

平成21年6月26日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18310081  
 研究課題名 (和文) フラーレン誘導体による多彩なナノ・メゾスコピック構造の作製と機能開拓  
 研究課題名 (英文) Preparation of various nano and mesoscopic structures and exploration of their functions  
 研究代表者  
 有賀 克彦 (ARIGA KATSUHIKO)  
 独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・MANA 主任研究者  
 研究者番号：50193082

## 研究成果の概要：

機能炭素ユニットであるフラーレンを材料として有効利用するため、ごく微細レベルで自由に成型加工しうる技術の開発を行った。フラーレンに炭化水素鎖を導入した化合物を各種有機溶媒中で、ワイヤ、球状、フラワー状等の構造へと組み上げることに成功した。フラワー状構造体を基板の上に塗布することにより、超撥水性の表面を得た。また、純粋フラーレン物質を様々な液体間の界面でひし形や六角形のナノシートに成型できること、それらの一部は水を加えることによってナノロッドに変形できることも見出した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2007年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

## 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：ナノチューブ・フラーレン，自己組織化，超分子化学，ナノ材料，マイクロ・ナノデバイス

## 1. 研究開始当初の背景

フラーレンは炭素の新しい形態として発見され、ノーベル賞受賞の対象ともなった。フラーレンは特徴的な電子特性を持つことから、様々な研究が主に“分子レベル”にて行われている。しかしながら、フラーレンを材料として用いる試みは少ないため、その実用化への道が拓けていない。その足かせとなっているのが、フラーレンを自由に成型する

技術の欠如である。特に、ナノ・メゾスコピックレベルの構造体の作製技術はほとんど開拓されていない。我々は、そのようなギャップを埋め、実用的なフラーレン材料を開発するための基盤技術を開発するために本研究を行った。

## 2. 研究の目的

本研究では、超分子・高分子で見られるよ

うな自己集合過程によって、高機能性のフラーレン誘導体を素材としてナノ・メゾスコピックオーダーの球状、ファイバー状、コーン状、フラワー状などの多種多様なナノカーボン集合体新素材の開発を行う。本研究では、有機・超分子化学を出発点とするために、分子レベルにおける組織化形態を予測、制御でき、これまでにないナノ・メゾスコピックカーボンをセレンディピティ的に開発できる可能性を秘めている。さらに、フラーレン超分子からなる次世代カーボンマテリアルの開発を目指し、これらのナノ・メゾスコピックカーボン集合構造の様々な機能開発についても追求する。

### 3. 研究の方法

本研究の特徴は、自己集合という分子の自発的な働きによってナノ・メゾスコピックオーダーの構造体を得るものであり、特別な装置を要さないという特徴がある。したがって、実験の方法は極めてシンプルかつローコストであり、フラーレン誘導体を溶媒に溶かし放置するだけでなされる。得られた構造体は通常の手法である電子顕微鏡観察や様々な構造解析法によって評価される。

### 4. 研究成果

#### (1) フラーレン誘導体が形成する様々な構造体

我々は、極性基を持たない両親媒性のフラーレン誘導体の合成を行った。このフラーレン誘導体は、 $sp^2$  炭素から形成されているフラーレン部分と  $sp^3$  軌道から形成される三本のアルキル鎖からなっている。この特異な構造は、炭素の  $sp^2$  性と  $sp^3$  性の差異を反映した芳香族系や脂肪族系の多くの溶媒に対して両親媒性を示すことになる。本研究では、合成したフラーレン化合物をいろいろな溶媒に加熱溶解させ、その溶液を室温まで冷却、保存した時にできる自己組織化集合体の形を電子顕微鏡や原子間力顕微鏡で観察した。例えば、溶媒としてジオキサンを使うと、厚みがわずか 4.4 ナノメートルの円盤状の物体（ディスク）が得られ、溶媒をアルコールの一種の 1-プロパノールにすると、円盤が細長く伸びたようなテープ状の構造を作り、それが重なったり、束になってファイバー状の構造を作ることが観察された。その他、2-プロパノールにトルエン溶媒を加えると、円盤が丸まったような球状のカプセルになり、テトラヒドロフランと水を混ぜたものを使うと、分子集合体としては非常に稀な貝殻のような構造（コーン構造）ができてくることがわかった。このフラーレン誘導体をグラファ

