



# 目 次

## 第1編 序 論

第1章 放射線線源 .....	3
1.1 単位および定義 .....	4
1.1.1 放射能 .....	4
1.1.2 エネルギー .....	5
1.2 高速電子線源 .....	5
1.2.1 ベータ崩壊 .....	5
1.2.2 内部転換 .....	7
1.2.3 オージェ電子 .....	8
1.2.4 電子加速器 .....	8
1.3 荷電重粒子 .....	8
1.3.1 アルファ崩壊 .....	8
1.3.2 自発核分裂 .....	11
1.3.3 加速器線源 .....	13
1.4 電磁放射線の線源 .....	14
1.4.1 ベータ崩壊に伴うガンマ線 .....	14
1.4.2 消滅放射線 .....	16
1.4.3 核反応に伴って発生するガンマ線 .....	16
1.4.4 制動放射 .....	17
1.4.5 特性X線 .....	19
1.5 中性子源 .....	22
1.5.1 自発核分裂 .....	23
1.5.2 放射性同位元素 ( $\alpha, n$ ) 線源 .....	24
1.5.3 光中性子源 .....	27
1.5.4 加速された荷電粒子の反応 .....	32
1.5.5 原子炉 .....	32
文 献 .....	33

第2章 放射線と物質の相互作用 .....	34
-----------------------	----

2.1 荷電重粒子の相互作用 .....	35
2.1.1 相互作用の性質 .....	35
2.1.2 阻止能 .....	36
2.1.3 エネルギー損失特性 .....	37
2.1.4 粒子の飛程 .....	39
2.1.5 薄い吸収物質中におけるエネルギー損失 .....	42
2.1.6 比例則 .....	45
2.1.7 核分裂片の振舞 .....	47
2.2 高速電子の相互作用 .....	47
2.2.1 比エネルギー損失 .....	47
2.2.2 電子の飛程と透過曲線 .....	48
2.2.3 陽電子の相互作用 .....	52
2.3 ガンマ線の相互作用 .....	52
2.3.1 相互作用の諸過程 .....	52
2.3.2 ガンマ線の減衰 .....	56
2.4 中性子の相互作用 .....	58
2.4.1 一般的性質 .....	58
2.4.2 低速中性子の相互作用 .....	59
2.4.3 高速中性子の相互作用 .....	60
2.4.4 中性子断面積 .....	60
2.5 放射線照射線量と吸収線量 .....	61
2.5.1 ガンマ線照射線量 .....	61
2.5.2 吸収線量 .....	63
2.5.3 線量当量 .....	64
文 献 .....	65
第3章 放射線検出器の一般的性質 .....	67
3.1 簡略化した検出器モデル .....	67
3.2 電流モードとパルスモード .....	68
3.3 パルス波高スペクトル .....	71
3.4 計数曲線とプラトー .....	73
3.5 エネルギー分解能 .....	74
3.6 検出効率 .....	77

3.7 不感時間	79
3.7.1 不感時間の振舞に対するモデル	80
3.7.2 不感時間の測定法	82
問題	84
文献	85
第4章 計数の統計と誤差の評価	87
4.1 データの特性の表わし方	87
4.2 統計モデル	92
4.2.1 2項分布	93
4.2.2 ポアソン分布	95
4.2.3 ガウス分布 (正規分布)	97
4.3 統計モデルの応用	101
4.3.1 変動量の観測値が統計変動の予想値と一致するか否かを調べるための計数系の検定	101
4.3.2 1回の測定における精度の評価	105
4.4 誤差の伝播	107
4.4.1 計数値の和または差の場合	108
4.4.2 定数との積または定数による割り算	109
4.4.3 計数値の積または割り算	110
4.4.4 多数の独立した計数の平均値	110
4.4.5 誤差が等しくない独立した測定の組み合わせ	111
4.5 計数実験の最適化	113
4.6 時間間隔の分布	114
4.6.1 隣接事象間の間隔	115
4.6.2 スケラで計数された事象間の間隔	116
問題	117
文献	119

