OS2-07

非凝縮性気体が蒸気分子の蒸発に及ぼす影響に関する分子気体力学解析

Molecular gas dynamics analysis on influence of non-condensable gas molecules on evaporation of vapor molecules

○学 伊藤 洋輔*, 小林 一道*

渡部 正夫*, 藤井 宏之*, 戸谷 剛*

Yosuke ITO, Kazumichi Kobayashi,

Masao Watanabe, Hiroyuki Fujii and Tsuyoshi Totani

* 北海道大学 工学研究院 Faculty of Engineering Hokkaido University

Key Words : Boltzmann equation, Evaporation, Binary mixture, gas (vapor and non-condensable gas)

液体の蒸発や蒸気の凝縮現象は、液相から気相側へ出ていく分子と気相から液相に入ってくる分子群の速度分布に差が生じることで引き起こされる非平衡現象であり、これまでに蒸気（凝縮性気体）単成分系の流れについて分子気体力学解析を用いて多くの解析がなされてきた。ここで、我々の身近で起こる蒸発・凝縮現象は、一般に、気相側に蒸気分子のみならず非凝縮性気体分子も多数存在する多成分混合系となる。このような多成分混合系の場合、界面近傍が非平衡状態になっても、非凝縮性気体分子の影響によって気液界面近傍は極めて短い時間スケールで局所平衡に近づくと考えられており、このような仮定のもと、蒸気分子の蒸発プロセスは局所平衡を仮定した拡散方程式に従い記述されるのが一般的な取り扱いとなっている。しかしながら気液界面近傍が局所平衡に近づくまでの時間スケールの具体的な詳細などはこれまであまり明らかにされていない。

蒸発の時間スケールが関係する問題として、液滴衝突問題が挙げられる。Xu らによって、液滴衝突において周囲気体圧力が Splash 発生に影響を与えることが報告されている[1]。ここで、周囲気体圧力を変えた場合には、周囲気体圧力の違いにより異なる蒸発引き起こされ、この蒸発の違いによって液滴衝突現象が変化することが予想される。

そこで本研究では、非凝縮性気体と蒸気の混合気体中への液体の蒸発現象について、二成分 Boltzmann 方程式を用いて数値解析を行い、非凝縮性気体が液体の蒸発過程に与える影響について明らかにする。Boltzmann 方程式は速度分布関数の時空間発展を支配する微積分方程式である。数値解析を行う際には、計算負荷を減らすために、衝突項を簡略化したモデル方程式を用いられている。本研究では単原子分子の混合気体に拡張された Andries-Aoki-Perthame モデル[2][3]を採用した。この Boltzmann 方程式に対して、蒸気および非凝縮性気体についてそれぞれ異なる境界条件の下で解くことにより、それぞれの分子の速度分布関数を得ることができ、さらに気体の密度場、流速場、圧力場などの流体力学的な場の量を全て求めることができる。

本問題は液相と気相からなる系を考え、空間的に一次元問題として扱う。液相の温度は常に一定とし、液相は移動しないものとする。初期状態において、気相には蒸気と非凝縮性気体が存在しているものとする。初期の蒸気の数密度 n_g^0 は飽和蒸気密度 n_v^* の 0.01 倍とする。非凝縮性気体の初期の数密度 n_g^0 は、飽和蒸気密度 n_v^* に対して 0.1 倍から 45 倍までの任意の値を設定する。本問題設定において、周囲気体圧力を変化させることと、初期数密度 n_g^0 を変化させることは同義である。従って、本問題における支配的なパラメータは非凝縮性気体の初期数密度 n_g^0 となり、この値を変化させることによって、気液界面で引き起こされる液体の蒸気について、局所平衡状態になるまでの時間や蒸発量の変化について調査した結果について報告する。

文 献

- [1] Xu, L., Zhang, W.W., and Nagel, S. R., "Drop Splashing on a Dry Smooth Surface", Phys. Rev. Lett., Vol. 94, (2005), 184505.
- [2] 小菅真吾, "混合気体のモデル・ボルツマン方程式とその応用", ながれ 28, (2009), pp. 211-216.
- [3] Andries, P., et al., "A Consistent BGK-Type Model for Gas Mixture", J. Stat. Phys., Vol. 106, Nos. 5/6 (2002), pp. 993-1018.