

高クヌッセン数流れのミクروسケール・アナリシス 低密度流れ・マイクロ気体流れの熱流動場計測

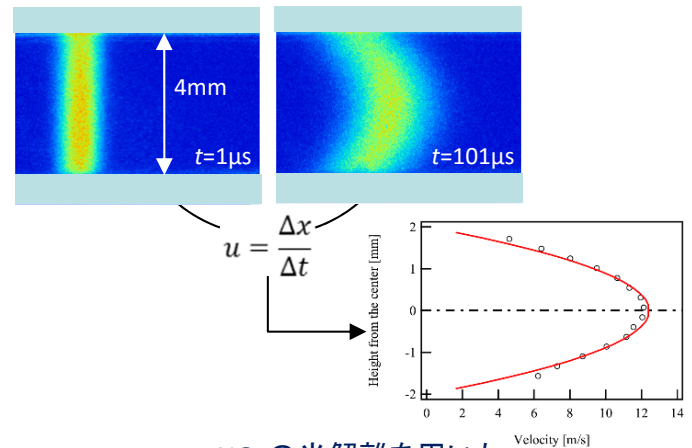
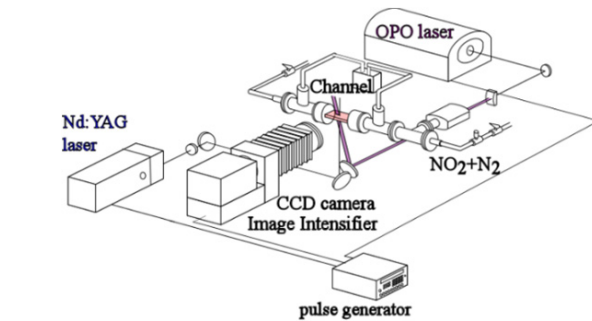
マイクロ・ナノシステム工学専攻 マイクロ熱流体工学研究グループ
新美 智秀・山口 浩樹・松田 佑

研究開発の概要

宇宙などの低圧力環境における低密度流れと非常に小さなミクروسケールでの気体流れは、希薄度を表現するクヌッセン数を用いるとどちらも高クヌッセン数流れに分類され、類似の性質を持っている。このような流れでは、通常の流体とは異なり原子・分子の運動として捉えることが求められる。我々は、実験的に計測することによりこれらの流れの特性解明を目指している。

分子タギング速度計測

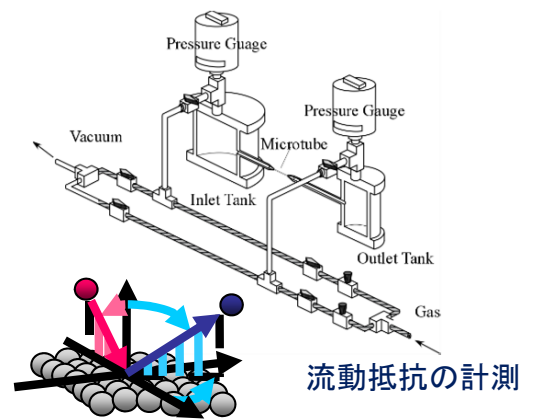
特にマイクロ気体流れはスケールが小さいだけでなく、原子・分子の運動を捉える必要があることから計測が非常に難しい。そのような計測には光を用いた非接触計測が有望である。そこで我々は、分子を可視化して移動を追跡することにより速度分布を求める分子タギング速度計測法(MTV)を実現した。二酸化窒素(NO_2)を光解離することにより一酸化窒素(NO)を生成し、その NO の移動を追跡してレーザー誘起蛍光法(LIF)により可視化し、移動を追跡して速度分布を求める。その結果、管内流れにおける断面内速度分布の計測に成功した。



NO_2 の光解離を用いた
管内流の分子タギング速度計測

適応係数

また、高クヌッセン数流れでは、原子・分子が流路や容器の固体壁と衝突する結果が大きな影響を与える。特に、ミクروسケールでは体積に対する表面積の比が大きくなる。原子・分子は固体壁面と衝突することでエネルギーや運動量をやり取りし、その結果として流れや温度分布が生じる。そのため、適応係数と呼ばれ気体固体間における交換やすさは不可欠な知見である。適応係数の実験的な計測は、流れ方向の運動量に関しては流動抵抗と関連付けることで、エネルギーに関しては温度の異なる表面間の熱輸送と関連付けることで可能となる。我々は、様々な気体分子種や固体材料に対する適応係数の計測を行っている。

