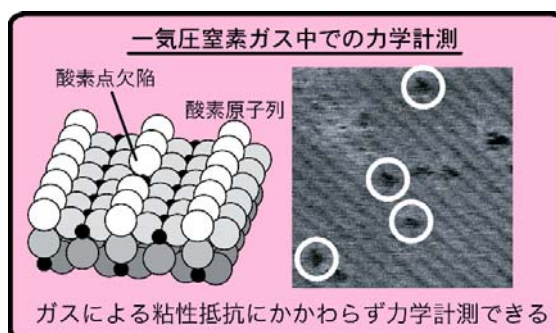


ディビジョン番号	12
ディビジョン名	触媒化学

大項目	1. 触媒キャラクタリゼーション
中項目	1-1. 種々の触媒解析法
小項目	1-1-8. プローブ顕微鏡

概要（200字以内）

平坦な試料を真空中で観察する限りにおいて走査プローブ顕微鏡による原子像観察は日常の実験操作である。非接触原子間力顕微鏡（非接触 AFM）やケルビンプローブ顕微鏡など、触媒作用の本質に迫りうる新たな計測法も開発されつつある。気体中や液体中で動作する顕微鏡、さらに微粒子表面をも計測できる技術開発がまもなく達成されようとしており、触媒開発に新しいコンセプトを提供するという明確な目標のもとで研究を進めることが必要である。



現状と最前線

触媒表面に吸着した原料物質は触媒によるアシストをうけながら生成物へ転換する。テラス・ステップ・キンク・原子欠陥・助触媒・触媒毒など異なった構造と組成を持つ部位（サイト）が混在する固体表面が反応の場となる。機能の異なるサイトで同時多発的に進行する化学反応を区別して観測することが触媒研究者の夢である。

走査プローブ顕微鏡はこの夢を実現する能力をもっている。導電性物質が対象であれば走査トンネル顕微鏡（STM）による原子像観察はいまや日常の実験操作である。非接触原子間力顕微鏡（非接触 AFM）の登場によって絶縁体表面の観察も困難ではなくなった。触媒の動作機構を解明し、触媒開発に新しいコンセプトを提供するという明確な目標のもとに、どのような研究テーマを設定するか、顕微鏡がもたらす画像情報をどのように利用するか、という研究コンセプトが問われる状況にいたっている。

触媒は気体あるいは液体中で動作させるデバイスである。真空中での計測だけでは触媒作用の本質に迫ることはできない。触媒材料の多くは絶縁体であるため非接触 AFM の発展に期待するところが大きい。カンチレバー共振周波数のシフトから微小引力を検出する非接触 AFM を気中液中で動作させると、粘性抵抗によって計測が不能となる懸念があった。しかし、一気圧気体中での原子分解能観察（概要の図）さらには水中での原子分解能観察が我が国の研究者によって達成され、観察雰囲気（気中・水中）の制約は急速に緩和されつつある。気中・水中での原子分解能観察が可能な非接触 AFM 顕微鏡が3年以内に市販されるであろう。

次に物性計測機能の進展をとりあげる。STM 探針を定点にとめ、バイアス電圧とトンネル電流の関係を計測するトンネル分光法によって金属微粒子ごとに電子状態を計測できる。次に発展が期待できるのは、非接触 AFM の探針をナノサイズのプローブ電極として仕事関数分布を計測するケルビンプローブ顕微鏡である。多くの触媒は、金属酸化物の微粒子にナノメートルサイズの遷移金属粒子を付着させ、さらに少量の第三成分（助触媒）を添加したものである。電気陰性度の異なるナノ粒子-酸化物担体-助触媒のあいだで電荷が移動する。この電荷移動を利用してナノ粒子を電子過剰あるいは電子欠乏状態にみちびき、粒子表面でおきる触媒反応をチューニングすることが触媒開発の常套手段である。この電荷移動を計測する手段は現在のところ X 線光電子分光（XPS）に代表される巨視的分光法に限られている。ケルビンプローブ顕微鏡を利用して単一ナノ粒子ごとに電荷移動量を計測できれば、はるかにきめ細かな触媒評価とそれに基づいた触媒設計が可能となる。さらにその先には、放射光による内核電子励起と組み合わせることで元素分析を可能にする夢のプローブ顕微鏡を期待したい。

一方で、原子レベルの高い分解能を実現できる試料はこれまでのところ mm サイズの単結晶に限られている。探針先端が有限の曲率半径をもつために試料に平坦性が要求される。これは触媒研究にとって厳しい制約である。粒径の小さな試料を計測するためにカーボンナノチューブ探針の発達を期待する。究極的にはアモルファス状態の触媒表面を原子分解能で計測することが望ましいが、その難度は生細胞表面の原子分解能観察に匹敵する。

最後にプローブ顕微鏡を用いた研究ターゲットとなる触媒反応のカテゴリーを予想する。光触媒中に励起された電子と正孔が触媒表面のどこで・どのようにして有機物を分解するかを明らかにする研究が進展しつつある。太陽光を利用して水素燃料を製造する光触媒や色素増感太陽電池へも研究が波及することが期待される。自動車エンジンから放出される窒素酸化物を排気ガスパイプ中で無害な窒素へ転換する触媒も重要な研究対象である。さまざまな石油化学製品を合成する部分酸化反応は、原油や天然ガスから高付加価値の化成品を作り出すプロセスとして石油化学産業の根幹をなす。さまざまな中間生成物が共存する触媒表面を解析しなければならないので難度が高いが、ぜひチャレンジしなければならない反応である。

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

気中液中で原子分解能観察を実現する非接触 AFM の開発

ケルビンプローブ顕微鏡を用いた触媒研究

光触媒と自動車触媒への応用

・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題

微粒子表面で原子分解能観察を実現するプローブ顕微鏡の開発

部分酸化触媒への応用

キーワード

触媒、走査トンネル顕微鏡、原子間力顕微鏡、ナノチューブ、光触媒

（執筆者：大西 洋）