

研究課題別評価

1 研究課題名: ナノ構造体を用いた光合成型エネルギー変換系の構築

2 研究者氏名: 今堀 博

グループメンバー: 森 幸恵(研究期間 平成 14 年 4 月 ~ 平成 15 年 6 月)

堀田弘樹(研究期間 平成 15 年 10 月 ~ 平成 17 年 3 月)

3 研究の狙い:

現在の物質文明は有限資源である石油・石炭などの化石燃料を大量消費することで維持されている。一方、その結果として地球温暖化・大気汚染などの環境問題および化石燃料に替わる代替エネルギーの開発が21世紀に解決されなければならない課題として顕在化している。以上の2つの課題を解決するためには低コストかつクリーンな代替エネルギーの開発が急務である。太陽エネルギーは事実上無尽蔵であり、環境に負担をかけない点でも代替エネルギーとして最も有力な候補である。その観点から、太陽電池の研究は古くから行われてきた。アモルファスシリコンを代表とするシリコン系太陽電池は既に実用化の時代に入っている。しかしながら、高コスト、資源的制約から、その民生用の普及はあまり進んでいないのが現状である。一方、有機太陽電池は、軽量性、彩色性、柔軟性などが特徴であり、低コストで高いエネルギー変換効率が達成できれば、急速に実用化できる可能性を秘めている。現在、実用化が有望視されている有機太陽電池としては、色素増感太陽電池とバルクヘテロ型太陽電池が挙げられる。いずれの系も光捕集、電荷分離、そして生成したホールと電子の電極への輸送の制御が、高いエネルギー変換効率を達成するためには重要である。従って、電極界面におけるドナー・アクセプター分子の配列制御とその光ダイナミクス、および光電気化学特性の相関を解明することが、単に分子集合体における光化学の基礎情報を与えるだけでなく、分子修飾太陽電池を構築する上で重要な知見を与えるものと期待される。本研究では光合成の原理に乗り取り、ポルフィリンをドナー分子、フラレーンをアクセプター分子とし、自己組織化を利用して電極上にドナー・アクセプターのナノ構造を制御しながら集積化することで、優れた光電変換系を構築することを目標とした。

4 研究成果:

電極上での光捕集特性を向上させる材料として、我々はポルフィリンが3次元的に金属ナノ微粒子上に自己組織化したポルフィリン金ナノ微粒子を初めて合成した。その結果、3次元自己組織化単分子膜(SAM)系であるポルフィリン金ナノ微粒子が金電極上の2次元ポルフィリンSAM系に比べて金属表面による励起状態の失活を抑制し、しかも光吸収能の増強効果を示すことを見出した。また、大きな表面積を持つことから、電極上に配列させた場合、単分子膜系と比較して、光捕集効率が向上することがわかった。そこで、ポルフィリン修飾金ナノ微粒子とフラレーンを半導体電極上へ逐次組織化することにより、新規な有機太陽電池を構築した。すなわち、まずポルフィリンアルカンチオールを金ナノ微粒子上に集積化する(第1次組織化)。ポルフィリン修飾金ナノ微粒子はポルフィリン間に十分な隙間があり、かつポルフィリンはフラレーンと相互作用により、錯体形成を行うことが知られている。そこで、ポルフィリン修飾金ナノ微粒子とフラレーンの混合トルエン溶液を貧溶媒であるアセトニトリルに急速に注入すると、ポルフィリン修飾金ナノ微粒子はポルフィリン間にフラレーンを取り込みながら(第2次組織化)、さらに大きなコロイドをトルエン/アセトニトリル混合溶液中で形成する(第3次組織化)。さらにこのトルエン/アセトニトリル混合溶液に酸化スズナノ微粒子修飾ITO電極と未修飾ITO電極を挿入し、一定時間高い電圧(200-500 V, 数分間)を電極間に印加することで、酸化スズナノ微粒子修飾ITO電極上にポルフィリン修飾金ナノ微粒子/フラレーンコロイドは電析される(第4次組織化)。この修飾電極を用いて、色素増感型の光電変換系を構築すると、そのエネルギー変換効率は最高で1.5%(0.5 M NaI, 0.01

