

小論文

テフロン粒子の金属板との衝突による帶電性

増井典明*, 村田雄司*

(1990年4月23日受理)

Electrification of a PTFE Particle by Impact
on a Metal Plate

N. MASUI* and Y. MURATA*

(Received April 23, 1990)

Impact charge and area of a particle of PTFE (3.18 mm in diameter) by a single impact on a metal plate (Cr plated brass plate) were measured under various impact speeds v (2.43 m/s ~ 11.05 m/s) and impact angles θ (0° ~ 80°). The impact area was function of the vertical component of the impact speed $v \cos \theta$, while the impact charge density decreased with increase in $v \cos \theta$ and increased with increase in the horizontal component of the impact speed $v \sin \theta$.

1. 序

空気輸送で、微小粒子は管壁との衝突を繰り返しながら輸送される。我々は、輸送時の微小粒子の帶電現象を解析するために、単一粒子の金属板との一回の衝突による帶電現象を解析してきた。ここでは、負に強く帶電し、摩擦帶電列上で負の最上位に位置しているテフロンの粒子を使用し、金属板との一回の衝突で一個のテフロン粒子が得る帶電量と、衝突角度および衝突スピードとの関係を調べた。

過去に行った、ナイロン 66 および PMMA 粒子の金属板との衝突による帶電特性の測定結果から、衝突により発生する電荷量は、衝突前に粒子が持っている電荷量が同じであれば、衝突スピードの垂直成分に依存し、水平成分にはほとんど依存しないということがわかっている^{1,2)}。しかし、テフロン粒子の場合、これらの粒子とは異なった帶電特性を示した。前述したように、テフロンは、負に強く帶電する物質として知られているが、金属板に垂直に衝突する場合に、極端に小さい帶電量が観測された。

2. 装置および方法

図 1 に装置の概略を示す。テフロン粒子はエアーピストルで打ち出され、下方に設置された金属板 (Cr メッキ

キーワード：静電気、衝突帶電

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

された真鍮板) に衝突する。衝突による粒子の帶電量は、金属板を絶縁し、衝突時に金属板に発生する電位を測定することによって求めた。このとき、金属板側には粒子の帶電電荷とは逆符号の電荷が残されるため、金属板の電位の符号を反転し、金属板を含めた電位計の入力容量との積から、粒子の帶電量を求めた。衝突後の粒子を、電子写真的液体現像用トナー (BS トナー; (株)リコー) を入れた容器で受け、粒子の衝突帶電面を現像し、現像面の大きさを光学顕微鏡を用い、測微計で測定することにより、衝突面積を求めた。

序でも触れたように、衝突時に発生する電荷量は、粒子が衝突前に持っている電荷の影響を受ける²⁾。今回の実験では、衝突前の帶電量が、 -1.8×10^{-10} C ~ -3.0×10^{-10} C の範囲にある粒子を選んで使用した。粒子の直径は 3.18 mm である。測定時の湿度は、30~40% R.H., 温度は 24~27°C である。装置および測定方法の詳細については、文献 1) に説明されている。

3. 結 果

図 2 に、種々の衝突条件における、衝突帶電量 Q (C) と衝突スピード v (m/s) の垂直成分 (以後、 $v \cos \theta$ と書く) との関係を示す。曲線 a は、衝突スピード $v = 8.75$ m/s で、衝突角度 θ を変化させた時、曲線 b は、衝突スピードの水平成分 (以後、 $v \sin \theta$ と書く) = 5 m/s の時、曲線 c は垂直衝突 ($\theta = 0^\circ$ の時) の衝突帶電量と $v \cos \theta$ の関係を示す。曲線 c を除き、 $v \cos \theta < 7.5$ m/s までは、帶電量は $v \cos \theta$ の増加とともに増加するが、 $v \cos \theta > 7.5$ m/s では減少する。一方、曲線 c から、

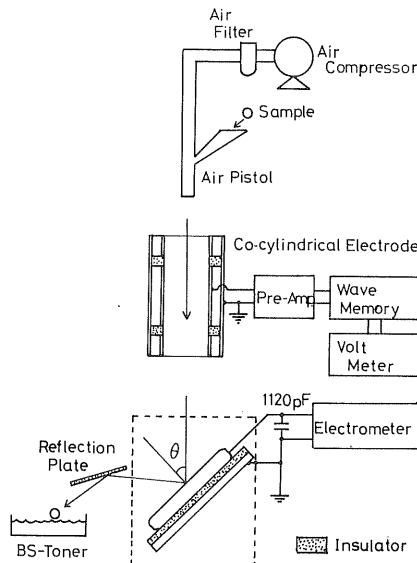


図 1 衝突帶電装置の概略図

Fig. 1 Schematic view of the apparatus for measuring the tendency of impact charging of a particle.

