

分子のナノ構造を自己組織化によって固体表面上で作成・制御

～英国科学誌「ネイチャー」で発表～

独立行政法人 物質・材料研究機構

独立行政法人 通信総合研究所

独立行政法人 物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）ナノマテリアル研究所（所長：吉原一紘）のナノデバイスグループ（横山 崇 研究員）と独立行政法人通信総合研究所（理事長：飯田尚志）関西先端研究センター（センター長：廣本宣久）のナノ機構グループ（グループ長：益子信郎）の開放的融合研究推進制度（注1）に基づく融合研究グループは、固体表面上で機能性有機分子の自己組織化によるナノ構造を制御することに成功しました。

この結果は、10月11日（木）付けの英国科学誌「ネイチャー」で発表されます。

1. 概要

最近注目されているナノテクノロジーでは、材料を削っていくという従来のデバイス加工技術ではなく、積み木のように原子や分子を組み立てていく方法の開発が重要です。分子に合成化学の手法で様々な特徴を持たせると、固体表面上で“思い通り”の形に分子を組み上げることが可能となり、ナノメートルスケール（ナノは10億分の1）のデバイスを実現出来る可能性があります。また、分子を組み上げることによって、デバイスに必要な導電性や光電変換などの特性が付加出来ると共に、個々の分子からは得られない新しい機能の発現が期待されます。物質・材料研究機構と通信総合研究所の共同研究グループは、機能性有機分子に個々の分子同士を選択的につなげるための“手”と分子を基板から浮かせるための“足”を付けることによって、分子を組み上げる技術を開発しました。

分子は、化学合成法により、“手”の位置や数を精密に変えることによって組み上がり方を制御しました。また、そのシミュレーションを行い分子吸着と自己組織化によって組み立てられる形の予測を行いました。固体表面上で組み上げた分子集合体は、世界最高レベルの分解能を誇る極低温・走査型トンネル顕微鏡（STM）を用いることによって画像として観測しました。実験は物質・材料研究機構と通信総合研究所の共同実験施設のある名古屋市・志段味（しだみ）ヒューマンサイエンスパーク・先端技術連携リサーチセンター（注2）において行いました。

2. 研究成果

ポルフィリン分子は、機能性分子として最も多く研究対象にされている分子の一つであり、例えば光合成をつかさどるクロロフィルや赤血球の中のヘモグロビンやビタミンB12などもポ

ルフィリンがもとになっています。今回開発したポルフィリン分子は、絶縁性のブチル基を“足”として付加することによって、ポルフィリン分子が直接基板に結合することを妨げ、シアノ基を”手“として付加することによって分子同士が自発的に繋がるように工夫してあります。(注3)。図1は、この分子の構造式です。これらの分子を固体表面上で(自己組織化によって)組み上げ、その一つ一つの分子の並び方をSTMで画像化しました。

足だけを付加した場合の分子は、図2(a)に示すように最密充填配列(注4)するが、一つの手(シアノ基)を導入することによって、図2(b)のように3個の分子がシアノ基を中心に三角形を示すように会合しました。さらに、二つの手を隣り合った位置に付加することによって、リングを作るように4個の分子が会合しました(図2(c))。ポルフィリン分子の両端に手を付けた場合、分子は直線状に配列して分子ワイヤを形成しました(図2(d))。図3に示すように、この分子ワイヤの長さは最大で100nm以上にもおよび、分子配線の可能性が期待される。

このように分子の“手”を付加することによって、思い通りに分子集合体を組み立てることが出来ることが明らかになりました。このような研究は、溶液中での結晶化という観点では多く行われてきましたが(注5)、デバイス構築のために重要な固体表面上ではほとんど実現されていませんでした。

