

任意形状の曲面を ロボットで表現するために



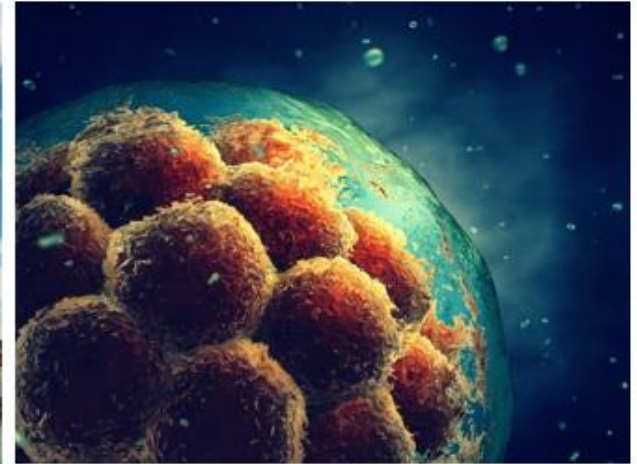
信州大学 繊維学部 機械・ロボット学科

バイオエンジニアリングコース

作動可微分多様体研究室 助教 岩本 憲泰

2019年8月6日

曲面とは？

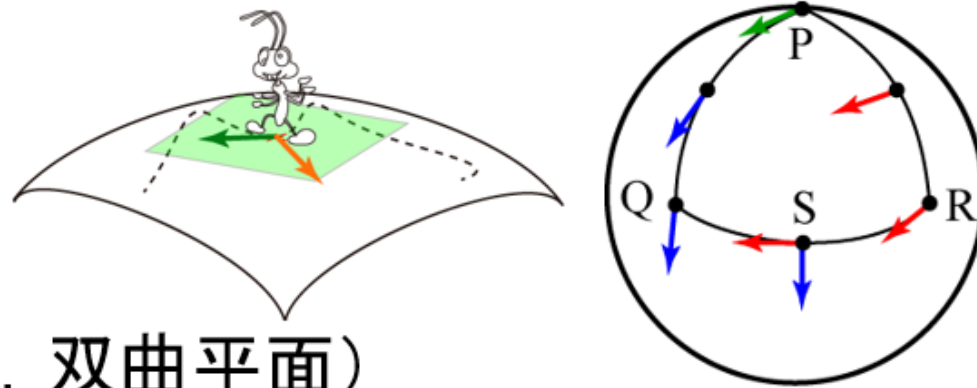


我々が物体を認識するための重要な要素
衣服・家具・建築・生物等様々なデザインに現れる

曲面とは？(数学)

☆曲面上ではユークリッド空間での平行移動が通用しない
(計量, 測地線, 微分, 平行移動, 接続)

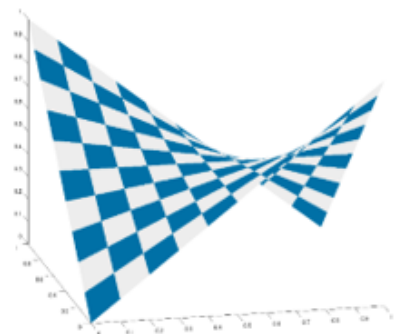
微分幾何学



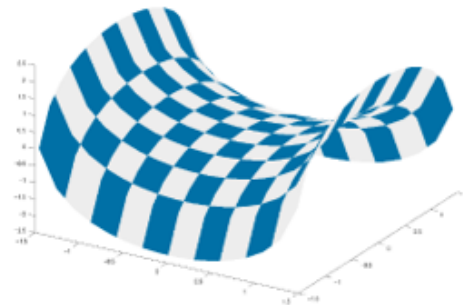
☆不変量

☆曲面の分類(平面, 球面, 双曲平面)

☆Plateau問題: 閉じた境界にできる面積最小の曲面は何か



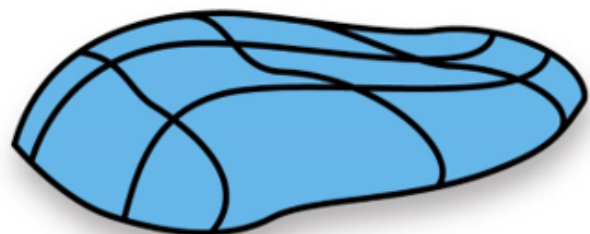
Hyperbolic Paraboloid



Scherk曲面

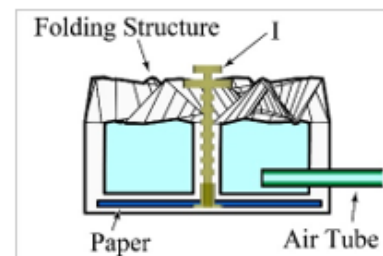
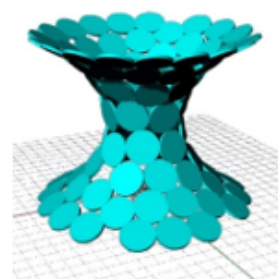
研究のアプローチ

