

界面の親疎水性と界面動電現象

東京理科大学名誉教授 大島広行

e-mail: ohshima@rs.noda.tus.ac.jp

1. はじめに-界面の親疎水性と流体のすべり

電気泳動等のコロイド粒子の界面動電現象の問題では、通常、粒子表面で流体の速度をゼロとする「すべりなし境界条件」が採用される。厳密に言えば、この境界条件は粒子表面の分子と媒質分子間の分子間引力が強い親水性粒子の場合には正しいが、表面-媒質間の分子間引力が弱い疎水性粒子の場合には正しくない（図1）。粒子表面で流体のすべりがあると粒子は速く動くからである（図2）。

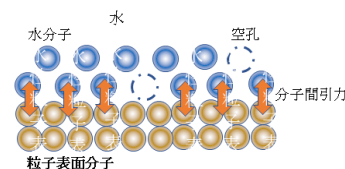


図1 粒子表面と水の界面

親水性表面では表面分子と水分子間の引力が強く、疎水性表面では分子間引力が弱い。

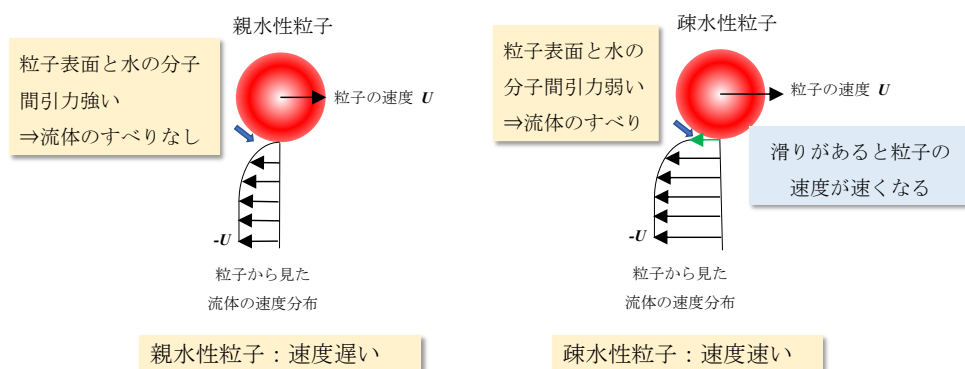


図2 親水性表面の場合は表面の分子と水分子間の引力が強くすべりはないが、疎水性の場合は分子間引力が弱くすべりが起きる。

2. 大きなすべり粒子の電気泳動（すべり表面上の電気浸透）

Debye 長 $1/\kappa$ に比べて十分大きなサイズの粒子の電気泳動移動度を計算する。これは平板上の電気浸透の問題に等価である。液体媒質（粘度 η , 比誘電率 ϵ_r ）に接する帯電平板（ゼータ電位 ζ ）がある。平板表面に平行に電場 E を加える。平板に垂直に x 軸を定め、表面に原点を置く。すべりのある表面における液体速度 $u(0)$ とすべり摩擦力の間には以下の $\beta u(0) = \text{すべり摩擦力}$ の関係がある（ β はすべり摩擦係数）。

$$u(0) = \Lambda \left. \frac{du}{dx} \right|_{x=0} \quad (1)$$

$\Lambda = \eta/\beta$ はすべり距離である。 $\Lambda = 0$ はすべりのない親水性表面に、 $\Lambda = \infty$ は完全な疎水性表面に対応する。

(1)式を用いて、ゼータ電位 ζ が低い場合、流速 $u(x)$ に対する Navie-Stokes の式と電位に対する Poisson-Boltzmann の式を解くと、次式が得られる¹⁾。

$$u(x) = -\frac{\epsilon_r \epsilon_0 \zeta E}{\eta} (1 + \kappa \Lambda - e^{-x}) \quad (2)$$

κ は Debye 長の逆数、 ϵ_0 は真空の誘電率である。図3は流速分布 $u^*(x)$ ($u^*(x) = u(x)/(\epsilon_r \epsilon_0 \zeta E/\eta)$) を距離 x とすべり長 Λ の関数として与えた (Debye 長 $1/\kappa$ で割って無次元化)。粒子の電気泳動移動度 μ は次式で与えられる。

$$\mu = -\frac{u(\infty)}{E} = -\frac{\epsilon_r \epsilon_0 \zeta}{\eta} (1 + \kappa \Lambda) \quad (3)$$

すべりのない粒子の移動度(Smoluchowski の式 $\mu = \varepsilon_r \varepsilon_0 \zeta / \eta$)の $(1+\kappa\Lambda)$ 倍に増大することがわかる。図 4 のように、流速を表す曲線を粒子内部に延長すると(点線), $u=0$ になる位置が Λ になる。速度 U で泳動する粒子表面における流速勾配は $U/(1/\kappa+\Lambda)$ になり、すべりが無い場合に比べて μ は $(1+\kappa\Lambda)$ 倍に増大する((3)式)。

