

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 21 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410238

研究課題名(和文) カーボンナノチューブ内で実現する疑似高圧力下電気化学反応

研究課題名(英文) Pseudo-high-pressure electrochemical reactions in a single-walled carbon nanotube

研究代表者

川崎 晋司 (Kawasaki, Shinji)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40241294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：単層カーボンナノチューブ(SWCNT)は他の炭素材料にみられない中空構造を有し、そこにさまざまな分子を内包できる。このSWCNT内包系はこれまでもっぱら学術的興味で研究が行われてきたが、工学的見地から内包分子を選択することで新しい機能性材料として展開できる可能性を評価した。次世代二次電池・キャパシタ電極材料、透明導電膜材料としてSWCNT内包系が優れた性能を有することを明らかにした。内包分子としてキノン類など有機分子、リンや硫黄などの無機分子を導入した。ナトリウムイオン電池やLi硫黄電池電極特性に優れた材料を開発した。ヨウ素を内包したSWCNTは透明導電膜への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：A variety of foreign molecules have been inserted into single-walled carbon nanotubes (SWCNTs). The SWCNT encapsulation systems have attracted much attention mainly due to their unique structures. However, the properties of the SWCNT encapsulation systems as functional materials have not been fully investigated. In the present study, iodine, sulphur, phosphorus, and 9,10-phenanthrene quinone (PhQ) molecules were inserted into SWCNTs. It was elucidated by the present study that the SWCNT encapsulation systems have high potentials as next generation battery electrode materials. It was found that PhQ@SWCNT can work as Na ion battery electrode. The undesired capacity fading, which comes from the dissolution of quinone molecules into the electrolyte, was suppressed by the encapsulation. In the case of I@SWCNT, it was found that the electric conductivity of SWCNTs is improved very much by the encapsulation of iodine molecules. New transparent conductive film can be prepared with I@SWCNT.

研究分野：炭素材料科学

キーワード：カーボンナノチューブ 二次電池 キャパシタ 透明導電膜

1. 研究開始当初の背景

(1) ポストリチウムイオン電池

新しいエネルギー利用社会へ向けて再生可能エネルギーへのシフトが期待されるが太陽電池に代表されるように出力の制御が難しく大がかりな蓄電施設が必須である。しかし、それに見合う蓄電池が見当たらない。現行のリチウムイオン電池 (LIB) を凌駕するような高性能 (高出力・高容量) 蓄電池が必要である。こうした中で LIB のあらたな電極活物質として芳香族小分子が期待されている。また、ポスト LIB として硫黄結晶を使うリチウム硫黄電池が期待されている。しかし、両者とも充放電時に電解液への溶出が起り実用化できていない。この溶出をいかに抑えて実用化に近づけることができるかが、研究開始当初の課題の一つであった。

(2) カーボンナノチューブ内包系

単層カーボンナノチューブ (SWCNT) は広大な π 共役系であり、優れた化学的安定性、電気伝導性を有する。さらに、SWCNT には他の炭素材料にない中空構造という特徴がある。この中空構造を利用してさまざまな機能性分子との複合化が可能である。1998 年に Smith はフラーレン C_{60} 分子を SWCNT の中空部分に挿入した物質の合成を報告した。その後 C_{60} 以外の分子も多数内包が可能だといことがわかるようになり、各種フラーレン (C_{60} 、 C_{70} 、金属内包フラーレン)、水分子、有機分子 (カロテン、TCNQ など) の内包が報告されていた。SWCNT 内包系の研究はその特異な構造に着目するような学術的興味からのものが大半であった。私たちは工学的見地から SWCNT 内包系が材料としても面白いと考え、SWCNT に内包する分子を工夫すれば SWCNT の優れた電気伝導性、化学的安定性を利用して新しい電極材料が開発できるのではないかと考えていた。

