

エネルギー・環境新技術先導プログラム/ トリリオンセンサ社会を支える高効率MEMS振動 発電デバイスの研究

平成27年10月05日（月）

技術研究組合NMEMS技術研究機構（MEH）

報告：鷺宮製作所，東京大学



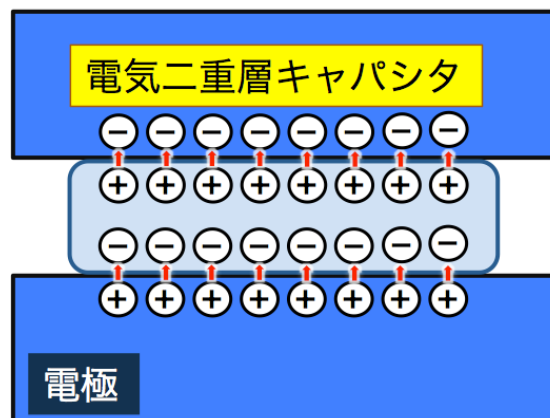
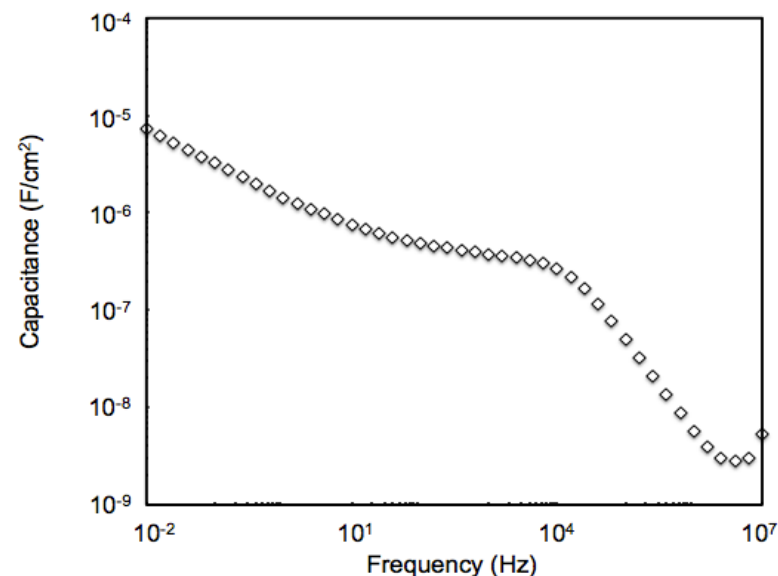
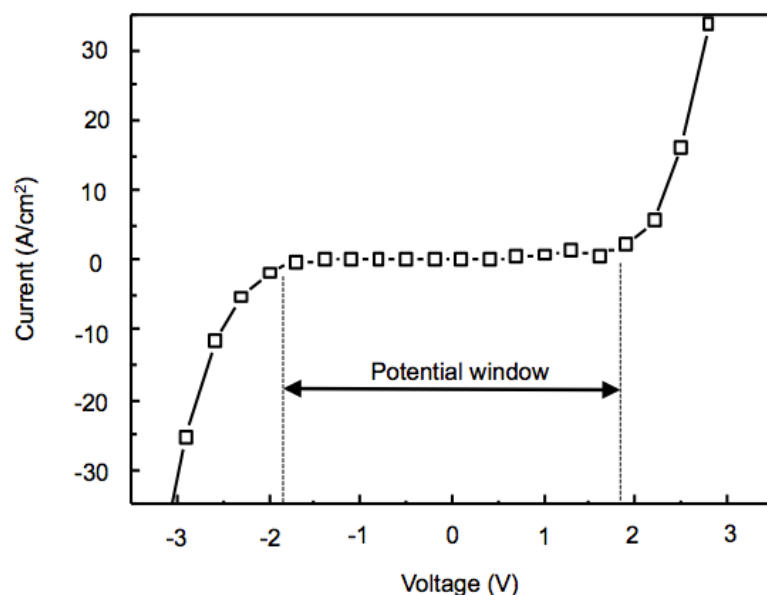
三屋 裕幸

❖ 大容量イオン液体可変キャパシタ技術のエネルギーハーベスタ応用

	H27 4,5,6月	H27 7月	H27 8月	H27 9月	H27 10月	H27 11月	H27 12月	H28 1月	H28 2月
②-(1) イオン液体のエネルギーハーベスタ応用検討	イオン液体の機械、電気特性評価 濡れ性と電気二重層形成状態の評価								
	当初計画								
	実施状況				完了→今後も検証を進めて行く。				
②-(2) イオン液体のゲル化検討	ゲル化したイオン液体の機械、電気特性評価				ゲル化イオン液体の重要なパラメータを把握				
	当初計画				当初計画				
	実施状況				評価中				
②-(3) ゲル化イオン液体のイオン固定方法検討					イオン液体のイオン固定検討				
	実施状況				当初計画				
					評価中				
					H28へ継続				

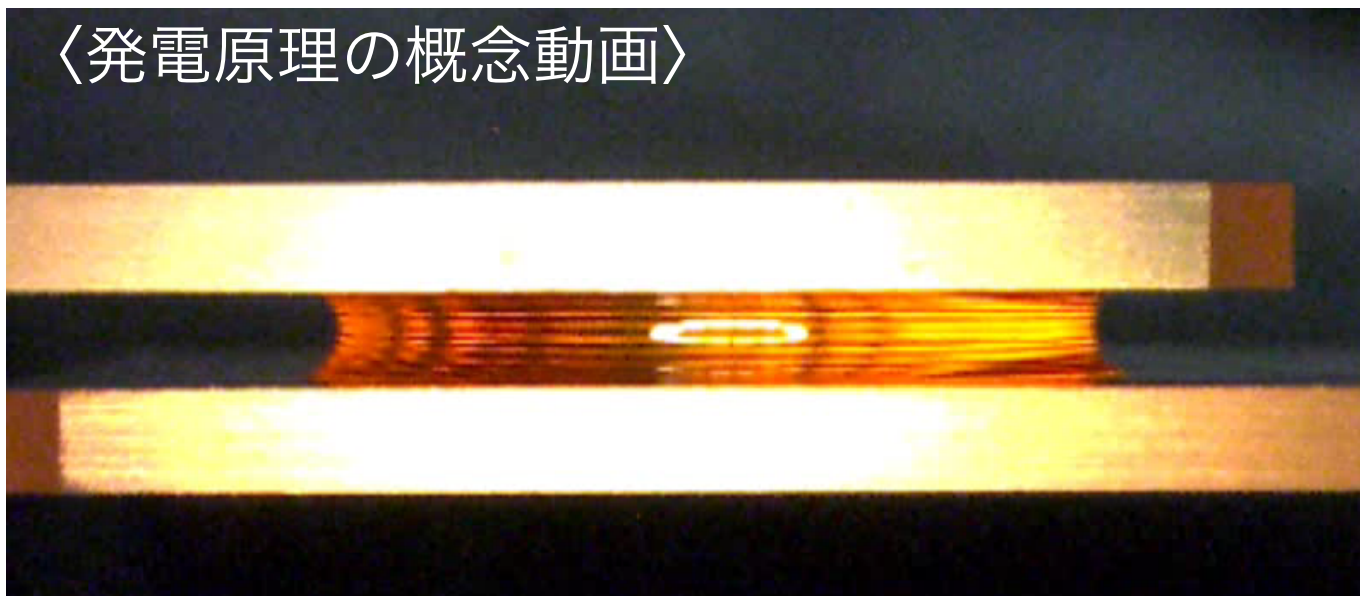
※ PowerMEMS 2015（国際学会）に採択され，2015/12/02に口頭発表予定。

- 電位窓：ある電圧範囲だけ絶縁性 ➤ 電気二重層キャパシタ



- 電気二重層は自発的に形成される.
- ギャップは1nm程度である.
- 1 - 10μF/cm² 程度の非常に大きなキャパシタンスをもつ.

