

正多角形の貼り合わせを用いた花紋スマッキングの組み合わせの拡張

埴田美彩¹⁾ (非会員) 吉田哲也¹⁾ (正会員)

1) 奈良女子大学

An Extension of Combinatorial Design of Petaloid Smocking via Regular Polygon Pasting

Misa Tada¹⁾ Tetsuya Yoshida¹⁾

1) Nara Women's University

概要

針と糸で縫いとめて布の模様を造形するスマッキングと呼ばれる手芸の技法に対して、本稿では正多角形の貼り合わせを用いた花紋スマッキングの組み合わせの拡張を提案する。著者らは展開図の折り線への山谷の割り当てを保存しながら花紋スマッキングを組み合わせる枠組みを提案したが、正多角形の花紋折りにおける制約のために、布の表面に造形できる模様の形状や組み合わせが限られるという課題があった。そこで、正多角形の貼り合わせを用いた多角形のねじり折りに拡張してその幾何的な性質を示すとともに、平坦な模様の造形を妨げる箇所へ多角形のねじり折りを挿入して展開図を生成するアプローチを提案する。これにより、花紋スマッキングで造形できる模様と組み合わせが広がると期待される。本稿のアプローチをGeoGebraを用いて実装し、これを用いてデザインした花紋スマッキングを装飾した被服を制作して検証した。

Abstract

This paper proposes an extension of combinatorial design of petaloid smocking via regular polygon pasting. We have proposed a method for petaloid smocking pattern generation and combinatorial design. Although it can construct the crease pattern of petaloid smocking by preserving the labels on folding lines, combinatorial design was rather limited due to the constraints induced from regular polygons. In this paper we extend the designable objects to general polygon twists based on regular polygon pasting, and show their geometric characteristics. Also, we propose a method for constructing the crease pattern of combinatorial petaloid smocking based on polygon twists. The proposed method is implemented using GeoGebra, and it is validated via clothes making with a newly designed combinatorial petaloid smocking.

1 はじめに

手作業で造形する技術や造形された制作物は手芸と呼ばれて親しまれてきたが [1], 近年ではインターネットを用いた手芸作品の売買なども行われている. 手芸には刺繍や編み物など様々なものがあるが, 設計図に対応する型紙 (パターンとも呼ばれる) に従って布を裁断し, 裁断した布を針と糸で縫いとめる被服制作においては, 布の表面に模様を造形するスモッキングと呼ばれる技法がある. この技法に対し, 著者らは紙を素材とする折り紙における花紋折りに焦点を当て, 布の表面に造形する花紋の形状をした模様とその造形操作を「花紋スモッキング」と呼び, 花紋スモッキングのパターンを展開図から作成する手法と組み合わせのデザインを提案した [2].

多角形をねじるようにして折る展開図を周期的に連結する問題は平織り (Origami Tessellation) と呼ばれる分野で研究されてきた. 平面のタイリングから縮小と回転の操作で展開図を生成する方法 [3, 4] が知られているが, タイリングにおける多角形は必ずしも折った後に表面に現れるとは限らない [5]. これに対して, 著者らのアプローチは花紋スモッキングに対する展開図を折り線への山谷の割り当てを保存しながら組み合わせるため, 山谷割り当てへの制約が加わるものの, 布の表面に造形したい模様の組み合わせをデザインできる [2]. しかし, 正多角形の花紋折りにおける制約のために, 布の表面に造形できる模様の形状や組み合わせが限られるという課題があった.

折り紙の考え方に基づいて布の表面に模様を造形するというアプローチにおいて, 本稿では正多角形の貼り合わせを用いた花紋スモッキングの組み合わせの拡張を提案する. 造形する形状を正多角形の貼り合わせに基づく多角形のねじり折りに拡張して幾何的な性質を示すとともに, 平坦な模様の造形を妨げる箇所へ多角形のねじり折りを挿入して花紋スモッキングの展開図を生成する. これにより, 新しい花紋スモッキングのデザインが可能となり, 布の表面に造形できる模様と組み合わせのデザインが広がると期待される.

本稿のアプローチを GeoGebra を用いて実装し, これを用いてデザインした花紋スモッキングを装飾した被服を制作して検証した. 正多角形の貼り合わせを用いて拡張した多角形のねじり折りを活用することで, 従来の正多角形の花紋折りのみでは造形できない模様を施したスカートを制作できた.

2 節で布の表面に模様を造形する花紋スモッキングを紹介し, 3 節で正多角形の貼り合わせを用いた花紋スモッキングの拡張と組み合わせに対する展開図の生成を提案する. 4 節で GeoGebra を用いた実装と被服の装飾への適用を述べ, 5 節でまとめと今後の展望を述べる.

