

2022年12月15日

生体皮膚応用を志向した重量及び 位置を区別できる柔軟な圧抵抗センサ

九州工業大学 大学院生命体工学研究科

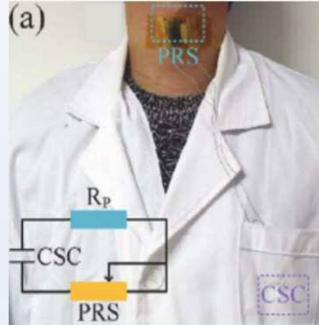
人間知能システム工学専攻

助教 宇佐美雄生



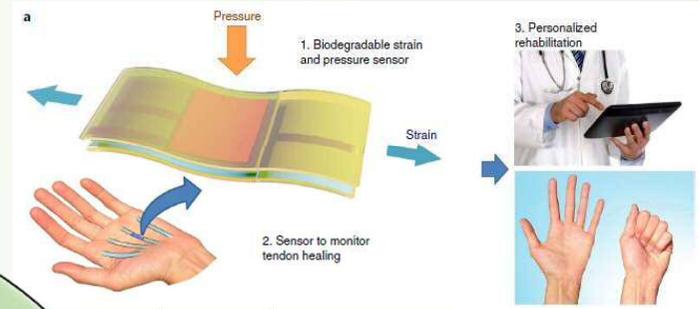
圧抵抗センサ

小規模な人体動作のモニタリング



Y. Song et al., Small 13, 39 (2017).

リハビリのための埋め込み型センサー



J. Zhang et al., Nano Lett. 18, 5 (2018).

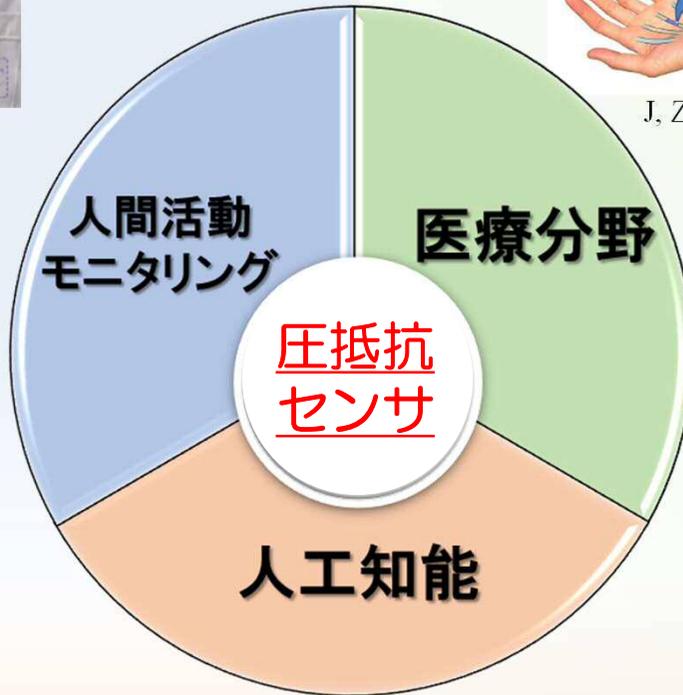
大規模な人体運動のモニタリング



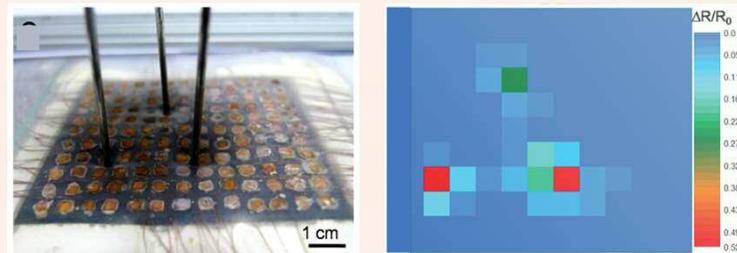
植物生育状況のモニタリング



W. Tang et al., Carbon 147, 295 (2020).

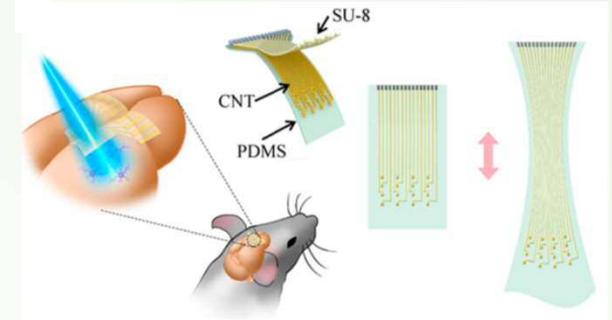


人工的な電子皮膚への応用



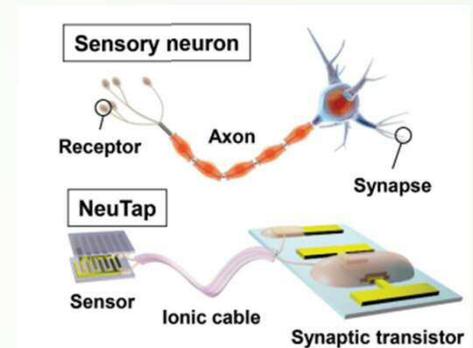
H. Yao et al., Adv. Mater. 25, 46 (2013).

電気生理学的モニタリング



C. M. Boutry et al., Nat. Electronics 1, 314 (2018).

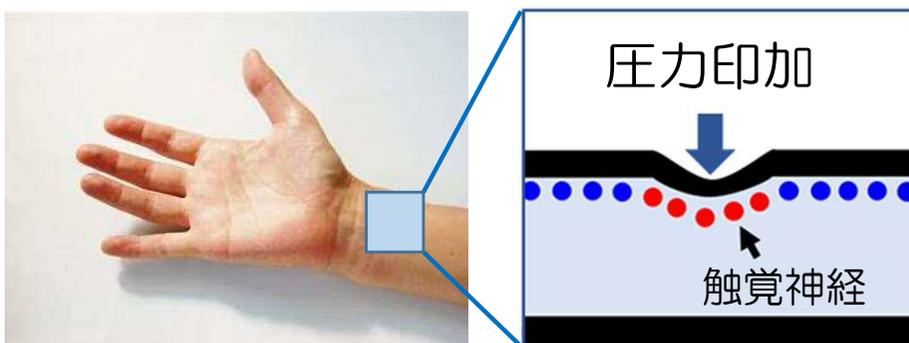
生体感覚神経の構築



C. Wan et al., Adv. Mater. 30, 30 (2018).

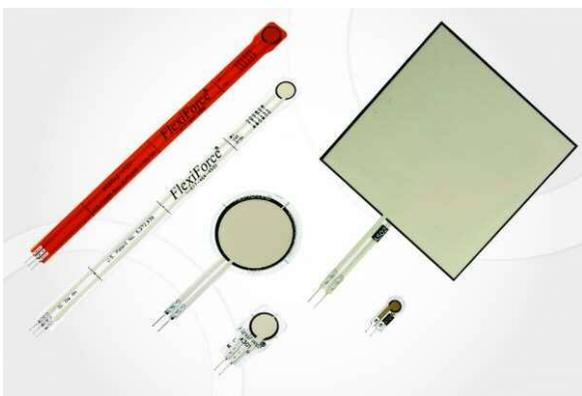
センサの生体皮膚応用と課題

人間の皮膚の仕組み



触覚神経に注入された信号から
物体を検知する

現在の商用圧抵抗センサ*



人間の皮膚とは大きく乖離

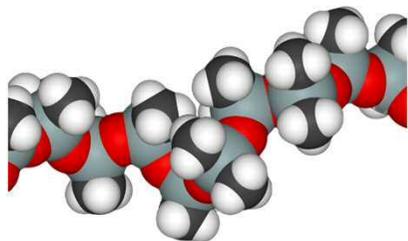
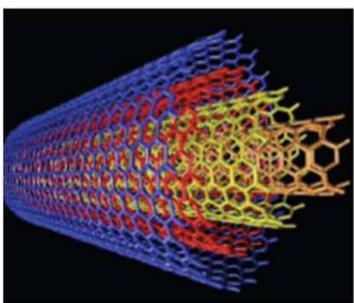
課題

