

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回高効率MEH研究会 議事録(案)

技術研究組合NMEMS技術研究機構(MEH)

1. 日時: 2016年5月12日(木) 15:00~17:30

2. 場所: 技術研究組合NMEMS技術研究機構 新テクノサロンA, B  
東京都千代田区神田佐久間河岸67 MBR99ビル7階

3. 出席者(敬称略):

静岡大学(橋口、杉山)、東京大学(藤田、年吉)、京都大学(麻植)、  
鷺宮(石川、三屋、芦澤、古賀)、ダイキン(橋本、西野)、電力中央研究所(小野)、  
JR東日本(福田)、MMC(青柳、三原、坂井、)  
NMEMS(今仲、長谷川、松本、小寺、今本(記))

4. 議題:

- |                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| (1) 挨拶(高効率MEH研究所 所長 年吉先生)            | 【15:00-15:05】 |
| (2) 前回議事録の確認                         | 【15:05-15:10】 |
| (3) H27年度2月進捗報告                      |               |
| 1) 高電荷密度シリコンエレクトレットの形成法の開発(静大)       | 【15:10-15:30】 |
| 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(静大)   | 【15:30-15:50】 |
| 3) 大容量イオン液体可変キャパシタ技術のエナジーハーベスタ応用(鷺宮) | 【15:50-16:10】 |
| 4) 高効率エナジーハーベスタの開発(鷺宮・東大)            | 【16:10-16:30】 |
| 5) 交通インフラでの振動発電デバイスの導入開発(MMC・京大)     | 【16:30-16:45】 |
| 6) オフィス・工場等での環境発電デバイスの導入開発(ダイキン)     | 【16:45-17:00】 |
| 7) 実証WGアプリケーション検討会(MMC・京大・ダイキン)      | 【17:00-17:05】 |
| (4) その他(予算執行状況報告他)                   | 【17:05-17:15】 |

5. 第4回SSN研究会WG2 【17:15-17:30】

6. 配布資料

- 【資料-1】 H27年度第8回高効率MEH研究会出席者名簿
- 【資料-2】 H27年度第7回高効率MEH研究会議事録(案)
- 【資料-3】 H27年度2月進捗報告
- 【資料-4】 今後のスケジュール等

6. 詳細内容：順次、質疑応答を中心に記載した。

A. 高密度固体イオンエレクトレット（静岡大学）

[3次試作の結果報告]

(杉山) 高電荷密度シリコンエレクトレット形成法の開発

- ・多極型（名前の修正は未）
- ・力係数を5倍、0.2Gで1mWのデバイス設計。  
大きさは24mm×16mm、上下に4gずつ計6gの錘、共振周波数100Hzの設計
- ・エッチングがうまくいっておらず、ハンドル層の形状観察から、ぶつかって動いていない  
(300 $\mu$ エッチング)

(年吉) ・丸い形状が原因かもしれない。ガスの供給が偏る。四角く伸ばした方がよいかもしれない。  
裏面は鏡面研磨？（はい）

(杉山) ・8g載せられる。

(年吉) ・ボックス層のところでノッチが発生しないようなSOIオプション付きの削り方になっているか？（はい） 界面で変な現象が起きているというより単に深すぎるためか？

(杉山) ・その認識

(三屋) ・下側にだけ見られる現象。ガスがまわりすぎている感じ。

(年吉) ・表から等方で絶対に細めてみてはどうか

(橋口) ・そこさえクリアすれば動く。（はず）

(藤田) ・ヒンジをだめにしないように注意しないといけない。

(橋口) ・マスクの変更の時と同時にやってはどうか？

(杉山) ・マスクの変更でまっすぐのばす。

[シミュレーション]

(橋口) ・0.1Gで10 $\mu$ F充電したときの実測データを前回示した。

50Hzで2V、120Hzまで上がっていき125Hzになると急におちる。

オムロンの場合は30 $\pm$ 2Hz程度であり、このような特性が普通。

今回の試作品がブロードとなっている理由について理論的な検討を進めた。

前回モデルでは櫛歯がかみ合わないような構造として、200V程度帯電させている。

初期容量を考慮してラグランジュアンをたててモデル化した。

バネのところにCOSの項がでてきて、これがソフトスプリング的に働く。

この式を差分方程式に直してシミュレーションを行った。

シミュレーションの結果、80Hzを過ぎると発電電圧が急に落ちる傾向が表れており、ブロードな特性であるところ、共振を過ぎると急に発電電圧が下がる傾向が理論的にも確認できた。

等価的にバネが柔らかくなっていると考えており、低G用にこのような設計がよいかもしれない。

[実際の発電量の見積り]

(橋口) 実際にどれだけ発電できるのか?

