

# Webで学ぶ

## 【入門】ゼータ電位

本資料の掲載情報は、著作権により保護されています。本情報を商業利用を目的として、販売、複製または改ざんして利用することはできません。

### 大塚電子株式会社

●大阪本部	〒540-0021 大阪市中央区大手通三丁目1番2号 エスリードビル大手通6F	TEL.(06)6910-6522
●東京支店	〒192-0082 八王子市東町1-6 橋完LKビル4F	TEL.(042)644-4951
●東北営業所	〒980-0021 仙台市青葉区中央2-2-10 仙都会館5F	TEL.(022)208-9645
●東海営業所	〒460-0008 名古屋市中区栄3-2-3 名古屋日興証券ビル4F	TEL.(052)269-8477
●九州営業所	〒810-0001 福岡市中央区天神1-9-17 福岡天神フコク生命ビル15F	TEL.(092)717-3338

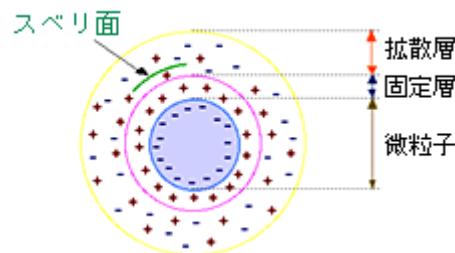
ホームページ <http://www.otsukael.jp>

## 【入門】ゼータ電位

### 1.ゼータ電位ってなに？

液体中に分散している粒子の多くは、プラスまたはマイナスに帯電しています。電氣的に中性を保とうとして粒子表面の液体中には、粒子とは逆の符号を持つイオンが集まってきます。そのようなイオン群が、粒子表面を取り巻いて球殻状に集まったとします。荷電を持った層を、反対荷電を持った層が取り巻くこととなります。このような状態を、「電気二重層が形成された」と表現します。コンデンサーに電気が蓄えられた状態は、このようなものと考えられています。

しかし、液体中のイオン層は、このように単純ではありません。イオンの分布は熱運動のために攪乱されています。そのため、表面近傍では反対荷電の濃度が高く、遠ざかるにつれて次第に低下してゆきます。粒子と同荷電のイオンは、逆の分布を示しています。そして、粒子から十分に離れた領域では、プラスのイオンの荷電とマイナスのイオンの荷電が相殺して、電氣的中性が保たれています。上記のコンデンサー型の二重層に対して、液体中において現実に見られるものを、「拡散電気二重層(diffused electric double layer)」と呼んでいます。反対荷電のイオン分布が、表面から離れるにつれて、次第にくぼけてゆく(diffused)ような電気二重層であることを、このような用語で表現したのです。

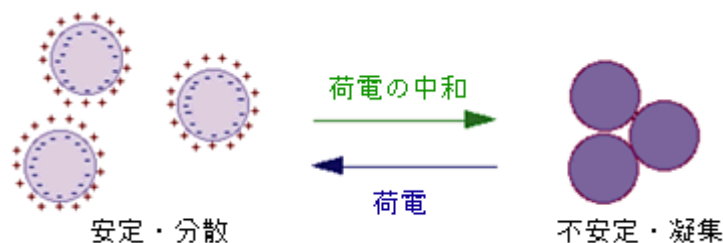


これに較べて、内側の粒子表面のイオン分布は、ぼやけてはいません。拡散電気二重層は、片側の状況に注目しての命名です。この側を、「拡散層」と呼びます。表面から直ちに、拡散層が始まっているとは限りません。一部のイオンが強く表面に引き寄せられて、固定されている場合が多いでしょう。このような層を「固定層」と呼んでいます。これを、シュテルン層と呼ぶこともあります。

