

光電池を目指したエネルギー変換素子

「変換と制御」領域 池田 篤志

要 旨

[60] フラーレン (C_{60}) を代表とするフラーレン類は特異な電子構造が注目され、半導体、超伝導、光電変換、導電材料、医療材料など様々な応用が期待されている。しかし、材料として利用する上で (i) 極性溶媒に対する溶解性の低さ、(ii) 光二量化などの副反応の存在、などの問題点を抱えている。まず、これらの問題点を解決するため、ホスト-ゲスト包接錯体を形成させ未修飾 C_{60} の水溶化を行った。次に、この包接錯体を電極上に並べることにより、光電変換素子として機能することを明らかとした。さらに、交互積層法を用いた多元系への展開による量子収率の向上、および包接錯体の形成による色素の孤立化に基づく量子収率の向上を見出した。今回、静電相互作用やホスト-ゲスト相互作用など非共有結合を利用することにより、高効率な光電変換素子の簡便な作製に成功した。

1 はじめに

化石燃料の枯渇に備え、新しいエネルギー源を見出すことが急務となっている。安全性や将来性を考えると光エネルギーの利用は最も有力な候補の一つである。しかし、光エネルギーはそのままの形では利用が難しく、また貯蔵できないため、化学エネルギーや電気エネルギーなど他のエネルギーへの変換が必要である。従って、いかにしてコストパフォーマンスの高い変換素子を開発するかが、実用化の鍵を握ることになる。そのような中、現在の技術では製造に高いコストがかかる無機材料に代わり、より製造コストを下げる事が可能な有機材料を用いた光電変換素子の開発が注目されるように

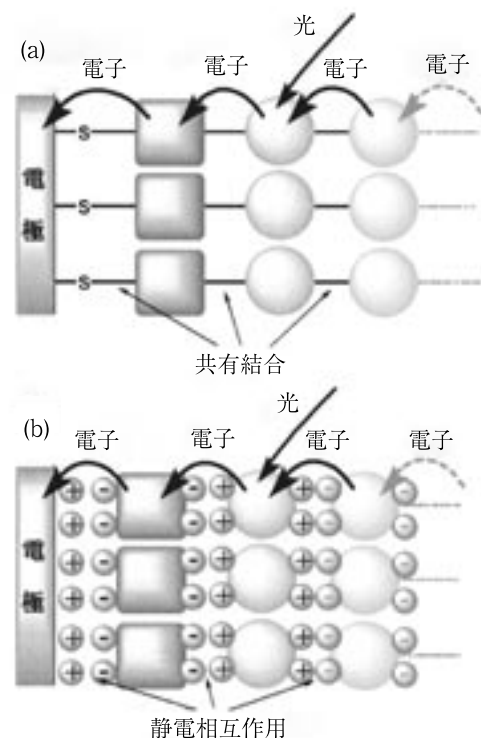


図 1 (a)SAM 法および (b)交互積層法により構築された光電変換素子の模式図

なった。その代表的な手法は、金電極やITO電極上に有機化合物を積層し、湿式セルを構築するというものである。一般に高い変換効率を実現するためには、(i) 機能性官能基を複数有する多元系 (図 1 a) を用いて長寿命の電荷分離状態を達成すること、および (ii) それらの化合物を高密度で集積することが必要である。しかし、(i) は合成の困難さが問題であり、(ii) は分子間の会合による吸光度の減少ならびに自己失活による効率の低下、さらには集積化した色素間での 2 量化など副反応による劣化を招く。そこで、我々は (i) を交互積層法の利用により (図 1 b)、(ii) をホスト-ゲスト化学的手法の利用により問題解決することにした。

2 研究内容

2-1 ホスト-ゲスト錯体形成を利用した未修飾C₆₀の水溶化

C₆₀を水溶化することができれば、材料として利用する上で非常に容易に取り扱いが可能となる。これまで、C₆₀の水溶化には次の3つの方法が用いられてきた(図 2)。それらは、(1) 水溶性置換基をフラーレン表面に修飾する方法 (例えば、化合物 1)、(2) 水溶性高分子 (例えば、ポリビニルピロリドン (PVP) 2) により包接する方法、(3) 水溶性の大環状化合物 (例えば、シクロデキストリン 3) により包接する方法である (図 2)。しかし、(1)の方法では、修飾率が高い場合、C₆₀の二重結合を切断してC₆₀のπ系を切断するためC₆₀が本来持つ電子プールとしての機能の低下を招き、逆に修飾率が低い場合、C₆₀部位の会合が起こり、ミセルを形成してしまうという問題点がある。さらに、選択的な位置に置換基を導入することが難しい点も問題となる。一方、(2)の方法では、未修飾C₆₀を用いることができる点で優れているが、この場合もC₆₀の会合を防ぐことが難しいという欠点がある。そこで、我々はC₆₀を水溶化するため(3)のホスト-ゲスト化学的手法を用いることにした。本手法は前述の2つの手法に比べ、(i) 未修飾C₆₀を用いることができるため、C₆₀表面のπ電子系を切断することがない、(ii) C₆₀の大きさに合ったホスト分子を用いるためC₆₀が会合しない、(iii) C₆₀に対して相補的なホスト