- 1入力-1出力
-圧力の分布を捉えられない
- 検出範囲の制限
-微小圧力領域での感度低下
- 柔軟性に乏しい
-生体応用に不向き

本技術の紹介

□ CNT-PDMS ナノ複合体センサ

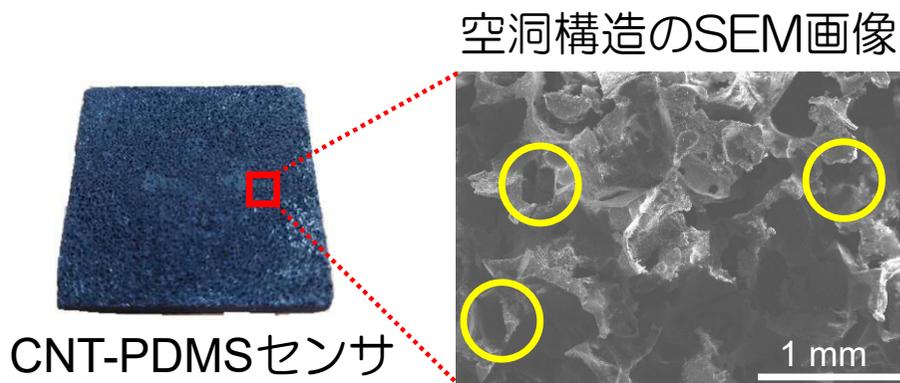
カーボン ナノチューブ(CNT)* ポリジメチル シロキサン (PDMS)**



- 高導電性
- 熱伝導性
- 耐熱・耐寒性

- 柔軟性
- ゴム特性
- 耐熱・耐寒性

□ センサの特徴

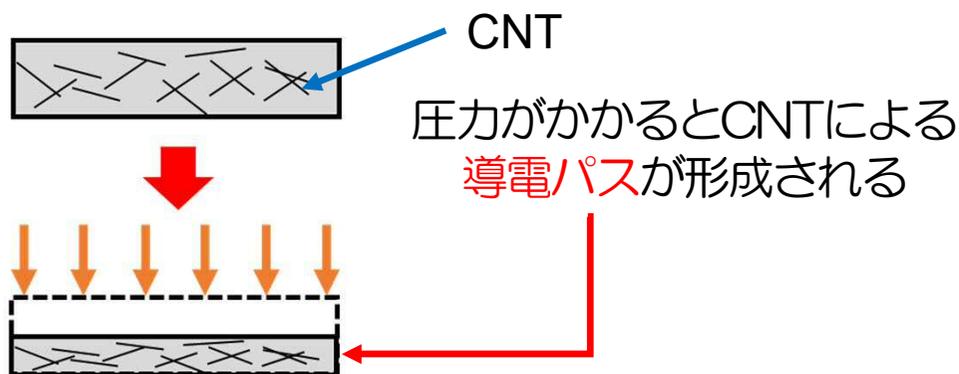


空隙構造を有する
→スポンジのような柔らかさ

- ✓ 多入力ー多出力
- ✓ 性能制御が可能
- ✓ 柔軟かつ高感度

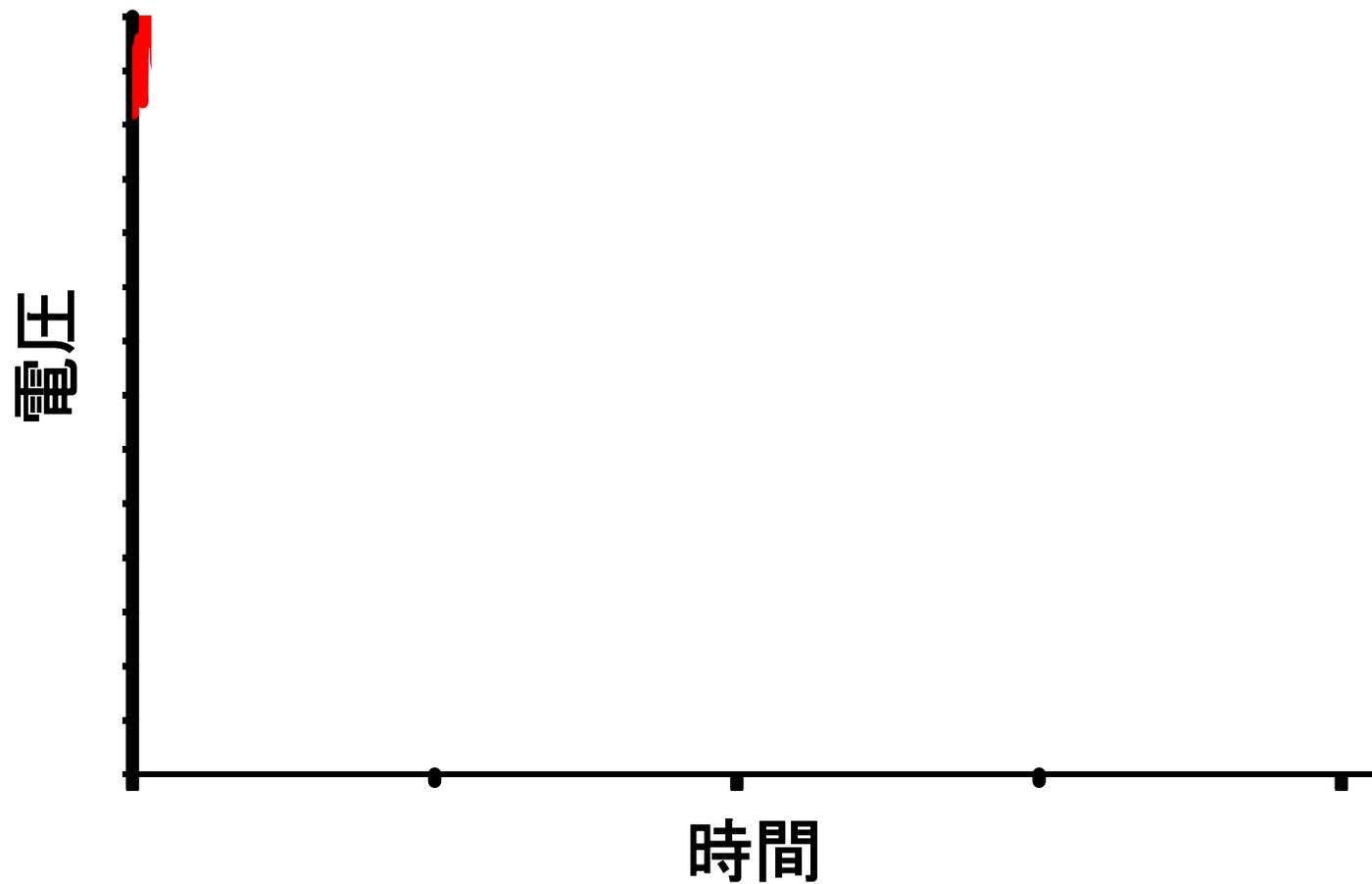
→センサで信号処理し、
重量や位置を分類

□ 動作原理



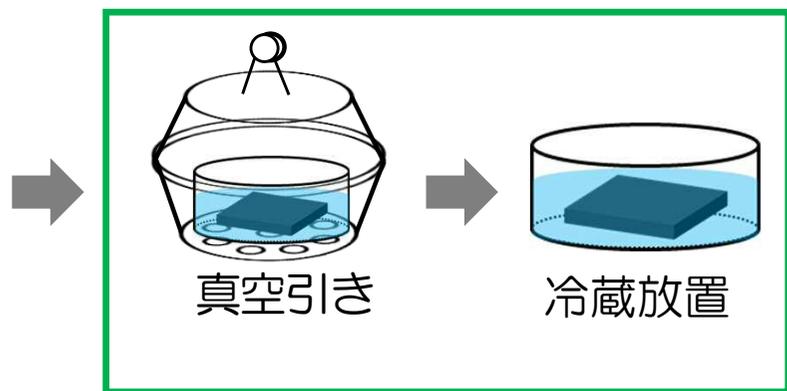
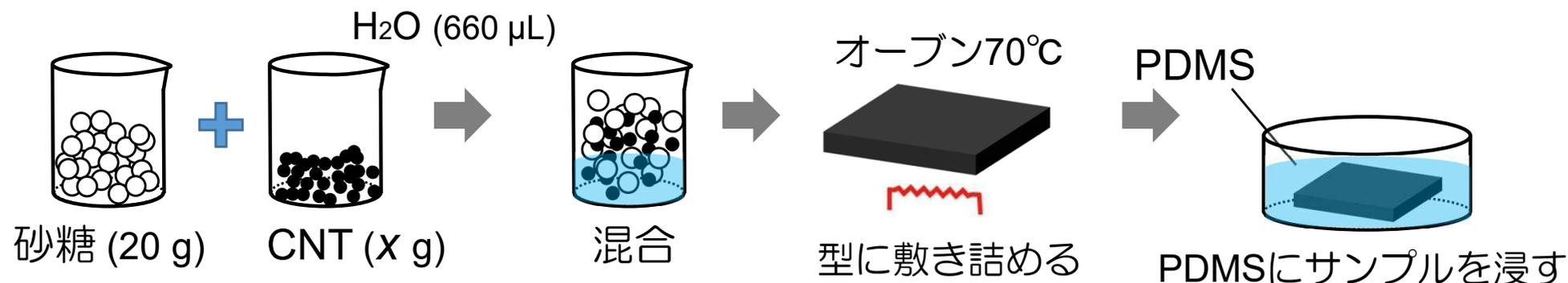
*シグマアルドリッチ “カーボンナノチューブ” より **Wikipedia commonsより

