

セルロースを用いた 印刷型フレキシブル湿度センサの開発

山形大学

有機エレクトロニクス研究センター

プロジェクト研究員 吉田 綾子

2022年08月02日

本日の紹介内容

背景(センサの重要性と印刷技術)

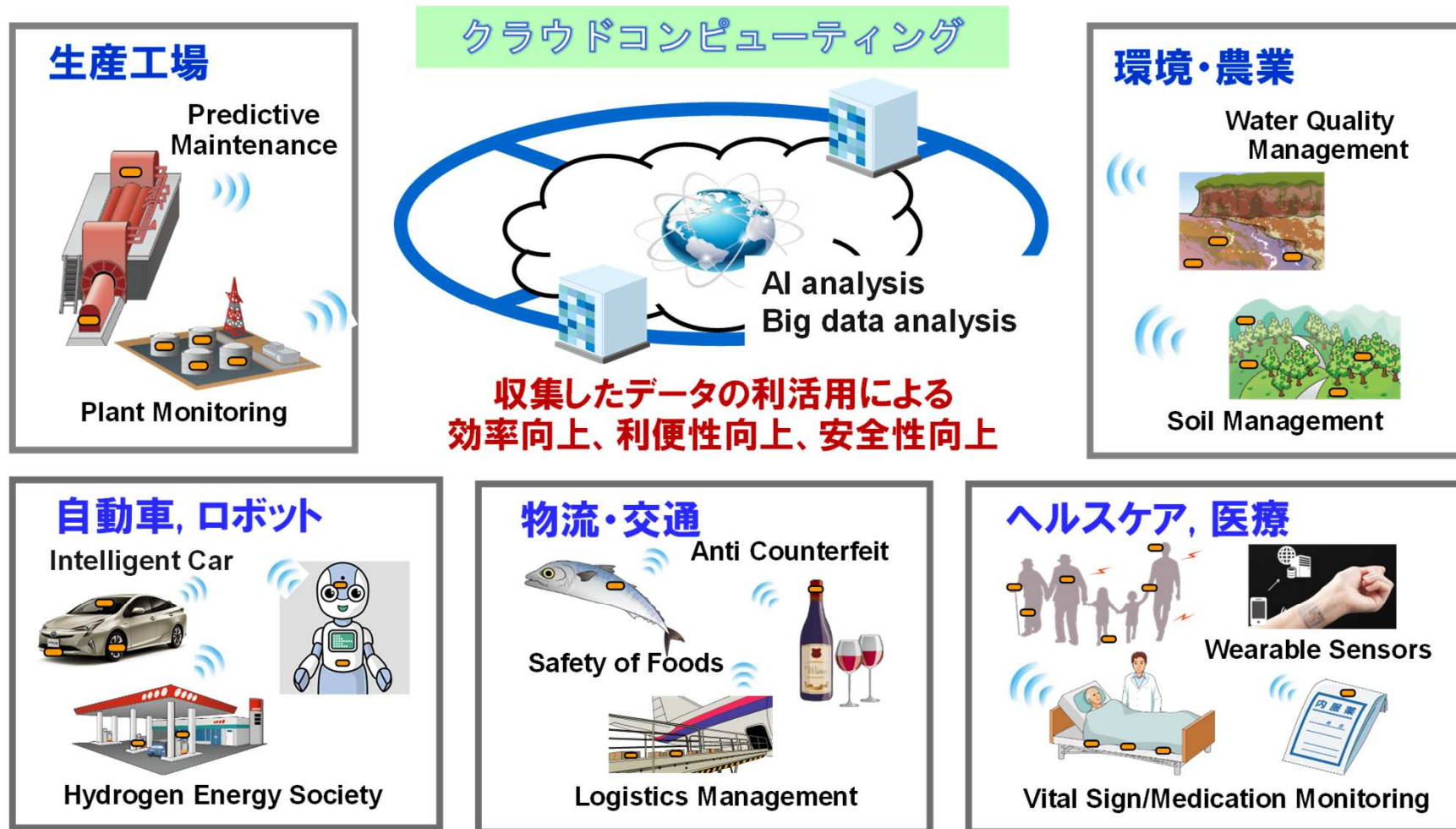
特許の紹介(湿度センサ)

背景(センサの重要性和印刷技術)

特許の紹介(湿度センサ)

IoT(Internet of Things)社会

Society5.0 : サイバー空間とフィジカル空間の融合で社会課題を克服
⇒ IoT社会 : あらゆるモノ・人をクラウドネットワークに接続

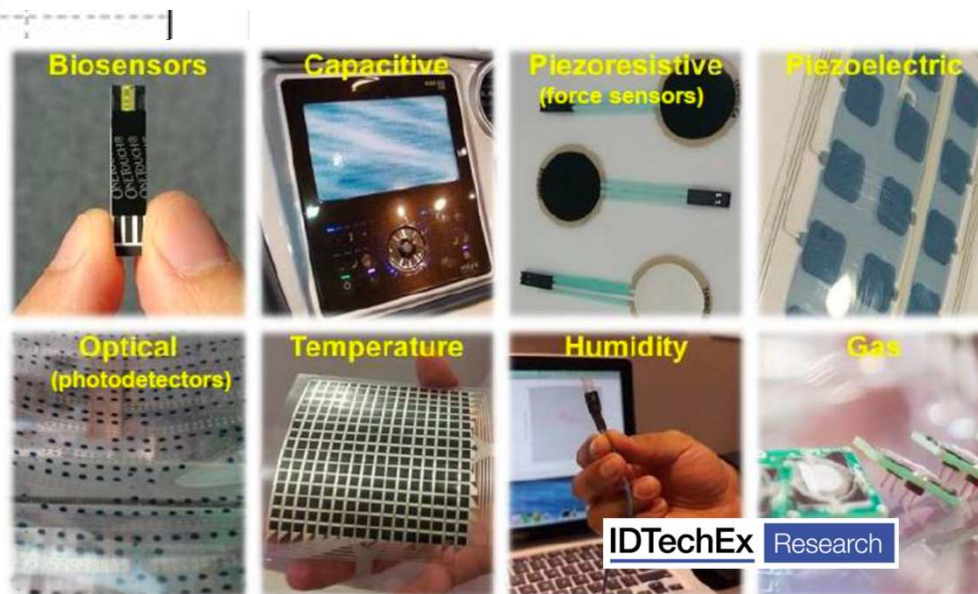


4

— : センサ



年間1兆個の大規模センサーネットワークを使用する社会が到来し、革命的な社会変革が起こる。これら膨大なセンサは高性能であることと、低コスト、小型、省電力であることが要求される。

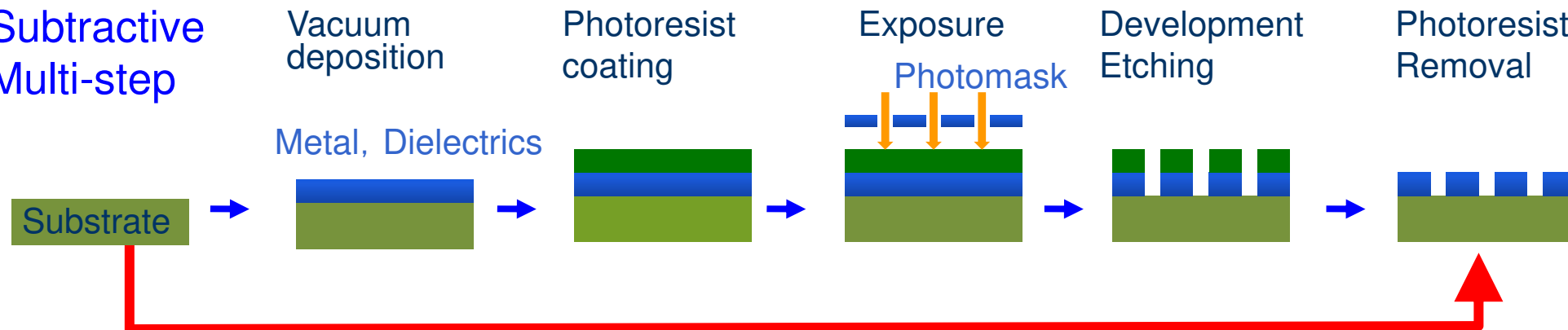


センサ市場予測
9兆円(2025年)

