

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26620133

研究課題名(和文) 外部刺激応答性DNAナノ構造体による分子デリバリーシステムの構築

研究課題名(英文) Creation of molecular delivery system using stimuli-responsive DNA nanostructures

研究代表者

遠藤 政幸 (Endo, Masayuki)

京都大学・物質 細胞統合システム拠点・准教授

研究者番号：70335389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノサイズの機能性DNA構造体を細胞応答へと応用するための基礎技術を作ることを目的とし、高度な機能性を発現できるDNA分子システムの開発を検討した。本研究で作成したDNAナノ構造体は外部からの光照射によって構造体の開閉操作を行え、この構造体を使って金粒子の包摂と放出や酵素活性の制御を行う新たな分子システムを開発した。作成した光応答性DNAナノ構造体は細胞内への新規な生体分子のデリバリーと細胞応答に使用可能である。

研究成果の概要(英文)：For creating the basic technology to apply the functional DNA nano-sized structure to the cellular regulation, the novel DNA molecule system was developed and investigated. In this study, functional DNA nanostructures were created, and the opening and closing of the structure was performed by photoirradiation. Using these nanostructures, we have developed a new molecular system for controlling the inclusion and release of gold particles and enzyme activity. These photoresponsive DNA nanostructures created here can be used for delivery of the biomolecules into cells.

研究分野：生物有機化学

キーワード：DNA ナノ構造体 DNAオリガミ 光機能性 原子間力顕微鏡 デリバリーシステム 細胞機能制御

1. 研究開始当初の背景

目的に応じた機能を分子に組み込み、それらの集積によってより高度な機能を発揮させるナノスケールの分子組織体の構築は、ナノサイエンス、ナノテクノロジーの中心課題の一つであり、学術的なだけではなく実用性の高い研究課題である。また、人為的な情報にしたがって分子をナノスケールで精密に配列し、思い通りに操作し、構造体を作成し、さらに集積化することで機能を創出する一連の分子システムはいまだ達成されていないチャレンジングなテーマである。

本研究では、DNA によって様々な 3 次元構造体を実験・機能化し、ナノサイズの機能性 DNA 構造体を細胞応答へと応用するための基礎技術を作ることを目的とし、高度な機能性を発揮できる DNA 分子システムの開発を行う。本研究では、これまで DNA によってチューブ構造から特異的な DNA の鎖交換反応を用いて、閉環し転写を制御できる系の構築に成功している (JACS 2012, 134, 2852)。また、光応答性 DNA を使って、DNA ナノ構造体の集合と解離の光による制御に成功している (JACS 2012, 134, 20645)。さらに、DNA オリガミ法によって 3 次元多角形柱状構造を構築し、それらが閉環し 2 次元構造になる構造変化を物理的に操作することに成功している (JACS 2009, 131, 15570)。

2. 研究の目的

本研究では、これらの DNA 分子テクノロジーの技術を基盤として、目的に応じた機能化と発現を行える 3 次元 DNA ナノ構造体を実験・構築する。細胞に対する応用を見据え、ナノ材料や生体分子のデリバリーに使用可能な分子システムを開発し、細胞応答への応用を目指す。一方で、構築する DNA 構造体のサイズが細胞導入に適した数 10 から 100 nm のメソスケールであり、従来の小分子を使った細胞へのアプローチとは根本的に異なる未知の領域も開拓する。

3. 研究の方法

本研究では、DNA ナノ構造体の構築技術を利用し、複合体形成や相互作用の操作、生体分子反応を制御する系の構築、高速原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた 1 分子の挙動や反応の可視化についての検討を行った。これらの設計・構築した分子システムを詳細に検討した後、細胞への導入を行う。ここでは光に応答する以下の 2 つの機能性ナノ構造体を構築し、構造体のサイズに応じたナノ材料の包摂と放出の制御や酵素活性の制御を行う新たな分子システムを構築した。

4. 研究成果

(1) DNA ナノ構造体の光照射による開閉とナノ粒子の着脱の操作

ナノ粒子やウイルスの構造体の包摂には

40 nm 程度の内部空間を持つ八面体 DNA ナノ構造体を用いた。どちらにも光応答性 DNA が組み込んであり、開閉操作が可能である。ナノ粒子やウイルスなどの比較的大きな構造体を細胞内に導入するためのキャリアーとして利用する。このように外部刺激に応答できる DNA ナノ構造体キャリアーを培養した細胞内に導入し、光照射による構造体の開閉を制御し、細胞応答の誘導を行える新たな分子システムを構築する。

