

### 12.6.6 小型導電性容器

小型導電性容器はバケツ，ドラム，ペール缶，IBC (Intermediate Bulk Container) などで金属でできていて，コーティングされていない容器である。

[ハザード] 小型導電性容器は次のようなハザードがある。

- (1) 接地により適切な漏洩抵抗が確実にとられるようにしないとハザードとなる。実際にも可搬性があるため接地・ボンディングを忘れて事故になることが多い。また，いくつかの容器を順にボンディングによって接地しているのを散見する。途中でひとつでもボンディングを外す（が外れる）と，接地されない容器が出てきてしまうので，このような接地方法は避ける。
- (2) フィルタの使用は帯電促進させて，帯電ハザードとなる。
- (3) スプラッシュローディングは帯電ハザードとなる。
- (4) 接地導体（作業者も含む）が近づくことによる低導電率液体の液面からのブラシ放電のハザードがある。
- (5) 絶縁された容器自体またはドラムポンプ，漏斗などの絶縁導体からの火花放電のハザードがある。
- (6) 絶縁された作業者も静電誘導により火花放電のハザードがある。

[確認事項] 次のような静電気対策が確実になされているか確認する。

- (1) 充てん・排出中はすべての導体（電荷消散性の物体および作業者も含む）の接地・ボンディング：絶縁導体からの火花放電の事故が多い
- (2) 一相液体では速度制限はないが，導電率が低く，着火性が高い液体，例えば，二硫化炭素，ジエチルエーテル，有機過酸化物，エチレンオキサイドなどは流速を 1 m/s 以下にする。
- (3) 不溶物質が混在する液体では 1 m/s を超えない流速とする
- (4) ディップパイプなどを用いて液面上部から充てんしないようにする。
- (5) 作業者人体の接地を靴と床の漏洩抵抗で確保する。

### 12.6.7 電荷消散性タンク・容器

導電性タンク・容器と同様な接地が必要であるので，電荷消散性であることをタンク・容器に明示する。ハザードレベルおよび静電気対策は導電性タンク・容器と同じである。

### 12.6.8 内面絶縁コートされた導電性または電荷消散性タンク・容器

[ハザード] 内面絶縁コートされた導電性または電荷消散性タンク・容器は次のようなハザードがある。

- (1) 絶縁性コートと液体の接触により，液体およびコートが帯電ハザードとなる。

- (2) 絶縁性コートは摩擦によっても帯電してハザードとなる。
- (3) これらの帯電によりブラシ放電および沿面放電のハザードがある。
- (4) 高導電性液体では、液体が絶縁導体となり火花放電のハザードがある。
- (5) 一般に、2 mm 以下の厚さの絶縁性コート（たとえば、エポキシコート、塗装など）は高速連続充てんなど帯電の促進要因がないかぎり着火性の放電は発生しにくい。50  $\mu\text{m}$  以下では着火ハザードはない。

**[確認事項]** 一般に次のような対策が取られるので確認する

- (1) タンク・容器は導電性または電荷消散性であるので接地・ボンディングが必要である。
- (2) コートはタンク・容器に密着する。隙間や剥がれがないようにする。
- (3) 液体がコートによって絶縁されるとき電荷緩和は絶縁性コートの電荷緩和となる。したがって、液体は、金属バルブや金属ディップパイプなどで接地と電気伝導がとれるようにしておく。接地した金属板を入れておくだけでも有効である [4]。
- (4) 洗浄などのタンク内作業は作業者が絶縁されるので、靴のほかにタンク底部は、たとえば、作業者が歩行する可能性のあるところは電荷消散性のコートにするなどの処置が必要である。
- (5) 沿面放電のハザードとなるので、高速充てんは避ける。
- (6) 沿面放電を防止するため、コートの絶縁破壊電圧が 4 kV 以下となる材料を選定する。

### 12.6.9 外側が絶縁コートされた導電性または電荷消散性タンク・容器

**[ハザード]**

- (1) 内側の導電性または電荷消散性部が絶縁されると火花放電のハザードがある。
- (2) 絶縁性コートが帯電するとブラシ放電または沿面放電のハザードとなる。

**[確認事項]**

- (1) 絶縁性コートがタンク・容器を絶縁するので、タンクの導電部を接地・ボンディングする。
- (2) 絶縁性コートによって絶縁される導体および電荷消散性物体も接地する。
- (3) 2 mm 以下の厚さの絶縁性コートは帯電の促進要因（たとえば、静電噴霧）がないかぎり着火性の放電は発生しにくい。
- (4) 作業者の帯電防止のためタンク上部等の通路の床面および靴により人体を接地できるようにする。

### 12.6.10 全面が絶縁コートされた導電性または電荷消散性タンク・容器

内側および外側が絶縁コートされたタンク・容器であるので、12.6.8 および 12.6.9 を参照する。

### 12.6.11 導体で囲われた絶縁性容器: IBC

IBC 容器がこれに相当して、一般に 1 m<sup>3</sup> 程度の小容器で、導電性のグリッド、メッシュ、コートなどのエンクロージャー (enclosure) のなかに納められている。

#### [ハザード]

- (1) 容器は絶縁物であるので、ブラシ放電のハザードがある。

[確認事項] 次の IBC の要求事項が満たされているか確認する

- (1) エンクロージャーはシールドの役目を果たしているので、接地しなければならない。
- (2) このタイプの中・大型容器の使用は避ける。
- (3) 着火性の高い液体（たとえば、ジエチルエーテル、有機過酸化物 (Organic peroxides)、縮合環芳香族 (epoxides)、二硫化炭素) には使用しない。
- (4) 容器外側が Zone 0 となる場合は使用を避ける
- (5) エンクロージャーの各グリッドの面積は 10000 mm<sup>2</sup> 以下にする。
- (6) このグリッド面積が 3000 mm<sup>2</sup> を超えるときはエンクロージャーと容器の間隔を 20 mm 以下にする。3000 mm<sup>2</sup> 以下ときはこの間隔を 40 mm 以下にする。
- (7) 液体と接地間の抵抗を接地ディップパイプ、金属板またはフットバルブによって 10<sup>6</sup> Ω 以下にする。なお、金属板やフットバルブは絶縁導体とならないように液体量が少なくとも恒久的に接地する。
- (8) 高速充てんなど帯電促進要因は避ける。

