

13.5 充てん・排出

[ハザード] 容器等の充てん・排出には次のようなハザードがある

(1) 可燃性雰囲気形成のハザード

- (a) 微粉が含まれる粉体の充てんは粉じん可燃性雰囲気を形成するハザードがある。
- (b) 可燃性ガスまたは溶剤などが含有する粉体の充てんはハイブリッド可燃性雰囲気を形成するハザードがある。

(2) 帯電ハザード

- (a) 帯電粉体が容器等に蓄積されるので帯電ハザードとなる
- (b) 排出時に容器等と粉体での電荷分離（摩擦やはく離）は帯電ハザードとなる。
- (c) 絶縁性容器，絶縁コートされた容器などの利用はさらに帯電を促進させる。
- (d) 絶縁性容器の外側は帯電により静電誘導ハザードとある。
- (e) 作業者も含めて絶縁導体は静電誘導のハザードとなる。
- (f) 絶縁性袋からの充てんおよび排出は袋と粉体の電荷分離で粉体および袋が帯電する。

(3) 放電ハザード

- (a) 帯電により火花，ブラシ，沿面，コーン放電のハザードがある。
- (b) 静電誘導により，作業者を含めて絶縁導体からの火花放電のハザードがある。
- (c) 低抵抗率の粉体の絶縁は火花放電のハザードとなる。
- (d) 空気輸送後に充てんされる接地された容器および袋（FIBC など）では帯電粉体が蓄積され，コーン放電のハザードがある。
- (e) 絶縁性容器または内面絶縁コートの接地導体・電荷消散性容器，ライナー袋などを使用すると沿面放電のハザードがある。
- (f) FIBC などの絶縁性袋の充てんに空気輸送を用いると沿面放電のハザードがある。
- (g) 絶縁性袋からブラシ放電のハザードがある。
- (h) 残った粉を排出する等で，袋をたたいたり，振ったりすると，袋が帯電しているのでブラシ放電のハザードとなる。

(4) 着火ハザード

- (a) 粉じん可燃性雰囲気では火花，沿面，コーン放電による着火ハザードがある。ブラシ放電では粉じんは着火しない。
- (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追加される。

[確認事項] 次の静電気対策がなされているか確認する。

(1) 火花放電の防止

- (a) すべての導体の接地・ボンディングすることによって火花放電は防止できる。
 - (i) 設備, タンク等の接地
 - (ii) 人体の靴と床による接地
 - (iii) 導体・電荷消散性道具・用具および袋類の接地・ボンディング
 - (iv) 低抵抗率の粉体の取扱には, 導電性・電荷消散性の配管および容器を用いる。

(2) ブラシ放電の防止

- (a) ブラシ放電は粉じん可燃性雰囲気着火しないが, ハイブリッド可燃性雰囲気では着火する能力をもつ
- (b) ハイブリッド可燃性雰囲気を形成される場合は, 絶縁材料の使用を避けるか, その帯電電位がブラシ放電防止の電位を超えないことを保証する。
- (c) ハイブリッド可燃性雰囲気での絶縁袋の取扱に注意する。
 - (i) ハイブリッド可燃性雰囲気となる場所でライナー袋を容器から取り出さない。
 - (ii) 紙袋の絶縁性内袋は抜け出る可能性のあるものは, 充てんで直接に使用しない。抜け出ない構造の紙袋を用いるか, 導電性小容器に移し替えてから充てんする。

(3) 沿面放電の防止

- (a) 絶縁性容器または絶縁性コート容器を使用しない。
- (b) 沿面放電を防止する絶縁破壊電圧が4 kV以下の絶縁層となる容器, または, 沿面放電の対策が施されたFIBC (Type B)を用いる。

(4) コーン放電のリスク見積

- (a) 抵抗率: 堆積した粉体の電荷緩和から中・高抵抗率の粉体は, コーン放電のハザードがある。
- (b) 放電エネルギー: コーン放電の最大等価エネルギーの式(2.17)により, 放電エネルギーを見積もり, 可燃性雰囲気の最小着火エネルギーと比較してリスクを見積もる。

13.5.1 容器・袋からの排出

- (1) すべての導体の接地・ボンディング
- (2) 作業員人体の靴と床による接地
- (3) 容器, 袋は金属, 紙(絶縁性でないもの)または導電性材料のものとして排出の間は常に接地されるようにする。たとえば, 接地またはボンディングされたホッパー, シュートなどに接触するようにする。
- (4) 排出の際に容器・袋の表裏で電気二重層が形成されると, 沿面放電のハザードとなる。

- (5) 可燃性雰囲気危険場所あるいは排出により危険場所となる可能性ある場合は、絶縁性容器・袋類からの排出はしない。ただし、粉じん雰囲気での排出によるハザードがブラシ放電のみのときは排出は許容可能なリスクとなる。
- (6) とくに、絶縁性 FIBC からの排出は沿面放電のハザードとなる。
- (7) ハイブリッド可燃性雰囲気を形成している場合、絶縁性容器・袋類からの排出は着火リスクが高い。
- (8) ハイブリッド可燃性雰囲気ではブラシ放電により着火ハザードとなるので、残った粉が入った袋をたたいたり、振ったりしない。液体への粉体投入の事故事例にもある（付録 C 参照）。

13.5.2 液体への粉体投入

粉体は液体に比べて帯電しやすく、また、ハイブリッド可燃性雰囲気が形成されるリスクが高いため、充てん作業で事故事例が最も多い作業である。次の静電気対策がなされているか確認する。

