

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3回高効率MEH推進委員会・第3回高効率MEH知的財産権分科会 議事録

1. 日時：2015年10月5日（月）14：00～18：30
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)：NEDO（丸山、佐藤、鈴木）、静岡大学（橋口、杉山）、東京大学（藤田、年吉、安宅、鈴木）、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）、JR 東日本（福田）、MMC（青柳、今仲、長谷川、阿出川、水津、坂井、小寺、松本（記））
4. 議 題：
  - (1) 挨拶 【14:00-14:10】  
藤田推進委員長、今仲理事長  
NEDO 包括PM丸山様、佐藤様、鈴木様
  - (2) 研究進捗報告会 【14:10-14:20】
    - ①全体進捗報告（高効率MEH研究所 所長 年吉先生） 【14:10-14:20】
    - ②個別テーマ進捗報告 【14:20-14:40】
      - 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） 【14:20-14:40】
      - 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） 【14:40-15:00】
      - 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） 【15:00-15:20】
      - 4) 高効率エナジーハーベスタの開発（鷺宮・東大） 【15:20-15:40】
      - 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） 【15:40-15:50】
      - 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） 【15:50-16:00】
      - 7) 標準化の戦略立案 【16:00-16:05】
    - ③推進委員長（東大 藤田先生）からのご指示 【16:05-16:15】
  - (3) 知的財産権分科会 【16:15-16:25】  
知財規程の改正について、他（MMC）  
－休憩－
  - (4) 特別講演（東日本旅客鉄道株式会社・JR 東日本研究開発センター 福田 和人様）  
「JR 東日本における高効率 MEH 活用可能性について」 【16:30-17:10】
  - (5) 総評 【17:10-17:20】  
NEDOイノベーション推進部
  - (6) その他
  - (7) 意見交換会 【17:20-18:30】
5. 配布資料
  - 【資料-1】 H27 年度第 4 回高効率MEH研究会出席者名簿
  - 【資料-2】 H27 年度第 3 回高効率MEH研究会議事録
  - 【資料-3】 H27 年度 10 月進捗報告
    - 【資料-3-①】 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）
    - 【資料-3-②】 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）

- 【資料-3-③】大容量液体可変キャパシタ技術のエネルギーハーベスタ応用（鷺宮）
- 【資料-3-④】高効率エネルギーハーベスタの開発（鷺宮・東大）
- 【資料-3-⑤】交通インフラでの振動発電デバイスの導入開発（MMC・京大）
- 【資料-3-⑥】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）
- 【資料-3-⑦】標準化の戦略立案
- 【資料-4】 知財規程の改正について、他（MMC）
- 【資料-5】 今後のスケジュール
- 【資料-6】 講演資料

6. 詳細内容：順次、各報告者の話された概要と、質疑応答を記載した。

## (2) 研究進捗報告会

### ①全体進捗報告（高効率 MEH 研究所 所長 年吉先生）

本テーマの概略を説明した。質問は無かった。

### ②個別テーマ進捗報告

#### 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）

[概要] 全体の研究の位置付けを橋口先生より説明し、その後に杉山先生の報告があった。

テーマ 1) では、どれほど力係数が大きくできるかを検討している。

テーマ 2) では、振動速度の低下に寄与するダンピング係数をどれだけ小さく出来るかを検討している。空気の粘性抵抗の削減などが主。以下、杉山先生の報告。

トーションバー型とカンチレバー型構造の 2 種類の素子を検討している。トーションバー型素子は AC 振動に、カンチレバー型はインパルスに向いていると考えている。

トーションバー型は実効値で  $150 \mu\text{W}$  が出ている。共振周波数は  $3\text{g}$  の錘を付けて  $100\text{Hz}$  に下げている。今後加振機で、定量的に評価出来るようにする。

その際には、錘も変えて測定する。

カンチレバー型はロバスト性重視という視点で作成した。真空中に実装し、この素子でも LED の点灯に成功した。共振周波数は  $1\text{kHz}$  と高い。今後、錘付加で共振周波数を下げたい。