### 12.6.12 絶縁性タンク・容器

絶縁材料でできた、おもにプラスチック容器である。

[ハザード] このような容器は導電性容器および絶縁コートされた容器よりも危険であり、次のようなハザードがある。

- (1) 液体はこの容器によって絶縁され、電荷緩和がない。
- (2) 漏斗などの導体もこの容器によって絶縁される。
- (3) ドラムポンプ、漏斗などの絶縁導体からの火花放電のハザードがある。
- (4) フィルタの使用は帯電を促進させて、帯電ハザードとなる。
- (5) スプラッシュローディング・高速充てんは帯電ハザードとなる。
- (6) 接地導体（作業員も含む）が近づくことによる液面からのブラシ放電のハザードがある。
- (7) 絶縁された作業員も静电誘導により火花放電のハザードがある。

- (8) 高導電性液体では、液体が絶縁導体となり火花放電のハザードがある。
- (9) 容器壁は摩擦や液体との接触で帯電して、ブラシ放電のハザードがある。
- (10) 容器の外側でも、静電誘導のハザードがある。

以上の点から、絶縁性容器は可燃性雰囲気形成される場合は使用しない。

**[確認事項]** 液体の純度の関連などからやむを得ず使用する場合は、次のような静電気対策が確実になされているか確認する。

- (1) 充てん・排出中はすべての導体（電荷消散性の物体および作業員も含む）の接地・ボンディングをする。特に、金属製漏斗やディップパイプなど。
- (2) 充てん中に液体を接地できるように、接地ディップパイプ、接地フットバルブまたは容器底の接地金属板などを用いる。
- (3) 流速制限は同等サイズの導電性容器の流速制限を超えないようにする。
- (4) 容器底近くまでディップパイプを挿入して、液面上部から充てんしないようにする。
- (5) 高速混合など帯電促進となる工程には用いない。
- (6) 作業員人体の接地を靴と床の漏洩抵抗で確保する。
- (7) IIC または Zone 0 では使用禁止とする。
- (8) Zone 1, 2 では 5 L を超えない容器とする。
- (9) Zone 1 では 1 m/s 以下の流速制限。

### 12.6.13 ライナー袋の利用

容器に液体を充てんする際に内袋（ライナー）を用いることもある。

**[ハザード]** 袋を使用することによる付加的风险が高いので、可能であれば使用しない方がよい。このような作業には以下のようなハザードがある。

- (1) 絶縁性袋を用いると液体と袋が帯電する。
- (2) 導電性および電荷消散性内袋が絶縁されると火花放電のハザードがある。
- (3) 絶縁性袋や液体が帯電すると、接地導体との間でブラシ放電のハザードがある。
- (4) 容器が導電性の場合は絶縁性袋と容器の間にブラシ放電のハザードがある。
- (5) 袋を容器から取り出すときが、最も危険である。
- (6) 高導電性液体を絶縁性袋で取り扱おうと液体が絶縁され、火花放電のハザードとなる。
- (7) 可燃性液体で濡れた多量な袋の取扱は可燃性雰囲気形成のハザードとなる。さらに、この袋が導電性または電荷消散性で絶縁されると火花放電による着火ハザードとなる。

[確認事項] 次のような対策がなされているか確認する。

- (1) IIC の可燃性雰囲気では内袋の使用はしない。
- (2) 導電性および電荷消散性容器のほかすべての導体は接地・ボンディングする。
- (3) 内袋が導電性または電荷消散性であり確実に接地されるときは、どのような容器に用いてもよい。
- (4) 導電性または電荷消散性内袋を充てん中および容器から取り出すときも確実にこれらの袋を接地する。
- (5) 絶縁性内袋の場合
  - (a) 導電性容器、または、コート（2 mm 以下）された導電性容器にのみ使用する。このとき、袋は容器に密着するように接触させる。
  - (b) 接地したディップパイプを挿入するなどして液体を接地する。特に、高導電性液体では、接地しないと絶縁導体となり、火花放電のハザードとなる。
  - (c) 可燃性雰囲気では内袋（たとえば、可燃性液体で濡れた袋など）を容器から取り出してはならない。
- (6) 可燃性液体で濡れた導電性または電荷消散性袋を取り扱う場合、人体を靴および床で確実に接地して、導電性手袋を使用する。
- (7) 取り出した袋を一時的に置いておく場所は、可燃性雰囲気を形成しないように通風・換気され、かつ、作業場所と離れた場所に置く。
- (8) さらに、導電性または電荷消散性袋の場合、取り出した袋が絶縁導体とならないように比較的導電性な床（たとえば、コンクリート床）に置く。

#### 12.6.14 高粘性液体

高粘性液体は動粘性係数が 30 cSt 以上の液体である。一般に、高粘性液体は 30–100 cSt 程度である。

[ハザード]

- (1) 高粘性液体は、その粘性のため荷電粒子の流れも阻害されて、低粘性液体に比較して電荷緩和が著しく長くなり、結果的に帯電しやすい。
- (2) このため多くの高粘性液体は、導電率も 0.01 pS/m 程度まで低くなり、電荷緩和時間も 1 時間以上と長くなる。
- (3) 12.6 に示した通常の液体の流速制限は適当ではない。
- (4) フィルター、濾過器などでは、さらに帯電するので、滞在時間および電荷緩和長による対策も有効ではない。
- (5) 高粘性液体は潤滑油など引火点が高いものが多いが、スイッチローディングなどで、前荷の可燃性雰囲気を形成するハザードがあり、高粘性液体のため帯電しやすいので着火のハザードがある。

