

創作折り紙「顔」を設計できるアプリケーション 「Origami Face Maker」の開発

山下 公平^{1,a)} 児玉 幸子¹

概要：折り紙は日本の伝統的な遊びとしてだけでなく、アートとしても世界中で親しまれ、折り紙作家により多様な作品が数多く生み出されている。特に折り紙作品の造形に必要な「カド」を折り出すための理論が盛んに議論されているが、カドを折り出した後に完成まで導く仕上げ方法について体系的に述べられたものは少ない。そのため本研究では、カドを折り出した後に作品を完成させる仕上げの方法として、仕上げの折り方を「部品」として見ることにより、折り紙のための「部品設計法」を提案し、それを実装し折り紙作品「顔」を設計できる Web アプリケーション「Origami Face Maker」を開発した。このアプリケーションでは、ユーザーが事前に用意された部品を選択していくと、最終的な折り紙作品の展開図と折り畳み図が提示される。本論では提案する手法の詳細を述べ、ユーザーに実際に使用してもらったアンケート結果を考察する。

1. はじめに

1.1 研究背景

折り紙は、紙を折って形を作る造形方法である。日本の伝統的な遊びとしてだけでなく、アートとしても世界中で親しまれている。折り紙は既存の作品を作って楽しめるほかにも、新たに折り方を考えて作品を生み出す「創作折り紙」としても普及されつつある。1990年代からごく最近まで折り紙の設計の主なテーマはカドを折り出すことであった。設計においては、正方形の中から題材を作るために必要なカドを作ることが最大の課題であり、その中心たる円領域分子法に沿って角度系や蛇腹格子系といった方法が発展してきた [1]。しかし、そのノウハウは理論や知識として蓄積されてきたものの、実践レベルでは個々の創作者による独自の工夫と経験によるものが大部分である。特に、カドを折り出した後に作品に仕上げるための議論は少なく、作品を作り上げるための包括的な方法論は確立されていないのが現状である。

1.2 研究概要

これまでの創作活動や研究では、カドを折り出した後に作品を完成させるため仕上げの体系的な方法は提案されてこなかった。本研究では、部品設計法という創作折り紙の仕上げ方法を提唱し、部品設計法を実装した作品設計アプ

リケーション「Origami Face Maker」を開発した。本アプリケーションでは部品を選択するという簡単な操作で、人間の顔をモチーフとした作品を設計することができる。

1.3 対象とする折り紙

折り紙には様々な作品形態が存在する。複数の用紙を使う複合作品、同じパーツを組み立てるユニット、幾何学的な模様を作るテセレーションなどがある。本研究では、不切正方形一枚折り（1枚の正方形を切らずに造形する方法）で具象的なモチーフを表現する折り紙を対象として限定する。

1.4 折り紙作品の設計

本稿で「作品を作る」とは、実際に現実世界の紙を折って物体としての作品を制作することを意味する。また、「作品を設計する」とは作品の折り方、つまり、紙を折り畳んだ形状を表す情報を作ることを意味する。これは、展開図を作ることとほぼ同義である。折り紙作品を作る際、非創作者が作品を再現して楽しむために、折り図と呼ばれる折る手順を示した図が併せて制作されることがある。折り手順を作ることは、作品の設計とは別の行為であることに注意されたい。

2. 関連研究

TreeMaker[2] は、カドの枝分かれと長さを表した木構造から単軸基本形の展開図を作成する Java アプリケーション

¹ 電気通信大学

^{a)} y2110652@edu.cc.uec.ac.jp

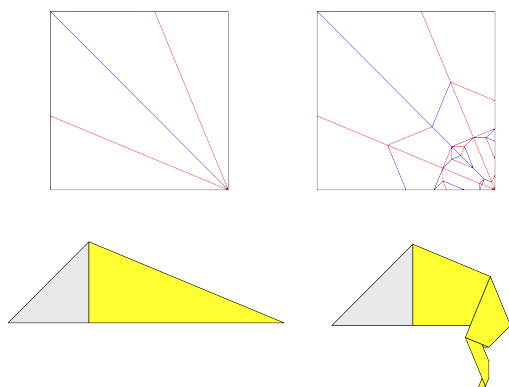


図 1 馬の脚を作る仕上げの例
仕上げ前の直角を 4 等分したカド (左), 仕上げ後のカド (右)

