

論 文

絶縁物同士の衝突帶電

増井典明*, 村田雄司*

(1992年1月22日受理)

Impact Charging of Insulators

Noriaki MASUI* and Yuji MURATA*

(Received January 22, 1992)

Impact charge and area of nylon 66 particle (3.18 mm in diameter) by a single impact on plastic plates (PTFE and PVC) were measured under various impact speeds v_i (3.46 m/s ~ 14.6 m/s) and impact angles θ (20° ~ 80°). The charge on the plastic plates was reduced to about 10% ~ 1% of the charge accumulated on the plates before the measurement by heat treatment in N_2 gas. In the case of collision with PVC plate, the impact charge density σ_i of nylon 66 particle was almost constant for the change in the impact angle θ and the impact speed v_i . The average value of σ_i was $+1.67 \times 10^{-4} C/m^2$. In the case of collision with PTFE plate, σ_i decreased with increase in the vertical component of the impact speed $v_i \cos \theta$ and increased with increase in the horizontal component of the impact speed $v_i \sin \theta$. The average value of σ_i was changed from $+0.35 \times 10^{-4} C/m^2$ to $+1.90 \times 10^{-4} C/m^2$. These results are interpreted in terms of wear of PTFE. Impact charge and area were almost the same values as those obtained by the impact on the metal plate.

1. 序

空気輸送で、粉体は主に管壁との衝突により帶電する。したがって、輸送時の帶電現象は、衝突帶電を調べることによってその基本を知ることができる。輸送管としては、金属管あるいはプラスチック管が使用される。

本論文では、プラスチック管内を輸送される高分子粉体の帶電現象の基本となる、プラスチック粒子のプラスチック板との一回の衝突による帶電性の、衝突スピードおよび衝突角度依存性について検討した結果を報告する。さらに、金属板 (Cr メッキした黄銅板) との衝突によって得られた結果との比較検討も行った。金属管内を輸送される高分子粉体の帶電現象の基本となる、金属板との一回の衝突によるプラスチック粒子の帶電性については既に報告した^{1,2}。

プラスチックと金属の接触および摩擦帶電現象については多くの報告があり、プラスチック同士の接触帶電についてもいくつか報告があるが、プラスチック同士の衝突帶電についての研究報告はほとんど見あたらない。

キーワード：絶縁物、衝突帶電、空気輸送

* 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, Yamazaki, Noda, Chiba, 278 Japan

Lowell³は、プラスチック同士の接触帶電で、接触するプラスチックの組み合わせによっては、金属との接触で得られる帶電量と同程度の大きさの帶電量が得られるとしている。衝突帶電は接触時間の非常に短い ($< 10^{-5} s$) 接触帶電と考えられ、通常の接触帶電 (電荷移動には数 ms の接触時間が必要であるとする実験結果も報告されている⁵) で、接触面に発生する電荷密度と衝突面に発生する電荷密度を比較することは、電荷発生の機構を検討するうえで非常に重要である。

衝突電荷密度を知るために必要となる衝突面積の測定方法として、衝突板の表面を煤およびプラスチックシート等の柔らかい薄膜で覆い、そこに残された衝突痕から面積を求める方法がいくつか報告されている^{6,7}。しかしこれらの測定法では、衝突する物質とは異質の物質が衝突界面に存在することになり、それらの変形が衝突面積、および衝突時に衝突界面で発生する滑り (摩擦) に影響を及ぼすことが考えられる。

我々は、衝突面積の大きさを知る方法として、電子写真の液体現像用のトナーを使って衝突帶電面の電荷パターンを現像する方法を用いてきた (詳細は文献 1 および 2 参照)。この方法によると、衝突面積の大きさを知ることができるように、衝突面の帶電状態も併せて知ることができる。本実験でも、今まで用いてきた現像法によって衝突面積を求めた。

2. 装置および方法

プラスチック板はその製造過程および輸送過程等において既に帯電しているため、摩擦、接触および衝突帶電性を調べるときには、この初期電荷を取り除く必要がある。一般によく使われるイオンを使った除電は、除電前後において物体の帶電性が変化する可能性がある⁸⁾。本実験では、プラスチック板を窒素雰囲気中で加熱し、熱刺激表面電位 (TSSP) の変化を測定しながら除電を行った。また、プラスチック粒子 (ナイロン 66) は、エチルアルコールで洗浄し除電とダストの除去を行い、乾燥した後測定に使用した。

