

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310076

研究課題名(和文)機能性単一分子の電子機能/構造関連の解明

研究課題名(英文)Elucidation of structure - single molecule electric property correlation of functional molecules

研究代表者

小川 琢治 (Ogawa, Takuji)

大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80169185

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円、(間接経費) 4,380,000円

研究成果の概要(和文)：分子構造と単一分子電子機能の相関を明らかにする事と、複数電極への結合を可能にする事を目的として研究を行い、次のことを明らかにした。ポルフィリン-イミド分子中の金属をZnとRh-Iとして、それぞれの単一分子電気特性をMCBJ法で計測したところ、Znの整流比が有意にRh-Iよりも大きいことが分かった。同じ分子を単層カーボンナノチューブ(SWNT)を電極として計測したところ、ほぼ同様の結果が得られた。SWNTは様々な(n,m)指数からなる混合物であるが、分子の特性が露わに出てくることが分かった。これにより、多端子計測が可能になった。様々な並びのポルフィリンアレイを効率よく合成する手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：We have performed the research to clarify the structure property correlation of single molecule electronics, and to make multi terminal connection to single molecules possible. Porphyrin-imide dyad molecules with Zn and Rh-I as the central metals were prepared and measured their single molecule electronic properties by MCBJ method to find that Zn molecule showed significantly larger rectification ratio than Rh-I molecule. The same results were obtained in the measurements using single walled carbon nanotubes as the electrodes. Thus, it become clear that SWNTs although mixture of many (n,m) indexes can be used for multi terminal wiring to single molecule electronics. A new method to prepare Various sequence of porphyrin arrays also established.

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

キーワード：単一分子電子素子 単層カーボンナノチューブ 単一分子ダイオード

1. 研究開始当初の背景

単一分子素子の研究は、1970年代の最初の提案以降既に40年近い年月がたっているが、分子軌道の違いが単一分子電気特性に影響するらしいことが明らかになってきたのは、ここ1、2年のことである。研究の進展のきっかけは、ブレイクジャンクション法と呼ばれる単一分子電気特性計測法が提案されたことである。これは、金属の細線を分子存在下にピエゾ素子を利用してゆっくりと引きちぎりながら、その電気特性を計測する手法である。同一サンプルで多数回の実験が可能であり、統計処理をすることで単一分子の電導度や電気特性を決定することができるようになった。現在では、単一分子電気特性計測の標準的手法となっている。しかし、一方でブレイクジャンクション法で計測された結果が、分子に期待される機能性を必ずしも反映していないことがある。分子の特徴の一つに、レドックスにより様々な電荷状態を取り、それぞれの電荷状態が異なる電気特性を示すという点がある。ところが、これまでのブレイクジャンクション計測において明確に分子のレドックスを示す報告例がほとんどない。初期の論文にそうした報告が一つあるが、実験上のアーティファクトでは無いかとされている。

本研究においては、分子構造と単分子～少数分子電気伝導の研究を系統的に進める中で、特に分子のレドックスに起因する高電子機能を追求し、その実現に必要な分子構造、周囲環境について明らかにすることを目指している。分子のレドックスが関与する電気特性が実現できると、負の微分抵抗、メモリー、スイッチング、閾値素子などの高機能を単一分子で実現することが可能になる。

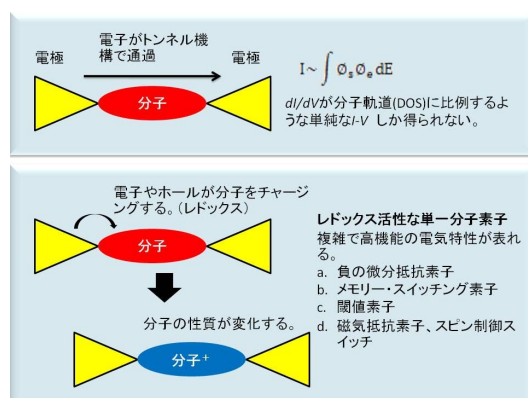


図1. これまでの単一分子電導研究のほとんどがトンネル電導しか扱っていなかった。分子のレドックスが現れることで高機能単一分子素子の実現が可能になる

2. 研究の目的

(1) 様々な機能性分子において、ブレイクジャンクション法により純粋な単一分子の電

気特性を計測する。同時に同じ分子を金ナノロッドを用いた計測により数百分子が並列につながった場合の分子の電気特性を計測する。その比較から、単一分子特性と数百分子が並列につながった場合の特性の同異を研究し、分子のレドックスがかかわった単一～少数分子電子素子を実現するための条件を明らかにする。

