

# 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28年度  
第1回研究会

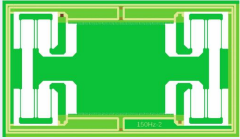
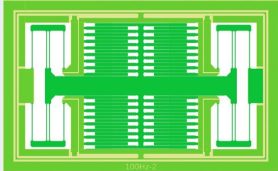
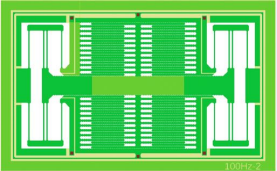

研究項目: ①高密度固体イオンエレクトレットの  
エネルギーハーベスタ応用

平成28年5月12日(木)  
15:00 ~ 17:30

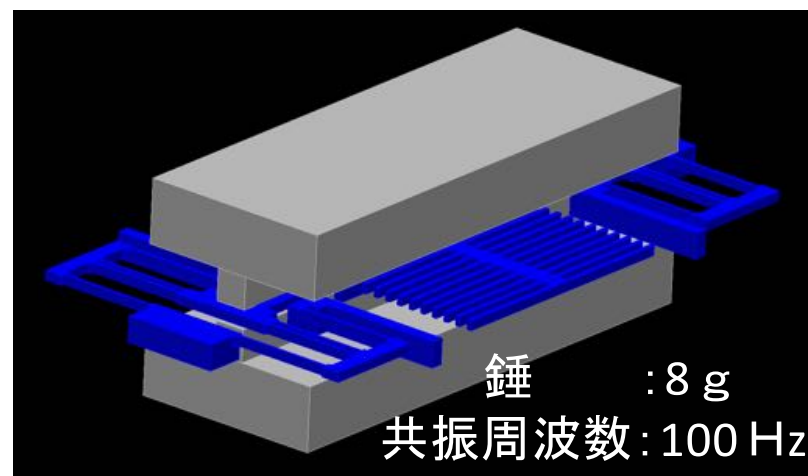
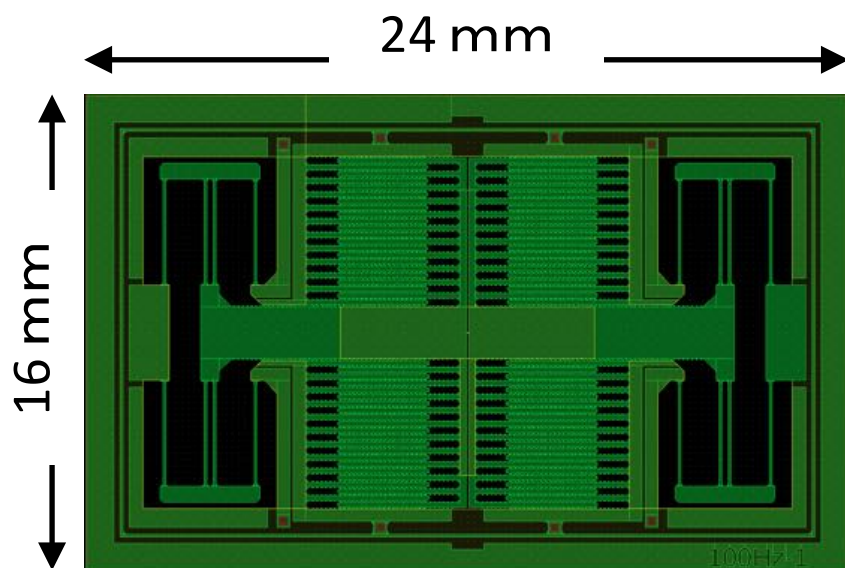
## ①高密度固体イオンエレクトレットのエネルギーハーベスタ応用

	H28 4月	H28 5月	H28 6月	H28 7月	H28 8月	H28 9月	H28 10月	H28 11月	H28 12月	H29 1月	H29 2月
①- (1) 高電荷密度シリコンエレクトレットの形成法の開発	1mW級振動発電素子の試作及び評価 素子試作中			前モデルの結果を反映した振動発電素子の試作及び評価 当初計画			実験のまとめと追加試作評価 当初計画				
①- (2) エレクトレット振動発電素子のパッケージ技術と信頼性評価	真空パッケージ振動発電素子の作製 パッケージ仕様決定			真空パッケージ振動発電素子の評価 当初計画			真空パッケージ振動発電素子の信頼性評価 当初計画				

