

論 文

回転する高分子表面における純水液滴の帶電現象

八塚 京子*, 東山 滋夫*, 浅野 和俊*

(1992年9月18日受理)

Study on Electrification Phenomena of Distilled Water Sliding upon Spinning Polymer Surface

Kyoko YATSUZUKA,* Yoshio HIGASHIYAMA* and Kazutoshi ASANO*

(Received September 18, 1992)

When distilled water droplets sliding on a polymer plate, both of the droplets and the surface of the polymer are electrified. We have been investigated this electrification phenomena with the tilted polymer plate (PTFE) and proposed a model for the mechanism of this phenomena. However, only a small velocity of a droplet of 0.6 m/s cloud get with the previous apparatus. In this report the experimental results will be shown with the new apparatus, in which the distilled water droplets can be accelerated by the centrifugal force to the velocity of several m/s. Same as the previous report, the surface potential on a polymer surface is negative and the droplets are charged positively. The ridge of the surface potential drew a spiral along the footprint of the droplet. After the peak of the polymer surface potential at dripping point, the surface potential grows gradually with the path and begins decreasing over a certain path length. From these experimental results the modified electrification model based on the construction of water and the behavior of their protons is proposed. This model suggests that the larger cross section of the droplet contacted with the polymer surface, the greater electrification will occurs, because of the increase of the charge amount maintaining in a water droplet.

1. はじめに

水は特異な性質を数多く持つ液体であり、比誘電率では通常の液体が2~6程度、有極性液体でもせいぜい20~30程度であるのに対し、水の比誘電率は80と群を抜いている。静電気学の分野でも、レナード効果等の液滴に分裂する際の帶電現象¹⁻⁴⁾や半導体産業での固体表面と純水の接触・流動による帶電現象⁵⁾がある。絶縁液体と固体壁の間で起こる流動帶電現象は古くから知られているが、純水の導電率は、流動帶電を起こす絶縁液体の導電率より数桁も高いにもかかわらず、純水の接触・流動により帶電が起こる。この帶電現象は純水の純度があるにつれて著しくなり、LSIの高集積化により、より純度の高いいわゆる超純水による洗浄が必要となった半

導体素子製造工程において頻繁に見られるようになつた。洗浄工程ではウェハやマスク、さらには高分子製のキャリアが帶電し、微小なほこりの付着や帶電電荷の放電による素子の破壊などの問題があり、その帶電機構を明らかにする必要が生じている。

流動帶電は一般に、固体壁と絶縁液体界面に形成された界面電気2重層に起因すると考えられている。純水による流動帶電においても、同様に固体表面と純水界面において、固体表面への特定のイオン種の吸着による電荷分離機構があると考えられるが、そのイオン種や帶電機構はまだ明らかにはなっていない。

筆者らは、純水と絶縁固体表面の接触・流動による帶電機構を明らかにするため、これまでテフロン(Polytetrafluoroethylene: PTFE)を用いて実験を行い、その帶電機構の実験的な考察を行ってきた⁶⁾。そして、純水液滴の滴下・流動により、PTFE表面の純水液滴が通過した部分は負に、純水液滴自身は正に帶電すること、その帶電量は、液滴の流動速度が速いほど、導電率が小さいほど大きいこと等を報告してきた。斜めに置いた接地金属板上に試料高分子板を設置し、純水を1滴ずつそ

キーワード：純水、高分子、流動、表面電位分布、帶電現象

* 山形大学工学部電子情報工学科 (992 米沢市城南 4-3-16)
Department of Electrical and Information Engineering, Faculty of Engineering, Yamagata University, 3-16, Jonan 4-chome, Yonezawa, 992 Japan

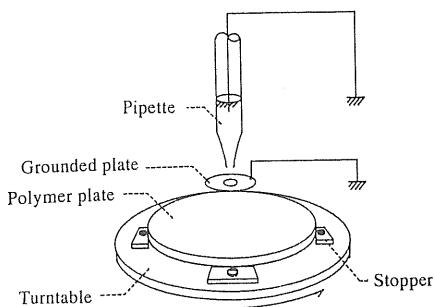


図1 回転型帶電実験装置

Fig. 1 Experimental apparatus with spinner.