ンである。ユーザーが作りたい基本形のカドの枝分かれ構造を与えると、その構造を満たす単軸基本形の展開図が生成される。このアプリケーションは、折り紙作品の設計において難所の 1 つである基本形の制作を自動で行ってくれる。基本形は構造が複雑になるほど作る難易度が上がるため、複雑な折り紙作品を作成する際により役立てることができる。実際に作品を設計するには、得られた基本形の各カドを折り込み、仕上げを施す必要がある。

鶴田らによる幼児向け折り紙作品の創作支援システム [3] は、あらかじめ 4 回までの折り操作で作ることができる形状を列挙したデータベースを使い、作りたい形を入力するとそれに類似した形をデータベースから検索し、折り方を提示する。作品だけでなく、その折り手順を提示する点が特徴である。

TreeMaker の他にも Box Pleating Studio[4] など構造を決定する手法はこれまでに研究されてきたが、その後、作品として完成させるための仕上げ工程を含めた研究はほとんどない。また、鶴田らは、形状を単純化することで作品化を可能にしているが、複雑な形状の作品には対応していない。本研究では、一定の複雑さを持つ具象的な作品を対象とし、仕上げ工程を含めた設計方法を実践することで、創作折り紙の新たなアプローチを提案する。

3. 「部品設計法」の提案

3.1 基本形と仕上げ

多くの複雑系作品の設計は、基本形と仕上げの工程に分割して考えることができる [5]。基本形はモチーフを表現するために必要なカドや面を折り出した状態である。仕上げとは、基本形で折り出したカドや面を加工して細部を作る工程である。図 1 は直角を 4 等分したシンプルなカドを加工して、馬の脚を作る仕上げの例である。基本形の制作が紙全体を折って変形させる操作であるのに対して、仕上げは紙の一部の領域のみを折る操作である。そのため、同じ構造のカドや面に対しては、同じ仕上げを適用できる。



図 2 「顔」創作・制作：山下公平

つまり、ある構造に対して適用可能な仕上げを用意することで、それらの仕上げを付け替えることができる。

3.2 仕上げの部品化

使い回し可能な仕上げの折り方を「部品」と定義する。部品を組み合わせて作品を仕上げる設計法を、部品設計法として提唱する。部品は、境界の折り状態を変えない折り方とする。これにより、展開図上の各頂点で川崎定理と前川定理を満たす。川崎定理は「平坦に畳めるなら、ある頂点に集まる折り線のなす角の交代和が 0° になる」、前川定理は「平坦に畳めるなら、ある頂点に集まる折り線の山谷の本数の差は 2 になる」というものである。川崎定理と前川定理は、紙を平坦に畳むための必要条件である。これらの条件を満たせば、面の貫通など特殊な状況を除き、平坦に畳むことが可能である。したがって、部品の境界の折り状態を変更しないことで、部品を付け替えても全体が平坦に畳めるように維持することができる。

4. 開発したアプリケーション「Origami Face Maker」について

4.1 アプリケーション概要

本アプリケーションは、HTML, CSS, JavaScript を用いて制作した Web アプリケーションである。折り畳み図の生成には折り紙のモデリングと設計のための JavaScript ライブラリである Rabbit Ear[6] を、画面デザインの一部に Font Awesome, Bulma を使用した。レスポンシブデザインであるため、PC やスマートフォンなど様々な端末で動作する。

本アプリケーションで設計できるのは、人間の顔をモチーフにした作品である。筆者が創作した「顔」(図 2) は、部品設計法によって目・眉・口の部品を差し替え、多様な表情を作ることのできる折り紙作品である。本アプリケーションで設計した作品例を図 3 に示す。

