

第 124 回 CIS パートナー会議事録(一般様用)

開催日時 2022 年 8 月 21 日(日) 13 時~16 時

講師 竹内 学 様

テーマ 静電粉体塗装のブラシアップ



会議風景

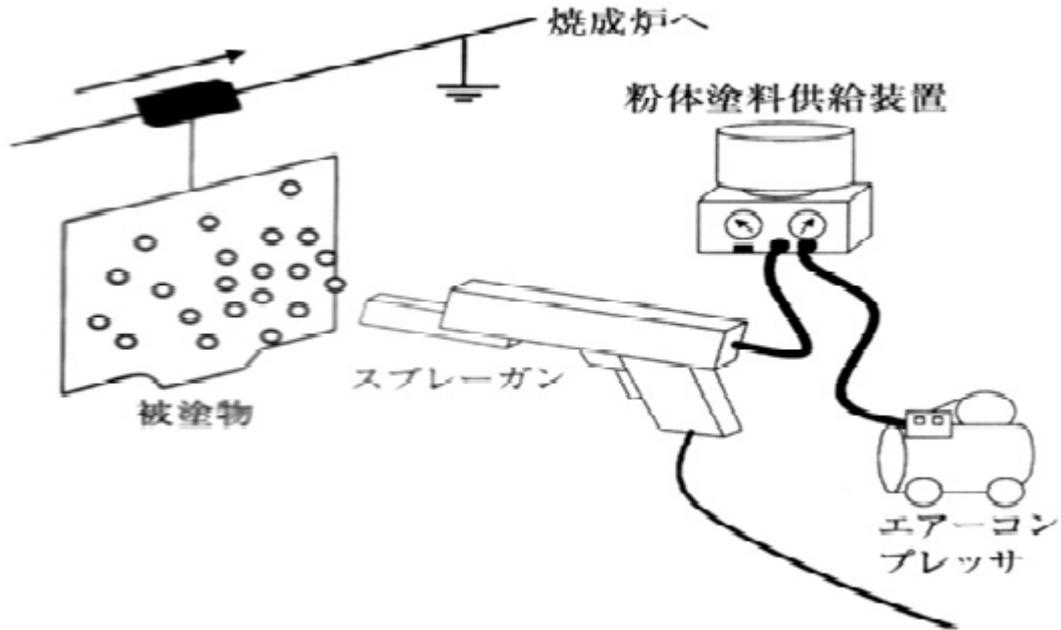


ZOOM 画面

本日の話題: 静電粉体塗装のブラッシュアップ t=13:46

以前、静電粉体塗装の紹介後 10 年近く経過し技術進歩が有り、最近の状況、技術進歩状況を報告します。

1) 静電粉体塗装(Electrostatic Powder Coating)のおさらい



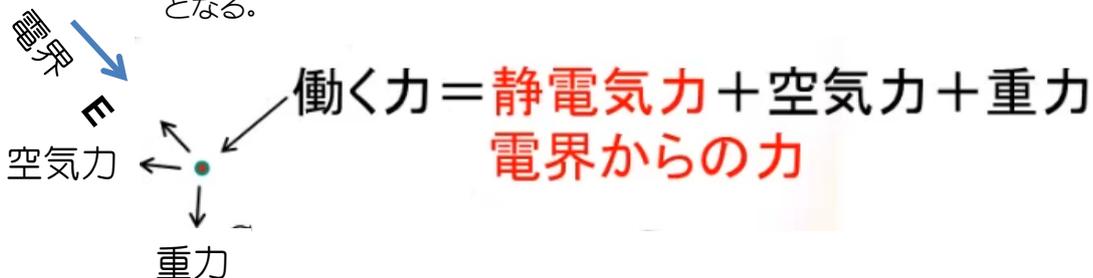
普通のペンキは蒸発しやすいシンナーとカトルエンのような有機溶剤の中に、絵の具・顔料を溶かし込んだもので、被塗装物体にこのペンキを塗りつけ、溶剤が蒸発し固形化した顔料が被塗装物体の表面に色のついた薄い膜として残すものである。

静電塗料は、粉体塗料はプラスチックと顔料(色のついた塗料)の混合物を粉体状にしたものである。。この粉体の大きさは、昔は 0.1mm~ 0.05mm φ 程度の比較的大きな粒状であった。スプレーガンの中で、放電させてマイナスイオンを発生させ粉体を帯電させる。

