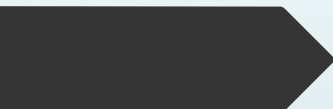


エネルギー・環境新技術先導プログラム／
トリリオンセンサ社会を支える高効率MEMS
振動発電デバイスの研究



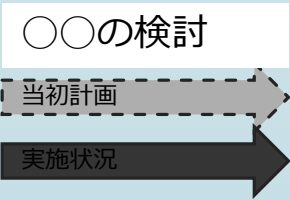
8月18日第4回高効率MEH研究会

研究項目 A （静岡大学）

進行状況

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

	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
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	大振幅・高密度帯電可能な構造の検討								
	当初計画		当初計画				当初計画		
	実施状況		実施状況						
	1st試作による 問題点把握		2nd試作による 評価						
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	発電素子の試作		真空中評価		真空パッケージ評価		高温加速試験		
	当初計画		当初計画		当初計画		当初計画		
	実施状況		実施状況						
	試作終了(双安定型)		評価中						





コンテンツ

- ✓双安定振動子を用いた前回実験の解釈について
- ✓昇電流回路の提案
- ✓エレクトレット膜のFT-IRスペクトルについて
- ✓ダイキンさん振動データからの発電電力シミュレーションについて

2 階線形微分方程式の解と応答

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + r_f \frac{dx}{dt} + kx = f_0 \sin \omega_e t$$



$$x = \underbrace{C e^{-\frac{r_f}{2m}t} \sin(\omega' t + \theta)}_{\text{過渡解 (インパルス応答解)}} + \underbrace{\frac{f_0 \sin(\omega_e t - \theta_0)}{\sqrt{(k - m\omega_e^2)^2 + (\omega_e r_f)^2}}}_{\text{定常解 (強制振動解)}}$$

過渡解 (インパルス応答解)

定常解 (強制振動解)

インパルス応答の伝達関数は、フーザ表示した回路そのものとなるので、等価回路は同じと考えてよい。

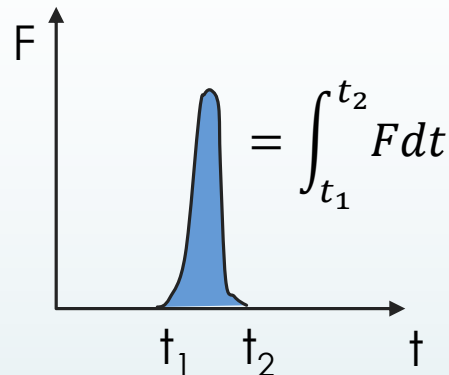
最初に有しているエネルギーが消費されて減少する様子を表したものの。最初のエネルギーがどの程度使われているかが問題で、最大出力という指標で表しても無意味。(レースの継ぎ目を電車が通るときの振動、人が歩いて着地するときの振動など)

最大出力条件はこちらの解に対して導かれたもの。エネルギーが常時供給されている場合に適用。取り出せる最大出力というものが存在する。電源がする最大仕事の半分。
(橋の揺れ、モーター等の定常的な振動など)

インパルス応答を拾うMEMSと強制振動を拾うMEMSでは設計コンセプトが異なるか？

インパルスと2次振動系

現実的にはインパルスは力積と考えることができる。



質点系では力積は運動量の変化に等しい。

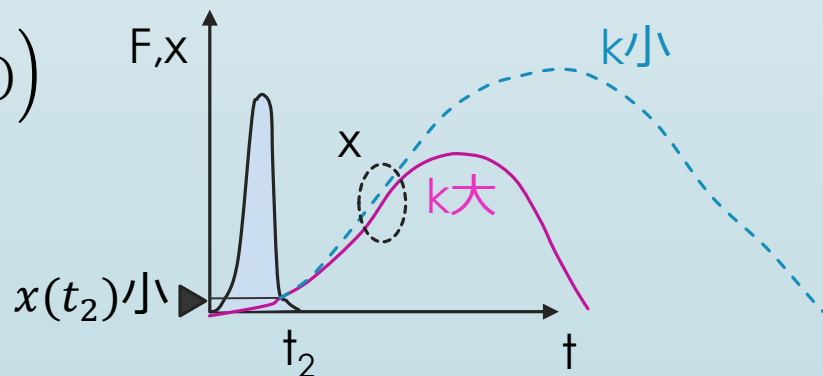
2次系 $m \frac{dv}{dt} + r_f v + k \int v dt = F$ では、

