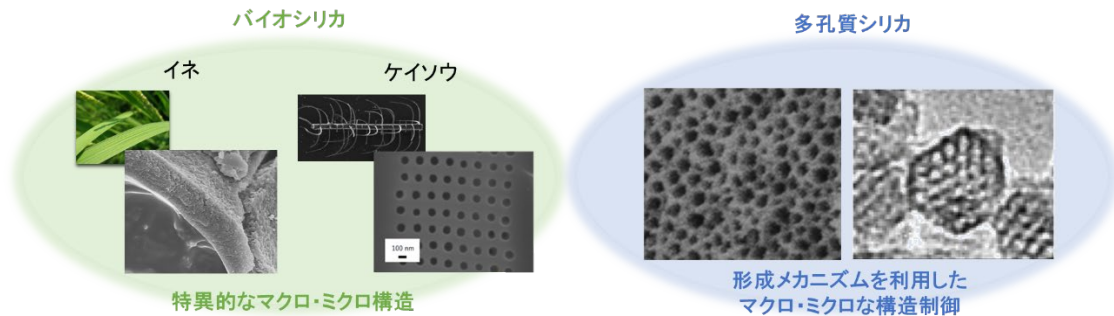


スーパーマイクロポーラスシリカ

研究背景



イネやケイソウといった生物は体内に特異的な構造を有するシリカナノ粒子や多孔質構造を有するシリカ殻を有します。機械的強度の向上だけでなく、特異なファン型構造やチャンネル構造で光を集め効率的な光合成を行うという役割も担っています。

材料化学の分野でも、生体に倣いシリカのマクロ・ミクロな構造制御することで、高機能性材料の開発が進んでいます。中でもシリカゲルに代表される多孔質シリカはナノメートルスケールの無数の細孔を有するシリカであり、乾燥材や脱臭剤など私たちの身の回りに広く用いられています。

近年では、界面活性剤の形成する、球状、ロッド状、膜状といった様々な液晶構造体(ミセル)の周りでシリカを合成することで得られる、規則配列し、サイズのそろった細孔を有する多孔質シリカが高機能性材料として注目を集めています。この多孔質シリカの中で、孔径 2~50 nm のものをメソポーラスシリカ (MPS)、2 nm 以下のものをスーパーマイクロポーラスシリカ (SMPS) と分類されます。我々の研究室では、生物に倣った MPS の形態制御や、ミセル形成のメカニズムに基づいた細孔制御による SMPS の合成、細孔空間で起こる特異的な現象、細孔内で合成できる 1 nm の超微粒子の研究を行っています。

研究内容

● 規則配列した細孔を有するメソポーラスシリカのナノ粒子化

代表的な MPS である MCM-41 は細孔が蜂の巣状(六方配列)に規則的に並んだ構造をとっています。細孔系が制御され、細孔の向きがそろった構造は、高い強度を有するだけでなく、吸着物や反応基質などの拡散を有利にし、有害物質の吸脱着や、微小空間での化学反応などに有効です。

粒子が数十 nm まで微小化されたメソポーラスシリカは、物質のメソ孔へのアクセス性が向上されるため、シリカの細孔の機能を最大限に発揮できる形態です。しかし従来は粒子

の微小化によって本来有している細孔の六方配列が乱れてしまうという課題がありました。

我々の研究室では、非イオン性の界面活性剤を用いて MPS の粒成長を抑制することで、メソ孔の規則的配列を維持したまま 20~50 nm ナノ粒子状の MPS の合成に成功しました。