曲面形状ロボット



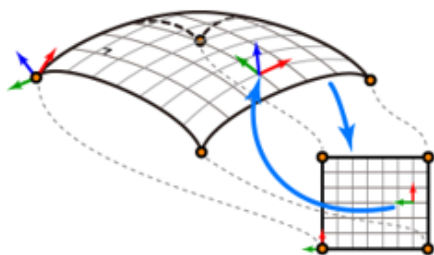
Unconstrained Boundary

アクチュエータ・機構

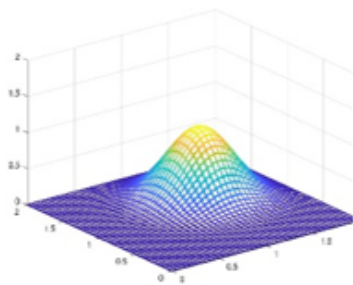


新規ロボット アクチュエータ
提案 開発

制御

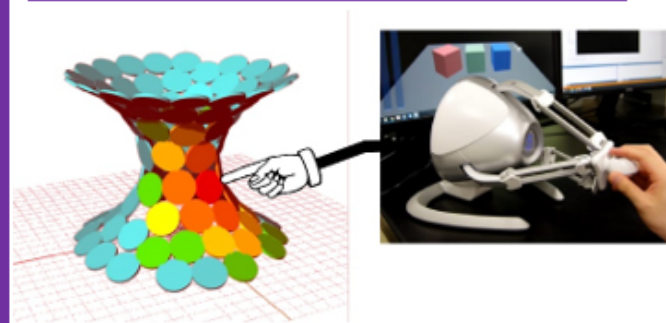


ロボット工学の
基礎理論構築



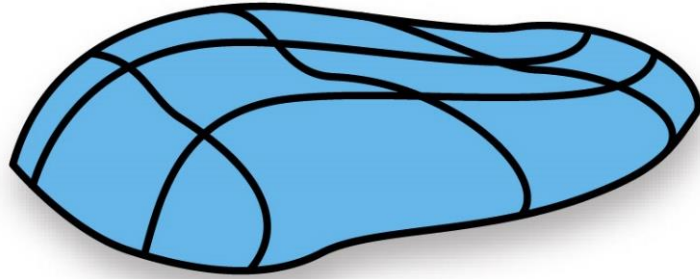
目標形状までの
制御手法開発

シミュレーション



力学的な解析

想定される用途



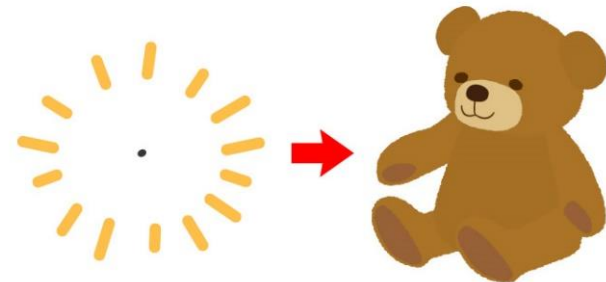
Unconstrained Boundary



環境に適応して
変形するロボット



医療用ロボット



Virtual Reality 向け
ロボット

想定される用途(医療分野)