[確認事項] 次の対策がなされているか確認する。

- (1) 導電率および引火点をベースにして対策する。
- (2) 上記のハザードに示したように著しく導電率が低くなり、可燃性雰囲気形成されるおそれがある場合はそれを防止する対策（窒素パージなど）をする。

### 12.6.15 フィルタ、濾過器、水分分離器

[ハザード]

- (1) フィルタ、濾過器および水分分離器での液体の流動は、通常の配管流動よりも液体を著しく帯電させる。
- (2) たとえば、配管での帯電が  $10 \mu\text{C}/\text{m}^3$  程度でも、マイクロフィルタ ( $30 \mu\text{m}$  以下) では、 $5000 \mu\text{C}/\text{m}^3$  を超える。
- (3) 下流タンク・容器などで、可燃性雰囲気が形成されるところの帯電により着火ハザードがある。
- (4) 充てん容器直近でのフィルタ、濾過器、水分分離器の設置は、液体の電荷が十分に緩和されず、かつ、フィルタも帯電しているので、さらなる帯電ハザードとなる。

[確認事項] 次のような対策がなされているか確認する。

- (1) すべての導体は接地・ボンディングする。
- (2) フィルタ・容器および緩和チェンバーを用いるときは、可燃性雰囲気の形成を防止するため、これを液体で充満させるようにする。
- (3) フィルタなどとタンク・容器との間の液体の滞在時間を緩和時間（液体の誘電率 / 導電率）の3倍以上確保する。
- (4) 著しく低導電率な液体または導電率が不明な液体は以下のような滞在時間を確保する。
  - (a)  $30 \mu\text{m}$  以下のフィルタ: 100 s 以上
  - (b)  $30\text{--}150 \mu\text{m}$  のフィルタ: 30 s 以上
- (5) やむを得ず滞在時間を確保できない場合は、可燃性雰囲気の形成を防止する。
- (6) 高粘性液体の場合は、滞在時間の対策は適さないため、可燃性雰囲気の形成を防止する。
- (7) 浮き屋根タンク充てんにフィルタなどを用いる場合は、浮き屋根が浮くまでの速度制限  $1 \text{ m/s}$  以下に合わせて滞在時間を計算する。
- (8) 容器直近のフィルタは、可燃性雰囲気では使用してはならない。

## 12.7 サンプリング・検尺

チェック項目 45 十分な静置時間を確保したのちに検尺・サンプリングが実施されるか

チェック項目 46 絶縁導体はないか

## [ハザード]

- (1) サンプリング・検尺は可燃性雰囲気形成されているとき、あるいは、これにより形成されると、静電気放電（火花放電・ブラシ放電）により着火のハザードがある。
- (2) 充てん、混合などで液体が帯電しているときのサンプリング・検尺は着火ハザードとなる。大型・中型タンクではさらに着火リスクが高くなる。
- (3) 液体とサンプリング容器との間、サンプリング容器とタンク構造物（マンホールリム、バルブなど）、またはサンプリング容器と作業者の間で着火性放電のハザードがある。
- (4) 可燃性雰囲気の形成を防止しているタンクを開放すると、数秒で可燃性雰囲気となる。
- (5) 事故事例から着火頻度の高い作業である。マンホールからよりもバルブを開放してのサンプリングの方が事故が多い。

## [確認事項] 次の事項を確認する。

- (1) すべての導体（電荷消散性の物体および作業者も含む）の接地・ボンディング：サンプリング・検尺の設備またはこのために作業者が用いる容器は帯電するおそれがある。これらは接地・ボンディングが必要である。
- (2) サンプリングに用いる容器は金属製で接地されているか確認する。
- (3) 液面フロートなど液面に浮いた導体は接地されているか確認する。構造的な設計ミスによって液面フロートが絶縁される事故もいくつかある。
- (4) 作業者は靴と床により適切な漏洩抵抗が確保されているか確認する。
- (5) タンク屋根からマンホールを開放してサンプリング・検尺は、ゲージウエルがない設備では避ける。
- (6) 窒素パージなど可燃性雰囲気形成を防止されたタンクではマンホールを開放するサンプリング・検尺はしない。
- (7) 液面からの検尺・サンプリングはブラシ放電（低・中導電率液体で発生する）または火花放電（高導電率液体で発生する）のハザードとなるので、十分な静置時間の後に実施する必要がある。ブラシ放電では液面電位が 58 kV 以上になると着火性となる。さらに、サンプリング容器が絶縁されて作業者が取り上げるときあるいはタンク構造物に接触して火花放電により着火している例が多い。
- (8) さらに、詳細に調査したいのであれば、式 (12.1) または (12.2) より、容器内の電荷密度を推定して、ポアソンの方程式から液面電位を計算できる。
- (9) クリーニング、攪拌など帯電を促進させる作業中のサンプリング・検尺は避ける。
- (10) サンプリング・検尺の前に静置時間として  $3\tau$  以上確保する必要がある。導電率が不明の場合は 100 秒以上確保する。固体・水などの不溶成分が含まれる低導電率液体の場合は 30 分以上確保する必要がある。
- (11) サンプリング・検尺にゲージウエルの設備がある場合は静置時間をとらなくてもよい。

表 12.2: 配管・ホースの導電性のクラス分け

クラス分け	単位長さあたりの抵抗*
導電性	$R < 10^3 \Omega/m$
電荷消散性	$10^3 < R < 10^6 \Omega/m$
絶縁性	$R > 10^6 \Omega/m$

