

# コロイド粒子表面における高分子電解質吸着層の電気泳動移動度による解析 Analysis of Polyelectrolyte Adsorbed layer on Colloidal Particle by Soft Particle Electrophoresis Theory

青木謙治, 足立泰久, 日下靖之  
Kenji AOKI, Yasuhisa ADACHI, Yasuyuki KUSAKA

## 1 はじめに

高分子電解質 (PE) はコロイド粒子の表面に吸着して優れた凝集効果を示すため, 水処理の凝集剤や土壌改良剤として利用されている. PE を凝集剤として利用する場合, PE のコロイド粒子への吸着がコロイド粒子の凝集過程を左右するため, 高分子吸着層に関する知見が重要となる. 我々はこれまでに, PE によるポリスチレンラテックス (PSL) 粒子の凝集において, PE の吸着過程を PSL 粒子の電気泳動移動度から定性的に検討してきた[1]が, 吸着層の構造の解析はまだ行っていない. 表面に透水性のある高分子吸着層をもつ粒子 (柔らかい粒子) の電気泳動挙動に対しては, Ohshima によって理論式[2]が提案されており, 柔らかい粒子の典型である微生物細胞などの表面の解析に有効であることが示されている[3]. 本研究では, PE による PSL 粒子の凝集において, PSL 粒子の電気泳動移動度を測定し, Ohshima の式における高分子吸着層を特徴づけるパラメータを求め, PE 吸着層の構造について検討した.

## 2 実験

粒径  $1.52\mu\text{m}$  の PSL 粒子の分散溶液と PE 溶液とを二股フラスコに注ぎ, それを 1 秒に 1 回 90 度回転して PSL 粒子と PE の混合溶液を 200 秒攪拌した. 攪拌終了後に, 一次粒子の電気泳動移動度を顕微鏡電気泳動法で測定した. PE はポリ(2-メタクリルオキシエチルトリメチルアンモニウムクロリド)で, 分子量が 49 万と 490 万  $\text{g/mol}$  のものを使用した. 溶液の支持電解質として塩化カリウムを用いた.

## 3 電気泳動移動度

表面に高分子吸着層のあるコロイド粒子の電気泳動移動度  $u$  は,

$$u = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{\eta} \frac{\frac{\psi_0}{\kappa_m} + \frac{\psi_{DON}}{\lambda}}{\frac{1}{\kappa_m} + \frac{1}{\lambda}} + \frac{eZN}{\eta\lambda^2} \quad (1)$$

と表される. ここで,  $\varepsilon_0$ : 真空の誘電率,  $\varepsilon_r$ : 媒質の比誘電率,  $\eta$ : 粘性率,  $e$ : 電気素量,  $\kappa_m$ : 表面電荷層の Debye-Hückel パラメータ,  $\psi_0$ : 表面電位,  $\psi_{DON}$ : ドナン電位,  $ZN$ : 表面電荷層の空間電荷密度,  $\lambda$ : 表面電荷層の粘性抵抗に関係し, その逆数  $1/\lambda$  は吸着層の透水性を示すパラメータ, である. 表面に高分子吸着層のないコロイド粒子の場合, 溶液のイオン強度が増加すると電気二重層が圧縮され, 移動度の絶対値が小さくなる. しかし, 吸着高分子をもつコロイド粒子の場合には, 移動度はある一定値に収束する傾向がある[4]. したがって, 溶液イオン強度に対して  $u$  を測定した

とき、 $u$ が高イオン強度で一定値に収束すれば、(1)式から高分子吸着層のあるコロイド粒子の界面特性の $ZN$ および $1/\lambda$ を算出できる。