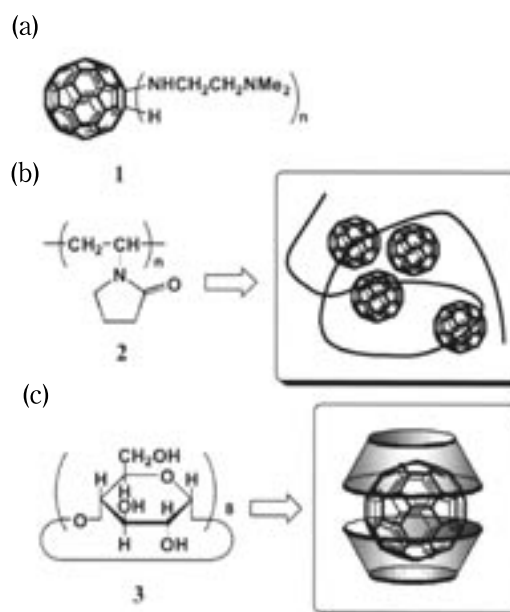
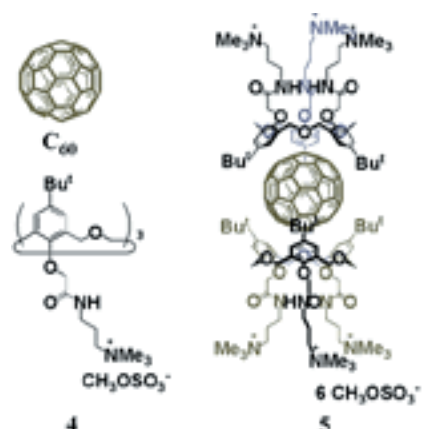


図 2 C₆₀の水溶化

分子を用いるため高濃度でC₆₀を水溶化できる、といったことなどが利点として挙げられる。これまで、C₆₀をゲスト分子とする多くのホスト分子が開発されている。特にシクロデキストリンについては詳しく調べられ、 γ -シクロデキストリン (γ -CD) がC₆₀と2:1錯体を形成することが明らかとなっている。最近、小松らは高速振動粉碎機を使用すると高濃度でC₆₀を水溶化できることを報告している。

我々はさらにC₆₀包接錯体の機能化を目指すため、様々な官能基を導入することが可能なカリックスアレーンをホスト分子に用いることにした。 π -空孔を有するカリックスアレーンは、 γ -CDに比べより強固な包接錯体の構築が可能となると予測された。カチオン部位を有する水溶性カリックスアレーン誘導体**4**は、水溶液中固体のC₆₀と撹拌することによりほぼ定量的に2:1錯体**5**を形成する。このため、精製することなく、溶液をそのまま次の操作に用いることができる。



可溶化されたC₆₀の濃度は 1.0×10^{-3} (M) であり、これまでの γ -CD や水溶性高分子による可溶化の結果 ($0.1 \times 10^{-3} \sim 0.8 \times 10^{-3}$ (M)) と比較しても遜色のない値であった。また、 γ -CD-C₆₀の系では長時間放置すると γ -CD₂ · C₆₀錯体の結晶が析出するが、本系では1週間以上溶液として安定に存在する。さらに、C₆₀と同様にC₇₀も水溶化できることが明らかとなった。

2-2 交互積層法を利用した光電変換素子の開発

2-2-1 積層膜の作成

アニオン性に修飾した電極上に前記2-1で調製したカチオン性のカプセル分子を単分子膜として積層することを考えた。実際に、アニオン性表面を有する電極を先に調製したカチオン性カプセル分子(**5**)の水溶液に浸すと単分子膜が作成できることを、水晶発振子マイクロバランス (QCM) 測定により確認した (図3)。単層に近い形で積層されると表面がカチオン性となり、静電反発によってこれ以上カチオン性の**5**は積層されなくなる。C₆₀の被覆量はこれまでの自己集合単分子膜 (SAM) 法による積層方法に比べ1.4倍も高い値であった。つまり、本手法は容易にC₆₀の高密度集積を可能とした。さらに、この膜に光を照射すると電流が発生し、その量子収率は10%であった。この値は、これまでのSAM法により積層されたC₆₀単分子膜**6**の値(9.8%)とほぼ同等であった。