印刷プロセスの特徴

フォトリソグラフィープロセス

- Subtractive
- Multi-step



Vacuum Deposition & Patterning

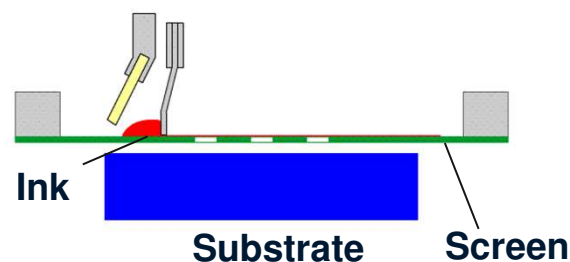
印刷プロセス

- Additive Process

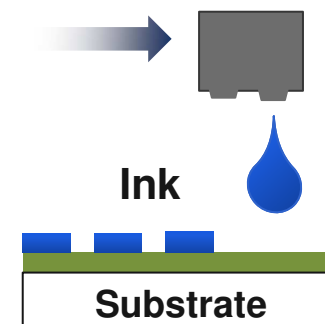
印刷技術の特長

- 製造設備投資額を低減できる
- 材料使用効率が高い
- 製造プロセスが省エネルギー
- 大面積，低コスト生産
- 新しいデバイスの創出
フレキシブル，ウェアラブル

スクリーン印刷



インクジェット



有機デバイスとは

シリコンや金属からなる

“硬い”無機材料からなるデバイスに対し、

比較的**“柔らかい”**有機材料からなるデバイスをいう

特徴

- ・フレキシブル性（軽い・薄い・曲げられる・伸びる）
- ・印刷法での作製が容易（低コストな簡易プロセス）
- ・材料・機能の多様性

■ 有機デバイス実用化事例

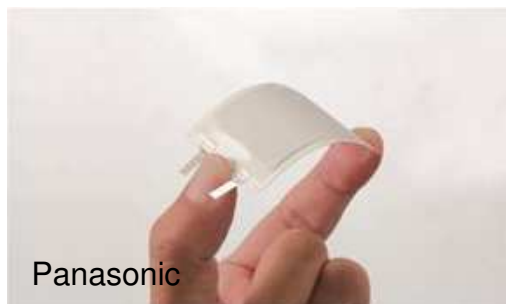
有機ELディスプレイ

Samsung



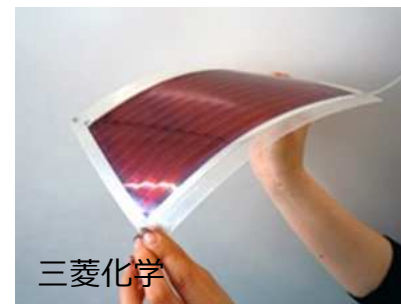
ポリマーリチウム電池

Panasonic



有機太陽電池

三菱化学



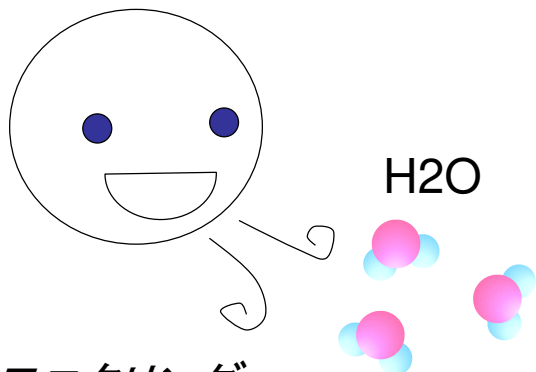
本日の紹介内容

背景(センサの重要性と印刷技術)

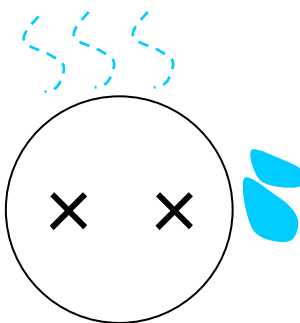
特許の紹介(湿度センサ)

