

絶縁性フレキシブルコンテナを使用する工程での 静電気危険性およびその対策について学ぶ

2024年12月23日(月)

労働安全衛生総合研究所
崔 光石

choiks@s.jniosh.johas.go.jp
042-491-4512 (内線630)

注意

- ①あくまで研究会の資料であるため、参考程度とすること。
- ②一部のデータについては、再現性などを含め、現在検討中である。

FIBCに関する静電気災害関連動画

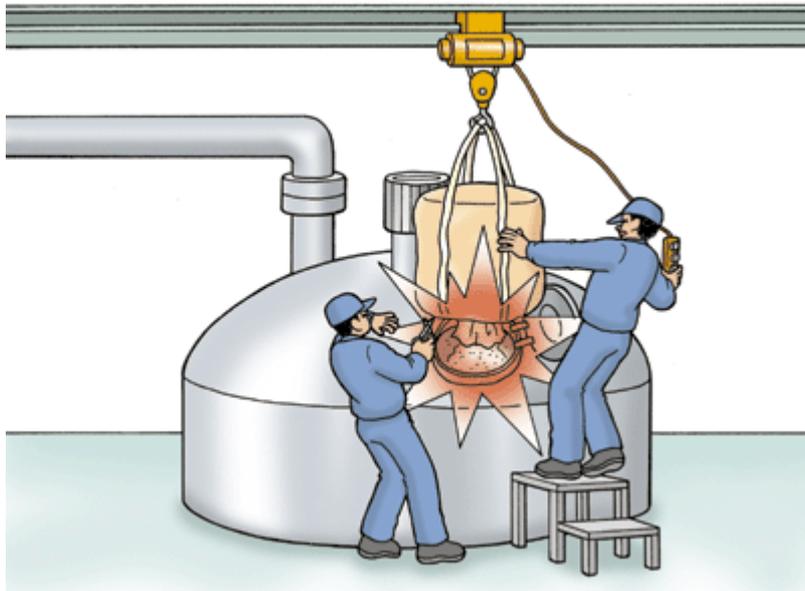
動画あり

□ フレキシブルコンテナ(フレコン、FIBC: Flexible Intermediate Bulk Container)

- ・産業現場で粉体などの保管・運搬に使用される袋状のもの。
- ・投入または排出時に静電気が発生し、強い放電によって粉じん爆発などの事故が頻繁に発生。



出典： https://www.e-hosono.co.jp/wp-content/uploads/container_img003.jpg



出典： <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/sai/image/sai13/sai13-928-43-1.gif>

