

発電するエレクトレット液体材料を開発し 自由変形微小変位センサに応用

物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター
フロンティア分子グループ

グループリーダー 中西 尚志

2025年7月31日

機能性液体材料

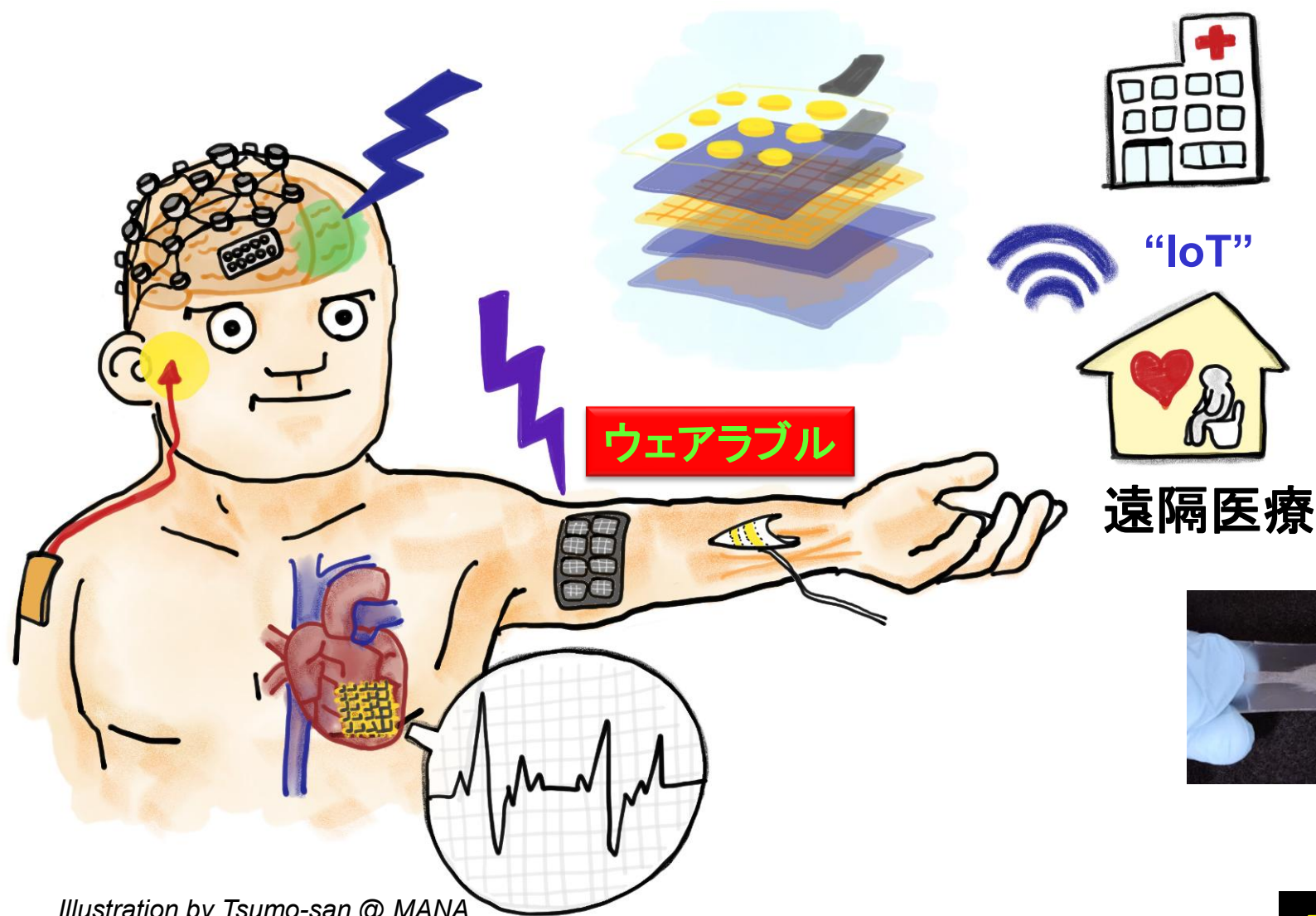
発光インク

蜂蜜ぐらいの柔らかさ

π 共役(色素)分子*を液体材料化する！

* π 共役分子材料としては、通常、組織配向膜として有機半導体、発光材料として開発.

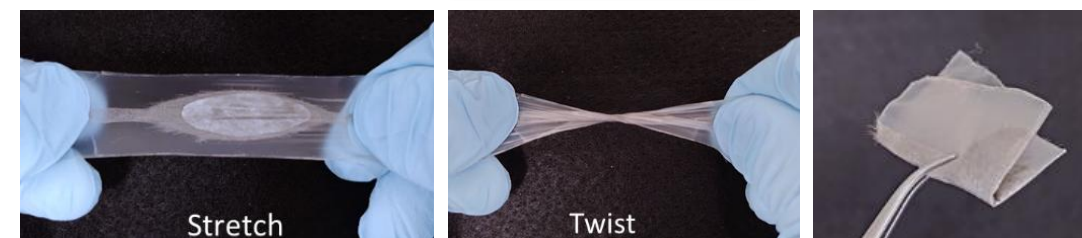
研究背景：ソフト（バイオ）エレクトロニクス



利点・特徴

- ・ 小型
- ・ 携帯可能
- ・ 柔軟性/伸縮性
- ・ 軽量
- ・ 発電機能
- ・ IoT対応

自由変形性

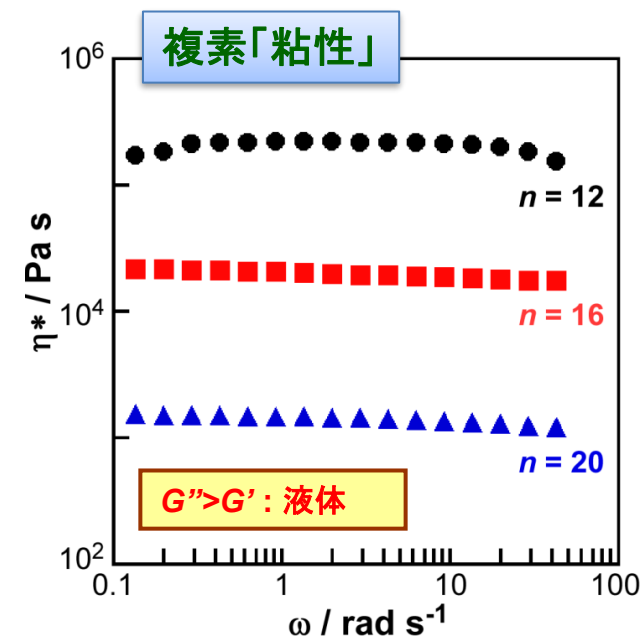
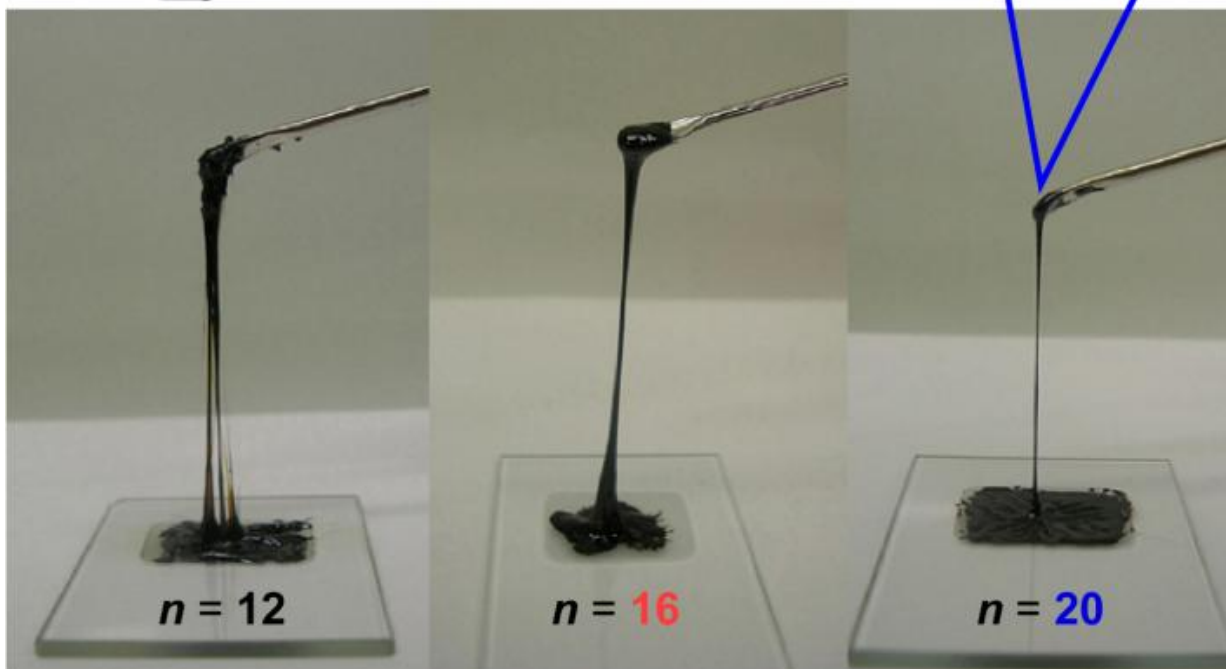
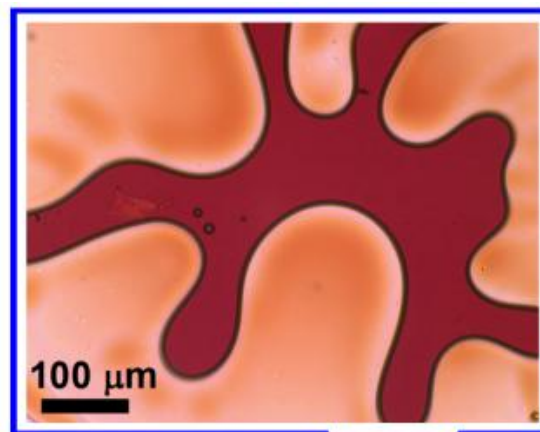
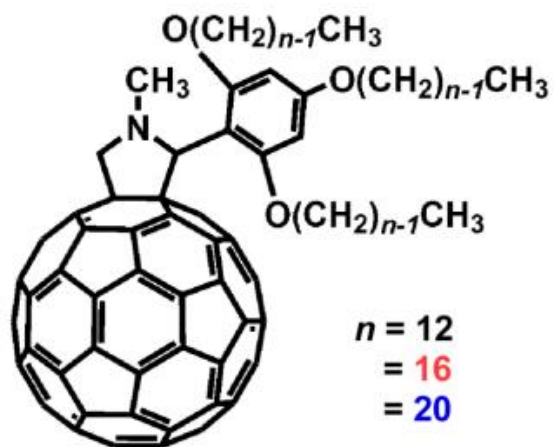