2. 研究の目的

カーボンナノチューブ中空内は空間構造的にも電子構造的にも特異な場である。実際、中空内にさまざまな分子や結晶を取り込むことができるが、細孔形状およびポテンシャル場の特異性により取り込まれた分子・結晶はバルクの状態とは異なる原子配置、電子構造を有する。多くの分子・結晶がナノ細孔内でバルクにくらべて短い原子間距離を取り、電子軌道の重なりが大きくなっている。この特殊な状態の分子・結晶の化学反応性を明らかにするため、電気化学の力を利用して反応イオンをチューブ内に呼び込み反応を実現することでナノスペースでの化学反応について多くの知見を得ることを目的とした。応用面としては電池電極の開発が期待でき、具体的なねらいは以下の通りである。

チューブ内に取り込んだ分子・結晶の酸化還元電位を実験的に得ること。

カーボンナノチューブ内に取り込まれた分子・結晶はバルク状態と異なる状態にある。このような特異な空間内での化学反応をナノチューブの良電気伝導性を利用して電気化学的に誘起させることをもう一つのねらいとする。

カーボンナノチューブの中空に取り込んだ分子・結晶は簡単には外部にでないことが多い。このことを利用して電解液に溶出する活物質をチューブ内に取り込むことにより電極特性を向上させることを応用面でのねらいとする。

3. 研究の方法

(1) 機能性分子の SWCNT 内への導入

内包処理はさまざまな手法により実施した。代表的な昇華性分子について以下のような方法で行った。機能性分子結晶と開端処理した SWCNT をガラス管に真空封入したのち、昇華温度で一定時間保持した。ホストとなる SWCNT には直径 0.8-1.2 nm の HiPco 法で合成されたもの、アーク放電法で合成した平均直径約 1.5 nm のもの、CVD 法で合成した平均直径約 2.5 nm のものの 3 種を用いた。

(2) SWCNT 内包系の物理・化学特性評価

内包の確認は TEM などの直接観測に加え、XRD、Raman など分光測定、窒素吸着などにより多角的に行った。内包量は TG による重量変化や XPS などの元素分析により決定した。必要に応じて、電子状態変化などを放射光 X 線を利用した XANES 測定などにより行った。

(3) SWCNT 内包系電極の電気化学測定

合成した SWCNT 内包系を作用極、金属リチウム (あるいはナトリウムなどの金属) を対極とするハーフセルを構築した。電解質には通常は 1 mol/l の $LiPF_6$ を含むエチレンカーボネート:ジエチルカーボネート = 1:1 の混合液を使用した。電解液が使用できない系については固体高分子電解質を使用した。

4. 研究成果

(1) ヨウ素内包 SWCNT

私たちは電解酸化によりヨウ素分子 I_2 を非常に効率よく SWCNT に内包する方法を開発した。ヨウ素分子 I_2 の形で挿入され、ほとんどが I_2 の状態であることは水晶振動子を使った電気化学測定や放射光 X 線を使用した XANES 測定により確認した。しかし、挿入された I_2 が一部 SWCNT と電荷移動反応を起こしポリヨウ化物イオンになっていることもラマン分光測定などから明らかにした。このような電荷移動反応が起こるため、SWCNT にはホールがドーブされ電気伝導度が飛躍的に高くなる。SWCNT は通常ファンデルワールス力により凝集して束状のバンドル構造をとることが知られている。しかし、ヨウ素を挿入すると電荷移動により SWCNT

の表面電荷はわずかに正になるため、SWCNT 間に静電反発が生じてバンドルの凝集がほぐれやすくなる。面白いことに、この分散性の向上は低温でより顕著となる。この低温での分散性の向上は I@SWCNT の低温下でのラマン散乱測定により、低温で電荷移動反応が促進されることにより起こっていることを明らかにした。

