

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術  
の創成」  
研究課題「第二世代カーボンナノチューブ創製に  
よる不代替デバイス開発」

## 研究終了報告書

研究期間 平成19年10月～平成25年3月

研究代表者：片浦 弘道  
((独)産業技術総合研究所ナノシステ  
ム研究部門、首席研究員)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の持つ優れた導電特性により、電子デバイス材料への応用が期待されている。近年の合成技術の革新により、高純度の SWCNT が得られるようになったが、SWCNT には金属型と半導体型の 2 種類が存在し、それらを選択的に合成することは未だに実現していない。そのため、相反する導電特性を持つ 2 種類の SWCNT が混ざった材料しか得られず、電子デバイス応用への大きな障害となっていた。本研究では、独自技術により SWCNT の金属・半導体分離を高度に実現し、さらに SWCNT の内側の空間に異種分子を挿入することにより、精密なキャリア制御の実現を目指す。これまでの SWCNT を第一世代とすれば、金属型と半導体型がきれいに分離され、さらに高度に電子状態を制御された SWCNT は第二世代 SWCNT と呼ぶべきものである。この第二世代 SWCNT を用いて、SWCNT でしか実現できない優れた特性を持つデバイスを開発する事が、本研究のメインテーマである。

産総研グループでは、まず既存の密度勾配超遠心分離法を改良することにより、SWCNT の金属型・半導体型の高純度分離を実現したが、その後、ゲルを用いた独自の分離技術を開発した。これは、これまでのカラム分離の概念にとらわれない新たな分離法であり、簡単な操作で高度な分離を実現する。2011 年には、ゲルカラムに多量の SWCNT を投入することにより、半導体型 SWCNT を構造選択的に吸着させることで、単一構造 SWCNT の分離に成功した。その後、さらに簡便な手法で高純度の構造分離を実現している。これは、安価かつ大規模に構造分離を実現する世界で唯一の手法となっている。一方、分子内包による半導体型 SWCNT のキャリア制御を実現するため、分離後の SWCNT から分散剤の除去、分子内包技術、さらに分子内包 SWCNT と内包されていない SWCNT を分離精製する技術を開発し、高純度の n 型および p 型の半導体 SWCNT インクの作製に成功した。これらのインクを用いて SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に塗布型トランジスタを作製し、それぞれ n 型、p 型動作することをはじめて確認した。なお、薄膜型トランジスタの動作を確実な物とするため、基板上に形成される SWCNT 薄膜のネットワークポロジータと使用する分散剤の関係を詳細に検討し、最適条件の導出を行った。以上、SWCNT の精密構造分離と分子内包によるキャリア制御を同時に実現するため、分子を内包できる太い直径を持った SWCNT の構造分離という困難な課題に首都大学グループが挑戦し、(10,11)という、分子内包に適した直径を持つ単一構造 SWCNT の分離に世界ではじめて成功した。

一方、分子内包 SWCNT を用いた新規物性発現・デバイス応用を目指し、首都大学グループにより、金属型・半導体型に分離された SWCNT の詳細な評価と、SWCNT に内包された水および酸素の詳細な構造、誘電的・磁氣的秩序の解析が行われた。SWCNT に内包された水の構造を様々な直径の SWCNT に対して X 線構造解析により詳細に調べ、疎水性微小細孔内の水のグローバルな相図を完成させた。これは、SWCNT に限らず、様々なナノ空間に束縛された水の振る舞いを示すものとして、広く注目を集めた。さらに、分子動力学計算により、水を内包した SWCNT の電気分極特性を調べた。その結果、外部電場を変化させると、ステップ状の分極過程を示すことが明らかになり、極微小の多値誘電体メモリー材料として利用可能であることが示唆された。酸素分子内包 SWCNT では、分子動力学計算から、SWCNT の直径の変化とともに SWCNT 内の酸素分子の配列構造が大きく変化する事がわかった。実際に(6,5)をエンリッチした SWCNT に酸素を内包させ、X 線構造解析を行ったところ、分子動力学計算の結果を裏付ける、酸素分子の 1 次元配列を示す結果を得た。さらに、この試料の磁気測定を行ったところ、低温でスピニングレット状態であることがわかった。これは、S=1 の反強磁性 1 次元磁性体で期待される、ハルデン磁性体となっている事を示唆している。SWCNT は電子状態が 3 次元系とは異なった、1 次元系固有の朝永ラッティンジャー液体状態となっている事がすでに知られているが、内包された磁性分子においても、1 次元系固有のハルデン磁性が発現することが期待され、物理学的に極めて興味深い結果であるとともに、新たな物性を利用した応用への展開が期待される。

## (2) 顕著な成果

1. 論文: Huaping Liu, Daisuke Nishide, Takeshi Tanaka and Hiromichi Kataura, "Large-scale single-chirality separation of single-wall carbon nanotubes by simple gel chromatography", *Nat. Commun.* **2** (2011) pp. 309-1 - 8.

概要: 市販のゲルを詰めたカラムと安価な界面活性剤のみを用いて、SWCNT 分散液をカラムに注ぐだけで、これまで困難であった精密な構造分離を簡単に実現する、新たな分離手法を開発した。現在、単一構造 SWCNT の分離を大量に行える、世界で唯一の手法である。この手法で得られた単一構造 SWCNT は、バンドギャップが広く、そろっていることから、デバイス応用が期待される。

2. 特許出願: 片浦弘道、田中丈士、「カーボンナノチューブの安価な分離方法と分離材並びに分離容器」、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/8/6、2010-177895

概要: これまで、SWCNT の分離には市販の分離用ゲルを用いる必要があったが、本発明では、未精製の寒天の粉末やアガロースの粉末により SWCNT の分離を可能とした。これにより、分離のコストは大幅に低減され、産業応用可能なレベルとなった。本分離技術は、技術研究組合 (TASC) に導入され、大量分離装置の根幹を成す技術として採用されている。(論文未発表)

3. 論文: Haruka Kyakuno, Kazuyuki Matsuda, Hitomi Yahiro, Yu Inami, Tomoko Fukuoka, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, Hiromichi Kataura, Takeshi Saito, Motoo Yumura, and Sumio Iijima, "Confined water inside single-walled carbon nanotubes: Global phase diagram and effect of finite length", *J. Chem. Phys.* **134** (2011) pp.244501-1-14. (DOI:10.1063/1.3593064)

概要: SWCNT 内部に閉じ込められた水の相図を完成させた。疎水性のナノ空間に閉じ込められた水の挙動は、マクロな空間のそれとは全く異なっており、サイズの変化とともに、構造を大きく変化させることがわかった。これは、遺伝子レベルの生体内での水の挙動とも関連し、幅広い興味を惹く成果となった。この成果は、JCP により WEB リリースされ、注目を集めた。

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

#### 1. 第二世代 CNT 創製

段階的に金属・半導体分離純度を向上し、プロジェクト最終的に 99.99%純度の分離純度で 1g/day のスループットで分離を実現する事を目標とした。分離手法は密度勾配超遠心分離法で、当初分離コストが800万円/g 程度であったことから、分離純度の向上とともに、分離コストの低減も目標とした。界面活性剤の配合比や密度勾配剤の最適化等により、分離純度の向上を目指し、コスト高につながっている密度勾配剤の再利用等で分離コストの低減を図る計画であった。

#### 2. 集積化可能な薄膜型 FET 開発

塗布型の電界効果トランジスタ (FET) の試作に始まり、分子内包によるキャリア制御を実現する事により、CMOS 型動作を実現する。また、CNT のバリスティックな伝導特性を活かした高速動作トランジスタの作製を試みる。

#### 3. 非線形光学素子への応用

CNT の持つ可飽和吸収特性が、半導体型 CNT の固有吸収帯にて顕著に観測されることから、金属型と半導体型を分離した第二世代 CNT を用いて、それらの最適比率を求め、モードロク

クレーザー用素子や高速スイッチング用素材開発を行う。

#### 4. 新奇分子センサー開発

水を内包したCNTをガス中で加熱・冷却した際に、ガスの種類に依存した温度で、水と外部ガス分子が交換する「交換転移」に伴い生じるCNTの電気抵抗の変化を利用した分子センサーの開発を行う。また、その現象の原因となるCNTと分子間の相互作用の解明、CNTの精密構造解析を行う。

#### (2)新たに追加・修正など変更した研究構想

##### 1. 第二世代CNT創製

金属・半導体分離の基盤技術は、密度勾配超遠心分離法から、大量分離への発展性を考え、独自技術のゲルカラムクロマトグラフィー法に変更した。これにより、密度勾配超遠心分離法よりも安価に大量に分離する事が可能となるが、分離純度に問題が残るため、その点の緊急な改善が必要となった。その後、ゲルカラム分離により、SWCNTの構造分離が可能とわかり、安価で大規模の構造分離技術開発を目指し、新たに構造分離をテーマに加えた。

##### 2. 集積化可能な薄膜型FET開発

分離法をゲルカラムクロマトグラフィー法に変更し、分離の高純度化の開発が必要となったため、第二世代CNTの創製が若干遅れる事となった。本件は、中間評価でも指摘されたため、中間評価後、特にCNTのキャリア制御、デバイス応用に注力することとなったが、バリスティックFETについては、共同研究体制の構築が困難であることから中止した。

##### 3. 非線形光学素子

非線形光学素子については、産総研内で材料開発を行う予定であったが、所内の設備の問題等から遅れが生じていた。中間評価で指摘された不代替デバイスの開発強化に対応するため、名古屋大学の西澤教授との連携を強化した。その結果、ファイバー光学系の改良により、未分離のCNTで十分良好な結果が得られ、製品化までの目処が立ったため、分離したCNTの使用は当面見送り、市場動向を探ることとした。

##### 4. 新奇分子センサー開発

水を内包したCNTにおける交換転移の研究に際し、CNT内包系の物性が大変興味深い事がわかり、研究項目として追加した。

### § 3 研究実施体制

#### (1)「産総研」グループ

##### ① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
片浦 弘道	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	研究グループ 長	H19.10～
榊原 陽一	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	主任研究員	H19.10～
藤井俊治郎	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	研究員	H22.4～
平野 篤	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	研究員	H23.4～
劉 華平	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	産総研特別研 究員	H21.4～
伊藤 靖浩	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	産総研特別研 究員	H23.4～
清水 麻希	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	産総研特別研 究員	H23.5～
卜部 泰子	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	テクニカルスタ ッフ	H22.4～
西出大亮	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	産総研特別研 究員	H20.4～H22.11
黄 陽	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	産総研特別研 究員	H22.4～H23.3
馮 叶	筑波大学大学院数理物質 科学研究科（後期）	D3	H20.7～
田賀美樹	(独)産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門	テクニカルスタ ッフ	H21.11～H22.3
Abdelrahim Hassanien	(独)産業技術総 5408 研究 所ナノシステム研究部門	主任研究員	H19.10～H20.3
宮田 耕充	首都大学東京 大学院理工 学研究科 物理学専攻	D2～3	H19.10～H20.3
伊奈 真吾	首都大学東京 大学院理工 学研究科 物理学専攻	M2	H19.10～H20.3
森井奈保子	(独)産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門	テクニカルスタ ッフ	H20.2～H20.7
糸賀 恵美子	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	テクニカルスタ ッフ	H20.1～H21.3
柳 和宏	(独)産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門	研究員	H19.10～H21.3

##### ② 研究項目

- ・第二世代カーボンナノチューブ創製とデバイス開発

(2)「首都大」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
真庭 豊	首都大学東京	教授	H19.10～
柳 和宏	同上	准教授	H20.04～
松田和之	同上	助教/客員准教授	H19.10～
門脇広明	同上	准教授	H19.10～
岡部 豊	同上	教授	H19.10～
原田啓太郎	同上	M1～2	H19.10～21.03
小中雄介	同上	M1～2	H19.10～21.03
三上史記	同上	M1～2	H19.10～21.03
土居直弘	同上	M2	H20.04～21.03
福岡智子	同上	研究補助員	H20.10～
佐藤康史	同上	研究補助員	H21.11～23.03 H23.12～24.03
花見圭一	同上	M1～2	H20.04～22.03
神谷謙光	同上	M1～2	H20.04～22.03
八尋 瞳	同上	M1～2	H20.04～22.03
伊波 悠	同上	M1～2	H21.04～23.03
阿久津祐司	同上	M1～2	H21.04～23.03
小村幸浩	同上	D1～2	H22.01～23.03
高部 陽介	同上	M1～2	H22.01～24.03
鷺谷 智	同上	M1～2	H22.01～24.03
客野 遥	同上	D1～	H23.04～
田村尊宣	同上	M1～2	H23.04～
山田健介	同上	M1～2	H23.04～
田寺真	同上	M1～2	H23.04～
光山遼	同上	M1～2	H24.04～
本田和也	同上	M1～2	H24.04～

② 研究項目

- ・ CNT-分子間相互作用解明
- ・ 分子センサー開発
- ・ CNTの精密構造解析と物性

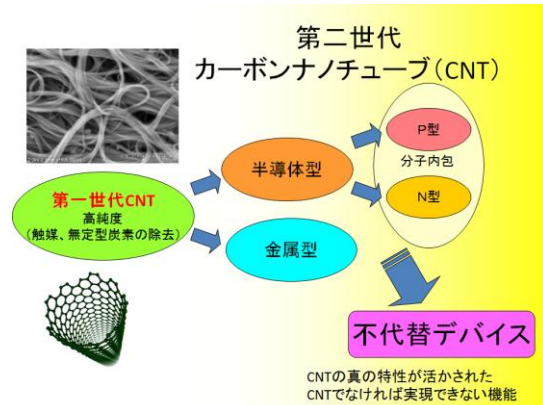
## § 4 研究実施内容及び成果

### 4. 1 第二世代カーボンナノチューブ創製とデバイス開発 (産総研グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

単層カーボンナノチューブ (SWCNT) は、単層のグラフェンを丸めて継ぎ目無くつなげた構造をしており、その基本的電子物性はグラフェンと類似した線形バンド構造に由来して、電子の有効質量が極めて小さくなる。その高い導電特性から、高速トランジスタや透明導電膜などへの応用が期待されている。しかし、SWCNT には炭素原子の配列 (カイラリティ) の違いによって金属型と半導体型の 2 種類が存在し、どちらか一方を選択的に合成する手法は未だに実現していない。そのため、相反する性質を持つ 2 種類の SWCNT が混ざった材料として生成されている。

本研究では、SWCNT の金属・半導体分離を高度に実現する技術を開発し、さらに SWCNT に異種分子を内包することによりキャリア制御を実現し、SWCNT の持つ本来の物性を活かした高機能材料の創出を目指す。金属と半導体が混ざったままであった、これまでの SWCNT を第一世代とすれば、それらが分離され、さらに高度に電子状態を制御された SWCNT は第二世代 SWCNT と呼ぶべきものである。この第二世代 SWCNT を用いて、SWCNT でしか実現できない優れた



特性を持つデバイスを開発する事が、本研究のメインテーマである。

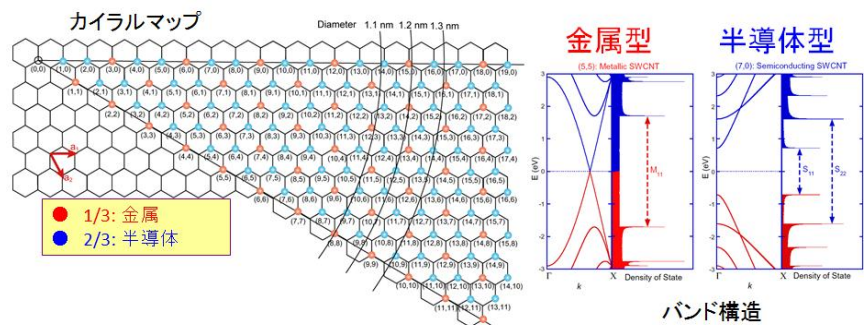


図 1 カイラルマップ (左) とバンド構造 (右)、第二世代 SWCNT (上)

#### 4. 1. 1 改良密度勾配超遠心分離法による金属・半導体分離

本研究課題は、SWCNT を金属型と半導体型に高純度に分離し、第二世代 SWCNT を創製することを基盤とする。それにはまず SWCNT を金属型と半導体型に分離しなければならないが、ここでは密度勾配超遠心分離法 (DGU) を改良し、効率良く分離する技術開発を行った。これまでの手法では、2 種類の界面活性剤を用いて金属型と半導体型が混ざり合った SWCNT 粉末を水中に孤立分散し、それをあらかじめ密度勾配剤で密度に勾配をつけた溶媒を入れた遠心管に注入し、10時間程度 20 万 g 程度の加速度で超遠心分離をかけることにより分離する。2種類の界面活性剤の混合比により、金属型 SWCNT と半導体型 SWCNT で形成されるミセルの密度が異なるため、あらかじめ形成されている密度勾配のため、金属型と半導体型が異なった位置に移動する。これを上から順番に吸い上げて行くことにより、SWCNT の金属・半導体分離が可能となる。(図2上段) 既存の手法では、ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) とコール酸ナトリウム (SC) の 2 種類の界面活性剤を用いて分離を行うが、我々は、ここに少量のデオキシコール酸ナトリウム (DOC) を加えることに

より、分離効率が大幅に改善される事を見いだした。(図2中段)この手法は、特に高純度の金属型を抽出するのに適していることから、平均直径の異なった3種類の SWCNT の分離を行い、図2(下段)に示すような、非常に美しい発色が観測された。CNT の光学遷移は構造によって変化するが、金属型の CNT では、可視域に一つの吸収バンドを持ち、その波長は直径の関数で大きく変化する。ここでは、1.4nm(レーザー蒸発法)、1.0nm(HiPco:市販品)、0.8 nm(CoMoCAT:市販品)の3種類の SWCNT を分離しており、ちょうどインクの3原色である、シアン、マゼンタ、イエローの3色と類似の光吸収スペクトルを持つ分散液を得ることに成功した。(図2下段)インクの3原色が得られたことから、これらを混合することにより、すべての色を再現する事が可能であり、これはフルカラーの導電性インクとして機能する。このインクは日本科学未来館にインクジェット関連材料として展示された。

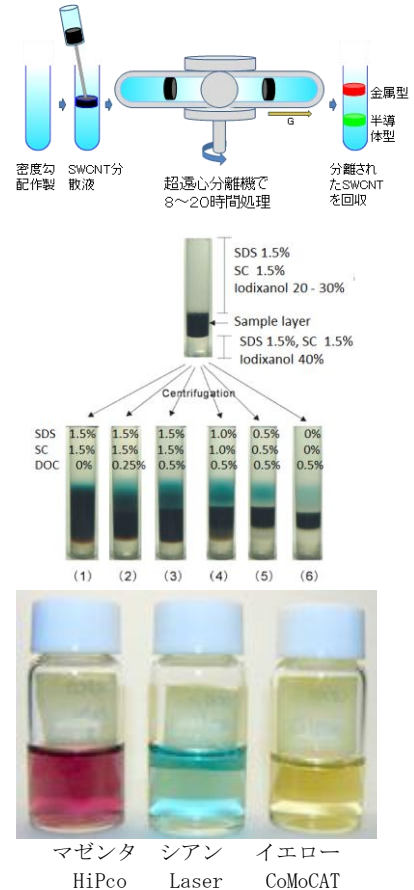


図2 (上段) 密度勾配超遠心分離法による金属・半導体分離、(中段) DOC 濃度を徐々に変更した、密度勾配超遠心分離法の結果(青い部分が金属型 SWCNT)、(下段) インクの3原色を再現した金属型 SWCNT 水溶液

#### 4. 1. 2 ゲルカラムクロマトグラフィー法による金属・半導体分離

密度勾配超遠心分離法(DGU)は、高純度の分離が容易に実現できる利点を持っているが、得られる SWCNT 分散液には密度勾配剤が含まれており、それを除去する必要があること、超遠心分離のローターはその高い加速度のため、大きさに制限があり、一度に大量の分離を行う事ができないという問題点があった。SWCNT で高性能デバイスを作製し、最終的に産業応用を目指すのであれば、大量に分離可能な手法を採用すべきである。このような理由から、より容易に大量に分離できる可能性を持つゲルカラムクロマトグラフィー法を導入することとした。

ゲルカラムクロマトグラフィーは、我々のグループで開発した独自の新たな SWCNT 分離法である。もともと、先の DGU 法も、生物学で良く使われる分級法である。ゲルカラムクロマトグラフィーも生物学で生体分子の分級に使われる手法であり、その意味で類似した手法であるが、超遠心分離によるローターの制限

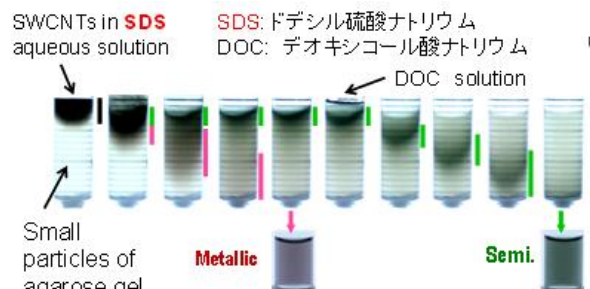


図3 ゲルカラムクロマトグラフィーによる SWCNT の金属・半導体分離



や、密度勾配剤などを必要としない事から、容易にスケールアップが可能な手法である。ゲルとしてはアガロースゲル(商品名:セファロース)、セファクリルゲル(GE ヘルスケア)を使用する。SWCNT を界面活性剤 SDS を用いて水中に孤立分散し、アガロースゲルのビーズを充填したカラムに注ぐことにより、半導体型 SWCNT が選択的に吸着し、金属型は吸着せずに流出する。吸着した半導体型 SWCNT は、デオキシコール酸(DOC)水溶液を流すことにより流出する。結果として、金属型 SWCNT は SDS 分散液として、半導体型 SWCNT は DOC 分散液として得ることができる。(図3)

ここで用いる、カラム充填剤のゲルビーズは、市販品を用いる事ができるが、市販品は高価であり、大量分離に適していない。そこで、より安価な分離剤の探索を行い、市販の天然寒天粉末(アガー)を使って高純度分離が可能である事を見いだした。市販のカラム分離用ゲルビーズに比べて遙かに安価であることから、産業応用に適している。本分離技術は、特許出願するとともに、技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構(TASC)に導入され、大量分離装置の根幹を成す技術として採用されている。

#### 4. 1. 3 ゲルカラムクロマトグラフィー法の原理解明

ゲルカラムクロマトグラフィーによる金属型・半導体型分離は、半導体型 SWCNT が選択的にゲルに吸着する現象を利用して分離を行うが、そのメカニズムに関しては良くわかっていなかった。そこで、メカニズム解明を目指して、熱力学的解析を試みた。(図4)あらかじめ金属型と半導体型に分離した SWCNT 分散液を用意し、各分散液のゲルへの吸着について詳細に調べた。その結果、SWCNT のゲルへの吸着は、ラングミュアの吸着等温式

$$\frac{V_{gel}c}{V_{sol}(c_0-c)} = \frac{1}{\alpha K} + \frac{c}{\alpha} \quad (\alpha : \text{飽和吸着量})$$

を満たしていることが明らかになった。(図5)これは、結合定数 K で表される可逆反応である事を意味している。さらに、温度依存性から SWCNT の吸着が吸熱反応であり、吸着がエントロピー駆動であること、金属型と半導体型の分離は、室温では 4~9 kJ/mol 程度の非常にわずかな自由エネルギーの違いにより生じている事などがわかった。(図6)自由エネルギーの差は温度とともに減少し、低温ほど大きいため、低温の方が分離能が高いという事が示唆された。

エントロピー駆動型の吸着は、SWCNT に吸着している SDS 分子の配列変化等が考えられ、ゲルへの吸着前後で、SDS の束縛が解放される等の変化が示唆された。吸着が可逆過程であるということが、以下に述べる過剰投入効果による構造分離につながっている。本成果は、構造分離が達成された後に得られたが、構造分離のメカニズムをうまく示しており、より高度な分離技術につながる成果である。本成果は、ACS Nano 誌にアクセプトされた。

