

論 文

粉粒体の帯電特性評価装置の試作

清水民生*, 野島康弘*, 田畠泰幸**

(1989年11月24日受理)

Apparatus for Measuring Electrostatic Properties of Particles

T. SHIMIZU,* Y. NOJIMA* and Y. TABATA**

(Received November 24, 1989)

A static electricity accumulating on particles such as powder sometimes causes electrostatic hazards in industry, and the electrification of particles are frequently discussed from a view point of an industrial safety. As one of apparatuses for measuring their charges, an inclined plate along which particles roll and fall has been used. It has, however, problems that the particles adhere to the plate and agglomerate during rolling down. The purpose of this study is to develop the apparatus for evaluating electrostatic properties of particles. A new apparatus which gives charges to them with collisions between a vibrating vessel and them was manufactured as a trial, and it was applied to the measurement of charges on polyethylene formed beads. It was found that this apparatus was useful to evaluate their charges controlled by various factors such as collision conditions, temperature and relative humidity and that measured values of repeated experiments agreed fairly. This apparatus developed is introduced and results obtained from experiments are presented in this paper.

1. はじめに

粉粒体の静電気帶電に係わる要因は非常に複雑多岐にわたり、理論的予測が困難である。その結果、生産工程では予想外の静電気が帶電し、種々の生産障害や災害を引き起こすことがある。したがって、災障害防止の目的からは、取扱い条件での静電気の発生状態を定量的に把握しなければならない。しかし、生産工程における実測は、それ自体に放電危険をともなう場合すらあり、さらには生産上の制約から種々条件を変えて測定を行うことは事実上不可能である。

以上のような背景から、粉粒体の帶電は実験的に評価する方法が採られ、その測定装置の一つとして、従来は傾斜板法¹⁾が比較的よく使用されてきた。しかし、この方法によって再現性のよい結果を得るために、試料が

キーワード：帶電特性評価装置、衝突・摩擦帶電、衝突面清浄度、衝突面材質、高温・高湿雰囲気条件

* 鐘淵化学工業株式会社生産技術研究所 (676 兵庫県高砂市高砂町宮前町 1-8)

Engineering Research Laboratories, Kanegafuchi Chemical Industry Co. Ltd., 1-8, Miyamae-machi, Takasago-cho, Takasago, Hyogo, 676 Japan

** 労働省産業安全研究所電気研究部 (108 東京都港区芝5丁目35番1号)

Electrical Safety Research Department, Industrial Safety Institute, Ministry of Labor, 35-1, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

凝集することなく板面をころがることが必要で、そのため試料に対する制約があるとか、あるいは、実験上の配慮をしなければならなかった。

今回筆者らはこのような欠点を解消し、さらに種々の温度、湿度の雰囲気条件下における帯電特性も評価できる装置を試作した。この装置は試料の粉粒体を容器に入れ、容器を振動させることによって粉粒体を帯電させるもので、実験を試みたところ粉粒体の帯電特性が再現性よく測定できることが判明した。以下、開発した装置とこれを用いて調べた粉粒体の帯電特性について報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 帯電装置

帯電装置の構成を図1に示す。装置は恒温恒湿器（タバイエスペック製、PL-2G）、振動発生機（タバイエスペック製、EV-20）、ステンレス容器（80φ×80 mm）から構成されている。恒温恒湿器内に組み込んだ振動発生機の上に取り付けたステンレス容器（以下、試料容器と略記）に試料を入れ、上下振動を加えると、試料は容器壁面と衝突・分離をくり返し帯電する。

2.2 帯電量測定装置

帯電量測定装置の構成を図2に示す。装置は帯電量測定部（断面構造を図3に示す）、帯電量測定部上の試料

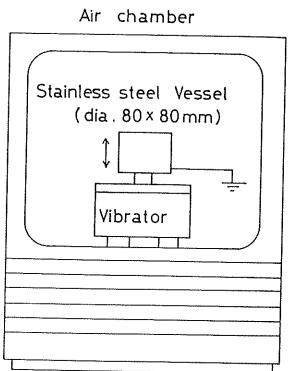


図 1 帯電装置

Fig. 1 Apparatus for charging.