アプリケーションのシステム概略図を図 4 に示す。まず、ユーザーは提示された部品を選択する。システムは、選択された部品の展開図データを使って、作品の展開図を生成し、展開図から折り畳み図を生成し、これらを作品として画面に描画する。

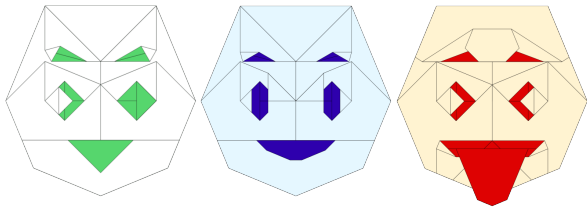


図 3 アプリケーション「Origami Face Maker」で作成した顔の例

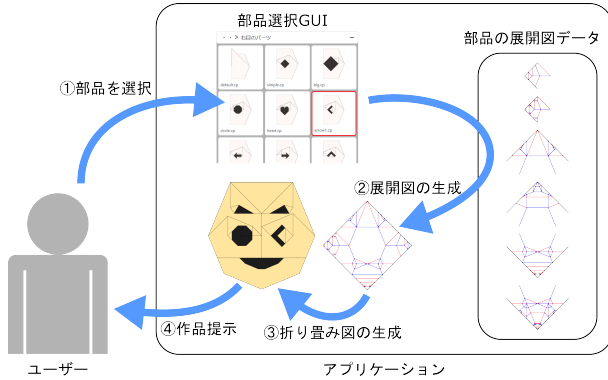


図 4 アプリケーションのシステム概略図

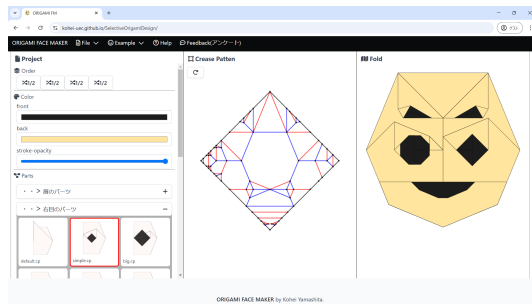


図 5 アプリケーションの画面 (PC)
部品選択の GUI (左), 展開図 (中), 折り畳み図 (右)

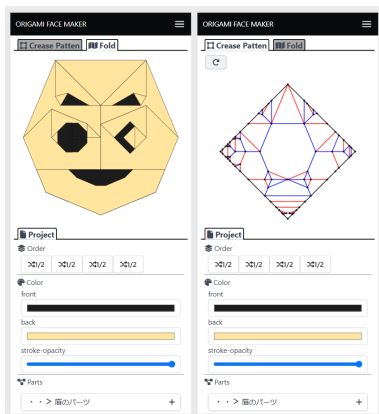


図 6 アプリケーションの画面 (スマートフォン)
展開図・折り畳み図 (上のタブを切り替え), 部品選択の GUI (下)

4.2 画面構成と機能

画面構成を図 5 に示す。画面は主に入力エリア、展開図エリア、折り畳み図エリアの 3 要素から構成させる。

入力 GUI で行い、面の重なり順、面の色、部品選択の 3 つがある。部品選択では、右目、左目、眉、口の 4 つのパーツを選択する。部品は、部品のみを折り畳んだプレビューを表示し、直観的に選択しやすいようにした。

展開図エリアには、設計した作品の展開図が描画される。展開図は拡大縮小と移動ができ、複雑な展開図の詳細を確認することができる。折り畳み図エリアには、設計した作品の折り畳み図が描画される。折り畳み図には入力された面の重なり順と色が反映される。図 6 のように、スマートフォンなどの小さな画面では、展開図エリアと折り畳み図エリアをタブ切り替えして表示するレイアウトになる。