M I₂ アセトニトリル溶液, $\lambda > 400 \text{ nm}$, 11.2 mW cm^{-2} , $FF = 0.43$, $V_{OC} = 0.38 \text{ V}$, $I_{SC} = 1.0 \text{ mA cm}^{-2}$) に達することがわかった。この変換効率はポルフィリン参照化合物とフラーレンを同様の手法で組織化した光電変換系の値に比べて、約 50 倍高い。本系はバルクヘテロ型太陽電池と色素増感太陽電池の両者の特性を持ち、酸化スズナノ微粒子表面が多層膜で被覆されているという特徴を持つ。以上の結果から、逐次的にドナー、アクセプター分子を電極上に高次に集積化できれば、高い光電変換特性が得られる可能性があることがわかった。また、ポルフィリン金ナノ微粒子上に交換反応によりアクセプターを取り込む空間を導入することで、光電変換効率を向上させることを試みた。取り込み空間を導入しなかった参照系と比較して、光電変換特性が約 1.5 倍向上したことから、本コンセプトの有用性が確認できた。実用化には IPCE 値、フィルファクター (FF)、短絡電流値、開放電圧のさらなる改善が必要であり、今後電荷分離した電子とホール輸送ナノ経路を巧みに構築することにより、電荷再結合を抑制し、高い変換効率が得られると期待している。そのためには、複雑、高価な装置などを必要としない自己組織化法を巧妙に用いた今回の手法および系は有望である。

5 自己評価:

当初の目標では励起状態の消光が抑制される ITO 電極上に高効率長寿命の電荷分離状態が生成できるポルフィリン・フラーレン連結分子を化学修飾すれば、高い光電流発生効率が達成されると期待していた。しかしながら、高密度・高配向の自己組織化単分子膜が形成できる金電極と異なり、表面の荒い ITO 電極の化学修飾は困難であった。しかも形成された膜はシラン化試剤が重合して、複雑な構造をとるために、期待したほど高い光電流発生効率を得ることができなかった。一方、新規な光捕集系を目指したポルフィリン修飾金ナノ微粒子では、ポルフィリン間の距離が比較的離れており、また配向が平行に近かったために、光合成の光捕集系で見られるようなエネルギーマイグレーションは観測できなかった。以上の二つの理由から、研究が行き止まってしまった。しかしながら、ポルフィリン修飾金ナノ微粒子は逆にゲスト分子を取り込む空間があり、ポルフィリンとフラーレンが選択的に会合することに着目することで、ポルフィリンとフラーレンを半導体電極上に高次に組織化できることを見出し、研究のブレークスルーとすることができた。以上を評価すると、当初の計画は達成できなかったが、発想を逆転することにより、新規な光電変換系を構築することができた。また、本研究に関連した多数の原著論文・総説を発表し、招待講演を行うことができたことを評価し、合格点の 80 点としたい。

6 研究総括の見解:

当初の構想では ITO 電極にポルフィリンフラーレン連結分子を配置し高効率化を目指すも技術的に困難であり、また次に期待したポルフィリン修飾金ナノ粒子も難点があって研究は困難を極めたようであるが、幸いにしてポルフィリンとフラーレンを半導体電極上に高次集積する方法を見出し、従来のアプローチによるものよりも 50 倍の効率を達成したことは大いに評価できる。高次集積化はナノ技術の中心的課題でもあり、今後の発展は大いに期待できる。

7 主な論文等:

主な発表論文(原著論文)

1. Large Photocurrent Generation of Gold Electrodes Modified with [60]Fullerene-linked Oligothiophenes Bearing a Tripodal Rigid Anchor, D. Hirayama, K. Takimiya, Y. Aso, T. Otsubo, T. Hasobe, H. Yamada, H. Imahori, S. Fukuzumi, and Y. Sakata, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 532-533 (2002).
2. Linkage Dependent Charge Separation and Charge Recombination in Porphyrin-Pyromellitimide-Fullerene Triads, H. Imahori, K. Tamaki, Y. Araki, T. Hasobe, O. Ito, A. Shimomura, S. Kundu, T. Okada, Y. Sakata, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. A*, **106**,

