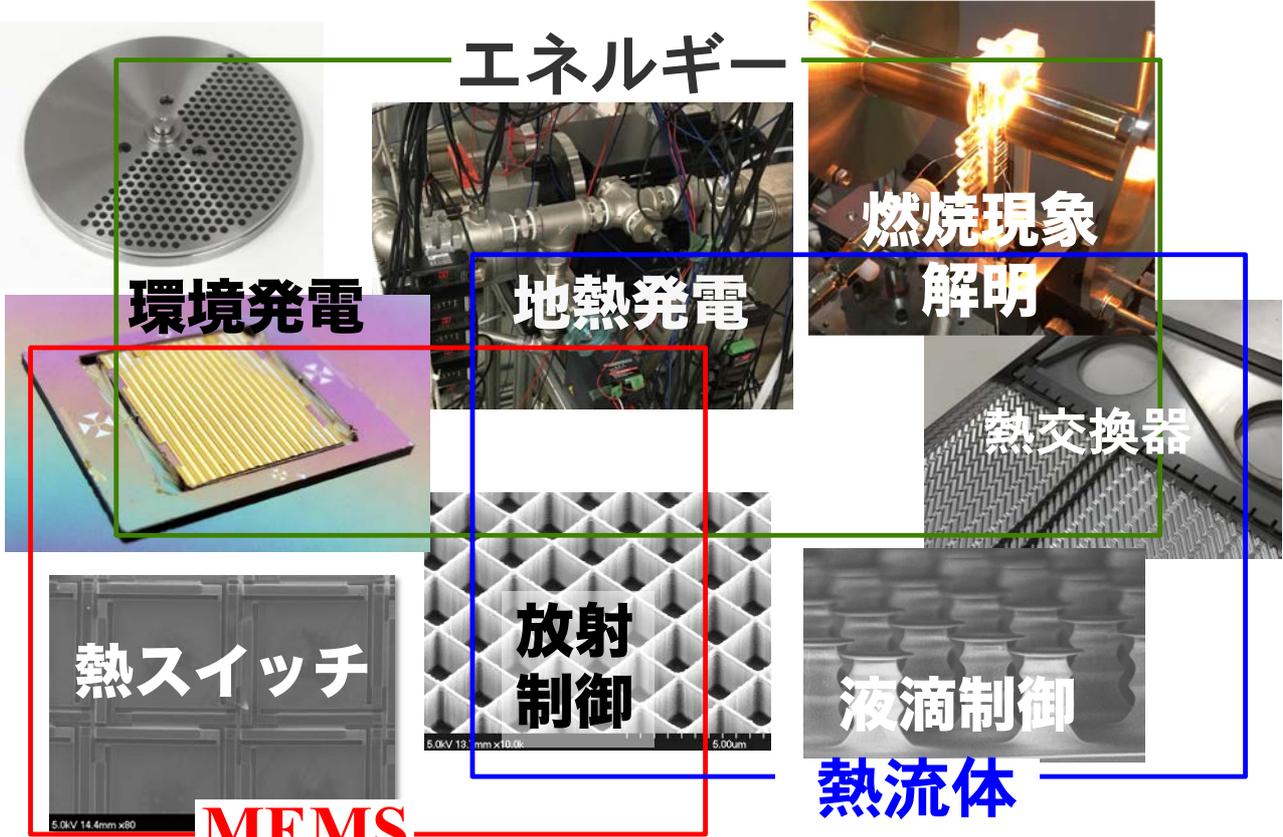


# IoTデバイスのための エレクトレットを用いた エネルギーハーベスティング

東京大学大学院工学系研究科  
機械工学専攻  
鈴木 雄二

## 熱流体工学研究室（鈴木教授・森本講師）

エネルギー



環境発電

地熱発電

燃焼現象  
解明

熱交換器

熱スイッチ

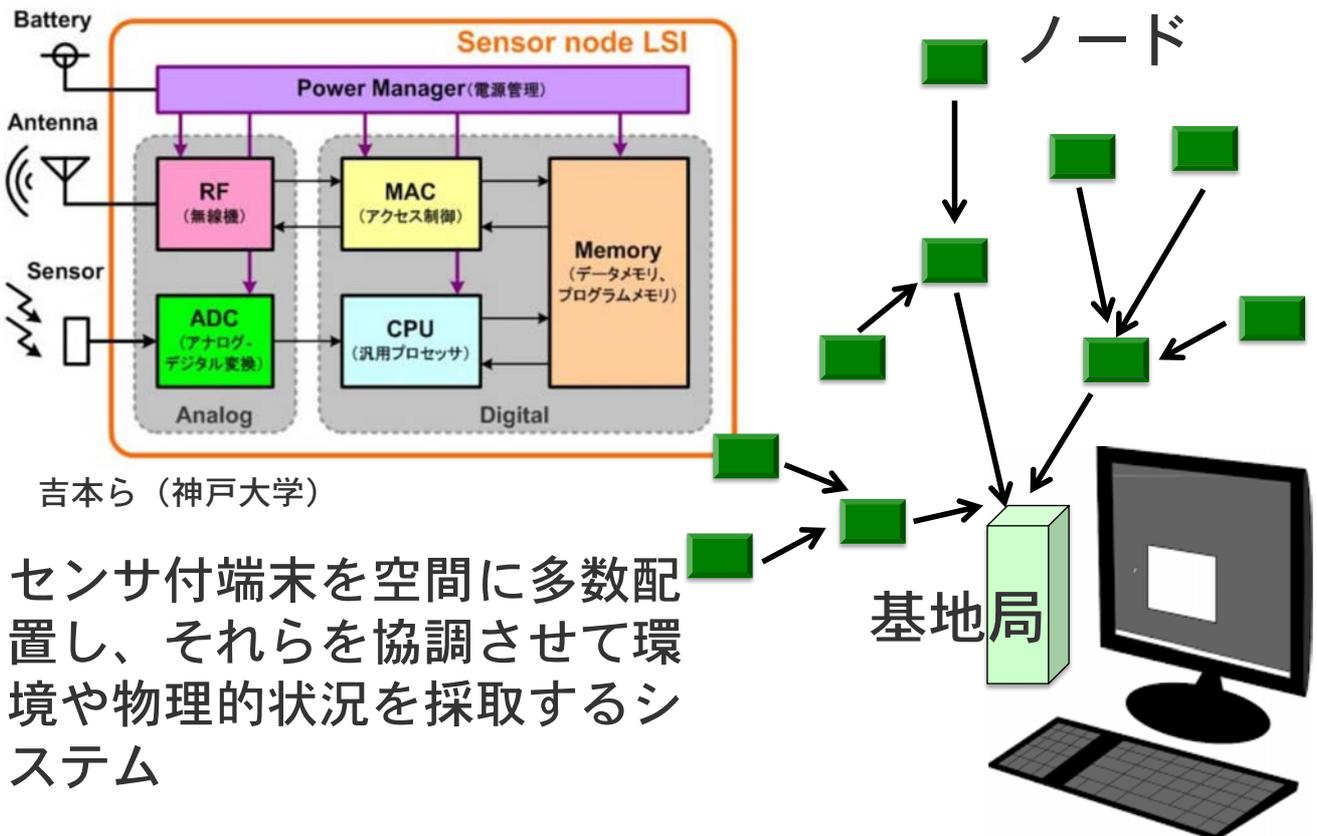
