ビーカーを使って炭素の輪から作る二次元カーボンナノシート

物質・材料研究機構は、名古屋大学、東京大学と共同で、高い導電性や触媒機能を持ち、新奇の電子材料として期待されるカーボンナノシートを、簡易に合成する手法を開発しました。ビーカーに水を注ぎ、撹拌した水面に輪状の炭素分子であるカーボンナノリングを展開し、基板に転写し焼成するだけでカーボンナノシートを合成できます。高価な装置や高度な技術が不要で、高い導電性などを生かした太陽電池やタッチパネル、燃料電池の触媒膜などへの応用が期待されます。

本研究グループでは、水を注いだビーカーに渦流を生じさせ、その水面に輪状の炭素分子であるカーボンナノリングを浮かべ、それを基板に転写する簡易な方法で、均一かつ数十ナノメートルの孔を多く持つメソポーラス薄膜を作製できました。また、この薄膜を焼成することでメソポーラス構造を保持したままカーボンナノシートを得ることに成功しました（図１）。

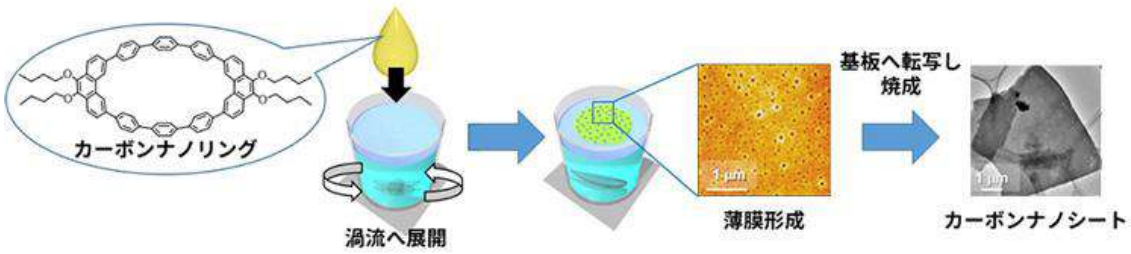

図１　カーボンナノリングを用いたカーボンナノシートの合成

本研究成果は、2018 年 7 月 6 日に「Angewandte Chemie International Edition」誌のオンライン速報版として掲載された。

＜研究内容と成果＞

本研究は、ビーカーに水を注ぎ、撹拌により渦流を生じさせ、水面に輪状の炭素分子であるカーボンナノリングを展開し、しばらく静置させることで自己組織化により生じる薄膜を基板に写し取りました（図２）。これにより、厚さが 10 ナノメートル未満で、1000 マイクロメートル平方にわたって均一な分子薄膜を得ることに成功しました（図３）。本研究における作製方法は、一般的な実験室で利用されるビーカーと撹拌装置のみで再現でき、非常に