日塗装体(ワーク)をグランド電位に保ち、スプレーガンを+電位にすると粉体塗料を噴出するスプレーガンとワークの間に発生する電気力線により静電気が働く、従って

帯電した粉体塗料に

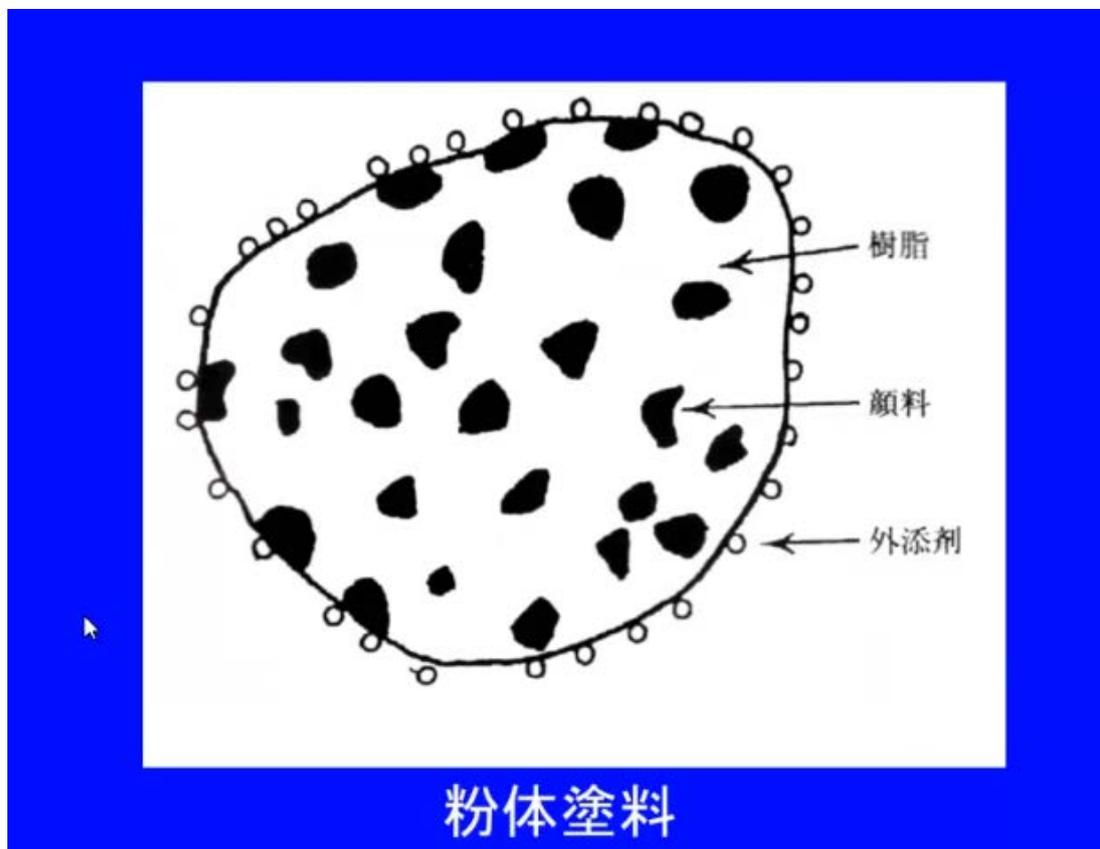
働く力は 静電気力+空気力+重力  
となる。



## 2) 粉体塗料

樹脂、顔料、外添剤からできており、外添剤は次の模擬図のように粒体の外側に付着する構造となっている。

外添剤は、粉体塗料を容器からエアガンまで空送するときに管状のホースの中をスムーズに流す目的で、粉体塗料表面にまぶすようにして用いる微粒子である。



## 3) 粉体塗装の長所

1. シンナー、トルエン、キシレンといった有機溶剤(VOC)を使用しないため、大気汚染、臭気、引火性などを回避できる
2. 1回の塗装で厚い、高性能塗膜の形成が可能(強度、耐薬品性、耐食性、耐候性)
3. オースプレーされた(被塗物に付着しなかった)粉体塗料を回収、再利用できる
4. 塗装ラインの自動化に適する
5. 有機溶剤に溶解し難い高分子量の樹脂も粉体塗料に使用できる

## 4) 粉体塗装の短所

1. 塗膜の表面平滑性が十分でない
2. 調色、色替が簡単でない
3. 薄い塗膜、美粧性塗膜の形成が不得意
4. 焼付け温度が高い
5. 現場施工に不向き

5) 実用例 (日本パウダーコーティング協同組合 HP より転載)



ホイール



ワイパー



道路標識



ガードレール

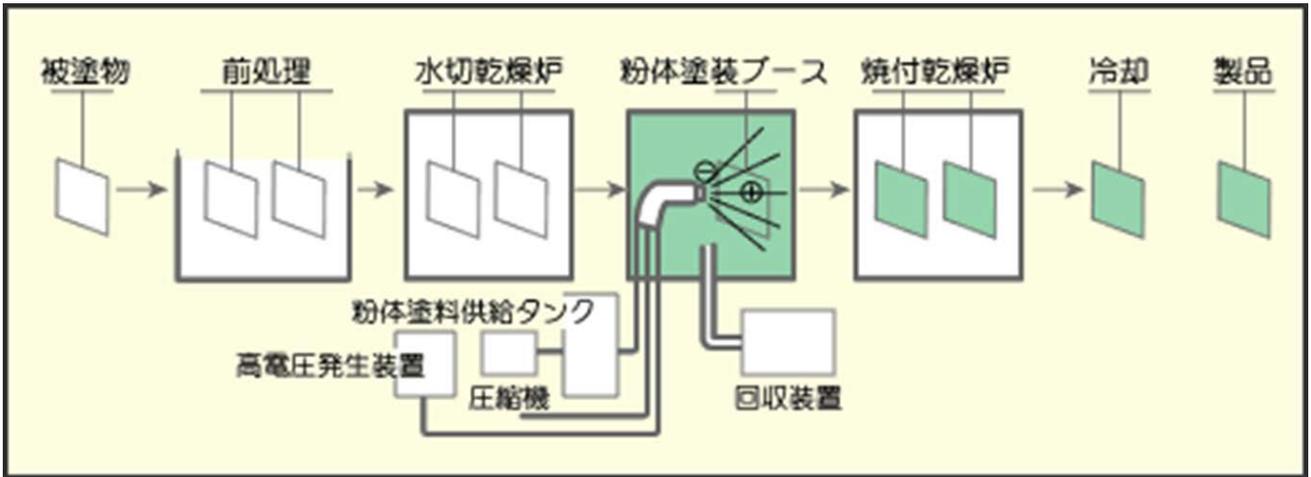


かご

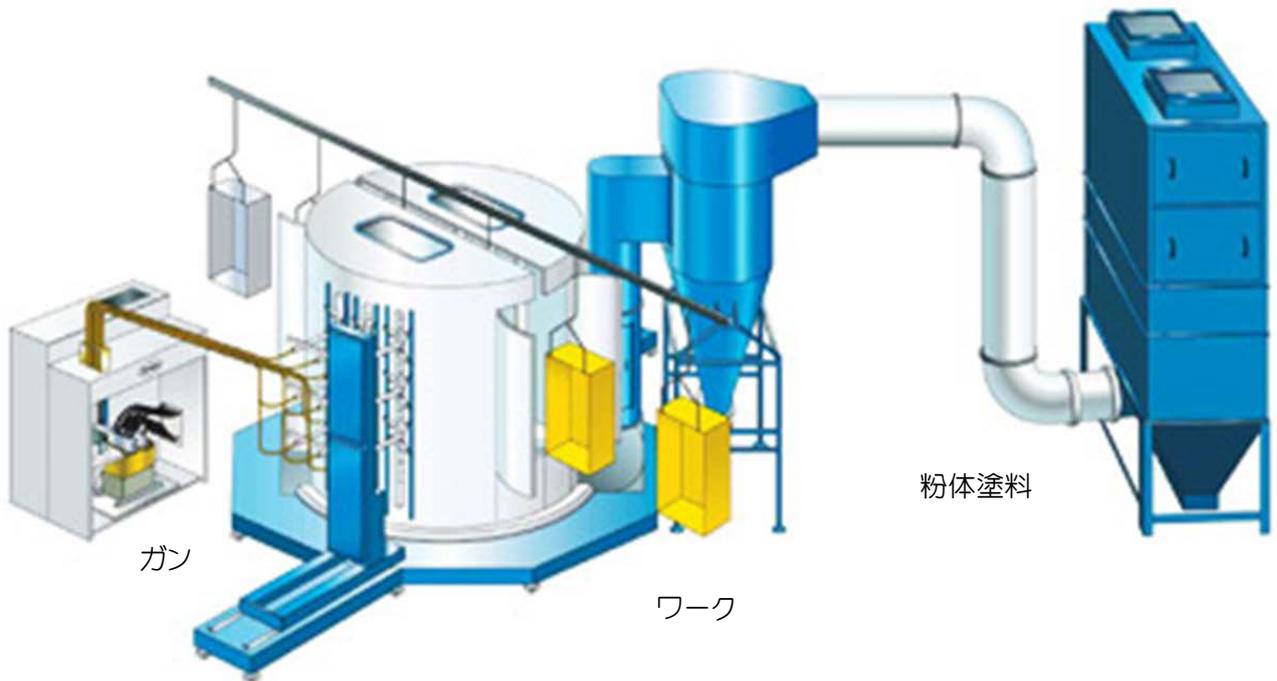


自転車とかご

6) 粉体塗装—静電スプレー法 (日本パウダーコーティング協同組合 HP)



