

静電気災害とその対応

技術士・労働安全コンサルタント 矢島 藤一

はしがき

電気工学の基本は静電気学から始まります。静電気現象については、一部で利用していますが、多くは静電気は害を及ぼすという概念で捉えています。その代表的な例が雷現象です。これは、原子が帯電して、+と-の集団が放電現象を起こすからです。

このような現象は、雷のような巨大エネルギーから、我々としては感知しえないような小さなものまであり、中々その正体を掴むことが困難な場合があります。また、放電現象と同様なものとして誘導現象があります。静電気学では、最も小さな電荷を扱い、その挙動を扱っております。

現在の電気工学の発展の裏には、このような現象を基として、電気材料、半導体工学、高電圧工学、通信工学、光工学の発展があったわけです。

ここでは、静電気の応用はさておき、放電現象が基因となって現れる災害を中心としたものについて述べることにします。

産業構造は巨大化され、近代化が進む反面、その取り扱う量も非常に多くなり、多種・多岐にわたっています。ということは、多様な現象も発生しているということです。影響も無視できません。

電気は導体を通じて送られるわけですが、静電気は絶縁体の中における電荷(電気)の挙動を解析するものです。物理現象として現れるものは、**静電気火花、生産品の放電バラツキ、吸引・排他、火災・爆発の起因、感電ショック等**です。

対象となる場所には次のような所があります。

化学性料品を扱う場所、印刷・出版・製本業、繊維業、石油精製業、ガス蒸気を扱う場所、電気・機械製造業、建設業、絶縁性の物を高速で移動する場所等(危険物取扱場所、絶縁性物質を移動する場所、危険物等の滞留場所)、殆どの場所が対象となります。

対応としては、発生防止方法、静電気の中和・緩和策、電気的な放電方法・ルートの確保、対抗措置として各種の実害防止方法があります。以下その説明をします。

まえがき	1
1. 静電気の基礎	2
2. 静電気の性質	2
3. 帯電の過程	5
4. 静電気の災害事例	7
5. 静電気災害の防止方法	9
6. 抑制方法のいろいろ	11
7. 人体の電撃	14
あとがき	16

1. 静電気の基礎

静電気の発生と抑制を考えるためには、原子の挙動と帯電を知る必要があります。

一般に原子は電気的には中性ですが、原子を構成する外核電子(−の電子)が多くなるか、少なくなるかによって、その原子が、正・負どちらかに帯電します。これらの状況は、原子によって周期律表で構成が決まっています。

電子の質量は、 9×10^{-28} g、陽子(原子核)は水素(H)の質量の 1.66×10^{-24} で求められるから、電子の質量は陽子の約 $1/1840$ に相当します。

原子は周期律表にしたがって外核電子が配置されていますが、外核電子を受け入れられるものと、そうでないものがあります。この原子にエネルギーを与えると最外核電子の座に電子を受け入れたり(−帯電)、最外核電子が原子外へ飛び出したり(+帯電)します。また、電子の位置が偏倚(励起するとも言う)したりします。

電子が外部に飛び出した状態を電離したといいます。この原子は(+)に帯電したことになります。同様に、電子1個を受け入れれば(−)に帯電したことになります。これが静電気の帯電現象です。原子は中性か、正(+)か、負(−)かによって、誘引・排他という力学現象を示すことも知られています。**原子が帯電した状態をイオン化**したともいいます。

① 不活性元素

原子には、電離し易い物と、し難い物とがあります。電離し難い物を不活性元素と言いつのようなものです。

He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

② 陽イオンになり易いもの I、II族の元素はカチオン(陽イオン)となり易い。

I族⇒H, Li, Na, K, Cu, Rb, Ag, Cs, Au, Fr

II族⇒Be, Mg, Ca, Zn, Sr, Cd, Ba, Hg, Ra

③ 陰イオンになり易いもの ハロゲン元素はアニオン(陰イオン)となり易い。

F, Cl, Mn, Br, Tc, I, Re, At

IV族のCやSiは電子を失ってカチオンになり易い易いが、アニオンにはなり難いと言われます。このような元素を両性元素と言います。

原子には、それぞれ最外核電子を取り出すための必要エネルギーがあります。このエネルギーを**電離電圧(電子ボルト eV)**と称しています。

原子にエネルギーの大きな粒子を衝突させたり、衝撃、摩擦、高温にしたりしますと、それによって容易に電子1個を電離することが出来ます。電離した電子数によって何価のイオンとっています。

2. 静電気の性質

静電気には電離、イオン化という性質と誘電分離、電気二重層の形成という性質があります。誘電分離にはつぎのようなものがあります。

- ① 電子分極
- ② イオン分極
- ③ 配向分極

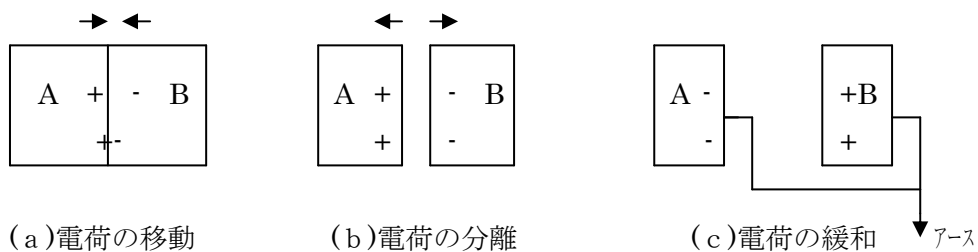
これらの性質から原子が電離してイオンにならなくても、原子は電氣的性質が(+)、(-)となります。このような現象を総称して静電気現象といっています。