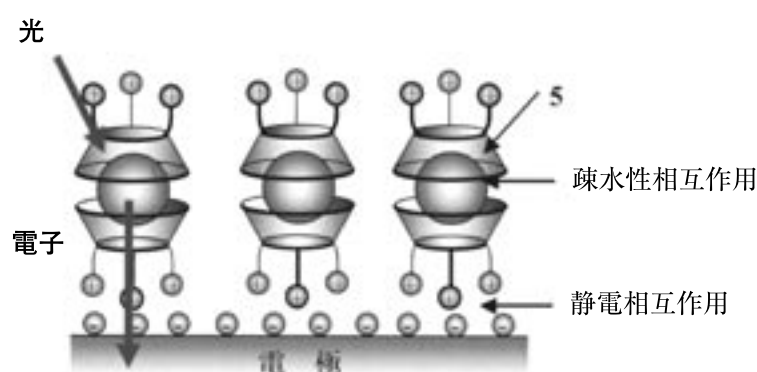


図3 ホスト-ゲスト錯体を用いたC₆₀単分子膜

2-2-2 交互積層法による多元系への展開

魚崎ら及び坂田らにより、それぞれ一つの分子内に電子ドナー部位と電子アクセプター部位を1つあるいは複数有する2元系、3元系を構築することにより、光電変換の量子収率が向上することが確認されている(図4)。この収率向上の理由として、長寿命の電荷分離状態の生成が考えられている。前記2-2-1で準備したC₆₀単分子膜は交互積層法により他の分子をさらに積層し多元系を構築することが可能である(図5)。実際に、アニオン性置換基を有するポルフィリンポリマー9および10を静電相互作用により積層することに成功した(図6 a)。この2元系の膜では量子収率が15% (5-9の系) および21% (5-10の系) (3

元系の8では25%) となりC₆₀単分子膜の2倍以上の値を示すことがわかった。本手法は、合成及び膜作成の簡便化のみならず、多元系の構築をも容易にし、研究時間の短縮及びコストの削減に役立つであろう。また、C₆₀およびポルフィリンをカプセル化することにより、これら

