

粒子の帯電量測定の実際

8-1. 粒子径・帯電量測定装置 「E-SPART Analyzer」

笹辺 修司*)

1. はじめに

静電気は、粉体プロセスにおいて厄介者として代表的な現象であるが、逆に積極的に活用している事例として、粉体塗装、電子写真などのアプリケーションがある。なかでも電子写真技術は、日本がけん引役として技術開発の先頭を走っている。この電子写真技術には、トナー粒子を用いた静電現象技術が用いられている。この静電現象では、トナー粒子の帯電特性が印刷物の品質に大きく影響することから、研究開発が活発に行われてきた。

またエアロゾルの分野においても、粒子の帯電量が粒子挙動に大きく関与するため、その測定法が研究されてきた。著者らは、このエアロゾルの分野の測定法のひとつである、電場と音響場を同時に形成させた測定部に粒子を供給し、レーザードップラー法を用いて粒子一個ずつの位相遅れや移動速度を測定し、粒子径と帯電量を求める手法¹⁾をトナー粒子に適用、製品化している。ここでは、その測定法と事例ならびに今後の展開について紹介する。

2. 測定原理

粒子径・帯電量測定装置E-SPARTアナライザ (Electrical-Single Particle Aerodynamic Relaxation Time analyzer, 以下 EST) の測定部を図1に示す。

粒子出口から空気を吸引し、粒子

を上部から鉛直方向に輸送する。一定周波数の空気振動（音響場）と一定強度の電場が形成された測定部において、粒子は音響場による作用を受けて水平方向に振動しながら、また電荷を持つ場合は逆極性の電極側に偏寄しつつ下方に移動する。この場合、音響場と電場の影響による粒子運動はそれぞれ独立した運動と考えることができるため、音響場による影響から粒子径を、電場による影響から帯電量を同時に計測できる。当装置では2本のレーザビームが交差する検知領域において運動する粒子の水平方向の移動速度をレーザードップラー法によって計測する。粒子径 D_p の計測は、粒子の慣性力と音響による振動場を利用し、粒子径が大きい、つまり慣性力が大きいほど空気（音響）振動に追従できず、

両者の位相差（位相遅れ）が大きくなることを利用する。この位相遅れと粒子径の関係は式1で示される²⁾。

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

一方、帯電量 q は電場強度 E と水平方向の偏寄速度 v_e から式2で求められるため、これらの結果から個々の粒子の帯電量を計測することができる。

$$q = \frac{3\pi\eta d_a}{EC_c} v_e \quad (2)$$

3. 特徴

バルクの帯電特性の測定としては、ファラデーケージ法が有名であるが、帯電量分布を得ることはできない。ESTは、1粒子を対象に粒子径と帯電量を同時に計測することができる世界で唯一の測定機であり、帯電量と粒子径の分布を得ることが可能である。特に多く採用をいただいているトナー向けには、1・2成分系トナーの専用供給機、カートリッジを取り付けてトナーを供給するX-Yステージ型の供給機も用意している³⁾。

図2に2成分系負極トナーの粒子径別の帯電量分布を示す。粒子径が

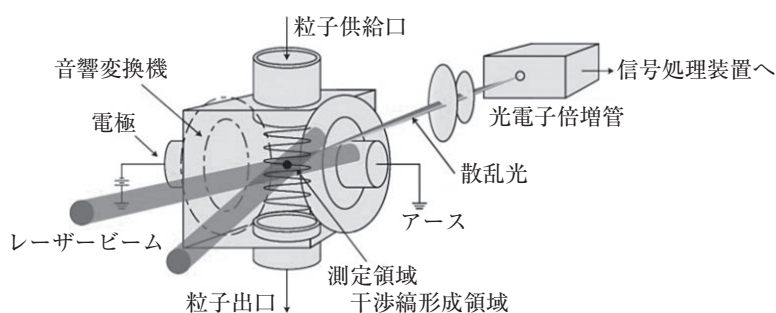


図1 測定セル内の音響場と電場と粒子の挙動

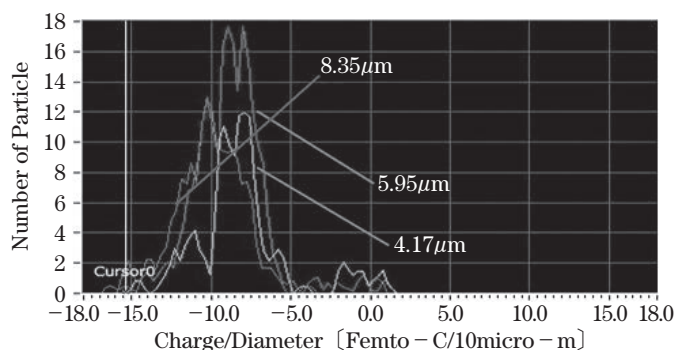


図2 負極帯電トナーの粒子径別帯電量分布

*) SASABE Shuji: ホソカワミクロン(株) 粉体工学研究所 測定分析センター 〒537-1132 大阪府枚方市堤田近 1-9

TEL: 072-855-2386

FAX: 072-855-2730

E-mail: SSASABE@hmc.hosokawa.com

小さいトナーの一部に、0.0fC/10 μm 付近の弱帯電トナーが大きなトナーの場合よりも多く含まれていることが解る。

4. 測定例

図3に2成分系トナーの濃度（キャリアに対する濃度）を変えた場合の帯電量分布を示す。トナー濃度が高いとゼロシフトしていることが解る。図4には、2%と5%濃度のスキヤットグラム（帯電量 vs 粒子径）を示す。本形式は視覚的に違いを把握しやすいことから、時間的制約があるQC工程などでご利用いただいている⁴⁾。