京都大学の実測波形を加振器に入れて、充電実験を行った。

大枝センターの状況で  $2.4 \times 10^{-4} \text{C/h}$ 。 シミュレーションでは一桁よくなると予測される。

太陽電池で  $300 \text{mC/h}$ 。同じように連続発電すると  $162 \text{mC/h}$ 。

理想的にできれば太陽電池並みにできる。力係数頑張れば理論に近くなる。

(年吉) 太陽電池と比較するのであれば、面積をあわせること。

比較： 太陽電池  $2 \text{cm} \times 5 \text{cm}$ 、 杉山号  $2.5 \text{cm} \times 1.5 \text{cm}$

(橋口) 大枝ジョイントのデータを用いて、杉山モデルとオムロンとで同じ充電回路で比較した。

オムロンはリニア、杉山モデルは飽和傾向。(周波数が異なるので一概には比較できない)

(年吉) 見せ方によって優位に見える。

$1.5 \text{V}$  でよければ我々の方が早く充電できる。設計次第で通信頻度があげられる。

(藤田) 変位が重なるまでがソフトスプリング。 超えるとハードスプリング?

(橋口) 超えるとソフトスプリング効果が消える。

低G用にソフトスプリング活用に特化することも一案。(大電力用ではない)

(年吉) 周波数を下から上、上から下へ変えたときにはヒステリシスがでると思うので両方見てください。

B. 大容量イオン液体可変キャパシタ (鷲宮製作所)

[イオン液体]

(三屋) イオン液体の出力向上

電極変更と使用していたポリマーを変える。

最新のデータでは単位面積あたり、 $200 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  得られるが劣化している。

ゲルの劣化ではなく、電極(反対側)の劣化だろう。(きれいにするとともに戻ることから)

SAM膜が何層もついているのではないのか?

SAM膜が剥がれていって、金属についでいるSAM膜で安定して飽和するのではないか? (考察)

(年吉) 押し付けている力、圧力は? 膜を壊さずに長持ちさせる可能性もあるのでは?

(三屋) 手を付けられていない。

東大に装置を入れて今後やっていく予定。

(小野) SAMはフッ素コートの効果に近い。あまり時間がなくて何層もついているだろう。

今回、イオン液体の量がポリマーに比べて多くなっており、固まっていない。

今後もっとポリマーを多くして硬くしていく必要がある。

(藤田) 今朝のスタッフ meeting でもともとSAMが入って厚くなって  $4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、それが剥がれて

$10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  に戻って定常的に見えるのでは? という考えがあった。

要するに評価・分析してみないとわからない。

$4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  までしか下がっていないということは、ギャップが広がっていないのではないか?

(せいぜい  $10 \text{nm}$ )、4層も5層もついでいるのであればもっと厚いのではないか?

定量的に数値をあわせる必要があるのではないか?

(小野) 2枚独立したゴムを使っている。

SAM なしで実験すると劣化した状態になるので、2個独立したものになっていて、サイズで規格化している。

SAM がついている、どれだけ残っているのか FTIR 等で分析する。

F-SAM は電気があまり流れないので、スタートの段階で低くでる。

(藤田) 汚れて電流が減少しているわけだけど、電極の表面についているのがイオン液体でないものがないと説明できないのではないのか？ これを確認する方法はないのか？ (ない)