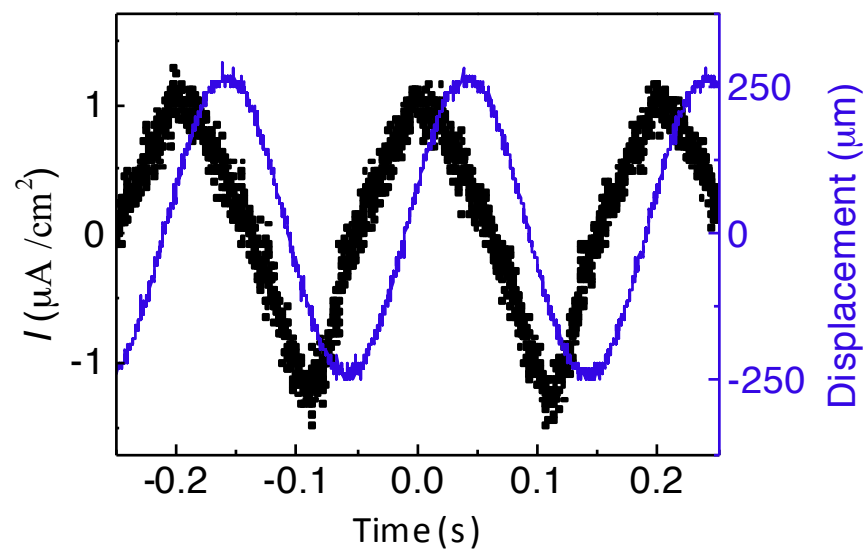
〈発電原理の概念動画〉



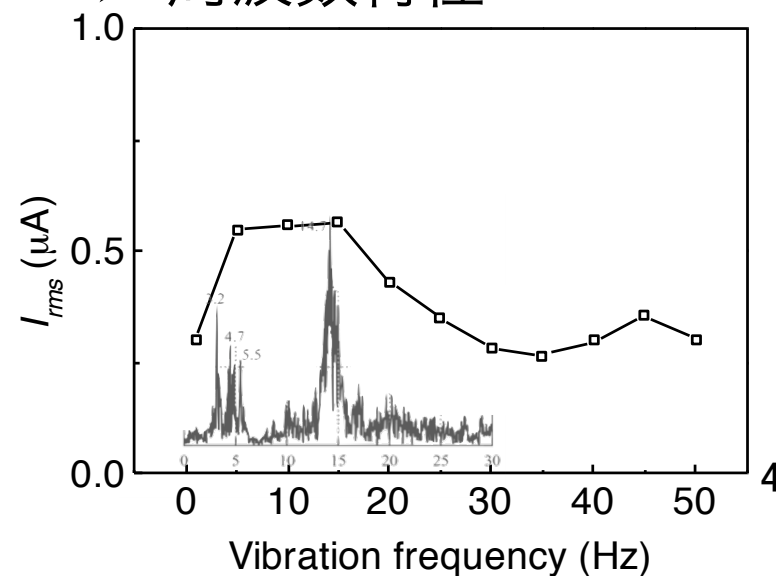
上部電極

下部電極

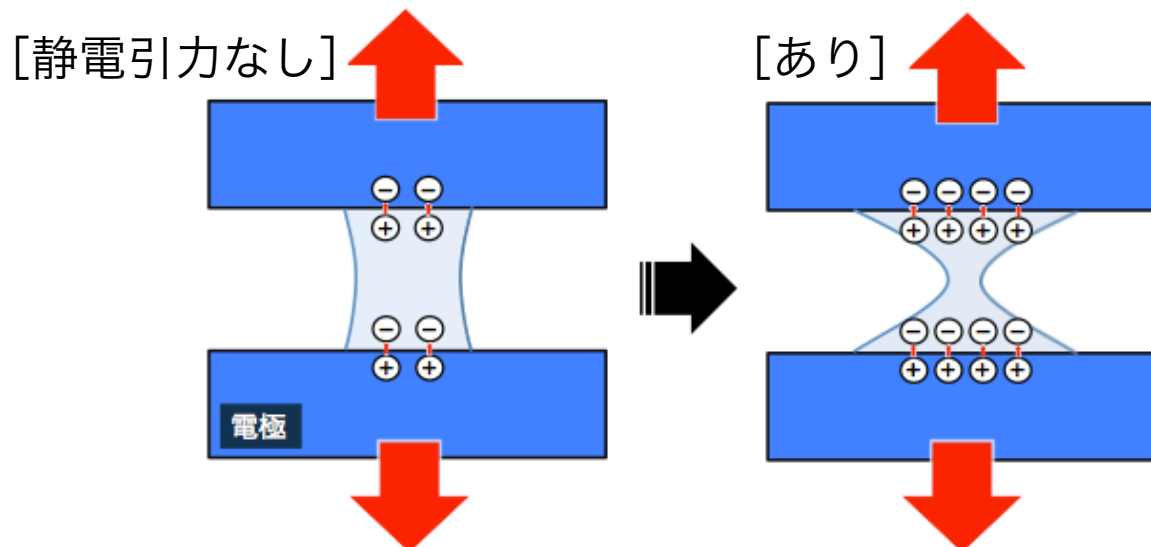
➤ 発電電流



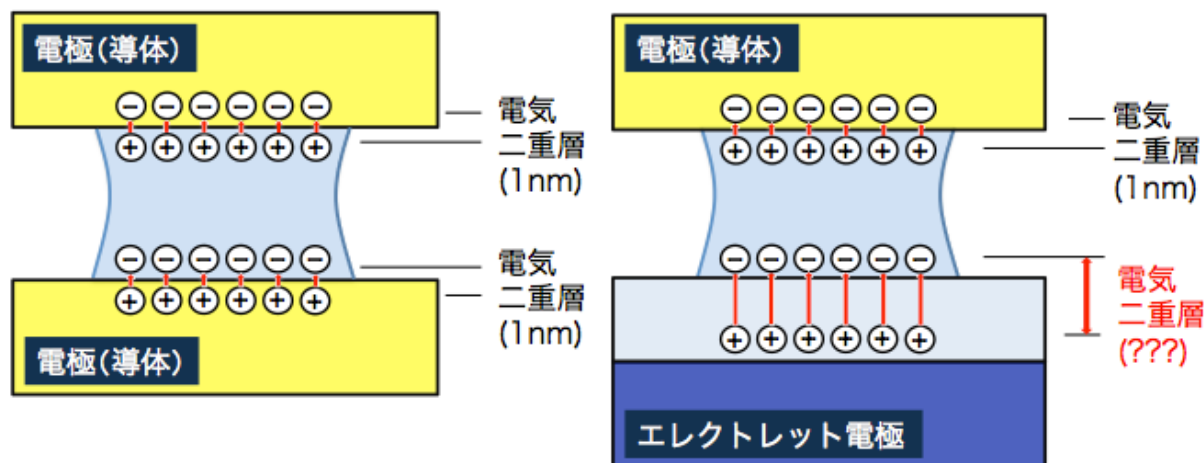
➤ 周波数特性



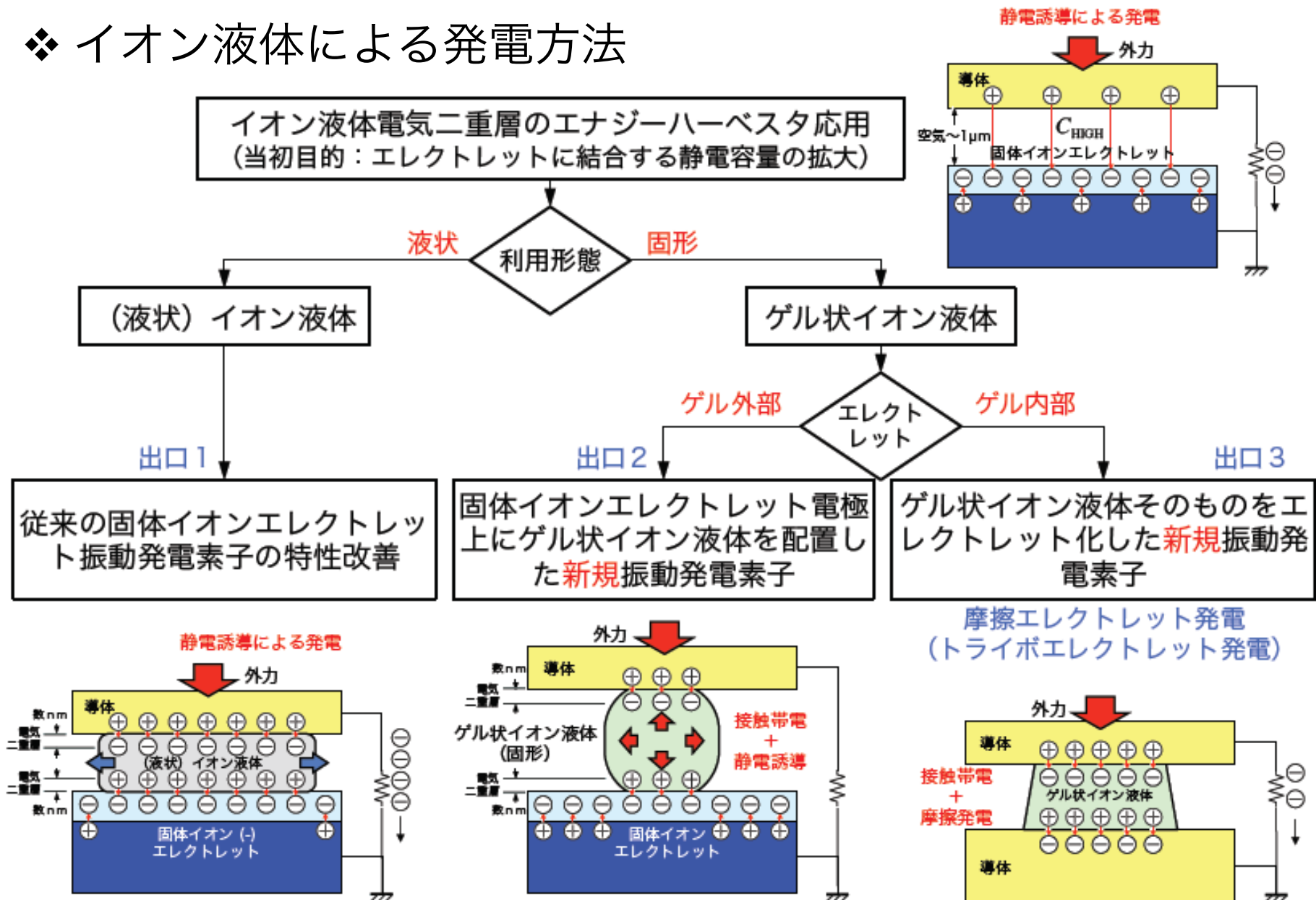
❖ 静電引力(イオン液体と電極間)による面積変化量の減少



❖ エレクトレット固定電荷とイオン液体の位置関係



❖ イオン液体による発電方法

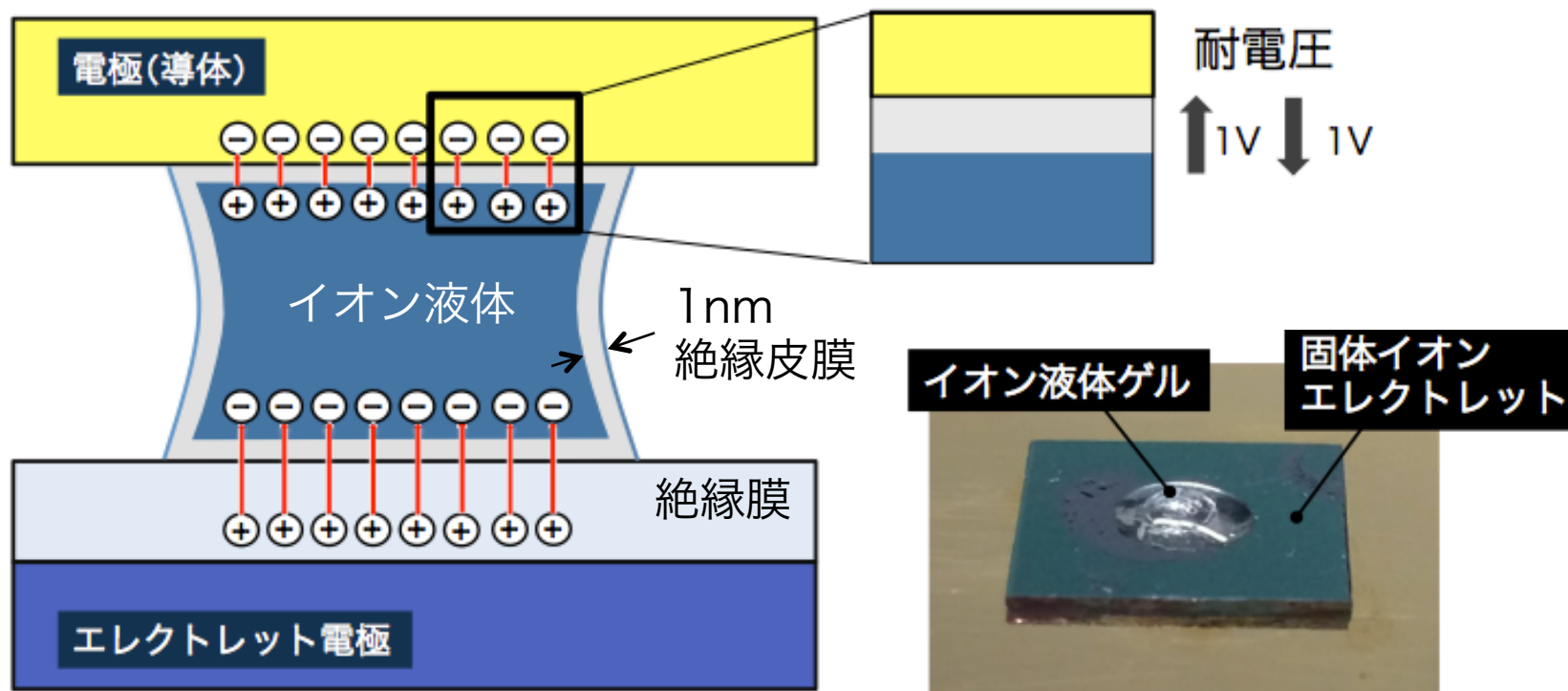


出口1：(液状)イオン液体 + エレクトレット

NMEMS Confidential

