

2022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 14 号

2023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

2022年度卒業論文題目

薮戸の研究

垣脇尚平 (建築歴史文化研究室：妻木准教授) …… P. 1

スマートフォン保持によるパーソナルスペースの変化

井岡溪斗, 芝 優基, 濱田拓実 (インテリア工学研究室：西應教授) · P. 3

日本における酪農の現状と課題 次世代の酪農建築

梶本 仁 (建築歴史文化研究室：妻木准教授) …… P. 5

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

阪下 闘 (構造デザイン研究室：白髪教授) …… P. 7

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

又吉隆斗 (構造デザイン研究室：白髪教授) …… P. 9

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

長谷川 寛 (構造デザイン研究室：白髪教授) …… P. 11

蔀戸の研究

The study of Shitomido

W18025 垣脇尚平

序論

近代の建築、特に住まいなどの開口部には、主に開き戸や引き戸、折れ戸といった建具を見栄えや使い勝手などによって使い分けている。しかし平安時代、貴族たちが暮らしていた寝殿造に目を向けると、開口部に蔀戸と呼ばれる建具が多く用いられている。近代建築ではあまり姿を見せることはなくなった蔀戸であるが、意匠的な効果が非常に高く、興味深い柱間装置である。

本研究では、蔀戸に関する基本的な歴史や構造などを理解し、寝殿造の開口部に蔀戸使われていた理由や他の建具と比べ、どのような意匠の効果があるのかについて考察する。また『絵巻で読む源氏物語 毛利博物館所蔵「源氏物語絵巻」』¹⁾に掲載されている「源氏物語絵巻」を用いて、蔀戸が最も華やかな時代であった平安時代にどのように使われていたのか考察する。

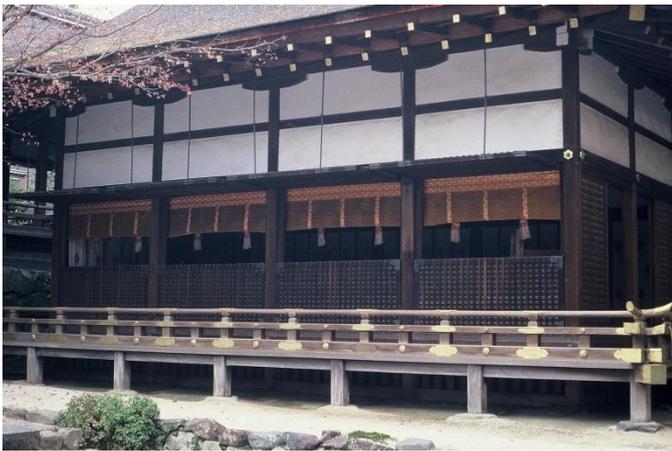


図1 上賀茂神社 開口部

寝殿造と蔀戸

寝殿造とは、平安時代に完成され全盛期を迎えた寝殿や対屋を中心とした建築様式である。この寝殿造は当時の貴族の生活様式などの観点から「自然との調和」や「開放的な建築様式」を重視していた。これらを最も表していたのは「蔀戸」である。蔀戸とは表裏両面に格子を組み、その間に板を挟み込んだ戸であり、その最大の特徴はその構造にある。蔀戸の大半は半蔀と呼ばれる一枚の蔀戸を上下で半分に分けたものである。上半分の上部を垂木もしくは庇に取

り付けられた金具に吊り上げることができ、下半分の下蔀は柱にある溝に直接取り付けられるため自由に取り外しが可能となっている。この特徴から上蔀と下蔀が共に開放された時、柱間から蔀戸は姿を消す。これによる効果は「開放的な建築様式」を持つ寝殿造にとって絶大である。

蔀戸の意匠的效果

蔀戸は上蔀と下蔀を共に開放したとき、意匠的に絶大な効果を発揮する。この時、蔀戸は柱間から完全に姿を消し、内部に外部の仕切りを無くす。これにより内部にいながら外部にいるような感覚に陥ることができ、部屋全体を半屋外空間にすることができる。

実際に Archicad のレンダリング機能を用いて、蔀戸は他の建具と比較してどれほどの効果があるのかを検証した。ここでは、日本建築史図集²⁾に掲載されている東三条殿復元平面図を参考に寝殿造のモデルを作成した。比較対象として、現代の建築でも多く使用されている開き戸と引き戸を挙げ、三つの戸が完全に開放されている時の状態を壁ツールやスラブツールを用いて再現した。

図2は引き戸が開放されている状態を再現し、南方向でレンダリングした図である。引き戸では、完全に開放したとしても柱間の半分は戸によって遮られてしまっているため、中から外を眺めた時、戸によって見えない部分が多く、開放的とは言えない。



図2 引き戸 南向き

開き戸は引き戸と比較すると、戸が柱間を埋めることなく、開放的であると感じる。しかし、視線を斜めに向けると戸によって視界が遮られてしまう部分が多くなってしまふ。図3,4は開き戸と蔀戸を再現し、図2から西向きに45°傾けた位置、つまり南西方向でレンダリングしたものである。開き戸の場合、奥になればなるほど見える範囲が狭まっていき、奥の柱間は、戸によって完全に視界が遮られていることが分かる。一方で蔀戸は、戸によって視界を遮られている部分はかなり少なく、明るく開放的な印象を与える。



図3 開き戸 南西向き



図4 蔀戸 南西向き

以上のことから、蔀戸は他の建具と比べ、建物の中にいる人の視界を遮ることが少なく、戸をすべて取り払ったかのような開放感を感じることできる建具と言える。「自然との調和」や「開放的な建築様式」を重視する寝殿造にとって部屋全体を外の一部にすることができる蔀戸は必要な存在であったと言える。

蔀戸の様々な姿

蔀戸はその構造上、大きく分けて三つの姿がある。一つ目は下部、上部が共に開放されている状態、二つ目は上部のみ開放され下部は柱間に取り付けられた状態、三つ目は下部、上部が共に閉められている状態である。「源氏物語絵巻」を見ると、それぞれが適当な場面な場面で活用されている。また、開口部に御簾が下げられている場面が多くあり、現代では蔀戸の内側に障子を付けている場所も存在した。蔀戸が同じ状態の場合でも御簾が下げられているか否かで、描写されている場面に違いがあり、また御簾を介してやりとりすることで、男女の差や身分の差などの複雑な人間関係を表現していることが分かった。



図5 法隆寺聖霊院 御簾

結論

開放された時に生じる高い意匠的效果、また状況に応じて姿を変えることができる汎用性、この二点は蔀戸の長所である。平安時代では蔀戸の重さにより汎用性は本来のものではなかったが、現代では、機械技術の進展や素材の軽量化が可能となり、本来の能力を最大限発揮できるようになった。蔀戸が持つ弱点も大きな問題ではなくなり、蔀戸が持つポテンシャルが最大限発揮できるようになった。自然と触れ合うことが少なくなった今こそ、蔀戸は再び注目されるべき建具である。

参考文献

- 1) 龍澤 彩, 『絵巻で読む源氏物語 毛利博物館所蔵「源氏物語絵巻」』, 三弥井書店, 2017
- 2) 日本建築学会, 『日本建築史図集 新訂第三版』, 彰国社, 2018

(建築歴史文化研究室)

1.研究の背景と目的

これまで建築デザイン、インテリアデザインの分野では、未知のコミュニケーションや、心地良いコミュニティの生成を助ける条件を検討し、物理的空間の形態や設えを設計してきた。しかし、現在それらの条件は、様々な分野のシンギュラリティによって大きな質的变化を遂げていると考えられる。この研究では、これから主な社会の担い手となる20代の若者のパーソナルスペースとコミュニケーションの意識を調査する。実験的方法から得られたデータを分析することで、心地良さを感じ、ストレスを減じる空間を設計する方法に役立つ知見を得る。

