

# 帯電量・粒子径分布測定機E-SPART ANALYZERの リニューアルについて

## Renewal of E-SPART Analyzer (model EST-G)

辻 圭師, 笹辺 修司  
Yoshinori TSUJI, Shuji SASABE

ホソカワミクロン株式会社 粉体工学研究所  
Powder Technology Research Institute, Hosokawa Micron Corporation

### 1. はじめに

E-SPART アナライザは、電界中の空気振動場における粒子の運動をレーザードップラー法で検知し、そのデータから個々の粒子の帯電量と粒子径を同時に計測する測定装置である。

粉体は粉碎や摩擦、接触などによって、大小の差はあるものの容易に帯電する。この帯電現象は、粒子がかかわる諸現象と密接に関係しているにもかかわらず、未だ十分な解明がなされていない。

この一因として、粒子の帯電現象は、その場の環境によって影響を受けやすく、不安定さを含むだけでなく、個々の粒子の帯電量が簡便に測定できなかったことによると考えられる。

最近では、電子写真や粉体塗料、電子ペーパー、半導体スパークなどの分野における技術進歩に伴い、単に粉体の全体的な平均帯電量だけでなく、粒子の帯電量分布を把握し、積極的に粒子帯電量をコントロールすることで、付加価値粉体を開発しようとする動きが盛んになっている。

また、衣服などの摩擦により発生する静電気を少電力ツールの電力源にしようとする試みも始まっており、静電気を正確に計測する需要が高まっている。

E-SPART アナライザは、1987年の販売開始以来、数度のリニューアルを行ってきたが、今回のリニューアルは、近年、加速するグローバル化による海外市場からの需要に応えるとともに、益々高度化する国内の高付加価値静電気活用粉体の各種ニーズに応えることを目的に実施した。

本報では、主に装置改良の内容と測定結果について簡単に紹介する。



図1 EST-G

### 2. 測定原理

目的に応じた専用供給機により、粒子供給口から投入された試料粒子は、図1に示すように、粒子出口からの吸引により、測定部へ搬送される。この測定部には直流電極と音響発生機が設置されており、粒子は、音響場（1 kHzの空気振動）と電場の影響を受け、図2に示すように、振動しながら逆極性の電極側に移動しながら鉛直方向に落下していく。この時、音響場と電場における粒子運動は独立した運動と考えることができ、この粒子の音響場による影響と電場による影響は、別々に測定が可能である。

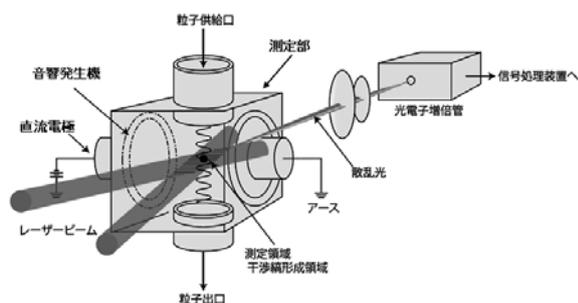


図1 測定部概略図

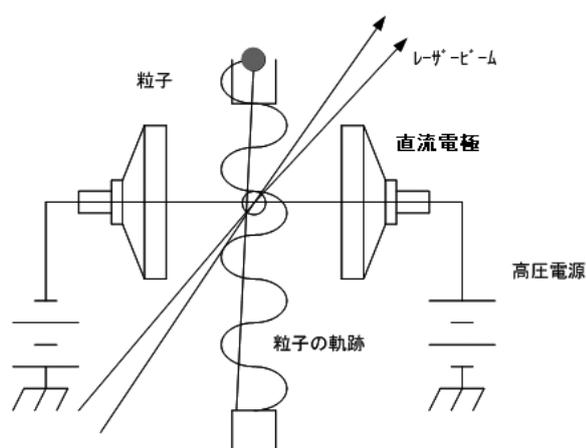


図2 測定模式図

粒子径  $d_a$  の計測は、音響発生機による空気振動を利用する。粒子径が大きいと 1 kHz の音響振動に追従できず位相差が大きくなるので、この位相差から粒子径を式 1 で求める。