$$m \int_{t_1}^{t_2} \frac{dv}{dt} dt + r_f \int_{t_1}^{t_2} v dt + k \int_{t_1}^{t_2} \int v dt dt = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad \Rightarrow \quad v(t_2) - v(t_1) + \frac{\omega_0}{Q} \{x(t_2) - x(t_1)\} = \int_{t_1}^{t_2} (a - \omega_0^2 x) dt$$

$v(t_1) = x(t_1) = 0$ とすれば

$$v(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (a - \underbrace{\omega_0^2 x}_{\text{この項の影響小}}) dt \quad \left(\because v(t_2) \gg \frac{\omega_0}{Q} x(t_2) \right)$$

この場合、エネルギーは力積のみで決まり、振動子が持つエネルギーは共振周波数に依存しない。



インパルスから発電する場合、振動子の共振周波数は小さい方が良い？

↓
いろいろな入力に対してインパルス的な応答

発生する電流、電圧

インパルス条件のとき $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}kx_{max}^2, \therefore x_{max} = \frac{v_2}{\omega_0}$

発生電流

$$i = Av_{max} = A\omega_0 x_{max} = Av_2$$

となり、力積から求められる速さと力係数の積になる。

発生電圧（出力端解放電圧）は振動子の等価回路から

$$e = \frac{f}{A}$$

インパルスの強度を力係数で割ったもの。

インパルス発電では、真空中にパッケージし、無負荷時のQをできるだけ大きくすれば、エネルギー効率を100%に近づけることが可能。

双安定振動子を用いた昇電流回路の実験

静電型マイクロ振動発電機は高電圧は発生させることができるが、発生電流が小さい。

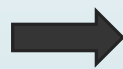


- ✓ 充電を効率よくできない。
- ✓ 高耐圧の回路が必要

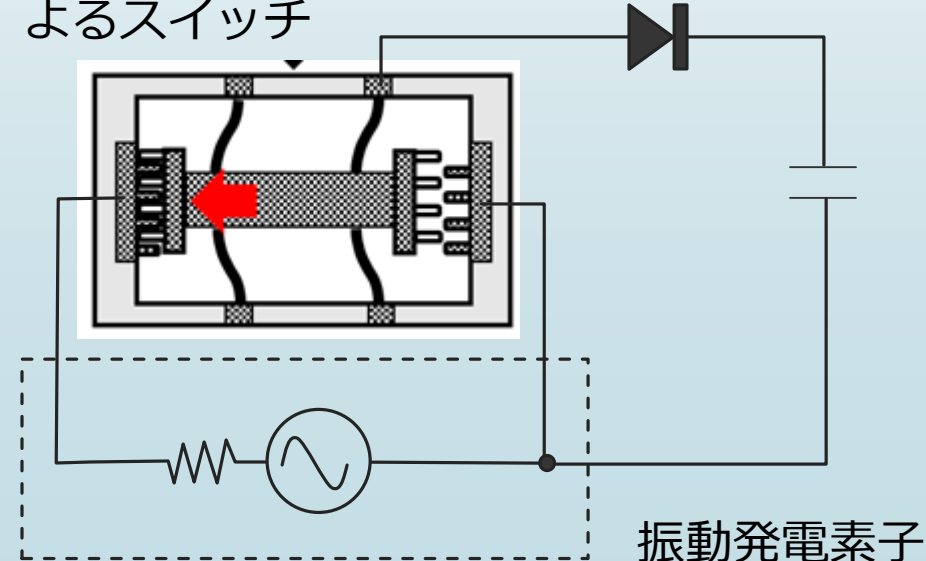
降圧、昇電流トランスがあれば理想→静電トランスが一つの候補→共振でしか動作しないのが欠点