図 1 にプラスチック板の初期電荷の除電に使用した、TSSP の変化を測定する装置の概略を示す。加熱時には、プラスチック板表面の酸化を防ぐために炉内に窒素ガスを流した。炉内の温度変化に対する試料の表面電位の変化は、試料表面から 3 mm の距離に置かれた直径 18 mm の誘導電極に誘導される電位の変化を、振動容量型電位計 (アドバンテスト : TR-84M) で読みとることによって測定した。電位計のドリフトの影響を防ぐために、非測定時には、電極前面に設けられている接地されたシャッタを開じると同時に電極を接地し、測定時には電極をアースから分離し、シャッタを開け、温度変化に対する電位変化を測定した。

プラスチックの板材としては、テフロン (PTFE), 硬質ポリ塩化ビニール (以下 PVC で示す) の 2 種類を使用した。各板材の寸法は、テフロン板が 30 mm × 50 mm で厚さが 3 mm, PVC 板が 30 mm × 50 mm で厚さが 5 mm である。プラスチック粒子として、ナイロン 66 球 (粒径 3.18 mm) を用いた。

衝突帶電量の測定には、プラスチック粒子の金属板と

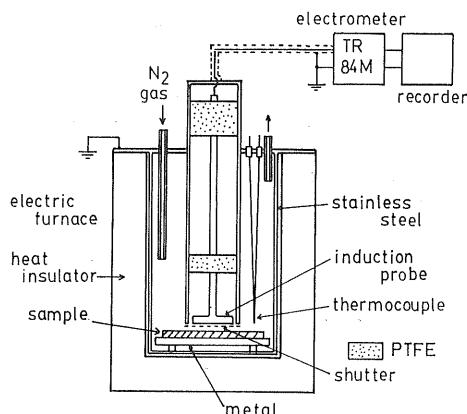


図 1 热刺激表面電位減衰特性の測定装置 (概略図)

Fig. 1 Schematic view of the apparatus for measuring TSSP.

の衝突による帶電性を調べたときに使用したものと同じ装置を使用した (文献 1, 2 参照)。粒子は圧縮空気流で打ち出され、衝突帶電量は衝突後の衝突板の電位を帶電量に換算することによって求めた。一回の衝突ごとに衝突板の位置を移動し、一枚の衝突板で 10~15 回の衝突を行った。一枚の衝突板に連続して粒子を衝突させた場合、衝突板表面の平均電位は上昇して行くが、これは衝突点だけの電位上昇であって、この電位上昇が新しい衝突点での帶電に影響を及ぼすことはないはずである。このことは実験的にも、少なくとも 15 回まではその後の衝突帶電に影響を及ぼさないことで確認されている。

衝突時の粒子と衝突板との接触面積は、衝突後に衝突板上の帶電部分を電子写真の液体像用のトナー (リコ - BS DEVELOPER) で現像し、この像を光学顕微鏡で拡大し、測微計で大きさを測定し求めた。衝突板上の衝突面積と、粒子表面の衝突面積を等しいとする妥当性は、「4. 考察」で触れる。金属板 (Cr メッキした黄銅板) との衝突時の帶電量および接触面積の測定法の詳細は、文献 1 および 2 に示されている。測定時の湿度は 27~35% R.H., 温度は 21.5~23°C である。

3. 結 果

図 2 および図 3 に、それぞれ PVC 板およびテフロン

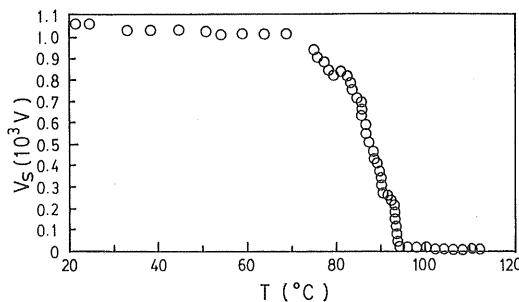


図 2 热刺激による PVC 板の表面電位減衰曲線

Fig. 2 The decay curve of surface potential of PVC plate (TSSP).