2 花紋スモッキング

2.1 スモッキング



図1 スモッキングの例

スモッキングとは手芸技法の 1 つであり, 布を縫い縮めて集めたギャザーを巻きこむように縫って「かがり」を入れたり, 衣服のひだや折り目であるプリーツを浮彫り風にするものである [1]. スモッキングは 1) ベーシックスモッキング (図 1 左), 2) イタリアンスモッキング (図 1 中央), 3) ラティススモッキング (図 1 右), の 3 種類に大別される. スモッキングはこれまでファッションに用いられてきた [1] が, 著者らはプリーツの折りたたみで造形されるラティススモッキングに着目して研究を進めてきた.

ラティススモッキングのうち, プリーツを平坦に整えるものの造形操作の概略を図 2 に示す. スモッキングでは生地を構成する糸の数本を針ですくいながら縫う「すくい縫い」によって布を固定する箇所が指定されるが, 被服の型紙に相当するものであるため, 本稿ではこれをパターンと呼ぶ. 図 2 に示すように, 布に転写したパターンで指定される点 (図 2 の Step.1 における緑色の点) を順にすくい縫い, すくい縫った全ての点を通る糸を引き締める縫い絞りにより一箇所に集め, すくい縫った糸がほどけないように縫い終わりの糸の端をとめる「玉止め」して固定する. 次に, 布の縫い絞りで生成するプリーツ (図 2 の Step.2 の左側における布のひだ) を平坦に整え, 布の表面に浮き上がる多角形の装飾 (本稿では模様と呼ぶ) を造形する.

2.2 折り紙に基づくスモッキングの造形操作の表現

折り紙とは紙を折ることで造形される形状や折り操作のことであり, 折り方を指定する線は折り線と呼ばれる. 折り紙の素材である平坦な紙に折り線と折り線の交点が

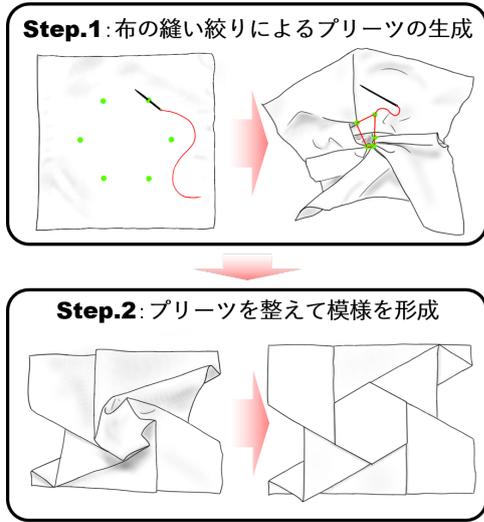


図2 ラティスマッキングの造形操作

指定されていると見なすことができるため、折り線を辺、折り線の交点を頂点に対応づけることにより、折り紙をグラフ理論 [6] における平面グラフとみなすことができる。折り紙における平面グラフは展開図と呼ばれ、折り線の折り方には山折りと谷折りの2種類がある [7]。本稿では山折りを赤の実線、谷折りを青の破線で表す。

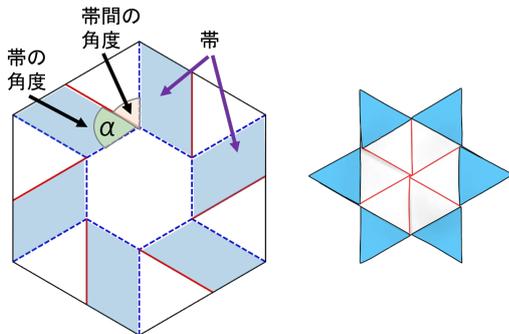


図3 花紋折りの例 (左: 展開図, 右: 折った後の形状)

折り紙の展開図の例を図3の左に、この展開図を折り線の山折り、谷折りに従って折ることで造られた折り紙を図3の右に示す。この折り紙は折った後の中央の正多角形の模様が花卉の形状に似ているため、昔から「花紋折り」と呼ばれている。折り紙の数理では任意の正多角

形に対して花紋折りを造形できることが知られており、花紋折りとなるための条件や造形される模様の性質なども知られている [8]。

山折りと谷折りは対称なため、図3の展開図で青の破線で構成される中央の六角形のように、本稿では花紋折りの展開図における中央の多角形を構成する折り線はすべて谷折りとする。また、展開図の多角形の頂点の次数(頂点に接続する辺の数)はすべて4とする。このとき、前川定理 [7] や川崎定理 [9] などの平坦折りに関する知見から、花紋折りの展開図で多角形を構成する各辺から伸びる一対の山折り線と谷折り線は平行になる。本稿では多角形から平行に伸びる一対の山折り線と谷折り線の領域を帯^{*1}と呼び、多角形と帯の山折り線が成す角を帯の角度: α 、隣接する帯同士の間を帯間の角度と呼ぶ。なお、花紋折りでは多角形から伸びる帯の角度 α はすべて等しい。

