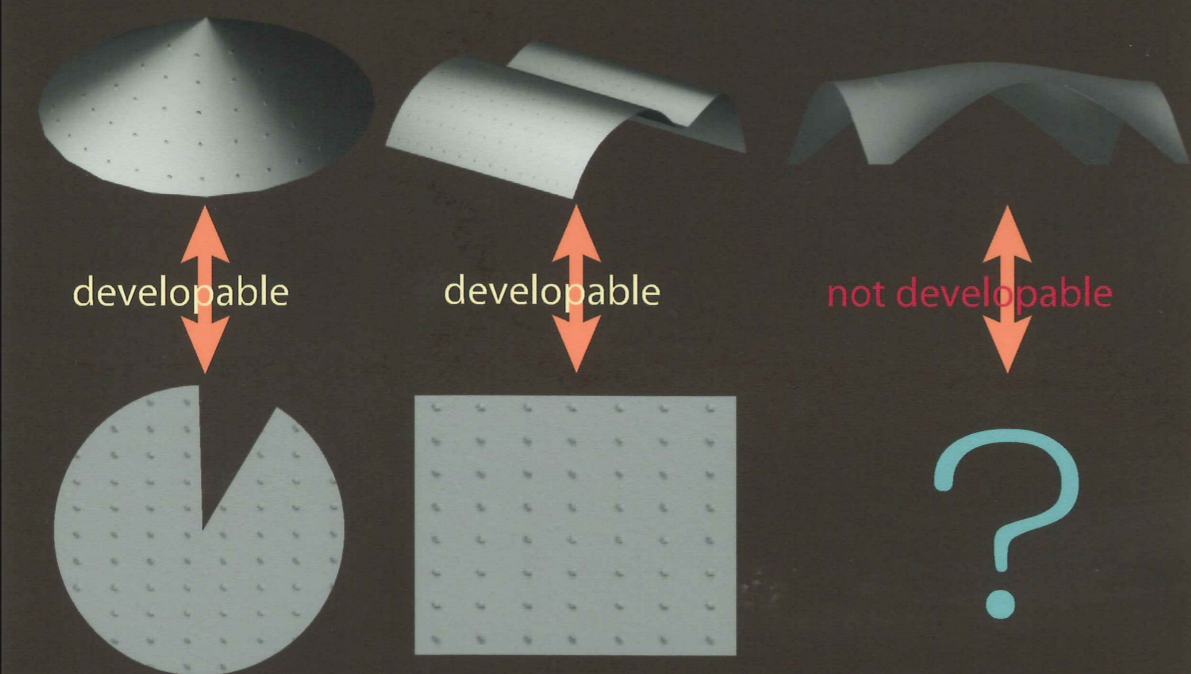


# Make it developable - 2次元⇔3次元の行き来を楽に -

近年の解析技術、施工技術の目覚ましい発展は、幾何学的な形態に捉われない自由な曲面を有する構造物の創造に寄与してきた。しかし、そのような複雑な形状を有する曲面構造物を具現化するためには、造船業界を中心として発展した非常に高度な加工技術と、現場の職人たちによる名人芸とも呼ぶべき施工技術が不可欠である。曲面構造物は、楽に作ることは無縁なのである。そこで、高い力学的合理性を有する曲面を、数理計画法と微分幾何学の知恵を借りて可展面と呼ばれる平面に展開可能な曲面の繋ぎ合わせで作ることによって、楽に作れる曲面構造物の創生を試みる。形態創生手法のプロセスを通じて、本手法の楽しさを実感していただくとともに、実際に簡単な模型を製作することで得られた曲面が楽に作れることを証明する。