2 実験方法

条件(スマートフォン(*以下SPとする)保持/不保持)によるパーソナルスペース(*以下PSとする)の変化とその特性(PSを認識するプロセス、PSの質的な変質と移行)を明らかにする。

実験協力者(初対面である20代の男女15名)に優位脳検査、心理テストを実施し、空間に対する認識の特徴と、属性による分類を行い、条件による実験協力者を内定する。実験空間(図1)にてアイマークレコーダーを装着した実験協力者2名は接近し、PSの距離の段階(エドワード・ホールによる密接距離、個体距離、社会距離、公共距離)の4つの対人距離を認識した時点でボタンを押してサインを発する。その過程をビデオカメラで撮影し、記録した。アイマークレコーダー、アンケートなどから、PSを形成する距離の段階を区別する数値的指標を得る。

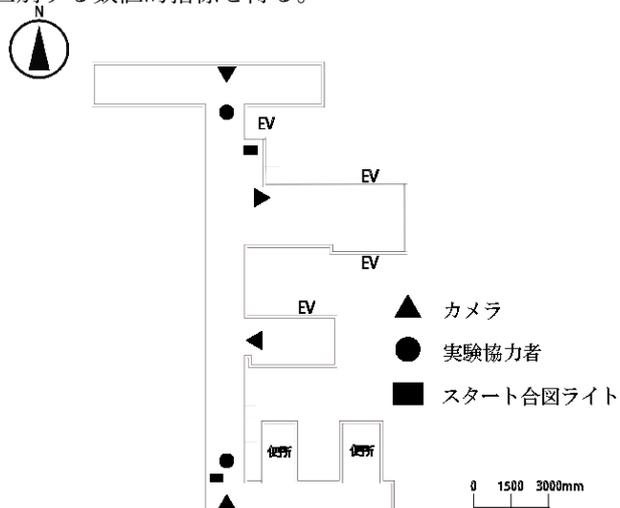


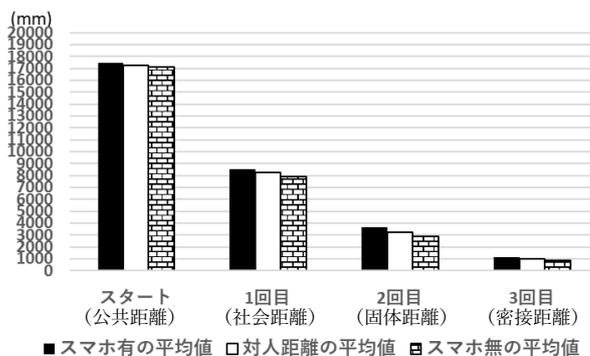
図1 大阪工業大学梅田キャンパス4階フロア

3 結果と考察

3-1 SPの保持による対人距離の変化

実験協力者にSPを通知がならない状態にしてポケットに入れて保持するとSPを保持していない状態で対人距離の計測を行った。

図2から、スタート時SP保持が790mm広く、1回目SPを保持が1100mm広く、2回目SP保持が1930mm広く、3回目SP保持が420mm広いという結果が出た。このことからSPを保持している場合と保持していない場合では全体としてSPを保持している場合の方がPSは広くなるという傾向がみられた。SPを保持している場合の方がPSは広くなるという傾向がみられた。これはSPに重要な情報が入っているため心理的に防衛意識が高まったこと、またSPによって必要な情報等調べる事ができ、他人とのコミュニケーションを必要としないことなどが推察される。



3-2 男女によるスマホ有無の変化

SP有男女とSP無男女による対人距離の変化を計測を行った。図からSP有男女はスタート時男性が1100mm広く、1回目男性が2500mm広く、2回目男性が1200mm広く、3回目男性が300mm広くなった。次にスマホ無男女はスタート時男性が1640mm広く、1回目男性が1400mm広く、2回目男性が245mm広く、3回目男性が67mm広かった。このことから2回目以降は、SP有男女には差があったが、SP無男女はほとんど差がなかった。よって、SP有男は2回目以降の対人距離が近づくにつれてPSを広くとることがわかった。男性は、女性よりもプライベートを尊重すべき事項が多い。守秘義務で仕事関係のものを見られたら困る場合や隠したい自分がSPに情報が入っているなどが推察される。

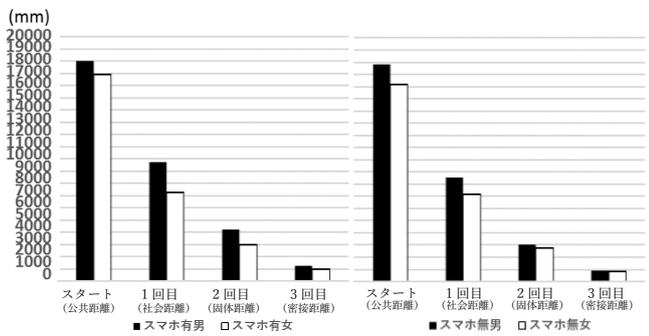


図3 男女によるスマホ有無

3-3 SP 利用時間による対人距離の変化

SP 利用時間についてアンケートを取り、SP 利用時間が平均より長い人のみによる SP 有無による対人距離の変化について計測を行った。図 3-1 からスタート時 1690mm SP 保持が広く、1 回目 SP 保持が 1680mm 広く、2 回目 SP 保持が 2240mm 広く、3 回目保持が 1445mm 広がった。SP 保持が広く取る傾向にあることがわかる。SP 利用時間についてアンケートを取り、SP 利用時間が平均より短い人のみによる SP 有無による対人距離の変化について計測を行った。図 3-2 からスタート時 2080mm 広く、1 回目 SP 保持が 2930mm 広く、2 回目 SP 保持が 300mm 広く、3 回目不保持が 2mm 広がった。SP 保持が広く取る傾向があるが固体距離、密接距離ではほとんど差がなかった。この実験から SP 依存度が高いと考えられる SP 利用時間が長い人の場合のほうが PS を広くとる事がわかった。SP に重要な情報が入っているため心理的な防衛意識、SP によって必要な情報等調べる事ができ、他人とのコミュニケーションを必要としないことが依存度の高い人が低い人に比べて強く感じていることが推察される。

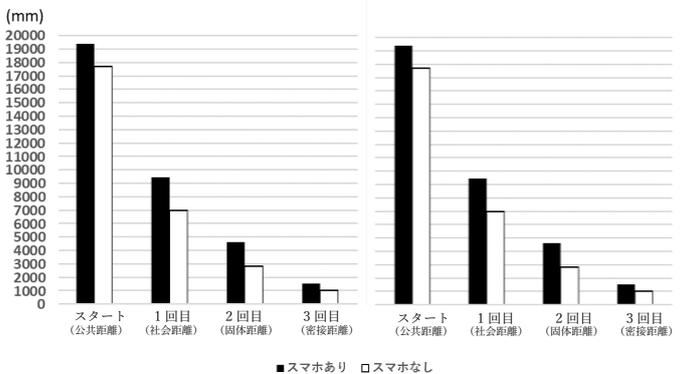


図 3-1 SP 利用時間が平均より長い人による SP 有と SP 無の対人距離
図 3-2 SP 利用時間が平均より短い人による SP 有と SP 無の対人距離

参考文献

- 1) エドワード・ホール：かくれた次元, みすず書房, 1970
- 2) 渋谷昌三：人と人との快適距離 パーソナルスペースとは何か, 日本放送出版会, 1990

3-4 男女による対人距離の変化

男女の性別による対人距離の計測を行った。図 3 から、スタート時男性が 1200mm 広く、1 回目男性が 2050mm 広く、2 回目男性が 720mm 広く、3 回目男性が 230mm 広いという結果が出た。このことから男性が PS を広く取る傾向が見られた。これは普段歩いていて、女性は女友達同士でもくっつきあって近くで行動している姿を見かけるが、男性はくっつきあって行動しないため、女性の PS が狭くなっているなど推察される。

