

静電気放電による粉体の 爆発・火災および防止対策

労働安全衛生総合研究所 部長

崔 光石 Kwangseok Choi

労働安全衛生総合研究所 研究員

庄山 瑞季 Mizuki Shoyama

1. はじめに

近年、自動車、建築、電子機器、医療機器、パッケージング、衣料品、および航空宇宙輸送機など多くの産業分野で高分子材料が使用されている。高分子材料は、製品の軽量性や耐久性に優れているだけでなく、再利用やリサイクルなどによって環境保護にも役立つことから、その利用範囲はますます拡大している。一方、高分子材料は絶縁性が高いため静電気が発生しやすく、それに起因する産業現場での可燃性物質（ガス、蒸気、粉じんなど）の爆発・火災が後を絶たない。本稿では、産業現場で静電気災害防止対策を施す際に留意すべき静電気の基礎知識として、静電気放電の種類とその特徴を簡単に紹介する。また、静電気災害の防止に最も重要な評価項目である最小着火エネルギー、および静電気対策について述べる。なお、産業現場により広く情報を発信するため、一部の内容は既に安全衛生コンサルタント誌、安衛研ニュース、TIISニュース等に掲載されている^{1)~3)}。

2. 静電気放電現象

着火源の一つとして知られている静電気放電は、電界強度が媒質の絶縁破壊電界強度に達したときに起こる現象である。一般に空気

中では電界強度が30 kV/cm 以上になると静電気放電が発生し、単発で起こるのが特徴で、産業現場で発生する静電気放電は、帯電物体の種類（導体、不導体）、形状、距離等により、コロナ放電、ブラシ放電、コーン放電、火花放電、沿面放電に分類できる。それらの特徴を理解することは静電気災害防止対策を行う上で重要であるため、以下に主な特徴を述べる。なお、静電気放電の種類と着火能力についてまとめたものを、表1に示すので参考にしていきたい。

(1) コロナ放電 (図1 (a))

針などの尖鋭な接地金属が帯電物体に接近した場合に、先端部付近でのみ発生する微弱な放電である。放電エネルギーが小さいため、可燃性物質（水素を除く）の着火源にはならない。

(2) ブラシ放電 (図1 (b))

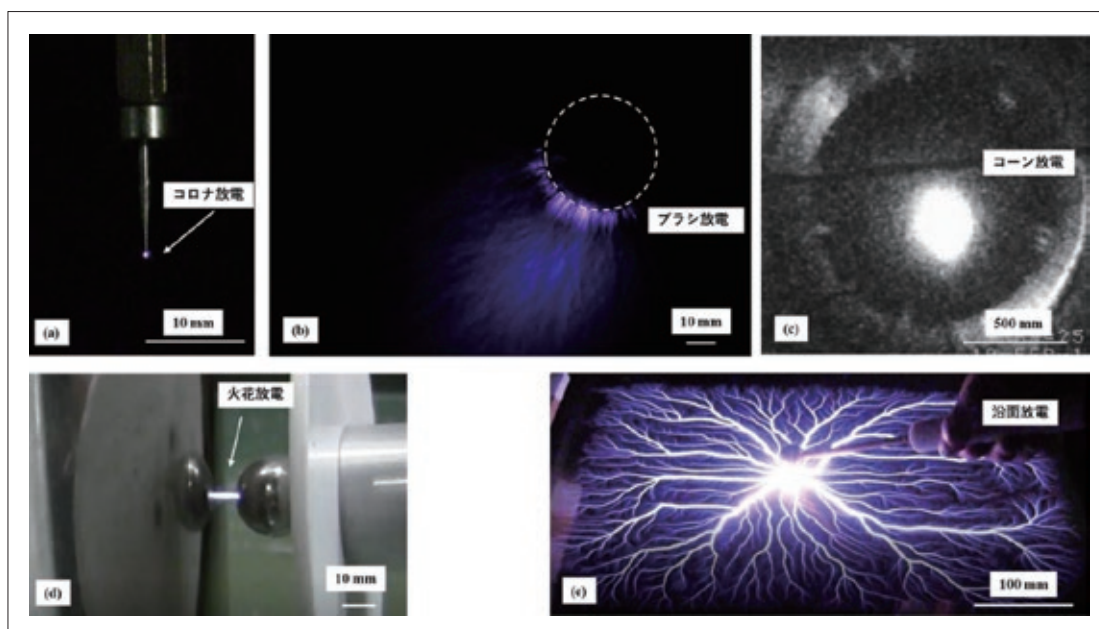
曲率半径が数十 mm の接地導体が数十 kV 以上に帯電した絶縁物に接近したときに起こる放電である。正確にブラシ放電のエネルギーを算出することはできないが、等価放電エネルギーは最大で4 mJ 程度であると報告されている。コロナ放電に比べて放電エネルギーは大きく、可燃性ガスの着火源になる。粉体の着火源となる可能性については現在も議論されているが、非常に着火しやすい粉体、有機溶剤を含んだ粉