#### 4 結果と考察

Fig.1 は、溶液イオン濃度を变化させたときの一次粒子の電気泳動移動度  $u$  の測定結果である。図中の破線は、測定値に対する  $ZN$  と  $1/\lambda$  の組み合わせ最適値での(1)式のフィッティングカーブを表す。この測定結果は、高イオン強度で電気泳動移動度が一定値に収束しており、表面に PE 吸着層をもつコロイド粒子の典型的な電気泳動挙動を示した。 $ZN$  および  $1/\lambda$  の組み合わせ最適値を Table1 に示す。 $ZN$  と  $1/\lambda$  は、PE 濃度によらずほぼ同じ値となった。この理由は、溶液が高イオン強度になるほど、溶液中の対イオンによる PE 電荷部分の遮蔽効果が顕著になることで PE 吸着は動的過程に依存しなくなり、PE 吸着層が最終的に同じ状態になるためである[1]。一方、PE 分子量に関して  $ZN$  と  $1/\lambda$  に差が確認され、高分子量の 490 万の方が  $ZN$  は小さい値、 $1/\lambda$  は大きい値となった。PE 吸着層が収縮している場合と膨潤している場合の PSL 粒子の電気泳動移動度の報告[5]によると、PE 吸着層が膨潤している場合には、 $ZN$  は小さい値、 $1/\lambda$  は大きい値になる。分子量 490 万の結果は膨潤の場合と同じ結果であったことから、高分子量の PE の方が PE 分子量を反映して厚い吸着層になっていると考えられる。

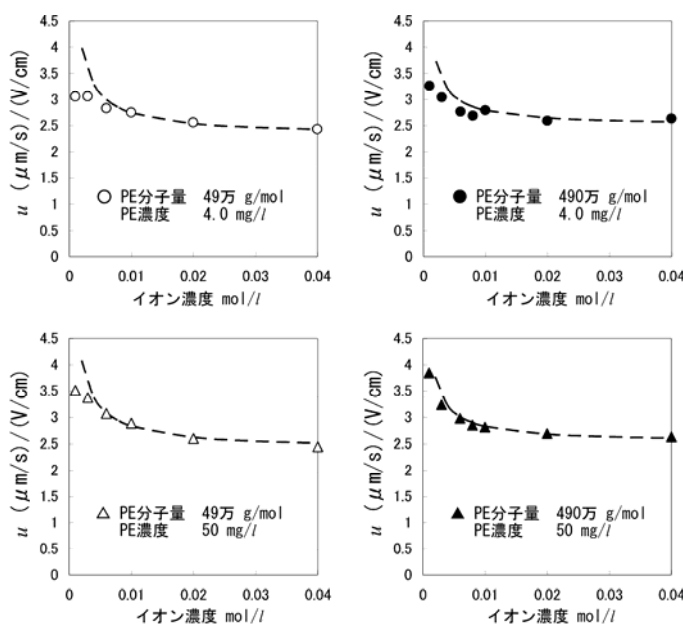


Table1  $ZN$ と $1/\lambda$ の値  
Best fitted combination of  $ZN$  and  $1/\lambda$   
based on eq. (1)

PE分子量 g/mol	49万		490万	
PE濃度 mg/l	4.0	50	4.0	50
$ZN$ mol/l	0.006	0.006	0.004	0.004
$1/\lambda$ nm	6.32	6.44	8.04	8.10

Fig.1 PEによるPSL粒子の凝集における、一次PSL粒子の電気泳動移動度のイオン強度依存性  
 $u$  of a primary PSL particle vs. ionic strength in the process of flocculation by PE

#### 参考文献

- [1]K. Aoki, Y. Adachi(2006) : *J. Colloid Interface Sci.* , **300** , 69 .
- [2]H. Ohshima(1994) : *J. Colloid Interface Sci.* , **163** , 474 .
- [3]林浩志, 佐々木弘(2003) : 土のコロイド現象 土・水環境の物理化学と工学的基礎, 足立泰久, 岩田進午(編), 学会出版センター, pp.311-315 .
- [4]近藤保, 大島広行, 松村延弘, 牧野公子(1992) : 生物物理化学, 三共出版, p.100 .
- [5]H. Ohshima, K. Makino, T. Kato, K. Fujimoto(1993) : *J. Colloid Interface Sci.* , **159** , 512 .