



## 構造デザイン研究室

Structural Design Lab.

白髪 誠一

SHIRAGA, Seiichi / Professor

# 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

## — ケミカルウッド製ピースのコネクター部切削実験 —

Basic Study on Milling for 3D Jigsaw Puzzle Using Robot Arm: Chemical Wood Milling Test for Connector of Pieces

### 1. 序論

青木ら<sup>1)</sup>の研究から、三次元ジグソーパズルの内部構造を全てのピースが少なくとも一面の接合面を有する市松パターンを設定し、単純な構成方法にすることで定式化が可能であるという結果が得られている。しかし、製作したアルゴリズムを用いたロボットアームによる三次元ジグソーパズルはスタイロフォームで製作されており、強度・剛性が問題点に挙げられた。また、迫田<sup>2)</sup>の研究では、より強度・剛性の高いケミカルウッドを使用しハンドグラインダの回転数と送り速度、ロボットアームの姿勢を変化させることで、切削加工の精度に適した条件を選定した。ロボットアームの姿勢が、切削器具であるハンドグラインダに対して水平であり、切削方向が鉛直方向である場合が、最も切削面の精度が高くなるという結果が得られている。本実験では、

ロボットアームによる三次元ジグソーパズルを製作する上で、必要であるコネクター部分の切削加工実験を行う。二種類のケミカルウッドを用いロボットアームの姿勢を通り、送り速度も同様に三通りの変化で実験を行う。(表1)

### 2. 実験

ロボットアームの先端にケミカルウッドを固定し、ハンドグラインダで切削するフライス加工を採用する。Rhinoceros上で作成した切削軌道のポイントをリスト化し、Pythonに読み込ませることでロボットアームを操作する。ロボットアームの姿勢が水平姿勢且つ切削面が直交する鉛直方向の時、切削面の表面粗さが滑らかであると考察し、ロボットアームの姿勢を $-60^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で制御を行う。まず、ケミカルウッドを切削

深さ1.5mmでコネクターに対して1mm外側まで粗削りする。次にコネクター部を切削深さ1mmで削り、本仕上げを行う。本仕上げを行う際に、ロボット姿勢に対する場合分けをし、切削した供試体を3Dスキャナーを用いてデータとして読み取る。切削面の表面粗さを比較し、コネクター部切削に適したケミカルウッドとロボットアームの姿勢を調べる。

#### 参考文献

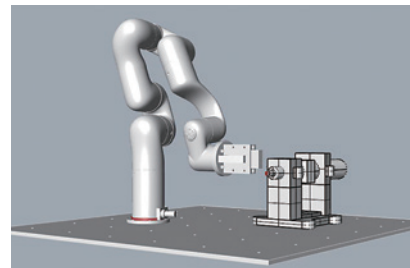
- 1) 青木優里香、白髪誠一：三次元ジグソーパズルの内部構造の構築／三次元ジグソーパズルのアルゴリズム・デザインに関する研究 (1)、日本デザイン学会第67回春季研究発表大会要覧集、pp372-373、2020年
- 2) 迫田雄大：ロボットアームによる三次元ジグソーパズルの切削加工に関する基礎的研究、大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部空間デザイン学科卒業論文要覧集、第12号、pp7-8、2020年



池田 吏希  
IKADA, Riki

実験数	18 組
材料	RAKU-TOOL WB0801 (RAMPF 社製) RAKU-TOOL MB0600 (RAMPF 社製)
回転数 [min <sup>-1</sup> ]	20200
ロボット姿勢	1. 水平 2. $-60^\circ \sim -60^\circ$ 3. $0^\circ \sim 90^\circ$ 且つ回転
送り速度 [mm/sec]	1 2 3
材料サイズ	20×50×100mm
実験器具	ロボットアーム xArm(U-FACTORY 社製) ハンドグラインダ GP3V(HIROKI 製) 超硬カッター-MRA 超硬バー-CB1C 102 SOLE(ムラキ製)