2.3 花紋スマッキングのパターン生成と組み合わせのデザイン

折り紙の花紋折りと同様な折りたたみを通じて布の表面に模様を造形する操作とその形状を著者らは花紋スマッキングと呼び、展開図から花紋スマッキングのパターンを生成する方法と幾何的な性質を示した [2]。折った後にすべての帯が1点で交わるものは花紋折り、そうでないものは擬花紋折りと呼ばれる [2]。正 n 角形の花紋折りの帯の角度 α は $\frac{n-2}{2n}\pi$ と定まるが、そのパターン生成に加えて、角度に対する制約を $0 < \alpha < \frac{n-2}{2n}\pi$ に緩和した擬花紋折りに対するパターン生成も提案した。さらに、一般の三角形に対して花紋折りを実現する帯の角度(図4参照)を、三角形の内角 A に接する辺の長さ b, c に基づいて

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{\left\{ \left(\frac{c}{b} + \frac{b}{c} \right) - \cos A \right\}^2 + \sin^2 A}} \sin A \right) \quad (1)$$

と閉形式で示すとともに、そのパターン生成を提案した。

また、布の表面に花紋スマッキングを綺麗に造形するためにはそれぞれの模様が平坦折りできる必要があるため、折り線への山谷割り当てが指定された花紋折りの展開図を互いの帯を共有するように配置する問題として花

^{*1} 文献 [2] ではこの領域をスポークと表記していたが、和服の帯のように平行な線で囲まれる領域であるため、文献 [10] にならって本稿では帯と呼ぶこととする。

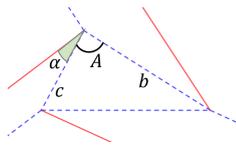


図4 三角形の花紋折り

紋スマッキングの組み合わせのデザインを捉える枠組みを提案した [2]。この枠組みで生成した展開図の例を図5に示す。帯の角度に対する制約条件のために正多角形の花紋折りでは可能な組み合わせが限られるという課題に対処するため、図5の例では三角形の花紋折りを活用して組み合わせを実現している。

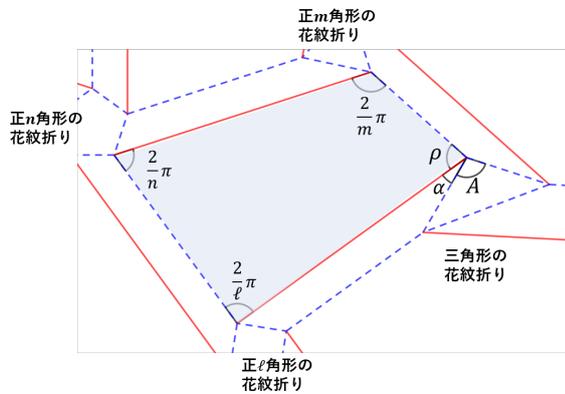


図5 3個の伝統花紋スマッキングと1個の三角形の花紋スマッキングの組み合わせ

3 正多角形の貼り合わせを用いた花紋スマッキングの拡張と組み合わせ

布の模様となる花紋スマッキングを造形するため、本稿では平坦折り可能な展開図を扱う。また、花紋折りと擬花紋折りの違いは帯の角度であり、どちらもねじるように折るため、以下では「ねじり折り」とも呼ぶ [8]。

3.1 多角形のねじり折りの挿入に基づく展開図の生成

図6のように正六角形の花紋折りと正三角形の花紋折りの展開図を配置すると、左上の正六角形から伸びる帯と右下の正六角形から伸びる帯が交差するが、帯が交差すると平坦な模様を造形できないという課題がある [2]。

展開図では多角形や帯の配置が定まっているため、帯の交差の仕方も展開図から定まるが、帯が交差する角度を帯同士の角度と呼ぶこととする (図6参照)。帯の交差を避けるためには、帯を共有するような多角形のねじり折りを帯の交点に挿入する必要がある [2] が、平坦折

