

バーチャル折り紙作成システムに関する研究

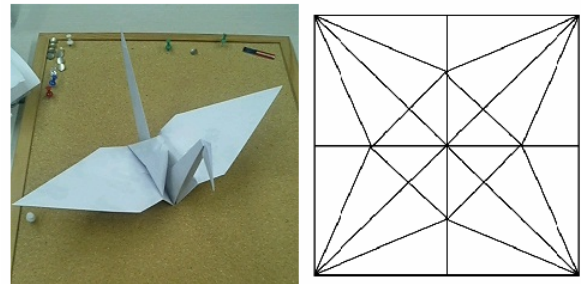
日大生産工（院） ○杉本 祐輔 日大生産工 吉田 典正

1. はじめに

大人でも子供でも外国人でも親しめる日本の伝統的な紙遊びが「折り紙」である。折り紙は日本独特の伝統芸能であり、古来より伝承されてきた折り紙作品の美しさ、紙を折り作品を作り上げる楽しさは世界の人たちにも認められ、現在では「ORIGAMI」という言葉として海外にも広まっている。また折り紙は、できあがった作品だけでなくその作り方を共有できることが他の芸術とことなるところである。

折り紙に関する研究は、数学の分野で多く行われ、一刀切りの問題の解法や三浦折りなどはその成果の一部である。特に幾何学の分野で折り紙を応用した研究が行われており、作品を作る工程を示した「折り図」、「展開図」を設計する手法が確立されてきた。しかし、その他の分野で折り紙について研究を行っているものはほとんどない。コンピュータグラフィックスの分野でも同様に折り紙に関する研究は、図 1(b)のような「折り図」、「展開図」を作成するものが多く 2) 3)、コンピュータ上で折り紙を折る工程での紙らしい振る舞いや出来上がった作品をたわみやふくらみまで考慮してシミュレートする研究に関してはあまり行われていない。コンピュータ上で折り紙を表現し、作品ができあがる様子をシミュレーションすることは、従来の「折り図」、「展開図」では示しにくかった折り紙作品の構造

を表現し折り紙作品の作成を支援するためにも望まれる。



(a) 実際の折鶴 (b) 折鶴の展開図

図 1. 折り鶴と鶴の展開図

近年、コンピュータグラフィックス技術のめざましい進歩により、様々なモデリングがリアルタイムで行われるようになった。しかしながら、有限要素解析などによる高度な物理シミュレーションを応用したモデリング手法では、膨大な計算を必要とするため、インタラクティブ性が低く折り紙のシミュレータのように試行錯誤を繰り返すようなモデルには適さないと考えられる。

本研究では、高度な物理計算は行わず、物理的な正確さはないがコンピュータ上で折り紙を折っている過程での紙らしい振る舞いや出来上がった作品で紙らしいたわみやふくらみを考慮した折り紙のシミュレータの作成を目的とする。

2. 関連する研究

2. 1 布のシミュレーション

紙と似た素材に布がある．1)のようにコンピュータグラフィックスの分野で多く行われている布のシミュレーションでは，縦糸，横糸の交差する点に注目し「質点」とする．そして図1のように質点間をバネで接続するモデルが一般的に使用されている．この質点 - バネモデルをすべての質点に作用させることにより，布のネットワーク構造と性質を表現している．

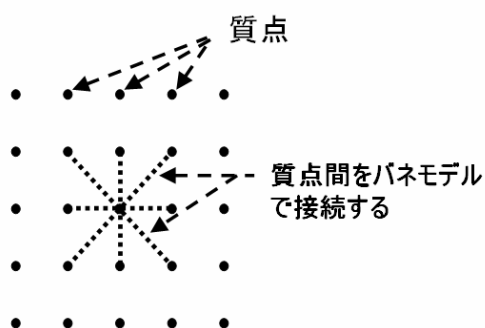
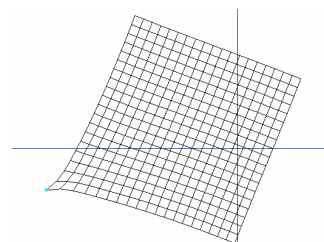
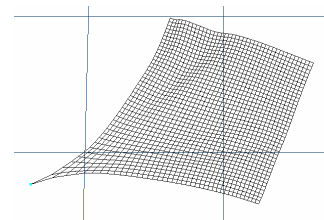


