

カーボンナノチューブ

カーボンナノチューブ合成技術の新たな展開

産総研では、ナノカーボン研究センターを中心として、カーボンナノチューブの産業応用を目指した、合成技術の開発を行っています。

直噴熱分解合成法

従来の量産技術で供給される単層カーボンナノチューブ(SWNT)は、品質面で工業材料としての要件を満たしていなかったため、ユーザー側で精製・改質等の後処理が必要でした。

私たちは、SWNTの合成手法である直噴熱分解合成法(DIPS法)において、反応条件の精密制御により、生成物の純度及び結晶性(グラファイト化度)を大幅に改善し、従来の量産技術と比較して不純物濃度と構造欠陥を10分の1以下に低減し、約100倍の触媒利用効率の合成技術を開発しました。

この高品質SWNTを用いて表面改質やバインダーなしで高強度繊維SWNTワイヤーの紡糸、細胞培養用途のメツ

シュ状SWNTシートの作製(写真1)が可能です。さらに、品質(純度、グラファイト化度)を大幅に改善しただけでなく、SWNTの直径を0.1nm単位で精密に制御することも可能になりました。

スーパーグロース技術

通常のカーボンナノチューブ合成雰囲気(通常は極微量の水分を添加することによって発現する、まったく新しい成長モード(スーパーグロースと呼んでいます)を発見しました。このスーパーグロース技術は、時間効率で約1,500倍の超高効率合成技術であるばかりでなく、得られたSWNTは未精製の状態で99.98%の超高純度なものとなり、合成上の大きなブレークスルーを達成しました。

このスーパーグロース技術を用いて、パターン化された単層カーボンナノチューブの垂直配列構造体の作製に



写真1 高品質SWNTシートで作製した折り鶴

初めて成功しています(写真2)。工業的な価値は計り知れず、また、単層ナノチューブの応用開発においても、バイオ、エレクトロニクスの分野において新たな飛躍をもたらし、明日の日本の産業を幅広く支えるものと期待されます。

ナノカーボン研究センター
湯村 守雄

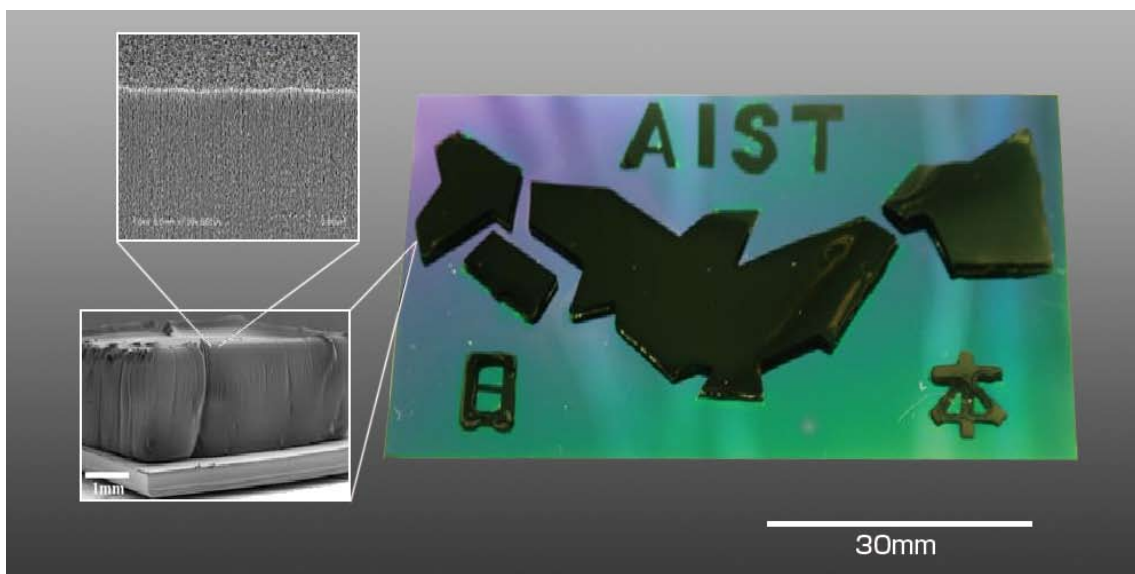


写真2 日本を支えるカーボンナノチューブ(垂直配列したSWNTで作製した日本地図)

