



2026.2.17 TUE
JST新技術説明会
ONLINE
東京海洋大学

酸化カーボンナノチューブ× ろ紙電極免疫センサの開発

学術研究院 海洋電子機械工学部門
教授 大貫 等

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

1. 背景

- 高齢化社会の進展と医療費
- 健康管理バイオセンサの現状
- 開発ターゲット

2. 酸化カーボンナノチューブ x 紙

- ox-CNTとは？
- ox-CNT x ろ紙 による電極開発
- 抗体の固定化

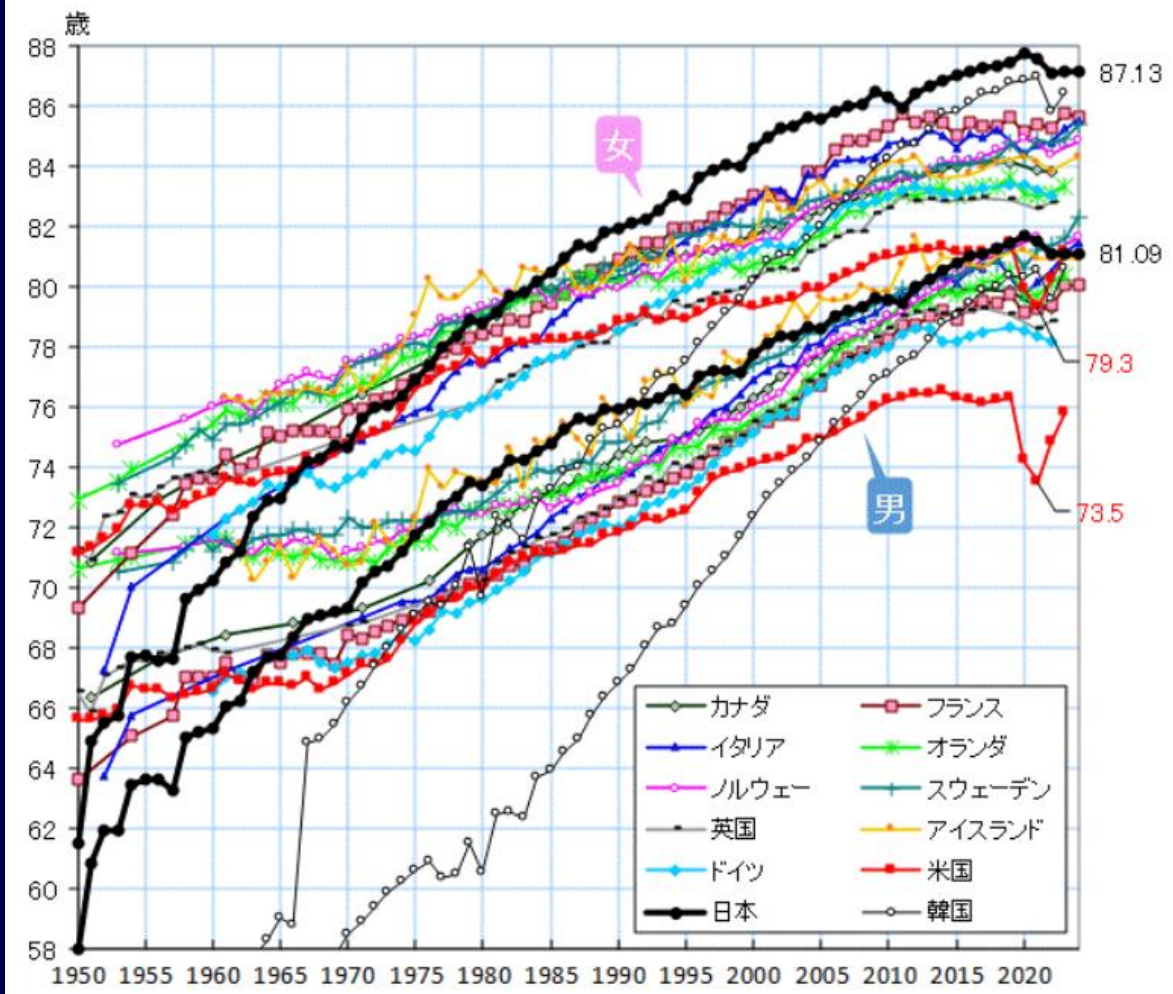
3. 抵抗測定によるバイオセンサ

- 免疫反応による抵抗変化
- コルチゾールセンサの開発
- ばらつきの少ないセンサに向けて

世界的な高齢者社会への移行

主要先進国における平均寿命の推移

* 値表示は日本の最新2024年、米国の2022年



・ 全世界的な高齢化社会への移行

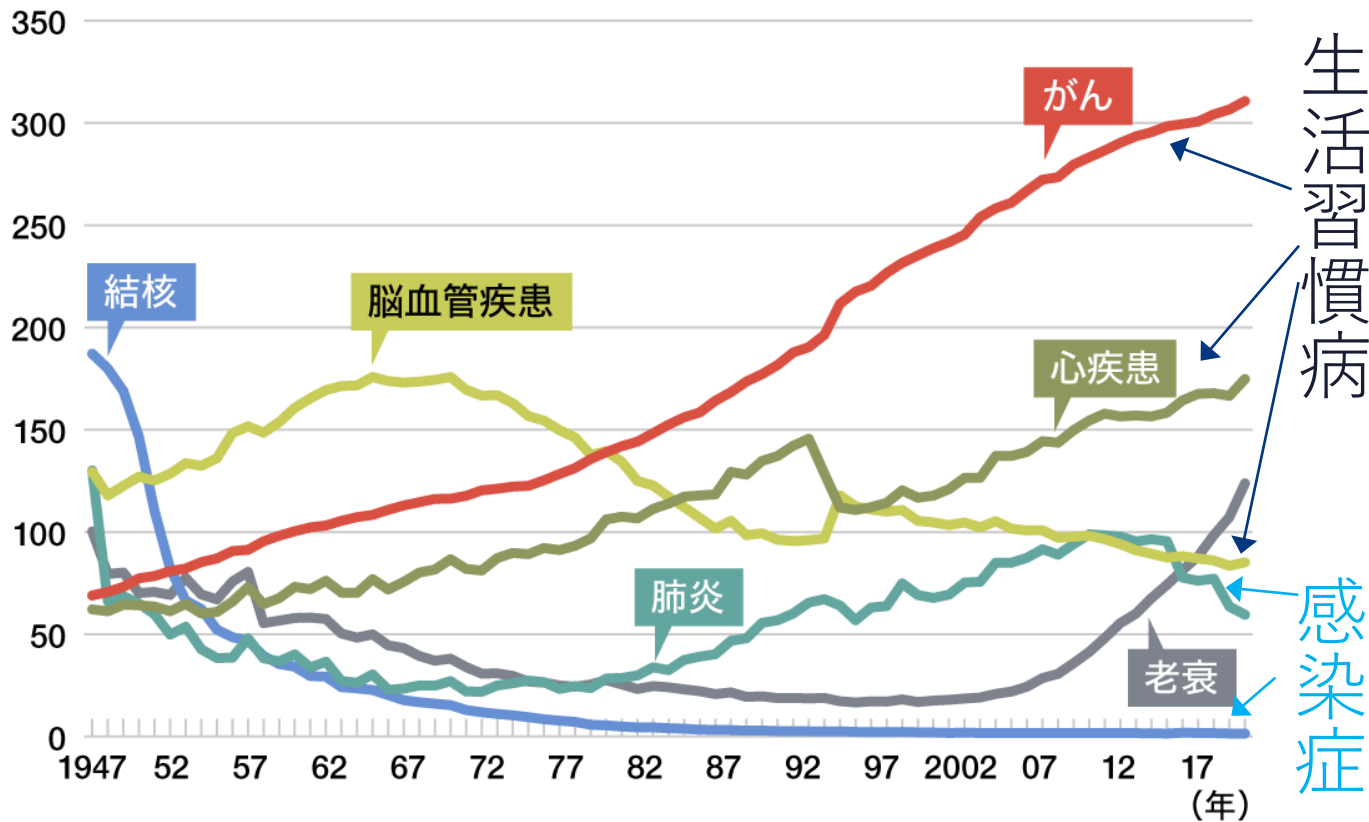
・ 高齢者の大きな医療費負担の顕在化

→ 高齢者世帯は低収入

- ⇒
- ・ 医療費の激増
 - ・ 老後への不安
 - ・ 現役世代への過大な負担
 - ・ 少子高齢化への拍車

死亡原因の移り変わり（日本）

