

## シュタルク速度フィルターを用いた低速分子線源の開発

(東工大院理工、CREST) 辻秀伸、奥田泰壮、関口貴郎、金森英人

【序】原子や分子を冷却し熱振動の小さい状態にすると、常温では平均化されてしまっていた量子力学的な現象が顕わに見えてくる。原子ではレーザー冷却という手法が確立されているが、分子ではまだ冷却手法が発展段階にある。そこでわれわれはシュタルク速度フィルター<sup>1)</sup>を製作した。これは分子を積極的に冷却するのではなく、分子のシュタルク効果を用いてボルツマン分布した分子集団の中から、低速の分子だけを選び出すという仕組みである。一般に分子のシュタルク効果はある回転準位に対してM成分ごとに異なるエネルギーシフトを引き起こすので、それぞれに対し速度選択を行う必要がある。我々は四重極電極を用いたシュタルク速度フィルターで正のシュタルクシフトを持つ状態(Low-field-seeker)の分子の選択に成功しており<sup>2)</sup>、今回さらに装置の改良を行いバックグラウンドの低減化を実現した。一方、回転基底状態 $J=0$ は負のシュタルク効果(high-field-seeker)をもつ単一状態であるため、内部エネルギー準位を含めた究極の低温分子を実現するためにはhigh-field-seekerを選択することが不可欠となる。そこで我々はHigh-field-seekerの選択を実現するための装置開発を行ったので報告する。

【実験・結果】四重極を用いたシュタルク速度フィルターについて報告する。従来の問題点であったバックグラウンドとはパルスバルブから吹き出した $\text{ND}_3$ 分子で、四重極にガイドされていないが隔壁を通り抜けてきたものである。このバックグラウンドを真空度の改善、隔壁の改良により低減化することに成功した。図1の高電圧 OFFがバックグラウンドの分子の飛行時間測定(TOF)信号となっている。この時間の原点はバルブの開く瞬間である。高電圧ONではガイドされた分子の信号がバックグラウンドの半分程度現れており、より定量的な議論が可能となった。図1のON,OFFの差をとったものが図2となっており、ガイドされた分子の総数は $10^6$ 個程度であった。また、図2を速度分布に変換したのが図3である。低速分子の速度分布を300Kのボルツマン分布と比較すると、およそ140m/s以下の低速の分子が選択されていることがわかる。検出できた最も低速の分子は50m/sの分子であり、これは並進温度にして3Kに相当する。

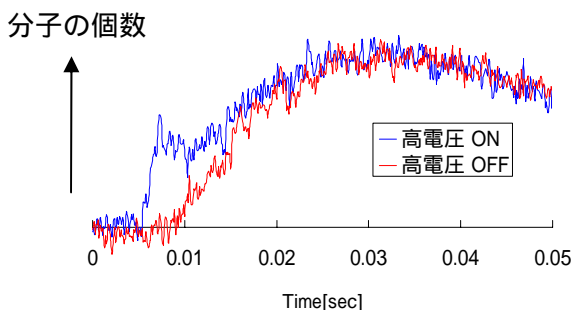
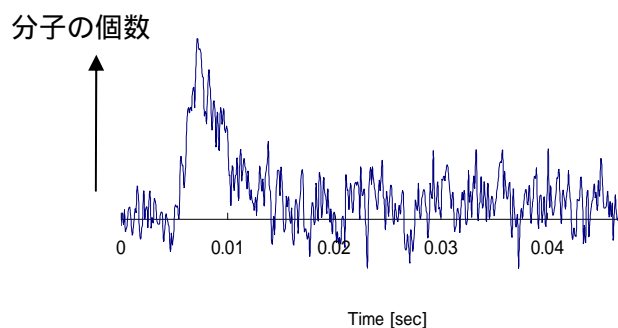
図 1.  $\text{ND}_3$ のTOF

図 2. 低速分子のTOF

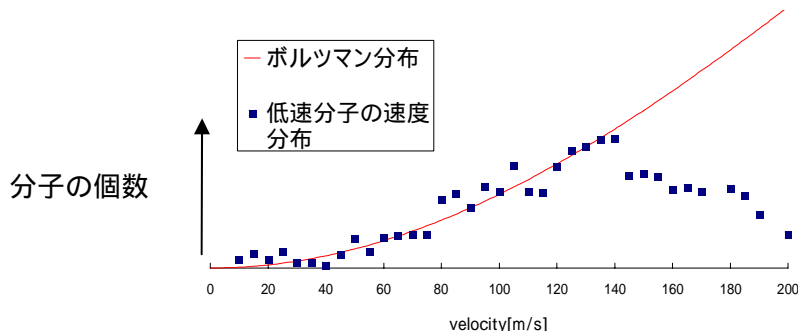


図 3. 低速分子の速度分布とボルツマン分布

次に high-field-seeker を選択する装置の開発について報告する。本装置はパルスバルブによるガス導入部、速度選択を行うワイヤー電極部、検出部から構成される。この装置ではシュタルク速度フィルターとして図 4 のようなワイヤー電極を用いた。ワイヤー電極に高電圧をかけるとワイヤーを中心にした電場勾配ができ、ワイヤーの中心方向に力を受けることになるが、このときの運動はケプラー運動方程式

$$r = \frac{l}{1 + e \cos \sqrt{b}(\theta - \theta_0)}$$

にしたがう。したがって角度方向の速度  $v$  を持ったものは衝突せずにワイヤーの周りを螺旋運動しながらガイドされる。このワイヤー電極を曲率  $R$  で曲げることでワイヤーの軸方向に対して遅い速度成分をもつ分子のみを選択する。

ガス導入部はパルスバルブから  $\text{ND}_3$  ガスを吹き出す部分である。  $\text{ND}_3$  ガスを噴出す条件として、ボルツマン分布の初期速度を保つために effusive beam (押し圧 50 mTorr, オリフィス径 3 mm) とした。ワイヤー電極部は全長 400 mm、直径 0.3 mm のワイヤーで構成されている。速度選択するための曲率  $R$  は 135 mm とし、かける電圧は +10 kV とした。この電場により作られるポテンシャルは  $J=0$  の分子に対して  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  程度である。検出部は 2 枚の隔壁によって  $10^{-8}$  Torr 程度に保たれていて、そこで質量分析装置を用いて分子の TOF を測定した。このシュタルク速度フィルターは分子がある程度の  $v$  を持っていなければならないので、選択される分子の総数が四重極電極の場合よりも小さいことが予想される。そこでシミュレーションを行った結果、信号は 1 桁小さくなると見積もられ、実際検出が困難となっている。

現在低速分子の検出を目指し、再現性を含めて実験を繰り返している。

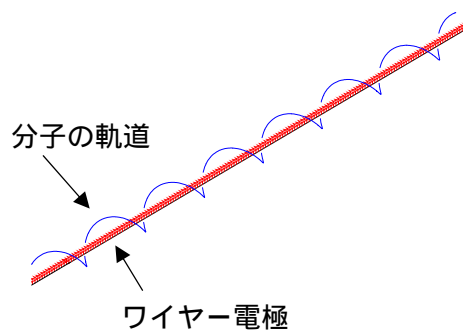


図 4. high-field-seeker の螺旋運動

- 1) S. A. Rangwala, T. Junglen, T. Rieger, P. W. H. Pinkse, and G. Rempe, Phys. Rev. A **67**, 043406 (2003)
- 2) 奥田泰壮、関口貴郎、辻秀伸、金森英人 分子構造総合討論会 (2004) 2B11