## 第2編 ガス入り検出器

第5章 電離箱	123
5.1 ガス中の電離過程	123

5.1.1	形成されるイオン対の数	124
5.1.2	ファノ因子	124
5.1.3	拡散, 電荷移動および再結合	125
5.2	電荷移動および収集	126
5.2.1	電荷移動度	126
5.2.2	電離電流	127
5.2.3	飽和に影響を与える要因	128
5.3	直流電離箱の設計および作動	130
5.3.1	一般的考察	130
5.3.2	絶縁物および保護環	130
5.3.3	電離電流の測定	131
5.4	電離箱による放射線線量測定	133
5.4.1	ガンマ線照射線量	133
5.4.2	吸収線量	136
5.5	直流電離箱の応用	137
5.5.1	放射線サーベイメータ	137
5.5.2	放射線線源校正装置	138
5.5.3	放射性ガスの測定	139
5.6	パルスモード動作	140
5.6.1	一般的考察	140
5.6.2	パルス波形の導出	141
5.6.3	格子付電離箱	144
5.6.4	パルスの波高	144
	問題	145
	文献	146
第6章 比例計数管		147
6.1	ガス増幅	147
6.1.1	電子なだれの形成	147
6.1.2	検出器の動作領域	148
6.1.3	形状の選択	149
6.2	比例計数管の設計上の特徴	150
6.2.1	封じ切り型比例計数管	150

6.2.2 窓なしフロー型比例計数管	151
6.2.3 充填ガス	153
6.3 比例計数管の性能	154
6.3.1 ガス増幅率	154
6.3.2 空間電荷効果	157
6.3.3 エネルギー分解能	158
6.3.4 信号パルスの時間特性	163
6.3.5 擬似パルス	165
6.4 検出効率および計数曲線	166
6.4.1 動作電圧の選択	166
6.4.2 アルファ粒子の計数	166
6.4.3 ベータ粒子の計数	167
6.4.4 混合線源	167
6.4.5 X線およびガンマ線の計数	168
6.5 比例計数管の変形	169
6.5.1 平行平板型なだれ計数管	169
6.5.2 位置敏感型比例計数管	169
6.5.3 マルチワイヤ比例計数管	170
6.5.4 ガス比例シンチレーション計数管	171
問題	173
文献	173
第7章 ガイガーミュラー計数管	176
7.1 ガイガー放電	177
7.2 充填ガス	178
7.3 消滅	179
7.4 時間的挙動	181
7.4.1 パルス波形	181
7.4.2 不感時間	181
7.5 ガイガー計数プラトー	182
7.6 設計の特徴	185
7.7 計数効率	186
7.7.1 荷電粒子	186

7.7.2 中性子	187
7.7.3 ガンマ線	187
7.8 GMサーベイメータ	188
問題	189
文献	190
<b>第3編 シンチレーション検出器</b>	
<b>第8章 シンチレーション検出器の原理</b>	193
8.1 有機シンチレータ	194
8.1.1 有機物質中のシンチレーション機構	194
8.1.2 有機シンチレータの種類	196
8.1.3 有機シンチレータの応答	198
8.2 無機シンチレータ	205
8.2.1 活性化物質入り無機結晶中のシンチレーション機構	205
8.2.2 アルカリハライドシンチレータの特性	207
8.2.3 各種の無機結晶	209
8.2.4 ガラスシンチレータ	210
8.2.5 気体シンチレータ	211
8.3 集光およびシンチレータの取り付け方法	212
8.3.1 集光の均一性	212
8.3.2 光パイプ	214
問題	216
文献	217
<b>第9章 光電子増倍管</b>	220
9.1 序 言	220
9.2 光電陰極	221
9.2.1 光電子放出過程	221
9.2.2 熱電子放出	222
9.2.3 光電陰極の製法	223
9.2.4 量子効率とスペクトル感度	223
9.3 電子増倍	225
9.3.1 2次電子放出	225

