

2. 円管の通過確率

- 目的

軸対称問題において自由分子流が正しくシミュレーションされることを確認する。

- 計算内容

図 2.1 に示す直径 $D = 0.1\text{m}$ 、長さ $L = 0.1\text{m}$ の円管の通過確率を求める。

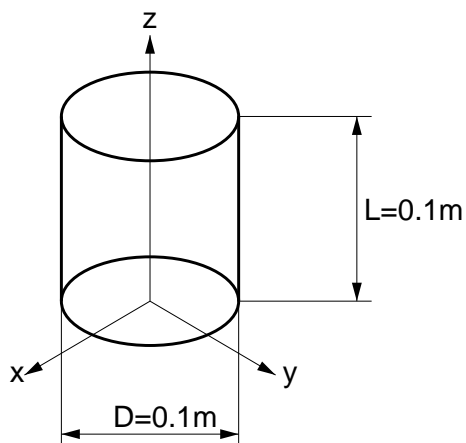


図 2.1 円管の通過確率

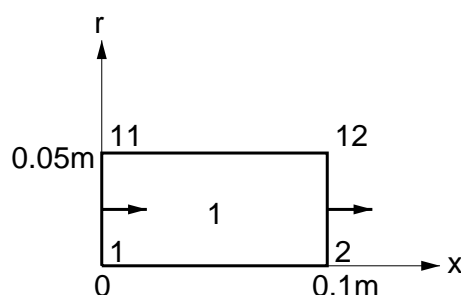


図 2.2 セル分割図

入口面 (図 2.1 における $z = 0$ 面) を圧力 $p = 0.001\text{Pa}$ 、温度 $T = 300\text{K}$ 、マクロ流入速度ゼロのアルゴンガス流入境界、出口面 (図 2.1 における $z = 0.1$ 面) を流出境界として、入口面から入射した分子のうち出口面に到達したものの割合 (通過確率) を求める。このとき、円管内壁面は壁面温度 $T_w = 300\text{K}$ の拡散反射固体壁境界とする。

軸対称問題として解析する際のセル分割図を図 2.2 に示す。RAFAL-3D では軸対称問題の対称軸は x 軸に設定されているため図 2.1 における z 軸が x 軸、図 2.1 における $\sqrt{x^2 + y^2}$ が r 軸となる。

通過確率を求める問題であるため解析領域は 1 個のセルで表現する。

時間ステップ幅 Δt は温度 300K におけるアルゴン分子の平均速度 $\bar{c} = 398.8\text{m/s}$ で分子が円管直径の距離 0.1m を過ぎる時間の約 $1/2$ の時間 0.00014s とする。

- 結果

以上の設定でシミュレーションしたところ、約 50 ステップで定常状態が達成された (図 2.3 参照)。

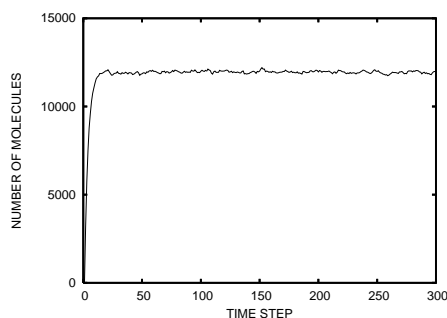


図 2.3 解析領域内のシミュレーション用分子数と時間ステップ数の関係

以後 100 ステップから 300 ステップまでの間に流入境界から流入した分子数 (N_{in}) と、流出境界から流出した分子数 (N_{out}) とから通過確率 P を算出する。

$$P = \frac{N_{out}}{N_{in}} = \frac{342902}{666891} = 0.51418$$

この P は最も正確とされている文献 [1] の手法による通過確率 0.51423 とほぼ一致している。

● 参考文献

[1] van Essen, D. , Heerens, W, C. : On the transmission probability for molecular gas flow through a tube , J. Vac. Sci., Vol.13, No.6 (1976), pp.1183-1187.