#### 4. 1. 4 マルチカラムを用いた単一構造 SWCNT の分離

ゲルカラムクロマトグラフィー法を用いる事により、安価な大量分離が可能になったが、

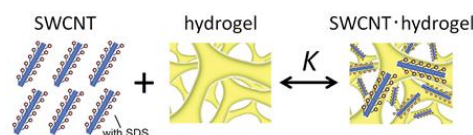


図4 SWCNT のゲルへの吸着モデル

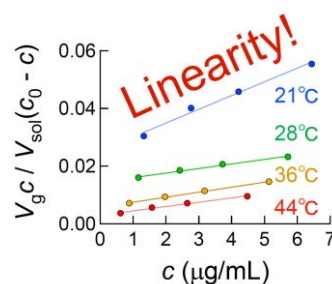


図5 ラングミュアの等温式の検証

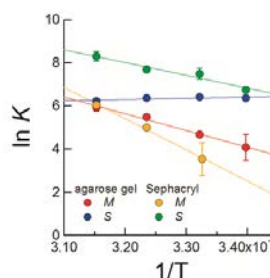


図6 結合定数 K の温度依存性

研究を進める中で、単に金属型と半導体型を高純度に分離するだけでは、将来的には不十分であることがわかってきた。半導体 SWCNT は、直径やカイラリティーの違いにより、バンドギャップが変化するため、単に半導体を高純度に分離しただけでは、様々な構造の半導体が混ざり合った状態となっているため、様々なバンドギャップを持つ半導体の混合物となる。薄膜トランジスタ(TFT)を作製した際、バンドギャップが異なれば、スイッチングするゲート電圧も異なるため、混合物では高速動作に限界が生じてしまう。これを解決するには、半導体型 SWCNT をさらに精密に構造分離し、単一の構造の SWCNT からなる分散液を作製する必要がある。これまでに、構造分離技術としては、合成 DNA を用いて SWCNT を分散し、それをイオン交換クロマトグラフィーで分離する手法や、密度勾配超遠心分離法が提案されているが、どちらも分離コストが極めて高く、また分離量も微量であった。そこで我々は、ゲルカラムクロマトグラフィー法の大幅な改良を行い、新たにマルチカラム分離法を開発し、単一構造分離を実現した。

マルチカラム分離法では、少量のセファクリルゲルビーズを充填したカラムを直列に多数配置し、そこに過剰量の SWCNT 分散液を投入(オーバーローディング)することにより、高度な分離を実現する。通常、カラム分離で高精度の分離を行う場合には、カラムの容量に対して少量の物質を投入するが、ここでは完全に逆の操作を行う。これは、これまでのカラム分離の手法とは全く異なる新たな分離法である。小さな容量のカラムに、大量の SWCNT を注入することにより、限られた吸着サイトに対して競合が起こり、その結果、SWCNT の中でもっとも吸着しやすい SWCNT のみが吸着し、それ以外の SWCNT はカラムから流出してしまうと考えられる。そのため、多数のカラムを直列に接続することにより、最上流のカラムには、もっとも吸着力の強い SWCNT が吸着し、2 番目のカラムには、次に吸着しやすい SWCNT が吸着するというように、吸着力の違いで強い方から順番に分類された SWCNT が各カラムに吸着することになる。(図7)吸着過程が終了したところで、カラムを切り離し、それぞれのカラムから半導体型 SWCNT を回収することにより、SWCNT の構造分離が実現する。競合による選択吸着の分解能が完全ではないため、一回の分離操作では、単一構造を取り出すことはできないが、1回分離した SWCNT 水溶液を大量に集め、再度マルチカラム分離を行う事により高純度化し、ほぼ単一構造の SWCNT を取り出すことが可能となった。この手法を用いて、市販の HiPco SWCNT から、13 種類の単一構造 SWCNT を取り出す事に成

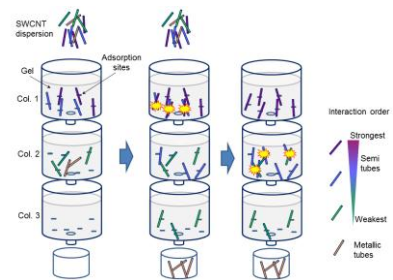


図7 マルチカラム法による構造分離の模式図

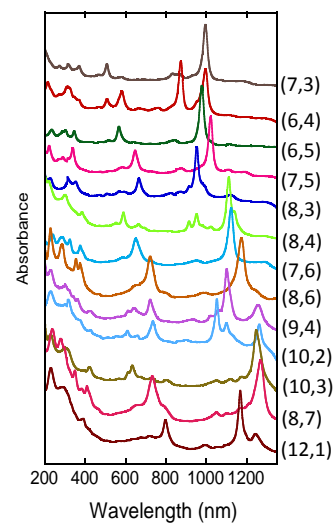


図8 分離された13種類の単一構造SWCNTの光吸収スペクトル



図9 分離された13種類の単一構造SWCNTと、金属型SWCNT、分離残渣の水溶液。個々に電子構造が異なるため、異なった色を示す。エレクトロクロミック素子への応用も可能。

功した。(図 8, 9)この手法では、市販のゲルビーズと安価な界面活性剤しか使用していないため、分離コストが他の手法に比べて格段に低く抑えることができ、また分離装置のスケールアップも容易である事から、現存の構造分離技術の中で、産業応用にもっとも適した構造分離技術であると言うことができる。この成果は、Nature Communications に発表するとともに、特許申請を行った。またプレスリリースを行い、高い評価を得た。海外の研究グループからも注目され、すでに同手法で分離された SWCNT を使った結果が多数報告されている。

#### 4. 1. 5 温度制御カラム分離法による単一構造分離

上記のマルチカラム法は、世界ではじめて単一構造の大量分離を実現したが、高純度の単一構造を得るには、分離を2回繰り返す必要があった。産業応用に向けては、さらなる効率アップが求められる。そこで、さらに改良を試みた。まず分離原理に立ち返り、ゲルと SWCNT の間に働く相互作用を制御するパラメータを検討したところ、SDS 濃度や他の界面活性剤との混合、Na イオン濃度によって、相互作用を制御する事が可能である事がわかった。SDS の濃度を適切に調整することにより、(6,5)型の SWCNT は簡単に高純度分離可能である事が明らかとなった。しかし、それ以外の構造については、これらのパラメータ制御では単一構造分離は困難であった。そこで、他のパラメータについて検討した結果、カラム温度によって、選択性が大きく変化する事を見いだした。分離カラムや SWCNT 分散液等すべてを恒温槽に浸し、温度を均一に制御する事により、簡単に単一構造分離が可能であることを見いだした。

まず、分離温度を10°Cにセットし、SWCNT 分散液をカラムに通すと、(6,4)型の SWCNT のみがカラムに吸着し、それ以外の SWCNT は吸着しないことがわかった。この操作によって、分散液中の(6,4)型 SWCNT はすべてカラムに吸着してしまい、分散液の中からほぼ無くなってしまふ。(図 10)この状態では、もはやカラムには何も吸着しなくなるので、分離温度を2°C上昇させ、12°Cに調整すると、再びカラムに SWCNT が吸着するようになる。この温度では、選択性が緩和され、(6,4)も(6,5)も両方もカラムに吸着する条件となっているが、すでに分散液から(6,4)は無くなっているため、同じ分散液をカラムに通すことにより、実際には(6,5)型のみが吸着する事になる。(図 11)この操作をすべての(6,5)型が吸着するまで続ける事により、分散液からは(6,4)と(6,5)の両方が無くなり、カラムには何も吸着しなくなる。このようにして、徐々に温度を上げながら、カラム分離を繰り返す事により、1回の分離で単一構造分離が実現できる事がわかった。ある程度高温になると選択性が弱まるため、この手法で単一構造分離可能なものは、7 種類の構造であった。(図 12)しかし、分離純度は、先のマルチカラム法と遜色なく、SWCNT の種類によっては、高純度のももあった。

なぜ、このような選択性が生まれるのか、SWCNT の SDS 分散液の光学応答の温度依存性から、原理の解明を試みた。(図 13)その

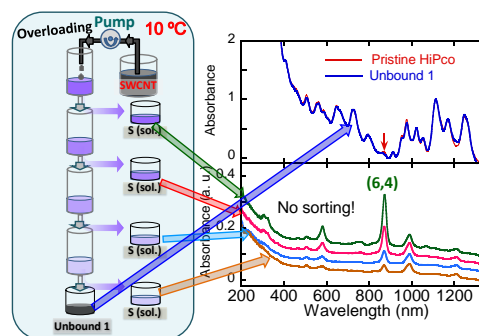


図 10 10°Cに温調されたマルチカラム分離構造分離は起こらず、(6,4)型のみが吸着する

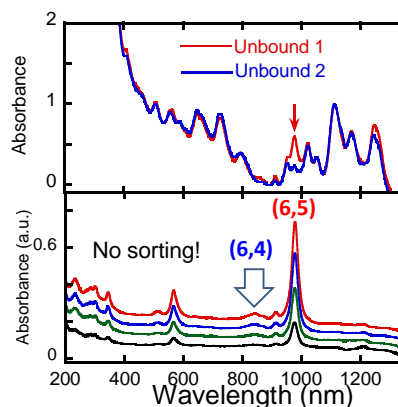


図 11 続いて 12°Cで行うと、(6,4)が含まれていないため、(6,5)のみがカラムに吸着し、未吸着液からは(6,5)が消失

結果、低温になると、SDS の溶解度が低下し、SWCNT の表面に SDS 分子が多数吸着する事がわかった。その際、SDS 分子の吸着量、吸着温度は SWCNT の構造に依存して変化することが明らかとなった。つまり、低温では、室温よりも多くの SDS 分子が SWCNT に吸着し、局所的に SDS 濃度が高い状態が実現される事になる。SDS 濃度が上がると、ゲルとの相互作用が弱まり、ゲルに吸着されなくなることがわかっている。従って、低温では SDS 吸着量の増大により、構造選択的に SWCNT のゲルへの吸着が抑制され、限られた構造の SWCNT のみが吸着できるようになる。これが、温度を変化させて特定の SWCNT を分離する原理であると考えられる。

温度を変えても、マルチカラム法で見られた構造選択性が失われる訳では無いが、温度を下げる事により、付加的な選択則が加わり、分離純度が大幅に向上すると考えるとわかりやすい。温調カラム法では、マルチカラム法に比べ、分離手順は大幅に簡略化され、単一構造の大量分離がより現実的になった。この成果は、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウムで発表され、発表したポストドクの劉華平研究員は、第8回飯島賞を受賞した。現在、論文投稿中である。この分離手法は、さらに界面活性剤の濃度や Na イオン濃度等で最適化を行う事が可能で、より効率的な分離が可能になると考えられる。

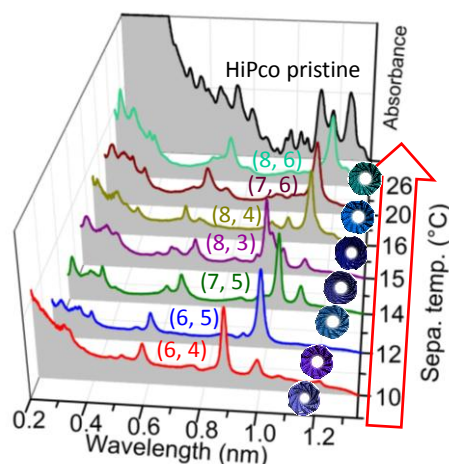


図 12 温調カラム法で得られた 7 種類の単一構造 SWCNT と得られた際のカラム温度。

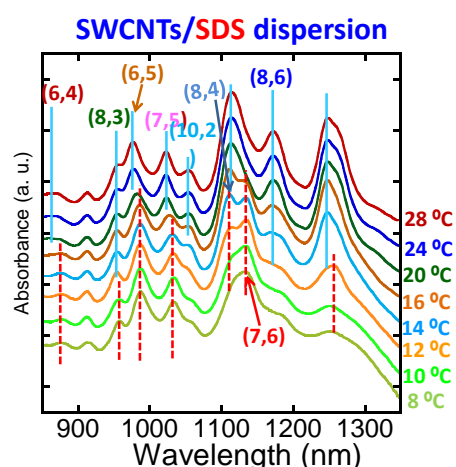


図 13 SDS 水溶液に分散した SWCNT の光吸収スペクトル。通常分散剤では、スペクトルは変化しないが、SDS では SWCNT への吸着量の変化のため、スペクトルが大きく変化する。

#### 4. 1. 6 第二世代カーボンナノチューブの創製

##### 4. 1. 6. 1 分子を内包できる直径を持った高純度半導体型 SWCNT の分離

本研究課題の根幹を成すのは、金属型と半導体型を高純度に分離し、さらに内包分子によりキャリア制御を実現した第二世代カーボンナノチューブの創製にある。これを実現するために、まず、分子を内包できる直径を持つ SWCNT の高純度分離を実現する必要がある。我々は、ゲルカラムクロマトグラフィー法を改良し、アーク放電法で作製した市販の SWCNT (名城ナノカーボン製: APJ) に適用する事により、極めて高純度の半導体型 SWCNT を分離する事に成功した。これまでのゲルカラム法では、SWCNT を SDS で分散し、それをカラムに投入していたが、分子を内包できる太い直径の SWCNT は、分散力の弱い SDS では十分に分散できず、高純度分離が行えない。そこで、分散力の高いコール酸ナトリウム(SC)と SDS を混合させることにより、分散力を強化した。しかし、SC を加える事により、半導体型 SWCNT とゲルとの相互作用が弱まってしまうため、分離温度を制御する事により吸着力を制御した。

半導体の分離純度を低下させる原因は、金属型 SWCNT と半導体型 SWCNT の混合バンドルの混入であるため、相互作用を制御し、混合バンドルを排除することが、高純度半導体を得ることにつながる。このように吸着力を制御する事により、通常密度勾配超遠心法

による分離を超えた高純度半導体 SWCNT を得ることに成功した。図 14 は拡大した光吸収スペクトルである。1回の分離では、矢印で示した若干の金属成分の残留が見られるが、2回分離を繰り返す事ではほぼ完全に消失し、超高純度が達成されている事がわかる。純度評価は容易でないが、純度 99.9%を達成していると考えられる。この高純度半導体 SWCNT を用いて SiO<sub>2</sub>/Si 上に薄膜型トランジスタを作製したところ、on/off 比=10<sup>5</sup>、移動度 50 cm<sup>2</sup>/Vs という高性能が簡単な塗布行程で実現できた。これは、塗布型デバイスとしては、世界トップクラスの性能であり、材料レベルで高度な調整を行えば、プロセスは簡略化しても高性能を出せるという良い例になっている。

内包分子からの電荷移動等、詳細なメカニズムを調べるためには、分子を内包できる直径で、単一構造の半導体型 SWCNT が必要となる。これに関しては、首都大学グループによって、ヨウ化セシウムを密度勾配剤として用いた特殊な密度勾配超遠心分離法を用いる事により、(11,10)という、分子内包に最適な直径を有する半導体型 SWCNT の分離に成功している。このような太さの SWCNT では、類似の直径を持った多数の構造体が存在するため、単一構造を分離するのは極めて困難であり、これまで世界中で誰も成功していない、世界初の快挙である。

#### 4. 1. 6. 2 分子ドーピングによるキャリア制御

SWCNT に電子ドナーやアクセプターの分子を作用させることにより、キャリアを制御する事ができる。通常は、SWCNT の外部から分子を作用させるが、第二世代CNTでは、分子をSWCNT内部に内包させる事により安定なキャリア制御を実現する。当初、溶液中で反応を行う液相法で分子導入を試みたが、高密度内包が困難であったため、気相反応に切り替えた。しかし、気相反応でドーピングするにはSWCNTを分散液から固体状態に戻す必要がある。そのため、まず我々は、SWCNT から界面活性剤を除去する技術を開発した。これにより、高純度半導体型 SWCNT から界面活性剤を除去し、濾過・乾燥により、紙状の集合体(バッキーペーパー)に整形する事が可能となった。このバッキーペーパーをドーパント分子とともにガラス管に封入し、電気炉で加熱する事により、ドーパント分子を気化させ、気相反応によりSWCNT内部に挿入した。得られた分子内包SWCNTは、再度界面活性剤で水中に分散し、分子内包高純度半導体 SWCNT 分散液を作製した。

当初、分子内包 SWCNT は内包反応後そ

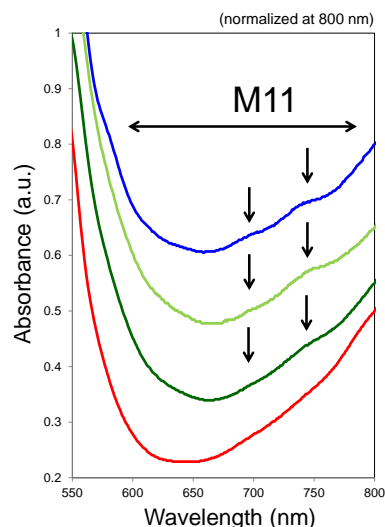


図 14 分子内包可能な直径を持つ SWCNT の高純度半導体分離。最上段：1回目半導体、2段目：2回目非吸着フラクション、3段目：2回目フロースルー、最下段：2回目半導体。矢印で示すわずかに残っていた金属型の吸収がほとんど消失し、高純度であることがわかる。

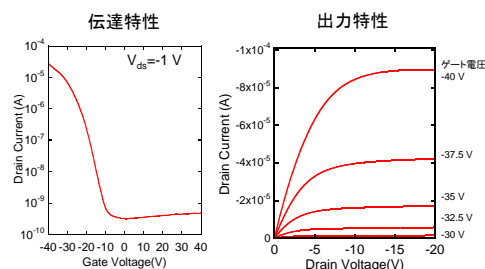


図 15 高純度半導体 SWCNT で作製したトランジスタの伝達特性および出力特性

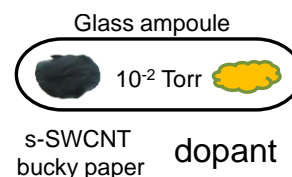


図 16 気相反応による SWCNT への分子内包。ガラスアンプルに、真空下で紙状 SWCNT と導入分子の粉を封入し、電気炉で長時間加熱する事により、分子を気化させて SWCNT に導入する。

のままの状態で使用していたが、内包の純度は 100%では無く、空の SWCNT が含まれている事が想像された。空の SWCNT の存在はデバイスの特性悪化に直結するため、精製が必要である。

ゲルカラム分離では、半導体 SWCNT はゲルに吸着するが、金属 SWCNT は吸着しない。同様に、ドーパント分子を内包した半導体 SWCNT は、ドーパントからキャリアが注入されるため、金属型類似の物性を示すと考えられ、ゲルへの吸着力が低下すると期待された。このアイデアをベースに、ゲルカラムクロマトグラフィー法を用いて、ドーパント分子を内包した SWCNT の精製を行い、高純度の分子内包半導体 SWCNT 分散液を取り出す事に世界ではじめて成功した。図 18 は HiPco (ナノインテグリス) の半導体型に n 型ドーパントのフェロセンを内包させ、それをカラム分離で精製した SWCNT のスペクトルである。フェロセン内包にはやや太めの SWCNT が必要なため、精製された SWCNT の方が空の SWCNT よりも直径分布が太くなっている事がわかる。このように、分子内包では、SWCNT の直径と分子サイズの相性があることから、SWCNT としては直径 1 nm 程度の HiPco (ナノインテグリス)、1.4 nm 程度の APJ (名城ナノカーボン) の 2 種類を試した。ドーパント分子としては、電子ドーパントとしてテトラシアフルバレン (TTF)、フェロセン、コバルトセンの 3 種類、ホールドーパントとしてテトラフルオロテトラシアノキノジメタン ( $F_4TCNQ$ ) を試験し、コバルトセンと  $F_4TCNQ$  において良好な結果を得た。(図 19) このようにして得られた p 型の TFT と n 型の TFT を組み合わせる事により、インバータを形成する事が可能である。実際に作製した例を図 20 に示す。p 型のドーパ量が n 型よりも高いため、動作電圧が負になっているが、典型的なインバータの特性を示している事がわかる。動作電圧を限定すれば、ヒステリシスも大きくなく、良好な特性が示された。

これまで、分子内包によるキャリア制御の報告はあったが、物性評価のレベルであり、実際に半導体型 SWCNT を分離し、分子内包でキャリア制御を行い、さらに CMOS 型デバイスを作製してその伝達特性変化を調べた例は無い。本成果は、キャリア制御 CNT インクによる塗布型デバイスが実際に動作する事を示した世界初の結果である。

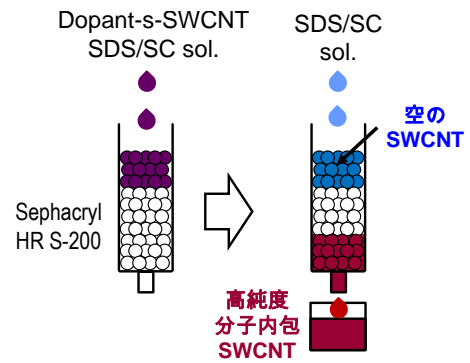


図 17 分子内包半導体 SWCNT のゲルカラムによる精製。分子内包半導体 SWCNT は、金属型 SWCNT と類似の性質を示す。

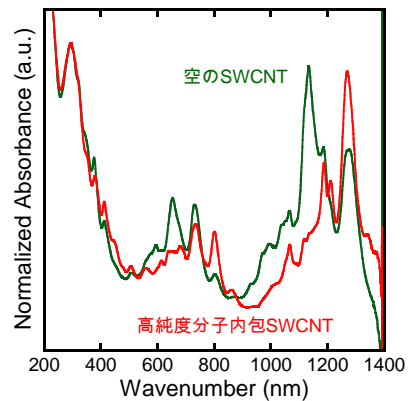


図 18 カラムで精製した高純度分子内包 SWCNT とゲルに吸着した空の SWCNT の光吸収スペクトル。太さが異なる事がわかる。

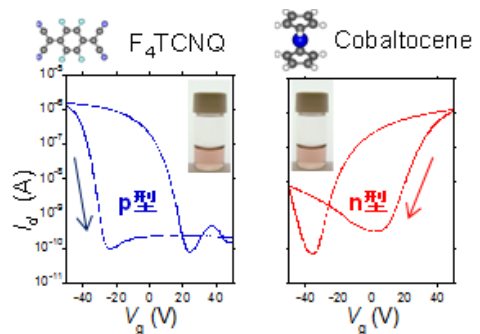


図 19 分子内包でキャリア制御した SWCNT による p 型および n 型のトランジスタの特性。p 型はゲート電圧を  $-50V \rightarrow +50V$  掃引後  $+50V \rightarrow -50V$  へ、n 型はその逆に掃引した。どちらもヒステリシスが観測される。測定は酸素ドーパの効果を排除するため、嫌気下で行っている。

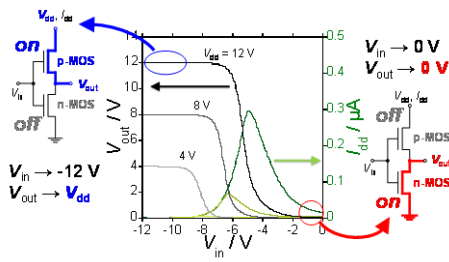


図 20 p型及びn型 TFT から作製した CMOS 型インバータの動作特性

#### 4. 1. 7 ナノチューブ導電膜の応用

透明導電膜としてインジウムスズ酸化物 (ITO) が使われているが、希少金属の枯渇問題や、フレキシブル基板上への成膜困難性から、SWCNT をポリマーフィルム上に薄く成膜することにより、透明導電膜として使用する応用が期待されている。しかし、これまでの研究では導電膜を作製するのみで、実際にデバイスに応用した例は少ない。SWCNT は通常の金属とは異なる  $\pi$  電子系伝導体であり、金属とのコンタクトはトンネル接合のため、良好ではない。実際に透明導電膜として有効であるか検証する必要がある。そこで、ITO の代わりに SWCNT 薄膜を陽極として用いた有機薄膜太陽電池を作製し、その性能評価を行った。

