

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：14401  
 研究種目：新学術領域研究  
 研究期間：2008 ～ 2012  
 課題番号：20111012  
 研究課題名（和文） ボトムアップ／トップダウンプロセスの融合による電子・光機能創発  
 研究課題名（英文） Emergence of electronic and photonic functionalities by fusion of the bottom-up and top-down processes  
 研究代表者  
 小川 琢治 (OGAWA TAKUJI)  
 大阪大学・大学院理学研究科・教授  
 研究者番号：80169185

## 研究成果の概要（和文）：

各種の分子を合成し、その単一分子～小数分子電気特性を計測した。またそれらの分子を単層カーボンナノチューブに結合させ、その電気特性の計測にも成功した。これらの結果から、整流性などの非線形・非対称電気特性を単一～小数分子で実現することが可能である事を示した。分子の表面上での自己組織化の機構を検討して、エントロピーの非線形項が創発現象に重要である事を明らかにした。分子・単層カーボンナノチューブにおいて、負の微分抵抗が現れることを見出した。

## 研究成果の概要（英文）：

Several kind of new molecules were synthesized, and their single to small number of molecular electronic properties were investigated. Some molecules were connected to single wall carbon nanotubes to measure their single molecular electronic properties. These results show that non-linear non-symmetrical electronic phenomena such as rectification can be realized by single to small number of molecules. Self-assembling of molecules on surfaces was investigated to show that non-linear entropy term is important to show emergence. Negative differential resistance was observed in a molecule/single wall carbon nanotube system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	57,000,000	17,100,000	74,100,000
2009年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2010年度	15,500,000	4,650,000	20,150,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2012年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
総計	88,500,000	26,550,000	115,050,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：分子電子素子、単一分子ダイオード、単一分子トランジスター、単分子磁石、単一分子メモリ、分子集積回路

## 1. 研究開始当初の背景

創発現象は、全体の機能が部分の機能から推論できない事象と定義されている。この言葉

は19世紀に生まれたものであるが、原子の機能からは単純に推論できない分子の機能を扱う化学はそもそも創発現象の学問であ

ると言える。その中で、21世紀に改めて「創発化学」を考える意義は、生命現象に代表される自然界の様々な現象の複雑さや多様性と、現時点で人類が創り出せる物質系との間のあまりに大きな乖離への挑戦と理解できる。情報処理一つをとっても、単純な情報処理能力はすでにコンピューターが人間の脳を遙かに超えているはずにもかかわらず、脳の持つ創造性や可塑性をコンピューターで実現できない。その間に横たわるギャップをどのようにすれば超えることができるのか？そこに必要な創発現象はどのようにすれば引き起こせるか？

現時点で化学者が扱える物質系と生命等のより高次の存在との根本的な違いは、「複雑さ」である。生命体においては、単に多数の物が雑然とあるのではなく、ある揺らぎを持った規制の下で、多様な要素が相互に情報交換をしながら複雑な全体を構成することで創発が現れている。複雑とは情報量が多いということであり、高次機能への創発現象を誘起するために必要な条件として（充分ではないにしろ）、現状を遙かに超える情報量を物質系の中に導入しなければいけない。分子系の中により多くの情報を組み込む方法としては、有機合成的に複雑な分子を創り出す手法と、比較的小さな分子の中に情報（プログラム）を組み込み、分子同士の相互認識を利用して高次の超分子構造を創り出す自己組織化的な手法が有る。我々の研究グループにおいては、この二つに加えて外部から情報を注入する手法として、リソグラフィにより作成したナノ環境を自己組織化の場として用いることを考えている。本研究領域のA04班には、分子の自己組織化を利用した5nm級のナノリソグラフィ、1nm以下の粗さを持つ平坦電極作成技術（桑原）、容易に10nm以下のナノ構造を多量に作成できるナノインプリント技術（松井）など、世界に誇る独自のナノリソグラフィ技術を持つ研究者がいる。このような独自の技術でトップダウン的に作成したナノ環境と、A02、A03班の高次の自己組織化分子系を組み合わせることで、ブレークスルー的に複雑な分子系が生まれてくることが期待できる。世界的に見てこのような視点で取り組んでいる研究は他に無い。