湿度センサの適用分野

ヘルスケア



呼吸モニタリング

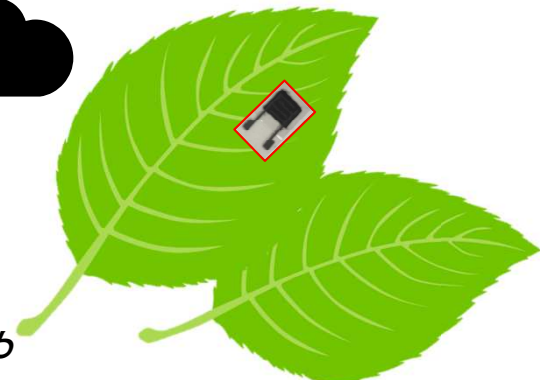


発汗モニタリング



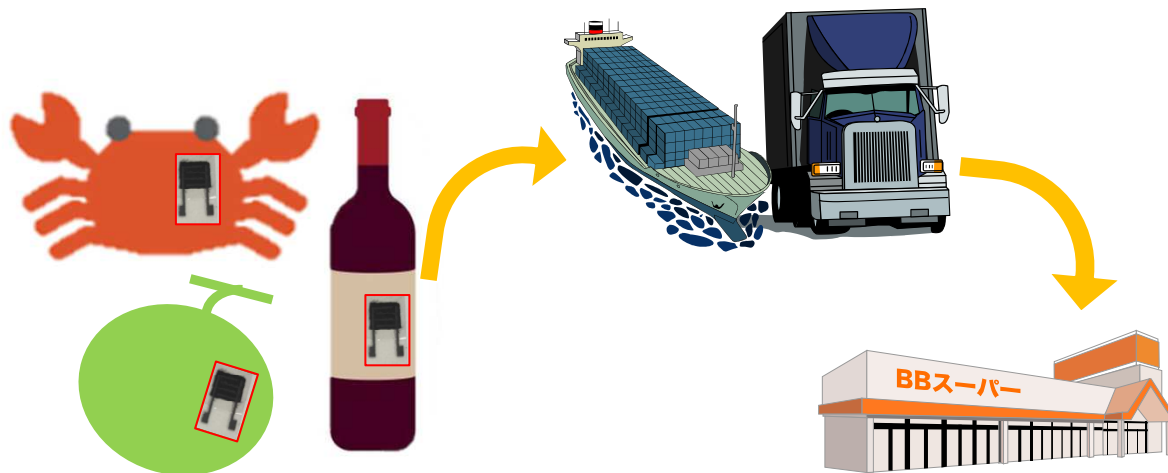
おむつモニタリング

農業

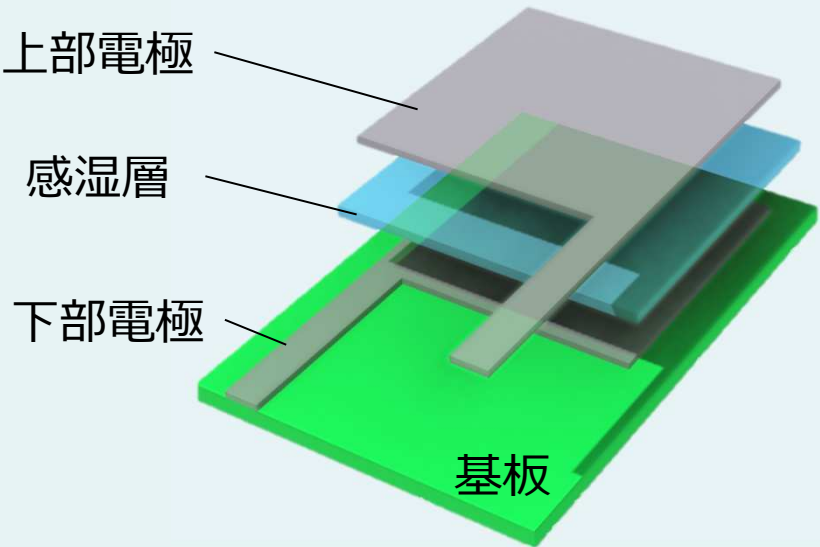
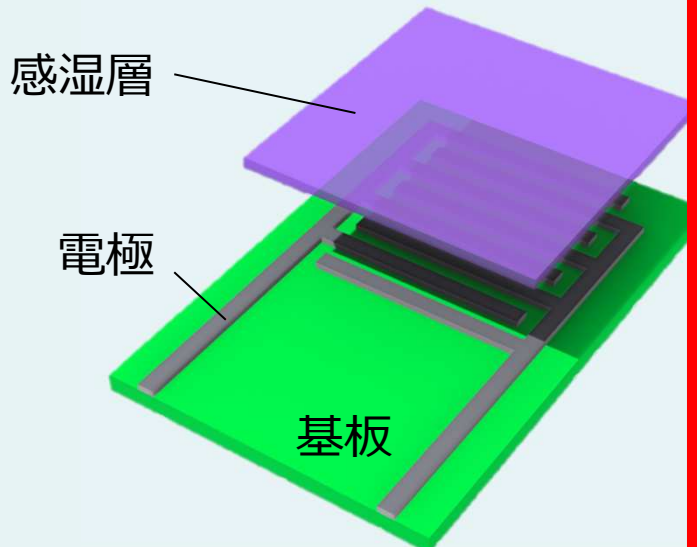


天候や
植物の蒸散のモニタリング

物流



湿度センサの種類

	静電容量変化型	抵抗変化型
デバイス構成		
原理	静電容量の変化を利用	抵抗値の変化を利用
回路	静電容量の変化が少ない為 比較的複雑でハイコスト	比較的簡単で安価
層構成	3層構成必要	2層でOKなため安価
その他特徴	定期的な校正必要 比較的応答速度早い	定期的な校正必要なし 応答速度に課題

本提案特許湿度センサ原理

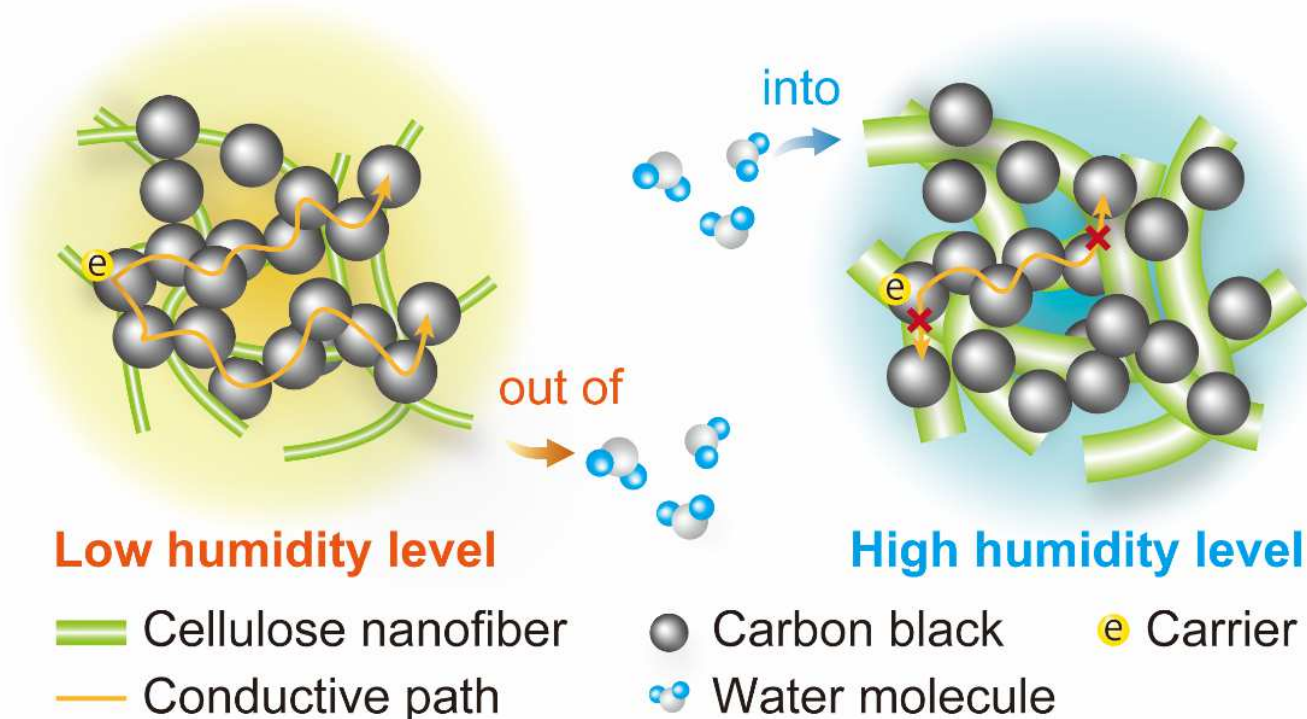
湿度感知材料
セルロースナノファイバー
(CNF)

+

導電材料
カーボン
(CB)

+

印刷性向上
界面活性剤
(TX-100)



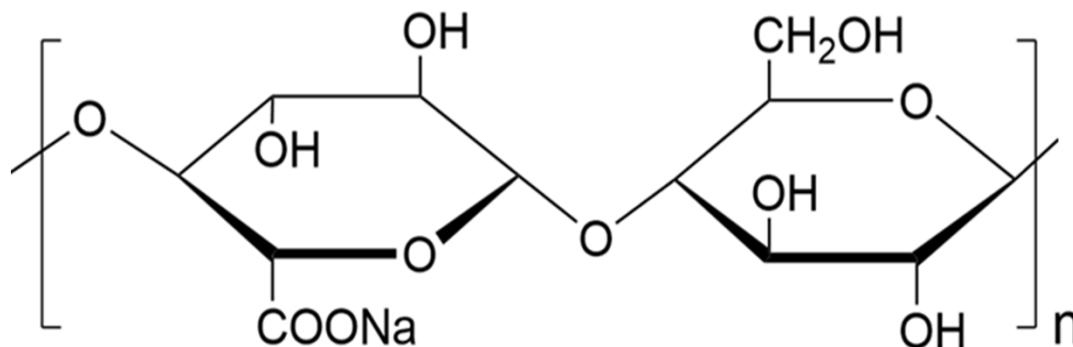
湿度変化によりCNF体積が変化 ➡ CBパスが増減 ➡ 抵抗値変化

ACS Appl. Mater. Interfaces, 14, 4, 5721 (2022)