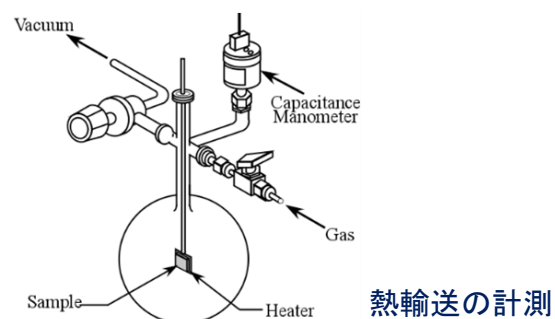


新規性・独創性

気体流れに着目した測定手法の開発を行っている。既に多くの実績を有する低密度流れにおける様々な計測技術を、同じ高クヌッセン数流れという特徴を生かして、マイクロ流れへ転用することを研究している。

応用例とその効果

- 低密度・マイクロ流動場の
- ・流速分布
- ・微小流量計測
- ・境界条件決定のための適応係数計測



気体分子と固体壁面との相互作用の実験的計測装置

高クヌッセン数流れのミクروسケール・アナリシス 感圧塗料による圧力分布計測

マイクロ・ナノシステム工学専攻 マイクロ熱流体工学研究グループ
新美 智秀・山口 浩樹・松田 佑

研究開発の概要

産業機械の設計開発において、作動時における機械表面上での圧力・温度分布を正確に予測することは極めて重要である。感圧塗料(PSP: Pressure-Sensitive Paint)計測法は、固体表面での圧力分布計測が可能な手法であり、航空機の設計開発においては既に実用レベルにある手法である。本研究室ではPSP計測法の一層の高度化、マイクロデバイス計測への応用に取り組んでいる。

PSPはポリマーに機能性(感圧性)の色素分子を混入し、計測対象に塗布される。これに、適切な波長の光を照射すると、色素分子が発光する。この発光強度は、その場での圧力に反比例するため、発光強度分布を計測することで、圧力分布を計測することが可能である。PSPは相対的に圧力が高いところでは暗く、圧力が低いところでは明るく光る。

新規性・独創性

通常PSPは色素分子の凝集によりミクروسケール流動場への適用が困難である。本研究室では、色素分子を高秩序分子膜化することで、凝集を押さえた感圧分子膜(PSMF: Pressure Sensitive Molecular Film)を開発し、マイクロノズル内での圧力分布計測を実現している。

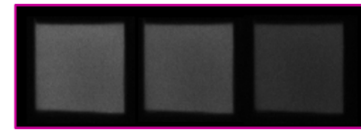
従来、PSPは航空機翼面上での圧力分布計測など、その利用対象は航空宇宙産業に限定されてきた。本研究室では、温度補償型PSPの開発、ヘテロダイン検出法のPSP計測への適用を通じ、民生品での流体計測の実現を目指している。

また、PSPの原理に立ち返り、生物物理、生化学の分野で重要となる非定常酸素濃度場の計測も行っている。

応用例とその効果

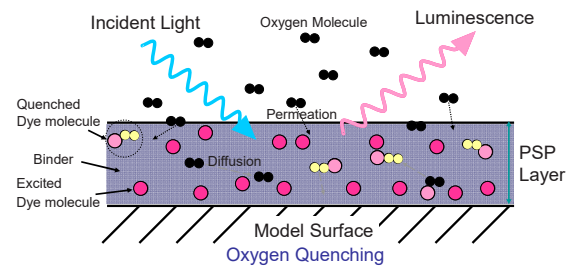
- マクロ・マイクロ流動場、低密度気体流の
 - ・圧力分布計測
 - ・酸素濃度分布計測
 - ・温度分布計測

* 特開2007-086040, 酸素感応膜及びその製造方法



圧力: 大, 発光強度: 小

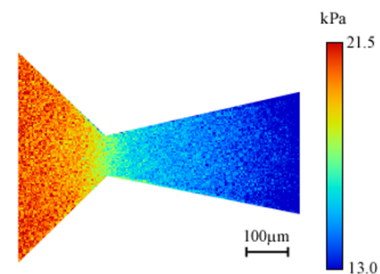
PSPの発光の様子



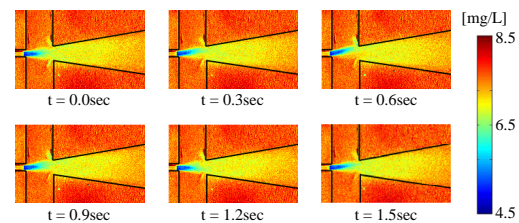
$$1/(\text{発光強度}) \propto \text{酸素濃度} \propto \text{酸素分圧} \propto \text{全圧}$$

Henryの法則 Daltonの法則

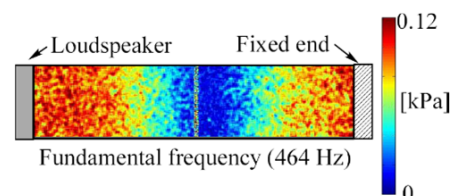
PSPの計測原理



マイクロノズル内圧力分布計測



水中溶存酸素濃度分布計測



気柱共鳴管内圧力分布計測