

静電粉体塗装における塗装空間中のピンポイント帯電量測定

Pinpoint Measurements of Sprayed-Particle-Charge in Electrostatic Powder Coating

(ユーテック株式会社 R&D 事業本部 要素技術開発センター) ○梅澤 俊輔

これまで、静電粉体塗装において塗料粒子が被塗物に付着・堆積し始めてから塗装が完了するまでの間に、比較的小さい塗料粒子が優先的に被塗物側に寄って沈着することを付着帯電量測定^{1,2)}や SEM 観察²⁾で見出した。今回、粉体塗料の外添剤に着目して従来の帯電量測定（付着帯電量測定）のほか、塗装空間中の塗料粒子をピンポイントで捕捉して帯電量測定（気中帯電量測定）を行ったので報告する。

1. 緒言

粉体の帯電を利用する技術においては、静電気特性の測定は挙動を把握、制御する上で重要である。一般的には電位測定、電荷量測定などの方法がある。なかでも、粉体の電荷量測定は電子写真技術や静電塗装などの分野で広く利用されている。電子写真技術ではトナーに帯電を施しその挙動を電界により制御することで画像形成を行う。このとき、トナーの電荷量が画像品質に大きく影響するため、電荷量の制御が重要であり帯電量測定しては把握することは不可欠である。

一方、静電粉体塗装技術では粉体塗料に帯電を施し電界によりその挙動を制御することで塗膜形成を行う。粉体塗料は静電スプレーガンによりあらかじめ帯電を施し接地された被塗物上にスプレーし、被塗物表面に静電気力により付着・堆積させる。このとき、塗料粒子の帯電が逆電離、静電反発など塗装品質に大きな影響を与える。静電粉体塗装の塗装品質における課題として、ゆず肌、ファラデーケージ効果等があり、塗装工程での不良要因となっている。

これまでの研究により、塗料粒子の帯電量が塗膜の平滑性異常（ゆず肌）に影響していること¹⁾や塗膜の塗着過程において比較的小さい塗料粒子が優先的に被塗物側に寄って沈着すること²⁾が分かっている。今回、静電粉体塗装の粉体塗料の帯電量測定において、粉体塗料の流動性付与のために添加されている外添剤に着目して帯電量への影響と塗着粒子の帯電量測定（付着帯電量測定）のほか塗装空間中に浮遊する塗料粒子をピンポイントで捕捉して帯電量測定（気中帯電量測定）を行い外添剤の影響について比較した。ここで、気中帯電量測定では、塗装空間中で吸引して捕捉するため被塗物に塗着しない塗料粒子も測定できる。

2. 実験方法

2.1 静電粉体塗装

本実験で使用した静電粉体塗装システムは静電スプレーガン、塗料供給装置、これらを操作・制御するコントローラならびに塗装ブースから構成されている。静電スプレーガンには塗料粒子をコロナ放電によって帯電させるコロナ帯電スプレーガン（図 1）を使用した。被塗物には 21cm×30cm のステンレス板を使用した。被塗物は塗装ブースの中心付近に固定して吊り下げた。静電スプレーガンは被塗物の中心を向きそれぞれ

キーワード：電荷量・帯電量測定・静電粉体塗装・粉体塗料・ファラデーケージ

Shunsuke UMEZAWA

TEL:0743-23-0131 , FAX:0743-58-3723 , E-mail: shunsuke.umezawa@u-tc.co.jp

れの距離が 200mm となるよう三脚に取り付けた。なお、印加電圧、エア圧などの条件は一定になるよう調整した。実験は 26°C、64%RH の室内で行った。

2.2 帯電量測定

電荷量は、ファラデーケージを用いて測定されるが本実験では、吸引式電荷量測定装置（図 2：ユーテック（株）製、EA02）を用いてファラデーケージに吸引・捕集される粉体塗料の電荷量と質量を測定し帯電量が得られる。クーロンメーターと吸引ポンプが一体となった測定器本体、ファラデーケージ構造の吸引ノズルから構成される。本測定器は吸引粉体を捕集するため樹脂製フィルタカプセルの採用で操作性、秤量安定性に優れている。また、低ノイズ構造のファラデーケージを採用することにより電荷量は 0.01nC まで読み取り可能である。

塗料粒子の電荷量を測定する方法として、下記 3 つの方法が挙げられ本実験では付着帯電量測定と気中帯電量測定を行った。

- 1) 塗装前に塗料タンク、配管中などで測定する方法
- 2) 塗装中にスプレーされている塗料を測定する方法（気中帯電量測定）
- 3) 被塗物に付着した塗料を測定する方法（付着帯電量測定）