I@SWCNT の電池電極特性についても調べるため、I@SWCNT を作用極、Li 金属を対極としたテストセルを構築した。ヨウ素が電解液に溶出してしまうため、有機系の電解液の代わりに固体高分子電解質を使用した。具体的にはポリエチレンオキサ이드 (PEO) に Li 塩を溶かしたものを使用した。この PEO 電解質は室温では十分なイオン伝導度が得られないため、恒温槽を使用して 60℃ で実験を行った。図 1 は上記した実験条件で得られた充放電曲線である。図 1 に示すように比較的大きな可逆容量が得られている。また、2 サイクル目も 1 サイクル目とほぼ同様の充放電曲線が得られており再現性もよい。このリチウムとヨウ素の組み合わせは、現在市販されている唯一の全固体電池の組み合わせであるが、この全固体電池は一次電池であり充電はできない。その大きな理由は放電で生成する LiI が安定な塩であり、逆反応が非常に難しいからである。それに対して、I@SWCNT では可逆性良く Li 挿入・放出が行われており大変に興味深い。そのメカニズムはまだ明らかになっていないが、SWCNT の限られた内部空間が反応場であることが関与しているであろう。直径約 1.5 nm の空間では LiI の安定構造である NaCl 型結晶が形成される空間的余裕はない。SWCNT に内包されたヨウ素がどのような形でリチウムイオンを捕捉するのかは、現時点では不明であるが、いずれにしても生成物はバルク結晶に比べて著しく不安定であると考えられる。不安定であるということは活性が高いということであり、このことが I@SWCNT で可逆的にリチウムイオンを吸蔵・放出できる要因と考えられる。

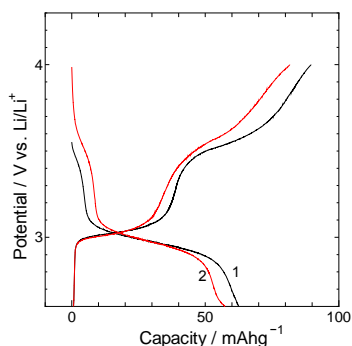


図 1 I@SWCNT のリチウムイオンに対する充放電曲線。固体高分子 PEO 電解質を使用し、60℃での測定結果。図中の番号はサイクル数に対応。

(2) キノン内包 SWCNT

リチウムイオン電池の正極材料にはレアメタルを使用するものが多く、こうした材料がひとつの要因となりリチウムイオン電池が高価なものとなっている。リチウムイオン電池は携帯電話やノートパソコンなど小型電子機器を中心に利用されてきた。今後は電気自動車などの大型機器用途にも展開していくことができればリチウムイオン電池の市場はさらに拡大していくことが期待できる。しかしながら、そのような大型機器に展開していくと現状のままでは大量のレアメタルを消費しなければならなくなる。そうすると、レアメタルの希少性はますます高くなり価格が高騰し、リチウムイオン電池の市場拡大にブレーキをかけることになるであろう。このような事態を回避するためにもスケールメリットのある元素のみで構築された電極材料の開発が必要である。多くの有機分子はありふれた元素のみで構築されているものが多く、低コスト電極として魅力的である。しかし、一方で多くの有機分子は有機系電解液に容易に溶解してしまうという問題がある。この問題を SWCNT に内包することで解決しようというのが研究のねらいである。有機分子電極としてアントラキノンとフェナントレンキノンについて実験を行ったがここでは後者を取り上げ議論を進める。

フェナントレンキノン $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ は C, H, O からなる有機分子であり分子量 208.2 である。分子中に 2 つのケトン基を有し、この部分でリチウムイオンを捕捉できる。したがって、理論容量を計算すると 258 mAh/g となり、1991 年にソニーから市場に出たりリチウムイオン電池の正極材料として有名な LiCoO_2 の理論容量 274 mAh/g とほぼ同じである。このフェナントレンキノン $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ を昇華法により SWCNT に内包させた。内包量は約 20 wt% で SWCNT の直径約 1.5 nm を考慮するとおおよそ 0.6 nm 間隔程度で SWCNT 内に存在していることになる。

