

静電気災害調査時に必要な 可燃性粉体の物性評価試験方法

2023年 8月18日

労働安全衛生総合研究所
電気安全研究グループ

崔 光石

choiks@s.jniosh.johas.go.jp

042-491-4512 (内線630)

静電気による火災の発生状況

〔 火災・爆発事故のデータベース
(1995年～2010年) 〕

国内の爆発・火災の総数(1175 件)



静電気災害 (159件)



最も多い場所:
化学工場



最も多いプロセス:
原料などの投入・排出

本当に、静電気放電で事故が発生する？

動画あり

【実際の災害映像】 投入粉体時の着火

動画あり

【実際の災害映像】 金属粉体への着火・爆発

災害発生原因の検討

今日の話題！

Step1: 爆発した物質（**粉体**: 静電気物性評価）

Step2: 着火源(**現場調査**: 静電気危険性評価)

可燃性物質(粉体)の静電気物性評価

二番目に大事!

- (1) 粉体の粒径分布
- (2) 粉体の形状
- (3) 粉体の帯電特性
- (4) 粉体の(体積)抵抗率

一番大事!

(5) 静電気放電による粉体の着火性

(1) 粉体試料の粒径分布

粉体の粒径分布測定はレーザー光式粒度分布測定装置を使用し測定する。

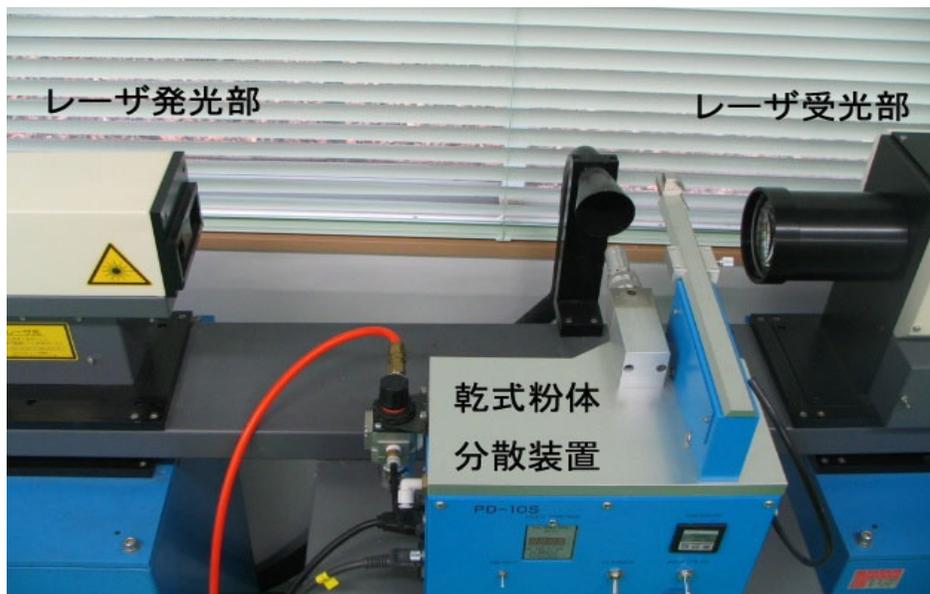


図 レーザー光式粒度分布測定装置

・粉体のサイズはどのくらい？ ・微粉がどのくらい？ ・着火実験時に使用する粉体のサイズ？

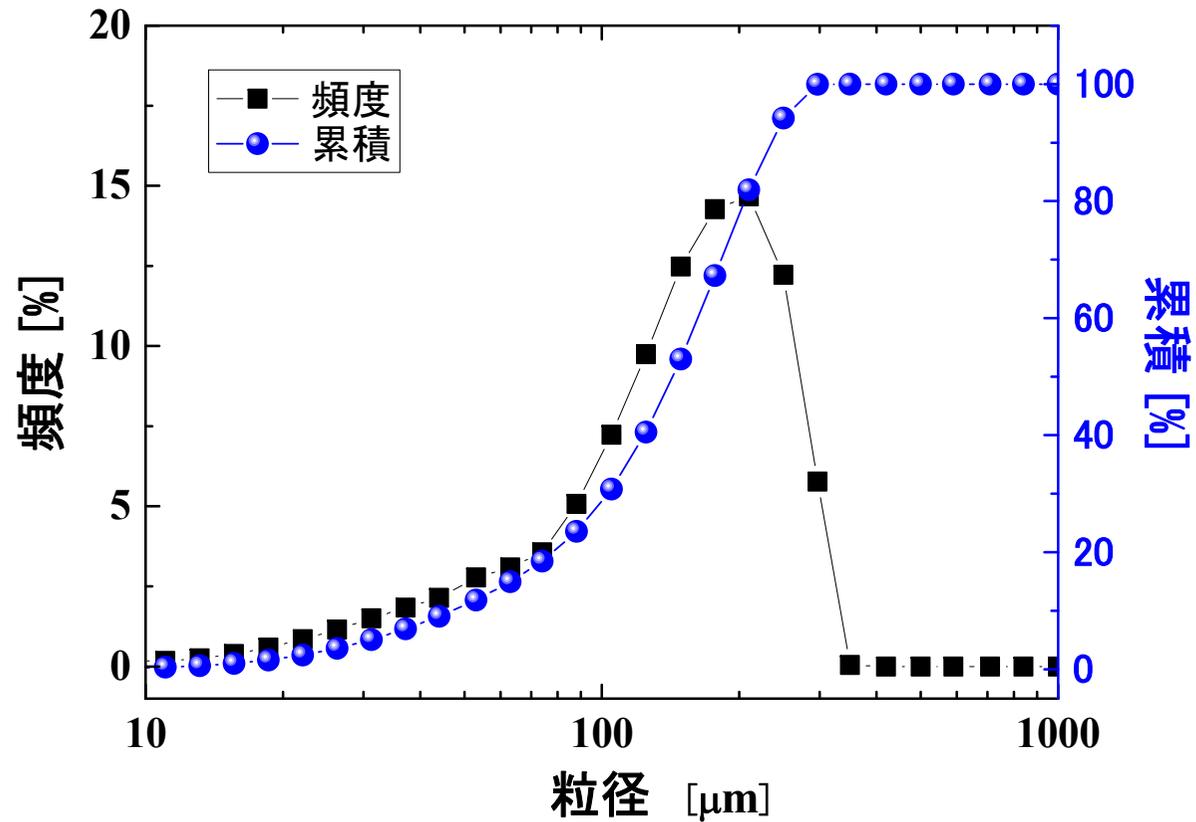


図 粉体試料の粒径分布(例)