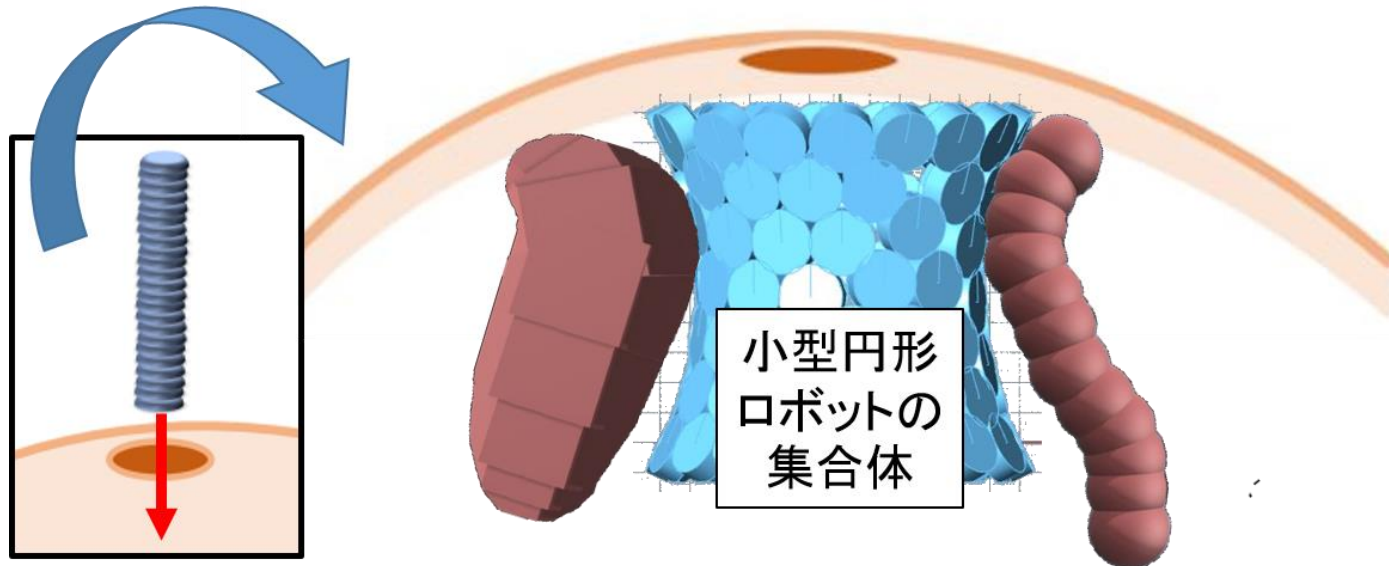


現在の術野確保の方法

- ・リトラクタ・ガーゼ・バルーンの使用
- ・炭酸ガスを術野内に注入

問題点

- ① 周辺臓器に無理な力を加える
- ② 手術時間に影響

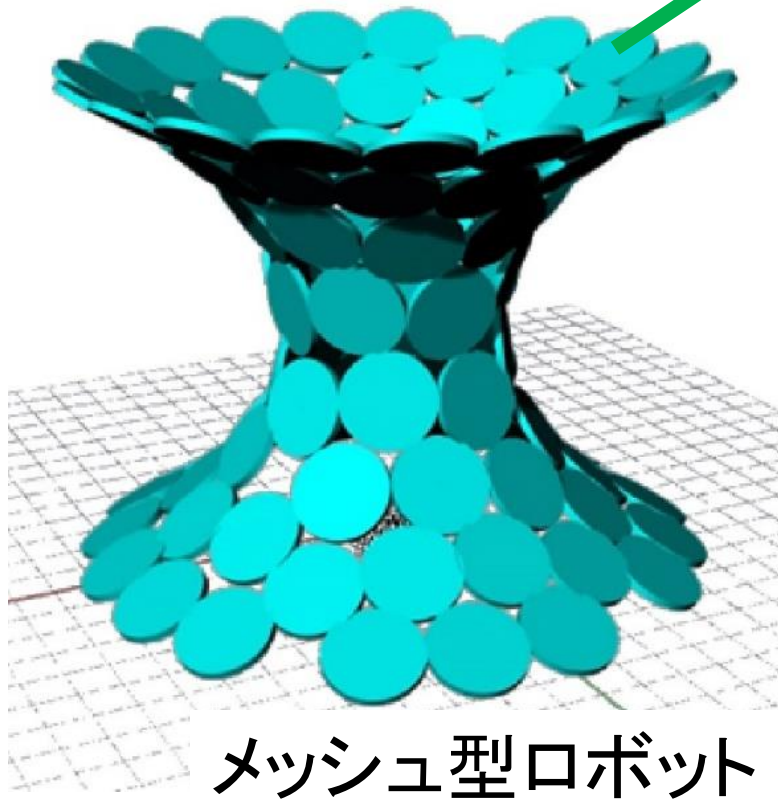


ロボット上の各位置で個別に硬さを設定可能

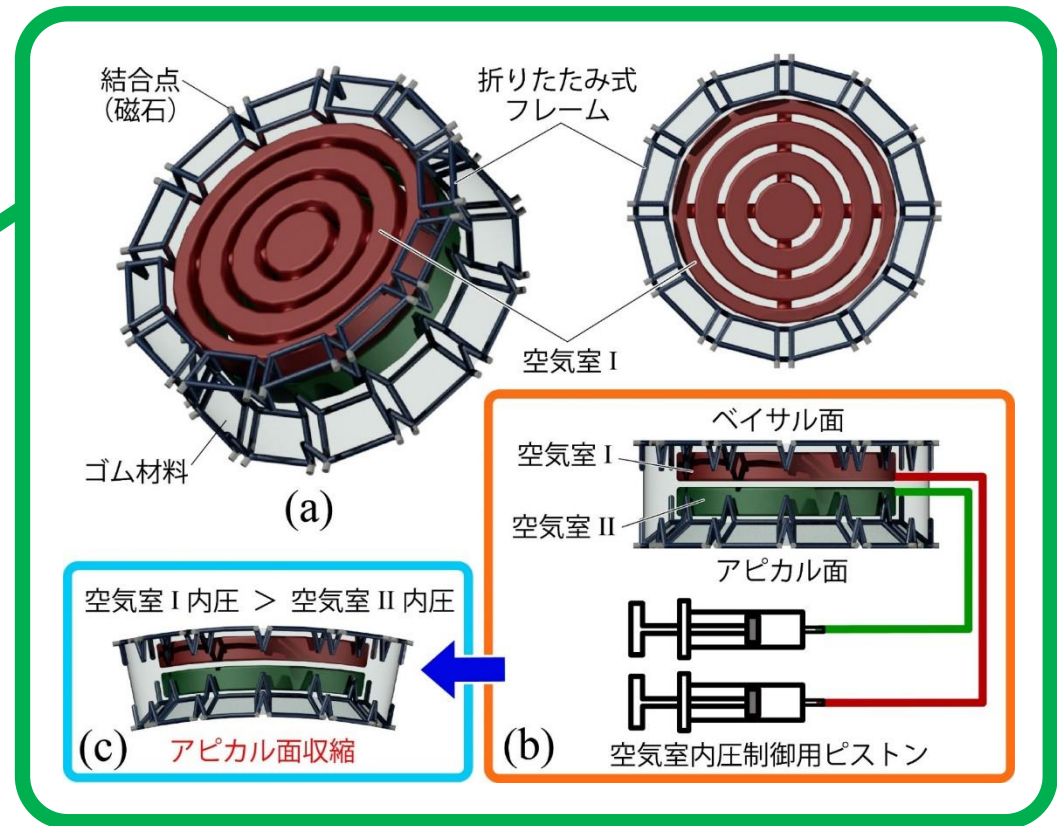
新技術

円錐台型アクチュエータを集合させた曲面を表現するロボット

結合部：受動的に可変

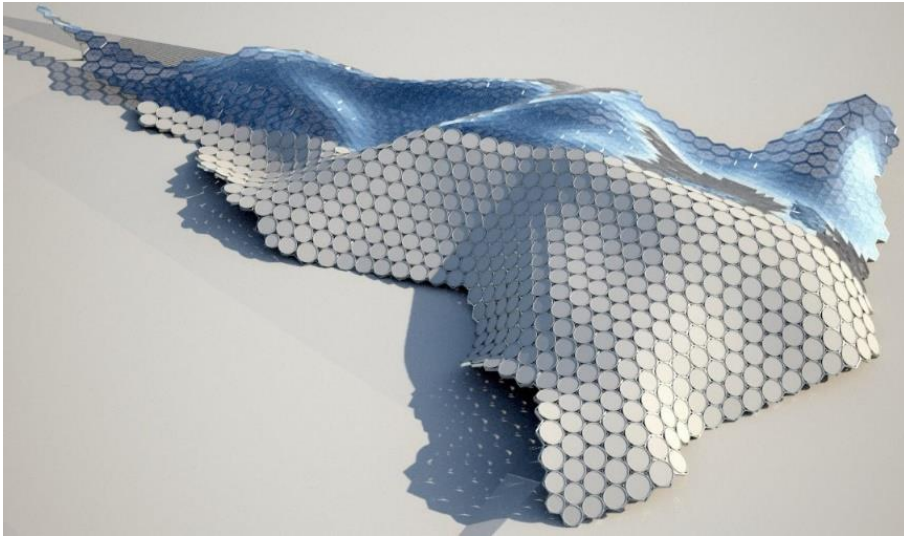


メッシュ型ロボット