金ナノ粒子と有機ジチオールを混合するとチオール基が金に結合して3次元複合体が生成することが知られている。我々は、この反応を金電極上で行うと非常に均一な金ナノ粒子・有機ジチオールの薄膜が生成することを見いだした。更に、この現象は様々な有機ジチオールに応用可能であり、分子の性質を活かした電子素子作成に有用であることを明らかにした。溶液中ではアモルファスな3次元複合体ができるが、金電極が存在

すると均一なナノレベルの薄膜（金ナノ粒子が3～4個の厚さ）ができるのは、ナノ環境による金属ナノ構造体／有機分子複合体自己組織化の制御の可能性を示唆している。今回の研究計画で考えているような複雑な機能を発現する系を実現するためには、その構成要素となる分子は、それ自体で機能を持つことが必要となる。これまで多くの研究が行われてきた有機材料は、同一分子が多数集まってできるバンド構造や協同的現象によって初めて機能が現れていた。より高次の機能を発現するには、一つずつの分子等がそれ自体で機能を持ち、それらが組み合わせられて複雑な構造を創ることが必要になる。我々は、これまでにこの視点で研究を行って、次のような結果を得てきた。少数分子とカーボンナノチューブの組み合わせで整流性が再現性良く現れる。(Adv. Mat., 18, 1411 (2006)) ポルフィリンオリゴマーなどの有機分子と金ナノ粒子やフラーレンの複合体において光スイッチ現象が現れる。(Langmuir, 23, 6365 (2007) ; J. Mater. Sci., 18, 939 (2007); Chem. Eur. J., 12, 607 (2006)) 本研究計画においては、これらの結果を基に、これまで困難であったレベルの高機能を持つ複雑な構造体を作成することを目指して研究領域内での共同研究を行い、物質科学のブレークスルーとなる発見をすることを目指す。

## 2. 研究の目的

分子の組織化により生命にも匹敵するような高度の機能を実現するためのブレークスルーは、いかに対象の物質系に情報を多く組み込むかである。これまでは、分子自体に多くの情報を組み込む研究がなされてきたが、本研究では分子の自己組織化を行う場としてトップダウンで作成したナノ環境を用いてそこから情報を系に注入することを考えている。この視点で次の研究を行う。

(1) 協同現象によらず単一～少数分子でメモリなどの機能を持つ分子の開発

(2) そうした機能有機分子、金属ナノ粒子・金属ナノロッドなどの無機ナノ構造体、リソグラフィで作成したナノ構造体の3者からなる系での自己組織化と、その3者で初めて生まれる電気・光機能の探索

(3) 有機分子の自己組織体を利用した非ノイマン型情報処理系の研究

## 3. 研究の方法

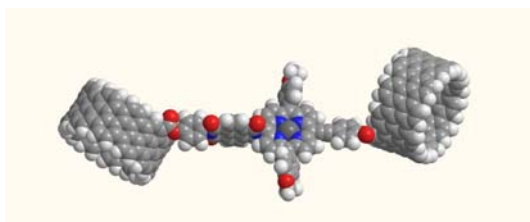
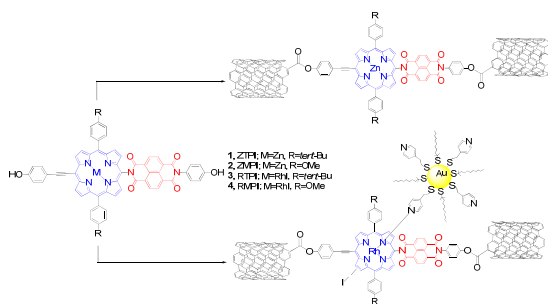
(1) 協同現象によらず単一～少数分子でメモリなどの機能を持つ分子の開発と物性計測