ナノカーボン構造評価技術の確立と応用

ナノカーボン材料の特徴は、多様な構造と多彩な物性にあります。反面、個々のナノカーボン材料を原子レベルで確実に構造決定しなければ、その特性を正確に予測することはできないということでもあり、ナノカーボン材料の真の産業化には、原子レベルでの品質管理を可能にする精緻な構造解析技術の確立が不可欠です。

私たちは、特にカーボンナノチューブの性質を左右する構造的因子をあますことなく決定する評価技術の開発を目指しました。

光学異性体の決定

カイラル指数(らせんのねじれ方)はナノチューブの電気的性質を決定する最も重要な要素です。しかし、カイラル指数の解析だけでは多層ナノチューブの層間関係を決定するのに十分ではありません。なぜなら、カイラル指数が決定されても、それらの光学異性体の存在から、図1に示すような二層カーボンナノチューブ(DWNT)

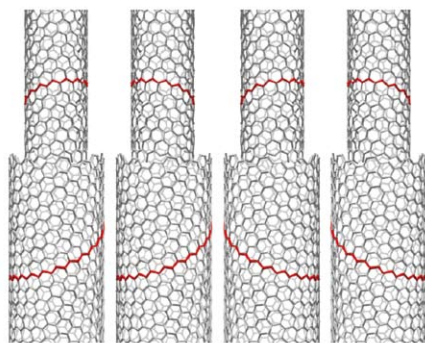


図1 DWNTの光学異性体

図2
試料傾斜法によるカーボンナノチューブの左右巻ききの判別

において、4つの構造を持つ可能性が混在するからです。したがって、DWNTの構造を完全に決定するためには、カイラル指数に加えてグラフェン(黒鉛構造における1枚の炭素層)の巻き方の方向も判別する技術の開発が必要になります。私たちは図2のような測定原理で、電子顕微鏡内で試料を注意深く傾けることによって、これらの4つの異性体から、ただひとつの構造を決定する方法を開発しました。

パイロリジンにより修飾されたフラーレン分子(C₆₀-C₃NH₇)の直視

フラーレンの化学修飾は物理や化学分野で非常に注目されています。しかし、分子レベルでの単体の修飾フラーレンの直視は今まで成功に至っていませんでした。私たちは高分解能電子顕微鏡法(HR-TEM)を使って、単層カーボンナノチューブ(SWNT)の中に挿入されたC₆₀-C₃NH₇分子を直視することに成功しました(図3)。

また、電子エネルギー損失分光法

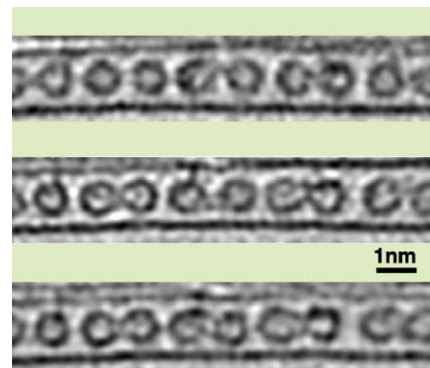
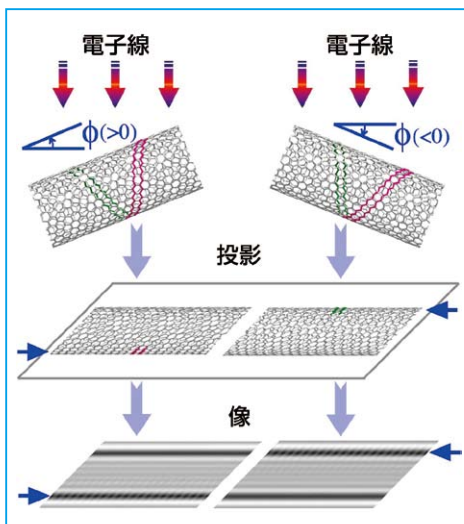


図3 2秒間隔で連続的に撮影したSWNT中の(C₆₀-C₃NH₇)のHR-TEM像

(EELS)を用いて、官能基に含まれる窒素元素の状態分析をした結果、フラーレンの官能基とSWNTが強い相互作用を持つことがわかりました。

私たちは、超高感度電子顕微鏡装置開発を通じて、これまで困難であった新炭素系物質における原子レベルでの構造解析法の実現に挑戦しています。ナノカーボン材料の原子レベル構造は物性を決定する最大要因であるため、それらの精密な構造決定を可能にする前述の成果は、ナノカーボン応用製品の市場創造に大きく貢献することが期待されています。

ナノカーボン研究センター
劉 崢
末永 和知