

# 環境問題解決に資する 元素戦略の取組

熊本大学大学院自然科学研究科教授

町田正人



町田正人（まちだ まさと）

1962年生まれ。1988年九州大学大学院博士課程中退。同年九州大学大学院総合理工学研究科助手、1992年宮崎大学助教授、2003年熊本大学工学部教授を経て、2008年から現職。工学博士。1992年触媒調製化学賞、2000年触媒学会奨励受賞。2008年度から文部科学省「元素戦略」プロジェクトを受託。

## 環境問題と自動車触媒の貢献

戦後高度成長の歪として公害問題が表面化した1950～60年代から、世論を受けて対策が始まった70年代、そして公害問題の克服を経て、環境立国を宣言する21世紀の今日までの道のりには、環境との共生を模索する社会と経済と科学技術の格闘が凝縮されています。その代表例が自動車と云ってよいでしょう。

70年に自動車排気規制「マスキー法」を制定した米国では、エネルギー危機を契機に規制が延期されたのに対して、わが国は先んじて規制を実施しました。世界の先頭を切って「走る自動車」から「クリーンに走る自動車」へと大きく舵をきったのです。当時の日本車の世界シェアは微々たるものでした。排気浄化対策は走行性能を犠牲にする、コスト高になるなどの負の側

面がありましたが、見返りとして手に入れた環境性能は、日本車に重要な価値を付加し、世界市場獲得に効果的に作用していったのです。

規制をクリアするための技術的ハードルはきわめて高いものでした。しかし、いくつかの革新的技術がわが国の産業界から提案され、それが技術的根拠となつてマスキー法実現を後押ししたのです。その後の変遷を経て、わが国で実用化された「三元触媒」が主流となり、現在では世界中のガソリン自動車で採用されています。三元触媒は排気の酸素濃度を検知するセンサと、その情報をもとに空気燃料混合比を制御する燃料噴射装置とを組み合わせてシステムとして機能する点において、それまでの工業触媒とは一線を隔しています。走ったり止まったりを気ままに繰り返す運転条件でも、本システムによって一酸化炭素（CO）、窒素酸化物

（NO<sub>x</sub>）、炭化水素（HC）を同時に浄化できるのです。三元触媒のその後の進化には目を見張るものがあり、マスキー法時点に比べて今日では、1台あたりの排出量はHCでは40分の1、NO<sub>x</sub>では実に100分の1にまで激減しました。

## 自動車触媒が引き起こした 資源問題

三元触媒は主成分としてプラチナ（Pt）、ロジウム（Rh）、パラジウム（Pd）を使用します。自動車触媒用のこれら貴金属の需要は、近年急増しており、PtおよびPdが全需要の50%以上、Rhは80%以上に達します。05年頃には自動車1台当りの使用量は10年前と比べてPtで約2倍、Pdは約4倍に増大したと言われました。より厳しい規制に対応するために、より多くの貴金属を投入したのです。貴金属価格は高騰し、昨年6月にはPtはグラムあたり

7000円、Rhは3万円を超えました。昨年下半年には世界同時不況により、貴金属価格も自動車需要も暴落しましたが、貴金属が最も希少な資源であることに変わりはありません。アジアのモーターゼーションと環境規制は、貴金属のさらなる需要増を招くと予測されます。その上、排気規制は、ディーゼル車や二輪車、特殊車両等でも始まっているのです。

このように、わが国の生み出したクリーン自動車の世界的な普及が、皮肉なことにわが国に深刻な資源問題を突き付けようとしています。貴金属資源の争奪戦が、今や世界最大の自動車生産量を誇るわが国の企業にとってアキレス腱ともなりかねない状況です。このような背景から自動車触媒の貴金属節減がキーテクノロジーとして注目されるようになったのです。

