

4P010

数サイクルパルスにより誘起されるメタン分子からの高エネルギープロトン放出

(東大院理) ○三浦 瞬、沖野 友哉、山内 薫

【序】強光子場($\sim 10^{14}$ W/cm²)中において、分子はイオン化し、クーロン爆発することが知られている。炭化水素分子のイオン化および解離のメカニズムは、放出されるプロトンの運動エネルギーによって調べることができる[1]。また、近年の研究では、多価の親イオンの協奏的クーロン爆発過程によって高エネルギーのプロトンが放出されることが明らかとなった[2]。本研究では、炭化水素分子からのプロトン放出のメカニズムについて調べるため、メタン分子に数サイクルパルス(~ 8 fs)を照射した際に放出されるプロトンの運動エネルギー分布について、そのパルス幅依存性及び強度依存性を調べた。

【実験】フェムト秒チタンサファイアレーザーからの出力 (5 kHz, 4 mJ, 800 nm) を Ne ガスを充填した中空ファイバーに集光し、ウェッジ板とチャープミラーを用いて分散を補償することによって数サイクルパルス(~ 8 fs)を得た。得られた数サイクルパルスを集光ミラー($f = 100$ mm) を用いてメタン分子線に集光した。生成したイオンを飛行時間型質量分析装置を用いて検出した。集光点におけるパルスエネルギーは 320 μ J であり、集光強度は 2.6 PW/cm² となる。分散補償に用いたウェッジ板によってパルス幅を変化させながら測定を行った。また、半波長板と偏光板を用いてパルスエネルギーを変化させ、パルスエネルギー依存性を調べた。

【結果と考察】

得られたプロトンの運動エネルギー分布には、クーロン爆発に由来するピークが確認された (図 1)。その運動エネルギーは 35 eV を超えることが示された。信号強度が 12 eV 付近にあるショルダーピークの強度の 10 % に減少するエネルギーをこのプロトン放出のカットオフエネルギーを定義すると、図 3 および図 4 のようにカットオフエネルギーのパルス幅依存性とレーザー強度依存性が求められた。図 3 から、パルスエネルギーが一定の場合、パルス幅が長くなるほどカットオフエネルギーが減少することが示された。また、図 4 に示すように、レーザー強度が強いほどカットオフエネルギーは増加しており、レーザーパルスのピー

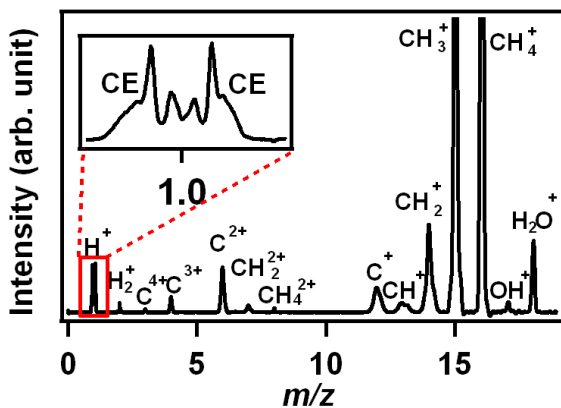


図 1: メタン分子の質量スペクトル
レーザー偏光方向は TOF 軸と平行
(8 fs, 2.6 PW/cm²)