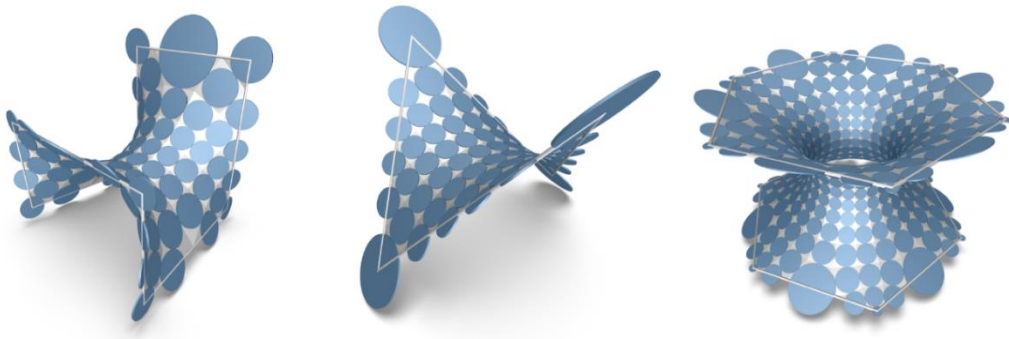


表と裏で半径を独立に
可変な円錐台型アクチュエータ

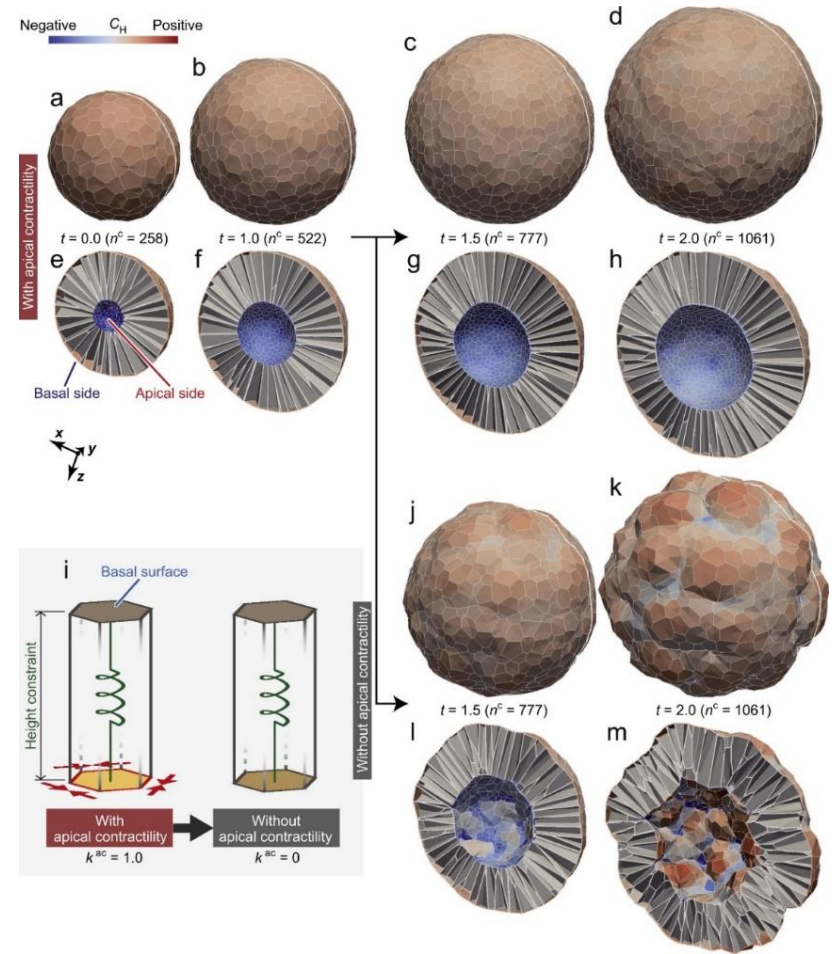
ベースとなる数学・生物学



A. Schiftner et al., 2009,
Transaction on Graphics



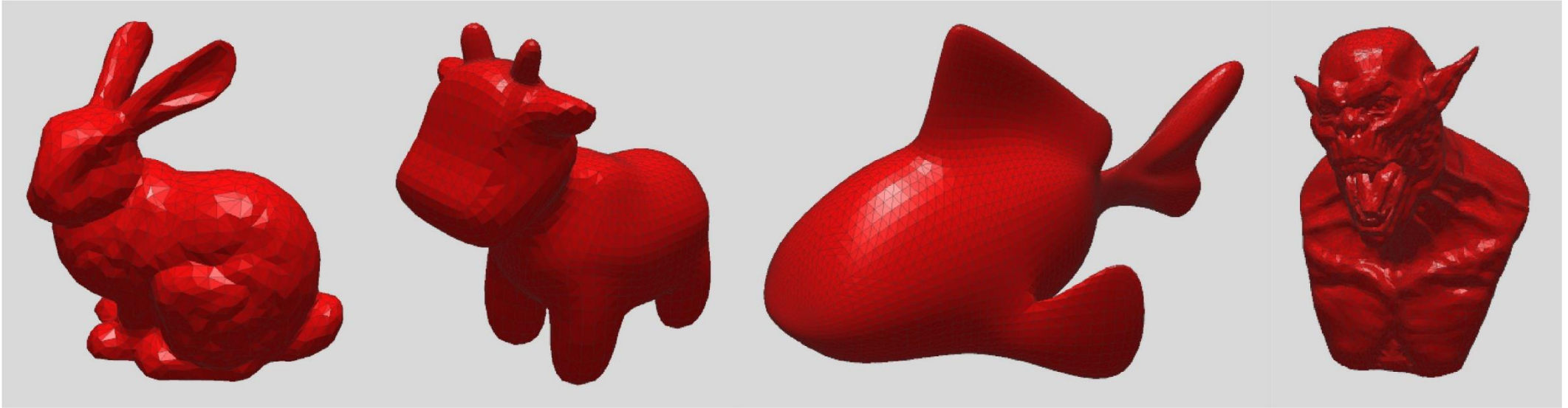
S. Sechelmann et al., 2012,
Advances in Architectural Geometry



S. Okuda et al., 2013, J. Biomech.



機構的な観点から見た本技術の利点



普通に実現しようと攻めるなら，三角形の小型ロボット集合体