表 1



# ロボットアームを用いて建設するケーブルネット構造の架設計画

Frame Design Drawing of Cable Net Structure Using Robot Arm

## 序論

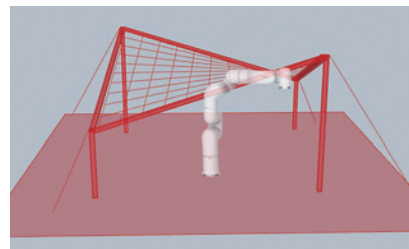
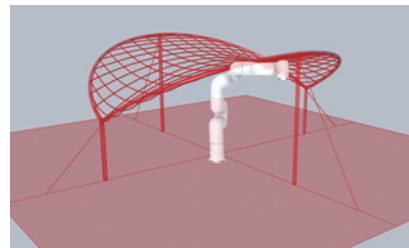
空間デザインとロボティクスデザインが連携することによって、今まで実現不可能だった空間構成の実現に近づくことができる可能性がある。ロボティクスデザインを用いた空間デザインは今後、さらに研究が進んでいく分野だと考えられる。

土橋<sup>1</sup>の研究では、ケーブルネット構造のHPシェルを作成するために、Rhinceros上でHPシェルの3Dモデルの作成、ステージの作成、pointに糸をかけるロボットの動きのデータやpoint間の移動データの作成などを行っていた。

本研究では、ロボットアームの可動域や動きを理解すること、また土橋の研究で得られた改善点を修正することによって、ケーブルネット構造の完成を目的とする。

## 架設・計画

土橋が作成を計画したHPシェルにはロボットアームを用いて建設するにあたり、いくつかの改善点が見られた。改善案として、境界構造は同じく10×10のひし形だが、糸のかけ方を変えたメッシュと、境界構造を楕円形で作成したメッシュをrhinceros上でプラグインであるgrasshopperを用いて作成した。そしてその2つのうち、比較的作成が容易であるひし形のHPシェルを今回は採用し、HPシェルの架設を目指した。メッシュを変更したことにより、ロボットアームの移動データの変更や、フックパーツの形状や座標の変更が必要となった。



垣脇 尚平

KAKIWAKI, Shohei



# 2台のロボットアームを用いて建設する竹造アーチ形式パビリオンの架構計画

Frame Planning of Bamboo Arch Pavilion to Construct with Two Robot Arms

## 序論

海外ではコンピュータショナル・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。デザイン領域にロボティクスを導入することにより、これまでの空間形態とは全く新しい形態が創出される可能性がある。しかし、国内において空間デザインとロボティクスの分野間での連携がある研究は積極的に行われてはいない。

本研究では、昨年より1台加えた、2台の小型ロボットアームを用いて、ロボットアームの可動範囲内で1台では制作が困難である空間の提案をする。また、竹を使用することで放置竹林問題などの解決も期待できると考える。

## パビリオンの概要

ロボットアームを用いて建設するため、ロボットアームの可動範囲を考慮する必要がある。ロボットアームの可動範囲はアームのリーチ3600mmを半径とした円形平面になり、本研究では2台のロボットアームを23400mm離して設置する。骨組みとなる部材は竹材



小林 拓海

KOBAYASHI, Takumi

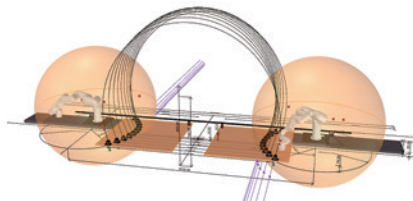
を用いてできるアーチ形式を採用する。床面積の設定は一人当たり面積を2㎡/人とし、収容人数30人程度の東屋のような空間を想定し、床面積56㎡となる円形平面とする。円形平面上に部材長さの等しいアーチを等間隔に配置することで、パビリオンの高さに一定の変化が生まれる空間を作り出す。