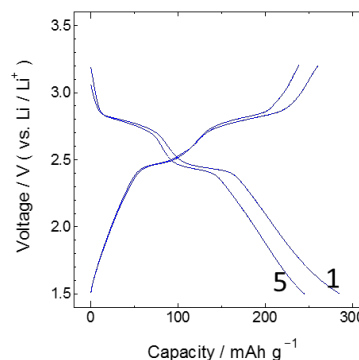


図 2 PhQ@SWCNT のリチウムイオンに対する充放電曲線。図中の番号はサイクル数に対応。

このフェナントレンキノン $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ を内包した PhQ@SWCNT 試料について、まず、リチウムイオン電池電極特性を評価した (図 2)。比較実験として、フェナントレンキノン $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ を単純に

カーボンブラックと混合しただけ、あるいは単純に SWCNT と混合しただけの試料についても測定を行っている。単純に導電助剤と混合しただけだと、やはり有機分子の溶出によりサイクル劣化が激しいことが確認された。一方、SWCNT に内包した試料ではサイクル特性が著しく改善しており、SWCNT 内包の効果を確認できる。

さて、PhQ@SWCNT はナトリウムイオンやマグネシウムイオンも可逆的に吸蔵・放出できることを確認した。すなわち、ポストリチウムイオン電池として期待されているナトリウムイオン電池や多価イオン電池の電極材料として利用することが可能である。PhQ@SWCNT 電極の場合はナトリウムイオンに対してもリチウムイオン貯蔵の場合と同程度の性能を示している。これは黒鉛などのインターカレーション反応と異なり、キノンのアルカリ金属イオン捕獲はイオン種の大きさの影響を受けにくいことがひとつの要因であろう。また、それぞれのイオンに対して放電のプラトー電位はほぼ等しいことがわかる。つまり、放電のプラトー電位はイオン種ではなく、フェナントレンキノンに支配されている。このことを確認するために量子科学計算を実施した。量子科学計算はイオン捕獲前のフェナントレンキノンとリチウム、ナトリウムイオンを捕獲した後のものをそれぞれ構造最適化したうえで、イオン捕獲前後の自由エネルギーを調べるということを行った。計算の結果、リチウム、ナトリウムのイオン種によるエネルギー差はきわめて小さく、実験結果とよく整合することが確認された。イオン種の大きさの影響を受けることなくイオンの吸蔵・放出を高速に行える。この特徴を利用して電池の低温動作性能の向上が行えるのではと考え、PhQ@SWCNT の電極性能評価を低温で実施した。実験の結果、低温にしても可逆容量の低下は少なく、また、サイクル特性も悪くないことがわかった。

(3) リン内包 SWCNT

単体リンの結晶構造にはさまざまな多型が知られているが、高圧下で合成される黒リンを除くとすべて絶縁体であり電池電極材料として使用することができない。実際に、リンのバルク試料を導電助剤であるカーボンブラックと混合しただけの試料についてリチウムイオン電池電極性能を評価しても可逆容量はほとんど観測されない。このリンを昇華法により SWCNT に内包させた。使用した SWCNT はアーク放電法で合成された結晶性の高いものであり、平均直径は約 1.5 nm である。結晶性の高さはラマン散乱スペクトルを測定すると 1600 cm^{-1} 付近に強い G バンドが観測されるのに対し 1330 cm^{-1} 付近に観測される D バンドの強度が著しく小さいことから確認できる。また、純度が高いことは TEM による直接観察や TG で残留触媒量が小

さいことからわかる。リンが内包されたかどうかについては TEM による直接観察に加え、各種元素分析や分光実験で確認した。例えば、STEM を利用して元素マッピングを行うと SWCNT に沿ってリンが検出され内包されていることがわかる。

