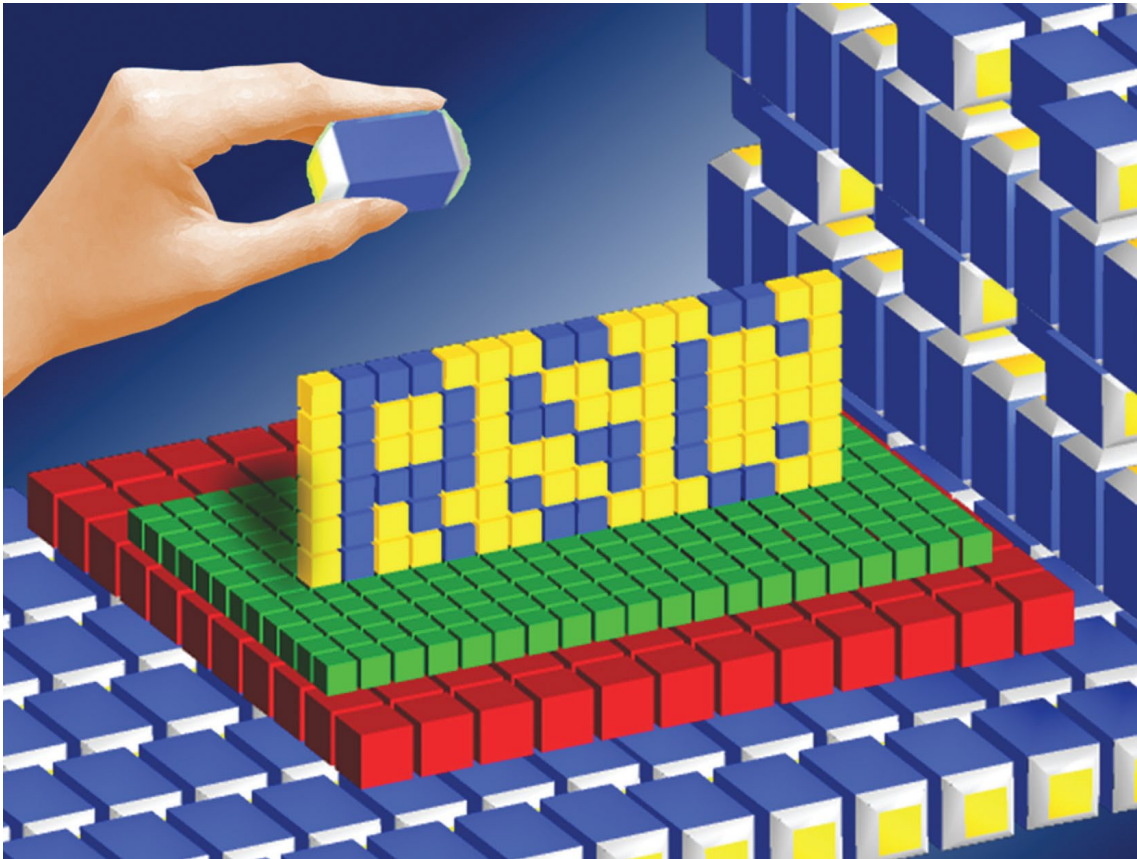


ナノブロック



研究背景

ナノブロックとは、様々な形状を持つナノサイズ結晶です。均一なサイズを持つナノブロックは、自発的な集積 (= 自己集合) によって自形を反映した高秩序な集積体を構築します。こうした集積体の形成は、削る、砕くといったプロセスとは異なる新たな構造デザインとして注目を集めています。特に立方体ナノブロック (= ナノキューブ) や直方体のナノブロック (= ナノ直方体) では、特定面が接合して配列構造内の結晶方位がそろえることが特徴です。このようにナノ結晶が方位をそろえて集積した構造はメソクリスタルと呼ばれ、機械特性、磁気特性、誘電特性、光触媒特性などにおいて優れた性能を発揮することから、機能材料の新規構造として重要です。

