

2020年度

大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部
空間デザイン学科

卒業論文梗概集

第 12 号

2021年3月

大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部
空間デザイン学科

ごあいさつ

空間デザイン学科は、都市・建築・インテリア・プロダクト・情報（ヴィジュアル）などのデザイン領域を網羅的に学ぶと共に、自らの専攻するデザインを通して社会貢献を目指す学科です。卒業時には、卒業論文と卒業作品のいずれかを選択することになっており、本小冊は卒業論文の梗概をまとめたものです。

御高覧賜ります各位におかれましては、何卒忌憚のない御意見をお願い申し上げます。

大阪工業大学 空間デザイン学科
学科長

今井 美樹

FOREWORD

Our Department of Design and Architecture covers architecture as well as the three areas of interior, product and information/visual designs. Students acquire knowledge and skills in these fields to make contribution to society. This synopsis includes the research papers by the students who chose to write papers as graduation research. We would be grateful if you could read their academic outcomes.

IMAI, Miki

Department chair of Design and Architecture

2020年度卒業論文題目

- 作業対価型滞在システムを利用する滞在者同士の関わりについての研究
日野賢一（建築歴史文化研究室：妻木准教授）…………… P. 1
- フラクタルツリーを用いたインタラクティブな3Dモデルの制作に関する基礎的研究
岡武郁弥（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P. 3
- 盲導犬用ハーネスの胴輪・ハンドル取付部の改善に向けた基礎調査
小倉宇嵐（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P. 5
- ロボットアームによる三次元ジグソーパズルの切削加工に関する基礎的研究
ケミカルウッドを用いたピースの製作
迫田 雄大（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P. 7
- 物理演算に基づく海洋生物の行動シミュレーション
「深海エレベーター」のための映像
塩見麻友（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P. 9
- 厳島神社における歩行行動と視覚行動に関する研究
嶋崎伸哉、津田慎吾、松永 歩、松本龍樹
森田時空、吉田圭一（建築歴史文化研究室：妻木准教授）…………… P.11
- ロボットアームを用いて建設する竹造アーチ形式のパビリオンの架構計画
高見澤良平（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P.13
- 大阪市域で想定される直下型地震動に対する木造軸組構法住宅の耐震性能の確保に関する研究
千葉晃暉（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P.15
- 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
土橋律来（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P.17
- ロボットアームを用いた竹造アーチ形式パビリオンの架設計画
廣野圭太（構造デザイン研究室：白髪准教授）…………… P.19

「作業対価型滞在システムを利用する滞在者同士の関わりについての研究」

Study on relationships among sojourners providing labor in exchange for accommodation and food

W16-073 日野賢一

第1章 はじめに

1.1 作業対価型滞在システムとは

「作業対価型滞在システム」とは滞在者側は「作業」をホスト側は「食・宿泊場所」を提供することで金銭のやり取りをせずに交換が行われるシステムのことである。(1)

作業対価型滞在システムを利用するには Web 上にあるマッチングプラットフォームのいずれかに登録(有料)するのが速やかである。ホストは自身のページを作成後に申請し、滞在者は訪れたい場所や体験したい文化やホストのページ上に記載されている作業内容や写真、評価等の情報を参考にしながらホストを探す。そして、そのページ上で滞在期間等をホストとやり取りし、お互いの合意を取ることができれば無事に滞在することが可能である。

1.2 研究背景

産業社会化やモビリティの発達によるグローバル化によって、人口は都市へ集中し、機能分化が進み、伝統的な共同体は解体された。また、現代ではインターネットの発達により、世界中の情報にアクセス可能になり、サブカルチャーとして様々なコミュニティが生まれている。一方で、個人として行動することができるインフラが整ったことで、個人はさまざまな選択肢の中から主体的に選択し、自らの人生を設計することが必要になった。しかし、あらゆる情報がデータ化される相互監視社会において、選択することにはさまざまなリスクと責任が生じる。また、個人としてはフィルターバブル(a)によって、自分の興味がある情報だけを知ることが可能になり、異なる価値観に触れ合う機会は減少している。その中で、個人は伝統的な共同体にあった安心感を求めるとともに、アイデンティティを探求する。そこで、アイデンティティの探求を終えるために、異なる価値観を持つ他者と身体性の伴うコミュニケーションを取ることで信頼関係を築くことが必要である。

また、地域では「マス・ツーリズム」に代わる新たな観光スタイルとして「持続可能な観光」が求められている。筆者はその1つである「作業対価型滞在システム」を用いて旅をしてきた。その中で得られた滞在者同士のつながりは筆者や他の滞在者の人生に大きな影響を与えた。

作業対価型滞在システムに関する先行研究では

「WWOOFを利用して作業の対価として場所を提供するホスト、ここを訪問する外国人、およびホストの居住地域住民との関わりにおいて、ホストが地域の課題・資源および、訪日外国人のスキル・興味を把握しマッチングさせることで地域にポジティブな影響を及ぼす」(1)と述べられている。一方で、〈滞在者の視点〉から作業対価型滞在システムを利用するメリットは述べられていなかった。また、この視点から見た場合、作業を提供することで得られる滞在所と食事、安価での中・長期的な滞在以外にもそこで生まれる〈滞在者同士のつながり〉が作業対価型滞在システムの重要な価値である。それによって、地域への貢献もより一層増すと考える。そこで本研究では作業対価型滞在システムにおける滞在者同士のつながりに着目する。

1.3 研究目的

筆者自身による参与観察と社会学的知見を利用し、以下の2点を明らかにし、新しい観光スタイルとして作業対価型滞在システムの可能性や要点を提言する。

- 1) 筆者自身による参与観察から作業対価型滞在システムにおける滞在者同士のつながりの概要について把握する。
- 2) 現代の社会において作業対価型滞在システムを利用することによって得られる滞在者同士のつながりの果たす役割とそれが生まれる要因を明らかにする。

1.4 観光としての立ち位置

先行研究では直接的ではないが作業対価型滞在システムを利用する滞在者は「ボランティアツーリズム」に位置するとしている。「ボランティアツーリズム」とは「持続可能な観光」の1つの形態であり、ウェアリングによると「ツーリストであって、様々な理由から、その休暇を、何らかの仕方でボランティア活動のために、すなわち、何らかの形で困窮状態にある人々の援助や支援、様々な環境の維持・復旧、もしくは社会的環境の諸側面についての改善・調査・研究などの活動に従事するために、過ごすことをする者たち」(2)のことである。また、「持続可能な観光」はUNWTO(b)の定義によると「訪問客、業界、環境および訪問客を受け入れるコミュニティのニーズに対応しつつ、現在および将来の経済、社会、環境への影響を十分に考慮する観光」(3)である。ホストや地域の人とのコミュニケー

ションが可能な規模ならば、マス・ツーリズムのように現地の環境と文化を破壊するような弊害はなく、作業を対価とするため、ホストや地域の人と滞在者の関係は対等であることから持続可能な観光であるといえる。しかしながら、作業対価型滞在システムを利用する滞在者はボランティアツーリズムのように何らかの形で困窮状態にある人の援助ではなく、中・長期的な滞在もしくは作業によって得られるスキルや文化的体験が主な目的である。また、ホストも困窮状態にあるわけではなく、基本的には単純な労働力やつながりを求めている。したがって、持続可能な観光ではあるがボランティアツーリズムではない。

第2章 エスノグラフィー

本章では作業対価型滞在システムを用いて滞在した6つの事例について記述する。第1章で述べたマッチングプラットフォームの1つである Workaway を利用して滞在した場所は、順番にフィンランドのサビタイパレ、高知県の仁淀川町、長崎県の小値賀島、ギリシャのメガロポリス、ベルギーのゲラルスベルゲンの5つである。また、熊本県のエコビレッジサイハテでは「インカム制度」と呼ばれる独自の作業対価型滞在システムを利用して滞在した。

2.1 ベルギー ゲラルスベルゲン (図1)

2019年の9月8日から22日までの約2週間滞在した。他の滞在者は、スペイン人の女性、アルゼンチン人の女性、バンを改装して旅をしているハンガリー人とベルギー人のカップルである。ホストが日程を調整し、滞在者はほとんど同じタイミングで到着し、途中新しい滞在者が到着することもなかった。到着した日は、まず自己紹介をした後、庭と家を案内してもらい、ハウスルールを教えてもらった。

第3章 おわりに

3.1 まとめ

筆者自身による参与観察から、観光目的で作業対価型滞在システムを利用した滞在者たちは〈滞在者同士のつながり〉を経験する。それは〈価値観の異なる他者との対話〉と〈信頼関係〉を生み、アイデンティティの探求を終えるきっかけになる。また、このような滞在者同士のつながりは〈偶然性のある集まり〉、〈身体性の伴う共同作業〉、〈適切な規模・期間〉によって生まれる。

滞在者同士のつながりが濃くなることで、相乗効果でホストや地域に影響を及ぼす可能性がある。したがって、これらの要素は作業対価型滞在システムを利用することによる地域への影響の新たな指標になると考える。また、作業対価型滞在システムは個人化した社会への処方箋になる可

能性がある、という新たな社会的意義を与えた。

3.2 今後の課題

筆者はこれから京都の里山である京北で、ホストとして作業対価型滞在システムを導入することを考えている。これまでに述べたことを踏まえた上で、作業対価型滞在システムを運営しながら、その場所に合うように随時変化させていきたい。



図1 他の滞在者と

(注)

(a) アルゴリズムがネット利用者個人の検索履歴やクリック履歴を分析し学習することで、個々のユーザーにとっては望むと望まざるとにかかわらず見たい情報が優先的に表示され、利用者の観点に合わない情報からは隔離され、自身の考え方や価値観の「バブル (泡)」の中に孤立するという情報環境を指す。(総務省 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd114210.html>)

(b) 国連世界観光機関

【参考文献】

- 1) 岡田愛 他：作業を対価とする滞在システムを利用する訪日外国人とホスト及び地域の関わり方に関する研究 - 日本における WWOOF の事例を中心にして -
- 2) Wearing, S., Recentering the Self in Volunteer Tourism, in: Dann, G. M.S. (. ed.) , The Tourist as a Metaphor of the Social World, Wallingford: CABI, pp.237-262, 2002.
- 3) 国連世界観光機関 (UNWTO) 駐日事務所 <https://unwto-ap.org/why/tourism-definition/>

(建築歴史文化研究室)

1 序論

センサーの発達によって人の動きにインタラクティブに反応する映像やプロダクトが多く提案されているが、人が生活する居住空間でのインタラクティブな映像の提案は少ない。しかし、microsoft 社の kinect を用いて人の動きをセンシングし、制作したモデルの映像をプロジェクターで壁面に投影することでインタラクティブな映像を居住空間で使用できると考える。

居住空間にいる人の動きにインタラクティブに反応する 3D モデルの制作を本研究の目的とする。人が近づくと成長が早くなり風に揺れているように見えるフラクタルツリーのモデルを制作する。

2 制作

2-1 フラクタルツリーの生成

フラクタルツリーは、図 1 に示す再帰アルゴリズムを用いたプログラムによって生成した樹状のモデルである。樹木は相似的な形をしており、1つの枝が2つに分かれる枝分かれの処理を繰り返すことによって生成することができる。原点から初めに枝分かれする点を結び幹を生成する。枝分かれは図 2 に示すように角度 θ を $0 \sim 360$ 度の範囲の中でランダムに設定し使用する。枝は幹と同じ方向に伸ばし ϕ だけ傾け、幹を回転軸とし θ だけ回転させることにより 2 つあるうちの 1 つの枝を生成した。もう片方の枝は先ほど使用した θ に 180 度加えた角度に分岐する。 $\phi = 20^\circ$ とし、枝の長さは直前の枝の長さの 0.9 倍とした。この処理を何度繰り返すのかを指定するために関数 Level を用いる。

2-2 成長の表現

フラクタルツリーは関数 level と各枝の長さを同時に変化させながら大きくなる。これをフラクタルツリーの成長とする。kinect を用いて人の動きによって値が変化する増分 a を用いて成長を表す。図 3 に示すように kinect の正面に人物 A が立った場合、人物 A はモデル空間上に鏡像である人物 A' として取り込まれる。フラクタルツリーは原点に生成する。フラクタルツリーの成長を促進させるエリア、ポーズを設定する。モデル空間上の $-3 \leq x \leq 3$ かつ $0 \leq y \leq 1.5$ の範囲を成長促進エリアとする。図 4 に示

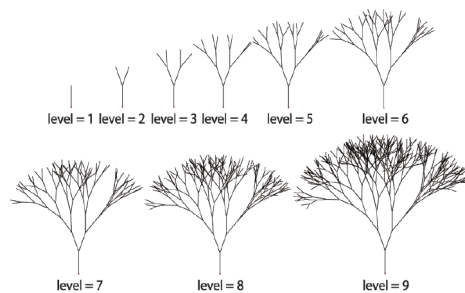


図 1 各 level のフラクタルツリーの様子

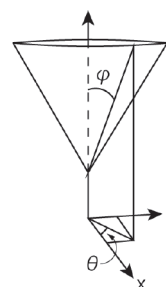


図 2 枝分かれの処理

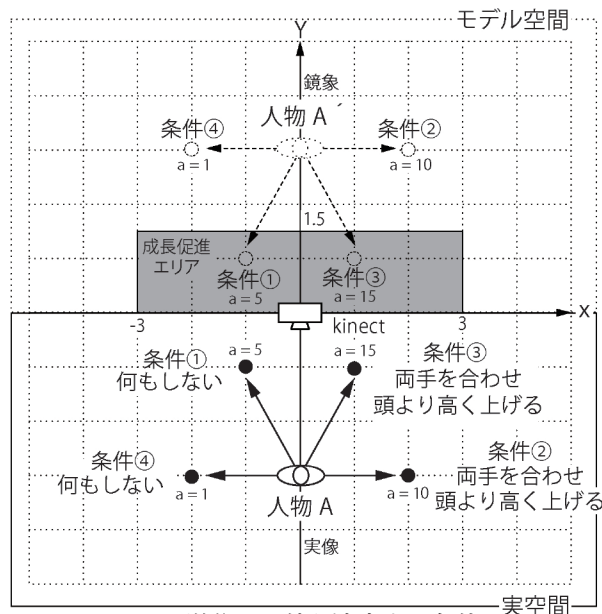


図 3 増分 a の値を決定する条件



図 4 成長促進ポーズ

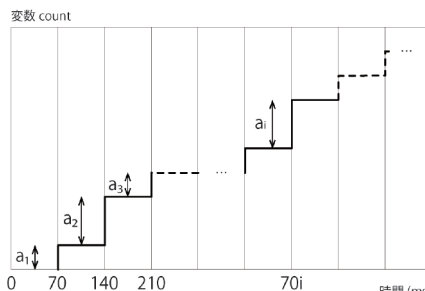


図 5 変数 count と時間のグラフ

すように左手、右手の距離が15cm以下かつ左手、右手のz座標が共に頭のz座標よりも大きい、この行動を成長を促進させるポーズとする。この2つの行動から次の4つの条件を作成し、各条件に応じた増分aの値を設定する。

