

## フレキシブル環境発電デバイスの新展開 New developments on flexible energy harvesting devices

【日時】 2017 年 9 月 5 日 (火) 13:15 ~ 17:15

【場所】 福岡国際センター C19 会場

エネルギー供給の多様化やモバイル機器の普及、センサー社会の実現に向け、身の回りにある光、熱、振動、電波等からエネルギーを収集する環境発電 (エナジーハーベスティング) 技術に大きな期待が寄せられている。有機太陽電池に代表される様に、既存の無機材料とは異なる柔軟性、軽量性、低コスト性等の有機材料の特長を活用した発電デバイスが創出されつつある。この様な発電デバイスはフレキシブル・ウェアラブルデバイスの電源供給に好適であり、様々なエネルギー源によるフレキシブル環境発電デバイスを開発しておく必要がある。有機半導体、有機強誘電体、ナノカーボン、バイオマテリアル、ナノワイヤ・ナノ粒子、またはこれらのハイブリッド材料から発電機能を探索し、向上させる取り組みは、一般に特定の中分類で議論され、現状では意見交換の場は限られている。また、当該分野の発展のためには若手研究者が新しい知識や技術を広く吸収できる機会も必要と考えられる。そこで、有機材料あるいは有機・無機ハイブリッド材料等を用いたフレキシブル環境発電デバイスの基礎や応用展開を分野横断的に議論できる場を提供することを目的として本シンポジウムを開催した。冒頭に世話人代表の永瀬より趣旨説明を行った後、当該分野における気鋭の招待講演者を含む 7 名による講演が行われた。学会初日の開催であったが、ピーク時には 100 名前後の聴衆が集まり、この分野に対する参加者の高い関心がかがえた。

まず早稲田大の三宅丈雄先生から、環境・生体適合性に優れた新たな発電システムとして酵素をエネルギー源とするバイオ発電に関する講演を頂いた。カーボンナノ材料を用いることで酵素を高効率で利用できるフィルム状電極が開発され、酵素電池の発電性能を mW レベルまで向上できることが報告された。開発した電極フィルムはその高い自己収縮性から細い電極を被覆することができ、果物の酵素エネルギーから LED 駆動が可能であることが示された。また、酵素発電を利用した生体センサーや経皮投薬、創傷治療等に関する最新の研究成果を紹介頂いた。奈良先端大の野々口斐之先生からは、カーボンナノチューブを用いた熱電材料及びそのドーピング技術に関する講演を頂いた。通常  $p$  型を示すカーボンナノチューブの  $n$  型化はポリエチレンイミン等による電荷分離ドーピングにより行われるが、長期安定性に問題があった。講演者らはクラウンエーテルと NaOH や NaCl 等の塩を用いた包接錯体によって効果的な  $n$  型ドーピングが可能であり、長期間の大気安定性や 150 度付近での高い熱安定性も確保できることを明らかにした。様々な塩を用いることで仕事関数が制御でき、高いゼーベック係数や熱電変換特性が達成できることも報告された。大阪府立大の有江隆之先生からはグラフェンの熱電特性の向上に対して課題となる熱伝導を抑制する新たな手法について講演を頂いた。 $^{12}\text{C}$  グラフェンに酸素プラズマ処理することで同位体  $^{13}\text{C}$  グラフェンの電気伝導を損なうことなく  $^{12}\text{C}$  グラフェンとの連続界面を形成でき、その界面ではフォノン散乱によって熱抵抗を 10 倍以上増加できることが示された。また、フレキシブル基板上の素子作製等、最新の研究成果も紹介頂いた。この手法ではゼーベック係数は大きく低下しないことで、性能指数が 3 倍程度向上できることが示された。九州工業大の宮崎康次先生からは無機系熱電発電

