

# 静電気 ハンドブック

I	静電気の基礎	05
	1 静電気のメカニズム	05
	2 実際の静電気発生の様子	06
	3 電気の性質	08
	4 電荷量と電界	09
	5 電気力線	10
	6 静電容量	11
	7 導体と絶縁体	13
II	様々な静電気障害	15
	1 人体に感じることの出来る静電気	15
	2 産業別静電気障害	15
	3 静電気破壊のメカニズム	16
	4 静電気力による付着のメカニズム	18
	5 静電気放電による、着火・爆発	21
III	静電気対策の基礎知識	23
	1 導体に対する対策	23
	2 絶縁体に対する対策	27
	3 除電器(イオナイザー)の原理	29
	静電気Q&A	32
	用語集	36

# 静電気ハンドブック

<b>I 静電気の基礎</b>		05
	1 静電気のメカニズム	05
	接触帯電	05
	2 実際の静電気発生の様子	06
	摩擦帯電	06
	剥離帯電	06
	誘導帯電	07
	分極	07
	3 電気の性質	08
	帯電列	08
	電気の特性	08
	4 電荷量と電界	09
	クーロンの法則	09
	電界	10
	5 電気力線	10
	ガウスの定理	11
	6 静電容量	11
	静電容量の計算	12
	7 導体と絶縁体	13
	オームの法則	13
<b>II 様々な静電気障害</b>		15
	1 人体に感じることの出来る静電気	15
	2 産業別静電気障害	15
	3 静電気破壊のメカニズム	16
	半導体関係	16
	静電気放電モデル	17
	静電気破壊の原因となる帯電体	17
	4 静電気力による付着のメカニズム	18
	表面積／質量比が大きい物体に作用する静電気力	18
	平面同士に作用する静電気力	18
	導体と絶縁体間に作用する静電気力	19
	除電によるホコリ対策例	20
	5 静電気放電による、着火・爆発	21
	電磁波障害	21
<b>III 静電気対策の基礎知識</b>		23
	1 導体に対する対策	23
	接地(アース)／リストラップ	23
	静電気防止床材	26
	静電気防止靴	27
	静電気防止衣服	27
	2 絶縁体に対する対策	27
	導電化	27
	湿度管理	28
	3 除電器(イオナイザー)の原理	29
	自己放電式	29
	電圧印加式	30
	軟X線式	30
<b>静電気Q&amp;A</b>		32
<b>用語集</b>		36

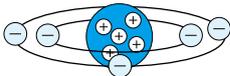
# 静電気ハンドブック

# 静電気の基礎

## I-1 静電気発生メカニズム

【図 1-1-1】原子レベルで見た静電気発生メカニズム

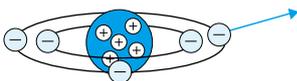
原子の構成



通常は

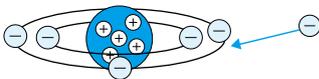
プラスの陽子：5個 マイナスの電子：5個  
それぞれ同数なので中性(安定)

ところが2つの物体が摩擦・剥離というように接触すると...



片側の物体は電子が飛び出して

プラスの陽子：5個 マイナスの電子：4個  
プラスの方が多い → プラスに帯電



電子が飛びこんでくると

プラスの陽子：5個 マイナスの電子：6個  
マイナスの方が多い → マイナスに帯電

物質は、マイナスを持つ電子とプラスを持つ陽子と、電気的に中性の中性子で構成される。  
通常は、マイナスの電子とプラスの陽子の数が釣り合って、電気的に中性になる。

地球上の自然な状態の中で、何か物質が存在すれば必ず静電気が発生すると考えられています。この場合、物質は同じであっても、異なったものでも、また個体に限らず液体や気体いつれの形状でも発生しています。

例えば、雷は雲の中の水蒸気が氷結した粒子が摩擦することで発生する静電気です。また、気体や液体がパイプやホースの中を勢いよく流れた場合も静電気を発生し、これが原因でタンク内洗浄中の爆発事故につながったり、生産工程で生産能率を低下させるような障害、半導体デバイスの破壊など、静電気による障害は、あらゆる業種におよびます。

では、この静電気はどのような原因で発生するのでしょうか？

図(1-1-1)は、原子レベルで見た静電気発生メカニズムです。

### 接触帯電

すべての物質は、原子と原子の組み合わせです。その原子には、マイナスの電子とプラスの陽子で構成された原子核が含まれます。

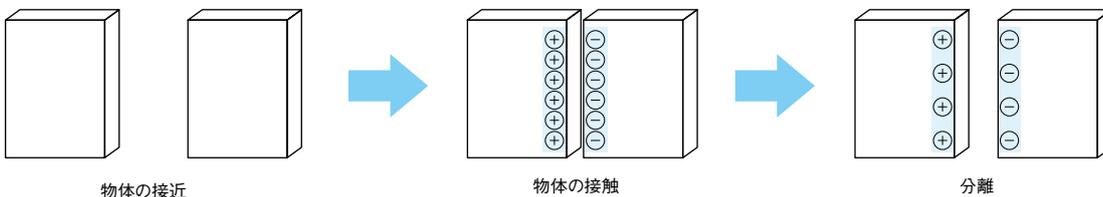
通常は、マイナスの電子とプラスの陽子の数が同じで、電気的に中性の安定状態(0V)が保たれています。

接触帯電とは、2つの物体が接近し、接触することによって、物質をプラスまたはマイナスに帯電を起こす現象のことです。つまり、接触することによりそれぞれの原子にある電子が移動を始め、片方の物質から電子(-)が飛び出しプラスに帯電し、飛び出した電子は接触しているもう片方の物質に飛び込みマイナスに帯電することになります。これが、静電気の発生です。

このとき、電子の結びつきが弱い方から強い方へ電子が移動し、図(1-1-2)のような接触界面で電荷の分離が起こります。

この電子移動のメカニズムについては絶対的な定義はなく、プラスマイナスのどちらに帯電するかは接触する2つの物体の電子エネルギー的な優位性によって考えられます。目安としては、後述の帯電列表を参考にします。

【図 1-1-2】接触時に発生した電荷の接触界面様子



物体の接近

物体の接触

分離

接触した物体が離れる時、接触界面には移動した電子は元に戻り、表面に電子が残った部分が静電気となる。

このように、2つの物体が接触するときには、必ず電荷の分離が起こり、静電気が発生します。

接触帯電で発生する電荷量は、摩擦による帯電に比べると微量ではあるのですが、現実としてこの接触帯電現象が原因で、静電気障害が起こる場合があります。

例えば、射出によるプラスチック成形時に金型に密着した製品が強く帯電し、金型から離れる瞬間に静電気放電が起こります。このように、形成された製品が静電気放電を起こすと、表面に放電の跡を見ることができます。これは、静電気放電が起こったとき、そこに空気中のほこりが付着したためにできるものです。

この接触帯電から摩擦帯電や剥離帯電など、大きな静電気放電に発展することになります。

## I-2 実際の静電気発生の様子

実際の静電気の発生原因は、ローラーによるフィルムの巻だし時の摩擦現象によるものや、粘着テープを剥がすときなどの剥離現象、物体の変形・破損や荷電粒子が関係する現象などさまざまです。図(1-2-1)のように、生産現場では様々な工程で主に摩擦・剥離を繰り返すことが原因で、多くの静電気を発生しています。

### 摩擦帯電

摩擦帯電とは、接触面が擦り合わされることで、1.絶縁体間 2.絶縁体-導体間 3.導体間で起こる帯電現象です。

帯電量は、接触帯電に比べてはるかに大きくなります。これは、摩擦により表面の凹凸が擦り合わされることと、新しく摩擦される面積が増加すると考えられます。つまり、摩擦表面はいつも正確に同じ場所ではなく、現実的にはその位置は微妙にずれているため、この新しい接触面積の増加によって帯電量が増加します。また、摩擦時に表面の材料の汚れや経時により変質した表面が削られることで、接触表面が新しくなることも考えられます。その他、摩擦による表面物質の破壊による温度上昇も、帯電現象に大きな影響を与えます。

物体同士の摩擦時には、摩擦された表面から電子、イオン、中性分子が放出されます。この現象を「トライボミッション」と呼び、摩擦した直後から電子放電現象が長く続くことになります。

先述の接触帯電は、異なった物質同士により起こる現象であり、まったく同じ物質同士で電荷が発生することはありません。ただし、大きさの違う同じ物質同士や表面が異なった条件(粗対平滑面など)での摩擦によっては帯電することになり、これを非対称摩擦と呼びます。

雲の中にある大きさの違う氷の粒子が摩擦により、静電気放電つまり雷を発生させる現象が、この非対称摩擦によるものです。

### 剥離帯電

接触している物体を剥離(分離)させるとき、例えば、粘着テープを剥がすときや液晶ガラス基板から保護フィルムなどを剥がすときなどに、強い帯電現象が起こります。

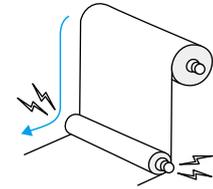
この現象は、先述の「接触帯電」と同じなのですが、剥離(分離)の動作により帯電することから、一般的に「剥離帯電」と呼びます。

この場合、密着度が高いほど電荷密度が高くなり、大きな電気放電を発生させます。

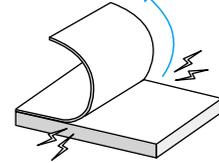
また、帯電量は剥離速度に依存します。図(1-2-2)で示すように、剥離の速度が遅いと小さい静電気放電が継続して起こるので電荷量は少なく、剥離速度が速いと静電気放電が押さえられるため、帯電量が増加します。

【図 1-2-1】 静電気が発生する主な要因の図

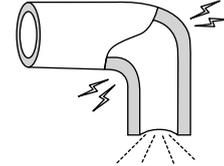
① 物体が摩擦したとき



② 接触しているものを剥がしたとき

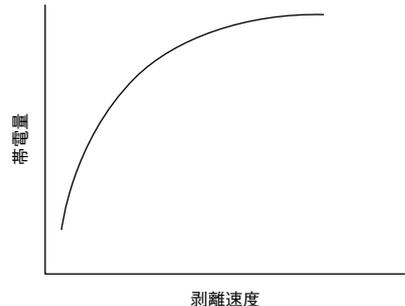


③ 気体や液体がパイプ、ホースの中を流れたとき



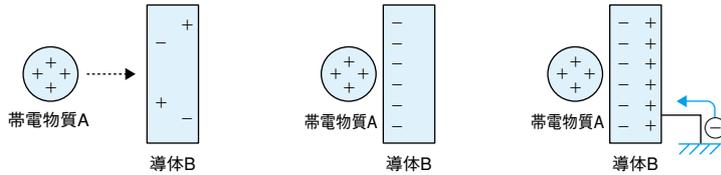
普段の生活では、全く考えられないぐらいの摩擦・剥離が繰り返される生産現場では、上記のような工程で多くの静電気が発生しています。

【図 1-2-2】 剥離速度と帯電量の関係概念図



帯電量は、剥離速度に依存する。帯電速度が速いと帯電量は増加するが、やがて飽和状態となる。

【図 1-2-3】誘導帯電図



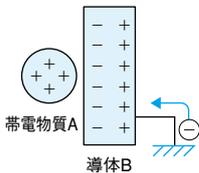
帯電物質 A が導体 B に接近すると、導体 B の A に近い表面に、A の極性と逆極性が表れる。  
導体 B の接地により、A と逆極性の電荷が大地から供給される。この状態で、接地をはずすと、導体 B は帯電体と逆極性に帯電する。

**誘導帯電**

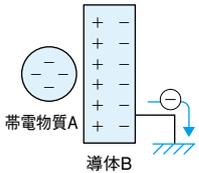
誘導帯電は、物質が導体である場合に限られて起こる現象です。  
ある帯電した物質が導体物質に近づくと、導体物質の表面には帯電極性と反対の極性が集まります。例えば、プラスの帯電体が導体に接近すると導体内の電子が移動し導体の帯電体側の表面にはマイナスの電荷が表れ、反対側にプラスが表れます。これは、導体の表面上に集まった電荷の均一化の特性によるもので、この状態を「誘導」といいます。

この状態で導体を接地 (アース) すると、誘導された帯電体と同じ極性の電荷は、導体から押しやられ、図 (1-2-4) のように接地により供給または吸収され、導体には帯電体と逆極性だけが残ることになります。そこで接地を外し、2 つの物質を離すと、導体は帯電体の逆電極に帯電した状態になります。これが「誘導帯電」といわれる現象です。

【図 1-2-4】導体を接地したときの電子の様子  
[供給]



[吸収]



導体の中で電子は自由に移動できるが、陽子 (+) は動くことができないので、移動することはない。

**分極**

今度は帯電した物質に絶縁体を近づけたり、電極を挟んで電圧を加えると、絶縁体は電気を通さないため電子は移動できず、電気的な力により分子の配列が変化します。つまり、物体のある部分はプラスに他の部分はマイナスに帯電し、その物体の総帯電量がほとんど 0V であるような帯電状態 (双極性帯電) が生じています。この現象を「分極」といい、この場合は、見かけ上は誘導現象のように見えますが、実際は接地をしても電子の移動はなく、誘導現象のように帯電を発生することはありません。

それ以外には、個体に力を加えて曲げたり変形させることで (例えば髪の毛を指でくるくるまるめるような動作など) 帯電することがあります。これは変型や破壊による帯電現象で、力を加えることにより物体表面に電荷を発生し、帯電することがありますが、動作を停止すると電荷は自然になくなります。これは静電気にはなりませんが、発生した電荷が周辺空間に存在する電荷を引きつけることがあり、新たに加わった電荷は消滅することがなく、静電気になることがあります。

静電気の基礎

1 静電気のメカニズム

2 実際の静電気発生の様子

3 電気の性質

4 電荷量と電界

5 電気力線

6 静電容量

7 導体と絶縁体

様々な静電気障害

1 人体に感じることのできる静電気

2 産業別静電気障害

3 静電気破壊のメカニズム

4 静電気力による付着のメカニズム

5 静電気放電による、着火・爆発

静電気対策の基礎知識

1 導体に対する対策

2 絶縁体に対する対策

3 除電器 (イオナイザー) の原理

静電気 Q&A

用語集

## I-3 電気の性質

### 静電気の基礎

- 1 静電気のメカニズム
- 2 実際の静電気発生の様子
- 3 電気の性質
- 4 電荷量と電界
- 5 電気力線
- 6 静電容量
- 7 導体と絶縁体

### 帯電列

2つの物質が接触や摩擦によって帯電するとき、物質はその性質によってプラスに帯電するのか、マイナスに帯電するのかが決まります。2つの物質を摩擦して、どちらかの物質がどちらかの極性に帯電するかをまとめたものが、表(1-3-1)で「帯電列」といいます。

表中の左に位置する物質がプラスに、右に位置する物質がマイナスに帯電します。左部にある物質は、右部にある物質に比べて、自由電子を多く持っているので、摩擦により左部の物質内の電子が右部の物質に移動することで、帯電すると考えられます。

例えば、ガラス板と木綿を接触させると、ガラス板は表の左部にあるのでプラスに、木綿は右部なのでマイナスに帯電します。

また、木綿とテフロン板を接触させると、今度は木綿が左部になるのでプラスに、テフロン板がマイナスに帯電することになります。

このように、静電気の極性は2つの物質の関係で決まります。例えば、電荷の発生を抑制する必要があり、物質同士が接触、摩擦の可能性がある場合などは、帯電列上できるだけ接近した位置にある材料を選ぶようにします。逆に、帯電列中の位置関係が遠い物質の摩擦は、帯電量が大きくなる傾向があります。

ただし、この帯電列の順位は必ずしも再現性のあるものではなく、湿度や温度、摩擦するものの形状や表面状態によって変化するので、実際の使用には注意が必要です。

【表 1-3-1】帯電列



同じ物質同士を摩擦しても、必ず片方がプラスもう一方がマイナスに帯電します。ただし、この時の帯電量は、他の物との摩擦に比べて小さくなる傾向にあります。

### 電気の特性

帯電している物体同士が近づくと、ちょうど磁石のN極とS極と同じように、同じ極性の静電気は反発し合い、違う極性の静電気は引き付け合うというような力が働きます。

このような力のことを「クーロン力」といい、この「クーロン力」は、静電気を帯びているものには必ず働く力で、そのためにトラブルの要因になることが多いのです。

例えば、製造現場におけるフィルムや板ガラスなどの吸着ミスで貼り付いたりするのは、電荷が異符号なために起こる引力によるものです。また、帯電同士が同極に帯電していると、反発しあうため、決まった位置にうまくモノを運べなかったり、部品を跳ね飛ばしたりすることがあり、それが原因で製品の欠陥や配送ミスにつながります。

