

受賞者紹介



『カーボンニュートラル社会に向けたNO_x浄化メカニズムに基づく低環境負荷触媒の開発』

株式会社キャタラー 山岸 弘奈 氏

大気汚染の原因となる窒素酸化物NO_xはN源を高温下で燃焼することで発生するため、自動車から放出される排気ガスのみならず、カーボンニュートラルな次世代の燃料として期待されるH₂やNH₃の燃焼でも生じる。そのNO_x浄化反応の生成物であるN₂、NH₃、N₂O（図1）のうち、NH₃とN₂Oは環境負荷が高く、排出規制の対象になると想定されることから、選択的にN₂を生成することが今後重要になる。

本成果では、NO_x浄化反応のメカニズム解析を目的として、触媒へのガスの吸着状態が測定可能な「IR」と反応生成物が確認可能な「Q-mass」、触媒の電子状態を把握可能な「XAFS」（図2）を同一の触媒について同時に実施することで、100度の温度でのNOガス流通時の過渡過程における触媒の動的状態解析を行った（図3）。

従来分析では、貴金属や担体へのガス吸着状態を解析するDRIFT（拡散反射型赤外線吸収分光法）と、生成物を分析するQ-massを組み合わせた手法が一般的に用いられてきたが、貴金属の電子状態や価数変化の状態解析は出来なかった。一方、貴金属の状態解析には、その場観察が可能なXAFSやXPSが実施されてきたが、反応容器が異なるため、測定条件や時間軸をDRIFT・Q-massの結果と合わせることが困難であった。

今回の取り組みでは、国内で唯一XAFS・DRIFT・Q-mass同時測定が可能なSPring-8のBL01B1を活用し、同一容器中の試料を同一条件・同一時刻下で同時に解析することで、触媒設計において酸素吸蔵放出能の高い担体の利用と貴金属粒子径の最適化が、高いNO浄化率とN₂選択性を実現するための重要な設計指針であることを見出した。

このように、本成果はSPring-8 BL01B1におけるIR・Q-mass・XAFSの同時測定という先進的な分析手法を最大限に活用し、自動車排ガス浄化触媒におけるNO_x浄化反応の動的メカニズム（図4）を高精度に解明した点に大きな特徴がある。

さらに、本知見を基に開発された触媒は、高いNO_x浄化性能とN₂選択性の両立を実現しており、環境負荷低減の観点からも優れた成果である。加えて、貴金属及びレアメタル使用量の低減を達成しつつ性能向上を実現したことは、資源制約や調達リスクが高まる中で極めて重要な技術的意義を持つ。また、本成果は従来のガソリン車のみならず、e-fuel、水素、アンモニアといった次世代燃料におけるNO_x浄化にも応用可能であり、カーボンニュートラル社会の実現および地球規模の環境問題解決に資する波及効果が期待される。産業的側面においても、本成果は既に自動車用排ガス浄化触媒として実用化され、年間約50億円規模のコスト低減効果を創出するなど、顕著な経済的インパクトを示している。こうした基礎研究から製品化までを一貫して実現した点は特筆に値する。