3-5 自尊感情尺度による対人距離の変化

実験協力者に自己肯定感をチェックできるローゼンバークの自尊感情尺度のテストを行った。今回はテストの点数から自己肯定感が高いとされる 25 点以上と、低いとされる 25 点未満で対人距離の変化が出るか解析を行った。図 4 からスタート時低い人が 660mm 広く、1 回目高い人が 2070mm 広く、2 回目高い人が 1080mm 広く、3 回目低い人が 230mm 広いという結果が出た。スタート時以外自己肯定感が高い人のほうが PS を広くとる傾向が見られる。このことから自己肯定感が低いことからなるべく近くに人がいてくれたほうが安心する、自己肯定感の高い方が何事にも自分のやり方やペースで進めたいため、人と距離を取ろうとする心理が働くなどが推察される。

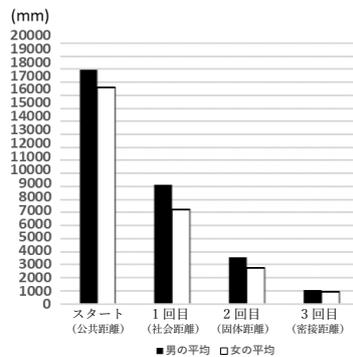


図 4 男女による対人距離

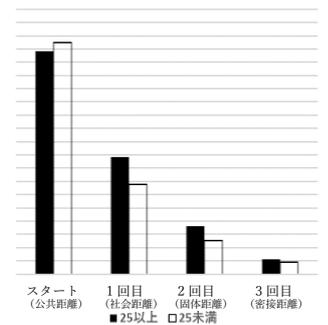


図 5 ローゼンバーク自尊感情尺度による対人距離

4 まとめ

今回の実験から SP 所持によって PS が広がるまた依存度によってその PS はさらに広がること、女性のほうが PS を広くとること、性格によって PS が変化することがわかった。今回の実験では若い 20 代 15 人程度と実験人数が少なく偏っていたため、今後幅広い年代、性格、生活環境などの実験者を多く測定することでより正確なデータを集め、様々な PS の傾向を発見していきたい。そしてどのような性格、スマートフォン使用頻度、男女、年代等の人が利用する施設か分析し、多く利用する人に合わせた最適で心地よく感じられ、ストレスを減じられる PS を確保した空間を設計することができると考えている。(インテリア工学研究室)

日本における酪農の現状と課題 次世代の酪農建築

Current situations of dairy farming in Japan and its challenges for the future: Architecture for next generation dairy farming

W19024 梶本 仁

序論

現在、世界ではエネルギー問題や環境問題、貧困などの様々な問題が蔓延している。その中でも食糧問題は最も人類の存続に関わる問題であると考え、着眼した。日本の現状を更に知るべく一次産業の中でも、酪農という産業に着眼し、北海道の牧場で修行。そこで根本的な問題点を見つけ、日本を更に豊かにするために次世代の酪農のあり方を考えた。



図1 牧場の牛舎

乳製品の輸出入に関して

日本の乳製品の輸出入の変化について財務省の貿易統計からよみとり、分析を行った。日本で最も多く輸入されている乳製品はナチュラルチーズで、2021年度では276,648トン輸入された。ナチュラルチーズの輸入価格は2021年度で1キロ当たり501円であった。2021年の日本のチーズ向け生乳生産量は農林水産省「生乳生産量及び用途別処理量」より454,145トンであり、日本のチーズはおおよそ3割が輸入であることが分かる。

一方で日本はアジアへの乳製品の輸出量が増加している。(図2) 主な輸出先は香港、台湾、シンガポールであり、日本の育児用粉乳は東南アジアで高い評価を得ている。

2017年日本からの乳製品輸出				2022年日本からの乳製品輸出			
品種	数量 (kg)	金額 (千円)	金額 / 数量 (円)	品種	数量 (kg)	金額 (千円)	金額 / 数量 (円)
牛乳	4,671,698	1,006,161	215	牛乳	7,863,669	1,817,794	231
育児用粉乳	5,021,392	7,738,747	1541	育児用粉乳	8,560,178	13,126,076	1533
ヨーグルト	133,811	74,565	557	ヨーグルト	217,418	154,674	711
バター	5,301	9,730	1825	バター	16,950	37,099	2188
チーズ	779,913	1,088,697	1395	チーズ	1,254,297	1,867,616	1288
アイスクリーム	5,302,629	3,271,997	617	アイスクリーム	8,727,773	6,052,871	692

図2 財務省「貿易統計」より

経験から感じる酪農の問題点

1ヶ月の酪農家経験から仕事面と生活面で大きく二つに枠組みして問題点をまとめる。仕事面では搾乳と牛の世話、掃除の面で問題を感じた。搾乳時は朝の作業開始が早くミス誘発してしまう。また食品を扱うので衛生的に常に清潔を保つ必要があるのに対し、糞尿などが混入してしまう環境にある。また清潔を保つための作業に時間を有しすぎる。牛の世話の面では餌押しや寝床に挟まった牛の救出、子牛の体調管理など生き物を相手に生業とするため、自身のために使う時間がほとんどなく、生き物の世話で1日が終わってしまう。牛舎の糞出しでは牛舎の構造上牛が脱走してしまうことがあり二人以上での作業が必須となり人員が必要となる。搾乳室での掃除は至る所に糞が付いているため掃除の効率が悪い。これらの仕事面での問題点はタイムスケジュールの見直しと牛舎の設計見直し、ITの導入にて改善可能と考える。生活面での問題点として、コミュニティが無い、町から遠すぎる、プライベートがない、娯楽が無い、まとまった休みが無いといった問題が挙げられる。

日本の酪農は厳しい状況

一般財団法人中央酪農議会は2022年6月に197人を対象に酪農経営の実態調査を行い、その結果、円安や新型コロナウイルス感染拡大、ウクライナ情勢など外的要因が影響し、酪農家の9割以上が経営難を感じていることを開示した。対象者の92.4%が過去一年に酪農経営に困難を感じ、97.0%が現在経営環境の悪化を感じている。これらの酪農家は将来に向けた牧場への投資を減らすなど、貯金を切り崩して現在難を逃れている。

最先端の酪農機器

全自動搾乳機の導入により、酪農家はこれまでに沢山の時間を牛たちに捧げてきたが、大幅な作業効率の上昇や作業時間の短縮、生産性の拡大を導くことができ、畜産業界の革命と言われている。その一方で、機械の導入にかかる資金が高すぎる、維持費用の増加、

自動化による消費電気の増加、雇用の減少による経済的影響などといった新たな問題点も挙げられる。



図3 全自動搾乳機 レリーカタログ15ページより

次世代の酪農建築の提案

これまでに述べた日本の酪農の現状を考慮した上でより経済的かつ持続可能な牧場の設計を行った。図4以降、次世代型牧場と呼ぶ)

この次世代型牧場の大きな特徴は4つ、法人化された組織、多様な事業内容、積極的なIT技術の導入、放牧を主体とした経営である。これまでの牧場の大きな問題点として膨大な仕事量、志望労働者の減少による後継者不足、これによる労働者の高齢化、収入が少ないなどの問題が挙げられている。これらの問題は法人化することによって、これまでは導入することのできなかった全自動搾乳機や一頭一頭のより精密な健康管理が出来る機器などの最新技術の導入が可能となり、これまでの作業効率を格段と飛躍することが出来る。最新のIT技術により牛一頭の精密な情報を把握することによって管理することがむずかしいといった放牧のデメリットを補い大規模な放牧を可能とする。これによって乳牛は自然に近い状態での生活を提供され生乳の品質向上、受精率の向上、出産におけるリスクの低下が見込まれより経済的な運用が可能となる。