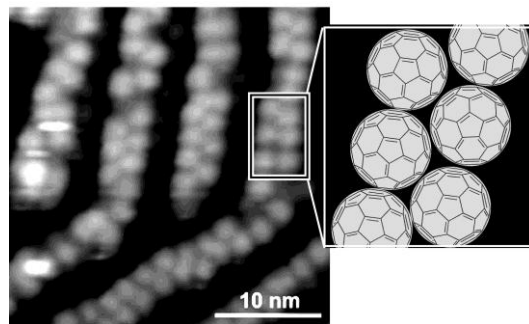


図1 フラーレン誘導体が形成するナノワイヤー構造体：トンネル顕微鏡写真（左）とそのモデル（右、アルキル鎖は省略してある）

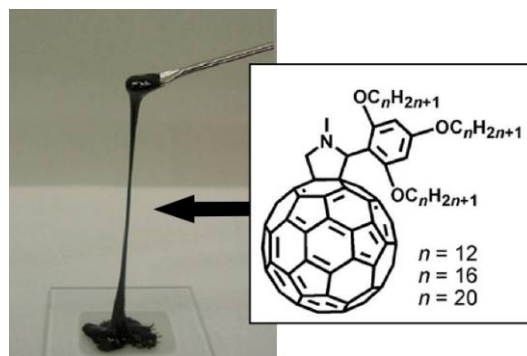


図2 フラーレン誘導体からなるオイル状構造体

イト界面にキャストすると図1のようなナノワイヤー構造が得られることや、アルキル鎖の改変によってオイル状のバルク物質（図2）が得られることも確かめられた。

#### (2) フラーレン構造体の機能開発

同様なフラーレンのアルキル誘導体を用い、様々な条件下で探索を行ったところ、ジオキサン溶液をベースにした自己集合化条件によって、フラーレン構造体が定量的に沈殿物として得られることが明らかとなった。得られた物体を電子顕微鏡観察により解析したところ、円盤シート状のナノ構造が多数折り重なった“フラワー状”構造体となっていることが明らかとなった。このフラワー状構造は比表面積が極めて大きく、また完全疎水性であることから、固体表面の濡れ性コントロールに応用できることが期待された。実際シリコン基板上にこのフラワー状構造を塗布し、水に対する接触角を測定したところ、 $150^\circ$  以上の超撥水性を示すことがわかった（図3）。この物体は、熱をかけたり有機溶媒にさらすことによって簡単に除くことができるので、撥水加工と異なり、自由に着脱できるという特徴がある。また、このフラーレンフラワー構造を鋳型にして、金などの金属を蒸着し、さらに鋳型を取り除くことによ

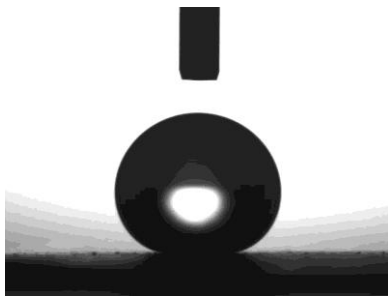


図3 フラーレンフラワー構造体の塗布表面の超撥水性

って金属からなるフラワー構造を作成することができた。この金属フラワーは、表面増強ラマンスペクトルの基板としても有用であることが確かめられた。

### (3) 純粋フラーレンからなる様々な構造体

上記のようにアルキル鎖を導入したフラーレン誘導体では、機能性を示さないアルキル基がかなりの割合でナノ・メソスコピック構造体の中に含まれることになる。この事実は、機能性構造体という観点からは不利な事実となる。そこで、我々は、純粋なフラーレン分子を様々な形に成型する技術の開発に取り組んだ。フラーレンは両親媒性ではないが、異なる媒体の界面の境界に析出させれば、それぞれの媒体に対する親和性の差異を反映して、様々な形態を形成する可能性がある。我々は、液-液界面での結晶化過程を通じて、純粋なフラーレンからなる多様構造体の形成に取り組んだ(図4)。例えば、ひし形や六角形のナノシート構造が、*tert*-ブチルアルコール/トルエン、*iso*-プロピルアルコール/四塩化炭素界面からそれぞれ得られることがわかった。特に前者の構造体は、水への接触によってナノロッド状構造へと変換されることも確かめられた(一方、六角形構造は水への接触に際しても安定に保たれた)。これらの変化は結晶構造の安定性に依存する。特にひし形ナノシートは、面心立方晶と