9.3.2	負の電子親和性物質	226
9.3.3	多段増倍	227
9.3.4	電子増倍の統計	228
9.4	光電子増倍管の特性	230
9.4.1	構造の違い	230
9.4.2	パルスタイミング特性	232
9.4.3	最大定格	233
9.4.4	光電子増倍管の仕様	233
9.4.5	直線性	234
9.4.6	雑音および擬似パルス	235
9.4.7	光電陰極の不均一性	237
9.4.8	計数率による利得の変化	237
9.4.9	温度による利得の変化〔訳補〕	237
9.5	光電子増倍管の付属品	238
9.5.1	高電圧電源および分圧器	238
9.5.2	磁気遮蔽	241
9.6	シンチレーションパルス波形の解析	241
9.6.1	時定数が多い場合 ( $\theta \ll \lambda$ )	242
9.6.2	時定数が多い場合 ( $\theta \gg \lambda$ )	243
	問題	244
	文献	245
第10章	シンチレータを用いた放射線スペクトル測定	247
10.1	ガンマ線スペクトル測定の一般的考察	247
10.2	ガンマ線の相互作用	248
10.2.1	光電吸収	249
10.2.2	コンプトン散乱	249
10.2.3	電子対生成	251
10.3	予測される応答関数	252
10.3.1	小形の検出器	252
10.3.2	非常に大形の検出器	253
10.3.3	中形の検出器	255
10.3.4	応答関数複雑化の要因	257
10.3.5	加算効果	261



10.3.6	ガンマ線スペクトロメータにおける同時計数法	263
10.4	NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータの特性	264
10.4.1	応答関数	264
10.4.2	エネルギー分解能	268
10.4.3	直線性	272
10.4.4	検出効率	273
10.5	シンチレータによる電子スペクトル測定	280
10.6	シンチレーションに基づく特殊な検出器	281
10.6.1	ホスウィッチ検出器	281
10.6.2	モクソソレー検出器	281
10.6.3	液体シンチレーションカウンタ	282
	問題	283
	文献	285

## 第4編 半導体検出器

第11章	半導体ダイオード検出器	291
11.1	半導体の性質	292
11.1.1	固体中のバンド構造	292
11.1.2	電荷キャリア	295
11.1.3	電界中の電荷キャリアの移動	294
11.1.4	不純物あるいはドーパントの影響	296
11.1.5	捕獲および再結合	300
11.2	半導体中の電離性放射線の作用	301
11.2.1	電離エネルギー	301
11.2.2	ファノ因子	302
11.3	放射線検出器としての半導体	303
11.3.1	電 極	303
11.3.2	漏れ電流	303
11.3.3	半導体接合	304
11.4	半導体検出器の形式	312
11.4.1	拡散接合型検出器	312
11.4.2	表面障壁型検出器	312
11.4.3	イオン注入型検出器	313

11.4.4	全空乏層型検出器	314
11.4.5	エピタキシャル製作法	316
11.5	動作特性	316
11.5.1	漏れ電流	316
11.5.2	検出器雑音およびエネルギー分解能	317
11.5.3	検出器バイアス電圧による変化	318
11.5.4	パルスの立ち上がり時間	319
11.5.5	入射窓および不感層	320
11.5.6	チャネリング	321
11.5.7	放射線損傷	321
11.5.8	エネルギー較正	322
11.5.9	パルス波高欠損	324
11.6	表面障壁型検出器および拡散接合型検出器の応用	326
11.6.1	荷電粒子スペクトル測定の概要	326
11.6.2	アルファ粒子スペクトル測定	326
11.6.3	重イオンと核分裂片のスペクトル測定	327
11.6.4	エネルギー損失測定——粒子識別	329
	問題	332
	文献	333
第12章	リチウムドリフト型ゲルマニウム検出器	336
12.1	リチウムドリフト型検出器の製作方法	336
12.1.1	リチウムドリフト法	336
12.1.2	$p-i-n$ 構造	338
12.2	リチウムドリフト型検出器の基本特性	340
12.2.1	リチウムドリフト型検出器の特徴	340
12.2.2	エネルギー直線性および電荷捕獲	341
12.2.3	表面不感層	341
12.3	Ge(Li) 検出器の動作特性	342
12.3.1	検出器クライオスタットおよびデューワー	342
12.3.2	エネルギー分解能	343
12.3.3	パルス波形およびタイミング特性	346
12.4	Ge(Li) 検出器を使用したガンマ線スペクトル測定	353
12.4.1	応答関数	354