法人化することのメリットは最先端技術の導入ができるだけでなく、新規事業開拓、充実した研修環境、労働基準法の厳守による従業員への補償、環境への配慮、安定した仕事の供給、福利厚生など様々な利点が生まれる。酪農家はコミュニティーが小さいことから鬱病などのリスクが高まると言われているが、この新規事業開拓によって生まれた様々な事業内容がコミュニティーの拡張につながり、これらのリスクを低下させることもできる。

積極的なITや全自動搾乳機などの最新技術を導入することによって、人の仕事が無くなってしまふなどの懸念が現代ではなされているが、一次産業はもとより仕事量が多く、負担もかかるため、人の仕事が無くなってしまふことは無いと考えられる。

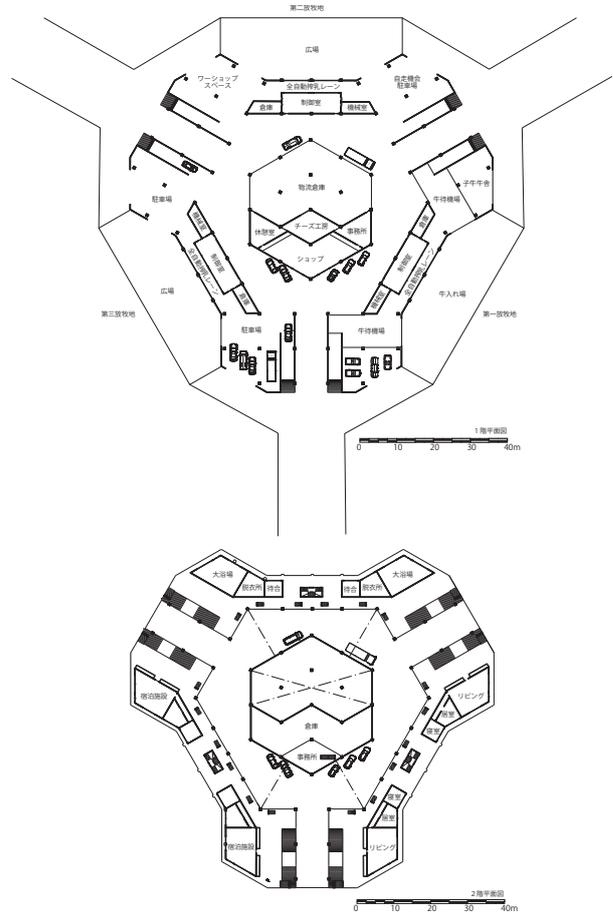


図4 次世代型牧場平面図



図5 次世代型牧場 外観パース

参考文献

財務省 貿易統計 乳製品の輸出

<https://www.customs.go.jp/toukei/info/> (参照 2022-11-23)

レリーホームページ <https://www.lely.com/jp/about-lely/> (参照 2022-10-7)

(建築歴史文化研究室)

1. 序論

近年、積層型 3D プリンタを用いて造形された製品を見ることが出来る。しかし、図 1 に示す多孔質構造¹⁾のような空隙の多い構造体の造形では多くのサポートが必要になる等の形態に対する制約が多い。

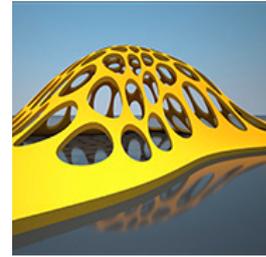


図 1 多孔質構造¹⁾

本研究は、ツールを対象とし、積層型 3D プリンタを用いて造形した形態にロボットアームを用いて切削加工を行うことで、積層型 3D プリンタのみでは造形することが困難な多様な形態を造形することを目的としている。

2. BESO 法を用いた構造最適化

ツールの形態は BESO 法²⁾により得る。BESO 法は進化的構造最適化の手法の 1 つであり、シェル要素で構成された設計領域に対して、シェル厚を増減させることで構造最適形態を得る。本解析には応力解析プログラムである Karamba3D(ver2.2.0)を使用した。

図 2 に示すように、ツールの設計領域は中空正六角形断面で高さが 400mm とし、高さ 250mm の位置に中間面としてくびれを設けた。座面と底面は直径 250mm の円に内接し、中間面は直径 120mm の円に内接する。高さ方向に 64 分割、周方向に 72 分割のメッシュ分割をして、シェル要素の初期厚は 5mm とした。

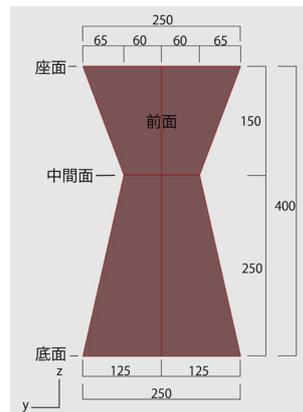


図 2 設計領域

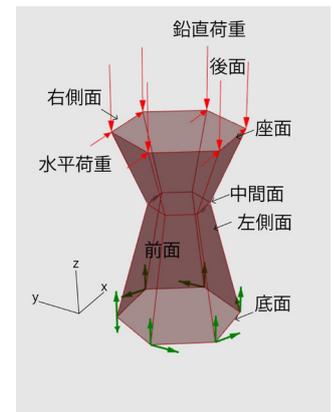


図 3 境界条件・荷重条件

図 3 に示すように境界条件は、底面の各頂点に局所座標を設定し、周方向および鉛直方向の変位を拘束する。荷重条件は人が使用する際に想定される鉛直荷重と水平荷重を座面の各頂点に作用させ、鉛直荷重は 2.0kN とし、水平荷重を 0.5kN, 0.85kN, 1.2kN の 3 種類とした。水平荷重方向は設計領域の前面から後面に向かう方向である。材料特性は、ヤング係数 $E=1950\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、引張強さ $f_y=750\text{N/mm}^2$ と設定した。設計変数は、目標体積比 =60%, 50%, 40%, 30% と影響半径 $R_{\min}=5\text{mm}, 10\text{mm}, 20\text{mm}$ そして水平荷重である。

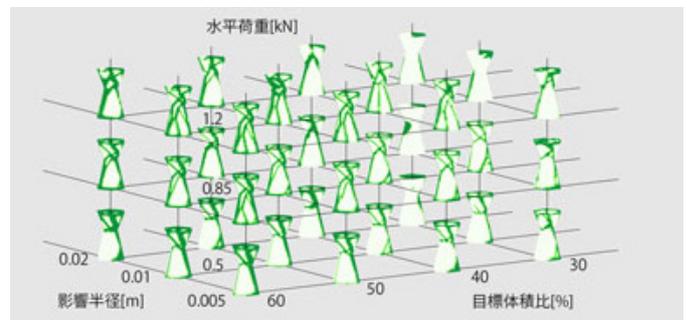


図 4 解析結果一覧

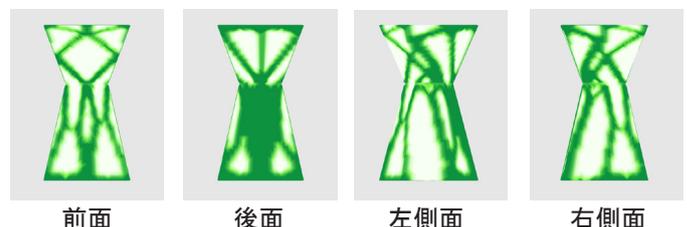


図 5 採用した最適解

図 4 に解析結果一覧をパラメータ空間に示す。パラメータ空間は、目標体積比、影響半径および水平荷重を軸にした空間である。水平荷重が大きくなると、設計領域前面における引張力が大きくなるため、設計領域前面のシェル厚が減少しない。影響半径が小さくなると、解形態におけるシェル厚が減少する領域が細くなり、より複雑な