ナノギャップ電極や、金属ナノロッドに挟み込むなどの手法をとると、分子の大きさ(<1nm)の間隔に10Vの電圧をかけることが可能になる。これを電界に換算すると $10^{10}$ V/mと

いう強電界になる。こうした強電界の直流や交流をかけると分子が非線形的な振る舞いをする事が知られている。こうした強電界で二つの状態間のスイッチングが起こり、それぞれの状態の物性が異なるとメモリ機能が実現できる。その候補の分子として、強電界で構造が変化して単分子～少数分子で強誘電性を示す分子、スピン状態が変化するスピנקロスオーバー分子、単分子磁石、電界でレドックスを引き起こす分子などを設計合成する。こうした分子を金ナノロッドに結合して、電気特性を電導性2探針原子間力顕微鏡で計測する。機能が出たものについては、ナノ電極に交流電界法を利用して固定化し電子素子としての可能性を探る。

### (2) 有機分子の自己組織体を利用した非ノイマン型情報処理系の研究

分子が集まって新たな機能を生み出すモデルとして、分子を使った情報処理は興味深い。中でも現在主流となっているノイマン型情報処理系では解答困難である問題にチャレンジすることに意義がある。三彩色問題は、任意の世界地図を三色で塗り分けられるかどうかという数学の問題であるが、国の数が増えると急速に計算量が増えるためノイマン型の計算機では解法を求めることが困難であることがよく知られている。この問題は、NP 困難問題と呼ばれる一群の問題の一例であり、ポートフォリオの最適解を求める問題など重要な問題と等価であることが知られている。これを分子を用いて解く系を実現する。地図の形状を抽象化して対応する分子を合成する。この分子の中心金属への配位子を三種類合成し、それぞれの高さを変え、高さが同じ配位子は立体障害により隣り合えないように設計する。そうすると三種類の高さの配位子があればすべてのポルフィリン環に配位子が配位できる。三種類の配位子ですべてのポルフィリン環に配位すること

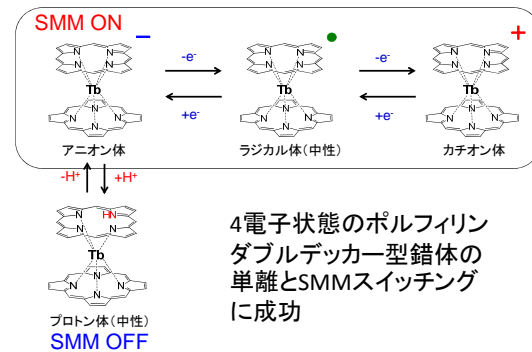


はできない。このことから、これらの分子の構造が三彩色問題に対応していることがわかる。分子の構造によりそれぞれ解が存在するかどうかは、走査トンネル顕微鏡 (STM) と分光化学的手法で検知する。

(3) 自己組織化を行うナノ環境としてのナノ構造体をリソグラフィにより作成するに当たっては、リソグラフィ構造表面の平坦

性や均一性が課題となる。この問題点を解決するため A04 班の桑原教授や松井教授との共同研究を開始する。

(4) より複雑なナノ構造体を自己組織化的アプローチで行うための共同研究を A01 班の研究者と開始する。これまでの議論の中で系を非平衡状態に置くことや、ノイズが高次の自己組織化のためには有用であるとの示唆があったため、表面上でのナノ構造体の自己組織化をこうした条件において行い、それらの影響を研究する。



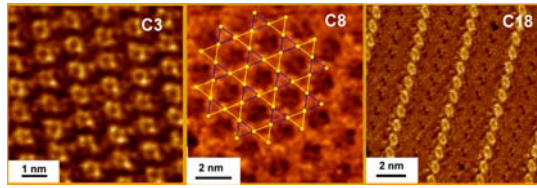
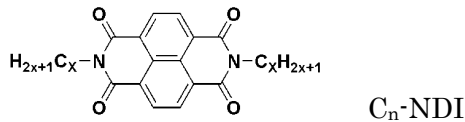
### 4. 研究成果

