

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02557

研究課題名(和文) カーボンナノチューブの近赤外発光に対する修飾分子の作用解明と機能開拓

研究課題名(英文) Development of new near infrared photoluminescence properties of chemically-functionalized single-walled carbon nanotubes

研究代表者

白木 智丈 (Shiraki, Tomohiro)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：10508089

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：炭素のみで構成される単層カーボンナノチューブは、分子を化学修飾することにより1000 nm以上の波長域に高効率な近赤外発光を示す特性が出現することが近年大きな注目を集めている。本研究では、単層カーボンナノチューブの化学修飾に用いる分子の構造設計を基に、その発光特性をさらに機能化させることに成功した。例えば、光に応答して構造変化を示す分子を化学修飾することで、外部光に応じて近赤外発光波長をスイッチングできることや、周囲の溶媒環境変化に応じて生じる近赤外発光波長変化を化学修飾分子の違いに基づいて多様に変調できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回開発した化学修飾単層カーボンナノチューブが示す近赤外発光は1000 nm以上の波長域に現れることから、高深度・高解像度バイオイメージング技術や光通信技術への応用が期待される。そのため、本研究で見出した知見は、修飾分子の設計に基づいて単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性を多様に変調・機能化できるという学術的に新規な発見に留まらず、上述の先端光応用分野ならびにその産業利用に貢献する新たなナノ材料をもたらす成果となる。

研究成果の概要(英文)：Single-walled carbon nanotubes (SWNTs) are one-dimensional nanomaterials composed of only carbon atoms. Recent studies have revealed that the chemical functionalization of SWNTs produces bright photoluminescence (PL) in near-infrared (NIR) regions (> 1000 nm). This study develops new chemical modifier molecules to enhance the SWNT PL functions. The findings include a photoswitching function of the NIR PL wavelength by introducing a photochromic-dye molecule structure and an NIR PL solvatochromic function modulated by differences in the modified chemical structures for the functionalized SWNTs.

研究分野：ナノカーボン化学

キーワード：カーボンナノチューブ 近赤外発光 化学修飾 分子構造 ドープ 励起子 フォトクロミック ソルバトクロミズム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

単層カーボンナノチューブ (SWNT) は直径およそ 1 nm、長さ数百 nm~数 μm の炭素のみからなるチューブ状ナノ材料である。近年、半導体性を示す SWNT に対して分子を化学修飾して合成される局所化学修飾 SWNT (lf-SWNT) が、大きく発光特性の向上した近赤外発光を示すことがわかってきた。これまでに、一部の修飾分子については lf-SWNT の発光特性との関係性が観測されているものの、修飾分子のどのような分子的作用 (電子的・構造的要因) が lf-SWNT の PL 波長変化を生み出しているかについての本質的な理解には至っていない。すなわち、本材料において多様な分子的な側面からの検証と評価が、lf-SWNT の基本物性の理解ならびに応用に向けた機能開拓において必要な状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、lf-SWNT を合成するための修飾分子の構造設計を基に、化学修飾後に生じる PL 特性と修飾分子構造との関連検証や新機能創出を行うことで、新たな近赤外発光材料の開発およびさらなる高機能化を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

新規 lf-SWNT を合成するための修飾分子として、様々な分子構造骨格や機能部位の導入が行えるアリアルジアゾニウム塩を基本構造モチーフとして、一点修飾型ならびに二点修飾型分子を設計・合成した。それら修飾分子の構造と機能を基に、観測される lf-SWNT の PL 特性の変化を解析することで、PL 波長を変化させる因子の検証と波長変換機能の開拓を行った。

4. 研究成果

本研究では、一点修飾型および二点修飾型のそれぞれの修飾分子について、lf-SWNT の PL 特性変化に対する作用ならびに制御因子についての新たな知見が得られた。以下に、その具体的な成果の例を示す。

(1) 二点修飾型分子を用いた化学修飾に基づく lf-SWNT の長波長 PL の出現とスペーサー構造変化を利用した波長変調の実現 (*Chem. Lett.* 2019, 48, 791-794)

