ナノテクノロジー　ナノマテリアル

炭素の新素材に熱い視線

CNTフラーレン「材料の王様」に
基礎から産業応用まで研究進む

飯島澄男NEC特別主席研究員（名城大学理工学部教授）が発見したカーボンナノチューブ（CNT）。その発見によってノーベル賞受賞者が誕生したフラーレン。ともに「材料の王様」といわれる炭素の新物質で、ナノマテリアルの代表である。特異な構造をしているのが特徴で、これまで数多くの研究者がCNTやフラーレンに熱い視線を注ぎ、基礎から産業応用まで幅広い研究が進められている。

CNT用いた電子源を開発
半導体素子などに応用期待

単層CNTの中にフラーレンを詰めるピーポッド。東京都立大学大学院理学研究科の片浦弘道助手らのグループは、ピーポッドの研究に力を入れている。現在、炭素原子70個からなるフラーレン「C70」なら充填率がほぼ100%に近いピーポッドがつくれる。

光を使ってピーポッドの電子構造を調べており、「ナノチューブの励起状態とC60（炭素原子60個からなるフラーレン）との相互作用で、絶縁体のC60がナノチューブの中で金属になるという理論を実験で検討している」（片浦助手）という。

CNTから1平方ミリあたり10の8乗アンペアという強い電流が出る。三重大学工学部の斎藤弥八教授と共同で、実験によって確かめた産業技術総合研究所新炭素系材料開発研究センター一次元ナノ構造チームの湯村守雄チーム長は「細くて長い形状がポイント。水鉄砲と同じで、細いほど勢いよく電子が出やすい」と理由を説明する。

この成果をもとに伊勢電子工業（三重県伊勢市、現ノリタケ伊勢電子）はCNTを用いた電子源を開発、さらに14・5インチのフィールド・エミッション・ディスプレー（FED）も試作済み。白がよく出る高輝度を特徴とする。

産総研同研究センターハイブリッドチームはファインセラミックスセンターと共同で、単層CNTに24万―54万気圧の高い圧力をかけて、ダイヤモンド並みの硬さのCNTをつくるのに成功した。

CNTは電気的特性や引っ張り強度、熱伝導度などで優れた特性を持ち、電子源のほか燃料電池の電極、半導体素子などさまざまな分野での応用が期待されている。

「一次元方向に長いのが強み。アプリケーションはいろいろ考えられる」と東京大学大学院工学系研究科の丸山茂夫助教授は解説する。

高効率の技術が不可欠
大量合成ではCVD法に注目

基礎研究レベルでは単層CNTに対する関心が高い。単層CNTは筒の部分の巻かれている状態によって、金属になったり半導体になったりする。しかも半導体の場合は、単層CNTの巻かれ方や直径の太さを制御することで、半導体の性質を変えることができる。

経済産業省は98年度から5年間「炭素系高機能材料技術プロジェクト（FCT）」を進めている。FCTの中でCNTに限って今年度から5年間の「ナノカーボン技術プロジェクト」に切り離される予定だが、同プロの焦点も巻かれ方や直径などの制御にある。

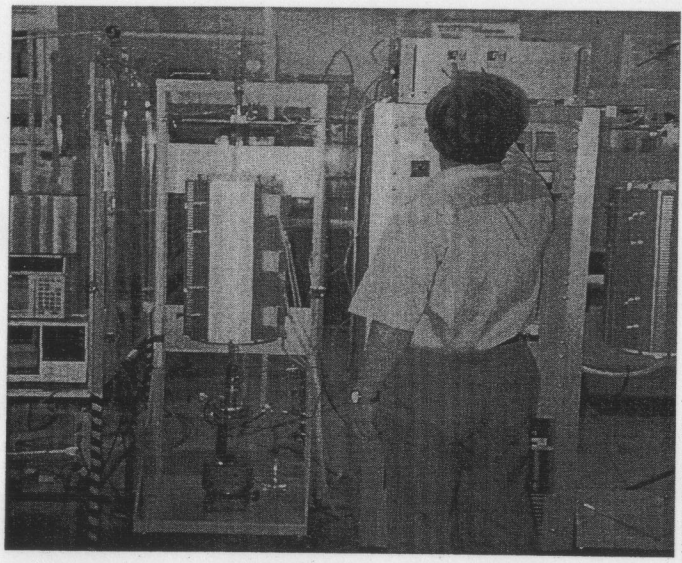
都立大の片浦助手らのグループは、単層CNTの生成機構を調べるうちに直径を制御できるようになった。「直径1・2ナノメートルなら高純度のものができる」（片浦助手）という。

