G114

円盤状液膜の収縮シミュレーション

（埼玉大工）○（正）本間俊司*・岡　大樹・（正）古閑二郎

緒言　液膜が収縮するとき、その縁にrimと呼ばれる部分が形成される。このrimが分裂して液柱が形成し、やがて液滴となる場合がある。よって、液膜の運動は液滴生成機構の一部として重要で、液体の微粒化現象の基礎として研究されてきた。二次元平板状液膜の収縮において、その挙動はOhnesorge数［$\mathrm{Oh}=\mu_D/(\mu_D d\sigma)^{1/2}$］に依存することが知られている[1, 2]。しかしながら、実際の膜の形状は平板状ではなく湾曲していることが多い。そこで本研究では、湾曲した縁を持つ円盤状液膜における収縮運動の数値解析を行い、Oh数による膜収縮運動への影響について調査した。

方法　図1に解析体系の概略図を示す。粘度μ_D、密度ρ_D、半径R、厚さdの円盤状液膜を、粘度μ_C、密度ρ_Cの静止流体中に置く。液膜は界面張力によって重心方向に収縮を始め、系内に流れが発生する。この流れは、膜の中心軸zに対して対称であると仮定する。ここで、液膜および外部流体は共に非圧縮性Newton流体と仮定する。また、重力を無視、解析対象の温度勾配および界面の不純物はないとする。このとき支配方程式は、流体の運動方程式および連続の式である。

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho\mathbf{u}+\nabla\cdot\rho\mathbf{uu}=-\nabla P+\nabla\cdot\mu(\nabla\mathbf{u}+\nabla\mathbf{u}^T)+\rho\mathbf{g}+\int_f\sigma\kappa\mathbf{n}_f\delta(\mathbf{x}-\mathbf{x}_f)dA_f \qquad (1)$$

$$\nabla\cdot\mathbf{u}=0 \qquad (2)$$

ここに、Aは界面の面積、fは界面、$\mathbf{n}$は界面の法線ベクトル、$\mathbf{x}$は位置ベクトル、δはデルタ関数、κは曲率、σは界面張力である。式(1)および(2)は二次元軸対称座標上で有限差分近似しMAC法で解く。界面の移動はFront-Tracking法[3)]で追跡する。

結果と考察　図2にシミュレーションで得られた液膜収縮の様子を示す。液膜は収縮が始まると膜の縁が膨らみrimが形成される。収縮が進むとともに膜中の液体が縁へ流入し、rimは体積を増大させながら中心方向へ移動した。

図3にOh数と無次元の膜収縮速度との関係を示す。膜収縮速度は膜先端の$-r$方向の速度で計算結果より求めた。この値を粘性力および慣性力を代表する速度［$u_\mu=\sigma/\mu_D$および$u_\rho=(\sigma/\rho_D d)^{1/2}$］でそれぞれ割り無次元化したものを$U_\mu$および$U_\rho$とした。図より、$U_\mu$はOh数の増加とともに、$U_\rho$はOh数の減少とともにそれぞれ増加し、その値は1に近づく。つまり、液膜の粘性が高ければ（Oh＞10）収縮速度はU_μとなり密度に依存せず、粘性が低ければ（Oh＜10^{-1}）収縮速度はU_ρとなり粘度に依存しない。このような挙動は、平板状液膜でもみられ、Oh数が円盤状液膜の収縮速度に与える影響は平板膜のときと同じであることがわかった。

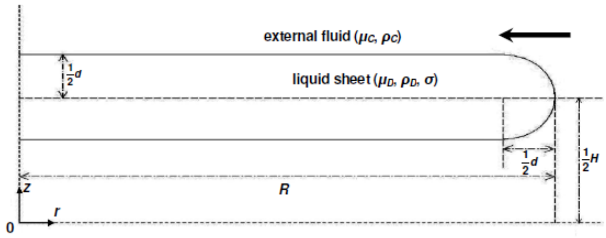

図1　解析体系

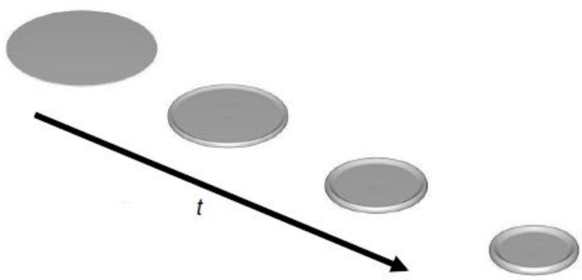

図2　液膜収縮の様子（Oh = 0.13, R = 8.0, d = 0.5）

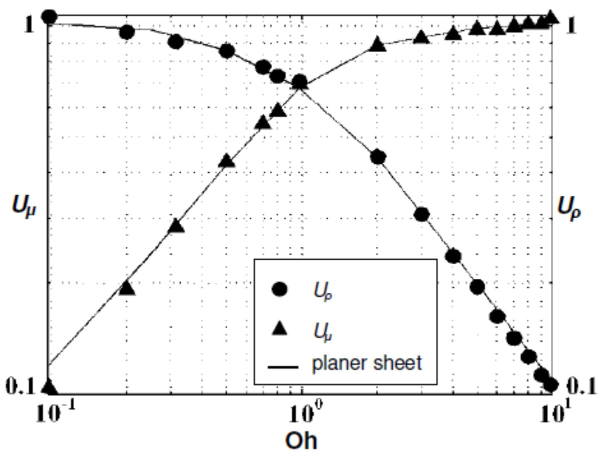

図3　Oh数と無次元収縮速度との関係

1) Song, M. and Tryggvason, G., *Phys. Fluids*, **11,** 2487 (1999).
2) Sunderhauf, G., *et al.*, *Phys*, *Fluids*, **14,** 198 (2002).
3) Unverdi, O. and Tryggvason, G., *J. Comput. Phys.*, **100,** 25 (1992).
*TEL&FAX: 048-858-3510、　Email : honma@apc.saitama-u.ac.jp