

京谷 隆 氏〔東北大学教授（多元物質科学研究所）工学博士〕



## 〔業績〕 鋳型法によるカーボンナノ材料の合成と応用

(Synthesis and Application of Carbon Nano-Materials by Template Techniques)

ダイヤモンドなどを除いて、カーボンの構造は基本的には多環芳香族分子の集合体であると考えてよく、分子の形やその集合様式の違いによって、カーボンの驚くべき多様性が生まれる。このような巨大分子の形や集合状態をナノレベルで制御することができれば、ユニークな構造をもち今までにない高い性能を示すナノカーボン材料を作り出すことが可能となる。京谷隆氏は鋳型炭素化法という方法を世界に先駆けて開発し、高度に構造制御されたカーボンナノ材料を数多く作り出してきている。以下に同氏の主な研究業績を紹介する。

### 1. 1次元鋳型を用いたカーボンナノチューブの合成

カーボンナノチューブの製造法としては、アーク放電法、レーザー蒸発法、炭化水素触媒分解法などが知られているが、不純物が大量に副生する、触媒金属が混入する、チューブ径や長さなどを制御することが簡単ではないなど多くの問題をかかえている。もしサイズを自在に制御しうる1次元ナノチャンネルを鋳型としてカーボンナノチューブを合成することができれば、鋳型のサイズを変えることでナノチューブの径や長さの精密制御が可能となる。このような1次元状のナノチャンネルをもつ物質の1つとしてアルミニウム陽極酸化皮膜がある。陽極酸化皮膜には膜面に垂直で均一なナノメートルスケールの直線状細孔が多数貫通しており、細孔径、細孔密度、細孔の長さを容易に制御することができる。京谷氏はアルミニウム陽極酸化皮膜の1次元状のナノチャンネルを鋳型とすることで希望する均一なサイズが多層カーボンナノチューブの作製法を確立した。この方法は京谷氏により世界で初めて報告され、その後、世界中の数多くの研究者がこの方法を用いてカーボンナノチューブを合成している。この鋳型法で合成されたカーボンナノチューブは電界放出型ディスプレイ用の電子銃として、世界最高級の電子放出能をもつことなども明らかにしている。

### 2. 鋳型法によるカーボンナノチューブ複合体の合成

カーボンナノチューブの表面にヘテロ原子を導入したり、その内部に金属などの異種物質を充填することが可能になれば、性能の向上のみならず新機能の発現も期待できる。鋳型法では、鋳型を除去する前の複合体の段階でチューブ内面を化学修飾することで、チューブの外側と内側との区別が可能となり、内壁だけ化学修飾したナノチューブの合成を可能にした。さらに、鋳型法を利用して外側と内側で組成の異なる二重構造のナノチューブの合成も可能にした。実際、1本のチューブにホウ素を

含むp型のカーボン層と窒素を含むn型の層を同心円状に接合させることができた。また、金属などの異種物質を担持した後、鋳型を溶解除去することで、種々の異種物質を様々な形状でカーボンナノチューブの内部だけに挿入させることを可能にした。シリコン基板上の非常に薄いアルミニウム陽極酸化皮膜層を鋳型とすることで、短くて均一なナノチューブが剣山状に集合したナノ構造体を合成し、電気メッキ法により各ナノチューブの内部に磁性金属を完全充填することにも成功した。この構造体は超高密度垂直磁気記録媒体として有望である。

このような精密に構造が制御されたナノチューブ複合体の合成は、従来のナノチューブ製造方法であるアーク放電法や炭化水素触媒分解法では困難であったが、鋳型法により初めてできるようになった。

### 3. 3次元鋳型を用いた多孔質カーボンの合成

分子レベルで制御されたゼオライトの3次元規則性細孔を鋳型として用いて、ゼオライトの規則的な構造を反映した多孔質カーボンの合成に成功した。この方法で合成した規則的な3次元ナノアレイ構造を有する多孔質カーボンは4,000 m<sup>2</sup>/gと極めて大きな比表面積をもち、そのマイクロ孔（径2 nm以下の細孔）容積は1.8 cc/gである。これは世界最大のマイクロ孔容積をもつ物質であろう。しかも、メソ孔（径2 nm~50 nmの細孔）はほとんどなく、均一なマイクロ細孔構造をもっている。MCM-48などのメソポーラスシリカを鋳型にすることで規則構造をもつメソポーラスカーボンを合成した例は数多くあるが、ゼオライトを用いてその規則性を保持したマイクロポーラスカーボンを合成したのは京谷隆氏が世界で初めてである。このようなマイクロ細孔構造は触媒材料として魅力的であるばかりでなく、メタン吸蔵のための吸着剤としても最適である。また、大容量の電気二重層キャパシタの電極材としても素晴らしい性能を示すことを最近確かめている。

以上のように京谷隆氏は鋳型炭素化法という革新的な方法を世界で初めて創案し、今までにないユニークな構造の様々なカーボンナノ材料の合成に成功している。さらに、その応用も精力的に進め、この方法で構造制御されたカーボン材料が多くの応用用途において極めて高い性能を示すことも明らかにしている。同氏の研究は独創的で先駆的であり、国際的にも極めて高い評価を受けている。よって、同氏の業績は日本化学会学術賞に値するものと認められた。