

# 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26年6月15日(月)  
14:00 ~ 18:30

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

SAGINO MIYA



# アウトライン

- 概要, 年度計画
- 進捗報告
  - 研究項目B (発表: 10分)
  - 研究項目C (発表: 10分)
    - デモンストレーション (5分)
- 今後の予定

質疑応答

- 研究項目B：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

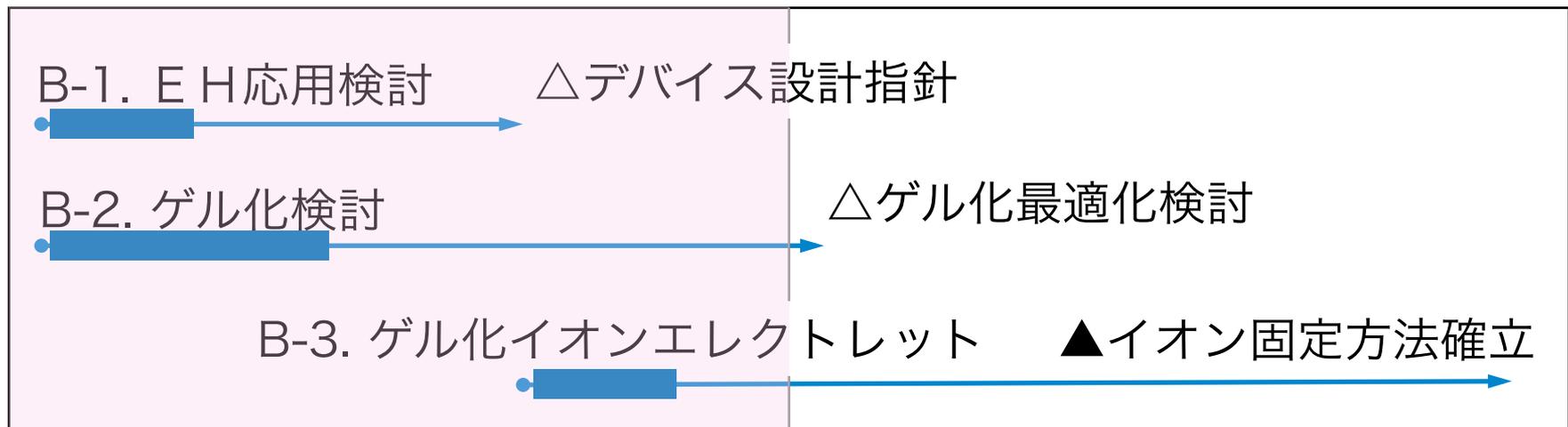
担当：鷺宮製作所 R&Dセンター

発表者：三屋 裕幸, 鷺宮製作所 R&Dセンター

## 【概要・年度計画】

〈2015年度〉

〈2016年度〉



## ●研究項目C：高効率エナジーハーベスタの開発

担当：鷺宮製作所 R&Dセンター

(再委託) 東京大学 生産技術研究所

発表者：芦澤 久幸, 鷺宮製作所 R&Dセンター

### 【概要・年度計画】

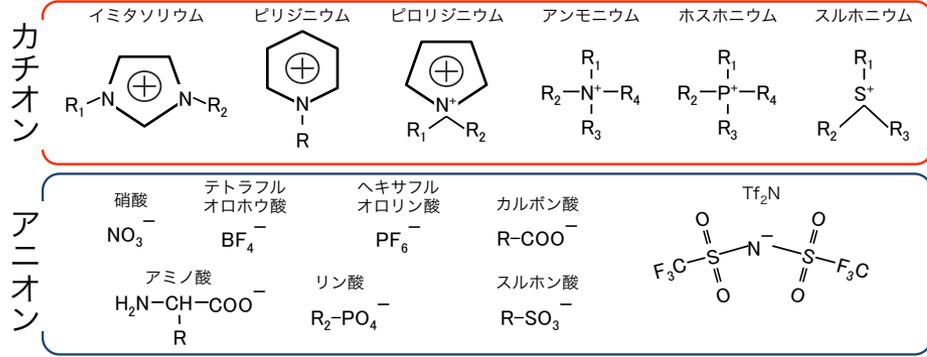
〈2015年度〉

〈2016年度〉



## ● イオン液体発電の原理と特長

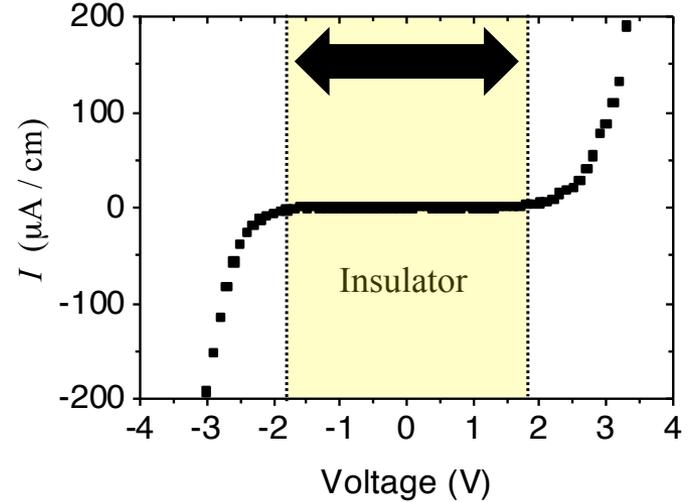
### 〈イオン液体〉



### 〈発電原理〉



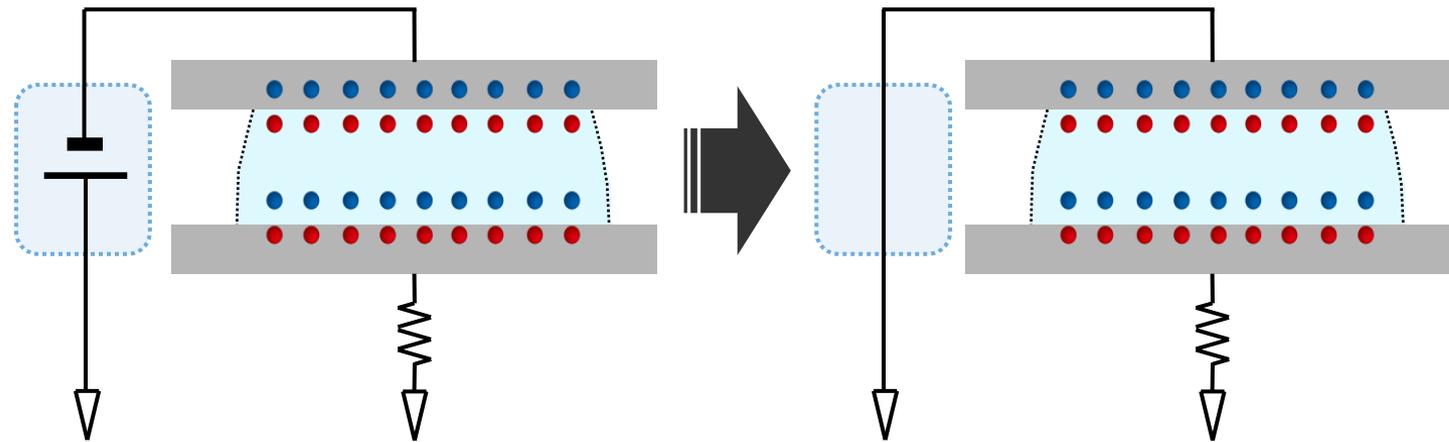
電位窓 (Potential Window)



### 〈特長〉

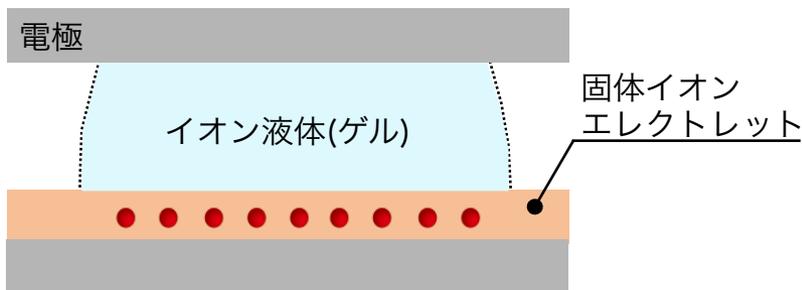
- 電気二重層キャパシタにより、大きな電流( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )をとり出せる。
- ゲル化すると発電量が大きくなる。
- 低周波域 ( $\sim 30\text{Hz}$ ) で発電電流が最大となる。

## ● イオン液体発電の課題

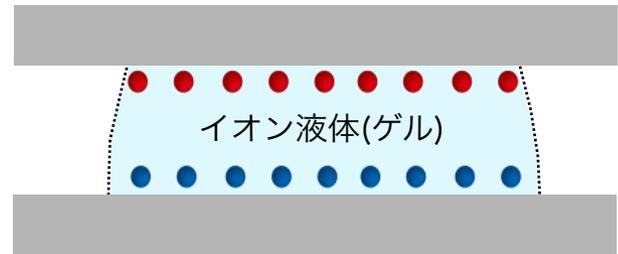


➤ どうやって電気二重層をつくり出すか？

① 固体イオンエレクトレット  
+ イオン液体(ゲル)