(a) 電離模型(+)

(b) 電離吸引模型(-)

図1 イオン模型



(a)電荷の移動

(b)電荷の分離

(c)電荷の緩和 アース

図2 帯電模型

帯電現象の例をあげると次のとおりです。

- ① ガラス板に貼付した接着テープ(ガラス板でなくても絶縁性のエポナイト等でも同様)を剥がしても帯電現象は起こる。
 - ② 回転中のベルトはプーリーと接触した後、離れるとに帯電現象が起こる。
- このような例は次のような時にも発生します。

- ① 流動液体と管
- ② 絶縁体どうしの接触・摩擦・離散

発生状況は、周囲の環境によって大いに異なります。温度、湿度、塵埃の状況等です。とくに、湿度の係わり合いが大きいといわれます。塵埃そのものも湿度の値によって帯電します。

静電気エネルギーは、一般に原子の中の1個の電子を、その表面から外部に取り出すのに必要な仕事関数 ϕ (work function) で与えられます。電離電圧(eV)(電子ボルト)で表します。

接触電位差(contact potential) V は、金属Aと金属Bの仕事関数(eV)をそれぞれ ϕ_a 及び ϕ_b とすれば次のとおりです。

$$V = \phi_a - \phi_b$$

電気量 Q (coulomb) 量、両金属間の静電容量を C (farad) とすれば静電気学にしたがって次の

とおりです。

$$Q = C V, \quad V = Q / C$$

殆どの原子は、仕事関数 ϕ (eV) の値が与えられています。高分子化合物の中には十分に解明されていないものもあります。

静電気エネルギーの生成過程には次のようなものがあります。

- ① 電子-イオン放射再結合
- ② 電子-イオン解離再結合
- ③ 電子-原子-イオン 3 体再結合
- ④ 電子-電子-イオン 3 体再結合

自由電子が気体原子あるいは分子に衝突した場合、VII族のようなハロゲン元素は、衝突電子を補足してアニオン(陰イオン)となり易い。このような状態を付着(Attachment)といっています。他に、放射を伴う付着、三体衝突による付着、振動励起を伴う付着、正イオン-負イオン再結合があります。

このような電離、付着、再結合から生ずる放射エネルギーが災害の起因となります。静電帯電体の放射エネルギーの、コンデンサーに蓄積された放電エネルギーを示したのが表 1 です。

帯電電位 (V)	静電容量 C(PF)				
	10	100	200	300	500
1, 000	0. 05	0. 050	0. 100	0. 150	0. 250
2, 000	0. 020	0. 200	0. 400	0. 600	1. 000
3, 000	0. 045	0. 450	0. 900	1. 350	2. 250
5, 000	0. 125	1. 250	2. 500	3. 750	6. 250
10, 000	0. 500	5. 000	10. 000	15. 000	25. 000

表 1 放電エネルギー(10^3 Joule)

このようなことから、放射エネルギーを発生させないための方法がいろいろあります。

- ① 漏れ経路を作る。
- ② 中和方法を考える。
- ③ 電氣的な接地を施す。
- ④ 電荷緩和方法を考える。

電荷緩和の 1 例を示すと次のとおりです。

最初に帯電した電荷量を Q とすれば、電荷緩和の関係式は次のとおりです。

$$Q = Q_0 e^{-t/\tau}$$

電荷緩和は、 $-t/\tau$ で示されるように指数減衰曲線で減衰するものです。ここに、 τ は静電気緩和時間といわれるものです。 τ は時定数で示されます。通常 τ は、正負間の静電容量 C (F)、漏れ経路の抵抗 R (Ω) により次式で示されます。

$$\tau = C R (\text{s})$$

$$\tau = \epsilon / K$$

ここに、 ϵ は誘電率、 K は、導電率です。

通常観察される電荷(Q)は、緩和過程のものです。静電気現象は、 K が大きいときは電荷は観察されなくなり、 K が小さい時にのみ観察されます。このために、絶縁性の溶剤や粉じん等の固有抵抗が問題とされます。

R や K は、物質の種類と状態(温度、湿度、不純物の当等)によって、そのオーダが大きく変わります。

このように、**電荷の移動、電荷の分離、電荷の緩和の三態**によって静電気現象は観察され、絶縁物では、固体、液体、気体を問わず発生します。その発生は次のような物理的原因にも関与します。

- ① 接触電位差
- ② 温度差による電位差
- ③ 圧力による電位差
- ④ 電気化学現象
- ⑤ 界面電気二重層

3. 帯電の過程

(1) 自然帯電

原子は、摩擦その他の原因で帯電し緩和されないと、その他の物体にも影響して、軽い物体を吸引したり、反発したりする物理現象が現れます。その過程でエネルギーの授受が行われ、放電現象が観察されたりします。