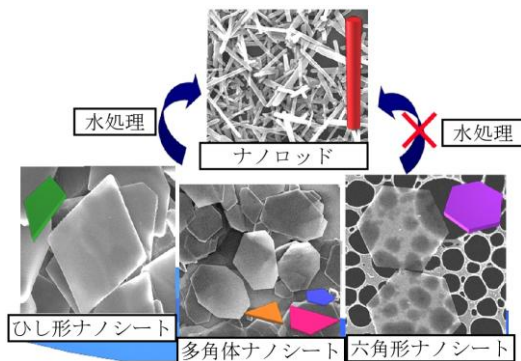


図4 純粋フラーレンが形成する様々なナノ構造体

六方晶との混晶であり、水との接触により純粋な面心立方晶出あるナノロッド構造体に転移する。この発見は、適当な溶媒にさらすだけで“純粋な”フラーレンの様々なナノ・メソスコピックレベルの構造体を生み出すものであり、多方面に有用な技術になると期待できる。

### 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49件) 全て査読あり

- ① Nanorod Driven Orientational Control of Liquid Crystal for Polarization-Tailored Electro-optic Devices, Acharya, Sombrata; Kundu, Sudarshan; Hill, Jonathan P.; Richards, Gary J.; Ariga, Katsuhiko, *Adv. Mater.*, (2009), 21(9), 989-993.
- ② Toward Volatile and Nonvolatile Molecular Memories: Fluorescence Switching Based on Fluoride-Triggered Interconversion of Simple Porphyrin Derivatives, Shundo, Atsuomi; Hill, Jonathan P.; Ariga, Katsuhiko, *Chem. Eur. J.*, (2009), 15(11), 2486-2490.
- ③ Supramolecular Templates for Nanoflake-Metal Surfaces, Shen, Yanfei; Wang, Jiaobing; Kuhlmann, Uwe; Hildebrandt, Peter; Ariga, Katsuhiko; Möhwald, Helmut; Kurth, Dirk G.; Nakanishi, Takashi, *Chem. Eur. J.*, (2009), 15(12), 2763-2767.
- ④ Superconducting Nanocrystalline Tin Protected by Carbon, Pol, Vilas; Thiyagarajan, Pappannan; Acharya, Sombratra; Ariga, Katsuhiko; Felner, Israel, *Langmuir*, (2009), 25(5), 2582-2584.
- ⑤ Layer-by-Layer Films of Dual-Pore Carbon Capsules with Designable Selectivity of Gas Adsorption, Ji, Qingmin; Yoon, Suk Bon; Hill, Jonathan P.; Vinu, Ajayan; Yu, Jong-Sung; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2009), 131(12), 4220-4221.
- ⑥ Solvent-Engineering for Shape-Shifter Pure Fullerene (C<sub>60</sub>), Sathish, Marappan; Miyazawa, Kun'ichi; Hill, Jonathan; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2009), 131(18), 6372-6373.
- ⑦ The Effect of Surface Free Energy on PDMS Transfer in Microcontact Printing, and its Application to ToF-SIMS to Probe Surface Energies, Yang, Li; Shirahata, Naoto; Saini, Gaurav; Zhang, Feng; Pei,