Q(藤田) 今回の加振はどう与えているか？

A(杉山) ピエゾ素子で簡易的に加振している。

Q(塩谷) 櫛歯の動き方？

A(杉山) 左右に一斉に動く。

Q(年吉) カンチレバー型は  $1 \mu\text{W}$  でも、LED は良く光るのか？

A(杉山) 光る。

Q(年吉) カンチレバー型は面積的に櫛歯数が増やせる気がするが？

A(杉山) 先生が言われるように、2, 3 倍は増やせると考えている。後に図面で議論。

Q(丸山) カンチレバー型の動き方？

A(藤田、杉山) 画面に垂直方向の振動。左側がヒンジ。

Q(藤田) カンチレバー型のロバスト性はどの程度？

A(杉山) ピンセットで弾いても折れないが、今後、限界を調べる。

C(藤田) 期待している。

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)

[概要] 真空度とQ値の把握を目指して研究を進めている。更に、同じ発電力(W)で電流(A)を増大出来る様に、電圧変換器(低電圧[V]化)素子を検討している。それをインパルス発電素子と名付けている。双安定の楕円アクチュエータ素子である。そして等価回路も同時に検討している。この素子で真空度とQ値の関係を調査している。

高真空では1M $\Omega$ の負荷でQが64、低真空では55、大気中では45という実験結果が得られた。これより式で効率を算出すると、高真空で効率(機械の振動エネルギーが負荷抵抗で消費される割合)はほぼ100%、低真空では87%、大気中では71%と算出された。

低真空では余りQ値は良くならない(ロータリーポンプ領域)。高真空では安定して高いQ値が望める。0.01To11から0.001To11の領域の真空パッケージングを行いたい。

次に帯電後のエレクトレット表面にカーボン粒子を吸着させてみた。片側電極の全面にパーティクルが付着した。(ここで、カリウムエレクトレットの構造と製法に関する基本説明を、藤田先生が講義した。)イニシャルのカリウム分布をSIMSで分析した結果、SiO<sub>2</sub>-Si界面の部分が、カリウムイオンが欠乏している(陽極側)のに対して、陰極側ではカリウムが偏析しているのが分かった。このイオン分布の差で、エレクトレットが出来ていることが分かった。

Q(藤田) 11ページの順は、純では?

A(橋口) その通りです。

Q(佐藤) カリウム分布図において、楕円の表面は左側か?

A(橋口) その通り。

Q(佐藤) 一方の陰極側には電位は発生していない?

A(橋口) そう解釈しています。

Q(佐藤) ドーピングの均一性は?

A(藤田) 酸化中のIn situ ドープなので均一性は保てる。

A(橋口) イオン分布のさせ方は、陽極接合同様なイメージで良いと思います。

Q(佐藤) 空気の粘性が、真空度こ向上とともに粘性から層流に変わっている?

A(橋口) そういう事です。

Q(丸山) 必要な真空度は、工業製品で使われているレベル?

A(橋口) 真空管と同程度の真空です。

Q(年吉) 高真空で良くなる話は水分の影響と考えられないか?

A(橋口) 帯電圧が変わらないので水分では無いと考えている。

Q(年吉) 高真空→低真空で特性がどうなるかで話の裏を取りたい。

A(橋口) 了解。

Q(鈴木) 最小線幅は?

A(橋口) ギャップは設計で2 $\mu$ m。

Q(鈴木) 100Paでも特性に劣化はないのでは?我々の見積もりはそう。

A(橋口) 教えて頂いたモデルも考慮して、今後詳細に考察する。

C(年吉) 電流と機械振れの両者を測定して現象を確定しましょう。

A(橋口) 了解。

3) 大容量イオン液体可変キャパシタ技術のエネルギーハーベスタ応用 (鷺宮 三屋さん)

[概要] イオン液体の発電を藤田先生や電中研の小野さんと研究中。イオン液体

のまま使用と、ゲル化する方法の2つに大別される。ゲル化する方法は更に2つに細分化できる。本研究の電気2重層のギャップはナノメートルレベル、機械では実現が難しい領域。また、ゲル化する場合は、低速動作に適する（高速動作は粘性抵抗が大きく難しくなってくる）。液体のままだと橋口先生素子との併用が可能である。