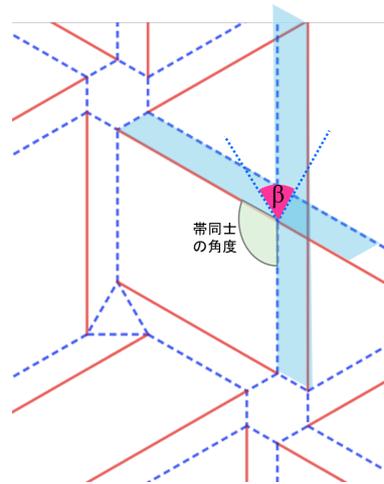


図6 帯の交差

りに関する知見から、展開図より

$$\beta = \pi - \text{帯同士の角度} \quad (2)$$

で定まる角度を内角のひとつとする必要がある。

図5に示した三角形の花紋折りをを用いた組み合わせは、帯が交差する箇所に式(2)で定まる角度を持つ三角形を挿入するとともに、三角形の花紋折りを實現する帯の角度を式(1)で計算して展開図を生成する方法とみなせる。この考え方を一歩進めて、本稿では帯の交点に式(1)で定まる内角を持ち帯を共有する多角形のねじり折りを挿入して展開図を生成することを提案する。これにより、それぞれの模様の折り線への山谷の割り当てを保存しながら組み合わせる際、帯の角度と帯の共有に対する制約を満たしながら花紋スマッキングで造形できる模様と組み合わせのデザインが広がると期待される。

3.2 正多角形を貼り合わせた多角形のねじり折り

多角形の形状には様々なものがあるが、2次元の単体である三角形の貼り合わせで多角形を構成できることを発展させ、本稿では2つの正多角形を貼り合わせて帯を共有する多角形のねじり折りを生成することを提案する。これを実現するためには、1) 多角形の形状, 2) 帯の角度, 3) 帯の中 (帯で対をなす折り線間の距離), を決める必要があるが、貼り合わせる対象を正多角形とすることで後述するようにある程度限定できるため、デザインを検討しやすくなると期待される。

3.2.1 多角形の形状

ねじり折りの展開図における多角形について、次の補題が成り立つ。

補題 1. 平坦折り可能なねじり折りの多角形は凸である。

補題 1 の略証を付録 A に示す。

定理 1. 多角形の貼り合わせにより平坦折り可能なねじり折りを生成した場合、貼り合わせる辺の長さは等しい。

定理 1 の略証を付録 B に示す。定理 1 より、辺の長さが等しい正多角形の貼り合わせに限定できる。

定理 2. 2つの正多角形の貼り合わせで多角形のねじり折りを生成する場合、組み合わせは 1) (正三角形, 正三角形), 2) (正三角形, 正方形), 3) (正三角形, 正五角形), 4) (正三角形, 正六角形), 5) (正方形, 正方形) の 5 種類に限られる。

定理 2 の略証を付録 C に示す。上記の性質から、展開図を生成する際に検討する多角形の形状を限定できる。

3.2.2 帯の角度

多角形のねじり折りでは帯の角度はすべて等しいが、正 m 角形と正 n 角形 ($m \leq n$ とする) を貼り合わせて多角形のねじり折りを生成する際には、正 m 角形の花紋折りにおける帯の角度が生成する帯の角度の上限となる。貼り合わせという操作から一意に帯の角度を定められるよう、本稿では生成したねじり折りにおける帯の角度はこの角度とする。たとえば図 7 のように正三角形と正方形を貼り合わせて五角形*2 を生成した際、前者の花紋折りにおける帯の角度 (30°) を生成したねじり折りにおける帯の角度としている。

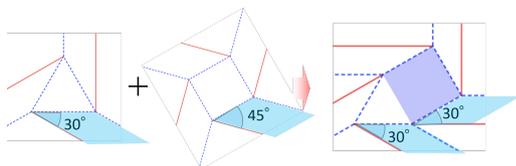


図 7 貼り合わせで生成したねじり折りの帯の角度

帯の交点に多角形のねじり折りを挿入する際 (図 6 参照), 式 (2) で多角形の内角の一つが定まるため、貼り合わせることができる正多角形の一つはこの内角を持つものとなる。しかし、もう一つの正多角形の形状を変えることで、生成する多角形から伸びる帯間の角度を変えることができる。たとえば図 8 のように正三角形との貼り合わせで多角形を生成した場合は帯の角度は 30° となるが、もう片方の正多角形に応じて、帯間の角度はそれ

*2 白抜きの正三角形と紫色の正方形を貼り合わせたものであり、貼り合わせに用いた辺は折り線ではなくになっている。

ぞれ 60° と 30° と異なっている。展開図における配置に応じて貼り合わせる多角形を選択することにより、正多角形や三角形の花紋折りに限定する場合よりもデザインの自由度が増すことになる。

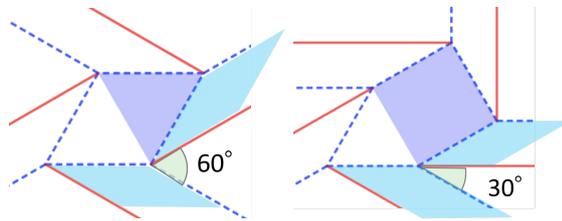


図 8 組み合わせに応じた帯間の角度の違い (左: 正三角形+正三角形, 右: 正三角形+正方形)