- (1) 使用するすべての導体の接地・ボンディング
- (2) 作業員人体の靴と床による接地
- (3) 粉体投入前の液体の静置時間の確保
- (4) 攪拌しながらの投入は帯電ハザードとなる。
- (5) 着火ハザードがある場合は、一般的な静電気対策（接地・ボンディング、空気輸送はしない、粉体投入前の静置時間は必須）のほかに、ロータリーバルブ等を用いるなどして、投入口周辺のハイブリッド可燃性雰囲気の形成を防止して着火リスクを低減する。
- (6) 容器内を不活性化したとしても粉体の投入により、容器内に空気が入るので、直接の投入はしない。
- (7) 絶縁性の材料は使用しないで、金属あるいは導電性の容器と導電性シュート（長さ 3 m 以内）またはロータリーバルブが付随したホッパーを用いて、これらを接地・ボンディングする。
- (8) 可燃性液体に対して、粉体のドラム・袋類は絶縁性のものを使用しない。
- (9) 金属製、あるいは導電性のドラム・袋類はボンディングする。特に、絶縁性でない紙袋²（内袋のあるものは除く³）のボンディングについては上記のシュートあるいはホッパーに紙袋を接触するようにして電位差を生じないようにする。
- (10) 液面に浮いた帯電粉体からの放電の原因となるので、一度に多量に投入しない。
- (11) 作業員による投入は、25 kg 以下ずつゆっくりと導電性シュートまたはホッパー（+ロータリーバルブやダンパー）に入れる。ブラシ放電ハザードとなるので、残った粉が入った袋を振って入れたりしない。

²通常、内側 PE コートの紙袋は静電気の危険性はない [3]。紙袋の抵抗、排出時の粉体と袋の帯電をあらかじめ測定してリスクアセスメントしておくことよ。

³排出の際に内袋が滑り出て、これによるブラシ放電が発生した災害事例がある。

- (12) フレキシブルコンテナ等からの大量投入はホッパーとロータリーバルブを通して行う。粉体とともに多量の空気が容器内に混入するので、このホッパー内も別個に可燃性雰囲気形成の防止をする必要がある。
- (13) 内側がコート（ライニング）された金属容器を用いるときは導電性のコートを使用する。

13.6 容器

ここで示す容器はタンク・サイロも含む。

13.6.1 導電性・電荷消散性の容器

- (1) 粉体取扱において、また、ハイブリッド可燃性雰囲気に対しても最適の容器である。
- (2) 接地されなければならない。
- (3) 導電性・電荷消散性のコートのある容器も同様に取り扱う。

13.6.2 絶縁性および絶縁コート容器

- (1) 絶縁性容器は絶縁コートも含めて使用は避ける。やむを得ず用いる場合は着火性放電のハザードを十分に検討してから利用する。
- (2) 容器内の帯電は電荷緩和されないので、低抵抗率の粉体は接地金属棒などを挿入して接地する。
- (3) 容器容量は 0.25 m^3 以下であること。または、沿面放電を防止するため 4 kV 以下の絶縁破壊電圧の材料を用いた袋を用いる。
- (4) ハイブリッド可燃性雰囲気では使用しないこと。

13.6.3 導電性・電荷消散性ライナー袋

- (1) 接地した導電性・電荷消散性容器に用いる。
- (2) 絶縁性容器には用いてはならない。
- (3) 袋が接地されないと絶縁導体となり、火花放電のハザードとなる。
 - (a) 導電性・電荷消散性袋は常時に接地されなければならない。
 - (b) 袋を作業現場で一時的に置いておく場所および保管場所も考慮しなければならない。危険場所を避けるか、または、漏洩を確保できる床面に置くなどして接地する必要がある。
 - (c) 袋を容器に入れるときおよび容器から取り出すときは、袋をクランプしての直接的な接地・ボンディングか、または、確実に床と靴で人体が接地された作業員によって袋が接地されるようにする。さもなければ、可燃性雰囲気では袋を容器に入れたり、容器から取り出してはならない。

13.6.4 絶縁性ライナー袋

- (1) ブラシ放電および沿面放電のハザードがある。
- (2) 一般的に絶縁性袋の利用は避けるべきである。
- (3) 接地した導電性・電荷消散性容器に用いることを薦める。ハイブリッド可燃性雰囲気では絶縁性容器に使用しないこと。
- (4) 容器容量は 0.25 m^3 以下であること。または、沿面放電を防止するため 4 kV 以下の絶縁破壊電圧の材料を用いた袋を用いる。
- (5) ハイブリッド可燃性雰囲気では絶縁性ライナー袋を使用しないこと。
- (6) 低抵抗率の粉体は接地金属棒などを挿入すると漏洩により帯電を抑制できる。金属棒が作業の弊害とならない充てん時に有効な対策となる。静電誘導による火花放電ハザードとなるので確実な接地が必要である。

13.7 FIBC

IEC 61340-4-4 Ed. 2.0 を参考にされたい。

- (1) 充てん時のコーン放電ハザードがある。
- (2) 沿面放電ハザードがある。沿面放電は特に排出時に多い。沿面放電ハザードがある場合は、これに対策された FIBC を用いる。
- (3) 溶剤蒸気などでハイブリッド雰囲気が形成される場合はブラシ放電による着火ハザードもある。
- (4) FIBC の周辺では静電誘導ハザードがある。

13.8 流動乾燥

- (1) 空気が混入されるとハイブリッド可燃性雰囲気が形成されるハザードがある。
- (2) 粉体を分離するバグフィルタでの事故が多いので、13.10 を参照する。