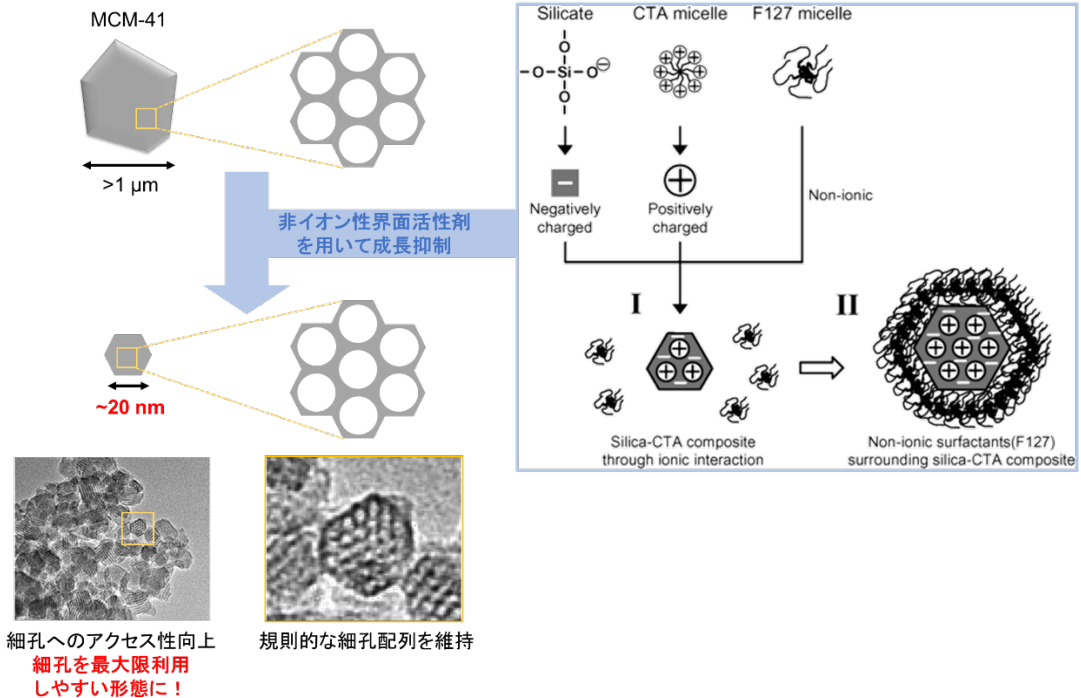


Fig.1 メソポーラスシリカのナノ粒子化

● ケイソウの殻に類似した垂直配向したマクロチャンネルを有するメソポーラスシリカ

ゲル化過程の制御によるメソポーラスシリカの形態制御も可能です。我々の研究室では、シリカの成長速度・方法を制御することで、ケイソウに類似した垂直配向マクロチャンネルを有する薄膜 (Fig.5) の合成に成功しています。このマクロチャンネルの側壁は無数のメソポーラスシリカナノ粒子で構成されています。ケイソウが光合成をするときにように、規則配列したチャンネルで光を集めることで、光触媒と複合化した際にその活性を大きく向上させることができます。

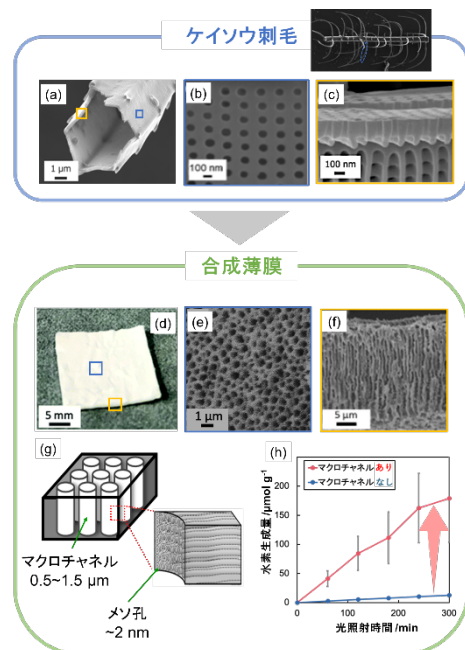


Fig.2 (a)ケイソウ刺毛 (b)表面 (c)断面 (d)マクロチャンネル薄膜 (e)表面 (f)断面 (g)合成薄膜の模式図 (h)マクロチャンネルの有無と光触媒活性

