

2021年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「有機薄膜太陽電池の発電効率向上とハイデザインなステンドグラスへの応用」

[広島大学 ・ 教授] [尾坂 格]

1. はじめに

現在、市販されている太陽電池はシリコンを半導体層に用いている。シリコン太陽電池は一般的に固くて重いため、これらを設置する場所は、堅牢な建造物の屋根や地面等に限られる。一方、有機薄膜太陽電池（OPV）は、半導体層に有機薄膜（p型有機半導体とn型有機半導体の混合薄膜）を用いている（図1）。

有機薄膜太陽電池：フレキシブル、軽量、シースルー、低コスト

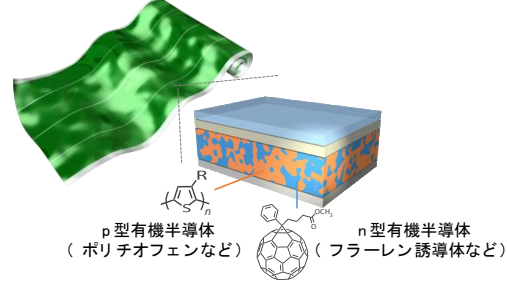


図1. 有機薄膜太陽電池（OPV）とその構造および材料。

有機半導体は溶剤に可溶であるため、OPVはプラスチック基板上に低温塗布プロセスを用いて製造することができる。そのため、非常に生産性が高く、低コスト化が可能であるとともに、軽量、フレキシブルな太陽電池として、期待されている。さらに、有機半導体はシリコンに比べて格段に光吸収率が高いため、太陽電池の半導体層を薄くすることができ半透明となる（基板も透明プラスチックであるため）、あるいは分子構造に応じて吸収波長（色調）を変えられるためカラフルにできるなど、OPVはデザイン性にも優れている。OPVでは、これらの特長を活かして、ビルの外壁や窓、装飾品、自動車、あるいはユビキタス用途など、従来のシリコン技術では実現できない形態での利用が検討されている。すなわち、シリコン太陽電池と競合するのではなく、用途を相互に補完することで太陽光発電システム全体の利用率を上げ、低炭素社会実現に寄与することができる。

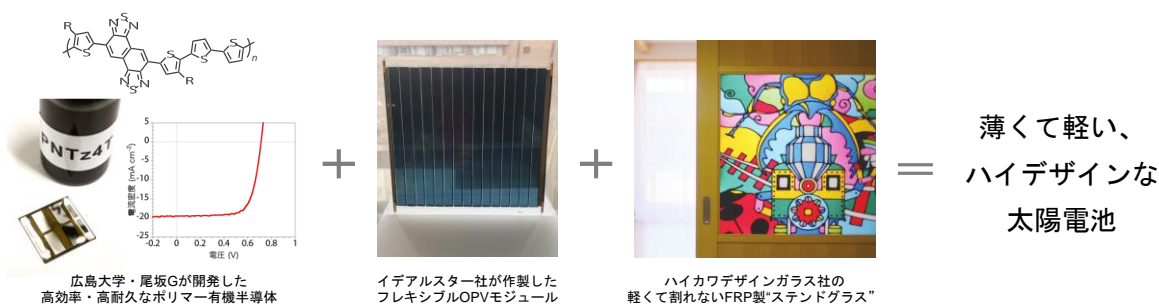
これまで多くの企業がOPV事業に参入し、実用化に向けた開発に取り組んでおり、「産」からの期待は非常に大きいことに疑う余地はない。例えば、三菱ケミカルと大成建設は、OPVモジュールを外壁に用いた「ZEB実証棟」を横浜市に建設している。また、本研究に参加するイデアルスター社も、自社開発のOPVモジュールを、JR福島駅など各所に設置して実証実験を行い、電力供給源として有用であることを示す科学的データを蓄積している。