条件①：鏡像の頭の座標が成長促進エリア内である。(a=5)

条件②：成長促進ポーズをとっている。(a=10)

条件③：①と②を同時に満たす。(a=15)

条件④：どれにも該当しない。(a=1)

増分aは70msごとに出力する。70msごとに出力させる増分aの和をとることで時間が経過するごとに増える変数を作成する。この変数をcountとする。図5に示すように70ims後の変数countの値は $a_1, a_2, a_3 \dots a_i \dots$ の a_i から a_i までの和である。

$$\text{変数 count} = \sum_{k=1}^i a_k \quad \dots 1)$$

変数countは関数level(枝分かれ)、各枝の長さに影響する。変数countと関数levelの関係を次式に示す。

$$\text{関数 level} = \sqrt{\frac{\text{count}}{100}} \quad \dots 2)$$

図6に点線に示す2)式のグラフに対して関数levelは正の整数の値とするために小数第1位置で切り捨てを行う。作成した変数countと関数levelのグラフが図中の実線である。

変数countと幹の長さ(L)の関係を次式に示す。

$$L = 0.00615 \times \text{変数 count} \quad (\text{count} \geq 100) \quad \dots 3)$$

ここで、L: 幹の長さ (cm)

図7に変数countと幹の長さの関係を示す。

2-3 揺れの表現

フラクタルツリーの枝が曲がっているように見せるために枝に等分布荷重を作用させ応力解析を行った。さらに風によって不規則に枝が揺れるようにみせるため等分布荷重として1/fゆらぎ作用させた。1/fゆらぎはパワーが周波数fに反比例し、図8に示すように3つのsin波の重ね合せによって生成できる。

$$A_{1/f} = A \sin 2\pi ft + \frac{A}{3} \sin \frac{2\pi f}{3} t + \frac{3}{4} A \sin \frac{3}{4} (2\pi f) t \quad \dots 4)$$

ここで、 $A_{1/f}$: 1/f ゆらぎ

t: 時間 (s)

A: sin波の振幅

f: sin波の振動数

フラクタルツリーの揺れは人が近づくことで大きくする。

鏡像の頭部から原点まで距離dをパラメータとして、1/f

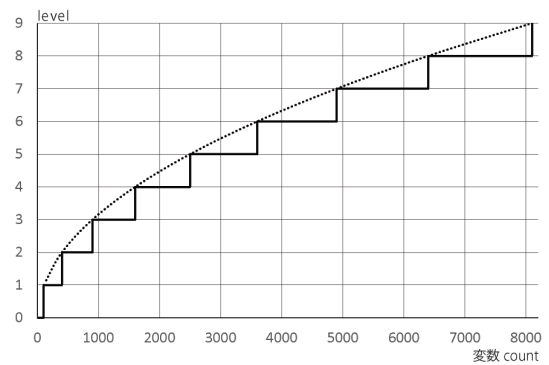


図6 変数countとlevelのグラフ

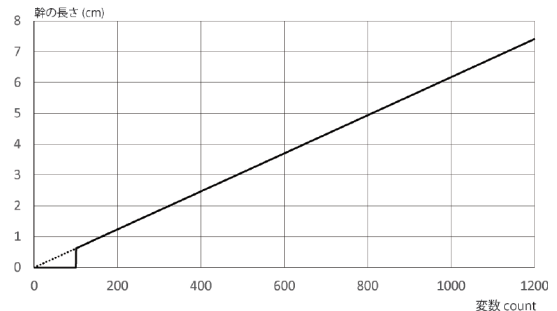


図7 変数countと幹の長さのグラフ

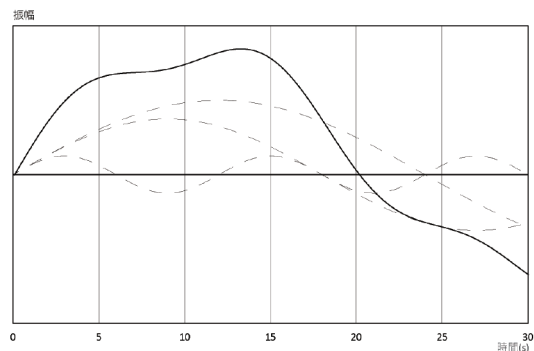


図8 使用した1/fゆらぎ

ゆらぎを生成するsin波の振幅Aと距離dの関係を次式に示す。

$$\begin{aligned} 0.5m \leq d \leq 5.0m \text{ のとき} \quad \text{振幅 } A &= \frac{4000}{d} \quad \dots 5) \\ d < 0.5m, 5.0m < d \text{ のとき} \quad \text{振幅 } A &= 1000 \end{aligned}$$

ここで、d: 鏡像の頭と原点との距離

3 結論

kinectを用いて取得した位置情報から増分aと距離dを設定した。増分aを組み込んだ再帰アルゴリズムおよび距離dを組み込んだ1/fゆらぎを使用することで人の動きにインタラクティブに反応するフラクタルツリーを制作することができた。

今後、人の動きにインタラクティブに反応する葉や花の表現の追加等によって居住空間で楽しめる3Dモデルになると考えられる。

(構造デザイン研究室)

盲導犬用ハーネスの胴輪・ハンドル取付部の改善に向けた基礎調査

Basic Research on Handle-to-Harness Connection in Guide Dog Harness

W17-017 小倉宇嵐

1. 序論

現在、盲導犬とユーザーの快適な歩行を実現するために y 字型ハンドルが提案されている^{1),2)}。写真 1 に示すように現在のハーネスの胴輪・ハンドル取付部には接合金具のナス管が使われている。その接合部について、y 字型ハンドルのユーザーからアソビが多く盲導犬の動きが把握しにくいと指摘されている。

本研究では、接合部における問題点を抽出し、改善に向けたプロトタイプ製作と検証を行う。

2. 問題点の抽出

問題点を明らかにするために、兵庫盲導犬協会職員 1 名とユーザー 2 名に、接合部における不具合についてヒアリング調査を行った。その結果、接合部のアソビの量、キンクのしやすさ、外れやすさの 3 つの問題点が指摘された。接合部のアソビは、接合部の屈曲とリンク部分のアソビによって生じる。接合部の屈曲により写真 2 に示すキンクが生じやすくなる。キンクすると接合部の長さが短くなり、図 1 に示すように盲導犬の向きとハンドルの向きにずれが生じる。また、接合部がキンクするとナス管のつまみが外側に向き、何かに引掛かることで接合部が外れてしまう。写真 3 に示すように片側だけ外れてしまうと図 2 に示すようにハンドルが自由に動いてしまうため、ユーザーは盲導犬の向いている方向が把握できなくなる。

ナス管の他に兵庫盲導犬協会では、リングキャッチ、ガラビナおよびスナップフックを接合金具に用いていた。しかし、写真 4 に示すようにリングキャッチは歩行中にネジが緩んでしまうこと、ガラビナとスナップフックは内開き式となっているため外側から力が加わると外れてしまうことから、現在はナス管を使用している。

問題点があるにも関わらず接合金具にナス管を使用しているのが現状である。一方、海外では写真 5 a) に示すようなバックルを使用しているものが多く、また、写真 5 b) に示すような差込型も確認された。ユーザーにこれらの事例を紹介したところ使ってみてみたいという意見を得たため、差込型とバックル型のプロトタイプを製作することとした。

3. プロトタイプ製作

現状の y 字型ハンドルと胴輪に装着して検証できるように図 3 に示すプロトタイプを製作した。

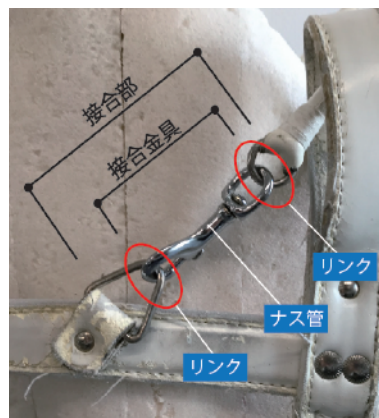


写真 1 胴輪・ハンドル取付部



写真 2 接合部のキンク



写真 3 接合部の外れ

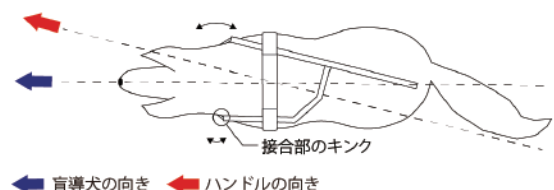


図 1 キンクによる障害

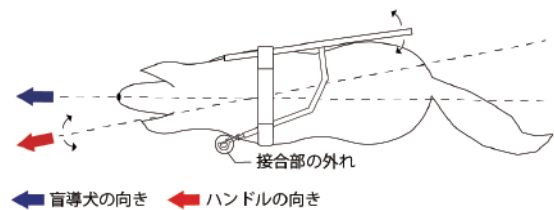


図 2 外れによる障害



a) リングキャッチ



b) スナップフック

写真 4 接合金具例



a) バックル型³⁾



b) 差込型⁴⁾

写真 5 海外の接合部事例

図 3 a) に示す差込型は、ハンドル先端の差込部を胴輪のスロットに差込むことでハンドルと胴輪が接合され、スロットのボタンを押すことで取外することができる。ボタンはスロットの内側に設置することで外部からの干渉を防ぐ。図 3 b) に示すバックル型は、ポリベルトを用いてハンドルにバックルのアーム側を取付け、胴輪にスロット側を

取付けた。プロトタイプは図4に示す部品を3Dプリンタで造形した。

4. 検証

4.1 キンク発生頻度確認実験

写真6 a) に示すようにハンドルを前後に10往復させ何回キンクが生じるのか確認した。ナス管では表1に示すように1回の試行で3～5回のキンクが発生した。差込型とバックル型ではキンクは生じなかった。

4.2 接合部アソビ計測

写真6 b) および写真6 c) に示すようにハンドルの前後および左右方向について、図5に示すアソビ量を計測する。ナス管ではX=18cm, Y=73 cmとなり、バックル型では、X=8cm, Y=51cmとなった。バックル型では、全長の長いハンドルを使用したため左右のアソビ量が大きくなる結果となった。差込型では、前後および左右のアソビはほとんどなかった。この結果から、差込型は他のハンドルに比べてアソビが少ないと考えられる。

4.3 接合部の外れやすさについて

差込型では、外側からの力によってスロット内側のボタンが犬の体に押し込まれた時に外れてしまう可能性がある。また、バックル型では片側のボタンが胴輪等に当たっている状態で反対側のボタンにも何かが当たった時に簡単に外れてしまう可能性がある。外れやすさについてはユーザーによる使用と検証が必要である。

5. 結論

盲導犬用ハーネスの接合部について問題点を抽出し、プロトタイプによる検証を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 接合部のアソビは少ない方が盲導犬の動きを把握しやすいと考えられる。
- 2) 接合部にキンクや外れが生じると盲導犬の姿勢を把握することが困難になる。
- 3) バックル型は現状の接合部に比べてアソビ量が小さくキンクが生じにくい。
- 4) 差込型はアソビを小さくすることが可能である。

接合部のアソビ量が盲導犬の動きの把握に与える影響については、ユーザーによる評価が必要である。

【参考文献】

- 1) 井上泰孝, 白髪誠一, 赤井愛, 田上貴久美: y字型ハンドルを用いた歩行実験 盲導犬とユーザーの快適な歩行の実現に関する研究(その5), 日本デザイン学会, 第64回春季研究発表大会梗概集, pp.330-331, 2017年
- 2) 片岡夏海, 白髪誠一, 赤井愛, 田上貴久美: y字型カーブハンドルを用いた歩行実験 盲導犬とユーザーの快適な歩行の実現に関する研究(その8), 日本デザイン学会, 第67回春季研究発表大会梗概集, pp.338-339, 2020年
- 3) DEAN&TYLER HP <https://www.dtdogcollars.com>(参照日 2021年2月5日)
- 4) npk design HP <https://npkdesign.com>(参照日 2021年2月5日)