2.2.1 付着帯電量測定

粉体塗料の堆積した被塗物基板の中心付近のエリア 7cm^2 の面積を吸引・測定することにより、単位質量当たりの電荷量（付着帯電量 Q/M ）のほか単位面積当たりの質量（付着量 M/A ）を得た。質量測定には最小表示が 0.01mg の電子天秤を使用した。また、被塗物上の塗料粒子の帯電減衰の影響を抑えるため一回の測定に要する時間を 1 分以下とした。なお、帯電減衰の影響については 3.3 で示す。

2.2.2 気中帯電量測定

図 2 の粉体電荷量測定装置では粉体をファラデーケージに捕捉することで帯電量測定を行うが、スプレーガンの放電によるフリーイオンの電荷量も計測するため塗料粒子のみの帯電量測定が困難であった。さらに、塗装空間中の測定に対しては吸引ノズルに塗料が付着することにより絶縁性確保が困難となる。フリーイオンの電荷量による影響を防ぐため高シールドファラデーケージ構造を採用した。吸引口付近までシールドし先端部を絞ることで、内管よりフリーイオンを除いた塗料粒子の帯電量を測定が可能となった。更に、塗料粒子がファラデーケージ内部に進入することを防ぐため、この間の絶縁性を担保できるように吸引方向とは逆方向のエアフローを流しスプレー中の塗料の侵入を防止する気中帯電量測定装置（図 3）を開発した。塗装条件としては、被塗物とスプレーガンの距離が 20cm になるよう固定して、スプレーガンが被塗物の中心を向くようスプレーガンの向きを調整した。気中帯電量測定装置の吸引ノズルが突き出せるよう被塗物中心位置には $\phi 10\text{mm}$ の貫通穴が開いており、被塗物上付近を浮遊する塗料粒子を吸引測定する。付着帯電量

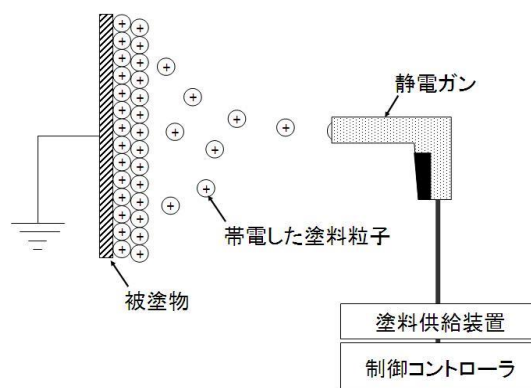


Fig. 1 コロナ帯電スプレーガン概要



Fig.2 吸引式電荷量測定装置

測定と同等の被塗物位置で気中帯電量測定との比較により塗着過程での塗着しない塗料粒子の影響が確認できる。測定条件は、エアフロー流量が 4L/min に対して吸引流量を 9L/min、測定時間 10 秒に設定して流量制御して吸引測定した。付着帯電量測定と同様に、単位質量当たりの電荷量（気中帯電量 Q/M ）のほか単位空気体積当たりの質量（気中塗料密度 M/V ）を得た。