液体の使用では、一方を親液体性、他方を疎液体性として、一方の接触面積を電極の離間と共に変わる構造を狙っている。ゲルのタイプでは1cmの直径のゲルが出来ている。ゲルタイプでは、デジタル的にOn-Offで流れる素子を目指す。このゲルタイプでは、 $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の電流が得られるのが分かった。電圧は0.7V程度。負側が出ないのは原因を考察・検証中。次回までには追及を終えたい。電圧は最大3V程度まで上げられると予想している。降圧の必要が無い。

Q(藤田) ゲルの場合の印加電圧は、電位窓（電流が流れない範囲の電圧）内か？

A(三屋) そう。最近では電位窓より大きい電圧でも固められる事が分かった。

Q(年吉) 今の実験では1Hzで行っているが、周波数を上げていくと電流は減少？

A(三屋) 逆に増大するという予備的な結果となっており、詳細に検討中。

1Hzが最少で5Hz辺りからは増大していく。メカニズムは分からない。

A(小野) 整流作用も含めて理解できていない。等価回路も書けない。

作り方の依存性もある。電圧も取れてかなり電流も流れるのは事実なので、魅力的な素子である事は間違いない。

Q(今仲) これが計画中のどこに繋がるのか、出口が分からない。一つ目の液体のままのテーマは当初の計画通りと理解している。ゲル化する2と3はどう進めるのか？橋口先生のイオンエレクトレットは必要なしという事にならないか？最終ターゲットとの関連性が分かる説明が欲しい。

A(小野) 橋口先生の素子は100Hz以上の周波数が比較的に高い所のHarvester、ゲルは100Hz以下の低周波Harvesterと棲み分けられる。共存可能。

Q(今仲) 一つのパッケージングに3種類の素子を同時に実装するイメージ？

A(三屋) 用途によって使い分けようと考えています。

Q(今仲) 私は広い周波数範囲に対応可能なHarvesterを考えていたのだが、そうではない？

A(年吉) 一つの素子で全帯域をカバー出来ればそれでも良いが、大抵の場合はEngineering Optimizationで、使用する周波数で最大の特性を出せる素子、得意な所で力を最大限発揮できる素子を先ずは目指す。

Q(橋口) 人、橋、鉄道、・・・応用に最適な振動発電素子を使用する。品揃えを豊かにして、どのアプリにも使える、オーダーメイド化を可能とする。

C(藤田) そういう方針で進めていると理解して頂きたい。

Q(佐藤) ゲル化して固めると、電気2重層を使う事にはならない？

A(三屋、藤田) 接触/非接触で、電気2重層の形成/消失が起こり、電気2重層は使っている事になる。

Q(丸山) コスト的にはどうか？

A(小野) 有機材料なので、そんなに高くない。但し、小さく作るのに向かない。

C(藤田) 用途毎に最適なエレクトレットを決めていく作業が進みつつ有る。

C(年吉) 最初に計画したものはキチンと出して、そこに留まることなく、他に良いものも見つけて、付加的に成果を増大させていきたい。

#### 4) 高効率エネルギーハーベスタの開発 (鷲宮 芦澤さん)

[概要] 橋口先生のイオンハーベスターの最適化を検討しているチームです。

9月に2次試作品が出来たのでその第1報を報告する。素子の特性を予測するデバイスシミュレータを構築し、与えられたスペックに対して最適設計できる環境を整えていく。10月より新DRIEが使える様になるので、それに応じて素子設計を最適化する。構造的には、初期加速が小さくとも発電可能な櫛歯構造を採用したHarvesterを作りこみ、特性評価で検討と開発を進めていく。この動作初期に静電力が変わらない構造は特許化を進めている。DRIE後のバリがSEMで見えており、このバリが特性を劣化させていると考えている。

Q(佐藤) 橋口先生の構造とは振動方向が違うが、その目的は？

A(年吉) 用途によって使い分ける。また、インパルスや定常振動など、振動環境も異なるので、その意味からの使い分けも有り得る。2チームが協力しながらも競争するという意味合いも持たせている。将来的にはWLP (Wafer Level Packaging) も目指したい。