ここでは、自身が開発してきた二点修飾型分子であるビスアリアルジアゾニウム塩 (*bAD*) を基に、SWNT 上で二点の化学修飾 (アリアル基の付加) が起きる際の分子の形 (コンフォメーション) に起因する修飾位置の制約を変化させる考えから、二つのアリアルジアゾニウム塩を連結するメチレンスペーサーの連結位置 (メタ位とパラ位) と長さ (炭素鎖 3~9) を変化させた *bAD* を合成した。例えば、メタ位連結 *bAD* (炭素鎖 5) を用いて合成した lf-SWNT では、1245 nm に新たな PL が出現した。この二点化学修飾に由来する PL は、これまでに報告されている lf-SWNT が一般的に示す PL (1150 nm 付近) よりも大きく長波長化することがわかった。さらに PL 波長は、メチレンスペーサーの長さに応じて変化し (短い鎖長ほど長波長)、メタ位連結型ではパラ位のものと比較すると、より広い波長範囲で PL 波長変化を示した (図 1 a)。分子モデリングから、*bA* をメタ位連結型構造としたことで、同一のスペーサー長であっても *bAD* の二つのアリアル修飾位置がより長距離となるコンフォメーションが取れることで (図 1 b)、大きな波長変化が導けたと考えられる。従来、lf-SWNT の波長変調は、修飾分子の電子的特性の変化を利用する系で展開が行われてきたが、二点修飾型分子では分子の形を新たなファクターとして波長設計できることを本研究により明らかにした。

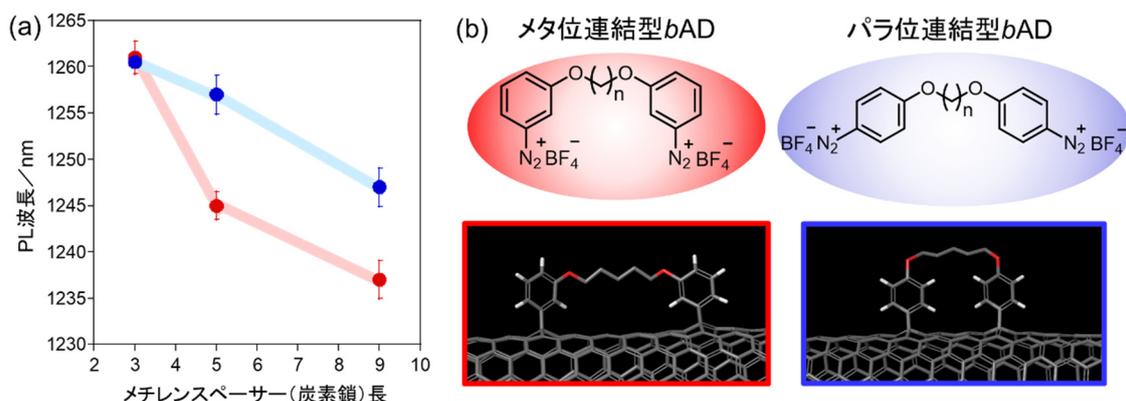


図 1 (a) *bAD* (メタ位連結型: 赤、パラ連結型: 青) のメチレンスペーサー長に応じた PL 波長変化と (b) *bAD* の分子構造並びに lf-SWNT 上での修飾構造の 3D モデリング像

(2) If-SWNT が示す特異な PL ソルバトクロミズムと修飾構造に応じた励起子物性変化の発見 (*Chem. Commun.* **2019**, *55*, 3662-3665 および *J. Phys. Chem. C* **2021**, *125*, 12758–12766)

If-SWNT では、ナノチューブの光励起によって生じた励起子（電子とホールペア）が、チューブ中を拡散する過程で化学修飾により電子構造が変化した領域（修飾サイト）に捕捉されて局在励起子となり、PL へと変換される。If-SWNT では修飾分子の構造が発光波長を変化させる要因であることがわかってきた一方、通常の励起子と局在励起子の状態の違いが励起子物性にとどのような本質的な違いをもたらすかについては未解明部分が多かった。

本研究では、界面活性剤で重水に可溶化した If-SWNT に水と非混和な有機溶媒を注入し、ナノチューブを被覆している界面活性剤ミセルとチューブとの疎水界面領域に様々な有機溶媒環境を形成させた。この手法により周囲の誘電環境を変化させた際の PL 波長シフト（PL ソルバトクロミズム）を系統的に評価することで、If-SWNT では励起子物性の変化が起きていることを明らかにした。具体的な検討において、初期検討では If-SWNT の PL が未修飾 SWNT よりも大きな波長シフトを示すことがわかったが、一般的な誘電率を使う解析では相関が観測されない問題が生じた。ここでは、「芳香族と脂肪族の分類わけ」と極性パラメータの中でも「溶媒配向分極パラメータ ($f(\epsilon) - f(\eta^2)$)」を使う解析から、明瞭な相関関係を見出した (図 2)。その結果、修飾サイトでは溶媒分子との強い相互作用が誘起され、それにより局在励起子が大きな波長変化 (= 誘電環境応答性) を示すことを明らかにした。従来の励起子物性評価法は一般に励起子ダイナミクスに限られていたが、本成果は PL ソルバトクロミズムが局在励起子の物性特異性を検証するツールになることを初めて示した。

