



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



北海道大学

平成29年6月22日

研究成果



分野：工学系 キーワード：分子雑音、一分子計測、カーボンナノチューブ、揺らぎ、生体模倣

邪魔者ノイズを一分子計測に利用 —“自然界の揺らぎ”を利用した生体模倣デバイス開発への応用に期待—

【研究成果のポイント】

- ◆ カーボンナノチューブ素子内に有機分子を導入し素子雑音を発生させることで、分子種毎に特性周波数をもつ雑音が発生することを世界で初めて発見
- ◆ 雑音という本来排除されるべき信号内の揺らぎに注目し、分子一個の電荷揺らぎを室温でとらえた
- ◆ 電子素子内の雑音発生機構を解明し、揺らぎを積極的に利用する将来の生体模倣デバイス応用へ期待

❖ 概要

赤井恵(大阪大学大学院工学研究科助教)及び桑原裕司(同工学研究科教授)らは、松本和彦(同産業科学研究所教授)及び小川琢治(同理学研究科教授)、葛西誠也(北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター教授)らの研究グループとの共同研究において、**単一の単層カーボンナノチューブ^{※1}素子に、あえて異物である大きな酸化還元^{※2}活性を持つ有機分子を導入して素子雑音^{※3}を発生させ、分子種毎に特性周波数をもつ雑音が発生することを発見しました。**また、素子内の分子がたった一つであった場合、発生した雑音は2つの電流値を遷移するテレグラフ状の信号を示し、**この2状態遷移が分子の酸化・還元状態の移り変わりを反映している(図)**ことを明らかにしました。

本研究成果により、これまで不可能と考えられていた**一分子の電気化学反応計測が室温大気下で可能**であることが示されました。また、雑音は電子デバイスの邪魔者ですが、生体内での雑音や揺らぎをうまく利用した情報の検出や伝達の仕組みが最近解明され始めており、**雑音源としての分子の役割を明らかにしたことで、今後の生体機能模倣素子開発における応用が期待**されます。

本研究成果は、英国化学会誌「Nanoscale」に、2017年6月15日(木)(日本時間)に公開されました。

❖ 研究の背景

本来雑音は電子素子にとって邪魔者であり、その発生機構には未だ謎に包まれた部分が数多く残されています。近代科学技術創生期より、研究者及び技術者は電子素子の雑音を低減させることに多大な努力を払ってきました。近年、ナノ材料^{※4}を用いた素子の中に発生する雑音に注目する研究が増えており、分子・原子レベルにおける雑音発生メカニズムが少しずつ明らかになりつつあります。

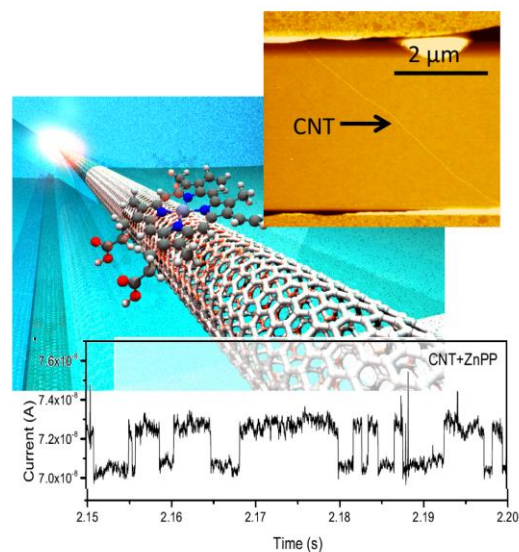


図 分子一個から発生するテレグラフ雑音

今後の生体機能模倣素子開発における応用が期待されます。



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



北海道大学

Press Release

赤井助教らの研究グループでは、**単層カーボンナノチューブ素子内**にあえて**異物である有機分子を導入**することで**雑音が発生し、雑音の周波数特性^{*5}が分子によって異なることを発見**しました。分子が特性周波数をもつ雑音を発生させる現象はこれまでも同じナノカーボン材料であるグラフェンではよく知られていましたが、小さなガス分子に限られていました。今回赤井助教らが導入した分子は約1nm以上の分子骨格をもつ比較的大きな分子であり、高い酸化還元活性を持ちます。すなわち、分子はカーボンナノチューブから電子をもらってイオン化しやすく、また電子を渡して酸化されやすい状態です。よって**分子の酸化還元が素子内で繰り返し起こっており、これが雑音の発生原因と考えられます**。

さらに**雑音源となる分子が素子内にたった一個である場合には、素子の出力として二つの状態を行き来するような信号、すなわちテレグラフ信号^{**6}が検出**されました。この上下二つの状態は一分子の酸化状態、中性状態、還元状態のいずれかに対応し、分子によって異なります。たった一つの分子が電子の捕獲、放出を繰り返すためその状態の明滅が素子の電流を変化させ、その状態比率は分子の酸化還元のエネルギ準位に対応することが研究から明らかになりました。すなわち、**テレグラフ雑音を得ることでそのたった一つの分子の活性な酸化還元準位を知ることができるのです**。