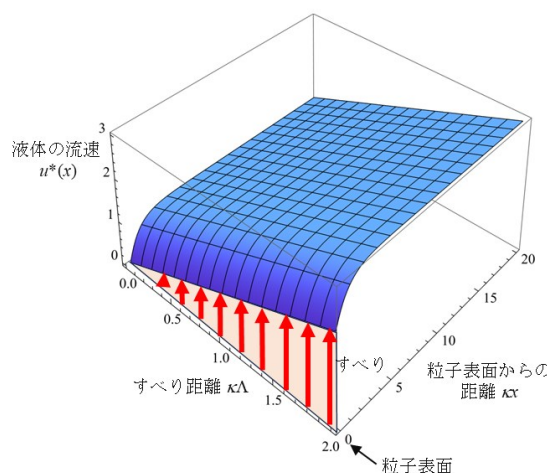


図3 すべり平板周囲の流速分布 $u^*(x)$

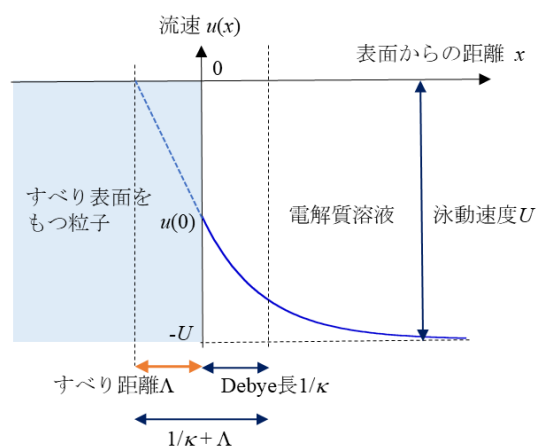


図4 すべりがあると、粒子表面における流速勾配が $U/(1/\kappa)$ から $U/(1/\kappa+\Lambda)$ に減少して粘性抵抗が減るため、粒子は速く動く。

3. 滑り粒子の移動度と液滴(水銀)粒子の移動度は等価である

粘度 η の液体媒質中を泳動する球状液滴(水銀)粒子(半径 a , 粘度 η_d)の電気泳動移動度とすべり距離 Λ の疎水性球状粒子(半径 a)の電気泳動移動度は以下の置き換えをすれば、互いに等しくなる¹⁾。

$$\Lambda \Leftrightarrow \eta a / 3 \eta_d \quad (4)$$

4. コロイド粒子の親疎水性と Hamaker 定数および Hansen 溶解度パラメータ

分散系の安定性は分散促進因子であるゼータ電位とともに凝集促進因子である Hamaker 定数 A に支配される。この定数も疎水性・親水性に関係する。van Oss ら²⁾による解析結果を図5に与えた²⁾。また、最近、筆者は武田真一博士との共同研究の結果、Hamaker 定数の正確な値が Hansen 溶解度パラメータから簡単に求められることを示した^{3,4)}。

5. おわりに

小林博士(筑波大)は疎水性ポリスチレンラテックス粒子のすべり距離を報告している⁵⁾。すべり粒子の界面動電現象に関する筆者の最近の研究は文献6にまとめている。

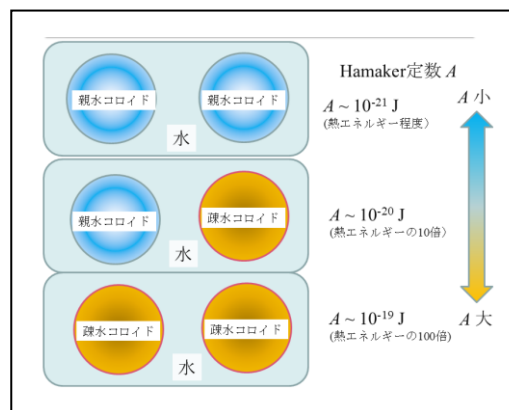


図5 コロイド粒子の親疎水性と水中における Hamaker 定数²⁾

文献 1. H. Ohshima, *Adv. Colloid Interface Sci.* **272**, 101996 (2019)

2. C.J. van Oss, D.R. Absolom, A.W. Neumann, *Colloid Polym. Sci.* **258**, 424–427 (1980).

3. H. Ohshima, S. Takeda, *Colloids Interfaces* **8**, 14 (2024).

4. H. Ohshima, S. Takeda, *Colloids Surf. A. Physicochem. Eng. Asp.* **701**, 134911 (2024).

5. M. Kobayashi, *Colloid Polym. Sci.* **298**, 1313–1318 (2020).

6. H. Ohshima, *Fundamentals of Soft Interfaces in Colloid and Surface Chemistry*, Elsevier, 2024.