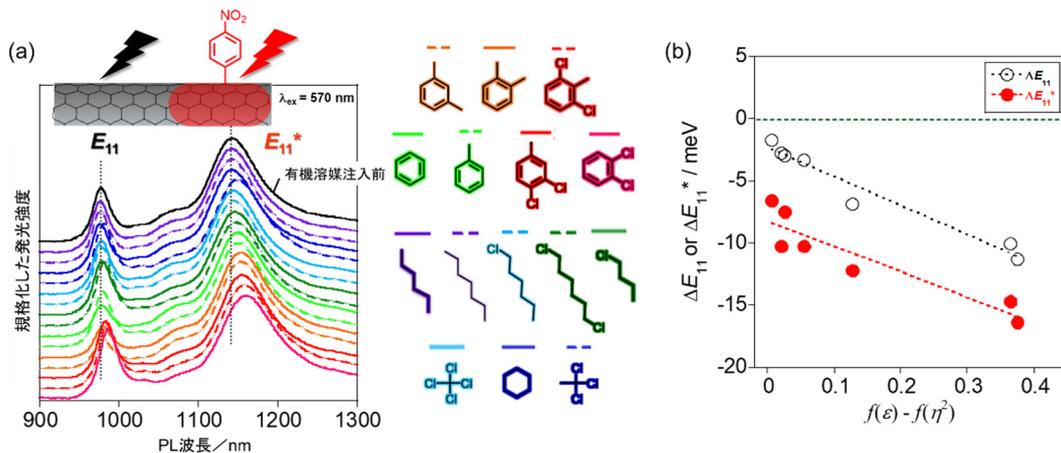


図 2 (a) If-SWNT の有機溶媒環境の違いに応じた PL スペクトル変化と (b) PL エネルギー変化 (ΔE_{11}^* : E_{11}^* PL のシフト量, ΔE_{11} : E_{11} PL のシフト量) と溶媒配向分極パラメータとの関係

さらに、上記の解析技術を基に、これまで開発してきた様々な If-SWNT の PL ソルバトクロミズムを評価することで、励起子物性に対する修飾構造の違いの作用を検証した。(1) で示した *bA* の化学修飾により形成される二点アリアル修飾構造では、1253 nm の PL (E_{11}^{2*} PL) が生じる。また、オゾンを用いた酸化反応によって合成された If-SWNT では、エポキシ構造が形成されることに由来すると考えられている 1250 nm の PL (E_{11}^{*b} PL) が観測される。これらの PL は類似の波長域で観測されるが、PL ソルバトクロミズム挙動を上述の手法を用いて同様に解析した結果、図 3 に示すように E_{11}^{2*} PL は $f(\epsilon) - f(\eta^2)$ の値が増加するにつれて波長シフト量が增加する挙動を示した一方、 E_{11}^{*b} PL では波長シフトがほとんど生じないことがわかった。

以上は修飾サイトにおける励起子の局在化が影響しており、修飾構造の違いによってその局在化度合いが変化することで、PL 波長が同一の領域に現れる場合も PL ソルバトクロミズム挙動が大きく変調されることが見出された。

以上により If-SWNT では修飾サイトの構造デザインによって励起子物性自体の変調が可能になり、本特性を利用した新たなセンサー材料開発につながる知見を開拓することに成功した。