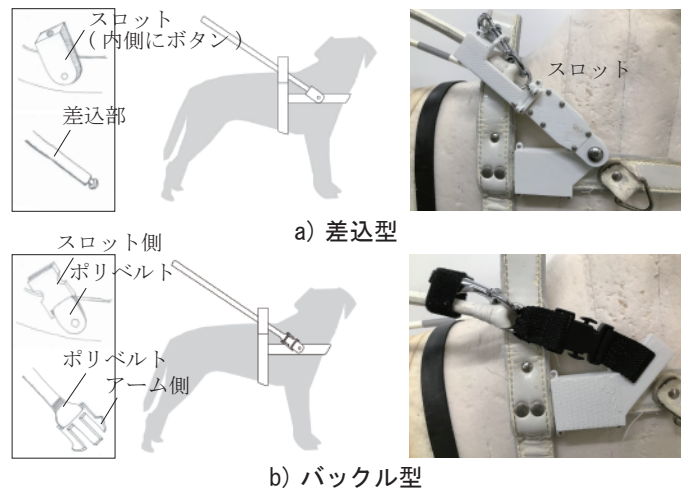


図3 プロトタイプ

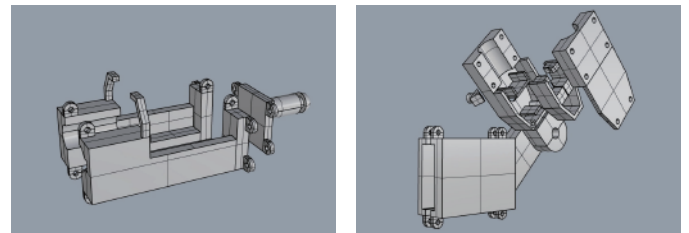


図4 差込型プロトタイプ部品図

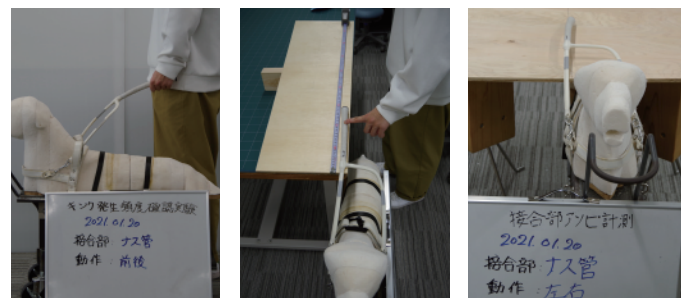
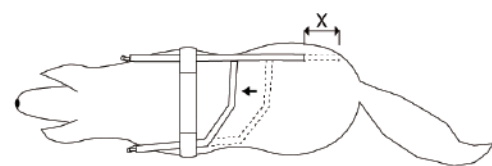


写真6 盲導犬模型を用いた検証実験

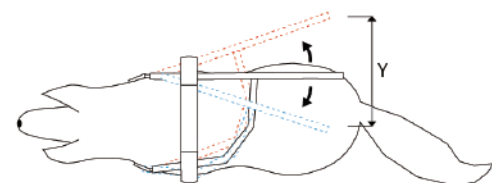
表1 キンク発生頻度確認実験結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
試行1回目	○	○	×	×	×	×	○	×	○	○
試行2回目	○	○	×	×	×	×	○	×	×	×
試行3回目	×	×	○	○	×	×	×	×	○	×

○: キンク発生 ×: キンクなし



a) 前後方向



a) 左右方向

図5 接合部アソビ計測

(構造デザイン研究室)

ロボットアームによる三次元ジグソーパズルの切削加工に関する基礎的研究

ケミカルウッドを用いたピースの製作

Basic Study on Milling for 3D Jigsaw Puzzle using Robot Arm

Manufacturing Puzzle Pieces from Chemical Wood

w17-035 迫田雄大

1. 序論

青木ら¹⁾は、三次元ジグソーパズルの内部構造を単純な構成方法にすることで定式化できることを示している。また、ロボットアームを用いて、図1に示すピースを、写真1に示すようにスタイロフォームをスチロールカッターで切断することで製作している。しかし、強度と剛性が低い

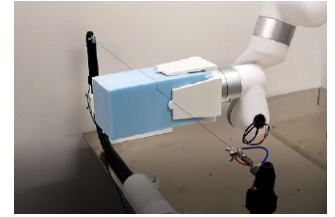
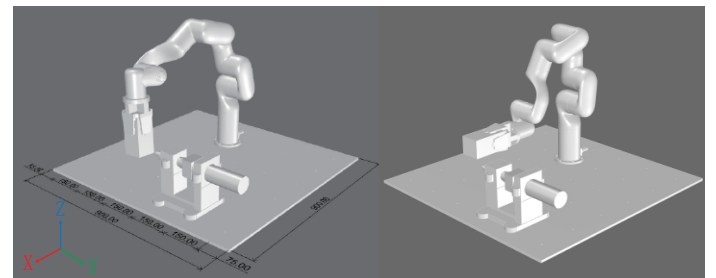


図1 三次元ジグソーパズルのピース写真1 スタイロフォームの切断

ため、プロダクトとしての完成度は低い。ロボットアームを用いたケミカルウッドの切削について、Silva.L.B.ら²⁾は、ロボットの姿勢によって剛性が変化し、その剛性が切削面の粗さに影響することを示している。

本研究では、三次元ジグソーパズルのピースをケミカルウッドを切削して製作するために、ロボットの姿勢と切削条件による切削面の粗さへの影響を調べることを目的とする。



a) 垂直姿勢

b) 水平姿勢

2. 実験

図2に実験装置を示す。刃径6φ、刃長16mmの超硬カッターを取り付けたハンドグラインダをロボット設置台に固定する。ケミカルウッドをロボットアームに取り付けて切削する。ケミカルウッドは、75mm角、長さ150mmで、主にポリウレタン樹脂を使用し、比重は0.8である。表1に供試体一覧を示す。ロボットアームによる送り方向をX方向（水平方向）とZ方向（鉛直方向）、ロボットアーム姿勢は水平姿勢と垂直姿勢、ハンドグラインダの回転数は11400～29000 (min⁻¹)、送り速度を1～3 (mm/sec)と設定した。すべての供試体で切削幅は10mm、切削深さは1mmとして1往復させることで2mmの深さの切削を行った。供試体は以下のルールに従う。

図2 実験装置

表1 供試体一覧

No.	供試体	送り方向	ロボット姿勢	回転数 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/sec)	平均値 m	標準偏差 σ	変動係数 v
1	HV101	X	垂直	11400	1	-0.339	0.200	0.012
2	HV102				2	-0.259	0.240	0.015
3	HV201	X	垂直	20200	1	-0.442	0.190	0.012
4	HV202				2	-0.178	0.190	0.012
5	HV203				3	0.016	0.170	0.010
6	HV301	X	垂直	29000	1	-0.330	0.200	0.012
7	HV302				2	-0.709	0.220	0.013
8	HV303				3	-0.200	0.180	0.011
9	VV101	Z	垂直	11400	1	0.238	0.073	0.007
10	VV102				2	0.181	0.100	0.008
11	VV201	Z	垂直	20200	1	0.067	0.084	0.007
12	VV202				2	0.143	0.091	0.007
13	VV203				3	0.038	0.093	0.007
14	VV301	Z	垂直	29000	1	0.024	0.091	0.007
15	VV302				2	0.051	0.089	0.007
16	VV303				3	0.234	0.097	0.008
17	VH101	Z	水平	11400	1	0.304	0.094	0.006
18	VH102				2	0.356	0.100	0.006
19	VH201	Z	水平	20200	1	0.097	0.078	0.005
20	VH202				2	0.107	0.093	0.005
21	VH203				3	0.177	0.097	0.006
22	VH301	Z	水平	29000	1	0.069	0.074	0.004
23	VH302				2	0.205	0.094	0.006
24	VH303				3	0.120	0.084	0.005
25	HH101	X	水平	11400	1	-0.050	0.092	0.007
26	HH102				2	-0.083	0.230	0.019
27	HH201	X	水平	20200	1	-0.110	0.086	0.007
28	HH202				2	-0.026	0.098	0.008
29	HH203				3	-0.064	0.180	0.015
30	HH301	X	水平	29000	1	-0.116	0.100	0.009
31	HH302				2	-0.098	0.180	0.015
32	HH303				3	-0.154	0.140	0.012

ロボットアームによる	ハンドグラインダ	送り速度
送り方向	回転速度	1:1 [mm/sec]
H: X方向 [mm]	2:2 [mm/sec]	
V: Z方向 [mm]	10: 11400 [min ⁻¹]	3:3 [mm/sec]
	20: 20200 [min ⁻¹]	
	30: 29000 [min ⁻¹]	

ロボットアームは、xArm6 (UFACTORY社製)を使用した。切削中は、ロボットアームのTCP (Tool Center Point)の座標と各関節に生じるトルクを100Hzで計測した。

切削後、切削面の表面粗さを図3に示すダイヤルゲージ (Mitutoyo社製)で計測する。計測は、切削幅10mmの中心線上で1mmピッチで行った。

3. 実験結果

図4に回転数 2020min^{-1} の供試体の計測結果を示す。横軸は始時点からの距離 X 、縦軸は始時点からの相対深さ Z を表している。表1には、各供試体の計測値の平均値、標準偏差及び変動係数を示している。図4a)に示す供試体HHでは、深さ Z は $-0.266\text{mm} \sim 0.192\text{mm}$ で推移しており、送り速度による差は小さい。図4b)に示す供試体HVでは、距離 X が大きくなるにつれて切削面が深くなり、送り速度によるばらつきが大きい結果となった。図4c)の供試体VHおよび図4d)の供試体VVは、深さ Z は $-0.147\text{mm} \sim 0.321\text{mm}$ で送り速度によるばらつきが小さい。

4. 考察

図5に水平姿勢での計測値の標準偏差を示す。供試体HHは図5a)に示すように回転数が大きくなると標準偏差が小さくなり、図5b)に示すように送り速度が大きくなると標準偏差が大きくなる傾向が見られる。それに対して供試体VHは、回転数や送り速度に関係なく標準偏差は小さい結果となった。これより水平姿勢では、送り方向を鉛直方向としたときが切削面の粗さを抑えることができる。

図6に垂直姿勢での標準偏差を示す。供試体HVは、回転数や送り速度に関係なく標準偏差が $0.17 \sim 0.24$ である。これに対し、供試体VVは標準偏差が $0.07 \sim 0.10$ となっている。これより、垂直姿勢でも送り方向を鉛直方向としたときが切削面の粗さを抑えることができる。

実験後、写真2に示す垂直姿勢と水平姿勢について、水平方向と鉛直方向の剛性を手で押すことで確認した。その結果、鉛直方向の揺れが大きく、水平方向に比べて剛性が低いことが分かった。このことから、剛性の高い水平方向に対して切削面が直交することになる鉛直方向を送り方向とすることで切削面の粗さを抑えることができる。

5. 結論

三次元ジグソーパズルのピースをケミカルウッドを切削して製作するために必要なロボットの姿勢と切削条件による切削面の粗さへの影響を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 超硬カッターでの切削では、切削面は $\pm 0.3\text{mm}$ 程度の粗さになる。
- 2) ロボットアームの剛性の高い方向に対して切削面を直交させることで切削面の粗さを抑えることができる。

パズルのピースを製作するためには嵌合面の精度が重要となる。より高い精度で切削するためのロボットの制御方法と使用する工具について検討が必要である。

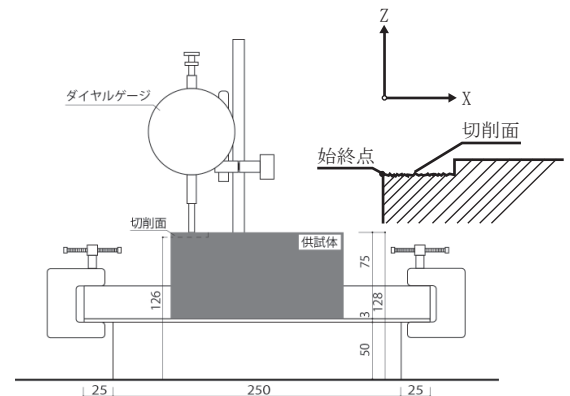


図3 表面粗さ計測装置

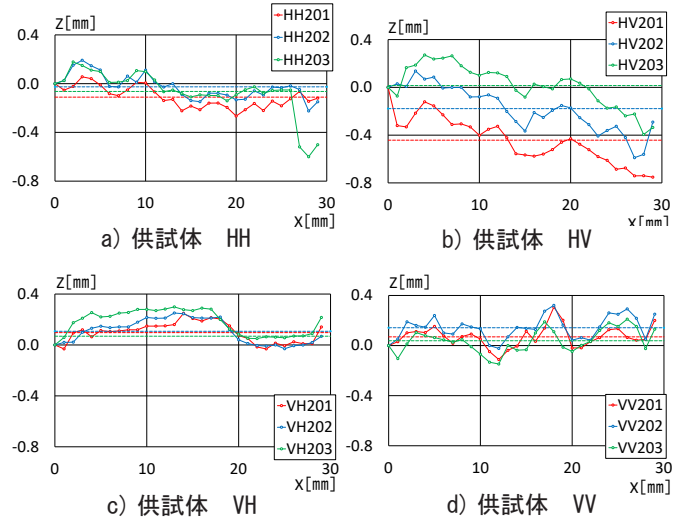


図4 表面粗さ計測結果

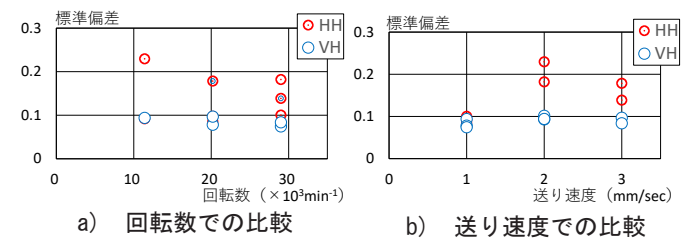


図5 水平姿勢で標準偏差

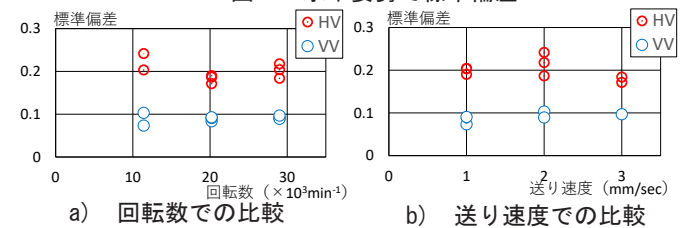


図6 垂直姿勢での標準偏差

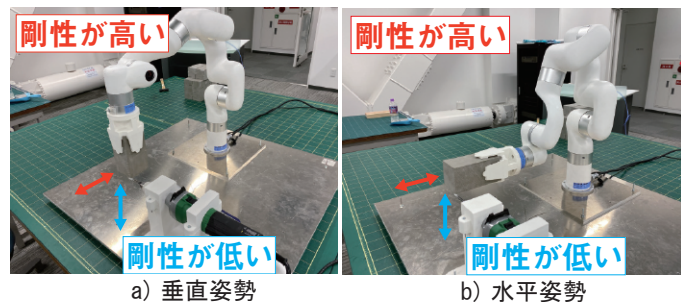


写真2 剛性の変化

【参考文献】

- 1) 青木優里香、白髪誠一：三次元ジグソーパズルの内部構造の構築
三次元ジグソーパズルのアルゴリズム・デザインに関する研究 (その1)、
日本デザイン学会第67回春季研究発表大会概要集, pp.372-373, 2020年
- 2) Leandro Batista da Silva, Hayato Yoshioka, Hidenori Shinno and Jiang Zhu
Tool Orientation Angle Optimization for a Multi Axis Robotic Milling System
Int. J. of Automation Technology, Vol.13, No.5, pp574 ~ 582, 2019