13.9 遠心脱液

- (1) 空気が混入されるとハイブリッド可燃性雰囲気が形成されるハザードがある。
- (2) ウエットケーキの引きはがし、かき落とし時に事故が多い。
- (3) ろ布でのブラシ放電ハザードがあるので、導電性繊維入りのろ布を用いる。
- (4) 導電性ウエットケーキ ($10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 以下) には火花放電のハザードがある。
- (5) 加圧ろ過、減圧ろ過も同様なハザードがある可能性がある。

13.10 バッグフィルタ

- (1) バッグフィルタはブラシ放電、沿面放電および導電性コートフィルタが絶縁されたとき、火花放電のハザードがある。
- (2) 付着粉体の払い落とし時に事故が多い。
- (3) これらのハザードを防止するため導電性繊維入りのバッグフィルタを用いる。導電性糸からのコロナ放電による着火性放電の防止および粉体電荷の除電の機能を有する。
- (4) 導電性繊維入りのバッグフィルタは接地する。
- (5) 粉体付着量が多くならないように自動的に払い落とす機能を設ける。作業者による払い落としはしないこと。
- (6) 導電性コートが施されたバッグフィルタは沿面放電のハザードがある。

第14章 気体のリスクアセスメント

14.1 気体の一般的なハザード

- (1) 不純物を含まない気体は帯電しない¹が、気体中にミスト、凝縮物、粉体などの液体・固体の粒子が含まれているとき、流動、摩擦・衝突によってこれらが帯電する。
- (2) たとえば、気体の漏洩・噴出、CO₂ 消火器、スチーム洗浄、スプレー塗装（粉体塗装も含む）、気体の配管輸送、掃除機などでは、気体と同時に帯電した粒子が輸送されている。
- (3) この帯電粒子で形成される帯電雲とその近傍にある接地された突起導体との間にブラシ放電を生起する可能性がある。
- (4) 絶縁導体があるところの帯電雲による静電誘導または帯電粒子の堆積（正確にはこれも静電誘導）による火花放電の可能性がある。気体に関してはこれが主な着火原因である。
- (5) 薄い絶縁層がこの帯電粒子によって連続的に帯電されると（たとえば、噴霧・噴出など）、局面放電のハザードとなる。
- (6) したがって、気体にミストや固体の粒子が含まれると、危険箇所（危険場所）では着火ハザードとなる。

14.2 気体の一般的なリスク見積

気体に液体・固体の粒子が含まれているとき、この粒子の帯電を防止することは不可能であるので、気体に粒子が含まれている可能性よりリスクを見積もるしかない。

14.3 気体の静電気リスク低減策

気体に液体・固体の粒子が含まれているとき、この粒子の帯電を防止することは不可能であるので、着火性放電の防止または可燃性雰囲気形成の防止により着火を防止するしかない。

14.3.1 可燃性気体の取扱いに共通的な静電気対策

- (1) 接地・ボンディング
- (2) 絶縁性物体の静電気対策
- (3) 作業員人体の接地
- (4) 可燃性雰囲気形成・拡がりの防止

¹気体が帯電するという事は、電離または電子付着することであるので、相当量のエネルギーが必要である。電子付着では相当量の電子が電離によって生成される必要がある。

14.3.2 可燃性気体の取扱いに関する対策

(1) 不純物の除去

帯電は、気体中に含まれるミスト、凝縮物、粉体などの液体・固体の粒子によるので、配管、容器、ノズル、フランジ等は、洗浄、清掃を行い、不純物の原因を除去する。ミストについては、結露を防止することによって対策する。

(2) 排出・噴出

- (a) 気体排出用の配管には、ダスト、ミスト等をトラップするためのフィルタ、集じん金網等を設けることが望ましい。
- (b) 排出速度をできる限り低くする。
- (c) 可燃性気体は、スクラバー等によって回収することが望ましい。
- (d) 高圧ガス、液化ガス等加圧ガスが噴出すると、断熱膨張によって冷却されてミスト（二酸化炭素が噴出したときのドライアイスのように固体となる場合が多い）が生成して静電気が発生し、その放電によって可燃性ガス・蒸気の着火が起こる危険性が高いので、これらの噴出を防止する。
- (e) 気体を大気中に放出する場合は、着火危険性がない通風のよい屋外に放出する。安全弁等から排出する気体も、配管等を用いて同様な場所に導いて、大気中に放出する。なお、気体を放出する向きは、ミスト等の付着・衝突による帯電を防止するため、障害物の存在しない方向とする。
- (f) 容器、配管等から可燃性気体が漏洩噴出した場合は、不活性ガスを 1.0 MPa 以下の噴出圧力で吹き付けて、気体を拡散させることが望ましい。ただし、不活性ガス中にミスト・固体等が含まれないように管理しておく。スチーム噴霧は帯電ハザードとなるので使用しないこと。

14.4 気体の輸送

[ハザード]

- (1) 気体に粒子が含まれる場合は、輸送により配管との電荷分離で、この粒子が帯電するハザードがある。
- (2) 気体に粒子が含まれる場合は、絶縁物配管または絶縁性コート配管を用いると配管またはコートが帯電し、ブラシ放電または沿面放電のハザードとなる。絶縁性配管の場合は配管の外側で静電誘導ハザードとなる。粉体塗装の廃粉じん用塩ビ排気ダクト内での着火事例がある。

[リスク低減策] 気体の一般的な対策(14.3.1)のほか、次の可燃性気体輸送の静電気対策がなされているか確認する。

- (1) 気体に粒子が含まれる場合は、配管は導電性・電荷消散性として接地する。
- (2) 水蒸気、可燃性液体蒸気等の輸送では、温度低下によりミストが生成することがあるので、その生成と帯電に配慮する。

