

労働安全衛生総合研究所技術指針

TECHNICAL RECOMMENDATIONS
OF NATIONAL INSTITUTE
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIOSH-TR-NO.42 (2007)

静電気安全指針 2007

序

静電気安全指針は労働・製造現場における静電気に起因する災害を防止するための技術的な指針として1977年に初版を1988年に第2版を出版し、静電気安全対策の我が国唯一のガイドラインとして産業界で広く利用され、その役割を果たしてきたところである。

しかし、前回の改訂から既に十年以上経過しており、科学技術の進歩にともなう製造工程の変化など、労働・製造現場を取り巻く環境は大きく変化している。さらに、国際的な流れを受けて、規格・標準は構造を規定するものから、機能・性能を規定する方向にあり、安全管理も従来の安全基準遵守方式だけではなく、リスクアセスメントに基づいたリスク低減方式を導入する方向へと展開している。このような現状に対応するため静電気安全指針の内容を再検討の上、改訂原案を作成し、産官学の専門家とユーザからなる委員会による原案審議を経て、第3版の静電気安全指針を出版することとなった。

今回の改訂では、上記の産業現場の変遷と国際的な情勢を考慮したほか、当所の研究成果および内外における規格、文献をもとに新しい知見を導入し、各種の新しい工程、素材などに対応するための対策も含めて種々の工程における個別の対策を追加して示すとともに、我が国の静電気安全のレベルの向上のため静電気安全の基礎の理解にも重点をおいている。

さらに、国際的にはすでに標準であり、我が国でも平成18年4月から施行された改正労働安全衛生法にも示されている安全管理の重要な技術の一つであるリスクアセスメントを実施できるよう静電気着火の原因となる危険源の特定法と静電気対策（リスク低減策）を示している。本指針を、静電気災害防止のために実施するリスクアセスメントの技術的なよりどころとして、活用していただければ幸いである。

最後に、本指針の原案審議に当たり、ご協力を頂いた静電気安全指針改訂原案審議委員会の各位および社団法人産業安全技術協会に対して、深甚の謝意を表す。

2007年6月1日

独立行政法人労働安全衛生総合研究所
理事長 荒記 俊一

はしがき

静電気災害防止の基本は(1) 接地・ボンディング, (2) 不導体の排除, (3) 不導体の静電気対策, (4) 作業者の帯電防止・接地, (5) 爆発性雰囲気防止, (6) 安全管理である。ここに挙げている個々の静電気対策自体は必ずしも難しいものではない。それにも拘わらず、未だに静電気による災害は起きている。この災害の由来は静電気が危険であるという認識不足か、あるいはその危険性を十分に把握して静電気対策を施しているが、その対策あるいは管理が不十分であることにある。

この指針の目的は静電気災害の防止であることはいうまでもないが、管理者から作業員までが静電気の危険性を把握し、静電気安全の基礎を理解して、安全で安心な労働環境の構築を支援することである。換言すれば、我が国の静電気安全のレベルのボトムアップである。この目的のために本指針では

- (1) 静電気の基礎的理解（静電気リスクアセスメント実施のための基礎）
- (2) 静電気危険性の把握と評価（危険源の特定、リスクの見積）
- (3) 静電気災害防止対策（リスク低減策）
- (4) 安全維持・管理

の項目を示す。基礎を十分に理解することが静電気対策の基本であり、基礎があつての対策でなければならない。そうすれば、対策の意味を理解できるようになり、事故の原因となる作業員が効率化などのため行う静電気対策としては誤った行動も防止することができる。また、静電気リスクアセスメントの実施にはこの基礎が不可欠である。静電気安全の理解レベルの向上は最終的にこの指針の目標の事故の未然防止につながると考える。

従来の指針が出版された当時は安全基準遵守の管理方式に基づいて指針・規格が作成されていた。しかしながら、どのように対策しても物質が存在する限り多かれ少なかれ静電気は発生するので、可燃性物質を取り扱っているかぎり絶対安全はありえない。このような考えから、あらかじめ危険源を特定して、そのリスクを見積り、そのリスクが許容可能なリスクであるかを評価し、そうでなければ、許容可能なリスクとなるまでリスク低減策（静電気対策）を講ずるというリスクアセスメントが誕生した。これがリスク低減管理方式であり、欧州で数十年の試行錯誤の後に確立された安全技術である。我が国でも平成18年4月の改正労働安全衛生法の施行により、第28条の2にリスクアセスメントを講ずるように努めなければならないことが明示されるようになった。この指針でもこれに対応して、リスクアセスメントが実施されることを前提として静電気対策（リスク低減策）を述べている。この点が従来の指針と大きく異なる点である。各種の工程で危険源の特定に参考となる静電気の危険性評価と普遍的なリスク低減策を示しているため、この指針の利用者それぞれが異なるであろう許容可能なリスクにするリスクアセスメントを実施する際、また、リスクマネジメントに基づいた社内規定（マニュアル）を作成する際の参考としてこの指針を利用されたい。

まず、第1章では指針の適用範囲と目的、第2章ではこの指針で用いられている用語の定義、記号および単位を示している。次に、第3章では、静電気がいかんして帯電し、静電気放電が起こり、

可燃性物質を着火しているのかという現象とその危険性の把握および対策の意味を理解するため、静電気安全の基礎を詳細に説明している。第4章では、静電気の危険性の把握と一般的な静電気対策の要点を簡潔にまとめている。第5章から第7章では、静電気対策の基幹である導体の接地・ボンディング、作業者の静電気対策および不導体の静電気対策を述べている。第8章から第11章では、液体、粉体、固体および気体に分けて、各種の工程の静電気対策を示している。付録では、静電気対策が困難な場合に実施される爆発性雰囲気形成を防止するための対策、各種の静電気対策用の材料・用品、静電気の安全管理とリスクアセスメント、リスクアセスメントに必要とされる管理指標、基本的な静電気の測定方法、静電気災害防止対策に関連する出版物のリストと法規、リスク分析に必要な種々の数値データを示している。さらに、今回の改訂では、新たな知見を追加・補充するとともに静電気に起因した事故が多い工程についてはその対策を工程ごとに詳述している。また、リスクアセスメントの参考となるので、対策等の科学的根拠を解説するとともに引用文献も示している。

静電気対策には多少複雑な点もある。この指針が必ずしも個々の工程に適用できない、あるいは静電気対策が困難な場合もあるであろう。このようなときは誤った対策などを避けるため専門家のアドバイスを求めることも必要である。

指針には補充的な参考として別冊の静電気用品構造基準と応用編追補がある。静電気用品構造基準はこの指針に示した対策を実施する場合に必要な用品、機器等の構造上の基準を示したものであり、構造、性能、試験方法等が示されている。応用編追補は指針の活用例を示したものであり、設備、作業等の対象別に対策の活用例が示されている。

目次

第1章 適用範囲、目的	1
1.1 適用範囲	1
1.2 目的	1
第2章 用語の定義	2
2.1 はじめに	2
2.2 電荷	2
2.2.1 空間電荷	2
2.3 電荷密度	2
2.3.1 表面電荷密度	2
2.3.2 空間電荷密度	2
2.3.3 粉体の質量比電荷	2
2.4 電位	3
2.5 電圧	3
2.6 電界	3
2.7 電流	4
2.8 抵抗	4
2.9 表面抵抗率	4
2.10 体積抵抗率	5
2.11 漏洩抵抗	5
2.12 静電容量	5
2.13 誘電率	6
2.14 導電率	6
2.15 電荷緩和	6
2.16 導体と不導体	6
2.17 ボンディング	6
2.18 導電性材料	7
2.19 帯電防止材料	7
2.20 帯電防止剤	7
2.21 静電気放電	7
2.22 着火限界, 最小着火エネルギー	7
2.23 等価エネルギー	8
2.24 危険場所	8
2.25 可燃性ガスのクラス分け	8
2.26 リスクアセスメント	9
2.26.1 安全	9

2.26.2	リスク, risk	9
2.26.3	危害, harm	10
2.26.4	危険性, 危険源, hazard	10
2.26.5	許容可能なリスク, tolerable risk	10
2.26.6	リスク低減策	11
2.26.7	残留リスク	11
2.26.8	リスク分析	11
2.26.9	リスク評価	11
2.26.10	リスクアセスメント	11
第3章	静電気安全の基礎	12
3.1	はじめに	12
3.2	静電気の帯電	12
3.2.1	電荷分離	12
3.2.2	電荷緩和	13
3.2.3	電荷蓄積	13
3.3	種々の静電気帯電	14
3.3.1	電荷分離による帯電	14
3.3.1.1	電荷分離による帯電に影響する要因	15
3.3.2	誘導帯電	15
3.4	静電気放電と着火	17
3.4.1	静電気放電	17
3.4.2	放電エネルギー	18
3.4.3	着火	18
3.4.4	最小着火エネルギー	19
3.4.5	火花放電 (スパーク)	20
3.4.5.1	火花放電の発生	20
3.4.5.2	火花放電の危険性評価	21
3.4.5.3	火花放電の防止	21
3.4.6	コロナ放電	22
3.4.7	ブラシ放電	23
3.4.7.1	ブラシ放電の発生	23
3.4.7.2	ブラシ放電の危険性評価	23
3.4.7.3	ブラシ放電の防止	24
3.4.8	沿面放電	25
3.4.8.1	沿面放電の発生	25
3.4.8.2	沿面放電の防止	26
3.4.9	コーン放電	26
3.4.9.1	コーン放電の発生	26
3.4.10	雷状放電	27
3.5	静電気力による力学現象	27

第4章	静電気の危険性評価と災害防止対策の一般論	28
4.1	静電気危険性の評価	28
4.2	静電気災害防止対策の基本	28
4.3	静電気の抑制	30
4.3.1	導体の接地とボンディング	30
4.3.2	不導体の排除・導電性材料の活用	30
4.3.3	作業者の接地と帯電防止	30
4.3.4	電荷発生の抑制	30
4.3.5	除電	30
4.3.6	静電遮へい	31
4.4	着火防止	31
4.5	安全管理	31
第5章	接地とボンディング	32
5.1	接地・ボンディングの目的	32
5.2	接地・ボンディングの適用範囲	32
5.3	接地・ボンディングの対象	32
5.4	漏洩抵抗	33
5.5	ボンディングの抵抗	33
5.6	接地・ボンディングの方法	33
5.6.1	接地極	33
5.6.2	接地・ボンディング線	33
5.6.3	接続端子	33
5.6.4	接地・ボンディングの注意点	34
5.7	接地・ボンディングの保守管理	35
第6章	作業者の静電気対策	36
6.1	作業者の帯電の危険性	36
6.2	作業者の静電気対策	36
6.2.1	作業者（人体）の接地	36
6.2.2	作業服の帯電防止	37
6.2.3	安全作業の励行	37
6.3	安全管理	38
6.4	電撃	38
第7章	不導体の静電気対策	40
7.1	不導体の静電気危険性	40
7.2	不導体の抵抗率・導電率	40
7.3	不導体の制限	40
7.4	導電性の向上	40
7.4.1	金属材料の使用	41
7.4.2	導電性材料の利用	41
7.4.3	帯電防止剤の利用	41
7.4.4	帯電防止材料の利用	41

7.4.5	加湿	42
7.5	静電遮へい	42
7.5.1	遮へい材	42
7.5.2	遮へいの方法	42
7.5.3	遮へいの例	42
7.6	除電器の併用	43
7.6.1	自己放電式除電器	43
7.6.2	電圧印加式除電器	43
7.6.3	放射線式除電器	44
7.6.4	軟 X 線式除電器	44
第 8 章	液体の静電気対策	45
8.1	液体・ミストの帯電による着火	45
8.1.1	可燃性雰囲気形成	45
8.1.2	静電気の危険性	45
8.2	液体の導電率	45
8.3	タンクサイズのクラス分け	45
8.4	パイプ輸送	46
8.4.1	液体流の静電気対策	46
8.5	充填	47
8.5.1	充填の静電気危険性	47
8.5.2	充填の静電気対策	47
8.5.2.1	充填の一般的な静電気対策	47
8.5.2.2	低導電率液体の充填	48
8.5.2.3	タンクローリー・タンク車	49
8.5.2.4	タンカー	49
8.5.2.5	ホース	49
8.6	移し替え	50
8.7	検尺・サンプリング	50
8.8	絶縁性容器・パイプ・ホース・バルブ	50
8.9	静置時間	51
8.10	静電遮へい	52
8.11	混合・攪拌	52
8.11.1	インライン混合	53
8.11.2	ジェットミキサ	53
8.12	タンク洗浄	54
第 9 章	粉体の静電気対策	55
9.1	粉体の帯電による着火	55
9.1.1	可燃性粉体と爆発性雰囲気形成	55
9.1.2	粉体の静電気危険性と着火性	55
9.2	粉体の取扱いに関する一般的な静電気対策	55
9.2.1	各種工程の静電気対策と注意点	57
9.2.1.1	空気輸送	57

9.2.1.2	充填・排出	57
9.2.1.3	液体への粉体投入	58
9.2.1.4	容器, 袋からの排出	58
9.2.1.5	布製品の対策	59
9.3	絶縁性容器	59
9.4	フレキシブルコンテナ (FIBC)	59
9.4.1	静電気対策品の種類	60
9.4.2	フレキシブルコンテナの選定	60
9.4.3	使用上の一般的注意事項	61
第 10 章	固体の静電気対策	62
10.1	絶縁性固体の取扱いにおける一般的な静電気対策	62
10.2	各種の工程の注意事項	62
10.2.1	プラスチックの練り・剥離・研磨	62
10.2.2	ベルト駆動・コンベア	62
10.2.2.1	ベルト駆動	63
10.2.2.2	コンベアベルト	63
10.2.3	ロール工程	63
10.2.4	火工品の取り扱い	64
第 11 章	気体の静電気対策	65
11.1	はじめに	65
11.2	気体の静電気対策	65
11.2.1	気体の輸送	66
11.2.2	液体・粉体塗装	66
11.2.3	真空掃除機	66
付 録 A	爆発性雰囲気形成抑制	67
A.1	危険場所	67
A.1.1	ガス・蒸気危険場所	67
A.1.2	粉じん危険場所	68
A.2	ガス・蒸気爆発性雰囲気抑制	68
A.2.1	可燃性ガス・液体の不要残留の除去	68
A.2.2	可燃性ガス・液体の漏洩防止	68
A.2.3	可燃性ガス・蒸気の放出管理	69
A.2.4	自然換気による可燃性ガス・蒸気の滞留防止	69
A.2.5	強制換気による可燃性ガス・蒸気の滞留防止	69
A.3	粉じん爆発性雰囲気抑制	69
A.3.1	粉体の取扱いに関する一般的対策	69
A.3.2	可燃性粉体の漏洩防止	71
A.3.3	可燃性粉体の飛散・堆積防止	71
A.4	不活性ガスによる置換・シール	72
A.4.1	不活性ガスによる置換・シールの意味	72
A.4.2	不活性ガスの種類	72

A.4.3	管理酸素濃度	72
A.4.3.1	管理酸素濃度	72
A.4.3.2	反応槽などの置換・シールにおける濃度の推定	72
A.4.4	不活性ガスによる置換・シールの方法	73
A.4.4.1	バッチ式置換・シール	73
A.4.4.2	連続式置換・シール	73
A.4.5	不活性ガスの供給設備	73
A.4.5.1	設置位置の選定	74
A.4.5.2	不活性ガス保有量	74
A.4.5.3	不活性ガス圧力の確保	74
A.4.5.4	非常用電源	74
A.4.6	爆発上限による管理	75
A.4.7	爆発下限による管理	75
A.4.8	災害の局限化	75
付録 B	導電性材料，帯電防止材料および帯電防止剤	76
B.1	導電性材料の種類	76
B.2	帯電防止材料	76
B.2.1	導電性繊維の利用	76
B.2.2	各種の帯電防止用品	77
B.2.3	帯電防止剤	77
B.2.3.1	帯電防止剤の種類	77
B.2.3.2	帯電防止剤の用途	78
B.3	帯電防止作業床	78
付録 C	静電気の安全管理	79
C.1	安全管理	79
C.1.1	安全管理体制の確立	79
C.1.2	安全点検	79
C.1.3	安全管理マニュアル	80
C.1.4	測定管理事項	80
C.1.5	安全教育・訓練	81
C.2	リスクアセスメント	81
C.2.1	静電気リスクアセスメント	83
C.2.2	災害事例の検討	84
付録 D	静電気対策のための管理指標	86
D.1	導体の管理指標	86
D.1.1	火花放電の防止	86
D.1.2	最大帯電電位と最大電荷量	86
D.1.3	漏洩抵抗の管理指標	86
D.2	帯電性の管理指標	86
D.3	不導体の管理指標	87
D.3.1	不導体の面積・幅による管理指標	87

D.3.2	不導体の帯電電位の管理指標	87
D.3.3	不導体の表面電荷密度の管理指標	87
D.4	帯電雲の管理指標	88
D.4.1	接地金属容器内の帯電雲によるブラシ放電	89
付録 E	静電気の測定	90
E.1	測定による危険性の把握と安全管理	90
E.2	測定上の注意点	90
E.3	電位・電界測定	90
E.3.1	接触による電位測定	90
E.3.2	非接触による電位・電界測定	90
E.4	電荷測定	92
E.4.1	ファラデーケージ	92
E.4.2	電界計・表面電位計による表面電荷密度の測定	92
E.4.3	電界計による空間電荷密度の測定	93
E.4.4	吸引ファラデーチューブによる空間電荷密度の測定	93
E.5	発生電荷の測定	94
E.6	表面電荷分布の観測（ダストフィギュア法）	95
E.7	静電気放電の測定	96
E.8	抵抗・静電容量等測定の前処理と測定環境	96
E.8.1	固体	97
E.8.2	液体	97
E.8.2.1	電極の洗浄	97
E.8.3	粉体	97
E.8.4	測定環境	98
E.9	抵抗の測定	98
E.9.1	抵抗の測定法	98
E.9.2	高抵抗物質の電流	98
E.9.3	印加電圧	99
E.9.4	体積抵抗と表面抵抗	99
E.9.5	体積抵抗率および表面抵抗率	99
E.9.6	漏洩抵抗・ボンディング抵抗の測定・点検	100
E.9.7	設備などの接地抵抗の測定・点検	100
E.9.8	作業床の漏洩抵抗の測定	100
E.9.9	粉体の抵抗率測定	101
E.9.10	液体の導電率測定	101
E.10	静電容量の測定	102
E.10.1	交流測定法	103
E.10.1.1	I-V 法	103
E.10.1.2	共振法	103
E.10.1.3	ブリッジ法	103
E.10.2	直流測定法	103
E.10.2.1	電荷分割法	104

E.10.2.2 電荷緩和法	104
E.10.3 作業者の対地静電容量の測定	105
E.10.4 不導体の見かけの対地静電容量の測定	106
E.10.5 比誘電率の測定	106
付録 F 静電気安全の関連出版・法規	107
F.1 図書	107
F.2 標準・規格	108
F.2.1 日本工業規格	108
F.2.2 産業安全研究所技術指針	109
F.3 静電気災害防止に関する国内法規	109
F.3.1 労働安全衛生法関係	109
F.3.2 高圧ガス保安法関係	111
F.3.3 消防法関係	117
F.3.4 火薬類取締法関係	121
F.3.5 鉱山保安法関係	122
F.3.6 石油パイプライン事業法関係	123
F.3.7 船舶安全法関係	123
F.3.8 ガス事業法関係	124
F.3.9 電気事業法関係	125
F.3.10 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	125
付録 G 静電気災害防止に関する物性データ	127
G.1 可燃性気体・液体蒸気の着火性	127
G.2 粉じんの着火性	140
G.3 気体・液体蒸気の限界酸素濃度	153
G.4 粉じんの限界酸素濃度	154
G.4.1 粉じんの限界酸素濃度-1	154
G.4.2 粉じんの限界酸素濃度-2	156
G.5 液体の電気特性	157
G.6 固体絶縁物の電気特性	162
G.7 データベース	163
付録 H 用語集	165
参考文献	171
索引	175

目 次

2.1	電位と電界	4
2.2	表面抵抗率と表面抵抗	5
2.3	接地とボンディング	7
2.4	典型的な最小着火エネルギーと可燃性ガス・空気混合気の濃度との関係	8
2.5	リスクアセスメントの手順	10
3.1	電荷分離による静電気の発生	12
3.2	電荷緩和の回路モデル	13
3.3	電荷蓄積（静電気帯電）のモデル	14
3.4	帯電の例	16
3.5	誘導帯電	17
3.6	帯電と静電気放電	18
3.7	放電エネルギーと最小着火エネルギー	19
3.8	静電気放電	20
3.9	火花放電の危険性評価	21
3.10	導体の漏洩抵抗による火花放電の危険性評価	22
3.11	不導体表面の平均電位とブラシ放電の放電エネルギーとの関係	24
3.12	沿面放電の発生限界	25
4.1	静電気災害の発生と防止対策のフロー	29
5.1	接地端子	34
5.2	配管のボンディングの例	34
5.3	誤った接地の例	35
6.1	帯電導体による電撃の限界	38
7.1	誤った遮へいの例 沿面放電の原因	43
7.2	絶縁性ホース，パイプの遮へい例	43
8.1	ゲージウエル	53
10.1	除電器の設置位置の典型例	64
D.1	不導体の帯電電位の管理指標	88
E.1	電圧計接続による電位測定の等価回路	91
E.2	誘導電荷（電位）による電界測定の原理	91
E.3	表面電位計の表示電位の設定と校正方法	92

E.4	ファラデーケージによる電荷測定	93
E.5	電界計による空間電荷密度の測定	93
E.6	吸引ファラデーチューブ	94
E.7	発生電荷の測定例	94
E.8	発生電荷の総合的な測定例	95
E.9	静電気放電の測定例	96
E.10	I-V 法による抵抗測定	98
E.11	高抵抗物体の電流	99
E.12	体積・表面抵抗の測定電極と測定回路	99
E.13	表面抵抗率の簡易測定	100
E.14	電圧降下法による接地抵抗の測定原理	101
E.15	ガード電極付き粉体用電極	101
E.16	液体用電極	102
E.17	電荷分割法による静電容量の測定	104
E.18	電荷緩和法による静電容量の測定	105
E.19	人体の静電容量の測定	105

表 目 次

2.1	導体の静電容量の例	5
2.2	導体, 不導体の静電気特性	6
2.3	危険場所のクラス分け	9
2.4	ガスグループ (装置グループ) の分類	9
3.1	電荷分離による種々の帯電現象の例	15
3.2	帯電列の例	16
3.3	各種の静電気放電とその特徴および静電気安全対策	19
3.4	導体の静電容量と火花放電の着火性	20
6.1	人体の帯電電位と電撃の強さ	39
7.1	不導体面積・幅の制限	40
8.1	静電気上の液体の導電率のクラス分け	45
8.2	タンクサイズのクラス分け	46
8.3	静置時間の参考値	52
9.1	各種工程の粉体の典型的な帯電量	55
9.2	粉体特性と静電気危険性	56
B.1	各種の帯電防止用品	77
B.2	帯電防止剤の種類, 使用方法と使用対象	78
D.1	導体, 導電性物体の漏洩抵抗の管理指標	87
D.2	帯電性の指標	87
G.1	可燃性気体・液体蒸気の着火性	128
G.2	粉じんの着火性	141
G.3	気体・液体蒸気の限界酸素濃度	153
G.4	粉じんの限界酸素濃度-1	154
G.5	粉じんの限界酸素濃度-2	156
G.6	液体の導電率・比誘電率・緩和時間	157
G.7	固体絶縁物の抵抗率・比誘電率・絶縁破壊電界	162

第1章 適用範囲，目的

1.1 適用範囲

- (1) 静電気安全指針は固体，液体，気体そして人がいかにして帯電し，静電気放電を起こして可燃性物質を着火するののかという静電気危険性の評価（危険源の特定）とその防止対策（リスク低減策）の基本を提供するものであり，主に産業分野で静電気による火災・爆発（静電気災害）を防止するための静電気危険性の評価および静電気の抑制について適用する。
- (2) 可燃性物質を製造または取り扱う工場，事業場に適用する。
- (3) 静電気による障害，たとえば，生産障害に関する静電気対策，電子デバイスなど静電気に敏感な製品の静電気対策，クリーンルーム・計算機室・病院の手術室，高圧酸素治療室などの静電気対策には直接に適用されないが，ここに示されるガイドラインの概念はこれらにも役立つものである。

1.2 目的

この指針の目的は，可燃性物質の着火源としての静電気危険性評価および静電気対策の基本事項（下記(1)-(4)）を示すことにより，静電気による爆発・火災防止のリスクアセスメントの実施を支援することである。

- (1) 静電気の発生，帯電，放電という静電気現象の基礎的理解
- (2) 静電気危険性の評価
- (3) 静電気対策の基本と種々の工程の静電気対策
- (4) 安全管理技術

第2章 用語の定義

2.1 はじめに

この指針に必要な静電気および静電気安全に関する基本的な用語およびその定義を概説する。用いる単位はSI単位系であるが、慣例でわかりやすい場合はその単位を用いることもある。物理量の記号でイタリックはスカラー、ボールドはベクトルを表す。なお、10の指数でのみ示した数値の仮数部は1.0である。たとえば、 10^6 は 1.0×10^6 である。

2.2 電荷

記号 Q または q , 単位 クーロン $C = \text{アンペア} \cdot \text{秒} \text{ A} \cdot \text{s}$

電荷は正あるいは負の極性を持つ静電気そのものの量であり、クーロン力、電界の形成などあらゆる電気・静電気現象の根源となる最も基礎的な物理量である。電荷の最小は素電荷である電子の電荷 $-e$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ であり、物体の電荷はこの素電荷の整数倍となる。

2.2.1 空間電荷

記号 Q または q , 単位 クーロン $C = \text{アンペア} \cdot \text{秒} \text{ A} \cdot \text{s}$

ある空間体積内の電荷。

2.3 電荷密度

2.3.1 表面電荷密度

記号 σ , 単位 C/m^2

単位表面積当たりの電荷である。

2.3.2 空間電荷密度

記号 ρ , 単位 C/m^3

単位体積当たりの空間電荷である。帯電した液滴や粉体が空間に分布しているとき、電荷密度は空間電荷密度で定義できる。

2.3.3 粉体の質量比電荷

記号 Q/m または Q_m , 単位 C/kg

粉体の単位質量当たりの電荷として定義される¹。英語では Charge-to-mass ratio という。

2.4 電位

記号 ϕ または V , 単位 ボルト $V = \text{ジュール} / \text{クーロン } J/C$

空間中のある点の電位は単位電荷を無限遠からその点まで移動するために必要なエネルギー ($W = QV$: $Q = 1 \text{ C}$) として定義される。換言すれば, 静電場中にある単位電荷が, その点において持つ電気的な位置 (ポテンシャル) エネルギーのこと。一般に, 大地を基準 (0 V) とした電圧である。

2.5 電圧

記号 V , 単位 ボルト V

ある 2 点間の電位差である。

2.6 電界

記号 E, \mathbf{E} , 単位 ボルト/メートル V/m

電荷に電気力を作用させる性質を持つ空間を電界という。電界 \mathbf{E} によって電荷 Q に働く電気力 (クーロン力) \mathbf{F} は

$$\mathbf{F} = Q\mathbf{E} \quad (2.1)$$

で表され, 電界は単位電荷に働くクーロン力としても定義できる。この電界は電荷によって形成される。たとえば, 図 2.1 のように電荷量 Q の点電荷による電界はガウスの定理² より

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.2)$$

である。ここで, r は点電荷からの距離である。電界の向きは正電荷でできる電界が外向き, 負電荷では内向きとなる。また, この点電荷から r の位置の電位 V は 2.4 の定義から

$$V = - \int_{\infty}^r E dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.3)$$

また, 電界は電位の傾き (電位勾配) としても表現できる。

$$\mathbf{E} = -\nabla V \quad (2.4)$$

ここで, ∇ (ナブラ) は x, y, z の直交座標では

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.5)$$

である。 \mathbf{i}, \mathbf{j} および \mathbf{k} は x, y および z 方向の単位ベクトルである。この例では点対称の球座標となるので

$$E = -\frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.6)$$

¹単に比電荷 (Specific charge) という場合は一つの粒子の電荷とその質量との比であるので, 注意されたい。

²閉曲面から出ていく全電束 (電気力線の束, 電束 D は $D = \epsilon_0 E$ である) は閉曲面内の全電荷に等しいという定理。この例の場合, $4\pi r^2 \epsilon_0 E = Q$

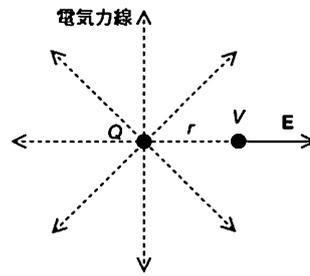


図 2.1: 電位と電界

となる。

大気圧・常温の空気の絶縁破壊電界は約 3 MV/m (30 kV/cm) であり, 平等電界中では電界がこの値以上になると静電気放電が発生する。

2.7 電流

記号 I, I , 単位 アンペア A = クーロン/秒 C/s

電流は単位時間あたりに任意の断面積を流れる電荷である。

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.7)$$

正電荷が流れる方向が正である。産業分野での静電気の帯電によって生じる電流は大きくても数十 μA のオーダーである。

2.8 抵抗

記号 R , 単位 オーム Ω

オームの法則 ($R = V/I$) で知られるように電流の流れにくさを表す。導体の抵抗は印加電圧に依存しないが, 不導体 (絶縁物) の抵抗は一般に印加電圧に依存し, オームの法則が適用できないことがある。

2.9 表面抵抗率

記号 ρ_s , 単位 Ω (Ω/square あるいは Ω/\square を用いることもある)

物体の表面の単位長さを一辺とする正方形に対して, 対向する二つの辺間の抵抗で定義される。図 2.2 で $L_1 = L_2$ のときの電極間の抵抗が表面抵抗率であり, この図のように長さ L_1 の電極が間隔 L_2 で置かれているときの電極間の表面抵抗 R_s は

$$R_s = \rho_s \frac{L_2}{L_1} \quad (2.8)$$

となる。

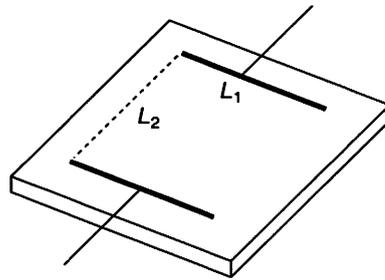


図 2.2: 表面抵抗率と表面抵抗

表 2.1: 導体の静電容量の例

物体	静電容量 (pF)
小さな金属 (ショベル, フランジ, ノズルなど)	10~20
小型容器 (バケツ, 50 L ドラムなど)	10~100
中型容器 (250~500 L)	50~300
プラント・設備	100~1000
人	100~300

1 pF = 1 × 10⁻¹² F

2.10 体積抵抗率

記号 ρ_v , 単位 オーム・メートル $\Omega \cdot m$

物質内部の単位長さを一辺とする立方体に対して, 対向する二つの面間の抵抗。導電率の逆数。長さ L , 断面積 S が一様な材料の抵抗 R は

$$R = \rho_v \frac{L}{S}$$

となる。単に抵抗率という場合はこの体積抵抗率のことをいう。

2.11 漏洩抵抗

物体や材料のある点から大地までの抵抗をいう。したがって, 作業現場での漏洩抵抗は物体の抵抗, 接触抵抗, 接地抵抗などをすべて総合した抵抗である。

2.12 静電容量

記号 C , 単位 ファラッド $F = C/V$

導体の電位を 1 V 上昇させるのに要する電荷である。

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.9)$$

静電容量は誘電率および物体の大きさとともに増加し, 導体間の距離とともに減少する。たとえば, 間隔 d , 面積 A の平行平板電極間の静電容量は $C = \epsilon A/d$ である。表 2.1 に典型的なもの対地間 (対地に対する) 静電容量を示す。

表 2.2: 導体, 不導体の静電気特性

	体積抵抗率 ρ_v ($\Omega \cdot m$)	表面抵抗率 ρ_s (Ω)
導体	$\rho_v < 10^3$	$\rho_s < 10^6$
電荷拡散性*	$10^3 \leq \rho_v < 10^8$	$10^6 \leq \rho_s < 10^{10}$
不導体	$\rho_v \geq 10^8$	$\rho_s \geq 10^{10}$

* 導電性材料 (2.18) はこの領域である。

2.13 誘電率

記号 ϵ , 単位 F/m

ある物質で単位長さを一辺とする立方体を考えたとき, 対向する二つの面間の静電容量で定義される。真空の誘電率は $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m である。絶縁物の誘電率は比誘電率 ϵ_r を用いて

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

で表される。気体の比誘電率はほぼ 1 であるので, 誘電率は ϵ_0 を用いてよい。主な物質の比誘電率を表 G.6, G.7 に示す。

2.14 導電率

記号 σ , 単位 ジーメンズ/メートル S/m

電流密度 J と電界 E の比 ($J = \sigma E$) である。抵抗率 (体積抵抗率) とは逆数の関係にある。

2.15 電荷緩和

物体に発生した電荷が電気伝導によって物体から失われる現象をいう。この電荷緩和がない, あるいは電荷発生より少ないとき電荷の蓄積 (帯電) が生ずる。

2.16 導体と不導体

導体と不導体は静電気的特性が異なり, 表 2.2 のように導体, 電荷拡散性, 不導体として抵抗率でその範囲を定義する³。静電気上の導体とは, 導体, 電荷拡散性の物体であり, 具体的には金属, 導電性物質・材料 (導電性液体・固体・粉体), 導電性物質・材料できた物体, および人体である。

2.17 ボンディング

ボンディングとは, 接地を要する物体を近接する接地した導体と導線で接続することであり, 直接に接地することが困難または非効率的な場合に用いる (図 2.3)。

³電気的特性の導体・半導体・絶縁物とはその範囲が異なることに注意されたい。

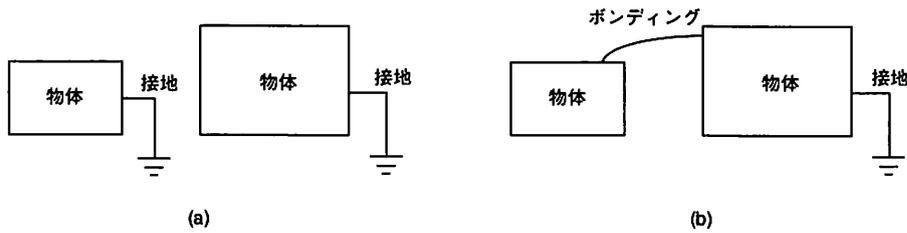


図 2.3: 接地とボンディング (a) それぞれを接地, (b) 接地した物体とのボンディング

2.18 導電性材料

カーボンブラック、金属粉などの導電性物質を混入して、導電性が高められたゴム、プラスチック、繊維などの材料である。

2.19 帯電防止材料

静電気の蓄積を防止する機能を有する材料である。2.18 の導電性材料のほかにコロナ放電を利用して帯電を軽減する材料もある。コロナ放電を利用した材料は作業服、カーペット、袋類などの繊維製品に多い。

2.20 帯電防止剤

低導電率（高抵抗率）の固体、液体および粉体の導電性を高くするための添加剤のこと。

2.21 静電気放電

帯電物体による電界が媒質（主として空気）の絶縁破壊電界に達して起こる電離気体現象をいう。

2.22 着火限界，最小着火エネルギー

可燃性ガスが着火するためにはその濃度によって下限（LFL: Lower flammable limit または LEL: Lower explosive limit）と上限（UFL: Upper flammable limit または UEL: Upper explosive limit）がある。この範囲外にすることによって爆発性雰囲気生成の防止が可能となる。図 2.4 のように着火エネルギーのプロットは可燃物質と酸素が化学量論組成比となる濃度付近で最小となる U 字型のカーブとなり、この最小値を最小着火エネルギー（MIE: Minimum ignition energy）⁴という。最小着火エネルギーの範囲はおおまかに、ガス・蒸気では 0.001~1 mJ、粉じんでは 1.0~5000 mJ 程度である。最小着火エネルギーは圧力、温度が高いほど、また、粉じんでは粉体粒径が小さいほど低くなる。

⁴ 図 2.4 の曲線は各濃度に対しての最小着火エネルギーをプロットしたものであるので、この曲線の最小値を最低最小着火エネルギー（LMIE: Lowest minimum ignition energy）ということもある。

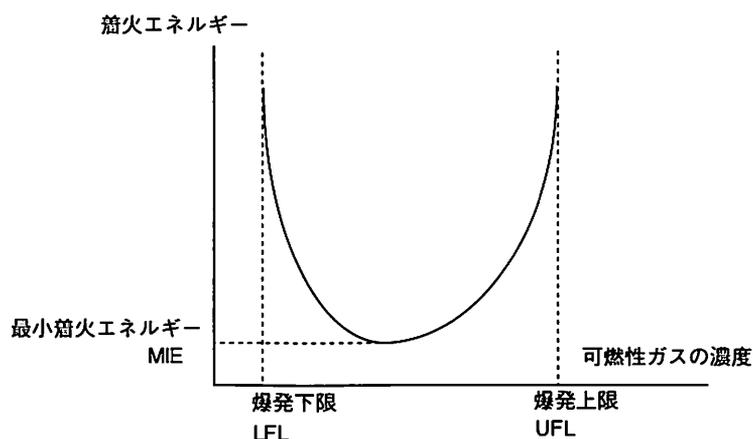


図 2.4: 典型的な最小着火エネルギーと可燃性ガス・空気混合気の濃度との関係

2.23 等価エネルギー

可燃性物質の静電気放電に対する着火性は最小着火エネルギーによって特徴づけられる。したがって、静電気放電の電力密度（時間的要素）と空間的な広がり（空間的要素）を考慮して、放電の着火性（放電エネルギー）を議論しなければならない。しかしながら、火花放電を除いて、静電気放電の全エネルギーでさえ求めることは簡単なことではない。ましてや、そのうちどのくらいのエネルギーが着火に寄与しているのかを求めることはさらに難しくなる。このようなことから、時空間的にもエネルギー密度が高く、容易に放電エネルギーを求めることができる火花放電が着火エネルギーの測定に用いられている。火花放電以外の静電気放電は、最小着火エネルギーが X J の可燃性雰囲気着火させたときにその静電気放電の等価 (equivalent) エネルギーを X J であると定義する [1]。着火エネルギーと対照して放電エネルギー（等価エネルギー）が実験的に求められているので、着火のリスク分析に便利である。これ以降に示している火花放電以外の放電エネルギーはこの等価エネルギーであることに注意されたい。最近では、その静電気放電がどのくらいの最小着火エネルギーを持つ可燃性物質の着火に有効であるかということから、この等価エネルギーを有効 (effective) エネルギー [2] と呼ぶこともある。

2.24 危険場所

本指針は IEC (International Electrotechnical Commission) 規格 (IEC 60079 シリーズ [3]) のクラス分けを採用する。危険場所のクラス分けは表 2.3 のようになる。

2.25 可燃性ガスのクラス分け

上記の IEC 規格では最小点火電流 (IEC 火花試験器によって測定される) によって可燃性ガスのグループ (IIA, IIB および IIC) をクラス分けしている。クラス分けのしきい値としても用いる代表的なガスはプロパン (IIA), エチレン (IIB) および水素 (IIC) である。大気中のそれぞれの気体の最小着火エネルギーは 0.25 mJ (プロパン), 0.07 mJ (エチレン), 0.016 mJ (水素) である。可燃性ガスのグループ IIA, IIB および IIC の最小着火エネルギーの範囲を表 2.4 に示す。この指針では静電気対策の指標としてこのクラス分けを用いる場合もある。IIC の気体は少なく、水

表 2.3: 危険場所のクラス分け [3-5]

Zone 0	連続して、または長期間にわたり、もしくは頻繁にガス・蒸気爆発性雰囲気となる場所
Zone 1	通常作業においてガス・蒸気爆発性雰囲気となる可能性が時折ある場所
Zone 2	通常作業においてガス・蒸気爆発性雰囲気となる可能性が低いか、なったとしても短い期間のみである場所
Zone 20	常時あるいは長期間にわたり粉じん爆発性雰囲気となる、あるいは粉じん雲になりうる粉体層がある場所
Zone 21	通常作業において粉じん爆発性雰囲気となる可能性がある場所、あるいは粉じん雲になりうる粉体層が形成されている可能性がある場所
Zone 22	通常作業において粉じん爆発性雰囲気とならない、あるいはなったとしても短い時間である場所、あるいは粉体層が存在しないが、形成しうる場所

表 2.4: ガスグループ（装置グループ）の分類

グループ	代表的ガス	最大安全間隙	最小点火電流比*	最小着火エネルギー
IIA	プロパン	> 0.9 mm	> 0.8	> 0.25 mJ
IIB	エチレン	0.5~0.9 mm	0.45~0.8	0.02~0.25 mJ
IIC	水素	< 0.5 mm	< 0.45	< 0.02 mJ

* メタンの最小点火電流を1とした比

素、アセチレン、二硫化炭素、ジクロロシランおよびトリクロロシランなどである。

2.26 リスクアセスメント

従来の我が国の安全の確保の仕方は、誰かが基準を決めてくれて、それを守っていればよいという発想であった、つまり、法的あるいは他人が定めた何らかの安全基準を遵守するというものであったが、リスクアセスメントでは事前に自らが危険源を見つけ出し、それに対して自らが対策を講ずるというものである。この指針でも、安全分野の技術で国際的にすでにグローバルスタンダード⁵であるリスクアセスメントが実施されることを前提に静電気対策（リスク低減策）を述べている。可燃性物質を取り扱っている以上、どのように対策をしても絶対安全はありえないので、リスクを科学的に、合理的に、網羅的に事前評価（アセスメント）し、許容可能なリスクとなるまでリスクを低減するというリスクアセスメントが重要である（C.2 参照）。

次に挙げるリスクアセスメントに関する用語の定義はおもに、ISO/IEC Guide 51: 1999 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards による。

2.26.1 安全

受入不可能なリスクがないこと。広義の安全とは異なる。この指針でも安全とはこの定義であり、安全対策とはリスク低減策を意味する。

2.26.2 リスク, risk

危害の発生する確率および危害のひどさの組合せ。静電気安全の分野では静電気危険の発生する確率とそれによる危害（損害）の組合せとなる。この組合せの計算法は種々あるが、危険が発生す

⁵労働安全衛生法においてもリスクアセスメントが義務（努力規定）づけられている。

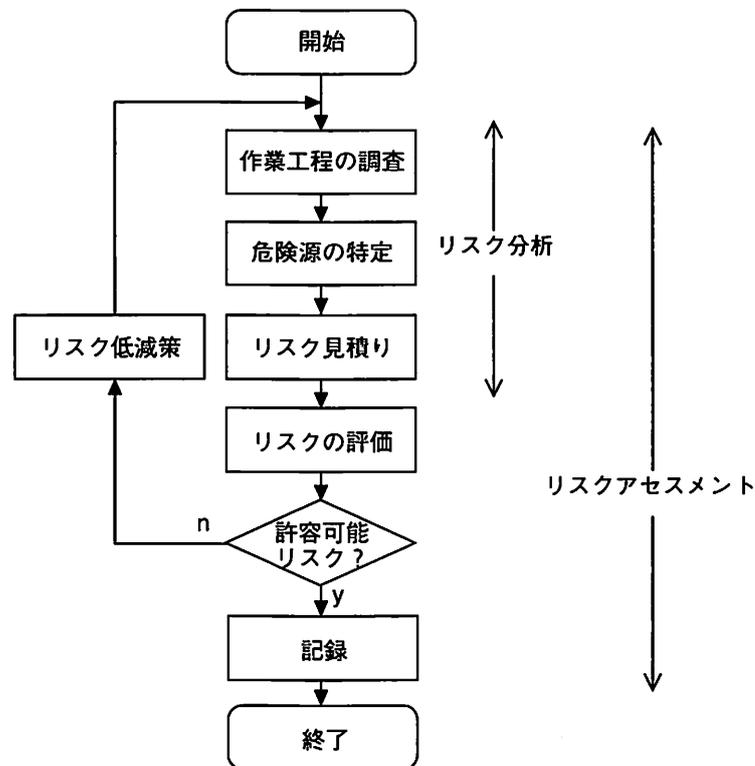


図 2.5: リスクアセスメントの手順

る確率と損害の程度を表す数値レベルとの乗算が多く用いられる。

2.26.3 危害, harm

人的, 設備, 環境などへの損害。

2.26.4 危険性, 危険源, hazard⁶

危害の潜在的根源。

2.26.5 許容可能なリスク, tolerable risk

その時代の社会の価値観に基づく所与の条件下で受け入れられるリスク。対策後の残留リスクが広く受入可能なリスク (Acceptable risk) となることが理想であるが, 現実には利便性, 費用, 技術等を考慮して許容可能な (我慢できる) リスクになっていることを意味する。リスクが許容可能になればよいのではなく, 英国 HSE (Health & Safety Executive) で提唱されている ALARP (As low as reasonably practicable “合理的に実行可能な範囲で出来るだけ低くする”) にあるように, 合理的に実行可能なかぎり (具体的には, リスク低減の費用が, 得られる改善効果に比例するかぎり), できるだけリスクを低減するように努めなければならない。

⁶厚生労働省, 「危険又は有害性等の調査等に関する指針」では, 労働者の健康上のリスクも考慮して hazard を “危険性または有害性” として定義している。

2.26.6 リスク低減策

許容可能なリスクに低減する方策のこと。ここでは静電気対策のこと。

2.26.7 残留リスク

リスク低減策を講じた後のリスク。

2.26.8 リスク分析

系統的に危険源を特定し、リスクを見積もること。この見積もりにより対策の優先度が決定される。

2.26.9 リスク評価

リスク分析に基づき、許容可能なリスクが達成されたか判断すること。

2.26.10 リスクアセスメント

リスク分析とリスクの評価のすべてのプロセスで、許容可能なリスクに低減するプロセス。記録も含める。リスクアセスメントの手順は図 2.5 のようになる。

第3章 静電気安全の基礎

3.1 はじめに

この章では、静電気安全の基礎の静電気が発生するメカニズム、静電気帯電および静電気放電を概説する。さらに、静電気の帯電が各種の静電気放電を発生させて、可燃性物質が着火し、爆発・火災などの静電気災害を発生させているという静電気の危険性を把握してリスクアセスメントを実施するために必要な静電気安全に関する基礎知識を実際の作業現場に照合しながら述べる。

3.2 静電気の帯電

静電気の発生を防止して静電気安全対策（リスク低減策）を実施するためには、静電気発生の機構とこれに影響する要因を熟知する必要がある。静電気の発生は主に電荷分離によって生ずる。何らかの原因で正・負電荷の分離が起こると、本来は電氣的に中性状態である物体の表面において正または負のどちらかの極性の電荷が過剰となり電荷の不均衡が生じる。この過剰電荷が静電気であり、発生した静電気が物体表面に蓄積することにより静電気が帯電している。

3.2.1 電荷分離

電荷分離は主たる静電気発生の機構である。図 3.1 に示すように、電氣的に中性である二つの異種の物体（固体-固体、固体-液体、液体-液体、液体-気体）が接触すると、その界面で電荷が移動して電気二重層¹を形成する。この状態はまだ電氣的に中性である。電荷の移動機構ははまだ十分に解明されていないが、金属同士の接触の場合、キャリアが電子であるので界面での二つの物体のエネルギー状態（フェルミ準位）の差によって電子が移動する。何らかの仕事によりこれらの物体が分離すると、その界面の電荷がそれぞれに残る。この電荷分離により二つの物体に正・負の静電気が生ずる。

たとえば、ロールによるフィルム・紙などの移動、液体や粉体の移し替えやパイプ輸送などにおける帯電現象は接触・分離する際の電荷分離による。

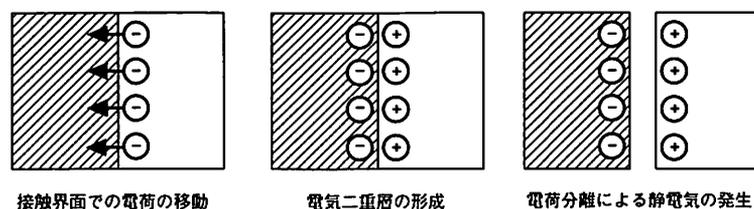


図 3.1: 電荷分離による静電気の発生

¹界面でできる電荷分布であり、互いに逆符号の電荷をもつ二重の層のこと。

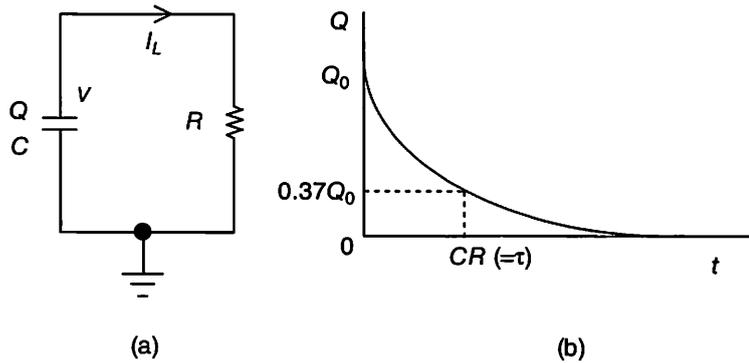


図 3.2: 電荷緩和の回路モデル

3.2.2 電荷緩和

物体に静電気が発生しても、一般には発生した静電気がすべて蓄積するのではなく、その一部は消滅する。これを電荷緩和または電荷漏洩という。電荷緩和は物体の静電容量 C と漏洩抵抗 R で構成される電気回路² (図 3.2a) で表すことができ、発生時の電荷が Q_0 で、その後、電荷の発生がなくなったときの t 秒後の物体の電荷 Q は

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (3.1)$$

$$\tau = CR = \varepsilon\rho, \quad (3.2)$$

で表され、物体の帯電量は電荷緩和により時間とともに指数関数的に減少する。すなわち、帯電した物体も電荷の発生をなくすことができれば、帯電量は徐々に減少していつかはなくなることを示している。ここで、 C 、 R 、 ε および ρ はそれぞれ、物体の静電容量、漏洩抵抗、誘電率および抵抗率である。また、 τ を電荷緩和時間（または電荷緩和時定数）といい、初期電荷の $1/e$ （約 37%）となる時間である。参考に、式 (3.1) の導出を脚注³に示す。式 (3.1) から、電荷緩和は物体の静電容量（誘電率）と漏洩抵抗（抵抗率）に依存し、それぞれが大きいほど緩和時間が長くなることがわかる。導体のように電荷緩和がオーミック⁴な物質の場合は、電荷緩和は式 (3.1) に従うが、多くの絶縁物（低誘電率の液体など）の電荷緩和ではこれに従わないこともある。

3.2.3 電荷蓄積

静電気の帯電量 Q は単位時間当たりの電荷の発生（電荷分離） I_G と電荷の消滅（電荷緩和） I_L によって決まり、単位時間当たりの帯電電荷の変化は

$$\frac{dQ}{dt} = I_G - I_L \quad (3.3)$$

となる。これを回路モデルで示すと図 3.3a のようになる。つまり、静電気の帯電は電荷分離と電荷緩和現象の平衡状態で決まることを意味している（図 3.3b）。電荷緩和が十分に大きいとき、静

²このモデルは静電容量を定義しているため、正確には帯電物体は導電性の（表面電位が同電位となる）物体である。

³図 3.2a から電荷緩和の電流（漏洩電流） I_L は

$$I_L = -\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{CR} = \frac{Q}{\tau}$$

とおける。この式を電荷 Q について解くと式 (3.1) を得る。

⁴オームの法則に従う物質。この場合は電荷緩和に電圧に依存する電気伝導がないことを意味する

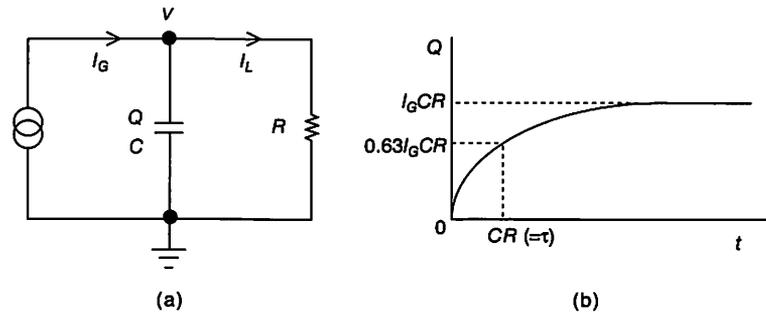


図 3.3: 電荷蓄積（静電気帯電）のモデル

電気が発生しても電荷が物体に蓄積されないため静電気の帯電が起こらず、逆に電荷緩和が小さいとき、電荷が物体に蓄積され、静電気の帯電量が大きくなる。たとえば、液体がパイプを流れるとき、このパイプが金属であり接地すると、式(3.2)の電荷緩和時間は著しく短く（式(3.3)の I_L が大きく）なり、パイプで発生した電荷を瞬時に大地に漏洩できる⁵。逆に絶縁物のパイプを用いるあるいは金属パイプを接地しない場合は電荷緩和がないため、発生した静電気がパイプに蓄積されることになる。この電荷の蓄積が静電気の帯電として現れて災害の原因となる。したがって、この蓄積を減少するために電荷の漏洩を大きくすること（物体の静電容量を小さくする、または、漏洩抵抗を小さくすること）は静電気災害防止の重要な対策の一つである。

次に電荷蓄積の定常値（静電気帯電量）を求める。求めるものは定常値であり電荷の時間変化がないので、式(3.3)の $dQ/dt = 0$ となり、 $I_L = I_G$ となる。この I_G が漏洩抵抗 R に流れるので、定常状態の物体の帯電電位 V は

$$V = I_G R \quad (3.4)$$

となる。帯電電荷量は $V = Q/C$ の関係から

$$Q = I_G C R = I_G \tau \quad (3.5)$$

となる。参考に、式(3.4)と式(3.5)は脚注⁶のようにしても導出できる。式(3.4)は、後に示す導体の静電気安全対策に必要な漏洩抵抗値の根拠となる式である。

3.3 種々の静電気帯電

3.3.1 電荷分離による帯電

電荷分離による帯電は多くの産業工程にみられる接触、摩擦、衝突、剥離、流動、攪拌、混合、噴霧・噴出、沈降・浮上、粉碎、滴下（しずく）など物体の接触・分離の際に起こる帯電である。主な帯電の種類とその例を表3.1および図3.4に示す。

