

8.8 気体の自由膨張

真空中に間隔 $D = 0.1\text{m}$ で平行に配置された無限二平板の間の空間に温度 $T = 300\text{K}$, 圧力 $p = 0.001\text{Pa}$ のアルゴンガスが充填されている。平板除去後のアルゴンガスの膨張過程を解析し、理論解 [1] および DVM(discrete velocity method) による数値解と比較する。

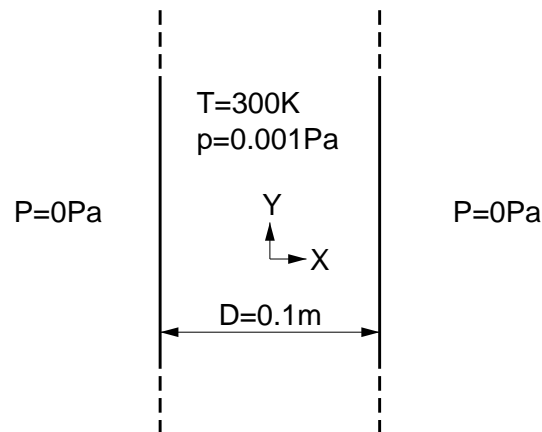


図 8.8.1 二平板間の気体の自由膨張

二平板間の気体条件

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 $\sigma_T = 4.1455 \times 10^{-19}\text{m}^2$)、圧力 $p = 0.001\text{Pa}$, 温度 $T = 300\text{K}$

この設定は、平均自由行程 $\lambda = kT/(\sqrt{2}\sigma_T p)$ (k はボルツマン定数) と平板間隔 D で定義されるクヌーゼン数 $K_n = \lambda/D$ が $K_n = 70$ となる設定になっている。

セル分割

図 8.8.2 に示す $1\text{m} \times 1\text{m}$ の正方形領域を解析領域とし、 x 方向 1000 分割、 y 方向 1 分割とする ($0.001\text{m} \times 1\text{m}$ の長方形セル 1000 個)。

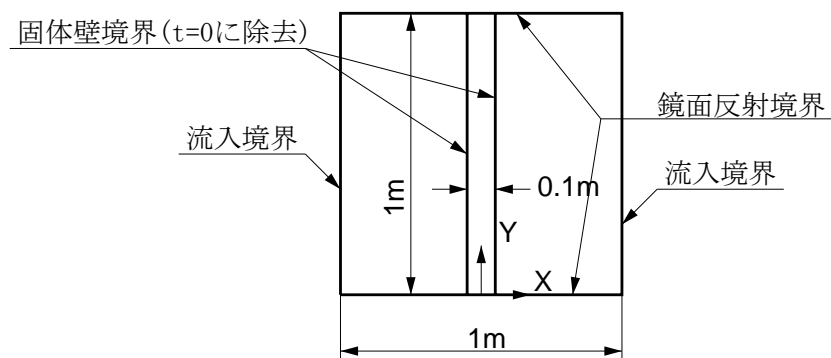


図 8.8.2 解析領域 1 と境界条件 (2次元解析)

結果

平板除去後の経過時間 t が $t = 0.001, 0.002, 0.003$ s における数密度分布を理論解 [1] と比較した結果を図 8.8.3 に、 x 方向速度、 x 方向並進温度、 x 方向熱流束を DVM による数値解と比較した結果を図 8.8.4~6 に示す。

