

4D14

イオントラップを活用した高感度・高分解能気相移動度測定システムの開発

(東邦大理) 澤西 慶彦、○菅井俊樹

【序】

イオンの気相移動度測定は気相中のイオンの静電場下の運動を測定する測定手法であり、高感度なイオン検出を用いることなど質量分析と関連が深い。さらに質量分析では直接検出が不可能な構造に関する情報が得られるなど、近年質量分析との複合測定システムとしてめざましい発展を遂げてきた。特に、フラーレンやクラスター、およびナノチューブなどのナノ物質、さらには生体分子などの構造測定では新規物質の発見や、構造変化などの事象が見いだされている[1,2]。さらに、気相中のイオンとの相互作用により、キラル物質の識別が可能になるなど、分子間相互作用を活用したより高度な測定の可能性が示されている[3]。しかし、移動度測定では、大気圧程度の比較的高圧の気体を用いるため、 10^{-6} Torr 程度の高真空が必要な質量分析装置と結合することは困難である。従来は、直径 0.1mm 程度の非常に小さいイオン導出孔と 10,000 l/s 程度の大容量差動排気システムが必要であり、感度や構造分解能など様々な性能が犠牲になっていた[1]。近年この問題を解決するためにイオントラップを活用し、イオンの損失を防ぎ検出感度の向上が実現されつつある[4]。このイオントラップは多数の積層平行電極で構成されているため、4重極イオントラップのような多極子イオントラップそして Paul トラップと異なり、気相移動度測定システムに必要な静電場下の運動を効率よく行うことが容易である[4]。実際に waters 社からはこのタイプのイオントラップを用いた世界最高水準の高感度気相移動度測定システムが市販されているが、構造分解能はあまり高くない [4]。我々は、このシステムの特性を改善し、高い感度を維持しつつ、より高い構造分解能を実現するため、このイオントラップを発展させたシステムを開発しつつある。今回はこの積層型イオントラップを活用した高感度・高分解能気相移動度測定システムを構築・荷電微粒子を二時間以上トラップし、径時変化による荷電微粒子の形状変化や、荷電状態などを高感度に測定した。

【実験】

今回開発したイオントラップ気相移動度測定システムは、図 1 に示すように帯電水滴発生システム、積層電極型イオントラップ、および高周波(RF)および移動度測定電源(LF)によって構成されている。高周波(RF)として 20 kHz, 600 Vpp を、移動度測定用(LF)に 10~20 V, 1~100 Hz を用いた。電源帯電水滴発生システムはイオンスプレーのような金属ニードルパイプに高電圧を印加した上で飽和食塩水を導入し、エアブローアによって噴霧するものである[5]。電圧と粒子径に従って帯電量が変化する[5]。生成した帯電微粒子(直径数~数百 μm)は、イオントラップに導入される。イオントラップに導入後これらの微粒子は、トラップ上部から照射される半導体レーザーを散乱し、トラップ側面からデジタルカメラなどでその位置が測定される。気相移動度を測定するために、トラップ電極に均一電場を印加し、イオンのトラップ軸方向の長距離移動を測定する。このシステムでは、質量分析を使用しないため、

気相移動度測定が直接位置検出できるため、容易になることが特徴である。さらに単一粒子の径時変化も非破壊で長時間行うことができる。

【結果と考察】

図 2 に示すようにイオントラップによる帯電粒子のトラップと電場によるイオンの移動が観察された。微粒子の軌跡から LF 周波数を変化させると高周波になるほど振幅が減少した。これらの振幅測定から、荷電粒子の直径が $20 \mu\text{m}$ 、 m/z が 1×10^{10} 程度であることが分かった。トラップ寿命は二時間以上あった。さらに、これらの振幅測定を長時間行うことにより、図 3 のように、振幅が生成直後から 5 分後までには急速に上昇し、さらに 5 分から 20 分まで緩やかに上昇した後、30 分以降は全く変化しなくなることが分かった。これは、生成直後は水滴の蒸発が起こり、粒子サイズが小さくなることを示している。しかし十分時間がたつと蒸発平衡に達し粒径が変化しなくなることでも分かった。現在さらに詳細な測定が行える多段構成で移動距離の長いシステムを構築中である。今後は質量分析に接続し、分子、クラスター、ナノ物質などの構造測定と径時変化を測定する予定である。

【参考文献】

- [1] P. Dugard *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 1122 (1997).
- [2] T. Sugai *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **123**, 6427 (2001).
- [3] P. Dwivedi *et al.*, *Anal. Chem.* **78**, 8200 (2006).
- [4] K. Giles, *et al.*, *Rapid Comm. in Mass. Spec.* **18**, 2401 (2004).
- [5] 和田雄一郎、「Paul Trap」による液滴のトラップ」平成九年度 東京工業大学 理学部物理学科 卒業論文

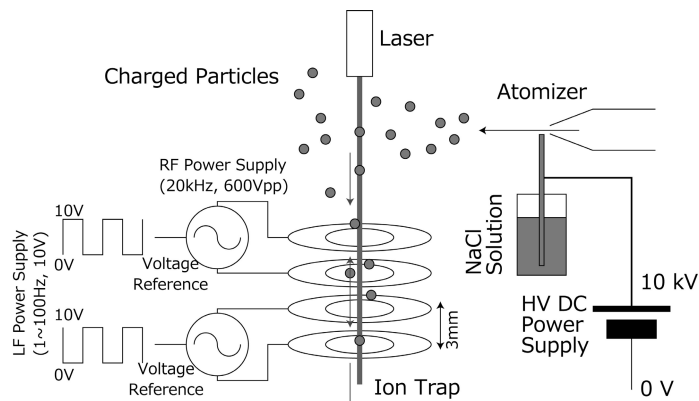


図 1 測定システム

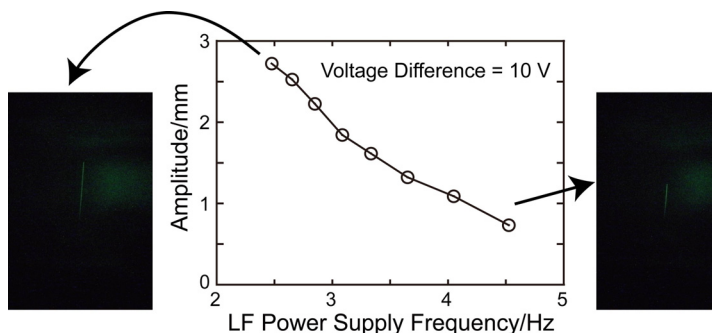


図 2 トラップされた微粒子の軌跡

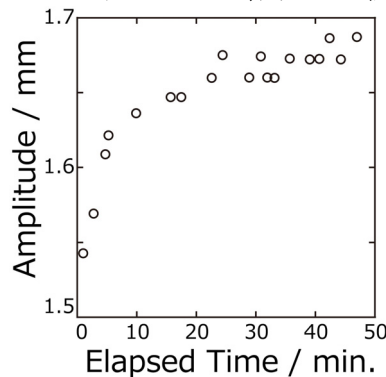


図 3 微粒子の振幅の径時変化