## 断面設計

パビリオンを計画する上で仕上げ材が必要となる。アーチフレームが仕上げ荷重を受けた際に有害な変形が生じない合理的な部材断面を検討する必要がある。昨年の高見澤の結果では部材断面を $B \times t = 120 \times 48$ となったため本研究では $B \times t = 120 \times 48$ を基本の部材断面とし、 $B \times t = 120 \times 48$ を設計変数として断面設計を行う。

## 解析方法

弾性たわみによるアーチフレームの解析を段階的に行う。図3に示すように、水平荷重Pを受ける竹材がたわみ、所定の支店間距離 $l$ となるアーチの基本形態と荷重Pを得るため大たわみ問題による解析を行う。



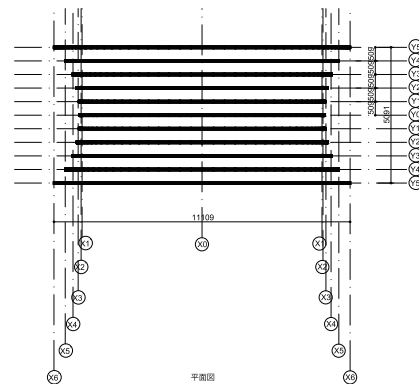
次に、大たわみ問題によって得られた各アーチフレームに対して仕上げ荷重と部材の自重を加えて微小変形理論による。ただし、連続するアーチフレームはY0軸通りに関して対称であるためY1軸通り、Y2軸通り、Y3軸通り、Y4軸通り、Y5通りの6種類に対して行う。

## 設計条件

設計荷重を受けたアーチフレームの鉛直変位が基本形態の最高高さの1%以下とする。

## 結論

断面設計を行い、仕上げ荷重による変形量や作業するロボットアームの力に基づいた合理的な竹造アーチ形式を決定することが出来た。



# 2台の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 of Fabricating Bamboo Arch Pavilion Using Two Robot Arms by Scale Model

## 序論

海外では興味深い研究が行われている。それはデザイン領域にロボティクスを導入することで、今までにない空間構成が創出できる可能性があり、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を創出する試みが行われている。シュツトガルト大学の「Landesgartenschau Exhibition Hall」や「ICD/ITKE Research Pavilion2012」などの研究事例がある。だが国内ではデザイン領域にロボティクスを導入した研究事例はあまりみることができない。

本研究では、2台のロボットアームを用いて、竹をしならせることによりできるアーチを形成し、そのアーチか

らなる竹造アーチ形式パビリオンを架設することを目的としている。また竹を使うことによって放置竹林問題に対する問題の解決に繋がる可能性がある。

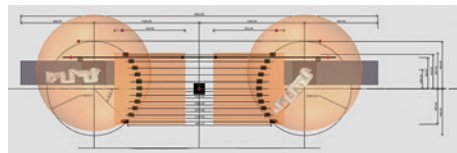
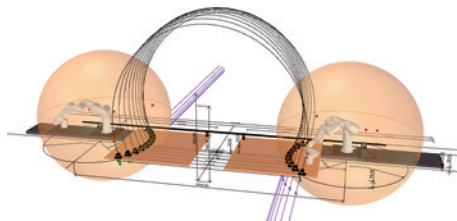
## 竹造アーチ形式パビリオンの概要

竹造アーチ形式パビリオンは11本の異なる形状のアーチからなるパビリオンである。竹造アーチの形状は竹材の長さ、二つの円の半径、支点間距離、二つの円の中心間距離を決めることによって弾性たわみ曲線に基づいたアーチ曲線が唯一決まる。11本の竹材の長さは $L=3500\text{mm}$ であり、断面形状は $4\text{mm}\times 10\text{mm}$ の材料を使用した。