物体を吸引したり、反発したりする静電気力はマックスウェル(F)の応力といわれるものです。また、放電エネルギー、それぞれ次式で示されます。

- ① マックスウェルの応力

$$F = 1/2 \cdot q^2 / \epsilon = 1/2 \epsilon E_0^2$$

- ② 放電エネルギー

$$E = 1/2 \cdot QV = 1/2 \cdot C V^2$$

ここに、 q 、 Q = 物体に帯電している表面電荷密度、 E = 物体表面の電界強度、 ϵ = 誘電率です。

この放電エネルギーは静電気における着火エネルギーとして用いられます。このようなものの値は、小さいものですが、次のような問題を生じます。

- ① 可燃性ガス、可燃性液体、同ガス・蒸気の着火・爆発
- ② 粉のふるい目の詰まり
- ③ 繊維機械の糸のもつれ
- ④ 紙・フィルムの吸着・印刷むら
- ⑤ フィルムの放電現象
- ⑥ プラスチック製品の汚れ
- ⑦ その他

静電気エネルギーは何らかの原因によって、蓄積し、増量することによって、その帯電電位が数千ボルトから数万ボルトに達します。その帯電模型を示します。

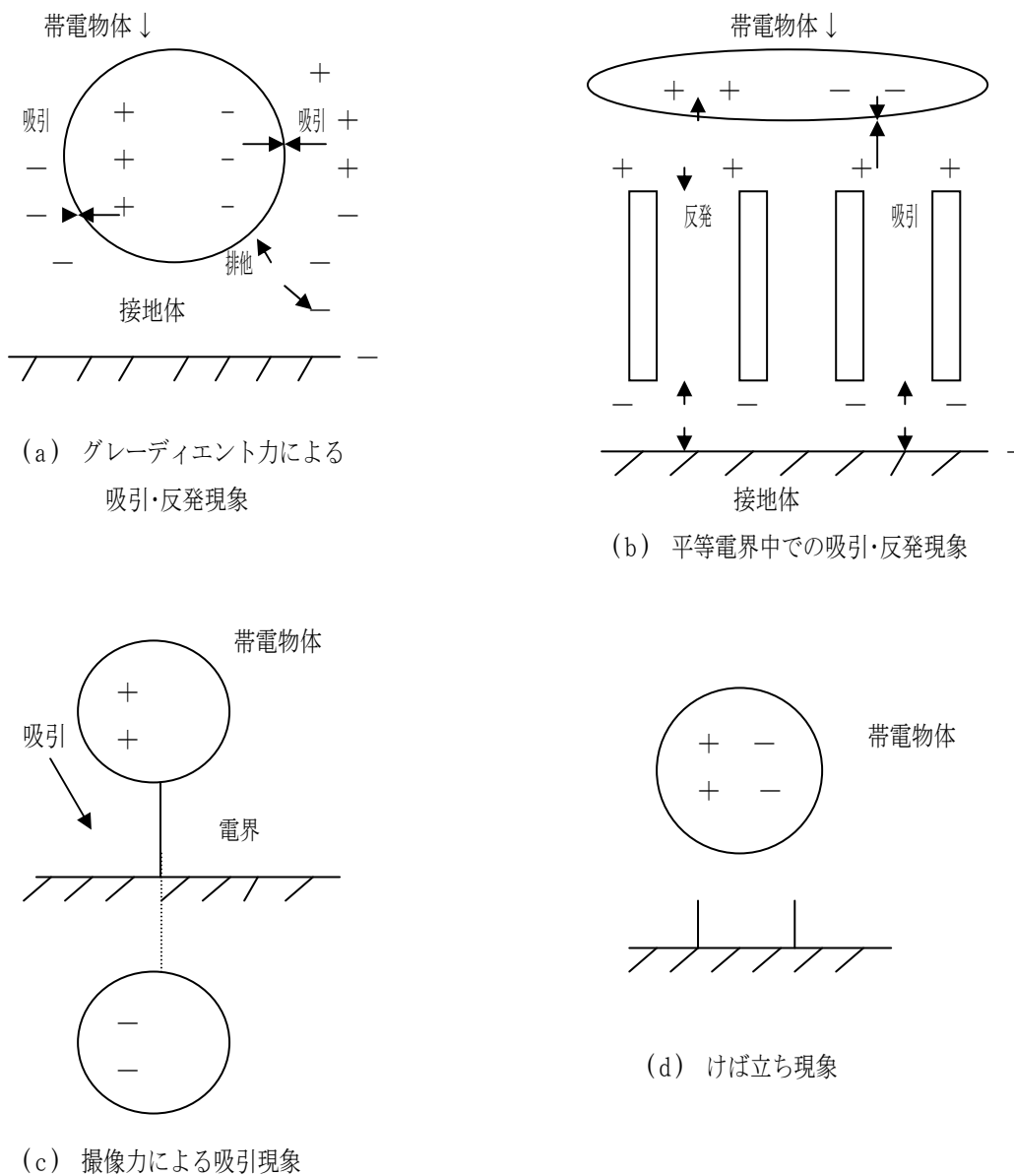


図3 いろいろな静電現象

(2) 人工帯電

人工帯電は静電気の有効利用として各方面に応用されています。次のようなことです。

- ① 電気集塵作用 工業用集塵機、空気浄化用等 電気集塵機の特徴は、非常に高い集塵率にあります。その反面、集塵微粒子などが有害イオンとなる恐れがあります。
- ② 塗装、植毛、プリント、写真、印刷、その他の応用 転写する微粒子を効率良く物に貼り付けることが可能です。この過程で、静電気障害が発生すると製品むらが生じたりします。

