

2 ナノメートルの分子の歯車、ナノサイズでの物質輸送、情報・エネルギー伝達可能なナノマシン実現へ

奈良先端科学技術大学院大学 Gwénaél Rapenne 教授、NAIST-CEMES 国際共同研究室、オハイオ大学 Saw-Wai Hla 教授らの共同研究チームは、隣接させて配置した 2 つの歯車状の分子が、実際の歯車のように互いに噛み合って逆方向に回転することを見いだしました。今回の発見は、分子のような非常に小さな構造体においても、回転運動が実際の機械のような仕組みで伝達される動作を観測した初めての例です。

近年、分子を超微小な機械のように働かせる分子マシンに関する研究では、溶液中での分子の挙動や基板上に吸着した分子 1 つの動きに、研究の焦点の多くが当てられていました。その中で本研究では、数や距離、角度を制御して分子マシンを組織化した構造体の動きの研究を進めてきました。この研究で見いだした知見を拡張していけば、複数種の分子マシンが協同的にはたらく分子システムの構築が可能になると考えられます。このような分子システムは、ナノサイズでの物質の輸送、情報やエネルギーの伝達が可能なナノデバイスへの応用が期待されます。

この研究成果は 8 月 20 日にイギリスの Nature Publishing Group の学術雑誌 Nature Communications 誌に採択され、オンライン上に公開されました (URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-11737-1>)。

今回 Rapenne 教授らは、一方向にのみ回転するプロペラ状の分子モーターを用いて、2 つの噛み合わせ歯車を創りました。実際の歯車のように 2 つのプロペラ状の部分が噛み合いながら、互いに逆方向へ回転し、実際の分子間で機械運動が伝達することを初めて実証しました。

具体的には、これまでに Rapenne 教授らのグループにより開発された分子モーター (図 1 (a) 左図) を金属基板上に吸着させたところ、5 つのベンゼン環を持つ部分を土台にして、三脚型の分子ユニットが上向きに吸着していました。金属基板上に吸着したこの分子は、金属基板に接している土台部分の 5 つのベンゼン環が右または左に傾くことで、上部の三脚ユニットがプロペラ状の右巻き (P 体) と左巻き (M 体) の構造をとっていることが STM 観察から明らかになりました (図 1 (a) 右図)。プロペラ部分を STM の探針を用いて操作すると、右巻きの分子では、プロペラ部分が反時計回りに、左巻きの分子では、プロペラ部分が時計回りに一方向に回転しました。この一方向への回転は、土台部分とプロペラ部分がラチェットのように働いているためです。