## 竹造アーチ形式パビリオンの架設方法

昨年廣野<sup>1)</sup>は、1台のロボットアームを利用し、ロボットの可動範囲以上の大きさの竹造アーチ形式パビリオンを架設した。

今回は2台のロボットアームを用いて竹造アーチ形式パビリオンを架設する。アーチを架設する際、竹材の両端を両支点に固定することでアーチを形成する。なので、部材端部を一方のロボットの稼働領域内に設置し、もう端部をもう一方のロボットの稼働領域内の所定の位置に置いておき、まず片方のロボットアームが端部を掴み一度掴んだままにする。もう一方のロボットアームが別の端部を掴むと同時に持ち上げ両端部を近づけることでアーチを作成する。そのアーチを支点まで運び固定する。この方式で11本のアーチを作り、竹造形式パビリオンを架設する。



牧野 光真

MAKINO, Teruma



# 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

Frame Planning of Bamboo Pavilion to Ensure Horizontal Stiffness by Crossed Arches

## 序論

高見澤<sup>1)</sup>の研究から以下の4点についてわかっている。

- ①アーチの形状は部材長さとアーチの支店間距離によって決まる。
- ②同一円周上にある曲面（弾性たわみ曲線によって得られる）の形状。
- ③設計条件を満足する部材の断面形状。
- ④パビリオンの剛性が低いという問題点がある。

本研究では、高見澤の研究をもとに半径3600mmの円形平面内に建設する竹造パビリオンにおいて、傾斜させたアーチを交差させることにより竹造パビリオンの水平剛性を確保するための実験を行う。

## 実験

アーチを交差させるためにはアーチを傾斜させる必

要があり、そのときのアーチの傾斜角 $\theta$ （垂直アーチと傾斜アーチのなす角）とする。傾斜角 $\theta$ とアーチのy座標を変数として18本のアーチの傾斜角 $\theta$ が $\pi/12$ （ $5^\circ$ ）、 $\pi/18$ （ $10^\circ$ ）、 $\pi/36$ （ $15^\circ$ ）の時のアーチの形状を調べた。その結果以下の4点の特性を発見した。

- ①アーチを傾斜させることによってアーチの形状は曲面の形状からずれ、傾斜角 $\theta$ が大きほど誤差が大きくなる。
- ②アーチのy座標が円の中心から離れるほど傾斜アーチと曲面の誤差が大きくなる。
- ③アーチを円の外側に向かって傾斜させた場合は曲面の外側に、円の内側に向かって傾斜させた場合は曲面の内側に誤差が生じる。
- ④傾斜アーチと曲面に誤差が生じることで傾斜アーチを交差させる上で接点を見つけることは難しい。

## 考察

実験から得た特性から、アーチのy座標が円の中心に近いものほど傾斜角 $\theta$ を大きく、円の中心から遠いものほど傾斜角 $\theta$ を小さくすることで曲面と傾斜アーチの誤差を小さくでき、傾斜アーチの交点に生じる誤差も小さく考えられる。実際に施工をする上で、それぞれのアーチに対して傾斜アーチによってできる曲面が曲面（弾性たわみ曲線によって得られる）と大きく異ならない最適な傾斜角 $\theta$ を求める必要がある。

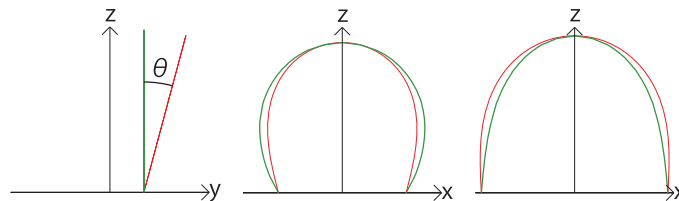
## 参考文献

- 1) 高見澤良平：ロボットアーム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、大阪工業大学空間デザイン学科卒業論文梗概集、第12号、p13-14、2021年3月



本岡 大樹

MOTOOKA, Taiju



— 曲面の断面の形状（弾性たわみ曲線による） — 傾斜アーチの形状



# 物理演算に基づく海洋生物のインタラクティブな行動シミュレーション —「深海エレベーター」のための動画—

Interactive Simulation of Marine Organisms Behavior Based on Physical Analysis: Dynamic Images for “Deep Sea Elevator”