自由変形に追従でき、高信頼性な
機能性材料が必要

Illustration by Tsumo-san @ MANA

J. Mater. Chem. C, **2021**, 9, 10661 (Hot Article)
Mol. Syst. Des. Eng., **2022**, 7, 537 (Hot Article)

最初の発見：常温液体フラーレン



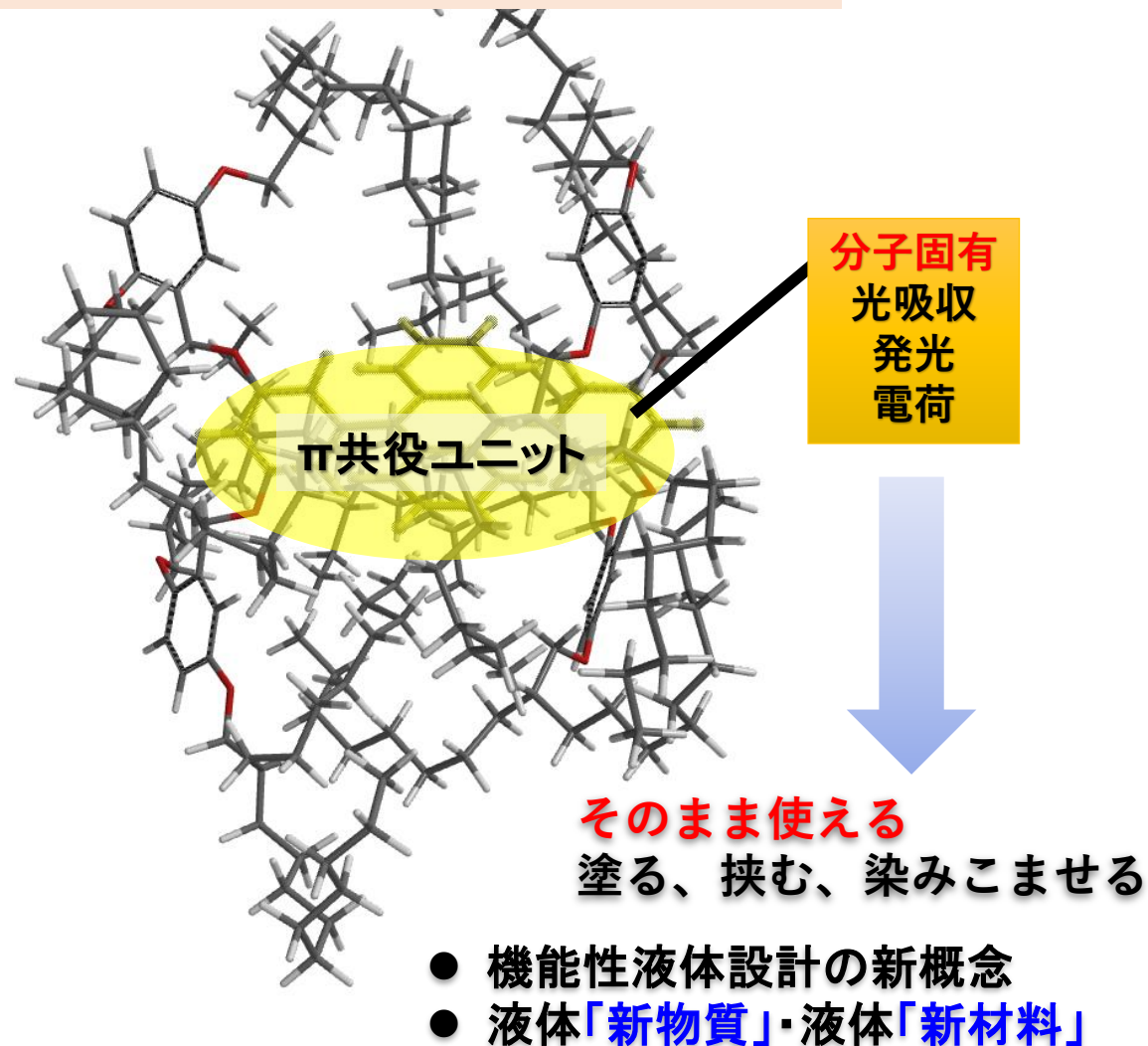
長いアルキル鎖
→ 低い粘性



$\text{C}_{60}\text{-C}_{60}$ ($\pi\text{-}\pi$) 相互作用
→ 効率良く抑制

J. Am. Chem. Soc. **2006**, 128, 10384; *Langmuir* **2013**, 29, 5337;
Acc. Chem. Res. **2019**, 52, 1834; *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2021**, 94, 1769.

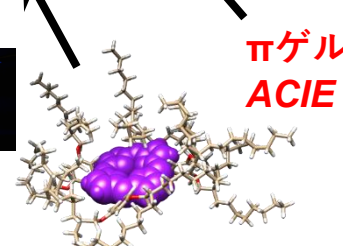
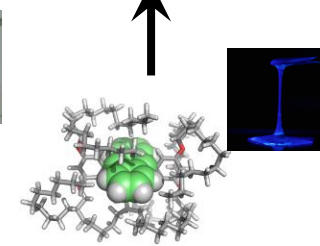
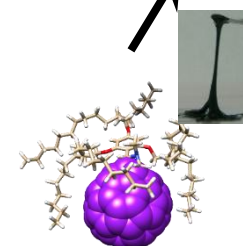
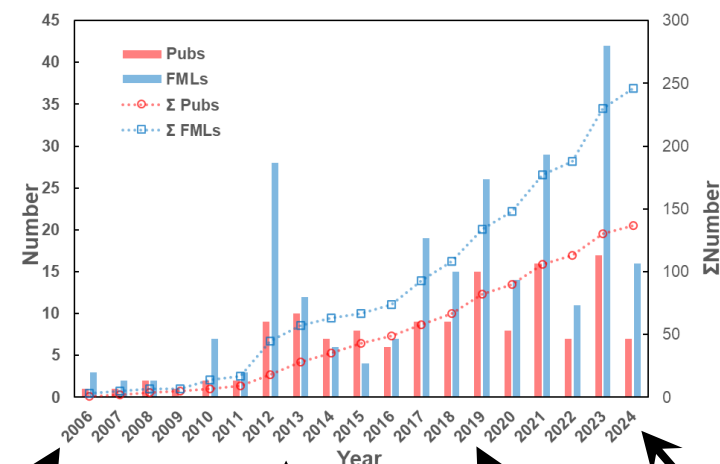
π 共役ユニットを分岐アルキル鎖で隔離
→ 常温液体化(溶媒不要、不揮発性)



✓ 既報液体分子数; 247種

✓ 発表論文数; 137報

(2024年7月現在)



(世界初) 液体エレクトレット

その他国内外の研究例

- ・発光性液体 → マイクロ流体LED (Mizuno et al., *Sci. Rep.*)
- ・N-ヘテロアセン液体 → 発光色制御 (Isoda et al., *Chem. Asian J.*)
- ・ポーラス液体 → ガス吸蔵 (James et al., *Nature*)

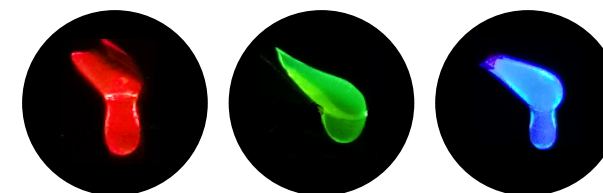
論文・液体数の約30~40%に貢献
機能性分子液体の研究分野を世界に先駆けて開拓、牽引している

光学機能性アルキル- π 液体

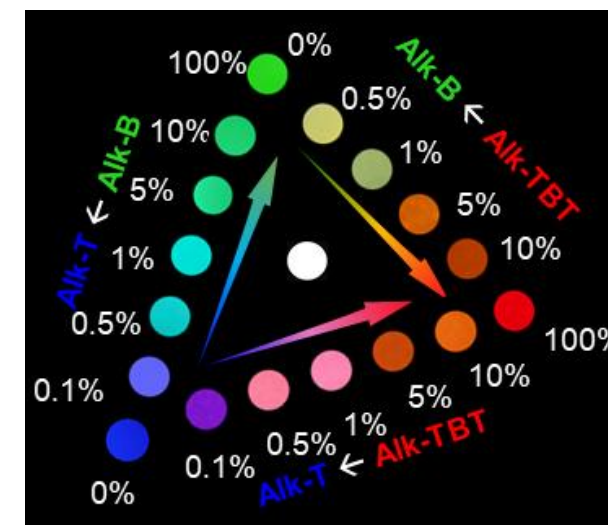
発光性液体 (π = アントラセン, ピレン, ナフタレン, カルバゾール, ポルフィリン, フタロシアニン, etc)

- : マルチ発光色制御
- : 光安定性
- : 動的局所会合
- : リン光性液体

Angew. Chem. Int. Ed., **2012**, 51, 3391.
Nature Commun., **2013**, 4, 1969.
Sci. Rep., **2017**, 7, 3416.
PCCP, **2018**, 20, 2970.
Chem. Sci., **2018**, 9, 6774.
J. Mater. Chem. C, **2019**, 7, 2577.
Angew. Chem. Int. Ed., **2019**, 58, 2284.
Chem. Eur. J., **2023**, 29, e202203775.
Chem. Eur. J., **2025**, 31, e202500739.
Angew. Chem. Int. Ed., **2019**, 58, 9581.
Mater. Horiz., **2020**, 7, 1421.
Polym. J., **2023**, 55, 529.