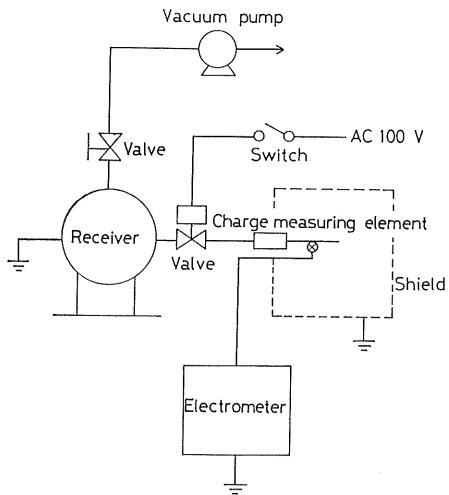


図 2 帯電量測定装置

Fig. 2 Device for measuring electrostatic charge on particles.

を吸引するための吸引装置（真空ポンプ、レシーバ、バルブ）、帯電量測定用エレクトロメータ（アドバンテスト製、TR8652）、外部からのノイズを遮断するためのシールド部から構成されている。

図 1 に示す試料容器から帶電した試料を絶縁性のピンセット、スプーン等を用いて取り出し、図 3 に示す帯電量測定部である開口パイプの上にのせる。エレクトロメータの電荷測定レンズを使用し、ゼロ・キャンセルの後、吸引操作により試料を帯電量測定部から取り去ってやると、エレクトロメータには試料の電荷量に等しい逆の極性の電荷量が表示される。

2.3 測定条件

試料としてポリエチレン発泡ビーズ（ $3.5 \phi \times 6 \text{ mm}$, 1.5 mg/粒）を用い、1回の実験に10粒を使用した。試料

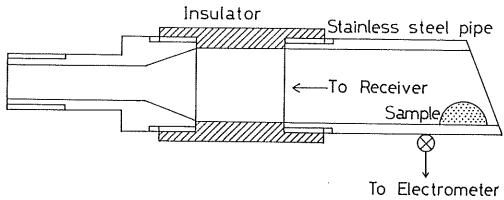


図 3 帯電量測定部の断面構造

Fig. 3 Cross section of charge measuring element.

はあらかじめ除電したものを恒温恒湿器に入れ、所定の霧氷気条件下に24時間以上静置し、霧氷気に十分なじませて使用した。試料容器は測定ごとに水でよく洗浄し、40°Cで15分間真空乾燥の後振動発生機に取り付け、15分間静置して霧氷気になじませた後、試料を入れて測定を開始した。霧氷気条件は温度30~75°C、相対湿度60~98%、振動条件は振幅0~6 mm、振動数8~20 Hz、振動時間0~90秒の範囲である。帯電量の測定は1粒ずつ行い10粒の平均値を測定結果とした。

3. 実験結果

3.1 振動モードと帯電特性

振動発生機の振幅および振動数を変えた時のビーズの帯電量を調べた。結果を図4に示す。

一定の振幅および振動数において、ほぼ振幅および振動数に比例した帯電量の増加が見られた。ただし、振動数20 Hz、振動時間60秒では振幅が6 mmになると帯電量が飽和しており、これは目視したところビーズが試料容器の壁面に付着して動かなくなっていたため、その影響であると推定された。

これより、参考のために試料容器内におけるビーズの挙動を観測した。試料容器はやむを得ず観測しやすい同

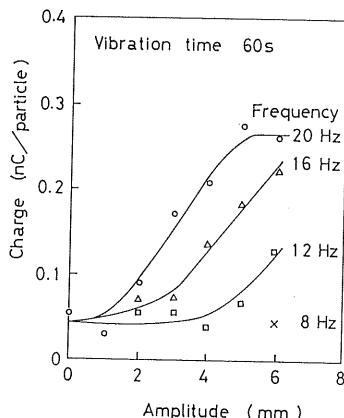


図 4 振動モードと帯電量

Fig. 4 Relation between charge on particle and vibration mode.

