

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

第 6 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 : 2015 (H27) 年 11 月 27 日 (金) 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) : 東京大学 (年吉、安宅)、静岡大学 (橋口、杉山)、
京都大学 (塩谷、麻植)、鷺宮 (石川、三屋、芦澤、石橋)、
ダイキン (橋本、西野)、電力中央研究所 (小野)、J R 東日本 (福田)、
NHK (後藤)、 MMC (青柳、長谷川、坂井、三原、水津、
鎌田、阿出川、小寺、松本 (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 11 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】
- (4) 第 2 回 SSN 研究会 WG2 (MEH の本格研究に向けた検討) (MMC) 【17:00-17:20】
- (5) その他 (予算執行状況報告他) 【17:20-17:30】

5. 配布資料

- 【資料-1】 H27 年度第 6 回高効率 MEH 研究会出席者名簿
- 【資料-2】 H27 年度第 5 回高効率 MEH 研究会議事録 (案)
- 【資料-3】 H27 年度 11 月進捗報告
- 【資料-4】 今後のスケジュール等
- 【別紙】 SSN 研究会資料

6. 質疑応答 :

- (1) 挨拶 (高効率 MEH 研究所 所長 年吉先生)
- (2) 前回議事録の確認

(1) と (2) に関しては、特に質疑応答は無かった。

(3) H27 年度 11 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: 杉山先生)

Q (年吉): 200 V を印加している理由は、かけないと動きにくく、
かけて動きやすくする為か。

A (杉山): そう。電位印加で電位差をキャンセルして、動きやすくする為。

Q (年吉): 流れている電流は、MEMS の MEH が生み出している電流か。

A (杉山): そう、MEH で生成している電流。

A (橋口): 短絡時で 140 μ A 流れている。想定した力係数から予想される電流値に近い。
静電力に対する考察をさらに進める。電流は正負に流れるが、
これを整流して溜めればよい。ローカルに整流する手段も有ると考える。
真空中で 100 k Ω の負荷抵抗で動作させているが、
シミュレーション通りのパワーが出始めている。

Q (青柳): 150 μ W を目標としているが、それはクリアしていると考えて良いのか。

A (年吉): 錘を載せてチェックする所。クリアできそうかな、という感触。

A (橋口): 素子の可能性としては、充分有ると思っている。電流は多いので、
最適負荷 (100 k Ω) に近いと考えている。ピーク値は間違いなく出る。

A (杉山): 錘はタングステンで、その重さは 2 グラム。

A (橋口): プロブで押して動かない引力が実現できている。この
強い引力は初めて見た。前回もかなり強い印象だったが、
今回は明らかにそれ以上の力が発生している。
櫛歯が位置を外れた時の回復策や、外れないための対策をこれから考える。

C (年吉): ステージゲートまでに、150 μ W とそれ以上のデータを用意する事。
あと 1 か月有るので、クリスマスプレゼントとして、
是非とも良いものを作る事。

A (杉山、橋口): 了解。

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: 橋口先生)

Q (年吉): 帯電の消失真空領域の現象は確実なものか。

A (橋口): そう。数回実験して確かめたが、再現性が有った。

1 Pa ~ 20, 30 Pa は、プラズマや R I E など、半導体作成で、放電を利用して
イオンなどを発生させる、真空中のイオンを用いた装置で使われる領域である。

Q (年吉): 放電が一回起こると回復はしないか。

A (橋口): そう、回復しない。

Q (年吉): では、実装時はその領域を一気に通過させないといけないか。

A (橋口): そう。そうするか、あとは実装時に、逆バイアスを印加しておく。

Q (松本): 0.1 ~ 0.01 Torr で放電が起こりやすいのは、パッシェン則に合う話か。

A (橋口): そう。パッシェン則に則った話。

その圧力領域に戻らぬ様、ゲッター付きパッケージ等も考えている。
複数の手段・対策を考えている。

Q (年吉): 説明のシミュレーションの改良は、ダイキン (株) よりの依頼か。

A (橋口) : そう。二つの依頼の中の一つ目。もう一つが振幅制限に関する改良。

Q (西野) : 低周波数領域で振幅制限付きシミュレーションモデルに改良して頂いたが跳ね返り考慮の場合、多重衝突が発生していないか。
詳しくは後ほど伺いたい。

A (橋口、年吉) : 了解。両端部での衝突跳ね返りを考慮したが、時間の刻みを細かくして、多重衝突が発生しない時間間隔で計算を行う事。また、周期の半分以下の刻みにする事。

