

論 文

粒子の帶電に及ぼす衝突速度の水平成分の影響

江間秋彦*,¹ 杉山聰*, 田之上健一郎*, 増田弘昭*

(2001年9月27日受付; 2002年5月9日受理)

Effect of Horizontal Component of Impact Velocity on Impact Electrification of Particles

Akihiko EMA,^{*,1} Satoshi SUGIYAMA,^{*} Ken-ichiro TANOUE^{*} and Hiroaki MASUDA^{*}

(Received September 27, 2001; Accepted May 9, 2002)

We have investigated the impact electrification of particles with particular attention to the effect of horizontal component of impact velocity. Particle charge was measured by the current from metal plate to the earth generated by impact electrification of particles. Rotating metal target was used in order to change horizontal component of the impact velocity. We confirmed the validity of this method by comparing the particle charge between the rotating target system and inclined target system. It was found that the impact charge increased and then decreased by increasing the horizontal component of the impact velocity. We studied the relationship between size of the concave scar made on the target by particle impact and horizontal component of the impact velocity by observing the surface of target by the scanning electron microscope (SEM). A new electrification model including rolling and slipping of a particle on metal target was devised in order to explain our experimental results. We also discussed the difference in the time course of decrease in the impact charge under different horizontal component of the impact velocity.

1. 緒 言

粉体操作においては、粒子の装置器壁との衝突・接触により電荷が移動し、帶電が生じる。これは重要な現象の一つであり、粒子-粒子間あるいは粒子-壁間に静電気力を発生させ、ひいては付着、凝集といったトラブルの原因となっている。一方、近年では、乾式塗装技術として注目されている静電粉体塗装や、液晶スペーサーの分散、散布といった新しい技術において、静電気が積極的に利用されている。これらの技術では、精密な帶電量の制御が求められている。

これまでに筆者らは、粒子の衝突による帶電量を決定する因子として、粒子およびターゲットの材質、表面の状態、粒子の衝突速度などに着目して研究を行ってきた。

その結果、粒子およびターゲットの接触電位差（仕事関数）¹⁻³、表面元素含有率⁴⁾、表面あらさ⁵⁾の違いなどにより帶電量が変化することを明らかにした。また、粒子-金属板間の帶電量に及ぼす粒子の衝突速度の影響については、衝突速度の垂直成分の増加に伴い帶電量が増加することを明らかにした¹⁾。衝突速度の垂直成分が帶電量に及ぼす影響については、増井ら⁶⁾も高分子球を金属板に衝突させた際の衝突帶電量の研究において同様の傾向が得られたことを報告している。

しかし、衝突速度の水平成分が粒子の衝突帶電量に及ぼす影響については議論が分かれているのが現状である。例えば、前述の増井ら⁶⁾はNylon 66粒子とクロムめつきされた真鍮板との衝突帶電実験を行い、衝突速度の

キーワード：水平成分、衝突帶電、衝突速度、傾斜金属板、回転金属板

* 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻(606-8501 京都市左京区吉田本町)

Department of Chemical Engineering, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

¹ ema@chem.kyoto-u.ac.jp

Nomenclature: d , thickness of metal (mm); D_{P50} , mass median diameter of particles (μm); E , Young's modulus (N/m^2); g , gravity acceleration (m/s^2); h , falling height of particles (m); I , current generated by impact of particles (A); I_0 , initial current generated by impact of particles (A); n , number of revolutions per minute (rpm); q_0 , charge before impact (C); q_1 , charge after impact (C); Δq , charge transfer by impact (C); r , radius (m); T , temperature ($^\circ\text{C}$); t , time of passage (s); $V_{A/B}$, contact potential difference between A and B (V); v , particle velocity (m/s); W , mass flow rate of particles (kg/s); w , mass of particles (kg). Greek symbol: θ , impact angle ($^\circ$); θ^* , impact angle in maximal current ($^\circ$); ϕ , relative humidity (%); ν , Poisson's ratio (-); ρ , density (kg/m^3); ω , rotation speed of metal plate (rad/s); ω_P , rolling speed of particle after impact on metal plate (rad/s). Subscript: M, metal; P, particle; h, horizontal; i, inclined; r, rotation; v, vertical.

水平成分が衝突帶電量にはほとんど影響を及ぼさないことを報告している。一方、松山ら⁷⁾はNylon 66粒子とアルミニウム板との衝突帶電実験を行い、衝突速度の水平成分の増加に伴い衝突帶電量が増加することを報告している。

また、上記を含めたこれまでの研究では、多くの場合ターゲットに傾斜板を用いるため、衝突の入射角度 θ （壁面の法線方向からの角度）を大きくすることは困難であり（増井らは $0 < \theta < 80^\circ$ 、松山らは $0 < \theta < 60^\circ$ ）、また一個粒子による検討がほとんどであった。しかし、例えば実際の空気輸送においては多数の粒子を用いるのはもちろんのこと、輸送管路の直管部分では衝突の入射角度が大きくなることが予想され⁸⁾、衝突の入射角度が大きく、また多数の粒子が衝突する際の帶電特性を実験的に明らかにすることが極めて重要であると考えられる。実際、荷福ら⁹⁾は粉体に石炭粉、輸送管に真鍮を用いて実験を行い、粉体輸送における粉体の帶電量は、輸送における気流流速が大きくなると増加し、さらに大きくなると逆に減少することを報告している。