- (3) 空気との混合によって可燃性雰囲気を形成するような気体の輸送では、空気の混入を極力防止し、特に廃ガスダクトを通す場合のように着火危険性が高い場合は、限界酸素濃度以下となるように不活性ガスを用いて輸送することが望ましい。
- (4) 酸化エチレン(エチレンオキシド)、アセチレン等、爆発上限濃度が100%に近い気体、または可燃性雰囲気となっている気体の輸送に使用する容器・配管は、その内部で危険な帯電雲を形成しないように、容積・直径のできる限り小さなものとする。

14.5 グリッドブラスト(サンドブラスト)

小さな金属粒子を圧搾空気であつつけて表面研磨する処理である。

[ハザード]

- (1) ブラストされた金属粉じん可燃性雰囲気形成するハザードがある。
- (2) 空気輸送でノズルおよび配管・ホースとの電荷分離でこの金属粒子が帯電する。
- (3) 金属粒子の堆積は、これが接地されていないと火花放電ハザードとなる。
- (4) 絶縁導体からの火花放電ハザードがある。

[リスク低減策] グリッドブラストを可燃性雰囲気で使用する場合は次の静電気対策がなされているか確認する。可燃性雰囲気でも電撃防止に有効である。

- (1) すべての導体の接地
 - (a) グリッドブラスト設備の接地：ホース、ノズルなど接地、堆積金属粒子が接地される処置
 - (b) 作業員人体の接地
- (2) 導電性・電荷消散性ホースを用いる。

14.6 液体・粉体塗装

[ハザード]

- (1) 液体や粉体の塗装は空間に帯電雲を形成する。その結果、周辺の物体も帯電して、液滴や粉じん雲が可燃性雰囲気となると着火ハザードとなる。
- (2) 絶縁導体の存在は火花放電のハザードとなる。被塗装物を掛けるフックが塗装により絶縁される事例がある。
- (3) 局所排気ダクトに絶縁性配管を用いると配管が帯電ハザードとなる。配管内の帯電粉体の蓄積による放電着火の事例がある。
- (4) 作業員により塗装する作業では、作業員も帯電する。
- (5) 電撃のハザードもある。
- (6) スプレー缶(エアロゾル)塗装では、スプレー缶が絶縁性手袋などで絶縁されると噴霧によって帯電して火花放電のハザードとなる。

[リスク低減策]

- (1) 塗装装置・設備のすべての導体を接地する。
- (2) 作業者人体の接地
- (3) 通常のスプレー塗装（エアレス塗装は除く）に比べて、静電塗装では、液滴や粉の帯電量が大きくなるのでさらに危険となる。静電植毛も含めて静電塗装に関する欧州の安全規格²も必要に応じて参照されたい。

14.7 掃除機

[ハザード]

- (1) 掃除機は空気の吸引とともに、小物体（主に粉じん）が輸送されるので、ノズルやホースで電荷分離して帯電ハザードとなる。
- (2) 吸引されるものが絶縁性であり、これが蓄積されれば、接地導体との間にブラシ放電ハザードとなる。ただし、可燃性ガス・蒸気によって可燃性雰囲気形成されている場合のみ着火ハザードとなる。
- (3) 吸引されるものが導電性のとき、掃除機が接地されていないと、掃除機内に蓄積された吸引物体は絶縁されて火花放電ハザードとなる。
- (4) ホース補強ワイヤー、金属ノズルは絶縁されると火花放電ハザードとなる。

[リスク見積]

- (1) 接地が確実のとき：火花放電リスクが低い。
 - (a) 可燃性粉体の吸引：ブラシ放電による着火リスクが低い。
 - (i) ブラシ放電は粉じん雰囲気を着火させないので、確実に接地によって火花放電を防止できるならば、可燃性ガス・蒸気が存在しないかぎり粉じんの掃除機による吸引の着火リスクは極めて低くなる。
 - (b) 可燃性液体の吸引：ブラシ放電による着火リスクは低くはない。

[リスク低減策] 設置・可搬型掃除機には火花放電やブラシ放電の危険性があるので、以下の事項がなされているか確認する。

- (1) 可燃性の物質を吸引するときは、掃除機の金属部分を接地・ボンディングする。
- (2) 導電性ホース、ノズル、および導電性フィルタを使用し接地・ボンディングする。
- (3) 接地・ボンディングのできない可搬型の掃除機は危険場所では使用しない。

²(1) EN 50050, Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres. Electrostatic hand-held spraying equipment, 2001. (2) EN 50059, Specification for electrostatic hand-held spraying equipment for non-flammable material for painting and finishing, 1991. (3) EN 50176, Automatic electrostatic spraying installations for flammable liquid spraying material, 1997. (4) EN 50177, Automatic electrostatic spraying installations for flammable coating powder, 1997. (5) EN 50223, Automatic electrostatic application equipment for flammable flock material, 2001.