しかし、これまで実用化に向けた研究開発が検討されながら、OPVは未だ実用化に至っていない。その一つの理由として、発電効率と信頼性（耐久性）をあわせもつOPV（あるいは有機半導体材料）がないことが挙げられる。現在、実験室レベルでのOPV小型セルの発電効率は18%が報

告されており、シリコン太陽電池の 25%にかなり近づいている。しかし、このような高効率 OPV は年単位で動作を保証するほどの耐久性はなく、耐久性の高い OPV 小型セルの効率は 10%程度である。もう一つは、機能や性能面ではなく、魅力的なデザインの製品となっていないこともあるのではないだろうか。これは、これまでの開発研究が高効率化や高耐久化、あるいはモジュール化など、OPV の性能向上や大面積化を目指した研究であり、本当の意味での製品をつくるための研究ではなかったためであろう。

2.概要

本研究では、OPV モジュールをスタンドグラスに組み込み、これまでになかった魅力的なデザイン性の高い太陽電池の作製を検討する。具体的には、研究代表者である広島大学の尾坂が、高効率・高耐久な有機半導体材料（ポリマー系 p 型有機半導体）を開発する。この材料を用いて、イデアルスター社にて OPV のモジュールを作製し、さらにハイカワデザインガラス社にてクリスタルステンド（FRP 製ステンド）を用いて加工し、スタンドグラス型太陽電池を開発する（図 2）。



3.研究成果および今後の課題

本研究における材料面での課題は、エネルギー変換効率の向上である。研究代表者のグループにおいて開発した材料として、PNTz4T（図 3a）がある。これを用いた OPV 素子は 10%程度のエネルギー変換効率を示す（高耐久な材料としては世界最高レベルの効率）。そこで、PNTz4T の化学構造をより剛直化して結晶性を向上させることによる高効率化を期待し、PTNT2T を合成した（図 3b）。PTNT2T は、剛直性を持ちながら、高い溶解性を有する材料であることが分かった。PTNT2T を p 型半導体、フラーレン誘導体である PC₆₁BM を n 型半導体として組み合わせた OPV 素子を作製した。種々、作製条件を検討したところ、約 12%と、PNTz4T の素子大きく上回る変換効率を示した（図 3c）。これは、フラーレン誘導体を n 型半導体として用いた素子としては世界最

高レベルの変換効率である。

変換効率向上の要因は、 V_{oc} とFFである。特にFFは、0.78~0.8と極めて高い値を示した。この要因を調べるため、ポリマー薄膜のX線回折測定を行った。しかし、PTNT2Tの分子間 π スタック距離は3.6ÅとPNTz4Tとほぼ同じであり、シェラー式から算出した結晶子サイズも同程度であった。一方、

PTNT2Tのモデル化合物の結晶構造解析を行ったところ、骨格同士の重なりが極めて高いことが分かった（PNTz4Tでは分子長軸方向にズレて重なる）。その結果、理論計算による主鎖間のホール移動積分は、PTNT2Tの方がPNTz4Tに比べて3倍程度高く、これが高いFF、高い変換効率を示す要因であることが示唆された。今後、素子の最適化によりさらに変換効率が向上することが期待できる。

次に、共同研究グループであるイデアルスター社にて、モジュールを作製するため、PTNT2Tのスケールアップ合成を行い、数百mgのサンプルを同社に提供した。イデアルスター社において、PTNT2Tを用いて20cm×20cmサイズのフレキシブルモジュールを作製した（図4a）。当該モジュールの性能は、従来のモジュール用市販材料を用いたものに比べて高く、本ポリマーが優秀

