

センサ工学 静電容量センサとその応用

ロボティクス学科 平井 慎一

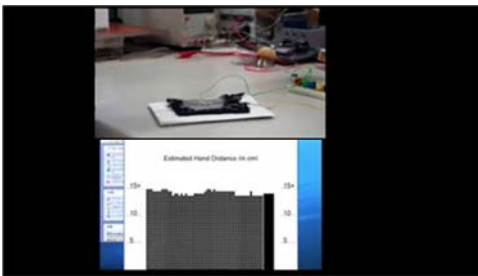


センシング量とセンシング方式

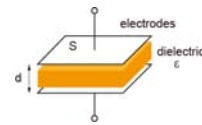
	歪み			応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り	接触			
電気抵抗								
静電容量								
圧電効果								
磁気								
光								



静電容量センサ



静電容量センサ



$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$



静電容量センサ

比誘電率	
チタン酸バリウム	約 5,000
ロッシェル塩	約 4,000
水 (20℃)	80.4
アルコール	16~31
ガラス	5.4~9.9
アルミナ (Al ₂ O ₃)	8.5
木材	2.5~7.7
石英 (SiO ₂)	3.8
ゴム	2.0~3.5
紙	2.0~2.6
空気	1.00059

電気定数 (真空の誘電率)

$$\epsilon_0 = 8.854\ 187\ 813 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

比誘電率

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

<https://ja.wikipedia.org/wiki/比誘電率>



静電容量センサ

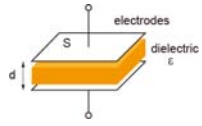
S = 100cm²の静電容量センサ

d = 1cmのときの静電容量

$$\begin{aligned} C &= \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \\ &= 1.00 \cdot 8.85 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \cdot \frac{100 \text{ cm}^2}{1 \text{ cm}} \\ &= 8.85 \text{ pF} \end{aligned}$$



静電容量センサ

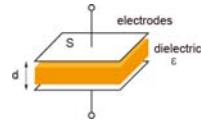


$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

$$C + \Delta C = \epsilon \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$\Delta C = \epsilon S \left\{ \frac{1}{d + \Delta d} - \frac{1}{d} \right\}$$

静電容量センサ

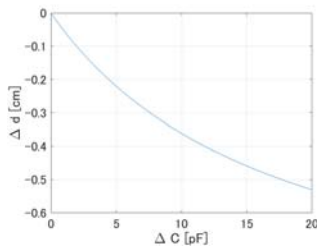
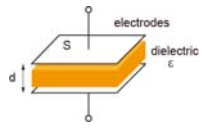


$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

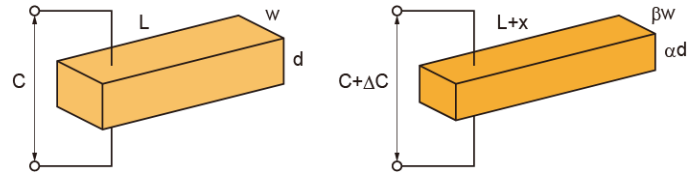
$$C + \Delta C = \epsilon \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$\Delta d = \epsilon S \left\{ \frac{1}{C + \Delta C} - \frac{1}{C} \right\} = d \left\{ \left(1 + \frac{\Delta C}{C} \right)^{-1} - 1 \right\}$$

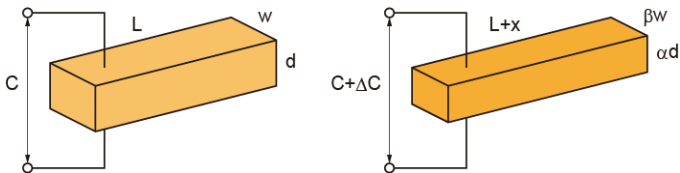
静電容量センサ



ファイバー状静電容量センサ



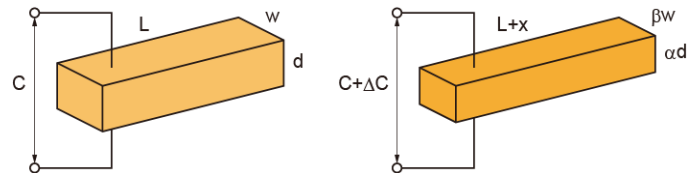
ファイバー状静電容量センサ



$$C = \epsilon \frac{Lw}{d}$$

$$C + \Delta C = \epsilon \frac{(L+x)\beta w}{\alpha d} = C(1 + \epsilon_L) \frac{\beta}{\alpha}$$

