

氏名	御幸 朋寿
ヨミガナ	ゴコウ トモヒサ
学位の種類	博士（美術）
学位記番号	博美第459号
学位授与年月日	平成27年3月25日
学位論文等題目	〈論文〉 切込を有する折紙の折畳展開機構に関する研究 〈作品〉 切込を有する折紙の折畳展開機構モデル

論文等審査委員

（主査）	東京藝術大学	准教授	（美術学部）	金田 充弘
（論文第1副査）	東京藝術大学	教授	（美術学部）	光井 涉
（作品第1副査）	東京藝術大学	教授	（美術学部）	北川原 温
（副査）	東京大学	教授	（生産技術研究所）	川口 健一

（論文内容の要旨）

研究の背景と目的

折紙は、紙を折ることで動植物や身の回りにある物などの様々な形状に似せて遊ぶ伝統的な遊戯として広まっている。近年では、数学への応用や工学的利用、ファッションや家具などのデザインなど様々な分野で利用・研究がなされて来ている。建築の分野でも折板構造をはじめとする工学的利用や、椅子やテーブル等のプロダクトデザインから建物の内外の表層のデザインエッセンスなどとして取り入れられている。折紙の持つ潜在的な可能性は遊戯としての領域を超えて工学的、芸術的に応用できるほど大きい。

折紙の工学的応用として関係の深い可動構造物に、展開構造物があげられる。展開構造とは、輸送あるいは収納を目的に小さく折り畳んだ状態から大きく展開して利用する構造物の総称である。[1] 建築の分野、家具やプロダクト、宇宙構造物など様々なものに応用されているメカニズムであり、折紙の特性を応用した物の一部にもあてはまる。アダプティブな構造や動く構造物として折紙工学とともに大きな可能性を持った分野である。

折紙の手法の一つとして折り紙建築があげられる。折り紙建築（ポップアップカード）とは、建築家・故茶谷 正洋氏に代表される、一枚の紙に切込と折り目をつけ、紙を折り畳むことにより立体的な形が自然と立ちあわてくる折り紙の一手法である。海外ではOrigamic の名称で広まっており、建物の形だけではなく風景や動物、文字など様々な形を立体的に立ち上げることができ、グリーディングカードや教育現場においての教材などとして、世界中で親しまれている。現状では一種の遊戯とし扱われており工学的応用について注目されていない。

折紙の工学的応用や展開構造物の研究が盛んに行われる中、折り紙建築の可変の仕組みは折紙数理に見られる折畳の幾何学的規則や展開構造物の可動機構と多くの共通点を持っているにもかかわらず、研究の対象としてはあまり注目されてこなかった。本研究は既存の折紙の研究ではほとんど取り上げられてこなかった折り紙建築（以後、切込を有する折紙とする）の仕組みに焦点をあて、折紙の幾何学や展開構造物にみられる可動機構と結びつけながら工学的、デザイン的应用の可能性を広げることを目的とする。特にデザイン的应用に関しては博士制作における作品のデザインを決定するため、切込を有する折紙の幾何学的規則や可動形態からもたらされるデザイン可能な範囲について検証する必要がある、また実際の制作を行なう上で課題となる点についても解決策を含めた検討を行なうことを目的とする。

本論文の構成

1章ではまず、研究背景として折紙における一般的な現状について述べ、本研究における目的を述べた。

次に、関連する既存の研究として、折紙に関する研究、展開構造物に関する研究、及び飛び出す絵本に関する研究について触れ、本研究の研究としての位置づけを行なう。2章では、はじめに基礎的な機構について用語の定義及び説明を行ない、可動機構とするための手順について述べる。切込を有する折紙の折畳展開機構では、切込を有する折紙を可動機構として分類し、可動条件や平坦折の条件等を導きながら基本的な構成のあり方を検証する。基本的な構成をもとに、シザーズ機構やミウラ折といった他の機構を取り入れながら、機構としての発展を行なう。最後に2章のまとめとして、切込を有する折紙のリンク機構としての位置づけを行なう。3章では、実際の可動機構の制作を通して、本研究の実用性について検証する。その中で実物を制作する際に起きる問題とその解決策について触れる。4章では各章のまとめと、結論および今後の課題について述べる。

本研究の成果

切込を有する折紙は、リンク機構とすることで限定動作（1自由度）が行える機構として捉えられる。これにより、切込を有する折紙によるリンク機構は、剛性のある面材などを構成部材として想定した時に有効な可動が行える。また、平面リンク機構や球面リンク機構といったリンク機構の可動形態の分類をもとに、どのような機構が構成できるのか検証した。工学的応用の事例が多いリンク機構の一種であるシザーズ機構を用いて平面リンク機構や球面リンク機構を発展させたことで、折畳展開機構の重要な要素である収納効率の高い構成を創出した。

空間リンク機構は特殊な可動形態であるが、それぞれを組み合わせることでリジッドな構造体になる構成や1方向の折畳展開運動を行える構成を創出した。

機構の可動方向の数について切込を有する折紙は、1方向、2方向、3方向のいずれも構成することができ、可動機構として多様性が高いと言える。実際に厚みや剛性などを考慮した際に起こる課題と解決策をふまえて可動モデルを製作することで、現実的に有効な可動が行える機構であることを確認した。

以上のことから、切込を有する折紙の折畳展開機構は工学的応用性の可能性が高い機構と言える。

[1] 近藤慎輔、川口健一、「シザーズ型展開構造物の単層ラチスドームへの適用に関する研究」、『生産研究 第52巻 第4号, 23-26』, 2000

(論文審査結果の要旨)