の上に滴下・流動させた時の実験結果について、すでに報告している⁷⁾。PTFE表面の帶電電位分布が液滴滴下点で負のピークを持ち、流動経路に沿って減少し、正に反転することから、液滴流動経路の下流側の帶電現象は上流で正に帶電した帶電液滴によるものであり、純水液滴が帶電して保持し得る電荷量に限界があると仮定した帶電モデルを提案した。このモデルを検証するために、人工的に帶電させた液滴による帶電実験も行い、ある程度以上に帶電した液滴が、過剰な電荷を PTFE表面に残す形の帶電が起こることを明らかにした。

しかし、斜面を利用した帶電方法では、純水液滴の流動速度が0.6 m/sまでと小さく、実際の半導体ウェハの洗浄工程における、高速回転するスピナ洗浄や水切り工程の流動速度に比べてはるかに小さい。そこで、PTFE試料板を回転させ、その上に滴下した純水液滴に働く遠心力をを利用して高い純水液滴の流動速度を得る、回転型の帶電装置を試作し、その実験結果の検討から、前報告で提案したモデルについて、さらに詳しく検討した。

2. 実験装置および方法

回転型の帶電実験装置の概略を図1に示す。直径200 mmのアルミニウム製の回転円盤上に、厚さ13.4 mm、直径160 mmの円盤に加工したPTFE板を4か所に設けた留め具で固定する。回転円盤はオリエンタルモーター社製直流モーターFBL430A-Aにより回転速度300~3000 rpmで回転させる。回転速度は直流モーターのドライバの端子にディジタル表示器を接続して直結した。回転する高分子試料の回転中心に、接地したピペットからオルガノ社製カートリッジ純水器G-1で処理した導電率30 μS/m~50 μS/mのイオン交換水を1滴滴下・流動させて、帶電させた。1滴の容量は平均0.06 cm³である。ピペットの下には、高分子の表面電位によって液滴が滴下時に誘導帶電されるのを防ぐために、接地金属板を置いた。また、帶電した液滴による滴下・流動帶電

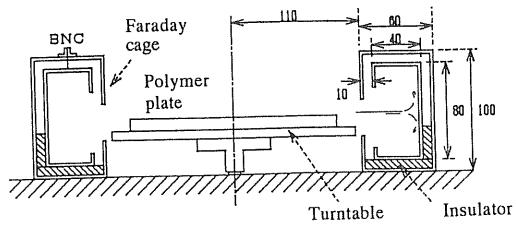


図2 液滴電荷量測定装置

Fig. 2 Measuring apparatus for droplets.

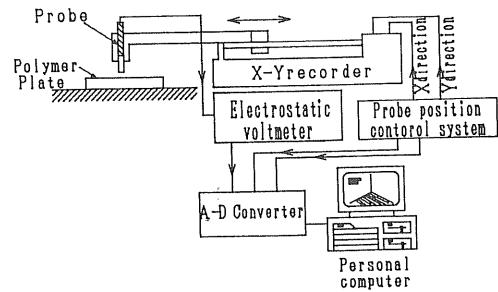


図3 表面電位分布測定装置

Fig. 3 Measuring system of surface potential.

実験の場合には、この接地金属板の位置に誘導電極を置き、電圧を印加して滴下する液滴を誘導帶電させた。

高分子表面を流動して帶電した液滴を、図2に示す回転台を囲むようにしたファラデーケージにより回収し、Keithley社製のエレクトロメータ610Cにより液滴の電荷量を測定した。回収液滴の量は、ファラデーケージに回収された液滴の重量を測定して求めた。ここで用いたファラデーケージの静電容量は2635 pFである。

高分子試料表面の帶電電位分布は、図3の前報告と同じ表面電位測定システムにより測定した⁷⁾。表面電位センサとしてMonroe社製表面電位計(MODEL 244)を用い、表面電位計のプローブをXYレコーダの可動部を取り付けて、のこぎり波と階段状波の位置制御信号をXYレコーダに入力し、プローブを2次元的に駆動する。表面電位計の出力および位置制御信号を、A/D変換器を通してNEC社製パーソナルコンピュータPC9801に取り込み、データをフロッピーディスクに保存し、表面電位分布の2次元的表示等の処理を行った。

また、液滴の流動軌跡を、フォトロン社製高速ビデオカメラ(FASTCAM)を用いて、真上から撮影、記録し、観察を行った。FASTCAMは、最高40,000コマ/秒で撮影した映像を、通常のビデオテープに任意のフレームずつ再生、記録可能なビデオカメラである。今回の実験では、4500コマ/秒で撮影し、1フレームずつ再生した画面をスチルカメラで撮影した。