ポリエチレンテレフタレート (PET) 上に SWCNT 薄膜を塗布し、その上に poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT)-poly(4-styrenesulfonate) (PSS)、(3-ヘキシルチオフェン)ポリマー (P3HT)、[6,6]-Phenyl-C<sub>61</sub>-Butyric Acid Methyl Ester (PCBM)、アルミニウム電極をスピコートで積層・アニールする事により、太陽電池を作製した。(図 21)これを PET 上に成形した ITO 電極やガラス基板上に成形した ITO 電極上に作製した全く同じ構造の太陽電池と比較した。(図 22)

SWCNT を電極として用いた太陽電池では、ITO 電極に比べ短絡電流の大幅な増大が観測された。しかし、PET 上の太陽電池はガラス基板上に比べてフィルファクターが低い傾向が観察された。その結果、トータルの発電効率としては、ITO/Glass が 1.8%、ITO/PET が 1.3%、SWCNT/PET が 1.7%という値になった。SWCNT/PET の電極が ITO よりも 3 割高い発電効率となり、フレキシブル透明電極として有効である事が示された。

ここで用いた SWCNT 薄膜は、分離されていない SWCNT で、シート抵抗は  $400 \Omega/\text{sq.}$ 、透過率 80% と、ITO に比べて特性が良くないにもかかわらず、発電効率が向上したのは、 $\pi$  電子系伝導体と有機半導体の接合に優位性があることを示唆している。少なくとも、有機太陽電池用の電極として、SWCNT 導電膜は実用レベルの性能を有すると期待できる。

#### (2)研究成果の今後期待される展開

1. 第二世代 SWCNT の創製に成功し、p 型及び n 型 SWCNT インクができた事から、インク

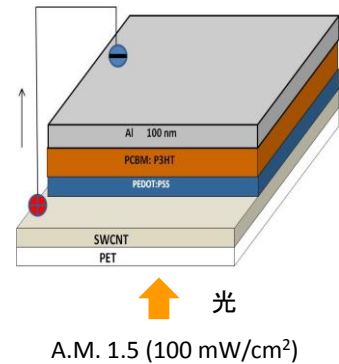


図 21 太陽電池の構造。ITO 電極では、SWCNT の部分が ITO になる。

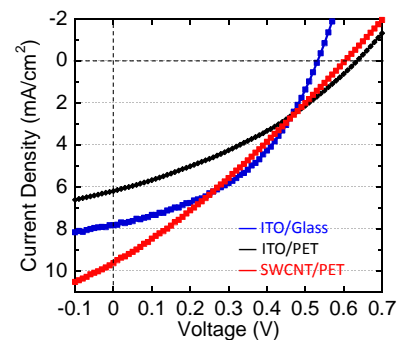


図 22 作製した 3 種類の太陽電池の特性

ジェット等の印刷プロセスで、CMOS 型回路を簡単に作製できる道が開かれた。今後、安価で高性能の電子回路構築が期待される。

2. 安価な分離材の開発により、分離コストを既存技術の1/100以下に抑えることが可能となった。分離 SWCNT の低価格化により、センサーや透明導電膜への応用展開が期待される。特に、有機材料と SWCNT の相性が良いことから、有機薄膜太陽電池用電極や、オール SWCNT 太陽電池など、SWCNT の高耐久性を活かして、エネルギーデバイスへの展開が期待される。

#### 4. 2 カーボンナノチューブによる分子センサーの開発(首都大グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の原子レベルで均一な円筒空洞内へ内包された様々な物質は、新たな現象や機能を発現することが期待できる。本研究グループでは、直径やカイラリティを制御した第二世代 SWCNT を準備して、SWCNT 内包系において新規現象を探索した。また、第二世代 SWCNT と SWCNT 内包系の基礎物性の研究を行った。さらに、本研究で見いだされた現象を利用した、新しい原理に基づく分子センサーの提案を行った。

##### 4. 2. 1 第二世代 SWCNT の構造と物性評価

密度勾配超遠心分離(DGU)法により分離精製された第二世代 SWCNT フィルムについて、X線回折実験による構造、および磁化測定による磁性不純物の評価を行った。その結果、本CRESTにおいて作製された第二世代 SWCNT は、試料全体にわたって触媒金属などの不純物の混入を極めて少なくできること、またバンドルが良く発達していることが確認された(図 23)。また、(6,5)SWCNT をエンリッチした試料について X 線回折実験を行い、内部構造(結合長、結合角、カイラリティなど)に由来する回折パターンの観測に初めて成功し、未結晶試料においても粉末 X 線回折実験が SWCNT の構造評価法として極めて有力であることを示した。

また、金属型と半導体型 SWCNT のそれぞれについて、炭素 13 核の NMR スペクトルの測定に初めて成功した(図24)。このスペクトルは、これまで報告されてきた未分離試料と比較して  $sp^2$  炭素に期待される特徴的な構造が明瞭に現れており、スペクトルの線形を解析することによりシフトテンソルが精度良く求まった。シフトテンソルは電子の軌道運動による軌道帯磁率と密接に関連し、また  $sp^2$  炭素からなるネットワーク系では異常な軌道帯磁率が出現することが知られている。たとえばグラフェンは SWCNT 直径が無限に大きくなった極限と考えられるが、その軌道磁性は(超伝導体で見られるような)極めて大きな反磁性を示すと予測されている。本研究では、得られたシフトテンソルが半導体型と金属型の SWCNT で有意に異なり、したがって SWCNT の軌道帯磁率が金属型と半導体型で有意に異な

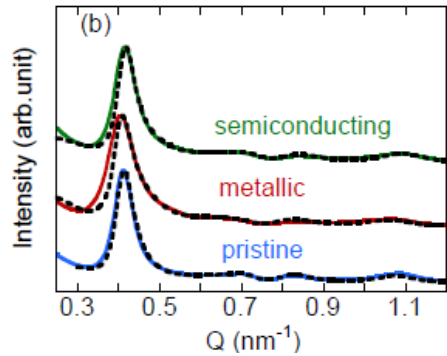


図 23 第二世代 SWCNT の粉末 X 線回折パターン。上から半導体型、金属型、第一世代 SWCNT。直径は 1.45nm 程度。第二世代 SWCNT のバンドルは分離前と同程度に良く発達していることがわかる。破線は計算。

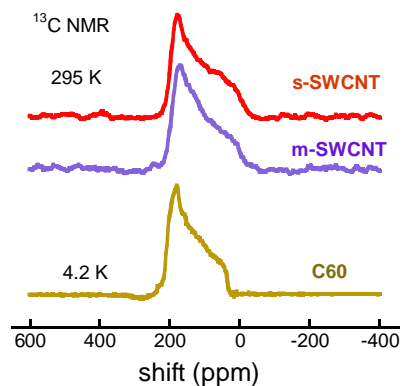


図 24 半導体 (s-SWCNT) 型と金属 (m-SWCNT) 型フィルムの  $^{13}\text{C}$ -NMR スペクトル。最下段に比較のため  $\text{C}_{60}$  固体の粉末スペクトルを示す。



ることをはじめて実験的に示すもので、CNT の精密固体物性研究の重要な一歩を踏み出したといえる。

さらに第二世代 SWCNT フィルムの電気伝導度の温度依存性を測定した。結果を図 25 に示す。半導体型と金属型で電気伝導度の絶対値および温度依存性がともに顕著に異なり、特に金属型では、温度依存性が半導体型と比較して大変小さいことが確認された。さらに金属型と半導体型 SWCNT の混合フィルムについての系統的な測定から、半導体型の混合率の減少に伴い、電気伝導機構が 1 次元のバリアブルレンジホッピング (VRH) から 3 次元的な VRH へと変化することが明らかになった。

#### 4. 2. 2 SWCNT 内の水のグローバル相図

水は自然界のいたるところに存在する。地殻や生体内などの制約された空間内に、また人工的なナノ構造物質中にも多量の水が存在している。本研究では、SWCNT のナノ・サブナノメートル直径の 1 次元空洞内の水について、X 線回折、NMR、電気抵抗、示差走査熱量 (DSC) 測定、計算機シミュレーションなどの方法により調べ、SWCNT の直径に対する水の状態のグローバル相図を明らかにした (図 26)。試料は直径制御された 8 種類の SWCNT を用いている。ここで SWCNT 直径  $2R$  が  $1.4\text{nm}$  程度以下の領域は、本プロジェクト以前に明らかにされていたもので、低温でアイスナノチューブ (ice NT) と呼ばれる新規氷が形成されることを報告している。本研究では、 $2R > 1.4\text{nm}$  領域を重点的に調べ、高温では水はすべて液体的であるが、水が低温で SWCNT 内部から外部に排出される、一種の wet-dry 転移を起こすことがわかった。この wet-dry 転移温度は、SWCNT 直径が大きくなると上昇する。この直径依存性は、 $2R < 1.4\text{nm}$  における液体-ice NT、すなわち液体-固体様相転移温度の  $2R$  依存性と逆である。また、 $2R \sim 1.4\text{nm}$  では、水の内包量に依存して、その構造が中空の ice NT から、充填 ice NT へと変化した (挿入図)。充填 ice NT は水素結合でつながった水分子のチェーンを ice NT の 1 次元空洞に内包している。このような構造変化は SWCNT の端の効果であり、SWCNT 端まで水分子が満たされると、端部分で実効的な圧力が働くことに由来すると考えられる。

金属型と半導体型に分離した第二世代 SWCNT について、 $2R \sim 1.44\text{nm}$  の SWCNT への水吸着の予備実験も行った。その結果、金属型

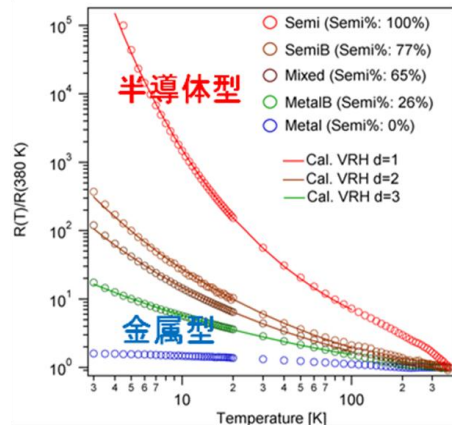


図 25 第二世代 SWCNT フィルムの電気抵抗の温度変化。上から半導体型 SWCNT の混合率が 100, 77, 65, 26, 0% の試料。

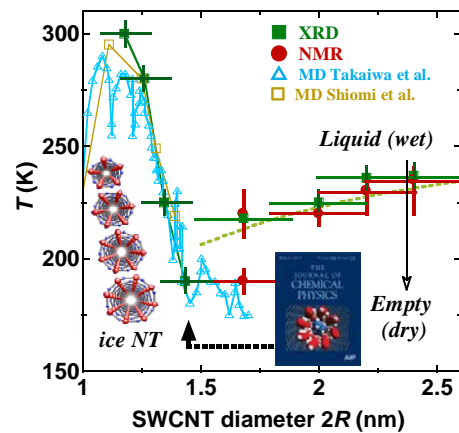


図 26 SWCNT 内部の水のグローバル相図。細い SWCNT では低温で ice NT ができる。中間領域では、内包水の量が多くなると、水の 1 次元チェーン (挿入図の青い水分子、赤は外側の水分子) を内包した ice NT となる。太い SWCNT では wet-dry 転移を生じる。

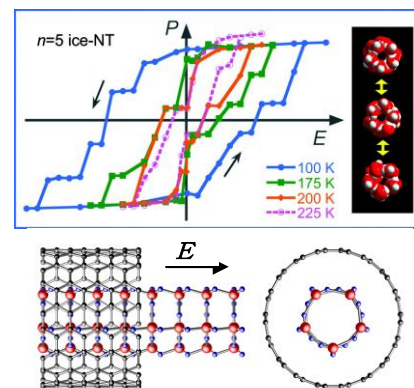


図 27 上) 5 員環 ice NT の電気分極のヒステリシス。下) 構造モデル。チューブ軸方向の 5 本の水分子のチェーンからなる。プロトン (小青球) が秩序化して右方向に分極した状態。電場  $E$  はチューブ軸方向に印加。赤球は酸素。

と半導体型で顕著な違いは見いだされなかった。このことは、水とSWCNT壁との相互作用について金属型と半導体型による違いが相対的に小さいためと推測される。なお、得られたグローバル相図(図26)はSWCNTのカイラル指数にほとんど依存せず、ほぼSWCNTの直径によってのみ決定されていることが分子シミュレーションから示唆されている。

注)理想的な1次元系では、有限温度において長距離秩序相の存在は統計力学の原理に従い否定されている。しかし、現実のSWCNT内では、実験的に相転移様の振る舞いが観察され、また対応する分子動力学計算により実験をほぼ再現する相挙動が確認されている。

#### 4. 2. 3 水を内包した SWCNT の誘電特性:多値誘電体メモリー

水分子は大きな電気双極子モーメントをもつ。そのため、水内包 SWCNT の誘電的性質の理解は基礎、応用の両面から重要と思われる。本研究では、分子動力学計算により水を内包したSWCNTの電気分極特性を調べた。その結果、奇数員環のice NTが自発分極を有する(フェリ)強誘電体となることがわかった。また、偶数員環ice NTは水の強誘電的1次元チェーンが分極の向きを交互に反転して配列し、全体として自発分極をもたない反強誘電体となる。さらに、チューブ軸方向に電場を印加すると、強誘電的1次元チェーンが一本ずつ反転して、ステップ状の分極過程を示した。図27に5員環ice NTについてその例を示す。以上をまとめると、ice NTは分極方向(チューブ軸方向)と垂直方向に1nm程度の大きさをもつ、自発分極を有する誘電体となることが明らかになった。さらに電場印加によって離散的な複数の分極値を示すため、極微小の多値誘電体メモリーとなりうることを示された。

#### 4. 2. 4 酸素分子を内包したSWCNT:量子磁性体ナノワイヤー

水以外の内包分子として、酸素分子の研究を行った。酸素分子は、スピン1の磁性分子であり、大変興味深い。SWCNTに内包させることにより、バルクに無い新規磁性体を実現できると期待される。本研究では、まず直径が0.6nmから2.0nmの様々なSWCNT内部の酸素分子の構造を分子動力学計算の手法により明らかにした。図28に、得られた低温凝縮構造の例を示す。もっとも細いSWCNTでは、酸素分子はその長軸をチューブ軸方向に揃えて1次元的に配列(L1D構造)す

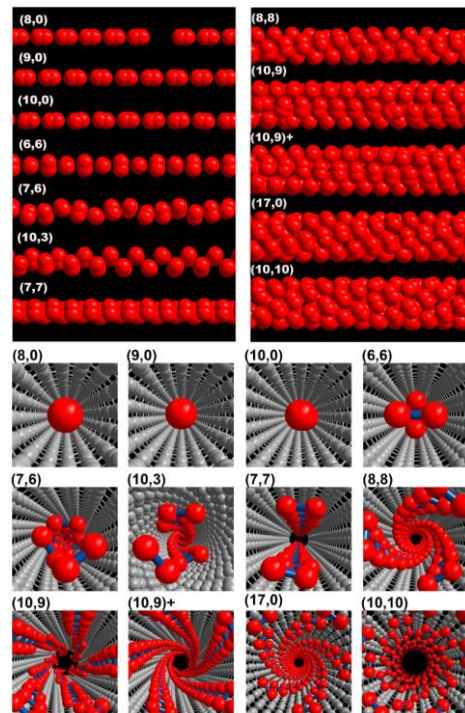


図28 分子動力学計算による、様々なカイラル指数のSWCNT内部の酸素分子の低温凝縮構造。上)側面図。赤いピーナツ形状のものが酸素分子。下)チューブ軸方向から見た構造。酸素分子は結合した赤い球2個で表わされている。原子間にはレナード・ジョーンズ型のポテンシャルを仮定した。磁氣的相互作用は含まれていない。(n, m)はSWCNTの指数を表わす。

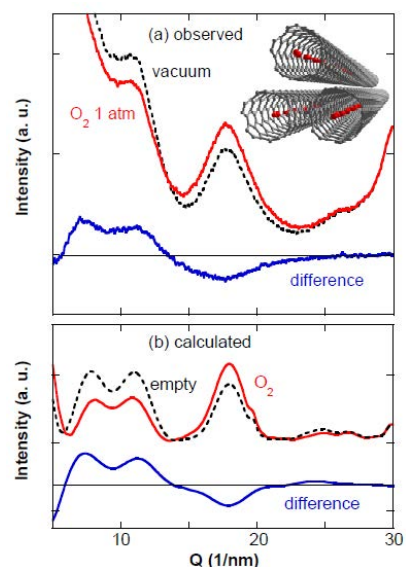


図29 (6,5)リッチSWCNTのX線回折パターン。a) 実験。真空中と酸素雰囲気中のパターンおよびその差。b) 計算。真空中と挿入図に示したように酸素分子を内包した場合、およびそれらの差。

るが、太くなるに従い、酸素分子同士がX配向をした1次元鎖(X1D)、ジグザグ配列の1次元鎖(H1D)、螺旋状の酸素チューブ(1DTube)構造が順次現れる。酸素分子間の磁氣的相互作用は、分子間の相対的配向に依存して、強磁性的にも反強磁性的にもなるため、このような構造からバルクにない新規磁性の発現が期待できる。

次に、本 CREST によって開発された手法を用いて、(6, 5)リッチの SWCNT 試料を準備して、酸素分子の吸着実験と磁化測定を行った。図 29 に示すように、X 線回折パターンは酸素が SWCNT 内に 1 次元的に配列して内包されていることが確認された。この試料について、定常磁場およびパルス磁場による磁化測定を行ったところ、低温でスピンシングレット状態であることが分かり、いわゆる  $S=1$  の反強磁性 1 次元鎖で期待されるハルデンマグネットが実現されていることが強く示唆された。このような SWCNT 内に「磁気秩序相」としての量子磁性体が形成されたことは、本研究が初めてである。今後、様々な直径の SWCNT に酸素や他の磁性分子を内包させ、強磁性や反強磁性の磁性ナノワイヤーを実現することを目指したい。特に、もし分子動力学計算から予測された X1D 配列の酸素分子が実現すると、隣接する酸素分子間の相互作用が強磁性的となり、酸素分子による強磁性ナノワイヤーが可能となり、極めて興味深い。

#### 4. 2. 5 エレクトロクロミック素子への応用

金属型 SWCNT は、同等の直径を持つ半導体型の第二吸収帯  $E_{22}$  遷移と第三吸収帯  $E_{33}$  の間に第一吸収帯  $E_{11}$  を示す。そのため、直径 1 nm 程度の SWCNT の場合、金属型 SWCNT の  $E_{11}$  吸収はちょうど可視域に入る事になり、その吸収構造はカラーインクとそれとよく似た構造になる。SWCNT の吸収バンドは、直径で制御可能なので、カラーインクの 3 原色である、シアン、マゼンタ、イエローに吸収を合わせれば、フルカラー印刷が可能となる。一方、SWCNT の光吸収は、価電子帯から伝導帯への遷移に対応する 1 次元エキシトンの吸収であるため、電気化学的にホールまたは電子を注入すれば、価電子帯もしくは伝導帯の順位が埋められて、光学遷移はクエンチされ、固有吸収が消失する。この原理を用いれば、SWCNT を用いたエレクトロクロミック素子が可能である。図 30 は、分離した金属型 SWCNT の薄膜に電気化学的にキャリア注入し、色を変化させた様子である。電解質さえ準備すれば、市販の乾電池で駆動可能であることを確認した。金属型の方が、発色がシンプルだが、半導体型でも同様の色変化を得ることが可能である。

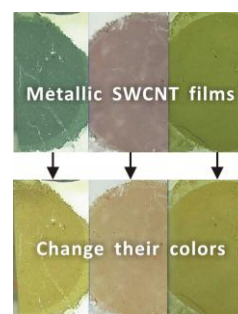


図 30 直径の異なる金属型 SWCNT 薄膜の電気化学ドーピングによる色の変化。キャリア注入により、光学遷移が抑制され、色が大きく変化する

## § 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 98 件)

1. K. Yanagi, Y. Miyata, H. Kataura, "Optical and electronic characteristics of metallic single-wall carbon nanotubes with three basic colors; cyan, magenta, and yellow" Appl. Phys. Express 1 (2008) pp. 034003 1-3. (DOI: 10.1143/APEX.1.034003)
2. K. Matsuda, Y. Maniwa, and H. Kataura, "Highly rotational C<sub>60</sub> dynamics inside single-walled carbon nanotubes: NMR observations" Phys. Rev. B 77 (2008) pp. 075421 - 1 - 6. (DOI:10.1103/PhysRevB.77.075421)
3. Kenta Abe, Daisuke Kosumi, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, and Masayuki Yoshizawa, "Light-harvesting function of  $\beta$ -carotene inside carbon nanotubes explored by femtosecond absorption spectroscopy"

- Phys. Rev. B **77** (2008) pp. 165436-1 - 165436-6. (DOI:10.1103/PhysRevB.77.165436)
4. Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, and Hiromichi Kataura, "Optical evaluation of the metal-to-semiconductor ratio of single-wall carbon nanotubes"  
J. Phys. Chem. C **112**(2008)pp. 13187 - 13191. (DOI: 10.1021/jp804006f)
  5. Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, and Hiromichi Kataura, "Optical properties of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes"  
Phys. Stat. Sol. (b) **245** (2008) pp.2233-2238. (DOI: 10.1002/pssb.200879648)
  6. S. Rols, J. Cambedouzou, M. Chorro, H. Schober, V. Agafonov, P. Launois, V. Davydov, A. V. Rakhmanina, H. Kataura, and J.-L. Sauvajol, "How Confinement Affects the Dynamics of C<sub>60</sub> in Carbon Nanopeapods"  
Phys. Rev. Lett. **101** (2008) pp. 065507-1 - 4. (DOI:10.1103/PhysRevLett.101.065507)
  7. Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, "Diameter analysis of rebundled single-wall carbon nanotubes using X-ray diffraction: verification of chirality assignment based on optical spectra"  
J. Phys. Chem. C **112**(2008) pp. 15997 - 16001. (DOI: 10.1021/jp805018n)
  8. Yuta Sato, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Kazu Suenaga, Hiromichi Kataura, and Sumio Iijima, "Chiral-Angle Distribution for Separated Single-Walled Carbon Nanotubes"  
Nano Lett. **8** (2008) pp. 3151 - 3154. (DOI: 10.1021/nl801364g)
  9. Yuji Nakayama, Shinichiro Fujiki, Yasuharu Hirado, Hidetsugu Shiozawa, Hiroyoshi Ishii, Tsuneaki Miyahara, Yutaka Maniwa, Takeshi Kodama, Yoji Achiba, Hiromichi Kataura, Yoshihiro Kubozono, Masashi Nakatake, Tomohiko Saitoh, "Photoemission study of electronic structures of fullerene and metallofullerene peapods"  
Phys. Stat. Sol. (b) **245** (2008) pp. 2025 - 2028. (DOI: 10.1002/pssb.200879571)
  10. Hidetsugu Shiozawa, Cristina E. Giusca, S. Ravi P. Silva, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, "Capillary filling of single-walled carbon nanotubes with ferrocene in an organic solvent"  
Phys. Stat. Sol. (b) **245** (2008) pp. 1983 - 1985. (DOI: 10.1002/pssb.200879626)
  11. Kazuhiro Yanagi, Toshie Iitsuka, Shunjiro Fujii, Hiromichi Kataura, "Separations of metallic and semiconducting carbon nanotubes by using sucrose as a gradient medium"  
J. Phys. Chem. C **112** (2008) pp.18889 - 18894. (DOI: 10.1021/jp806822x)
  12. Takeshi Tanaka, Hehua Jin, Yasumitsu Miyata and Hiromichi Kataura, "High Yield Separation of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes by Agarose Gel Electrophoresis"  
Appl. Phys. Express **1** (2008) pp. 114001-1 - 3. (DOI: 10.1143/APEX.1.114001)
  13. D. Nishide, Y. Miyata, K. Yanagi, T. Tanaka, H. Kataura, "Effective Separation of Carbon Nanotubes and Metal Particles from Pristine Raw Soot by Ultracentrifugation"  
Jpn. J. App. Phys. **48** (2009) pp. 015004-1 - 4. (DOI: 10.1143/JJAP.48.015004)
  14. Hidetsugu Shiozawa, Thomas Pichler, Christian Kramberger, Mark Rummeli, David Batchelor, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Hiromichi Kataura, and S. Ravi P. Silva, "Screening of the missing electron: Nanochemistry in action"  
Phys. Rev. Lett. **102**(2009) pp. 046804-1 - 4. (DOI:10.1103/PhysRevLett.102.046804)
  15. Yasuhisa Naitoh, Kazuhiro Yanagi, Hiroshi Suga, Masayo Horikawa, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, and Tetsuo Shimizu, "Non-volatile Resistance Switching using Single-Wall Carbon Nanotube Encapsulating Fullerene Molecules"  
Appl. Phys. Express **2** (2009) 035008-1-3. (DOI: 10.1143/APEX.2.035008)
  16. J. Arvanitidis, D. Christofilos, S. M. Souliou, K. Yanagi, H. Kataura, G. A. Kourouklis, and S. Ves, "High pressure Raman study of carotene-encapsulating single-wall carbon nanotubes"  
Phys. Status Solidi B **246** (2009) pp. 496 - 499. (DOI: 10.1002/pssb.200880518)

17. Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Takeshi Tanaka, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura, "Colors of carbon nanotubes"  
Diamond and Related Materials **18** (2009) pp. 935 - 939. (DOI: 10.1016/j.diamond.2008.12.001)
18. Takeshi Tanaka, Hehua Jin, Yasumitsu Miyata, Shunjiro Fujii, Hiroshi Suga, Yasuhisa Naitoh, Takeo Minari, Tetsuhiko Miyadera, Kazuhito Tsukagoshi and Hiromichi Kataura, "Simple and Scalable Gel-Based Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes"  
Nano Lett. **9** (2009) pp. 1497 - 1500. (DOI: 10.1021/nl8034866)
19. T. Wakabayashi, T. Murakami, H. Nagayama, D. Nishide, H. Kataura, Y. Achiba, H. Tabata, S. Hayashi, and H. Shinohara, "Raman spectral features of longer polyynes HC<sub>2n</sub>H (n = 4–8) in SWNTs"  
Eur. Phys. J. D **52** (2009) pp.79-82. (DOI: 10.1140/epjd/e2009-00008-x)
20. Fuminori MIKAMI, Kazuyuki MATSUDA, Hiromichi KATAURA, and Yutaka MANIWA, "Dielectric Properties of Water inside Single-Walled Carbon Nanotubes"  
ACS Nano, **3** (2009) pp. 1279 - 1287. (DOI: 10.1021/nn900221t)
21. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Yasumitsu Miyata, Hiroshi Suga, Yasuhisa Naitoh, Takeo Minari, Tetsuhiko Miyadera, Kazuhito Tsukagoshi, and Hiromichi Kataura, "Performance enhancement of thin-film transistors by using high-purity semiconducting single-wall carbon nanotubes"  
Appl. Phys. Express. **2** (2009) pp. 071601-1 -3. (DOI: 10.1143/APEX.2.071601)
22. C. Kramberger, H. Rauf, M. Knupfer, H. Shiozawa, D. Batchelor, A. Rubio, H. Kataura, and T. Pichler, "Potassium-intercalated single-wall carbon nanotube bundles: Archetypes for semiconductor/metal hybrid systems"  
Phys. Rev. B **79** (2009) pp. 195442-1 - 5. (DOI: 10.1103/PhysRevB.79.195442)
23. Yuichi Kurashima, Yoshihiko Yokota, Iwao Miyamoto, Hiromichi Kataura, and Youichi Sakakibara, "Mode-locking nanoporous alumina membrane embedded with carbon nanotube saturable absorber"  
Appl. Phys. Lett. **94** (2009) pp. 223102-1 - 3. (DOI: 10.1063/1.3147857)
24. Kazu Suenaga, Yuta Sato, Zheng Liu, Hiromichi Kataura, Toshiya Okazaki, Koji Kimoto, Hidetaka Sawada, Takeo Sasaki, Kazuya Omoto, Takeshi Tomita, Toshikatsu Kaneyama & Yukihito Kondo, "Visualizing and identifying single atoms using electron energy-loss spectroscopy with low accelerating voltage"  
Nat. Chem., **1** (2009) pp. 415-418. (DOI: 10.1038/nchem.282)
25. Takayuki Miyamae, Yasumitsu Miyata, and Hiromichi Kataura, "Two-color sum-frequency generation study of singlewalled carbon nanotubes on silver"  
J. Phys. Chem. C **113** (2009) pp. 15314-15319. (DOI: 10.1021/jp9046598)
26. Haruya Okimoto, Taishi Takenobu, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Takeshi Asano, and Yoshihiro Iwasa, "Ink-Jet Printing of a Single-Walled Carbon Nanotube Thin Film Transistor"  
Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2009) pp. 06FF03-1 - 4. (DOI: 10.1143/JJAP.48.06FF03)
27. Takeshi Tanaka, Hehua Jin, Yasumitsu Miyata, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide and Hiromichi Kataura, "Mass separation of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes using agarose gel"  
Phys. Status Solidi B **246** (2009) pp. 2490 - 2493. (DOI: 10.1002/pssb.200982313)
28. Katrien De Blauwe, Christian Kramberger, Wolfgang Plank, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, "Raman response of FeCl<sub>3</sub> intercalated single-wall carbon nanotubes at high doping"  
Phys. Status Solidi B **246** (2009) pp. 2732 - 2736. (DOI: 10.1002/pssb.200982337)
29. Christian Kramberger, Hendrik Rauf, Martin Knupfer, Hidetsugu Shiozawa, David Batchelor, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, "Electronic and optical properties of alkali metal doped carbon nanotubes"  
Phys. Status Solidi B **246** (2009) pp. 2693 - 2698. (DOI: 10.1002/pssb.200982327)

30. S. Fujii, T. Tanaka, Y. Miyata, H. Suga, Y. Naitoh, T. Minari, T. Miyadera, K. Tsukagoshi and H. Kataura, "Thin-film transistors fabricated from semiconductor-enriched single-wall carbon nanotubes"  
Phys. Status Solidi B, **246**(2009) pp.2849-2852. (DOI: 10.1002/pssb.200982340)
31. Daisuke Nishide, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Takeshi Tanaka, and Hiromichi Kataura, "PERIPUTOS: Purity evaluated by Raman intensity of pristine and ultracentrifuged topping of single-wall carbon nanotubes"  
Phys. Status Solidi B, **246**(2009) pp. 2728-2731. (DOI: 10.1002/pssb.200982336)
32. Hidetsugu Shiozawa, Christian Kramberger, Mark Rummeli, David Batchelor, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, S. Ravi P. Silva, "Electronic properties of single-walled carbon nanotubes encapsulating a cerium organometallic compound"  
Phys. Status Solidi B **246** (2009) pp. 2626-2630. (DOI: 10.1002/pssb.200982344)
33. Masao Ichida, Yumie Kiyohara, Shingo Saito, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Hiroaki Ando, "Nonlinear optical properties and phase-relaxation processes in single-walled carbon nanotubes"  
J. Luminescence **129** (2009) pp. 1794-1797. (DOI: 10.1016/j.jlumin.2009.04.066)
34. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, and Hiromichi Kataura, "Continuous Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel"  
Appl. Phys. Express **2** (2009) 125002-1-3. (DOI: 10.1143/APEX.2.125002)
35. P. Ayala, Y. Miyata, K. De Blauwe, H. Shiozawa, Y. Feng, K. Yanagi, C. Kramberger, S. R. P. Silva, R. Follath, H. Kataura, and T. Pichler, "Disentanglement of the electronic properties of metallicity-selected single-walled carbon nanotubes"  
Phys Rev. B **80** (2009) pp. 205427- 1-5. (DOI: 10.1103/PhysRevB.80.205427)
36. S. Tao, Y. Miyata, K. Yanagi, H. Kataura, and H. Okamoto, "Subpicosecond coherent nonlinear optical response of isolated single-walled carbon nanotubes"  
Phys. Rev. B **80** (2009) pp. 201405(R)- 1-4. (DOI: 10.1103/PhysRevB.80.201405)
37. P. Launois, M. Chorro, B. Verberck, P.-A. Albouy, S. Rouzière, D. Colson, A. Forget, L. Noé, H. Kataura, M. Monthieux and J. Cambedouzou, "Transformation of C<sub>70</sub> peapods into double walled carbon nanotubes"  
Carbon **48** (2010) pp.89 - 98. (DOI:10.1016/j.carbon.2009.08.035)
38. Kei-ichi HANAMI, Tomoyuki UMESAKI, Kazuyuki MATSUDA, Yasumitsu MIYATA, Hiromichi KATAURA, Yutaka OKABE, Yutaka MANIWA, "One-Dimensional Oxygen and Helical Oxygen Nanotubes inside Carbon Nanotubes"  
J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) pp. 023601 -1 - 4. (DOI: 10.1143/JPSJ.79.023601)
39. Masanori Koshino, Yoshiko Niimi, Eiichi Nakamura, Hiromichi Kataura, Toshiya Okazaki, Kazutomo Suenaga & Sumio Iijima, "Analysis of the reactivity and selectivity of fullerene dimerization reactions at the atomic level"  
Nat. Chem. **2** (2010) pp.117 - 124. (DOI:10.1038/nchem.482)
40. Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Susumu Okada, and Hiromichi Kataura, "Influence of Aromatic Environments on the Physical Properties of  $\beta$ -Carotene"  
J. Phys. Chem. C **114** (2010) pp. 2524–2530. (DOI: 10.1021/jp910568k)
41. Yugo Oshima, Taishi Takenobu, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Kenji Hata, Yoshihiro Iwasa, Hiroyuki Nojiri, "Intrinsic Magnetoresistance of Single-Walled Carbon Nanotubes Probed by a Noncontact Method"  
Phys. Rev. Lett. **104** (2010) pp.016803-1 - 4. (DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.016803)
42. Huaping Liu, Ye Feng, Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, and Hiromichi Kataura, "Diameter-Selective Metal/Semiconductor Separation of Single-wall Carbon Nanotubes by Agarose Gel",  
J. Phys. Chem. C **114** (2010) pp.9270-9276. (DOI: 10.1021/jp1017136)
43. Haruya Okimoto, Taishi Takenobu, Kazuhiro Yanagi, Hizekazu Shimotani, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, and Yoshihiro Iwasa, "Low-Voltage

- Operation of Ink-Jet-Printed Single-Walled Carbon Nanotube Thin Film Transistors", *Jpn. J. Appl. Phys.* **49** (2010) pp. 02BD09-1 -3. (DOI: 10.1143/JJAP.49.02BD09)
44. Dongliang Fu, Haruya Okimoto, Chun Wei Lee, Taishi Takenobu, Yoshihiro Iwasa, Hiromichi Kataura and Lain-Jong Li, "Ultrasensitive Detection of DNA Molecules with High On/Off Single-Walled Carbon Nanotube Network", *Adv. Mater.* **22** (2010) pp. 4867-4871. (DOI: 10.1002/adma.201002305)
  45. Haruka KYAKUNO, Kazuyuki MATSUDA, Hitomi YAHIRO, Tomoko FUKUOKA, Yasumitsu MIYATA, Kazuhiro YANAGI, Yutaka MANIWA, Hiromichi KATAURA, Takeshi SAITO, Motoo YUMURA, Sumio IJIMA, "Global phase diagram of water confined on a nanometer scale", *J. Phys. Soc. Jpn.* **79** (2010) pp. 083802-1 -4. (DOI: 10.1143/JPSJ.79.083802)
  46. Kazuhiro Yanagi, Hiroki Udoguchi, Satoshi Sagitani, Yugo Oshima, Taishi Takenobu, Hiromichi Kataura, Takao Ishida, Kazuyuki Matsuda, Yutaka Maniwa, "Transport Mechanisms in Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotube Networks", *ACS Nano* **4** (2010) pp. 4027-4032. (DOI: 10.1021/nn101177n)
  47. Paola Ayala, Hidetsugu Shiozawa, Katrien De Blauwe, Yasumitsu Miyata, Rolf Follath, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, "An X-ray absorption approach to mixed and metallicity-sorted single-walled carbon nanotubes", *J. Mater. Sci.* **45** (2010) pp. 5318 - 5322. (DOI: 10.1007/s10853-010-4577-2)
  48. Hidetsugu Shiozawa, Christian Kramberger, Rudolf Pfeiffer, Hans Kuzmany, Thomas Pichler, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Hiromichi Kataura, and S. Ravi P. Silva, "Catalyst and Chirality Dependent Growth of Carbon Nanotubes Determined Through Nano-test tube Chemistry", *Adv. Mater.* **22** (2010) pp. 3685-3689. (DOI: 10.1002/adma.201001211)
  49. Daisuke Nishide, Huaping Liu, Takeshi Tanaka, and Hiromichi Kataura, "Sorting single-wall carbon nanotubes combining gel chromatography and densitygradient ultracentrifugation", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2746–2749. (DOI: 10.1002/pssb.201000423)
  50. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Huaping Liu, Satoshi Asano, Satoko Nishiyama, Hiromichi Kataura, "Metal/semiconductor separation of single-wall carbon nanotubes by selective adsorption and desorption for agarose gel", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2867 - 2870. (DOI: 10.1002/pssb.201000368)
  51. Katrien De Blauwe, Yasumitsu Miyata, Paola Ayala, Hidetsugu Shiozawa, Duncan J. Mowbray, Angel Rubio, P. Hoffmann, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler, "A combined photoemission and ab initio study of the electronic structure of (6,4)/(6,5) enriched single wall carbon nanotubes", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2875 - 2879. (DOI: 10.1002/pssb.201000373)
  52. F. Simon, C. Kramberger, H. Peterlik, R. Pfeiffer, K. De Blauwe, T. Pichler, H. Kuzmany, K. Yanagi, Y. Miyata, H. Kataura, "Raman response from double-wall carbon nanotubes based on metallicity selected host SWCNTs", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2880 - 2883. (DOI: 10.1002/pssb.201000410)
  53. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Hiroshi Suga, Yasuhisa Naitoh, Takeo Minari, Kazuhito Tsukagoshi, Hiromichi Kataura, "Site-selective deposition of single-wall carbon nanotubes by patterning self-assembled monolayer for application to thin-film transistors", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2750–2753. (DOI: 10.1002/pssb.201000427)
  54. Huaping Liu, Takeshi Tanaka, Ye Feng, Hiromichi Kataura, "Diameter-selective desorption of semiconducting single-wall carbon nanotubes from agarose gel", *Phys. Status Solidi B* **247** (2010) pp. 2649–2652. (DOI: 10.1002/pssb.201000691)
  55. K. De Blauwe, D. J. Mowbray, Y. Miyata, P. Ayala, H. Shiozawa, A. Rubio, P. Hoffmann, H. Kataura, and T. Pichler, "Combined experimental and ab initio study of the electronic structure of narrow-diameter single-wall carbon nanotubes with

- predominant (6,4),(6,5) chirality",  
 Phys. Rev. B **82** (2010) pp. 125444-1-6. (DOI:10.1103/PhysRevB.82.125444)
56. Takeshi Koyama, Yasumitsu Miyata, Yuki Asada, Hisanori Shinohara, Hiromichi Kataura, and Arao Nakamura, "Bright Luminescence and Exciton Energy Transfer in Polymer-Wrapped Single-Walled Carbon Nanotube Bundles",  
 J. Phys. Chem. Lett. **1** (2010) pp. 3243-3248. (DOI: 10.1021/jz101338c)
  57. Haruya Okimoto, Taishi Takenobu, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Hidekazu Shimotani, Hiromichi Kataura, and Yoshihiro Iwasa, "Tunable Carbon Nanotube Thin-Film Transistors Produced Exclusively via Inkjet Printing",  
 Adv. Mater. **22** (2010) pp. 3981- 3986. (DOI: 10.1002/adma.201000889)
  58. M. Havlicek, W. Jantsch, M. Rummeli, R. Schönfelder, K. Yanagi, Y. Miyata, H. Kataura, F. Simon, H. Peterlik and H. Kuzmany, "Electron spin resonance from semiconductor–metal separated SWCNTs",  
 Phys. Status Solidi B **247** (2010) pp. 2851–2854. (DOI: 10.1002/pssb.201000317)
  59. P. Ayala, K. De Blauwe, Y. Miyata, H. Shiozawa, P. Hoffmann, H. Kataura and T. Pichler, "Insight to the valence band electronic structure of metallicity selected single wall carbon nanotubes from a photoemission viewpoint",  
 Phys. Status Solidi B **247** (2010) pp. 2779–2783. (DOI: 10.1002/pssb.201000724)
  60. Hidetsugu Shiozawa, S. Ravi P. Silva, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Hiromichi Kataura, Christian Kramberger, Rudolf Pfeiffer, Hans Kuzmany and Thomas Pichler, "Low-temperature growth of single-wall carbon nanotubes inside nano test tubes",  
 Phys. Status Solidi B **247** (2010) pp.2730–2733. (DOI: 10.1002/pssb.201000314)
  61. Norman Tschirner, Katharina Brose, Janina Maultzsch, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura and Christian Thomsen, "The influence of incorporated  $\beta$ -carotene on the vibrational properties of single wall carbon nanotubes",  
 Phys. Status Solidi B **247** (2010) pp.2734-2737. (DOI: 10.1002/pssb.201000341)
  62. Katharina Brose, Norman Tschirner, Athina Zouni, Frank Müh, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Christian Thomsen and Janina Maultzsch, "Polarised Raman measurements of  $\beta$ -carotene encapsulated in SWNTs",  
 Phys. Status Solidi B **247** (2010) pp. 2871-2874. (DOI: 10.1002/pssb.201000370)
  63. Ye Feng, Yasumitsu Miyata, Kiyoto Matsuishi, and Hiromichi Kataura, "High-Efficiency Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes by Self-Generated Density Gradient Ultracentrifugation",  
 J. Phys. Chem. C **115** (2011) pp. 1752–1756. (DOI: 10.1021/jp1100329)
  64. Toshiya Okazaki, Yoko Iizumi, Shingo Okubo, Hiromichi Kataura, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Yoshio Tahara, Masako Yudasaka, Susumu Okada, and Sumio Iijima, "Coaxially Stacked Coronene Columns inside Single-Walled Carbon Nanotubes",  
 Angew. Chem. Int. Ed., **50** (2011), pp. 4853–4857, (DOI: 10.1002/anie.201007832)
  65. Kazuhiro Yanagi, Rieko Moriya, Yohei Yomogida, Taishi Takenobu, Yasuhisa Naitoh, Takao Ishida, Hiromichi Kataura, Kazuyuki Matsuda, Yutaka Maniwa, "Electrochromic Carbon Electrodes: Controllable Visible Color Changes in Metallic Single-Wall Carbon Nanotubes",  
 Adv. Mater., vol. **23** (2011) pp.2811 - 2814. (DOI: 10.1002/adma.201100549)
  66. Huaping Liu, Daisuke Nishide, Takeshi Tanaka and Hiromichi Kataura, "Large-scale single-chirality separation of single-wall carbon nanotubes by simple gel chromatography",  
 Nature Communications **2** (2011) pp. 309 - 1 – 8. (DOI:10.1038/ncomms1313)
  67. C. Kramberger, P. Ayala, H. Shiozawa, F. Simon, A. Friedrich, X. Liu, M. Rummeli, Y. Miyata, H. Kataura, P. Hoffmann, and T. Pichler, "Disentanglement of the unoccupied electronic structure in metallic and semiconducting C<sub>60</sub> peapods",  
 Phys. Rev. B, **83** (2011) pp. 195438-1 -5. (DOI:10.1103/PhysRevB.83.195438)
  68. Yuichi Kurashima, Koji Mimura, Shinsaku Hagiwara, Emiko Itoga, Hiromichi Kataura, Youichi Sakakibara, "Embedding carbon nanotube–epoxy resin complex



- into porous alumina for efficiently heat-sinked saturable absorbers", *Microelectron. Eng.* **88** (2011) pp.2304 - 2307. (DOI: 10.1016/j.mee.2011.02.101)
69. Haruka Kyakuno, Kazuyuki Matsuda, Hitomi Yahiro, Yu Inami, Tomoko Fukuoka, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, Hiromichi Kataura, Takeshi Saito, Motoo Yumura, and Sumio Iijima, "Confined water inside single-walled carbon nanotubes: Global phase diagram and effect of finite length", *J. Chem. Phys.* **134** (2011) pp.244501-1-14. (DOI:10.1063/1.3593064)
70. Masao Ichida, Shingo Saito, Yumie Kiyohara, Tadashi Nakano, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, and Hiroaki Ando, "Diameter dependence of phase relaxation time and third-order nonlinear susceptibilities in semiconducting single-walled carbon nanotubes", *J. Appl. Phys.* **109** (2011) pp.113508-1 - 4. (DOI:10.1063/1.3592214)
71. Yoko Matsuzawa, Haruhisa Kato, Harumi Ohyama, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura, Masaru Yoshida, "Photoinduced Dispersibility Tuning of Carbon Nanotubes by a Water-Soluble Stilbene as a Dispersant", *Adv. Mater.* **23** (2011) pp.3922 - 3925. (DOI: 10.1002/adma.201101960)
72. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Satoko Nishiyama, and Hiromichi Kataura, "High performance thin-film transistors using moderately aligned semiconducting single-wall carbon nanotubes" *Phys. Status Solidi (b)* **248** (2011) pp. 2692-2696. (DOI: 10.1002/pssb.201100254)
73. Huaping Liu, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, "One-step separation of high-purity (6, 5) carbon nanotubes by multicolumn gel chromatography", *Phys. Status Solidi (b)* **248** (2011) pp. 2524-2527. (DOI: 10.1002/pssb.201100230)
74. Christian Kramberger, Paola Ayala, Hidetsugu Shiozawa, Ferenc Simon, Alexander Friedrich, Xianjie Liu, Mark Rummeli, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Patrick Hoffmann, and Thomas Pichler, "High resolution X-ray absorption on metallicity selected C<sub>60</sub> peapods, single-, and double walled carbon nanotubes", *Phys. Status Solidi (b)* **1-5** (2011) pp. 2544 - 2547. (DOI: 10.1002/pssb.201100053)
75. G. Ruiz-Soria, P. Ayala, S. Puchegger, H. Kataura, K. Yanagi, T. Pichler, "On the purification of CVD grown boron doped single-walled carbon nanotubes", *Phys. Status Solidi (b)* **1-5** (2011) pp. 2504 - 2507. (DOI: 10.1002/pssb.201100139)
76. Satoki Matsuzaki, Yuki Nobusa, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Taishi Takenobu, "Inkjet Printing of Carbon Nanotube Complementary Inverters", *Appl. Phys. Express* **4** (2011) p. 105101. (DOI: 10.1143/APEX.4.105101)
77. Atsushi Hirano, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, "Adsorbability of single-wall carbon nanotubes onto agarose gels affects the quality of the metal/semiconductor separation" *J. Phys. Chem. C* **115** (2011) pp. 21723 - 21729. (DOI: 10.1021/jp207786g)
78. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, and Hiromichi Kataura, "Discovery of Surfactants for Metal/Semiconductor Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes via High-Throughput Screening", *J. Am. Chem. Soc.* **133** (2011) pp. 17610–17613. (DOI: 10.1021/ja208221g)
79. Yuki Nobusa, Yohei Yomogida, Satoki Matsuzaki, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, and Taishi Takenobu, "Inkjet printing of single-walled carbon nanotube thin-film transistors patterned by surface modification", *Appl. Phys. Lett.* **99** (2011) p. 183106. (DOI: 10.1063/1.3657502)
80. Masao Ichida, Shingo Saito, Tadashi Nakano, Ye Feng, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Hiroaki Ando, "Absorption spectra of high purity metallic and semiconducting single-walled carbon nanotube thin films in a wide energy region", *Solid State Communications* **151** (2011) pp. 1696–1699. (DOI: 10.1016/j.ssc. 2011. 07.046)
81. N. Nishizawa, Y. Nozaki, E. Itoga, H. Kataura, and Y. Sakakibara, "Dispersion-