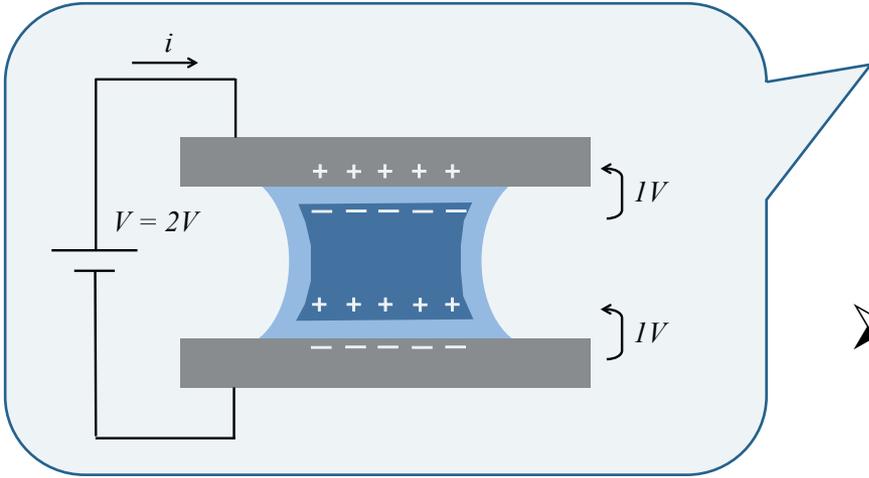
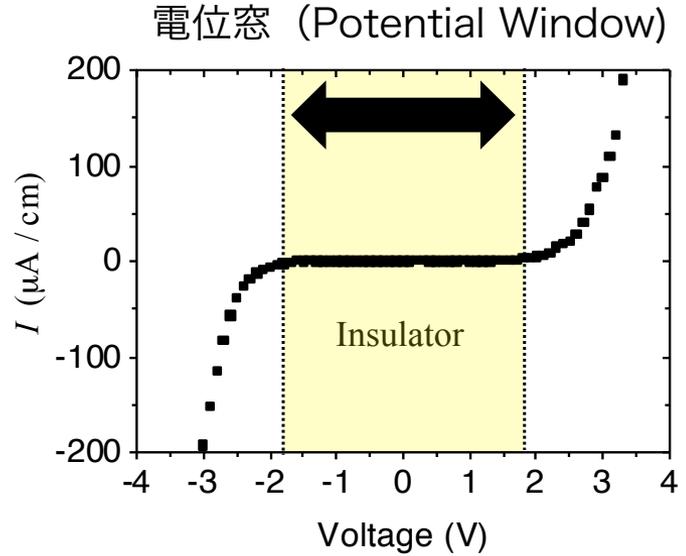
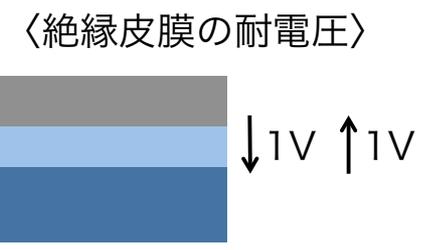
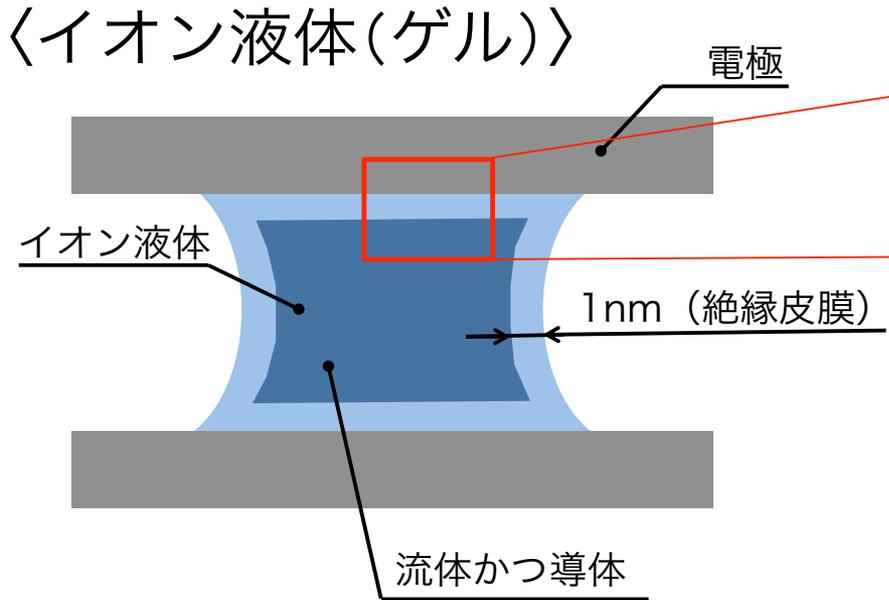


② イオン液体ゲル内に  
イオンを固定



※ゲル製作時に外部電圧を与える<sup>6</sup>

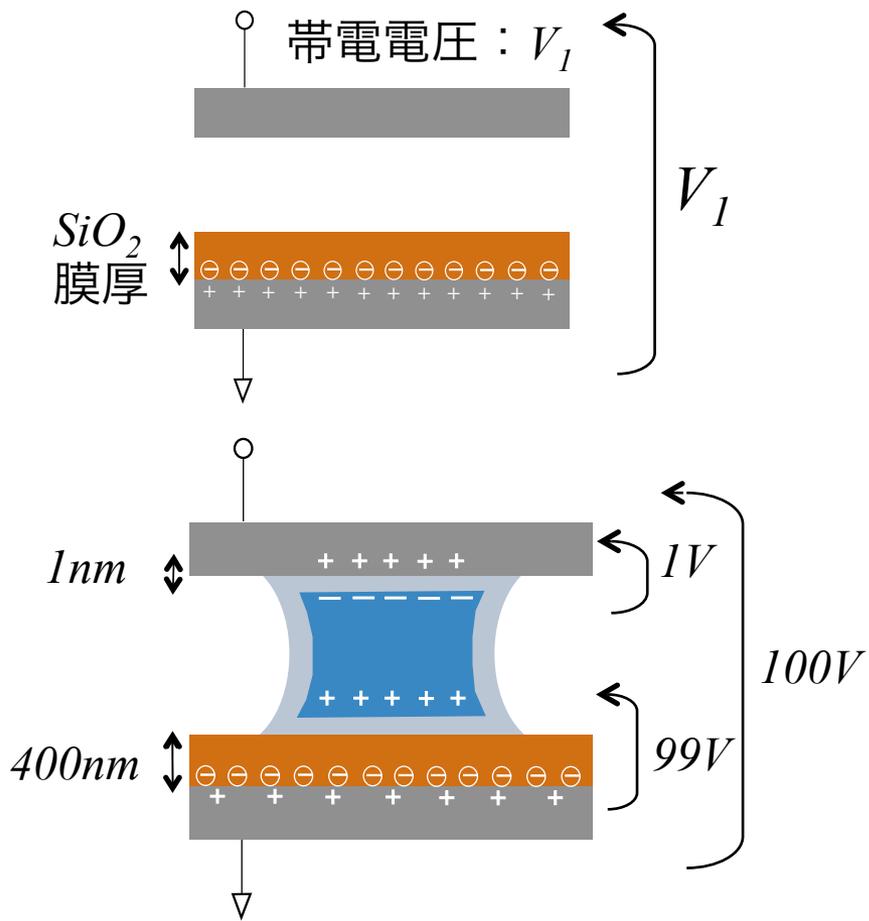
## ① 固体イオンエレクトレット + イオン液体(ゲル)



➤ イオン液体は絶縁皮膜付きの液導体

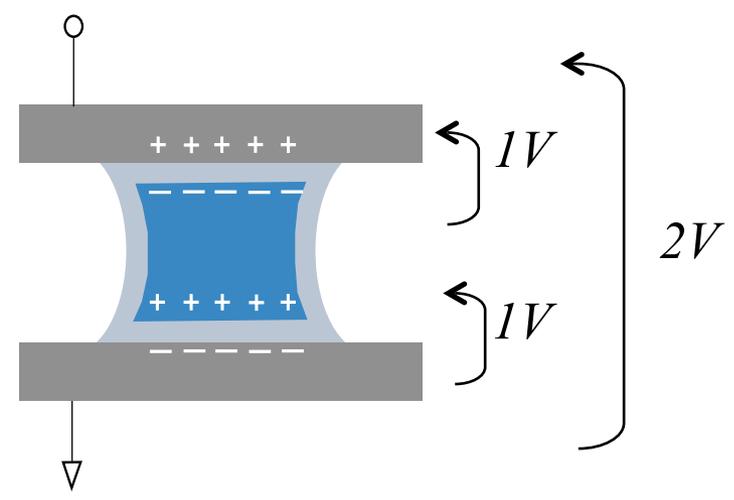
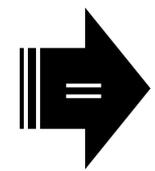
## ① 固体イオンエレクトレット + イオン液体(ゲル)

### 〈固体イオンエレクトレット〉



### 【条件例】

- 帯電電圧  $V_1$  : 100V
- $SiO_2$  膜厚さ : 400nm
- 電気二重層ギャップ : 1nm



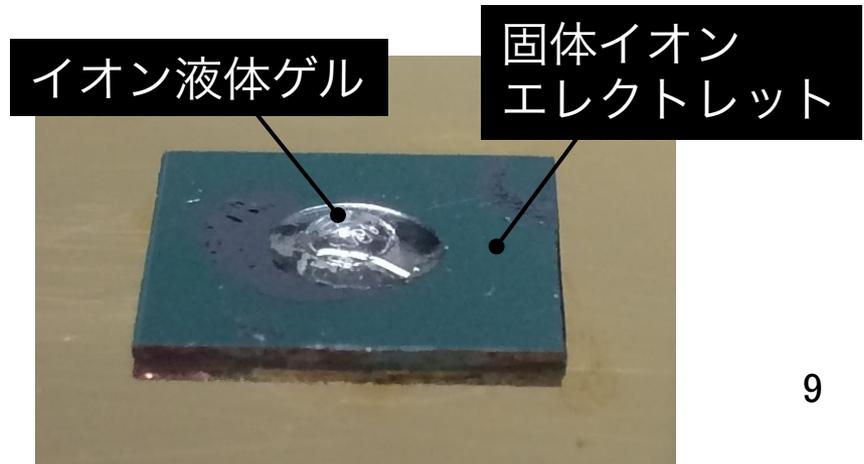
➤ 電極間電圧は  $SiO_2$  膜厚, 帯電電圧の関係により決まる。<sup>8</sup>

## ① 固体イオンエレクトレット + イオン液体(ゲル)

- イオン液体 (ゲル) の両端にかかる電圧は,  
固定電荷とのギャップ, 面電荷密度 (帯電電圧) により決まる.
- 固体イオンエレクトレットは他のエレクトレット方式に比べ,
  - 固定電荷とのギャップ =  $\text{SiO}_2$ 膜の厚さ
  - 面電荷密度 (帯電電圧) = BT処理電圧

で決まる. どちらも「コントロール性」が非常に高く相性がよい.

