

01, CONCEPT

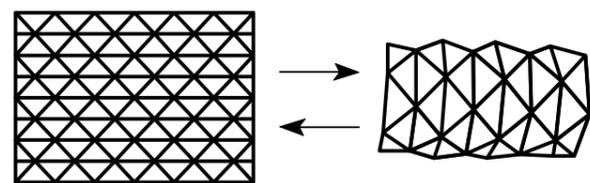
私たちは、用途を限定せず、容易に運搬が可能で、かつ自由な使い方ができる空間を提案する。

木材を使用することで、放置森林を整備し、回復させる。災害時にはシェルターの役割を担う。消費の面でも機能の面でも社会機能のレジリエンスを向上させる。

世界中の誰もがどこでも同じように製作可能。そんなグローバルな形態をデジタルファブリケーションによって作り出す。CNCルーターと折紙工学の融合によるWooden Origami。木が折り成すカタチ。それはまさに、グローバルでレジリエントなカタチである。

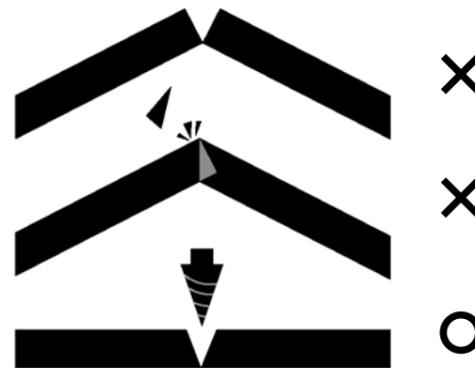


02, 折り紙 × 構造



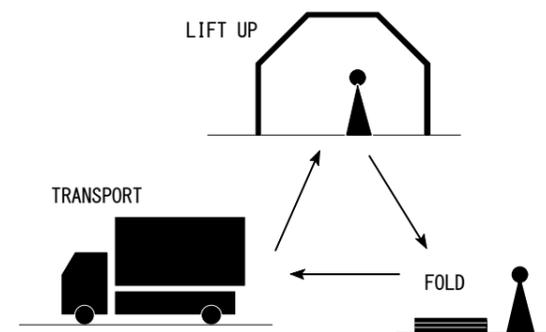
折り紙は折ることで形態の創生が可能であり、構造的な強さを持つ。また、一枚の紙から立体的な空間を創造でき、展開が可能である。このような折り紙の特徴を最大限に活かした。形態を考える。

03, 構造物としての厚みの考慮



木板を材料に折板構造を考慮する際、必ず厚みを考慮しなければならない。CNCルーターによって切削加工をすることで部材の統一性、施工性を確保した。

04, 運搬可能な構造物



折り紙の特性を持った形態であれば、一度立ち上げたとしても、折りたたみ、運搬することができる。

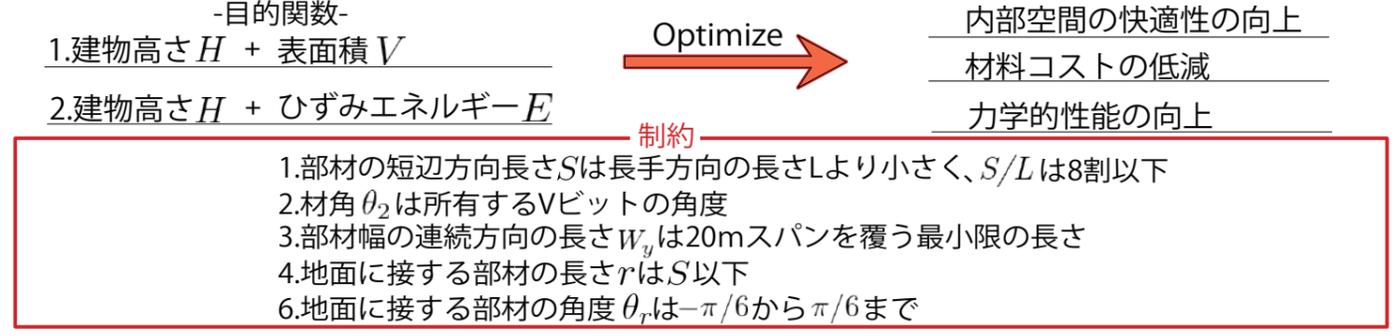
役割は1つではなく、使い方は様々。規模の変化も可能であるため、小規模であれば簡単に立ち上げることができる。