表 1 各種の静電気放電とその特徴

タイプ	説明	放電エネルギー	可燃性物質への着火有無※		
			ガス・溶剤	ミスト	粉体
コロナ放電	尖った接地導体と帯電導体の間で発生する放電	数十μJ まで	×	×	×
ブラシ放電	比較的大きな曲率半径を持つ接地導体と帯電した絶縁物の間で発生する放電	3 mJ 程度まで	○	○	△
コーン放電	絶縁性粉体の連続投入時にサイロ内で発生する放電	数十 mJ 程度まで	○	○	○
火花放電	接地不良導体と導体の間で発生する放電	1 J 程度まで	○	○	○
沿面放電	帯電した薄いフィルムの表面で発生する放電	10 J 程度まで	○	○	○

※○：着火あり、×：着火なし、△：着火する可能性を否定できない

図 1 各種の静電気放電発生の様子



体を取り扱う際には注意が必要である。

(3) コーン放電 (図1 (c))

絶縁性粉体をサイロに充填するとき、堆積粉体の表面に沿って間欠的に発生する放電である。放電エネルギーが数十 mJ 程度であり、可燃性ガス・蒸気のほか、一部の粉体も着火する可能性がある。

(4) 火花放電 (図1 (d))

帯電した導体と周りに存在する導体の間で発生する放電である。帯電物体に蓄積された静電エネルギーのほぼすべてが放電に費やされるため、着火能力が非常に高く、

多くの可燃性ガス・蒸気および粉体の着火源となり得る。

(5) 沿面放電 (図1 (e))

導体上におかれた薄い層状の帯電した不導体の表面に沿って起こる放電である。放電エネルギーが数十 J まで達するので、可燃性ガス・蒸気はもちろん、粉体の着火源となり得る。

表2 静電気物性の評価項目

評価項目	分析機器
①粉体の粒径分布	・粒子径分布測定装置
②粉体の形状	・電子顕微鏡
③粉体の帯電特性	・電荷量測定装置
④粉体の（体積）抵抗率	・超高抵抗計+粉体用セル
⑤静電気放電による粉体の着火性	・最小着火エネルギー測定装置

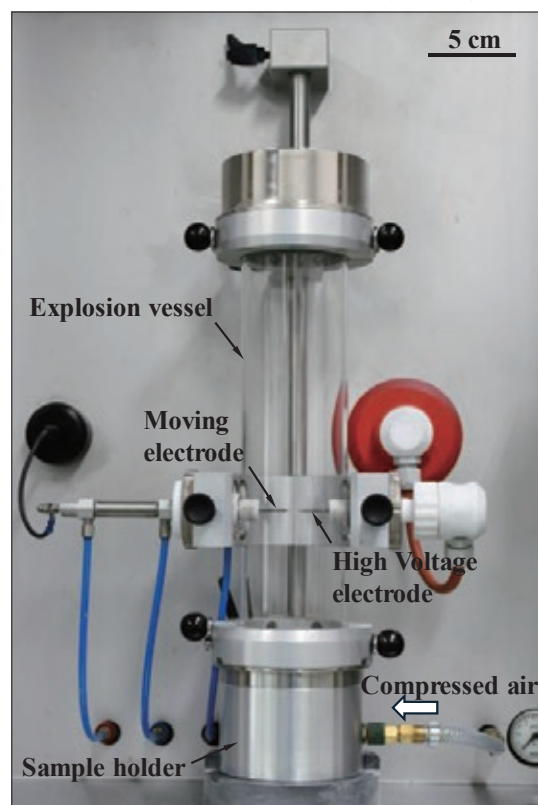
3. 粉体の静電気物性評価 (最小着火エネルギー)

静電気災害防止対策を行うためには、現場で取扱う粉体の静電気物性を正しく把握することが必要である。表2に、静電気物性評価の項目を示す。紙面の都合上、項目毎の詳細は割愛するが、ここでは最重要項目である⑤静電気放電による粉体の着火性について詳しく解説する。

静電気放電による粉体の着火性評価では、粉体の最小着火エネルギー（MIE: Minimum Ignition Energy）を測定する。MIEは静電気放電による粉体の燃えやすさを定量化したものである。MIEの値が低いほど着火危険性は高く、MIE値を超える静電気放電エネルギーが与えられた時に粉じん爆発が発生する。MIE測定では、装置によって測定値に多少の差が出るものの、IEC国際規格に準拠したMIE測定装置（図2）および方法が実質的な標準として多くの国で用いられている。