3.2.3 帯の中

図 5 に示した組み合わせでは帯の中はすべて等しいため、正多角形の形状に応じて三角形の形状を一意に定めることができた。同様に、定理 1 から貼り合わせる正多角形の辺の長さは等しいため、貼り合わせで生成する多角形の辺の長さはすべて等しく、その帯の中もすべて等しくなることが多い。しかし、貼り合わせを用いることで帯の中を変えられる場合がある。

命題 1. 貼り合わせた辺の頂点における多角形の内角の和が π となる場合には、生成する多角形のねじり折りにおける帯の中を変えられる。

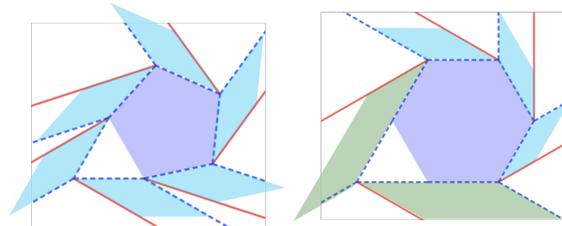


図 9 多角形からの伸びる帯の中 (左: 正三角形+正五角形, 右: 正三角形+正六角形)

命題 1 の略証を付録 D に示す。たとえば図 9 左の例では、正三角形と正五角形の貼り合わせで生成した多角形 (図 9 左の六角形) から伸びる帯の中はすべて等しい。他方、図 9 右の例では、正三角形と正六角形を貼り合わせた辺の両端の頂点で内角の和がそれぞれ π であり、これらの頂点は生成した多角形 (図 9 右の五角形) では辺上の点となるため、その辺の長さも他の辺とは異なる。このため、緑色の帯の中は青色の帯の中と異なる。

3.2.2 節で述べた帯間の角度に加えて、命題 1 より、正多角形の貼り合わせを用いることで展開図における帯の中も変更できることになる。幾何的な形状は角度と長さから特徴付けられるが、正多角形の貼り合わせを通じて角度と長さ（帯の中）のどちらも変更できるため、花紋スマッキングで造形できる模様と組み合わせの多様さが拡がると期待される。

3.3 帯の交点の拡張と展開図の生成プロセス

花紋スマッキングの展開図を組み合わせると、図 5 で中央の四角形の領域のように帯の折り線で囲まれた多角形の領域ができるが、平坦な模様を造形するためには領域の頂点数は偶数である必要がある [2]。このため、頂点数が奇数の領域ができる場合（たとえば図 10 左における緑色の三角形の領域）には、帯の交点に多角形のねじり折りを挿入する前に、帯の折り線で囲まれた領域の頂点数が偶数となるように展開図を変換する必要がある。

変換方法には様々なアプローチが考えられるが、本稿では帯の交点を向かい合う帯と平行な折り線に置換することを提案する。これにより、図 10 右のように台形の領域が生成されるが、台形の内角は展開図から定まるため、式 (2) を用いて挿入する多角形の内角の一つを決めることができる（ただし、台形の高さには制約はなく、デザインにおける自由度となる）。生成した折り線の端点に多角形のねじり折りをそれぞれ挿入することにより、図 5 と同様、頂点数が偶数の帯の折り線で囲まれた領域が生成されることになる。帯の交点を置換した折り線の端点に多角形を挿入して生成した展開図の例を図 11 に示す。

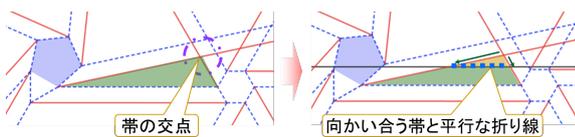


図 10 帯の交点を交点を向かい合う帯と平行な折り線に置換

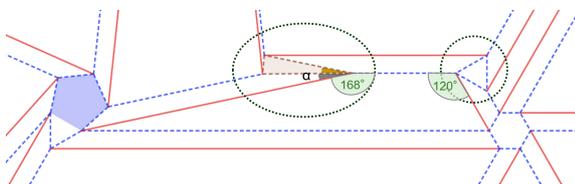


図 11 折り線の端点に多角形を挿入

多角形のねじり折りの挿入に基づいて花紋スマッキングの組み合わせに対する展開図を生成するプロセスを以下に示す。数学として理論的な観点から折り紙を扱う場合と異なり、有限のサイズの布を用いて制作する花紋スマッキングでは帯を無限に伸ばした際の交差までを考慮する必要はない。このため、制作するサイズとして設定した範囲で布の表面に綺麗な模様を造形することを妨げる帯の交差がなくなるまで、帯を共有する多角形のねじり折りの挿入を繰り返して展開図を生成する。なお、本稿では一般の位置と同様に 3 つ以上の帯が一点で交差することはないことを仮定しているが、これはねじり折りの配置を多少ずらすことで実現できると考えられる。