センシングの様子

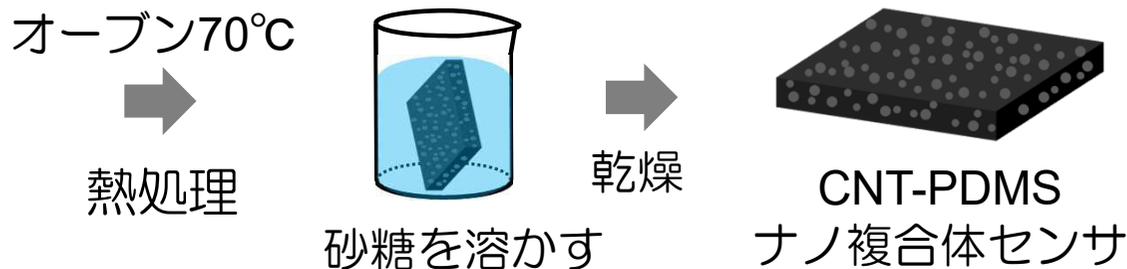


試料作製手順

CNTの量 : $x = 0.2\text{g}, 0.3\text{g}, 0.4\text{g}, 0.5\text{g}$



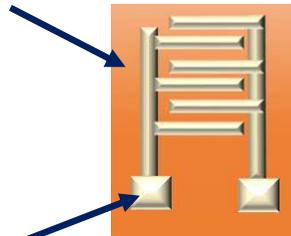
毛細管力



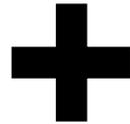
検証1: センサ感度

□ 電極作製

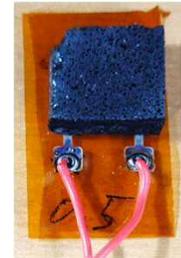
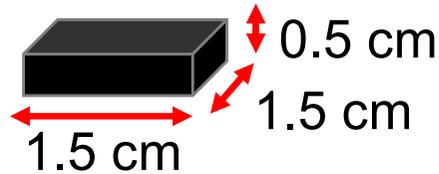
ポリイミドフィルム



銀ペースト



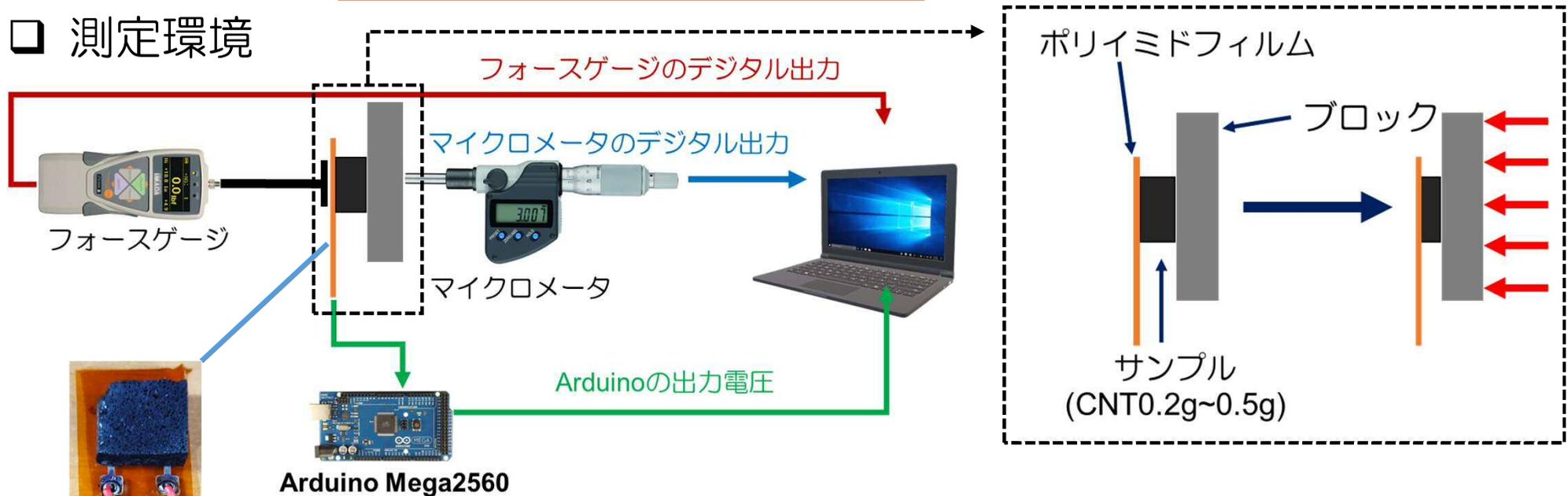
作製したサンプル



センサデバイス

分子結合(シランカップリング剤)
による接着→接触抵抗低減

□ 測定環境



マイクロメータ	動作距離 [mm]
Arduino Mega2560	電圧 [V]
フォースゲージ(< 5[N])	圧力 [N]

□ CNT-PDMSセンサの感度

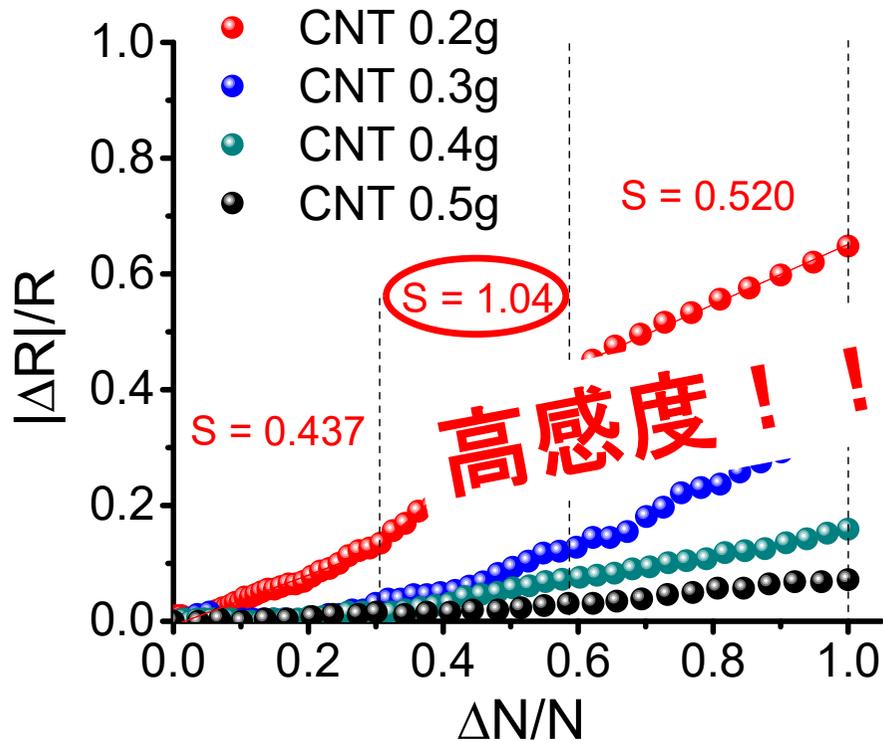
$$S = \frac{\delta(\Delta R/R_0)}{\delta P}$$