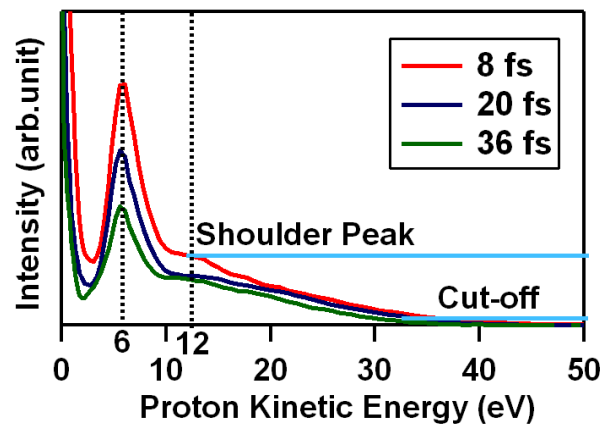


図 2: プロトン放出エネルギー分布

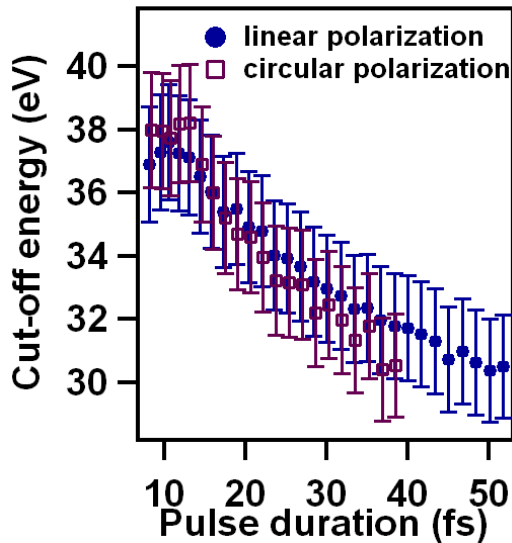


図3:カットオフエネルギーの
パルス幅依存性 (320 μJ)

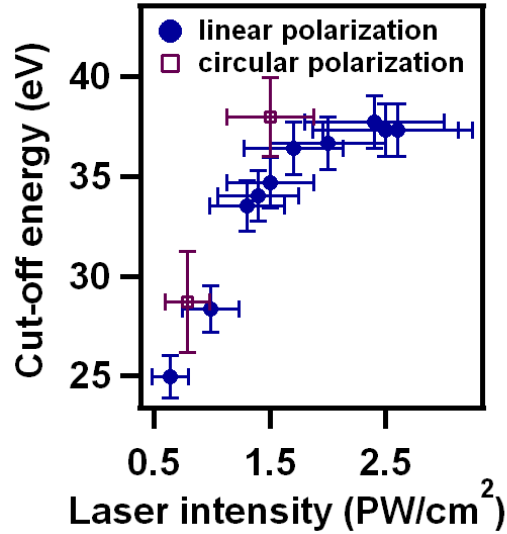


図4:カットオフエネルギーの集光強度依存性 (8 fs)
同じ電場強度で比較するため、円偏光の強度を
スケールしてプロットしている。

ク強度が高いほど、より多価のメタン分子が生成し、その結果として、運動エネルギーのより高いプロトンが、クーロン爆発によって放出されると考えられる。

図2に示されている6 eV付近のピークは2価の親イオンの二体クーロン爆発に帰属できる。この時、この放出エネルギーから導かれるクーロン爆発直前の電荷間距離は 2.3 Å であり、基底状態のメタンに比べて結合が約2倍に伸長していることがわかる。また、35 eV以上のエネルギーを持つプロトンが、この電荷間距離において価数 z を持つ親イオンの二体解離 $\text{CH}_4^{z+} \rightarrow \text{CH}_3^{(z-1)+} + \text{H}^+$ によって放出されたと仮定した場合、親イオンの価数 z が $z = 6$ 以上となる必要がある。このことは、数サイクルレーザーパルスによって6価以上の価数を持つ高価の親イオンが生成したことを示している。

また、パルス幅を伸長させると、2価の親イオンのクーロン爆発によるプロトンの生成量に対して、3価以上の電荷を持つ親イオンに由来するプロトンの生成量が増加する。このことは、核間距離が伸長した後、さらにイオンが進むという増強イオン化の過程により、より電荷数の多い親イオンが生成したことを示している。

また、レーザーの偏光を円偏光とした場合、カットオフエネルギーに有意の変化は見られなかった。円偏光においては電子の再衝突過程は抑制されることが知られているが、この観測結果は、多価の親イオンの生成の機構が電子の再衝突過程によるものではないということを示している。

【参考文献】

- [1] C. Cornaggia, M. Schmidt, and D. Normand, *Phys. Rev. A*, **51**,1431 (1995).
- [2] S. Roither, X. Xie, D. Kartashov, L. Zhang, M. Schoeffler, H. Xu, A. Iwasaki, T. Okino, K. Yamanouchi, A. Baltuska, and M. Kitzler, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 163001 (2011).