

不足膨張マイクロ噴流の MTV 計測

半田太郎, 今村幸平, 水田倉右
九州大学

近年, 工学の様々な分野で超音速マイクロ噴流を応用しようとする試みがなされている. 例えば, MEMS の構成要素の冷却装置として超音速マイクロ噴流が有力な候補として挙げられている⁽¹⁾. 超音速マイクロ噴流は亜音速噴流と比べて広がりにくく, 流量も多いので, 小さい領域を局所的に短時間で冷却できる特徴がある. また, 熱光起電力 (Thermophotovoltaic; TPV) を利用したマイクロ発電システムにおいて, 燃焼部の燃料混合にマイクロ超音速噴流 (マイクロ超音速エジェクタ) を利用する⁽²⁾ことが試みられている. さらに, マイクロ超音速噴流をスケールの大きい超音速キャビティ流れや超音速噴流に作用させて流れの振動や騒音を低減する方法⁽³⁾, ⁽⁴⁾が提案されている. その他に, 小さい衛星 (マイクロ衛星) の推進装置, 太陽電池製造装置 (プラズマ CVD 薄膜製造装置), レーザーマシニングなどにマイクロ超音速噴流を利用することが試みられている. 上述のような流れ場では, 気体が数百 μm の範囲で膨張により亜音速から超音速まで加速し, 衝撃波により平均自由行程程度の範囲で減速する. このような流れ場の速度を計測する場合, MTV (Molecular Tagging Velocimetry) (図 1) が有効である. MTV では流れ場中に混入した分子を追跡するので, トレーサの追従性の問題は生じない. 本研究では直径 500 μm のオリフィスから発生する不足膨張マイクロ噴流の流速をアセトン分子の蛍光を利用した MTV により計測し, この計測法の妥当性を検討する. その結果, 実験結果は数値解析と良く一致し (図 4), 本システムの妥当性が確認された.

参考文献

- (1) Davy et al., "Surface flow measurements of micro-supersonic impinging jets", *AIAA Pap.*, 2002-3196 (2002).
- (2) Fan et al., "Development of a large-entrainment-ratio axisymmetric supersonic ejector for micro butane combustor", *J. Micromech. Microeng.*, 16 (2006) S211-S219.
- (3)
- (4) Zhuang et al., "Supersonic cavity flows and their control", *AIAA J.*, 44 (2006) 2118-2128.

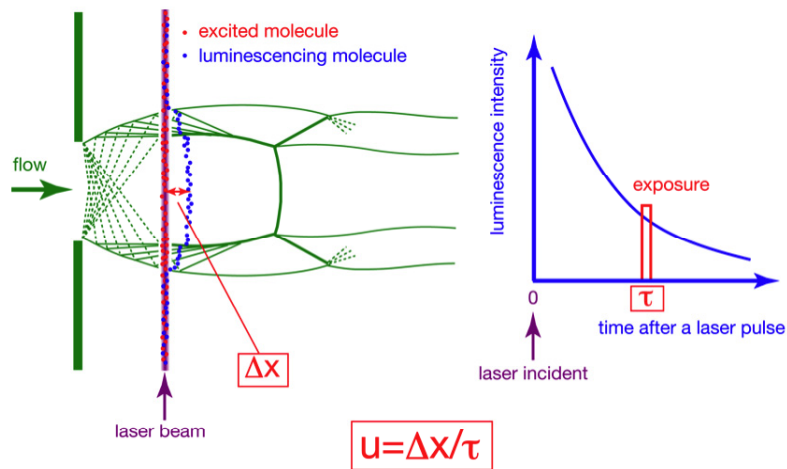
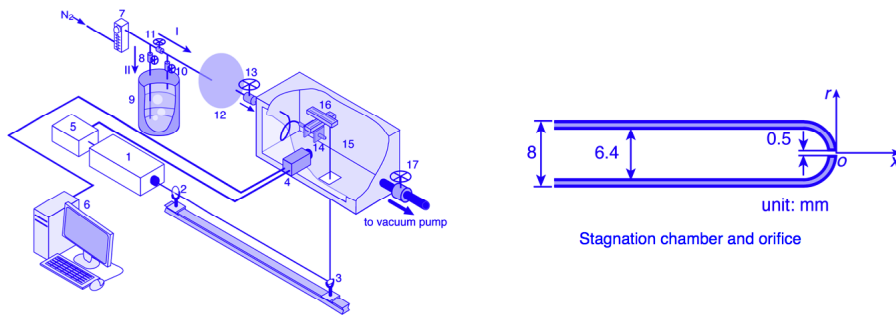


図 1. MTV(Molecular Tagging Velocimetry)の概念図(右図). アセトンは一レーザー照射後も発光し続けるので, 図のようにレーザーを照射してからある遅れ時間・後のアセトンの発光を撮像し, アセトン分子の動きを追跡すれば流れの速度を求めることができる.