さて、このリン内包試料 P@SWCNT のリチウムイオン電池電極特性を評価したのが図 3 である。図 3 に示すように充放電ヒステリシスは大きいものの、P@SWCNT は可逆的にリチウムイオンを出し入れできることがわかる。また、その可逆容量は 1600 mAh/g 程度とかなり大きい。また、リチウムに比べて少し可逆容量が小さくなるがナトリウムイオンも P@SWCNT に脱挿入可能であることが確認された (図 4)。

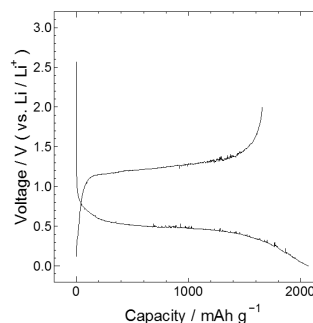


図 3 P@SWCNT のリチウムイオンに対する充放電曲線。

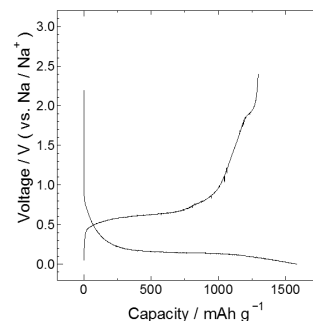


図 4 P@SWCNT のナトリウムイオンに対する充放電曲線。

(4) 硫黄内包 SWCNT

リチウム硫黄電池はそのエネルギー密度の高さから次世代二次電池の中でも最も期待されているもののひとつである。現在想定されているリチウム硫黄電池は現行のナトリウム硫黄電池とは異なり、液体の電解質を用いて室温での動作が期待されている。問題となるのは硫黄が還元されたときに生成する多硫化物イオンが有機系電解液に容易に溶けてしまうことである。この溶出を防ぐ試みは多数行われているが、いずれも完全ではない。私たちのねらいは硫黄を SWCNT に内包することで防ごうというものである。すでに述べたように、SWCNT に内包された硫黄

はバルクの硫黄にくらべて昇華温度が高くなっており、内包により硫黄分子は物理的な安定化を受けることがわかっている。しかし、この安定化が電気的な還元を受けた多硫化物イオンに対しても働くかどうかについては充放電実験を行わないとわからない。

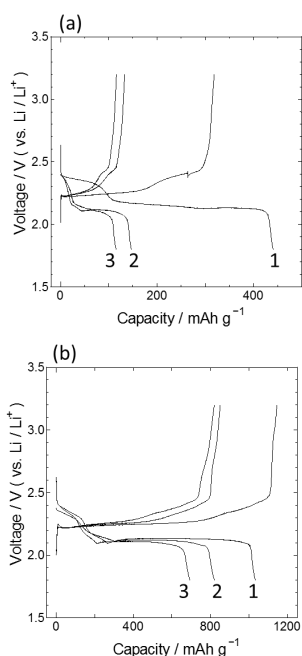


図5 (a) 硫黄とカーボンブラックの単純混合、(b) S@SWCNT(平均直径約1.5 nm)のリチウムイオンに対する充放電曲線。図中の番号はサイクル数に対応。

図5に充放電結果を示す。図5(a)は対照実験として実施した硫黄粉末試料を導電助剤であるカーボンブラックと単純混合しただけの試料である。単純混合しただけの試料の場合は図5(a)に示すように2サイクル目で急激な容量低下が観測される。これは多硫化物イオンの溶出により活物質質量が低下したためと理解できる。この後、充放電サイクルを繰り返すごとに大きな容量低下が続いていくことが観測されている。一方、S@SWCNT試料の場合は図5(b)に示すように充放電サイクルを繰り返しても大きな容量低下は観測されない。SWCNTに内包したことで、充放電中に生成する多硫化物イオンはSWCNT内にとどまり電極活物質として機能し続けることが確認された。さて、図5(a)と図5(b)を見比べると2つの試料の充放電プロファイルは一見よく似ているようだが細かな相違があることに気がつく。一つは両試料とも放電プロファイルには約2.3 Vと2.1 Vの2段階のプラトーが観測されているがその放電容量の割合が異なることである。バルク硫黄試料のほうが約2.3 Vの放電容量の割合が大きい。バルク硫黄試料については最初の約2.3 VのプラトーはS₈リングが切れる過程と理解されている。一方、S@SWCNTにおいてはSWCNTの直径が約1.5 nmであるのでS₈リングがチューブ内に挿入されることは考えに

