

論 文

静電粉体塗装の特性に関する研究(第2報)

塗着効率、粉体付着力に関する報告

高橋 朗*, 高瀬 公宥**, 加固 博 敬**, 小林 信夫**

(1980年2月18日受理)

On the Characteristics of Electrostatic Powder Coating (Part 2)

Deposition Efficiency and Adhesion of Coating Layer

A. TAKAHASHI,* K. TAKASE,** H. KAKO** and N. KOBAYASHI**

(Received February 18, 1980)

Through the research of the deposition efficiency and the adhesion of unfused powder layer in the electrostatic powder spray coating, the following results were derived. (1) The charge of powder more than $1.6 \mu\text{C/g}$ gives at least 95 percent efficiency. (2) The deposition efficiency becomes constant when the intensity of applied electric field exceeds 1kV/cm . (3) The adhesion of unfused powder layer increases with flowed charge which consists of charge on powder per mass and free ions through the powder layer. And it gets maximum value just before the back discharge starts.

1. まえがき

静電粉体塗装は、その塗着原理上、実用化の成否を支配する重要な要素である塗着効率、粉体の付着力、塗面に見られるクレータ状の欠陥など、静電気現象により説明される事象が多く見受けられる。われわれは、静電粉体塗装実用化のために、これらの事象の基礎的な調査、実験を行なった。この結果のうち、主として粉体塗装時のガソおよび被塗物間の静電気現象とクレータ状塗面欠陥の発生条件に関するものを前報¹⁾として報告した。本報では静電粉体塗装法の塗着効率とこれを支配する基本的因子の関係についての調査結果を報告する。さらに、塗着粉体層の付着力と、前報でクレータ状塗面欠陥の発生原因として明らかにしたコロナイオン電流との関係についても調査、検討を行なったので、この結果についてもあわせて報告する。

2. 現状コロナ利用ガソの問題点

市販されている、粉体の帶電にコロナ放電を利用したガソ3種、A、BおよびCについて塗着効率を調査した結果、図1に示すように、それぞれ82%、80%および

56%であった。塗着効率の最も良いガソAの吐出し粉体量に対する塗着効率の関係を、ブース風速0m/min、ガソおよび被塗物とも固定の条件で調査した結果を図2に示す。なお、使用したガソ3種の詳しい内容については後述する。

図1および図2から三つの問題点が指摘できる。第1の問題点はガソによる塗着効率の差が大であること、第2は実使用状態に比べ塗着効率上有利²⁾と考えられる無風ブースでのテストにもかかわらず、いずれのガソも15%以上の塗料が無駄になること、第3は塗着効率の低下が高速塗装に必要な大吐出し量下で生じることである。実用上では塗着粉体の付着力も重要な問題点である。実用塗装ラインでは粉体塗装後、焼付け炉に至るまでの被塗物搬送過程でブース空調送風および被塗物自身の振動により付着粉体層に剝離力が働くことは避けられず、強力な付着力を有することが粉体塗装においては必要条件になっている。一般にコロナ放電を利用した市販のガソには、この付着力に関する問題は好ましいことに生じていないが、前報で報告したように、コロナ放電を利用したガソには過剰なコロナイオンによるクレータ状塗面欠陥発生の問題がある。一方、コロナイオンを発生しない摩察帶電を利用した付着粉体層にはクレータの発生はないが、付着力上での問題があると報告されている³⁾。

*,** トヨタ自動車工業株式会社 (471 豊田市トヨタ町1)

Toyota Motor Co., Ltd., 1, Toyota-cho, Toyota
471, Japan* 第2生産技術部 Body Production Engineering
Department, ** 生産技術開発部 Manufacturing
Development Department

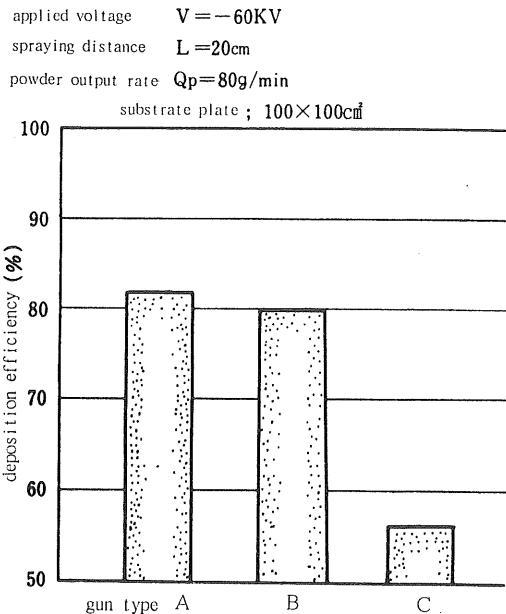


図 1 市販ガン3種の塗着効率

Fig. 1 Difference of deposition efficiency among three types of spray guns.

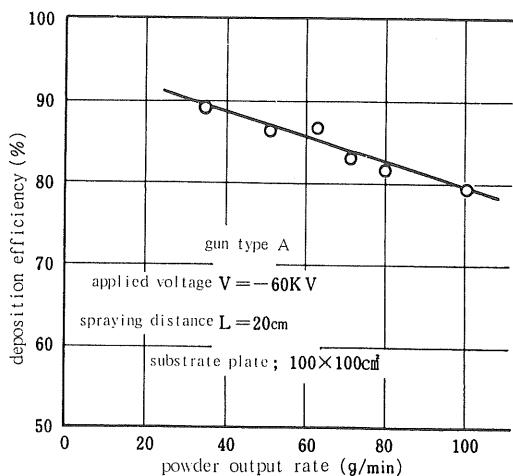


図 2 市販ガン A の粉体吐出し量と塗着効率の関係

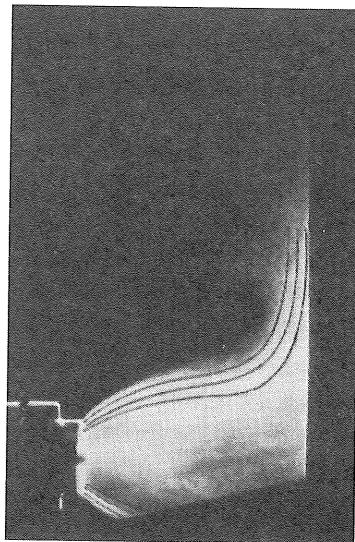
Fig. 2 Deposition efficiency as a function of powder output rate.