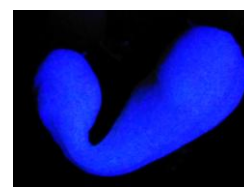
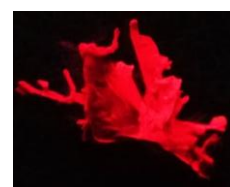
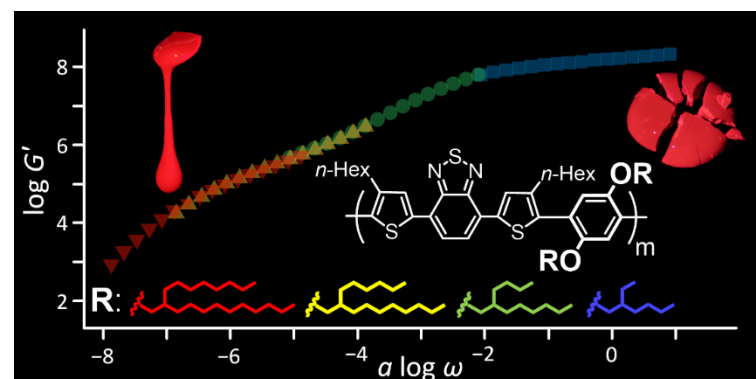


: 共役ポリマーエラストマー

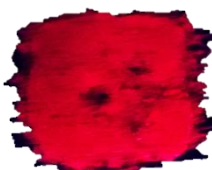


均質(機能)
混合

Sci. Technol. Adv. Mater., **2025**, 26, 2515007.



scratch



1 day

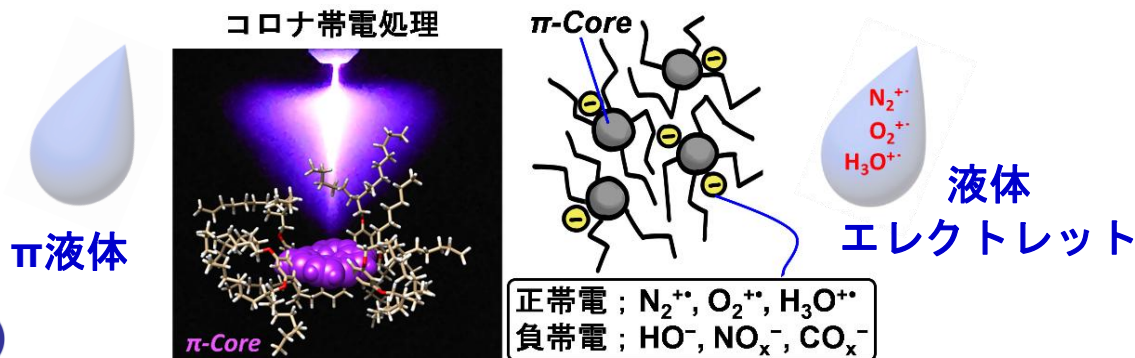
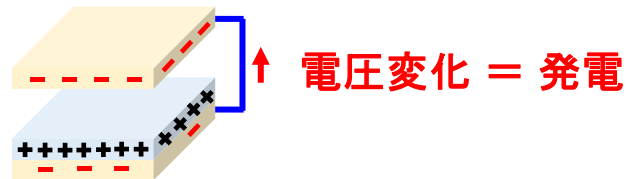
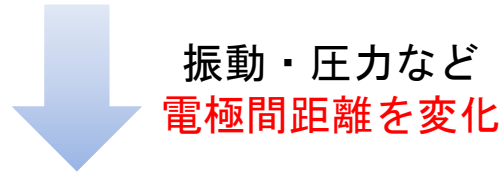
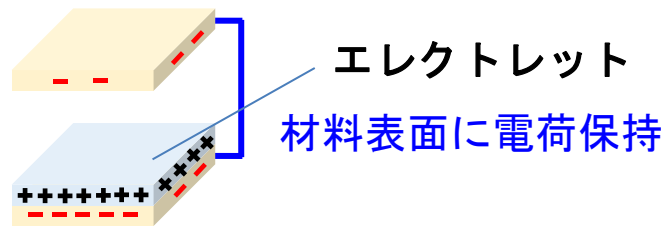


scratch

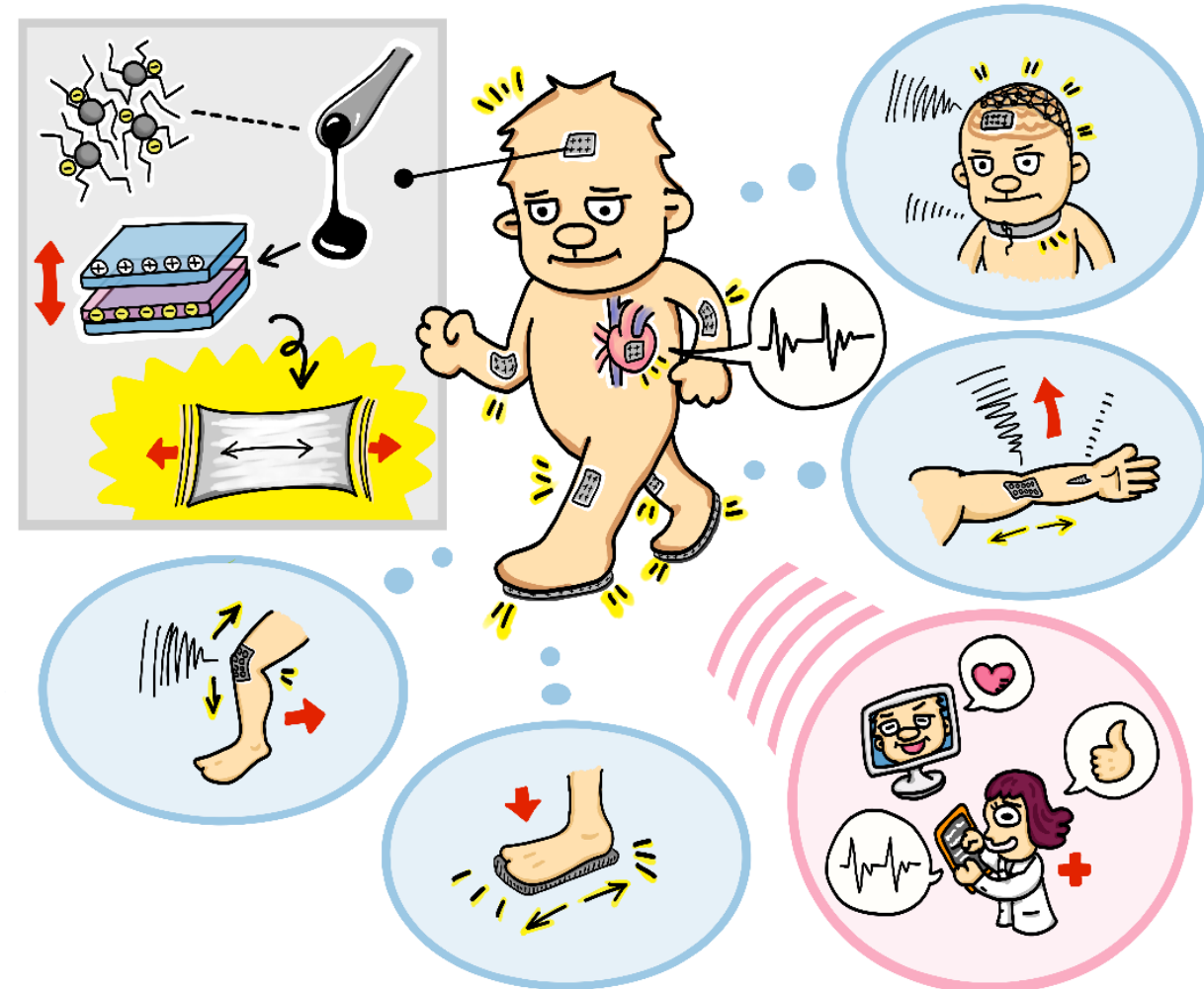
相溶性制御: メカノ発光

次世代（バイオ）エレクトロニクスデバイスへ：液体エレクトレット

環境（振動）発電

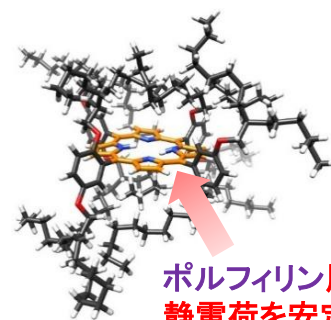
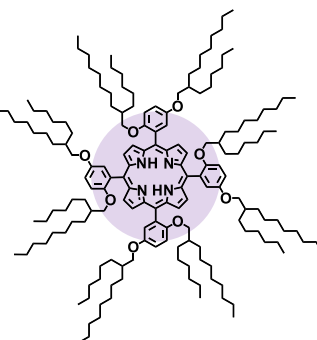


エレクトレット： 素材の表面近傍に**電荷を半永久的に保持**できる荷電体材料
素材： 二酸化ケイ素, 絶縁性ポリマー（フッ素系ポリマー、ポリプロピレン）



「液体」エレクトレット（ポルフィリン）

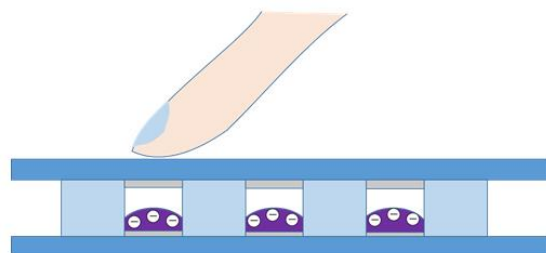
“液状ポルフィリン”
アルキル化-ポルフィリン分子



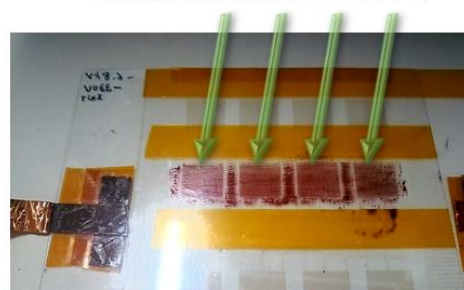
ポルフィリン周辺に
静電荷を安定化!