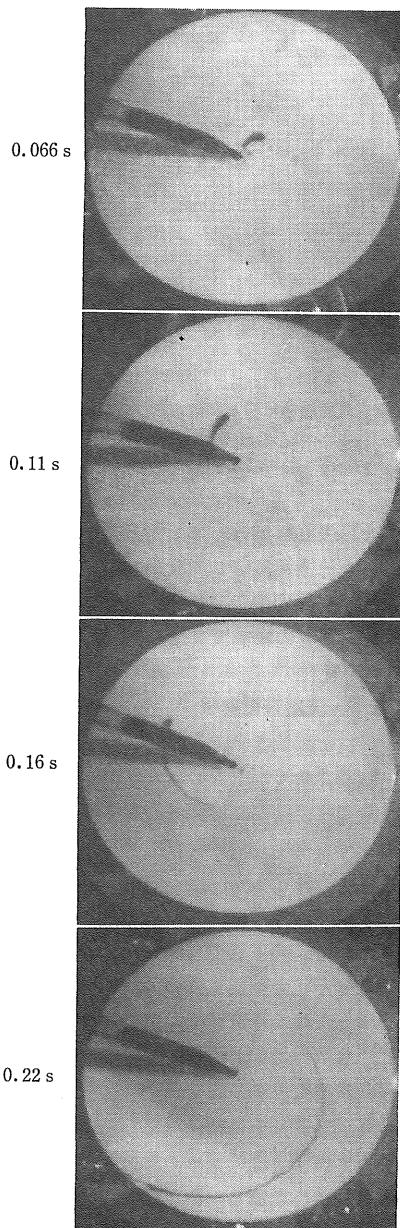


図4 液滴流动軌跡（反時計まわり、回転数：500 rpm）

Fig. 4 Trace of a droplet. (counter clockwise, 500 rpm)

3. 実験結果

3.1 液滴の流动軌跡

図4と図5に、真上から見た液滴の流动軌跡を示す。液滴の運動状態がはっきり見えるように、液滴は黒インクで着色している。図より、液滴はらせんを描きながら流动し、前報の斜面を利用した帶電実験のときより、長

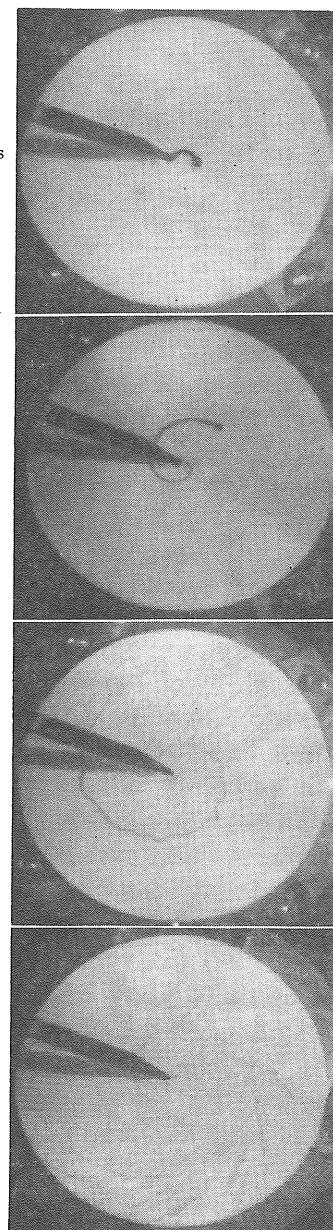


図5 液滴流动軌跡（反時計まわり、回転数：1000 rpm）

Fig. 5 Trace of a droplet. (counter clockwise, 1000 rpm)

く尾を引きながら流动しているのがわかる。尾の長さは中心部より、円周部に近付くにつれて細く、長くなっている。回転速度が 1000 rpm では 500 rpm の時に比して尾が長くなり、また、液滴先頭部が円周に到達するまでに流动する距離も、回転数 500 rpm で 195 mm, 1000 rpm で 264 mm と、1000 rpm の時の方が、500 rpm の時の 1.4 倍長くなっている。回転数 1000 rpm では、尾

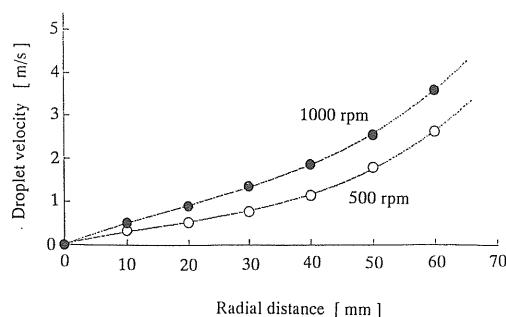


図 6 液滴流動速度

Fig. 6 Velocity of a droplet dripping on the polymer surface.