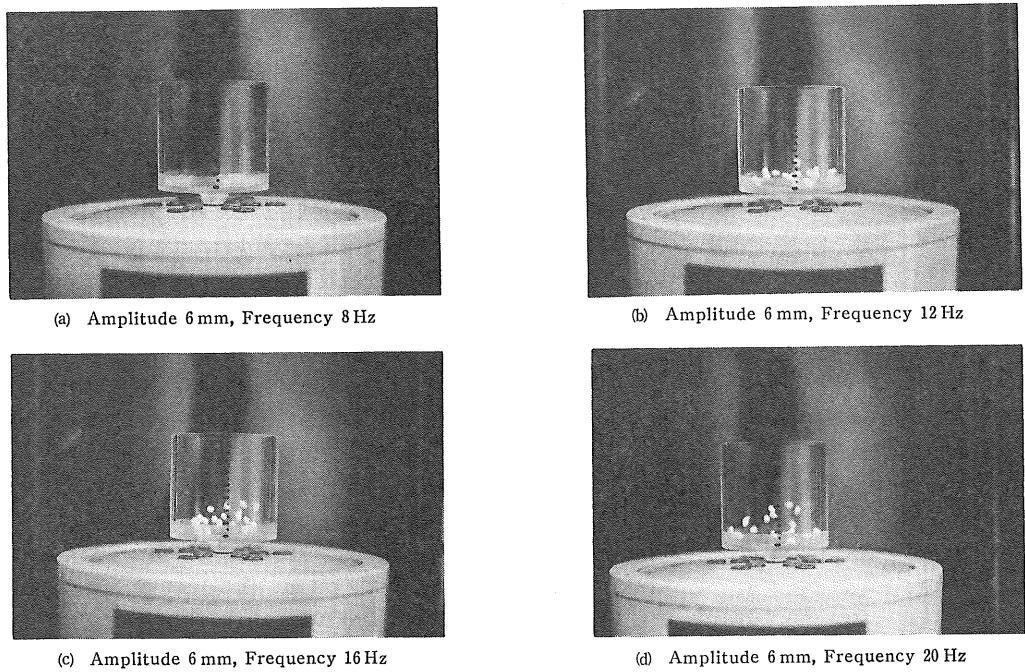


図 5 ビーズの飛び上がり状態

Fig. 5 Jumping behaviour of particles due to vibrations.

寸、同形の透明アクリル製の容器に代えて写真撮影した。振幅 6 mm 一定で振動数を変えた時の挙動を図 5(a)～(d)に示す。試料容器の材質が異なるためその影響を考慮しなければならないが、図 5 にみられるように振動数 8 Hz 以上においてはほぼ振動数に比例したビーズの飛び上がりが見られ、これを測定したところ、飛び上がり高さは図 6 に示すようにほぼ振動数に比例して増大した。また、振動数 20 Hz 一定で同じく振幅を変えた時のビーズの飛び上がりを測定したところ、これも振幅 1 mm 以上においてほぼ振幅に比例してビーズが飛び上がっており（図 6）、ビーズの帶電量と飛び上がり高さとの間には相関のあることが分かった。

3.2 衝突頻度と帶電特性

振動時間変えることにより、ビーズの衝突・分離回数を変えた時の帶電特性を調べた。結果の一例を図 7 に示す。

粒子が衝突・分離を繰り返すとき、その帶電量は飽和に達する²⁾ことが知られている。また、軽い物体については、その帶電による容器壁面との間の映像力により壁に吸引されて付着する³⁾ことが知られている。

