

## 小論文

## 摩擦による荷電粒子放出と帯電現象

高橋 修\*, 村田 雄 司\*

(1996年2月24日受理)

Emission of Charged Particles by Friction and Its Effect  
on Frictional Charging

Osamu TAKAHASHI\* and Yuji MURATA\*

(Received February 24, 1996)

When the surfaces of PTFE and Nylon 12 samples are rubbed each other and just after that an insulator surface is exposed to one of the rubbed surfaces with a gap of 0.5 mm, it is found that the insulator surface is electrified in reverse polarity to the faced rubbed surface. This phenomenon is considered to be due to emission of charged particles from the rubbed polymer surface, so called triboemission. We think that this phenomenon will be one of the important mechanisms of tribo-charging.

## 1. はじめに

電子写真の現像に使われるトナーは、接触・摩擦帯電によって所定の帯電量を得るように製作されている。一般にあるものの性能を決めて製作するときは、理論式あるいは実験式ができていて、これに基づく設計法を用いて設計するのが理想的であるが、トナーの設計についてはこのようにすっきりした過程が使われているわけではない。

これまで、帯電性の研究では2つの物体間の単なる接触による帯電現象、すなわち接触帯電の研究が多く行われてきた。しかし実際の帯電現象は完全な接触だけという場合はむしろ少なく、多かれ少なかれ摩擦を伴うのがふつうである。このように接触帯電より摩擦帯電の方が一般的でありながら摩擦帯電の研究が進展しなかった理由は、ひとえにその複雑さにある。接触帯電でさえも、摩擦帯電より単純とはいえ、かなり複雑な現象を含んでいることが知られている。摩擦では、熱の発生、表面物質のひずみの形成、表面物質の破壊など接触よりさらに複雑な現象を含むものであって、このことを考えると、摩擦帯電の研究の進展が遅いのもうなずける。

さて、最近の摩擦現象の研究によると、摩擦された表面から荷電粒子が放出されること (triboemission<sup>1,2)</sup>) がわかっている。これは、エクソ電子放出として従来観測

されていた現象だけでなく、正電荷を持った荷電粒子も観測され、主に表面の破壊によって生ずると考えられている。このような現象があれば、当然帯電現象を起こすはずで、摩擦帯電の機構を解明する上で重要な研究対象である。本研究は摩擦時に起こる荷電粒子放出現象が摩擦帯電の機構として重要な意味を持つものであるか否かを調べる目的で行われた。

## 2. 実 験

まず、摩擦時の荷電粒子放出を確認するため、高分子試料を摩擦した際の電子放出を測定した。測定装置の概略を図1に示す。真空ベルジャー内に円筒型の回転試料ホルダーと固定試料ホルダーがあり、固定試料ホルダーはバネの力によって回転試料ホルダーにおしつけられるようになっている。それぞれの試料ホルダーの円筒側面に試料を取り付け、真空状態 ( $10^{-4}$  Pa) で回転試料ホルダーを回転させ試料を互いに摩擦する。その後、2次電子増倍素子の前面に摩擦された部分を移動し、摩擦後に放出される電子を測定した。

次に図2のような方法により、摩擦帯電と摩擦時に放出された荷電粒子による帯電を測定した。移動ステージに固定された接地導体板に高分子試料 (被摩擦面) を取り付け、図に示す摩擦片により被摩擦面を摩擦した。摩擦時、摩擦片の凹部は被摩擦面との間に約0.5 mmの間隙があり、凸部が相手物体表面を摩擦した後に被摩擦面が放出する荷電粒子にさらされるようになっている。摩擦片は水平方向には動かないよう固定して荷重をのせ、ステージを往復させることにより被摩擦面を摩擦する。

キーワード: 摩擦帯電, トライボエミッション, 高分子

\* 東京理科大学理工学部電気工学科 (278 野田市山崎 2641)  
Department of Electrical Engineering, Faculty of  
Science and Technology, Science University of  
Tokyo, 2641, Yamazaki, Noda, Chiba, 278 Japan

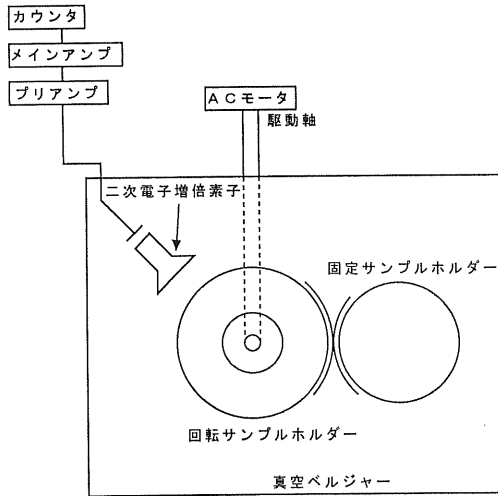


図1 摩擦による電子放出測定装置の概略図  
Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for measuring the electron emitted by friction.

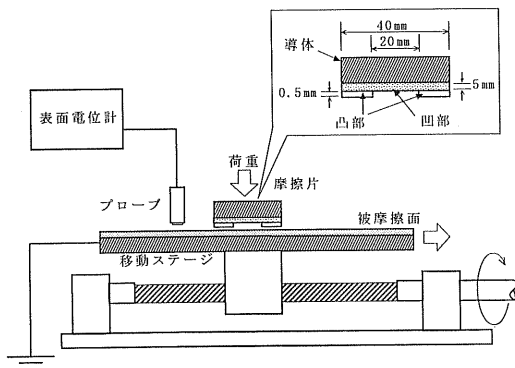


図2 摩擦帯電と摩擦の際に放出される荷電粒子による帯電の測定装置  
Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for measuring the frictional charge and the charge by emitted charging particles.