帯電量  $q$  は、直流電極による電場内での粒子の移動を利用する。2本のレーザービームが交差する検知領域で移動する粒子により発生するビート周波数を計測する（レーザードップラー法）ことにより、電場による粒子の電極への移動速度  $v_e$  を測定する。この移動速度  $v_e$  と粒子径  $d_a$  から式 2 によって帯電量  $q$  が求められる。

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{d_a^2 \rho_p C_c}{18\eta} \omega \quad \text{式 1}$$

$$q = \frac{3\pi\eta d_a}{E C_c} v_e \quad \text{式 2}$$

$q$ : 帯電量 [C],  $\varphi$ : 位相差 [°],  $\omega$ : 音響周波数 [1/s],  
 $\eta$ : 空気粘度 [kg/(m·s)],  $d_a$ : 空気力学的粒子径 [m],  
 $C_c$ : カニンガムの補正係数 [-],  $E$ : 電場の電界強度 [V/m],  
 $v_e$ : 粒子の電極への移動速度 [m/s]

### 3. 改良ポイント

今回の改良の目的は、先にも述べたように、海外市場仕様の対応とユーザーニーズに沿った装置の改良を実施した。

#### 3-1. 海外市場に向けた対応

日系企業の海外生産拠点、高付加価値粉体を取扱う、または開発を進める企業からのニーズにお応えするために、以下の項目を実施している。

- ① メンテナンス頻度が比較的高い光学系の安定化。
- ② 使用パーツの規格対応。
- ③ 海外メンテナンス体制の整備。

#### 3-2. 国内ユーザーニーズへの対応

国内市場は、帯電量をシビアに制御され且つその特性を製品の差別化として積極的にご活用されている。この背景から、測定精度の向上のご希望が多い。計測の対象となる静電気量は、計測時の環境、測定試料の状態、供給方法により計測値に大きな影響を与える。

本装置の主要市場のひとつであるトナー向けには、専用の供給機を用意している。高度に設計された粒子の帯電量分布計測は、粒子設計をするうえで、非常に重要なウェイトを占める。よって、複写機の感光体ドラム、帯電ローラー、カートリッジユニットを実際の複写状態のままトナーの帯電挙動を把握する取組みに対し、数  $\mu\text{m}$  の位置決め精度を有する X-Y ステージ型の供給機から 2 成分系トナーを簡易に計測できる供給機まで、数種類をリリースし、市場ニーズにて対応してきた。

今回は、操作条件の見直し、装置内部の一部改良と簡便に計測は行えるものの、精度向上のニーズが高い 2 成分系トナー供給機を中心に、精度向上を目的とした改良を試みた。

装置改良の目処となるサンプルは、日本画像学会から頒布されている標準キャリアを用いた。

まず、測定条件の見直しとして、強帯電粒子の安定計測の検討を実施した。E-SPART アナライザは、先に述べたように、直流電極による水平方向への移動速度によって、帯電量を計測する。この電極への印加電圧の増加とともに、帯電量分布は、ブロードからシャープな分布になり、さらにサイド切れ分布へと移行する傾向がある。

E-SPART アナライザで測定可能な水平方向の移動速度は、ビート周波数で  $\Delta f = \pm 6.2\text{kHz}$  であり、質量あたりの帯電量  $q/m$  の絶対値が大きいほど電界電圧