❖ モデル化 (エレクトレットにより発生する両端電圧)

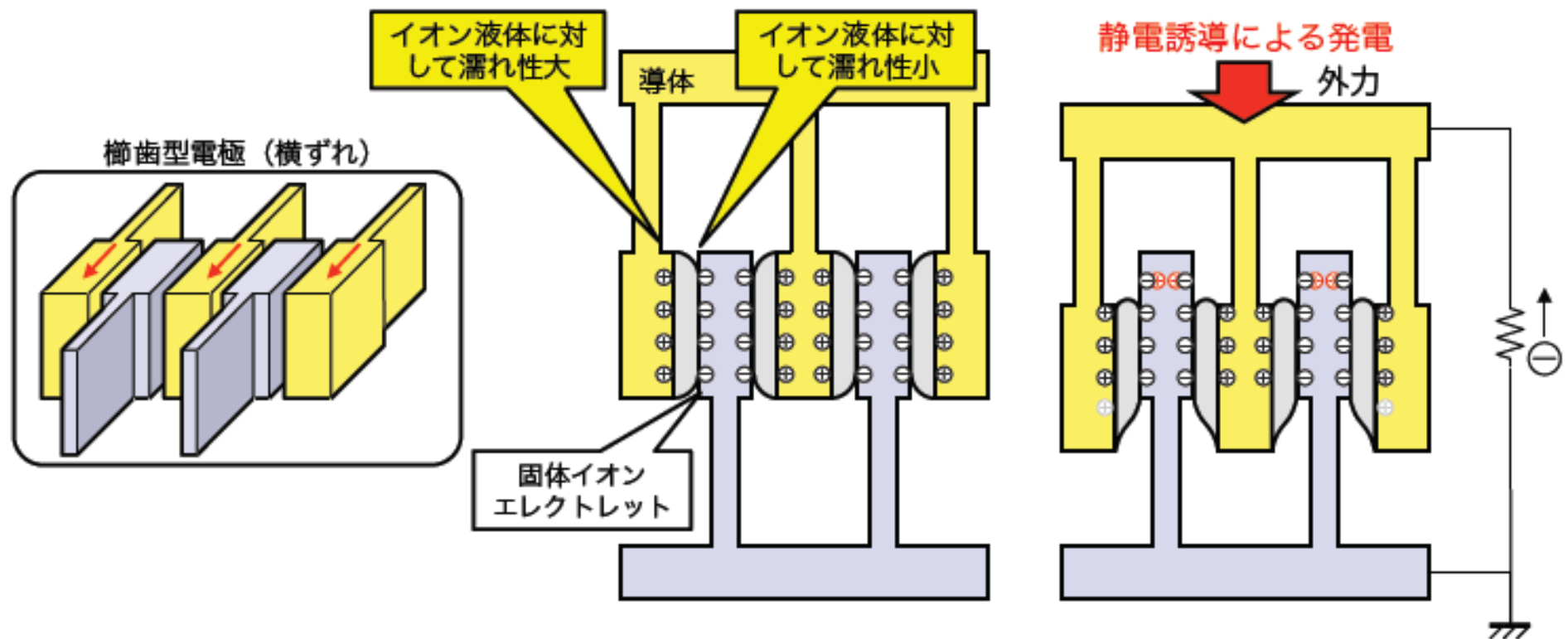
SAGInoMIYA



$$\text{両端電圧(V)} = \frac{(\text{導体})\text{電気二重層ギャップ}(=1\text{nm}) \times \text{帯電電圧}(\text{BT処理電圧})(\text{V})}{2 \times \frac{\text{絶縁膜厚}(\text{酸化膜厚})(\text{nm})}{200} / \frac{\text{絶縁膜}(\text{酸化膜})\text{比誘電率}}{4}}$$

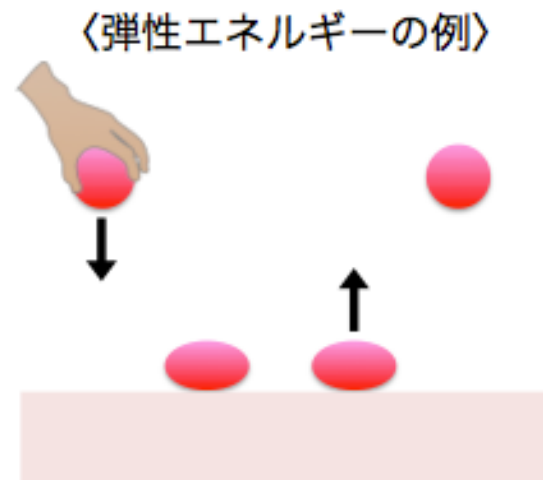
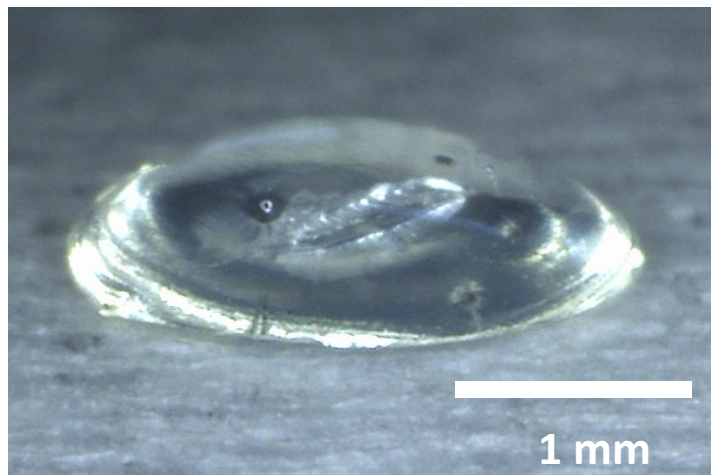
➤ 固体イオンエレクトレットとの相性が非常に良い.