Q(佐藤) 初動にバリアが有るのは、静岡大学の素子でも同じか？

A(橋口) 静電力とばね力が相殺する、或いは軽減する方向に働く構造を検討中である。

Q(佐藤) 平衡位置で面が離れている構造か？

A(橋口) その通り。

#### 5) 交通インフラでの振動発電デバイスの導入開発 (MMC 松本、京大麻植先生)

[概要] 交通インフラの計測結果の説明を、麻植先生が行った。自己紹介に続いて、橋梁や手すりや付帯物の振動を計測した結果を報告した。6ページが今回の測定結果を纏めたもの。照明柱、歩道橋、風力発電柱の振動で、最大振幅と卓越周波数を、振動の特徴とともに記述した。最後に、これらの振動データに基づき、橋口先生に発電量を計算してもらった結果を示した。

500秒の振動で得られる電荷量、一時間で蓄積される電荷量などを纏めた。

C(塩谷) 周波数の違うものをハイブリッド実装してくれば、ある程度、汎用的に使えると考えている。RIMSに関係した用途で、どうゆう所に何を置けば最適かを考えていく

Q(丸山) ワイヤが張れるような箇所でも、ワイアレス化は必要か？

A(塩谷) ワイヤを設置するのも認めが必要になるので、ワイアレスはセンサにとり重要であり、勿論、給電のワイアレス化も重要である。交通を止めずに、しかもワイアレスが望ましい。

Q(丸山) 寿命、すなわち、何年位持ってくればよい？耐久性の質問。

A(塩谷) 1年～10年と幅がある。理想的には100年だが、5年が落としどころと考えている、短くとも。

Q(橋本) 温度はどの程度が必要？

A(塩谷) 上は 80°C程度が必要。

6) ワイス・工場等での環境発電デバイスの導入開発 (ダイキン 西野さん)

[概要] 今回はどこにどのような振動が有るのかを調べた結果を報告する。人体と機械。空調機や工作機器も調べた。人体は5か所を同時に計測した。最大の振動部は足であった。38m/S<sup>2</sup>、4G程度。この振動による発電はインパルスの。発電量は今後詰めていく。容量性負荷との相性など。

Q(藤田) どれぐらいのエネルギー：Jが得られるかが重要では？トータル発電エネルギー。その時間微分が仕事率Wとなる。

A(西野) 一般的にはそうです。その上で、得られる電流量という事で、クーロンを追加している。

C(藤田) Cに電圧をかけるとJとなるので、最低、電圧の記載は必要。勿論、Jの記述も書いておく。

Q(藤田) 静大方式と鷲ノ宮方式の意味は？桁が4, 5ケタも違うのは？

A(西野) 今実現しているデバイスを使用した場合を計算しており、共振周波数も異なれば、大きさも異なる素子である。静大方式は3Gの錘が付いた場合。→両計算で、同じデバイスで同じ発電量となるかの検証が必要(松本)。

C(藤田) 前提、コメントを明記しておいてほしい。今回の計算結果が一人歩きすると誤解を招く。発電量は素子のサイズにも依存する。なるべくフェアな土俵で、議論を深めて頂きたい。

A(西野) 分かりました。そう致します。

Q(丸山) ゲル方式は見積もっていない？

A(西野) はい、まだです。

C(藤田) まだ着手したばかりで生煮えの部分も多く、今後、これを手始めに評価を深めて頂きたい。今のデータは歯抜けの初期結果と考えている。

7) 標準化の戦略立案

MMC 坂井

[概要] 自己紹介と標準化の進捗を報告する。今年度末に報告書を作成する。現在の提案は6件であり、日本からは振動発電の1件。今、ベラルーシのミンスクに行って、提案中。特性評価の標準化などに関して、鈴木先生を中心にして提案書を作成した。

Q(丸山) (1)～(3)はデバイスレベルの標準化ではないと思って良い？

A(坂井) そうです。

C(鈴木) 韓国の提案は、取り敢えず出してみるスタンス。日本はデータまで熟慮して出しており、レベルが異なる。日本の提案は4年目という事で、非線形デバイスまで入った、また発電方式には寄らない広い提案となっている。

③推進委員長(東大 藤田先生)からのご指示

色々な話があり、全貌が分かりにくくなってきている。花火がいくつも

打ちあがっているイメージ。整理して頂きたい。その中のどこを進めるのか、どこが売りなのか、環境の振動データから何が大事なのか、なのを纏めていきたい。

### (3) 知的財産権分科会

知財規程の改正について、他 (MMC 阿出川)

[概要] 改正といっても、これは流れを整理したという事です。意見を吸い上げ中。パテントマップの件を、続いて報告する。今はキーワード検索を行っている段階。続いてマップを作成するが、先ずはキーワード検索結果を出すので、必要十分な特許が抽出されているのかを、技術者に見て頂きたい。

Q(今仲) 無線機能が無いと、今回の特許検索にはひっかからない?