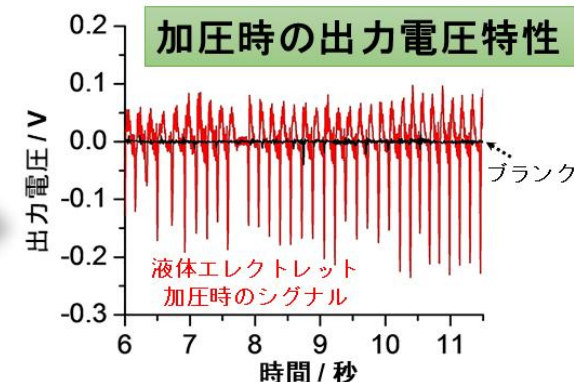
圧力・振動センサ



帯電した液体エレクトレット
(初期帯電電圧-330V)

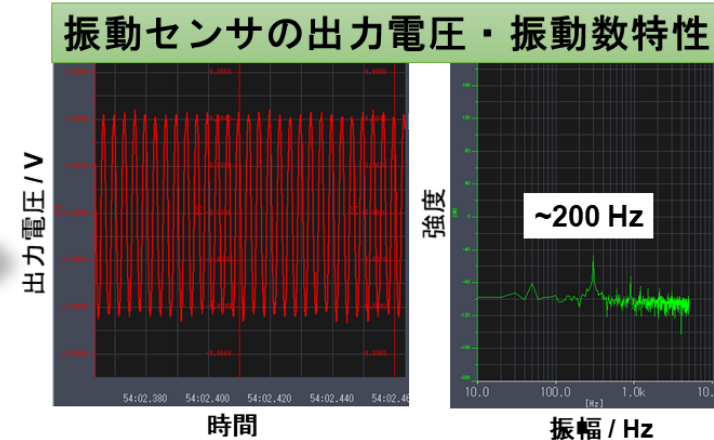
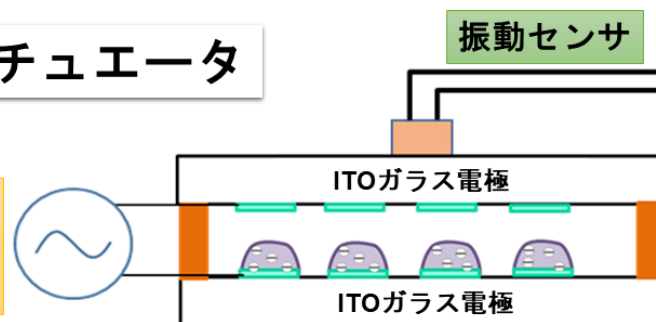


指で加圧



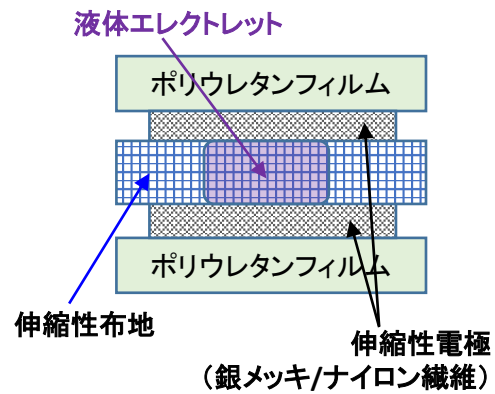
発振・アクチュエータ

ACインバータ
V = ±100 V
振動数 = 1 kHz

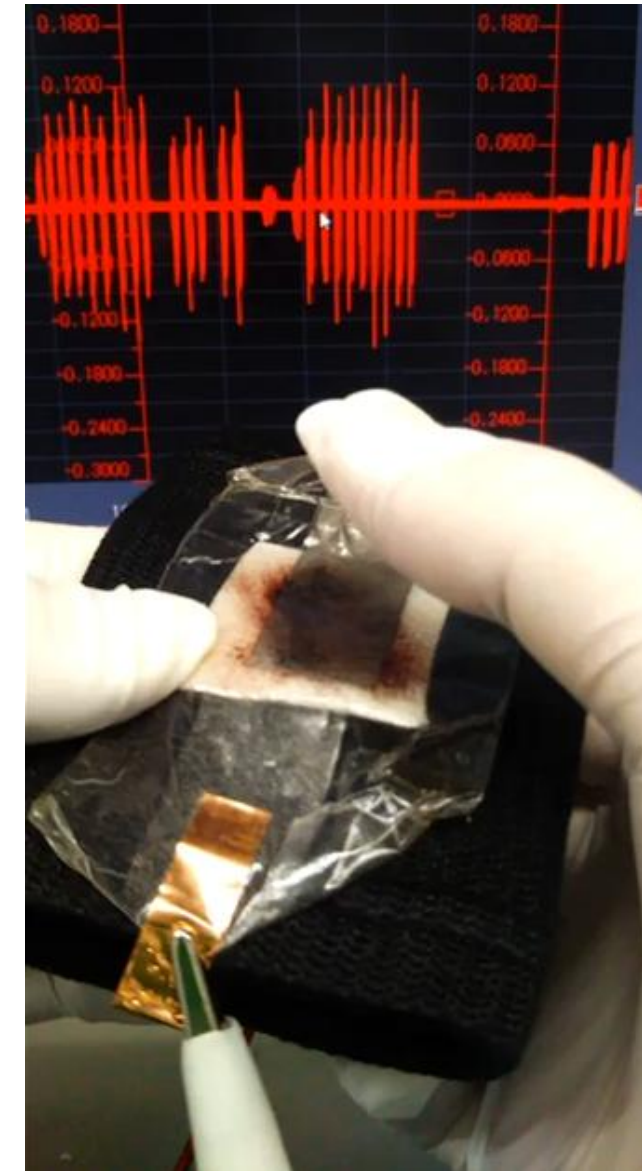
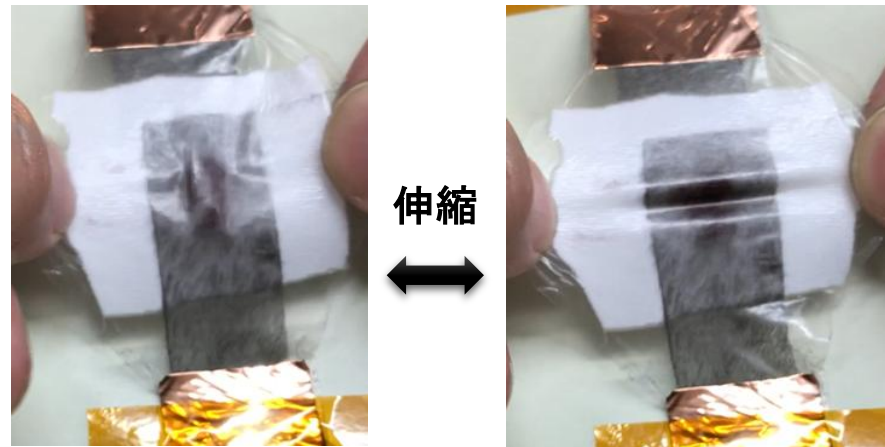