そこで我々は、衝突速度の水平成分が帶電量に及ぼす影響を明らかにするために、ターゲットである金属板を回転させることで粒子-金属板間の相対運動を変化させ、これにより衝突速度の水平成分を変化させるという新しい実験手法を用いることにした。この手法により、衝突の入射角度にして $0 < \theta < 88^\circ$ の範囲で実験を行うことが可能となった。本研究では、本手法の妥当性を検証するために、1) 傾斜金属板および回転金属板のそれぞれにおいて、粒子の衝突速度の垂直成分、水平成分がともに等しい条件のもとで実験を行い、結果を比較した。また、回転板の回転速度（粒子の衝突速度および角度）を変化させた際の2) 発生電流値の測定、3) ビデオによる粒子軌跡の観察、4) SEMによる衝突痕の大きさの観察を行った。また、これらの結果に基づいて5) 粒子の金属板への衝突による発生電流値の衝突速度の水平成分依存性について考察した。さらに、6) 発生電流値の経時変化の違いについても検討した。

2. 実験装置および方法

図1に使用した実験装置の概略図を示す。ガラス製のホッパー①に蓄えられた粒子は、連続的に自由落下し、モータ②により回転数nで回転する金属ターゲット③に衝突する。その際、粒子-金属板間で電荷が移動し、金属ターゲットからステンレス製ボールベアリング④を通じてアース⑤に流れる電流が発生する。この発生電流値Iをデジタルエレクトロメータ⑥により測定し、コンピュータ⑦に記録した。また、本実験手法の妥当性を検討するために、傾斜角度45°に固定した傾斜金属板も準備した。この場合にも粒子を金属板に衝突させ、発生した電流値をデジタルエレクトロメータ⑥により測定した。その他の実験手法は回転金属板の場合と同様である。また、実験装置はアルミホイルおよび金網で電磁シールドすることにより、ノイズ電流値を $\pm 3 \times 10^{-11} A$ 以下にした。

試料粒子には、ふるいにより大きさを180–250 μmにそろえたガラスビーズ（質量中位径220 μm、(株)ユニオン）を用いた。粒子の保存にあたってはシリカゲルを同封して乾燥させ、また粉体層内にアース線を挿入することにより初期電荷を抑制した。初期電荷量 q_0/w はファラデーケージを用いて測定した結果、実験ごとにはほぼ一定であり、 $-0.12 \pm 0.02 \text{ nC/g}$ 程度であった。また、粒子質量流量Wは直接秤量して求めた。試料金属板には直径120 mmのアルミニウム、ステンレスおよび真鍮の円板を用いた。試料粒子および金属板の物性値を表1、試料粒子の成分を表2に示す。

モータ（SC-VS；松下電機産業(株)）の回転数nは、スライダックを用いてモータに印加する電圧を変化させることにより130–9,000 rpmの範囲で変化させた。粒子の衝突する部分における振動の大きさは、レーザードップラーベクトル計（LV1300；(株)小野測器）により測定した。そ

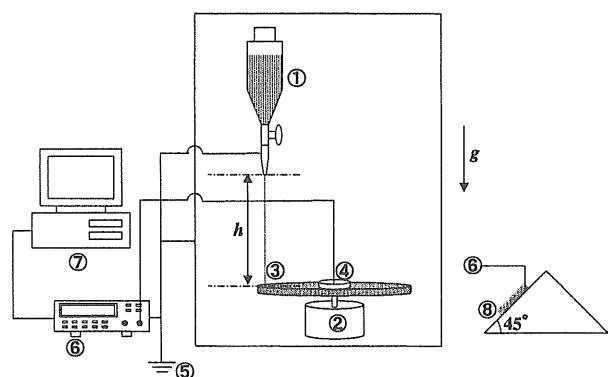


図1 実験装置図

Fig. 1 Experimental set up.

①, Hopper; ②, Motor; ③, Metal target (rotating); ④, Ball bearing; ⑤, Earth; ⑥, Digital electrometer; ⑦, Computer; ⑧, Metal target (inclined).

表1 ガラスビーズと金属板の物性値

Table 1 Physical properties of glass beads and metal plates.

	Glass beads	Al	SUS	Brass
D_{50} (μm)	220	-	-	-
d (mm)	-	0.5	0.5	0.5
V_p or M/Au (V)	-0.08	1.20	0.18	-
ρ (kg/m ³)	2500	2710	7750	8400
v (-)	0.17	0.34	0.27	0.35
E (GPa)	75	68.5	200	100

表2 ガラスビーズの成分

Table 2 Components of glass beads.

