



## 構造デザイン研究室

Structural Design Lab.

白髪 誠一

SHIRAGA, Seiichi / Professor

# 超音波カッターを取付けたロボットアームによる構造最適形態を造形するための切削加工に関する研究

Study on milling for the structural optimum shape using robot arm with super sonic cutter

## ベースモデル

幅250mm、高さ400mmの正六角柱に対して、高さ250mmの位置に幅120mmのくびれを設けた形態であり、側面は底面と中間面、中間面と上面を繋ぐ平面とする。

## BESO法を用いた形態最適化

BESO法は進化的構造最適化の手法の1つで、Bidirectional Evolutionary Structural Optimizationの略であり、有限要素法による解析を行い、敏感数と呼ばれる基準量を大小に基づいて要素の除去と再生により構造物の形状を変化させ、変化した構造形状に対して再び有限要素解析を行う過程を繰り返すことにより、構造物の形状を徐々に変化させる手法である。本解析では、シェル要素で構成された設計領域に対して、シェルの厚みを増減させることで構造物の形状を変化させる方法を採用している。解析にはKaramba (ver.2.2.2)を使用した。

## 境界条件

荷重条件は、人が使用する際に想定される鉛直下

向きの荷重を作用させる。応力解析プログラムであるKarambaでは、面外曲げの影響が大きくなると、収束させるために細かく条件を設定する必要があるため、スツールの座面である正六角形の各頂点に、鉛直下向きに0.333KNの集中荷重を作用させる。支持条件は、底面の各頂点に局所座標を設定し、鉛直方向と支持点における接線方向を拘束するピン支点とした。

## 材料特性

ABS樹脂を想定し、ヤング係数 $E=1950\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、引張強さ $f_y=750\text{N/mm}^2$ と定義した。

## 解析条件

解析条件としては $ER=1\%$ 、 $N_{\text{hist}}=100$ と定義した。要素は四角形シェル要素で $0.09 \times 0.1[\text{mm}]$ となるように分割し、4608個の要素を用いている。

## 設計変数

目標体積比=60%–30%、最大反復回数=51–120、影響半径=5mm–20mm、厚み:3.0–0.5cm、

水平荷重=0.083–0.2KNの間で作用させ、荷重点は鉛直荷重と同じとする。

## ロボティック・ファブリケーション

BESO法を用いて得た構造最適形態を、超音波カッターを取付けたロボットアームを用いて、3Dプリンタで作成したベースモデルに対して切削を行い、造形する。

## ロボットアームの基本性能

最適化形態を創生するために用いたロボットアームはU-FACORY社製のxArm6である。自由度はX、Y、Z軸方向で3つ、X軸回り(Roll)、Y軸回り(Pitch)、Z軸回り(Yaw)で3つの自由度、計6つの自由度を持ち、6つのジョイントを有する。可動領域はX軸、Y軸方向に±700mm、Z軸方向に951.5mmある。

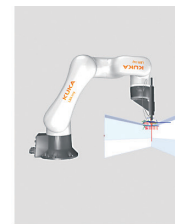
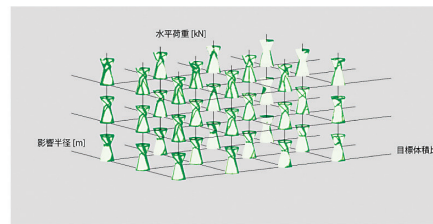
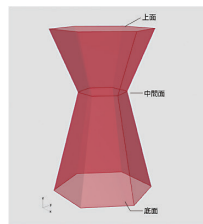
## これから

ロボットアームを用いてスツールに対して切削加工を行う。



阪下 闕

SAKASHITA, Chikara



# 竹造パビリオンにおける傾斜アーチ交点のロボットアームを用いた巻付け結束に関する研究

Study on binding of intersections on crossed bamboo arches using robot arm

## 1. 研究目的

白髪ら<sup>1)</sup>の研究は、2台のロボットアームで架設可能な架構を計画し、同時に動作させるように制御をすることで、ロボットアームの可動領域を超える竹造パビリオンの架設を行った。また、本岡<sup>2)</sup>の研究では、アーチを傾斜させることで交点を結束しパビリオンの水平剛性を確保するためのパビリオンの構成を提案している。

本研究では、ロボットアームの可動領域を超える大きさの、水平剛性を確保した竹造傾斜アーチパビリオンの架設を目的とし、傾斜アーチ部材の交点を、ロボットアームを用いた巻付け結束方法を明らかにする。

## 2. 結束計画

- 1) 架設された傾斜アーチ交点を結束するため、巻付け機構を取り入れたエンドエフェクターを提案する。巻付け機構はサーボモーターを用いて制作する。
- 2) ロボットアームの基点から最も近い交点を結束

可能とするため、エンドエフェクターとロボットアームを結合させる延長器は、ロボットアームが負荷の少ない姿勢を実際に確認するために、長さを調整できるものを製作する。

- 3) 結束する際、ロボットアームが物体に干渉しないために、3Dcadソフトウェア「RhinoCeros7」の拡張機能「GrassHopper」にてシミュレーションをし、ロボットアームの先端であるエンドエフェクターが作業を行う中心点の軌道経路を決定する。