以上より、本成果は学術的・社会的意義に加え、実用化・製品化による成果も顕著である。

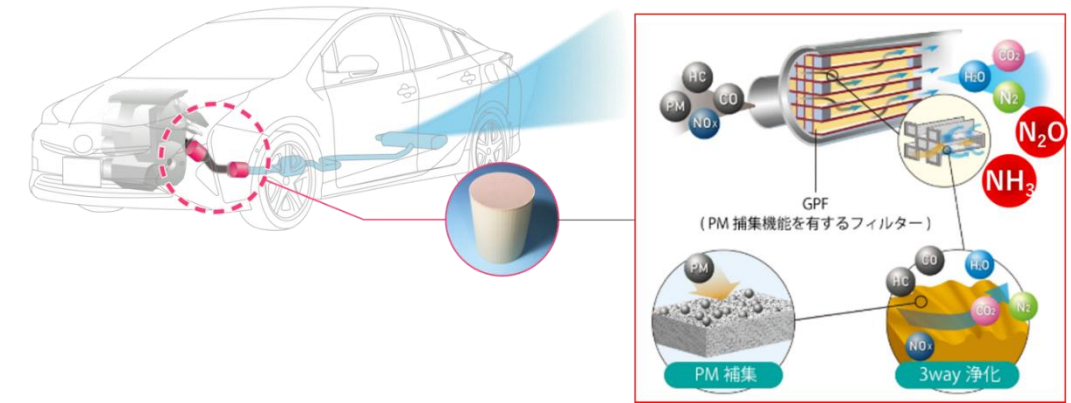


図1

エンジンから排出されるガス（NO_xなど）の浄化と同時に副生成物（N₂O, NH₃）を排出している

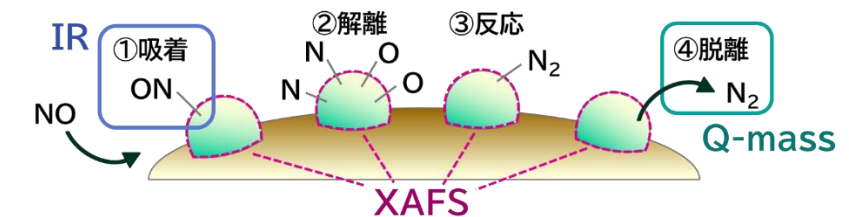


図2 一般的に提唱されている触媒の反応機構と測定手法の関係

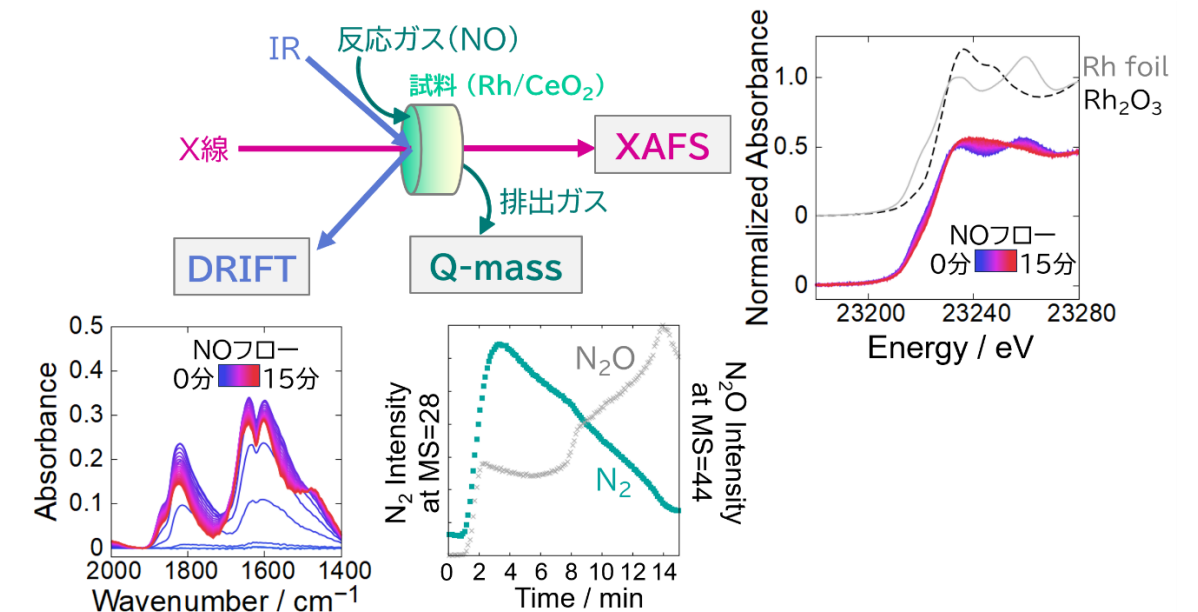


図3 XAFS-DRIFT-Q-mass同時測定の概略図と得られたデータ

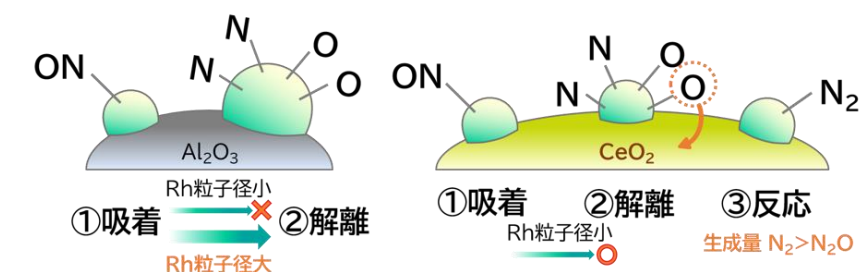


図4 本研究から明らかにした反応メカニズムの概略図

左はRh/Al₂O₃のRh粒子径の差異による反応機構の違いを、右はRh/CeO₂での反応機構を示す

受賞者紹介



『複数手法の組み合わせによる快適なつけ心地を有するコンタクトレンズ表面の構造解析手法の構築』

株式会社メニコン 伊藤 恵利 氏

現在販売されているコンタクトレンズは、両親媒性※¹ゲル素材であるシリコンハイドロゲルを用いたソフトレンズが主流となっている。本素材は、「高い酸素透過性」を実現する一方で、「水濡れ性※²の低下」および「脂質汚れの付着」という表面特性の課題がトレードオフの関係にある。快適な装用感を実現するためには、レンズ表面におけるÅ～nmスケールの精緻な制御が求められるが、軟質な含水高分子の表面化学構造を正確に把握することは困難であり、これまでの表面制御は経験的な試行錯誤に依存していた。

本成果では、SPring-8のBL46XUにおける硬X線光電子分光（HAXPES）を中核とし、J-PARCの中性子反射率（NR）、及びあいしンクロトン光センターの軟X線吸収分光（XAS）を相補的に活用する高度な解析手法を構築した。