放射  
制御

液滴制御

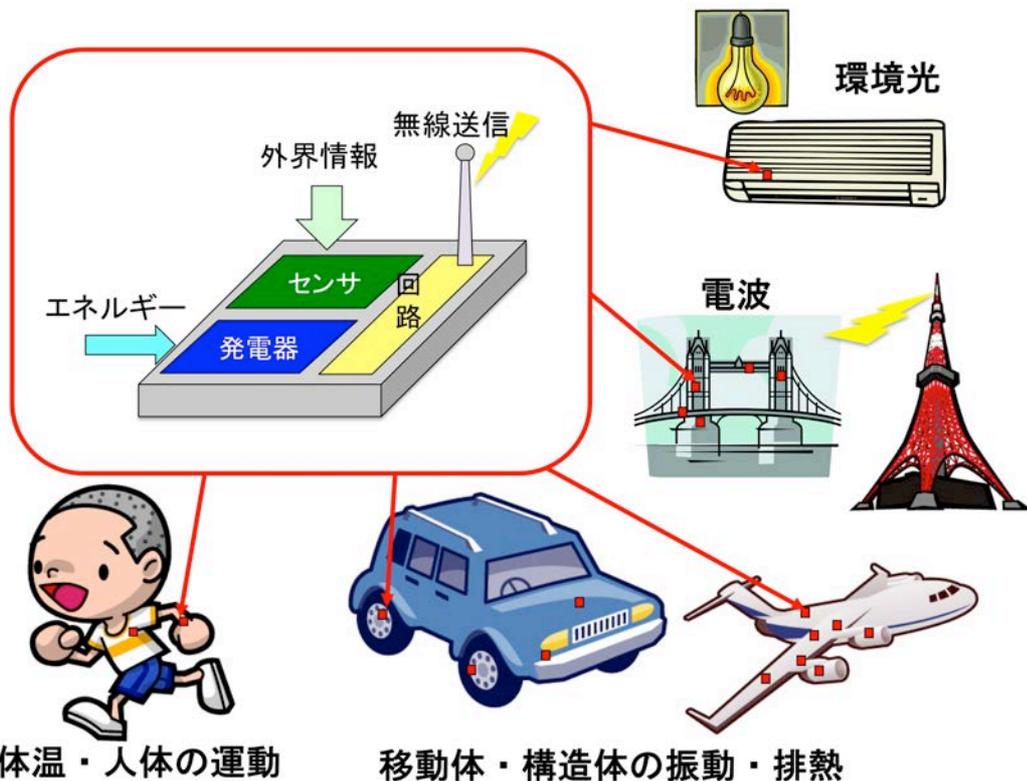
熱流体

**MEMS**

# IoT/無線センサネットワーク/M2M



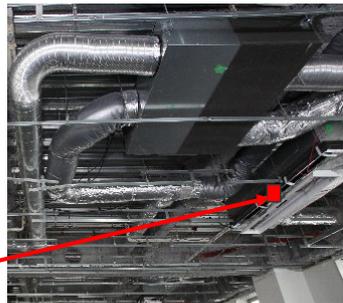
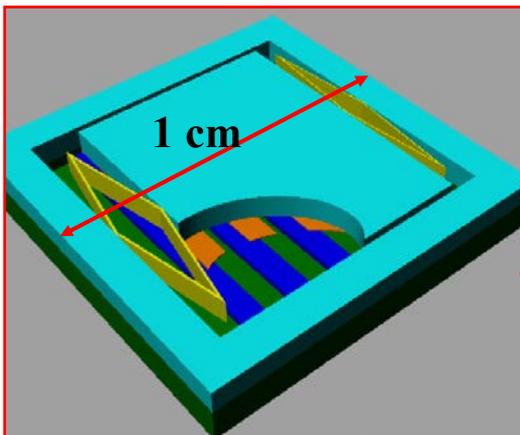
# 環境発電のエネルギー源



