

## H20 年度秋田大学研究者海外派遣事業により 実施した研究・教育活動の成果報告について

平成 23 年 1 月 17 日

所属・職名：工学資源学研究科機械工学専攻・准教授

氏 名：足立 高弘

派遣先機関名：フリードリッヒ・アレクサンダー大学 ニュルンベルク・エアランゲン  
(国名：ドイツ)

派遣期間：2008 年 9 月から 2009 年 3 月末まで

研究課題・目的：「マイクロ流路内の剥離を伴う流れの数値解析」

ドイツでは、Erlangen 大学の Prof. Durst のグループに参加して、非常に狭いマイクロスケールの隙間を通過する気体流れの問題(マイクロ流路流れ)に取り組んできた。このようなマイクロスケールの熱流動現象では、クヌーセン数  $Kn = \lambda / h$  ( $\lambda$  は分子の平均自由行程、 $h$  は流路の幅) の値によって流れが分類される。 $Kn > 10$  の範囲では、流路幅が小さく分子の平均自由行程が大きいため、流れは希薄流となる。一方、今回のテーマであるマイクロスケールでは、 $Kn < 0.1$  の範囲であり、この範囲では通常流れは連続体で壁面では粘性応力が働くと考えられている。 $Kn < 0.1$  の範囲においては、マイクロバルブやマイクロノズルおよびマイクロポンプなどの工学的応用例がある。

このマイクロ流路流れを実験的に調べると、測定される質量流量がその条件に対応するマクロな理論的な見積もり(ポアズイユの法則)より大きくなることが知られている。この相違を解消するために、数値計算においては流路壁において流体がスリップする条件が導入される。この境界条件の変更を行うと、実験結果と理論的な見積もりとの相違が解消される。しかしながら、マクロな連続体としての取り扱いが可能で壁面でスリップしないと見なせる領域  $0.01 < Kn < 0.1$  においてさえスリップ条件が用いられており、物理的に不適切な取り扱いがなされているのが現状である。さらに、これらのスリップ条件を用いたモデルは、問題毎に適応係数が用いられている。その係数を実験結果を基に修正することが必要であり様々なモデルが存在する。つまり、マイクロ流路の流れを数値的に予測するためには、予め実験を行うことが必要となる。また、連続体の方程式を用いるにもかかわらず、境界条件には希薄流の条件を用いている問題をクヌーセンのパラドクスという。

工学的応用に現れるような複雑なマイクロ流路では、流れが剥離を伴うことが予想される。そのような流れと熱移動に関する理論的および数値的な扱いは、スリップ条件を用いて行うことが出来ない。これは、剥離現象が基本的には壁面で流体がスリップしないので、粘着することで生じる現象だからである。そこでドイツでは、マイクロ流路内の剥離を伴う流れと熱移動について、流れ場と温度場をモデルの導入無しに数値的に求める方法についての研究を行ってきた。上述の拡張ナビエ・ストークス方程式を理想気体の場合に

ついて簡単化の仮定を設けることなく数値的に解く方法の開発に取り組んできた。Erlangen 大学の Prof. Durst の研究グループでは、マイクロ流路内の流れに関して、これまでとは全く異なるアプローチからの研究を行っている。すなわち、これまで行われてきたような境界条件をスリップ条件に修正する方法に代えて、基礎式であるナビエ・ストークス方程式をマイクロスケールの流れに対応できるように拡張しようという取り組みである。壁面ではマクロな連続体の場合と同様に粘着条件（スリップしない条件）を課して流れ場を求めるというものである。我々のグループでは、マクロな流れを取り扱う場合には通常無視される分子拡散流を基礎式に取り入れることによりマイクロ流路での数値予測を行うことに取り組んだ。

#### □研究成果（列記願います）

##### ・論文

D. Filmonov, T. Adachi, R. Sambasivam and F. Durst,  
Analytical Treatments of micro-channel and micro-capillary flows,  
Physics of Fluids に投稿中

##### ・学会発表

T. Adachi, R. Sambasivam and F. Durst, D. Filmonov,  
Analytical Treatments of micro-channel and micro-capillary flows,  
3rd micro and nano flows conference, Makedonia Palace Hotel, Thessaloniki, Greece,  
22-24 August 2011 において発表予定

##### ・その他

#### □教育活動等（列記願います）

特になし

#### □海外派遣事業中の教育・研究活動が、帰国後の研究等の活動にどのように反映されたか 概括ください。

派遣期間は 7 ヶ月と短かく、はじめての問題に取り組んだので、派遣期間中には注目すべき結果は得られなかった。帰国後は、学科の仕事が増えたため、1 年間ドイツに行くことができなかったが、その期間中も派遣先の Durst 教授とメール等で連絡を取り、2010 年の春にもう一度、ドイツに渡り Durst 教授と打ち合わせを行なった。その帰国後、ようやく結果が出たので、論文として投稿し国際会議で発表する運びとなった。

派遣期間中に行っていた研究活動は、現在同志社大学と行っているハードディスクなどの軸受の隙間を流れる潤滑油の研究を行う上で、どのような流れが生じるかなどの現象を予測する必要があるような場合に反映されていると思う。