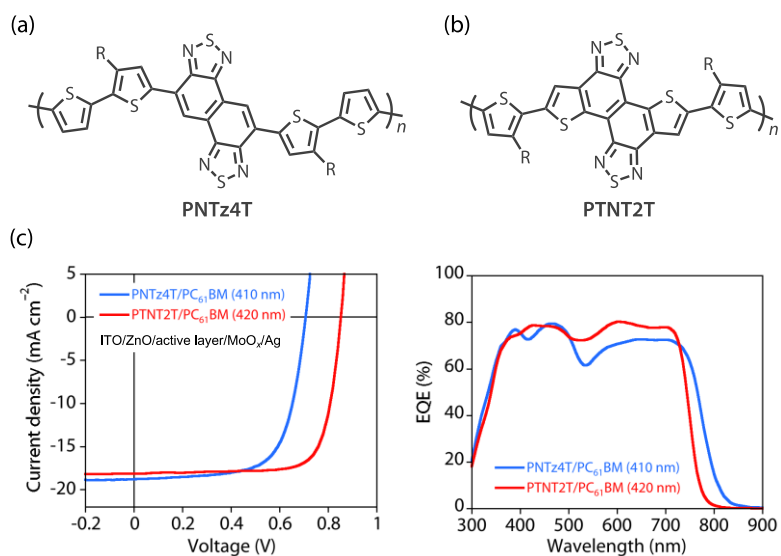


図 3. (a) PNTz4T の化学構造. (b) PTNT2T の化学構造. (c) PNTz4T と PTNT2T を用いた素子の太陽電池特性 (n 型半導体として PC₆₁BM を使用).

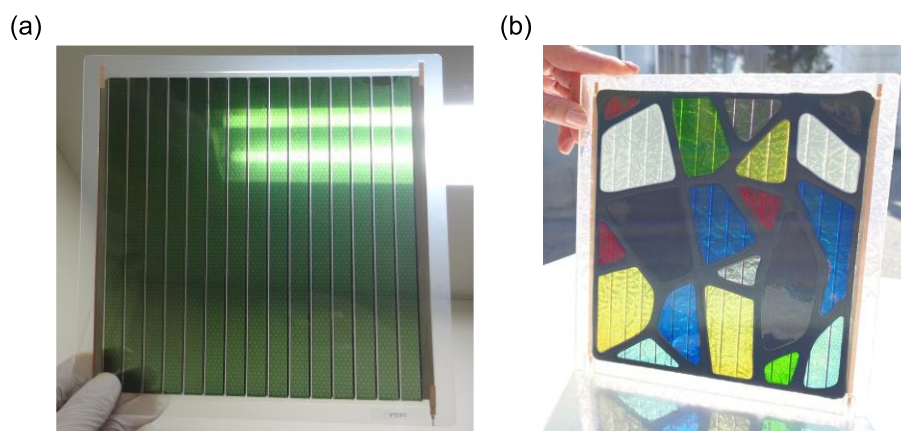


図 4. (a) 作製した OPV フレキシブルモジュール (20 cm × 20 cm). (b) 作製したスタンドガラス型太陽電池.

であることが示唆された。また、ハイカワデザインガラス社にて、当該モジュールに FRP ステン
ドガラスを貼り合わせるにより、スタンドグラス型太陽電池を作製した（図 4b）。

4. おわりに

本研究では、高い結晶性と溶解性を併せ持つ新しい半導体ポリマーを開発した。これにより、
フラーレンを組み合わせた太陽電池にて、従来よりも高い 12% のエネルギー変換効率を得た。さ
らに、本ポリマーを用いて 20cm² OPV モジュールと、それを加工したスタンドグラス型太陽電池
パネルを試作した。

5. 本研究の今後の計画

半導体ポリマーおよびモジュール作製条件を最適化することで、太陽電池パネルと高効率化を
図るとともに、実用化を目指す。

6. その他

(1) 出願特許（タイトル・出願番号・発明者・特許権者など）

1. 「高分子化合物、高分子化合物の製造方法、有機薄膜太陽電池材料及び有機薄膜太陽電池」
特願 2021-132762

(2) 投稿論文（タイトル・学会名等）

論文投稿準備中

(3) 本研究会の参加企業・団体名

1. 株式会社イデアルスター
2. ハイカワデザインガラス株式会社



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>