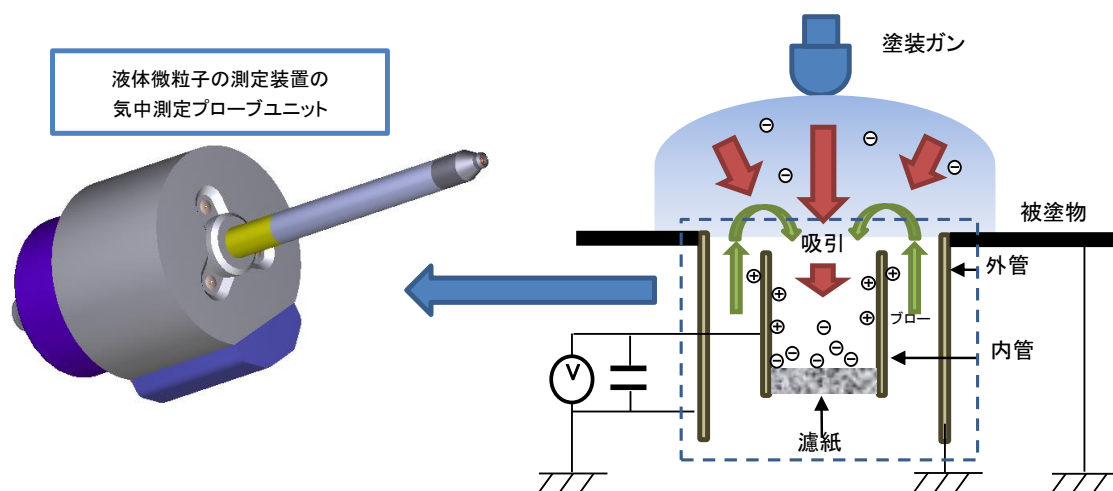


Fig.3 気中帯電量測定装置

2.3 帯電減衰性測定

帯電した塗料粒子の減衰性を把握するため、コロナ放電により塗料を帯電させて塗料表面の電位が半分に減衰する時間を測定した。高圧電源（松定プレシジョン(株)製 HARb-60n0.5）により-20kV の電圧を印加し、放電距離を 20cm としてアースした金属板上に設置した粉体塗料に対して 5 秒間放電し帯電を与えた。電圧印加を止めた後の電位変化を把握するため、塗料の表面電位を表面電位計（トレック・ジャパン(株)製 Model344）で 5 分間測定しその電位減衰曲線から電位が 1/2 にまるまでの時間（帯電減衰時間）を算出した。

3. 結果および考察

3.1 粉体塗料

粉体塗料としては、製品として市販されている静電粉体塗装用の粉体塗料（エポキシ/ポリエステル樹脂系）を使用した。貯蔵、塗装安定性のため外添剤が添加されており、塗料粒子より小粒径の微粉体で塗料粒子表面に付着することで塗料に流動性を付与している。添加量は塗料粒子表面への被覆率をもとに適正な被覆率になるよう決められている。添加量が多すぎると塗料粒子表面に付着しない外添粒子のため塗料性能に悪影響を及ぼす。外添剤が塗料の帯電性に対して与える影響を確認するため、添加量を 0wt%（無添加）、0.05wt%、0.2wt%（塗料製品の添加量）、0.5wt%、2wt% の 5 水準に調整した粉体塗料で試験を行った。添加前の塗料の平均粒子径は $34.0\mu\text{m}$ であり粒度分布は図 4 の通りであった。

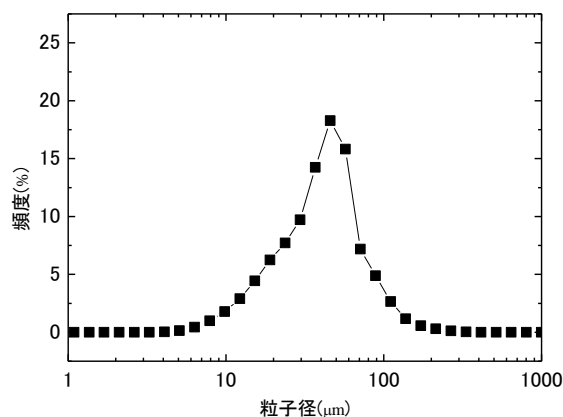


Fig.4 塗料の粒度分布

3.2 帯電量測定結果

3.2.1 付着帯電量測定

被塗物上に堆積した粉体塗料の付着量の塗装時間の増加に伴う変化を図5に示す。ここで、外添剤の添加量が2%で塗料粒子が被塗物に付着しなかったため帯電量測定は行わなかった。それ以外の添加量の条件では塗装時間が増加して塗装が進行するにつれて、塗料粒子が被塗物上に蓄積し付着量も直線的に増加していた。いずれの添加量でも付着量の増加スピードの鈍化は確認出来なかった。目視による塗膜の平滑性異常は10秒まですべての添加量で異常が確認できなかったが、いずれの添加量でも20秒で異常確認し、添加量0.05%では15秒でも異常確認した。

次に、付着帯電量を図6に示す。塗料粒子が保持する帯電を比較するため、付着帯電量の変化を図7に示す。付着帯電量の比較と同様に添加量0.05%が最も高い帯電であった。また、添加量0.5%で付着帯電量がほとんど変化していないのに対して、添加量0%と0.05%では付着帯電量が低下してゆくことが分かった。この付着帯電量の低下は従来の帯電量測定でよく見られた傾向であり、被塗物に付着する塗料粒子の粒子径が低付着量で粒子径が小さくなることに影響されていると考えられる。一方、添加量0.2%のときのみ付着帯電量が増加していることが分かった。