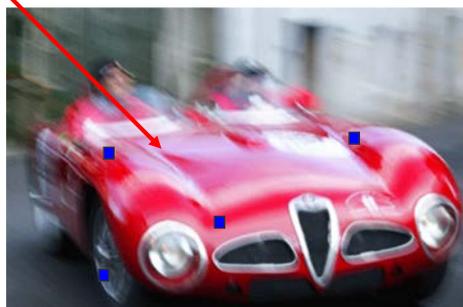
# 系統電源と環境発電との違い

|       | 系統電源                       | 環境発電   |
|-------|----------------------------|--|
| 変換効率  | 高効率であることが必須（高量子効率, 高ZT値など） | 必要十分な出力が得られれば良い<br>( $\mu\text{W}$ - $\text{mW}$ ) |
| 発電出力  | 大出力であることが必須                |  |
| コスト   | グリッド電力とのコスト比較              | 乾電池とのコスト比較   |
| 寸法・構造 | 問わない                       | 気づかぬうちに発電  |

# 振動発電のアプリケーション



気流, 配管の微小振動



移動体の振動



# エレクトレットとは？

電荷を安定に注入した絶縁体



電荷の安定性 = 10's - 100's yrs

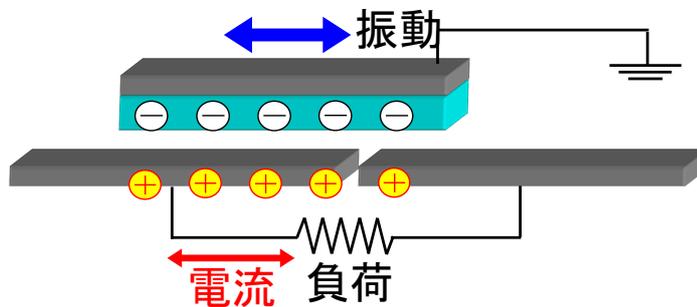
1925 江口元太郎 (海軍大学校)