また、空中に漂っているゴミやホコリも、トラブルの大きな原因となっています。

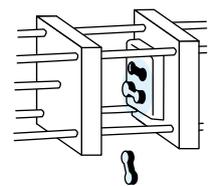
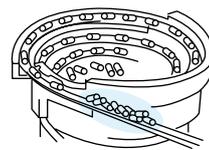
これは、ゴミやホコリのほとんどが、プラスかマイナスに帯電していることにあります。

大気中には、プラスやマイナスに帯電しているゴミやホコリは無数にあるため、帯電したあらゆる物質に付着するのです。

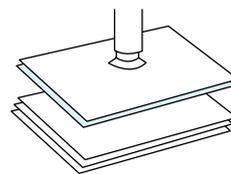
例えば、塗装、蒸着、ノリの塗布などが必要な製造現場では特に、ゴミやホコリの付着を原因とする外観不良につながります。

【図 1-3-2】静電気によるトラブル事例

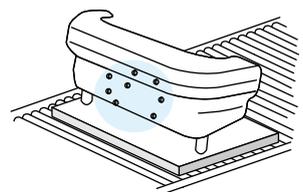
- ① パーツフィーダの詰まり
- ② 成形品の排出ミス・型残り



- ③ 吸着ミスによる2枚送り



- ④ ゴミ付着による塗装ムラ



製造現場では、静電気が原因と解らずに機械が停止してしまったり、不良品を製造してしまったりと様々なトラブルが発生している。

### 様々な静電気障害

- 1 人体に感じることで出来る静電気
- 2 産業別静電気障害
- 3 静電気破壊のメカニズム
- 4 静電気力による付着のメカニズム
- 5 静電気放電による、着火・爆発

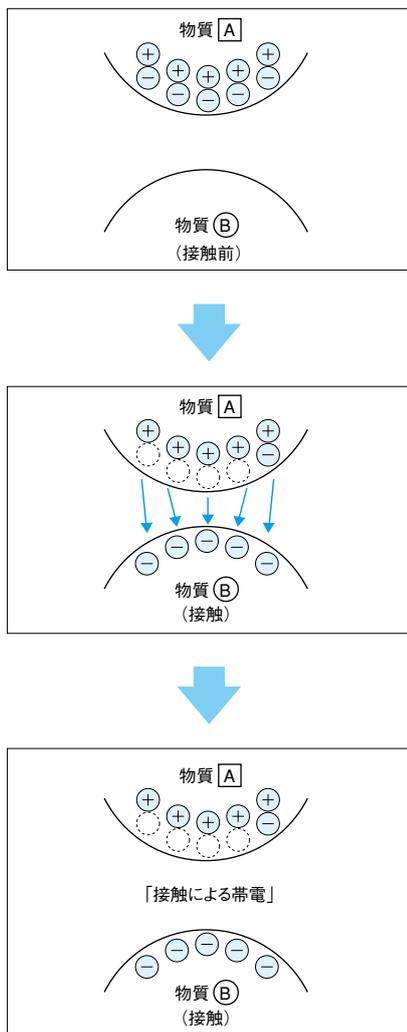
### 静電気対策の基礎知識

- 1 導体に対する対策
- 2 絶縁体に対する対策
- 3 除電器(イオナイザー)の原理

### 静電気Q&A

### 用語集

【図 1-4-1】 原子の世界の電子の移動



ミクロな世界では、原子核が電子を放出したり、受け取ったりしている。

## I-4 電荷量と電界

電界内に電荷を置いたとき、その電荷に力が働くことで起こる移動を電流と呼びます。これは、電子の多い(電位の大きい)場所から電子の少ない(電位が小さい)場所へと移動する流れを示すことになります。

物質に電流が流れる場合には、そこに必ず電界が存在します。すべての物質には電荷を運ぶものが含まれています。

電気には、プラスとマイナスがありますが、物質はこのプラスとマイナスに帯電した小さな粒子で構成されています。この物質を構成しているものが原子であり、プラスやマイナス帯電した粒子はこの原子の中にあります。

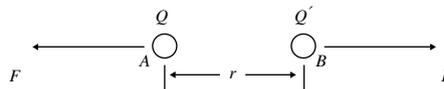
通常、これらの粒子は原子核の中では電氣的に中性であり、バランスがとれた状態です。しかし、物質同士の接触などの影響により、図(1-4-1)のように、電子の移動が起こります、電子を受け取った方がマイナスに、放出した方がプラスに帯電します。

この電子交換が多くの静電気トラブルの主な原因なのです。

### クーロンの法則

このようにして、帯電した物体同士が近づくと、同じ極性の静電気は反発し合い、違う極性の静電気は引き付け合うというような力が働きます。

この時に発生する電氣的な力を「クーロン力」(単位は [N]) といい、その電荷量と力の関係が「クーロンの法則」により示されています。



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{r^2} \text{ [N]}$$

大きさが測定できないような極めて小さな物体に帯電している電荷を点電荷といい、真空中に電荷量 Q [C] の点電荷 A に電荷量 Q' [C] の点電荷 B が接近し、その距離を r [m] としたときに、クーロンの法則で静電気力 F を計算すると、B と A の距離 r [m] の 2 乗に反比例し、A の電荷量と B の電荷量の積に比例することになります。

比例定数で、 $\epsilon_0$  は真空の誘電率 ( $8.85 \times 10^{-12}$  [F/m]: ファラッドパーメートル) とよばれる定数です。

このクーロン力は、2つの電荷が同極性の場合は反発力、違う極性は吸引力となり、これを重力の加速度 9.8 [m/s<sup>2</sup>] で割ると [kg] になります。

### 【例】

2つの点電荷 1 [C] と -1 [C]、その距離が 1 [m] のときの静電気力 (F) は、以下の通りになります。

$$\begin{aligned} F &= -\frac{1 \times (-1)^2}{4\pi \epsilon_0 \times 1^2} = -\frac{1}{4 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12}} \\ &= -8.99 \times 10^9 \text{ [N]} = -9.17 \times 10^9 \approx -10^9 \times 10^9 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

これによると、約 100 万トン重の作用力となり、つまり、100 万トンの重量物を持ち上げる力に相当します。この 1 クーロン [C] という単位はあまりに大きすぎるもので、現実的には、1 [m]4 方の高分子フィルムを摩擦帯電させたときの帯電量、約  $10^5$  [C] 程度が用いられることになります。

### 【クーロンの法則】

クーロンの法則の発見は、ギリシャ時代の哲学者タレス (Thales BC.640-546 年) だといわれているが、この説を正式に法則化したのが、クーロン (1739-1806 年) であり、1785 年に発表されている。

## 電界

電界(電場)とは、帯電した物体の回りに存在し、その電荷に働く力の存在する領域と考えます。例えば、ある空間に点電荷が存在することで、その回りの空間が特別な性質を持つことになり、そこに別の点電荷を持って来ると、その空間の作用により持ち込んだ点電荷に力を作用させる、いわば「電荷の勢力範囲」と考えます。そして、その勢力は図(1-4-3)のように、中心から遠ざかるにつれて小さくなります。この電界の強さを「電界強度」といい、図(1-4-3)のように、中心から外側に拡がり、遠ざかるほど電界強度は弱くなります。その性質上方向性を持つことになるので、表示にはベクトルを使用します。電界を表すには、その強さだけでなく方向も関係します。

空間に点電荷  $Q$  [C] が存在し、その電荷上に働く力を  $F$  [N] とした場合の電界強度は、

$$E = F / Q \text{ [V/m]}$$

電界の単位 [V/m] は単位距離あたりの電位差を表します。逆にすると、

$$F = QE \text{ [N]}$$

となり、これが電界中に置かれた電荷に作用する力、つまり「クーロン力」です。

以上の数式より、点電荷の作り出す電界強度は、

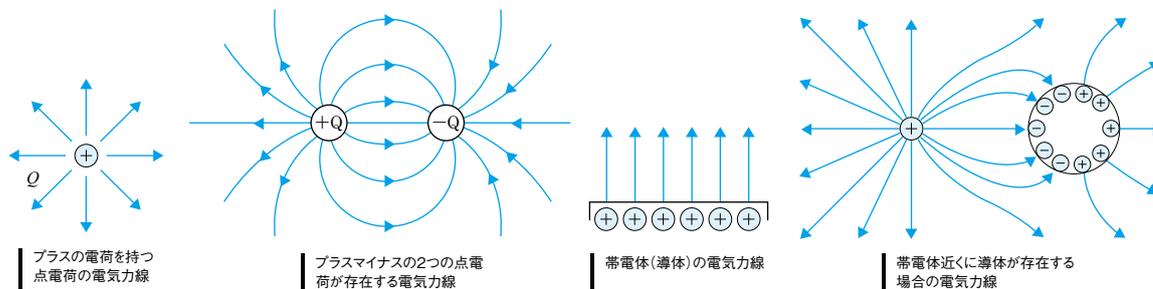
$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ [V/m]}$$

電荷量  $Q$  [C] の点電荷があると、その回りの空間は電界強度は点電荷からの距離  $r$  [m] の2乗に反比例します。

## I-5 電気力線

電界の方向は、プラスの電荷から出てマイナス電荷へと向かう方向になります。電気力線とは、図(1-5-1)のように、電界の方向を描いた仮定の線です。電気力線の方向が電界を示し、プラス側からマイナス側に向かっています。図(1-5-1)(c)のように帯電体(導体)の場合は、電気力線は表面から垂直に出ています。このとき、帯電体の表面電荷が同じ密度で帯電していると、電気力線も同じ間隔になります。密度は電位の高さを示しており、電気力線の数が多く間隔が狭いところは電界が強く、逆に本数が少なく間隔が広いところでは電界が弱いことがわかります。

【図 1-5-1】 電気力線の図



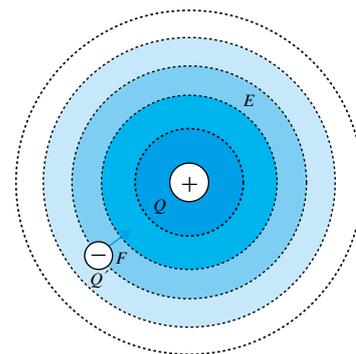
プラスの電荷を持つ点電荷の電気力線

プラスマイナスの2つの点電荷が存在する電気力線

帯電体(導体)の電気力線

帯電体近くに導体が存在する場合の電気力線

【図 1-4-3】 電界の図



電界の作用力により、同じ空間に存在する電荷に電気が作用する。内側から外へ遠ざかるほど、電界強度は弱くなる。

[表 1-5-2] ガウスの定理による電界の計算

電荷の形態	電荷量	電界 [V/m]	
点電荷	Q [C]	$E=Q/4\pi\epsilon_0 r^2$	
線電荷	$\lambda$ [C/m]	$E=\lambda/2\pi\epsilon_0 r$	
面電荷	$\sigma$ [C/m <sup>2</sup> ]	$E=\sigma/\epsilon_0$	導体
		$E=\sigma/2\epsilon_0$	絶縁体
円筒 (円筒内一様分布)	$\rho$ [C/m <sup>3</sup> ]	$E=\rho r/2\epsilon_0$	円筒内
		$E=\rho a^2/2r\epsilon_0$	円筒外
球 (球内一様分布)	$\rho$ [C/m <sup>3</sup> ]	$E=\rho r/3\epsilon_0$	球内
		$E=\rho a^3/3\epsilon_0 r^2$	球外

帯電体の中心からの距離:r 帯電体半径:a 真空の誘電率: $\epsilon_0$

### ガウスの定理

電界にある電荷が存在するとき、その量や形状により電界を計算する方法があります。これを「ガウスの定理」といい、接近した帯電体が電界に作用する電気力を計算することで、静電気障害への対策に役立ちます。

表 (1-5-2) は、「ガウスの定理」による計算式です。

表 (1-5-2) の「ガウスの定理」で、電荷分布の状態に対しての点や線の回りにある電界を計算すると、帯電物の誘導率と電界強度は反比例し、電気力線の密度と電界強度は比例することが示されています。つまり、先端が尖った形状である場合、その部分の電気力密度が大きくなり、電界が高くなることになります。

#### 【例】

1 [C] の点電荷を作る電界

点電荷から電界の距離が 1 [m] の場合、

$$E = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= 9 \times 10^9 \text{ [V/m]}$$

これは、空気中の絶縁破壊強度  $3 \times 10^6$  [V/m] と比較すると、おおよそ 1000 倍にもなり、これは雷による放電に相当するもので、実用的ではありません。例えば、プラスチック表面を布で摩擦したときの帯電量は単位面積あたり  $10^{-5}$  [C/m<sup>2</sup>] 程度ですので、表面に帯電している電界は以下ようになります。

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{10^{-5}}{2 \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= 5.6 \times 10^5 \text{ [V/m]}$$

(ガウスの定理:  $E = \sigma/\epsilon$  [V/m])  
 $\sigma$ : 帯電物体の表面電荷密度 [C/m<sup>2</sup>])

## I-6 静電容量

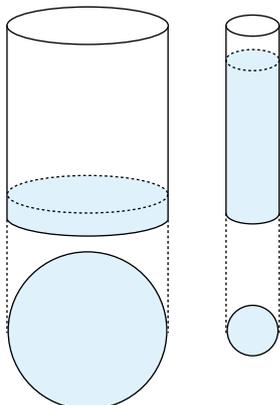
帯電体の電位と帯電量は、以下の比例関係となります。

$$Q = CV \text{ [C]}$$

この比例定数 C を静電容量と呼び、単位は [F: ファラッド] で表します。電荷量が 1C で電位差が 1V の場合、1F となります。ただし、この単位はやはり大きすぎて実用的な単位としては、以下の単位を使用するのが一般的です。

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

[図 1-6-1] 静電容量を水量に例えた場合



水の量:電荷量 水の高さ:電位 底面積:静電容量

図 (1-6-1) は、静電容量を容器に入れた水に例えて説明した図です。容器に入れた水の量が電荷量、水の高さが電位、容器の底の面積が静電容量と考えます。

同じ量の水を底面積の小さな容器に入れると水位はすぐに上昇するが、底面積の大きな容器に入れても水位の上昇は少ないということです。

つまり、静電容量は、帯電体を電荷をためる容器と考えたとき、その大きさ(容量)を表すものと考えられます。

この例での水と電子の違いは、水は水位の高い方から低い方へ流れて、結果的に水位は等しくなりますが、電子の場合は、電子を放出した方の電位が上昇し、入ってきた方の電位が下降することです。これは、前者がプラス性に、後者がマイナス性に帯電することを意味します。

静電気の基礎

1 静電気のメカニズム

2 実際の静電気発生の様子

3 電気の性質

4 電荷量と電界

5 電気力線

6 静電容量

7 導体と絶縁体

様々な静電気障害

1 人体に感じることのできる静電気

2 産業別静電気障害

3 静電気破壊のメカニズム

4 静電気力による付着のメカニズム

5 静電気放電による、着火・爆発

静電気対策の基礎知識

1 導体に対する対策

2 絶縁体に対する対策

3 除電器(イオナイザー)の原理

静電気Q&A

用語集

**静電容量の計算**

静電容量の計算をする場合、その帯電体の大きさと形状、周りの状況により、以下の数式により算出できます。

**【球形導体の場合】**

球状の導体で半径 a [m] の場合に、電荷 [Q] を与えたときの表面電位は、  
 $V=Q/4\pi\epsilon_0a$  [V] になり、静電容量は、  
 $C=Q/V=4\pi\epsilon_0a$  [F] になります。

**【平行導体板の場合】**

図(1-6-2)のように、2枚の導体板が平行にあり、面積 S[m<sup>2</sup>]、間隔 d [m] のとき、それぞれに + Q、- Q の電荷を加えた場合に、その電極間に作用する電界強度は、

$$E = \frac{Q}{S\epsilon_0} \text{ [V/m]}$$

(電荷密度  $\sigma=Q/S$ )