\* 結合部も含めて測定する

- (12) バルブを開放して実施するサンプリングは噴出しないような構造になっているか確認する。着火原因は絶縁導体による火花放電であるので、すべての導体は接地・ボンディングする。サンプリング容器が絶縁される例としては、作業者（絶縁性手袋または絶縁性靴着用）が容器を持つ場合とバケツの絶縁性取っ手を配管構造物に掛けて実施するときが多い。

## 12.8 液体用配管・ホース

[ハザード]

- (1) 液体が流動すると液体と配管壁の間で電荷分離して、液体と配管が逆極性に帯電する。
- (2) 配管が導電性または電荷消散性であり、接地されていると、配管は帯電することなく、液体の電荷も緩和されるので、帯電ハザードは制限される。
- (3) 絶縁性の配管が用いられると、電荷緩和が著しく制限されるので、配管および液体が帯電する。
- (4) 絶縁性配管は外側を摩擦すると帯電する。
- (5) 絶縁性配管の部分的な利用または絶縁性のフランジ・ガスケットは、導電性または電荷消散性配管を絶縁させて、火花放電のハザードとなる。
- (6) 絶縁性配管の帯電はブラシ放電のハザードとなる。
- (7) 配管内への空気の混入は可燃性雰囲気形成のハザードとなる。
- (8) 配管周辺の可燃性雰囲気形成は着火ハザードとなる。
- (9) フランジなど接合部および絶縁性配管の穴・傷は漏洩による噴出による帯電ハザードおよび可燃性雰囲気形成ハザードがある。

### 12.8.1 配管・ホースの導電性によるクラス分け

表 12.2 の定義に従ってクラス分けされる。

### 12.8.2 導電性および電荷消散性配管

導電性および電荷消散性配管は接地しなければならない。



### 12.8.3 内面が絶縁コートされた導電性および電荷消散性配管

- (1) 外側および結合部などのすべての導体は接地されなければならない。
- (2) 内面は絶縁性であるので、コートおよび液体は電荷が蓄積する。
- (3) 液体で充満させて絶縁性コート配管内に可燃性雰囲気形成をしないようにする。もし、形成されるならば流速を 1 m/s 以下にする。
- (4) マクロフィルタを用いる場合は、その下流で流速を 1 m/s よりもさらに低速にする。
- (5) コートの抵抗率が  $10^8 \Omega$  以下では着火性放電は起きにくい。
- (6) 典型的な条件（たとえば、電荷密度  $< 1000 \mu\text{C}/\text{m}^3$ 、配管直径 100 mm）では、 $10^{11} \Omega$  を超えない限り着火性放電は起きにくい。
- (7)  $10^{11} \Omega$  以下の抵抗率の絶縁コートは絶縁破壊によるコートの破損（ピンホール）も防止する。高発生電流の場合は  $10^8 \Omega$  以下。

### 12.8.4 絶縁性配管

[ハザード] 絶縁性配管には、一般に次のようなハザードがある。

- (1) 液体および配管ともに流動によって発生した電荷は蓄積される。
- (2) 帯電により配管の内外で着火性放電のハザードがある。
- (3) 配管の外側で、絶縁導体が存在すると静電誘導によって火花放電のハザードがある
- (4) 配管内面の高い帯電は、内面での放電と絶縁破壊により配管に破損（ピンホール）を生じさせる。また、これによる漏洩のハザードもある。

以上の点から、絶縁性配管の使用は極力避けるべきである。使用する場合は十分なリスク分析に基づいた対策が必要である。

[確認事項] 絶縁性配管には、次のような要求事項がある。

- (1) 配管内は常時に液体で充満するようにするか可燃性雰囲気形成を防止する。
- (2) 原則として低導電率液体には使用しないこと。
- (3) やむを得ず、低導電率液体に用いるときは、液体が接地と恒久的に接触されるようにして、1 m/s の流速を超えないこと。
- (4) 中導電率液体に用いるときは、帯電ハザードが高く、また、絶縁破壊による破損のハザードもあるので、詳細なハザード分析（流速、配管の絶縁破壊電界・電圧、液体の導電率）が必要となる。
- (5) 配管外側の帯電となる要因（スチームの衝突や摩擦など）は排除する。
- (6) 3 pF を超えるフランジなどの導体はすべて接地する。

### 12.8.5 フレキシブルホース

次の3種類のタイプがある。帯電および迷走電流を防止する点で、導電性または電荷消散性ホースが多くの対応に適している。

#### (1) 導電性ホース

- (a) 電荷消散するに十分に低く、また、迷走電流を制限するに十分に高い抵抗を有するホース
- (b) 単位長さあたりの抵抗が  $10^3 \Omega/m$  以下である。
- (c) 通常は外側が導電性材料でできており、金属結合部で接触することによってその機能を果たすので、強化のためのらせんまたはメッシュ状のワイヤーがある場合はこれも含めて接地されていることを確認する。

#### (2) 電荷消散性（半導電性）ホース

- (a) 電荷を消散するに十分に低く、また、迷走電流を制限するに十分に高い抵抗を有するホース
- (b) 単位長さあたりの抵抗が  $10^3 - 10^6 \Omega/m$  である。
- (c) 通常は外側が電荷消散性の材料でできており、金属結合部で接触することによってその機能を果たすので、ホースシステム全体で抵抗が満たされているか確認が必要である。

#### (3) ボンディングホース (Electrically bonded hoses)

- (a) 単位長さあたりの抵抗が  $10^3 \Omega/m$  以下である。
- (b) 通常、絶縁材料とボンディングのためのらせんまたはメッシュ状の金属ワイヤーで構成されている。
- (c) 絶縁物の面積を制限して (表 11.1), 外側でブラシ放電を防止するために作られたホースである。
- (d) ホースの電荷は消散するが、迷走電流による着火ハザードがある。
- (e) ワイヤーの機械的ダメージによりボンディング切断のハザードがあるので、定期的な検査が必要である。
- (f) ボンディングホースで迷走電流を防止するためには、ホースシステムを途中で絶縁 (たとえば、絶縁性フランジの利用) させて、それぞれを別に接地する。