・蛍光表示管タイプのパッケージをノリタケ伊勢電子に依頼する予定。現在試作中の多極型振動発電素子をパッケージする方向で進行中。

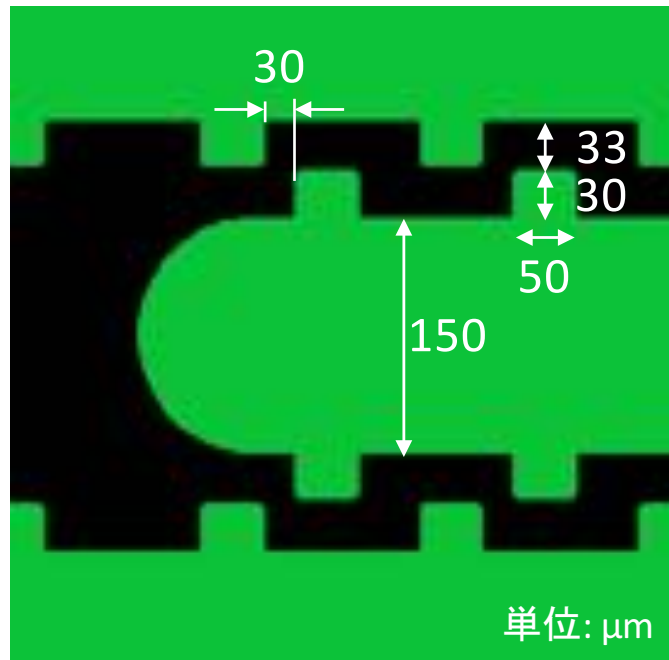
	多極型1次	2次	3次	カンチレバー型
全体像				
大きさ (mm)	12 x 21.5	15 x 24	15 x 24	15.3 x 34.6
ウェハサイズ (μm)	300 / 2 / 500	200 / 2 / 500	300 / 2 / 525	262 / 2 / 375
電極数 (本)	266	3452	1662	350
最小ギャップ (μm)	10	5	3	12
容量差 (pF)	3	4.8	67.5	
電極周期 (μm)	60	60	160	電極重なり 600
力係数 (C/m <sup>2</sup> )	$3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
錘 (g)	2	2	8	3
周波数 (Hz)	100	100	100	400
設計出力 (mW)	0.15 (0.06G)	0.15 (0.06G)	1.2 (0.2G)	1.2 (0.13G)