Q (年吉) : 当面の実装は先祖返りしたような技術で行うが、要望としては、将来は WLCSP で実装を行う事を考えておく事。参考情報だが、フラウンフォーハで研究を進めている自動車 I T S 用 MEMS では、真空封止技術も有るが、そこではあまり良い真空度は使っていないらしい。以前に橋口先生が検討していた真空エミッションデバイスの方が、良い真空と思っている。
シミュレーションのコメントでは、反発係数をモデルする他に、ばね定数を衝突する状態近くで大きくする事が最近の流行である。

Q (年吉) : 資料に有る 1 ミリワット級の発電とは、同じ面積が念頭なのか。

A (橋口) : そう。少しデバイスを重ねる。

Q (年吉) : ところで、段差付き櫛歯構造は、静岡大学が検討している杉山素子にも使えないか。

A (橋口) : 検討の余地は有る。

C (年吉) : 我々の欲しい現象は容量値の変化なので、段付き櫛歯構造でも、そんなに特性の劣化は無いと予想する。マスクに余裕が有れば、水準として入れておく事。

A (杉山、橋口) : 了解。

今回の報告は 3) の前に 4) をする。

4) 高効率エネルギーハーベスタの開発 (鷲宮・東大 : 芦澤様 段付き櫛歯)

Q (橋口) : $3 \text{ Pa} = 0.02 \text{ Torr}$ という領域は、放電領域に入っているのか。

A (芦澤) : それも今回の素子特性低下の一因になっているかも知れない

(11 kHz という高共振周波数、小振幅、・・・)。ただ、真空にした時にキャップが撓んでいるのは事実。

Q (橋口) : ある程度頑丈な固いギャップが望ましい。

A (芦澤) : 同感。いまのは目では分からないが、測定すると $20 \mu\text{m}$ 前後は撓んでいる。

C (年吉) : 最終的には WLCSP (Wafer Level Chip Size Package) で実装。押すと凹むし、錘は真鍮製で 0.22 g だが、可動部にくっ付けたい。

Q (年吉) : 接着剤関連はどうなっているか。

A (芦澤) : 錘は接着剤で付けている。4 点付け。

C (年吉) : その時の注意として、接着剤は 1 点にしか着けない事。

多点に着けると、貼りつけられる構造物が、接着剤の収縮で浮いてしまう。そうすると寸法が制御出来なくなり、 $20 \sim 40 \mu\text{m}$ のギャップを残す事などは難しくなる。4 隅付けは全然ダメ。

C (小野) : ボンドのエポキシの2液混合型は、ガスが発生し、真空度が劣化するので良くない。デバイスも汚す。

UV硬化型が良い(歯医者さんで使っているタイプ)。

これらの情報は、静大の錘貼り付けの際にも有効な情報である。

Q (松本) : 振幅が小さいと密になる波形とう事は、振幅が小さいと高周波化する事か。

A (芦澤) : 確かにそうなる。以前もそういう特性が出ていた。

Q (三原) : 通常の非線形ばねとは逆の傾向。

C (年吉) : すぐに接触して跳ね返るので、間隔が狭くなる事も有り得る。

A (芦澤) : 周波数が高くなったのは、そういう事も考えられる。

Q (麻植) : 耐久性や耐久年数は何で決まるか。

A (芦澤) : 今回のイオンエレクトレットの寿命は長く、
それよりも接着剤の寿命の方が短くなると予想。

C (年吉) : 実装の仕方だけを言えば、

光ファイバーの分野では十分な信頼性が実現できているので、条件次第と
考えている。その分野では導電性のエポキシだと返って信頼性は低いなど
重要な情報が有る。詳しい話は後ほど。

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 (鷲宮 : 三屋様)