- (4) ガス・蒸気および粉じん危険場所では適切に対応した防爆型のものを使用する。
- (5) 設置型は 13.10 も参照

14.8 可燃性雰囲気の不活性化に用いる気体

[ハザード]

- (1) 不活性化に用いる気体に粒子が含まれると、これが帯電して不活性が完了するまでは着火性放電のハザードとなる。
- (2) 高圧の気体（たとえば二酸化炭素など）を用いるとき、液体や固体に凝縮して、粒子が含まれるのと同様な状況となる。
- (3) ウエットスチームはミストが含まれるので、これが帯電して着火性放電のハザードとなる。ドライスチームでも、凝縮により発生する水分を不活性化する容器に導入される前に除かなければならない。
- (4) 可燃性雰囲気を抑制するため、また、可燃性気体の漏洩に対してスチーム噴霧を用いて着火した事例がある。絶縁体による火花放電が主な原因である。

[リスク低減策]

- (1) 用いる気体には粒子が含まれないこと。フィルタなどのトラップを用いる。
- (2) 高圧で放出する場合、断熱膨張により液体または固体に凝縮しないような気体（窒素など）とする。
- (3) ウエットスチームは用いない。ドライスチームに代える。
- (4) スチームカーテンを用いる場合は、周辺のすべての導体の接地を忘れないこと。人体の靴と床（地面）による接地は火花放電の防止のほかに電撃防止にも有効である。

14.9 スチーム洗浄

[ハザード] スチームがノズルから噴霧されるので帯電ミストが生成する。この帯電ミストにより形成された電界により着火性放電を生起するハザードがある。

[リスク低減策]

- (1) 可燃性雰囲気となる場合、スチーム洗浄は 100 m³ 以下の容器までにする。
- (2) ノズルも含めてすべての導体の接地
- (3) 洗浄される容器の接地
- (4) 可能であればドライスチームまたは超高温スチームにして凝縮・結露しないようにする。配管ライン内の凝縮・結露にも注意する。

14.10 漏洩による圧縮性気体の噴出

[ハザード]

- (1) 気体・蒸気が液体・固体の粒子を含んで高圧で漏洩・噴出すると帯電ハザードとなる。
- (2) 可燃性雰囲気形成されると着火ハザードとなる。
- (3) 周辺に絶縁導体があると、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
- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。
- (7) 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。

[リスク低減策]

- (1) 漏洩のおそれのあるタンク・配管周辺では、すべての導体を接地する。可搬の導体はできるだけこのような周辺に定常的に置かないこと。
- (2) できるかぎりバルブ操作などで遠隔で漏洩を止めるのが前提であるが、トラブル対応で漏洩現場で作業する場合は、次のように静電気着火を防止をする。
 - (a) 何らかの手段で作業員人体を接地する。靴と床による接地は確保できないおそれがある。
 - (b) 持ち込む道具（導体）は作業員人体を通じて接地されるようにする。
 - (c) 絶縁性物体は持ち込まない。

第15章 作業者のリスクアセスメント

15.1 作業者による静電気着火ハザード

事件事例(付録C)のほとんどは作業者が直接にかかわる作業・工程である。

15.1.1 帯電・静電誘導

作業者人体が電氣的に絶縁されると帯電または静電誘導ハザードとなる。作業者の帯電には、たとえば、次のような要因がある。

- (1) 歩行：床と靴での電荷分離
- (2) 立ち上がる時のシートと衣服の電荷分離
- (3) 絶縁性物体（プラスチックなど）を取り扱う：絶縁性物体との電荷分離
- (4) 取り扱っているものの電荷分離
 - (a) 液体の移し替え、粉体の投入、スプレー缶などで生ずる電荷分離である。作業者から離れる物体（たとえば、液体）と手に持った物体（たとえば、容器）との電荷分離で発生した電荷が手に持った物体に残る。この残った電荷が作業者帯電の原因となる。
 - (b) 手に持った物体が絶縁物またはこれを絶縁の手袋で取り扱う場合、正確には、帯電というよりも残った電荷による静電誘導である。
- (5) 静電誘導
 - (a) 作業者がかかわる静電誘導ハザードは作業者人体自身の静電誘導と作業者が取り扱う導体の静電誘導がある。
 - (b) 作業者が取り扱う導体が静電誘導ハザードとなる例は、その導体の絶縁性部分を握る（をどこかに掛ける）、または、絶縁性手袋で取り扱うときである。

15.1.2 放電

- (1) 作業者人体は導体であるので、作業者人体が電氣的に絶縁されて帯電または静電誘導されると火花放電のハザードとなる。
- (2) 作業者から発生しうる火花放電の等価エネルギー(2.4)は10 mJ程度までである。なお、このときの放電エネルギーは30 mJ程度である。

- (3) 作業者人体が接地されているとき、接地導体と同じとなるので、人体の一部（たとえば、指先など）が絶縁性の帯電物体（容器・袋類など）に近づくとときブラシ放電または沿面放電のハザードとなる。
- (4) 作業者人体が接地されているとき、人体の一部（たとえば、指先など）が導電性の帯電物体（高導電性液体など）に近づくととき火花放電となる。

15.1.3 作業者の行為

作業者の行為が着火の誘因となることがある。作業者にとっては効率化として実施するものが多いが、静電気着火防止としては誤った行為がこれに相当する。事例としては、床を汚さないようにという指示で床にシートを敷く、金属（容器、敷き板、道具など）が重いので、プラスチックで代用するなどがある。

15.2 作業者による静電気着火ハザードのリスク見積

- (1) 作業者がかかわる静電気着火源のほとんどは火花放電であるので、作業者の靴と床で構成される漏洩抵抗が $10^5 - 10^8 \Omega$ であるか確認する。この範囲であれば、帯電および静電誘導のハザードがなくなるので、作業者からの火花放電のリスクは極めて低い。
- (2) 作業者からの火花放電の着火性は 2.4.1.2, 8.7.1 により見積もることができる。
- (3) なお、作業者が接地されているときに起きる放電の防止は、帯電するであろう物体を対策をするしかない。
- (4) 作業者の行為によるハザードのリスクは作業者の資質に依存する。対策の意味を確実に伝える必要がある。安全管理と教育を充実させるしかない。