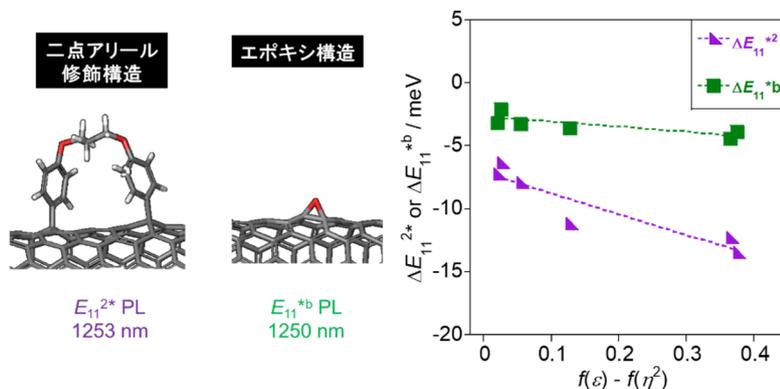


図 3 If-SWNT の二点アリアル修飾構造とエポキシ構造が示す PL (それぞれ、 E_{11}^{2*} PL と E_{11}^{*b} PL) において観測された PL エネルギー変化と溶媒配向分極パラメータとの関係

(3) If-SWNT の近赤外 PL 波長の光スイッチング機能の開拓 (*J. Phys. Chem. C* **2022**, *126*, 25, 10478–10486)

If-SWNT の修飾分子骨格として、フォトクロミック分子として知られるジアリールエテン (DAE) を利用することで、If-SWNT の近赤外 PL の波長を外部光によってスイッチングできる系の構築に成功した。

DAE は紫外光照射により開環体から閉環体へと異性化し、可視光照射によって元の開環体に戻ること、光異性化に伴い共役長 (≈ 色) が大きく変化する。また、フォトクロミック分子の中でも高い光異性化率と安定性、耐久性を有している。

ここでは、DAE 部位を導入したアリアルジアゾニウム塩を合

成し、それを用いた SWNT の化学修飾により If-SWNT を合成した (図 4 a)。図 4 b に示すように、If-SWNT に紫外光照射を行うと、DAE の閉環体形成に由来する 610 nm 吸光度が時間とともに上昇した。この際、If-SWNT の PL (E_{11}^* PL) はその変化と連動して長波長シフトすることがわかった。また、DAE の開環体形成を誘起する可視光照射を行うと、紫外照射の時とは逆に、610 nm の吸光度の減少と E_{11}^* PL の短波長シフトが観測された。このことから、DAE 部位の光異性化反応に応じて、 E_{11}^* PL の波長をスイッチングできることがわかった (計算化学からも光異性化に伴うバンドギャップ変調を支持する結果を得た)。SWNT と色素分子の複合体では一般に色素から SWNT へのエネルギー移動が生じることが報告されていたが、今回は DAE の高速な光異性化反応ならびに SWNT 壁面に対して DAE 部位が垂直方向に連結されていることでエネルギー移動を抑制できたため、DAE の光異性化反応が阻害されることなく E_{11}^* PL の波長変化を誘導する光スイッチとして機能できたと考えられる。さらに、光照射を 5 サイクル繰り返してもこの DAE のフォトクロミック挙動と E_{11}^* PL 波長シフトは同様に観測され、本材料が繰り返し特性を有することも分かった。この成果は、If-SWNT の近赤外 PL 波長を光によってスイッチングできることを示した最初の例である。

以上のように、本研究を通して If-SWNT の PL 特性を変調する新たな因子の発見ならびにその特性に基づいた本材料のさらなる機能化の実現に成功した。また、本研究では国際共同研究を実施するなど、開拓した知見に基づいて研究を発展的に展開することができた。