- 2803-2814 (2002).
3. Uphill Photooxidation of NADH Analogues by Hexyl Viologen Catalyzed by Zinc Porphyrin-Linked Fullerenes, S. Fukuzumi, H. Imahori, K. Okamoto, H. Yamada, M. Fujitsuka, O. Ito, and D. M. Guldi, *J. Phys. Chem. A*, **106**, 1903-1908 (2002).
 4. Stepwise Charge Separation and Charge Recombination in Ferrocene-*meso,meso*-Linked Porphyrin Dimer-Fullerene Tetrad, H. Imahori, K. Tamaki, Y. Araki, Y. Sekiguchi, O. Ito, Y. Sakata, and S. Fukuzumi, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 5165-5174 (2002).
 5. Hydrogen-Bonding Dynamics in Photoinduced Electron Transfer in a Ferrocene-Quinone Linked Dyad with a Rigid Amide Spacer, S. Fukuzumi, Y. Yoshida, H. Imahori, Y. Araki, and O. Ito, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 6794-6995 (2002).
 6. Thermal Intramolecular Electron Transfer in a Ferrocene-Naphthoquinone Linked Dyad Promoted by Metal Ions, S. Fukuzumi, K. Okamoto, and H. Imahori, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41**, 620-622 (2002).
 7. Enhancement of Photocurrent Generation by ITO Electrodes Modified Chemically with Self-Assembled Monolayers of Porphyrin-Fullerene Dyads, H. Yamada, H. Imahori, Y. Nishimura, I. Yamazaki, and S. Fukuzumi, *Adv. Mater.*, **14**, 892-895 (2002).
 8. Comparison of Reorganization Energies for Intra- and Inter-molecular Electron Transfer, H. Imahori, H. Yamada, D. M. Guldi, Y. Endo, A. Shimomura, S. Kundu, K. Yamada, T. Okada, Y. Sakata, and S. Fukuzumi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **41**, 2344-2347 (2002).
 9. Exciplex-Like Intermediate States in Photoinduced Electron Transfer in Porphyrin-Fullerene Dyads, T. J. Kesti, N. V. Tkachenko, V. Vehmanen, H. Yamada, H. Imahori, S. Fukuzumi, and H. Lemmetyinen, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 8067-8077 (2002).
 10. Significant Enhancement of Electron Transfer Reduction of NAD⁺ Analogs by Complexation with Scandium Ion and the Detection of the Radical Intermediate-Scandium Ion Complex, S. Fukuzumi, O. Inada, N. Satoh, T. Suenobu, and H. Imahori, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 9181-9188 (2002).
 11. A Negative Temperature Dependence of the Electron Self-Exchange Rates of Zinc Porphyrin Radical Cations, S. Fukuzumi, Y. Endo, and H. Imahori, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 10974-10975 (2002).
 12. Direct Observation of Intramolecular Electron Transfer from Excess Electrons in a -Conjugated Main Chain to a Porphyrin Side Chain in Polysilanes Having a Tetraphenylporphyrin Side Chain by the Pulse Radiolysis Technique, Y. Matsui, K. Nishida, S. Seki, Y. Yoshida, S. Tagawa, K. Yamada, H. Imahori, and Y. Sakata, *Organometallics*, **21**, 5144-5147 (2002).
 13. Small Reorganization Energy of Intramolecular Electron Transfer in Fullerene-Based Dyads with Short Linkage, K. Ohkubo, H. Imahori, J. Shao, Z. Ou, K. M. Kadish, Y. Chen, G. Zheng, R. K. Pandey, M. Fujitsuka, O. Ito, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. A*, **106**, 10991-10998 (2002).
 14. Effects of Hydrogen Bonding on Metal Ion-Promoted Intramolecular Electron Transfer and Photoinduced Electron Transfer in a Ferrocene-Quinone Dyad with a Rigid Amide Spacer, S. Fukuzumi, K. Okamoto, Y. Yoshida, H. Imahori, Y. Araki, and O. Ito, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 1007-1013 (2003).
 15. Formation of a Supramolecular Porphyrin-Spacer-Acceptor Ternary Complex and Intra-Complex Electron Transfer, J. Otsuki, M. Takatsuki, M. Kaneko, H. Miwa, T. Takido, M. Seno, K. Okamoto, H. Imahori, M. Fujitsuka, Y. Araki, O. Ito, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. A*, **107**, 379-385 (2003).

