

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23241032

研究課題名(和文)テーラーメイドナノカーボンの自在合成とデバイス化

研究課題名(英文)Synthesis of Tailor-Made Nanocarbons and Their Application to Devices

研究代表者

村田 靖次郎 (Murata, Yasujiro)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：40314273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,600,000円

研究成果の概要(和文)：フラーレン・カーボンナノチューブ・グラフェン等のナノカーボンは、その特異な構造・高い安定性・他には見られない光電子物性を持っていることから、近年非常に高い注目を集めている。本研究では、穏和な条件下での有機化学反応を駆使によりフラーレンの骨格ならびに共役系を自在に切断することによって、これまでに無い三次元共役系を実現させることを目的として研究を行った。その結果、小分子を内包したフラーレンを自在に合成し、その固体物性を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：The synthetic methods to create a large opening on fullerenes have been developed. A water molecule was encapsulated into the open-cage C60 derivative, and the opening was completely restored to afford H₂O@C60 in a macroscopic scale under the mild reaction conditions. To realize an encapsulation of a large molecule, efficient way to create a larger opening was found by the reaction with nucleophilic oxidants, which was also applied to a precursor of azafullerenes, in which one of the carbon atoms in fullerene cages is replaced with a nitrogen atom. As another method to enlarge the opening, a sulfur atom was introduced on the rim of the openings. When this reaction was applied to an open-cage C60 derivative, a new open-cage C59S derivative was obtained in addition to the expected compound having a larger opening. Furthermore, when this reaction was applied to an open-cage C70 derivative, another new reaction was found to afford an open-cage C69S derivative.

研究分野：ナノカーボン

キーワード：フラーレン C60 C70 内包フラーレン 開口フラーレン 固体物性 小分子

1. 研究開始当初の背景

フラーレン・カーボンナノチューブ・グラフェン等のナノカーボンは、その特異な構造・高い安定性・他には見られない光電子物性を持っていることから、近年非常に高い注目を集めている。特にフラーレン C_{60} は内径約 3.7 の中空構造をもち、その空間は H_2 , H_2O , CO 等の小分子を内包するのに最適な大きさである。これまで、He, Ne 等の希ガス、あるいは N, P 単原子が極めて低収率 (0.1-0.01%) で、極めて過酷な条件下 (3000 気圧・650、あるいはイオンビーム照射) でのみ C_{60} 内部に挿入可能なことが知られている。しかし、これらの内包フラーレン類の単離精製は非常に困難であり、物性研究はほとんどなされていない。また、金属イオンを内包したフラーレンは、多大な労力を伴う分離精製の後に微量が得られるのみである。このように、フラーレンの内部空間に合理的にアクセスし、小分子を内部に導入する手法自体が欠如していたため、フラーレンの π 電子系と小分子との相互作用に関する研究は全く未開拓である。フラーレンの σ 骨格を切断して開口部を設け、そこから任意の小分子を内部に導入する手法が開発されれば、内包フラーレンならびにナノカーボンの物性科学にブレークスルーをもたらすことができる。

2. 研究の目的

本研究では、穏和な条件下での有機化学反応を駆使によりフラーレンの σ 骨格ならびに π 共役系を自在に切断することによって、これまでに無い三次元 π 共役系を実現させることを目的としている。最初に、フラーレン骨格上に開口部を設け、そこから、 H_2O , HF , O_2 , H_2CO , CH_3OH 等の小分子を内部に挿入し、その後開口部を元通りに修復することによって、従来法では合成が不可能な小分子内包フラーレンの合成を行う。内包化学種が電気双極子あるいは磁気双極子をもつナノカーボンについて、固体状態での特異な物性を明らかにする。

3. 研究の方法

中空のフラーレン C_{60} へのピリダジン誘導体の付加により 8 員環開口部を発生させ、一重項酸素による炭素-炭素二重結合の開裂を one-pot で行うことにより、1 2 員環開口部を簡便に合成する。さらに、この開口部を酸化剤により拡大し、1 6 員環開口部へと導く。これに対して、トルエン-水溶媒中で 1 万気圧の静水圧を作用させることによって、水分子内包体を合成する。さらに、申請者らが報告した硫黄による開口部拡大反応を適用することにより、環拡大を試みる。