国内でのFIBC → 主にType AとType C

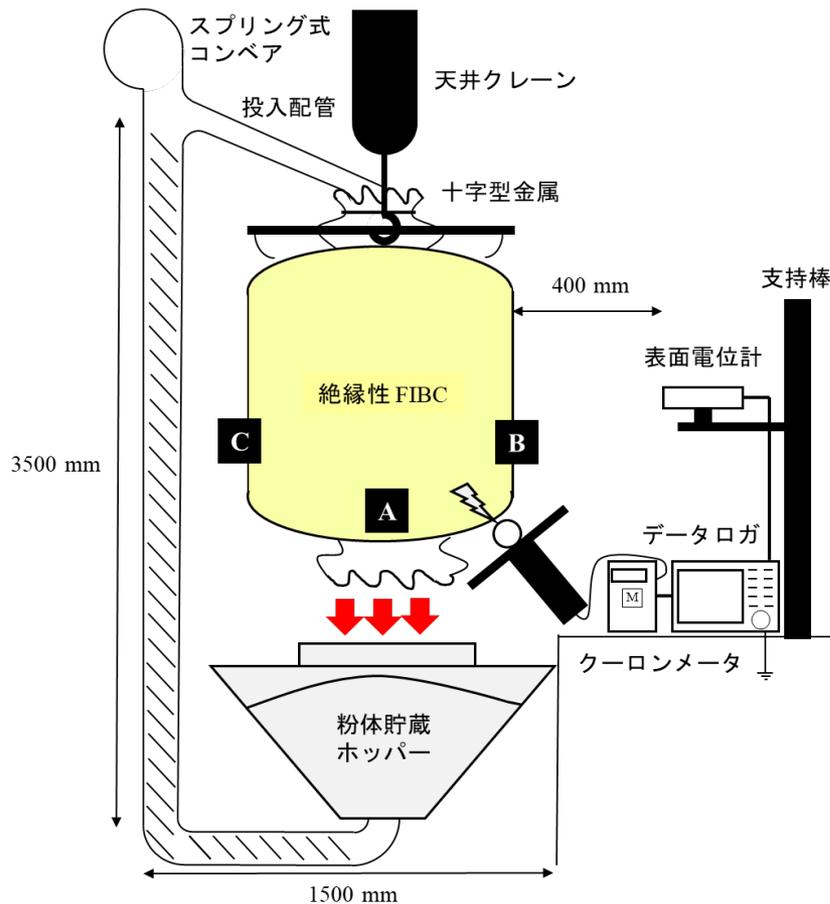
┌ 内袋有：約40%
└ 内袋無：約60%

発生年	被害	FIBCの材質
1982	傷1	絶縁性
1987	死1	絶縁性
1988	死1, 傷1	絶縁性
1994	死1, 傷1	導電性
1997	傷1	絶縁性
2001	傷2	絶縁性
2004	死1	絶縁性
2005	傷1	絶縁性
2012	傷3	絶縁性

今回のターゲット！

- (1) 絶縁性FIBCの帯電レベルはどの程度か？
- (2) 帯電した絶縁性FIBCにおける発生する静電気放電の種類は何か？
- (3) 絶縁性FIBCからの静電気放電の電荷量はどの程度か？
(新型静電気放電電荷量測定器の説明を含む)
- (4) 絶縁性FIBCに粉体を投入する際、静電気放電は発生するのか？
- (5) 静電気災害防止対策はどうすればいいのか？ また、その注意点は？

実験設備と方法



【条件】

- ・ 供給速度 : 0.65 kg/s
- ・ 供給時間 : 180 s
- ・ 温度 $30 \pm 5^\circ\text{C}$ 、湿度 $30 \pm 5\%$



粉体試料 (約300kg)
ポリプロピレンペレット

(1) 絶縁性FIBCの帯電レベルはどの程度か？

絶縁性FIBCに投入

絶縁性FIBCから排出

動画あり

動画あり

注：・FIBCと表面電位との距離：40cm ・測定値×3(較正係数)

・投入流量：0.65 kg/s ・粉体の比電荷：-1.2 $\mu\text{C}/\text{kg}$ ・実験環境：約30°C、約30%

・粉体投入(or 排出)により絶縁性FIBCの表面電位が急激に上昇し100kV(絶対値)を超える。



電界強度 (推測値) : 5 kV/cm ~ 15 kV/cm

複数断面: 電場ノルム (kV/cm)

