

G120

電気流体力学の数値シミュレーションに及ぼす液体物性の影響

(千葉大院自) ○(学) 杉山 博昭

(千葉大院工) (正) 塩島 壯夫・(正) 大坪 泰文*

1. 緒言

絶縁性流体の直流高電圧印加により、液体内部に高速のEHD対流が発生することがこれまで知られている。EHD対流についてこれまで様々なシミュレーションが行われてきたが、流速の速いものについてはあまり行われていない。本研究ではこれまで構築してきたシミュレーションにさまざまな粘度、誘電率、電気伝導度などの数値を与え、そのパラメータがEHD流動にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

2. シミュレーション

計算格子として不規則直交格子プログラムを組み込んだ。用いる基礎方程式は連続の式、ナビエ・ストークスの式[式(1)]、電荷密度方程式[式(2)]、ポアソン方程式の4つである。

(a) Equations of motion

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \cdot \nabla u &= -\nabla p + \mu \Delta u \\ -\rho_e \nabla \phi + \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 \nabla \varepsilon \\ + \frac{1}{2} \nabla \left(\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} (\nabla \phi)^2 \right) \end{aligned} \quad (1)$$

(b) Charge transport equation

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + u \cdot \nabla \rho_e = (\sigma + \rho_e \mu_e) \Delta \phi \quad (2)$$

| | |
|--|--|
| p : 圧力[Pa] | g : 重力加速度[ms ⁻²] |
| t : 時間[s] | u : 速度[ms ⁻¹] |
| ε : 誘電率[Fm ⁻¹] | σ : 電気伝導度[Sm ⁻¹] |
| μ : 粘度[mPa·s] | μ_e : 移動度[m ² V ⁻¹ s ⁻¹] |
| ρ : 密度[kgm ⁻³] | ρ_0 : 密度[kgm ⁻³] |
| ρ_e : 電荷密度[Cm ⁻³] | |
| ϕ : 電場ポテンシャル[V] | |

無次元化したこれらの式について速度・圧力の計算にはSMAC法を用い、運動方程式は拡散項をクランク・ニコルソン法、体積力をアダムス・バッシュフォース法の2次精度で速度を予測した。電荷密度の保存式の電荷の予測値の対流項はChakravarthy-Osherの2次精度TVDスキームを用いた。速度予測、速度ポテンシャル、電界ポテンシャル式の離散化で得られた連立方程式はSOR法で解いた。基本パラメータとしてデ

カン二酸ジブチル(DBD)の物理パラメータとそのパラメータの1つを変化させたものを用いて計算を行った。また電極は、1対の棒状電極を2.0cm間隔に配置した状態で4.0kV印加時の各パラメータでの流動パターン、流速から、検討を行った。

3. 結果と考察

流動パターンはいずれの条件下でも同じような形状を示し、陽極付近で発生した圧力により陽極から陰極へ向かう流れとなった。Table 1に各条件下での流速を示す。移動度はDBDの正確な値がわからなかったため、 1.0×10^{-7} [m²V⁻¹s⁻¹]を仮の値としてこれまで計算を行っていたが、100倍から100分の1の値の移動度を与えても差は得られなかった。また、誘電率に関しては流速に大きな変化をもたらし、誘電率が高ければ高いほど大きな流速を示した。今回の電極配置は棒状電極を1対配置した不均一電場であり、この条件下でのEHD対流は誘電泳動が大きな役割を果たしていると考えられる。また、粘度については粘度の低い条件で速い流れを示した。その一方、電気伝導度については特異な挙動を示し、 1.35×10^{-8} [Sm⁻¹]まではほぼ変化がないが、 1.35×10^{-9} [Sm⁻¹]から若干流速が早くなるという計算結果が得られた。この低電気伝導度領域において流速が上昇する現象は、これまで実験で確認されている現象であるが、今回数値計算においても確認された。

Table 1 Maximum velocity in various cases at 4.0kV.

| | | | | |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------|
| μ_e [m ² V ⁻¹ s ⁻¹] | 1.0×10^{-5} | 1.0×10^{-6} | 1.0×10^{-7} | |
| u [mms ⁻¹] | 37.9 | 37.9 | 37.9 | |
| μ_e [m ² V ⁻¹ s ⁻¹] | 1.0×10^{-8} | 1.0×10^{-9} | | |
| u [mms ⁻¹] | 37.9 | 37.9 | | |
| ε [Fm ⁻¹] | 4.02×10^{-10} | 4.02×10^{-11} | 8.85×10^{-12} | |
| u [mms ⁻¹] | 384 | 37.9 | 5.35 | |
| σ [Sm ⁻¹] | 1.35×10^{-6} | 1.35×10^{-7} | 1.35×10^{-8} | |
| u [mms ⁻¹] | 27.3 | 27.9 | 27.1 | |
| σ [Sm ⁻¹] | 1.35×10^{-9} | 1.35×10^{-10} | | |
| u [mms ⁻¹] | 37.9 | 54.2 | | |
| η [mPa·s] | 1.01×10^3 | 1.01×10^2 | 10.1 | 1.01 |
| u [mms ⁻¹] | 0.785 | 8.12 | 37.9 | 62.1 |

*Tel & Fax : 043-290-3556

E-mail : yas.otsubo@faculty.chiba-u.jp