死因別の死亡率推移(人口10万対)



日常的な健康
チェック

生活習慣病

大規模な感染
チェック体制

感染症

厚生労働省 2021年人口動態統計

社会実情データ図録 (<https://honkawa2.sakura.ne.jp/2080.htm>) |

健康管理バイオセンサの現状

電気化学バイオセンサ

安価・小型・簡便

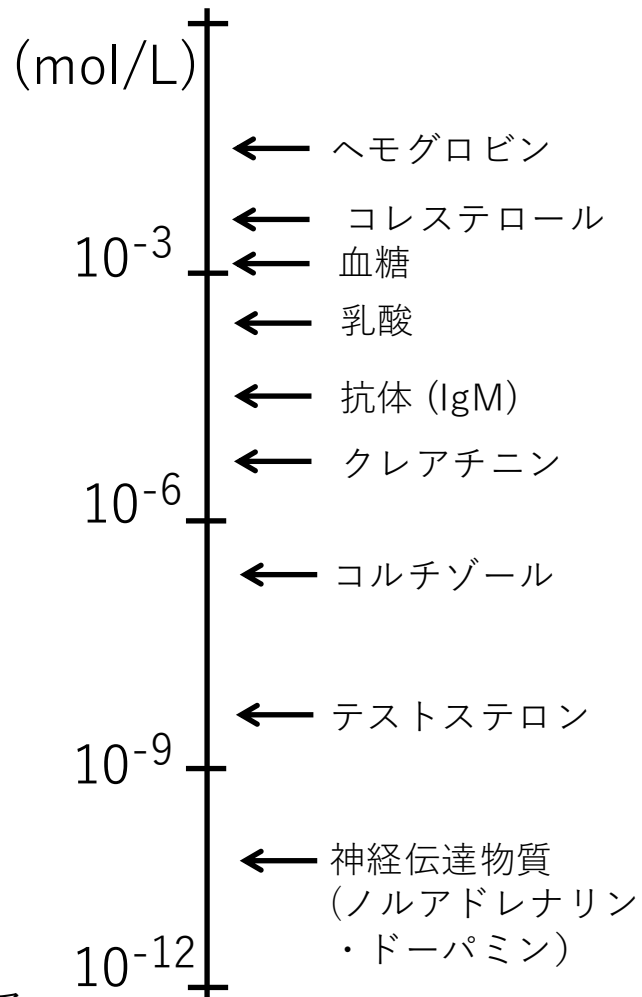


日常的なパーソナルデバイスとして使用



イムノアッセイ装置

大型分析装置を用いる
(光学検出)



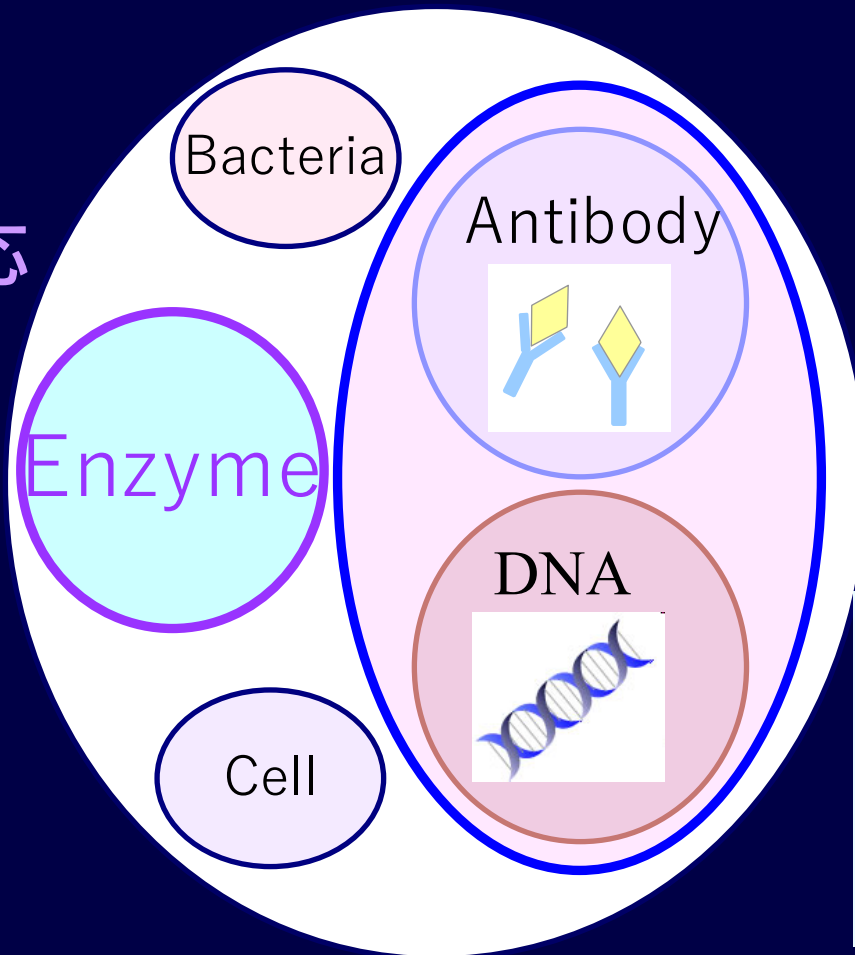
血中の生体分子濃度

バイオセンサに利用される生体物質

1. 酵素反応



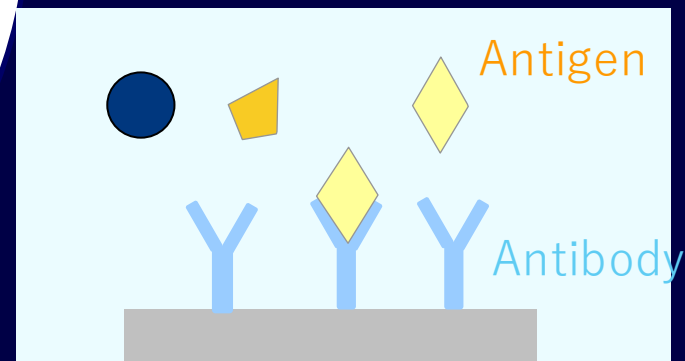
特定分子のみ分解



2. 特異的吸着反応



分子認識センサ



唾液検体の有用性

検体としての唾液

非侵襲

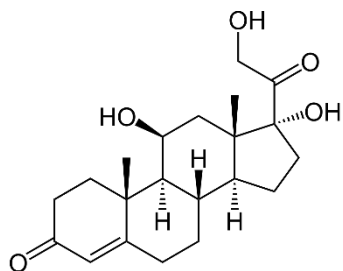
場所・時間を選ばない

自ら採取可能



Testosterone (男性ホルモン)
Insulin (糖尿病)
Melatonin (概日リズム)
Cortisol (ストレス)
Influenza virus
COVID-19 virus