7) 静電粉体塗装システム



大型で、多量な塗装に適している。

## 8) コロナ帯電スプレーガン

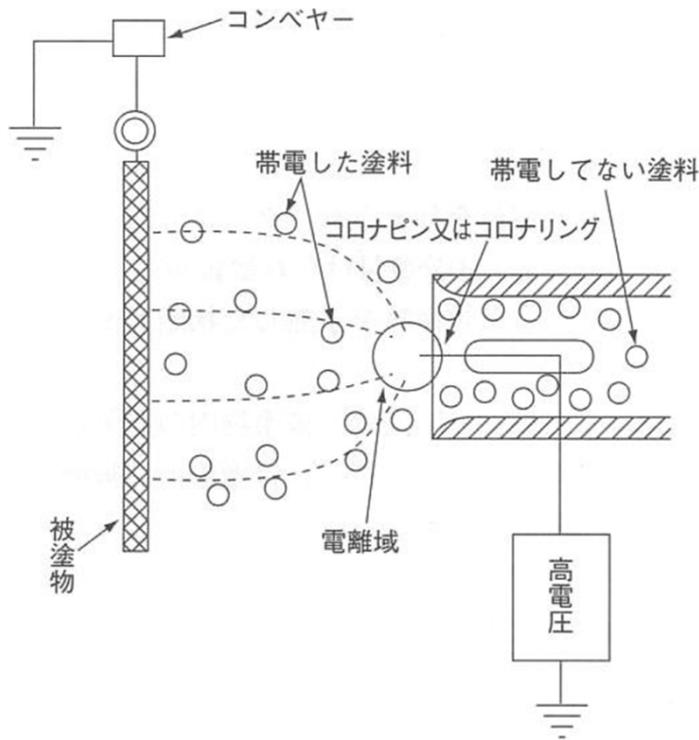


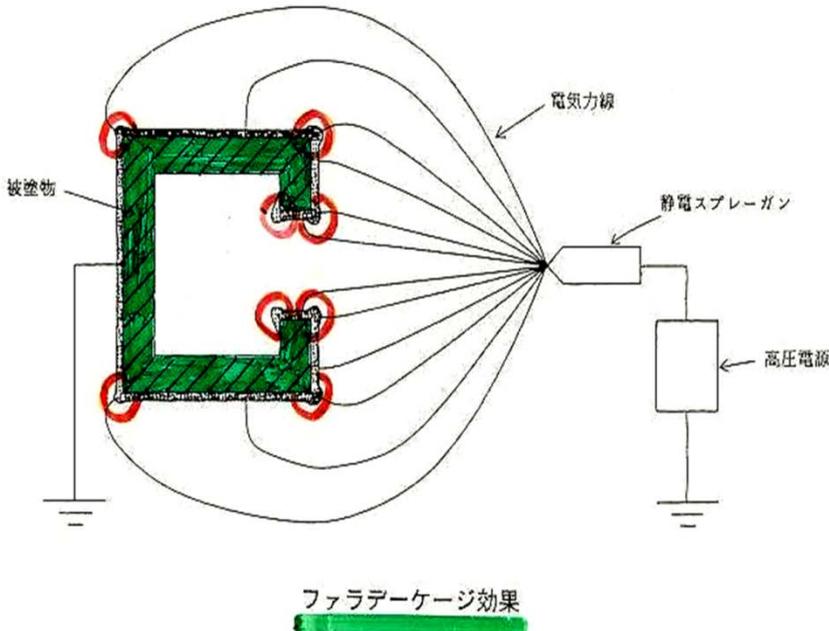
図-1 外部荷電式静電塗装の原理

### 8-1) コロナ帯電ガンの長所

1. 粉体塗料を選ばない
2. 粉体塗料供給量が多くても帯電量がそれほど低下しない
3. 耐環境性

### 8-2) コロナ帯電ガンの短所

1. 逆電離 (後述)
2. ファラデーケージ効果・エッジ効果

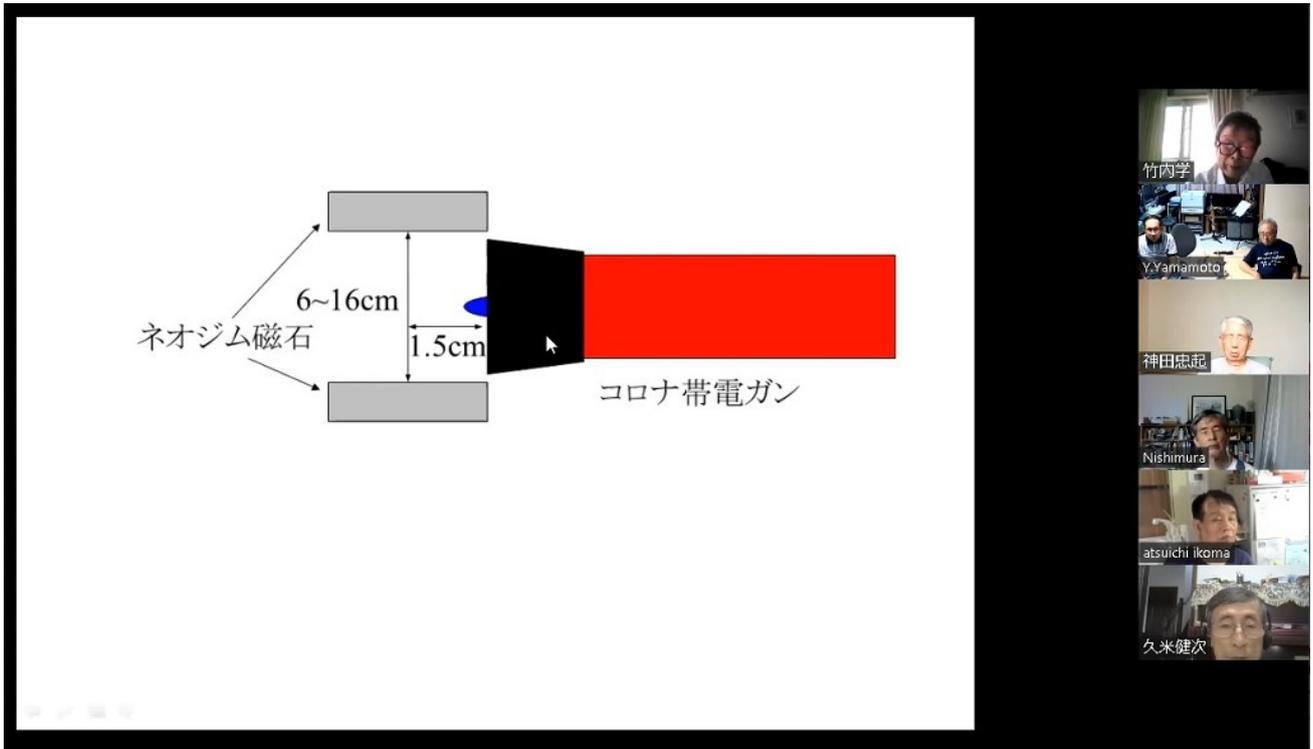