本研究では、これらの動的な DNA 構造変換の技術と 3 次元構造の構築技術を基盤として、3 次元構造の変化により機能性を発現する系の構築を行った。具体的には、光照射に応答して結合と解離を操作可能なアゾベンゼンを含む DNA 鎖^[6]を使用し、内部にナノ空間を持つ DNA 構造体の開閉を光照射によって誘導した。構築した光応答性 DNA ナノ構造体の 3 次元構造の形態の変化を光照射によって制御し、その動的な形態の変化を高速 AFM によって解析した。

2 つの四角錐構造からなる 1 辺 50 nm の八面体の DNA 構造体 (ナノカプセル L) を構築し、光応答性 DNA 鎖を導入し、構造体の開閉を光照射により制御した。構造体は設計どおりに構築され、開閉は電気泳動による移動度の違いと AFM による構造変化によって確認した。UV 光または可視光の照射によって開閉が繰り返し制御できることも確認した。次に、ナノカプセル内への 10 nm の金ナノ粒子の導入と放出の制御を行った。導入には金粒子の DNA による修飾とカプセル内への相補鎖を導入することで、開いた状態のカプセル内に金粒子を固定した。光照射によってナノカプセルを閉じ、電子顕微鏡によってその構造を解析した。閉じたカプセル内には金粒子が約 50% 包摂されることが確かめられた。次に、UV 光照射によってカプセルを開き、金粒子を放出するための DNA 鎖を添加した。この結果、ほぼすべての金粒子が放出された。また、カプセルを閉じた状態では金粒子の放出が抑制された。これらの結果から、DNA 構造体に比較的大きなナノ材料を導入でき、開閉によってその包摂や放出を制御できる分子システムの開発に成功した。

(2) 開閉可能なナノスケールの容器とキャリアーシステムの開発

一方、酵素反応の制御や小分子のリリースには、6 nm 程度の小さなナノ空間を持つ四角柱構造体 (ナノカプセル S) を用いた。この構造体の内部空間には、アポトーシス (細胞死) を誘導するためのプロテアーゼ caspase-3 を共有結合によって導入し、構造体を開くことによって基質を取り込み、活性化できるシステムの構築を計画した。

まず DNA 構造体を中央部分開裂させるため、光照射によって開裂可能な DNA 鎖を用いて構造体を作成した。AFM による観察によって、構造体の作成時の伸長した構造体から紫外光照射後は八の字に開裂し、構造体の形態を

変換できることが確認された。次に、内部のナノ空間に酵素を導入して、光開裂可能なDNA鎖を用いて構造体を閉じた。内部に酵素が固定されたことは中央部分の高さの変化によって確認した。作成した酵素が導入された構造体は、閉じた状態から照射によって開き、反応基質に対して caspase-3 のプロテアーゼ活性の発現が確認された。

このように外部刺激に応答できる DNA ナノ構造体 ナノ材料・酵素複合体を設計どおり構築し、照射による構造体の開閉を制御し DNA 構造体の形態変化によって機能発現できる新たな分子システムを開発できた。DNA 構造体の培養細胞への導入は他の DNA ナノ構造体ですでに確認できているので、今後は、作成した光応答性の機能化した DNA ナノ構造体をキャリアーとして、細胞に導入し、細胞内部の環境に応答して細胞機能発現の誘導を行える分子システムを構築する。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 29 件)

