



シザース構造の応用による開閉可能な任意の三次元曲面



[ 概要 ]

シザーズ構造と傘の機構を組み合わせた、展開可能な任意の三次元曲面構造物の設計手法を提案する。本提案の主な特徴は、傘の骨組みに相当する部分に、曲線上に展開可能なシザーズ構造を適用<sup>(※1)</sup>した点である。さらに、多様な曲率の実現とスムーズな開閉を可能にするため、部材の長さを可変とするアルゴリズムを考案した。提案手法の有効性を確認するため、実寸モデルを制作し、その動作や形状の妥当性を検証した結果、複雑な三次元曲面の展開・収束における新たな可能性を示した。

[ 背景 ]

シザーズ構造は、広範な分野で活用されており、その一つに建築への応用がある。この構造は、①軽量であること、②コンパクトに折り畳めること、③展開時に大きな面積を確保できるといった特徴を持つ。しかし、シザーズ構造はその機構の複雑さに加えて、大量生産を想定した規格化された部材で構成されることから、デザインが単調になりやすい。本提案では、簡単な法則に基づいて複雑な形状を迅速に設計できるアルゴリズムを構築し、任意の三次元曲面に展開可能なシザーズ構造を設計する手法の確立を目指す。

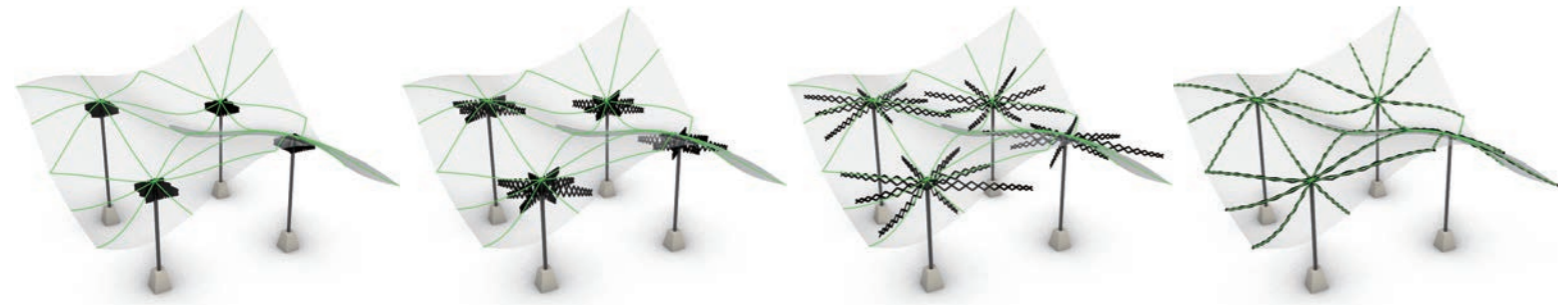
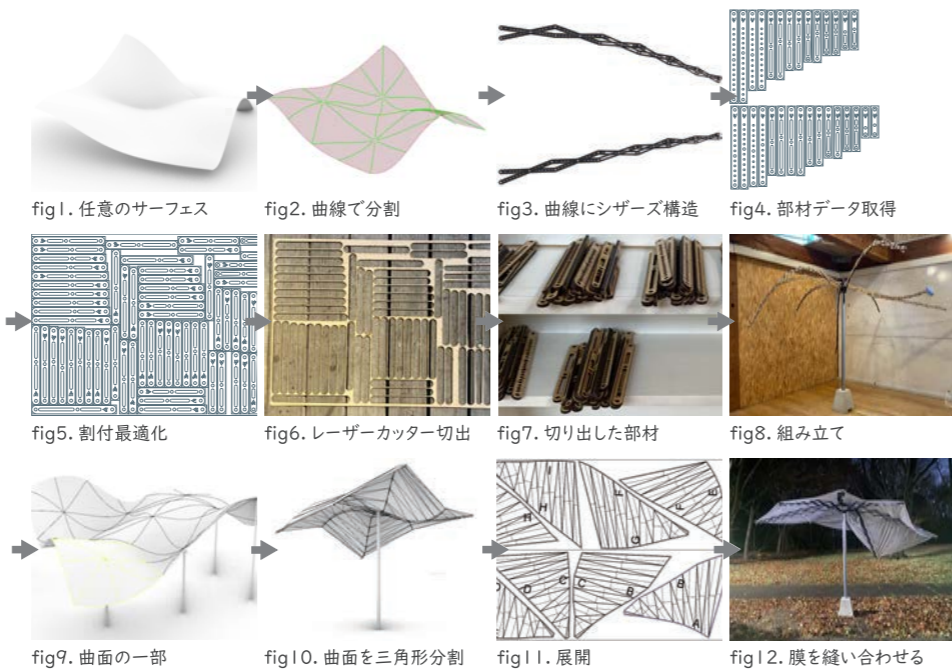


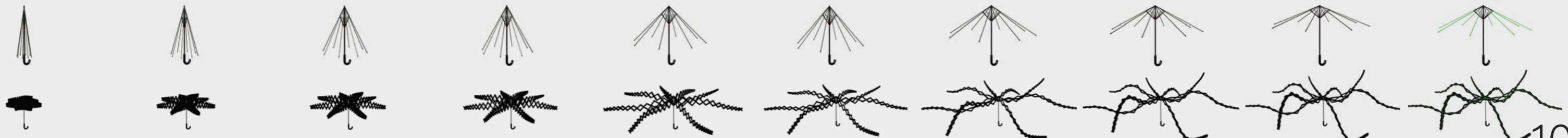
fig0.<シミュレーション> 開閉の様子

[ 制作の流れ ]