産業への応用を考慮した場合、CNTを大量に効率よくつくる技術が不可欠となる。CNTにはアーク放電法、レーザー蒸発法、化学気相成長（CVD）法といったつくり方がある。このうち大量合成ではCVD法が注目されている。

産総研の一次元ナノ構造チームでは、多層CNTをCVD法で大量につくる独自の技術を開発した。「逆ミセル法」と呼ばれ、界面活性剤を使ってナノメートルサイズの水のかたまりをつくり、このかたまりの中で触媒金属を還元する。さらに還元されたものと炭化水素を反応器の中に一緒に滴下する。この方法で1台の装置（昭和電工製）で1日に5キログラムの生産が可能という。

単層CNTは量産技術を確立したといえない状況だ。産総研の同チームも単層CNTの量産に取り組んでいる。多層CNTでの手法は生かしながらも触媒を変えるアプローチについては、研究レベルでは開発に成功。量産プラントで使えるかどうかを確かめる。

東大の丸山助教授らのグループは、アルコールを使い高純度な単層CNTを生成する手法を開発した。触媒CVD法を用いるが、生成条件が600―700度Cと従来より低温で済む。「シリコンなどのデバイスの上に（単層CNTを）生やすこともできる」（丸山助教授）。



▲……産総研の一次元ナノ構造チームで使っているCNT合成装置

医薬品としても有望視
ダイヤモンド以上の硬さも

アーク放電法とレーザー蒸発法では触媒を使えばCNT、使わなければフラーレンができることから、フラーレンと単層CNTは親せきともいえようか。都立大理学研究科の阿知波洋次教授らのグループは、フラーレンの生成過程を連続撮影した。

この結果とほかの実験結果から、阿知波教授によると次のように推測できるという。「最初にキャップ状の『前駆体』ができて、触媒があるとその上に前駆体が付着して成長し、ナノチューブになる。触媒がないとフラーレンになる」

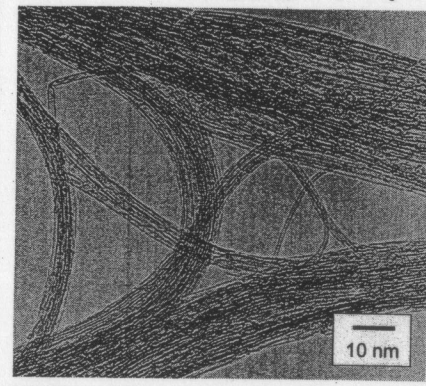
フラーレンの中で注目されている一つは金属内包フラーレンだ。名古屋大学大学院理学研究科の篠原久典教授らと日本シエーリング（大阪市）が共同で開発したガドリニウム内包C82（炭素原子82個からなるフラーレン）は、磁気共鳴断層撮影装置（MRI）の映りを良くする造影剤として期待されている。

都立大の片浦助手らのグループも「金属入りのフラーレンも今年力を入れたい」（片浦助手）と意気込む。ランタン入りC82の金属内包率を100%にまで高め、物性を確かめたいとしている。

産総研のハイブリッドチームはレーザービームやイオンビームを使い、C60の炭素原子の一部を窒化ホウ素に置き換えた「ヘテロフラーレン」の作製に成功。窒素とホウ素が結合して存在していることも解明した。古賀義紀チーム長は「結晶化させた場合の性質を調べたい」と進捗状況を説明する。

フラーレンを核に、周囲にさまざまな化学修飾を施し、医薬品として使うことも有望視されている。

研究開発型ベンチャーであるナノ炭素研究所（千葉県長生村）の大澤映二社長は、フラーレンが発見される以前の70年、C60の構造を予言していたことで知られる。大澤社長はフラーレンが二重、三重になった「多層フラーレン」に注目。多層フラーレンで3次元ポリマーをつくれば、ダイヤモンドよりはるかに硬いものができることが理論的に予想されている。大澤社長はそれを実証したい考えだ。



エタノールを使い、触媒CVD法で生成した直後の単層CNTのTEM（透過型電子顕微鏡）像＝東大・丸山助教授らのグループ