

ディビジョン番号	15
ディビジョン名	コロイド・界面化学

大項目	5. 固体表面・界面
中項目	5-1. 表面構造と物性・機能
小項目	5-1-3. シリカ系材料の表面・界面

概要（200字以内）

多様な形態を示すシリカ系材料の中でサブミクロン以下の微粒子やマイクロ孔・メソ孔を持つ多孔体、コーティング膜は、表面や界面が重要な材料であるといえる。シリカの表面構造や特性については他の酸化物と同様な評価法によって行われているが、実用シリカ材料の多くは非晶質材料であり、その表面構造については不明な点が多く、表面構造との相関も含め、今後の検討課題である。また、シリカの形状制御、表面が結晶性規則構造を有するシリカナノ多孔体やシリカナノ粒子材料の創製が望まれる。

```

graph TD
    A[シリカ系材料  
多様な形態  
多様な用途] -- "表面・界面の利用" --> B[微粒子  
マイクロ・メソ多孔体  
コーティング膜]
    A --- C(単結晶・ガラス  
粒子・多孔体  
コーティング膜  
ファイバー)
    B --- D(非晶質である  
表面構造の評価)
    B --> E[ナノ多孔体  
ナノ粒子]
    E --- F[非晶質から結晶質への展開]
  
```

現状と最前線

シリカ系材料の特徴はその材料形態と用途の多様性にあるといえる。その材料形態は単結晶（石英など）、ガラス、粒子、多孔体、コーティング膜、ファイバーなどをあげることができるが、このうち表面や界面が重要となる材料は、サブミクロン以下の微粒子やマイクロ孔・メソ孔を持つ多孔体、コーティング膜が中心となる。シリカの界面や表面を利用した用途は、非常に多岐にわたり、すべてを把握することは難しいがそのいくつかの例を挙げる。シリカ微粒子をポリマーマトリックスに無機フィラーとして分散させ、強度・硬度・耐熱性の向上、難燃性の付与をはかった無機-有機複合材料が古くから知られているが、さらに無機粒子の径を小さくして、無機粒子/ポリマー界面積を飛躍的に増大させたナノコンポジットの開発が盛んである。無機-有機ナノコンポジットでは、ポリマーマトリックス中へのシリカ粒子の均一分散、シリカ粒子表面とポリマーとの相互作用を制御する界面設計が、材料の物性を大きく左右する。シリカ系材料の吸着剤や触媒担体としての応用は、シリカの高比表面積（ $\sim 1000\text{m}^2/\text{g}$ ）や吸着能を利用している。吸着剤では細孔径の制御や表面改質によって特定の物質を選択的に吸着できる界面設計、触媒担体としては触媒粒子の均一分散、担体との界面接合構造が重要である。他にも、インクジェットプリンタ用紙の微粉体コート、CMP (Chemical Mechanical Polishing) とよばれるシリコンウエハーの研磨、半導体封止材料、LSI 絶縁多孔質膜 (Low-K 材料) などにもシリカ系材料が用いられている。このようにシリカ系材料がきわめて広範に用

いられている理由として、多様な材料形態の他に他の酸化物では実現が難しい広範囲にわたる粒子径や細孔径の制御が可能であること、化学的安定性・絶縁性・耐熱性に優れていることがあげられる。

シリカ材料の表面や界面の構造・性質の評価法についてみると、表面官能基である水酸基の定量や定性は、従来の化学反応法や赤外吸収スペクトル法に加え、新たに固体NMR法 ( $^{29}\text{Si}$ ) により行われている。液中における粒子分散特性については、ゼータ電位の測定、レーザー回折法や動的光散乱法による粒度分布測定によって評価されている。ナノ多孔体では、気体吸着法が細孔構造評価の有力な方法となっている。また、AFMによる固液界面のナノレベルでの構造理解が進みつつある。現在、シリカ材料の表面構造に関する研究報告はほとんど無いが、実用シリカ材料の多くは非晶質材料であり、その表面構造（水酸基の分布、 $\text{SiO}_4$ 四面体が形成する環構造など）については不明な点が多い。また、非晶質シリカ材料の表面特性は個々の材料で大きく異なることがよく知られているが、表面構造と各種の表面特性の相関の整理は十分なされていない。この点は、表面構造を表すパラメーターがまだ不足しているためと考えられ、今後の研究が待たれる。近年、MCM-41 や FSM-16 に始まる高規則性多孔質シリカの合成やシリカナノチューブなどのユニークな構造を有するシリカ系材料開発が盛んである。これらの材料を表面・界面を利用した機能性材料へと展開するためにも、シリカの表面構造の新たな評価法の開発が必要である。

今後はシリカの表面構造の原子レベルでの理解やシリカの細孔形状を含めた形状制御、表面が結晶性規則構造を有するシリカナノ多孔体やシリカナノ粒子材料の創製が望まれる。

#### [参考図書]

H.E.Bergna eds. “*The Colloid Chemistry of Silica*”, American Chemical Society (1994).

A.P.Legrand eds. “*The Surface Properties of Silicas*”, John Wiley & Sons (1998).

E.Papirer eds. “*Adsorption on Silica Surfaces*”, Marcel Dekker (2000).

#### 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

表面構造と各種表面特性の相関の整理

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

非晶質シリカの表面構造とその評価法

結晶性シリカナノ多孔体やシリカナノ粒子材料の創製

#### キーワード

シリカ・ナノコンポジット

(執筆者：武井孝)