

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24年6月14日現在

機関番号： 13601
 研究種目： 特別推進研究
 研究期間： 2007～2011
 課題番号： 19002007
 研究課題名（和文） 気相法カーボンナノチューブの選択成長とナノ構造制御ならびに機能評価に関する研究
 研究課題名（英文） Selective Growth of CVD-based Carbon Nanotubes through the Nanostructured Control and Their Novel Multi-functions
 研究代表者
 遠藤 守信 (ENDO MORINOBU)
 信州大学・工学部・教授
 研究者番号： 10021015

研究成果の概要（和文）： カーボンナノチューブ（CNT）は基礎科学と応用においてグリーン・イノベーションを牽引する重要素材として、新半導体から先端複合材料、環境、バイオ応用など広範な分野で新技術創出の観点から期待がかけられている。本研究は、特に二層および多層CNT（DW, MWNT）の精緻な成長、構造の制御法開拓とその成長メカニズムの解明、それらの選択的成長法を中心に研究展開するものである。得られた高純度サンプルの構造や電子機能解析の検討を進め、さらに“Safe Innovation”の観点を踏まえて安全性・毒性についても検討し、CNTの基礎科学と応用基礎の両分野の貢献によってその発展に資することを目指すものである。

研究成果の概要（英文）： Carbon nanotube (CNT) has been recognized as a key material that drives the green innovation to generate new technology in a wide range of applications such as novel semiconductor, advanced composites, environmental materials and possible bio-applications. Present project aims especially to exploit a way to precise control of the growth and structure of double-walled (DWNT), and multi-walled CNT (MWNT), to reveal their growth mechanism, and to selectively grow desired CNT. The goal is to contribute to basic science, applications and understanding the basic toxicity aspect of CNT, from viewpoint of materials science, through an exact control of such as the microscopic structure and the electronic function. From the viewpoint of safe-nanotechnology as “Safe Innovation”, the structurally controlled CNT should be pursued for promising growth of CNT science and technology.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	134,300,000	40,290,000	174,590,000
2008年度	127,085,000	38,125,500	165,210,500
2009年度	102,200,000	30,660,000	132,860,000
2010年度	43,400,000	13,020,000	56,420,000
2011年度	44,800,000	13,440,000	58,240,000
総計	451,785,000	135,535,500	587,320,500

研究分野： 工学

科研費の分科・細目：材料工学・無機材料・物性

キーワード：カーボンナノチューブ，構造解析・制御，触媒気相法，物性，材料科学的な安全性評価

1. 研究開始当初の背景

カーボンナノチューブ（CNT）はナノテクを

代表する先端素材として大きな期待を集めており、広く研究が進められている。これまで

CNT の生成法として、金属触媒粒を用いた気相 (CCVD) 法が確立されたことにより、基礎と応用の両分野の研究が進展してきた。しかしながら、未だCNT の精緻な構造制御法が確立されておらず、CNT 本来の優れた性質やイノベーティブな機能評価や発現機構等が未解明で、基礎科学と応用基礎分野におけるブレークスルーが期待されている所である。

2. 研究の目的

本研究は材料科学の観点から、CCVD 法を基にしてDWNTおよびMWNT の成長の精緻な制御法の開拓と成長メカニズムの解明、それらの高度な選択成長法の確立を中心に検討し、また得られたCNTの構造と物性の相関性を明らかとし、かつMWNT で実現したように高純度・選択的にDWNT を生成する方法を開拓することが主たるテーマである。研究代表者による基盤的成果に最新の知見を加えて研究推進し、精緻な構造の解析・制御法や電子機能・構造相関の解明を進めた。また安全性の材料基礎科学的な検討も進め、もってCNT の科学と応用の健全な発展 (図1参照) への貢献を目指すものである。

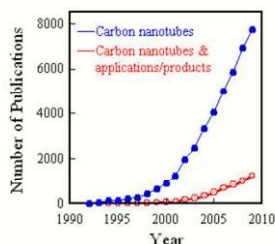


Figure Trends in the number of publications about CNTs and their practical applications (Source: ISI Web of Science).