簡易なものです。また、1平方メートルのナノシートを作製するために必要なカーボンナノリングは1ナノグラムと非常に少量です。

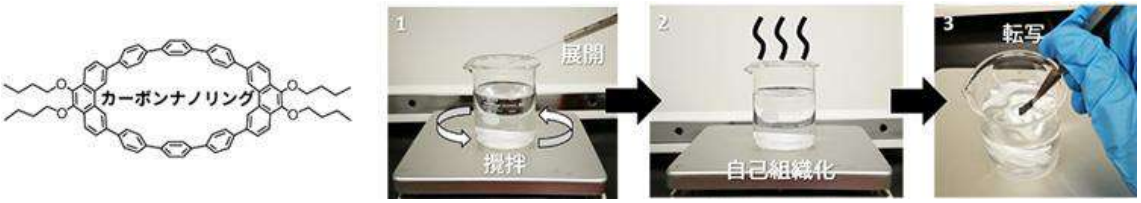

図2　本研究で用いたカーボンナノリングの化学構造と分子薄膜の作製方法

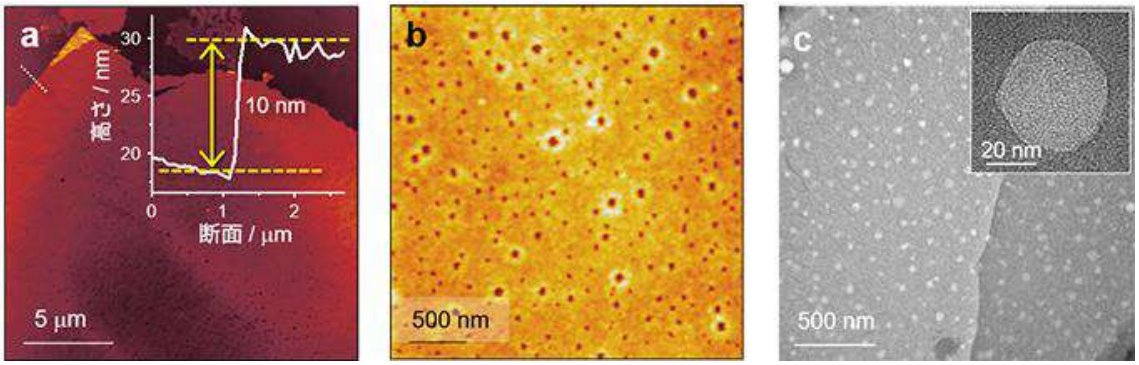

図3　カーボンナノリング分子薄膜の原子間力顕微鏡像（a，b）と透過型電子顕微鏡像（c）

興味深いことに、このカーボンナノリングからなる分子薄膜は数十ナノメートルの無数の孔（メソポーラス）を持っており、焼成を経て炭素化した後も、このメソポーラス構造を保持したカーボンナノシートが得られました（図4）。焼成前のナノシートは電気が流れない絶縁体でしたが、焼成しカーボンナノシートとすることで導電体へと変化しました。つまり、焼成により炭素同士が結合し、強固なネットワークを持つカーボンナノシートを形成することが示されました。ナノ構造を保持したまま炭素化できる例は希有で、特にカーボンナノリングのような小さな分子を用いた例はありません。

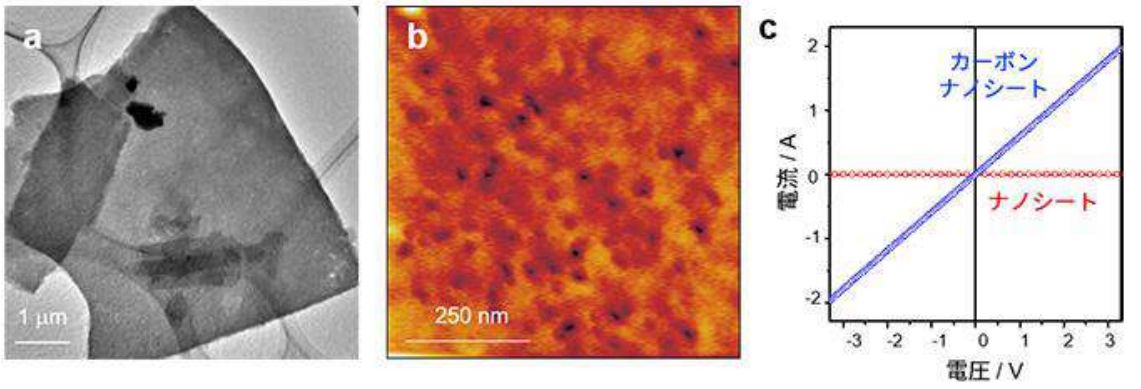

図４　カーボンナノシートの透過型電子顕微鏡像（ａ）と原子間力顕微鏡像（ｂ）および電気伝導特性

さらに、カーボンナノリングへ窒素を持つピリジンを加えたものに同様の手法を用いることで均一な分子薄膜を作製できました。そして、それを焼成することで、窒素を含有したカーボンナノシートを得ることもできました（図５）。Ｘ線光電子分光法（XPS）により、このカーボンナノシートに含まれる窒素は、有用な触媒活性を示す電子状態であることが示されました。

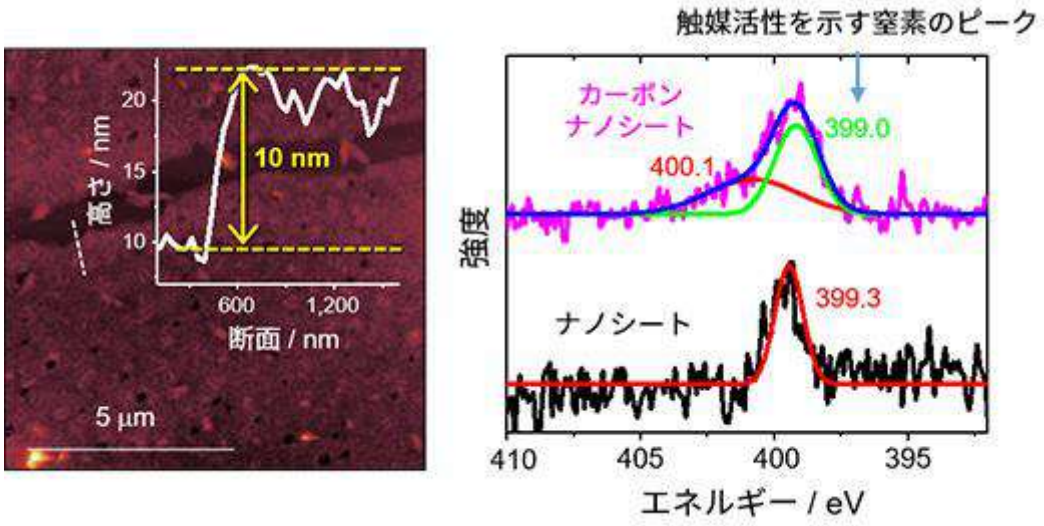

図５　窒素含有カーボンナノシートの原子間力顕微鏡像（左）とＸ線光電子分光スペクトル