	領域代表者	千葉大学・大学院工学研究院・教授 矢貝 史樹 (やがい しき)	研究者番号:80344969
	研究領域情報	領域番号: 23A203 キーワード: メゾスケール、超分子、自己集合、階層性、分子集合体	研究期間: 2023年度~2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

これまで化学者は、有機合成を駆使して多様な「かたち = 意義のある構造」を持つ分子を作ってきた。これらの分子のスケール（サイズ）は数ナノメートル（1ナノメートル = 髪の毛の10万分の1の太さ）であり、かたちに基づく多様な機能を示す。これはナノテクノロジーという技術の一つと言える。一方、我々の体の中では、さまざまな分子、例えばタンパク質やDNA等が集まる（自己組織化）ことで、より大きなスケールで意義のあるかたちが作られている。例えば光合成生物ではリング構造が光を集める役割を担い、あるいは我々の体の動きの多くはリングやシリンダーなどのかたちの噛み合いに基づいている。このナノスケールよりも一桁あるいは二桁大きなスケールは、メゾスケールと呼ばれ、化学者が最もかたちを造りにくい領域とされてきた。

本領域で我々が問いかけたいのは、生体のように分子を集めることで、メゾスケールという従来の分子に基づくナノテクノロジーに比べ桁あるいは二桁大きなメゾスケールという領域で多様なかたちを作ることができないか？ということである。このメゾスケールという領域への拡張により、私たちは造りあげたかたちやそれらの動きを直接みながら研究することができる。また、これらのメゾスケールの構造は、従来の分子のようにマクロスケールまで集合させなくても、何らかの機能を示すと期待される。我々は、このようなメゾ領域における「かたち」の制御と機能との相関を明らかにすることで、メゾサイエンスとメゾテクノロジーを展開する。

我々の問いかけ

分子によって造られる
ナノスケールのかたちを

- ・メゾスケールで造ることができるか？
- ・直接観て研究できるか？
- ・それらをそのまま動かせることができるか？

我々はメゾスケールにおける新しい
マテリアルサイエンスとテクノロジーを
生み出すことができるか？

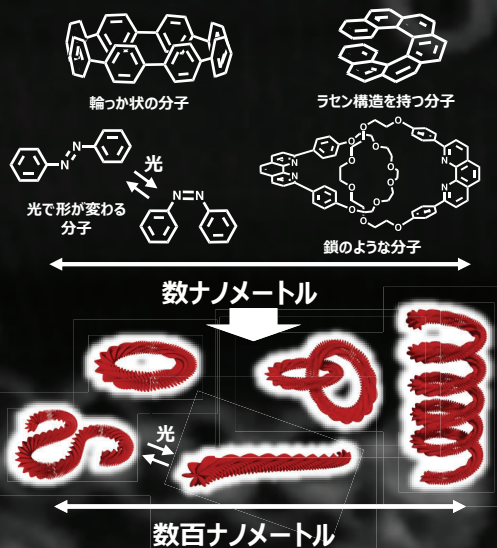


図1 本領域のコンセプト

●階層性が鍵を握る

本領域でもう一つ重要となる概念が、階層性（ヒエラルキー）である。小さな分子を一度に集めてマクロスケールまで発散せずにメゾスケールという大きなかたちを作り上げることは困難である。そこで、階層性を利用する。分子からあるかたちAを、Aを集めてより大きなかたちBを、さらにBを集めてメゾスケールのかたちCを、という階層的なアプローチを活用する。このようにして造り上げたさまざまなメゾヒエラルキー構造の機能を探ることが本領域の目的となる。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●メゾヒエラルキー構造を造る・観る・測る・使う・考究する

我々が今回本領域を立ち上げるきっかけとなったのが、図2に示す世界初となるメゾヒエラルキー構造の創成である。この例では、分子から超分子、超分子からナノ構造、そしてナノ構造からメゾ構造へと、分子を階層的に組織化することで、ナノサイズのリングがつながったメゾスケールの鎖構造を実現した。この階層制御によるメゾスケール構造を作る方法論は多様な物質に適用でき、さらに別の方法論もほかに存在する（図3a）、あるいは開発可能と期待される。