4. 研究成果

フラーレン C_{60} の一つの炭素原子が窒素に置換されたアザフラーレン $C_{59}N$ 骨格は、 $C_{59}N$

カチオン種を発生させることにより電子豊富なベンゼン環を $C_{59}N$ 骨格に直接導入できることが知られている。我々はこれに着目しフラーレン骨格に色素を直接導入するため、 C_{60} 骨格の代わりに $C_{59}N$ 骨格を用いることを考えた。本研究では 1) 二量体 ($C_{59}N$)₂ を出発原料とした $C_{59}N$ 誘導体の効果的な合成法の検討と $C_{59}N$ 骨格への有機色素の導入、2) 色素- $C_{59}N$ 連結系の電子物性、3) BODIPY- $C_{59}N$ 連結系の励起状態の緩和過程について詳細に検討した。新たに合成した色素- $C_{59}N$ 連結体の酸化還元電位および吸収スペクトルを評価した結果、色素と $C_{59}N$ 骨格の間に相互作用が観測され、これに理論的解釈を加えた。また、BODIPY- $C_{59}N$ 連結体では、二つのユニットが近接していることに加え、BODIPY 部位の軌道が $C_{59}N$ 骨格にまで非局在化することにより、色素由来の吸収波長で励起すると、きわめて速やかに $C_{59}N$ 骨格の一重項励起状態が生成することを実証した。色素- $C_{59}N$ 連結体は、高速・高効率な電子あるいはエネルギー移動が起こる系を容易に構築できると考えられ、光電変換素子などへの応用が期待できる。

有機薄膜太陽電池の研究分野においては、PCBM と呼ばれるフラーレン誘導体が、1995 年に合成されて以来、依然として標準的なアクセプター材料としての位置を占めており、更なる光電変換特性の向上のためには PCBM の性能を上回るフラーレン誘導体の開発が重要である。これまで、PCBM の付加基の構造修飾や多重付加による材料開発が数多く報告されてきたが、PCBM に置き換わるほどの性能発現には至っておらず、従来に無い視点からの材料開発における分子設計指針を提唱することが重要である。従来からの 1 分子の構造修飾に力点が置かれていたフラーレン誘導体の開発に対して、本研究ではダイマー型のフラーレン誘導体に注目し、合成ならびに太陽電池デバイス作製から特性評価までを一貫して検討した。標準的なアクセプター材料である PCBM を近傍に接合させたダイマー型フラーレン誘導体を合成し、標準的な p 型ポリマー-P3HT と、代表的な低バンドギャップポリマー-PTB7 の 2 種類のドナー材料と組み合わせた有機薄膜太陽電池の作製ならびに評価について検討した。その結果、ダイマー型フラーレン誘導体を用いたデバイスは、P3HT ならびに PTB7 のどちらの組み合わせにおいても、PCBM を用いたデバイスに匹敵する光電変換効率を示すことがわかった。これまでに報告されているフラーレン誘導体とは異なり、今回のダイマー型フラーレン誘導体は、低バンドギャップポリマー-PTB7 への適用が可能であり、アクセプター材料の開発において興味深い。また、2 つの C_{60} 分子の連結様式の違いが、ダイマー型フラーレンの光電変換特性に影響を与えることが明らかとなり、今後の分子設計指針へと発展することが期待される。