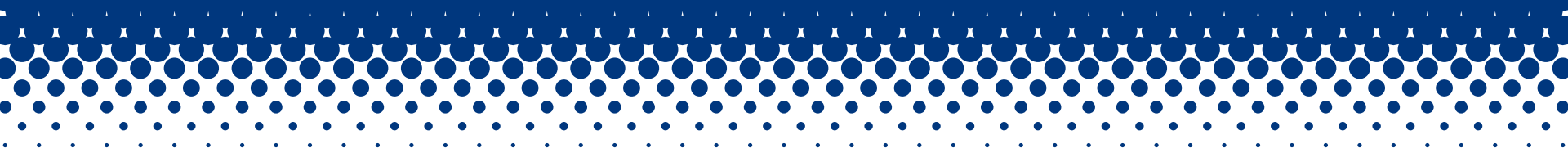
コルチゾールセンサの有用性



m.w. 362.46

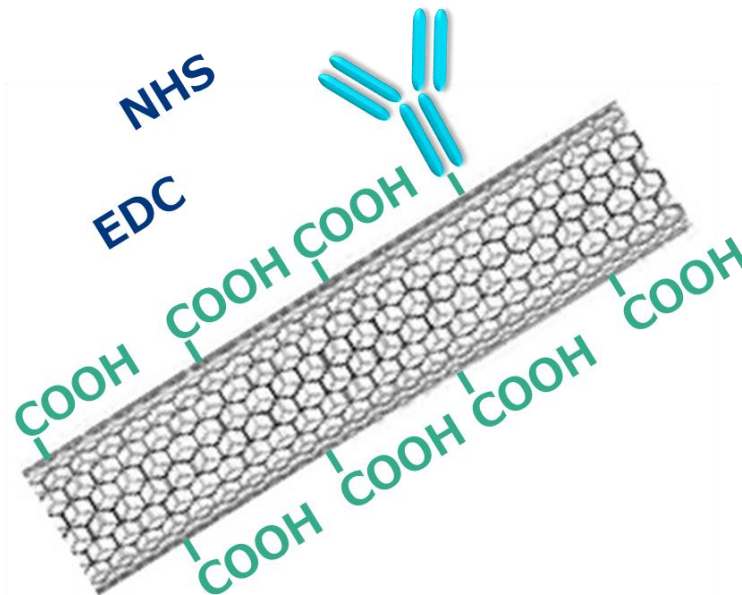
- ストレスの客観的な数値化
- うつ病などの精神状態の確認
- 手軽な診断方法による日常生活の向上

2. 酸化カーボンナノチューブ x 紙



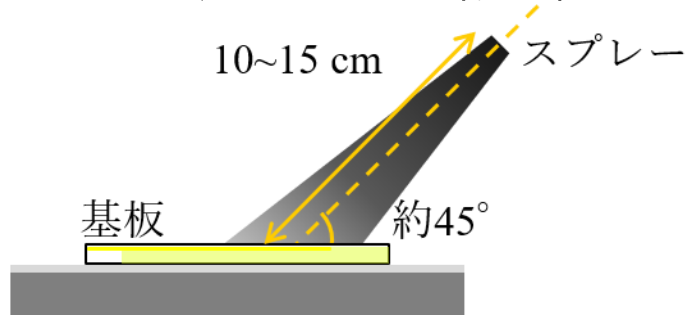
酸化カーボンナノチューブ x 紙

- カーボンナノチューブ (CNT)
 - 高い導電性と広い比表面積
- 酸化CNT (ox-CNT)
 - CNT表面がカルボキシ基(-COOH)で覆われる
 - EDC/NHS反応を経て抗体の結合が可能

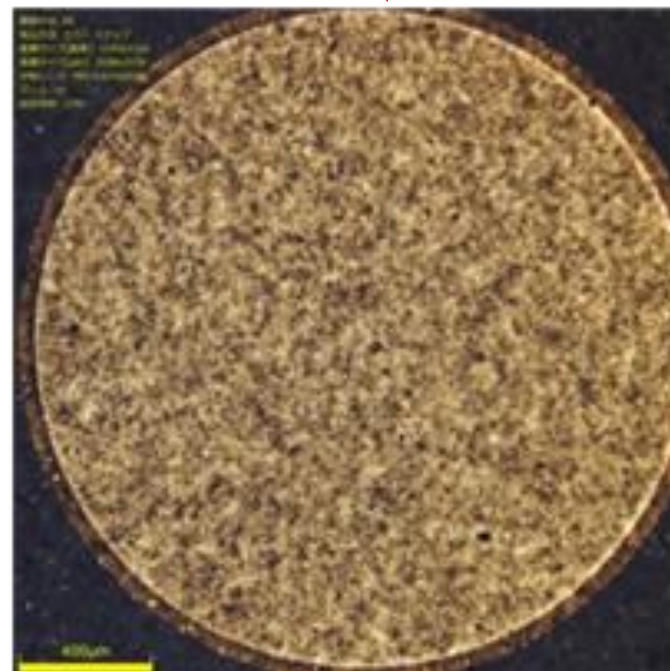
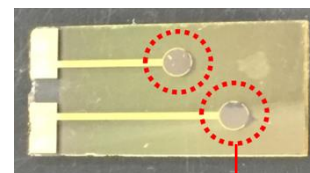