表 2 は、帯電過程のいろいろの例を示したものです。

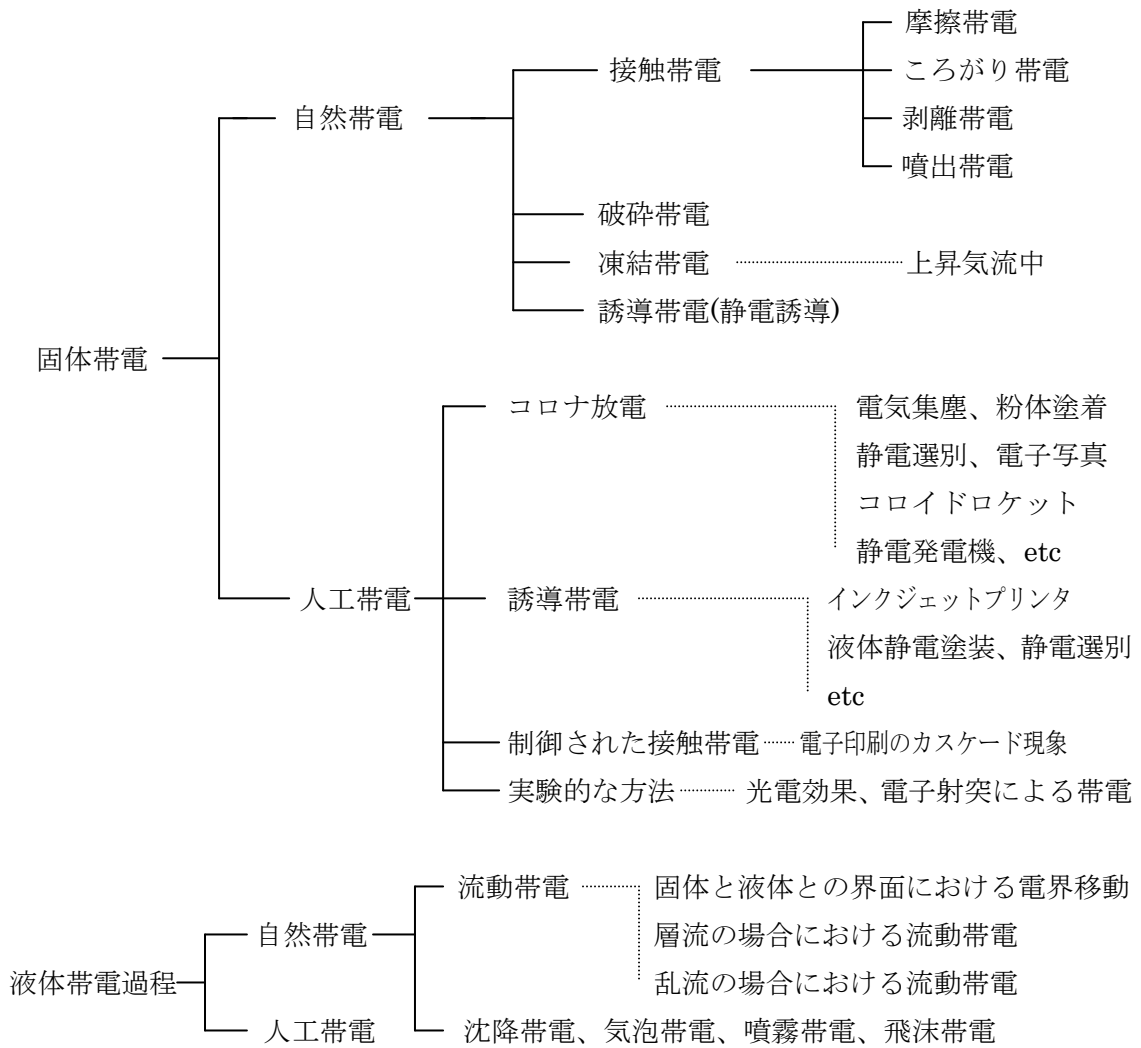


表 2 帯電過程の例

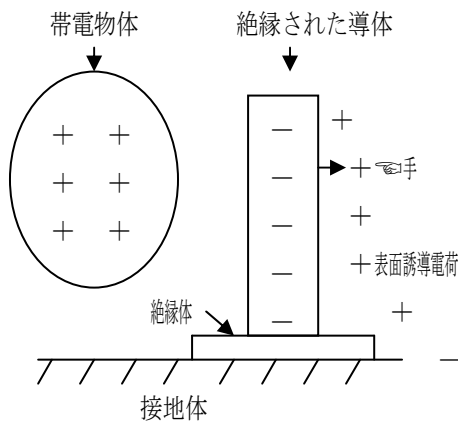


図 4 表面誘導電荷の放電現象

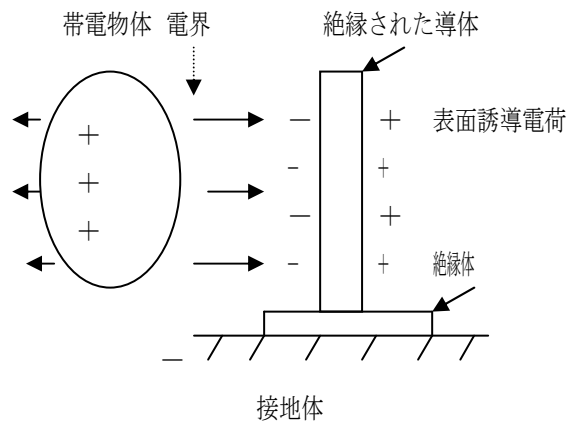


図 5 静電誘導現象

4. 静電気の災害事例

(1) 静電気の発生

静電気の蓄積エネルギー($1/2CV^2$)が、ある値に達すると放電した際に、放電火花を発生するようになります。主として、この火花がいろいろな障害の起因となります。その例を表 3 に示します。