フラーレン骨格の炭素原子がヘテロ原子で置き換わったヘテロフラーレンは元のフラーレンとは全く異なる物性を示すことが期待されるが、その有機化学的な合成例はアザフラーレン ($C_{59}N$, $C_{69}N$) に限られている。開口フラーレンはその前駆体として有用であり、事実アザフラーレンは開口 C_{60} ケタラクタム誘導体の脱カルボニル化を経由して合成される。新たな開口フラーレンならびにヘテロフラーレンを合成するには、フラーレンの炭素-炭素結合を切断する反応の開拓が必要である。しかし、シンプルなフラーレンの外側への付加反応に比べてそのような反応例は極めて少ない。本研究では、解くに例の少ない開口フラーレン C_{70} の合成に取り組み、フラーレン骨格上の炭素原子を硫黄原子および酸素原子に置き換える新規骨格変換反応は見出した。まず、開口 C_{60} 誘導体の合成法を基に、開口 C_{70} のビスヘミアセタール体を合成した。次に、この粉末を真空下で加熱して開口部から水分子を脱離させることにより、テトラケトン体を発生させた後、アミン存在下单体硫黄との熱反応を検討した。その結果、12員環開口部をもち、フラーレン骨格上の炭素原子の一つが硫黄原子に置き換わったチアフラーレン $C_{69}S$ 誘導体が収率41%で生成し、その構造はX線結晶構造解析により明らかにされた。一方、この反応において硫黄を用いない条件を検討したところ、硫黄原子の代わりに酸素原子が置換されたオキサフラーレン $C_{69}O$ 誘導体が生成することが明らかとなった。

フラーレンケージへの窒素原子のドーピングに起因するフラーレン骨格内部の性質の変化を明らかにするために、 $C_{59}N$ の内部空間に小分子を導入する有機化学的手法を開発した。また、内包小分子として、フラーレンケージ上の窒素原子との相互作用が期待される水分子および相互作用をほぼ無視できる水素分子を選定し、NMR アクティブな内包小分子のプロトン核磁気緩和時間を測定することにより、 $C_{59}N$ 骨格内部の性質について考察した。小分子内包 $C_{59}N$ を合成するために、(1) 小分子内包 C_{60} から直接誘導する方法、(2) 前駆体の11員環開口部を拡大し、小分子を導入した後、元の大きさの開口部まで閉環し、 $C_{59}N$ 骨格を構築する方法の2通りの手法を開発した。合成した $H_2O@(C_{59}N)_2$ 、 $H_2@(C_{59}N)_2$ の260-360 Kの温度範囲においてスピン格子緩和時間 T_1 を測定した。その結果、 $H_2@C_{59}N$ の T_1 は $H_2@C_{60}$ とほぼ同程度であったにも関わらず、 $H_2O@C_{59}N$ の T_1 は $H_2O@C_{60}$ の約3倍の値をもつことがわかった。これは、内包された水分子とフラーレン骨格上の窒素原子との間に何らかの相互作用が存在することを示している。 $H_2O@(C_{59}N)_2$ におけるより長い緩和時間の起源を明らかにするために、モデル化合物 $HC_{59}N$ の静電ポテンシャルを理論計算を用いて評価した結果、予想に反し、窒素原子上の静電ポテンシャル

は、骨格外部では負に、骨格内部では正に帯電していると示唆された。このことから、窒素原子上の非共有電子対の大部分がフラーレン骨格の 共役に参画しており、内包水分子の酸素原子は骨格上の窒素原子との間にむしろ引き合うような相互作用が働いていると考えられる。

申請者らは、フラーレンの炭素骨格の変換反応を機軸として、水分子を内包した C_{60} の有機化学的な合成法を開発している。一方、代表的な高次フラーレンである C_{70} は、 C_{60} より大きな内部空間をもち、 C_{60} では実現できなかった水素を2分子内包した $(H_2)_2@C_{70}$ の合成が達成されている。そこで本研究では、水分子を1分子または2分子内包した C_{70} の合成に取り組んだ。 C_{70} とピリダジン誘導体との熱反応では、結合または結合で反応した2種類の8員環開口部が得られるが、結合での反応により生成した化合物の開口部を拡大するルートでは、微量の水分子しか C_{70} 骨格内部に導入できなかった。そこで結合での反応により生成した化合物を出発原料として2段階の反応により、13員環開口部を合成した。これをトルエン中水存在下で加熱すると、水単分子が86%の内包率で C_{70} 内部に挿入でき、さらに2段階の反応により開口部を完全に閉環することに成功した。 1H NMR 測定の結果、内包された水単分子由来のシングレットのシグナル (-27.2 ppm) に加えて -25.3 ppm にシングレットが観測された。リサイクル HPLC を用いて精製した結果、後者のシグナルは水二量体を内包した C_{70} に対応することが明らかとなり、 $H_2O@C_{70}$ と $(H_2O)_2@C_{70}$ の生成比は積分比より 98 : 1 と見積もられた。内包された水二量体の化学シフトは、内包された水単分子と比較して大きく低磁場側にシフトしていることから、水二量体は C_{70} 骨格内部で水素結合を形成していると考えられる。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(査読付き論文、計66件)