5. 今後の展開

ESTは販売から30余年、3桁の販売実績を持ち、現在も研究開発からQCまで幅広く、ご利用いただいている。従来は通常の屋内環境でのご利用に限定されていたが、高度な研究開発向けとして環境試験室内での計測や、都市単位で設置されている大型複写機のそばでの計測ニーズがある。そこで現状の装置で採用している、アナログ高周波回路とHe-Neレーザーを用いた41MHz帯の光学部を刷新し、ポータブルタイプのデジタルESTの開発を進めている。現地での計測向けに半導体レーザーを中心として、機械的に安定かつ小型の光学部を実現するとともに、信号処理回路も一切の調整を不要とした

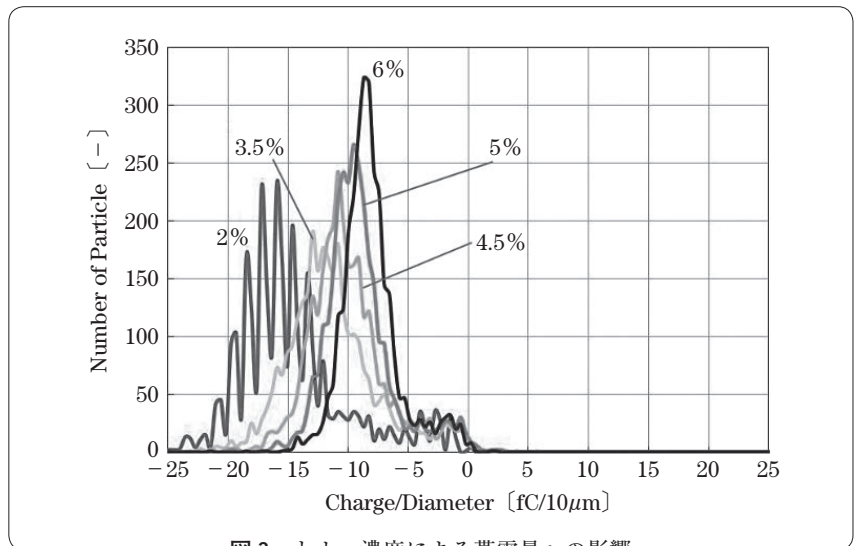


図3 トナー濃度による帯電量への影響

デジタル回路としている。これにより装置間での互換性も高くなり、従来に増して高性能な測定機となる見込みである。

6. まとめ

世界で唯一の帯電量分布を得られるESTについて紹介を行った。厄介者とされる静電気を積極的に活用した非常に高度な技術の結晶である電子写真を筆頭に、粒子の帯電特性を制御した製品開発に本機が一助になれば幸いである。

〈参考文献〉

1) Mazumder, M.K., et al., IEEE Ind. Appl. Soc. Annual meeting, Part II, p.1606 (1987)

2) 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)

3) Kutsuwada, N, et al., : IS & T's 7th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, 2, p.84 (1991)

4) 笹辺修司, "粉体特性計測技術と測定装置の概説". 日本画像学会トナー技術研究会: トナー&粉体特性のマクロからマイクロまでの観察・計測・分析技術. 東京, 2019年11月8日, 日本画像学会

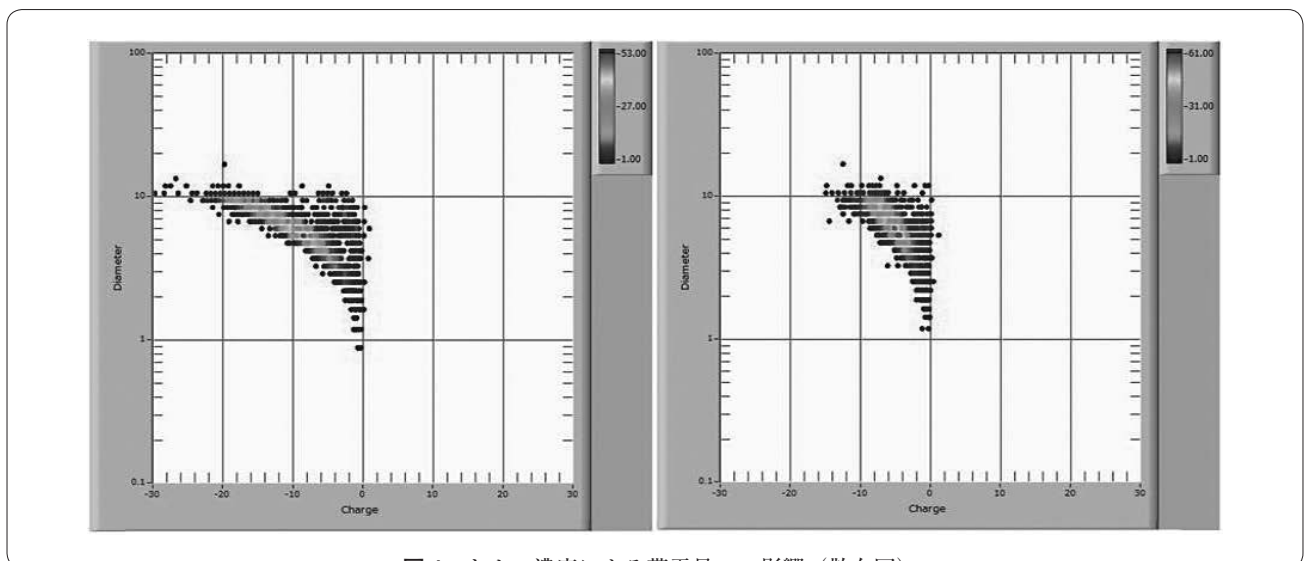


図4 トナー濃度による帯電量への影響（散布図）