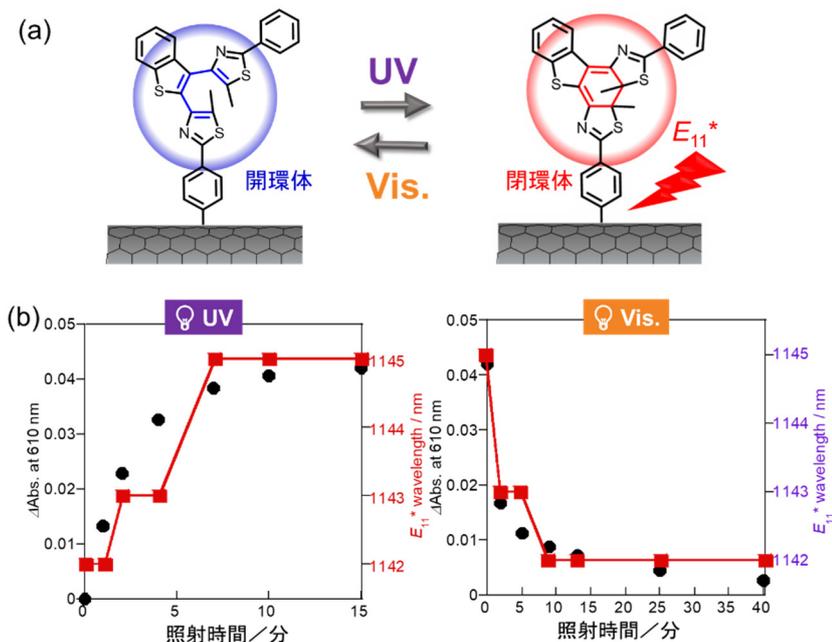


図 4 (a) If-SWNT 上に修飾した DAE の紫外 (UV) ならびに可視 (Vis.) 光照射による光異性化反応の概念図と (b) 光照射時 (UV または Vis.) の 610 nm の吸光度と E_{11}^* PL 波長の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Niidome Yoshiaki, Yu Boda, Juhasz Gergely, Fujigaya Tsuyohiko, Shiraki Tomohiro	4. 巻 125
2. 論文標題 Structure Dependence of Photoluminescence Solvatochromic Energy Shifts Based on Exciton Localization in Locally Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 12758 ~ 12766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c02109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shiraki Tomohiro	4. 巻 50
2. 論文標題 Molecular Functionalization of Carbon Nanotubes towards Near Infrared Photoluminescent Nanomaterials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 397 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200776	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shiraki Tomohiro, Miyauchi Yuhei, Matsuda Kazunari, Nakashima Naotoshi	4. 巻 53
2. 論文標題 Carbon Nanotube Photoluminescence Modulation by Local Chemical and Supramolecular Chemical Functionalization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 1846 ~ 1859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.0c00294	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagai Yukiko, Nakamura Kenta, Yudasaka Masako, Shiraki Tomohiro, Fujigaya Tsuyohiko	4. 巻 3
2. 論文標題 Radical Polymer Grafting on the Surface of Single-Walled Carbon Nanotubes Enhances Photoluminescence in the Near-Infrared Region: Implications for Bioimaging and Biosensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 8840 ~ 8847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c01561	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Przyypis Lukasz, Krzywiecki Maciej, Niidome Yoshiaki, Aoki Haruka, Shiraki Tomohiro, Janas Dawid	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhancing near-infrared photoluminescence from single-walled carbon nanotubes by defect-engineering using benzoyl peroxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-76716-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Podlesny Blazej, Kumanek Bogumila, Borah Angana, Yamaguchi Ryohei, Shiraki Tomohiro, Fujigaya Tsuyohiko, Janas Dawid	4. 巻 13
2. 論文標題 Thermoelectric Properties of Thin Films from Sorted Single-Walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3808 ~ 3808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13173808	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Podlesny Blazej, Shiraki Tomohiro, Janas Dawid	4. 巻 10
2. 論文標題 One-step sorting of single-walled carbon nanotubes using aqueous two-phase extraction in the presence of basic salts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-66264-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shiraki Tomohiro, Yu Boda, Shiraishi Tomonari, Shiga Tamehito, Fujigaya Tsuyohiko	4. 巻 48
2. 論文標題 Meta-linkage Design of Bis-aryldiazonium Modifiers for Wavelength Tuning of Near Infrared Photoluminescence from Locally Functionalized Single-walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 791 ~ 794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kim Gayoung, Shiraki Tomohiro, Fujigaya Tsuyohiko	4. 巻 93
2. 論文標題 Thermal Conversion of Triazine-Based Covalent Organic Frameworks to Nitrogen-Doped Nanoporous Carbons and Their Capacitor Performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 414 ~ 420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiro Shiraki, Yoshiaki Niidome, Fumiyuki Toshimitsu, Tomonari Shiraishi, Tamehito Shiga, Boda Yu, Tsuyohiko Fujigaya	4. 巻 55
2. 論文標題 Solvatochromism of near infrared photoluminescence from doped sites of locally functionalized single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 3662-3665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC00829B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計64件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Haruka Aoki, Keita Hayashi, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Near Infrared Emission Property Variation of Chemically Functionalized Single-walled Carbon Nanotubes Based on Structures of Chemical Modifiers
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木 榛花、余博達、藤ヶ谷剛彦、白木智文
2. 発表標題 Structural dependence of bisaryl-modifiers on photoluminescence wavelength changes of locally functionalized single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 第62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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Molecular chemistry on carbon nanotubes for near infrared photoluminescent nanomaterial development
3. 学会等名 SYNERGY conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Near infrared photoluminescent nanomaterials: Defect-engineered carbon nanotubes based on molecular functionalization