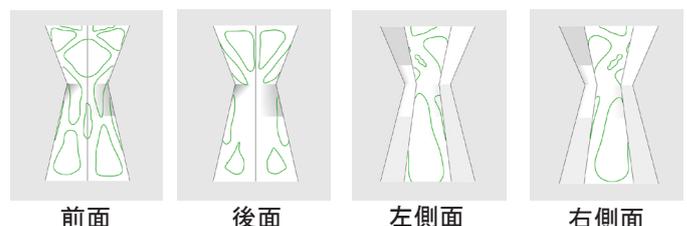


図 6 切削線

形態が得られる。

図5は目標体積比=50%、影響半径 $R_{min}=5mm$ および水平荷重=1.2kNの最適解であり、この形態を切削加工の対象とする。図6に示すように最適解におけるシェル厚が2mmとなる等厚線を抽出した後に平滑化した曲線を切削線とした。

3 ロボットアームを用いた切削加工

図7に示すように切削加工シミュレーションを行い、ツールの設置位置および超音波カッターの取付位置の検討を行った。ロボット制御プログラム KUKA|PRC を用い、6自由度の最大リーチ 760mm のモデルを使用した。超音波カッター SUW-30CMH (SUZUKI 社製) は、全長が約 20cm であるため、ロボット先端から刃先までの距離が短くなるようにロボットの先端側方に取付ける。これによりカッターと筐体が干渉しないように先端の水平面における回転は $\pm 90^\circ$ となるよう設定した。図8に示すように切削線の左右を1mm間隔で分割し、座標と刃の回転角を抽出した。図9に示すシミュレーションより全ての切削線について切削が可能であることを確認した。

写真2に切削加工実験の状況を示す。ロボットアームは xArm6 (6軸垂直多関節, 可搬質量 5kg, 最大リーチ 700mm, UFACTORY 社製) を使用する。図7に示すロボットからツールの中点までの距離は 450mm とし、ツールを固定した状態で、切削線の少ない後面側から前面側へ各面を切削加工した。写真3に切削完了状況を示す。開始点から右側の切削線を終了点まで切削した後に、左側の切削線を開始点から終了点まで切削している。この結果、開始点および終了点においてロボットの姿勢変化に伴う誤差により切削結果に約 2mm の誤差が生じた。

写真4に各面の切削加工結果を示す。各面とも姿勢変化に伴う誤差が確認されたが、概ね良好な切削加工を行うことができた。

結論

BESO法を用いた構造最適化により得た構造最適形態について、抽出した切削線に基づき、積層型3Dプリンタで造形したツールの設計領域の形態から、超音波カッターを取付けたロボットアームにより切削加工を行った。ロボットの姿勢変化に伴う誤差が生じたが、概ね良好な結果を得ることができた。三次元測定器等を用いて誤差の補正を行うことができれば、より精度の高い切削加工が可能となる。

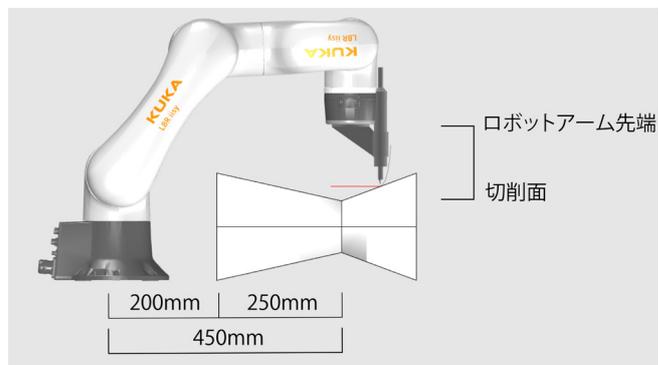


図7 切削姿勢

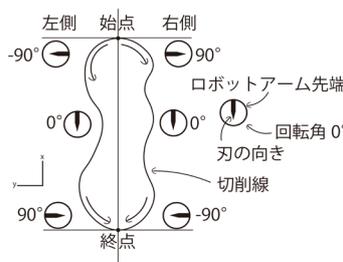


図8 回転角と刃の向き

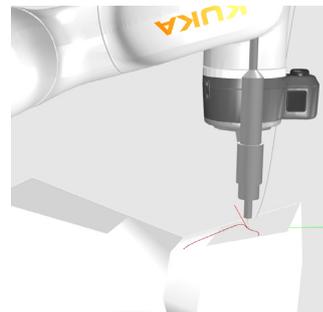
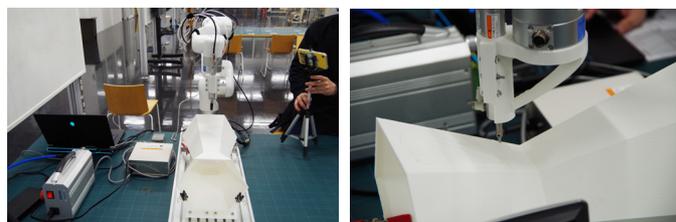


図9 切削シミュレーション



a) 全体図 b) 拡大図
写真2 切削実験

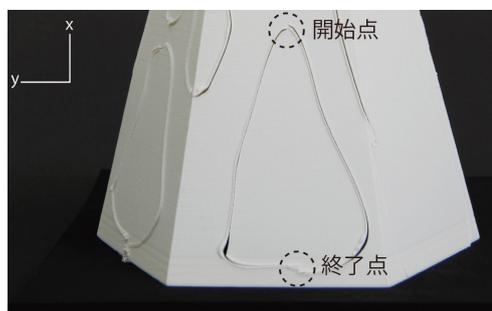


写真3 完了状況



写真4 切削加工結果

【参考文献】

1) https://s3.amazonaws.com/mcneel/grasshopper/1.0/misc/en/Generative_Algorithms_CaE_Porous_Shell.zip
 2) X. Huang, Y.M. Xie: Convergent and mesh independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method, Finite Element in Analysis and Design Vol.43, No.14, pp.1039-1049, October, 2007

(構造デザイン研究室)

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

W19082 又吉隆斗

1. 序論

図1に示すように、白髪ら¹⁾は2台のロボットアームを用いて竹をしならせることのできるアーチを利用した竹造アーチ形式パビリオンの架設を目的とし、ロボットアームの可動領域の大きさを超えるパビリオンの架設方式について提案した。しかし、水平に並列されたアーチは剛性が低い状態である。一方、本岡²⁾は傾斜アーチによる竹造パビリオンの剛性を傾斜アーチの交点でアーチ部材を緊結することで確保できると提案した。

本研究は、竹造アーチ形式パビリオンの剛性を高めるために、傾斜アーチの交点を緊結する方法について、ロボットアームを用いた巻付けによる結束方法の計画と結束実験により明らかにすることを目的としている。

2. 結束計画

図1に示すパビリオンは、スパンが1.50~1.85m、高さが1.43~1.51mの規模であり、このパビリオンのアーチ上に結束を行う6箇所の交点を設定する。

図2に示すように結束点は中央脚部P1、中央頂部P5、端部脚部P2、端部頂部P6として、それらの中間点をP3およびP4とする。表1にパビリオン中央を原点とした時の各結束点の座標と原点からの距離Lを示す。結束にはロボットアーム xArm6 (6軸垂直多関節、可搬質量5kg、最大リーチ700mm、UFACTORY社製)を用い、図2の原点にロボットを設置すると、全ての結束点は可動領域外となる。

