

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23350022

研究課題名(和文)ポルフィリン精密集積による光合成モデル分子デバイスの開発

研究課題名(英文)Construction of Artificial Photosynthetic Molecular Devices by the Precise Arrangement of Porphyrins

研究代表者

小寄 正敏 (Kozaki, Masatoshi)

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10295678

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光の有効利用は、人類が直面しているエネルギー、環境問題を解決する有効な手段である。太陽光エネルギー捕集は、太陽光を利用するかぎとなる重要な過程である。本研究では、規則正しく分岐した高分子である dendrimer に剛直な共役鎖を内包させることで、多種多数のアンテナ色素(ポルフィリン)を精密に配列することに成功した。その結果、太陽光を高効率で捕集できるアンテナ分子の構築に成功した。また、多数の dendrimer を効率的に集積する技術を開発した。この技術を利用してアンテナ分子を多数集積することで、巨大な太陽光捕集システムが構築できる。

研究成果の概要(英文)：The utilization of the sun light is effective method to solve severe energy and environmental problem that we currently face. The concentration of the sun energy is a key process in order to use energy of the sun. In this study, I succeeded in arranging a lot of antenna pigments (porphyrin) precisely by using dendrimers with rigid conjugated chains. As a result, I succeeded in the construction of the antenna molecules which have strong absorption throughout the visible light region. I proved nearly quantitative energy transfer from the peripheral porphyrins to a central porphyrin by means of spectroscopic measurements. In addition, I developed a novel synthetic technique to integrate a large number of dendrimer effectively. I can construct a huge sun light-harvesting system by accumulating a lot of antenna molecules by using this technique.

研究分野：構造有機化学、巨大分子化学

キーワード： dendrimer 光化学 ポルフィリン エネルギー移動 電子移動 分子ワイヤー 高分子化学 有機合成化学

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や化石エネルギーの枯渇など人類が直面している深刻な問題を解決する手段として、太陽光をはじめとする再生可能エネルギーの積極的活用が期待されている。太陽光の有効利用を目的に、光合成を模倣した分子デバイスの開発が電荷分離デバイスを中心に国内外で盛んに行われていた。また、光合成の初期過程である光捕集を達成するため、アンテナデバイスもいくつか報告されていた。その中で、規則正しい分岐鎖構造を持つデンドリマーを利用したアンテナデバイスに注目が集まっていた。しかし、既存のデンドリマーは構造が柔軟なため、デンドリマー構造を応用して機能性部位を精密に配列することが困難であった。また、既存の光合成モデルデバイスは単独で機能することを念頭に設計されていたため、複数のデバイスを組み合わせて複合機能を持つ光合成システムを構築することは困難であった。一方、我々は、柔軟な分岐鎖中に剛直な直線型共役鎖を有する共役鎖内包型デンドリマーを設計し、このデンドリマーの構造特性を利用した機能性分子を構築していた。(図1)

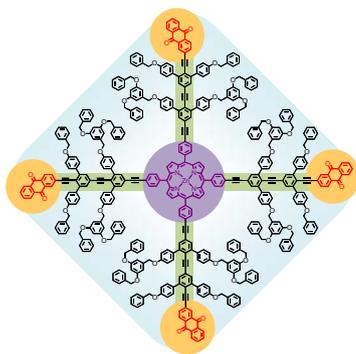


図1. 共役鎖内包型デンドリマー

2. 研究の目的

本研究では、共役鎖内包型デンドリマーを基盤として多数の機能性部位を三次元空間に配向、距離、相互作用を精密に制御して様々な形態に配列する技術の確立を目指す。その結果、機能性部位の間に高い相乗効果、協同効果を発現させ、革新的な機能を持つ光合成モデル分子デバイスの構築を達成する。また、多数のデンドリマーを精密に集積できる効率的・高汎用性の技術を開発することを目指す。この技術を応用して、多数の光合成モデル分子デバイスが超高密度に集積された分子システムの創出を達成する。複合機能を持つ人工光合成システムを創出することが本研究の最終目的である。

