kind of thesis

TITLE

Sub Title

2022 年 10 月 11 日

DEPARTMENT

学籍番号 1030347641　　Hibiki Asakura

Table of Contents

1. はじめの節

私はその人 [2] を常に先生と呼んでいた．だからここでもただ先生と書くだけで本名は打ち明けない．これは世間を憚かる遠慮というよりも，その方が私にとって自然だからである．私はその人の記憶を呼び起すごとに，すぐ「先生」といいたくなる．筆を執っても心持は同じ事である．よそよそしい頭文字などはとても使う気にならない．

まるで図 1.1 に示すネジ溝ポンプのように．

2. 次の Section

2.1. Boltzmann 方程式

希薄気体の支配方程式は Boltzmann 方程式と呼ばれ, 外力がない場合には次のように表される．

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \boldsymbol{\xi} \cdot \frac{\partial f}{\partial \boldsymbol{x}} = J[f], \tag{2.1}$$

$$J[f] = \int_{|\boldsymbol{\xi}|<\infty, |\boldsymbol{\alpha}|=1} [f(\boldsymbol{\xi}')f(\boldsymbol{\zeta}') - f(\boldsymbol{\xi})f(\boldsymbol{\zeta})] \left(\frac{d_m^2}{2}|\boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{\alpha}|\right) \mathrm{d}\Omega(\boldsymbol{\alpha})\mathrm{d}\boldsymbol{\zeta},$$

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{\zeta} - \boldsymbol{\xi}, \qquad \boldsymbol{\xi}' = \boldsymbol{\xi} + (\boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{\alpha})\,\boldsymbol{\alpha}, \qquad \boldsymbol{\zeta}' = \boldsymbol{\zeta} + (\boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{\alpha})\boldsymbol{\alpha}.$$

ここで, $\boldsymbol{x}$ は空間 3 次元の位置座標, $\boldsymbol{\xi}$ は気体分子の速度ベクトル, t は時刻, $f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)$ は速度分布関数, $J[f]$ は衝突項である．また, $\partial f/\partial \boldsymbol{x} = (\partial f/\partial x, \partial f/\partial y, \partial f/\partial z)^\top$ を表すものとする．ここで $^\top$ は転置を表す．d_m は気体分子の直径, $\boldsymbol{\alpha}$ は分子の衝突パラメータ, $\mathrm{d}\Omega(\boldsymbol{\alpha})$ は立体角素である．気体の巨視的物理量は速度分布関

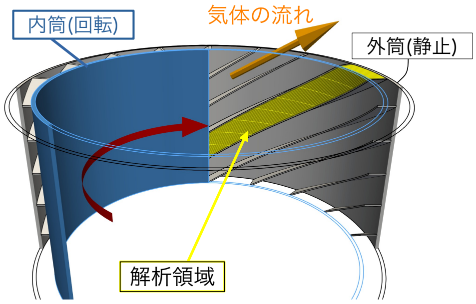


図 1.1. ネジ溝ポンプのモデル図．

表 1.1. 排他的論理和

X	Y	$X \mathrm{xor} Y$
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

数 $f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)$ に関する積分によって表される．気体の数密度 n, 流速 $\boldsymbol{v}$, 温度 T, 応力テンソル p_{ij} はそれぞれ

$$n(\boldsymbol{x}, t) = \int_{|\boldsymbol{\xi}|<\infty} f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)\,\mathrm{d}\boldsymbol{\xi}, \tag{2.2 a}$$

$$n\boldsymbol{v}(\boldsymbol{x}, t) = \int_{|\boldsymbol{\xi}|<\infty} \boldsymbol{\xi} f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)\,\mathrm{d}\boldsymbol{\xi}, \tag{2.2 b}$$

$$\frac{3}{2}\kappa n T(\boldsymbol{x}, t) = \int_{|\boldsymbol{\xi}|<\infty} \frac{m}{2}|\boldsymbol{\xi} - \boldsymbol{v}|^2 f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)\,\mathrm{d}\boldsymbol{\xi}, \tag{2.2 c}$$

$$(p_{ij} + \rho v_i v_j)(\boldsymbol{x}, t) = \int_{|\boldsymbol{\xi}|<\infty} m\,\xi_i \xi_j f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\xi}, t)\,\mathrm{d}\boldsymbol{\xi} \tag{2.2 d}$$

によって得られる．なお, κ はボルツマン定数, m は分子の質量, $\rho = mn$ は気体の密度である．今後, 気体は単原子分子の理想気体とする [1] と, 気体の圧力 p は

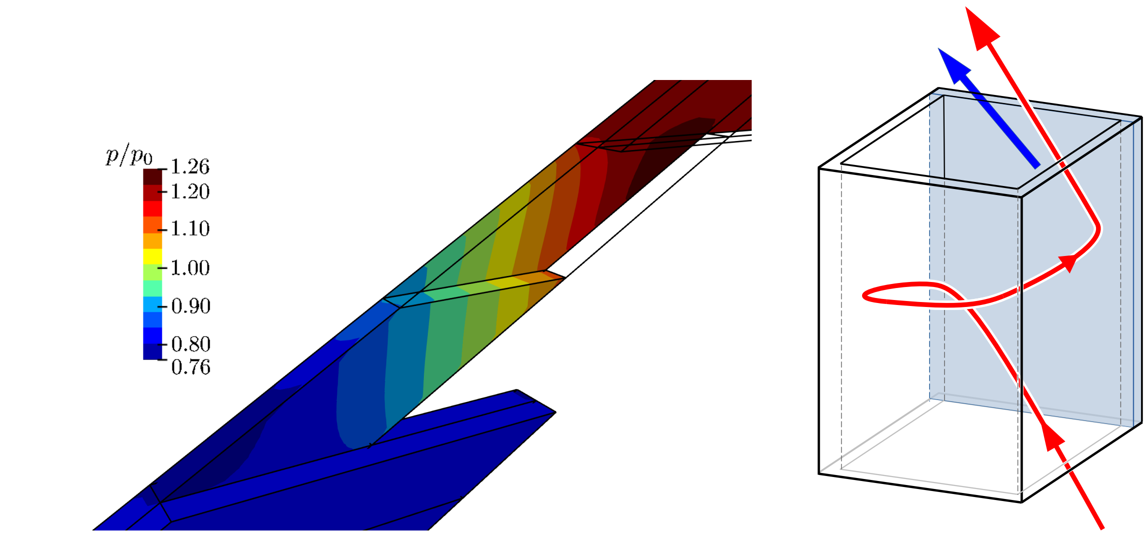
$$p = \kappa n T \tag{2.2 e}$$

となる．

References

[1] 朝倉 and 杉元. “ネジ溝式真空ポンプ内部における 3 次元希薄気流の BGK 方程式に基づく数値解析”. In: **日本流体力学会年会講演論文集**. 2022 (cit. on p. 4).

[2] 朝倉, 藤本, and 丸田. “周期時変フィルタの時不変リッカチ方程式による特徴づけ”. In: **システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集** 65 (2021), pp. 77–83 (cit. on p. 3).



(a) (b)

図 2.1. short caption.
explanation of figures.

付録

A. これが付録

表 A.1 参照.

表 A.1. foo

ほげほげ	hoge
Hello	World

List of Figures

List of Tables