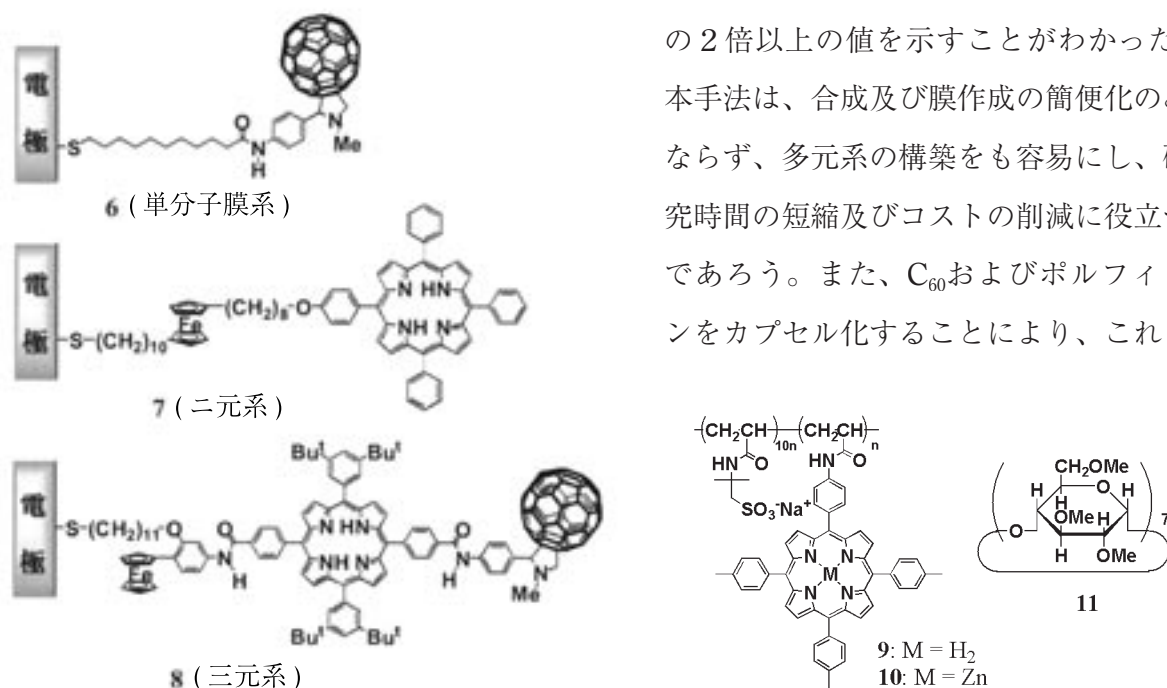


図4 SAM法を用いた光電変換素子

の分子の光による劣化を抑えられる可能性があり、耐久性の向上が期待できる。

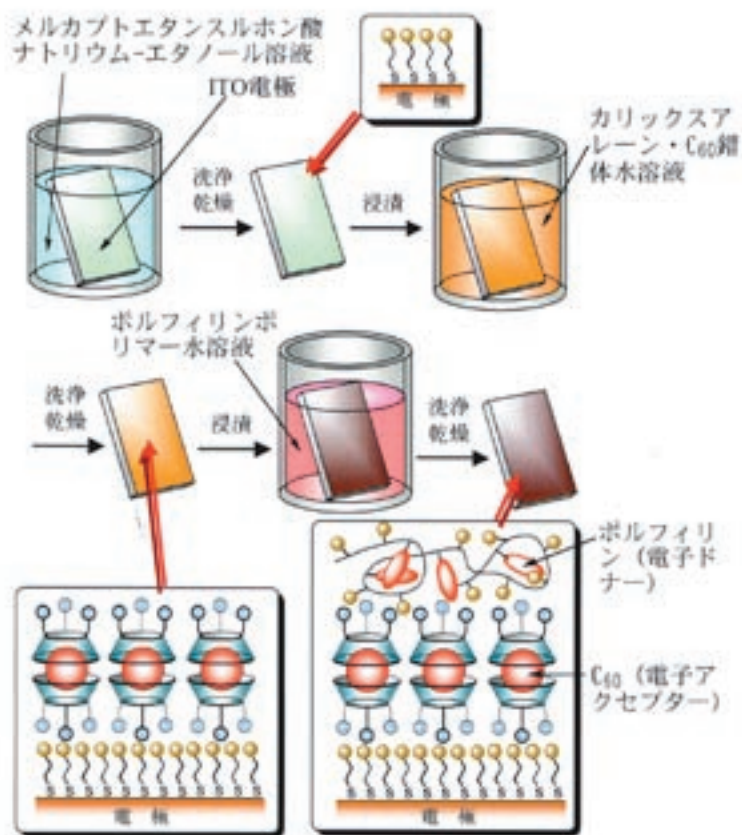


図5 交互積層法による C_{60} ・ポルフィリン二元系の調整方法

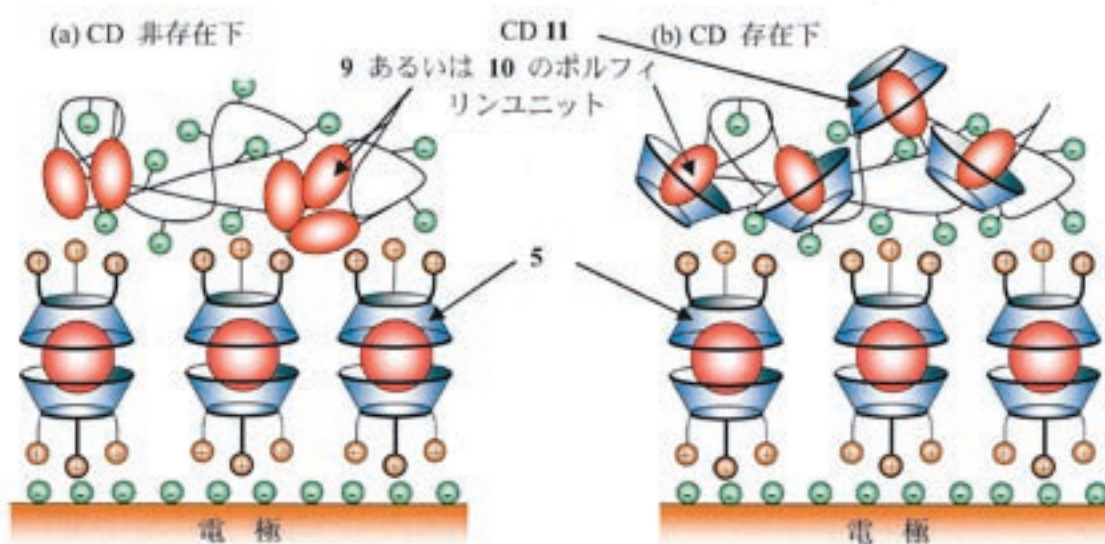


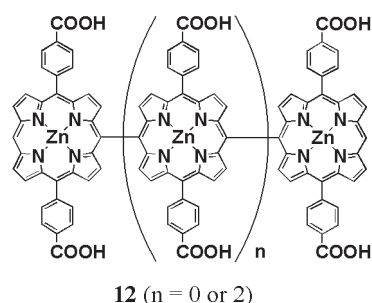
図6 (a) C_{60} -ポルフィリン二元系および (b) シクロデキストリンによるポルフィリン部位の孤立化

2-2-3 包接錯体形成によるポルフィリンの孤立化

図6 aに示したC₆₀-ポルフィリン2元系では、C₆₀部位はカリックスアレーン4により包接されているが、ポルフィリン部位は疎水性相互作用あるいは π - π 相互作用により会合している。この会合は光励起されたポルフィリンの自己失活、ならびに光吸収量の減少を導き、結果として変換効率の低下を招くと考えられる。そこで、ポルフィリン部位をフラーレン同様に孤立化させるため、ホスト分子としてトリメチル- β -シクロデキストリン(11)を用いた。シクロデキストリンはその疎水性空孔内に様々な有機分子を取り込むことが知られ、ポルフィリン誘導体もその空孔内に包接される。水溶液中、シクロデキストリンを添加してポルフィリンポリマー9の可視-紫外吸収スペクトルを測定すると、ポルフィリンのソーレー帯がシャープとなり、包接錯体が形成されポルフィリン同士の会合が解けていることが確認された。時間分解蛍光測定およびレーザーフラッシュフォトリシス法により、ポルフィリンの励起一重項状態の長寿命化 {87.5 ps (73.5%) + 1.36 ns (26.5%)} \rightarrow 過剰量のシクロデキストリン(11)を添加後、2.11 ns (100%)、つまり自己失活の抑制と、励起三重項状態生成の高効率化が確認された。一方、図6 aのように交互積層法により9-11錯体をC₆₀単分子膜に積層したところ、9-11錯体は膜上でもその構造が維持されていることが確認された(図6 b)。光電変換の量子収率を測定すると、シクロデキストリン非存在下では15%であったが、存在下では20%と約1.3倍に向上することがわかった。