図 7 における振動時間と帶電特性の関係も目視したところ、おもに上記映像力の影響によるものと推定された。すなわち、帶電量が増加すると、試料容器壁面との間の吸引力が増し、ビーズの飛び上がりが抑制され、電

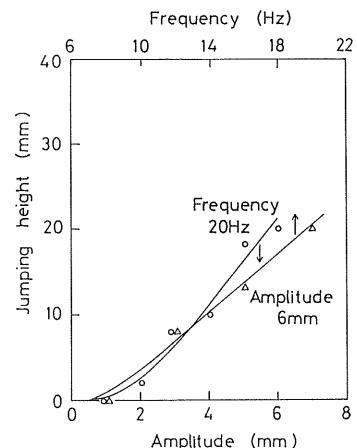


図 6 振動モードとビーズの飛び上がり

Fig. 6 Relation between jumping height of particles and vibration mode.

荷発生率が減少する。さらに、この吸引力が増し、振動による機械的反発力以下になると、試料容器壁面にビーズが付着して動かなくなるため帶電量が飽和するようであった。したがって、振幅の各条件における帶電量の飽和レベルの差は振動条件によるこの機械的反発力の差によるものと推定される。

3.3 衝突面清浄度の影響

衝突面の清浄度が帶電に影響することは知られてい

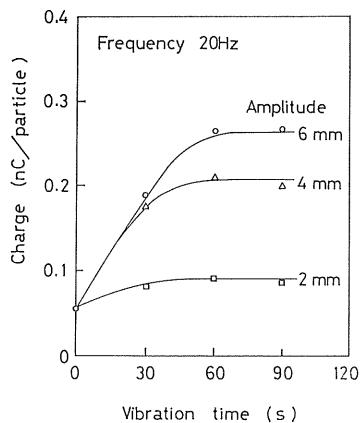


図 7 衝突頻度と帶電性

Fig. 7 Relation between charge on particle and vibration time.

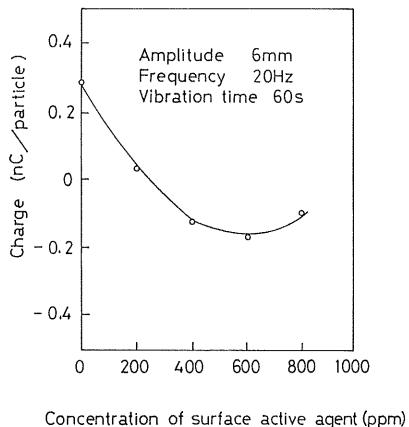


図 8 衝突面清浄度の影響

Fig. 8 Influence of surface active agent coated on vessel upon charge on particle.

る⁴。そこで所定濃度に調整したアニオン系界面活性剤(花王製 R-スルホン酸ソーダ)を試料容器壁面に塗布し、その影響を調べた。この時の乾燥および静置条件は 2.3 節に示す水洗浄後の条件と同じである。結果を図 8 に示す。

使用した界面活性剤は分子内に親水性部と親油性部を持ち、親油性部を高分子側に親水性部を外側に向けて界面に吸着配向する特性を持っている。原理的には高分子表面に単分子層を形成すればよいのであるが、実際にはある程度界面活性剤層が重なることにより初めてその特性を発揮することが知られている⁵。図 8 におけるビーズの帶電極性のプラスからマイナスへの変化は、界面活性剤水溶液濃度の上昇に伴う、界面活性剤層の積層により試料容器表面が改質され、この改質の影響によるものと推定される。

3.4 霧囲気条件の影響

帯電におよぼす霧囲気温・湿度の影響を調べた。結果を図 9 に示す。

ビーズは撲水性であり吸湿性はほとんどない。しかし、使用したビーズ表面には分散剤として使用された界面活性剤の微量の残存が考えられる。図 9 の高湿度霧囲気下における帶電量の減少は、この残存界面活性剤が空気中の水分を吸収し、ビーズ表面の導電性が向上⁶したためと考えられる。