3. 研究の方法

(1) 光合成モデル分子デバイスの構築

共役鎖内包型ポルフィリンデンドリマーの共役鎖を足場として利用することによって、三次元空間にポルフィリンを精密に集積する。このとき、分子の周辺部から中央部に

向かって、最低励起エネルギーが徐々に小さくなるようにポルフィリンを配列する。その結果、分子周辺部から中央部に向かって階層的に変化する励起エネルギー勾配を構築する。また、共役鎖を分子ワイヤーとして機能させることによって、分子デバイス内部で効率的に電子やエネルギーを移動させる。エネルギー勾配や分子ワイヤーを利用することで吸収した太陽光エネルギーを効率的に中心部に捕集できるアンテナデバイスを開発する。また、アンテナ色素を様々な形態に集積して光捕集アンテナを構築し、エネルギー捕集に最適な集積形態を探索する。アンテナデバイスの構築は、我々が独自に開発した合成法を利用して行う。得られた分子デバイスの性質を各種分光学的手法によって解明して、光捕集能力を評価する。また、良好な特性を持つ分子デバイスに対してはエネルギー移動機構を詳細に解明して、さらなる機構向上に必要な情報を収集する。さらに、らせん型の共役鎖を利用することによって、ポルフィリンを特異な形態に集積することも検討する。ポルフィリンの集積形態と機能の関係を解明して、優れた光捕集機能を持つアンテナデバイスを開発する。

(2) デンドリマー集積法の開発

デンドリマーの剛直鎖末端を剛直な共役鎖もしくは柔軟なアルキル鎖によって架橋することで異なった特性を持つ複数の集積体を構築する。 sp^2 型、 sp^3 型など種々の配列に剛直鎖を導入した共役鎖内包型デンドリマーを剛直な架橋部を用いて集積する方法を開発する。(図2)その結果、分子模型を組み立てるようにナノ構造を構築する技術を開発する。この集積方法では結合と同時に剛直な共役鎖骨格が拡張され、分子全体に広がった剛直な骨格を内包した集積体が得

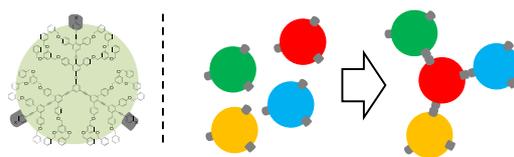


図2. デンドリマーの精密集積

られる。そのため、目的とする構造を持つ集積体が確実に得られる。また、柔軟なアルキル鎖でデンドリマーを架橋する集積法の開発も行う。この場合、集積後もデンドリマーどうしの相対的な配列が変化する。そのため、外部刺激や化学刺激に応答して形状変化する集積体を得ることができる。このように多様な架橋部でデンドリマーを集積することで、様々な特性を持つナノ構造を構築する。分子中に柔軟性と剛直さを戦略的に混在させ、巧みに利用することで魅力的な分子集積法を開発する。この分子集積法を応用することで光合成モデル型の分子システムを開発する。

4. 研究成果

(1) 光合成モデル分子デバイス

ポルフィリンの精密配列によって、光捕集アンテナ、光電変換素子などさまざまな光合成モデル型分子デバイスを構築した。その中で、優れた性能を持つアンテナデバイスに関して詳細を述べる。 dendroliマーの共役鎖末端、分岐鎖末端、中心部にそれぞれ性質の異なる三種類のポルフィリンを精密に配列することで、分子の周辺部から中心部に向かって階層的に変化する励起エネルギー勾配を持つアンテナデバイスの構築に成功した。

(図3) アンテナデバイスが可視光領域全体に強い吸収を有していることを吸収スペクトルから明らかにした。また、時間分解蛍光測定を行い、アンテナデバイス中における励起エネルギー移動の機構を詳細に解明した。その結果、分子周辺部のポルフィリンから分子中心部のポルフィリンにほぼ定量的 (>96%) に励起エネルギー移動が起きることを明らかにした。以上の結果は、アンテナデバイスがすぐれた太陽光捕集能力を有していることを示している。

