

微量分子の高感度測定技術 「レーザーイオン化分析装置」

自動車排ガス中の化学物質を高感度・リアルタイムに測定・分析

新日鉄では、東京工業大学、独立行政法人 交通安全環境研究所、(株)トヤマと共同で、自動車の排ガスに含まれるベンゼンなどの化学物質の濃度変化を、従来の100倍以上の感度でリアルタイムに測定する「レーザーイオン化分析装置」を開発した。多様な化学物質が混在する排ガス中の狙った物質だけを、高感度に1～10秒間隔で測定できることが最大の特徴だ。本企画では、同装置の開発経緯と技術開発のポイント、今後の可能性を紹介する。

「レーザーイオン化分析」とは

「レーザーイオン化分析装置」は、単一波長・周波数の光（レーザー）を原子や分子に照射することにより、イオンを抽出して、ガス中の化学物質を特定・分析する技術だ。

化学物質を構成する分子は多種多様な原子の結合からなっており、その組み合わせは天文学的な数に上る。これら分子は質量が同じだったり、化学的性質が似通っていたりして一つ一つより分けて測定することが困難だった。しかし、そのような「似通った」分子でもそれぞれ「好む」（吸収・放出しやすい）光の波長が異なっている場合が多い。同装置では、単色性が極めて高く光密度の高い光源であるレーザーを用いることで、ガス中に微量しか存在しない化学物質を選択的にイオン化し、そのイオンを質量分析装置により高感度に検出する。

また、従来の計測・分析技術は、似通った分子を分離させる事前処理に時間がかかり、例えばごみ焼却炉の化学物質分析では、長時間溜め込んだガスの平均値を求めていた。実際の焼却炉で排出される化学物質の量は、平均では基準値以下でも、ある時間帯では基準値を超えるなど変動するが、従来は特定の時間に絞って測定することは非常に困難だった。同装置では、1～10秒単位でガスを構成する分子を選択的にとらえ、成分変化をリアルタイムに測定することができる（写真、図1）。

分析技術が“主役”になる 技術開発に取り組む

今回の装置開発を牽引した先端技術研究所解析科学研究部主幹研究員の林俊一は、開発のきっかけを語る。

「新入社員時代に取り組んだ半導体の評価技術開発で培った知見を他分野で活かす方法を模索する中で、縁の下の力持ち的役割の分析技術が主役になる仕事に取り組みたいと考えていました。そのときにレーザー測定と質量測定との両技術を組み合わせれば、高感度で実用的な環境評価技術を開発できるのではないかと発想しました」

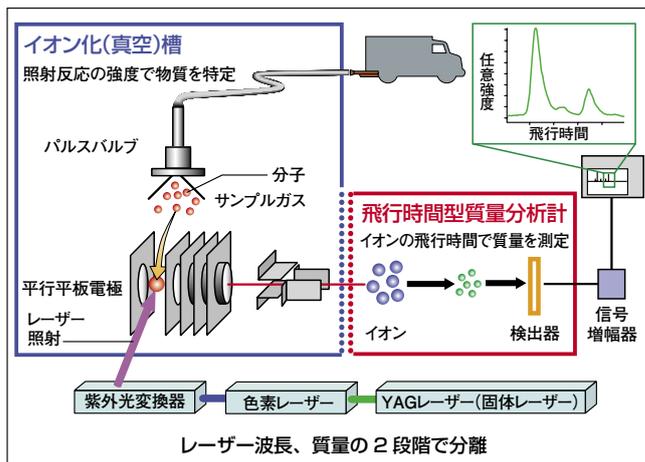
1999年、当時、高感度で選択性の高い分光法の研究を行っていた東京工業大学の藤井正明教授と共同で、感度向上の基盤技術開発に取り組んだ。2000年には、国家プロジェクトの「独創的研究成果育成事業（科学技術振興機構：JST）」に選定され、1年で高感度の真空チャンバー（質量分析装置）を独自開発・試作した。入社後の初仕事として林の下で開発に取り組んだ(株)日鉄テクノリサーチ解析センターの鈴木哲也は語る。

「入社直後に林さんの研究報告書を読み、ぜひ開発に参加したいと思いました。高感度化の基盤となる電極設計を何百通りもシミュレーションして、イオンを取り込む電極や検出器の最適構造を導き出しました」

レーザーイオン化分析装置



図1 レーザーイオン化分析装置の仕組み



“1兆分の100”をリアルタイムでとらえる技術を確立

2002年には、「産学連携イノベーション創出事業（文部科学省）」に選定され、レーザーを自社導入し、分析のリアルタイム性の向上を目指してイオン化（真空）槽の再試作に取り組んだ。当時、八幡製鉄所内にあった「直接溶融・資源化システム」の試験プラントで計測試験を繰り返す過程で、イオン化槽にガスを搬送する配管径やノズル開口径（50～100ミクロン）を検討し、ガス送分量と装置検出感度を最適化した。また、電極を再度改良することで、連続的に流入するガスの計測感度を向上させた（図2）。