2-2-4 ポルフィリン多量体を用いた長波長領域での光電変換

これまで、光捕集部位としてポルフィリン誘導体を用いてきた。光励起種であるポルフィリンは420nm付近に強いソーレー帯を持つものの、他の可視領域にはほとんど吸収帯を持たない。このため、光電流の発生は420nm付近の狭い範囲のみであった。そこで、より吸収波長領域の広いポルフィリン多量体を用いることにより、長波長領域においても光電変換が可能な系の構築を目指した。具体的には、既に大須賀らにより合成されているメソ-メソポルフィリン(12)を用いた。これらの化合物はいずれも、ソーレー帯のブロード化と共に、新しくエキサイトンカップリングに基づく吸収帯が長波長側に現れる。さらに、Q帯の長波長シフトも観測される。これらの吸収領域は、多量体の長さが長くなるに従い長波長側にシフトする。実際にメソ-メソポルフィリン4量体を用いると、こ



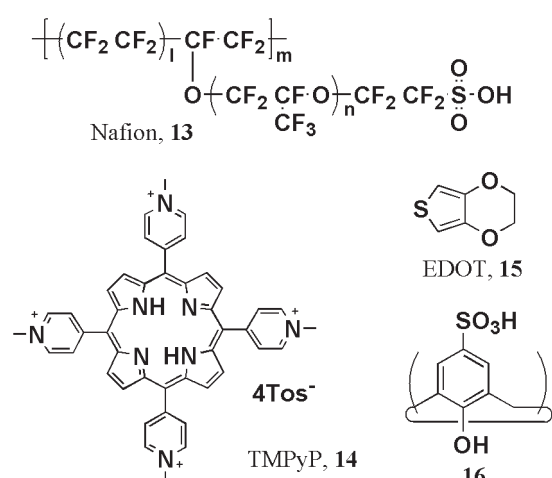
れまで光電流が観測されなかった500～600nmの波長領域で光電流が観測された。今後、メソメソポルフィリン多量体を組み合わせることにより、全波長領域において光電流の発生が可能となる考えられ、結果として光電流の変換効率の向上が期待できる。

2-3 高分子を色素担持体とする光電変換素子の開発

電極上に色素を積層する方法として2-2で交互積層法を紹介したが、色素担持体として導電性高分子、もしくは高分子電解質を用いれば、色素の積層量の増大が望め、結果として光電流値の増加が見込まれると考え、検討を行った。

2-3-1 高分子電解質 Nafion の利用

高分子電解質を担持体として利用することによりITO電極上にポルフィリンを固定化することを考えた。実際に、担持体としてアニオン性高分子電解質であるNafion(13)、色素にテトラメチルピリジンポルフィリン(TMPyP, 14)を用いた光電変換素子を構築した(図7a)。スピコート法により、TMPyPを溶解させたNafion-メタノール溶液でITO電極上を被覆した。トリエタノールアミン溶液中、この薄膜に光照射すると光電流が発生した。その量子収率は3.4%であった。本手法では、操作の簡便性のみではなく、市販のカチオン性色素が利用できる点で優れている。



2-3-2 ポリチオフェンの利用

チオフェンは電解重合する際にカチオン性の中間体を経るため、対アニオンを巻き込みながら重合が進行することが知られている。そこで、我々は対アニオンとしてアニオン性の宿主分子に包接された C_{60} を用いた。実際に、重合性モノマーとしてエチレンジオキシチオフェン(EDOT, 15)、対アニオンとして C_{60} と1:1包接錯体を形成する*p*-スルホンリックス[8]アレーン(16)を用いて電解重合を行ったところ、作用極として用いたITO電極上にフィルム状の薄膜が生成した(図7b)。可視-紫外吸収スペクトルおよびCV測定を行い、この薄膜中に C_{60} が取り込まれていることを確認した。このとき、 C_{60} の被覆量は交互積層法の約7.6倍であることがわかった。ビオローゲン存在下、薄膜に光照射すると光電流の発生が確認され、その量子収率は3.7%であった。本系は、非常に簡便な操作で薄膜を準