(2) 次の単一、少数分子電子素子を目指して分子設計、合成を行い、上記2手法による電気特性計測を行うことで構造と特性との関係を明らかにする。(A) 負の微分抵抗素子、(B) メモリー、スイッチング素子、(C) 閾値素子、(D) 磁気抵抗素子、スピン制御スイッチ。

3. 研究の方法

(1) ブレイクジャンクション法計測機器の作成

(2) 分子の設計と合成

A) 負の微分抵抗素子の分子設計と合成

B) 磁気抵抗素子、スピン制御スイッチの設計と合成

C) メモリー、スイッチング素子の設計と合成

D) 閾値素子の設計と合成

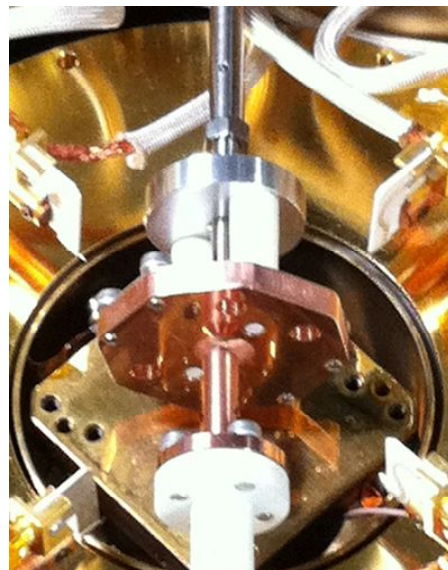
(3) 合成した分子のブレイクジャンクション法による単一分子電気特性の計測、および金ナノロッドを用いた少数分子電気特性計測を行う。その特性の同異を検討し、分子設計に反映させる。

(4) 設計、合成、計測、考察 次の分子設計というサイクルを繰り返すことで、上記の高機能分子素子を実現する。

4. 研究成果

(1) 現有の超伝導マグネット付き極低温プローバーに、ブレイクジャンクション計測機構を作り込んだ。基本的な設計は、水平型と呼ばれる既存の装置を参考に作成し、最大2.5Tの磁場をかけ、温度範囲10～300Kの条件下で単一分子計測が可能になった。

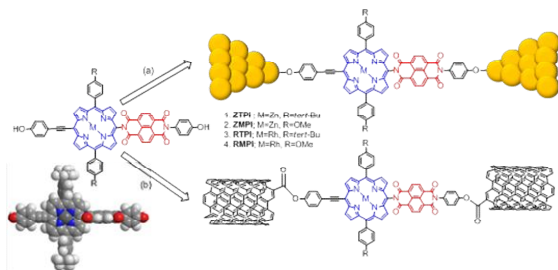
(2) 負の微分抵抗素子。



H₃PMo₁₂O₄₀, POM を単層カーボンナノチューブ(SWNT)に乗せて、その電流特性を原子間力顕微鏡で計測すると、負の微分抵抗が見られる事を見出した。この POM/SWNT 複合体を電極上にネットワーク上にして乗せてその電流を測っていると、最初に電圧依存のノイズが発生し始め、やがて周期的なパルスが発生することがわかった。これは、当初期待していた負の微分抵抗による神経様特性の発現で有り、興味深い。