Carbon Trends, 7, 100166-100172 (2022)

セルロースナノファイバー

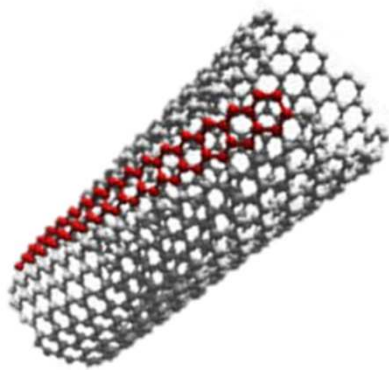
[1]



- 木材パルプなどのセルロース原料を微細化。
- 資源として豊富な材料。
- 生分解性であり、自然由来の環境にやさしい材料。

[1] 第一工業製薬HP

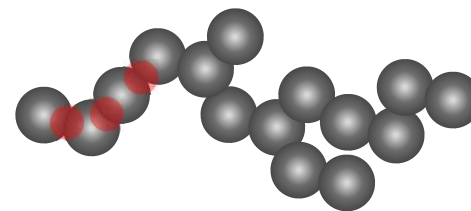
従来の湿度センサ



カーボンナノチューブ(CNT)

- ・高価
- ・インク化に複雑なプロセス必要

本提案



カーボンブラック(CB)

- ・安価
- ・インク化が簡単

安価で豊富

■ インク作製



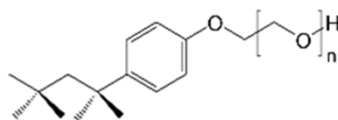
CB
(カーボンブラック)

+



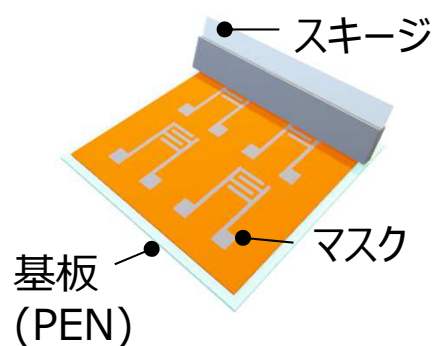
CNF
(セルロースナノファイバー)

界面活性剤
TritonX-100

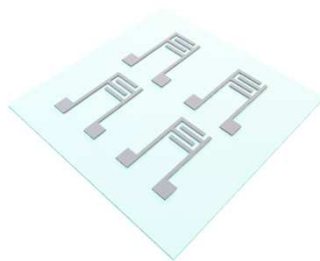


機能性インク

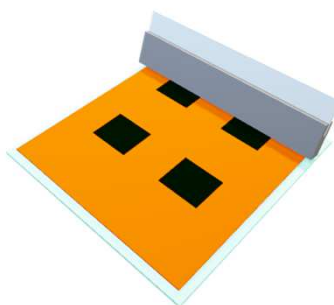
■ デバイス作製 (ステンシル印刷)