1960 G. Sessler (ベル研→ダームシュタット大)

エレクトレットマイクロフォン

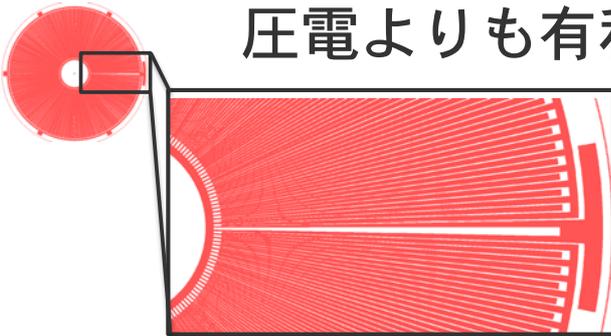
エレクトレット発電器

発電量  $\propto$  (表面電位)<sup>2</sup>



## 低速に有利なエレクトレット発電機

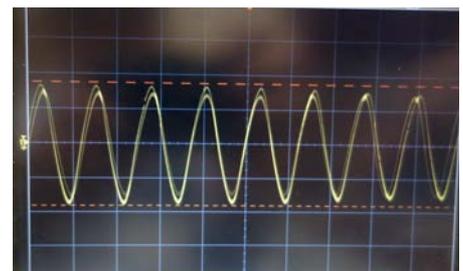
低速、小スケールでは、電磁誘導、  
圧電よりも有利



Diameter 100 mm

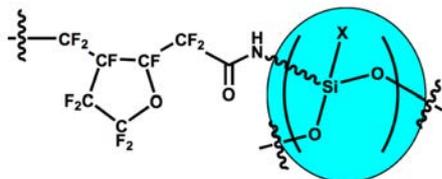
# of poles 200

CYTOP EGG Eletret

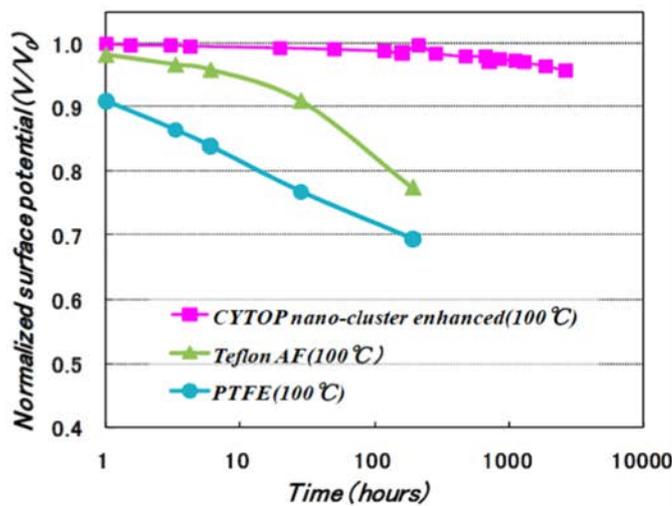
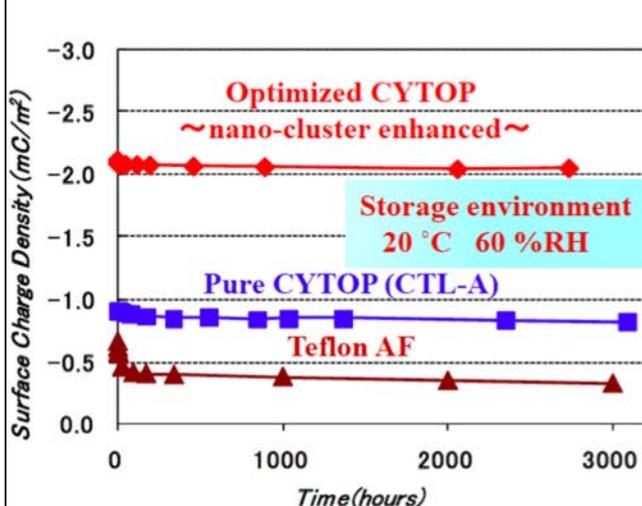


毎秒 1 回転で  
7.5 mW (予測値)

# 添加物由来のナノクラスタを含有させた CYTOP



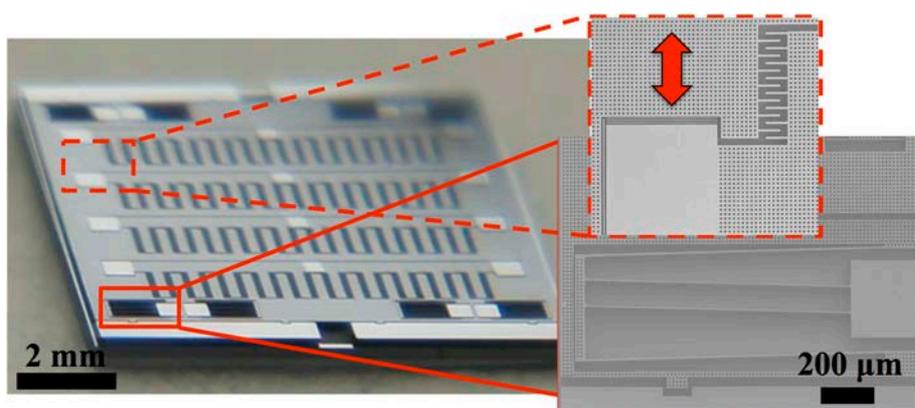
- ✓ Teflon AFの 5 倍の表面電荷密度
- ✓ 15  $\mu\text{m}$ 厚のエレクトレット膜で  
2  $\text{mC}/\text{m}^2$
- ✓ 熱的安定性も大幅改善



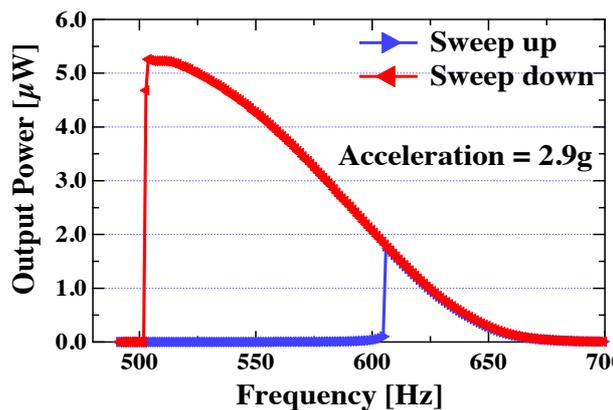
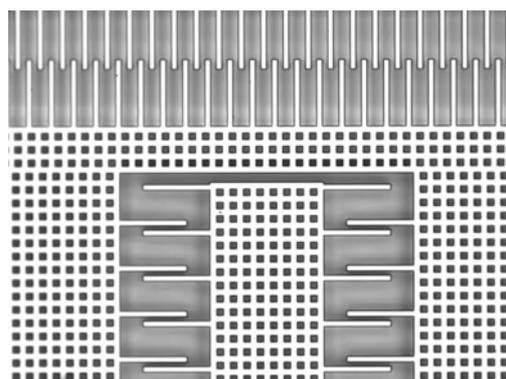
旭硝子 CYTOP-EGG