「短期開発を目指して実験条件を詰めました。さまざまな似通った分子の中から、1兆分の100というレベルで対象分子をいかに分離するかがポイントでした」（鈴木）。

2003年秋、100ppt（※）のレベルでリアルタイム（1～10秒単位）に計測する技術的基盤が確立し、2004年には、新日鉄が装置の設計指針を決定し、真空冶金の専門メーカーである（株）トヤマが装置製作に必要な金属部品を製作する体制が整った。

自動車排ガス測定をベースに新たな可能性を追求

同技術の確立と前後して、自動車の安全環境基準への適合性を審査する「交通安全環境研究所」から、「自動車の走行モードによって変化する排ガスの環境負荷物質を計

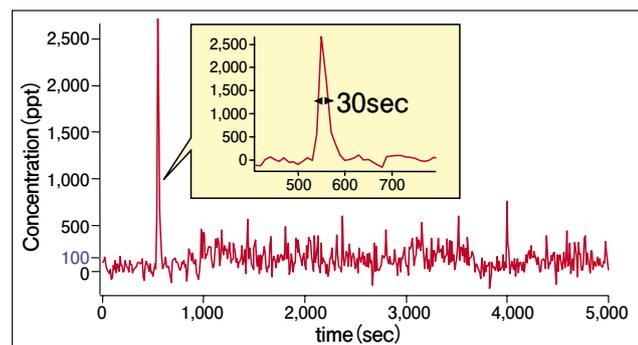


先端技術研究所
解析科学研究部主幹研究員
林 俊一



(株)日鉄テクノリサーチ
解析センター
鈴木 哲也

図2 モノクロロベンゼンのリアルタイム測定結果



煙道内ガス中のモノクロロベンゼンの含有量を連続測定した結果、ごく短時間（数10秒）に放出量が急激に増加することを観察することに成功した。

測し、データとして蓄積できないか」との打診があった。2005年以降、開発チームは自動車の排ガスに対する分析技術の適合性をターゲットに定めた。特に、自動車排ガスに特徴的な高沸点化学物質（沸点300～400℃）に対して、分子選択の高感度化に不可欠な分子冷却を維持するための技術開発に取り組み、最終的に同研究所での実証試験で高い評価を得た。2006年、スイスで開催された内燃機関の国際会議で同技術は紹介され、有機物を扱うグループ会社などからの問い合わせも多い。

「環境規制が厳格化する中で同装置の潜在ニーズは大きいと考えています。また、環境負荷物質は気体だけではありません。固体や液体への対応など、技術開発に終わりはありません」（林）。

「私が博士号を取った思い入れのある技術です。今後、計測サービスなど当社独自の取り組みとして価値を高め、適用分野の横展開を含めた新たな可能性を追求していきたいと考えています」（鈴木）。

研究成果を社会に役立つ技術に

東京工業大学総合研究院ソリューション研究機構 /
資源化学研究所教授 藤井 正明氏



今回の装置開発は、“レーザーで物質を特定して重量を計測する”という目標の中で、分子をより分けて検出する東工大の「物理化学（分光法）」と、それを高感度にとらえる新日鉄の「分析化学」が融合した結果だと考えています。

1970年代終わりに登場した「レーザーイオン化技術」は、ごく少量の物質を選択的にとらえ、その質量から物質を明確に特定できます。新日鉄から、この技術を一步進めて、ごく微量の環境負荷物質の検出・分析に展開したいとの提案があり、私たちが築き上げてきた分光法が社会の役に立つのであればという思いで、共同で開発に取り組みました。

2000年の「独創的研究成果育成事業」で高感度技術の基盤ができ、2002年からの「産学連携イノベーション創出事業」では、本格的に新たな装置の試作に取り組み、新日鉄の試験プラントでの測定機会にも恵まれました。その結果、感度と選択性を高いレベルで両立させる装置開発が実現しました。

今回の協業の過程で、新日鉄の技術力、研究の懐の深さを感じました。新日鉄の「基礎研究所（現・先端技術研究所）」は、日本物理化学の開祖である水島三一郎氏が設立されましたが、目先だけではない、基礎をきちんと見ようとする精神、DNAが受け継がれているのだと実感しました。

現在この技術開発は、東工大の「COE21（戦略的拠点育成事業）」の中で、社会・産業が将来直面する課題解決に役立つ研究として位置付けられています。さまざまな物質が混在する大気や室内環境の分析も視野に入れて、今後も新日鉄と共同で研究に取り組んでいきたいと思っています。

お問い合わせ先 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究部 TEL 0439-80-2248

※ ppt: parts per trillion. 1兆分のいくつかを表す単位。