ディビジョン番号	１４
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	1. ナノ物質
中項目	1-3. ハイブリッド材料
小項目	1-3-9. 有機―無機

概要（２００字以内）

有機アルコキシシランの縮重合反応により合成される有機 - シリカハイブリッド材料は，少し前まではアモルファスのものしかなかったが，最近では規則的な細孔構造や原子・分子の配列構造を形成し高度な機能の発現を目指した研究が増えている。高次構造の形成により新しい機能の発現が期待され，安定で資源的に豊富な有機 - シリカ材料の新しい用途が開拓できる可能性がある。

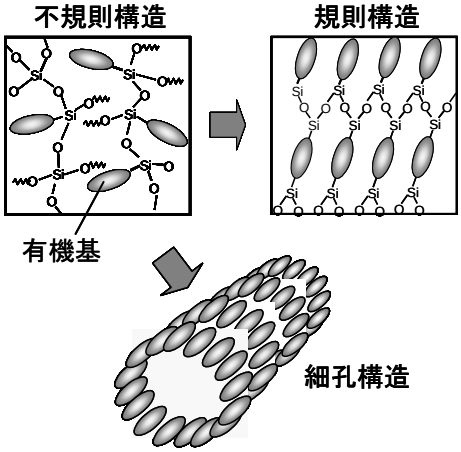

図. 有機-シリカハイブリッド材料への高次構造形成

現状と最前線

有機 - 無機ハイブリッドは，ゾル - ゲル法による有機無機ナノ複合体，無機ホストと有機物のナノ包接体，有機 - 無機相互作用を利用したナノ構造体の合成，金属錯体，バイオミネラリゼーションなど，多様な材料系に関連する。ここでは，有機アルコキシシランの縮重合反応により合成される有機 - シリカハイブリッド材料に限定し，最近の研究動向を紹介する。

ゾルーゲル法を利用して合成される有機―無機ハイブリッド材料は，もともとは色素をドープしたゾルーゲルガラスや有機修飾シリケート(ORMOSIL)などの，機能性色素の安定化やアモルファス構造に基づく透明性に着目した研究が多かった [1]。最近では，これらの非晶質のシリケート材料に規則的な細孔構造や原子・分子の配列構造を形成し高度な機能の発現を目指した研究が盛んになっている。細孔構造の形成技術として最も注目されるのが，界面活性剤の液晶ミセルを鋳型にする方法である。界面活性剤と無機前駆体（金属アルコキシド等）との相互作用を巧みに利用することで，多様な細孔構造，組成，そして形態（粉，膜，バルク，繊維等）を持つメソポーラス物質が合成された [2]。制御された細孔をもつナノ空間材料は，触媒，吸着剤，あるいはナノ物質の合成容器や固定担体の用途として極めて重要であり，表面の高機能化や細孔の配向制御など合成技術の更なる深化が求められている。有機分子あるいはその集合体を鋳型にしたナノ構造体の合成は，有機テンプレートを利用したゼオライト合成や脂質二分子膜を利用したシリカ超構造体の合成に端を発しているが，最近ではウイルスや DNA 等を鋳型

にしたナノ構造体の合成も報告されており，有機 - 無機の相互作用を利用したナノ構造体の合成技術は更に発展するものと思われる。

一方，有機 - 無機が予め複合化した有機アルコキシシランの自己組織性と縮合反応を利用して，有機基が周期的に配列した構造をもつ有機 - シリカハイブリッド材料が合成されている [3)]。特に，相互作用の強い有機基を含む架橋有機シラン[$(R'O)_3Si\text{-}R\text{-}Si(OR')_3$]は，有機基が層状にスタッキングした構造を形成し，縮合後もその構造が保持される。これらの材料では，有機基のスタッキング構造に基づく特異な光・電子物性の発現が期待され，導入有機基の種類や配列の制御技術の進展が期待される。更に，規則的な細孔構造に加え，骨格中にも有機基が規則的に配列したメソポーラス物質が合成され，秩序構造の階層化も進んでいる（図１）[3,4)]。これら以外に，有機 - シリカ骨格のゼオライト結晶やらせん状メソポーラス有機シリカの合成など，高次構造を形成した多様な有機 - シリカ材料が合成されている。有機 - シリカハイブリッド材料は，共有結合から成る安定な骨格と資源的に豊富な元素(Si, C, O, H)からのみ構成されているため極めて実用的な材料であり，高次構造形成による高機構化は今後も重要な課題である。

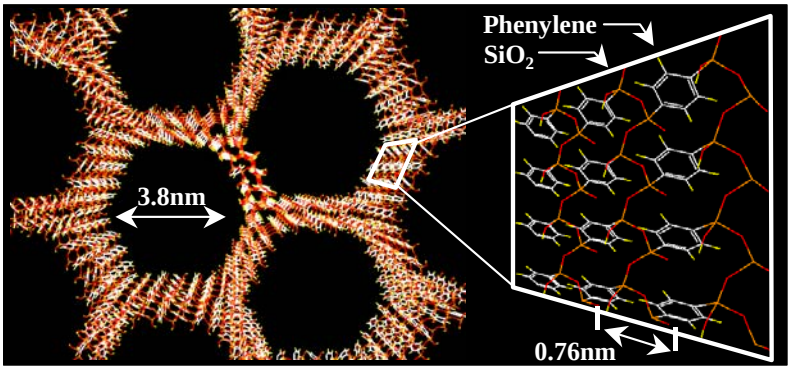

図1．結晶状メソポーラスフェニレンシリカの階層構造

（文献）

1) C. Sanchez et al., Adv. Mater. 2003, 15, 1969.
2) F. Lerouge et al., New J. Chem. 2006, 30, 1364.
3) F. Hoffmann et al., Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, 3216.
4) S. Inagaki et al., Nature 2002, 416, 304.

将来予測と方向性

・５年後までに解決・実現が望まれる課題

細孔の垂直配向膜の合成，単結晶状の有機シリカの合成，新規な有機鋳型物質の開発，有機基のスタッキング制御による光･電子機能の発現，階層的な規則構造の形成

・１０年後までに解決・実現が望まれる課題

光・電子デバイスへの応用，酵素模倣反応場の構築，人工光合成系の構築

キーワード

ゾル-ゲル，有機 - シリカ，メソポーラス，高次構造，自己組織化

（執筆者：稲垣伸二）