⁵パイプ自体の電荷は漏洩するが、絶縁性の液体のとき液体の電荷はほとんど漏洩されない。

⁶式(3.3)は

$$\frac{dQ}{dt} = I_G - \frac{Q}{CR}$$

となる。 $t = 0$ で $Q = 0$ とすると、 t 秒後の電荷は

$$Q = I_G C R [1 - \exp(-t/CR)]$$

となる。この式を示しているのが図3.3bである。定常値を表す式は(3.4)と式(3.5)はこの式の定常解である。

表 3.1: 電荷分離による種々の帯電現象の例

帯電の名称	電荷分離の原因	例
摩擦帯電	異種の物体の摩擦	ベルトとローラ、粉と袋類の摩擦
剥離帯電	密着している物体の引きはがし	紙、フィルム等の剥離やプラスチック成型後の型外し
流動帯電	固体壁への正または負イオンの選択的吸着	液体のパイプ輸送、流動液体とフィルタ
噴霧・噴出帯電	ノズルなどとの摩擦	スプレー、漏洩による噴出
分裂帯電	分裂による電荷分離	噴霧・噴出による液体の分裂、粉碎、固体の破壊・分裂（粉碎帯電・破壊帯電ということもある）
沈降・浮上帯電	液体内の異種の物体の接触と沈降	液中の水滴・不純物などの沈降・浮上、油面への泡（主成分：水）放出
衝突帯電	異種の物体の衝突	粉体の空気輸送

3.3.1.1 電荷分離による帯電に影響する要因

一般に、電荷分離による電荷の発生は物体の種類、不純物、表面状態、帯電の履歴、接触面積・圧力、分離速度に影響する。

(1) 物体の種類

接触・分離する二つの物体の種類によって発生電荷の大きさ（帯電列（表 3.2）の位置（この場合上下の位置）が離れているほど大きい）と極性が影響を受ける。

(2) 不純物

不純物が含まれると、この不純物が発生に影響し、一般に発生が大きくなる傾向がある。

(3) 表面状態

表面の状態（表面の粗さ、水分・油などの汚染、酸化・腐食）は静電気の発生に影響し、一般に、表面が粗いとき、汚染、酸化していると発生が大きくなる傾向がある。

(4) 帯電の履歴

一般に、初回および初期の接触・分離が行なわれたときに最も大きく、接触・分離が繰り返されるにしたがって徐々に小さくなる傾向がある。

(5) 接触面積・圧力

接触面積が大きくなるほど大きくなる。接触圧力の増加は接触面積を大きくするので、静電気の発生は大きくなる傾向がある。

(6) 接触後の分離速度

分離速度は分離過程の電荷緩和に関係するため、結果的には静電気の帯電量に影響し、一般にこれが大きいと、帯電量が大きくなる。

3.3.2 誘導帯電

接触・分離の電荷分離による帯電のほかに静電誘導による帯電がある。これは導体にのみ起こる現象である⁷。帯電物体の近くに電氣的に絶縁された導体があると、静電誘導により導体表面で電

⁷人は静電氣的には導体として扱えるので人も誘導で帯電する。

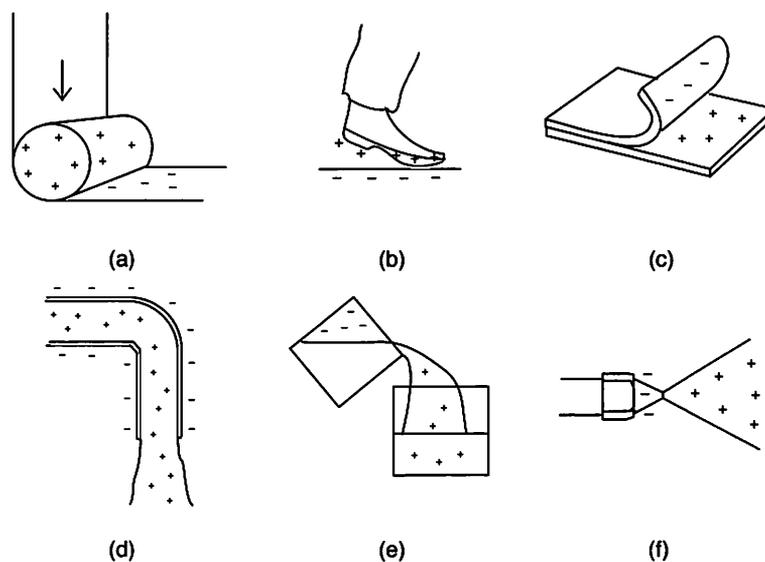


図 3.4: 帯電の例 (a) ローラでの摩擦, (b) 絶縁性の靴を履いた人あるいは絶縁性の床, (c) フィルムなどの剥離, (d) 液体・粉体のパイプ輸送と噴出, (e) 液体, 粉体の絶縁容器への移し替え, (f) 液体, 粉体スプレー

表 3.2: 帯電列の例

金属	繊維	天然物質	合成樹脂
+	+	+	+
		人毛, 毛皮 ガラス 雲母	
	羊毛 ナイロン レーヨン		
鉛	絹 木綿 麻	綿	
		木材 人の皮膚	
亜鉛 アルミニウム	ガラス繊維 アセテート		
クロム		紙	
鉄 銅 ニッケル 金			エポナイト
		ゴム	ポリスチレン
白金	ビニロン		ポリプロピレン
	ポリエステル アクリル		ポリエチレン
	ポリ塩化ビニリデン	セルロイド セロファン	
-	-	-	-
			塩化ビニル ポリテトラフルオロエチレン

帯電列は純粋な物体を対象として求められたものであるから, この表は一つの目安である。

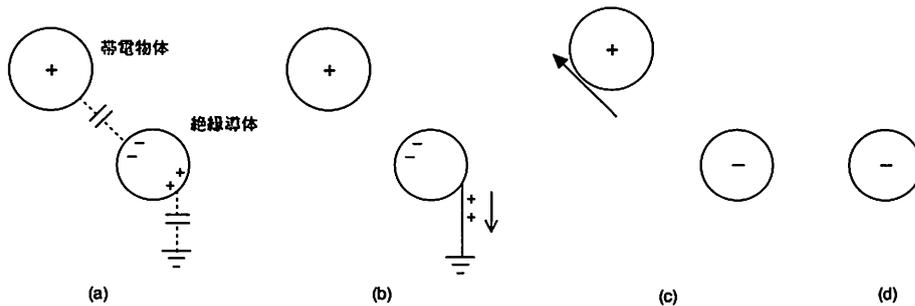


図 3.5: 誘導帯電 (a) 静電誘導, (b) 導体を接地すると、帯電物体と同極性の電荷が大地に流れ、(c) 接地をはずし帯電物体を離すと、(d) 導体は帯電物体と逆極性に帯電する

荷の不均一分布が生じ、かつ、電位が上昇する。これが静電誘導であり、これに起因する帯電を誘導帯電という。図 3.5a に示すように、正に帯電した物体に電氣的に絶縁された導体が近づくと帯電物体に近い表面では負の電荷が、反対側には正の電荷が現れる⁸。これを静電誘導という。さらに、図 3.5b のように導体を一旦接地すると、帯電物体と同極性の電荷が大地に逃げ、接地をはずした後に帯電物体を離すと導体は図 3.5c のように帯電物体と逆極性に帯電する。また、図 3.5b の接地をしないで帯電物体を離すとき、真電荷の移動がないためこの導体は帯電していない元の状態に戻る。

たとえば、絶縁靴を履いた作業者がロール工程のフィルムや粉体の充填されたフレキシブルコンテナなどの帯電物体に近づいて静電誘導により、作業者に、帯電物体に近い方と遠い方に電荷の分離が生じ（図 3.5a）、周辺にある接地導体に触れると放電により電撃を受ける（図 3.5b）。さらに、その場から離れると（図 3.5c）、作業者は誘導帯電して（図 3.5d）、離れた場所で接地導体に触れると 2 度目の電撃を受ける。

3.4 静電気放電と着火

3.4.1 静電気放電

電荷の発生と緩和の差で電荷の蓄積が起これ帯電することを 3.2 で説明したが、電荷緩和がないとき無限大に帯電するわけではなく、帯電電荷によって形成される電界が空気の絶縁破壊電界 E_b 以上になると気体放電が起これ、電荷の一部がこれにより失われるので帯電が制限される。これを、回路モデルで示すと図 3.6a のようになる。ただし、このモデルは帯電物体が導体のときに適用される。電荷分離（電荷発生）が連続的に起これる場合、帯電電位が放電開始電界を与える電位 V_b になったとき、断続的に静電気放電が生じ、そのときに帯電電荷のほとんどが消滅（中和）する（図 3.6b）。これは、後に 3.4.5 で示す導体同士の放電の火花放電のモデルとして適用できる。帯電物体が絶縁物の場合は火花放電とはならず種々の異なる放電形態となる。静電気安全対策のためには、各種の放電の発生機構および着火性を熟知することが重要である。各種放電の種類とその特徴および着火のための防止対策の概要を表 3.3 に示す。

また、空気の絶縁破壊電界 E_b は

$$E_b \approx 3 \text{ MV/m } (= 30 \text{ kV/cm}),$$

⁸これは、導体の表面電位はいたるところ同じである（表面で接線成分の電界がゼロ）が、帯電物体があるとその電界により導体表面の接線成分の電界が現れる。この電界を打ち消すために電荷が表面で再分布することによる。また、電荷は再分布（分離）しているだけで、総電荷量としては変わらない。

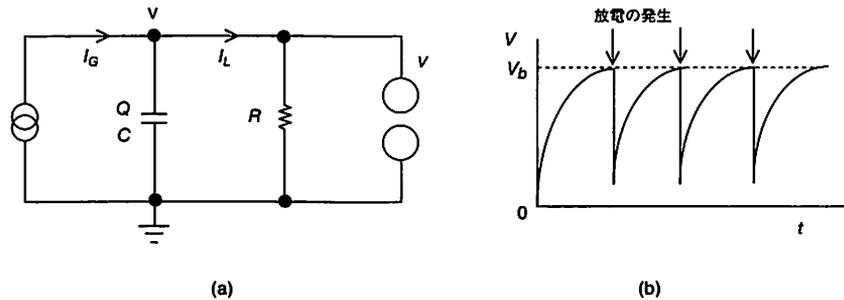


図 3.6: 帯電と静電気放電

であるから、放電が始まる時の帯電物体の表面電荷密度（換言すれば、帯電の最大表面電荷密度） σ_{max} は

$$\sigma_{max} = \epsilon_0 E_b \approx 27 \mu\text{C}/\text{m}^2 \quad (3.6)$$

となる。

3.4.2 放電エネルギー

帯電物体が導体の場合、その物体に蓄積されている静電エネルギー W は次のようになる。

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (3.7)$$

ただし、 C は物体の静電容量、 Q 、 V は物体の帯電電荷および電位である。静電気放電が起こると、この静電エネルギーのほとんど、あるいは一部が放電エネルギーとして放出される。この放電エネルギーによって可燃性物質が着火し、爆発や火災などの静電気災害を誘起している。したがって、静電気災害防止の対策は着火性静電気放電の防止が主眼となる。

3.4.3 着火

何らかの着火源によって可燃性物質と空気（正確には酸素などの支燃ガス）との混合物が着火し、燃焼を開始して火災が伝播することによって爆発・火災が起きる。爆発・燃焼を誘発する三大要素は燃料（可燃性物質）と酸素（支燃性物質）そして着火源であり、具体的には、

- (1) 可燃性物質が爆発下限・上限の範囲の濃度である。
- (2) 酸素が爆発限界濃度（限界酸素濃度）以上である。
- (3) 着火源のエネルギーが最小着火エネルギー以上である。

の3つが必須条件であり、このうち一つでも条件を満たさないようにすれば着火は防止できる。すなわち、可燃性雰囲気を生成させないこと、あるいは着火源をなくすことである。

静電気放電も爆発・火災を誘引する重要な着火源の一つであり、静電気放電による爆発・火災事故は、平成5(1993)年から16(2004)年までの総務省消防庁の火災年報の統計によれば、毎年70~110件⁹程度発生している。静電気の原因となった火災の内訳は、作業着・着衣の帯電、粉体の帯電、液

⁹消防が調査した静電気による火災の件数である。

表 3.3: 各種の静電気放電とその特徴および静電気安全対策

タイプ	原因 (例)	放電エネルギー	着火能力	対策
火花放電	電氣的に絶縁された導体と接地導体との放電	1 J 程度まで	ガス・蒸気 ^a , 粉体	接地・ボンディング (第 5 章)
コロナ放電	接地した尖った導体と帯電物体に近づくときなど	数十 μJ まで	水素, アセチレンなど	一般に対策不要
ブラシ放電	比較的に大きな曲率半径を持つ接地導体が帯電した不導体に近づく	3 mJ 程度まで	ガス・蒸気, (粉体)	不導体の静電気安全対策 (第 7 章)
沿面放電	背面接地導体のある薄い不導体の帯電	10 J 程度まで	ガス・蒸気, 粉体	薄い不導体の帯電電荷の制限 (3.4.8)
コーン放電	粒径 0.1~10 mm の高抵抗率帯電粉体の連続大量充填	数十 mJ 程度	ガス・蒸気, 粉体	電荷の蓄積防止

^a 蒸気とは可燃性液体の蒸気のこと

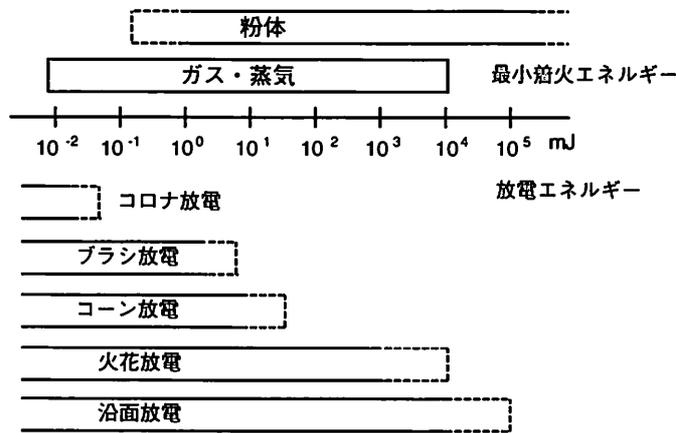


図 3.7: 放電エネルギーと最小着火エネルギー

体の帯電の順にそれぞれ約 15%ずつで多く、つづいて静電塗装, 噴出, ロール工程の順となっている。

3.4.4 最小着火エネルギー

一般に, 着火エネルギーは可燃性物質の濃度に依存し, この濃度を横軸としてプロットした最小着火エネルギーの曲線は可燃性物質と酸素が化学量論組成比となる濃度付近で最小となる U 字型のカーブとなる。この混合気が可燃性物質と空気の場合, 酸素に比べて 2 桁ほど最小着火エネルギーは高くなる。また, 最小着火エネルギーは温度や圧力にも依存し, 温度の上昇とともにほぼ指数関数的に低下し, 圧力のはほぼ 2 乗に比例して低下することが知られている [6]。

最小着火エネルギーは静電気の危険性を評価する上で重要なデータであり, 予測できる放電エネルギー W_d と最小着火エネルギー W_{mie} を比較して対応の対策を講じている。すなわち,

$$W_d \geq W_{mie} \tag{3.8}$$

によって, 静電気のリスクを評価する。最小着火エネルギーは図 3.7 のようにガス・蒸気, 粉体それぞれに大まかな範囲があるが, 個々の物質の値は実験的に求められる。

表 3.4: 導体の静電容量と火花放電の着火性 (危険な帯電電荷・電位)

物体	静電容量 (pF)	帯電電荷 (nC)		帯電電位 (kV)	
		0.2 mJ	5 mJ	0.2 mJ	5 mJ
小さな金属物：フランジ，小道具など	10	63	320	6.3	32
小容器：バケツなど	10~100	63~200	320~1000	6.3~2.0	32~10
中容器：ドラムなど (150~500 L)	50~300	140~350	710~1700	2.8~1.2	14~5.8
人	100~300	200~350	1000~1700	2.0~1.2	10~5.8
大きな金属物：タンク，タンクローリなど	100~1000	200~630	1000~3200	2.0~0.63	10~3.2

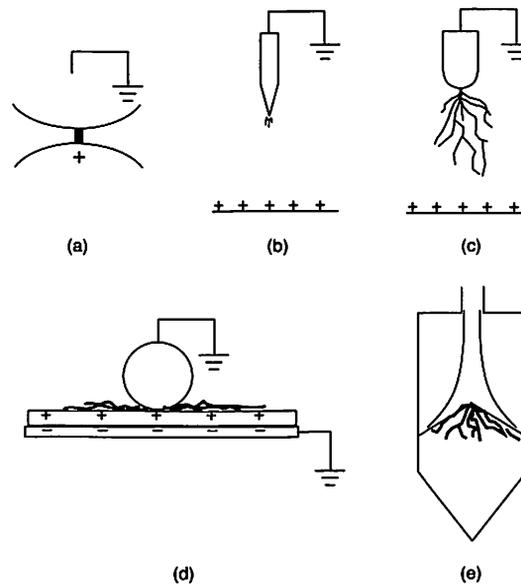


図 3.8: 静電気放電 (a) 火花放電, (b) コロナ放電, (c) ブラシ放電, (d) 沿面放電, (e) コーン放電

3.4.5 火花放電 (スパーク)

3.4.5.1 火花放電の発生

火花放電は平等電界が形成される平板あるいは間隔よりも大きな曲率半径の導体間で起こり，このギャップ間は放電路によって橋絡する (図 3.8a)。火花放電は導体間で起こる放電であり，放電によってほとんどの帯電電荷が消滅するので，放電エネルギーは静電エネルギーの式 (3.7) で見積もることができる。そのエネルギーは比較的高く 1 J 程度までに達することがある。

作業現場等において静電気によって生じる火花放電は容量性放電と呼ばれることもあるように，キャパシタとして作用する電氣的に絶縁された導体と接地された導体間で起こる。たとえば，絶縁された導体とは電氣的に絶縁された金属製の容器，シヨベル，ホッパー配管材，パイプや絶縁性の靴を履いた作業員などである。表 3.4 に作業現場で起こりうる火花放電の着火性を示す。このように作業現場で生ずる火花放電はガス・蒸気，粉体と空気の混合気を着火せしめるに十分な放電エネルギーを有している。また，静電気放電による粉じん爆発の多くはこの火花放電が原因ともいわれている。

人からの火花放電は最小着火エネルギーが 100 mJ 以下の可燃性雰囲気着火というガイドライン [7] があるように，作業員も着火源となるので作業員の静電気対策は重要な要素である。

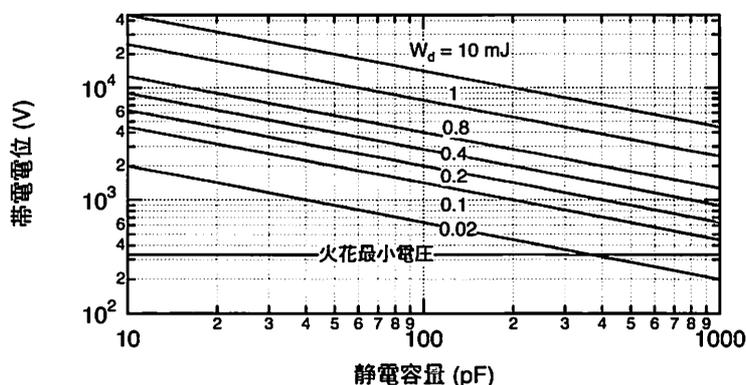


図 3.9: 火花放電の危険性評価 (導体の危険帯電レベル)

3.4.5.2 火花放電の危険性評価

静電気による火花放電は導体が帯電して接地導体との距離が近づくと起こる導体間での放電である。火花放電の発生の可能性は導体の最大帯電電位と大気圧空気中での火花開始電圧の最小値 (330 V) との比較

$$V_{max} \geq 330V \quad (3.9)$$

によって評価できる。火花放電による着火リスクは、この火花放電による放電エネルギー W_d が放電前の静電エネルギー W にほぼ等しいので、最小着火エネルギー W_{mie} との比較

$$W_d \approx W = \frac{1}{2}CV_{max}^2 \geq W_{mie} \quad (3.10)$$

によって評価ができる。図 3.9 は火花放電の危険性評価 (導体の危険帯電レベル) を示す。

3.4.5.3 火花放電の防止

火花放電の防止のためには、導体の設備・道具や人の接地に対する電圧を 100 V 以下にする [8]。この 100 V という値は平等電界場での空気の絶縁破壊電圧の最小電圧の約 330 V に安全マージンを取った値である。具体的な対策としては、すべての導体 (作業者も含む) を接地・ボンディング (第 5 章) することであり、

- (1) 漏洩抵抗を人以外の物体に対しては $10^6 \Omega$ 以下¹⁰
- (2) 人の場合は $10^8 \Omega$ 以下¹¹

にする。

また、式 (3.4) と式 (3.10) から、火花放電の危険が生ずる導体の漏洩抵抗を求めることができる。

$$R = \sqrt{\frac{2W_d}{CI_G^2}} \quad (3.11)$$

¹⁰ $10^6 \Omega$ という漏洩抵抗は式 (3.4) に $V = 100 \text{ V}$ (火花放電防止のための電位) と作業現場でありうる大きな電荷の発生電流 $I_G = 100 \mu\text{A}$ を代入して得られた値である。

¹¹人の漏洩抵抗を $10^6 \Omega$ 以下にすることは容易ではない。また、人の静電気発生は比較的に小さいことから、 $10^8 \Omega$ は静電気の発生電流を $1 \mu\text{A}$ として得られる値である。また、人の静電容量は $100 \sim 300 \text{ pF}$ 程度であり、漏洩抵抗は $10^8 \Omega$ であると緩和時間は 10^{-2} s 程度となり、人の行動 (たとえば、歩行) の時間を考慮するとこの緩和時間で十分である。このようなことから、漏洩抵抗は人以外の導体よりも高く設定されている。

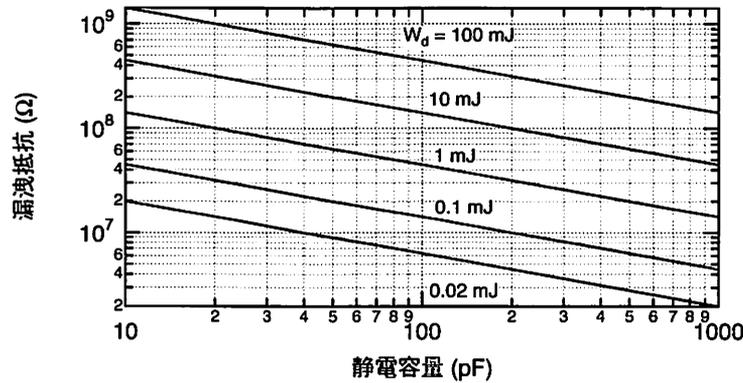


図 3.10: 導体の漏洩抵抗による火花放電の危険性評価（導体の危険漏洩抵抗レベル、 $I_G = 100 \mu\text{A}$ で計算）。各直線より上のレベルが火花放電のリスクがある。

産業レベルでは発生電流は $100 \mu\text{A}$ を超えることがまずないので、この電流値を用いて、式 (3.11) の導体の漏洩抵抗と火花放電エネルギーの関係を示したのが図 3.10 である。また、式 (3.4) から、火花放電防止の帯電電位 100V 以下を満たす漏洩抵抗は

$$R \leq \frac{100}{I_G} \quad (3.12)$$

となる。

3.4.6 コロナ放電

コロナ放電は、先の尖った針電極、細線電極や曲率半径の極めて小さい電極の近傍に不平等電界場が形成され、この局所的に高くなった電界により起こる放電である（図 3.8b）。一般に曲率半径が 5mm 以下で起こる [9]。

コロナ放電の特性は電極の極性に大きく依存し、極性の違いによって負コロナ、正コロナと呼ばれる。コロナ放電は電圧の増加によってもその形態が変化し、最終的にはどちらも火花放電に移行する。この極性や電圧による形態の変化は生成された電子・イオンによって形成される空間電荷の相違に起因している。コロナ開始電圧は電極の曲率に依存し、曲率が小さいほど電極近傍の電界は大きくなるので、コロナ開始電圧は小さくなる。たとえば、曲率半径が $1000 \mu\text{m}$ ではコロナ開始電圧は 6kV 程度であるが、 $100 \mu\text{m}$ では 2kV 程度となる [6]。したがって、電極電位の値はあまり重要ではなく、作業現場に照らし合わせれば、帯電電位が小さくても、コロナ放電は起こりうることを意味する。

作業現場では、帯電した物体表面に曲率半径の極めて小さな部分を持つ接地金属が近づく場合、逆に接地された金属容器のエッジ部分などに帯電物体が近づく場合にコロナ放電が発生する。

このコロナ放電を防止するためには鋭いエッジや突起部分をなくすことである。しかしながら、コロナ放電の放電エネルギーは比較的 low、水素のように着火エネルギーが極めて小さなガスを除いて、ほとんどの可燃性物質を着火させることはない [8]。むしろ、コロナ放電は帯電物体の除電機能として働く。したがって、除電器、帯電防止服やフレキシブルコンテナなど繊維製品の帯電防止に应用されている。

3.4.7 ブラシ放電

3.4.7.1 ブラシ放電の発生

ブラシ放電は正極性コロナ放電の電位が高い場合や電極となる突起物などの曲率半径が5~50 mmになると発生する(図3.8c)。主に絶縁物が帯電し、曲率のある接地金属が近づくときに起きる。このブラシ放電はストリーマコロナ放電と呼ばれることもある。ブラシ放電は帯電物体の表面電荷密度が $3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 以上で表面電界が $0.5 \text{ MV}/\text{m}$ ($= 5 \text{ kV}/\text{cm}$)以上のときに起こるとされている[9-12]。

このブラシ放電もコロナ放電と同様に電極の極性に依存し、帯電物体が負に帯電し曲率半径のある接地導体がこれに近づくときなどのように、正極性の放電の方が着火性が高いことが知られている。ブラシ放電のエネルギーは1~3 mJ程度までで[11, 13, 14], 4 mJを超えることはない[15]。可燃性ガス・蒸気の着火源になりうる。

ブラシ放電が生産現場等で起きる例を次に示す。

- 粉や液体が搬送される絶縁パイプ、プラスチック(ビニール)袋、絶縁性のコンベアベルト等に接地金属や人の指先が近づいたときに起きる放電
- プラスチック袋から粉を排出する際に振るなどしてプラスチック袋が接地金属に近づくときに起きる放電
- タンクに液体や粉体を充填するときやタンク内に蓄積された液体・粉体が帯電しているとき、タンク入口のエッジ部分や充填レベルを計るプローブなどの内部の突起部で起きる放電
- 粉の搬送用のフレキシブルコンテナと接地導体(人も含む)との接触で起きる放電

主に絶縁物が帯電し、この帯電物体が接地された金属の道具や設備のエッジや突起部あるいは指先に近づくことによって起きている。なお、突起部などの曲率半径が5 mm以下ではブラシ放電ではなくコロナ放電が生じていることが多い。

3.4.7.2 ブラシ放電の危険性評価

ブラシ放電の開始電圧は電極の曲率半径に依存し、不導体の静電容量は求められないので、帯電電位に関して発生限界を理論的に計算することは容易ではない。

ブラシ放電の着火性と帯電電位の関係の参考例を以下に示す。

- 1 m^3 の絶縁性タンク[16]あるいは直径1.6 m[17]の金属製タンクで負に帯電した炭化水素液体上の接地電極によるブラシ放電(正極性)を用いた着火実験で着火した液面電位は60 kVである。
- その結果から40 kV程度の帯電が着火性ブラシ放電の発生に必要なであると結論づけている[17]。
- また、実験室レベルの装置では25 kVである[18]。
- これらの実験例は、液体が負に帯電しているので正極性ブラシ放電であり、負極性ブラシ放電では80 kVの帯電でも着火しない[18]。

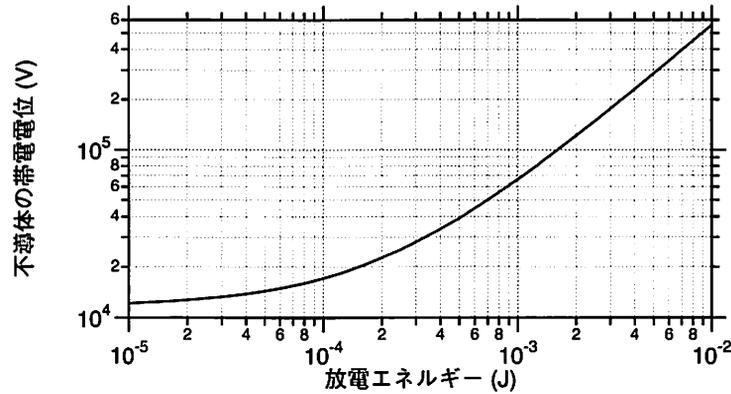


図 3.11: 不導体表面の平均電位（電位計による測定電位）とブラシ放電の放電エネルギーとの関係（式 (3.13) で $D = 20 \text{ mm}$ のとき）

帯電電位に関して発生限界を理論的に計算することは容易ではないとしたが、不導体表面の平均電位（電位計で計った電位に相当する） \bar{V} とブラシ放電の放電エネルギーとの関係が、

$$W_d = k \left(\bar{V} Q_{tm} - \frac{Q_{tm}^2}{2C_d} \right), \quad (3.13)$$

によって表されることを理論と実験（直径 25 mm までの接地導体球と帯電プラスチックシート間のブラシ放電による水素とプロパンの着火実験）により示されている [19]。ここで、 Q_{tm} は放電電荷の最大値および C_d は放電した部分の見かけの静電容量である。 Q_{tm} 、 C_d および k は実験的に次のように決定している。

$$Q_{tm} = 1.4 \times 10^{-9} D^{1.7}, \quad (3.14)$$

ただし、 D は接地導体球の直径で、単位は mm である。 $D > 20$ では $D = 20$ とする。

$$C_d = 9.8 \times 10^{-12}, \quad k = 0.08. \quad (3.15)$$

これにより、表面電位計の測定電位から放電エネルギーを推定することができる。また、逆に、環境の雰囲気最小着火エネルギーから許容帯電電位を推定することもできる。これを考慮して、図 3.11 にブラシ放電の放電エネルギーと不導体の帯電電位の関係を示す。この式の解析から、 $\bar{V} = 4 \text{ kV}$ 以下または $D = 2 \text{ mm}$ 以下では IIC の水素-空気の混合気に対してでも着火性の放電が生成されないことも導出している [19]。

3.4.7.3 ブラシ放電の防止

ブラシ放電の発生条件とならないように不導体の表面電荷密度が $3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 以下にする必要があるが、不導体の帯電抑制は困難であるので、一般には静電遮蔽（7.5 参照）により面積・幅を制限する方法（表 7.1）を用いてブラシ放電を防止する。ほかに、除電器を用いる方法（7.6 参照）もあるが、除電器自体が着火源となることもある [10]。

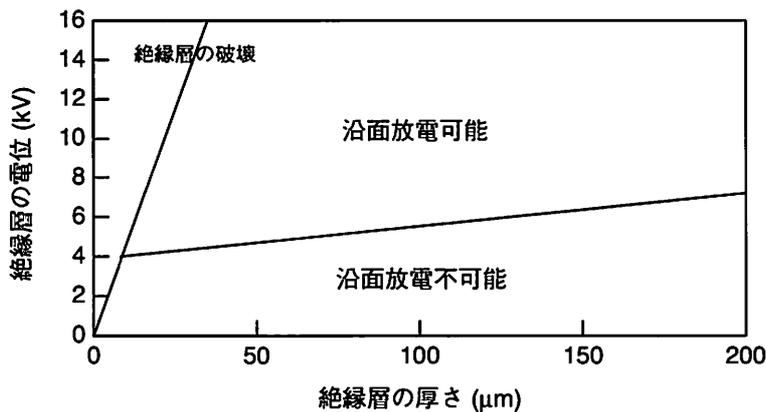


図 3.12: 沿面放電の発生限界 [20]

3.4.8 沿面放電

3.4.8.1 沿面放電の発生

絶縁物体の表面に保有できる最大の表面電荷密度は式 (3.6) から $27 \mu\text{C}/\text{m}^2$ となる。しかしながら、この絶縁物体の厚さが薄くなると、絶縁物の表と裏面に異符号の電荷の電気二重層が形成されるので、さらに大きな表面電荷を保持することができるようになる。これは、各々の表面電界が他方の層の表面電荷による電界によって減じられることにより説明される。このような電気二重層が形成される絶縁物の表面に沿って起こる放電が沿面放電であり (図 3.8d)、英語の専門書では propagating brush discharge と呼ばれている放電である。この放電もコロナやブラシ放電と同様に表面電荷の極性に依存する。

沿面放電は、この電気二重層に電極を近づけたり、この絶縁層表面のピンホールなどによる電気二重層の閉回路がきっかけとなり放電が開始する。この放電の空間電荷により表面に沿って径方向に電界が発生し、放電が開始された点を中心とした径方向に広がる多くの放電のチャンネルが絶縁層の表面に進展し、沿面放電として観測される。長い間、沿面放電には薄い絶縁物の背面に接地導体が必要と考えられていたが、絶縁性のタンク、パイプ、フレキシブルコンテナなどの表面に見られるように、現在では背面接地導体の存在は必ずしも本質的ではないとされている¹² [6,9]。

この沿面放電は表面電荷密度が $2.5 \times 10^{-4} \text{ C}/\text{m}^2$ 以上になると起こり (この表面電荷密度は電気二重層が形成されない通常の帯電物体の表面電荷密度の 10 倍程度大きくなる)、絶縁層の厚さが 8 mm 以下でないと起こらないとされている [20–22]。また、沿面放電の限界が実験的に求められた図 3.12 [20] に示されるように絶縁層の絶縁破壊電圧が 4 kV 以下のときには沿面放電は起こらない。絶縁層に蓄えられている静電エネルギーは数 kJ/m^2 程度であり、放電エネルギーは 10 J 程度までに達することがある。したがって、沿面放電は可燃性ガス・蒸気だけでなく可燃性粉体の着火源にもなりうる。

生産現場等ではこれらの沿面放電は

- 絶縁性パイプ、グラスライニングなど絶縁物を内部にコーティングしたパイプを粉体・液体が高速輸送されるとき
- 絶縁性容器、内部が絶縁コーティングされたタンク、サイロやフレキシブルコンテナ等に液

¹² 絶縁性タンクなどの内側が帯電していると、外側では、これにより誘起されたコロナやブラシ放電で生じた電荷により外側を反極性に帯電していき、結果的に電気二重層が形成される。

体や粉体が充填されるとき

- 絶縁性容器，内部が絶縁コーティングされた容器，あるいはガラス等の窓材のある容器の粉体の流動乾燥・液体攪拌
- ダストセパレータなど粉体が連続的に絶縁板に衝突するとき
- 絶縁物がコーティングされた，あるいはフィルム，テープが巻かれた金属ロールなどに起こる。

3.4.8.2 沿面放電の防止

沿面放電の防止としては沿面放電の発生限界である厚さ 8 mm 以下の薄い絶縁物の表面電荷密度を $2.5 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$ 以下にする，または，絶縁層の絶縁破壊電圧を 4 kV 以下にすることである。

3.4.9 コーン放電

3.4.9.1 コーン放電の発生

サイロなど比較的大きな容器へ絶縁性の粉体を充填（主に空気輸送）する際に帯電粉体が堆積する円錐（コーン）状のヒープ（heap）表面で図 3.8e のように放電が発生する [9, 13, 23]。この放電をコーン放電という。コーン放電の生成のための正確な条件は求まっていないが，次の条件が満たされるときに多く起こる。

- 粒径が比較的に大きい：粒径 1 mm 以上で多く起こる。
- 粉体の抵抗率が大きい： $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 以上で多く起こる。
- 粉体の質量比電荷が大きい： $1 \mu\text{C/kg}$ 以上で多く起こる。
- 充填流量が大きい：連続的に大量（数千 kg/h 以上）の充填で多く起こる。たとえば，粒径 1~2 mm 以上の粉体で $2 \times 10^3 \text{ kg/h}$ 以上，0.8 mm 程度で $20 \sim 30 \times 10^3 \text{ kg/h}$ 以上。

放電エネルギーは数十 mJ 程度以下であり，コーン放電はガス・蒸気，粉体の着火源になる可能性がある。粉じん爆発の場合，上記のようなコーン放電を生成する条件の比較的大きな粒径の粉体では空間に浮遊することが不可能なため爆発性雰囲気形成が困難である。したがって，この放電によって着火が起きるためには，粒径が数 100 μm 以下の微粉体が含まれていることが必要である。

$10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 以下の粉体で，接地した容器に充填されるときコーン放電は起こりにくいが， $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 以上になると起こるようになり， $10^{12} \Omega \cdot \text{m}$ 以上では防止が困難である。

参考に，サイロの直径が 0.5~3.0 m のサイロで，粉体の平均粒子径（個数中位径）が 0.1~3 mm に対して，コーン放電の最大エネルギーは次の実験式 [24] によって見積もることができる。

$$W = 5.22D^{3.36}d^{1.46} \quad (3.16)$$

ただし， W はコーン放電の最大エネルギー (mJ)， D は接地サイロの直径 (m)， d は堆積粉体の中位径 (mm) である。比較的大きな粒径の粉体でコーン放電が起こりやすいが，この式の条件にあるように，頻度は比較的に減少するが，0.1~0.2 mm の微粉体に対してもコーン放電が観測されている [24]。

3.4.10 雷状放電

サイロなどへの粉体の投入や搬入、あるいはタンク内でジェット洗浄すると、帯電粉体あるいはミストが気相空間中を浮遊し空間電荷雲（帯電雲）を形成する。この帯電雲から接地されたサイロやタンク壁に対して雷のような放電が起こる可能性があるとされている。この放電を雷状放電 (lightning-like discharge) という。この放電は可燃性粉体や液体蒸気の着火源になりうるだろうが、この空間電荷による雷状放電の可能性を実験的に調査された結果は、

- 60 m³ あるいは半径 3 m 以下までのサイロにおいて観測されない [25]。
- 液体ミストの帯電雲による雷状放電も 3 × 10⁴ m³ までのタンカーの洗浄において観測されない [26]。

である。英国の規格 [7] では、ジェット洗浄において上記の 1/10 の 3000 m³ (球とすると半径 8.947 m) のような大容量のタンク（接地金属）まで許容しているほどである。一般に上空での雷は帯電雲の大きさとして少なくとも数十から数百メートル必要とされている。また、雷のように長く伸びた放電部であるストリーマの維持・進展には平均電界 5 kV/cm [27]、つまり、500 kV/m もの電界が必要である。以上のことから、産業プロセスにおける条件では雷状放電は起こらないとされている。

しかしながら、帯電雲の近傍に突起状の接地金属があると、ブラシ放電が生起する可能性がある。これについては D.4.1 で詳細に解説する。

3.5 静電気力による力学現象

静電気の力学現象は、静電気の電気的作用であるクーロン力によって、帯電物体の近くにある軽い物体が帯電物体に吸引されたり、反発して運動する現象であり、物体の表面電荷によって作用するため、重さに対して表面積の占める割合が大きい紙・フィルム・シート布・繊維・粉体・微細粒子等が力学現象を受けやすく、各種の生産障害の原因となる。

第4章 静電気の危険性評価と災害防止対策の一般論

4.1 静電気危険性の評価

静電気の危険性は次の事項を評価することによって判断される。この手順はリスクアセスメントの危険源の特定に相当する。

- (1) 爆発性雰囲気であるか？
- (2) 静電気が発生し、電荷の蓄積が起こりうるか？
- (3) 静電気の放電は起こりうるか？放電の種類は？
- (4) この放電は着火性か？(この放電は対象の爆発性雰囲気を着火できるか？)

4.2 静電気災害防止対策の基本

静電気災害の防止対策（リスク低減策）は着火性の静電気放電を防止するための対策といっても過言ではない。静電気災害防止対策（以下、静電気対策）が困難な場合は爆発性雰囲気を作らないようにする着火防止対策（爆発性雰囲気形成の防止対策）を行う。静電気災害の発生は図 4.1 のようなフローで起こり、この図に示したように静電気対策あるいは爆発性雰囲気形成の防止対策が講じられるが、これらの静電気災害防止の主要な対策は次のようにまとめることができる。

- (1) すべての導体の接地（第 5 章参照）
 - (a) 装置、設備等設置された導体構造物の接地
 - (b) 電氣的に浮いた（絶縁された）金属の排除：不導体上の金属（プラスチックパイプや容器のフランジ、絶縁性床上の金属ドラムなど）の接地
- (2) 作業者の接地と帯電防止（人体の接地と作業服の帯電防止）（第 6 章参照）
 - (a) 帯電防止靴・導電性床の利用による人体の接地
 - (b) 帯電防止作業服の着用
- (3) 不導体の排除（第 7 章参照）
 - (a) 導電性材料の容器・パイプ・フィルタなどを利用し、これらを接地する。
 - (b) 静電遮へい
 - (c) 絶縁性液体に帯電防止剤や導電性液体を添加する。
- (4) 電荷発生抑制（第 7 章参照）

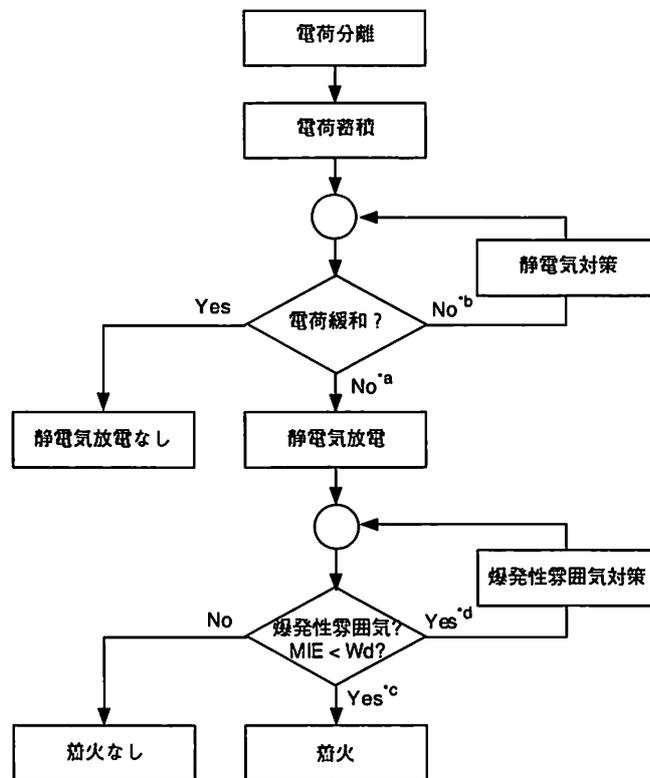


図 4.1: 静電気災害の発生と防止対策のフロー *a: 電荷緩和がほとんどない、あるいは静電気対策が不適當（不十分、管理不足）なため電荷緩和がほとんどないとき、*b: 電荷緩和がほとんどないため静電気対策を講ずるとき、*c: 放電エネルギー W_d が最小着火エネルギー MIE よりも大きい、あるいは爆発性雰囲気形成の防止対策が不適當で $W_d \geq MIE$ のとき、*d: 着火危険性があり、爆発性雰囲気形成の防止対策を講ずるとき。

- (a) 作業の運転速度や液体・粉体の輸送の流速の制限
- (b) 帯電しやすい液体では乱流や噴出を避ける。
- (5) 爆発性雰囲気の防止（付録 A 参照）
 - (a) 通風・換気
 - (b) 可燃性ガス・蒸気，粉体の吸引（局所排気）
 - (c) 可燃性液体を用いる作業では温度を引火点より少なくとも 5°C 低くする。
 - (d) 不活性ガスの利用：窒素パージ
- (6) 安全管理（C.1, C.2 参照）
 - (a) 対策は職場の安全衛生管理体制の下に管理・維持されなければならない。
 - (b) リスクアセスメントの実施

上記の (1)–(4) に見られるように静電気対策の本質は電荷緩和の促進と電荷発生の抑制による帯電の防止である。

4.3 静電気の抑制

帯電物体の漏洩抵抗を低くするあるいは周辺の導電率を高くして電荷緩和を促進することによって静電気の蓄積を抑制して災害を防止することができる。

4.3.1 導体の接地とボンディング

導体は帯電すると静電気災害の原因となる火花放電等を発生するので、すべての導体と導電性材料を接地しなければならない。

接地は導体と大地間を電氣的に接続することによって導体の帯電を防止する対策であり、ボンディングは導体同士を電氣的に接続することであり、直接の接地が容易でない導体と接地した導体をボンディングすることによって接地する方法である。ボンディングの結果として導体間の電位は同電位なる。

静電気帯電による電流は数十 μA 以下であるので、漏洩抵抗が $10^6 \Omega$ 以下となるように接地すれば十分に帯電防止できる。(第5章, 3.4.5.3 参照)

4.3.2 不導体の排除・導電性材料の活用

不導体は接地をしても電荷緩和がほとんどないので接地の効果がない。不導体に発生した電荷は蓄積され静電気災害の原因となる。不導体は導電性材料に代えて、これを接地して不導体の使用は避ける、あるいは不導体（たとえば、絶縁性液体）に帯電防止剤を添加するなどして導電性を向上させることにより、ブラシ放電、沿面放電などの静電気放電のリスクを低減できる。(第7章参照)

4.3.3 作業者の接地と帯電防止

作業者も静電気放電の原因となるので、靴、床の導電化により作業者（人体）を接地し、帯電防止作業服により電荷の蓄積を抑制する。(第6章参照)

4.3.4 電荷発生抑制

一般に、電荷の発生は接触の面積、摩擦の速度に依存して多くなるので、速度を遅くするなど作業工程を見直すことにより電荷発生を抑制できる。

4.3.5 除電

除電器を利用した電荷の抑制である。除電器で発生したイオンにより帯電物体の電荷を中和する。帯電物体の周辺の媒質の導電率を高く（電荷緩和を促進）するのと等価である。不導体の除電に有効である。ただし、ほかの対策と併用して、除電器単独でのリスク低減策はしないこと。(7.6 参照)

4.3.6 静電遮へい

不導体を接地導体で覆うことにより、または、接地導体により区画化することにより、不導体の帯電の影響を小さくしてブラシ放電、沿面放電などの静電気放電の危険性を抑制する。たとえば、絶縁ホースにスパイラル状に巻かれた接地導線もこれにあたる。(7.5 参照)

4.4 着火防止

着火源があっても可燃性雰囲気（危険場所）でないと着火しないので爆発性雰囲気の生成を防止する方法も有効である。着火防止対策が適切に実施された場合は、爆発性雰囲気でなくなるので爆発・火災防止のための静電気対策は不要となる。(付録 A, A.4 参照)

4.5 安全管理

静電気対策には定期的な点検と組織的な維持・管理が必要である (C.1 参照)。また、どのように対策しても物質があるかぎり静電気は発生し、さらに、可燃性物質を扱っている工程では絶対安全はあり得ないので、災害防止には、安全基準遵守方式の管理ではなく、リスク低減方式による管理手法のリスクマネジメントとリスクアセスメント¹ (C.2 参照) が重要である。

¹定義上はリスクアセスメントはリスクマネジメントのうちのひとつのプロセスである。

第5章 接地とボンディング

5.1 接地・ボンディングの目的

接地は静電気対策の中でも最も基本的な対策である。接地¹によって物体に発生した静電気を大地に漏洩（緩和）させるための電氣的漏洩回路を作り、物体に静電気が蓄積（帯電）することを防止することが目的である。接地・ボンディングの結果として近接する物体同士の電位差がなくなるので、この物体間で起こる放電を防止することができる。

5.2 接地・ボンディングの適用範囲

4.3の静電気の抑制に示した導体（金属、導電性物質、導電性物質・材料でできた物体および作業（人体））の接地は火花放電などの原因となる静電気の帯電を防止することができる。接地して効果のある物体は体積抵抗率が $10^8 \Omega \cdot m$ 以下、表面抵抗率が $10^{10} \Omega$ 以下の材料でできたものであり、表 2.2 に示す不導体以外のものである。

5.3 接地・ボンディングの対象

接地・ボンディングが必要なものは導体である。

- (1) 金属導体は、これに静電気の発生、帯電の可能性がある、あるいは静電誘導を受ける可能性がある場合、その大小にかかわらず接地を必ず実施する。
- (2) 複数の金属導体が不導体によって支持されたり、不導体の中に混在して、これらが大地から絶縁されている場合、それぞれの金属導体を接地するか、またはボンディングして接地する。
- (3) 金属導体以外のものでも導電性材料などでできた物体は、これに密着する金属導体を設けて接地する。
- (4) 作業者の接地（第6章参照）

金属導体が次に示すようにすでに接地されている場合、または次に示すように接地されているものとボンディングされている場合は、改めて静電気対策のための接地をする必要がない。

- (1) 雷に対する保護接地
- (2) 電気機器類の漏電に対する保護接地
- (3) 高電圧、電磁波などの誘導に対する保護接地

¹静電気対策としての接地は電気設備等の接地と異なり、静電気の発生電流が小さいので接地するための抵抗値が電気設備のものよりも大きくなっていることに注意する。

- (4) 金属導体が一部大地に埋設されていたり、または埋設されている鉄骨、鉄筋等の建造物、金属構造物とボンディングされている場合

5.4 漏洩抵抗

人以外の導体は接地によって形成される漏洩抵抗を $10^6 \Omega$ 以下にする。このためには接地極の接地抵抗は 1000Ω 以下にする²。

5.5 ボンディングの抵抗

必要な漏洩抵抗を確保するためにボンディングの抵抗は 1000Ω 以下にする。通常、被覆導線などで行われるのでこれを満足する。

5.6 接地・ボンディングの方法

5.6.1 接地極

静電気の接地を目的とする接地極は

- (1) 一般の電気機器を接地するために使用されている接地極、接地棒を極として共用することができる。
- (2) 金属導体でできている構造物または金属物体の一部が大地に埋設され、その接地抵抗が 1000Ω 以下である場合はこれを接地極に利用してよい。

5.6.2 接地・ボンディング線

接地・ボンディング線は、腐食のおそれのない材料で、かつ、通常の使用状態で容易に断線しないように、機械的強度が十分大きい被覆電線、キャブタイヤケーブル、金属板などを用いる。特に移動物体、可搬物体、振動物体などの接地線は強度に十分留意する。

5.6.3 接続端子

- (1) 接地・ボンディング線の接続は容易に外れないよう確実にする。
- (2) 接続端子、接地・ボンディング線の端末器具は、機械的強度が大きく、かつ、腐食等が起こりにくい材料のものを使用する。
- (3) 接続端子と接地・ボンディング線の接続は、圧着端子とボルトによるネジ付け（図 5.1a）、あるいは移動・可搬物体³には挟む力の強い大型ワニ口クランプ接続器具（図 5.1b）などにより、電気的かつ機械的に確実な接続が得られるような方法によって行う。

²漏洩抵抗にはこの接地抵抗も含まれる。なお、大型のタンクなど固定された設備の接地抵抗は 10Ω 以下にする。

³接地した導電性床上の金属バケツや導電性ローラをついた台車などはこの床との接触により接地しているが床表面、金属バケツ底、ローラの汚れによって漏洩抵抗が大きくなり静電気災害が生じているので、このようなものも確実に接地・ボンディングすること。

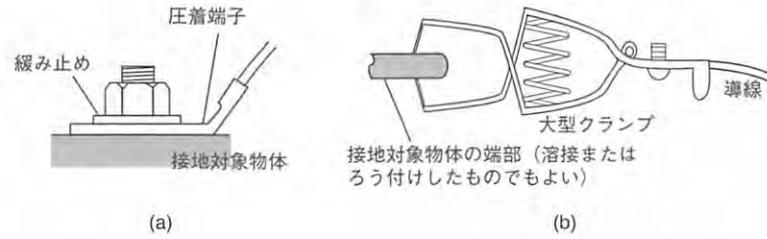


図 5.1: 接地端子 (a) 固定設備の端子, (b) 可動物体の端子

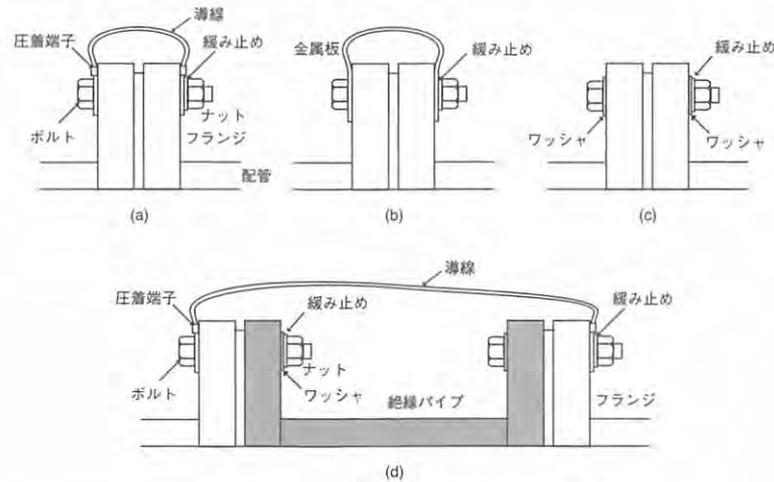


図 5.2: 配管のボンディングの例

5.6.4 接地・ボンディングの注意点

静電気対策のための接地では接地線の電流容量は問題にならない。断線、外れ、接触不良等機械的・電氣的接続不良、および接続忘れを起こさないことが肝要である。金属配管のボンディング（図 5.2）において、フランジで金属製のボルトとナットによって抵抗 1000Ω 以下の電氣的接続がある場合は導線等による接続は不要（図 5.2c）である。金属配管の途中で、絶縁パイプやホースを取り付けるとボンディングが断線されたのと同様になるのでこれを避ける。また、このようなパイプ、ホースは沿面放電の原因ともなる。やむを得ず窓用などで絶縁パイプを使用する場合は、図 5.2d のようにボンディングする。このとき、絶縁パイプは極力短くして、危険場所では絶縁パイプを静電遮へいする。

接地・ボンディングは恒常的に実施されることが必要である。一時的な接地・ボンディングは誘導帯電（3.3.2 参照）の原因となり危険である。

図 5.3 のように流動する不導体に接地導体を接触させると、帯電防止効果よりも静電気の発生効果の方がまさり帯電が助長されることがあるので、帯電防止の目的で流動している不導体に接地導体を接触させない。

静電気安全指針応用編追補「静電気防止用接地基準」も参照されたい。

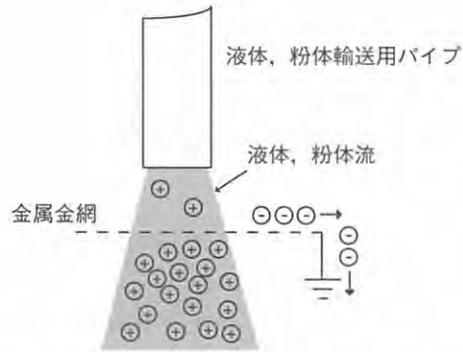


図 5.3: 誤った接地の例 接地金属との接触・分離による帯電

5.7 接地・ボンディングの保守管理

接地・ボンディング線が断線などすると災害の原因となるので、定期的な保守と組織的な管理が必要である。測定方法は E.9.6 を参照すること。(静電気安全指針応用編追補「可燃性液体・粉粒体等製造施設・設備等の静電気点検・検査基準」参照)