電極コーティング材として

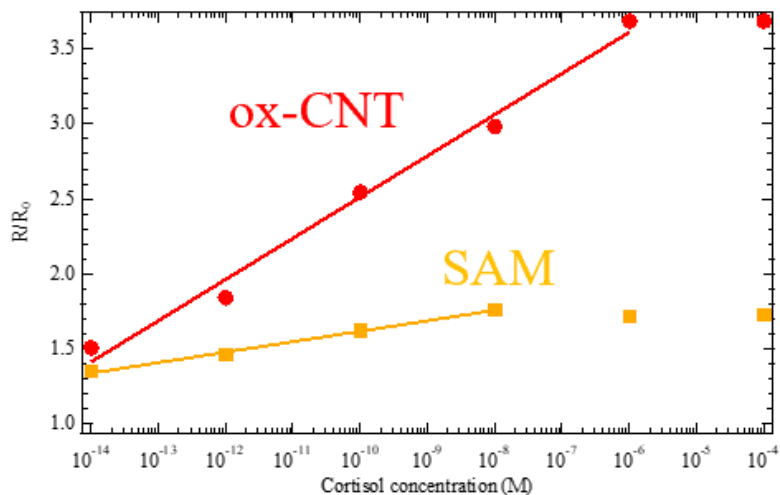
スプレー法による修飾



電極表面写真



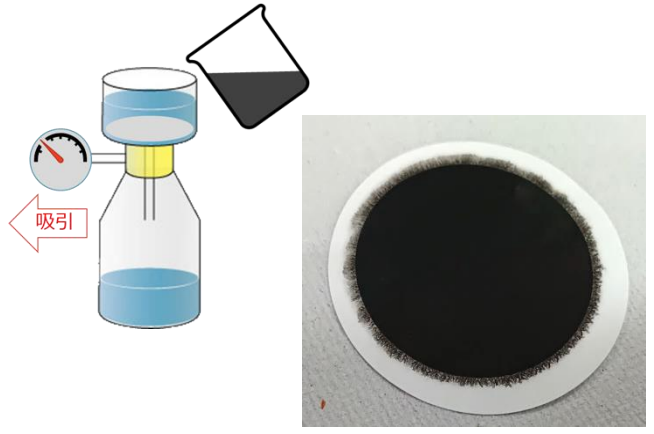
バイオセンサ特性の向上



電極作製方法

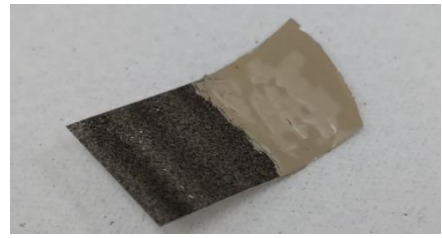
1

ox-CNTを分散させた
溶液を吸引ろ過
(酸化CNT量：50, 100, 200, 400 μg)



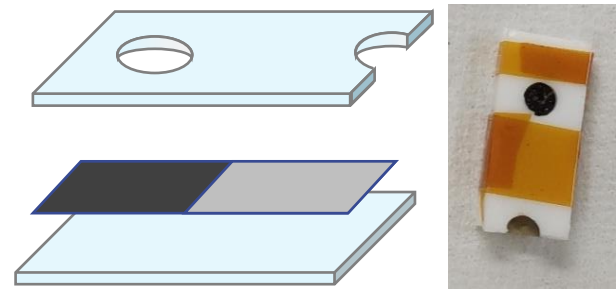
2

ろ紙を切り取り、
導電ペーストを塗る



3

測定用テフロンシートで
はさみ、テープで固定



ox-CNT/ろ紙電極

- 非常に柔軟
 - 加工が容易
 - 高い導電性
- ➡
- カッターでチップ作製
 - ox-CNT自体を配線材にできる

- メンブレンフィルターろ紙上に酸化CNTを成膜

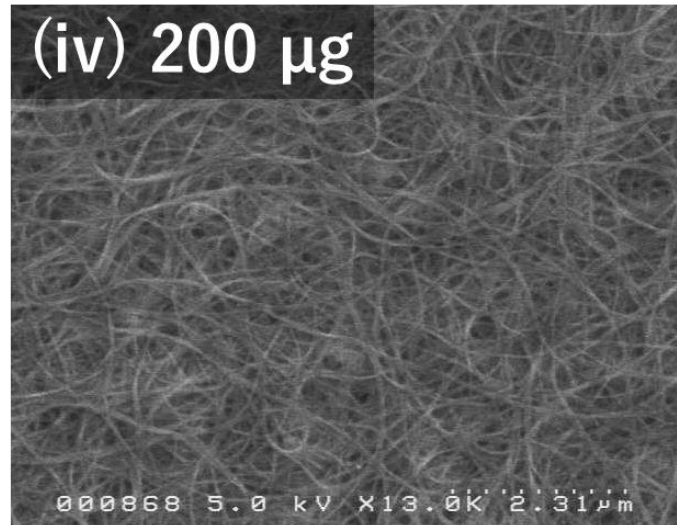
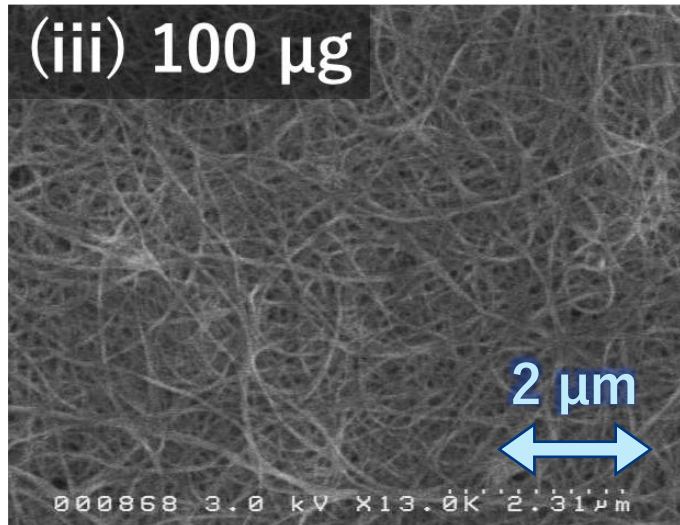
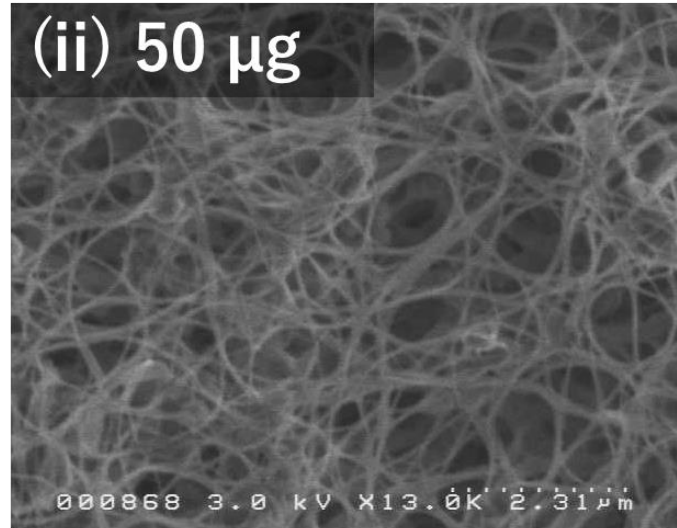
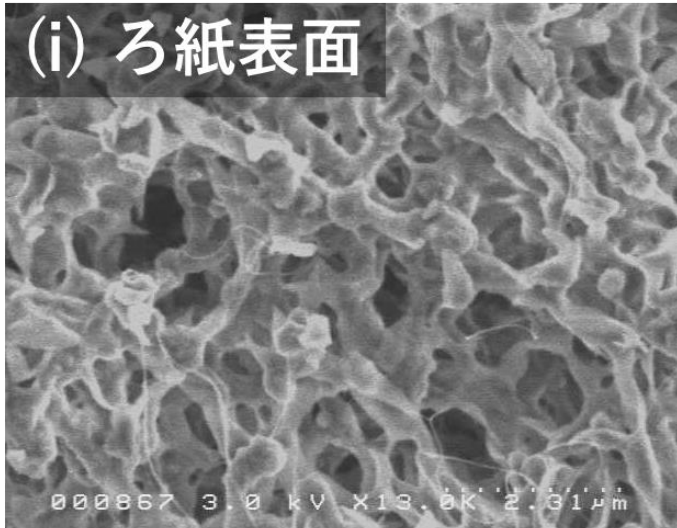