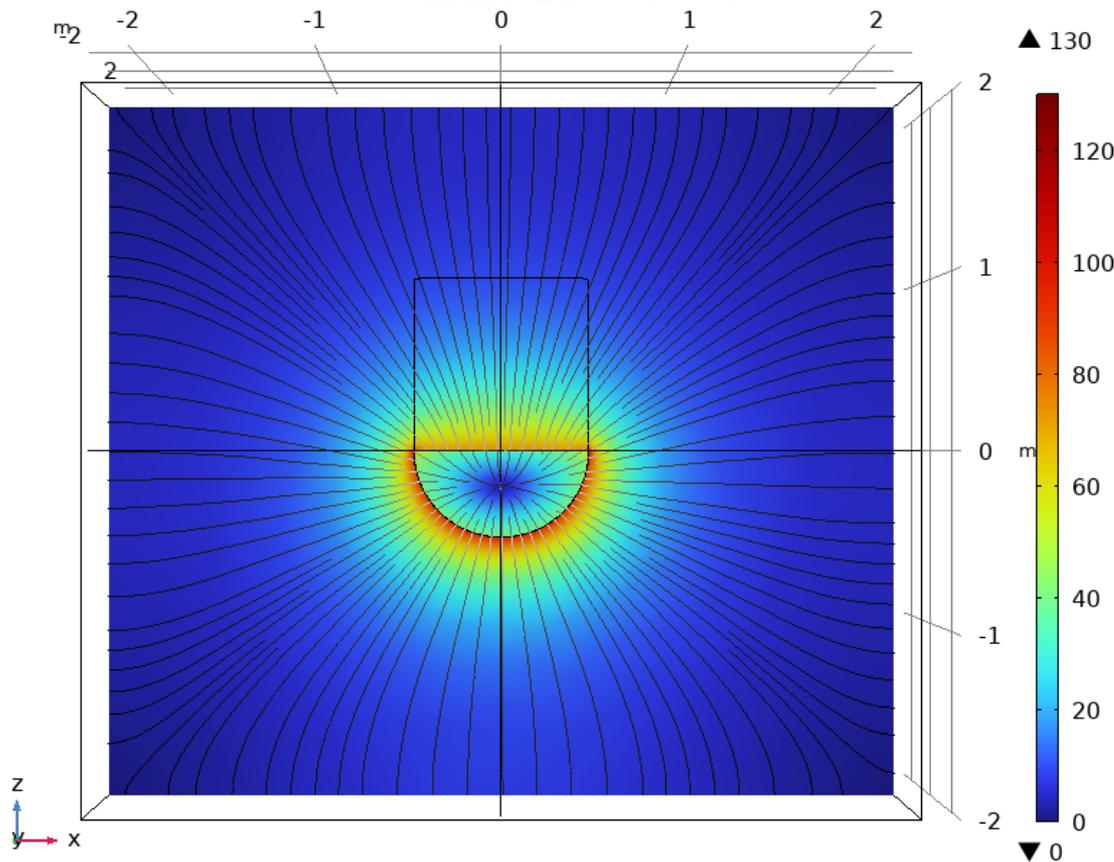


図 Type A FIBC下部の表面のE分布

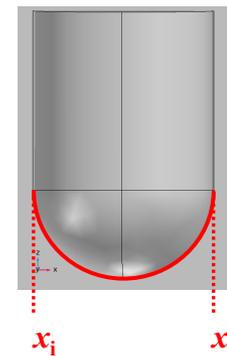
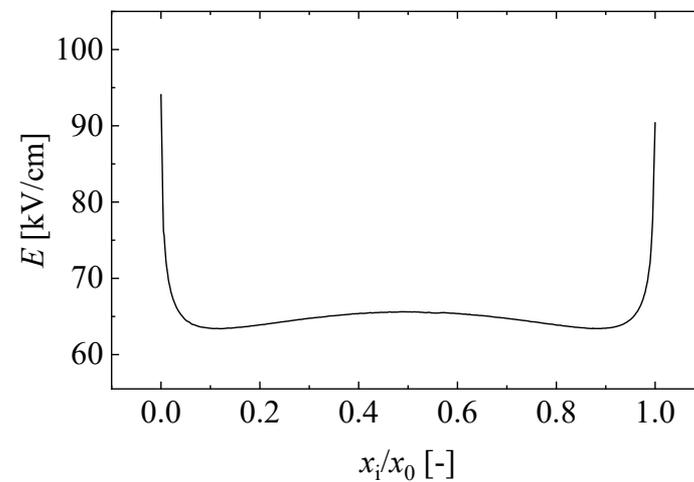


図 絶縁性 FIBC下部と x_i と x_0 の位置関係



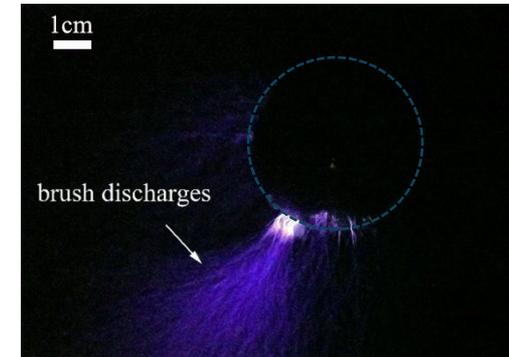
・ 絶縁性FIBCの電界分布は、堆積粉体が入っている部分が全体的に高く、特にその両端が非常に高い。

(2) 帯電した絶縁性FIBCにおける静電気放電の種類は何か？

(FIBCの周りに接地不良の金属が存在する場合も含む)

ブラシ放電

- ・帯電した絶縁性物体と丸い形の導体の間で発生する放電。
- ・空間的・時間的に分散、帯電量の一部が費やされて起こる放電。



火花放電

- ・帯電した導体と導体間で発生する放電。
- ・帯電物体に蓄積されてい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、着火能力が高い。