(3) 単一分子整流素子。

SWNT を電極として用いる単一分子ダイオード：図 1 に示したようにポルフィリンとイミドが直交して共鳴が少ない分子 1 ~ 4 を合成し、その単一分子電気特性を SWNT に結合して PCI-AFM[3c, 4]で測定した場合と、MCBJ 法で測定した場合の電流 / 電圧特性(I-V)を比較した。その結果、SWNT に結合しても、MCBJ 法で測定した場合の電流 / 電圧特性(I-V)を比較した。その結果、SWNT に結合しても、MCBJ 法で測定しても、分子に依存した整流性が得られることが明らかとなった。いずれの方法においても、ポルフィリンの中心金属が Zn の場合には、逆方向の電圧が-1.5V までほとんど電流が流れないのに対して、Rh の場合には逆方向の電流が少し流れる。そのため Zn の場合の整流比が平均で 30 近い値を示すのに対して、Rh の場合には整流比が平均で 8 程度になる。このように I-V が、いずれの測定法においても分子構造に大きく依存することから、SWNT 電極において観測された整流効果も異なる(m, n)指数の SWNT が接合して起こる整流性では無く、分子に依存して起こる整流性である事が明らかとなった。この実験結果から、SWNT を単一分子への多端子結合電極として用いる事ができることが明らかになり、単一分子集積回路への道が開けたことになる。



単一分子整流子として働く分子の構造と、MCBJ および SWNT 電極に接続した模式図。

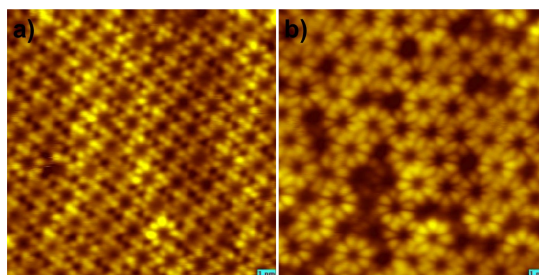
(4) 磁気抵抗、スピン制御を目指した分子合成と計測。

a. 単分子磁石は、一分子で磁石のように振る舞うため、超高密度メモリーデバイス等の実現に最適なスピン材料の一つとして、現在大きな注目を集めている。近年では、フタロシアニン-Tb(III) ダブルデッカー型単分子磁石 (Pc-DD SMMs) を金基板上やグラフェン

上に吸着させた材料を用いることで、単一スピンの操作やメモリー機能の発現が実現されており、単分子磁石のデバイス化に向けた期待がさらに高まっている。

我々はこれまで、ポルフィリン-Tb(III)ダブルデッカー型単分子磁石 (Por-DD SMMs) に着目し、単分子磁石に新たな機能を付与することを目指し研究を行ってきた。バルク状態では、プロトン付加体とアニオン体の Por-DD を合成することにより、単分子磁性のスイッチングが可能であることをすでに明らかにしている。さらに我々は、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いることにより、これまで表面上 Por-DD SMMs の配列構造に関する室温下での研究を行ってきた。今回は、超高真空 STM (UHV-STM) を用いて極低温下で金基板上 Por-DD の観察と電気伝導度測定を行い、界面での Por-DD の単分子磁性についてより詳細な考察を行った。

プロトン体のオクタエチルポルフィリンダブルデッカー型錯体 (OEP-DD) を金基板上に配列させ、UHV-STM を用いて単分子膜の観察を行った。その結果、右図のようにダブルデッカー型錯体の単分子膜の見え方に、バイアス依存性が確認された。さらに、ポジティブサンプルバイアスにおいて、STM チップ先端から放出されるトンネル電子の注入を行うことにより、プロトン体 OEP-DD の電子状態を 1 分子単位で変化させることにも成功した。このような方法で、今後電子状態のコントロールを精密に制御することが可能となれば、表面上単分子磁石の単分子磁性を 1 分子単位で自由にコントロールすることも可能になると期待される。



Au(111) 表面の OEP-DD の UHV-STM 像
I = + 0.2 nA, a) V_{sample} = + 0.8 V, b) V_{sample} = - 0.8 V