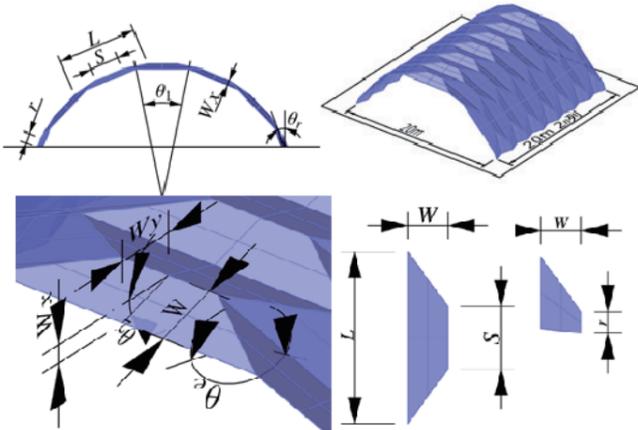
Wooden Origami—木が折り成すカタチ—

05, 最適化計算

CNC ルーターで切削加工可能な範囲の中で、力学的性能を確保しつつ、経済的にも合理的な形態を模索するため、最適化手法を用いた形態生成を行う。
 Rhinoceros +Grasshopper を形態創生のプラットフォームとし、構造解析は「OpenSees for Grasshopper」、最適化計算には GA による多目的最適化プラグインである「Wallacei」を用いる。**CNC ルーターで製作可能な種々の寸法制約の下で**、構造性能の指標として建物の剛性（ひずみエネルギー）、内部空間の豊かさの指標として建物高さ、経済性の指標として部材の表面積をそれぞれ組み合わせたものを目的関数とした。



モデルは下図のように2種類の台形の部材によって構成されている。規模は20m×20m。



Design variables

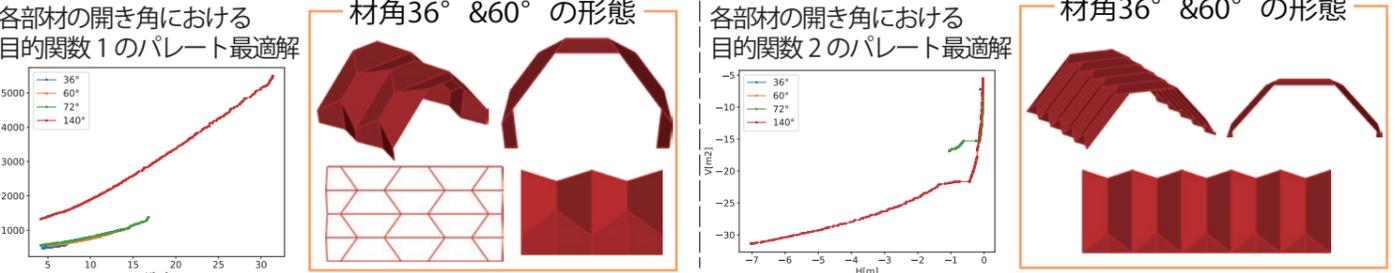
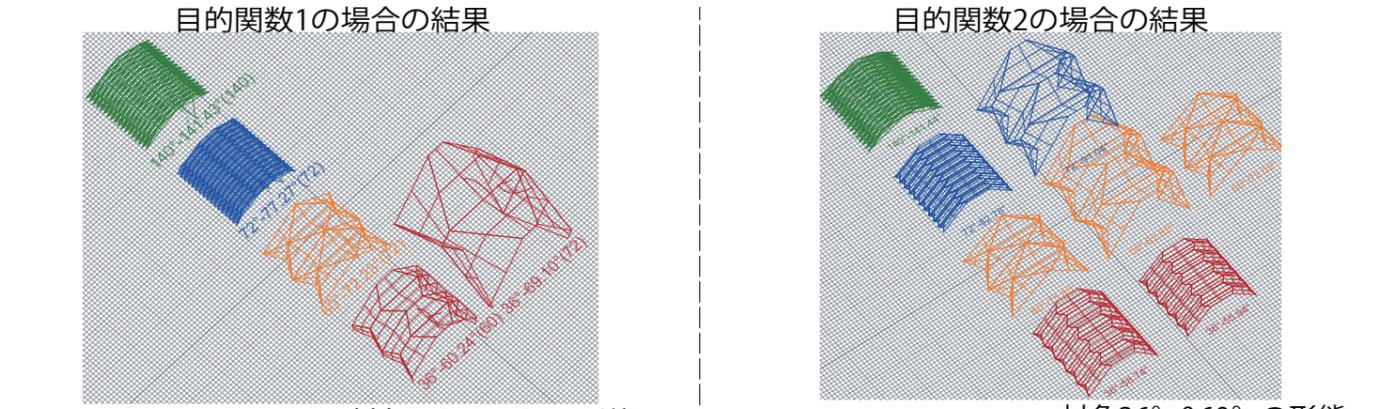
地面に接する部材の角度 θ_r
 地面に接する部材の長さ r
 部材の短辺方向長さ S /長手方向の長さ L

minimize $\begin{cases} V \text{ or } E \\ -H \end{cases}$

subject to $\begin{cases} 0 \leq S/L \leq 0 \\ 2\theta_2 = [36, 60, 72, 140] \\ 2(n-1)W_y < 20 < 2nW_y \\ -0.5 \leq r' \leq 0.5 \\ -\pi/6 \leq \theta_r \leq \pi/6 \end{cases}$