(構造デザイン研究室)

1. 序論

本研究は、高橋基就の卒業制作「深海エレベーター - 映像によるユニバーサルな海中探検 -」における映像を担当したものである。

本研究では物理演算を用い、海洋生物とその行動を抽象的に表現することで、視覚障がい者も楽しむことができる映像を制作することが目的である。

阪上ら¹⁾は、群れらしい振る舞いが再現できる相互作用として、魚群の行動には衝突回避、整列、結合のルールがあることを示している。衝突回避は個体間の距離が近づきすぎると離れること、整列は近くにいる個体同士の平均速度に揃えること、結合は個体が群れの中心に向かおうとすることである。

また、武者²⁾は生体リズムは1/f ゆらぎによって説明できると述べている。1/f ゆらぎは、パワーが周波数に反比例する複数の sin 波の重ね合わせにより生成できる。

本研究では、これらのルールを用いた物理演算に基づいて海洋生物の行動をシミュレーションする。

2. 行動アルゴリズム

衝突は、図1に示すように衝突半径に重なりが生じた時に、垂直抗力 N が発生することである。

$$N=uk \quad \dots \cdot 1)$$

ここで、u : 重なり距離

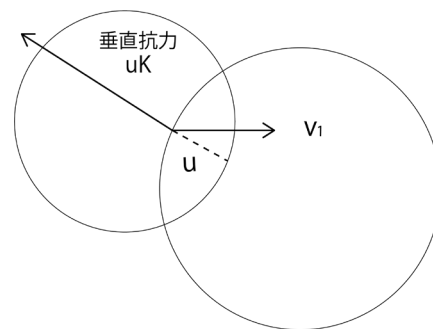
k : バネ定数

魚群の衝突回避は、図1a)に示す個体と個体の衝突とすることで、近づきすぎると離れる行動を表す。魚群の整列と結合は、図1b)に示す群れの境界と個体の衝突を加えることで、群れの運動の方向を揃えること、群れの内側に留まることを表す。

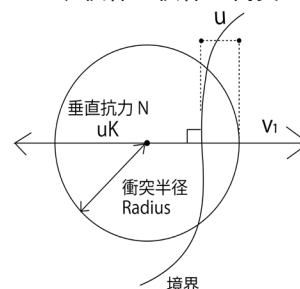
群れのゆらぎは、群れの境界を1/f ゆらぎによって変位させることで表す。行動シミュレーションには、物理演算シミュレータ Kangaroo(ver. 2.42)を用いた。

3. 行動モデル

イワシの魚群モデルは図2に示すように、XZ平面に横300cm、縦100cmの楕円で群れの境界を作り、個体数を100匹とする。イワシの個体は3つの点で構成し、体長を15cmとする。頭部を表す点は衝突の対象とし、胴部および尾部



a) 個体と個体の衝突



b) 境界と個体の衝突

図1 衝突

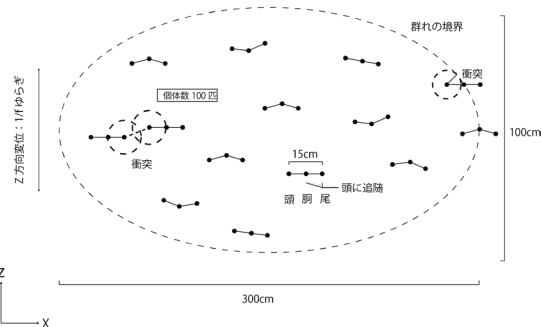


図2 イワシの魚群モデル

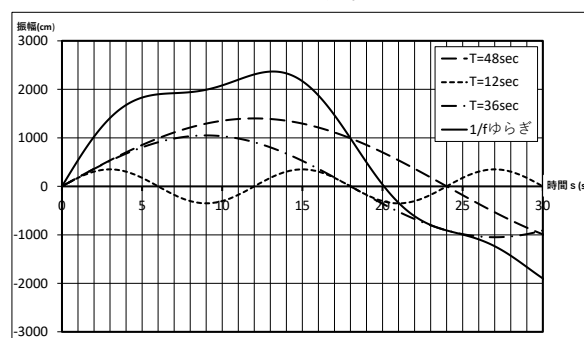


図3 X方向の1/f ゆらぎによる変位

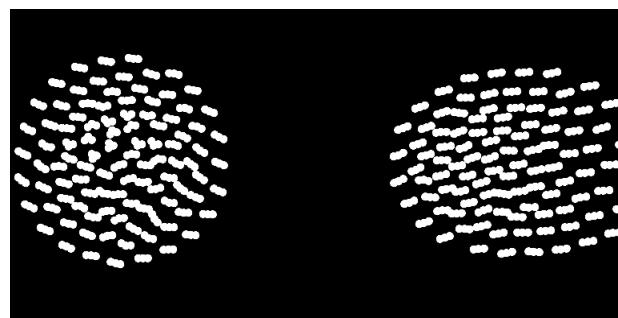


図4 イワシ

を表す点は頭部に追従させる。衝突に用いたバネ定数 k は、境界と個体で $k=1.0$ 、個体と個体で $k=10$ と設定し、個体と個体の衝突半径は 30cm と設定した。

群れの境界には $1/f$ ゆらぎを用いた変位を与える。ゆらぎは X 方向と Z 方向に与え、それぞれの周期と振幅は $1 : 1/4 : 3/4$ の比で定義する。図 3 に X 方向の $1/f$ ゆらぎによる変位を示す。 X 方向の周期 T は 48 秒、 12 秒および 36 秒、振幅は 1400cm 、 350cm および 1050cm とした。 Z 方向の周期は 36 秒、 9 秒および 27 秒、振幅は 200cm 、 50cm および 150cm とした。以上より、図 4 に示すイワシの魚群モデルができる。

クラゲの群モデルには、群れの境界は用いず、個体と個体の衝突を用いた。図 5 に示すようにクラゲの個体は 3 個の点で表し、傘の直径を 50cm とする。頂点に Z 方向への負の一定荷重と正のパルス荷重を与え、左右の点は頂点に追従させる。衝突に用いたバネ定数は $k=1.0$ 、衝突半径は 80cm と設定した。これにより図 6 に示すような、フワフワと浮遊するクラゲの群モデルができる。

深海エレベーターではこれらのアルゴリズムを応用し、イワシやクラゲの他に図 7 に示すオキアミの群れに突入するペンギンでは、オキアミの群れの境界と個体の衝突、オキアミの個体どうしの衝突および直線運動するペンギンとオキアミの衝突を用いた。図 8 に示すダイオウイカの腕では、フィボナッチ数列に基づく大きさの楕円で表される吸盤に \sin 波によるゆらぎを与えた。図 9 に示すマッコウクジラでは、ランダムな直径の円の衝突と直線運動を用いた。各モデルの行動を表すパラメータは、映像を確認しながら調整を行い、決定している。

4. 結論

物理演算を用い、単純な条件を与えることで魚群等の海洋生物の行動をシミュレーションし、抽象的に表現することができた。

この手法を用いることで、様々な生物の行動を抽象的な表現で伝えることが可能である。さらに、観賞者の動作に相互作用するインタラクティブな表現とすることも可能である。

【参考文献】

- 1) 阪上 雅昭, 寺山 慧, 炭谷 竜太: 魚群のダイナミクスと情報伝達, 数理解析研究講究録, 第 1900 巻, 1900 巻, pp. 110 ~ 117, 2014 年
- 2) 武者利光: $1/f$ ゆらぎ, 応用物理, 第 46 巻, 第 12 号, pp. 1144 ~ 1155, 1977 年

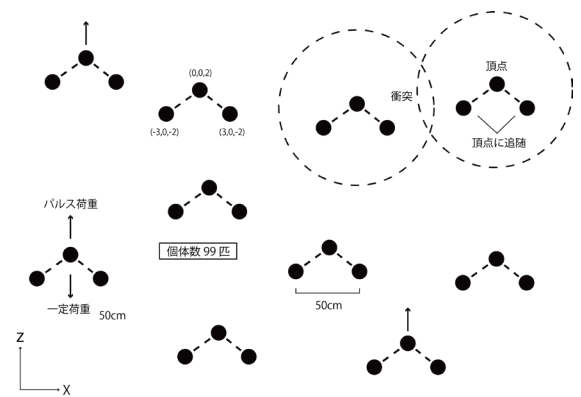


図 5 クラゲの群モデル



図 6 クラゲ

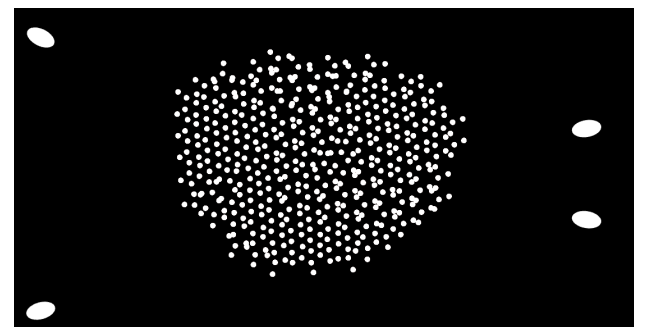


図 7 オキアミとペンギン

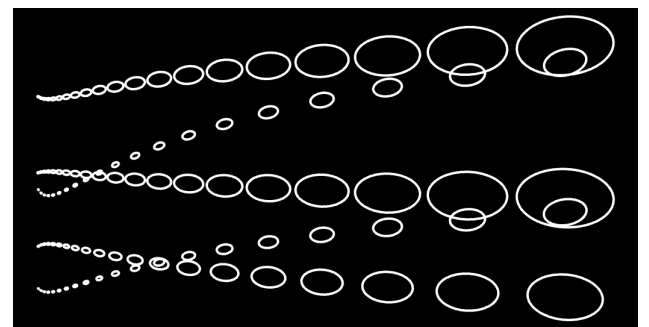


図 8 ダイオウイカの腕

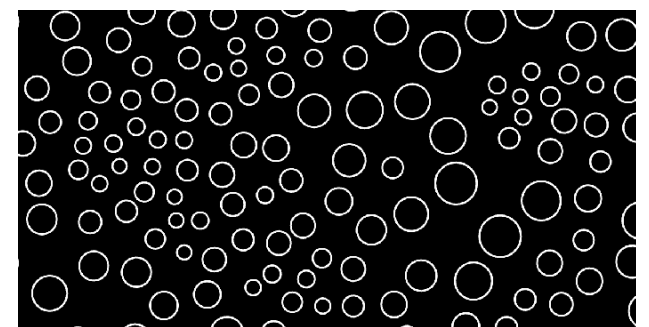


図 9 マッコウクジラ

(構造デザイン研究室)

「厳島神社における歩行行動と視覚行動に関する研究」

Research on walking visual and behaviors in Itsukushima Shrine.