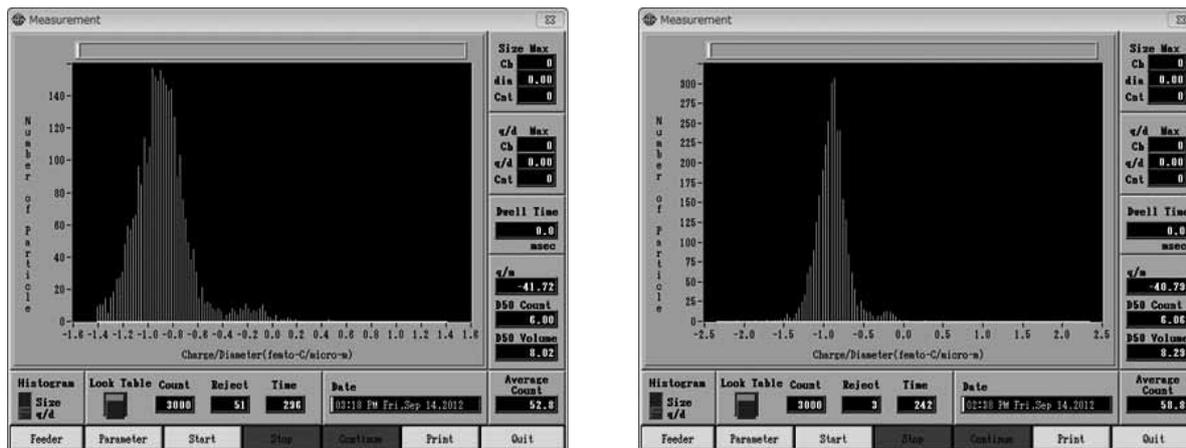


図 3 測定結果

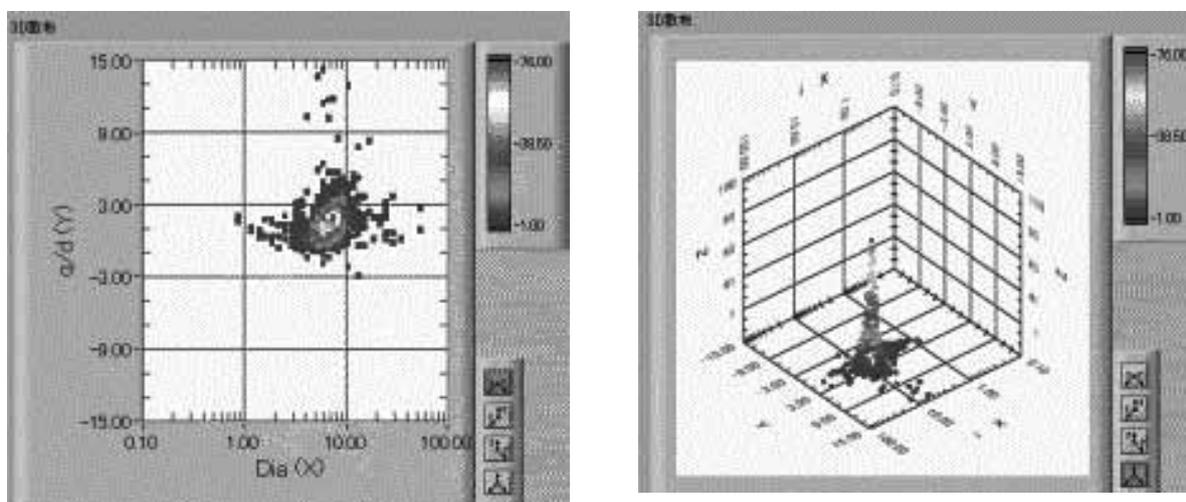


図 4 3D 散布図

を下げて測定する必要がある。

図 3 に示すとおり、印加電圧を100, 60V で標準キャリア、トナーを測定した結果、100V ではサイド切れを生じ、60V では、シャープな分布を得ることができる。

これより、E-SPART アナライザで帯電量を測定する場合、あらかじめ平均帯電量を測定し、ビート周波数を算出後、印加電圧を選定してから測定することにより、強帯電性粒子の計測が安定して実施できる。

本体の一部改良として、吸引流量によるレイノズル数の見直しにより層流を確保し、安定した計測部環境の確保、ガス噴射圧力変動抑制用のバッファタンクの追加、測定の安定性や強帯電性粉体への対応を図っている。また、最終製品を使用する環境下での帯電特性を把握したいというニーズに対し、本体に冷却、除湿機を搭載した恒温恒湿環境内での使用を可能としたオ

プションも用意している。この際に、環境試験室への装置異動頻度が高くなることもあり、海外市場対応で説明した光学系の安定化のため、移動用キャスタにダンパー、緩衝構造を取り入れ、光学系のズレなどを抑制している。

その他に、プログラムの解析ツールとして、視覚的判断が可能でありニーズが高い、図 4 に示す 3D 表示にも対応をした。

静電気量の計測は、先にも述べたとおり、多くの不安定要素が複雑に絡みあい、安定した計測を実現させることは難しい。特に本装置は、ひとつの粒子の帯電量と粒子径を計測することに特徴があり、バルクで帯電量を計測する機器とは異なり、外因に大きく影響を受ける傾向が高い。そこで、比較的制御が可能な供給機の機械的な安定性と操作条件の再現性確保を目的とし、下記の改良を施した。