## 序論

Kangarooとは、RhinocerosとGrasshopper上で動く物理演算シミュレーターである。塩見<sup>1)</sup>は、視覚に障害のある人が海洋生物の動きをあまり知らない点から、Grasshopperで海洋生物のモデルを構築し、Kangarooで動解析・衝突・形態探査などの物理演算に基づいて変形するシミュレーションを作成した。また、行動アルゴリズムを用いることで滑らかな海洋生物の動きを再現した。

本研究では、塩見が行った研究を基に実際に体を動かして楽しんでもらえるインタラクティブな行動シミュレーションを行う動画の作成が目的である。

本研究では、人の動作をRhinocerosとGrasshopper上に取り込むために、Kinectを使用する。

まずイワシの行動は、捕食者から身を守るために球状や竜巻上に形を変えて群れをなします。その群れの境界となる範囲の設定と境界と個体の衝突判定を設定し、境界内にとどまるようにする。この時個体同士の衝突判定も設定するが、個体同士の衝突半径のパラメータを変化させることで、個体同士の間隔に変化を与えることができる。このパラメータとKinectを接続し、人の動作に合わせて、群れの大きさが変化するようにする。

また、イワシの行動には $1/f$ ゆらぎを用いている。 $1/f$ ゆらぎとは、ゆらぎの波形パワースペクトルが周波数に反比例することであり、ここで $1/f$ ゆらぎはsin波3波の重ね合わせを用いている。

次にクラゲは、傘を広げたり、縮ませたりして動いて、同じクラゲでも成長段階により微妙に速さが

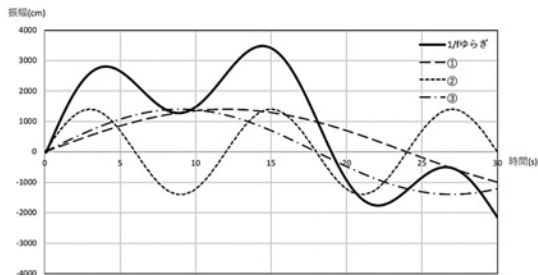
違うため、この違いを再現するために三種類のリズムを用いる。さらにパルス荷重を用いることで、クラゲの上下の動きを再現している。

またクラゲは、浮遊生活をするプランクトンであるため、波にも流されるため、人の動きで波を起こして、それに揺られるような動きを与える。

次にペンギンとオキアミでは、オキアミは捕食者から逃げるために、「エビ跳ね」と呼ばれる行動をする。それを1つのsin波で表す。

ペンギンにおいては、オキアミの中を泳ぐため衝突判定を設定する。その時にオキアミとの衝突の境界が分かりにくいので、個体の三倍の円を作り、previewで線を見えなくしその線に衝突判定を与える。

また、今回人の手の先を追いかけるペンギンの行動を表現する。



奥井 翔吾  
OKUI, Shogo



# 大阪市湾岸地域で想定される地震動に対する 5層鉄筋コンクリート造建物の地震応答に関する研究

Study on Seismic Response of Five-Storeyed RC Building against Epicentral Earthquakes in Osaka Bay Area

## 序論

上町断層地震の発生確率は30年以内に2～3%である。平均活動間隔は8000年程度、最新活動時期は28000年前～9000年前でありいつ活動を再開してもおかしくない状況にある。大阪府が想定する震度予測では最大震度7であり、建物の設計をするうえで上町断層地震は無視することはできない。

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、災害時に防災拠点として機能する大阪府咲洲庁舎において、長周期地震動の影響とみられる大きな揺れが生じた。これにより内装材、防火戸など計360ヶ所が損傷しエレベーター4基が停止したが、上町断層地震が発生した際には防災拠点として機能を維持するために、被害を最小限にする必要がある。

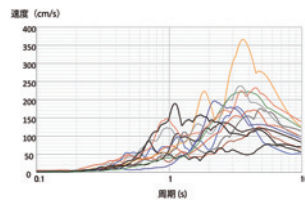
大阪府・市の構造物耐震対策検討において、被害

想定用に求められた地震動波形（以下、大阪府市予測波）の中から構造物検討用に用いる標準地震動を選択している。大阪府市予測波は大きなばらつきがあり、大きな被害もたらされる可能性がある発生確率が稀な地震動が存在する。