電圧に対するDC-DCコンバータの双対構成(電流版AC-ACコンバーター)を提案

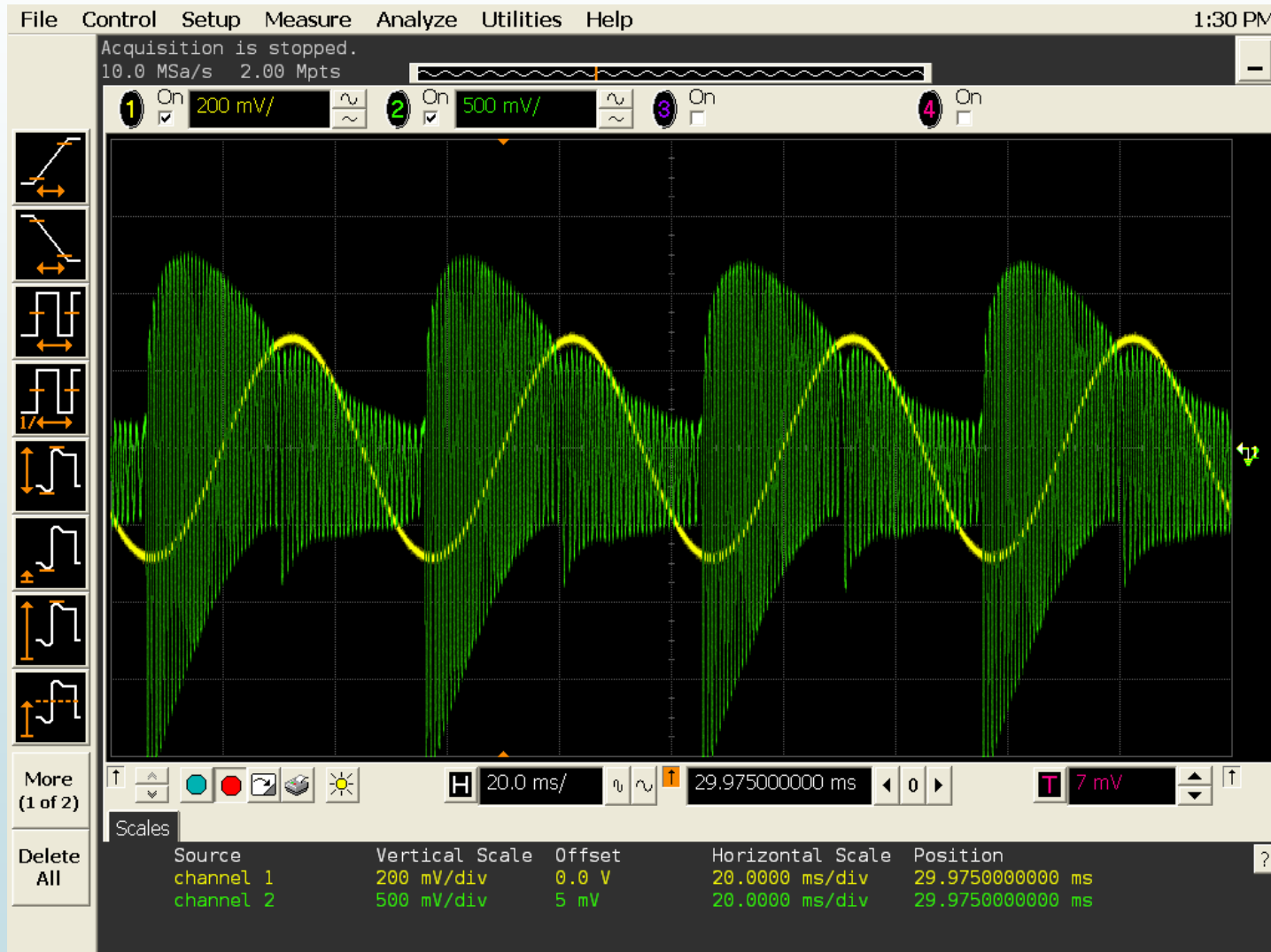
電磁誘導： $e = -\frac{d\phi}{dt}$ + スイッチが基本構成