3. 学会等名 E-MRS, 2021 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新留嘉彬、若林里衣、後藤雅宏、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 ピオチン修飾カーボンナノチューブのアビジン認識による近赤外蛍光特性変化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲禎仁、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 Photoluminescence property changes of aryl-modified locally functionalized single-walled carbon nanotubes by ortho-substituent effects
3. 学会等名 第61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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新留嘉彬、若林里衣、後藤雅宏、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 Avidin-biotin interactions on locally functionalized single-walled carbon nanotubes for photoluminescence wavelength shifts
3. 学会等名 第61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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白木智丈、青木榛花、藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 Near infrared photoluminescence from locally functionalized single-walled carbon nanotubes synthesized using bisaryl modifiers with short linkage structures
3. 学会等名 第61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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲禎仁、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 オルト置換アリアルジアゾニウム塩の置換基構造変化を利用した局所化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性変化
3. 学会等名 令和三年度 九州地区高分子若手研究会・夏の講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 榛花、余博達、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 ナフタレン連結型ビスアリアルジアゾニウム塩で修飾したカーボンナノチューブの近赤外発光特性
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林啓太、新留嘉彬、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 アジド化合物を用いた環化付加反応により修飾した単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萬屋俊司、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 ホールドープした局所化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性変化
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲禎仁、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 アリアル修飾した単層カーボンナノチューブのオルト置換基構造に応じた近赤外発光特性変化
3. 学会等名 第58回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Blazej Podlesny, Tomohiro Shiraki, Dawid Janas
2. 発表標題 Aqueous two-phase extraction of single-walled carbon nanotubes facilitated by basic salts
3. 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Boda Yu, Yoshiaki Niidome, Haruka Aoki, Keita Hayashi, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Molecular Structure-Based Photoluminescence Modulation of Locally Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes Using Bis-Aryl Functionalization
3. 学会等名 239th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木 榛花、余 博達、藤ヶ谷 剛彦、白木 智丈
2. 発表標題 リンカー構造が異なるビスアリアルジアゾニウム塩を用いた化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性変化
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林 啓太、新留 嘉彬、藤ヶ谷 剛彦、白木 智丈
2. 発表標題 環化付加反応を利用した局所化学修飾単層カーボンナノチューブの合成と近赤外発光特性
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萬屋俊司、林啓太、藤ヶ谷 剛彦、白木 智丈
2. 発表標題 局所化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性に対するドーピング作用
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲 禎仁、藤ヶ谷 剛彦、白木 智丈
2. 発表標題 オルト置換アリール基修飾した単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性変化
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Yasuto Nakagawa, Takuya Nakashima, Tsuyoshi Kawai, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Near Infrared Photoluminescence Properties of Diarylethene-functionalized Single-walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshiaki Niidome, Tsuyohiko Fujigaya, Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Solvatochromism of near infrared photoluminescence from molecularly functionalized carbon nanotubes
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白木智丈
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブの励起子発光を制御する局所化学修飾技術
3. 学会等名 第10回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン若手研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Keita Hayashi, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Excitonic photoluminescence properties of locally functionalized singlewalled carbon nanotubes using cycloaddition modification
3. 学会等名 第60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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白木智丈
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性を高機能化させる化学修飾アプローチ
3. 学会等名 「ナノ・バイオ融合によるエネルギー集積・高度利用研究拠点形成」講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木榛花, Yu Boda, 田中直樹, 藤ヶ谷剛彦, 白木智丈
2. 発表標題 ビスアリアルジアゾニウム塩のリンカー鎖長に依存した化学修飾カーボンナノチューブの近赤外発光波長変化
3. 学会等名 令和2年度 九州地区高分子若手研究会・冬の講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruka Aoki, Yu Boda, Naoki Tanaka, Tsuyohiko Fujigaya, Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Near Infrared Photoluminescence Properties of Locally Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes with Proximal Modification Sites
3. 学会等名 2020 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kenta Nakamura, Yoshiaki Niidome, Yukiko Nagai, Tanaka Naoki, Tomohiro Shiraki, Takeshi Mori, Yoshiki Katayama, Tsuyohiko Fujigay
