



フレックスソーラーセルで産学共同研究をスタート！
九州大学・イーメックス・九州先端研による産学公連携イノベーションの試み

概要

国立大学法人九州大学（以下九州大学、有川節夫総長）の山田 淳教授は、研究開発型ベンチャー：イーメックス株式会社（以下イーメックス、瀬和信吾社長）、財団法人九州先端科学技術研究所（以下九州先端研 ISIT、新海征治研究所長）とともに、イオン交換樹脂フィルムに電極や色素類を組み込むという、従来の色素増感型や有機薄膜型とは異なる全く新しい製造原理の有機太陽電池「フレックスソーラーセル」の開発に着手しました。

電極が組み込まれたイオン交換樹脂フィルムは、イーメックスが開発し、既にアクチュエータやキャパシタなどに応用されています。今回は、九州大学の人工光合成技術やプラズモニクスの科学を融合させ、フィルム型の新規な有機太陽電池（フレックスソーラーセル）を創出する計画です。

3者が目指すソーラーセルの特徴は、①光合成反応を基本としていること、②プラズモンの効果を取り入れること、③フィルムの中に光合成反応を模した有機色素類をパーツとして取り込むことにより、太陽電池機能を発現させること、④高価で厚い電極基板を取り付ける必要がなく、自在な形状（フレックス）をとることができることです。

共同研究の基礎となる九州大学の人工光合成研究は高効率光エネルギー変換の要となる技術です。またプラズモンを活用する太陽電池の研究は、独立行政法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援事業において推進しているものです。研究終了後は、産学公連携の第二ステージも視野に入れて、研究・開発・実用化を発展的に進めてまいります。

<研究の背景と連携の経緯>

有機太陽電池は、色素増感型と有機薄膜型に大別されています。両者ともに効率向上の鍵を握っているのは、ナノテクノロジーです。すなわち、前者はナノサイズの空孔を多く持つ多孔質酸化チタンの実現、後者はp型とn型の分子層がナノレベルで入り組み合う構造を形成する技術が重要とされています。

一方、九州大学の山田研究室で進めている光合成反応を範とする光エネルギー変換技術は、光エネルギーを有効に活用する要となる技術です。またプラズモンを活用する光電変換特性の研究においては、金や銀を素材とするナノ構造（ナノ粒子の薄膜や電解メッキで作製した珊瑚形状）の電極が、プラズモン共鳴の効果により、光を閉じ込める作用を発揮します。さらに光散乱の効果も加わって、全体として近赤外の光を効率よく捕集するようになり、光電流の値が最大で300倍にも達することを見出していました（参考図1）。また、イーメックスの独自技術で製造される、イオン交換樹脂を樹状金属薄膜で挟んだサンドイッチ構造のフレックスなフィルム（参考図2）は、有機色素など多くの化学種をフィルムの中の取り込むことができます。

つまり、人工光合成やプラズモン応用に関する九州大学の研究成果と、イーメックス独自のサンドイッチ型フィルム形成技術との画期的融合により、色素増感型とも有機薄膜型とも異なる新たな製造原理の有機太陽電池「フレックスソーラーセル」（参考図3）を実現することが可能となります。

今回、九州大学とイーメックスが、産学公連携の新たなビジョンを掲げる九州先端研 ISIT の提案を受けて、3者共同研究を開始し、太陽光発電の基本性能を確認し、さらなる効率向上の見通しを得ましたので、その概要をご報告いたします。

<研究の内容>

参考図3が、3者の目指すフレックスソーラーセルのイメージ図です。厚さ数十～百 nm のイオン交換樹脂フィルムの中に、太陽光の電気エネルギー変換機構を組み込んでいきます。モデルは植物の光合成反応です。

具体的には次の通りです。まず、生体膜に相当するイオン交換樹脂フィルムの両面に、ナノ構造電極を取り付け、電気が取り出せるようにしておきます。一方の電極に、クロロフィルに相当する色素を結合し、光を捕集します。また、電子伝達物質をイオン交換樹脂フィルム内に溶けこませ、電子リレー系を構成します。物質同士の相互作用を巧みに利用し、電極と色素と電子伝達物質の適正な配置が実現できるのです。このようなシステムの組み方を我々は光合成モデルと呼んでいます。