エレクトレット電流： $i = \frac{dq}{dt}$ + 双安定アクチュエータによるスイッチ



双安定振動子の発生電流波形



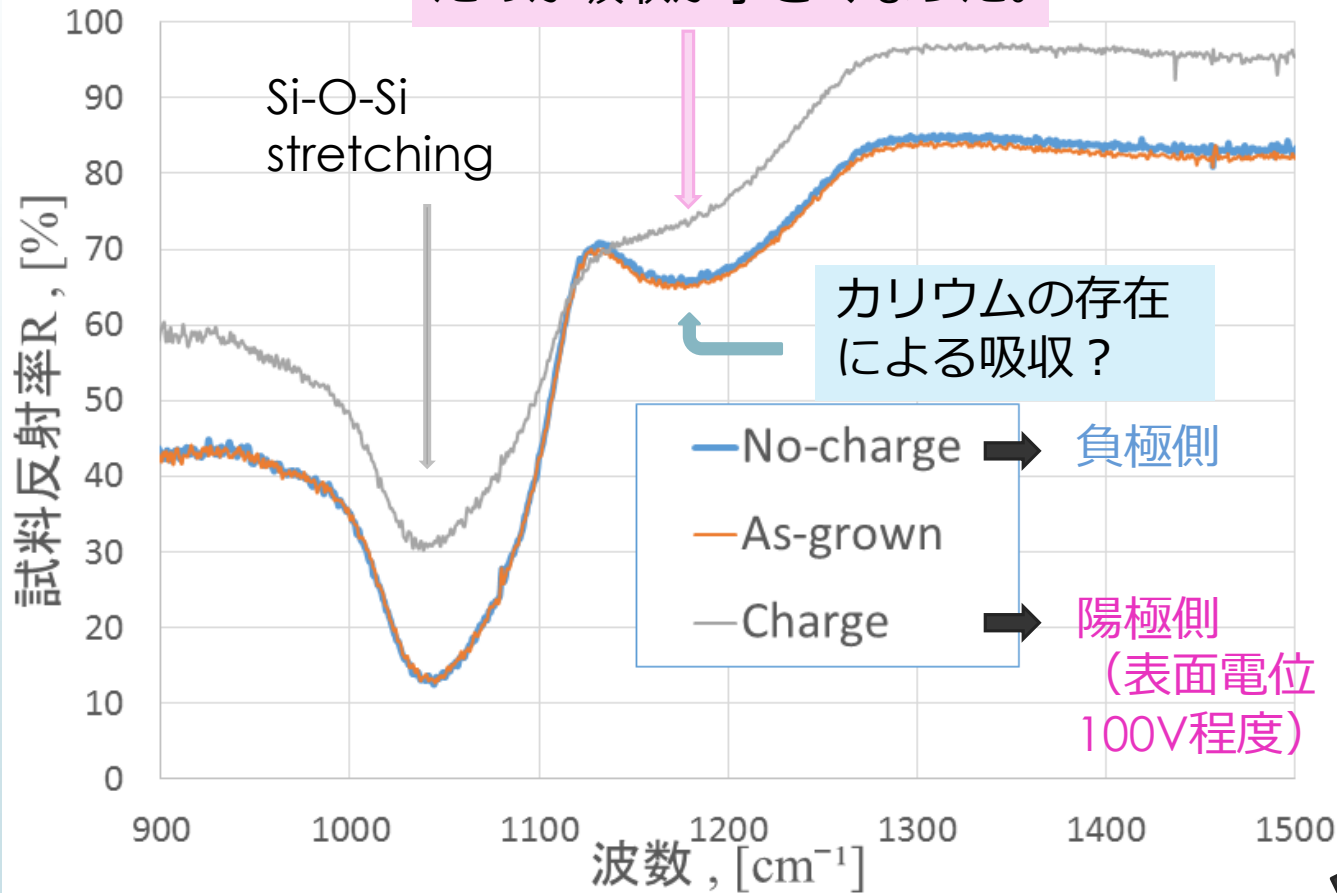
黄色 (200mV/div) :
入力電圧波形 (100分の1)。
100M Ω の抵抗を介して30Vpp、
50Hzを入力。短絡しても
0.3 μ Appしか流れない条件。