- managed, high-power, Er-doped ultrashort-pulse fiber laser using carbon-nanotube polyimide film",  
*Optics Express* **19** (2011) pp. 21874-21879. (DOI: 10.1364/OE.19.021874)
82. Y. Yamada, T. Tanaka, K. Machida, S. Suematsu, K. Tamamitsu, H. Kataura, H. Hatori, "Electrochemical behavior of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes for electric double-layer capacitor",  
*CARBON* **50** (2012) pp. 1422-1424. (DOI: 10.1016/j.carbon.2011.09.062)
83. Zongfan Duan, Xianqiang Huang, Shunjiro Fujii, Hiromichi Kataura, and Yasuhiro Nishioka, "Novel Phenylene–Thiophene Oligomer Derivatives with Dibenzothiophene 5,5-Dioxide Core: Synthesis, Characterization, and Applications in Organic Solar Cells",  
*Chem. Lett.* **41** (2012) pp. 363 - 365. (DOI: 10.1246/cl.2012.363)
84. A. Hirano, T. Tanaka, Y. Urabe, and H. Kataura, "Purification of Single-Wall Carbon Nanotubes by Controlling the Adsorbability onto Agarose Gels Using Deoxycholate"  
*J. Phys. Chem. C* **116** (2012) pp. 9816-9823. (DOI: 10.1021/jp301380s )
85. C. Bousige, S. Rols, H. Kataura and P. Launois, "Translational Dynamics of One-Dimensional Fullerene Chains Encapsulated Inside Single-Walled Carbon Nanotubes",  
*Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* **20** (2012) pp. 395-400. (DOI:10.1080/1536383X.2012.655209)
86. Satoki Matsuzaki, Yuki Nobusa, Ryo Shimizu, Kazuhiro Yanagi<sup>1</sup>, Hiromichi Kataura, and Taishi Takenobu, "Continuous Electron Doping of Single-Walled Carbon Nanotube Films Using Inkjet Technique"  
*Jpn. J. Appl. Phys.* **51** (2012) pp. 06FD18-1-3. (DOI: 10.1143/JJAP.51.06FD18)
87. Masatoshi Kawai, Haruka Kyakuno, Takuya Suzuki, Toru Igarashi, Hironori Suzuki, Toshiya Okazaki, Hiromichi Kataura, Yutaka Maniwa, and Kazuhiro Yanagi, "Single Chirality Extraction of Single-Wall Carbon Nanotubes for the Encapsulation of Organic Molecules"  
*J. Am. Chem. Soc.* **134** (2012) pp 9545–9548. (DOI: 10.1021/ja3013853)
88. M. Havlicek, W. Jantsch, Z. Wilamowski, K. Yanagi, H. Kataura, M. H. Rummeli, H. Malissa, A. Tyryshkin, S. Lyon, A. Chernov, and H. Kuzmany, "Indirect exchange interaction in fully metal-semiconductor separated single-walled carbon nanotubes revealed by electron spin resonance"  
*Phys. Rev. B* **86** (2012) pp. 045402-1-5. (DOI:10.1103/PhysRevB.86.045402)
89. Colin Bousige, Stéphane Rols, Erwan Paineau, Stéphan Rouzière, Cristian Mocuta, Bart Verberck, Jonathan P. Wright, Hiromichi Kataura, and Pascale Launois, "Progressive melting in confined one-dimensional C<sub>60</sub> chains"  
*Phys. Rev. B* **86** (2012) pp. 045446-1-5. (DOI:10.1103/PhysRevB.86.045446)
90. Atsushi Hirano, Takeshi Tanaka, and Hiromichi Kataura, "Thermodynamic Determination of the Metal/Semiconductor Separation of Carbon Nanotubes Using Hydrogels"  
*ACS NANO* **6** (2012) pp. 10195-10205. (DOI: 10.1021/nm303985x)
91. Shunjiro Fujii, Zongfan Duan, Takanori Okukawa, Yuichiro Yanagi, Akira Yoshida, Takeshi Tanaka, Gaoyang Zhao, Yasuhiro Nishioka, and Hiromichi Kataura, "Synthesis of novel thiophenophenylene oligomer derivatives with a dibenzothiophene-5,5,-dioxide core for use in organic solar cells"  
*Phys. Status Solidi (b)* **249** (2012) pp. 2648 - 2651.(DOI: 10.1002/pssb.201200439)
92. M. Havlicek, A. Chernov, W. Jantsch, Z. Wilamowski, K. Yanagi, H. Kataura, M. H. Rummeli, H. Malissa, H. Kuzmany, "Magnetic phase transition for defect induced electron spins from fully metal–semiconductor separated SWCNTs"  
*Physica Status Solidi(b)* **249** (2012) pp. 2562 - 2567. (DOI: 10.1002/pssb.201200426)
93. Antonio Briones-Leon, Xianjie Liu, Paola Ayala, Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi, Eugen Weschke, Thomas Pichler, Hidetsugu Shiozawa, "Orbital and spin

- magnetic moments of ferrocene encapsulated in metallicity sorted single-walled carbon nanotubes"  
*Physica Status Solidi(b)* **249** (2012) pp. 2424 - 2427. (DOI: 10.1002/pssb.201200165)
94. Markus Sauer, Hidetsugu Shiozawa, Paola Ayala, Georgina Ruiz-Soria, Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi, Stefan Krause, Thomas Pichler, "In situ filling of metallic single-walled carbon nanotubes with ferrocene molecules"  
*Physica Status Solidi(b)* **249** (2012) pp. 2408 - 2411. (DOI: 10.1002/pssb.201200127)
95. A. Chernov, M. Havlicek, W. Jantsch, M. H. Rümmele, A. Bachmatiuk, K. Yanagi, H. Peterlik, H. Kataura, F. Sauerzopf, R. Resel, F. Simon, H. Kuzmany, "Ferromagnetic decoration in metal–semiconductor separated and ferrocene functionalized single-walled carbon nanotubes"  
*Physica Status Solidi(b)* **249** (2012) pp. 2323 - 2327. (DOI: 10.1002/pssb.201200452)
96. Y. Nozaki, N. Nishizawa, E. Omoda, H. Kataura, and Y. Sakakibara, "Power scaling of dispersion-managed Er-doped ultrashort pulse fiber laser with single wall carbon nanotubes"  
*Optics Letters* **37** (2012) pp. 5079-5081. (DOI:10.1364/OL.37.005079)
97. Kazuyuki Matsuda, Kazuhiro Yanagi, Haruka Kyakuno, Satoshi Sagitani, Hiromichi Kataura, and Yutaka Maniwa, "<sup>13</sup>C-NMR Shift of Highly Concentrated Metallic and Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes"  
*J. Phys. Soc. Jpn.* **82** (2013) pp. 015001-1 -2. (DOI: 10.7566/JPSJ.82.015001)
98. Takayoshi Kobayashi, Zhaogang Nie, Juan Du, Hiromichi Kataura, Youichi Sakakibara, Yasumitsu Miyata, "Coherent phonon generation in semiconducting single-walled carbon nanotubes using a few-cycle pulse laser"  
*Journal of Luminescence* **133** (2013) pp. 157–161. (DOI:10.1016/j.jlumin.2011.12.021)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 柳 和宏、片浦 弘道「金属型・半導体型カーボンナノチューブの分離」  
*コンバーテック*, 36-9, pp.84-88、2008/09
2. 松田和之、花見圭一、真庭豊「カーボンナノチューブ複合系の物性と計算機実験」  
*RIST NEWS No. 46* (2008) pp. 3-12.
3. 片浦弘道, 解説「単層カーボンナノチューブの分離技術と分光評価」  
*応用物理* 78, (2009) pp. 1128 – 1134.
4. Kazuhiro Yanagi and Hiromichi Kataura,  
 "Carbon nanotubes: Breaking Kasha's rule"  
*News and Views, Nature Photonics* 4 (2010) pp. 200 - 201.  
 (DOI: 10.1038/nphoton.2010.77)
5. Y. Maniwa and H. Kataura,  
*Synthesis and Applications of Water Nanotubes*, T. Kijima (Ed.):  
*INORGANIC AND METALLIC NANOTUBULAR MATERIALS*,  
*Topics in Applied Physics* **117**, (2010) pp. 247-259  
 (DOI 10.1007/978-3-642-03622-4\_18),  
 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
6. Takeshi Tanaka, Huaping Liu, Shunjiro Fujii, Hiromichi Kataura, "From metal/semiconductor separation to single-chirality separation of single-wall carbon nanotubes using gel",  
*Phys. Status Solidi Rapid Research Letters* **5** (2011) pp.301-306. (DOI: 10.1002/pssr.201105289)
7. 松田和之、真庭豊、「10.2 水内包SWCNT」、*カーボンナノチューブ・グラフェンハンドブック* pp196-199、コロナ社、2011年、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会編
8. 松田和之、真庭豊、「10.3 酸素など気体分子内包 SWCNT」、*カーボンナノチューブ*

ブ・グラフェンハンドブック pp199-201、コロナ社、2011年、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会編

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 23 件、国際会議 36 件)

1. H. Kataura, Y. Miyata, K. Yanagi, (AIST) "Optical and electronic properties of metallic carbon nanotubes" Invited talk in The 4th Korea-Japan Symposium on Carbon Nanotube, Oct. 28-31, 2007, Kansai Seminar House, Kyoto, Japan
2. 片浦 弘道 (AIST), 「カーボンナノチューブの分離精製と可視-近赤外1次元エキシトン吸収による評価」依頼講演、第 23 回近赤外フォーラム、2007年11月7-9日、文部科学省研究交流センター、茨城県つくば市
3. 片浦 弘道 (AIST), 「カーボンナノチューブの金属・半導体分離」招待講演、東京工業大学 21 世紀 COE プログラム「量子ナノ物理学」第 3 回公開シンポジウム、2007年12月20-21日、五反田ゆうぽうと、東京都
4. Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi, Takeshi Tanaka, Yasumitsu Miyata, Shingo Ina, Yutaka Maniwa, "Optical Properties of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes" Invited Talk in International Carbon nanotube conference in Nagoya University, Feb. 14-15, Nagoya University, Nagoya, Japan
5. 片浦 弘道 (AIST), 「カーボンナノチューブ内部に広がる特異空間とその応用」依頼講演、2008 年炭素材料学会 2 月セミナー、2008年 2 月8日、市ヶ谷自動車会館、東京都
6. 片浦弘道 (AIST), 「単層カーボンナノチューブの精製と分離、そして評価」依頼講演 (チュートリアル)、第34回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2008 年 3 月4-5日、名城大学、名古屋
7. Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi, Takeshi Tanaka, Yasumitsu Miyata, Shingo Ina, Yutaka Maniwa, "Optical Properties of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes" Invited talk (tutorial) in the International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Mar. 1-8, 2008, Hotel Sonnalp, Kirchberg Tirol, Austria
8. 柳和宏、「金属と半導体ナノチューブの分離」依頼講演、第7領域シンポジウム、日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日(土)~26 日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)
9. 白石誠司、「ナノチューブのスピン트로ニクス応用」依頼講演、第7領域シンポジウム、日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日(土)~26 日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)
10. 片浦 弘道, 「カーボンナノチューブを用いた透明導電膜と ITO 代替の可能性」新しい透明導電膜材料(有料セミナー)、東京、2008/05/21
11. 片浦 弘道、柳 和宏、田中 丈士、宮田 耕充、藤井 俊治郎、西出 大亮、森井 奈保子、飯塚 敏江、真庭 豊, 「カーボンナノチューブの金属・半導体分離」2008 年秋季 第 69 回応用物理学会学術講演会、愛知県(中部大学)、2008/09/02
12. H. Kataura, K. Yanagi, Y. Miyata, T. Tanaka, S. Fujii, D. Nishide, "Separation of single-wall carbon nanotubes" Invited Talk in 19th European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides (DIAMOND 2008), Sep. 7-11, 2008, Sitges, Spain.
13. H. Kataura, K. Yanagi, T. Tanaka, Y. Miyata, Y. Maniwa, "Optical Properties of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes"

- Invited talk in The 2008 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology (AsiaNANO2008), 3-7 Nov. 2008, Biopolis, Singapore.
14. Hiromichi Kataura, Takeshi Tanaka, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, and Yutaka Maniwa, "Metal Semiconductor Separation of Single Wall Carbon Nanotubes" Invited Talk in The 5th Japan-Korea Symposium on Carbon Nanotube (JK5), 9-12 Nov. 2008, Grand Hotel, Busan, Korea.
  15. 片浦弘道、「単層カーボンナノチューブの金属・半導体分離」第2回応物関西支部セミナー2008.12.5 大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻
  16. H. Kataura, T. Tanaka, Y. Miyata, S. Fujii, D. Nishide, K. Yanagi, Y. Feng, K. Matsuishi, Y. Maniwa, "Metal Semiconductor Separation of Single-wall Carbon Nanotubes" Invited Talk in the AIST-RIKEN Joint WorkShop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", March 4-7, 2009, Okinawa, Japan.
  17. H. Kataura, T. Tanaka, Y. Miyata, S. Fujii, D. Nishide, K. Yanagi, Y. Feng, K. Matsuishi, Y. Maniwa, "High efficiency metal-semiconductor separation of single-wall carbon nanotubes", Invited Talk in 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  18. H. Shiozawa, S.R.P. Silva, Z. Liu, K. Suenaga, H. Kataura, D. Batchelor, C. Kramberger, T. Pichler, "Excitement of nano-test tube chemistry inside single-walled carbon nanotubes" Invited Talk in 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  19. Hiromichi Kataura, Takeshi Tanaka, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Ye Feng, Kiyoto Matsuishi, Yutaka Maniwa, "Squeezing Metallic SWCNTs from Thawed out Black Agarose" Invited Talk in 3rd Workshop on Nanotube Optics & Nanospectroscopy (WONTON), June 7-10, 2009, Matsushima, Sendai, Japan
  20. H. Kataura, T. Tanaka, Y. Miyata, S. Fujii, D. Nishide, K. Yanagi, Y. Feng, K. Matsuishi, Y. Maniwa, "Metal-Semiconductor Separation of SWCNTs" Invited Talk in European Material Research Society (E-MRS) Spring Meeting, June 8 - 12, 2009, Congress Center, Strasbourg, France
  21. Hiromichi Kataura, Takeshi Tanaka, Yasumitsu Miyata, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide, Kazuhiro Yanagi, Ye Feng, Kiyoto Matsuishi, and Yutaka Maniwa, "High Efficiency Metal-Semiconductor Separation of SWCNTs" Keynote lecture in Tenth International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT'09), Tsinghua University, Beijing, China, June 21-26, 2009
  22. T. Pichler, C. Kramberger, R. Pfeiffer, A. Grueneis, P. Ayala, H. Kuzmany, E. Einarsson, S. Maruyama, Y. Miyata, H. Kataura, C. Attacalite, A. Rubio, R. Hambach, C. Giorgetti, L. Reining, H. Shiozawa, D. Vyalikh, S. Molotsov, R. Kitaura, H. Shinohara, D. Bachelor, J. Fink, M. Ruemmel, M. Knupfer, "Pristine and metallicity selected single wall carbon nanotubes: Electronic and optical properties vs. doping and interaction." NT09, Beijing, China, 2009/06/23
  23. Hiromichi Kataura, Daisuke Nishide, Yasumitsu Miyata, Takeshi Tanaka, "PERIPUTOS: A Quantitative Purity Evaluation of Single-Wall Carbon Nanotubes" Invited Talk in The Third International Workshop on Metrology, Standardization and Industrial Quality of Nanotubes (MSIN09), 20 June 2009, Tsinghua University, Beijing, CHINA

24. Hiromichi KATAURA, Takeshi TANAKA, Yasumitsu MIYATA, Shunjiro FUJII, Daisuke NISHIDE, Kazuhiro YANAGI, Ye FENG, Kiyoto MATSUISHI, Yutaka MANIWA, "Quick and Easy Metal-Semiconductor Separation of SWCNTs"  
Invited Talk in International Conference on Materials for Advanced Technologies 2009 (ICMAT2009), 28 June - 3 July 2009, Singapore, Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre.
25. 片浦 弘道、田中 丈士、藤井 俊治郎、ト部 泰子、粕谷 陽子、「産業応用を目指したカーボンナノチューブの分離技術とデバイス開発」第 70 回応用物理学学会学術講演会、富山大学、2009/09/09
26. Hiromichi Kataura, Takeshi Tanaka, Yasumitsu Miyata, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide, Kazuhiro Yanagi, and Yutaka Maniwa, "Effective metal/semiconductor separation of single-wall carbon nanotubes" Invited Talk in The Second Nanotechnology International Forum statistics, October 6-8, 2009, Moscow, Expocentre, Russia.
27. Hiromichi Kataura, "Simple and Effective Metal/Semiconductor Separation of SWCNTs" Second Shanghai Nanocarbon Forum, Dec. 8, Shanghai University, Shanghai, China.
28. Hiromichi Kataura "Dispersion, separation, and application of single-wall carbon nanotubes" 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
29. Paola Ayala, Yasumitsu Miyata, Katrien De Blauwe, Hidetsugu Shiozawa, Christian Kramberger, Philip Homann, Hiromichi Kataura, Thomas Pichler,  
"A high-energy spectroscopy viewpoint to access the electronic properties of metallicity selected functionalized SWCNT" 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
30. Hiromichi Kataura, Takeshi Tanaka, Huaping Liu, Yasumitsu Miyata, Shunjiro Fujii, Daisuke Nishide, Kazuhiro Yanagi, Feng ye, Kiyoto Matsuishi, Yutaka Maniwa (AIST、首都大学、筑波大学)"High Efficiency Metal-Semiconductor Separation of SWCNTs" MRS 2010 spring meeting, Sun Francisco, USA, 2010/4/8
31. 片浦弘道 (AIST)、「単層カーボンナノチューブの分離技術と分光評価」PCP 研究会、総評会館(東京、お茶の水)、2010/05/14
32. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Yasuko Urabe, Takeshi Tanaka (AIST)  
"Diameter Sorting of Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes Using Agarose Gel Chromatography" 4th International Conference on New Diamond and Nano Carbons (NDNC2010), May 16-20, 2010, The Garden Hotel, Suzhou, China
33. Tanaka Takeshi, Hiromichi Kataura (AIST)"Simple Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel " The 1st China-Japan Young Chemist Forum, 中国, 厦門, 2010/6/20
34. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka ( AIST ) "High-Efficiency Metal/Semiconductor Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes" Invited talk in International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010 (ICSM2010), July 4-9, 2010, Kyoto International Conference Center
35. 片浦弘道 (AIST)"単層カーボンナノチューブの金属・半導体分離と自己組織化によるデバイス作製" 依頼講演、応用物理学会応用電子物性分科会研究会、首都大学

東京、2010.7.26

36. H. Kataura, H. Liu, D. Nishide, S. Fujii, Y. Feng, Y. Urabe, and T. Tanaka (AIST) "High Yield Metal / Semiconductor Separation of Single-wall Carbon Nanotubes" Invited talk in The Second International Workshop on Nanocarbon Photonics and Optoelectronics (NPO 2010), Koli/North Karelia/Finland, 1-6 August 2010.
37. Takeshi Tanaka, Hehua Jin, Yasumitsu Miyata and Hiromichi Kataura "High-Yield Separation of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes by Agarose Gel Electrophoresis" 2010年秋季 第71回 応用物理学学会学術講演会、長崎大学、2010/9/15
38. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Ye Feng, Yasuko Urabe, Takeshi Tanaka (AIST) "Separation of single-wall carbon nanotubes by gel chromatography" 4th NIST Workshop on Carbon Nanotubes, Washington DC, USA, 2010/9/23
39. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Ye Feng, Takeshi Tanaka (AIST) "LARGE SCALE METAL / SEMICONDUCTOR SEPARATION OF SWCNTs" A3 Symposium on Emerging Materials, Jeonju, South Korea, 2010/11/9
40. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST) "High efficiency separation of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes using gel column chromatography" 2010 International Symposium on Graphene, CNT&Ultrafast Phenomena of Nanomaterials, Taipei, Taiwan, 2010/11/16
41. 片浦 弘道、劉 華平、西出 大亮、藤井 俊治郎、田中 丈士 (AIST) "Single-chirality separation of SWCNTs by gel column chromatography" ナノカーボン研究会、東京、2011/1/21
42. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST) "Single-chirality separation of SWCNTs by gel column chromatography" UK-Japan Nanoelectronics Workshop、東京、2011/2/17
43. Hiromichi Kataura, Daisuke Nishide, Huaping Liu, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST), "High sensitivity detection of surfactant molecules on SWCNTs by Raman spectroscopy" IWEPNM2011, Austria, 2011/2/28
44. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Daisuke Nishide, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST) "Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes using Gel Chromatography", NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/13
45. 片浦弘道, 劉 華平, 浅野 敏, 高橋智美, 西山聡子, 久保田 真理子, 伊藤靖浩, 清水麻希, 卜部泰子, 平野 篤, 藤井 俊治郎, 田中丈士 (TASC、AIST) "Chirality Sorting of Single-Wall Carbon Nanotubes using Gel Chromatography" A3 symposium, Urumqi, China, 2011/10/13
46. 劉 華平、田中 丈士、片浦 弘道 (AIST) 「低コストでカーボンナノチューブの構造分離を実現」産総研オープンラボ、ナノテクノロジー・材料・製造分野のホットピックスーあなたの前でプレスレクチャー、つくば、茨城、2011/10/14
47. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Satoshi Asano, Tomomi Takahashi, Satoko Nishiyama, Mariko Kubota, Yasuhiro Ito, Maki Shimizu, Yasuko Urabe, Atsushi Hirano, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST) "Chirality Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes using Gel Chromatography" 2011 RCAS-ANNA, Taipei, Taiwan, 2011/11/17
48. 片浦 弘道 (AIST) "CNT の構造解析と分散状態制御" 第 32 回表面科学セミナー、東京、2011/11/28

49. Hiromichi Kataura (AIST), "Structure Sorting of Single-Wall Carbon Nanotubes using Multicolumn Gel Chromatography" Workshop on Carbon Nanotube in Commemoration of the 20th Anniversary of its Discovery, Tokyo, 2011/12/13
50. 田中 丈士、ト部 泰子、西出 大亮、片浦 弘道 (AIST) "Discovery of Surfactants for Metal/Semiconductor Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes via High-Throughput Screening" 2011 年度第 3 回ナノカーボン研究会, 福島県福島市, 2012/1/30
51. 田中 丈士、片浦 弘道 (AIST) 「期待のナノ材料、カーボンナノチューブの分離研究－金属型・半導体型分離から単一構造分離まで－」第 4 回産総研ナノシステム連携促進フォーラム－先端ナノテク材料を広範な産業に活用するために－, 秋葉原, 2012/2/2
52. 田中 丈士、片浦 弘道 (AIST) 「ゲルを用いて単一構造のカーボンナノチューブを分離」ナノシステムシンポジウム (nano tech 2012)、東京ビックサイト、2012/2/16
53. 片浦 弘道 (AIST) 「低コストで単層カーボンナノチューブ (SWCNT) の構造分離を実現」NBCI「TIA-nano の見える化」第 2 回講演会、東京、2012/2/29
54. Hiromichi Kataura, Huaping Liu, Maki Shimizu, Yasuhiro Ito, Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka (AIST), "Single-Step Structure Sorting of Single-Wall Carbon Nanotubes using Multicolumn Gel Chromatography" IWEPM2012, Austria, 2012/3/4
55. 田中 丈士、藤井 俊治郎、平野 篤、片浦 弘道 (AIST) 「単層カーボンナノチューブの電子材料応用」ナノテクノロジー・材料・製造分野研究交流会、茨城県つくば市、2012/6/29
56. 片浦 弘道、劉 華平、清水 麻希、伊藤 靖浩、藤井 俊治郎、田中 丈士 (AIST) "Single-Chirality Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes" The 2nd symposium on "Carbon Nanoforms, つくば、AIST、2012/7/9
57. Hiromichi Kataura (AIST), "Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes using Column chromatography", Nanocarbons Research Committee, Ryumeikan conference room, Tokyo, Japan, 2012/9/17.
58. Hiromichi Kataura (AIST), "Structure Separation of SWCNTs using Column Chromatography" 2012 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments, Tohoku University, Sendai, Japan, 2012/10/30.
59. 片浦弘道 (AIST)、「カーボンナノチューブのカイラリティー制御」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/27.