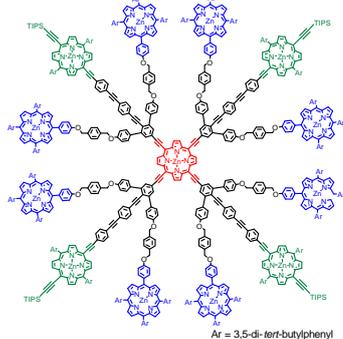


図3. 太陽光捕集アンテナデバイス

(2) dendroliマーの精密集積

①剛直架橋部を用いる dendroliマー集積

共役鎖内包型 dendroliマーの共役鎖末端どうしを剛直な架橋部で結合する高分子化法を開発し、対角長 13.5 nm の $A_4(AB_2)_4$ 型集積体 (分子量: 16,300) を構築した。(図4) このとき、 dendroliマーの分岐鎖近傍に反応部位を導入した凹型連結部と、反応部位が dendroliマー構造から飛び出している凸型連結部を用いた。その結果、副反応を抑制することに成功した。また、 $A_4(AB_2)_4$ 型集積体の周辺 dendroliマーが一つ欠損し、代わりにフェニル基が結合した $A_4(AB_2)_3Ph$ 型集積体 (分子量: 14,170) も単離した。この研究成果によって dendroliマーどうしの反応に特有の以下の問題を明らかにした。(1) 表面積が大きな dendroliマーでは反応点どうしの衝突頻度が小さくなるため分子間反応速度が遅くなる。そのため、相対的に分子内反応が起きやすくなる。(2) 巨大分子では分子どうしの会合が起きやすくなるため、目的物の分離精製が困難になる。これらの問題を解決するためには、副反応を抑制して分子どうしを結合することが必要である。

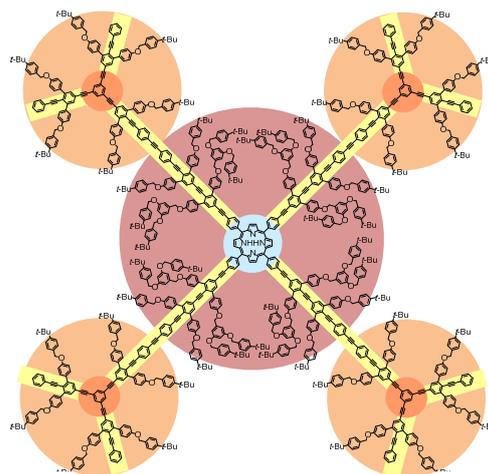


図4. 十字型 dendroliマー集積体

②柔軟架橋部を用いる dendroliマー集積

温和な条件で進み副反応がほとんど起きない反応として知られている CuAAC 反応を dendroliマー集積に応用した。効率的に dendroliマーを集積するため、簡便な末端官能基変換と CuAAC 反応をくり返すことで単一 dendroliマーから高分子を合成する方法論を考案した。最初に、共役鎖末端に二種類の反応不活性な官能基を有する共役鎖内包型 dendroliマー $X-D1-Y$ (分子量: 3,936) を合成した。続いて $D1$ を二分して、それぞれ片側末端基のみ CuAAC 反応に活性な官能基に変換することで dendroliマー $X'-D1-Y$, $X-D1-Y'$ をそれぞれ得た。 $X'-D1-Y$, $X-D1-Y'$ を用いて CuAAC 反応を行うことで、 dendroliマー二量体 $X-D2-Y$ (分子量: 7,762) を高収率で合成した。さらに、同様の官能基変換と CuAAC 反応を繰り返し行うことで、 dendroliマー二量体から四量体 $X-D4-Y$ (分子量: 15,414)、さらに四量体から八量体 $X-D8-Y$ (分子量: 30,719) を効率的かつ高収率で得ることに成功した。(図5) 八量体 $X-D8-Y$ は伸長時の長さが約 50 nm の巨大分子である。以上の研究成果によって、 dendroliマーを直鎖状に集積する手法を確立した。また、 dendroliマー集積に対して CuAAC 反応が強力な手法であることを実証した。

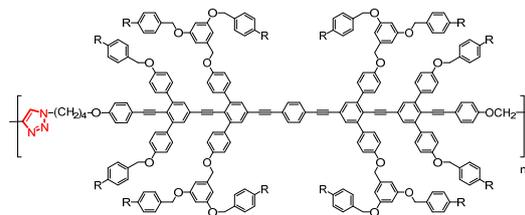


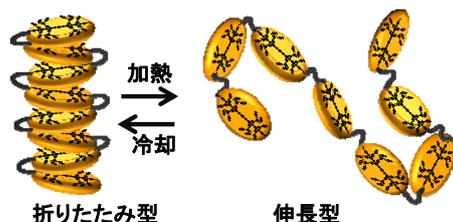
図5. 直鎖状 dendroliマー集積体

③ dendroliマー集積体の高次構造

dendroliマー単量体 $X-D1-Y$ および集積体 $X-D2-Y$, $X-D4-Y$, $X-D8-Y$ のジクロロメタン溶液の紫外可視吸収スペクトル、蛍光ス