Q (年吉) : 動作時、両電極に電荷の戻るパスはどこに有るのか。

A (三屋) : グランドから流れ込んでいるのではという予想。

Q (年吉) : 電流は片側のみか。

A (三屋) : そう。

Q (年吉) : ゲルの発電の波形に関して、2つの電極に流れる電流を独立に測定できないか。
完全に上下対称的に測定する。

A (三屋) : 測定してみる。

Q (年吉) : ゲルの中に電極を追加する事は難しいか。あるいは下電極を2分割するとかは
可能か。ゲルの片辺りなども現象的に気になる所。

A (小野) : ゲル中に電極を埋め込む事や、その電極を2分割する事など、
色々なテクニックは持っていて試せる。

Q (年吉) : キーエンスの2つの光型の変位計の位置分解能はどれほどか。

A (三屋) : 1 μm 程度。また、ゲルの直径は 10 cm を超える事はない。

C (橋口) : 解放電圧だと、容量の充放電ゆえの遅延が生じる場合が有るので要注意。

A (三屋) : 了解した。

Q (松本) : 高速カメラを使用しているが、ゲルが離れる場面は観察できなかったのか。

A (三屋) : 見たいのは山々で、年吉先生も見たいのだが、今の所は見られてない。
今回のカメラの使用が短かった事も有る。時間切れ。境界の評価に使いたい。

C (年吉) : ハイスピードカメラは私の研究室にも有るので、それを使う事は可能。

A (三屋) : 了解した。

C (年吉) : AFMで一気に全てを見てみたいが、この様な材料を見るのは、
AFMのプロフェッショナルは嫌がるだろう。押し込み量や
フォースカーブ等が同時に見られる。脇の高橋研でしているのは知っている。

C (小野) : 周り、ゲルの周辺部/エッジ部がねっとりしている感じがする。

ゲルの中心と周辺が、状态的に異なっているのではという疑問がある。
ゲルをビニールで囲い、 N_2 雰囲気にてゲル化させるとか、
動作させるとか、色々と試してみたい。

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 麻植先生)

- Q (麻植) : ジョイントとか箱桁の方が良く揺れるか。
A (三屋) : そう。
Q (橋口) : トンネルに関しては、どのトンネルでも同じような揺れ方か。
A (麻植、塩谷) : 測定してはいないが、あまり変わらないと考えている。
Q (年吉) : トンネルの構造物 (敷板) が上からこそげ落ちてくる様な事例は、
どうやって調べているか。
A (麻植、塩谷) : 簡単には、打診で調査する。あと車からレーザーを
使って調べる事も最近ではできる。叩いた時の音で意外とよくわかる。
首都高速では、レーザーを使っただけの3D計測に取り掛かっている。
C (塩谷) : 空調機器も、今ではモニタリングできる。今は、敷板は使われていない。
Q (三原) : 付帯物が意外と揺れないのは何故か。振動設計されているのか。
A (塩谷) : もっと揺れる部分も有ると思う。細かく見るのはこれから。
耐久性に関しても構造設計がされている。
Q (年吉) : 今回の測定装置では、どれくらい低い周波数まで計測可能か？
A (麻植) : 9 KHzを上回ると感度が低下する。低い周波数側は結構計測できる。
風なども計測できるが、発電には使いにくいだろう。
C (塩谷) : ある研究 (北陸方面) では、遮音壁の振動を発電に使おうと検討しているが、
住民の苦情も出ている。
C (三原) : 苦情が出ていると、まずは改善で、発電はその後になると思う。
C (塩谷) : 意外と、改善に手間取っていると聞いている。
Q (三屋) : ガードレールは揺れるか。
A (麻植) : 斜面・法面は揺れない。ガードレールは現在調査中。
個人的には余り揺れないと考えている。
C (塩谷) : 良い感じで揺れるかもしれない。
C (塩谷) : 発電量をセンシングに使用する事は有ると考える。日立なども
天井のファンの異常検出を考えている。面白いアプリケーションである。
周波数は複数有ればより良い。日立は一つ一つケーブルを切って、振動の
変化を調べている。振動検出+発電で、一度で二度美味しい。

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: 西野様)