第6章 作業者の静電気対策

6.1 作業者の帯電の危険性

- 作業者の帯電には着衣等の摩擦，立ち上がる時のシートとの摩擦，歩行などによる床との摩擦帯電や高電圧部に近づくことによる誘導帯電などがある。
- 人体は静電的には導体であるので，火花放電，ブラシ放電，沿面放電の危険性がある。
- 作業者による上記の放電は可燃性ガス・蒸気，粉じんの着火源に十分になりうる。

6.2 作業者の静電気対策

危険場所や電撃が問題となる場所では，静電気災害の防止対策として作業者の接地と帯電防止を実施しなければならない。

- (1) 人体の接地
作業床，作業靴の導電化
- (2) 作業服の帯電防止
静電気対策を施した作業服¹の着用

作業床の種類については，B.3を参照。

6.2.1 作業者（人体）の接地

作業者の帯電が起因する静電気放電を防止するためには，作業者（人体）の漏洩抵抗を $10^8 \Omega$ 以下²にして作業者の帯電電位を100 V以下にする必要がある（3.4.5.3参照）。人体の漏洩抵抗は主に靴の抵抗と床の漏洩抵抗の和であるので，この人体の漏洩抵抗の条件を満足するためには，以下に示す床と靴の導電化が必要となる。

- (1) 床の導電化
作業者の接地のため大地から電氣的に絶縁されないように，適切に接地された導電性のある床あるいは導電性マットなどを使用することによって作業床を導電性にする。作業床の漏洩抵抗は人体に帯電している静電気がこれを通じて短時間に大地へ漏洩するよう $10^8 \Omega$ 以下にする。

¹当然であるが，つなぎ服，防寒作業服，無塵服などの作業服も含まれる。

²作業者の漏洩抵抗は下記のような場合は， $10^8 \Omega$ 以下とは限らない。

- 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。
- Zone 0(IIC)，Zone 1(IIC) の危険場所では $10^6 \Omega$ 以下にする。本来は，このような危険場所では人が作業するべきでない。
- 電撃が多い場合は $10^9 \Omega$ 以下にすると防止できることが多い。

(2) 靴の導電化

靴の抵抗³は感電防止も考慮して $10^5 \sim 10^8 \Omega$ であること（JIS T8103 [28] では $10^5 \sim 10^9 \Omega$ である⁴。）

(3) 腰掛けた作業のように、行動範囲が制限されている場合はリストストラップによる接地も有効である。

帯電防止靴の着用基準，選定，管理については静電気安全指針応用編追補「静電気帯電防止靴・作業服・手袋の使用基準」を参照されたい。

6.2.2 作業服の帯電防止

作業者の電荷蓄積を抑制するため、帯電防止作業服を着用し、下記のように総合的な帯電防止対策を実施する。

- (1) 作業服は、導電性繊維を混入して帯電防止した帯電防止作業服（JIS 規格適合品（JIS T8118 [29]）を着用する。
- (2) 手袋，帽子（ヘルメットを含む）等は，作業内容，作業場所を考慮して必要があれば帯電防止したものを使用する。
- (3) ゴム手袋は，導電性手袋を使用する。
- (4) 電荷発生および放電の原因となるので，危険場所では作業服等の着脱をしない。
- (5) 帯電防止作業服は，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（帯電防止靴，導電性床によって作業者が接地されていることが前提），帯電防止服の下の衣類の材質については特に制限を必要としない。

Zone 0, 1, 20 および 21 の危険場所では不燃あるいは難燃性の帯電防止作業服にすることが望ましい。帯電防止作業服，手袋などの着用基準，選定，管理については静電気安全指針応用編追補「静電気帯電防止靴・作業服・手袋の使用基準」を参照されたい。

6.2.3 安全作業の励行

作業者は作業者自身の帯電に結びつくような行動をできるだけとらないようにする。たとえば，次のような行動は作業者の帯電の原因となる。

- (1) 高帯電物体への接近，接触（誘導帯電と火花，ブラシ放電の原因）
- (2) 作業者が絶縁状態となるような環境での作業（電荷蓄積と火花放電の原因）
- (3) 作業中の作業服の着脱（摩擦，剥離帯電と放電の原因）

これらを防ぐためには作業の基準化とこれの遵守が有効であるが，その際に上記の静電気危険性を含めた安全教育が必要である。

³靴下の重ね着，厚手の靴下，絶縁性の中敷きを使用するなどの抵抗増加の原因となることはしないこと。

⁴この $10^9 \Omega$ の上限は JIS の試験方法が IEC に準拠して変更され，これまで $10^8 \Omega$ 以下で JIS 規格品であったものが，そうでなくなる場合ができたため変更されたものである。したがって，JIS 規格適合品の帯電防止作業靴であればよい。

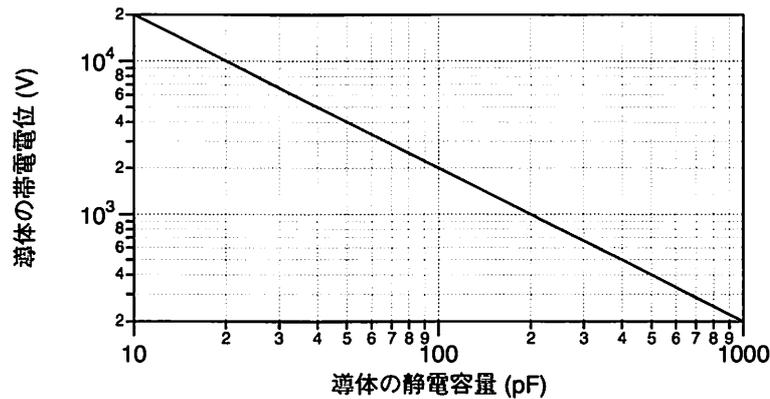


図 6.1: 帯電導体による電撃の限界（放電電荷を $0.2 \mu\text{C}$ として計算） 直線より上で電撃を受ける。

6.3 安全管理

作業床や服・靴などは表面の汚れによって抵抗や帯電防止性能が変化するので、定期的な測定管理が必要である。測定法は静電気用品基準を参照する。作業前に簡便な測定器を用いて靴を履いた状態での作業者の漏洩抵抗を点検することも有効である。

作業床に関しては漏洩抵抗を、乾燥期を含めて、少なくとも年1回の測定管理をする。また、床の清掃も定期的に行い、その際は絶縁性のワックスは使用しないことと、帯電防止剤を塗布した床⁵は、清掃により帯電防止効果が低減するので注意する。

また、作業者の静電気対策とは異なり、リスクアセスメントの一般的な事項であるが、作業者は想定外の行動をするものであるため、あらかじめ、これらの行動とそれによる危険源をリストアップして、それぞれについてリスクを評価し、必要であればリスク低減策（静電気対策）を講じておくことも重要である。

6.4 電撃

作業者の静電気放電は電撃の原因ともなる。電撃はショックによる動作により転落などの二次的な災害になりかねない。主に数kVから数十kVの帯電による火花放電が原因である。この火花放電による電撃は導体の接地・ボンディングおよび本章の作業者の静電気対策で防止できる。

電撃の強さは放電電荷量と相関関係があり、一般に放電電荷量が $2\sim 3 \times 10^{-7} \text{ C}$ ($0.2\sim 0.3 \mu\text{C}$) 以上になると電撃を受ける。帯電した作業者が接地導体に対して起こる火花放電で電撃を受ける作業者の帯電電位 V は放電電荷量を Q_d とすると、 $V = Q_d/C$ となる。また、人の静電容量 C は $100\sim 300 \text{ pF}$ の範囲にあるので、電撃を受ける作業者の最低帯電電位 V_{min} は

$$667 \text{ V} \leq V_{min} \leq 3 \text{ kV} \quad (6.1)$$

の範囲にある。電撃は人の感覚にも依存するが、一般に V_{min} の最大の 3 kV 以上になると電撃を感じるとされている。表 6.1 は人体の帯電と電撃の強さの関係を示す。

逆に、帯電物体（導体）と作業者（接地した導体と考える）の電撃の限界は

$$V_o \geq \frac{2 \times 10^{-7}}{C_o} \quad (6.2)$$

⁵帯電防止効果の寿命は長くないので、頻繁な測定管理が必要となる。

表 6.1: 人体の帯電電位と電撃の強さ

帯電電位 (kV)	電撃の強さ	備考
1.0	全く感じない	
2.0	指の外側に感じるが痛まない	かすかな放電音発生
2.5	針に触れた感じを受け、びくりと感じるが痛まない	
3.0	針で刺された感じを受け、ちくりと痛む	
4.0	針で深く刺された感じを受け、指がかすかに痛む	放電の発光を見る
5.0	手のひらから前腕まで痛む	指先から放電発光が延びる
6.0	指が強く痛み、後腕が重く感じる	
7.0	指、手のひらに強い痛みと、しびれた感じを受ける	
8.0	手のひらから前腕までしびれた感じを受ける	
9.0	手首が強く痛み、手がしびれた重みを受ける	
10.0	手全体に痛みと電気が流れた感じを受ける	
11.0	指が強くしびれ、手全体に強い電撃を感じる	
12.0	手全体を強打された感じを受ける	

(注) 人体の静電容量：約 100 pF

となる。ただし、 V_0 、 C_0 はそれぞれ帯電物体の帯電電位と静電容量である。式 (6.2) を示したのが図 6.1 である。直線より上で電撃を受ける。

帯電物体が不導体の場合、放電はブラシ放電または沿面放電であり、ブラシ放電ではその帯電電位が約 30 kV 以上で電撃を受けること多いので、ブラシ放電による電撃を防止するためには不導体の帯電電位を 10 kV 以下にする。沿面放電による電撃の防止は 3.4.8.2 の沿面放電の防止を参照。

第7章 不導体の静電気対策

7.1 不導体の静電気危険性

不導体は容易に電荷を蓄積するのでブラシ放電、沿面放電、コーン放電の危険性がある。

7.2 不導体の抵抗率・導電率

不導体は電荷緩和が期待できなく電荷の蓄積が生ずる物質で、表 2.2 に示すように、その抵抗率（導電率）で定義できる。体積抵抗率が $10^8 \Omega \cdot m$ 以上（導電率 $10^{-8} S/m$ 以下）の物質で、固体の場合はさらに表面抵抗率が $10^{10} \Omega$ 以上の物質である。

このような物質・物体は静電気災害の原因となるが、以下に示す対策でその危険性を低減できる。

7.3 不導体の制限

不導体自体の帯電防止は困難であるので不導体の利用はできる限り避けるべきである。危険場所（Zone 0, 1, 2（表 2.3 参照））と着火エネルギー（ガス・蒸気グループの IIA, IIB, IIC（表 2.4 参照））によって、不導体の面積と幅を制限する。その目安を表 7.1 に示す。この表は帯電させた種々の面積の不導体の放電による種々のガスの着火実験 [1, 10, 30] に基づいている。この不導体の制限を満たすための対策は 7.4, 7.5 に示す。

7.4 導電性の向上

不導体の導電性を向上させ、これを適切に接地して電荷緩和を促進させることによって電荷蓄積を抑制することによる静電気対策である。

表 7.1: 不導体面積・幅の制限 [4]

Zone	Group IIA		Group IIB		Group IIC	
	最大面積 cm ²	最大幅 cm	最大面積 cm ²	最大幅 cm	最大面積 cm ²	最大幅 cm
0	50	0.3	25	0.3	4	0.1
1	100	3.0	100	3.0	20	2.0
2	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし

ただし、幅は細管やケーブルの被覆など狭い幅（直径）を持つ不導体に適用

7.4.1 金属材料の使用

次に示すものは、可能な限り不導体でなく金属材料でできたものを使用し、これを必ず接地・ボンディングする。

- (1) 摩擦等によって静電気の発生が持続する部分、装置等
- (2) 静電気が帯電している物体を多量に取り扱う容器等
- (3) 移動または可搬型の装置等

7.4.2 導電性材料の利用

導体が使用できない場合は導電性材料を用いた用品に代えてこれを適切に接地する。このとき次の静電気災害防止の要件を満たさなければならない。

- (1) 漏洩抵抗を $10^6 \Omega$ 以下にする。
- (2) 導電性材料は体積抵抗率が $10^8 \Omega \cdot m$ 以下、または、表面抵抗率が $10^{10} \Omega$ 以下のものを使用する。

導電性材料の性能は環境に影響されることがあるので相対湿度を 50%以下にして導電性を定期的に点検することが望ましい（静電気用品基準参照）。導体でも絶縁性塗装・コートなどをすると沿面放電の危険性が生ずるので、帯電するおそれがある場合は導電性の材料を使用しなければならない。（B 参照）

7.4.3 帯電防止剤の利用

帯電防止剤は主として界面活性剤を主成分とする薬剤で、これを不導体を使用すると、不導体の表面に親水性が付与され吸湿性を増したり、またイオン性が付与され結果的に表面の導電性が増加し、不導体が帯電防止される。帯電防止性能は湿度の影響を受け、相対湿度が 40~50%以下になると効果が低下する。（付録 B、静電気安全指針応用編追補「プラスチック用帯電防止剤の使用基準」参照）

7.4.4 帯電防止材料の利用

布製品は導電性繊維を混入して、この繊維を通した電気伝導とコロナ放電（自己放電¹）によって帯電防止したものをを用いる。このような製品には作業服、バグフィルタ、布製シュート、フレキシブルコンテナなどがあり、作業者に関わるものを除いて帯電防止材料は適切に接地しなければならない。湿度には比較的に影響されないが、コロナ放電が発生しないと機能しないので、数 kV 以下には帯電防止できない。（付録 B 参照）

¹ 帯電物体の近くに接地した金属あるいは導電性の細線導体または曲率半径の極めて小さな導体があるとコロナ放電が生ずる（第 3.4.6 参照）。このコロナ放電によって生じたイオン（たとえば、帯電物体の帯電が正の場合は負イオン）により帯電物体の電荷がある程度中和（除電）される。このように帯電物体自体の電界により、コロナ放電が生じていることから自己放電と呼ばれ、不導体の静電気対策に用いられている。

7.4.5 加湿

吸湿性のある不導体は加湿によって表面抵抗を低下させて電荷緩和を促進することができる。加湿を実施する場合は次のような方法で相対湿度を50~65%程度にする。

- (1) 加熱型，超音波型の加湿器の利用
- (2) 大気圧より少し高い圧力で水蒸気を噴出させる。
- (3) 比較的広い範囲にも適用できる加湿用の水ミスト噴霧装置も有効である。
- (4) 床面に散水する。ただし，床面の材質によっては効果がない場合や転倒のおそれがあるので注意する。

7.5 静電遮へい

静電遮へいは静電気の帯電が危険となる不導体を接地した導体あるいは導電性材料で覆い，または区画化して静電気の危険性を抑制する方法である。帯電物体が接地導体で覆われるので，接地導体の外側では帯電電荷による影響がなくなり，静電気放電などの危険性を抑制できる。

7.5.1 遮へい材

遮へい材料は金属板，金属細線または目が数 cm 角の金網等が望ましい。金属製または導電性のテープ，導電性のフィルムまたはシート，導電性繊維入りの布製品などでも良いが，接地には十分に留意する。

7.5.2 遮へいの方法

- (1) 遮へい材が帯電物体に密着するようにする。
- (2) 金属細線を使用する場合は，金属細線を数 cm の間隔で巻き付ける。
- (3) 金属以外のものを使用する場合は，遮へい材の一部にこれと十分密着する金属を設け，それを確実に接地する。
- (4) シートなどは片面のみの遮へいはしてはならない。反対面で沿面放電の原因となる（図 7.1）。

7.5.3 遮へいの例

- (1) 絶縁性ホース，パイプ等の遮へいは，金属細線または金属テープ等でホース等の表面を遮へいするか，または金属線入りのホース，パイプ等を使用し，金属線を確実に接地する（図 7.2）。
- (2) 粉体を取り扱う布製シュート，バグフィルタ等の遮へいは，布に導電性繊維または金属細線入りのものを使用して接地する。

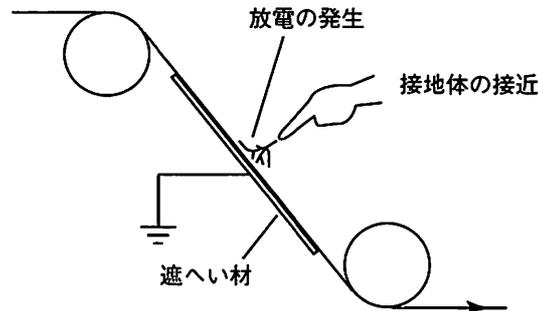


図 7.1: 誤った遮へいの例 沿面放電の原因

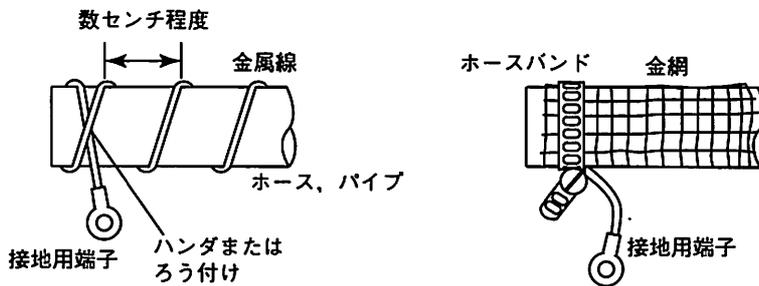


図 7.2: 絶縁性ホース、パイプの遮へい例

7.6 除電器の併用

空気を何らかの方法により電離させて、生成したイオンの電荷により帯電物体の電荷を中和して除電する方法である。除電器はあくまでもほかの対策との併用が原則である。除電器の安全性を評価する実験 [10] で確かめられているように除電器が着火源になりうるので、危険場所で除電器を利用する場合は十分なリスクアセスメントが必要である。この場合、防爆型の除電器²を用いるか、通気・換気などにより爆発性雰囲気防止対策が必要である。また、除電効果の調査および除電器の維持管理も含めて専門家のアドバイスを薦める。

7.6.1 自己放電式除電器

接地したコロナ電極（金属針，導電性細線（ファイバ・ブラシ））を配置して帯電物体の電荷を除電する方法である。この除電器は適用範囲に限られるので除電効果について調査する必要がある。Zone 0 の危険場所では使用を避けるべきであり，Zone 1 でも除電器のみで災害防止対策をしないことが望ましい³。

7.6.2 電圧印加式除電器

放電針に 5~10 kV 程度の直流または交流電圧を印加して発生した両極性の直流（正・負別個の放電針）または交流コロナ放電を用いて除電する装置である。放電回路には電流制限のための直列の高抵抗またはキャパシタ（交流の場合）が挿入されているものを用いる。危険場所では使用を避

²現在のところ Zone 0, Zone 20, 21, 22 に適合した防爆型除電器はない。

³正極性コロナ放電（この場合は帯電物体が負に帯電）は電圧が数十 kV でブラシ放電になるので，ガス・蒸気の可燃性雰囲気の着火源となりうる

けるか、防爆型の除電器を使用するなど、除電器が着火源とならないように対策を講ずる必要がある。

7.6.3 放射線式除電器

放射性同位元素の電離作用によって除電のためのイオンを生成する除電器である。Polonium-210の α 線を用いたものが主流である。この除電器はそれ自身が着火源になることはないが、放射線源を保有しているので法規に従い、取り扱いに注意する。除電能力はそれほど高くないので効果について調査が必要である。危険場所では除電器のみで災害防止対策をしない。

7.6.4 軟X線式除電器

軟X線はX線（0.001~10 nmの電磁波）のなかでも比較的長波長（0.1~10 nm）で透過力の弱いX線である。この軟X線の光子が分子（空気）と衝突したとき、分子から電子が飛び出し、分子は正イオンになる。この電子はほかの分子に付着して、負イオンを形成する。これらのイオンを用いて除電が行われる。軟X線源を保有しているので法規に従い、取り扱いに注意する。除電効果について調査が必要である。危険場所では使用を避けるか、防爆型の除電器を使用するなど、除電器が着火源とならないようにする。

第8章 液体の静電気対策

8.1 液体・ミストの帯電による着火

8.1.1 可燃性雰囲気形成

可燃性液体のプロセスでは液体蒸気により液面の上部空間に可燃性雰囲気が形成されていると考えてよい。

8.1.2 静電気の危険性

液体の取り扱い工程で着火危険の要因となるものは

- (1) パイプ、ホース、フィルタなどを用いる液体流
- (2) 充填作業
- (3) プロセス容器たとえば、粉体や不溶性液体を含む混合液の攪拌と攪拌後の沈降
- (4) 検尺・サンプリング
- (5) 洗浄作業

などがあり、このような工程での災害が多い。

8.2 液体の導電率

静電気による着火は特に、電荷の緩和が期待できない低い導電率（50 pS/m 以下）の液体でそのリスクが高くなる。液体の導電率は表 8.1 のようにクラス分けできる。液体の導電率と比誘電率を表 G.6 に示す。

8.3 タンクサイズのクラス分け

タンクのサイズによって静電気危険性と防止策も異なるので表 8.2 のようにクラス分けする。

表 8.1: 静電気上の液体の導電率のクラス分け

クラス分け	導電率	代表的な液体
高導電率	> 1000 pS/m	水, 純水, アルコール, ケトンなど
中導電率	50 ~ 1000 pS/m	ガソリン (有鉛), トリクロロベンゼンなど
低導電率	< 50 pS/m	ガソリン (無鉛), 灯油, トルエンなど

表 8.2: タンクサイズのクラス分け

大型タンク	直径または対角線の長さが 5 m 以上, 一般には容積が 50 m ³ 以上
中型タンク	直径または対角線の長さが 5 m 以下, 目安として容積が 1~50 m ³
小型タンク	容積 1 m ³ 以下の容器

8.4 パイプ輸送

液体がパイプ等を通るとき、液体と壁との境界には必ず電気二重層を形成して、一方の極性の電荷は液体とともに流れ、他方の電荷は壁に残る。この帯電量はパイプと液体の導電性のほかに、流速 v 、パイプ径 d などに依存する。接地した金属パイプ内の液体の流れとともに流れる電流は

$$i = 3.7 \times 10^{-6} d^2 v^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{l}{v\tau}\right) \right] \quad (8.1)$$

なる関係 [31] が実験的に求められている。この式は 0.5 倍から 2 倍の誤差範囲内にあることも確かめられているので [32]、電荷発生量の目安¹として便利である。ここで、 l はパイプの長さ、 τ は液体の電荷緩和時間 ϵ/σ (ϵ, σ : 液体の誘電率と導電率) である。導電率が低い液体、パイプの長さが十分に長いなど ($l/v\tau = \infty$) で指数関数の項を無視できる場合、この式から電荷密度 q が流速に比例する式

$$q = 4.7 \times 10^{-6} v \quad (8.2)$$

を導くことができる。これらの式は海外の規格 [4, 15, 34] でも引用されている。式 (8.2) から、実際に静電気対策に用いられている流速 1~10 m/s は液体の電荷密度では約 5~50 $\mu\text{C}/\text{m}^3$ の範囲にあることがわかる。また、 $l \geq 3v\tau$ の長さのパイプは無限長のパイプと同じと考える。

8.4.1 液体流の静電気対策

(1) 接地・ボンディング

- (a) 導電性のパイプやホースを使用して、接地する。
- (b) パイプ接続部のボンディング

(2) 流速の制限による電荷発生抑制 [7, 18, 26, 35]

- (a) 中・高導電率の液体の輸送の最大流速は 10 m/s
- (b) 低導電率の液体の輸送の最大流速は 7 m/s と式 (8.3) で小さい方の速度
- (c) 充填の初期最大流速は 1 m/s
- (d) 二相液体 (水滴, 粉体などが混在した液体) の場合の最大流速は 1 m/s²
- (e) 絶縁性パイプ・容器 (ライニングも含む) を使用する場合の最大流速は 1 m/s。なお、低導電率液体には絶縁性パイプ・容器は使用しない。

¹ただし、マイクロフィルタの付随したパイプのように帯電が著しく大きくなるような場合には式 (8.1) は適用できない。係数 3.7×10^{-6} は実験的に $(3.7 \sim 25) \times 10^{-6}$ Cs/m⁴ の範囲にあることも報告されている [33]。低い値の方は内面が比較的スムーズなパイプで高い値の方は内面が荒いパイプで得られたものである。

²キシレンにシリカゲルまたはポリカーボネートの粉体を入れたときの実験 (測定電荷密度が 400~1500 $\mu\text{C}/\text{m}^3$) から、二相液体の場合、10~50 $\mu\text{C}/\text{m}^3$ を超えると着火危険性があると結論づけている [35]。式 (8.2) より、流速 1 m/s では電荷密度は 5 $\mu\text{C}/\text{m}^3$ となり、上記の危険限界を超えない。

8.5 充填

8.5.1 充填の静電気危険性

液体のタンク充填には8.4で示したように帯電液体が流入しタンク内に静電気が蓄積され、可燃性の雰囲気タンク内で形成されているとき着火の危険性が生じる。充填中に起きうる着火性放電は火花放電とブラシ放電であり、液体のパイプ輸送（8.4）・噴出によるミスト・混入する粒子や液滴の沈降³・作業により電荷が発生して、液体自身への電荷蓄積、絶縁された導体（作業員、接地されていない金属パイプ、容器、タンクなど）への電荷蓄積が原因である。

8.5.2 充填の静電気対策

8.5.2.1 充填の一般的な静電気対策

液体のタンク充填の一般的な静電気対策は次のとおりである。

充填中の電荷蓄積を抑制するために

- (1) 接地・ボンディング：容器やタンクは当然のことであるが、浮き屋根、パイプ、ポンプ、フィルタ、ホースなど付随するものすべての導体は適切に接地・ボンディングする。
 - (a) 大型のタンクなど固定された設備の接地抵抗は10 Ω以下が望ましい。
 - (b) ホースを用いる場合は導電性のものにしてボンディングにより接地する。
 - (c) 火花放電の原因となるので、液面に浮いた導体（ゲージフロート、サンプル用の容器など）がないようにする。
 - (d) バケツなど可搬型の金属製容器は接地・ボンディングを確実にしないための災害が多いので注意する。
- (2) 作業員の静電気対策
作業員（人体）の接地と作業服の帯電防止
- (3) ボトムローディング、ディップ（ドロップ）パイプなどで液体の飛散・噴出（スプラッシュローディング、splash loading）を避ける。
 - (a) タンクや容器上部からの充填（トップローディング、top loading）は液体の飛散・噴出や液面での跳ね返り、泡の発生（スプラッシュローディング）などにより帯電の促進となるので、パイプをタンク下部まで下げる（ディップパイプ）。このときタンク下部には接触しないようにする。また、飛散防止のため液流をタンク底に対して水平方向にする45度のディップパイプの先端あるいはそのために先端にT字管を設けるとよい。
 - (b) あるいはタンク下部から充填する（ボトムローディング、bottom loading）。このとき、上方向の噴出やミストの生成を避けるようにタンク壁の方向に流入するようにする。このためにパイプの先にT字管などを設けてもよい。
 - (c) ディップパイプの先が液面下0.6 mまたはパイプ直径の2倍になるまでは流速を1 m/s以下に制限する。

³油面への消火泡の充填は沈降帯電の原因となるので、泡が液面全体を覆うように、流量、パイプ径など適切な設備での充填が必要である。

- (4) 安全のため配管内の最大流速は中・高導電率液体でも 10 m/s を超えないこと。
- (5) 固体不純物や水の液滴が混在する液体では、流速を 1 m/s 以下に制限する。
- (6) 電荷発生の原因となるので水などの沈降層をかき混ぜないように充填する。
- (7) タンク中心に上から下までの柱状の接地導体または金属網を設けると、液面の電位上昇を抑制できる。
- (8) 検尺、サンプリングの際の静電気対策 (8.7, 8.10 参照)

8.5.2.2 低導電率液体の充填

低導電率液体 (50 pS/m 以下) をタンクに充填するときの対策は、8.5.2.1 の対策のほかに次の対策が必要である。

- (1) 帯電防止剤の添加による導電化
- (2) あるいは次のいずれかにより爆発性雰囲気抑制により着火防止対策を行う。
 - (a) タンク内の不活性化：窒素などの不活性ガスの使用
 - (b) 浮き屋根またはフローティングカバーの利用 (これらは導電性であり適切にボンディングされなければならない)
- (3) 充填速度の制限
 - (a) 不活性ガスが充填されたタンクでは速度制限はない。
 - (b) 浮き屋根、フローティングカバーのあるタンクで、不活性化されていないとき、屋根またはカバーが浮くまでは流速を 1 m/s 以下にする。浮いた後は特に速度制限はないが、安全のため $v = 7$ m/s 以下の制限を薦める。
 - (c) 固定屋根の大型タンクで不活性化していないときは、1 m/s 以下に制限する。
 - (d) 流速制限：低導電率液体 (固体・水滴など液体に溶解しないものがない場合) の充填の流速制限は次のとおりである。

$$vd = \begin{cases} N \times 0.50 \text{ m}^2/\text{s} & (\text{導電率} > 5 \text{ pS/m}) \\ N \times 0.38 \text{ m}^2/\text{s} & (\text{導電率} \leq 5 \text{ pS/m}) \end{cases} \quad (8.3)$$

ただし、 v はパイプ内の流速、 d は上流側のパイプ径、ただし、パイプ径が異なる場合は最も小さなパイプ径を用いる。もし、この最小径部の長さが 10 m 以下であり、その断面積が次に小さな径の断面積の 67% 以上である場合は、最小径の次に小さな径を用いるとよい。

$$N = \begin{cases} 1 & (L < 2 \text{ m}) \\ \sqrt{L/2} & (2 \leq L \leq 4.6) \\ 1.5 & (L > 4.6) \end{cases}$$

L はタンク断面の対角線の長さ、ただし、タンクローリーのようにタンク内を完全に区画している場合はその区画の L を用いる。この式を満たしていても $v = 7$ m/s は超えてはならない。

ボトムローディングは接地されたディップパイブがないためトップローディングに比べて表面電位が大きくなる。したがって、ボトムローディングの場合の流速制限式は式(8.3)の75%とする。

- (4) マイクロフィルタなどの大きな帯電の原因となる部品は上流に取付け、タンクに入る前に適切な緩和距離 ($= 3v\epsilon/\sigma$) をとる。この長さが実現できないときは配管内の滞在時間を30秒以上とする。

8.5.2.3 タンクローリー・タンク車

タンクローリー ($\leq 50 \text{ m}^3$)・タンク車 ($\leq 100 \text{ m}^3$ 程度) への液体の充填、また、これらから、ほかの容器への充填は静電気危険性を伴うので次に示す静電気対策を実施する。

- (1) 接地・ボンディング
作業開始前にタンクローリーまたはタンク車、これに付随するホース、他方の容器などすべての導体は接地・ボンディング（接地，ボンディングの順）を実施し、その接続の解除（ボンディング，接地の順）は作業終了後にする。接地を実施しないと動作しないインターロック式ポンプを利用することが望ましい。
- (2) 導電性ホースの利用
- (3) 流速制限
低導電率液体では式(8.3)または7 m/sで遅い方の速度、中・高導電率液体では10 m/s以下にする。
- (4) 作業員（人体）の接地と作業服等の帯電防止
帯電防止用品（作業服，靴，手袋）の利用
- (5) 静置時間（8.9参照）
 - (a) 充填終了後、ディップパイブの取り出しは少なくとも5分の静置時間をとる。
 - (b) サンプリングや検尺は少なくとも10分の静置時間をとる。（8.7参照）
 - (c) なお、ゲージウェルを用いてサンプリング，検尺する場合，静置時間は不要である。

8.5.2.4 タンカー

タンカーの液体の充填、排出については 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）で出版されている。）に準じて実施すること。

8.5.2.5 ホース

- (1) ホースは導電性ホース（長さ1 m当たりの抵抗が $10^3 \sim 10^6 \Omega$ ）を使用する。このとき、ホースをボンディングにより接地する。
- (2) 低導電率液体や可燃性液体の取り扱いには導電性ホースを用い、絶縁性ホースは使用しない。

- (3) ホースに補強のために金属線（絶縁物に覆われているものもある）を巻いているものは、この金属線を確実にボンディングする。ただし、低導電率液体や可燃性液体には金属線が巻かれていてる絶縁ホースは使用しない。

8.6 移し替え

作業者が小型容器を用いて行う液体の移し替えは液体の飛散、パイプ、ホース、タンクとの摩擦・衝突により静電気の危険性があるので、次の静電気対策を実施する。

- (1) 作業者（人体）の接地と作業服等の帯電防止
- (2) 容器、ロート、パイプ、ホースノズルなどは金属あるいは導電性のものが望ましい。
- (3) 金属あるいは導電性容器では受け側容器の接地と導入側容器の接地あるいはボンディング。
- (4) ロート、パイプ、ホースノズル、計量用のはかり、可搬の架台、ポンプなどの導体の接地・ボンディングを忘れないこと。
- (5) 接地・ボンディングは、移し替えの前に容器の接地、ボンディングの順に行い、作業終了後にボンディングをはずし、必要な静置時間（8.9 参照）をおいた後に接地をはずす。
- (6) 液体が飛散ないように、ロート、ディップパイプを用いて先端を容器底部まで降ろす。
- (7) 容器から直接に移し替えを行う場合は、ロート、ディップパイプを用いることが望ましいが、液体が飛散ないように器壁に沿ってゆっくりと移し替えてもよい。
- (8) ポンプを用いる場合は、気泡が入らないようにする。

8.7 検尺・サンプリング

液面で実施する液面計のフロートなど、タンク内の検尺および液体のサンプリングには静電気による着火危険性があるので、ゲージウエルの設置を薦める。そうでない場合は検尺・サンプリングをできるだけ避ける。また、検尺は防爆型の超音波液面計も有効である。ゲージウエルを用いないで、検尺・サンプリングをやむを得ず行う場合は、静置時間（低導電率液体の場合は少なくとも10分、遊離水分が含まれる低導電率液体の場合は30分以上、8.9 参照）をとる。なお、ゲージウエルが設備されたタンクにおいては静置時間は不要となる。検尺、サンプリングの部品のすべての金属部分は、接地されたタンクではタンクにボンディングし、そうでないタンク（たとえば、絶縁性容器）では直接に接地する。このとき金属チェーンは使用しないこと。マニュアルサンプリング、検尺の場合は、人体の接地と作業服等の帯電防止を忘れないこと。

8.8 絶縁性容器・パイプ・ホース・バルブ

グラスライニング、プラスチックタンクなどの体積抵抗率 $10^8 \Omega \cdot m$ 以上、または表面抵抗率 $10^{10} \Omega$ 以上の材料でできた絶縁性容器や絶縁性パイプ・ホース・ボールバルブは静電気を蓄積し、その帯電により誘導帯電や導体が近づくことによりブラシ放電や沿面放電の原因となるので、極力使用は避けるべきであり、可燃性液体を取り扱う場合は静電気対策が施されている導電性の容器、パイ

プ・ホース・バルブを使用して、接地・ボンディングする。特に、大・中型のタンクや低導電率の液体に対しては絶縁材料を使用しないこと、また、Zone 0 の危険場所では小型容器であっても絶縁性容器は使用しない方がよい（使用が避けられない場合は、専門家のアドバイスを求めるべきである）。

- (1) 金属製でない容器への充填は、容器を導電化（導電性容器）して、フランジなどを金属として接地する。
- (2) 高導電率の液体でも絶縁性容器やパイプ（絶縁性ライニング容器・パイプも含む）を使用するときは流速を 1 m/s 以下にする。
- (3) 液体の充填は 8.5.2 に従って行う。
- (4) 絶縁性容器やパイプ・ホースなどに取り付けてある導体（たとえば、フランジ、遮へい用の金属など）は接地する。
- (5) 可能であれば絶縁容器内に接地金属板を入れて液体と接触させるとよい。このときのこの金属板の面積は $0.04V_t \text{ m}^2$ 以上⁴にする [7]。ただし、 V_t はタンクの容積 (m^3) である。
- (6) 可搬型の絶縁性容器で、金属部があるものは火花放電の原因となるので危険場所では使用しない。
- (7) Zone 1 の危険場所での絶縁性の容器およびパイプの使用には十分なりスクアセスメントが必要である。
- (8) Zone 0 の危険場所での絶縁性の容器およびパイプの使用を避けるか、着火防止対策（爆発性雰囲気形成の防止対策）を講ずる。やむを得ず使用する場合は専門家のアドバイスを求めること。
- (9) Zone 0, 1 の危険場所では、電荷発生の原因となるので絶縁性の容器およびパイプ表面の摩擦（たとえば、清掃）は避ける。

8.9 静置時間

電荷緩和による静電気対策である。低導電率液体であっても、充填後は静電気の発生がなくなるので、電荷緩和により徐々に液体の帯電量が減少することを利用したもの。

可燃性液体の充填によってタンク内等に爆発性雰囲気が形成されるタンク等において、サンプリング、検尺等を実施する場合は、ゲージ Jewel を設置することが望ましいが、そうでない場合は、帯電した液面から危険な静電気放電が起こらない程度まで液体の帯電を緩和させるため、充填後一定の静置時間を経過した後に実施する。なお、静置時間による対策は、静電気の発生防止対策等の静電気対策と併せて実施するようにし、これを単独の安全対策とすることは望ましくない。

- (1) 静置時間は電荷緩和時間の 3 倍 ($3\varepsilon/\sigma$ 、初期値の $1/e^3$ (≈ 0.05) 倍になるまでの時間) 以上にするか、一般的には低導電率液体 (50 pS/m 以下) の場合、静置時間を少なくとも 10 分とし、遊離水分・粉体など⁵が含まれる低導電率液体の場合は少なくとも 30 分の静置時間をとるとよい [7]。または、表 8.3 を採用してもよい。

⁴ 5 m^3 までのタンクに対してこの関係で効果が実験的に確認されている。これ以上の大きなタンクについては調査が必要である。

⁵ 液体に水分や粉体などがある場合には充填や攪拌後に沈降帯電が生ずる。

表 8.3: 静置時間の参考値 (分)

導電率 (S/m)	タンク内液体の容積 (m ³)			
	≤ 10	10~50	50~5000	≥ 5000
≥ 10 ⁻⁸	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 2
10 ⁻¹² ~ 10 ⁻⁸	≥ 2	≥ 3	≥ 10	≥ 30
10 ⁻¹⁴ ~ 10 ⁻¹²	≥ 4	≥ 5	≥ 60	≥ 120
≤ 10 ⁻¹⁴	≥ 10	≥ 10	≥ 120	≥ 240

- (2) 表 8.3 を用いる場合で、液体中に遊離水分等が含まれている場合は、静置時間を表 8.3 の約 3 倍とする。
- (3) 実用上、表 8.3 を採用する場合もあるが、この表はあくまでも参考値（経験値）であるので、適切な根拠が得られたならば、これらの値を緩和してもよい。
- (4) 内面がコーティングされているタンク等において、コーティング材料の導電率が液体の導電率より低い場合は、コーティング材料の電荷緩和時間の 3 倍以上とする。
- (5) タンク等にゲージ Jewel (8.10 参照) を設置してサンプリング、検尺等を実施する場合は静置時間を必要としない。なお、作業によるマニュアルサンプリング、検尺 (8.7 参照) の場合は、作業者の接地 (第 6 章参照) も忘れないこと。

静置時間は経験的に得られたものが主であるので、リスクアセスメントの際の参考として以下を示す。

- (1) タンクの大きさとの関係については経験的に、(i) 50 m³ 程度までは少なくとも 10 分、100 m³ 以上は少なくとも 30 分 [2]、(ii) 20 m³ 以下のタンクでは 1 分、20 ~ 40 m³ では 5 分、40 m³ 以上では 30 分の静置時間を、2 pS/m 以下あるいは粉体などを含む (0.5 wt% 以上) 低導電率液体ではさらに長い静置時間をとるとしている [34]。
- (2) 容器サイズ、充填率、液体の導電率から静置時間 (たとえば、初期値の 5% となるまでの時間) を理論的に計算することもできる [36]。

8.10 静電遮へい

静電遮へいは 7.5 でも説明したような不導体に対する対策だけではない。帯電物体によって形成される高い電界内に突起物があると着火性放電の可能性がある。接地した金属板あるいは網などで空間を小区分化して、静電遮へい空間を作ることによって電界を抑制して静電気放電を防止できる。この例は、検尺・サンプリングを行なうためにタンク内に取り付けられている接地した内径 30 cm 程度の金属製円筒 (ゲージ Jewel) がある (図 8.1)。タンクローリーには静電気災害を防止する装置として設置が消防法により義務づけられている。

8.11 混合・攪拌

- (1) 純度の高い液体は混合・攪拌しても帯電量は問題となるほど大きくならないが、空気や水分、粉体などが混在すると帯電が大きくなる。

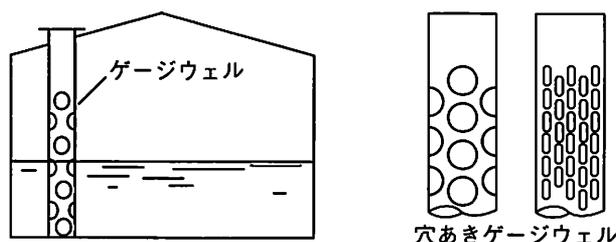


図 8.1: ゲージ Jewel

- (2) 可能であれば低導電率液体は帯電防止剤あるいは導電率の高い液体⁶の添加によって導電率を 1000 pS/m 以上にする。
- (3) 接地：容器などすべての金属の接地・ボンディング
- (4) 液体の充填は 8.5.2 に従って行う。
- (5) 絶縁ライニング容器は、ライニング層の抵抗が高くなると帯電の促進と沿面放電の原因となるので使用すべきでないが、その場合は、導電性のライニングに代えるか、接地金属板（8.8 参照）を容器内に入れるとよい。これが適用できない場合は、専門家のアドバイスを求める。
- (6) 作業者によって着火危険性が生じないようにその静電気対策を実施する。（第 6 章参照）
- (7) 可燃性液体を用いて爆発性雰囲気形成される場合は
 - (a) 気体を用いるミキサ、ジェットミキサ、高速プロペラミキサを使用しない。
 - (b) 帯電防止剤あるいは導電率の高い液体の使用によって導電率を 1000 pS/m 以上に高めるか、不活性ガスによって置換・シールする。

8.11.1 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。受け側タンクは充填の静電気対策（8.5 参照）を実施する。

8.11.2 ジェットミキサ

- (1) 低導電率液体にはジェットミキサを使用しないことが望ましい。
- (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を用いることができる。
- (3) 液体上部の空間が Zone 0, 1 の危険場所となる場合は爆発性雰囲気の防止対策を実施するか、ジェットミキサの使用は避けるべきである。

⁶導電率の高い液体（アルコール、ケトン（メチルエチルケトン）など）は通常 20 vol%程度の添加で効果がある。これらの液体によって液体の着火危険性が変化する所以にこれに注意する。たとえば、キシレンにケトンを添加すると引火点が低くなる。帯電防止剤は一般に 1~5 ppm の添加で同様の効果がある。

8.12 タンク洗浄

液体の噴霧帯電により、洗浄中に高い空間電荷密度を形成する可能性がある。高圧洗浄における静電気対策 [4, 7, 34, 37] は次のとおりである。

- (1) 容器、ノズル、配管、ホース（可燃性の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。（第6章参照）
- (3) 洗浄液体が蓄積しないよう液体のドレイン口は開ける。
- (4) 水⁷によるジェット洗浄
 - (a) ジェット洗浄される容器は金属製であり、容積が 30 m³ あるいは直径が 3 m を超えてはならない。
 - (b) 最大圧力：50 MPa
 - (c) 最大液体流量：5 L/s
- (5) 可燃性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 m³ 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：粉体など固体の混在 1 wt%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 m³ 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着火防止対策（爆発性雰囲気形成の防止対策）を講ずる。

絶縁性容器の洗浄は不活性ガスによるシールを実施する。

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。

⁷海水、純水をジェット洗浄に用いないこと。

第9章 粉体の静電気対策

9.1 粉体の帯電による着火

粉体は絶縁性のものが多いため、これらを取り扱う工程では静電気を発生して蓄積され（表9.1）、火花放電、ブラシ放電、沿面放電、コーン放電などの着火性放電が生じるおそれがある。粉体の最小着火エネルギー（表G.2）は気体に比較して大きいですが、これらの放電は粉じん爆発をおこす能力を十分に持っている。

9.1.1 可燃性粉体と爆発性雰囲気形成

金属粉体も含めて可燃性粉体（一般に粒径が0.5 mm以下）は空気中に粉じん雲を形成するとき爆発性雰囲気（多くの有機物粉体では爆発限界は約20 g/m³から数kg/m³：実験で上限界を求めることは困難である）になりうる。

9.1.2 粉体の静電気危険性と着火性

粉体の特性（表9.2）により静電気危険性をおおまかに評価できる。一般に粉体の抵抗率が10¹² Ω・m以上になると帯電防止が極めて困難となる。粉じんの最小着火エネルギーはガス・蒸気のそれよりも大きく、多くの粉体では数mJから数十mJ程度である。最小着火エネルギー、爆発限界濃度などの着火特性は粒径に強く依存するので、リスクアセスメントの際には、使用する粉体で測定したデータを用いなければならない。なお、アルミニウム、ジルコニウムなどの金属粉は表面が酸化するので、絶縁性（10¹² Ω・m程度）となることが多いので注意されたい。

9.2 粉体の取扱いに関する一般的な静電気対策

(1) 導体の静電気対策（接地とボンディング）（第5章参照）

(a) すべての導体の接地

表 9.1: 各種工程の粉体の典型的な帯電量

工程	帯電量 (μC/kg)
注入・充填	10 ⁻³ ~ 10 ^{-1*}
スクロール輸送	10 ⁻² ~ 10 ^{0*}
粉砕	10 ⁻¹ ~ 10 ^{0*}
微細化	10 ⁻¹ ~ 10 ^{2*}
空気輸送	10 ⁰ ~ 10 ²

* 中程度抵抗率（10¹² Ω・m程度）の粉体で得られた帯電量

表 9.2: 粉体特性と静電気危険性

帯電量の目安 $\mu\text{C}/\text{kg}$	粉体抵抗率 $\Omega\cdot\text{m}$	緩和時間 s	危険性の レベル
$< 10^{-3}$	$< 10^8$	$< 10^{-3}$	低
$10^{-3} \sim 10^0$	$10^8 \sim 10^{12}$	$10^{-3} \sim 10^2$	中
$> 10^0$	$> 10^{12}$	$> 10^2$	高

(2) 不導体の静電気対策 (第7章参照)

- (a) 絶縁性のパイプ、ホース、容器、袋、シート、コーティング、ライナー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ので、絶縁性材料の使用を避ける。
- (b) 爆発性雰囲気中の最小着火エネルギーが3 mJを超える場合はコロナ、ブラシ放電では着火しないので、沿面放電が起こらない限り、不導体の使用は可能である。沿面放電に対策したフレキシブルコンテナがこれに相当する。
- (c) 沿面放電の発生条件(3.4.8)から、シート状の絶縁物あるいは絶縁コーティング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。
- (d) Zone 20の粉じん危険場所では導電性材料に代える。Zone 21でも絶縁材料の使用は極力避ける。
- (e) 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。

(3) 作業者の静電気対策 (第6章参照)

- (a) 人体の接地
- (b) 作業服等の帯電防止

(4) 電荷蓄積の抑制

- (a) 液体のように電荷発生を抑制することは困難であるが、取扱速度と摩擦防止などによって、発生を制限する。
- (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) 除電器の併用：自己放電除電器、電圧印加式コロナ放電除電器 [38-41] (7.6参照)
- (d) 帯電防止剤の使用

(5) 安全管理 (C.1, C.2参照)

(6) 爆発性雰囲気防止 (A.3参照)

- (a) 最小着火エネルギーが3 mJ以下の粉体を取り扱う工程では着火防止対策(不活性化)を施すことが望ましい。(9.2.1.2(4), (6)参照)

詳細は A.3.1 参照。

9.2.1 各種工程の静電気対策と注意点

静電気安全指針応用編追補「粉体・粒体等投入作業・設備の静電気対策基準」も参照。

9.2.1.1 空気輸送

空気輸送の際、粉体と配管壁で接触（衝突，摩擦）により粉体と配管が帯電するので，次のように対策する。

- (1) 金属製パイプを使用して，接地・ボンディングする。
- (2) 配管の曲がりを少なくする。
- (3) 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。

9.2.1.2 充填・排出

- (1) 作業者の接地・帯電防止：作業者の放電によって 100 mJ までの放電エネルギーが生ずる可能性があるため，作業者の接地・帯電防止によって放電を防止する。
- (2) 接地された粉体槽に充填する場合，粉じんの最小着火エネルギーが 25 mJ 以上の粉体では粉体槽内での着火性放電はコーン放電のみと考えてよい [24,42-45]。
- (3) 産業レベルのサイズの粉体槽では雷状放電は起こりにくい [25,26] (3.4.10 参照)。しかしながら，帯電量が極めて高い場合（たとえば，数十 $\mu\text{C}/\text{kg}$ 程度以上）はリスクアセスメント（帯電雲の大きさ，空間電荷密度，着火エネルギーなど：D.4 参照）が必要である。
- (4) 粉じん帯電雲に起因したブラシ放電による着火は，ブラシ放電の放電エネルギーが 3 mJ 程度までであるため，10 mJ 以下の最小着火エネルギーの粉体に考慮する。
- (5) 充填におけるコーン放電の抑制には除電器の使用が有効な場合がある [38-41]。
- (6) 危険場所となる充填においてコーン放電が起きている，あるいは可能性がある場合はこれを抑制することは困難であるため爆発性雰囲気形成の防止対策（不活性化）を施す。粉体の抵抗率が $10^{12} \Omega\cdot\text{m}$ 以上の粉体ではコーン放電の防止が不可能なため，これを目安としてもよい。
- (7) 開放された場所での粉体の充填は，爆発性雰囲気が形成されない方策をとる。
- (8) 金属あるいは導電性の容器とシュート¹またはホッパーを用いて，これらを接地・ボンディングする。
- (9) 最小着火エネルギーが 10 mJ 以下の粉体の袋類は絶縁性のものを使用しない方がよい。また，絶縁性でない紙袋²は上記のシュートあるいはホッパーに接触するようにして電位差を生じないようにする（ボンディングに相当する）。
- (10) ブラシ放電の原因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。

¹シュートは投入口から離す必要があるが，摩擦帯電するので長さは 3 m 以内とする。

²ただし，外側が絶縁性コートされた紙袋や内袋のある紙袋は除く。

9.2.1.3 液体への粉体投入

容器に関わる工程において、可燃性液体への粉体投入は災害が最も多い作業であるので、次のように十分に静電気対策を講ずる。やむを得ず以下に示す対策が困難な場合は専門家にアドバイスを求める。

- (1) 使用するすべての導体の接地・ボンディング
- (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。(第6章参照)
- (3) 着火の危険性がある場合は、一般的な静電気対策(空気輸送はしない、粉体投入前の静置時間)のほかに爆発性雰囲気生成を防止する必要がある。
- (4) 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。
- (5) 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シュート(長さ3m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。
- (6) 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。
- (7) 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³(内袋のあるものは除く⁴)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。
- (8) 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。
- (9) 作業者による投入は、25kg以下ずつゆっくりと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。また、残った粉が入った袋を振って入れたりしない。
- (10) フレキシブルコンテナ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、このホッパーは別個に爆発性雰囲気生成の防止をする必要がある。
- (11) 内側がコーティング(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ティングを使用する。

静電気安全指針応用編追補「粉体・粒体等投入作業・設備の静電気対策基準」も参照。

9.2.1.4 容器、袋からの排出

- (1) 作業者の接地と帯電防止対策を実施する。(第6章参照)
- (2) 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とよい。

³通常、内側PEコート紙袋は静電気の危険性はない[6]。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といふ。

⁴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。

- (3) 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。
- (4) ブラシ放電の原因となるので残った粉が入った袋を振らない。

9.2.1.5 布製品の対策

- (1) バブフィルタ、布袋・布製シュートなどの布製品は導電性繊維を使用して帯電防止したものを用地・ボンディングする。
- (2) 可燃性粉体の着火源にならないコロナ放電によって布の帯電防止のみならず粉体の帯電防止効果があるとともに、導電性繊維が遮へい導体となって、危険な帯電や放電を防止する効果も期待される。
- (3) バグフィルタは粉体付着量が多ならないように自動的に払い落とす機能を設ける。

9.3 絶縁性容器

体積抵抗率 $10^8 \Omega \cdot m$ 以上、または表面抵抗率 $10^{10} \Omega$ 以上の材料でできた絶縁性の容器、内側が絶縁物でコーティングされた金属容器は極力使用を避ける。絶縁性の容器は接地をしても電荷緩和はないので静電気災害の原因となる。最小着火エネルギーが 3 mJ 以下の粉体では使用しない方がよい。容器容量は 5 m^3 までで最小着火エネルギーが 10 mJ 以上の粉体に限定することが望ましく、使用する場合は着火防止対策も同時に施す必要がある。

作業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（第6章参照）。また、作業者の電撃にも注意する。

9.4 フレキシブルコンテナ (FIBC)

フレキシブルコンテナ (Flexible intermediate bulk container: FIBC) は、柔軟な素材の基布で作られた袋であり、粉体、フレーク、顆粒の貯蔵および輸送に広く用いられている。しかし、充填および排出という工程で静電気が発生し、なんら対策されていないフレキシブルコンテナには高レベルの電荷が急速に蓄積される。このような場合、火花、ブラシ、コーン、沿面放電などの着火性静電気放電は不可避であり、電撃のみならず、可燃性雰囲気下で用いられたときには着火・爆発の危険がある。可燃性雰囲気は粉体を取り扱う際に粉じん雲や薄い粉じん層が形成された際にも生じ、いずれの場合にも静電気放電で着火する可能性がある。

現時点(2007年1月)では、静電気に対応したフレキシブルコンテナに関する国内規格が未制定なので、国内規格に沿った静電気対策用品は市場には存在しない。しかし、欧州規格 (CENELEC PD CLC/TR 50404 [4]) 対応品が一部入手可能であり、また、国際規格 (IEC61340-4-4 [46]) が2005年に成立したことに伴い、公式・非公式ながらこれらに対応したフレキシブルコンテナが入手可能である⁵。

ほかの産業機器類と同様に、潜在的に危険のある状況下でフレキシブルコンテナを使用する際にはその都度、事前に完全なリスクアセスメントを実施すべきである。その際に最低限考慮すべき点は、次のとおりである。