② 口頭発表 (国内会議 68 件、国際会議 14 件)

1. 客野遥, 宮田耕充, 松田和之, 門脇広明, 真庭豊, 片浦弘道, 斎藤毅, 大嶋哲, 湯村守雄, 飯島澄男 (首都大理工, 産総研ナノテク, 産総研ナノカーボン) 「単層カーボンナノチューブへの水分子吸着; 吸着等温線」日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日 (土) ~ 26 日 (水)、近畿大学東大阪キャンパス (大阪府東大阪市)
2. 廣津智之, 三上史記, 松田和之, 門脇広明, 真庭豊, 片浦弘道 (首都大理工, 産総研ナノテク) 「単層カーボンナノチューブに吸着したメタン分子の NMR」JST-CREST<sup>c</sup>、日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日 (土) ~ 26 日 (水)、近畿大学東大阪キャンパス (大阪府東大阪市)
3. 小中雄介, 松田和之, 真庭豊, 松石聡, 細野秀雄 (首都大理工, 東工大総合理工) 「無機エレクトライド  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  の  $^{27}\text{Al}$  NMR」日本物理学会 第 63 回年次大



会 2008年3月22日(土)～26日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)

4. 宮田耕充, 柳和宏, 真庭豊, 片浦弘道(首都大理工, 産総研ナノテク, CREST)「フ  
ォトルミネッセンスから求めた SWCNT カイラリティ分布の実験的評価」、日本物理  
学会 第63回年次大会 2008年3月22日(土)～26日(水)、近畿大学東大阪キ  
ャンパス(大阪府東大阪市)
5. 阿部健太, 小澄大輔, 柳和宏, 宮田耕充, 片浦弘道, 吉澤雅幸(東北大理、産総研  
ナノテク)「孤立および凝集したカロテノイド内包単層カーボンナノチューブの超高  
速ダイナミクス」JST-CREST<sup>c</sup>、日本物理学会 第63回年次大会 2008年3月22  
日(土)～26日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)
6. 市田正夫, 清原油美江, 宮田耕充, 片浦弘道, 齋藤伸吾, 安藤弘明(甲南大理工、  
甲南大量子ナノ、首都大理工、産総研ナノテク、情報機構)「単層カーボンナノチュ  
ーブにおける位相緩和時間」日本物理学会 第63回年次大会 2008年3月22  
日(土)～26日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)
7. 柳 和宏, 宮田耕充, 佐藤雄太, 劉崢, 末永和知, 石田敬雄, 片浦弘道(産総研,  
JST-CREST(「カーボンナノチューブインク」第55回応用物理学関係連合講演会、  
2008年3月27-30日、日本大学(千葉県)
8. 柳和宏、劉崢、末永和知、宮田耕充、Konstantin Iakoubovskii、南信次、片浦弘  
道, “Light-harvesting function of carotenoids inside single-wall carbon  
nanotubes” The 15th international symposium on carotenoids, 沖縄、  
2008/06/24
9. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道 “Anomalous Raman spectra of  
high-purity metallic single-wall carbon nanotube bundles” 9th  
International Conference on the Science and Application of Nanotubes, モ  
ンペリエ、フランス、2008/06/30
10. 沖本治哉、竹延大志、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、浅野武志、岩佐義宏  
"Ink-jet Printing of High-Performance SWNT Film Transistors",  
International Symposium on Organic Transistors and Functional  
Interfaces, Sendai, 2008/08/22
11. 田中丈士、金赫華、宮田耕充、藤井俊治郎、菅洋志、内藤泰久、片浦弘道、  
"Simple Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes"  
第35回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 東京都、2008/08/28
12. 田中丈士、金赫華、宮田耕充、藤井俊治郎、菅洋志、内藤泰久、片浦弘道、「ゲル電  
気泳動によるカーボンナノチューブの分離の進展」2008年秋季 第69回応用物  
理学会学術講演会, 愛知県、2008/09/03
13. 柳和宏、飯塚敏江、藤井俊治郎、片浦弘道 「糖類を密度勾配剤として用いた金属  
型・半導体型単層カーボンナノチューブの分離」第69回応用物理学学会学術講演  
会, 中部大学、2008/09/03
14. 沖本治哉、竹延大志、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、浅野武志、岩佐義宏「インク  
ジェット塗布法を用いたカーボンナノチューブ薄膜の伝導特性」第69回応用物理  
学会学術講演会, 愛知県、中部大学、2008/09/05
15. 柳和宏、宮田耕充、片浦弘道 「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブの紫  
外光吸収スペクトルの直径依存性」日本物理学会秋季大会, 岩手大学、  
2008/09/20
16. , 宮田耕充、柳 和宏、真庭豊(首都大学東京)、片浦弘道 「金属型および半導体  
型単層カーボンナノチューブの D-band ラマンスペクトル」日本物理学会 2008年  
秋季大会, 岩手、2008/09/23
17. 宮前孝行、宮田耕充、片浦弘道 「単層カーボンナノチューブの two color SFG 分  
光」第二回分子科学討論会, 福岡国際会議場、2008/09/26

18. 沖本治哉、竹延大志、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、浅野武志、岩佐義宏  
"Ink-jet printing of metallic and semiconducting SWCNTs" The IEEE  
Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008, 京都、2008/10/20
19. 沖本治哉、竹延大志、片浦弘道、浅野武志、岩佐義宏, "Ink-jet printing of all  
SWCNT transistors" The IEEE Nanotechnology Materials and Devices  
Conference 2008, 京都、2008/10/20
20. 沖本治哉、竹延大志、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、浅野武志、岩佐義宏  
"Ink-jet printing of high-performance SWCNT film transistors" 21st  
International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 福岡、  
2008/10/27
21. 宮前孝行、宮田耕充、片浦弘道 "Two-color sum-frequency generation study  
of single-walled carbon nanotubes on silver" The 5th International  
Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5), Waseda  
Univ., 2008/11/10
22. 藤井俊治郎、田中丈士、金赫華、宮田耕充、菅洋志、内藤泰久、三成剛生、宮寺哲  
彦、塚越一仁、片浦弘道 「高純度半導体単層カーボンナノチューブを用いた薄膜  
トランジスタの性能向上」 第 35 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、  
名城大学、2009/3/2-4.
23. 西出大亮、宮田耕充、柳和宏、田中丈士、片浦弘道「ラマン分光法による単層カー  
ボンナノチューブの純度評価」 第 35 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジ  
ウム、名城大学、2009/3/2-4.
24. 大島勇吾、竹延大志、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、岩佐義宏、野尻浩之「金  
属・半導体ナノチューブの磁気伝導特性」日本物理学会 第 64 回年次大会、立  
教大学、2009/3/27-30.
25. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道「単一カイラリティを濃縮したカーボンナ  
ノチューブの X 線回折」日本物理学会 第 64 回年次大会、立教大学、  
2009/3/27-30.
26. 市田正夫、齋藤伸吾、宮田耕充、片浦弘道、安藤弘明「単層カーボンナノチュー  
ブにおける位相緩和時間 III」日本物理学会 第 64 回年次大会、立教大学、  
2009/3/27-30.
27. 阿部健太、塚越弘治、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、吉澤雅幸「カーボンナノチ  
ューブと内包  $\beta$ -カロテン間の超高速エネルギー移動」日本物理学会 第 64 回年  
次大会、立教大学、2009/3/27-30.
28. 田中丈士、金 赫華、宮田耕充、藤井俊治郎、菅 洋志、内藤泰久、三成剛生、  
宮寺哲彦、塚越一仁、片浦弘道「アガロースゲルを用いた簡便なカーボンナノチ  
ューブの金属・半導体分離」 第 56 回応用物理学関係連合講演会、筑波大学、  
2009/3/30
29. 松田和之、八尋瞳、客野遥、福岡智子、柳和宏、真庭豊、斎藤毅、大嶋哲、湯村  
守雄、飯島澄男、宮田耕充、片浦弘道「太い SWCNT 内の水の相転移」  
第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、2009/9/1
30. 田中 丈士、ト部 泰子、片浦 弘道 “Continuous Separation of Metallic and  
Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel”  
第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、  
2009/09/01
31. 松田和之、福岡智子、鶴戸口浩樹、鷺谷智、柳和宏、真庭豊、片浦弘道「金属型  
単層カーボンナノチューブの  $^{13}\text{C}$ -NMR」日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本  
大学黒髪キャンパス、2009/9/26
32. 花見圭一、土居直弘、梅崎智之、松田和之、柳和宏、門脇広明、真庭豊、片浦弘  
道「酸素を内包したカーボンナノチューブの構造と物性」日本物理学会 2009 年  
秋季大会、熊本大学黒髪キャンパス、2009/9/26

33. 八尋瞳, 客野遥, 福岡智子, 松田和之, 真庭豊, 片浦弘道, 齋藤毅, 大嶋哲, 湯村守雄, 飯島澄男「太い単層カーボンナノチューブに内包された水分子の相転移」日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学黒髪キャンパス, 2009/9/26
34. Y. Maniwa “Ferroelectric Water Inside Single-Walled Carbon Nanotubes” 2009 AIChE Annual Meeting in Nashville Nov, 13, 2009
35. 小山剛史, 宮田耕充, 浅田有紀, 篠原久典, 片浦弘道, 中村新男「PFO でラップされた単層カーボンナノチューブペーパーの発光ダイナミクス」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名城大学, 2010/3/2
36. 藤井俊治郎, 田中丈士, 三成剛生, 塚越一仁, 片浦弘道「パターン化自己組織化単分子膜によるカーボンナノチューブの位置選択的吸着と薄膜トランジスタへの応用」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名城大学, 2010/3/2
37. 松田和之, 福岡智子, 鶴戸口浩樹, 鷺谷智, 柳和宏, 真庭豊, 片浦弘道「金属型単層カーボンナノチューブの  $^{13}\text{C}$ -NMR」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20.
38. 鶴戸口浩樹, 柳和宏, 鷺谷智, 大島勇吾, 竹延大志, 片浦弘道, 松田和之, 真庭豊, 「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブバッキーペーパーの電気伝導特性」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/20.
39. 片浦弘道, 渡辺衣世, 羽後丸訓, 劉華平, 田中丈士「単層カーボンナノチューブの超音波分散とラマンスペクトル」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/21.
40. 中野匡, 市田正夫, 齋藤伸吾, 宮田耕充, 柳和宏, 馮叶, 片浦弘道, 安藤弘明, 「高純度分離金属単層カーボンナノチューブ薄膜の THz 吸収スペクトル」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/21.
41. 小林孝嘉, Nie ZhaoGang, 片浦弘道, 宮田耕充, 榊原陽一「カーボンナノチューブのフェムト秒分光」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/22.
42. 守屋理恵子, 鈴木拓也, 柳和宏, 内藤泰久, 片浦弘道, 松田和之, 真庭豊「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブ薄膜の光電気化学測定」日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学津島キャンパス, 2010/3/23.
43. 山田泰弘, 田中丈士, 町田健治, 末松俊造, 玉光賢次, 片浦弘道, 羽鳥浩章 (AIST) "Electrochemical Behavior of Metallic and Semiconducting Single-wall Carbon Nanotubes" Carbon2010, Clemson, USA, 2010/7/13
44. Shingo Saito, Masao Ichida, Konan, Tadashi Nakano, Satoshi Ogawa, Ye Feng, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Hiroaki Ando (Konan University, Tokyo Metropolitan University, Nagoya University, AIST, ) "Absorption Spectra of High Purity Metallic and Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotube Thin Films in a Broad Frequency Region" IRMMW-THz2010, Rome, Italy, 2010/9/7
45. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura (AIST) "Screening of Surfactants for Metallic/semiconducting Separation of Carbon Nanotubes" 第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 京都大学, 2010/9/5
46. 田中 丈士, 卜部 泰子, 西出 大亮, 片浦 弘道 (AIST) 「アガロースゲルを用いた金属/半導体カーボンナノチューブの分離のための界面活性剤のスクリーニング」2010 年秋季 第 71 回 応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 2010/9/15
47. Haruka KYAKUNO, Kazuyuki Matsuda, Hitomi YAHIRO, Tomoko FUKUOKA, Yasumitsu Miyata, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, Hiromichi Kataura, Takeshi Saito, Morio Yumura, Sumio Iijima (Tokyo Metropolitan University, Nagoya University, AIST) "Global Phase Diagram of Water Confined on the Nanometer Scale" 第 39 回フラーレン・ナ

- ノチューブ総合シンポジウム、京都、2010/9/7
48. 松田和之、福岡智子、鶴戸口浩樹、鷲谷智、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブの  $^{13}\text{C}$ -NMR」日本物理学会平成 22 年度秋季大会、大阪府立大学、2010 年 9 月 23 日-26 日
  49. 守屋理恵子、柳和宏、鈴木拓也、内藤泰久、竹延大志、片浦弘道、松田和之、真庭豊(首都大学東京、AIST)「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブ薄膜の光電気化学測定 II」日本物理学会平成 22 年度秋季大会、大阪府立大学、2010 年 9 月 23 日-26 日
  50. 片浦 弘道, 田賀 美樹, 渡辺 衣世, 西出 大亮(AIST)「単層カーボンナノチューブの超音波分散とラマンスペクトル I I」日本物理学会 2010 秋季大会, 大阪府, 2010/9/23
  51. 小山剛史, 宮田 耕充, 浅田 有紀, 篠原 久典, 片浦 弘道, 中村 新男(名古屋大学、AIST)「PFO ラップされた単層カーボンナノチューブペーパーにおける励起子エネルギー移動」日本物理学会 2010 秋季大会、大阪府、2010/9/24
  52. 西出 大亮、藤井 俊治郎、田中 丈士、片浦 弘道(AIST)  
"Probing surfactant molecules on SWCNTs by Raman spectroscopy"  
第 40 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名古屋、2011/3/8
  53. 宮田 耕充, 鈴木 麻里恵, 藤原 美帆, 北浦 良, 片浦 弘道, 篠原久典(名古屋大学, AIST)「カイラリティ制御された単層カーボンナノチューブのボトムアップ合成」第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011/3/24
  54. 片浦 弘道, 田賀 美樹, 西出 大亮, 藤井 俊治郎, 田中 丈士(AIST)  
「Raman 散乱を用いた SWCNT の純度評価: 界面活性剤の効果」第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川、2011/3/27
  55. Kazuhiro Yanagi, Rieko Moriya, Yohei Yomogida, Taishi Takenobu, Yasuhisa Naitou, Takao Ishida, Hiromichi Kataura, Kazuyuki Matsuda, Yutaka Maniwa (Tokyo Metropolitan University, Tohoku University, Waseda University, AIST) "All Carbon Nanotube Electrochromic Device: Controllable Visible Color Changes in Metallic Single-Wall Carbon Nanotubes" NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/12
  56. 田中丈士, ト部泰子, 片浦弘道(AIST)「ゲルを用いた金属/半導体カーボンナノチューブの分離における塩濃度と pH の影響」2011 年秋季 第 72 回 応用物理学学会学術講演会, 山形大学, 2011/8/30
  57. 片浦 弘道, 劉 華平, 藤井 俊治郎, 田中 丈士(AIST)「SWCNT の構造分離」第 72 回応用物理学学会学術講演会, 山形, 2011/8/30
  58. 米谷 祐輝, 千賀 亮典, 片浦 弘道, 平原 佳織, 中山 善萬(大阪大学, AIST)  
「フラーレン分子の融合により形成したカーボンナノチューブのカイラリティ制御」第 72 回応用物理学学会学術講演会、山形、2011/8/30
  59. 松澤 洋子, 加藤 晴久, 大山春美, 西出大亮, 片浦 弘道, 吉田 勝(AIST)  
"Photochemical dispersibility tuning of carbon nanotubes by photocyclization of a water-soluble stilbene as an efficient dispersant"  
第41回 FNTG シンポジウム、東京、2011/9/5
  60. Yasumitsu Miyata, Lim Hong En, Jinying Zhang, Miho Fujihara, Marie Suzuki, Ryo Kitaura, Hiromichi Kataura, Hisanori Shinohara (Nagoya University, AIST) "Chirality-Selective formation of single-wall carbon nanotubes from molecular coalescence" 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京、2011/9/5
  61. 劉 華平, ト部泰子, 田中丈士, 片浦弘道(AIST) "Single-Chirality Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes by One-Step Gel Column

Chromatography" 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京、2011/9/6

62. 守屋理恵子, 柳和宏, 真庭豊(首都大学東京)  
「一次元  $\pi$  ナノ空間に束縛された分子の光電気化学特性」  
日本物理学会 2011 年秋季大会(2011 年 9 月 21 日(水)~24 日(土))  
富山大学五福キャンパス(富山県富山市))(21 日発表)
63. 客野遥, 松田和之, 福岡智子, 高部陽介, 真庭豊, 西原洋知, 京谷隆(首都大学東京)「水を吸着したゼオライト鑄型カーボン(ZTC)の研究」  
日本物理学会 2011 年秋季大会(2011 年 9 月 21 日(水)~24 日(土))  
富山大学五福キャンパス(富山県富山市))(22 日発表)
64. 池田真実, 萩原政幸, 柳和宏, 真庭豊, 松田和之, 奥西巧一(首都大学東京)「カーボンナノチューブ中の 1 次元的に配列した酸素分子の強磁場磁性 II」日本物理学会 2011 年秋季大会(2011 年 9 月 21 日(水)~24 日(土))  
富山大学五福キャンパス(富山県富山市))(22 日発表)
65. HONG EN LIM, YASUMITSU MIYATA, RYO KITaura, HIROMICHI KATAURA, HISANORI SHINOHARA(Nagoya University, AIST)  
"Chirality selective growth of carbon nanotubes from one-dimensional fusion of aromatic compounds.", The APS March Meeting 2012, Boston, Massachusetts, 2012/3/2.
66. 伊藤 靖浩, 藤井 俊治郎, 劉 華平, 清水 麻希, 田中 丈士, 片浦 弘道(AIST)  
「フェロセン内包による SWCNT 薄膜トランジスタのキャリア制御」  
第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012/3/17.
67. 清水 麻希, 藤井 俊治郎, 劉 華平, 伊藤 靖浩, 田中 丈士, 片浦 弘道(AIST)  
「液相プロセスで作製したカーボンナノチューブ薄膜トランジスタにおける界面活性剤の影響」2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会、早稲田大学(東京)、2012/3/18.
68. A. Chernov, M. Havlicek, W. Jantsch, Z. Wilamowski, K. Yanagi, Hiromichi Kataura, M. H. Rummeli, H. Malissa, H. Kuzmany(University of Vienna, Johannes Kepler University, Polish Academy of Sciences, Tokyo Metropolitan University, IFW Dresden, Princeton University, AIST) "ESR from fully metal - semiconductor separated SWCNTs", IWEPM2012, Austria, 2012/3/6.
69. 河合 将利, 鈴木 拓也, 五十嵐 透, 竹延 大志, 岡崎 俊也, 片浦 弘道, 真庭豊, 柳 和宏(首都大学東京, 早稲田大学, AIST)「(11, 10)単層カーボンナノチューブの単一カイラリティ精製」第 59 回応用物理学関係連合講演会、東京、2012/3/17
70. 吉田 勝, 石部 聡子, 木原 秀元, 加藤 晴久, 片浦 弘道, 松澤 洋子(AIST)  
"Noncontact tuning of carbon nanotubes dispersibility by photocyclization of a water-soluble stilbene as a photoresponsive dispersant" International Association of Colloid and Interface Scientists, Conference (IACIS 2012), 宮城県仙台市, 2012/5/16
71. 柳 雄一郎, 奥川 孝紀, 吉田 哲, 大関 将矢, 柳舘 樹, 新井 友樹, 片浦 弘道, 藤井 俊治郎, 西岡 泰城(日本大学理工学部, AIST)  
"Bulk-heterojunctions Solar Cells Based on Poly(3-hexylthiophene) and (6,6)-phenyl-C61-butyric-acid Methyl Ester on Polyethylene Terephthalate Substrates" 2nd International Conference on Optical, Electronic and Electrical Materials (OEEM2012), Shanghai, China, 2012/8/6
72. 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 西山 聡子, 片浦 弘道(TASC, AIST) "Fabrication of flexible bulk-heterojunction organic solar cells using single-wall carbon

nanotube thin films as transparent conducting anodes"

第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、宮城県(東北大学)、2012/9/7

73. 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 片浦 弘道(AIST)「半導体型単層カーボンナノチューブの高純度分離」2012 年 秋季 第 73 回応用物理学会学術講演会 愛媛大学城北地区、松山大学文京キャンパス、2012/9/12
74. 平野 篤, 田中 丈士, 片浦 弘道(AIST)「ゲルをもちいた SWCNTs の半導体・金属分離の原理: 熱力学的解析」(Mechanistic insight into metal/semiconductor separation of SWCNTs using hydrogels) 2012 年・秋季<第 73 回>応用物理学会学術講演会、愛媛大学城北地区 松山大学文京キャンパス、2012/9/12
75. 河合将利、柳和宏、岡崎俊哉、真庭豊(首都大学東京)「C<sub>60</sub>内包単一カイラリティ単層カーボンナノチューブにおけるラマン振動モード」日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 18-21 日(9 月 19 日発表)
76. 客野遥、松田和之、中井祐介、福岡智子、真庭豊、西原洋知、京谷隆(首都大学東京)「ゼオライト鑄型炭素(ZTC)内の水の構造と相挙動 II」日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 18-21 日(9 月 20 日発表)
77. 伊藤 靖浩, 藤井 俊治郎, 清水 麻希, 田中 丈士, 片浦 弘道(産総研)「n 型および p 型ドーパント分子を内包した半導体型カーボンナノチューブを用いた CMOS インバータの作製」、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学、2013.3.13.
78. 佐々木達哉, 周偉航, 中村大輔, 澤部博信, 松田康弘(東大), 劉華平, 片浦弘道(産総研), 嶽山正二郎(東大)、「多重カラム法により分離された単一カイラリティ単層カーボンナノチューブの超強磁場下の磁気光吸収」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013/3/26.
79. 松田和之(神奈川大), 鷺谷智, 本田和也, 客野遥, 中井祐介, 柳和宏, 真庭豊(首都大学), 片浦弘道(産総研)、「金属・半導体単層カーボンナノチューブの<sup>13</sup>C-NMR スペクトル」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013/3/26.
80. 平野篤, 田中丈士, 片浦弘道(産総研)、「ゲルに吸着するカーボンナノチューブのふるまい」、第60回応用物理学会春期学術講演会、神奈川工科大学、2013/3/27.
81. 岡村惇志, 野崎裕人(名大), 榊原陽一, 面田恵美子, 片浦弘道(産総研), 西澤典彦(名大)、「カーボンナノチューブを用いた高出力超短パルスファイバレーザーシステムによる高精度スーパーコンティニューム光の生成」、第60回応用物理学会春期学術講演会、神奈川工科大学、2013/3/28.
82. 川越寛之, 石田周太郎(名大), 榊原陽一, 面田恵美子, 片浦弘道(産総研), 西澤典彦(名大)、「高出力スーパーコンティニューム光源を用いた波長 1.7 μm 帯超高分解能 OCT の高感度・高侵達化」、第60回応用物理学会春期学術講演会、神奈川工科大学、2013/3/29.