図3に実験用アーチ架構を示す。結束点P1~P6に交点が形成されるように竹平材(B×t=5mm×2mm)を架設した。結束点以外の交点はあらかじめ結束している。

図4にロボットの先端に取付ける交点結束機を示す。結束点は可動領域外にあるため、距離が最長となるP5にTCP

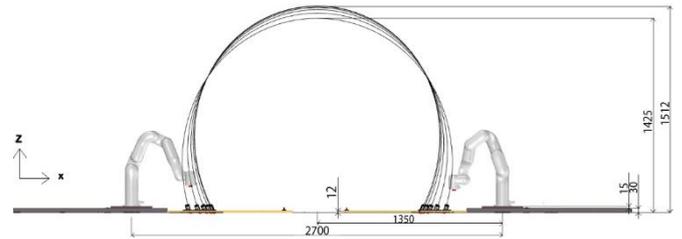


図1 架設計画 立面図¹⁾

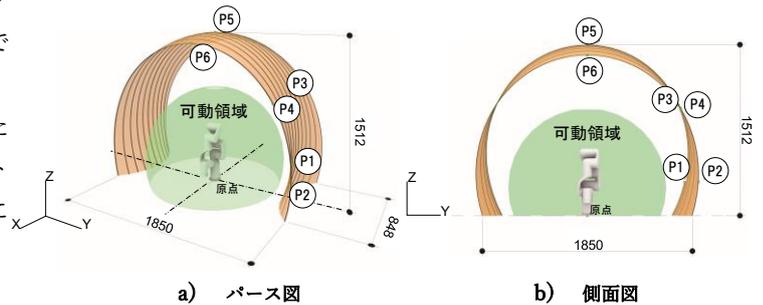
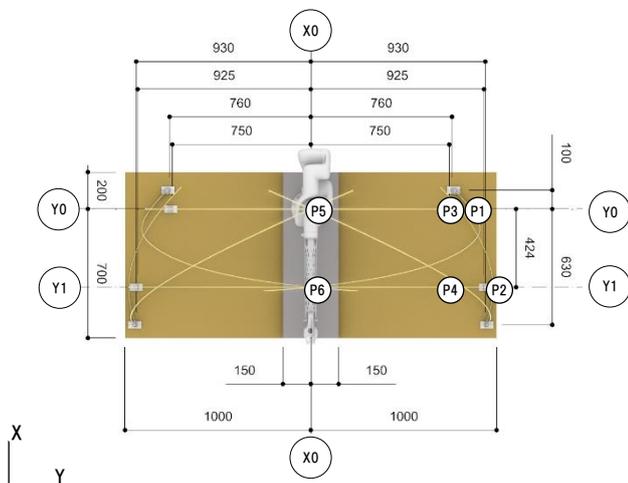
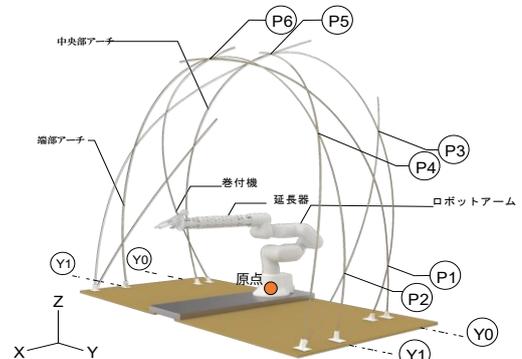


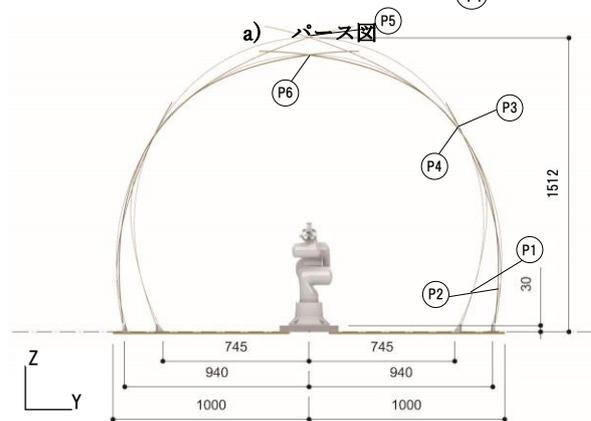
図2 ロボットアーム可動領域

表1 結束点

結束点		P1	P2	P3	P4	P5	P6
座標	X (mm)	0	424	0	424	0	424
	Y (mm)	862	982	802	824	0	0
	Z (mm)	300	300	983	954	1512	1425
距離	L (mm)	913	1111	1269	1330	1512	1487



b) 平面図



c) 立面図

図3 実験用アーチ架構

(Tool Center Point) が到達できるように元端から TCP を 550mm とした。先端の巻付機の挟口に結束点を挟込み、TCP の位置で結束を行う。結束は鉄線をなましたもの(以下、鉄線と呼ぶ)を巻付けることで行う。図5に巻付機を示す。サーボモーターKRS-3302 ICS (トルク 6.7kg・cm, 速度 0.16s/60°, 近藤科学社製) が駆動ギヤを回転させることで、巻付ギヤが回転する。ガイド部に挿入した鉄線の先端を引掛部に通し、約 130mm 突出させる。巻付ギヤが回転することで突出した鉄線が結束点に約 5 重に巻付く。サーボモーターの回転制御には ICS3.5/3.6 Manager を用いた。結束後に巻付機を結束点から離脱させると、鉄線の余長部はガイド部より抜け出て結束が完了する。

3. 結束実験

図3に示すように原点にロボットを設置して結束点 P1~P6 の結束を行う。実験用アーチ架構には自重による変形が生じたために表1の座標からずれが生じていた。このため各結束点について実測により座標を補正した。

補正した結束点の座標に対して図6(a)に示すように結束点近傍まで巻付機を移動させる。次に巻付機の TCP における局所座標系の z 軸を結束点におけるパビリオン曲面の法線方向に一致させ、図6(b)に示すように局所座標系の z 方向に移動させて挟込む。挟込みを確認して巻付けを行った。

写真1に結束結果を示す。結束点 P1 および P2 では良好に結束することができた。結束点 P3~P6 では、アーチの剛性が低いため、巻付け時に結束点が鉄線に押されて挟口内で移動してしまい、巻付ギヤの回転に干渉したことから十分に巻付けることができなかった。特に写真1 e) に示す結束点 P5 はアーチ頂部であり、最も剛性の低い箇所であったことから巻付けが十分にできない結果となった。

4. 結論

竹造パビリオンの剛性を高めるために、傾斜アーチ交点に対してロボットアームを用いた結束実験を行った。巻付ギヤの回転を利用した鉄線による結束の可能性を示すことができたが、剛性の低い箇所では十分に結束できなかった。剛性による影響を受けない結束方法の検討が必要である。また、結束によらない方法で竹造パビリオンの剛性を高める架設方法についての検討も必要であると考えられる。

[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, pp.314-315, 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, pp.17-18, 2022年3月