#### (4) 絶縁性ホース

- (a) 帯電を電荷緩和により抑制しないので、ブラシ放電および火花放電のハザードがある。
- (b) 摩擦によってホースが帯電する。
- (c) ホース外側で絶縁導体 (導電性液体によるぬれやカップリングなど) があると火花放電のハザードがある。
- (d) 可燃性雰囲気となる場所では絶縁性ホースは使用しないこと。

## 12.9 各種プロセス

[ハザード] 混合、攪拌、結晶化など液体を扱うプロセスは静電気による着火リスクが潜在する。以下のようなハザードがある。

- (1) プロセスによって液体が帯電する。
- (2) 不溶物質（液体、粉体粒子など）が混在する液体（二相液体）は帯電を促進させる。
- (3) 絶縁導体は火花放電ハザードとなる。
- (4) 可燃性液体を取り扱うとき可燃性雰囲気形成するハザードがある。

### 12.9.1 二相液体

プラントプロセスでは二相液体を取り扱うことは少なくない。二相液体は高いレベルの帯電となる傾向があるので、流速を制限する必要がある。その目安として次の二相液体は流速を制限して、帯電を抑制するので確認する。

- (1) 0.5 vol%以上の不溶水分または液体が混在する液体
- (2) 0.5 vol%または 10 mg/L 以上の不溶固体粒子が混在する液体

### 12.9.2 接地

プラントプロセスにおいて導体（人体も含む）が絶縁されると静電誘導により火花放電のハザードとなるので、接地・ボンディング (6.4.1.1) する。

- (1) 設備のすべての導体は接地・ボンディングする。
- (2) 作業者が着火源とならないように人体を靴と床で接地するようにする。
- (3) 静電気対策などで用いた電荷消散性の物体も接地する。

### 12.9.3 インライン混合

配管内で混合するインライン混合は可燃性雰囲気の生成のための蒸気空間がないので安全であるが、受け側タンクは帯電液体が流入するので、可燃性雰囲気が形成されるとき着火ハザードとなる。

したがって、受け側タンクでの充てんの静電気対策 (12.5.1, 12.6) が必要となるので、これを確認する。

### 12.9.4 タンク・容器内の混合・攪拌

[ハザード] タンク・容器内の混合・攪拌には次のようなハザードがある。

- (1) 混合・攪拌により、二相液体となる場合は、帯電ハザードとなる。
- (2) タンク・容器内面が絶縁物であると液体の電荷は緩和されず、その内面も帯電するので、さらなる帯電ハザードとなる。
- (3) すべてが絶縁性材料のタンク・容器を用いる場合は容器外側でも静電誘導のハザードがある。
- (4) 可燃性液体を取扱い可燃性雰囲気形成される場合は着火ハザードがある。

[確認事項] 次のような対策があるので確認する。

- (1) 可能であれば帯電防止剤または高導電率液体を添加して、液体の導電率を高めると、帯電を抑制できる。
  - (a) 混合液体が液体である場合は連続相の導電率を 50 pS/m まで上げる。
  - (b) 固体粒子が混在する場合は連続相の導電率を 50 pS/m よりも十分に（通常 1000 pS/m 程度まで）上げて、攪拌パワー（1000 pS/m で最大 0.37 kW/m<sup>3</sup>）を制限する。
- (2) すべてが絶縁性材料のタンク・容器は内・外側が可燃性雰囲気となる場合は混合・攪拌に使用しないこと。
- (3) 絶縁性ライニングで混合・攪拌する場合は容器底の接地した金属板により液体電荷が緩和されるようにする。
- (4) または、導電性・電荷消散性ライニングに替えて、液体電荷が緩和されるようにする。この場合はライニングの帯電も抑制できる。
- (5) サンプリングは 12.7 に従うこと。混合・攪拌中にサンプリングしないこと。
- (6) 高導電率化の静電気対策のほかに、混合・攪拌タンク・容器の蒸気空間の可燃性雰囲気形成の防止対策（イナート）がある。この場合は攪拌パワーの制限は不要となる。エマルジョン形成などに用いる高速混合で可燃性雰囲気が形成されている場合に有効である。

### 12.9.5 ジェットミキシング

- (1) 低導電率液体のジェットミキシングは高い帯電レベルとなり、可燃性雰囲気が形成されると着火ハザードがある。

[確認事項] ジェットミキシングには次のような対策があるので確認する。

- (1) 低導電率液体にはジェットミキサーを使用しない。
- (2) 中・高導電率液体では（低導電率液体でも帯電防止剤などで導電率を 50 pS/m 以上にできれば）、ジェットによって液面を破裂することなく、すべての金属部が適切に接地されていればジェットミキサーを用いることができる。

- (3) 液体上部の空間が危険場所となる場合は可燃性雰囲気防止対策（イナート）を実施するか、ジェットミキサの使用を避ける。
- (4) サンプリングは12.7に従うこと。混合中にサンプリングをしない。