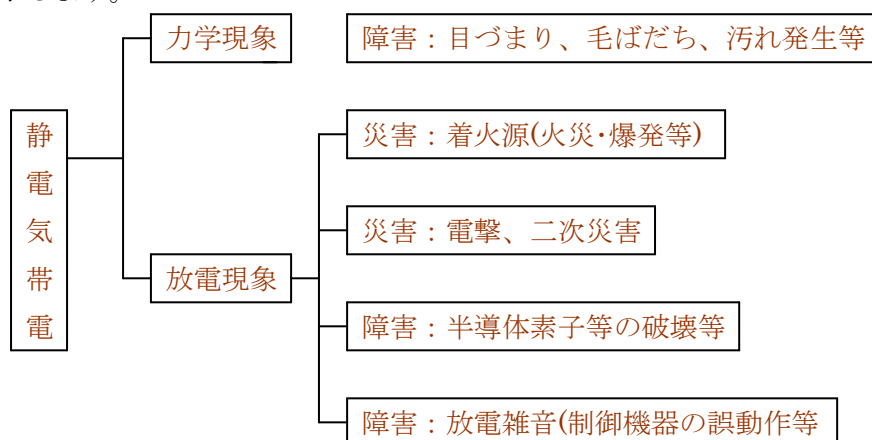


表 3 静電気によって発生する災害と障害の例

その起因の多くは、摩擦・衝撃等による粒子等の帯電で、静電気そのものが、緩和しないで閉じ込められ、そのエネルギーが蓄積して放電過程に移行したために発生するものです。

(2) 発生場所

静電気の発生で問題が起こる可能性のある、主なるものを上げると次のとおりです。

- ① 化学性料品を扱う工場
- ② 高分子化物、フィルム、パルプ、粉体等の絶縁性の物を扱う場所
- ③ 繊維、合成ゴム、紙等を扱う場所
- ④ 石油製の製品(たとえば、ガソリン、シンナー等の危険物)を扱う場所
- ⑤ 印刷・製本等の加工過程の処理
- ⑥ その他、いろいろの加工・処理場所

その幾つかの例を示したのが次のようなものです。

- ① 接触・摩擦帯電 ロールに絶縁性の物が移動する。
- ② 流動帯電 絶縁性のパイプ内を絶縁性の液体が流動する。
- ③ 噴出帯電 ノズルから絶縁性のミストが帯電して噴出する。
- ④ はく離帯電 絶縁性のフィルム等が離れる時に発生する。
- ⑤ 緩和された物、されない物が吐出、吐口から出るときに発生する。

このように、静電気は緩和されない限り、絶縁性の物が移動、流動等をするときに、絶縁性の物同士、他物と接触することにより摩擦電気として発生するものです。だから、生産工場ばかりでなく、**建設現場、家庭を問わず発生**します。

5, 静電気災害の防止方法

防止方法を考える前に、もう一度災害の事例について考えてみましょう。静電気の障害事例を示したのが表4です。

災害内容	工 程	現 象
静電災害	不燃性液体	① 石油製品の移動により、静電気発生(パイプ、バルブ、ポンプ、フィルター、etc) ② 対応 タンクや配管を $10^6\Omega$ 未満に接地 ③ 対応 不活性ガスに置換、etc
	爆燃性ガス	① 静電気管理の徹底 ② 対応 防爆設備の完備 ③ 対応 災害要因の除去
	火災	同上
静電障害	1. 繊維の製造加工工程	① ほこりの付着(Fog mark) ② 静電気管理の徹底
	2. プラスチック製造工程	① ほこり、研磨、研削などの加工屑の付着、表面傷つけ ② 静電気管理の徹底
	3. 塗装工程	① 流動、噴出、霧化、摩擦、攪拌、ろ過、剥離等により発生 ② 静電気管理の徹底
	4. 印刷、製本工程	① 製品むらが起こる ② 静電気管理の徹底
	5. 写真フィルム製造工程	① 製品むらが起こる ② フィルム帯電防止 ③ 静電気管理の徹底、その他の対応が考えられます。

表4 静電気災害および障害の例示

その障害例を上げてみます。

(1) 石油工業 電気抵抗の高い石油製品が、パイプ、バルブ、ポンプ、フィルターなどの中を通過して移動する際の、接触分離が連続的に起こり帯電するもので、分離移動にもとづき一方が正に、他方が負に帯電します。いわゆる流動帯電です。

① パイプの材質および抵抗率による影響 材質(錆、凹凸が多いと電位が上がる)、石油中の不純物が多少影響します。重油は電気抵抗率 $10^9\sim 10^{10}\Omega\text{-cm}$ で静電気の発生は少

いが、ガソリン、灯油、軽油、ジェット燃料などは $10^{12}\sim 10^{13}\Omega\text{-cm}$ であり、静電気の発生は多いです。

② 水分による影響 石油の中に水や空気が存在すると、静電気の発生を増大させま

す。とくに、タンク底の水を石油と一緒に混合攪拌することは非常に危険です。

- ③ フィルターの影響　フィルターを通る石油類は帯電量が增大します。電荷の漏洩、緩和の方法、流速の加減(たとえば、1m以下の流速、30秒以上の停滞で電荷緩和を待つ等)を考えます。
- ④ 油の帯電と減衰および放電　石油製品は電気抵抗率が大きいので、たとえ、配管とタンクが接続されていても、流動中に発生した静電気をタンクに受け入れて、これを直ちにアースを通じて対地へ逃がすことはできず、依然油は帯電状態を保持しています。