# 1 mW級の振動発電素子の試作

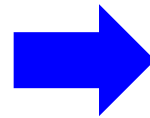


＜エッチング後＞

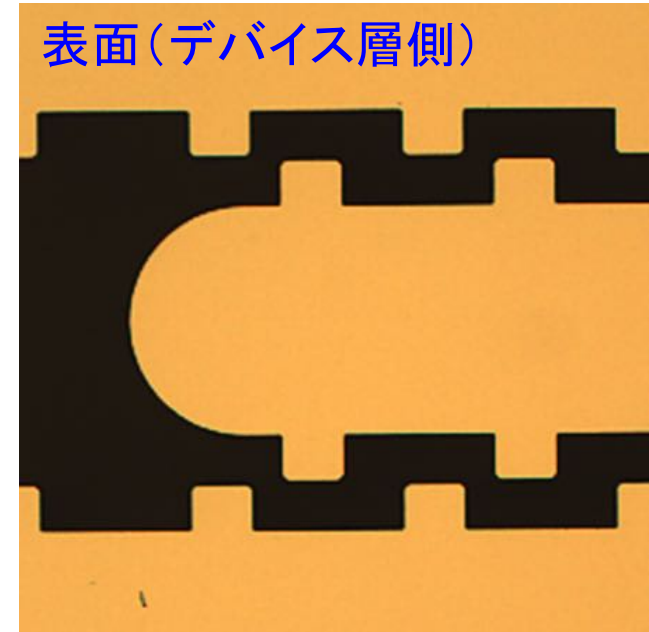
＜マスクパターン＞



300  $\mu\text{m}$  深  
掘り



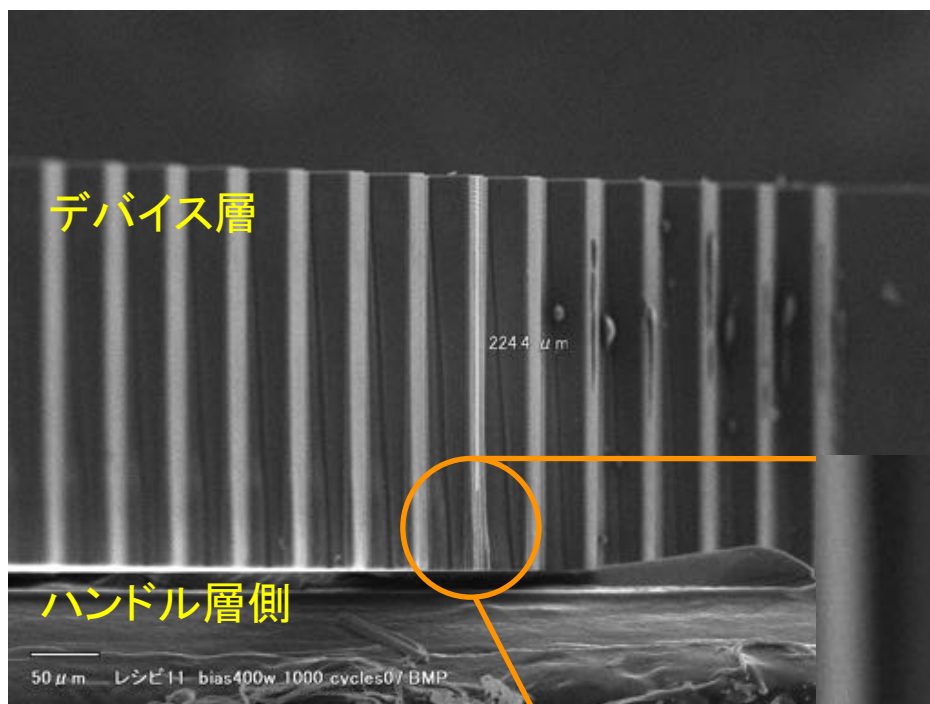