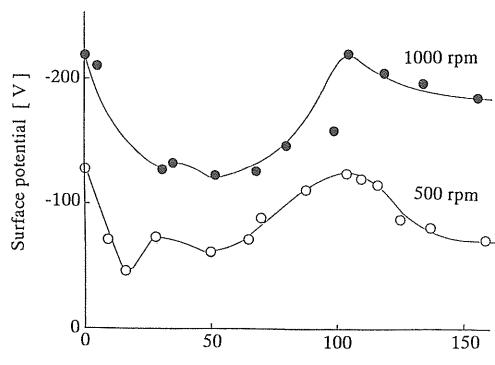


図 8 液滴流動軌跡に沿った帶電電位分布

Fig. 8 Dependence of surface potential distribution along the footprint of a droplet.

ビデオを再生しながら、フレーム間での液滴先端部の変位をモニター上で測定し、液滴の流動速度を求めた結果を図 6 に示す。液滴先端が試料円盤の半径 60 mm の円上に達したときの液滴流動速度は、回転数 500 rpm で 2.7 m/s, 1000 rpm で 3.8 m/s であった。

3.2 滴下・流動帶電実験

高分子試料を回転させ、その回転中心に純水液滴を 1 滴滴下・流動させて帶電させたときの、PTFE 板表面の帶電電位分布と流動した液滴の帶電電荷量の測定結果を以下に示す。

(a) 帯電電位分布

図 7 に、PTFE 表面の帶電電位分布を示す。図より、帶電電位は負で、滴下点でピークを持ち、液滴流動軌跡と同様にらせん状の帶電電位の尾根がみられる。回転速度が速いほど全体の帶電電位の値は大きい。

図 8 に、液滴先端部の流動距離に対する、液滴流動経路に沿った帶電電位の変化を示す。ここでは、図 7 の帶電電位の尾根が液滴の軌跡に対応していると仮定している。帶電電位は滴下点にピークを持ち、いったん小さくなつてから徐々に増加し、ある点まで行って再び減少している。この傾向は回転数によらず見られた。

図 9 に、図 6 で得られた結果をもとに換算した、液滴先端部がその位置を通過したときの流動速度に対する PTFE 表面電位の関係を示す。帶電電位は流動速度の増加とともに増大するが、同じ流動速度でも、PTFE 円盤の回転速度が異なると、表面電位の値も異なっている。回転速度が速いほど帶電電位が大きい。

(b) 液滴の帶電

流動した後の帶電液滴を図 2 のファラデーケージに回収して測定した、液滴電荷量の回転数依存性を図 10 に示す。実験で、液滴の一部が PTFE 表面に残留するこ

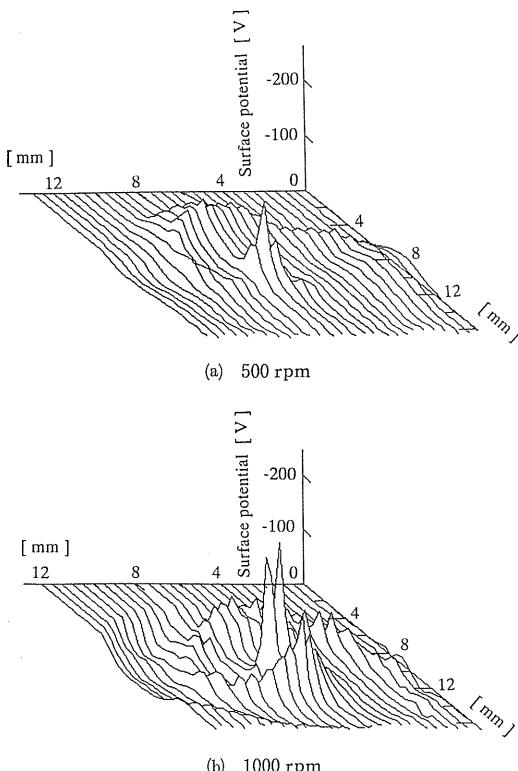


図 7 PTFE 表面の帶電電位分布

Fig. 7 Surface potential distribution of polymer electrified by a distilled water droplet.
(thickness of polymer plate : 13.4 mm, view from negative potential side)