3. 塗着効率および付着力の予想関係因子

3.1 静電粉体スプレイ塗装の基礎因子

図3は平板状被塗物の中央に幅4mmのスリットを設け、光を被塗物後方より照射することにより得た塗装中の粉体流の断面写真であり、図中の線は予想される空気の流線を書き加えたものである。

図4はコロナ放電を利用したガンによる塗装過程を、



$V = -60\text{ kV}, L = 20\text{ cm}, Q_p = 80\text{ g/min}$

図3 塗装中の推定空気流線

Fig. 3 Estimated air stream line during powder spray coating.

図3を参考にして、3過程に分割、モデル化して示したものである。図5に塗着効率および付着力と静電粉体スプレイ塗装の基礎因子の関係を、図4をもとにして整理して示す。

コロナ放電を粉体の帯電に利用したガンでは、図5に示す因子①、②、④が互いに密接に関連しており、これら因子を独立に変化させることは前報に報告したとおり不可能である。また、因子③の搬送エア量も、前報の図1に示した流動層を利用した通常の粉体供給装置の場合には、粉体の吐出し量と独立に変化させることが困難な場合が多い。このため、従来の塗着効率に関する報告は、操作因子であるガン印加電圧、ガン-被塗物間距離などで論議するが多く、より本質的な因子に関する実験研究は少ないよう見受けられる。われわれは塗料供給装置およびガンに工夫を加え、⑤を除く全因子を独立に扱うことを可能にし、図4に示した塗着効率と付着力に対する各因子の関係を明らかにする実験を行なった。なお、前報で述べたように、逆電離が塗面に発生すると塗着効率が激減すると予想されるため、塗着効率に関する実験はいずれも逆電離の発生しない条件下で行なうこととした。

4. 実験装置および方法

4.1 粉体帶電量の制御（摩擦帶電ガンの開発）

予備実験結果として、図6に前報で検討した市販ガン3種A、B、Cの印加電圧の極性の違いによる粉体帶電

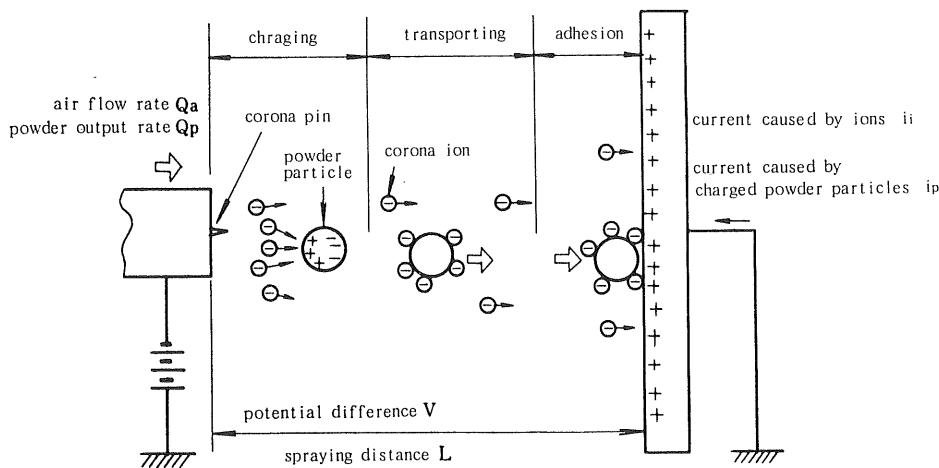


図4 静電粉体スプレー法の塗装原理

Fig. 4 Schematic representation of electrostatic powder spray coating.

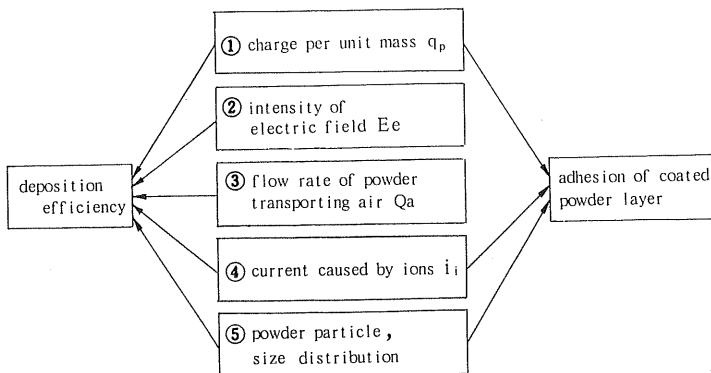


図5 塗着効率および付着力に対する予想関係因子

Fig. 5 Ruling factors of deposition efficiency and unfused powder layer's adhesion.

量の差を示す。図7に3種のガンの材質と供試粉体の帶電列上の関係を示す。両図より次のことが推測される。

各ガンによる粉体帶電量は、ガン印加電圧の極性と粉体とガン材質の摩擦により粉体に生ずると予想される帶電極性が一致する場合には大になり、逆の場合には小になる。つまり、粉体の帶電量の大小には粉体とガンのあいだで生じる摩擦帶電量も大いに関係していると思われる。

上記の推測を確かめるために粉体塗装装置各部における粉体の摩擦帶電履歴を調査した。図8に粉体の摩擦帶電量測定部位を示す。図9にガン印加電圧を0Vにして得た、図8に示した測定部での粉体の摩擦帶電量の実測例を示す。図9より、粉体はかなり各部で摩擦帶電していることがわかり、推測の正しいことが確かめられた。また図9は、エゼクタ、ホース、およびガンの材質を変

表1 粉体塗装装置の使用材料

Table 1 Materials used for coating equipments.