15.3 作業者による静電気着火のリスク低減策

- (1) 作業者人体の靴と床による接地
 - (a) 漏洩抵抗を $10^8 \Omega$ 以下 (2.4.1.3) にすること。靴の標準測定法 (IEC 61340-4-3, ISO 20345, JIS T8103) の相違から $10^9 \Omega$ でもよい。
- (2) 帯電防止服
 - (a) 冗長であるが、我が国は諸外国よりも厳しく、労働安全衛生法により危険場所では帯電防止服の着用を義務づけている。
 - (b) 帯電防止服は生地に織り込まれている導電性糸によるコロナ放電によって帯電と着火性放電を防止する機能をもっている。したがって、帯電防止服の帯電が問題となることはない。
 - (c) ボタン・ファスナーを掛けて正しく着用する。この限りにおいては中の衣服の制限はない。
 - (d) 放電の原因となるので危険場所では衣服の着脱をしない。

(3) 導電性・電荷消散性靴

- (a) 靴の抵抗は $10^8 \Omega$ 以下であること。靴の抵抗値の標準測定法による相違から、 $10^9 \Omega$ でもよい¹。なお、下限は 400 V 以下の配電線による感電防止のため $10^5 \Omega$ 以上にする。
- (b) 導電性靴は $10^5 \Omega$ 未満の抵抗の靴である。たとえば、火工品を取り扱うときに用いるとよい。なお、導電性靴は電気設備等の高電圧環境での作業には用いないこと。
- (c) 通常、靴下、ストッキングは問題にならない。絶縁性の中敷きは抵抗増加の原因となる。靴下の重ね着、厚手の靴下も場合によっては抵抗増加の原因となる。
- (d) 靴の汚れやソールの寿命から靴の抵抗が増加することがあるので、測定によって頻繁（たとえば、作業前）に確認するようにする。

(4) 床の導電化

- (a) 人体の漏洩抵抗を確保するため、床の漏洩抵抗（床面と接地間の抵抗）を $10^6 - 10^8 \Omega$ とする。測定法は静電気安全指針 2007 [4] または IEC 61340-4-1 を参照されたい。
- (b) 通常、むきだしのコンクリートや絶縁性塗装・さびのないグレーティングは適切な漏洩抵抗である。
- (c) 絶縁コート、絶縁性塗装、絶縁性シート、ゴムマットなどは使用しない。
- (d) 床面の汚れ（絶縁性材料のもの）は抵抗の増加となるので注意する。

(5) 手袋

- (a) 導電性または電荷消散性手袋を用いる
- (b) 通常、革手袋（滑り止めのゴムが付いているものは除く）は電荷消散性である。
- (c) 測定（導体を握り、腕と導体間の抵抗を測定）により手袋の抵抗を確認しておく。

(6) 帯電物体への接近・接触を避ける。

(7) 安全管理

- (a) 確実に実施した静電気対策が保証できる安全管理
- (b) 作業者の誤った行為を防止する管理
 - (i) 安全教育
 - (ii) 安全のために実施される作業と生産管理上の作業を区別できる作業手順書
 - (iii) 安全のために実施される対策の意味がわかる作業手順書

¹ISO 20345 の測定法を用いると IEC 61340-4-3 および JIS T8103 による測定値と多少異なるため許容された抵抗値。

第16章 リスクアセスメントの実施例

16.1 液体への粉体投入

16.1.1 設備・作業概略

液体 A が入った中型タンク（攪拌槽）に粉体 B をマニュアル投入する工程のリスクアセスメントの実施例を示す。設備および作業の概略は以下のとおりである。ただし、実際の例であるので、静電気対策としては好ましくない点もあることに注意されたい。

- (1) 攪拌槽 (10 m³) は建屋内 1 階にあり、2 階に攪拌槽マンホール部がある。
- (2) 攪拌槽はグラスライニング容器¹である。攪拌翼およびシャフトもグラスライニングされている。
- (3) 粉体 B は液体 A に溶けないので、攪拌によりスラリー状になる。
- (4) 粉体 B (25 kg 袋 ×4) は作業前に、倉庫から台車にて運ばれ、一時置き場所（マンホールから 2 m 離れた位置）に立てて置かれた。不要となった台車は倉庫に戻される。台車は絶縁性のゴムローラである。
- (5) 粉体用袋は内面が PP コートの紙袋である。
- (6) 液体 A (7 m³) を攪拌槽内に充てんする。液温は外気温と同じであり、約 25°C である。
- (7) 換気は自然換気のみ。
- (8) 袋は一時置き場所でカッターを用いて開封される。
- (9) マンホールを開け、着脱式金属シュート¹を絶縁性ゴム挟みを込んでマンホールに差込む。このとき、マンホールに 15 cm ほど差し込まれた状態となる。
- (10) 粉体は着脱式金属シュートのへりに袋を置いて作業員により投入される。
- (11) シュート上で袋を振って残った粉を出すようにしている。
- (12) 投入作業は一人で行われる。
- (13) 作業員は帯電防止服および帯電防止靴を着用
- (14) 床は金属製で絶縁性塗料が施されている。
- (15) 手袋は滑り止めがついた軍手（持ち方によっては作業員が手に持った導電性・電荷消散性物体は絶縁される可能性がある）

¹静電気対策に準じて導電性タンクまたは導電性コート・ライニングを用いるべきである。

- (16) 粉体投入中の攪拌翼は低速で回転させている。
- (17) 投入作業終了後の作業
 - (a) シュートを取り外し、マンホールを閉める。マンホールからの蒸気放出はなくなる。
 - (b) シュートは所定の保管場所²に置く。
 - (c) 清掃：攪拌槽外側および床面堆積粉体の吸引（14.7に示される要件を満たす防爆設備）、袋の廃棄
- (18) 緊急時の消火設備があり、避難ルートは2つある。