- Lei; Asplund, Matthew; Kurth, Dirk; Ariga, Katsuhiko; Sautter, Ken; Nakanishi, Takashi; Smentkowski, Vincent; Linford, Matthew, *Langmuir*, (2009), 25(10), 5674–5683.
- ⑧ *Soft* Langmuir–Blodgett Technique for *Hard* Nanomaterials, Acharya, Somobrata; Hill, Jonathan P.; Ariga, Katsuhiko, *Adv. Mater.*, in press. DOI: 10.1002/adma.200802648.
- ⑨ Hierarchic Nanostructure for Auto-Modulation of Material Release: Mesoporous Nanocompartment Films, Ji, Qingmin; Acharya, Somobrata; Hill, Jonathan P.; Vinu, Ajayan; Yoon, Suk Bon; Yu, Jong-Sung; Sakamoto, Kazutami; Ariga, Katsuhiko, *Adv. Funct. Mater.*, in press. DOI: 10.1002/adfm.200801762.
- ⑩ Diverse Self-assembly in Soluble Oligoazaacenes: A Microscopy Study, Richards, Gary J.; Hill, Jonathan P.; Okamoto, Ken; Shundo, Atsuo; Akada, Misaho; Elsegood, Mark R. J.; Mori, Toshiyuki; Ariga, Katsuhiko, *Langmuir*, in press. DOI: 10.1021/la8041633.
- ⑪ Synthesis of New Red Emitting Single-phase Europium Oxycarbonate, Pol, Vilas G.; Calderon-Moreno, Jose M.; Popa, Monica; Acharya, Somobratra; Ariga, Katsuhiko; Thiyagarajan, P., *Inorg. Chem.* in press.
- ⑫ Evidence for a ball-shaped cyclen cyclophane: an experimental and first principles study, Hill, Jonathan P.; Scipioni, Roberto; Boero, Mauro; Wakayama, Yutaka; Akada, Misaho; Miyazaki, Tsuyoshi; Ariga, Katsuhiko, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, in press. DOI:10.1039/b822802g.
- ⑬ Advances in Biomimetic and Nanostructured Biohybrid Materials, Ruiz-Hitzky, Eduardo; Darder, Margarita; Aranda, Pilar; Ariga, Katsuhiko, *Adv. Mater.*, in press.
- ⑭ Chiral Recognition at the Air–Water Interface, Ariga, Katsuhiko; Michinobu, Tsuyoshi; Nakanishi, Takashi; Hill, Jonathan P., *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, (2008), 13(1-2), 23–30.
- ⑮ Nanostructured Microspheres of MnO<sub>2</sub> formed by Room Temperature Solution Processing, Hill, Jonathan P.; Alam, Sher; Ariga, Katsuhiko; Anson, Christopher E.; Powell, Annie K., *Chem. Commun.*, (2008), (3), 383–385.
- ⑯ Nano-Carbon Superhydrophobic Surfaces Created from Fullerene Based Hierarchical Supramolecular Assemblies, Nakanishi, Takashi; Michinobu, Tsuyoshi; Yoshida, Kaname; Shirahata, Naoto; Ariga, Katsuhiko; Möhwald, Helmuth; Kurth, Dirk G., *Adv. Mater.*, (2008), 20(3), 443–446.
- ⑰ Stimuli-Free Auto-Modulated Material Release from Mesoporous Nano-Compartment Films, Ji, Qingmin; Miyahara, Masahiko; Hill, Jonathan P.; Acharya, Somobrata; Vinu, Ajayan; Yoon, Suk Bon; Yu, Jong-Sung; Sakamoto, Kazutami; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2008), 130(8), 2376–2377.
- ⑱ Formation of Nano-Domains Confined in Two-Dimensional Molecular Plane, Oishi, Yushi; Kato, Takayuki; Narita, Takayuki; Ariga, Katsuhiko; Kunitake, Toyoki, *Langmuir*, (2008), 24(5), 1682–1685.
- ⑲ Novel Three Dimensional Cubic Fm3m Mesoporous Aluminosilicates with Tailored Cage Type Pore Structure and High Aluminum Content, Srinivasu, Pavuluri; Alam, Sher; Balasubramanian, Veerappan V.; Velmathi, Sivan; Sawant, Dhanashri P.; Böhlmann, Winfred; Mirajkar, Subhash P.; Ariga, Katsuhiko; Halligudi, Shivappa B.; Vinu, Ajayan, *Adv. Funct. Mater.*, (2008), 18(4), 640–651.
- ⑳ Heteropoly Acid Encapsulated SBA-15/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites and Their Unusual Performance in Acid-Catalyzed Organic Transformations, Sawant, Dhanashri P.; Justus, Josena; Balasubramanian, Veerappan V.; Ariga, Katsuhiko; Srinivasu, Pavuluri; Velmathi, Sivan; Halligudi, Shivappa B.; Vinu, Ajayan, *Chem. Eur. J.*, (2008), 14(10), 3200–3212.
- ㉑ Ultra Narrow PbS Nanorods with Intense Fluorescence, Acharya, Somobrata; Gautam, Ujjal K.; Sasaki, Toshio; Bando, Yoshio; Golan, Yuval; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2008), 130(14), 4594–4595.
- ㉒ Growth and electrical properties of *N,N'*-bis(*n*-pentyl)terrylene-3,4:11,12-tetracarboximide thin films, Petit, Matthieu; Hayakawa, Ryoma; Shirai, Yasuhiro; Wakayama, Yutaka; Wakayama, Hill, Jonathan P.; Ariga, Katsuhiko; Chikow, Toyohiro, *Appl. Phys. Lett.* (2008), 92(16), 163301.
- ㉓ Direct Synthesis and the Morphological Control of Highly Ordered