左図は電気力線を描いた概念図である。電気力線は、物体のガンに近い部分やエッジ部に集中する性質がある、これをエッジ効果という。一方、くぼんだ部分即ち、導体に囲まれた部分には電気力線が入らない、これをファラデーケージ効果という。この部分には電界が存在しない為、帯電している粉体塗料に静電気力が働かない、このためくぼんだ構造を持つ部分には粉体塗料が到達することがないので静電塗装は向かない。

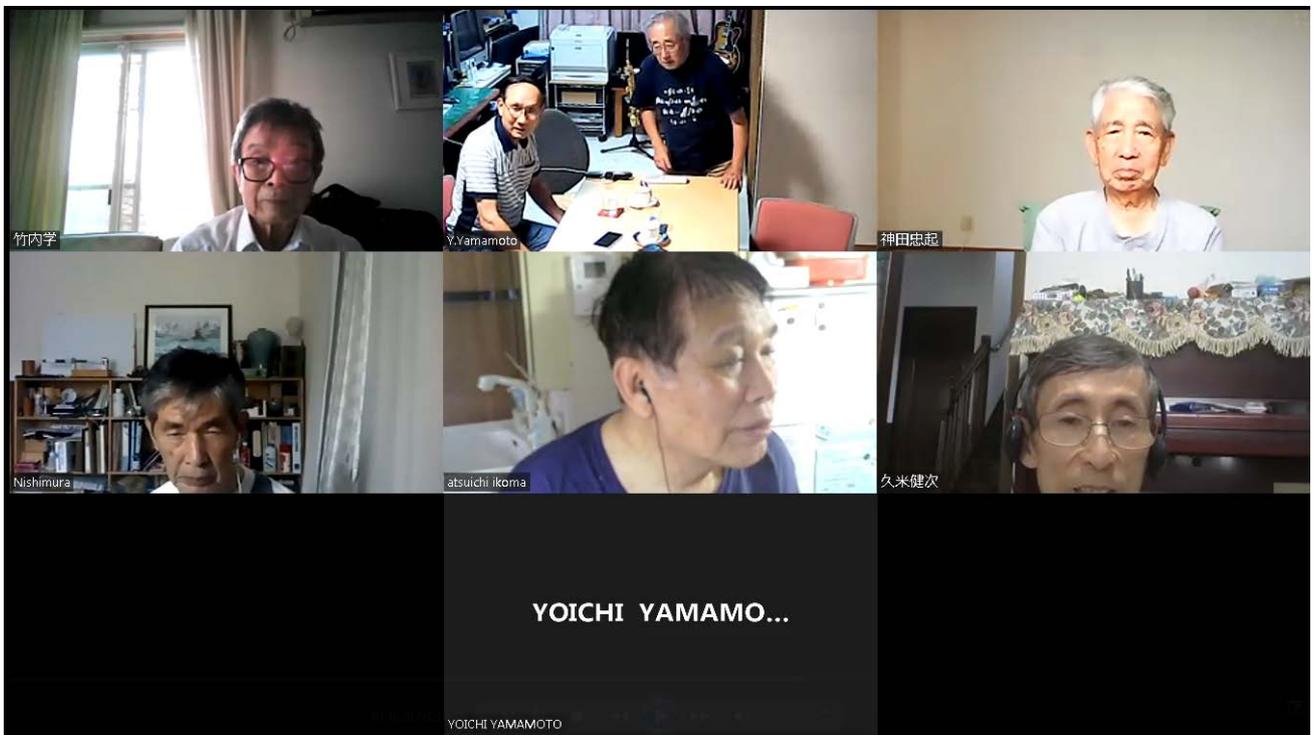
#### 横道:

蚊帳の中には雷が落ちない(昔話:雷が鳴ると蚊帳に逃げ込め)

横道: 会議の景色:



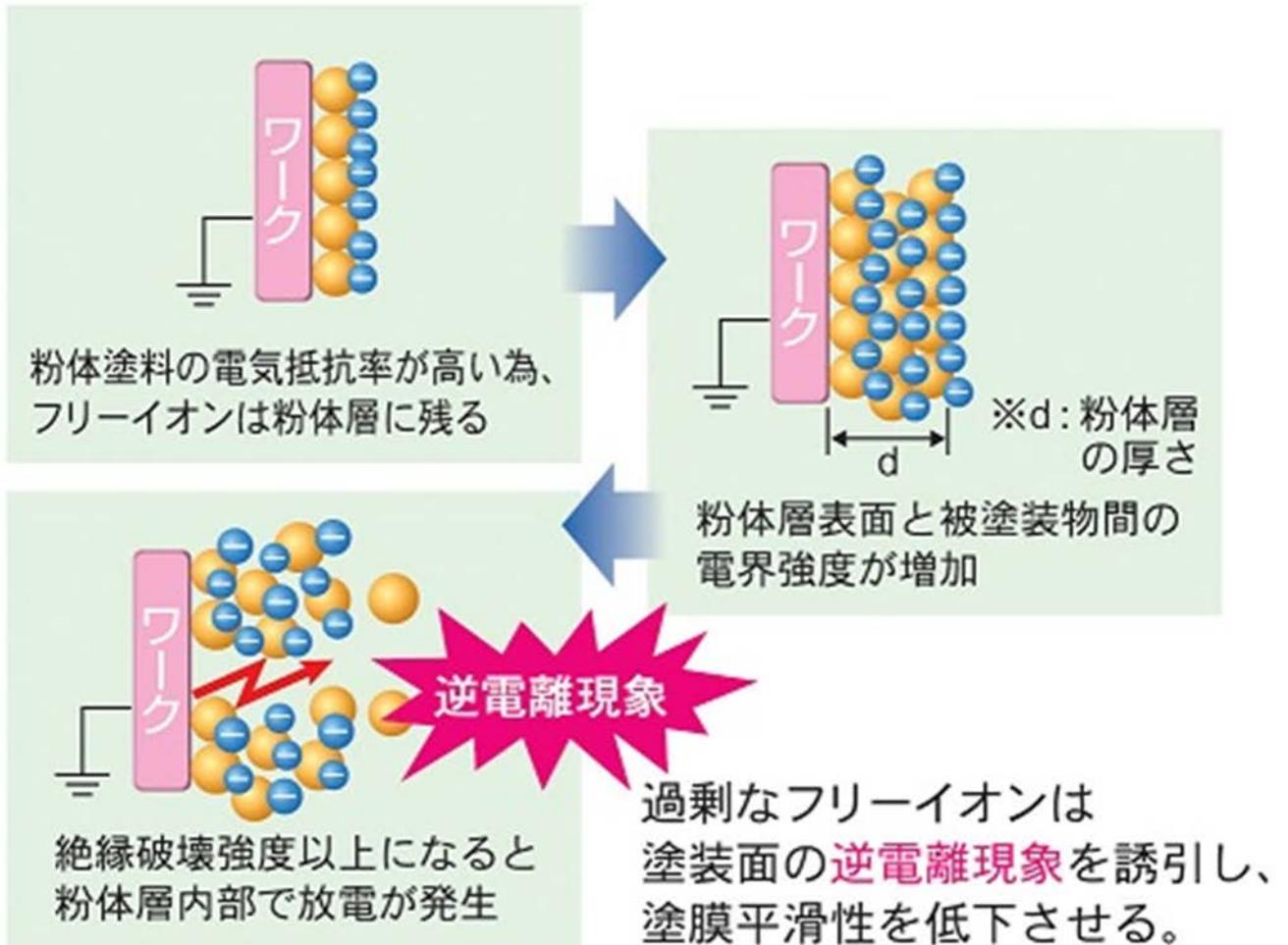
ZOOM 画面



### 8-3) 逆電離現象

静電塗装技術の発展の中で、最近の改善項目である、これを詳しく理解しよう。旭サナック(株)HP

## 逆電離現象(静電反発)が発生した場合



### 8-4) 逆電離現象:

帯電した粒子(この話ではマイナスに帯電)が被塗装物(ワーク)の上に堆積してくると被塗装物であるワークにはグラウンドから + の電荷が移動してくる。

これが、何重にも積み重なったとき、ワークと粉体塗料の間に大きな電界が生ずる。  
(空気中では 30KV/cm を超すと放電する)

研究調査の結果、工業的には現場で調べてみると、ワーク上の帯電は積みあがっている帯電した粉体塗料の電荷量は全体の 5%程度に過ぎず 95%は静電スプレーガンから直接放出されたフリーイオン(マイナスイオン)であることが分かった。

8-5) Laplace Equation and Poisson's Equation

そこで、実際には何が起きているのか、電磁気力を借りて考察することにしよう。  
 下図の 0-d の場所には、フリーオンと帯電した粉体塗料があり、ポアソンの方程式に支配される。  
 それ以外の部分は空間電荷は無いものとしてよいと考えられる。

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{ポアソンの方程式}$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{ラプラスの方程式}$$

$$E = -\nabla \phi = -\text{grad } \phi = -\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} i + \frac{\partial \phi}{\partial y} j + \frac{\partial \phi}{\partial z} k\right)$$

$$\phi(0) = 0 \quad (34)$$

および、トナー表面層での電界がゼロ

$$(E(d) = -\frac{d\phi(d)}{dx}) = 0 \quad (35)$$

とおける。

(33) 式を  $x$  で 2 回積分して、境界条件をいれると

$$\phi(x) = \frac{\rho}{2\epsilon_r \epsilon_0} (2dx - x^2) \quad (36)$$

と、電位分布が求まる。電界の大きさは

$$E = -\frac{d\phi(x)}{dx} = -\frac{\rho}{\epsilon_r \epsilon_0} (d - x) \quad (37)$$

で、方向は  $x$  軸の負の方向である。電位と電界の  $x$  による変化を Fig. 8(b), (c) に示す。

4) ポアソンの方程式

つぎに、電荷が存在する空間の電位と電界を求める問題を考えよう。具体的には Fig. 8(a) に示すように、接地された無限に広い導体平面上の厚さ  $d$  の媒質中 (比誘電率:  $\epsilon_r$ ) に、電荷が一様な密度  $\rho$  で存在するとする。電子写真でいえば、導電性基板上に、帯電した厚さ  $d$  のトナー層が存在する場合に相当する。この場合は 1 次元のポアソン方程式

$$\frac{d^2 \phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (33)$$

を解けばよいことになる ( $0 \leq x \leq d$ )。Fig. 8 に示したように、トナー層に存在する電荷から出る電気力線はすべて  $x$  軸の負の方向を向いており、基板に誘導された負電荷で終端する。そのため、トナー層表面から右の空間には電界 (電気力線) は存在しない。そこで、境界条件は、導体基板の電位がゼロ

