

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：82645

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2021

課題番号：21K20422

研究課題名（和文）構造・材料特性によるメカニカルコンピューティングの開拓

研究課題名（英文）Architected materials towards mechanical computing

研究代表者

安田 博実（Yasuda, Hiromi）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：10910903

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、折り紙に基づく構造に注目し、チューナブルまたは制御可能な機械構造の静的・動的応答について調べ、機械構造に付加される入力进行处理し、それに応じた出力を得るメカニカルコンピューティングの探求を行った。折り紙構造に2種材料を導入したモデルを考え、固有値解析およびプロトタイプの試作を通して、折り拳動に与える影響について調べた。また、折り紙構造の動的応答を調べるため、有限要素法を用いて構造に2つの異なる入力を与えたときの挙動について数値解析を行った。数値解析の結果から、入力の与え方に応じて異なる折りの挙動を示すことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、折り紙構造の静的・動的応答を制御するため2種の材料を導入し、固有値解析と試作によりその有効性を確認した。これにより、折り紙の折り変形を利用した機械構造の幾何形状の制御において、理論もしくは数値解析のモデルを実際に製作する際に幾何形状の設計から材料の選定、試作の方法における知見を与えると考える。また、本研究で行った動解析の手法を用いることで、そういった構造が外部からの入力を受けたときの動的挙動に関する知見を得るのに役立つことができると考える。

研究成果の概要（英文）：Recently, mechanical metamaterials have attracted significant interest from researchers from various research fields. One of the reasons is that mechanical metamaterials can exhibit tunable (or controllable) static and dynamic responses. In this study, we explored the tunable mechanical properties of origami-based mechanical structures, specifically Miura-ori. We designed the origami-based system by introducing two different material properties to enhance the folding/unfolding behavior. To examine the folding/unfolding behavior, we conducted the eigenvalue analysis and characterized each eigenmode. Based on the eigenvalue analysis, we fabricated a prototype by employing an additive manufacturing technique to demonstrate the enhanced folding motion. Also, dynamic analysis of our origami-based structure was performed. Our simulation results show the different dynamic responses depending on how we apply two different inputs to the system.

研究分野：機械工学

キーワード：Mechanical metamaterials 折り紙

1. 研究開始当初の背景

機械的な構造の静的・動的特性を、要素の形状やその配置などを工夫することにより向上を行う mechanical metamaterials や architected materials と呼ばれる構造の研究が近年盛んに行われている。例えば、ラティス構造やテンセグリティなどを用いることでチューナブルな剛性やポアソン比(特に負のポアソン比)といった機械構造の静的応答に関する研究や、構造の周期性を用いることで得られる周波数バンドギャップといった動的応答に関する研究など幅広く行われている。また、そうした幾何形状やユニットセル要素といったものの配置による機械特性の向上や制御といった可能性が示唆されたことを踏まえ、外部からの入力(静的荷重や振動、衝撃のほか、温度変化といったものまで)に対して、機械構造の静的または動的応答を制御し入力に応じた様々な出力を取り出す試みがされてきている。

そうした外部の入力を機械構造内で処理し出力を行うメカニカルコンピューティングと呼ばれる研究が近年行われ始め、構造自体にセンサーやアクチュエーター、情報処理といった機能を持たせることで、半導体などの電子部品を用いる従来のシステムとは異なる新たな機械構造の探求が進められている。このようなメカニカルコンピューティングはまだ研究がされ始めたこともあり、そういったアプローチの有効性・実現性を検証する上での、理論的または数値的な解析のフレームワークの確立やプロトタイプを試作・試験などの十分な検討が求められる。

2. 研究の目的

機械要素のみから構成される構造により情報の処理を行うアプローチの議論がされ始めているが、実際にそのような情報処理を行う物理的なプラットフォームやその実現に向けた試作・試験についての十分な検討はなされていない。本研究の目的は、外部からの入力に対して機械構造の静的・動的応答の制御により情報処理を行うメカニカルコンピューティングの探求である。そのようなアプローチの探求を行うにあたり、mechanical metamaterials としての側面でも研究が行われている折り紙構造に注目し、折り挙動に関する静的・動的な解析、およびプロトタイプの製作の検討を行った。