本研究では大阪市咲洲地区において用途を防災拠点とした建物に想定される地震動を作用させ、時刻歴応答解析を行う。

## 検討モデル

検討モデルの用途は、大阪府職員1600人が勤務し災害時に司令塔機能を持つ防災拠点である。これらの機能を有するために必要な延べ床面積を算定し、それが考慮された1辺68×68mの5層鉄筋コンクリート造建物とする。

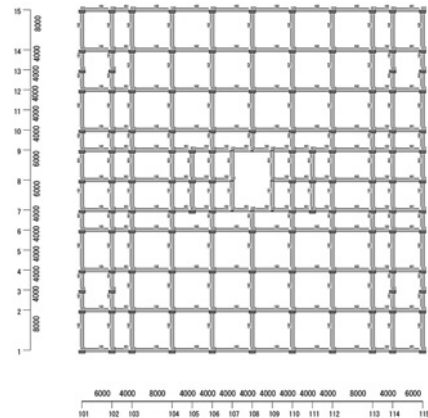


## 入力地震動

大阪市咲洲地区は湾岸地区に区分されるので、A8ゾーンでの上町断層帯に対する標準地震動と、大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会（以下、大震研）により大阪府市予測波から選定された水平パルスタイプ地震動の合計26波を用いて検討を行った。

## 時刻歴応答解析

解析モデルは5質点系等価せん断型モデルとする。



能勢 達大

NOSE, Tatsuhiko



# 大阪市域で想定される直下型地震動に対する粘弾性ダンパーを有する木造軸組構法住宅の耐震性能の確保に関する研究

Study on Ensuring Seismic Performance of Wood-Framed Residence with Visco-Elastic Dampers against Epicentral Earthquake in Osaka

## 1 序論

大阪府下における内陸直下型地震動としては兵庫県南部地震動を教訓にして、平成9年に上町断層帯を対象に大阪府が地震動（以下H9波と記す）を策定したH9波は基準法の1.25倍程度を設計値の上限としている。その後、より活断層調査や地震動観測の充実により、精度を高めた強振動評価が可能となり、H9波や基準法で規定する建築設計用地震動を上回る予測地震動が含まれていることが分かった。それを受け、平成17-18年にかけて大阪府は大阪府とともに地震被害想定を実施し、大阪府H19年度想定標準地震動（以下、H19波と記す）が提示された。H19波は、大きな被害をもたらすであろう発生確率が稀な地震動も含まれる。

建築基準法において、壁量計算等のその他仕様に関する規定を満たした木造住宅は確認申請時に構造

計算が義務化されていない。このため、地震による建物倒壊等の大きな被害が懸念される。

本研究では、現行の建築基準法の仕様に関する規定を満たす2層の木造軸組構法住宅を対象建物としH19波を用いて限界耐力計算を行う。安全性能を評価し、地震力が安全変形限界角を超えず、層崩壊を起こさないための壁量と粘弾性ダンパーを量を解析する。

## 2 検討モデル

検討モデルは、大阪市内に建設される2階建ての在来軸組構法による4人暮らしを想定している。耐震要素について、厚さ7.5mmの構造用合板を片面張り配置した構造用合板モデルおよび土壁を既製品のパネル化した荒壁パネルを配置した荒壁パネルモデルの2つのモデルを扱う。存在壁量は構造用合板モデルで2.95～4.75倍、荒壁パネルモデルで3.07～5.13倍と