Component	(wt%)
SiO ₂	71.5
Na ₂ O	13.5
CaO	9.5
MgO	2.8
Al ₂ O ₃	1.5
K ₂ O	1.2
Total	100.0

表3 実験条件

Table 3 Experimental conditions.

T (°C)	19.5–21.5
φ (%)	54–70
W (g/s)	0.18
h (cm)	16–32
r (cm)	5

の結果、金属表面のRMS（自乗平均平方根）速度は回転数の増加に伴って増加し、130 rpmでの0.03 m/sから8,000 rpmでの0.6 m/sへと増加した。試料金属板はアクリル製円筒によりモータの軸と固定することで絶縁した。モータの軸と金属板との最接近距離は5 mmである。ボールベアリングには深溝玉軸受け（6800ZZ; NTN(株)）を用いた。ベアリングの外円筒部は穴を開けた金属板により試料金属板に挟んで固定し、内円筒部に銅線をはんだにより固定してエレクトロメータに接続した。回転数の測定にタコメータ（MOEL 3632 POCKET TACHOMETER; 横河北辰電機(株)）を、粒子軌跡の観察にデジタルビデオカメラ（DCR-TRV900; (株)SONY）を、表面形状観察にはSEM（JSM-6340FS; 日本電子データム(株)）を用いた。

その他の実験条件を表3に示す。

3. 発生電流および粒子の衝突速度

3.1 粒子-金属板間の衝突帶電により発生する電流値

単位質量当たりの衝突帶電量 $\Delta q/w$ は衝突前の電荷量（初期電荷量） q_0/w および衝突後の電荷量 q_1/w を用いて次式で与えられる。

$$\frac{\Delta q}{w} = \frac{q_1}{w} - \frac{q_0}{w} \quad (1)$$

また、電荷の保存則より、 $\Delta q/w$ は発生電流値 I と単位時間当たりの粒子の質量流量 W を用いて次式で表わされる¹⁾。

$$\frac{\Delta q}{w} = -\frac{I}{W} \quad (2)$$

3.2 傾斜板および回転板における粒子の衝突速度

傾斜板および回転板における粒子の衝突速度を図2に示

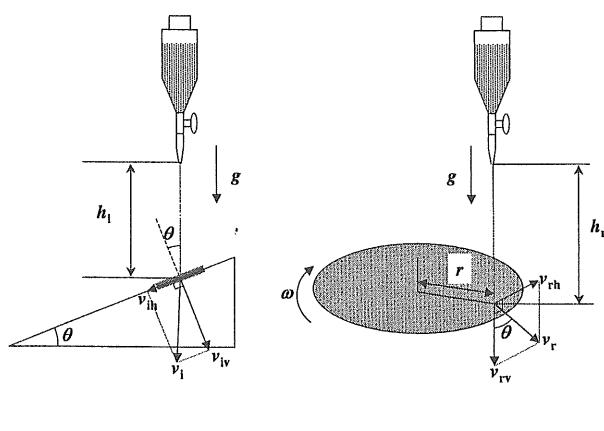


図2 二種類の金属ターゲットに対する粒子の相対速度
Fig. 2 Definition of relative velocity of particles for two kinds of metal target.

す。傾斜板では、衝突速度 v_i 、衝突速度の垂直成分 v_{iv} 、水平成分 v_{ih} はそれぞれ次式で表わされる¹⁾。

$$v_i = \sqrt{2gh_i} \quad (3)$$

$$v_{iv} = \sqrt{2gh_i \cos \theta} \quad (4)$$

$$v_{ih} = \sqrt{2gh_i \sin \theta} \quad (5)$$

一方、回転板では衝突速度の垂直成分 v_{rv} 、水平成分 v_{rh} および衝突速度 v_r は金属円板の角速度 ω を用いてそれぞれ次式で表わされる。

$$v_{rv} = \sqrt{2gh_r} \quad (6)$$

$$v_{rh} = r\omega \quad (7)$$

$$v_r = \sqrt{2gh_r + r^2\omega^2} \quad (8)$$

ここで、回転板における衝突の入射角度 θ は図2と式(6)および(7)より次式で表わされる。

$$\theta = \arctan \left(\frac{r\omega}{\sqrt{2gh_r}} \right) \quad (9)$$

4. 結果と考察

4.1 傾斜板および回転板における発生電流値の比較

傾斜板および回転板における衝突速度の垂直成分および水平成分がそれぞれ等しい条件、つまり

$$v_{iv} = v_{rv} \quad (10)$$

$$v_{ih} = v_{rh} \quad (11)$$

をともに満たす条件のもとで実験を行い、傾斜板および回転板における発生電流値を比較、検討した。傾斜板における発生電流値および回転板における発生電流値の測定結果を図3に示す。試料金属板にはアルミニウムを用いた。これより、 $t < 60$ sにおいて衝突速度が同じであれば、 I_i 、 I_r ともほぼ同じ電流値が検出されることがわかる。つまり、本実験手法は衝突速度を変化させる手法として妥当であるといえる。また、 $t > 60$ sにおいて発生電流値