$\theta=0$ 度 ($v \sin \theta=0$) の時には帶電量は、 $v \cos \theta (=v)$ の増加とともに増加するが、他の衝突角度の場合に比べ、著しく低くなっていることがわかる。

曲線 a と b を比べると、 $v \cos \theta < 7.5$ m/s までは、曲線 a の方が b よりも高い値を示しているが、 $v \cos \theta > 7.5$ m/s では、この関係が逆になり、曲線 a の値が急激に減少し、曲線 c に近づいて行く。これらの曲線が交差

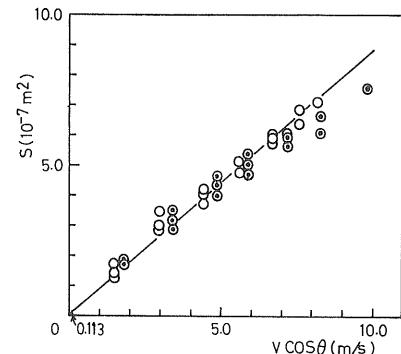


図 3 種々の v および θ における、衝突面積と $v \cos \theta$ との関係。○ $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$, $v=8.75$ m/s; ◎ $v \cos \theta=1.82$ m/s ~ 9.85 m/s, $v \sin \theta=5$ m/s

Fig. 3 The dependence of the impact area on $v \cos \theta$ at various v and θ . ○ $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$, $v=8.75$ m/s; ◎ $v \cos \theta=1.82$ m/s ~ 9.85 m/s, $v \sin \theta=5$ m/s

するときの曲線 a の $v \sin \theta$ の値は、5 m/s 前後である。曲線 a の場合、 $v \cos \theta < 7.5$ m/s では、 $v \sin \theta > 5$ m/s, $v \cos \theta > 7.5$ m/s では、 $v \sin \theta < 5$ m/s である。 $v \sin \theta$ が減少すると、帶電量が低くなることがわかる。

図 3 に、図 2 の曲線 a および曲線 b を求めたときの、テフロン粒子の衝突面積 S (m²) と $v \cos \theta$ の関係を示す。垂直衝突の時 (曲線 c) は、帶電量が低く、帶電面の現像が困難であったため、衝突面積を実測することはできなかった。

図中の実線は、衝突時の変形が、テフロン粒子の場合弾性から塑性変形まで起こり、金属板の場合弾性変形のみが起こるとして導いた、衝突面積を与える式を用いて

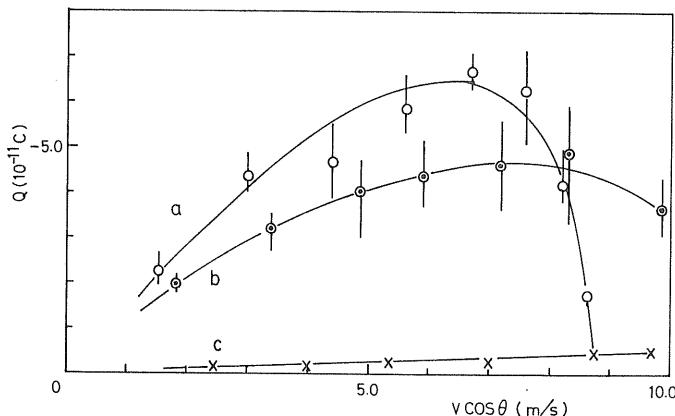


図 2 種々の v および θ における、衝突帶電量と $v \cos \theta$ との関係。a : $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$, $v=8.75$ m/s; b : $v \cos \theta=1.82$ m/s ~ 9.85 m/s, $v \sin \theta=5$ m/s; c : $\theta=0^\circ$, $v=2.43$ m/s ~ 9.70 m/s

Fig. 2 The dependence of the impact charge on $v \cos \theta$ at various v and θ . a : $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$, $v=8.75$ m/s; b : $v \cos \theta=1.82$ m/s ~ 9.85 m/s, $v \sin \theta=5$ m/s; c : $\theta=0^\circ$, $v=2.43$ m/s ~ 9.70 m/s.