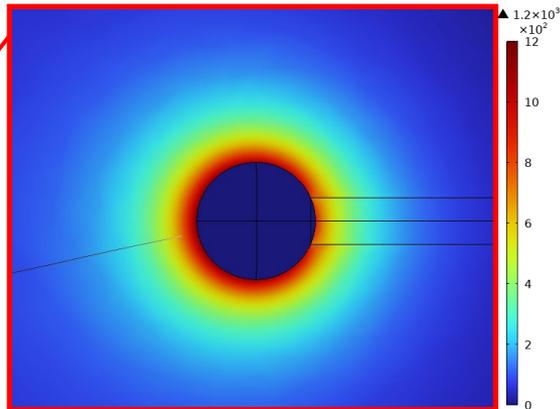
沿面放電

- ・一般的に接地された導体板(背面導体)上に置かれた薄い層状の不導体の帯電量が極めて高くなったときに、不導体の表面に沿って起こる放電。

- 注: ① 接地背面導体がなくても起こる。
② 球の接地電極がなくても起こる。
③ 不導体層の絶縁破壊を起こす。



帯電した絶縁性FIBCと金属製突起物（球電極）との間で**ブラシ**放電



Eスケール変更!

図 接地球電極周辺のE分布

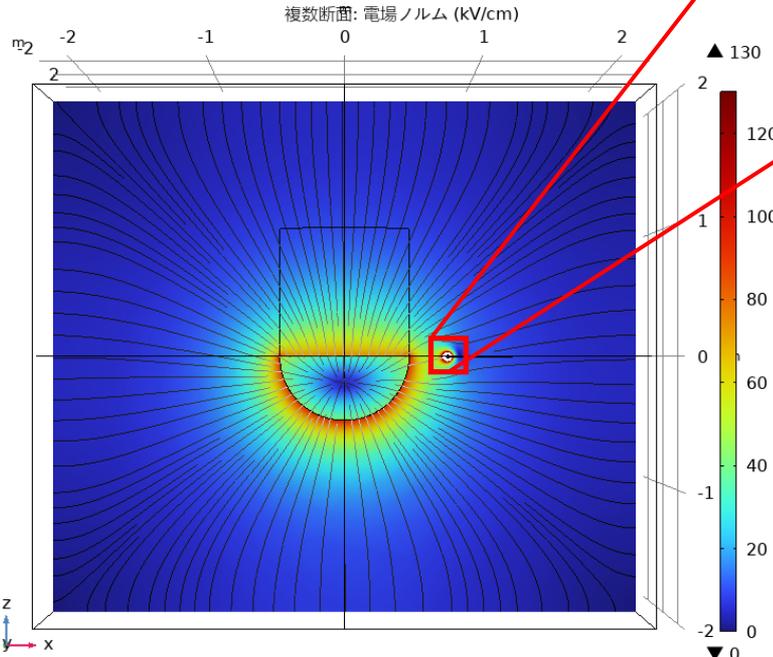
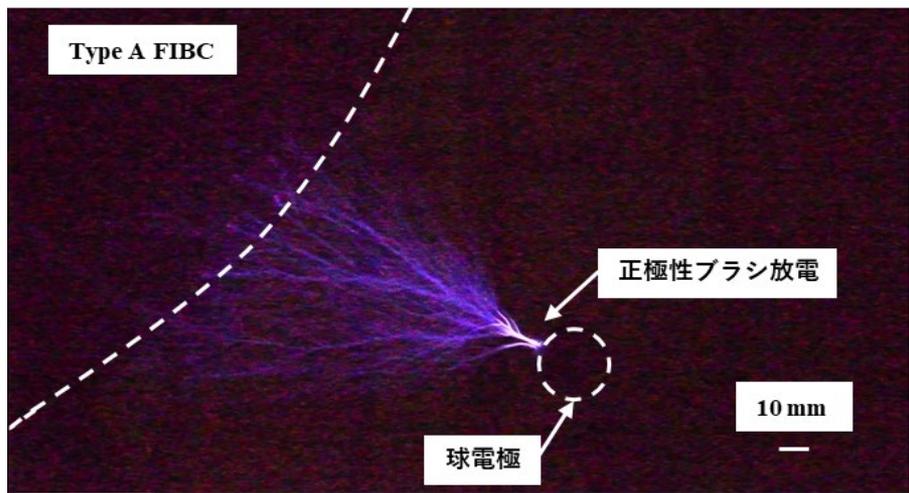
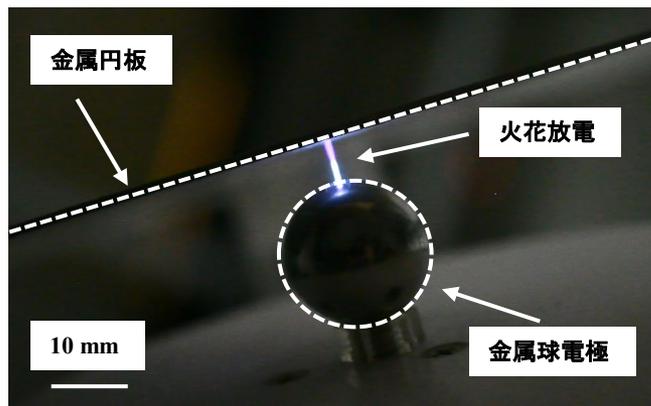