3.5 衝突面材質の影響

衝突する二つの相互物質が帶電特性に影響することは帶電列⁷として知られている。そこで、図 1 に示すステンレス製の試料容器を塩化ビニールおよびアクリル製のものに変え、帯電におよぼす衝突面材質の影響を調べた。結果を図 10 に示す。

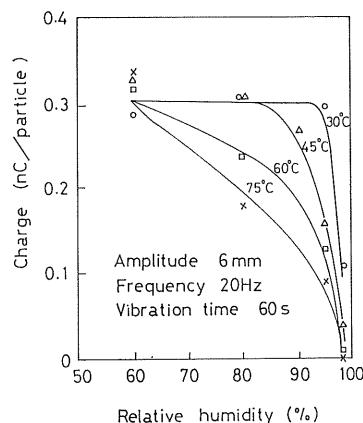


図 9 霧囲気温・湿度の影響

Fig. 9 Influence of temperature and relative humidity upon charge on particle.

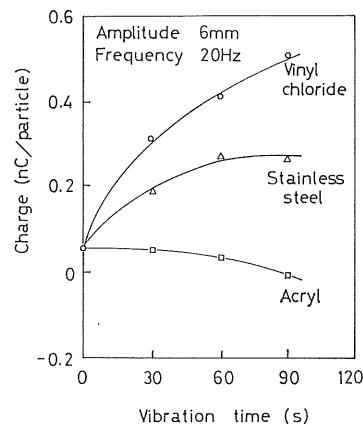


図 10 衝突面材質の影響

Fig. 10 Influence of vessel materials upon charge on particle.

それぞれの材質は微量であるが、不純物を含んでおり、この不純物の帶電におよぼす影響は明らかでない。したがって図 10 の結果を上記帶電列によって直接比較することはできないが、材質と帶電列の位置により帶電量が大きく変わることは明らかであり、ほぼ妥当な結果であると判断される。

4. ま と め

ポリエチレン発泡ビーズを用いた測定を通じて、試作した装置の特性について検討した。以下、開発した本装置の特徴および測定結果について述べる。

- (1) 本装置は強制振動による帶電方式を採用しているため、傾斜板法における傾斜板への試料の付着や滑落途中での凝集の問題がなく、試料に対する制約は特に見られなかった。
- (2) ポリエチレン発泡ビーズを用いて本装置による測定の再現性を調べたところ、10 回の測定で平均値 0.308 nC の場合の標準偏差は 0.011 nC でばらつきが小さく再現性のよい測定方法であることが判明した。
- (3) 粉粒体の帶電特性におよぼす基本的要因である衝突頻度、衝突面の清浄度、衝突面の材質、雰囲気条件等の各要因の影響を明らかにすることができた。

(4) 本装置によると粉粒体の飽和帶電量は振動による機械的反発力と映像力による吸引力との平衡関係に依存するため、この現象を利用すると、粉粒体の粒径、密度による静電吸着の発生限界が求められる。

なお、粉体の帶電特性の測定例については本報では紹介していないが、粉体についても同様に測定し、単位質量当りの帶電量として把握できることが分かった。

この時、粒径が 0.15 mm から 0.25 mm のものが単位質量当りの帶電量が多くとれ、精度よく測定できることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 小口寿彦：静電気学会誌，10 (1986) 192
- 2) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 92，オーム社 (1986)
- 3) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 262，オーム社 (1986)
- 4) W. John, G. Reischl and W. Devor : J. Aerosol Sci., 11 (1980) 115
- 5) 船津 実：表面，16 (1978) 694
- 6) 静電気学会編：静電気ハンドブック，p. 457，オーム社 (1986)
- 7) 労働省産業安全研究所編：静電気安全指針，p. 44，産業安全技術協会 (1978)