計算した結果を示す(計算式は文献1)参照). 測定値と計算値は、ほぼ一致していることがわかる。

さらに、 $v \cos \theta = 5 \text{ m/s}$ として、 $v \sin \theta$ を $3.37 \text{ m/s} \sim 9.85 \text{ m/s}$ まで変化させたとき、衝突面積は $3.80 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \sim 4.60 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ の間の値を示した。このことから、衝突面積は $v \sin \theta$ の変化に対し、ほぼ一定の値となることがわかる。

テフロン粒子の衝突面積は、同じ粒径のナイロン66粒子の衝突面積¹⁾の2~3倍である。

4. 考 察

測定結果から、衝突スピードの水平成分がある場合とない場合で、テフロン粒子と金属板との衝突によって発生する電荷量が大きく異なることがわかった。

図4aおよび図4bに、衝突スピード $v=8.75 \text{ m/s}$ で、それぞれ衝突角度 $\theta=20^\circ$ および 60° のときの、衝突帶電面を現像した結果を示す。どちらも、ほぼ円形の帶電面が得られている。これらの図から、衝突時に、

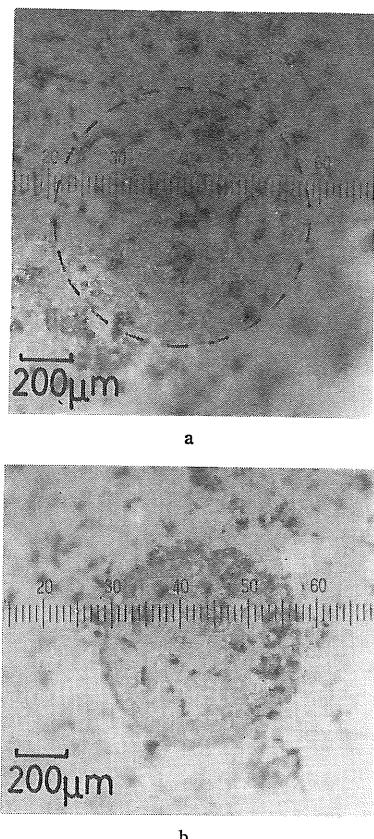


図4 テフロン粒子の衝突面の現像写真。 $v=8.75 \text{ m/s}$, a: $\theta=20^\circ$, b: $\theta=60^\circ$.

Fig. 4 The picture of the impact area on PTFE particle; $v=8.75 \text{ m/s}$, a: $\theta=20^\circ$, b: $\theta=60^\circ$.

粒子に回転が生じていないことがわかる。衝突角度 $\theta=20^\circ$ のときの帶電面は、 $\theta=60^\circ$ のときのそれよりも大きいが、帶電面全体にわたってトナーの付きが悪い。

これらの結果は、衝突面上の電荷密度 $\sigma (\text{C}/\text{m}^2)$ が、 v が等しい場合でも θ によって変化し、 $v \cos \theta$ が大きくなると小さくなることを示している。そして、 $\theta=0^\circ$ のとき、すなわち、衝突スピードの水平成分がないときの帶電量が最も低くなる。このとき、衝突面積の実測値はえられていないが、衝突面の電荷密度は非常に低い値になっているものと考えられる。

テフロンおよび金属(Cr)のポアソン比を0.3、Crのヤング率を $2.07 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、テフロンのヤング率を 5000 kg/cm^2 ³⁾、降伏応力を 160 kg/cm^2 ³⁾、密度を 2.17 g/cm^3 ³⁾として計算すると、テフロンの弾性変形の限界を与える衝突スピードは 0.113 m/s となる。この値は、文献1)に示されているナイロン66粒子の 3.97 m/s 、PMMA粒子の 3.34 m/s に比べると非常に小さい。今回の測定範囲では、テフロンの変形は塑性変形領域内にある。したがって、衝突時にテフロンおよび金属板は十分に接触し、真実衝突面積が見かけの衝突面積にはほぼ等しい状態になっているものと考えられる。

しかしながら、図2に示されるように、 $v \cos \theta > 7.5 \text{ m/s}$ では、衝突面積が増加傾向にあるにも関わらず、帶電量は $v \cos \theta$ の増加とともに減少する傾向を示している。