しかし、タンク(容器)が $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 未満の抵抗値で対地と接続されていると、タンク(容器)と接触している電荷は時間の経過と共に緩和して消滅します。

消滅時間は、石油の抵抗率、タンクの大きさにより異なりますが、ローリタンク車では、積み込み終了後、数秒～1・2分で消滅しますが、タンクによっては20分も要するものもあるといえます。

タンクに張り込まれた石油が急激に増加すると、電荷が増加して油面とタンク壁面に高い電位傾度が生じ、これが限度を超えると、蒸気がイオン化して油面とタンク壁などの金属間に火花放電が発生します。こうしたタンク内の放電は湯面と導体間だけでなく、局部的に高い電荷を持った存在すると、油中でも局部放電することがあります。

(2) 写真フィルム工業

写真フィルムベースは高い絶縁性の三酢酸繊維素やポリエステル樹脂でできているため、摩擦により帯電し、フィルム等が導体に近づくとき反対符号の電荷との放電が生じます。スタチックマークといわれるような不良製品ができます。また、加工過程で帯電したものが、放電して火災の起因となります。このようなものの、帯電防止対策としては次のようなことが上げられています。

- ① 導電化　帯電した電荷を漏洩させます。吸湿、イオン導電、半導体化する等があります。
- ② 中和法　一種の除電方法です。
- ③ 帯電発生の抑制

(3) 合成繊維工業

エチレン、パラキシレン、トルエン、メタノールなどの粗原料から原糸製造までの過程の静電気です。

合成繊維、半合成繊維のうち、アセテート、ビニロン、ナイロン、ポリ塩化ビニール、ビニリデン、ポリエステル、アクリルの製造に使用される原材料からの問題点は次のとおりです。何れの帯電現象も火災・爆発の危険性があります。

- ① 高圧ガスの噴出による静電気対策
- ② 流動帯電およびタンク内の攪拌による帯電
- ③ 固体の剥離時の帯電
- ④ 原材料の移送、容器等への投入時の帯電

- ⑤ 合成系の送行時の帯電
- ⑥ 人体への帯電
- ⑦ 機器およびベルトの帯電

(4) 塗料工業

塗料は不純物が入らないと電気的には絶縁物とみられます。バインダー、顔料、溶剤などの取り扱い過程、流動、噴出、霧化、摩擦、攪拌、ろ過、剥離等です。次のような関係のとき、流動、接触、離脱といった異物間の諸現象が現れます。次のような時です。

- ① 固体—液体
- ② 液体—液体
- ③ 気体—液体
- ④ 固体—粉体
- ⑤ 固体—固体

液体の抵抗率が $10^9 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上では静電気の発生量は増大し、 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上では発生量は減少します。

ここに掲げた工業でも、類似な対策が必要な所は多いわけです。総体的にいつて次のようなことが必要です。

- ① 流速と流動電流との関係
- ② 湿度と表面固有抵抗、表面抵抗率との関係
- ③ 流速と発生電圧との関係

等です。

6. 抑止方法のいろいろ

静電気災害は在来、相対湿度の低い時期に集中していましたが、化学製品の急速の発展のため、帯電し易い高分子化合物がいたるところで使用されるようになり、一年を通じてあらゆる時期、あらゆる場所で問題視されるようになりました。

- ① 火災・爆発
- ② 製品品質のむら等の発生

です。

静電気障害の特徴としては、認識不足のため、全く危険性を予期していない場所で、ある日突然、火災・爆発が発生したり、化学性料品を扱うところで、危険性に気が付かず、点火源により、大惨事が発生した。というようなことがあります。

このような時には、予め危険性の想定される場所では「静電気の抑制」を考えなければなりません。その原因と抑制パターンを示してみます。

(1) 抑制・緩和の方法

発生のメカニズムを知り、帯電例を上げて考えてみたいと思います。

- ① **固体の剥離・摩擦帯電** ローラで絶縁性テープ類を送る場合、両者の接触・剥離が必ず発生します。このようなときは、テープ等の速度、テープの表面導電率に比例して、帯電量に相応した電流が流れます。この時の電荷の発生確率は、その時の空間の相対湿度に大きく左右されます。したがって、湿度管理に気を付けます。

② **噴出帯電(粉体・ミスト)・飛沫帯電(ミスト)** 粉体の空気輸送や高圧ガスの噴出に伴う粉体、ミストの帯電(噴出帯電)あるいは絶縁性液体中での泡の発生・激しい攪拌・液ジェットの射突等に伴って強力な帯電粒子雲が発生します。

その発生速度が速く、かつ発生空間が広い時は、その偶数密度、雲の大きさ双方が大きくなって、周囲に形成する空間電荷の電界の値は著しく大きくなり、突出した接地物があれば、その表面から着火性のコロナ放電やストリーマ放電を考える必要があります。前と同様な抑止策が必要です。

③ **液体の流動帯電,沈降帯電,飛沫帯電** ガソリン等の絶縁性液体のパイプ輸送に伴って生ずる流動帯電があり、タンク内等に爆発性混合気体が形勢され、液面近傍と接地導体との間に火花放電が発生すれば大惨事となります。