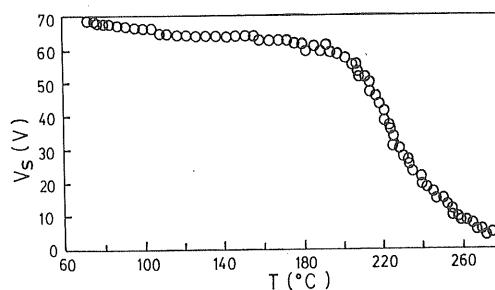


図 3 热刺激によるテフロン板の表面電位減衰曲線

Fig. 3 The decay curve of surface potential of PTFE plate (TSSP).

板の温度上昇に対する表面電位減衰曲線を示す。表面電位の減少は PVC 板の場合 70°C 前後から、テフロン板の場合 180°C 前後から認められる。PVC およびテフロン板の融点は、それぞれ 197°C および 327°C とされている。除電は PVC およびテフロン板の表面電位が、それぞれ約 -50 V および -10 V になるまで行い、このときの炉内温度は、それぞれ融点以下の約 95°C および 250°C であった。除電後の PVC およびテフロン板の表面電位を電荷密度に換算すると、それぞれ平均で -3.50×10^{-7} ~ $-3.34 \times 10^{-8} \text{ C/m}^2$ および -1.07×10^{-7} ~ $+6.58 \times 10^{-8} \text{ C/m}^2$ であった。これは、加熱処理を行う前の値に比べ、PVC で 1~2 枠、テフロンで 1 枠程度小さな値である。さらに、ナイロン 66 粒子の衝突前の初期電荷密度(表面電荷密度) $+6.3 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$ より 1~2 枠ほど小さな値であった。

図 4 に、ナイロン 66 粒子の衝突速度の水平成分($v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$)、初期帶電量が $+1.0 \times 10^{-10} \text{ C}$ (表面電荷密度 $= +6.3 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$) のときの、衝突帶電量 Q_1 と衝突速度の垂直成分($v_1 \cos \theta$)との関係を示す。ここで、 v_1 は粒子の衝突スピード、 θ は衝突角度を表わす($\theta=0$ 度は垂直衝突を意味する)。衝突帶電量の符号は、ナイロン 66 粒子側の符号で示した。PVC 板および金属板との衝突では、帶電量は $v_1 \cos \theta$ の増加とともに増加する傾向を示している。一方、テフロン板との衝突では $v_1 \cos \theta < 6 \text{ m/s}$ 付近までは増加の傾向を示すが、 $v_1 \cos \theta > 6 \text{ m/s}$ では $v_1 \cos \theta$ の増加とともに減少している。

図 5 は、図 4 の測定を行ったときの、衝突面積 S_1 と $v_1 \cos \theta$ との関係を示している。金属板、PVC 板および PTFE 板との衝突で、 S_1 は $v_1 \cos \theta$ の増加とともにほぼ直線的に変化しているが、そのまま延長しても原点には交わらないことが分かる。これは衝突時の変形の形態がある $v_1 \cos \theta$ を境に変化することを示しているものと考えられる。金属板との衝突では、 $v_1 \cos \theta$ が 3.97 m/s

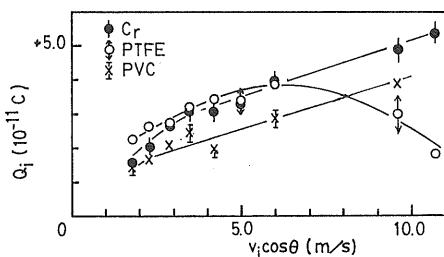


図 4 衝突板の材質を変えたときの衝突帶電量と $v_1 \cos \theta$ との関係 ($v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 4 The effect of material of impact plate on the relation between impact charge and $v_1 \cos \theta$ ($v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$).

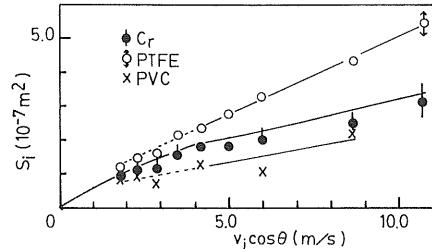


図 5 衝突板の材質を変えたときの衝突面積と $v_1 \cos \theta$ との関係 ($v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 5 The effect of material of impact plate on the relation between impact area and $v_1 \cos \theta$ ($v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$).