③ ポスター発表 (国内会議 73 件、国際会議 69 件)

1. Y. Nakayama, S. Fujiki, Y. Hirado, H. Shiozawa, H. Ishii, T. Miyahara, Y. Maniwa, T. Kodama, Y. Achiba, H. Kataura, M. Nakatame, T. Saitoh "Photoemission Study of Electronic Structure of Fullerene and Metallofullerene Peapods" Poster presentation in the International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Mar. 1-8, 2008, Hotel Sonnalp, Kirchberg Tirol, Austria
2. 柳和宏、宮田耕充、佐藤雄太、劉崢、末永和知、石田敬雄、片浦弘道(AIST)「密

度勾配遠心分離法において金属・半導体カーボンナノチューブに付着した界面活性化剤・密度勾配剤の除去法」第 34 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2008 年 3 月 3 日～5 日、名城大学、名古屋

3. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「金属および半導体単層カーボンナノチューブの共鳴ラマン分光」第 34 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2008 年 3 月 3 日～5 日、名城大学、名古屋
4. 伊奈真吾、柳和宏、宮田耕充、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「密度勾配遠心法による二層カーボンナノチューブの分離」第 34 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、2008 年 3 月 3 日～5 日、名城大学、名古屋
5. 中山裕二、藤木伸一郎、塩沢秀次、石井廣義、宮原恒晃、真庭豊、兒玉健、鈴木信三、阿知波洋次、片浦弘道、仲武昌史、齋藤智彦(首都大理工、IFW-Dresden, 産総研、広大放射光セ、東理大理)「金属内包フラーレンを内包した単層カーボンナノチューブの光電子分光」日本物理学会 第 63 回年次大会 2008 年 3 月 22 日(土)～26 日(水)、近畿大学東大阪キャンパス(大阪府東大阪市)
6. 柳和宏、宮田耕充、劉崢、末永和知、岡田晋、片浦弘道(AIST) “Optical properties of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes with encapsulated molecules” International Conference on the Science and Application of Nanotubes, モンペリエ、フランス、2008/06/30
7. 宮田 耕充、柳 和宏、真庭豊、片浦 弘道(AIST、首都大学東京) “Evaluation of the metal-to-semiconductor ratio of single-wall carbon nanotubes using optical absorption spectroscopy” 9th International Conference on the Science and Application of Nanotubes, モンペリエ、フランス、2008/07/01
8. 田中 丈士、金 赫華、宮田 耕充、片浦 弘道(AIST) "High-Yield Separation of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes by Gel Electrophoresis" 9th International Conference on the Science and Application of Nanotubes, モンペリエ、フランス、2008/07/04
9. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(AIST、首都大学東京)「金属単層カーボンナノチューブ薄膜のシート抵抗」第 35 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、東京、2008/08/27
10. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「光学測定による金属および半導体単層カーボンナノチューブの比率評価」第 35 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム、東京、2008/08/27
11. 西出大亮、宮田耕充、柳和宏、田中丈士、片浦弘道(AIST) "Effective Separation of Carbon Nanotubes and Metal Particles from Pristine Raw Soot by Ultracentrifugation" 第 35 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、東京、2008/08/27
12. 藤井俊治郎、宮田耕充、柳和宏、田中丈士、西出大亮、片浦弘道(AIST) "Fabrication and characterization of field effect transistors by using high-purity semiconducting single-wall carbon nanotubes" 第 35 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム、東京、2008/08/27
13. 柳 和宏、飯塚 敏江、藤井 俊治郎、片浦 弘道(AIST) "Separation of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes by using sucrose as a gradient medium" 第 35 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム、東京、2008/08/28
14. K. Matsuda, Y. Maniwa, and H. Kataura(Tokyo Metropolitan University, AIST) "<sup>13</sup>C-NMR study of C<sub>60</sub>-peapods" 第 35 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム、東京、2008/08/28
15. H. Kyakuno, F. Mikami, T. Imaizumi, K. Matsuda, T. Saito, S. Ohshima, M. Yumura, S. Iijima, Y. Miyata, H. Kataura, and Y. Maniwa (Tokyo Metropolitan University, AIST) "Phase transition of water inside

- SWCNTs" 第 35 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 東京, 2008/08/28
16. 劉崢、柳和宏、末永和知、片浦弘道、飯島澄男 (AIST) "HRTEM observations of the single molecules supported by SWNT" IUCr 2008 Satellite Meeting, 名古屋市, 2008/09/01
  17. 柳和宏、斎藤毅、宮田耕充、片浦弘道 (AIST) "Optical absorption spectra of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes in the ultraviolet region" The 5th Japan-Korea Symposium, Busan, Korea, 2008/11/11
  18. 柳和宏、飯塚敏江、藤井俊治郎、片浦弘道 (AIST) "Separation of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes by using sucrose as a gradient medium" The 5th Japan-Korea Symposium, Busan, Korea, 2008/11/11
  19. 宮田耕充、柳和宏、真庭豊、片浦弘道 (首都大学東京、AIST) "Anomalous phonon hardening in hole-doped metallic and semiconducting carbon nanotubes" The 5th Japan-Korea Symposium, Busan, Korea, 2008/11/11
  20. 佐藤雄太、末永 和知、柳和宏、宮田耕充、片浦弘道、飯島澄男 (首都大学東京、AIST) 「金属・半導体に分離した単層カーボンナノチューブのカイラル指数分布」第 35 回炭素材料学会年会, つくば市, 2008/12/03
  21. 田中丈士、金赫華、宮田耕充、藤井俊治郎、菅洋志、内藤泰久、三成剛生、宮寺哲彦、塚越一仁、片浦弘道 (AIST) 「アガロースゲルを用いた金属・半導体カーボンナノチューブの分離の進展」第 35 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名城大学, 2009/3/2-4.
  22. Ye Feng, Yasumitsu Miyata, Kiyoto Matsuishi, Hiromichi Kataura (Tsukuba University, AIST) "Optical properties of single-wall carbon nanotube-P3HT composites" 第 35 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名城大学, 2009/3/2-4.
  23. K.De-Blauwe, C. Kramberger, W. Plank, A. Gruneis, H. Kataura, T.Pichler (Universitaet Wien, AIST) "Photoselective resonant Raman response of n- and p- type intercalated graphite and SWCNT revisited" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  24. S. Fujii, T. Tanaka, H. Jin, Y. Miyata, H. Suga, Y. Naitoh, T. Minari, T. Miyadera, K. Tsukagoshi, H. Kataura (AIST) "Characterization of CNT thin-film transistors made of pristine and semiconductor-enriched SWCNTs" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  25. Y. Miyata, K. Yanagi, Y. Maniwa, H. Kataura (AIST) "Resonance Raman scattering of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  26. D. Nishide, Y. Miyata, K. Yanagi, T. Tanaka, and H. Kataura (AIST) "Purity Evaluation of Single-Wall Carbon notubes based on Raman Spectroscopy" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  27. M. Grennvall, D. Olevik, R. Gaddam, Y. Iwasa, H. Kataura, A. Soldatov, "Raman study of double-walled carbon nanotubes under high hydrostatic pressure" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of



- Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
28. T. Tanaka, H. Jin, Y. Miyata, H. kataura, "High-Yield Separatio of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes by Gel Electrophoresis" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  29. K. Yanagi, T. Saito, Y. Miyata, T. Tanaka, S. Fujii, D. Nishide, H. Kataura, "Origins of optical absorption components of metallic and semiconducting single-wall carbon nanotubes in ultra-violet region" 23rd International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Molecular Nanostructures (IWEPNM2009), Mar. 7 - 14, 2009, in Kirchberg/Tirol, Austria
  30. 田中 丈士、金 赫華、宮田 耕充、藤井 俊治郎、菅 洋志、内藤 泰久、三成 剛生、宮寺 哲彦、塚越 一仁、片浦 弘道(AIST) "Simple and Scalable Gel-Based Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes" 5th International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation, Los Angeles, USA, 2009/05/20
  31. 宮田 耕充、柳 和宏、真庭 豊、篠原久典、片浦 弘道(首都大学東京、AIST) "Resonance Raman scattering of hole-doped metallic and semiconducting carbon nanotubes" WONTON '09, Matsushima, Miyagi, 2009/06/08
  32. 西出 大亮、宮田 耕充、柳 和宏、田中 丈士、片浦 弘道(AIST) "Quantitative Purity Evaluation of Single-Wall Carbon Nanotubes using Resonance Raman Spectroscopy" WONTON '09, Matsushima, Miyagi, 2009/06/08
  33. 市田正夫、斎藤 伸吾、宮田 耕充、片浦 弘道、安藤弘明(甲南大学、AIST) "Nonlinear Optical Properties and Phase Relaxation Processes in Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes" WONTON '09, Matsushima, Miyagi, 2009/06/08
  34. 藤井 俊治郎、柳 和宏、宮田耕充、田中丈士、西出大亮、片浦弘道(AIST) "Characterization of Field Effect Transistors using High-purity Semiconducting Single-wall Carbon Nanotubes Separated by Density-gradient Ultracentrifugation" CNTNE2009, Matsushima, Miyagi, 2009/06/10
  35. Yugo Oshima、竹延大志、岩佐義宏、野尻 浩之、柳 和宏、宮田耕充、片浦 弘道 "Magnetotransport properties of metallic/semiconducting single-walled nanotubes" NT09, Beijing, China, 2009/06/22
  36. 馮 叶、宮田耕充、松石清人、片浦弘道(筑波大学、AIST) "Optical properties of single-wall carbon nanotube-P3HT composites" NT09, Beijing, China, 2009/06/22
  37. 宮田 耕充、柳 和宏、真庭 豊、篠原久典、片浦 弘道(首都大学東京、名古屋大学、AIST) "Anomalous phonon hardening in doped single-wall carbon nanotubes" NT09, Beijing, China, 2009/06/23
  38. 田中 丈士、金 赫華、宮田 耕充、藤井 俊治郎、菅 洋志、内藤 泰久、三成 剛生、宮寺 哲彦、塚越 一仁、片浦 弘道(AIST) "Simple and Scalable Gel-Based Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes" NT09, 中国、北京、2009/06/25
  39. 沖本 治哉、竹延大志、柳 和宏、宮田 耕充、片浦 弘道、浅野 武志、岩佐義宏 "Ink-jet printing of nano-carbon materials" NT09, Beijing, China、2009/06/25
  40. 鵜戸口浩樹、鷺谷智、松田和之、大島勇吾、片浦弘道、竹延大志、柳和宏、真庭豊、(首都大学東京、東北大学、AIST) 「金属型・半導体型単層カーボンナノチ

ューブバッキーペーパーの伝導特性」第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、2009/9/2

41. 宮田 耕充、P. Ayala、K. de Blauwe、H. Shiozawa、柳 和宏、馮 叶、R. Silva、R. Follath、C. Kramberger、篠原久典、片浦 弘道、T. Pichler (University of Vienna, IFW Dresden, BESSY II, AIST) “Electronic properties of metallic and semiconducting carbon nanotubes” 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、2009/09/01
42. 沖本 治哉、竹延大志、柳 和宏、宮田 耕充、片浦 弘道、浅野 武志、岩佐義宏 “Ink-jet printing of low-voltage SWCNT-thin film transistors using ionic liquid gating” 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、2009/09/02
43. 田尾 祥一、宮田 耕充、柳 和宏、片浦 弘道、岡本 博、 “Ultrafast exciton level modulation due to coherent optical nonlinearity in isolated semiconducting SWNTs”, 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場、2009/09/03
44. 宮尾智章、奥村修一、中山裕二、藤木伸一郎、石井廣義、宮原恒、真庭豊、兒玉健、阿知波洋次、塩澤秀次、仲武昌史、片浦弘道、齋藤智彦「フラーレンピーポッドの正・逆光電子分光」日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学黒髪キャンパス、2009/9/27
45. 田中丈士、ト部泰子、片浦弘道 (AIST) “Continuous Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel” The 6th Korea-Japan Symposium on Carbon Nanotube, 沖縄、2009/10/27
46. 守屋理恵子、柳和宏、鈴木拓也、内藤泰久、片浦弘道、松田和之、真庭豊 (首都大学東京, AIST)、「電気化学ドーピングによる金属型・半導体型単層カーボンナノチューブ薄膜の色制御」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学、2010/3/2.
47. 劉華平、馮 叶、田中丈士、片浦弘道 (AIST) “Structure separation of single-walled carbon nanotubes by agarose gel” 第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学、2010/3/2.
48. 鵜戸口浩樹、柳和宏、鷺谷智、大島勇吾、竹延大志、片浦弘道、松田和之、真庭豊 (首都大学東京, 東北大学, AIST)「金属型・半導体型単層カーボンナノチューブバッキーペーパーの電気伝導特性」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学、2010/3/3.
49. 田中丈士、ト部泰子、片浦弘道 (AIST)「アガロースゲルを用いた金属・半導体単層カーボンナノチューブの分離のための界面活性剤の探索」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学、2010/3/4.
50. 西出大亮、劉華平、田中丈士、片浦弘道 (AIST)「ゲル分離と密度勾配遠心分離を組み合わせた単層カーボンナノチューブの選別」第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学、2010/3/4.
51. Daisuke Nishide, Huaping Liu, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST) “Sorting Single-Wall Carbon Nanotubes combining Gel Filtration and Density-Gradient Ultracentrifugation” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
52. Katharina Brose, Norman Tschirner, Athina Zouni, Frank Müh, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Janina Maultzsch, “Polarised Raman measurements of carotene in photosystem II and  $\beta$ -carotene encapsulated in SWNTs” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.

53. Katrien De-Blauwe, Paola Ayala, Christian Kramberger, Ferenc Simon, Hans Kuzmany, Thomas Pichler, Hide Shiozawa, P. Homann, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, “Optical Properties and Electronic Structure of (6, 5)/(6, 4) Single Wall Carbon Nanotubes” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
54. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Takeo Minari, Kazuhito Tsukagoshi, Hiromichi Kataura (NIMS, AIST) “Site-selective deposition of single-wall carbon nanotube film using patterned self-assembled monolayer for fabricating thin-film transistors” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
55. Masanori Koshino, Yoshiko Niimi, Eiichi Nakamura, Hiromichi Kataura, Toshiya Okazaki, Kazutomo Suenaga, Sumio Iijima (AIST) “Towards imaging atomic resolved single molecular reactions: an example of fullerene fusion” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
56. M. Havlicek, W. Jantsch, M. Rummeli, R. Schonfelder, K. Yanagi, Y. Miyata, H. Kataura, F. Simon, H. Peterlik, H. Kuzmany (Universitaet Wien, Leibniz Institut f. Festkorperphysik und Werkstofforschung, Budapest University, Tokyo Metropolitan University, AIST) “Low temperature ESR from PtRhRe-catalyst grown and fully separated metallic and semiconducting SWCNT” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
57. Huaping Liu, Ye Feng, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST) “Separation of single-walled carbon nanotubes by gel” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
58. Thomas Pichler, Paola Ayala, Kathrien de Blauwe, Christian Kramberger, Hidetsugu Shiozawa, Philip Homann, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura (University of Vienna, Tokyo Metropolitan University, AIST) “Nature of the metallic ground state in intercalated metallicity selected single wall carbon nanotubes” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
59. Hidetsugu Shiozawa, S. Ravi P. Silva, Zheng Liu, Kazu Suenaga, Hiromichi Kataura, Christian Kramberger, Rudolf Pfeier, Hans Kuzmany, Thomas Pichler (Universitat Wien, University of Vienna, AIST) “Catalyst and Diameter Dependent Growth of Carbon Nanotubes Determined Through Nano Test Tube Chemistry” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
60. F. Simon, Ch. Kramberger, R. Pfeier, H. Peterlik, Th. Pichler, H. Kuzmany, Y. Miyata, K. Yanagi, H. Kataura (University of Vienna, Universitaet Wien, AIST) “Metallicity selected Raman response for double-walled carbon nanotubes” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
61. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura

- ( AIST ) “Continuous, Repeatable Separation of Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes Using Agarose Gel” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
62. Norman Tschirner, K. Brose, K. Yanagi, H. Kataura, J. Maultzsch, C. Thomsen, “The influence of incorporated  $\beta$ -carotene on the radial breathing mode of carbon nanotubes” 24th International Winteschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2010), March 6 – 13, 2010, Hotel Sonnalp, Kirchberg, Austria.
  63. 花見圭一、梅崎智之、松田和之、柳和宏、門脇広明、岡部豊、真庭豊、宮田耕充、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「酸素を内包したカーボンナノチューブの構造と磁性」日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学津島キャンパス、2010/3/20.
  64. 宮尾智章、奥村修一、松本和也、石井廣義、真庭豊、柳和宏、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「金属及び半導体カーボンナノチューブの光電子分光」日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学津島キャンパス、2010/3/23.
  65. 守屋 理恵子, 柳 和宏, 片浦 弘道, 竹延大志, 内藤 泰久, 松田 和之, 真庭豊(首都大学東京, 早稲田大学, AIST)"Control of Colors of Single-Wall Carbon Nanotube Thin Films" 第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 京都, 2010/9/5
  66. 藤井俊治郎, 田中丈士, 片浦弘道(AIST)"Fabrication of thin-film transistors using aligned semiconductor-enriched single-wall carbon nanotube networks" 第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、京都府(京都大学)、2010/9/6
  67. 松田 和之, 福岡 智子, 鷺谷 智, 鶴戸口 浩樹, 柳 和宏, 真庭 豊, 片浦 弘道(首都大学東京, AIST)"C NMR study of metallic single-Walled carbon nanotubes" 第 39 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 京都, 2010/9/7
  68. 守屋 理恵子, 柳 和宏, 竹延大志, 内藤泰久, 片浦弘道, 松田和之, 真庭 豊(首都大学東京, 早稲田大学, AIST)「単層カーボンナノチューブカラー薄膜の色制御」日本物理学会 2010 秋季大会, 大阪府, 2010/9/25
  69. 片浦弘道, 劉 華平, 西出大亮, 藤井俊治郎, 田中丈士(AIST)"High efficiency metal/ semiconductor separation of single-wall carbon nanotubes using gel column chromatography" Asia NANO 2010, Tokyo, Japan, 2010/11/3
  70. 松田和之、福岡智子、鷺谷智、鶴戸口浩樹、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京、AIST)「金属型と半導体型に分離した単層カーボンナノチューブの  $^{13}\text{C}$ -NMR」第 4 回物性科学領域横断研究会(東京大学)、2010 年 11 月 13 日-15 日
  71. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST) "High performance thin-film transistors using aligned semiconducting single-wall carbon nanotubes separated by agarose gel chromatography" International Winteschool On Electronic Properties Of Novel Materials, Kirchberg, Tirol, Austria, 2011/2/28
  72. Huaping Liu, Disuke Nishide, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST) "Scalable Single-Chirality Separation of SWCNTs by Simple Gel Chromatography" IWEPNM2011, Austria, 2011/3/1
  73. Christian Kramberger, Paola Ayala, Hidetsugu Shiozawa, Ferenc Simon, Alexander Friedrich, Xianjie Liu, Mark Rummeli, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Patrick Hoffmann, Thomas Pichler (University of Vienna, IFW Dresden, BESSY II, AIST)"Rehybridization and filling of C60s' T1u in metallic and semiconducting peapods" IWEPNM2011, Austria, 2011/3/1

74. Ruiz-Soria G. , Ayala P., Hiromichi K., Yanagi K., Pichler T. (University of Vienna, Tokyo Metropolitan University, AIST) "Controlling substitutional B-acceptors in purified doped SWCNTs" IWEPNM2011, Austria, 2011/3/3
75. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura (AIST) "Surfactant Screening for Metal/Semiconductor Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes" IWEPNM2011, Austria, 2011/3/3
76. M. Havlicek, W. Jantsch, M. Ruemmeli, R. Schoenfelder, K. Yanagi, Hiromichi Kataura, H. Malissa, H. Kuzmany  
(Johannes Kepler Universitaet, Leibniz Institut f. Festkoerperphysik und Werkstofforschung, Tokyo Metropolitan University, Princeton University, Universitaet Wien, AIST) "A spin glass transition observed by low temperature ESR from fully metalsemiconductor separated SWCNTs" IWEPNM2011, Austria, 2011/3/1
77. Yasumitsu Miyata, Marie Suzuki, Jinying Zhang, Miho Fujihara, Ryo Kitaura, Hiromichi Kataura, Hisanori Shinohara (Nagoya University, AIST) "Molecular-assembled synthesis of single-wall carbon nanotubes" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/8
78. 田賀 美樹, 西出 大亮, 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) "PERIPUTOS: Purity Evaluation of SWCNTs Using Raman Spectroscopy, Effect of Surfactants" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/8
79. 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) "Thin-film transistors using aligned semiconducting single-wall carbon nanotubes separated by agarose gel chromatography" 第40回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 愛知県(名城大学), 2011/3/8
80. T. Suzuki, K. Yanagi, H. Ozaki, H. Kataura, Y. Maniwa (Tokyo Metropolitan University, AIST), "Diameter Selection Techniques for Single-Wall Carbon Nanotubes With Around 1.4 nm Diameters" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/9
81. Haruka KYAKUNO, Kazuyuki MATSUDA, Hitomi YAHIRO, Yu INAMI, Tomoko FUKUOKA, Yasumitsu MIYATA, Kazuhiro YANAGI, Yutaka MANIWA, Kazuyuki TAKAI, Toshiaki ENOKI, Hiromichi KATAURA, Takeshi SAITO, Morio YUMURA, Sumio IJIMA (Tokyo Metropolitan University, Tokyo Institute of Technology, AIST) "Water Structure inside Finite Length Single-Walled Carbon Nanotubes : SWCNT-Edge Effect" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/9
82. H. Udoguchi, K. Yanagi, Y. Oshima, T. Takenobu, H. Kataura, Takao Ishida, K. Matsuda, Y. Maniwa (Tokyo Metropolitan University, Riken, Waseda University, AIST) "Transport Mechanisms in Single-Wall Carbon Nanotube Networks formed by Controlled Content-ratio of Metallic and Semiconducting Types" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/9
83. 劉 華平, 西出 大亮, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) "Interaction-dependent Chirality Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes by Multicolumn Gel Chromatography" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/9
84. 黄 陽, 馮 叶, 田中 丈士, 藤井 俊治郎, 片浦 弘道 (AIST) "Separation of Single-Wall Carbon Nanotubes using Four Kinds of Gel Column Chromatography" 第40回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2011/3/9

