

研究プロジェクト名

# 高クヌッセン数流れの ミクロスケール・アナリシス

## Micro-Scale Analyses of High Knudsen Number Flows



大学院工学研究科・教授

**新 美 智 秀**  
Tomohide Niimi



にいみ ともひで プロフィール

1977年 名古屋大学工学部 卒業  
1979年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程 修了  
1989年 工学博士(名古屋大学)

研究経歴

1983年 名古屋大学工学部 助手  
1989年 名古屋大学工学部 講師  
1990年 名古屋大学工学部 助教授  
2002年～ 名古屋大学大学院工学研究科 教授

研究分野

希薄気体力学、面分子干渉、超希薄気体流のレーザー計測(REMPI, LIF)、  
光学的圧力計測(PSP)、希薄気体流の計算機シミュレーション(DSMC、  
MD)

受賞歴、レクチャーシップなど

1989年 流れの可視化学会 技術賞  
1990年 日本機械学会 奨励賞  
1991年 可視化情報学会 映像展賞  
1992年 日本機械学会 論文賞  
1993年 可視化情報学会 グッドプレゼンテーション賞  
1994年 永井科学技術財団賞 学術賞  
2001年 日本機械学会 論文賞

状態まで検出できることから、後者の光計測による解析が主流となっています。しかし、最も感度の高いレーザー誘起蛍光法でさえ、その検出限界は $10^{12}$  molecules/cm<sup>3</sup> (標準状態の数密度は $10^{19}$  molecules/cm<sup>3</sup>) であり、超高真空技術が一般化しているにもかかわらず、超希薄気体流に利用できる高S/Nなレーザー計測技術が追いついていないのが現状です。また、固体表面における気体分子の固体表面との相互作用に関する直接的な光学的解析は緒にもついでないのが現状です。

本プロジェクトでは、ナノ・マイクロデバイス開発に関連した高クヌッセン数の流れをミクロスケールで解析するための光学的解析の手法として、気体流には共鳴多光子イオン化法(REMPI法)、固体表面の計測には感圧・感温色素(PSP/TSP)の1分子膜(Langmuir-Blodgett:LB膜)を利用し、ナノ・マイクロデバイス開発に関連した高クヌッセン数流れをミクロスケールで光学的に解析することを目的としています。高クヌッセン数流れ(超希薄気体流)で発現する強い非平衡現象の解明や固体表面との内部エネルギーを含めたエネルギー交換、運動量交換、反射分子の流速強度分布の反射角度依存性、吸着確率と吸着・脱離現象、適応係数、反射分子の内部エネルギーの非平衡性などの精緻な実験データを取得することを計画しています。また圧力タップや熱電対などの計測手法が適用できないナノ・マイクロデバイスまわりの流体力学的・熱力学的特性の解明には、気体分子と固体表面との相互作用に基づく計測法であるPSP/TSPを用いて、デバイスに作用する応力や熱流束、原子・分子レベルでの伝熱、マイクロ・チャンネル内の滑り流などの精緻な実験データを取得する予定です。本プロジェクトで提案する光学的解析を利用した高クヌッセン数流れのミクロスケールな実験の解明は、高クヌッセン数流れのシミュレーションによる予測と総合的理解を可能にし、ナノテクノロジーの発展に大きく寄与するものと考えています。

高等研究院では、研究専念の環境を生かしてプロジェクトをさらに推進するとともに、分野を超えた先生方との交流を期待しています。

私の提案した研究プロジェクトを高等研究院で萌芽の研究として採択していただき、大変光栄に思うとともに身の引き締まる思いです。高等研究院の名を汚すことのないように精進する所存ですので、どうぞよろしくお願いいたします。

高等研究院では「高クヌッセン数流れのミクロスケール・アナリシス」のプロジェクトを推進する予定ですが、以下にその概略を紹介いたします。気体流の希薄度を表わす重要な無次元パラメータとしてクヌッセン数(Kn:Knudsen number)があり、平均自由行程 $l$ と流れ場の代表長さ $L$ を用いて $Kn=l/L$ で定義されます。一般に $Kn$ が0.01を超えると、気体流は連続体として近似できず、原子・分子の流れとして扱わなくてはなりません。高真空を利用する半導体薄膜製造などの平均自由行程が大きい場での製品開発はもちろんのこと、大

気圧下でも代表長さが数十nm程度になるMEMSやNEMS(Micro/Nano Electro Mechanical Systems)に代表されるナノ・マイクロデバイス近傍の流れ場も、高クヌッセン数流れとなります。高クヌッセン数流れにおいては、平均自由行程が大きい場合には分子間衝突数が極端に減少して気体流中に強い非平衡現象が発現し、代表長さが極端に小さい場合には気体分子は他の気体分子よりも固体表面と数多く衝突するため、流れ場が固体表面の影響を強く受けることになります。

高クヌッセン数流れのうち、希薄気体流を対象とした物理量計測は、数密度計測に基づく電離真空計や質量分析器、分子の内部状態に基づく電子線蛍光法やレーザー誘起蛍光法が利用されてきました。近年では非接触で流れの非平衡