- 1 H_2O Entrapped inside Fullerene Cages: Potential Probe for Evaluation of Bond Polarization, Hashikawa, Y.; Murata, M.; Wakamiya, A.; Murata, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, 55, 13109-13113.
- 2 Regio-, Stereo-, and Atropselective Synthesis of C_{60} Fullerene Bis(adduct)s by Supramolecular-Directed Functionalization, Bottari, G.; Trukhina, O.; Kahnt, A.; Frunzi, M.; Murata, Y.; Rodriguez-Forteza, A.; Poblet, J. M.; Guldi, D. M.; Torres, T. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, 55, 11020-11025.
- 3 Synthesis and Properties of Endohedral

- Aza[60]fullerenes: $\text{H}_2\text{O}@\text{C}_{59}\text{N}$ and $\text{H}_2@\text{C}_{59}\text{N}$ as Their Dimers and Monomers, Hashikawa, Y.; Michihisa, M.; Wakamiya, A.; Murata, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 4096-4104.
- 4 Synthesis of a Distinct Water Dimer inside Fullerene C_{70} , Zhang, R.; Murata, M.; Aharen, T.; Wakamiya, A.; Shimoaka, T.; Hasegawa, T.; Murata, Y. *Nat. Chem.* **2016**, *8*, 435-441.
 - 5 Triaryl Boron Based Fluorescent Organic Light-Emitting Diodes Showing External Quantum Efficiencies over 20%, Suzuki, K.; Kubo, S.; Shizu, K.; Fukushima, T.; Wakamiya, A.; Murata, Y.; Adachi, C.; Kaji, H. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 15231-15235.
 - 6 Hole-Transporting Materials with a Two-Dimensionally Expanded π -System Around an Azulene Core for Efficient Perovskite Solar Cells, Nishimura, H.; Ishida, N.; Shimazaki, A.; Wakamiya, A.; Saeki, A.; Scott, L. T.; Murata, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 15656-15659.
 - 7 Trapping N_2 and CO_2 on the Sub-nano Scale in Confined In-ternal Spaces of Open-cage C_{60} Derivatives: Isolation and Structural Characterization of Host-Guest Complexes, Futagoishi, T.; Murata, M.; Wakamiya, A.; Murata, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 14791-14794.
 - 8 Purely Organic Electroluminescent Material Realizing 100% Conversion from Electricity to Light, Kaji, H.; Suzuki, H.; Fukushima, T.; Shizu, K.; Suzuki, K.; Kubo, S.; Komino, T.; Oiwa, H.; Suzuki, F.; Wakamiya, A.; Murata, Y.; Adachi, C. *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 8476 (8 pages).
 - 9 Dynamic Optical Properties of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ Single Crystals as Revealed by One- and Two-Photon Excited Photoluminescence Measurements, Yamada, Y.; Yamada, T.; Phuong, L. Q.; Maruyama, N.; Nishimura, H.; Wakamiya, A.; Murata, Y.; Kanemitsu, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 10456-10459.
 - 10 Electron Deficient Tetrabenzo-fused Pyracylene and Conversions into Curved and Planar π -Systems with Distinct Emission Behaviors, Chaolumen, Murata, M.; Sugano, Y.; Wakamiya, A.; Murata, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 9308-9312.
 - 11 Enantiospecific cis-trans Isomerization in Chiral Fulleropyrrolidines: H-Bonding Assistance in the Carbanion Stabilization in $\text{H}_2\text{O}@\text{C}_{60}$, Maroto, E. E.; Mateos, J.; Garcia-Borras, M.; Osuna, S.; Filippone, S.; Herranz, M. A.; Murata, Y.; Sola, M.; Martin, N. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 1190-1197.
 - 12 Synthesis and Structure of an Open-cage Thiafullerene C_{69}S : Reactivity Differences of an Open-Cage C_{70} Tetraketone Relative to its C_{60} Analogue, Zhang, R.; Futagoishi, T.; Murata, M.; Wakamiya, A.; Murata, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 8193-8196.
 - 13 A Crystalline Porous Coordination Polymers Decorated with Nitroxyl Radicals Catalyzes Aerobic Oxidation of Alcohols, Li, L.; Matsuda, R.; Tanaka, I.; Sato, H.; Kanoo, P.; Joen, H. J.; Foo, M. L.; Wakamiya, A.; Murata, Y.; Kitagawa, S. *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 7543-7546.
 - 14 On-top pi-Stacking of Quasi-planar Molecules in Hole-transporting Materials: The Key to High and Anisotropic Carrier Mobility in Amorphous Films, Wakamiya, A.; Nishimura, H.; Fukushima, T.; Suzuki, F.; Saeki, A.; Seki, S.; Osaka, I.; Sasamori, T.; Murata, M.; Murata, Y.; Kaji, H. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 5800-5804.
 - 15 X-Ray Observation of a Helium Atom and Placing a Nitrogen Atom inside $\text{He}@\text{C}_{60}$ and $\text{He}@\text{C}_{70}$, Morinaka, Y.; Sato, S.; Wakamiya, A.; Nikawa, H.; Mizorogi, N.; Tanabe, F.; Murata, M.; Komatsu, K.; Furukawa, K.; Kato, T.; Nagase, S.; Akasaka, T.; Murata, Y. *Nat. Commun.* **2013**, *4*, 1554 (5 pages).
 - 16 Quantum Rotation of Ortho and Para-water Encapsulated in a Fullerene Cage, Beduz, C.; Carravetta, M.; Chen, J. Y.-C.; Concistrè, M.; Denning, M.; Frunzi, M.; Horsewill, A. J.; Johannessen, O. G.; Lawler, R.; Lei, X.; Levitt, M. H.; Li, Y.;