- Two-Dimensional *p6mm* Mesoporous Niobium Silicates with High Niobium Content, Srinivasu, Pavuluri; Anand, Chokkalingam; Alam, Sher; Ariga, Katsuhiko; Halligudi, Shiva B.; Balasubramanian, Veerappan V.; Vinu, Ajayan, *J. Phys. Chem. C*, (2008), 112(27), 10130-10140.
- ②4 Twisted, Two-faced Porphyrins as Hosts for Bispyridyl Fullerenes: Construction and Photophysical Properties, Xie, Yongshu; Hill, Jonathan P.; Schumacher, Amy Lea; Sandanayaka, Atula, S. D.; Araki, Yasuyuki; Karr, Paul A.; Labuta, Jan; D' Souza, Francis; Ito, Osamu; Anson, Christopher, E.; Powell, Annie, K.; Ariga, Katsuhiko, *J. Phys. Chem. C*, (2008), 112(28), 10559-10572.
- ②5 A Layered Mesoporous Carbon Sensor Based on Nanopore-Filling Cooperative Adsorption in the Liquid Phase, Ariga, Katsuhiko; Vinu, Ajayan; Ji, Qingmin; Ohmori, Osamu; Hill, Jonathan P.; Acharya, Somobrata; Koike, Jun; Shiratori, Seimei, *Angew. Chem. Int. Ed.*, (2008), 47(38), 7254-7257.
- ②6 Decomposition of Dinuclear Manganese Complexes for Preparation of Nanostructured Oxide Materials, Hill, Jonathan P.; Palza, Humberto; Alam, Sher; Ariga, Katsuhiko; Schumacher, Amy; D' Souza, Francis; Anson, Christopher; Powell, Annie, *Inorg. Chem.*, (2008), 47(18), 8306-8314.
- ②7 Multi-dimensional Control of Surfactant Guided Assemblies of Quantum Gold Particle, Ji, Qingmin; Acharya, Somobrata; Hill, Jonathan P.; Richards, Gary J.; Ariga, Katsuhiko, *Adv. Mater.*, (2008), 20(21), 4027-4032.
- ②8 Three-Dimensional Ultralarge-Pore *Ia3d* Mesoporous Silica with Various Pore Diameters and Their Application in Biomolecule Immobilization, Vinu, Ajayan; Gokulakrishnan, Narasimhan; Balasubramanian, Veerappan V.; Alam, Sher; Kapoor, Mahendra P.; Ariga, Katsuhiko; Mori, Toshiyuki, *Chem. Eur. J.*, (2008), 14(36), 11529-11538.
- ②9 Catalysis of a Peptidic Micellar Assembly Covalently Immobilized within Mesoporous Silica Channels: Importance of Amphiphilic Spatial Design, Otani, Wataru; Kinbara, Kazushi; Zhang, Qingmin; Ariga, Katsuhiko; Aida, Takuzo, *Chem. Eur. J.*, (2007), 13(6), 1731-1736.