図 接地球電極がある場合のFIBCのE分布



・最大 3 mJ

接地不良の金属円板からの火花放電



・放電エネルギー：
10 mJ
程度

・火花放電での着火実験

動画あり

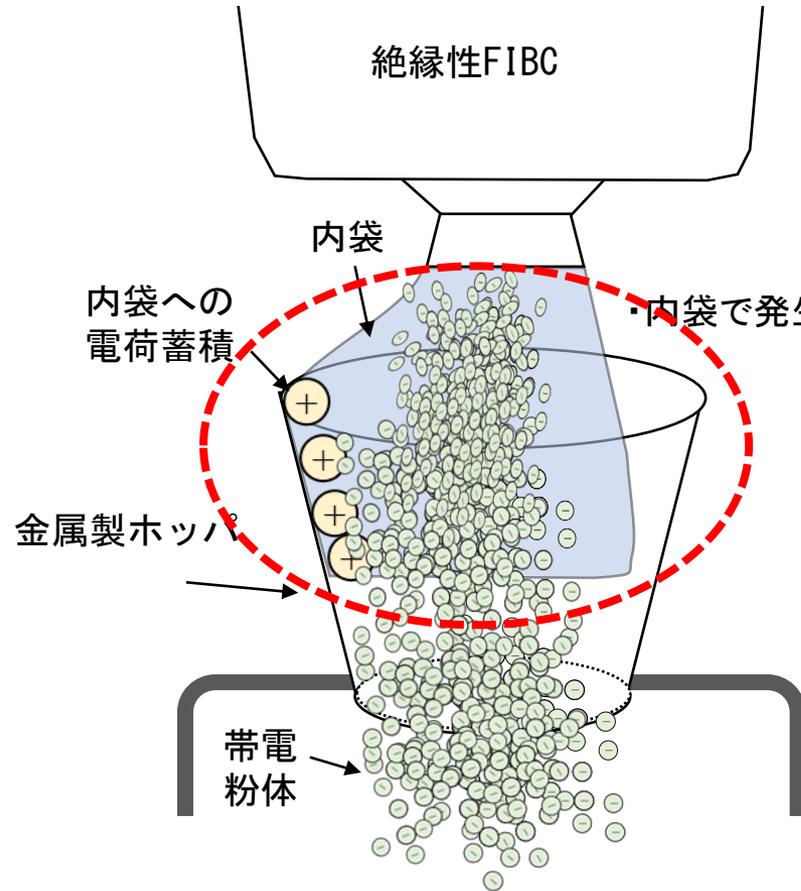


産業現場での接地不良の金属！

- ①ホッパー上の金属製メッシュ
- ②投入配管およびその付属品
- ③移動可能な金属製品（台車など）
- ④作業者

絶縁性FIBCにおける沿面放電

・FIBC本体では発生しない可能性が高い。



・数mJ～数J

・内袋で発生する可能性はある。

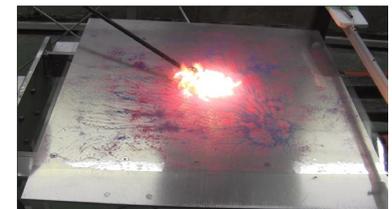
その他：

ホツパから帯電した内袋を剥がす際に**剥離放電**が発生する。

動画あり



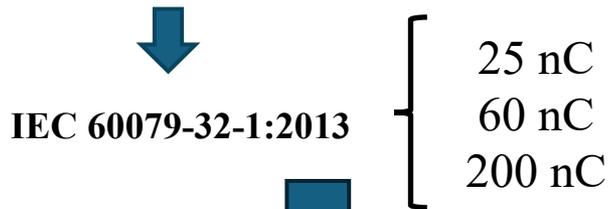
動画あり



(3) 絶縁性FIBCからの静電気放電の電荷量はどの程度か？

■ 静電気放電の危険性を定量的に把握するためには

例：着火試験、**放電電荷量測定**等

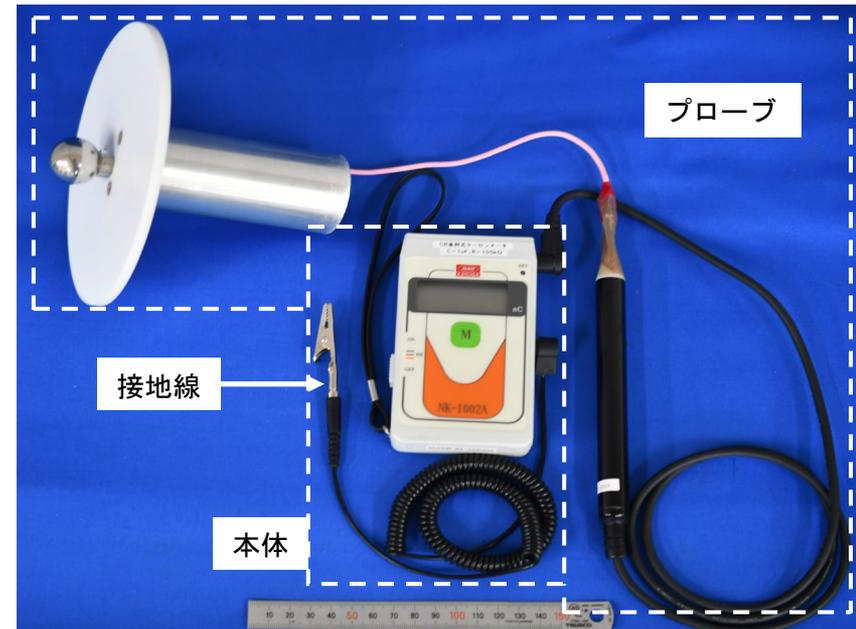


新型静電気放電電荷量測定器

主な特徴！



- ① 静電誘導の影響を最小化