2. 発表標題 Monitoring of Adsorption Behavior of Serum Albumin onto the Fatty Acid-Modified Single-Walled Carbon Nanotube
3. 学会等名 2020 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木榛花、田中直樹、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 反応基を複数有する修飾分子を用いた化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外発光特性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林啓太、藤ヶ谷剛彦、白木智丈
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブの化学修飾を利用した欠陥ドーブ構造変化に伴う近赤外発光特性の変調
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Gabor Mehes, Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 IRAI Project (1.0) success stories: Our achievements on scientific collaboration & human networking
3. 学会等名 MIRAI 2.0 Japanese-Swedish Joint Kick-off / Scientific Webinar (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 賢拓, 新留 嘉彬, 永井 薫子, 田中 直樹, 白木 智丈, 森 健, 片山 佳樹, 藤ヶ谷 剛彦
2. 発表標題 Monitoring of adsorption behavior of serum albumin onto the single-walled carbon nanotube functionalized with fatty acid
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林啓太, 藤ヶ谷剛彦, 白木智丈
2. 発表標題 Locally functionalized single-walled carbon nanotubes synthesized by azide compounds and their photoluminescence properties
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木 榛花, 田中 直樹, 藤ヶ谷 剛彦, 白木 智丈
2. 発表標題 Photoluminescence property changes of locally functionalized single-walled carbon nanotubes using structural differences of proximal modifiers
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川 泰人, 中嶋 琢也, 河合 壯, 藤ヶ谷 剛彦, 白木 智丈
2. 発表標題 Light-driven wavelength shifts of photoluminescence from single-walled carbon nanotubes by functionalization with diarylethene derivatives
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余 博達, 藤ヶ谷 剛彦, 白木 智丈
2. 発表標題 Effects of pyrene derivatives on photoluminescence properties of single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新留 嘉彬, 藤ヶ谷 剛彦, 白木 智丈
2. 発表標題 Structure-dependent solvatochromic shifts of excitonic photoluminescence from locally functionalized single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 第59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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永井 薫子, 中村賢拓, 湯田坂 雅子, 白木 智丈, 藤ヶ谷 剛彦
2. 発表標題 乳重合によるカーボンナノチューブ表面の架橋高分子ゲル層形成と新規発光の創出
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Chemical Modification of Single-walled Carbon Nanotubes for Near Infrared Photoluminescence Nanomaterial Fabrication
3. 学会等名 SNU-KYUSHU JOINT SYMPOSIUM (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Energy Modulation of Localized Excitons in Single-walled Carbon Nanotubes by Molecular Chemistry Approaches
3. 学会等名 第81回応用物学会秋季学術講演会 JSAP-OSA Joint Symposia (4.5 Nanocarbon and 2D Materials) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新留 嘉彬, 藤ヶ谷 剛彦, 白木 智丈
2. 発表標題 誘電環境変化に対する半導体性単層カーボンナノチューブの励起子エネルギー変化における化学修飾の作用
3. 学会等名 第81回応用物学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林啓太、白木智丈、藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 半導体性単層カーボンナノチューブの化学修飾による欠陥ドープ構造変化と近赤外発光特性への影響
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木榛花、白木智丈、藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 反応基を複数有する修飾分子を用いた化学修飾単層カーボンナノチューブの近赤外フォトルミネッセンスとその波長変化挙動
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 賢拓、新留 嘉彬、永井 薫子、田中 直樹、白木 智丈、森 健、片山 佳樹、藤ヶ谷 剛彦,
2. 発表標題 脂肪酸修飾単層カーボンナノチューブ表面への血清アルブミン吸着挙動の観察
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuto Nakagawa, Tomohiro Shiraki, Takuya Nakashima, Tsuyoshi Kawai, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Light-induced wavelength changes in near infrared photoluminescence from single-walled carbon nanotubes functionalized with diarylethene derivatives
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余博達、白木智丈、藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 化学修飾カーボンナノチューブの近赤外発光におけるアリアルジアゾニウム塩の分子構造の違いに基づく特性変化
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiaki Niidome, Tomohiro Shiraki, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Solvatochromism of near infrared photoluminescence from oxygen-doped single-walled carbon nanotubes
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永井薫子、湯田坂雅子、白木智丈、新留嘉彬、余博達、藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 乳化重合による架橋高分子ゲル被覆カーボンナノチューブの合成と新規発光の創出および被覆ゲル層の形成過程の可視化
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Gayoung Kim, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Nanoporous Nitrogen-doped Carbon Synthesis from Triazine-based Covalent Organic Frameworks
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Yoshiaki Niidome, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Doped-site structure dependent energy shifts of photoluminescence from locally functionalized single-walled carbon nanotubes in organic solvent environments
3. 学会等名 第58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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白木智丈