我々はナノキューブ、ナノ直方体、ナノロッド等のナノブロックを用いて集積体を作製し、それらの機能発現を目指して研究を行っています。積木を組み上げるようにナノブロックを自在に組み合わせて任意な形態に配列させることで、革新的な機能を生み出す材料の作製を目指します。

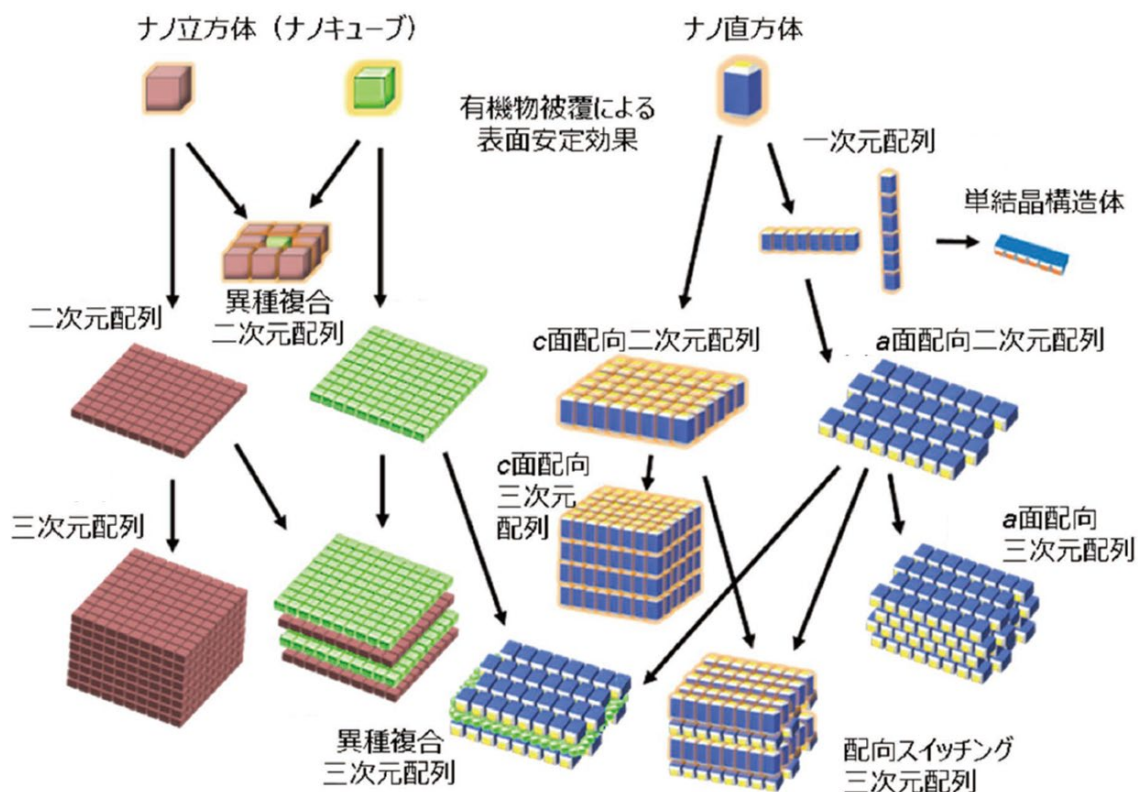


Fig. 1 ナノブロックによる様々な構造デザイン

研究内容

● ナノブロックライブラリーの構築

集積体の作製に用いられるナノブロックは液中で凝集せず安定に分散するために有機分子に被覆されているので、ブロック自体の組成に関係なく様々な構造を作製することができます。したがって、様々な物質のナノブロックを合成してライブラリーを作ることによって、目的に応じた機能性材料の作製が可能です。そこで、水熱法やソルボサーマル法を用いて、様々な種類の金属・金属酸化物・炭酸カルシウム等のナノキューブ、ナノ直方体、ナノロッドを合成しました。立方体や直方体などの特異な形状は、有機分子が表面に付着して特定面の形成を促すことで形成されています。