くい。しかしながら、S@SWCNTにおいても約2.3 Vのプラトーが観測されているのはS₈リング相当の長鎖がSWCNT内に存在していると考えるのが良いであろう。しかし、チューブ内ではさまざまな長さの分子が存在しており長鎖の割合は大きくないため、約2.3 Vのプラトーは相対的に短いものになっている。放電プロファイルの違いはもうひとつある。それは、バルク硫黄試料の場合は2サイクル目には先ほど議論していた約2.3 Vのプラトーはほとんど観測されなくなる。出発試料に含まれていたS₈リングがリチウムイオン捕獲に伴いS_n²⁻のような多硫化物イオンになり消失していく。リチウムイオン放出時に逆のプロセスが進んでいくがS₈リングの再構成は起こらないため、1サイクル目のみに約2.3 Vのプラトーが観測される。ところが、面白いことにS@SWCNT試料では2サイクル目以降もこの約2.3 Vのプラトーが観測されている。さきに議論したようにS@SWCNTの場合には約2.3 VのプラトーはS₈リング由来ではなく硫黄の長鎖分子によるものと理解できる。リチウムイオン捕獲時には当然この長鎖分子の結合が切れ短い分子になっていくが、リチウムイオン放出時にSWCNT内で硫黄長鎖分子の再構築が行われるため2サイクル目以降にも約2.3 Vのプラトーが観測されるのだと理解できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- 川崎晋司, Song Hayong, 谷口慶充, 石井陽祐, ヨウ素を内包した単層カーボンナノチューブの透明導電膜、キャパシタ電極への応用、化学工業 66, 54-59 (2015).
 Electrochemical lithium-ion storage properties of quinone molecules encapsulated in single-walled carbon nanotubes, Y. Ishii, K. Tashiro, K. Hosoe, A. Al-zubaidi, S. Kawasaki, Phys. Chem. Chem. Phys. 18, 10411-10418, (2016).
 Alkali metal ion storage properties of sulphur and phosphorous molecules encapsulated in nanometer size carbon cylindrical pores, Y. Ishii, Y. Sakamoto, H. Song, K. Tashiro, Y. Nishiwaki, A. Al-zubaidi, S. Kawasaki, AIP Adv. 6, 035112 (2016).
 Low-Temperature Phase Transformation Accompanied With Charge-Transfer Reaction of Polyiodide Ions Encapsulated in Single-Walled Carbon Nanotubes, Y. Yoshida, Y. Ishii, N. Kato, C. Li, S. Kawasaki, J. Phys. Chem. C 120, 20454-20461 (2016).
 New type of pseudo-capacitor using redox reaction of electrolyte in single-walled carbon nanotubes, Y. Taniguchi, Y. Ishii, A.

Al-zubaidi, S. Kawasaki, J. Nanosci. Nanotechnol. 17, 1901-1907, (2017).
石井陽祐, 川崎晋司, カーボンナノチューブの内部空間を活用した高性能蓄電デバイスの開発、ケミカルエンジニアリング 62, 6-12 (2017).