摩擦後、被摩擦面と摩擦片の凸部、凹部の表面電位の变化を測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 電子放出特性

真空中で高分子試料を摩擦したときの電子放出特性を図3に示す。このデータは、高分子試料として回転試料ホルダーにPTFEを、固定試料ホルダーにNylon 12を取り付け、PTFEをNylon 12で摩擦したときのPTFEからの電子放出特性を示すものである。摩擦後に多数の電子が放出され、放出現象は減衰しながらもしばらく続いていることがわかった。

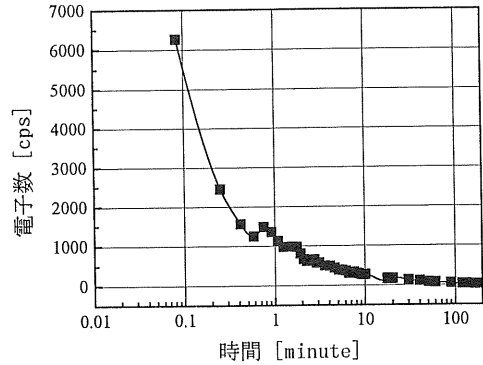


図3 摩擦後のPTFEからの電子放出特性  
Fig. 3 Electron emission from PTFE after friction by nylon 12.

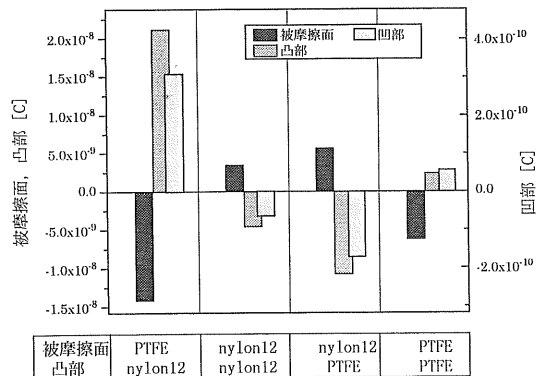


図4 摩擦帯電と放出荷電粒子による帯電  
Fig. 4 Charges generated by friction and triboemission for each sample.

#### 3.2 摩擦帯電と放出荷電粒子による帯電

図4は摩擦帯電と摩擦時に放出された荷電粒子による帯電の測定結果である。試料にはPTFE, Nylon 12を用い、凹部にはPTFEの小板を用いて5往復摩擦した。また、試料の誘電率と厚みから表面電位を電荷量に換算した。

摩擦後、非接触部分である凹部は被摩擦面とは逆の極性で帯電した。このことより、凹部の帯電は被摩擦面との静電気放電によるものではなく、被摩擦面から放出された荷電粒子(実際には正・負両方の荷電粒子が放出されていると思われる、その量の差分)によって帯電したと考えられる。この帯電は、摩擦が同じ種類のもの同士によるときにも測定された。そして帯電量は異なる種類のものとき多という結果になっており、さらに帯電極性が被摩擦面と逆極性となっている。このことから摩擦に伴う荷電粒子放出が摩擦帯電に大きく寄与している可能性が考えられる。

PTFE と Nylon 12 を摩擦した場合について考察する。摩擦実験の結果から PTFE は負極性に、Nylon 12 は正極性に帯電する傾向がある。その際、凹部の帯電結果から PTFE は正の荷電粒子を、Nylon 12 は負の荷電粒子をより多く放出していると思われる。よって、摩擦し合う PTFE と Nylon 12 では PTFE はそれ自身が正の荷電粒子を多く放出し、かつ Nylon 12 から多く放出された負の荷電粒子にさらされることにより負に帯電すると思われる。そして Nylon 12 は同様な過程を経て正に帯電すると思われる。このようにして、摩擦された試料は接触帯電過程に加えて荷電粒子放出という過程で帯電すると思われる。

なお、今回の放出荷電粒子による帯電の測定は、大気中で約 0.5 mm の間隙を置いての測定であり、放出された荷電粒子と空気中の分子との衝突などがこの現象を妨げている可能性もある。よって、荷電粒子放出の帯電機構への寄与は実際はもっと大きいことが考えられる。一方、摩擦をさらに続けていくと凹部の帯電極性が逆転し被摩擦面と同極性になる場合も確認された。このときトナーを吹き付けてみると静電気放電特有の帯電模様が観

察され、この場合は静電気放電による凹部の帯電と思われる。このような特殊な場合を除いて、ここで示している結果では被摩擦面と凹部とは極性が逆となっているので、放電によるものではないといえる。ここでは詳しく触れないが実際、真空 ( $10^{-4}$  Pa) 中で摩擦を行ったときの放出荷電粒子による帯電も確認されている。

#### 4. 結 論

摩擦は様々な現象を伴うため、帯電機構も多くの要素から成り立っていると思われる。今回の測定から、摩擦に伴う荷電粒子放出現象もその一つとして摩擦帯電に寄与していると考えられる。この荷電粒子放出現象がどのようにして起きているのか、また摩擦帯電機構のどの程度の割合を占めているかが今後の課題である。

#### 参 考 文 献

- 1) 中山影次：ニューフロンティア・トライボロジー調査研究報告, p. 136, 先進トライボ融合領域調査研究グループ (1993)
- 2) B.Z. Rozenblum, J.P. Carrico, P. Bräunlich and L. Himmel: J. Phys. E, 10 (1977) 1056