

マイクロ気体流れにおける 気体分子と固体表面の相互作用

1. はじめに

近年、マイクロスケールでの流れを扱う場面が多くなってきている。その中でもとくに気体流れを扱う際にはクヌッセン数を考慮することが求められる。クヌッセン数は分子の平均自由行程の系の代表長さに対する比で表される無次元数である。マイクロ気体流れでは系の代表長さが小さくなるために高クヌッセン数流れとなり、分子間と比べて系の境界である固体表面との衝突数が無視できなくなる。また、マイクロスケールでは固体表面と接する表面積の流量に対する比である比表面積も大きくなる。そのため、マイクロ気体流れにおいては、気体分子と固体表面の相互作用の影響が熱流動場に大きな影響を与える。

2. 適応係数

気体分子が固体表面において散乱する過程は分子ごとに大きく異なる。ただ、実際には非常に多数の分子が衝突することから、平均的な挙動を知ることが重要となる。そこで広く用いられているのが、衝突過程において気体分子と固体表面において物理量の交換が行われる平均的な効率を表す「適応係数」である。

この適応係数は高クヌッセン数流れの数値解析においてもその境界条件モデルのパラメータとして広く用いられており、その値を知ることは非常に重要である。しかし、相互作用における交換効率はエネルギーや運動量といった物理量ごとに大きく異なること、気体分子と固体表面の組み合わせによっても変化することが知られている。そのため、用いる気体分子と固体表面の組み合わせに対する適切な物理量の適応係数を利用しなければならない。ただ、具体的な適応係数の値は、数値解析では一般的な固体表面の微細構造を再現することが困難なことから、実験的に計測することが不可欠である。

そこで、さまざまな組合せや条件における適応係数の網羅的な計測を実現するために、われわれが開発してきたさまざまな計測対象に適用可能な適応

係数の実験的計測手法を紹介する。

3. エネルギー適応係数

気体分子と固体表面のエネルギー交換についてはエネルギー適応係数 (EAC) もしくは熱的適応係数 (TAC) で表される。マイクロ気体流れにおける温度場や熱輸送の解析には EAC が用いられる。

実験的に計測するには、温度の異なる表面間の熱流束が真空環境においては圧力と比例することを利用する Low-Pressure 法を利用する⁽¹⁾⁽²⁾。従来、円筒容器の中心軸上に配置した通電加熱した金属細線を利用する実験系が広く用いられており、報告されているデータはほとんど金属に対するものである。

そこで、球形真空容器の中心に両面に平板試料を貼付したヒーターを設置して真空状態で熱流束を計測し球対称の近似を用いて解析することで、通電加熱ができない非金属材料にも適用可能な簡便な計測システムを実現し (図 1)⁽²⁾、非金属材料であるガラスに対する EAC 計測に成功した。

4. 接線方向運動量適応係数

流路における流動には流れ方向成分の運動量の相互作用が関係する。そのため、接線方向運動量適応係数 (TMAC) が流れ場においては重要となる。TMAC の実験的計測にはこの流動との関連性を利用することで可能となる。圧力の異なる二つの貯気槽をマイクロ流路で接続し、貯気槽における圧力の時間変化からマイクロ流路を通過する質量流量を測定する (図 2)。流量のクヌッセン数に対する変化を理論解析結果と比較することで TMAC は実験的に計測できる⁽³⁾。流量は、温度一定の下で圧力の時間変化を測定することにより求める定体積法を用いて計測する。従来は EAC の場合とは異なり微細加工が可能な半導体材料などによるマイクロ流路を用いた計測が行われていた。

そこで、貯気槽や配管部などに超高真空技術を利用することで比較的大きいマイクロ流路にも対応できるように

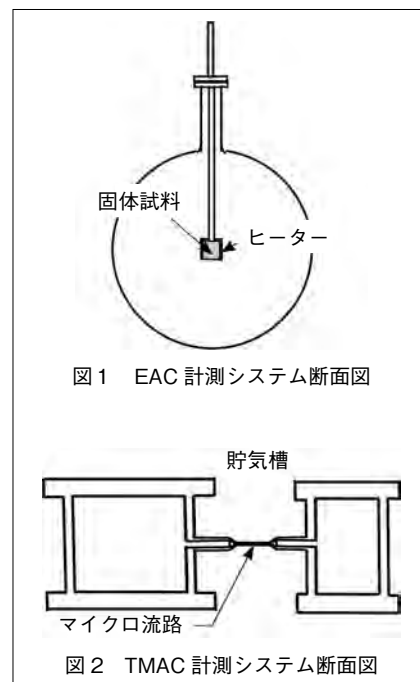


図 1 EAC 計測システム断面図

図 2 TMAC 計測システム断面図

し、これまで計測されてこなかった白金やステンレスといった金属材料に対する TMAC 計測を実現した。

5. おわりに

本稿ではマイクロ気体流れにおける気体分子と固体表面の相互作用を表す適応係数を実験的に計測する手法について紹介した。これまでは EAC と TMAC は別々に研究されてきたが、同じ気体分子と固体表面の組み合わせに対する結果を利用してマイクロ気体流れの境界条件という共通の観点から解析していくことで、さらに詳しい適応係数の特性が解明されていくものと期待している。

(原稿受付 2015 年 7 月 2 日)

[山口浩樹 名古屋大学]

●文献

- (1) Yamaguchi, H., ほか, Measurement of Thermal Accommodation Coefficients using a Simplified System in a Concentric Sphere Shells Configuration, *J. Vac. Sci. Technol., A*, 32-6 (2014), 061602.
- (2) Yamaguchi, H., ほか, Investigation on Heat Transfer between Two Coaxial Cylinders for Measurement of Thermal Accommodation Coefficient, *Phys. Fluids*, 24-6 (2012), 062002.
- (3) Yamaguchi, H., ほか, Experimental Measurement on Tangential Momentum Accommodation Coefficient in a Single Microtube, *Microfluid. Nanofluid.*, 11-1 (2011), 57-64.