❖ (液状)イオン液体と固体イオンエレクトレットの構造案



- 導体電極, 固体イオンエレクトレットそれぞれの表面の濡れ性を制御する.

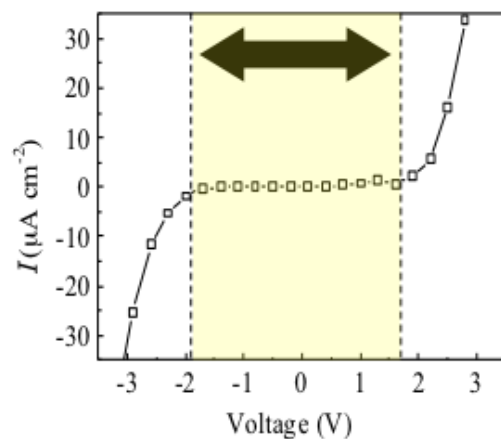
❖ イオン液体ゲルの特長



➤ ゲルの弾性力により，静電引力に打ち勝つ。

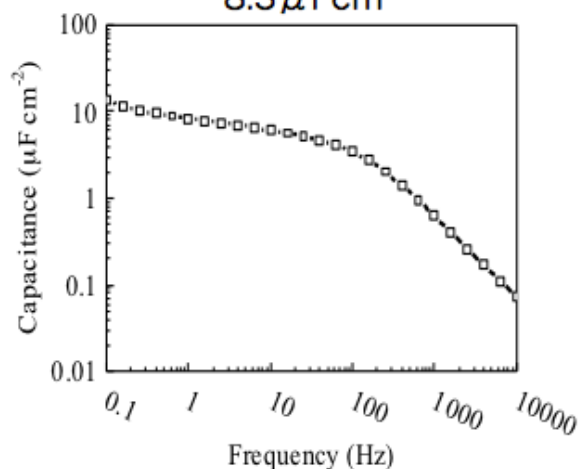
[電位窓]

-1.9V ~ 1.9V

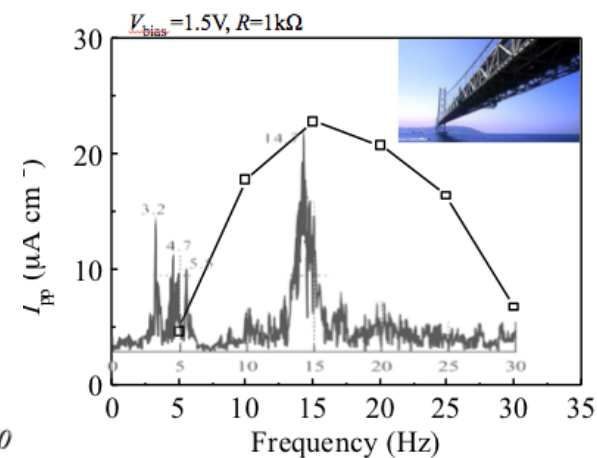


[電気二重層キャパシタンス]

$8.3 \mu\text{F cm}^{-2}$



[周波数特性]



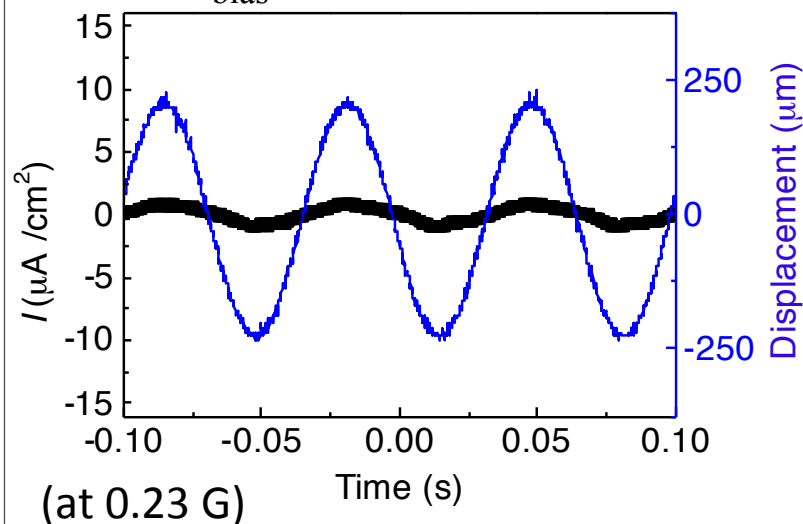
➤ ゲル化してもイオン液体としての特性は有したまま。

❖ イオン液体ゲルの効果

〈イオン液体〉



$V_{\text{bias}} = 1.5\text{V}$, $R = 1\text{k}\Omega$

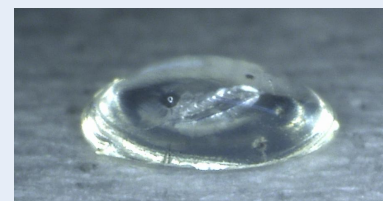


$1.9 \mu\text{A}_{\text{p-p}} \text{cm}^{-2}$

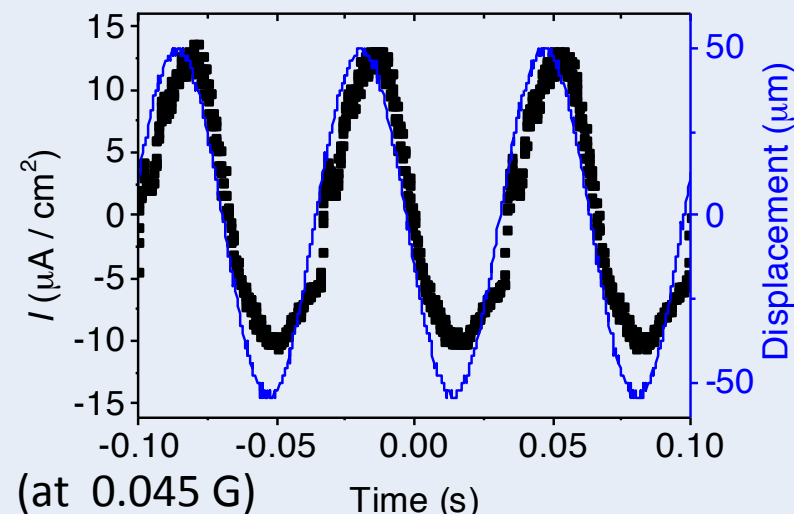
$1.9 \mu\text{A}_{\text{p-p}}$ (raw data)

11倍

〈イオン液体ゲル〉



$V_{\text{bias}} = 1.5\text{V}$, $R = 1\text{k}\Omega$

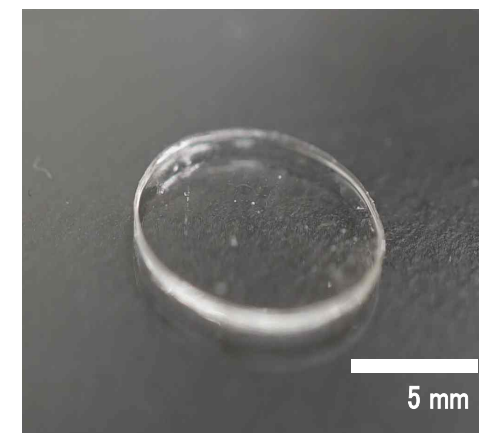
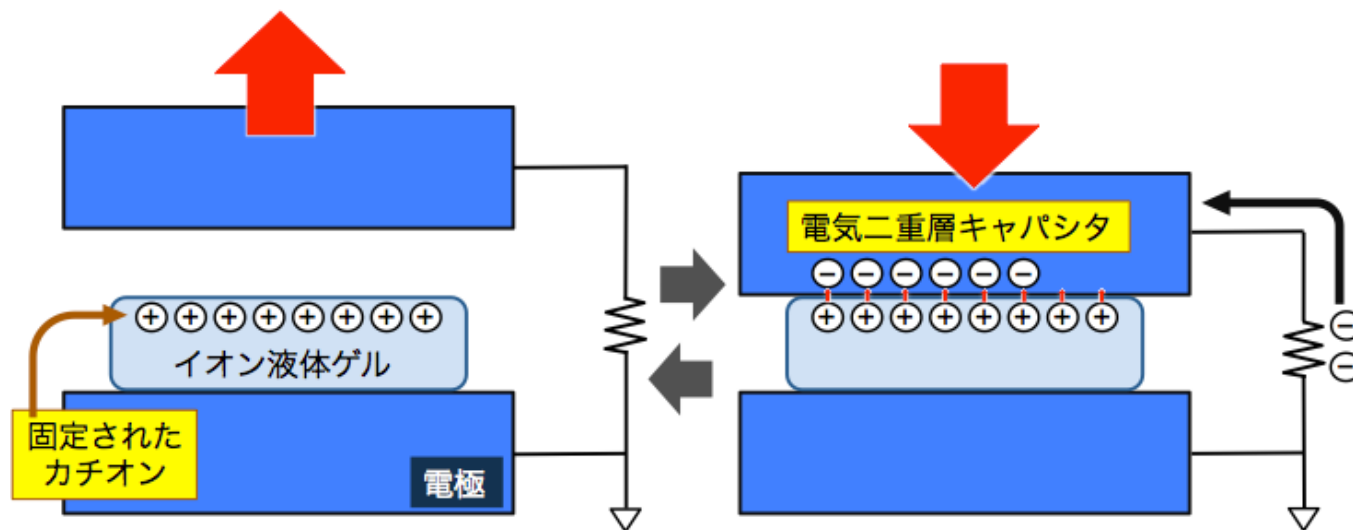


