

質量選別したクラスターイオンの
光解離速度マッピング画像観測法の開発

(電通大院情理工¹, 電通大情理工²) ○山北佳宏¹, 齋藤広大¹, 小林憲明¹, 下川原翔太²

Development of a photofragment velocity-map imaging spectrometer
for mass-selected cluster ions

(University of Electro-Communications)

○Yoshihiro Yamakita, Koudai Saito, Noriaki Kobayashi, and Shota Shimokawara

【序】 分子ビームに多種類のクラスターイオンが含まれる場合の光解離実験では、イオン反射を用いて目的とする親イオンの収束性を高めることが有効と考えられる。本研究では、クラスターイオンを質量選別したうえでレーザー光解離させ、解離イオンの速度マッピング画像観測(VMI)を行うための装置について報告する。親イオンとなるクラスターイオンは、飛行時間(TOF)法で質量選別することができ、その後に解離イオンの反射を行うことによってイオンルームが膨張するのに十分な飛行時間をとることができる[1,2]。この **reflectron imaging** と呼ばれる方法で問題となるのは、反射電極に張ったメッシュ近傍には微細構造に由来する不均一電場が存在するため解離イオンの軌跡が乱れてしまうことと、親イオンを加速する際に並進エネルギー温度が上がってしまうことである。これらにより観測される画像の分解能が低下してしまう[2]。そこでわれわれは、円筒対称を保ったままパルス電場で2回反射する2重リフレクトロンイメージングの方法を提案し、新たな画像観測装置の開発を進めている。クラスターイオンの光解離動力学はこれまでTOF法で研究されてきたが、質量選別されたクラスターイオンのイメージングは画像観測で研究されていないと言える。画像観測法を適用することができれば、放出運動エネルギーの低い領域と放出角度分布について直接的かつ定量的な測定が可能になる。

【装置】 Fig. 1 に本研究の2重リフレクトロンの電極の概略を示す。このセットアップでは、反射電極にメッシュは全く使われていない。親イオンは2つの反射電極群にパルス電場を印加して反射される。つまり、(1) 図中の点Aの引き出し領域で親イオンが加速されたあとに(2) 反射領域Iでの反射により時間的・空間的に収束され、(3) 反射領域IIの点Dで減速されてパルスレーザーで光解離される。(4) そして解離イオンは再加速されて位置敏感型検出器で観測される。

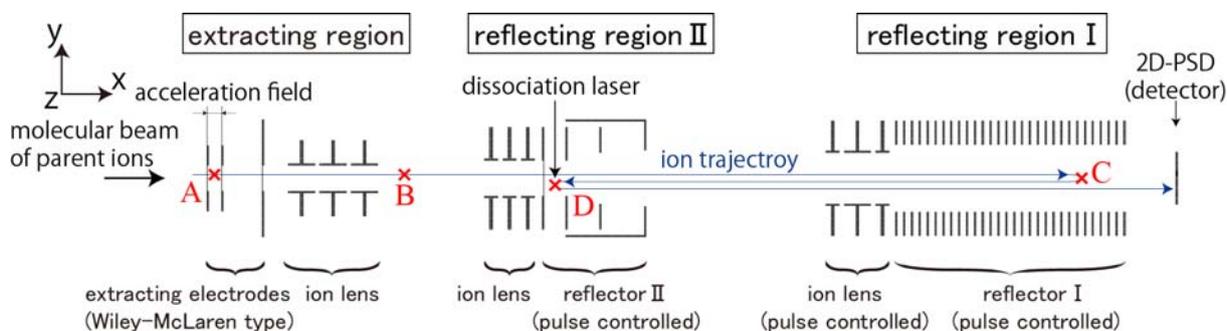


Fig. 1 A schematic illustration of a photofragment velocity-map imaging spectrometer for mass-selected cluster ions. It shows a cross section of cylindrical-symmetry electrodes. Distances between the regions are not proportionally scaled.

【結果と考察】 2重反射による収束効果を調べるため、質量電荷比 $m/Z = 102$ の親イオンが並進速度 $T_{\text{trans}} = 20$ K で生成した場合を仮定し、イオン軌道解析から位置と速度の分布を計算した。Fig. 2(a)と Fig. 2(b)はそれぞれ、加速前の点 A における親イオンの分布と、1 回目の反射で収束された点 D における親イオンの分布を示している。図における右上の正方形のプロットは、横軸に分子線方向、縦軸に分子線直交方向をとった空間分布を示している。各図下のプロットは分子線方向の位置に対して速度をプロットしたもの、各図左は分子線直交方向について示したものである。