16. Enhancement of Light-Harvesting and Photocurrent Generation by ITO Electrodes Modified with *meso,meso*-Linked Porphyrin Oligomers, T. Hasobe, H. Imahori, H. Yamada, T. Sato, and S. Fukuzumi, *Nano Lett.*, **3**, 409-412 (2003).
17. Driving Force Dependence of Intermolecular Electron-Transfer Reactions of Fullerenes, S. Fukuzumi, K. Ohkubo, H. Imahori, and D. M. Guldi, *Chem. Eur. J.*, **9**, 1585-1593 (2003).
18. Long-Lived Charge-Separated State Produced by Photoinduced Electron Transfer in a Zinc Imidazoporphyrin-C₆₀ Dyad, Y. Kashiwagi, K. Ohkubo, J. A. McDonald, I. M. Blake, M. J. Crossley, Y. Araki, O. Ito, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *Org. Lett.*, **5**, 2719-2721 (2003).
19. Strong Inhibition of Singlet Oxygen Sensitization in Pyridylferrocene-Perfluorinated Zinc Porphyrin Supramolecular Complexes, Y. Kashiwagi, H. Imahori, Y. Araki, O. Ito, K. Yamada, Y. Sakata, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. A*, **107**, 5515-5522 (2003).
20. Metal Ion-Promoted Intramolecular Electron Transfer in Ferrocene-Naphthoquinone Linked Dyad. Continuous Change in Driving Force and Reorganization Energy with Metal Ion Concentration, K. Okamoto, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 7014-7021 (2003).
21. Photovoltaic Properties of Self-Assembled Monolayers of Porphyrins and Porphyrin-Fullerene Dyads on ITO and Gold Surfaces, H. Yamada, H. Imahori, Y. Nishimura, I. Yamazaki, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, and S. Fukuzumi, *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 9129-9139 (2003).
22. Ultrafast Photodynamics of Exciplex Formation and Photoinduced Electron Transfer in Porphyrin-Fullerene Dyads Linked at Close Proximity, N. V. Tkachenko, H. Lemmetyinen, J. Sonoda, K. Ohkubo, T. Sato, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. A*, **107**, 8834-8844 (2003).
23. Novel Photocatalytic Function of Porphyrin-Modified Gold Nanoclusters in Comparison with the Reference Porphyrin Compound, S. Fukuzumi, Y. Endo, Y. Kashiwagi, Y. Araki, O. Ito, and H. Imahori, *J. Phys. Chem. B*, **107**, 11979-11986 (2003).
24. Light Energy Conversion Using Molecular Nanoclusters. Porphyrin and C₆₀ Cluster Films for Efficient Photocurrent Generation, T. Hasobe, H. Imahori, S. Fukuzumi, and P. V. Kamat, *J. Phys. Chem. B*, **107**, 12105-12112 (2003).
25. Quaternary Self-Organization of Porphyrin and Fullerene Units by Clusterization with Gold Nanoparticles on SnO₂ Electrodes for Organic Solar Cells, T. Hasobe, H. Imahori, S. Fukuzumi, and P. V. Kamat, *J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 14962-14963 (2003).
26. Effects of Metal Ions on Photoinduced Electron Transfer in Zinc Porphyrin-Naphthalenediimide Linked Systems, K. Okamoto, Y. Mori, H. Yamada, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *Chem. Eur. J.*, **10**, 474-483 (2004).
27. Structure and Photophysical Properties of Porphyrin-Modified Metal Nanoclusters with Different Chain Length, H. Imahori, Y. Kashiwagi, Y. Endo, T. Hanada, Y. Nishimura, I. Yamazaki, Y. Araki, O. Ito, and S. Fukuzumi, *Langmuir*, **20**, 73-81 (2004).
28. Ultra-Long Lived Charge-Separated State in Zinc Chlorin C₆₀ Dyad Produced by One-Step Photoinduced Electron Transfer, K. Ohkubo, J. Shao, Z. Ou, Karl M. Kadish, G. Li, R. K. Pandey, M. Fujitsuka, O. Ito, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **43**, 853-856 (2004).
29. A Novel Molecular Tetrad that Allows the Highly Efficient Energy Storage (1.1 eV) for 1.6 s, D. M. Guldi, H. Imahori, K. Tamaki, Y. Kashiwagi, H. Yamada, Y. Sakata, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. B*, **108**, 541-548 (2004).
30. Substituent Effects of Porphyrin Monolayers on the Structure and Photoelectrochemical Properties of Self-Assembled Monolayers of Porphyrin on ITO Electrode, H. Imahori, K.