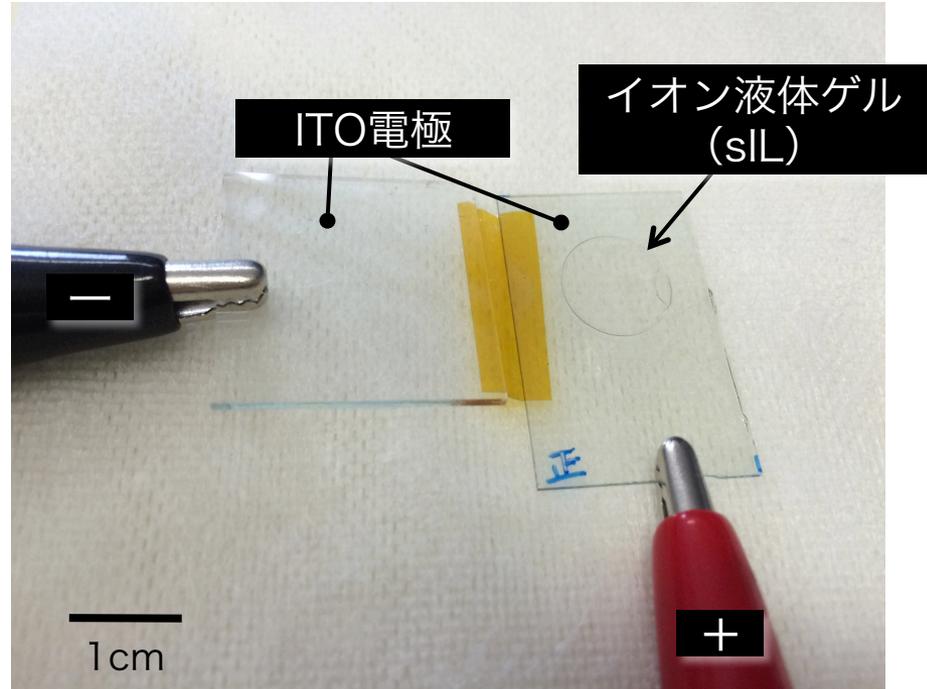
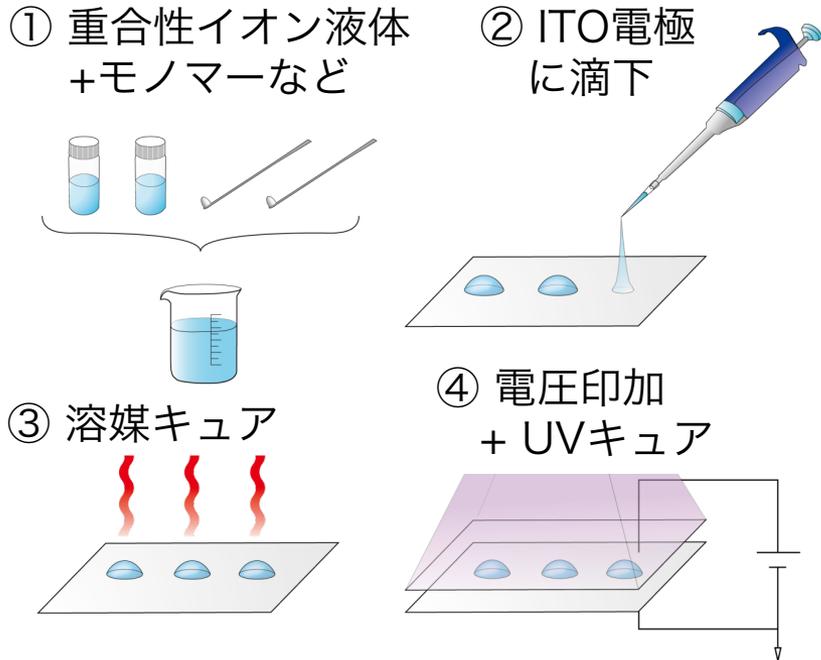
⇒ 今後, 固体イオンエレクトレットを製作し, イオン液体 (ゲル) で検証を進めます.



## ②イオン液体ゲル内にカチオン(+)を固定



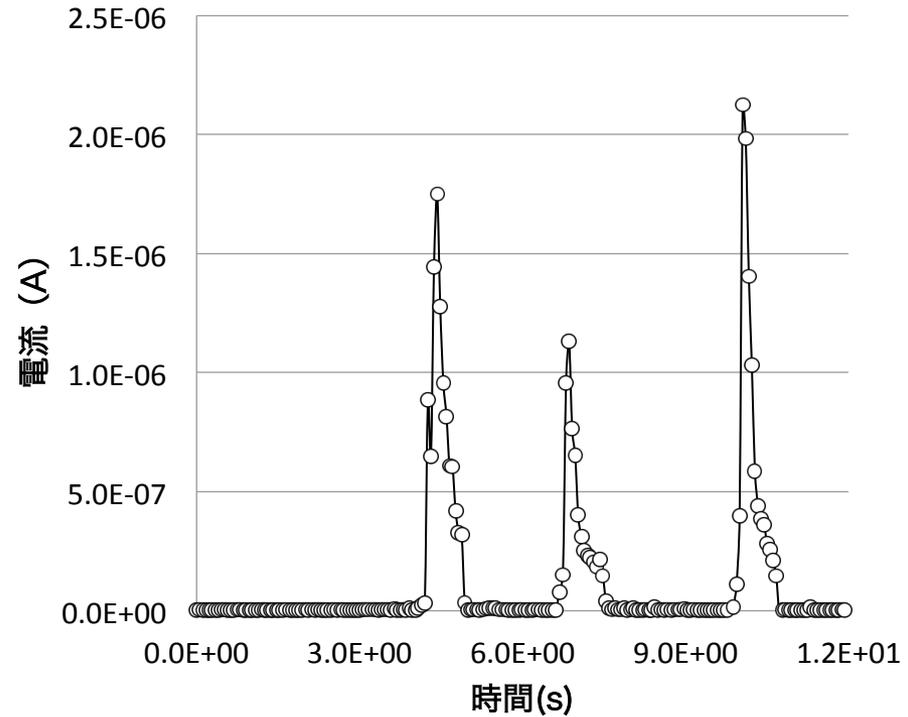
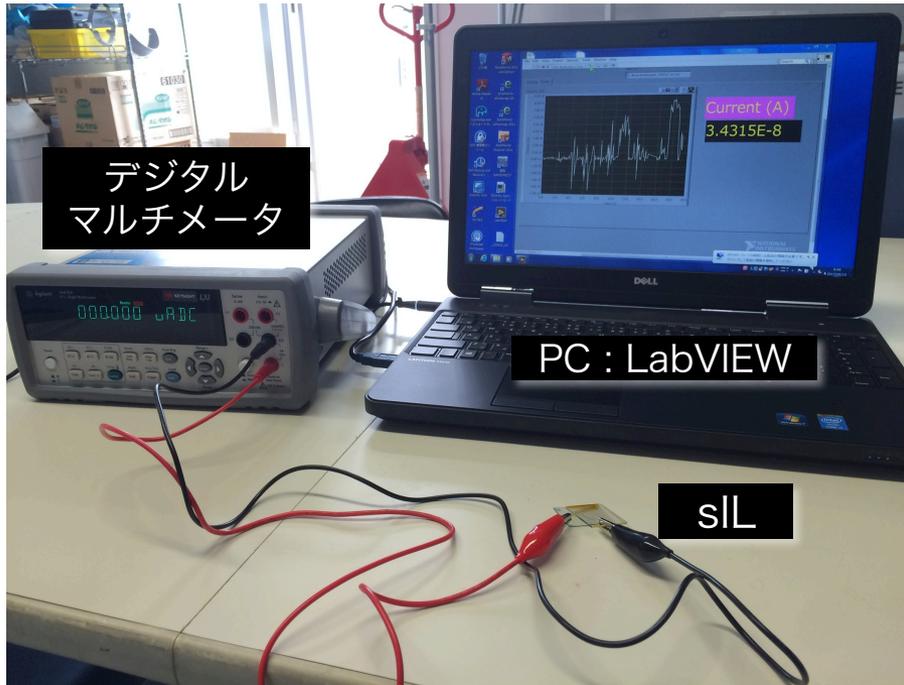
### イオン液体ゲルのイオン固定方法