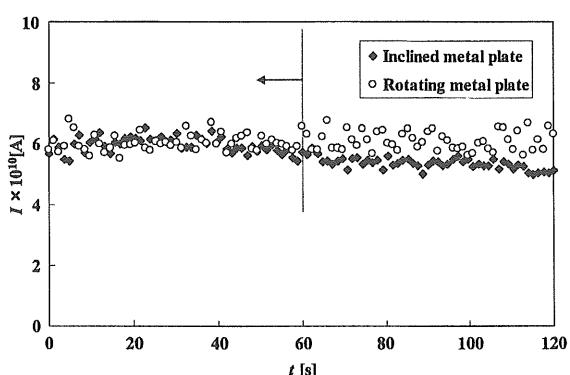


図3 傾斜および回転金属板における発生電流値 I の比較
Fig. 3 Comparison of generated current I between inclined and rotating metal plate systems.

Al, $T = 19.5^\circ\text{C}$, $\varphi = 55\%$, $h_i = 32\text{ cm}$, $\theta = 45^\circ$, $h_r = 16\text{ cm}$; $n = 338\text{ rpm}$, $v_{ih} = v_{rh} = 1.77\text{ m/s}$, $v_{iv} = v_{rv} = 1.77\text{ m/s}$.

にそれが生じる理由は、傾斜板では回転板に比べて粒子が局部的に集中して衝突するため、発生電流値の経時変化が起こりやすいためであると考えられる⁴⁾。

4.2 回転板における発生電流値

4.2.1 各回転数における発生電流値

4.1より、回転板を用いる実験手法の妥当性が示された。そこで、回転数を変化させた場合、つまり衝突速度の水平成分を変化させた場合について実験を行った。回転金属板としてアルミニウム、ステンレスおよび真鍮を用いて実験を行った。回転数 n あるいは衝突速度の水平成分 v_{rh} と衝突初期0-30 sの平均発生電流値 I_0 との関係を図4に示す。図中にはデータの存在範囲もあわせて示す。これより、いずれの金属板においても、 I_0 は n あるいは v_{rh} の増加に伴い増加してある n あるいは v_{rh} の値（アルミニウムでは700 rpm or 3.7 m/s、ステンレスでは500 rpm or 2.5 m/s、真鍮では350 rpm or 1.8 m/s）において極大値を

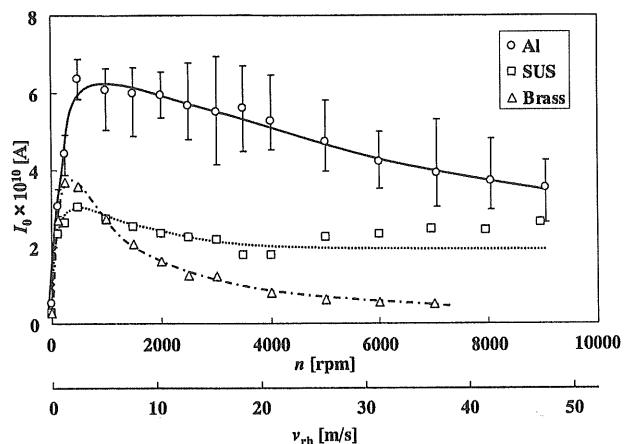


図4 回転数 n あるいは衝突速度の水平成分 v_{rh} と発生電流値 I_0 の関係
Fig. 4 Relationship between number of revolutions per minute n or horizontal component of impact velocity v_{rh} and generated current I_0 .

$T = 19.6\text{--}21.5^\circ\text{C}$, $\varphi = 54\text{--}70\%$, $h_r = 16\text{ cm}$; $v_{rv} = 1.77\text{ m/s}$.

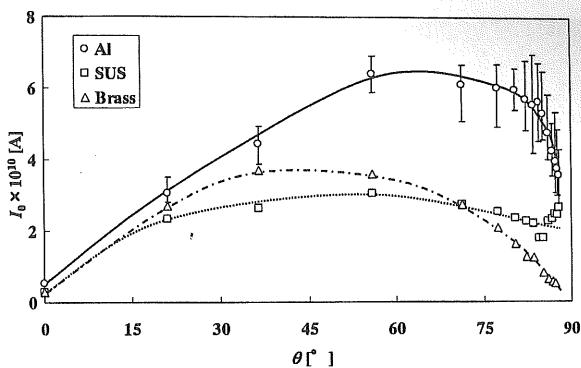


図5 衝突角度 θ と発生電流値 I_0 の関係

Fig. 5 Relationship between impact angle θ and generated current I_0 .

$T = 19.6\text{--}21.5^\circ\text{C}$, $\varphi = 54\text{--}70\%$, $h_r = 16\text{ cm}$; $v_{rv} = 1.77\text{ m/s}$.

