

無機材料設計学 研究室

排ガスを浄化する 「自動車触媒」の 革新を通して 環境保護に貢献



細川三郎 教授
[材料化学系]

【経歴】

2007年04月-
京都大学 大学院工学研究科
物質エネルギー化学専攻 産学官連携研究員

2007年05月-
京都大学 大学院工学研究科
物質エネルギー化学専攻 助教

2013年04月-
京都大学 学際融合教育研究推進センター
触媒・電池元素戦略研究拠点 特定講師

2015年10月-
京都大学 学際融合教育研究推進センター
触媒・電池元素戦略研究拠点 特定准教授

2021年04月-
京都工芸繊維大学 准教授

2024年02月-
京都工芸繊維大学 教授

【研究分野】

触媒化学, 無機合成化学, 表面化学, 固体化学

研究室探訪

無機材料設計学 研究室

【研究概要】

自動車触媒に代表される環境触媒、そして自動車触媒に搭載される酸素貯蔵材料に関する研究を行っています。その成果を基に、年々深刻化していくことが予想される環境汚染や石油資源の枯渇問題の解決を目指して、「環境・エネルギー」の観点から新規触媒材料の開発を進めています。

地球温暖化問題がますます深刻になる中で、

排ガスを出すガソリン車への視線はますます厳しくなっています。

電気自動車への転換が進みつつあるものの、完全移行は容易でなく

ガソリン車の排ガス浄化能力の向上は必要不可欠です。

その実現に向けた研究について、細川先生にお話を聞きました。

自動車をはじめ

多くの場所で利用される「触媒」

1886年の誕生以来、多くの人々の移動を支えてきたガソリン自動車。その一方で、大気汚染という問題も引き起こしました。1970年になると日本国内でも大気汚染が深刻化し、全国的な問題として認知されるようになりました。この時期に登場したのが、自動車の排ガスを浄化する「自動車触媒」であり、今ではエンジンを積んだ自動車のほぼ全てに搭載されています。この自動車触媒こそが、今回取材した無機材料設計学研究室の主な研究対象の一つです。そもそも触媒とは何なのか、どのような研究をしているのか。材料化学系の細川先生にお話を伺いました。「触媒とは、それ自身は変化せず、化学反応を促進する物質のことをいいます。溶液などに溶けて働く均一系触媒と、固体状態のまま働く不均一系触媒の2種類に大別され、私は後者の不均一系触媒（固体触媒）を研究しています。均一系触媒は医薬品や高分子材料の合成に利用されており、固体触媒は排ガスの浄化やVOC（揮発性有機化合物。シックハウス症候群の原因とされる）の除去などに用いられています」。触媒は、身の回りのさまざまな場所で使われていることが分かりました。続けて、先生は固体触媒のイメージについてこう説明してくれました。「土台となる金属酸化物（担体）の上に、貴金属や、化学反応を起こしやすいアクティブな金属を少しだけ乗せる、というのが固体触媒の基本的な材料設計です。例えば、酸化マグネシウムの上にルテニウムという金属を乗せた固体触媒を作ると、窒素と水素からアンモニアを作るという反応が起こります。他には、酸化アルミニウムの上に白金を乗せた固体触媒を用いると、水素と酸素が反応して水になります。通常、空気中に水素と酸素があるだけの状態では、どれだけ時間が経っても化学反応は起こりません。それが、固体触媒があることによってそこに水素と酸素が寄り添って出会いを果たし、反応を起こします。その出会いの場を『活性サイト』と呼びますが、活性サイトの種類は担体と触媒成分の組み合わせによってさまざまに変化します。この組み合わせの探究こそが、私たちの主な研究テーマです」

