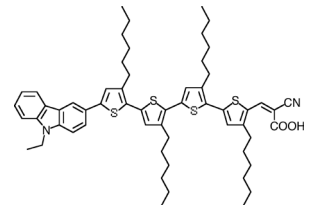


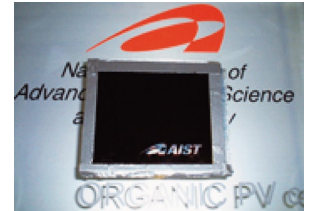
次世代太陽電池として期待される色素増感型において 光吸収材料に新規開発の有機色素(MK-2^(注1))を採用 従来型のルテニウム系のように希少金属を含まないため 低コストで製造できるだけでなく、高効率、高耐久性も実現した

色素増感太陽電池(イオン液体電解液^(注2)タイプ)としては世界最高レベルの7.6%(セル効率)の高効率を達成。イオンゲル電解質^(注3)タイプでも5.5%の効率を得た。疑似太陽光照射下で連続照射2,000時間以上の高耐久性も実証。



▲有機色素 (MK-2) の分子構造式

- 現在、主流となっているシリコン太陽電池の抱える問題（製造コストと高純度シリコンの供給不安）の解決策となり得る、新規次世代太陽電池として有望です。経済産業省の技術戦略マップ2008にも2020～2030年までに本格実用化とそれによる太陽電池による発電価格の大幅低減が期待される革新的太陽光発電技術として位置づけられる。
- 従来の色素増感太陽電池に用いられていたルテニウム錯体は未使用。これにより、希少金属であるルテニウムの資源的制約をクリアし、イオン液体電解液の使用により、低沸点の有機溶媒系電解液では耐久性が100時間以下であったものが、2000時間以上の耐久性を得ることに成功した。



▲有機色素太陽電池の試作セル

競合技術への強み

	製造コスト	耐久性	セル効率
(1)結晶系シリコン太陽電池(既存技術)	△ 原料の高純度シリコンや製造コストが高い	◎ 屋外で20年以上	◎ 20%以上
(2)色素増感太陽電池(ルテニウム錯体)(既存技術)	○ 低コスト製造の可能性があるが、ルテニウムの価格が問題	× 疑似太陽光照射下で100時間以下	○ ～11%(低沸点の有機溶媒電解液)
(3)色素増感太陽電池(MK-2)(本技術)	◎ 低コスト製造の可能性大	◎ 疑似太陽光照射下で2,000時間以上	△ 7.6%(イオン液体電解液) 5.5%(イオンゲル電解質)

▲結晶系シリコン太陽電池(既存技術)と有機色素増感太陽電池(本技術)との比較表

- 1) 高効率:** 新規に設計・合成したMK-2色素とイオン液体電解液を組み合わせることで、7.6%の変換効率を達成しました(現在、イオン液体電解液を用いた色素増感太陽電池で世界最高レベル)。
- 2) 高耐久性:** 紫外線がカットされた疑似太陽光照射という比較的穏やかな条件下では、十分な耐久性を有します。また難揮発性のイオン液体電解液を使用することで比較的高温下でも性能劣化の心配がありません(イオン液体の難揮発性が耐久性の向上に寄与)。
- 3) 資源的制約がない:** 希少金属であるルテニウムとは異なり、資源的制約の少ない有機材料を使用しています。
- 4) 低コスト:** セルの作製方法が簡単で、材料も安価なことから低コストで製造できます。

ここがポイント

環境負荷を低減する次世代太陽電池のひとつとして、色素増感太陽電池の実用化に向けた研究開発が活発になっていきます。しかし、従来型の色素増感太陽電池は希少金属であるルテニウム錯体を光吸収材料として用いるため、資源的制約による価格高騰が問題になると予測されます。また、揮発性の有機溶媒を含むヨウ素レドックス電解液(ヨウ素やヨウ化物イオンを含む)を用いており、セルの耐久性の向上が課題となっています。

本プロジェクトでは高効率化と同時にこれらの問題点を解決するため、ルテニウム錯体の代替となる新規の有機色素光吸収材料(MK-2)を開発するとともに、有機電解質オリゴマー^(注4)構造を有するゲル化剤(平成17年度第2回産業技術研究助成事業、簡便に合成可能な新規電解質ゲル化剤およびそれを用いた高機能ハイブリッドゲルの開発(研究代表者、産業技術総合研究所、吉田勝氏)の研究成果)と難揮発性のイオン性液体からなる新規の電解質を用いることで、新規有機色素太陽電池を開発しました。

新規有機色素の開発には、分子設計技術を援用して最適化を行いました。クマリン色素^(注5)は8%という高効率(有機溶媒系電解液を使用)が得られますが、色素から酸化チタン電極への電子移動効率が低いことや電子寿命が短いことなどがわかったため、新たにMK色素(カルバゾール色素^(注6))を合成し、この問題を解決しました。

また、イオン液体電解液とイオンゲル電解質を組み合わせることで、高効率を保ちつつ十分な耐久性を得ることができました。

ブレイクスルーへの道のり

1999年: 有機色素を用いた色素増感太陽電池の研究開発を開始。市販の色素を使用して、効率は1%程度だった。
2001年: 林原生物化学研究所(旧日本感光化学)との共同研究で新規クマリン色素NKX-2311を開発。有機色素は色素増感太陽電池に使えないという常識を覆して、5%超の効率を達成し世界的に注目を集める。

2002年: さらに高効率化のため電極や電解液を最適化し、新規分子設計による色素数十種類を評価するが、なかなか高性能な色素の発見に至らず苦しむ。
2004年: 後の研究分担者となる甲村 長利氏とイオンゲル電解質を使った共同研究の話が持ち上がる。
2005年: 本研究テーマで平成17年度第1回産技助成事業に採択される。