(1) ポルフィリン-イミド分子の両端にカーボンナノチューブ電極を結合し、PCI 原子間力顕微鏡を用いてその電気特性を計測したところ、整流比が非常に大きな電流-電圧特性が得られた。中心金属が亜鉛の場合とロジウムの場合では、立ち上がり電圧が異なることも明らかとなった。これらの分子の分子軌道計算を行い、大きな整流性を示す原因について考察した。

(2) 三探針単一分子素子のための分子の合成に成功した。

(3) テルビウムポルフィリン・ダブルデッカー錯体の結晶構造の決定に成功し、ポルフィリンの窒素に一つプロトンが残っている構造であることがわかった。その交流磁化率を測定したところ、単一分子磁石としての特性は見られなかった。プロトンを塩基で引き抜いた化合物の合成とその結晶構造の決定にも成功し、プロトン体と比べ対称性が高くなっていることを確認した。また、アニオン体においては、単一分子磁石の性質を持つことがわかった。

(4) 金ナノロッドを用いた少数分子電気特性計測に成功した。フェナントロリン誘導体の両端にチオールやジスルフィドを持つ分子を合成し、その分子のみおよびルテニウム錯体を測定したところ、ルテニウム錯体にお

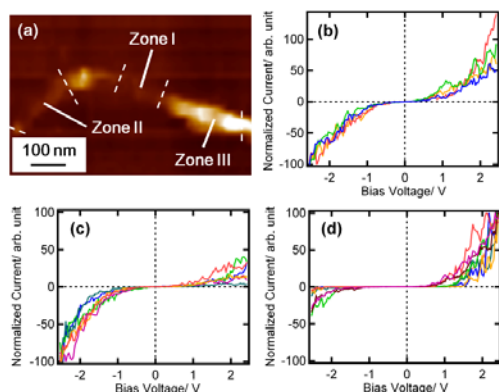


いてはヒステリシスを示す I-V が得られた。

(5) これらの機能性分子を全自動合成装置を用いて組み合わせ「分子集積回路」を作るための基本反応を開発した。鈴木カップリングをキー反応とする逐次合成経路の開発に成功し、ポルフィリン三量体を逐次反応で合成した。

(6) 表面上の自己組織化は、単一分子素子の集積化として重要な手法であるが、自己組織化でできる構造を説明/予測することは未だに困難である。図に示したジアルキルナフタレンジイミド (C<sub>n</sub>-NDI) の HOPG 表面上での自己組織化構造を STM を用いて調べたところ、アルキル基の長さにより大きく異なり、C<sub>3</sub>~C<sub>4</sub> ではラメラ構造、C<sub>5</sub>~C<sub>12</sub> ではヘキサゴナル構造、C<sub>13</sub>~C<sub>18</sub> では再びラメラ構造になることを見出した。アルキル鎖の長さが少し変わるだけで超構造が大きく変わるこの現象は、部分の性質では全体の性質が単純に予測できない創発現象の典型例である。これまでに考慮されてきた単純な熱力学的な考察ではこの現象は説明できないが、エントロピーの非線形性から説明できる事を明らかにした。創発現象における非線形性の重要性が明らかになったと言える。

(7) SWNT 表面上に H<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub> (PMo<sub>12</sub>) を吸着させて PCI-AFM で電気特性を測定したところ、整流性が見られ、その整流比と整流の方向が、PMo<sub>12</sub> の粒子径と、SWNT が金属性か半導体性に依存して変化することを見出した。また、測定条件により、負の微分抵抗が現れることも見出した。負の微分抵抗は、神経の入出力応答と等価の振る舞いである事が知られており、これを集積化する事で、様々な興味深い現象が見られるはずである。