⁵IEC61340-4-4 に対応した国内規格 (JIS) が近い将来制定される予定である。

9.4.1 静電気対策品の種類

IEC61340-4-4 [46] によれば、静電気対策フレキシブルコンテナは、次のように分類される⁶。

- (1) 非帯電防止型
何ら静電気対策を施していない絶縁性基布で製造されたものであって、沿面放電防止型または帯電防止型のいずれでもないもの。
- (2) 沿面放電防止型 (Propagating brush discharge control type)
絶縁性基布で製造されており、その厚さ方向の絶縁破壊電圧（基布が絶縁性ラミネート層を有する場合はこれを含む）が 6 kV 未満であるもの。
- (3) 帯電防止型 (Static control type)
次のいずれかの条件を満足するもの。
 - (a) 沿面放電防止型と同様の絶縁破壊電圧を有し、かつ、指定された試験条件において最小着火エネルギー 0.14 mJ の試験ガスに着火しないもの。
 - (b) 接地によって放電を防止するものであって、フレキシブルコンテナに設けられた接地用端子と導電性部材の間の抵抗が $10^8 \Omega$ 以下であり、かつ、次のいずれかの構造を有するもの。
 - (i) 絶縁性基布に、相互に電氣的に接続された導電性の糸またはテープをストライプ状に 20 mm 以下の間隔で、もしくは、格子状に 50 mm 以下間隔で織り込みまたは縫い込んでいるもの。
 - (ii) 均一な材料の導電性基布で製造しているもの。
 - (iii) 多層構造の基布の場合は、少なくとも一方の面が導電性の層であり、導電性の層が袋の内面となっていること。

9.4.2 フレキシブルコンテナの選定

可燃性雰囲気および粉体の着火性に応じて、次のように選定する。ただし、粉体の剥離に伴う放電・着火の可能性ならびにコーン放電の発生については別途リスクアセスメントが必要である。

- (1) 最小着火エネルギー 0.14 mJ 以下のガス・蒸気可燃性混合気が存在する場合は、いかなるフレキシブルコンテナも使用不可。このような環境でのフレキシブルコンテナの操作は厳に制限しなければならない。
- (2) 最小着火エネルギー 0.14 mJ を超えるガス・蒸気可燃性混合気が存在する場所、または、最小着火エネルギー 3 mJ 以下の可燃性粉体を取り扱う場合は、帯電防止型のみ使用可能である。
- (3) ガス・蒸気可燃性混合気が存在せず、かつ、最小着火エネルギーが 3 mJ を超える可燃性粉体を取り扱う場合は帯電防止型または沿面放電防止型のいずれかが使用可能である。
- (4) ガス・蒸気可燃性混合気が存在せず、かつ、可燃性でない粉体を取り扱う場合は制限がない。

⁶CENELEC 規格に対応したフレキシブルコンテナを用いることができる。この場合、Type A が非帯電防止型、Type B が沿面放電防止型、Type C（接地要）および D（接地不要）が帯電防止型に相当する。

9.4.3 使用上の一般的注意事項

- (1) 帯電防止型であっても、最小着火エネルギー 0.14 mJ を超えるガス・蒸気可燃性混合気が存在する場所、または、最小着火エネルギー 3 mJ 以下の可燃性粉体を取り扱う場合は、直接投入とはせず、シュート、ホッパー等を用いることが望ましい。
- (2) 帯電防止型であっても若干帯電し、それ自体からの着火性放電は発生しなくても、静電誘導によって近傍の非接地導体から火花放電が生じる危険性がある。したがって、フレキシブルコンテナの周囲 1m 以内に存在する導体（人体を含む）は接地しなければならない。
- (3) 沿面放電防止型または帯電防止型に絶縁性内袋（塩化ビニール、ポリエチレンなど）を併用した場合には、各々の放電制御機能は維持されないおそれがある。粉体の汚損防止等の目的でやむを得ず併用する場合には、併用した状態で 9.4.1 の条件を満たすことを事前に確認すること。また、導電性内袋を非帯電防止型または沿面放電防止型と併用して、帯電防止型とみなすことはできない。（これは、内袋とフレキシブルコンテナの剥離時にフレキシブルコンテナが帯電するためである。）
- (4) 可燃性雰囲気が存在しない場合であっても、フレキシブルコンテナの帯電による作業員への電撃がある場合には、帯電防止型を用いることが望ましい。（最大級の帯電レベルでは表面電位が 100 kV を超えるので、激しい電撃を受けることがある。）

第10章 固体の静電気対策

10.1 絶縁性固体の取扱いにおける一般的な静電気対策

不導体に関する静電気対策の概要は第7章で述べている。一般的な対策は次のとおり。

- (1) 導体の接地・ボンディング（第5章参照）
- (2) 可能であれば材料の変更：不導体の排除（導電性材料・帯電防止剤の使用）（第7章参照）
- (3) 不導体の静電気対策（帯電性の低い材料の選定，加湿，除電器，静電遮へい（帯電面積の制限））（第7章参照）
- (4) 作業者の帯電防止・接地（作業服，靴，床）（第6章参照）
- (5) 爆発性雰囲気防止（付録A参照）
爆発性雰囲気が形成されるおそれがある場合は，必要に応じて換気等，爆発性雰囲気の形成防止対策を実施する。
- (6) 安全管理（C.1参照）

10.2 各種の工程の注意事項

静電気による着火危険性が潜在する工程にはプラスチック，紙，布などの絶縁材料・製品の輸送，梱包，成型，練り，ロール，剥離，研磨，切断，洗浄などがあり，火花・ブラシ・沿面放電が発生する危険性がある。

10.2.1 プラスチックの練り・剥離・研磨

以下に示すような工程は静電気の発生が大きく，その防止が困難であるので，爆発性雰囲気が形成されないような対策を実施する。

- (1) ゴム，プラスチック等の練り
- (2) 成型品，フィルム等の剥離・張合せ，成型品の型外し
- (3) 成型品，フィルム等の切断・研磨・から拭き

10.2.2 ベルト駆動・コンベア

ベルト駆動・コンベア，ロール工程は連続的な電荷分離が発生するので，静電気の危険性がある。帯電量はベルトやロールの速度，張り，接触面積の増加とともに大きくなる。

10.2.2.1 ベルト駆動

- (1) 導電性ベルトの使用により帯電を抑制する。このとき、プーリーを通してベルトを接地する。
- (2) Zone 0, Zone 1(IIC), Zone 20 (粉じん最小着火エネルギー 10 mJ 以下) の危険場所では導電性であっても、ベルト駆動は使用せず、ダイレクトドライブにする。
- (3) Zone 1(IIA, IIB), Zone 20 (粉じん最小着火エネルギー 10 mJ 超), Zone 21 の危険場所では次の対策を実施する。
 - (a) ベルト速度は 30 m/s 以下にする。
 - (b) 導電性ベルト¹を使用する。
 - (c) プーリーを通してベルトを接地する。

10.2.2.2 コンベアベルト

- (1) 導電性コンベアベルト²の使用
- (2) Zone 0, Zone 1(IIC) の危険場所ではベルト速度を 0.5 m/s 以下にする。
- (3) Zone 1(IIA, IIB), Zone 20, Zone 21 の危険場所ではコンベアベルト速度は 5 m/s を超えない。

10.2.3 ロール工程

紙、プラスチックフィルム、布等の巻取り・巻戻し、塗工、印刷等のロール工程においては、次によって静電気発生を防止するとともに、可燃性雰囲気となるおそれがある場合は、通気・換気などによって可燃性雰囲気の形成を防止する対策を実施する。

- (1) ローラは金属、または導電性としてシャフトを介して接地する。
- (2) 可能であれば、静電気の発生しにくい材料を選定する。
- (3) 走行速度を低くし、急な速度変化を避ける。
- (4) ロール圧力および張力を低く、均一に保つ。
- (5) 加湿、除電器の使用などにより帯電防止対策を実施する。除電器の位置はローラから 100~175 mm 離れた場所で、ロールから 6~25 mm 離して設置すると効果的である (図 10.1)。なお、危険場所で除電器を使用する場合は、除電器が着火源とならないよう防爆型のものを使用し、除電効果、管理など十分なリスクアセスメントが必要である。

¹ $RB \leq 10^5 \Omega \cdot m$ のとき導電性と定義する。ただし、 R : ベルトを取り付けた状態で両側のプーリーの中心の位置のベルトと接地 (プーリー) 間の抵抗, B : フラットベルトの幅, または V ベルトの側面の幅の 2 倍。

² ベルトの両面で表面抵抗が $3 \times 10^8 \Omega$ 以下, 異なる材料の層からなる場合は, その層の抵抗が $10^9 \Omega$ 以下であるベルトを導電性と定義する。

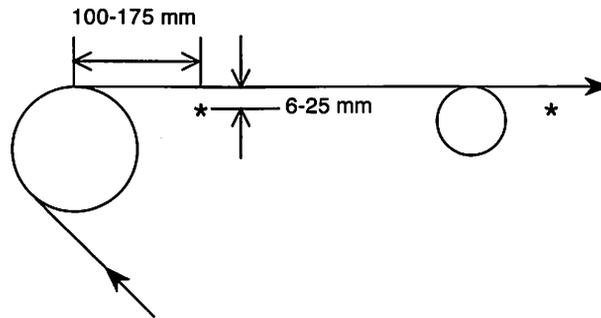


図 10.1: 除電器の設置位置の典型例 *は除電器の位置を示す。

10.2.4 火工品の取り扱い

鋭感な火工品（最小着火エネルギー 1 mJ 以下）でも、この指針に示した静電気対策で十分であるが、火工品の点火エネルギー以上の静電気放電を防止するため以下に注意事項を示す。

- (1) 可搬・移動導体も接地することを忘れないこと。
- (2) 不導体は確実に排除する。
- (3) 導電性床・靴によりすべての人の接地
- (4) 作業前の帯電防止靴の性能点検
- (5) 絶縁性の生地 of 作業服は着用しない、衣服の着脱をしない。
- (6) 導電性の道具、ワイヤなどの小さな金属物体も火花放電の原因となるのでボンディング・接地する。
- (7) 相対湿度を 65%以上（常温の場合）にする。

第11章 気体の静電気対策

11.1 はじめに

不純物を含まない純粋な気体は帯電しないが、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、摩擦によってこれらが帯電する。たとえば、CO₂ 消火器、スチーム洗浄、スプレー塗装（粉体塗装も含む）、真空掃除機などがある。本章では静電気による着火危険性がある場合の静電気対策を示す。

11.2 気体の静電気対策

可燃性気体の取扱いに共通的な静電気対策は、次のとおりである。

- (1) 爆発性雰囲気形成・拡がりの防止
- (2) 接地・ボンディング（第5章参照）
- (3) 不導体の静電気対策（第7章参照）
- (4) 作業者の静電気対策（人体の接地と作業服等の帯電防止）（第6章参照）
- (5) 安全管理（C.1参照）

このほかに可燃性気体の取扱いに関して、次の対策を実施する。

- (1) 不純物の除去
気体の帯電は、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、不純物を除去する。
- (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、集塵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、不活性ガスまたは水蒸気を 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、不活性ガスや水蒸気中にミスト・固体等が含まれないように管理しておく。

11.2.1 気体の輸送

可燃性気体の輸送における静電気対策は、次のとおりである。

- (1) 水蒸気、可燃性液体蒸気等の保管・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。
- (2) 空気との混合によって爆発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。
- (3) 酸化エチレン、アセチレン等、爆発上限界濃度が 100 % に近い気体、または爆発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。

11.2.2 液体・粉体塗装

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、液滴や粉じん雲が爆発性雰囲気となると着火の危険性が生ずる。電撃に注意するとともに、作業服等の帯電防止、作業者（人体）とスプレー装置（缶などの塗料容器、ノズル）に付随するすべての導体を接地することが必要である。通常のスプレー塗装（エアレス塗装は除く）は静電気の危険性は小さいが、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¹も必要に応じて参照されたい。

11.2.3 真空掃除機

設置・可搬型真空掃除機には火花放電やブラシ放電の危険性があるので、以下に注意する。

- (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。
- (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) 最小着火エネルギー 3 mJ 以下の粉体、または爆燃性の金属粉体は掃除機で吸引しないこと。

¹(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.

付録A 爆発性雰囲気形成抑制

A.1 危険場所

危険場所のクラス分け [3-5] はすでに 2.24 で述べたが、ここでは危険場所を把握するためその例を述べる。

A.1.1 ガス・蒸気危険場所

ガス・蒸気によって爆発性雰囲気となる危険性がある場所は

- (1) 可燃性ガス・液体を開放状態で取り扱う場所
- (2) 可燃性ガス・液体を密閉状態で取り扱うが、これらが漏洩するおそれがある場所

であり、たとえば、次のような場所がある。

- (1) Zone 0: 常にガス・蒸気爆発性雰囲気が生じているか、その期間が長い、あるいは頻繁に生じる次のような場所
 - (a) 可燃性ガス・液体を開放状態で取り扱う場所
 - (b) 可燃性ガス・蒸気、液体が流出・噴出する場所
 - (c) 可燃性液体の表面上部空間およびその周辺場所
- (2) Zone 1: 通常の工程でガス・蒸気爆発性雰囲気を生じる可能性が時折ある次のような場所
 - (a) 可燃性ガス・蒸気、液体の漏洩を起こしやすい場所
 - (b) しばしば開放されるタンクなどの開口部周辺場所
 - (c) 屋内または通風・換気が妨げられるような場所で、可燃性ガス・蒸気が滞留する可能性がある場所
- (3) Zone 2: 通常はガス・蒸気爆発性雰囲気の生じる可能性がない、あるいはなつたとしても短い期間のみである次のような場所
 - (a) バルブ・計器などが取り付けられているタンク・容器・配管などの周辺場所
 - (b) ガス・蒸気の滞留を防止するため、強制換気装置を設置している場所
 - (c) 不活性ガスによる置換・シールを行っているタンクなど槽類の内部およびその周辺

A.1.2 粉じん危険場所

可燃性粉じんによって爆発性雰囲気となる危険性がある場所は

- (1) 可燃性粉体を開放状態で取り扱う場所および粉じんが堆積している場所
- (2) 可燃性粉体を密閉状態で取り扱うが、これらが漏洩するおそれがある場所
- (3) 可燃性粉体とともに、ごく少量の可燃性ガス・蒸気・液体を取り扱う場所

であり、たとえば、次の場所が挙げられる。

- (1) 可燃性粉体を開放状態で投入または移し替えを行う場所
- (2) 可燃性粉体の集じんを行う場所
- (3) 可燃性粉体、または可燃性ガス・液体を含んだ粉体が浮遊・堆積する場所
- (4) 可燃性粉体を取り扱う次に例示するような密閉構造物の内部およびその周辺場所
 - (a) 貯蔵タンク、容器、フレキシブルコンテナ、配管など
 - (b) 乾式集じん装置
 - (c) 混合・攪拌装置

A.2 ガス・蒸気爆発性雰囲気の抑制

A.2.1 可燃性ガス・液体の不要残留の除去

- (1) 不要となった可燃性液体は、できる限り速やかに所定の容器などへ収納する。
- (2) 容器などに残留した揮発性の高い液体は、他の液体を入れる前に完全に抜き取る。
- (3) 使用しない容器・配管などに残留した可燃性液体は、できる限り速やかに抜き取る。
- (4) 容器・配管などに残留した不要なガス・蒸気は、できる限り速やかに排出する。この場合、排出用の気体としては、空気、窒素などを使用し、高圧水蒸気の使用は避けたほうがよい。ただし、Class I¹の液体（引火点が37.8°C以下、リード法²による蒸気圧が0.276 MPa (2068.6 mmHg)を超えない液体）あるいは残留する液体の引火点以上の環境の場合はこのような排出をしないほうがよい。Class Iの液体で排出が必要となる場合は使用するガスを窒素として、爆発性雰囲気の防止の措置も必要である。

A.2.2 可燃性ガス・液体の漏洩防止

- (1) 可燃性ガス・液体が漏洩しやすい配管・バルブ・計器などの接合部分・ポンプの軸受部分に対しては、日常点検を励行し、異常が認められたときは直ちに漏洩防止の処置をする。

¹NFPA 30 Flammable and combustible liquids code では液体の可燃性の程度を引火点と蒸気圧でクラス分けしている。

²JIS K2258 原油及び燃料油蒸気圧試験方法〈リード法〉にその規定がある。37.8°Cで測定される。

- (2) 可燃性ガス・液体を取り扱う施設・装置などの定期点検の際は、ひび割れ、腐食、その他漏洩に進展するような通常時と異なる状況が発生していないかを入念に調べる。
- (3) バルブの操作は、無理な力がかからないように注意して行う。
- (4) 可燃性液体の充填・移し替えは、液面を監視しながら実施する。
- (5) 可燃性ガス・液体を取り扱う施設・装置などを修理などのために開放する際は、事前に残留ガス・液体の有無を確認し、残留がある場合はこれを抜き取る。
- (6) 可燃性液体の漏洩を起こしやすい施設には、広範な漏洩を防止するための液受け皿・ピットなどを設ける。
- (7) 可燃性ガス・液体の漏洩を起こしやすい施設・装置等に対しては、漏洩検出装置を設置することによって、または取扱量・使用量を管理することによって、漏洩の早期発見に努める。
- (8) 可燃性ガス・液体の漏洩による災害などの発生危険性が高い施設・装置などには、漏洩検出装置を設置し、万一漏洩が発生した場合にバルブなどで緊急遮断させる措置を講じる。

A.2.3 可燃性ガス・蒸気の放出管理

- (1) 配管などによって通風・換気のよい屋外へ導き放出する。やむを得ず屋内に放出する場合は、強制換気など必要な措置を講じる。なお、強制換気装置の電気設備は防爆構造を有するものとする。
- (2) 放出に当たっては、爆発性雰囲気が形成されないように、事前に放出方法と放出量を検討する。

A.2.4 自然換気による可燃性ガス・蒸気の滞留防止

- (1) 可燃性ガス・液体を屋外で取り扱う場合は、ガス・蒸気が滞留しないような場所で取り扱う。
- (2) 可燃性ガス・液体を屋内で取り扱う場合は、窓、扉を解放して通風換気をよくして取り扱う。

A.2.5 強制換気による可燃性ガス・蒸気の滞留防止

通風の悪い場所（たとえば、(1) 窓、扉の少ない建物・部屋、(2) 密閉されたまたはこれに近い状態の施設・装置、(3) 施設・装置・壁などで四方を囲まれた場所、(4) 廃液溝、ピット）で、可燃性ガス・液体を取り扱う工程（たとえば、塗装工程、移し替え、充填、洗浄、ガス・蒸気の排出・放出）は、適切な風量・風圧、防爆構造の性能を持つ強制換気装置を使用する。なお、強制換気装置の利用時には、常時その作動状態を監視し、異常が発生した場合は直ちに必要な緊急処置を講じる。

A.3 粉じん爆発性雰囲気の抑制

A.3.1 粉体の取扱いに関する一般的対策

可燃性粉体の取扱いに関する一般的な対策は、次のとおりである。

(1) 粉体の粒径の選定

粉体の粒径が細かいほど静電気が発生しやすく、また静電気放電によって着火し、粉じん爆発を起こしやすいので、可燃性粉体はできる限り大きい粒径で取り扱うことが望ましい。

(2) 粉体の破壊防止

粉体が破壊して微細な粉じんが発生すると多量の静電気が発生しやすく、また静電気放電によって着火し、粉じん爆発を起こしやすいので、可燃性粉体はできる限り次のような方法で取り扱う。

- (a) 破壊しにくい材料・形状の粉体を選定する。
- (b) 粉体の破壊を起こしにくい設備を使用する。
- (c) 取扱規模・速度を制限する。

(3) 粉体の滞留・堆積の防止

粉体が移送経路に滞留・堆積すると、粉体が剥離するときに器壁などとの摩擦・剥離、粉体相互の衝突によって静電気が発生し、また静電気放電によって粉じん爆発を起こすおそれがあるので、次のようにできる限り可燃性粉体の滞留・堆積を防止する。

- (a) 粉体が滞留・堆積しにくい構造の設備とする。
- (b) 粉体を滞留・堆積しにくい条件で取り扱う。
- (c) 器壁などに滞留・堆積した粉体は、その量が多くなならないよう定期的に払い落とし、清掃を実施する。
- (d) 滞留・堆積した粉体の清掃用に真空吸引式の電気掃除器を使用する場合は、使用前に粉体をほうきなどを用いてできる限り除去する。なお、吸引ノズルはプラスチック製より金属製（必ず接地する。）を使用する。ただし、金属粉のように着火性の極めて高い粉体に対しては、吸引ノズルによる清掃は実施しないこと。（11.2.3 参照）
- (e) 布、フィルム、シートなどに付着した粉体を取り除く場合は、強く振り払ったり、叩き落とすような方法は避け、少量ずつ徐々に払い落とすようにする。

(4) 規模の制限

可燃性粉体の取扱規模が大きくなると、粉体相互の衝突などによって静電気が多く発生するとともに、大規模の粉じんが形成されて静電気放電により粉じん爆発が起りやすくなるので、できる限り取扱規模を制限する。

(5) 設備の区画化

可燃性粉体の設備が開口したり、配管などで他の設備と連続していて、この間の粉体の運動が自由であると、粉じんが発生しやすく、また災害が拡大しやすいので、これを防止するため粉体の出入口にロータリーバルブなどを設けるとともに、配管・ダクトの途中にはチョークなどを設ける。

(6) 突起物の除去

サイロの内部にアングルなどの金属構造物があると、帯電雲からこれらの突起部分に対して静電気放電（ブラシ放電）が起りやすいため、不要な突起物はできる限り除去する。

A.3.2 可燃性粉体の漏洩防止

- (1) 可燃性粉体の漏洩を起こしやすい布製部分・接合部分に対しては、日常点検を励行し、異常が認められた場合は直ちに漏洩防止の処置をする。
- (2) 可燃性粉体を取り扱う施設・装置などの定期点検の際は、ひび割れ、腐食、その他漏洩に進展するような通常時と異なる状況が発生していないかを入念に調べる。
- (3) 可燃性粉体を取り扱う施設・装置などは、粉じんが漏洩しないように、可能ならばその内圧を大気圧より少し低くする。
- (4) 可燃性粉体を供給し、または供給される容器・装置などに対しては、粉体の出し入れに伴って呼吸作用が生じる部分にバグフィルタ式集じん機などを設置する。
- (5) 可燃性粉体を袋、容器などへ充填する際は、開口部の面積を最小限に留めるとともに、ホッパー、シュートなどを用いて充填する。
- (6) 袋、容器などを用いて可燃性粉体を他の容器へ投入・充填する際は、袋、容器に付着した粉体を無理に払い落とさない。
- (7) 可燃性粉体を輸送・充填する機械装置には、取扱量を監視する警報装置などを設置し、万一漏洩事故が発生した場合は機械装置を自動的に停止させる措置を講じる。
- (8) 可燃性粉体を取り扱う施設・装置などを修理などのため開放する際は、事前に残留粉体の有無を確認し、残留がある場合はこれを除去する。

A.3.3 可燃性粉体の飛散・堆積防止

可燃性粉体は、次によって飛散・堆積を防止する。

- (1) 次のような場所では、適切な機能を有する局所排気装置を使用する。
 - (a) 可燃性粉体を収納している袋・容器等を開放する場所
 - (b) 可燃性粉体を開放状態で取り扱う場所
 - (c) 可燃性粉体の漏洩が頻繁に起こる場所
 - (d) 研磨等によって粉じんが発生する場所
- (2) 次のような場所では、必要に応じて可搬型の局所排気装置を使用する。
 - (a) 浮遊しやすい可燃性粉体を一時的に使用する場所
 - (b) 袋、容器、作業等者に付着した可燃性粉体を払い落とす場所
 - (c) 可燃性粉体を取り扱う施設・装置等の点検・修理・清掃を行う場所
 - (d) 施設、装置等に付着・堆積している可燃性粉体は、定期的に清掃する。

A.4 不活性ガスによる置換・シール

A.4.1 不活性ガスによる置換・シールの意味

不活性ガスによる置換・シールは、着火源の除去・防止が困難な場合に、可燃性物質を含む混合気体等に不活性ガス（正しくは不燃性ガスであるが、慣例により不活性ガスという。）を添加することによって、最終的には混合気体中の酸素濃度を燃焼の継続に必要な爆発限界酸素濃度以下に低下させ、着火を防止するために実施する。また、置換・シールは、混合気体中の酸素濃度を爆発限界酸素濃度以下まで低下させることができない場合であっても、混合気体等の着火エネルギーを増大させることによって、静電気による着火危険性を低下させるため実施する。

A.4.2 不活性ガスの種類

置換・シールに使用される不活性ガスは、窒素、炭酸ガス、水蒸気等を使用³する。なお、置換・シールの効果は窒素、水蒸気、炭酸ガスの順に大きくなるが、一般には取扱いの容易な窒素を使用する。

A.4.3 管理酸素濃度

A.4.3.1 管理酸素濃度

管理酸素濃度は、可燃性物質の限界酸素濃度（LOC）に応じて、以下に示すようにする [47]。

(1) 酸素濃度の連続監視を行う場合

LOC が 5 vol% 以下でないならば、LOC より少なくとも 2 vol% 低い安全マージンを確保する。LOC が 5 vol% 以下ならば、LOC の 60% を超えないように管理する。

(2) 酸素濃度の連続監視しない場合

LOC が 5 vol% 以下でないならば、LOC の 60% 以下で管理し、LOC が 5 vol% 以下ならば、LOC の 40% を超えないように管理する。

A.4.3.2 反応槽などの置換・シールにおける濃度の推定

限界酸素濃度が 5 vol% 以上の可燃性物質を取り扱い、容積が 20 m³ 以下の反応槽などの置換・シールであって、不活性ガスのショートパスが少ないと考えられる場合は、置換・シール開始後の槽内酸素濃度を、次式から推定してもよい。

$$C_t = C_o \exp\left(-\frac{Qt}{V}\right) \quad (\text{A.1})$$

ここで、 t (h) は置換開始からの経過時間、 C_t (vol%) は置換開始から t 時間後の槽内酸素濃度、 C_o (vol%) は空気中の酸素濃度 (20.95 vol%)、 Q (Nm³/h) は不活性ガスの送入力、 V (m³) は槽内空間容積である。

³不活性ガスの使用に当たっては、作業者が誤って不活性ガスを吸入することがないように標識の設置等、十分な配慮が必要である。また、万一の吸入事故に備えて緊急措置を周知徹底しておくこと。

A.4.4 不活性ガスによる置換・シールの方法

置換・シールは、対象となる設備・操作の種類に応じて、バッチ式または連続式のいずれかによって、実施することが望ましい。

A.4.4.1 バッチ式置換・シール

次のような場合は、バッチ式の置換・シール（作業・操作のつど不活性ガスを供給して置換・シールする方法をいう）を実施する。

- (1) 引火性の高い液体をタンクなどへ充填する場合
- (2) 引火性の高い液体の密閉タンクから均圧管を用いずに液体を抜き出す場合
- (3) バッチ式反応槽などにおいて、大気に開放された槽内に引火性の高い溶剤などを充填する操作を行う場合
- (4) 可燃性ガスまたは引火性の高い物質を取り扱う設備・タンクなどに滞留しているガス・蒸気・粉じんを排出し、設備などの開放検査・補修などを行う場合
- (5) 可燃性ガス、引火性の高い溶剤蒸気などを緊急時にベントスタックから放出する場合、またはベントスタック内およびその放出口周辺に爆発性雰囲気形成されるおそれがある場合
- (6) 引火性の高い溶剤などを充填した密閉槽のマンホールなどを一時的に開放し、粉体などを投入する場合、または開口部の内外に爆発性雰囲気が形成されるおそれがある場合

A.4.4.2 連続式置換・シール

次のような場合は、連続式の置換・シール（常時、連続的に不活性ガスを供給して置換・シールする方法をいう）を実施する。

- (1) 爆発範囲の広い可燃性物質の常圧常温の設備において、ガス抜き管などからの空気侵入を防止するため、不活性ガスを連続的に供給し爆発・火災の防止を図る場合
- (2) 可燃性ガスに用いるドライシール軸封方式の圧縮機において、初段のスタフィンボックスに不活性ガスを連続的に供給し、爆発・火災の防止を図る場合。
- (3) バッチ式反応槽などにおいて、大気に開放された槽内に引火性の高い溶剤などを充填する操作を行う場合
- (4) 限界酸素濃度が著しく低い物質（シラン類など）の液相反応系などにおいて、蒸気相を不活性化することにより、プロセス全体の安全性を高める場合
- (5) 大規模な粉じん雲を形成するおそれのある可燃性粉体のサイロなど設備内に不活性ガスを連続的に供給し爆発・火災の防止を図る場合

A.4.5 不活性ガスの供給設備

置換・シールに使用する不活性ガスの供給設備（以下、供給設備という。）は、次のようにすることが望ましい。

A.4.5.1 設置位置の選定

供給設備の設置位置は、次の事項を考慮して選定する。

- (1) 供給設備は、他の設備の爆発・火災によって損傷を受けないような安全な場所に設置する。
- (2) 爆発・火災の危険性が高い設備の近くに供給設備を設置しなければならない場合は、防爆壁の設置など、供給設備に被害が及ばないような措置を実施する。
- (3) 空気分離器を付帯する供給設備にあつては、空気を導入する位置は平均的に風上である場所とする。

A.4.5.2 不活性ガス保有量

供給設備における不活性ガス保有量は次による。

- (1) 供給設備を共同で使用する場合にあっては、次の2つの項目を加算した値をもって保有量とする。
 - (a) 供給設備を使用する各部門の定常使用量
 - (b) 緊急時において、各部門がプラントを安全な状態とするために必要な系内置換用の不活性ガス量。ここで、置換用の不活性ガス量は、次の事項を十分に把握し、各部門間の調整を行って算出する。
 - (i) 供給設備の配管系統
 - (ii) 緊急時における置換方法（全系置換、部分置換など）
 - (iii) プラントの停止順序
 - (iv) 不活性ガスホルダーの圧力に関する時系列的変化
- (2) 供給設備を単独で保有する場合にあっては、不活性ガス使用設備の全空間容積に見合う量をもって保有量とする。ただし、不活性ガスの消費量が最大である工程の保有量をもって保有量としてもよい。

A.4.5.3 不活性ガス圧力の確保

不活性ガス供給設備におけるガス圧力は、次によって確保する。

- (1) 供給設備のガス圧力は、供給系統の中間において不活性ガスが大量消費された場合にも、最末端の使用設備に支障を生じさせないように、常に十分高い圧力状態に維持する。
- (2) 供給配管は、消費圧力状態ごとに系統を種別化しておくことが望ましい。
- (3) 使用量が少なく、著しく高い圧力の不活性ガスを必要とする場合は、ボンベ充填ガスまたは小型圧縮機付き貯槽を利用する。

A.4.5.4 非常用電源

不活性ガスの供給設備には、商用電源の停電が生じた場合でも保安用不活性ガスを供給し続けることができるように、非常用電源を具備する必要がある。

A.4.6 爆発上限による管理

爆発上限 (UFL) 以上にするシステムの利用による管理であり、以下を満たすようにして、少なくとも 25 vol%の天然ガスまたはメタンを供給して、爆発上限以上の濃度にする [47]。

- (1) ベントヘッド周辺の気圧は大気圧程度である。
- (2) UFL が水素-空気の UFL (75 vol%) 以上となる蒸気を含まないこと。
- (3) 空気より高い濃度の酸素を供給されないようにする。

A.4.7 爆発下限による管理

爆発下限 (LFL) により管理するシステムを利用する場合は、LFL の 25%以下にする。このとき、工程の温度と圧力を考慮しなければならない。ただし、自動のインターロック設備がある場合は LFL の 60%以下でもよい。

A.4.8 災害の局限化

火災・爆発が生じても災害を最小限に抑えるためのフレームアRESTA、圧力放出装置、爆発放散口 (産業安全研究所技術指針、爆発圧力放散設備技術指針 (改訂版) 参照) などの設備は有効である。

付録B 導電性材料，帯電防止材料および帯電防止剤

B.1 導電性材料の種類

導電性材料には次のような種類がある。

- (1) カーボンブラック・金属粉を分散させたゴム・プラスチック・塗工剤
- (2) カーボンブラック・金属粉を分散させた塗工剤を積層またはプリントしたプラスチック
- (3) 金属をメッキまたは蒸着したプラスチック
- (4) 化学構造の工夫により導電性を向上させたプラスチック（導電性 PTFE など）

B.2 帯電防止材料

帯電防止材料は静電気の蓄積を防止する機能を有する材料で，上記の導電性材料のほかに導電性繊維を混入した布製品がある。

B.2.1 導電性繊維の利用

- (1) 帯電防止の原理は導電性繊維を通じての電気伝導と自己放電（コロナ放電）であり，これによって布などの帯電防止に用いられている。
- (2) 帯電防止効果が湿度に影響されず安定している反面，コロナ放電によって帯電防止をする場合は，放電が起きない限り除電できないので，数 kV 以下には帯電防止できない。
- (3) 導電性繊維・糸を布地などの全体に等間隔の縞状または格子状に織り込むか，または縫い込む。織込み・縫込みの間隔は通常数 mm から数 cm とし，一般にこの間隔が短いほど¹，また，導電性繊維の導電性が高いほど大きな帯電防止効果が得られる。
- (4) 導電性繊維を布地などの全体にほぼ均一に混入する。この方法はフェルト，ボアなど不織布の帯電防止に用いられる。帯電防止効果は，導電性繊維の混入量が多いほど²，また導電性繊維の導電性が高いほど大きな帯電防止効果が得られる。
- (5) 帯電防止性能の評価
導電性繊維を使用した導電性材料の帯電防止性能は，一般に電気抵抗によっては評価するこ

¹帯電防止に自己放電を利用している場合は，間隔が短すぎると除電効果が低くなるので注意する。5 mm 以下であると効果が著しく低くなることが，実験的に観測されている。

²帯電防止に自己放電を利用している場合は，混入量が多すぎても除電効果が低くなることもあるので注意する。

表 B.1: 各種の帯電防止用品

材料	主な帯電防止用品
カーボンブラック・金属粉を分散させたゴム	タイヤ, キャスター, ベルト, ローラー, パッキン, ホース, 靴, スリッパ, 手袋, テープ, シート, マット
カーボンブラック・金属粉を分散させたプラスチック	フィルム, シート, テープ, スポンジ, パイプ, ホース, 半導体用容器・袋, 遮へい材, 床材, 各種の成型品
カーボンブラック・金属粉を分散させた塗工剤	塗料, 接着剤, ペースト, ラミネート, コーティング剤
導電性塗工剤を積層・プリントしたプラスチック	フィルム, シート, テープ, 風管, 半導体袋
金属をメッキ・蒸着したプラスチック	フィルム, シート, テープ, 半導体用容器・袋, メタカバー, クリーンルーム用窓, 遮へい材
帯電防止剤を練り込んだプラスチック	フィルム, シート, テープ, 半導体用容器・袋, 風管, 床材, 各種の成型品, 繊維製品
導電性繊維を混入した布・糸	作業服, 防寒服, 無じん・無菌衣, 帽子, 手袋, 靴下, カーペット, バグフィルター, ベルト, ロープ, シュート, ホース, 布袋
化学構造の工夫により導電性を向上させたプラスチック	反応器, 配管などの腐食防止用ライニング

とができないので、素材の摩擦帯電試験によって評価する。(素材の摩擦帯電試験については、静電気用品構造基準参照)

B.2.2 各種の帯電防止用品

導電性材料および帯電防止材料を用いた帯電防止用品には表 B.1 に示すようなものがある。

B.2.3 帯電防止剤

B.2.3.1 帯電防止剤の種類

(1) 界面活性剤による分類

帯電防止剤は、界面活性剤のイオン性などによって次のように分類される。

- (a) 非イオン性界面活性剤を主成分とするもの
- (b) アニオン性（陰イオン性）界面活性剤を主成分とするもの
- (c) カチオン性（陽イオン性）界面活性剤を主成分とするもの
- (d) 両性界面活性剤を主成分とするもの
- (e) イオン性高分子を主成分とするもの

(2) 使用法による分類

帯電防止剤は、その使用方法によって次のように分類される。

(a) 外部用帯電防止剤

外部用帯電防止剤は、不導体の表面に塗布・吹き付け、または不導体を浸漬させて使用するもので、一般に効果が一時的である。

(b) 内部用帯電防止剤

内部用帯電防止剤は、プラスチックなどの成型時に内部に練り込むもので、内部から表面に帯電防止剤がにじみ出るブリード現象が生じるため耐久性がある。

表 B.2: 帯電防止剤の種類、使用方法と使用対象

種類 (使用法)		使用対象
繊維製品用	内部耐久用帯電防止剤 (練り込み)	ナイロン, ポリエステル繊維
	外部耐久用帯電防止剤 (特殊処理)	ポリエステル繊維
	加工・仕上用帯電防止剤 (浸漬)	各種の繊維製品
	洗濯用帯電防止剤 (浸漬)	衣類
	エアゾール式帯電防止剤 (吹き付け)	衣類
プラスチック用	内部耐久用帯電防止剤 (練り込み)	ポリエチレン, ポリプロピレン, ABS 樹脂, ポリスチレン, AS 樹脂, 硬質塩化ビニル
	外部用帯電防止剤 (塗布, 吹き付け, 浸漬)	各種プラスチック製品・フィルム
紙用帯電防止剤 (塗布, 吹き付け, 浸漬)		各種紙・紙加工品
液体用帯電防止剤 (溶解)		ジェット燃料, 有機溶剤

B.2.3.2 帯電防止剤の用途

帯電防止剤の主な種類、使用法および使用対象は、表 B.2 に示すとおりである。なお、空気中の水分を吸着することによって導電性を高めることを原理とする帯電防止剤は環境の温度および湿度によって効果が異なるので注意する。

B.3 帯電防止作業床

帯電防止作業床の種類には次のようなものがある。

- (1) 床材として導電性ゴムまたは導電性プラスチックを使用した帯電防止張り床
- (2) 床面に導電性塗料を塗った帯電防止塗り床。ただし、帯電防止塗り床は、一般に耐久性に欠けるため、十分な保守が必要である。
- (3) 導電性ゴムまたは導電性プラスチックを材料とする帯電防止マット。なお、帯電防止マットは、一般に床の導電性が必要な部分のみを局所的に導電化する場合に多く使用される。帯電防止マットの構造基準については静電気用品構造基準参照。
- (4) 導電性繊維を使用して帯電防止加工された帯電防止カーペット。なお、帯電防止カーペットの用途は、一般に電子計算機室など、電子機器を取り扱う場所であるので、帯電防止カーペットを静電気的安全対策に用いてはならない。

付録C 静電気の安全管理

C.1 安全管理

災害防止を目的とした技術的対策を施しても、それが管理されなければ本来の対策は維持できず、管理の不十分な対策が災害を生み出すことも多くある。したがって、安全管理は災害防止対策を実施するうえで不可欠のものである。

C.1.1 安全管理体制の確立

災害防止の基礎は関係者が高い安全意識と正しい知識をもって組織的にかつ円滑に実施される管理体制を確立することである。安全管理体制の確立はその重要性から法的に労働安全衛生規則¹にも義務づけられている。

安全管理体制の確立には災害防止対策の内容にしたがって、組織の中で、これを実施する者の職位とその責任および権限を明確にする必要がある。労働安全衛生規則に定められている総括安全衛生管理者は安全管理者を指揮し、次のことを統括管理することとなっている。

- (1) 作業者の危険または健康障害を防止する措置
- (2) 作業者の安全衛生のための教育
- (3) 健康診断の実施や健康管理
- (4) 労働災害の原因の調査と再発防止
- (5) 1~4 以外に労働災害を防止するための必要な業務

C.1.2 安全点検

災害の原因には物的要因と人的要因がある。前者は防止対策と安全点検によって、後者は安全教育によって排除できる。

安全点検は安全管理者や専門技術者などの特定のものに任せることなく、現場の各級監督者が責任を分担して、相互に協力して実施する。この際には

- (1) 各級監督者はそれぞれの点検対象および時期を定める。
- (2) すべての設備・器具の点検基準を定める。
- (3) 点検実施者は点検の対象となる設備・器具についての十分な知識、点検方法、点検結果の判断基準について教育を受けなければならない。

¹厚生労働省、労働安全衛生規則のほか、労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針（平成 11 年告示，平成 18 年改正）も参照されたい。

C.1.3 安全管理マニュアル

安全目標を設定して作成された安全管理計画のもとに安全管理マニュアル（規定・基準）を設ける必要がある。この際には具体的な作業，防止対策，点検，維持の方法のほかに次のことに留意する必要がある。静電気安全指針応用編追補も参照のこと。

- (1) 実施者の責任と権限を明確にすること
- (2) 従来の就業規則などにできるだけ融合できること
- (3) できるだけ簡便で，運用上抵抗の少ない，標準化されたもの
- (4) 作業の管理には計測技術をできるだけ採用し，定量的に測定管理すること（C.1.4 参照）
- (5) 単なる製造現場の作業の管理を目的としたものではなく，実験，調査，安全教育，訓練なども含んだもの
- (6) 日常的な点検と改善
- (7) 異常（非常）時の対策

C.1.4 測定管理事項

静電気対策に必要な測定管理の項目を以下に示す。この中から対象の作業に関わる必要な項目を選択する。

- (1) 静電気帯電の測定管理
 - (a) 液体・粉体・固体の導電率および誘電率
 - (b) 表面の帯電が問題となる材料の表面抵抗率
 - (c) 表面の帯電が問題となる物体の漏洩抵抗
 - (d) 導体の漏洩抵抗・静電容量
 - (e) 作業者の漏洩抵抗（作業床の漏洩抵抗，作業靴の抵抗）
 - (f) 相対湿度，温度，添加物の量
 - (g) 物体の帯電電荷量・電荷密度
 - (h) 物体の表面電位（帯電電位），空間電位
 - (i) 帯電物体の表面・近傍の電界
 - (j) 取扱速度・圧力・量
- (2) 着火危険性の測定管理
 - (a) 可燃性ガス・蒸気・粉じんの混合濃度
 - (b) 不活性ガス使用時における酸素濃度（限界酸素濃度）
 - (c) 最小着火エネルギー，引火点，爆発限界の物性値
 - (d) 温度，湿度

C.1.5 安全教育・訓練

危険性の認識、知識、技能、安全に対する意識を向上させる安全教育は災害防止のために極めて重要なことであり、安全管理の重要な要素である。災害の人的要因の排除は安全教育以外に方策はない。教育内容は作業の実態・現状と教育対象者のレベルを勘案して定めることが必要であり、座学だけでなく、安全管理マニュアルに基づく訓練教育も必要である。静電気に関する災害については、わずかな注意の欠如や作業現場での積極的な工夫・改善が逆に危険となるなど、静電気に対する知識が不足して静電気災害が発生することが多い。必要最低限の静電気安全教育の基本的項目は次のとおりである。

(1) 静電気の発生と帯電

静電気はあらゆる物体で接触と分離によって簡単に発生するので、発生をなくすことは困難である。したがって、まず、静電気の発生を極力抑制することが、重要であることを熟知させる必要がある。次に、静電気の帯電は電荷の発生と緩和によるので、物体の抵抗率の大小で帯電の大きさが変わることと、抵抗率が小さくても接地されていなければ帯電が起きることを熟知できるようにする。

(2) 静電気放電と着火

静電気の帯電によって静電気の放電が起こり、この放電が可燃性雰囲気中の最小着火エネルギー以上の放電エネルギーを発生して着火源となりうることを熟知できるようにする。

(3) 静電気防止対策の概要

(a) 接地の重要性

接地することによって導体の帯電防止ができることを熟知できるようにする。

(b) 作業者の帯電防止

作業者（人体）の接地は作業床と靴の導電化によってなされ、また、作業服等の帯電防止は帯電防止作業服の着用が重要であることを熟知できるようにする。

(c) 不導体の静電気対策

不導体はひとたび帯電すると、それを長い時間保持し続けるので、不導体に対する静電気対策を熟知できるようにする。

(d) 測定管理の手法

作業者の観察・監視が静電気災害防止に重要であるので、正しく実施できるよう測定管理手法を教育する。

一般的には次のように実施するとよい。

- (1) 安全作業が実施されるように教育・訓練する。
- (2) 従業員の安全意識を高め、安全水準を高める教育
- (3) 異常時、緊急時に対処するための訓練

C.2 リスクアセスメント

可燃性物質を取り扱う工程・設備は、操業・稼働を続けている以上絶対安全ということはない。したがって、危険源（ハザード、hazard）をゼロにすることを目標とする安全基準遵守の方式に基

づいた安全管理には無理があり、この災害防止の方法はある程度までは災害を削減できても限界がある。また、何か突発的な変更があったときの対応が非常に遅れるという欠点を有している。このようなことが背景に、内外の多くの法規、指針、規格・標準ではリスク（ハザードという事象が起きる確率（頻度）×危害・損害（作業者の死傷、設備・企業イメージの損傷・損害など）の度合い）で管理するリスク低減方式を推奨している。事実、ISO/IECの国際安全規格の中ではリスクアセスメントを実施することが大前提となっている。この管理手法は、リスクのレベルで効率的、合理的に管理し、結果的に経済的である利点も持ち、現在の安全分野の技術として国際的に標準となっている。これがリスクマネジメントであり、リスクマネジメントにはあらかじめリスクについて科学的、合理的、網羅的に事前評価するリスクアセスメントが必要であり、その手法は次のようになる。

- (1) 作業工程の調査
- (2) 危険要因（危険源）のリストアップ
- (3) 危険源ごとのリスクのレベルの算定（見積り）
- (4) リスク見積りによる対策の優先度の決定
- (5) リスクの評価（許容可能なリスクに達成したかの判断）
- (6) 対策（リスク低減策）案の検討と対策後のリスクの想定
- (7) 対策の実施と対策後のリスクアセスメント
- (8) 記録

作業工程の調査によりその工程にかかわる全員が参加して科学的²に潜在する危険源を可能な限りリストアップする。リスクアセスメントに全員が参加することは、残留リスクを少なくできるだけでなく、対策の意味の理解や安全意識の向上につながる。次に、特定されたすべての危険源に対してリスクを数理的に見積り、そのリスクが許容可能なリスクであるか評価をする。許容可能でない場合はリスクのレベルに対応して順にリスク低減策（静電気対策）を講じる。このとき対策の効果を測定等にて確認することも必要である。さらに、対策後の残留リスクについてのリスクアセスメントも必要となる。また、このリスクアセスメントにより作業工程の見直しが必要な場合もあるであろう。実施したリスクアセスメントのプロセスを必ず記録に留めておく。記録に留めることにより、将来の工程変更や事故の際の説明責任、原因究明、残留リスクの検討と事故後のリスクアセスメント、作業工程の見直しなどに大いに役立つ。通常の工程のみではなく、事故事例がむしろ多い清掃などの非日常の工程についてもリスクアセスメントを実施することが必要である。詳細なリスクアセスメント手法はガイドライン³を参考にするとよい。また、リスクアセスメントの重要性とその合理的な手法をわかりやすく解説した書籍⁴がある。

²静電気安全のリスクアセスメントでは工程を模擬した実験、計算およびシミュレーションなどの科学的な評価が必要な場合もあるであろう。

³厚生労働省、労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針（平成11年告示、平成18年改正）、危険又は有害性等の調査等に関する指針（平成18年公示）、前者の指針に基づいて出版された書籍：中央労働災害防止協会、厚生労働省安全課監修、厚生労働省指針に対応した労働安全衛生マネジメントシステム-リスクアセスメント担当者の実務（平成15年）

⁴向殿政男、よくわかるリスクアセスメント-事故未然防止の技術、中央労働災害防止協会（平成15年）

C.2.1 静電気リスクアセスメント

静電気による爆発・火災を防止するためのリスクアセスメントに把握しなければならない事項を以下に示す。ここに示した項目は作業工程の調査、危険源のリストアップに重要な事項である。

(1) 静電気に関する事項

- (a) 接地・ボンディング（漏洩抵抗・ボンディング抵抗）
- (b) 不導体の有無とその帯電性
- (c) 放電の可能性とその着火性
- (d) 作業者の静電気に関する危険要因

(2) 取扱物質に関する事項

- (a) 沸点・引火点等
- (b) 取扱条件と爆発限界の関係
- (c) 導電率
- (d) 誘電率
- (e) 帯電量
- (f) 着火エネルギー
- (g) 温度と蒸気圧の関係
- (h) 親水性、疎水性等の有無

(3) プロセスに関する事項

- (a) 操作・取扱条件等（速度、温度、圧力、取扱量等）の範囲とその変化
- (b) プロセスの進展に伴う帯電量の変化
- (c) 緊急遮断・非常停止の波及効果
- (d) 異常時における危険要因
- (e) 作業者の介在と誤操作発生の有無

(4) 設備に関する事項

- (a) 設備の立地・配置・位置に関する危険要因
- (b) 危険度の高い設備がほかの設備へ及ぼす影響
- (c) 設備操作のための通路・空間に存在する危険要因
- (d) 点検時に発生する危険要因
- (e) 故障時に発生する危険要因

特定された危険源に対してリスクを見積もり、必要に応じて本文に示した静電気対策（リスク低減策）を講ずる。

C.2.2 災害事例の検討

- (1) 次の帯電は過去に災害の原因となった事例であるので、十分に調査してリスクアセスメントを実施する。
 - (a) 高速で走行するフィルム・紙・布などの帯電
 - (b) 液体、粉体などを収納する絶縁された金属製容器・金属部分の帯電
 - (c) 絶縁性パイプ・ホースの一部に取り付けられた金属物体の帯電
 - (d) バグフィルタ、シュートなど繊維製品の帯電
 - (e) ノズル、ホース、パイプなどから噴出した絶縁性液体の帯電
 - (f) 絶縁性履物または絶縁性床によって絶縁された作業者の帯電
 - (g) タンク、大型容器などに充填された絶縁性液体の帯電
 - (h) 混合・攪拌されている液体の帯電
- (2) 次の工程は過去に災害の原因となった事例であるので、十分に調査してリスクアセスメントを実施する。
 - (a) 可燃性液体が入っている容器に粉体などを投入する工程
 - (b) 接着剤、塗料、インキ、溶剤などを塗布・印刷する工程
 - (c) 溶剤を含む粉体を流動乾燥させる工程
 - (d) 溶剤・塗料などを吹き付け・塗装する工程、および溶剤を使用して洗浄する工程
 - (e) 可燃性液体を採取・検尺・検温する工程
 - (f) プラスチック成型品を型から取り外す工程
 - (g) フィルム、紙、布などを巻き取り・巻きもどす工程
 - (h) 多量の粉体類を袋詰め・流動させる工程
 - (i) 接着剤を使用して張り付け・張り合わせる工程
 - (j) 可燃性液体をタンク、容器などに移し替え・充填する工程
 - (k) 粉体の空気輸送、集じんなどで、微細粉じんが発生する工程
 - (l) 樹脂を発泡し、成型する工程
- (3) 次の放電は過去に災害の原因となった事例であるので、十分に調査してリスクアセスメントを実施する。
 - (a) 帯電した金属物体からの放電
 - (b) 接着したものを剥離するときに発生する放電
 - (c) バグフィルタ、シュートなどに付着した粉体が剥離するときの放電
 - (d) プラスチック成型品を型から取り外すときに発生する放電
 - (e) 帯電した作業者からの放電
 - (f) 作業服などの脱衣時に発生する放電
 - (g) 試料を採取した金属容器からの放電

(h) 絶縁物に取り付けられた金属部分からの放電

(i) 除電器の動作不良または使用方法の誤りによって発生する放電

(4) 次の状態・条件は過去に災害の原因となった事例であるので、十分に調査してリスクアセスメントを実施する。

(a) 施設、装置、機器などを初めて運転したとき、または改修後に運転を再開したとき

(b) 運転条件を変更したとき

(c) 相対湿度が極端に低下したとき

(d) 施設、装置、機器などが故障して作動状態が急変したとき

(e) 材料、原料などに異物が混入したとき

(f) 作業基準の変更が適切に行われなかったとき

(g) 除電器の保守が十分でなかったとき

(h) 装置、機器などの操作を誤ったとき

付録D 静電気対策のための管理指標

静電気を管理する場合、指標があると便利であるので、第3章と重複する部分もあるがまとめて示す。リスクアセスメントの際の危険源の特定とリスクの見積・評価の参考に利用されたい。

D.1 導体の管理指標

D.1.1 火花放電の防止

火花放電の防止のために（帯電電位を100 V以下）、導体（金属、導電性材料でできたもの）の漏洩抵抗を $10^6 \Omega$ 以下にする。作業者の漏洩抵抗は $10^8 \Omega$ 以下にする。根拠は3.4.5.3に示している。ただし、作業者の漏洩抵抗は低圧電力線（100~400 V）による感電防止のため $10^5 \Omega$ 以上にする。また、Zone 0(IIC), Zone 1(IIC)の危険場所では作業者の漏洩抵抗を $10^6 \Omega$ 以下にすべきであり、そうでなければ、作業者はその危険場所には立ち入らないようにする。

火花放電の危険性の指標は3.4.5.3とその図3.9を参考にするとよい。

D.1.2 最大帯電電位と最大電荷量

導体の帯電電位は式(3.4)の $V = I_G R$ のように漏洩抵抗に依存する。また、帯電電荷量は式(3.5)の $Q = I_G C R$ に示したように緩和時間（漏洩抵抗と静電容量の積）に依存する。産業レベルの静電気の発生電流 I_G は $100 \mu A$ を超えることはまずないので、この電流値を用いて、起こりうる導体の最大電位 V_{max} および最大電荷量 Q_{max} は

$$V_{max} = 1 \times 10^{-4} R \quad (D.1)$$

$$Q_{max} = 1 \times 10^{-4} C R \quad (D.2)$$

によって見積もることができる。

D.1.3 漏洩抵抗の管理指標

式(D.1)より、導体の漏洩抵抗の指標を表D.1に示す。着火エネルギーに関連した漏洩抵抗の最大値は3.4.5.3とその図3.10を参考にするとよい。

D.2 帯電性の管理指標

物体の帯電性は体積抵抗率と表面抵抗率に依存する（表D.2）。

表 D.1: 導体, 導電性物体の漏洩抵抗の管理指標

漏洩抵抗 (Ω)	帯電の程度	典型的な帯電電位 (kV)*
$< 10^6$	ほとんどなし	< 0.01
$10^6 \sim 10^8$	小さい	$0.01 \sim 1$
$10^8 \sim 10^{10}$	大きい	$1 \sim 100$
$> 10^{10}$	非常に大きい	> 100

* 式 (3.4) の発生電流 $I_G = 10 \mu\text{A}$ として求めた帯電電位

表 D.2: 帯電性の指標

帯電性の区分	体積抵抗率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	表面抵抗率 (Ω)
非帯電性物体	$< 10^8$	$< 10^{10}$
低帯電性物体	$10^8 \sim 10^{10}$	$10^{10} \sim 10^{12}$
帯電性物体	$10^{10} \sim 10^{12}$	$10^{12} \sim 10^{14}$
高帯電性物体	$> 10^{12}$	$> 10^{14}$