この研究は、物質・材料研究機構と通信総合研究所の間で行われている「開放的融合研究推進制度」の一環として行われたものです。

3. 今後の展開

ナノテクノロジーは、21世紀のデバイスのキーテクノロジーと考えられ、特に分子を中心とした分子テクノロジーは世界的に注目され、数多くの研究機関がしのぎを削っています。その中心として開発しなければならないのが、数ナノメートルの領域で自由自在にデバイスを作り上げる技術です。分子には様々な種類の手(置換基)を付加することが可能であり、多種多様な分子の組み方が出来るという特徴があります。今回報告しました分子組み上げ技術の向上によって、一つ一つの部品分子を基板表面上で組み上げ、単位素子が数ナノメートルという新機能性分子デバイス(注6)の実現が期待されます。また、分子の多様性を生かすことによって環境やライフサイエンスのための新たなデバイス・材料開発などに展開することが可能となります。

【お問い合わせ先】

独立行政法人物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所 横山 崇

TEL : 052-736-6011、FAX : 052-736-6012、e-mail yokoyama.takashi@nims.go.jp

独立行政法人通信総合研究所 基礎先端部門 ナノ機構G 益子 信郎

TEL : 078-969-2250、FAX : 078-969-2259、e-mail mashiko@crl.go.jp

用語説明

注1：開放的融合研究推進制度

科学技術振興調整費に基づく研究制度で、異なる研究機関の特徴を融合させて新しい研究領域の開拓を目指す制度。

注2：志段味ヒューマンサイエンスパーク・先端技術連携リサーチセンター

志段味ヒューマンサイエンスパークは、名古屋市が推進するが研究開発拠点。その中で先端技術連携リサーチセンターは、民間・大学・公的研究期間など産学行政の連携を目的とした研究施設。

注3：シアノ(CN)基同士には双極子相互作用が働き、それが分子同士を引き合わせる。

注4：最密充填配列

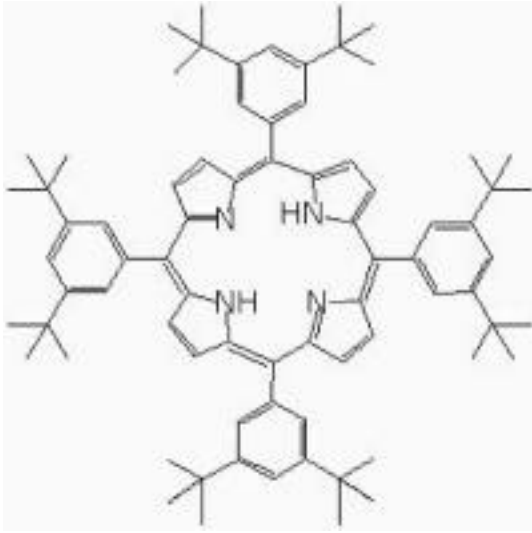
分子が最も密になるように並んでいる様子。ここでは、2次元的に配列し、分子が六角形の様に並んでいる。

注5：分子の手を使って個々の分子を組み立てる手法は、Lehn(レーン)によって1978年に提唱され「超分子化学」と呼ばれている。レーンは、この業績で1987年にノーベル賞を受賞している。現在、幅広く研究されているが、そのほとんどは溶液中での仕事である。

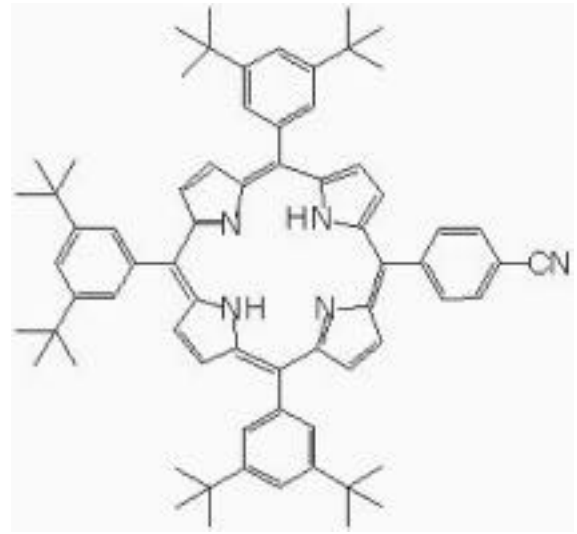
また、DNAもまた4種類の部品分子の組み合わせで構成された分子集合体である。今回の研究は、生物の仕組みの一端を手本として行ったものである。