- ③0 Carboxy-Mesoporous Carbon and Its Excellent Adsorption Capability for Proteins, Vinu, Ajayan; Hossian, Kazi Zakir; Srinivasu, Pavuluri; Miyahara, Masahiko; Anandan, Srinivasan; Gokulakrishnan, Narasimhan; Mori, Toshiyuki; Ariga, Katsuhiko; Balasubramanian, Veerappan Vaithilingam, *J. Mater. Chem.*, (2007), 17(18), 1819-1825.
- ③1 Layer-by-Layer Assembly as a Versatile Bottom-Up Nanofabrication Technique for Exploratory Research and Realistic Application, Ariga, Katsuhiko; Hill, Jonathan P.; Ji, Qingmin, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, (2007), 9(19), 2319-2340.
- ③2 Supramolecular Triad and Pentad Composed of Zinc Porphyrin(s), Oxoporphyrinogen, and Fullerene(s): Design and Electron Transfer Studies, Schumacher, Amy Lea; Sandanayaka, Atula, S. D.; Hill, Jonathan, P.; Ariga, Katsuhiko; Karr, Paul, A.; Araki, Yasuyuki; Ito, Osamu; D' Souza, Francis, *Chem. Eur. J.*, (2007), 13(16), 4628-4635.
- ③3 Preparation and Characterization of a Novel Organic-Inorganic Nanohybrid "Cerasome" Formed with Liposomal Membrane and Silicate Surface, Katagiri, Kiyofumi; Hashizume, Mineo; Ariga, Katsuhiko; Terashima, Takashi; Kikuch, Jun-ichi, *Chem. Eur. J.*, (2007), 13(18), 5272-5281.
- ③4 Structural Study of the Thermally Induced and Photoinduced Phase Transitions of the 1,3,5-Trithia-2,4,6-Triazapentalenyl (TTA) Radical, Naumov, Pancë; Hill, Jonathan P.; Sakurai, Kenji; Tanaka, Masahiko; Ariga, Katsuhiko, *J. Phys. Chem. A*, (2007), 111(28), 6449-6455.
- ③5 Three Dimensional Cage Type Mesoporous CN-Based Hybrid Material with Very High Surface Area and Pore Volume, Vinu, Ajayan; Srinivasu, Pavuluri; Sawant, Dhanashri P.; Mori, Toshiyuki; Ariga, Katsuhiko; Chang, Jong-San; Jhung, Sung-Hwa; Balasubramanian, Veerappan Vaithilingam; Hwang, Young Kyu, *Chem. Mater.*, (2007), 19(17), 4367-4372.
- ③6 Self-Assembled Microstructures of Functional Molecules, Ariga, Katsuhiko; Nakanishi, Takashi; Hill, Jonathan P., *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, (2007), 12(3), 106-120.
- ③7 One-Pot Separation of Tea Components