D_{10} : 46 μm 、 D_{50} : 142 μm 、 D_{90} : 235 μm

「重要！」

- ①集塵機有無
- ②粉体粒径(サイズ): D_{50} : 30 μm 以下

注: 今回の粉体試料は粒径のばらつきが大きいいため、測定時の試料の採集に大きく依存した。

(2) 粉体試料の形状

粉体の形状は走査電子顕微鏡と光学顕微鏡で測定・観察する。



図 走査電子顕微鏡

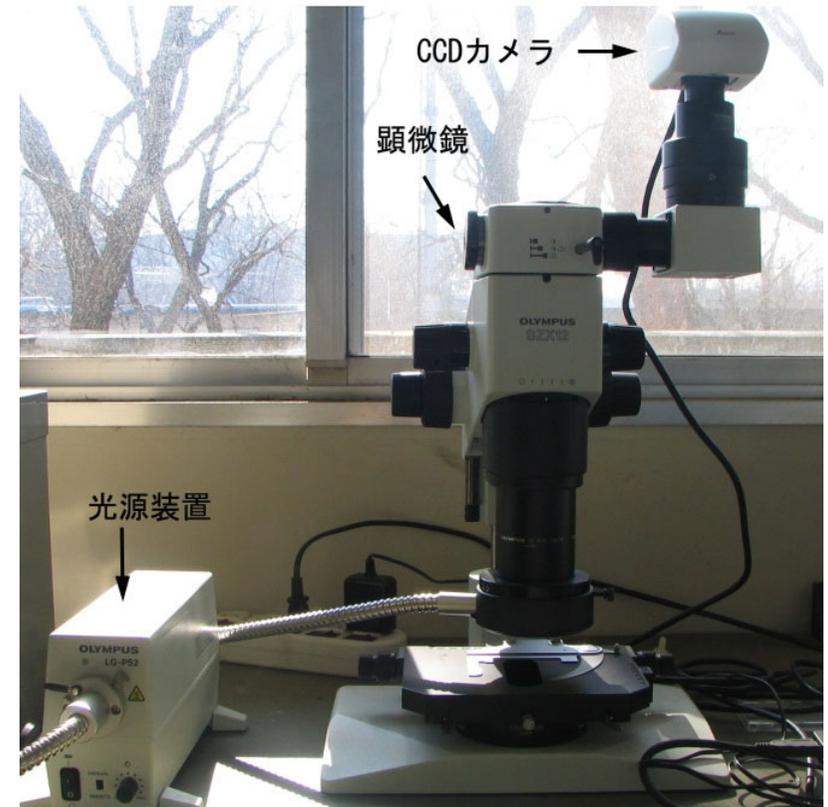


図 光学顕微鏡

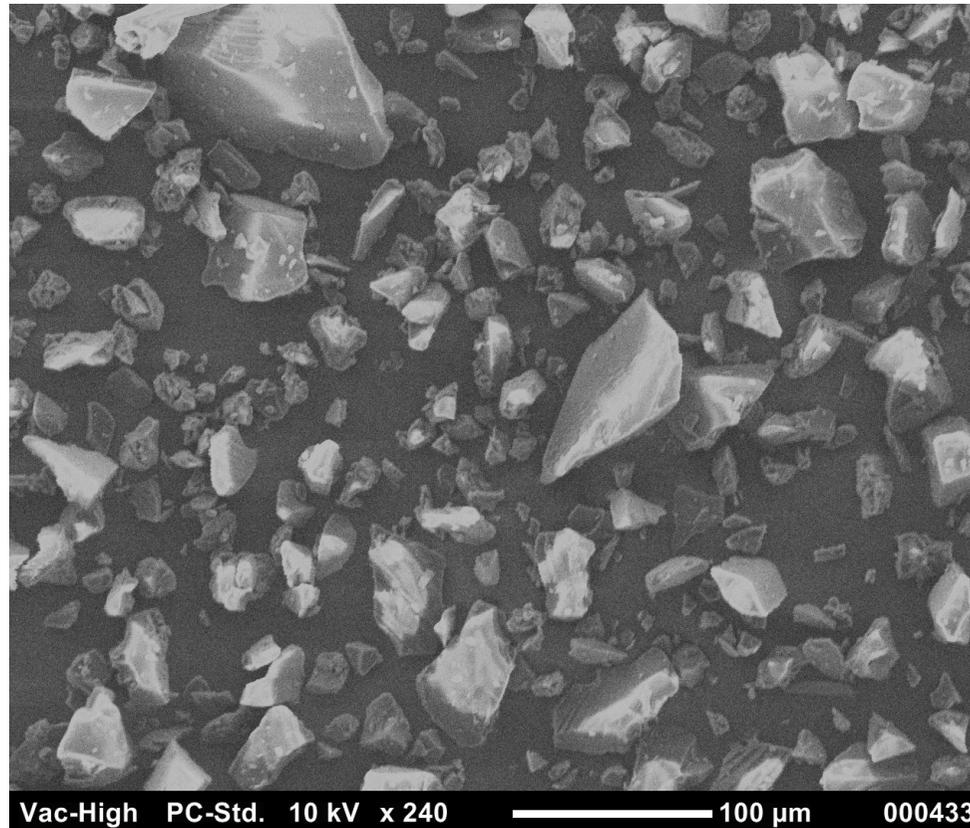


図 粉体の形状(例)

- 粉体の形はどうなっているか？
- 粉体の種類は複数？
- 微粉がどのくらい入っているか？
- 粉体の形がくずれやすいか？

全体的に形状は、不定形であり、数百 μm の比較的大きいものから数十 μm の小さいものまで種々様々である。特に比較的大きなものは、やや黄みがかかった透明色をし、球形から尖っているものまで、形状はまちまちである。

