

## 8.10 円管を過ぎる流れ (流量)

直径  $D = 50\text{nm}$ , 長さ  $L = 2500\text{nm}$  の円管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。

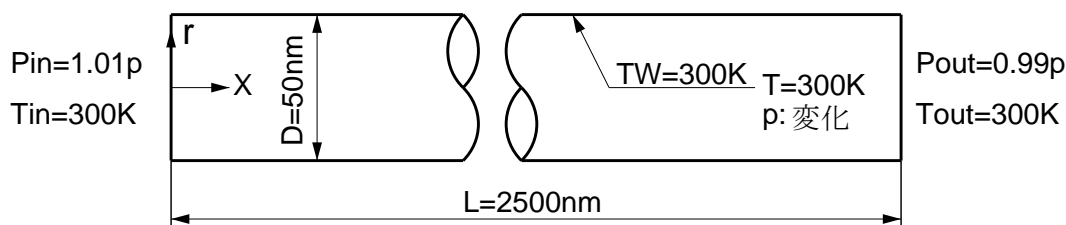


図 8.10.1 円管を過ぎる流れ

### 円管壁面条件

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  $0\text{m/s}$

### 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  $0\text{m/s}$

### 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) と円管直径  $D$  で定義される  $K_n = \lambda/D$  の値である。

$p$ (Pa)	$K_n$	$p$ (Pa)	$K_n$
$2.82602 \times 10^6$	0.05	$4.46833 \times 10^4$	3.16228
$1.41301 \times 10^6$	0.1	$1.41301 \times 10^4$	10
$4.46833 \times 10^5$	0.316228	$4.46833 \times 10^3$	31.6228
$1.41301 \times 10^5$	1		

表 1 設定圧力レベルとクヌーセン数

### セル分割

軸対称問題として解析し、長手方向 625 分割, 径方向 13 分割する (4nm×1.923077nm の長方形セル 8125 個)。

### 結果

円管中央における  $x$  方向流速と密度の  $r$  方向分布 (径方向分布) から質量流量  $Q$ (kg/s) を算出する。この質量流量  $Q$  を文献 [1] に従って

$$Q_{NDM} = \frac{\sqrt{2RT}Q}{\pi(D/2)^3|dp/dx|}$$

と無次元化する。ここで、圧力勾配  $dp/dx$  は、円管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 8.10.2 に示す。

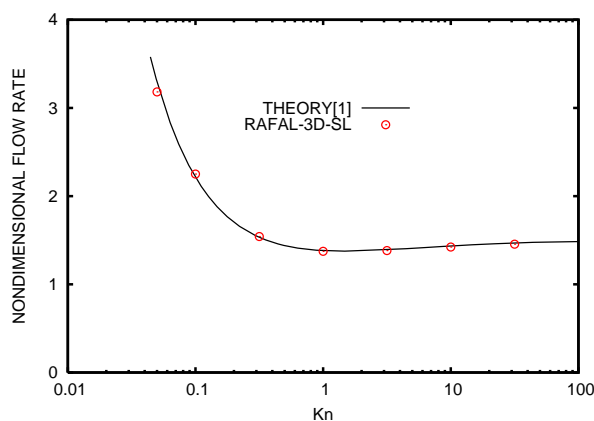


図 8.10.2 円管を通過する気体の無次元流量とクヌーセン数の関係

### 計算時間

Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 31 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.