W17-038 嶋崎伸哉、W17-049 津田慎吾、W-17-081 松永歩
W17-084 松本龍樹、W17-092 森田時空、W17-103 吉田圭一

1 研究の目的と方法

本省察は、広島県廿日市市にある厳島神社の廊における参拝者の視覚行動と歩行行動について考察を試みたものである。これによって、各文化圏のシーケンスとしての文化を比較・検討が可能であり、総じて文化研究に寄与すると考えられる。

今回の調査は変則的である。あの厳島神社を象徴する大鳥居が、創建後、8度目の修復がなされ、目視できない状態にあった。これは逆にいえば、社殿内だけのシーケンス調査が可能であるといえ、今回は社殿内シーケンスについて実験を行った。実験は人がどこからどこをみているかを計測できるアイマークレコーダーEMR-9を用いた。共同実験者は9人、有効データ数は6人である。分析はアナログで、一歩ずつどこをみているのかを矢印で示し、全体の傾向を読み取った。なお本来なら船からのシーケンスを実験するのが妥当であるが、予算の都合上、一般客の参拝経路をとった。

II 分析

1 入口から、仮設足場まで

入口で拝観料を払い、しばらく廊のない空間を歩いて行くと、廊にたどり着く。廊に入る共同実験者は、前方、左右、上部を見る。またこの部分は海の上に立てられているので、廊と廊、あるいは建築物と廊とで海の溜まり（以下、澱みという）ができていて、これをみる行為も見られた。

はじめの廊（東の廊と呼ぶ）の右側には別の廊や建物があるので、それを観た。また廊と廊が折り重なって見えるところは、厳島神社ならではの光景であり、それらを見る被験者がいた。

2 足場から西の廊手前まで

今回の調査では、拝殿が工事のため、拝殿周りに仮設足場が設けられていたので、そこを歩き、大きな板縁に向かって歩いて行くと、視線は、仮設足場のテント、対岸の街、海に向けられた。

3 大きな縁から出口へ向かう廊

ここでは、廊らしい視覚行動、つまり前方、左右、上部をみる以外の視覚行動は確認されなかったが、能舞台を気にする共同実験者が多くみられた。能を鑑賞するのは廊からだけなので、廊の多くの地点から能舞台が見えた可能性がある。

4 平舞台から西廊へ

往路において、東側の廊から西に折れ、真っ直ぐ北に向かうと平舞台に至る。ここでは高舞台が存在が、共同実験者は、むしろ、楽房（らくぼう）、門客人（まろうど）神社本殿に眼をやっていた。また大鳥居を往路でみるものは、ほとんどいなかった。

平舞台を南に進み、西廊へと歩を進めると、また廊が連続する。ここでは、前、上部といった廊の視覚行動と共に、能舞台をみるものが多かった。

5 平舞台から出口までの廊

ここは以外と長い。故に、東廊と同じようなアイマークをするが、能舞台を頻繁にみる共同実験者が散見された。また楽房、門客人（まろうど）神社本殿を多くみた。

6 再び境内へ

今回の調査では、出口に出ず、来た道を帰ることとした。ここでは進行方向を反転したので、廊の見え方が違う。廊と廊が重なって織りなす、厳島神社の独特の表情は、この出口から反転して、しばらく歩いたところが最も壮大であり、視覚行動にもよく表れていた。特に興味深かったのは、平舞台、舌先から、一瞬ではあるが、大鳥居を垣間見た者がいた。これは北への視線が楽房、門客人神社本殿によって隠され、舌先のみが視線を妨げないため、舌先から大鳥居をみたと考えられるが、なぜ復路だけみたのかは不明である。

7 復路の視覚行動

繰り返しになるが、復路は左側に能舞台を見ながらあるいていく。廊自体のアイマークは往路とそう変わらないが、平舞台になると、往路と大きな変化がみられる。被験者の何人かが、修復中の大鳥居を僅かだがみる。ここからは、次のようなことがいえる。修復途中でその存在がほとんど、ほとんど視認できない修復中の大鳥居でも、境内を歩く人にとっては、アイマークされる存在であること、ひいては、アイマークされる位置に、重要なシンボルがあるということになる。船から見ると、南への視線が楽房、門客人（まろうど）神社本殿によって隠され、舌先のみが視線を妨げないため、舌先から高舞台、本殿方向をみたと考えられる。総じて現在の入口よりも、出口の方が能舞台を間近に見、大鳥居を意識するなどという点において、シーケンシャルな空間が存在しているといえよう。

III 考察

この平舞台から再び西の廊へ歩を進めると、東側とよく似た廊が南に続き、さらに西に折れ、能舞台を囲むように廊が続き、境内を後にする（アイマーク実験ではこの出口から再びUターンして入口までアイマークした）。往路が往路と異なる点は、舌先を通して大鳥居を見る者がいたことが挙げられる。

個別に視覚行動をみたとき、それは長谷寺などの廊を歩いている行動と、廊個々の視覚行動そのものは、さほど変わらないことが明らかになった。しかし共同実験者は、視覚的に折り重なるように見える廊、廊や建物が造り出す海の澱みなどを見る

など、視覚行動は長谷寺の廊

に比べ盛んなため、視覚は空間的に広がりをもつ構成となっている。

社殿東側の長い廊は、左や前、右と眺めながら、海を挟んだ客殿、廊で構成される水の澱みを見る傾向にあった。もちろん、廊のパターンを崩すような摂社客人神社拝殿などがある場合はそれを見る傾向にあった。繰り返しになるが、被験者は全体的には、左右、前、澱んだ海、海越しの廊などをみる傾向にあった。

拝殿前の縁では、大鳥居が最もみえる場所である。今回のシチュエーションでは海をみる傾向にあったが、大鳥居を見る者もいた。そして現在の出口まで歩行しUターンして入口までもどるために本殿右側の廊を歩いた場合、共同実験者の何人かは大鳥居をみた。大鳥居が修復ではっきりと見えないにもかかわらず、それをみるということは、厳島神社にとって、大鳥居の位置はシークエンスを考える上で何らかの意味があることがいえよう。ただ、大鳥居を除いた今回の調査でも、厳島神社のシークエンス性は、十分確認できたと考える。配置図的に複雑にみえる厳島神社は、境内郡のみをみた場合、ある意味で、空間的に奥行きと動きを持つ。廊が折り重なる光景は、アイマークでも注目される造形であると共に、空間性を豊かにするものであった。

厳島神社境内は、廊が折り重なってみえることがシークエンス的に一番の見せ場といってもよいだろう。つまり厳島神社の境内は廊の連続によって構成されているわけであるが、折れ曲がるときなど、折れ重なる廊の姿に、立体的な奥行きを感じ、思わず眼をやるような景色が、厳島神社境内の特徴であるといえよう。

結果として、視線行動からみた厳島神社境内は、どちらかといえば、シークエンス的には複雑な造形である。この視覚的な境内にアクセントをつけているのが、おそらく廊と建築の織りなす構成である。廊が折り重なるという、奥行きはあるが、控えめな境内の視線行動構成に、大鳥居という造形がアクセントをつける。そのため、境内に動的な視覚行動が発生すると思われる。しかし、大鳥居だけでは、あれだけの雰囲気のある、空間的に奥行きのある、あるいは視覚行動の多いものにはならないわけであって、社殿は大鳥居に負けず劣らず、視線行動的に重要な建築群であると考えられよう。

Vまとめと今後の課題

廊は、厳島神社を考える上では、シークエンス的にも、その存在的にも重要なことがわかった。廊を歩いていて短く感じるが、この廊を直線にすると、かなり退屈な空間構成になるためであると考えられる。そういう意味でも、本廊は、シークエンス的なものといえよう。なお大鳥居修復後の調査は今後の課題である。

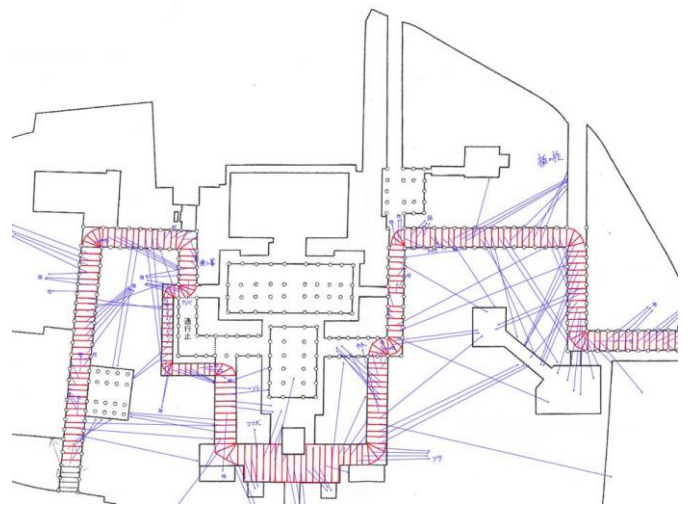


図-1 分析図(一例)

N

【参考文献】

- ・樋口忠彦、『景観の構造』、年技報堂、1975年。
- ・K. リンチ『都市のイメージ』、1960年。
T. H. シール、Thiel P. A. : Asequence-Experience Notation, Town Planning Review, April, 1961.
- ・宮岸幸正、『景観行動から見たシークエンス景観に関する基礎的研究』、1993年、京都工芸繊維大学学位論文。
- ・妻木宣嗣、『生態学的建築史試論』、清文堂出版、2019年。

ロボットアームを用いて建設する竹造アーチ形式のパビリオンの架構計画

Flame Planning of Bamboo Archi Pavilion to Construct with Robot Arm

W17-041 高見澤良平

1. 序論

海外ではコンピューショナル・デザインとロボティクスによって新たな空間の形態が創出される試みが行われている。シュトゥットガルト大学のStefana Parascho¹⁾は、複数のロボットアームを用いた空間の創出を行っている。しかし、国内ではこのような研究はあまり見られない。デザイン領域にロボティクスを導入することにより新たな空間形態が創出される可能性がある。

一方、国内の放置竹林による環境問題に対し、陶器²⁾は、写真1に示すような竹の特性を活かしたアーチフレームによる空間構造を実現している。また、奥野³⁾は写真2に示す逆転懸垂型シェルの竹パビリオンを提案している。

本研究では、竹の特性を活かしたアーチに注目し、1台のロボットアームを用いて、その可動範囲内における最大の空間を竹造アーチで構築することが目的である。

2. パビリオン概要

図1に示すような東屋やイベントスペースなどの短期利用を目的とした竹造アーチ形式のパビリオンを想定する。図2に示すような固定した1台のロボットアームの可動領域を考慮し、円形プランとする。竹の特性を活かし両端を地面に固定する単純な方法で形成できるアーチ架構が望ましいと考えた。円形平面にアーチを連続して配置する構造システムの例として、1970年に開催された万国博覧会にて建てられた写真3に示す富士グループパビリオン⁴⁾がある。この構造システムを採用し、図3のような長さの等しいアーチの並列によって構成されるパビリオンの基本形態を定めた。部材長さは $l = 14.4\text{m}$ で支点間距離が $3.9 \sim 7.2\text{m}$ 、最高高さは $5.3 \sim 5.7\text{m}$ である。

3. 断面設計

3.1 設計方針

アーチの解析は2段階で行う。初めに図4に示すような水平荷重Pを受ける竹がしなることにより、支点間が所定のスパンとなるアーチの基本形態を得るために大たわみ問題による解析を行う。次に、得られたアーチフレームに対して図5のように仕上荷重を受けた際の変形量を得るために微小変形理論による解析を行う。設計荷重は、下地材と膜の重量の合計である 10.98N/m^2 と仮定した断面の自重を加えたものとした。竹の材料特性はヤング係数



写真1 竹の会所²⁾

写真2 竹パビリオン³⁾



図1 パビリオンのイメージ

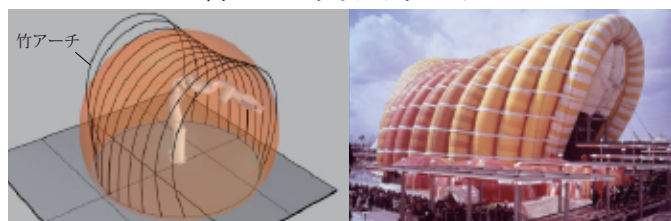
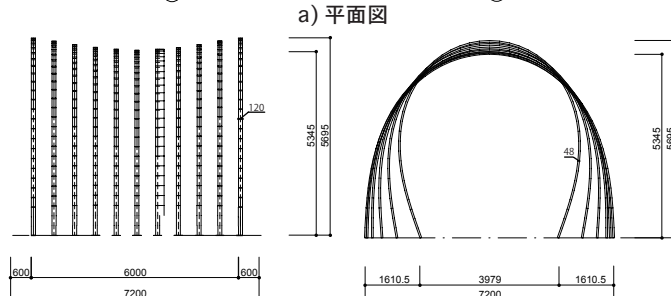
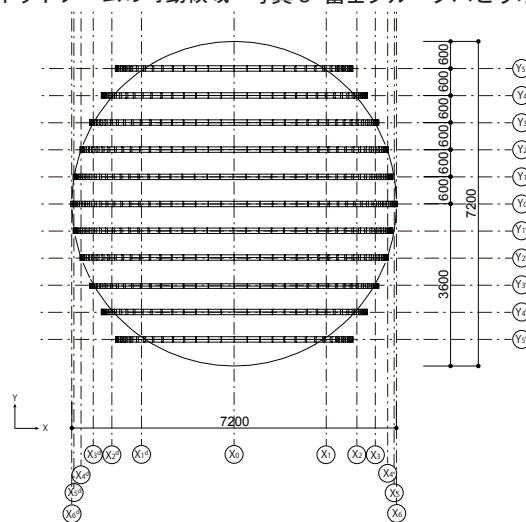


図2 ロボットアームの可動領域 写真3 富士グループパビリオン⁴⁾



b) X方向立面図 c) Y方向立面図

図3 パビリオンの各図面

$E=12000\text{N/mm}^2$, ポアソン比 $\nu=0.3$ および比重 $\gamma=7\text{kN/m}^3$ と設定した。部材断面は幅 B , 厚さ t の矩形断面とする。応力解析には Karamba3D (ver.1.3.2) を用いた。

設計条件は設計荷重によるアーチフレームの頂部の鉛直変位が基本形態の最高高さの 1% 以下 となることとした。

3.2 部材断面と構造フォルム

表 1 に解析の結果得られた荷重による変形量 δ を示す。図 6 に最小スパンである Y_5 通りと最大スパンである Y_0 通りの解析結果に示す。図 6a) に示すように部材断面 $B \times t = 30 \times 12$ では Y_5 通りで $\delta/H=37\%$, Y_0 通りで $\delta/H=18\%$ の変形が見られた。図 6b) に示すように部材断面 $B \times t = 60 \times 24$ では Y_5 通りで $\delta/H=3.6\%$, Y_0 通りで $\delta/H=1.7\%$ の変形が見られた。図 6c) に示すように部材断面 $B \times t = 120 \times 48$ では Y_5 通りで $\delta/H=0.56\%$, Y_0 通りで $\delta/H=0.26\%$ の変形が見られた。これより, $B \times t = 120 \times 48$ の竹材を用いた全てのアーチフレームにおいて設計荷重を受けた際の変形量 1% 以下を満足している結果となった。