85. ト部 泰子, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) "Effect of pH and NaCl Concentration on Metal/Semiconductor Separation of Carbon Nanotubes using Gel" 第 40 回記念フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名城大学, 2011/3/10
86. Colin Bousige, Stéphane Rols, Hiromichi Kataura, Pascale Launois (Institut Laue Langevin, UMR Université-CNRS 8502, AIST) "Two Time Scales Translational Dynamics of a One-Dimensional File of C60 Fullerenes Encapsulated Inside Single-Walled Carbon Nanotubes" NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/11
87. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST), "High-Performance SWCNT Thin Film Transistors: Correlation between Alignment and Transport Characteristics", NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/11
88. Huaping Liu, Daisuke Nishide, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, (AIST) "Chirality-Separation Mechanism of Carbon Nanotubes by Gel Chromatography", NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/14
89. Takeshi Tanaka, Yasuko Urabe, Daisuke Nishide, Hiromichi Kataura (AIST) "Surfactant Screening for Metal/semiconductor Separation of Carbon Nanotubes", NT11 International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011/7/14
90. 河合将利、五十嵐透、鈴木拓也、竹延大志、真庭豊、柳和宏(首都大学東京, 早稲田大学, AIST)「直径1.4nm 近傍の単層カーボンナノチューブにおける直径・半金分離」第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 首都大学東京, 2011 年 9 月 5-7 日(9 月 5 日発表)
91. 守屋理恵子、尾崎裕之、五十嵐透、真庭豊、柳和宏(首都大学東京,AIST)、「単層カーボンナノチューブに内包された  $\pi$  共役分子の光電気化学特性」、第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 首都大学東京, 2011 年 9 月 5-7 日(9 月 5 日発表)
92. 松田和之、鷲谷智、福岡智子、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京, AIST)、「C60 ピーポッド-二層カーボンナノチューブ変換過程における  $^{13}\text{C}$  NMR 測定」、第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 首都大学東京, 2011 年 9 月 5-7 日(9 月 5 日発表)
93. 客野遥, 松田和之, 福岡智子, 真庭豊, 西原洋知, 京谷隆(首都大学東京, AIST), 「ゼオライト鋳型炭素への水吸着」, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 首都大学東京, 2011 年 9 月 5-7 日(9 月 7 日発表)
94. Kazuyuki Matsuda, Satoshi Sagitani, Tomoko Fukuoka, Kazuhiro Yanagi, Yutaka Maniwa, Hiromichi Kataura ( Kanagawa University, Tokyo Metropolitan University, AIST), "13C NMR study of transformation process of C60 fullerene peapods into double-walled carbon nanotubes" 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京, 2011/9/5
95. ト部 泰子, 田中 丈士, 劉 華平, 片浦 弘道(AIST) "Temperature-dependent separation of single-wall carbon nanotubes using gel", 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京, 首都大学東京,2011/9/5
96. 清水 麻希, 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 片浦 弘道(AIST) "Influence of Surfactants on the formation of Semiconducting SWCNT Thin films towards FET applications" 第 41 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン 総合

シンポジウム, 東京, 2011/9/5

97. 平野 篤, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) "Mechanistic insight into metal/semiconductor separation of single-wall carbon nanotubes using agarose gel column" 第 41 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン 総合シンポジウム, 首都大学東京-南大沢キャンパス, 2011/9/5
98. Hong En Lim, Yasumitsu Miyata, Ryo Kitaura, Hiromichi Kataura, Hisanori Shinohara (Nagoya University, AIST), "Growth of carbon nanotube from one-dimensional coalescence of aromatic compounds" 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京, 2011/9/7
99. 伊藤 靖浩, 劉 華平, 藤井 俊治郎, 清水 麻希, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) 「有機分子内包による半導体カーボンナノチューブのキャリア制御」 第 41 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 首都大学東京, 2011/9/7
100. 米森啓太, 柿原隆介, 宮尾智章, 石井廣義, 鷺谷智, 真庭豊, 柳和宏, 羽瀨隆文, 平山大裕, 林博和, 姜健, 岩澤英明, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹 (首都大学東京) 「金属及び半導体カーボンナノチューブの光電子分光 II」 日本物理学会 2011 年秋季大会 (2011 年 9 月 21 日 (水) ~ 24 日 (土), 富山大学五福キャンパス (富山県富山市)) (21 日発表)
101. 藤井 俊治郎, 田中丈士, 西山聡子, 片浦弘道 (TASC, AIST), "High-Performance Thin-Film Transistors Using Moderately Aligned Semiconducting SWCNT Network" A3 symposium, Urumqi, China, 2011/10/13
102. 劉 華平, 卜部泰子, 田中丈士, 片浦弘道 (AIST) "Cheap and Easy Chirality Separation of Single-wall Carbon Nanotubes by Gel Chromatography" 2011 A3 symposium, Urumqi, China, 2011/10/13
103. 平野 篤, 田中 丈士, 片浦 弘道 (AIST) 「カーボンナノチューブの半金分離の方法と原理」 第 26 回 高分子学会関東支部茨城地区若手の会交流会, つくばセミナーハウス, 2011/11/21
104. Haruka KYAKUNO, Kazuyuki MATSUDA, Tomoko FUKUOKA, Yutaka MANIWA, Hiroto NISHIHARA, and Takashi KYOTANI (Tokyo Metropolitan University) "Water Adsorption in Zeolite Templated Carbon" International Conference of New Science Created by Materials with Nano Spaces: From Fundamentals to Applications, Sendai, Japan (November 23 - 26, 2011), November 25.
105. K. Yonemori, R. Suzuki, R. Kakihara, H. Ishii, S. Sagitani, Y. Maniwa, K. Yanagi, T. Habuchi, D. Hirayama, H. Hayashi, J. Jiang, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame and M. Taniguchi (Tokyo Metropolitan University) "Photoemission spectroscopy of carbon nanotubes synthesized by CoMoCAT" The 16th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation, Hiroshima, Japan, March 3-4, 2012
106. Yasuhiro Ito, Shunjiro Fujii, Huaping Liu, Maki Shimizu, Takeshi Tanka, Hiromichi Kataura (AIST) "Carrier control of SWCNT thin film transistors by molecular encapsulations" IWEPM2012, Austria, 2012/3/5
107. Martin Hulman, H. Kuzmany, A. Chernov, T. Pichler, Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi (International Laser Center, Bratislava, Universitat Wien, Tokyo Metropolitan University, AIST) "Raman scattering measurements of electronically separated SWCNTs" IWEPM2012, Austria, 2012/3/5
108. Antonio Briones, Hidetsugu Shiozawa, Paola Ayala, Xianji Liu, Hiromichi Kataura, Kazuhiro Yanagi, Enrico Schierle, Eugene Weschke, Thomas Pichler (University of Vienna, Linkping University, Tokyo Metropolitan

University, BESSY II, AIST)

"X-ray absorption and magnetic circular dichroism of ferrocene filled singlewalled carbon nanotubes" IWEPNM2012, Austria, 2012/3/5

109. Shunjiro Fujii, 段 宗範, Xianqiang Huang, Takeshi Tanaka, Nishioka Yasuhiro, Hiromichi Kataura (Liaocheng University, NihonUniversity, AIST) "Synthesis of novel thiophene-phenylene oligomer derivatives with dibenzothiophene-S, S, -dioxide core for applications to organic solar cells" International Winterschool On Electronic Properties Of Novel Materials Kirchberg, Tirol –Austria, 2012/3/5
110. Hans Kuzmany, A. Chernov, H. Peterlik, M. Havlicek, W. Jantsch, M. H. Rummeli, A. Bachmatiuk, K. Yanagi, H. Kataura, F. Sauerzopf, R. Resel, F. Simon (Universitaet Wien, Johannes Kepler Universitat, Atominstitut der Osterreichischen Universitaten, Technische Universitat Graz, Budapest University) "Ferromagnetic decoration in metal-semiconductor separated and ferrocene functionalized single-walled carbon nanotubes" IWEPNM2012, Austria, 2012/3/6
111. Maki Shimizu, Shunjiro Fujii, Huaping Liu, Yasuhiro Ito, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST) "Inuence of the surfactants on the performance of SWCNT thin film transistors" 26th International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM), Austria, 2012/3/8
112. Markus Sauer, Hidetsugu Shiozawa, Paola Ayala, Georgina Ruiz Soria, Xianjie Liu, Alexander Chernov, Kazuhiro Yanagi, Hiromichi Kataura, Stefan Krause (University of Vienna, Bessy II, Tokyo Metropolitan University, AIST) "A Resonance photoemission study of the electronic structure of metallicity sorted ferrocene filled SWCNT", IWEPNM2012 Austria 2012/3/9
113. 鷺谷智、松田和之、福岡智子、中井佑介、柳和宏、真庭豊、片浦弘道(首都大学東京, AIST)、「<sup>13</sup>C NMR と x 線回折による C60 ピーポッド-2 層カーボンナノチューブ変換過程の研究」、第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学、2012 年 3 月 6-8 日(3 月 6 日発表)
114. 河合将利、鈴木拓也、五十嵐透、竹延大志、鈴木浩紀、岡崎俊也、片浦弘道、真庭豊、柳和宏、(首都大学東京、早稲田大学、AIST)、「分子内包可能な単層カーボンナノチューブの単一カイラリティ精製」、第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学、2012 年 3 月 6-8 日(3 月 7 日発表)
115. 工藤光、柳和宏、真庭豊、片浦弘道、小林春花、末永和知、竹延大志、蓬田陽平、平田邦生、吉宗良祐、中津亨(首都大学東京、早稲田大学、AIST)、「結晶状単層カーボンナノチューブ集合体の創製」第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学、2012 年 3 月 6-8 日(3 月 8 日発表)
116. 客野遥、松田和之、中井祐介、福岡智子、真庭豊、西原洋知、京谷隆(首都大学東京)「ゼオライト鋳型炭素(ZTC)に吸着した水の構造と相挙動」、第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学、2012 年 3 月 6-8 日(3 月 8 日発表)
117. 平野 篤, 田中丈士, ト部泰子, 片浦弘道(AIST), "Purification of metallic single-wall carbon nanotubes using an agarose gel column", 第 42 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン 総合シンポジウム, 東京大学, 武田ホール, 2012/3/8
118. 鈴木良輔, 米森啓太, 柿原隆介, 石井廣義, 鷺谷智, 真庭豊, 柳和宏, 永田偉士, 堀家大希, 平山大裕, 羽瀨隆文, 林博和, 姜健, 岩澤英明, 島田賢也, 生天目博文, 谷口雅樹(首都大学東京)、「CoMoCAT 法で合成された極細カーボンナノチューブの光電子分光」、第 67 回日本物理学会年次大会(関西学園大学西上ヶ原



キャンパス(大阪府西宮市)、2012年3月24日-27日(24日発表)

119. 高部陽介, 真庭豊, 中井雄介, 松田和之(首都大学東京), 「ゼオライト鋳型炭素による幾何学的閉じ込め効果を用いた、希ガスの物質相探索」、第 67 回日本物理学会年次大会(関西学園大学西上ヶ原キャンパス(大阪府西宮市)、2012年3月24日-27日)(27日発表)
120. 鷺谷智, 米森啓太, 柿原隆介, 鈴木良輔, 石井廣義, 中井祐介, 柳和之, 真庭豊, 羽淵隆文, 平山大裕, 林博和, 姜健, 永田偉士, 堀家大希, 岩澤英明, 島田健也, 生天目博文, 谷口雅樹(首都大学東京), 「金属及び半導体単層カーボンナノチューブから二層カーボンナノチューブの作製とその光電子分光」、第 67 回日本物理学会年次大会(関西学園大学西上ヶ原キャンパス(大阪府西宮市)、2012年3月24日-27日)
121. 藤井 俊治郎, 田中 丈士, 西山 聡子, 片浦 弘道(TASC, AIST)「カーボンナノチューブ電極を用いた有機薄膜太陽電池の試作」第1回有機系太陽電池つくば地区研究会 産総研つくば中央共用講堂およびホワイエ, 2012/6/11
122. 松澤洋子, 加藤晴久, 片浦弘道, 吉田 勝(AIST) "Dispersibility tuning of single-walled carbon nanotubes by photocyclization of a water-soluble stilbene as an efficient dispersant" The 2nd symposium on carbon nanoforms, つくば, 2012/7/10
123. Zongfan Duan, 藤井 俊治郎, 奥川 孝紀, 柳 雄一郎, 吉田 哲, 片浦弘道, Gaoyang Zhao, 西岡泰城(Xi'an University of Technology, Nihon University, AIST) "Flexible Organic Solar Cells Based on Spin-Coated Blend Films of a Phenylene&#8211;Thiophene Oligomer Derivative and PCBM" KJF (Korea-Japan Joint Forum) International Conference on organic Materials for Electronics and Photonics 2012 (KJF2012) Sendai, Japan, 2012/8/30
124. 本田 和也, 中井祐介, 柳和宏, 真庭豊(首都大学東京) "Thermoelectric Power of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotube Buckypaper", 第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学、2012年9月5-7日(9月6日発表)
125. 山田 健介, 中井 祐介, 松田 和之, 真庭 豊, 西原 洋知, 京谷 隆(首都大学東京), 「核磁気共鳴法によるゼオライト鋳型炭素(ZTC)の研究」、第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学、2012年9月5-7日(9月7日発表)
126. 客野 遥, 松田 和之, 中井 祐介, 福岡 智子, 真庭 豊, 西原 洋知, 京谷 隆(首都大学東京), 「ゼオライト鋳型炭素に内包された水の過冷却およびガラス状態」、第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学、2012年9月5-7日(9月7日発表)
127. 河合 将利, 五十嵐 透, 客野 遥, 岡崎 俊也, 真庭 豊, 柳 和宏(首都大学東京), 「単一カイラリティ(11, 10)単層カーボンナノチューブへの C60 分子の内包」、第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学、2012年9月5-7日(9月7日発表)
128. 平野 篤, 田中丈士, 片浦弘道(AIST) "Thermodynamics of the interaction of carbon nanotubes with hydrogels in SDS solutions: Toward understanding metal/semiconductor separation" 第 43 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東北大学川内キャンパス 東北大学百周年記念会館 川内萩ホール, 2012/9/5
129. 田寺真, 客野遥, 中井祐介, 松田和之, 柳和宏, 真庭豊(首都大学東京), 「単層カーボンナノチューブを用いた一次元磁性体の作製」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012年9月18-21日(9月18日発表)
130. 山田健介, 中井祐介, 真庭豊, 西原洋知, 京谷隆(首都大学東京), 「核磁気共鳴

法によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の研究」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 18-21 日、9 月 18 日

131. Masatoshi Kawai, Haruka Kyakuno, Takuya Suzuki, Toru Igarashi, Hironori Suzuki (TMU), Toshiya Okazaki, Hiromichi Kataura (AIST), Kazuhiro Yanagi (TMU), "Single Chirality Extraction of Single-Wall Carbon Nanotubes for the Encapsulation of Organic Molecules", 2012 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments, Tohoku University Sendai, Japan, 2012/10/29.
132. Atsushi Hirano, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST), "Thermodynamics of metal/semiconductor separation of carbon nanotubes using hydrogels", 2012 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments, Tohoku University Sendai, Japan, 2012/10/29.
133. Huaping Liu, Yasuko Urabe, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST), "Gel Chromatography with Temperature Control for High-Efficient Separation of Single-Chirality Carbon Nanotubes", 2012 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy and Environments, Tohoku University Sendai, Japan, 2012/10/29.
134. Antonio Briones-Leon, Paola Ayala (Univ. Vienna), Xianjie Liu (Linkoping Univ.), Hiromichi Kataura (AIST), Kazuhiro Yanagi (TMU), Eugen Weschke (BESSY), Michael Eisterer, Thomas Pichler, Hidetsugu Shiozawa (Univ. Vienna), "Magnetic properties of 1D metal compounds encapsulated in single-walled carbon nanotubes", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013/3/4.
135. Shunjiro Fujii, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST), "High-efficiency flexible organic solar cells using single-wall carbon nanotube thin films as transparent conducting anodes", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013.3.4.
136. Yasuhiro Ito, Shunjiro Fujii, Maki Shimizu, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura, "CMOS inverters fabricated from semiconducting SWCNTs encapsulating n- and p-type dopant molecules", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013/3/5.
137. Markus Sauer, Hidetsugu Shiozawa (Univ. Vienna), Hiromichi Kataura (AIST), Kazuhiro Yanagi (TMU), Paola Ayala, Thomas Pichler (Univ. Vienna), "Disentangling the nature of the metallic ground state in functionalised SWCNT bundles", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013/3/7.
138. Markus Sauer, Hidetsugu Shiozawa, Paola Ayala (Univ. Vienna), Hiromichi Kataura (AIST), Kazuhiro Yanagi (TMU), Stefan Krause (BESSY), Thomas Pichler (Univ. Vienna), "Discerning the electronic properties of FeCl<sub>3</sub> intercalated metallicity sorted single-walled carbon nanotubes", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013/3/7.
139. Maki Shimizu, Shunjiro Fujii, Huaping Liu, Yasuhiro Ito, Takeshi Tanaka, Hiromichi Kataura (AIST), "Fabrication of homogeneous thin films of single wall carbon nanotube towards even quality field effect transistors", XXVIIth International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials (IWEPNM2013), Kirchberg, Austria, 2013/3/7.

140. Tadera Shin, Haruka Kyakuno, Yusuke Nakai, Kazuhiro Yanagi (首都大学), Yasumitsu Miyata (名古屋大), Hiromichi Kataura (AIST), Yutaka Maniwa (首都大学), "X-ray diffraction profile of highly purified (6,5) SWCNTs", 第44回 フラワーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京大学, 2013/3/11.
141. 田中 丈士, ト部 泰子, 片浦 弘道, ゲルカラムクロマトグラフィーによる金属型単層カーボンナノチューブのカイラリティ分離, 第44回 フラワーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京大学, 2013/3/12.
142. 藤井 俊治郎(産総研), 段 宗範, 奥川 孝紀, 柳 雄一郎, 吉田 哲(日大), 田中 丈士(産総研), 西岡 泰城(日大), 片浦 弘道(産総研)「PCBM と混合ドナーを用いた有機薄膜太陽電池の作製」第44回 フラワーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京大学, 2013/3/13.

#### (4)知財出願

##### ①国内出願 (7件)

1. 《アームチェア型単層カーボンナノチューブによる金属型炭素素材、柳 和宏、片浦 弘道、宮田 耕充、佐藤 雄太、末永 和知、独立行政法人産業技術総合研究所、2008/6/18、特願 2008-158718》
2. 《強誘電体及び記憶装置、真庭豊、松田和之、三上史記、公立大学法人首都大学東京、2008/12/8、特願 2008-311807》
3. 《カーボンナノチューブのより簡便な分離回収方法、田中 丈士、片浦 弘道、劉 華平、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/2/26、特願 2010-042629》
4. 《カーボンナノチューブの分離回収方法及びカーボンナノチューブ、劉 華平、田中 丈士、片浦 弘道、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/3/5、特願 2010-049766》
5. 《カーボンナノチューブのより簡便な分離回収方法、田中 丈士、片浦 弘道、劉 華平、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/6/18、特願 2010-139405》
6. 《カーボンナノチューブの安価な分離方法と分離材並びに分離容器、片浦 弘道、田中 丈士、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/8/6、特願 2010-177895》
7. 《カーボンナノチューブの光学分割法と光学活性カーボンナノチューブ、劉 華平、田中丈士、片浦弘道、独立行政法人産業技術総合研究所、2013/3/26、特願 2013-064895》

##### ②海外出願 (3件)

1. 《カーボンナノチューブのより簡便な分離回収方法、田中 丈士、片浦 弘道、劉 華平、独立行政法人産業技術総合研究所、2010/6/22、61/344281、米国》
2. 《カーボンナノチューブの分離回収方法及びカーボンナノチューブ、劉 華平、田中 丈士、片浦 弘道、独立行政法人産業技術総合研究所、2011/3/3、PCT/JP2011/054968、米国、韓国、中国》
3. 《カーボンナノチューブの安価な分離方法と分離材並びに分離容器、片浦 弘道、田中 丈士、独立行政法人産業技術総合研究所、2011/7/20、PCT/JP2011/066436、米国、中国》

#### (5)受賞・報道等

##### ① 受賞

1. Nano tech 大賞 特別賞 (国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 2008)
2. 第32回(2010年度)応用物理学会優秀論文賞 2010.9.14

論文表題: High-Yield Separation of Metallic and Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes by Agarose Gel Electrophoresis

掲載誌: Appl. Phys. Express 1 (2008) 114001

著者: Takeshi Tanaka, Hehua Jin, Yasumitsu Miyata, and Hiromichi Kataura

3. 平成23年度科学技術分野の文部科学大臣表彰・科学技術賞・研究部門、片浦弘道・田中丈士、平成23年4月11日
4. 第8回飯島賞(フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会)、劉華平、平成23年10月7日
5. Poster award of 2011 A3 Symposium of Emerging Materials: Nanomaterials for Energy & Environments, October, 13-15, 2011, Urumqi, XinJiang, China, 劉華平、平成23年10月15日.

## ② マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 日本経済新聞 2008年2月18日 13版23面 (nano tech 2008 出展に関する記事)  
筒状炭素分子 三原色を表現 産総研が成功
2. 半導体産業新聞 2008年3月19日 7面 (nano tech 2008 出展に関する記事)  
「CNT インクを開発: 金属性/半導体性 CNT の高純度分離精製で実現」
3. 産総研プレスリリース: 金属型と半導体型のカーボンナノチューブを極めて簡単に分離:  
凍結・解凍して搾るだけ、大量生産への道を開く  
掲載記事  
(1) 2008年3月5日 日刊工業新聞 24面 「CNT 簡単・高速に分離」  
(2) 2008年3月5日 日経産業新聞 11面 「産総研、金属型と半導体型」  
(3) 2008年3月5日 化学工業日報 1面 「SWCNTを簡便分離」
4. 2009.4.23. 日本経済新聞・北関東版朝刊  
当研究グループの研究紹介
5. 産総研・JST 共同プレスリリース: 「低コストで単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の構造分離を実現 - 市販のゲルに分散液を注ぐだけで炭素原子配列の異なるSWCNTを精密分離 -」、2011/05/11.  
掲載記事  
(1). 日刊工業新聞、「CNT 分散液注ぐだけ 電気特性別に分離」、平成23年5月11日  
(2). 日経産業新聞、「ナノチューブ 種類別に簡単分離 産総研、半導体材料に応用」、2011年5月18日
6. Public release: " Researchers clarify properties of 'confined' water within single-walled carbon nanotube pores", date: 22-Jun-2011, American Institute of Physics

## ③その他

1. 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 2008 出展: 「カーボンナノチューブインク」2008年2月13-15日、東京ビッグサイト

## (6)成果展開事例

### ①実用化に向けての展開

1. 平成22年度経済産業省研究開発委託事業 (平成22年-平成26年度)  
「低炭素社会を実現する超軽量・高強度融合材料プロジェクト」  
(平成23年度より、NEDO へ移管「低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト」)

2. ①-(c)「金属型及び半導体型のCNTを効率的に分離する技術」  
②-(a)「溶媒中に分散する技術の開発」  
で CREST の成果を実用化すべく展開中。

## § 6 研究期間中の活動

本 CREST 事業に参加した若手研究員及びポストク、大学院生、テクニカルスタッフについては、産総研の提供するスキルアッププログラムや、企業への OJT 等に積極的に参加させるとともに、就職に向けて積極的に活動する事で、キャリアパス確保に努めた。

CREST 事業期間に、以下の人事が行われた。産総研若手研究員→大学准教授、ポストク→産総研研究員、ポストク→企業、ポストク→海外ポストク、大学院生→国立大学助教、大学院生→企業、テクニカルスタッフ→企業(正規職員)

## § 7 結び

第二世代カーボンナノチューブを創製して、ナノチューブならではのデバイス作製を目指す計画であったが、分離法の開発に重点を置いたため、デバイス開発に十分進む事ができなかった。構造分離した純粋 SWCNT の物性が思った以上に難しかった事も原因の一つである。しかし、SWCNT の分離技術に関しては、世界的に見ても完全に独走状態となるほど、大きな成果が得られ、基盤となる知財も確保した事から、日本のナノテクノロジーを支える柱の一本にはなれたのではないかと自負している。