## 12.10 タンク洗浄

[ハザード] タンク洗浄は一般に次のようなハザードがある。

- (1) タンク洗浄は液体をするので、それによって形成されたミストは帯電する。
- (2) ジェットによって形成された気流により帯電ミストがほぼ一様に分布して、この空間電荷により放電ハザードとなることもある。この空間電荷密度はジェットの圧力、ノズル径、タンクサイズに依存する。
  - (a) 絶縁体があると、火花放電ハザードとなる。絶縁体のサイズと接地との距離に依存するが、一般に絶縁体の電位が誘導によって5-20 kVになると、炭化水素系の可燃性雰囲気に対して着火ハザードとなる。
  - (b) タンク構造物の突起からブラシ放電を生成する可能性がある。タンク洗浄ではほとんど起こりえないが、空間電位が58 kVを超えると炭化水素系の可燃性雰囲気（0.2 mJ程度）を着火させる可能性がある。
  - (c) ジェットによって長く伸びた水スラグができることがある。これが孤立すると絶縁体と同じ状態になる。このスラグが電界方向に長く伸びて、一方が接地に近づいて放電ギャップを形成されると火花放電の可燃性がある。ただし、このときのスラグの電位が少なくとも15 kVになる必要がある。
- (3) 低導電率液体による洗浄の場合、液体の蓄積はタンク内に帯電液体を蓄積させることになる。
- (4) 絶縁性容器の洗浄は容器内面も帯電するので、可燃性雰囲気となる場合は着火ハザードがある。
- (5) タンク洗浄直後の作業は、帯電ミストが存在するので、ミストが消滅するまで待つ必要がある。

[確認事項] 高圧洗浄には、次に示す対策があるので確認する。

- (1) 容器、ノズル、配管、ホース（可燃性雰囲気では絶縁性材料は使用しない）などすべての導体は接地する。
- (2) 作業者によって着火危険性が生じないようにその対策を実施する。
- (3) 洗浄液体が蓄積しないようドレイン口は開ける。
- (4) 水によるジェット洗浄
  - (a) 海水、純水をジェット洗浄に用いないこと。
  - (b) ジェット洗浄される容器は金属製であり、容積30 m<sup>3</sup>または直径3 mを超えてはならない。

- (c) 最大圧力：50 MPa
- (d) 最大液体流量：5 L/s
- (5) 溶剤による高圧洗浄
  - (a) 洗浄される容器は金属製であり、容積 5 m<sup>3</sup> 以下、または直径 3 m 以下
  - (b) 最大圧力：5 MPa
  - (c) 最大液体流量：1 L/s
  - (d) 高純度溶剤の利用：その他の液体（たとえば、水）または粉体など固体の混在が 0.5% 以下
  - (e) 上記の条件が満たされない場合は不活性ガスによるシールを実施する。
- (6) スチーム洗浄は 100 m<sup>3</sup> 以下の容器までにする。
- (7) 上記の条件で洗浄を実施できない場合で、可燃性ガス・蒸気がある、または洗浄により生成される可能性がある場合は可燃性雰囲気形成の防止対策（イナート）を講ずる。
- (8) 可燃性雰囲気が形成される場合、絶縁性容器の洗浄は可燃性雰囲気形成の防止対策（イナート）を実施する。
- (9) IIC の可燃性雰囲気が形成される場合は可燃性雰囲気形成の防止対策（イナート）を実施する。

タンカー洗浄については International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals（オイルタンカーとターミナルに関する国際安全指針として日本語訳が日本タンカー協会（現 日本船主協会）より出版されている）に準じて実施すること。

## 12.11 液体噴霧

### [ハザード]

- (1) 可燃性液体の噴霧は可燃性雰囲気を形成するハザードとなる。
- (2) 液体を噴霧することにより帯電ハザードとなる。
- (3) 固体粒子などが含まれる液体の噴霧はさらに帯電ハザードとなる。
- (4) 絶縁体があると、帯電液滴の帯電雲の静電誘導および帯電液滴の蓄積により火花放電のハザードがある。
- (5) 絶縁性液体を絶縁性物体に噴霧する場合は、帯電液滴の蓄積によりブラシ放電のハザードとなる。
- (6) 液体を噴霧すると引火点以下でも着火する可能性がある。

### [確認事項]

- (1) 絶縁体からの火花放電が着火原因となった事例 (C.2.2.5) があるので、絶縁体は接地・ボンディングにより排除する。
- (2) タンク洗浄については 12.10 参照
- (3) 液体塗装については 14.6 参照
- (4) スチーム洗浄については 14.9 参照

## 12.12 漏洩・噴出

### [ハザード]

- (1) 可燃性液体の漏洩・噴出は可燃性雰囲気を形成するハザードとなる。
- (2) 液体の漏洩・噴出は帯電ハザードとなる。
- (3) 固体粒子などが含まれる液体の漏洩・噴出はさらに帯電ハザードとなる。
- (4) 絶縁体があると、帯電液滴雲による静電誘導および帯電液滴の蓄積により火花放電のハザードがある。
- (5) 周辺に絶縁体があると、この帯電により火花放電ハザードとなる。これが主たる着火原因である
- (6) 作業員への帯電粒子の蓄積による火花放電で着火した事例もある。
- (7) 拡散防止の対策に用いたスチーム噴霧が着火源となった事例もある。
- (8) 周辺に絶縁性物体があると、この帯電粒子の蓄積によりブラシ放電または沿面放電（層状の絶縁物の場合）ハザードとなる。
- (9) 液体の噴出は、引火点以下でも着火する可能性がある。
- (10) 漏洩はフランジなど配管接続部に多い。配管のメンテナンス時およびメンテナンス後の試験運転時に多い。

### [確認事項]

- (1) 漏洩・噴出による着火原因は絶縁体（作業員も含む）からの火花放電であるので (C.2.2.3), 漏洩・噴出のハザードとなる場所近傍の導体の接地・ボンディングが肝要である。
- (2) 14.10 も参照