Tested materials	
Venturi ejector	Polyamide, PTFE, Aluminium
Powder transporting tube	Polyethylene, Polyamide
Spray gun	Polyamide, PTFE, Aluminium

えることにより粉体の帶電量を制御可能であることも示している。われわれは粉体の帶電量をガン印加電圧に独立に変化させる手段として、この摩擦帶電現象を利用することにした。表1に粉体帶電量を変化させるために検討した粉体塗装装置各部の材質を示す。表1に示した各部材質の組合せと、摩擦帶電を積極的に行なわせるよう

改良したガンにより、粉体の帯電量をガン印加電圧に関係なく約 $0.4\sim1.6 \mu\text{C/g}$ まで変化させることができた。

なお、この実験で粉体帯電量の制御を目的として粉体の摩擦帶電を積極的に行なわせるよう改良したガンは、コロナイオンの発生がないという優れた特徴を有するために、そのまま粉体塗装用ガンとして使用することもできるが、その後さらに改良を行ない実用塗装ラインで使用に至っている。この詳しい内容については後日報告す

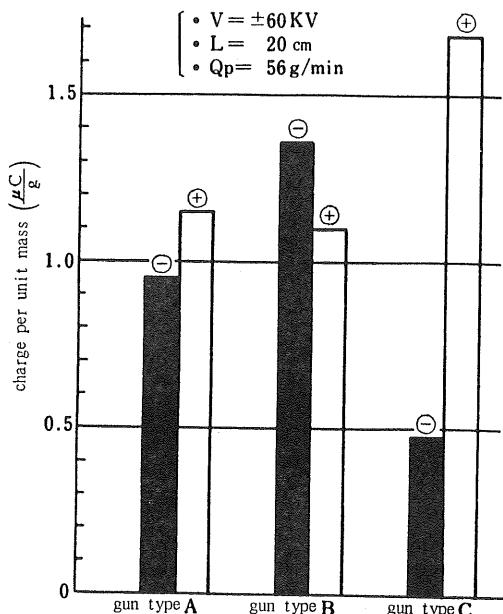


図 6 ガン印加電極極性変換による塗着効率の変化

Fig. 6 Difference of charge per unit mass caused by the change of polarity of applied voltage.

る予定である。

4.2 供試粉体および塗装装置

実験に供した粉体は前報に紹介した実験で用いたエポキシ系粉体のほかに、製造メーカーによる差を見るために一部の実験に他のメーカーの同じエポキシ系粉体を用いた。以下前者を P_1 粉、後者を P_2 粉と呼ぶ。図 10 に P_1 粉と P_2 粉の摩擦帶電量の差を示す。ここで使用した実験ガンは摩擦によってのみ帶電するガンであるので、 P_1 粉、 P_2 粉はともに同一エポキシ系粉体であるにもかかわらず、製造メーカーの違い(粉体組成の違い)により大幅な摩擦帶電量の差が生じていることがわかる。先に述べたように、粉体は粉体塗装装置各部で摩擦帶電しており、それが最終の粉体帶電量に影響を与えているので、図 10 は粉体の帶電量にとって粉体組成が重要であることも意味している。今後の粉体組成と摩擦帶電量に関する詳しい研究が望まれる。

なお、今回の研究では、 P_1 粉と P_2 粉の粒度分布がほとんど同一であったため、空中での両者の運動には差が

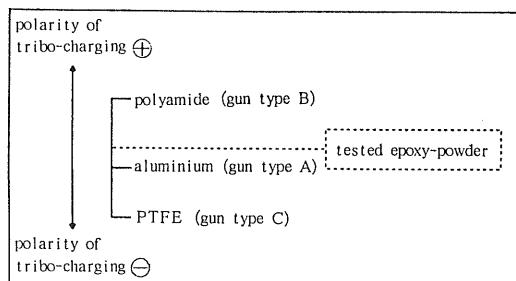


図 7 ガン構成物質の帶電列

Fig. 7 Tribo-charging series of gun materials and tested epoxy-powder.

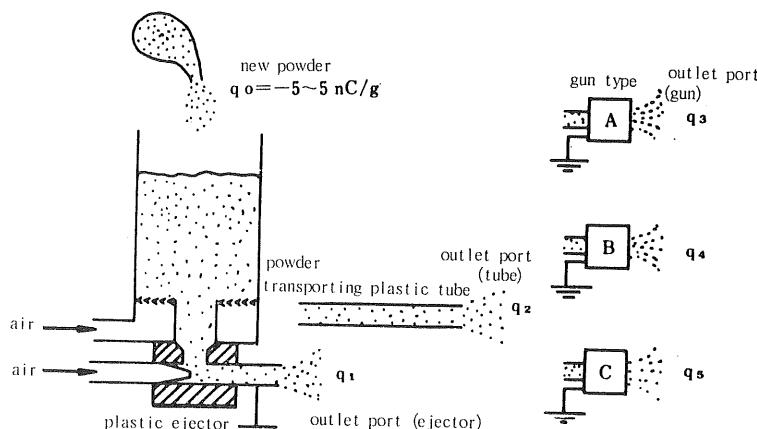


図 8 塗装装置各部の粉体の摩擦帶電量測定部位

Fig. 8 Measuring position of the tribo-charging in a coating equipment.