ペクトルを測定した。得られたスペクトルを詳細に解析し、集積体は溶液中において共役鎖どうしが分子内で重なるような折りたたみ型構造を取っていることを示した。さらに、集積体の会合挙動を詳細に説明することを目的に、集積体の吸収スペクトルの温度依存性を測定し、温度上昇に伴って高次構造が折りたたみ型から伸長型に変化することを明らかにした。(図6) これらの研究の成果によって、柔軟な架橋部を持つ dendrimer 集積体の高次構造が温度によって制御できることを示した。

図6. 直鎖状 dendrimer 集積体の構造変化



(3) まとめ

共役鎖内包型 dendrimer の構造特性を利用した多様な光合成モデル分子デバイスを開発した。特に、アンテナデバイスは従来のデバイスと比較して格段に高い性能を示した。また、dendrimer の共役鎖末端を剛直な架橋部で結合する集積法を開発し、その有効性を実証した。この研究によって、巨大分子どうしを結合する場合に考慮すべき問題を明らかにした。また、dendrimer の共役鎖末端どうしを CuAAC 反応を用いて逐次結合させる分子集積技術を開発し、アルキル鎖で架橋された直鎖型巨大集積体を得ることに成功した。外部刺激を利用した、柔軟な架橋部を持つ集積体の高次構造制御を達成した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

- ① Nishioka, S.; Morita, S.; Okada, K.; Suzuki, S.; Kozaki, M.* Synthesis and Higher-Order Structure of Linear Dendrimeric Assemblies, *Org. Lett.* **2015**, *17*, 2720–2723, 査読有, DOI: org/10.1021/acs.orglett.5b01137.
- ② Nakamura, R.; Shigeta, Y.*; Okuno, K.; Hasegawa, M.; Fukushima, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K.; Nakano, M. Substitution Effects on Optical Properties of Iminonitroxide-substituted Iminonitroxide Diradical, *Mol. Phys.* **2015**, *113*, 267–273, 査読有, DOI: 10.1080/00268976.2014.937777.
- ③ Karimata, A.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Kimoto, K.; Nozaki, K.*; Matsushita, H.; Ikeda, N.*; Akiyama, K.*; Kosumi, D.; Hashimoto, H.; Okada, K.* Direct Observation of Hole Shift and Characterization of Spin States in Radical Ion Pairs Generated from Photoinduced Electron Transfer of (Phenothiazine)_n-Anthraquinone ($n = 1, 3$) Dyads, *J. Phys. Chem. A*, **2014**, *118*(47), 11262–11271, 査読有, DOI: 10.1021/jp509643q.
- ④ Ninomiya, Y.; Kozaki, M.*; Suzuki, S.; Okada, K.* Allosteric Regulation of the Ligand-binding Ability of Zinc Porphyrins with Sterically Bulky Shielding Units by Metal Complexation, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2014**, *87*(11), 1195–1201 (Selected Paper), 査読有, DOI: 10.1246/bcsj.20140197.
- ⑤ Suzuki, S.; Yokoi, H.; Kozaki, M.; Kanzaki, Y.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K.* Synthesis and Properties of a Bis[(nitronyl nitroxide)-2-ide radical anion]-Palladium Complex, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2014**, *28*, 4740–4744, 査読有, DOI: 10.1002/ejic.201402564.
- ⑥ Tanimoto, R.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K.* Nitronyl Nitroxide as a Coupling Partner: Pd-Mediated Cross-Coupling of (Nitronyl Nitroxide-2-ide)(triphenylphosphine) gold(I) with Aryl Halides, *Chem. Lett.* **2014**, *43*, 678–680, 査読有, DOI: 10.1246/cl.131162.
- ⑦ Tanimoto, R.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K.* Synthesis and Magnetic Properties of Nitronyl Nitroxides with an Adjacent Chiral Group, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2014**, *87*(2), 314–322, 査読有, DOI: 10.1246/bcsj.20130264.
- ⑧ Furui, T.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K.*; Tretyakov, E. V.; Tolstikov, S. E.; Romanenko, G. V.; Ovcharenko, V. I.* Preparation and Magnetic Properties of Metal-Complexes from *N-t*-Butyl-*N*-oxidanyl-2-amino-(nitronyl nitroxide), *Inorg. Chem.* **2014**, *53*(2), 802–809, 査読有, DOI: 10.1021/ic4020898.
- ⑨ Karimata, A.; Kawauchi, H.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Ikeda, N.*; Keyaki, K.; Nozaki, K.*; Akiyama, K.; Okada, K.* Photoinduced Charge Separation of 10-Phenyl-10*H*-phenothiazine-2-Phenylanthraquinone Dyad Bridged by Bicyclo[2.2.2]octane, *Chem. Lett.* **2013**, *42*(8), 794–796, 査読有, DOI: 10.1246/cl.131162.
- ⑩ Suzuki, S.; Matsumoto, Y.; Tsubamoto, M.; Sugimura, R.; Kozaki, M.; Kimoto, K.; Iwamura, M.; Nozaki, K.; Senju, N.; Uragami, C.; Hashimoto, H.; Muramatsu, Y.; Konno, A.; Okada, K.* Photoinduced electron transfer of platinum bipyridine diacetylides linked by triphenylamine- and naphthaleneimide-derivatives and its application to photoelectric conversion systems, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2013**, *15*(21), 8088–8094, 査読有, DOI: 10.1039/c3cp50182e.
- ⑪ Kozaki, M.*; Ninomiya, Y.; Suzuki, S.; Okada, K.* Allosteric regulation of the ligand-binding ability of Zn-porphyrin by metal complexation, *Tetrahedron Lett.* **2013**, *54*, 3658–3661, 査読