## ②イオン液体ゲル内にカチオン(+)を固定

〈実験セットアップ〉

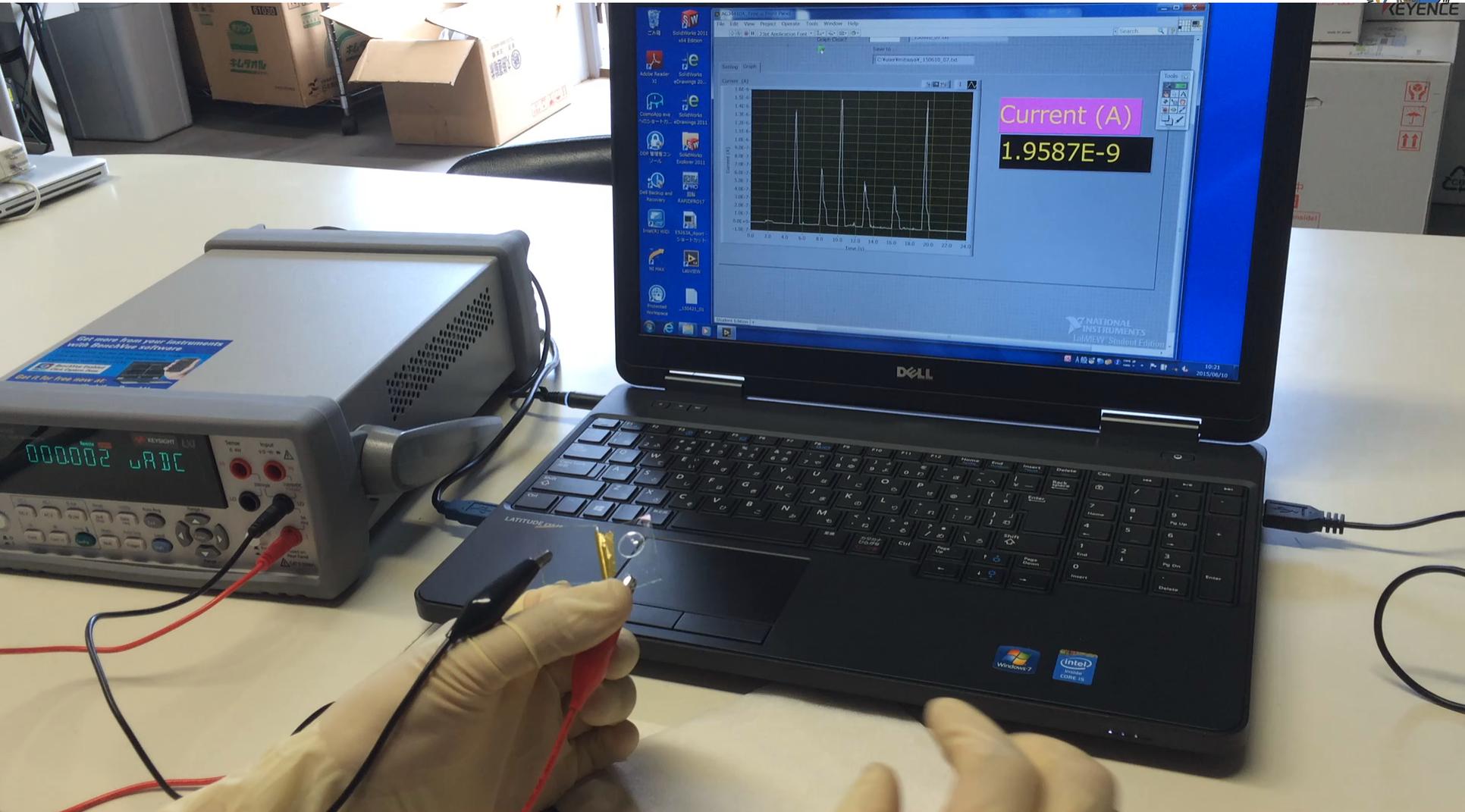
〈電流計測結果〉



➤ 外部電源なしで  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  オーダーの電流を得られた。

⇒ アニオン(-)の固定により、さらに高い電流をめざす。 11

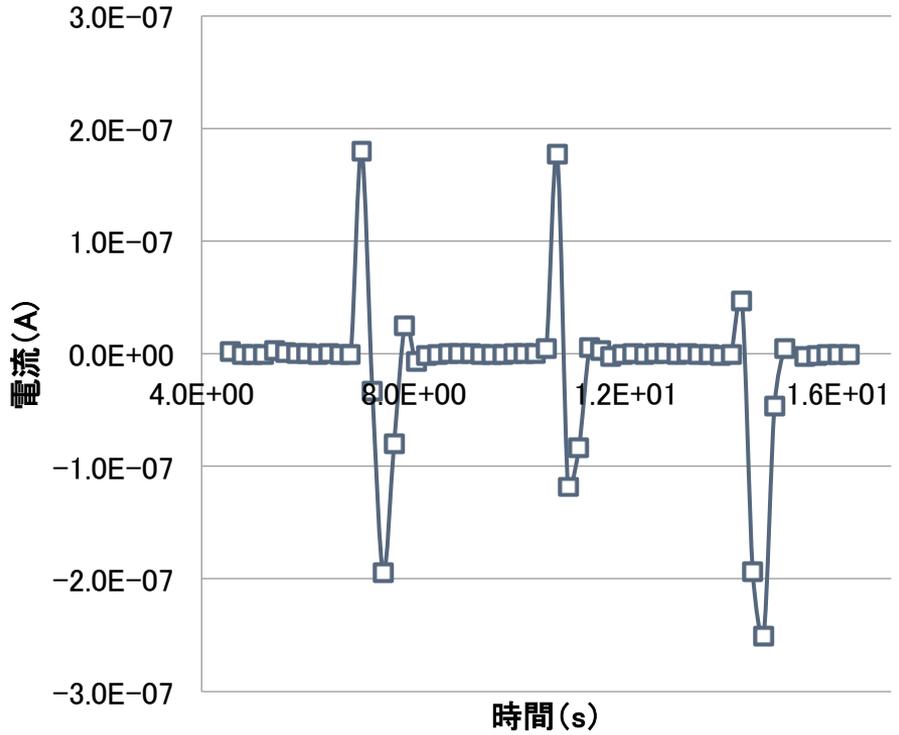
## ②イオン液体ゲル内にカチオン(+)を固定



## ● N<sub>2</sub>雰囲気中(グローブバッグ内)で発電実験

〈実験セットアップ〉

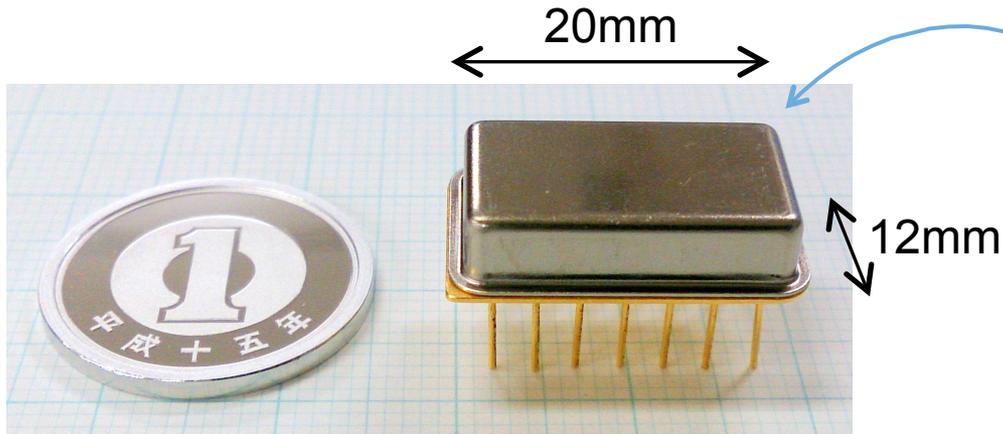
〈電流計測結果〉



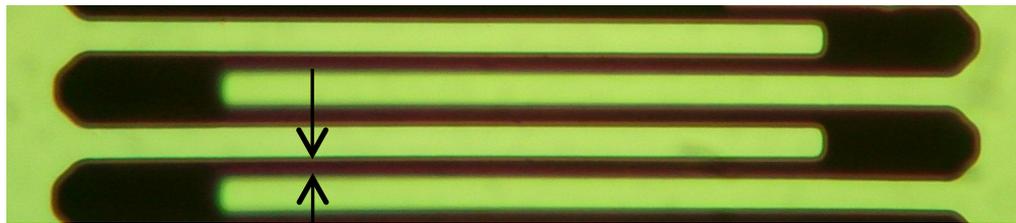
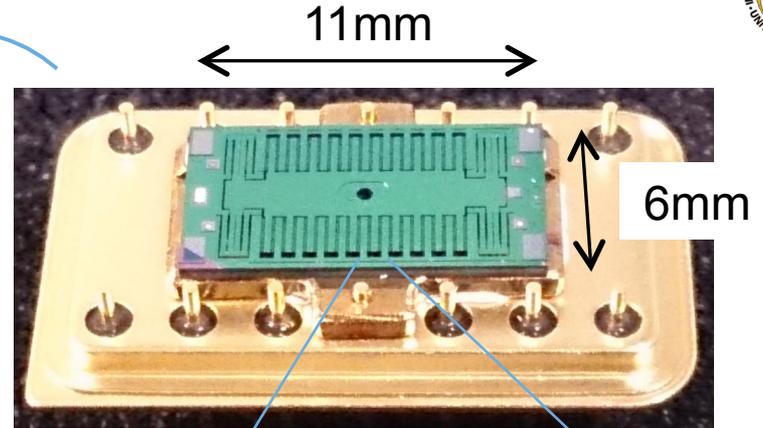
➤ 大気雰囲気中とは違い、プラスマイナスの電流が流れた。  
⇒N<sub>2</sub>, 真空パッケージにより改善する。

# 進捗報告 (研究項目C)

## ● 高効率エナジーハーベスタ 一次試作品

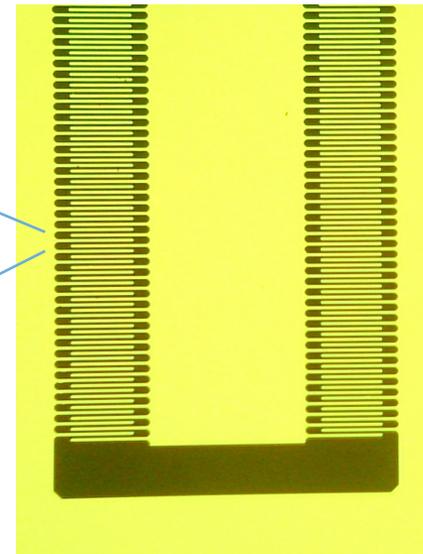


メタルCANパッケージ  
(窒素封止)



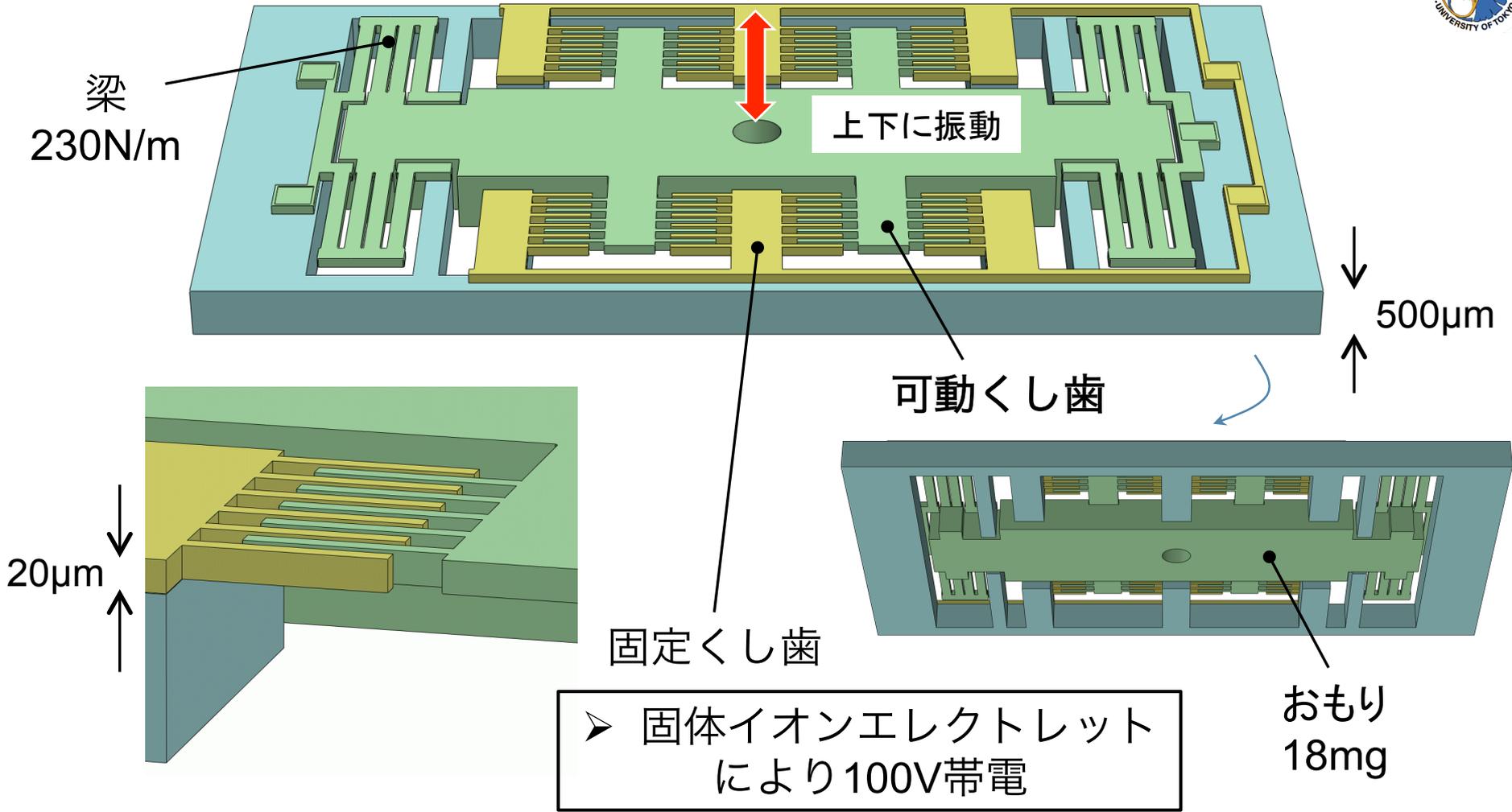
2 $\mu$ m (現有装置の限界)