- Mamone, S.; Murata, Y.; Nagel, U.; Nishida, T.; Ollivier, J.; Rols, S.; R  m, T.; Sarker, R.; Turro, N. J.; Yang, Y. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2012**, *109*, 12894-12898.
- 17 ENDOR Evidence of Electron-H₂ Interaction in a Fulleride Embedding H₂, Zoleo, A.; Lawler, R.; Lei, X.; Li, Y.; Murata, Y.; Komatsu, K.; Valentin, M. D.; Ruzzi, M.; Turro, N. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 12881-12884.
- 18 A Photochemical On-Off Switch for Tuning the Equilibrium Mixture of H₂ Nuclear Spin Isomers as a Function of Temperature, Frunzi, M.; Jockusch, S.; Chen, J. Y.-C.; Calderon, R. K.; Lei, X.; Murata, Y.; Komatsu, K.; Guldi, D. M.; Lawler, R. G.; Turro, N. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 14232-14235.
- 19 A Single Molecule of Water Encapsulated in Fullerene C₆₀, Kurotobi, K.; Murata, Y. *Science* **2011**, *333*, 613-616.
- [学会発表(招待公演)](計22件)
1. フラーレンの構造変換に関する研究(受賞講演) 村田靖次郎、第22回基礎有機化学討論会、2011年9月21日-23日、つくば国際会議場
 2. Organic Synthesis of Endohedral Fullerenes (invited) Yasujiro Murata, Japan-Taiwan Joint Symposium on Organic Chemistry, Nov 20-21, 2011, Katsura, Kyoto University
 3. 水分子内包フラーレンの合成(依頼講演) 村田靖次郎、熊本大学拠点形成 B「ソフト溶液プロセスをベースとした階層的ナノ組織集積材料の創成」特別講演会「ナノ構造制御された高次構造体の新展開」、熊本大学工学部、2012年1月27日
 4. フラーレンを用いた基礎科学、材料化学(依頼) 村田靖次郎、岡山大学大学院自然科学研究科講演会、2012年9月25日、工学部1号館第2講義室、岡山大学
 5. 小分子内包フラーレンの有機合成(依頼) 村田靖次郎、奈良先端未来開拓コロキウム2012~分子、超分子から分子技術の時代へ~、2012年12月7-8日、学際融合領域研究棟1号館1階「交流・カンファレンスルーム」、奈良先端科学技術大学院大学、奈良
 6. Recent Progress on the Synthesis and Reaction of Novel Endofullerenes(invited) Yasujiro Murata, A Life in Science: A Meeting on Endofullerene Molecular Systems in Memory of Nicholas J. Turro, 12 May 2013, Department of Chemistry, Columbia University, New York, USA
 7. 小分子内包フラーレンの有機合成(招待) 村田靖次郎、「分子システム研究」第2回春季勉強会、御殿場光源ホテル BU、2013年6月7-8日
 8. フラーレンの骨格変換反応を用いた機能性有機化合物の合成(依頼) 村田靖次郎、高分子同友会、高分子同友会会議室、東京、2013年7月17日
 9. Novel Endohedral Fullerenes: Synthesis and Reactions (Plenary), Yasujiro Murata, The Third Symposium on "Carbon Nanoforms", 26-27 September, 2013, Madrid Institute for Advanced Studies in Nanoscience, Madrid, Spain
