

8.6 二次元スリットを過ぎる流れ (幅方向速度分布)

幅 $H = 50\text{nm}$, 長さ $L = 2500\text{nm}$ の二次元スリットを過ぎる流れを解析し、幅方向の速度分布を MGL 方程式 [1] による解析結果と比較する。

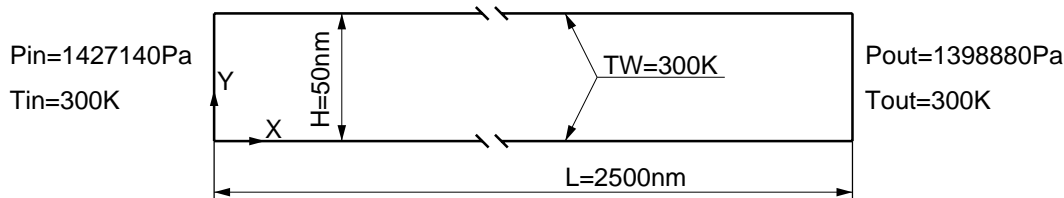


図 8.6.1 二次元スリットを過ぎる流れ

スリット壁面条件

壁面温度 $T_W = 300\text{K}$, 表面条件 : 拡散反射境界

気体条件

気体種 = アルゴン (単位質量当たり気体定数 $R = 208.1333\text{J}/(\text{kgK})$ 、分子を剛体球とみなしたときの全衝突断面積 $\sigma_T = 4.1455 \times 10^{-19}\text{m}^2$)

入口条件

圧力 $p_{in} = 1.427140 \times 10^6\text{Pa} = 1.01p_m$, 温度 $T_{in} = 300\text{K}$, 流入速度 0m/s

出口条件

圧力 $p_{out} = 1.39888 \times 10^6\text{Pa} = 0.99p_m$, 温度 $T_{out} = 300\text{K}$, 流入速度 0m/s

上記の p_m は、圧力 p_m , 温度 $T = 300\text{K}$ における平均自由行程 $\lambda = kT/(\sqrt{2}\sigma_T p_m)$ (k はボルツマン定数) とスリット幅 H で定義されるクヌーセン数 $K_n = \lambda/H$ が $K_n = 0.1$ となる圧力 $p_m = 1.41031 \times 10^6\text{Pa}$ である。

セル分割

解析領域を長手方向 625 分割, 幅方向 25 分割する ($4\text{nm} \times 2\text{nm}$ の長方形セル 15625 個)。

結果

スリット中心線上 ($y = 25\text{nm}$ 線上) の数密度と圧力の長手方向分布を図 8.6.2,3 に、 $x = 1248\text{nm}$ 線上 (スリット長手方向ほぼ中央) の x 方向速度の幅方向分布を MGL 方程式 [1] によるものと比較した結果を図 8.6.4 に示す。

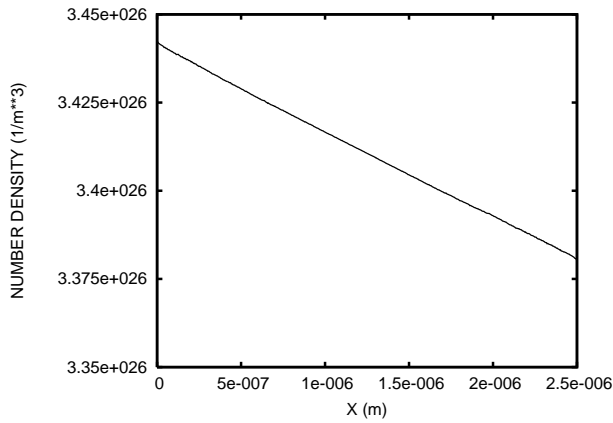


図 8.6.2 数密度 x 方向分布
($y = 25\text{nm}$ 線上)

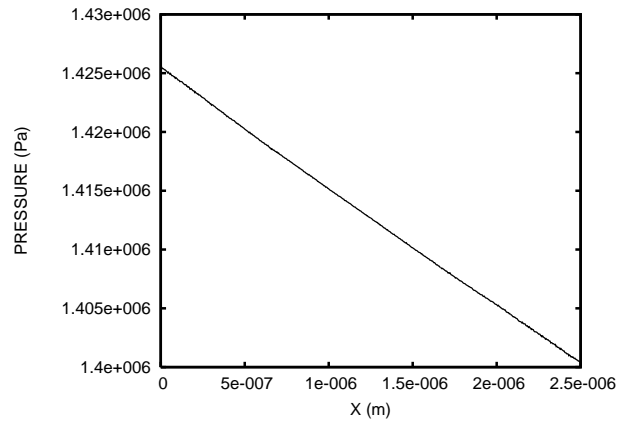


図 8.6.3 圧力 x 方向分布
($y = 25\text{nm}$ 線上)

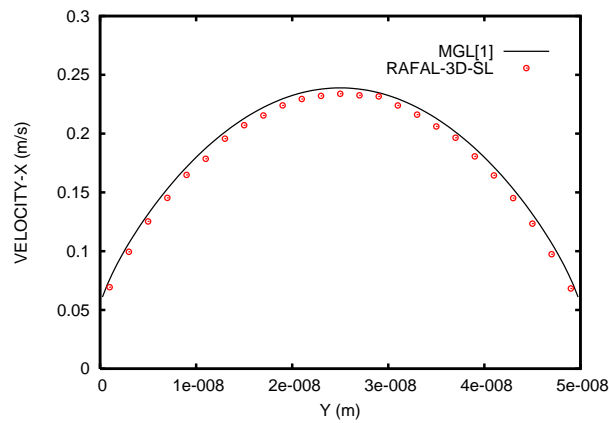


図 8.6.4 x 方向流速の y 方向分布 ($x = 1248\text{nm}$ 線上)

DSMC 法との比較

図 8.6.5 に DSMC 法で解析した結果との比較を示す。DSMC 法の 1 セル当たりサンプル分子数は約 4850 万個である。

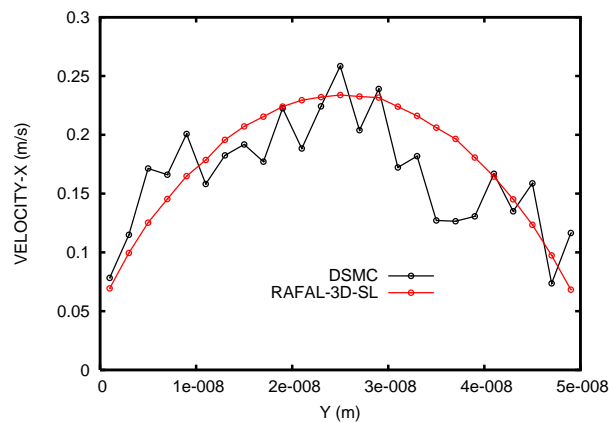


図 8.6.5 x 方向流速の y 方向分布 ($x = 1248\text{nm}$ 線上)(DSMC 法との比較)

計算時間

Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 26 時間程度。

図 8.6.5 の DSMC 法計算は、Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 483 時間。

参考文献

[1] 福井茂寿：分子気体力学に基づく薄膜気体潤滑理論とその応用, *ながれ* Vol.7(1988),pp.321-335.