となり、電極間の電位差 [V] は、 $V=Ed=dQ/S\epsilon_0$  したがって、静電容量は、以下になります。

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 S}{d} \text{ [F]}$$

また、導体板の間に絶縁体がある場合、(絶縁体の比誘電率  $\epsilon_s$ ) 静電容量は、以下の数式で示します。

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s S}{d} \text{ [F]}$$

**【例1】帯電体の静電容量**

図(1-6-3)のように、1つの導体に接近する導体が複数あり接地されている場合は、それらの静電容量の和がその物体への静電容量となります。

**【例2】絶縁体の場合**

絶縁体フィルムの裏面に導体板が密着して接地されている場合。

例えば、厚さ d [m] の絶縁体フィルム (比誘電率  $\epsilon_s$ ) が接地された導体板に密着して、フィルムの表面に Q [C/m<sup>2</sup>] の電荷がある場合。フィルム裏面は密着する導体板と逆極性で同じ値の電荷が表れます。

このとき電荷の配置は、図(1-6-4)のように、電荷密度  $\sigma$  で2枚の平行板が帯電した場合と同じになっています。その状態の絶縁体表面電荷  $V_s$  は、以下になります。

$$V_s = \frac{\sigma S}{\epsilon_0 \epsilon_s S / d} = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon_s} \text{ [V]}$$

**【例3】厚さの違う絶縁体フィルムの場合**

例えば、ポリミドフィルム(厚さ 100 [μm]、比誘電率  $\epsilon_s = 3.3$ )が接地導体板に、図(1-6-5)のように、密着しているとき、表面電荷密度を  $\sigma = 1 \times 10^{-5}$  [C/m<sup>2</sup>] とすると、表面の電位は、

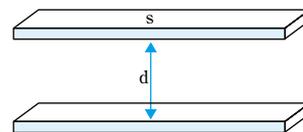
$$V = \frac{1 \times 10^{-5} \times 100 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.3} = 34 \text{ [V]}$$

同じ条件で、フィルムの厚さが 1 [mm] の場合は、

$$V = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 3.3} = 342 \text{ [V]}$$

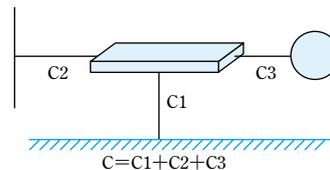
厚さが違うフィルムの場合、比誘電率や電荷密度が同じでも、表面電位に大きな違いがでることになります。

**【図 1-6-2】 平行導体板の静電容量**

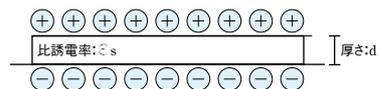


面積 S の 2 枚の導体板が平行にあり間隔 d の場合、静電容量 C は、 $\epsilon_0 S/d$  [F] で表すことが出来る。

**【図 1-6-3】 帯電体の静電容量**

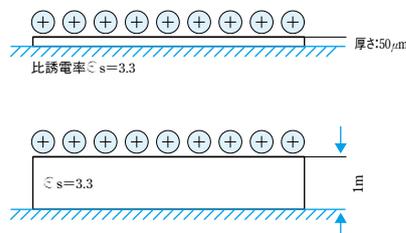


**【図 1-6-4】 絶縁体フィルムの裏面に導体板が密着して接地されている場合**



フィルムの表面が帯電している場合、静電誘導により金属面には逆極性の電荷が表れ、電荷は平行板と同じ配置になる。

**【図 1-6-5】 厚さの違う絶縁体フィルムの場合**



厚さの違う絶縁体フィルムでは、比誘電率や電荷密度が同じでも、表面電位(単位面積あたり)に大きな違いがある。

**II 様々な静電気障害**

**III 静電気対策の基礎知識**

これまで述べてきたように静電気対策は、その帯電電荷量だけに注意するのではなく、状況を改善することでその影響を少なくすることを考えることが必要となります。

例えば、帯電体をできるだけ接地導体に近い位置に配置することや、接地を複数施すことで、表面電位は低くなり、つまり電界が弱くなるので静電気が起きにくくなります。また、帯電した絶縁体フィルムなどの表面で起こる静電気放電は、多くの電荷が急峻に放電すると大きな静電気障害となるので、帯電過程では帯電部分の静電容量を小さく、帯電過程が終わると静電容量が大きくなるよう調整することが理想的です。

## I-7 導体と絶縁体

世の中には、電気を通しやすい物質と通しにくい物質があります。

一般的に、金属など電圧を印したときに電流が流れやすい物質を「導体」、プラスチックなど電流が流れにくい物質を「絶縁体」、その中間の抵抗率を有する物質を「半導体」といいます。

金属などの導体は、原子核に固定されほとんど動かない陽子(+)と自由に動くことのできる電子(-)からなり、中和状態を保っています。そこで、物質同士の接触などの影響により金属の回りに電界ができることにより、電子の移動が起こります。電子(-)は電界と逆方向に流れ、陽子(+)は移動できません。つまり、プラスに帯電している導体は電子が不足、マイナスに帯電しているときは電子が過剰だということになります。

絶縁体は、物質上での電流が抑制されているため、電子の移動がありません。何らかの電気力が作用した場合は、電荷は表面上に滞留し、部分的にプラスまたはマイナスに帯電することになります。

ただし、その性質上、電界にさらされている状態での温度により、ある程度の電荷の移動が発生する場合があります。これは、物質の温度の上昇による分子の振動で電子を移動させることが原因です。

静電気が発生した後の電荷移動の評価に、「オームの法則」を使用します。

物質のある点での電界強度をE、電界強度に垂直な電流密度を $\delta$ とすると、 $\delta$ は与えられた温度でEに比例することになり、以下のように示します。

$$E = \rho \times \delta$$

( $\rho$  は体積抵抗値)

表(1-7-1)は、代表的な物質の室温での抵抗値です。この抵抗値は物質の静電気特性を考える上で重要です。

【表 1-7-1】体積抵抗値

物質	抵抗値 [Q-m]
銀	$1.6 \times 10^{-8}$
銅	$1.7 \times 10^{-8}$
アルミニウム	$2.9 \times 10^{-8}$
鉄	$1.0 \times 10^{-7}$
乾燥した木	$3 \times 10^9$
ガラス	$2 \times 10^{11}$
ゴム	$3 \times 10^{14}$
ポリスチレン	$1 \times 10^{17}$

静電気の基礎

1  
静電気の  
メカニズム

2  
実際の静電気  
発生の様子

3  
電気の性質

4  
電荷量と電界

5  
電気力線

6  
静電容量

7  
導体と絶縁体

II  
様々な静電気障害

1  
人体に感じることの  
出来る静電気

2  
産業別静電気障害

3  
静電気破壊の  
メカニズム

4  
静電気力による  
付着のメカニズム

5  
静電気放電による、  
着火・爆発

III  
静電気対策の  
基礎知識

1  
導体に対する  
対策

2  
絶縁体に対する  
対策

3  
除電器(イオナイザー)  
の原理

静電気Q&A

用語集

# 静電気ハンドブック

# 様々な静電気障害

## II-1 人体に感じることの出来る静電気

【表 2-1-1】 人体の帯電電位と電撃の強さ

人体の電撃電位 [kV]	電撃の強さ
1.0	まったく感じない
2.0	指の外側に感じるが痛まない
3.0	針で刺された感じを受け、チクリと痛む
5.0	手のひらから前腕まで痛む
6.0	指が強く痛み、後腕が重く感じる
7.0	指、手のひらに強い痛みとしびれを感じる
8.0	手のひらから前腕まで、しびれた感じを受ける
9.0	手首が強く痛み、手がしびれた感じを受ける
10.0	手全体に痛みと電気が流れた感じを受ける
11.0	指が強くしびれ、手全体に強い電撃を感じる
12.0	手全体に強打された感じを受ける

「静電気安全指針」産業安全研究所編

人体は少量の静電気容量として機能するため、接地(アース)をしていない状態で動き回るなどの動作により帯電してしまいます。

実際の作業現場では、人が座ったり立ったりという椅子との接触、剥離や、種々の作業のため移動することにより、帯電する機会は非常に多くなります。人体が帯電すると電荷は体内に滞留し、帯電した作業者が不用意に敏感な半導体などの電子部品に接触することで、静電気破壊を起こしたり、人体と帯電体の接触による静電気放電で発生するノイズが原因で、コンピュータの装置類が誤動作を起こすケースにつながります。

表(2-1-1)は帯電量の大きさを目安として、人体に帯電したときの帯電量とその電撃について示したものです。

この図によると、「チクリとした痛みを感じる」レベルで帯電電位は3kVです。暗闇で青白い光が見える状態だと、10kV以上になります。静電気は、普段さまざまな場所で発生していますが、1kVだとほとんど感じることはありません。製造現場では、この1kVに満たない静電気が問題となり、作業者がまったく感じる事がなく、静電気障害による不良品や工程でのトラブルの誘因となっています。

【表 2-2-1】 産業別主な静電気障害

産業分野	帯電体	障害の例
半導体・液晶業界	パッケージ、内部回路	回路の破壊、特性劣化、歩留まり低下
	装置類、梱包材、作業着	出荷後の不良
	ガラスパネル、作業着装置類	トランジスタの破壊、製造中のガラスの破壊
電気・電子	絶縁材料、作業着、その他	回路・デバイスの破壊、回路の誤動作 コンピュータの動作停止、ロボットの誤動作
化学業界	繊維	原糸のより合わせ不良、糸のからみ 糸の切断
	フィルム	ほこりの付着、ローラへの巻き付き 静電気放電(着火源、感電、ピンホール形成)
	その他	ほこりの付着、製品どうしの付着・反発 装置への付着
医療	着衣、その他	酸素タンク内の着火・爆発、麻酔ガスの着火
その他	粉体	凝集、飛び散り、ふるい分け不良 静電気放電(粉塵爆発、感電)
	流送パイプ	ほこりの付着、静電気放電(着火源、感電)
	紙	インクの飛び散りなどの印刷不良 紙の密着、裏写り

## II-2 産業別静電気障害

静電気による障害は、現在では電気・電子デバイス産業を始めとするすべての産業に及んでいます。

例えば、半導体業界でのチップマウント時の製品破壊や電子部品業界での電子部品への異物混入、樹脂業界でのフィルム取り出しの際の2枚吸着など、すべて静電気が原因による障害です。

表(2-2-1)は、産業別主な静電気障害の例です。

## 静電気の基礎

### 1 静電気のメカニズム

### 2 実際の静電気発生の様子

### 3 電気の性質

### 4 電荷量と電界

### 5 電気力線

### 6 静電容量

### 7 導体と絶縁体

これらの障害は静電気の発生が原因であることは、これまでも説明してきました。それは、電荷が存在すると回りは電界ができ、電界中の帯電物はクーロン力により、吸引や反発を起こします。

日常生活の中では、衣服のまとわりつきや発砲スチロールを裁断した時の粉が周辺のものに付着することがあります。

これらもクーロン力によるものですが、このように表面積と質量の比率が大きいもの(薄いフィルムなど)や、比較的軽い物質(発砲材など)が帯電したとき、その物体に作用する重力よりはるかに強い電気力になり、静電気障害となります。

そのメカニズムは、このような小さな(軽い)物質同士が同じ極性に帯電し、電荷間に反発作用が発生します。この帯電した物質が他の導体に近づくことで、その導体に静電誘導が起こり、帯電物とは逆の極性が現れます。このとき、反対極性の電荷間には引力が生じて、比較的小さな(軽い)物質の場合、帯電物が導体より軽ければ引き寄せられ、重ければ導体を引き寄せることになります。クリーンルーム内部で、使用されている金属部分に小さなホコリが付着し、やがて大きな塊となっていることがあります。これは、空中にあるホコリの粒子自体が帯電したり、帯電物の近くに置かれて分極したりすることで、ゴミよりも重い帯電物質の表面に引き付けられ蓄積している様子です。

また、フィルムのように柔らかい材料の場合は、接触有効面積が広がることで、同じ電荷であっても固い材料に比べて、帯電は多くなる傾向があります。

## II-3 静電気破壊のメカニズム

静電気破壊とは、IC(集積回路)などの電子部品が静電気によって破壊する現象をいいます。

ICの静電気破壊の場合は、静電気放電によって一時的に高い電圧の電気が流れると、絶縁性の高い酸化シリコンなどの薄い膜(絶縁層)が破られ、中の回路が破壊されてしまいます。

特に近年の電子部品は軽量・小型化が進み、静電気障害に対する敏感性も非常に大きくなってきました。特に、MOS半導体では、約80~100Vの電圧がかかるだけで、半導体としての機能を失ってしまいます。人がチクリと痛みを感じる程度でおおよそ3kVの電圧なので、いかに微量か想像できます。

実際には、酸化膜が不完全な状態の場合などは、もっと低い電圧で破壊されるケースもあります。

このように、半導体デバイスがより微細で複雑な回路になるほど、配線間隔がつまり、さらに素子そのものも小型化されるために静電気耐性は低くなり、より高度な静電気管理対策が必要となっています。

### 半導体関係

図(2-3-1)は、半導体関係の具体的な静電気障害例です。

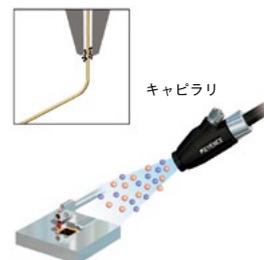
①ウエハラックでの剥離時：ウエハ搬送時やウエハラックから取り出し時に発生する剥離帯電により静電気放電による静電気破壊。

②基板から保護フィルムの剥離時：液晶ガラス基板から保護フィルム等を剥離する際に発生する、剥離帯電による静電気破壊。

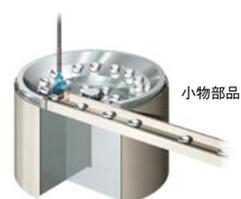
③チップマウント時のシート剥離：チップをウエハシートからピックアップする際に発生する剥離帯電によって起こる静電気破壊。

### 産業別静電気障害例

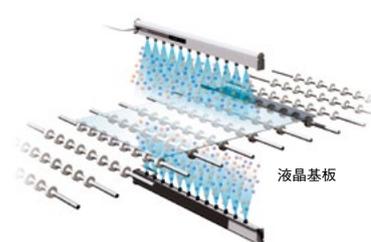
◎ 半導体関係(キャピラリ部の根詰まり)



◎ 電子部品関係(静電気による小物部品詰まり)



◎ 半導体・液晶業界、液晶関係(ガラス基板へのゴミ付着)



◎ 化学業界(フィルム巻き取り時のゴミ付着)



## II 様々な静電気障害

### 1 人体に感じるこの出来る静電気

### 2 産業別静電気障害

### 3 静電気破壊のメカニズム

### 4 静電気力による付着のメカニズム

### 5 静電気放電による、着火・爆発

## III 静電気対策の基礎知識

### 1 導体に対する対策

### 2 絶縁体に対する対策

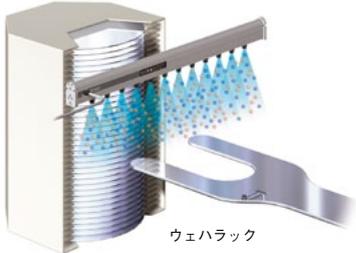
### 3 除電器(イオナイザー)の原理

### 静電気Q&A

### 用語集

【図 2-3-1】 半導体関係の具体的な静電気障害

① ウェハラックでの剥離時



② 基板から保護フィルムの剥離時



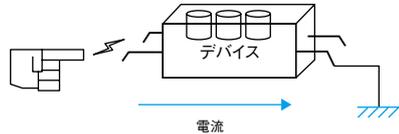
③ チップマウント時のシート剥離



分類

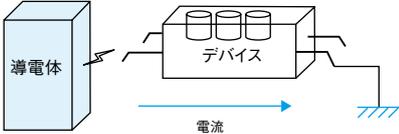
- 人体帯電モデル [HBM:Human Body Model]
- マシンモデル [MM:Machine Model]
- デバイス帯電モデル [CDM:Charged Device Model]

● 人体帯電モデル (HBM)



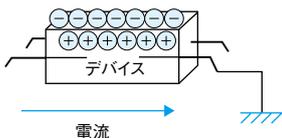
帯電した作業者が指などを不用意に半導体素子に接近させると、素子の端子と指との間で、静電気放電が起こる。  
(人間は動き回り、種々の作業をする関係上、極めて帯電しやすい)

● マシンモデル (MM)



帯電した導電体にデバイスが触れた際にデバイスが帯電し、デバイスの接地によって静電気放電が起こる。

● デバイス帯電モデル (CDM)