1. Y. Yang, M. Goetzfried, K. Hidaka, M. You, W. Tan, H. Sugiyama, M. Endo, Direct visualization of walking motions of a photo-controlled DNA nanomachine on the DNA nanostructure. *Nano Lett.* 15, 6672-6676 (2015).
2. M. Endo, X. Xing, X. Zhou, T. Emura, K. Hidaka, B. Tuesuwan, H. Sugiyama, Single-Molecule Manipulation of the Duplex Formation and Dissociation at the G-Quadruplex/i-Motif Site in the DNA Nanostructure. *ACS Nano*, 9, 9922-9929 (2015).
3. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Lipid bilayer-supported two-dimensional self-assembly of DNA origami nanostructures. *Nature Communications*, 6, 8052 (2015).
4. M. Endo, Y. Takeuchi, Y. Suzuki, T. Emura K. Hidaka, F. Wang, I. Willner, H. Sugiyama, Single-Molecule Visualization of the Activity of Zn²⁺-Dependent DNase. *Angew. Chem. Int. Ed.* 54, 10550-10554 (2015).
5. M. Endo, H. Sugiyama, DNA nanotechnology: Measuring chloride in live cells. *Nature Nanotechnology*, 10, 569-570 (2015).
6. T. Yata, Y. Takahashi, K. Hidaka, H. Sugiyama, M. Endo, Y. Takakura, M. Nishikawa, Efficient amplification of self-gelling polypod-like structured DNA by rolling circle amplification and enzymatic digestion. *Sci. Rep.* 5, 14979 (2015).
7. R. Tashiro, M. Iwamoto, H. Morinaga, T. Emura, K. Hidaka, M. Endo, H. Sugiyama, Linking Two DNA Duplexes with a Rigid Linker for DNA Nanotechnology. *Nucleic Acids Res.* 43, 6692-6700 (2015).
8. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Mimicking membrane-related biological events by DNA origami nanotechnology. *ACS Nano*, 9, 3418-3420 (2015).
9. A. Rajendran, M. Endo, K. Hidaka, M.-P. Teulade-Fichou, J.-L. Mergny, H. Sugiyama, Small molecule binding to G-hairpin and G-triplex: A new insight in anticancer drug design targeting G-rich regions. *Chem. Commun.* 51, 9181-9184 (2015).
10. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Studying RNAP-promoter interactions using atomic force microscopy. *Methods*, 86, 4-9 (2015).
11. T. Shiomi, M. Tan, N. Takahashi, M. Endo, T. Emura, K. Hidaka, H. Sugiyama, Y. Takahashi, Y. Takakura, M. Nishikawa, Atomic Force Microscopy Analysis of Orientation and Bending of Oligodeoxynucleotides in Polypod-like Structured DNA. *Nano Res.* 8, 3764-3771 (2015).
12. K. Mohri, E. Kusuki, S. Ohtsuki, N. Takahashi, M. Endo, K. Hidaka, H. Sugiyama, Y. Takahashi, Y. Takakura, M. Nishikawa, Self-assembling DNA dendrimer for effective delivery of immunostimulatory CpG DNA to immune cells. *Biomacromolecules*, 16, 1095-1101 (2015).
13. S. Ohtsuki, N. Matsuzaki, K. Mohri, M. Endo, T. Emura, K. Hidaka, H. Sugiyama, Y. Takahashi, Y. Takakura, M. Nishikawa, Optimal Arrangement of Four Short DNA Strands for Delivery of Nucleic Acid Drugs to Immune Cells. *Nucleic Acid Therapeutics*, 25, 245-253 (2015).
14. M. Endo, Y. Takeuchi, T. Emura, K. Hidaka, H. Sugiyama, Preparation of Chemically Modified RNA Origami Nanostructures. *Chem. Eur. J.* 20, 15330-15333 (2014).
15. T. Takenaka, M. Endo, Y. Suzuki, Y. Yang, T. Emura, K. Hidaka, T. Kato, T. Miyata, K. Namba, H. Sugiyama, Photoresponsive DNA Nanocapsule Having an Open/Close System for Capture and Release of Nanomaterials. *Chem. Eur. J.* 20, 14951-14954 (2014).
16. E. Osada, Y. Suzuki, K. Hidaka, H. Ohno, H. Sugiyama, M. Endo, H. Saito, Engineering RNA-Protein Complexes with Different Shapes for Imaging and Therapeutic Applications. *ACS Nano*, 8, 8130-8140 (2014).
17. M. Endo, H. Sugiyama, Single-Molecule Imaging of Dynamic Motions of Biomolecules in DNA Origami Nanostructures Using