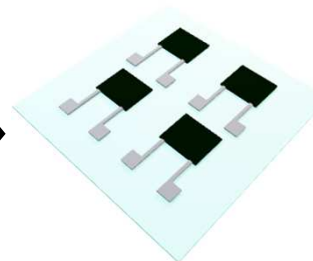
Ag電極印刷



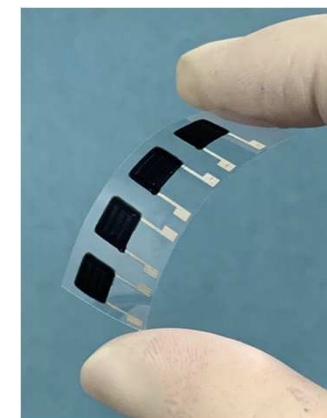
130 °C 焼成



感湿層印刷



120 °C 焼成

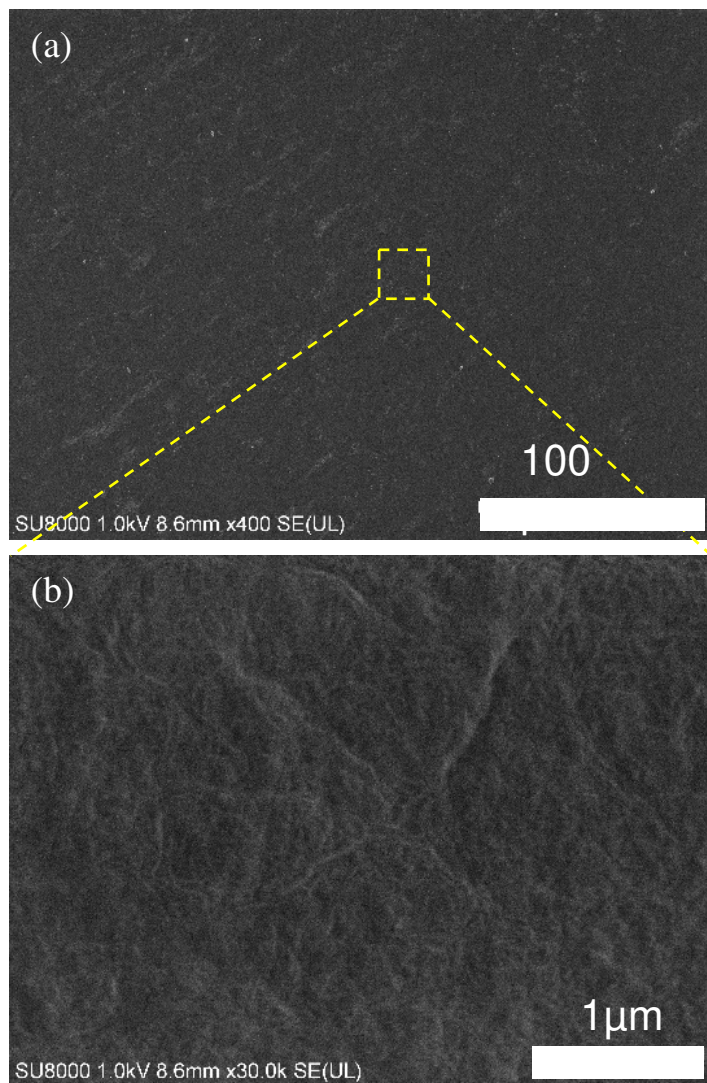


湿度センサ

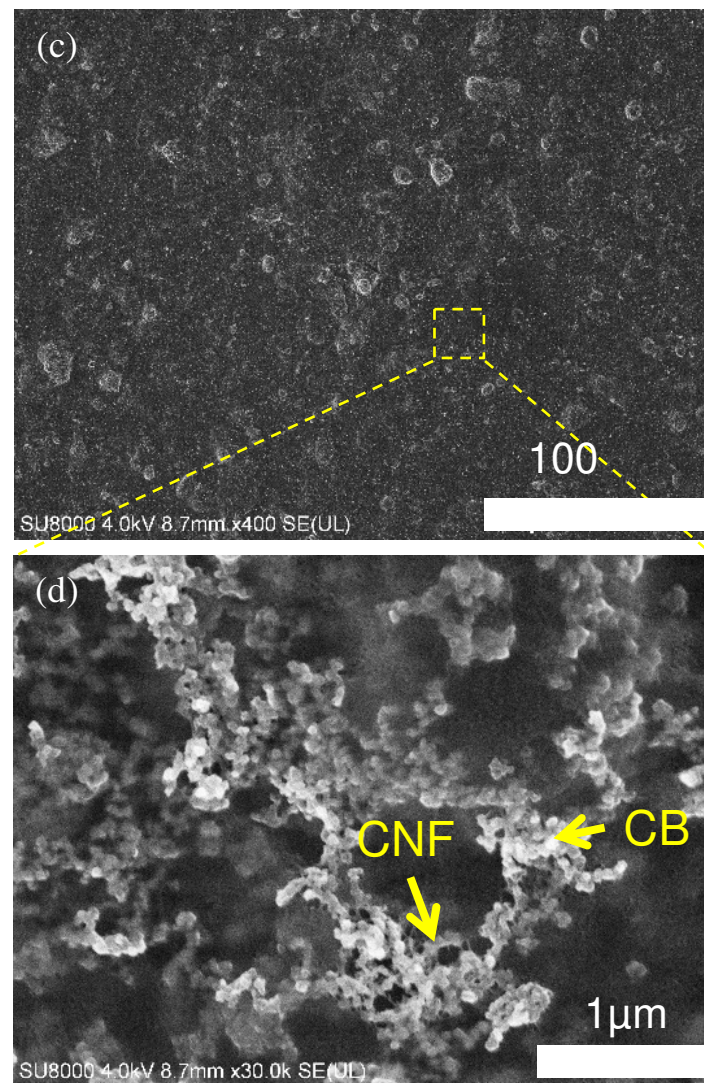
材料を混ぜて、印刷し、焼成するだけの、非常にシンプルなプロセス

感湿層のモフォロジー

CNF