1. 多角形のねじり折りをひとつ挿入する。形状は、i) 正多角形の花紋折り、ii) 式 (1) を用いた三角形の花紋折り、iii) 3.2.1 節の正多角形を貼り合わせた多角形のねじり折り、から選択する。
2. 帯を共有する多角形のねじり折りを挿入する（形状は 1. と同じ 3 種類から選択する）。
3. 展開図で帯の交点がある限り、以下を行う。
 - 3.1. 帯の折り線で囲まれた領域の頂点数が奇数の場合には、帯の交点を向かい合う帯と平行な折り線に置換する（図 10 参照）。
 - 3.2. 帯の交点に 2. で述べた操作を適用する。
 - 3.3. 帯の交点の有無を判定する。
4. 展開図を確認し、意匠の観点から更に複雑な組み合わせをデザインする場合には 2. に戻る。

ただし、上記はユーザが展開図を生成する際の指針に対応するものであり、どのような初期配置からでも平坦な模様を造形できる展開図の作成を保証するアルゴリズムとはなっていない。手順 1. の 3 種類のねじり折りは、展開図にひとつしかなければ平坦な模様が造形できることは知られているが [8, 2]、手順 2. や手順 3. は平坦性に対する局所的な必要条件を満たすための手段であり、帯の共有を通じて展開図を生成する際の指針とはなるものの、挿入する多角形のねじり折りの形状の選択や帯の交点の折り線との置換の仕方などは扱えてはいない。一般的なドローイングソフトなどと同様、形状を扱う際の具体的な操作はデザインを行うユーザに任されているため、展開図に応じた処理の自動化は今後の課題として残されている。

4 被服の装飾への活用

4.1 GeoGebra を用いた実装

GeoGebra [11] とは幾何的な作図などが可能なソフトウェアであり、線分や多角形などの幾何的なオブジェクトの作図を容易に行えるだけでなく、角度や長さなども表計算機能を用いて計算できる。

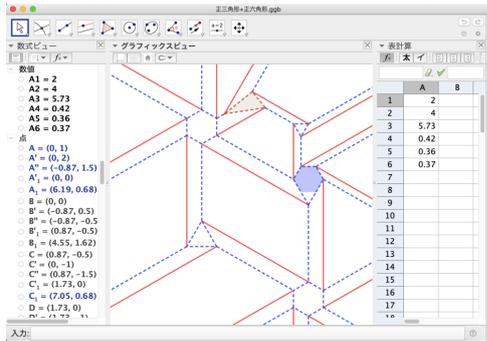


図 12 花紋スマッキングの展開図を作成する様子

著者らは花紋スマッキングのパターン作成や組み合わせのデザインなどを GeoGebra を用いて実装してきた [2, 12]. GeoGebra を用いて花紋スマッキングの展開図を生成する様子を図 12 に示す. 図 12 で赤線は展開図における山折り線, 青の破線は谷折り線を表す. この例では紫色の正六角形と正三角形を貼り合わせた五角形を用いたため, 図 9 と同様に帯の中が変更されている. また, 帯を共有しながら角度の制約を満たすために, 2.3 節で述べた一般の三角形 (橙色) も用いている.

4.2 拡張した模様を装飾した被服の制作

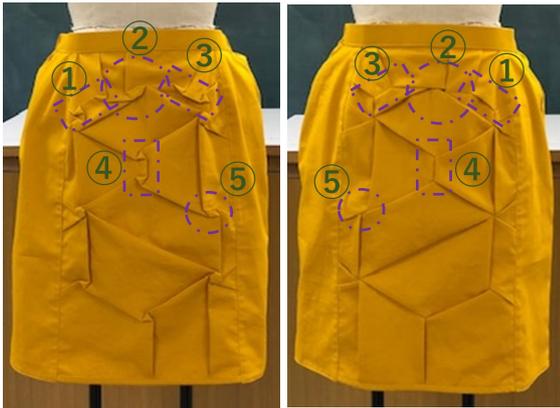


図 13 花紋スマッキングの貼り合わせの装飾 (紫の一点破線の箇所) を施したスカート (左: 表面, 右: 裏面)