ろ紙も柔軟なのでフレキシブルバイオセンサ
ができる

ox-CNT電極の特性

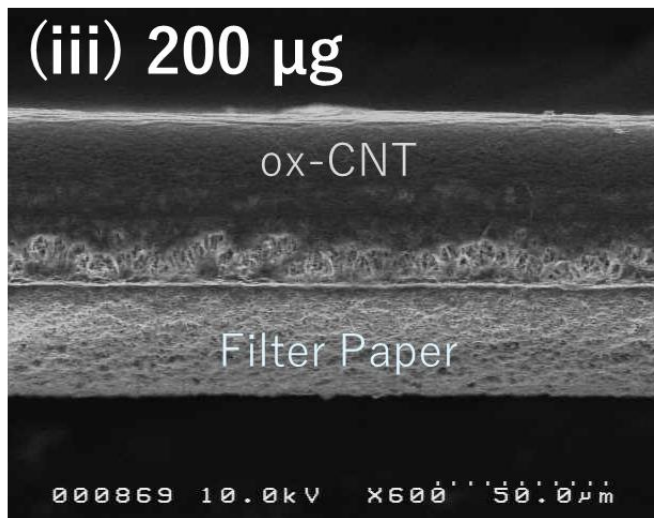
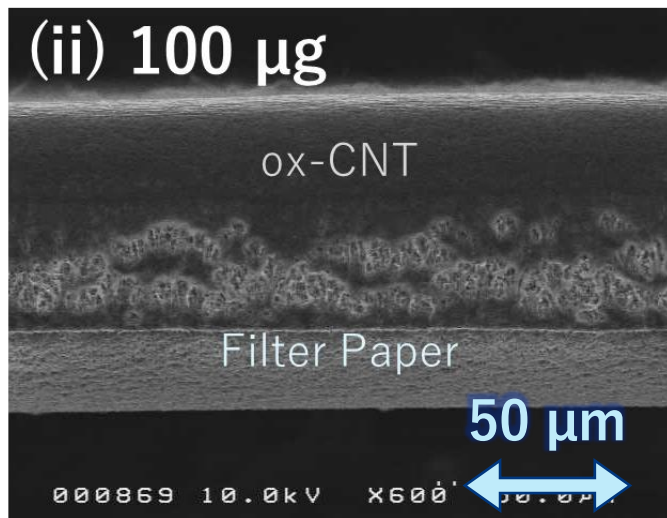
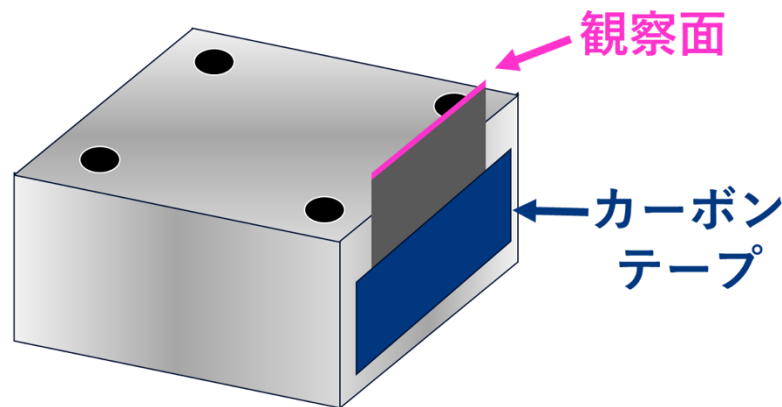
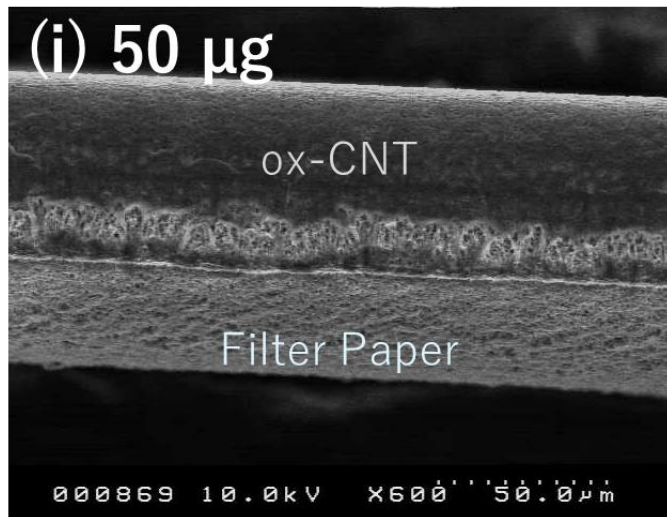
電子顕微鏡画像