くし歯 (計8000本)

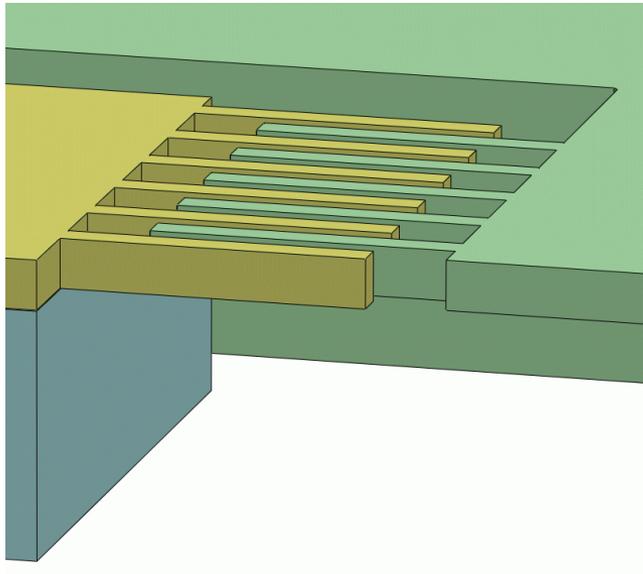


# 進捗報告 (研究項目C)

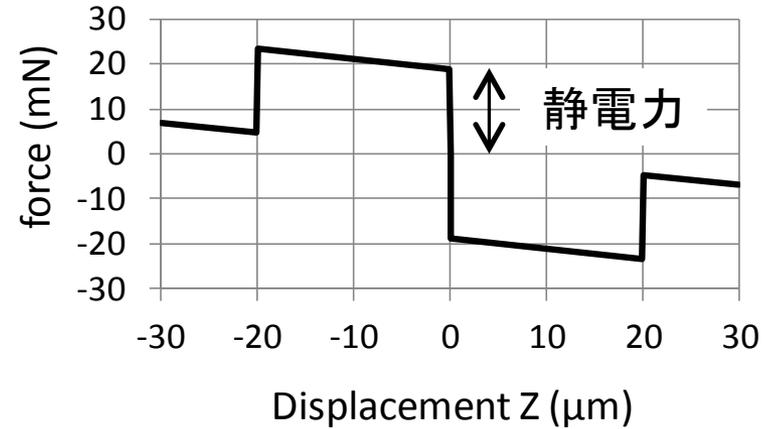
## ● 高効率エネルギーハーベスタ 一次試作品



## ● 高効率エナジーハーベスタ 一次試作品



Z  
↑

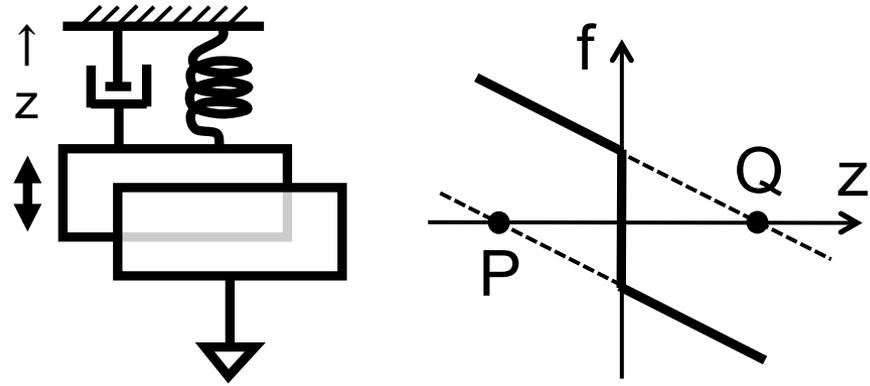


振動原点に静電力ギャップがあるため、  
共振による振動増幅に不向き

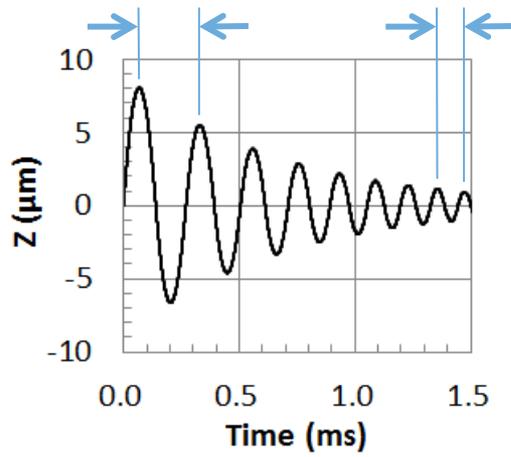


➤ インパルス加振に特化した発電デバイス

非線形振動子

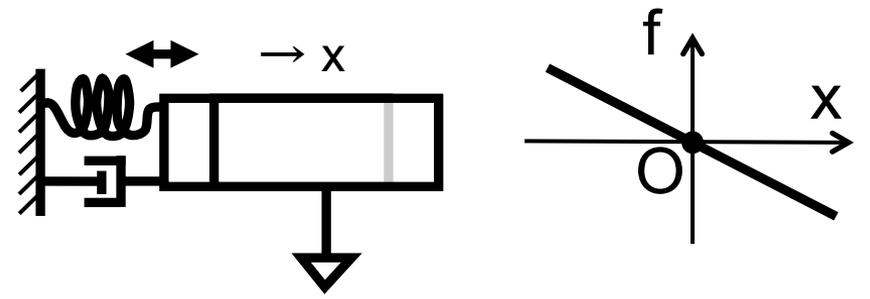


固有の振動周波数を持たない

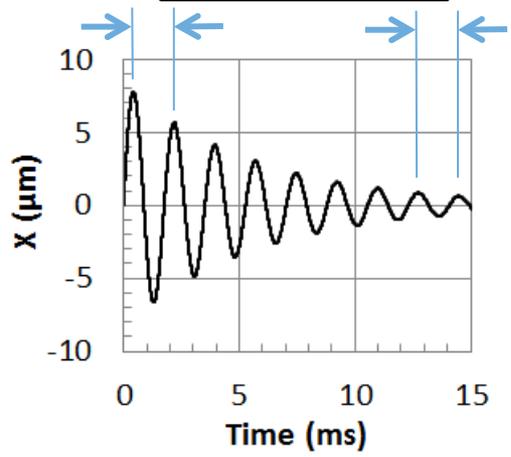


点Pを中心に単振動  
点Qを中心に単振動

線形振動子

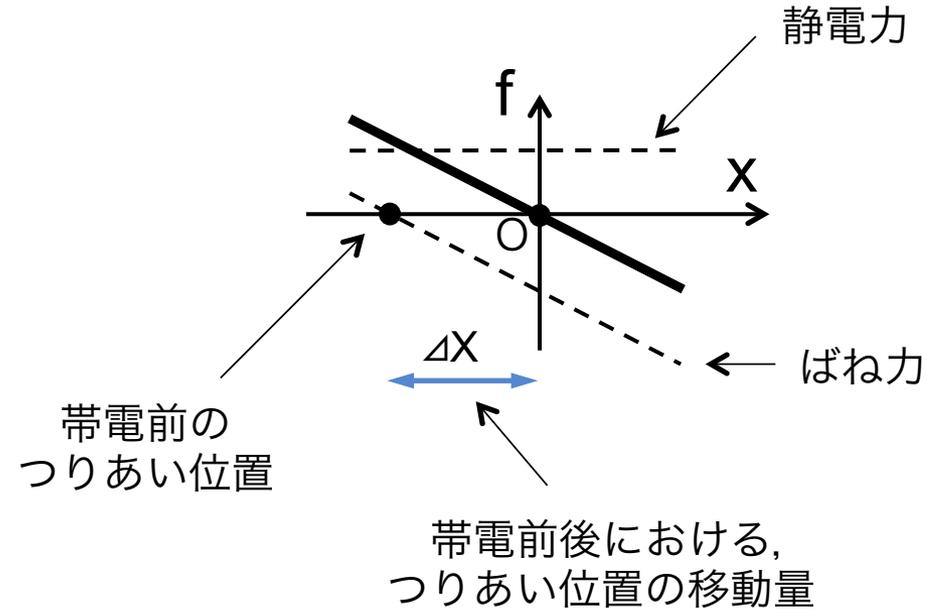
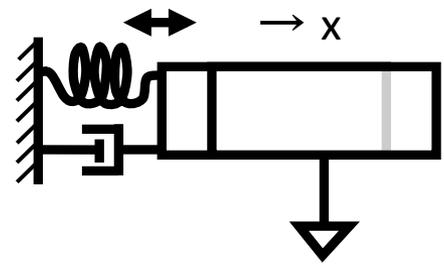


周波数一定



常に点Oを中心に単振動

線形振動子



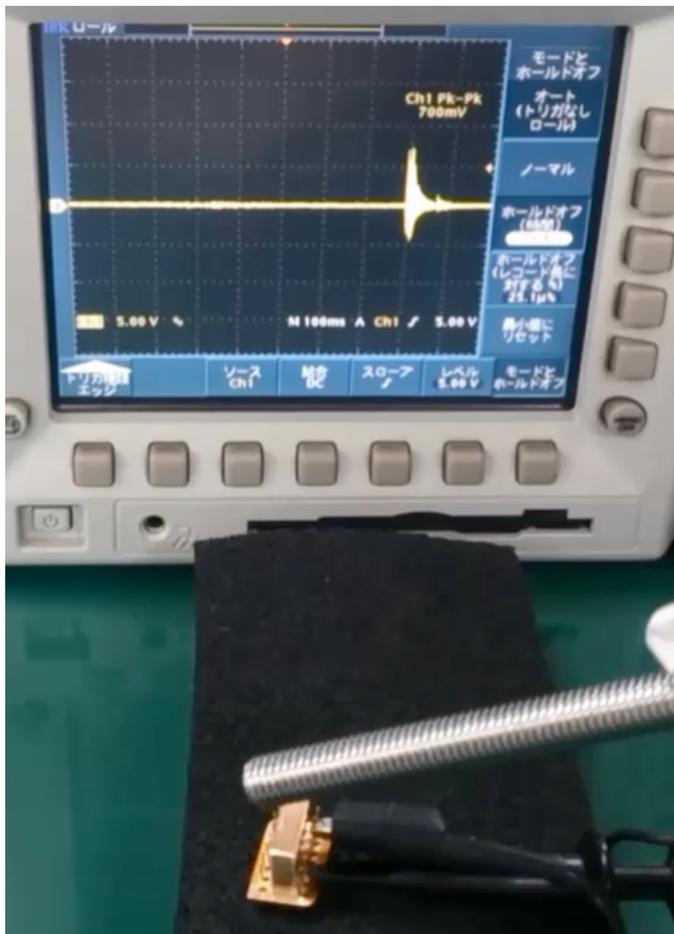
- 静電力を大きくすると,  $\Delta X$ が大きくなる → MEMS設計に不利
  - ばね定数を小さくすると,  $\Delta X$ が大きくなる → MEMS設計に不利
- ↓
- ばね定数を大きくせざるを得ない (結果, 共振周波数が上がる)