を越えると、衝突時の変形の形態が弾性変形から塑性変形に変わることを既に報告した¹¹。そのときに求めた、 S_1 と $v_1 \cos \theta$ の関係を与える近似式から得られた曲線に、本実験で得られた測定値が一致していることが分かる。

図 6 に $v_1 \cos \theta = 5 \text{ m/s}$ のときのナイロン 66 粒子の Q_1 と $v_1 \sin \theta$ との関係を示す。PVC および金属板との衝突では、 Q_1 は $v_1 \sin \theta$ の変化に対しほぼ一定の値を示しているが、テフロン板との衝突では、 Q_1 は $v_1 \sin \theta$

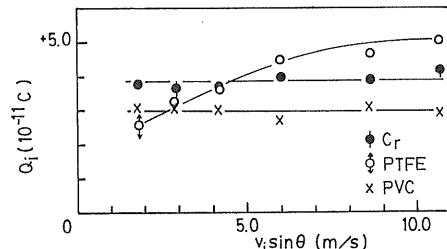


図 6 衝突板の材質を変えたときの衝突帶電量と $v_1 \sin \theta$ との関係 ($v_1 \cos \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 6 The effect of material of impact plate on the relation between impact charge and $v_1 \sin \theta$ ($v_1 \cos \theta = 5 \text{ m/s}$).

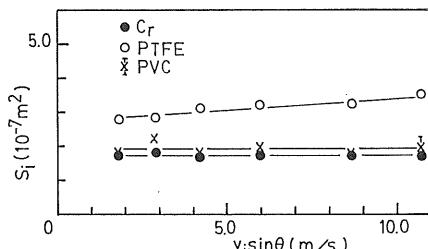


図 7 衝突板の材質を変えたときの衝突面積と $v_1 \sin \theta$ との関係 ($v_1 \cos \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 7 The effect of material of impact plate on the relation between impact area and $v_1 \sin \theta$ ($v_1 \cos \theta = 5 \text{ m/s}$).

の増加とともに増加する傾向を示し、他の板材との衝突に比べ、衝突速度の水平成分の効果が顕著に現われている。図7は、図6の測定を行ったときの S_1 と $v_i \sin \theta$ との関係を示す。金属およびPVC板との衝突では、 S_1 は $v_i \sin \theta$ の変化に対してほぼ一定の値を示している。テフロン板との衝突では、わずかではあるが、他の板材の場合に比べ $v_i \sin \theta$ の増加とともに増加する傾向を示している。しかし、本実験の範囲内では、 Q_1 の変化量に比べ非常にわずかな変化量であることが分かる。

4. 考 察

ナイロン66粒子とテフロン板との衝突で発生する電荷量の衝突スピードおよび衝突角度依存性が、PVC板および金属板との衝突の場合と極端に異なることが分かった。

図4および図5に示された結果から衝突面の電荷密度 σ_1 と $v_i \cos \theta$ の関係を求める、図8に示された結果が得られる。金属板およびPVC板の場合、 σ_1 は $v_i \cos \theta$ の変化に対しほぼ一定の値を示しているが、テフロン板の場合 $v_i \cos \theta$ の増加とともに直線的に減少している。

一方図9に示されるように、PVC板および金属板の場

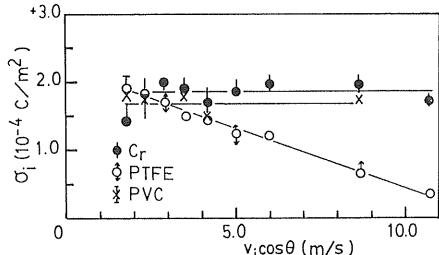


図8 衝突板の材質を変えたときの電荷密度と $v_i \cos \theta$ との関係 ($v_i \sin \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 8 The effect of material of impact plate on the relation between charge density and $v_i \cos \theta$ ($v_i \sin \theta = 5 \text{ m/s}$).