図2. 布のシミュレーションにおける質点 - バネモデルの例

布のシミュレーションモデルの多くは，質点間の力の計算に陽的な解法を用いるのが一般的である．しかし，陽的な解法による時間積分では，1ステップにおいて要素の変移が隣接する質点のみにしか影響を及ぼさない．そのため布のシミュレーションでは，移動している質点から離れたところにある質点に力の影響が及ぶまでに時間がかかってしまう．図3(a)のように質点が小数のシミュレーションであれば，見た目には気にならない程度の遅れではあるが，図3(b)のように質点が多いシミュレーションでは，実際に布が伸びる方向であるせん断方向だけでなく，伸びない縦糸横糸方向にも伸びが起こっているように見えてしまう．



(a) 質点数の少ないモデル



(b) 質点数の多いモデル

図3. 布のシミュレーション

2. 1 折り紙のシミュレーション

折り紙のシミュレーションも2)のように質点 - バネモデルを使用しているモデルがあるが，質点 - バネモデルを使用しているモデルでは，紙の軽やかな動きの表現はできるが，布のシミュレーションと同じく伸びが生じてしまうので紙らしく振舞うモデルであるとは言い難い．また，3)のように2次元により折れ線からの角度を持たないシミュレータでは，実際の折り紙を折っている感覚に近いものは得られるが，マウス操作に頼っているために思ったように折ることが難しいといった問題がある．

3. 折れのアロリズム

本システムでは，折り紙をコンピュータ上で図4のような三角形面の集合として表現する．この面に対して折り曲げる操作を加えていくことで折り紙を作る工程を表現する．

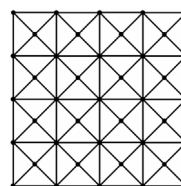


図4. 折り紙モデルの構造

3. 1 折れ線の挿入

面に対して折る動作を行う際に、はじめにどの位置で折り目を作成するかを決定するために折れ線の挿入を行う。多くの折り紙のシミュレータではこの動作にマウスにより自由に直線を引くことで折れ線の挿入を行うが、本システムでは、図 5(a)のように面上にある任意の2頂点 A, B を選択し、その2頂点を結んだ直線を折れ線とする。2頂点を選択すると、 A, B を結んだ折れ線が挿入される。そして、挿入された折れ線と全ての稜線における交差を判定し、図 5(b)のように稜線上の交差が起こる点に新しく頂点を挿入する。面と稜線は新しく挿入された頂点を含めリンク情報を新しいものに更新する。折れ線の挿入により四角形になる面は、図 5(c)のように対角上にさらに稜線を張ることで全ての面を三角形面とする。