〔学会発表〕(計 16 件)

- [1] 田代 広祐, 細江 健斗, 川崎 晋司, 機能性分子の単層カーボンナノチューブへの内包及びその電気化学特性、第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, (2014).
- [2] 川崎 晋司, Song Hayoung, 田代 広祐, 阪本 悠紀, カーボンナノチューブに内包させた機能性分子の二次電池電極性能、第 41 回炭素材料学会年会, (2014).
- [3] S. Kawasaki, Y. Sakamoto, K. Tashiro, Y. Ishii, Organic and elemental molecules encapsulated in single-walled carbon nanotubes as Na and Li ion battery electrodes, Pacifichem2015, (2015).
- [4] 川崎晋司, 阪本悠紀, 石井陽祐, 機能性分子内包カーボンナノチューブの合成と電池電極特性評価、2015 年東海地区ヤングエレクトロケミスト研究会, (2015).
- [5] 石井陽祐, 竹内裕, 谷口慶充, 吉田征弘, 川崎晋司, 単層カーボンナノチューブの細孔内におけるカチオンとアニオンの吸着挙動の差異、2015 年電気化学秋季大会, (2015).
- [6] 谷口慶充, 川崎晋司, 石井陽祐, 山田真之, 吉田征弘, カーボンナノチューブへの電気化学ヨウ素導入とキャパシタへの応用。2015 年電気化学秋季大会, (2015).
- [7] S. Kawasaki, H. Song, Y. Sakamoto, Y. Ishii, Na and Li ion storage properties of Phosphorus molecules inserted in SWCNT hollow cores, Carbon2015, (2015).
- [8] S. Kawasaki, Y. Takeuchi, Y. Taniguchi, K. Hosoe, Y. Ishii, Encapsulations of functional molecules in single-walled carbon nanotubes for energy storage devices, ICAC2016, (2016).
- [9] S. Kawasaki, Functional molecules encapsulated in single-walled carbon nanotubes for post Li ion batteries, ISAMR2016, (2016).
- [10] 川崎晋司, 機能性分子内包カーボンナノチューブの物性、第 119 回黒鉛化合物研究会, (2016)
- [11] 川崎晋司, 石井陽祐, 吉田征弘, カーボンナノチューブに内包されたヨウ素分子の低温下での構造変化、第 43 回炭素材料学会年会, (2016).
- [12] 川崎晋司, 石井陽祐, 単層カーボンナノチューブ内包系の電池電極への応用、第 65 回高分子討論会, (2016).
- [13] Utkarsh Prakash, 谷口慶充, 吉田征弘, 石井陽祐, 川崎晋司, ナノカーボン電極を利用した電解液レドックスキャパシタ、第 47 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, (2016).

[14] 加藤尚, 吉田征弘, 阪本悠紀, 石井陽祐, 川崎晋司, アルカリ金属イオンと単層カーボンナノチューブに内包されたヨウ素との電気化学反応、第 47 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, (2016).

[15] Y. Sakamoto, C. Li, Y. Ishii, S. Kawasaki, Alkali metal ion storage properties of single-walled carbon nanotube encapsulation systems, PRiME2016, (2016).

[16] Y. Yoshida, N. Kato, Y. Ishii, S. Kawasaki, Structural and electrode properties of iodine molecules encapsulated in single-walled carbon nanotubes, PRiME2016, (2016).

〔図書〕(計 1 件)

[1] 川崎晋司, 第 3 章 複合材料開発, 第 6 節 SWCNT と機能性分子からなる複合体蓄電デバイス電極、カーボンナノチューブ・グラフェンの応用研究最前線, エヌティーエス (2016)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称: 多価イオン電池電極
発明者: 石井陽祐, 川崎晋司
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 2015-088389
出願年月日: 2015 年 4 月 23 日
国内外の別: 国内

名称: アルカリハライド内包カーボンナノチューブ、全固体電池
発明者: 石井陽祐, 川崎晋司
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 2017-067479
出願年月日: 2017 年 3 月 30 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等
<http://kawasaki.web.nitech.ac.jp/jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

川崎晋司 (Kawasaki Shinji)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 40241294