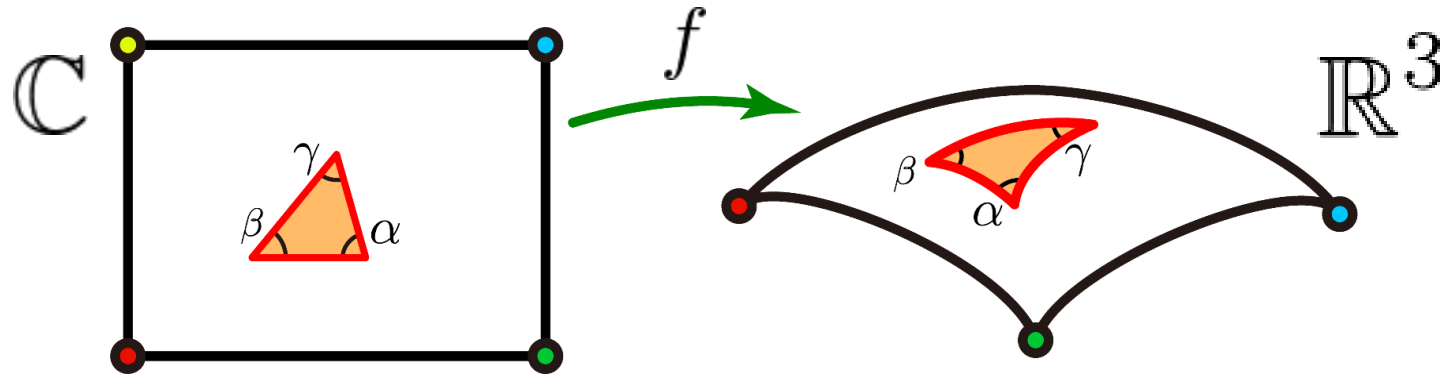
- 三角形の3辺の長さの制御が必要
- 表と裏で独立に制御するためには，アクチュエータ数が6

小型ロボットが円形の場合

- 制御の必要なパラメータとしては半径or直径のみ
- 表と裏で独立に制御するためには，アクチュエータ数が2

等角写像

写像された2線のなす角が写像前と写像後で等しい



定義

f の微分を df とする.

写像 f がholomorphicであるとは, 全ての接ベクトル X で

$$df(JX) = \iota df(X)$$

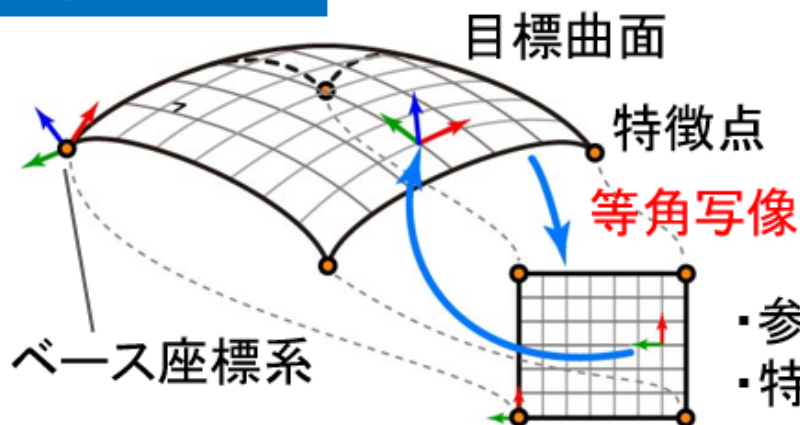
が成立. J, ι はそれぞれ曲面上, 平面上での90度回転.