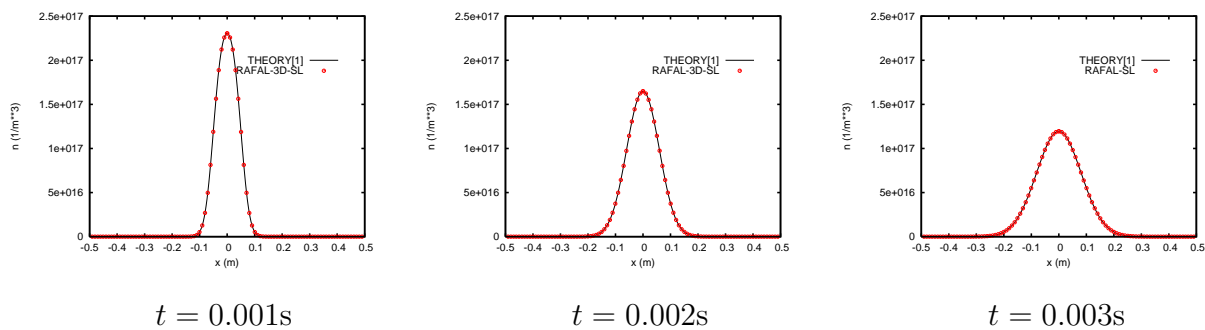
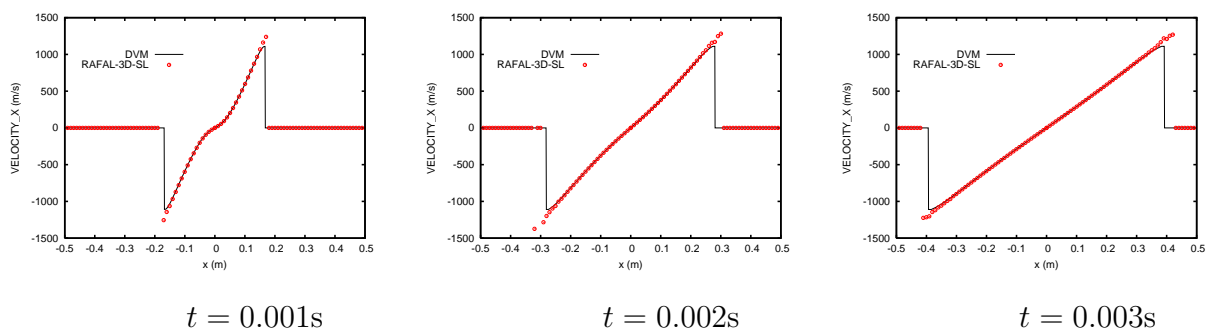
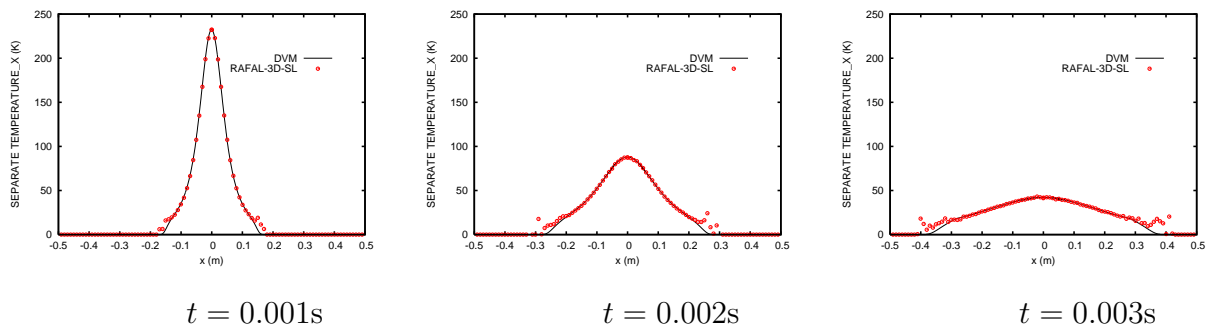
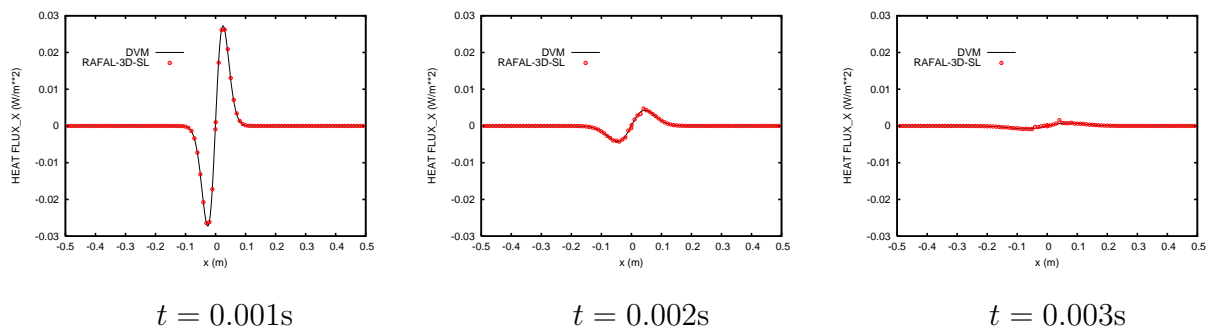


図 8.8.3 数密度分布

図 8.8.4 x 方向速度分布図 8.8.5 x 方向並進温度分布

図 8.8.6 x 方向熱流束分布

粒子数が少なくなる膨張波先端部分を除いて一致はよい。

計算時間

Core i7 2.67Ghz 搭載パソコンで 6 時間 40 分程度。4000 回アンサンブル平均。

参考文献

[1]Narasimha,R. : Collisionless expansion of gases into vacuum : Journal of Fluid Mechanics Vol.12(1962),pp.294-308.