

# テンセグリティ構造を有する 移動ロボット



平井 慎一  
立命館大学ロボティクス学科



# ソフトロボティクス研究室

柔構造ロボット

触知覚センシング

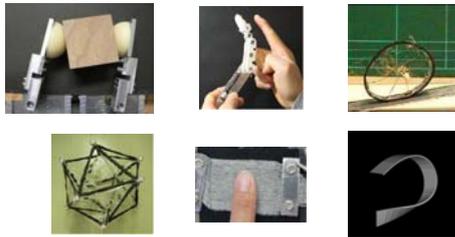
人体モデリング

次世代産業用ロボット



# ソフトロボティクス

柔らかい材料を積極的に用いて  
新しい機能を発現するロボットに関する研究



# 内容

- ソフトロボット
- テンセグリティロボット
- 転がりの記述
- 転がり実験
- 与圧の効果
- 圧力源内蔵テンセグリティロボット
- シミュレーション
- 結論と課題



# 動機

ソフトロボット Soft Bodied Robots



Steltz et al.



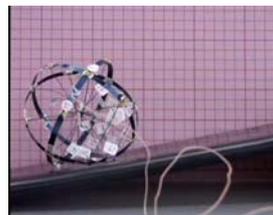
Nokata and Sato



An and Rus



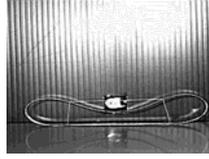
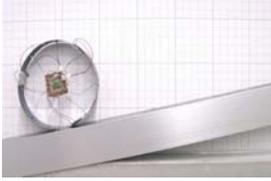
# ソフトロボットの例



Sugiyama and Hirai, Crawling and Jumping by a Deformable Robot, IJRR, 2006



## ソフトロボットの例

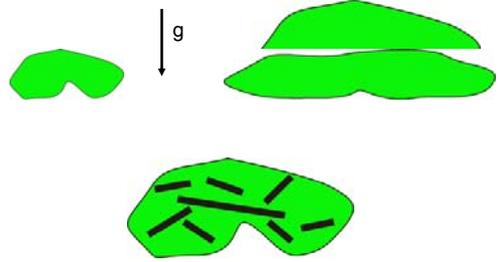


Matsumoto, Nakanishi, and Hirai, Rolling Locomotion of a Deformable Soft Robot with Built-in Power Source, CLAWAR, Coimbra, Portugal, 2008

Matsuyama and Hirai, Analysis of Circular Robot Jumping by Body Deformation, IEEE ICRA, Rome, April, 2007

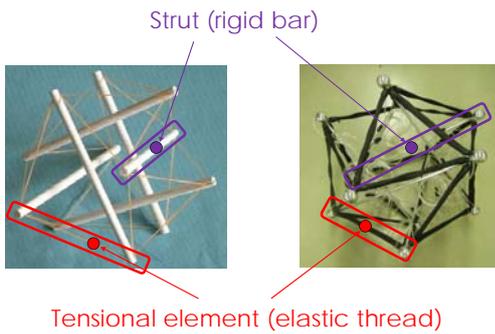
R

## サイズ問題



R

## テンセグリティ

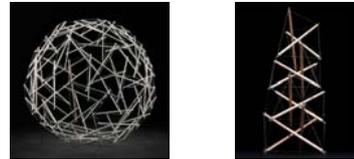


R

## テンセグリティ

*Snelson* (<http://www.kennethsnelson.net/>) と *Fuller* (<http://www.bfi.org/>) により、独立に提唱された構造

