

拡張現実を用いた 折り紙の製作指導システムの提案

北村勇也[†] 岡誠[†]

折り紙に不慣れなユーザが、初見の教本と折り紙を見比べながら折り進めるのは困難である。そこでARマーカを印刷した折り紙に拡張現実（AR）を用いたアニメーションを重ねて表示することで、誰でも迷わずに折れる折り紙の製作指導支援システムを実装した。また、評価実験により支援システムの有用性を検証した。

Proposal of ORIGAMI tutoring system with Augmented Reality

Yuya Kitamura[†] and Makoto Oka[†]

A user unfamiliar to origami can not compare the origami with textbook of the first look. We implemented the origami tutoring system that displayed the CG animation at the origami which was printed AR marker. We performed evaluation experiments and inspected the usefulness of the system.

1. 背景と目的

折り紙とは、1枚の紙を折ることで様々な形を作ることを楽しむ日本伝統の遊びである。折り方さえ知っていれば身近な素材で誰でも作品を作れるため、子どもから大人まで年齢に関係なく多くの人々に親しまれている。また、手先を使って様々な形状を生み出す特性から脳の老化防止や空間認知能力の向上が期待できるとして現在も折り紙が広く普及している。近年では折り紙の芸術的側面が再評価され、昔にはなかった複雑で優れた作品が生み出され、新しい折り方も考案され続けている。

折り紙の折り方の指導方法は折りの工程を一連の図で表す折り図を載せた指導書がもっともポピュラーであるが、ある程度慣れている人でないと指導書と折り紙を見比べながら折り進めるのは難しい。また、折り紙の折る工程をあらかじめ撮影した映像を見て折り方を覚えるビデオ映像というツールがあるが、撮影者視点で撮られた映像からでは作業者が任意の視点で折りの動きを観察できないため、指導の伝わりづらさがあると言える。最近では、三次元空間上で折り紙の三次元モデルを操作して構造を理解しながら折り方を覚える仮想折り紙というツールが開発されている。折りの動きを数枚のスライドによるアニメーションで観察でき、かつ、情報の編集・保存が容易なため、iPhoneなどの携帯アプリケーションでも容易に利用することができる。しかし、仮想折り紙の三次元構造を正確に処理できるプログラムの作成が非常に難しいことや、スライドによるアニメーションで表現できる折りの動きに限界があることがわかっている。

これらのことから既存の折り紙の製作指導には未だいくつかの問題を抱えており、折り紙に不慣れなユーザが迷わず折ることが出来る方法はないと考えられる。

近年、現実世界にデジタル情報を重ね合わせて様々な情報を利用者に直感的に支援できる拡張現実（Augmented Reality）が注目されている[1]。この技術はユーザが直接知覚できる現実世界のあらゆる場所で、その場所に応じた情報を直感的にユーザに提示することが可能となる近未来的な世界を体験できるものと言える。この技術を応用した新しい広告などの情報提示や、災害対策や医療現場などの作業支援に注目が集まっている。

そこで本研究では折り紙を折る際、既存の方法より分かりやすいと感じる折り紙の製作指導の支援が行えるシステムを提案した。このシステムは作業者が既存の折り紙の指導方法で感じる分かりづらさに対して、拡張現実を用いることで誰でも迷わずに折れる指導を目指した。そしてこのシステムの有用性を検証した。

[†] 東京都市大学 知識工学部
Tokyo city University Faculty of knowledge engineering

2. 既存方法の問題の検証

2.1 指導書の指導検証

折り紙の製作指導の一般的な方法である指導書から作業者が分かりづらいと感じる問題点を探るため、31 作品の折り紙[2]を実際に折り、その際に折った折り紙の名前、分かりづらいと感じた折り図の番号、分かりづらい理由を調べた。そして表現ごとの傾向を探った。

検証の結果、全 31 作品ある中で分かりづらいと感じた表現は 69 か所あった。これは 1 つの作品あたり 0.43 か所あった計算になる。そしてこれらの表現から似たような表現を集め、「技法の表現」、「複数の指示表現」、「折り図の省略」、「立体図の表現」の 4 つ（図 1）に分類してその頻度を表 1 にまとめた。