- メソポーラスからスーパーマイクロポーラスシリカへ

ポーラスシリカは界面活性剤のミセルの形態・サイズにより、その細孔構造と細孔サイズが決まります。しかし、水中では1 nm サイズのミセル形成が困難だったために約1.5 nm以下の細孔のSMPSの合成は未達成でした。そのため、結晶構造由来の細孔を有するゼオライトの細孔(約0.7 nm)とMPSの細孔(1.5~2.0 nm)の間には制御不能な空白領域が存在しました。

我々の研究室では、シリカの前駆体であるシリケートイオンと界面活性剤が強く相互作用した場合に、ミセル形成が促進されることに着目し、これまで未達成であった0.7~2.0 nmの範囲で任意の径の細孔を有するSMPSの合成に成功しました。

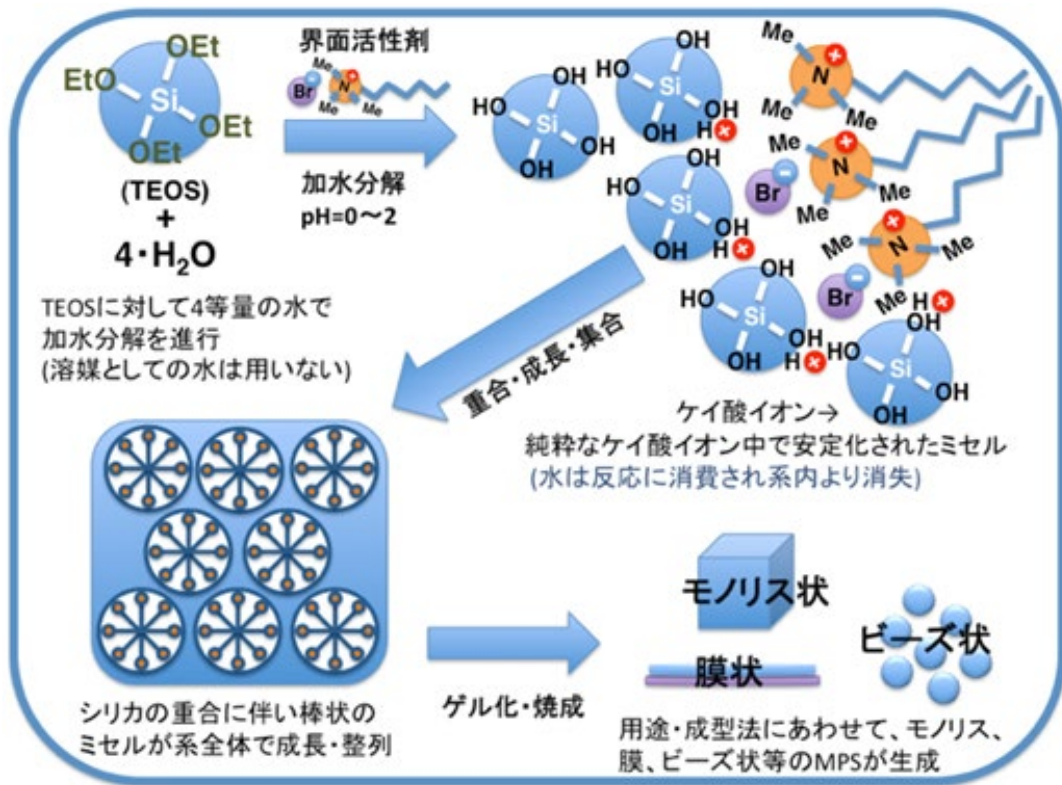


Fig.3 SMPS 合成スキーム

- 分子サイズに応じた細孔径制御による VOC 吸着特性の向上

スーパーマイクロポーラスシリカはそれ自身が高性能な吸着剤として機能します。トルエンなどの有害な揮発性有機化合物 (VOC) を効率的に吸着するには、吸着質と同じくらいの大きさの細孔をデザインする必要があります。トルエンの場合、分子サイズと同程度な 0.8 nm の細孔を有する SMPS で最も効率よく吸着が起こることを見出しました (Fig.3)。対象の吸着分子のサイズに合わせて細孔径を精密にコントロールすることによって、優れた吸着性を可能にします。