途中省略して計算結果を示す。

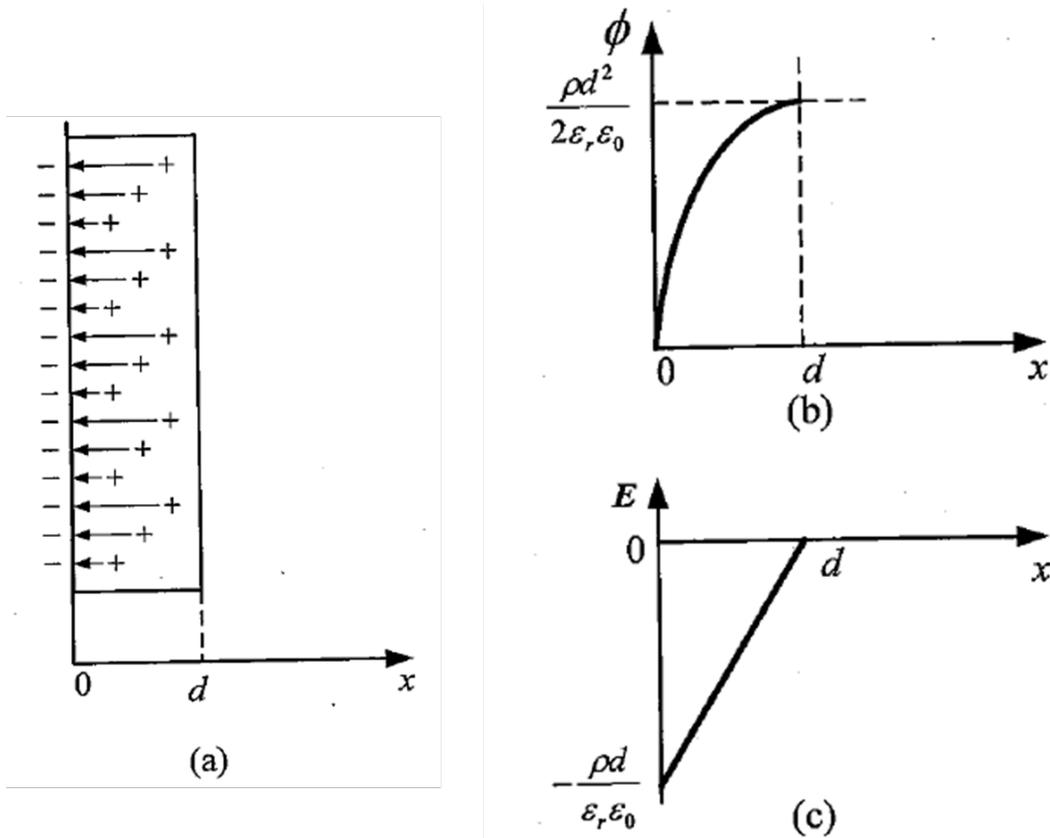


Fig. 8 ポアソンの方程式を用いる電界計算の例  
 (a) 帯電したトナー層, (b) 電位, (c) 電界

**結論:**

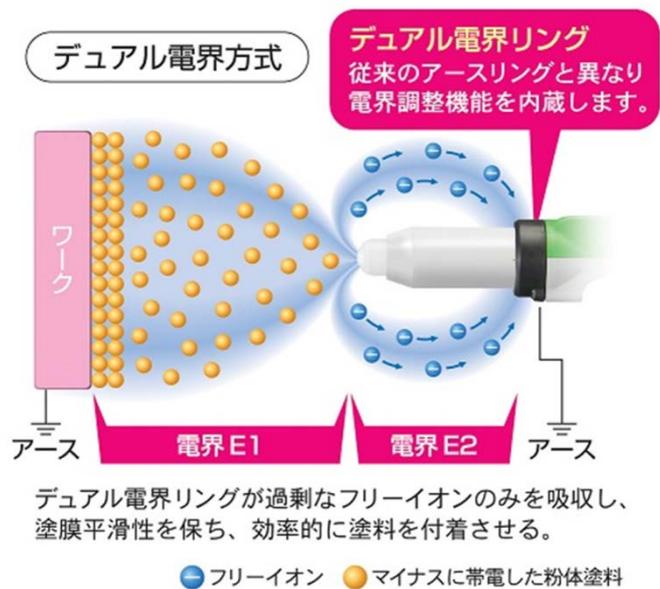
(b)で示したように、 $x = d$  の時に電界 ( $d\phi/dx=0$ ) がゼロになるところで安定する。

**8-6) デュアル電界方式**

8-3)で述べた、逆電離現象を防ぐ工夫がなされている。

右の図のように、電解 E1と電解 E2のの接する部分に電位の谷間を作るようにガンにアース電位に近い電位を持つ導体を配置し、フリーイオンをデュアル電界リングに集めて、ワークへのフリーイオンを阻止する工夫である。

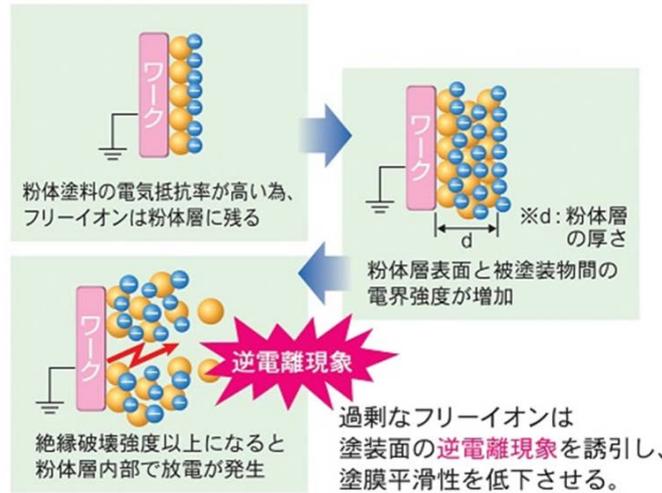
(旭サナック(株)HP) ↓



デュアル電界リングが過剰なフリーイオンのみを吸収し、塗膜平滑性を保ち、効率的に塗料を付着させる。

●フリーイオン ●マイナスに帯電した粉体塗料

逆電離現象(静電反発)が発生した場合

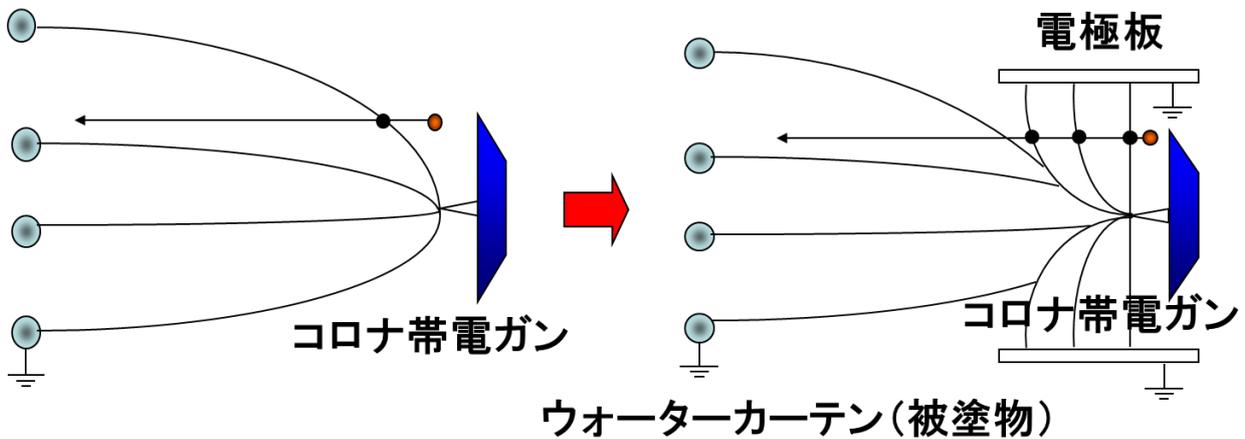


9) 粉体塗料の帯電効率の改善:

粉体塗装では空気で圧送される粉体塗料が帯電し、静電気力でワークに付着するのが基本。

粉体塗料が格納容器から空気などの気体で圧送されて、スプレーガンに至る。そしてスプレーガンの中では、コロナ放電によりマイナスイオンが多数発生されており粉体塗料に付着した遺伝する工程を踏む。この、ときに効率よく粉体塗料を帯電させるための工夫がなされている。この、改良法を下図で示されている。

電極板配置による電気力線の変化



左側は、コロナ帯電ガンの内部構造。

圧送された静電塗料は電気力線に沿って移動している、マイナスイオンと接触した遺伝する様子も模式的に示している。

- 粉体塗料
- 交差箇所

右側は、コロナ帯電ガンの内部にグランド電位のリング状電極を配置することにより、電気力線を円筒電極に向けて作ることで、フリーのマイナスイオンは電極版に向かうことになり、これにより圧送されている静電塗料との接触/衝突チャンスを増加させることにより、左図構造より帯電効率向上が期待できる。

T=01:04:34

9-1) 電極板配置による粉体塗料の帯電量の増加率

実験によれば次のような結果であった。

(コロナ帯電ガン印加電圧 -75 kV)

電極板\電極板間隔	増加率			
	40 cm	30 cm	20 cm	10 cm
アルミニウム板 接地あり	1.21	1.27	0.73	0.37
アルミニウム板 接地なし	1.17	1.21	0.65	0.25
金網 接地あり	1.14	1.32	0.85	0.41
金網 接地なし	1.17	1.22	0.77	0.25
木板 接地あり	1.13	1.24	0.92	0.31
木板 接地なし	1.07	1.12	1.07	0.46
アクリル板	0.96	0.87	0.88	0.60

① 導体 VS 絶縁物: 絶縁物方向への電気力線の偏向はない。しかし極板を近づけると粉体塗料が少ないながらも堆積。= 逆電離の発生時間が遅い。

40.30cm 時にも逆電離は発生している。しかし導体の場合には電気力線の偏向による帯電量の増加があるため逆電離による帯電量の減少は中和されている。

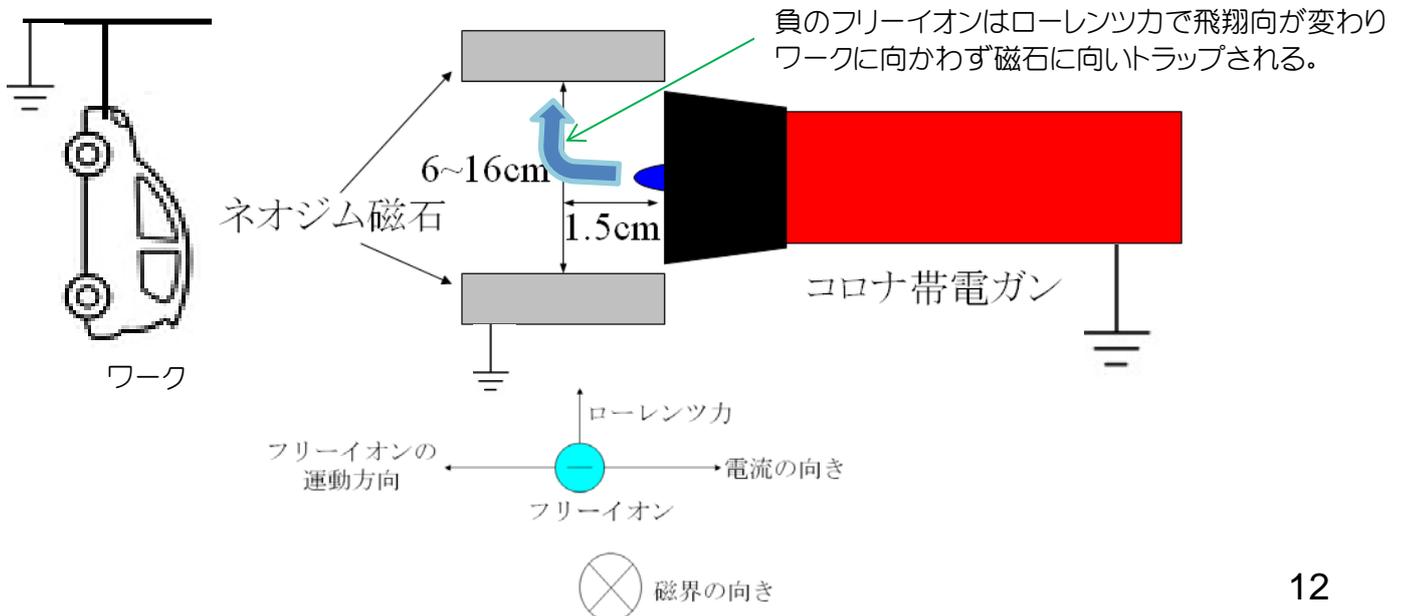
② 金属 VS 木: 木板は誘電率が低いので電気力線の偏向する本数が少ないため帯電量は低い。金属に比べて逆電離の発生時間が遅いので 20cm 以降に金属よりも帯電量が高い。

③ アルミニウム VS 金網: アルミニウムの方が粉体塗料の堆積量が多いため逆電離の発生時間が早い。

9-2) ワークに到達するフリーイオンの軽減努力。

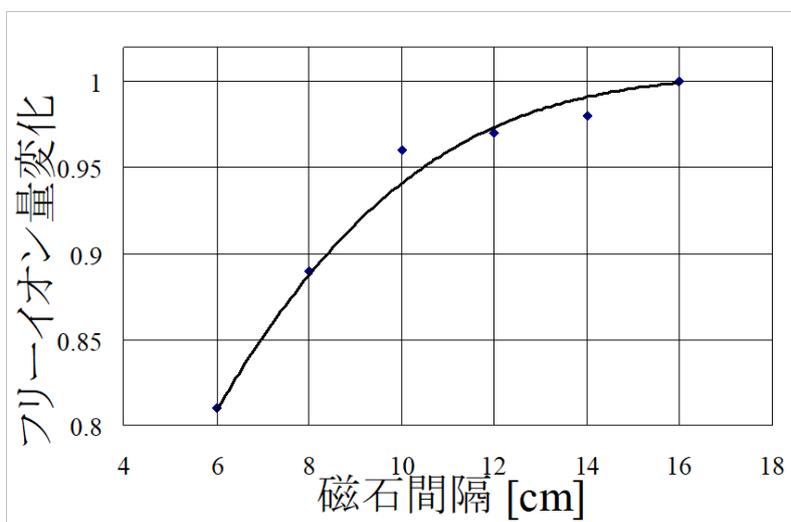
4-2-1) 項で述べた、逆電離現象はワークに静電気力で付着した静電塗料に塗装乱れを生じる。これを防ぐ手段は、コロナ帯電ガンで発生する多くのフリーイオンを軽減させなければならない。