MIE測定装置では、静電気放電を発生させる三種類の回路（無抵抗、インダクタンス挿入、抵抗挿入）のうちいずれかを選択できるようになっており、それによってMIEの値が変わる可能性がある。一般に着火しやすい粉体（例えば、MIEが3mJ以下の粉体）は回路による差はほとんどない。一方、無抵抗でMIEが30mJ程度であった粉体が、インダクタンス挿入によってより着火しやすくなり10mJ程度になることや、抵抗挿入によ

図2 最小着火エネルギー測定装置（MIKE-3）



て3mJ程度になることがある。したがって、MIEを評価する時には必ず回路条件を明記する必要がある。

表3に、代表的な粉体のMIEを示す⁴⁾。粉体のMIEは種類、濃度、粒子サイズ、および周囲温度などによって変化する。また、同じ粉体でも製造業者によってMIEが異なる可能性があるため、使用する粉体ごとにMIEを正確に評価し、安全管理を行う必要がある。粒径サイズとMIEの関係を表4に示す。ただし、本表はあくまでも著者らの経験から示すものであり、参考程度としていただきたい。

粉体のMIEは粒径サイズの影響を受けやすく、粒径サイズが小さいほどMIEの値が小さくなる傾向がみられる。従来は粉体のMIEは低くとも10 mJ程度とされていたが、最近の微粉体は1 mJ以下のものもある。

にボンディングによる接地を行うことが必要である(図4)。特に、フィルタ固定用金属器具(図5：実際の現場で採集したもの)の接地・ボンディングのし忘れ、断線が生じる

4. 静電気防止対策

4.1 導体と不導体の帯電防止

導体の場合、接地(アース)は静電気災害防止対策を実施する際に最も基本的なものである。『接地』を簡潔に表現すると、「導体(金属)を大地に接続し、静電気を溜めずに逃がすこと」である。静電気災害防止のための導体の漏洩抵抗は $1 \times 10^6 \Omega$ 以下で充分であると言われている。接地で最も重要なことは、接触不良や断線を起こさないことであり、そのため図3に示すように電氣的・機械的に確実な接地を行うことや、配管のフランジ部分

図3 接地線の接続方法の一例

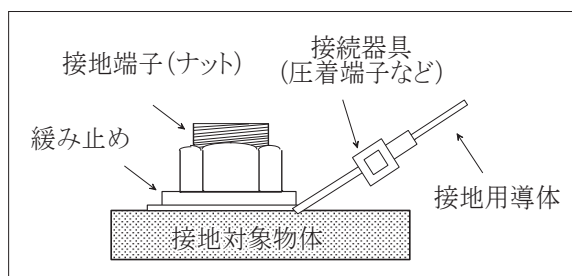


図4 ボンディングの一例

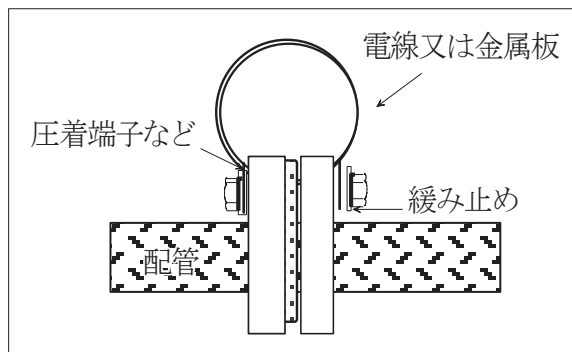


表3 主な粉じんの最小着火エネルギー (MIE) ⁴⁾

物質名	MIE [mJ]
木粉	3~245
トナー	8以下
ゴム	13
セルロース	250
硫黄	5以下
小麦	100~540
乳化剤	17
ケイ素	54~250

図5 フィルタ固定用金属器具



表4 粒径サイズとMIEの関係

粒径 [μm] D10*	MIE (mJ)	着火危険性
500以上	1000	ない
100程度	100~300	ほぼない
50~30	30	高い
30~10	10	かなり高い
10以下	1~3 (or 1以下)	非常に高い

*粒径は平均値 (粒子径がD10以下の粒子の割合が10%となる粒子径)

場合があるため、注意が必要である。移動物体の接地においては、接地線の取り付け、取り外しを行うことが多いので、導電性キャスト、ホースなど帯電防止用品による常時接地、所定の位置に置くと自動的に接地される自動接地装置の使用、接地されていないと運転が開始されないようなインターロック装置の使用などの対策が必要である。

一方、不導体の場合は、接地しても帯電防止の効果がほとんどない。したがって、不導体の帯電防止対策としては、除電器、加湿器などの使用が有効である。ただし、低温の環境では加湿（例えば、65%以上）が帯電防止対策にならないことがあるので、注意が必要である。これは、低温では大気中の水分量が十分でなく、空気を介して帯電電荷を十分に放電できないためである。