D.3 不導体の管理指標

不導体の帯電の抑制は困難であるので、不導体の面積と幅で制限して管理する方法を原則とするが、リスクアセスメントに有効であるので不導体の帯電電位および表面電荷密度の管理指標も示す。

D.3.1 不導体の面積・幅による管理指標

不導体の帯電の抑制は困難であるので、表 7.1 で示したように静電遮へいなどにより面積または幅で制限して管理することを薦める。

D.3.2 不導体の帯電電位の管理指標

不導体の帯電電位の管理指標は 3.4.7 のブラシ放電の帯電電位と放電エネルギーとの関係 (式 (3.13)) を示した図 3.11 の曲線に 1/10 の安全マージンをとった値とする。作業現場の雰囲気的最小着火エネルギーから不導体の電位を図 D.1 の曲線 a 以下に管理する, または, 曲線 a に一致させた階段状の直線 b (1 kV ($\text{MIE} < 0.1 \text{ mJ}$), 5 kV ($0.1 \text{ mJ} \leq \text{MIE} < 1 \text{ mJ}$), 10 kV ($\text{MIE} > 1 \text{ mJ}$)) 以下に管理する。

D.3.3 不導体の表面電荷密度の管理指標

不導体の最大表面電荷密度を $1 \mu\text{C}/\text{m}^2$ (IIC), $3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ (IIB), $5 \mu\text{C}/\text{m}^2$ (IIA), $7 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ($1 \leq \text{MIE} < 10 \text{ mJ}$), $10 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ($\text{MIE} \geq 10 \text{ mJ}$) 以下¹になるように管理する。

¹帯電した不導体からの放電による水素, プロパンの着火実験において, 水素では不導体の帯電の最小電荷密度が負帯電で $-3.8 \mu\text{C}/\text{m}^2$, 正帯電で $+17 \mu\text{C}/\text{m}^2$, また, プロパンでは負帯電で $-7.4 \mu\text{C}/\text{m}^2$, 正帯電では着火しないことから, 着火性の放電が生じない安全な最大表面電荷密度を $-3 \mu\text{C}/\text{m}^2$, $+5 \mu\text{C}/\text{m}^2$ としている [10]。

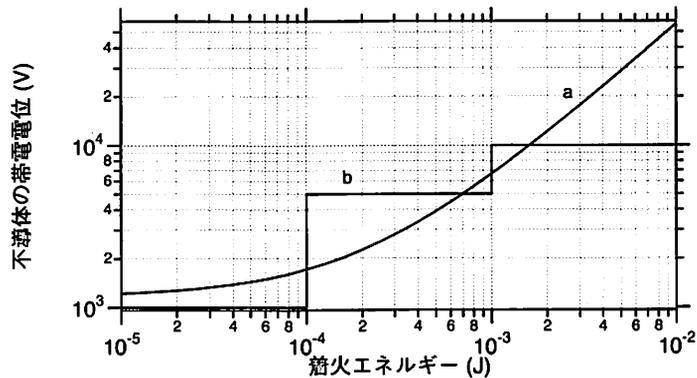


図 D.1: 不導体の帯電電位の管理指標 (曲線 a または階段状直線 b 以下)

D.4 帯電雲の管理指標

雰囲気着火エネルギーが低い場合は、帯電雲の管理よりも爆発性雰囲気の防止が望ましい。したがって、Zone 0 または Zone 20 の危険場所において、ここに挙げる帯電雲の管理指標を採用する場合は十分なリスクアセスメントが必要である。3.4.10 で述べたように、産業プロセスにおける条件では雷状放電が生じる可能性は非常に低い。仮に起きたとしても、その発生条件は帯電雲によって突起物から発生するブラシ放電のそれよりもかなり大きな空間電荷密度が必要となるので、帯電雲の管理指標としてこのブラシ放電の防止を考慮すれば十分である。D.4.1 の結果より、接地タンク内の帯電雲による放電の管理指標は次のとおりである。なお、以下に示す条件は 1/2 以上の安全マージンを確保したものである。

近似的に得られた下記の式を満たすように管理するとよい。

$$\begin{cases} \rho \leq 3.0 \times 10^{-6} R^{-1} & (0.1 \leq \text{MIE} < 0.5 \text{ mJ}) \\ \rho \leq 3.7 \times 10^{-6} R^{-1} & (0.5 \leq \text{MIE} < 1 \text{ mJ}) \\ \rho \leq 4.6 \times 10^{-6} R^{-1} & (\text{MIE} \geq 1 \text{ mJ}) \end{cases} \quad (\text{D.3})$$

ただし、 ρ は帯電雲の空間電荷密度、 R はタンク半径である。具体的な管理指標としては次のようになる。

- (1) タンク側壁電界の最大値が 1.5 kV/cm 以下 ($0.1 \leq \text{MIE} < 0.5 \text{ mJ}$)、2 kV/cm 以下 ($0.5 \leq \text{MIE} < 1 \text{ mJ}$)、3 kV/cm 以下 ($\text{MIE} \geq 1 \text{ mJ}$) となるようにして帯電雲による着火性放電を防止して管理する。また、側壁電界が 3.8 kV/cm を超えると曲率半径の大きな突起物からのブラシ放電が大きなストリーマに進展して、放電エネルギーが大きくなるおそれがあることが D.4.1 のモデリングにより導出されているので、着火エネルギーが 1 mJ 以上でもタンク側壁電界の最大値を 3 kV/cm 以下にする。
- (2) タンク直径を 0.6 m 以下 ($0.1 \leq \text{MIE} < 0.5 \text{ mJ}$)、0.7 m 以下 ($0.5 \leq \text{MIE} < 1 \text{ mJ}$)、0.9 m 以下 ($\text{MIE} \geq 1 \text{ mJ}$) となるようにして帯電雲による着火性放電を防止して管理してもよい。ただし、式 (D.3) で空間電荷密度 ρ を $10 \mu\text{C}/\text{m}^3$ として求めている。
- (3) 長さ 5 cm 以下で曲率半径 5 mm を超えるタンク内面上の突起物を排除することによっても帯電雲による着火性放電を防止できる。

なお、次の前指針 RIIS-TR-87-1(1998) の管理指標を踏襲してもよい。ただし、帯電雲内の平均

電界（空間平均電界）を測定することが困難な場合は、その値を容器側壁電界に置き換えて管理してもよい。また、リスクアセスメントによって適切と認められた場合はこの電界値を変えてもよい。

- (1) 雷状放電を防止するためには、帯電雲の規模が直径 1.5 m を超えない、または帯電雲内の平均電界が 3 kV/cm を超えないようにする。
- (2) 帯電雲からのブラシ放電を防止するためには、帯電雲の規模が直径 0.7 m を超えない、または帯電雲内の平均電界が 1 kV/cm を超えないようにする。

D.4.1 接地金属容器内の帯電雲によるブラシ放電

接地金属容器内の帯電雲による着火性ブラシ放電の生成条件を求めるため、内側（タンク上部の中心）に突起物（半径 2~10 mm，長さ 2~10 cm）がある接地円筒タンク（半径 $a (= R)$ ，高さ $a, 2a, 3a, a \leq 25 \text{ m}$ ）において、最大電界（最大電界は突起物先端にある）が空気の絶縁破壊電界 E_B となるために必要な空間電荷密度をポアソンの方程式に基づいて二分法により数値的に計算し、また、そのときのタンク側壁の最大電界を求めた。放電の着火性は突起物から平均電界が 5 kV/cm 以上の領域が放電するとして、この領域の電荷をゼロとし、この放電前後の静電エネルギーの差が 0.1 mJ 以上のとき着火性ブラシ放電が発生するとした。着火性となる突起物の曲率半径は 5 mm を超えた場合であり、ブラシ放電の発生条件と一致している。ここで、曲率半径が 5 mm 以下では最大でも約 0.03 mJ であった。また、長さが短く、曲率半径が大きな（7 mm 以上）突起物ではブラシ放電から雷状放電に移行したと考えられる放電エネルギーが計算されている。放電エネルギーが 0.1 mJ 以上となる側壁最大電界の最小値は 3 kV/cm 弱である。したがって、この最大値が 1.5 kV/cm 以下になるようにすれば、0.1 mJ 以上の着火性ブラシ放電のリスクを低減できる。また、タンク内面上の突起物（曲率半径 $> 5 \text{ mm}$ ，長さ $\leq 5 \text{ cm}$ ）を排除することによっても着火性放電を防止できる。

付録E 静電気の測定

E.1 測定による危険性の把握と安全管理

災害防止の一環として、静電気危険性の定量的把握や静電気対策の効果の定量的調査および安全管理（対策の維持・点検）のための静電気の測定が必要となる。

E.2 測定上の注意点

作業現場で測定する際は、測定による火災などの災害誘発の危険性にも留意して、危険性がある場合はそれを排除した後に測定する。爆発性雰囲気である危険場所では防爆性能を有する測定器を使用する。万一、測定中に着火した場合に備えて消火など緊急措置についてあらかじめ規定しておく。

静電気の測定は湿度に影響されるので測定環境も記録しておく。

E.3 電位・電界測定

E.3.1 接触による電位測定

高入力インピーダンス（ $10^{12} \Omega$ 以上）の電圧計（エレクトロメータ、高電圧計（静電電圧計）など）を用いて、被測定物体（導体）に直接リード線などで接続して電位を測定する方法で、導体の電位測定に適用できる。このとき、電圧計の許容入力電圧を超えないように注意して、高電圧の分圧器を用いる。図 E.1 のように電圧計を接触させるとその入力インピーダンス（入力抵抗 R_{in} と入力容量 C_{in} の並列）によって電位が減少すると同時に時間 t によっても減衰するので、帯電電位の測定には誤差が生ずる。これは、次の式によって表すことができる。

$$V = \frac{C_0 V_0}{C_0 + C_{in}} \exp \left[-\frac{t}{(C_0 + C_{in}) R_{in}} \right] \quad (\text{E.1})$$

ただし、 V_0 、 C_0 は電圧計を接続する前の被測定導体の電位および対地容量である。また、 $t = 0$ で電圧計を接続したとする。

E.3.2 非接触による電位・電界測定

非接触の測定器を利用して電位や電界を計測することもできる。測定原理は静電誘導であり、被測定帯電物体により検出電極に誘導される電荷（電位）を検出して、これが電界や電位に比例することから、帯電物体による電界あるいは帯電物体の電位に換算して測定する。いま、図 E.2 のように電界 E によって検出電極（面積 A ）に誘導された電荷が Q であったとすると、ガウスの定理

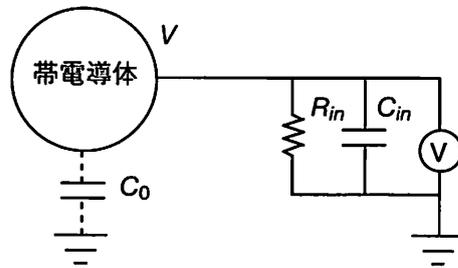


図 E.1: 電圧計接続による電位測定のための等価回路

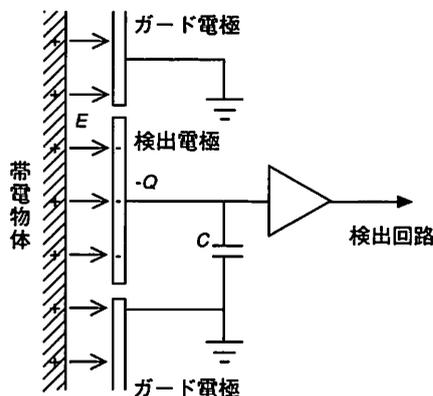


図 E.2: 誘導電荷（電位）による電界測定原理

より,

$$\epsilon_0 EA = Q \quad (\text{E.2})$$

なる関係がある。このとき、検出電極の誘導電位 V は

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{\epsilon_0 EA}{C} \quad (\text{E.3})$$

となり、この式から電界 E が測定できる。ここで、 C は検出電極の静電容量（検出電極に接続したキャパシタとそれに接続している回路の入力容量も含まれる）である。これを電位計に適用するためには、図 E.3 のように比較的大きな金属板に電圧 V_m を印加して、数センチメートル程度の一定の距離で誘導電位 V と V_m の関係（比例関係にある）をあらかじめ算出しておく必要があり、市販の表面電位計では、この関係から電位に換算して表示している。

この誘導電位の測定感度を良くするために検出電極を振動させたり、または回転セクタを設けて検出信号を交流にして、位相同期検出する振動容量型電位計、回転セクタ型電界計などがある。この誘導電位の測定原理を用いた電位測定器は表面電位計の名称で市販されている。これらの測定器は導体、不導体に限らず電位・電界を計測できる。正確な測定のためには測定器の接地が必要である。測定距離が指定されている表面電位計はその指定の距離で測定しないと正確な電位を計測できない。また、不導体の電位は表面で一様でないので、検出電極の近傍の平均的な電位を計測していることに注意する。

タンク側壁に電界計を付けることによって、タンク内の静電気の危険性を監視・評価することもできる。

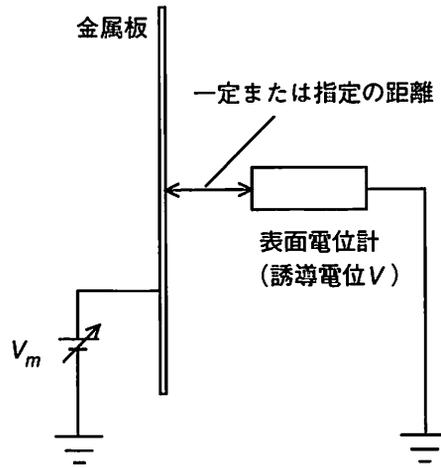


図 E.3: 表面電位計の表示電位の設定と校正方法 ゼロ調整には金属板を接地する。

E.4 電荷測定

E.4.1 ファラデーケージ

帯電物体を絶縁した金属閉曲面で囲むと、金属閉曲面の内側に帯電物体の電荷と同量・逆極性の電荷、また、外側には同量・同極性の電荷が誘導されるので、外側の電荷を計測することによって帯電物体の電荷、たとえば液体の帯電電荷密度や粉体の質量比電荷などが測定できる。

ファラデーケージは図 E.4 のように大小二つの金属（金網でもよい）容器であり、内外の容器は PTFE¹、アクリルなどの絶縁材料で電氣的に絶縁する。外側の容器は接地してこれより外側にある電荷の影響を排除する。

この電荷 Q はクーロンメータによる直接電荷測定、または図 E.4 のようにファラデーケージの内外間の静電容量 C_f よりも十分大きな容量のキャパシタ C_m を並列に接続してエレクトロメータなどの高入力インピーダンスの電圧計を用いて電位 V を測定することによって

$$Q = (C_f + C_m)V \approx C_m V \quad (\text{E.4})$$

により求めることができる。なお、キャパシタ C_m はポリスチレンコンデンサなどの絶縁抵抗が高いものを選定する。キャパシタの値は先の測定条件の $C_m \gg C_f$ のほかに、エレクトロメータの入力容量よりも十分大きく、測定電圧 $V (= Q/C_m)$ がエレクトロメータの最大入力電圧よりも小さくなるように選定しなければならない。しかし、 C_m があまりにも大きいと測定感度が悪くなり、電荷量が小さいと測定できなくなるので注意する。

E.4.2 電界計・表面電位計による表面電荷密度の測定

E.3.2 に示した静電誘導を測定原理（図 E.2）とする電界計または表面電位計を用いて、次式の換算により物体の表面電荷密度 σ を測定することができる。

$$\sigma = \epsilon_0 E = \epsilon_0 \frac{V}{\delta} \quad (\text{E.5})$$

ただし、 E は電界計の測定値、 V は表面電位計の測定値、 δ は表面電位計と被測定物体の距離である。測定精度を考慮して、平等電界が形成されるように測定距離は 1 cm 程度以下とする。測定距

¹ポリ四フッ化エチレン、ポリテトラフルオロエチレン：通称テフロンの商品名として知られている。

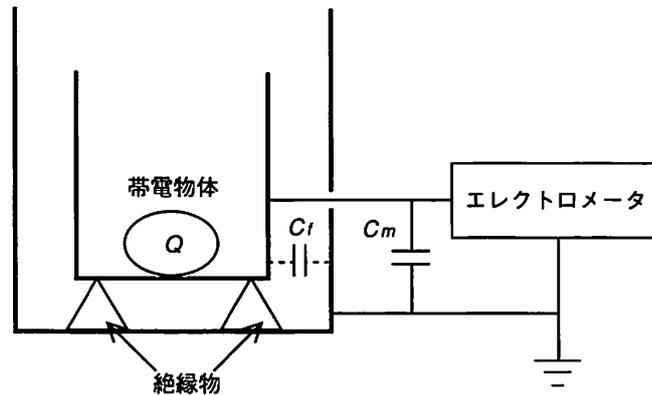


図 E.4: ファラデーケージによる電荷測定

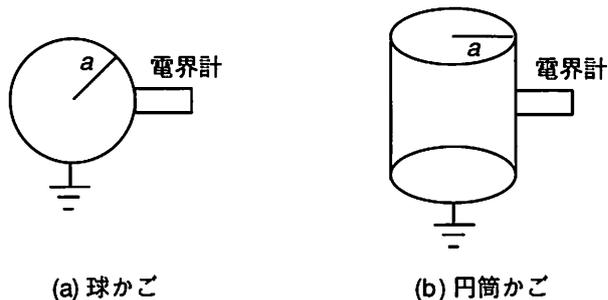


図 E.5: 電界計による空間電荷密度の測定

離が指定されている表面電位計はその測定距離であるが、1 cm 以下のものを使用する。ただし、放電が発生しないように注意する。

E.4.3 電界計による空間電荷密度の測定

接地した任意の形状のかごに電界計を取り付けて、測定電界 E からそのかご内の電荷密度を測定することができる。かご内およびその周辺近傍の空間の電荷密度が一様であるときの空間電荷密度 ρ は半径 a の球かごの場合 (図 E.5a)

$$\rho = \frac{3\epsilon_0 E}{a}$$

半径 a の円筒かごの場合 (図 E.5b)

$$\rho = \frac{2\epsilon_0 E}{a}$$

より求めることができる。

E.4.4 吸引ファラデーチューブによる空間電荷密度の測定

ファラデーケージに吸引機能を追加して空間に浮遊する粉体やミストを捕集し、その電荷量と吸引した空気の体積によって空間電荷密度を測定することもできる。たとえば、図 E.6 のように、ファラデーチューブと液体や粉体のトラップを設けたものを使用するとよい。チューブ、トラップ

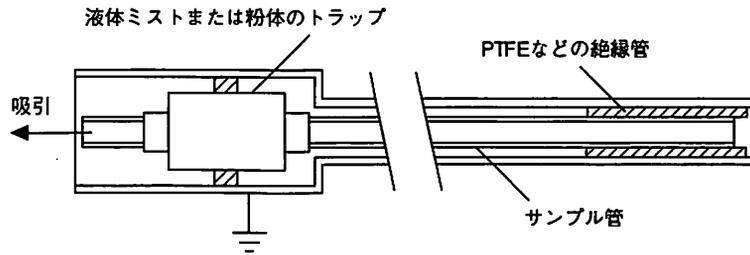


図 E.6: 吸引ファラデーチューブ

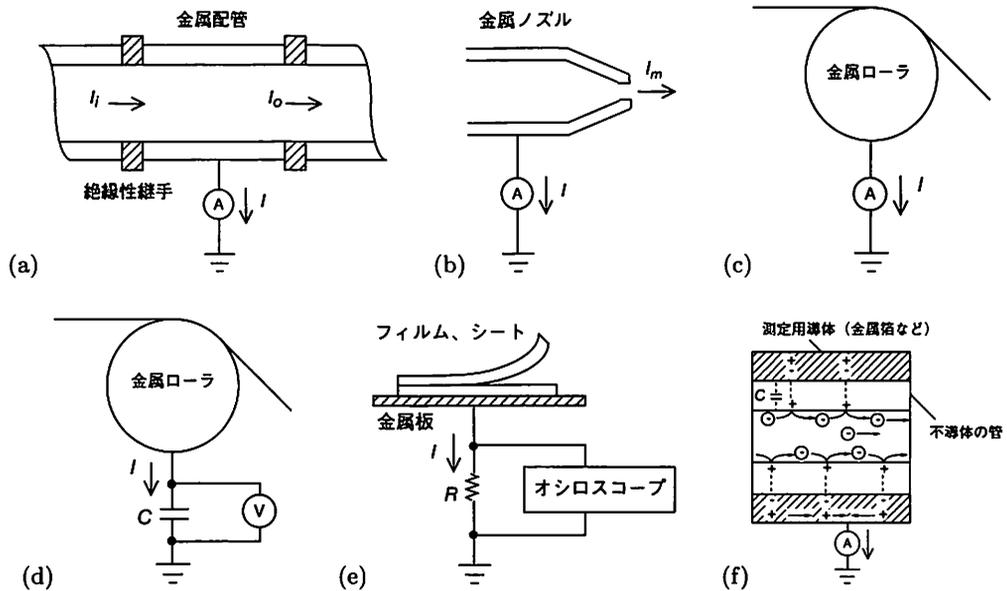


図 E.7: 発生電荷の測定例 各測定例はいずれの場合にも適用可能である。(a) 液体、粉体流によるパイプの発生電荷の測定例、(b) ノズル電流による噴出帯電の測定例、(c)、(d) ローラとロールとの摩擦帯電による発生電荷の測定例、(e) フィルム、シートの剥離帯電による発生電荷の測定例、(f) 絶縁性パイプの発生電荷の測定例

はガス配管用の金属製のそれらを代用するとよい。チューブ先端の絶縁管は電気的な絶縁のほかに吸引のシールとしての機能を持つようにする。

E.5 発生電荷の測定

金属ノズルやパイプなどの導体と液体などの間で電荷分離によって単位時間当たり（毎秒）発生した電荷は、導体を電氣的に絶縁されるようにして、この導体と大地との間に $10^{-11} \sim 10^{-6}$ A 程度の電流が測定可能な微小電流計を挿入することによって測定できる。なお、測定器に接続される配線は測定器に付属のケーブルを用いるか、これがない場合はシールド線を用いる。

たとえば、図 E.7a のようにすると金属配管内の流動による帯電の発生電流 I を計測できる、また、図 E.7b のようにするとノズルで噴霧・噴出するミストなどの帯電をノズル電流 I の測定によって計測できる。ノズル電流 I はミストなどの噴出電流 I_m と反極性で大きさが同じとなるので、流量を用いて噴出するミストなどの体積電荷密度に換算できる。図 E.7c のようにすると、ローラとロールとの摩擦帯電による発生電荷を計測できる。

発生電荷のほかの測定方法として、配管、ノズル、ローラなどにキャパシタを接続し、他方を接

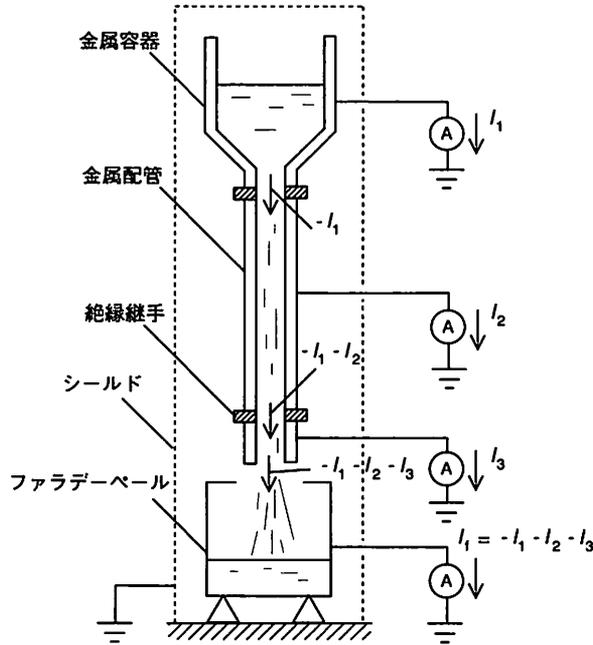


図 E.8: 発生電荷の総合的な測定例

地して、このキャパシタに時々刻々蓄積される発生電荷を電位として計測することも可能である(図 E.7d)。このとき、発生電流 I と測定電圧 V の関係は測定用のキャパシタの容量 C を用いて、 $I = C \frac{dV}{dt}$ であるので、任意の微小時間の電圧変化より発生電流を求めることができる。

図 E.7e のように発生電流の瞬時値を測定する場合、抵抗 R はオシロスコプの入力抵抗よりも十分に小さい必要がある。実際には、この電流は小さいので、高入力インピーダンスの電圧増幅器を用いるか、この抵抗 R の代わりにオペアンプの負帰還部に抵抗を挿入した I-V コンバータを用いるのがよい。後者の場合は測定電圧は極性が逆になるので注意する。

不導体に発生する電荷は、図 E.7f のように金属箔などを巻いて、微小電流計を大地との間に挿入して間接的に測定できる。

なお、物体の移動経路の複数箇所に電荷発生がある場合は、図 E.8 に例示するように、各発生箇所の発生電荷と物体の最終的な帯電量（必要であれば初期の帯電量）を同時に計測することが望ましい。最終の帯電量（必要であれば初期の帯電量）はファラデーケージ（ペール）で測定するとよい。理想的な測定系では電流の連続性から各測定部の電流の代数和がゼロ（図 E.8 の例では、 $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$ ）になる。ノイズが多い環境下のとき、測定系全体を接地金属網などでシールドするとノイズの低減ができる。

E.6 表面電荷分布の観測（ダストフィギュア法）

正負両極性の電荷が複雑に混在する帯電物体の表面電荷分布は、外部電界を検出する方法では測定困難な場合が多いが、粉末に作用する静電吸引力を利用すると、比較的容易に帯電分布を観察することができる。この方法をダストフィギュア法という。たとえば、乾燥した硫黄（黄色）約 90% および酸化鉛（四酸化三鉛：光明丹、 Pb_3O_4 ）約 10% の混合粉末を乳鉢でよく混合し、乾燥した麻布またはさらし木綿布に包み、これを帯電物体に振りかける方法で、これは負極性に帯電した硫黄粉末が帯電物体表面の正電荷に付着し、正極性に帯電した酸化鉛粉末が表面の負電荷に付着す

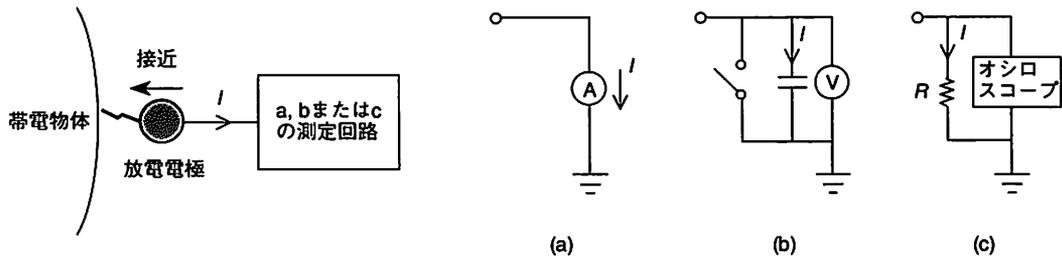


図 E.9: 静電気放電の測定例 (a) 平均放電電流の測定回路, (b) 放電電荷の測定回路, (c) 放電電流波形の測定回路

るため、正負の帯電分布が肉眼によって観察される。

ダストフィギュア法は、定性的な表面電荷分布の観察方法であるが、放電跡（スタティックマーク）の観察、プラスチック製品の帯電性能の試験など種々の用途がある。

E.7 静電気放電の測定

帯電物体とこれに近接する接地導体との静電気放電は、その放電電流、放電電荷および帯電物体の放電前の電位（E.3.2 参照）を計測して、その危険性を評価することができる。

- (1) コロナ放電のように連続的に起こる放電の特性は、 $10^{-8} \sim 10^{-3}$ A 程度の電流を測定できる直流電流計により平均放電電流が測定できる（図 E.9a）。このとき、火花放電による電流計の保護のため、放電電極と電流計の間に $1 \text{ M}\Omega$ 程度の保護抵抗を接続する。
- (2) 火花放電のように間欠的に起こる放電は、放電電荷 Q をキャパシタ C に蓄え、その電位 V を高入力インピーダンスの電圧計で計測すると、放電電荷 ($Q = CV$) を測定できる（図 E.9b）。使用するキャパシタは測定電位 V が電圧計の最大入力電圧を超えないように設定する。一般に $0.1 \sim 1 \mu\text{F}$ 程度。
- (3) 放電電流を抵抗を通して電圧に変換して、広帯域（アナログ帯域で 100 MHz 以上が望ましい）のオシロスコープで観測すると、放電電流の瞬時波形を測定できる（図 E.9c）。このとき、使用する抵抗 R はオシロスコープの入力抵抗よりも十分に小さくなくてはならない。ただし、大きくても数十 $\text{k}\Omega$ までとする。抵抗の代わりに電流プローブを用いてもよい。

放電の形態は、電極のサイズ、形状に依存するので（3.4 参照）、目的の放電に応じて金属導体を選定する。一般に、針電極または 30 mm 程度までの金属球が使用される。

E.8 抵抗・静電容量等測定の前処理と測定環境

抵抗、静電容量の測定、抵抗率、導電率、誘電率など材料の物性を測定するときは、試料の汚れや環境の温湿度に依存するので測定環境を整える必要がある。

- (1) 電極、試料の汚れなどの不純物を溶剤で除去する。液体の場合は不純物除去後に試料で共洗いをする。
- (2) 固体を測定する場合、必要であれば試料を乾燥する。

- (3) 測定環境は温度 20°C 程度，相対湿度 50%以下が望ましい。

E.8.1 固体

- (1) 固体試料の表面は乾燥した清潔なガーゼなど（無じんの紙でもよい），またはアルコールを含ませたガーゼ（無じんの紙でもよい）を用いてふいた後，十分に乾燥させる。表面の汚れがひどい場合は，試料を中性洗剤で洗浄し，十分に水洗した後よく乾燥させる。
- (2) 熱によるひずみを除去する必要がある場合は，一定温度の乾燥器の中に試料を一定時間放置することによって行う（たとえば，温度 80°C，放置時間 1 時間）。
- (3) 温湿度調整のための前処理は，測定環境（E.8.4）と同じ条件下に試料を一定時間放置することによって行う。放置時間の参考値は，24 時間である。
- (4) 測定環境および前処理の温湿度調整には，恒温恒湿装置または調湿したデシケータを使用する。調湿方法としては，塩類の飽和水溶液，硫酸水溶液またはグリセリン水溶液を用いる方法がある。
- (5) なお，測定用電極が汚れている場合は，アルコールを含ませたガーゼ（無じんの紙でもよい）を用いて拭く。

E.8.2 液体

液体試料は一定温度に保つ前処理を行う。放置時間の参考値は 1 時間である。

E.8.2.1 電極の洗浄

電極など液体試料に触れる部分は十分に洗浄されている必要がある。たとえば，次のように洗浄する。

- (1) 電極の絶縁材料が溶けないもので，たとえば，アセトン，アルコールなどの溶剤で数回洗浄し，試料で数回共洗いする。
- (2) なお，汚れがひどい場合は，上記 (1) の洗浄の前に次のように予備洗浄を行う。
中性洗剤で洗浄した後，水洗いし，純水中で 30 分間煮沸する。乾燥（120°C の乾燥器中で 1 時間放置）させた後に乾燥したデシケータ中で放冷する。メンテナンス時には電極を分解して洗浄するとよい。

E.8.3 粉体

前処理は粉体試料を一定温湿度環境下に一定時間放置することによって行う。放置時間の参考値は 24 時間である。液体用電極の洗浄 E.8.2.1 と同様に電極を洗浄する。

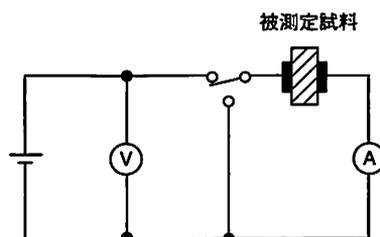


図 E.10: I-V 法による抵抗測定

E.8.4 測定環境

測定環境は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 5\%$ を標準とするが、一般には、低湿度（50%以下）の室内としてもよい。なお、温度、湿度の影響を調べる測定では恒温恒湿の環境条件とする。

E.9 抵抗の測定

E.9.1 抵抗の測定法

抵抗の測定はオームの法則に基づいて、図 E.10 のように被測定試料に直流電圧 V を印加して、そのときの電流 I より抵抗 $R (= V/I)$ を求める。電圧源と電流計を内蔵した一般の回路計（テスタ）、絶縁抵抗計、高絶縁抵抗計などを利用してよい。測定器の選択は被測定抵抗に依存し、 $10^6 \Omega$ 程度までは一般の回路計でも十分であり、 $10^6 \sim 10^9 \Omega$ 程度では絶縁抵抗計、 $10^9 \Omega$ 以上の抵抗測定では高絶縁抵抗計を用いる。なお、測定電流が 1 nA 以下となる場合は、測定電極のガードリングと測定系のシールドを薦める。

測定値 R は被測定試料（抵抗 R_s ）を入れる電極自体の絶縁抵抗 R_i （主電極と対電極を絶縁するための材料の抵抗）が並列に挿入されていることに注意する。すなわち、 $R = R_s R_i / (R_s + R_i)$ となり、 $R_i \ll R_s$ の条件では R_s を正しく測定できないので、あらかじめ電極自体の絶縁抵抗 R_i を測定しておく必要がある。

交流電圧を印加して測定する方法もある。このような測定器には LCR メータなどがあり、同時に静電容量も測定可能である。

E.9.2 高抵抗物質の電流

絶縁物などの高抵抗物質に電圧を印加したときの電流は一定とはならず、図 E.11 のような電流が流れる。最初の急激な電流の上昇は測定系が構成する静電容量を充電する電流である。この後に指数関数的に減少していく吸収電流が流れ、後に定常となる試料の導電電流（漏れ電流）が流れる。この導電電流から抵抗値を求めても良いが、実際にはこの時間が長かったり、測定電極と被測定物体との界面に電圧印加のため各電極に反極性の空間電荷が形成されるので、実際に試料に印加される電圧が低くなる場合もある。したがって、慣例として印加後 1 分の電流（1 分値）または定常値から抵抗を求める。また、液体ではこの空間電荷の作用が大きくなるので、通常、外挿して求める 0 分値より抵抗を求める。

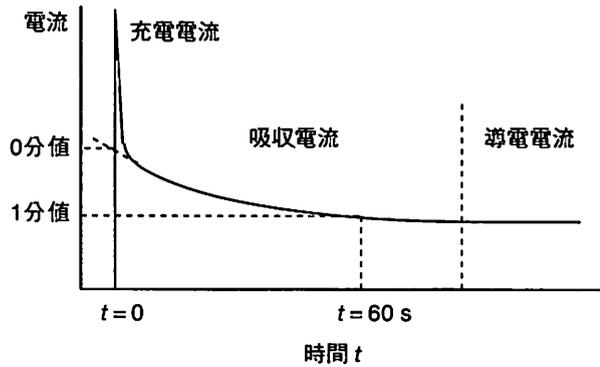


図 E.11: 高抵抗物体の電流

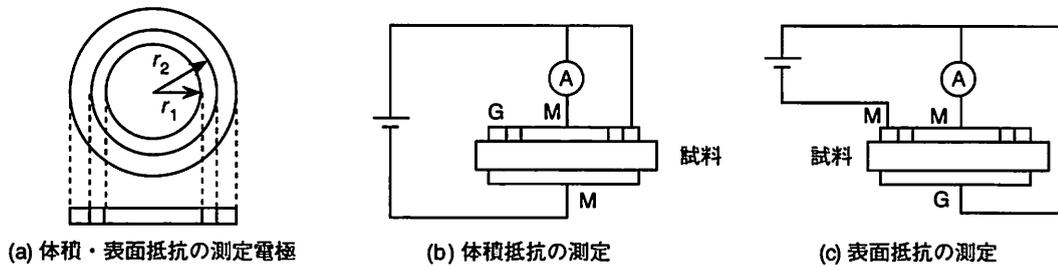


図 E.12: 体積・表面抵抗の測定電極と測定回路 M: 測定用電極, G: ガード電極

E.9.3 印加電圧

印加電圧は 1000 V までとして一般に 100 V または 500 V が用いられる。10⁶ Ω 以下の抵抗測定では 50 V 以下 (1, 5, 10, または 50 V など) にする。目安として, 10 V (10⁶ Ω 以下), 100 V (10⁶ ~ 10¹¹ Ω), 500 V (10¹¹ Ω 以上) としてもよい。

E.9.4 体積抵抗と表面抵抗

絶縁体の抵抗測定には通常ガード電極付きの電極 (図 E.12a) を用いる。試料は薄いものが適している。体積抵抗および表面抵抗の測定回路はそれぞれ図 E.12b, c である。

E.9.5 体積抵抗率および表面抵抗率

体積抵抗率 ρ_v および表面抵抗率 ρ_s は図 E.12a の電極を用いた体積抵抗 R_v と表面抵抗 R_s の測定値から

$$\rho_v = \pi r^2 R_v / \delta \tag{E.6}$$

$$\rho_s = 2\pi r R_s / d \tag{E.7}$$

を用いて求めることができる。ただし, r は有効電極半径で $(r_1 + r_2) / 2$, δ は試料の厚さ, $d (= r_2 - r_1)$ は主電極とガード電極との距離である。

厚さのある物体の表面抵抗率は図 E.13 のように電極を配置しても測定できる (式 (2.8) 参照)。

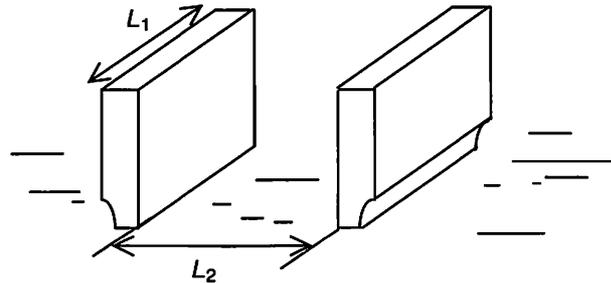


図 E.13: 表面抵抗率の簡易測定 (式 (2.8) 参照)

E.9.6 漏洩抵抗・ボンディング抵抗の測定・点検

安全管理のため、接地・ボンディングによる静電気対策の定量的点検が必要である。漏洩抵抗が $10^6 \Omega$ 以下であり、ボンディング抵抗が 1000Ω 以下であることを絶縁抵抗計（メガ）または回路計（マルチメータ、テスタ）で測定・点検する。なお、汚れ、さびなどがあるものは、回路計では測定できない場合があるので、絶縁抵抗計を使用する。目安としては、抵抗が $10^6 \Omega$ 程度までは回路計でも十分であり、 $10^6 \sim 10^9 \Omega$ 程度では絶縁抵抗計を用いる。

作業前に作業靴を履いた状態で、作業者の漏洩抵抗の測定が簡易にできる市販の測定器の利用は管理に便利である。

E.9.7 設備などの接地抵抗の測定・点検

大地は電解質のような性質を持つので、分極作用を避けるため接地抵抗の測定には交流を用いる。市販の測定器は一般に電圧降下法を用いており、2本の補助電極（接地棒）を地面に打ち込んで測定される。市販測定器を使用する場合はそのマニュアルに従って測定する。

電圧降下法による接地抵抗の測定原理は図 E.14 のようになる。被測定接地極 E からほぼ直線上に $L \approx 10 \text{ m}$ ずつ離れた位置に電圧用補助接地棒 P および電流用補助接地棒 C を打ち込む。電流トランスに $I_2 = kI_1$ なる関係があるとして、すべり抵抗器を調整して、平衡をとり $V_1 = V_2$ とすると I_1 による電圧降下とすべり抵抗の電圧降下が等しくなるので ($I_1 R = I_2 r = krI_1$)、接地抵抗 R は $R = kr$ から求めることができる。

E.9.8 作業床の漏洩抵抗の測定

作業床の漏洩抵抗の測定法は標準化されている [48]。電極は総重量が $2.5 \pm 0.25 \text{ kg}$ または $5 \pm 0.25 \text{ kg}$ で、電極部の直径が $65 \pm 5 \text{ mm}$ であり、床と接触する面は導電性ゴムで覆われたものである。この電極を床面上（電極の中心が床の端から 100 mm 以下にならないようにする）に配置して、接地との抵抗を測定する。最初は、印加電圧を 10 V として電圧印加後 $15 \pm 2 \text{ s}$ の抵抗を測定する。この測定値が $10^6 \Omega$ を超える場合は印加電圧を 100 V にして同様に測定する。さらに、この2回目の測定値が $10^{11} \Omega$ を超える場合は印加電圧を 500 V にして測定する。

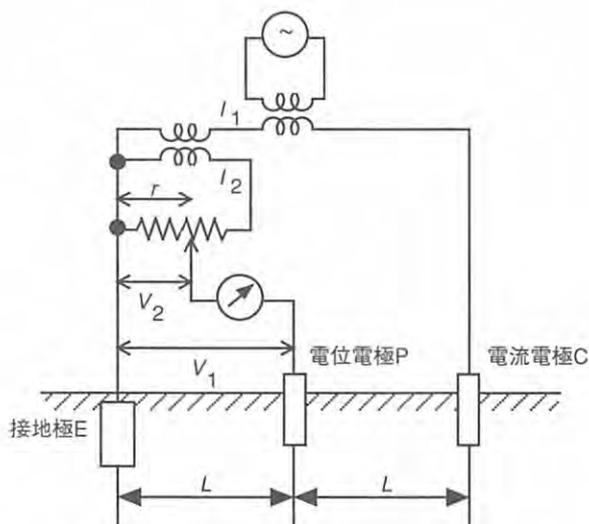


図 E.14: 電圧降下法による接地抵抗の測定原理

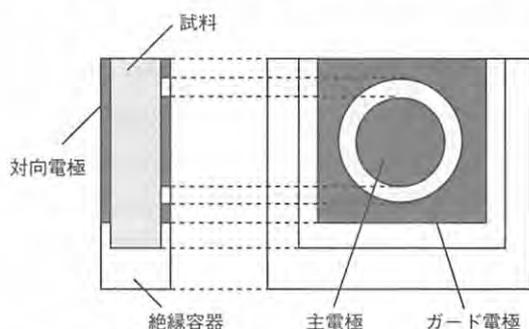


図 E.15: ガード電極付き粉体用電極

E.9.9 粉体の抵抗率測定

粉体の抵抗率は図 E.15 のような電極を用いて測定する。絶縁容器の材料は PTFE、アクリルなどの絶縁性の高い合成樹脂を使用する。印加電圧は、一般に 100 または 500 V とし、 $10^6 \Omega$ 以下の抵抗では 50 V 以下 (1, 5, 10, または 50 V など) にする。抵抗を計算する電流値は 1 分値, 10 分値または定常値を採用する。抵抗率 ρ は、図 E.12b と同様な測定回路で得られた抵抗 R と図 E.15 の円電極の面積 A (円電極と対向電極の平均面積でもよい) と対向電極との間隔 d を用いて、

$$\rho = R \frac{A}{d} \quad (\text{E.8})$$

より求める。

なお、粉体のかさ密度が測定値に影響するので、タッピングしながら充填する。

E.9.10 液体の導電率測定

図 E.16 のような電極を用いて液体の導電率を測定する。電極はステンレス、白金、金メッキが望ましいがアルミニウム、真ちゅうなどの金属でもよい。絶縁材料は液体の汚染を考慮した絶縁性の合成樹脂、たとえば、PTFE などがよい。測定前には電極をアセトンなどの溶剤で十分に洗浄後

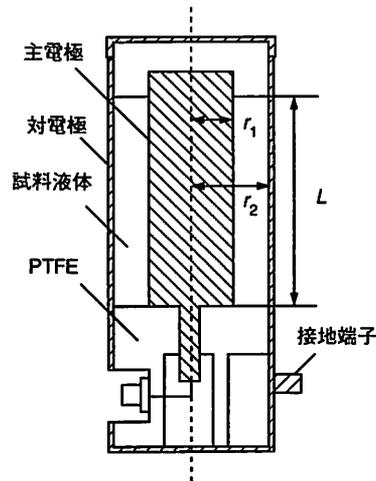


図 E.16: 液体用電極

(汚れがひどい場合は、この洗浄の前に中性洗剤で洗浄後、十分に乾燥させる)、被測定液体で少なくとも3回共洗いをする (E.8.2.1 参照)。

印加電圧は、予備測定として1~1000 Vの範囲で電圧を変えて印加して、電圧を変えても抵抗値が安定している電圧範囲で測定する。一般に1, 5, 10, 50または100 Vである。ただし、高導電率の液体は交流測定の方が望ましいときがあるが、直流の場合は印加電圧を50 V以下とし、通常、1~10 Vが適当である。液体の導電率(抵抗率の逆数)は図 E.11 のように外挿して0分値の電流から求める。電極係数が1 mとなるように設計されている測定電極は測定抵抗 R の逆数が導電率となるが、そうでない場合は式 (E.9) を用いて求める。測定用電極の中心からの距離を r とおいて、測定抵抗 R は

$$R = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{\sigma} \frac{dr}{2\pi r L} = \frac{1}{2\pi\sigma L} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

で表されるので、導電率 σ は

$$\sigma = \frac{1}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1} \times \frac{1}{R} = \frac{k^{-1}}{R} \quad (\text{E.9})$$

より求めることができる。

電極係数とは (E.9) の $k (= 2\pi L / \ln(r_2/r_1))$ に相当する。電極係数 $k = 1 \text{ m}$ とするために、たとえば、 $2r_1 = 30.7 \text{ mm}$, $2r_2 = 50.5 \text{ mm}$, $L = 79.2 \text{ mm}$ (試料 100 mL) としている。また、測定に平行平板電極を用いた場合は、 $k = A/d$ となる。ただし、 A は電極の面積、 d は電極間隔である。

E.10 静電容量の測定

静電容量の測定方法はキャパシタの静電容量の測定方法と同じで、交流測定法と直流測定法がある。交流測定法はI-V法、共振法またはブリッジ法などの方法があり、市販されている測定器を利用することになる。測定器のマニュアルにより測定法と測定手順を確認する。

測定に際しては、リード線をできるだけ短くし、リード線の静電容量が問題となる場合は、測定値からこれを除外するための補正を行う。市販の測定器を用いる場合は測定器付属のケーブルを用いる。一般に、市販の測定器はこの補正機能を有している。

測定に用いる電極に主電極と対電極を支持・絶縁するために絶縁材料が使用されている場合は、この部分の静電容量も加えて測定されていることに注意する。この部分の静電容量が被測定試料の静電容量よりも十分に小さくない場合は誤差となるので、これを計算と測定であらかじめ求めておく必要がある。

E.10.1 交流測定法

交流測定法には I-V 法、共振法、ブリッジ法などがある。交流測定法を用いて片側が接地された静電容量を測定する場合、ブリッジ法では測定できないので注意する。共振法も測定回路において被測定容量が電源側となる測定器も片側接地の静電容量を測定できない。推奨はしないが、やむを得ずこれらの方法を用いる場合は、測定器の電源をトランスで絶縁して、比較的到低い周波数で測定する必要がある。

E.10.1.1 I-V 法

I-V 法は被測定試料に交流の一定電圧を印加して、このとき流れる電流の印加電圧に対する 90 度進んだ位相成分を同期検波すると、この電流が試料の静電容量に比例することを利用したものである。一般に、印加する交流電圧の周波数は数十 Hz から数百 kHz 程度で被測定容量に依存する。I-V 法は片側接地の静電容量の測定にも適用できる。この原理の測定器には、C メータ、LCR メータなどがある。

E.10.1.2 共振法

共振法は、LC 直列回路に高周波の一定電圧を印加して共振（可変キャパシタで行われる）したとき、キャパシタの端子電圧と印加電圧の比が、Q 値になることを利用したものである。Q メータがこれに相当する。

E.10.1.3 ブリッジ法

ブリッジ法には、並列抵抗ブリッジ法、直列抵抗ブリッジ法、シューリングブリッジ法などがある。可変の抵抗、キャパシタおよび被測定容量でブリッジ回路を構成し、可変抵抗と可変キャパシタを調整してブリッジの平衡をとり（零位法）、被測定容量を求めるものである。

自動平衡ブリッジ回路による LCR メータなどの測定器もある。原理的には、オペアンプの I-V コンバータを用いた回路で、実際には上記のようなブリッジ回路を組んではない。この I-V コンバータはオペアンプの非反転端子を接地するので、非反転端子は仮想接地となる。したがって、原理的に零位法となる。

E.10.2 直流測定法

直流測定法には並列の静電容量の電荷分割を利用した電荷分割法、RC 並列回路の電荷緩和を利用した電荷緩和法がある。充放電特性から静電容量を測定する C メータもある。

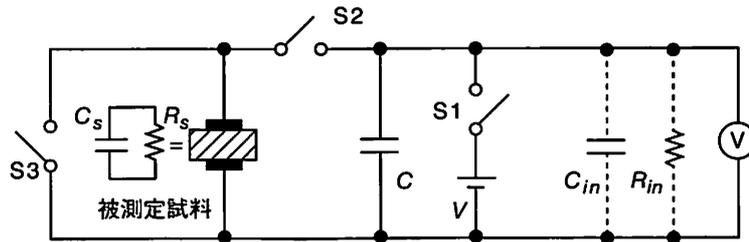


図 E.17: 電荷分割法による静電容量の測定

E.10.2.1 電荷分割法

電荷分割法の測定回路は図 E.17 に示すように直流電源、電位測定のための高入力抵抗の電圧計、被測定容量、容量分割のためのキャパシタ C およびスイッチで構成される。測定用キャパシタには空気コンデンサ、ポリスチレン（スチロール）、マイカ、セラミックコンデンサなどの絶縁性のよいものを使用し、その容量は被測定試料の容量と同程度が望ましい。測定手順は次に示すとおりである。ただし、手作業でスイッチを切り替える場合は、この電圧計の入力抵抗 R_{in} および試料の抵抗 R_s による電荷緩和時間が無視できないほど短くなるような低い静電容量の測定には適さない。また、低抵抗の試料の測定にも適さない。

- (1) S2 を開き、S1 を閉じて、キャパシタ C を直流電源により充電して、充電電圧 V_0 を電圧計で読み取る。このとき、電源電圧まで充電してもよい。
- (2) S3 を閉じて被測定試料を短絡し、試料の電荷を緩和させた後、再び S3 を開く。
- (3) S1 を開いて直流電源を切り離す。
- (4) S2 を一瞬閉じて、 C に充電された電荷を試料に分割した後、直ちに S2 を開いてキャパシタ C の端子電圧 V_1 を読み取る。
- (5) 被測定試料の静電容量 C_s は、次式によって算出する。

$$C_s = \frac{(C + C_{in})(V_0 - V_1)}{V_1} \quad (\text{E.10})$$

ここで、 C_{in} は電圧計の入力容量である。

E.10.2.2 電荷緩和法

電荷緩和法の測定回路を図 E.18 に示す。測定手順は次に示すとおりである。

- (1) スイッチ S2 を開き、S1 を閉じて被測定試料を充電する。
- (2) S1 を開いて試料に充電されている電荷を測定用高抵抗 R を通して放電させ、試料の端子電圧が初期値 V_0 から規定値 V_1 （たとえば、 $V_0/2$ ）まで減衰する時間 t_1 を測定する。
- (3) 次に S2 を閉じてキャパシタ C を接続し、(1)、(2) と同様な操作を行い、試料の端子電圧が V_0 から V_1 まで減衰する時間 t_2 を測定する。

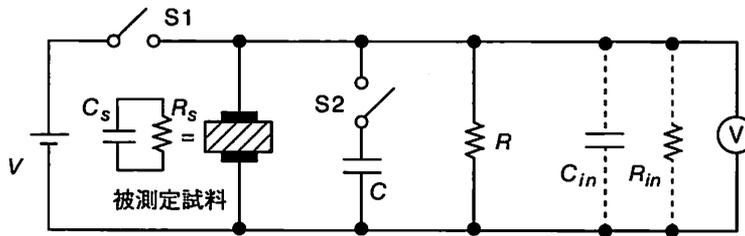


図 E.18: 電荷緩和法による静電容量の測定

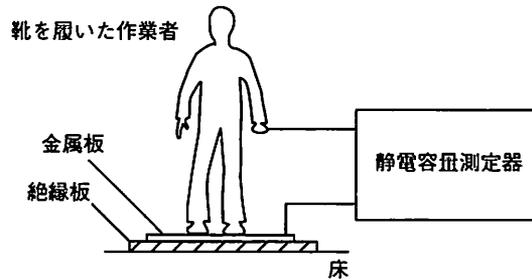


図 E.19: 人体の静電容量の測定

- (4) 被測定試料の静電容量 C_s は、次式によって算出する。

$$C_s = \frac{t_1 C}{t_2 - t_1} - C_{in} \quad (\text{E.11})$$

ここで、 C_{in} は電圧計の入力容量である。

E.10.3 作業者の対地静電容量の測定

作業者は靴を履いた状態で床（大地とほぼ等電位）や地面の上で作業する場合を考える。作業者が帯電したとして、このときの電気力線は周りに接地導体がない限りほとんど床に向かうので、これを模擬した対地容量を測定する方法を述べる。概略は図 E.19 に示すとおりで、測定手順は次のようになる。

- (1) 電氣的に絶縁するため床に絶縁板などを敷き、その上に金属板を敷く。大きさは1 m 四方形度とする。この金属板に対して作業者（作業靴を履いてこの金属板の上に立つ）の静電容量を測定する。
- (2) 測定端子は、手の中に入る程度の球状または棒状の金属を測定器の端子に取り付けてこれを握るようにするとよい。
- (3) 人体の静電容量は、人体の姿勢によって異なるので、両足で直立した状態、片足で立った状態、中腰の状態など、姿勢を変えて静電容量を測定することが望ましい。
- (4) 静電容量の測定法は E.10.1 の方法を用いる。C メータまたは LCR メータなどを用いるのが簡便でよい。静電容量測定の手順は測定器付属のマニュアルに従う。

E.10.4 不導体の見かけの対地静電容量の測定

不導体の見かけの静電容量は、帯電したときに等電位になると見なされる程度の表面範囲に金属箔または導電性塗料の電極を取り付け、その対地静電容量を E.10.1 または E.10.2 に示す測定法にしたがって測定する。求めた静電容量を電極の表面積で除し、単位面積当たりの静電容量を求めてもよい。

E.10.5 比誘電率の測定

固体、粉体および液体の比誘電率はそれぞれに応じた電極を用いて静電容量を測定することにより求めることができる。静電容量の測定は C メータまたは LCR メータなどを用いるのが簡便でよい。静電容量測定の手順は測定器付属のマニュアルに従う。

