

序 編 静電気と社会

1 章 科学技術文明と静電気 1

- 1・1 静電気とは 1
- 1・2 静電気の歩み 1
 - 1・2・1 古代人の見た静電気現象 1
 - 1・2・2 静電気学のあけぼの 2
 - 1・2・3 静電気実験の進歩 4
 - 1・2・4 ライデンびんの発明 6
 - 1・2・5 雷電気の見 7
 - 1・2・6 静電気療法の出現 7
 - 1・2・7 平賀源内とエレキテル 8
 - 1・2・8 大型起電機の登場 9
 - 1・2・9 動電気の見 10
 - 1・2・10 静電気学の完成 11
 - 1・2・11 静電気の新生 12

引用・参考文献 13

2 章 静電気と学術 15

- 2・1 静電気の科学と技術 15
- 2・2 静電気工学と学術 16
 - 2・2・1 静電気と工業技術 16
 - 2・2・2 静電気と障害・災害 17

引用・参考文献 19

3 章 静電気学会の沿革と活動 20

- 3・1 沿革 20
 - 3・1・1 設立経緯 20
 - 3・1・2 20 年余の歩み 21
- 3・2 活動状況 22
 - 3・2・1 学会誌の発行 22
 - 3・2・2 全国大会（学術講演会）の開催 23
 - 3・2・3 研究会の開催 23
 - 3・2・4 シンポジウムの開催 23

3・2・5 受託研究	24
3・2・6 学会賞の授与	24
3・2・7 情報公開	24
3・3 総括	24
引用・参考文献	25

I 編 環境と安全

4 章 大気汚染 27

4・1 大気圧放電プラズマの基礎	28
4・1・1 バリア放電リアクタ	29
4・1・2 沿面放電リアクタ	32
4・1・3 ベレット充てん型リアクタ	34
4・1・4 放電重畳型リアクタ	35
4・1・5 パルス放電型リアクタ	36
4・1・6 放電による化学反応とガス処理	38
4・2 電気集じん	38
4・2・1 電気集じんの原理	38
4・2・2 バグフィルタ	63
4・2・3 静電エアフィルタ	72
4・2・4 エレクトレットフィルタ	74
4・3 低温プラズマによる燃焼排ガス処理	76
4・3・1 電子ビームプラズマと放電プラズマとのガス浄化反応の比較	77
4・3・2 パルスストリーマ放電	78
4・3・3 低温放電プラズマ中でのラジカル反応	79
4・3・4 パルスストリーマ放電プラズマによる NO _x 除去実験	81
4・3・5 ほかの低温プラズマによる NO _x 除去	88
4・4 空気清浄	91
4・4・1 揮発性有機物の除去	92
4・4・2 クリーンルームでの VOC	108
4・5 オゾン	108
4・5・1 オゾン発生原理	109
4・5・2 各種小型オゾン発生器の研究状況	117
4・5・3 オゾンの応用分野	117
4・6 その他の汚染対策	118
4・6・1 放電プラズマによる室内悪臭ガス成分の除去	118
4・6・2 漏れ込み空気の浄化機能を有する静電マスク	120

4・6・3 静電噴霧による集じん	121
------------------	-----

引用・参考文献	123
---------	-----

5章 静電気現象と障害 130

5・1 静電気の発生と帯電	132
5・1・1 静電気の発生	132
5・1・2 電荷緩和と帯電	135
5・1・3 静電誘導現象と誘導帯電	139
5・2 放電による障害	141
5・2・1 爆発・火災	141
5・2・2 生体への影響	142
5・2・3 生産障害	143
5・2・4 静電気放電ノイズによる障害	146
5・3 力学作用・高電界による障害	146
5・3・1 静電気による力学作用	146
5・3・2 力学作用による生産障害	147
5・3・3 高電界による障害	148
引用・参考文献	149