もし追加で df が**非縮退**ならば, f はconformal(等角).

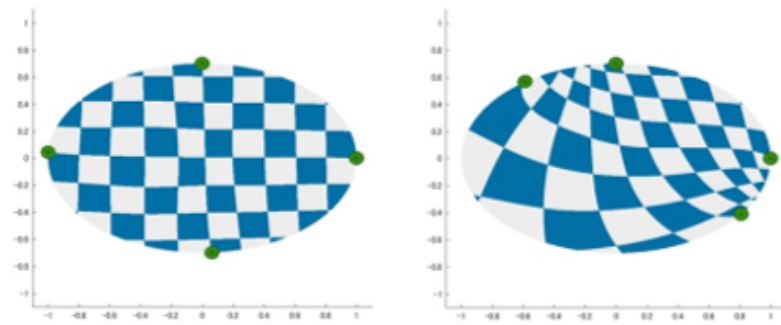
(つまり, 非ゼロベクトルは非ゼロベクトルに写像される)

曲面形状ロボットの運動学理論

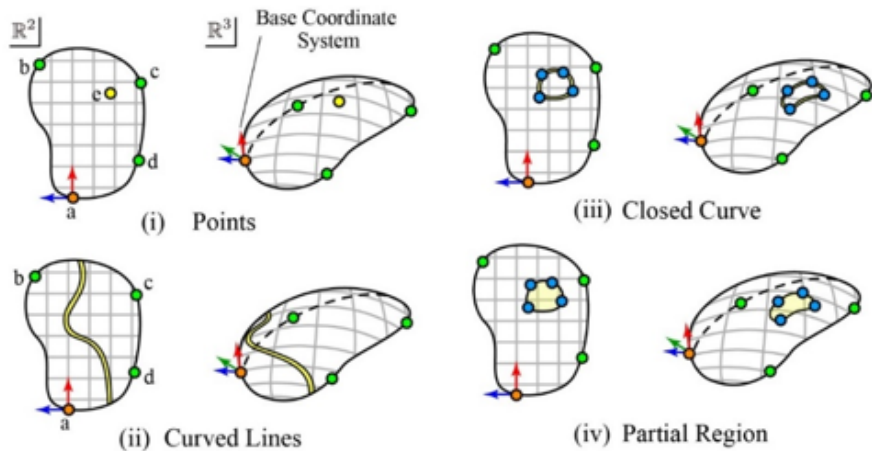
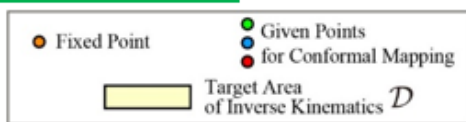
座標系設定



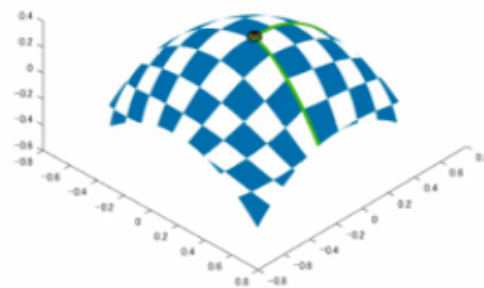
- ・参照平面とその内部の格子
- ・特徴点の位置(4点以上)



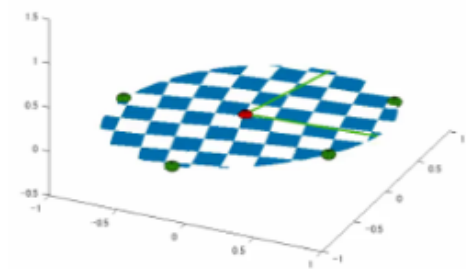
逆運動学のクラス分類



複素境界要素法を用いた座標系設定シミュレーション



形状を固定したまま
ロボット上の点を制御

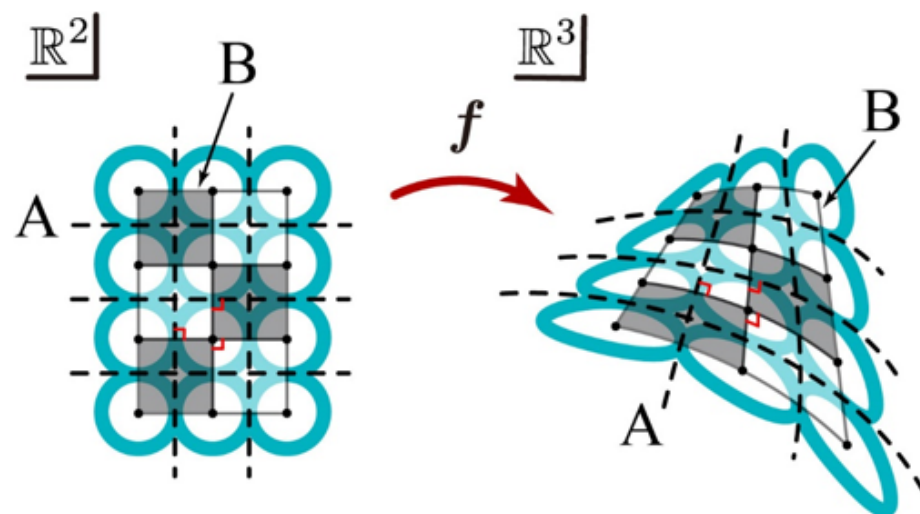


形状変形＋
ロボット上の点を制御

一般的な曲面形状ロボットの問題点

- 等角写像を用いた座標系設定はロボット上の各点で直交座標系が得られ、理論の観点からはうれしい
- 一般的な曲面形状ロボットの変形は等角写像で得られる点の対応とは異なる