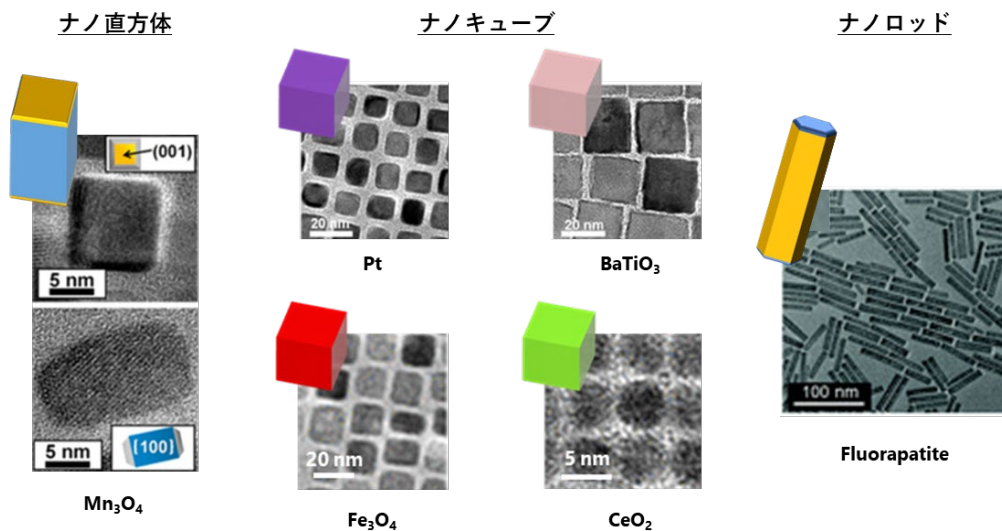


Fig. 2 ナノブロック

● ナノブロック集積手法

液中に分散したナノブロックを主に分散媒の蒸発や組成変化を利用して自己集合させ、集積体を作製しています。分散媒の蒸発を利用した移流集積法 (Fig. 3) では、ナノブロックを分散させた分散液中に基板を浸漬して、分散媒の蒸発や分散媒組成変化にともない生じるマランゴニ流等の対流、気液界面・気液固界面でナノブロック間に働く横方向の毛管力を利用して自己集合します。また、沈降法 (Fig. 3) では分散媒の極性の変化を利用してナノブロックを液中で凝集・沈降させることで大規模な三次元集積体を作製することが可能です。こうした配列手法を様々な条件を制御することによって、一次元から三次元の配列体の自在な構築が可能となっています。