図1 CNT 論文数の推移 (基礎研究、応用研究)

(Y. Tao, M. Endo, K. Kaneko: Recent Progress on Synthesis and Applications of Carbon Nanotubes, in Handbook of Innovative Nanomaterials: From Synthesis and Applications (Edited by X. Fang and L. Wu), Pan Stanford Publishing, pp639-663, 2012 より引用)

3. 研究の方法

開発したCCVD 装置ならびに整備した先進の各種解析機器 (トリプルラマン、球面収差補正透過型電子顕微鏡) 他を用いて以下の項目を検討している。

媒粒子がCNT (DW, MW) を形成する機構、②成長を制御し、二層、三層、多層CNT の構造の制御法と高効率・選択的成長、③機能解析、ドーピング、インターカレーションの挙動と多様な機能の評価と付与、④DWNT の選択成長を浮遊触媒法 (FCCVD) で開拓し内外層チューブの螺旋構造の相関性の解析、⑤高純度CNTの安全性・生体適合性の基礎的・材料学的検討とCNTのバイオ応用に向けた基礎的・材料学的検討等である。

4. 研究成果

本研究で得られた成果について、発表論文を基に以下に概要を整理してまとめた。

鉄触媒を用いた CCVD 法によって高純度で本研究固有の構造を有する二層 CNT の製法を確立し、量産に向けての可能性を開拓した。DWNT は、他に SWNT に C_{60} フラーレンを内包させて熱処理して形成する方法もあるが、CCVD 法は効率よく生成可能で、かつ構造制御に最適な方法で有ることを示した。ここで開発した方法による DWNT は高い構造完全性と熱安定性、特異な細い直径等に特徴がある。すなわち、成長条件を制御して中空チューブ直径が 1 nm の極細二層構造を選択的に形成でき、この構造特異性を利用してチューブ内にモリブデン原子を 1 次元に並べた原子ワイヤーの形成に成功した (図 2) (Nano Lett. 8, 237-240, 2008; Nano Lett. 9 (4), 1487-1492, 2009.)。白金や金原子もチューブ内に 1 次元に整列させることが可能で本 DWNT において特異的に合成できた。これまで単層 CNT や多層 CNT に鉄やニッケルなどの金属またはその酸化物等を直径数 nm のナノロッドとして内包させた報告はあるが、金属原子をチューブ内に 1 次元に並べた点にブレークスルーがあり、電子、触媒化学、磁性等の新機能性付与の観点で期待がある。

DWNTsの特異性として、CCVD法で合成し最適化された精製処理工程を経て得られるDWNTの半導体的内層チューブが、同じカイラリティの単層CNTと比較して蛍光特性に優れていることを実験的に明らかにした (図3) (Appl. Phys. Lett. 94, 83106. 1- 083106. 3, 2009)。これはDWNTの内層が外層に保護され、更にSWNTよりも構造完全性が高く、DWNTの同軸構造の効果によって生成後の高温処理でも構造安定性が保持されるためと考えられ、種々の応用展開が期待される。

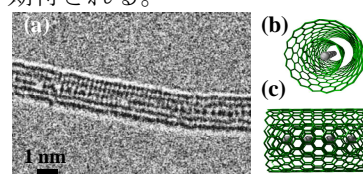


図2 Mo 原子ワイヤーを内包した二層 CNT の TEM 像 (a) およびその構造モデル (b) (c)

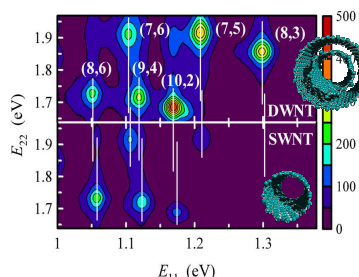


図3 同条件で作製した単層および二層 CNT のフォトルミネッセンスの違い

C₆₀Peapodの熱融合から得られたDWNTの詳細な構造解析および光学特性評価を行い、本研究によるCCVD法DWNTと比較・解析した。その結果、熱処理温度の上昇に伴って内層が金属的から半導体的特性に変化していく可能性があることを詳細なTEM、Raman、蛍光分析などから明らかとした。これらの結果からPeapodから合成されるDWNTsの内層には金属-半導体の分子的接合が発生していることが予想され、熱処理温度の上昇に伴い金属的内層の存在が減少していると考えられた。