$22 \mu\text{A}_{\text{p-p}} \text{cm}^{-2}$

$708 \text{ nA}_{\text{p-p}}$ (raw data)

❖ トライボ・エレクトレット発電の原理

SAGAMIYA

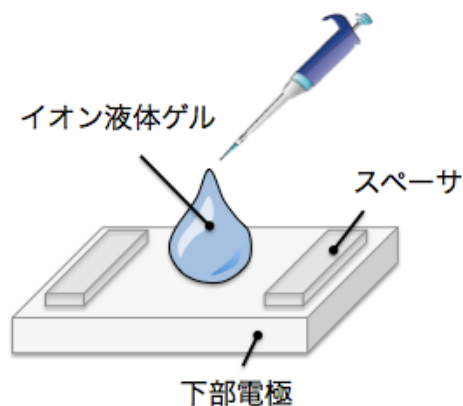


❖ イオン固定ゲル製作工程

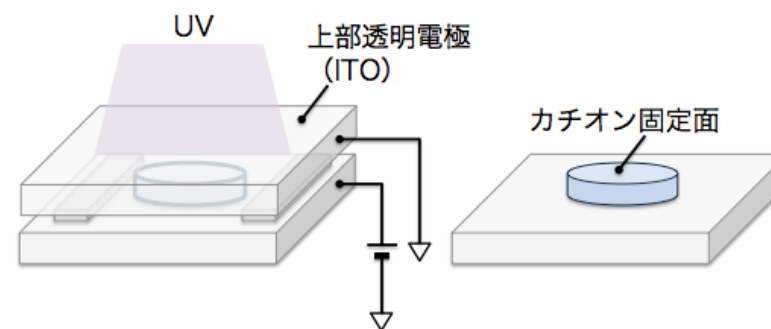
[イオン固定ゲル外観]



(a) 計量とミキシング



(b) 滴下



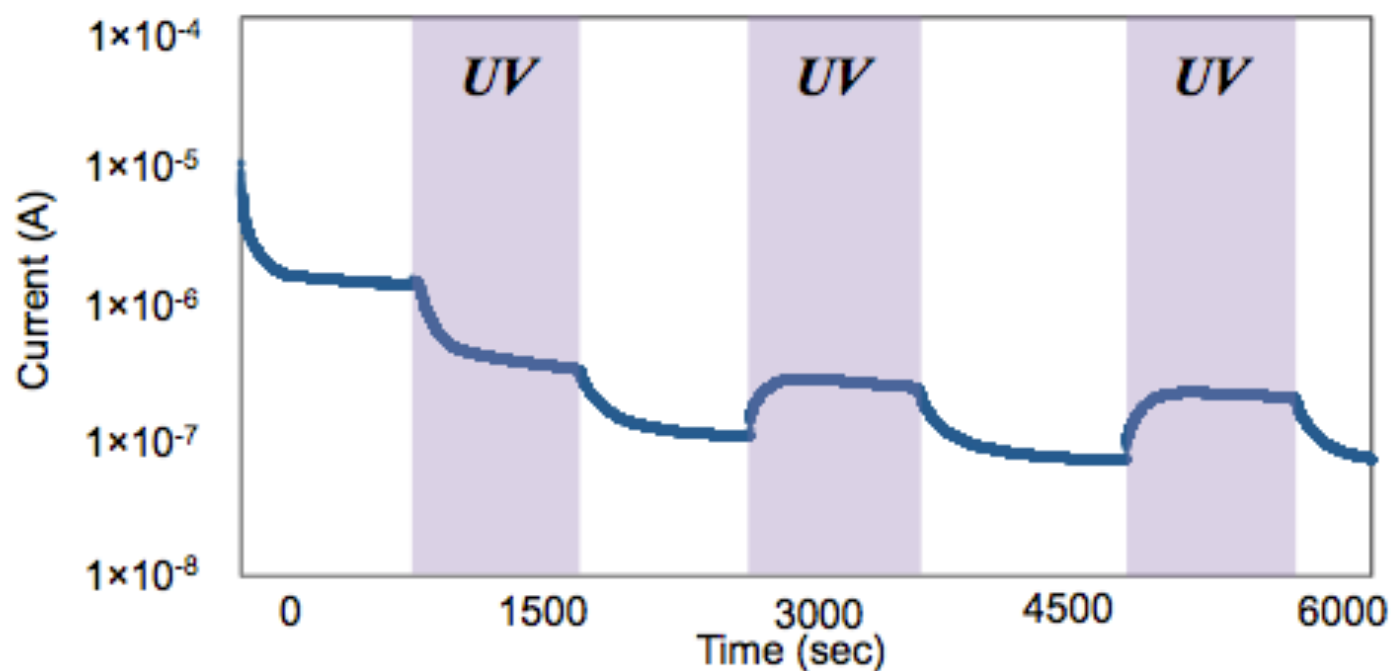
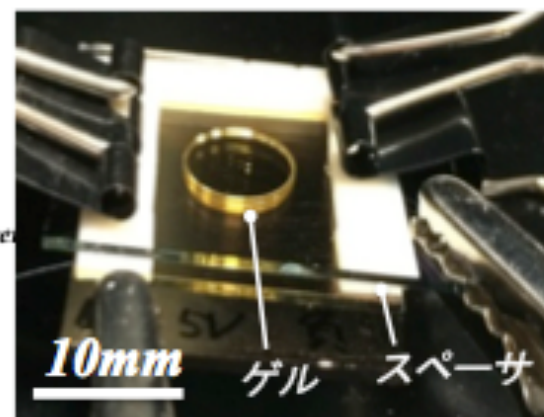
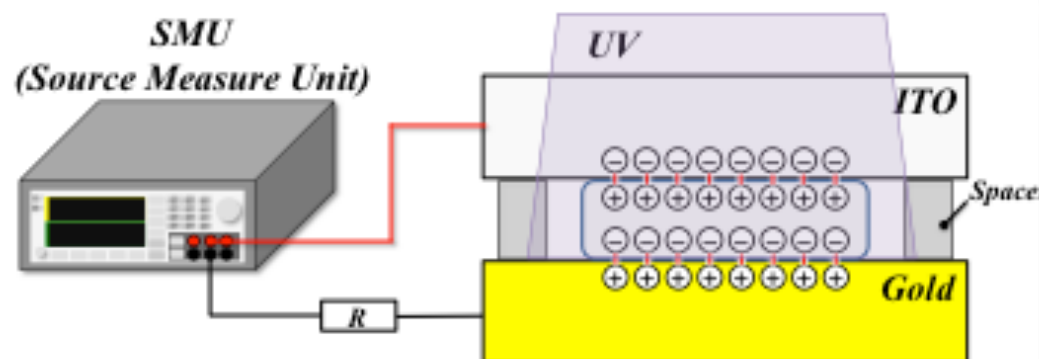
(c) 電圧印加とUVキュア