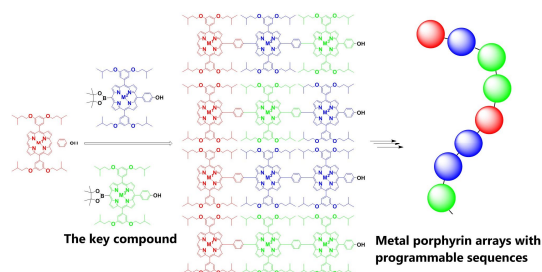
b. ピエゾ素子により電極を破断することで単分子接合を作成するブレイクジャンクション法は、測定分子に電極と結合を形成するアンカー部位を導入する事で、電極と分子の界面構造を精密に制御可能となる優れた手法である。我々は、単分子磁石に金電極と結合を形成するメチルチオエーテル (SMe) 基を導入することで、ブレイクジャンクション法による単分子電導度測定を可能とする分子設計を行った。今回、ポルフィリンダブルデッカー型単分子磁石に SMe 基を導入した分子を設計し、{[Tb (TPPSMe)(Pc)](DBU-H)} (1) の合成に成功した。さらに、比較対象と

して SMe 基を持たない $\{[Tb(TPP)(Pc)](DBU-H)\}$ (2)を合わせて合成した。さらに、スピンバルブ素子として働くことが期待できるスピン中心を二つ持つテルビウム二核錯体を設計し、それぞれの磁気特性を評価した。H2TPPSMe, Tb(acac)₃, DBU, および phthalonitrile を n-octanol 中で 18 時間加熱還流することで、目的物 1 の合成に成功した。特に、1 の単結晶構造解析に成功し、Tb 中心がアンチプリズム型の八配位構造を取ることを確認した。また、2 についても同様の方法で合成に成功した。合成した二つのダブルデッカー型単分子磁石の交流磁化率測定を超伝導量子干渉計 (SQUID) を用いて行った。1 と 2 共に、プロッキング温度は 29 K であることが明らかとなり、さらに、アーレニウスプロットから 1 と 2 の活性化エネルギーをそれぞれ、292 cm⁻¹, 314 cm⁻¹ と見積もった。以上の結果から、SMe 基の導入が、単分子磁石としての特性に大きな影響を与えないことを確認した。

(5) メモリー、スイッチング、閾値素子を目指した分子合成と計測。

a. ポルフィリンアレイは、光応答性や電気伝導性など、様々な機能が期待されている分子群である。最近、STM-ブレイクジャンクション (STM-BJ) を用いた亜鉛ポルフィリンアレイの単一分子電気測定が行われ、小さな減衰係数を示すことが報告されている。我々は、ポルフィリンアレイのエネルギー準位配列を設計することで、メモリー、スイッチング、閾値機能など多様な単一分子電気特性を発現するのではないかと考えた。これまでにポルフィリンアレイの合成方法は多数提案されているが、今回必要とされるような複雑なポルフィリンアレイを合成することは未だに困難であるため、より優れた合成法が求められる。本研究では、逐次合成による非常に設計性に優れたポルフィリンアレイの合成法を開発した。この方法を用いて多彩な配列を有するポルフィリンアレイの合成し、それらについて光、電気特性測定、単一分子電気測定を行った。

トリフラート基を有する 3 置換ポルフィリンとヒドロキシル基とボロン酸エステルを有するポルフィリンとをカップリングさせダイマーの合成を行った。続いて末端のヒドロキシル基をトリフラート基に変換し再度カップリングさせることにより、トリマーの合成にも成功している。様々な配列のアレ



イを合成し、各種スペクトル測定を行った。電気化学測定や DFT 計算から各ポルフィリンユニットのエネルギー準位はアレイを構成しても保持されていることが確認された。

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 18 件)

1. Switching of single-molecule magnetic properties and observation of carbon-surface supramolecular structures of Tb(III) porphyrin double-decker complexes, Tomoko Inose, Daisuke Tanaka, Hirofumi Tanaka, Oleksandr Ivashenko, Toshi Nagata, Yusuke Ohta, Steven De Feyter, Naoto Ishikawa, and Takuji Ogawa, *Chemistry -A European Journal*, 査読有り、in press.

2. Design and Synthesis of Perpendicularly Connected Metal Porphyrin-imide Dyads for Two-terminal Wired Single Molecular Diodes, Murni Handayani, Syun Gohda, Daisuke Tanaka, and Takuji Ogawa, *Chemistry -A European Journal*, 査読有り、in press.

3. Fabricating smooth surface of -Ag₂S on Ag electrode by wet chemical process for low-cost production of atomic switch, Hirofumi Tanaka, Tomoki Akai, Daisuke Tanaka, and Takuji Ogawa, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 査読有り、in press.