6章 爆発・火災 150

6・1 可燃性物質の着火危険性	152
6・1・1 可燃性気体および液体の着火危険性	152
6・1・2 可燃性粉体の着火危険性	158
6・1・3 可燃性固体物質の着火危険性	163
6・2 最小着火エネルギー	165
6・2・1 ガス・蒸気の最小着火エネルギー	165
6・2・2 可燃性粉体の最小着火エネルギー	168
6・2・3 可燃性固体物質の最小着火エネルギー	172
6・3 放電による着火	175
6・3・1 放電形態と着火性	175
6・3・2 火花放電による着火	177
6・3・3 コロナ放電とブラシ放電による着火	178
6・3・4 沿面放電による着火	179
6・3・5 その他の放電による着火	180
6・4 爆発・火災の防止対策	181
引用・参考文献	187

7章 コンタミネーション 191

7・1	コンタミネーションと静電気対策	191
7・1・1	静電気の発生とコンタミネーション	191
7・1・2	クリーンルームの静電気障害	192
7・1・3	コンタミネーションの防止	192
7・2	微粒子の運動とコンタミネーション	193
7・2・1	浮遊微粒子に作用する静電気力	193
7・2・2	静電気力が沈着に寄与する度合い	195
7・2・3	沈着速度の理論計算	196
7・2・4	帯電除去による沈着防止効果の実証	199
7・3	コンタミネーション防止対策	202
7・3・1	気流制御	203
7・3・2	接地による帯電防止	203
7・3・3	イオナイザによる帯電電荷の中和	212
7・3・4	表面清浄化による帯電防止	216
7・4	コンタミネーション防止機材	221
7・4・1	デバイス高性能化の方向	222
7・4・2	静電気が発生する工程	222
7・4・3	イオナイザ	223
7・5	コンタミネーション管理	229
7・5・1	管理体制	229
7・5・2	日常管理	229
7・5・3	非定常管理	232
引用・参考文献		232

8章 電子システムの静電気破壊と誤動作 235

8・1	静電気による半導体素子の特性劣化および破壊	236
8・1・1	半導体デバイスと静電気	237
8・1・2	半導体デバイスに及ぼす静電気障害モデル	237
8・1・3	静電気放電モデルによる破壊現象	240
8・1・4	今後の半導体デバイスにおける静電気劣化／破壊現象	245
8・2	静電気による電磁ノイズ	246
8・2・1	EMC, EMI と ESD	246
8・2・2	直接 ESD と間接 ESD	249
8・2・3	静電気放電に対する機器のイミュニティ試験	251
8・3	電子システムの誤動作	254
8・3・1	誤動作の背景と取組み	254
8・3・2	誤動作の実態	254

	目	次
8・3・3	電子システムの静電気による誤動作	258
8・3・4	誤動作の発生要因	259
8・4	電子システムの誤動作防止対策	262
8・4・1	誤動作防止対策の基本	262
8・4・2	筐体の対策	263
8・4・3	実装基板の対策	263
8・4・4	布線系の対策	263
8・4・5	コモンモードチョークの使用	264
8・4・6	接地系の対策	265
引用・参考文献		266

9 章 障災害防止技術と安全管理 268

9・1	接地技術	270
9・1・1	接地の目的と役割	270
9・1・2	静電気用接地の特徴	271
9・1・3	電磁環境における接地システム	273
9・1・4	接地施工	276
9・1・5	接地管理	277
9・2	作業者の帯電防止対策	278
9・2・1	作業者の帯電	278
9・2・2	歩行による人体帯電	278
9・2・3	衣服と人体帯電	279
9・2・4	いすと人体帯電	281
9・2・5	静電誘導による人体帯電	281
9・2・6	作業者の帯電防止対策	282
9・2・7	作業者の帯電防止と接地	282
9・3	絶縁物の帯電防止	283
9・3・1	絶縁物の帯電特性	283
9・3・2	静電気の発生防止	284
9・3・3	静置時間	284
9・3・4	多湿化	285
9・3・5	導電性の付与	287
9・3・6	除電	290
9・3・7	静電遮へい	290
9・3・8	液体・粉体・気体の帯電防止	291
9・4	可燃性液体の静電気対策	292
9・4・1	可燃性液体の静電気危険	292
9・4・2	充てん作業に伴う可燃性液体の帯電現象	293
9・4・3	静電気管理と静電気対策	296