イオン液体ゲルのカチオン固定

NMEMS Confidential

❖ 製作工程中のモニター電流

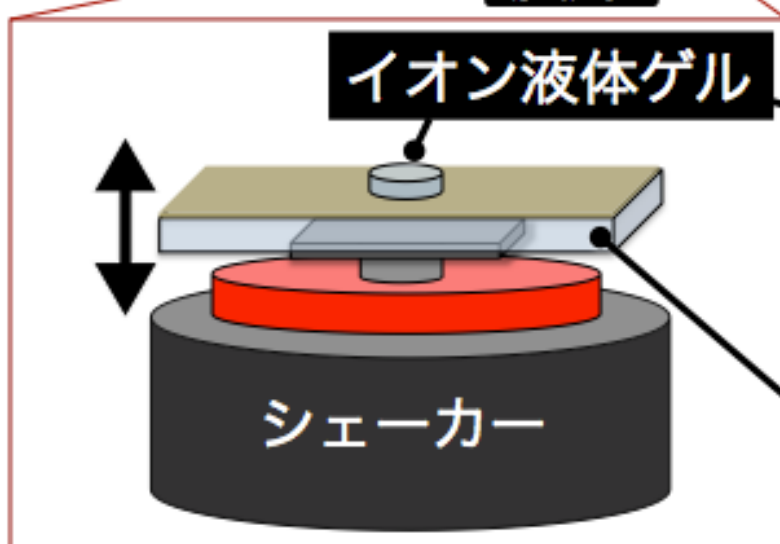
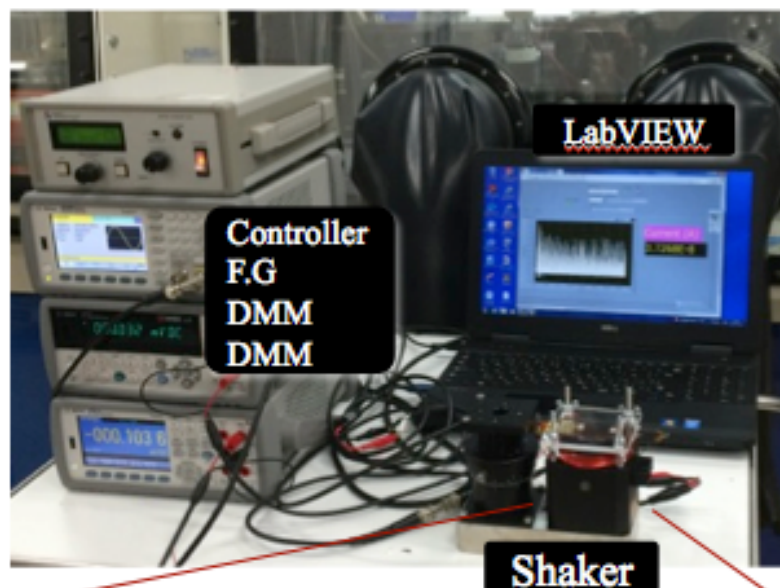
SAGInoMIYA



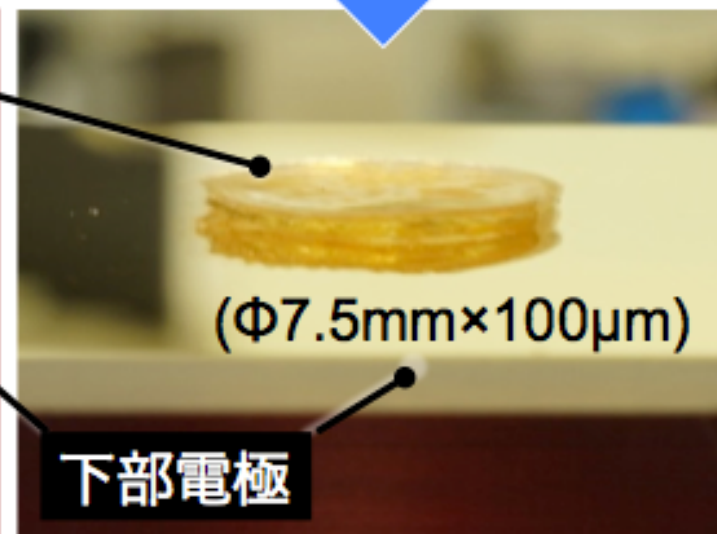
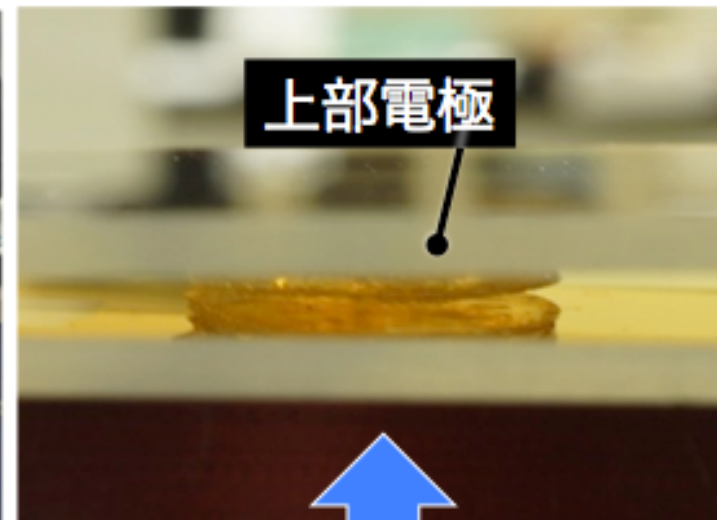
イオン固定ゲルの発電実験セットアップ

NMEMS Confidential

SAGInoMIYA



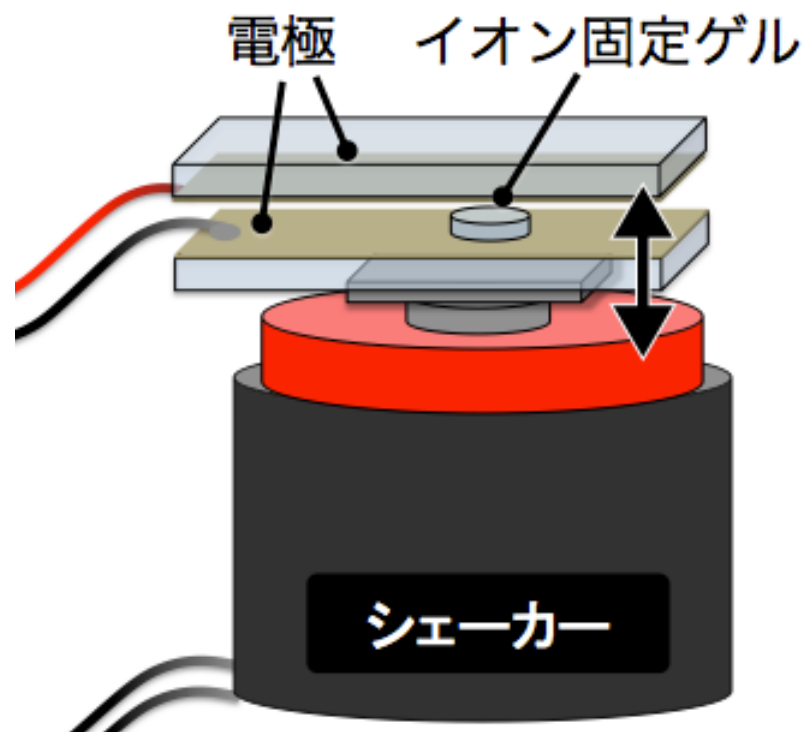
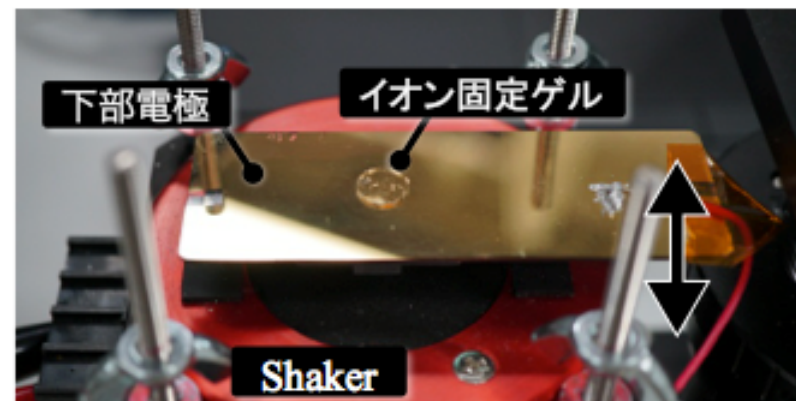
(a) 実験セットアップ



