

# 異形平板試料のゼータ電位

奥田 徹也（機械・材料技術部 ナノ材料グループ）

## 1. はじめに

KISTEC では 2008 年に平板形状試料のゼータ電位が測定できる装置を導入し、多数のお客様にご利用いただいている。測定が可能な試料の要件として、(a)全面均一な材質、(b)目視レベルの平坦性、(c)導電性をもたない等が挙げられる。しかし基板の膜の一部が剥がれているなど、上記の要件を満たさない異形の平板試料のご依頼を承ることもあり、その場合は測定値の信頼性や解釈が問題となる。

当所の装置（大塚電子製 ELSZ-2）の平板試料測定の概要を以下に記す。石英製のセルは、中央に長さ 23 x 幅 5 x 深さ 1 mm の直方体の溝を持つ。試料はこの溝の上面に蓋をする格好で設置して、長手方向に開いた長方形断面のトンネル型の流路を形成させる（図 1）。次にその流路にモニター粒子が分散した水溶液を充填し、トンネルの両端にある電極から直流電場を印可して、長手方向にモニター粒子を電気泳動させる。そして側面中央から入射したレーザー光を、上面（試料）から下面まで上下方向にスキャンしながら、モニター粒子によって散乱されたレーザー光を検出する。散乱光のドップラーシフトから、電気浸透流の上下方向の流速分布を求め、試料位置（上面）の電気浸透流の速度を Smoluchowski 式でゼータ電位に換算する。

トンネル内の電気浸透流の流速分布には、森・岡本の理論式<sup>1)</sup>を適用する。この式の導出において、流れは電気泳動方向のみで、上下方向および側面方向への流れはないと仮定する。上面・下面はそれぞれ全面均一で、また左と右の側面の材質は同一である。トンネルの上下面と左右側面には境界条件を課すが、電気泳動方向には境界条件を付けないので、近似的に無限長の均一性を仮定している。したがって試料（上面）が異形をもち、全面均一でない場合は上記の仮定が成り立たなくなるが、装置からは森・岡本の式を使った解析結果しか得ることができない。

そこで本研究では、試料の不均一性が測定値に与える影響を把握するため、異なるゼータ電位をもつ部分が同一面に混在する試料を作製し、試料面のどの部分がどのように寄与するか調べた。

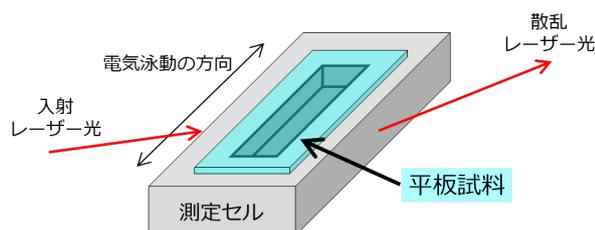


図1 測定セルのイメージ（試料で溝の蓋をしている）

## 2. 実験方法

不均一試料のモデルとして、大きな正電位と負電位をもつ領域が、様々なパターンで混在する試料を作製した。試料の基材は、中性 pH 域で負に帯電するスライドガラス（MATSUNAMI 製 S1126）とした。この基材に対し、パターンに従って部分的にマスクングを施した後、正電位をもつ膜を形成するジメチルポリシロキサン系のガラスコーティング剤を塗布した。乾燥後にマスクングを剥がすと、マスク部分から再び元のスライドガラス基材が現れる。

図2に、測定セル上方から見たイメージを示す。長方形の内側は試料の接液部を表し、黒い領域は正に帯電したコーティング部分、白い領域は負に帯電したスライドガラス基材の露出部分である。この図2の例は、モニター粒子の電気泳動方向に対して直交して不均一パターンが形成されており、レーザー光が通過するセル中央付近はコーティングされていないので負電位をもつ場合を示している。

ゼータ電位測定は、モニター粒子（大塚電子製）を 10 mM の NaCl 水溶液で 100 倍希釈して電気泳動液とし、約 16 V/cm の電場を印可して行った。