このような原理のフレックスソーラーセルは、3者が保有する技術のオリジナリティーの高さと、産学公連携のイニシアチブによって実現しました。

すなわち、人工光合成に関する技術・知見の蓄積と、金属ナノ構造体のプラズモン共鳴による光の有効利用技術は、九州大学山田研究室に在りました。電気化学的に合成した金ナノ構造電極のプラズモン共鳴による光電変換効率の飛躍的向上は、参考図1に示されている通りです。波長 500nm 以上の長波長領域で、ナノ構造体の無い場合に比して 300 倍の光電変換効率の増強が達成されています。この成果は、長波長の太陽光を十分に活用できない色素の性能限界を全く異なるアプローチで克服するものです。

一方、参考図2に示された金樹状ナノ電極とイオン交換樹脂が複合されたフィルムの製造技術は、イーメックス社オリジナルの技術です。金電極のナノ構造をイオン交換樹脂の内部に向かって樹状に成長させる技術は、電極表面積の飛躍的向上を実現し、その効果は同社の高性能アクチュエータや大容量キャパシタの開発によって実証されています。

今回のフレックスソーラーセルは、イーメックス社の技術を全面的に採用して、九州大学の人工光合成技術とプラズモニクスの科学を組み込むという戦略で進めました。

現状のフレックスソーラーセルは、金カソード電極、白金アノード電極、金電極に結合した色素、イオン交換樹脂に含まれる電子伝達物質によって構成され、初期性能として、光電流 1 mA/cm^2 が得られています。

<今後の展開>

今回の3者の連携は、九州先端研 ISIT が公的触媒の役割を果たして、九州大学山田研究室の「知」（人工光合成とプラズモニクス）と、独自技術を有する研究開発型ベンチャー（イーメックス）の「技」（金属電極とイオン交換樹脂の複合技術）を融合することによって、大学の「知」を、形あるプロトタイプデバイス（フレックスソーラーセル）の創造につなげることを第一の目標とします。研究開発の拠点は、大学の研究室のほか、福岡市産学連携交流センターが活用されます。

そして、第二のステップは、この「フレックスソーラーセル」を産業界に強くアピールして、「死の谷越え」を実現することです。ここでは、技術移転や投資による大規模共同開発への進展等、いろいろな未来があるでしょう。

最後に、「フレックスソーラーセル」の拓く未来市場について述べます。10兆円規模と予想される2020年の太陽電池市場にあって、その3-4割を占める薄膜太陽電池市場に位置取りすることになります。フレックスソーラーセルは、その圧倒的な柔軟性と低コスト性から、将来の薄膜太陽電池市場（特にフレキシブル型）の更なる伸びしろとして、ユーザーニーズに密着した商品開発の基盤となることが期待されます。

<研究領域>

- ・文部科学省科学研究費補助金「特定研究」（平成 19-22 年度）
「光一分子強結合反応場の創成」
（統括班：三澤弘明、益田秀樹、山田淳、村越敬）
- ・独立行政法人科学技術振興機構
研究成果最適展開支援事業 A-STEP
「高効率太陽電池の実現を加速するプラズモニック金属ナノ構造の創製」
（代表：秋山毅、機関：九州大学・財団法人九州先端科学技術研究所）

<掲載雑誌および論文名>

論文名： Enormous enhancement in photocurrent generation using electrochemically fabricated gold nanostructures
著者： Tsuyoshi Akiyama, Kenta Aiba, Kazuko Hoashi, Meng Wang, Kosuke Sugawa and Sunao Yamada
掲載雑誌名： *Chem. Commun.*, **2010**, 46, 306 – 308

<用語解説>

【プラズモン】

金属などが示す自由電子（電気伝導に寄与する電子）の集団的な振動のことです。

【プラズモン共鳴】

金や銀のナノ粒子やナノ構造体では、プラズモン（自由電子の集団的振動のこと）の周波数（波長）が、紫外～近赤外の光の周波数（波長）と同じになるので、共鳴的に振動しあいます（ちょうど音叉の共鳴振（ナノ構造）の表面では、光の速度があたかも遅くなったような現象が起こり、表面にある色素分子と光の相互作用する程度が強くなります。その結果、色素が光を吸収する効率が向上し、有機色素から電子が飛び出しやすくなります。その結果、電流が大きくなります。

【光合成】

植物が光を吸収して酸素と生きるための化学エネルギーを取り出す現象です。具体的には、クロロフィルが光を吸収し、光を吸収したクロロフィルが電子アクセプター分子に電子を与え、次々に電子リレーが起こって、その結果、自ら電子を奪って酸素を発生する酸化反応と、炭酸ガスを還元する還元反応がおこります。光エネルギーを化学エネルギーに変換する模範的な光反応が起こっており、究極の光エネルギー変換システムです。