その対応を考えて、帯電防止剤を使用したり、液体の導電率を上げたり、輸送速度を下げたりします。付帯として除電装置を付加したり、作業の緩和時間とるなどします。

同様なものに沈降帯電や飛沫帯電があります。

④ **着火能力を持った気中放電** 発生しない方法と危険状態にならないような方法を考えます。

- a. 火花放電
- b. コロナ放電
- c. 沿面放電

⑤ **接地と除電** 接地して静電気の緩和ルートを作ったり、除電器を使用します。

⑥ **人体帯電の抑制と作業方法の改善** 人体に帯電した静電気エネルギーにより、その値が危険物の着火エネルギーを超えれば、危険物に着火します。

これを抑制するために、服装(着衣,履物等),床面の導電化など、さらに作業方法等も改善します。

(2) **災害発生の実際** 発表によりますと、発生率は **10～3月の発生が高い**とされています。以下は報告事例です。

① 帯電模様

- a. 製品・材料等の帯電(約 50%)
- b. 機器・装置等の帯電(約 30%)
- c. 人体の帯電(約 15%)

② 引火の実態

- a. 溶剤へ引火して火災(約 30%)
- b. 溶剤含有物へ引火して火災(約 25%)
- c. 溶剤へ引火して爆発(約 15%)
- d. 溶剤含有物へ引火して爆発(約 15%)
- e. 粉体へ引火して爆発(約 8%) その他

③ 業種別の発生状況

- a. ゴム製品製造業
- b. 化学工業

- c. パルプ,紙,紙製品製造業
- d. 繊維工業
- e. ガラス,セメント製品製造業 その他

(3) 抑止・防止対策の例

表 5 に例を示します。

対 策	方 法
作業床,壁	導電性プラスタイル、導電性リノリウム、静電マット 帯電防止カーペット、導電性コンクリート 短時間なら帯電防止剤をスプレー
帯電防止作業衣	導電性繊維、金属繊維 相対湿度 60%以上の場所では木綿作業衣が効果がある。
静電靴	電気抵抗が $10^5 \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ の静電靴が効果的で、ゴム、粉体、フィルム工場に良い
帯電物体の遮蔽	1. 帯電物体を金網、金属板で遮蔽する 2. 自動化により手を下さないようにする 3. 金属繊維、導電性繊維の手袋, 帽子などを着用して手を出す
帯電物体の除電	1. 除電してから手を出す 2. 次のような除電器を使用する a. 電圧印加式除電器 b. 自己放電式除電器 c. 放射性同位元素(RI)式除電器 これらの除電器は一長一短があり、帯電物体、帯電状態, 使用場所等の検討を行い効果を確認する 危険場所では、機器等を防爆型にする

表 5 帯電防止対策の例

(4) 抑止・防止の具体的方法

静電気が発生して蓄積するのは、発生速度、発生量と緩和時間(漏洩速度)との釣り合い結果から評価出来ます。発生速度が速くて、緩和時間が遅くなりますと、物体または人体に蓄積する静電気量が大きくなり危険性が増します。このため、基本的には次の二点を考えます。

- ① 発生の抑制
- ② 緩和の方法

この二点を基として、次のようなことを考えます。

- ① 抑制の方法 物質の帯電序列で接触電位差の小さくなるような構成を考えれば、ある程度の抑制効果が可能ですが、中々そうはいきません。次のようなことがあります。

- a. **伝導性の付与** 全ての材料,器具等に伝導性を付与することは出来ませんが,可能な範囲で物質の電気抵抗値を少なくする方法を考えます。
 - b. **吸湿措置** 相対湿度 75%以上であれば殆ど静電気は現れません。60%でも帯電量は極めて少ないといわれます。このために、湿度調節が行われています。
 - c. **空気のイオン化** 空気をイオン化すれば、帯電した電荷と中和します。この方法は危険性を伴いますから,対応を十分に留意する必要があります。
 - d. **換気方法** 危険性ガス、蒸気等を室内に滞留させないようにします。
 - e. **その他の方法** 摩擦,衝撃の防止方法や除電方法があります。
- ② **接地を施す** 接地は電気機器の基本ですが、電気設備でない絶縁物等には接地の法的義務はありません。しかしながら、静電気の危険性がある所では電気と係わり合いの無い箇所も接地の対象として考えます。
- 例えば,各種の非電気機器類,容器,パイプ,漏斗,受容器,器具,金具などを同一の電位に保つようにします。次のようなことです。
- a. **所定の接続方法** 接地線の取り付けは、半田付け、溶接、圧着端子、ビス・ナットの完全締め付けを行い、接触面積、接触圧力を十分に取ります。
 - b. **所定の電氣的配線方法** 太さ、強さ、耐久性、対候性、耐化学薬品性等が要求されます。
 - c. **接地抵抗値は電気法令に準じて維持**します。
- 以上の抑制・防止の方法を表に取りまとめたのが表 6 です。

7. 人体への電撃

人体に静電気が帯電して、直接人間が感電死傷することは殆どありません。ただし、雷による人身災害は稀にあります。それは、エネルギーの差が大きく、電位も桁違いに差があります。表 7 に示します。