- High-Speed Atomic Force Microscopy. *Acc. Chem. Res.* 47, 1645-1653 (2014).
18. D. Koirala, P. Shrestha, T. Emura, K. Hidaka, S. Mandal, M. Endo, H. Sugiyama, H. Mao, Single-Molecule Mechanochemical Sensing Using DNA Origami Nanostructures. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 8137-8141 (2014).
 19. M. Endo, S. Yamamoto, T. Emura, K. Hidaka, N. Morone, J. E. Heuser, H. Sugiyama, Helical DNA Origami Tubular Structures with Various Sizes and Arrangements. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 7484-7490 (2014).
 20. A. Rajendran, M. Endo, K. Hidaka, N. Shimada, A. Maruyama, H. Sugiyama, Lock-and-key mechanism for the controllable fabrication of DNA origami structures. *Chem. Commun.* 50, 8743-8746 (2014).
 21. S. Kizaki, Y. Suzuki, T. Takenaka, M. Endo, H. Sugiyama, AFM analysis of changes in nucleosome wrapping induced by DNA epigenetic modification. *Biomater. Sci.* 2, 1399-1403 (2014).
 22. Y. Suzuki, M. Endo, C. Cañas, S. Ayora, J. C. Alonso, H. Sugiyama, K. Takeyasu, Dynamic analysis of Holiday Junction resolving enzyme in a DNA origami nanostructure. *Nucleic Acids Res.* 42, 7421-7428 (2014).
 23. S. Yamamoto, D. De, K. Hidaka, K. Kim, M. Endo, H. Sugiyama, Single molecule visualization and characterization of Sox2-Pax6 complex formation on a regulatory DNA element using a DNA origami frame. *Nano Lett.* 14, 2286-2292 (2014).
 24. A. Rajendran, M. Endo, K. Hidaka, H. Sugiyama, Direct and single-molecule visualization of the solution-state structure of G-hairpin and G-triplex intermediates. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 4107-4112 (2014).
 25. A. Rajendran, M. Endo, H. Sugiyama, State-of-the-Art High-Speed Atomic Force Microscopy for the Investigation of Single-Molecular Dynamics of Proteins. *Chem. Rev.* 114, 1493-1520 (2014).
 26. Y. Suzuki, M. Endo, Y. Yang, H. Sugiyama, Dynamic Assembly/Disassembly Processes of Photoresponsive DNA Origami Nanostructures Directly Visualized on a Lipid Membrane Surface. *J. Am. Chem. Soc.* 136, 1714-1717 (2014).
 27. Y. Suzuki, M. Endo, Y. Katsuda, K. Ou, K. Hidaka, H. Sugiyama, DNA origami based visualization system for studying site-specific recombination events. *J. Am. Chem. Soc.* 136, 211-218 (2014).
 28. Y. Yang, M. Endo, Y. Suzuki, K. Hidaka, H. Sugiyama, Direct observation of the dual-switching behaviors corresponding to the state transition in a DNA nanoframe. *Chem. Commun.* 50, 4211-4213 (2014).
 29. A. Rajendran, M. Endo, K. Hidaka, P. L. T. Tran, J.-L. Mergny, H. Sugiyama, G-Quadruplex Binding Ligand-Induced DNA Synapsis Inside a DNA Origami Frame. *RSC Advances*, 4, 6346-6355 (2014).
- [学会発表](計 36 件)
1. Masayuki Endo “High-speed AFM imaging of synthetic molecules and nanostructures” Ten Years of DNA Origami, California Institute of Technology, Pasadena, CA, March 15, 2016 (Invited)
 2. Masayuki Endo “Controllable molecular nanosystems using DNA origami nanostructures” The 2nd SPIRIT international symposium, Light Opening up Frontier of DNA and Nanocrystal Superstructures, Kyoto, February 4, 2016 (Invited)
 3. Masayuki Endo “Single-molecule nanosystems constructed in the DNA nanostructures” University of Bordeaux-Kyoto University Mini-Symposium on Biomolecular Science, Kyoto, January 25, 2016 (Invited).
 4. Masayuki Endo “AFM based imaging of single-molecule motions using DNA origami nanostructures” The 1st SPIRIT international symposium, Frontier of DNA and Nanocrystal Superstructure, Honolulu, December 16, 2015 (Invited) .
 5. M. Endo, H. Sugiyama, Single-molecule manipulation and visualization of multiple DNA structural changes in the DNA nanostructures using high-speed AFM, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PacifiChem 2015), Honolulu, HI, Dec. 19, 2015.
 6. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Lipid-bilayer-assisted two-dimensional self-assembly of DNA origami nanostructures, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PacifiChem 2015), Honolulu, HI, Dec. 19, 2015.
 7. Masayuki Endo “Single-molecule imaging of photoresponsive molecular system constructed in the DNA nanostructures” 601. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar, DNA Nanotechnology Meets Plasmonics, Physikzentrum, Bad Honnef, Germany, December 10, 2015 (Invited).
 8. 遠藤 政幸 「分子ロボットの感覚となる DNA レセプターの構築」 第 59 回人工知能学会 分子生物情報研究会、慶応大学日吉キ