【イオン交換樹脂】

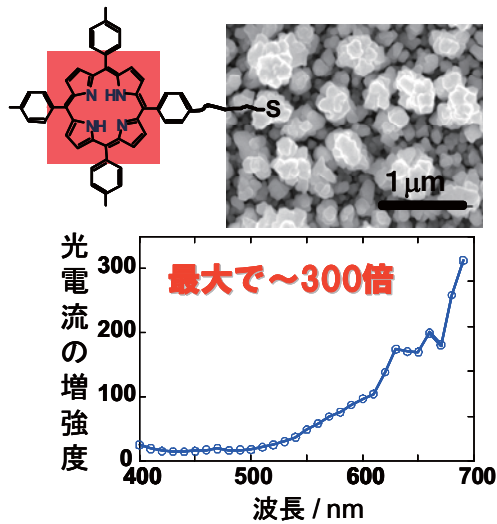
水に不溶のビーズ状もしくは膜状のイオン性合成樹脂で、その対イオンを水中のイオンと交換できる特性から、この名があります。樹脂内のイオン性の部位は網目状に高密度に分布しているため、少量でも多数の水中のイオンを交換することができます。そこで、工業的には海水の淡水化などの水処理に広く活用されています。また、ウランの濃縮やアミノ酸の精製等への応用でも知られています。最近では耐久性に優れるフッ素系や炭化水素系のイオン交換膜が燃料電池用の固体電解質として精力的に研究開発されています。

【p型、n型】

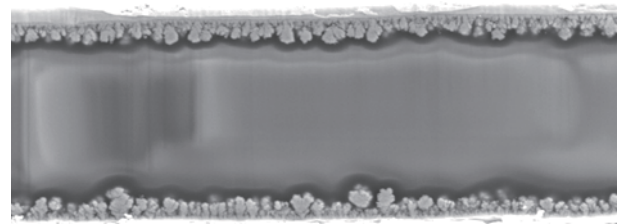
電気を良く通す良導体や電気を通さない絶縁体に対して、それらの中間的な性質を示す物質を総称して、半導体といいます。電気をどの程度通すか（電気伝導性）を周囲の電場や温度によって敏感に変化させる性質は、電子部品にとって極めて重要です。現在の電子機器の中核にある IC や LSI などは、この半導体の性質を利用しています。純粋な半導体（真性半導体）は電気伝導性が低いため、多くの場合、ドーパントと呼ばれる微量の添加物を混ぜて（不純物半導体）、キャリア（電子や正孔）の密度を上げて、所望の制御のしやすい特性を持つように調整されます。キャリアの多数が電子か正孔のどちらであるかによって、n型とp型に区別されます。半導体中でp型の領域とn型の領域が接している部分をpn接合と言います。pn接合は、整流性や光起電力効果などの現象を示します。前者の特性を活かしたものは、ダイオードであり、ICやLSIは、その発展型です。後者は、フォトダイオードや太陽電池として応用されます。

【福岡市産学連携交流センターFiaS】

福岡市が九州大学伊都キャンパス近郊に設立した産学連携共同研究拠点。英語名は **Fukuoka industry academia Symphonicity(FiaS)**。施設は2階建てで、一階に九州大学応用化学系のサテライトラボを開設、二階には、FiaS設立の趣旨に賛同した企業群と九州先端研 ISIT が入居しています。



(参考図1)
 プラズモン共鳴を示す金ナノ構造電極の光電流発生力



(参考図2)
 両方の表面に樹状金属電極を取り付けたイオン交換樹脂フィルム



参考図3 フレックスソーラーセルの概要

<研究内容について>

(フレックスセル、光合成、プラズモンについて)

九州大学大学院工学研究院・未来化学創造センター 教授 山田 淳、秋山 毅(※)

電話:092-802-2812

FAX:092-802-2815

Mail: yamada@mail.cstm.kyushu-u.ac.jp

(※:3月末まで:助教。現在:滋賀県立大学工学部准教授)

(フレックスセル、イオン交換樹脂フィルムについて)

イーメックス株式会社 伊東謙吾(九州大学連絡先)

電話:092-802-2817

FAX:092-802-2815

Mail: k.ito@eamex.co.jp(k.ito@mail.cstm.kyushu-u.ac.jp)

<産学連携体制について>

財団法人九州先端科学技術研究所 次長 栗原 隆

電話:092-852-3460

FAX:092-852-3455

Mail: kurihara@isit.or.jp