## What is a developable surface?

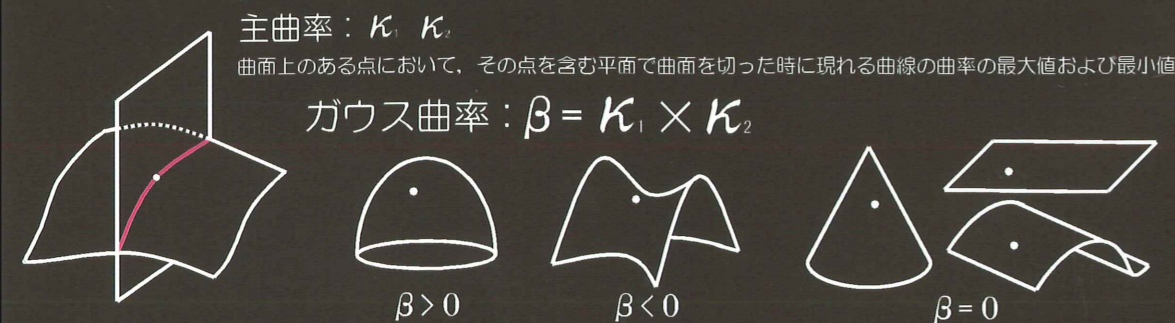
可展面とは？



developable とは、展開可能の意味であり、曲面には、錐や筒など、平面から作成することができるものがある。このような曲面は可展面と呼ばれ、2次元⇔3次元の行き来が容易であり、施工性に優れていると言える。

## Developable condition

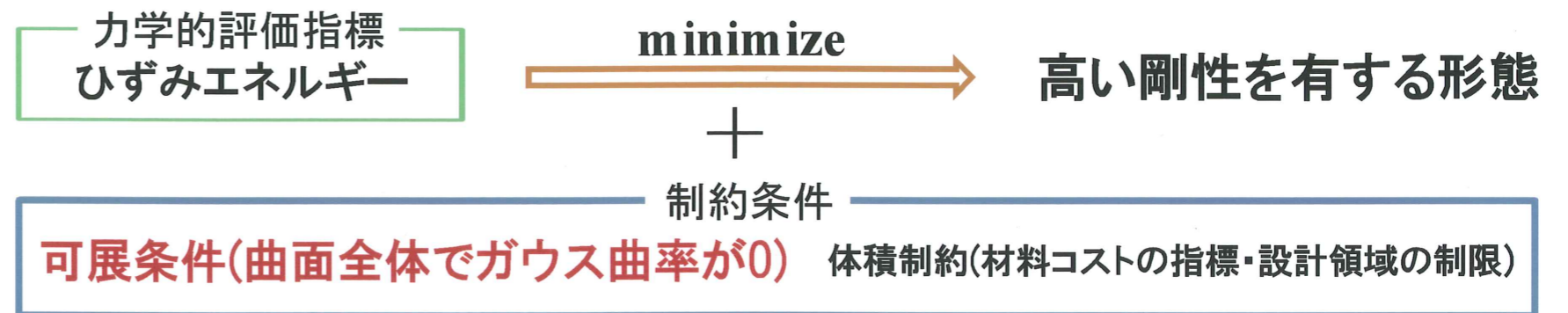
可展条件



**可展面の成立条件：曲面全体でガウス曲率が0**

## A method of the computational morphogenesis

形態創生の方法



- Step 1 初期条件の設定 初期形状の設定, 境界条件の設定, FEM メッシュ分割, 材料定数の設定, 外力の設定, 体積の設定, 最適化計算の各種パラメータの決定
- Step 2 可展領域の設定 曲面全体を可展面とすれば限られた曲面しか創生できないため, 曲面をいくつかの領域に分割し, 可展面とする区分領域を決める。
- Step 3 曲面の離散化 区分領域に分けられた曲面をそれぞれパラメトリック曲面により離散化する。
- Step 4 最適化問題を解く パラメトリック曲面の制御点の鉛直方向座標を設計変数とし, 高い剛性を有する区分的可展面を生成する。
 
$$\text{minimize } f(\mathbf{q}_z) = \frac{1}{2} \mathbf{d}^T \mathbf{K} \mathbf{d}$$

← Strain energy minimization

  - ・ひずみエネルギーを抑えることで, 剛性を高める。
$$\text{subject to } \begin{cases} V(\mathbf{q}_z) - \bar{V} \leq 0 \\ \beta^{ci}(\mathbf{q}_z) = 0 \end{cases}$$

← Volume constraint

← Make the surface developable!

  - ・設計許容領域を限定して解の収束性を高めるとともに材料コストを考慮するため, 体積に上限値を設ける。
  - ・m個の制約点を曲面全体に均等にかつ十分多く設け, それらの点でのガウス曲率の値を0に制約する。
- Step 5 形態創生の完了 本手法により解析的に得られた曲面は, 平面に展開することが可能であるため, 曲面の3Dデータから展開図の作成が可能となる。解析条件により様々な形態の創生が可能であり, かつ, 平面のつながりあわせでつくることができる。  
**楽しく, そして楽につくれる曲面の完成である。**