

2012年度日本質量分析学会

奨励賞

青木 順氏 [大阪大学大学院理学研究科附属基礎理学プロジェクト研究センター,
人間環境学博士]



[業績] 高空間分解能・高質量分解能を持ったイメージング質量分析装置の開発

青木 順氏は2007年に京都大学人間環境学研究科において非中性プラズマの研究にて博士(人間環境学)を取得後、その荷電粒子制御の経験を活かし、同年4月より大阪大学理学研究科質量分析グループにおいて研究を開始した。主たる研究内容は、JSTのCRESTプロジェクト「超高分解能高速イメージング質量分析技術(質量顕微鏡)の構築」に参画し投影型イメージング質量分析装置を開発することであった。

イメージング質量分析は近年さまざまな分野で脚光を浴びているが、現在の主流である走査型方式では、レーザーの照射径に起因する空間分解能の制限があり($\sim 10\ \mu\text{m}$)、また長い測定時間($\sim 10\ \text{h}$)を要するという欠点がある。これを克服するために投影型の研究が始められたが、先行するオランダのFOMでの研究では空間分解能($\sim 4\ \mu\text{m}$)、質量分解能($\sim m/\Delta m\ 500$)と十分な成果は上がらなかった。この原因として、走査型イメージング質量分析では従来の技術がそのまま使えるのに対して、投影型では従来の質量分析にはない新規の技術開発が必要であることがあげられる。CRESTプロジェクトでは、いくつかの新技術によるブレークスルーにより、最終的な装置性能の成果として、空間分解能 $1\ \mu\text{m}$ 、質量分解能 $m/\Delta m\ 10,000$ を達成した。以下その業績の概要を記し奨励賞顕彰記事とする。

新規装置の開発においては、装置内のイオン軌道の把握が最も重要な要素である。投影型イメージング質量分析装置に用いられている多重周回飛行時間型質量分析計(MULTUM)は複雑な電極形状であることから、これまでその形状を完全に再現したイオン軌道計算ができなかった。青木氏は荷電粒子シミュレーション手法に関する知見(4th Oscar Buneman Awards 受賞)を活かし、表面電化法と多体系専用計算機を用いた高速かつ高精度の電場計算およびイオン軌道シミュレーション手法を開発した。これは原著論文として報告されている。このシミュレーションにより、投影型に特有のイオン像を結像させるレンズ系の評価とそれに基づいた設計を行い、50倍程度の拡大率をもった結像光学系を製作した。さらにこれまでの近軸近似計算しかできなかったMULTUMのイオン軌道計算にこのシミュレーションを導入し、入射時における中心軸近傍の $\pm 0.6\ \text{mm}$ の領域で空間収束性が満足されることを示した。初期段階の開発装置では、イオン像がMULTUMを安定周回できない問題が発生したが、このシミュレーションによりMULTUMを含めたイオン光学系の特性が明らかになったことで、実際の実験結果との比較検討により装置の不良箇所の特定に成功し、改良した装置においてイオン像を保存したまま安定周回させることに成功した。

MALDIにおいて質量分解能を向上させるためには、初期条件の分散を補正する時間収束技術が不可欠である。投影型イメージング質量分析においては従来一般的であった遅延引き出し法を使うとイオン像がぼやけて消失してしまうので、質量分解能を上げることができていなかった。この問題を解決するために、青木氏は引き出し後差動加速法と名づけた新しい手法を開発し、イオン像を保存したまま時間収束させることに成功した。これも論文化されて報告されている。この手法により質量分解能が劇的に向上し、多重周回による飛行距離の延長($\sim 10\ \text{m}$)とあわせて質量分解能 $m/\Delta m\ 10,000$ を達成するに至った。

また、投影型のイメージング質量分析においては、まだその要求条件を満たす最適な検出器が存在しないため、青木氏は蛍光面付きMCPとディレイライン検出器を切り替えて観測可能な検出システムを開発し、投影型イメージング質量分析装置が実用的に運用できる段階まで開発を進めた。これらの要素技術を積み上げていった結果として、イメージング質量分析で世界最高性能となる空間分解能 $1\ \mu\text{m}$ 、質量分解能 $m/\Delta m\ 10,000$ を同時に達成する観測実験に成功した。

開発したイメージング質量分析装置の観測性能を応用研究に適用する計画を進めており、医学・薬学分野や高機能有機材料の開発分野での活用が期待されている。また、投影型イメージング質量分析に最適な検出装置の開発にも着手している段階である。青木氏の功績に世界最高性能の投影型イメージング質量分析装置が実現し、今後さらなる発展が期待できるものと評価し、日本質量分析学会奨励賞贈呈を決定した。

授賞対象業績リスト

- 1) J. Aoki, H. Hazama, and M. Toyoda, "Novel ion extraction method for imaging mass spectrometry," *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **59**, 57-61 (2011).

奨 励 賞

- 2) H. Hazama, J. Aoki, H. Nagao, R. Suzuki, T. Tashima, K. Fujii, K. Masuda, K. Awazu, M. Toyoda, and Y. Naito, "Construction of a novel stigmatic MALDI imaging mass spectrometer," *Appl. Surf. Sci.*, **255**, 1257–1263 (2008).
- 3) J. Aoki, A. Kubo, M. Ishihara, and M. Toyoda, "Simulation of ion trajectories using the surface-charge method on a special purpose computer," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, **600**, 466–470 (2008).
- 4) H. Hazama, H. Yoshimura, J. Aoki, H. Nagao, M. Toyoda, K. Masuda, K. Fujii, T. Tashima, Y. Naito, and K. Awazu, "Development of stigmatic mass microscope using laser desorption/ionization and a multi-turn time-of-flight mass spectrometer," *J. Biomed. Opt.*, **16**, 046007 (2011).
- 5) H. Yoshimura, H. Hazama, J. Aoki, M. Toyoda, Y. Naito, and K. Awazu, "Evaluation of a delay-line detector combined with analog-to-digital converters as an ion detection system for stigmatic imaging mass spectrometry," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **50**, 056701 (2011).