9・5	可燃性粉体の静電気対策	301
9・5・1	基本的対策	302
9・5・2	具体的対策	304
9・6	可燃性気体の静電気対策	312
9・6・1	可燃性気体の爆発事故例	312
9・6・2	可燃性気体の静電気対策の要点	315
9・7	計測による安全管理	316
9・7・1	計測の目的	316
9・7・2	一般的な管理基準	317
9・7・3	静電気計測上の一般的注意	318
9・7・4	各種物理量の具体的測定方法	319
9・8	安全管理と安全教育	327
9・8・1	安全管理	327
9・8・2	安全教育	328
	引用・参考文献	329

10章 障災害の事故分析 331

10・1	障災害の分析手法	332
10・1・1	障災害の発生メカニズムと調査項目	333
10・1・2	障災害の分析例	335
10・2	障災害の事例と分析	340
10・2・1	液体取扱い時の障災害事例	340
10・2・2	粉体取扱い時の障災害事例	344
10・2・3	気体取扱い時の障災害事例	352
10・2・4	塗装工程における障災害事例	355
10・2・5	コンタミネーション	358
10・2・6	電子システムの誤動作	362
	引用・参考文献	363

11章 障災害防止機器・材料 365

11・1	帯電防止剤	366
11・1・1	低分子型帯電防止剤	367
11・1・2	高分子型帯電防止剤	372
11・1・3	帯電防止性の評価	376
11・1・4	帯電防止剤の安全性	377
11・2	帯電防止用品	377
11・2・1	帯電防止用品の役割と機能	377
11・2・2	各種帯電防止用品	377

11・2・3	帯電防止用品の電気抵抗値	382
11・2・4	作業者の教育および帯電防止用品の管理	382
11・3	静電気除去装置	383
11・3・1	静電気除去装置の原理と適用	383
11・3・2	静電気除去装置における空気イオンの生成方式	383
11・3・3	コロナ放電式静電気除去装置の分類	386
11・3・4	電圧印加式除電装置の種類	389
11・3・5	電圧印加式除電装置の留意点	392
11・3・6	電圧印加式除電装置の特性評価	392
11・3・7	電圧印加式除電装置の取扱い方法	394
11・4	加湿装置	394
11・4・1	水噴霧式加湿装置	395
11・4・2	蒸気噴霧式加湿装置	397
11・4・3	気化式加湿装置	398
11・5	帯電監視装置	400
11・5・1	帯電監視装置の概要	400
11・5・2	帯電監視装置の種類	400
11・5・3	半導体・液晶パネル製造工程用帯電監視システム	401
11・5・4	防爆構造の帯電監視装置	403
11・5・5	エアバージ型帯電監視装置	404
引用・参考文献		406

Ⅱ 編 計測と機器・材料

12章 基礎・応用計測 409

12・1	測定の基礎	410
12・1・1	測定の基本的な考え方	410
12・1・2	測定単位	413
12・2	基礎物理量の測定	415
12・2・1	電荷の測定	415
12・2・2	電圧測定	419
12・2・3	電界測定	423
12・2・4	微小電流	425
12・2・5	高抵抗測定	427
12・3	一般的な静電気測定	428
12・3・1	電荷（分布）測定	428
12・3・2	表面電位（電荷）分布	428

12・3・3	空間電荷分布測定	432
12・4	可視化技術	439
12・4・1	流れの可視化法	439
12・4・2	最近の新しい可視化法	439
12・4・3	フルイドマッパー (Fluid Mapper: FM) による電界の可視化	439
12・4・4	パソコンによる電磁界の可視化	441
12・4・5	粒子画像速度計測 (Particle Image Velocimetry: PIV) による流れ場の可視化	442
12・5	特殊測定技術	444
12・5・1	高速度電気信号の測定	444
12・5・2	高速度光学信号の測定	449
12・5・3	流体速度の非接触測定	451
12・6	デジタル信号処理	455
12・6・1	測定装置の選択	457
12・6・2	信号処理	461
12・6・3	デジタル制御を含む測定系	465
	——全自動熱刺激電流観測装置——	
引用・参考文献		467