(b) シェーカー実験

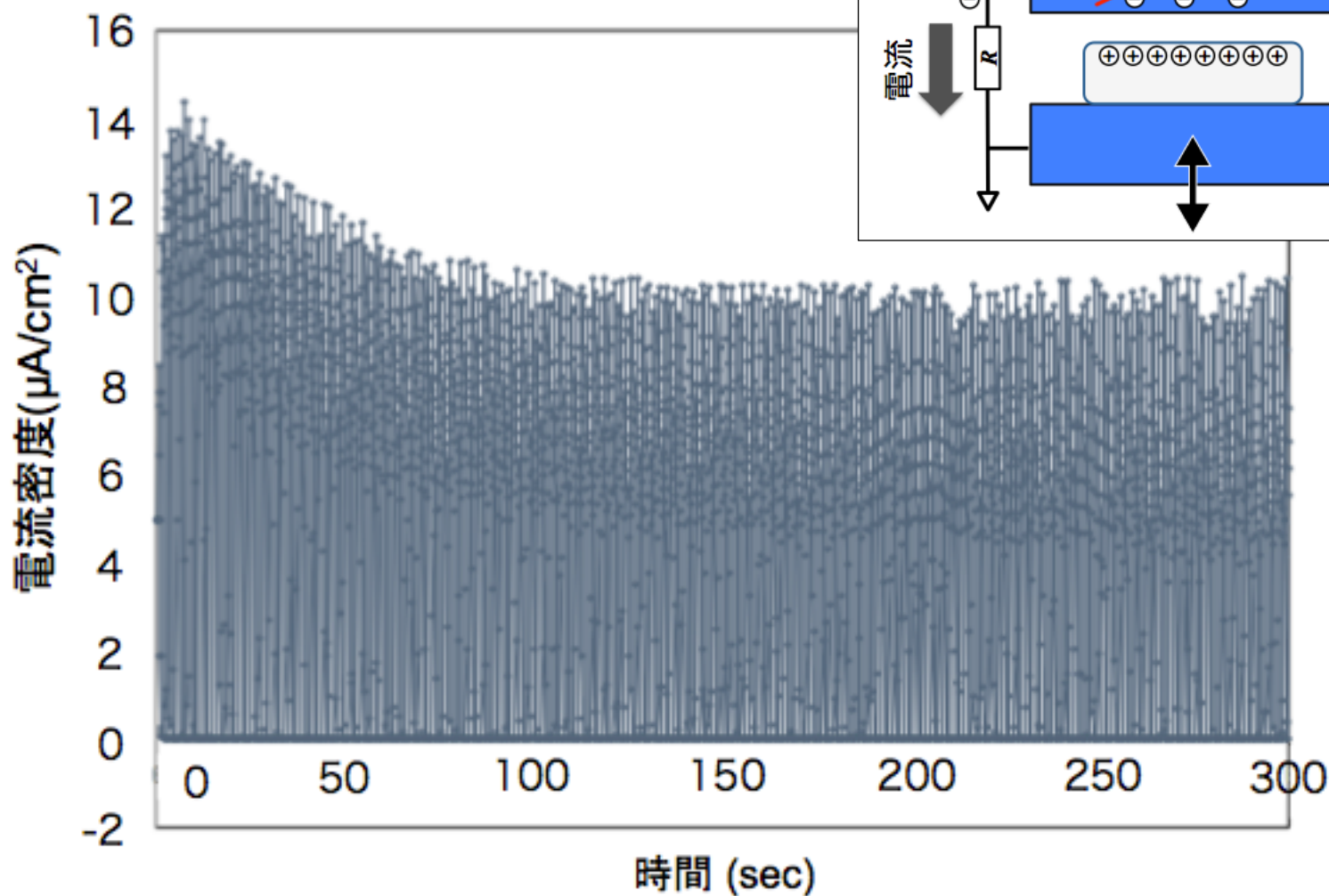
イオン固定ゲルの発電実験風景

NMEMS Confidential



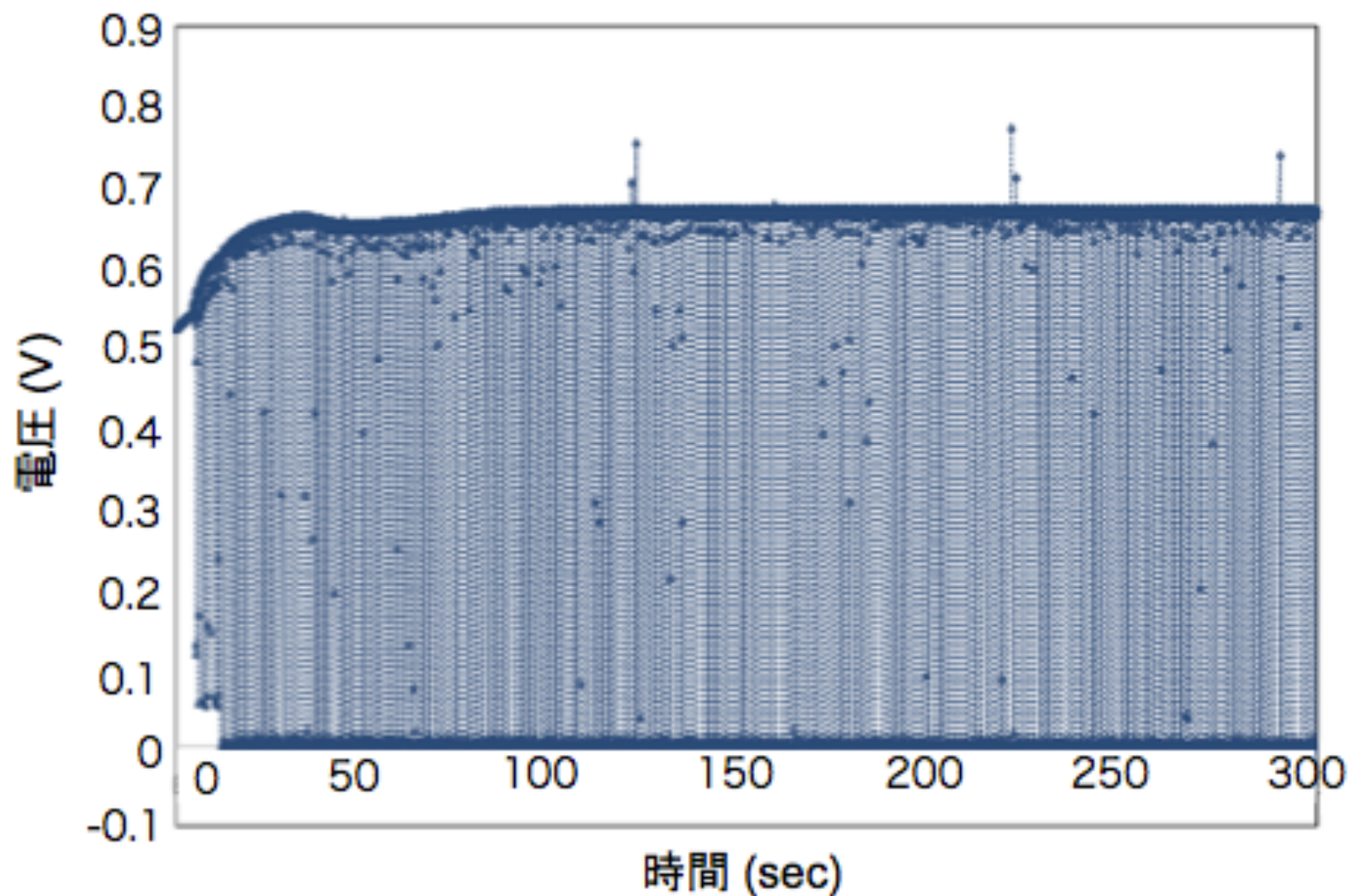
❖ イオン液体ゲルの発電電流（実験結果）

〈振動：1 Hz, デジタルマルチメータ：10M Ω 〉



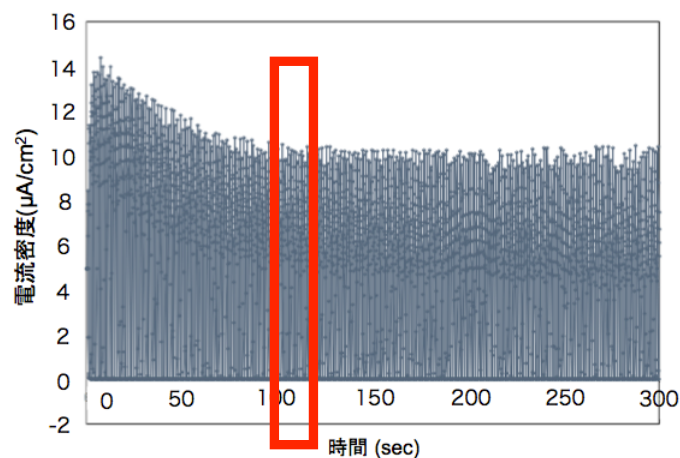
❖ イオン液体ゲルの発電電圧（実験結果）

〈振動：1 Hz, デジタルマルチメータ：10M Ω 〉

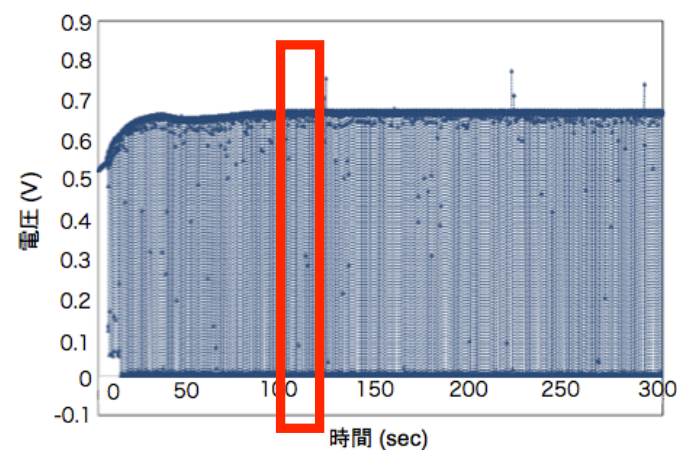


❖ イオン液体ゲルの実験結果 (100sec~110sec)