- キャンパス、横浜、2015年11月14日
9. 遠藤 政幸、楊 泱泱、Marisa A. Goetzfried、日高 久美、Mingxu You、Weihong Tan、杉山 弘、DNA ナノ構造体上での光駆動型 DNA モーターの歩行運動の1分子観察、「細胞を創る」研究会 8.0 大阪大学吹田キャンパス、吹田、2015年11月12日
 10. 鈴木 勇輝、遠藤 政幸、杉山 弘、脂質膜-溶液界面における DNA オリガミナノテクノロジー、「細胞を創る」研究会 8.0 大阪大学吹田キャンパス、吹田、2015年11月12日
 11. Masayuki Endo “AFM based imaging of single-molecule motions using DNA origami nanostructures” The 2nd Kobe mini-symposium on functionalized organic molecules, Kobe, November 5, 2015 (Invited).
 12. 遠藤 政幸「分子ロボットの感覚となる DNA オリガミ構造体と脂質二重膜との相互作用」情報計算化学生物(CBI)学会 2015 大会、東京、2015年10月27日
 13. Y. Yang, M. A. Goetzfried, K. Hidaka, M. You, W. Tan, H. Sugiyama, M. Endo, Single-molecule observation of a photo-controlled DNA walker on the DNA origami tile, The 42nd International Symposium on Nucleic Acid Chemistry, Himeji, Sept. 23, 2015.
 14. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Direct analysis of Holliday junction resolving enzyme in a DNA origami nanostructure, The 42nd International Symposium on Nucleic Acid Chemistry, Himeji, Sept. 23, 2015.
 15. 遠藤 政幸「脂質2重膜を利用した DNA ナノ構造体の自己集合化とその動的な挙動の観察」(Invited) 第64回高分子討論会、仙台、2015年9月15日
 16. 遠藤 政幸、鈴木 勇輝、杉山 弘、脂質2重膜上での DNA ナノ構造体の自己集合過程の動的な観察、第9回バイオ関連化学シンポジウム、岡山、2015年9月10日
 17. M. Endo, Y. Yang, M. Goetzfried, K. Hidaka, M. You, W. Tan, H. Sugiyama, Direct visualization of a photo-controlled DNA walker on the DNA nanostructure, DNA21: The Twentieth International Meeting on DNA Computing and Molecular Programming, Harvard University, Cambridge, August 17-22, 2015.
 18. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Lipid-bilayer-assisted two-dimensional self-assembly of DNA origami nanostructures, DNA21: The Twentieth International Meeting on DNA Computing and Molecular Programming, Harvard University, Cambridge, August 17-21, 2015.
 19. 遠藤 政幸「DNA ナノ構造体を使った1分子イメージング法の開発」第52回薬剤学懇談会研究討論会、加賀、2015年7月16日 (Invited).
 20. Masayuki Endo “AFM based single-molecule imaging of molecular motions in the DNA origami scaffold” The 5th International Conference on Nucleic Acid-Protein Chemical and Structural Biology for Drug Discovery, Sichuan University, Chengdu, China, May 4, 2015 (Invited) .
 21. M. Endo, Y. Suzuki, H. Sugiyama, Direct visualization of the dynamic process of DNA origami assembly on the lipid bilayer surface, 12th Conference on the Foundations of Nanoscience 2015, Snowbird, UT, USA, April 2015.
 22. 遠藤 政幸、D. Koirala, P. Shrestha, S. Mandal、江村 智子、日高 久美、H. MAO、杉山 弘、光ピンセットによる力測定を使った DNA ナノ構造上での1分子検出、日本化学会第95春季年会(2015)、船橋、2015年3月27日
 23. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Lipid bilayer-supported two-dimensional self-assembly of DNA origami nanostructures, 日本化学会第95春季年会(2015)、船橋、2015年3月27日
 24. 竹内 洋祐、遠藤 政幸、日高 久美、Jean-Jacques Toulmé、杉山 弘、RNA アプタマー間の相互作用の1分子観察、日本化学会第95春季年会(2015)、船橋、2015年3月27日
 25. 遠藤 政幸「DNA ナノ構造体を使った1分子イメージング法の開発」兵庫県立大 第8回分子ナノテクノロジーセンター講演会、姫路、2015年3月6日(Invited)
 26. M. Endo, Y. Suzuki, Y. Yang, H. Sugiyama, Controlled self-assembly of DNA origami nanostructures on the lipid bilayer and their AFM imaging, 「細胞を作る研究会」7.0、東京、2014年11月13日
 27. M. Endo, S. Yamamoto, T. Emura, K. Hidaka, N. Morone, J. E. Heuser, H. Sugiyama, Novel helical DNA tubular structures with defined size and arrangement, The 41st International Symposium on Nucleic Acid Chemistry, Kokura, Nov. 6, 2014.
 28. Y. Suzuki, M. Endo, C. Canas, S. Ayora, J. C. Alonso, H. Sugiyama, K. Takeyasu, Direct analysis of Holliday junction resolving enzyme in a DNA origami nanostructure, The 41st