13章 静電気材料物性の測定 470

13・1	誘電性	470
13・1・1	誘電定数	471
13・1・2	圧電定数	474
13・1・3	焦電定数	478
13・2	絶縁性	480
13・2・1	電気抵抗	480
13・2・2	表面電気抵抗	480
13・2・3	体積電気抵抗	482
13・2・4	粉体電気抵抗	484
13・2・5	液体電気抵抗	486
13・2・6	絶縁破壊強度	488
13・3	電子デバイス用薄膜の電気特性	491
13・3・1	絶縁膜	491
13・3・2	絶縁特性	492
13・4	帯電性	495
13・4・1	摩擦帯電と接触帯電性	496
13・4・2	帯電電荷量	500
13・4・3	帯電電荷の減衰	509
13・5	電荷トラップ	510

13・5・1	熱誘起法	510
13・5・2	その他の方法	514
13・6	高分子の表面状態	516
13・6・1	表面状態と帯電	517
13・6・2	光電子放出法	518
13・6・3	高分子の仕事関数	520
13・7	高分子の表面化学状態	523
13・7・1	高分子の表面化学状態解析手法	523
13・7・2	表面化学状態と帯電性	525
13・7・3	高分子表面の水濡れ特性	531
引用・参考文献		533

14章 高電圧発生と測定 540

14・1	高電圧の発生	540
14・1・1	交流高電圧の発生	540
14・1・2	直流高電圧の発生	543
14・1・3	インパルス電圧発生器	546
14・1・4	方形波パルス発生法	551
14・2	分圧による高電圧の測定	551
14・3	光学的電圧測定	557
引用・参考文献		566

15章 静電気材料 570

15・1	誘電材料	570
15・1・1	セラミック誘電材料	571
15・1・2	高分子誘電材料	574
15・2	絶縁材料	578
15・2・1	液体絶縁材料	579
15・2・2	セラミック絶縁材料	583
15・2・3	高分子絶縁材料	587
15・3	圧・焦電材料	589
15・3・1	セラミック圧・焦電材料	592
15・3・2	セラミック圧・焦電材料の応用	592
15・3・3	高分子圧・焦電材料	595
15・3・4	高分子圧・焦電材料の応用	598
15・4	電気光学材料	599
15・4・1	電気光学効果	599
15・4・2	ポッケルス効果を用いた応用	601

15・4・3	カー効果を用いた応用	604
15・5	静電写真材料	607
15・5・1	静電潜像形成材料	607
15・5・2	現像材料	609
15・5・3	静電写真用紙	613
15・6	静電塗装材料	615
15・6・1	液体塗装材料	615
15・6・2	粉体塗装材料	618
引用・参考文献		619

III 編 応 用 技 術

16章 画像情報関連技術 623

16・1	静電記録	624
16・1・1	原理と歴史	624
16・1・2	応用機器	627
16・2	電子写真	629
16・2・1	原理と歴史	629
16・2・2	静電気像の形成	631
16・2・3	現 像	638
16・2・4	転写・定着・処理	645
16・2・5	プロセスの制御	651
16・3	インクジェットとその他の画像形成法	653
16・3・1	インクジェット記録方式と応用	653
16・3・2	その他の静電的画像形成法	659
16・4	画像プリント機器への応用	664
16・4・1	複写機	664
16・4・2	レーザプリンタ	671
16・4・3	カラー画像機器と今後	680
16・4・4	その他の記録機器への応用	693
16・5	ディスプレイ機器への応用	698
16・5・1	静電気応用ディスプレイ	698
16・5・2	液晶ディスプレイ	701
16・5・3	プラズマディスプレイ	709
16・6	静電気応用デバイス	721
16・6・1	電子管（イメージ管，撮像管，蓄積管）	721
16・6・2	記憶素子	724