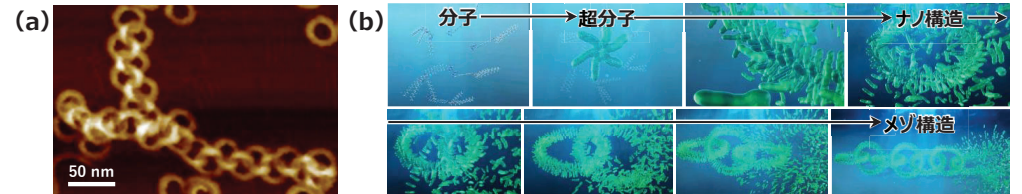


図2 分子の階層的組織化によって形成されるメゾヒエラルキー構造の原子間力顕微鏡画像 (a) 及びその形成過程のCGアニメーション (b) (<https://www.youtube.com/watch?v=glzqiq11cXYc>)

本領域で我々は、これらのメゾヒエラルキー構造を造るだけでなく、図3の(b~f)に示したように、特殊な顕微鏡技術を用いて観察し (b)、それら内包する光/電子物性を測定し (c)、それらの構造が示す光 (d) や力 (e) の機能を探り、さらに各階層の分子間相互作用に基づきメゾ構造が形成される過程をシミュレーションにより予測し、新たな構造を生み出す原理を解明する (f)。

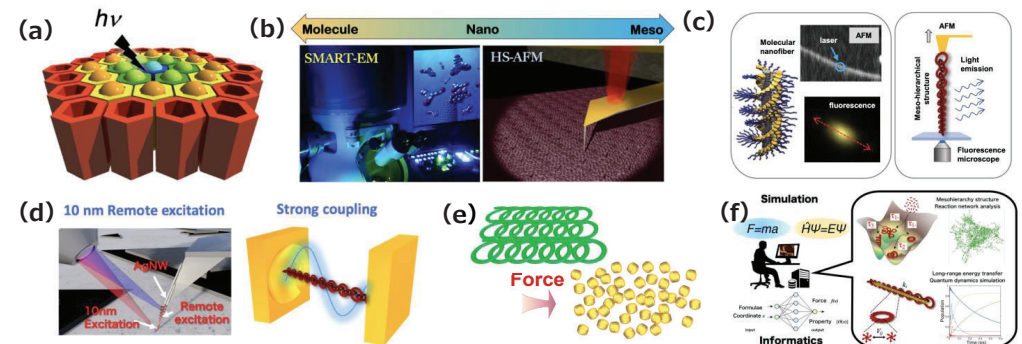


図3 メゾヒエラルキー構造を造り、研究するための様々な技術

●波及効果

我々は、上記した様々な技術を結集し、これまで実現が不可能であったメゾスケールの様々な材料を創製し、それらの機能を探求する。例えば、タンパク質等の微小物質の直接操作が可能なメゾアクチュエータ、超高感度放射光センサー、細胞等にかかる力の計測が可能なメゾスケールメカセンサー、メゾスケールの光エネルギー輸送を活用した励起子回路などが例として挙げられる。我々は、これらの具体例を提示しつつ、メゾヒエラルキー構造を形成させるための体系的な理論を打ち立て、それらを多様な物質に展開する。これにより、従来のナノテクノロジーからメゾテクノロジーへの展開を国際的に先導する。

●若手人材育成

本領域では、領域内の学生も含めた若手研究者が一堂に会する場を設け、博士後期課程への進学意欲の向上、研究者を目指す意識の醸成、異分野への興味の拡大、アカデミアでのモデルケースとなる研究者との邂逅など、それぞれの研究室で単純に研究に取り組んでいるだけではあまり起きない事象が頻発する環境を整える。また、国内研究者交換プログラムや、海外留学の機会も積極的に提供する。これらの取り組みにより、意識の高い若手研究者を多数輩出することができ、日本の科学技術にとって大きなプラスとなることが期待できる。



図4 メゾヒエラルキーの物質科学 (上) と若手会 (下) のロゴ