もし、電気二重層にならないものが上について余分なキャパシタンスとなって発電量が落ちているのであれば説明できる。モデルを考えてほしい。

(年吉) SAM が何層もついてしまうことは世の中の的にあるのか？

(小野) SAM をつけた後にトルエンで洗い流す工程を忘れていた。今回はペンディング

(年吉) SAM の工程を見せて、結合のメカニズム・分子の状態等今回の現象を説明してほしい。

#### [パッケージ]

(鷲宮) ノリタケ伊勢電子で真空表示管を活用して、真空中に振動発電を想定している。

図面の取り交わし、NDA 取り交わし中。

シリコンとソーダガラスの膨張係数がだいぶ違うので中間のガラスを挟む予定。

静大の杉山モデルをパッケージに入れる予定。

(年吉) 真空封止

BT 処理の電圧、温度はどういうシーケンスで実施するかおさらい。

BT 処理を1回して、その上で、電圧を印加しながら最後穴がついた状態で封止を行う。

(藤田) ALD はどこでどうやるのか？

(小野) 2タイプ (水を使う、プラズマを使う)

最初に帯電したものは水を使えないので、プラズマ (理研) でやる予定。

先に ALD をするのであれば、東大 (水を使う) でやる。

(藤田) 東大にフィンランドからきている人が ALD メーカー (ピコサン) なので、ただ、もしくは安価に膜付けしてくれる可能性があるので、活用を検討する。

(小野) 理研は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、HfO<sub>2</sub>・・・ 産総研にも良いものがある。

(年吉) 京都の S 社も安くある。 お金があれば購入も検討する。

(今本) ノリタケの位置づけ

(三屋) WLP とノリタケと両方考えたい。

ノリタケは試作品の意味もあるが、静大方式は錘が重いので (大出力品) ノリタケでやった方がよいかも。 低出力品は WLP の方といったことを考えたい。

(今本) 推進委員会の指摘にあった振動環境の棲み分けの中で、ポジショニングを明確にする。(はい)

(橋口) デバイスとガラスがしっかり固定しないと振動が伝わらない。

(藤田) 当面は結構ですが、気を付けておくこと。(はい)