注6：新機能性分子デバイス

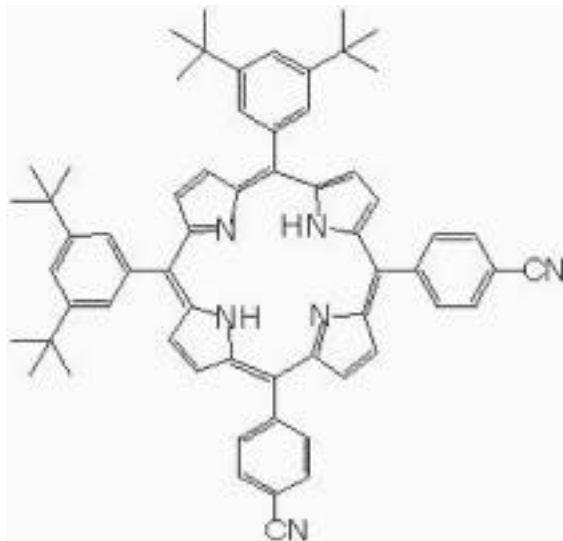
従来の半導体デバイスのサイズより遙かに小さいばかりでなく、分子をデバイスの材料とすることによって、生物が持っている様々なシステムを実現できる可能性がある。たとえば、新規量子機能デバイス、脳型メモリー、超五感センサー、人工生体情報デバイス、ナノ構造を用いたオプトエレクトロニクスなどが考えられている。“新機能性分子デバイス”という言葉は、これらの総称として使用している。