ここまでが触媒に関する基礎知識。ここから、

本題である自動車触媒の話題に進んでいきます。「自動車触媒は固体触媒の一つで、簡単に言えば『排ガスをきれいにしてくれる粉』です。ガソリンや合成燃料を燃やした時に自動車から排出される燃え残り（HC）、一酸化炭素（CO）、窒素酸化物（NOx）をこの粉に通すと、これらの有害ガスを酸化または還元し、二酸化炭素や窒素といった無害なガスに変換してくれます。NOxはある意味COよりも危険で、呼吸器系の疾患を引き起こすだけでなく、酸性雨の原因にもなります。また、窒素酸化物としてはN₂Oもあり、この物質が地球温暖化に与える影響はCO₂よりも数十倍大きいと言われています。そうした理由から、自動車の排ガス規制はますます厳しくなっており、触媒機能の向上が望まれています。なおかつ、貴金属の8割が自動車触媒に使用されているという現状があり、持続可能性の観点から、貴金属の使用量の低減も必要です。さらに、ハイブリッド型自動車の普及も考慮に入れなければなりません。触媒は高温時に活発になる一方、ハイブリッド車の場合は触媒の温度が上がりにくいので、その条件下で触媒の機能を引き出す工夫が求められます」

「トポタクティック転移」に着目し

高機能な自動車触媒を開発

自動車触媒にとってはまさに逆風と言えるこの状況。それでも先生は、前向きに問題解決の糸口を探ってきました。「この研究に取り組み始めたのは10年以上前です。当時から『少ない貴金属で、高機能な自動車触媒を』という社会的要請があり、文部科学省が実施する『元素戦略プロジェクト』に参加して2013年から研究を続けてきました。そこで提案したのが、前述の活性サイトにおいて酸化物の役割を増やし、代わりに貴金属の役割を減らすことで貴金属使用量を低減するというアイデアです。NOxから酸素を取り込み（還元）、COに酸素を補える（酸化）ような酸化物があれば、そこで触媒としての役割は完結します。貴金属はNOxやCOの呼び寄せ役としてだけ機能すればよく、少量で済みます。そこで注目したのが『酸素貯蔵材料』です。酸素を出し入れすることで排ガス中の酸素濃度を一定に保つ役割を持った材料で、自動車触媒の働きをサ

