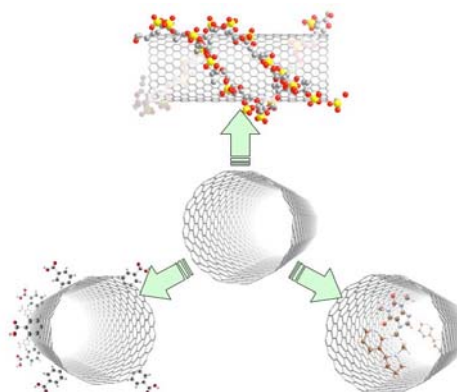


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	1. ナノ物質
中項目	1-1. 有機材料
小項目	1-1-5. ナノチューブ

#### 概要（200字以内）

カーボンナノチューブ（CNT）は、溶媒に不溶であることから、化学者が取り扱いにくい物質であったが、最近では溶解性の向上と新たな物性発現を目的とした化学修飾 CNT の研究が精力的に展開されている。最近では化学反応による表面修飾や、ポリマー/CNT コンポジット、タンパク質、核酸などの生体分子内包 CNT の研究も報告されており、新しい機能を持つ CNT の創製は重要な大きな研究分野となりつつある。



#### 現状と最前線

カーボンナノチューブ（carbon nanotube; CNT）は、炭素の六角格子からなるグラフェン（graphene）シート（黒鉛の一層）を筒状にした形状を有する中空の管であり、その直径は数 nm から数十 nm である。この管を構成する原子層の厚さにより、単層ナノチューブ（single-walled CNT; SWCNT）と多層ナノチューブ（multiwalled CNT; MWCNT）の2種類に大きく分けられるが、この中間サイズである二層ナノチューブ（double-walled CNT; DWCNT）も合成されている。どのチューブも  $10\mu\text{m}$  を越えるものが得られており、極めて高いアスペクト比を持つ。1991年に飯島澄男（NEC）によって MWCNT が発見されて以来、電子物性、電気伝導、機械的性質、吸着特性などの物性に関して研究されてきた。構造がシームレスのため、高い弾性率や高いヤング率など優れた力学的性質を持つ。しかも、電気的にはらせん度と直径によって半導体的であったり、金属的であったりと、構造によって制御が可能である。応用分野としては、走査型プローブ顕微鏡探針、電界放出電子源、電界効果トランジスタ（FET）、リチウム二次電池負極材料、水素吸蔵材料、太陽電池材料、複合材料など多岐にわたる。CNT の合成プロセスには、アーク放電、レーザー蒸着法、化学気相成長法（CVD）、プラズマ CVD 法などが知られている。この中でもアーク放電法は欠陥が少なく高品質な CNT 法を得ることができるが大量合成は困難である。一方、CVD 法は大量合成の他、配向成長、成長位置の選択が可能、SWCNT と MWCNT の作りわけが可能であるという特徴を持つが、欠陥が多いという欠点がある。

しかし、最近では世界中の研究者が SWCNT の大量合成法に取り組んできた結果、良質な SWCNT を安価で提供可能な大量合成法が確立されつつあり、今後は合成化学者の参画による CNT の多機能化を目指した「カーボンナノチューブ化学」の積極的展開が望まれる。

CNT は有機溶媒や水に対して不溶であることから、発見当初は理論的な研究が先行したが、化学処理による表面修飾により可溶性になることから、最近では溶解性の向上と種々の物性発現を目的とした表面修飾 CNT の研究が精力的に行われている。<sup>1)</sup> CNT の化学修飾法としては、化学結合による方法、吸着や包摂などの非共有結合による方法、管内に注入する方法の三種類に分類できる。化学結合による方法としては、末端部位や欠陥部位の酸化、ハロゲン化、水素化、アゾメチンイリド環化付加、カルベン付加、ナイトレン付加、ジアゾニウム塩付加などが報告されているが、最近では Diels-Alder 反応による 1,3-ジエンの環化付加反応も見いだされた。このように CNT の表面修飾技術の進展は目覚しく、CNT の表面に様々な機能を付与する研究が行われており、 dendrimer を導入した系も報告されている。また、非共有結合を利用するアプローチでは、エポキシ/CNT、アクリレート/CNT、 $\pi$  共役ポリマー/CNT、ポリカーボネート/CNT、DNA/CNT など、様々なポリマー/CNT コンポジットが報告されている。例えば、CNT 存在下でフェニルアセチレンのその場重合を行うことで、ポリマーが CNT にらせん状に巻きつき、有機溶媒に対する溶解性を増すことが見いだされている。このような共役ポリマー/CNT コンポジットでは、CNT とポリマーが強い  $\pi$ - $\pi$  相互作用を行うことで CNT の電子特性が劇的に変化し、導電率の向上や太陽電池変換効率の増大が見られ、高機能性光電子材料として期待されている。バイオテクノロジー分野では、CNT が DNA を吸着する性質を持つことから、遺伝子運搬体としての利用も研究されている。さらに、最近では金属ナノ粒子/CNT コンポジットの研究も徐々に増加傾向にある。有機分子内包 CNT に関しては、フラーレンを初めとして、比較的サイズの小さなタンパク質、DNA、RNA などの生体分子が報告されている。内包された有機分子は CNT の壁により外部の反応活性種から保護されることで劣化を抑制することができる。

このように、様々な手法による表面修飾 CNT の合成研究および物性研究が精力的に行われており、新しい機能を持つ CNT の創製は重要な研究分野となっている。今後、CNT のサイズや形状の完全制御や、新しい応用領域の開拓につながる表面修飾 CNT の創製が期待される。

引用文献) 1) Tasis, D.; Tagmatarchis, N.; Bianco, A.; Prato, M. *Chem. Rev.* **2006**, *106*, 1105.

#### 将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

CNT 化学修飾法の多様化の実践。有機分子内包 CNT による物性制御。

CNT 1本のマニピュレーションの実現。表面修飾 CNT の集合形態制御

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

表面化学修飾 CNT のバンドル化による高強度繊維の開発。

表面化学修飾 CNT の組織化による電子回路の作製。CNT の化学処理によるサイズ制御。

#### キーワード

SWCNT、MWCNT、表面修飾 CNT、有機分子内包 CNT、ポリマー/CNT コンポジット

(執筆者：阿部二郎)