表面（デバイス層側）



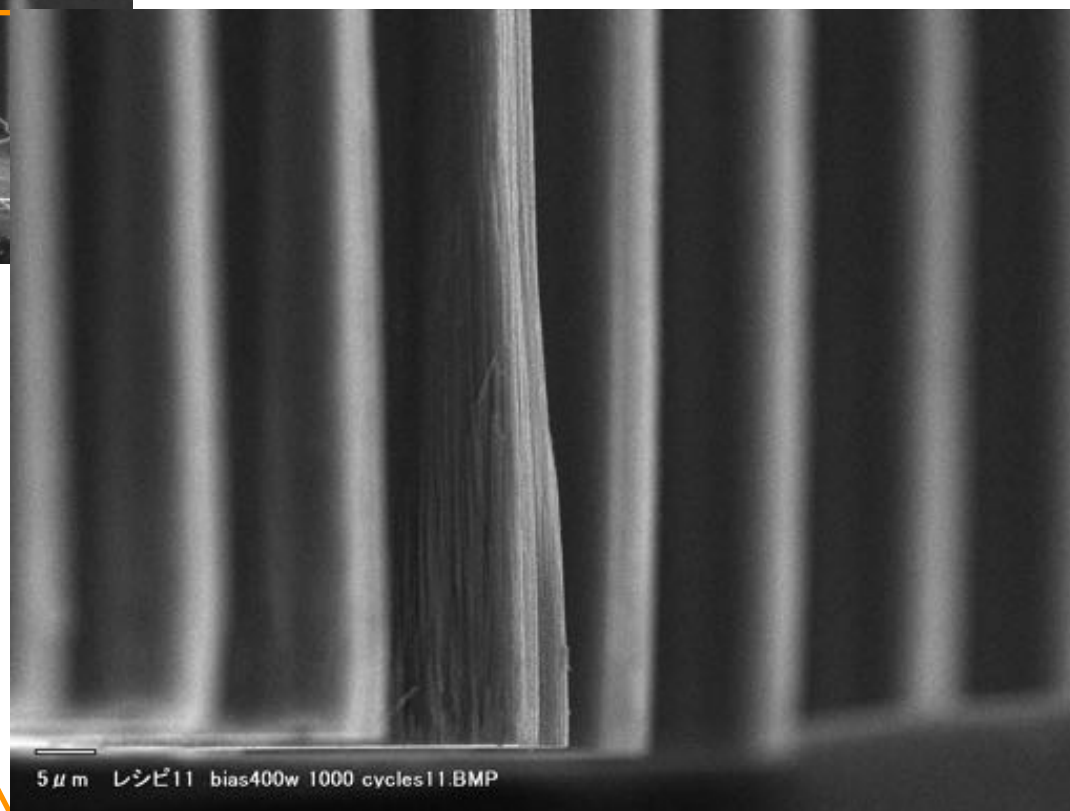
裏面（ハンドル層側）



SEM 像



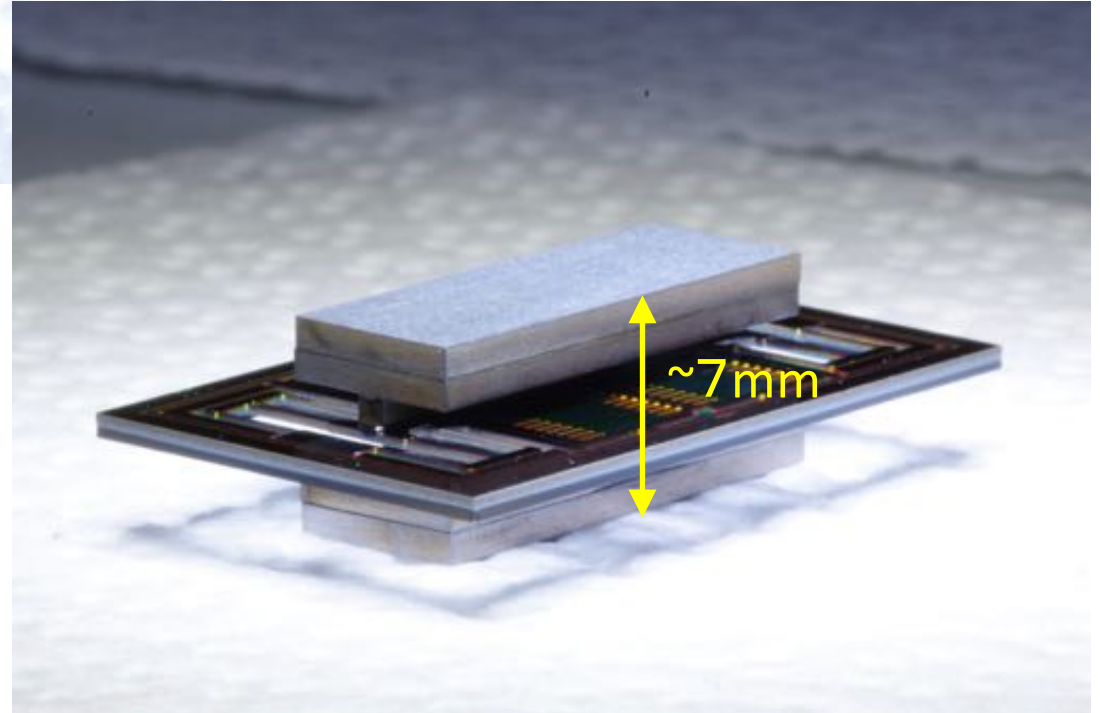
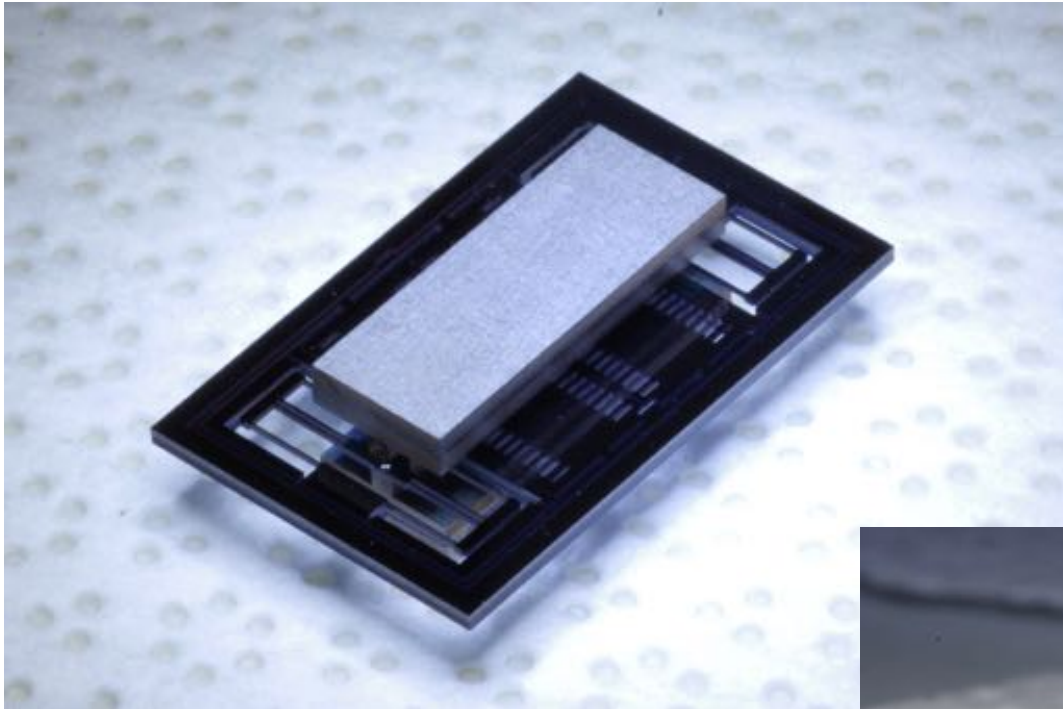
深さ 200  $\mu\text{m}$  程度まではOK