持ち、次に減少する傾向があることがわかる。ここで、金属により I_0 が異なる理由は、粒子-金属板間の接触電位差や衝突面積が異なるため¹⁻⁵⁾であると考えられる。また、式(9)により計算した衝突の入射角度 θ と I_0 との関係を図5に示す。いずれの金属板においても、 I_0 はある入射角度 θ^* （アルミニウムでは約65°、ステンレスでは約55°、真鍮では約45°）において極大値を持つことがわかる。しかし、その傾向は金属の種類により異なり、アルミニウムや真鍮では顕著であるが、ステンレスではあまり変化しないことがわかる。そこで、発生電流値が大きなアルミニウムおよび衝突の入射角度により変化しにくいステンレスについて、 $n = 0, 250, 2,000, 5,000\text{ rpm}$ ($v_{rh} = 0, 1.3, 10.5, 26.2\text{ m/s}$) の場合に着目して、ビデオによる粒子軌跡の観察実験、SEMによる観察を行い、さらに既往の研究と比較、検討した。

4.2.2 ビデオによる粒子軌跡の観察

円板を回転させると、それ自身によって気流が発生し粒子運動に影響を及ぼす可能性がある。そこで本研究ではデジタルビデオを用いて回転板近傍における粒子運動の可視化を行った。図6に各回転数における粒子軌跡のスナップショットを示す。シャッタースピードは1/250秒である。金属板は紙面の右側から左側に回転している。図6aより、回転数 $n = 250\text{ rpm}$ の場合には粒子群は金属板に向かってほぼ垂直に衝突した後、ある角度で左側に反発していることがわかる。一方、回転数の大きな $n = 2,000\text{ rpm}$ （図6b）および $n = 5,000\text{ rpm}$ （図6c）では反発粒子の軌跡は余り明瞭ではないが、入射粒子群はほぼ垂直に衝突していることがわかる。これらの結果より、本実験条件においては回転気流が粒子運動に及ぼす影響は小さいといえる。なお、観察角度を変えてビデオ撮影を行ったが、やはり粒子群は金属板に対しほぼ垂直に衝突していることを確認した。

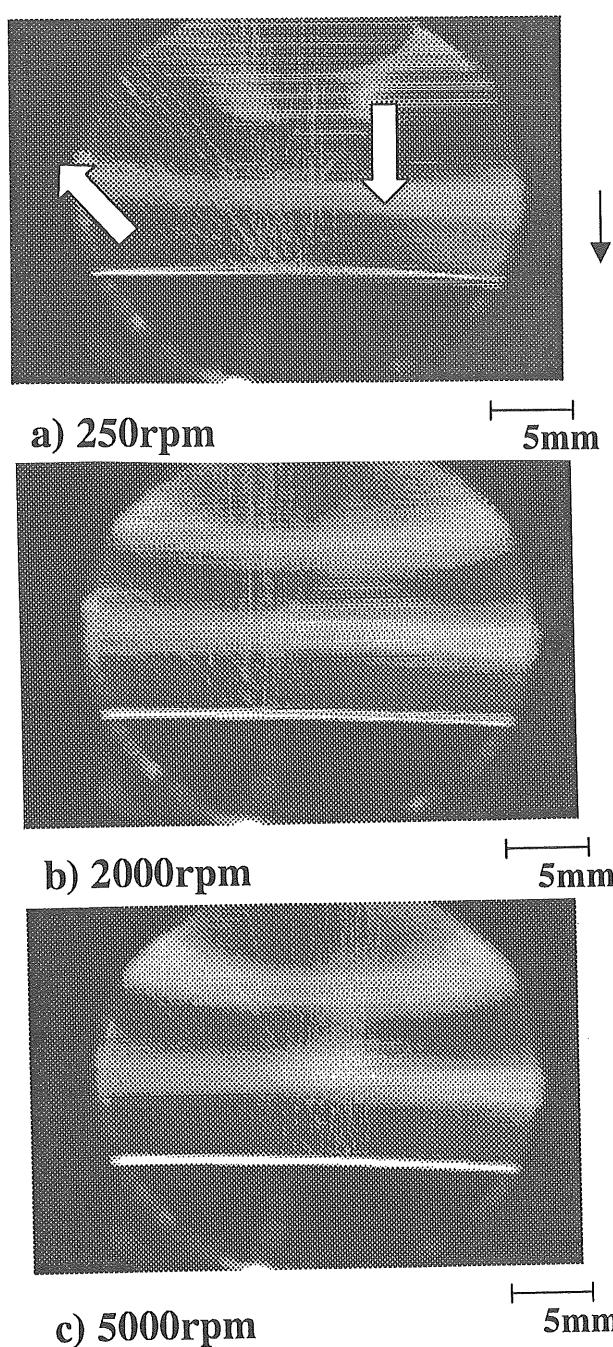


図6 回転アルミニウム板に衝突する粒子のスナップショット
Fig. 6 Snapshots of particles impacting on rotating Al plate.
 $h_r = 16$ cm.