## 3. 結果及び考察

図3から図6に、作製した4種の不均一パターン系列図と、各々のゼータ電位の測定値を示す。図3は電気泳動方向に直交して均等に約 4.6 mm 幅で5分割し、正電位領域を片側から少しずつ増加させていった不均一パターン系列である。全面にスライドガラス基材が露出した図3①の場合はゼータ電位が-48(mV)、全面に正電位コートをした⑥の場合は+46(mV)であるが、この両端の間の②から⑤までが本研究が目的とする不均一試料である。まず図3②の、一番端の領域だけ正電位コートされている場合、ゼータ電位は-26(mV)で基材よりも正電位方向へ変化している。上面（試料）から下面までの測定ポイントにおける、モニター粒子の見かけのゼータ電位分布をカーブフィッティングした電気浸透流プロットを見ると、森・岡本の理論式通りの放物線である（図7）。また他の測定パラメータも正常値の範囲に収まっているので、図3②の測定ではレーザー光が通過するセル中央付近の電気浸透流に乱れはないと考えられ、測定値の信頼性は高い。よってレーザー光が通過しない端部の不均一性が、中央付近にまで影響を及ぼしていると断定して良い。なお、モニター粒子の電気泳動速度は最大でも 100 (μm/s)程度で、測定中はほとんどが上面（試料）の正電位または負電位領域の片方だけをゆっくり泳動しているため、一つのモニター粒子が試料全面を一気に通過して泳動速度が平均化されたためではない。

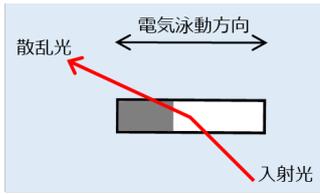


図2 セル上方から接液部を見たイメージ  
(白：負に帯電、黒：正に帯電)

サンプル	ゼータ電位 (mV)
①	-48
②	-26
③	+4
④	+29
⑤	+37
⑥	+46

図3 不均一パターン系列(1)

サンプル	ゼータ電位 (mV)
①	-48
②	-22
③	+8
④	+46
⑤	+26
⑥	+16

図4 不均一パターン系列(2)

サンプル	ゼータ電位 (mV)
①	-48
②	-34
③	-14
④	-8
⑤	+4

図5 不均一パターン系列(3)

サンプル	ゼータ電位 (mV)
①	-48
②	-7
③	+2
④	+16
⑤	+40
⑥	+46

図6 不均一パターン系列(4)

図3の不均一パターン系列の③から⑤を見ると、正電位をもつ領域が増加するにつれて、測定値も連続的に正電位方向へ変化していくことが分かる。ただし図3の系列からは、不均一領域が占める面積と位置のどちらが強く測定値に影響するかを知ることができない。

そこで図4に、電気泳動方向に対称なパターンを形成して評価した結果を示す。例えば逆パターンになっている③と⑥を比較すると、正電位と負電位の面積比よりは、どちらがセル中央付近にあるという位置の方が、測定値に強く影響することが分かる。⑥の正電位領域の面積は③の4分の1に過ぎないが、より大きな正電位を示すのは、レーザー光が通過する中央付近に正電位をもつ⑥の方である。

位置分解能を上げるため、図5に均等に約2.5mm幅で9分割した一つの領域だけに正電位コートしたパターン系列の測定結果を示す。正電位と負電位領域の面積比はいずれも1:8であるが、正電位領域がセル中央に近づくほど測定値も正電位方向に変化し、⑤では基材の負電位を打ち消してほぼゼロ電位になっている。

図6は、電気泳動方向に平行に均等に1mm幅で5分割して、正電位領域を片側から少しずつ増加させていった不均一パターン系列である。正電位領域が増加するほど、測定値が正電位方向に変化する傾向は予想通りである。しかし例えば図6③の場合、電気浸透流プロット(図8)は、上面(試料)に近いほど森・岡本の理論式の放物線から外れている。また他の測定パラメータを調べると、ゼロ電位に近い値を示すはずのセル下面のゼータ電位は+12(mV)、モニター粒子の真のゼータ電位は+11(mV)であり、いずれも正常値の範囲から逸脱していた。よって、セル中央付近の電気浸透流が乱れていると考えられ、測定の信頼性に問題が生じていることが分かった。

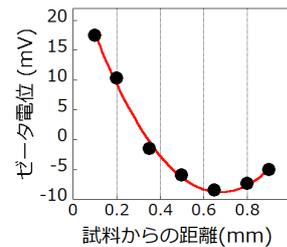


図7 図3②の電気浸透流

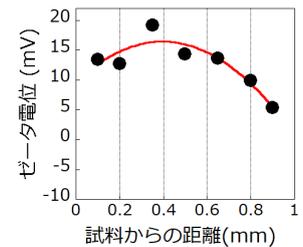


図8 図6③の電気浸透流

#### 4. まとめ

異形試料の一例として、全面均一な材質という仮定が成り立たないモデル試料を作製して評価した。電気泳動方向に直交する不均一性では、不均一部分の位置が強く影響することが分かった。また電気泳動方向に平行な不均一性は、電気浸透流の乱れが生じて測定の信頼性に影響することが分かった。現実的な試料と比べると、大きな正電位と負電位が混在する極端なモデルであるが、そのことで不均一性が測定値に与える影響を明確に抽出することができた。

#### 【参考文献】

1. 森裕行, 岡本嘉夫, 浮選, 27, 117-126 (1980).