帯電物体からの静電誘導の影響をほとんど受けない設計
- ② 多様な放電形態に対応
産業現場で発生しやすい火花放電、ブラシ放電、沿面放電の電荷量を測定可能
- ③ 最大値表示機能
複数回の連続放電が発生した場合、その最大値を自動で表示
- ④ 簡単な操作
誰でも簡単に測定を行うことができる



絶縁性FIBC本体からのブラシ放電の電荷量 Q_d

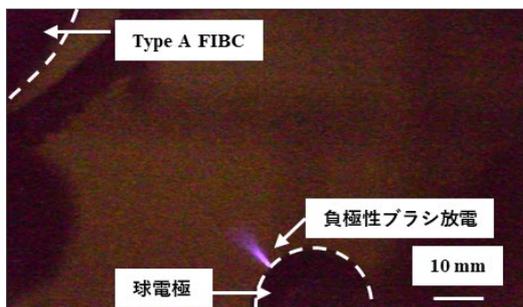


表2 排出後の絶縁性FIBC本体（内袋有）の3箇所からのブラシ放電電荷量 Q_d

測定順番	V_{s-A} [+kV]	Q_d [+nC]	V_{s-B} [+kV]	Q_d [+nC]	V_{s-C} [+kV]	Q_d [+nC]
ABC	108	94 (138)	88	64 (91)	72	42 (56)
BCA	110	86 (107)	86	56 (82)	76	40 (66)
CBA	104	71 (91)	84	73 (129)	58	35 (58)
ACB	114	95 (153)	94	68 (102)	76	70 (111)
BAC	97	97 (149)	69	39 (87)	64	59 (87)
CAB	105	85 (109)	85	45 (69)	71	60 (100)