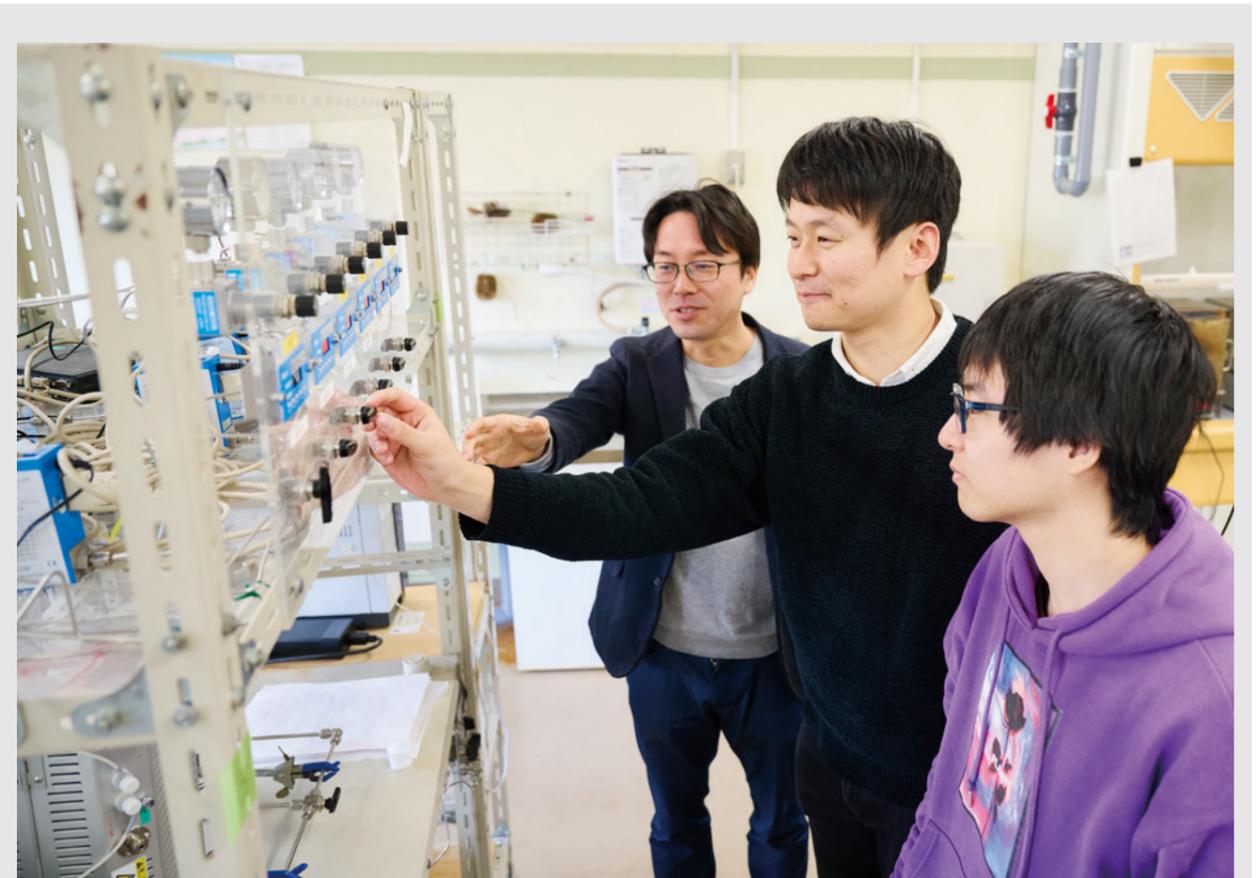


Fig.1——自動車排ガス浄化試験装置

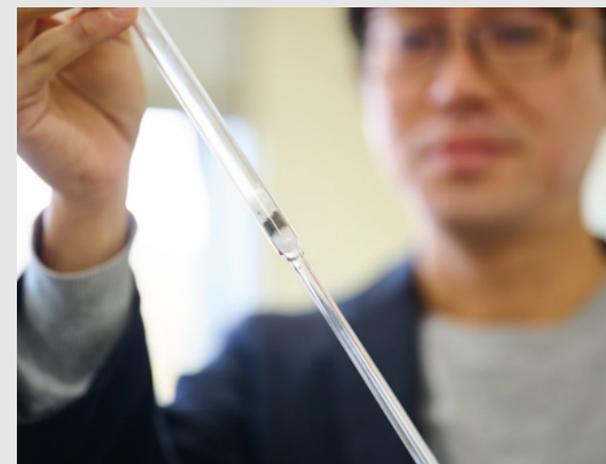


Fig.2——反応試験に利用する触媒材料



Fig.3——各種ガス成分の流量制御パネル

ポートする助触媒として用いられてきました。この材料に酸素貯蔵だけでなく、触媒としての可能性を感じたのです。そして、この酸素を出し入れする性質を調べる中で、「トポタクティック転移（反応）」という現象にたどり着きました。物質の基本骨格が保たれたまま、一部の元素（この場合は酸素）が入り出す反応をそう呼びます。ブロックを用いたゲーム、ジェンガでブロックを抜き差しする様子をイメージすると理解しやすいかもしれません。さらに、トポタクティック転移を起こしやすい材料として『ペロブスカイト酸化物』に着目し、酸素を挿入・脱離する機能を評価したところ、既存の材料よりも優れた能力を持つことが分かり

ました。また、ペロブスカイト酸化物の触媒としての機能を検証すると、特定の金属を組み合わせた場合には、幅広い酸素濃度のもとで高い浄化効率を示しました。しかし、実用化に向けてはまだ超えるべき課題があるといえます。「開発した触媒は二酸化炭素と水に弱いので、その点を克服した材料の開発を目指しています。実験室でできることには限界があるので、企業との共同研究などにも積極的に取り組んでいます」

自動車触媒の技術を守り、発展させていく

次々と新たな挑戦を続ける細川先生。研究の面

白さや、使命感がそのモチベーションになっています。最後に、次のようなお言葉をいただきました。「乗せる金属を少し変えるだけで機能が飛躍的に向上したり、金属の組み合わせによって新しい材料が生まれたり。無数の可能性を秘めている点がこの研究の楽しみです。そして自動車触媒は、ある意味日本で生まれたと言っても過言ではない材料だと私は考えています。そうした技術を継承しながら高機能化を目指し、さらには触媒材料の開発を通じてエネルギー問題の解決、カーボンニュートラルの実現に貢献していくこと、それが私たちに課せられた責務であると感じています」