液体エレクトレット → 伸縮・変形自由な振動発電素子

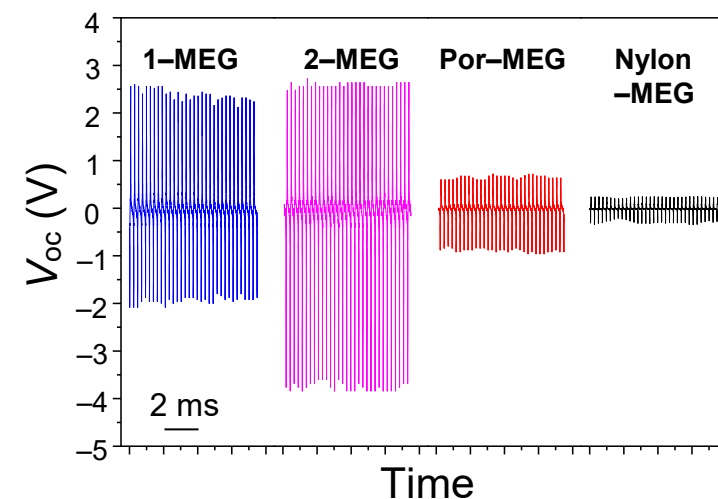
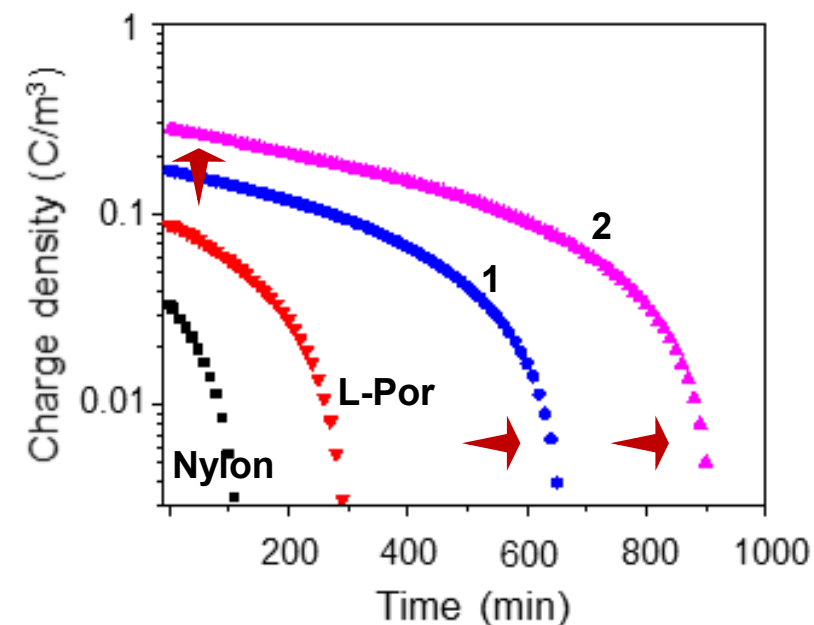
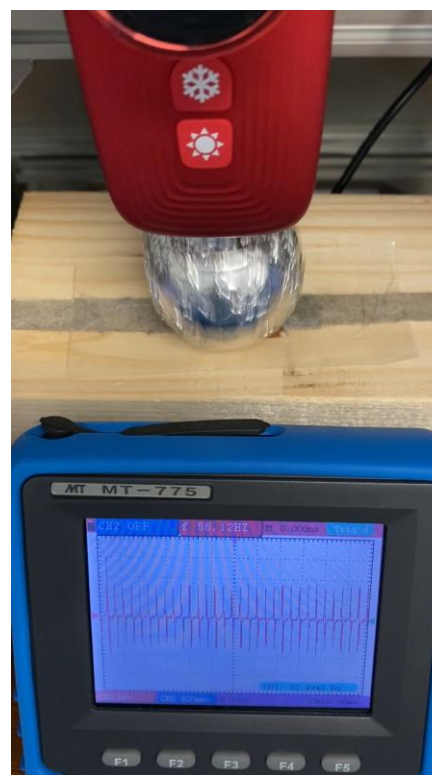
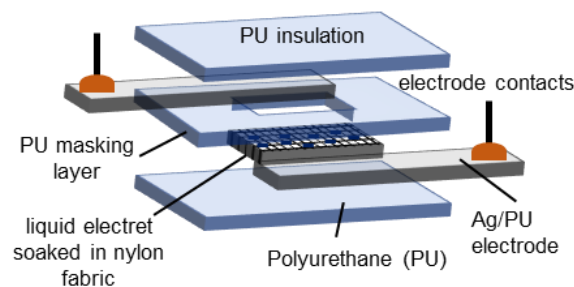
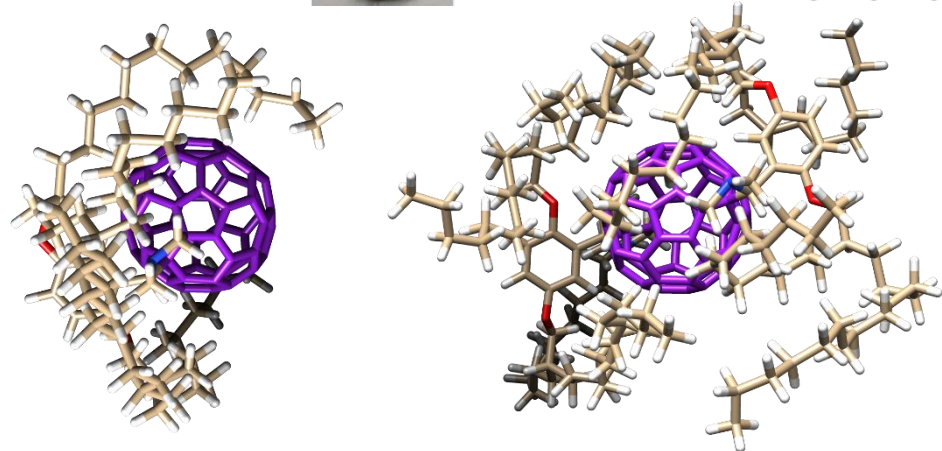
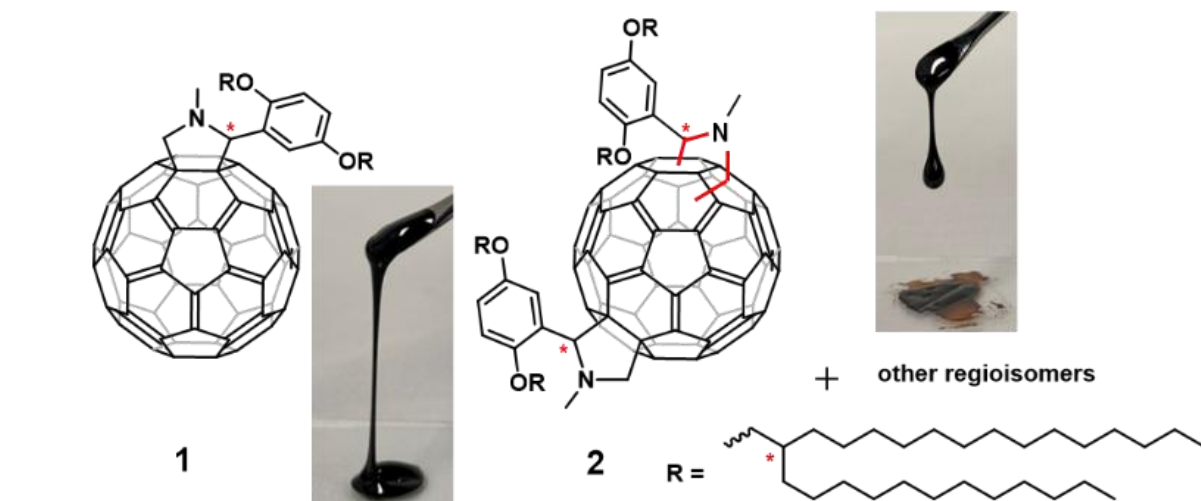
伸縮性電極



伸縮性電極を指で押す → 発電

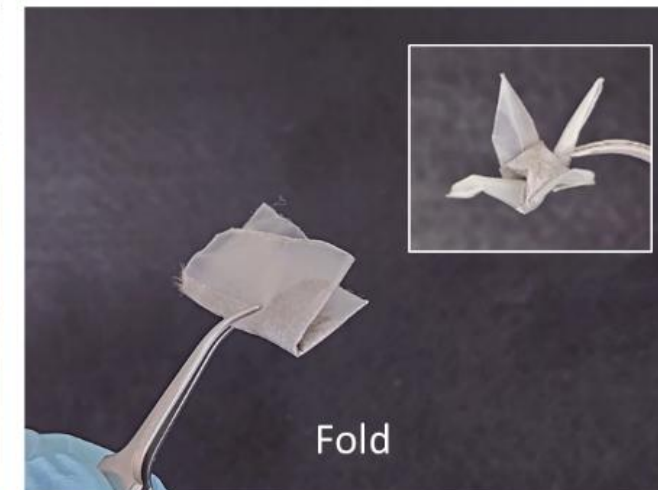
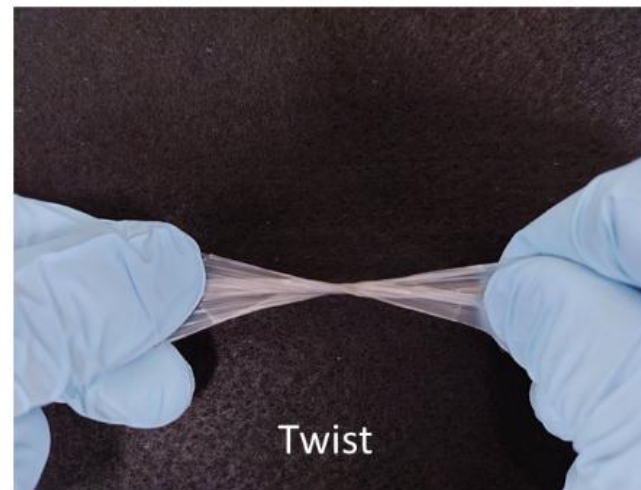
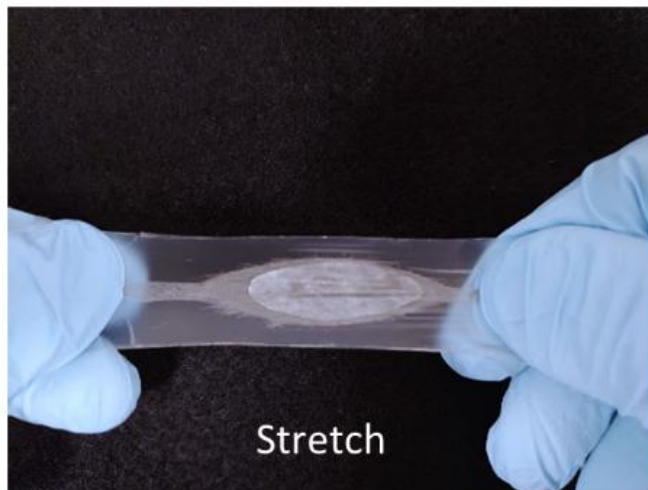
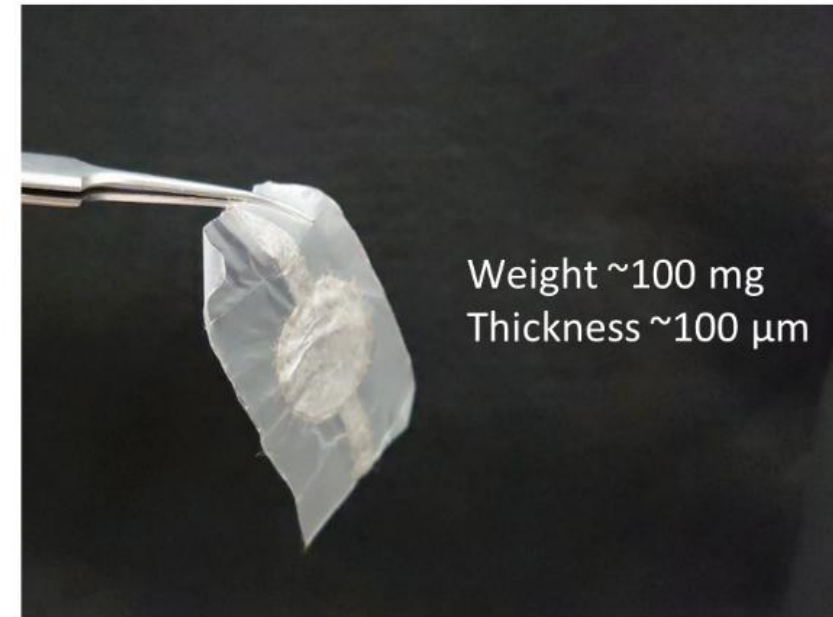
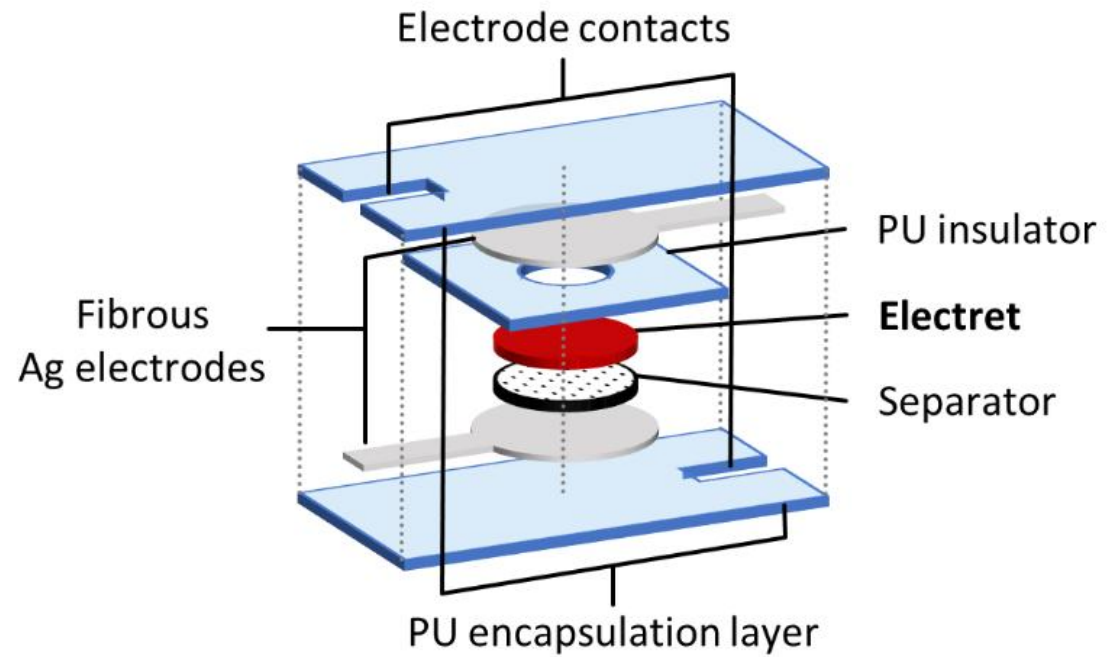


