

氏名	山本 陽平		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第 10252 号		
学位授与年月日	令和 4 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	ねじり作図法の提案と平織り設計への応用		
主査	筑波大学 教授	博士（工学）	三谷純
副査	北陸先端科学技術大学院大学 教授	博士（理学）	上原隆平
副査	筑波大学 教授	工学博士	工藤博幸
副査	東京大学 准教授	博士（工学）	舘知宏
副査	筑波大学 准教授	博士（情報理工学）	金森由博

## 論文の要旨

審査対象論文は、紙を折ることで様々な形を折り出す、折り紙に関する研究のなかで、とくに「平織り」と呼ばれるものを対象とし、その新しい設計手法を提案したものである。近年では、複雑な具象物を折り出す手順を考える創作折紙や、対象をコンパクトに折りたためる特性を用いた工学分野への応用が盛んに行われており、これらの創作や応用では、素材を折るという限られた操作のみで、意図した形を作り出すことが課題となっている。意図した形に折りたためる展開図を設計する際には、紙を平坦に折りたたむための折り線配置に関する条件など、折り紙の幾何学的な制約を考慮する必要がある。本論文では、平織りと呼ばれる折り紙を対象として、そのデザインの幅を広げ、折り紙の新たな価値を創出することを目的とし、ねじり作図法と呼ぶ設計手法を提案している。ここで対象としている平織りとは、主に平坦に折りたたまれた周期的な紙の重なりをもつ折り紙である。既存の展開図の多くは、正方格子あるいは正三角形格子上の点を結ぶ折り線の集合であるが、本論文では、多くの平織りに含まれる三角形のねじり折りと呼ばれるパターンに着目し、これらのパターンの幾何的な特徴を明らかにするとともに、格子に依存しない平織りの作図法を提案している。それにより、次の3種類の平織りを設計できることを示している。

(1) 基本となる展開図同士を接続することで得られる、タイリングのような規則性のある平織り。基本となる展開図を、輪郭の形と接続に適した折りたたみ方を制約として設計する。

(2) 目的の模様を表現する平織り。与えられた図・地からなる単色模様を、紙の重なりによる微小な高低差で表現する平織りを設計する。

(3) 展開図の面をパネル、折り線をヒンジに置き換えたモデルで表現できる平織り。実世界の硬い素材も折りたためることが保証されるため、工学分野での活用が可能である。目的の展開図を、輪郭の形を制約として設計するとともに、多面体を構成する多角形面に配置することで、伸縮する立体構造物を作れることを示す。

本論文では、以上に示した各項目における設計手法を提案し、議論および評価することで、新たな意匠性、工学的に有用な特徴をもつ折り紙の創出に貢献できることを示している。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文では、折り紙のデザインの幅を広げ、折り紙の新たな価値を創出することを目的として、三角形のねじり折りパターンを構成要素とする展開図の新しい作図方法を提案している。具体的には、図形の輪郭を三角形分割した各三角形に対して、各辺を一定の比率で収縮した線分と、そこから垂直に延びるプリーツおよびプリーツの交点から構成されるねじれ面によって、全体を三角形のねじり折りの集まりで表現するといったものである。本論文では、この作図法を「ねじり作図法」と名付け、その適用可能な範囲について十分な議論を展開している。それにより、ねじり作図法で得られる平織りのパターンが従来の技法で設計できる形を包含することを各種の証明によって示し、ねじり作図法の一般的な展開図への拡張可能性について示唆している。また、これまでには見られなかった新しいパターンを設計できることを各種の証明によって示し、それらの設計手法についても示している。具体的には、(1)凸多角形のタイリングを模した規則性のある模様を表現するもの、(2)図・地からなる多角形の模様を表現するもの、および(3)輪郭を収縮することができ、かつ面を硬いパネルに置き換えたモデルに変換できるもの、であり、極めて網羅性の高い、普遍的な設計技法と言える。これらのパターンには、新たな意匠性や工学的に有用な特徴を持つものが含まれている。CGおよび紙での制作物によって示された作例からも、ねじり作図法による設計により、平織りに対する従来の設計手法よりも自由度の高い形状を作り出すことが可能であると判断できる。今後の課題は、ねじり作図法で作図できる折り紙のバリエーションの範囲や、折りたたむ過程で面同士が交差しない条件についての検証が挙げられる。また、開発されたねじり作図法の作図支援ソフトを普及させるために、ユーザテストによる評価と、より実用的な機能の追加なども挙げられる。これらの課題が解決されると、広く一般に使用できる、優れた設計技法として普及される可能性を十分に有している。

以上のように、本論文では新規性・有用性が認められる複数の手法が提案され、また、平織りの可能性を大いに拡張するものとして、博士論文として十分な内容を擁していると判断できる。

### 【最終試験の結果】

令和4年1月27日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。