表面 13000倍



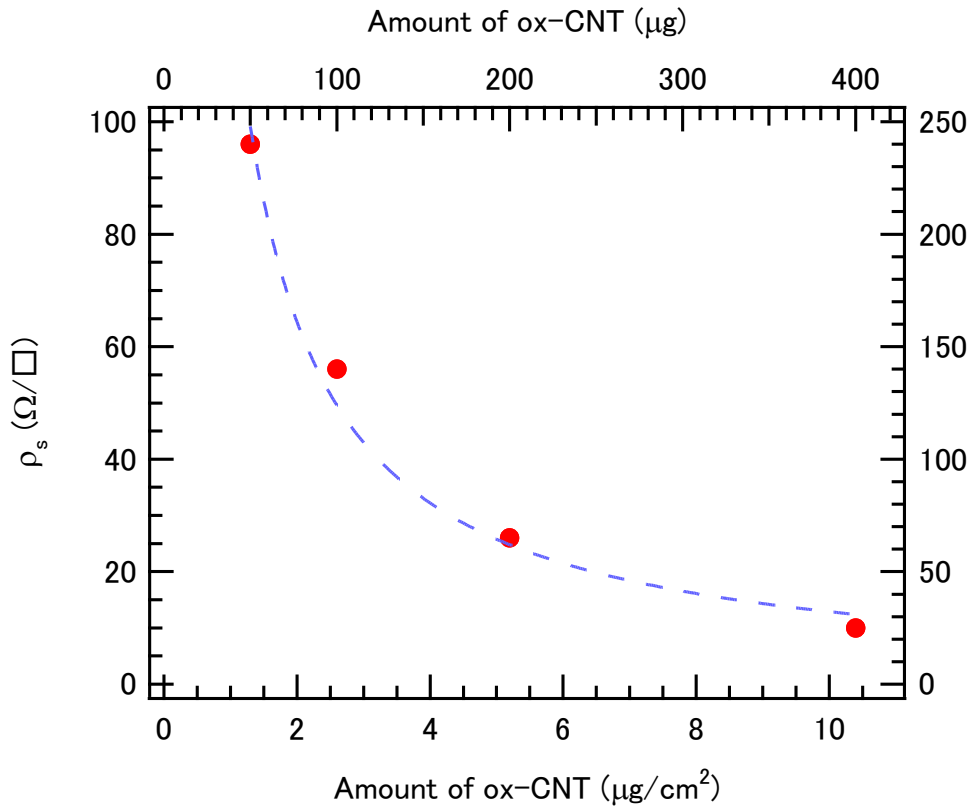
酸化CNT成膜ろ紙電極の性質
CNT電極の特性

電子顕微鏡画像 断面 600倍



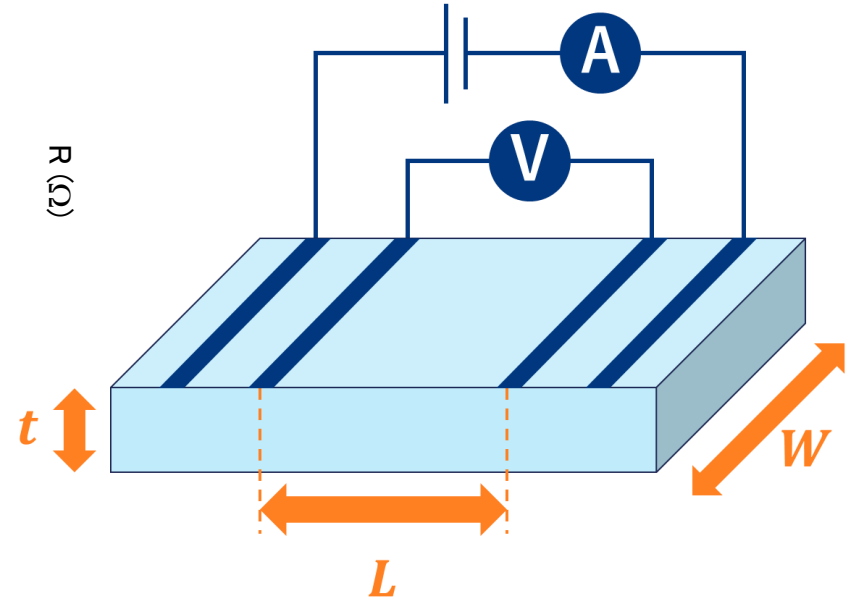
ox-CNT膜の均一性

- 短冊状のCNTろ紙でシート抵抗 ρ_s を求める



堆積量とシート抵抗は反比例

$$\rho_s = \frac{\rho}{t} = R \frac{W}{L}$$

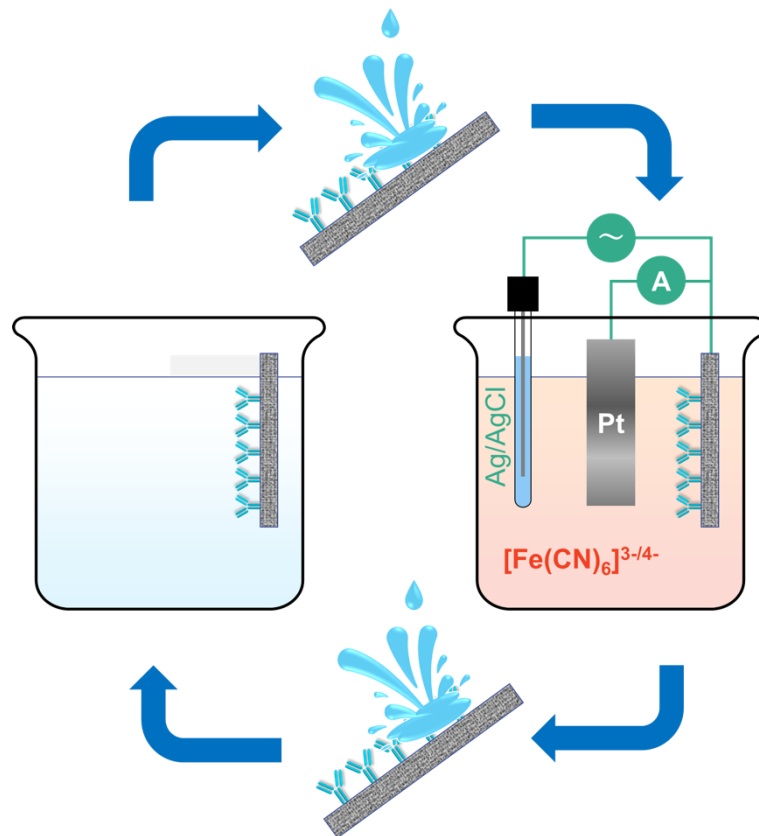
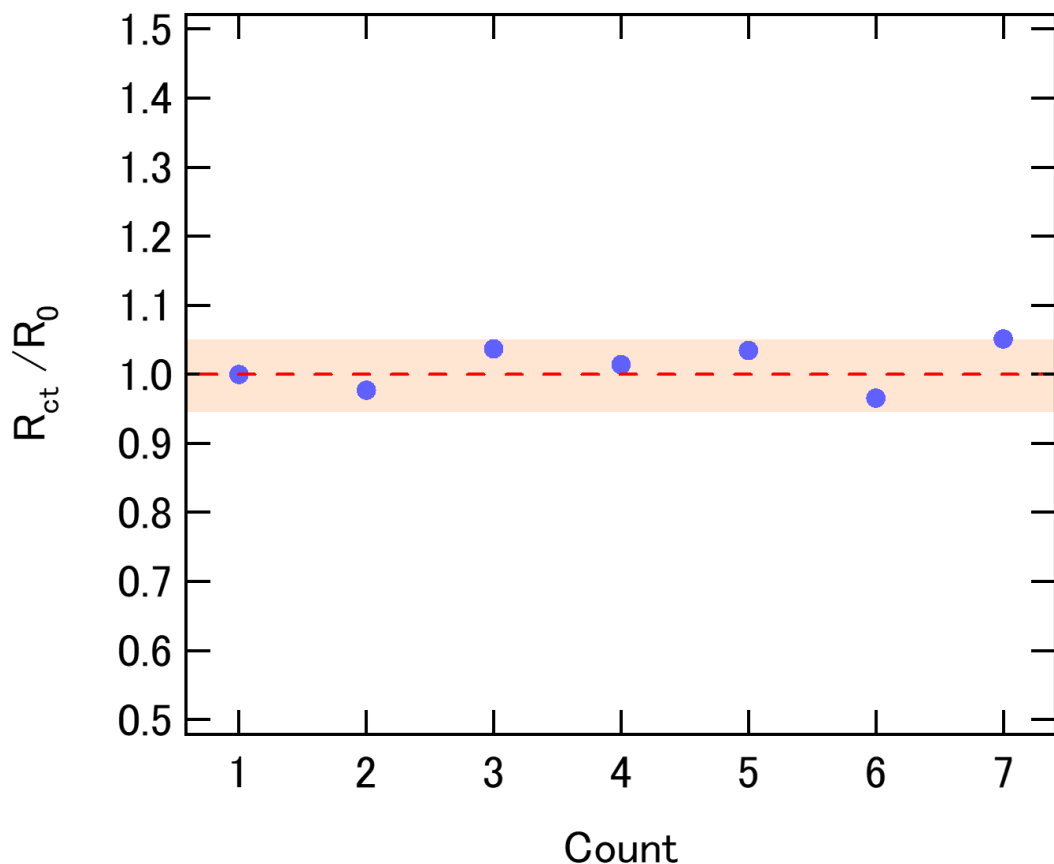