ΔR : 抵抗の変化

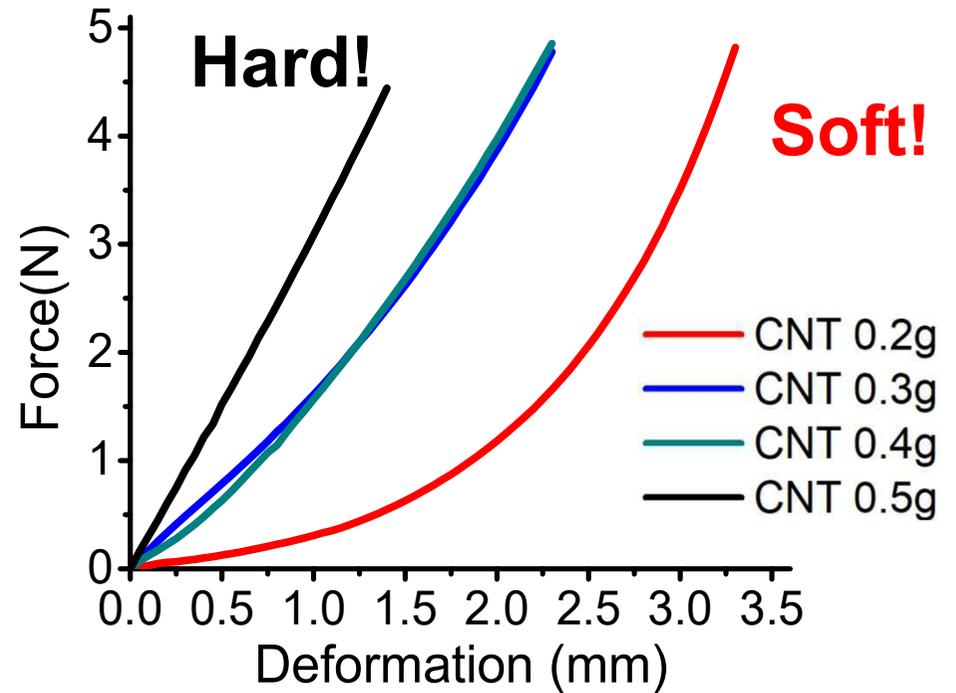
R_0 : 初期抵抗

P : 印加圧力

厚さ0.5cmのセンサの感度

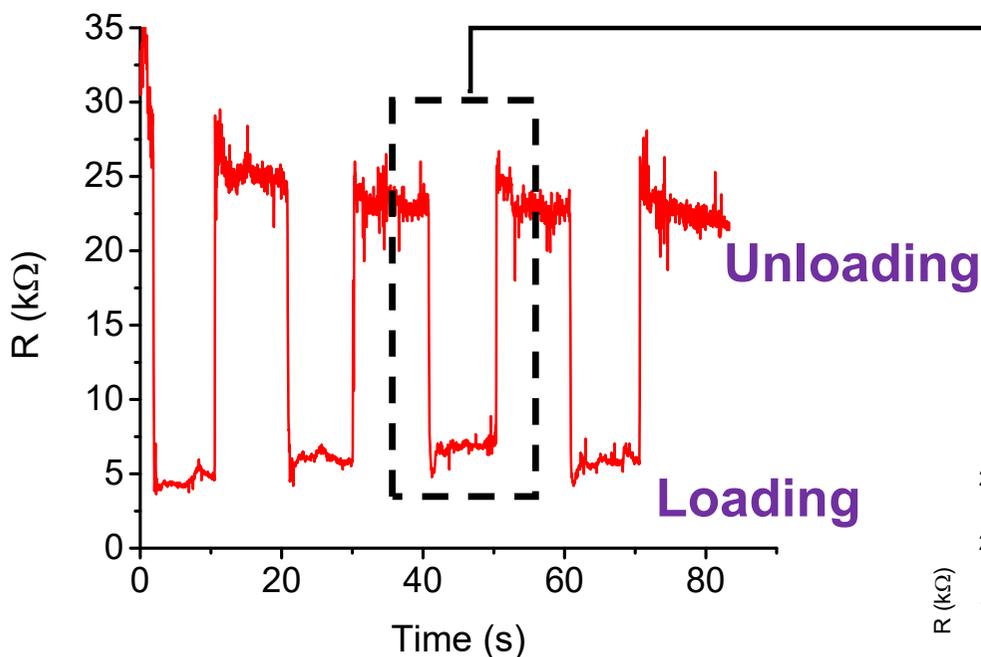


弾性率

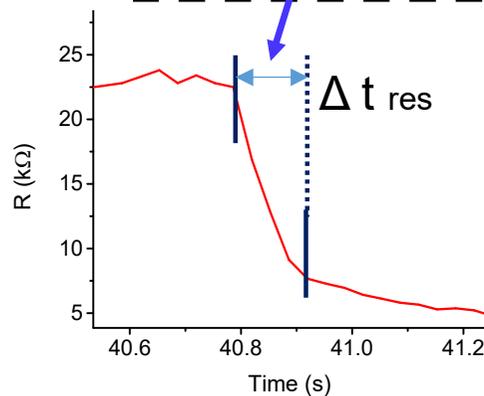
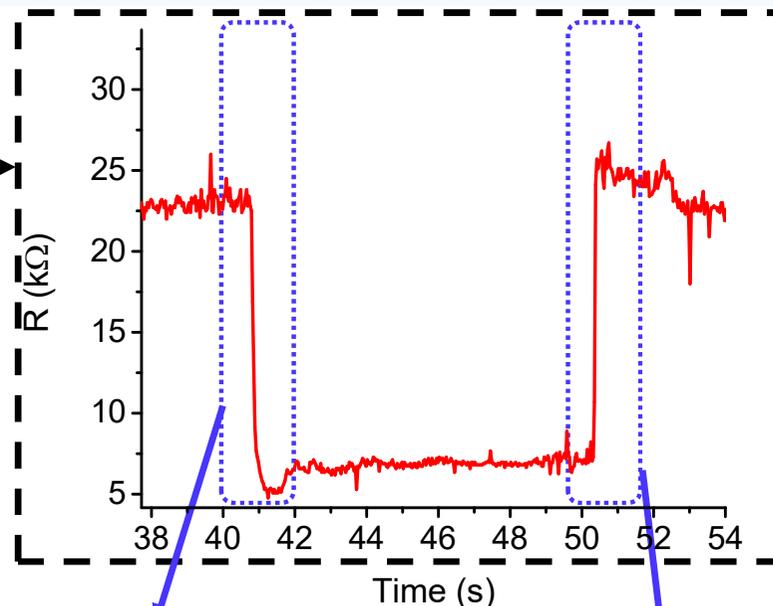