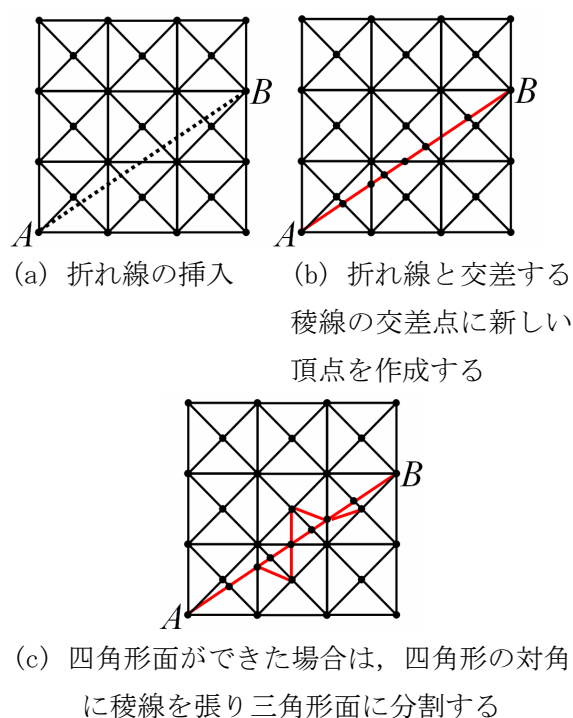


図 5. 折れ線の挿入

3. 2 折り曲げ角の作成

従来の折り紙シミュレータでは、2)3)の

ように折り曲げ動作をマウスにより操作するものが多かった。マウスによる操作は自由度が高く軽やかな操作感が得られるなどの利点はあるが、スクリーン上を2次元で動くマウスにより3次元物体の操作を行うため、折り紙のような正確な操作を要するシミュレーションでは予想外の動きをすることが多く、折り紙のシミュレータにおける操作性が良いとは言い難い。そこで、本システムではインタラクティブ性、操作の正確性を考慮し、折り曲げに対してマウスだけで操作を行うのではなく折れ線を挟んだ面のなす角度を任意に調節することにより折れ曲がりを実現する方法を採用する。

折り曲げる角度の調節をするために、まず折れ線を挟んだ2つの面の角度を求める。折れ線を挟んだ2つの面のなす角度を θ とすると、図 6(a)のように2つの面のなす角度は、図 6(b)の2つの面の法線ベクトル N_1, N_2 のなす角度から求めることができる。図 6(c)のように法線ベクトルのなす角度を θ_1 とすると、 $\cos \theta_1 = N_1 \cdot N_2$ から $\theta_1 = \cos^{-1} N_1 \cdot N_2$ として計算する。2つの面のなす角度 θ は、 $\theta = 180 - \theta_1$ として計算される。

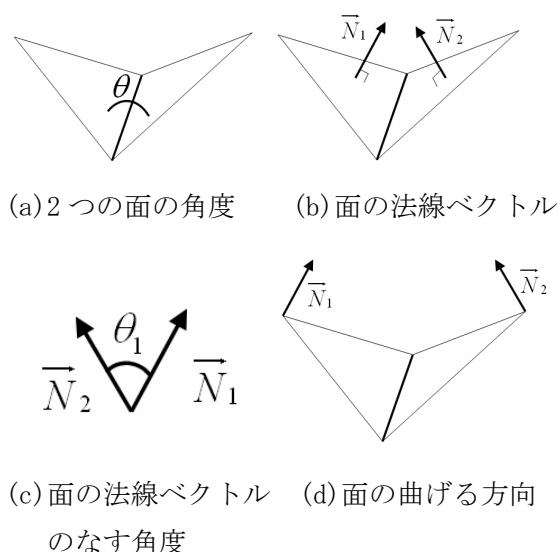


図 6. 2つの面のなす角度と折れ曲がる方向

ここで、求められた θ から任意の角度 θ_2 まで近づける方法として図 6(d)の三角形面の折れ線に接続していない頂点に、それぞれ N_1, N_2 方向に微小時間 dt をかけた値 $N_1 * dt, N_2 * dt$ の力を1ステップ毎に加えていくことで表現する。法線方向に力を加えてゆくことで折れ線を挟んで隣接する三角形で回転を表現する。

4. 実行結果

シミュレーションの実行画面をキャプチャーした画像を図 8(a)から(e)に示す。(a)に折れ線を挿入する前のモデルで、(b)には単純なモデルに折れ線を挿入したモデルを示す。折れ線の挿入は、(c)のインターフェース上で行う。また、(d)(e)(f)(g)に単純なモデルに $\theta = 180.0$ として角度を調節するシミュレーションを40ステップごとに示す。