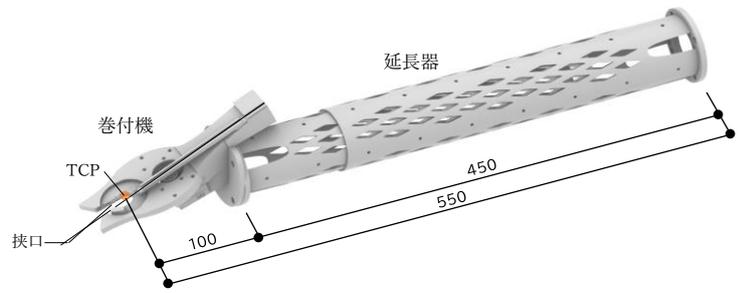


図4 交点結束機 外観

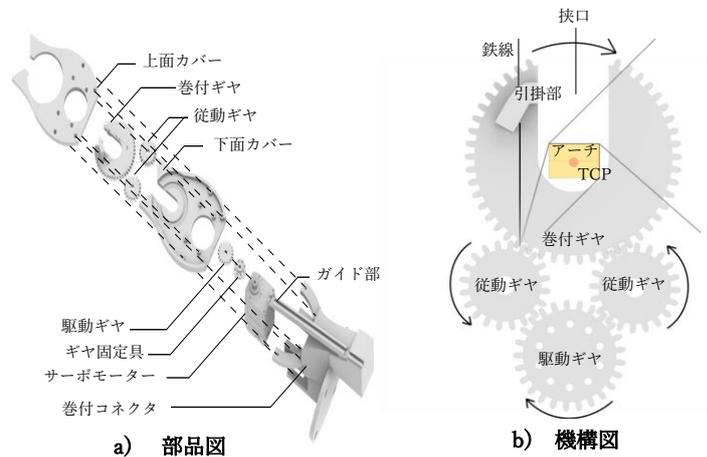


図5 巻付機

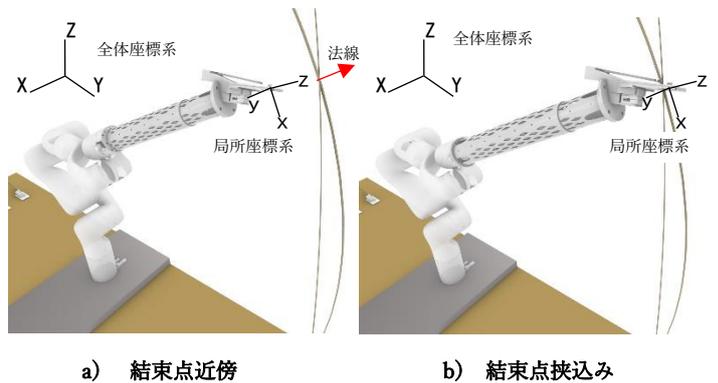


図6 交点結束

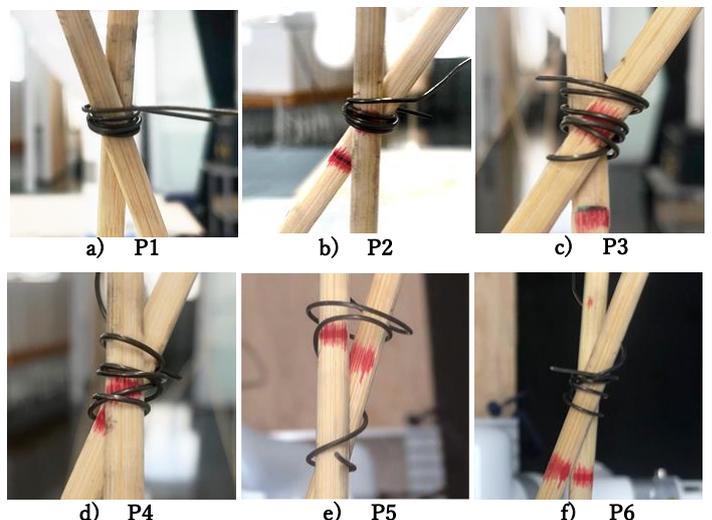


写真1 結束結果

(構造デザイン研究室)

1.序論

土橋¹⁾はロボットアームの可動領域において最大となるケーブルネット構造屋根の架設方法を検討し、エンドエフェクタに角度を与えること、偏心したエンドエフェクタを回転させることでフックに対しケーブルの巻付けが可能であることが分かった。

本研究は、到達距離を2倍程度とするような長さのエンドエフェクタを取付けたロボットアームを用いて、より大きなケーブルネット構造屋根の架設を行うことを目的とする。

2.架設計画

図1に示すように、ケーブルネット構造屋根は境界構造内に押えケーブルと吊りケーブルを架設することによって鞍型曲面を形成する。

図2に示すようにケーブルの架設は屋根の中央下部に設置したロボットアームにより行う。ロボットアームは、xArm6(6軸垂直多関節、最大リーチ700mm、UFACTORY社製)を用いる。長いエンドエフェクタを用いることで作業領域が大きくなり、より規模の大きい屋根を架設することが可能となる。

屋根の下にロボットアームを設置するため、ケーブルの架設は押えケーブルを架設した後に吊りケーブルの架設を行う。押えケーブル架設時は、ケーブルに張力を導入するためにケーブルがたるまないように架設しなければならない。図3に示すように最短経路での架設が必要となる。吊りケーブル架設時は、図4に示すように既設の押えケーブルにロボットが干渉しないように低い姿勢での架設が必要となる。

図5に架設を計画する屋根の規模を示す。図6に示す銅管のアーチを交差させた境界構造で、長径約3.5m、短径約2.8m、アーチ頂部の高さが約1.2m、アーチ交点の高さが0.58mである。境界構造の内側にケーブルを巻付けるフックを設置し、このフックに到達できるようにエンドエフェクタ長さは1000mmとした。

図5に示す①～⑫は押えケーブル(X方向)を架設する順序を示し、⑬～⑳は吊りケーブル(Y方向)を架設する順序を示す。番号の位置にフックを取付けてケーブルを巻付けることで架設を行う。押えケーブルを架設した後に連続し