表 1 分かりづらい表現とその頻度

分かりづらい表現	頻度
技法の表現	32
複数の指示表現	21
折り図の省略	11
立体図の表現	5

分類の基準は以下のとおりである。

- 技法の表現とは、山折りや谷折りなどの基本的な折り方や、それを複合された折り方に関するものである。
- 複数の指示表現とは、1 つの折り図に 2 つ以上の作業工程が指示されている表現に関するものである。
- 折り図の省略とは、同じような工程が続く場合に、折り図を省略する不都合に関するものである。
- 立体図の表現とは、立体の折り図から指示を読み取る作業に関するものである。

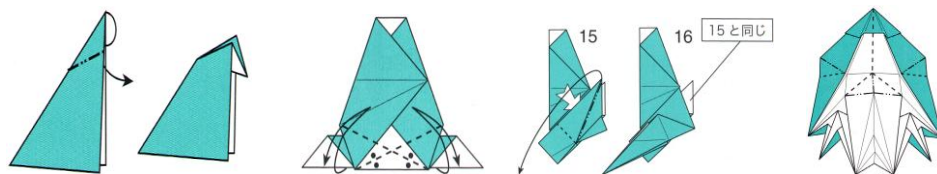


図 1 分かりづらいと感じた表現

(左 技法の表現 中央左 複数の指示表現 中央右 折り図の省略 右 立体図の表現)

これらの表現はそれぞれ折りの動きや折る順番、折り図自体の省略、構造把握が困難といった情報量の不足が原因と考えられる。

また、作業を行った印象として、指導書に描かれている折り紙の折り図と手元の折り紙を見比べても容易に折り進められなかったことが挙げられる。

2.2 ビデオ映像の指導検証

ビデオ映像を用いた場合に作業者が分かりづらいと感じる問題点を探るため、動画共有サービス[3]であげられている折り紙のビデオ映像 2 作品を見て、実際に折り、分かりづらいと感じた表現を探り、動画の長さ、作業時間、そして見直した回数を測定して表 2 にまとめた。

表 2 測定指標と折り紙

測定指標\折り紙	カブトガニ	セミ
動画の長さ(分)	3:56	1:32
作業時間(分)	7:48	3:29
見直した回数(回)	11	3

2 作品の折り紙のどちらも、折る様子が手で隠れていたり撮影された視点からの折りの動きが伝わりづらかったりしてしまい何回か見直す要因となった。また、作業を行った印象として、指導者が折り紙を折る空間と作業者が折り紙を折る空間の違いが伝わりづらさを与えていると感じた。

2.3 仮想折り紙の指導検証

仮想折り紙を用いた場合に作業者が分かりづらいと感じる問題点を探るため、iPhone アプリケーション「折り紙の恐竜」[4]の折り紙 1 作品を実際に折り、分かりづらいと感じた表現を探り、折りの工程数、作業時間、そして見直した回数を測定して表 3 にまとめた。

表 3 測定指標と折り紙

測定指標\折り紙	アパルトサウルス
折りの手順(工程数)	30
作業時間(分)	20:46
見直した回数(回)	9

基本的な折り方は伝わりやすかったが、複雑な折りの動きやひっくり返すなどの立体表現は初見では全く伝わらなかった。また、作業を行った印象として、折り紙の三次元モデルが二次元平面上で動く様子を作業者が見るため、特に立体表現に関する折りの動きに分かりづらさがあると感じた。

3. 問題点の対策

指導書、ビデオ映像、仮想折り紙の3つの指導方法には、直感的に理解できるような折りの動きがないこと、折り方を指導する空間と実際に折り紙を折る空間の違いが作業者に折り紙の折り方を分かりづらくさせていることの2点の問題が共通している。これを解決することで直感的で分かりやすい折り紙の指導を行えると考え、本研究は折りの指導にアニメーションを加えること、折る空間と指導する空間を重ね合わせることの2点を拡張現実で解決をはかった。