Fig. 2(b)から分かるように、イオン反射とイオンレンズによって点 D では分子線に沿った x 軸方向とならびに分子線に直交する y 軸方向に空間収束されているものの、並進速度の成分は広がってしまっている。つまり、Fig. 2(b)で計算された v_x の分布幅は、Fig. 2(a)にお

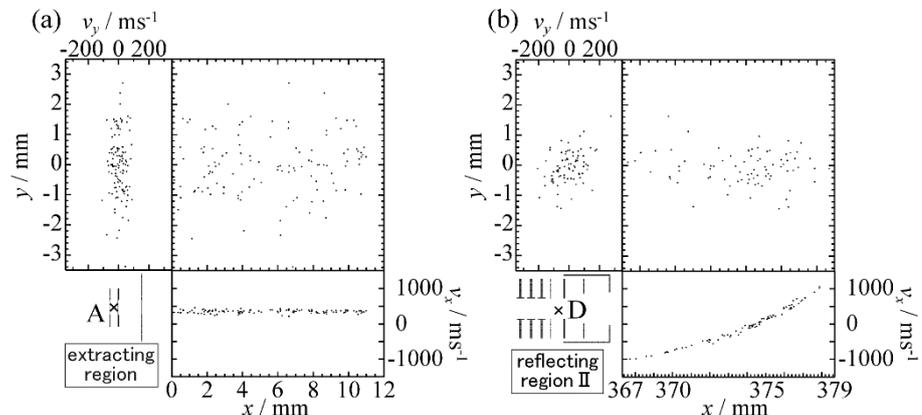


Fig. 2 Representative points of spatial and velocity distribution of parent ions (a) before and (b) after mass selection, at point A and D in Fig. 1, respectively. Right panels indicate spatial distribution, whereas bottom and left panels present velocity distributions along x and y axes, respectively.

けるもとの分布幅より約 2 桁広がっている。しかし、 v_x が x に対してほとんど線形に依存している点に着目すると、解離レーザーの照射位置を絞ることによって速度を選別できることが分かる。例えば、ビーム径 1 mm 解離レーザーで、3000 V で加速されたの親イオン $m/Z = 102$ が光解離されたとき、1 eV の余剰並進エネルギーで放出された解離イオン $m/Z = 63$ の速度分解能は、点 D から 726 mm 下流の位置で ~ 40 meV になることが分かった。つまり、解離種の振動準位を分解した実験が原理的には可能である。

Fig. 3 は、親イオンの生成から光解離までのイオン軌跡の時間変化を示す。横軸は分子線方向に並進した位置 x を、縦軸は並進速度 v_x を示す。点 A で加速された親イオンは、点 B で一旦 10 cm 近くに広がるが、転向点 C で再び圧縮される。一方で速度分布は転向点 C で広がっている。つまり、空間密度の増大と速度分布の一様性は相反する。

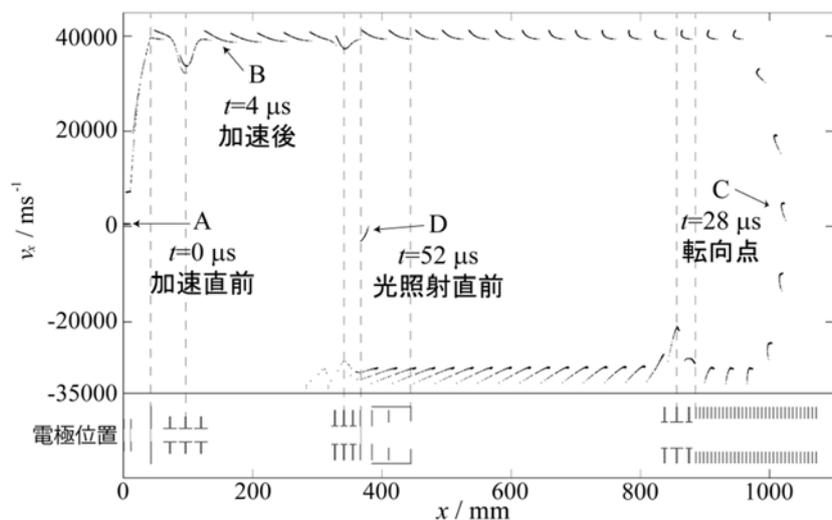


Fig. 3 Snapshots at 1 μ s intervals representing position and velocity distributions of parent ions.

[1] B. D. Leskiw, M. H. Kim, G. E. Hall, and A. G. Suits, *Rev. Sci. Instrum.* **76**, 104101 (2005).

[2] Y. Yamakita, H. Hoshino, Y. Suzuki, M. Saito, K. Koyasu, and F. Misaizu, *Faraday Discussions* 157, Assisi, Italy (2012).