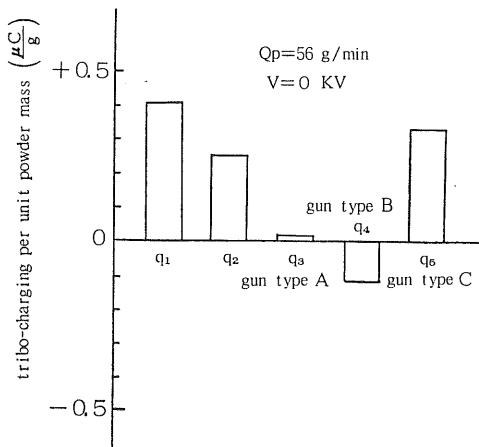


図 9 塗装装置各部での粉体の摩擦帶電量

Fig. 9 Tribo-charging per unit powder mass in various position of the coating equipment.

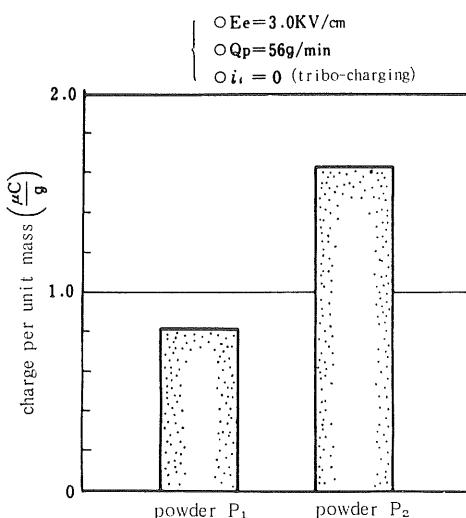


図 10 製造メーカーの異なる粉体の摩擦帶電量

Fig. 10 Difference in tribo-charging per unit mass between two epoxy-powders.

生じないとして扱った。

図 11 に実験に供した電極の配置を示す。同図に示すリング状電極は、電界の集中が生じないように、角稜部はすべて丸めコロナ放電が発生しないようにしてある。また、電極形状を内径 300 mm、外径 500 mm と大型にしたのはガンと被塗物間の電界を平等電界に近くするためである。

4.3 粉体搬送空気量およびイオン風速の測定方法

図 12 にガスより吐き出される粉体搬送空気量の測定方法を示す。図 12 に示す測定方法では測定系の背圧に

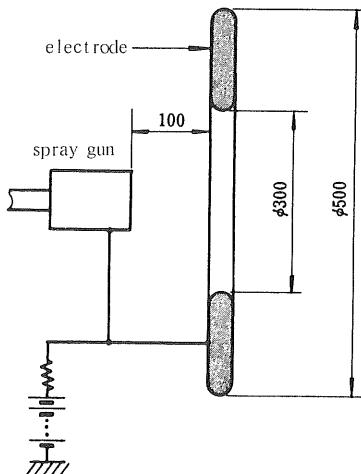


図 11 テスト装置の電極配置

Fig. 11 Electrode arrangement of the testing fixtures.

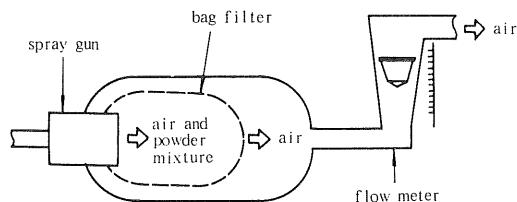


図 12 粉体搬送空気量測定法

Fig. 12 Measuring method of flow rate of powder transporting air.

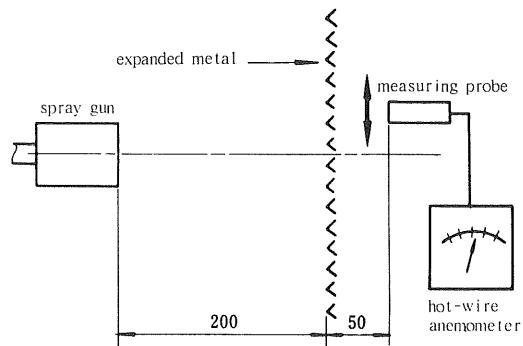


図 13 イオン風速測定方法

Fig. 13 Measuring method of air flow induced by ions from spray gun.

よる影響があるため、測定値は実際の粉体搬送空気量とは異なる。そこで、実際の粉体搬送空気量は、測定値を空気圧：粉体吐出し量曲線から較正して求めた。

図 13 にイオン風の測定方法を示す。予備実験の結果、

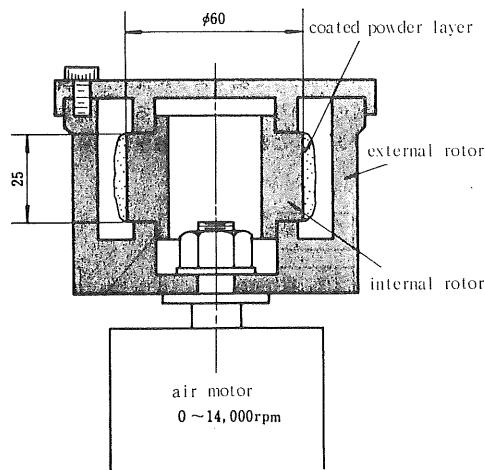


図 14 粉体付着力測定装置

Fig. 14 Fixtures for measuring the adhesion of coated powder layer.

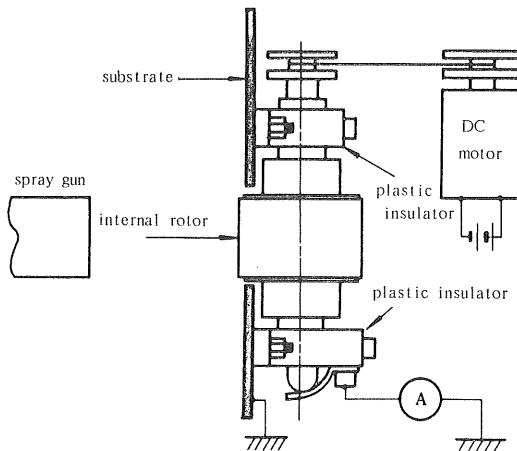


図 15 内部ロータへの粉体塗布方法

Fig. 15 Powder coating method to internal roter of testing fixtures.

