

トラップ型気相移動度測定システムの開発とナノ粒子の観測
(東邦大理) 陣内 涼太、○菅井 俊樹

Development of Ion Trap Ion Mobility Measurement System and Observation of Nano Particles
(Department of Chemistry, Toho University) R. Jinnouchi, and ○T. Sugai

[序]

気相移動度測定は、バッファーガス中のイオンの静電場下での運動を測定することで、イオンとガス分子との衝突断面積という構造に直結する情報が得られることが特徴である[1]。これまでに我々は、金属内包フラーレンの構造および構造変化[2]を測定してきたが、従来の手法ではイオンのガス中拡散を抑制できず、分解能と感度が損なわれてきた。近年これらの問題を解決するために、イオントラップと繰り返し測定を行うことで、分解能と感度を向上させる試みが行われている[3,4]。我々は、これらに加え、蛍光粒子を直接顕微鏡観察することで μm サイズの微粒子の移動度と電荷分布測定、さらに従来不可能であった数時間に渡るサイズと電荷量変化の長時間追跡などを行ってきた。これらの粒子サイズは環境粒子とほぼ同一であり、環境調査の測定に大きな可能性を持つ。今回、観察感度を大きく向上させることで直径 50 nm のナノ粒子観測測定の観測に成功した。

[実験]

図 1 に示すように、レーザー脱離イオン化源をトラップ型気相移動度測定システムに組み込み、サイズ均一性が高い蛍光ポリスチレン球形粒子(Bay bioscience: 直径 50 nm ~ 3 μm)を試料棒先端に塗布した。塗布した試料に 266 nm のパルス YAG レーザーの 4 倍波を集光させることで粒子をイオン化した。トラップ用 RF 電圧は 1 kVpp 20 kHz であり、ここに移動度用バイアスとして 5 V, 2.5Hz を印加した。図 2,3 に今回用いた粒子の TEM 像を示す。球状度と構造均一性が高く直径分布は数%以内であった。イオン化した粒子はトラップ型気相移動度