# 進捗報告 (研究項目C)

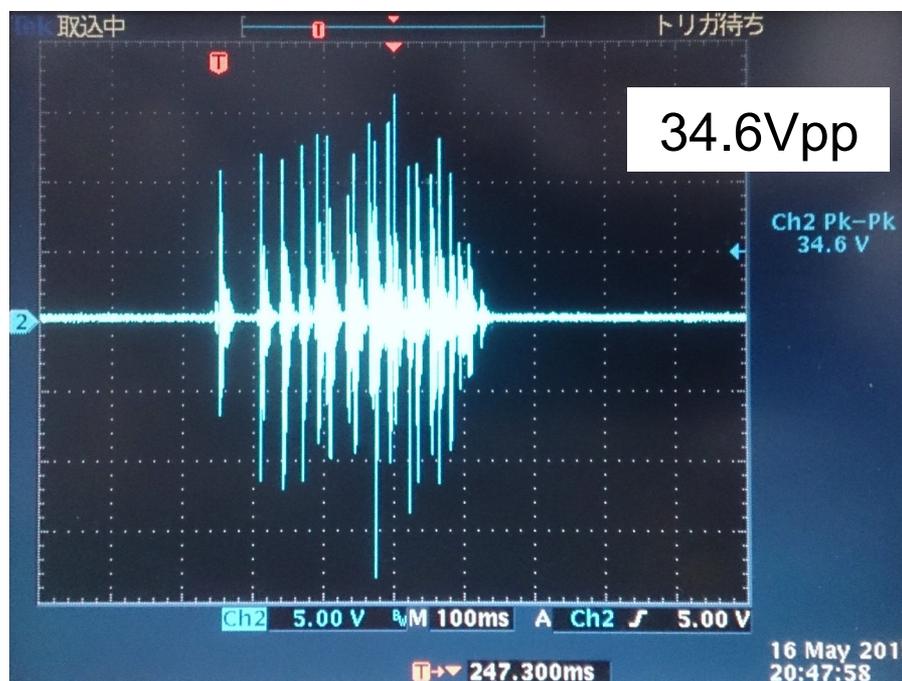
## ● 高効率エナジーハーベスタ 一次試作品

負荷10MΩ (5V/div)

〈ねじでこすり，連続的にインパルス加振〉



負荷1MΩ (5V/div)

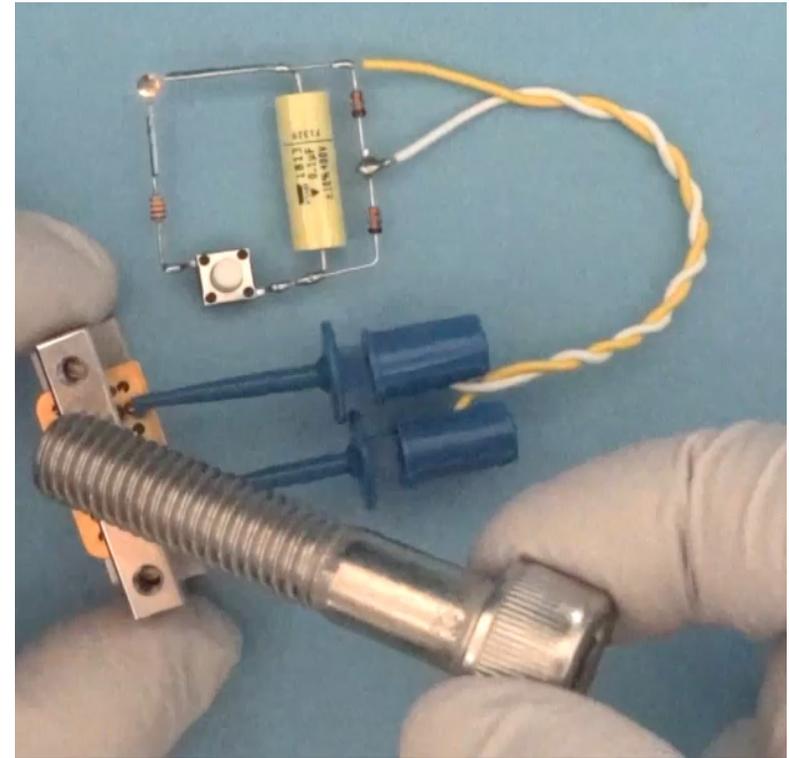
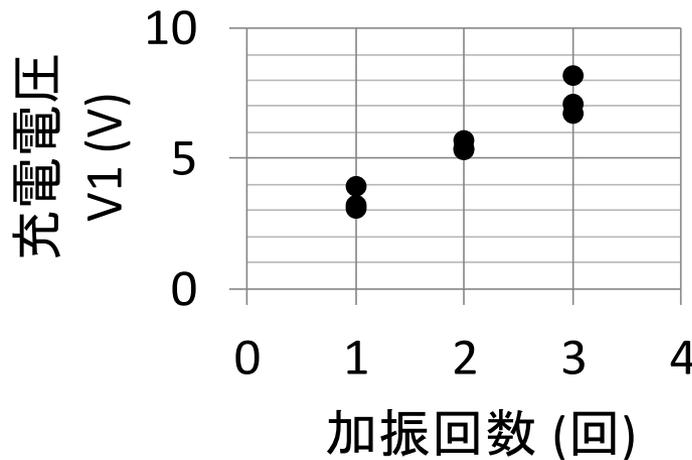
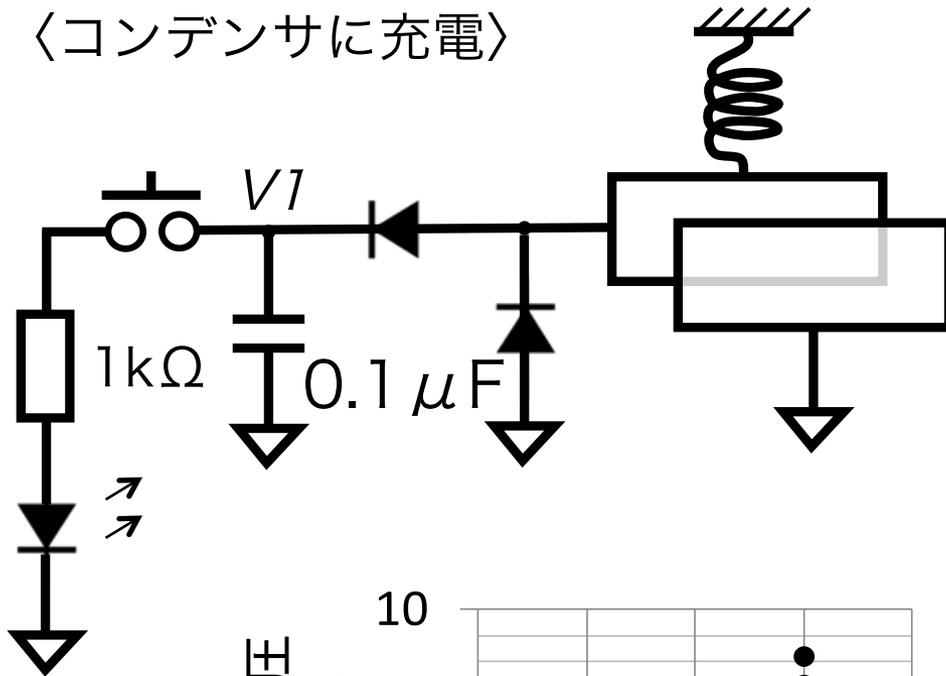


正弦波近似で 150μW

## ● 高効率エネルギーハーベスタ 一次試作品

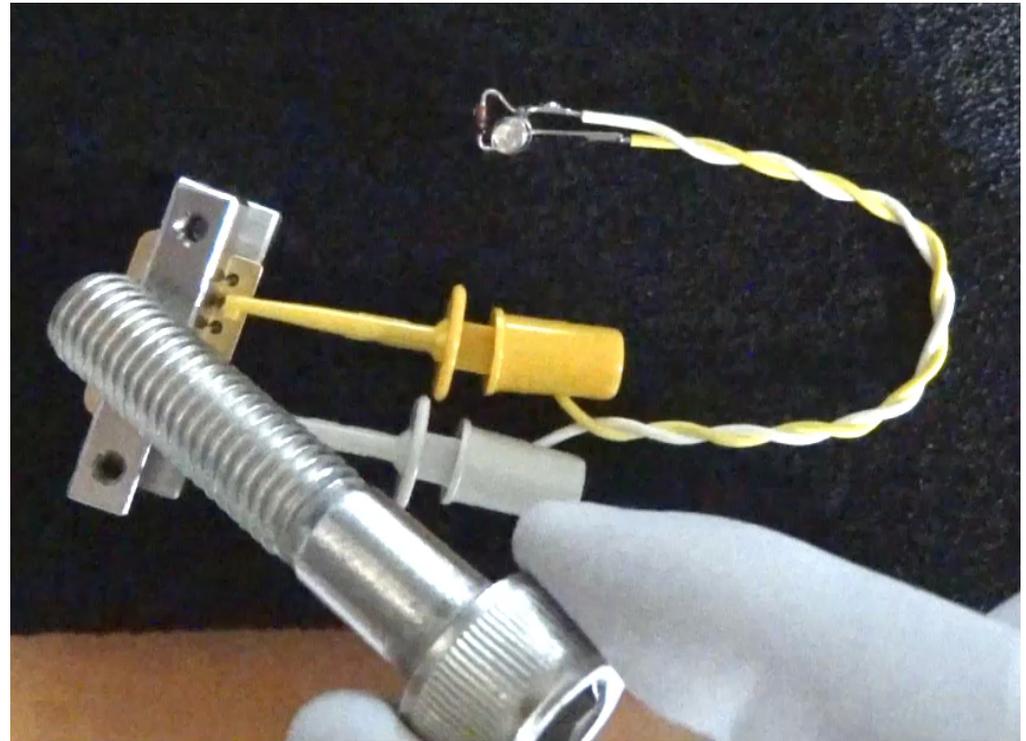
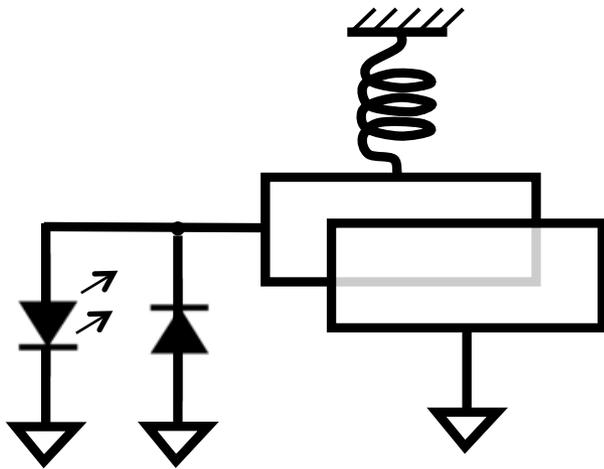