検証2: センサの反応性

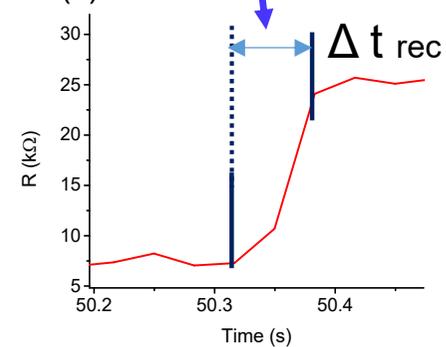
□ 繰り返し測定



繰り返し荷重-除荷試験での測定結果



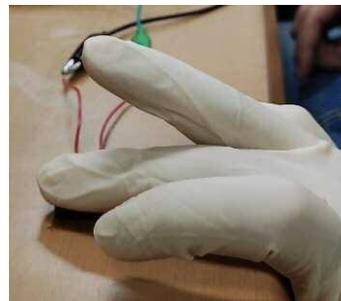
反応時間 Δt_{res}



回復時間 Δt_{rec}

圧力印加時の抵抗変化時における

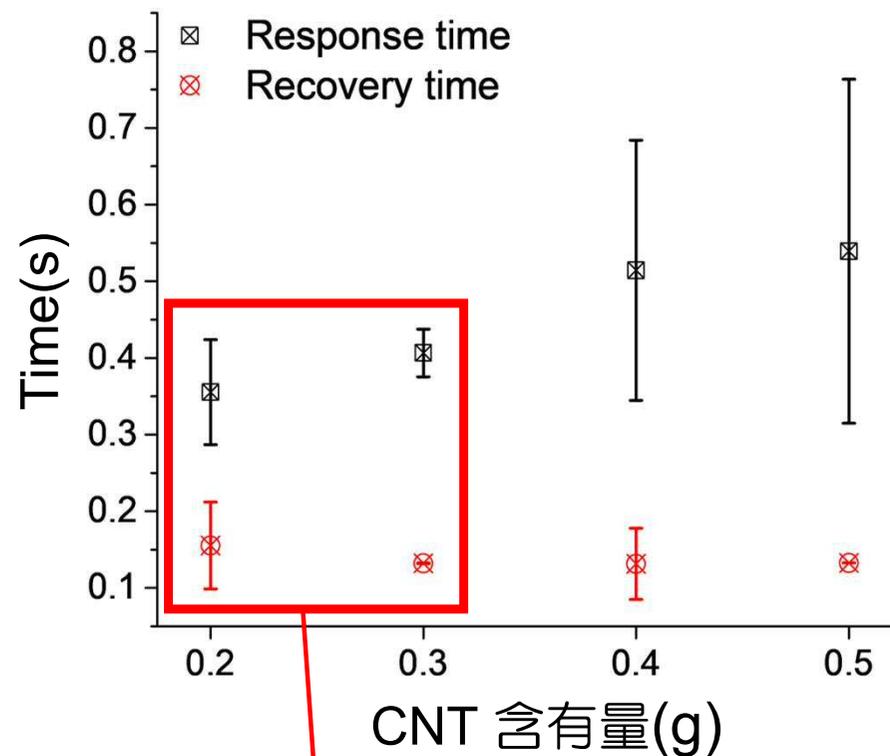
- 反応時間 Δt_{res}
- 回復時間 Δt_{rec}



検証2:結果

□ CNT含有量の異なるセンサの反応時間と回復時間

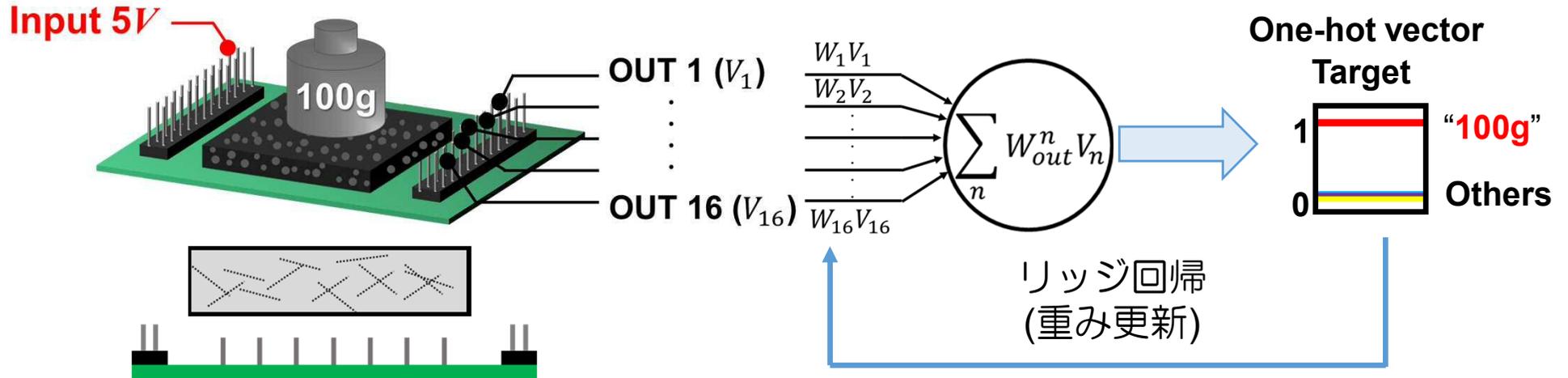
- CNT含有量: CNT 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g



CNT含有量の少ないサンプルは
速い反応時間、回復時間を示す

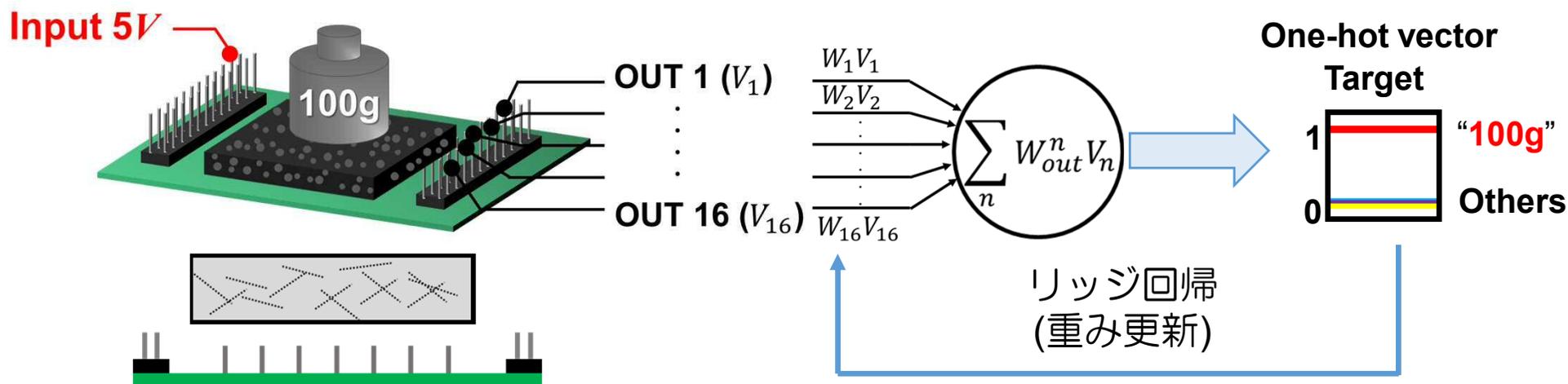
検証3:重量・位置分類

□ 重量・位置分類 → センサ自身が信号処理を行い、分類する



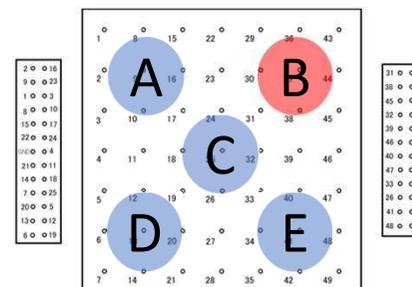
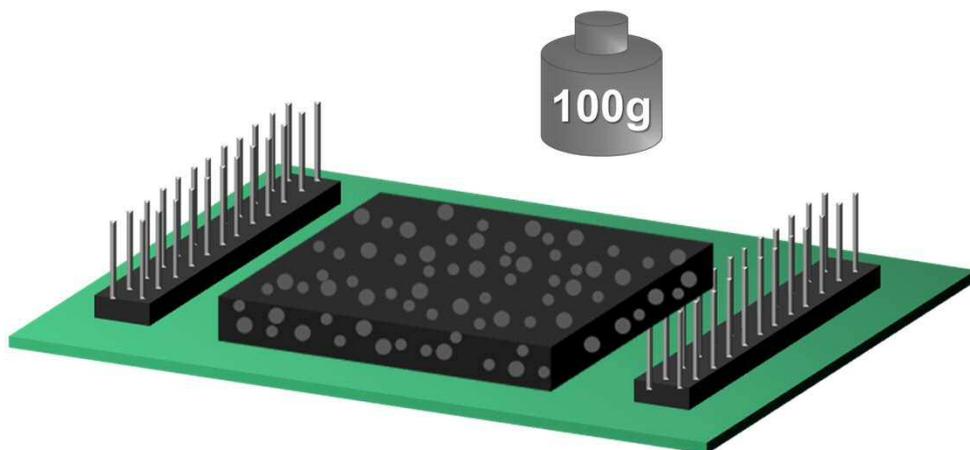
検証3:重量・位置分類

□ 重量・位置分類 → センサ自身が信号処理を行い、分類する



① 位置の分類 ⇒ 異なる位置・同じ重り(100g)

