

8.11 角パイプを過ぎる流れ (流量)

一辺の長さ $W = 50\text{nm}$ の正方形断面を持つ長さ $L = 2500\text{nm}$ の角パイプ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。

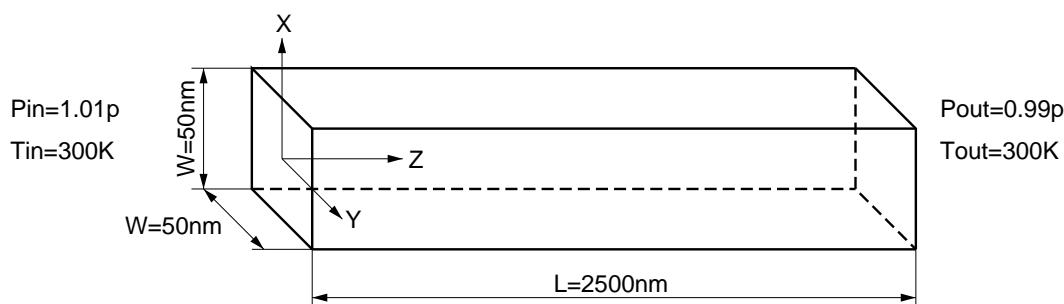


図 8.11.1 角パイプを過ぎる流れ

角パイプ壁面条件

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) と角パイプ断面の正方形の辺長 W で定義される $K_n = \lambda/W$ 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
4.46833×10^5	0.316228	1.41301×10^4	10
1.41301×10^5	1	4.46833×10^3	31.6228

表 1 設定圧力レベルとクヌーセン数

セル分割

対称性を考慮して図 8.11.1 の第一象限の 1/4 領域を解析領域とする。断面を 13×13 分割、長手方向 625 分割する (105625 個セル)。

結果

角パイプ長手方向中央における z 方向質量流束の断面内分布を積分して質量流量 Q (kg/s) を算出する。この質量流量 Q を文献 [1] に従って

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

と無次元化する。ここで、圧力勾配 dp/dx は、角パイプ入口出口からそれぞれ 500mm を除いた残りの部分の z 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 Kn の関係を理論解 [1] と比較した結果を図 8.11.2 に示す。

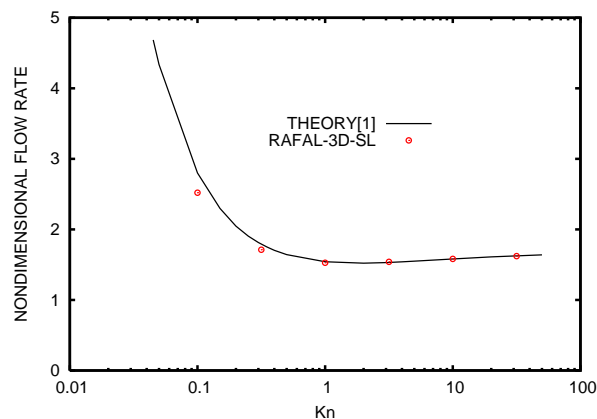


図 8.11.2 角パイプを通過する気体の無次元流量とクヌーセン数の関係

計算時間

Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 82 時間程度。

参考文献

[1] 曾根良夫, 長谷川学 : 長方形断面の管を通る希薄気体の Poiseuille 流と熱遷移流, 数理解析研究所講究録 Vol.656(1988), pp.129-160.