具体的には、NRの散乱長密度変化からCH₃基の減少が示唆されたのに対し、SPring-8のHAXPES測定により、Si-C結合からSi-O結合への変化とその変化量を正確に特定し、Si元素の酸化が表面制御の重要なキーパラメーターであることを導き出した。また、図1に示したHAXPESの実測から見積もられた深さ情報、NRから得られる化学変化の深さ情報、XAS測定結果の傾向の一致が確認され、数nmオーダーの極微細な表面変化に対する追跡精度が極めて高いことが実証された。

これらの量子ビームの相補的活用による定量的解釈は、作用機構の科学的な理解が十分とは言えず、長年の経験則や試行錯誤に依存する状況にあったシリコン系材料開発における設計指針を明確にし、図2に示したように定量に基づく技術開発を実現した。快適な装用感という「感覚的・定性的」な評価を、「客観的・定量的」な評価・解析につなげた点はSPring-8活用の新機軸として評価できる。

現在、コンタクトレンズは1日・2週間・1ヶ月といった多様な装用期間の製品が販売されているが、本成果によって各装用期間に最適な表面構造の構築が可能となった。特に、2023年12月に発売された1ヶ月交換シリコンハイドロゲルレンズ「MELS-ME」は、量子ビームの横断的利用から得られた知見と製品化現場での最適化が融合し、快適な装用感を実現した製品である。本製品の製造販売承認申請において、SPring-8等による量子ビーム計測データが製品の安全性と特性を裏付ける「客観的な証左（科学的エビデンス）」として直接的に活用されており、SPring-8での基礎研究が実用化へと結びついた好例と言える。

本手法を用いて材料・表面設計が行われたシリコンハイドロゲル製品群（図3）は、すべての装用期間用レンズを合わせて数百億円規模の売上を達成しており、日本を中心に世界60-70ヶ国に流通している。学術的・技術的意義に留まらない、極めて大きな産業的・経済的貢献を果たしている。