3.3 部材断面と支点反力

支点反力はロボットアームが竹を手繰り寄せるために必要な力であり, 図 7 に最小スパンである Y_5 通りと最大スパンである Y_0 通りの大たわみ問題による解析結果を示す。 Y_5 通りでは $P=3.00\text{kN}$ となり, Y_0 通りでは $P=2.79\text{kN}$ となった。また, 表 2 に $B \times t = 120 \times 48$ を採用した場合の各アーチフレームの大たわみ問題によって得られた水平荷重 P と微小変形理論によって得られた自重による水平反力 R_x , それらの合計である支点反力を示す。最小スパンである Y_5 通りの支点反力は 2.42kN , 最大スパンである Y_0 通りの支点反力は 4.19kN となった。

5. 結論

- 1) ロボットアームの可動範囲内に竹造アーチを並列させることで最大となる空間を構築することができる。
- 2) 設計荷重による応力解析結果から, 変形が過大にならない部材断面を求めることができる。
- 3) 大たわみ問題による解析と設計荷重による解析からロボットアームが竹材を手繰り寄せるために必要な力を得ることができる。

短期荷重に対する安全性の確認や, アーチ相互の連結方法などが今後の課題である。

【参考文献】

1) Stefana Parascho, Jan Knippers, Moritz Dörstelmann, Marshall Prado and Achim Menges : Modular Fibros Morphologies: Computational Design, Simulation and Fabrication of Differentiated Fibre Composite Building Components. Advances in Architectural Geometry, pp.29-45, 2014
 2) 陶器浩一, 永井拓生 : 竹を構造材料として用いた空間構造の設計および施工 竹を構造材料として用いた応急仮設建築物の設計・施工の実例 その 1, 日本建築学会技術報告集, 第 21 巻, 第 49 号, pp.1007-1012, 2015 年

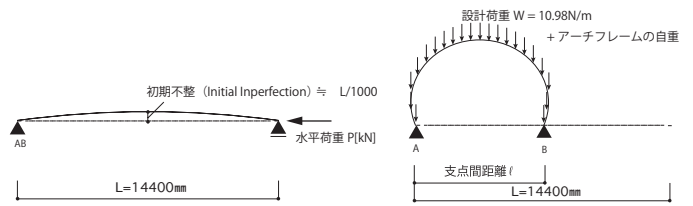


図 4 大たわみ問題 図 5 微小変形理論
表 1 設計荷重による変形量

部材断面		$B \times t = 30 \times 12$	$B \times t = 60 \times 24$	$B \times t = 120 \times 48$
Y_0 通り	δ (mm)	949	93	14
	δ/H (%)	18	1.7	0.26
Y_1 通り	δ (mm)	998	97	15
	δ/H (%)	19	1.8	0.28
Y_2 通り	δ (mm)	1082	106	17
	δ/H (%)	20	1.9	0.31
Y_3 通り	δ (mm)	1261	123	19
	δ/H (%)	23	2.2	0.34
Y_4 通り	δ (mm)	1567	152	23
	δ/H (%)	27	2.7	0.41
Y_5 通り	δ (mm)	2144	210	32
	δ/H (%)	37	3.6	0.56

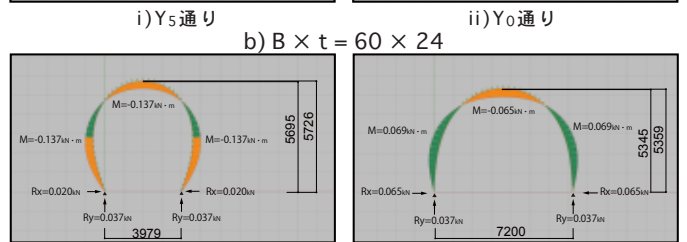
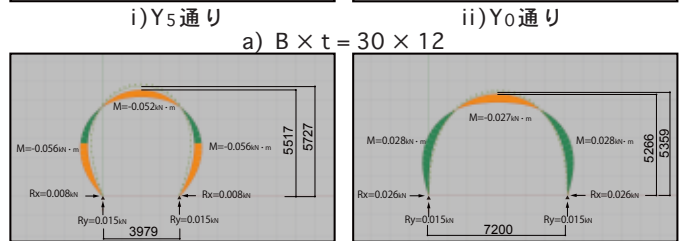
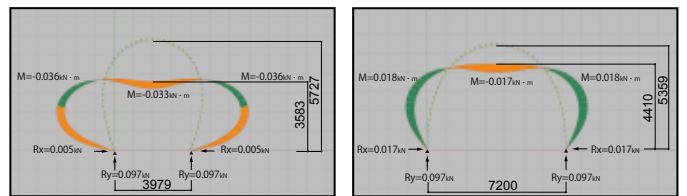


図 6 設計荷重による解析結果

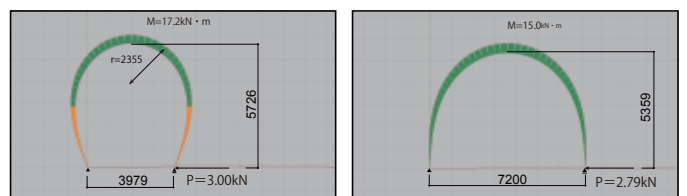


図 7 大たわみ問題による解析結果

表 2 各アーチフレームにおける支点反力 P [kN]

	$B \times t = 120 \times 48$		
	水平荷重 P (kN)	水平反力 R_x (kN)	合計 (kN)
Y_0 通り	2.79	-0.367	2.423
Y_1 通り	2.80	0.275	3.075
Y_2 通り	2.82	0.698	3.518
Y_3 通り	2.85	0.974	3.824
Y_4 通り	2.91	1.101	4.011
Y_5 通り	3.00	1.19	4.19

3) 奥野琢也 : 竹と布を用いたパビリオンの形態探索に関する解析的研究, 大阪工業大学空間デザイン学科 卒業 文庫概集, 第 9 号, pp.7-8, 2019
 4) Kawaguchi&Engineers : <https://kawa-struc.com/expo70-2/?ref=langjp> 参照 2020 年 9 月 15 日

1. 序論

1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に、大阪府では図1に示す上町断層帯¹⁾を震源とした直下型地震に関する調査が進められてきた。図2に示す上町断層帯地震動の震度予測結果²⁾によると、大阪市域は震度6強～震度7が予測されており、上町断層帯地震が生じた際には甚大な被害が想定される。上町断層帯を対象に大阪府は平成19年に大阪府H19年度想定標準地震動²⁾(以下、H19波とする)を示した。H19波を用いた既往の研究では、山村³⁾が建築基準法で定められる必要壁量を十分に満たす木造軸組構法建物であってもH19波による応答は非常に大きく倒壊する危険性が高いことを示している。

本研究では、限界耐力計算法を用いて算出した安全限界変形角を超えないために必要な耐力壁の壁量を、いわゆる壁量計算に基づく必要壁量で除した値を必要壁量比と定義し、H19波と極稀地震に対する大阪市域内の木造軸組構法建物の必要壁量比を算出することを目的としている。

2. 対象建物

図3に示す2階建ての木造住宅を対象建物とする。表1に建物概要を示す。対象建物に構造用合板を用いた耐力壁を配置した合板モデルと、荒壁パネルを用いた耐力壁を配置した荒壁モデルの2種類の建物モデルを設定する。

耐力壁の復元力特性は、「伝統工法を生かす木造耐震設計マニュアル⁴⁾」に従い、構造用合板を用いた耐力壁の安全限界変形角とする変形限界は1/30と設定し、荒壁パネルを用いた耐力壁の安全限界変形角とする変形限界は1/15と設定する。荒壁モデルは合板モデルに比べて弾性剛性は低い塑性変形能力は高い。

3. 入力地震動

H19波は図4に示す6つのゾーン²⁾ごとに示されている。A02, A03, A04, A05およびA08は沖積地盤であり、D06は洪積地盤である。図5に示す加速度応答スペクトルより、各方向において0.4～1.0秒の周期で極稀地震を上回る加速度応答スペクトルを示す。極稀地震の加速度応答スペクトルは第二種地盤を想定して表層地盤増幅率を1.5～2.025に設定している。

4. 結果と考察

図6に合板モデルの必要壁量比を示す。同図より、合板

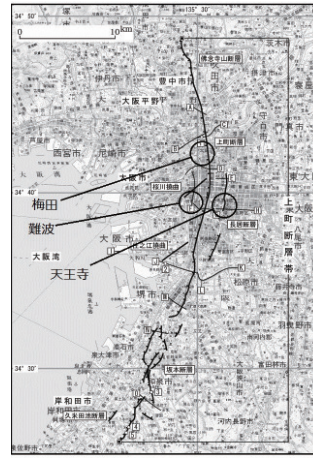


図1 上町断層帯¹⁾

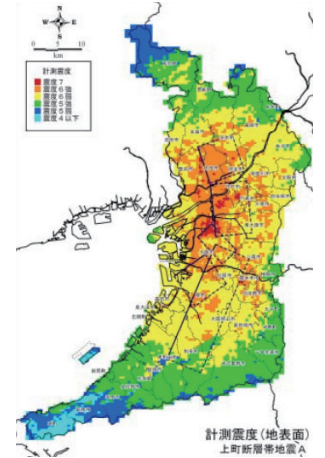
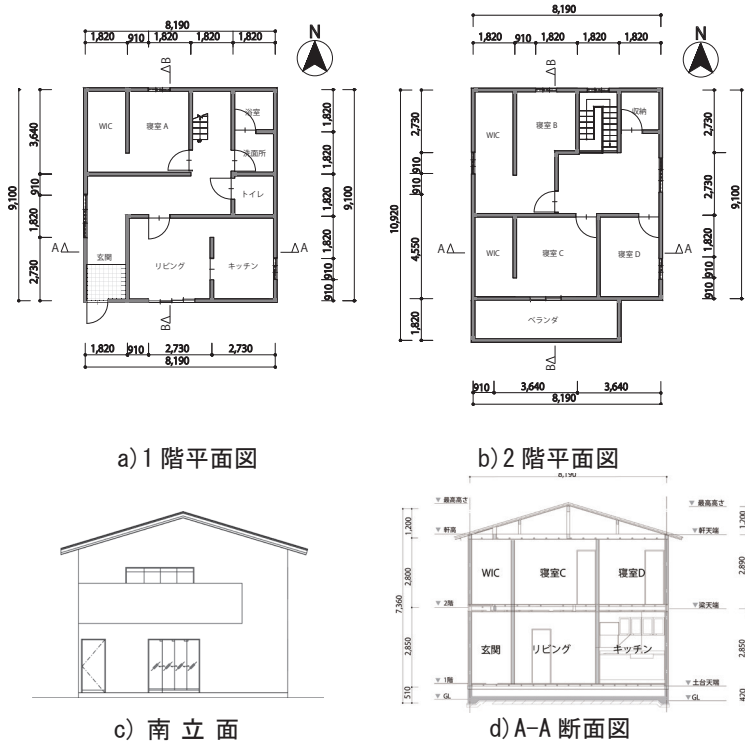


図2 震度予測結果²⁾



c) 南立面

d) A-A断面図

図3 対象建物

表1 対象建物概要

建設地	大阪市内
用途	住居
階数、構造種別	2階、木造(在来軸組構法)
延べ床面積	149.06 m ²
各階面積	1階: 74.53 m ² , 2階: 86.12 m ²
軒高さ、最高高さ	6.16 m, 7.38 m
各階高さ	1階: 2.85 m, 2階: 2.89 m
屋根仕様、外壁仕様	化粧スレート葺き、サイディング
基礎形式	ベタ基礎

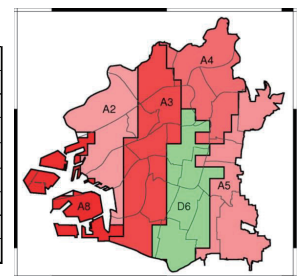


図4 大阪市のゾーン区分²⁾

モデルの極稀地震に対する必要壁量比はEW成分で2.95, NS成分で2.78であり、いずれも1.0を上回る結果となった。H19波に対する必要壁量比はEW成分で1.77～4.43, NS成分で0.69～4.51である。H19波に対する必要壁量比が極稀地震に対する必要壁量比を上回ったゾーンは、EW成分のA04の4.43およびA05の4.13, NS成分のA03の3.82, A05の4.51およびD06の4.51である。

図7に荒壁モデルの必要壁量比を示す。同図より荒壁モデルの極稀地震に対する必要壁量比はEW成分で1.54, NS成分で1.81となり、いずれも1.0を上回る結果となった。H19波に対する必要壁量比はEW成分で0.92～4.61, NS成分で1.08～4.69である。H19波に対する必要壁量比が極稀地震に対する必要壁量比を上回ったゾーンは、EW成分のA02の4.61, A03の1.84, A04の4.30およびA08の2.15, NS成分のA04の3.61およびA05の4.69である。