(3) 粉体の帯電特性



サイクロン式
電荷量測定部

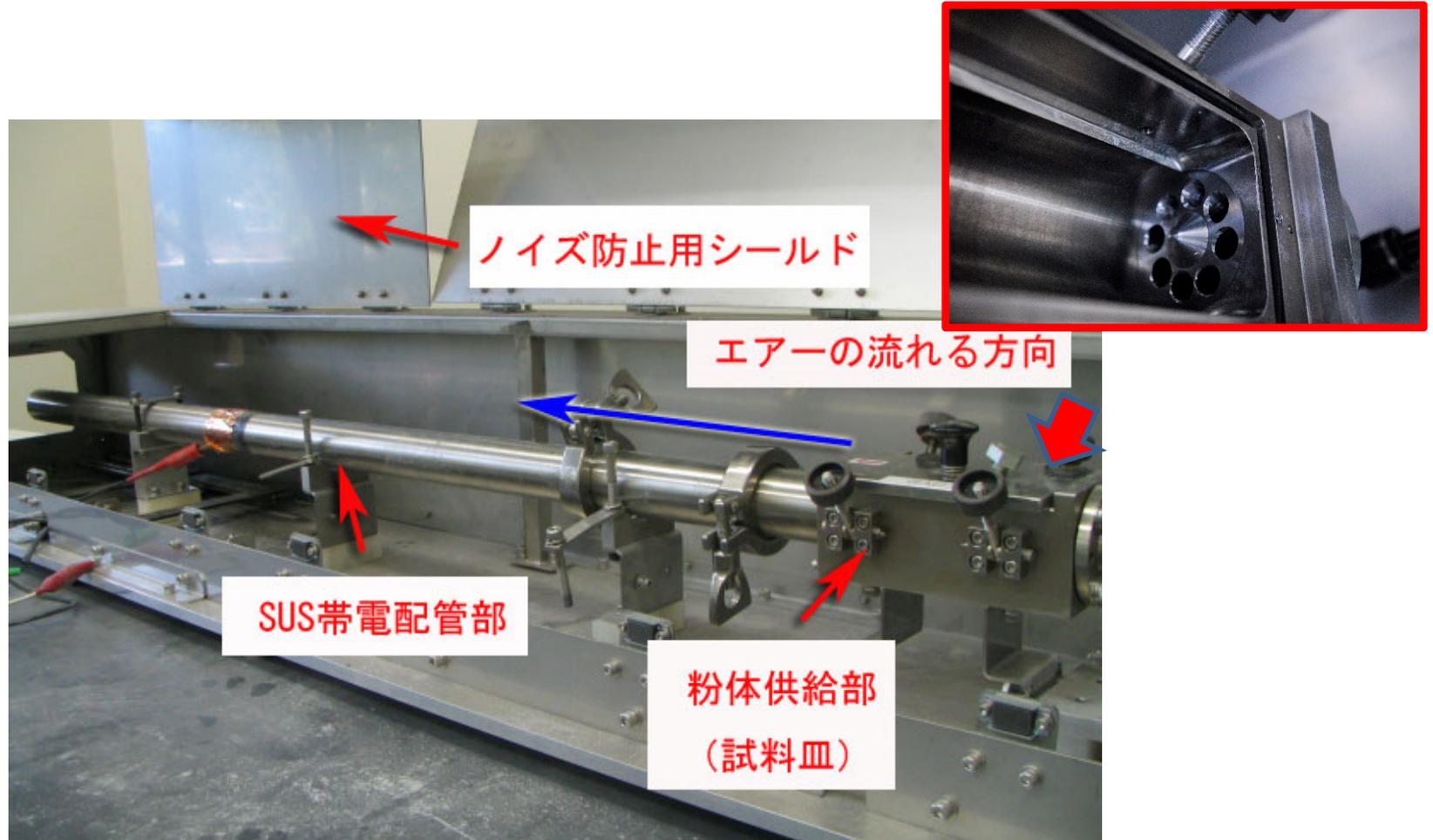


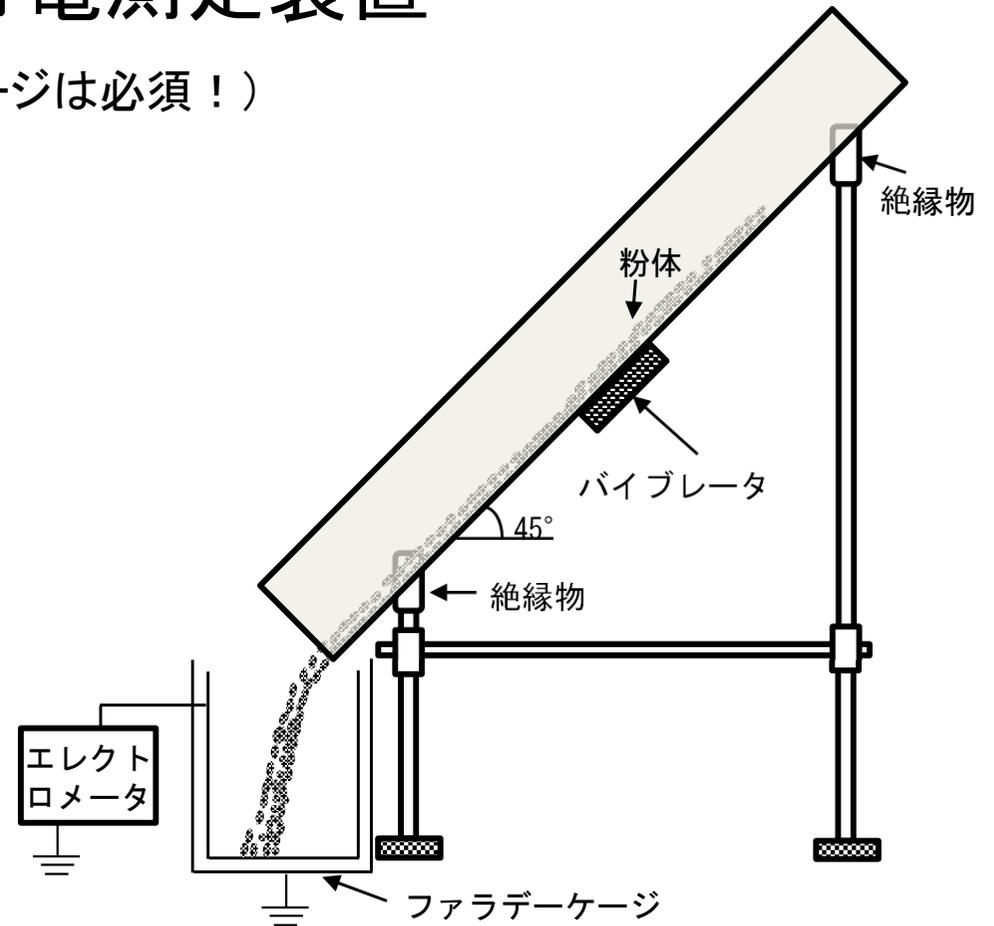
図 回転式粉体帯電測定装置

簡易式粉体帯電測定装置

(ファラデーケージは必須！)



(a) シェイク式



(b) 滑り式

その他:

- ①帯電物体からの放電電荷量 (transferred charge amount) 測定
- ②帯電物体の表面電位測定



来年の勉強会で!

実験結果

(例)