 10. Organic Synthesis of Endohedral Fullerenes and Their Reactions (Invited), Yasujiro Murata, 5th International Symposium on Emergence of Highly Elavorated pi-Space and Its Function, 24-25 October, 2013, Okazaki Conference Center, Higashiokazaki, Japan
 11. フラーレンの骨格変換反応を駆使した内包フラーレンの有機合成(招待) 村田靖次郎、京都府立大学講演会、京都府立大学、2013年12月17日
 12. 最先端有機化学の力：内包フラーレンの有機合成(招待) 村田靖次郎、第254回生存圏シンポジウム、京都大学楽友会館、2014年2月27日
 13. 骨格変換反応を駆使した内包フラーレンの有機合成(依頼) 村田靖次郎、錯体化学若手の会第50回近畿支部勉強会、2014年6月7日、京都大学桂キャンパス
 14. 開口フラーレンにおける元素化学(招待) 村田靖次郎、第3回元素化学懇談会、2014年6月21日、近畿大学東大阪キャンパス
 15. 骨格変換反応を駆使した内包フラーレンの有機合成(依頼) 村田靖次郎、東京工業大学資源化学研究所講演会、2014年8月1日、東京工業大学すずかけ台キャンパス
 16. フラーレン骨格の化学変換による小分子内包体の合成(特別発表) 村田靖次郎、第63回高分子討論会、長崎大学、2014年9月24-26日、長崎
 17. 内包フラーレンの有機合成、村田靖次郎、第256回分子工学コロキウム、2015年6月19日、京都大学桂キャンパス
 18. Open-cage Fullerenes toward Endofullerenes and Heterofullerenes (invited), Yasujiro Murata, The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015), 15-20 Dec 2015, Honolulu, USA
 19. Organic Synthesis of Endohedral Fullerenes (invited), Yasujiro Murata, The 70th Fujihara Seminar, 17-21 April, 2016, THE

- LUIGANS Spa & Resort, Fukuoka, Japan
20. Organic Synthesis of Endohedral Fullerenes by Molecular Surgery、Yasujiro Murata (invited)、International Workshop on Fundamental and Applied Research of Novel Nanocarbon Derivatives; Toward Bottom-Up Approach to Nanotechnology Era, 17 May, 2016, Tohoku University, Sendai, Japan
 21. 分子手術による内包フラーレンの有機合成 (依頼) 村田靖次郎、第 65 回高分子討論会、2016 年 9 月 14 - 16 日、神奈川大学横浜キャンパス、横浜
 22. 分子手術による内包フラーレンの合成とそれらの性質 (依頼)、村田靖次郎、JEOL2016NMR ユーザーズミーティング、2016 年 11 月 30 日、千里ライフサイエンスセンター、豊中市；2016 年 12 月 8、9 日、東京大学武田先端知ビル 5 階、東京

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~kouzou/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田靖次郎 (MURATA, Yasujiro)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：40314273

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

村田理尚 (MURATA, Michihisa)

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号：30447932

若宮淳志 (WAKAMIYA, Atsushi)

京都大学・化学研究所・准教授

研究者番号：60362224

論文の共著者である大学院生、ならびに共同研究者の皆様に感謝いたします。