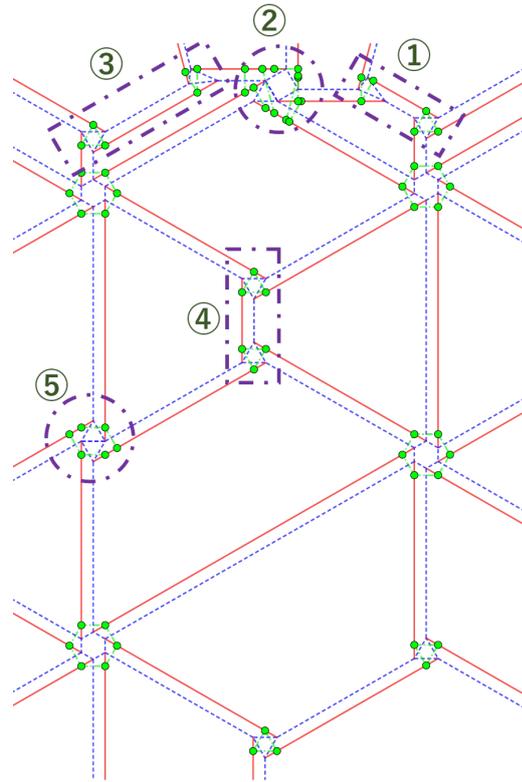


図 14 制作したスカートの展開図 (紫の一点破線の箇所がデザインした模様に対応)

3.3 節で述べたプロセスを GeoGebra を用いて実装し, これを用いてデザインした花紋スマッキングを装飾したスカートを制作して本稿のアプローチを検証した. スカートを制作する際にはスマッキングの表裏関係を明確に確認できるように一枚の布の表裏をそのまま使用して, リバーシブルなスカートとした. 制作したスカートを図 13 に示す. 図 13 左に示すスカートの表面では, 正多角形の貼り合わせと多角形のねじり折りの挿入を用いてデザインした模様のうちの 5 箇所を紫の一点破線で囲んで通し番号をつけている. また, 展開図の多角形が造形されるわけではないが, 被服 (この例ではスカート) の裏面で布が折りたたまれた様子がわかる (図 13 右).

制作したスカートの展開図を図 14 に示す. 図 14 ではスマッキングのパターンを緑の点で示している. この展開図からスマッキングのパターンを生成し [2], パターンが指定する点の縫い絞りで花紋スマッキングを造形してから, 他のパーツと縫合してスカートを制作した. 図 13 左で模様を含む紫の一点破線の箇所に対応する箇所を

図 14 の展開図でも同様に囲んでおり、展開図 (図 14) と制作したスカート (図 13) とで対応する箇所と同じ番号をつけている。たとえば、展開図の中央の破線部④に含まれる 2 つの三角形のねじり折りに対して、図 13 左で同じ番号の破線部の中にそれぞれの三角形の模様が造形されている。なお、スカートに対応する布を裁断して制作するため、図 14 の外側に帯を伸ばした際の交差はスカートの表面に平坦な模様を造形することを妨げはしない。

4.3 考察

花紋スモッキングで造形できる模様の形状を正多角形の貼り合わせを用いて拡張することで、従来法では造形できない模様を施したスカートを制作できた。ただし、多角形のねじり折りはすべての帯が一点で重なるとは限らない擬花紋折りとなることが多い。このため、図 14 の上部中央の模様と左真ん中の模様 (丸い紫の一点破線で囲んだ箇所) を造形する際には、それぞれの模様に対応するパターンの点の集まりを分割し、分割ごとに縫いとめて造形することになり、制作する際に縫いとめる手間がかかるといった課題がある。他方、図 5 に示した組み合わせ [2] では模様はすべて花紋折りであり、模様ごとにパターンの全ての点をまとめて縫いとめて造形できるため、制作する際の手間は少ない。花紋スモッキングで造形する模様や組み合わせの多様さと制作に要する手間のバランスを考慮し、縫いとめる手間をできるだけ少なくしつつ花紋スモッキングで造形できる模様の形状を拡張することは今後の課題である。

被服の表面の模様として造形する形状をデザインする際、本稿では個々の花紋スモッキングに対する展開図を折り線への山谷の割り当てを保存しながら組み合わせるため、デザイナーが意図していないねじり折りが布の表面に表れることはない [2]。しかし、3.3 節で述べたようにデザインの作成はユーザに任されており、本稿のアプローチに基づく花紋スモッキングの模様をスカートの前面 (図 13 左) にできるだけ多く含めることを目指して展開図を作成したため、造形した個々の花紋スモッキングの模様は相対的に小さくなっている。展開図に含めるねじり折りの数を少なくすることで布の表面に大きな模様を造形することは可能であるが、服飾の華やかさや視認性なども考慮して、意匠の観点から花紋スモッキングの模様の大きさや配置を扱うことは今後の課題として残されている。