2006年: イオン液体やイオンゲル担当であった甲村氏が新規有機色素の合成にも着手。チオフェン環のπ-πスタッキングによる色素間相互作用を低減するため、チオフェン環にアルキル基^(注8)を導入したMK色素を分子設計、合成した。アルキル基の効果により、従来型有機色素で問題となっていた短い電池寿命並びに開放電圧を改善、8%を超える高効率を達成(有機溶媒系電解液を使用)。

2007年: MK色素とイオン液体ゲル電解質との組み合わせにより、高効率並びに高耐久性を実現。これらの結果を論文や学会、セミコンジャパンやハノーバーメッセなどの展示会で積極的に成果発信した結果、多くの企業から問い合わせがある。有機色素開発の一部は、NEDO技術開発機構委託「太陽光発電未来技術「構造制御ナノロッドによる省資源型有機太陽電池の開発」の採択へと繋がった。

2008年: MK色素とイオン液体系電解質で7%の高効率(有機溶媒系電解液では8%)並びに良好な耐久性を得る。有機色素に関しては綜研化学(株)とライセンス契約を締結したほか、数社から共同研究の打診があった。

2009年: MK色素とイオン液体ゲル電解質との組み合わせにより、高効率並びに高耐久性を実現。これらの結果を論文や学会、セミコンジャパンやハノーバーメッセなどの展示会で積極的に成果発信した結果、多くの企業から問い合わせがある。有機色素開発の一部は、NEDO技術開発機構委託「太陽光発電未来技術「構造制御ナノロッドによる省資源型有機太陽電池の開発」の採択へと繋がった。

2008年: MK色素とイオン液体系電解質で7%の高効率(有機溶媒系電解液では8%)並びに良好な耐久性を得る。有機色素に関しては綜研化学(株)とライセンス契約を締結したほか、数社から共同研究の打診があった。

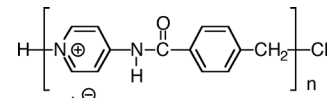
■サクセス・キー

太陽電池デバイス作製とその評価を専門とする原氏と、有機色素、イオンゲルなどの有機合成を専門とする甲村氏が、異なる研究分野での双方の技術、経験、アイデアを融合したことで、新しい研究成果を見出し、効率的に研究開発を進めることができました。

新規有機色素であるMK色素がその分子構造中に持つアルキル基によって色素吸着状態を制御し、さらに電子とヨウ素レドックスイオンとの再結合を抑制することで、電子寿命並びに開放電圧を向上させたことが、高効率かつ高耐久性の有機色素太陽電池を実現する鍵となりました。

■ネクスト・ストーリー

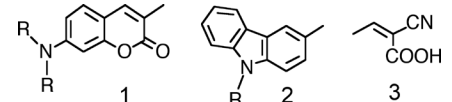
エネルギー変換効率については、最終的にはセル効率18%、モジュールでは15%(結晶シリコン系の効率



▲有機電解質オリゴマーゲル化剤の構造

産総研プレス発表

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2007/pr20070525/pr20070525.html、特許PCT/JP2006/301402



▲クマリン骨格(1)、カルバゾール骨格(2)、シアノアクリル酸基(3)の構造(Rは置換基)

に相当)を目指します(NEDOの太陽光発電ロードマップPV2030における、色素増感太陽電池の2030年での目標値)。当面は屋内用途での早期実用化を目標として、さらなる効率や耐久性の向上をめざしていく予定です。そのため、新規有機色素の分子設計と合成、イオン液体やゲル電解質の研究開発の他、新規の電極材料の開発についても連携企業と共同で研究開発に取り組んでいます。

また実用化を踏まえ、大面積モジュール化技術等についても共同研究を進めていく予定です。

- (注1) MK-2: 2-Cyano-3-[5''-(9-Ethyl-9H-carbazol-3-yl)-3',3''',4-tetra-n-hexyl-[2,2',5',2'',5'',2''']-quaterthiophenyl-5-yl]acrylic acid。カルバゾール、オリゴヘキシルチオフェン、シアノアクリル酸基からなるドナー・アクセプター型の有機色素分子で、カルバゾール骨格が電子供与部位で、シアノアクリル酸基が電子吸引性部位として機能します。
- (注2) イオン液体電解液: イミダゾリウムのヨウ化物などのイオン液体とヨウ素レドックスイオンをベースとする電解液
- (注3) イオンゲル電解質: 上記イオン液体電解液にゲル化剤(例えば、Poly(pyridinium-1,4-diyliiminocarbonyl-1,4-phenylene-methylene iodide)など)を加えて凝固させた電解質
- (注4) 有機電解質オリゴマー: 有機塩が複数連なった構造をもつ分子。有機塩モノマーの数は3から30と比較的少数。
- (注5) クマリン色素: クマリン骨格を電子供与部位として、これに電子吸引性部位であるシアノアクリル酸基などを連結した有機色素分子。
- (注6) カルバゾール色素: カルバゾール骨格を電子供与部位として、これに電子吸引性部位であるシアノアクリル酸基などを連結した有機色素分子。
- (注7) チオフェン環: 有機化化合物
- (注8) アルキル基: 一価の置換基

プロジェクトID・研究テーマ名・年度

05A51002c「高性能の擬固体型有機色素太陽電池の開発」(平成17年度第1回公募)

代表研究者、所属機関、所属部署名・役職名

原 浩二郎 独立行政法人産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター
有機新材料チーム 主任研究員