4. 提案するシステム

4.1 対象とする折り紙

3次元構造物である折り紙の構造を把握するためには、形状を常時把握できるパラメータが必要となるが、全方向から折り紙の形状の情報を取得するようなプログラムの設計は非常に難しい。そこで今回は、折って完成した折り紙が2次元平面となる折り紙に限定して折り紙の製作指導を行った。

4.2 必要なパラメータ

拡張現実を用いた折り紙の製作指導を行うため、折り紙の手順を知るための形状の情報、折り紙に適切な位置・姿勢でCGを表示するための位置の情報の2つが必要だと考えた。

4.3 形状の情報

折り紙の形状の情報はカメラから取得する。カメラから捕らえた映像に画像処理[5]を用いて特徴付けを行い、折り紙の手順を把握するための判断データを作成する。この時、手が折り紙に触れていないことを前提に、折り紙の判断データとシステムが持っている折り紙の形状データを比較して、マッチしたデータから現在の折り紙の手順を把握する。

4.4 画像処理方法の選択

折り紙の形状を強調するために、輪郭抽出、エッジ抽出、ハフ変換の3つの方法から特徴が一番表れたものを選択するため、やっこさんの折り紙(図2)を映した画像を使用して画像処理の比較を行った。(図3)



図2 やっこさんの折り紙の画像

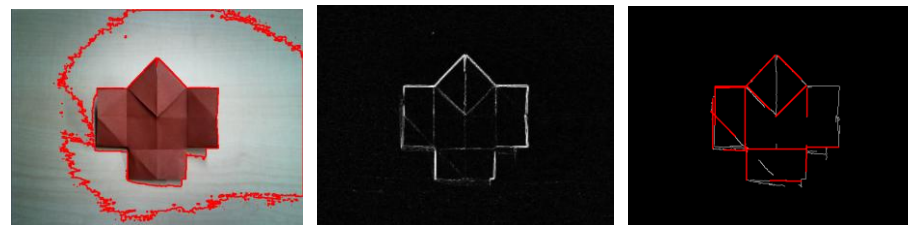


図3 画像処理の結果
(左 輪郭抽出 中央 エッジ抽出 右 ハフ変換)

輪郭抽出は閾値を変化させても輪郭を綺麗に捕らえられなかった。エッジ抽出は線の端点を強調するlaplacianオペレータを使用しての実験で、形状が判断できるくらいに輪郭を強調することが出来た。ハフ変換は閾値を変えてみたがどれもうまくいかなかった。

以上のことから、折り紙の形状の特徴付けの画像処理方法をlaplacianオペレータによるエッジ抽出で行うこととした。

4.5 マッチング方法の選択

特徴付けを行った判断データとシステムが持っている折り紙の形状データを比較するために、テンプレートマッチング法と形状マッチング法の2つの方法からマッチングを選択することとした。

比較したデータの中でより近似した領域を探索するテンプレートマッチング法は形状の似ている折り紙のデータの探索に対して誤認知が多かった。そのため折り紙の形状の比較には不向きだった。

2つの画像の形状の比較結果を数値で返す形状マッチング方法は数値でデータの比較の判断が出来たため、判断データと形状データとのマッチング方法は形状マッチング法を選択することとした。

4.6 位置の情報

拡張現実を用いたCGの位置・姿勢情報の設定はマーカを元にする手法[6]のほか、ある形状をあらかじめシステムに覚えさせ、その形状を捕らえた際にCGを描画する自然特徴位置合わせ手法などがあるが、今回は位置の情報を正確に読み取れるマーカを元にした手法を使用した。

しかし、マーカを元にした手法はマーカの一部が隠れると読み取れなくなる可能性が高い。折り紙は折り進めると形状が変わっていくので、マーカを印刷した紙を使用した場合、見えてくるマーカの組み合わせも変わっていく。今回はその性質を利用してマーカの組み合わせから折り紙の手順を把握することとした。(図4)



図4 マーカの組み合わせが変わっていく様子

4.7 CGアニメーションについて

マーカを元にCGを折り紙に重なるように描画する際、作業者に直感的に伝わるようにCGのオブジェクトに以下の色分けを行った。(図5)