そこで我々はCCVD法とPeapodsの熱処理から合成したDWNTsの電気伝導特性を検討(論文No. 3, ACS Nano 5, 7547-7554, 2011)した。DWNTの合成方法は上述のようにCCVD法、そしてSWNTにC₆₀を内包させ熱処理することによる方法である。ここでは両手法により得られたDWNTを詳細な電子顕微鏡観察と光学特性評価をもとに、電気伝導特性の比較を行った。興味深いことはCCVD法とPeapodsの熱処理法により得られる内層と外層のカイラリティ分布が異なることである。Peapodsの熱処理から得られるDWNTの内層は半導体的特性のカイラリティが多く観察される傾向があった。一方、CCVD法により得られるDWNTは内外層共に金属的特性の組合せのDWNTが観察された(図4)。これらのカイラリティ分布の相違が直接的に電気伝導特性に影響していることを明らかにした。

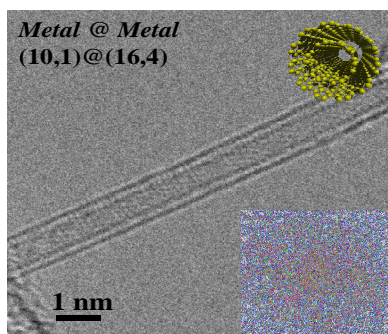


図4 触媒CCVD法により合成された金属@金属DWNTのTEM像

また1700°Cで合成されたDWNT一本の共鳴ラマン散乱測定を行った結果、内層のカイラリティは(6,5)が最多との結果が得られ、CCVDから合成されるDWNTとの相違の検討も行うことが可能となった。そしてこれらの構造の違いはDWNTの内外層間のcommensurabilityに起因して電子物性にも決定的な違いをもたらすことを見出している(Nanoscale 2, 406-411, 2010, Physical Review B, 82, 155416, 2010)

また、DWNTにC₆₀を内包させたDWNT-Peapodを合成して熱処理を施すことにより初めて選択的に三層CNT(TWNT)の高品質合成に成功した(図5)(Advanced Materials 23, 1761-

1764, 2011)。我々によるDWNTの高品質選択合成法の開拓以来、更にもう1層加わった三層のTWNTが注目されつつあった。TWNTは層間相互作用により単層や2層または多層CNTとどのように物性が異なるのかといった学術的な興味を持たれていた。従来までのTWNTの合成法として、触媒CVD法、DWNTs内にフェロセンを内包させ、熱分解させる方法などがあったが、高品質のサンプル合成は難しかった。そこで我々は触媒CVD法で合成したDWNTを2400°C程度の高温熱処理により熱融合させることで直径を意図的に増大せしめ、同サンプルにフラーレンを導入したPeapods DWNTを合成した。そのサンプルを1500°Cから2200°Cの熱処理を施すことで高品質のTWNTの合成に成功した(図5)(Advanced Materials 23, 1761-1764, 2011)。TEM観察において、熱処理前はDWNT内にC₆₀が内包されていることが確認でき、熱処理後には3層構造に構造変換していることが確認できた。断面観察においても同様なことが確認できた。またラマン分光分析結果においては最内層(0.7nm程度)からのRBMスペクトルが確認でき、結晶性が高いサンプルが得られていることが確認できた。本研究成果により、今後はDWNTとより詳細な物性比較などにより、CNTの層数依存による体系的な実験的検討が可能となり、基礎科学的インパクトは大きいと判断される。

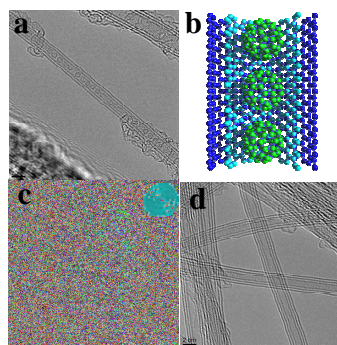


図5 (a) DWNT-PeapodsのTEM像および(b)その構造モデル、(c)(d)加熱処理により得られた三層のTWNT

CNTの安全性・毒性研究に関しては吸入・暴露評価など実際のリスクに対応した研究がげっ歯類肺で進められ、ラットのNOAEL値、ヒトの作業環境でのNOAEL値が報告されている。本研究では、CNTの材料学的な視点で安全性・毒性についても検討した。MWNTの皮下埋め込みによる*in vivo*評価(Carbon 47, 1365-1372, 2009)、そして*in vitro*解析(Journal of Proteomics 74, 2703-2712, 2011)について報告した。入れ墨(tattoo ink)用カーボンとMWNTを比較しての炎症反応の解析結果について報告している(Materials Today 14, 434-440, 2011)。米国NIOSHと共同して、物質科学的な材料特性を考慮して咽頭吸引暴