17章 生産関連技術 737

- 17・1 液体微粒化と応用 738
 - 17・1・1 静電霧化 738
 - 17・1・2 液体静電塗装 743
 - 17・1・3 コーティング 749
 - 17・1・4 農薬散布 753
 - 17・1・5 エアロゾルの発生と制御 756
 - 17・1・6 静電凝集 761
- 17・2 固体粒子の制御と応用 767
 - 17・2・1 粉体静電塗装 767
 - 17・2・2 静電植毛 774
 - 17・2・3 静電選別 780
 - 17・2・4 静電分級・静電分離 788
- 17・3 電界処理と計測 792
 - 17・3・1 表面改質 792
 - 17・3・2 イオンビーム処理 795
 - 17・3・3 薄膜形成 799
 - 17・3・4 静電冷却 802
 - 17・3・5 電界蒸発 806
 - 17・3・6 静電消煙 809
 - 17・3・7 イオン風速計 810
- 17・4 生体・生物・農学関連 815
 - 17・4・1 生体・生物への影響 815
 - 17・4・2 食物の殺菌 818
 - 17・4・3 農作物生長促進 822
 - 17・4・4 雑草の除去 825
- 引用・参考文献 830

18章 細胞・生体高分子操作 841

- 18・1 分極特性, 膜強度, 導電性, その他 842
- 18・2 タンパク, 遺伝子の構造, 帯電性, その他 845
- 18・3 電界による細胞の操作 850
 - 18・3・1 誘電泳動, 静電配向, 誘電回転, 細胞融合と遺伝子導入 850
 - 18・3・2 電気殺菌 866
- 18・4 細胞・生体高分子の選別 868
 - 18・4・1 細胞計測, 蛍光染色性, セルソータ 868

18・4・2	電気泳動による遺伝子解析	874
18・5	レーザー光圧力による細胞操作	884
18・5・1	レーザー光圧力の発生, 細胞損傷評価, レーザトラッピング	884
18・5・2	レーザー光圧力と静電力の組合せによる操作	888
18・6	生体高分子の操作	892
18・6・1	電界による操作	892
18・6・2	レーザー光圧力と静電力による DNA 1 分子の操作	897
18・7	将来の応用可能性	903
18・7・1	電界による操作	903
18・7・2	レーザー光圧力による操作	904
引用・参考文献		905

19章 静電エネルギー変換 914

19・1	EHD 現象	914
19・1・1	EHD 発電機	914
19・1・2	熱輸送と冷却	918
19・1・3	静電流動層	924
19・1・4	送電線と変圧器の EHD 冷却	928
19・1・5	液-液系と気泡制御	931
19・2	エレクトロレオロジー	935
19・2・1	ER 現象の基礎	935
19・2・2	分散型 ER 流体	944
19・2・3	均一型 ER 流体	947
19・2・4	炭素系 ER 流体	953
19・2・5	各種応用	956
19・3	静電エネルギー機器	960
19・3・1	静電発電機	960
19・3・2	静電モータの種類と動作	966
19・3・3	エレクトレットモータ	971
19・3・4	コロナモータ	975
19・4	マイクロマシンへの応用	978
19・4・1	マイクロマシン	978
19・4・2	マイクロ静電モータ	983
引用・参考文献		985

IV 編 静電気理論

20章 静電界理論・電界計算 993

- 20・1 電界計算の基礎 994
 - 20・1・1 電界計算の基礎式 994
 - 20・1・2 電界の計算方法 995
 - 20・1・3 差分法 996
 - 20・1・4 有限要素法 997
 - 20・1・5 電荷重畳法 999
 - 20・1・6 表面電荷法 1001
 - 20・1・7 その他の方法 1003
 - 20・1・8 複合誘電体場の計算 1005
 - 20・1・9 一般3次元場 1007
 - 20・1・10 イオン流場の計算法 1009
- 20・2 電界計算の応用例 1012
 - 20・2・1 球のまわりの電界 1012
 - 20・2・2 爆発・火災災害防止への応用例 1016
- 引用・参考文献 1020

21章 帯電現象 1022

- 21・1 固体の帯電 1022
 - 21・1・1 接触・摩擦帯電 1022
 - 21・1・2 荷電粒子による帯電 1034
 - 21・1・3 電磁波、放射線による帯電 1035
 - 21・1・4 その他の帯電現象 1036
- 21・2 粉体の帯電 1037
 - 21・2・1 衝突面積 1037
 - 21・2・2 流送帯電 1039
 - 21・2・3 粉碎帯電 1044
 - 21・2・4 誘導帯電 1045
 - 21・2・5 コロナ帯電 1046
 - 21・2・6 その他の帯電現象 1049
- 21・3 液体の帯電 1052
 - 21・3・1 界面電気現象 1052
 - 21・3・2 流動帯電 1053

21・3・3	ろ過による帯電	1056
21・3・4	超純水の帯電	1058
21・3・5	液中分散微粒子の帯電	1060
21・3・6	その他の帯電現象	1062
21・3・7	電荷緩和現象	1063
引用・参考文献		1064

22章 誘電体の電気現象 1070

22・1	電気伝導	1070
22・1・1	誘電体の電気伝導	1070
22・1・2	キャリアの種類と移動度	1071
22・1・3	高電界電気伝導	1074
22・2	絶縁破壊	1077
22・2・1	絶縁破壊の強さ	1077
22・2・2	固体の絶縁破壊	1078
22・2・3	液体の絶縁破壊	1087
22・3	電荷減衰と電荷トラップ	1091
22・3・1	電荷トラップ	1091
22・3・2	電荷減衰に及ぼす因子	1092
22・3・3	等温表面電位減衰の理論式	1094
22・4	誘電分極と強誘電体	1098
22・4・1	誘電分極と高分子誘電体の誘電現象	1098
22・4・2	無機誘電体の誘電現象	1104
22・5	ピエゾバイロ電気	1106
22・6	エレクトレット	1108
22・6・1	エレクトレットとは	1108
22・6・2	エレクトレットの作製	1109
22・6・3	熱刺激電流 (TSC)	1110
22・6・4	高分子エレクトレット	1111
22・6・5	その他のエレクトレット	1112
22・6・6	エレクトレットの圧電性および焦電性	1112
22・6・7	高分子エレクトレットの応用	1113
22・6・8	トラップとエレクトレット	1114
引用・参考文献		1117

23章 気体の放電現象 1122

23・1	基礎特性	1122
23・1・1	気体物性	1122

23・1・2	暗流と火花放電	1128
23・1・3	グロー、アーク、プラズマ	1131
23・1・4	不平等電界電極	1135
23・1・5	コロナ放電	1137
23・1・6	沿面放電	1139
23・1・7	高周波放電	1141
23・2	コロナ放電の特性	1143
23・2・1	ストリーマと火花	1143
23・2・2	コロナ放電の分類	1146
23・2・3	コロナ放電の特性	1148
23・2・4	コロナ電流分布	1151
23・3	コロナ放電機器と特性	1156
23・3・1	線-平板型放電装置	1156
23・3・2	針-平板型放電装置	1161
23・3・3	ボクサーチャージャ	1164
23・3・4	電子写真用放電器	1170
23・4	雷	1173
23・4・1	雷雲の発達と電気構造	1173
23・4・2	雷放電の形態	1174
23・4・3	雷放電特性	1176
	引用・参考文献	1178

24章 静電気による力学現象 1185

24・1	基礎理論	1185
24・1・1	マクスウェルの法則	1185
24・1・2	マクスウェルの近似式	1187
24・1・3	クーロンの法則、電荷、電界	1188
24・1・4	電磁界による力	1192
24・1・5	電界による各種の力	1193
24・1・6	磁界の力との比較	1196
24・2	静力学現象	1198
24・2・1	粒子帯電と浮上	1198
24・2・2	クーロン力による付着	1199
24・2・3	影像力による付着	1199
24・3	動力学現象	1200
24・3・1	粒子の気中運動の式	1200
24・3・2	静電気力と重力の比較	1202
24・3・3	粒子の帯電	1203
24・3・4	直流電界内での粒子運動	1205

24・3・5 交流電界での粒子運動	1209
引用・参考文献	1215

V 編 資 料 (付録)

1. 単位・数表	1217
2. 物性表	1225
3. 帯電防止剤(例)	1268
4. 静電気に関連する学会, 雑誌, その他関連情報源	1269
索引	1273