の部分が長くなるため、液滴先端部が小さくなつて、液滴滴下から 0.16 秒後には尾と区引がつかなくなつてゐる。このようになると、液滴は尾の部分から枝分かれして飛び散つた。回転数をさらにあげて 1500 rpm とした場合、尾の部分の枝分かれ現象は 1000 rpm の時よりもさらに早い時期に始まつた。

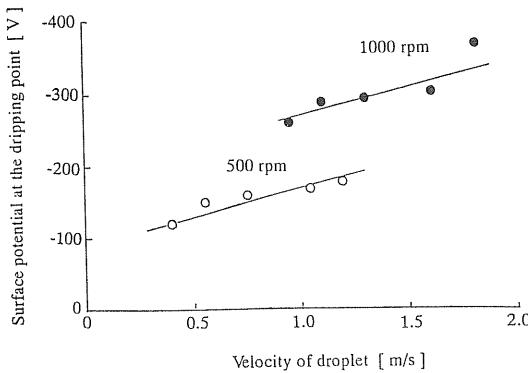


図9 流動速度と帶電電位の関係

Fig. 9 Relationship between surface potential and sliding velocity of a droplet.

とがあったので、電荷量は比電荷量で表した。流動した液滴は正に帶電しており、回転数の増加とともにその帶電量も増加する。

4. 検討

4.1 液滴の流動

液滴には遠心力が作用しているが、PTFE板との接触面においても力が働いており、PTFE板の回転とともに運動をするため、液滴の運動はらせんになる。図4および5より、流動速度が速くなるにつれて液滴は長く引き延ばされている。回転速度が大きくなると、引き延ばされた液滴の各部に働く遠心力が部分により異なってきて、ある程度流動したところで液滴は不安定となり、長く伸びた尾の部分から細かく分裂する。これより、滴下点から液滴が分裂を始める点までの距離が回転数が大きいほど短いことが説明できる。

液滴は遠心力により加速され続けるので、液滴先端部の速度は中心から離れるに従い増加し、液滴の速度は流動経路に沿って大きく変化する。図6から得られた液滴の最終流動速度は、前報の斜面を利用した帶電実験の場合の0.39 m/s(傾斜角度45°の時)よりおよそ1桁大きくなっている。

4.2 PTFE表面の帶電

図7のPTFE表面の帶電電位分布から、液滴流動軌跡の観察結果と同様に、電位の尾根がらせんを描くように帶電しており、PTFE表面の帶電が液滴の流動軌跡に沿って起こっていることが確認された。流動経路に沿った帶電電位の変化は、滴下点で負に大きく帶電しており、これは前報の斜面による滴下・流動帶電実験の結果と同様である。滴下点での負の帶電ピークの後では、帶電電位はいったん小さくなつた後、徐々に増加し、ある

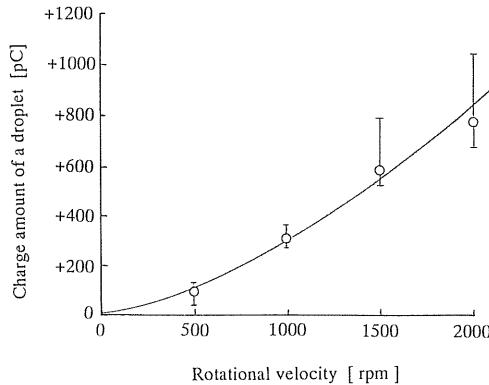


図10 回転数と液滴帶電量

Fig. 10 Dependence of charge amount of the droplet on rotating velocity of the polymer surface.