緑 (500mV/div) :
1M Ω 負荷の発生電圧。約
1.5 μ Appを発生。

入力周波数に依存しないで
動作する。

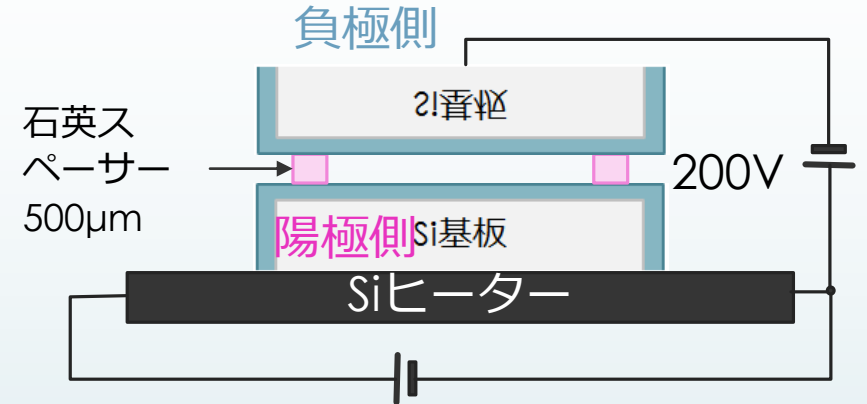
FT-IRによる帯電膜の観察

帯電側ではカリウムが抜けたのか吸収が小さくなった。



今後SIMSのデータと比較する予定。

波数の向きが逆になっています。



PCVD酸化膜のFT-IRの例

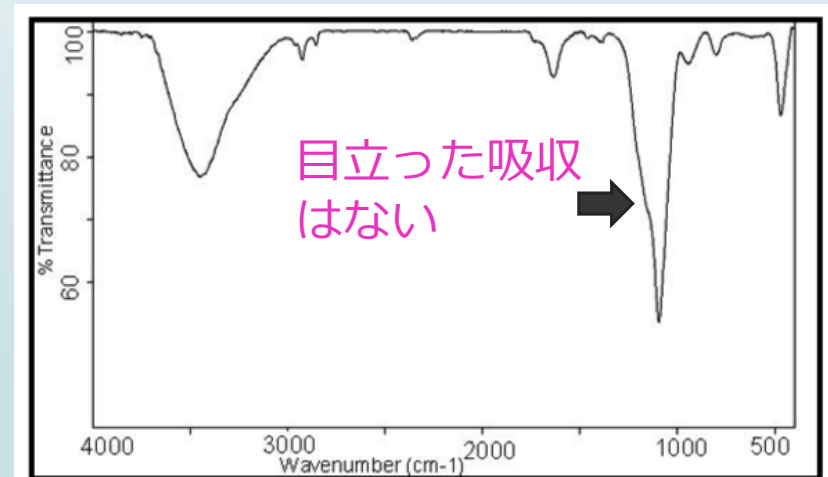
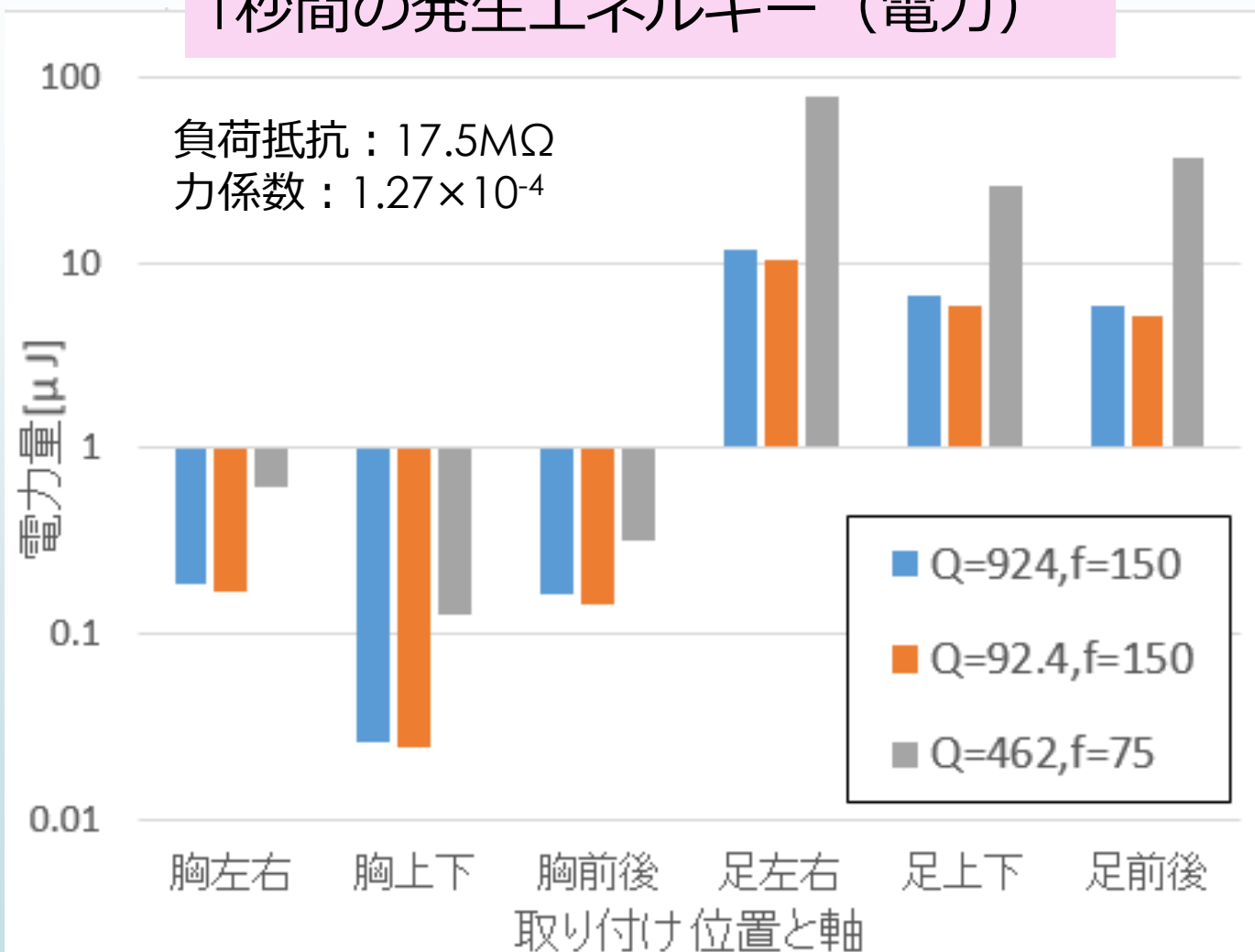


Figure 4. FTIR spectrum of samle C

ダイキンさんデータ発電シミュレーション

1秒間の発生エネルギー（電力）



- ✓ 周波数が低い発電素子の方が良い。
- ✓ 足だと最大90 μW くらい発電可能

まとめと今後の予定

- ✓ インパルスと定常振動を分けて議論する必要があること、それぞれに適した設計がありそうなこと、の2点の問題提起を行った。
- ✓ 双安定振動子を用いた昇電流・降圧回路を提案した。
- ✓ FT-IRによる帯電膜の評価を行い、カリウムの存在の影響と考えられる新しい吸収があること、帯電した膜ではその吸収が減少することを見出した。
- ✓ ダイキンさんデータによる発電シミュレーションを行い、足に開発中の発電素子を設置した場合、最大90 μ W程度が得られることが分かった。



- プローバーの新しい真空計を取り寄せたので、真空度とQ値の関係を改めて取得。(当初計画8月末)
- そのデータをもとに、真空パッケージの外注を行い、パッケージの真空度とパッケージの関係を調査。
- 引き続きエレクトレットの信頼性を担保するための、帯電に関する知見、振動子の設計に関する知見を得るための考察・実験を実施する。