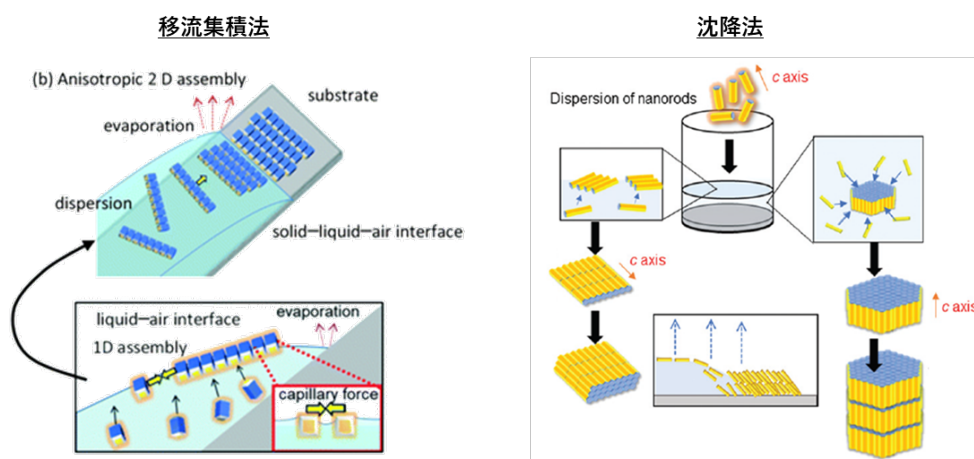


Fig. 3 ナノブロックの集積手法

● 一次元配列体の形成

ナノ直方体は面積の大きい面を合わせて配列する傾向があります。これは集積体の総表面エネルギーを減少させるため安定だからです。この性質を活かし、ある条件において、移流集積法によりナノ直方体の一次元配列体を得ることができました (Fig. 4)。一方で表面に吸着する分子を交換することで小さい面を選択的に合わせた一次元配列体も得られています (Fig. 4)。また、TiO₂ ナノ直方体では、一次元配列した結晶表面に吸着した有機分子を紫外線照射によって光触媒効果で分解することによって、ナノブロック同士を結晶学的に融合させることができました (Fig. 4)

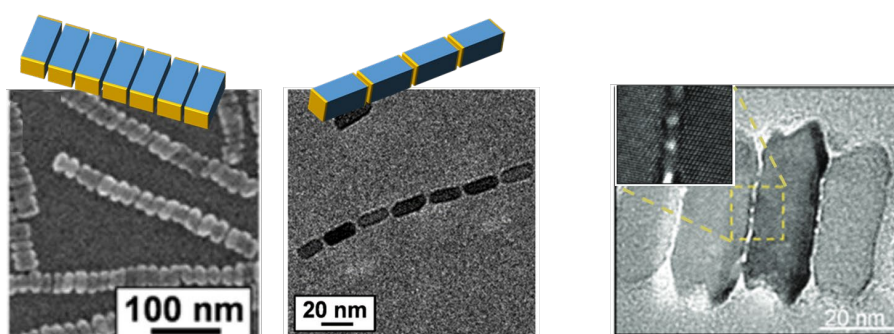


Fig. 4 ナノブロック一次元配列体

● 二次元配列体の形成

ナノキューブをヘキサソールとトルエンの混合溶媒に適切な粒子濃度で分散させ、移流集積法により、基板上に二次元配列体を得ることができました (Fig. 5)。また、異なるサイズのナノキューブを混合することで異種複合配列体を作製することができました (Fig. 5)。

また、ナノ直方体のある条件で分散させることで、移流集積法により一次元配列体が平行に隙間なく配列した二次元配列体を得ることができました (Fig. 6)。一方で他の条件では、ナノ直方体の正方形面が表出した、タイプの異なる二次元配列体が得られました (Fig. 6)。また、溝が入った基板を用いることで配列方位を制御することにも成功しました。幅・深さが 500 nm の溝入基板上に移流集積法によりナノ直方体の二次元配列体を形成すると、溝上段面には側面を表出した配列体が、溝底面には正方形面が表出した配列体がそれぞれ形成され、周期的な結晶方位のスイッチングに成功しました (Fig. 6)。

また、有機分子で被覆し液中で分散したナノロッドを移流集積することで、気液固界面に平行に配列した二次元配列体を得られました (Fig. 6)。一方で蒸発を抑制した手法で集積するとランダムな集積体を得られたことから、蒸発にともなう気液固界面への流れが配向構造体の作製に必要であることを明らかにしました。