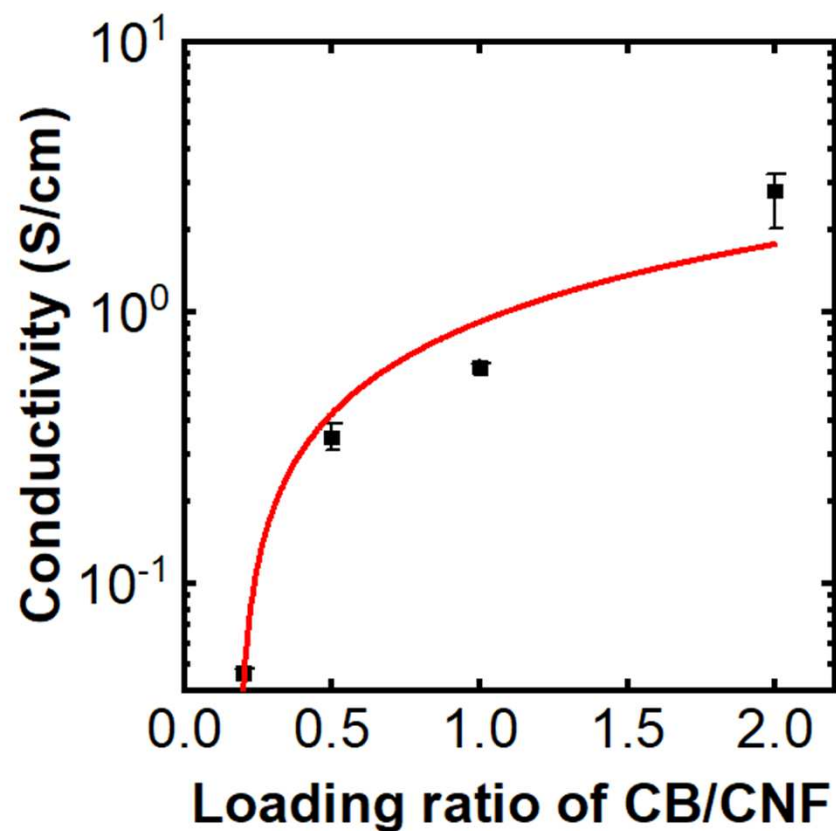
CB/CNF: 0.2/1.0



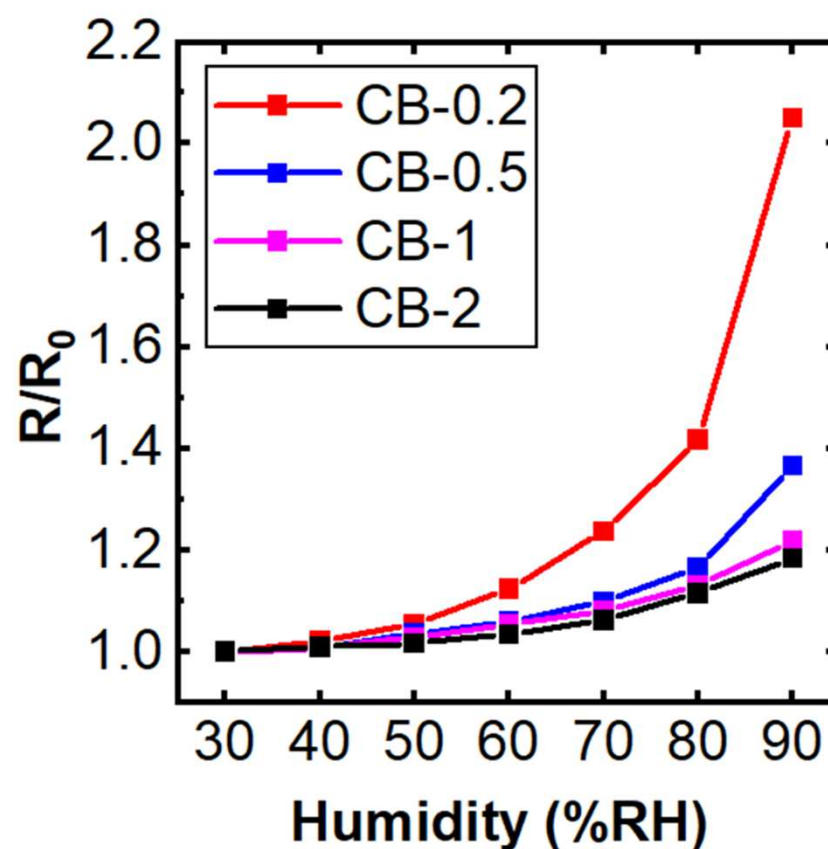
CBの添加量による特性

TX:0.5

導電率変化



センシング特性変化

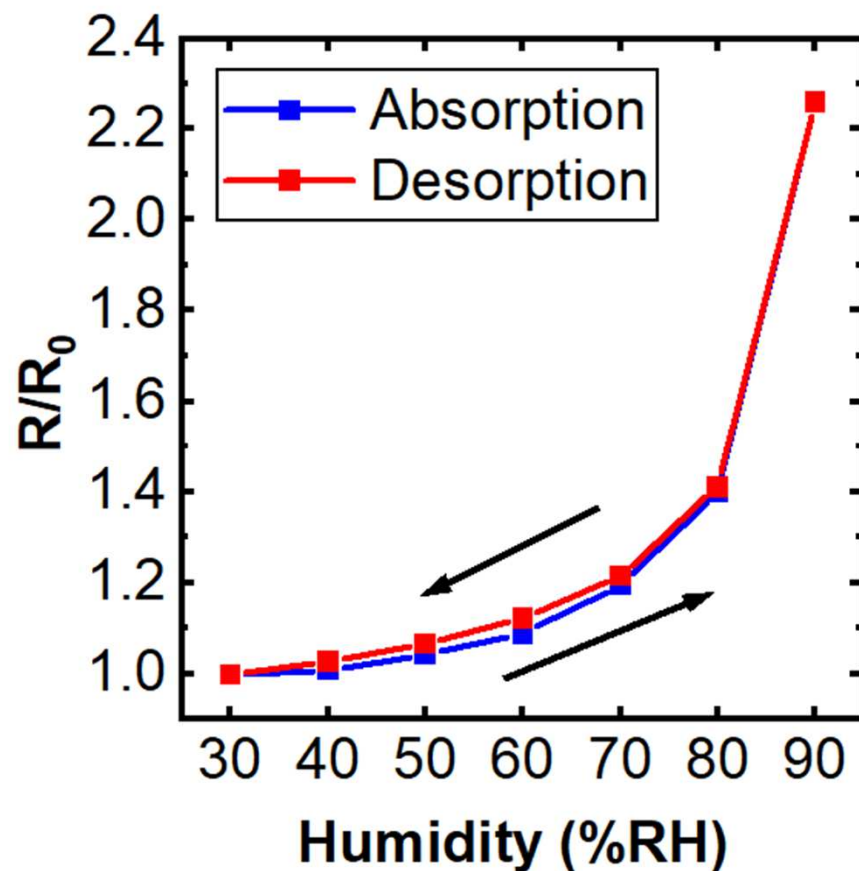


CB/CNF=0.2(CB-0.2)で最大感度 ($\Delta R/R$) 120%

ヒステリシス特性と応答速度

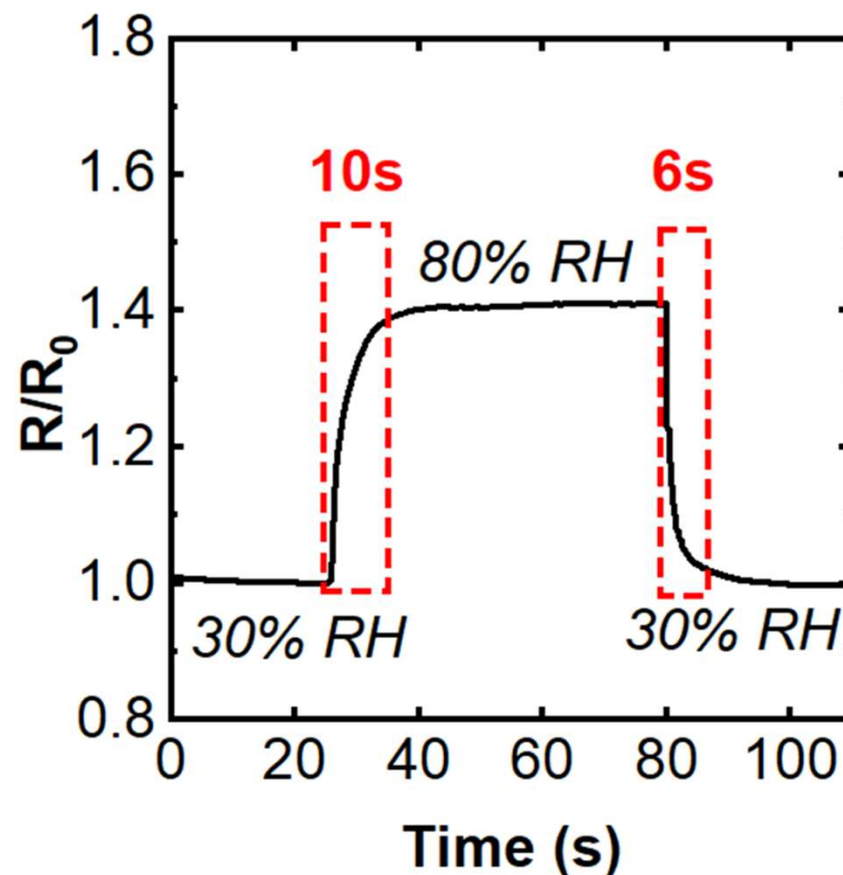