露（咽頭アスピレーション試験）の方法でマウス肺への MWNT の作用機序を解析し、さらに MWNT が中皮へ到達する現象（図 6）を示した（Toxicology 269, 136-147, 2010）。

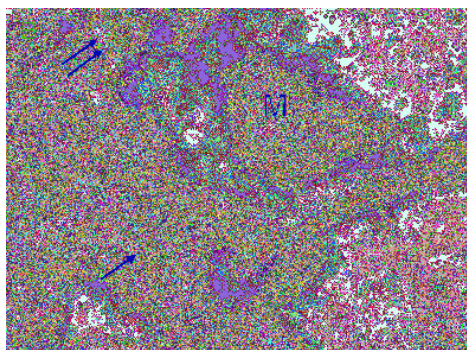


図 6 Mice 肺胞壁で観察された MWNT (NT; ↑, ↑↑) (D. W. Potter et al., Toxicology 269, 136-147, 2010 より引用)

以上のように、ここでは、構造解析の知見をもとに DW、TWNT や MWNT の成長機構の検討と構造制御法の開拓、また安全性・毒性の材料基礎科学的検討など、広い観点で研究を進めた。特に触媒ナノ粒子と CNT 成長の関係についても検討することができ（Carbon 47, 2543-2546, 2009）、また生成した CNT の機能・物性解析を行い、ドーピングや金属内包、ピーポッド構造に関する新規な事象等も見出した。

本研究における CNT の基礎科学に関わる総合的成果が、CNT 科学の更なる発展に貢献できることを念願している。今後、本課題で得られた研究成果をさらに深化させて、CNT 利用のエネルギーデバイス等への研究展開を図っていきたいと考えている。

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45件）

- 1) Hara K, Aoki K, Usui Y, Shimizu M, Narita N, Ogihara N, Nakamura K, Ishigaki N, Sano K, Haniu H, Kato H, Nishimura N, Kim Y.A, Taruta S, Saito N, Evaluation of CNT toxicity in comparison to tattoo ink, Materials Today 14, 434-440, 2011, 査読有
- 2) K. Fujisawa, K. Komiyama, H. Muramatsu, D. Shimamoto, T. Tojo, Y.A. Kim, T. Hayashi, M. Endo, K. Oshida, M. Ferrones, M. S. Dresselhaus, Chirality-Dependent Transport in Double-Walled Carbon Nanotube Assemblies, The Role of Inner Tubes, ASC NANO 5, 9, 7457-7577, 2011, 査読有, DOI:10.1021/nn202541c
- 3) I. Y. Jang, K. C. Park, Y. C. Jung, S. H. Lee,