制作の流れは、次に示す通りである。まず、任意のサーフェスを作成し [fig1]、その曲面を曲線で分割する [fig2]。その曲線にシザーズ構造を展開させ [fig3]、それぞれの部材データを取得する [fig4]。部材のデータは全て、長さも交点の位置も違うため一つ一つの部材を自動的にナンバリングする。ナンバリングされた部材を、端材が最も少なくなるよう割付を最適化 [fig5] しその情報を元にレーザーカッターで切り出しを行い [fig6]、骨組の組み立てを行う [fig7]。最後に曲面 [fig9] を三角形分割し [fig10]、それを展開 [fig11] して縫い合わせる [fig12]。



[ (※1) 傘の骨組みに相当する部分に、曲線上に展開可能なシザーズ構造を適用 ]



[ 参考文献 ] 李, 恵文 Design and analysis for configuration of scissor structure with arbitrary curve 政策・メディア研究科修士論文 (2020)

[ モックアップの詳細 ]

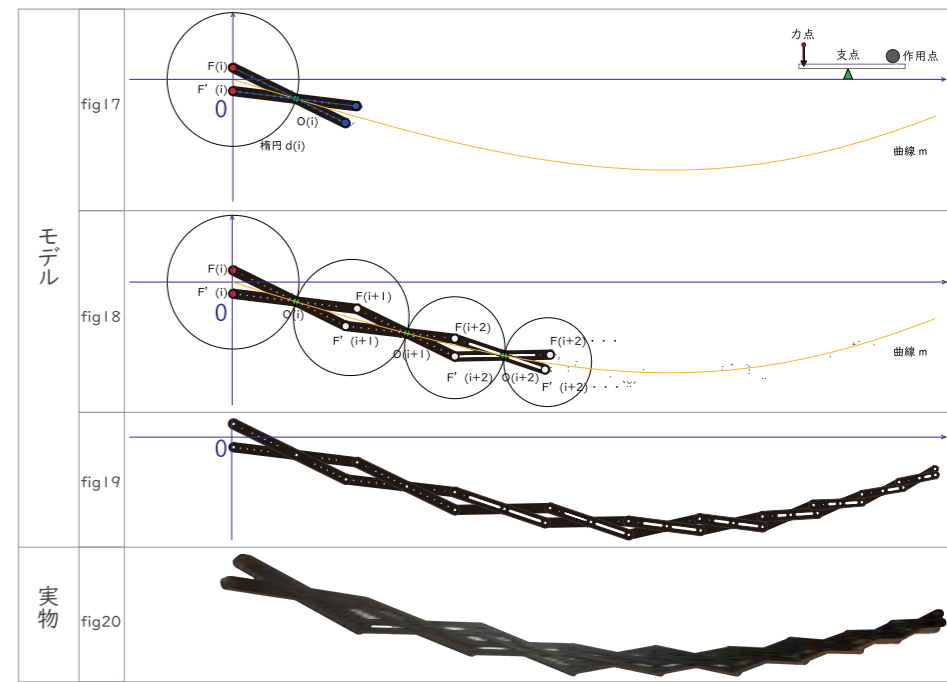
上下機構は3Dプリンターで出力する。両脇にレールを設置することで、上下機構（黄色部分）が垂直に動作するように設計されている。このレールにより、骨組がねじれることを防ぎながら、スムーズな上下運動が可能となる [fig13]。また、上下機構にストッパーを取り付け、点Aと点Bを固定して目標形状を維持している [fig14]。さらに、構造の軽量化を目指して骨組の不要な部分には穴をあけて取り除き、全体の重量を削減しながらも、必要な強度を維持できるよう工夫を施した [fig15]。特に、骨組の根本部分は開閉の際に大きな力がかかるため、シザーズ構造を三重に重ねることで強度を保ちながら開閉に対応させている [fig16]。



[ 原理 ]

多様な曲率の実現とスムーズな開閉を可能にするため、部材の長さを可変とするアルゴリズムを考案。てこの原理より、骨組の先端に近づくに連れて部材を短くすることで力点 (fig17赤丸) にかかる負荷が減る。右図は、モデル [fig17-19] と実物写真 [fig20] である。以下にアルゴリズムを示す。

- ①O(i) の位置 (b(i) > 0)  
点 F(i) 点 F'(i) を焦点、b(i) を短軸の値とする楕円 d(i) と曲線 m の交点が O(i) となる。 [fig17]
- ②点 F(i+1) 点 F'(i+1) の位置 (0 < t < 1)  
 $F(i+1) = O(i) + t \cdot \frac{O(i)F(i)}{|O(i)F(i)|}$   
 $F'(i+1) = O(i) + t \cdot \frac{O(i)F'(i)}{|O(i)F'(i)|}$
- ③点 F(i+1) 点 F'(i+1) の位置 (0 < t < 1)  
 $F(i+2) = O(i+1) + t \cdot \frac{O(i+1)F(i+1)}{|O(i+1)F(i+1)|}$   
 $F'(i+2) = O(i+1) + t \cdot \frac{O(i+1)F'(i+1)}{|O(i+1)F'(i+1)|}$  ...



[ 曲率 ]

シザーズ構造が展開できる曲率の限界は曲線の曲率と部材の長さの相互作用によって決定する。骨組の先端に近づくに連れて部材を短くする際は一定の比率で小さくしていくが、曲率に応じて部材の長さを調節することで理論上どのような曲線にもシザーズ構造を展開することができる。 [fig21]