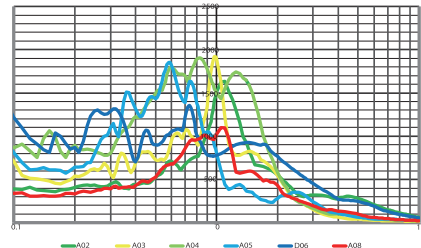
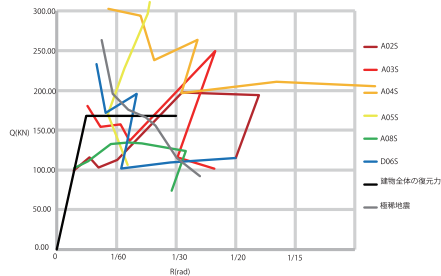
なっている。最も壁充足率が小さい部分で2.95倍の壁量が配置されており、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」における耐震等級2相当の条件である1.25倍以上の壁量が配置されている。

## 3 入力地震動

H19波は、大阪市域を6ゾーンで分け、A02、A03、A08を西大阪、A04、A05、D06を東大阪としている。ゾーン毎に2成分ずつ12波を採用している。

## 4 結論

大阪市域内に木造軸組構法住宅を設計する場合は、建築基準法で定められる壁量充足率を過信するのではなく、高度な性能評価方法である限界耐力計算等の構造計算を行い各ゾーンの加速度応答スペクトルの特性を理解した上で設計する必要がある。



審査会賞 論文部門

古家 拓朗  
FURUYA, Takuro



# ため池に浮かぶ農業シェアハウス パーシャルフロート免震構造による木造シェアハウスの設計

Agricultural Share House Floating in Reservoir: Wooden Share House Based on Seismically Isolated Structure Using Bouysncy

・日本の問題である地震と食料自給率の低下に着目した。

1点目の地震について、日本は大きな被害を受け大切な命が奪われてきた。

「自然災害だから…」と諦めて命を落とすのは勘弁だ。そのために私たちが人生の半分以上を過ごす場所を安全にしなければならない。

2点目の食料自給率の低下について。日本の食糧の約7割は輸入品だ。災害や国際問題で輸入品が入ってこなくなる可能性もある。その結果、食糧不足の問題が起き、半世紀以上前の世界に戻ることになりかねない。そうならないためには自給率を上げ、自給体制を強化する必要がある。

この2点を解決するために、ため池に浮かぶ農業シェアハウスを提案した。農業への関心を高め、大変な農業を楽しく感じられる空間を作った。また安全な住まいとして、耐震性能が一番高い免震構造にした。ため池の水を活用し重量の半分を浮力で補うことで、免震装置の数を半分にし、デメリットであったコスト面を半分にした。



萩野 竜馬

OGINO, Tatsuma

# しまなみサイクル CLTパネル工法による木造宿泊施設的设计

Shimanami Cycle: Wooden Accommodation by CLT Structure



私たちが地球上での生活を続けていくためにSDGsが掲げられており、それに対して様々な取り組みが行われている。建築分野では⑨、⑪、⑫、⑬の項目において貢献できる。

鉄骨造や鉄筋コンクリート造は、製造過程で二酸化炭素が多く排出されるため、木材を用いると炭素の固定化ができることにより二酸化炭素の排出を抑えられる。しかし、多くの木造建築の工法は強度が弱い。そこでCLTを用いることによって鉄筋コンクリート造と同程度の強度がある中高層建物の木造化が期待できる。これにより⑬「気候変動に具体的な対策を」の課題に該当した建築を考えることができる。

私たちは今後の課題を見据えながらも暮らしに楽しみを見つけなければならない。昨今の環境の変化によりサイクリングの需要が高まっている。まだサイクリングを始める人でも楽しみを見つけ出せるような設計を提案する。



平 隆希

TAIRA, Ryuki

## 増殖し変化する ― 交換可能な鉄骨ハニカム構造ユニットを用いた集合住宅―

Prolifereating and Changing: Apartment Building Using Replaceable Units of Steel Honeycomb Structures

近年“SDGs”（持続可能な開発目標）という言葉が耳にするようになった。建築業界でもSDGsに対する取り組みは行われている。それはエネルギーの効率化や作業の効率化などのものが多いです。