- International Symposium on Nucleic Acid Chemistry, Kokura, Nov. 6, 2014.
29. Masayuki Endo "Creation of mechanical nanodevices using DNA origami" The 8th International Symposium on NanoBiotechnology, National Center for Nanoscience and Technology, Beijing, October 20-21, 2014 (Invited) .
30. Y. Suzuki, M. Endo, H. Sugiyama, Lipid Bilayer-assisted 2D Crystallization of DNA Origami Nanostructures, The 8th International Symposium on NanoBiotechnology, National Center for Nanoscience and Technology, Beijing, October 20-21, 2014.
31. M. Endo, S. Yamamoto, T. Emura, K. Hidaka, N. Morone, J. E. Heuser, H. Sugiyama, Construction of helical DNA origami tubes with various sizes and arrangements, DNA20: The Twentieth International Meeting on DNA Computing and Molecular Programming, Kyoto, September 22-25, 2014.
32. Y. Suzuki, M. Endo, C. Canas, S. Ayora, J. C. Alonso, H. Sugiyama, K. Takeyasu, Direct analysis of Holliday junction resolving enzyme in a DNA origami nanostructure, DNA20: The Twentieth International Meeting on DNA Computing and Molecular Programming, Kyoto, September 22-25, 2014.
33. 遠藤 政幸、山本 清義、江村 智子、日高 久美、杉山 弘、新規 DNA チューブ構造体の構築とその性質、第 8 回バイオ関連化学シンポジウム、岡山、2014 年 9 月 11 日
34. 遠藤 政幸 「DNA ナノテクノロジーの 1 分子観察への応用」東京大学大学院化学生命工学専攻 2014 年度第 1 回談話会、東京、2014 年 7 月 5 日 (Invited)
35. Masayuki Endo, Photoresponsive DNA nanostructures; single-molecule imaging and controlled assembly, 11th Conference on the Foundations of Nanoscience 2014, Snowbird, UT, USA, April 2014 (Invited).
36. Y. Suzuki, M. Endo, Y. Yang, H. Sugiyama, Dynamic Assembly/Disassembly Processes of Photoresponsive DNA Origami Nanostructures Directly Visualized on a Lipid Membrane Surface, 11th Conference on the Foundations of Nanoscience 2014, Snowbird, UT, USA, April 2014.

〔図書〕(計 2 件)

1. T. Shibata, Y. Suzuki, H. Sugiyama, M. Endo, H. Saito, Folding RNA-protein complex into designed nanostructures. RNA Scaffolds: Methods and Protocols, Luc Ponchon (ed.), *Methods in Molecular Biology*, vol. 1316, 169-179 (2015).

2. A. Rajendran, Y. Li, M. Endo, H. Sugiyama, Direct Observation of G-Quadruplexes and their Folding Intermediates. *Biological relevance and therapeutic applications of DNA- and RNA-quadruplexes: double helix versus quadruple helix*, David Monchaud Ed., Future Science, pp 38-54 (2015).

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: MECHNOCHEMICAL PLATFORM AND SENSING METHODS USING DNA ORIGAMI NANOSTRUCTURES
発明者: Inventors: Hanbin Mao, Deepak Koirala, Hiroshi Sugiyama, Masayuki Endo
権利者: Kent State University and Kyoto University
種類: US patent
番号: : Application NO.62/084,687
出願年月日: November 26, 2014,
国内外の別: 国外

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/chembio/top_page_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 政幸 (ENDO, Masayuki)

京都大学・物質 細胞統合システム拠点・准教授

研究者番号: 70335389