4.2.3 SEMによる衝突痕の観察

衝突速度の水平成分の増加により衝突により生じた衝突痕の大きさがどのように変化するかを調べるために、粒子衝突後の金属板表面をSEMにより観察した。図7は各回転数における金属板表面の衝突痕のSEM写真を示す。矢印は金属板を回転させた方向を表わしている。写真中の白色に光っている部分が粒子の衝突痕である。これより回転数の増加に伴い衝突痕が回転方向に伸びていくことがわかる。衝突痕の大きさは各試料につき20点の

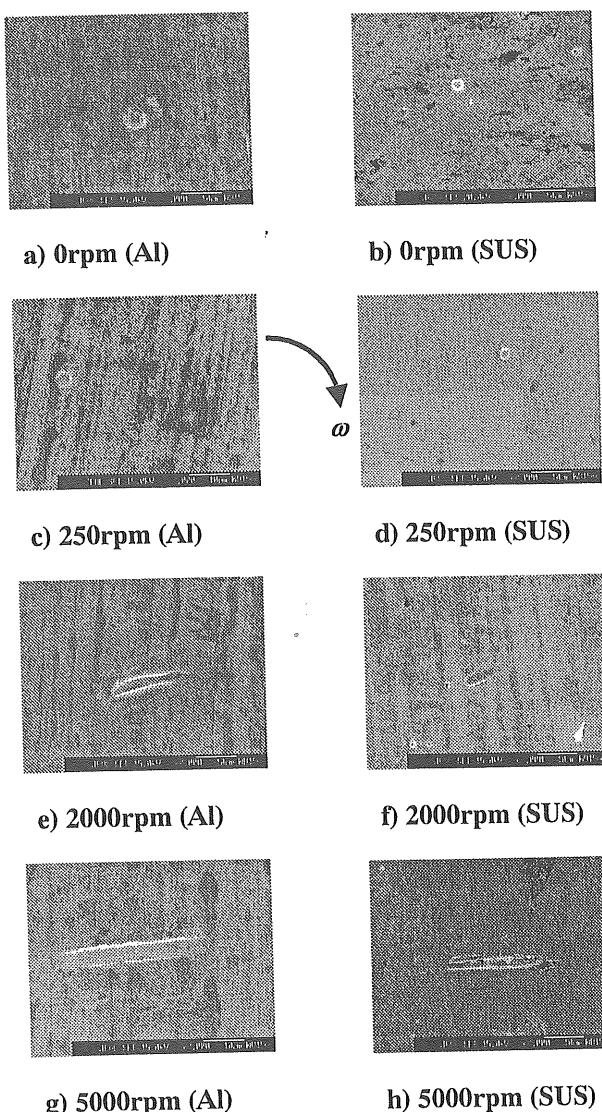


図7 アルミニウムおよびステンレス表面のSEM写真
Fig. 7 SEM photographs of Al and SUS surface.

$$h_r = 16 \text{ cm.}$$

長軸および短軸の長さを測定して解析した。図8a, bに測定結果の平均値およびそのデータの存在範囲を示す。これより衝突痕の長軸の長さは、アルミニウムでは0 rpmのときの3 μm から5,000 rpmのときの44 μm へと増加し、ステンレスでは同様に2 μm から24 μm へと増加することがわかる。一方短軸の長さもアルミニウムでは3 μm から5 μm へと増加し、ステンレスでも1.5 μm から3 μm へと増加する。長軸の長さが増加した理由は、粒子が金属表面で回転またはすべりを起こしたためであると考えられる。また短軸の長さが増加した理由については、回転数が小さな場合には衝突痕が生じる原因は主に金属の塑性変形によるものと考えられるが、回転数が大きくなると、これに弾性変形による接触部分が、横からの力により変形する効果が加わるためではないかと考えられる。

4.2.4 実験結果の考察

4.2.1より、発生電流値は衝突速度の水平成分の増加に

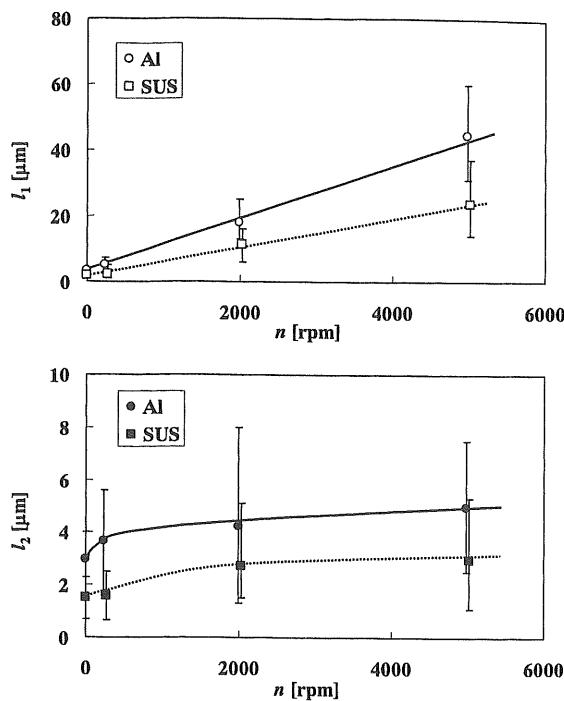


図8 回転数 n と衝突痕の長軸 (l_1) および短軸 (l_2) の長さの関係

Fig. 8 Relationship between number of revolution per minute n and length of major (l_1) and minor (l_2) axis of concave scar.
 $h_r = 16$ cm.

