

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	数理的手法に基づいた 折り畳み可能な構造の展開図創出に関する研究
Title(English)	Mathematical Approach to Create Developed Patterns for Foldable Structures
著者(和文)	石田祥子
Author(English)	Sachiko Ishida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4099号, 授与年月日:2014年3月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:古谷 寛,元結 正次郎,盛川 仁,大野 隆造,松永 三郎,萩原 一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4099号, Conferred date:2014/3/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論文 要 旨 (和文2000字程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	石田 祥子
(要 旨) 本研究は、既に知られている比較的簡単な折り畳み構造の展開図から、より複雑な形状の構造の展開図を等角写像変換によってシステムティックに得る数理手法を構築することにより、創出手法の簡素化を実現するとともに、新しい折り畳み構造の創成を可能とする手法を提案したものである。 本論文の構成は以下の通りである。 第1章「緒論」では、先行研究にある平面の折り畳み、筒形状の折り畳み、膜の巻き取りといった折り畳みモデルとその折り畳み手法を概説し、折り畳み可能な構造物の有利性・発展性および折紙工学の現状と課題を挙げた。次に、本研究で取り扱う数理的手法の位置付け、本研究の目的、本論文の構成を述べた。 第2章「折紙の基礎理論と等角写像」では、本研究の重要課題となる‘折り畳み’の概念、平面上に折り畳むために必要な折り畳みの条件、および円筒が折り畳まれた時にも円筒が閉じているために必要な閉じる条件について述べた。次に、各科学分野で用いられている等角写像について概説し、特に流体力学で用いられる写像変換を例にとり、等角写像を折り畳み可能な構造の展開図創成へ用いる利点とその指針を明らかにした。 第3章「等角写像を用いた軸方向に折り畳み可能な円錐殻構造の展開図創成」では、渦糸の流れの変換を用いて、比較的単純な円筒の折り畳みモデルから円錐殻の折り畳みモデルを創成した。渦糸の流れの変換は変換後の多角形要素を全て相似に保つことを証明し、展開図創出手法の簡素化に適した変換であることを示した。本手法で得られた円錐殻展開図の折り畳みの条件および閉じる条件式の誤差を検証し、閉じる条件式を満たすための角度の補正方法を明らかにした。 第4章「等角写像を用いた巻き取り可能な円形膜の展開図創成」では、渦糸の流れの変換を用いて、円筒形折り畳みモデルから円形膜巻き取りモデルを創成した。変換前の展開図に2段以上の段上昇をつけ、山・谷折線の割り当てを変え、円錐殻折り畳みモデル(第3章)と同じ変換式を用いて中心周りに巻き取られる構造を創成できることを示した。本手法を用い変換前の展開図の辺長および角度を変化させると、正多角形への巻き取りモデルだけでなく、異なる辺長をもつ多角形(長方形等)や異なる内角をもつ多角形(菱形等)の巻き取りモデルが新規に創出可能であることを明らかにした。さらに、変換後の要素の相似性から、円形膜中心まで相似的なジグザグ折線を導入することができることを示した。 第5章「等角写像を用いた2方向に折り畳み可能な湾曲した筒の展開図創成」では、湧き出しの流れの変換式を用いて、円筒形折り畳みモデルから湾曲する筒の折り畳みモデルを創成した。本手法で得られる湾曲した筒は2枚の展開図を前後に貼りあわせる構造をしており、2方向に折り畳み可能となった。変換前の展開図の折線のなす角度を固定し辺長のみを変化させると、曲率は異なるが折線のなす角度は同				

じであるトーラス展開図を複数創成できるため、折り畳み可能な条件のままこれらの展開図を結合でき、結果、任意に曲率が変化する筒も折り畳み可能であることを明らかにした。本手法を用いると、曲率が変化する場合も多くの変数変数を扱わずに必要な最低限の変数で展開図を創出できることを示した。

第6章「薄膜構造物のための折り畳み可能な湾曲した筒の展開図創成」では、湾曲した筒の立体形状を多面体近似し、平面上に展開、折り畳みに必要な折線を導入する手法を構築し、折線の規則性を維持しながら展開図を創成できることを明らかにした。本手法で得られた展開図は円筒の展開図に筒が湾曲した分だけ筒の内径側に切り抜きを入れた形状となっており、切り抜き形状を変えて湾曲の曲率を変化させる手法と、不要部分を切り抜かずに付加的な折線で筒の内部に折り畳んで湾曲の曲率を変化させる手法を構築した。最後に、得られた展開図に渦糸の流れの変換を行い、湾曲した円錐殻の展開図を創成した。得られた展開図の辺長の誤差について検証を行い、ある程度の誤差を許容すれば湾曲する円錐殻は折り畳み可能であることを示した。

7章「結論」では、数ある等角写像変換の中でも、要素の相似性が保たれる渦糸の流れの変換および湧き出しの流れの変換が簡易的に折り畳み可能な構造の展開図を得る数理的手法として適していると総括した。また、今後の展望として、2枚平板からなる折り畳みモデルを利用したサイドメンバー、円筒折り畳みモデルの折線部をトラス部材として置き換えた振動制御機構、薄膜の折り畳みとアクチュエータ機構を融合したコンパクトかつ展開のし易い救命器具、といった折り畳み可能な幾何学的特性を活かした人に優しいものづくりへの応用可能性について述べた。

(論文博士)

論 文 要 旨 (英 文)

(300語程度)

報告番号	乙 第	号	氏 名	石田 祥子
(要 旨) The objective of the present dissertation is to develop a technique to acquire planar fold patterns of complex foldable structures from ones of relatively simple structures in a systematic manner by using conformal maps, on the presupposition that the structures consist of flexible yet non-elastic surfaces with a thickness of ideally zero. The proposed technique can improve and simplify conventional processes in which each fold pattern is examined for each structure independently, and also help to acquire unknown fold patterns associated from known patterns. Firstly, conformal maps in fluid dynamics are demonstrated as an example, and advantages and procedure are clarified to apply conformal maps for pattern generation. Next, it is explained that the conformal map used for flows with a vortex filament is able to generate fold patterns for conical structures and for circular plane structures from ones of cylindrical structures. Through the mapping, angle correction is taken into account in order that angles between the mapped fold lines should satisfy the condition that the structure can be perfectly folded onto plane or it can be flat-foldable. Also, it is described that by using the conformal map used for flows with a source, fold patterns of toroidal structures are able to be generated from ones of cylindrical structures. Even for the structures with principal curvatures arbitrarily varying, the fold patterns are able to be defined by a limited number of design parameters, resulting in simplification of designs and reduction of processing time. Finally, another technique is considered to design a planar fold pattern to construct exactly targeted structures with curvatures changing by cutting and removing unnecessary parts from an initial planar fold pattern. By combining the technique with the map used for flows with a vortex filament, it is also shown that conical structures with curvatures changing can be folded if some difference on length of fold lines is accepted.				