比誘電率 ϵ_r は試料が電極間にあるときの静電容量の測定値 C と電極のみの静電容量の測定値 C_0 (誘電率 ϵ_0 の空気を誘電体とした静電容量) の比で求まる。

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (\text{E.12})$$

ただし、測定される静電容量には主電極と対電極の絶縁と支持に用いている PTFE などの絶縁部の電極間の静電容量 C_i が含まれているので、式 (E.12) を用いる場合は、この C_i が試料を入れない状態で空気の部分の電極間の静電容量より十分小さく設計された電極である必要がある。そうでない場合は C_i を計算と測定により求め、

$$\epsilon_r = \frac{C - C_i}{C_0 - C_i} \quad (\text{E.13})$$

により求める。

電極構造が単純な場合は被測定試料の静電容量は次のようにしても計算できるので、これより比誘電率を求めてもよい。

(1) 平行平板電極

$$C - C_i = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \rightarrow \epsilon_r = 1.129 \times 10^{11} \frac{(C - C_i)d}{A} \quad (\text{E.14})$$

ただし、 A , d は電極の面積および間隔である。円板 (主電極直径 D) の場合は

$$C - C_i = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\pi D^2}{4d} \rightarrow \epsilon_r = 1.438 \times 10^{11} \frac{(C - C_i)d}{D^2} \quad (\text{E.15})$$

ガード電極付きの場合は、 $D \equiv D + W$ とする。ただし、 W は主電極とガード電極の間隔。

(2) 同軸円筒電極 (内側電極直径 D_1 , 外側電極直径 D_2 , 主電極の長さ L)

$$C - C_i = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \rightarrow \epsilon_r = 1.798 \times 10^{10} \frac{(C - C_i) \ln \frac{D_2}{D_1}}{L} \quad (\text{E.16})$$

ガード電極付きの場合は、 $L \equiv L + W$ とする。

図 E.16 の電極定数 k の液体用電極の場合 (E.9.10 参照)

$$C - C_i = \epsilon_0 \epsilon_r k \rightarrow \epsilon_r = 1.129 \times 10^{11} \frac{C - C_i}{k} \quad (\text{E.17})$$

ただし、一般に液体用電極では液体で電極を満たさないで、空気の部分の静電容量が含まれていることに注意して、特に比誘電率が低い液体では空気の部分の静電容量が試料液体の静電容量よりも十分に小さくなる電極構造のものを使用する。

付録F 静電気安全の関連出版・法規

静電気災害防止に関する出版物を参考に示す。

F.1 図書

- (1) 増田閃一, 最近の静電気工学, 基礎, 応用, 測定法, 放電, 事故事例解説, 高圧ガス保安協会, 1974
- (2) 村崎憲雄, 静電気障害対策ハンドブック (上), マグロウヒル好学社, 1977
- (3) W.M. Bustin and W.G. Dukek, *Electrostatic hazards in the petroleum industry*, Research studies press, Letchworth, 1983
- (4) J.A. Cross, *Electrostatics: principle, problem and applications*, Adam hilger, Bristol, 1987
- (5) M. Glor, *Electrostatic hazards in powder handling*, Research studies press, Letchworth, 1988
- (6) T.B. Jones and J.L. King, *Powder handling and electrostatics: understanding and preventing hazards*, Lewis publishers, Chelsea, 1991
- (7) H.L. Walmsley, *The Avoidance of electrostatic hazards in the petroleum industry*, J. Electrostat. Special issue, 27 1-2 pp. 1-200, 1992
- (8) J-S. Chang, A.J. Kelly, J.M. Crowley (Ed.), *Handbook of electrostatic processes*, Marcel Dekker, New York, 1995
- (9) D.M. Taylor and P.E. Secker, *Industrial electrostatics: fundamental and measurements*, Research studies press, Taunton, 1994
- (10) T.H. Pratt, *Electrostatic ignitions of fires and explosions*, Burgoyne incorporated consulting scientists & engineers, Marietta, 1997
- (11) G. Lüttgens and N. Wilson, *Electrostatic hazards*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997
- (12) 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック, オーム社, 1998
- (13) 村田雄司, 静電気の基礎と帯電防止技術, 日刊工業新聞社, 1998
- (14) L.G. Britton, *Avoiding static ignition hazards in chemical operations*, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999
- (15) V. Ebadat (Ed.), *Assessment of electrostatic hazards*, J. Loss Prevention in the process industries, Special issue, 14, No. 2, pp. 89-151, 2001

F.2 標準・規格

- (1) BS 5958-1 and -2 *Code of practice for control of undesirable static electricity: part 1. general considerations and part 2. recommendations for particular industrial situations*, 1991
- (2) CENEREC, CLC/TR 50404 *Electrostatics - Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity*, 2003
- (3) ZH 1/200 *Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Ausfladungen - Richtlinien Statische Elektrizität*, 1989
- (4) BGR132 *Berufsgenossenschaftliche Regln Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Ausfladungen*, 2002
- (5) Shell safety committee, *Static electricity, Technical and safety aspects*, 1988
- (6) EN 1149-1 *Protecting clothes - electrostatic properties part 1: test method for measuring the surface resistivity*, 1995
- (7) EN 1149-2 *Protecting clothes - electrostatic properties part 1: test method for measuring the volume resistivity*, 1997
- (8) prEN 1149-2 *Protecting clothes - electrostatic properties part 1: test method for measuring the charge dissipation*, 2001
- (9) IEC 61430-2-3 *Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge*, 2000
- (10) IEC 61430-4-1 *Electrostatic behaviour of floor coverings and installed floors*, 2003
- (11) IEC 61430-4-4 *Standard test methods for specific applications - Electrostatic classification of flexible intermediate bulk containers (FIBC)*, 2005
- (12) NFPA 77 *Recommended practice on static electricity*, 2000
- (13) ISSA prevention series No. 2017 *Static Electricity*, 1996

F.2.1 日本工業規格

- (1) JIS K2251 原油及び石油製品-試料採取方法 (2003)
- (2) JIS K2420 芳香族製品及びタール製品試料採取方法 (1993)
- (3) JIS K4806 工業雷管及び電気雷管 (1994)
- (4) JIS L1021 繊維製床敷物の構造に関する試験方法 (1999)
- (5) JIS L1094 織物及び編物の帯電性試験方法 (1997)
- (6) JIS M7102 ビニル加工布風管 (1993)

- (7) JIS T8103 静電気帯電防止靴 (2001)
- (8) JIS T8118 静電気帯電防止作業服 (2001)

F.2.2 産業安全研究所技術指針

- (1) RIIS TR 84-1 静電気用品構造基準
- (2) RIIS TR 85-3 静電気安全指針 応用編追補
- (3) RIIS TR 91-1 静電気用品構造基準-交流電圧印加式除電器の防爆構造, 性能及び試験方法

F.3 静電気災害防止に関する国内法規

ここに示すものは、平成18年3月6日現在の静電気災害防止に関する主な国内法規の抜粋である。改正もあるので随時の確認が必要である。

F.3.1 労働安全衛生法関係

労働安全衛生法

(昭和四十七年六月八日法律第五十七号)

最終改正年月日:平成一八年六月二日法律第五〇号

第四章 労働者の危険又は健康障害を防止するための措置

(事業者の行うべき調査等)

第二十八条の二

事業者は、厚生労働省令で定めるところにより、建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による、又は作業行動その他業務に起因する危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、この法律又はこれに基づく命令の規定による措置を講ずるほか、労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるように努めなければならない。ただし、当該調査のうち、化学物質、化学物質を含有する製剤その他の物で労働者の危険又は健康障害を生ずるおそれのあるものに係るもの以外のものについては、製造業その他厚生労働省令で定める業種に属する事業者に限る。

2 厚生労働大臣は、前条第一項及び第三項に定めるもののほか、前項の措置に関して、その適切かつ有効な実施を図るため必要な指針を公表するものとする。

3 厚生労働大臣は、前項の指針に従い、事業者又はその団体に対し、必要な指導、援助等を行うことができる。

労働安全衛生規則

(昭和四十七年九月三十日労働省令第三十二号)

最終改正年月日:平成一八年一月五日厚生労働省令第一号

労働安全衛生法(昭和四十七年法律第五十七号)及び労働安全衛生法施行令(昭和四十七年政令第三百十八号)の規定に基づき、並びに同法を実施するため、労働安全衛生規則を次のように定め

る。

第二編 安全基準

第四章 爆発、火災等の防止

第二節 危険物等の取扱い等

(ガソリンが残存している設備への灯油等の注入)

第二百五十九条

事業者は、ガソリンが残存している化学設備（危険物を貯蔵するものに限る。次条において同じ。）、タンク自動車、タンク車、ドラムかん等に灯油又は軽油を注入する作業を行なうときは、あらかじめ、その内部について、洗浄し、ガソリンの蒸気を不活性ガスで置換する等により、安全な状態にしたことを確認した後でなければ、当該作業を行なつてはならない。

2 労働者は、前項の作業に従事するときは、同項に定めるところによらなければ、当該作業を行なつてはならない。

第四節 火気等の管理

(静電気帯電防止作業服等)

第二百八十六条の二

事業者は、第二百八十条及び第二百八十一条の箇所並びに第二百八十二条の場所において作業を行うときは、当該作業に従事する労働者に静電気帯電防止作業服及び静電気帯電防止用作業靴を着用させる等労働者の身体、作業服等に帯電する静電気を除去するための措置を講じなければならない。

2 労働者は、前項の作業に従事するときは、同項に定めるところによらなければ、当該作業を行つてはならない。

3 前二項の規定は、修理、変更等臨時の作業を行う場合において、爆発又は火災の危険が生ずるおそれのない措置を講ずるときは適用しない。

(静電気の除去)

第二百八十七条

事業者は、次の設備を使用する場合において、静電気による爆発又は火災が生ずるおそれのあるときは、接地、除電剤の使用、湿気の付与、点火源となるおそれのない除電装置の使用その他静電気を除去するための措置を講じなければならない。

一 危険物をタンク自動車、タンク車、ドラムかん等に注入する設備

二 危険物を収納するタンク自動車、タンク車、ドラムかん等の設備

三 引火性の物を含有する塗料、接着剤等を塗布する設備

四 乾燥設備（熱源を用いて火薬類取締法（昭和二十五年法律第四百十九号）第二条第一項に規定する火薬類以外の物を加熱乾燥する乾燥室及び乾燥器をいう。以下同じ。）で、危険物又は危険物が発生する乾燥物を加熱乾燥するもの（以下「危険物乾燥設備」という。）又はその附属設備

五 可燃性の粉状の物のスパウト移送、ふるい分け等を行なう設備

六 前各号に掲げる設備のほか、化学設備又はその附属設備

第七節 発破の作業

(発破の作業の基準)

第三百十八条

事業者は、令第二十条第一号の業務（以下「発破の業務」という。）に従事する労働者に次の事

項を行なわせなければならない。

三 装てん具は、摩擦、衝撃、静電気等による爆発を生ずるおそれのない安全なものを使用すること。

第七節の二 コンクリート破砕器作業

(コンクリート破砕器作業の基準)

第三百二十一条の二

事業者は、コンクリート破砕器を用いて破砕の作業を行うときは、次に定めるところによらなければならない。

二 装てん具は、摩擦、衝撃、静電気等によりコンクリート破砕器が発火するおそれのない安全なものを使用すること。

F.3.2 高圧ガス保安法関係

一般高圧ガス保安規則

(昭和四十一年五月二十五日通商産業省令第五十三号)

最終改正年月日:平成一七年九月一日経済産業省令第八六号

高圧ガス取締法(昭和二十六年法律第二百四号)に基づき、および同法を実施するため、一般高圧ガス保安規則を次のように制定する。

第二章 高圧ガスの製造又は貯蔵に係る許可等

第一節 高圧ガスの製造に係る許可等

(定置式製造設備に係る技術上の基準)

第六条

製造設備が定置式製造設備(コールド・エバポレータ、圧縮天然ガススタンド、液化天然ガススタンド及び特定圧縮水素スタンドを除く。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあっては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

三十八 可燃性ガスの製造設備には、当該製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(圧縮天然ガススタンドに係る技術上の基準)

第七条

製造設備が圧縮天然ガススタンドである製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、製造設備が製造施設の外部から圧縮天然ガスの供給を受ける圧縮天然ガススタンドである製造施設であって、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでない。

一 第六条第一項第一号、第二号、第五号から第二十二号まで、第二十四号から第二十七号まで、第三十号から第三十二号まで、第三十八号から第四十一号までの基準に適合すること。

2 製造設備が製造施設の外部から圧縮天然ガスの供給を受ける圧縮天然ガススタンドである製造施設に係る前項ただし書の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 第六条第一項第一号、第五号、第六号、第九号から第二十号まで、第二十六号、第二十七号、第三十二号、第三十八号、第四十号及び第四十一号の基準に適合すること。

(液化天然ガススタンドに係る技術上の基準)

第七条の二

製造設備が液化天然ガススタンドである製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次に掲げるものとする。

一 第六条第一項第一号、第九号から第二十一号まで、第二十六号、第二十七号、第三十八号から第四十一号まで及び第四十三号の基準に適合すること。

(特定圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)

第七条の三

製造設備が特定圧縮水素スタンド(以下この条において単に「圧縮水素スタンド」という。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでない。

一 第六条第一項第一号、第二号、第五号から第二十二号まで、第二十四号から第二十七号まで、第三十号、第三十二号及び第三十八号から第四十二号までの基準に適合すること。

2 製造設備が圧縮水素スタンドである製造施設に係る前項ただし書きの基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 第六条第一項第一号、第五号から第十八号まで、第二十一号、第二十二号、第二十四号から第二十七号まで、第三十二号、第三十八号及び第四十一号の基準に適合すること。

(移動式製造設備に係る技術上の基準)

第八条

製造設備が移動式製造設備である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

2 製造設備が移動式製造設備である製造施設における法第八条第二号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 高压ガスの製造は、その発生、混合、減圧又は充てんにおいて、次に掲げる基準によることにより保安上支障のない状態で行うこと。

ト 可燃性ガスの製造設備を使用して高压ガスを充てんするときは、当該製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講じてすること。

(第二種製造者に係る技術上の基準)

第十一条

第二種製造者のうち処理能力が三十立方メートル以上である者に係る法第十二条第一項の経済産業省令で定める技術上の基準及び同条第二項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 製造設備が定置式製造設備である製造施設にあつては、第六条の基準に適合すること。

三 製造設備が圧縮天然ガススタンドである製造施設にあつては、第七条の基準に適合すること。

四 製造設備が液化天然ガススタンドである製造施設にあつては、第七条の二の基準に適合すること。

五 製造設備が特定圧縮水素スタンドである製造施設にあつては、第七条の三の基準に適合すること。

六 製造設備が移動式製造設備である製造施設にあつては、第八条の基準に適合すること。

第十二条

第二種製造者のうち前条に掲げる者以外の者に係る法第十二条第一項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 製造設備が定置式製造設備である製造施設にあつては、第六条第一項第一号、第三号、第六

号、第九号から第十三号まで、第十六号、第十九号、第二十号、第二十二号、第二十三号、第二十六号、第三十一号、第三十三号及び第三十五号から第三十九号までの基準に適合すること。

第二節 高压ガスの貯蔵に係る許可等

(貯槽により貯蔵する場合の技術上の基準)

第二十二条

貯槽により貯蔵する第一種貯蔵所における法第十六条第二項の経済産業省令で定める技術上の基準は、第六条第一項第一号から第三号まで、第五号から第九号まで、第十一号から第二十二号まで、第二十四号、第二十五号及び第三十一号から第四十一号までに掲げるものとする。ただし、コールド・エバポレータにより貯蔵する場合にあっては、第六条の二第一項及び第二項の基準を適用する。

第八章 高压ガスの消費に係る届出等

(特定高压ガスの消費者に係る技術上の基準)

第五十五条

法第二十四条の三第一項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

二十五 可燃性ガスの消費設備には、当該設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(その他消費に係る技術上の基準)

第六十条

法第二十四条の五の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号及び次項各号に掲げるものとする。

十一 可燃性ガスの貯槽には、当該貯槽に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

液化石油ガス保安規則

(昭和四十一年五月二十五日通商産業省令第五十二号)

最終改正年月日:平成一七年九月一日経済産業省令第八六号

高压ガス取締法(昭和二十六年法律第二百四号)に基づき、および同法を実施するため、液化石油ガス保安規則を次のように制定する。

第二章 高压ガスの製造又は貯蔵に係る許可等

第一節 高压ガスの製造に係る許可等

(第一種製造設備に係る技術上の基準)

第六条

製造設備が第一種製造設備である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあっては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

三十 製造設備には、当該製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(第二種製造設備に係る技術上の基準)

第七条

製造設備が第二種製造設備である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技

術上の基準は、前条第一項第一号から第三号まで、第七号、第十二号から第十四号まで、第十五号（前段に限る。）、第十七号から第十九号まで、第二十一号、第二十二号、第二十七号及び第二十九号から第三十五号までの基準とする。

（液化石油ガススタンドに係る技術上の基準）

第八条

製造設備が液化石油ガススタンドである製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 第六条第一項第一号から第三十五号までの基準に適合すること。

（移動式製造設備に係る技術上の基準）

第九条

製造設備が移動式製造設備である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

2 製造設備が移動式製造設備である製造施設における法第八条第二号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 充てんは、次に掲げる基準に適合することにより保安上支障のない状態で行うこと。

チ 充てんするときは、製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講じてすること。

（第二種製造者に係る技術上の基準）

第十二条

第二種製造者のうち処理能力が三十立方メートル以上である者に係る法第十二条第一項及び第二項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 製造設備が第一種製造設備である製造施設にあっては、第六条の基準に適合すること。

二 製造設備が第二種製造設備である製造施設にあっては、第七条の基準に適合すること。

三 製造設備が液化石油ガススタンドである製造施設にあっては、第八条の基準に適合すること。

四 製造設備が移動式製造設備である製造施設にあっては、第九条の基準に適合すること。

第十三条

第二種製造者のうち前条に掲げる者以外の者に係る法第十二条第一項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 製造設備が定置式製造設備である製造施設にあっては、第六条第一項第一号、第七号、第九号、第十二号、第十三号、第十七号から第二十二号まで、第二十四号、第二十七号及び第二十九号から第三十一号及び第三十五号までの基準に適合すること。

第二節 高圧ガスの貯蔵に係る許可等

（貯槽により貯蔵する場合の技術上の基準）

第二十三条

貯槽又はバルク貯槽により貯蔵する第一種貯蔵所に係る法第十六条第二項の経済産業省令で定める技術上の基準は、第六条第一項第一号から第二十六号まで（バルク貯槽にあっては、第二十四号から第二十六号を除く。）、第二十八号から第三十一号まで、第三十三号及び第三十四号に掲げるものとする。

第七章 高圧ガスの消費に係る届出等

（特定高圧ガスの消費者に係る技術上の基準）

第五十三条

法第二十四条の三第一項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

る。

十二 消費設備には、当該設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則

(平成九年三月十日通商産業省令第十一号)

最終改正年月日:平成一七年三月二九日経済産業省令第三六号

高压ガス取締法及び液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律の一部を改正する法律(平成八年法律第十四号)の施行に伴い、並びに液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律(昭和四十二年法律第百四十九号)、液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行令(昭和四十三年政令第十四号)及び高压ガス取締法及び液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律の一部を改正する法律の施行に伴う経過措置を定める政令(平成九年政令第二十二号)第一項の規定に基づき、並びに同法を実施するため、液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則(昭和四十三年通商産業省令第十四号)の全部を改正するこの省令を制定する。

第二章 液化石油ガス販売事業

(供給設備の技術上の基準)

第十八条

法第十六条の二第一項の経済産業省令で定める供給設備(バルク供給に係るものを除く。以下この条において同じ。)の技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

三 貯槽(貯蔵能力が千キログラム未満のものに限る。)は、次に定める基準に適合すること。

ツ 貯槽には、当該貯槽に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

第五章 貯蔵施設等及び充てんのための設備

(特定供給設備の技術上の基準)

第五十三条

法第三十七条の経済産業省令で定める特定供給設備(バルク供給に係るものを除く。)の技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

二 貯槽は、次に定める基準に適合すること。

ラ 貯槽には、当該貯槽に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(バルク供給に係る特定供給設備の技術上の基準)

第五十四条

法第三十七条の経済産業省令で定める特定供給設備(バルク供給に係るものに限る。)の技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

二 バルク貯槽は、次に掲げる基準に適合すること。

チ 貯蔵能力が三千キログラム以上のバルク貯槽にあっては、次に定める基準に適合すること。

(5) バルク貯槽には、当該バルク貯槽に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(液化石油ガスの充てん作業の技術上の基準)

第七十二条

法第三十七条の五第二項の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

る。

三 第六十四条第二項の充てん設備により充てんする場合

チ 充てんするときは、充てん設備に生ずる静電気を除去する措置を講じてすること。

コンビナート等保安規則

(昭和六十一年十二月十三日通商産業省令第八十八号)

最終改正年月日:平成一七年九月一日経済産業省令第八六号

高圧ガス取締法(昭和二十六年法律第二百四号)の規定に基づき、及び同法を実施するため、コンビナート等保安規則(昭和五十年通商産業省令第三十八号)の全部を改正する省令を次のように制定する。

第二章 高圧ガスの製造に係る許可等

第二節 技術上の基準

第一款 製造施設

(製造施設に係る技術上の基準)

第五条

製造施設(製造設備がコールド・エバポレータ、特定液化石油ガススタンド、圧縮天然ガススタンド、液化天然ガススタンド及び特定圧縮水素スタンドであるものを除く。)における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるもののほか、第九条から第十一条までに定めるところによる。ただし、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあっては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

四十七 可燃性ガスの製造設備には、当該設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること。

(特定圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)

第七条の三

製造設備が特定圧縮水素スタンド(以下この条において単に「圧縮水素スタンド」という。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるもののほか、第九条から第十一条までに定めるところによる。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでない。

一 第五条第一項第一号から第三号まで、第六号から第十号まで、第十二号、第十三号、第十五号から第二十四号まで、第二十九号、第三十一号から第三十九号まで、第四十三号から第四十五号まで、第四十七号から第五十一号まで、第五十四号、第六十号から第六十四号まで及び第六十五号の基準に適合すること。

第二款 導管

(コンビナート製造事業所間の導管)

第十条

コンビナート製造事業所間の導管に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

三十三 導管系には、必要に応じて保安用接地等を設けること。

F.3.3 消防法関係

危険物の規制に関する政令

(昭和三十四年九月二十六日政令第三百六号)

最終改正年月日:平成一八年一月二五日政令第六号

内閣は、消防法（昭和三十二年法律第百八十六号）第三章の規定に基づき、及び同法同章の規定を実施するため、この政令を制定する。

第三章 製造所等の位置、構造及び設備の基準

第一節 製造所の位置、構造及び設備の基準

(製造所の基準)

第九条

法第十条第四項の製造所の位置、構造及び設備（消火設備、警報設備及び避難設備を除く。以下この章の第一節から第三節までにおいて同じ。）の技術上の基準は、次のとおりとする。十八 危険物を取り扱うにあたって静電気が発生するおそれのある設備には、当該設備に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

第二節 貯蔵所の位置、構造及び設備の基準

(屋外タンク貯蔵所の基準)

第十一条

屋外タンク貯蔵所の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

十 液体の危険物の屋外貯蔵タンクの注入口は、次によること。

ニ ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物の屋外貯蔵タンクの注入口付近には、静電気を有効に除去するための接地電極を設けること。

(移動タンク貯蔵所の基準)

第十五条

移動タンク貯蔵所の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

十四 ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物の移動貯蔵タンクには、接地導線を設けること。

十六 ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物の移動貯蔵タンクのうち計量棒によつて当該危険物の量を計量するものには、計量時の静電気による災害を防止するための装置を設けること。

第三節 取扱所の位置、構造及び設備の基準

(給油取扱所の基準)

第十七条

給油取扱所（次項に定めるものを除く。）の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。

七 固定給油設備及び固定注油設備は、漏れるおそれがない等火災予防上安全な総務省令で定める構造とするとともに、先端に弁を設けた全長五メートル（懸垂式の固定給油設備及び固定注油設備にあっては、総務省令で定める長さ）以下の給油ホース又は注油ホース及びこれらの先端に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

(一般取扱所の基準)

第十九条

第九条第一項の規定は、一般取扱所の位置、構造及び設備の技術上の基準について準用する。

第四章 貯蔵及び取扱の基準

(取扱いの基準)

第二十七条

法第十条第三項の危険物の取扱いの技術上の基準は、第二十四条及び第二十五条に定めるもののほか、この条の定めるところによる。

6 第二項から前項までに定めるもののほか、危険物の取扱いの技術上の基準は、次のとおりとする。

四 移動タンク貯蔵所(積載式移動タンク貯蔵所を除く。)における取扱いの基準

ハ ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物を移動貯蔵タンクに入れ、又は移動貯蔵タンクから出すときは、総務省令で定めるところにより当該移動貯蔵タンクを接地すること。

ホ ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物を移動貯蔵タンクにその上部から注入するときは、注入管を用いるとともに、当該注入管の先端を移動貯蔵タンクの底部に着けること。

ヘ ガソリンを貯蔵していた移動貯蔵タンクに灯油若しくは軽油を注入するとき、又は灯油若しくは軽油を貯蔵していた移動貯蔵タンクにガソリンを注入するときは、総務省令で定めるところにより、静電気等による災害を防止するための措置を講ずること。

危険物の規制に関する規則

(昭和三十四年九月二十九日総理府令第五十五号)

最終改正年月日:平成一七年八月三十一日総務省令第一三六号

消防法第三章及び危険物の規制に関する政令の規定に基き、並びにこれらを実施するため、危険物の規制に関する総理府令を次のように定める。

第三章 製造所等の位置、構造及び設備の基準

(給油タンク車の基準の特例)

第二十四条の六

令第十七条第三項第一号に掲げる給油取扱所(第二十六条及び第四十条の三の七において「航空機給油取扱所」という。)において航空機の燃料タンクに直接給油するための給油設備を備えた移動タンク貯蔵所(以下この条、第二十六条及び第四十条の三の七において「給油タンク車」という。)に係る令第十五条第三項の規定による同条第一項に掲げる基準の特例は、この条の定めるところによる。

3 前項に定めるもののほか、給油タンク車の特例は、次のとおりとする。

六 給油設備には、給油ホースの先端に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

(航空機給油取扱所の基準の特例)

第二十六条

航空機給油取扱所に係る令第十七条第三項の規定による同条第一項及び第二項に掲げる基準の特

例は、この条の定めるところによる。

3 前項に定めるもののほか、航空機給油取扱所の特例は、次のとおりとする。

五 燃料を移送するための配管（以下「給油配管」という。）及び当該給油配管の先端部に接続するホース機器を用いて給油する航空機給油取扱所は、次によること。

ホ 給油配管の先端部に接続するホース機器には、給油ホースの先端に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

六 給油配管の先端部に接続するホース機器を備えた車両（以下この条及び第四十条の三の七において「給油ホース車」という。）を用いて給油する航空機給油取扱所は、前号イからハまで及びへの規定の例によるほか、次によること。

ホ 給油ホース車のホース機器には、接地導線を設けるとともに、給油ホースの先端に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

ヘ 航空機給油取扱所には、静電気を有効に除去するための接地電極を設けること。

七 給油タンク車を用いて給油する航空機給油取扱所には、静電気を有効に除去するための接地電極を設けること。

（移送取扱所の基準）

第二十八条の二の八

令第十八条の二第一項に規定する移送取扱所の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次条から第二十八条の五十一までに定めるとおりとする。

（保安用接地等）

第二十八条の四十

配管系には、必要に応じて保安用接地等を設けなければならない。

第五章 貯蔵及び取扱いの基準

（移動貯蔵タンクの接地）

第四十条の六

令第二十七条第六項第四号ハの規定による接地は、導線により移動貯蔵タンクと接地電極等との間を緊結して行わなければならない。

（静電気等による災害の防止措置）

第四十条の七

令第二十七条第六項第四号への規定により、静電気等による災害を防止するための措置は、次のとおりとする。

一 移動貯蔵タンクの上部から危険物を注入するときは、その注入速度を、当該危険物の液表面が注入管の先端を超える高さとなるまで、毎秒一メートル以下とすること。

二 移動貯蔵タンクの底部から危険物を注入するときは、その注入速度を、当該危険物の液表面が底弁の頂部をこえる高さとなるまで、毎秒一メートル以下とすること。

三 前二号に掲げる方法以外の方法による危険物の注入は、移動貯蔵タンクに可燃性の蒸気が残留しないように措置し、安全な状態であることを確認した後に行うこと。

第六章 運搬及び移送の基準

（運搬容器への収納）

第四十三条の三

令第二十九条第一号の規定により、第四十三条第一項第一号に定める運搬容器への収納は、次のとおりとする。

2 令第二十九条第一号の規定により、第四十三条第一項第二号に定める運搬容器（次条及び第四十五条において「機械により荷役する構造を有する運搬容器」という。）への収納は、前項（第三号を除く。）の規定の例によるほか、次のとおりとする。

三 ガソリン、ベンゼンその他静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物を運搬容器に収納し、又は排出するときは、当該災害の発生を防止するための措置を講ずること。

対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令

（平成十四年三月六日総務省令第二十四号）

最終改正年月日：平成一七年三月二日総務省令第三四号

消防法施行令（昭和三十六年政令第三十七号）第五条及び第五条の二の規定に基づき、対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令を次のように定める。

（その他の基準）

第十六条

令第五条第二項の規定により、第四条から前条までに規定するもののほか、対象火気設備等の位置、構造及び管理に関し火災の予防のために必要な事項に係る条例は、次の各号に定めるところにより制定されなければならない。

六 火花を生ずる設備にあつては、静電気による火花を生ずるおそれのある部分に、静電気を有効に除去する措置を講ずること。

火災予防条例（例）

（昭和三十六年十一月二十二日自治省消甲予第七十三号）

最終改正年月日：平成一七年八月二十九日消防予第一〇四号

第三章 火を使用する設備の位置、構造及び管理の基準等

第一節 火を使用する設備及びその使用に際し、火災の発生のおそれのある設備の位置、構造及び管理の基準

（火花を生ずる設備）

第十条 グラビヤ印刷機、ゴムスプレッター、起毛機、反毛機、製綿機、その他その操作に際し火花を生じ、かつ、可燃性の蒸気又は微粉を放出する設備（以下「火花を生ずる設備」という。）の位置、構造及び管理は、次に掲げる基準によらなければならない。

二 静電気による火花を生ずるおそれのある部分に、静電気を有効に除去する措置を講ずること。

第四章 指定数量未満の危険物及び指定可燃物の貯蔵及び取扱いの技術上の基準等

第一節 指定数量未満の危険物の貯蔵及び取扱いの技術上の基準等

第三十一条の二

指定数量の五分の一以上指定数量未満の危険物の貯蔵及び取扱いのすべてに共通する技術上の基準は、次のとおりとする。

2 指定数量の五分の一以上指定数量未満の危険物を貯蔵し、又は取り扱う場所の位置、構造及び

設備のすべてに共通する技術上の基準は、次のとおりとする。

八 危険物を取り扱うにあたって静電気が発生するおそれのある設備には、当該設備に蓄積される静電気を有効に除去する装置を設けること。

第三十一条の六

指定数量の五分の一以上指定数量未満の危険物を貯蔵し、又は取り扱う移動タンクの技術上の基準は、第三十一条の四第一項の規定の例によるほか、次のとおりとする。

三 静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物をタンクに入れ、又はタンクから出すときは、当該タンクを有効に接地すること。

四 静電気による災害が発生するおそれのある液体の危険物をタンクにその上部から注入するときは、注入管を用いるとともに、当該注入管の先端をタンクの底部に着けること。

F.3.4 火薬類取締法関係

火薬類取締法施行規則

(昭和二十五年十月三十一日通商産業省令第八十八号)

最終改正年月日:平成一七年九月一日経済産業省令第八六号

火薬類取締法(昭和二十五年法律第百四十九号)の規定に基づき、および同法を実施するため、火薬類取締法施行規則を次のように制定する。

(定置式製造設備に係る技術上の基準)

第四条

製造設備が定置式製造設備である製造施設における法第七条第一項の規定による製造施設の構造、位置及び設備の技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

二十二の五 火薬類の製造中に静電気を発生し、爆発又は発火するおそれのある設備には、静電気を有効に除去する措置を講ずること。

二十二の五の二 雷薬又は滝剤の配合及びてん薬を行う危険工室の床及び作業台には、導電性マットを敷設し、かつ、接地すること。

二十二の六 静電気により爆発又は発火するおそれのある火薬類を取り扱う危険工室等には、身体に帯電した静電気を除去するための設備を当該工室の入口に設けること。

(移動式製造設備に係る技術上の基準)

第四条の二

製造設備が移動式製造設備である製造施設における法第七条第一号の規定による製造施設の構造、位置及び設備の技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

二十七 移動式製造設備には、静電気を有効に除去する措置を講ずること。

三十 移動式製造設備に備え付ける収納又は装てんするためのホースは十分な強度を有し、摩擦、衝撃及び静電気に対して安全な措置を講ずること。

(発破)

第五十三条

火薬類の発破を行う場合には、次の各号の規定(坑道式発破については、第六号、第七号から第

九号までの規定を除く。)を守らなければならない。

九 火薬類を装てんする場合には、発破孔に砂その他の発火性又は引火性のない込物を使用し、かつ、摩擦、衝撃、静電気等に対して安全な装てん機又は装てん具を使用すること。

十一 装てん設備に備え付ける装てんするためのホースは十分な強度を有し、摩擦、衝撃及び静電気に対して安全な措置を講ずること。

(コンクリート破碎器の消費)

第五十六条の二

消費場所においてコンクリート破碎器を取り扱う場合には、第五十一条第一号、第四号、第十号、第十四号、第十七号及び第十八号の規定を準用するほか、次の各号の規定を守らなければならない。

5 コンクリート破碎器により破碎を行なう場合には、第五十三条第一号、第二号、第四号から第七号まで及び第十号並びに第五十四条各号の規定を準用するほか、次の各号の規定を守らなければならない。

二 コンクリート破碎器を装てんする場合には、破碎孔にセメントモルタル、砂その他の発火性又は引火性のない込物を使用し、かつ、摩擦、衝撃、静電気等に対して安全な装てん具を使用すること。

F.3.5 鉱山保安法関係

鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令

(平成十六年九月二十七日経済産業省令第九十七号)

鉱山保安法(昭和二十四年法律第七十号)第十一条第一項及び第十二条の規定に基づき、鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令を次のように定める。

(高圧ガス処理プラント)

第二十七条

石油鉱山における高圧ガス処理プラントの技術基準は、第三条、第四条及び第二十五条第三項に定めるもののほか、次のとおりとする。

四 高圧ガスの製造施設は、当該施設に生ずる静電気を除去するための適切な措置が講じられていること。

(原油エマルジョン処理装置)

第二十九条

石油鉱山における原油エマルジョン処理装置の技術基準は、第三条及び第四条に定めるもののほか、次のとおりとする。

四 静電気が蓄積する設備は、静電気を除去するための適切な措置が講じられていること。

(坑内における燃料油貯蔵所及び燃料給油所)

第三十五条

坑内における燃料油貯蔵所及び燃料給油所の技術基準は、第三条及び第四条に定めるもののほ

か、この条の定めるところによる。

3 燃料給油所については、前項に定めるもののほか、次のとおりとする。

二 電動ポンプを使用して給油する場合は、給油管に蓄積される静電気を有効に除去できる装置が設けられていること。

F.3.6 石油パイプライン事業法関係

石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令

(昭和四十七年十二月二十五日通商産業省・運輸省・建設省・自治省令第二号)

最終改正年月日:平成一七年三月二四日総務省・経済産業省・国土交通省令第一号

石油パイプライン事業法(昭和四十七年法律第百五号)第十五条第三項第二号の規定に基づき、石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準を定める省令を次のように制定する。

(保安用接地等)

第四十一条

導管系には、必要に応じて保安用接地等を設けなければならない。

F.3.7 船舶安全法関係

危険物船舶運送及び貯蔵規則

(昭和三十二年八月二十日運輸省令第三十号)

最終改正年月日:平成一七年一二月一日国土交通省令第一一〇号

危険物船舶運送及び貯蔵規則を次のように定める。

(環境制御)

第二百九十九条

前条の規定により貨物タンク及び貨物管装置の環境制御を行う船舶は、次の各号に掲げる要件に適合するものでなければならない。

一 不活性化法(貨物タンク及び貨物管装置に、乾燥したイナート・ガスを満たす方法をいう。以下同じ。)による環境制御を行う船舶は、次に掲げる要件に適合するイナート・ガス装置を備え付けているものであること。

ハ イナート・ガスをタンク内へ噴出するときに静電気を発生するおそれがないものであること(当該貨物タンク内に引火性の貨物を積載する場合に限る。)

二 封入法(貨物タンク及び貨物管装置に空気と貨物の接触を防止するための液体又はガスを満たす方法をいう。以下同じ。)による環境制御を行う船舶は、次に掲げる要件に適合する封入媒体供給装置を備え付けているものであること。

ロ 封入媒体をタンク内へ噴出するときに静電気を発生するおそれがないものであること(当該貨物タンク内に引火性の貨物を積載する場合に限る。)

三 乾燥法(貨物タンク及び貨物管装置に大気圧のもとで露点が摂氏零下四〇度以下の乾燥したガ

スを満たす方法をいう。以下同じ。)による環境制御を行う船舶であって乾燥媒体として乾燥窒素を用いるものは、次に掲げる要件に適合する乾燥窒素供給装置を備え付けているものであること。

ロ 乾燥窒素をタンク内へ噴出するときに静電気を発生するおそれがないものであること（当該貨物タンク内に引火性の貨物を積載する場合に限る。）。

（静電気による発火危険の防止等）

第三百二十三条

第三百三十一条及び第三百三十二条の規定は、引火点が摂氏六一度以下の貨物をばら積みして運送する場合について準用する。

（静電気による発火危険の防止）

第三百三十一条

引火性液体物質を運送する場合は、静電気による発火の危険を防止するため、次に掲げるところによらなければならない。

- 一 引火性液体物質が漏えいし、又は滞留するおそれのある場所において、ビニール又は化学繊維製のいす、カーペット等の人体を帯電させやすいものを使用しないこと。
- 二 人体に帯電した電荷を放散するための措置を講じること。
- 三 引火性液体物質が漏えいし、又は滞留するおそれのある場所において作業を行う者は、帯電防止作業服及び帯電防止作業靴を着用すること。
- 四 タンク内に引火性液体物質（導電率が十分大きいものを除く。）を積み込む場合は、注入管の下端部、配管支持架台等の構造物が液面下に没するまで、当該引火性液体物質の注入管内の流速を毎秒一メートル以下とすること（油面電位を抑制する措置が講じられている場合又は当該タンク内のガスの状態が不活性となつている場合を除く。）。

（ボンディング方法）

第三百三十二条

引火性液体物質の荷役をする場合は、貨物油管と陸上油管との連結に絶縁フランジ又は非導電性ホースを使用しなければならない。ただし、次に掲げるところにより貨物油管と陸上油管とを電気的に連続する場合は、この限りでない。

- 一 貨物油管と陸上油管とを連結する前に、十分に電気的連続をしておくこと。
- 二 電気的連続を絶つ前に、貨物油管を陸上油管から取り外し、かつ、管の内部に引火性液体物質が残存していないことを確認すること。

F.3.8 ガス事業法関係

ガス工作物の技術上の基準を定める省令

（平成十二年五月三十一日通商産業省令第百十一号）

最終改正年月日:平成一七年五月三十一日経済産業省令第六二号

ガス事業法（昭和二十九年法律第五十一号）第二十八条第一項（第三十七条の七第一項、第三十七条の十及び第三十八条において準用する場合を含む。）の規定に基づき、ガス工作物の技術上の基準を定める省令の全部を改正する省令を次のように定める。

(静電気除去)

第十二条

液化ガスを通ずるガス工作物には、当該ガス工作物に生ずる静電気を除去する措置を講じなければならない。ただし、当該静電気によりガスに引火するおそれがない場合にあっては、この限りでない。

F.3.9 電気事業法関係

発電用火力設備に関する技術基準を定める省令

(平成九年三月二十七日通商産業省令第五十一号)

最終改正年月日:平成一七年一二月二二日経済産業省令第一二〇号

電気事業法(昭和三十九年法律第百七十号)第三十九条第一項の規定に基づき、発電用火力設備に関する技術基準を定める省令(昭和四十年通商産業省令第六十号)の全部を改正する省令を次のように定める。

(静電気除去)

第四十四条

液化ガスを通ずる液化ガス設備であって、当該設備に生ずる静電気により引火するおそれがある場合にあっては、当該静電気を除去する措置を講じなければならない。

(静電気除去)

第六十四条

可燃性ガスを通ずるガス化炉設備であって、当該設備に生ずる静電気により引火するおそれがある場合にあっては、当該静電気を除去する措置を講じなければならない。

F.3.10 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

再処理施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する規則

(昭和六十二年三月二十五日総理府令第十二号)

最終改正年月日:平成一二年一二月二六日総理府令第一五一号

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和三十二年法律第百六十六号)第四十五条第三項第二号の規定に基づき、再処理施設の設計及び工事の方法の技術基準に関する総理府令を次のように定める。

(火災等による損傷の防止)

第四条

再処理施設が火災の影響を受けることにより再処理施設の安全に著しい支障が生じるおそれがある場合は、必要に応じて消火設備及び警報設備(警報設備にあっては自動火災報知設備、漏電火災

警報器その他の火災の発生を自動的に検知し、警報を発する設備に限る。)を施設しなければならない。

5 有機溶媒等を取り扱う設備であって、静電気により着火するおそれがあるものは、適切に接地しなければならない。

付録G 静電気災害防止に関する物性データ

この付録では、代表的な物質の着火性（ガス・蒸気の着火性：表 G.1, 粉じんの着火性：表 G.2）、限界酸素濃度（ガス・蒸気：表 G.3, 粉じん：表 G.4, G.5）および電気特性（液体：表 G.6, 固体：表 G.7）のデータを示す。さらに、G.7のインターネット上のデータベースは有用であるので、参考にされたい。

これらのデータは特定の条件下（主に常温常圧）での値であるので、作業工程によっては適用できない場合、また、粉じんの着火性は粒径に依存するので、リスクアセスメントには改めて測定が必要である。

G.1 可燃性気体・液体蒸気の着火性

- (1) 主要な参考文献は [2, 34, 49] である。
- (2) 示性式，分子量，融点を参考に付記してある。
- (3) 沸点は1気圧での値である。一定の沸点とならない場合は ASTM D86, Standard method of test for distillation of petroleum products によって求められた蒸留点の10%の値である。
- (4) 引火点の大部分は closed cup test の値である。open cup test の値は oc で付記してある。
- (5) 発火温度は ASTM D286 または ASTM D2155 のどちらかの方法によって測定された値である。なお，ASTM D2155 は ASTM E659 に置き換えられている。
- (6) 最小着火エネルギー，爆発限界は明記のない限り，常温（主に 25°C），空気1気圧での値である。*を付記したものは産業安全技術協会にて測定されたもので，文献値 [34] より小さい場合の値である。測定条件を示す“@”の後の数値の単位%は vol% のこと。
- (7) 最小着火エネルギーは濃度の明記がない限り，最低最小着火エネルギー (LMIE) である。
- (8) 最大圧力上昇速度，爆発圧力は明記のない限り，常温常圧下での値である。
- (9) 蒸気密度は空気の分子量を1とした物質の分子量の比（物質の分子量を空気の分子量で割った値）である。蒸気密度1以下は空気より軽いことを示し，無風の状態では上昇する。1より大きい場合はその逆の現象となり，床・地面を漂う。
- (10) CAS 番号（登録番号）は化学物質固有のコードのひとつでデータベースの検索に用いると便利である。米国化学会の一部門である CAS (Chemical Abstracts Service) が運営・管理する化学物質登録システムから付与される化学物質に固有の数値識別番号のこと。

表 G-1: 可燃性気体・液体蒸気の着火性 [2, 26, 34, 49-52]

気体・液体蒸気	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
アクリル酸エチル CH ₂ =CHCOO ₂ H ₅	100.12		99	10	372		1.4	14			3.49	140-88-5
アクリル酸メチル CH ₂ =CHCOOCH ₃	86.09	-76.5	80.3	-3	468		2.8	25			2.97	96-33-3
アクリル酸ニトリル (アクリロニトリル) CH ₂ =CHCN	53.06	-83.55	77	0	481	0.16 @9.0%	3.0	17	0.76 @8.0%	19.3 @8.0%	1.83	107-13-1
アクロレイン (アクリルアルデヒド) CH ₂ =CHCHO	56.06	-86.95	52	-26	220 不安定	0.13	2.8	31			1.93	107-02-8
アセチレン CHCH アセチレン (酸素中)	26.04	-81.8	-83		305	0.017 @8.5% 0.0002 @40%	2.5	100	1.03 @13%	82.8 @12-13%	0.90	74-86-2
アセトアルデヒド (酢酸アルデヒド) CH ₃ CHO	44.05	-123.5	21	-39	175	0.37	4.0	57	0.65 @10-12%	14.5 @10%	1.52	75-07-0
アセトニトリル (シアニ化メチル) CH ₃ CN	41.05	-45.72	82	6	524	6.0 @7.02%	3.0	16.0			1.42	75-05-8
アセトフェノン (C ₆ H ₅)COCH ₃	120.2	19.65	202	77	570		1.1				4.14	98-86-2
アセトン CH ₃ COCH ₃	58.08	-94.82	56	-20	465	0.74* @5.1% 0.0024	2.6	12.8	0.57 @6%	13.8 @6%	2.00	67-64-1
アリルクロライド (塩化アリル) CH ₂ =CHCH ₂ Cl	76.5		45	-32	485	0.77	2.5	60			2.64	107-05-1
安息香酸エチル (C ₆ H ₅)COOC ₂ H ₅	150.2	-34.7	212	88	490		1.0				5.18	93-89-0
安息香酸ベンジル (C ₆ H ₅)COOCH ₂ (C ₆ H ₅)	212.3	20	323	148	480		0.7				7.32	120-51-4
安息香酸メチル (C ₆ H ₅)COOCH ₃	136.2	-12.21	150	83	510						4.70	93-58-3
アンモニア NH ₃	17.03	-77.7	-33		651	680	15	28			0.59	7664-41-7

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き										
	分子重	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	CAS 番号
イソブタン (2-メチルプロパン) (CH ₃) ₂ CHCH ₃	58.12	-159.60	-12	-81	460	0.52 @3.12%	1.8	8.4			2.00 75-28-5
イソブチルアルコール (2-メチル-1-プロパノール) (CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	74.12	-108	107	28	415		1.7 @51°C	10.6 @94°C			2.56 78-83-1
イソブチルアルデヒド (CH ₃) ₂ CHCHO	72.11	-65.9	61	-18	196		1.6	10.6			2.49 78-84-2
イソプロピルアミン (CH ₃) ₂ CHNH ₂	59.11	-101.2	32	-37 oc	402	2.0 @3.82%	2.0	10.4			2.04 75-31-0
イソプロピルメチルプロパン, 2-プロパン チオール) C ₃ H ₆ S	76.17	-131	57	-34		0.53					2.6 75-33-2
イソヘキサン (2-メチルペンタン)	86.18	-153.670	57-61	<-29	264		1.0	7.0			2.97 107-83-5
CH ₃ (CH ₂) ₂ CH(CH ₃)CH ₃ イソペンタン (エチルジメチルメタン, 2-メチル タン)	72.15	-159.200	28	<-51	420	0.21 @3.8%	1.4	7.6			2.49 78-78-4
(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃ イソペンチルアルコール (3-メチル-1-ブタノール, イソアミル アルコール)	88.15	-117.2	132	43	350		1.2	9.0 @100°C			3.04 123-51-3
HOCH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂ 一酸化炭素 CO	28.01	-205.0	-192		609		12.5	74			0.97 630-08-0
エタノール CH ₃ CH ₂ OH	46.07	-114.5	78	13	363		3.3	19	0.69 @12%	17.3 @10%	1.59 64-17-5
エタン CH ₃ CH ₃	30.07	-183.6	-89.0	-130	472	0.24 @6.5%	3.0	12.5	0.68 @7%	17.3 @7%	1.04 74-84-0
エタン (酸蒸中) エチルアミン C ₂ H ₅ NH ₂	45.09	-81.0	17	<-18	385	0.0019 2.4	3.0 3.5	66 14.0			1.55 75-04-7
エチルピニルエーテル (ピニルエチルエーテル) C ₂ H ₅ OCH=CH ₂	72.11	-115.8	36	<-46	202		1.7	28			2.49 109-92-2
エチルプロピルエーテル CH ₃ CH ₂ CH ₂ OC ₂ H ₅	88.15		64	<-20			1.7	9.0			3.04 628-32-0

次ページに続く

気体・液体蒸気 前ページの続き												
気体・液体蒸気	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
エチルベンゼン (C ₆ H ₅)C ₂ H ₅	106.2	-94.98	136	21	432		0.8	6.7			3.66	100-41-4
エチルメチルエーテル C ₂ H ₅ OCH ₃	60.10	10.8	11	-37	190		2.0	10.1			2.07	540-67-0
エチルメチルケトン (2-ブタノン, メチルエチルケトン) CH ₃ COCH ₂ CH ₃	72.11	-87.3	80	-9	404	0.53 @5.3%	2.0	12.0			2.49	78-93-3
エチレン CH ₂ =CH ₂	28.05	-169.2	-104		450	0.07	2.7	36.0	0.82 @8%	58.6 @8%	0.97	74-85-1
エチレン (酸蒸中)						0.0009	3.0	80				
エチレンジアミン (CH ₂) ₂ NH	43.07	-71.5	56	-11	320	0.48	3.6	46			1.48	151-56-4
エチレンオキシド (酸化エチレン) (CH ₂) ₂ O	44.05	-112	11	-29	570 No air	0.065 @10.8%	3.0	100			1.52	75-21-8
エチレンジグリコール (1,2-エタンジオール) HOCH ₂ CH ₂ OH	62.07	-12.6	197	111	398		3.2				2.14	107-21-1
エチレンジグリコールモノブチルエーテル CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	118.2		171	62	238		1.1	12.7			4.08	111-76-2
エチレンジグリコールモノメチルエーテル (2-プロキシエタノール) CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	76.10	-85.1	124	39	285		1.8	14			2.62	109-86-4
(2-メトキシエタノール) (CH ₃ O)CH ₂ CH ₂ OH							@93°C	@135°C				
塩化イソプロピル (2-クロロプロパン) CH ₃ CHClCH ₃	78.54	-117.0	35	-32	593	1.08	2.8	10.7			2.71	75-29-6
塩化エチル CH ₃ CH ₂ Cl	64.52	-136.4	12	-50	519		3.8	15.4			2.22	75-00-3
塩化ビニル CH ₂ =CHCl	62.50	-159.7	-14	-78 oc	472		3.6	33.0			2.16	75-01-4
n-塩化プロパン (1-クロロプロパン) CH ₃ (CH ₂) ₂ Cl	92.16	-123.1	77	-9	240	1.24	1.8	10.1			3.18	109-69-3

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き										
	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発火 下限 vol%	発火 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	CAS 番号
n-塩化プロピル CH ₃ CH ₂ CH ₂ Cl	78.54	-122.3	47	<-18	520	1.08	2.6	11.1			2.71 540-54-5
塩化メチル CH ₃ Cl	50.49	-97.72	-24	-46	632		8.1	17.4			1.74 74-87-3
オクタノール (1-オクタノール) CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₂ OH	130.2	-15	194	81	260						4.49 111-87-5
オクタノール CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₃	114.2	-56.8	126	13	206		1.0	6.5			3.94 111-65-9
辛酸 HCOOH	46.03	8.4	101	69	539						1.59 64-18-6
辛酸イソブチル HCOOCH ₂ CH(CH ₃) ₂	102.1	-95.8	98	<21	320		約1.7	約8.9			3.52 542-55-2
辛酸エチル HCOOC ₂ H ₅	74.08	-79	54	-20	455		2.8	16.0			2.55 109-94-4
辛酸ブチル (n-ブチルホルムレート) HCOO(CH ₂) ₃ CH ₃	102.1	-91.9	107	18	322		1.7	8.2			3.52 592-84-7
辛酸プロピル HCOOCH ₂ CH ₂ CH ₃	88.11	-92.9	82	-3	455						3.04 110-74-7
辛酸n-アミル (辛酸ベンチル) HCOO(CH ₂) ₄ CH ₃	116.2	-73.5	131	26	265						4.01 638-49-3
辛酸メチル HCOOCH ₃	60.05	-99	32	-19	449	0.4	4.5	23			2.07 107-31-3
o-キシレン (CH ₃) ₂ (C ₆ H ₄)	106.2	-25.18	144.41	32	463	0.2	0.9	6.7			3.66 95-47-6
m-キシレン (CH ₃) ₂ (C ₆ H ₄)	106.2	-47.89	139.10	27	527	0.2	1.1	7.0			3.66 108-38-3
p-キシレン (CH ₃) ₂ (C ₆ H ₄)	106.2	13.26	138.35	27	528	0.2	1.1	7.0			3.66 106-42-3
クメン (イソプロピルベンゼン) (C ₆ H ₅)CH(CH ₃) ₂	120.2	-96.02	152	36	424		0.9	6.5			4.14 98-82-8
o-クレゾール OH(C ₆ H ₄)CH ₃	108.1	31	191	81	599		1.4 @149°C				3.73 95-48-7