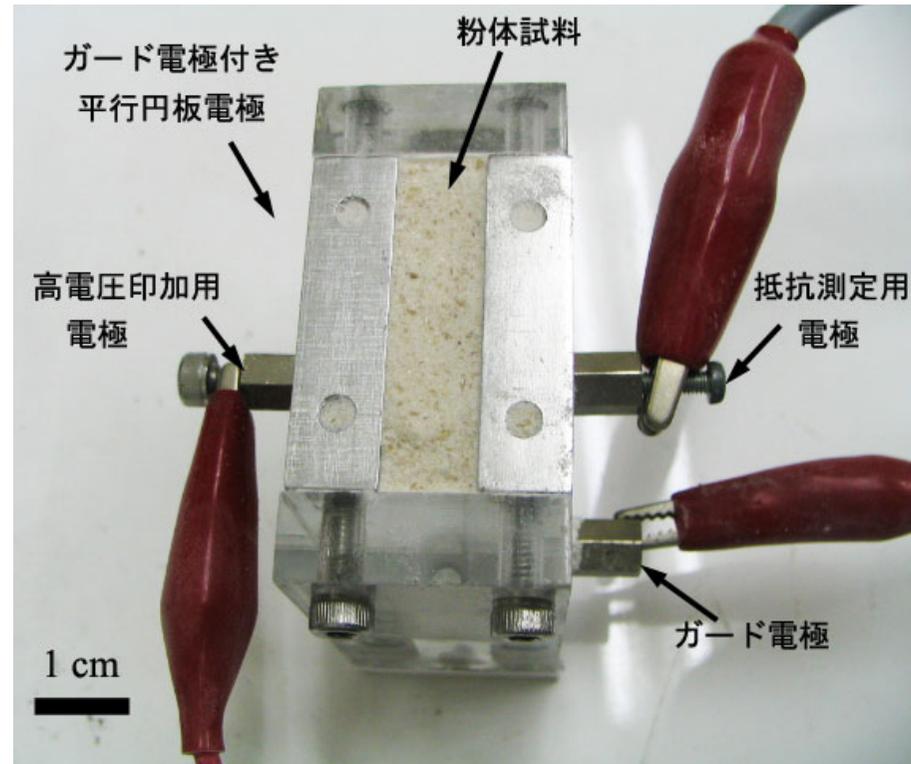
粉体試料(10g)は金属容器と摩擦すると、負に帯電する特性をもっている。比電荷は、平均-14 nC/g、最大は-16 nC/gであり、粉体空気輸送時に発生する比電荷と同レベルで、一般の粉体に比べると高い値を示した。

試験No.	粉体採集量 [g]	帯電量 [nC]	比電荷 [nC/g]	
1	7.53	-126.27	-16.77	
2	7.60	-111.58	-14.68	
3	7.59	-113.86	-15.00	
4	7.37	-93.94	-12.75	
5	7.56	-98.94	-13.09	
平均値	7.53	-108.92	-14.46	

金属容器内に粉体が付着している様子

*比電荷 q は粉体の帯電量(電荷量) Q 及び粉体量 m を $q = Q/m$ の式に代入して計算した値である。

(4) 粉体の(体積)抵抗率



体積抵抗率測定一例

粉体試料の体積抵抗率の測定は室温20℃、相対湿度30%の条件下で行う。粉体試料はデシケータ内に24時間程度静置してから実施する。まず、抵抗測定用容器(ガード電極付きの平行円板電極)に粉体(約8g)を入れ、1kVを印加して流れる電流値に基づき体積抵抗率を求める。測定抵抗値は電圧印加1分経過後の抵抗値(1分値)を採用する。

実験結果

粉体試料の体積抵抗率* (平均値)は $6.17 \times 10^{12} \Omega \cdot m$ であった。
帯電性の指標を見ると、今回の粉体試料は、「**高帯電性物体**」に分類される。

表 粉体試料の体積抵抗率 ρ_v [$\Omega \cdot m$]

No.	質量m [g]	測定抵抗値R [Ω]	体積抵抗率 ρ_v [$\Omega \cdot m$]
1	11.00	1.05×10^{14}	6.19×10^{12}
2	10.48	7.91×10^{13}	4.66×10^{12}
3	10.35	1.30×10^{14}	7.67×10^{12}
平均	10.61	1.05×10^{14}	6.17×10^{12}

注意！

上記の評価は粉体が金属面に停止、あるいはゆっくりと動く際の帯電性を検討するものであり、もし、粉体を空気輸送するには配管との摩擦により抵抗率が低い粉体(例えば、アルミ)でも、帯電する可能性が高い。

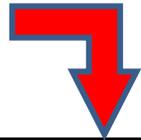
帯電性の指標

帯電の区分	体積抵抗率 [$\Omega \cdot m$]
非帯電性物体	10^8 以下
低帯電性物体	$10^8 \sim 10^{10}$
帯電性物体	$10^{10} \sim 10^{12}$
高帯電性物体	10^{12}以上