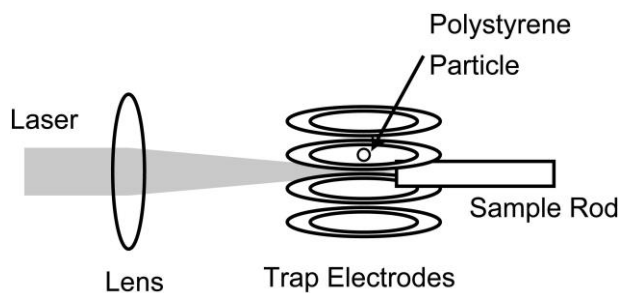


図 1 測定システム

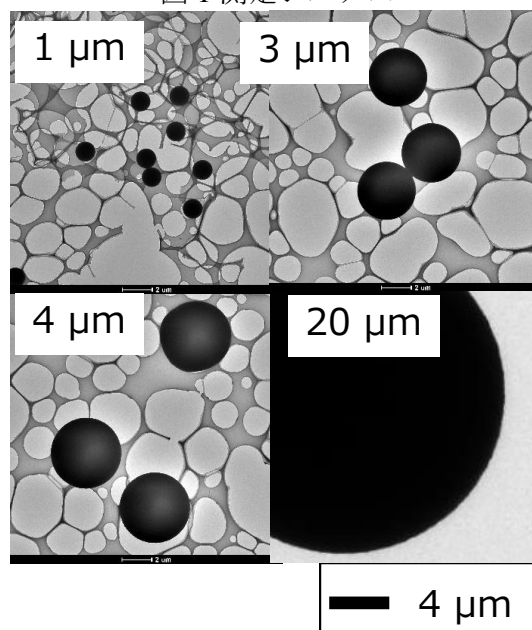


図 2 様々なサイズのポリスチレン粒子

測定装置で大気中にトラップされ、移動度用バイアス電圧変調に従った上下往復運動を行う。この運動をビデオ撮影し動画からドリフト速度を測定した。

【結果と考察】

図 4 に今回得られた粒子のドリフト速度のサイズ依存性を示す。ドリフト速度は半径 250 nm より大きなサイズではサイズ依存性がないが、それ以下の nm 粒子領域で急速にドリフト速度が増加した。以前の我々の研究から、このレーザーイオン化では、粒子サイズと電荷量は比例していることがわかっている。すなわち粒子半径と電荷をそれぞれ r , q とした場合、 $\frac{q}{r}$ は一定である。この実験事実とともに、 μm 粒子の大気中のドリフト速度を決定するストークスの式 $v = \frac{qE}{6\pi\eta r} \propto \frac{q}{r} = \text{const}$ から、 μm 粒子のドリフト速度は観測結果のようにサイズ依存性を持たないことが説明できる。一方サイズが遙かに小さい nm 粒子のドリフト速度を決定する移動度の式 $v = \frac{3}{16} \frac{qE}{N} \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{M}} \sqrt{\frac{2\pi}{kBT}} \frac{1}{\pi r^2} \propto \frac{q}{r} \cdot \frac{1}{r} \propto \frac{1}{r}$ から、nm 粒子のドリフト速度はサイズが小さくなると急速に増加することが説明できる。

これらの結果から、われわれは直径 50 nm の粒子を目視観測したことで、粒子半径と電荷量の比例関係が nm 領域でも成立していることがわかった。さらに今回、ドリフト速度の粒子サイズ依存性をストークスの式と移動度の式を用いて、2つの領域で分けて取り扱う必要性があった。これは、粒子サイズを大気圧下の分子の平均自由行程 70 nm に対し、より小さい領域から遙かに大きい領域に変化させたためである。

現在より多くの測定データから統計的情報を得ること、より広いサイズのポリスチレン粒子を測定し、サイズ依存性をより詳細に調べることで、さらに実際のナノ物質を測定することを試みている。

【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] D.E. Clemmer *et al.*, *Anal. Chem.* **81**, 1482 (2009)
- [4] F. Fernandez-Lima *et al.*, *J. Ion Mobil. Spec.* **14**, 93 (2011)

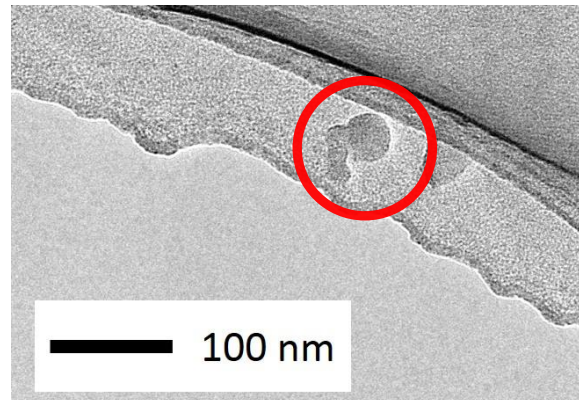


図 3 直径 50 nm の粒子の透過電顕像

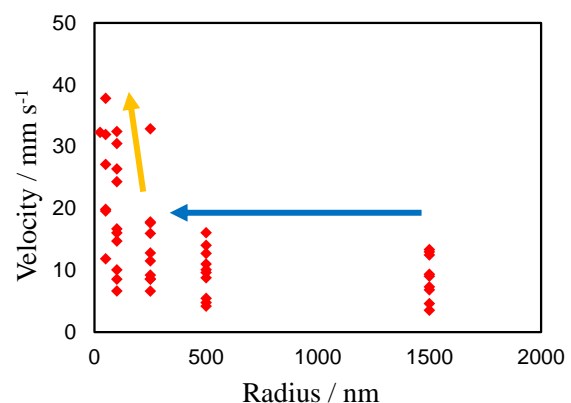


図 4 ドリフト速度の粒子サイズ依存性