### 貴金属節減のための元素戦略

はたして貴金属を一切使わない自動車触媒は可能なのでしょうか？ 実は数多くの候補物質が検討されてきましたが、完全代替には成功していません。20万km以上の走行の間、浄化性能を保ち続ける触媒物質は貴金属を置いて他にはないというのが実情です。その上、貴金属は毒性もなく、使用後の回収・再資源化技術も確立されています。

す。例えば前述のようにRhは、生産量のほとんどが自動車触媒用に使われています。この有能な元素を使わずして余らせるより、世界中の自動車をクリーンにするために最大限に活用すべきでしょう。ポイントはその使い方にあります。Rhの年間生産量はおよそ25トン。仮に自動車1台あたりに1グラム使うと2500万台分で、世界市場の6000万台に不足します。しかし1台あたり0.1グラムに抑えれば、他用途を含めても余裕ができます。もったいないから使わないのではなく、個々の使用量を徹底的に節減（ミニマム化）して、あまねく世界中で繰り返し利用することが極意なのです。

どうすればミニマム化できるのでしょうか？ 貴金属触媒は、熱的に安定な担体物質の表面に分散した微粒子の状態で使用されます。触媒性能は微粒子の表面積の大きさに依存します。浄化性能を下げることなく貴金属を減らすには、微粒子をより微細にして単位重量当たりの表面積を大きくすればよいのです。ところが微細にすればするほど高温にさらされる排気中では不安定になり、凝集や粒子成長によって寿命が短くなってしまう。貴金属の「微細化」と「耐久性」。この二律背反する問題を解決するには、貴金属ナノ粒子をいかに固定あるいは自己再生す

るかが鍵となっています。

平成20年度に採択いただいた文部科学省元素戦略プロジェクトの課題として、われわれは貴金属ミニマム化触媒の物質設計とプロセシングに関する研究を開始しました。貴金属ナノ粒子を安定に固定化するために、局所的な相互作用を発現するオキソ酸塩担体を開発するとともに、プラズマを用いる新規な触媒合成法の開拓に取り組んでいます。これまで、オキソ酸塩の一種であるリン酸塩がRhの固定化に有効な担体になること、既存の担体に比べてRh担持量を20分の1まで減らしても同等の性能を示すことを明らかにしました。Rhナノ粒子とリン酸塩との間の化学結合が強固なくさびとなって、高温にも耐える安定性が発現したと考えられます。

実はリン酸塩はこれまで、自動車触媒の劣化の元凶と考えられてきました。潤滑油に含まれるリン成分が排気に漏れ出て、触媒表面にリン酸塩として堆積すると浄化性能は著しく劣化します。しかし、除去不可能なほどに安定なリン酸塩が触媒を被覆するということは、換言すれば、貴金属との親和性も熱安定性も高いはずで、担体として使えば優れた物質になるのではないかと？ 既成概念を打破する逆転の発想がこのリン酸塩担体の注目すべき特性

を発見するきっかけでした。このような柔軟な発想は、大学研究者であればこそ可能であるため、本課題に参画する若手に徹底して求めていきます。

一方、貴金属ミニマム化のための合成法としてプラズマ法に注目しました。貴金属地金から放電によって貴金属プラズマを発生させ、担体上にナノ粒子を直接析出させます。従来の触媒製造法では、貴金属地金を粉砕、酸で溶解した上で化合物化して、再度水に溶解、担体に担持するという多段階プロセスが必要でエネルギー消費も環境負荷も大きいという問題がありました。地金から直接、ナノ粒子を析出できればメリットは非常に大きいと言えるでしょう。さらに、プラズマから生成するナノ粒子は反応性が高く、微量でも優れた浄化性能を発現するため、貴金属ミニマム化技術として期待できます。

今後、二酸化炭素排出量の削減に向けて自動車自身も変革の時期を迎えます。これに伴って触媒に要求される特性も大きく変貌するでしょう。いずれにしても貴金属は活性成分として必要不可欠なため、節減技術がさらに重要になると予測されます。本学術分野が元素戦略プロジェクトによって次世代の新たなイノベーションの核として成長することを期待しながら、研究に注力していききたいと思います。