- 有, DOI: 10.1016/j.tetlet.2013.04.130.
- ⑫ Suzuki, S.; Yoshida, K.; Kozaki, M.; Okada, K.* Syntheses and Structures of Tris (*N*-phenothiazinyl)borane and its Radical Cation, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*, 2499–2502, 査読有, DOI: 10.1002/anie.201208392.
- ⑬ Yamamoto, M.; Horibe, T.; Nishisaka, Y.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Fujii, R.; Doe, M.; Nango, M.; Okada, K.*; Hashimoto, H.* Re-association of All-trans-3,4-Dihydro-anhydrorhodovibrin into Light-Harvesting 1 Subunits Isolated from Rhodospirillum Rubrum: Selective Binding of All-trans Isomer from the Mixture of Cis- and Trans-Isomers, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2013**, *86(1)*, 121–128, 査読有, DOI: 10.1246/bcsj.20120230.
- ⑭ Sugimura, R.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Keyaki, K.; Nozaki, K.; Matsushita, H.; Ikeda, N.; Okada, K. Photoinduced charge separation of phenothiazine–platinum–naphthalene diimide triads linked by twisted phenylene bridges, *Res. Chem. Inter.* **2013**, *39(1)*, 185–204, 査読有, DOI: 10.1007/s11164-012-0642-6.
- ⑮ Kozaki, M.*; Suzuki, S.; Okada, K. Dendritic Light-Harvesting Antennas with Excitation Energy Gradients, *Chem. Lett.* **2013**, *42(10)*, 1112–1118, 査読有, DOI: 10.1246/cl.130654.
- ⑯ Zhang, X.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K.* NCN Pincer Pt-complexes Coordinated by [(Nitronyl Nitrox-ide)-2-ide] Radical Anion, *J. Am. Chem. Soc.*, **2012**, *134(43)*, 17866–17868, 査読有, DOI: 10.1021/ja308103g.
- ⑰ Kozaki, M.*; Morita, S.; Suzuki, S.; Okada, K.* Construction of Dendritic Covalent Assemblies with Rigid Conjugated Network, *J. Org. Chem.* **2012**, *77(21)*, 9447–9457 (Featured Article), 査読有, DOI: 10.1021/jo3014512.
- ⑱ Kuratsu, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Kanzawa, T.; Hosokoshi, Y.; Lan, X.-Z.; Miyazaki, Y.*; Inaba, A.; Okada, K.* (Nitronyl Nitroxide)-substituted Trioxytriphenylamine Radical Cation Tetrachlorogallate Salt: A 2π Electron-based Weak Ferromagnet Composed of Triplet Diradical Cation, *Chem. Asian J.* **2012**, *7*, 1604–1609, 査読有, DOI: 10.1002/asia.201200084.
- ⑲ Suzuki, S.; Nagata, A.; Kuratsu, M.; Kozaki, M.; Tanaka, R.; Shiomi, D.; Sugisaki, K.; Toyota, K.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. Trinitroxide-Trioxytriphenylamine: Spin-State Conversion from Triradical Doublet to Diradical Cation Triplet by Oxidative Modulation of a π -Conjugated System, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 3193–3197, 査読有, DOI: 10.1002/anie.201107265.
- ⑳ Kato, M.; Hashimoto, E.; Kozaki, M.*; Suzuki, S.; Okada, K.* Synthesis and Properties of Zn-porphyrins with Bipyridine-terminated Side Arms: Large Conformational Change Induced by Metal Complexation, *Tetrahedron Lett.* **2012**, *53(3)*, 309–312, 査読有, DOI: 10.1016/j.tetlet.2011.11.041.
- ㉑ Uetomo, A.; Kozaki, M.*; Suzuki, S.; Yamanaka, K.*; Ito, O.; Okada, K.* Efficient Light-Harvesting Antenna with a Multi-Porphyrin Cascade, *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133(34)*, 13276–13279, 査読有, DOI: 10.1021/ja2050343.
- ㉒ Suzuki, S.; Kozaki, M.; Nozaki, K.; Okada, K.* Recent Progress in Controlling Photophysical Processes of Donor-Acceptor Junction Molecules Involving Perilenediimides and Borondipyrromethens, *J. Photochem. Photobiol. C.: Photochem. Reviews* **2011**, *12*, 269–292, 査読有, DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2011.10.001.
- ㉓ 小嵜正敏*, 岡田恵次「共役鎖内包型 dendリマーの合成と機能探索」, 有機合成化学協会誌, **2011**, 第 69 卷 10 号, p1145–1157, 査読有, DOI: 10.5059/yukigoseikyokaishi.69.1145.