- ・エッチング条件出し中
- ・東大ICP使用

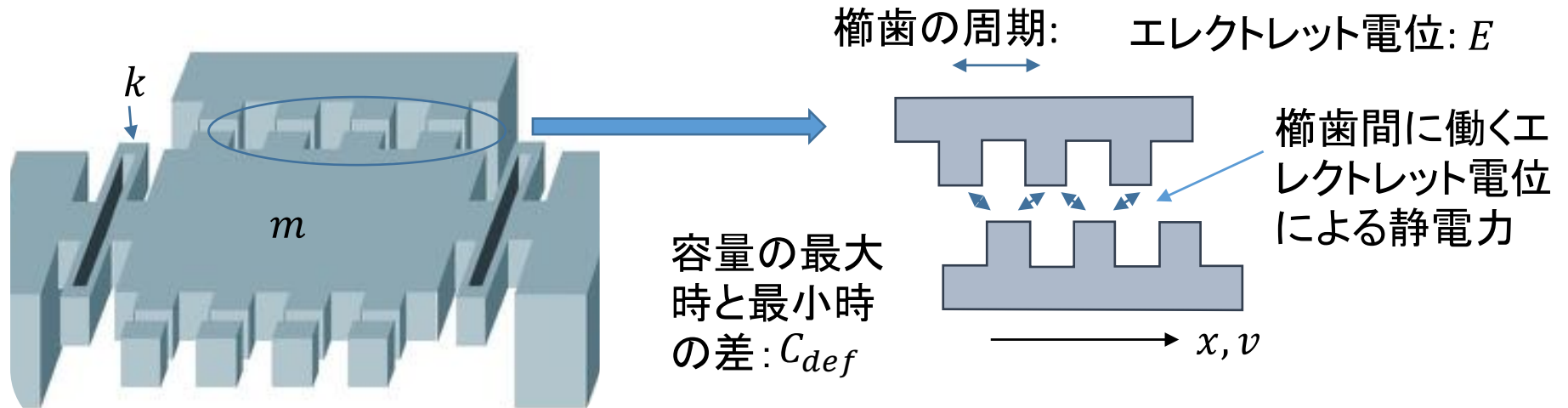


# 8gの錘を載せた状態



# 電極間静電力を考慮したシミュレーションについて

多極型発電素子の充電実験(0.1G、10 $\mu$ F)では、50Hzで約2V、120Hzで4.5Vの充電電圧が得られ、広帯域の特性を示した。その理論的根拠を明らかにすることが目的。