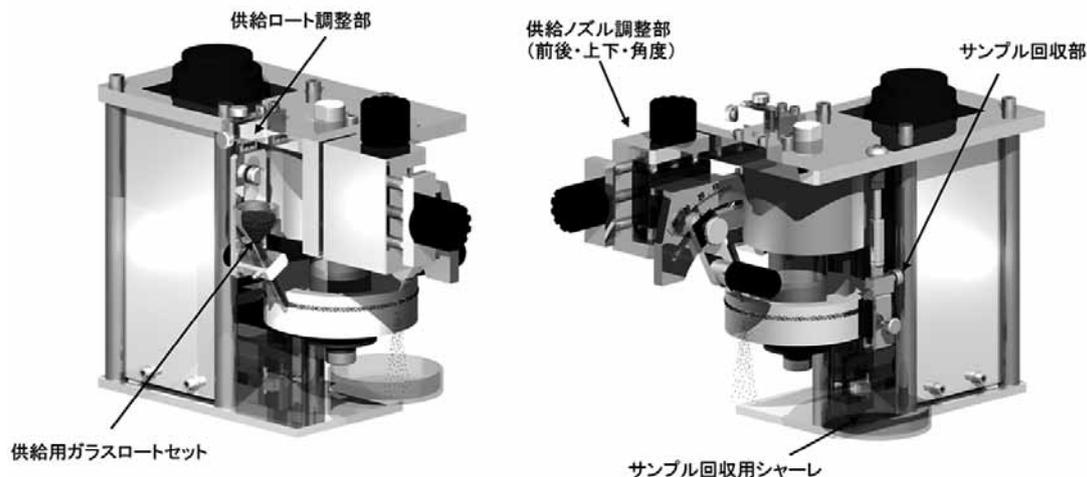


図5 新型供給機外観

- 1) 測定の再現性確保を目的としたブローノズルの位置決め構造の改良
- 2) 測定値に影響を及ぼすサンプル量制御を目的としたサンプル供給用ロートの位置決め構造の改良
- 3) 弱帯電測定値の原因のひとつであるブロー後サンプル回収部の構造の改良
- 4) 強帯電トナー分離を可能とするキャリア保持用のマグネットホルダの強化
- 5) 個体差解消を目的とした精密削り出しブローノズルの採用
- 6) サンプル分離向上を目的とした、マグネットホルダ回転停止後噴射機能の追加

以上の対策を施した新型供給機外観図を図5に示す。

この改良により、各部の設定は、測定者間による異なった設定を抑制し、計測の再現性を向上させることにつながる。

#### 4. 測定と結果

新型供給機を用いた測定例を下記に示す。

測定サンプルは、上述した日本画像学会が販売しているネガティブ系標準キャリアとトナーを用い、推奨調合条件であるトナー濃度5%、PE容器による攪拌

表8 測定条件

項目	条件
測定部吸引	400ml/min
ブロー圧力	0.04Mpa
ブロー時間—噴射/停止	3秒/4秒
印加電圧	60V

にて測定した。

本報では割愛するが、予め標準サンプルにて、トナーがキャリアから剥離し測定値の再現性が高い条件を見出し、その条件を基本的な測定条件とした。(表1参照)

旧2成分系トナー供給機、旧1成分系トナー供給機のマグネットホルダ強磁タイプおよび新型供給機について、上記の条件で測定値の比較を行った。

粒子径D50と質量あたりの電荷量 $q/m$ の結果を図6に示す。

比較対象として、帯電量ならびに粒子径の解析に本装置の値とともに利用される、粒子径分布測定機コールターカウンター、バルク帯電量測定機のブローオフの結果を参考値として示す。

測定結果は、

- ①平均粒子径が増加し、計測方法が異なるため、単純な比較はできないものの、コールターカウンターの測定結果と同等の結果を得た。
- ②質量あたりの平均帯電量 $q/m$ の絶対値が大きくなり、ブローオフ法での測定値と同等の結果を得た。
- ③平均粒子径ならびに平均帯電量の再現性は10数%の誤差であった旧タイプに比べ、10%以内と向上した。