スプレーガンからスプレーされる塗料粒子の帯電が変動しないとすれば、付着帯電量は塗装が進んでもほぼ一定であると考えられるが外添剤の添加量によって帯電量が大きく異なる結果となった。

3.2.2 気中帯電量測定

前記の付着帯電量は被塗物に付着した塗料粒子を捕捉して測定しているが、塗着しない粒子の影響も確認するため塗装空間中の塗料粒子を捕捉するため気中帯電量測定を行った。付着帯電量と気中帯電量を比較では、塗装時間5秒での付着、気中それぞれ帯電量測定を行い添加量の影響を図7のように確認した。添加量0.05%で高い帯電量となることは気中帯電量測定でも同様であり、ほぼ同じ測定値であった。一方、添加量0.2%、0.5%ではそれに対して低い帯電量であったが、付着帯電量と比較しても気中帯電量が低くなった。この要因として、帯電の高い側の粒子が被塗物に付着し低い側の粒子が付着し難いことが考えられる。

各測定で捕捉した塗料粒子を比較するため、付着帯電量測定での付着量と気中帯電量測定の気中塗料密度を図8に示す。付着量が添加量に対してそれほど大きく変動していないのに対して、気中塗料密度は大きく変化している。図7の帯電量と比較すると、スプレーされる塗料粒子の帯電量が低い場合、塗装空間中に浮

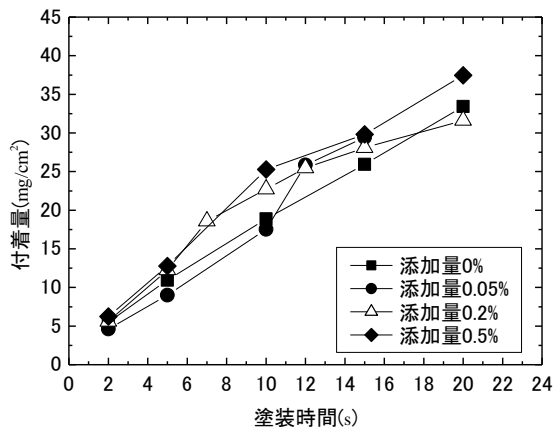


Fig.5 塗装時間と付着量の関係

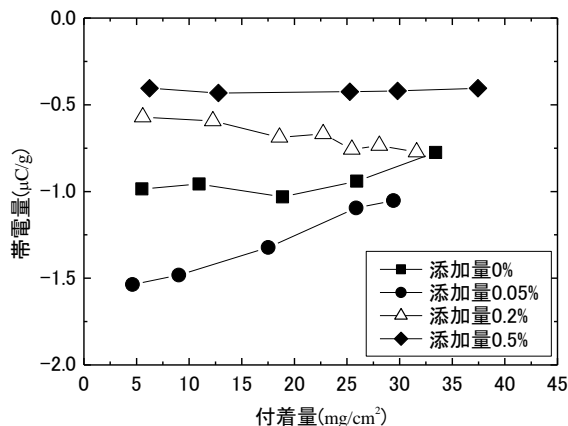


Fig.6 付着量と付着帯電量の関係

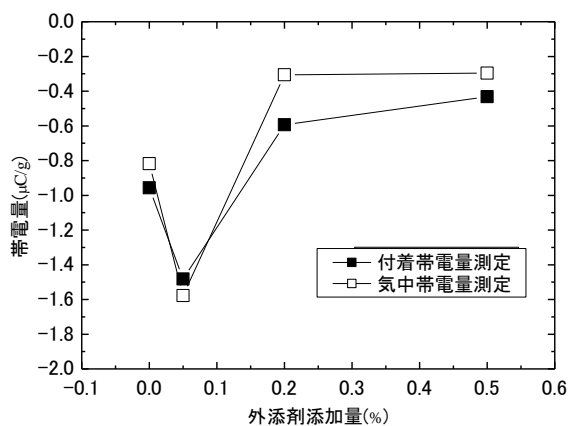


Fig.7 付着帯電量と気中帯電量の比較

遊する塗料粒子が多くなるため被塗物への付着量が確保されたと考えられる。さらに、図 9 に示す気中帯電量と気中塗料密度比較では、帯電量が高くなると気中塗料密度が低くなっている。スプレーガンからの塗料の吐出量は添加量に関わらず一定（約 150g/min）であったことから、塗料粒子の帯電によってスプレー時の噴霧パターンの拡がりに影響し気中塗料密度の変化として測定されたと結論づけられる。