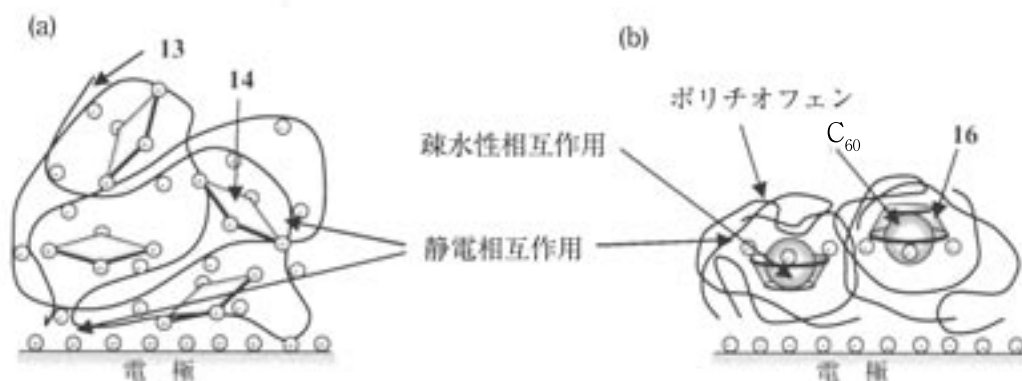


図7 a) Nafionを色素担持体とする光電変換素子と(b) チオフェンの電気化学的酸化高分子を用いる光電変換素子の模式図

備でき、しかも多量の未修飾C₆₀を積層できる点で優れている。

2-4 低分子ゲル化剤を利用するイオノゲルの開発

近年、イオン性液体はバッテリー、光化学電池、その他本系も含む湿式電気化学の電解質として注目されている。特にアンモニウムイオンやピリジニウムイオンのイオン性液体は、高い安定性や導電性、さらに不揮発性であるという特性を持ち電解質として利用する上で優れた性質を有している。しかし、それらの取り扱いをより簡便にするためにはその流動性を低くする必要がある。その最も良い手法の一つとしてゲル化が挙げられる。これまでのイオン性液体のゲル化は高分子ゲルに限られてきたが、本研究ではより調製が容易な低分子ゲル化剤を利用したイオノゲルについて検討を行った。コレステロールを基体としたゲル化剤(19)をイミダズリウムイオン(17)やピリジニウムイオン(18)のイオン性液体中に添加すると熱安定性に優れた物理ゲルが形成された(図8)。暗視野光学顕微鏡およびTEM観察により、それらのゲルは螺旋状の繊維状会合体を形成していることが確認され、低濃度において

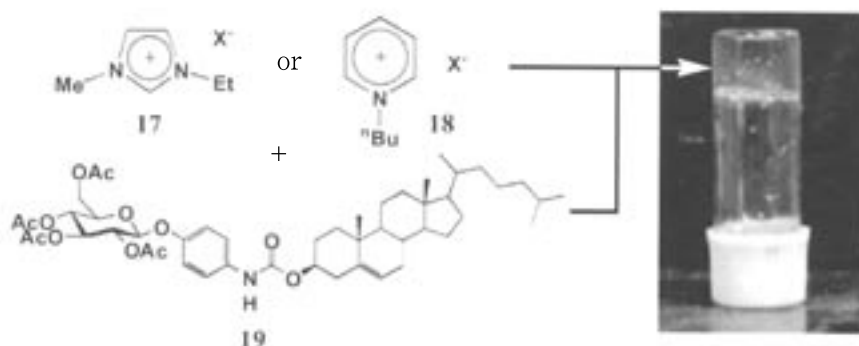


図8 低分子ゲル化剤(19)を用いたイオン性液体のゲル化

はゾル状態とゲル状態を温度で制御できると共に、高濃度領域においては極めて安定なゲル状態を創成可能なことが明らかとなった。

3 考 察

今回、ホスト-ゲスト包接錯体を形成することにより、 C_{60} を水溶化し、さらにその C_{60} 錯体を電極表面上に並べることができることを示した。この結果、我々は初めて交互積層法を用いて光電変換素子の構築が行えることを示した。また、ホスト-ゲスト包接錯体を形成することにより、光電変換における量子収率の向上が実現できた。有機太陽電池の実現には、耐久性、更なる量子収率の向上など多くの課題が残されているが、一つ一つの問題を解決することが実用化への道を拓くものと信じている。さらに、本手法は他の超分子デバイスの開発において重要な知見になるものと期待でき、様々な応用を目指して研究を継続する予定である。

謝 辞

本研究は科学技術振興事業団・PRESTOの研究助成により推進されたものです。ここに深く感謝いたします。また、博士研究員・小西利史博士、九州大学大学院工学研究院・新海征治教授ならびに新海研究室の皆様、奈良先端科学技術大学院大学・菊池純一教授ならびに菊池研究室の皆様、東北大学多元物質科学研究所・伊藤 攻教授、藤塚 守助手に深くお礼申し上げます。

研究業績リスト

出願特許

- 1 特願 2001-217576, 池田篤志, 新海征治, 波多野 吏, フラーレンを含む薄膜から成る光電変換素子材料, 科学技術振興事業団, 2001年7月18日.
- 2 特願 2002-177863, 池田篤志, 新海征治, 波多野 吏, ホスト-ゲスト錯体を含有する光電変換素子用材料, 科学技術振興事業団, 2002年6月19日.
- 3 特願 2003-6514, 池田篤志, 新海征治, 竹内正之, 波多野 吏, フラーレン含有薄膜から成る光電変換素子用材料とその作製方法, 科学技術振興事業団, 2003年1月15日.
- 4 特願 2003-032106, 池田篤志, 菊池純一, 小谷晴夫, 林 陽子, 嶋崎隆章, ターゲット認識素子及びターゲット認識素子を利用したバイオセンサ, ローム株式会社, 科学技術振興事業団, 2003年2月10日.