3. 研究の方法

折り紙構造の静的・動的応答を調べるにあたり、mechanical metamaterials の分野で盛んに研究が行われているミウラ折りに注目する。ミウラ折りの折り挙動の解析には、平面部を剛体とし折り目部を蝶番のようなヒンジでモデル化した剛体折モデル(図1に剛体モデルを用いたシミュレーション結果を示す)だけでなく、プロトタイプを試作を考慮した有限要素法を用いたモデルについても考える。有限要素法を用いたモデルでは、平面部と折り目部をシェル要素でモデル化し、ミウラ折りを持つ剛体折りの特徴(構造の変形が折り目部において主に行われる挙動)を考慮し、剛性の異なる物性値を平面部と折り目部に割り当てる。2つの異なる物性を導入した際のミウラ折りの折り挙動への影響を調べるのに、固有値解析を行い剛体折りのモードと平面部の変形が含まれるそれ以外のモードとの比較を行った。また、固有値解析の結果を踏まえ、積層造形によるプロトタイプを試作(金属材料および樹脂材料)も行った。樹脂材料を用いた積層造形の装置には Stratasys の PolyJet 式 3D プリンターを使用し、平面部には剛性の高い材料を、大きな変形が伴う折り目部には延性の高い材料を使用した。

固有値解析および試作の結果を基に、動的応答を調べるため有限要素法を用いた動解析も行った。動解析では 3×3 のミウラ折り構造に注目し、折り目部に剛性の低い物性値を用いた。構造へ与える入力として、ミウラ折りの左端のユニットセル 2 つに荷重を加え、出力として他端のユニットセルの折り挙動を取り出した。

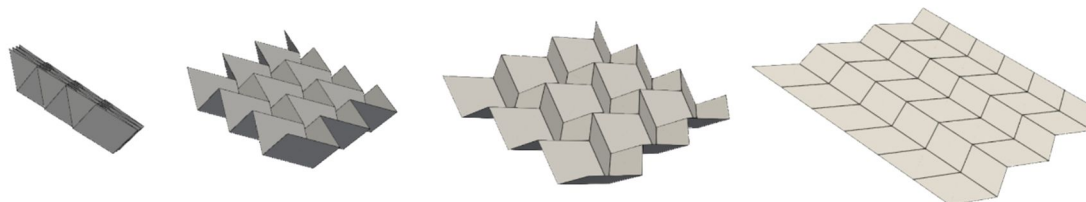


図1 ミウラ折り構造の折り挙動について、剛体折りモデルを用いてシミュレーション。

4. 研究成果

ミウラ折り構造について2つのケース（1つの材料のみによる場合と2つの剛性の異なる物性値を導入した場合）に注目し、固有値解析により調べた結果を図2に示す。図2(a)は平面部および折り目部ともに同じ物性値の場合について、下5つの固有値をプロットしたものである。ただし、剛体モードの下6つは除いている。また、図中のマーカーの色はミウラ折り構造全体の变形に対する折り目部の变形の割合を表す。具体的には、すべての变形が折り目部で起こっている場合はこの指標は1(赤)を、すべての变形が平面部のみの場合は0(白)となる。図2(a)のインセットは最低次のモードを示し、折り目における折りの变形以外にも全体としてねじれるような变形が伴っていることがわかる。図2(b)はミウラ折り構造の折り目部に剛性の低い物性を導入した場合の解析結果で、単一材料のみで構成したミウラ折りの結果とは異なり、最低次のモードはほぼ折り目での变形が行われる剛体折りの挙動(図1を参照されたい)となっていることがわかる。このことから、ミウラ折りを物性値の異なる2種材料を用いたマルチ材料構造としてデザインすることで、ミウラ折りの剛体折り紙モデルが示すような剛体折りの挙動を実現できることが示唆された。