Kashiwagi et al., JMM 2011

# 櫛歯型電極を持つエレクトレット振動発電器

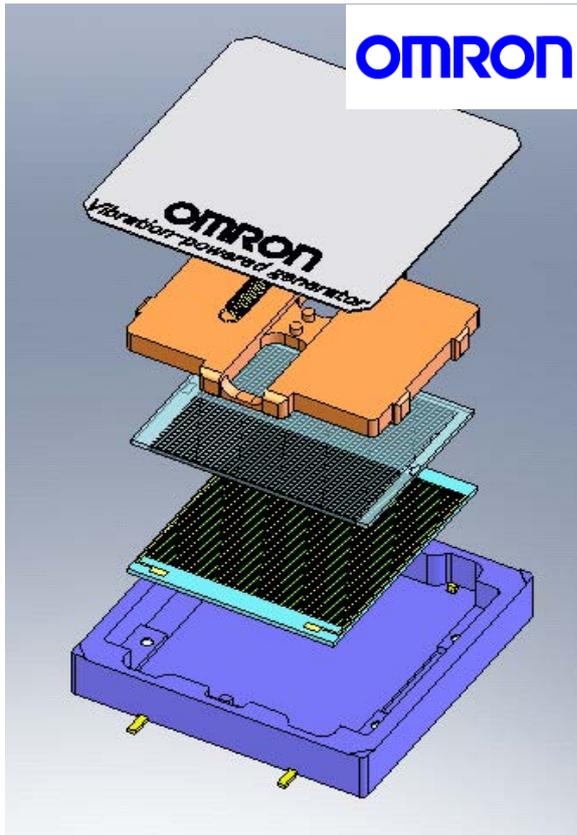


1 cm 角  
厚さ 0.6 mm  
SOIプロセス



Fu & Suzuki (2014)

# オムロン社・エレクトレット発電器



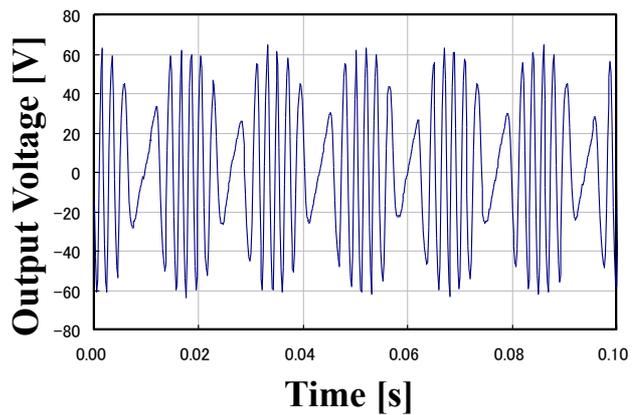
20 x 20 x 4 mm (1.6 cm<sup>3</sup>)

重量: 3.7 g

旭硝子社製エレクトレット  
CYTOP EGG

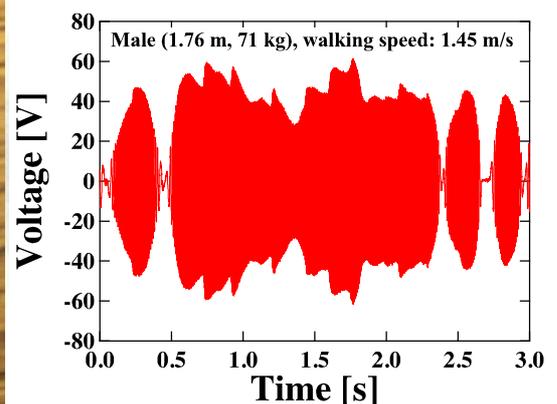
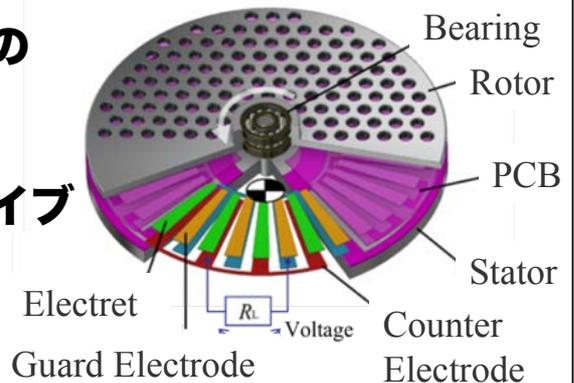
100  $\mu$ W @ 30 Hz, 0.15 G

土居・大場 (2010)



# 回転型エレクトレット発電機

- ✓ 1次元振動系では発電量が周波数の3乗に比例するため低出力  
→人体運動では回転型が有利
- ✓ エレクトレット→ダイレクトドライブ
- ✓ プリント基板電極
- ✓ 超薄型構造：高さ2.8 mm