「液体」エレクトレット（フラレン） → 性能向上

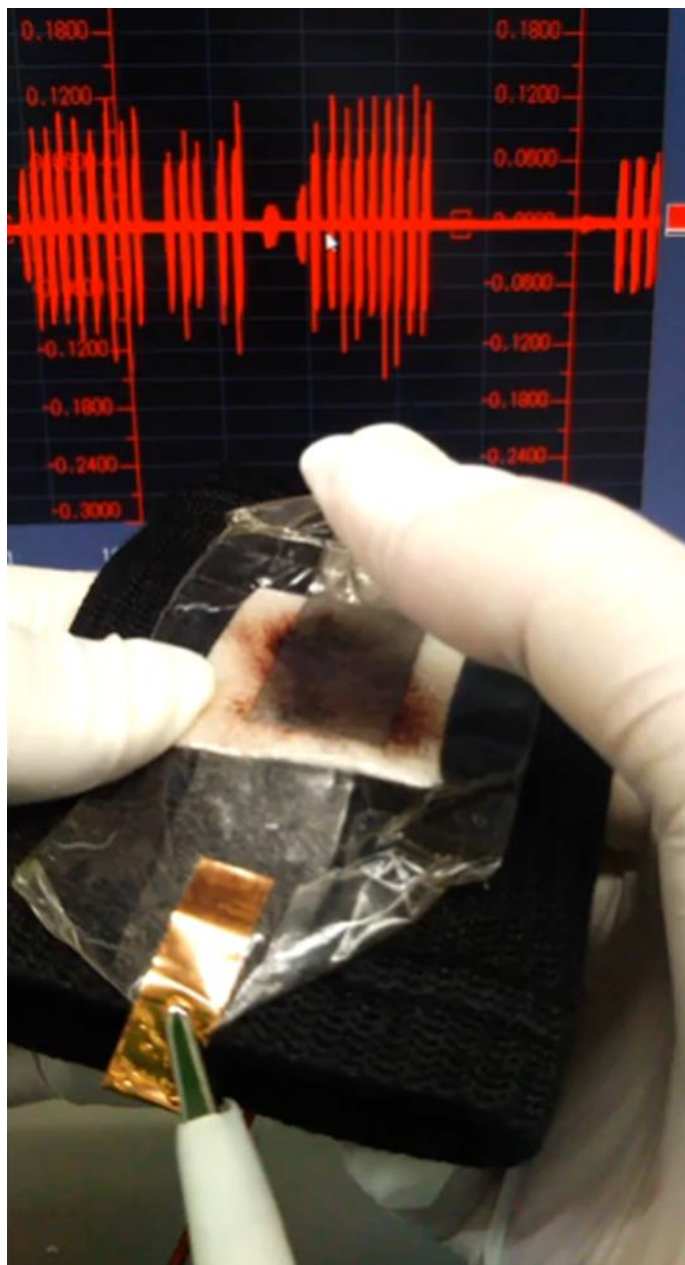


C₆₀隔離 → エレクトレット性能向上

伸縮性エレクトレット素子の作製



液体エレクトレット素子の改善点



- 帯電量、静電荷保持時間の向上
- 液漏れ対策

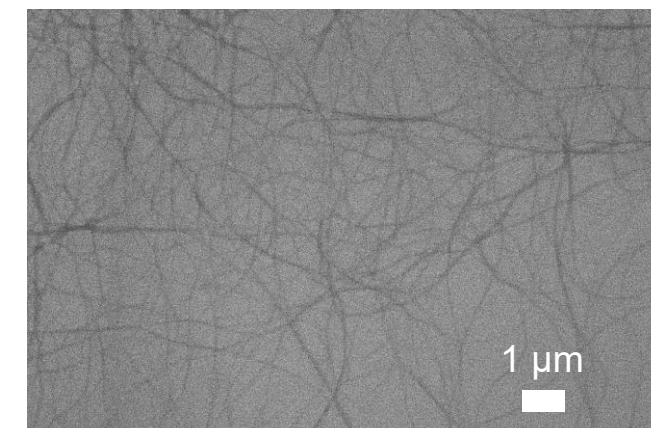
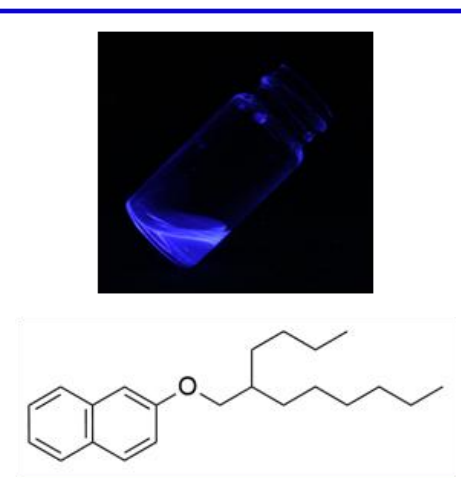
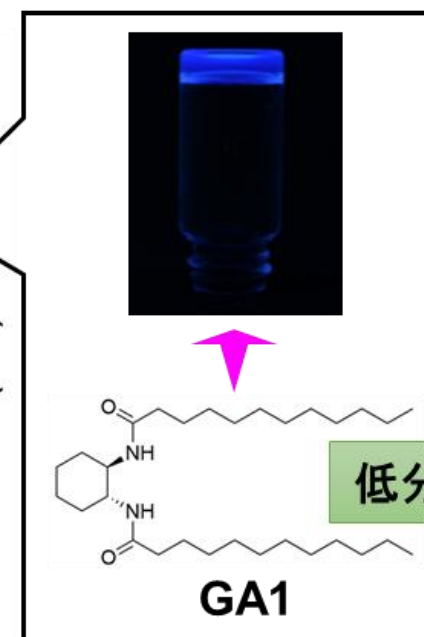
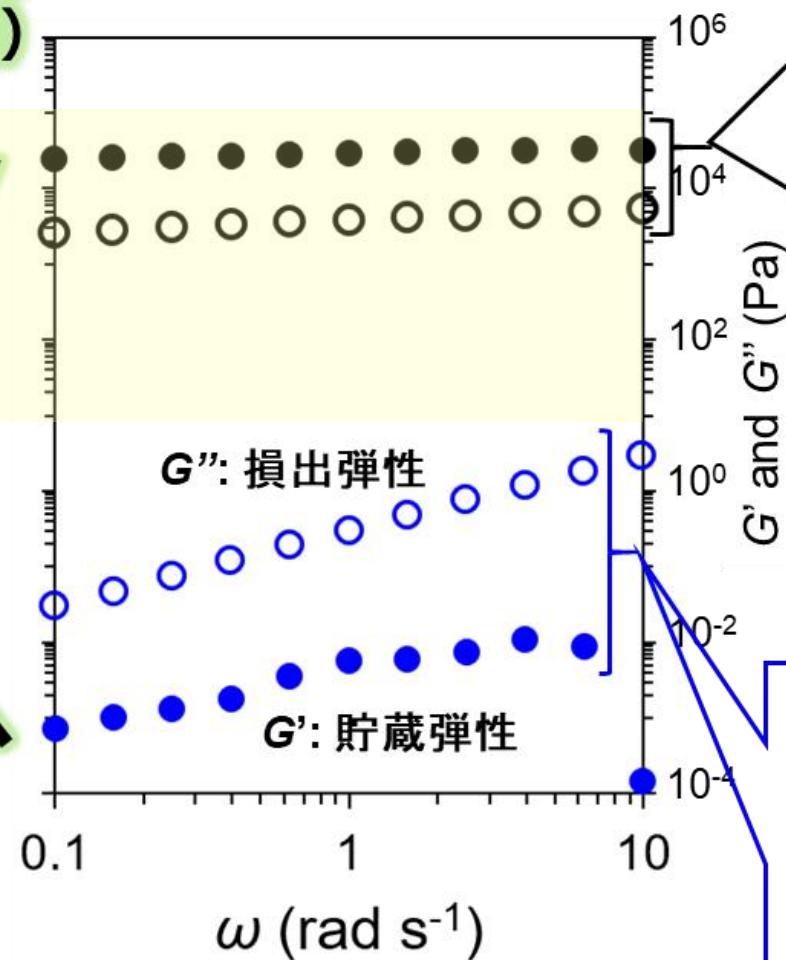