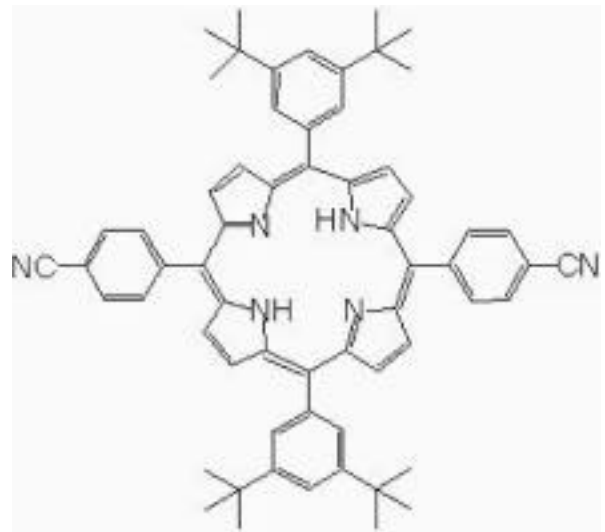
(a) TBPP
ポルフィリンに4つの足を付加



(b) CTBPP
3つの足に1つの手を付加



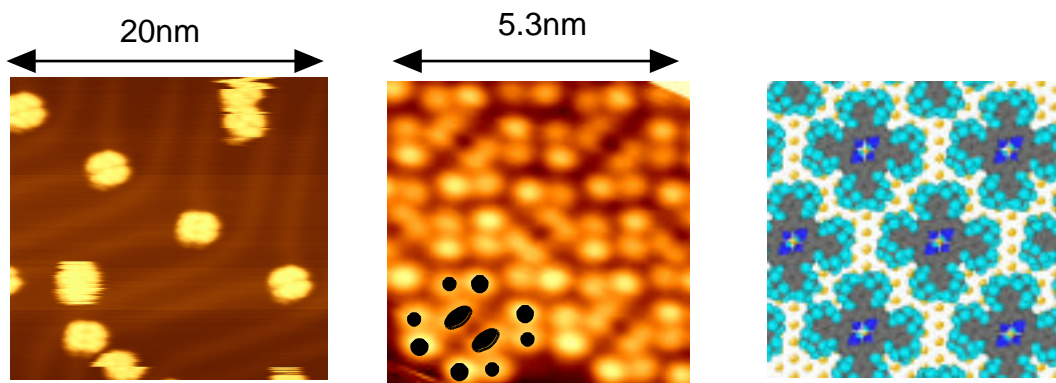
(c) cis-BCTBPP
2つの足に2つの手を隣り合
せに付加



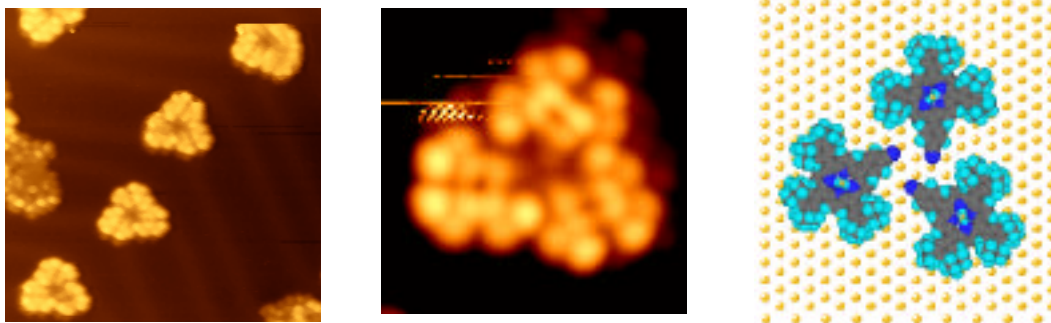
(d) trans-BCTBPP
2つの足に2つの手を向かい
合った方向に付加

図1 ポルフィリン分子構造

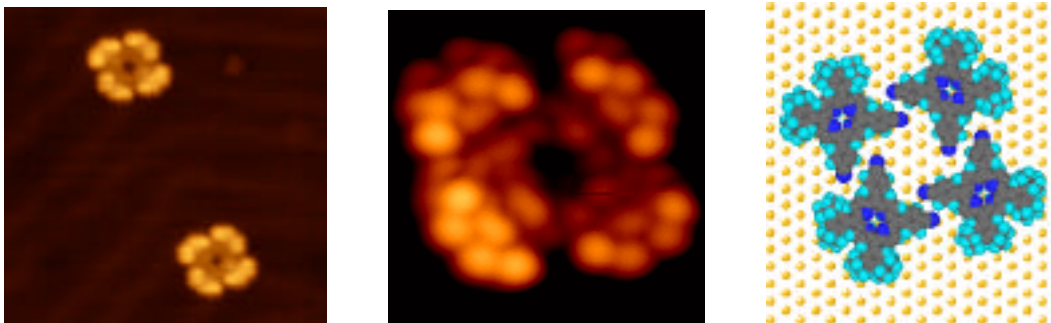
それぞれの分子の中央部がポルフィリン，そこに4つの手や足を付加した．
足として絶縁性のブチル基，手としてシアノ(CN)基を用いた．