点から再び減少する傾向がある。斜面を利用した滴下・流動帶電実験では、滴下点のピークの後、流動経路に沿って電位は減少し、ある点で正に反転する帶電電位分布が得られていた。今回の回転型の帶電実験ではPTFE表面が正に帶電することはなかった。回転型で表面電位が流動経路に沿って徐々に増加するのは、液滴の加速が続き、流動速度が上昇し続けることによる現象と考えられる。前報では、表面電位分布が正に反転することから、流動経路の下流側の帶電現象は上流ですでに帶電した液滴による現象と考え、液滴が保持できる正電荷量に限界があるという仮定でこの帶電機構を説明するモデルを提案した。今回の回転型では、PTFE表面電位の正への反転現象は見られなかったものの、流動距離が増すと流動速度は増加し続けているにもかかわらず帶電電位が減少し始める点が存在することから、さらに流動距離が長くなれば帶電電位が反転する可能性があり、前報で提案したモデルで回転型の帶電実験も説明しうると考えられる。

図9から、PTFE表面の帶電電位の大きさは流動速度により一意に決まるのではないことがわかる。図4、5の結果からわかるように、回転数が増すと液滴が長く引き延ばされた形に変形する。この形状の違いが500 rpmと1000 rpmの帶電電位の差に影響を与えると考えられる。斜面を利用した滴下・流動実験の場合、傾斜角度の増加にともない、PTFE表面電位が正に反転するまでの流動距離が長くなる傾向があった。傾斜角度が大きいほど流動する液滴の形状は尾を引いた形になることから、今回の回転型の帶電実験の結果とあてはいると言える。すなわち、PTFE板表面の帶電電位の大きさは、流動速度のみで決まるのではなく、流動時の液滴形状(接

触面積) で液滴が保持し得る正電荷量が変化し、その量に帶電電位の大きさが依存するものと考えられる。

4.3 液滴の帶電

図 10 より、回転型の帶電実験においても液滴は正に帶電しており、回転数の増加とともに液滴電荷量も増加している。斜面を利用した前回の帶電実験においては、流動速度 0.30 m/s (傾斜角度 40°), 流動距離 150 mm で +30 pC 程度であったのに対し、今回の回転型では、液滴帶電量は 1 枠以上大きくなっている。

帶電液滴を滴下・流動させた実験も行ったが、液滴初期電荷量が小さいときには帶電させていない液滴による滴下・流動実験の場合と同様であるのに対し、初期液滴電荷量を大きくすると、初期電荷の符号によらず、回収液滴は正に帶電し、その帶電量は増加した。斜面を利用した帶電実験では、初期電荷量が大きいと、あるいは流動距離が比較的短いと回収液滴の帶電は初期電荷に依存し、負の液滴の場合には回収液滴も負であり、正の液滴の場合には正となっていた。この違いについてはさらに詳しい実験を行う必要があると考える。

4.4 帯電モデルの検討

以上の実験結果をもとにして、前報で提案した帶電モデルを再検討した。前報では、PTFE 表面の帶電電位が正に反転するまでの距離に着目し、液滴が保持しうる正電荷量の限界を仮定した帶電モデルを提案した。今回は正・負電荷の純水中での動きに注目して再検討を行う。

斜面を利用した場合と回転型で最も大きな違いは液滴の流動速度であり、液滴の変形である。回転型で得られる液滴流動速度は斜面の場合より 1 枠大きい。液滴の先頭が試料円盤の端に行き着くまでの時間を液滴流動軌跡の観察結果から求めると、500 rpm で 0.22 秒、1000 rpm で 0.18 秒、1500 rpm で 0.12 秒程度であった。液滴が流動する距離は回転数 500 rpm で 195 mm であり、回転数の増加とともに増す。これに対して、斜面の場合には流動距離 150 mm で傾斜角 45° の時の流動速度から、0.38 秒と、回転型の場合のおよそ 2 倍の時間がかかっている。

正に帶電した液滴を回転高分子円盤上に滴下・流動するとき、斜面のようにゆっくりと液滴が流れる場合には、十分に帶電した液滴はその過剰電荷を高分子表面に残すようになる。これに対し、回転型のように流動速度が速くなると過剰正電荷が高分子表面に吸着する前に液滴が流れ去るために、高分子表面に残り難くなっているとも考えられる。また、液滴が長く尾を引くことにより液滴が保持できる正電荷量が増えると仮定するならば、流動速度の増加にともなう帶電量の増加の原因として最も考えられるのは、液滴と高分子試料との接触面積の増

加ということになる。

一般に、固体と液体の接触面で、液体中のイオン種のあるものが固体壁に特異吸着されると、その対イオンが吸着イオンの電荷に引き付けられ、固体壁近傍にゆるく束縛された形で電荷分布を形成して界面電気二重層が形成される。液体が流動すると、固体壁と液体との接触面での流動速度は 0 なので、固体壁に吸着したイオンは動かないが、液体中に拡散的に分布している対イオンは液体とともに運び去られ、固体壁は吸着イオンの符号に、液体はその対イオンの符号に帶電する。これが一般に持続されている流動帶電機構のモデルである¹²。