貯蔵弾性率 (G')

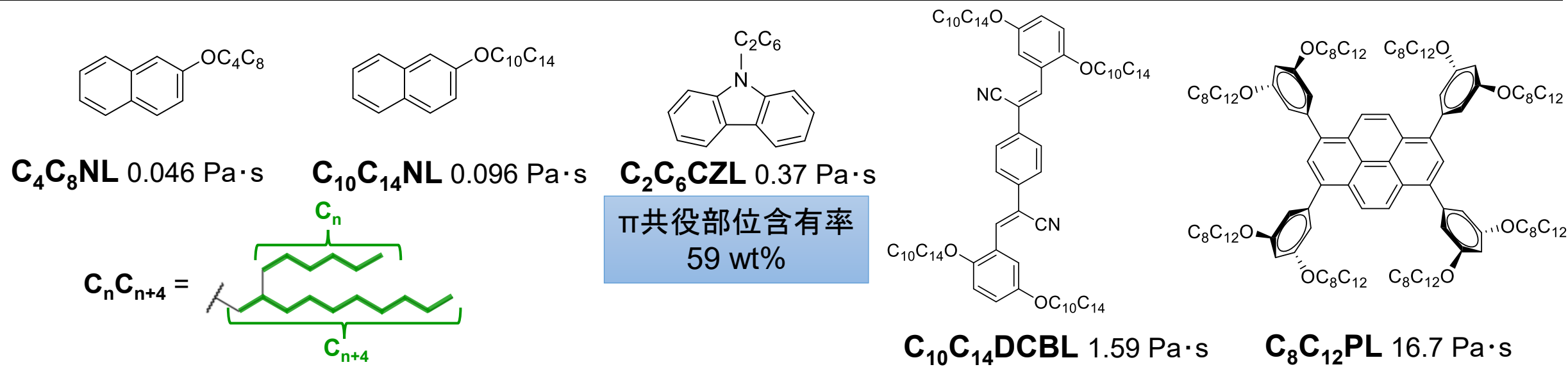
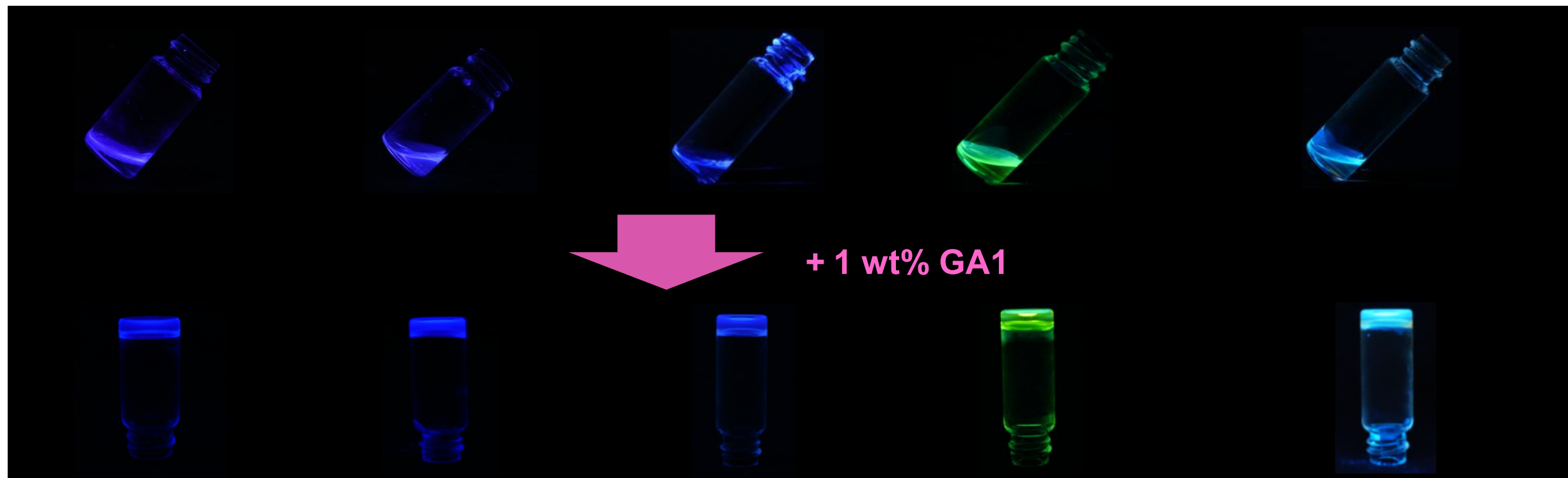
微弱振動センサ機能の向上に向けて → 液漏れ対策 ; ゲル化 (7桁幅 G')

4000万倍
(7桁増加)