楕歯間に働く静電力を考慮したモデル式

$$f = m \frac{dv}{dt} + r_f v + \left\{ k - \frac{2\pi^2 E^2 C_{def}}{L^2} \cos\left(\frac{2\pi}{L} x\right) \right\} x - \frac{2\pi E C_{def}}{L} \sin\left(\frac{2\pi}{L} x\right) e$$

隣合う楕歯間ではソフトスプリング的(コサインが正)

位置の関数としてバネ定数が変調されている。

力係数

$$\frac{2\pi^2 E^2 C_{def}}{L^2}$$

$E, L, C_{def}$ の値の組み合わせ次第では、もともとのバネ定数 $k$ に対して無視できない値になる。

$k = 790\text{N/m}$ に対して今回の設計では830N/mにもなる。

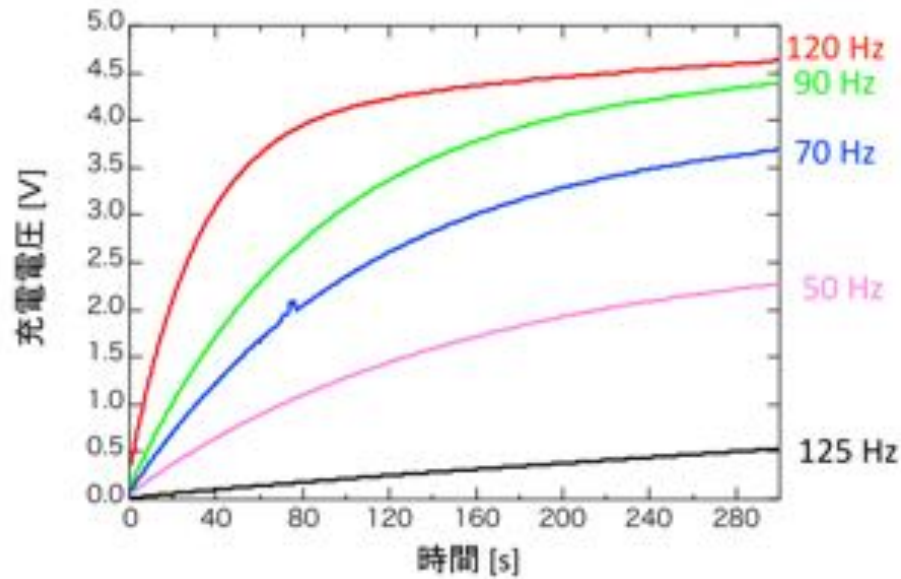




# 電極間静電力を考慮したシミュレーションについて

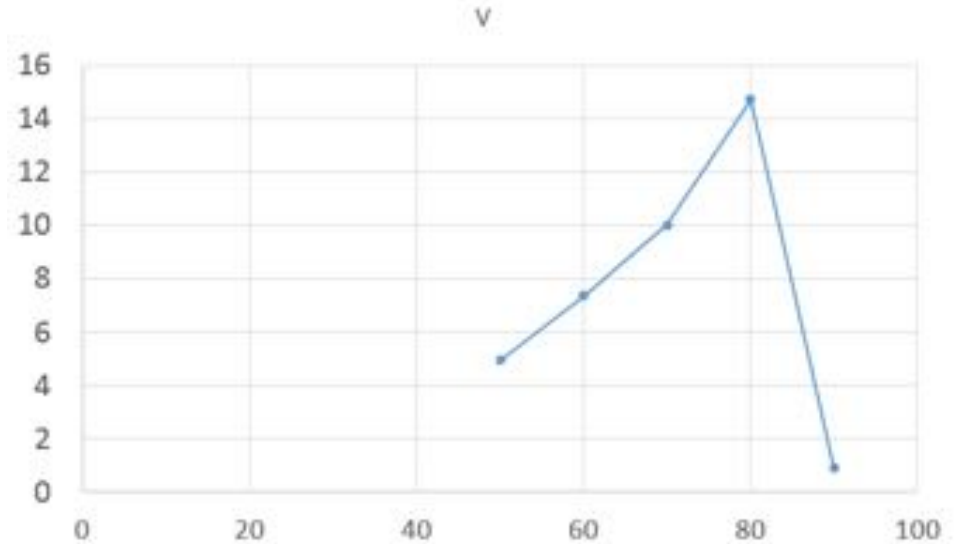
NMEMS Confidential

充電電圧と励振周波数のデータ  
(0.1G)



発電電圧の最大値 (V)

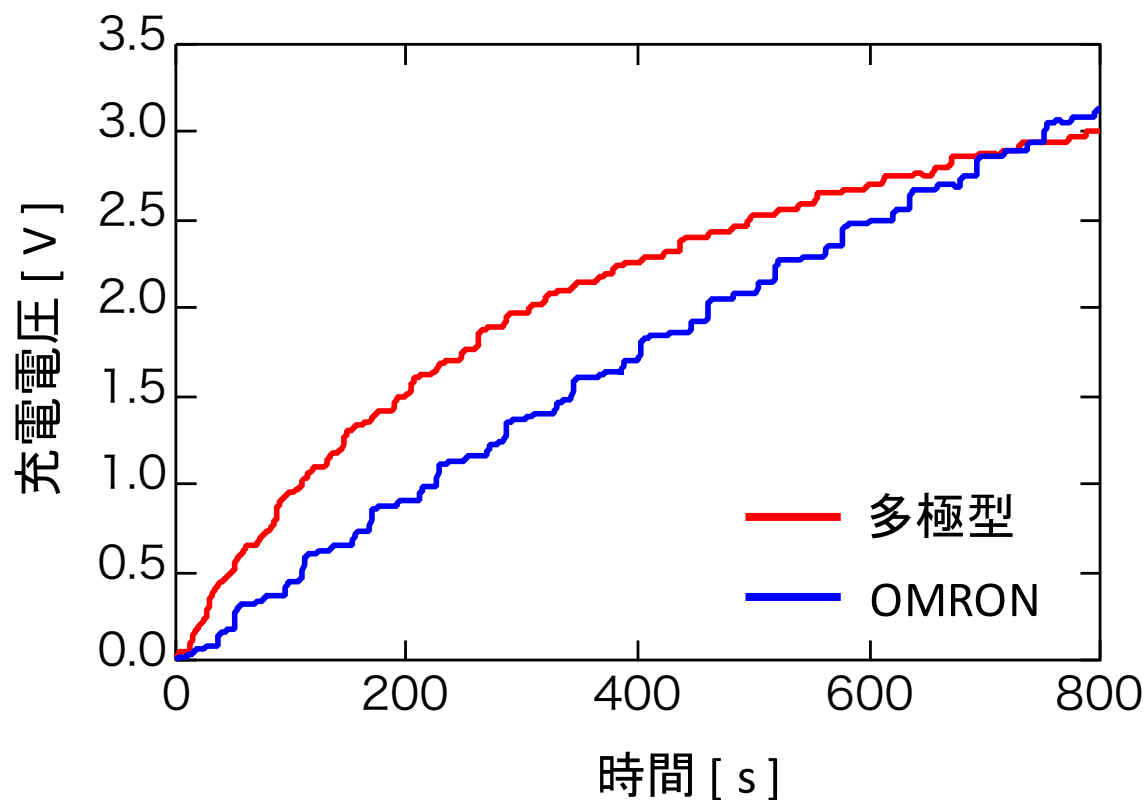
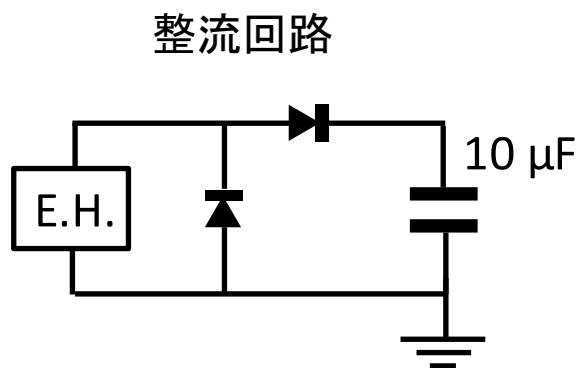
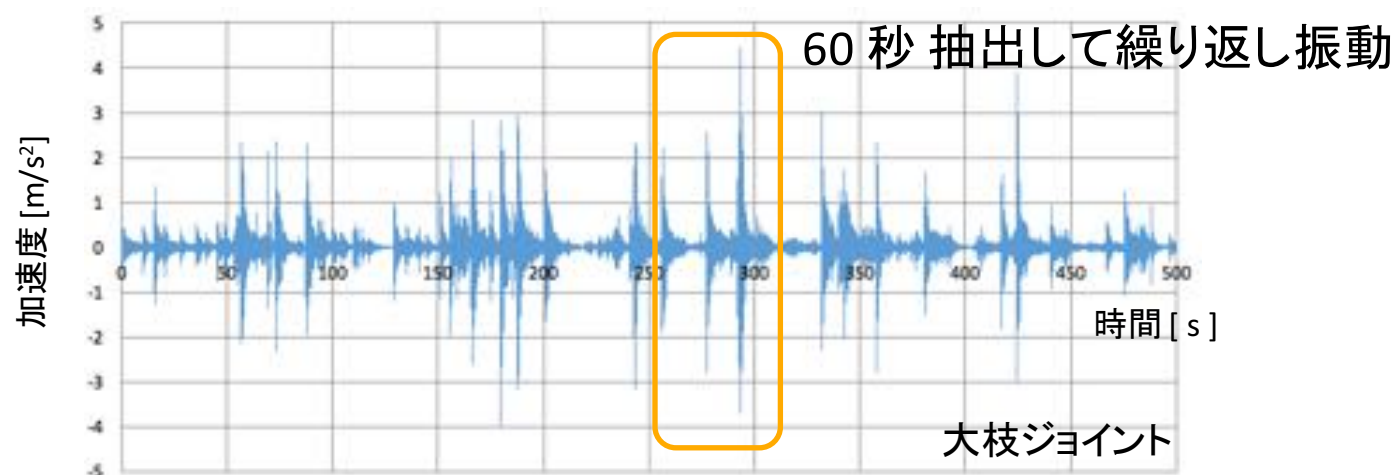
シミュレーションによる発電電圧の最大値  
(0.1G、共振周波数100Hzを仮定、Q=25)



