

第13回留学報告書

2024年12月

山口光史郎

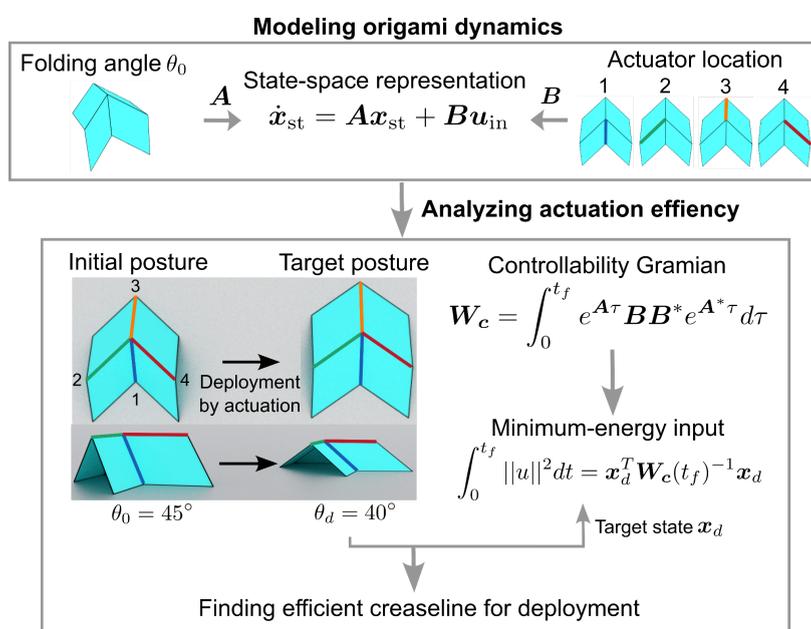
University of Washington, Aeronautics & Astronautics

ワシントン大学航空宇宙工学科博士課程の山口光史郎です。この報告書では、2024年夏の報告書から今までについての報告をさせていただきます。

1. 研究関連

引き続き博士論文最終章の完成を目指し研究を行っています。この最終章に関連して、以下の論文を投稿し、プレプリントを公開しました。

1. K. Yamaguchi, Y. Miyazawa, Y. Oh, S. Jeong, R. Dai, M. Mesbahi, J. Yang, "Controllability analysis of origami dynamics via state-space modeling", *Under review* ([preprint](#))



論文のグラフィックカルアブストラクト

折り紙は、紙を折りたたむだけでさまざまな形を生み出す伝統的な日本の芸術ですが、近年ではその独自の力学特性が注目され、工学やデザインの分野で幅広い研究対象となっています。折り紙構造は、展開時の表面積や断面の調整が可能で、ポアソン比(材料の伸び縮みの特性)や剛性を自在に変化させることができる柔軟性を持っています。この特性を活かし、折り紙は宇宙工学において、ロケットの限られたスペースに大規模な構造物を収納するための技術として長年活用されてきました。さらに最近では、その応用がロボティクスの分野にも拡大し、折り紙の柔軟性を活用した変形可能なロボットやソフトマテリアル技術が注目されています。

これまでに開発された折り紙ロボットには、形状をプログラム可能な折り構造、変形可能なエクソスケルトン、伸縮自在なロボットアーム、小型の形状変化可能な飛行体など、さまざまな革新的な例があります。しかし、これらの研究の多くは折り紙の形状や構造に着目しており、動的

な挙動やその制御モデルについては未解明な部分が多く残されています。特に、折り紙構造が持つ柔らかさとしなやかさのために、正確な制御が難しいという課題がありました。

本研究では、こうした課題に取り組むために状態空間モデルという制御工学の分野でよく用いられる手法を用い、折り紙構造の動的挙動を分析しました。このモデルは、システムの入力と出力を微分方程式で結びつけるもので、特に可制御性と呼ばれるシステムの特性を評価するために適しています。具体的には、折り紙構造を質点、バー要素、ヒンジ要素からなる簡略化された力学モデルとして表現し、このモデルを基にミウラ折り構造の可制御性を解析しました。

ミウラ折りは、展開時に負のポアソン比を持つ特異な特性や、高い収納性を持つことから、折り紙工学の中で特に注目されるパターンです。本研究では、ミウラ折りの展開に必要な動力を効率的に制御するため、最適な折り目の選定方法を提案しました。この選定には可制御性グラミアンという指標を用い、効率的な展開が可能な折り目を理論的に特定しました。さらに、実際の実験ではステンレス鋼製のミウラ折り構造を用い、サーボモーターによる展開時のエネルギー消費を測定し、理論的予測との一致を確認しました。

本研究の成果は、折り紙構造の動的挙動を効率的に制御するための新しい理論的フレームワークを提案するものです。この手法は、折り紙工学だけでなく、機械工学、航空宇宙工学、さらには医療分野における柔軟な構造物やデバイスの設計・制御にも応用できる可能性を秘めています。これにより、折り紙の技術が持つさらなる可能性を開拓する基盤を築くことができました。

2. おわりに

今回も簡潔な報告書となってしまいましたが、2025年初頭での卒業に向けて研究していきたいと思います。それゆえ、定期報告書としてはこれが最後になるかと思っています。船井情報科学振興財団の皆様からのご支援に感謝します。