*体積抵抗率 ρ は Rk の式に代入して計算した値である。ここでは、 k は電極定数であり、 0.059 m である。

(5) 静電気放電による粉体の着火性

最も重要な指標で非常に重要！



最小着火エネルギー(MIE)：粉じん雲のごく一部に静電気放電を与え、着火・爆発させるために要する放電エネルギーの最小値

静電気放電による粉体試料の最小着火エネルギー測定は、IEC規格に準拠したハルトマン式測定装置を使用する。

粉体試料を爆発容器の底部にセットし、圧縮空気によって容器内に一様に粉体を分散させ、その後、静電気放電電極に高電圧を印加して着火有無を判定するものである。



【MIE実験装置】

【実験映像】 粉体の着火

動画あり

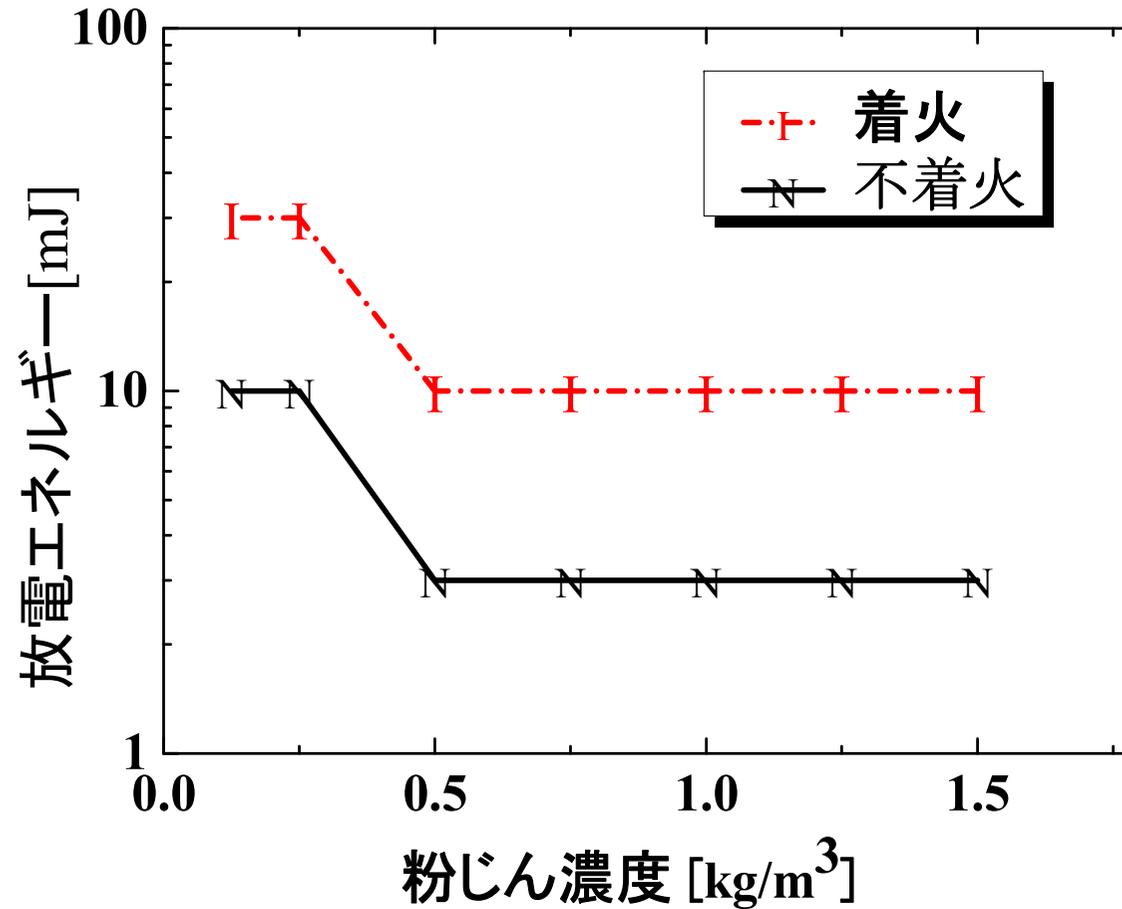


図 トナー原料用粉体の濃度と着火エネルギーとの関係

MIEは各濃度において、着火が生じない放電エネルギーの最大値 E_1 (3 mJ)と、着火が生じた放電エネルギーの最小値 E_2 (10 mJ)の間の値に存在する。その統計的最低着火エネルギー (MIEs) は5 mJとなる。

-
- 1) 篩(網の1目の1辺の長さ: 75mm)を通した微粉体(D50: 49.9 μm)のデータ
 - 2) 同一条件で10回試験を行い、1度も着火しなかった場合を不着火とした。