CNF:CB:TX=1:0.2:0.5

ヒステリシス



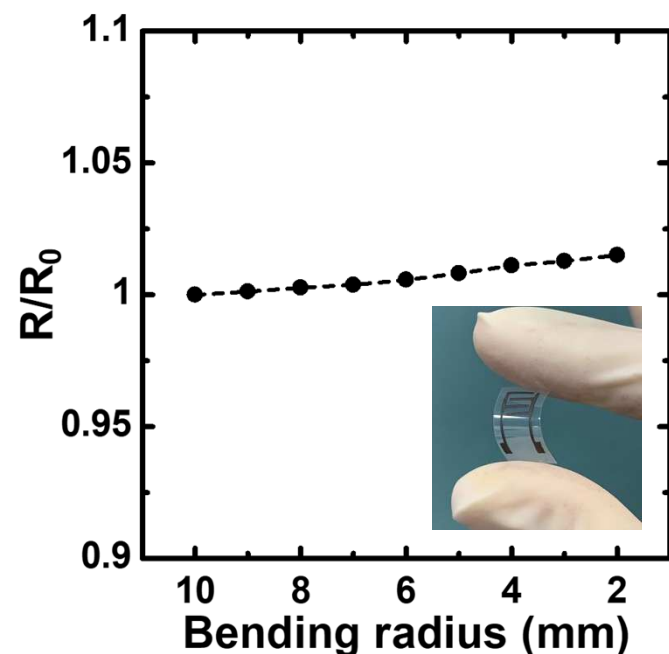
ヒステリシスは非常に小さい

応答速度



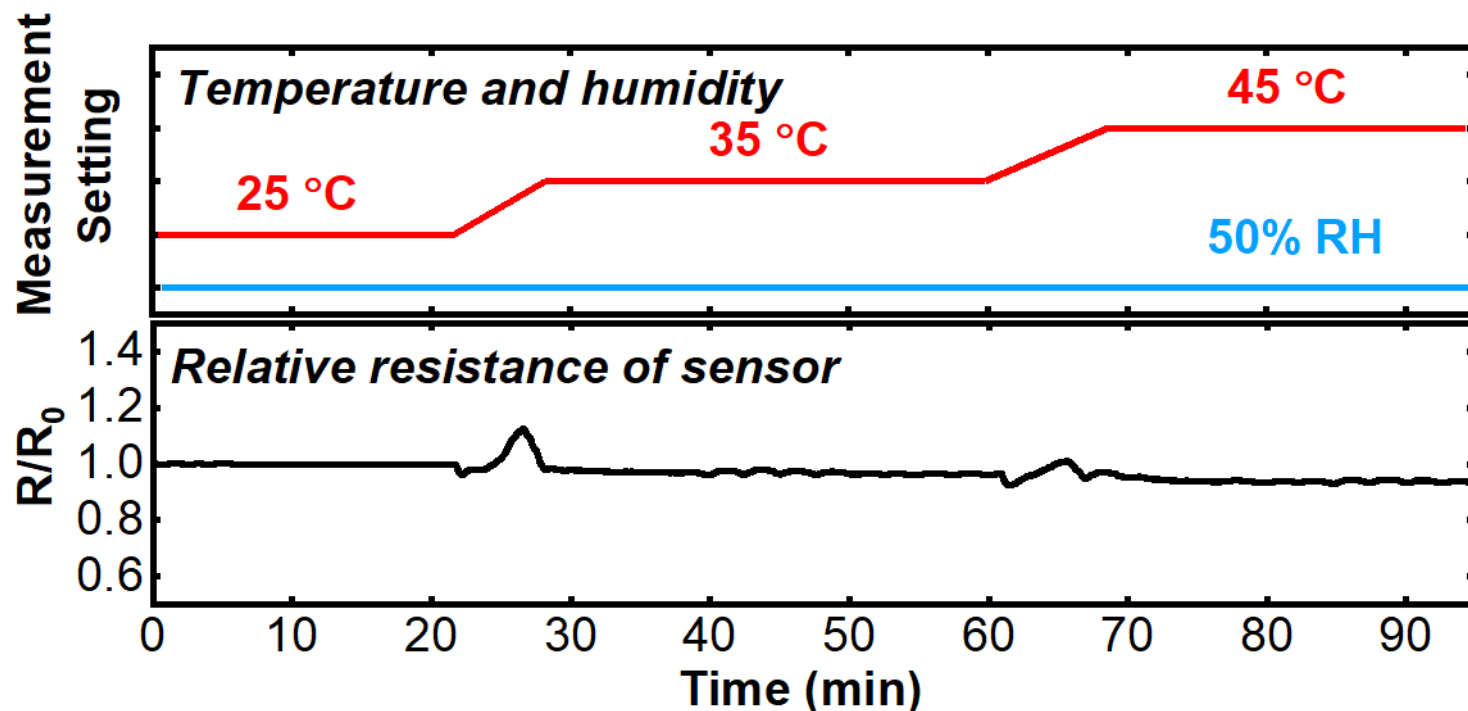
応答/回復ともに10秒以下

フレキシブル性



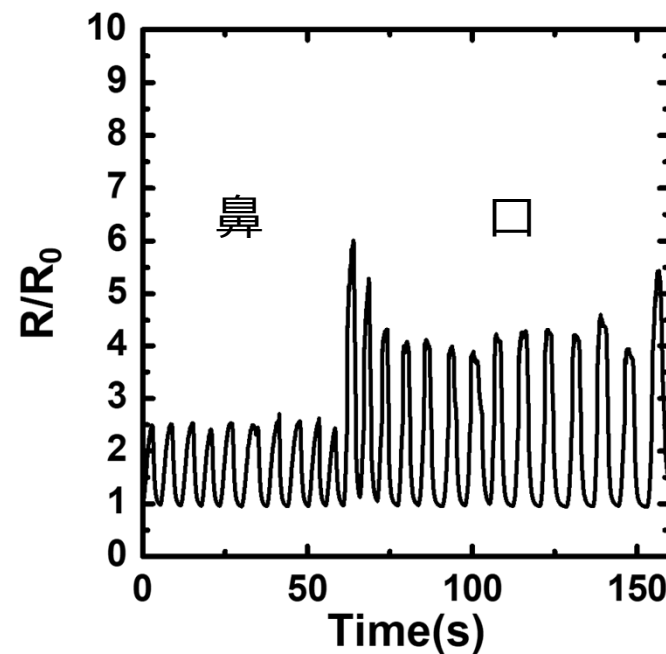
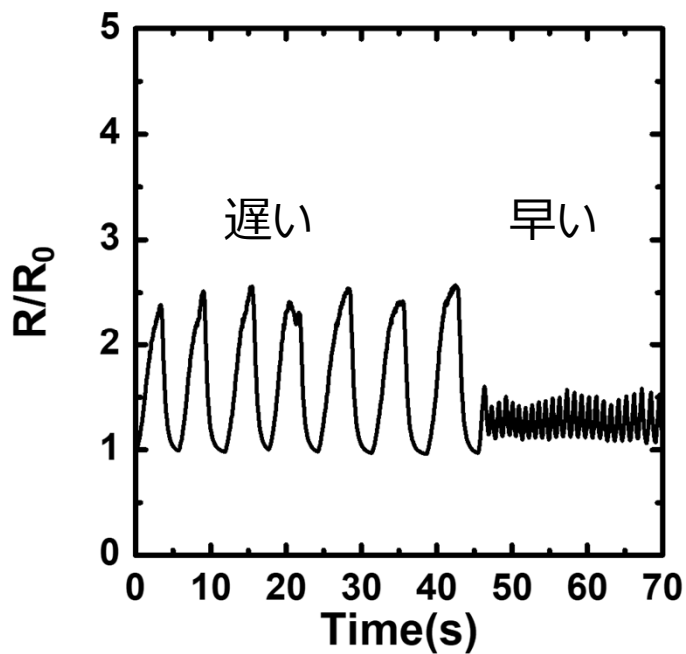
曲げに対し安定