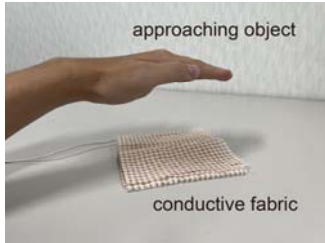
ファイバー状静電容量センサ



$$C = \epsilon \frac{Lw}{d}$$

$$\Delta C = C \epsilon_L = \frac{C}{L} x$$

近接センサ



近接センサ



静電容量の計測

Arduino等の回路

LCRメータ

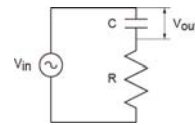
「静電容量 Arduino」で検索



<https://voltechno.com/blog/post-20037/>

https://www.hioki.co.jp/jp/products/detail/?product_key=1023

静電容量の計測



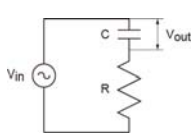
$$V_{in} - V_{out} - Ri = 0$$

$$V_{out} = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau$$

$$V_{in} - V_{out} - Ri = 0$$

$$V_{out} = \frac{1}{C} i$$

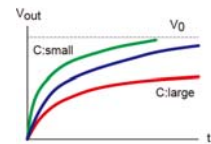
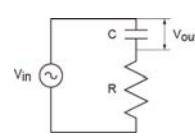
静電容量の計測



$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{1}{1 + RCs} V_{in} \\ &= \frac{1}{1 + RCs} V_0 \\ &= V_0 \left\{ \frac{1}{s} - \frac{RC}{1 + RCs} \right\} \end{aligned}$$

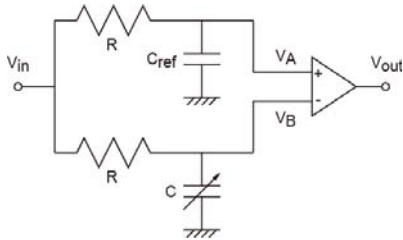
$$V_{out}(t) = V_0 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \right\}$$

静電容量の計測

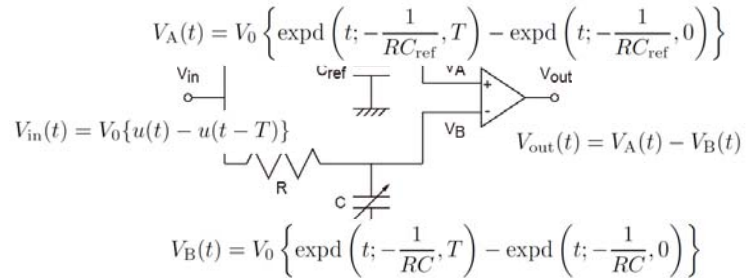


$$V_{out}(t) = V_0 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \right\}$$

静電容量・電圧変換

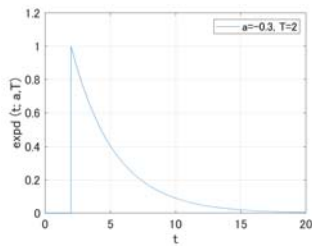


静電容量・電圧変換

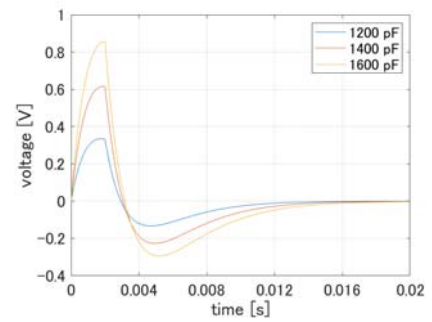


静電容量・電圧変換

$$\expd(t; a, T) = \begin{cases} e^{a(t-T)} & t \geq T \\ 0 & t < T \end{cases}$$



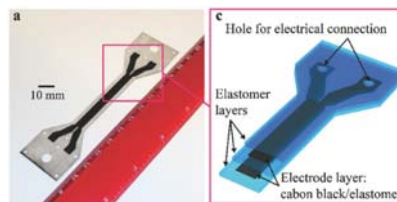
静電容量・電圧変換



センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り接触			
電気抵抗							
静電容量							
圧電効果							
磁気							
光							