4. Surface self-assembly of trans-substituted porphyrin double-decker complexes exhibiting slow magnetic relaxation, D. Tanaka, T. Inose, S. Shimono, H. Tanaka, T. Tamaki, A. I. A. Abd El-Mageed, A. K. F. Dyab, N. Ishikawa, and T. Ogawa, *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 査読有り、12, 124-128 (2014).

5. New composite porphyrin-conductive polymer gas sensors for application in electronic noses, Carlos H.A. Esteves, Bernardo A. Iglesias, Rosamaria W.C. Li, Takuji Ogawa, Koiti Araki, Jonas Gruber, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 査読有り、193. 136-141 (2014).

6. Temperature-Dependent Current-Voltage and Photoresponsive Properties for Semiconducting Nanodevices Fabricated from an Oligothiazole Dithiol and Gold Nanoparticles, Tao Tao, Jiao Geng, Liu Hong, Wei Huang, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, and Takuji Ogawa, *J. Phys. Chem., C*, 査読有り、117, 25325-25833 (2013).

7. Volatile and nonvolatile selective switching of a photo-assisted initialized atomic switch, Takami Hino, Tsuyoshi

Hasegawa, Hirofumi Tanaka, Tohru Tsuruoka, Takuji Ogawa and Masakazu Aono, *Nanotechnology*, 査読有り、384006 (7pp)(2013).

8. Advanced Photoassisted Atomic Switch Produced Using ITO Nanowire Electrodes and Molten Photoconductive Organic Semiconductor, Anop Klamchuen¹, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, Hirotaka Toyama, Gang Meng, Sakon Rahong, Kazuki Nagashima, Masaki Kanai, Takeshi Yanagida, Tomoji Kawai and Takuji Ogawa, *Advanced Materials*, 査読有り、**25**, 5893-5897 (2013).

9. Influence of Atmosphere on Photo-Assisted Atomic Switch Operations, T. Hino, T. Hasegawa, H. Tanaka, T. Tsuruoka, T. Ogawa, M. Aono, *Key Eng. Mater.*, 査読有り、596, 116-120 (2014).

10. Rectification direction inversion in a phosphododecamolybdc acid / single-walled carbon nanotube junction, Liu Hong, Hirofumi Tanaka and Takuji Ogawa, *J. Mat. Chem. C*, 査読有り、1(6), 1137-1143 (2013).

11. 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.*, 査読有り、14309-14315 (2012).

12. 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*, 査読有り、**5**, 115102 (2012).

13. Computational Investigation of A Photo-Switchable Single-Molecule Magnet Based on A Porphyrin Terbium Double-Decker Complex, Tomoko Inose, Daisuke Tanaka, Takuji Ogawa, *Heterocycles*, 査読有り、**86**, 1549-1554 (2012).

14. 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.*, 査読有り、13691-13697 (2012).

15. 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*, 査読有り、**23**, 215701 (2012).

16. 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*, 査読有り、**6**, 3876-3887 (2012).

17. 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.*, 査読有り、7796-7798 (2012).

18. 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*, 査読有り、**13**, 432-438 (2012).

〔学会発表〕(計75件)

(1) 小川琢治、「有機、無機分子の非線形電気特性と機能集積化による生体様機能発現」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(2) 田中大輔、明田直樹、田中啓文、小川琢治、「スピנקロスオーバー配位高分子ナノインクの開発と評価」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(3) Murni Handayani, Shun Gohda, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, Takuji Ogawa, 「2端子型単分子ダイオードとして機能するポルフィリン-イミド連結分子の単層カーボンナノチューブとの複合化」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(4) 玉木孝、野坂長範、小川琢治、「逐次合成法を用いた多彩なポルフィリンアレイの合成と単一分子エレクトロニクスへの応用」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(5) 田中啓文、浅井哲也、片寄慎一、洪流、酒井駿、田中大輔、小川琢治、「カーボンナノチューブ/ポリ酸ネットワーク中の内在ノイズによるニューロン発火現象」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(6) 下野颯騎、田中大輔、猪瀬朋子、田中啓文、石川直人、小川琢治、「アルキル鎖を導入したポルフィリン Tb ダブルデッカー型錯体の合成と系統的特性評価」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(7) 炭谷宣登、Timmerman Vanessa、田中大輔、猪瀬朋子、田中啓文、石川直人、小川琢