Experimental setup: (1)Nd:YAG laser, (2)lens, (3)mirror, (4)ICCD camera, (5)pulse delay generator, (6)personal computer, (7)flowmeters, (8)valve, (9)acetone seeder, (10)valve, (11)valve, (12)balloon, (13)valve, (14)stagnation tube and orifice, (15)expansion chamber, (16)traversing device,

図 2. 実験装置(左図)と測定部(右図). 対象とする流れは直径 $500 \mu\text{m}$ のオリフィスから発生する不足膨張噴流. 上流よどみ室圧力 100kPa , 膨張室圧力 5kPa . 作動気体は窒素でアセトンのシーディング比は $\sim 1\%$. オリフィス出口の諸量に基づくレイノルズ数は 7600 .

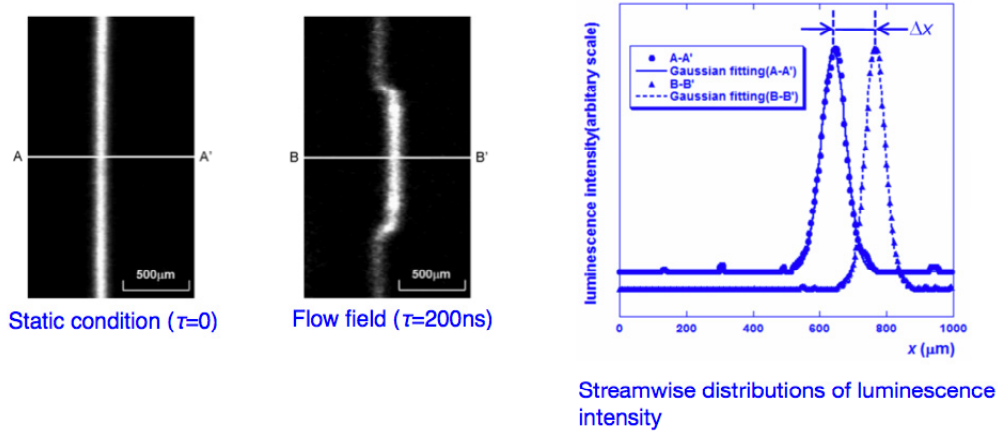


図 3. 静止場の蛍光画像(画像左)と流れ場の蛍光画像(画像右). 流れ方向の蛍光強度分布はガウシアン分布でフィッティングできる(右図)ので得られたガウシアン分布のピーク位置の差から速度を算出できる.

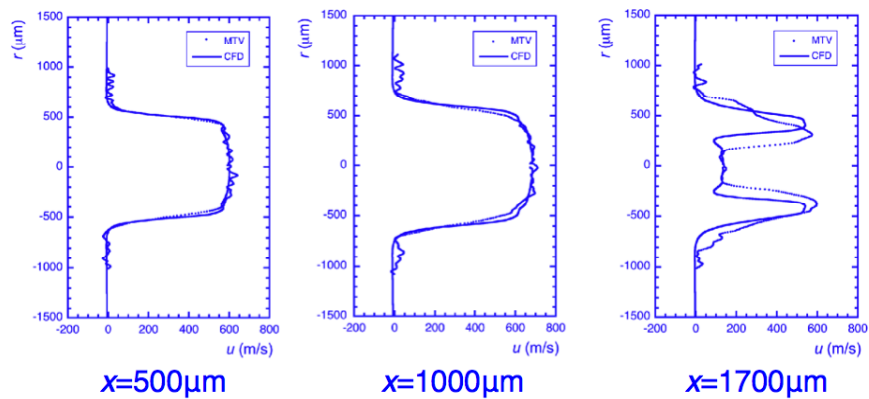


図 4. 実験結果と数値計算結果. マッハディスク上流($x=500\mu\text{m}$ 、 $x=1000\mu\text{m}$)では両者は良く一致するが、マッハディスク下流($x=1700\mu\text{m}$)では両者にずれが生じる. これは実際の流れでは乱流に遷移したためと推測され、数値計算では乱流モデルを組み込んでおらずこの遷移を再現できない.