参考！

粉体の粒径(サイズ)と最小着火エネルギーとの関係

粒径 [μm]	最小着火エネルギー(mJ)
500以上	1000 以上
100程度	100 ~ 300
50 ~ 30	30
30 ~ 10	10
10以下	1 ~ 3 or (1 以下)

静電気放電による着火危険性ない

静電気放電による着火危険性高い

ただし、粒径の管理値は平均値、中央値ではなくD10であること。

注：本表はあくまでも経験値から示したものであり、参考程度とすること。

「間違い・勘違いしやすい・忘れやすい静電気対策」

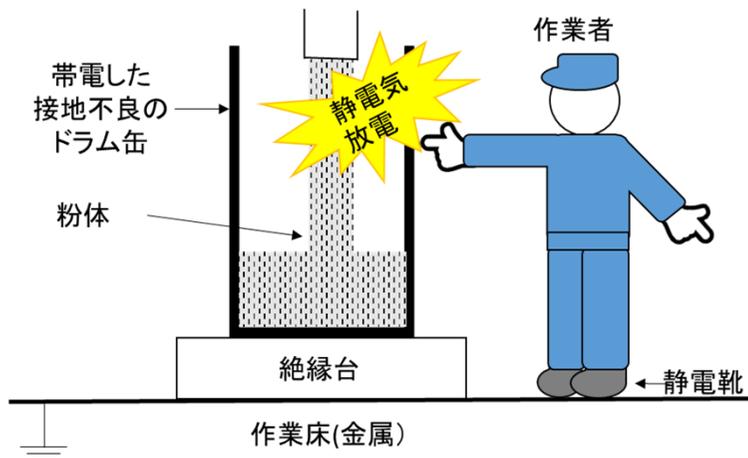
静電気帯電防止用靴(静電靴)

人体と大地間に電氣的に導通をもたらし、人体に発生した静電気を大地へ逃がすことで、人体からの静電気放電を防止

- ・作業者(人体)は、導体！
- ・絶縁性作業靴を履いている場合には、人体が帯電する場合がある。
これらを防止するためには**静電気帯電防止用靴(静電靴)**を着用することが必須である。

・(誤解1) 多くの産業現場において、静電靴を着用したことで、日常的に作業者が静電気放電(電撃)を受けることはない。

- ・静電気放電とは、両物体の電位差(約30kV/cm)が生じると発生するものであり、作業者が0電位(帯電していない状態)だとしても、以下の図のように周りに帯電した物体(接地不良のドラム缶、絶縁性フレキシブルコンテナなど)が存在すれば、帯電した物体から人体へ静電気放電が発生し、電撃を受ける。



注意点！

- ①導電性床を使用すること
- ②静電靴の中敷きを個人の判断で変えないこと
- ③靴底の汚れを除去すること

特に、生産、衛生管理上の理由などから静電靴の上にシューズカバーを着用している現場では、シューズカバーの絶縁性が高いと、作業者が帯電し、火花放電が発生する可能性があるため注意しなければならない。

ここがポイント！

静電靴を着用しても、周りに帯電した物体が存在すると**静電気放電(電撃)**を受ける

静電気帯電防止服(静電服)

コロナ放電を発生する導電性繊維等を織り込んだ静電服は、一般の作業服に比べると帯電レベルが低い

- ・人体の帯電防止: **静電気帯電防止服(静電服)**を着用しなければならない。
- ・(誤解1) 多くの産業現場において、静電服のみで、人体の帯電を完全に防止できる。
- ・静電服のみでは人体の帯電防止効果はほとんどない。**静電靴**の着用が最も大事なのである。
- ・(誤解2) 静電服の代わりに木綿の作業服を着用してもその効果は同じである。
- ・湿度50%以上であればその効果は期待できるかもしれないが、冬場のように湿度が低くなると、木綿の作業服も化繊の作業服と同じように帯電する可能性があることに注意しなければならない。

注意点!

静電服を着用した作業者の周りに高帯電物体(絶縁性フレキシブルコンテナなど)が存在すると、高帯電物体から静電服(人体)に静電気放電が発生しやすくなる可能性が高い。

ここがポイント!

- ・静電服のみでは人体の帯電を防止できないので、静電靴を併せて着用する