治、「単分子電導度計測を目指したポルフィリンダブルデッカー型単分子磁石の合成と物性評価」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(8) 猪瀬朋子、田中大輔、田中啓文、石川直人、永田央、Oleksandr Ivasenko、Steven De Feyter、田原一邦、戸部義人、小川琢治、「ポルフィリンダブルデッカー型単分子磁石の界面微細構造評価」、日本化学会第94春季年会、2014/3/30、名古屋大学。

(9) 田中啓文、洪流、酒井駿、田中大輔、小川琢治、「カーボンナノチューブ、ポリ酸ネットワークのニューロン発火特性」、応用物理学会、2014/3/20、青山学院大学。

(10) 玉木 孝、野坂 長範、小川琢治、「逐次合成法を用いた多彩なポルフィリンアレイの合成法と単一分子エレクトロニクスへの応用」、第4回分子アーキテクトニクス研究会、2014/3/11、東京大学山上会館。

(11) 小川琢治、田中 啓文、田中 大輔、Murni Handayani、玉木 孝、片寄 慎一、「有機、無機分子の非線形電気特性と機能集積化」、第4回分子アーキテクトニクス研究会、2014/3/11、東京大学山上会館。

(12) 田中 大輔、猪瀬 朋子、田中 啓文、石川 直人、小川琢治、「ポルフィリン単分子磁石の HOPG 上分子配列制御」、第4回分子アーキテクトニクス研究会、2014/3/11、東京大学山上会館。

(13) 小川琢治、「Single Molecule Electronics and Their Integration」、九州大学講演会、2014/1/17、九州大学先端物質科学研究所。

(14) Tomoko Inose, Daisuke Tanaka, Takuji Ogawa, “Proton-induced switching and controlling of molecular alignment on HOPG of porphyrin-based terbium(III) single molecular magnets”, 2013 MRS Fall Meeting, 2013/12/1, Boston, Massachusetts, U.S.A.

(15) Murni Handayani, Shun Gohda, Hirofumi Tanaka, Daisuke Tanaka, Takuji Ogawa, “Synthesis and its Electrical Properties of (M = Zn, Rh) Porphyrin-Imide Dyads Linked to Single-Walled Carbon Nanotubes as Electrodes for Single-Molecule Diodes”, 2013 MRS Fall Meeting, 2013/12/1, Boston, Massachusetts, U.S.A.

(16) 小川琢治、「単一分子電子素子とその集積化：脳型素子を意識して」、日本学術振興会第142委員会、2013/11/8、東京理科大学、ポルタ神楽坂。

(17) Shinichi Katayose, Hirofumi Tanaka, Murni Handayani, Takuji Ogawa, “Electric properties of porphyrin-imide single molecular junction measured by mechanically controllable break junction method”, ACSIN-12 & ICSPM21, 2013/11/7, Tsukuba International Congress Center.

(18) Tomoko Inose, Daisuke Tanaka, Hirofumi Tanaka, Oleksandr Ivasenko,

Toshi Nagata, Steven De Feyter, Naoto Ishikawa, Takuji Ogawa, “Controlling molecular alignment of double-decker single molecular magnets”, ACSIN-12 & ICSPM21, 2013/11/7, Tsukuba International Congress Center.

(19) 猪瀬朋子、田中大輔、田中啓文、石川直人、永田央、Oleksandr Ivasenko、Steven De Feyter、小川琢治、「ポルフィリンダブルデッカー型単分子磁石のSTMによるHOPG上表面構造評価」、錯体化学会第63回討論会、2013/11/4、琉球大学(沖縄県)。

(20) 田中 大輔、猪瀬 朋子、下野 颯騎、炭谷 宣登、田中 啓文、石川 直人、小川琢治、「ポルフィリンダブルデッカー型単分子磁石のスイッチング特性」、錯体化学会第63回討論会、2013/11/4、琉球大学(沖縄県)。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

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、准教授

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