(8) 先に、SWNT 上に PMo<sub>12</sub> を吸着させた系において、負の微分抵抗が見られる事を述べた。そこで、この PMo<sub>12</sub>/SWNT を多数、マイクロ電極上にキャストしてネットワーク構造を作成し、その電気特性を計測した。負の微分抵抗があると、発振する可能性があるが、ネットワーク中には様々な CLR 要素があるため発信周波数が一定にならずノイズ用の信号が発生すると期待した。また、一定以上の強度のノイズが発生すると、周期的なパルスが発生することも期待できる。実験を行ったところ、期待通りに低電圧の間はノイズが電圧に比例して発生し、一定電圧以上では、周期的なパルスが発生した。通常の電子回路を用いて電圧依存のノイズ発生器やパルス発生器を作ろうとすると、多数のトランジスタが必要となるが、分子系を使うことで、単一の電極対で同じ機能が実現できたことになる。こうした、ノイズ発生、パルス発生は、神経と同様の振る舞いで有り、人工神経ネットワークの構築につながる物として興味を持っている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件) 全て査読有り。

1. Influence of Atmosphere on Photo-Assisted Atomic Switch Operations, T. Hino, T. Hasegawa, H. Tanaka, T. Tsuruoka, T. Ogawa, M. Aono, *Key Eng. Mater.*, in press.
2. Rectification direction inversion in a phosphododecamolybdic acid / single-walled carbon nanotube junction, Liu Hong, Hirofumi Tanaka and Takuji Ogawa, *J. Mat. Chem. C*, 1(6), 1137-1143 (2013). DOI:10.1039/C2TC00171C.
3. Temperature-dependent I-V characteristics for the nanocomposite semiconducting films composed of a thiol end-capped dinuclear macrocyclic complex and Au-NPs bridging 1 μm gap gold electrodes, Bin Hu, Xiao-Chun Chen, Wei Huang, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa and Xiao-Zeng Youa, *Dalton Trans.*, 14309-14315 (2012). DOI: 10.1039/c2dt31638b
4. Large Rectification Effect Achieved by a Combination of Carbon Nanotube Junction and Molecule-Carbon Nanotube Interface, Liu Hong, Hirofumi Tanaka, and Takuji Ogawa,