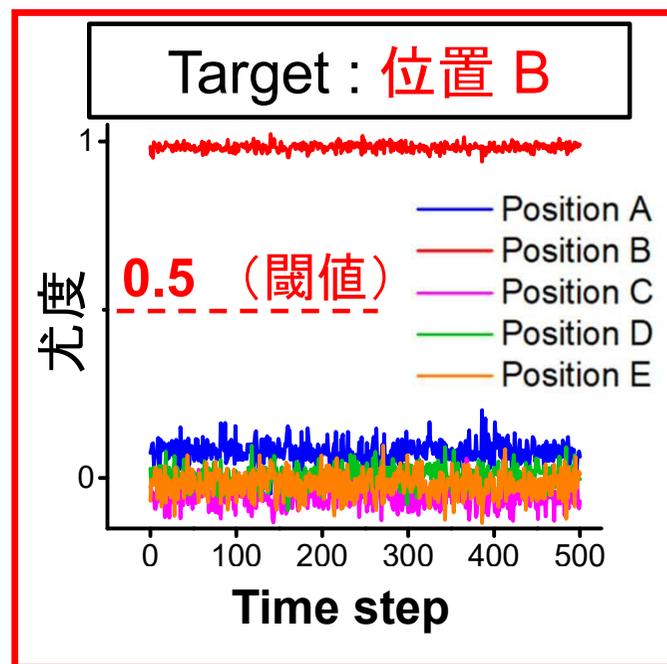
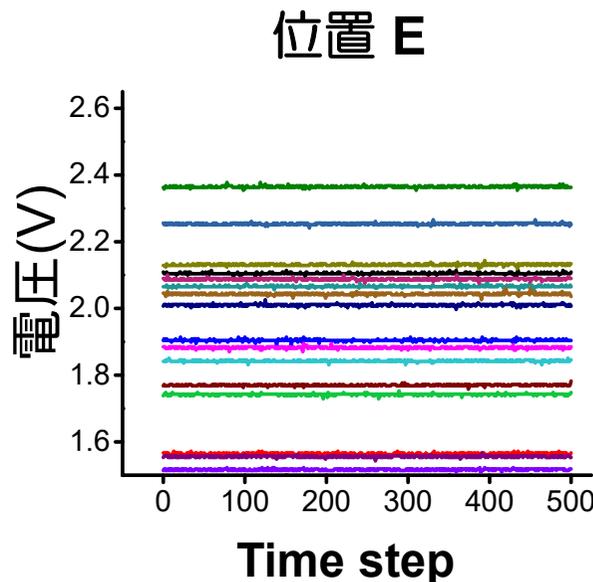
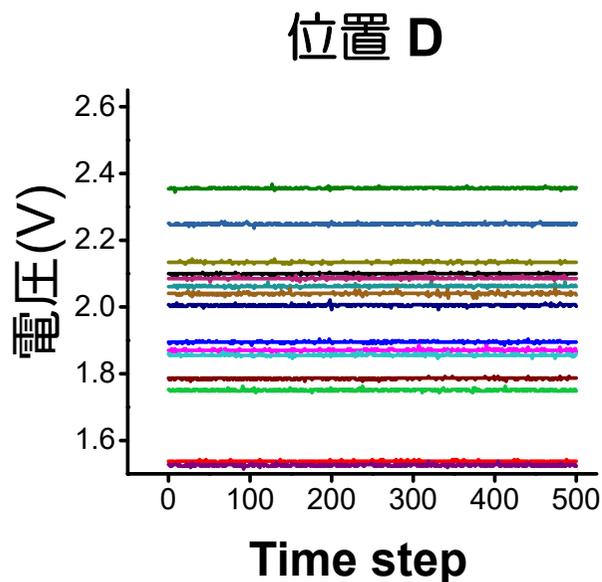
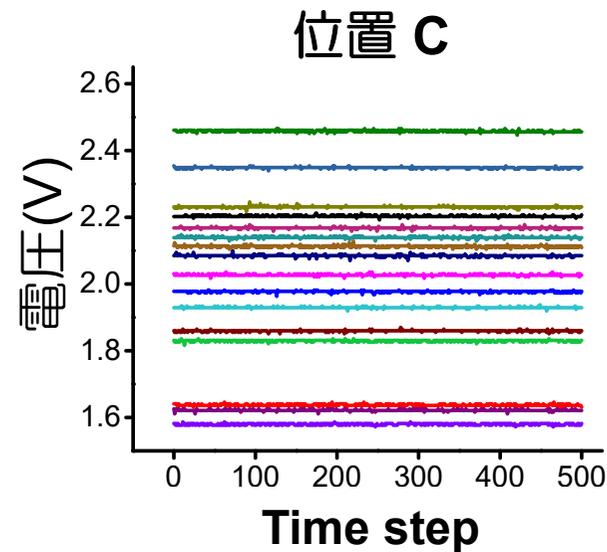
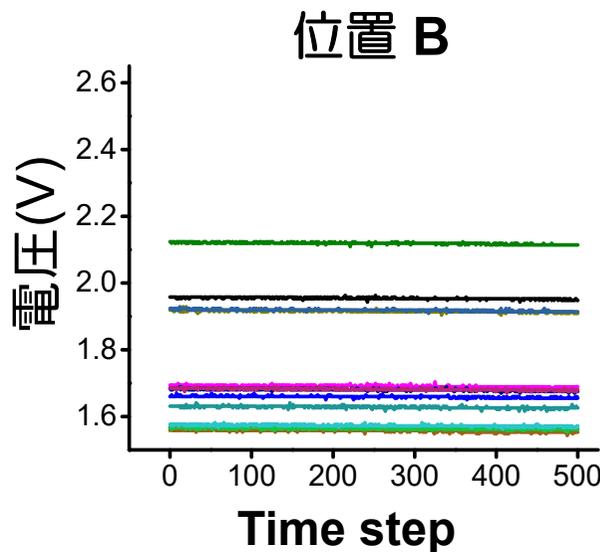
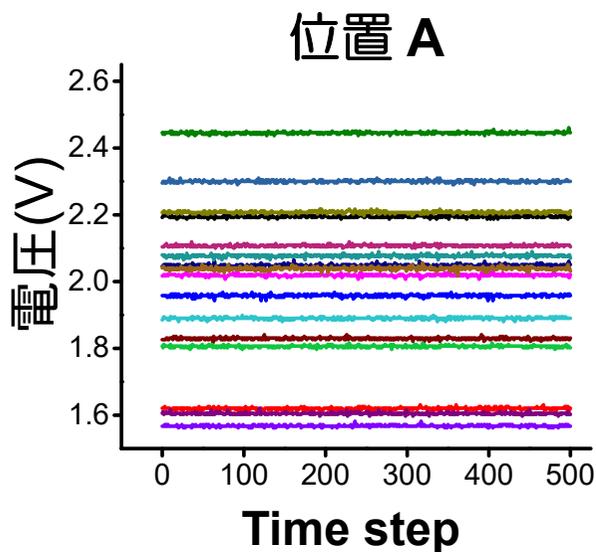
Test



盤面を5つの区域 (A~E) に分割

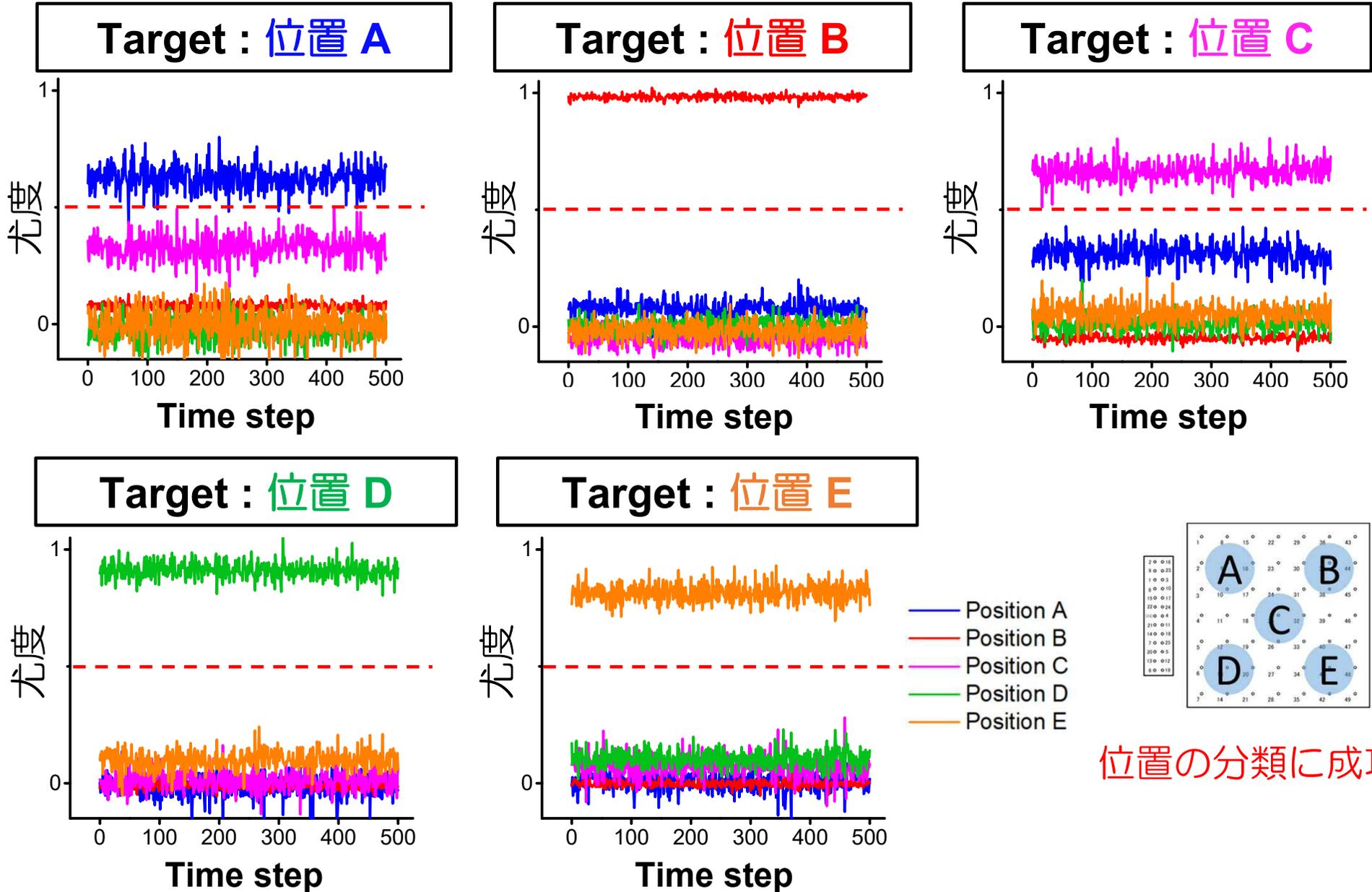
検証3: 結果1 (位置分類)