16.1.2 可燃性雰囲気形成ハザード同定

可燃性雰囲気形成ハザード同定に関する概略を以下に示す。

- (1) 蒸気密度から、液体蒸気は空気より重い。
- (2) 液体の液温と引火点からこの液体蒸気は攪拌槽内気相部とシュート内およびマンホール周辺まで、また、マンホールから放出された液体蒸気は攪拌槽外側までに拡がると考えられる（図16.1）。
- (3) 液体蒸気の Explosion group は IIA である。
- (4) 粉体の粒径は平均約 20 μm で 70%は 50 μm 以下である。
- (5) 粉じんによる可燃性雰囲気の形成はマンホール周辺から攪拌槽気相部と攪拌槽周辺 1 m 程度までである（図16.1）。
- (6) 袋一時置き場所およびこの場所の袋内部では、可燃性粉じん雰囲気形成ハザードはないと同定した。
 - (a) 粉体袋を開ける場所では粉は袋の中にあり、袋をひっくり返すなどのヒューマンエラーがない限り飛散することはないので、可燃性粉じん雰囲気となる可能性は極めて低い。
 - (b) 一時置き場所の袋内部も可燃性粉じん雰囲気が形成される可能性が極めて低い。
- (7) 粉体が投入され、空気もこれにより攪拌槽内に導入されるので、液体蒸気と粉じんのハイブリッド雰囲気が攪拌槽内気相部およびマンホール周辺に、投入作業中は常に形成される可能性が高い。
- (8) 可燃性雰囲気が形成される可能性がある場所は、攪拌槽気相部、シュート内部、マンホール周辺、シュート上の袋内部、攪拌槽周辺および袋一時置き場所である。
- (9) 同定された場所の Explosion group, Zone およびハザードレベル（表5.4）は次のように同定した。これらの場所を図示すると図16.1のようになる。ここで、マンホールから離れた危険場所の高さはマンホールの高さと同じとした。実際は、蒸気は空気より重いのでこれよりも低い。

²この保管場所は危険場所にならない、最悪でも Zone 2 または 22 の場所であるべきで、また、漏洩による可燃性液体が噴出する可能性がある場所ではシュートを接地できるようにして置く。

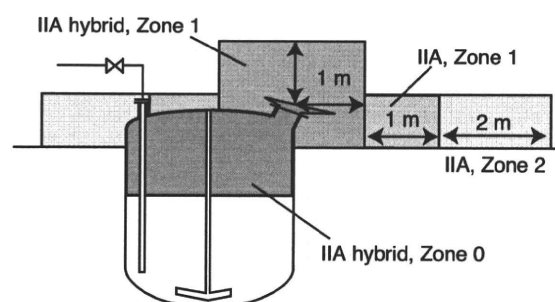


図 16.1: 可燃性雰囲気範囲

- (a) 攪拌槽気相部: IIA hybrid, Zone 0, 10
- (b) シュート内部: IIA hybrid, Zone 0, 10
- (c) マンホール周辺: IIA hybrid, Zone 0, 10
- (d) マンホール上の袋内部: IIA hybrid, Zone 0, 10
- (e) 攪拌槽周辺: IIA hybrid, Zone 1, 6
- (f) 攪拌槽から離れた位置: IIA, Zone 1, 6
- (g) 袋一時置き場所: IIA, Zone 2, 2

ハザード同定シートは表 16.1 のとおり。

16.1.3 帯電ハザード同定

- (1) 低導電率液体, 高抵抗率粉体, 絶縁性内面コートの容器および内面 PP コートの紙袋の利用
- (2) 台車は絶縁性ゴムローラであるが, 倉庫にしまわれるので帯電ハザードから除外した。
- (3) 帯電ハザードとなりうる帯電は以下のとおりである。
 - (a) 低速攪拌による容器内液体の帯電 (投入前)
 - (b) 低速攪拌による容器内液体と粉体の帯電 (投入後)
 - (c) ライニンググラスと容器内液体+粉体の電荷分離によるライニンググラスと液体+粉体の帯電
 - (d) 投入の際の袋と粉体の電荷分離による袋と粉体の帯電
 - (e) 投入の際のシュートと粉体の電荷分離によるシュートと粉体の帯電
 - (f) 投入後のシュートと袋のはく離によるシュートと袋の帯電
 - (g) 作業者の歩行等による人体の帯電
 - (h) 作業服の帯電
- (4) 液体の導電率によるクラス分け (表 6.3) から攪拌槽の液体の帯電レベルは高である。
- (5) 粉体の抵抗率によるクラス分け (表 6.4, 6.5) から粉体の帯電レベルは高である (表 6.3)。