〈コンデンサに充電〉



## ● 高効率エナジーハーベスタ 一次試作品

〈LEDを直結〉

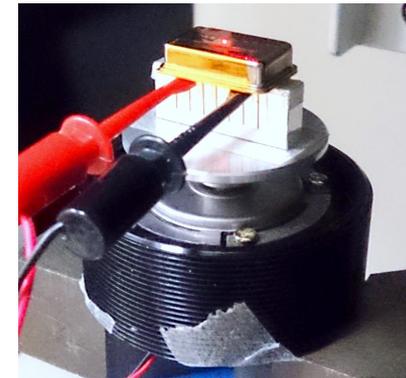
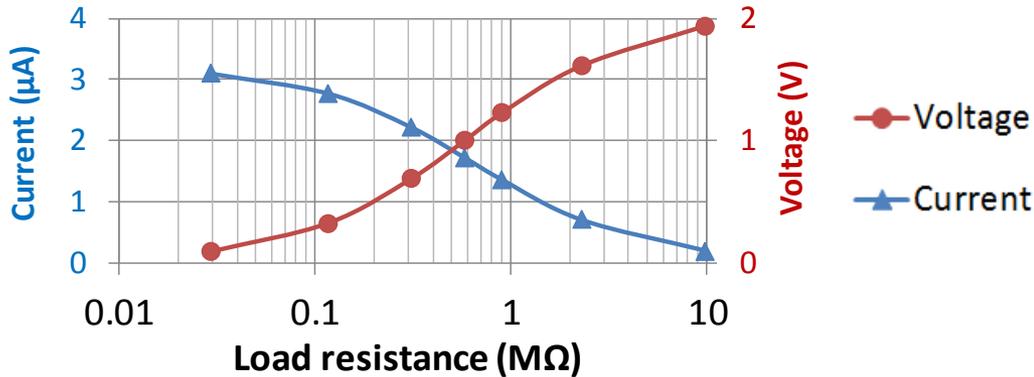


- 出力インピーダンスを低くできることが、  
固体イオンエレクトレットの特徴

## ● 高効率エネルギーハーベスタ 一次試作品



〈出カインピーダンスを見積り〉



ボイスコイルで  
インパルス加振



狭ギャップ側面の固体イオン  
エレクトレットにより低イン  
ピーダンスを実現できた

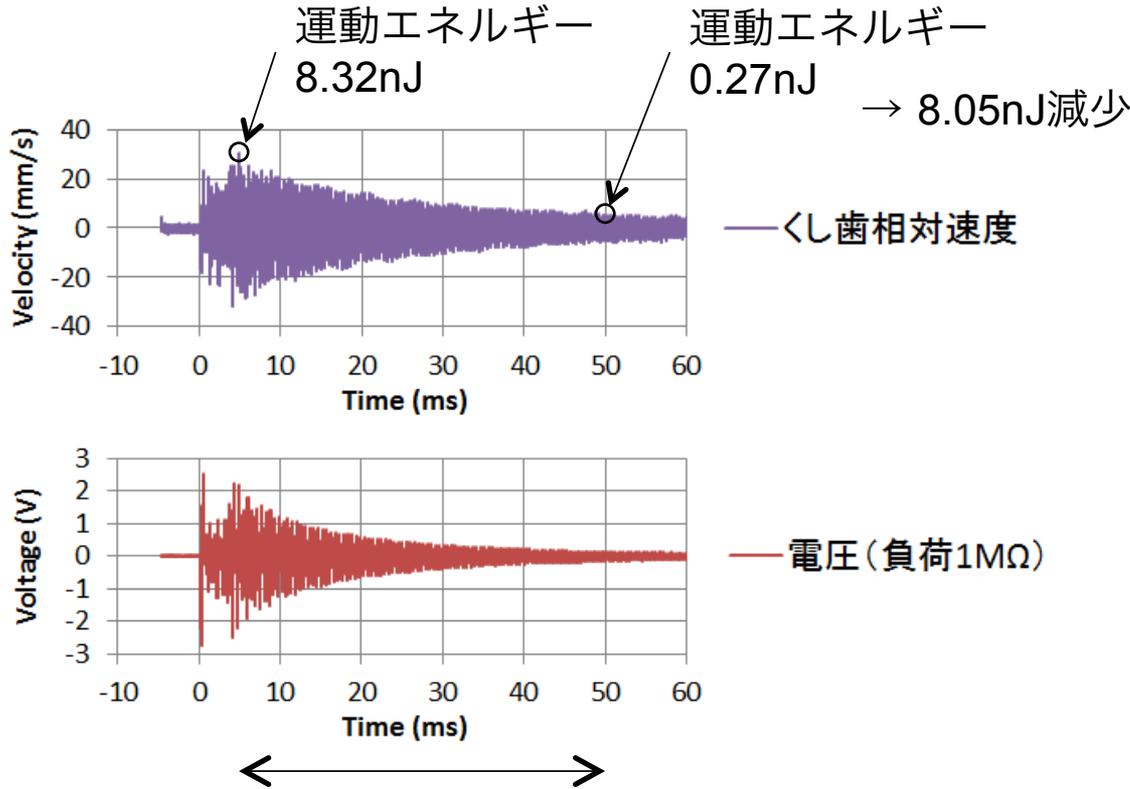


➤ 更なる狭ギャップ化で  
性能UPが期待できる

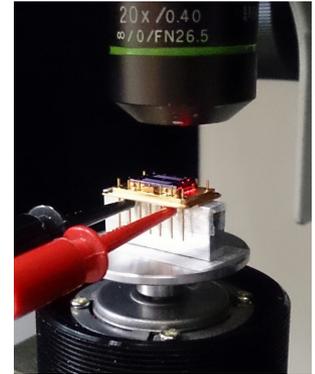
## ● 高効率エナジーハーベスタ 一次試作品



〈エネルギー変換効率・概略見積り〉



インパルス加振  
 $100\text{m/s}^2 \times 0.5\text{ms}$   
 $= \Delta 50\text{mm/s}$   
 $\downarrow$   
 励振20mm/s  
 (変位0.2μm)

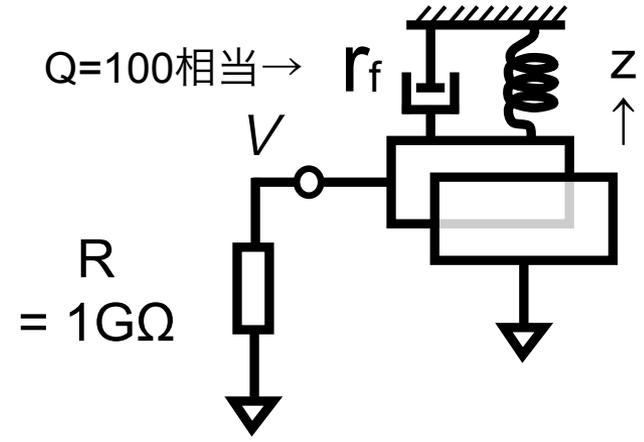
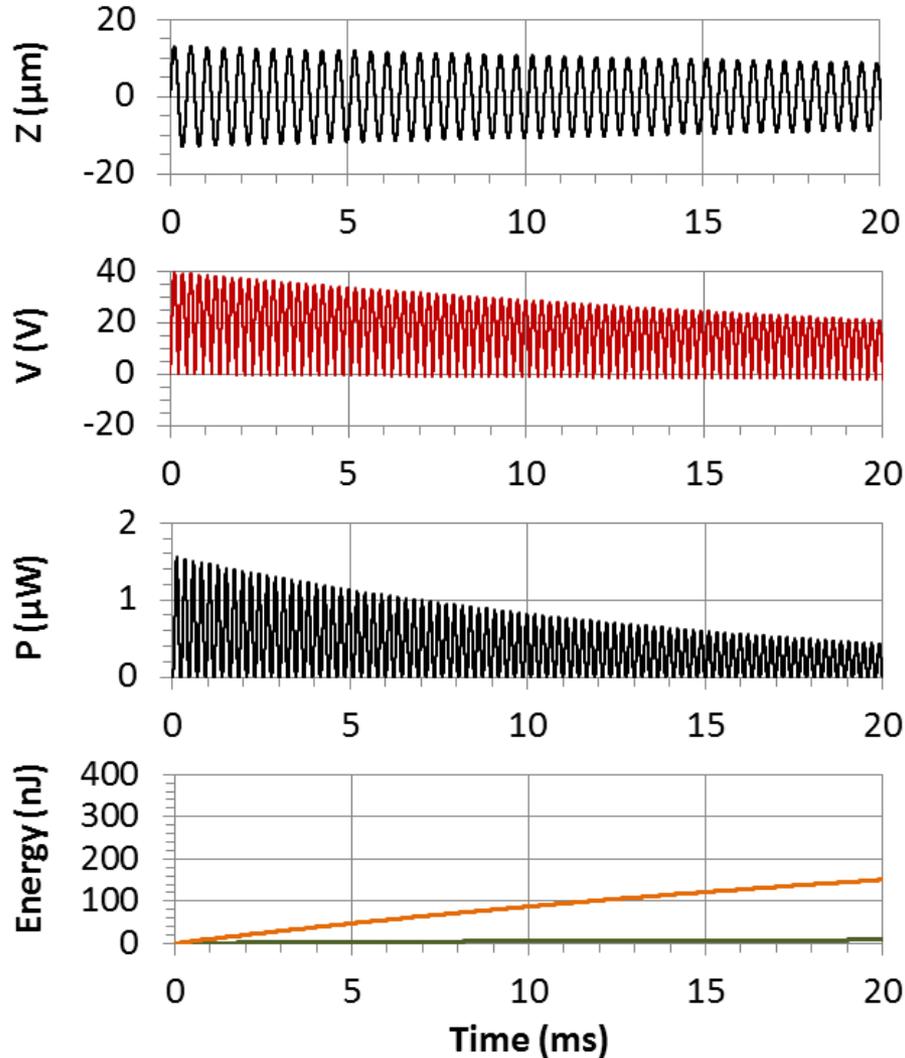