$L = 5 \text{ mm}$ $W = 2 \text{ mm}$

酸化CNTは均一に成膜された

酸化CNT成膜ろ紙電極の性質 電極の耐久性評価

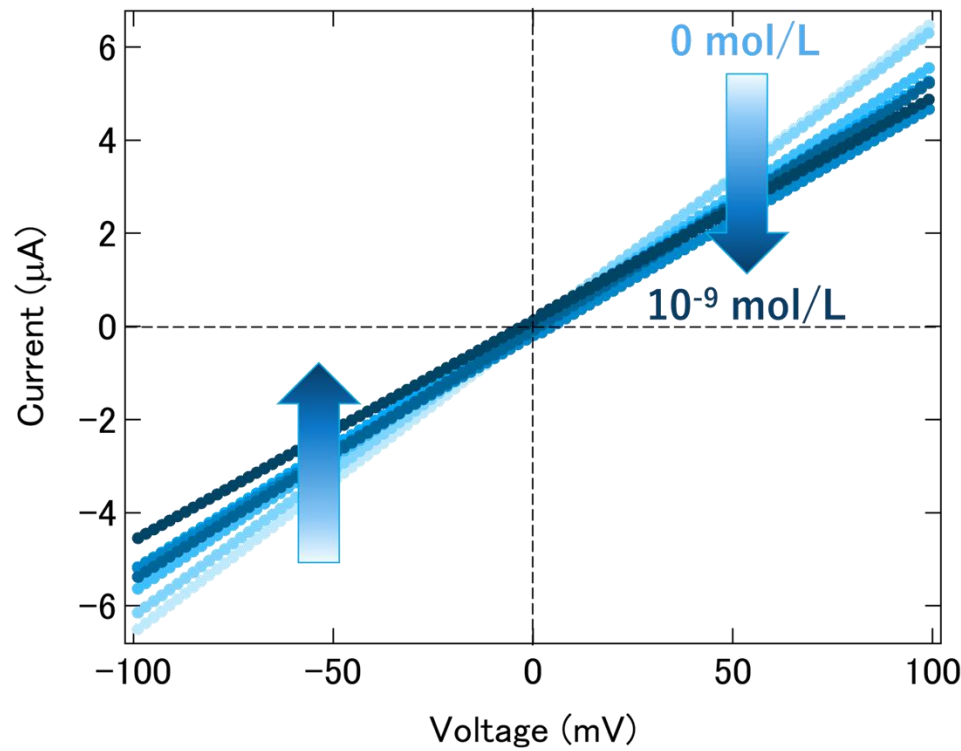
- 浸漬 ⇔ 測定 の繰り返しに対する耐久性を評価



表面の電荷移動抵抗に変化がないことが確認された

3. バイオセンサへの応用

直流電気抵抗のコルチゾール依存性

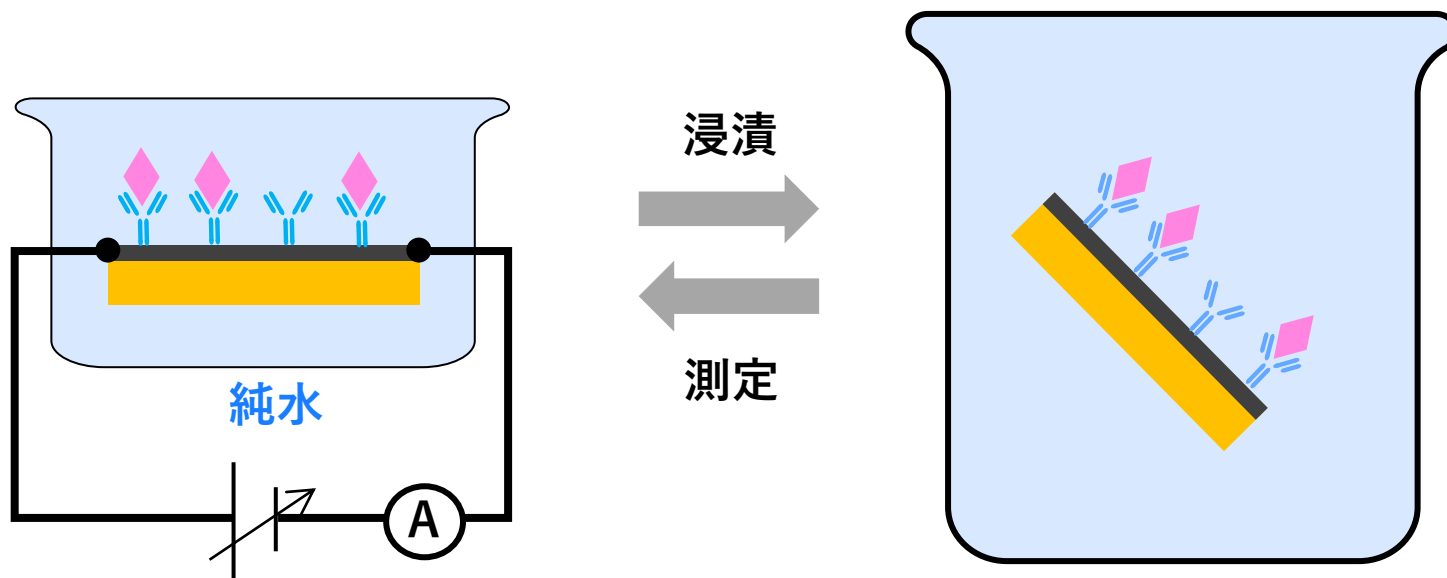


電気抵抗測定でバイオセンシング可能？

ろ紙電極コルチゾールセンサ 化学抵抗バイオセンサ

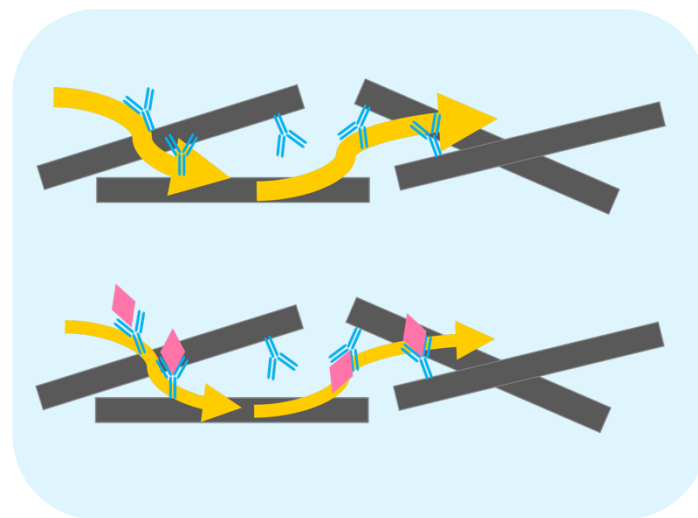
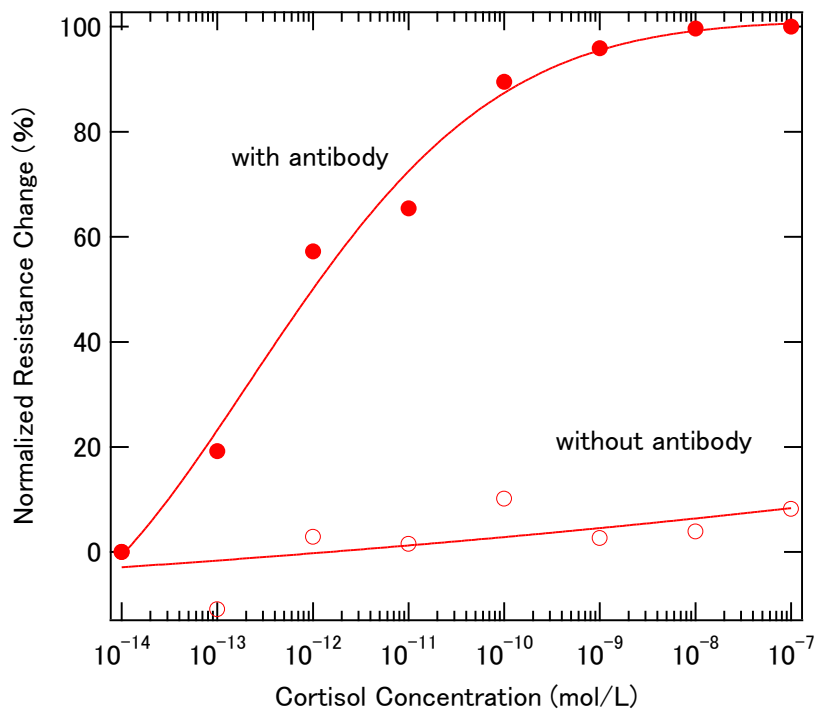
純水中で測定