- Hosomizu, Y. Mori, T. Sato, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, Y. Nishimura, I. Yamazaki, H. Ishii, H. Hotta, and Y. Matano. *J. Phys. Chem. B*, **108**, 5018-5025 (2004).
31. Porphyrin-Fullerene Linked Systems as Artificial Photosynthetic Mimics, H. Imahori, *Org. Biomol. Chem.*, **2**, 1425-1433 (2004).
 32. Giant Multiporphyrin Arrays as Artificial Light-Harvesting Antennas, H. Imahori, *J. Phys. Chem. B*, **108**, 6130-6143 (2004).
 33. Seconds Lasting Charge-Separated State Generated in Ferrocene-*meso,meso*-Linked Porphyrin Trimer-Fullerene Pentad with an Extremely High Quantum Yield, H. Imahori, Y. Sekiguchi, Y. Kashiwagi, T. Sato, Y. Araki, O. Ito, H. Yamada, and S. Fukuzumi, *Chem. Eur. J.*, **10**, 3184-3196 (2004).
 34. Porphyrin and Fullerene-Based Molecular Photovoltaics, H. Imahori and S. Fukuzumi, *Adv. Funct. Mater.*, **14**, 525-536 (2004).
 35. Supramolecular Photovoltaic Cells of Porphyrin Dendrimers and Fullerene, T. Hasobe, Y. Kashiwagi, M. Absalom, K. Hosomizu, M. J. Crossley, H. Imahori, P. V. Kamat, and S. Fukuzumi, *Adv. Mater.*, **16**, 975-979 (2004).
 36. Supramolecular Photovoltaic Cells Based on Composite Molecular Nanoclusters: Dendritic Porphyrin and, Porphyrin Dimer and C₆₀, and Porphyrin-C₆₀ Dyad, T. Hasobe, P. V. Kamat, M. A. Absalom, Y. Kashiwagi, J. Sly, M. J. Crossley, K. Hosomizu, H. Imahori, and S. Fukuzumi, *J. Phys. Chem. B*, **118**, 12865-12872 (2004).
 37. Hydrogen Bonding Effect on Photocurrent Generation in Porphyrin-Fullerene Photoelectrochemical Devices, H. Imahori, J.-C. Liu, K. Hosomizu, T. Sato, Y. Mori, H. Hotta, Y. Matano, Y. Araki, O. Ito, N. Maruyama, and S. Fujita, *Chem. Commun.*, **2004**, 2066-2067.
 38. Photoelectrochemical Properties of Supramolecular Composite of Fullerene Nanoclusters and 9-Mesityl-10-carboxymethylacridinium Ion on SnO₂, T. Hasobe, S. Hattori, H. Kotani, K. Ohkubo, K. Hosomizu, H. Imahori, P. V. Kamat, and S. Fukuzumi, *Org. Lett.*, **6**, 3103-3106 (2004).
 39. Vectorial Multistep Electron Transfer in Self-Assembled Monolayers of Ferrocene-Porphyrin-Fullerene Triads and Porphyrin-Fullerene Dyads on ITO Electrode, H. Imahori, M. Kimura, K. Hosomizu, T. Sato, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, Y. Nishimura, I. Yamazaki, Y. Araki, O. Ito, and S. Fukuzumi, *Chem. Eur. J.*, **10**, 5111-5122 (2004).
 40. Photovoltaic Cells using Composite Nanoclusters of Porphyrins and Fullerenes with Gold Nanoparticles, T. Hasobe, H. Imahori, P. V. Kamat, T. K. Ahn, S. K. Kim, D. Kim, A. Fujimoto, T. Hirakawa, and S. Fukuzumi, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 1216-1228 (2005).
 41. Effects of Fullerene Substituents on Structure and Photoelectrochemical Properties of Fullerene Nanoclusters Electrophoretically Deposited on Nanostructured SnO₂ Electrodes, H. Hotta, S. Kang, T. Umeyama, Y. Matano, K. Yoshida, S. Isoda, and H. Imahori, *J. Phys. Chem. B*, **119**, 5700-5706 (2005).

主な学会発表(招待・依頼講演のみ)

1. 3次元ナノ階層構造を目指した人工光合成材料の開発, 今堀 博, 日本化学会第80回春季年会特別企画「光機能界面の学理と技術--思い通りの光機能界面をめざして--」, 東京、2002年3月27日.
2. Photoinduced Stepwise Charge Separation and Charge Recombination in Porphyrin-Fullerene Linked Triads and Tetrads, H. Imahori, T. Hasobe, S. Fukuzumi, Y. Araki, and O. Ito, 201th Annual Meeting of the Electrochemical Society, Philadelphia, May 12-17, 2002.
3. Nanostructured Light-Harvesting and Photocurrent Generation Systems, H. Imahori, H.