発表論文

- 1 A. Ikeda, T. Hatano, S. Shinkai, T. Akiyama, S. Yamada, Efficient Photocurrent Generation in Novel Self-Assembled Multilayers Comprised of [60]Fullerene-Cationic Homooxacalix[3]arene Inclusion Complex and Anionic Porphyrin Polymer, *J. Am. Chem. Soc.*, **2001**, *123*, 3872 ~ 3877.
- 2 A. Ikeda, K. Sonoda, M. Ayabe, S. Ayabe, T. Nakajima, N. Kimizuka, S. Shinkai, Gelation of Ionic Liquids with a Low Molecular-Weight Gelator Showing T_{gel} above 100 °C, *Chem. Lett.*, **2001**, 1154 ~ 1155.
- 3 A. Ikeda, M. Ayabe, S. Shinkai, A Novel Polymeric Nanowire with Porphyrin Compartments Constructed by a Pd(II)-Pyridine Interaction, *Chem. Lett.*, **2001**, 1138 ~ 1139.
- 4 池田篤志, ホスト-ゲスト錯体を利用する光電変換素子の開発, 高分子学会・高分子錯体アニュアルレビュー 2001, **2002**, 11 ~ 12.
- 5 M. Ayabe, A. Ikeda, S. Shinkai, S. Sakamoto, K. Yamaguchi, A novel [60]fullerene receptor with a Pd(II)-switched bisporphyrin cleft, *Chem. Commun.*, **2002**, 1032 ~ 1033.
- 6 M. Ayabe, A. Ikeda, Y. Kubo, M. Takeuchi, S. Shinkai, A Dendritic Porphyrin Receptor for C₆₀ Which Features a Profound Positive Allosteric Effect, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2002**, *41*, 2790 ~ 2792.
- 7 池田篤志, 交互積層法を利用する新規光電変換素子の開発, *化学工業*, **2002**, *53*, 497 ~ 500.
- 8 T. Konishi, A. Ikeda, T. Kishida, B. S. Rasmussen, M. Fujitsuka, O. Ito, S. Shinkai, Photoinduced Electron Transfer between C₆₀-Pendant Calixarene and Captured Electron Donor: Improvement of Electron-Transfer Efficiency by Applying Host-Guest Chemistry, *J. Phys. Chem. A*, **2002**, *106*, 10254 ~ 10260.
- 9 池田篤志, ホスト-ゲスト包接錯体を利用する [60] フラーレンの水溶化とその応用研究, *オレオサイエンス*, **2003**, *3*, 29 ~ 34.
- 10 T. Hatano, M. Takeuchi, A. Ikeda, S. Shinkai, Facile deposition of [60]fullerene on the electrode by electrochemical oxidative polymerization of thiophene, *Chem. Commun.*, **2003**, 342 ~ 343.
- 11 A. Ikeda, T. Hatano, T. Konishi, J. Kikuchi, S. Shinkai, Host-Guest Complexation Effect of 2, 3, 6-tri-O-methyl-β-cyclodextrin on a C₆₀-porphyrin Light-to-Photocurrent Conversion System, *Tetrahedron*, **2003**, *59*, 3537 ~ 3540.
- 12 T. Konishi, A. Ikeda, M. Asai, T. Hatano, S. Shinkai, M. Fujitsuka, O. Ito, Y. Tsuchiya, J. Kikuchi, Improvement of Quantum Yields for Photoinduced Energy/Electron Transfer by Isolation of Self-Aggregative Zinc Tetraphenyl Porphyrin-Pendant Polymer Using Cyclodextrin-Inclusion in Aqueous Solution, *J. Phys. Chem. B*, in press.

学会発表

- 1 波多野吏, 池田篤志, 新海征治, 秋山 毅, 山田 淳, カリックスアレーン-C₆₀錯体単分子膜を素子とする有機光電変換素子の開発, 日本化学会第79春季年会, 2001/ 3 /28-31.
- 2 池田篤志, 波多野吏, 新海征治, 秋山 毅, 山田 淳, ホスト-ゲスト化学を利用した [60] フラーレンの水溶化とその応用研究, 日本化学会第80秋季年会, 2001/ 9 /21.
- 3 池田篤志, 波多野吏, 新海征治, 秋山 毅, 山田 淳, ホスト-ゲスト化学を利用したフラーレン-ポルフィリン 2 分子膜の調整とその有機光電変換素子の開発, 第31回構造有機化学討論会,