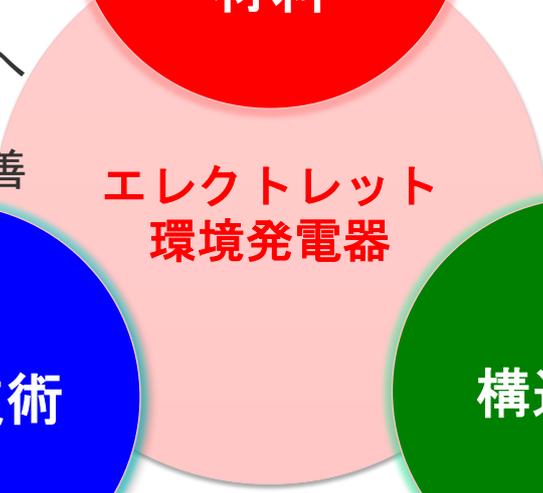
# エレクトレット振動発電器の高性能化へ



- ✓ 表面電位の向上
- ✓ 耐環境性の向上



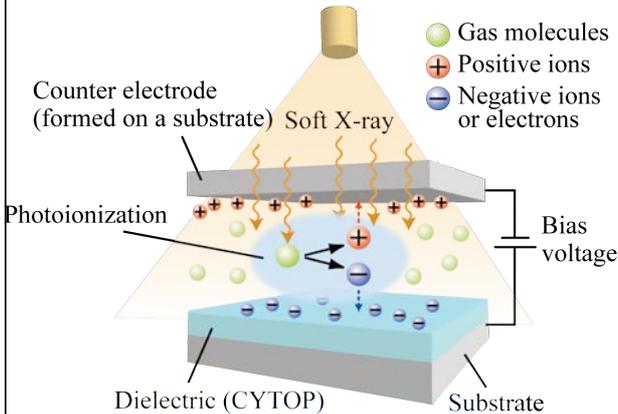
- ✓ 3次元構造への荷電
- ✓ 制御性の改善



- ✓ 低共振周波数のメカ構造
- ✓ 低寄生容量電極
- ✓ 高効率構造

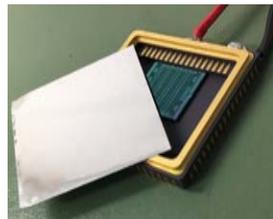
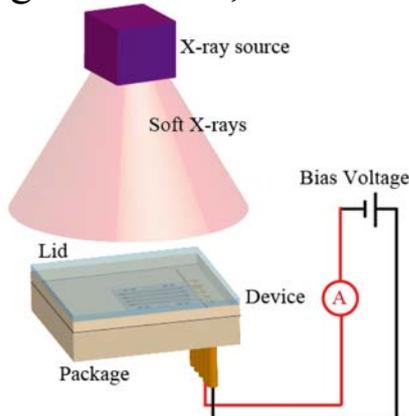


## 制御性の高い軟X線/紫外線荷電

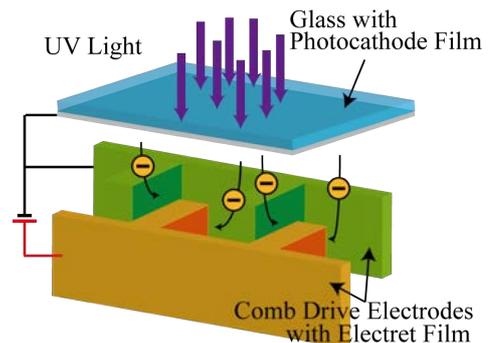


- ✓ 光電離(軟X線) / 光電効果 (UV)
- ✓ パッケージ後の荷電
- ✓ 3次元構造への荷電

Hagiwara et al., Trans. IEEE, DEI (2012)



Kim et al., 2014



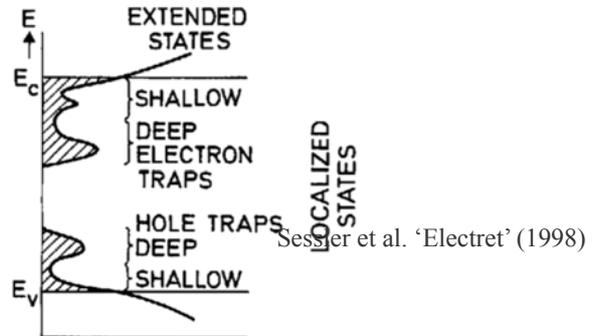
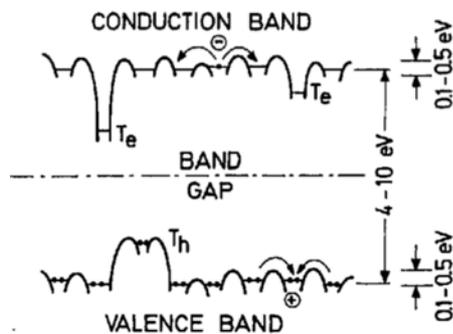
Kim et al., 2016

# エレクトレット中の電荷トラップ

エレクトレットの電荷がなぜ長期間安定か？

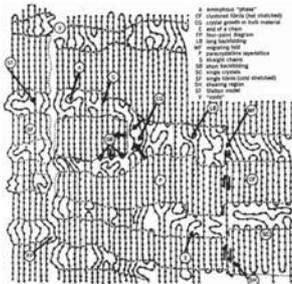
→ RC 時定数 =  $(\rho d/A)(\epsilon \epsilon_0 A/d) = \rho \epsilon \epsilon_0 \sim 23 \text{ 日!}$

## Band Gap Model



Sessler et al. 'Electret' (1998)

## Morphological Difference



Hosemann. Crit. Rev. Macromol. (1972)

## Intramolecular Condition

Das-Gupta, J. Electronics. (2001)