()は最大値

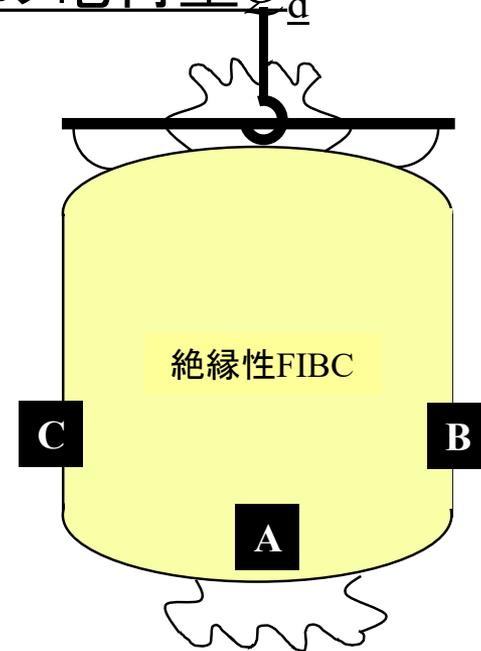


図5 絶縁性FIBCの Q_d 測定箇所

- 測定箇所: 3か所
- 測定方法: 各測定箇所の順番を変えながら測定

- 複数箇所の Q_d 測定において、ほとんどの場合、最初に測定した箇所が最も大きい。
- 内袋無の場合でも同様の傾向である。

Q_d : 60 nCを超えており、可燃性溶剤を含んだ粉体の場合、危険性が高い。

接地不良金属からの火花放電の電荷量 Q_d

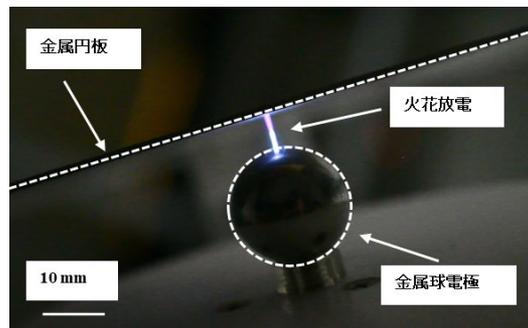


表3 金属円板からの Q_d

実験回数	V_s [kV]	Q_d [nC]
1	+39.9	+281
2	+40.0	+338
3	+52.4	+446
4	+44.9	+273
5	+48.6	+287
平均値	+45.2	+325

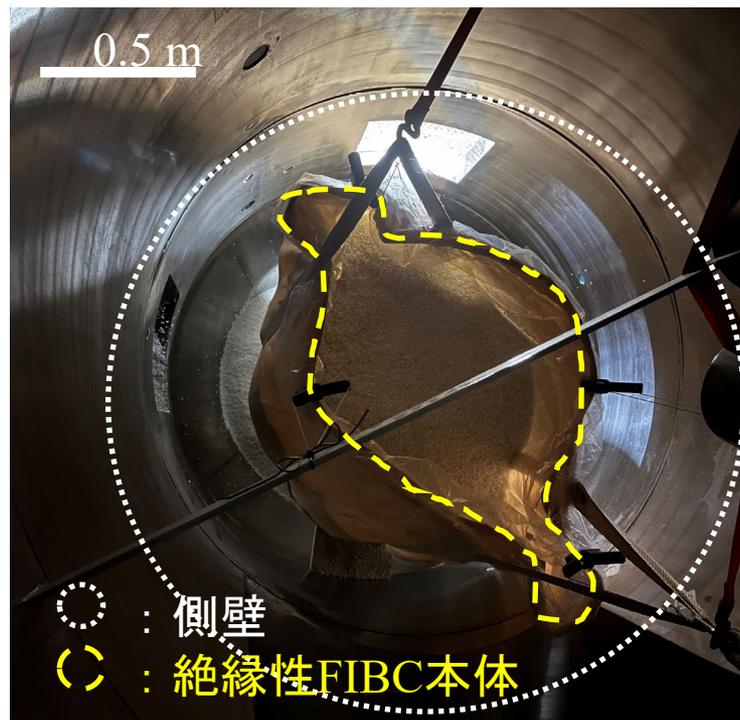
Q_d : 200 nCを超えており、粉体の場合でも、危険性が高い。

・金属円板（静電容量 $C_f = 10$ pF）から得られた火花放電の電荷量 Q_d の最大値（+446 nC）の時の放電エネルギー W は、

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \frac{Q_d^2}{C_f} \\
 &= \frac{1}{2} \times \frac{(446 \text{ nC})^2}{(10 \text{ pF})} \\
 &= 9.95 \text{ mJ}
 \end{aligned}$$