A(阿出川) 無線で無くとも引っ掛かってくる。

Q(藤田) 出てきた件を研究者に見てもらって、検索が確実か、早めに研究者に見てもらってください。このPJに役に立つ特許DBとしてもらいたい。

### (4) 特別講演 (東日本旅客鉄道株式会社・JR 東日本研究開発センター 福田 和人様)

「JR 東日本における高効率 MEH 活用可能性について」

[概要] 鉄道におけるセンシング技術の現状と研究開発段階の内容、鉄道沿線の振動データの測定結果を新幹線で得られた情報を交えて提示して頂き、最後に鉄道におけるセンサ技術のニーズを出して頂いた。本研究の様な強力なシーズがあれば、鉄道へのアプリケーションも大きく広がると考えている、との結びの言葉であった。

Q(年吉) 枕木にセンサを付ける応用は、使われれば市場は大きいと思われる。

A(福田) 複線を考えると2倍である。枕木の交換は10年程度。検討の価値は有ると考える。

Q(佐藤) ローカル線の設備と、都会の設備で、点検回数などは変わるか?

A(福田) 基本的には変わらない。リニアは話が余り出てこない。丸秘情報か?

Q(塩谷) 光計測応用は、最近はどうか?

A(福田) 最近は余り出てこない。

Q(佐藤) 枕木の信頼性は、数が多いのでどう考えるか?

A(福田) 危険情報、故障情報をどう検出するか? 検討する価値は有る。

Q(今仲) 常時情報を出すのと、電車が通過した時だけ情報を出すのではシステムも大きく変わってくると思われるが、どちらか?

A(福田) 常時出すシステムが必要とされるが、重要度などを考慮すると、3段階のシステムに分かれると思う。

Q(今仲) システムの大きさもそれに応じて、小/中/大、となるのか?

A(福田) その通り。

Q(塩谷) 温度はどんな感じか?

A(福田) 気温+20℃という感じですか。レールそのものは80℃程度。

### (5) 総評

## NEDOイノベーション推進部

丸山様：3点有りまして、

一つ目は出口をどうするか？という事。チャンピオンで、絶対に負けない、  
を一つは見つけて、それをフラグシップとする事。

二つ目は知財にかんする事柄で、戦略性を持って日本が勝てる領域に  
して頂きたい。そのためには、どの技術を獲得する（抑える）かが大事である。  
技術に精通している藤田先生がリーダーシップを取って進めて頂きたい。周辺  
特許を囲むのも重要。ゲルの製法をあらゆる角度から抑えるとか・・・

また国際標準化も重要であり、測定や認証、等価回路的扱い、認証制度など、  
リファレンスモデルまで提案して、リードしていく事。

三点目は、研究なので、時には難しい事にもチャレンジする事、  
その際に加点法で評価してあげる事が重要と考える。

佐藤様： 具体的に進められている。そのまま、進めて頂きたい。新しい結果も  
得られているので、本格研究に向けて進めてください。 一点、物差しの  
共有化を是非に図って頂きたい。それぞれのポジショニングが明らかになる。

鈴木様： たくさん夢が見られる成果が上がってきているので、伸ばしてほしい。

鈴木先生： 色々なデータが出てきているが、お互いの相対関係が分かる工夫を  
お願いします。メカ的なエネルギーが電氣的にどれくらいで変換できているのか  
を考える事が重要。

今仲さん：計画外の事も書き加えてよい、との事なので安心した。

佐藤さん：計画内はキチンと結果が得られているというのが前提である。

藤田先生：本格に繋がりますように、研究を積み重ねて頂きたい。

### (6) その他

次の研究会は10/26、推進委員会は12/25に行います。

### (7) 意見交換会 略。 以上。