なお、産業現場での静電気対策の実施または教育時において「接地をとる」という表現が使われることがあるが、「とる」は「外す」という意味に受け取られる恐れがあり、誤解され静電気災害を招きかねない。「接地を付ける」「接地する」のような、曖昧でない表現の使用を徹底する必要がある。

4.2 作業員（人体）の帯電防止

人体は静電的に見ると導体である。したがって、履物などによって絶縁状態となった作業員が帯電すると、静電気災害の原因となる可能性が高い。もし、作業員が10 kVに帯

電した場合、周りの接地導体に触れると、5 mJ程度の着火性の静電気放電が発生する（人体の静電容量を100 pFと仮定）。実際、帯電した作業員が可燃性物体を投入する際に静電気放電が発生し、爆発・火災に至る事例は少なくない。

作業員の帯電防止対策は、導体と同様に接地が基本となる。具体的には、リストストラップなどの使用による人体の接地、帯電防止作業靴（静電靴）の着用などの対策を講じる必要がある。また、作業員を接地された状態にするためには静電靴を着用するとともに、作業床が導電性でなければならない。**表5**は帯電防止用床の漏洩抵抗の管理指標である。

ただし、これらの対策を実施する現場の一部では、生産管理上の理由から静電靴の上にシューズカバーを着用しているところもある。このときシューズカバーの絶縁性が高いと、作業員が帯電し火花放電を起こす可能性があるため、注意が必要である。

5. おわりに

本稿では、産業現場における静電気災害防止の一助となるよう、静電気帯電・放電、静電気物性評価、および防止対策を中心に紹介した。現場では、本稿で述べたような設備や作業環境等に関する物的な対策に加え、静電気による危険性やその対策に関する教育を定期的に行い、それらの目的が作業員自身の安

表5 帯電防止用床の漏洩抵抗の管理指標

作業環境	漏洩抵抗 [Ω]	適用作業
爆発・火災が発生するおそれのある場所	$\leq 1 \times 10^7$	MIE が0.1 mJ 未満の可燃性物質を取り扱う作業
	$\leq 1 \times 10^8$	MIE が0.1 mJ 以上の可燃性物質を取り扱う作業
電撃が発生するおそれのある場所	$\leq 1 \times 10^9$	粉体投入、紙・フィルムの巻き取り、巻き作業
生産障害が発生するおそれのある場所	$\leq 1 \times 10^7$	半導体を取り扱う作業
	$\leq 1 \times 10^9$	品質不良、製品の汚れ等が問題となる作業

全を守るためにあるということを知覚させる人的な対策も重要である。本稿の内容を一人でも多くの作業者が理解し、日々の災害防止に役立てていただきたい。

参考文献

- 1) 崔光石：静電気災害防止のために知っておくべき事項および誤った対策，安全衛生コンサルタント，42，58-64，2022。
- 2) 崔光石：爆発・火災に繋がる静電気放電って何？，安衛研ニュース，No. 180，2024。
- 3) 崔光石：静電気災害防止のために知っておくべき基礎知識と勘違いしがちな対策（前編），TIIS ニュース，No. 288，5-8，2022。
- 4) 労働安全衛生総合研究所：静電気安全指針 2007，JNIOSSH-TR-No.42，2007。

ちえくあんそく

2003年茨城大学大学院、理工学研究科博士後期課程（物質科学専攻）修了。同年、東京理科大学、理工学部電気電子情報工学科、助手として勤務後、2004年に産業安全研究所（現 労働安全衛生総合研究所）物理安全研究グループに入所。主に静電気に起因する粉体の爆発・火災防止に関する研究、静電気関連災害調査に従事。現在、労働安全衛生総合研究所 安全研究領域長/電気安全研究グループ部長/機械システム安全研究グループ部長、工学博士。カナダプリティッシュコロンビア大学/サスカチュワン大学客員教授。静電気学会評議員、安全工学会理事、火災学会理事。

しやうやまみずき

2020年京都大学大学院工学研究科 博士後期課程（化学工学専攻）修了。2006年九州大学理工学府量子プロセス理工学専攻 修士課程修了後、株式会社IHI 航空宇宙本部に入社し、ロケット開発に従事。2011年より原子燃料工業株式会社にて核燃料の炉心管理および臨界安全評価を担当。2019年から京都大学大学院工学研究科研究員として勤務したのち、2022年労働安全衛生総合研究所に入所。現在、労働安全衛生総合研究所電気安全研究グループ研究員として、粉体の静電気安全、および粉体の帯電機構と操作技術に関する研究に従事。