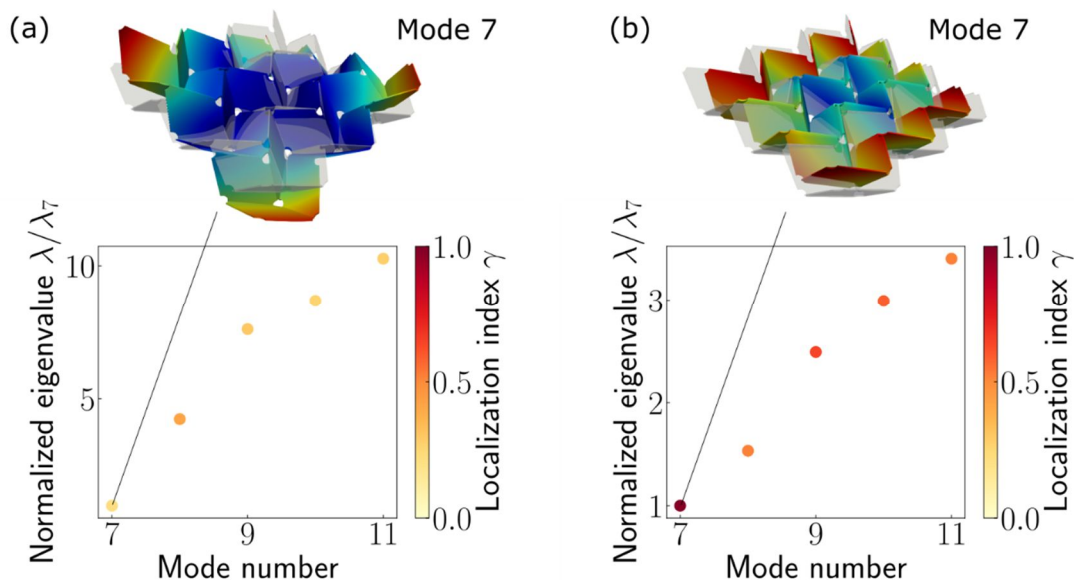


図2 ミウラ折り(3×3)の固有値解析の結果。解析では、(a) 平面部と折り目部を同一の材料を割り当てた場合と、(b) 折り目部に剛性の低い材料を用いた場合について検討。

この固有値解析の結果を踏まえ、マルチ材料によるミウラ折り構造の製作を試みた。図3に樹脂材料を用いたマルチ材料造形のプロトタイプを示す。延性の高いゴム材料を折り目部にプリントするにあたり、折り目の幅を設定するだけでなく、曲率を与えることでより折りやすい構造にしている。図2(b)の左のパネルが示すように、今回使用した積層造形装置では2種類の材料を用いた平面部と折り目部が境界面で接合されていることがわかり、プロトタイプに变形を加えても境界面で完全に剥離してしまうことなく折りの挙動が実現することがわかる(図3(b))。また、剛体折りモデルのシミュレーションや固有値解析の最低次のモードが示す剛体折りの動きも実現できることが示唆され、この結果はマルチ材料造形を用いた形状可変構造の製作において有効なアプローチになりえると考えられる。

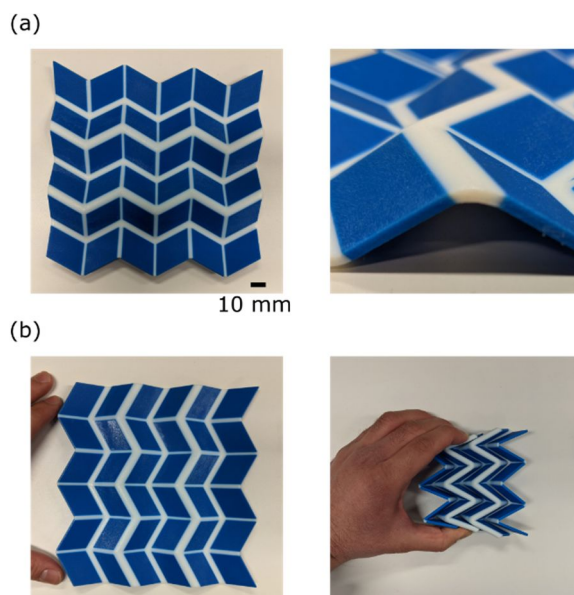


図3 積層造形により試作したミウラ折り構造のプロトタイプ(a) 外観と (b) 折り挙動

固有値解析とプロトタイプを試作を踏まえ、ミウラ折り構造に2つの入力を一定時間付加した場合の動的解析を行い、出力として他端のユニットセルの折り挙動を調べた。本研究では、以下の2つのケースについて調べた：ケース1) 同一の入力をInput 1とInput2に加えた場合、ケース2) Input 1のみに入力を付加した場合。図4に動解析の結果を示す。ケース1とケース2ともに、入力を与えている時間における出力の応答に大きな違いは見られないことがわかった。ただし、入力を与えている時間が経過後の挙動では振幅および位相に差が見られることから、入力の付加の仕方により、それに応じて異なる動的な応答を発生することが示唆された。

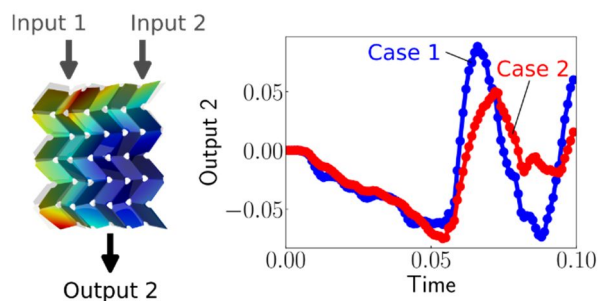


図4 ミウラ折り構造に2つの入力（圧縮荷重）を与えたときの他端のユニットセルの折り挙動 (Output)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------