[学会発表] (計 197 件)

- ① Kozaki, M.; Nishioka, S.; Morita, S.; Suzuki, S.; Okada, K. Construction of Well-organized Assemblies of Dendrimers, The Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR) 2015, June 15–19, 2015, Busan, South Korea. [招待講演]
- ② Kozaki, M.; Suzuki, S.; Okada, K. Construction, Functionalization, and Organization of Dendrimer with Conjugated Backbones, The 4th International Conference on Nanotek and Expo, December 1–4, 2014, San Francisco, USA. [招待講演]
- ③ 小嵜正敏, 西岡沙織, 森田至郎, 鈴木修一, 岡田恵次, 共役鎖内包型 dendリマーの精密集積, 第 63 高分子討論会, 2014 年 9 月 24–26 日, 長崎大学 (長崎県・長崎市). [一般口頭発表]
- ④ Kozaki, M.; Nishioka, S.; Morita, S.; Suzuki, S.; Okada, K. Construction and Structure of Dendrimeric Element-Block Polymers, International Symposium on Polymeric Materials Based on Element-Blocks, 2014 年 5 月 31 日, 京都工芸繊維大学 60 周年記念館 (京都府・京都市). [ポスター発表]
- ⑤ 小嵜正敏, dendリマー型元素ブロック高分子の構築と機能探索, 元素ブロック「 π 電子分科会」, 2014 年 4 月 22 日, 熊本大学 (熊本県・熊本市). [一般口頭発表]
- ⑥ 西岡沙織, 小嵜正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, 末端官能基活性化とクリック反応の繰り返しによる dendリマー八量体の合成,