伴い増加し、ある衝突の入射角度 θ^* において極大値を持ち、次に減少する傾向があることがわかった。一方、4.2.3より、水平成分の増加に伴い衝突痕が回転方向に伸びていくことがわかった。そこで、図9に示すようなモデルを考えた。回転数 n が小さいとき（図9a）、つまり図3における $\theta < \theta^*$ のときには、 n が増加するにつれて、接触時の金属板表面上での粒子のローリングスピード ω_p が増加し、電荷移動に有効な接触面積が増加する。一方、 n が大きいとき（図9b）、つまり図5における $\theta^* < \theta$ のときには、接触時に金属板表面上で粒子は滑りを起こすためローリングスピード ω_p が減少し、衝突痕は大きくなるものの電荷移動に有効な接触面積が減少する。実際 D.A. Gorham らは、粒子が金属板との衝突により得るローリングスピード ω_p はある衝突の入射角度（ガラス板-アルミニナボール間では約 30° 、アルミニウム-アルミナボール間では約 40° ）で極大値を持つことを報告している¹⁰⁾。本実験結果と角度が異なる理由は、粒子の種類や粒子径、衝突速度などの条件が異なるためではないかと考えられる。

このモデルにより、発生電流値が衝突速度の水平成分の増加に伴い増加して極大値を持ち、減少する理由が説明できるものと考えられる。さらに、アルミニウムや真

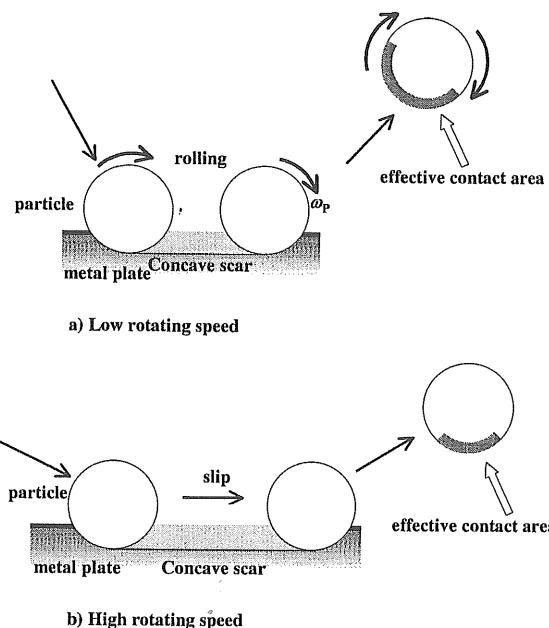


図9 金属板の回転数が低い場合と高い場合における有効接触面積の違い

Fig. 9 Idea explaining difference of effective contact area in low and high rotation speed of metal plate.

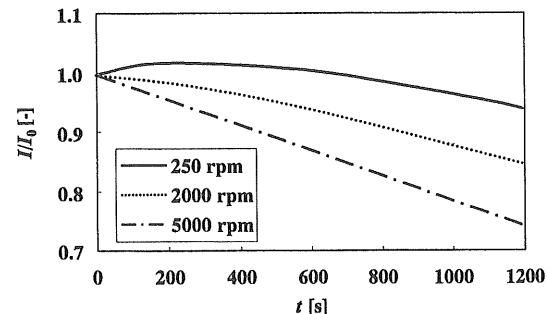


図10 経過時間 t と規格化された電流値 I / I_0 の関係

Fig. 10 Relationship between elapsed time t and current I / I_0 .

Al, $T = 21.0^\circ\text{C}$, $\varphi = 53\%$, $h_r = 16$ cm.

鎗ではステンレスに比べて発生電流値の増加-減少の傾向が顕著であるが、これはアルミニウムや真鎗のヤング率がステンレスに比べて小さいため、粒子が金属板に深く押し込まれて表面での回転量が大きくなる影響ではないかと思われる。

上記の結果より、増井ら⁶⁾と松山ら⁷⁾とで同じ Nylon 66 粒子を用いたにもかかわらず、衝突帶電に及ぼす衝突速度の水平成分の影響が異なった理由は、使用した金属板が異なる（表面がクロムとアルミニウム）ことによる、金属の性質の違いに起因するものではないかと推察される。また、荷福らの結果⁹⁾は、図4において衝突速度の水平成分の増加により、真鎗板の帶電量が増加して減少する傾向により説明できるのではないかと考えられる。

表4 金属表面の元素割合

Table 4 Element fraction on metal target surface.

