

ナノ空間材料のデザインとその魅力

(太陽化学株式会社) 南部 宏暢

Design of Nano-space Materials and Their Appeal

(R&D section of Taiyokagaku Co. Ltd.) Hironobu Nanbu

Having succeeded in the first industrial production of mesoporous silica in Japan, we have been developing applications of mesoporous silica not only as an adsorbent with high specific surface area but also as a catalyst carrier and a tool for creating new nanomaterials. Some of the results have already been implemented in society, and I would like to talk about the appeal of "nano-tools" by introducing their achievements and looking at the possibility of integrating them with MOF and other technologies.

Keywords: Mesoporous-silica, Nano-porous carbon, Metal catalyst

1. TMPS (Taiyokagaku Mesoporous Silica) とは

メソポーラスシリカ TMPS は均一な直径 1.5~10nm の細孔が、ハニカム状に規則的に配列しているシリカ多孔体で、1,000 m²/g 近傍の高比表面積を呈し、上記範囲内で細孔直径を制御できる。TMPS の代表的製造方法は、ケイ酸塩に存在するアルカリ金属イオンとカチオン性界面活性剤をイオン交換させ、層間拡張させると共に層構造自体を折り曲げて構造を三次元化する工程と、水洗で Na⁺イオンを除去した後、焼成によりミセル鑄型を除去する工程からなる(図1)。この時、構造を三次元化する工程において、反応液の精密な pH 調整でシラノール基の脱水縮合を進め、シリカの三次元構造が部分的に結合した強固なミセル/シリカ複合体を形成させ、ハニカム状に細孔径が揃った規則構造型のメソポーラスシリカを合成する事ができる(写真1)。また、この製造技術を用い、界面活性剤の分子鎖長や極性、合成温度等を変える事によって 1.5~10nm の範囲で細孔径を制御し、膨大な吸着面積を構築する技術も確立できている。更に量産化の試みを実施し、年産約 20 トンの実証プラントを設立した。(2007年)

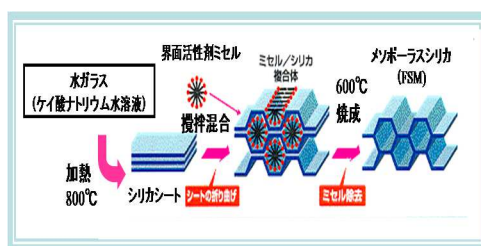


図1. TMPS の製造方法

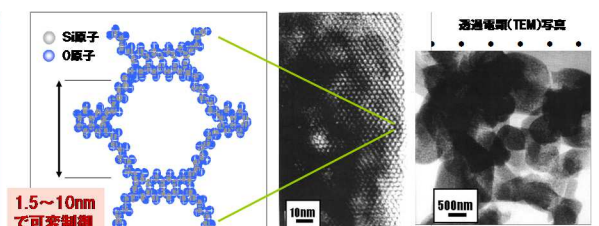


写真1. 均一なナノ細孔
TMPS の TEM 像

2. 機能性有機物ナノハイブリッド材料の開発

クロロフィルは、葉緑体内でポルフィリン環の対構造をとることで、光触媒反応への耐久性を有するが、単体分子では安定性が著しく低下する。4nm 孔の TMPS をクロロフィル抽出液中に投入すると急速吸着し、特にナノ空間内では自己組織的に安定な対構造を形成し、光耐性が極端に向上する事を見出し、天然色素が光触媒や顔

料としての利用の可能性を追求している。また、酵素蛋白分子をナノ孔内に吸着固定して熱や化学変性に対する物理的耐久性を向上させる事ができ、バイオセンサー等へのデバイスとしての応用が期待される。

3. ナノポアを鋳型とする触媒金属ナノ粒子の形成

TMPS を鋳型としてメソ孔内に Pt や Au 源を塩として導入し、還元再生にて金属ナノ粒子を構築する事ができ、還元条件によって粒状やワイヤー形に調製できる(図2)。TMPS-Pt 触媒の活性を PROX 反応系やエチレンの空気酸化分解系で評価すると、通常 Pt が 150℃以上の加熱下で発揮する転化率が、-20~0℃の低温域で発現した。この技術は、ナノ粒子化による有効比表面積を向上させただけでなく、シリカ分子壁と Pt 粒子の界面で新たな活性原子点を創出しているとも予測される。また、本技術は家庭用冷蔵庫等の鮮度保持目的に 2015 年度から既に社会実装されている。

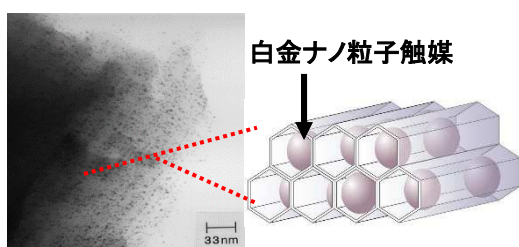


図2. ナノメタルの調製

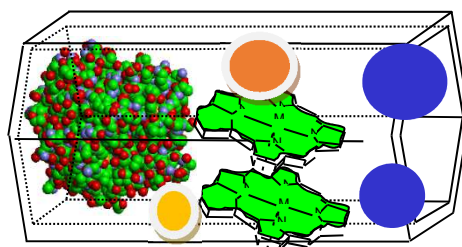


図3. ナノアッセンブルのイメージ

4. TMPS を鋳型としたナノポーラスカーボンの作成

TMPS にショ糖等の炭素源を含浸させ、乾燥後に炭化処理を行い、完了後に鋳型となった TMPS をアルカリにて溶解除去すると、レプリカントとして数 nm 径のカーボンロッド複合体 (ナノポーラスカーボン) が得られる。その比表面積は、電極材に一般的に用いられるカーボンの数倍になる事から、このナノ空間に電極触媒を担持する手法を開発したので紹介する。(NEDO 燃料電池プロジェクト、2008~2014)

5. 終わりに

我々は、2008 年に開催された「ナノテック 2008 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」にて「メソポーラスシリカ量産化とその応用」をテーマとして上述の技術成果を出展し、『ナノテック大賞 (材料・素材部門)』を受賞する榮譽を受けた。

これは、素材の持つ大きな可能性と世界初となる量産規模のプラント構築を高く評価されたものであり、我々が考える本素材及びナノ空間材料の大きな可能性と将来性を裏付けるものと言える。

ナノ空間材料は、高性能の吸着剤としてだけでなく、各種の触媒素材とのハイブリッド化材料となる『ナノツール』としての応用可能性を秘めている。先に述べたハイブリッド技術を複数集積すると図3の様なナノアッセンブルを組み上げ事も不可能ではないだろう。SDGs を目指す国際的潮流に準じて、MOF 技術を導入する事でナノ空間材料のデザインと多様性を更に展開していきたい。