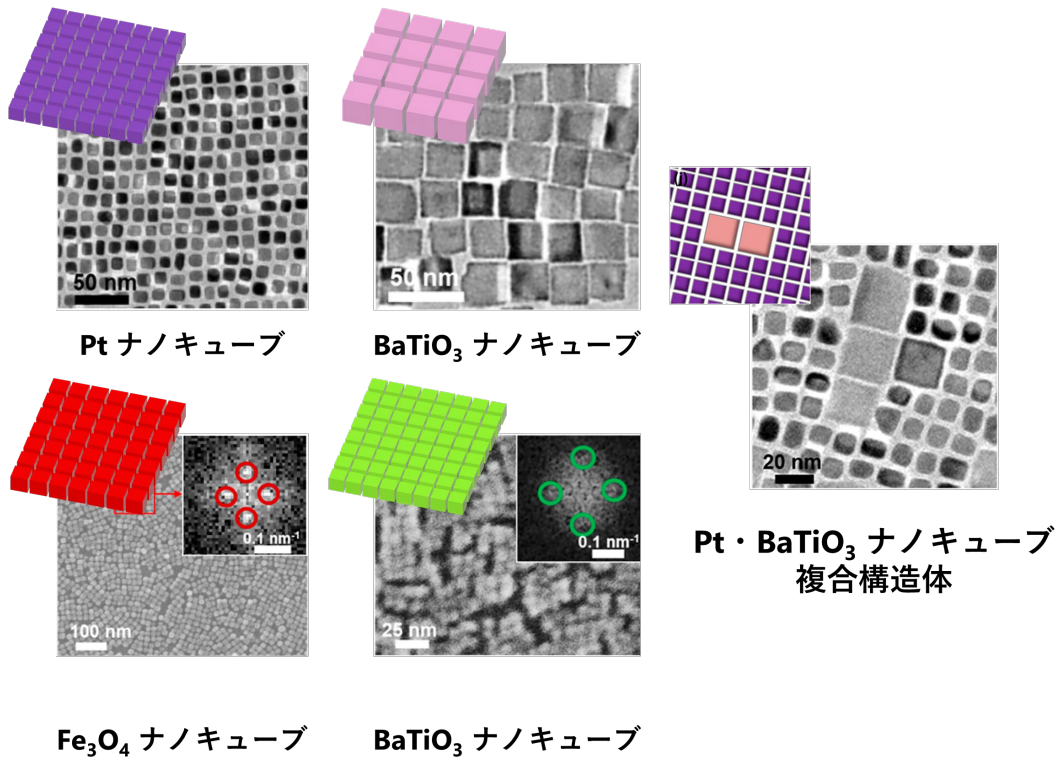


Fig. 5 ナノキューブ二次元配列体とその複合構造

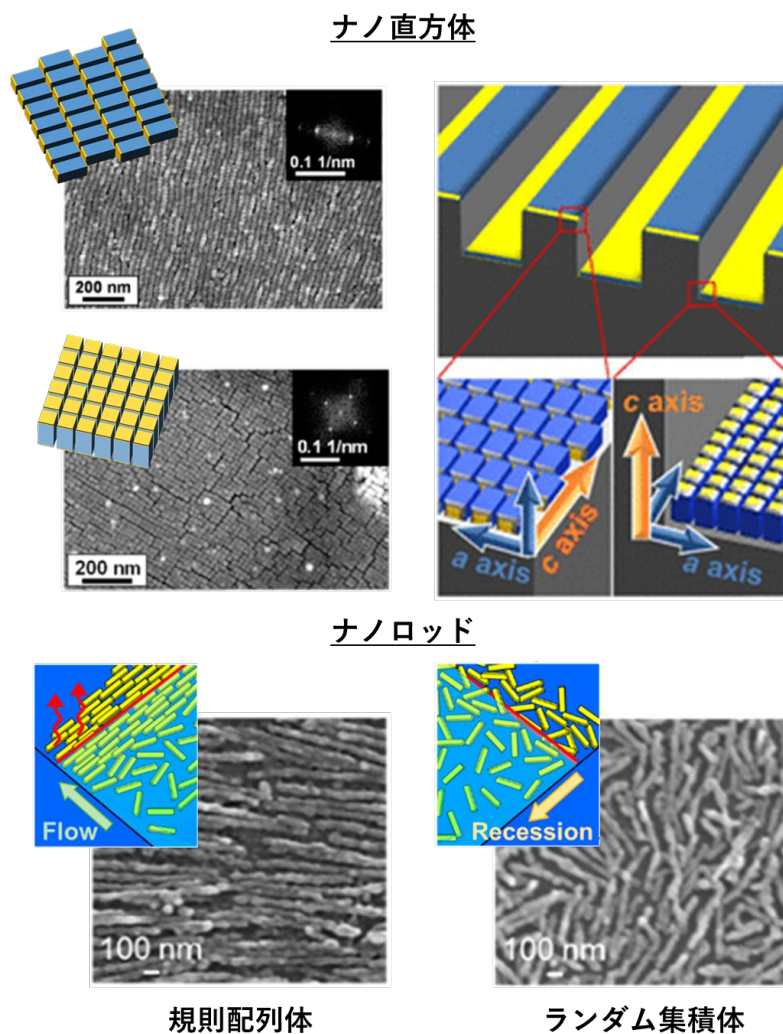


Fig. 6 ナノ直方体およびナノロッドの二次元配列体

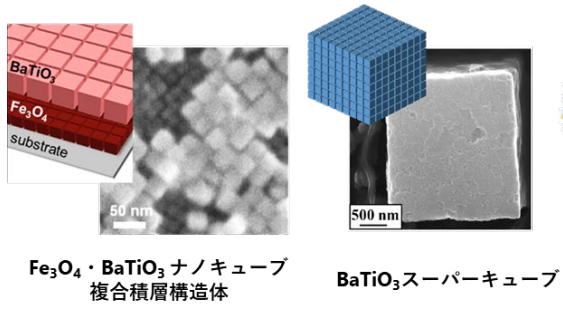
● **三次元配列体**

ナノキューブの異種二次元配列体を交互に積層することで、複合積層構造体を作製しました。また、分散液中のナノキューブを高濃度化させることにより、スーパーキューブと呼ばれる三次元配列体の作製に成功しました。

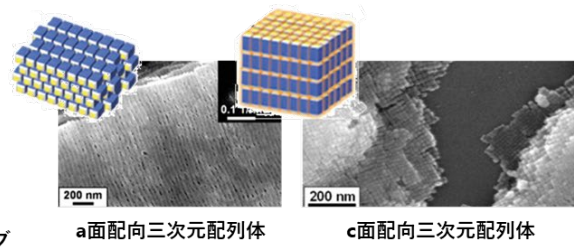