- ・ 動きが必要ない部分のオブジェクト・・・青色
- ・ 動きが必要となるオブジェクト・・・緑色
- ・ 折り目となる線・・・ピンク色
- ・ 折り線・・・黒



図5 実行中の様子

4.8 指導方法

システムは折り紙の形状と位置の情報から現在の手順を把握して、マーカを元に次の手順であるCGのアニメーションを折り紙の上に重なるように表示して折り方を指導する。作業者はアニメーションを見て、指示通りに折り紙を折る。これを繰り返すことで折り紙の製作指導を行う。

このシステムの指導は一作業ごとに指示を出すことが出来るので、複数の指示による分かりづらさや折り図が省略されるといった指導書の指導での問題点が解決される。立体図の表現については、2次元平面の折り紙を想定しているので取り上げないこととする。

4.9 システムの構成

(1) システムフロー

システムの処理の流れは以下の図になる。(図6)

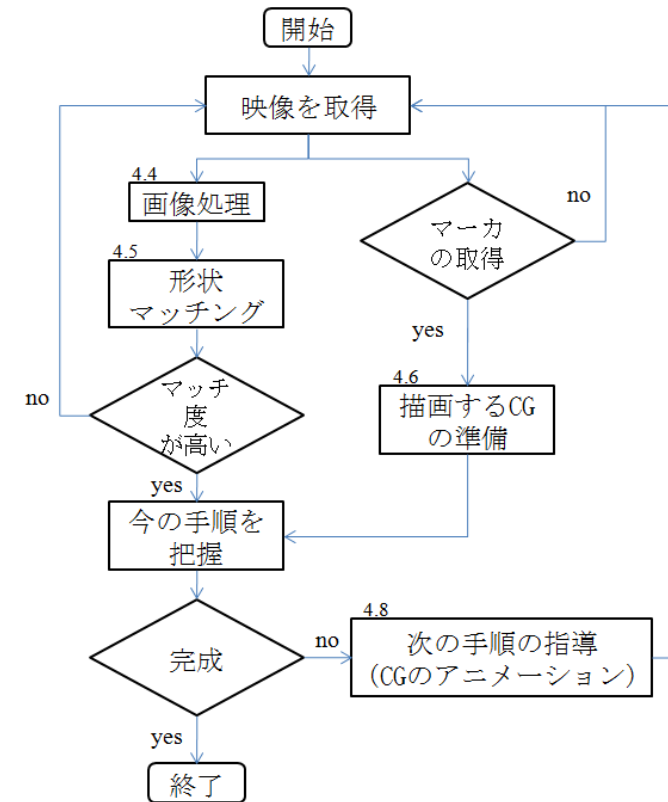


図6 システムフロー

(2) 実験装置

作業者の視点の映像を取得するためのWebカメラ、CGのアニメーションを見るためのHMDを同時に装着できる装置(図7)を作業者に装着させる。

折り紙については16個(4×4)のARマーカを敷き詰めた紙(18.5cm×18.5cm)を使用する。(図8)



図7 実験装置

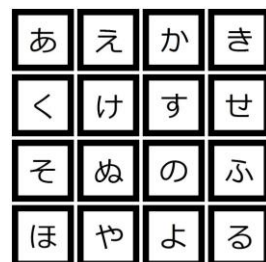


図8 AR マーカが印刷された紙

5. 評価実験

指導する空間の違いによる折り紙製作への影響度を調べるため、CG のアニメーションによる指導を固定視点で見た場合と拡張現実空間上で見た場合での比較実験を行った。

5.1 実験方法

(1) PC モニターを使った製作指導

事前に工程ごとに撮影した映像を、視点が固定される PC モニター上で表示して、折り紙の CG のアニメーションを見て手元の折り紙を折り進めてもらう。

(2) 本システムでの製作指導

被験者に実験装置を装着してもらい、折り紙に描画された CG のアニメーションを見て折り紙を折り進めてもらう。

5.2 測定指標

作業者に折り紙を折ってもらう際、作業を開始してから折り紙が折り終わるまでの作業時間、迷った時間、作業時間中に迷っていた時間の割合、折り方を間違えた箇所と回数、そしてこのシステムが使いやすかったかどうかの評価を 1~4 (4 が一番好評価) の 4 段階で測定した。