励振周波数(Hz)

大きく振動させるには、静電力に打ち勝つような強い力が必要であるが、低い加速度に対しては等価的にバネが柔らかく見えるので有利なのかもしれない。

充電電圧のデータと完全には一致しないが、傾向は似ている。





# 実測データによる発電量

NMEMS Confidential

計測対象	最大振幅 [m/s <sup>2</sup> ]	多極型実測発電電荷 [C/h] (整流回路、10μF)	理想発電電荷 [C/h](シミュレーションによる)
大枝center	3.5	$2.4 \times 10^{-4}$ (2Vまでの充電を1時間 換算)	$1.5 \times 10^{-3}$
大枝joint	4.4	$2.9 \times 10^{-4}$ (4Vまでの充電を1時間 換算)	$2.6 \times 10^{-3}$
北川パネル	0.87	$4 \times 10^{-6}$ (0.1Vまでの充電を1時 間換算)	$1.2 \times 10^{-4}$

※シミュレーションモデル: 現在試作中の静電力打消し型100Hz、力係数 $5.34 \times 10^{-4}$  150μWでの連続発電で162mC/h。(c.f. 同じ発電電力のPV、300mC/h)

※開発中の発電素子では概ね1桁の発電量向上が見込まれる。

## 今後の予定

- ・6月上旬を目途に1mW級の試作を完成。
- 蛍光表示管式真空パッケージは6月エンド～7月初旬に第1回の試作品を受け取る予定。
- 真空パッケージ用MEMSデバイスを5月中旬まで完成させる。(多極モデルをパッケージする予定)  
→若干の遅れあり。