界面電気二重層の厚さ δ (デバイ長: Debye length) は液体内の電荷分布の目安を与えるものであり、デバイ長が長いほど流動によって運び去られる対イオンの量が多くなり、帶電量も大きくなると考えられる。実際の液体内の電荷分布を求めることは非常に困難であり、界面電気 2 重層のいくつかのモデルについて理論式が与えられているにすぎない。Stern の電気 2 重層モデルでは、正・負イオンの大きさが同じと仮定すれば、次式のように表される¹³。

$$\delta = \sqrt{D\tau} \quad (1)$$

ここで、 D は拡散係数で、Stokes-Einstein の式により、

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a} \quad (2)$$

と表される。 k : ボルツマン定数、 T : 絶対温度、 η : 液体の粘性係数、 a : イオンの半径である。また、 τ は液体中の電荷の緩和時間であり、液体の導電率 κ と誘電率により次式で求められる。

$$\tau = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{\kappa} \quad (3)$$

ここで、 ϵ_r : 液体の比誘電率、 ϵ_0 : 真空の誘電率である。以上の式から、界面電気二重層の厚さは液体の導電率の平方根に反比例する。一般に絶縁液体の場合、帶電が問題となるのは導電率が 1~10 pS/m 以下のときである¹⁴。これ以上の導電率になるとバルク中の電荷緩和現象が早くなり、流動帶電が起きにくくなる。導電率 1 pS/m、比誘電率 2 の液体の場合、式(3)より $\tau=17.7$ s となる。液体の粘性係数が水のそれと同じとし、イオンの直径を 10^{-10} m とすれば、 $D=4.3 \times 10^{-9}$ m²/s となり、式(1)より $\delta \approx 280 \mu\text{m}$ を得る。

純水による帶電現象でも、純度が上がり導電率が小さくなると帶電量が増すことから、一般的の流動帶電の場合と同様の電荷分離機構が予想される。不純物濃度が低くなるほど帶電が著しくなることから、この帶電現象の原因となっているのは、溶解した不純物電解質の解離によ

って発生したイオンよりも、水自身が解離して生じた H^+ イオン（プロトン）と OH^- イオンであると考えられる。他の多くのイオン (Na^+ や Cl^- 等) の移動度が $4 \sim 8 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度であるのに対し、 H^+ および OH^- イオンの移動度は、それぞれ $36.3 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $20.6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ と 1 枠程度大きい値である⁸⁻¹⁰。水中でプロトンは単独で存在することはできず、水分子と結合してヒドロニウムイオン (H_3O^+) の形で存在すると考えられている。純水中のイオンの直径を上述の絶縁液体の場合の値と同程度と仮定すると、純水の導電率は流動帶電を起こす絶縁性液体の導電率より少なくとも 5 枠以上高いため、 $\tau = 0.13 \text{ ms}$, $\delta \approx 0.7 \mu\text{m}$ と絶縁液体の場合とは大きく異なる。これより、純水による帶電現象には、流動帶電の場合に加えて純水独自の性質が関係しているものと見られる。

水はそれ自体特異な性質を持っており、水の構造およびその性質についての研究はこれまで数多くなされてきた⁸⁻¹¹。水分子は水素結合によって互いに結ばれており、局所的には氷のときの結晶構造を保っている。氷は、3 次元的にはテトラ構造を持った結合から成っていると考えられ、この“氷的結晶構造”を示す一つの集團は、平均 91~25 個 ($0^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$) の水分子から成り立っていると言われている¹¹。水自身が解離して生じる H^+ イオンと OH^- イオンは、他の電解質イオンとは異なり、水分子の構造の中に取り込まれて存在する。水分子中のイオンの移動は、実際に $(H_3O)^+$ イオンや OH^- イオンが一樣媒質中を剛体球のように運動するのではなく、水素結合の鎖によってつながった水分子間で、半導体中のホールのようにプロトンの位置が順次移動することにより、見かけ上イオンが長い距離を移動したように見えることによる。これはプロトン電導とも呼ばれている⁸⁻¹¹。このときのプロトンの実際の動きは二つの水分子間のボテンシャル極小点間の距離だけである。また、一つの分子グループに属する水分子は固定されておらず、熱ゆらぎ等によって常に入れ替わる。よって、プロトンはある瞬間に属していた水分子グループから、隣り合う水分子グループにも容易に移ることができる。このようにして、正の過剰電荷を持つ水分子グループと負の過剰電荷を持つ水分子グループの存在を考えることができる。