4.3 部品のデータ

部品のデータは、部分的な展開図のデータである。本アプリケーションで設計する顔の作品は、「魚の基本形 (図 7)」という伝承基本形を使った作品である。魚の基本形には長いカドが 2 本と短いカドが 2 本の計 4 本のカドがある。長いカドを眉と口、短いカドを目に加工して使う。カドの領域は図 8 に示したようになる。部品の展開図のデータは、それぞれの領域部分の展開図となっている。展開図データは展開図エディタ Oriedita で筆者が制作し、CP 形式で保存した。CP 形式は折紙展開図エディタ ORIPA[7] のために作られたフォーマットで、1 行に 1 つの線分を ASCII 形式のファイルである。アプリケーション用に創作した部品の例を図 9 に示す。実装した部品は、目が 17 種類 (左右の目で共通)、眉が 12 種類、口が 10 種類ある。よって、可能な組合せは $17 \times 17 \times 12 \times 10 = 34680$ 通りとなる。

4.4 展開図と折り畳み図の生成

作品の展開図は、右目、左目、眉、口の 4 つの部品の展開図をつなげて生成される。4 つの部品はそれぞれ領域は、正方形を分割したものであるため、各展開図の折り線の情報を 1 つにするだけで正方形の展開図が得られる。

折り畳み図は、展開図から生成される。展開図から折り畳み後の形状を作るには、折る操作による面の線対称移動を計算し、可能な面の重なり順を判定する。面の重なり順は、複数のパターンが可能であることがあるため、入力エリアから任意の重なり順を選択できるようにした。

5. アプリケーションの評価と考察

5.1 アプリケーションの体験とアンケート結果

本アプリケーションによる作品設計を 18 人に体験してもらい、体験後にアンケートによる調査をおこなった。アンケートの結果は図 10、表 1 のようになった。折り紙の経験について、初心者以下と答えた人は全体の 61% で、体験した人のほとんどが折り紙初心者または中級者であったが、難なく作品を設計できた。体験の評価についての質問は 70% 以上が 4 または 5 (1 が「悪かった」「満足できな

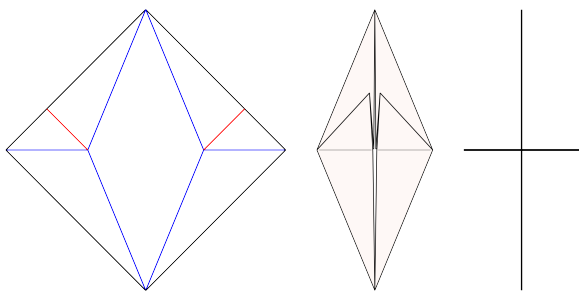


図 7 魚の基本形
展開図 (左), 折った形状 (中), 枝分かれ図 (右)

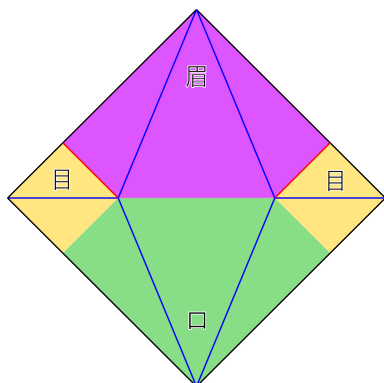


図 8 「顔」における部品の配置
紫部分が眉, 緑部分が口, 黄色部分が目の領域

表 1 アンケート回答者の折り紙経験とアプリケーション全体の満足度の関係

(初心者: 簡単な作品を折ったことがある, 中級者: 折り鶴よりも難しい作品を折ったことがある, 上級者: 非常に難しい作品を折ったことがある・創作折り紙をしたことがある)

		アプリケーション全体の満足度					
		1	2	3	4	5	合計
折り紙経験	1 (折り紙をしたことがない)	0人	0人	0人	1人	0人	1人
	2 (初心者)	0人	0人	0人	6人	4人	10人
	3 (中級者)	0人	0人	0人	2人	4人	6人
	4 (上級者)	0人	0人	0人	1人	0人	1人
	合計	0人	0人	0人	10人	8人	18人