- S. M. Song, H. Muramatsu, Y. J. Kim, M. Endo, Mass-Produced Multi-Walled Carbon Nanotubes as Catalyst Supports for Direct Methanol Fuel Cells, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 11, 675-680, 2011, 査読有, doi:10.1166/jnn.2011.3229
- 4) H. Muramatsu, D. Shimamoto, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Endo, M. Ferrones, M. Dresselhaus, Bulk Synthesis of Narrow Diameter and Highly Crystalline Triple-Walled Carbon Nanotubes by Coalescing Fullerene Peapods, Advanced Materials 23, 1761-1764, 2011, 査読有, DOI:10.1002/adma.201004709
- 5) Hisao Haniu, Yoshikazu Matsuda, Yuki Usui, Kaoru Aoki, Masayuki Shimizu, Nobuhide Ogihara, Kazuo Hara, Masanori Okamoto, Seiji Takanashi, Norio Ishigaki, Koichi Nakamura, Hiroyuki Kato, Naoto Saito, Toxicoproteomic evaluation of carbon nanomaterials in vitro, Journal of Proteomics 74, 2703-2712, 2011, 査読有, doi:10.1016/j.jprot.2011.03.004
- 6) F. Villapand-Peaz, L. G. Moura, C. Fantini, H. Muramatsu, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Endo, M. Ferrones, M. A. Pimenta, M. S. Dresselhaus, Tunable Raman spectroscopy study of CVD and peapod-derived bundled and individual double-wall carbon nano-tubes, PHYSICAL REVIEW B 82, 155416-1-9, 2010, 査読有 DOI:10.1103/PhysRevB.82.155416
- 7) Y. C. Jung, H. H. Kim, Y. A. Kim, J. H. Kim, J. W. Cho, M. Endo, M. S. Dresselhaus, Optically Active Multi-Walled Carbon Nanotubes for Transparent, Conductive Memory-Shape Polyurethane Film, Macromolecules 43, 6106-6112, 2010, 査読有 DOI:10.1021/ma101039y
- 8) Yong Chae Jung, Hiroyuki Muramatsu, Takuya Hayashi, Jin Hee Kim, Yoong Ahm Kim, Morinobu Endo, Mildred S. Dresselhaus, Covalent Attachment of Aromatic Diisocyanate to the Sidewalls of Single- and Double-Walled Carbon Nanotubes, Eur. J. Inorg. Chem. 27, 4305-4308, 2010, 査読有 DOI:10.1002/ejic.201000507
- 9) Y. J. Kim, I. Y. Jang, K. C. Park, Y. C. Jung, T. Oka, S. Iinou, Y. Komori, T. Kozutsumi, T. Hashiba, Y. A. Kim, M. Endo, High-Capacitance supercapacitors using nitrogen-decorated porous carbon derived from novolac resin containing peptide linkage, Electrochimica Acta 55, 5624-5628, 2010, 査読有, doi:10.1016/j.electacta.201004.094
- 10) M. Endo, K. Takeuchi, T. Noguchi, Y. Asano, K. Fujisawa, Y. A. Kim, T. Hayashi, H. Ueki, S. Iinou, High Performance Rubber Sealant for Preventing Water Leaks, Ind. Eng. Chem. Res.