この手段として、コロナ帯電ガンから飛来するフリーイオンを何らかの方法でトラップしワークに到達しないような工夫が必要である。図のようにネオジム磁石で強力な次回をその経路と直角に配置し、ローレンツ力でフリーイオンの飛翔軌道の向きを変えて、磁石の上にとらップすることによりワークに達するのを阻止する努力がある。



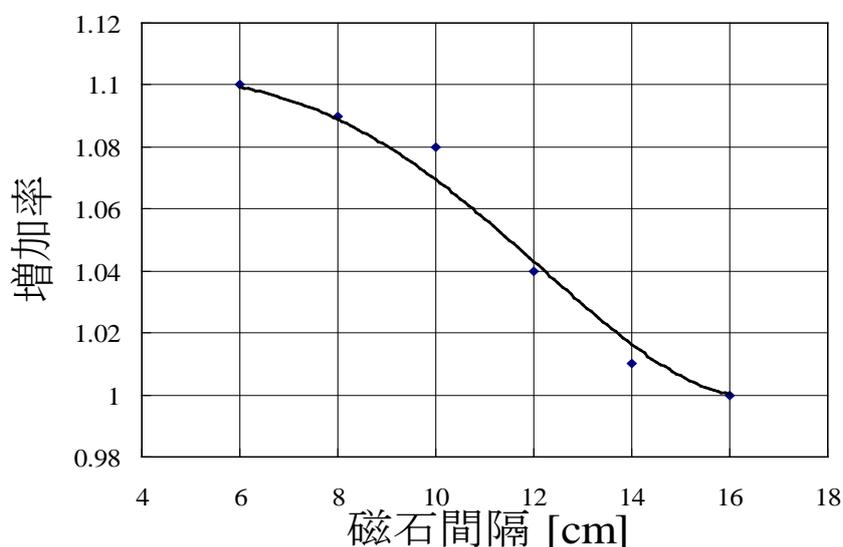
### 9-2-1) フリーイオンの現象確認実験

下の図は、9-2) 磁界を加えることにより、フリーイオンの量の変化を実験した結果である。磁界の大きさの変化は、上下に配置されたネオジウム磁石の間隔を変化させた。実験では、定性的な考察実施の為磁束密度の計測はしていない。 T=1:07:33



上の実験結果は、当初磁石間距離 16cm でのフリーイオンを1として、6cmに狭め磁界強度を大きくすると0.8となり、約20%減少する結果が得られている。

### 9-2-2) ワークへの粉体塗料の増加の確認実験



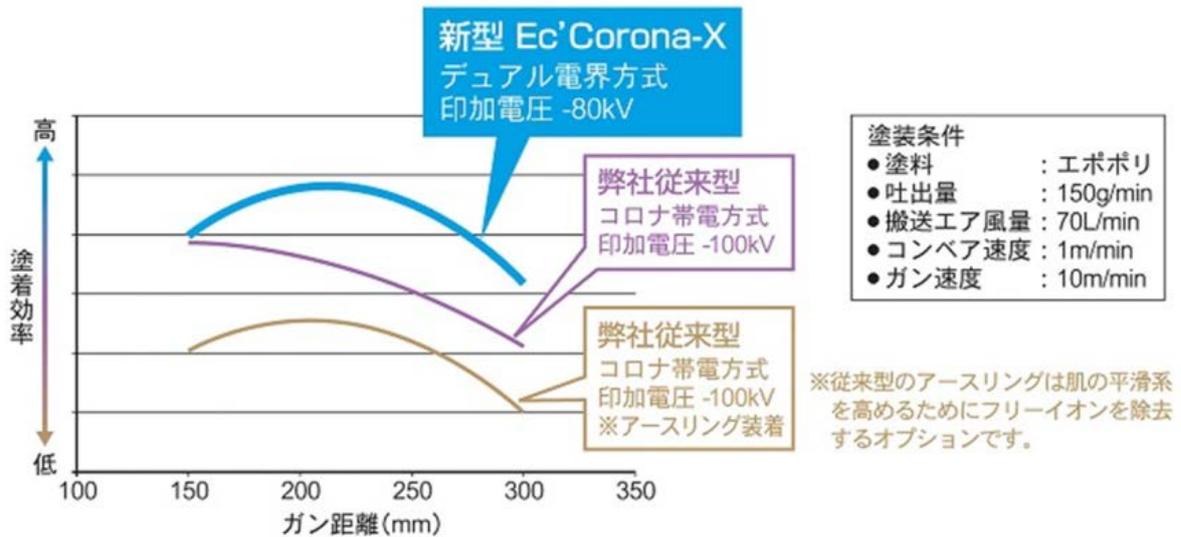
ワークへの粉体塗装量の減少を見ると、磁石間距離 16cm での帯電した粉体塗料を1として、6cmに狭め磁界強度を大きくすると約10%増加することが分かった。

### 9-2-3) デュアル電界方式の効果

実験データの示すとおりガン距離230mm で塗着効率は最大になるが、実際の使用にあたっては塗装面の平滑性を重視するなどの別要因から、実仕様でのガン距離は試行錯誤で調整しているとのこと。

デュアル  
電界方式の  
効果

デュアル電界リングの電界調整機能により、  
電圧-80kVでも従来型-100kVに比べ高い塗着効率と  
平滑な仕上がりをガン距離に関わらず得られます。



### 10) 今後の日程

第 125 回 9 月 25 日 (日)13 時 ~ 中尾 元一 様

第 126 回 10 月 30 日 (日)13 時 ~ 久米 健次 様

第 127 回 11 月 27 日 (日)13 時 ~ 寺川 雅嗣 様

HP をご利用ください。

HP <http://www.cis-laboratories.co.jp/index.html>

2022-8-26 文責 山本洋一