12.4.2	連続部分を減少させる方法	362
12.4.3	エネルギーの較正	366
12.4.4	検出効率	369
12.4.5	検出器の性能に及ぼす種々の効果	379
	問 題	382
	文 献	383
<b>第13章 その他の半導体検出器</b> .....386		
13.1	リチウムドリフト型シリコン検出器	386
13.1.1	一般的特性	386
13.1.2	電界およびパルス波形	387
13.1.3	低エネルギー光子スペクトル測定	391
13.1.4	電子スペクトル測定	401
13.2	高純度ゲルマニウム検出器	403
13.2.1	一般的特性	405
13.2.2	電界および静電容量	406
13.2.3	パルス波形およびタイミング	409
13.2.4	ガンマ線スペクトル測定への応用	410
13.3	シリコンゲルマニウム以外の半 導体物質を用いた検出器	412
13.3.1	テルル化カドミウム検出器	414
13.3.2	ヨウ化第二水銀検出器	415
13.3.3	ガリウムヒ素検出器	416
13.3.4	その他の種々の物質	416
13.4	電子なだれ型検出器	417
13.5	位置敏感型半導体検出器	418
	問 題	420
	文 献	420
<b>第5編 中性子検出器とスペクトル測定</b>		
<b>第14章 低速中性子検出法</b> .....427		
14.1	中性子検出に用いる重要な核反応	427
14.1.1	$^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 反応	428

14.1.2	${}^6\text{Li}(n, \alpha)$ 反応	430
14.1.3	${}^3\text{He}(n, p)$ 反応	430
14.1.4	中性子核分裂反応	430
14.2	ホウ素反応に基づく検出器	432
14.2.1	$\text{BF}_3$ 計数管のパルス波高分布——壁効果	432
14.2.2	$\text{BF}_3$ 計数管の構造	435
14.2.3	ガンマ線の弁別	435
14.2.4	$\text{BF}_3$ 計数管の検出効率	436
14.2.5	ホウ素被覆比例計数管	437
14.2.6	ホウ素装荷シンチレータ	438
14.3	他の変換反応に基づく検出器	438
14.3.1	リチウム含有低速中性子検出器	438
14.3.2	${}^3\text{He}$ 比例計数管	439
14.3.3	核分裂計数管	440
14.4	原子炉計装	442
14.4.1	一般的考察	442
14.4.2	炉外計装	444
14.4.3	炉内検出器	447
問 題		452
文 献		452

## 第15章 高速中性子の検出とスペクトル測定

15.1	中性子減速に基づく検出器	456
15.1.1	一般的考察	456
15.1.2	球形の線量計	457
15.1.3	ロングカウンタ	460
15.1.4	その他の減速に基づく検出器	463
15.2	高速中性子反応に基づく検出器	464
15.2.1	${}^6\text{Li}(n, \alpha)$ 反応による方法	465
15.2.2	${}^3\text{He}(n, p)$ 反応を用いた検出器	468
15.3	高速中性子散乱を用いた検出器	470
15.3.1	一般的性質	470
15.3.2	反跳陽子シンチレータ	475
15.3.3	ガス入り反跳比例計数管	483

15.3.4 陽子反跳テレスコープ .....	486
問 題.....	488
文 献.....	489
<b>第6編 検出器用電子回路とパルスの処理</b>	
<b>第16章 パルスの処理と整形 .....</b>	<b>495</b>
16.1 装置のインピーダンス .....	495
16.2 同軸ケーブル .....	496
16.2.1 ケーブルの構造 .....	496
16.2.2 ケーブルの性質 .....	497
16.2.3 雑音の拾い込みと装置の接地法 .....	498
16.2.4 特性インピーダンスとケーブルの反射 .....	498
16.2.5 ケーブルコネクタ .....	502
16.2.6 有用な同軸ケーブル用アクセサリ .....	505
16.3 パルス整形.....	507
16.3.1 CR整形とRC整形 .....	508
16.3.2 ボールゼロ消去 .....	514
16.3.3 ベースラインのシフト .....	516
16.3.4 その他のパルス整形法 .....	519
問 題.....	523
文 献.....	524
<b>第17章 リニアパルスとロジックパルスの機能 .....</b>	<b>525</b>
17.1 リニアパルスとロジックパルス .....	525
17.1.1 リニアパルス .....	525
17.1.2 ロジックパルス .....	526
17.2 装置の規格.....	527
17.2.1 一般的な考察 .....	527
17.2.2 NIM装置.....	528
17.2.3 CAMAC規格 .....	531
17.3 パルス処理ユニットの概要 .....	535
17.4 一般の測定に共通な回路要素 .....	537
17.4.1 前置増幅器 .....	537