- 49, 9798-9802, 2010, 査読有, Doi:10.1021/ie1008663
- 11) Y. C. Jung, H. J. Yoo, Y. A. Kim, J. W. Cho, M. Endo, Electroactive shape memory performance of polyurethane composite having homogeneously dispersed and covalently crosslinked carbon nanotubes, Carbon 48, 1598-1603, 2010, 査読有, doi:10.1016/j.carbon.2009.12.058
- 12) Daisuke Shimamoto, Kazunori Fujisawa, Hiroyuki Muramatsu, Takuya Hayashi, Yoong Ahm Kim, Takahashi Yanagisawa, Morinobu Endo, Mildred S. Dresselhaus, A simple route to short cup-stacked carbon nanotubes by sonication, Carbon 48, 3643-3647, 2010, 査読有, doi:10.1016/j.carbon.2010.05.040
- 13) K. Fujisawa, T. Hasegawa, D. Shimamoto, H. Muramatsu, Y. C. Yong, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Endo, Boron Atoms as Loop Accelerator and Surface Stabilizer in Platelet-Type Carbon Nanofibers, ChemPhysChem 11, 2345-2348, 2010, 査読有, DOI:10.1002/cphc.201000298
- 14) D. Shimamoto, H. Muramatsu, Y. J. Kim, Y. A. Kim, T. Hayashi, M. Endo, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Optical Spectroscopic Studies of Thermally Coalesced Single-Walled Carbon Nanotubes, J. Nanosci. and Nanotech. 10, 6, 3878-3883, 2010, 査読有, Doi:10.1166/jnn.2010.1990
- 15) Y. A. Kim, H. Kakegawa, K. Fujisawa, D. Shimamoto, H. Muramatsu, J. H. Kim, Y. C. Jung, T. Hayashi, M. Endo, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Sensitive G-Band Raman Features for the Electrical Conductivity of Multi-Walled Carbon Nanotubes, J. Nanosci. Nanotech. 10, 3940-3944, 2010, 査読有, doi:10.1166.jnn.2010.1992
- 16) J. H. Kim, M. Kataoka, D. Shimamoto, H. Muramatsu, Y. C. Jung, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Endo, J. S. Park, R. Saito, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Raman and Fluorescence Spectroscopic Studies of a DNA-Dispersed Double-Walled Carbon Nanotube Solution, ACS NANO 4(2), 1060-1066, 2010, 査読有, doi:10.1021/nn901871g
- 17) F. Villalpando-Paez, H. Muramatsu, Y. A. Kim, H. Farhat, M. Endo, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Wall-to-wall stress induced in (6, 5) semiconducting nanotubes by encapsulation in metallic outer tubes of different diameters: A resonance Raman study of individual C60-derived double-wall carbon nanotubes, Nanoscale 2(3), 406-411, 2010, 査読有, DOI:10.1039/b9nr00268e
- 18) D. W. Potter, A. F. Hobbs, R. R. Mercer, N. Wu, M. G. Wolfarth, K. Sriram, S. Leonard, L. Bthelli, D. Schwegler-Berry, S. Friend, M. Andrew, B. T. Chen, S. Tsuruoka, M. Endo and V. Castranova, Mouse pulmonary dose- and time course-responses induced by exposure to multi-walled-carbonnanotubes, Toxicology 269, 136-147, 2010, 査読有, Doi:10.1016/j.tox.2009.10.017
- 19) Vincent Meuier, Hiroyuki Muramatsu, Takuya Hayashi, Yoong Ahm Kim, Daisuke Shimamoto, Humberto Terrones, Mildred S. Dresselhaus, Mauricio Terrones, Morinobu Endo, B. G. Sumpter, Properties of One-Dimensional Molybdenum Nanowires in a Confined Environment, NANO LETTERS 9, 4, 1487-1492, 2009, 査読有, doi:10.1021/nl803438x
- 20) Yunfang Liu, Winadda Wongwiriyapan, Ki Chul Park, Hiroyuki Muramatsu, Kenji Takeuchi, Yoong Ahm Kim, Morinobu Endo, Combined catalyst system for preferential growth of few-walled carbon nanotubes, Carbon 47, 2543-2546, 2009, 査読有, doi:10.1016/j.carbon.2009.05.009
- 21) D. Shimamoto, H. Muramatsu, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Endo, J. S. Park, R. Saito, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Strong and stable photoluminescence from the semiconducting inner tubes within double walled carbon nanotubes, Appl. Phys. Lett. 94, 083106. 1- 083106. 3, 2009, 査読有, DOI:10.1063/1.3085966
- 22) Shozo Koyama, Yoong Ahm Kim, Takuya Hayashi, Kenji Takeuchi, Chifumi Fujii, Naomi Kuroiwa, Haruhide Koyama, Tamotsu Tukuhara, Morinobu Endo, In vivo immunological toxicity in mice of carbon nanotubes with impurities, Carbon 47, 1365-1372, 2009, 査読有, doi:10.1016/j.carbon.2009.01.028
- 23) M. Endo, T. Hayashi, I. Itoh, Y. A. Kim, D. Shimamoto, H. Muramatsu, Y. Shimizu, S. Morimoto, M. Terrones, S. Iinou, S. Koide, An anticorrosive magnesium/carbon nanotube composite, Appl. Phys. Lett. 92, 063105-1-3, 2008, 査読有, DOI:10.1063/1.2842411
- 24) Y. A. Kim, H. Muramatsu, K. C. Park, D. Shimamoto, Y. C. Jung, J. H. Kim, T. Hayashi, Y. Saito, M. Endo, M. Terrones and M. S. Dresselhaus, CdSe quantum dot-decorated double walled carbon nanotubes: The effect of chemical moieties, Appl. Phys. Lett. 93, 051901-1-3, 2008, 査読有, DOI:10.1063/1.2966341
- 25) M. Endo, K. Takeuchi, Y. A. Kim, K. C. Park, T. Ichiki, T. Hayashi, T. Fukuyo, S. Iinou, D. S. Su, M. Terrones, M. S. Dresselhaus,

Simple Synthesis of Multiwalled Carbon Nanotubes from Natural Resources, ChemSusChem 1(10), 820-822, 2008, 査読有, DOI:10.1002/cssc.200800150