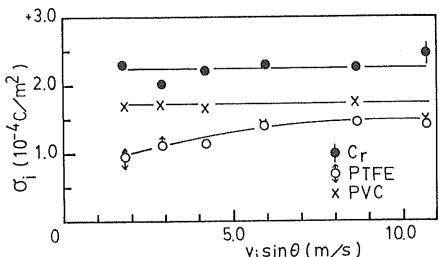


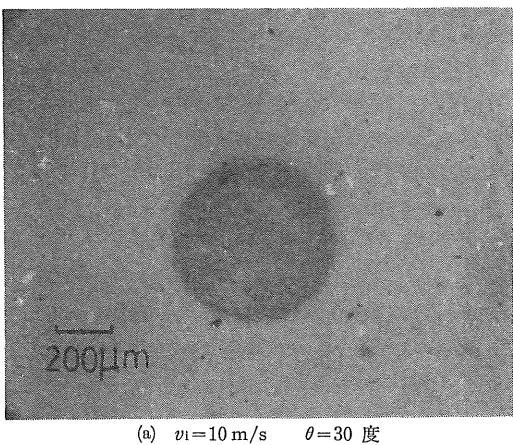
図9 衝突板の材質を変えたときの電荷密度と $v_i \sin \theta$ との関係 ($v_i \cos \theta = 5 \text{ m/s}$)

Fig. 9 The effect of material of impact plate on the relation between charge density and $v_i \sin \theta$ ($v_i \cos \theta = 5 \text{ m/s}$).

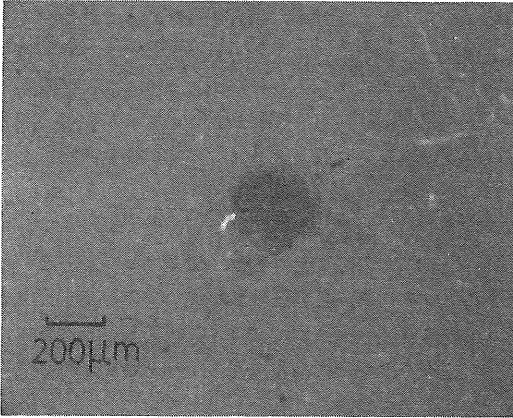
合、 σ_1 は $v_i \sin \theta$ の変化に対しほぼ一定の値を示しているが、テフロン板の場合、 σ_1 は $v_i \sin \theta$ ($v_i \cos \theta = 5 \text{ m/s}$) の増加とともに増加する傾向を示している。これらの結果をもとに、ナイロン66粒子とPVC板およびテフロン板との衝突帶電について考察してみる。

(1) PVC板との衝突帶電性

図10aおよび図10bにそれぞれ $v_i = 10 \text{ m/s}$, $\theta = 30^\circ$ ($v_i \cos \theta = 8.66 \text{ m/s}$) および $v_i = 5.77 \text{ m/s}$, $\theta = 60^\circ$ ($v_i \cos \theta = 2.89 \text{ m/s}$) のときのPVC板上の衝突部分の電荷パターンを現像した結果を示す。いずれの場合も $v_i \sin \theta = 5 \text{ m/s}$ である。衝突スピードの垂直成分 $v_i \cos \theta$ が大きくなると衝突面積 S_1 も大きくなり、さらに、帶電部分にはほぼ同程度の濃度のトナーが付着していることが認められる。このことから、衝突面の電荷密度 σ_1 がほぼ一定であることが分かる。また、帶電面はほぼ円形をしており（この傾向は、 v_i および θ が変化しても



(a) $v_i = 10 \text{ m/s}$ $\theta = 30^\circ$



(b) $v_i = 5.77 \text{ m/s}$ $\theta = 60^\circ$

図10 PVC板の衝突面の現像写真

Fig. 10 The picture of the impact area on PVC plate; (a) $v_i = 10 \text{ m/s}$ $\theta = 30^\circ$ (b) $v_i = 5.77 \text{ m/s}$ $\theta = 60^\circ$.