理論的な観点から見た本技術の利点



- ・ f が等角写像であれば、円(平面上)は円(曲面上)へと写像
- ・ f で写像した結果が円(曲面上)であれば、写像 f は等角写像

★ロボット座標系設定の簡易化

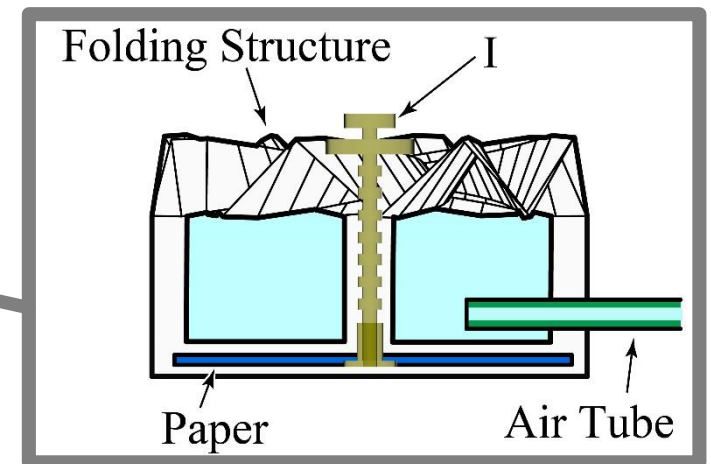
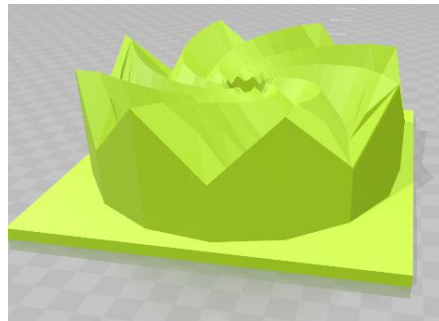
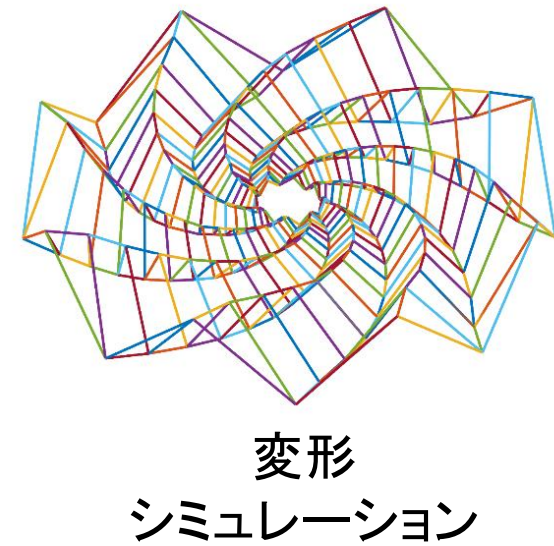
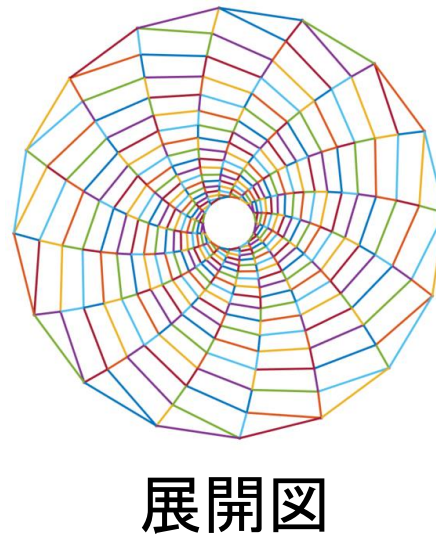
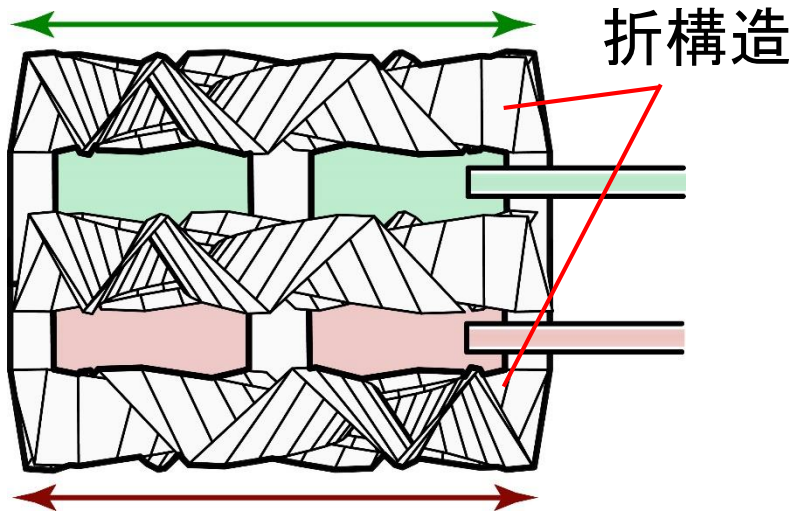
等角写像であれば円の中心と円周上の接点は格子B上に並ぶ