- Applied Physics Express*, **5**, 115102 (2012). DOI: 10.1143/APEX.5.115102.
5. Computational Investigation of A Photo-Switchable Single-Molecule Magnet Based on A Porphyrin Terbium Double-Decker Complex, Tomoko Inose, Daisuke Tanaka, Takuji Ogawa, *Heterocycles*, **86**, 1549-1554 (2012). DOI: 10.3987/COM-12-S(N)86.
  6. Novel charge transports in DNA-templated nanowires, Guoqing Wang, Hirofumi Tanaka, Liu Hong, Yasutaka Matsuo, Kenichi Niikura, Masuhiro Abe, Kazuhiko Matsumoto, Takuji Ogawa, Kuniharu Ijio, *J. Mat. Chem.*, 13691-13697 (2012). DOI: 10.1039/c2jm31839c.
  7. Influence of nanoparticle size to the electrical properties of naphthalenediimide on single-walled carbon nanotube wiring, Hirofumi Tanaka, Liu Hong, Minoru Fukumori, Ryota Negishi, Yoshihiro Kobayashi, Daisuke Tanaka, and Takuji Ogawa, *Nanotechnology*, **23**, 215701 (2012). DOI: 10.1088/0957-4484/23/21/215701.
  8. Entropy-Controlled 2D Supramolecular Structures of N,N'-Bis(n-alkyl)naphthalenediimides on a HOPG Surface, Yusuke Miyake, Toshi Nagata, Hirofumi Tanaka, Masashi Yamazaki, Masahiro Ohta, Ryohei Kokawa, and Takuji Ogawa, *ACS Nano*, **6**, 3876-3887 (2012). DOI: 10.1021/nn205006d.
  9. Proton-induced Switching of the Single Molecule Magnetic Properties of a Porphyrin Based TbIII Double-decker Complex, Daisuke Tanaka, Tomoko Inose, Hirofumi Tanaka, Naoto Ishikawa, Takuji Ogawa, *Chem. Commun.*, 7796-7798 (2012). DOI: 10.1039/C2CC00086E.
  10. Photocurrent and Electronic Activities of Oriented-His-tagged Photosynthetic Light-Harvesting/Reaction Centre Core Complexes Assembled onto a Gold Electrode, Masaharu Kondo, Kouji Iida, Takehisa Dewa, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa, Sakiko Nagashima, Kenji V. P. Nagashima, Keizo Shimada, Hideki Hashimoto, Alastair T. Gardiner, Richard J. Cogdell, and Mamoru Nango, *Biomacromolecules*, **13**, 432-438 (2012). DOI: 10.1021/bm201457s.
  11. Fabrication of Nanogap Electrodes by the Molecular Lithography Technique, Takayuki Nishino, Ryota Negishi, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa, Koji Ishibashi, *Japanese Journal of Applied Physics*, **50**, 035204(6) (2011). DOI: 10.1143/JJAP.50.035204.
  12. Enhanced Red-Light Emission by Local Plasmon Coupling of Au Nanorods in an Organic Light-Emitting Diode, Takuya Tanaka, Yuji Totoki, Aya Fujiki, Nobuyuki Zettsu, Yusuke Miyake, Megumi Akai-Kasaya, Akira Saito, Takuji Ogawa, and Yuji Kuwahara, *Applied Physics Express*, **4**, 032105(3) (2011). DOI: 10.1143/APEX.4.032105.
  13. Volatile/Nonvolatile Dual-Functional Atom Transistor, Tsuyoshi Hasegawa, Yaomi Itoh, Hirofumi Tanaka, Takami Hino, Tohru Tsuruoka, Kazuya Terabe, Hisao Miyazaki, Kazuhito Tsukagoshi, Takuji Ogawa, Shu Yamaguchi, and Masakazu Aono, *Applied Physics Express*, **4**, 015204(3) (2011). DOI: 10.1143/APEX.4.015204.
  14. Photo-Assisted Formation of Atomic Switch, Takami Hino, Hirofumi Tanaka, Tsuyoshi Hasegawa, Masakazu Aono, Takuji Ogawa, *Small*, **6**, 1745-1748 (2010). DOI: 10.1002/sml.201000472.
  15. Properties of Thiol End-Capped and Iodine-Doped Sexithiophene Disulfide Semiconducting Polymers Bridging Nanogap Gold Electrodes, Wei Huang, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa, Xiao-Zeng You, *Advanced Materials*, **22**, 2753-2758 (2010). DOI: 10.1002/adma.200904026.
  16. Spectral and structural studies of a new oxalato-bridged dinuclear copper(II) complex having two 3-(thiophen-2-yl)-1,10-phenanthroline ligands in a trans configuration, Wei Huang and Takuji Ogawa, *Inorganic Chimica Acta*, **362**, 3877-3880 (2009). DOI: 10.1016/j.ica.2009.04.016.
  17. A photo-responsive molecular wire composed of a porphyrin polymer and a fullerene derivative, Hiroaki Ozawa, Kawao Masahiro, Hirofumi Tanaka and Takuji Ogawa, *Journal of Materials Chemistry*, **19**, 8307-8313 (2009). DOI: 10.1039/b910638c

[学会発表] (計 102 件)