次ページに続く

気体・液体蒸気 前ページの続き												
気体・液体蒸気	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
m-クレゾール OH(C ₆ H ₄)CH ₃	108.1	11.9	201	86	558		1.1 @150°C				3.73	108-39-4
p-クレゾール OH(C ₆ H ₄)CH ₃	108.1	34.7	201	86	558		1.1 @150°C				3.73	106-44-5
クロトンアルデヒド CH ₃ CH=CHCHO	70.09	-76.6	102	13	232		2.1	15.5			2.42	4170-30-3
クロロベンゼン (塩化ベンゼン) (C ₆ H ₅)Cl	112.6	-45	132	28	593		1.3	9.6			3.88	108-90-7
酢酸 CH ₃ COOH	60.05	16.635	118	39	463		4.0	19.9 @93.4°C			2.07	64-19-7
酢酸イソブチル CH ₃ COOCH ₂ CH(CH ₃) ₂	116.2	-98.9	118	18	421		1.3	10.5			4.01	110-19-0
酢酸イソプロピル CH ₃ COOCH(CH ₃) ₂	102.1	-73.4	90	2	460		1.8 @38°C	8			3.52	108-21-4
酢酸イソアミル (酢酸イソペンチル) CH ₃ COO(CH ₂) ₂ CH(CH ₃) ₂	130.2	-78.5	143	25	360		1.0 @100°C	7.5			4.49	123-92-2
酢酸エチル CH ₃ COOC ₂ H ₅	88.11	-83.6	77	-4	426	0.46 @5.2%	2.0	11.5			3.04	141-78-6
酢酸ビニル CH ₃ COOCH=CH ₂	86.09	-93.2	72	-8	402	0.7	2.6	13.4			2.97	108-05-4
酢酸ブチル CH ₃ COO(CH ₂) ₃ CH ₃	116.2	-73.5	127	22	425		1.7	7.6			4.01	123-86-4
酢酸プロピル CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ CH ₃	102.1	-95.0	102	13	450		1.7 @38°C	8			3.52	109-60-4
酢酸ペンチル (酢酸アミル) CH ₃ COO(CH ₂) ₄ CH ₃	130.2	-70.8	149	16	360		1.1	7.5			4.49	628-63-7
酢酸メチル CH ₃ COOCH ₃	74.08	-98.05	60	-10	454		3.1	16			2.55	79-20-9
シアニル水素, HCN	27.03	-13.3	26	-18	538		5.6	40.0			0.93	74-90-8
ジイソプロピルエーテル ((CH ₃) ₂ CH) ₂ O	102.2	-87.8	69	-28	443	1.14	1.4	7.9	0.71 @3%	11.6 @3%	3.52	108-20-3
ジエチルアミン (C ₂ H ₅) ₂ NH	73.14	-48	57	-23	312		1.8	10.1			2.52	109-89-7

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	燃発 下限 vol%	燃発 上限 vol%	燃発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	燃気 密度	CAS 番号
ジエチルエーテル (C ₂ H ₅) ₂ O	72.12	-116.3	35	-45	180	0.19 @5.1%	1.85	36.5	0.72 @5%	20.7 @5%	2.56	60-29-7
ジエチルエーテル (酸素中)	134.2	-42.85	181	55	430	0.0012	2.0	82			4.63	105-05-5
1,4-ジエチルベンゼン (p-ジエチルベンゼン)	42.08	-127.53	-34		498	0.17 @6.3%	2.4	10.4			1.45	75-19-4
シクロプロパン (CH ₂) ₃						0.001 @17%	2.5	60				
シクロプロパン (酸素中)												
シクロヘキサノン C ₆ H ₁₀ O	98.15	-32	156	44	420		1.1 @100°C	9.4			3.38	108-94-1
シクロヘキサン	84.16	6.47	82	-20	245	0.22 @3.8%	1.3	7.8	0.72 @3%	15.2 @3%	2.90	110-82-7
C ₆ H ₁₂	82.15	-103.51	83	<-7	244	0.52	1.2				2.83	110-83-8
シクロヘキセン												
C ₆ H ₁₀	66.1	-85	42	25	640	0.67					2.28	542-92-7
シクロペンタジエン												
C ₅ H ₁₀	70.14	-93.46	49	<-7	361	0.54	1.5				2.42	287-92-3
1,3-シクロペンタン												
C ₅ H ₁₀	98.96	-35.3	84	13	413		6.2	16			3.41	107-06-2
1,2-ジクロロエタン												
CH ₂ ClCH ₂ Cl	96.94	-80.5	61	4	460		9.7	12.8			3.34	156-59-2
cis-1,2-ジクロロエチレン												
ClCH=CHCl	101.01		8.4	-30	58	0.015	4.7	96			3.48	4109-96-0
ジクロシラン (二塩化シラン)												
SiH ₂ Cl ₂	113.0	-100.42	96	16	557		3.4	14.5			3.90	78-87-5
1,2-ジクロロプロパン												
CH ₂ ClCHClCH ₃	84.93	-96.8	40	none	556	>1000	14	22			2.93	75-09-2
ジクロロメタン (二塩化メタン, メチレンクロライド)												
CH ₂ Cl ₂	84.12		39	-18		0.137	11.7	68			2.9	110-87-2
ジクロロメタン (酸素中)												
ジヒドロピラン												
CH ₂ CH ₂ CH ₂ =CHCHO	70.09	-101.1	39	<-30	360		1.7	27			2.42	109-93-3
シビニルエーテル CH ₂ =CHOCH=CH ₂												

次ページに続く

気体・液体蒸気											
気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
分子式	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
ジフェニルエーテル (C ₆ H ₅) ₂ O(C ₆ H ₅) ₂	26.90	258	115	618		0.7	6.0			5.87	101-84-8
ジブチルエーテル (CH ₃ (CH ₂) ₃) ₂ O	-95.35	141	25	194		1.5	7.6			4.49	142-96-1
ジプロピルエーテル (CH ₃ CH ₂ CH ₂) ₂ O	-122	90	21	188	1.14	1.4	7.9			3.52	111-43-3
ジメチルアミン (CH ₃) ₂ NH	-93.0	7	-50	400		2.8	14.4			1.55	124-40-3
ジメチルエーテル (メチルエーテル)	-141.50	-24	-41	350	0.17* @6.6%	3.4	27.0			1.59	115-10-6
ジメチルスルホキシド (CH ₃) ₂ S=O	18.42	189	95 oc	215	0.48	2.6	42			2.69	67-68-5
2,2-ジメチルプロパン CH ₃ CH ₂ C(CH ₃) ₂ CH ₃	-99.870	50	-48	405	0.25 @3.4%	1.2	7.0			2.97	75-83-2
2,2-ジメチル-1-プロパノール (CH ₃) ₂ CC ₂ H ₄ OH	55	114	37	420		1.2	8			3.04	75-84-3
2,6-ジメチル-4-ヘプタノン (ジイソブチルケトン)	-46.04	168	49	396		0.8 @93°C	7.1 @93°C			4.90	108-83-8
(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₂ CH(CH ₃) ₂ 臭化エチル	-118.9	38.402	none	511		6.8	8.0			3.76	74-96-4
CH ₃ CH ₂ Br シユウ酸ジエチル (ジエチルシユウ酸)	-38.5	186	76							5.04	95-92-1
C ₂ H ₅ OOC ₂ COOC ₂ H ₅ 水素	-259.14	-252		500	0.016 @28%	4.0	75	0.70 @35%	75.8 @35%	0.07	1333-74-0
H ₂ 水素 (酸素中) 水素 (酸化窒素中)					0.0012 8.7	4.0	94				
スチレン CH ₂ =CH(C ₆ H ₅)	-30.69	146	31	490		0.9	6.8			3.59	100-42-5
セバチン酸ジブチル CH ₃ (CH ₂) ₃ O ₂ C(CH ₂) ₈ CO ₂ (CH ₂) ₃ CH ₃	1	343	178 oc	365		0.44 @243°C				10.84	109-43-3
炭酸ジエチル (C ₂ H ₅ O) ₂ CO	-43.0	126	25							4.07	105-58-8
チオフェン C ₅ H ₄ S	-38.3	84	-1		0.39					2.9	110-02-1

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	燃焼 下限 vol%	燃焼 上限 vol%	燃焼 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
テトラヒドロピラン SCH=CHCH=CH	86.13	-49.2	81	-20		0.22 @4.7%					2.97	142-68-7
テトラヒドロフラン	72.11	-108.5	66	-14	321	0.54	2.0	11.8			2.49	109-99-9
C ₄ H ₈ O												
トリエチルアミン	101.2	-114.5	89	-7	249	0.75	1.2	8.0			3.49	121-44-8
(C ₂ H ₅) ₃ N				oc								
トリエチレンジオキシエタノール (2,2-エチレンジオキシエタノール)	150.2	-9.4	288	177	371		0.9	9.2			5.18	112-27-6
HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH												
1,1,1-トリクロロエタン	133.4	-32.8	74	none			7.5	12.5			4.6	71-55-6
CH ₃ CCl ₃												
1,1,1-トリクロロエタン (酸蒸中)						0.092	5.5	57				
トリクロロエチレン (三塩化エチレン)	131.4	-88.0	87	none	420		8 @25°C	10.5 @25°C			4.53	79-01-6
OC ₂ =CHCl												
トリクロロシラン (三塩化シラン)	135.45	-134	32	-14	93	0.017					4.6	10025-78-2
SiHCl ₃				oc								
トリメチルアミン (CH ₃) ₃ N	59.11	-117.2	3	-13	190		2.0	11.6			2.04	75-50-3
2,2,4-トリメチルペンタン (イソオクタン)	114.2	-107.380	99	-12	415	1.35	0.95	6.0			3.93	540-84-1
(CH ₃) ₃ CCH ₂ CH(CH ₃) ₂												
2,2,4-トリメチル-2-ペンテン (ジイソプレン)	112.2	105	105	2	305	0.96	1.1	6.0			3.9	107-40-4
CH ₃ CH=C(CH ₃)C(CH ₃) ₃				oc								
トルエン (C ₆ H ₅ CH ₃)	92.14	-94.99	111	4	480	0.24	1.27	7.0	0.64	16.6	3.18	108-88-3
二塩化エチリデン (1,1-ジクロロエタン)	98.96	-96.7	57-59	-17	458		5.4	11.4			3.41	75-34-3
CHCl ₂ CH ₃												
ニトロエタン	75.07	-90	114	28	414		3.4				2.59	79-24-3
CH ₃ CH ₂ NO ₂												
1-ニトロプロパン	89.10	-108	131	36	421		2.2				3.07	108-03-2
CH ₃ (CH ₂) ₂ NO ₂												
2-ニトロプロパン	89.10	-93	120	24	428		2.6	11.0			3.07	79-46-9
CH ₃ CH(NO ₂)CH ₃												

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
	分子重	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	着火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
ニトロベンゼン (C ₆ H ₅)NO ₂	123.1	5.85	211	88	482		1.8 @93°C				4.24	98-95-3
ニトロメタン	61.04	-28.37	101	35	418		7.3				2.10	75-52-5
CH ₃ NO ₂	76.14	-111.99	46	-30	90	0.009 @7.8%	1.0	50.0			2.63	75-15-0
二硫化炭素 CS ₂	72.15	-16.55	9		450	1.57	1.4	7.5			2.49	463-82-1
ネオペンタン (2,2-ジメチルプロパン) CH ₃ C(CH ₃) ₂ CH ₃	32.05	1.4	113	38			2.9	98			1.11	302-01-2
ヒドラジン N ₂ H ₄	52.08		5			0.082	1.7	100			1.80	689-97-4
ビニルアセチレン (アテン-3-イン) HCCOH=CH ₂	154.2	71	254	113	540		0.6 @111°C	5.8 @155°C			5.32	92-52-4
トリジン (C ₅ H ₅ N)	79.10	-41.8	115	20	482		1.8	12.4			2.73	110-86-1
ピロール C ₄ H ₅ N	67.09	-24	130	39		3.4 @3.83%					2.31	109-97-7
フェネトール C ₆ H ₅ OC ₂ H ₅	122.2	-29.5	172	63							4.21	103-73-1
フェノール C ₆ H ₅ OH	94.11	40.95	181	79	715		1.8	8.6			3.25	108-95-2
1,3-ブタジエン CH ₂ =(CH) ₂ =CH ₂	54.09	-108.915	-4		420	0.13 @5.2%	2.0	12			1.87	106-99-0
1-ブタノール CH ₃ (CH ₂) ₃ OH	74.12	-89.53	117	37	343		1.4	11.2	0.72 @6%	18.6 @6%	2.56	71-36-3
フタル酸ジブチル (C ₆ H ₄)(COO(CH ₂) ₃ CH ₃) ₂	278.3	-35	340	157	402		0.5 @235°C				9.60	84-74-2
ブタン C ₄ H ₁₀	58.12	-138.3	-1	-60	287	0.25 @4.7%	1.6	8.4	0.67 @4-5%	15.9 @5%	2.00	106-97-8
ブタン (酸素中) ブチルアミン CH ₃ (CH ₂) ₃ NH ₂	73.14	-50.5	78	-12	312	0.009	1.6	49			2.52	109-73-9
t-ブチルアルコール (CH ₃) ₃ COH	74.12	25.6	83	11	478		2.4	8.0			2.56	75-65-0

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
	分子量	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
t-ブチルペルオキシド (ジ-t-ブチルパーオキシド) $(CH_3)_3COOC(CH_3)_3$	146.23	-40		18		0.41					5.03	110-05-4
n-ブチルアルデヒド $CH_3CH_2CH_2CHO$	72.11	-99	76	<-22	218		1.9	12.5			2.49	123-72-8
n-ブチルベンゼン $CH_3(CH_2)_3(C_6H_5)$	134.2	-87.54	180	71	410		0.8	5.8			4.63	104-51-8
1-ブテン $CH_3CH_2CH=CH_2$	56.11	-185.35	-6	oc	385		1.6	10.0			1.93	106-98-9
ブタン C_4H_{10}	68.08	-85.68	31	<0		0.22	2.3	14.3			2.35	110-00-9
ブチラール (2-ブチルアルデヒド) $C_5H_{10}O_2$	96.09	-38.7	161	60	316		2.1	19.3			3.31	98-01-1
1-プロパノール (プロピルアルコール) $CH_3(CH_2)_2OH$	60.10	-126.5	97	23	412		2.2	13.7			2.07	71-23-8
2-プロパノール (イソプロピルアルコール) $(CH_3)_2CHOH$	60.10	-89.5	83	12	399	0.51	2.0	12.7 @93°C	0.64 @6%	13.2 @6%	2.07	67-63-0
プロパン $CH_3CH_2CH_3$ プロパン (酸蒸中)	44.10	-187.69	-42	-104	450	0.25 @5.2% 0.0021	2.1	9.5	0.66 @5%	17.3 @5%	1.52	74-98-6
1,2-プロパンジオール (プロピレングリコール) $CH_2CH(OH)CH_2OH$	76.10	-59.5	188	99	371		2.6	12.5			2.62	57-55-6
プロピオンアルデヒド (プロパナール) CH_3CH_2CHO	58.08	-80.05	49	-30	207	0.32	2.6	17			2.00	123-38-6
プロピオン酸 CH_3CH_2COOH	74.08	-20.83	147	52	465		2.9	12.1			2.55	79-09-4
プロピオン酸エチル $C_2H_5OOCCH_2CH_3$	102.1	-73.9	99	12	440		1.9	11			3.52	105-37-3
プロピルアミン $CH_3CH_2CH_2NH_2$	59.11	-83.0	49	-37	318		2.0	10.4			2.04	107-10-8
プロピルベンゼン $(C_6H_5)(CH_2)_2CH_3$	120.2	-99.56	159	30	450		0.8	6.0			4.14	103-65-1

次ページに続く

気体・液体蒸気	気体・蒸気の着火性 前ページの続き											
	分子重	融点 °C	沸点 °C	引火点 °C	発火 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	爆発 下限 vol%	爆発 上限 vol%	爆発 圧力 MPa	最大圧力 上昇速度 MPa/s	蒸気 密度	CAS 番号
プロピレン $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	42.08	-185.25	-47		455	0.28	2.0	11.0			1.45	115-07-1
プロピレンオキシド (酸化プロピレン) $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$	58.08	-111.8	35	-37	449	0.13 @7.5%	2.3	36.0			2.00	75-56-9
プロピン (メチルアセチレン) CH_3CCH	40.07	-104	-23			0.11	1.7				1.40	74-99-7
プロモベンゼン (臭化フェニル) $(\text{C}_6\text{H}_5)\text{Br}$	157.0	-30.6	156	51	565		1.6				5.41	108-86-1
2-ヘキサン (メチルプロピルケトン) $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	100.2	-56.9	128	25	423		1.2	8.0			3.46	591-78-6
3-ヘキサン (エチルプロピルケトン) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	100.2		123	35 oc	575		約1	約8			3.46	589-38-8
ヘキサン $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ ヘキサン (酸蒸中)	86.18	-95.348	69	-22	225	0.24 @3.8% 0.006	1.1	7.5	0.64 @2.5%	17.3 @2.5%	2.97	110-54-3
1-ヘプタノール $\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_2)_5\text{CH}_2\text{OH}$	116.2	-34.03	177	77	275		1.2	52			4.01	111-70-6
ヘプタン $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$ ベンジアルコール $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	100.2	-90.610	98	-4	204	0.24 @3.4%	1.05	6.7			3.46	142-82-5
ペンゼン (C_6H_6)	78.12	5.533	80	-11	498	0.2 @4.7%	1.3	8.0	0.67 @4%	15.9 @3-4%	2.69	71-43-2
1-ペンタノール $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$	88.15	-78.85	138	33	300		1.2	10.0 @100°C			3.04	71-41-0
2-ペンタノン (メチルプロピルケトン) $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	86.14	-77.75	102	7	452		1.5	8.2			2.97	107-87-9
3-ペンタノン (ジエチルケトン) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2\text{CH}_3$	86.14	-39.8	103	13 oc	450		1.6				2.97	96-22-0

次ページに続く

G.2 粉じんの着火性

粉じんの着火性は粒径に依存するので、ここに示すデータは参考にする程度として、使用する粉体で粉じん着火性を測定することが望ましい。また、G.7(2)の粉じんの着火性・燃焼性データベースも文献 [53] を基にしているが、このデータベースは頻繁に更新されるのでこれも参考にされたい。

- (1) 測定条件：1 m³ 円筒粉じん爆圧試験装置または 20 L 球形粉じん爆発試験装置，大気圧（-0.2 から +0.2 bar（ゲージ圧）），酸素濃度：18~22 vol%，温度：0~40°C
- (2) 粉体試料の大部分は、ふるい分けおよび乾燥などの前処理をしていない。
- (3) 平均粒径は質量平均径を示す。
- (4) 爆発下限濃度は爆発を引き起こさない最大粉じん濃度を示し、爆発の判定は爆発圧力によって行われた。括弧内は吹き上げ式装置に類似の電気火花を着火源とするハルトマン式試験槽による値を示す。
- (5) 最大爆発圧力は爆発圧力-時間曲線のピーク値から着火時の圧力を引いた差圧で示し、ゲージ圧力である。
- (6) 粉じん雲の発火温度を測定する装置として、Godbert-Greenwald 電気炉装置および BAM 電気炉装置がある。“(B)” を付記したものは BAM，何も付いていない値は Godbert-Greenwald によるものである。
- (7) くすぶり温度は直径 6 m，厚み 5 mm の円形粉体試料層を金属板上に形成し、金属板を加熱してくん焼現象に至る最低温度を示す。括弧内はその温度で 2 時間加熱してもくん焼に至らないことを示す。“溶” は加熱したとき、熔融または熱分解して粉体としての形態を失い、くすぶり温度が測定不能であることを示す。
- (8) 発炎性クラスは幅 2 cm，長さ 4 cm の層状堆積粉体を陶磁板に載せ、粉体層の一端にガス炎または 1000°C に加熱した白金線を接触させた場合、次の現象に対応して分類した発炎性のクラスを示す。
 - 1: 燃焼せず
 - 2: 発火するが、すぐ消炎
 - 3: 部分的燃焼またはくん焼するが、伝搬せず
 - 4: くん焼伝搬
 - 5: 火炎伝搬
 - 6: 爆発的な燃焼

括弧内は、20 wt%の珪藻土を粉体試料に混合して測定した場合の発炎性クラスを示す。加熱によって熔融するような試料でも、不活性粉体と混合した場合、発炎または、火炎伝搬を引き起こす危険性を知るうえで有効である。

表 G.2: 粉じんの着火性 [53, 54]

粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス
木綿・木粉・ピート (泥炭)								
紙パルプ	29		9.8	168				
紙粉	<10		5.7	18	580	360		
紙粉 (テイッシュ)	54	30	8.6	52	540	300		4
紙粉 (フェノール樹脂処理)	23	30	9.8	190	490	310		
セルロース	51	60	9.3	66	500	380	250	5
ピート (水分 15%)	58	60	10.9	157	480	320		4
ピート (水分 22%)	46	125	8.4	69	470	320		4
ピート (水分 31%)	38	125	8.1	64	500	320		
ピート (水分 41%)	39	爆発せず	*	*	500	315		
ピート (フルイ付着粉)	74	125	8.3	51	490	310		4
ピート (堆積粉)	49	60	9.2	144	(360)	295		
木粉	33				500	320	100	
木粉	80				480	310	7	
木粉 (切屑)	43	60	9.5	102	490	320		3
木粉 (ボール紙/黄麻)		30	5.8	26	610	360	245	5
木粉 (ボール紙/黄麻/樹脂)		30	8.4	67	520	350	3	5
木綿	44	(100)	7.2	24	560	350		3
リグニン	18	15	8.7	208	470	>450		5
石炭・石炭関連物								
アスファルト	29	15	8.4	117	550	溶		
活性炭	18	60	8.8	44	790	>450		
活性炭	22	爆発せず	*	*	670	335		
活性炭 (水分 16%)	46	125	8.4	67	(630)			
褐炭	41		9.1	123	420	230	160	4
褐炭 (電気集じん機から)	55	60	9.0	143	450	240		4
褐炭 (粉砕器から)	60		8.9	107	420	230	230	3
褐炭 (ダフアイト化)	28	爆発せず	*	*	>850	>450		
褐炭/無煙炭 (80:20)	40	60	8.6	108	440	230	>4000	
褐炭/無煙炭 (20:80)	<10		0.4	1	590	280		
褐炭コークス	290	250	8.4	115	560	>450		3

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き

粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{St} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス
無煙炭 (集じん機から)	<10	爆発せず	*	*	>850	360		
木炭	14	60	9.0	10	520	320		4
木炭	19	60	8.5	117	540	270		
木炭	>500	爆発せず	*	*	>850	>450		
瀝青炭	<10	125	9.0	55	590	270		
瀝青炭 (ペトコラ)	38	8.6	86	610	360	360		
瀝青炭 (高揮発分)	4	60	9.1	59	510	260		
その他の天然有機物								
亜麻 (含脂)	300	6.0	17	17	(440)	230		2
オイルシユール	20	125	5.2	35	520	290		
オイルシユール	32	爆発せず	*	*	610	>450		4
クルミ殻	57	(100)	9.4	85	610	>450		1
血清粉末	48	30	8.7	105	540	溶		
小麦グルテン	55	(100)	8.8	109	410(B)	280		2
石松子	200	125	8.0	47	470	310		5
アキストリン	490	8.2	8.2	90	420	270		
皮革 (集じん機から)	245	125	7.7	35	(480)	350		3
干草								
ホップ (発酵済)								
綿実飛翔体								
農産物								
大麦 (穀粒)	240	125	7.7	83	400(B)		100	4
大麦	295	750	6.0	14		350		3
オート麦 (穀粒)	150	125	10.4	74	470(B)	溶	>1000	
オリブ錠剤	200	60	9.0	102	430	<1		
果糖 (集じん機から)	400	60	7.0	28	440	440	180	
果糖		125	6.4	27	530	溶	>4000	
果糖 (水分6%)	76	30	8.1	68	510(B)	300		≥3
紅茶 (ブラック, 集じん機から)	<10	125	8.2	59	510	>450		4
コーヒー (集じん機から)		60	6.8	90	470		>500	4
コーヒー (精製品)			10.2	128	460(B)		300	2
コーンスターチ					520	>450		

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き										
粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス		
コーンスターチ	16	60	9.7	158	520	440		2		
ココア/砂糖混合物	500	125	7.4	43	580	460		2		
ココア豆殻皮		125	8.1	68			>250	4		
粉ミルク	165	60	8.1	90	460	330	75			
粉ミルク	235	60	8.2	75	450	320	80			
粉ミルク (低脂肪, 噴霧乾燥)	46	30	7.5	109			>100			
粉ミルク (全脂肪, 噴霧乾燥)	88	60	8.6	83	520	330		2		
小麦	50	60			500	>450	540			
小麦	57	60	8.3	87	430	>450				
小麦	56	60	7.4	42	400(B)	>450	>100			
小麦 (穀粒)	80	60	9.3	112	470		400			
小麦 (穀粒)	125				290			3		
小麦澱粉	20	60	9.8	132	500	535		3		
米澱粉	18	60	10.0	190	530	420		3		
米澱粉	18	60			470	390	90	3		
米澱粉 (水和化)	120	60	9.3	190	480	555		5		
砂糖 (アイシング, 菓子用)	19				470	>450				
脂肪/乳しゅう混合物	330		7.0	23	450	410	180	5		
脂肪粉 (48%脂肪)	92	30	6.4	20				2		
脂肪粉					430(B)		>100			
タバコ	49		4.8	12	470	280				
タピオカ (粒状)	44	125	9.0	53	(450)	290		4		
大豆	20	(200)	9.2	110	620	280		2		
トウモロコシ種子屑 (水分 9%)	165	30	8.7	117	440(B)		>10			
肉エキス (21%澱粉)			5.1	12	500(B)		>1000			
肉粉	62	60	8.5	106	540	>450		2		
乳しゅう脂肪改良剤	400		7.2	38	450	420	90	5		
乳糖	10	60	8.3	75	440	溶	14	5		
乳糖	27	60	8.3	82	490	460		2		
フィッシュミール	320	125	7.0	35	530					
ブドウ糖 (粗)	22							2		
ブドウ糖 (粗)	80	60	4.3	18	500	570		3		

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き

粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス
米粉		60	7.4	57	360(B)	>100		
ポテト (顆粒状)	65	125	9.1	69	480	>450		
ポテト (澱粉)			6.4	21	440(B)		>250	3
ポテト (澱粉)		30	7.8	43	420(B)		>1000	
ライ麦	32	(89)	(9.4)	(89)	520	>450	>3200	2
ラクトース (集じん機から)	29	79	8.9	79	490	>450		
ラクトース (サイクロンから)	22	125	6.9	29	450	>450	80	
レモン錠剤	23	60	7.7	81	520	>450		3
		60	7.7	39	460(B)		250	
プラスチック・樹脂・ゴム								
アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合体	200	60	9.2	147	480	>450		5
エポキシ樹脂 (樹脂 60%, 酸化チタン 36%)	23		7.8	155				
エポキシ樹脂 (樹脂 60%, 酸化チタン 36%)	26	30	7.9	129	510	溶		2
エポキシ樹脂 (アルミニウム入)	34		8.9	208	570	溶		2
エポキシ樹脂 (粉体塗装機から)	55	(100)						5
ゴム	34	(100)	7.4	106				
ゴム (粉砕機から)	80	30	8.5	138	500	230	13	5
ゴム (天然, カウチユウク)	95	30	9.5	192	450	230		
ゴム (合成)	80	15	8.6	145	450	240		5
2,5-酢酸セルロース	19	30	9.8	180	520	>450		
シリコン樹脂	100	60	7.2	80	480	溶		
樹脂 (集じん機から)	40	30	8.7	108	460	溶		
静電塗装粉体 (エポキシ)	29	30	8.9	100	540	溶		2(3)
静電塗装粉体 (ポリウレタン)	29	30	7.8	89	490	溶		2(2)
セラック (天然樹脂)		15	7.6	144				
フェノール樹脂	<10	15	9.3	129	610	>450		2
フェノールホルムアルデヒド樹脂	60	(100)						4
ホルムアルデヒド・尿素 (成形体)	13	60	10.2	136	700	390		2
ホルムアルデヒド・メラミン (成形体)	14	60	10.2	189	800	>440		2
ポリアクリレート	62	125	6.9	38	460	420	>1800	5
ポリアクリロアミド	10	250	5.9	12	780	410		2
ポリアクリロニトリル	63	60	7.4	41				
ポリアミド樹脂	15	30	8.9	105	450	溶		

次ページに続く

粉じんの着火性		前ページの続き				最小着火エネルギー		発火性	
平均粒径	着火性	爆発下限	最大爆発	発火温度	くすぶり	温度	度	度	度
μm		g/m^3	圧力	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\text{bar}\cdot\text{m}/\text{s}$	mJ	クラス
粉じん									
ポリアミド編層		37	9.8	520	溶		93		2(3)
ポリウレタン		3	(7.8)				(156)		5
ポリエステル		<10	10.1	570	溶		194		5
ポリエステル樹脂 (ガラス混入)		14	(100)						
ポリエチレン		72	7.5	440	溶		67		
ポリエチレン		280	6.2	470	溶		20		
ポリエチレン (高圧法)		26	8.7	490	>450		104		
ポリエチレン (低圧法)		<10	8.0	420	溶		156		2(5)
ポリエチレン (低圧法)		150	7.4	480	溶		54		3(5)
ポリエチレン (低圧法)		245	7.5	460	溶		46		3(5)
ポリ塩化ビニル		<10	8.4	168					
ポリ塩化ビニル		125	7.7	530	340		68		
ポリ塩化ビニル (乳化重合 97.5% P V C)		25	8.2	750	>450		42	>2000	
ポリ塩化ビニル (乳化重合 97% P V C)		51	8.5	790	350		63	>2000	
ポリ塩化ビニル (懸濁重合)		105	7.7	510	>450		45		2
ポリ塩化ビニル (懸濁重合)		137	*	>800	>450		*		
ポリ酢酸ビニル (共重合体)		20	8.7	660	溶		86		2
ポリスチレン (共重合体)		155	8.4	450	溶		110		
ポリスチレン (硬, 発泡)		760	8.4				23		
ポリビニルアルコール		26	8.9	460	溶		128		5
ポリビニルアルコール		56	8.3	460	溶		83		5
ポリプロピレン		25	8.4	410	溶		101		3(5)
ポリプロピレン		162	7.7	440	溶		38		2(5)
ポリメタアクリルイミド		105	9.6	530	溶		125		5
ポリメタアクリレート		21	9.4	550	溶		269		5
ポリメタアクリレート		15	8.0	199					(2)
メチルメタアクリレート・ブタジエン・スチレン		135	8.6	470	溶		120	11	5
メチルメタアクリレート・ブタジエン・スチレン		150	8.4	480	溶		114	30	5
メラミン樹脂		18	10.2	840	>450		110		2
メラミン樹脂		57	10.5	470	>450		172		2
ワックス (N,N'-エチレンジスチレン酸アミド)		10	8.7	269					2(2)
医薬品・化粧品・農薬									
L(+)-アスコルビン酸		14	6.6	490	溶		48		2(5)

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き									
粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス	
アスコルビン酸	39	60	9.0	111	460	溶		2(5)	
L(+)-アスコルビン酸ナトリウム									
アセチルサリチル酸	23	60	8.4	119	380	380		2	
アミノフェナゾン	<10	15	7.9	217	550(B)	>450		2(5)	
2-エトキシベンズアミド		15	10.3	238	330				
カフェイン		30	8.6	214	490(B)	溶		2(5)	
システイン水和物	<10	125	8.2	165	>550(B)	溶	>2000	2(5)	
L-システイン	15	60	7.4	40	420	溶	40		
ジギタリス	46	250	8.5	142	400	溶			
ジメチルアミノフェナゾン	<10		8.5	73					
ナイスタチン (抗生物質)	5	(500)	10.0	337				5	
ナイスタチン (有機亜鉛化合物)	<10	60	9.0	154	480	300			
ナイスタチン (Maneb)	<10				380	200	>2500		
鹿薬	<10	60	8.6	151	410	320			
パラセタモール	<10	15	7.9	156		溶		2(5)	
メチオニン	<10	30	9.4	143	390	溶	9	5	
メチオニン	<10	30	8.7	128	390	溶	100	5	
中間化学物質 (その他)									
アジピン酸	<10	60	8.0	97	580	溶		2(5)	
アゾカルボン酸アミド	<10		12.3	176					
油吸着剤	65	60	7.2	42	540	>450			
アルギン酸プロピレングリコール	115	125	8.8	82	440	450		2(5)	
安息香酸		(30)							
アントラキノン	<10		10.6	364					
アントラキノン	12	30	9.1	91	600	>450			
アントラセン	235	15	8.7	231	510	>450		5	
一水和ベタイン	710	60	8.2	63	(330)	275			
エチルセルロース	40	60	8.1	162	>850	溶		2	
エポキシ樹脂硬化剤	17	60	10.0	64	400	>450		3	
塩酸ベタイン	<10	60	9.8	114	>850	380		2	
過酸化メラミン	24	250	12.2	73	560	>450			
カゼイン	24	30	8.5	115					
カゼインソーダ (集じん機から)	17	60	8.8	117	560	>450	740		

次ページに続く

粉じんの着火性		前ページの続き				最小着火エネルギー	発炎性
平均粒径	爆発下限	最大爆発圧力	K_{St}	発火温度	くすぶり温度	エネルギー	クラス
μm	g/m^3	bar	bar·m/s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	mJ	
粉じん							
カルボキシメチルセルロース	<15	9.2	184				
カルボキシメチルセルロース	71	8.9	127	390	320		3
金属石炭酸 (ステアリン酸 Ba/Pb)	15	8.1	180				2(2)
金属石炭酸 (ベヘノキシル酸亜鉛)	15	8.1	119				2(3)
クロロアセトアミド	(200)						2(2)
酢酸カルシウム	500	5.2	9	730	>460		2
サポニン	13	9.4	150	440	>450		3
サリチル酸	(30)						2(5)
シアナミド亜鉛	爆発せず	*	*	>850	>450		3
シアナミド亜鉛	600	(4.8)	(53)				2
シアナクリル酸メチルエステル	30	10.1	269	500	>450		5
クラミン酸ナトリウム (シクロヘキサンスルファミン酸)	260						5
酒石酸	480						2
酒石酸三ナトリウム	800						2
1,3-ジエチルジフェニル尿素	<10	8.8	163	530	溶		2(5)
1,3-ジエチルジフェニル尿素	1300	8.7	116	600	溶		2(5)
ジシアンジアミド	<10	3.7	9	>850	>450		
ジニトリルテレフタル酸	<30	8.8	260				5
ジフェニルウレタン	30	8.9	218	660	溶		2
ジフェニルウレタン	1100	7.6	51	660	溶		2
ジメチルテレフタル酸	27	9.7	247	460	>450		2
水素シアナミドナトリウム	40	7.0	47	460	溶		
ステアリン酸	1300	7.2	34	500	溶		1(1)
ステアリン酸/カルシウム	16	9.3	133	620	>450	25	
ステアリン酸/鉛	15	9.1	111	600	>450	3	
ステアリン酸亜鉛	(100)						2(5)
ステアリン酸亜鉛	13			520	溶	5	
ステアリン酸カルシウム	<10			520	溶	9	
ステアリン酸カルシウム	<10	9.2	99	580	>450	16	
ステアリン酸カルシウム	145	9.2	155	550	>450	12	
ステアリン酸ナトリウム	22	8.8	123	670	溶		2
ステアリン酸マグネシウム	(100)						2(2)
ステアリン酸鉛	<10			480	溶	<1	

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き

粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス
ステアリン酸鉛	12	30	9.2	152	630	溶		5
セルロース・イオン交換樹脂	<10	60	10.0	91	410	>450		5
セルロース・イオン交換樹脂	112	30	9.4	112	(350)	>465		4
多糖類	23	(500)						2
2,2-チオ二酢酸	75	30	6.5	72	350	410		2(2)
チオ尿素	460	250	3.5	8	440	溶		5
チロシン (最終製品)	10							5
チロシン (原生成品)	15							2(5)
トリメリット酸 (無水)	1250	30	6.8	33	740	溶	>2500	2
ナトリウムアミド		(200)						
2-ナフタル酸	<10		8.4	137	430	>450	5	
ナフタル酸 (無水)	16	60	9.0	90	690	溶	3	
ナフタレン	95	15	8.5	178	660	>450	<1	(5)
乳化剤 (炭化水素 50%, 脂肪 30%)	71	30	9.6	167	430	390	17	
尿素	2900							1(2)
パラホルムアルデヒド	23	60	9.9	178	460	>480		5
パラホルムアルデヒド	27	60	10.7	222	460	>450		4
ビスコース綿屑	13	(100)						
ビフェノールケチレン	15		9.0	270				2(5)
ピリジンチオン亜鉛		(500)						2(5)
フェノール (凝縮生成物)	20	15	8.2	171	560	溶	5	5
フェロセン	95	15	8.3	267	500	>450		5
フタル酸 (無水)	16	(100)						5
フタル酸メラミン	215	125	8.1	52	910	溶		2
フマル酸	27	(100)						5
ヘキサメチレンテトラミン	155	30	10.5	286				
ヘキサメチレンテトラミン	27	30	10.0	224	530	溶		3
ベクチナーゼ	34	60	10.6	177	510	>450	180	
ベクチン	59	60	9.5	162	460	300		
ペンタエリスリトール	<10	30	9.6	120	460	溶	<1	2(5)
ペンタエリスリトール (集じん機から)	85	30	9.1	188	490	溶	6	5
ペンタエリスリトール (集じん機から)	135	30	9.0	158		溶	27	5
ポリエチレンオキシド	115	(30)						3(5)

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き									
粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar-m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス	
D(-)-マニト	67	60	7.6	54	460	溶		2	
メタクリルアミド	580		8.5	113	530	>450	180		
メチルセルロース	22		10.0	157	400	380	12		
メチルセルロース	29	60	10.0	152	400	>450	105	5	
メチルセルロース	37	30	10.1	209	410	450	29	5	
メラミン	<10	1000	0.5	1	>850	>450		2	
リグニンスルホン酸ナトリウム	58	(200)						2	
リン酸メラミン	22							2	
劣化防止剤	<32	15	8.2	256				2(3)	
その他の化学工業製品									
界面活性剤 (エポキシ誘導体)	24	(200)						2	
界面活性剤 (ポリエステル誘導体)	19	(500)						2	
紫外線吸収剤	<10		8.9	214	530	>450			
紫外線吸収剤	<15		10.0	310					
石鹼	65	30	9.1	111	580	溶			
洗剤 (Na-スルホン化)	275	30	9.0	267	330	溶		5	
フクシン塩基	36		8.4	115	640	溶			
有機染料 (青)	<10		9.0	73	710	360			
有機染料 (赤)	<10	50	11.2	249	520	溶			
有機染料 (赤)	52	60	9.8	237	470	>450		5	
有機染料 (カーキ)	44				690	450			
有機染料 (黄色, アゾ化合物)	<10	60	11.0	288	480	溶	>4000	2(5)	
有機染料 (蛍光ピンク)	46				610	450			
有機染料 (茶)		(200)						4	
有機染料 (フタロシアニン)	<10	(200)	8.8	73	770	355		4	
遷移炭化水素	260	30	7.6	63	500	溶		2	
フックス原料 (スルホン酸アルキルアリル)								5	
フックス原料 (スルホン酸オレフィン)	105	30	8.6	115	390	>590			
金属, 合金									
亜鉛 (表面処理機から)	19		6.0	85	800	>450		2	
亜鉛	21	250	6.8	93	790	>450			
亜鉛 (集じん機から)	<10	250	6.7	125	570	440		3	
亜鉛 (集じん機から)	10	125	7.3	176				2	

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き									
平均粒径	爆発下限	最大爆発 圧力	K_{st}	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス		
μm	g/m^3	bar	bar·m/s	°C	°C	mJ			
粉じん									
アルミニウム/カルシウム (30:70)	22	11.2	420	600	>450		6		
アルミニウム/鉄 (50:50)	21	9.4	230	760	>450				
アルミニウム/ニッケル (50:50)	<10	11.4	300						
アルミニウム/ニッケル (50:50)	90	爆発せず	*	>850	>450		2		
アルミニウム/マグネシウム	130	10.4	52	>850	>450	>1800			
アルミニウム削片	190			620	>450				
アルミニウム削片	240	爆発せず	*	>850	>450				
アルミニウム粉	<10	11.2	515	560	430				
アルミニウム粉	22	12.5	400	650	270				
アルミニウム粉	22	11.5	1100	500	>450				
アルミニウム粉	29	12.4	415	710	>450		4		
アルミニウム粒	23	11.0	320	850	>450				
アルミニウム粉	41	10.2	100	>850	>450				
アルミニウム粉	170	爆発せず	*	>850	>450		1		
カルシウム/ケイ素 (サイクロンから)	21	9.8	200	770	>450	145	1		
カルシウム/ケイ素	28			770	>450				
ケイ素 (集じん機から)	<10	10.2	126	>850	>450	54	3		
ケイ素 (粉体分離機から)	<10	9.5	116	>850	>450	250	1		
硬金属 (TiC, TiN, WC, VC, Mo)	16	9.4	100	800	>450				
コバルト/アルミニウム/チタン (62:18:20)	43	(200)					4		
真ちゆう	25	500		730	>450				
タンタル/ニオブ	18	750		390	260		4		
チタン/二酸化チタン (堆積粉)	<10	6.6	37	700	450				
チタン	310	(100)					5		
チタン (酸化処理)	30			450	>450				
鉄 (乾式集じん機から)	35			380	400				
鉄/ケイ素/マグネシウム (22:45:26)	12	5.2	50	580	>450				
鉄/ケイ素/マグネシウム (24:47:17)	17	9.4	169	670	>450	210			
鉄カルボニル	21	9.9	267	560	>450	35			
ニオブ (アルミニウム 6%)	<10	6.1	111	310	300		3		
鉄 (100% Cr-6)	250	(200)					2		
フェクロロム	<10	(4.0)	(83)	>850	>450		2		
		6.4	86						

次ページに続く

粉じんの着火性 前ページの続き									
粉じん	平均粒径 μm	爆発下限 g/m ³	最大爆発 圧力 bar	K _{st} bar·m/s	発火温度 °C	くすぶり 温度 °C	最小着火 エネルギー mJ	発炎性 クラス	
フェロシリコン (22:78)	21	125	9.2	87	>850	>450			
フェロマンガ	<10		6.8	84	730	>450			
マグネシウム	28	30	17.5	508					
マグネシウム	240	500	7.0	12	760	>450		5	
マンガン (電気分解)	16		6.3	157	(330)	285			
マンガン (電気分解)	33		6.6	69					
モリブデン	<10	爆発せず	*	*	>850	390			
その他の無機化学製品									
硫黄	12				240	250	<1		
硫黄	20	30	6.8	151	280			5	
硫黄	40				330	270	3		
硫黄	120				370	270	5		
一酸化チタン		(200)						4	
グラファイト (99.5%炭素)	7	<30	5.9	71	>600(B)	680		1	
硝酸/ジシアニド (66:34)	50	250	7.0	21	390	>450		2	
水素化チタン		(200)							
すす	5	60	9.2	85	760	590			
すす (集じん機から)	<10	30	8.8	88	840	570			
石油コークス	15	125	7.6	47	690	280		4	
石油コークス	71	125	3.8	3	750	>450		3	
石油コークス (石炭)	22	250	6.8	14	>850	>450		3	
赤燐	18		7.9	526	400	340		5	
炭化チタン		(100)						4	
炭素繊維 (99%)		(100)						2	
二硫化モリブデン	19	250	5.6	37	520	320		4	
その他									
アッシュ堆積物	21	60	8.6	91	580	260			
研削粉 (亜鉛)		(500)	(2.3)	(24)				1	
研削粉 (アルミニウム)		(30)	(5.7)	(214)	480(B)			4	
研削粉 (カード板)	160	(100)						5	
研削粉 (チタン)	170	(100)						2	
研削粉 (ポリエステル)	<10	30	9.5	153	500	>450		5	
研削粉 (ポリエステル)	25		9.4	237	550	>450		5	

次ページに続く

G.3 気体・液体蒸気の限界酸素濃度

- (1) 文献は [47] である。
- (2) 常温常圧下でスパークまたはパイロットフレイムによる着火実験で決定されたデータである。
- (3) LOC N₂, CO₂ はそれぞれ窒素または二酸化炭素を希釈ガスとしたときの限界酸素濃度である。

表 G.3: 気体・液体蒸気の限界酸素濃度 [47]

気体・液体蒸気	LOC N ₂ vol%	LOC CO ₂ vol%
アセトン	12	14.5
イソブタン	11.5	14
イソブチレン	12	15
イソペンタン	12	15
一酸化炭素	12	14.5
エタノール	5.5	5.5
エタン	10.5	13
エチルエーテル	11	13.5
2-エチルブタノール	10.5	13
エチルベンゼン	9.5(150°C)	—
エチレン	9.0	—
塩化ビニル	10	11.5
塩化 n-ブチル	13.4	—
塩化メチレン	14, 12(100°C)	—
ガソリン (100/130)	19(30°C), 17(100°C)	—
ガソリン (73/100)	12	15
ガソリン (115/145)	12	15
ギ酸イソブチル	12	14.5
ギ酸メチル	12.5	15
酢酸メチル	11	13.5
三塩化エチレン (トリクロロエチレン)	11	13.5
ジエチルベンゼン	9(100°C)	—
ジェット燃料 (JP-1)	8.5	—
ジェット燃料 (JP-3)	10.5(150°C)	14(150°C)
ジェット燃料 (JP-4)	12	14.5
シクロプロパン	11.5	14.5
1,2-ジクロロエタン (二塩化エタン)	11.5	14
1,1-ジクロロエチレン (ビニリデンクロライド)	13, 11.5(100°C)	—
ジビニルベンゼン	15	—
1,1-ジメチルヒドラジン	8.5	—
水素	7	—
スチレン	5	5.2
天然ガス (ピッツバーグ産)	9.0	—
灯油	12	14.5
1,1,1-トリクロロエタン (メチルクロロホルム)	10(150°C)	13(150°C)
トルエン	14	—
二硫化炭素	9.5	—
ビニルトルエン	5	7.5
ブタジエン (1,3-ブタジエン)	9.0	—
n-ブタノール	10.5	13
n-ブタン	n/a	16.5(150°C)
1-ブテン	12	14.5
プロパン	11.5	14

次ページに続く

気体・液体蒸気の限界酸素濃度 前ページの続き

気体・液体蒸気	LOC N ₂ vol%	LOC CO ₂ vol%
プロピレン	11.5	14.5
プロピレンオキシド	11.5	14
n-ヘキサン	7.8	—
n-ヘプタン	12	14.5
ベンゼン	11.5	14.5
n-ペンタン	11.4	14
メタノール	12	14.5
3-メチル-1-ブテン	10	12
メチルエーテル	11.5	14
メチルエチルケトン	10.5	13
硫化水素	10	12.5

G.4 粉じんの限界酸素濃度

G.4.1 粉じんの限界酸素濃度-1

- (1) 文献は [47] である。
- (2) 常温常圧下での 24 W の連続スパーク着火実験によるデータであり、U.S. Bureau of Mines, Report of investigation 6543 に報告されている。
- (3) LOC N₂, CO₂ はそれぞれ窒素、または二酸化炭素を希釈ガスとしたときの限界酸素濃度である。
- (4) 炭素を含む粉体において窒素を希釈ガスとするとき、その値が空欄の場合は次の式で限界酸素濃度を求めることができる：

$$O_n = 1.3(O_c - 6.3)$$

ここで、 O_n : 窒素を希釈ガスとするときの限界酸素濃度、 O_c : 二酸化炭素を希釈ガスとするときの限界酸素濃度である。

- (5) 表 G.4 の値は測定方法、粉じんの粒径が異なるので、表 G.5 の値と異なるものである。粉じんの限界酸素濃度も使用する粉体で測定されることが望ましい。

表 G.4: 粉じんの限界酸素濃度-1 [47]

粉じん	LOC N ₂ (vol%)	LOC CO ₂ (vol%)
農産物		
コーヒー		17
コーンスターチ		11
ショ糖	10	14
大豆粉 (きな粉)		15
デキストリン	11	14
デンプン		12
化学物質		
イサト酸無水物		13
エチレンジアミン四酢酸		13
オクタゾール		19

次ページに続く

粉じんの限界酸素濃度-1 前ページの続き

粉じん	LOC N ₂ (vol%)	LOC CO ₂ (vol%)
五硫化リン		12
サリチル酸	15	17
ステアリン酸 と 金属ステアリン酸	10.6	13
ナトリウムリグノ硫酸塩		17
フェノチアジン		17
メチオニン		15
石炭・石炭関連物		
褐炭		15
石炭 (準瀝青炭)		15
石炭 (瀝青炭)		17
木炭		17
金属		
亜鉛	9	10
アルミニウム	5	2
アンチモン		16
ウラン	1	0
クロム		14
シリコン	11	12
ジルコニウム	0	0
チタン	4	0
鉄		10
トリウム	2	0
バナジウム	14	
マグネシウム	0	0
マンガン		14
プラスチック材料		
アゼライン酸		14
イソフタル酸		14
カゼイン (レンネット)		17
テレフタル酸		15
バラホルムアルデヒド	8	12
ビスフェノールA		12
ヘキサメチレンテトラミン	13	14
ペンタエリスリトール	13	14
無水フタル酸		14
プラスチック - 特殊樹脂		
クマロンインデン樹脂		14
硬質ゴム		15
シェラック		14
ソジウムレシナート (Sodium Resinate)	13	14
フェノール (塩素処理)		16
松 (残留物)		13
リグニン		17
ロジン		14
プラスチック - 熱可塑性樹脂		
アクリロニトリル		13
アセタール		11
エチルセルロース		11
酢酸セルロース	9	11
酢酸ブチルセルロース		14
酢酸ポリビニル		17
三酢酸セルロース		12
炭酸メチルセルロース		16
ナイロン		13
ブタジエンスチレン樹脂		13

次ページに続く

粉じんの限界酸素濃度-1 前ページの続き

粉じん	LOC N ₂ (vol%)	LOC CO ₂ (vol%)
ブチルポリビニル		14
ポリエチレン		12
ポリカーボネート		15
ポリスチレン		14
メチルセルロース		13
メチルメタアクリレート		11
プラスチック - 熱硬化性樹脂		
アリアルコール		13
イソフタル酸ジメチル		13
エポキシ		12
テレフタル酸ジメチル		12
尿素ホルムアルデヒド		16
ポリエチレンテレフタレート		13
メラミンホルムアルデヒド		15
その他		
硫黄		12
紙		13
セルロース		13
松やに		11
木粉		16

G.4.2 粉じんの限界酸素濃度-2

- (1) 文献は [47,53,54] であり、データのオリジナルは [53] である。
- (2) 1 m³ 円筒粉じん爆圧試験装置または 20 L 球形粉じん爆発試験装置によるデータである。
- (3) 粉体試料の大部分は、ふるい分けおよび乾燥などの前処理をしていない。
- (4) LOC N₂ は窒素を希釈ガスとしたときの限界酸素濃度である。
- (5) 表 G.5 の値は測定方法、粉じんの粒径が異なるので、表 G.4 の値と異なるものである。粉じんの限界酸素濃度も使用する粉体で測定されることが望ましい。

表 G.5: 粉じんの限界酸素濃度-2 [47,53,54]

粉じん	質量中位径 (μm)	LOC N ₂ (vol%)
セルロース原料		
セルロース	22	9
セルロース	51	11
木粉	27	10
食品および飼料		
大麦麦芽のくず	25	11
コーンスターチ	17	9
小麦粉	60	11
デンプン	24	14
豆粉	25	15
ライ麦粉	29	13
石炭		
褐炭	42	12
褐炭	63	12
褐炭	66	12

次ページに続く

粉じんの限界酸素濃度-2 前ページの続き

粉じん	質量中位径 (μm)	LOC N ₂ (vol%)
褐炭 (練炭くず)	51	15
瀝青炭	17	14
プラスチック, 樹脂, ゴム		
ゴム粉	95	11
樹脂	<63	10
ポリアクリロニトリル	26	10
ポリエチレン (高圧法)	26	10
医薬品, 農薬		
アミノフェナゾン	<10	9
メチオニン	<10	12
中間化学物質, 添加剤		
過酸化ベンゾイル	59	10
ジメチルテレフタル酸	27	9
ステアリン酸カドミウム	<63	12
ステアリン酸カルシウム	<63	12
ステアリン酸バリウム	<63	13
ナフタレン酸 (無水)	16	12
2-ナフトール	<30	9
パラホルムアルデヒド	23	6
ビストリメチル尿素	65	9
ビズフェノール A	34	9
フェロセン	95	7
ペンタエリスリトール	<10	11
メチルセルロース	70	10
ラウリン酸カドミウム	<63	14
金属合金		
アルミニウム	22	5
カルシウム/アルミニウム合金	22	6
フェロシリコン合金	21	12
フェロシリコンマグネシウム合金	17	7
マグネシウム合金	21	3
その他の無機物		
すす	<10	12
すす	13	12
すす	16	12
その他		
ベントナイト誘導体	43	12

G.5 液体の電気特性

- (1) 主要な文献は [2, 34] である。
- (2) * で示した絶縁性液体でデータがないものが含まれているが、それらは絶縁性液体の範ちゅうに入ることを示す。

表 G.6: 液体の導電率・比誘電率・緩和時間 [2, 26, 34, 50-52, 55, 56]

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
導電性液体 ($> 10^4$ pS/m)			
アクリル酸エチル	3.35×10^5		
アクリロニトリル	7×10^5	38	4.8×10^{-4}
アクロレイン	1.55×10^7		

次ページに続く

液体の導電率・比誘電率・緩和時間 前ページの続き

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
アセトアミド	8.8×10^7	59	5.9×10^{-6}
アセトアルデヒド (15°C)	1.7×10^8	21.1	1.1×10^{-6}
アセトニトリル (20°C)	7×10^8	37.5	5×10^{-7}
アセトフェノン (25°C)	3.1×10^5	17.39	5.0×10^{-4}
アセトン (25°C)	6×10^6	20.7	3×10^{-5}
アセト酢酸エチル (25°C)	4×10^6	15.7	3.5×10^{-5}
アニリン (25°C)	2.4×10^6	6.89	2.5×10^{-5}
アミノエチルエタノールアミン	$> 1 \times 10^6$		
アミノエチルピペラジン	2.4×10^5		
アリルアルコール	7×10^8		
安息香酸 (125°C)	3×10^5		
安息香酸エチル (25°C)	$< 1 \times 10^5$	6.02	$> 5.3 \times 10^{-4}$
安息香酸ベンジル (25°C)	$< 1 \times 10^5$	4.9	
安息香酸メチル (20°C)	1.37×10^9	6.63	
アントラセン (230°C)	3×10^4		
アンモニア (-79°C)	1.3×10^7		
イソアミルアルコール	1.4×10^5	14.7	9.3×10^{-4}
イソチオシアン酸フェニル (25°C)	1.4×10^8		
イソプロピルアルコール (25°C)	3.5×10^8	19.92	5×10^{-7}
エタノールアミン	1.1×10^9	37.72	3.0×10^{-7}
エチルイソチオシアネート (25°C)	1.26×10^7		
エチルアミン (0°C)	4×10^7		
エチルアルコール (25°C)	1.35×10^5	24.55	1.6×10^{-3}
エチルプロピオネート	8.33×10^{10}	5.65	6×10^{-10}
エチレンイミン	8×10^8	18.3	2.0×10^{-7}
エチレンオキシド	4×10^6	12.7	2.8×10^{-5}
エチレングリコール	1.16×10^8	37.7	2.9×10^{-6}
エチレングリコールモノエチルエーテル	9.3×10^6	29.6	2.8×10^{-5}
エチレングリコールモノブチルエーテル	4.32×10^7	9.3	1.9×10^{-6}
エチレングリコールモノメチルエーテル	1.09×10^8	16.93	1.4×10^{-6}
エチレンジアミン	9×10^6	12.9	1.3×10^{-5}
エピクロロヒドリン (25°C)	3.4×10^6	22.6	5.9×10^{-5}
塩化アセチル (25°C)	4×10^7		
塩化エチル	$< 3 \times 10^5$	9.45	$> 2.8 \times 10^{-4}$
塩化スルフォニル (25°C)	2×10^8		
iso-塩化ブチル	1×10^4	6.49	5.7×10^{-3}
sec-塩化ブチル	1×10^4	7.09	6.3×10^{-3}
塩化水素 (-96°C)	1×10^6		
オイゲノール (25°C)	$< 1.7 \times 10^6$		
オキシ塩化リン (25°C)	2.2×10^8		
オクチルアルコール (1-オクタノール)	1.39×10^7	10.34	6.9×10^{-6}
カプロニトリル (25°C)	3.7×10^8		
キノリン (25°C)	2.2×10^6	9.00	3.6×10^{-5}
ギ酸 (25°C)	6.4×10^9	58.5	8.1×10^{-8}
ギ酸エチル	1.45×10^5	7.16	4.4×10^{-4}
ギ酸プロピル	5.5×10^9	7.72	1.54×10^{-8}
ギ酸メチル	1.92×10^8	8.5	3.9×10^{-7}
グアイアコール (25°C)	2.8×10^7		
グリセロール (25°C)	6.4×10^6	42.5	5.9×10^{-5}
m-クレゾール	1.397×10^6	11.8	7.5×10^{-5}
o-クレゾール	1.27×10^5	11.5	8.0×10^{-4}
p-クレゾール	1.378×10^6	9.91	6.4×10^{-5}
m-クロロアニリン (25°C)	5×10^6		
クロロヒドリン (25°C)	5×10^7		
酢酸 (0°C)	5×10^5	6.15	1.1×10^{-4}