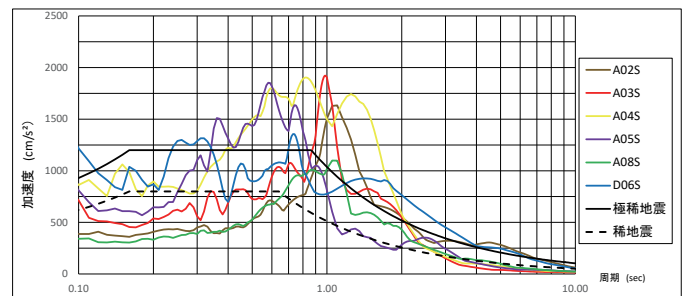
合板モデルと荒壁モデルの比較を行う。極稀地震に対する必要壁量比は合板モデルで2.78～2.95, 荒壁モデルで1.54～1.81となり、合板モデルより塑性変形能力が高い荒壁モデルの方が必要壁量比が低い。H19波に対する必要壁量比は、EW成分とNS成分の各6ゾーンにおける12ケースの内、9ケースで荒壁モデルの必要壁量比が合板モデルの必要壁量比より低い。荒壁モデルの必要壁量比が合板モデルの必要壁量比より高くなったEW成分のA02ならびにNS成分のA04およびA05について、合板モデルの変形限界である1/30における等価周期が0.70秒～0.91秒, 荒壁モデルの変形限界である1/15における等価周期が0.91秒～1.07秒である。0.70秒～1.07秒の周期において、図5a)に示すA02の加速度応答スペクトルならびに図5b)に示すA04およびA05の加速度応答スペクトルは上昇する特性があるため、荒壁モデルの方が合板モデルより必要壁量比が高くなっている。

以上の結果より、合板モデルより塑性変形能力が高い荒壁モデルの方がおおむね必要壁量比が低くなる傾向があるということが分かった。

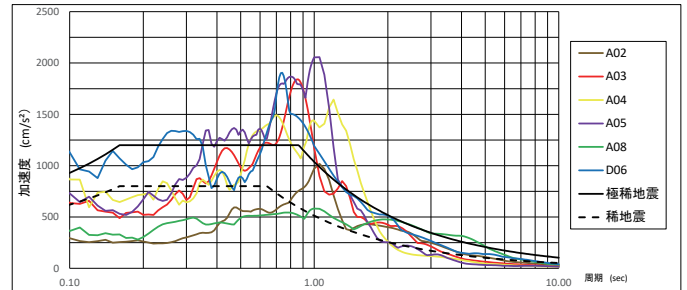
5. 結論

極稀地震に対する必要壁量比は合板モデルで2.78～2.95, 荒壁モデルで1.54～1.81となり、塑性変形能力の高い荒壁モデルの方が必要壁量比が低くなった。また、H19波に対する必要壁量比はほとんどのケースで1.0を大幅に超える結果となった。

したがって、木造軸組構法住宅を設計する際には想定される地震動の特性を理解したうえで、適切な材料を用いた耐力壁を配置して設計することが重要である。

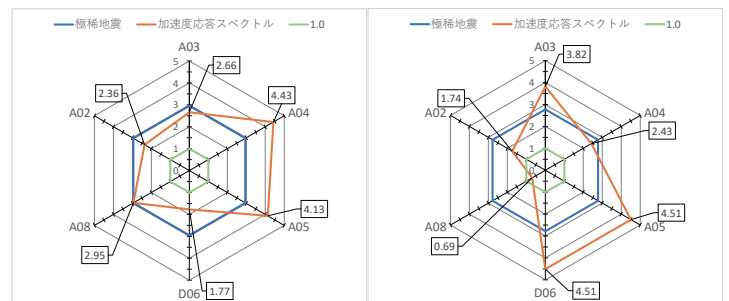


a) EW成分



b) NS成分

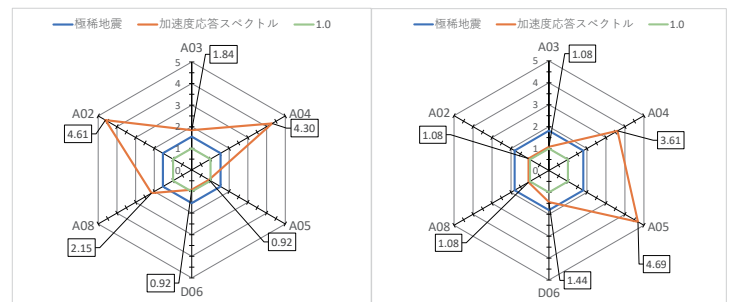
図5 H19波 加速度応答スペクトル



a) EW成分

b) NS成分

図6 合板モデル 必要壁量比



a) EW成分

b) NS成分

図7 荒壁モデル 必要壁量比

謝辞

本研究で使用した地震動のデータは、大阪市より提供いただいた、ここに感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 地震調査研究推進本部 http://www.jisin.go.jp/main/yypsokuchizu/katsudanso/f080_uemachi.htm
- 2) 大阪府：大阪府自然災害総合防災対策検討, 平成19年3月
- 3) 山村真史：大阪市域で想定される直下型地震動に対する木造軸組構法建物の応答に関する研究：大阪工業大学工学部デザイン学科卒業論文梗概集 pp.21-22, 平成29年3月
- 4) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統工法を生かす木造耐震設計マニュアル - 限界耐力法による耐震設計・耐震補強設計法, 平成16年3月

(構造デザイン研究室)

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

Planning to Fabricate Cable Net Structure using Robot Arm by Scale Model

W17-050 土橋律来

1. 序論

海外では、ロボットを用いて空間にケーブル構造を構築する方法が研究されている。M.Yabloninaら¹⁾は、図1に示すようにケーブル構造で構成される空間構造を提案している。このような構造を構築する際は、ロボットが外側から作業を行うため、可動領域の大きさに比べて構造体の規模が小さくなってしまう。

本研究では、ロボットアームの可動領域において最大となるような鞍型曲面のケーブルネット構造の屋根の架設方法を検討することを目的とする。

2. 架設計画概要

図2に対象とする鞍型曲面のケーブルネット構造を示す。可動領域において最大となるような屋根を構築するためには、ロボットアームの上部にケーブルネットを架設することになる。使用するロボットアームはxArm6(UFACTORY社製)で、その可動領域は図3に示すように半径が約700mmの球体となる。この可動領域から制作するスケールモデルの規模を決定する。構築する鞍型曲面の境界構造は970mm×970mmのひし形であり、ステージからの高さが最下点は600mm、最高点は750mmとした。鞍型曲面は図4に示すように押えケーブルと、吊りケーブルを交差することで構築する。境界構造にはフックポイントを設置し、これにケーブルの端部を巻きつける。ロボットアームは下からの作業になるため、図5に示すように先に押えケーブルを架設し、次に吊りケーブルを架設する。そのため、ロボットアームの制御には既に架設されたケーブルに筐体が干渉しないことが要求される。

ケーブルとしてミシン糸(#20)を使用する。糸に張力を与えるためにボビンホルダーを使用した。ボビンホルダーは、ロボットアームの先端に取付けるために、図5および図6に示すボビンホルダーアジャスター(以下「アジャスター」という)に格納する。アジャスターに格納されるボビンホルダーの先端は、アジャスターの中心から偏心している。これにより、ロボットアームの先端の関節を回転させることで、糸をフックポイントに巻きつけることができる。スケールモデルの境界構造を木材で製作し、境界構造にフックポイントを取付けた。製作後、各部寸法を確認したところ、±2.00mmの程度の誤差が確認された。これらの誤差を考慮して糸を巻きつける制御方法を検討する。

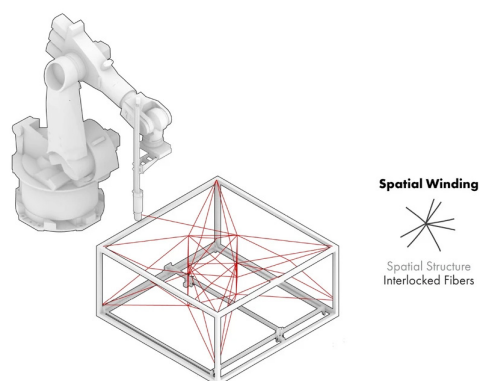


図1 spatial winding¹⁾

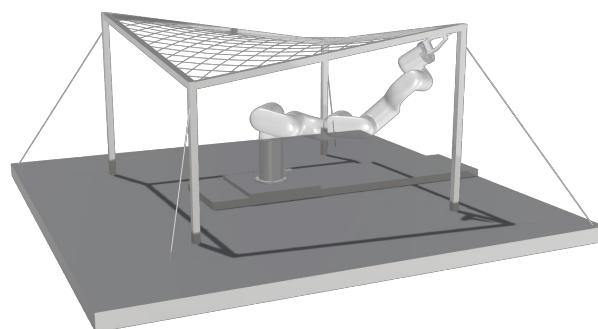


図2 ケーブルネット構造

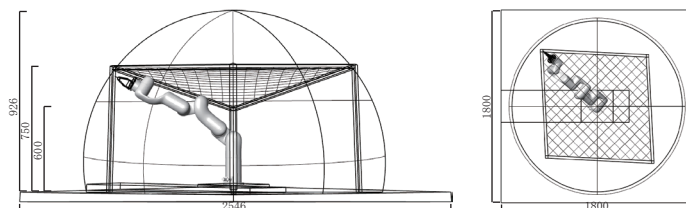


図3 ロボット可動域と境界構造

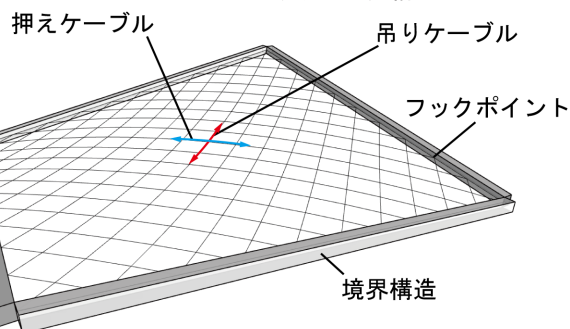


図4 ケーブルネット

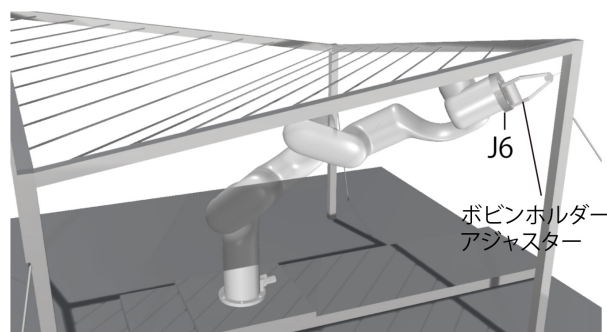


図5 押えケーブルの架設

3. 架設

図7に示すようにフックポイントでは境界構造にフックパーツを取付けている。このフックパーツの元端に押えケーブルを巻きつけ、先端に吊りケーブルを巻きつける。巻きつける際に、フックパーツに対し垂直にアジャスターを配置すると、アジャスターと筐体が既に架設した糸に干渉してしまう。糸に干渉しないためには、ポビンホルダーの先端が最も高い位置となる姿勢で糸を巻きつけなければならない。そこで、図8に示すようにフックポイントにおける法線に対するアジャスター芯の角度 α を求める。フックパーツの2つのフランジに干渉しない最大の角度は $\alpha = 23.2^\circ$ となる。

次にフックパーツに糸を巻きつけるためのポビンホルダー先端の回転による軌跡を決定する。図9に示すようにフックパーツの元端に押えケーブルの糸を巻きつけるためには、ポビンホルダーの先端がフックパーツの周囲を円を描くように回転する軌跡を求める必要がある。元端側のフランジの半径が8.5 mmで、それに境界構造の製作時に確認された誤差2 mmと余裕として1 mmを加えた11.5 mmを先端の軌跡の半径とする。次に、アジャスター芯の傾きが $\alpha = 23.2^\circ$ であることから先端の回転半径Rを求めれば、 $R = 12.5$ mmとなる。この回転半径R=12.5 mmを図6に示すアジャスターの偏心距離としている。

以上の結果から得られた設定を用いて、スケールモデルのフックポイントに糸を巻きつける検証を行う。境界構造の最高点から2番目のフックポイントに糸を巻きつける様子を写真1に示す。写真1は上部から巻きつけの状況を撮影している。写真1a)に示すように1つ目フックポイントの直下にポビンホルダー先端を移動させる。次に写真1b)に示すようにアジャスターを回転させて糸をフックパーツに巻きつける。写真1c)に示す次のフックポイントへの移動では、糸がたるむことのないように、ポビンホルダー先端が最短距離を通るよう姿勢を制御する。そして、写真1d)に示すようにアジャスターを回転させて、糸をフックパーツに巻きつける。

4. 結論

ロボットアームの可動領域において最大となるような鞍型曲面のケーブルネットの架設方法について検討した結果、既設のケーブルに干渉しないようアジャスターに角度を与えること、偏心したアジャスターを回転させることでフックポイントでの巻きつけが可能であることが分かった。

【参考文献】

1) Maria Yablonina : Spatial winding: cooperative heterogeneous multi-robot system for fibrous structures, Construction Robotics(2020) 4, pp. 205-215, 2020