5. まとめ

これまでの折り紙シミュレータではほとん

ど考慮されていなかった紙のたわみやふくらみを表現できるような、折り紙システム開発のために単純なモデルに折れ線を挿入するモデルの作成を行った。今後は、折れ線を基準に折り曲げ動作や、折り紙を折るために必要なその他の折り方を加えることや、紙らしいたわみやふくらみを表現する手法の導入が必要である。

「参考文献」

- 1) 佐藤幹弘, 対話的な布のシミュレーションに関する研究, 日本大学生産工学部第 37 回学術講演会講演概要, (2004), No. 20, pp23-26.
- 2) 古田陽介, 三谷純, 福井幸男, マウス入力による対話的操作を組み込んだ仮想折り紙システム, 情報処理学会研究報告誌, No. 123, (2006), pp13-18.
- 3) 宮崎慎也, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, 仮想空間における折り紙の対話型操作の実現, 情報処理学会論文誌, No. 39, (1993), pp1994-2001.

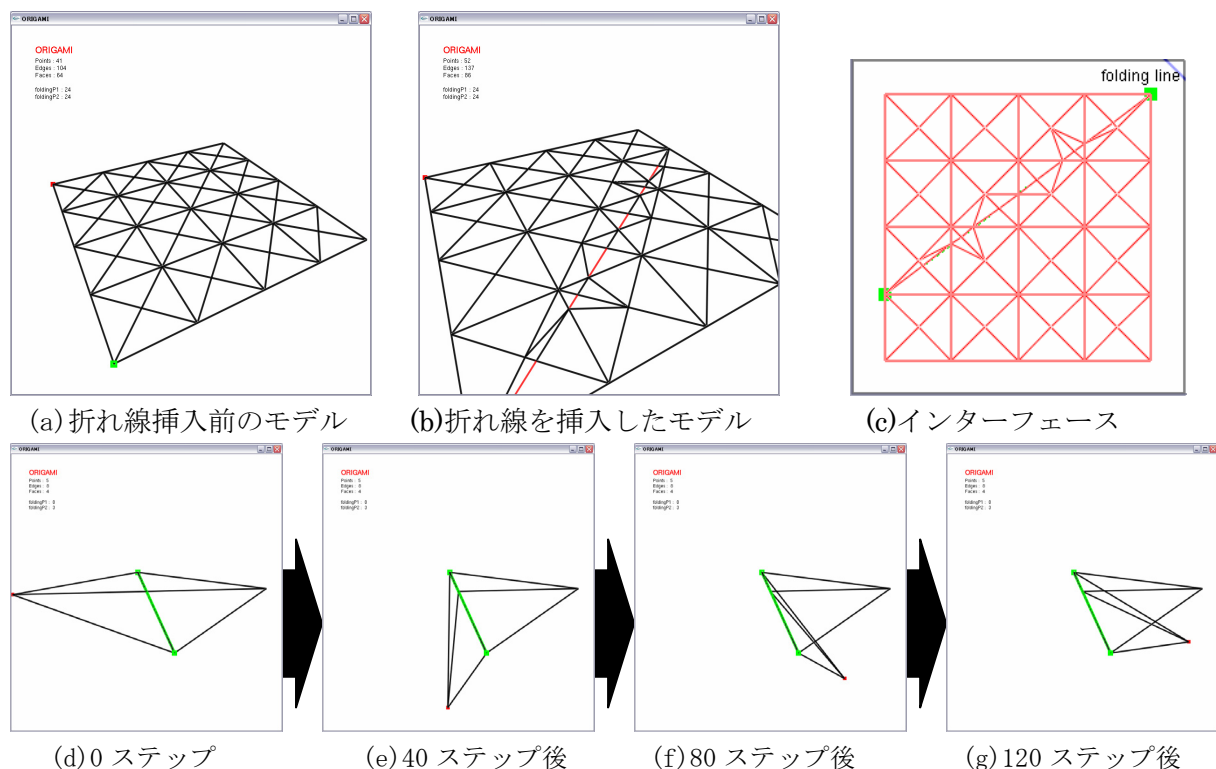


図 8 実行画面のキャプチャー画像