★ロボットによる等角写像の可視化

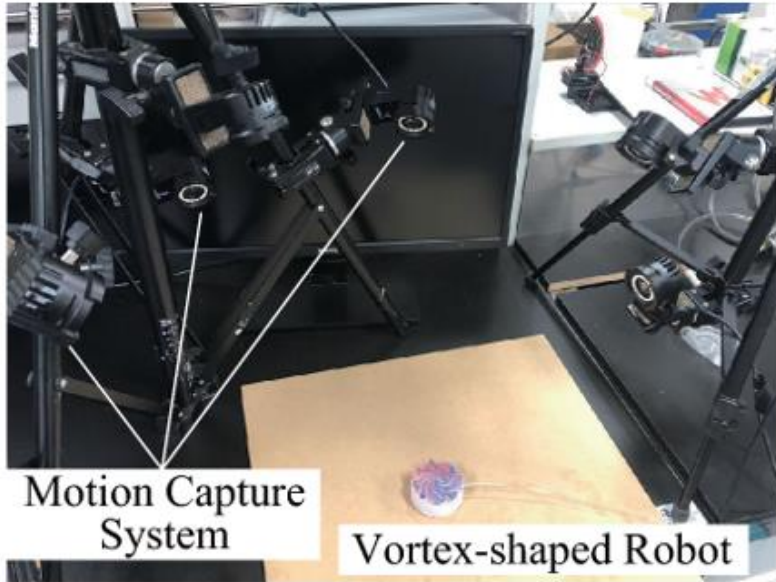
ある曲面を実現した際の各アクチュエータが円であれば
その変形は等角写像

可変半径な円錐台型アクチュエータ

折紙の折構造(石田ら, 日本機械学会論文集(C編), 2013)を参考



駆動実験(折構造がないアクチュエータと比較)

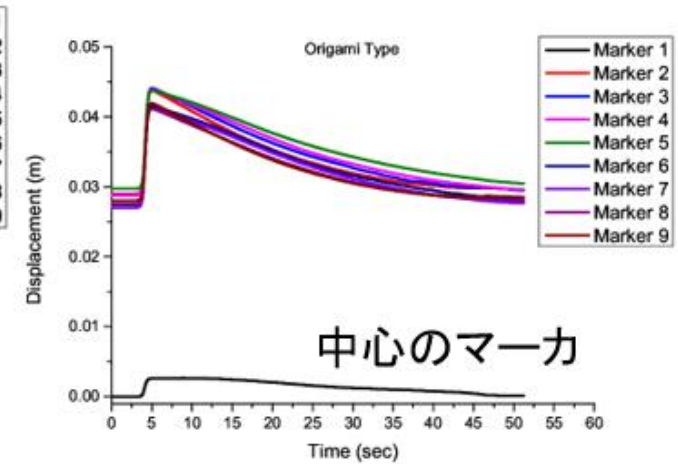
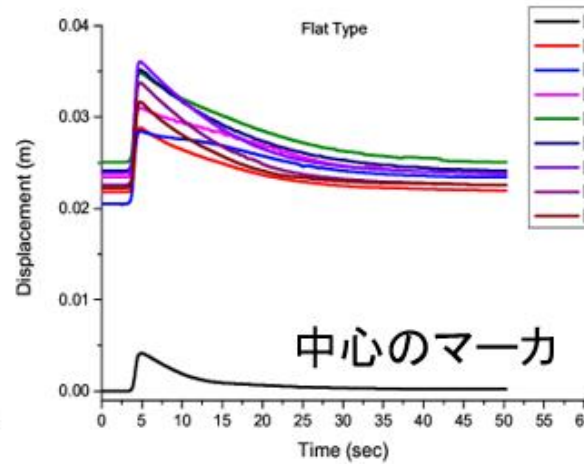


折構造なし

折構造あり

ソレノイドバルブを500msec間
開いた際のアクチュエータの
変形を調べる

タンクからの供給圧力: 400kPa



$x - y$ 平面で見た
初期中心マーカ位置からの距離の変化

実用化に向けた課題

- アクチュエータ自身の柔らかさが原因で
想定通りの変形を実現できない
- 表と裏で半径を可変
- アクチュエータの小型化・モジュール化
- 作製工程の簡素化
- 連結部の構造

企業への期待

- ロボットの実現に向けて
 - マルチマテリアル3Dプリンティング技術を有する企業
 - ゴム成型・金型技術を有する企業

- 術野空間確保のロボット化に興味のある企業

- 本技術を用いた新しいアプリケーションに興味のある企業

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 小型ロボットと小型ロボットより成るメッシュ型ロボット
- 出願番号 : 特願2018-059705
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 : 岩本憲泰, 西川敦, 新井宏明, 姜洋

- 発明の名称 : 回動制限機構および三次元線状可変剛性機構
- 出願番号 : 特願2018-104741
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 : 岩本憲泰, 西川敦, 柴田誠

- 発明の名称 : 形状保存可変剛性機構モジュールおよび形状保存可変剛性シート
- 出願番号 : 特願2018-104742
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 : 岩本憲泰, 西川敦, 永谷俊成

JST事業採択実績

- 2017年-2019年 平成29-31年度 若手(B)「移動ロボットの運動を補助する大変形柔軟梁機構のフィードバック制御手法構築と評価」に採択
- 2017年-2019年 基盤研究(C)「ナイロン繊維アクチュエータで駆動する転動関節機構に基づく多自由度マニピュレータ」の研究分担者
- 2016-2020年 基盤研究(A)「多マスタ・多スレーブ選択結合型ミドルウェアが拓く次世代手術支援ロボットシステム」の研究分担者(2019年から)

お問い合わせ先

株式会社信州TLO 

T E L 0268-25-5181

F A X 0268-25-5188

e-mail info@shinshu-tlo.co.jp