変わらない), プラスチック板上の衝突面積と, ナイロン 66 粒子上の衝突面積はほとんど等しいと言って差し支えない。この結果は, 衝突時に粒子の回転および衝突面で大きな滑り(摩擦)が生じていないことの重要な証拠であるものと考えられる。

PVC の降伏応力 ($5.88 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ⁹⁾) は, ナイロン 66 の降伏応力 ($8.01 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ¹⁰⁾) より小さいことから, 両者の衝突では PVC の方が先に塑性変形を起こすものと考えられる。PVC のヤング率を $2.5 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$ ¹¹⁾ とすると, PVC 板の変形が弾性変形から塑性変形に変わる $v_1 \cos \theta$ は, 2.89 m/s (計算式は文献 1 参照) と求められる。したがって, $v_1 \cos \theta \geq 2.89 \text{ m/s}$ では PVC 板は塑性変形を起こし, 両者は十分に接触している(真実衝突面積が見かけの衝突面積とほぼ等しい)ものと考えられる。図 10 は塑性変形領域内での結果を示している。弾性変形 ($v_1 \cos \theta \leq 2.89 \text{ m/s}$) では, 真実衝突面積が見かけの衝突面積よりも小さくなるため, 見かけの衝突電荷密度が塑性変形における衝突電荷密度よりも小さくなることが考えられる。しかし, 本実験結果からは測定数が十分でないことから弾性変形における電荷密度と $v_1 \cos \theta$ の関係を明確に説明することはできない。PVC 板との衝突では, 金属板の時と同様衝突電荷密度の衝突速度の水平成分への依存性はない。

(2) テフロン板との衝突帶電性

図 11a および図 11b に, それぞれ衝突スピード $v_1 = 10 \text{ m/s}$, 衝突角度 $\theta = 30^\circ$ ($v_1 \cos \theta = 8.66 \text{ m/s}$) および $v_1 = 6.53 \text{ m/s}$, $\theta = 50^\circ$ ($v_1 \cos \theta = 4.2 \text{ m/s}$) のときのテフロン板上の帶電部分の電荷パターンを現像した結果を示す。いずれの場合も $v_1 \sin \theta = 5 \text{ m/s}$ である。

衝突スピードの垂直成分 $v_1 \cos \theta$ が大きくなると衝突面積 S_1 は大きくなるが, 帯電部分に付着するトナー濃度が減少していることが認められる。このことから衝突面の電荷密度 σ_1 が, $v_1 \cos \theta$ の増加とともに減少していることが分かる。また, PVC 板のときと同様に帶電面はほぼ円形をしており, ナイロン球の衝突時に回転および大きな滑り(摩擦)が生じていないことが分かる。衝突速度の水平成分 $v_1 \sin \theta$ が大きくなると(例えば, $v_1 \sin \theta = 10.7 \text{ m/s}$), 衝突部分の電荷パターンが長円を示すこともあるが, 長軸径と短軸径の差は小さい。したがって, 本実験の範囲内では PVC 板の場合と同様に, テフロン板上の衝突面積とナイロン 66 粒子上の衝突面積との間に大きな差異はないものと考えられる。

テフロン板の降伏応力 ($1.6 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ¹²⁾) もナイロン 66 の降伏応力よりも小さいことから, PVC のときと同様ナイロン 66 粒子との衝突では, テフロン板が先に塑性変形を起こすものと考えられる。テフロンのヤング

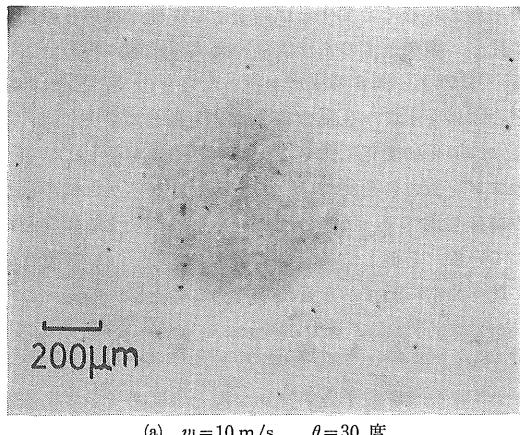
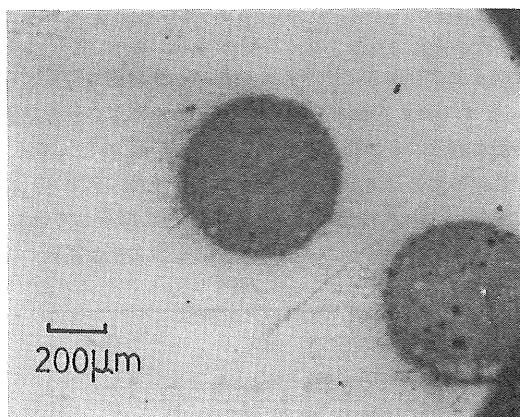
(a) $v_1 = 10 \text{ m/s}$ $\theta = 30^\circ$ (b) $v_1 = 6.53 \text{ m/s}$ $\theta = 50^\circ$