- 2001/10/27.
- 4 綾部真嗣, 池田篤志, 新海征治, Pd-ピリジン相互作用を利用したポルフィリンカプセル分子及びナノチューブの構築, 第31回構造有機化学討論会, 2001/10/28.
 - 5 池田篤志, カリックスアレーンを基体とする二量化カプセル分子による C₆₀の包接とその応用研究, Mini-Symposium at POSTECH, 2001/11/ 2 .
 - 6 小西利史, 岸田高典, 池田篤志, 新海征治, 藤塚 守, 伊藤 攻, カリックスアレーンを消光剤部位として有する C₆₀誘導体の分子内光誘起電子移動, 第16回シクロファン研究会, 2001/11/16.
 - 7 綾部真嗣, 池田篤志, 新海征治, Pb-ピリジン間の相互作用を利用するアロステリック分子認識場の構築, 第16回シクロファン研究会, 2001/11/16.
 - 8 波多野 吏, 池田篤志, 新海征治, シクロデキストリンの包接によるポルフィリンの隔離とそれに伴う光電変換能の向上, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /29.
 - 9 岸田高典, 池田篤志, 小西利史, 藤塚 守, 伊藤 攻, 新海征治, カリックスアレーンを消光剤捕捉部位として有する [60] フラーレン誘導体の分子内光誘起電子移動, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /29.
 - 10 河野慎一郎, 池田篤志, 綾部真嗣, 坂本 茂, 山口健太郎, 新海征治, 電極上におけるポルフィリン多量体の構築, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /29.
 - 11 小西利史, 池田篤志, 波多野 吏, 朝井雅剛, 藤塚 守, 伊藤 攻, 新海征治, アニオン性ポルフィリンポリマーの光化学的性質へのシクロデキストリン包接効果, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /29.
 - 12 朝井雅剛, 池田篤志, 小西利史, 藤塚 守, 伊藤 攻, 新海征治, シクロデキストリン誘導体を用いるイオン性液体および水中への [60] フラーレンの可溶化とその物性評価, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /28.
 - 13 藪田賢司, 池田篤志, 中嶋琢也, 君塚信夫, 新海征治, 低分子ゲル化剤を利用するイオノゲルの開発, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /28.
 - 14 綾部真嗣, 池田篤志, 新海征治, 坂本 茂, 山口健太郎, ピリジン-Pd(II)相互作用を利用した自己集合型ポルフィリンポリマーの構築, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /28.
 - 15 綾部真嗣, 池田篤志, 新海征治, Pd-ピリジン間の相互作用を利用するアロステリック系分子認識場の構築, 日本化学会第81春季年会, 2002/ 3 /29.
 - 16 A. Ikeda, T. Hatano, S. Shinkai, Efficient Photocurrent Generation in Novel Self-assembled Multilayers by Use of Electrostatic Alternate Adsorption, Second International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines, 2002/ 7 / 3 .
 - 17 T. Konishi, A. Ikeda, T. Kishida, B. S. Rasmussen, M. Fujitsuka, O. Ito and S. Shinkai, Photoinduced Electron Transfer between C₆₀-Pendant Calixarene and Captured Electron Donor: Improvement of Electron-Transfer Efficiency by Applying Host-Guest Chemistry, XXVII International Symposium on Macrocyclic Chemistry, 2002/ 6 /23-27.
 - 18 A. Ikeda, T. Hatano, S. Shinkai, Improvement of a Photocurrent Generator Using 2 , 3 , 6 -Tri-O-Methyl- β -Cyclodextrin-Porphyrin Polymer Host-Guest Complex, XXVII International Symposium on Macro-

- cyclic Chemistry, 2002/ 6 /23-27.
- 19 T. Konishi, A. Ikeda, T. Hatano, M. Asai, Y. Tsuchiya, J. Kikuchi, M. Fujitsuka, O. Ito, S. Shinkai, Improvement of Quantum Yields for Photoinduced Electron Transfer by Isolation of Aggregative Sensitizer using Cyclodextrin-Inclusion: Application to Water-soluble Porphyrin-Pendant Polymer, Gordon Research Conference on ORGANIC STRUCTURES and PROPERTIES, 2002/ 7 /10.
 - 20 池田篤志, 波多野 吏, 小西利史, 菊池純一, 新海征治, ホスト-ゲスト錯体を利用する高効率光電変換素子の開発, 第17回生体機能関連化学部会シンポジウム, 2002/ 9 /25.
 - 21 池田篤志, 波多野 吏, 河野慎一郎, 岸田高典, 菊池純一, 新海征治, 交互積層法を利用する光電変換素子の開発, 日本化学会第82秋季年会, 2002/ 9 /27.
 - 22 小西利史, 池田篤志, 菊池純一, 藤塚 守, 伊藤 攻, 新海征治, シクロデキストリンを用いた会合性色素の孤立化による光誘起電子移動の量子収率の向上: 水溶性ポルフィリンポリマーへの適用, 2002年光化学討論会, 2002/ 9 /11.
 - 23 小西利史, 池田篤志, 土屋陽一, 菊池純一, 藤塚 守, 伊藤 攻, 新海征治, シクロデキストリン包接による自己会合性色素の隔離と光誘起電子移動の高収率化, 第17回シクロファン研究会, 2002/11/ 8 .
 - 24 池田篤志, 小西利史, 菊池純一, 波多野 吏, 新海征治, シクロデキストリン添加による光電変換素子の高効率化, 第17回シクロファン研究会, 2002/11/ 8 .
 - 25 池田篤志, ホスト-ゲスト包接錯体を利用する C₆₀の機能化, 九州大学・機能物質科学研究所研究集会「超分子集合体の創成と応用」, 2002/12/20.
 - 26 A. Ikeda, T. Hatano, T. Konishi J. Kikuchi, S. Shinkai, Host-Guest Complexation Effect on a C₆₀-Porphyrin Light-to-Photocurrent Conversion System, the 203rd Meeting of the Electrochemical Society, 2003/ 4 /27- 5 / 2 .
 - 27 T. Konishi, A. Ikeda, Y. Tsuchiya, T. Hatano, S. Shinkai, M. Fujitsuka, O. Ito, J. Kikuchi, Improvement of Quantum Yields for Photoinduced Energy/Electron Transfer by Isolation of Self-Aggregative Zinc Porphyrin-Pendant Polymer using Cyclodextrin-Inclusion in Solution, the 203rd Meeting of the Electrochemical Society, 2003/ 4 /27- 5 / 2 .