2. 発表標題 一次元繊維状ナノ構造体「単層カーボンナノチューブ」の化学修飾でつくる新しい近赤外発光材料
3. 学会等名 第4回 繊維学会西部支部 若手講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Boda Yu, Naotoshi Nakashima, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Near Infrared Light Emitter of Single-Walled Carbon Nanotubes with Local Functionalization using Bis-aryldiazonium Modifiers
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Yasuto Nakagawa, Naotoshi Nakashima, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Dynamic Wavelength Tunable Functions of Near Infrared Photoluminescent Single-walled Carbon Nanotubes by Local Molecular Functionalization
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Surface Modification of Single-walled Carbon Nanotubes for Fabrication and Functionalization of Near Infrared Luminescent Nanomaterials
3. 学会等名 MIRAI Workshop - Materials Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Niidome, Tomohiro Shiraki, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Solvatochromic Shifts of Near Infrared Photoluminescence From Locally Functionalized Single-walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 2019 Pusan-Gyeongnam/Kyushu-Seibu Joint Symposium on High Polymers(19th) and Fibers(17th) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Boda Yu, Yoshiaki Niidome, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Two-point modification for doped site creation of locally functionalized single-walled carbon nanotubes using bis-aryldiazonium salts
3. 学会等名 第57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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wavelength modulation of near infrared photoluminescence from single-walled carbon nanotubes functionalized with diarylethene derivatives
2. 発表標題 Yasuto Nakagawa, Tomohiro Shiraki, Tsuyohiko Fujigaya
3. 学会等名 第57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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 余博達, 白木智丈, 藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 異なる構造のビスアリアルジアゾニウム修飾に基づいたカーボンナノチューブ近赤外発光の変調技術の開発
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会 外国人研究者交流国際シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新留嘉彬, 白木智丈, 藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 二点化学修飾単層カーボンナノチューブが示す近赤外発光ソルバトクロミズム
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会 外国人研究者交流国際シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川泰人, 白木智丈, 藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 スピロピランのフォトクロミズムに基づく局所化学修飾カーボンナノチューブの近赤外発光特性変調
3. 学会等名 第56回化学関連支部合同九州大会 外国人研究者交流国際シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Yoshiaki Niidome, Fumiyuki Toshimitsu, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Microenvironment Effects on Photoluminescent Doped Sites of Locally Functionalized Single-walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 235th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki, Tamehito Shiga, Naotoshi Nakashima, Tsuyohiko Fujigaya
2. 発表標題 Post-Chemical Modification of Doped Sites of Locally Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes for Multistep Photoluminescence Modulation
3. 学会等名 235th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Covalent Organic Frameworks for Functional Carbon Material Synthesis toward Electrochemical Device Applications
3. 学会等名 MIRAI Materials Science workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新留嘉彬, 白木智丈, 藤ヶ谷剛彦
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブの欠陥ドープサイトが示す溶媒効果による近赤外フォトルミネッセンス変化
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Shiraki
2. 発表標題 Molecularly-modulated Energy of Exciton Confined in the One Dimensional Nanostructures of Single-walled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 2019 MRS Spring Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大学研究者情報Webページ1 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K005418/index.html 大学研究者情報Webページ2 https://kyushu-u.pure.elsevier.com/ja/persons/tomohiro-shiraki researchmap https://researchmap.jp/kst 研究室ホームページ https://sites.google.com/view/fujigaya-lab 研究室ホームページ http://www.chem.kyushu-u.ac.jp/~fifth/jp 大学研究者情報Webページ1 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K005418/index.html 大学研究者情報Webページ2 https://kyushu-u.pure.elsevier.com/ja/persons/tomohiro-shiraki researchmap https://researchmap.jp/kst 研究室ホームページ http://www.chem.kyushu-u.ac.jp/~fifth/jp/index.html 大学研究者情報Webページ1 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K005418/index.html 大学研究者情報Webページ2 https://kyushu-u.pure.elsevier.com/ja/persons/tomohiro-shiraki
--

6. 研究組織	<table border="1"> <thead> <tr> <th>氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)</th> <th>所属研究機関・部局・職 (機関番号)</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考			
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考					

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
スウェーデン	Linkoping University			
ポーランド	Silesian University of Technology			