温度に対する安定性

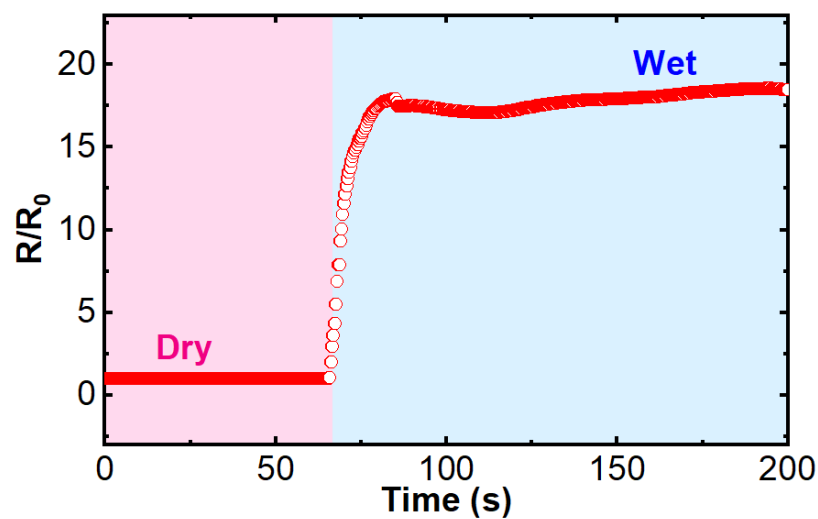


温度変化に対し安定

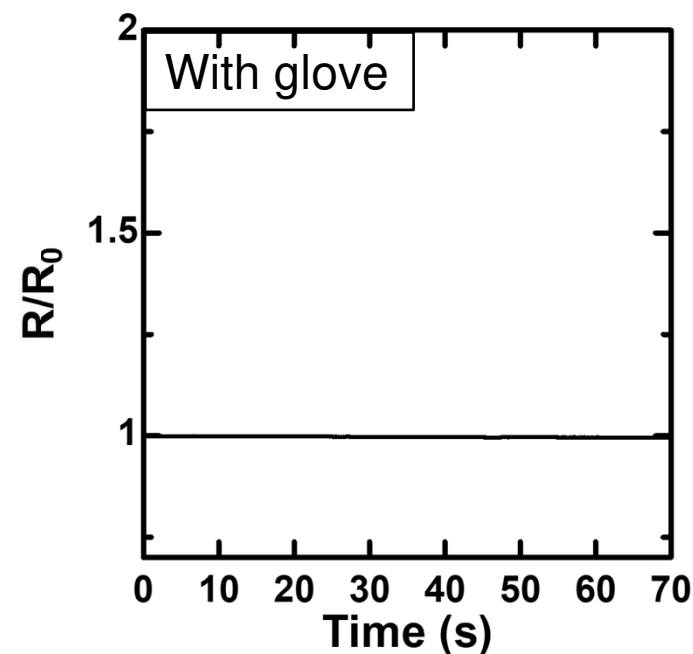
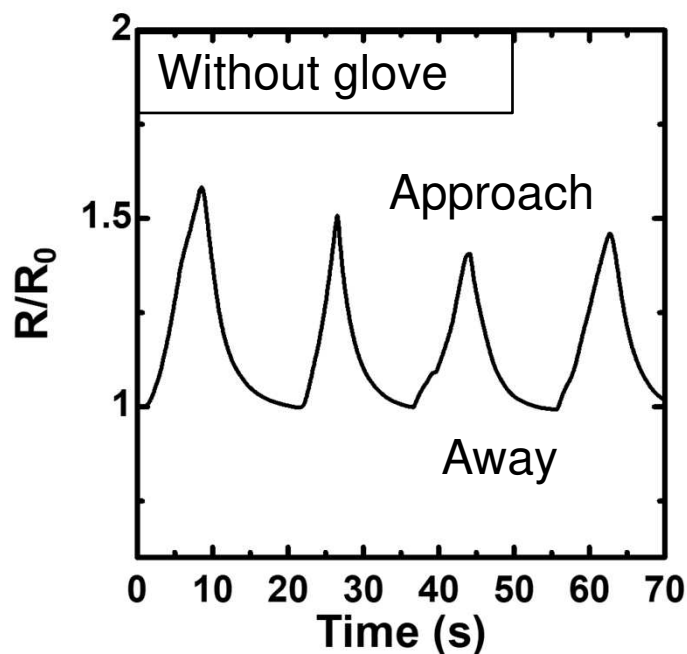
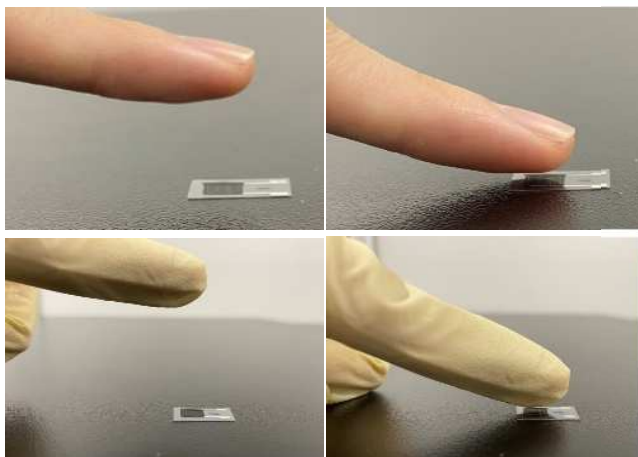
■呼吸モニタリング



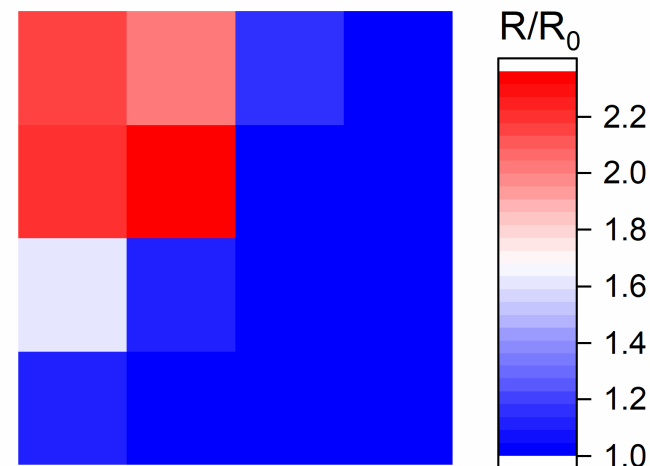
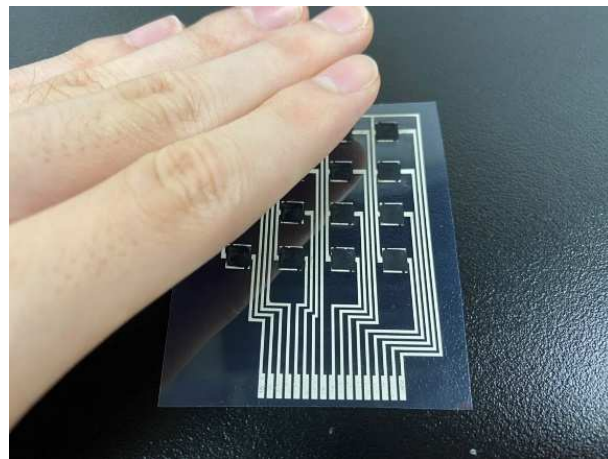
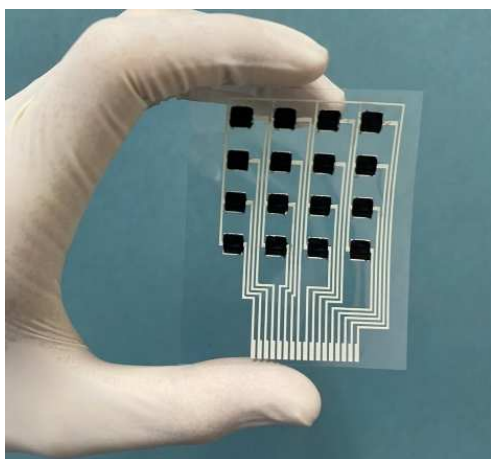
■おむつモニタリング



■ 近接センサ



■ 近接センサ(アレイ)



従来技術とその問題点

湿度センサは既に実用化されており、幅広い分野で使用されている技術であるが、その多くは静電容量変化型であり、

- ・回路的に複雑
 - ・定期的な校正が必要
- などの課題がある。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 本技術は、回路やデバイス構成がシンプルである抵抗変化型を採用し、材料として豊富に存在し自然由来であるセルローズとカーボンを用いることにより、低コストで環境にやさしい湿度センサを実現した。
- これまでに、導電材料のカーボンとしてカーボンナノチューブが報告されているが、カーボンブラックを用いることにより安価になるだけでなく、簡単に製造できることを見出した。
- 本技術を用いることで、材料を混ぜて印刷するだけの非常に簡単なプロセスで、高性能な湿度センサが実現できる。

想定される用途

- この湿度センサは優れた湿度検知特性も併せ持ち、30%RH～90%RHの範囲で感度よく安定的に湿度を検知できる。応答速度も10秒以下と早い。
- また、デバイスは軽くて薄くフレキシブル性もあるため、ウェアラブルデバイスに装着することも可能と思われる。

【想定される応用分野】

- ヘルスケア応用（ウェアラブルデバイス）
- 農業分野への応用
- 物流関係への応用
- インフラ監視への応用（漏水検知など）

実用化に向けた課題

- 低湿度側での感度が低い為、アプリケーションによっては改善が必要と考える。
- 現在は手づくりのため素子間のばらつきや、長期信頼性まで評価できていないが、大量生産に向けては確認していく必要があると考える。

企業への期待

- 本技術のセンサの特徴を活かした、これまでにない新しい応用方法の提案を期待する。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 抵抗体及び湿度センサー
- 出願番号 : 特願2021-088262
- 出願人 : 国立大学法人山形大学
- 発明者 : 吉田綾子、ワン イーフェイ、時任 静士

お問い合わせ先

山形大学
知的財産本部

T E L 0238-26-3034

F A X 0238-26-3633

e-mail yu-yu-chizai@jm.kj.yamagata-u.ac.jp