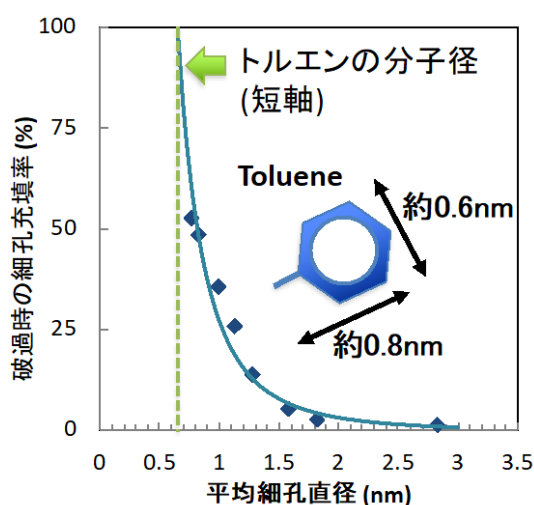


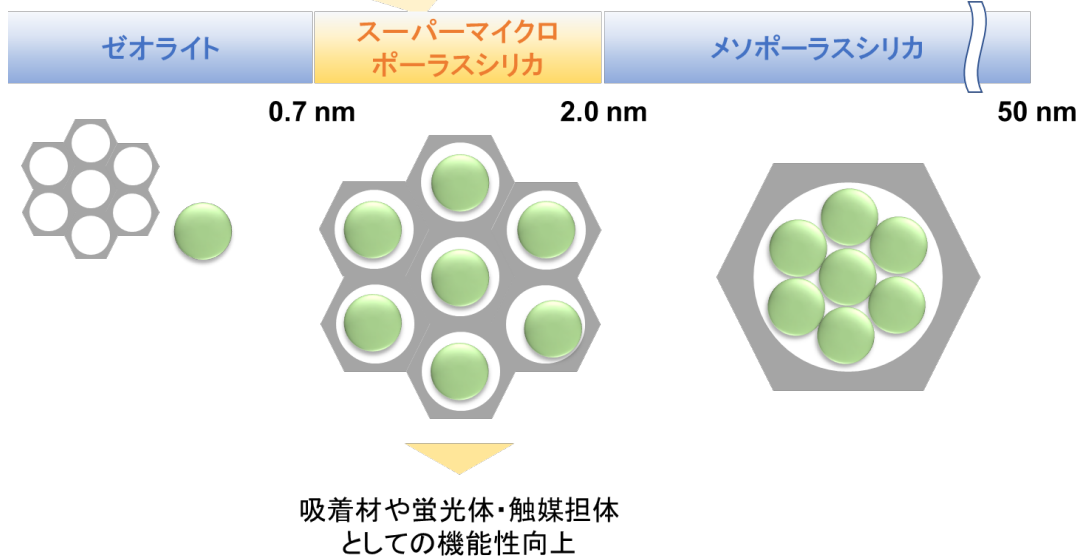
Fig.3 ナノポーラスシリカの細孔径と VOC 吸着効率

● スーパーマイクロポーラスシリカを用いた新機能性材料の開拓

1 nm というサイズは多くの有機分子や量子ドットと呼ばれる機能性超微粒子のサイズに相当します。そのため 1 nm 前後の制御された細孔を有する SMPS とそれら機能性材料とを複合化することで、光触媒、蛍光体といった機能性をさらに高めることが可能になります。つぎのページでは、蛍光分子を細孔内に閉じ込めた際の機能性の向上と、細孔内で合成した 1 nm サイズの量子ドットの特異な性質について紹介します。

本研究室で達成した領域

- 多くの有機分子のサイズと一致
- 金属酸化物で量子サイズ効果が顕著になる領域



➤➤➤関連リンク [量子ドット光触媒](#) [蛍光体](#)