申請者の作品は、折り畳みと展開が可能でその変形プロセスに特徴がある立体構造物のモデルであり、論文はその制作に必要な理論的な考察を行ったものである。

申請論文では、まず第1章「序論」で、折紙から着想した折畳展開機構の将来性について言及した後に、折紙建築やミウラ折など既往の各種展開機構について総括し、自らの研究内容の独創性についてまとめている。続く第2章「切込を有する折紙の折畳展開機構としての発展」は、博士提出作品を制作する上で必要となる折畳展開機構に関する図学的な考察を行った部分である。ここでは、基本機構として折線の軸線が平行関係にある「平面リンク機構」と軸線が空間上の1点に収束する「球面リンク機構」を定義し、折畳展開機構としての可動条件を分析提示している。さらに、この2つの機構にシザーズユニットを加えて発展させた形式を「平面シザーズ機構」・「球面シザーズ機構」と定義し、ミウラ折の概念を加えて複層化・立体化していくプロセスを検証し、最後に空間リンク機構への発展性に関して考察を行っている。第3章「スケールモデル制作による機構の検証」は、厚みを持ち剛性に限界のある実際の部材を用いた際の課題を予想した上でその対処方法を検討し、博士作品となるスケールモデルの制作手順について記述している。

以上のような内容を持つ申請論文は、用いた用語の厳密性や可動条件の論理的な洗練という部分において若干の問題を含むが、第2章で示された可動条件は妥当であり、その内容は、今後の折畳展開機構研究における基礎的な内容を整理したものとして十分なオリジナリティを備えている。そして、この理論的な考察に基づいて作成された作品も、可変性をもつ建築的な装置としての発展が期待できるものとなっている。した

がって、申請者の論文は、本学の博士学位を相当するものと評価できる。

(作品審査結果の要旨)

申請者の作品は、切込を有する折紙の小さなスタディから始まった。切込の入れ方や折り方に独自のルールを見つけだし、紙や板といった一枚の平面から立体が立ち現れる一連の作品は、機構としての面白さもあり、またその動きに驚きと美しさがあることが大きな特徴である。修士修了制作で、それらの小さなスタディをより大きなスケールへと発展させる可能性について作品を通して示し、本学建築科の最優秀賞を受賞する作品となった。

博士課程では、その作品を図学的なアプローチから理論的に体系化し、既往の研究や先行事例との関係の中で位置づけることにより、その独自性をより明確にするとともに、より大型の建築スケールへの発展に伴う課題の抽出とその克服を作品に活かすことに取り組んだ。論文では、より工学的な観点から、作品の仕組みの独自性を整理分類することでその独創的な立ち位置を明らかにしていることが評価されるが、申請者本来のオリジナリティは、その理論的枠組みを作品制作を通して実践したことにより最も際立って発揮されている。

博士研究作品は、約10㎡の一枚の板が、一抱えになるくらいのサイズまで折畳まれる展開機構が、重量や厚みに伴う問題を感じさせない滑らかな動きを実現し、また、その動きが一見予想できない、不思議な（理論的には説明可能であるが）非線形性を伴う展開挙動をすることに、作品としての高い価値を見出すことができる。一枚の壁がそれを操作する人間を包み込み、寄り添うように縮小してくるそのプロセスは1自由度の機械的機構を持つ装置でありながら、生命的で人間的すらある印象を与える独創的な動きを実現している。論文で比較されている既往の機構と一線を画す作品性を持っており、また可変性を持つ彫刻作品や建築の一部への応用の可能性を示したことが、本学の博士（美術）学位に相応しいと高く評価する。

(総合審査結果の要旨)

申請者は切込を有する折畳展開機構モデルを使った作品を研究し、本学修士課程在学時より内外で発表し続けてきた。作品制作を重ねる過程で、独自の発見や発想をカタチにしていくことで、作品群の中でのタイプ分けやそれらの発展、組合せなどにより様々なバリエーションへとその可能性が拓かれてきた。その中で、それらの発見をより大きな視点で既往の研究や先行する事例の中で位置づけ、また自身の作品群の理論的解釈をするために、博士論文により考証し、その仮定を作品制作を通して実証した。

博士論文では、折畳と展開に関する既往の研究やミウラ折りなどの事例を、機構という観点で分析・分類した上で、自らの作品をその中に位置づけることにより、そのオリジナリティを理論的に示している。研究の出発点である自らの作品を図学的に考察することで、その独自性はより明らかになり、また理論的に体系化された仕組みを使って、厚みや重さのある建築スケールの作品への展開時に課題となる様々な事象について想定し、その対処方法の仮説を作品制作を通して確認、実証することで、今後の同様な研究および作品制作において基礎をなす知見がまとめられた。

研究作品では、これまで発表を続けてきた作品群よりも数倍大きいスケールでの制作を行い、博士論文において検証した理論を実際に適用し、検証することに成功した。物理的なスケールの影響が構造体としての展開モデルに及ぼす影響について実証するとともに、高い完成度の動きを持つ作品として新たなレベルに到達した。

以上のように論文および作品を通して、作品の基礎となっている機構自体の独自性を立証し、またそれを建築に近いスケールにおいて、完成度の高い可変性を持つ作品として実証したことは、今後の折畳展開機構研究および折畳展開による可変性を持つ作品、建築としての発展に十分に寄与するものである。よって申請者の博士論文および研究作品は、本学の博士学位に相応しいものと評価する。