最初に言及しましたように、液体中に分散された粒子は、多くの場合に荷電を持っています。そして、粒子の分散状態の安定性は、しばしば荷電状態によって、左右されます。この場合、何をもって粒子の荷電状態の指標としたらよいのでしょうか。それに対する回答として、定義されたのがゼータ電位です。問題となるのは、固定層まで剥ぎ取った裸の粒子の荷電状態ではなさそうですし、これを直接に測定することはできそうにありません。粒子と一緒に移動する荷電は、粒子の挙動に直接に影響すると思われるし、これなら測定もできそうです。粒子は、固定層そして拡散層の内側の一部を伴って移動すると推定できます。この移動が起こる面を<滑り面>（“ずり面”ということもある）と呼んでいます。粒子から十分に離れて電氣的に中性である領域の電位をゼロと定義します。<ゼータ電位(zeta-potential)>は、このゼロ点を基準として測った場合の、滑り面の電位と定義されています。

## 【入門】ゼータ電位

微粒子の場合、ゼータ電位の絶対値が増加すれば、粒子間の反発力が強くなり粒子の安定性は高くなります。逆に、ゼータ電位がゼロに近くなると、粒子は凝集しやすくなります。そこで、ゼータ電位は分散された粒子の分散安定性の指標として用いられています。



近年、微粒子は素材として使用されることが多くなってきました。その機能性向上のため、表面改質の研究が盛んに行われています。高分子化合物、界面活性剤、あるいは異種微粒子などを表面に吸着させる、あるいは表面を化学処理するといった試みがなされています。また、分散媒の pH 値などの条件の検討も、子細に検討されています。粒子の安定性の指標としてのゼータ電位の重要性は高まっています。

ゼータ電位の詳細に関しては以下の書物を参考ください：

北原文雄、古澤邦夫、尾崎正孝、大島広行、

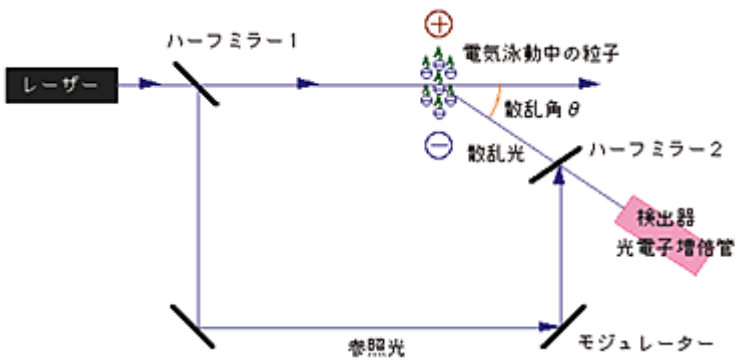
「Zeta Potential ゼータ電位：微粒子界面の物理化学」、サイエンティスト社、1995。

## 2.ゼータ電位はどうやって求めるの？

帯電した粒子が分散している系に、外部から電場をかけると、粒子は電極に向かって泳動（移動）しますが、その速度は粒子の荷電に比例するため、その粒子の泳動速度を測定することによりゼータ電位が求められます。

ここで説明します電気泳動光散乱測定法は別名レーザードップラー法と呼ばれ、『光や音波が動いている物体に当たり反射したり散乱すると、光や音波の周波数が物体の速度に比例して変化する』という“ドップラー効果”を利用して粒子の泳動速度を求めています。電気泳動している粒子にレーザー光を照射すると粒子からの散乱光は、ドップラー効果により周波数がシフトします。シフト量は粒子の泳動速度に比例することから、このシフト量を測定することにより粒子の泳動速度がわかります。

## 【入門】ゼータ電位



実際に、屈折率( $n$ )の溶媒に分散した試料に、波長( $\lambda$ )のレーザー光を照射し、散乱角( $\theta$ )で検出する場合の、泳動速度( $V$ )とドップラーシフト量( $\Delta\nu$ )の関係は次式で表されます。

$$\Delta\nu = \frac{2Vn \sin(\theta/2)}{\lambda} \quad \dots (1)$$

[ $n$  : 溶媒の屈折率,  $\theta$  : 検出角度]