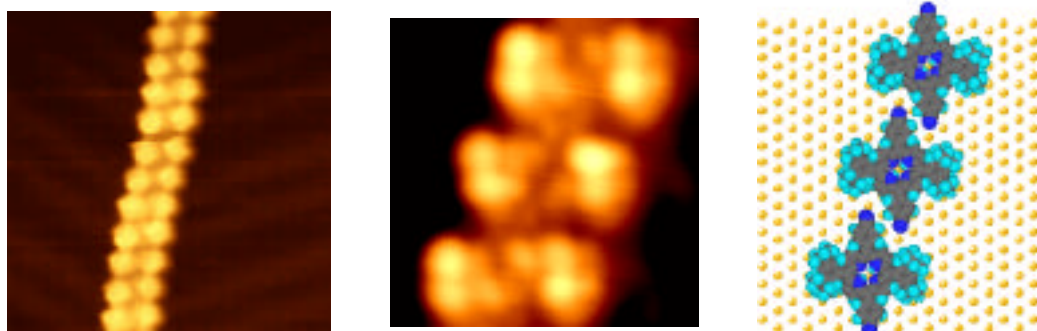
(a) TBPP



(b) CTBPP : 3つの分子が選択的に集まる



(c) cis-BCTBPP : 4つの分子が選択的に集まる



(d) trans-BCTBPP : ワイヤ上に並ぶ

図2 ポルフィリン集合体のSTM像とモデル

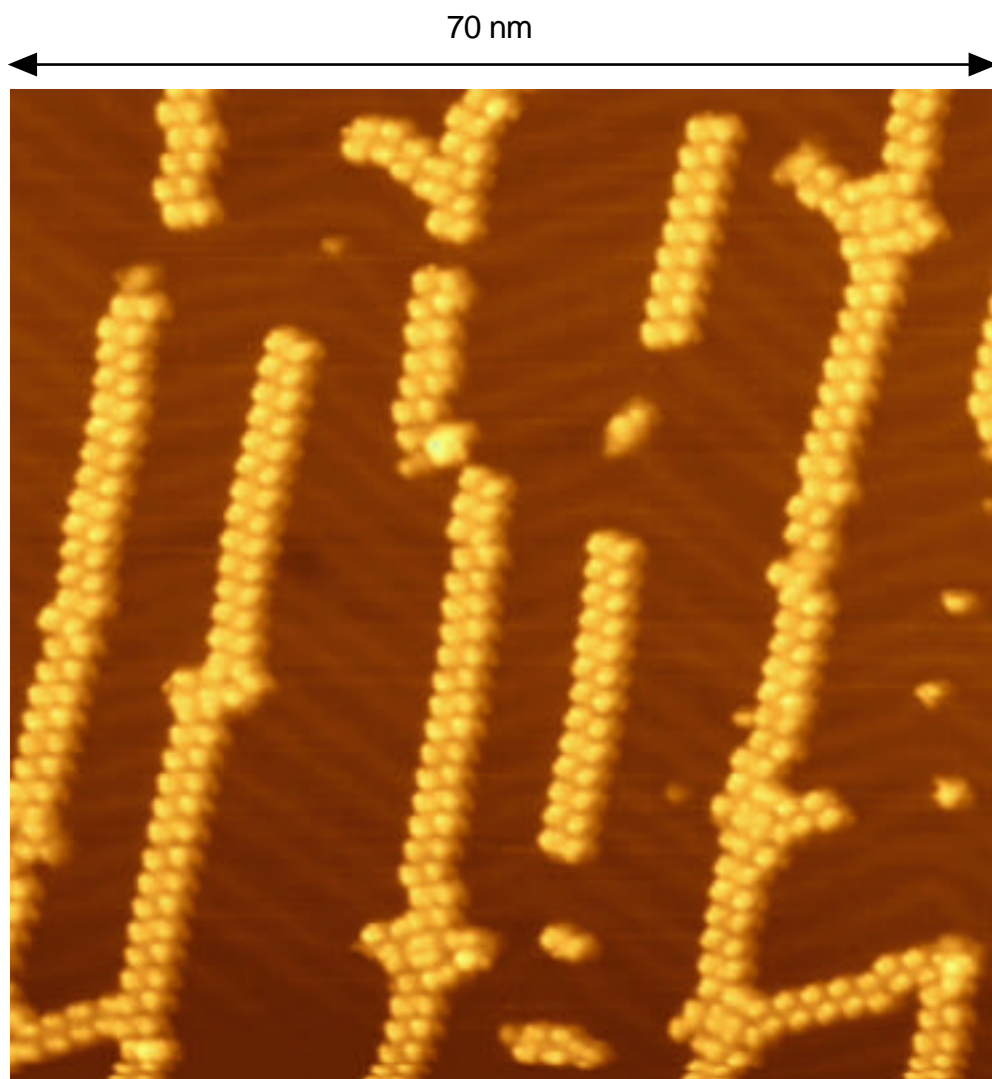


図3 trans-BCTBPP : 表面上に形成した分子ワイヤ