弾性要素で接続された複数の剛体要素から成る系  
剛体要素(ストラットと称する)は互いに非接続



R

## テンセグリティ

変形しやすい



衝撃を吸収



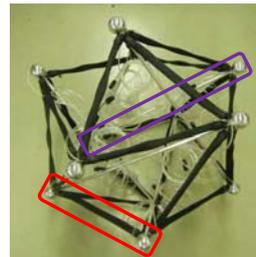
ストラットと弾性要素の力の釣り合いにより形状を保持  
外力に対応して変形

R

## テンセグリティロボット

ストラット: アルミニウムパイプ

弾性要素: マッキベン空気圧アクチュエータ



6ストラット  
24弾性要素  
ストラット長: 570mm  
高さ: 590mm  
幅: 780mm  
重量: 3.3 kg

R

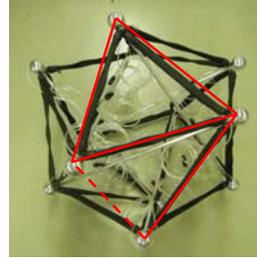
# テンセグリティロボット



R

# 転がりの記述

2個のアクチュエータから成る三角形  
3個のアクチュエータから成る三角形



R

# 転がりの記述

面対称接触 (planar symmetric contact)



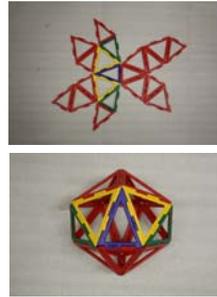
軸対称接触 (axial symmetric contact)