## 第13章 粉体のリスクアセスメント

### 13.1 粉体取扱の一般的なハザード

粉体取扱の工程・作業では13.1.1-13.1.3に示すハザードがある。

#### 13.1.1 可燃性雰囲気形成ハザード

チェック項目 47 可燃性雰囲気形成ハザードを調査する。

チェック項目 48 粉じんの着火性を調査する。

##### (1) 粉じんによる可燃性雰囲気形成

- (a) 粉体が空気中に浮遊すると粉じんの可燃性雰囲気を形成するハザードがある。
- (b) 微粉から粒状 (granules) の粉じんの着火性は粒径が小さくなるほど高くなる傾向がある。
- (c) 着火性の評価は最小着火エネルギーによってなされる。
  - (i) 通常は数 mJ 以上で、可燃性ガス・蒸気の最小着火エネルギーよりも十分に高い。
  - (ii) 粒径によって異なるので測定されなければならない。測定方法は静電気着火リスク評価に適した IEC 61241-2-3 [39] を用いる (5.3)。
  - (iii) 出版されているデータ [4, 40] は参考値としてのみ用いる。

##### (2) ハイブリッド可燃性雰囲気形成

- (a) 粉じん可燃性雰囲気に可燃性ガス・蒸気が混在する (ハイブリッド) と着火エネルギーを著しく低下させる。
- (b) 事故事例から、粉じんの静電気による着火のほとんどはハイブリッド可燃性雰囲気が形成されていた。

(3) 粉じんの最小着火エネルギーが1 Jを超えると可燃性ガス・蒸気がない限り静電気では着火することはない。したがって、着火防止のための静電気対策は不要となる。

#### 13.1.2 粉体の帯電ハザード

チェック項目 49 粉体の帯電性を調査する。

- (1) 一般に液体よりも帯電しやすい<sup>1</sup>。

<sup>1</sup>液体の帯電は、液体内の荷電粒子 (イオン) によるので、粉体の接触分離による電荷分離と帯電機構が異なる。イオンは動きやすいので、液体の電荷緩和は粉体のそれよりも大きくなる



表 13.1: 各種工程の粉体の典型的な帯電量

工程	帯電量 ( $\mu\text{C}/\text{kg}$ )
ふるい	$10^{-5} \sim 10^{-3}$ *
投入・充てん	$10^{-3} \sim 10^{-1}$ *
スクロール輸送	$10^{-2} \sim 10^0$ *
粉砕	$10^{-1} \sim 10^0$ *
微粉化	$10^{-1} \sim 10^2$ *
空気輸送	$10^0 \sim 10^2$

\* 中程度抵抗率 ( $10^{12} \Omega \cdot \text{m}$  程度) の粉体で得られた帯電量

- (2) 粉体は電荷分離（異種の物体との接触・分離）によって帯電して、その抵抗率が高くなると、接地導体と接触しても電荷緩和が低下するので、その電荷が蓄積されて大きく帯電する。
- (3) 帯電は、接触・分離が起こる工程、たとえば、充てん・排出、混合、粉砕、ふるい、投入、微粉化、空気輸送などで起こる。
- (4) 粉体の帯電は抵抗率に依存する (6.4.4.1)。
- (5) 絶縁性のパイプ、ホース、容器、袋、シート、コートなどの利用は電荷漏洩がないので、帯電を促進させて帯電ハザードとなる。
- (6) 空気輸送では、低密度輸送の方が一個あたりの粒子の管壁との衝突回数が増加するので、高密度輸送よりも質量比電荷を高くする傾向がある。
- (7) 粒径が小さくなるほど、摩擦する接触面積が相対的に大きくなり質量比電荷が高くなる。

### 13.1.3 放電ハザード

チェック項目 50 起こりうる着火性放電タイプの可能性を調査する。

- (1) 火花放電
  - (a) 事象事例から絶縁導体（作業者も含む）による火花放電が最も多い。
  - (b) 火花放電のリスクは、導体の静電容量から計算できる静電エネルギーと可燃性雰囲気との最小着火エネルギーから評価できる。
  - (c) 火花放電は導体の接地・ボンディングによって防止できる。
  - (d) 人体からの火花放電の放電エネルギーは 30 mJ 程度まで発生し、これの等価エネルギーは 10 mJ 程度である。
- (2) ブラシ放電
  - (a) 可燃性ガス・蒸気が含まれない限り、ブラシ放電は粉じん可燃性雰囲気着火させない。
  - (b) ハイブリッド可燃性雰囲気ではブラシ放電による着火ハザードがある。
- (3) 沿面放電
  - (a) 絶縁層の表面で起こる放電で、放電エネルギーは 1 J 程度である。
  - (b) 絶縁性または絶縁性コートの配管・容器および絶縁性袋類などで起こる。

- (c) シート状の絶縁物あるいは絶縁コートはその厚さ方向の絶縁破壊電圧が4 kV 以下でなければ使用しない。

#### (4) コーン放電

- (a) 粉体を空気輸送して接地サイロ・容器・FIBC などに充てんする工程で、容器などに堆積した帯電粉体表面で起こる。
- (b)  $10^{10} \Omega \cdot m$  以下のバルク抵抗率の粉体では、コーン放電は起こりにくいが、 $10^{12} \Omega \cdot m$  以上の粉体の空気輸送ではコーン放電は起きていると考える。 $10^8 \Omega \cdot m$  以下のバルク抵抗率の粉体の接地容器の空気輸送充てんでは、コーン放電のリスクは許容できるほど低い。

## 13.2 粉体の一般的静電気対策

### チェック項目 51 設備の接地

### チェック項目 52 作業員も含めて絶縁導体はないか

### チェック項目 53 帯電促進要因はないか；適切な搬送速度で帯電を制御しているか

粉体帯電は着火ハザードとなるので、抑制しなければならない。以下の対策がなされているか確認する。

#### (1) 接地・ボンディング

- (a) 設備の接地
- (b) すべての導体の接地：小容器・タンク、スコップ、計量器など可搬導体の非接地による事故が多い。
- (c) 作業員人体の靴と床による接地