かった」などネガティブで, 5が「良かった」「満足できた」などポジティブ) を回答しており, おおむね好評だったといえる。

また, 体験者の折り紙経験とアプリケーション全体の満足度の関係を調べた。折り紙経験を未経験を1, 上級者を4として1~4の数にして, 回答を表1にまとめた。折り紙経験とアプリケーション全体の満足度の相関係数は-0.06となり, この2つに相関はないといえる。つまり, 折り紙経験に関係なくアプリケーションの体験に満足できたといえる。

5.2 実際に紙を折って作られた作品

設計した作品を展開図折りして実際に紙を折った例を図11,12に示す。「展開図折り」とは, 展開図の情報のみを元に, 段階的な手順を経ずに折る技法である。なお, 著者の

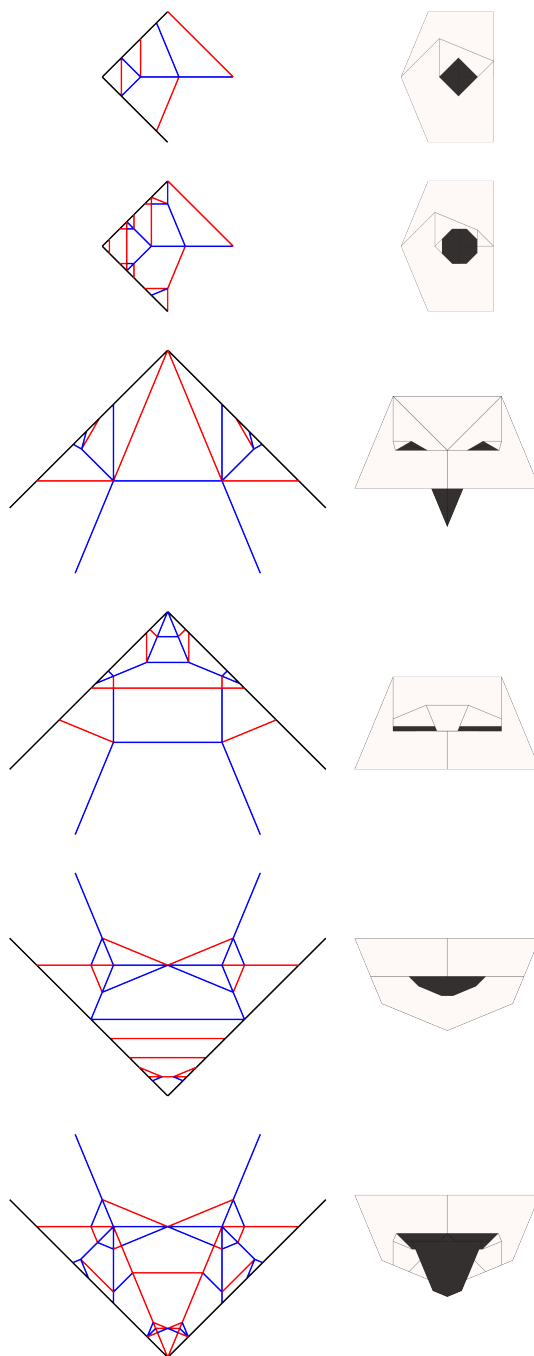


図 9 部品の例. 目・眉・口それぞれ2つずつ
展開図 (左), 折り畳み図 (右)

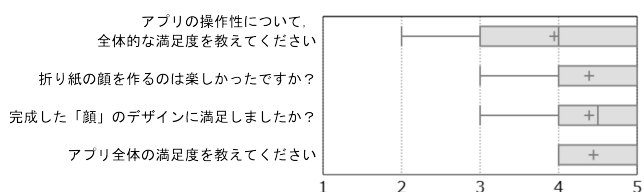


図 10 5段階アンケートの結果 (箱ひげ図)