① 位置分類 (CNT 0.3g) 16電極の出力から得られる生データ



検証3: 結果2 (位置分類)

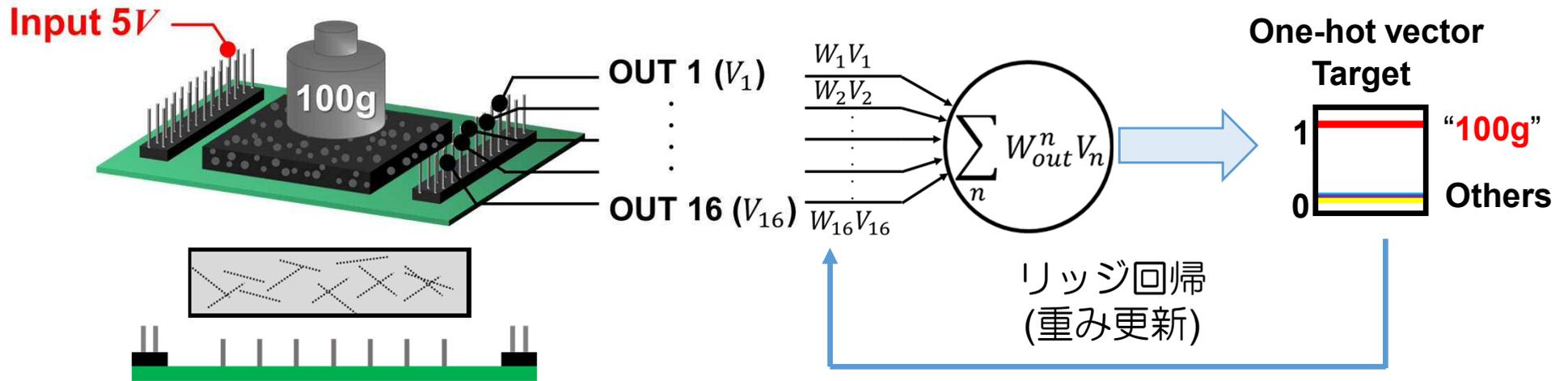
① 位置分類 (CNT 0.3g)



位置の分類に成功！！

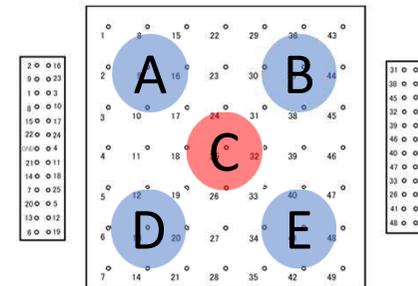
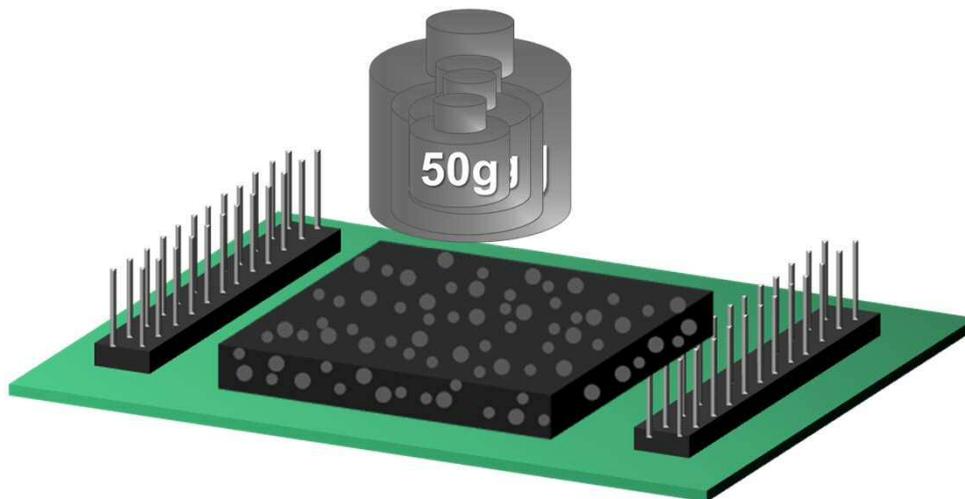
検証3: 重量分類

□ 重量・位置分類 → センサ自身が信号処理を行い、分類する



② 重量の分類 ⇒ 異なる重り・同じ位置

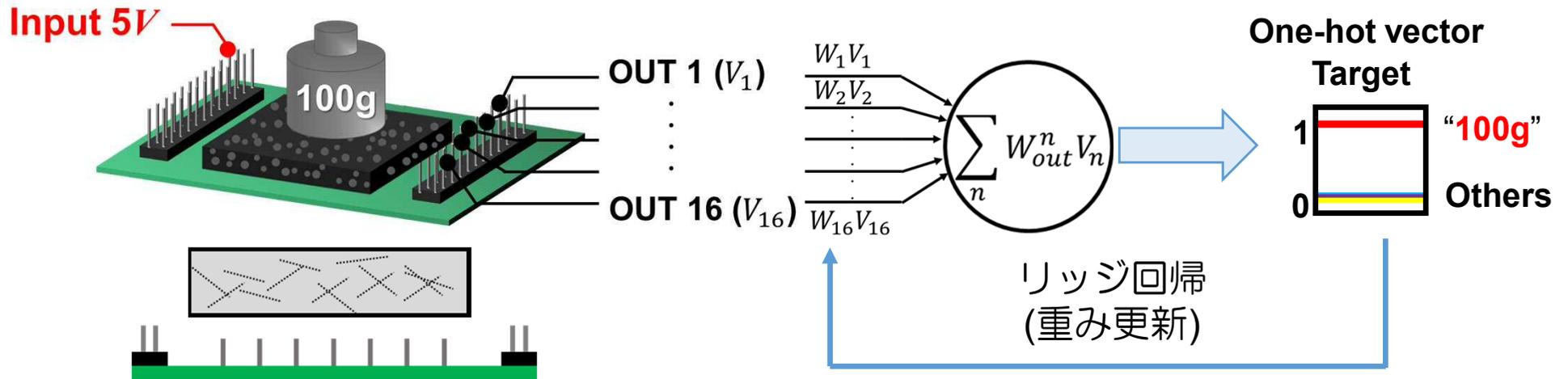
Training



C領域に重りを乗せる

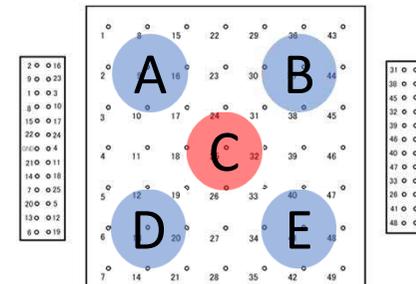
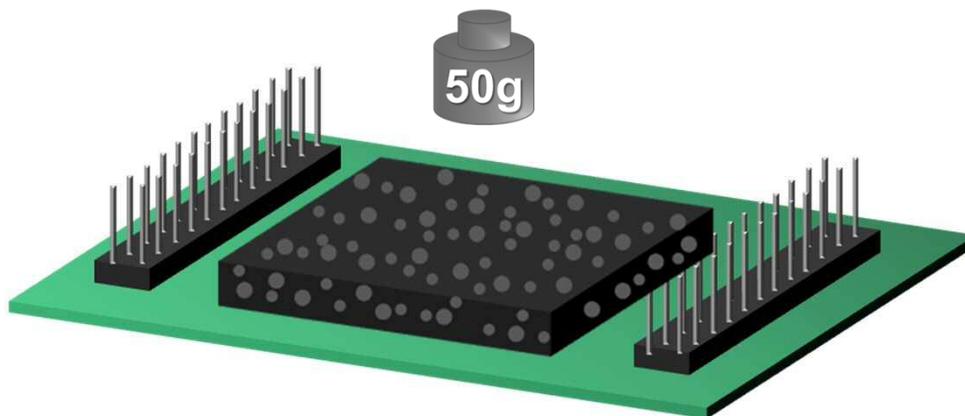
検証3: 重量分類