半導体素子の回路が帯電し、素子の端子が近くの導電体に接近するときに放電し、内部回路に静電気放電が起こる。

静電気放電モデル

静電気破壊原因となる帯電体には、作業者、装置類、半導体素子自身が考えられますが、これらの原因は「人体帯電モデル (HBM)」と「マシンモデル (MM)」と「デバイス帯電モデル (CDM)」の3つに分けられます。

静電気破壊の原因となる帯電体

静電気を帯びた人がデバイスのリードに触れた際の放電等により、デバイスが帯電し、デバイスが接地されることで回路に放電電流が流れて静電気破壊が起こります。このように、外部の静電氣的帯電物から半導体デバイスへの放電モデルを「人体帯電モデル」と呼びます。

外部の静電氣的帯電物が人体である場合、帯電した人体から放出電荷量は多く、絶縁体の場合に比べ放電エネルギーは極めて大きくなります。静電氣的帯電物が装置などの場合は、「マシンモデル」と呼びます。製造プロセスで使用される装置類が接地されていないと導体でも帯電します。そして、帯電体が半導体デバイスの外部端子に触れた時、電流がデバイス内を貫通し、静電破壊が起こります。

人体モデル、マシンモデルが十分に静電気対策されていても、半導体デバイスの生産工程や組立て時に静電気放電 (ESD) 起因の破壊が発生する可能性があります。

これはデバイス自身が帯電した場合の静電気放電破壊によるもので、「デバイス帯電モデル」と呼びます。この放電モデルでは、半導体デバイス表面の摩擦などによりデバイス自身が帯電し、その結果、回路やリードなどの導電体が外部電界により静電誘導を起こします。この状態で、リードが接地されると内部電界の急激な変化をもたらし、放電電流が流れることで静電気破壊が起こります。

## II-4 静電気力による付着のメカニズム

これまで述べてきたように、帯電している物体同士が近づくと、ちょうど磁石のN極とS極のように、同じ極性の静電気は反発し、違う静電気は引き付けあうような力が働きます。このような力を「クーロン力」といい、この帯電体に作用する吸引・反発力が多く静電気障害を引き起こします。実際には、ホコリの付着や製品同士の付着・反発などさまざまな現象におよびます。ここでは、その静電気力のメカニズムを種類別に説明します。

### 表面積／質量の比が大きい物体に作用する静電気力

微細な粒子や繊維、薄いフィルムなど表面積／質量の比が大きい物体の場合、クーロン力はその物体に作用する重力よりはるかに大きくなります。

図(2-4-1)は、フィルム面に帯電した粒子が引き寄せられ付着する静電気のメカニズムです。

絶縁体のフィルム面に帯電している場合、その表面の電荷密度を  $\sigma$  [C/m<sup>2</sup>] とすると、電界は  $E=\sigma/2\epsilon_0$  [V/m] になり、帯電粒子の電荷量を  $Q$  [C] とすると、接近した帯電粒子は、帯電面に  $F=Q\sigma/2\epsilon_0$  [N] の力で吸引されることになります。

$$F=QE$$

$$=Q \times \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{ [N]}$$

例えば、絶縁体のシート表面を摩擦したときの電荷量は単位面積当たり  $10^{-5}$  [C/m<sup>2</sup>] 程度になるので、数式に当てはめると、そのときの帯電体表面の電界強度は、 $F=5.65 \times 10^5$  [V/m] 程になります。

このとき、直径が  $1$  [ $\mu\text{m}$ ] 程度で表面電荷  $10^{-5}$  [C/m<sup>2</sup>] に帯電している(現実的な値)微粒子が接近したとします。この微粒子の持つ電荷量は  $Q=3.14 \times 10^{-17}$  [C] なので、微粒子は  $(F=QE)F=1.8 \times 10^{-11}$  [N] 程の静電気力で引き寄せられることになります。この粒子を比重  $2 \sim 3$  の砂粒とすると作用する重力のおよそ  $1200 \sim 1700$  倍にもなります。

フィルム表面にゴミなどが付着した場合に、容易に離れないのはこのようなメカニズムなのです。

### 平面同士に作用する静電気力

図(2-4-2)は、プラスとマイナスに帯電しているフィルムやシート等の平面同士が付着する例を表したものです。

帯電面の電荷密度を  $\sigma$  [C/m<sup>2</sup>]、表面の電界が  $E$  であるとき、この表面の単位面積あたりに作用する静電気力を  $F$  で示しています。

プラスの表面電荷から出る電気力線は面から垂直に出て、マイナスの表面電荷に入ります。この空間での電界は均一であることがわかります。

プラスまたはマイナスに帯電した平面が接近すると、表面間だけに電界が集中して、その強さは  $E=\sigma/\epsilon$  [V/m] になります。この電界による吸着力は

$$F=\epsilon_0 E^2/2 \text{ で示されます。}$$

例えば、フィルム表面の電荷密度を、 $\sigma = \pm 1 \times 10^{-5}$  [C/m<sup>2</sup>] とすると、

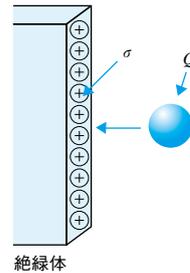
$$F = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$$

$$= 5.65 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0.58 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

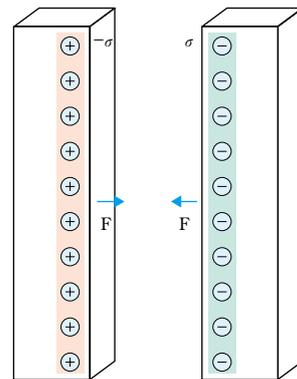
$F=0.58$  [kg/m<sup>2</sup>] 程度の吸着力が単位面積あたりに働くことになります。

電荷密度が倍になれば電界も倍になり、付着力は4倍になります。それが1桁大きくなると電気力は100倍にもなります。フィルムなどの接触帯電同士が離れるとき、電荷密度は約  $10^3$  になることもあり、そうすると表面にはかなり大きな静電気力が作用することになります。

【図 2-4-1】 帯電粒子に作用する吸引力



【図 2-4-2】 平面同士に作用する吸着力



導体と絶縁体間に作用する静電気力

金属などの導体にホコリなどの帯電物質が近づいた場合、金属の中で誘導帯電が起こり、その表面が帯電したようになります。この静電誘導による電位とホコリの静電気がクーロン力で引き寄せあいます。

図(2-4-3)は、金属壁に電荷量 Q [C] の点電荷が d [m] に近づいたときの吸引力を表しています。

金属壁の静電誘導により、表面の帯電粒子には金属壁への吸引力が働いています。

このとき、金属壁の内側には外側に点電荷と同じ静電気力を持った点電荷 -Q [C] が発生しています。これを、「鏡像電荷」といい、その電気力を「鏡像力」といい、以下の式で示されます。

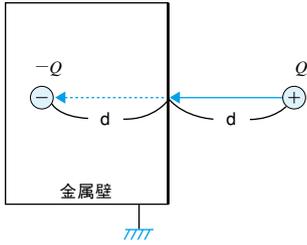
$$F = -\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(2d)^2} [N]$$

金属板に帯電した導体粒子が接触すると、その瞬間に電荷を金属板に与え吸引力がなくなります。

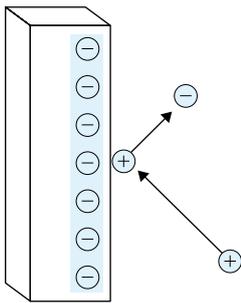
このとき、別の帯電体があったり、金属板が接地されていない場合は、導体表面に電界が存在し、粒子は金属板と同じ極性が与えられ、反発し飛び離れる現象が見られます。

図(2-4-4)は、帯電粒子の付着と反発を表しています。

【図 2-4-3】鏡像力



【図 2-4-4】帯電粒子の付着と反発



### 除電によるホコリ対策例

#### ●使用例 1



エアガンの先端に除電器をつけることで、エアバージと除電を同時に行え、強いエアを入れることで、ホコリの吹き飛ばしも同時に行う。

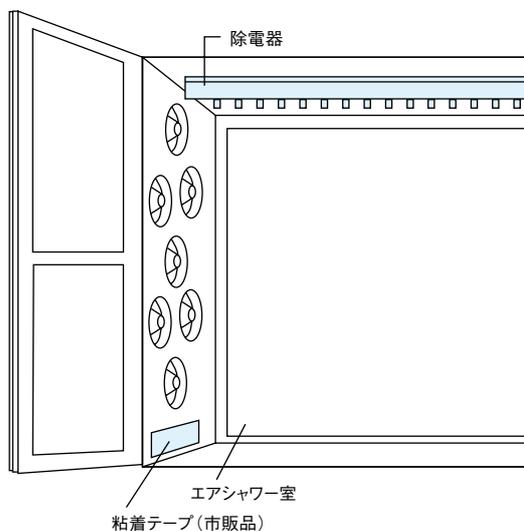
#### ●使用例 2



除電器にエアを入れることで、容器内の髪の毛などのホコリを吹き飛ばし、パー全体からエアを入れることで、広い範囲の除電除塵を行う。

### 様々な静電気障害

#### ●使用例 3



エアシャワーに除電器を取り付けます。除電器によってホコリの静電気が取り除かれ、人から離れる。除電器ない場合は、ホコリが人に貼り付いたまま、クリーン空間に持ち込まれることになるので、クリーン度の低下の原因になる。

### 静電気対策の基礎知識

### 静電気Q&A

### 用語集

## II-5 静電気放電による、着火・爆発

これまででは、おもに静電気放電による半導体デバイスへの損傷や機器の誤作動などについて説明してきましたが、様々な業種や生産分野においては、静電気放電が誘因し着火や爆発など、大きな事故につながるケースも多くあります。絶縁抵抗の高い高分子材料を取扱う産業の場合、高分子フィルムが多数のローラと接触するため、その電荷密度が高くなり、フィルムが金属ローラから離れる瞬間に静電気放電が起こります。面積の大きい帯電フィルムでは、近接導体近傍の電界も強くなるため、可燃性雰囲気のある所では着火の可能性があります。

可燃ガスの場合、空気と混合されたときに火花放電が起こり、ガスに引火して爆発する事故があります。このとき、可燃ガスは放電エネルギーのしきい値を超えたものと考えられます。

表(2-5-1)は、空気が混合された可燃ガスの中で火花放電が起こる際の、最小着火エネルギーのしきい値を示しています。ただし、ガスの着火は確率的な現象なので、最小着火エネルギーのしきい値が絶対的なではなく、危険性の目安とされています。

【表 2-5-1】 ガス最小着火エネルギーのしきい値

物質名	化学式	最小着火エネルギー (mJ)
水素	H	0.019
アセチレン	HC≡CH	0.019
エチレン	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	0.096
メタノール	CH <sub>3</sub> OH	0.14
ベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.20
ブタン	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.25
エタン	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	0.25
プロパン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0.25
メタン	CH <sub>4</sub>	0.28
アセトン	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	1.15

粉体の場合の着火エネルギーは、ガスに比べ大きな値になります。しかし、導体が帯電している場合や、帯電粉塵の密度が高い場合などは危険です。また、粉体の粒子が細くなる程、このエネルギー値は小さくなり、静電気放電で爆発する危険性も高まります。

さらに、石油を扱う際はより危険度は増します。原油タンカのタンク内洗浄中などの規則外の行動により静電気放電が起こり、爆発事故を引き起こすケースがあります。

医療関係では、酸素タンクや酸素テントを用いる治療で着衣の帯電などによる静電気放電で着火につながる可能性もあります。

### 電磁波障害

電磁波は、急峻なパルス放電による静電気放電が原因となって発生します。この電磁波による障害は、生産現場で測定装置や通信装置のノイズ源になり、システムに影響を及ぼし誤作動やシステム破壊に至るなど多様です。例えば、冬の乾燥期にスチール机から急に立ち上がる際、机に人体が触れると強い静電気放電が起こります。その時、机上でパソコンなどを使っていると、マシンが停止することがあります。

パソコンのような機器の場合は、内部装置までの損傷に及ぶケースはほとんどありませんが、例えば、生産工場でコンピュータの装置類に制御されている場合などは、電磁波障害による装置誤作動の影響は大きな損失を生じることになります。また、静電気放電により発生する電磁波は広い周波数成分を含むため、その影響範囲は広まります。

静電気基礎

1 静電気  
のメカニズム

2 実際の静電気  
発生の様子

3 電気の性質

4 電荷量と電界

5 電気力線

6 静電容量

7 導体と絶縁体

### 様々な静電気障害

1 人体に感じる  
こと  
の  
出る  
静電気

2 産業別静電気  
障害

3 静電気破壊の  
メカニズム

4 静電気力による  
付着のメカニズム

5 静電気放電による、  
着火・爆発

### 静電気対策の 基礎知識

1 導体に対する  
対策

2 絶縁体に対する  
対策

3 除電器(イオナイザー)  
の原理

### 静電気Q&A

用語集

# 静電気ハンドブック

## III-1 導体に対する対策

2つの物体が接触するとき、そこには必ず電荷の分離が起こり、静電気が発生することは今まで説明しました。

静電気障害を防止するためには、この静電気の発生を防止することが最良なのですが、実際は不可能です。

現実的には、電荷の発生を少しでも抑制することや電荷を速やかに逃す方法として、帯電体の逆符号の電荷を作り出して帯電物の電荷を中和するイオナイザーなどの除電器による除電方法と加湿、接地などの静電気対策処置を組み合わせ、適切な処置を施すことになります。

静電気対策は物質の電気的特性や対策に効果的な環境をよく理解しなければいけません。

例えば、電気産業の中には、ICやLSIなど静電気に非常に敏感なものから、製品の包装に使用する材料のダスト吸着のような大きな静電気エネルギーを対象にするものまで様々です。

この場合、包装材に対してICなどに要求されるクリティカルなレベルの静電気対策は必要ありませんが、このICなどが包装材料に接近する可能性があれば、包装材料もICの静電気防止レベルでの静電気対策が必要となります。

ここでは、帯電物が導体である場合の静電気対策を取り上げます。

### 接地(アース)／リストラップ

物体が金属などの導体である場合は、一般的な静電気対策方法に「接地(アース)」があります。

地球が大きな導体で、しかも大地の表面がゼロ電位であることを利用して、たまった電気を文字どおり地球(アース)に逃がします。つまり、接地とは“無限の電荷の吸収源”なのです。また、電気を地面(=地球)に逃すことから、グランドとも呼ばれています。

帯電した導体に接地をすることにより、電荷は瞬間的に大地に流れ失われます。

図(3-1-1)は、電荷の漏洩速度と電荷漏洩時間の関係を示しています。

接地抵抗を  $R$  [Ω]、導体物体の静電容量を  $C$  [F] とすると、電荷の減衰の時定数は  $\tau = RC$  となります。

$C$  の値はその形状、大きさ、配置によって違うが、 $C = 1 \times 10^{-9} \text{F}$  (1000pF、人間の約5倍) とすると、 $R = 1 \text{ [M}\Omega \text{]} (M = 10^6)$  で  $\tau = 1/1000 \text{ s}$  となります。

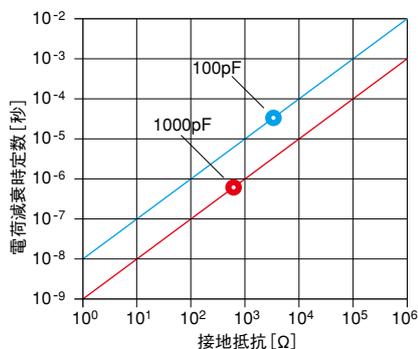
接地の電気抵抗値は  $1 \text{ [M}\Omega \text{]}$  以下であればよいとされており、その他特別な工夫も必要なく、静電気対策方法としては容易で効果的な点で、一般的に多くの環境で使用されています。

逆に考えると、万が一機械類の接地を忘れられる危険性があり、また、気づかないうちに接地部分が腐食することにより接地が機能しなくなることがあるので、注意する必要があります。

接地が効果的なのは導体の場合だけであって、ガラスやプラスチックなどの絶縁体には効果はありません。

絶縁体の場合、帯電した電荷は移動せずそのまま残ることになり、除電されることはありません。

【図 3-1-1】 接地抵抗率と漏洩時間



漏洩時定数  $\tau$  は、導体の静電容量  $C$  と接地抵抗値  $R$  の積となり、接地抵抗が  $10\Omega$  でも  $100\Omega$  でも電荷はほぼ瞬間的に漏洩すると考えられる。