帯電電位(KV)	帯電電荷(μc)	電撃の程度	備考
1	0. 09	感じない。	かすかな放電音が発生
2	0. 18	指の外側に多少感じる。	
3	0. 27	外側に痛く感じる。内側に軽く感じる。	
4	0. 36	外側は針で刺されたよう.内側は少し広い範囲で痛い。	
5	0. 45	手のひら、乃至前腕まで電撃を感じる。	
6	0. 54	指の痛みが激しくなる。	
7	0. 63	痛みが指全体で感じられる。	
8	0. 72	手首乃至前腕までの電撃がさらに強くなる。	

表 7 人体帯電と電撃の関係

静電気災害の防止(田島氏)より

管理方法	抑止方法	具体的な方法
抑制 除電	湿度管理	物体の表面漏れ抵抗を下げる。 RH50%以下では帯電量が多くなる。
	帯電防止 剤	表面付着、内部に練りこむ。 導電性を高める。、電荷緩和の促進に役立ちます。
	除電(バー アイソト ープ)↓ 表面処理 内部処理	帯電物体の周囲に正負イオンの供給する。 (媒質の伝導性を高め周囲媒質を通過の電荷緩和の促進) 帯電物体の表面に金属の箔、細線、ブラシ、針群当を接触 させて、表面電荷の作る電界で自己放電(コロナ放電) 粒子状、繊維状の導電性物体(カーボン繊維、ステンレススチ ール繊維、導電性プラスチックで補助導電路を作り、電荷緩 和を促進する)
	接地管理	重点管理の対象です。
人の電撃 と災害の 考え方	靴(履物)	靴底の電気抵抗 ¹² 10以上のとき、接地物に触れると帯電した 電荷は放電する。 1~1.5KVは軽度、1.5~2.5KVはショック、2.5KV以上は 不快ショックです。 靴底の電気抵抗 ⁵ 10~ ⁷ 10を 静電靴 と言います。 導電性付与等により帯電を防止する。 (導電性プラスチックが用いられ、 $1/10^5 \Omega/cm$ (体積抵抗) が得られ、靴、作業衣、床、壁材料、遮蔽材等に使用される)
	作業衣(帯 電防止用)	同上
	床、壁材料	同上

表 6 静電気の管理方法の集約

人体の静電気災害として考えられるものは次の二点です。

- ① **人体でも帯電量が増大して蓄積すれば点火源となります。**石油系の多くの危険物は着火エネルギー($1/2C V^2$)が 0.2mJ 前後です。この値は、夜間乾燥しているときの、着衣するときの静電気火花程度ですから、着火エネルギーとしては十分の値です。
- ② **高所作業**をしているときに、乾燥状態にあつて着衣等に帯電して、人体から接地物に放電するとき、手を離したりすると、**転落の危険性**があります。二次災害です。帯電電位も 3, 000V 以上の場合です。

直接の災害は考えられません。

人体へもかなりの高電位の静電気が蓄積されますから、周囲の環境が危険性を伴う場合は重要な要素になります。数千ボルト以上となります。

これらの静電気障害の詳細については、「労働省安全研究所田畠氏」の発表資料(人体帯電を究明する)を参照してください。

あとがき

静電気災害に係わる問題を検討しておりますと、昔、電気工学の静電気を学んだことを思い出します。それほど難しいとは思いませんでしたが、目に見えないため、扱い難いものであったという印象が記憶されています。

難しい数式などは余りありませんが、とっつき難いものであったことは事実です。今も内容としては変わったところはありません。

よく災害が発生しますと、電気の中では「漏電と静電気」が対象にあげられます。「臭いものには蓋」という言葉がありますが、目に見えず捉えられない現象の場合、電気のせいにするのは良い方法かも知れません。

最近はその捉えられにくい静電気の現象も、関係者の努力でいろいろと解明されています。しかしながら、こと電気に係わる問題は、発生抑制と、いかにしてそれを逃がすかという接地の問題に集約されてきます。

雷害は巨大エネルギーとして捉えられますが、まさしく静電気エネルギーです。直撃雷、誘導雷に大きく分けられますが奥行きが深いので別の機会に譲ります。

ここでも、その問題(抑制と接地)を中心に記述しました。過去の数多くの集積されている文献を参考としてまとめた次第です。私自身が体験した課題処理も若干ありますが、多くは文献を集約してまとめてみました。したがって、判読し難い点も多々あるかと思いません。ご批判を頂きたいと思いません。

筆者紹介

出身地 高崎市

略歴

昭和50年まで、日本電信電話公社(現NTT)において無線・電力装置の設計、建設、保全の業務、並びに管理業務に従事する。

昭和51年より、(社)東京電気管理技術者協会会員(支部技術安全委員長)として8年、新入会員講習会講師として(約20年間)活躍。電気保安功労賞(平成元年、通商産業大臣表彰)、他多数

(社)日本労働安全衛生コンサルタント会会員(各種委員、安全衛生コンサルタント編集委員10年、総務委員、埼玉支部副支部長)として活躍。

この間、電気安全・労働安全・労働基準協会連合会等一各企業等の安全教育・安全管理者・安全衛生推進者の教育。

国家試験資格取得

技術士「科学技術庁長官登録」・労働安全コンサルタント「労働大臣登録」

第2種電気主任技術者・第1級無線技術士資格取得

2000-08-02

技術士・労働安全コンサルタント 矢島 藤一

331-0042 さいたま市奈良町79-129 TEL・Fax(048)651-0385

URL <http://www.ac.wakwak.com/~t-yajima> Email t-yajima@ac.wakwak.com