図 11 テフロン板の衝突面の現像写真

Fig. 11 The picture of the impact area on PTFE plate; (a) $v_1 = 10 \text{ m/s}$ $\theta = 30^\circ$ (b) $v_1 = 6.53 \text{ m/s}$ $\theta = 50^\circ$.

率を $5.0 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$ ¹¹⁾ とし, PVC 板のときと同じ計算式を用いて計算すると, ナイロン 66 粒子との衝突でテフロン板の変形が, 弹性変形から塑性変形に変わるとの $v_1 \cos \theta$ の値は 0.314 m/s となる。

本実験における $v_1 \cos \theta$ の範囲では, テフロン板の変形は塑性変形領域内にあり, ナイロン 66 粒子とテフロン板とは, 十分に接触しているものと考えられる。しかしながら, 衝突面上の σ_1 は, $v_1 \cos \theta$ および $v_1 \sin \theta$ の増加とともに, それぞれ減少および増加している。

テフロンは他の高分子材料に比べ摩擦による摩耗損失量が多く¹³⁾, 摩擦距離に比例する傾向を示す¹⁴⁾。さらに, テフロンと他の物質との接触でテフロンの断片が相手物質に移動した証拠を確認したという報告もある¹⁵⁾。衝突速度の水平成分 ($v_1 \sin \theta$) は, 衝突時の摩擦距離と密接な関係があることから, ナイロン 66 粒子とテフロン板との衝突界面に発生する電荷密度の $v_1 \sin \theta$ 依存性は,

衝突時に起きるテフロンの摩耗損失量の変化に関係があると考えられる。

既に報告したが、テフロン粒子と金属板との衝突において、衝突スピードの水平成分 ($v_i \sin \theta$) を 0 としたとき、衝突帶電量は $v_i \cos \theta$ の増加とともに増加するが、その値は $v_i \sin \theta$ 成分があるときに比べ 1 衡程度小さな値であった。さらに、 $v_i \sin \theta = 5 \text{ m/s}$ で衝突帶電量は $v_i \cos \theta$ の増加とともに増加するが、 $v_i \cos \theta > 6 \sim 7 \text{ m/s}$ (この値は本実験の結果と同じ) では減少し、 $v_i \sin \theta = 0$ としたときの値に近づいて行く²⁾。

衝突面積の大きさは $v_i \cos \theta$ の増加とともに増加し、摩擦距離は $v_i \sin \theta$ に依存することから、これらの測定結果は、衝突面積当たりの摩擦距離 (摩擦距離 (本実験では極めて短い)/衝突面積)) の減少と電荷発生量 (電荷密度) の減少との間に何らかの関連性があることを示唆しているものと考えられる。

本実験でも、($v_i \sin \theta = 0$ については測定していないが) $v_i \sin \theta = 0$ の場合を除き、上述の結果と同様の結果が得られており、ナイロン 66 粒子のテフロン板との衝突による電荷発生量 (電荷密度) の $v_i \cos \theta$ 依存性についても、同様な考え方で説明できるものと考えられる。

(3) 測定結果と帶電列との関連性

使用した試料の一般的な帶電列上での位置は、正側から並べると、「ナイロン 66-Cr-PVC-テフロン」の順になっている¹⁰⁾。今回の測定で得られた結果は、帶電量で整理すると $v_i \sin \theta = 5 \text{ m/s}$ の条件で、 $v_i \cos \theta < 5 \text{ m/s}$ では順位が正側から「ナイロン 66-PVC-Cr-テフロン」となり、 $v_i \cos \theta > 8 \text{ m/s}$ では、正側から「ナイロン 66-テフロン-PVC-Cr」と、 $v_i \cos \theta$ の大きさによってテフロンの順位が大きく変化する (図 3 参照)。さらに、 $v_i \cos \theta = 5 \text{ m/s}$ の条件で、 $v_i \sin \theta > 5 \text{ m/s}$ では順位が正側から「ナイロン 66-PVC-Cr-テフロン」となる結果が得られている。