- through Selective Adsorption on Pore-Engineered Nanocarbon, Carbon Nanocage, Ariga, Katsuhiko; Vinu, Ajayan; Miyahara, Masahiko; Hill, Jonathan P.; Mori, Toshiyuki, *J. Am. Chem. Soc.*, (2007), 129(36), 11022-11023.
- ③⑧ Coordination Chemistry and Supramolecular Chemistry in Mesoporous Nanospace, Ariga, Katsuhiko; Vinu, Ajayan; Hill, Jonathan P.; Mori, Toshiyuki, *Coord. Chem. Rev.*, (2007), 251(21-24), 2562-2591.
- ③⑨ Self-Assembly Structures of a Phenol-Substituted Porphyrin in the Solid State: Hydrogen Bonding, Kagomé Lattice, and Defect Tolerance, Hill, Jonathan P.; Wakayama, Yutaka; Akada, Misaho; Ariga, Katsuhiko, *J. Phys. Chem. C*, (2007), 111(44), 16174-16180.
- ④⑩ Tautomerism in Novel Oxocorrologens, Xie, Yongshu; Hill, Jonathan P.; Schumacher, Amy Lea; Karr, Paul A.; D' Souza, Francis; Anson, Christopher E.; Powell, Annie K.; Ariga, Katsuhiko, *Chem. Eur. J.*, (2007), 13(35), 9824-9833.
- ④⑪ Flower-Shaped Supramolecular Assemblies: Hierarchical Organization of a Fullerene Bearing Long Aliphatic Chains, Nakanishi, Takashi; Ariga, Katsuhiko; Michinobu, Tsuyoshi; Yoshida, Kaname; Takahashi, Hirokazu; Teranishi, Toshiharu; Möhwald, Helmuth; Kurth, Dirk G., *Small*, (2007), 3(12), 2019-2023.
- ④⑫ Preparation and Catalytic Performances of Ultra Large Pore TiSBA-15 Mesoporous Molecular Sieves with Very High Ti Content, Vinu, A.; Srinivasu, P.; Miyahara, M.; Ariga, K., *J. Phys. Chem. B*, (2006), 110(2), 801-806.
- ④⑬ Control of Morphology and Helicity of Chiral Mesoporous Silica, Jin, Haiying; Liu, Zheng; Ohsuna, Tetsu; Terasaki, Osamu; Inoue, Yoshihisa; Sakamoto, Kazutami; Nakanishi, Takashi; Ariga, Katsuhiko; Che, Shunai, *Adv. Mater.*, (2006), 18(5), 593-596.
- ④⑭ Perfectly Straight Nanowires of Fullerenes Bearing Long Alkyl-Chains on Graphite, Nakanishi, Takashi; Miyashita, Naoko; Michinobu, Tsuyoshi; Wakayama, Yutaka; Tsuruoka, Tohru; Ariga, Katsuhiko; Kurth, Dirk G., *J. Am. Chem. Soc.*, (2006), 128(19), 6328-6329.
- ④⑮ A Paradigm Shift in the Field of Molecular Recognition at the Air-Water Interface: from Static to Dynamic, Ariga, Katsuhiko; Nakanishi, Takashi; Hill, Jonathan P., *Soft Matter*, (2006), 2(6), 465-477.
- ④⑯ Regulating the stability of 2D crystal structures using an oxidation state-dependent molecular conformation, Hill, Jonathan P.; Wakayama, Yutaka; Schmitt, Wolfgang; Tsuruoka, Tohru; Nakanishi, Takashi; Zandler, Melvin L.; McCarty, Amy L.; D' Souza, Francis; Milgrom, Lionel R.; Ariga, Katsuhiko, *Chem. Commun.*, (2006), (22), 2320-2322.
- ④⑰ Characterization and Catalytic Performances of Three Dimensional Mesoporous FeSBA-1 Catalysts, Vinu, Ajayan; Krithiga, Thangavelu; Balasubramanian, Veerappan V.; Asthana, Anjana; Srinivasu, Pavuluri; Mori, Toshiyuki; Ariga, Katsuhiko; Ramanath, Ganapathiraman; Ganesan, Pethuraja G., *J. Phys. Chem. B*, (2006), 110(24), 11924-11931.
- ④⑱ Room Temperature Liquid Fullerenes: An Uncommon Morphology of C<sub>60</sub> Derivatives, Michinobu, Tsuyoshi; Nakanishi, Takashi; Hill, Jonathan P.; Funabashi, Masahiro; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2006), 128(32), 10384-10385.
- ④⑲ Mechanical Control of Enantioselectivity of Amino Acid Recognition by Cholesterol-Armed Cyclen Monolayer at the Air-Water Interface, Michinobu, Tsuyoshi; Shinoda, Satoshi; Nakanishi, Takashi; Hill, Jonathan P.; Fujii, Kazuko; Player, Tomoko N.; Tsukube, Hiroshi; Ariga, Katsuhiko, *J. Am. Chem. Soc.*, (2006), 128(45), 14478-14479.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

有賀 克彦 (ARIGA KATSUHIKO)  
 独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・MANA 主任研究者  
 研究者番号：50193082

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし