

表 6.3: 液体の導電率のクラス分け

クラス分け	導電率	帯電レベル	代表的な液体
高導電率	> 1000 pS/m	低	水, 純水, アルコール, ケトンなど
中導電率	50 – 1000 pS/m	中	ガソリン (有鉛), トリクロロベンゼンなど
低導電率	< 50 pS/m	高	ガソリン (無鉛), 灯油, トルエン, ヘキサンなど

表 6.4: 粉体の抵抗率によるクラス分け

クラス分け	粉体バルク抵抗率
低抵抗率	< $10^8 \Omega \cdot m$
中抵抗率	$10^8 - 10^{12} \Omega \cdot m$
高抵抗率	> $10^{12} \Omega \cdot m$

#### 6.4.4 粉体の帯電ハザード

##### 6.4.4.1 粉体の抵抗率と電荷緩和

###### チェック項目 19 諸特性による粉体の帯電性の調査

粉体の電荷の緩和はそのバルク抵抗率に依存するので、抵抗率が高いほど帯電しやすくなる。抵抗率によって粉体を表 6.4 のように分類する。これに対応した粉体の帯電性を表 6.5 に示す。粉体の質量比電荷、バルク抵抗率または（および）電荷緩和時間で帯電ハザードを同定する。

金属粉体はアルミニウム、マグネシウム、ジルコニウムなどは、表面が酸化されるので、通常、絶縁性 ( $10^{12} \Omega \cdot m$  程度) となる。なお、カーボンブラックは酸化してもガス化 (CO または  $CO_2$ ) されるので導電性には影響しない。

絶縁性容器・配管の利用は電荷緩和がなくなるので、帯電ハザードとなる。バルク抵抗率  $10^6 \Omega \cdot m$  以下の粉体が絶縁されると火花放電のハザードにもなる。電荷緩和が期待できない場合は固体（絶縁性容器・配管）の抵抗率でハザードを決定する。

静電気対策が適切になされている場合は、帯電ハザードはなしとする。また、低抵抗率の粉体が接地された容器、配管などで電荷漏洩され、電荷蓄積がない場合も帯電ハザードにはならない。

詳細な粉体のリスクアセスメントは 13 章を参照する。

## 6.5 帯電促進要因の調査

### チェック項目 20 帯電を促進させる要因はないか

帯電促進要因の例を以下に示す。

- (1) 高速輸送など：たとえば、液体の流速制限以上の速度、高速攪拌など
- (2) スプラッシュローディング

表 6.5: 粉体特性と静電気ハザード

質量比電荷 $\mu C/kg$	バルク抵抗率 $\Omega \cdot m$	電荷緩和時間 s	帯電 レベル
< $10^{-3}$	< $10^8$	< $10^{-3}$	低
$10^{-3} - 10^0$	$10^8 - 10^{12}$	$10^{-3} - 10^2$	中
> $10^0$	> $10^{12}$	> $10^2$	高

表 6.6: 帯電・静電誘導ハザードレベル

導電率・抵抗率による帯電レベル	電荷漏洩あり*	電荷漏洩なし*	帯電促進要因あり
高	2	3	×2
中	1	3	×2
低	0	4	×2

適切な静電気対策がなされた場合は帯電ハザードレベルは0となる

\* 接地した導体と接触している場合は電荷漏洩あり，絶縁性の容器，配管，コート，袋などで電荷緩和が阻害される場合を電荷漏洩なしとする  
静電誘導ハザードは電荷漏洩なしの4か帯電促進要因がある場合は8

- (3) 連続的な輸送・衝突
- (4) フィルタの利用
- (5) 二相（固気，液液，液固）流体
- (6) 噴霧<sup>2</sup>

## 6.6 帯電ハザード同定のまとめ

この帯電ハザード同定で，電荷が蓄積されている場所が特定できているはずである。高導電率（低抵抗率）の材料に代えるなどの静電気対策を施して十分にリスクが低減できると予測できないときは，この特定された帯電により生起する静電誘導ハザード同定（7章）および放電ハザードの同定（8章）を実施する。これらのハザード同定のため

- (1) 帯電ハザードレベル
- (2) 帯電（電荷が蓄積）していて放電の可能性が予測できる場所

の事項を決定しておく。

帯電ハザードレベルは直接測定<sup>3</sup>または帯電促進要因も考慮して発生電流の推測と漏洩抵抗，抵抗率・導電率より推定する。後者の場合は固体，液体および粉体に対してそれぞれ表 6.1, 6.3, 6.5 を参照する。ただし，高導電液体を絶縁性容器・配管で取り扱う場合など，絶縁性物体（容器・配管）により帯電を抑制する電荷漏洩がなくなるときは，絶縁性物体の方の帯電ハザードレベルを適用してハザードは高いと同定する。詳細は次節に示す。

工程に依存する帯電ハザードおよび固体，液体，粉体および気体の帯電ハザードは 11, 12, 13, 14 章を参考にすること。作業者に関する帯電ハザードについては 15 章を参考にすること。

### 6.6.1 帯電ハザードレベル

絶縁性固体，液体および粉体の帯電ハザードは電荷緩和で同定した抵抗率・導電率を高・中・低にクラス分けする。ここで，液体・粉体などが絶縁性容器・配管・袋などで取り扱われると液体・

<sup>2</sup>液体の噴霧は液体の導電率が高い方が噴霧液滴の帯電が大きくなることがある。帯電が単純に電荷緩和に依存しないことがあるので注意する。

<sup>3</sup>表面電位，発生電流，帯電電荷測定などである。測定法と測定結果の評価は静電気安全指針 2007 [4] を参照



### 6.6.2 帯電ハザード同定シート

帯電ハザード同定のためのチェックシートの例を表6.7に示す。この表は、ここに示した帯電ハザード同定の手続きをまとめたものである。備考欄には使用した測定法、参考文献、データベースなどリスクコミュニケーションのために必要な事項を記載するとよい。帯電ハザードがいくつかある場合はそれについても同様に実施する。



## 第7章 静電誘導ハザードの同定

### 7.1 はじめに

事件事例分析（付録 C）から静電気着火事故の 70%強は絶縁導体からの火花放電であることがわかった。このことを換言すれば、導体を接地していれば 70%強もの事故を未然に防止できていたということである。対策も接地・ボンディングという簡単な方法であるので、可能な限り絶縁導体というハザードの抽出抜けをなくすために本章を 6 章の帯電ハザードの同定から分けて設けることにした。

### 7.2 静電誘導ハザード

電場中（たとえば、帯電した物体の周辺）に絶縁された導体があると、この導体は静電誘導(2.2.6)によりある電位を持つ。このとき、この導体の近くに接地された導体があり、その接地導体との間の電界が空気の絶縁破壊電界以上になると火花放電が生じる。この火花放電が可燃性雰囲気で起き、放電エネルギー（静電エネルギー） $W(= \frac{1}{2}CV^2, C: \text{絶縁導体の静電容量}, V: \text{誘導電位})$  が雰囲気の最小着火エネルギー  $W_{mie}$  よりも大きい ( $W \geq W_{mie}$ ) と着火する。つまり、導体の静電誘導ハザードは火花放電ハザードとなり、これが原因として着火ハザードとなる。

### 7.3 静電誘導のハザード同定

静電誘導ハザード同定の流れは次のようになる（図 7.1）

- (1) 静電誘導を起こす電場（帯電物体）があるか。
- (2) 絶縁導体があるか
- (3) 絶縁導体と導体（おもに接地導体）で放電ギャップを形成しうるか

静電誘導を起こす電場（帯電物体）は帯電ハザード同定で既に調査済みあるので、この帯電物体（電荷蓄積された場所）の近傍にある導体を調査すればよい。

導体を接地・ボンディングをすれば静電誘導ハザードがなくなるので、見つけ次第に、接地の必要性を判断して(11.1.1), 接地・ボンディングする。

ここでは、可燃性雰囲気が形成されて、静電誘導を生じさせる電場がある（周囲に帯電物体がある）ことを前提にして静電誘導ハザードを同定することにする。

#### 7.3.1 静電誘導の要因となる帯電

チェック項目 21 静電誘導の原因となる帯電場所を特定する

帯電ハザード同定でその場所が特定できている。

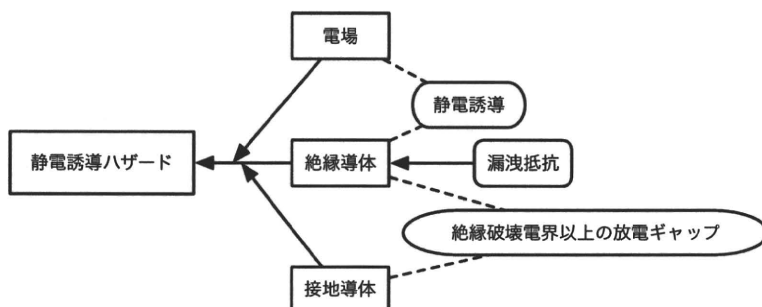


図 7.1: 静電誘導ハザード同定

### 7.3.2 絶縁導体の洗い出し

#### チェック項目 22 絶縁導体はないか

特定された帯電物体周辺に絶縁導体がないか、あるいは、この周辺に持ち込む導体（作業者も含む）はないか調査する。電荷消散性の物体も接地・ボンディングしていないと火花放電ハザードとなるので、これも調査する。

#### 7.3.2.1 絶縁導体の例

忘れがちな、そして、事故事例に多い絶縁導体を挙げる。静電気放電が発生するおもな原因は絶縁導体（作業者も含む）による火花放電であり、その割合は 71.1%であった。この絶縁導体と接地導体とのごく短い間隙で空気の絶縁破壊電界以上の電界が形成されて火花放電は発生している。絶縁導体となった危険源としては、

- 掃除道具の金属部
- 金属容器
- 計量器
- バッグフィルタの金属部
- 金属棒
- ひしゃく
- 仕切り板
- 台車
- 液面フロート
- 導電性液体で濡れたもの\*\*
- 金属へら
- ホッパー
- 金属漏斗
- ふるい
- 金属スコップ
- 踏み台
- 絶縁ホース・配管の接続部および終端の金属部
- 作業者（絶縁性靴・床）
- 絶縁物内・上の導体\*

\* たとえば、絶縁性容器内の導電性液体、金属へら（洗浄）や絶縁性容器上の金属漏斗など

\*\* たとえば、水で濡れたクラフト袋など

などであった。これらの導体は電荷消散性の物体にも適用されることに注意されたい。すべてが可搬の導体（作業の都合上などで、一時的に用いるものまたは取り付けるもの）か人体である。つまり、すべてが作業者がかかわる作業であったということである。70%強の事故は静電気対策の基礎である接地・ボンディングをしていれば防止できていたということを強調したい。

### 7.3.3 漏洩抵抗

#### チェック項目 23 導体の漏洩抵抗

特定された絶縁導体の漏洩抵抗が火花放電を防止するに十分な漏洩抵抗 ( $10^6 \Omega$  以下、人体では  $10^8 \Omega$  以下) を満足しているか確認する。また、必要に応じて接地・ボンディングする。

通常、固定されたタンクなど設備に相当する導体は電気安全の観点から接地抵抗が、静電気対策に必要な漏洩抵抗よりも十分に小さいので静電誘導ハザードから除外できる。

そのほかの導体は漏洩抵抗が  $10^6 \Omega$  以下であれば静電誘導ハザードから除外できる。

人体については漏洩抵抗が  $10^8 \Omega$  以下であれば静電誘導ハザードから除外できる。なお、人体の漏洩抵抗は靴と床の抵抗で構成されるので、これらの合成抵抗で調査する。

作業者が手に持って取り扱う導体については導電性・電荷消散性の手袋等にて適切な漏洩抵抗を確保するようにする。

漏洩抵抗によって火花放電のエネルギーも推定できる (2.4.1.3, 8.7.1.1)。

静電気対策のための漏洩抵抗の規定値が  $10^6$  または  $10^8 \Omega$  以下である理由について 2.4.1.3 を参考されたい。

### 7.3.4 放電ギャップの形成

#### チェック項目 24 導体 (おもに接地導体) との放電ギャップ

火花放電が生ずるためには、絶縁導体と接地導体で形成されるごく短い放電ギャップが必要である。したがって、絶縁導体が接地導体に近づく、逆に接地導体が絶縁導体に近づく、あるいは、もともと両者が近くにある必要がある。ここで、人体は導体なので、これらの導体は作業者でもよい。したがって、絶縁導体が固定されており、周りに放電ギャップを形成する接地導体がない、あるいは、これに接地導体が近づけないような位置にあるときにこの絶縁導体は静電誘導ハザードから除外できる。これに該当して除外できる絶縁導体は少ないであろう。

### 7.3.5 静電容量

#### チェック項目 25 静電容量による絞り込み

小さな導体 (たとえば、ねじなど) もすべて接地・ボンディングするのは現実的でないが、小さな導体からの火花放電エネルギーは小さいので静電誘導ハザードとはならない。この観点から静電誘導ハザードを絞り込む。

火花放電のエネルギーは静電容量に比例するので、可燃性雰囲気着火エネルギーの関係から静電容量によって導体を静電誘導ハザードから除外できる。許容できる最大静電容量の詳細は 11.1.1 に示している。ただし、この最大静電容量は、放電自体を防止をするものではなく、放電が起きても放電エネルギーが対象の可燃性雰囲気着火エネルギーに対して許容できるレベルの最大の静電容量に相当する。測定する場合は 8.7.1.5 を参照する。

表 7.1: 静電誘導ハザード同定シート

工程・作業等の名称 実施日・実施者 承認日・承認者		
絶縁導体(人体含む)のリスト		
静電誘導ハザードとなる絶縁導体の特定	絶縁導体は帯電ハザードと同定された場所にあるか	(1)  (2) . . .
(1)の絶縁導体について		
放電ギャップを形成するか 漏洩抵抗 静電容量 接地の要否 接地, しない場合の理由 帯電・静電誘導ハザードレベル		
備考		

### 7.3.6 漏洩・噴出の危険性のある場所の導体

漏洩・噴出による着火は噴出時に発生した電荷の静電誘導による火花放電が原因となることが多いので、漏洩の危険性がある場所（内圧の高いフランジ・バルブ・結合部など）周辺での絶縁導体（作業員含む）についても同様な調査を実施する。

## 7.4 静電誘導ハザード同定のまとめ

導体の非接地による火花放電着火が最も多い事故事例であるので入念に調査され、抜けがなく同定されているはずである。

静電誘導ハザードレベルは表 6.6 を参照する。絶縁導体は導電性で電荷漏洩がないので、静電誘導ハザードレベルは 4 となる。さらに、静電誘導のもととなる帯電に促進要因がある場合はこの 2 倍の 8 となる。このとき、帯電ハザード同定の結果を考慮して静電誘導ハザードを同定しているので、帯電・静電誘導ハザードレベルとして決定する。

ここで、同定した可燃性雰囲気ハザード (Explosive group, Zone) と静電容量 (7.3.5) から、着火性放電が発生しないことが認められたときも静電誘導ハザードレベルは 0 となる。この場合の導体は接地は不要となる。

同定した可燃性雰囲気ハザード (Explosive group, Zone), 静電容量および事故事例などから、着火リスクが許容できない静電誘導ハザードを生起する導体（作業員・電荷消散性物体も含む）は接地・ボンディングして火花放電を防止する。接地した場合は該当する静電誘導ハザードレベルは 0 となる。ここで、ヒューマンエラーにより接地されない場合のハザードも注意喚起として同定しておくとうい。

## 7.5 静電誘導ハザード同定シート

静電誘導ハザード同定のためのチェックシートの例を表7.1に示す。この表は、ここに示した静電誘導ハザード同定の手続きをまとめたものである。備考欄には使用した測定法、参考文献、データベースなどリスクコミュニケーションのために必要な事項を記載するとよい。絶縁導体がいくつもある場合はそれについても(1)と同様に実施する。

## 第8章 静電気放電ハザードの同定

### 8.1 放電ハザードの同定法

帯電および静電誘導ハザードの同定により帯電および静電誘導の状況が把握できているので、これをもとに放電生起の可能性を調査する。ここでは、起こりうる放電タイプを調査することによって放電ハザードを同定する。

産業現場で起こる静電気放電のタイプには、

- (1) 火花放電
- (2) ブラシ放電
- (3) 沿面放電
- (4) コーン放電
- (5) コロナ放電

がある。これらの放電が生起するための条件はわかっているため、この条件を満たすか各タイプの放電発生の可能性を見積もることができる。また、可燃性雰囲気着火エネルギーと比較するため、生じうる各タイプの着火性もここで同定する。

なお、雷状放電は産業工程で生ずる帯電雲では生起リスクが極めて低い(2.4.6)。

さらに、放電の着火性は放電タイプに依存するので、放電タイプごとにハザードを同定する。得られた放電ハザードと可燃性雰囲気ハザード同定の結果を考慮して、第9章にて静電気放電着火リスクを見積もられる。

### 8.2 火花放電

#### チェック項目 26 火花放電の可能性

静電誘導ハザード同定により、火花放電の可能性は特定できている。ここでは、抜けないようにさらに調査する。

#### 8.2.1 火花放電の発生条件

火花放電の詳細は2.4.1を参照するとして、火花放電の発生条件を簡潔に列挙すると以下のとおりである。

- 平板または大きな曲率半径の導体間に平等電界が形成されて起こる
- この電界が空気の絶縁破壊電界 (3 MV/m) 以上である

産業現場でこの条件を満たす導体は、可搬の導体または人体であることが多く (7.3.2.1)、他方の導体は接地された導体である。

このような導体も漏洩抵抗を  $10^6 \Omega$  (人体では  $10^8 \Omega$ ) 以下にすれば、その電位が火花最小電圧 330 V を超えることがないので、火花放電ハザードとならない。

### 8.2.2 火花放電の生起場所

帯電物体の近傍の絶縁導体が火花放電の生起場所となりうる。さらに、この絶縁導体の近傍に火花放電ギャップを形成する導体が必要である。C.2.3.1 も参照する。

### 8.2.3 火花放電の着火性

火花放電はガス、蒸気および粉じんの可燃性雰囲気着火源となりうる。火花放電エネルギーは絶縁導体に蓄積された静電エネルギーとほぼ等しい (式 2.7) ので、導体の静電容量と帯電電位からその着火性を見積もることができる (2.4.1.2, 表 2.8)。

人体からの火花放電の等価エネルギーは 10 mJ 程度までである (2.4.1.1)。

## 8.3 ブラシ放電

チェック項目 27 ブラシ放電の可能性

### 8.3.1 ブラシ放電の発生条件

ブラシ放電の発生条件は以下のとおりである (2.4.3)

- 絶縁物が帯電し、曲率のある (接地) 導体が近づくときに起きる
- この曲率半径は 5–50 mm 程度
- 帯電物体の表面電荷密度が  $3 \mu\text{C}/\text{m}^2$  以上で表面電界が  $0.5 \text{ MV}/\text{m}$  (=  $5 \text{ kV}/\text{cm}$ ) 以上のとき

### 8.3.2 ブラシ放電の生起場所

ブラシ放電が起こりうる場所は帯電した絶縁性物体 (固体、液体および粉体層表面) が対象となる。帯電した絶縁物と導体との放電であるので、帯電物体の近傍に接地導体があるか、近づく必要がある。C.2.3.2 も参照する。

### 8.3.3 ブラシ放電の着火性

ブラシ放電の等価エネルギーは 3 mJ 程度までである。ガス・蒸気の可燃性雰囲気着火源となるが、粉じん可燃性雰囲気着火源とはならない。したがって、粉じんのみの雰囲気ではブラシ放電ハザードは除外できる。

帯電物体の表面電位とブラシ放電の等価エネルギーとの関係を図 2.10 に示すように帯電電位によりその着火性を見積もることができる。

ブラシ放電のハザード同定の詳細については 11–13 章を参照。

## 8.4 沿面放電

チェック項目 28 沿面放電の可能性

### 8.4.1 沿面放電の発生条件

沿面放電の発生条件を以下に示す (2.4.4)

- 比較的に薄い絶縁物の表と裏面に異符号の電荷の電気二重層が形成される
- 表面電荷密度が  $2.5 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$  以上
- 絶縁層の厚さが 8 mm 以下
- 絶縁層の絶縁破壊電圧が 4 kV 以上 (図 2.11)

### 8.4.2 沿面放電の生起場所

電気二重層ができる薄い絶縁層 (シート状または接地導体面のコート (ライニングも含む)) に生起する。輸送による物体の連続的衝突などの電荷分離による帯電が必要である。シート状の絶縁層は、一方の面ではこのような電荷分離による帯電が必要であり、反対面では反極性電荷を蓄積されるイオンの発生 (たとえば、コロナ放電) が必要である。したがって、この反対面ではこのイオン発生のための放電を生起させる接地導体 (たとえば突起導体) がこの絶縁層近傍に必要となる。C.2.3.3 も参照すること。

接地金属表面の絶縁性コートおよび絶縁性袋類に多い放電である。

表面電荷密度が高いことから、大きく帯電した物体が相当量蓄積するか、何らかの帯電促進要因が必要がない限り起きない。

### 8.4.3 沿面放電の着火性

沿面放電は可燃性ガス・蒸気だけでなく可燃性粉体の着火源にもなりうる。

## 8.5 コーン放電

チェック項目 29 コーン放電の可能性

### 8.5.1 コーン放電の発生条件

コーン放電の生成のための正確な条件は求まっていないが、次の条件が満たされるときに多く起こる。

- 粒径が比較的に大きい：粒径 1 mm 以上で多く起こる。
- 粉体の抵抗率が大きい： $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$  以上で多く起こる。
- 粉体の質量比電荷が大きい： $1 \mu\text{C}/\text{kg}$  以上で多く起こる。



- 充填流量が大きい空気輸送：連続的に大量（数千 kg/h 以上）の充填で多く起こる。たとえば、粒径 1- mm 以上の粉体で  $2 \times 10^3$  kg/h 以上、0.8 mm 程度で  $20-30 \times 10^3$  kg/h 以上。

$10^{10}$  Ω·m 以下の粉体で、接地した容器に充填されるときコーン放電は起こりにくいが、 $10^{10}$  Ω·m 以上になると起こるようになり、 $10^{12}$  Ω·m 以上では防止が困難である。経験的に  $10^8$  Ω·m 以下の粉体で、接地した容器に充填されるときコーン放電は起きないとしてよい。

### 8.5.2 コーン放電の生起場所

コーン放電は粉体の空気輸送中の容器・FIBC 内に堆積した帯電粉体表面で生起する。C.2.3.4 も参照する。

### 8.5.3 コーン放電の着火性

放電エネルギーは数十 mJ 程度以下であり、コーン放電は ガス・蒸気、粉体の着火源になる可能性がある。100 mJ 以上の可燃性雰囲気ではコーン放電による着火リスクは低い。200 mJ 以上ではコーン放電ハザードは無視してよいであろう。粉じん爆発の場合、上記のようなコーン放電を生成する条件の比較的大きな粒径の粉体では空間に浮遊することが不可能なため可燃性雰囲気の形成が困難である。したがって、この放電によって着火が起きるためには、粒径が数 100 μm 以下の微粉体が含まれていることが必要である。

粉じんのみでのコーン放電による着火事例が見あたらないが、ガス・蒸気とのハイブリッド可燃性雰囲気での着火事例がある (C.2.3.4)。

## 8.6 コロナ放電

### チェック項目 30 コロナ放電と IIC 雰囲気の可能性

コロナ放電エネルギーは数十 μJ 程度までで、着火エネルギーが極めて低いガス（水素、アセチレン、硫化水素などの IIC）の可燃性雰囲気のみに対して着火源となりうることもある。IIC 以外のガス・蒸気および粉じん可燃性雰囲気の着火源となることはない。詳細は 2.4.2 参照。

## 8.7 着火性放電の可能性の見積

着火性放電の可能性は経験的（これまでに蓄積された知識により）に有無を見積もるか、または、理論的あるいは種々の測定が可能な場合は放電エネルギーによる着火性の有無として見積もる。

### 8.7.1 着火性火花放電の可能性

火花放電の可能性を見積るための基礎となる 2.4.1.2 も参照されたい。火花放電は導体の接地・ボンディングで防止できるので、接地が必要と判断されたら (11.1.1)，早急に対策されるべきである。事故事例（付録 C）から 70% 強の着火源は火花放電である。

表 8.1: 導体、導電性・電荷消散性物体 (物質) の漏洩抵抗による帯電電位の見積

漏洩抵抗 ( $\Omega$ )	帯電の程度	典型的な帯電電位 (kV)*
$< 10^6$	ほとんどなし	$< 0.01$
$10^6-10^8$	小さい	0.01-1
$10^8-10^{10}$	大きい	1-100
$> 10^{10}$	非常に大きい	$> 100$

\* 式 (2.4) の発生電流  $I_G = 10 \mu\text{A}$  として求めた帯電電位

### 8.7.1.1 火花放電エネルギー

火花放電は導体が帯電あるいは静電誘導により起こる放電であり、火花放電エネルギーはその導体に蓄積されている静電エネルギーにほぼ等しい。そのエネルギーは式 (2.7) により求めることができる。さらに、この放電エネルギーが可燃性雰囲気着火エネルギーよりも大きいときに着火する (式 (2.10)) ので、これにより着火性火花放電の可能性を見積もることができる (図 2.8)。

### 8.7.1.2 漏洩抵抗

導体が完全に絶縁されていない場合は導体はある漏洩抵抗  $R$  を持つ。このときの導体の帯電電位は、帯電によって導体に流れる電流を  $I_G$  とすると

$$V = I_G R \quad (8.1)$$

により求めることができる。たとえば、帯電液体  $q \text{ C/kg}$  を毎秒  $m \text{ kg}$  (電流  $I_G = mq$ ) 金属容器 (漏洩抵抗  $R$ ) に充てんとすると、容器電位の定常値は  $V = mqR$  となる。

また、式 (2.11) およびこの式を示した図 2.9 から漏洩抵抗により着火性火花放電の可能性を見積もることができる。

式 (8.2) より、導体の漏洩抵抗の指標を表 8.1 に示す。着火エネルギーに関連した漏洩抵抗の最大値は 2.4.1.3 およびその図 2.9 を参考にするとよい。

### 8.7.1.3 火花開始電圧

火花開始電圧は 330 V であるので、帯電電位として  $V > 330 \text{ V}$  が必要である。この帯電電位は式 (8.1) により見積もることができる。この火花開始電圧をもとに安全マージンを考慮して導体および人体の漏洩抵抗を規定している (2.4.1.3, 式 (2.12))。

### 8.7.1.4 最大帯電電位と最大電荷量

導体の帯電電位は式 (2.4) の  $V = I_G R$  のように漏洩抵抗に依存する。また、帯電電荷量は式 (2.5) の  $Q = I_G C R$  に示したように緩和時間 (漏洩抵抗と静電容量の積) に依存する。産業レベルの静電気の発生電流  $I_G$  は  $100 \mu\text{A}$  を超えることはまずないので、この電流値を用いて、起こりうる導体の最大電位  $V_{max}$  および最大電荷量  $Q_{max}$  は

$$V_{max} = 1 \times 10^{-4} R \quad (8.2)$$

$$Q_{max} = 1 \times 10^{-4} C R \quad (8.3)$$

によって見積もることができる。

したがって、導体の漏洩抵抗によっても、 $I_G = 100 \mu\text{A}$  として着火性火花放電の可能性を見積もることができる。

#### 8.7.1.5 静電容量

可燃性雰囲気への着火性に対して許容できる導体の最大静電容量との関係 (11.1.1) から着火性火花放電の可能性を確認できる。最大静電容量を超える導体は接地する。

可能であれば絶縁導体の静電容量をその場で測定するとよい。測定法は静電気安全指針 2007 [4] を参照されたい。絶縁導体と近傍の接地導体間に電圧  $V$  (数  $V$  程度) を与えて後に、その絶縁導体の電荷  $Q$  をクーロンメータで測定して静電容量  $C (= QV)$  を測定してもよい。

### 8.7.2 着火性ブラシ放電の可能性

2.4.3, 8.3 および 11 章も参照されたい。長年にわたる実践的経験からブラシ放電は可燃性粉じん雰囲気では着火リスクは十分に許容できるほど低い。ブラシ放電が発生しうる場所は放電ハザード同定にて特定されているので、ガス・蒸気の可燃性雰囲気への着火性と形成頻度を比較して、着火リスクが許容できない場合は対応する静電気対策の実施または絶縁性材料の利用を避けることによりブラシ放電を防止する。

#### 8.7.2.1 ブラシ放電の面積・幅による制限

ブラシ放電を防止するために絶縁物表面の面積・幅を制限する対策 (11.5.3) がある。この面積・幅を超えるもので帯電ハザードと同定された絶縁物は着火性ブラシ放電が生起する可能性がある。

#### 8.7.2.2 帯電電位

絶縁物表面電位による着火性ブラシ放電の可能性は 2.4.3 のブラシ放電の帯電電位と放電エネルギーとの関係 (式 (2.13)) を示した図 2.10 の曲線に 1/10 の安全マージンをとった値で見積もる。作業現場の雰囲気の最小着火エネルギーから絶縁性物体の表面電位が図 8.1 の曲線 a 以下であればブラシ放電による着火リスクはない、または、曲線 a に一致させた階段状の直線 b (1 kV (MIE < 0.1 mJ), 5 kV (0.1 mJ ≤ MIE < 1 mJ), 10 kV (MIE > 1 mJ)) 以下であれば着火性ブラシ放電の可能性は極めて低い (ブラシ放電による着火リスクはない)。

ブラシ放電の可能性のある帯電した絶縁性物体の表面電位を測定が可能であれば、可燃性雰囲気への着火エネルギーと比較して、着火性ブラシ放電の可能性を決定論的に見積もることができる。

#### 8.7.2.3 表面電荷密度

絶縁性物体の最大表面電荷密度を  $1 \mu\text{C}/\text{m}^2$  (IIC),  $3 \mu\text{C}/\text{m}^2$  (IIB),  $5 \mu\text{C}/\text{m}^2$  (IIA) 以下<sup>1</sup> (表 8.2) であればブラシ放電による着火リスクはない。なお、ブラシ放電の等価エネルギーは 3 mJ 程度までであるので、これを超える着火エネルギーの雰囲気では、表面電荷密度の条件ではブラシ放電で着火することはない。

<sup>1</sup>帯電した絶縁性物体からの放電による水素、プロパンの着火実験において、水素では絶縁性物体の帯電の最小電荷密度が負帯電で  $-3.8 \mu\text{C}/\text{m}^2$ , 正帯電で  $+17 \mu\text{C}/\text{m}^2$ , また、プロパンでは負帯電で  $-7.4 \mu\text{C}/\text{m}^2$ , 正帯電では着火しないことから、着火性の放電が生じない安全な最大表面電荷密度を  $-3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ,  $+5 \mu\text{C}/\text{m}^2$  としている [11]。

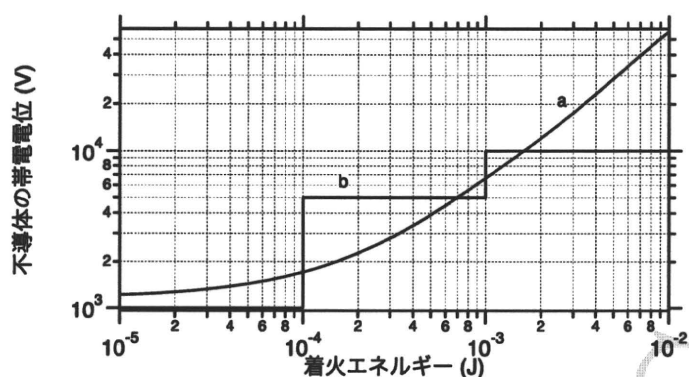


図 8.1: 絶縁物表面の帯電電位による着火性ブラシ放電の可能性の見積 (曲線 a または階段状直線 b 以下)

表 8.2: ブラシ放電を防止するための表面電荷密度

可燃性雰囲気	着火性	表面電荷密度
IIC		$\leq 1 \mu\text{C}/\text{m}^2$
IIB		$\leq 3 \mu\text{C}/\text{m}^2$
IIA		$\leq 5 \mu\text{C}/\text{m}^2$

#### 8.7.2.4 接地導体表面の絶縁性コート

接地導体表面の絶縁性コートの帯電による着火性ブラシ放電の可能性についての見積は 11.3.1 を参照する。

#### 8.7.3 着火性沿面放電の可能性

2.4.4, 8.4 および 11 章も参照されたい。沿面放電のエネルギーは高いので着火リスクは高い。沿面放電が発生しうる場所 (絶縁層) は放電ハザード同定にて特定されているので、着火リスクが許容できない場合は対応する静電気対策の実施 (対策品利用も含む) または絶縁性材料の利用を避けることにより沿面放電を防止する。

#### 8.7.4 着火性コーン放電の可能性

2.4.5, 8.5 および 13 章も参照されたい。コーン放電が発生しうる場所 (空気輸送充てん容器内) は 8.5 のコーン放電ハザード同定にて特定されているので、着火リスクが許容できない場合は対応する静電気対策の実施または空気輸送を避けることによりコーン放電を防止する。

コーン放電のエネルギーは式 (2.17) により見積もることができるので、可燃性雰囲気

の着火エネルギーと比較して着火性コーン放電の可能性を見積もる。ハイブリッド可燃性雰囲気が避けられない場合はコーン放電による着火リスクがより高くなるので、空気輸送を避ける、コーン放電を防止する対策または可燃性雰囲気を防止する対策を講ずる。

## 8.8 放電ハザードレベル

着火性放電の可能性は経験的 (これまでに蓄積された知識により) に有無を見積もるか、または、理論・半理論 (経験) 式あるいは種々の測定が可能な場合は放電エネルギーによる着火性の有

表 8.3: 放電ハザード同定シート

工程・作業等の名称 実施日・実施者 承認日・承認者	
放電の可能性：帯電ハザードおよび静电誘導ハザードとなる場所で場所ごとに各タイプの放電の発生条件を満たすか検討する 火花放電の有無 ブラシ放電の有無 沿面放電の有無 コーン放電の有無 IIC 下でのコロナ放電の有無	
有と同定された放電の着火性の調査 着火性火花放電の可能性	
ハザードレベル（放電可能性，放電タイプ重み付け 5） 場所・位置 根拠	
着火性ブラシ放電の可能性	
ハザードレベル（放電可能性，放電タイプ重み付け 3） 場所・位置 根拠	
着火性沿面放電の可能性	
ハザードレベル（放電可能性，放電タイプ重み付け 3） 場所・位置 根拠	
着火性コーン放電の可能性	
ハザードレベル（放電可能性，放電タイプ重み付け 2） 場所・位置 根拠	
IIC 下での着火性コロナ放電の可能性	
ハザードレベル（放電可能性，放電タイプ重み付け 1） 場所・位置 根拠	
備考	

無として見積もる。ここでは、放電ハザードレベルは放電エネルギーにより見積もれた着火性放電の可能性の有無を 2 と 0 とし、判定に不確実性がある場合はグレーゾーンとして 1 とする。

これに着火性と事故頻度から見積もった放電タイプの重み付け（火花：5，ブラシ：3，沿面：3，コーン：2，IIC でのコロナ：1）を掛けてハザードレベルを決定する。

## 8.9 放電ハザード同定のまとめ

工程に依存する放電ハザードおよび固体，液体，粉体および気体の放電ハザードは 11, 12, 13, 14 章も参考にすること。作業員に関する放電ハザードについては 15 章も参考にすること。

### 8.9.1 放電ハザード同定シート

放電ハザード同定のためのチェックシートの例を表 8.3 に示す。この表は、ここに示した放電ハザード同定および着火性放電可能性の見積もりの手続きをまとめたものである。備考欄には使用した

測定法，参考文献，データベースなどリスクコミュニケーションのために必要な事項を記載するとよい。

MHLW GRANT'S ONLY

## 第9章 静電気着火リスクの見積・評価

### 9.1 静電気着火リスクの見積法

ここでは、図 9.1 に示すように、まず初めに可燃性雰囲気形成ハザードの同定で得られた結果から可燃性雰囲気形成の可能性を見積もる。つぎに、帯電ハザードおよび静電誘導ハザードの同定もとに分析した静電気放電ハザードより着火性放電の可能性を見積もる。形成されうる可燃性雰囲気と着火性放電可能性とこれによって生起する危害のひどさ（対象により異なるであろう）から静電気着火リスクを見積もる。

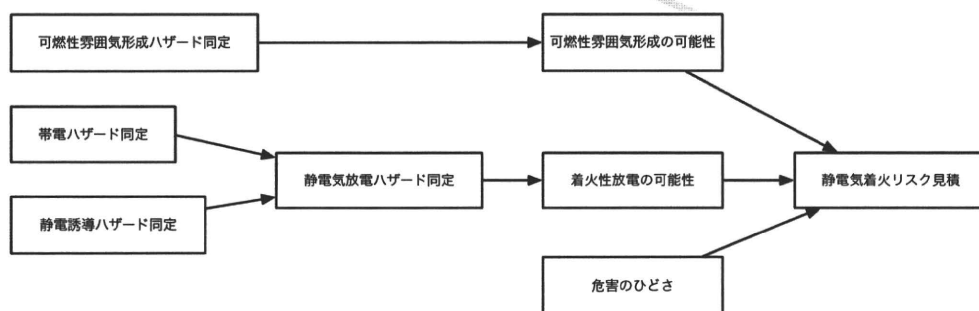


図 9.1: 静電気着火リスク見積

### 9.2 静電気着火リスク見積

可燃性雰囲気形成ハザード同定で得られた可燃性雰囲気の着火性とその範囲・頻度および帯電・静電誘導ハザード同定をもとに同定された起こりうる放電の着火性放電ハザードから得られたリスクと、さらに、これらのハザードによって誘起される危害のひどさを考慮し、総合的に判断して静電気着火リスクを見積もる。

可燃性雰囲気形成ハザード、帯電・静電誘導ハザード、放電ハザードで同定された各場所に対し各放電タイプごとに静電気着火リスクを見積もる。リスクレベルは可燃性雰囲気形成ハザード、帯電・静電誘導ハザード、放電ハザードの乗算による静電気着火ハザードレベルと危害のひどさ A-C を加えて決定する。なお、危害のひどさは人災・設備被害および経済的損害に関して低（人災：軽傷，設備被害・損害：軽微），中（重傷，設備被害・損害：大），大（死亡，設備被害・損害：重大）の 3 段階（A-C）程度が妥当であろう。このとき、この 3 つひどさのレベルがそれぞれ異なる場合はもっとも高いひどさにする。したがって、静電気着火リスクレベルは、たとえば、静電気着火ハザードレベルが 100 で、危害のひどさが A のとき 100A となる。

表 9.1: 放電着火リスク見積・評価シート

工程・作業等の名称	
実施日・実施者	
承認日・承認者	
危害のひどさ	
ハザード同定結果	
可燃性雰囲気形成ハザードレベル	
帯電・静電誘導ハザードレベル	
放電ハザードレベル（着火性放電可能性）	
静電気着火リスク見積	
リスクレベル	
リスク低減策	
実施すべき対策	
実施した対策	
静電気着火リスク評価	
対策後のリスクレベル	
残留リスク	
備考	

### 9.3 静電気着火リスク評価

可燃性雰囲気形成・帯電・静電誘導・放電ハザード同定および可燃性雰囲気形成・着火性放電可能性見積から着火リスク評価をする。これに応じて必要なリスク低減策（静電気対策：11-14章および静電気安全指針2007を参照）を実施し、対象とする工程・作業を許容できるリスクとすることが必要である。対策後に関しても、同様の手順でリスク分析して、対策の効果を確認するため静電気着火リスクを改めて評価する。また、残存リスクについても共有する必要がある。これをまとめたシートの例を表9.1に示す。