17.4.2	検出器バイアスと高電圧電源	544
17.4.3	パルス発生器	545
17.5	パルス計数装置	546
17.5.1	積分型波高弁別器	547
17.5.2	シングルチャネル波高分析器	547
17.5.3	スケーラあるいはカウンタ	548
17.5.4	タイマ	549
17.5.5	計数率計	550
17.5.6	計数装置の不感時間	552
17.6	パルス波高分析装置	553
17.6.1	一般的考察	553
17.6.2	弾道欠損	554
17.6.3	信号対雑音比に関する考察	555
17.6.4	パイルアップ	557
17.6.5	比例増幅器	560
17.6.6	バイアス増幅器	561
17.6.7	加算増幅器あるいは差動増幅器	562
17.6.8	リニアゲート	562
17.6.9	パルスストレッチャ	563
17.7	パルスのタイミングに関連する装置	563
17.7.1	タイムピックオフ法	563
17.7.2	タイミング性能の測定	569
17.7.3	タイミング測定用モジュール装置	579
17.8	波形弁別法	584
	問題	585
	文献	586
第18章	マルチチャネルパルス分析	589
18.1	シングルチャネル法	589
18.1.1	走査型シングルチャネル波高分析法	589
18.1.2	シングルチャネル波高分析器の積み重ね方式	591
18.2	マルチチャネル波高分析器の一般的な特性	592
18.2.1	必要なチャネル数	592
18.2.2	較正と直線性	594

18.3	マルチチャネル波高分析器 .....	596
18.3.1	基本回路と機能 .....	596
18.3.2	アナログデジタル変換器 (ADC) .....	598
18.3.3	メモリ .....	601
18.3.4	補助機能 .....	602
18.4	スペクトルの安定化 .....	605
18.5	計算機化スペクトル分析 .....	607
18.5.1	デコンボリューションあるいはアンフォールディング .....	607
18.5.2	スペクトルストリッピング .....	609
18.5.3	ピークを持つスペクトルの解析 .....	610
	問題 .....	613
	文献 .....	614
<b>第7編 その他の放射線検出器と応用</b>		
<b>第19章 その他の放射線検出器 .....</b>		
19.1	チェレンコフ検出器 .....	619
19.2	液体電離箱と液体比例計数管 .....	621
19.3	写真乳剤 .....	622
19.3.1	ラジオグラフィ用フィルム .....	623
19.3.2	原子核乾板 .....	624
19.3.3	フィルムバック線量計 .....	626
19.4	熱ルミネセンス線量計 .....	627
19.4.1	熱ルミネセンスの機構 .....	627
19.4.2	熱ルミネセンス物質 .....	629
19.5	固体飛跡検出器 .....	630
19.5.1	飛跡記録の過程 .....	630
19.5.2	飛跡のエッチング .....	633
19.5.3	飛跡の計数と応用 .....	634
19.6	放射化箔による中性子の検出 .....	635
19.6.1	放射化と崩壊 .....	636
19.6.2	放射化検出器の物質 .....	637
	文献 .....	641

第20章	バックグラウンドと検出器の遮蔽	643
20.1	バックグラウンドの起源	643
20.1.1	一般の物質の放射能	643
20.1.2	気中放射能	648
20.1.3	宇宙線	648
20.2	ガンマ線スペクトル中のバックグラウンド	648
20.2.1	相対的寄与	648
20.2.2	バックグラウンド計数率の変動	651
20.2.3	線源に関連したバックグラウンド	652
20.3	その他の検出器のバックグラウンド	653
20.3.1	ガス入り計数管	653
20.3.2	半導体荷電粒子検出器	654
20.4	遮蔽材料	655
20.4.1	低バックグラウンド遮蔽用の普通の材料	655
20.4.2	中性子遮蔽	657
20.5	能動的バックグラウンド低減法	659
20.5.1	逆同時計数遮蔽	659
20.5.2	同時計数	659
	文献	662
付 録		
付録 1.	放射線の効果と被曝の限度	667
1.	放射線の効果	667
2.	線量の定量化	668
3.	被曝の種類	669
付録 2.	放射線に関連する主要単位 (訳補)	673
索引		巻末