

無機材料結合ペプチドで創るナノマテリアル

石田 丈典

ナノテクノロジーの分野において、ナノスケールで数種類の材料を組み立てることにより新しい機能を持ったナノマテリアルを創ることは重要なテーマとなっている。ナノマテリアルを制御しながら組み立てる方法として、固体表面に結合するペプチドを利用することが検討されている。このようなペプチドの多くは、無機材料を標的としたファージディスプレイ法によって取得されている。ファージディスプレイ法は、ファージと呼ばれる大腸菌に感染するウィルスの表面にランダムな配列を持つペプチドを提示させる方法である(図1)。ファージライブラリーと呼ばれるいろいろな配列のペプチドを提示したファージの集団から、標的分子に結合するファージクローンを選び出すことができる。2000年に、Belcherらの研究グループが半導体に結合するペプチドを取得したという報告を境に、ファージディスプレイ法の応用範囲が無機材料へと大きく広がり、これまでにさまざまな無機材料に対する結合ペプチドが取得されている²⁾。現在、主だった無機材料(金属、金属酸化物、半導体、磁性体など)に対する結合ペプチドの単離はほぼ完了しているが、これらのペプチドを応用した例はまだ多くはない。そこで、本稿では無機材料結合ペプチドを利用した二つの応用研究を紹介したい。どちらも、Belcherらの研究グループが行っており、無機材料結合ペプチドを提示したファージを利用して金属酸化物のナノワイヤーを作製し、リチウムイオンバッテリーや人工光合成へ応用した研究である。

一つめは、ファージを足場として酸化コバルト(Co_3O_4)のナノワイヤーを作製し、リチウムイオンバッテリーへと応用した研究である。自然エネルギーや電気自動車などの新しい社会インフラを整備するためには、バッテリーの性能を高める必要がある。Namらは、4つの連続したグルタミン酸(EEEE)の配列を持つペプチ

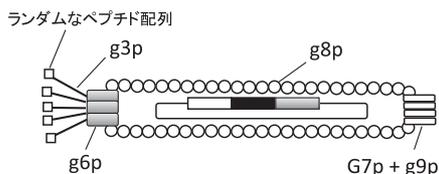


図1. ペプチドを提示したファージM13の模式図。繊維状ファージM13は環状の一本鎖ゲノムDNAを持ち、そのまわりに約2700分子のメジャーコートタンパク質(g8p)と4つのマイナーコートタンパク質(g3p, g6p, g7p, g9p)によって覆われた細長い筒状の構造(長さ1 μm , 直径6–7 nm)で、大腸菌に感染して増殖する。図はg3pにペプチドを提示したファージM13を示している。

ドをg8pタンパク質に融合させたファージM13を足場として利用し、酸化コバルトのナノ粒子を高密度に、かつ規則正しく配列させたナノワイヤーを作製した³⁾。グルタミン酸(E)がもつカルボキシル基に正電荷を持つコバルトイオンが結合するため、ファージ表面一面にコバルトイオンが結合し、それを核に2から3 nmの均一な直径を持つ酸化コバルトのナノ粒子がファージ上に高密度に形成され、最終的にナノワイヤーにまで成長した。この酸化コバルトナノワイヤーをリチウムイオンバッテリーの陰極として使用したところ、従来のカーボン製の陰極より高い充放電容量($\text{mA} \cdot \text{hour/g}$)が得られた。

二つめは、光増感剤と触媒の二種類の材料をファージ上に高密度に集積させてナノワイヤー化することで、可視光により水を酸化することを可能とした人工光合成についての研究である。現在、太陽光を使って水を水素と酸素に分解し、水素を新たなエネルギー源として開発する研究が活発に行なわれている。水から水素を取り出すには、まず水を酸化する必要がある。その触媒として、金属酸化物が研究されているが、通常紫外線しか利用できない事が効率の面で問題となっている。そこで可視領域の光も利用できるように、金属酸化物と光を捕集する物質(光増感剤)を組み合わせたことが検討されているが、それぞれの配置を制御する事が必要となる。Namらは、酸化イリジウム(IrO_2)に結合するペプチド(AGETQQAM)をg8pに提示したファージM13を足場として利用し、触媒である酸化イリジウム(IrO_2)と光増感剤であるZn(II) deuteroporphyrin IX 2,4 bis-ethylene glycol (ZnDPEG)を高密度に集積させたナノワイヤーを作製した⁴⁾。ZnDPEGが可視光を吸収し、触媒がそのエネルギーを利用して水を酸化する。作製された IrO_2 -ZnDPEGナノワイヤーは、固定化していないものと比べ4倍程度効率よく水を酸化した。

無機材料に結合するペプチドを利用して、金属酸化物のナノ粒子を形成させナノワイヤーを作製し、バッテリーや触媒へと応用した例を紹介した。これまで二つ以上の材料を秩序良く高密度に配列させる事は非常に困難であったが、生体高分子を足場として活用すれば実現できると考えられる。無機材料に結合するペプチドを利用した応用研究は、今までにない新しいナノ材料を創製できる可能性を秘めており今後の発展に期待したい。

- 1) Whaley, S. R. *et al.*: *Nature*, **405**, 665 (2000).
- 2) 芝ら: バイオミネラリゼーションとそれに倣う新機能材料の創製, p.273 (2007).
- 3) Nam, K. T. *et al.*: *Science*, **312**, 885 (2006).
- 4) Nam, Y. S. *et al.*: *Nat. Nanotechnol.*, **5**, 340 (2010).