06, 解析結果

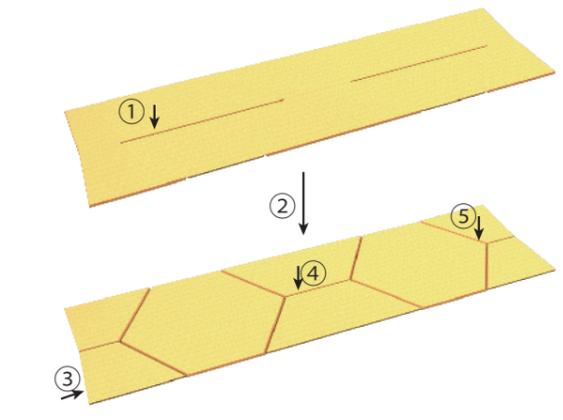
パレート最適解の中で製作可能な形態



最適化計算により得られたパレート最適解より、所有しているVビットの角度に近い最適解を抽出。部材同士の隙間を0.5mmまで許容した場合、計算上7°までは許容誤差となる。
 トンネル状の折板構造を最適化すると、吉村パターンに近い折り方の結果が得られた。
 今回は、きれいな五角形で形成された36°と60°の材角のモデルを製作した。

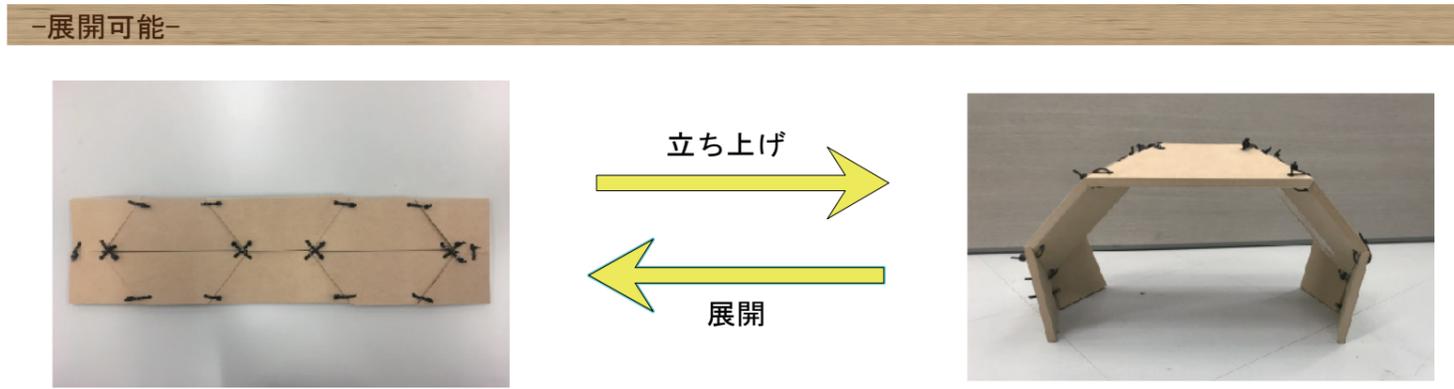
07, MOCK-UP

モックアップは、木材加工可能 CNC ルーター「shopbot」により製作。CAM ソフトとして Vcarve pro を使用。CAD ソフトで作成したデータを CAM ソフトで加工プログラムに変換する。



- 使用する木材
 ・厚さ 9mm の MDF 板
- 使用するビット
 ・ダウンカット 57-910
 ・Vビット 60°
 ・Vビット 36°

- ① 五角形の長辺方向 L を 36° の V ビットで切削
 - ② 木板を裏返す
 - ③ 地面に接する面を切削
 - ④ 短辺方向 S を 36° V ビットで切削
 - ⑤ 60° V ビットで斜め方向を切削
- 五角形はそれぞれ切り離さず、展開した状態で切削することで、施工誤差の解消や使用木材の節約を図る。



製作期間の都合上、モックアップではユニット同士は結束バンドで結合し、人力による展開⇄立ち上げの確認を行った。CNC ルーターで指定角度で精密に加工されたユニットの小口同士が互いに噛み合うことで自立が可能となり、非常に簡単に立ち上げることができた。



実際に立ち上がった時の形態を想定した模型。中の空間は柱がなく、凹凸があるため、鍾乳洞のような空間になっている。ユニット数は変更が可能であるため、用途に合わせた空間を作りだすことができる。

08, Detail

実際の接合部にはワイヤーなどの引張材を用いる。ビットによって削られていない面、つまり山折りになっている面は接合部間の距離の変化がない。ビットによって削られている谷折りの面には接合部間の距離が短くなるため、当該部分にターンバックル等を仕込み、張力を与えながらワイヤー長さを短くする。電動アクチュエータを用いれば立ち上げ⇄展開の自動化も可能である。