イオン風の風速分布はガス中心軸線に対しほぼ対称であったので、測定は軸線に対し一半径方向のみで行なつた。

4.4 付着力測定装置¹⁾ および測定方法

図 14 に塗布粉体の被塗物への付着力の測定装置の構造を示す。付着力は粉体層に加える遠心力と内部ロータ上に付着残存する粉体量との関係で調査した。なお、付着力測定装置を内外 2 重ロータ構造としたのは、ロータの回転による気流により粉体層に剪断力が働くことを防ぐためである。また、この装置で粉体層に加えることのできる剥離力は 0~6,500 G である。

図 15 に付着力測定装置の内部ロータへの粉体塗布方

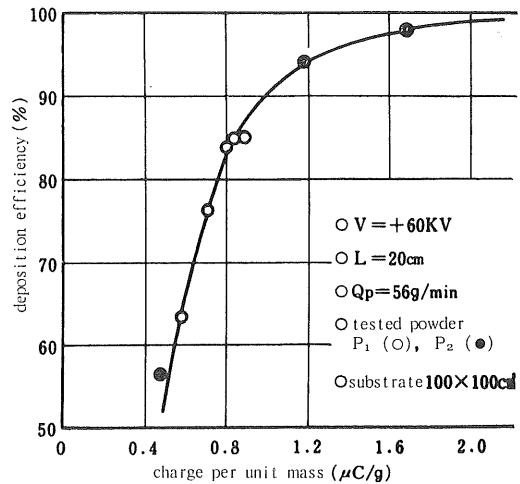


図 16 塗着効率に対する粉体帯電量の効果

Fig. 16 Deposition efficiency as a function of charge per unit mass.

法を示す。粉体をロータ外周全面に均一に塗布するためにはロータは一定速度で回転させた。また、内部ロータ表面の塗布粉体層へ流入するイオンシャワ量は、まず内部ロータへ摩擦帶電ガスによりイオンシャワなしの状態で粉体塗装を行ない、次にコロナ放電によるイオンシャワのみを照射し、必要に応じ照射時間の調整で制御した。

5. 実験結果および考察

5.1 塗着効率に関する実験結果

5.1.1 粉体帯電量と塗着効率の関係

図 16 は粉体帯電量と塗着効率の関係を求めた結果である。図 16 で白丸は P_1 粉、黒丸は P_2 粉により得られた値である。図 16 より、粉体帯電量の塗着効率に対する影響がきわめて大きく、粉体帯電量が $1.6 \mu\text{C/g}$ 以上になるとほぼ 100% に近い塗着効率が得られることがわかる。なお、前報の図 14 に示したように、通常の塗装条件下でのコロナ放電を用いたガスによる粉体の帯電量は $0.8 \sim 0.9 \mu\text{C/g}$ である。このことより、通常のコロナ利用ガスが 85% 程度の塗着効率しか得られない理由は粉体帯電量の不足によるものと思われる。

5.1.2 平均電界強度と塗着効率の関係

図 17 に粉体帯電量を一定に保って、平均電界強度を変化させた場合の塗着効率の変化を示す。この図より、

- (i) 印加電界の塗着効率に対する効果は比較的低電界で飽和し、飽和後は印加電界を 3 倍にしても塗着効率は 3 ~ 5 % 増加するにすぎない、
- (ii) 印加電界がゼロでも 50 ~ 60 % の塗着効率が得られる、

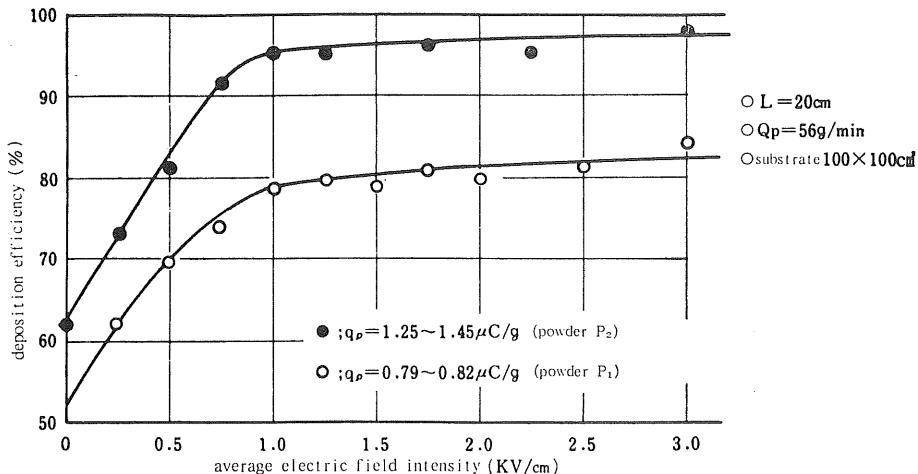
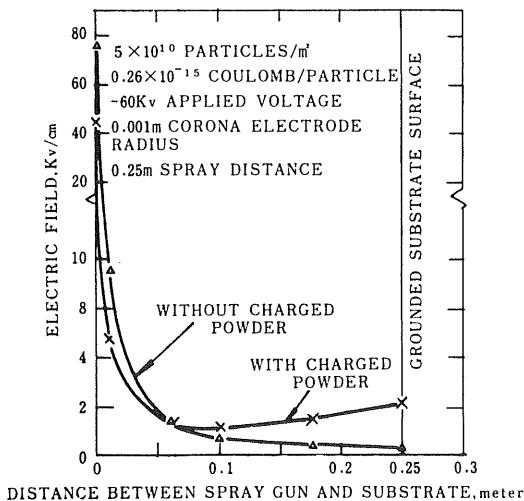


図 17 塗着効率に対する電界の効果

Fig. 17 Deposition efficiency as a function of electric field intensity.