26) M. Endo, T. Noguchi, M. Ito, K. Takeuchi, T. Hayashi, Y. A. Kim, T. Wanibuchi, H. Jinnai, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Extreme-Performance Rubber Nanocomposites for Probing and Excavating Deep Oil Resources Using Multi-Walled Carbon Nanotubes, Adv. Funct. Mater. 18, 3403-3409, 2008, 査読有, DOI:10.1002/adfm.20081136

27) Y. C. Jung, D. Shimamoto, H. Muramatsu, Y. A. Kim, T. Hayashi, M. Terrones, M. Endo, Robust, Conducting and Transparent Polymer Composites Using Surface-Modified and Individualized Double-Walled Carbon Nanotubes, Adv. Mater. 20, 4509-4512, 2008, 査読有, DOI:10.1002/adma.200801659

28) T. Hayashi, D. Shimamoto, Y. A. Kim, H. Muramatsu, F. Okino, H. Touhara, T. Shimada, Y. Miyauchi, S. Maruyama, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, M. Endo, Selective Optical Property Modification of Double-Walled Carbon Nanotubes by Fluorination, ACS Nano 2(3), 485-488, 2008, 査読有, doi:10.1021/nl700391w

29) H. Muramatsu, T. Hayashi, Y. A. Kim, D. Shimamoto, M. Endo, M. Terrones and M. S. Dresselhaus, Synthesis and Isolation of Molybdenum Atomic Wires, Nano Letters 8(1), 237-240, 2008, 査読有, doi:10.1021/nl0725188

[学会発表] (計 40 件)

- ① 遠藤守信 Invited; Nanocarbons as Smart Grid for Energy Storage Devices, 2nd International Conference on Green and Sustainable Chemistry (ICGSC), 2011年11月14日, Singapore
- ② 遠藤守信, Keynote lecture :Optical and transport properties of Double-Walled carbon nanotubes, Carbon2011, 2011年7月25日, Shanghai, China
- ③ 遠藤守信, Keynote lecture: Coaxial Carbon Nanotubes: Double-Walled Carbon Nanotubes, Carbon2010, 2010年7月12日, Clemson University, USA
- ④ 遠藤守信, Invited lecture; Double-Walled Carbon Nanotubes: Synthesis, Characterization and Application, Carbon 2009, 2009年6月15日, Biarritz, France

[図書] (計 7 件)

- ① M. Endo, Y. A. Kim, T. Hayashi, H. Muramatsu, R. Saito, M. Terrones, M. S. Dresselhaus, Double-Walled Carbon Nanotubes: Synthesis,

Characterization, and Applications, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, (Edited by Hari Singh Nalwa), American Scientific Publisher, Vol13. pp113-158, 2011

② M. Endo, Y. J. Kim, K. C. Park, Advanced Battery Applications of Carbons, Carbons for Electrochemical Energy Storage and Conversion Systems, CRC Press, pp469-507, 2009

③ M. Endo, M. S. Strano, P. M. Ajayan, Potential Application of Carbon Nanotubes, in Carbon Nanotubes: Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications, Springer, Topics Appl. Physics 111, Springer, Topics Appl. Physics 111, pp13-62, 2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 守信 (ENDO MORINOBU)
信州大学・工学部・教授
研究者番号: 10021015

(2) 研究分担者

林 卓哉 (HAYASHI TAKUYA)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号: 80313831

金 隆岩 (KIM YOONG ARM)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号: 70362100

金 龍中 (KIM YONG JUNG)
信州大学・カーボン科学研究所・准教授
研究者番号: 50402128
(H21→H23: 研究協力者)

小山 省三 (KOYAMA SHOZO)
信州大学・医学部・教授
研究者番号: 00115346

羽二生 久夫 (HANIU HISAO)
信州大学・医学部・助教
研究者番号: 30252050

藤井 千文 (FUJII CHIFUMI)
信州大学・医学部・助教
研究者番号: 10361982

斎藤 直人 (SAITO NAOTO)
信州大学・医学部・教授
研究者番号: 80283258
(H19→H20: 研究協力者)

薄井 雄企 (USUI YUKI)
信州大学・エキゾチック・ナノカーボンの創成と応用プロジェクト拠点・准教授
研究者番号: 00467169
(H19→H20: 研究協力者)