素子の開発動向と有機・無機ハイブリッド熱電発電素子の研究成果に関する講演を頂いた。最も高い熱電変換効率を有する無機熱電材料の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  を有機導電体 PEDOT:PSS に混合することで、印刷プロセスによるフレキシブル熱電発電素子において  $\mu\text{W}$  オーダーの発電が可能であることが報告された。またモデル解析からフィルム基板との界面抵抗を低減させる等の熱設計がフレキシブル熱電発電素子の高効率化やモジュール作製において重要であることが示された。九州工業大の早瀬修二先生からは、近年、その高い発電変換効率と溶液プロセスへの適合性から注目を集めているペロブスカイト太陽電池の最近の研究展開に関する講演を頂いた。ペロブスカイト太陽電池の長波長吸収化に対して期待を集める SnPb 混合金属ペロブスカイト太陽電池において生じる大きな開放起電力 ( $V_{oc}$ ) ロスがチタニアとの界面に生成される Ti-O-Sn 結合での再結合に起因したものであることを明らかにし、逆構造とすることで  $V_{oc}$  ロスが抑制でき、光電変換効率を 16% まで向上できることが報告された。諏訪東京理科大の大橋昇氏からは有機薄膜太陽電池のフレキシブル性や透過性を利用した農業用センサシステム構築への応用可能性が示された。モジュール化した有機太陽電池をビニールハウスに設置することで温度センシングやデータ転送に必要な電源供給に利用する試みが報告され、水耕栽培器の LED 光源による発電から温度センサーや無線モジュールの駆動がデモンストレーションされた。神戸大の石田謙司先生からは有機圧電材料を用いた振動発電素子に関する講演を頂いた。ポリフッ化ビニリデン三フッ化エチレンランダム共重合体を用いた有機圧電薄膜の分子配向方向と振動発電特性の相関に関する詳細な検討結果が報告された。延伸処理によりカンチレバー上に一軸配向させた圧電薄膜の発電量は、分子鎖方向と分子鎖間方向の変形に対する圧電特性に違いによってカンチレバー長手方向に分子軸配列させた場合に増加することが明らかにされた。また、有機積層構造を形成することで発電量を更に増加させることが可能であり、振動発電における有機圧電材料の高い可能性が示された。東大の久保貴哉先生からは量子ドットを用いた太陽電池の高効率化及び各環境下での安定性に関する研究成果について講演頂いた。コロイド化した量子ドットは塗布製膜が可能であり、可視から近赤外領域の光エネルギーの収集が可能であるが、更なる高効率化が課題となっていた。講演者らはカソードの ZnO 電極をナノワイヤアレイ化し、PbS 量子ドットとの接合界面を近傍に配置させることで光捕集率と電荷輸送性を両立できることを示した。また、大気中や模擬太陽光の照射下での特性評価から長期安定動作についての議論がなされた。

### 【講演プログラム (敬称略)】

- 「酵素/カーボンナノ電極を用いたバイオ発電デバイスと生体応用」 (招待) 三宅 丈雄 (早稲田大学)
- 「カーボンナノチューブは熱電材料？」 (招待) 野々口 斐之 (奈良先端科学技術大学院大学)
- 「グラフェンのフォノンエンジニアリングと環境発電への展開」 (招待) 有江 隆之 (大阪府立大学)
- 「有機-無機コンポジットによるフレキシブル熱電発電デバイス」 (招待) 宮崎 康次 (九州工業大学)
- 「ヘテロ界面構造と Sn 系混合金属ペロブスカイト太陽電池」 (招待) 早瀬 修二 (九州工業大学)
- 「光透過型有機薄膜太陽電池を用いた農業用センサシステム」 (一般) 大橋 昇 (諏訪東京理科大学)
- 「分極制御有機圧電薄膜による振動発電素子」 (招待) 石田 謙司 (神戸大学)
- 「量子ドットを用いた太陽電池と様々な環境下での発電特性」 (招待) 久保 貴哉 (東京大学)

【世話人】 永瀬 隆 (大阪府大), Pandey Shyam S (九工大), 福田 武司 (埼玉大), 馬場 暁 (新潟大)

【企画】 応用物理学会 有機ナノ界面制御素子研究会