(CNT量：10 μg , 20 μg , 25 μg , 50 μg , 100 μg , 200 μg)



コルチゾール水溶液
(0, 10^{-14} ~ 10^{-7}
mol/L)

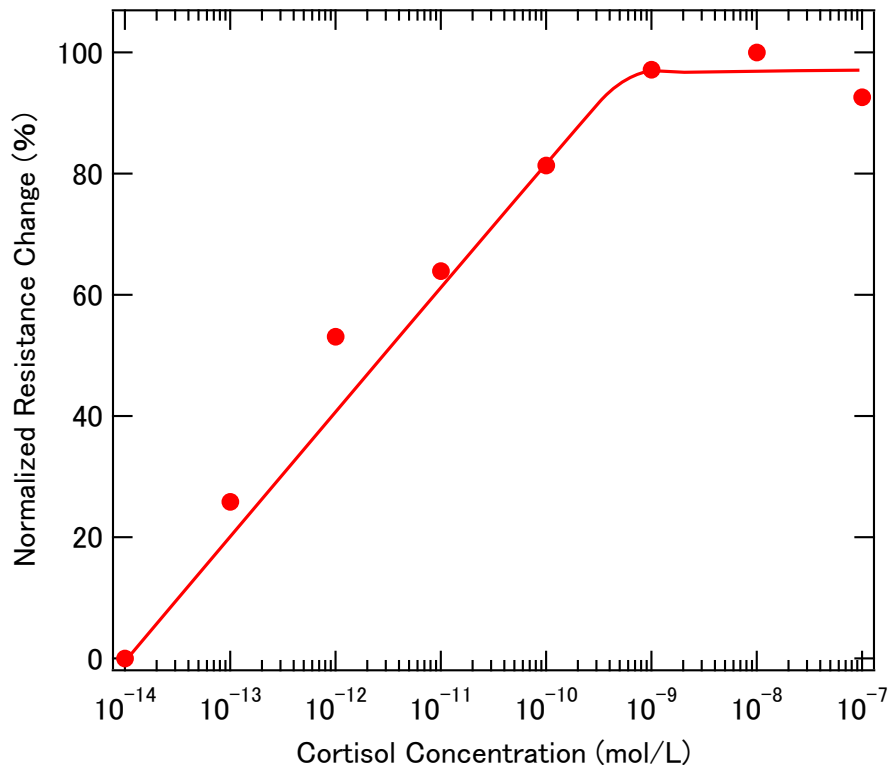
直流電気抵抗の濃度依存性



抗原の吸着によってキャリアのホッピング伝導を阻害

↓
抵抗値が上昇

差分信号(抗体あり-抗体なし)の濃度依存性



物理吸着成分を除去可能

- 吸引ろ過法によりox-CNTをろ紙上に均一に堆積できる
- ox-CNT堆積膜は十分な耐久性を有する
- ox-CNT/ろ紙をカットし，抗体を固定化することにより抵抗測定型バイオセンサとして振る舞う
- 差分信号をとることで非特異吸着成分を除去できる

従来技術とその問題点

● 従来技術

- ・ **光学イムノアッセイ** (ELISA等)
装置・工程が多く、現場導入の負担が大
- ・ **電気化学 (EIS/電流測定)**
データ解析が必要で運用が複雑になりがち

● 主な問題点

- ・ **装置が高価／測定・操作が煩雑**
→ 大規模・日常利用に展開しにくい
- ・ **センサチップ間のばらつき**
→ 量産・QCで壁になりやすい
- ・ **実サンプルの干渉・非特異吸着**
→ 追加の工夫が必要

結論：『低コスト・簡便・再現性』を同時に満たす新しいセンシング方式が必要

● 本技術のコア

- ・ox-CNTをろ紙上に堆積した繊維状の導電層（安価・加工容易）
- ・表面官能基（COOH等）を活用し、抗体/酵素を化学固定化できる
- ・計測は“直流抵抗”の変化：読み取り系を小型・低価格化しやすい

実証レンジ（例：コルチゾール）

10^{-13} – 10^{-9} M

（抗原濃度依存の抵抗変化を確認）

● 従来法との比較（要点）

- ・EIS：高感度だが装置・解析が必要
抵抗法：判定フローが単純
- ・差分信号処理により、物理吸着等を除去できる
- ・材料/加工：高価な基板（基板用ガラス）・加工（リソグラフィ・ダイシング）
→ 紙基板：低コスト・使い捨てに適合

ポイント：“材料×構造×計測を一体設計した“抵抗型プラットフォーム

想定される用途

● 唾液検査

- ・ コルチゾール
- ・ メラトニン

・ ストレス可視化／ウェルネス

・ 体内時計の確認
→ 眠気によるケアレス防止・不眠原因の解明

・ 自己採取・非侵襲検査に適合。小型リーダーで定量・トレンド管理

● 感染症・抗原検知

・ 簡便スクリーニング
大規模検査（低コスト）

・ 現場導入（PoC）を想定

● 環境モニタリング 食品モニタリング

・ 環境ホルモン・冷水
細菌（河川等）のモニタリング

・ 食品中の大腸菌等の
検出

製品イメージ：使い捨てセンサチップ（紙）＋小型抵抗リーダー → スマホ/IoT連携へ拡張

実用化に向けた課題

● 量産プロセス/QC

- ・堆積量・膜厚・シート
- ・抵抗の管理
- ・ロット間再現性の確立

● ホルダー/カートリッジ

- ・測定部の露出制御
- ・変形・剥離を抑える
治具設計

● 固定化条件最適化

- ・抗体/酵素の密度・配向
- ・ブロッキングで非特異
吸着低減

● 実サンプル評価

- ・唾液等のマトリクスの影響
- ・前処理（希釈/ろ過等）の
検討

● 保存安定性

- ・乾燥防止・包装設計
- ・温度耐性・有効期限

● 読み取り系実装

- ・低価格リーダ・温湿度
補正
- ・判定アルゴリズム/
ノイズ対策

共同研究テーマ：量産/QC・実サンプル・デバイス化を重点に、実用化まで一気通貫で検討

企業への期待

● 共同研究ロードマップ（例）

- ① 条件最適化：CNT堆積量、チップ寸法
- ② 量産試作：堆積・加工プロセス、QC指標、歩留まり評価
- ③ カートリッジ化：流路/滴下量/反応時間の標準化、操作性設計
- ④ 安価な測定機器の開発：干渉・再現性・安定性の評価（用途別）

● 企業側に期待する強み

- ・ 試薬/抗体選定・評価系構築
- ・ デバイス設計・量産/品質保証
- ・ 使いやすいカートリッジ設計

● 当方が提供できるもの

- ・ センサチップ試作・固定化プロトコル
- ・ 基礎データ（抵抗変化・濃度依存等）
- ・ デバイス展開できる設計指針

共同研究先を募集：用途・量産・デバイス化の観点で、最短でのPoCを共同で実施

● 知財情報

発明の名称：「生体分子検出器の製造方法および生体分子検出器、ならびに生体分子の検出方法」

出願番号：特願2025-006464

出願人：東京海洋大学

発明者：大貫 等、柴田恭幸、川原健慎

● お問い合わせ先

東京海洋大学
海の研究戦略マネジメント機構

Tel : 03-5463-0859

e-mail: mss-soudan@m.kaiyodai.ac.jp