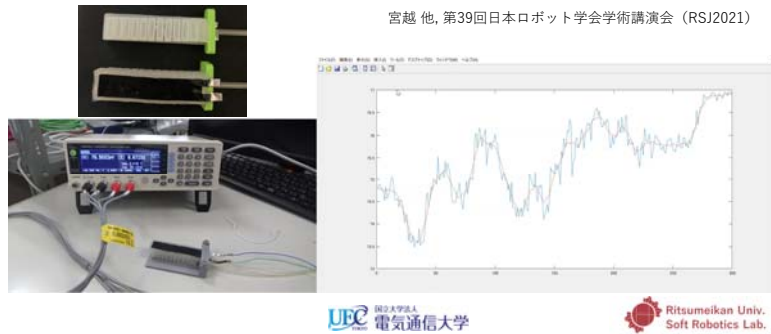
ソフト歪みセンサ



新竹 純 (電気通信大学)
Jun Shintake et al., Advanced Materials Technologies, 2018

ソフト歪みセンサによる曲げ計測

宮越 他, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021)



UFC 電気通信大学

Ritsumeikan Univ. Soft Robotics Lab.

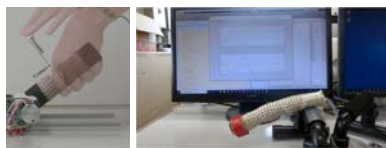
センシング量とセンシング方式

	歪み		応力			近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り	接触			
電気抵抗								
静電容量						■		
圧電効果								
磁気								
光								

Ritsumeikan Univ. Soft Robotics Lab.

Fabric-based Proximity/Contact Sensor

Sensor made of conductive fabric
Can detect approaching/contacting objects



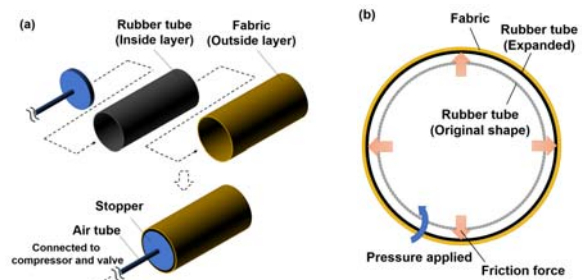
Can cover curved surfaces of rigid/soft robots
Applicable to safety sensors of robots



Ritsumeikan Univ. Soft Robotics Lab.

Queen Mary University of London 新学術領域 ソフトロボット学

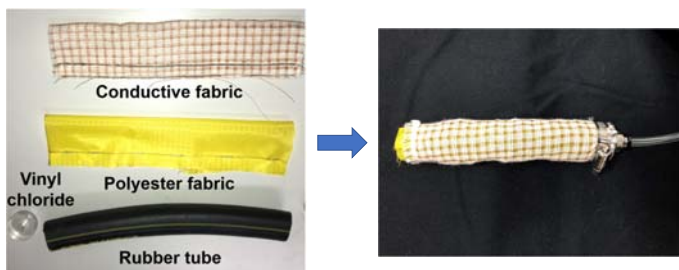
Variable Stiffness Link with Fabric Sensor



Ritsumeikan Univ. Soft Robotics Lab.

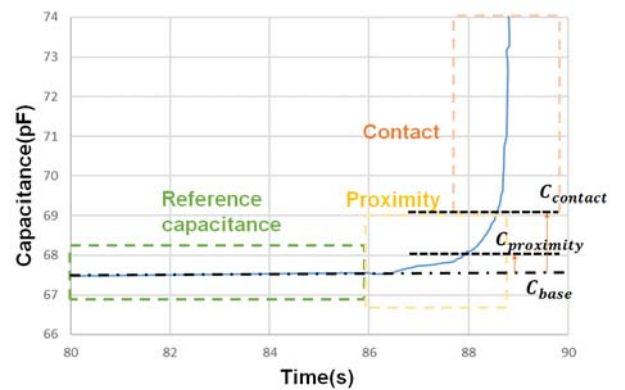
Queen Mary University of London 新学術領域 ソフトロボット学

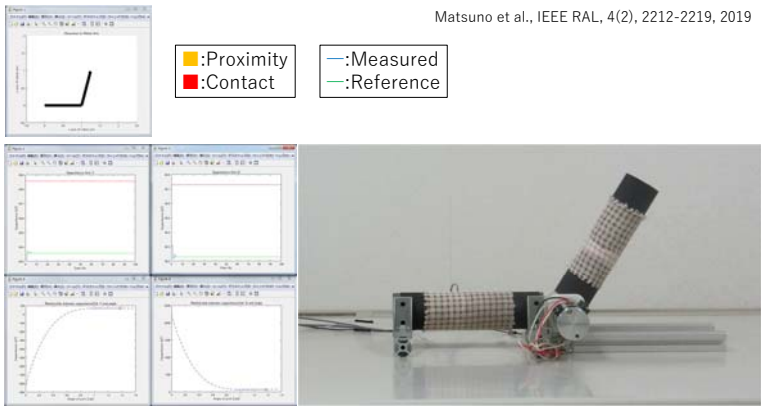
Variable Stiffness Link with Fabric Sensor



Ritsumeikan Univ. Soft Robotics Lab.