また本研究は**室温大気下での一分子計測を可能**にしました。一般的に分子や原子のたった一つの電子数の変化を計測するためには、**系全体を低温や真空にして周辺の雑音を低減する必要があります**。本研究では分子の酸化還元が室温では希にしか起こらず、その2状態が電流値として時間的に分離可能であること、またたった一つの電荷の存在によって大きく電流が変化するほど周囲の電荷に敏感な半導体 SWNT を検出器として用いていること、この二つの要因によって室温大気下での一分子計測が実現されました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

本研究成果には二つの大きな意義があります。

一つは**一分子計測**です。これまで分子の酸化還元準位を計測するには、電気化学計測による溶液中の、それも大量の分子に対する方法が一般的でしたが、これが**一分子に対し、それも室温大気中で可能**であることを示しました。

二つ目は**雑音源としての分子の役割を明らかにした**ことです。我々のテクノロジーは雑音を嫌いますが、生体の中では雑音や揺らぎをうまく利用した仕組みが多く利用されていることがわかっており、最近、雑音を生体材料の検出や生体機能を模倣した素子に積極的に利用しようという機運が非常に高まっています。本研究成果は**分子を使い分けることで、希望する特性周波数を持つ雑音を素子内に発生させる方法を示しています**ので、**今後の生体機能模倣素子開発における応用が期待**できます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2017年6月15日(木)(日本時間)に英国化学会誌「Nanoscale」に掲載されました。

タイトル：“Room-temperature discrete-charge-fluctuation dynamics of a single molecule adsorbed on a carbon nanotube” 「室温におけるカーボンナノチューブに吸着した単一分子の離散電荷揺らぎ検出」

著者名：Agung Setiadi¹、藤井逸人¹、葛西誠也²、山下健一³、小川琢治³、生田昂^{4,5}、金井康⁴、松本和彦⁴、桑原裕司¹、赤井恵¹

¹大阪大学大学院工学研究科、²北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター、

³大阪大学大学院理学研究科、⁴大阪大学産業科学研究所、⁵東京農工大学大学院工学研究院

なお、本研究は、文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」、分子アーキテクニクス「単一分子の組織化と新機能創成」研究の一環として行われました。



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



北海道大学

Press Release

❖ 用語説明

※1 カーボンナノチューブ

炭素によって作られる六員環ネットワークシート(グラフェン)が単層あるいは多層の同軸管状になった物質。半導体特性と金属特性を持つものがあり、最近では様々な機能を持った素子に応用研究が進んでいる。特に単層のものはシングルウォールナノチューブ(SWNT)と呼ばれ、本研究で用いたものは半導体 SWNT である。

※2 酸化還元

化学反応の過程において、原子やイオンあるいは化合物間で電子の授受がある反応のことで、物質が電子を放出する場合が酸化であり、電子を受け取る場合が還元である。電荷のやりとりがなければ起こらないためたった一つの物質では酸化還元反応は成り立たず、ある物質の酸化プロセスと別の物質の還元プロセスが必ず並行して進行する。本研究ではカーボンナノチューブと分子の間で酸化還元反応がくり返し起こっている。

※3 雑音(ノイズ)

辞典では「雑音:不規則で不愉快に感じられる音。うるさい音」と書かれていることから、邪魔者の印象が強い。一般的には規則性の無い音声や電波信号の揺らぎを指す。工学分野では、音声信号以外の処理対象となる情報以外の不要な信号成分に対し、「雑音」という言葉が慣用的に使われている。

※4 ナノ材料

少なくとも一辺の長さが 1~100nm の大きさを持つ材料。次世代の産業基盤技術として、社会に大きな便益をもたらすことが期待されており、多様な分野で利用が進んでいる。カーボンナノチューブやグラフェンなどの炭素系のもの、銀、二酸化チタン、酸化亜鉛などの金属系のものが有名である。

※5 周波数特性

信号の中である周波数だけが顕著に大きかったり、ある周波数以上や以下で信号の成分の大きさが顕著に異なるような特性が、何らかの要因と関連がある場合をいう。本研究では信号成分に分子の種類に応じた高周波側の遮断周波数が見られた。あらゆる周期の揺らぎを持つ雑音信号の中で、遮断周波数があるとそれ以上の早い周波数成分が存在しなくなる。

※6 テレグラフ信号

テレグラフ、すなわち「電報」は本来モールス信号のように機械式スイッチの接点を手動で開閉することによって伝えられた。よってスイッチの「開」と「閉」のような、2状態のみから構成される信号を今もテレグラフ信号と呼んでいる。