田陽介, 木本晴夫, 三谷純, 福井幸男, "マウスによる仮想折紙の対話的操作のための計算モデルとインタフェース", 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 12, pp. 3658-3669, 2007.
- [8] Nitsch, E. J. , "When pigs fly: a study of computer generated paper folding. ", M. S. thesis, Texas A&M University, 2008.
- [9] Tachi, T. , "Simulation of rigid origami. ", Origami, Vol. 4, pp. 175-187, 2009.
- [10] P. Paczkowski, J. Dorsey, H. Rushmeier, and M. H. Kim. , "Paper3D : Bringing Casual 3D Modeling to a Multi-Touch Interface. ", Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 23-32, 2014.
- [11] 三谷純, 折紙研究ノート, <http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/origami/>