ここで得られた泳動速度( $V$ )と電場( $E$ )から電気移動度( $U$ )が求められます。

$$U = V / E \quad \dots (2)$$

電気移動度( $U$ )からゼータ電位( $\zeta$ )へは、次式の Smoluchowski の式を用いて多くは求められます。

$$\zeta = \frac{4\pi\eta U}{\varepsilon} \quad \dots (3)$$

[ $\eta$  : 溶媒の粘度,  $\varepsilon$  : 溶媒の誘電率]

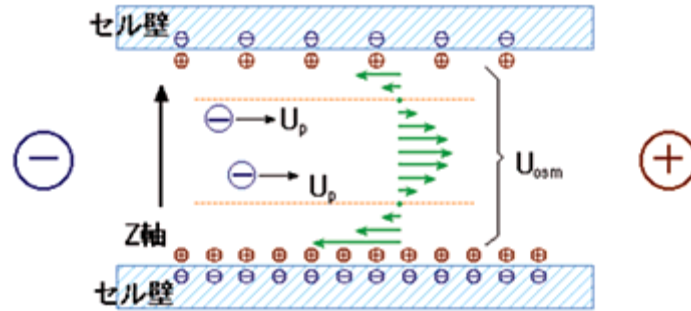
このようにして、泳動している粒子からの散乱光を観測することによって、ゼータ電位が求められます。

### 3.ゼータ電位の測定に大切な「電気浸透効果」ってなに？

セルの材料である石英の等電点は pH2~3 であり、それ以上の pH ではセルの表面はマイナスに荷電されています。そのためプラス荷電のイオンや粒子がセル壁面付近に集まり、電場がかけられると、これらのイオンにより壁面付近でマイナス電極側への流れが生じてしまい、その流れを補償するためにセル中

## 【入門】ゼータ電位

中央では逆方向への流れが生じます。



$$U_{obs}(Z) = U_p + U_{osm}(Z)$$

Z : セル中心からの距離

$U_{obs}(Z)$  : 位置 y において測定される見掛けの泳動速度

$U_p$  : 粒子の真の移動度

$U_{osm}$  : セル位置(Z)における電気浸透流れの速度

この一連の流れを電気浸透流と呼び、ゼータ電位測定をおこなう場合、この電気浸透流の発生は避けられません。その結果、観測される粒子の見かけの電気泳動には電気浸透流が加味されることとなります。

$$U_{obs}(Z) = AU_0(z/b)^2 + \Delta U_0(z/b) + (1-A)U_0 + U_p \quad \dots (4)$$

$$A = 1 / [ (2/3) - (0.420166/k) ]$$

$k = a/b$  : セル断面の辺の長さ a, b の比 ( $a > b$ )

$U_0$  : セル上下面での溶媒の流速の平均

$\Delta U_0$  : セル上下面での溶媒の流速の差

しかしながら、セルの表面電位は、溶液の pH、試料や添加剤の吸着、粒子の沈降およびセルの洗浄法等により変化し、しばしば上下非対称な電気浸透流を作る場合があります。非対称になると、一般におこなわれているセル形状から求められる静止面での測定では真の移動度を求めることはできません。

そこで、電気泳動光散乱装置 (ELS Z シリーズ) は、電気浸透流の影響を受けている粒子の見かけの電気移動度をセル内の数点で観測し、(4)式から静止面を求め直すことにより、電気浸透流が非対称な系においても、真の移動度を求めることができます。

## 【入門】ゼータ電位

また、この測定法を用いると、泳動セル表面の荷電状態を求めることができます。平板試料用セルを用いて、セルの片面に平板試料を取り付け、その平板試料の表面電位を反映した電気浸透流を観測します。これを解析することにより平板試料のゼータ電位が求められます。

(2000/6 改訂)

### <関連製品>



#### ゼータ電位・粒径測定システム（ゼータ電位，粒径・粒径分布） ELSZ-1000ZS

粒子径（粒径）・粒径分布測定、ゼータ電位測定が可能な粒度分布計です。分散・凝集性、相互作用などの研究に最適です。



#### ゼータ電位・粒径測定システム（ゼータ電位） ELSZ-1000Z

ゼータ電位測定専用装置です。有機溶媒や固体試料などに対応する各種セルを取り揃えています。