5 まとめ

本稿では花紋スモッキングで造形する模様の形状を正多角形の貼り合わせを用いて多角形のねじり折りに拡張し、平坦な模様の造形を妨げる箇所へ多角形のねじり折りを挿入して展開図を生成するアプローチを提案した。正多角形や三角形の花紋折りに加えて多角形のねじり折りも用いて花紋スモッキングを組み合わせた展開図を生成できるため、造形できる模様とその組み合わせの多様さを広げることができた。

本稿のアプローチを GeoGebra を用いて実装し、これを用いてデザインした花紋スモッキングを装飾した被服を制作して検証した。正多角形の貼り合わせを用いて拡張した多角形のねじり折りを活用することで従来の正多角形の花紋折りのみでは造形できない模様を施したスカートを制作できた。今後は貼り合わせに用いる形状の拡張に取り組む予定である。

謝辞

有益なご指摘を賜りました査読者の方々に深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 浪間幸井. 文化ファッション大系 服飾関連専門講座 8 手芸文化服装学院編. 文化出版局, 2004.
- [2] 吉田哲也, 藤崎千晶. 花紋折りに基づくスモッキングのパターン作成と組み合わせのデザイン. 芸術科学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 9–24, 2020.
- [3] Alex Bateman. Computer tools and algorithms for origami tessellation design. In *Origami 3: the 3rd International Meeting of OSME*, pp. 121–127. CRC Press, 2002.
- [4] Robert J. Lang and Alex Bateman. Every spider web has a simple flat twist tessellation. In *Origami 5: the 5th International Meeting of OSME*, pp. 455–473. CRC Press, 2011.
- [5] Tess: origami tessellation software. <http://www.papermosaics.co.uk/software.html> (2020/5/6 確認).
- [6] R. Diestel. *Graph Theory*. Springer, 2006.
- [7] トーマス・ハル. ドクターハルの折り紙数学教室. 日本評論社, 2015.
- [8] Robert J. Lang. *Twists, Tilings, and Tessellations*. A K Peters/CRC Press, 2017.

- [9] 川崎敏和. 平坦折り紙の山折り線と谷折り線の関係. 佐世保工業高等専門学校研究報告, Vol. 27, pp. 55–79, 1990.
- [10] 川崎英文. 平坦折り紙の山折り線と谷折り線の関係. 数理解析研究所講究録, Vol. 2044, pp. 193–198, 2017.
- [11] <https://www.geogebra.org/> (2020/5/6 確認).
- [12] 吉田哲也, 藤田真奈美. 花紋スモッキングの展開図に基づく紐の生成. 芸術科学会論文誌, 条件付採録 (2020年9月14日改訂論文投稿).

夢田美彩



2020年奈良女子大学生生活環境学部卒業. 現在, 奈良女子大学大学院生活工学共同専攻博士前期課程在学. 被服の定式化とデザイン支援に興味を持つ.

吉田 哲也



1991年東京大学工学部航空工学科卒業. 1997年東京大学大学院博士課程修了. 工学博士. 同年大阪大学大学院基礎工学研究科助手. 2001年大阪大学産業科学研究科助手. 2004年北海道大学

大学院情報科学研究科助教授. 2014年奈良女子大学大学院教授. 主に機械学習, データマイニング等に興味を持つ. 人工知能学会, 情報処理学会, 芸術科学会, 建築学会会員.

付録 A 補題 1 の証明

証明. ねじり折りの多角形が凸でないと仮定する. このとき, 帯の角度はすべて等しいため同じ多角形から伸びる帯同士の交差が生じるため, 平坦折りはできない. □

付録 B 定理 1 の証明

証明. 多角形を貼り合わせる際, 貼り合わせる辺の長さが異なると仮定する. このとき, 貼り合わせた多角形は凸ではないため, 補題 1 より定理 1 が成り立つ. □

付録 C 定理 2 の証明

証明. 定理 1 より, 辺の長さの等しい正 m 角形と正 n 角形を貼り合わせる際, 一般性を失わずに $m \leq n$ とする. 正 m 角形と正 n 角形の内角はそれぞれ $(1 - \frac{2}{m})\pi, (1 - \frac{2}{n})\pi$ であるため, 補題 1 から貼り合わせた後の多角形の内角は

$$2(1 - (\frac{1}{m} + \frac{1}{n}))\pi \leq \pi \tag{3}$$

を満たす必要がある. 式 (3) を満たす (m, n) の組み合わせは $(3, 3), (3, 4), (3, 5), (3, 6), (4, 4)$ に限られるため, 定理 2 が成り立つ. □

付録 D 命題 1 の証明

図 8 右のように, 貼り合わせる辺の頂点における多角形の内角の和が π となる場合には, 貼り合わせた多角形において生成された辺の長さはもとの辺の長さの和となる. ねじり折りにおける帯の中は多角形の辺の長さに比例するため, 命題 1 が成り立つ.