ナノ直方体について、濃度調整により二次元配列体が積層した三次元配列体が得られました。また、結晶方位の異なる二次元配列体を交互に積層させることで結晶方位が周期的に変化する積層体の作製に成功しました。

また、ある条件で分散させたナノロッドを分散媒の蒸発を利用して基板上に沈降させると Fig. X に示すように大規模な垂直配列体を形成することができました。これは有機分子に被覆されたナノロッドが、良分散媒の蒸発にともなってロッドの側面を合わせて凝集し、基板上に沈降することで形成されます。

ナノキューブ



ナノ直方体



ナノロッド

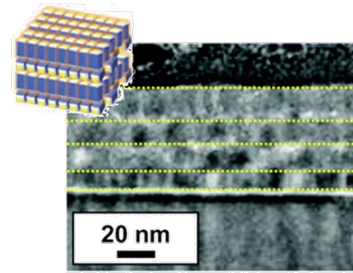
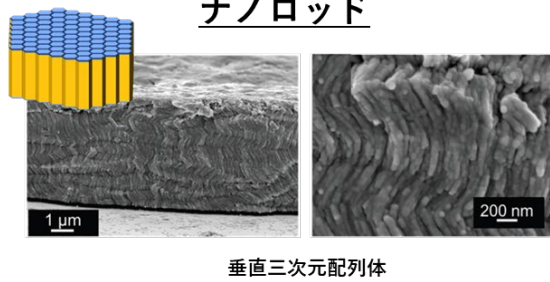


Fig. 7 ナノブロック三次元配列体

➤➤➤関連リンク [磁性体](#) [蛍光体](#)