□ 重量・位置分類 → センサ自身が信号処理を行い、分類する



② 重量の分類 ⇒ 異なる重り・同じ位置

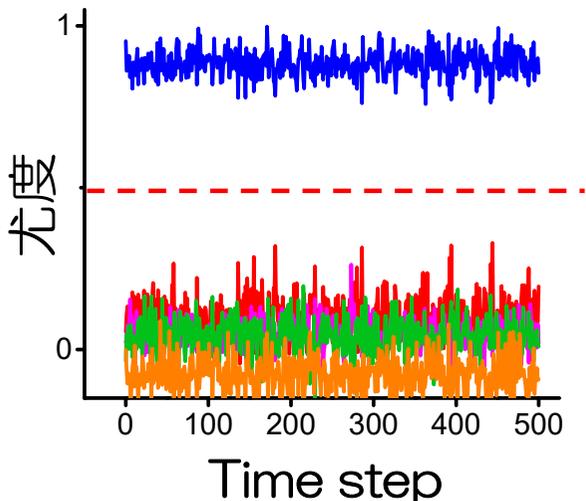
Test



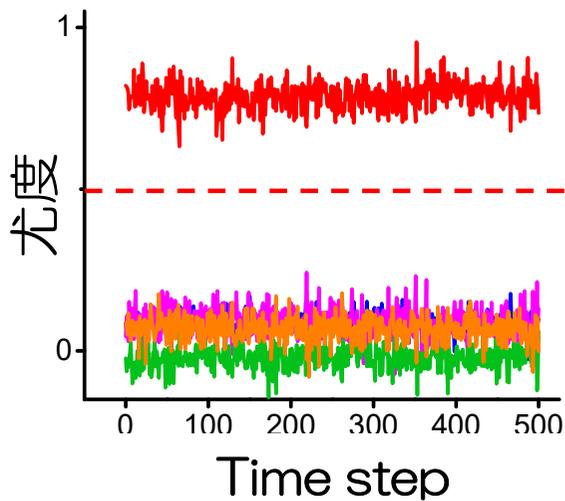
C領域に重りを乗せる

検証3: 結果3 (重量分類)

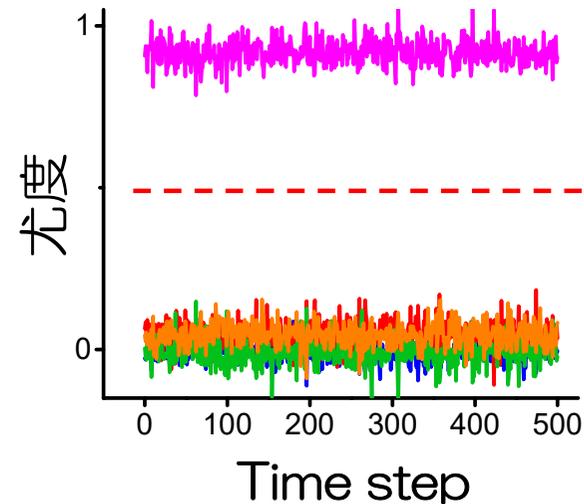
Target : 重量 0g



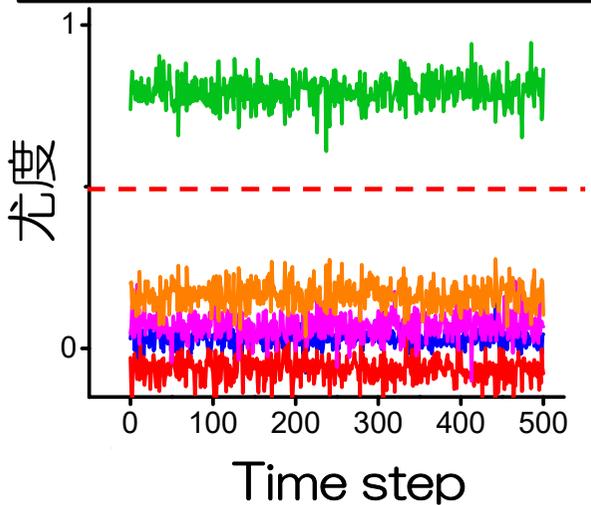
Target : 重量 50g



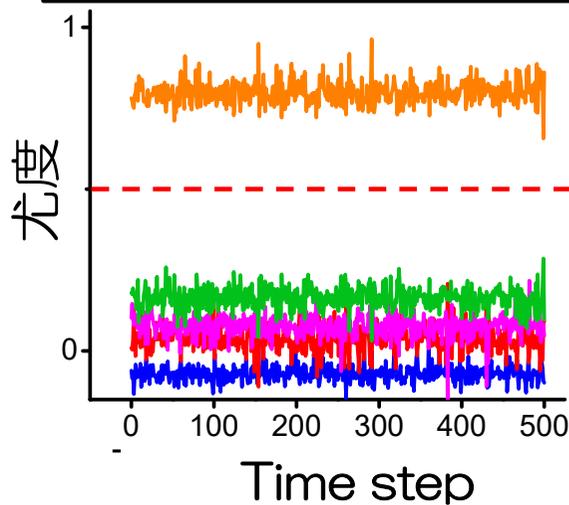
Target : 重量 100g



Target : 重量 200g



Target : 重量 500g



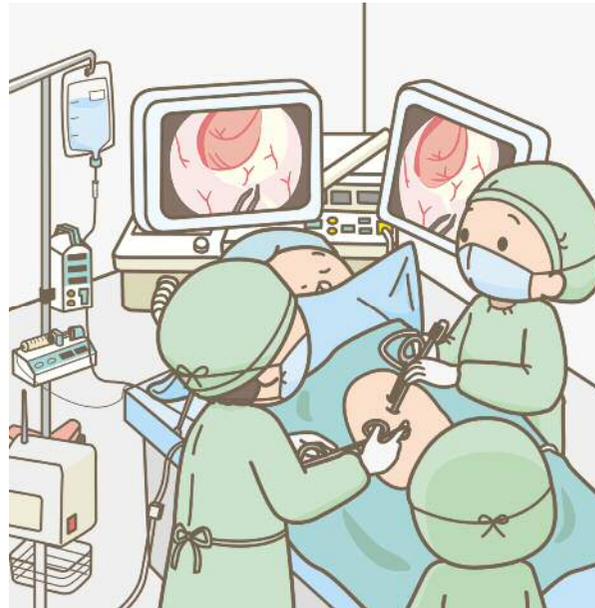
- Weight 0g
- Weight 50g
- Weight 100g
- Weight 200g
- Weight 500g

0-500gの
重量の分類に成功！！

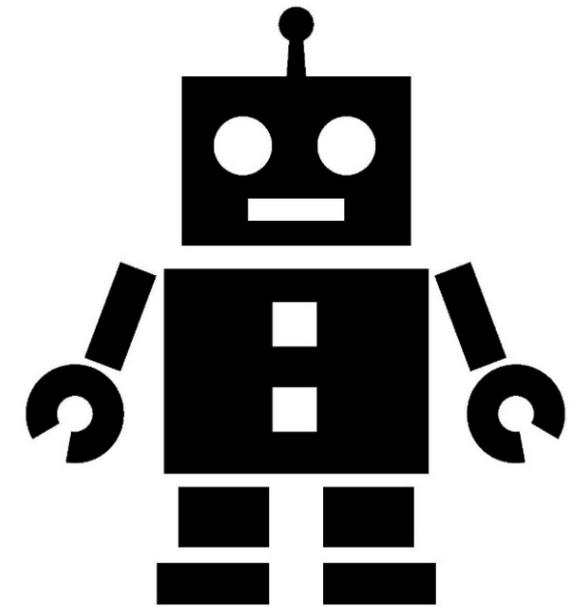
介護分野
義肢装具に触覚付与



医療分野
患部の位置特定



ロボティクス分野
ロボットに触覚機能を付加



実用化に向けた課題

- 微小な圧力変化の分類
 - センサの膜厚を薄くすると感度改善

- リアルタイム動作
 - 圧力変化中の信号を用いた分類
 - オンライン学習の導入

- センサの耐久性
 - 100回程度の圧力印加 → 性能変化なし
 - 今後耐久試験を行う予定

- フレキシブルセンサの応用に向けた共同研究
- 圧力センシング機能を必要とする製品への
本センサの導入及び試験のご検討

- 本技術を用いた新規応用の共同研究、
事業化、製品化のご提案

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：力学量センサ及びそれを有するロボット並びに
力学量のセンシング方法及び力学量センサの
製造方法
- 出願番号：特願2022-71679
- 出願人：九州工業大学
- 発明者：田中啓文、宇佐美雄生、アズハリサマン、君塚紘喜

九州工業大学

産学イノベーションセンター

楯 純生（タテ スミオ）

TEL 093-884-3499

FAX 093-884-3531

e-mail : chizai@jimu.kyutech.ac.jp