Queen Mary University of London 新学術領域 ソフトロボット学





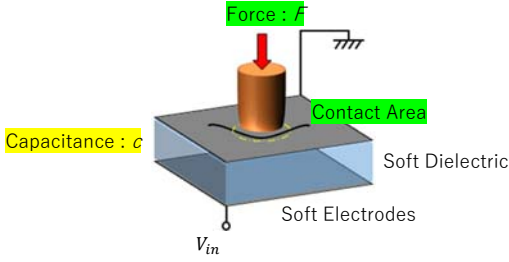
Adaptive Update of Reference Capacitances in Conductive Fabric Based Robotic Skin

Takahiro Matsuno, Zhongkui Wang, Kaspar Althoefer and Shinichi Hirai

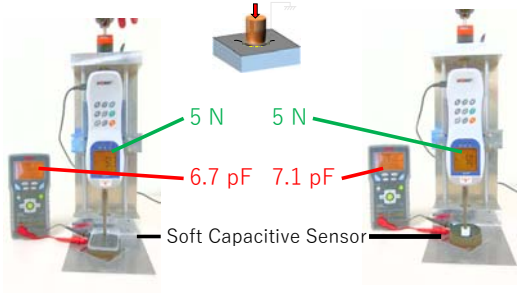
センシング量とセンシング方式

	歪み		応力		近接	表面	温度
	伸縮	曲げ	力	滑り 接触			
電気抵抗							
静電容量			■				
圧電効果							
磁気							
光							

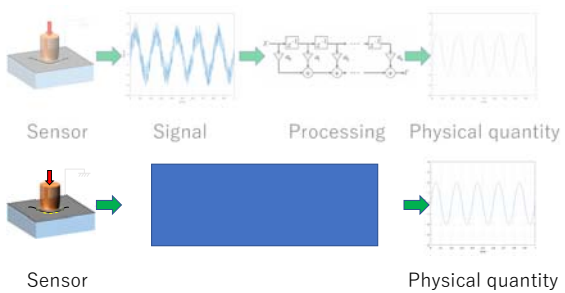
Soft Capacitive Sensing



Soft Capacitive Sensing



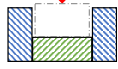
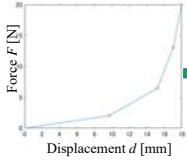
Soft Capacitive Sensing



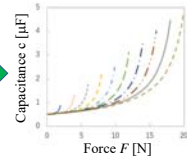
Soft Capacitive Sensing



Mechanical property of dielectric



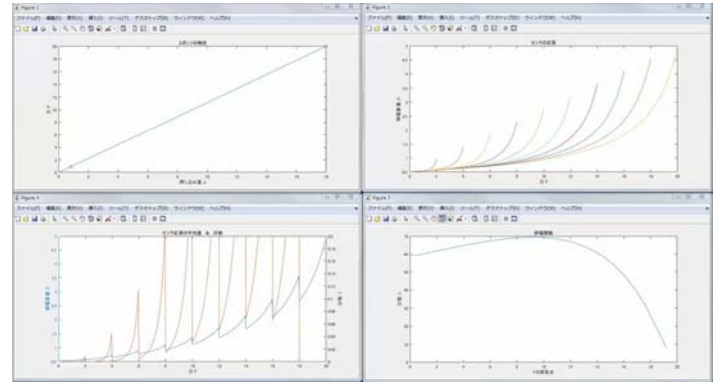
Response for different areas



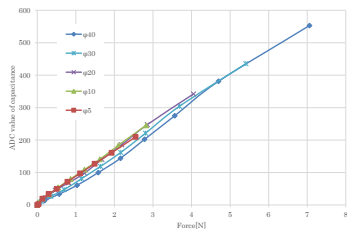
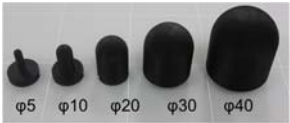
↑
optimization

$$\min \sum \left(\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_{avg})^2}{n} \right)$$

Matsuno and Hirai, IEEE RAL, 6(3), 5824-5831, 2021



Soft Capacitive Sensing



Matsuno and Hirai, IEEE RAL, 6(3), 5824-5831, 2021