- C (西野) : 50 μm の可動域の制約が発電量をリミットしているが、制約を拡大したい。
拡大できれば発電量の増大が可能となる。デバイスの質量とか厚さの増大も
発電量の増大になる。厚さ以上に振れても、発電の増加にはならない。
A (年吉) : 歯の厚さ・高さを2 mmにするのは現状では難しい。見た事も無い。
芦澤さんも同感。
C (芦澤) : 重ねるしか、現状では策は無い。今の20 μm よりは制限幅を大きくしたいが。
A (橋口) : 静大の素子では、平面的に作っているので、

左右の現状の最大振幅 $400 \mu\text{m}$ の拡大は、構造次第だが可能である。
共振周波数も、錘の重さにより制御が可能。

(4) 第2回 SSN/WG2 “MEH” (年吉先生、長谷川)

E (長谷川) : 前回 10 月 26 日の第 1 回 WG では、MEH の先導研究が終わって本格研究に入るのにどのような方法があるかのお話をした。METI で概算要求中の IoT 横断技術開発予算を狙って、東芝を中心とした DSPC という会社できており、そこが IoT 端末の開発を提案しようとし、そこに自立発電も入れるため、私どもと連携して出すというシナリオもあり得るとの話をした。

実はその直後にその予算に向けて MEH の本格研究も考えているということを受けて、METI、NEDO のヒアリングに呼んでもらえることとなり、急遽、説明用の資料を年吉先生が中心に作成していただき、11 月 24 日のヒアリングで藤田先生と年吉先生に説明をしていただいた。

E (年吉) : 11/24 の話の概略を説明する。手元の資料をご覧頂きたい。MEH の本格研究は、現在の先導研究の延長線上にあるという事を話した。なお事前に、担当のメンバーには、24 日の説明内容の事前確認をした。

エレクトレットの形成時間は、本格研究の終わる 2020 年頃には、今より 100 倍速い、またイオン液体の容量は今より 100 倍大きい、などを説明した。最初のページには目標や課題を書き、本テーマの必要性を主張した。

具体的な内容は、2 ページからの資料を使い説明した。皆様ご存じの内容。先導研究が良い段階まで進んでいる事をアピールした。

本格に移っても、研究体制は先導とほぼ変わらない。先導ではオブザーバであった電中研の小野氏が、本格では研究メンバーに加わって頂くことを話した。この追加により、研究場所が一つ増えて四か所になる。

それと併行して、MEH の一部の研究は C R E S T に応募し採択された、すなわち MEH は旬なテーマですよ、とアピールできた。

次に 7 ページ目からの資料を使い本格研究の内容を話した。先導では、2 年目の終了までに 1 ミリワットを達成するハーベスタを実現しようと進めている。今が実施の最中で、上で説明したように、いい具合に先導が進んでいる。また研究している最中に、非常に面白い現象も見出した。この現象を解明しないままでは本質的な前進は無いという事で、これを C R E S T に提案して承認された。それが青色で示した部分。その成果を戻す先が本格研究である。

W L C S P も使って実用になる研究を本格では進めたい。この実用化する部分での大きなプレイヤーが、鷺宮製作所であると説明した。

東大の研究では、微細化を推し進め、発電量を増大させる。その為に D R I E を買い取りたいと説明。更にステルスダイシング装置なども必要となる。

静岡大では、エレクトレットに関する研究を続ける。しかもスループットを増大させるために、今やっている手法よりも簡便な形成方法を検討する。

レーザーアニールも検討し、今の熱アニールよりもスループットを上げたい。それに加えて、エレクトレットの信頼性も高めたい。

鷺宮は、このエレクトレットの応用発電素子や、イオン液体とこの

エレクトレットを合わせた発電素子を検討する。カーボンナノチューブなども電極に加えたら面白い展開が予想されるので、併せて検討する。

特性が向上したMEHをウェハレベル実装して、スループットと特性を安定させかつ向上させる。この為、ウェハの接合装置も買わせて頂きたいと説明した。即ち、本格研究では実用化を目指すのでお金も必要と力説した。

経済産業省やNEDOのPJは本格化が来年から始まるが、それに対してどう対応するかはMEHでは答えが出ておらず、取り敢えず線表では、先導を2年、その後の本格を4年行くと線引きした。

予算としては、生産化を念頭に置いて、前半に装置を揃えるという事で予算を大きくした傾斜配分とした。具体的には、H28とH29は4億円、H30とH31は2億円とした。