次ページに続く

液体の導電率・比誘電率・緩和時間 前ページの続き

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
酢酸 (25°C)	1.12×10^6	6.15	4.9×10^{-5}
酢酸 n-プロピル (23°C)	1.12×10^4		
酢酸イソプロピル (4°C)	1.3×10^4		
酢酸イソプロピル (23°C)	6.5×10^4		
酢酸エチル (23°C)	4.6×10^4	6.02	1.16×10^{-3}
酢酸エチル (4°C)	2.9×10^4	6.02	1.84×10^{-3}
酢酸ビニル (23°C)	2.6×10^4		
酢酸ビニル (4°C)	2.0×10^4		
酢酸メチル (25°C)	3.4×10^8	6.68	1.7×10^{-7}
サクシニトリル	5.64×10^{10}	56.5	8.9×10^{-9}
サリチルアルデヒド	1.6×10^7	13.9	7.5×10^{-6}
三塩化砒素 (25°C)	1.2×10^8		
三臭化砒素 (25°C)	1.5×10^8		
シアン化ベンジル	$< 5 \times 10^6$	18.7	$> 3.3 \times 10^{-5}$
シアン化水素 (0°C)	3.3×10^8		
シアン酢酸エチル	6.9×10^7	26.7	3.4×10^{-6}
シアン酢酸メチル	4.49×10^7	29.30	5.8×10^{-6}
ジエタノールアミン (20°C)	4.6×10^7		
ジエチルアミン (-33.5°C)	2.2×10^5		
ジエチル炭酸塩 (25°C)	1.7×10^6	2.82	1.5×10^{-5}
ジエチルケトン	5.2×10^7		
ジエチレングリコール	5.86×10^7	31.69	4.8×10^{-6}
ジエチレントリアミン	$> 1 \times 10^6$		
シクロヘキサノン	5×10^5		
ジクロロエタン	2.0×10^5	10.0	4.4×10^{-4}
cis-ジクロロエチレン	8.5×10^5	9.20	9.6×10^{-5}
ジクロロヒドリン (25°C)	1.2×10^9		
ジクロロ酢酸	7×10^6		
ジフェニル オキサイド	$< 1.7 \times 10^6$	4.22	$> 2.2 \times 10^{-5}$
ジフェノール (液体:120°C 以上)	$> 1 \times 10^4$		
ジメチルアセトアミド	1.1×10^7		
ジメチルスルホキシド	2×10^5	46.68	2.1×10^{-3}
ジメチルホルムアミド	6×10^6	36.71	5.4×10^{-5}
シメン (25°C)	$< 2 \times 10^6$		
臭化アセチル (25°C)	2.4×10^8		
臭化エチル (25°C)	$< 2 \times 10^6$	9.39	$> 4.2 \times 10^{-5}$
臭化水素 (-80°C)	8×10^5		
硝酸エチル (25°C)	5.3×10^7		
硝酸メチル (25°C)	4.5×10^8		
シュウ酸エチル	7.12×10^7	1.8	2.2×10^{-7}
シュウ酸ジエチル (25°C)	7.6×10^7		
水銀 (0°C)	1.063×10^{18}		
スルホラン (テトラメチレンスルホン)	$< 2 \times 10^6$	43.3	$> 1.9 \times 10^{-4}$
炭酸エチレン	$< 1 \times 10^7$	89.6	$> 7.9 \times 10^{-5}$
チオシアン酸エチル (25°C)	1.2×10^8		
チオシアン酸メチル (25°C)	1.5×10^8		
テトラエチレンペンタミン	$> 1 \times 10^6$		
1,1,2,2-テトラクロロエタン (20°C)	4.5×10^5	8.0	
テトラクロロエチレン (25°C)	5.55×10^{10}	2.30	
テトラヒドロフラン	3.3×10^5		
テトラメチル尿素	$< 6 \times 10^6$	23.06	$> 3.44 \times 10^{-5}$
トリエタノールアミン	2.2×10^7		
トリエチレングリコール	8.4×10^6	23.69	2.54×10^{-5}
トリエチレントトラミン	$> 1 \times 10^6$		
1,1,1-トリクロロエタン	7.3×10^5	7.53	9.1×10^{-5}

次ページに続く

液体の導電率・比誘電率・緩和時間 前ページの続き

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
トリクロロ酢酸 (25°C)	3×10^5		
トリメチルアミン (-33.5°C)	2.2×10^4		
<i>m</i> -トルイジン	5.5×10^4	9.91	1.64×10^{-3}
<i>p</i> -トルイジン (100°C)	6.2×10^6	4.98	7.1×10^{-6}
<i>o</i> -トルイジン	3.79×10^7	6.34	1.54×10^{-6}
ナフタレン (82°C)	4×10^4		
ニトロエタン	5×10^7	28.06	5.0×10^{-6}
<i>o</i> - or <i>m</i> - ニトロトルエン (25°C)	$< 2 \times 10^7$		
1-ニトロプロパン	3.3×10^7	23.24	6.2×10^{-6}
2-ニトロプロパン	5×10^7	25.52	4.5×10^{-6}
ニトロベンゼン (0°C)	5×10^5	34.82	6.2×10^{-4}
ニトロメタン (18°C)	6×10^7	35.87	5.3×10^{-6}
乳酸エチル	1.0×10^8	13.1	1.2×10^{-6}
ビニルトリクロロシラン	5×10^4		
ピネン (23°C)	$< 2 \times 10^4$		
ピペリジン (25°C)	$< 2 \times 10^7$		
ピリジン (18°C)	5.3×10^6	12.4	2.1×10^{-5}
フェネトール (25°C)	$< 1.7 \times 10^6$		
フェノール	1×10^6	9.78	8.7×10^{-5}
フタル酸ジブチル	1.8×10^5	6.436	3.2×10^{-4}
<i>iso</i> -ブチルアルコール	9.12×10^5	17.51	1.7×10^{-4}
<i>n</i> -ブチルアルコール (23°C)	2.0×10^7		
<i>sec</i> -ブチルアルコール	$< 1 \times 10^7$	16.56	$> 1.5 \times 10^{-5}$
<i>t</i> -ブチルアルコール	2.66×10^6	27.47	4.2×10^{-5}
ブチルカルビトール	$> 1 \times 10^6$		
フルフラール (25°C)	1.5×10^8		
プロパンニトリル	8.51×10^6	27.2	2.8×10^{-5}
プロピオンアルデヒド (25°C)	8.5×10^7	18.5	1.9×10^{-6}
<i>n</i> -プロピルアルコール (25°C)	2×10^6	20.33	9×10^{-5}
プロピルプロパゾール	$> 1 \times 10^6$		
プロモホルム	$< 2 \times 10^6$	4.39	$> 1.9 \times 10^{-5}$
ベンザルデヒド (25°C)	1.5×10^7		
ベンジルアミン (25°C)	$< 1.7 \times 10^6$		
ベンジルアルコール (25°C)	1.8×10^8		
ベンゾニトリル (25°C)	5×10^6	25.2	4.5×10^{-5}
2,4-ペンタンジオン (アセチルアセトン)	8.82×10^8		
ホスゲン (25°C)	7×10^5		
ポリアルキレンオキシド (Y-6132)	$> 1 \times 10^7$		
ポリアルキレンオキシド (Y-6854)	5.4×10^5		
ホルムアミド (25°C)	4×10^8	111.0	2×10^{-6}
水 (air distilled)	約 1×10^9	80.4	7.1×10^{-7}
水 (超純水)	4.3×10^6	80.4	1.7×10^{-4}
無水酢酸 (25°C)	4.8×10^7		
<i>n</i> -メチル-2-ピロリドン	2×10^6	32.0	1.4×10^{-4}
メチルアセトアミド	2×10^7	191.3	8.5×10^{-5}
メチルアルコール (18°C)	4.4×10^7	32.70	6.6×10^{-6}
メチルイソブチルケトン	$< 5.2 \times 10^6$	13.11	$> 2.2 \times 10^{-5}$
メチルエチルケトン (25°C)	1×10^7	18.51	1.6×10^{-5}
メチルホルムアミド	8×10^7	182.4	2.0×10^{-5}
メトキシトリグリコール	$> 1 \times 10^6$		
モノエタノールアミン (20°C)	1.2×10^9		
ヨウ化メチル (25°C)	$< 2 \times 10^6$		
ヨウ化水素 (@ B.P.)	2×10^7		
ヨウ素 (110°C)	1.3×10^4		
硫酸 (25°C)	1×10^{12}		

次ページに続く

液体の導電率・比誘電率・緩和時間 前ページの続き

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
硫酸ジエチル (25°C)	2.6×10^7		
硫酸ジメチル (0°C)	1.6×10^7		
リン (25°C)	4×10^8		
半導電性液体 (1000~10000 pS/m)			
ビフェニル (liquid @ 69~120°C)	2500~10000		
硫黄 (130°C)	5000		
2-エチルヘキシルアルコール	7900		
塩化メチレン	4300	8.93	0.018
クロロベンゼン	7000	5.621	0.0071
クロロホルム	< 10000	4.806	> 0.0043
酢酸 <i>n</i> -ブチル (23°C)	4700	5	0.0094
酢酸 <i>n</i> -ブチル (4°C)	2170	5	0.020
酢酸 <i>n</i> -プロピル (4°C)	8460	8.1	0.0085
酢酸イソブチル (23°C)	4320	5.3	0.011
酢酸イソブチル (4°C)	2650	5.3	0.018
1-酢酸ベンチル (-アミル) (23°C)	2160	4.75	0.020
1-酢酸ベンチル (-アミル) (4°C)	1250	4.75	0.034
酢酸ベンチル (23°C)	3400		
ジクロロエチレン	4000	10.36	0.022
<i>o</i> -ジクロロベンゼン	3000	9.93	0.0029
ジフチルセバケート	1700	4.54	0.024
二臭化エチレン	< 10000	4.78	> 0.0042
ビニルトリメトキシシラン (<2% CH ₃ OH)	5900		
ブチルアクリレート	3580		
<i>n</i> -ブチルプロピオネート (24°C)	2300		
プロピオン酸 (25°C)	8500	3.44	0.0036
1-プロモナフタレン	3660	4.83	0.011
プロモベンゼン	1200	5.4	0.040
半導電性液体 (100-1000 pS/m)			
アミン (脂肪族アミン)	470		
アクリル酸 2-エチルヘキシル	610		
イソプロピルエーテル	500		
硫黄 (115°C)	100		
ガソリン (有鉛)	約 100	2.3	約 0.41
1,2,4-トリクロロベンゼン	200	4.08	0.18
硫化水素	1000		
絶縁性液体 (< 100 pS/m)			
アニソール (メチルフェニルエーテル)	10	4.33	3.8
エチルベンゼン	30	2.3	0.68
塩素 (-70°C)	< 0.01		
ガソリン (straight run)	約 0.1	約 2	約 100
ガソリン (無鉛)	< 50		
カプリル酸 (オクタン酸)	< 37	2.45	> 0.58
キシレン	0.1	2.38	約 100
<i>iso</i> -吉草酸	< 40	2.64	> 0.58
三塩化シラン			
ジエチルエーテル	30	4.6	1.4
ジェット燃料 (A, A-1)	0.01~50	2.2	0.39~100
ジェット燃料 (B)	0.01~50	2.2	0.39~100
四塩化珪素 (シリコンテトラクロライド)			
四塩化炭素 (カーボンテトラクロライド)	4×10^{-4}	2.238	約 100
1,4-ジオキサソ (ジエチレンジオキサソイト)	0.1	2.2	約 100
シクロヘキサソ	< 2	2.0	> 8.8
ジクロロシラン *			
臭素 (17.2°C)	13		

次ページに続く

液体の導電率・比誘電率・緩和時間 前ページの続き

液体	導電率 (pS/m)	比誘電率	緩和時間 (s)
スチレンモノマー	10	2.43	2.2
ステアリン酸 (80°C)	< 40		
ステアリン酸ブチル	21	3.111	1.3
ターペンタイン	22		
ディーゼルオイル 軽油 (purified)	約 0.1	約 2	約 100
デカリン	6	2.18	3.2
灯油	1~50	2.2	0.39~19
トルエン	< 1	2.38	約 100
ナフサ		約 2	約 100
二硫化炭素 (1°C)	7.8×10^{-4}	2.6	約 100
ビフェニル (固体: 69°C 以下)	0.17		
t-ブチルメチルエーテル (MTBE)*			
ヘキサメチルジシラザン	29		
ヘキサン (purified)	1×10^{-5}	1.9	約 100
ヘプタン (purified)	3×10^{-2}	2.0	約 100
ベンゼン (purified)	5×10^{-3}	2.3	約 100
ペンタクロロエタン	< 100	3.83	> 0.3
ペンタクロロジフェニル	0.8	5.06	約 100
メチルメタクリレート *			

G.6 固体絶縁物の電気特性

- (1) 主要な文献は [2, 55, 56] である。
- (2) 絶縁破壊電界は沿面放電 (3.4.8 参照) を防止する材料を選定する際に有用である。

表 G.7: 固体絶縁物の抵抗率・比誘電率・絶縁破壊電界 [2, 26, 50-52, 55-57]

固体	抵抗率 ($\Omega \cdot m$)	比誘電率	絶縁破壊電界 (kV/mm)
セラミックス			
窒化アルミニウム AlN	$2 \times 10^9 \sim 10^{11}$		
窒化ホウ素 BN	1.7×10^{11}	3.5~4.0	30~40
アルミナ Al ₂ O ₃	$> 10^{13}$	9	13.4
ベリリア BeO	$> 10^{15}$	6.5~7.5	13.8
酸化マグネシウム MgO	1.3×10^{13}		
コーダイエライト 2MgO 2Al ₂ O ₃ 5SiO ₂	$> 10^{12}$	5~5.5	7~10
ステアタイト MgO SiO ₂	$> 10^{12}$	約 6	8~16
フォルステライト	$> 10^{12}$	6~7	9.1~15.4
ガラスほか			
ソーダ石灰ガラス SiO ₂ Na ₂ O CaO MgO	$> 10^9$	6~8	5~20
鉛ガラス SiO ₂ Na ₂ O K ₂ O PbO CaO MgO	$> 10^{11}$	6~9	5~20
ホウ珪酸ガラス SiO ₂ B ₂ O ₃ Na ₂ O K ₂ O	$> 10^{12}$	4.5~5	20~35
石英 SiO ₂	$> 10^{17}$	3.8~4.1	470~670
マイカ	$10^{11} \sim 10^{13}$	5~8	80~120
ゴム			
天然ゴム	$10^8 \sim 10^{13}$	3~4	20~30
SBR	$10^{12} \sim 10^{13}$	2	20~40
ブチルゴム	$10^{13} \sim 10^{16}$	2~3	20~30
クロロブチルゴム	$10^8 \sim 10^{10}$	6~10	10~20
ニトリルゴム	$10^8 \sim 10^9$	20	20
シリコーンゴム	$10^9 \sim 10^{14}$	3~4	20~30

次ページに続く

固体絶縁物の抵抗率・比誘電率・絶縁破壊電界 前ページの続き

固体	抵抗率 ($\Omega \cdot m$)	比誘電率	絶縁破壊電界 (kV/mm)
フッ素ゴム	$10^8 \sim 10^{12}$	2~3	10~30
エチレンプロピレンゴム	$10^{13} \sim 10^{14}$	3~4	30~60
ポリマー			
アクリル	$> 10^{13}$	3.5~4.5	16~21
アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン (ABS) 樹脂	$1 \sim 5 \times 10^{13}$	2.5~3.5	12~17
アルキド	$10^{12} \sim 10^{13}$	5.2~7.4	
エポキシ	$10^{10} \sim 10^{12}$	4.0~5.7	13
酢酸セルロース	$10^8 \sim 10^{11}$	3.5~7.5	10~14
酢酸酪酸セルロース	$10^9 \sim 10^{12}$	3.5~6.4	10~16
酢酸プロピオン酸セルロース	$10^9 \sim 10^{12}$	3.7~4.0	12~18
サーマセット カーボネート	4×10^{12}	4.4	8~17
フェノール樹脂	$10^7 \sim 10^{11}$	4~7	10~16
フェニレンオキシド	$10^{14} \sim 10^{15}$	2.7	16~20
フッ化エチレンプロピレン FEP	$> 2 \times 10^{16}$	2.1	83
フッ化ビニリデン PVDF	5×10^{12}	10	10
ポリアセタール	$10^{12} \sim 10^{13}$	3.7	20
ポリアミド樹脂: 6 ナイロン	$10^{11} \sim 10^{13}$	4.0~5.3	15
ポリアミド樹脂: 6/6 ナイロン	$10^{12} \sim 10^{13}$	4	15
ポリイミド	$10^8 \sim 10^{15}$	4.1	12
ポリエステル	$10^8 \sim 10^{15}$	3.1~3.3	12~21
ポリエチレン PE	$10^{13} \sim 10^{17}$	2.3	39
ポリ塩化ビニリデン	$10^{12} \sim 10^{14}$	3~5	16
ポリ塩化ビニル PVC	$10^{13} \sim 10^{14}$	3.08	16
ポリオレフィン: エチレン・アクリル酸エチル EEA	2.4×10^{13}	2.8	22
ポリオレフィン: エチレン・酸化ビニル EVA	1.5×10^{12}	3.16	22
ポリオレフィン: アイオノマー	10^{14}	2.4	39
ポリオレフィン: ポリアロマー	$> 10^{14}$	2.3	20~26
ポリカーボネート	$10^{13} \sim 10^{14}$	3.17	16
ポリスチレン PS	$> 10^{16}$	2.45~2.65	20~28
ポリフェニレンサルファイド PPS	10^{14}	3.17	18~23
ポリプロピレン PP	$10^{14} \sim 10^{15}$	2.2~2.3	18~26
ポリメタクリル酸メチル	$> 10^{12}$	3.5~4.5	15
ポリ三フッ化塩化エチレン PTFCE	10^{16}	2.3~2.7	21~24
ポリ四フッ化エチレン PTFE	$> 10^{16}$	2.1	40~80
メラミン	$10^{10} \sim 10^{11}$	7.9~11	12~16
ユリア (尿素)	$10^8 \sim 10^9$	7~9	12~16

G.7 データベース

次の公開データベースは有用である。

- (1) 国際化学物質安全性カード, 国立医薬品食品衛生研究所が日本語版公開:
<http://www.nihs.go.jp/ICSC/>
- (2) ドイツ同業者労災保険組合付属労働安全衛生研究所, 粉じんの着火性・燃焼性データベース:
<http://www.hvbg.de/e/bia/fac/expl/index.html>
- (3) 国立環境研究所化学物質データベース: <http://w-chemdb.nies.go.jp/>
- (4) 神奈川県化学物質安全情報提供システム kis-net:
<http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/kisnet/index.htm>

- (5) 中央労働災害防止協会安全衛生情報センター化学物質情報:
http://www.jaish.gr.jp/user/anzen/kag/kag_main01.html
- (6) Vermont SIRI Material Safety Data Sheet (MSDS): <http://hazard.com/msds/>
- (7) 石油化学工業協会製品安全データシート: <http://www.jpca.or.jp/61.f.htm>

付録H 用語集

イオン 電離した原子または分子をいう、あるいは電子が付着した原子または分子をいう。1個以上の電子を失ったり得たりすることによって電荷を得たもの。電離によって生じた正イオン、電子が付着した負イオンのほかに液体中の不純物がイオン解離して生じたイオンがある。

イオン化 中性の原子・分子が電子を失ったり、得たりすること。気体中の電子衝突による電離のほか、溶液中の電解質のイオン解離による電離（イオン化）がある。

液体 結晶状態と気体状態の間にある物質の状態。この指針では液体および液体中に気泡、粉体など微細粒子が混合・分散しているコロイド、エマルジョン、ゾルなど液状物を総称していう。

沿面放電 帯電物体表面の電荷密度が非常に大きくなったとき、その表面に沿って発生する静電気放電をいう。

攪拌帯電 液体が攪拌されるときに起こる帯電をいう。

加湿 不導体の帯電防止のため、雰囲気相対湿度を増加させることをいう。

過剰電荷 物体全体でまたは局部的に、正または負の電荷のどちらか一方が他方よりも過剰となった状態の電荷をいう。

加水 不導体の帯電防止のため、不導体に水を添加することをいう。

ガス・蒸気 → 可燃性ガス・蒸気

ガス・蒸気危険場所 可燃性ガス・蒸気の着火危険性がある場所をいう。

可燃性ガス・蒸気 可燃性ガスおよび可燃性液体蒸気を総称していう。

可燃性混合物 可燃性物質と支燃性ガス（空気、酸素など）が混合され、爆発限界濃度範囲にあるものをいう。

可燃性物質 可燃性ガス、可燃性液体および可燃性粉体を総称していう。

可燃性粉体、粉じん 飛散して空気中に浮遊したり、施設、設備などの壁面・床面などに付着・堆積している状態の可燃性粉体をいう。

管理酸素濃度 不活性ガスによる置換・シールによって爆発性雰囲気形成防止する対策において、限界酸素濃度に基づいた管理水準となる酸素濃度をいう。

気体 この指針では、気体（ガス）、液体蒸気、および気体中に少量の液滴・固体粒子等を含むものを総称していう。

空間電荷雲 → 帯電雲

空気 地球を包む大気を構成する各種気体の混合物。分子量は28.98。成分（体積比）は窒素（78.08%）、酸素（20.95%）、アルゴン（0.93%）、二酸化炭素（0.038%）、ネオン（0.0018%）、ヘリウム（0.0005%）、クリプトン（0.0001%）、水素（0.00005%）、キセノン（ 8.7×10^{-6} %）であり、水蒸気が環境によって0~6%の範囲で含まれる。

ゲージウエル 可燃性液体貯蔵タンクの天井面から底面近くまで垂直に達するように設けられた、試料採取・検尺などに用いる金属製管の設備をいう。

限界酸素濃度 可燃性物質の燃焼を継続させるために必要な最低の酸素濃度をいう。

固体 粉体・火薬類を除く一般の固体，および成型されたゴム・プラスチック・ガラスなどを総称していう。

コロナ放電 不平等電界によって尖鋭な放電電極の近傍のみが電離する局所的な静電気放電をいう。

混合帯電 異種液体および液体と粉体とが混合されるときに起こる帯電をいう。

最小着火エネルギー 一般に空気または酸素と可燃性物質との混合物が着火するために必要とする最小のエネルギーをいう。

自己放電 帯電物体自体の持つ静電エネルギーによって、これに近接した導電性繊維などから起こる放電をいう。

自己放電式除電器 導電性繊維などに生じる自己放電によって帯電物体の除電を行う無電源型の除電器をいう。

遮へい → 静電遮へい

遮へい導体 静電遮へいのために用いる接地導体をいう。

衝突帯電 粉体のような粒子同士，または粒子と器壁などが衝突するときにかかる帯電をいう。

除電器 帯電物体近くの空気などを電離することによって、電荷中和により帯電電荷を除去（除電）する装置をいう。

スイッチローディング 揮発性の高い可燃性液体蒸気の存在するタンクなどに、揮発性の低い液体を充填する方法をいう。

スタティックマーク 沿面放電の結果、物体の表面に生じる樹枝状の放電痕跡をいう。

スプラッシュローディング タンクなど上部の開口部から落とし込みにより液体を充填する方法をいう。

静置時間 可燃性液体などの帯電量を自然緩和させるため、充填終了後、試料採取作業などを開始する前に帯電物体を静置する時間をいう。

静電界 → 電界

静電気 接触分離，破壊，静電誘導などに伴う電荷移動と分離によって、物体全体または局部的に現れる過剰電荷をいう。

静電気対策 静電気による爆発・火災および二次的災害を防止するために実施する広い意味の対策を総称していう。

静電気緩和 → 電荷緩和

静電気災害 静電気が原因となって発生する産業上の事故，災害を総称している。

静電気対策 静電気発生防止，帯電防止，放電防止，放電による着火防止など，静電気に直接関係する安全対策を総称している。

静電気による爆発・火災 静電気放電が着火源となって可燃性混合物が燃焼を開始し，火炎が伝播することによって起こる爆発または火災をいう。

静電気放電 帯電物体に起因する電界の強さが媒質の絶縁破壊電界強度に達したときに起こる電離現象をいう。一般に空気が絶縁破壊する気体放電である。

静電気上の導体 → 導体

静電気上の不導体 → 不導体

静電気帯電 発生した静電気が物体に蓄積する現象をいう。

静電靴 → 帯電防止靴

静電遮へい 静電気作用を閉じ込めたり，緩和するため帯電物体の全体または一部を接地導体で取り囲んだり，覆うことをいう。

静電誘導 帯電物体の近くに導体があるとき，帯電した物体電荷の静電界の作用によってこの導体の表面上の電荷が分離する現象をいう。

接触・分離 二つの物体が接触した後，分離することをいう。

接地 この指針で，主として導体の帯電防止のため，帯電物体と大地間を接地線などを用いて電気的に接続することで，一般に接地されたと等価な状態にすることを含めていう。

接地抵抗 接地導体と大地間の電気抵抗をいう。ただし，厳密には大地に埋設された接地極・金属構造物などと大地間の電気抵抗をいう。

接地導体 接地されている，またはボンディングされている導体をいう。

絶縁物 導電性が非常に低く，電気的な絶縁のために使用される不導体をいう。

帯電 → 静電気帯電

帯電雲 空気中に浮遊する多量の微細な帯電粒子（ミスト，ヒューム，液滴，粉じんなど）によって，空間に形成される雲状の電荷群をいう。

帯電性 抵抗率によってほぼ定まる，物体の帯電しやすさの度合い，または帯電しやすい状態をいう。

帯電性物体 抵抗率または漏洩抵抗が高く帯電性が高い物体（導体，不導体）をいう。

帯電物体 静電気帯電が起きている物体をいう。

帯電防止靴 作業者の帯電防止のため，導電性ゴム・プラスチック材料によって靴底の電気抵抗が低められた靴・作業靴をいう。帯電防止作業靴あるいは静電靴と呼ばれることもある。

帯電防止剤 不導体を帯電防止するため不導体に塗布または添加される、主として界面活性剤を主成分とする薬剤をいう。

帯電防止作業服 導電性繊維を使用して帯電防止処理・加工された作業服をいう。

帯電防止作業床 帯電防止張り床，帯電防止塗り床，帯電防止マット，帯電防止カーペットなど。作業者などの帯電防止のための施工・加工などがなされた作業床をいう。

帯電防止処理・加工 不導体の帯電防止のために導電性材料を使用して施される処理または加工をいう。

帯電防止用の作業床 作業者などの帯電防止のために使用される作業床をいう。

帯電防止用品 不導体に帯電防止処理・加工が施された製品・材料をいう。

帯電列 摩擦帯電または接触帯電において，帯電量および帯電極性に関して物体間に存在する序列をいう。

着火 静電気放電などが着火源となって可燃性物質が燃焼を開始することをいう。

着火危険性 静電気放電などが着火源となる着火の起こりやすさの度合い，または着火が起こりやすい状態をいう。

沈降帯電 液体の流動によってタンク内などの液体中に分散した粒子が，流動停止後比重差によって沈降するときに起こる帯電をいう。

ディップパイプ（ドロップパイプ） タンクなどの上部から可燃性液体を充填する際に液体の飛散防止のために使用する，底面近くまで達する垂直パイプをいう。

滴下帯電 液体が液滴となって空気中に放出されるときに起こる帯電をいう。

電界（静電界） 帯電物体が媒質に及ぼす静電気的作用，またはその大きさをいう。

電荷緩和 物体に発生・帯電した静電気が放電または電気伝導によって物体から失われる現象をいう。

電荷緩和時間 帯電物体の静電気緩和が指数関数的に起こる場合の緩和時定数。初期値の $1/e$ (36.8%)に達するまでの時間をいう。

電荷中和 発生した静電気（帯電電荷）が，反極性の電荷（イオン）と再結合して，中和されることをいう。

電撃 静電気放電に起因して人が受ける電氣的ショックをいう。

電離 中性の原子や分子が電子を失うことをいう。気体中の電子衝突などによる電離がこれに当たる。これにより，原子，分子は失った電子の個数分の正の電荷を帯びる。

凍結帯電 水などが凍結し，破壊するときに起こる帯電をいう。

導体 静電気上の導体。静電氣的に等電位になるとみなされる物体をいう。金属，導電性物質・材料でできた物体および人は導体である。

導電化 帯電防止のために不導体の導電性を高めることをいう。

導電性 導電率によってほぼ定まる、物体の電氣的導通のしやすさの度合い、または静電氣的導通のよい状態をいう。

導電性材料 導電性ゴム、導電性プラスチック、導電性繊維などの導電性物質により導電性が高められた材料をいう。

導電性物質 一般に、導電性の物質をいう。また、導電性材料を作るために不導体に添加される金属粉・カーボンブラックなど導体物質をいうこともある。

導電性繊維 カーボンブラックまたは金属物質を添加・混入する処理・加工が施され、導電性が高められた合成繊維をいう。一般に金属繊維を含めて導電性の高い繊維を総称していう。

爆発限界濃度、爆発限界 可燃性物質と空気などとの混合物が外部からの着火源によって爆発（燃焼）を起こし得る混合濃度の限界をいう。

爆発性雰囲気 可燃性物質の濃度が爆発限界範囲にある雰囲気をいう。

剥離帯電 密着している物体が剥がれるときに起こる帯電をいう。

火花放電 帯電物体と接地導体の形状がともに比較的平滑なときに、破壊音と一条の発光を伴って発生する静電気放電をいう。

飛沫帯電 空間に噴出した液体が飛散して微細液滴になるときに起こる帯電をいう。噴霧・噴出帯電と同じ。

ファラデーケージ 帯電物体の電荷量を静電誘導現象を利用して測定する際に用いられる、絶縁された導体容器をいう。

不活性ガス 希釈効果によって可燃性物質の燃焼を抑制する不燃性ガスを総称していう。

不活性ガスによる置換・シール 希釈効果によって爆発性雰囲気形成防止のため実施される、可燃性物質などと不活性ガスとの置換、および可燃性物質などの不活性ガスによるシール（閉じ込め）を総称していう。

浮上帯電 液体の流動によってタンクなど容器内の液体中に分散した粒子が、流動停止後比重差によって浮上するときに起こる帯電をいう。

不導体 静電気上の不導体。静電氣的にその表面で等電位にならないとみなされる物体をいう。

ブラシ放電 不平等電界によって曲率半径の比較的小さい放電部分から樹枝状の発光（電離）が進展する局所的な静電気放電をいう。

粉碎帯電 物体が粉碎するときに起こる帯電をいう。

粉じん → 可燃性粉じん

粉じん雲 空間（一般に空気中）に浮遊して雲状に拡がった状態の粉じん群をいう。

粉じん危険場所 可燃性粉じんの着火危険性がある場所をいう。

粉体 火薬類を除く一般の粉体。粉じんおよび粒体を総称していう。

噴霧・噴出帯電 加圧された液体・気体などがノズル，亀裂などから噴出するときに起こる帯電をいう。

放電 → 静電気放電

放電エネルギー 静電気放電に伴って放電空間などで消費される，帯電物体の静電気エネルギーをいう。

ボンディング 1つあるいは複数の導体を導線などを用いて接地された導体と電氣的に接続し，結果的に接地することをいう。

摩擦帯電 二つの物体が摩擦するときに起こる帯電をいう。

ミスト 気体媒質に分散した微小液滴群をいう。

誘導帯電 静電誘導によって，絶縁された導体が帯電したのと等価になることをいう。

誘導電位 静電誘導によって，絶縁された導体に誘起される電位をいう。

雷状放電 大規模な空間電荷雲中で，稲妻状の発光を伴って発生するとされる静電気放電をいう。

流動帯電 流体（一般に液体）が流動するときに起こる帯電をいう。

漏洩抵抗 物体（主として導体）と大地間の電気抵抗をいう。

参考文献

- [1] N. Gibson and F. C. Lloyd. Incendivity of discharges from electrostatically charged plastics. *Brit. J. Appl. Phys.*, Vol. 16, pp. 1619–1631, 1965.
- [2] L.G. Britton. *Avoiding static ignition hazards in chemical operations*. American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999.
- [3] IEC. *IEC 60079 series of standards, Electrical apparatus for explosive gas atmospheres*, 2002.
- [4] CENELEC. *PD CLC/TR 50404: Electrostatics – Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity*, 2003.
- [5] 産業安全研究所. 産業安全研究所技術指針, 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆 2006), 2006.
- [6] G. Lüttgens and N. Wilson. *Electrostatic Hazards*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997.
- [7] BSI. *BS 5958 Code of practice for control of undesirable static electricity. Part 2. Recommendations for particular industrial situations*, 1991.
- [8] N. Gibson. Electrostatic hazards in filter, filtration and separation. *Filtration and separation*, Vol. 16, pp. 382–386, 1979.
- [9] M. Glor. *Electrostatic Hazards in Powder Handling*. Research studies press, Letchworth, 1988.
- [10] P. Tolson. Assessing the safety of electrically powered static eliminators for use in flammable atmosphere. *J. Electrostat.*, Vol. 22, pp. 57–69, 1981.
- [11] K.G. Lövstrand. The ignition power of brush discharges – experimental work on the critical charge density. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 161–168, 1981.
- [12] T. B. Jones and J. L. King. *Powder Handling and Electrostatics: Understanding and Preventing Hazards*. Lewis Publishers, New York, 1991.
- [13] B. Maurer. Discharges due to electrostatic charging of particles in large storage silos. *J. Electrostat.*, Vol. 2, pp. 189–195, 1979.
- [14] I. Berta, I. Fodor and G. Clement. Electrostatic sparks on charged insulating surfaces. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 145–152, 1981.
- [15] BSI. *BS 5958 Code of practice for control of undesirable static electricity. Part 1. General consideration*, 1991.

- [16] J. K. Johnson. The ignition of vapour and droplets by liquid-to-metal sparks. *J. Electrostat.*, Vol. 4, pp. 53–65, 1977/78.
- [17] H. Krämer and K. Asano. Incendivity of sparks from surfaces of electrostatically charged liquid. *J. Electrostat.*, Vol. 6, pp. 361–371, 1979.
- [18] W.D. Rees. Static hazards during the top loading of road tankers with highly insulating liquids: flow rate limitation proposals to minimize risk. *J. Electrostat.*, Vol. 11, pp. 13–25, 1981.
- [19] T. Tabata and S. Masuda. Minimum potential of charged insulator to cause incendiary discharges. *IEEE Trans. Industry Applicat.*, Vol. 20, pp. 1206–1211, 1984.
- [20] B. Maurer. Hazards associated with propagating brush discharge on flexible intermediate bulk containers, compounds and coated materials. In *Inst. Phys. Conf. Ser. No. 85*, 1987.
- [21] A.R. Blythe and G.E. Carr. Characteristics propagating electrostatic discharges on dielectric films. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 321–326, 1981.
- [22] P. Tolson. High-energy discharge from plastic surfaces. *J. Electrostat.*, Vol. 22, pp. 1–10, 1991.
- [23] M. Glor. Hazards due to electrostatic charging of powders. *J. Electrostat.*, Vol. 16, pp. 175–181, 1985.
- [24] M. Glor and K. Schwenzfeuer. Occurrence of cone discharges in production silos. *J. Electrostat.*, Vol. 40&41, pp. 511–516, 1997.
- [25] P. Boschung, et al. An experimental contribution to the question of existence of lightning-like discharges in dust clouds. *J. Electrostat.*, Vol. 3, pp. 303–310, 1977.
- [26] H.L. Walmsley. The avoidance of electrostatic hazards in the petroleum industry. *J. Electrostat.*, Vol. 27, pp. 1–200, 1992.
- [27] Y.P. Raizer. *Gas discharge physics*. Springer-Verlag, 1987.
- [28] 日本工業標準調査会. JIS T8103 静電気帯電防止作業服, 2001.
- [29] 日本工業標準調査会. JIS T8118 静電気帯電防止靴, 2001.
- [30] N. Gibson and D.J. Harper. Parameters for assessing electrostatic risk from non-conductors – a discussion. *J. Electrostat.*, Vol. 21, pp. 27–36, 1988.
- [31] G. Schön. Ed. H.H. Freytag, *Hanbuch der Raumexplosionen*. Verlag Chemie, Weinheim, 1965.
- [32] N. Gibson and F. C. Lloyd. Electrification of toluene in pipeline flow. In *Inst. Phys. Conf. Ser. No. 4*, 1967.
- [33] L.G. Britton and J.A. Smith. Static hazards of drum filling. *Plant/Operations Progress*, Vol. 7, pp. 53–78, 1988.

- [34] NFPA. *NFPA 77 Recommended practice on static electricity 2000 edition*, 2000.
- [35] H. Krämer. Electrostatic charging of poorly conductive liquid systems – suspensions, emulsions and solutions - by agitating. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 89–97, 1981.
- [36] R.J. Pazda, T.B. Jones and Y. Matsubara. General theory for transient charge relaxation in a partially filled vessel. *J. Electrostat.*, Vol. 32, pp. 215–231, 1994.
- [37] L. Post, M. Glor, G. Lüttgens and B. Maurer. The avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges occurring during the spraying of liquids under high pressure. *J. Electrostat.*, Vol. 23, pp. 99–109, 1989.
- [38] T. Kodama, et al. Static charge elimination on pellets in a silo using a new nozzle-type eliminator. *J. Electrostat.*, Vol. 55, pp. 289–297, 2002.
- [39] T. Kodama, et al. A new passive-type electrostatic eliminator used in a powder storage silo. *Powder Technol.*, Vol. 135–136, pp. 209–215, 2003.
- [40] 児玉勉, 鈴木輝夫, 最上智史. 粉体用除電器によるサイロ内着火性放電の抑制. 産業安全研究所研究報告, NIIS-RR-2003, pp. 99–107, 2004.
- [41] 児玉勉, 山隈瑞樹, 鈴木輝夫, 最上智史. 空気輸送粉体用自己放電式除電器の開発. 産業安全研究所研究報告, NIIS-RR-2004, pp. 81–90, 2005.
- [42] M. Glor, G. Lüttgens, B. Maurer and L. Post. Discharges from bulked polymeric granules during the filling of silos - characterization by measurements and influencing factors. *J. Electrostat.*, Vol. 23, pp. 35–43, 1989.
- [43] M. Glor and B. Maurer. Ignition tests with discharges from bulked polymeric granules in silos (cone discharges). *J. Electrostat.*, Vol. 30, pp. 123–134, 1993.
- [44] M. Glor. Overview of the occurrence and incendivity of cone discharges with case studies from industrial practice. *J. Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 14, pp. 123–128, 2001.
- [45] A. Ohsawa. Computer simulation for assessment of electrostatic hazards in filling operations with powder. *Powder Technol.*, Vol. 135–136, pp. 216–222, 2003.
- [46] IEC. *IEC 61340-4-4 Electrostatics – Part 4-4: Standard test methods for specific applications – Electrostatic classification of flexible intermediate bulk containers (FIBC)*, 2005.
- [47] NFPA. *NFPA 69 Standard on explosion prevention systems 1997 edition*, 1997.
- [48] IEC. *IEC 61340-4-1 Electrostatics – Part 4-1: Standard test methods for specific applications – Electrical resistance of floor coverings and installed floors*, 2003.
- [49] NFPA. *NFPA 325 Fire hazard properties of flammable liquids, gases, and volatile solids, 1994 edition*, 1994.
- [50] L.G. Britton. Using material data in static hazard assessment. *Plant/Operations Progress*, Vol. 11, pp. 56–70, 1992.

-
- [51] T.H. Pratt. *Electrostatic ignitions of fires and explosions*. Burgoyne incorporated consulting scientists & engineers, Marietta, 1997.
- [52] 静電気学会編. 新版静電気ハンドブック. オーム社, 1998.
- [53] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit. *BIA (1987) Brenn- und Explosions-Kenngrößen von Stäuben*. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld, 1987.
- [54] R.K. Eckhoff. *Dust explosions in the process industries, 3rd ed.* Gulf professional publishing, 2003.
- [55] D.R. Lide (Ed.). *CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data, 2003-2004 84th ed.* CRC press, 2003.
- [56] W. Alexander J.F. Scackelford. *Materials science and engineering handbook, 3rd ed.* CRC press, 2001.
- [57] 家田正之, 高橋清, 成田賢仁, 柳原光太郎 (編集). 電気・電子材料ハンドブック. 朝倉書店, 1987.

索引

IEC, 8

LFL, 7, 75

LOC, 72

MIE, 7

IIA, 8

IIB, 8

IIC, 8

UFL, 7, 75

Zone 0, 9, 67

Zone 1, 9, 67

Zone 2, 9, 67

Zone 20, 9

Zone 21, 9

Zone 22, 9

あ

安全, 9

—教育・訓練, 81

—点検, 79

安全管理, 29, 31, 38, 79

—者, 79

—体制, 79

—マニュアル, 80, 81

い

イオン, 165

—化, 165

引火点, 68

インライン混合, 53

う

浮屋根, 48

移し替え, 50

え

液化ガス, 65

液体

—の充填, 47

—の静電気対策, 46

—の導電率, 45

—のパイプ輸送, 46

エレクトロメータ, 90, 92

沿面放電, 25, 30, 31, 34, 36, 38, 40-42, 50,

52, 55, 59, 62, 165

—の防止, 26

お

オームの法則, 4

か

界面活性剤, 77

化学量論組成比, 7

攪拌, 52

攪拌帯電, 165

火工品, 64

加湿, 42, 165

加水, 165

ガス・蒸気危険場所, 67

可燃性ガス・液体

—の不要残留の除去, 68

—の漏洩防止, 68

可燃性ガス・蒸気

—の滞留防止, 69

—の放出管理, 69

可燃性物質, 18

可燃性粉体

—の漏洩防止, 71

カーボンブラック, 77

換気, 29, 69

管理酸素濃度, 72, 165

管理指標

- 帯電雲の一, 88, 89
- 帯電性の一, 86
- 導体の一, 86
- 不導体の一, 87
- 不導体の帯電電位の一, 87
- 不導体の表面電荷密度の一, 87
- 不導体の面積・幅による一, 87
- 漏洩抵抗の一, 86

き

- 危害, 10, 82
- 危険源, 10, 82
 - の特定, 11, 82
- 危険場所, 8
- 危険要因, 82
- 気体の輸送, 66
- 許容可能なリスク, 10, 82

く

- 空間電荷, 2
- 空間電荷雲, 27, 165
- 空間電荷密度, 2
 - 測定, 93
- 空気輸送, 57
- クーロンメータ, 92
- クーロン力, 3

け

- ゲージウエル, 52, 166
- 限界酸素濃度, 18, 72, 166
- 検尺, 50

こ

- 高圧ガス, 65
- コロナ放電, 7, 22, 41, 43, 55, 166
- 混合, 52
 - インライン一, 53
- 混合帯電, 166
- コンベアベルト, 63
- コーン放電, 26, 40, 55, 57, 59

さ

- 最小着火エネルギー, 7, 19, 166
- 最小点火電流, 8
- 作業靴, 36
- 作業者
 - の静電気対策, 36
 - の接地, 36
 - の帯電, 36
- 作業服, 36
 - の帯電防止, 37
- 作業床, 36, 100, 168
- サンプリング, 50
- 残留リスク, 11, 82

し

- ジェット洗浄, 54
- ジェットミキサ, 52, 53
- 自己放電, 41, 43, 166
- 自己放電式除電器, 43
- 質量比電荷, 2
 - 粉体の一, 2
- 支燃性物質, 18
- シュート, 57, 58, 71
- 消炎距離, 9
- 衝突帯電, 15, 166
- 除電, 30
- 除電器, 24, 30, 43, 55, 63, 166
 - 自己放電式, 166
 - 自己放電式一, 43
 - 電圧印加式一, 43
 - 軟 X 線式一, 44
 - 放射線式一, 44

す

- ストリーマ, 27
- ストリーマコロナ放電, 23
- スパーク, 20
- スプラッシュローディング, 47

せ

- 静置時間, 51, 166
- 静電エネルギー, 18

- 静電気, 166
 - 帯電, 14
 - の蓄積, 7
- 静電気危険性, 28
- 静電気放電, 4, 7, 17, 167
 - の測定, 96
- 静電靴, 167
- 静電遮へい, 28, 31, 42, 52, 167
- 静電誘導, 15, 167
- 静電容量, 5
 - の測定, 102, 105, 106
- 絶縁性
 - パイプ, 50, 84
 - バルブ, 50
 - ホース, 50, 84
 - 容器, 50, 59
- 絶縁破壊電圧, 25
- 絶縁破壊電界, 4, 7
 - 空気の一, 4, 17
- 絶縁物, 167
- 接触・分離, 12
- 接地, 28, 30, 32, 34, 35, 167
 - 極, 33
 - 線, 33
 - 端子, 33
 - 抵抗, 33, 167
 - 導体, 167
 - の方法, 33
- 接地抵抗, 33, 167
 - の測定, 100
- そ
- 総括安全衛生管理者, 79
- 掃除機, 66
- 測定管理, 80
- 素電荷, 2
- た
- 体積抵抗, 99
- 体積抵抗率, 5, 6, 99
- 帯電, 6, 12-14, 167
- 帯電雲, 27, 88, 167
 - 粉じん一, 57
- 帯電性, 167
- 帯電性物体, 167
- 帯電物体, 167
- 帯電防止
 - カーペット, 78
 - 靴, 28, 167
 - 剤, 7, 41, 77, 78, 168
 - 材料, 7, 41, 76, 77
 - 作業服, 28, 168
 - 作業床, 78, 168
 - マット, 78
 - 用品, 77, 168
- 帯電列, 14, 16, 168
- ダストフィギュア法, 95
- タンカー, 49
- タンカー洗浄, 54
- タンク車, 49
- タンク洗浄, 54
- タンクローリー, 49
- ち
- 置換・シール, 52, 72, 73, 169
 - バッチ式一, 73
 - 連続式一, 73
- 着火, 7, 18, 168
- 着火エネルギー, 7
- 着火危険性, 168
- 着火源, 18
- 着火限界, 7
- 着火性, 28
- 着火防止, 31
- 沈降帯電, 15, 168
- つ
- 通風, 29
- て
- 抵抗, 4
 - 体積一, 99
 - 表面一, 99
 - 漏洩一, 5
- 抵抗の測定, 98

- 抵抗率, 5, 6
 - 測定, 101
 - 体積—, 5, 6, 99
 - 表面—, 4, 99
 - 粉体の—, 101
- ディップパイプ, 47, 168
- 滴下帯電, 168
- 電圧, 3
- 電圧印加式除電器, 43
- 電位, 3
- 電位計, 90, 92
- 電位測定, 90
- 電荷, 2
- 電界, 3, 168
- 電界計, 90, 92, 93
- 電界測定, 90
- 電荷拡散性, 6
- 電荷緩和, 6, 13, 51, 168
 - 時間, 13, 46, 168
 - 時定数, 13
- 電荷測定, 92
- 電荷蓄積, 13
- 電荷中和, 168
- 電荷の蓄積, 6
- 電荷分離, 12
- 電荷密度, 2
- 電荷漏洩, 13
- 電気二重層, 12
- 電撃, 38, 168
- 電子, 2
- 電離, 168
 - 気体, 7
- 電流, 4

- と
- 等価エネルギー, 8
- 凍結帯電, 168
- 導体, 6, 168
- 導電化, 168
- 導電性, 169
 - ゴム, 78
 - 材料, 7, 41, 76, 77, 169
 - 繊維, 41, 76, 77, 169
 - 塗工剤, 77
 - 塗料, 78
 - 物質, 7, 169
 - プラスチック, 78
 - 床, 28
- 導電率, 6
 - 液体の—, 101
 - 測定, 101
- 塗装, 66
- トップローディング, 47, 49
- ドロップパイプ, 47, 168

- な
- 軟 X 線除電器, 44

- ぬ

- 布製品, 59

- は
- 爆発下限, 7, 18, 75
- 爆発限界, 169
- 爆発限界濃度, 169
- 爆発上限, 7, 18, 75
- 爆発性雰囲気, 169
 - の防止, 29
 - の抑制, 68
- バグフィルタ, 71, 84
- 剥離帯電, 15, 169
- ハザード, 82
- 発生電荷の測定, 94

- ひ
- 火花放電, 20, 30, 32, 36-38, 47, 50, 55, 59, 62, 64, 66, 86, 169
 - の危険性評価, 21
 - の防止, 21, 86
- 飛沫帯電, 169
- 比誘電率, 6
- 平等電界, 4, 20
- 表面抵抗, 99
- 表面抵抗率, 4, 99
- 表面電位計, 90, 92

表面電荷密度, 2
—の測定, 92

ふ

ファラデーケージ, 92, 169
吸引—, 93
不活性ガス, 29, 52, 73, 74, 169
浮上帯電, 15, 169
不導体, 6, 169
—の静電気危険性, 40
—の抵抗率, 40
—の導電率, 40
—の面積・幅の制限, 40
不平等電界, 22
ブラシ放電, 23, 30, 31, 36-38, 40, 47, 50, 55,
57-59, 62, 66, 87, 89, 169
—の危険性, 23
—の防止, 24
プラスチック
—の研磨, 62
—の練り, 62
—の剥離, 62
フレキシブルコンテナ, 25, 59
フローティングカバー, 48
プロペラミキサ, 52
粉碎帯電, 169
噴出帯電, 15, 170
粉じん, 169
—雲, 169
—危険場所, 68, 169
—帯電雲, 57
—爆発, 55
—爆発性雰囲気抑制, 69
粉体, 169
液体への—投入, 58
—塗装, 66
—の充填・排出, 57
—の静電気対策, 55
—の帯電, 55
—の排出, 58
噴霧帯電, 15, 170
分裂帯電, 15

へ

ベルト駆動, 63

ほ

放射線式除電器, 44
放電, 4, 7, 17, 170
沿面—, 25, 30, 31, 34, 36, 38, 40-42, 50,
52, 55, 59, 62
コロナ—, 7, 22, 41, 43, 55
コーン—, 26, 40, 55, 57, 59
火花—, 20, 30, 32, 36-38, 47, 50, 55, 59,
62, 64, 66, 86
ブラシー—, 23, 30, 31, 36-38, 40, 47, 50,
55, 57-59, 62, 66, 87, 89
雷状—, 27
放電エネルギー, 18, 170
放電開始電界, 17
防爆, 69
ホッパー, 57, 58, 71
ボトムローディング, 47
ボンディング, 6, 30, 32, 34, 35, 170
—線, 33
—抵抗の測定, 100
—の抵抗, 33
—の方法, 33

ま

マイクロフィルタ, 49
摩擦帯電, 15, 170

み

ミキサ, 52
ミスト, 170

ゆ

有効エネルギー, 8
誘電率, 6
—の測定, 106
比—, 6
誘導帯電, 15, 170
誘導電位, 170

ら

雷状放電, 27, 170

ライニング, 25, 52, 58

り

リスク, 9, 82

—アセスメント, 9, 11, 82

許容可能な—, 10, 82

残留—, 11, 82

—低減策, 11, 82

—評価, 11, 82

—分析, 11

—マネジメント, 82

—の見積り, 11, 82

リード法, 68

流速制限, 46-48

流動帯電, 15, 170

ろ

漏洩抵抗, 5, 33, 170

—の測定, 100

漏洩電流, 13

ロータリーバルブ, 58

ロール工程, 63

あとがき

改訂原案は下記委員会により審議された。

静電気安全指針改訂原案審議委員会

委員長	児玉 勉	シシド静電気株式会社
委員	泉 房男	社団法人産業安全技術協会
	井野場 亨	シムコジャパン株式会社
	魚田 慎二	出光興産株式会社
	大崎 宏	厚生労働省
	大澤 敦	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
	太田 潔	住友化学株式会社
	大藤 幸雄	東洋インキ製造株式会社
	鈴木 輝夫	春日電機株式会社
	高橋 忠	トレック・ジャパン株式会社
	角田 哲夫	日本ペイント株式会社
	名倉 章裕	日東電工株式会社
	長谷川俊彦	株式会社カネカ
	増井 典明	東京理科大学
	松井 英憲	社団法人産業安全技術協会
	松倉 邦夫	三共化成工業株式会社
	松原 美之	総務省消防庁消防大学校消防研究センター
	三原 一気	三菱化学株式会社
本山 建雄	独立行政法人労働安全衛生総合研究所	
山隈 瑞樹	独立行政法人労働安全衛生総合研究所	
吉野 陽一	ミドリ安全株式会社	
事務局	泉 房男	社団法人産業安全技術協会
	西村浩二郎	社団法人産業安全技術協会
	松井 英憲	社団法人産業安全技術協会

(敬称略)

労働安全衛生総合研究所技術指針 JNIOSH-TR-NO.42(2007)

発行日 平成19年6月1日 発行
発行所 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所
〒204-0024 東京都清瀬市梅園1丁目4番6号
電話 (042) 491-4512(代)

印刷所 株式会社 アトミ

TECHNICAL RECOMMENDATIONS
OF NATIONAL INSTITUTE
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIOOSH-TR-NO.42 (2007)

Recommendations for Requirements for Avoiding
Electrostatic Hazards in Industry 2007

NATIONAL INSTITUTE
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH
1-4-6 Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, JAPAN