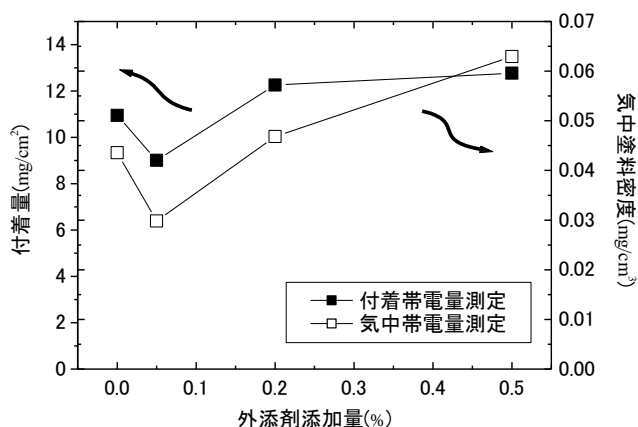


Fig.8 付着量と気中塗料密度の比較

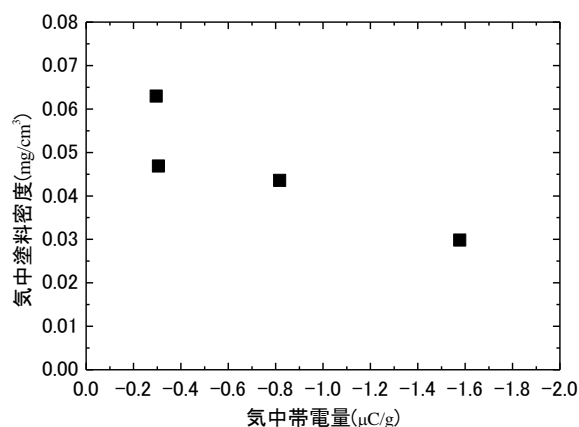


Fig.9 気中帯電量と気中塗料密度の比較

3.3 帯電減衰性測定結果

図 10 の粉体塗料の帯電減衰時間の比較から添加量による影響は殆ど確認されず帯電を保持していた。また、添加量が最も多い 2% の場合でも減衰時間にほとんど影響していないことが分かった。この減衰時間から、付着帯電量測定にかかる時間（1 分以下）では自然放電せず測定結果への影響は僅かであることが分かった。

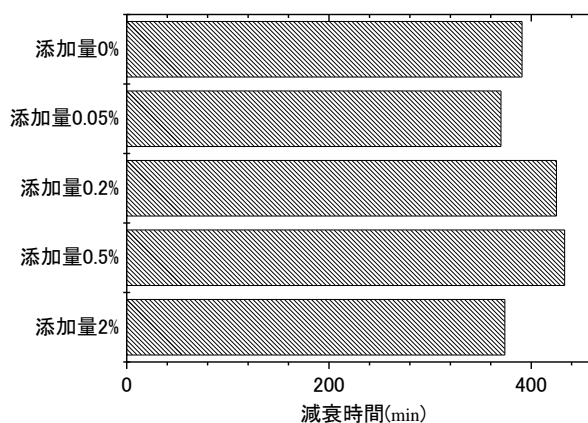


Fig.10 塗料の帯電減衰時間の比較

4. 結言

本実験で利用した粉体塗料は外添剤の添加量のみを変化させて帯電量測定を行った。それにも関わらず、被塗物上へ付着した塗料粒子の帯電量に大きな違いとして測定され、付着量や塗膜の平滑性異常に影響していた。塗装空間中で塗着しない粒子も含めて捕捉して測定することで、外添剤がスプレー時の噴霧パターンにも影響していることが分かった。下記の結果から外添剤の添加量としては 0.2% が適当と考えられ、製品での添加量の妥当性が確認できた。

- ・塗膜の平滑性異常が比較的出にくいのは帯電量が低い条件であったこと
- ・噴霧パターンにも影響の少なく測定箇所では比較的高い塗料密度を確保していたこと

また、気中帯電量測定装置では静電塗装時の溶剤塗料や水性塗料でも同様の測定が可能であり、静電塗装技術や塗料開発における塗料粒子の挙動把握に展開できると考える。

引用文献

- 1) 梅澤俊輔, 山口智責, 樋口直之, Mohammed Rafiqul ISLAM, 第 47 回粉体に関する討論会講演論文集, p.95 (2009)
- 2) 梅澤俊輔, 西垣敏, 堀内孝司, 芝克哉, 粉体工学会 2013 年度春季研究発表会講演要旨集, pp.59-60 (2013)