- (6) 紙袋の表面抵抗率は通常の使用条件で表が 10^{12} Ω 以下（相対湿度 $25 \pm 5\%$ の乾燥状態では 1.2×10^{12} Ω ）、裏（PP コート）が 10^{14} Ω 程度（乾燥状態：使用条件から袋を開放して十分な時間がない）である。固体の帯電性（表 6.1）より、紙袋の帯電レベルは中である³。
- (7) グラスライニングが内面に施され絶縁性容器と同様に電荷緩和はほとんどないので、攪拌槽内の液体、粉体および攪拌槽内面は帯電ハザードとなる。
- (8) 作業者は管理された帯電防止靴を着用、床は金属製で導電性塗料が施されているが、飛散した粉体が床に堆積されたとき場所によっては作業者人体の漏洩抵抗（ 10^{12} Ω 程度）が規定の抵抗以下になっていないことが測定により確認された。このような状況は袋およびシュートからこぼれた粉体により、投入口付近の床面で起きる可能性がある。
- (9) 作業服は帯電防止服なので帯電ハザード⁴から除外する。
- (10) 手袋をして導体（袋を持ったときの接触を考慮して金属円筒缶を用いた）を持ったときの、手首と導体との間の抵抗は 6.9×10^9 Ω （最大値）であった。手袋は電荷消散性といえる⁵。手で持つものはシュート（脱着時）、袋およびカッターである。
- (11) シュート帯電の電荷緩和はグラスライニングおよび絶縁性ゴムにより阻害される。シュート上の袋も同様である。経験的にシュートの接地の必要性は明らかであるが、後に示すように、シュート絶縁によるリスクは許容できないので、接地することに決定した。
- (12) 一時置き場所の紙袋は床を通して電荷緩和されるので帯電ハザードはないと同定した。
- (13) 作業終了後に取り外すシュートも作業者人体および手袋の漏洩抵抗によっては帯電ハザードとなる。
- (14) 帯電促進要因はない。
- (15) 表 6.6 より、次のように帯電ハザードレベルを同定した。
- (a) 投入前の槽内液体: 3（帯電レベル：高，電荷漏洩なし）
 - (b) 投入後の槽内液体+粉体: 3（帯電レベル：高，電荷漏洩なし）
 - (c) ライニンググラス: 3（帯電レベル：高，電荷漏洩なし）
 - (d) 投入粉体: 3（帯電レベル：高，電荷漏洩なし）
 - (e) 作業者人体（粉体が堆積した床面にいる場合）: 4（帯電レベル：低，電荷漏洩なし）
 - (f) シュート（シュート非接地）: 4（帯電レベル：低，電荷漏洩なし）
 - (g) シュート（シュート接地）: 0（帯電レベル：低，電荷漏洩あり）
 - (h) 袋（シュート非接地）: 3（帯電レベル：中，電荷漏洩なし）
 - (i) 袋（シュート接地）: 1（帯電レベル：中，電荷漏洩あり）
 - (j) 一時置き場所の袋: 1（帯電レベル：中，電荷漏洩あり）

³PE/PP コートおよびライナーを用いた紙袋は通常では大きく帯電することはない。ただし、投入するときに紙袋からライナーが飛び出したりするとく離の際の電荷分離によって大きく帯電する可能性がある。用いている袋はコートであるのでこれは該当しない。もし、この紙袋がポリ袋など絶縁性ならば帯電レベルは高となる

⁴正確には、衣服からの放電ハザードから除外できる。作業者の人体が靴・床によって接地されないと、帯電防止服の帯電により人体は静電誘導ハザードとなる可能性がある。

⁵確実性を考えると、静電気対策された導電性・電荷消散性手袋の利用を薦める。

- (16) 可燃性雰囲気形成ハザードとの照合
これらの帯電ハザードとなる場所は可燃性雰囲気形成ハザードと同定された場所と一致しているため除外できない。
- (17) 静電気対策の適合による帯電ハザード絞り込み
同定された帯電ハザードは接地した場合のシュートおよび一時置き場所の袋を除いて静電気対策に適合しないため除外できない。
- (a) グラスライニングの利用。ただし、このリスクアセスメントによって、この作業ではグラスライニングは許容できるリスクであることが示される。
 - (b) 作業者人体の接地のための漏洩抵抗が大きくなり $10^8 \Omega$ を超える可能性がある。
 - (c) シュートが接地されて紙袋をこれに置くようにボンディングして投入し、残った粉を振り出すことを止めれば、これについては静電気対策 (13.5.2) に適合するので、袋の帯電ハザードは除外できる。
 - (d) 一時置き場所の袋は紙袋であり、接地された導電性床に置かれている。

ハザード同定シートは表 16.1 のとおり。

16.1.4 静電誘導ハザード同定

- (1) 絶縁導体となりうるものは、シュート、人体およびカッターである。
- (a) 取り付け時のシュート
作業者人体を通して接地しないと静電誘導ハザードとなるが、ライニンググラスはシュートが静電誘導ハザードとなるほど帯電していないので除外した。後に示すように手袋は電荷消散性であり、作業前で床面が粉で汚れていないことから、シュートが接地されることからこの除外の妥当性が認められる。
 - (b) 投入中のシュート
導電性のシュートが絶縁性ゴム挟みを込んでグラスライニング攪拌槽のマンホールに置かれるので、接地しないと静電誘導ハザードとなる。
 - (c) 取り外し時のシュート
作業終了後にマンホールから取り外すシュートも作業者人体および手袋の漏洩抵抗によって静電誘導ハザードとなる。
 - (d) 人体も靴と床の漏洩抵抗によっては絶縁導体となり静電誘導ハザードとなりうる。
 - (e) 袋を開封するカッターも絶縁導体になりうる。静電誘導の原因となる大きく帯電した物体が周辺にないので、この段階で、カッターは静電誘導ハザードから除外できるが、参考のために同定を続ける。
- (2) 可能性のある放電ギャップを以下に示す
- (a) シュート：攪拌槽金属部、近づいた作業者人体および袋との放電ギャップが考えられる。袋との放電ギャップはシュートに近づくときまたは離れるときである。攪拌槽金属部は接地されているので、このときの火花放電が最も放電エネルギーが高い。
 - (b) 作業者人体：攪拌槽金属部、シュートおよび袋との放電ギャップが考えられる。