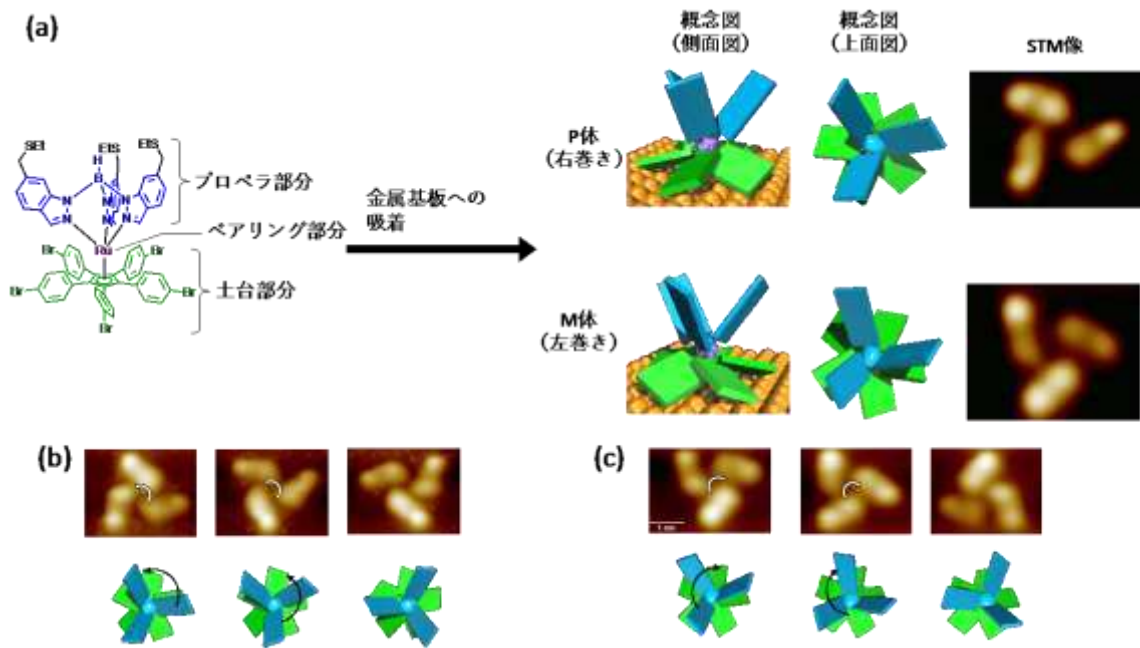


図 1 (a) 分子モーターの化学構造と金属基板に吸着したときの概念図とその STM 像
 (b) 右巻き構造の分子モーターが反時計回りに回転している STM 像およびその概念図
 (c) 左巻き構造の分子モーターが時計回りに回転している STM 像およびその概念図

さらに、右巻きの分子モーターと左巻きの分子モーターが、基板上で隣接して配置されたときの回転の挙動についても検討を行いました。その結果、一方のプロペラ部分を回転させると、隣り合うプロペラ部分が、あたかも歯車のように噛み合いながら逆方向へと回転することが分かりました (図 2)。この結果は、"歯車が噛み合うことで運動が伝達される"という、ごく一般的な現象が、ナノサイズの分子においても実現ができることを示した初の結果です。

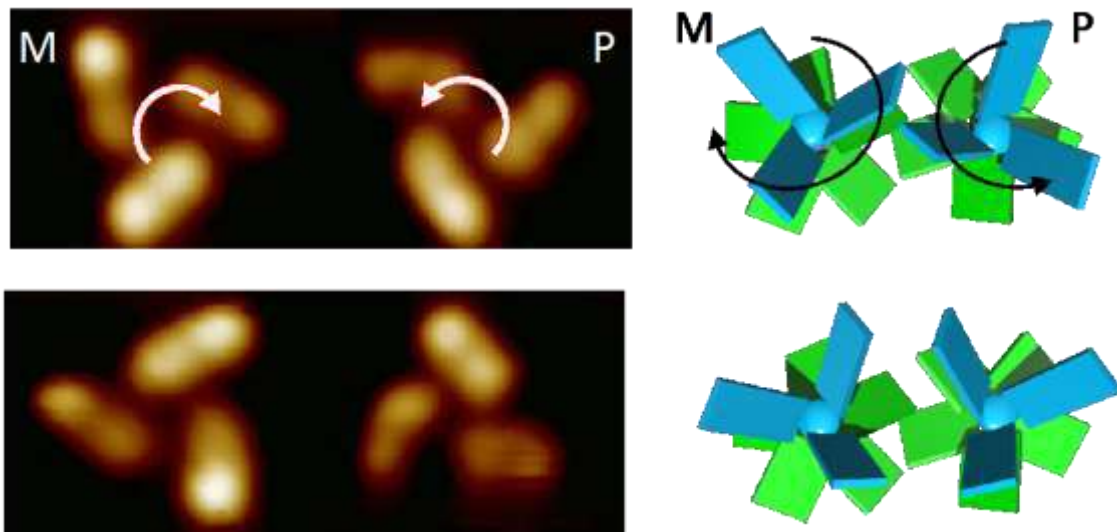


図2 近接した右巻き（M体）と左巻き（P体）の分子モーターのプロペラ同士が噛み合っ
て、互いに逆回転をしている様子のSTM像とその概念図。

日文新聞发布全文 <https://www.naist.jp/pressrelease/2019/09/006151.html>

文：JST 客观日本编辑部翻译整理