- 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日-30 日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市). [一般口頭発表]
- ⑦ 西岡沙織, 小寄正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, クリック反応を用いた dendrimer 集積による高分子量精密分子集積体の構築, 第 7 回有機 π 電子系シンポジウム, 2013 年 12 月 13-14 日, 高崎ビューホテル (高崎市・群馬県). [ポスター発表]
- ⑧ 上友淳弘, 小寄正敏, 鈴木修一, 鍋谷 悠, 山本大亮, Kuttassery Fazalurahman, Ramakrishnan Vivek, 井上晴夫, 岡田恵次, 白金ポルフィリン-亜鉛ポルフィリン-ジニトロベンゼン連結体のスピン選択的光電子移動, 2013 年光化学討論会, 2013 年 9 月 11-13 日, 愛媛大 (愛媛県・松山市). [ポスター発表]
- ⑨ Nishioka, S.; Morita, S.; Kozaki, M.; Suzuki, S.; Okada, K. Construction of Organized Linear Assemblies of Dendrimers Using Click Reactions, 15th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA15), July 28-August 2, 2013, Taipei, Taiwan. [ポスター発表]
- ⑩ 西岡沙織, 森田至郎, 小寄正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, Divergent/Convergent 法による dendrimer 精密集積体の構築, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 22-25 日, 立命館大学 (滋賀県・草津市). [一般口頭発表]
- ⑪ 小寄正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, 共役鎖内包型 dendrimer の合成, 集積, 光機能探索, 第 16 回機能性分子シンポジウム, 2013 年 1 月 12 日, 筑波大学 (茨城県・つくば市). [招待講演]
- ⑫ 小寄正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, 共役鎖内包型 dendrimer の合成, 集積, 機能探索, 日本学術振興会 142 委員会 ABC 合同研究会, 2012 年 11 月 6 日, 東京理科大学 (東京都, 新宿区). [招待講演]
- ⑬ Kozaki, M.; Akita, K.; Uetomo, A.; Morita, S.; Suzuki, S.; Okada, K. Preparation and Application of Dendrimers with Conjugated Backbones, The 1st International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials, October 22-25, 2012, Brisbane, Australia. [招待講演]
- ⑭ 西岡沙織, 森田至郎, 小寄正敏, 鈴木修一, 岡田恵次, Huisgen 反応を応用した直鎖状 dendrimer 集積体の合成, 第 23 回基礎有機化学討論会, 2012 年 9 月 19-21 日, 京都テルサ (京都府・京都市). [ポスター発表]
- ⑮ 小寄正敏, 森田至郎, 田中祥子, 鈴木修一, 岡田恵次, dendrimer 精密集積による π 共役ネットワーク構築, 第 5 回有機 π 電子系シンポジウム, 2011 年 11 月 25-26 日, ホテルアウエーナ大阪 (大阪府・大阪市). [ポスター発表]
- ⑯ Uetomo, A.; Kozaki, M.; Suzuki, S.; Ito, O.;

- Okada, K. Bifunctional System of Light-harvesting and Photoinduced Electron Transfer in a Porphyrin-Naphthaldiimide, The 16th Osaka City University International Symposium on Dynamic Molecular Devices, November 9, 2011, 大阪市立大学 (大阪府・大阪市). [ポスター発表]
- ⑰ 上友淳弘, 小寄正敏, 鈴木修一, 山中健一, 伊藤 攻, 岡田恵次, 三種のポルフィリンによるカスケード型エネルギー移動を利用した高効率光捕集, 第 22 回基礎有機化学討論会, 2011 年 9 月 21-23 日, つくば国際会議場 (茨城県・つくば市). [一般口頭発表]
- ⑱ 小寄正敏, 上友淳弘, 鈴木修一, 山中健一, 伊藤攻, 岡田恵次, ポルフィリンカスケードを利用した光捕集アンテナの構築と機能評価, 2011 年光化学討論会, 2011 年 9 月 6-8 日, 宮崎大学 (宮崎県・宮崎市). [一般口頭発表]
- ⑲ Uetomo, A.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K. Photoinduced Energy and Electron transfer in a Porphyrin-Naphthaldiimide as a Light-harvesting System, 14th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA14), July 24-29, 2011, Eugene, Oregon, USA. [ポスター発表]
- ⑳ Kozaki, M.; Uetomo, A.; Suzuki, S.; Yamanaka, K.; Ito, O.; Okada, K. Highly Efficient Light-Harvesting Antenna with Multi-Porphyrin Cascade, 14th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA14), July 24-29, 2011, Eugene, Oregon, USA. [ポスター発表]

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 銅錯体化合物, 銅錯体化合物の製造方法, 医療診断用蛍光色素, 太陽電池, 並びに, 発光素子

発明者: 岡田恵次, 小寄正敏, 鈴木修一, 神原隆介, 植野光代, 石山 泰

権利者: 公立大学法人大阪市立大学, 昭和化学工業株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2013-110756

出願年月日: 平成 25 年 5 月 27 日

国内外の別: 国内

[その他]

<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/chem/phyorg/POCU/News/News.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小寄 正敏 (KOZAKI, Masatoshi)

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 10295678