### C. 高効率エネルギーハーベスタ（鷺宮）

（芦澤） ・ 2次試作の課題と今後の取組み

① 帯電電圧の低下。溶接あるいはA1蒸着の真空度か？

あるいはは、溶接や蒸着時の温度か → まずは現状把握の準備中。

② 面外振動タイプでは強い振動の時のストッパーを構成するのが困難。

→ 面内振動タイプを試したい。（静電力同士で釣り合わせる方式）

・ 3次試作のモデル

不可抵抗解放で減衰が少ない。負荷抵抗 10MΩ：減衰早い、数KΩ：減衰少ない。

・ 課題：プルイン電圧が設計より小さい。設計の見直しを行う。

（年吉） 出力電圧は 0.3~0.7V もっと大きくできる？

（芦澤） 大きくできる。今回はコンセプト確認を目的として櫛歯をあまり増やさなかった。

（年吉） 今回水平面内。力係数として電極の厚みに比例する。

SOIを薄い方ではなく厚い方をつかった方が有利では。

（芦澤） そうです。今回 20μm ですが、反対側に返せば 10倍ぐらいになる。

（年吉） 櫛歯が削れるのであれば試してみる方が良い。

（今本） 次の推進委員会にもものはできるか？

（芦澤） 出力的には少ないが、LED 1個は光らせる。

周波数特性の広いものは示せる予定。

### D. 交通インフラの振動発電デバイス（MMC, 京大）

（麻植） ・ 古い橋を測定する。（京都大門橋、トンネル、八雲橋・・・）

・ 大門橋は取り壊す予定。かけ替えまでに何度か計測予定。

・ インフラ劣化診断の手順案

（年吉） ・ 工事の検証にも使えそう。

（石川） ・ 補修されたかどうかの効果の確認手段は今はないのか？

（麻植） ・ ない。我々はAEを使って検討を進めている。要求されている項目

（橋口） ・ 周波数はどれくらい変化するのか？

（麻植） ・ 普通の橋梁は 15Hz あたり固有振動周波数があり、1~2Hz 変化する。

もう少し細かく見たい

（橋口） ・ 超高真空のパッケージがあるので、そこでセンサを作ってしまうのも良い。NEDOにアピールできる。

振動発電とセンサの設計を分ける。エレクトレットで発電とセンサを両方作成できる。

空中給電はなかなか進んでいない。（ドローンを飛ばして給電する等）

（今本） センサの特許出願をお願いします。

（麻植） はい。

逆にどういう特許が出ているか調べてほしい。（はい）

（今本） 前回の推進委員会の理論値について見直しを行うことになっていたがいつごろ出てくるか？

（橋口） 新しいソフトで計算し直ししてみる。

（年吉） 共振周波数の変化で経時劣化を見る方法と、何発致命的なインパルスで予測する方法がある。特許書くときに2つかくのも良い。

- (藤田) ・何を振動源とするのか
- (麻植) ・常時微動。 低Gでも図れるのは魅力がある。  
自動車がいなくても揺れる。 橋である限り風の影響等で揺れる。
- (藤田) ・スペクトルをとるとき、どの程度の分解能で見ないといけないか？  
真空度の問題もあるし、定量的に抑えておくように。  
特許を取るときに必要なので明確にしてください。

#### E. オフィス・工場での環境発電デバイスの導入開発 (ダイキン)

- (西野) ・アプリケーションマップの修正案 (連続、毎分、毎時・・・)  
・ J と W 等の必要発電量の試算の考え方の整理案
- (年吉) ・インパルスと連続の間に準連続が欲しいが、担当で分けたのですね。 (はい)  
・ 20mW の無線通信が 1 秒は長い。  
・ リニアにためていくのは現実的ではない、リークのないキャパシタはない。  
緩和時間を想定した帆が良い。 1 日かけて充電するシーンはない気がする。  
・ Zigbee か通信プロトコルの知られたもので無線の計算をし直ししてください。
- (西野) ・わかりました。  
過去の例で、赤外アレイセンサ (256 画素) のデータを送るときに 0.2 秒。  
データ量が多くてこれくらいの認識。
- (橋口) ・大枝ジョイントで 67nW (構造物の必要な電力量と一致)  
2V だと 300mF 必要になるので、電圧を上げた方が良い。(100μF, 1 1V ぐらいが良い)
- (年吉) ・振動周波数が分かっているならば、特定周波数を増幅するような追加工物をつけることは可能か？  
センサ用のカンチレバーをつけておいて、急に動かなくなったらどこがおかしくなった？  
ということがわかる。
- (麻植) ・相談してみる。それもセンサの一部であれば行けるかも。
- (年吉) ・工事も不要でつけられることを考えると有効。
- (麻植) ・測定頻度が少ないので、70nW といっても十分かも

#### ※ 実証 WG 報告 (三原)

- (三原) ・アプリケーション別の振動状態の整理と想定 (ダイキンとは食い違いがある)  
(ロボット、人体・動物、橋梁、FA 機器、鉄道・輸送、配管・ダクト)
- (藤田) ・最終的にこれと得られそうなエネルギーとで静電のでの特徴がでてくるということで良い？
- (今本) はい。
- (福田) 何をやろうしているかよくわからないが、実証としてお役にたてればと思う。
- (今本) 周波数、加速度の関係で、さまざまなアプリケーションがある。  
この静電方式に適するアプリケーションを明確にすることである。
- (今仲) アプリケーションで何をモニタリングするのか？ 鉄道だけをとっても様々なシチュエーション  
があり、細かくやらないといけない。このテーマでどこまでやるのか？ 本当にできるのか？
- (今本) やれる範囲でやっていこうと思う、(すべては難しいが)。
- (年吉) 鉄道等の検査項目の視点を教えてもらえると参考になるかもしれない。  
また、このマップの確からしさを見直すのも必要かもしれない。

※ ベンチマーク (MMC)

(松本) ・各方式 (圧電、磁歪、電磁) のサンプル入手状況

(年吉) ・MicroGen AlN 式圧電

- ・年吉研で PZT 式を試作している。 必要があれば測定してください。
- ・リバースエンジニアリングはダメ → X線 TV でも使ったら？
- ・学会発表されたものは調べられる。

※ MEH 特許動向調査 (MMC)

(阿出川) ・推進委員会を受けて調査項目を追加

- ・アプリごとのマッピング、特徴技術のマッピング、発電方式毎のマッピングまで広げて行う。

(年吉) ・特許抄録の 1 ページまでが良い。

(今本) ・特許が少ないので出して多く出してください。

(年吉) ・特許費用はでるか？

(阿出川) ・組合経費として、NEDO 費用に計上できるが、出願企業では出願費用のエビデンスを用意する必要があることから、現実には難し。  
まずは、年吉先生に発明届けを出してもらおう。

以上

以上。