5.3 実験環境

被験者は普段から折り紙を折り慣れていない初心者 (モニター, 本システム各 4 名) に協力してもらった。

6. 実験結果

実験の結果を表 4 にまとめた。

表 4 測定指標と比較結果

モニター				測定指標	本システム			
A	B	C	D		E	F	G	H
364	234	239	256	作業が完了した時間(秒)	181	317	224	439
230	131	105	143	迷った時間(秒)	49	156	105	120
63	56	44	56	作業中に迷った時間の割合(%)	27	49	47	27
2	3	1	2	失敗した回数(回)	1	2	1	2
2	2	2	1	使いやすと感じたか	3	2	3	2
				手順の合否				
○	○	○	○	[1]谷折り	○	○	○	○
○	○	○	○	[2]谷折り	○	○	○	○
○	×	○	○	[3]開いてつぶす	○	○	○	○
○	○	○	○	[4]谷折り	○	○	○	○
×	×	○	×	[5]谷折り	○	×	○	×
×	×	×	×	[6]山折り	×	×	×	×

作業時間については、折り方を失敗した回数が様々だったり、折り紙を折る速さなどに個人差があったりしたことから作業時間の短縮は見られなかった。作業中に迷った時間の割合は、モニターでの結果が平均 55% に比べて、本システムでの結果が平均 37% となり、作業効率が向上したと言える。失敗した回数については、改善が見られなかった。使いやすさについては、評価の向上があるとは言い切れない結果となった。手順の合否については、5 工程目の谷折りを失敗する人がモニター、本システムでの実験共に多かった。6 工程目の山折りについてはモニター、本システムでの実験共に全被験者が失敗した。

7. 考察

作業中に迷った時間の割合が改善された理由として、モニターによる実験より本システムでの実験の方が伝わりやすさがあったことが考えられる。このことから伝わりやすさについて本システムに有用性があったと考えられる。使いやすさに差が出なかった理由については、今回使用した HMD が単眼式であったため、眼に左右差を与えてしまったことによる不快感があったものと思われる。そのため、実験装置の改善が必要だと考えられる。谷折りを失敗した箇所については、多くの作業者が折り線を見誤ったことから、折り線を強調するなどの改善が必要だと考えられる。山折りを失敗した箇所については、折り紙を z 軸の負方向へ折る作業を誤って正方向に折ってしまったことが原因だったことから、z 軸の負方向への指示は使わない、もしくは矢印など別の指示表現を加えることが望ましいと考えられる。また、複合的な折り方の一つ

として挙げられる折り紙を開いてつぶす工程について、複雑な動きを要するので失敗する人が多くいると予想していたが、一般的によく知られる鶴の作業工程の中に同じ手順があることから動きに見覚えがあったため、今回の評価実験では失敗者が少なかったと考えられる。

8. 結論

本研究において、指導する空間と折る空間を重ね合わせた折り紙の製作指導の支援が行えるシステムを実装した。評価実験の結果から、指導する空間と折る空間の違いが作業への伝わりやすさに影響を及ぼすことがわかったと同時に、このシステムの有用性を明らかにした。

9. 今後の展望

CG のアニメーションを単純なオブジェクトで表現することで作業者に直感的な理解を促したが、z 軸の負方向への指示で作業者に分かりづらさを与えてしまった。このことを踏まえ、誰でも迷わずに折れるための表現の工夫をさらに検討していく必要がある。また、使いやすさにおいて、異なるタイプの HMD を使用するなどの実験装置の違いによる評価の違いを検証する必要がある。また、今回対象としなかった鶴などの完成図が立体構造となる折り紙についても適切な製作支援が出来るようなシステムを考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 拡張現実感(AR): 情報処理学会誌, Vol.51, (2010).
- 2) 前川淳: 本格折り紙 入門から上級まで, 日本貿易出版社, (2007)
- 3) Youtube, <http://www.youtube.com/>
- 4) 折り紙の恐竜, <http://www.click.jp/iPhone/dino/>
- 5) OpenCV.jp, <http://opencv.jp/>
- 6) ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>