

8.9 二次元スリットを過ぎる流れ (流量)

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圧力レベルを変えて解析し、流量と圧力レベルの関係を理論解 [1] と比較する。

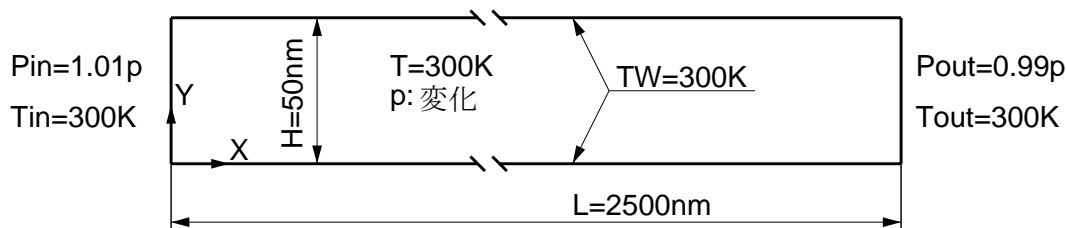


図 8.9.1 二次元スリットを過ぎる流れ

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 $p_{in} = 1.01p$ (p の具体値は表 1 参照), 温度 $T_{in} = 300\text{K}$, 流入速度 0m/s

出口条件

圧力 $p_{out} = 0.99p$ (p の具体値は表 1 参照), 温度 $T_{out} = 300\text{K}$, 流入速度 0m/s

圧力レベル p

圧力レベル p を表 1 のように設定する。表中のクヌーセン数 K_n は、圧力 p , 温度 $T = 300\text{K}$ における平均自由行程 $\lambda = kT/(\sqrt{2}\sigma_T p)$ (k はボルツマン定数) とスリット幅 H で定義される $K_n = \lambda/H$ の値である。

p (Pa)	K_n	p (Pa)	K_n
1.41301×10^6	0.1	4.46833×10^4	3.16228
7.94594×10^5	0.177828	1.41301×10^4	10
4.46833×10^5	0.316228	4.46833×10^3	31.6228
1.41301×10^5	1		

表 1 設定圧力レベルとクヌーセン数

セル分割

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

結果

スリット中央における x 方向流速と密度の y 方向分布 (幅方向分布) から質量流量 Q (kg/(sm))(図 8.9.1 の紙面に垂直方向単位長さの部分を通過する流量) を算出する。この質量流量 Q を文献 [1] に従って

$$Q_{NDM} = \frac{\sqrt{2RT}Q}{H^2|dp/dx|}$$

と無次元化する。ここで、圧力勾配 dp/dx は、スリット入口出口からそれぞれ 500nm を除いた残りの部分の x 方向圧力分布に最小自乗法で適合した直線の勾配を用いた。この無次元流量 Q_{NDM} とクヌーセン数 K_n の関係を理論解 [1] と比較した結果を図 8.9.2 に示す。

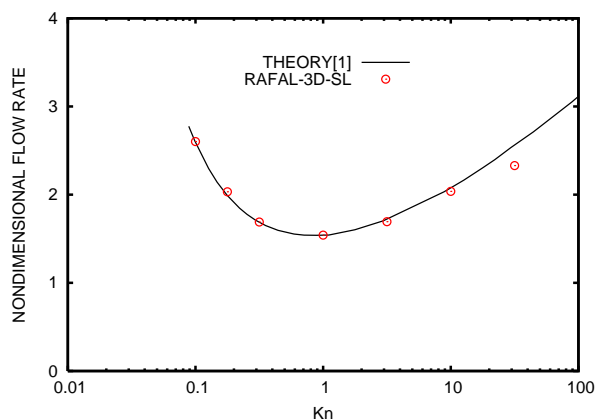


図 8.9.2 二次元スリットを通過する気体の無次元流量とクヌーセン数の関係

計算時間

Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 28 時間程度。

参考文献

[1]Loyalka,S.K. : Kinetic theory of thermal transpiration and mechanocaloric effect. II , The Journal of Chemical Physics Vol.63,No.9(1975),pp.4054-4060.