なお、平均粒子径は、弊社分析評価センター室によるコールターカウンターでの測定値を、質量あたりの平均帯電量は、第19回粒子帯電制御研究会の発表資料<sup>1)</sup>のブローオフ法のデータを使用し比較とした。

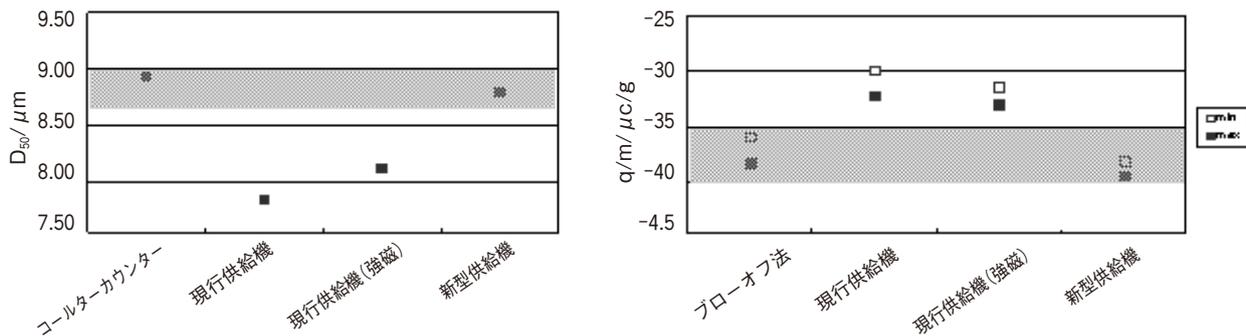


図6 測定結果

### 5. おわりに

2成分系トナー供給機ならびに本装置の一部改良により、測定精度が向上し、標準サンプルの平均粒子径はコールターカウンターと質量あたりの平均帯電量はブローオフ法と同等の測定値が得られるようになった。また、2成分系トナー供給機のみをリプレイスすることが可能な仕様としているので、既存ユーザーに対しても測定精度の向上、強帯電粒子の測定に対応が可能である。特に、トナー業界ではESTで測定した帯電量の結果は、ブローオフ法などの他機種での測定値よりも低い値を示すといわれてきた。しかし、上記の事項を改良することにより、ほぼ同等の値が得られるようになった。

本改良にて、第19回粒子帯電制御研究会において、学会が頒布する標準キャリアの特性評価装置として、ご利用いただいた。

また、最近、電池材料の帯電特性、ウイルスの帯電量、経口薬剤の帯電量分布の計測として、受託測定ならびに装置のご評価をいただいている。

本装置が、従来邪魔者であった静電気を積極的に活用した高付加価値粉体の開発の一助になれば幸いである。

### 引用文献

- 1) Mazumder, M.K., et al. : IEEE Ind. Appl. Soc. Annual meeting, Part II p. 1606 (1987).
- 2) 横山豊和,他 第25回粉体に関する討論会講演要

旨集,p.82,札幌(1987).

- 3) M. K. Mazumder, S. Sasabe, K. Gadepally, C. Wu, K. Tennal, and R. M. Hawk, "Electrical Properties of Powders", 21st Annual Meeting of the Fine Particle Society of America, San Diego, CA, August 23, 1990.
- 4) Kutsuwada, N, et al. : IS&T's 7th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, 2, p.84 (1991).
- 5) 彼谷憲美, 辻本広行, 笹辺修司. "レーザードップラー法による粒径と帯電量の同時測定". 粉体工学会第29回夏期シンポジウム. 函館, 1993年7月, 粉体工学会誌. p.60-64.
- 6) 多田達也他 "標準キャリアを用いたトナー帯電特性の評価". 日本画像学会研究会: 標準キャリアでみる摩擦帯電序列と帯電量分布変化. 東京, 2012年10月19日, 日本画像学会.

### Captions

- Fig. 1 EST-G  
 Fig. 1 Schematic view of a measurement part  
 Fig. 2 Schema of measurement  
 Fig. 3 Measurement result L : 100V, R : 60V  
 Fig. 4 The scatter diagram of three dimensions  
 Fig. 5 Outline view of a new style feeder  
 Fig. 6 Measurement result