電荷密度で比較すると、図 8 および図 9 の結果から、正側から「ナイロン 66-テフロン-PVC-Cr」の傾向が強く現われていることが分かる。

衝突による帶電性を評価する場合、テフロン板の場合に見られるように帶電性の速度依存性に注意すると同時に、帶電量を用いる場合と電荷密度を用いる場合とで結果が異なってくることにも注意する必要がある。

5. 結論

ナイロン 66 粒子とプラスチック板との衝突において、以下に示す結論が得られた。

(1) 帯電符号は、一般的な摩擦帶電列に対応している。

プラスチック板との衝突で得られる帶電量、衝突面積

および電荷密度は、金属板 (Cr メッキした黄銅板) との衝突で得られる値と同程度の大きさになることが分かった。

(2) PVC 板の場合、電荷密度は速度にはほとんど依存せず一定の値を示した。これは、金属板との衝突による結果と同じである。しかし、テフロン板の場合衝突角度依存性が認められた。今回の測定で得られた、各板材との衝突によるナイロン 66 粒子の電荷密度の平均値を以下に示す。

PVC 板 $+1.67 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$

テフロン板 $+0.35 \times 10^{-4} \sim +1.90 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$

(金属 (Cr) 板 $+2.03 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$)

(3) テフロン板との衝突で発生する電荷密度は、 $v_i \sin \theta$ が一定のとき、 $v_i \cos \theta$ の増加とともに減少し、 $v_i \cos \theta$ が一定のとき、 $v_i \sin \theta$ の増加とともに増加する傾向を示した。この帶電傾向は、既に報告したテフロン粒子の金属板との衝突による帶電性と同じである。

(4) 衝突面積を求める際に、衝突面の有効な現像方法として、電子写真の液体現像用のトナーを使用することができる。

参考文献

- N. Masui and Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., 22 (1983) 1057
- 増井典明、村田雄司：静電気学会誌, 14 (1990) 336
- J. Lowell : J. Phys. D : Appl. Phys., 19 (1986) 95
- F.P. Bowden and D. Tabor : *The Frictional and Lubrication of Solids*, Part 1, Chap. 1, p. 269, Clarendon Press, Oxford (1954)
- R. Elsdon and F.R.G. Mitchell : J. Phys. D : Appl. Phys., 9 (1976) 1445
- 松山 達、山本英夫：静電気学会講演論文集, p. 157 (1989)
- H. Masuda, T. Komatsu and K. Iino : AIChE J., 22 (1976) 558
- E.S. Robins, A.C. Rose-Innes and J. Lowell : Static Electr. London, 1975 (Inst. Phys. Conf. Ser. No. 27, London, 1975) 115
- 古谷正之：プラスチック材料講座 (18) 「塩化ビニル樹脂」, pp. 92, 108, 日刊工業新聞社 (1973)
- 福本 修：プラスチック材料講座 (16) 「ポリアミド樹脂」, p. 41, 日刊工業新聞社 (1979)
- 小野木重治：高分子材料科学, p. 25 (付録), 誠文堂新光社 (1973)
- 里川孝臣、米谷 稔、山田 彰、小泉 舜：プラスチック材料講座 (6) 「ふっそ樹脂」, pp. 298-300, 日刊工業新聞社 (1981)
- L.E. Nielsen (小野木重治 訳) : 高分子と複合材料の力学的性質, p. 219, 化学同人 (1980)
- 小野木重治：高分子材料科学, p. 212, 誠文堂新光社 (1973)
- W.R. Salaneck, A. Paton and H.W. Gibson : Conference Record of IEEE-IAS Annual Meeting, p. 497 (1975)
- 橘高重義：プラスチックの帶電防止, p. 31, 日刊工業新聞社 (1967)