2022年度日本分析化学会先端分析技術賞受賞者　渋谷　享司　氏

【略歴】

1976 年兵庫県生まれ。2005 年大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻博士後期課程修了。博士（工学）。2005～2008年大阪大学レーザーエネルギー学研究センターで博士研究員として，テラヘルツ分光の研究に従事。2008年に株式会社堀場製作所に入社後は，大気環境計測用の半導体ガスセンサの研究，非分散型赤外ガス分析計の開発を経て，量子カスケードレーザーを用いたガス分析技術，赤外レーザー吸収変調法（IRLAM）の研究開発に従事。そして2021年にIRLAM技術を用いた自動車排ガス計測装置，石油化学プロセスモニタの製品化に成功し，現在更なる製品開発に取り組んでいる。趣味は映画鑑賞と最近子供と一緒に始めた魚釣り。

【業績】

**量子カスケードレーザーを用いたガス分析技術：赤外レーザー吸収変調法の実用化**

　渋谷享司君は，堀場製作所へ入社後，レーザー吸収分光法のガス分析への応用研究に長年，精力的に取り組み，独自の量子カスケードレーザー（QCL）を用いたガス分析技術「赤外レーザー吸収変調法（IRLAMTM\*: Infrared Laser Absorption Modulation）」を確立し，その実用化に成功した。同君は，レーザー吸収分光法を用いたガス分析において，多くのガス分子の指紋領域である中赤外領域の光を発振できるQCLが，応用上大変重要な光源であることを認識し，QCLを用いたガス分析技術の研究開発に早くから着手した。研究を進める中で，実際のレーザー吸収分光によるガス分析においては，分析装置によって得られた吸収スペクトルから，周囲温度・圧力の影響，目的成分以外のスペクトル干渉，レーザー光源の波長ドリフト，共存ガス組成変化に伴うスペクトルブロードニング等の様々な外乱影響をいかにして分別して，目的とするガスの濃度を精度よく求めるかという濃度演算アルゴリズムが実用化する上で最も重要な要素であることに気づいた。そこで同君は，分析装置で得られた吸収信号からの特徴抽出によって，測定精度を高めながら，演算処理の大幅な高速化が図れるIRLAMの着想を得た。以下にその業績の詳細を示す。

１．IRLAMによる高速・高精度ガス分析

従来のレーザー吸収分光法を用いたガス分析計では，分析計で得られた吸収スペクトルにスペクトルフィッティングや多変量解析の手法を適用して，目的成分の濃度の算出を行うことが一般的であった。しかしこの手法では，演算処理に大きな計算負荷がかかり，リアルタイム計測を実現しようとすると，高性能なコンピュータを装置に搭載する必要がある。そのため，装置コストやサイズの増加のみならず，過酷な環境においても安定した動作が求められる工業計器としては，適用範囲に制約がかかってしまう課題があった。そこでIRLAMでは，機械学習などで用いられる「特徴量」という概念をスペクトル解析に適用し，計測で得られた吸収スペクトルから目的成分および外乱影響の特徴量を抽出し，数百点の吸収スペクトルデータの情報量を10個程度の特徴量に圧縮することで，測定精度を高めながら，濃度演算処理の負荷を劇的に短縮することに成功した1)。これにより，基板組込型の汎用マイクロコンピュータでも，周囲温度・圧力影響，スペクトル干渉影響，レーザー波長ドリフト，スペクトルブロードニング等の測定精度に影響を与える様々な外乱影響を除去しながら，十分に高精度かつリアルタイム計測を実現できるようになった。

またレーザー吸収分光を用いたガス分析では，ヘリオットセルと呼ばれる分析セル内で光を多重反射させるガスセルを用いて，ガス吸収の光路長をできるだけ長くとって高感度化を図るようにすることが一般的だが，同君はセル内の多重反射の光路設計を工夫することで，セル容積が大幅に減少した小型ヘリオットセルの開発にも成功した1)。これにより，ガス置換速度に依存する分析計の応答速度が大きく改善した。

さらに，複数のパルス発振型のQCLを用いて，各QCLの発振と信号サンプリングのタイミングを制御し，多成分のガス分析を一台の装置で同時に可能にする独自の技術も確立し2)，上述のIRLAMの濃度演算アルゴリズムとヘリオットセルの技術を組み合わせることで，小型，高速，高精度かつ堅牢で様々な分野での応用が期待できる実用的なQCLを用いたガス分析計が完成した。

２．IRLAM技術の実用化

そして実際に，過酷な使用環境となる車載向け専用設計のQCLを用いた自動車排ガス分析計（OBS-ONE-IRLAM）の製品化に世界で初めて成功した。近年の自動車排ガス規制においては，実路走行中の排ガス計測を求める声が高まっており，小型で耐環境性が強く，かつ微量なガスを高精度に計測が可能な分析計が求められていた。IRLAM技術はその要望に応え，従来技術では高精度な計測が難しいとされていた温室効果ガスの一酸化二窒素やPM2.5の前駆物質となるアンモニア，有害物質のホルムアルデヒドなどの高精度計測が，車載排ガス計測においても実現可能であることを世界で初めて実証した3)4)。本成果は自動車排ガス規制当局にも注目され，欧州の次期自動車排ガス規制Euro 7において，QCLガス分析計が車載排ガス試験装置として大変有望であるという認識が広まり5)， IRLAM技術が今後の更なる低環境負荷車の開発等に貢献することが期待されている。

さらに，石油化学プラントなどにおけるプロセスの常時監視においてもIRLAM技術が新たな革新をもたらそうとしている。従来はガスクロマトグラフを用いたプロセス監視が主流であったが，この場合，どうしてもリアルタイム性に欠け，プロセスの異常検知にタイムラグが生じ，場合によっては大きな原材料のロス，生産性の低下に繋がる課題があった。そこで，リアルタイム性の高いレーザー吸収分光を用いたプロセス監視の検討は以前よりされていたが，多くの炭化水素類が混在し，かつその濃度が時々刻々と変化するプロセス中のガスを，ガスクロマトグラフのような分離をしないで計測するのは非常にハードルが高く，実用的なレーザー吸収分光を用いた分析装置は今まで実現できていなかった。しかしIRLAMはそのような困難なガス条件においても目的とするガスを高精度にリアルタイム計測できることが実証され，高濃度に共存するメタン，エチレン，エタン中の低濃度の不純物であるアセチレンを高精度に計測するIRLAM技術を応用した製品（PLGA-1000）は，すでに大手石油化学メーカーのプラントに採用されている。

以上のように，同君が確立した独自のガス分析技術「IRLAM」は，レーザー吸収分光を用いたガス分析の産業適用範囲を大きく広げることに成功し，従来技術では困難な条件下においても高精度なリアルタイム計測を可能とし，自動車排ガス計測やプロセス監視の分野で製品化を実現した。今後もあらゆる産業のガス分析ニーズに応え，環境負荷低減や生産性向上に大きく貢献できることが期待される。

【文献】

1) *Meas. Sci. Technol.,* **32,** 035201 (’21). 2) *Proc. SPIE,* **11685,** 116850G (’21). 3) *SAE Technical Paper,* 2021-01-0610 (’21). 4) *SAE Technical Paper,* 2021-01-0604 (’21). 5) *Appl. Sci.,* **11,** 10055 (’21).