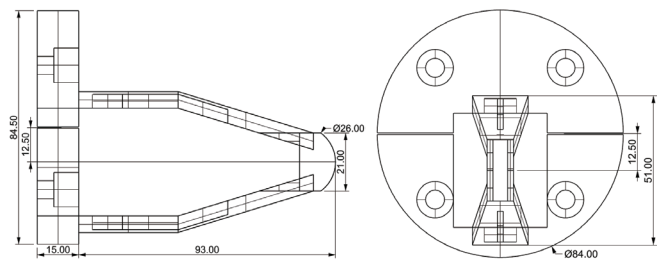


図6 ポビンホルダーアジャスター

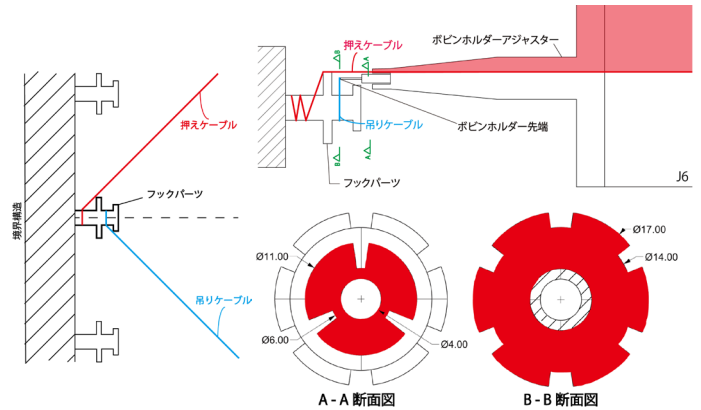


図7 フックポイント

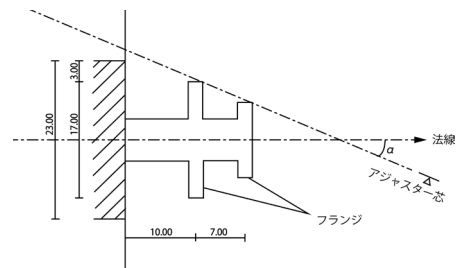


図8 アジャスターの角度 α

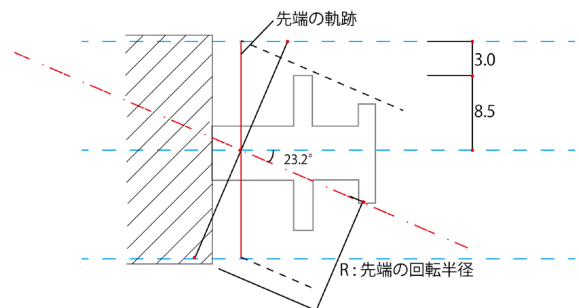


図9 フックパーツへの巻きつけ

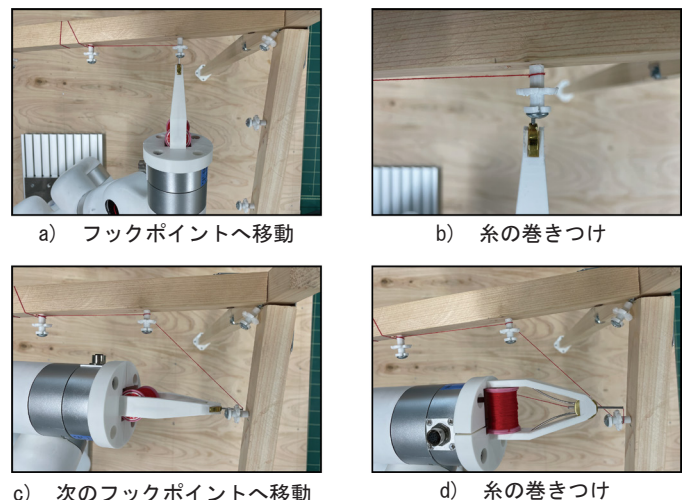


写真1 糸の巻きつけ状況

(構造デザイン研究室)

ロボットアームを用いた竹造アーチ形式パビリオンの架設計画

Planning to Fabricate a Bamboo Arch Pavilion using Robot Arm by Scale Model

W17-073 廣野圭太

1. 序論

海外ではコンピューショナル・デザインとロボティクスによって新たな空間の形態が創出される試みが行われている。このような取り組みはカーボン繊維を編むようにしてパビリオンを構築しているシュツットガルト大学の Research Pavilion¹⁾ やロボットアームと金属制3Dプリンタを用いて橋を構築している Joris Laarman Lab の MX3D Brige²⁾ などの研究事例がある。しかしこのような研究は国内でほとんど見ることが出来ない。

本研究では、ロボットアームを用いて、竹をしならせることにより出来るアーチからなる竹造アーチ形式パビリオンの架設方法を検討することが目的である。

2. ロボットアーム概要

架設にはロボットアームは xArm6 (UFACTORY 社製) を使用した。図1に示すようにロボットアームの可動領域は、X方向,Y方向に±700mm,Z方向は951.5mmである。

3 竹造アーチ形式パビリオン

図2に示す竹造アーチ形式パビリオンは竹材を使用した11本のアーチから構築されるパビリオンである。アーチを形成する際に使用する竹材の長さ、竹材の両端を固定する支点の支点間距離を決めることで弾性たわみ曲線に基づくアーチの曲線が唯一決まる。部材長さは $L = 2400\text{ mm}$ 、部材断面は幅 $B \times$ 厚さ $t = 5\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ の竹材を使用した。図3に示す直径1200mmの円周上に22個のピン支点を配置する。使用するロボットアームの大きさから、架設するパビリオンの大きさは1/6スケールに設定した。

4 架設計画

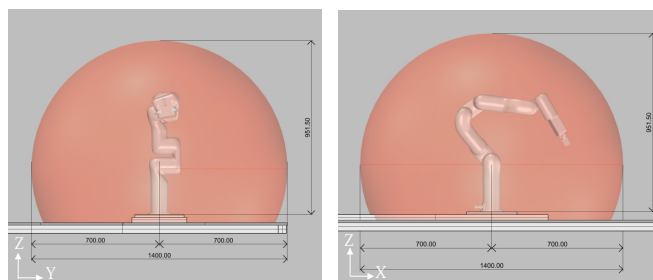
ロボットアームを用いて可動領域外の竹材を可動領域内まで手繰り寄せ、竹材の両端を両支点に固定することで竹造アーチ形式パビリオンを架設する。

図4に架設する際に用いた支点等を示す。図4a)に示す部材置きから竹材をロボットアームが掴む。同図に示す仮設支点は竹材を手繰り寄せる際に竹材終端を固定する。図4b)は竹材を差込むピン支点で、図4c)に示すグリッパーガイドは、ロボットアームのグリッパーが開い



a) Research Pavilion¹⁾ b) MX3D Brige²⁾

写真1 研究事例



a) yz 面

b) xz 面

図1 ロボットアームの可動領域

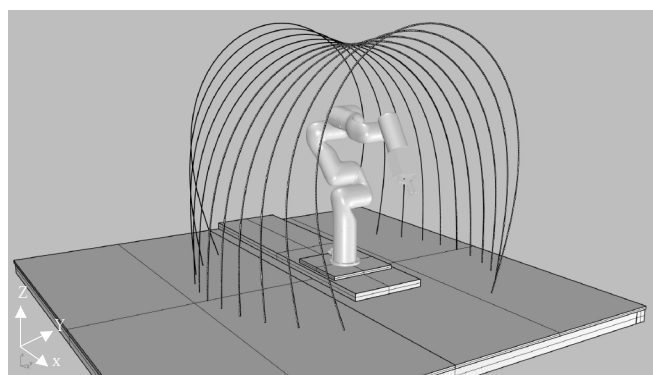


図2 竹造アーチ形式パビリオン3Dモデル

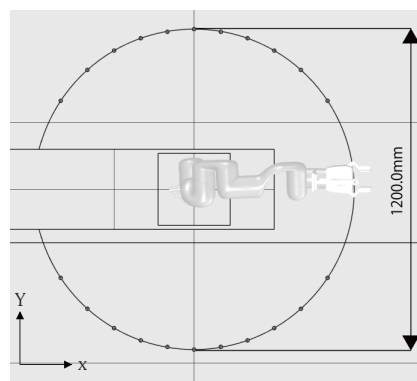


図3 支点配置図

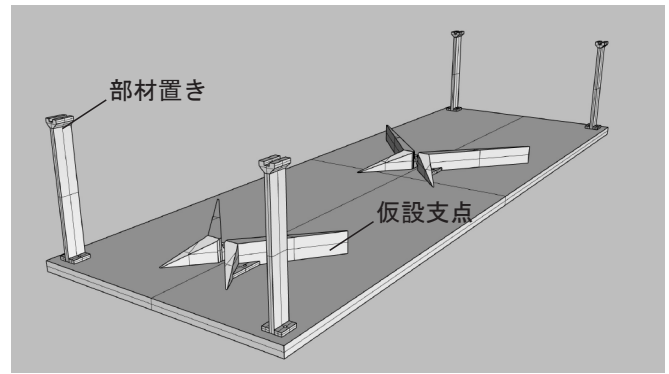
た時に竹材の位置を保持するためのガイドである。

図5に架設過程を示す。架設は外側のアーチから内側のアーチに向かって進める。竹材の始端から10cmの位置をグリッパーで掴む。始端を始支점에差込む(図5 a)。グリッパーを開き部材の始端から部材長さ1/3程度の位置を掴み直す(図5 b)。竹材を手繰り寄せて終端を外側の仮設支点に固定する。再度、手繰り寄せて終端を内側の仮設支点に固定する(図5 c)。終端から28cm程度の位置を掴む(図5 d)。終端を終支점에差込む(図5 e)。中央の3箇所のアーチでは、ロボットアームが架設された外側のアーチに干渉してしまうため架設できなかった。写真2に8本のアーチを架設した状況を示す。

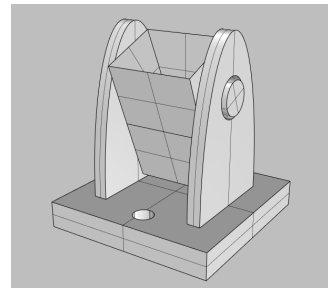
手繰り寄せた際に竹材の終端では外側の仮設支点ではX方向に±10cm程度、内側の仮設支点では±6cm程度の誤差が生じた。そのため図4 a)に示す外側の仮設支点で±12cm、内側の仮設支点では±9cmの誤差を補正でき、固定する際も仮設支点の中心で固定できる形状とした。同図に示す部材置きは高さ10cmとした。ロボットアームがピン支点に差込む際にロボットアームの座標に誤差が生じる。そのため図4 b)に示す始支点ではX方向、Y方向ともに±1.875mmのテーパを設け、終支点では竹材に曲げが生じることも考慮しX方向±1.875mm、Y方向±3.75mmのテーパを設けた。

5 結論

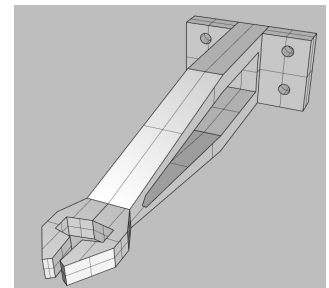
ロボットアームを用いて竹材の始端を始支点に固定した後、可動領域外の竹材の終端を可動領域まで手繰り



a) 部材置きと仮設支点



b) ピン支点



c) グリッパーガイド

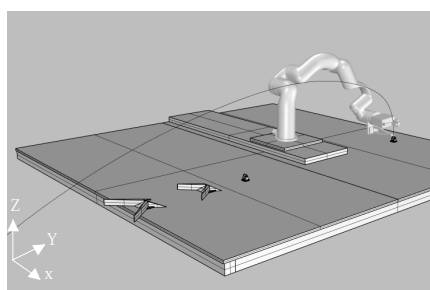
図4 制作物

寄せ終端を終支点に固定する方式でアーチが架設できた。

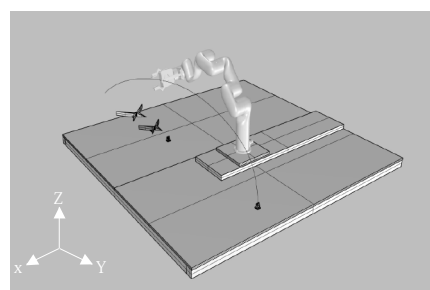
しかし、手繰り寄せる際に竹材を曲げすぎてしまうため、竹材にくせがついた。竹材を過度に曲げることなく手繰り寄せる方法の検討が必要である。

【参考文献】

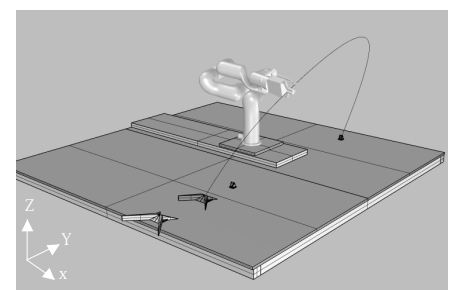
- 1) ICD/ITKE Research Pavilion 2013-14: <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/icditke-research-pavilion-2013-14/>, 参照日 2021年1月30日
- 2) MX3D Brige - Joris Laarman: <https://www.jorislaarman.com/work/mx3d-bridge/>, 参照日 2021年1月30日



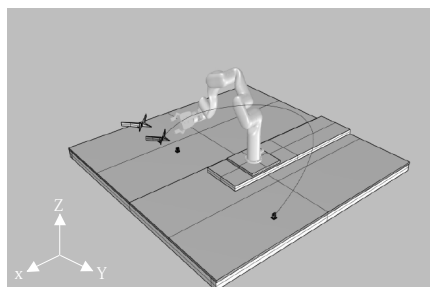
a) 始端を始支点に差込む



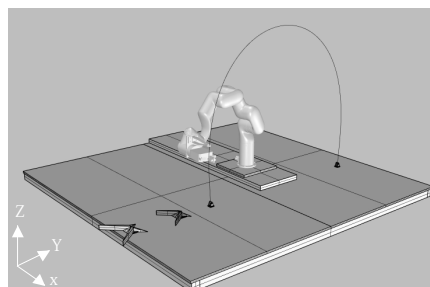
b) 竹材を掴み直す



c) 竹材を手繰り寄せる



d) 終端を掴む



e) 終端を終支点に差込む

図5 架設過程

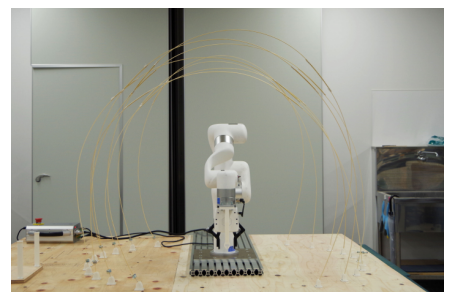


写真2 架設状況

(構造デザイン研究室)

2020年度 卒業論文梗概集 第12号
大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部
空間デザイン学科
〒530-8568 大阪市北区茶屋町1番45号
TEL (06)-6147-6558
FAX (06)-6147-6562