(4) 絶縁性FIBCに粉体を投入する際、静電気放電は発生するのか？

動画:16倍早送り再生



投入流量: 1kg/s

投入粉体の比電荷: 10 $\mu\text{C}/\text{kg}$

試験環境: 約30°C、約30%

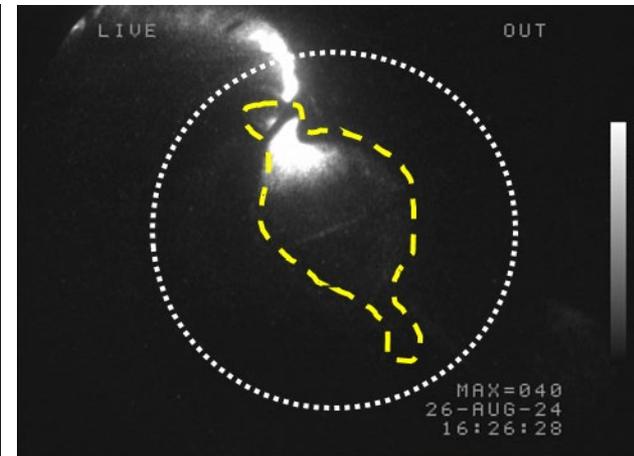
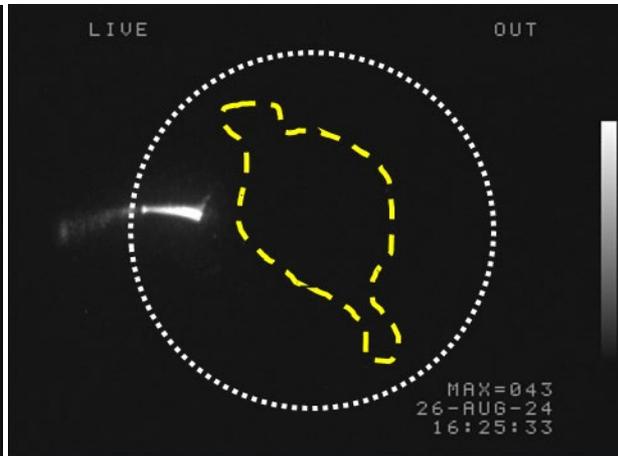
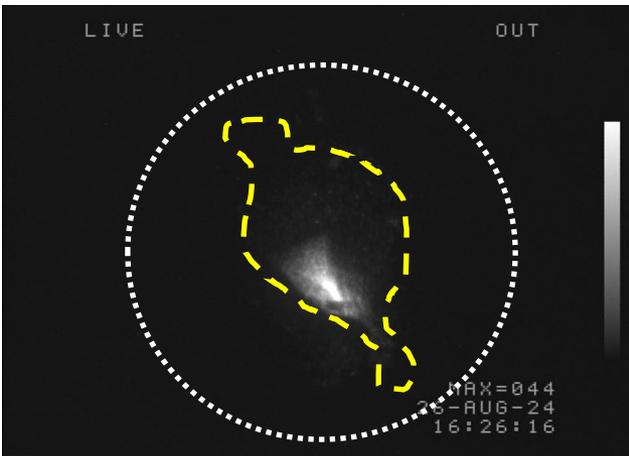
静電気放電の分類

例

その1: 内部で発生する放電

その2 外部で発生する放電

その3 外・内部を貫通して発生する放電



(推測値*)

放電電荷量：数十nC
放電エネルギー：1mJ以下

数十nC～数百nC
約3mJ以下

数百nC～数μC
数十mJ

	静電気放電発生回数 (回)
内側	20
外側	13
内側と外側	5

注：推定値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。

(5) 静電気災害防止対策はどうすればいいのか？ また、注意点は？

主な対策！

MIE：3 mJ以下

① 着火性が高い粉体や可燃性溶剤を取り扱う場合

・帯電防止FIBC(タイプCまたはタイプD)を使用すること。

② 内袋の使用に関する注意

・帯電防止内袋を、タイプCのFIBCと組み合わせて使用すること。

参考規格: JIS C 61340-4-4 または IEC 61340-4-4

③ 作業環境での対策

・作業者の静電気帯電防止を実施すること。
・周辺にある導体制の工具や容器は必ず接地すること。

④ 粉体の帯電性・着火性が極めて高い場合

・着火防止対策を講じること。

注意点！

① タイプC帯電防止FIBCについて

・必ず接地を行う。

② 帯電防止剤入り内袋の性能について

・一部の内袋(例: 表面抵抗率が $10^{13}\Omega$ 程度以上)の場合、帯電防止効果が期待できないことがある。

③ 静電気防止FIBCの特性について

・FIBC本体の帯電防止には有効であるものの、粉体自体の帯電防止には効果が期待できない。

導電性糸を適当な間隔で練り込んで作ったものであり、これを接地することによりFIBCの電位上昇を抑制するもの。



帯電防止FIBC(タイプC)