R

# 転がりの記述

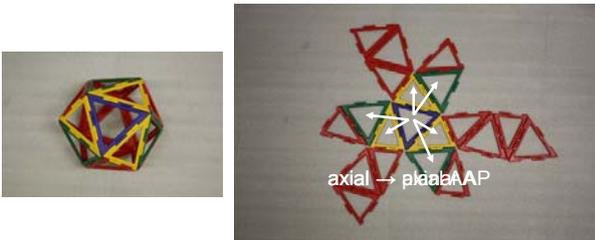
二十面体



正三角形 軸対称接触  
二等辺三角形 面対称接触

R

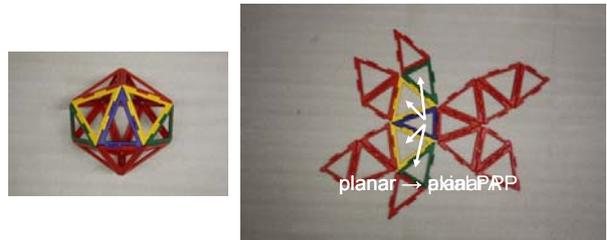
# 転がりの記述



軸対称接触まわりに展開

R

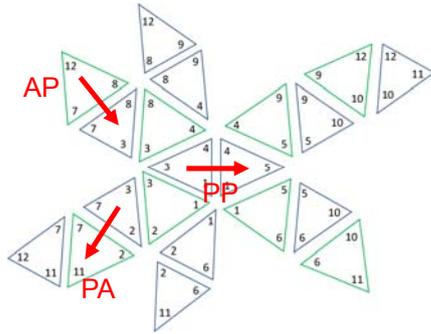
# 転がりの記述



面対称接触まわりに展開

R

## 転がりの記述



R

## 転がり実験

1個のマッキベンアクチュエータの駆動 転がらない

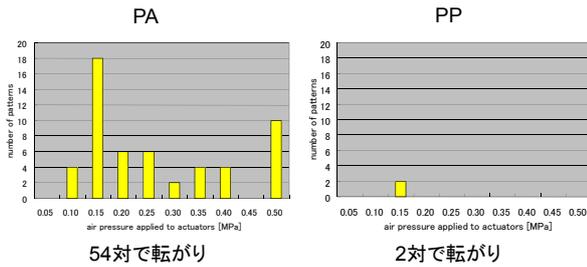
2個のマッキベンアクチュエータの駆動

$${}_{24}C_2 = 276 \text{ 対の駆動}$$

一つの面(軸)対称接触から、276対の駆動を試みる。  
圧力を上げていき、転がりが生じるか否かを調べる。  
転がりが生じた圧力を記録する。

R

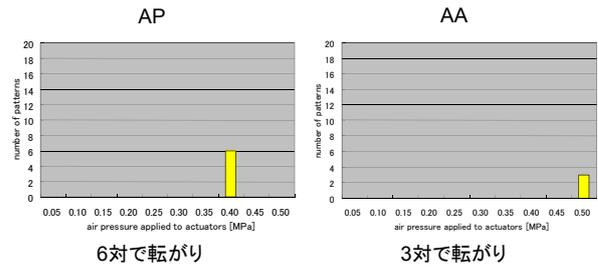
## 転がり実験



220対で変形したが転がらない

R

## 転がり実験



267対で変形したが転がらない

R

## 議論

遷移PAや遷移PPに必要な圧力は、遷移APや遷移AAに必要な圧力より低い。

連続的な転がりのためには、遷移PAの直後に遷移APあるいは遷移AAが必要である。

すなわち、遷移PAに必要な圧力は低いが、遷移APや遷移AAを実現するための高い圧力が必要になる。

遷移PPを連続的に実現することにより、テンセグリティロボットの連続的な転がりを実現できる。

遷移PPを実現するために必要な圧力は0.15MPaである。

外乱でPPではなくPAが生じたときにどうするか。

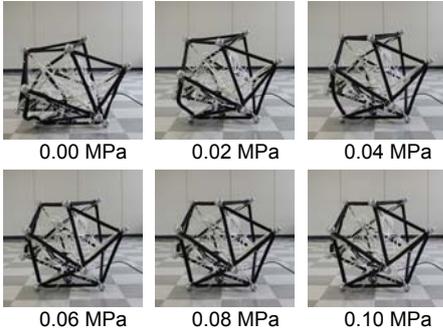
R

## テンセグリティロボット



R

### 与圧の印加



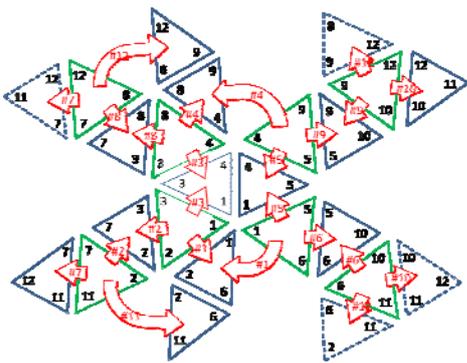
R

### 転がり実験

pair	actuators	pair	actuators
#1	(1,3) (1,5)	#7	(2,7) (7,8)
#2	(1,2) (2,11)	#8	(4,8) (8,12)
#3	(2,3) (3,8)	#9	(4,9) (9,12)
#4	(3,4) (4,5)	#10	(6,10) (9,10)
#5	(5,6) (5,9)	#11	(7,11) (10,11)
#6	(1,6) (6,11)	#12	(7,12) (10,12)