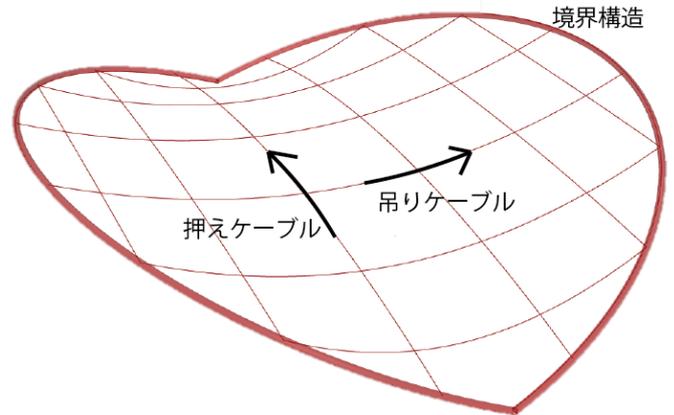


図1 ケーブルネット構造屋根

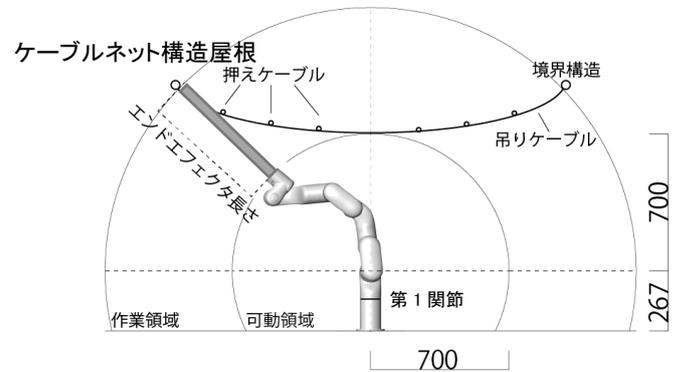


図2 屋根とxArm6の関係

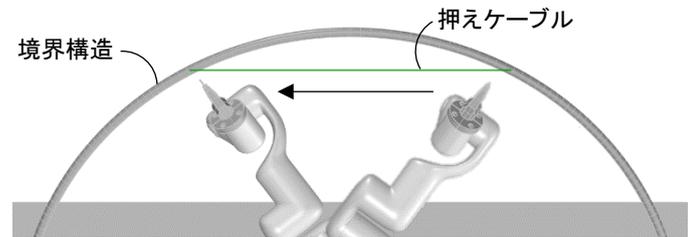


図3 押えケーブル架設時のロボットの移動

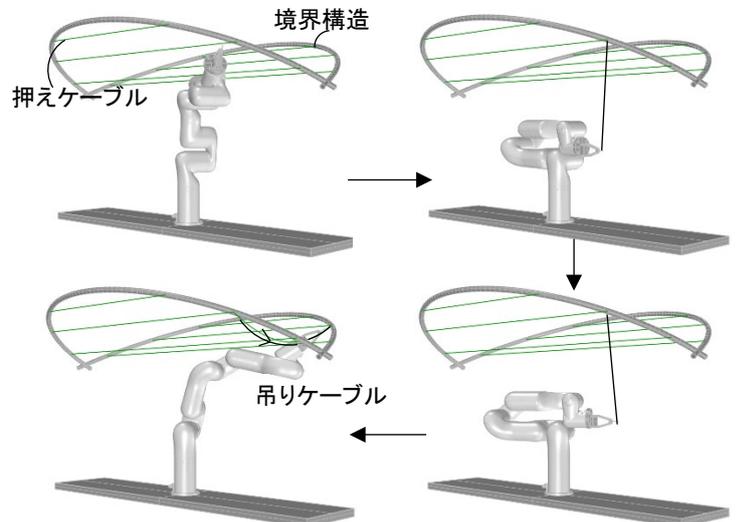


図4 吊りケーブル架設時の移動姿勢

て吊りケーブルを架設しようとする⑬～⑭の間でロボットの関節の回転限度を超えるため、押えケーブル架設後に関節の回転を戻して吊りケーブルを架設する。

ケーブルとしてミシン糸（#20）を使用し、糸に張力を与えるためにボビンホルダーを使用する。図 7 に示すように全長 1000mm のエンドエフェクタの先端にボビンホルダーを装着する。図 8 に示すようにフックにはボルト（M5）を用い境界構造の内側に下向きに取付けた。フックの上部は先に架設する押えケーブルを、下部には後に架設する吊りケーブルを巻付ける。巻付けはボビンホルダー先端が各ケーブルの巻付け位置で、フックを中心とする半径 70mm の円周上を 2 周するように設定した。

ロボットがケーブルを架設する経路において、既設のケーブルに筐体が干渉しないことをロボット制御プログラム KUKA|PRC で同規模のロボットモデルを用いて確認した。

3. 架設実験

図 5 に示す屋根の中央下部にロボットアームを設置してケーブルの架設実験を行った。押えケーブルの架設時は、フック間を最短経路で移動したことでケーブルに張力を導入できたが、写真 1a) に示すようにフックへの巻付け時に既設ケーブル方向へ戻るような巻付け経路となったためにケーブルにたるみが生じて想定した位置に巻付けができなかった。また、巻付け 2 周目に写真 1b) に示すように既設ケーブルにボビンホルダー先端が干渉した。吊りケーブルの架設時は既設ケーブルに筐体が干渉することはなかったが、フックへの巻付けでは同様のたるみと干渉が生じた。

4. 結論

長さ 1000mm のエンドエフェクタを取付けたロボットアームを用いてケーブルネット構造屋根の架設計画と架設実験を行った。ケーブル架設時に既設ケーブルに筐体が干渉することはなかったが、フックへの巻付け時にケーブルのたるみと干渉が生じる結果となった。

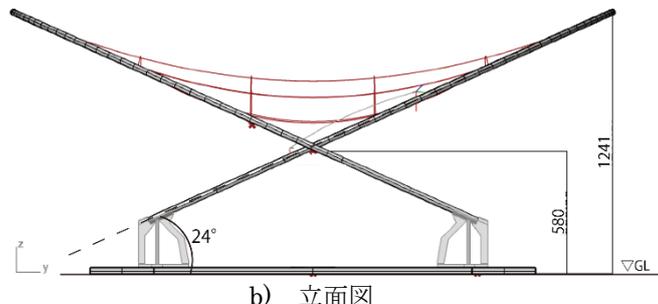
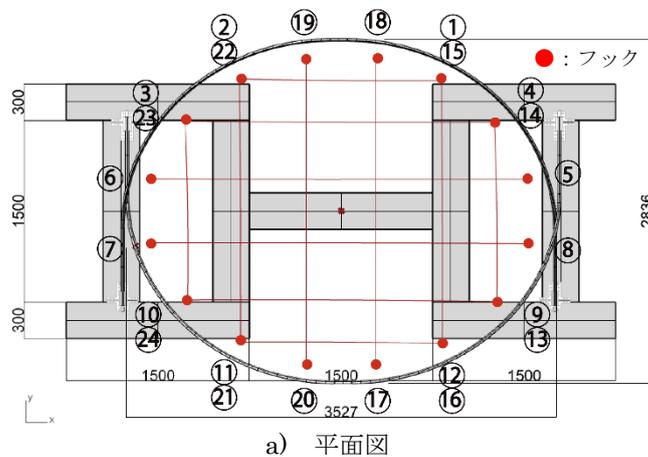
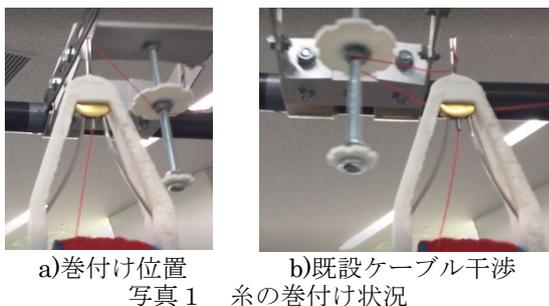


図 5 ケーブルネット構造屋根

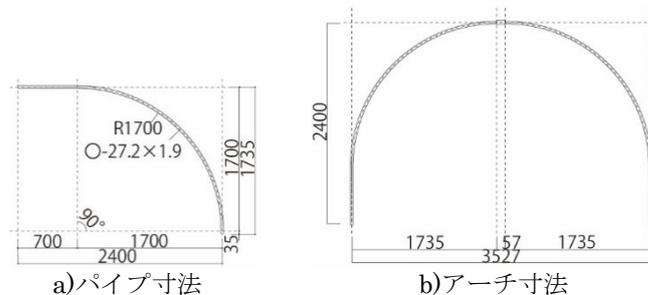


図 6 境界構造の構成部材

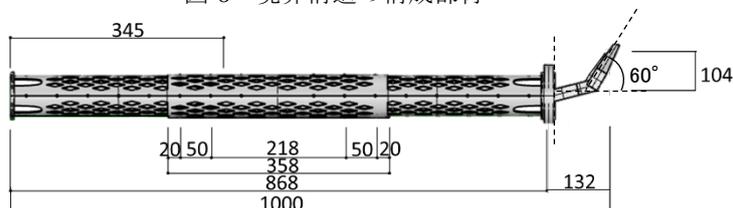
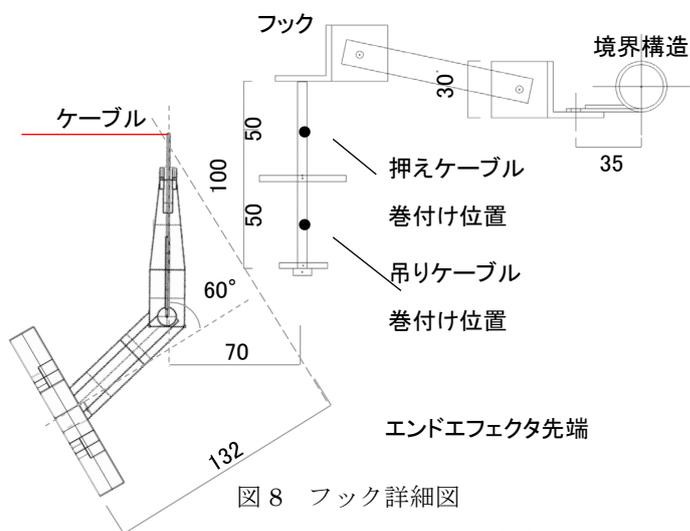


図 7 エンドエフェクタ



(構造デザイン研究室)

【参考文献】

- 1) 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

2022年度 卒業論文梗概集 第14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