

氏名	趙岩		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8521号		
学位授与年月日	平成30年3月23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	Design Methods for Triangle-based 3D Origami (三角形で構成される立体折紙の設計手法に関する研究)		
主査	筑波大学 教授	博士（工学）	三谷 純
副査	筑波大学 教授	博士（感性科学）	山中 敏正 (人間総合科学研究科)
副査	筑波大学 教授	工学博士	工藤 博幸
副査	筑波大学 准教授	博士（理学）	高橋 伸
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、三角形パネルの集合で構成される折り紙の設計手法についてまとめたものである。1枚の平坦な素材を折ることによって形を作る折り紙の技術は、近年、その工学的な有用性が注目され、実用化のための研究が盛んに行われている。特に形状設計については、意図した形や動作を実現するための各種の手法が提案されている。本論文は、そのなかでもとくに三角形で構成される形状を対象を絞り、対話的な設計や、パラメトリック曲面を近似する方法などの提案を行っている。

折り紙における形状設計は、1枚の平坦素材を折るだけで形を作らなければならないため、そのための幾何制約を考慮しなければならない。また、構成面が変形しない剛体折り可能条件や、平坦に折りたためる平坦折り可能条件などを考慮した設計は難しい問題である。本論文では、具体的には(1)展開図の一部を対話的に入力することによる軸対称な立体の設計、(2)立体形状を対話的に操作することによる、折り込みを持つ軸対称な立体の設計、(3)次数6の頂点から構成される軸対称な立体の設計、(4)一般化 waterbomb 基本形の組み合わせによるパラメトリック曲面の近似、の4つの異なるアプローチを提案している。(1)は、ユーザが入力する展開図と2つのパラメータから最終形状を決定するものであり、剛体折り可能であり、かつ、軸周りに平坦に折りたたむことが可能であるという特徴を有する。(2)は、折り込みを許容することで、設計形状の自由度を高めている。また、折り込みによって、制作物の強度が増すことで、椅子などの家具への応用の可能性があることに言及している。(3)も、展開図の一部を入力することで、そのパターンの並びから得られる形状の生成を行うものである。形状の自由度および自己交差せずに変形可能な空間について解析を行っている。(4)は、対話的な形状モデリングとは異なり、入力として与えられたパラメトリック曲面を waterbomb 基本形

と呼ばれる基本構造によって近似するものである。反復計算による最適化によって、形状を目的の形に収束させている。以上のような各形状設計手法を提案することで、三角形パネルから構成される折り紙という特定のカテゴリにおいては、従来のアプローチでは困難であった形状設計が可能となったことを示した。

審 査 の 要 旨

【批評】

折り紙を工学分野へ活用するための研究は盛んに行われている。とくにその形状設計については、伸縮しない1枚の素材を折るだけで作れる形の幾何的な制約が大きく、計算機を用いた設計が必須である。本論文で対象としている三角形パネルから構成される折り紙は、多角形のパネルから構成される折り紙の中では最も単純であり、基本的なものであると言えるが、そのようなものに対しても、従来は難しかった剛体折り条件を満たす形状、および平坦折り可能条件を満たす形状を、対話的に設計するための手法を提案したことは高く評価できる。複数の提案手法は、論文誌や査読付き国際会議に採択され、その有用性と新規性が認められる。しかしながら、提案手法においては軸対称であるという幾何制約が伴うため、より自由度の高い形状設計を可能とすることが課題として残されている。パラメトリック曲面を一般化 waterbomb 基本形の構造で近似するアプローチは従来のミウラ折りのパターンによる近似手法を拡張するものであり、その実現方法を確立し、計算時間や近似精度などの評価を行った意義は大きい。工学的な応用を考えたときには、素材の厚さを考慮することは必須であり、そのような観点を組み込むことが、提案手法を実用化するうえでの課題として残されている。しかしながら、本研究によって複数の異なる設計手法が提案されたことで、三角形パネルから構成される折り紙という特定のカテゴリにおいては、従来のアプローチでは困難であった形状設計の幅が大きく拡張されたものと言える。

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、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】

平成30年1月26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。