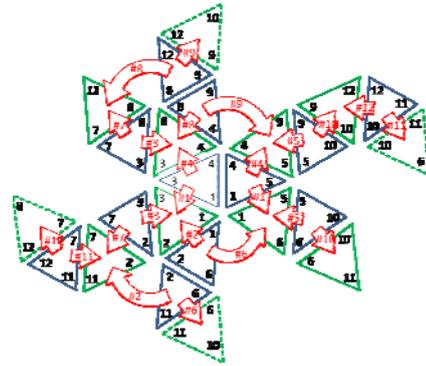
R

### 転がり実験 (AP)



R

### 転がり実験 (PA)



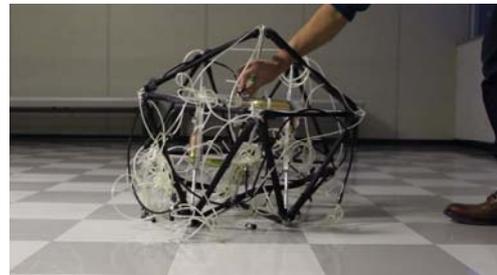
R

### 圧力源をストラットに内蔵



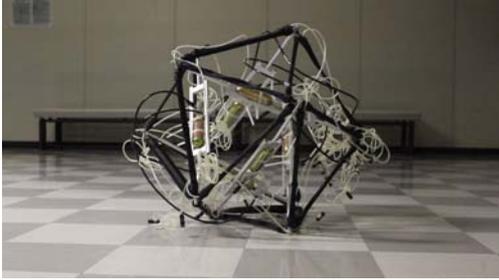
R

### 転がり実験 面→軸



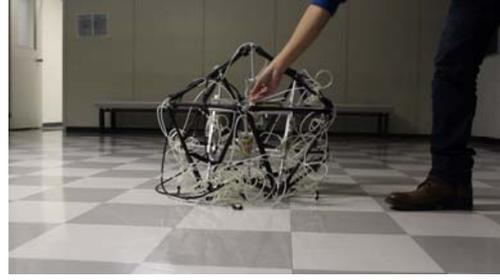
R

### 転がり実験 軸→面



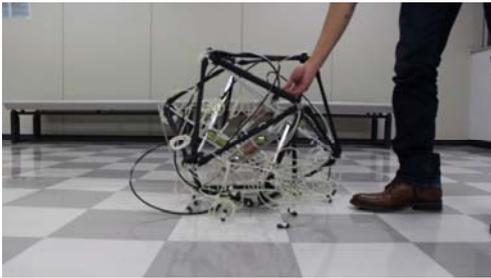
R

### 転がり実験 面→軸→面



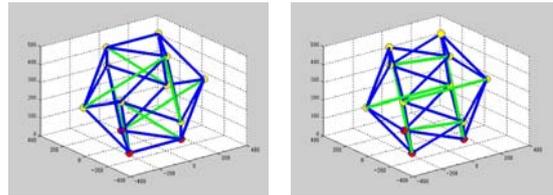
R

### 転がり実験 軸→面→軸



R

### シミュレーション



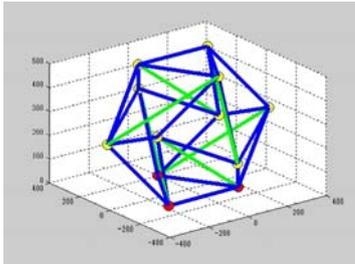
赤色: 接地している頂点      黄色: 接地していない頂点  
青色: 張力材                      緑色: 圧縮材

面对称および線対称接地パターンにおける転がり移動を張力材を2本縮めた場合で検証する

R

### シミュレーション

軸対称接地パターンのシミュレーションの転がり移動  
頂点1,2間と頂点2,11間の張力材を縮める

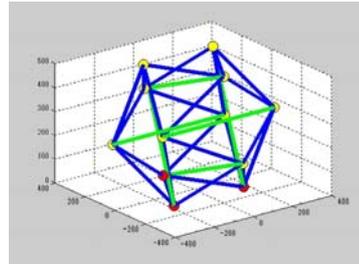


実験と同様に三角形1,2,3から三角形2,3,7に遷移

R

### シミュレーション

面对称接地パターンのシミュレーションの転がり移動  
頂点1,2間と頂点2,3間の張力材を縮める



実験と同様に三角形1,3,4から三角形1,2,6に遷移

R

## 結論

- 6ストラットテンセグリティロボットの転がり移動を実現
  - 弾性要素にマッキベンアクチュエータを採用
- 転がりの記述と転がりの実現可能性の実験的検証
  - 遷移により必要な圧力が異なる
- 与圧の効果を確認
  - 確実な転がりの実現
- 圧力源を内蔵したテンセグリティロボットの検証
  - 転がりが可能
- シミュレーション
  - 実際の転がりと一致

R

## 課題

- 小型の空気圧機器の開発
- 姿勢センサの導入
- 自律的な転がり移動



R

ご清聴ありがとうございました



R