# CYTOPエレクトレットの末端基の影響

アミノシラン

CYTOP

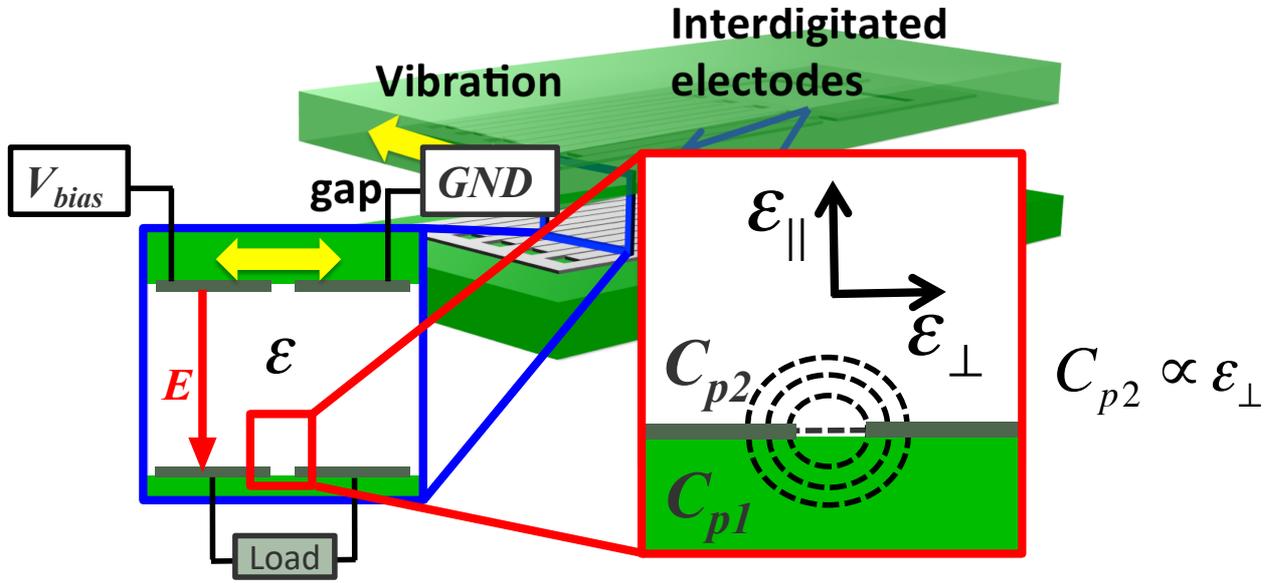
CYTOP-アミノシランの  
基本構造

Kim et al., STAM

EAの違いと表面電荷密度の傾向が一致

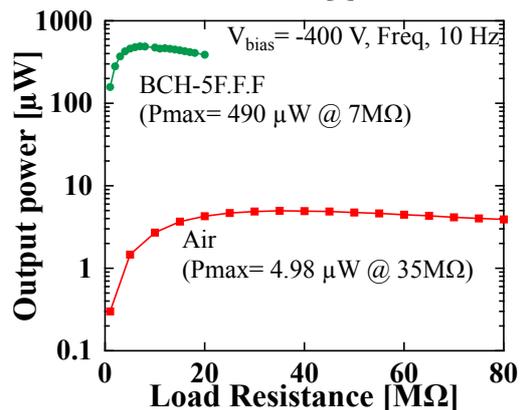
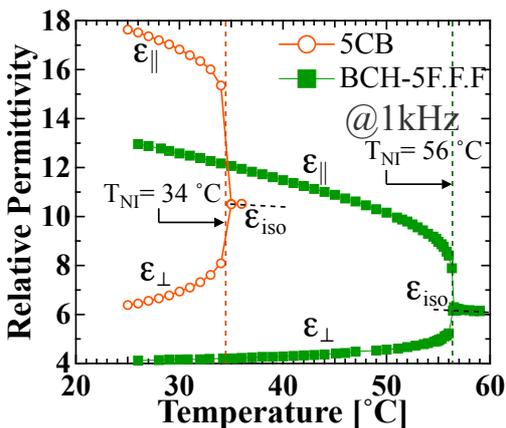
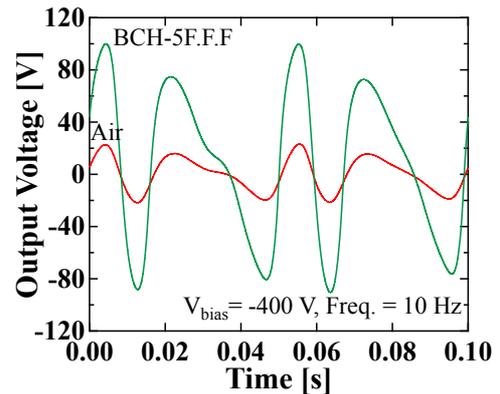
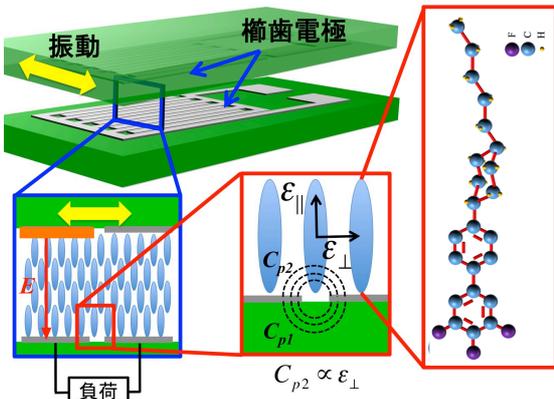
# 異方性誘電率液体を用いた静電誘導発電器