## 静電気の基礎

### 1 静電気のメカニズム

しかし、接地をした導体に絶縁体が接していると、絶縁体の静電気が消えたように見えることがあります。実際、この状態で電位を測ると電位が低くなっています。これが、接地により絶縁体でも除電ができると誤解される原因なのです。図(3-1-2)

その理由は、導体の場合は接地により自由に電荷の移動ができる状態にあり、そこに帯電した絶縁体が接すると導体の表面には帯電した絶縁体の電荷と反対極性の電荷が引き寄せられます。

つまり、接地した導体と接している面では、プラスとマイナスが中和した状態になることで、見かけ上は除電できたように見えるのです。しかし、当然ながら、絶縁体の電荷は移動していません。導体から引き離すと、消えたように見えた静電気はそのまま残っていることがわかります。

### 2 実際の静電気発生の様子

### 3 電気の性質

### 4 電荷量と電界

このように、絶縁体の場合は接地をしても、電荷は普通漏洩しません。ただし、絶縁体が多少の導電性を持っていれば、接地によって電荷が少しずつ失われることもあります。

### 5 電気力線

極めて帯電しやすい人体の電荷を逃すには、人体は導体に近いので、接地が有効になります。

### 6 静電容量

人体の接地には、「リストラップ」があります。

リストラップとは、人体より発生する静電気が、作業中に悪影響を与えないようにするために、作業者の皮膚を接地することで、人体の電位を逃すことです。静電気防止を考える上で、作業中はこのリストラップは必ず着用すべきです。図(3-1-3)はリストラップの構成図で、手首に取り付けるカフ部とその接続部、リード線、接地接続部などでできています。

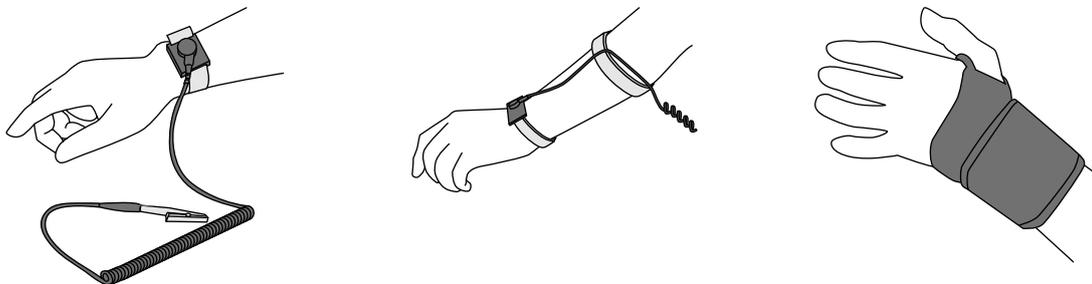
また、図(3-1-4)は、タイプ別リストラップです。

### 7 導体と絶縁体

## 様々な静電気障害

### 1 人体に感じるこの出来る静電気

【図 3-1-4】タイプ別リストラップ



### 2 産業別静電気障害

### 3 静電気破壊のメカニズム

### 4 静電気力による付着のメカニズム

### 5 静電気放電による、着火・爆発

## 静電気対策の基礎知識

### 1 導体に対する対策

リストラップは、構造、使用目的によって様々な種類があります。また、リストラップを効果的に使用するためにはしっかり手首にフィットし、完全に皮膚と接触するように使用し、作業者に不快感を与えない装着が求められます。

また、リストラップを選択する上で考慮すべき点として、使用時の安全性を保持するために、人体安全性、作業性、品質管理などを考慮する必要があります。

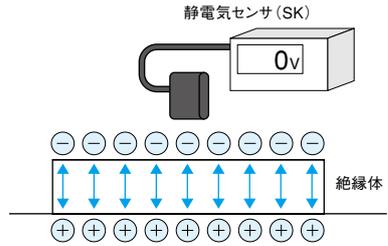
### 2 絶縁体に対する対策

### 3 除電器(イオナイザー)の原理

## 静電気Q&A

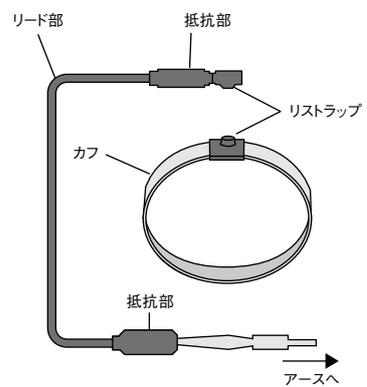
## 用語集

【図 3-1-2】絶縁体フィルムの裏面に導体板が密着して接地されている場合



接地した導体に絶縁体が接していると、絶縁体の静電気が消えたように見え、この状態で電位を測ると電位が低くなる。

【図 3-1-3】リストラップ構成図



以下は、リストラップ選択時の内容として必要な確認事項です。

### 1) 溶剤への耐久性

作業領域内で使用する可能性のある溶剤すべてによって、リストラップの構成材料が劣化しないことや特性が変化しないことを確認します。これは、リストラップは手首に装着するので、あやまって溶剤がカフ部やリード部分にかかる可能性があるためです。

### 2) 汗に対する耐久性

人体から発生する汗が原因で、リストラップの金属製部分にさびや腐食に対する耐久性を確認します。また、繊維製やプラスチック製のカフの場合には、吸着現象により汗による塩やゴミがたまり、コンタミや抵抗増加の可能性もあるので、さびや腐食、コンタミ発生の試験などが必要です

### 3) 着脱の加減

リストラップの着脱加減を確認します。  
リストラップは着脱が簡単で、作業中にあまり簡単にはずれることのない程度の接合力が必要です。簡単にはずれてしまうと、効果の低下につながるので、各コネクタ部分(カフとリード、リードとアース端子)は、ある程度の接合力が必要です。しかし、一方過大な電流が流れたり他の機械的な危険があった場合に、瞬時に人体よりリストラップを取り外すことも考えなくてはなりません。

### 4) リードの強度

リードの強度は、着脱試験で定めた基準値を上回っているか確認します。

### 5) ライフ

ライフ試験装置により、リストラップの交換サイクルを確認します。  
ただし、このライフは、リストラップの構造や破壊モードにより変化するので、定期的な接続不良、コードの劣化検査、カフ部分と皮膚との接触の安定性などの確認が必要です。

### 6) 電流限界抵抗

電流限界抵抗は、基本的には高電圧電源からの電流値をあるレベル以下に設定され、一般的には1MΩ～800kΩ程度となっています。(領域によってはこれより小さい抵抗値のものを使用する場合もある)この抵抗値の確認には、ステンレスシリンダにリストラップを取り付け、そのシリンダとアース間の抵抗を測定する方法があります。

### 7) 使い心地

作業者に不快感を与えない装着感(違和感)を確認します。  
リストラップは、直接人体へ装着することから、作業者には違和感があるものです。最近では、デザインの改良も進み不快感は軽減されつつありますが、着脱作業が面倒や手首への重量感など問題点は様々です。中でも、洗浄ができないことへの不潔感やカフ部分の金属製のボタンにより使用後に手に跡が残るなどの不快に関しては、リストラップの選択で解決できることもあります。作業効率が悪化しないよう可能な方法で改良を行うことが必要です。

以上のように、リストラップの主要目的は、人体の静電気を逃すことですが、リストラップを着用することで、作業性を落としたり、汚染を発生させたりすることがなく、しかも、長時間着用しても作業者に負担がかからないよう設計されたものを選択することが重要です。

静電気の基礎

1 静電気のメカニズム

2 実際の静電気発生の様子

3 電気の性質

4 電荷量と電界

5 電気力線

6 静電容量

7 導体と絶縁体

様々な静電気障害

1 人体に感じることの出来る静電気

2 産業別静電気障害

3 静電気破壊のメカニズム

4 静電気力による付着のメカニズム

5 静電気放電による、着火・爆発

静電気対策の基礎知識

1 導体に対する対策

2 絶縁体に対する対策

3 除電器(イオナイザー)の原理

静電気Q&A

用語集

### 静電気防止床材

静電気管理を行う上で、管理領域の床帯電は、移動する人間や機器類に静電気を発生させる大きな要因となります。床の静電気防止管理を大きく2つに分けると、まず、“作業者との接触においての帯電を抑制する”帯電防止の考え方と、“発生した電荷を穏やかに拡散する”接地の考え方があります。

ここでは、主な床材料であるカーペットやフロアマット、タイルなどの帯電防止について検証します。

表(3-1-5)は、静電気防止床材料とその構造的な特徴や利点などを比較した表です。

【表 3-1-5】 静電気防止床材料比較表

製品名	利点	問題点	電気特性
カーペット	美観・快適さ	電子産業製造用途では使用しない。	低いものもあるが通常は、 $10^{10}$ Ω程度
フロアマット ①導電型 ②静電気防止型	取付け容易 良好な静電気防止特性 既存の床に使用可能	局部的保護。 カールしやすい。 湿度依存性あり。 コンタミの発生あり。	$10^7$ Ω以下 $10^9 \sim 10^{12}$ Ω
静電気防止塗布床 ①導電型 ②塗布型静電気防止剤 ③床用静電気防止剤	既存の床に使用可能 良好な静電気防止特性 処理が簡単・コスト安 処理が簡単・コスト安	コンタミ、耐久性。 ライフ、特性。 バラツキ、湿度依存、 保守/再処理	$10^7$ Ω以下 $10^9 \sim 10^{12}$ Ω $10^9 \sim 10^{12}$ Ω
静電気防止張床	静電気防止特性が良い 耐久性・永続性が良い 一部クリーンルームに使用できるものがある	コスト 既存設備への取付け	$10^5$ Ω程度

#### ●カーペット

カーペットは、美観や快適さの利点からコンピュータールームなどで使用されますが、IC製造などクリティカルな現場での静電気管理上の防止効果はありません。

#### ●フロアマット

局部的な静電気防止管理に向いています。主に静電気防止床材料を施していない作業台周辺や検査室内の局部保護的に使用します。材料としては、導電性カーボンを配合したゴム、ビニール、ポリオレフィンの材料とニトリル系のポリマーの2層構造になったものが主流です。

特徴としては、比較的施工が容易な反面、マットの汚れや材料の劣化、マットがめくれ上がりやすいなどの問題点もあります。

#### ●静電気防止塗布床

静電気防止塗布床には、導電性塗料と塗布型静電気防止剤と床用塗布型静電気防止剤の3種類があります。

導電性塗料は、導電性カーボン繊維や金属繊維などを混入した導電性床材料で、非常に使用しやすく静電気防止特性も良いので広い工場全体の静電気防止が可能です。ただし、ダスト発生や耐久性の問題点などからクリーンルームでの使用には不向きです。

塗布型静電気防止剤に関しては、本来床に使用するものではなく、耐久性や再処理期間(ライフ)に問題があります。コストが安いのが利点です。

床用塗布型静電気防止剤は、床表面のワックスなどを除去した後に床表面を洗浄し、静電気防止剤塗布という3液で処理するものが主流です。一度目については、処理コストが比較的安く特性も良いという利点もあるが、特性の維持が湿度や外部要因による依存性のあるものがあったり、業者委託による再処理にかかるコストが予想より高つく可能性があります。

### ●静電気防止張床材

静電気防止張床材には、タイルやシートなど導電性ビニール素材のタイルやシートタイプと、メタルファイバ繊維などを混入したカーペットタイプがあります。タイルやシートタイプは、導電性材料がタイル全体に分布していることから電気防止特性はかなり良く、耐久性も良いので、静電気管理には最適です。ただし、コストが非常に高くなります。

### 静電気防止靴

靴の静電気防止対策としては、一般的な靴にヒールストラップやアングルストラップなどを取り付けて接地する方法や静電気帯電防止用安全靴など導電性特性を付加したものがああります。その場合の導電性は、構造と材質に依存します。床と同様に靴についても、静電気管理領域でチェックすべき重要なポイントです。

### 静電気帯電防止衣服

人体と衣服は、静電的に分離あるいは絶縁されています。ですから、人体に接地が施されていても衣服の帯電を拡散することはできません。衣服の静電気防止については、様々な管理衣料品がありますが、その特性は衣服の中に着るインナーや作業者の汗など衣服の中の湿度や温度に多に依存します。静電気管理領域での、静電気防止されていない衣服を着用する場合は、その発生静電気電圧の測定や、一般的な静電気防止された服の着用の場合は、摩擦電気の発生量や減退特性、表面抵抗率などを測定し、その特性による対策が必要になります。

## III-2 絶縁体に対する対策

### 導電化

絶縁体は電気を流すことができないので、絶縁体では接地による除電の効果はありません。しかし、帯電する絶縁体材料を導電化することにより、その材料の一端を接地することで電荷の除去が容易にできるようになります。このように絶縁体を導電化する方法には、材料表面の導電化と材料に導電性の良い材料を含ませることで導電化する方法があります。

### ●表面導電化

表面導電化は、材料表面のみを導電化することで、もとの材料の特性を損なうことなく帯電防止できるので、一般的な方法です。主に、静電気防止剤を使用します。

具体的には、除電が必要な高分子材料などの表面に電気誘導性の高い金属の薄い膜で被うことで、金属層の導電性によって電荷の漏洩を早める方法や、カーボンブラックや銀の粒子などの導電性材料を塗料に含ませた導電性塗料を塗布する方法、また、表面を親水化することで、表面吸着した水分により電荷漏洩を早める方法などがあります。デメリットとしては、洗浄や表面の劣化などにより防止効果が低くなる場合があります。

### ●体積的導電化

体積的導電化は、高分子材料にカーボン繊維などの導電性材料を混入することで、材料自体を導電化する方法です。

この方法は、高分子材料が確実に導電性になることから、接地により簡単に除電が可能になります。また、その効果は、表面を洗浄しても材料自体が導電化しているため、表面導電化に比べて永続性が良いといえます。

ただし、導電性物質を混入した場合、もとの材料特性が損なわれることや、導電性材料にカーボンブラックなどを用いた高分子材料は、黒色で不透明になるため用途に限られることとなります。

主に、電子回路の基板や電子部品などクリティカルな製品を入れる保存袋などに多く用いられています。

静電気の基礎

1 静電気のメカニズム

2 実際の静電気発生の様子

3 電気の性質

4 電荷量と電界

5 電気力線

6 静電容量

7 導体と絶縁体

様々な静電気障害

1 人体に感じるこの出来る静電気

2 産業別静電気障害

3 静電気破壊のメカニズム

4 静電気力による付着のメカニズム

5 静電気放電による、着火・爆発

III 静電気対策の基礎知識

1 導体に対する対策

2 絶縁体に対する対策

3 除電器(イオナイザー)の原理

静電気Q&A

用語集

**塗布型静電気防止剤の電荷抑制効果**

塗布型静電気防止剤は、液体を材料表面を塗布し静電気をコントロールするものです。その機能は、表面の導電性を高めることで、電荷を周囲の環境に拡散させるというのですが、その電荷抑制効果には次のような考え方があります。

●塗布型静電気防止剤により、材料表面の導電性が高められた結果、電荷発生時の2つの材料間の電子交換をスムーズにする。つまり、2つの材料の電子バランスが中和され、摩擦電気の発生を抑えられ、材料表面の電荷は導電化により、大気中に拡散します。

●塗布型静電気防止剤には、材料表面の+イオンと-イオンをバランスのとれた状態にする能力があると考えられます。これは、材料表面に発生した摩擦電荷を、イオンが中和したりイオン交換によって電荷を大気中に拡散するからです。

●塗布型静電気防止剤により、材料表面を平滑にすることで、摩擦による電荷を抑えます。

**【参考】**

帯電防止スプレーの原理：

簡易的な静電気対策として、帯電防止スプレーがあります。

図(3-2-3)のように、帯電防止スプレーは、絶縁体の表面に界面活性剤の皮膜を作り、界面活性剤が空気中の水分を吸収することで電気が流れるようになります。つまり、帯電防止スプレーとは、絶縁体の表面に導電体の皮膜を作り電気が流れる仕組みを作るものです。

製造現場では、パーツフィーダーの横などに置かれており、部品が詰まったときなどに吹きかけて使用します。

**湿度管理**

静電気防止の方法として、湿度管理(加湿)があります。これは、環境を一定の湿度に保つことにより、材料表面に水分を含ませて、表面導電性を高める方法です。逆に、空気が乾燥しているということは、電気を通しやすい水分が減ることなので、電気は移動しにくく、放電を起こす場合もあります。夏より冬の方が静電気障害を起こしやすいのは、湿度が低い上暖房によりさらに乾燥が進むためです。このことが、製造現場で季節要因による不良品率を増加させる原因となっています。

湿度には、相対湿度と絶対湿度という言い方があり、一般的に使われる湿度とは相対湿度のことを指しています。

相対湿度とは、空気が結露せずに含むことのできる水蒸気を1として、これに対する実際の水蒸気量をパーセンテージで表したものです。

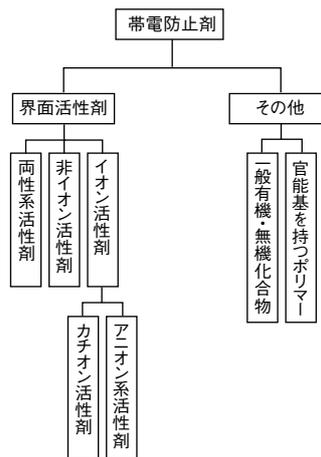
相対湿度が35%を切ると、一般的に静電気が起きにくいとされる木綿や木などの天然素材にも、静電気が起きるといわれています。また、相対湿度が65%を超えると静電気は発生しにくくなり、発生したとしても自然に漏洩します。

図(3-2-4)は電荷の空気中への漏洩と湿度の関係を表したものです。

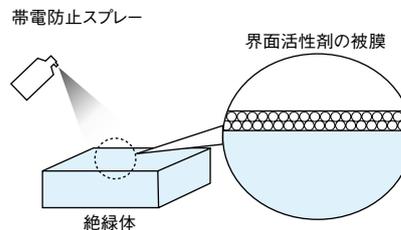
高湿度の空気中では、帯電体表面の電荷密度が高い程、電荷は急速に大気中に放出され、表面電荷はある程度まで減衰します。それ以後は減衰速度は低下してしまい、多少の電荷は残りますが、湿度管理によって材料の帯電レベルを、障害の起こりにくいレベルまで下げて保つことが可能になります。

加湿の方法は、加湿器を使用するのが一般的です。他に、水蒸気を噴出したり、作業床面に水をまくなどがあります。ただし、作業者の不快感による作業能率の低下や結露、錆、カビを助長するなどの問題点があります。

**[表 3-2-2] 帯電防止剤の種類**

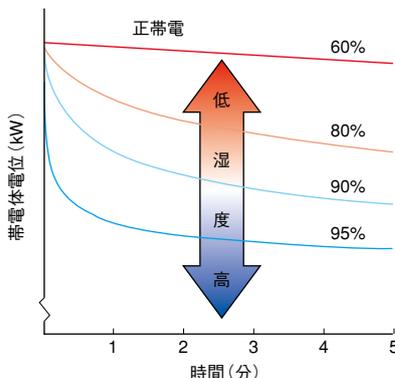


**[図 3-2-3] 帯電防止スプレーの原理**



＜メリットとデメリット＞  
 メリット：手軽に簡単に静電気対策が可能  
 デメリット：効果が長続きしない

**[図 3-2-4] 電荷の空気中への漏洩と湿度の関係**



帯電体の電位がある程度高いときに湿度を高くすることで、電荷は気中への漏洩する。

### III-3 除電器(イオナイザー)原理

空気は、78%の窒素分子と残りほとんどの酸素分子と、わずかな二酸化炭素と水蒸気で構成されています。

これらの空気中の分子が、風や嵐、雷などの気象条件や太陽の放射線、地表の放射線物質が原因により、電気的にプラスまたはマイナスに電離することにより、空気イオンが発生します。

この空気イオンは、プラスとマイナスどちらの極性もあり、それぞれ反対極性に吸着することで中和するという特性を持っています。この特性を利用して、電気的に一方の極性に偏ってしまった物体に逆極性のイオンを供給することで、強制的に帯電電荷を中和し、結果的に帯電物の除電をする装置が除電器(イオナイザー)なのです。

除電器(イオナイザー)には、静電気を中和(除電)するだけでなく、材料の帯電防止や空気中の微粒子の帯電防止の効果もあります。また、湿度を嫌う作業環境で、接地なども適さない場合(動いている装置や絶縁物など)の静電気除去補完対策として多く用いられ、静電気防止管理には欠かすことのできない除電方法の1つです。

除電器(イオナイザー)の種類は、空気分子の電離方法によって「コロナ放電式」と「光照射式」に分けられます。

コロナ放電式の除電器は、針状の放電電極へ電界を集中させることによりコロナ放電を発生させ、イオン化した空気で除電する仕組みで、さらに「自己放電式」と「電圧印加式」に分かれます。

光照射式の除電器は、微弱な軟X線を使用することから、「軟X線式」と呼ばれます。

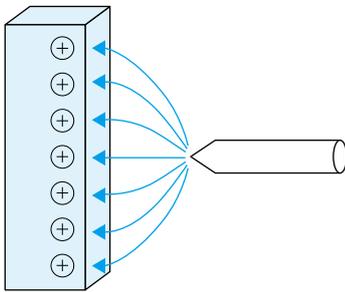
次に、これら除電器(イオナイザー)の、それぞれの特徴や使用用途、メカニズムについて詳しく説明していきます。

#### 自己放電式

帯電体に、繊維やワイヤーなど針のように尖った導体(金属など)を接近させると、その先端部には誘導電荷が集中し、先端部の電界が強くなり、その結果気中放電の一種であるコロナ放電が発生します。(図3-3-1)このとき、針電極以外では絶縁破壊強度を越えていないので、放電は先端部だけで起こることになります。

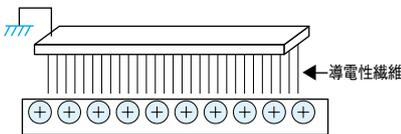
このコロナ放電が開始すると、帯電電荷と逆極性のイオンが発生し、電界の電荷は中和されます。この現象を利用して静電気を除電するのが、コロナ放電式の除電器です。

【図3-3-1】針電極に集中する誘導電荷



針電極先端に誘導電荷が集中し、電界が強くなる。

【図3-3-2】自己放電式除電器の構造



自己放電式除電器は、細い導電性繊維のブラシ状のものに接地をしたもので、帯電体と接近することにより起こるコロナ放電で、逆極性の電荷と結びつくことにより除電する。

自己放電式除電器は、カーボンなどの導電性の繊維を束ねたブラシ状のものを接地するという、シンプルな構造でできています。(図3-3-2)

帯電物が接近することによって静電誘導が起こり、接地を通して導電性繊維の先に帯電物と反対極性の電荷が集中します。これが、一定量を超えると、コロナ放電を起こし、発生した空気イオンは帯電物に引き寄せられ、帯電物の電荷と結びつき、中和状態になります。

この自己放電式除電器は、電圧供給源を必要とせず、安価で取り付けも容易なことから幅広く利用されています。身近なものでは、ファクシミリやコピー機の給排紙口付近に取り付けられ、用紙の除電などに使用されています。

図(3-3-3)は、自己放電式除電器の除電能力を表したものです。自己放電式除電器は、帯電物の電荷によって電界を作るので、帯電物の電荷量が多ければ多いほど強くなりますが、逆に帯電体の電荷量が少ないとコロナ放電は起きません。そのため、静電気を完全に除去することは難しく、精度の高い除電には不向きです。

### 電圧印加式

電圧印加式除電器は、先端の尖った電極針に高圧電源を用いて自発的にコロナ放電を起こすという、高電圧放電技術の応用で、帯電電荷を中和する装置です。

図(3-3-4)のように、コロナ放電を発生させるため高電圧を印加する針状の電極と、高圧電源、アース電極で構成されており、電極針に高電圧(3kV以上)を印加することで電極針の先端部分でコロナ放電を発生させています。

コロナ放電が発生すると、電極針周辺に存在している空気が電離し、イオンとなって、このイオンを帯電物に与えることで除電を行っています。自己放電式除電器のイオン生成が除電対象物の帯電量に依存することに対し、電圧印加式除電器は、電極針に強制的に高電圧をかけるので、電源を入れるだけで安定した高い除電能力を発揮するので、精度の高い除電を必要とする製造現場などで、多く利用されています。

図(3-3-5)は、電圧印加式の中で一般的な交流式(AC方式)除電器です。電極針を等間隔で並べた電極と長方形の板状の対向電極で構成されており、対向電極は接地されています。

この交流式(AC方式)除電器は、一定サイクル毎にプラスまたはマイナスの放電でイオンを生成し、生成されたイオンの一部が対向電極に吸収され、残りのイオンは対向電極を通り抜け、帯電体表面に届きその電荷を中和するというメカニズムです。

これら電圧印加式除電器の電極針は、鋭いイオン発生能力が高まります。電極針先端はイオンが衝突するため破壊されやすいので、イオン衝突によるストレスに強い材料を選ぶ必要があります。スチール製の電極針は加工が容易な反面ストレスには弱く、タングステン製はストレスに強く長寿命なのですが、比較的高価になります。

### 軟X線式

紫外線より波長の短い10分の数 [nm] から数十 [nm] の範囲のX線の一種です。

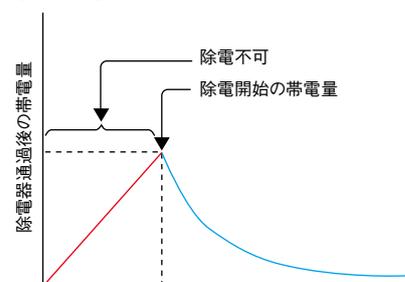
この軟X線は、空気を電離する作用があり、空気中のガス分子を直接イオン化することで除電する装置が、軟X線式除電器(光照射式)です。

特徴は、軟X線を照射するだけで除電効果が得られるので、短時間で広い範囲の除電が可能です。

しかし、軟X線は微弱とはいえ、X線の一種であるため人体には有害であり、法的な届け出義務もあります。使用に際しては十分な管理と特別な遮へい設備が必要で、コストも問題となります。

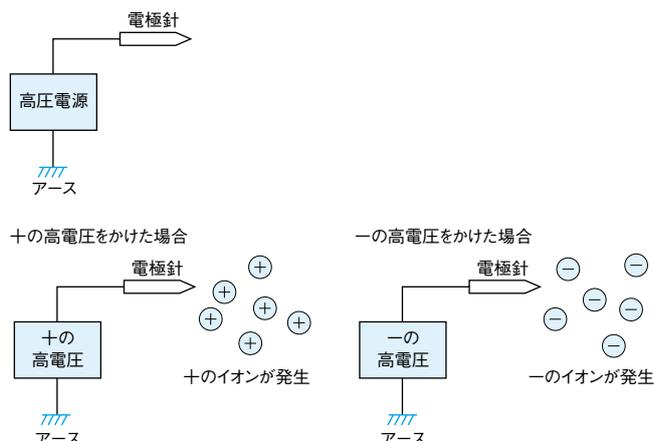
このようなことから、現実的には、パイプ内を流動する粉体の除電など、イオンが届きにくい限られた空間で除電する場合、コロナ放電式の代わりに使用されることが多いようです。

【図 3-3-3】 除電器での除電能力



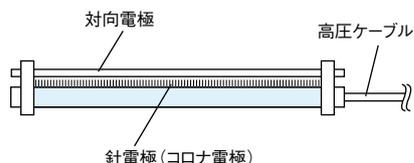
自己放電式除電器は帯電物の電荷が作り出す電界でコロナ放電を起こすため、帯電体の電荷が一定値を超えないと効果がない。

【図 3-3-4】 コロナ放電式除電器の構造



プラスの電圧を印加すると+のイオン、マイナスの電圧を印加すると-のイオンが発生する。

【図 3-3-5】 交流式除電器の構造



# 静電気ハンドブック

## 付録

静電気Q&A	32
用語集	36

# 静電気 Q&A

## I 静電気の基礎

### 1 静電気のメカニズム

### 2 実際の静電気発生の様子

### 3 電気の性質

### 4 電荷量と電界

### 5 電気力線

### 6 静電容量

### 7 導体と絶縁体

#### Q：雷は、静電気が原因で起こるのでしょうか？

A：はい。雷は雲が帯電することによって発生する、大きな静電気です。雲の中には、水蒸気が氷結し大きさの違う氷の粒子ができます。それらの粒子が衝突することで、大きな方の氷の粒子はプラスに小さな方の氷の粒子はマイナスに帯電します。これは、非対称摩擦帯電という現象で、同じ物質同士であっても、大きさが違う物体の間の摩擦により帯電する現象で、摩擦熱発生に伴う温度上昇や摩擦面の受ける力学的ストレスの違いが原因ではと考えられています。これらの電荷は大気中に分布を持ち、その電界が大気中の絶縁破壊強度を超えると静電気放電つまり雷を起こします。このように発生する雷の静電気力は、一般的なものでも電球約一億個分の電力に相当します。

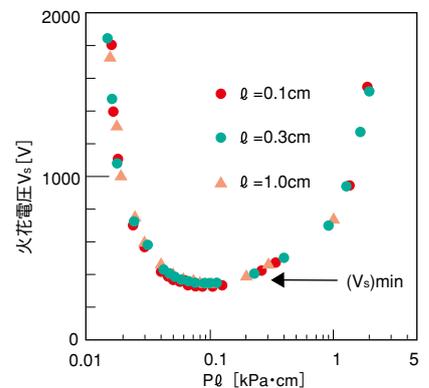
#### Q：プラスチックは帯電すると言われますが、帯電しやすい材料やしにくい材料などあるのでしょうか？

A：世の中には、電気を通しやすい物質と通しにくい物質があります。金属など電圧を印加したときに電流が流れやすい物質を「導体」、プラスチックなど電流が流れにくい物質を「絶縁体」、その中間の抵抗率を持つ物質を「半導体」といいます。これら導体、絶縁体、半導体のいずれにも静電気は起こりますが、導体は、アース（接地）により速やかに電荷を逃すことができます。一方、絶縁体は電気が流れにくいので、物体表面に電荷が留まり、抑制された電子が部分的にプラスまたはマイナスに帯電するのです。しかし、導体であっても絶縁物の上に置いた状態であれば、絶縁体同様に帯電することになり、電気抵抗が高い場合は静電気発生を起こします。

#### Q：放電はどれくらいで起こるのでしょうか？

A：放電は、大きく火花放電（気中放電）とコロナ放電に分類されます。火花放電は、平板状電極、あるいは球電極同士の組み合わせで発生する放電により電極間の空間全体にわたる電離現象となり、このときパチパチという音と青白い火花が発生します。一方コロナ放電は、電極として針状平板状のような組み合わせを用いる場合に起こり、部分破壊により針先に電離領域が生まれます。火花放電については、パッシェンの法則により、放電電圧 [Vs] は、気体の気圧 [p] と電極間の距離 [l] との積の関数  $V=ft [pl]$  で表されます。（ft は関数を示す記号）グラフで見られるように、V 字の曲線になっているのが特徴で、距離 l を変化させても pl を一定にするように p を変化させれば火花電圧 Vs は変化しません。例えば、1 気圧の空气中であれば、距離 l は約  $6.6 \mu m$  でこの時の放電電圧は約 330V となります。

パッシェンの法則



## II 様々な静電気障害

### 1 人体に感じるこの出来る静電気

### 2 産業別静電気障害

### 3 静電気破壊のメカニズム

### 4 静電気力による付着のメカニズム

### 5 静電気放電による、着火・爆発

## III 静電気対策の基礎知識

### 1 導体に対する対策

### 2 絶縁体に対する対策

### 3 除電器（イオナイザー）の原理

## 静電気Q&A

## 用語集

**Q：金属などの導体は帯電しないのでしょうか？**

A：金属などの導体も、条件によっては帯電します。

金属導体は、原子核に固定されほとんど動かない陽子(+)と自由に動き回ることのできる無数の電子(-)からなり、中和状態を保っています。そこで、異なった金属同士が接触するなど電場にさらされると、接触界面ではこの自由電子が移動し、金属表面間に電位差ができます。このとき、電子は仕事関数の小さな金属から大きな金属へ向かって移動し、電子を放出した(仕事関数が小さい)方がプラスに電子を受け入れた(仕事関数が大きい方)がマイナスに帯電することになります。

金属などの導体は、アース(接地)などの処置を施すことで容易に電荷を逃すことが出来ます。接地によって導体の電位が中性(0V)の状態に保たれるからです。

**Q：静電気の発生と季節は関係があるのでしょうか？**

A：はい。季節要因は主に湿度との関係が大きいのです。

同じ環境下で取り扱われた部品が季節により不良品率に違いが生じることがあります。冬の乾燥した時期は静電気が発生しやすく、そのことが原因で障害につながるケースの増加です。

空気が乾燥しているということは、電気を通しやすい水分が減ることなので、電気は移動しにくくなります。夏より冬の方が静電気障害を起こしやすいのは、湿度が低い上暖房によりさらに乾燥が進むためです。逆に、加湿することで空気中の水分が吸着することにより伝導性を持ち、電荷を逃しやすくなるので、加湿することで静電気対策としての効果が得られます。

湿度には、相対湿度と絶対湿度という言い方があり、一般的に使われる湿度とは相対湿度のことを指しています。相対湿度とは、空気が結露せずに含むことのできる水蒸気を1として、これに対する実際の水蒸気量をパーセンテージで表したものです。相対湿度が35%を切ると、一般的に静電気が起きにくいとされる木綿や木などの天然素材にも、静電気が起きるといわれています。また、相対湿度が65%を超えると静電気は発生しにくくなり、発生したとしても自然に漏洩します。

**Q：摩擦を繰り返し行くと、摩擦帯電量は無限に大きくなるのでしょうか？**

A：いいえ。

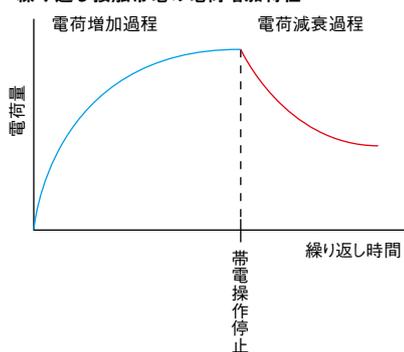
摩擦を一定の頻度で繰り返し行っていると、帯電量は始め時間に比例して増加し、時間の経過とともに次第に増加傾向が弱まり、ついには増加が止まって飽和状態になります。

例えば、プラスチック板を繰り返し擦った場合、いつも正確に同じ場所を擦っているのではなく、現実的にはその位置は微妙にずれています。この新しい接触面積の増加が帯電量の増加につながります。そして、摩擦を繰り返すうちに、だんだん何度か接触した部分に再び接触することが、頻繁に起こるようになります。接触帯電では、瞬間的に電荷の移動が行われるので、一度接触すると、その部分はほぼ十分に帯電してしまいます。つまり、新しい接触面積が減少していくことで、帯電量は減衰していくこととなります。

**Q：水は帯電するのでしょうか？**

A：はい、帯電します。水は導体で、非常に電気を通しやすい性質を持っています。ですから、この水をアース(接地)することで、電荷は大地に逃げていきます。しかし、大地に触れない状態で、個体との接触や剥離を繰り返すと帯電することになります。例えば、帯電体の近くで水滴が落下したり、ノズルを通して水が噴出するときなどは誘導帯電によって帯電します。

繰り返し接触帯電の電荷増加特性



**Q：液体と個体または液体同士でも帯電するのでしょうか？**

A：異なる物質の場合は、液体と個体でも液体同士でも帯電します。  
 例えば、パイプ内に液体を流すと、液体と個体のパイプが接触し、パイプの壁に選択的にプラスあるいはマイナスの電荷が吸着され、液体側には反対符号の電荷が残ります。この液体の流動によって液体側に分散した電荷が持ち去られることが、原因で帯電することになり、これを流動帯電といいます。  
 また、液体同士を混合した時など、液体中に微粒子を分散させると微粒子は液体との接触により帯電します。この時、微粒子が液体中で沈む時には粒子密度の低い上部液体と粒子密度が高い下部液体との間に電位差ができます。そして、これを沈澱帯電といいます。

**Q：静電気対策の管理を実施するには、どうすればいいのでしょうか？**

A：静電気が発生するために起こる障害は、あらゆる業種に及びます。その障害は、生産工程で生産能率を低下させたり、デバイスの破壊や機器の誤作動など様々です。  
 静電気障害を防止するには、電荷の発生を無くすことは無理としても、その発生を少しでも抑制することを考えます。まず、加湿などによる環境対策や接地による対策、それでも有効でない場合は、イオナイザーなどの除電器での対策を組み合わせることになります。  
 これらの対策を実施するためには、まず対象物となる製品などの帯電量を測定し、どの工程で発生するかなどの状況を診断します。帯電量の計測は電位計により正確な測定が可能です。  
 また、静電気に関する状況は、常に環境の変化などの原因により容易に変化してしまうため、こまめに対象物の帯電状態の変化をチェックする必要があります。この帯電状態は、環境条件を含む様々な状況の変化とともに記録して残すことにより、静電気対策をたてる上で有効なデータになります。



静電気センサ [SK]

**Q：電子デバイスの静電気破壊はどのような原因で、また、どの程度の帯電で発生するのでしょうか？**

A：IC(集積回路)などの電子部品が静電気によって破壊する現象を静電気破壊といいます。電子部品の静電気破壊の場合は、静電気放電によって、一時的に高い電圧の電気が流れると、絶縁性の高い酸化シリコンなどの薄い膜(絶縁層)が破られ、中の回路が破壊されてしまいます。  
 これらは主に組み立て工程の作業者の帯電が原因となります。人体は特に動き回ったりいろいろな動作をするため、帯電しやすくなり、帯電した作業者がICなどに接触することで容易に静電気破壊が起こります。対策としては、リストラップの装着や帯電防止服や靴の着用など人体への管理や床や椅子など備品の管理になります。  
 特に、近年は電子部品は軽量・小型化が進み、デバイスの静電気敏感性は非常に大きくなってきました。MOS半導体では、約80~100Vの電圧がかかるだけで、半導体としての機能を失ってしまいます。人がチクリと痛みを感じる程度でおおよそ3kVの電圧なので、いかに微量か想像できます。

半導体素子の種類と破壊電圧の図

半導体素子の種類	破壊電圧
MOS型IC	80~100V
ジャンクション電界効果トランジスタ	140~1,000V
CMOS型IC	200~2,000V
アドバンスショットキーダイオード	100~450V
MOS電界効果トランジスタ	50~300V
バイポーラトランジスタ	380~5,000V
サイリスタ	600~1,000V

**Q：半導体デバイスの静電気破壊モデルには、どのようなものがありますか？**

A：静電気破壊原因となる帯電体には、作業員、装置類、半導体素子自身が考えられ「人体帯電 (HBM) モデル」「マシンモデル (MM)」「デバイス帯電 (CDM) モデル」の大きく3つに分けられます。

「人体帯電モデル」は、静電気を帯びた人がデバイスのリードに触れた際の放電等により、デバイスが帯電するなど、外部の静電氣的帯電物から半導体デバイスへの放電が原因で静電気が発生することです。また、静電氣的帯電物が装置などの場合は、「マシンモデル」と呼びます。

そして、「デバイス帯電モデル」は、半導体デバイスの生産工程や組立て時に、デバイス自身が帯電することが原因で静電気破壊を起こす放電モデルです。

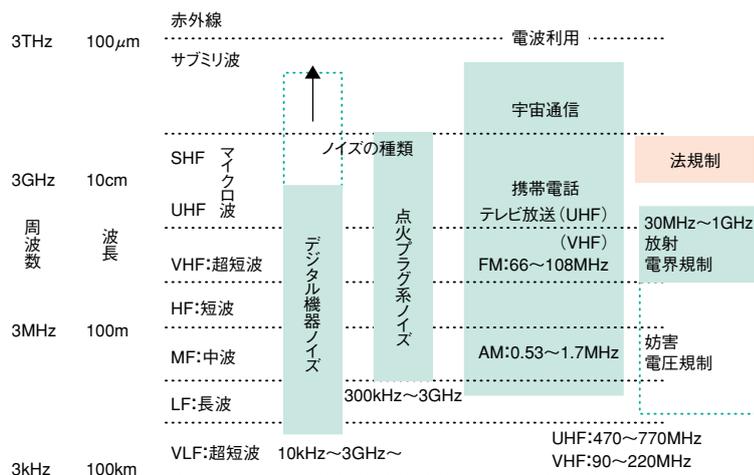
※P17 参照

**Q：静電気放電ノイズは、どのような障害につながるのでしょうか？**

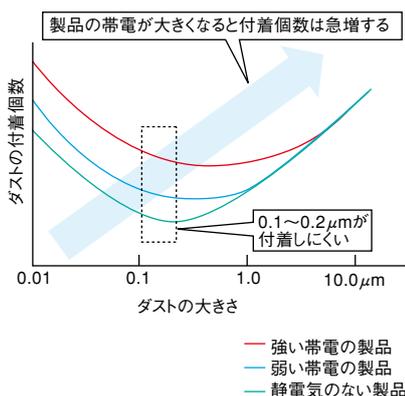
A：静電気放電は、急峻なパルス放電であるために電磁波を発生し、測定装置のノイズ源となり周辺の電子機器システムに誤作動を引き起こします。

多くの生産現場は装置類がコンピュータによって制御されているため、その影響は広い範囲に及ぶことになります。

これらの電磁波は、超長波 (3 ~ 30kHz) からマイクロ波、サブミリ波まで大きく分類されます。主なノイズ源であるデジタル機器ノイズは 10kHz ~ 3GHz の広範囲で発生しているといわれ、ラジオやテレビ放送などの電波利用周波と重なり電磁波障害となります。



**Q：コンタミネーションは、静電気の帯電電位、ダストの粒径などとの関係がありますか？**



A：帯電している物体同士が近づくと、ちょうど磁石のN極とS極のように、同じ極性の静電気は反発し、違う静電気は引き付けあうような力が働きます。このような力を「クーロン力」といい、この帯電体の作用力により、帯電体表面に周囲に存在するダストを吸引し付着します。このときの電荷量は、帯電体表面の電位の大きさに比例し、帯電量が大きくなると付着するダストの個数は急増します。図のように、帯電していない物体の表面には、0.1 ~ 0.2μmの大きさのダストが付着しにくいのがわかります。また、1μmより大きなダストになると、静電気はほとんど起こらなくなります。

このような微細な粒子や繊維、薄いフィルムや発泡スチロールなど表面積/質量の比が大きい物体の場合、クーロン力はその物体に作用する重力よりはるかに大きくなり、フィルム表面にゴミなどが付着した場合に、容易に離れないのはこのようなメカニズムです。

# 用語集

## 静電気の基礎

### 1 静電気のメカニズム

### 2 実際の静電気発生の様子

### 3 電気の性質

### 4 電荷量と電界

### 5 電気力線

### 6 静電容量

### 7 導体と絶縁体

## II 様々な静電気障害

### 1 人体に感じるものの出来る静電気

### 2 産業別静電気障害

### 3 静電気破壊のメカニズム

### 4 静電気力による付着のメカニズム

### 5 静電気放電による、着火・爆発

## III 静電気対策の基礎知識

### 1 導体に対する対策

### 2 絶縁体に対する対策

### 3 除電器(イオナイザー)の原理

### 静電気Q&A

### 用語集

	用語	解説	参照頁
3	アース	地面に電極を埋め込み、電気が大地に流れる様にしたもの。広義には、「ある回路において基準とみなす電位」という意味で使うこともある。別名:接地	III-1
	アースバンド	人体の帯電防止用の器具。別名:リストラップ	III-1
	I.C.C.制御	キーエンス独自の制御方式で、除電器から発生しているイオン量をセンシングし、帯電物に応じたイオンを供給したり、帯電物がない場合にイオンバランスを自動で調整する機能。Ion Current Controlの略。	VIII-1
4	IEC	International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)の略で、電気分野における、国際標準化機関	
	イ		
5	ESD	Electrostatic Discharge (エレクトロスタティック ディスチャージ)の略。IC用語。ICに発生又は印加した静電気。及びそれによるICの破壊を表す。	
	ESD/EOS規格	電氣的オーバーストレス、静電気放電に関する米国の規格	
6	イオナイザー	除電を行う装置。除電器ともいう。	III-3
	イオン	分子が電離した状態で、原子がプラスもしくはマイナスの電荷を帯びた状態。	
6	イオン電流	コロナ放電を発生させている際にコロナ放電に伴って流れる電流。	
	イオンバランス	帯電物をどれだけ0Vに近い状態に近づけることができるか、または、0Vをどれだけキープできるかを表した、除電器(イオナイザー)の能力	IV-2
	イオンモニタ	帯電物の帯電状況を表現したモニタ	
	引力	引き合う力。	
7	ウ		
	ULPAフィルタ	Ultra Low Penetration Air フィルターの略。定格流量で粒径が0.15μmの粒子に対して99.9995%以上の粒子捕獲率をもつエアフィルタ。半導体工場の様な高い清浄度が要求されるクリーンルームや生産装置等に使用される超高性能フィルタで、HEPAでは除去できない0.1μm程度の微少粒子も除去できる。効率を良くするためHEPAフィルタと比べ、濾材密度を高くし、空気抵抗を下げるため濾材を薄くした製品がULPAフィルタである。	
エ	エアパージ	圧縮空気などを使って、空気を噴出し、粉塵の付着等を防止する方法。	V-3
	AC方式	除電器(イオナイザー)の電圧印加方式の一種で、電極針に対して交流(AC)の高電圧を印加する方式。別名:交流方式	IV-3
オ	オゾン	オゾン(O <sub>3</sub> )とは空気中の酸素(O <sub>2</sub> )が化学反応で変化した物質(気体)	
カ	界面活性剤	水に溶けて水の表面張力を低下させる作用を界面活性性といい、少量で著しい界面活性を示す物質を界面活性剤という。石鹸は界面活性剤の一つ。 水に溶けにくい物質(たとえば油)を溶かしたり、個体の濡れ方を変えたりする作用を持つので、泡立て剤、乳化剤、分散剤、湿潤剤などとして用いられる。洗剤はこれらの作用の総合効果。	III-2
	加湿	湿度を上昇させる行い。	III-2
キ	C.A.B.構造	キーエンス社製、除電バーSJ-Gシリーズに搭載されている電極針の構造で、除電能力UPと電極針先端へのゴミの付着量を低減する効果がある。	VIII-2
	鏡像電荷	導体に電荷Qが接近したときに、静電誘導によって発生する電荷であり、ちょうど導体表面を鏡に見立てた場合に接近してきた電荷Qが鏡に写った虚像と同じ位置にあるため鏡像電荷という。	II-4
ク	クーロンの法則	ある帯電体に別の帯電体を近づけると、お互いに引き合ったり、反発しあったりするが、このときの電荷量と力の関係を表す法則をクーロンの法則と言い、その作用力をクーロン力という。	I-4
	クーロン力	帯電体に別の帯電体を近づけたときに発生する力のこと。	I-3
	クリーン度	クリーンルームの清浄度を現す数値で、1m <sup>3</sup> 中に含まれる粒子の数を表している。	
ケ	原子	あらゆる物質を形作る最小の単位。	I-1
	原子核	原子の中心にあり、正の電荷を持つ陽子と電荷を帯びていない中性子からなるもの	I-4
コ	高圧電源	高電圧を発生させる電源	
	高電圧	±数千Vといったように非常に高い電圧	
	交流方式	除電器(イオナイザー)の電圧印加方式の一種で、電極針に対して交流(AC)の高電圧を印加する方式。別名:AC方式	IV-3
	コロナ放電	針のように非常に極小な部分に高電圧を印加したときに発生する現象で放電の一種	III-3
シ	CEマーキング	EU統合により欧州域内で特定の製品の自由に流通させる上で貼付けが義務付けられたマークのことで、EU指令で規定されている安全性などの要求事項にすべて適合していることを示すものです。	
	自己放電式	特に電源を必要とせず、帯電物の電気を利用してコロナ放電を発生させるイオナイザー	III-3
	湿度	大気中に含まれる水蒸気量を単位体積あたりのパーセンテージで表したものの	
	周波数	繰り返し動作を行う際の1秒間あたりの回数。	
	除電	帯電物を電氣的に中和させること	
	除電器	除電を行う装置。イオナイザーともいう。	III-3
	除電時間	ある一定の電圧から所定の電圧まで除電するまでにかかる時間	
	セ		
1	静電気	静かにじっとしている電気。かと思うと突然動き出して雷鳴をどろどろかすこともある。塩化ビニールの下敷きに髪の毛が吸い寄せられたり、冬場の乾燥した時期にドアのノブに手をふれた際にビリッとしたり、するのは静電気が原因。静電気の特徴(物を吸い寄せ、火花が飛ぶ)が観測された場合、通常その周囲には数万ボルト以上に及ぶ電圧が発生している。	
	静電気障害	静電気によって発生する障害。例えば、電子部品やICの静電破壊やゴミの付着、小物部品の搬送トラブル、人の不快感などがある。	
2	静電気防止靴	導電性を持たせた靴。人体の帯電防止用に使われる。	III-1
	静電気防止服	衣服がこすれあって発生する静電気を防止するために、導電性の繊維等を織り込んで作られた衣服。クリーン服等。	III-1
3	静電気放電	静電気が帯電した物体から、静電気が放電する現象	
	静電気力	静電気によって発生する力。同じ極性同士の場合は斥力、異極性の場合は引力が発生する。	
3	静電破壊	静電気が放電することによって発生する、電気、電子部品の破損及び劣化	II-3
	静電誘導	導体に帯電物を近づけると、導体内部で発生する現象で、ちょうど帯電物が近づいてくる面に帯電物と逆極性の電荷を帯びる現象。(導体内部の電子が移動することによって、導体表面に極性ができる)	
静電気Q&A	静電容量	コンデンサなどにおいて、どのくらい電荷が蓄えられるかを表す量である。電気容量(でんきようりょう)とも呼ばれる。静電容量は単位電圧あたりの蓄えられた電荷として与えられる。単位はF(ファラド)であり、ある物体に1V(ボルト)の電圧を与えたとき、1C(クーロン)の電荷を蓄えたならば、その物体の静電容量は1Fとなる。1Fという電気容量は非常に大きい。このため、通常我々の周囲で用いられる電子デバイスでは、1Fの100万分の1(10 <sup>-6</sup> )の単位であるμF(マイクロファラド)や、1Fの1兆分の1(10 <sup>-12</sup> )の単位であるpF(ピコファラド)で静電容量を表すことが多い。	I-6
	斥力	反発しあう力。	
用語集	絶縁	電気を流さない状態。	
	絶縁体	電気を流すことのできない物質	I-7

	用語	解説	参照頁
	接触帯電	物質と物質が接触した際に発生する静電気で、あらゆる物質で発生する現象	I-1
	接地	電気機器と地面とを銅線などの導体でつなぐこと。また、その導体。大地と機器を同電位に保つことによって機器の電位が異常に上昇することを防いだり、雑音を低減したりする。	III-1
タ	帯電	物体が電荷を帯びること。	I-2
	帯電モニタ	キーンズ製除電器に搭載されている、対象物の帯電量を視覚的に表したモニタ。SJシリーズ全てに搭載。	
	帯電列	2種類の物質を互いに摩擦し正(+)に帯電しやすい物質と、負(-)に帯電しやすい物質を順番に並べたものを、帯電列(帯電系列)という。 この帯電列上で順列が離れているものほど、帯電量が大きくなり、順列に近いほど帯電量が低いと言われている。(実際には、周囲の温度、湿度によって順列が入れ替わる場合もあり、あくまで一般的な見解)	I-3
	ダウンフロー	クリーンルームなどで用いられている、部屋の上から下方にかけて一定の風速で流れる気流。	V-3
	タングステン	クロム族に属する遷移元素の一。元素記号 W 原子番号74。原子量183.84。重石として中国に多産する。光沢ある灰色の固体。融点は摂氏3410度と単体中最高で、電球・電子管のフィラメント・電極、また合金材料として用いる。	
チ	着火エネルギー	空気と混合した可燃性ガスのなかで火花放電が起こるとき、放電のエネルギーがあるしきい値をこえたと着火し、爆発する。このしきい値を最小着火エネルギーという。	II-5
	中性子	原子核の中にある、電荷を帯びていない粒子。	
テ	直流方式	除電器(イオナイザー)の電圧印加方式の一種で、電極針に対して直流(DC)の高電圧を印加する方式。別名:DC方式	IV-3
	DC方式	除電器(イオナイザー)の電圧印加方式の一種で、電極針に対して直流(DC)の高電圧を印加する方式。別名:直流方式	IV-3
	低分子シロキサン	シリコン製品の主成分であるメチルポリシロキサンの中で、低分子量で両端が合わり輪になったものを環状ポリシロキサンと呼ぶ。この低分子シロキサン(環状ポリシロキサン)は、Siの数によりD3、D4、D5・・・と呼ばれ、Dの数が少ないほど分子量が小さいために揮発しやすくなる。但し、D3は非常に揮発しやすいため、シリコン製品中には含まれていない。	
	電位	目的とする点(位置)が、基準となる物(大地、床、金属ケース等)又は点に対してどんな電圧であるかを示した値。	I-6
	電位差	任意の2点間の電圧差を示した値。	I-6
	電荷	帯電したものが持っている電気の量。陽子に比べて電子が多いと一、電子が少ないと十となる。記号はQ、単位はCで表す。2つの電荷量をQ1、Q2[C]、距離をr[m]、両電荷間に働く力をF[N]とすると、クーロンの法則は次の式で表される $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ [N]}$ 一般の媒質中では $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2} \text{ [N]}$ となる。(但し、 $\epsilon$ は媒質の比誘電率)	I-4
	電界	電荷が存在すると、同符号の電荷間には反発力が、異符号の電荷間には吸引力が働く。力の大きさは電荷間の距離の2乗に反比例する(クーロンの法則)。このように一方の電荷は他方の電荷に力を及ぼすので、電荷により電気的な影響を及ぼす場が空間中に作られることになり、これを電気の場、電場または電界と呼ぶ。また、電荷が運動すると電流が流れたという。	I-4
	電荷密度	単位体積当たりの電荷の分布量(体積密度)。電荷を担うものとしては電子や原子核、イオンのような粒子(素粒子や正孔などを含む)であったり、仮想的に一樣に分布する電荷のような場合もある。	
	電極針	除電器(イオナイザー)の高電圧を印加している針。この針の先端でコロナ放電が発生し、イオンが発生する。	III-3
	電気力線	(line of electric force, electrical flux line)とは、ファラデーによって発明された、電気力の様子を視覚的に表現する為の仮想的な線をいう。	I-5
電子	原子を構成する素粒子で負の電荷を持つ。電子は固体の化学結合及び電気、磁気、光学的な諸性質において重要な働きを持つ。		
電離	原子・分子が正または負に帯電すること。 または、電解質が溶液中で陰および陽イオンに解離すること。イオン化。		
ト	導体	電気を流すことができる物質のこと。	I-7
	導電靴	導電性を持たせた靴。人体の帯電防止用に使われる。別名:静電気防止靴	III-1
ナ	軟X線	通常のX線よりも波長の長い(エネルギーの低い)、X線。放射線の一種。	III-3
ハ	パーティクル	大気中に浮遊している微粒子や微生物。	
	剥離帯電	物質を引き剥がす(剥離)することによって発生する静電気	I-2
	バリアブルDC方式	除電器の印加電圧方式の一種で、キーンズ独自の印加電圧方式。通常のDC方式の場合には一定の電圧をかけたままにしているが、その場合、電極針先端に汚れや磨耗が発生するとイオンバランスが崩れてしまう。 バリアブルDC方式では、土の印加電圧を発生しているイオン量に応じて変化(コントロール)する方式。	IV-3
	パルスAC方式	除電器の印加電圧方式の一種で、キーンズ独自の方式。電圧の印加の仕方はほぼパルスDC方式と同じだが、明らかに違う点は、パルスDC方式の場合、十の電圧を印加する電極と一の電圧を印加する電極が別々になっているのに対して、パルスAC方式では1本の電極に十、一の電圧を印加する点。 これにより、パーティタイプの除電でも近距離で使用することが可能になっている。(1本の電極で土を切り替えるので、除電パー長手方向のイオンバランスが悪くならない)	IV-3
	パルスDC方式	除電器の印加電圧方式の一種。ちょうど、DC方式とAC方式の良いところを抽出したような方式で、除電速度が速く、イオンバランスも良い。ただし、パーティタイプの除電の場合、設置距離によっては、除電パー長手方向のイオンバランスが悪くなる場合があるので、使用上注意が必要。	IV-3
ヒ	火花放電	電圧がある限界をこえ、電極間に火花が観察される現象で、不連続な過渡的現象の場合を指す。	II-5
フ	ファラッド	静電容量の単位。	
	十イオン	プラスの電荷を帯びたイオン。最外殻にある電子が欠落した状態。	
	粉塵	気体中に浮遊する微小な固体粒子。ダスト。	
	粉塵爆発	粉塵(2)の濃度が適当な範囲内にあると、火花・閃光などで引火して爆発すること。石炭微粉末による炭塵爆発のほか、穀物・砂糖・プラスチックなどの粉末による爆発など。粉体爆発。	II-5
	粉体	粉上の物体	
ヘ	HEPAフィルタ	定格流量で粒径が0.3μmの粒子に対して99.97%以上の粒子捕集効率をもつエアフィルタ。空気清浄が要求されるあらゆる分野で使用される超高性能フィルタ。	
マ	マイイオン	マイナスの電荷を帯びたイオン。最外殻に電子が飛び込んできた状態。	
	摩擦帯電	物質をこすり合わせる(摩擦)することによって発生する静電気	I-2
	磨耗	繰り返し摩擦等が起こることによって発生する、形状の変化	VI-3
メ	メンテナンス	保守、点検のこと	VI-3
ユ	誘電率	誘電率とは分極のしやすさ(蓄える電気量の大きさを示す)のことをいい、絶縁体としての性能を評価する一つの基準となっている。コンデンサーの場合を例にとると、極板間に絶縁体を介在させて電圧を印加した場合、電気は通さないが分子内で正負の電荷が分離する分極という現象が起こることにより電気を蓄えられるようになる。このとき、蓄えられる電気量は電界の強さと極板の面積に比例して大きくなるが、この際の変化率のことを誘電率という。誘電率が高くなると蓄える電気量も大きくなる。 一般的には、誘電率より比誘電率(絶縁体の誘電率と真空の誘電率との比)がよく用いられている。比誘電率の値が小さいことが絶縁体に望まれる。 また周波数および温度に依存する値であるため、使用上の注意が必要。	
ヨ	陽子	原子核の中にある、正の電荷を帯びた粒子。	
リ	リストストラップ	人体の帯電防止用の器具。	III-1

静電気の基礎

1  
静電気のメカニズム

2  
実際の静電気発生の様子

3  
電気の性質

4  
電荷量と電界

5  
電気力線

6  
静電容量

7  
導体と絶縁体

II  
様々な静電気障害

1  
人体に感じることを出来る静電気

2  
産業別静電気障害

3  
静電気破壊のメカニズム

4  
静電気力による付着のメカニズム

5  
静電気放電による、着火・爆発

III  
静電気対策の基礎知識

1  
導体に対する対策

2  
絶縁体に対する対策

3  
除電器(イオナイザー)の原理

静電気Q&A

用語集

# キーエンス除電器ラインナップ

## バータイプ

### ハイブリッド型 超高速センシングイオナイザ SJ-E



タイプ	コントローラ内蔵バータイプ360mm～3000mm
方式	パルスAC
イオンバランス	±30V
特長	“世界最少流量で最強除電”を実現 エア流量を減らすことでランニングコストを60%削減。

### 超高速・シースセンシングイオナイザ SJ-H



タイプ	コントローラ内蔵バータイプ360mm～3000mm
方式	パルスAC
イオンバランス	±30V
特長	クラス最高の除電能力で「無風除電」から 「高速除電」まであらゆるシーンに対応。

## プロアタイプ

### 超高速・高精度 ワイド除電プロア SJ-F2000/5000



タイプ	プロアタイプ
方式	パルスAC
イオンバランス	±5V
特長	環境全体を広く除電可能。 ワイドプロアタイプ

## スポットタイプ

### 高性能・マイクロ除電器 SJ-M



タイプ	マイクロスポットタイプ
方式	パルスAC
イオンバランス	±15V
特長	8種類のヘッド選択可能な ユーティリティタイプ

### フリーレイアウト 高速/ワイドエリア除電プロア SJ-F300



タイプ	プロアタイプ
方式	バリアブルDC
イオンバランス	±5V
特長	卓上から装置使用まで対応できる スタンダードプロアタイプ

### ガン対応マイクロ除電器 SJ-M400



タイプ	スポットタイプ
方式	パルスAC
イオンバランス	±30V
特長	除塵に最適な コンパクトスポットタイプ

### 高速・高精度 コンパクト除電プロア SJ-F100



タイプ	プロアタイプ
方式	バリアブルDC
イオンバランス	±5V
特長	装置使用に最適な 小型・薄型プロアタイプ

## 測定器

### 高精度静電気センサ SK



タイプ	測定器
方式	V.S.S.方式
測定精度	±10V (高精度モード時)
特長	測定距離に影響を受けない 高精度表面電位測定器

## トータルサポート

「目に見えない静電気やパーティクル」、適切な対策のために充実したサポートを提供します。

### 静電気・クリーンセミナー 無料

- 少人数を対象に、詳しくご説明いたします。改善・不良対策チームの勉強会や、新人の研修プログラムとしてもご利用いただけます。
- 講師はセミナーのテーマに合わせて、専門の教育を受けた認定営業技術を派遣いたします。

- 基本原理から、現場への応用例まで分かりやすくご説明します。
- テキストや、デモ機など、必要な教材は弊社が用意します。
- 費用は無料です。

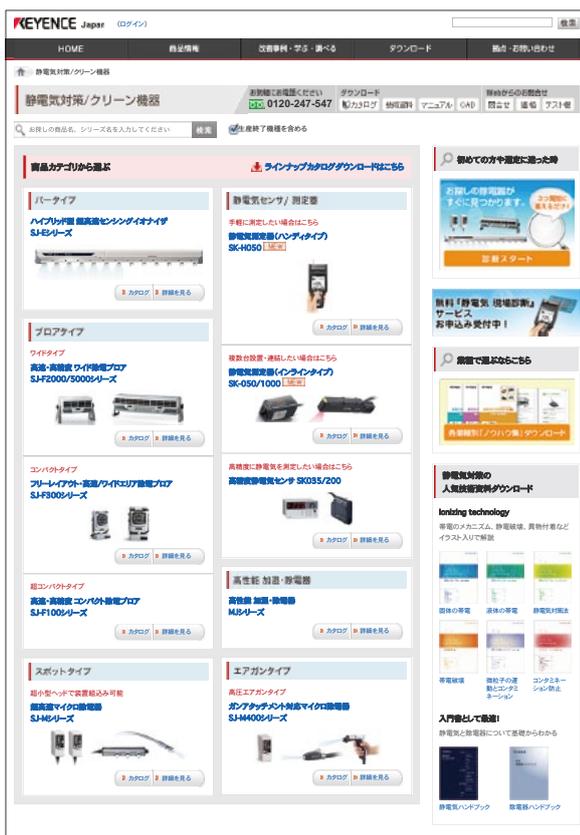


※セミナーは最寄りの営業所へお問い合わせください。

## Web情報提供サービス

### 静電気・クリーン対策のノウハウが詰まった総合サイト

技術者のための情報提供と各種サービス窓口を提供しています。



[www.keyence.co.jp/seidenki](http://www.keyence.co.jp/seidenki)

#### 各種ご相談・お問合せ窓口

便利なサービス窓口「Keyence Web窓口」を開設しております。各商品ごとに専用窓口を開設し、技術相談、見積り依頼などは、ダイレクトに担当者へ転送しスピーディーに対応させていただきます。各種データダウンロードサービスでは、CADデータ、アップデートソフト、PDFカタログを提供し必要なデータを必要な時にお取り寄せが可能です。お気軽にご利用ください。

#### 豊富な技術情報

業界別/テーマ別を切り口にコストダウン、改善事例、専門技術情報など豊富な技術情報が満載です。

#### 最新の技術資料のご請求・ダウンロードができます

基本的な知識から導入事例まで詳しく解説した資料など、お役立ち情報をご利用いただけます。



## 株式会社 キーエンス

静電気対策のご相談やご依頼は、一番近くのキーエンスへ

**ホット  
ライン** 0120-663-000

最寄りの営業所につながります。一部のIP電話からはご利用いただけません。

24時間、どこからでも最新情報データが手に入る  
[www.keyence.co.jp/seidenki](http://www.keyence.co.jp/seidenki)