どこと組んでいつから開始するかなどは、この先、経産省やNEDOなどよりサジェスションなどもいただき、検討していくということになる。以上が11月24日に話した内容である。

E (長谷川) : ヒアリングでは、NEDO等より技術的な質問もあったが、藤田先生と年吉先生にすべて明確にお答えいただいたので、技術的に何か疑問だという様な感じは残らなかった。

残るは、MEHを今後どう提案していくのか、来年の2月にもNEDOの公募が始まってしまうので、これに乗り遅れない為にはどのように考えるかが課題となる。

NEDOの電材部の元部長で、今はMETIの研究開発課長である岡田さんがヒアリングをリードされたが、良い研究ならば先導を切り上げて単独で出しても良いのではないかと、あるいはNEDO側で考えることだが、先導と本格をうまく切り分けて同時にできないかなどのお話もあった。

我々としては、もう一つ、どこかと組んで出すということで、DSPCと共同で出すという形や、実は東芝以外の会社さんで提案を考えているところもあるようで、その社を含めて組合で出して、そこがセンサ端末を、うちがMEHをというような一つの本格研究にまとめて出すなどの方法もあろう。

そのような出し方について、今後数週間、あるいは年内をかけて、NEDOやMETIと相談しながらまとめていきたい。次回の12月25日のWGでは、その辺りの進捗のご報告ができればと考えている。

- C (橋口) : テーマの重さ・内容的に簡単なものではないので、先導と並行で本格を始めたい。調査なり外注の味見を始めていった方が良いのでは。結構4年は短い。年吉先生もベースの考え方はこれと思う。
- A (年吉) : レーザー加熱は是非とも試してみたい (laser anneal や flash lamp anneal と類似の技術。局所的な加熱が可能となり、局部の瞬時温度上昇が時間短縮に繋がる)。スループットの向上が産業的には重要なファクターである。年を経るにつれ、企業の重みが増す計画となっているが、鷲ノ宮の意見はどうか。
- A (石川) : 我々メーカーとしては以下に量産を軌道に乗せられるかが重要であり、先生の思い同様、②のレーザーアニールには来年からは力を入れたい。

それと④の WLCSP も同様な意味で大事になる。

- A (橋口) : 100 倍のスループットとは、元が何と比べてが曖昧、つまり今は時間的には曖昧な表現だが、レーザーアニールなどで製造時間を短縮したいのは事実である。
- A (年吉) : カーボンナノチューブなどの新規アイデアも出てきている。世の中の的にはできているが、我々は未経験なので、先導を先に行って、技術を確実にしてから本格に移りたいというのが本音。本格と先導を並行して行うのが可能ならば、そうするのも有り。一方、研究資金も欲しいので、本格も立ち上がると有り難いが、その場合には役割分担を良く考えなければいけない。先導と本格と CREST の 3 本の線を引くとなると役割分担なども大変なことになる。研究体制が上手く回る仕組みをコアメンバで考え、皆さんにその都度図っていくが、あと 1 か月ぐらいなので見ていて頂きたい。

(5) その他 (予算執行状況報告他 : MMC 事務局より)

ステージゲートの書類提出は 12/7 必着。テーマ説明は、決定では無いが 24 日の午前中を要望している。12/25 が、今年最後の第 4 回推進委員会の予定。最後に、事務担当の水津より、残すところ 3 か月の予算執行状況の説明があった。

- Q (橋口) : 大学から当初に計上した (割り当てられた) お金は、出ない範囲で有れば使って良いか。
- A (水津) : 静岡大学の場合は、少し減らしてもらっている。問題なのは本部が百万円位赤字で有るという事。全体的に足りない状況なので、余れば回して頂きたい。多少はオーバーも有り得るが、百万円は少し大きすぎる感じがする。
- Q (橋口) : 半分位になる様に努力すれば良いか？
- A (水津) : 多少回して頂けるものが有れば、そう願います。
- C (年吉) : では余っているのが有れば、回してあげてください。

総括 年吉先生 : 来年度の計画・予算を提案中で、また個別にお聞きしますので、また返答願います。過不足は私の方で調整します。1/18 は一日中 CREST に合同ミーティングで掛りきりなので、第 7 回研究会の日程を変更する。

以上