

蒸発・凝縮問題における逆質量流について - 凝縮相のもつ有限熱伝導性の影響 -

On the negative mass flows in evaporation and condensation problems
- Effects of the finite thermal conductivities of the condensed phases -

○大西善元, 鳥取大工, 鳥取市, E-mail: onishi@damp.tottori-u.ac.jp

Yoshimoto Onishi, Tottori University, Tottori 680-8552

A peculiar phenomenon in evaporation and condensation problems would be the existence of the so-called *negative mass flow* in the sense that the direction of the mass flows may become opposite to what one would usually expect to be. This phenomenon was first noticed by Sone and Onishi but has long been left untouched since then. Recently, the detailed study on this phenomenon has been carried out by Onishi. However, the fact that the thermal conductivity of the condensed phase is finite is not taken into account, in spite of the well-known fact that the finite thermal conductivity of the condensed phase may change drastically the role of the latent heat parameter and, hence, the mass and energy flows, leading to the existence of their maximum values. It is the present study to clarify its effects on the existence and the magnitude of this *negative mass flow* by taking up a simple two-surface problem of evaporation and condensation.

1. はじめに

蒸発・凝縮過程に伴って生じる流れ場において、通常感覚とは異なる、所謂、逆現象が2つある。その一つが逆質量流である。逆質量流は、蒸発面から凝縮面に向かって流れるべき質量流が、逆の凝縮面から蒸発面へ向かって流れる現象である。この逆質量流の存在は文献1で指摘されていたが、その原因と詳細な様子は永らく未解決のままであった。最近になって、これらが明らかにされたが²、もう一つ重要な要因である凝縮相の有限熱伝導性を考慮していない。この有限熱伝導性は、潜熱の役割を大きく変化させることが既に明らかになっている^{3,4}。そこで、気体論方程式⁵に基づくシミュレーション解析によって、この影響をここで調べてみた。

2. 問題設定と結果

領域 $-D_1 \leq x \leq 0$ と $L \leq x \leq L + D_2$ を占めるある厚みをもつ2つの平面凝縮相間の凝縮性気体を考える。凝縮相界面は $x=0$ および $x=L$ の位置にあるとする。初期に、温度 T_0 で(このときの気体の数密度、圧力は N_0, P_0) 完全静止平衡状態にあるこの系において、ある瞬間 ($t=0$) に、凝縮相の端の温度を初期の T_0 から、それぞれ、 T_{c1} および T_{c2} へと変化させる。熱が、凝縮相内での熱伝導によって凝縮相界面へと伝わり、界面温度を変化させ、界面で蒸発あるいは凝縮過程を引き起こす。この蒸発・凝縮過程に伴って種々の非線形波動が生じ、非定常な流れ場を定常なそれへと推移させて行く。

この系の振舞いは、Knudsen 数 $Kn \equiv l_0/L$ 、凝縮相の2つの端点での温度比 $T_{c1}/T_0, T_{c2}/T_0$ 、2つの凝縮相の厚さの比 $D_1/L, D_2/L$ 、凝縮相の熱伝導比 λ_c/λ_0 と温度拡散係数比 κ_c/κ_0 および潜熱パラメーター $\Gamma \equiv h_L/(RT_0)$ を指定すれば、 $t/\tau_0, x/L$ の関数として一意的に定まる。ここで、添え字 0 は初期状態での値を表す。 λ_0 と κ_0 は気体の熱伝導係数および温度拡散係数、 h_L は単位質量当たりの潜熱、 R は気体定数である。 l_0 と τ_0 は、それぞれ、気体分子の平均自由行路と時間スケールで、 $l_0 = (\mu_0/P_0)(8RT_0/\pi)^{1/2}$ および $\tau_0 = L/(2RT_0)^{1/2}$ で定義される。

ここでは、逆質量流が現れている場合の結果の一部のみを示す。定常状態に近づくにつれ、値は小さいものの質量流量が逆向きになっていくのが分かる(エネルギー流量は通常方向)。

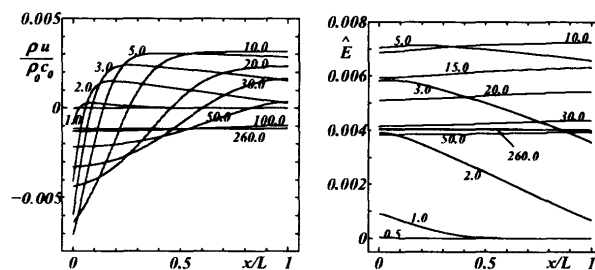


Fig. 1 The mass flows $pu/\rho_0 c_0$ and energy flows $\hat{E} = E/P_0(2RT_0)^{1/2}$. $T_{c1}/T_0 = 2.0$, $T_{c2}/T_0 = 1.0$, $D_1/L = D_2/L = 0.1$, $\lambda_c/\lambda_0 = 30.0$, $\kappa_c/\kappa_0 = 0.32$, $\Gamma = 0.001$, $Kn = 0.005$ ($Re = 412.03$). The numbers in the figures indicate the time t/τ_0 .

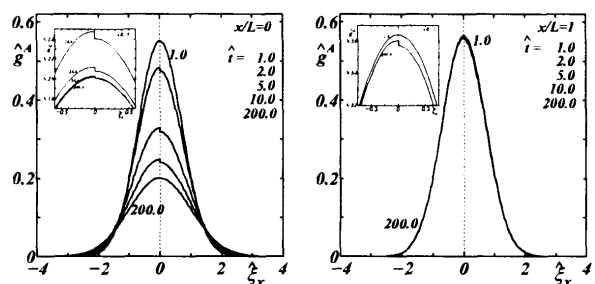


Fig. 2 The reduced distribution function $\hat{g}^A = [(2RT_0)^{1/2}/N_0]g^A$ versus the molecular velocity $\hat{\xi}_x = \xi_x/(2RT_0)^{1/2}$.

参考文献

- (1) Y. Sone and Y. Onishi: *J. Phys. Soc. Japan* **44** (1978) 1981-1994.
- (2) Y. Onishi: *Phys. Fluids* **17** (2005) 127106-1 - 127106-7.
- (3) Y. Onishi and K. Yamada: *Rarefied Gas Dynamics* (2003) pp. 630-637.
- (4) Y. Onishi and T. Ooshida: *Rarefied Gas Dynamics* (2005) pp. 644-649.
- (5) P.L. Bhatnagar, E.P. Gross and M. Krook: *Phys. Rev.* **94** (1954) 511-525.