高分子と純水液滴との界面で、負の電荷を持つ水分子グループが高分子表面に吸着する性質を持つという仮定をおくと、通常のイオンに対する界面電気 2 重層と同様に、高分子/純水界面において、電荷を持つ水分子グループによる電気 2 重層を仮定することができる。プロトンの移動速度は上述のように非常に早いので、容易に純水/高分子界面から離れて拡散し、液体内部に向かって

正電荷密度が減少する分布が生じると考えられる。高分子表面に吸着した負の電荷を持つ水分子グループが動けなくなっている間に、液滴は流動を続ける。これにより、高分子表面に負、液滴内に正の電荷分離が行われる。高分子表面が濡れやすくなると、高分子表面に吸着された水分子グループに加えてさらに多くの水分子グループが残留するようになると考えれば、余分な水分子グループの中にあるプロトンにより、表面に吸着された負電荷が中和され、帶電電位が下がるものと考えられる。これより、はっ水性の高い PTFE 表面が他の高分子より特に顕著な帶電を示すことが説明できる。また、液滴が変形して高分子表面との接触面積が大きくなると、接触面に吸着される負の電荷を持つ水分子グループが増え、液滴表面積も増えて液滴が保持し得る正電荷量も増加するであろうことから、斜面および回転型での滴下・流動帶電実験の結果の違いを説明することもできる。

5. む す び

純水液滴の流動速度を大きくする目的で、回転する高分子板上に純水液滴を滴下し、液滴に働く遠心力を利用して液滴を流動させる帶電装置を使った実験を行った。筆者らは前報で、液滴/高分子界面に負イオンが吸着され、液滴が正に帶電して流動する際に、液滴が保持し得る正電荷量に限界あり、液滴電荷量がその値を越えると過剰正電荷を高分子表面に残留させるモデルを提案した。今回の回転型の帶電装置を用いた実験結果から、PTFE 表面電位が正に反転することではなく、上記のモデルのままでは純水液滴の滴下・流動帶電現象を説明することは困難であることがわかり、さらに発展させた帶電モデルを提案した。これまでの帶電モデルでは、帶電に寄与する正・負電荷を電解質イオンのような独立した正・負イオンとして考えていたが、水素結合で互いに結合している数個の水分子からなるグループを最小単位と考えた界面電気 2 重層による帶電モデルを新たに提案した。前報告では、帶電量に影響を与えるのは液滴流動速度なのか、あるいは流動する液滴の変形に起因するものなのかが問題として残されていた。本報告での検討により、液滴の変形による純水/高分子の接触面積の増加が、液滴が保持し得る正電荷量に影響を与えることが示された。

今後、さらに上記の帶電モデルの検証を行い、さらに、純水を独立した液滴としてではなく、半導体製造工程におけるように、流水として高分子表面に流した場合の帶電現象について実験的に検討を行っていく予定である。

この実験の多くは、当時の大学院生水野幸夫君（現日本碍子㈱）の協力のもとに行われたことを明記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 静電気学会(編)：静電気ハンドブック， pp. 101-116，オーム社 (1981)
- 2) K. Asano, I. Umetsu and A. Watanabe : IEEE Trans. Ind. Appl., 26 (1990) 24
- 3) 八塚京子，東山禎夫，浅野和俊：静電気学会講演論文集，p. 103 (1990)
- 4) 下川博文：静電気学会誌, 15 (1992) 292
- 5) 浅野和俊：電学論D, 108 (1988) 363
- 6) 八塚京子，浅野和俊：静電気学会講演論文集，p. 345 (1990)；八塚京子，水野幸夫，東山禎夫，浅野和俊：ibid., p. 359 (1991)
- 7) 八塚京子，水野幸夫，浅野和俊：静電気学会誌, 16 (1992) 401
- 8) 押田勇雄(編)：液体の電気物性，横書店 (1964)
- 9) 中垣正幸(編)：水の構造と物性，南江堂 (1976)
- 10) 藤代亮一，和田悟郎，玉虫伶太：溶液の性質II，東京化學同人 (1968)
- 11) G. Némethy and H.A. Scheraga : J. Chem. Phys., 36 (1962) 3382