## 3. 実験の内容

2台のロボットアームを用いて架設されたアーチ部材に傾斜角を与えたパビリオンの形態を想定する。ロボットアームの基点を原点  $(X,Y,Z) = (0,0,0)$  と定めたときの  $X=0$ 、 $X=424$ の2つのアーチ部材を対象とする。原点から一番遠い交点、交差位置が一番低い交点、その2つの交点の中間距離に位置する交点の結束を行うが、パビリオンは鏡像な形態であるため、

全体の交点から抽出して計6箇所に対象を絞る。

## 4. 結束方法

ロボットアームの姿勢制御は「Python」を、巻付け機構に含まれるサーボモーターの回転制御は「ICSサーボマネージャーソフトウェア」を用いる。

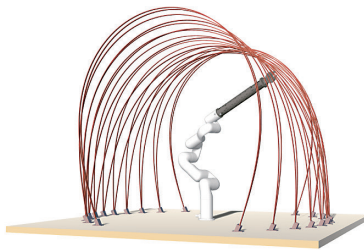
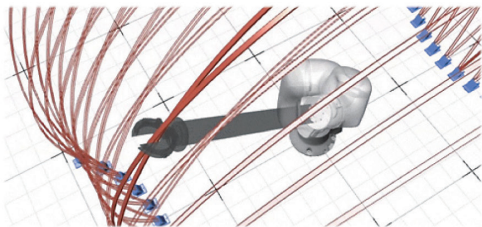
実験は以下の①～④の手順で行う。

- ① 結束に使用する素材をエンドエフェクターに取り付けるため一時停止させる。
- ② ロボットアームを初期位置から結束交点の位置に移動する。
- ③ 巻付け機構による結束を行う。
- ④ 初期位置まで移動する。

ロボットアームに①～④の動作を、結束する回数だけ繰り返すよう指示する。

## 参考文献

- 1) 白髪 誠一、小林 拓海、牧野 光真: 2台のロボットアームによる竹造アーチ形式パビリオンのスケールモデルの架設-ロボティクスを活用した空間デザインに関する研究(その2)、日本デザイン学会、第69回春季研究発表大会、pp314-315、2022年6月
- 2) 本岡 大樹: 交差するアーチにより水平剛性を確保する竹造パビリオンの架構計画、大阪工業大学空間デザイン学科卒業論文梗概集、pp17-18、2022年3月



又吉 隆斗  
MATAYOSHI, Ryuto



# 到達距離を2倍程度とするエンドエフェクタを取付けたロボットアームを用いるケーブルネット構造屋根の架設計画

Planning to fabricate cable net structure using robot arm with long end-effector

## 序論

既往の研究として、2020年の研究生である土橋※は、「ロボットアームを用いたケーブルネット構造の屋根の架設計画」をテーマとし、研究していたが、屋根の架設まで至らなかった。しかしフックパーツの形状やロボットアームの姿勢制御、ケーブルの巻付け方といった点を考慮し、二点間にケーブルをかけることに成功した。

この研究成果を引継ぎ、ロボットアームを用いてケーブルネット構造屋根を架設することが研究目的となる。

## 形態

この研究目的には、ロボットアームの限られた可動領域内でより大きな空間を構成するための形態・構法を探るという背景がある。つまり、ケーブルネット構造でより大きな屋根を架設するための形態・構法を探る必要がある。



長谷川 寛

HASEGAWA, Hiroshi

屋根の形態としては、ケーブルネット構造が曲率中心の互いに逆のカテナリー曲線となる押えケーブルと吊りケーブルが釣り合うことで耐力と剛性を確保する構造形式であるため、母線と導線の曲率中心が互いに逆側にある鞍型曲面がケーブルネット構造屋根の形態として一般的である。そして、ロボットアームの作業領域を最大限生かした鞍型曲面を作るなら、直線ではなく円弧を輪郭として形成される鞍型曲面となる。

## 架設計画

屋根高さや鞍型曲面の輪郭部分の勾配、エンドエフェクタの長さといった様々な値が形態の大きさやロボットアームの作業性に影響する。

そのうちの屋根高さや作業性には、屋根高さの値が大きいと作業性は良いが屋根面積が小さくなり、屋根高さの値が小さいと作業性は悪いが屋根面積が大きくなるという関連性があることに気づいたため、当初は

より大きな屋根を架設する際の屋根高さを求める方向性で考えていた。しかし、屋根高さが屋根面積に与える影響より、エンドエフェクタの長さを変えることで屋根面積に与える影響の方が大きいことが分かった。そのため、より大きな屋根を架設するためにはエンドエフェクタを長く設定するという方向性に変更した。従って実験には、UFACTORY社製のxArm6を使用し、先端には1000mmのエンドエフェクタを取り付け、到達距離を2倍程度にした状態で実験を行う。ケーブルを掛ける屋根のフレームは、2791mm×3523mm×1191mmである。この実験の際に必要なエンドエフェクタ、フレームを支えるエンドパーツは、Grasshopperにて設計し、3Dプリントで作成した。

## 参考文献

※土橋律来：ロボットアームを用いたケーブルネット構造の架設計画，大阪工業大学空間デザイン学科，卒業論文梗概集，第12号，pp.17-18 2021年3月