1. Takuji Ogawa, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, Tomoko Inose, Murni Handayani, Takashi Tamaki, Syntheses of functional molecules based on porphyrin for single molecular electronics, The Electrochemical Society, Spring meeting, 2013/5/13, Sheraton Centre Toronto, Canada
2. 田中啓文, ナノカーボン/分子ナノ粒子複合体の電気物性と新機能発現, 日本学術振興会第 176 委員会第 70 回講演会, 2013/4/18, 産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館
3. 小川琢治・田中啓文・田中大輔・Murni, Hanyadani・猪瀬朋子・玉木孝, 単一分子エレクトロニクスとその集積化に向けて, 日本化学会年会, 2013/3/24, 立命館大学
4. 玉木孝・野坂長範・田中大輔・田中啓文・小川琢治, 逐次法による多様なポルフィリンアレイ錯体の合成と物性, 錯体化学会第 62 回討論会, 2012/9/22, 富山大学 五福キャンパス
5. 井村真咲・十時悠誌・田中大輔・田中啓文・小川琢治, 有機分子による無機ナノ構造体のプログラム自己組織化, 第 23 回基礎有機化学討論会, 2012/9/21, 京都テルサ(京都市)
6. Takuji Ogawa, Single molecular electronics for functionality emergence, AsiaNano 2012, 2012/9/9, Crowne Plaza Lijiang Ancient Town, China
7. Liu Hong, Hirofumi Tanaka, Takuji Ogawa, Electrical Properties of Phosphododecamolybdic Acid Adsorbed on Single-walled Carbon Nanotube, IEEE 12th International Conference on Nanotechnology, 2012/8/20, International Convention Centre, Birmingham, UK
8. 玉木孝・野坂長範・田中大輔・田中啓文・小川琢治, 逐次連結法によるポルフィリンアレイの合成とその物性測定, ナノ学会, 2012/6/14, 大阪大学
9. 猪瀬朋子, 田中大輔, 太田雄介, 阪上祥平, 田中啓文, Oleksandr Ivashenko, Steven De Feyter, 石川直人, 小川琢治, STM によるポルフィリンダブルデッカー型錯体の単分子膜観察, 高分子学会年次大会, 2012/5/29, パシフィコ横浜
10. Takuji Ogawa, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, Syun Gohda, Tomoko Inose, Single molecular electronics for functionality emergence, The Electrochemical Society, Spring meeting, 2012/5/6, Seattle convention center, Seattle, USA
11. 山名亜由子, 田中大輔・田中啓文・小川琢治, 三彩色問題解決のためのポルフィ

リンアレイの合成, 日本化学会第 92 春季年会, 2012/3/27, 慶応大学

12. 福森 稔, 田中啓文, 洪 流, 根岸良太, 小林慶裕, 田中大輔, 小川琢治, ナフタレンジイミドによる単層カーボンナノチューブの金属半導体分離, 春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012/3/15, 早稲田大学
  13. Takuji Ogawa, Single molecular electronics for functionality emergence, USP CONFERENCES 2011, NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY, 2011/12/6, São Paulo University, Brazil
  14. 後藤章文, 田中大輔, 田中啓文, 小川琢治, ポルフィリンイミド単分子トランジスタの合成, 第 22 回基礎有機化学討論会, 2011/9/21, つくば国際会議場
  15. 有馬 良, 田中啓文, 田中大輔, 小川琢治, ナフタレンジイミド吸着による単層グラフェンナノリボンの電気特性変化, 第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2011/9/2, 山形大学 小白川キャンパス
  16. 猪瀬朋子・田中大輔・田中啓文・石川直人・小川琢治, ダブルデッカー型テルビウムテトラフェニルポルフィリン錯体のプロトン付加体と脱プロトン体の合成と磁気特性, 日本化学会第 91 春季会 2011/3/26, 神奈川大学。
  17. Takuji Ogawa, Hirofumi Tanaka, Syun Gohda, Yuji Totoki, Takenori Nosaka, Construction of Nano-structures from Conductive Nano-Materials with Functional Molecules for Molecular Electronics, The 5th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, National Taiwan University, 2010/10/18, Taipei.
- その他、合計 102 件

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小川 琢治 (OGAWA TAKUJI)  
大阪大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：80169185

##### (2) 研究分担者

田中 啓文 (TANAKA HIROFUMI)  
大阪大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：90373191

田中 大輔 (TANAKA DAISUKE)  
大阪大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：60589399