

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	5-6. 新材料
小項目	5-6-1. 表面ナノ触媒

概要（200字以内）

表面ナノ触媒とは、人工的にまたは自己組織的に調製された、反応活性点をもつ組成・構造が規定されたナノメートルサイズの触媒を固体表面(担体)に固定化したもので、新規なシナジー効果(相乗効果)が期待できる。その機能発現の鍵となる、担体との機械的・電子的相互作用によって変化するナノ触媒の局所的な構造・電子状態を測定する手法の確立と、表面上に自在に表面ナノ構造を形成する自己組織化プロセスの確立が必要である。

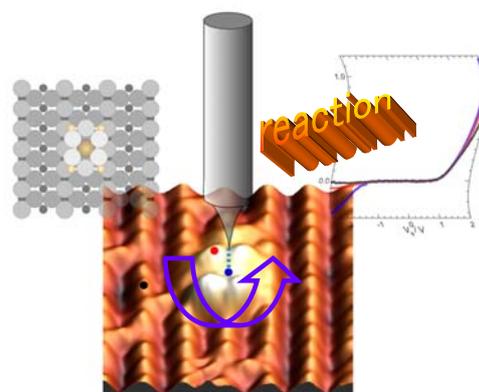


図1. 表面ナノ触媒の構造・電子状態と触媒機能の相関の解明

現状と最前線

原料物質を化学的に転換して作りたい物資のみを高い効率で、しかもできるだけ少ないエネルギーで得るには、触媒の利用が欠かせない。これは化学工業ばかりでなく、医薬品などの精密有機合成にも共通し、触媒開発は資源・エネルギーの有効利用による循環型社会実現の礎となる極めて重要な要素技術である。ナノ触媒とは、人工的にまたは自己組織的に調製された、反応活性点をもつ組成・構造が規定されたナノメートルサイズの触媒であり、これを固体表面(下地もしくは担体)に固定化した表面ナノ触媒では触媒としての寿命が飛躍的に向上するとともに、しばしば新規なシナジー効果(2種類以上の物質の性質の足し合わせでは説明できない相乗効果による特性)が発現する。そもそも触媒反応は、一種類の活性サイトのみで進行しているとは限らず、異なる働きをもつ様々なサイトが物質・エネルギーの移動を介して有機的に結びついている。すなわち、下地での反応や下地があることによる反応物質の濃度変化等が触媒反応に影響を与える可能性がある。また、下地表面との力学的相互作用によるナノ触媒の構造変化(変形)や電荷移動を伴う電子的相互作用により、ナノ触媒自身の物性を変化させることも要因として挙げられる。

走査トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) の発明と関連技術の進歩により、近年、原子スケールの分解能の構造観察ばかりでなく、表面ナノ触媒の局所的な電子状態の精密測定が可能となってきており、下地表面の特定のサイトとどのような電子的相互作用があるか、を

実測できるようになってきた。例えば、絶縁性酸化物薄膜の上に固定化された単一金属原子や少数原子からなる金属クラスターでの走査トンネルスペクトル(STS)測定により、金属原子の離散的電子軌道を介した共鳴トンネリングが観察され、それが下地表面の吸着サイトに依存すること、すなわち、電子的相互作用の大きさの指標となりうることが示唆されている。また、試料表面との微弱な引力的相互作用を非接触で測定する非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)を用いることで、表面ナノ構造に対して電子1個を注入するのに必要なエネルギーをクーロン障壁現象に基づいて測定できるようになってきた。

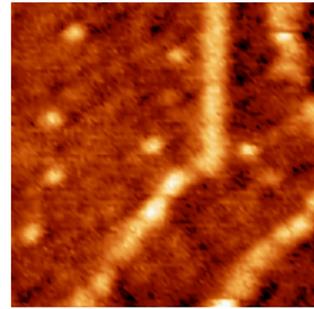


図 2. Al₂O₃ 薄膜(厚さ 0.5 nm)上にRhダイマー錯体より自己組織化的に調製された約4原子のRhからなるクラスターのSTM像(30x30 nm²)

今後、表面ナノ触媒を新材料として利用していくためには2つの大きな流れが必要である。一つは触媒で広く使われる絶縁性の試料表面上のナノ触媒に対して適用できる電子状態スペクトロスコピー手法を開発し、それを反応条件に近い条件で測定可能とすること、もう一つは、その測定により選別された活性要因を生かすことのできる表面ナノ触媒を自在に調製するための方法論の確立である。後者については、(普通に作るとできてしまう)熱力学的安定構造でないものを作りだすため、前駆体の化学的性質を利用した速度論支配の自己組織化プロセスが有望だと考えられる(図2参照)。

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

1. 絶縁体表面での表面ナノ構造の局所電子状態解析法の確立
2. アトムトラッキング技術を応用した反応温度での表面ナノ構造の電子状態スペクトロスコピー手法の実現
3. 自己組織化的表面ナノ構造形成プロセスの検討

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

1. マイクロリアクターやMEMS技術と組み合わせによる表面ナノ触媒による高効率反応の実現
2. 表面パターニング技術との融合による不安定な表面ナノ構造の安定化による触媒寿命の延長

キーワード

触媒作用、シナジー効果、走査プローブ顕微鏡、局所電子状態

(執筆者：福井賢一)