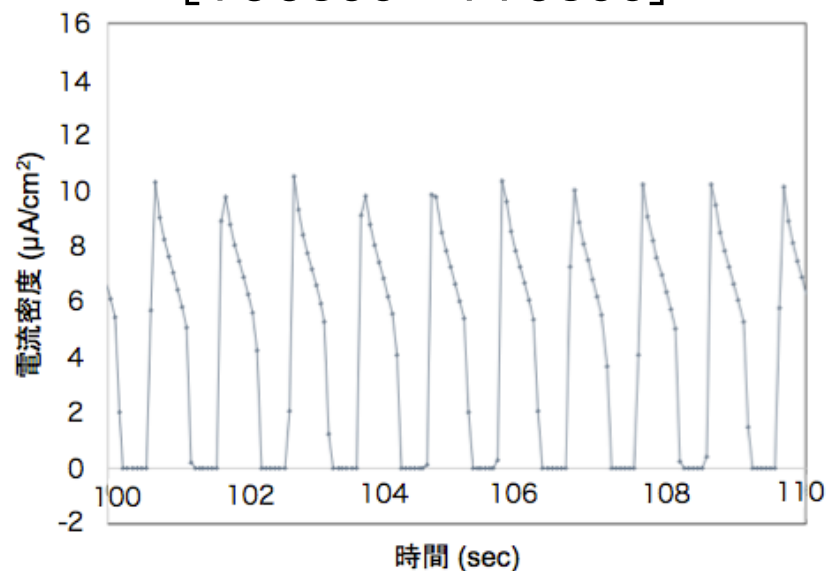
[発電電流(電流密度)]



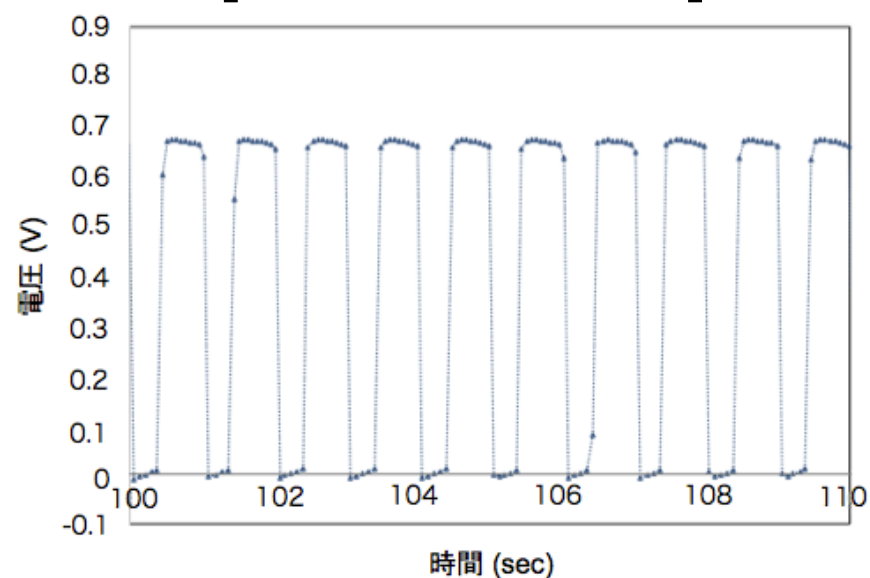
[発電電圧]



[100sec~110sec]



[100sec~110sec]



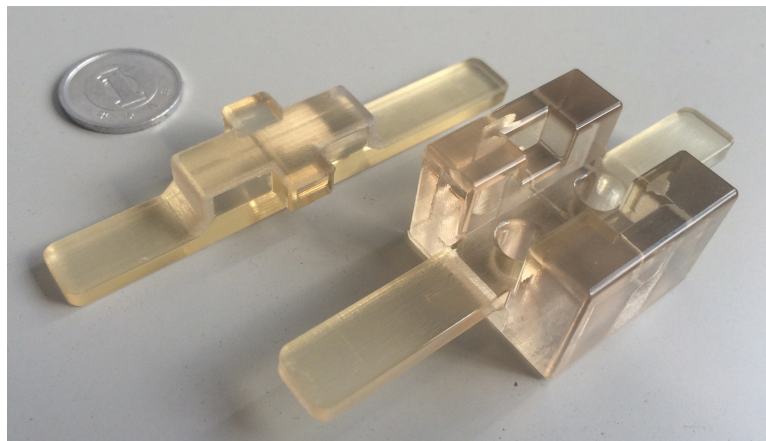
❖ イオン液体ゲルと他技術の比較

型	イオン液体ゲル(本テーマ)	打ち込み型エレクトレット	トライボエレクトリック
原理			
力:F	小, $1\sim 100\text{g/cm}^2$, 慣性力(人間)	小, $1\sim 100\text{g/cm}^2$, 慣性力(構造物)	大, 1.5 kg/cm^2 , フットステップ
周波数:f	低	中～高	低
絶縁(電極)	不要	必要	不要
デバイス構造	簡単, 堅牢	フラジャイル	複雑, 堅牢
利点	電流大, $\sim 3\text{V} \times \sim 10\mu\text{A/cm}^2$	電圧大, $\sim 20\text{V} \times \sim 1\mu\text{A/cm}^2$	電圧大, $135\text{V} \times 0.8\mu\text{A/cm}^2$

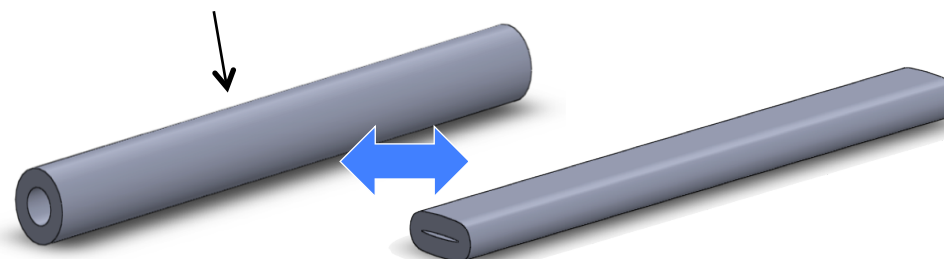
イオン固定ゲル今後の取り組み

❖ 3Dプリンターなどで種々な鋳型を製作.

例) マカロニ状形状製作用鋳型



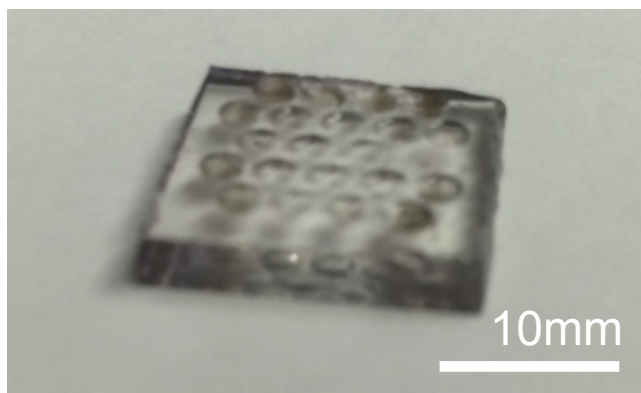
イオン固定ゲル形状



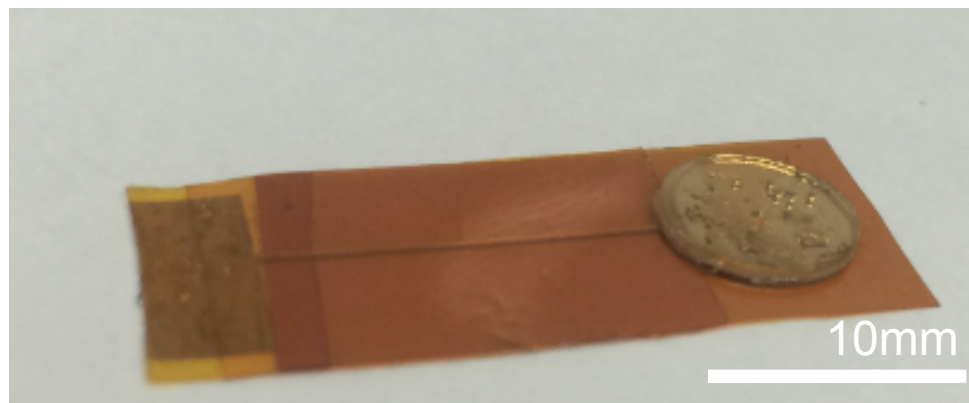
[発電の様子 (3D模式図)]

❖ また, MEMS技術によりモールド型, フレキシブル基板などを製作し評価中.

例) たこ焼き器形状モールド



例) フレキシブル基板



❖ 現在までのまとめ

- イオン液体とエレクトレットを組み合わせる指針がたった.
- イオン液体ゲルは, 静電引力による出力低下に有効であり, 液体状の場合に比較して11倍程度の発電電流を得られた.
- イオン固定ゲルは, 外部に電源やエレクトレットを用いずに, $10 \mu\text{A}_{\text{p-p}}\text{cm}^{-2}$ (1Hz, $10\text{m}\Omega$) 程度の電流を得られた.

❖ 今後の予定

- 液状イオン液体とエレクトレットを組み合わせ評価を行なう.
- ゲル形状, 電極形状を工夫しデバイス評価を行なう.
- 出力増大に最適なイオン液体を選定する.