効率 =  $7.43\text{nJ} / 8.05\text{nJ}$   
 $= 92\%$

1MΩでの消費電力量 (5ms~50ms)  
 $= 7.43\text{nJ}$

## 〈シミュレーション・開放電圧〉

$v(0)=0.2\text{m/s} \rightarrow$  初期運動エネルギー = 360nJ



$P=V^2/R$

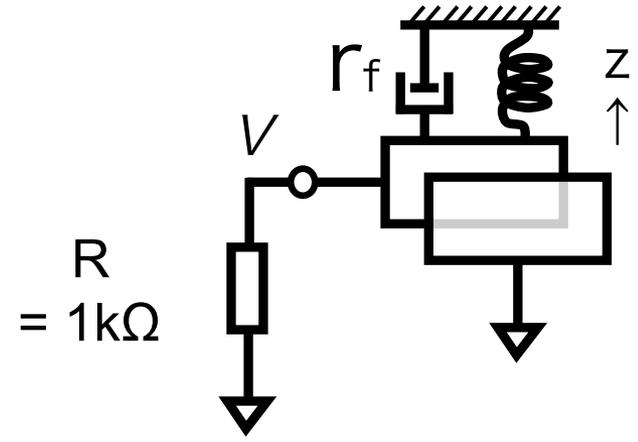
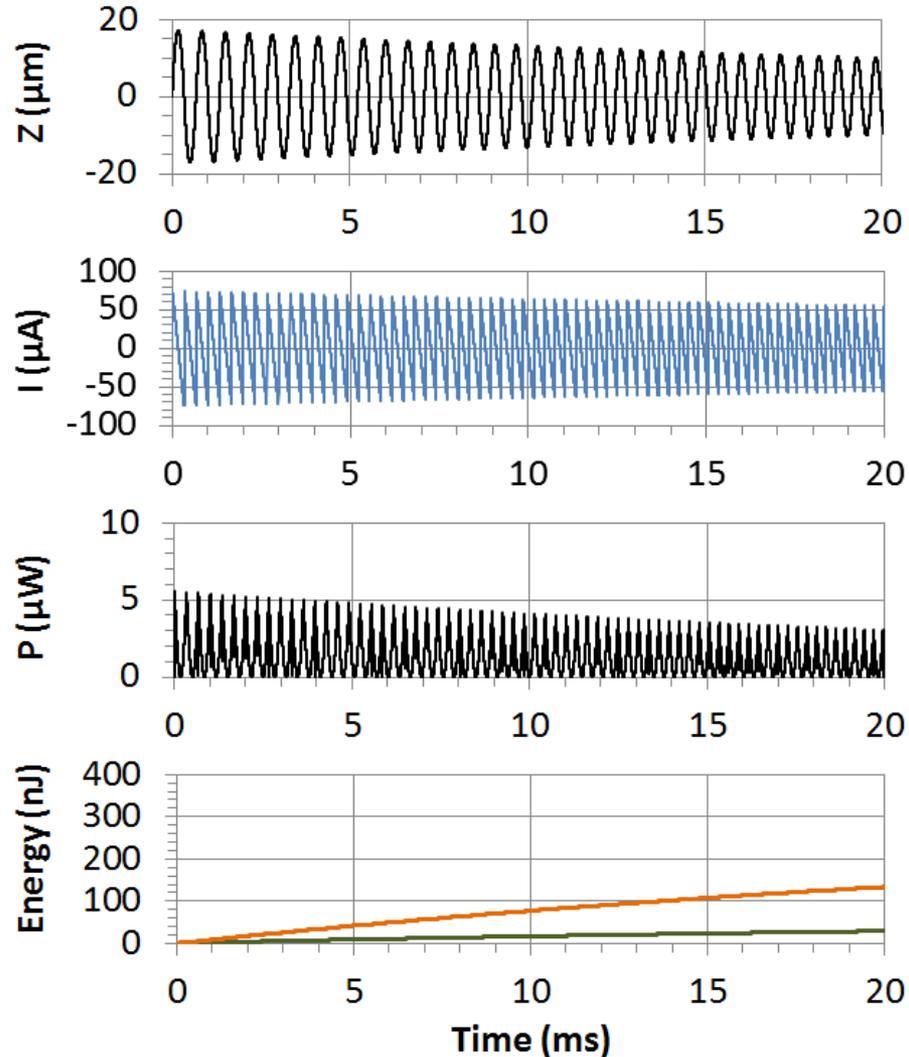
開放電圧 = 40Vpp

- $\int r_f v^2 dt$  ← 機械損失
- $\int P dt$  ← 負荷Rでの消費電力量

## 〈シミュレーション・短絡電流〉



$v(0)=0.2\text{m/s} \rightarrow$  初期運動エネルギー = 360nJ

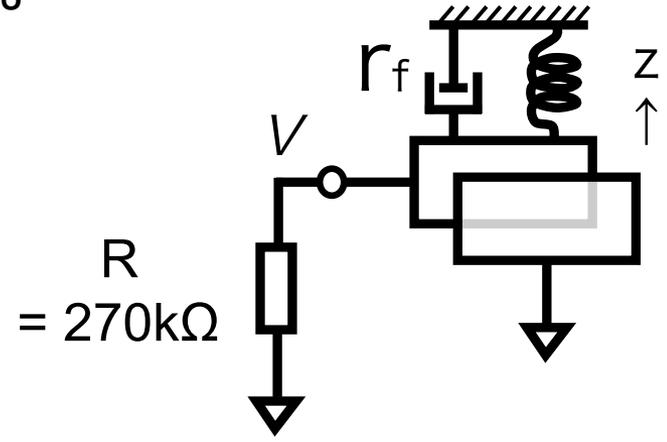
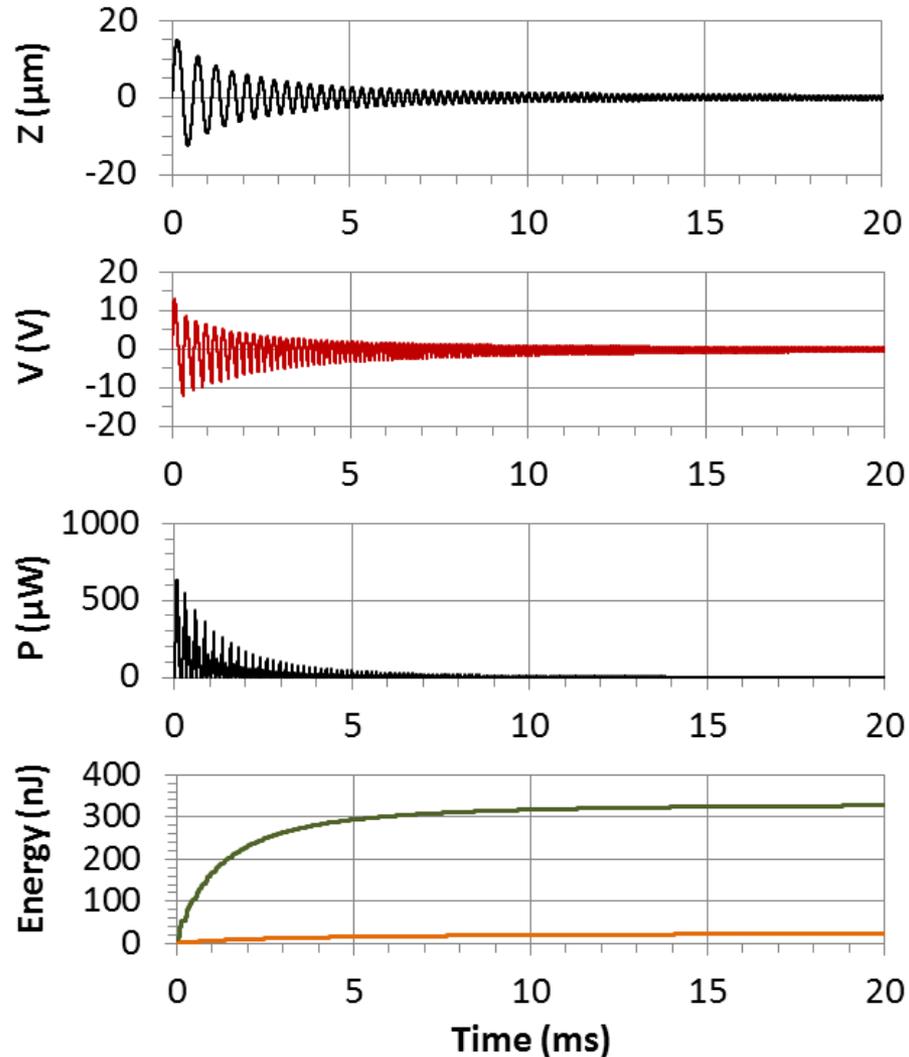


短絡電流 =  $150\mu\text{A}_{pp}$   
 $\downarrow$   
 最適負荷 (推測)  
 $= 40\text{V} / 150\mu\text{A}$   
 $= 270\text{k}\Omega$

—  $\int r_f v^2 dt$   
 —  $\int P dt$

〈シミュレーション・最適負荷〉

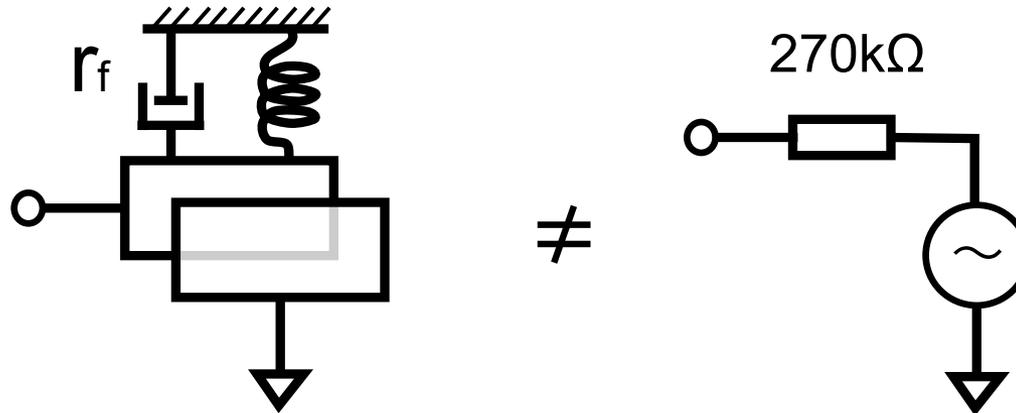
$v(0)=0.2\text{m/s}$  → 初期運動エネルギー = 360nJ



➤ 初期運動エネルギーの91%をとり出せている

—  $\int P dt$   
—  $\int r_f v^2 dt$

〈モデル〉



なのではないか

- 今後、再現性の高いインパルス加振方法を開発し、より詳細なデータを採り、検証を進めていきます。

## ●研究項目B：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

- 固体イオンエレクトレットとイオン液体のEH応用検討
- イオン液体ゲル内にアニオン（ $-$ ）を固定
- 封止評価, イオン液体・ポリマーの最適化

## ●研究項目C：高効率エネルギーハーベスタの開発

- 1次試作品の評価
- 2次試作品（微細化品）に向けた設計検討
- EHのパッケージ検討