図 18 ガン-被塗物間電界強度⁵⁾Fig. 18 Field between the spray gun and the substrate with and without particle space charge in a typical electrostatic powder coating condition.⁵⁾

ことがわかる。この二つの結果のうち、(i)の結果は、粉体帶電量さえ確保できれば高電界は必ずしも必要ではないことを示し、静電塗装の安全対策を考えるうえで重要な意味を持つと考える。一方、(ii)の結果は、荷電粉体自身の作る空間電荷電界によるクーロン力とイメージ力に基づく現象と考えられる。Souheng⁶⁾はこの報告と同様な自由イオンが存在しない場合のガンと被塗物間電界強度を計算し、図 18 に示す結果を報告している。同図より、帶電粉体による空間電荷電界はガンと被塗物間電界に大きな影響を及ぼしており、帶電量が大であれば

印加電界がゼロでも相当大きな空間電界をガンと被塗物間に形成させていると予想される。図 17 における印加電界ゼロでの塗着効率 50~60% は Souheng の計算結果の正しさを裏付けているものと考えられる。

なお、結果(ii)はガンに高電圧を印加しても電界の形成されない凹部の塗装に際し重要な手段を与えるものとわれわれは考えている。

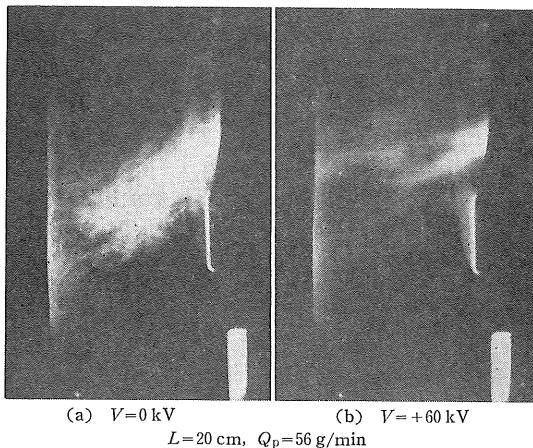
以上は印加電界の平板被塗物の塗着効率に対する効果についての結果であるが、図 19 および図 20 に示すように電界は粉体の塗布パターンを変更させる効果も有する。

図 19 は図 11 に示す実験装置での例であり、図 20 は前報に示したガン A での例である。リング状電極を使用した図 19 で、とくに電界の粉体塗布パターンの変更への効果が著しいことがわかる。電極形状をうまく被塗物形状に合わせて設計すれば、希望の塗布パターンを得ることができると考えられる。なお、図 19 および図 20 は図 4 と同じ方法により得たものである。

5.1.3 粉体搬送空気量と塗着効率の関係

図 21 は塗着効率に対する粉体搬送空気量の影響を、ガン A を用いて、図 20 に示す塗布パターンの状態で調査したものである。粉体搬送空気 1 l/s の増加が約 2.3 % の塗着効率の低下をもたらすことを同図は示している。粉体のガンへの搬送には通常空気を用いているが、図 21 は塗着効率を大にするには、搬送空気量の少ない粉体塗装装置、つまり粉体搬送ホース長さの短い設備が必要であることを示している。

図 22 は粉体搬送空気量の塗着効率への影響を詳しく調査する目的で、ガン A による塗着量分布を調査したも

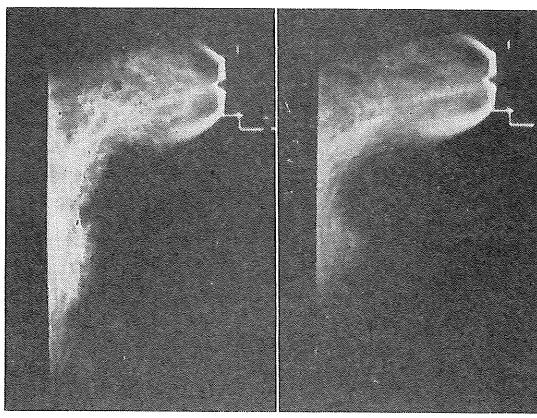


(a) $V=0 \text{ kV}$
 $L=20 \text{ cm}, Q_p=56 \text{ g/min}$

(b) $V=+60 \text{ kV}$

図 19 印加電界による塗布パターンの変化

Fig. 19 Spray pattern change by applied voltage.



(a) $V=0 \text{ kV}$
 $L=20 \text{ cm}, Q_p=56 \text{ g/min}$

(b) $V=-60 \text{ kV}$

図 20 ガン A における印加電界によるパターンの変化

Fig. 20 Spray pattern change by applied voltage with gun A.

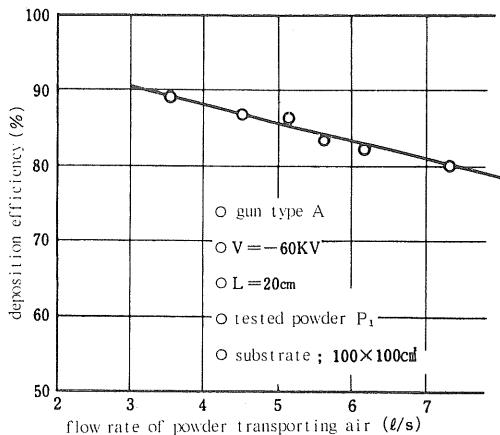


図 21 塗着効率に対する搬送エア量の効果

Fig. 21 Deposition efficiency as a function of flow rate of powder transporting air.