- Yamada, Y. Kashiwagi, Y. Endo, S. Fukuzumi, and T. Hanada, 201th Annual Meeting of the Electrochemical Society, Philadelphia, May 12-17, 2002.
4. Photoinduced Energy and Electron Transfer in Artificial Photosynthetic Systems, H. Imahori, 2nd International Conference on Porphyrins and Phthalocyanine (ICPP2), Kyoto, Japan, June 30-July 5, 2002.
 5. Artificial Photosynthetic Antenna and Reaction Center, H. Imahori, 6th International Porphyrin-Heme Symposium, Tokyo, Japan, July 6-7, 2002.
 6. Second Generation Artificial Photosynthesis, H. Imahori, Gordon Research Conference-Organic Structures and Properties, Japan, July 28-August 2, 2002.
 7. Photoinduced Electron Transfer in Porphyrin-Fullerene Linked Arrays, H. Imahori, 14th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-14), August 4-9, 2002.
 8. 人工光合成をめざした再配列エネルギー制御, 今堀 博, "再配向エネルギーと光エネルギー変換" 多元研ミニシンポジウム, 仙台, 2002年11月6日.
 9. 有機・無機複合系を利用した人工光合成, 今堀 博, 複合系の光化学と光機能セミナー, 筑波, 2003年1月27日.
 10. 人工光合成系構築をめざした有機化学戦略, 今堀 博, 有機合成のニュートレンド2003, 大阪, 2003年2月13日.
 11. Photoinduced Electron Transfer in Ferrocene-Porphyrin Oligomer-Fullerene Systems, H. Imahori, Y. Kashiwagi, H. Yamada, T. Sato, Y. Araki, O. Ito, and S. Fukuzumi, 203rd Meeting of The Electrochemical Society, Paris, France, April 27-May 2, 2003.
 12. Porphyrin and Fullerene-Based Artificial Photosynthetic Materials for Photovoltaics, H. Imahori, European Materials Research Society (E-MRS) 2003 Spring Meeting, Strasbourg, France, June 10-13, 2003.
 13. 人工光合成を目指した光機能性有機材料の創製, 今堀 博, 情報科学用有機材料第142委員会A部会, B部会合同研究会, 東京, 2003年7月18日.
 14. Porphyrin and Fullerene as a Novel Donor-Acceptor Couple in Photoinduced Electron Transfer, H. Imahori, XX1st International Conference on Photochemistry, Nara, July 26-31, 2003.
 15. Porphyrin and Fullerene-Based Photovoltaic Devices, H. Imahori, The 6th AIST International Symposium on Photoreaction Control and Photofunctional Materials (PCPM2003), October 29-31, 2003.
 16. 人工光合成 光合成モデルから有機太陽電池まで, 今堀 博, 研究最前線講演会(日本化学会近畿支部主催), 京都, 2004年5月6日.
 17. 人工光合成のナノサイエンス・ナノテクノロジー, 今堀 博, 第3回高分子ナノテクノロジー研究会講座, 東京, 2004年6月9日.
 18. 自己組織化を用いた光電変換系の構築, 今堀 博, 日本化学会関東支部講演会「光が活躍する最近の機能材料」, 東京, 2004年6月11日.
 19. Porphyrins and Fullerenes as Nanostructured Artificial Photosynthetic Components, H. Imahori, The 3th International Symposium on Radical Ion Reactivity (ISRIR), June 20-24, 2004.
 20. Self-Assembled Monolayers of Porphyrins on ITO Electrodes and Metal Nanoclusters as Artificial Photosynthetic Systems, H. Imahori, Y. Kashiwagi, T. Hasobe, S. Fukuzumi, Y. Araki, O. Ito, 3rd International Conference on Porphyrins and Phthalocyanine (ICPP3), New Orleans, USA, July 11-July 16, 2004.
 21. 人工光合成系構築への実験的アプローチ, 今堀 博, 分子科学研究所研究会「分子機能の物理化学」, 岡崎, 2004年7月22日.

22. 自己組織化を利用した光電変換デバイス, 今堀 博, 錯体化学討論会シンポジウム「錯体化学と光化学・光生物学との接点」, 熊本, 2004年9月23日.
23. ナノ構造を制御した人工光合成デバイス, 今堀 博, 表面科学講演大会, 東京, 2004年11月8-10日.

出願特許

1. 自己組織化を利用した光電変換系(今堀 博)特願 2004-263705

受賞

1. 2002年7月 SPP (The Society of Porphyrins and Phthalocyanines) -JPP (The Journal of Porphyrins and Phthalocyanines) Young Investigator Award in Porphyrin Chemistry at the Second International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP2)
2. 2004年11月光化学協会賞