理論発電量  $P \sim \Delta C V^2 f \propto$  空隙の比誘電率  
 寄生容量  $\propto$  空隙の比誘電率

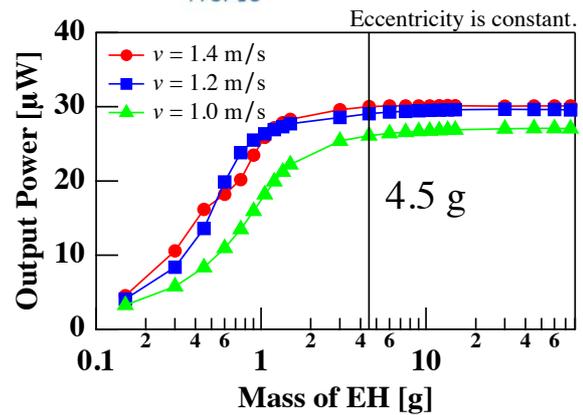
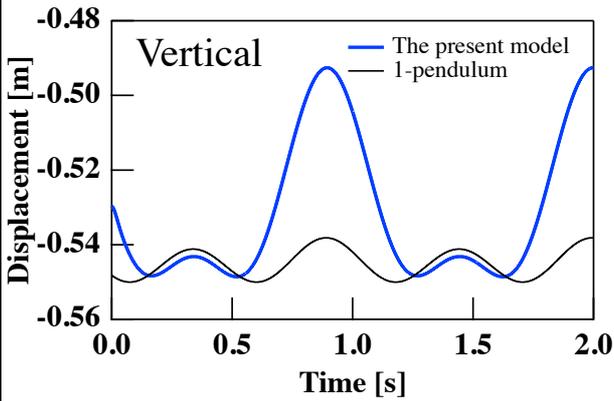
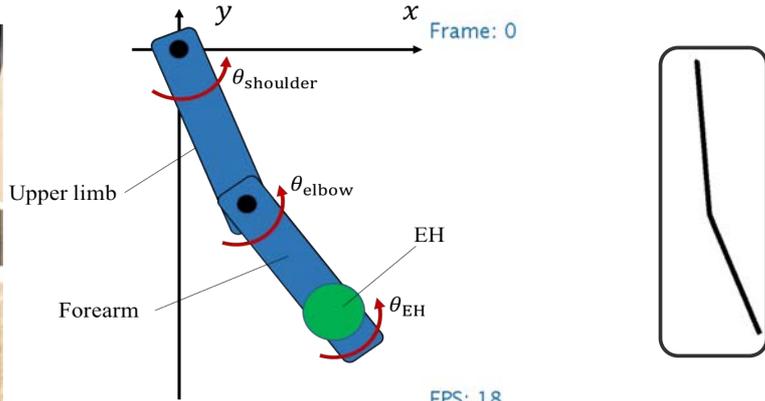


# 「発電用」ネマチック液晶の開発

化学生命・加藤教授と共同



# 人体運動駆動の発電機の標準的試験方法



Tanaka et al., PowerMEMS 2017

## 振動発電のロードマップ

- ✓ 機械産業、インフラから、コンシューマへ
- ✓ 材料+デバイス+アプリケーション

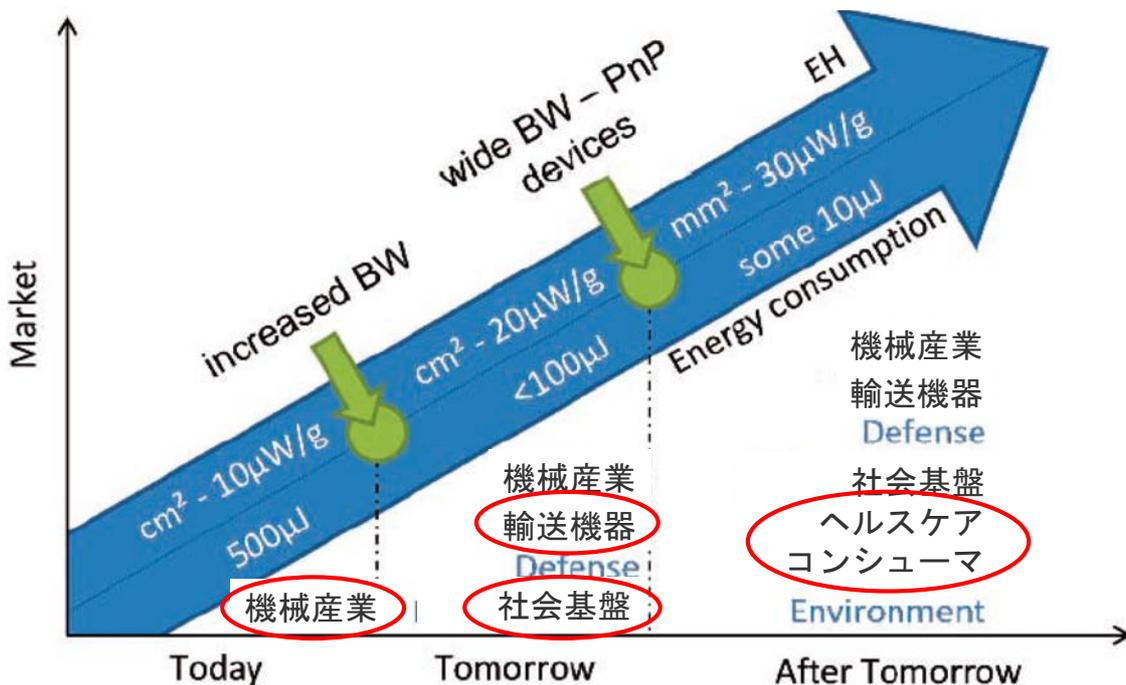


Figure 21 Roadmap for vibration energy harvesters (Source: CEA-Leti)