1が「悪かった」「満足できなかった」などネガティブで, 5が「良かった」「満足できた」などポジティブ

創作折り紙折り紙歴は10年, 関根氏は20年と経験豊富であるが, 展開図折りには1~2時間を要した。

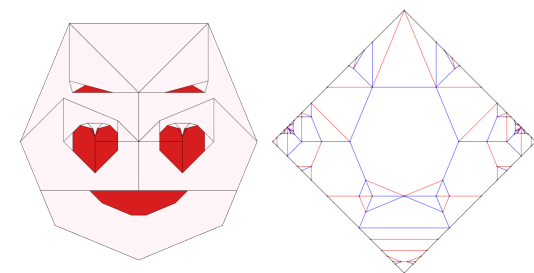


図 11 展開図折りした作品の例（上左：アプリで制作した顔，上右：展開図）「ハートの顔」（制作：山下 公平）

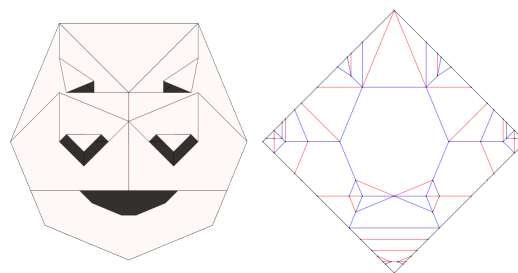


図 12 展開図折りした作品の例（上左：アプリで制作した顔，上右：展開図）「穏やかな顔」（制作：関根 武）

5.3 考察

通常の創作では試行錯誤によって折り方を考えるところを，部品設計法では事前に用意された部品を選ぶという単純な作業にすることで，創作折り紙を知らなかった人でも作品の設計を体験できたと考えられる．アプリケーションで作品を設計する時間は5分～15分程度であったが，実際に紙を折るには慣れた人でも1時間はかかり，作品を折る難易度が高かった．これは用意した部品1つ1つが見た目以上に複雑で，作品全体としても高難易度になったからだと言える．折り紙初心者・創作折り紙初心者が体験する題材としては，もっと簡単に折ることができる部品が求められていたと考えられる．

6. 今後の展望

本アプリケーションで設計できるのは魚の基本形から作る「顔」のみであったが，部品設計法は，本作品にとどまらず基本形と仕上げ工程で設計するほとんどの作品で通用する考え方である．他の基本形や顔以外の部品も使えるようにすることで，より拡張性の高い作品設計ができるようにしたい．

また，本アプリケーションにより，折り紙初心者であっても作品の設計は体験できるようになった．しかし，紙を折って作品を作るには展開図折りの技能が要求され，創作折り紙で作品を作ることのハードルは高いままである．現

状は作品の展開図と折り畳み図のみの出力であるが，折り手順を示す折り図も出力できれば，実際に紙を折る難易度を下げることができる．折り図までを出力し，作品の設計から制作までをサポートすることが今後の課題である．

参考文献

- [1] 岡村 昌夫, 三浦 公亮：折り紙の事典, 朝倉書店 (2024).
- [2] Robert J. Lang: TreeMaker, <https://langorigami.com/article/treemaker/>, (1994).
- [3] 鶴田直也, 金森由博, 福井幸男：幼児向け折り紙作品の創作支援システム, インタラクシオン 2011 論文集, IPSJ Symposium Series Vol.2011, No.3, pp.49-56 (2011).
- [4] Mu-Tsun Tsai: The story of Box Pleating Studio, <https://origami.abstreamace.com/2021/06/02/the-story-of-box-pleating-studio/>, (2021).
- [5] 山下公平, 松浦勇士郎：造形目標から考える創作折り紙と展開図のデザイン, 芸術科学会東北支部「アート&テクノロジー東北 2024」コンテスト, (2024).
- [6] Maya Kraft: Rabbit Ear, <https://rabbitear.org/>, (2024).
- [7] 三谷純：ORIPA: Origami Pattern Editor, <https://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/oripa/>, (2016).