※¹ 水になじむ「親水性」と、水をはじく「疎水性」の両方の性質を持つ状態

※² レンズ表面の水（涙）の広がりやすさ

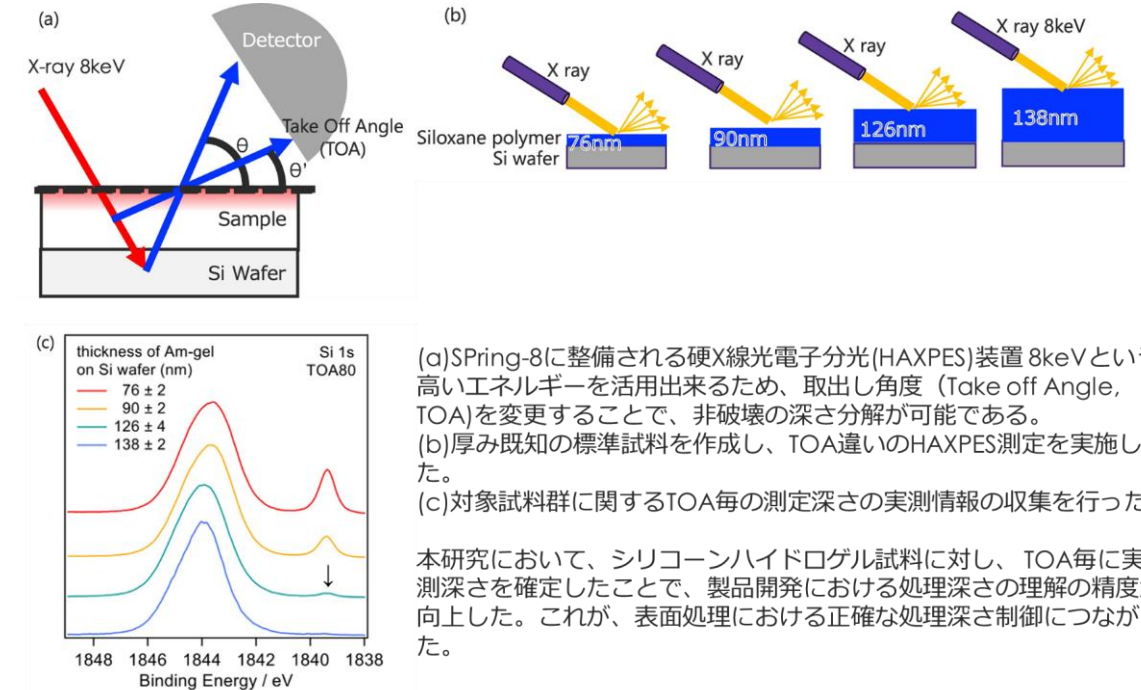
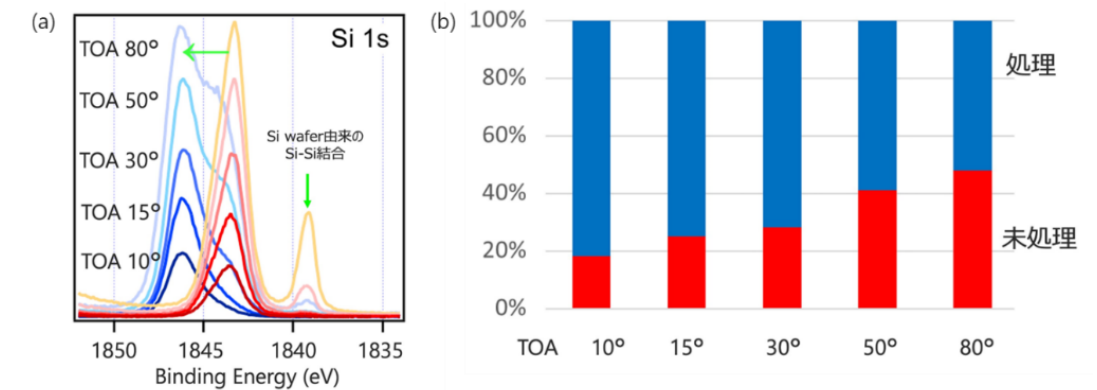


図 1



(a)親水化処理済みモデルシリコンハイドロゲル材料に対するTOAを変化させたHAXPES測定結果
(b)TOA（深さ）毎の処理比率の算出結果 HAXPES測定結果を波形分離し、高エネルギー側へのケミカルシフトを被処理として計算した。
(a)のTOA毎の深さ情報から親水化処理済みシリコンハイドロゲルに関する殻TOA,すなわち深さ方向の親水化処理量の算出を実施し、表面層において処理が進行していることを確認すると共に処理深さの推定が可能となった。

図 2



本研究により最適化された表面設計を施す1ヶ月交換型シリコンハイドロゲル Mels ME（日本国内向け）及びMiru 1month Menicon(海外版) また、SPring-8において製品の機能発現原理を解明したシリコンハイドロゲルのシリーズ製品群。これらは、日本を中心に世界60から70ヶ国に流通している。

図 3