#### (2) 帯電抑制

- (a) 絶縁性のパイプ、ホース、容器、コート、袋、シートなどは容易に静電気が帯電して、ブラシ、沿面放電の原因となる。ブラシ放電はハイブリッド可燃性雰囲気、また、沿面放電はハイブリッドおよび粉じん可燃性雰囲気、また、着火ハザードとなる。したがって、ハイブリッドおよび Zone 20 では、導電性または電荷消散性の材料に代える。Zone 21 でも、絶縁性材料の使用は極力避ける。
- (b) 絶縁性配管または内面が絶縁性コートの導電性・電荷消散性配管は帯電により、ブラシ放電または沿面放電のハザードがあるので、空気輸送では使用しない。
- (c) 導電性または電荷消散性の配管（または、ホース）・容器を用いて接地・ボンディングする。
- (d) 静電気対策用品の利用：布袋・布製シュート、バグフィルタ、フレキシブルコンテナなどは静電気対策が施されたものを使用して適切に接地する。
- (e) 搬送速度を低減する。
- (f) 帯電の蓄積となる多量の粉体バルクの堆積を避ける。

(g) 空気輸送よりも落下による輸送のほうが好ましい。

付加的な対策として以下がある。

(1) 加湿

- (a) 粉体電荷を漏洩させるために、加湿によって粉体の表面抵抗を下げるのが対策の意味である。
- (b) 通常の静電気対策の50-65%の湿度制御による電荷の緩和は期待できないが、70%以上の相対湿度では多くの粉体で表面抵抗を下げ、電荷緩和を促進できる。ただし、この方法は低速の空気輸送や常温のプロセスのみに適用できる。
- (c) 高抵抗率粉体の空気輸送および比較的に温度の高い粉体では加湿の効果がない。

(2) 除電

- (a) 放電エネルギーが小さいコロナ放電などによる局所的電離は除電として機能する。タンク構造物の突起部や接地した金属棒、ワイヤーなどのからの放電はコロナ放電またはブラシ放電になるので、可燃性ガス・蒸気がない粉じんのみの雰囲気では着火リスクは許容できる。これら金属棒などの絶縁は火花放電のハザードとなるので、確実な接地が要求される。
- (b) 自己放電式コロナ除電器(11.5.6.1)または電圧印加式コロナ除電器(11.5.6.2)の利用が考えられるが、適用場所(粉体が除電後電荷分離しない場所)が限定される。また、除電器が着火源にならないよう使用には十分なリスクアセスメントが必要である。

### 13.3 粉体のハザードとなる種々の工程・作業

チェック項目 54 工程・作業は粉体の帯電ハザードとなるか

チェック項目 55 工程・作業環境はハイブリッド雰囲気となるか

チェック項目 56 作業員も含めて絶縁導体はないか

- (1) 粉体は電荷分離(異種の物体との接触・分離)によって電荷を発生して、粉体の高い抵抗率により電荷緩和が抑制され、一般に帯電は大きい。事故事例から、次に挙げる工程・作業は帯電ハザードとなることが多い。

- |        |             |               |
|--------|-------------|---------------|
| ● 配管輸送 | ● 空気輸送      | ● 充てん         |
| ● 排出   | ● 液体容器への投入  | ● 流動乾燥        |
| ● 遠心脱液 | ● 液体との混合・攪拌 | ● 絶縁性容器・配管の利用 |

- (2) 粉じんの可燃性雰囲気は着火エネルギーが高いため、静電気着火の頻度は高くないが、可燃性ガス・蒸気が含まれると、可燃性雰囲気の着火エネルギーを著しく低くする。多くの粉体に関する着火はこの可燃性ガス・蒸気が混在したハイブリッド可燃性雰囲気が形成されているときに起きている。たとえば、乾燥不足の粉体の空気輸送による充てんや乾燥工程でのバッグフィルタでの着火がこれに当たる。

- (3) 粉体にかかわる作業・工程でも作業員人体を含めて絶縁導体による火花放電で着火した事例が多い。絶縁導体の例は(7.3.2.1および付録C)を参照。

## 13.4 空気輸送

### [ハザード]

- (1) 可燃性ガスまたは溶剤などを含有する粉体の空気輸送は、雰囲気着火性を著しく高くする。
- (2) 空気輸送では、配管との電荷分離により粉体が帯電する。
- (3) 絶縁性配管または内面絶縁コートの接地導体・電荷消散性配管を使用すると沿面放電のハザードとなる。
- (4) 途中での絶縁性配管・ホースの利用は帯電ハザードのほかにボンディングを切断する。
- (5) 絶縁性配管では、帯電により配管外側で静電誘導ハザードもある。
- (6) 配管の曲がりは帯電を促進する。
- (7) 空気流速の増加は、帯電を促進させる。
- (8) 低密度輸送の方が、一個あたりの粒子が管壁と衝突する回数が増加するので、高密度輸送よりも質量比電荷を高くする傾向がある。
- (9) 粒径が小さくなるほど、この衝突の際の接触面積の総量が相対的に大きくなり質量比電荷が高くなる。
- (10) 製品の輸送だけではなく、事故事例から局所排気用の配管も同様のハザードとなる。
- (11) 空気輸送をタンク・サイロの充てんに用いると帯電粉体の蓄積によりコーン放電および沿面放電のハザードがある。

### [確認事項] 次のような対策がなされているか確実になされているか確認する

- (1) 金属製パイプを使用して、接地・ボンディングする。
- (2) 絶縁性配管および内面が絶縁コートされた導体・電荷消散性配管は使用しない。
- (3) 配管の曲がりを少なくする。
- (4) ホースを空気輸送に用いる場合は、ホース内面と接地間の漏洩抵抗が $10^8 \Omega$ 以下であること。
- (5) 輸送速度は粉体が配管内に堆積しない程度の速度で、できる限り遅くする。
- (6) 可燃性ガスまたは溶剤などが含有する粉体は空気輸送しない。ガス抜き不足ペレットの空気輸送の事故事例がある。使用する場合は十分に乾燥されていること(可燃性ガス・蒸気のLELの20%以下)を確認する