Metal condition		Element [%]		
t [s]	n [rpm]	Al	O	Si
< 0*	0	97	3	-
1200	250	95	3	2
1200	2000	95	3	2
1200	5000	94	4	2

* Before impact.

表5 金属ターゲットの表面あらさ

Table 5 Roughness of metal target surface.

Metal condition		Roughness
t [s]	n [rpm]	RMS [m]
< 0*	0	0.11
1200	250	0.14
1200	2000	0.19
1200	5000	0.22

* Before impact.

4.3 各回転数における発生電流値の経時変化

前節までは初期発生電流値に着目し、この衝突速度の水平成分の依存性について検討してきた。しかし、例えば粒子をトリボ帶電させる際の帶電量は、実プロセスにおいて時間の経過に伴い変化する可能性がある。そこで、回転数が異なる場合における発生電流値の経時変化の違いについて検討した。金属板には発生電流値の経時変化が顕著であったアルミニウムを用いた。各回転数における発生電流値の経時変化を図10に示す。ただし、縦軸には発生電流値Iを初期発生電流値 I_0 で割って規格化した値をとった。これより、1,200 s経過時において130 rpmでは約5%，2,000 rpmでは約15%，5,000 rpmでは約25%発生電流値が減少することがわかる。

これまでに金属表面のコンタミネーション⁴⁾や表面あらさの変化⁵⁾により発生電流値が変化することがわかっている。そこで、粒子衝突前および粒子を1,200 s衝突させた後の金属表面における各元素の割合および表面あらさを測定した。表面あらさの指標にはRMS（自乗平均平方根）あらさを用いた。結果を表4および5に示す。これより、各試料における表面元素含有率の違いはほとんど無いが、表面あらさは各試料により異なり、粒子の衝突により、また同じ経過時間でも回転数の増加により増加することがわかる。表面あらさが増加した理由は、表面に衝突痕（図7）が生じたためであり、回転数が増加すると図7および8より表面に生じる衝突痕が長く太くなり、損傷が大きくなるためであると考えられる。また、本実験においては、この表面あらさの違いが回転数の違いによる発生電流値の経時変化の違いに関係しているものと考えられる⁵⁾。なお、あらさのある金属においても、金属板の回転数の変化に伴い図4と同様の傾向があることを確認している。

5. 結 言

本研究では、粒子の衝突速度の水平成分が発生電流値に及ぼす影響を調べるために、ターゲットの金属板を回転させることで粒子-金属板間の相対運動を変化させ、これにより衝突速度の水平成分を変化させるという新しい手法により実験を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 粒子の金属板に対する衝突速度の水平成分および垂直成分がともに同じ条件では、傾斜板においても回転板においても粒子の衝突帶電により発生する初期電流値はほぼ等しくなる。
- 2) ビデオによる粒子軌跡の観察結果より、入射粒子群は回転金属板に対しほば垂直に衝突する。
- 3) 衝突速度の水平成分の増加に伴い、発生電流値は増加し次に減少する傾向がある。
- 4) SEMによる粒子衝突後の金属板表面の観察結果から、衝突痕の長軸、短軸とも衝突速度の水平成分の増加に伴い増大する。
- 5) 衝突速度の水平成分の増加に伴い発生電流値が増加し次に減少する理由は、粒子が衝突時に回転や滑りを起こし、電荷移動に有効な接触面積が変化するためであると考えられる。
- 6) 衝突速度の水平成分が大きいほど、発生電流値が時間の経過に伴い減少し易くなる。これは、衝突速度の水平成分の増加に伴い金属表面の損傷が増大して表面あらさが増加するためであると考えられる。

この研究は財團法人ホソカワ粉体工学振興財団の助成金および科学研究費 基盤A2 (No. 13305054) の一部を用いて行われました。ここに記して謝意を表わします。

参考文献

- 1) H. Masuda and K. Iinoya: AIChE J., 24 (1978) 950
- 2) T. Itakura, H. Masuda, C. Ohtsuka and S. Matsusaka: J. Electrostat., 38 (1996) 213
- 3) K. Tanoue, K. Morita, H. Maruyama and H. Masuda: AIChE J., 47 (2001) 2419
- 4) K. Tanoue, A. Ema and H. Masuda: J. Chem. Eng., Jpn., 32 (1999) 544
- 5) A. Ema, K. Tanoue, H. Maruyama and H. Masuda: J. Soc. Powder Technol., Jpn., 38 (2001) 695
- 6) N. Masui and Y. Murata: Jpn. J. Appl. Phys., 22 (1983) 1057
- 7) T. Matsuyama and H. Yamamoto: J. Soc. Powder Technol., Jpn., 24 (1987) 765
- 8) K. Tanoue, H. Tanaka, H. Kitano and H. Masuda: Powder Technol., 118 (2001) 121
- 9) M. Nifuku, T. Ishikawa and T. Sasaki: J. Electrostat., 23 (1989) 45
- 10) D.A. Gorham and A.H. Kharaz: Powder Technol., 112 (2000) 193