図5に、テフロン粒子の衝突面上の電荷密度と $v \cos \theta$ ($v \sin \theta=5 \text{ m/s}$) および $v \sin \theta$ ($v \cos \theta=5 \text{ m/s}$) との

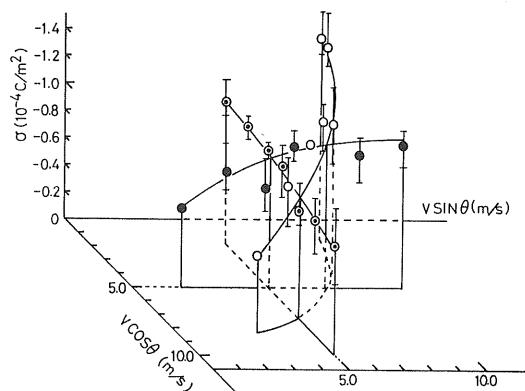


図5 電荷密度の $v \cos \theta$ および $v \sin \theta$ 依存性

- $v=8.75 \text{ m/s}$, $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$
- ◎ $v \cos \theta=1.82 \text{ m/s} \sim 9.85 \text{ m/s}$, $v \sin \theta=5 \text{ m/s}$
- $v \sin \theta=1.82 \text{ m/s} \sim 9.85 \text{ m/s}$, $v \cos \theta=5 \text{ m/s}$

Fig. 5 The dependence of the charge density on $v \cos \theta$ and $v \sin \theta$.

- $v=8.75 \text{ m/s}$, $\theta=0^\circ \sim 80^\circ$
- ◎ $v \cos \theta=1.82 \text{ m/s} \sim 9.85 \text{ m/s}$, $v \sin \theta=5 \text{ m/s}$
- $v \sin \theta=1.82 \text{ m/s} \sim 9.85 \text{ m/s}$, $v \cos \theta=5 \text{ m/s}$

関係を示す。電荷密度は、 $v \sin \theta$ （衝突時の滑りに關係する）が大きいほど、そして、 $v \cos \theta$ が小さいほど大きくなることがわかる。

文献によれば、摩擦による摩耗損失がテフロンでは 0.159 g で、ナイロン 66 (0.025 g)、高密度ポリエチレン (0.0016 g) 等、他の固体に比べ大きな値を示している⁴⁾。このことから、テフロンの場合、他の固体に比べ、金属板との衝突時に、摩耗損失が起こりやすいものと考えられる。また、テフロンとマイラーとの接触（荷重 175 g）で、テフロンの断片が移動したという報告がある⁵⁾。

摩耗と摩擦は密接な関係があることから、垂直衝突よりも水平成分を含んだ衝突の方が、摩耗損失量は多くなると考えられる。衝突面上の電荷密度が、 $v \sin \theta$ の増加とともに増加するという現象が、この摩耗損失量と関係があると考えることもできる。

5. 結 論

今回の測定結果から、テフロン粒子の金属板との衝突による帶電性について、次の点が明らかとなった。

1. 垂直衝突の場合、帶電量は著しく低い値になる。
2. 衝突帶電量は、衝突スピードの水平成分がある場

合、 $v \cos \theta < 7.5 \text{ m/s}$ では、 $v \cos \theta$ の増加とともに増加するが、 $v \cos \theta > 7.5 \text{ m/s}$ では減少し、垂直衝突時の帶電量に近づく。

3. 衝突面積の測定値は、変形が衝突スピードの垂直成分のみに依存する、として導いた式を用いて計算した結果とほぼ一致した。
4. 電荷密度は、 $v \cos \theta$ が小さいほど、 $v \sin \theta$ が大きいほど、大きくなる。

今回の測定で得られたテフロンの電荷密度は、 $-1.56 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2 \sim -0.558 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$ である。

参 考 文 献

- 1) N. Masui and Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., 22 (1983) 1057
- 2) N. Masui and Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., 23 (1984) 550
- 3) 里川孝臣、米谷 穂、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)
- 4) 小野木重治：高分子材料科学、p. 316、誠文堂新光社 (1973)
- 5) W.R. Salaneck, A. Paton and H.W. Gibson : Cof. Rec., IEEE-IAS Annual Meeting, p. 497 (1976)