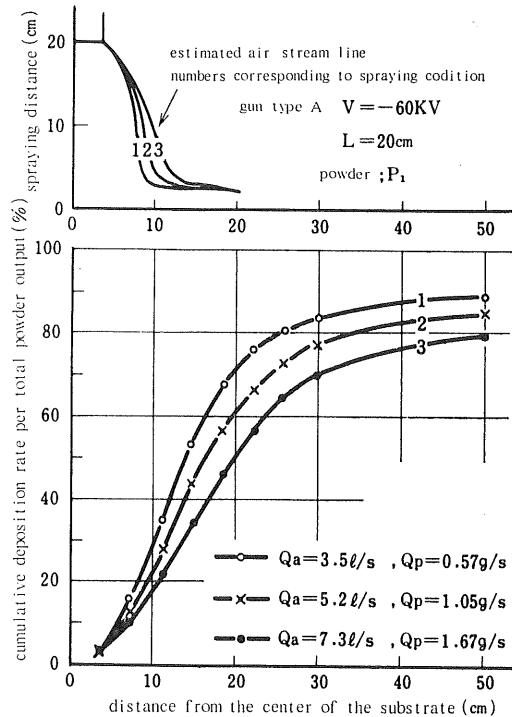


図 22 搬送エア量による塗着量分布の変化

Fig. 22 Curve of cumulative deposition rate per total powder output vs. coating condition.

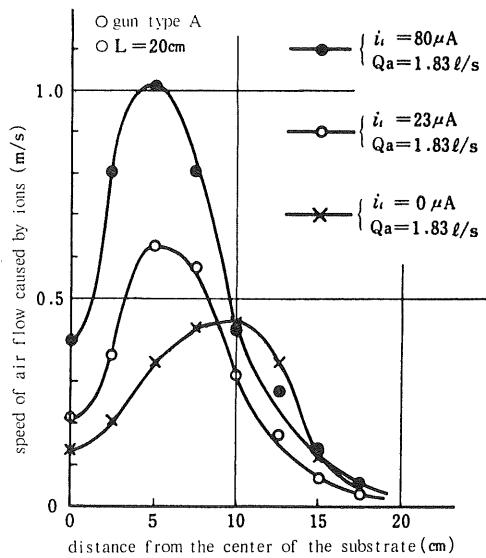


図 23 イオン風速分布

Fig. 23 Pattern change of air flow caused by ions vs. spraying condition.

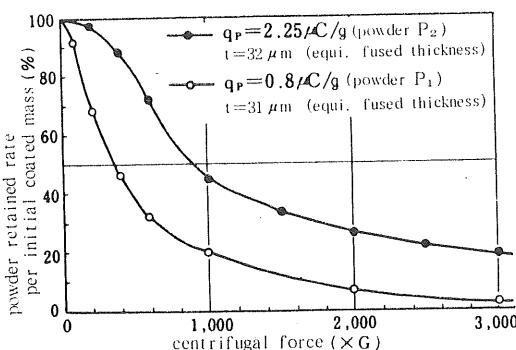


図 24 付着力に対する粉体帶電量の効果

Fig. 24 Adhesion of coated powder layer vs. charge per unit mass.

のである。同図には塗装中の粉体流断面写真より判断した空気の流線もあわせて示しておく。図 22 より、粉体流が被塗物に垂直に向かっている領域内で付着する粉体は全吐出し粉体量の 20% 強にすぎず、残りの 50~60% の粉体は粉体流が被塗物に平行になってから付着することがわかる。また同時に空気量(粉体吐出し量)が増加するに従い、吐出し量分布曲線の勾配がゆるやかになり、空気流が粉体の付着を妨げていることがわかる。

図 23 はコロナ利用ガスにおけるコロナイオンによるイオン風の風速を、平板状被塗物を想定した金網の裏側で測定した例である。イオン電流が増加するに従いイオン風速が大になり、かつ風速分布が絞られてくることがわかる。同図よりイオン風の風量を概算すると、イオン電流 80 μA の場合は約 0.85 l/s となる。図 21 は、粉体搬送空気量の 1 l/s の増加は約 2.3% の塗着効率の低下をもたらすことを示しているので、大イオン電流の引き起こすイオン風は数%の塗着率低下をもたらすと推測されるが、この点についてはさらに検討が必要である。図 17 に示す塗着効率への印加電圧の効果が効果飽和後、印加電界を 3 倍にしても塗着効率は 3 ~ 5% しか増加しないことを考えると、上記イオン風により予想される塗着効率の低下は、塗着効率の向上をはかるうえで十分検討に値するものと考える。

5.2 粉体の被塗物への付着力に関する検討結果

5.2.1 粉体帶電量と粉体の付着力

図 24 に付着粉体層に垂直に加わる遠心力による剝離力と付着粉体の残存率の関係を、コロナイオンを発生させない摩擦帶電型のガスを用いて調べた結果を示す。この図より、粉体の帶電量が大になると粉体層の付着力が大になることがわかる。

Bright³³ らは、摩擦帶電にて塗装した粉体層は付着力は弱く、200 G の剝離力により付着粉体残存率は 50%

になると報告している。一方、図 24 に示すように 200 G の剝離力での付着粉体残存率は、粉体帶電量 0.8 $\mu\text{C}/\text{g}$ の場合は 68%，同じく 2.25 $\mu\text{C}/\text{g}$ の場合は 97% と Bright らの報告より高い値となっている。これは、Bright らの得た摩擦粉体帶電量が 0.3 $\mu\text{C}/\text{g}$ と小さいためであり、粉体帶電量が大になれば十分大きな付着力が得られるとわれわれは判断した。

なお、現状の自動車車体塗装工程で、車体搬送時に車体に作用する車体自体の振動による剝離力を実測した結果、最大の剝離力は 45 G であった。この剝離力により付着面を離れる粉体量は、粉体帶電量が 0.8 $\mu\text{C}/\text{g}$ の場合は 3 ~ 5%，同じく 2.25 $\mu\text{C}/\text{g}$ の場合は 0.5% 程度であることが図 24 よりわかる。したがって粉体帶電量が十分であれば、摩擦帶電でも実用上問題のない付着力が得られると考えられる。