そこで私は効率化以外のものに着目し、住宅自体を交換することで老朽化を阻止し、半永久的に住宅に住み続けることのできる集合住宅を提案します。

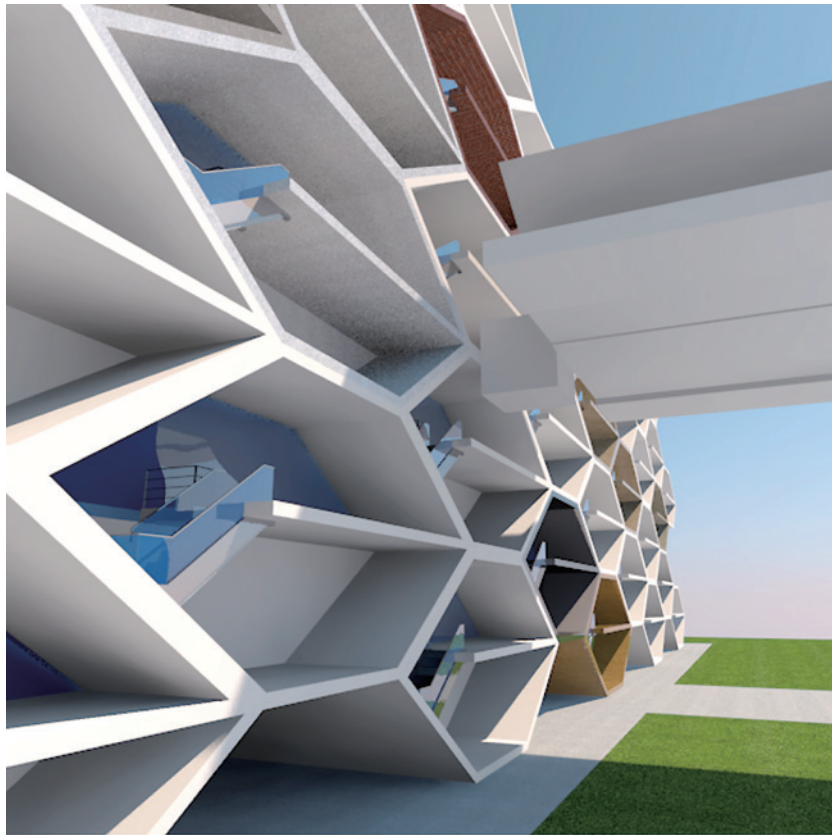
この集合住宅では物流倉庫の自動倉庫システムとモノレールのアルウェーグ式の組み合わせにより1住宅単位での移動・交換を可能にした。この1住宅を複数個積み重ねることにより「ハニカム構造」となり集合住宅での強度を高めた。

移動・交換が可能なことにより建物全体としての定まった形は存在せず時代の流れに合わせる事が容易である。



宮里 澪真

MIYAZATO, Rema



# BELLOWS Chair 折紙の可変構造を使用した椅子のデザイン

BELLOWS Chair: Design of Adaptable Chair by Origami Structure



私は折紙が好きだ。一枚の紙である、紙に切り込みを入れない、糊や接着剤で接合しない等、様々な制約条件がある中でありとあらゆる物を作る事ができるということにロマンを感じる。また紙を折る過程で形状が変化する動きを出せる点も非常に魅力的である。

私は折紙構造を家具に活用したいと考え、家具の中でも椅子に着目した。先述した折紙の折る過程の動きを座る人の姿勢の変化に活用できると考えたからだ。私は折紙構造を使用した従来の椅子とは異なる可変構造を有する椅子を提案する。

本作品を設計する為に様々な折り方を試し理想の動きをする折り方を選定した。その後選定した折り方を使用した構造を3DモデリングソフトのRhinceros、Grasshopperを駆使して折り紙の3Dモデルを構築した。構築したモデルに物理演算シミュレーターのKangarooを使用してボリューム、展開した時の外型などのディテールをデザインした。

BELLOWS Chairを通じて、私が感じた折紙の可能性を感じて頂きたい。

八坂 洋介

YASAKA, Yosuke