人体臓器の G
 $10^1 \sim 10^4$ Pa



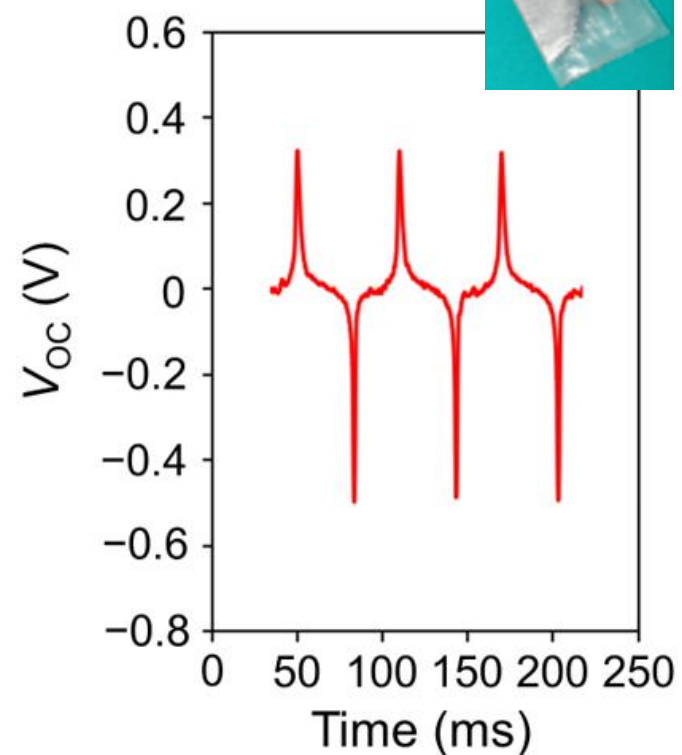
アルキル- π 液体 $\rightarrow$ アルキル- π ゲル



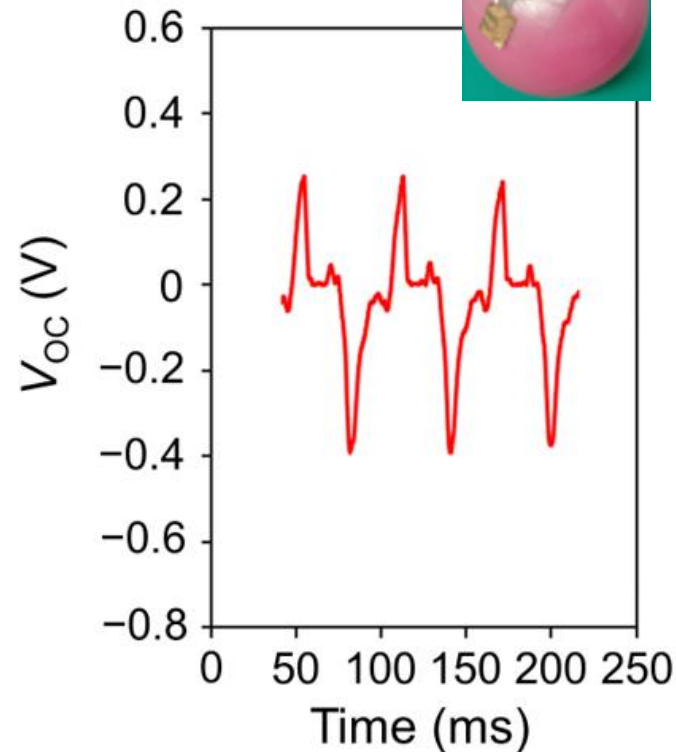
素子の自由変形性と経時安定性

ゲルを用いた素子の変形状態での動作

折り曲げた状態

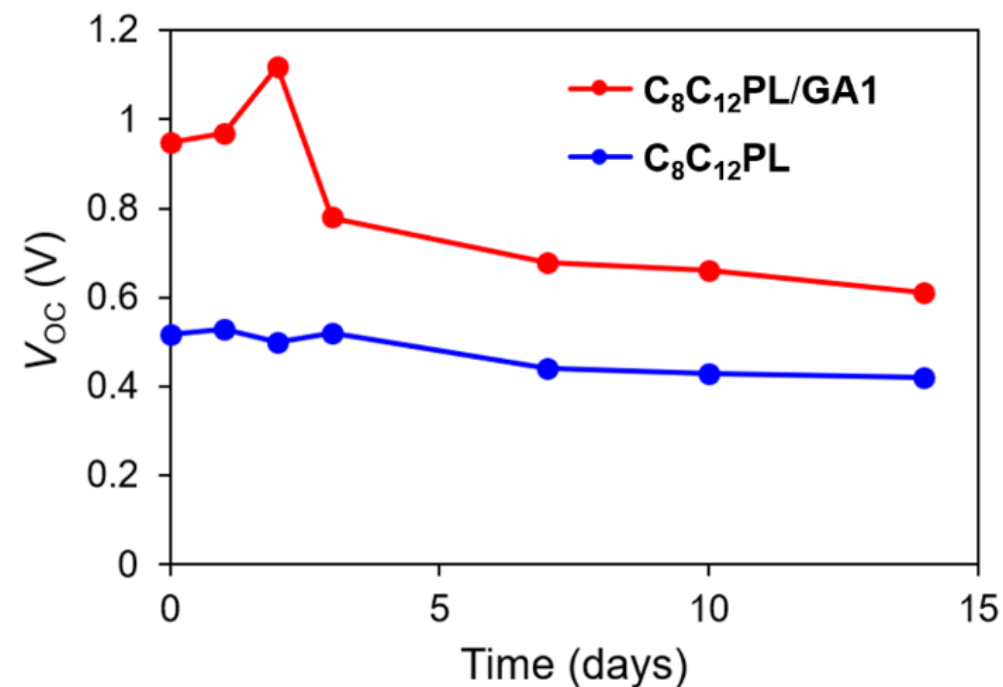


曲面上



✓ 変形させた状態でも動作

経時安定性の評価

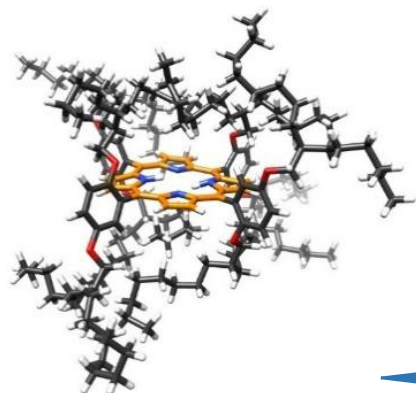


✓ 14日以上を経時安定性を確認

アルキル- π 液体・ゲル $\rightarrow$ エレクトレット振動センサ $\rightarrow$ ヘルスケア応用

アルキル- π 分子液体・ゲル

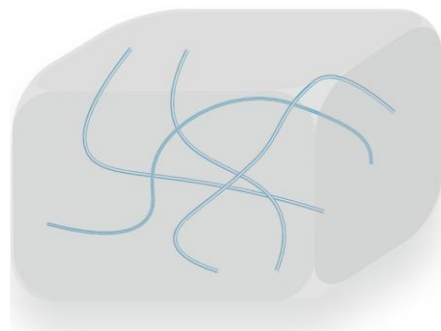
エレクトレット化



アルキル- π 液体

- ・ π 共役コア保護
- ・ 帯電メカニズム

π vs. 帯電量

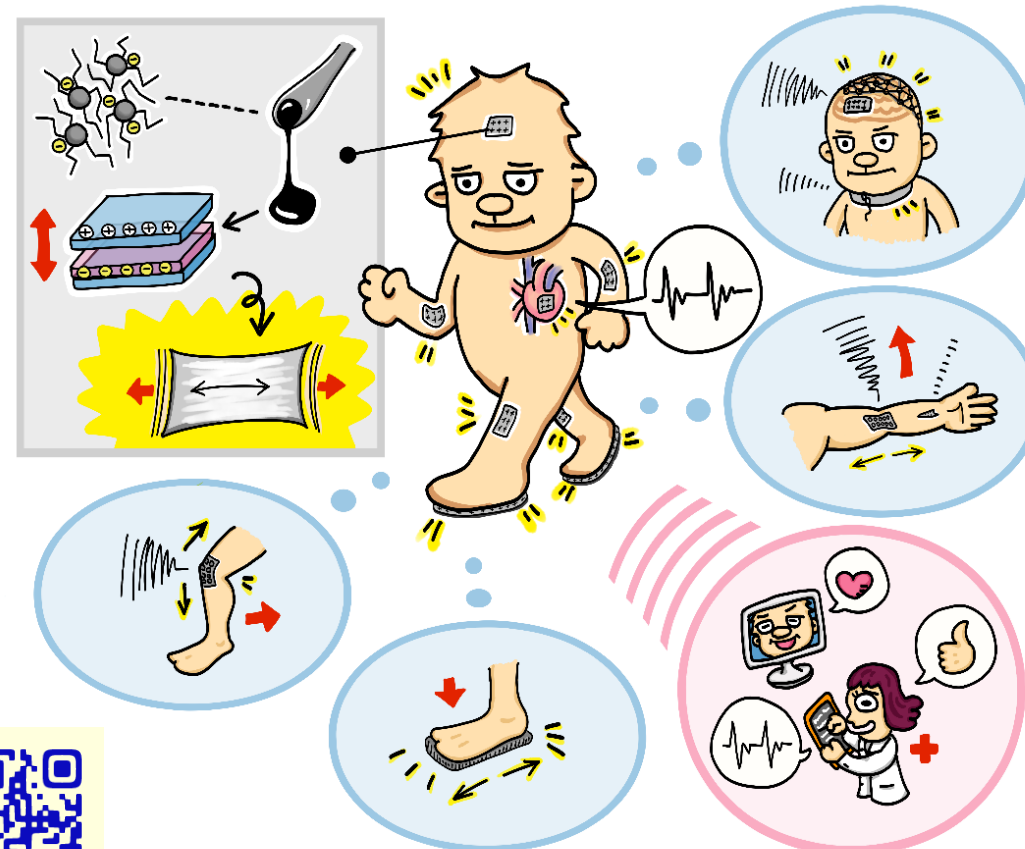


アルキル- π ゲル

- ・ 増粘化
- ・ 弾性率向上

帯電保持時間
素子安定性

自由変形性-微小変位センサ



Mater. Horiz., **2023**, 10, 3458.



まてりある's eye

新技術の特徴・従来技術との比較

- 静電荷を材料表面に安定保持する無機（酸化物）やフッ素系ポリマーを基材とするエレクトレット材料は知られているが、それらは柔軟性が乏しく、ウェアラブル素子の様な自由変形性が要求される振動発電素子や変位センサとしての応用は達成されていない。
- 究極の柔らかさ（流動性）を持つエレクトレット材料の開発に成功した。
- 液体・ゲルエレクトレットを基材に自由変形性振動発電素子、変位センサの構築に成功した。
- ウェアラブル素子に限らず、形状を問わない変位センサなどへの応用が期待できる。

想定される用途

- 身体の可動部位に貼り付けて変位センサとして応用
(健康観察、スポーツ理学)
- 人声センサ・嚥下センサ（喉部分に貼り付け）
- ロボット可動部のセンサ

実用化に向けた課題

- 現在、液体・ゲルエレクトレットを基材に自由変形性振動発電素子、微弱変位センサの構築が可能のところまで開発済み。
- 今後、具体的な応用活用先を定め、応用用途に応じた素子設計、精度向上を検討していく。
- 実用化に向けて、出力向上を液体分子設計側から確立する必要がある、現在取り組んでいる。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・ π 液体・ゲルエレクトレットの設計が完了	
現在	・自由変形性振動発電素子・微弱変位センサが実現	
1年後	・具体的な応用先を決定 ・具体的な用途に応じた素子設計	JSTのA-STEPの産学共同事業へ応募し研究資金獲得
2年後	・応用向け素子の性能、安定性試験の実施 ・素子性能向上に向けた液体分子設計の最適化を実現	デモンストレーション実施 評価基礎データの提供 サンプル素子の提供が実現
3年後	・素子出力・センサの性能向上	試験サービスの実現

企業への期待

- ウェアラブル素子に限定せず、応用用途先を提案頂きたい。
- 伸縮性素子等の開発技術、製品化戦略を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、変位センサを開発中の企業、ウェルビーイング・ヘルスケア分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- エレクトレットに限らず、機能性液体の応用活用先の提案を頂きたい。

企業への貢献、PRポイント

- アルキル- π 液体・ゲルは新物質・新材料であるため、他企業にない新事業化の候補となり得る。
- 本技術の導入にあたり、用途に応じた必要な追加実験を行うことで、新たな知見を取得可能。
- 本格導入にあたっての技術指導。
- 用途に応じた新規 π 液体の共同開発。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 電子装置
- 出願番号 : **特願2019-526867**
- 出願人 : 産業技術総合研究所, 物質・材料研究機構
- 発明者 : 吉田学、末森浩司、中西尚志、ゴッシュ アビジット

- 発明の名称 : 常温液状有機材料およびその用途
- 出願番号 : **特願2012-537777**
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 中西尚志

- 発明の名称 : 液状フラーレン誘導体、その製造方法、および、それを用いた素子
- 出願番号 : **特願2008-523737**
- 出願人 : 物質・材料研究機構
- 発明者 : 中西尚志、道信剛志、ヒル ジョナサン ピー、有賀克彦

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構
外部連携部門 企業連携室

企業様向けお問い合わせフォーム
(スマホ対応)



<https://www.nims.go.jp/contact/collaboration.html>