5.2.2 自由イオン流(イオンシャワ)と付着粉体層の付着力の関係

図 25 は自由イオン流(イオンシャワ)が粉体層の付着力に与える影響を調査する目的で、単位面積当たりの流入電荷量と付着粉体残存率の関係を剝離力をパラメータにして調査したものである。図中、白抜き記号(□○△▽)は自由イオンがない摩擦帶電型のガスを用いたデータを示し、黒塗り記号(■●▲▼)はあらかじめ摩擦帶電型のガスで塗装した粉体層にコロナ放電による自由イオンのみを加えた場合のデータを示す。この図より、流入電荷量が 0.06 ~ 0.07 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 以下では、自由イオン流が粉体付着力を高める効果を持つことがわかる。しかし、流入電荷量が 0.06 ~ 0.07 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 以上になると、自由イオン流の付着力に対する効果は逆に下がる傾向のあることがわかる。図 25 は付着粉体層厚さが焼付け後 32 ~ 40 μm と比較的低膜厚での調査結果であるが、80 ~ 100 μm の高膜厚でも流入電荷量が 0.06 ~ 0.07 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で付着力が最大となる同様の結果を得た。

なお、この実験は使用ガスの都合上、粉体の帶電極性を正にして行なったが、前報に報告した図 18 と同じ、流入電荷量 0.06 ~ 0.07 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 以上および焼付け後膜厚 70 ~ 80 μm 以上の条件でのクレータ状塗面欠陥の発生がこの実験でも観察された。

前報でわれわれは静電粉体スプレー塗装で発生するクレータ状塗面欠陥について調査、考察を行ない、流入電荷量が大にもかかわらず低膜厚のためにクレータの発生が肉眼では認められない領域ではマイクロクレータが発生していると推察した。図 25 に示す粉体残存率が単位面積当たりの流入電荷量に対し最大値を持つ現象は、前報でわれわれの行なった推察が正しいことを間接的に証明しているものと考える。つまり、塗面への流入電荷量が

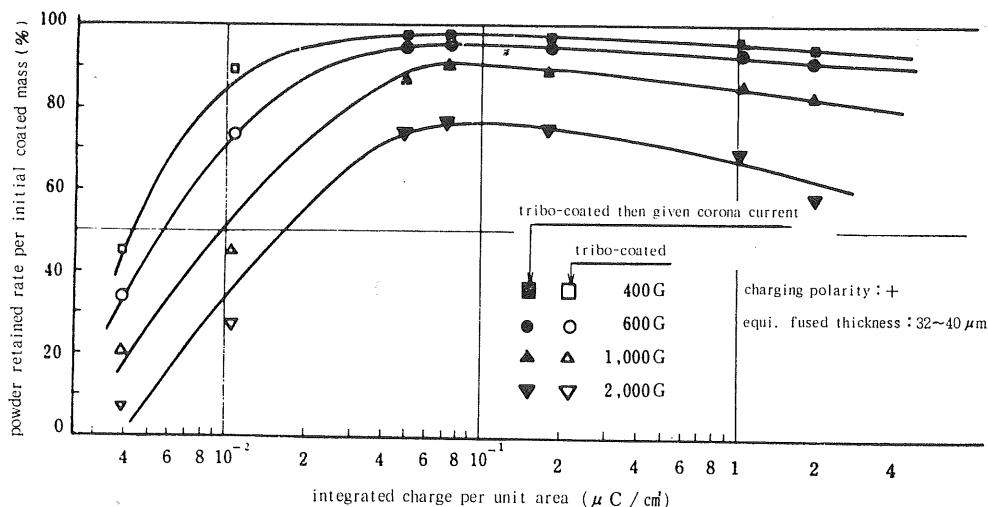


図 25 付着力と付着粉体層への流入電荷量の関係

Fig. 25 Adhesion of coated powder layer as a function of integrated charge per unit area.

十分大で逆電離に必要な $0.065 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 以上になると、粉体層に逆電離が発生し、この結果、付着粉体は除電され粉体の付着力が低下するのであり、粉体層が薄い場合は発生する逆電離によるクレータが小さいために目視できず、発生する逆電離が観察されないものと考えられる。

以上より、過剰な自由イオン流（イオンシャワ）は塗面品質ばかりでなく、粉体の付着力に対しても有害であるといえる。

6. む　す　び

この実験より得られた結果をまとめると以下のようになる。

静電粉体スプレー法において、

- (1) 粉体帶電量の塗着効率に対する効果はきわめて大きい。帶電量が $1.6 \mu\text{C}/\text{g}$ 以上であれば 95% 以上の塗着効率を得ることができる。これは、帶電量の増加に従い空間電荷電界も大となるため、静電気力の効果が相乗的に発揮されることによると考えられる。
- (2) 印加電界の塗着効率に対する効果は、 $1.0 \text{kV}/\text{cm}$ 程度で飽和し、飽和後は電界強度を 3 倍にしても塗着効率は 3 ~ 5 % 程度しか増加しない。

(3) 粉体搬送空気量が塗着効率を減少させる作用は大きく、5 % 程度の塗着効率低下は容易に生じうる。

(4) 付着粉体層の付着力は、流入電荷量（粉体帶電量と自由イオンの和）の増加に従い、粉体層が逆電離を起こすまで増加する。しかし、粉体層の逆電離発生後は、付着力は低下する。この粉体層の逆電離発生を引き起こす過剰な自由イオンは付着力上よくない。

最後に、この研究に際しご指導をいただいた東京大学増田教授に深甚なる謝意を紙面を借りて表させていただきます。

参 考 文 献

- 1) 高橋 朗, 高瀬公有, 加固博敬, 小林信夫: 静電気学会誌, 4, 3 (1980), 160.
- 2) 伊藤 政: 静電気学会誌, 1, 1 (1977), 29.
- 3) A.W. Bright: J. Oil Colour Chem. Assoc., 60 (1977), 23.
- 4) J.A. Cross: Ind. Finish. Surf. Coat., 27, 322 (1975), 4.
- 5) W.V. Souheng: Polym.-Plast. Technol. Eng., 7, 2 (1976), 206.