

# 目 次

はじめに

## 【I編 放射線の基礎】

(野口 正安)

第1章 放射線の種類と性質	1
1.1 放射線の量の範囲	4
1.2 エネルギーの単位	4
1.3 エネルギーと他の物理量の関係	5
第2章 放射線の線量	9
2.1 フルエンス、エネルギーフルエンス、カーマ	9
2.2 照射線量	10
2.3 吸収線量	11
2.4 線量当量	12
第3章 放射性壊変	13
3.1 $\alpha$ 壊変	13
3.2 自発核分裂	15
3.3 $\beta$ 壊変、軌道電子捕獲	16
3.4 $\gamma$ 線放出、核異性体転移、内部転換	20
第4章 放射能	23
4.1 放射能の単位	23
4.2 放射能の減衰	24
第5章 原子核反応と放射性同位元素の生成	27
5.1 原子核反応の種類	28
5.2 荷電粒子反応	29
5.3 中性子核反応	31
5.4 核分裂	32
5.5 核反応の確率	34
5.6 放射性同位元素の製造	36

## 第6章 放射線と物質の相互作用 38

6.1 荷電粒子と物質の相互作用	38
6.1.1 電離作用と励起作用	38
6.1.2 制動放射線	40
6.1.3 特性X線、オージェ効果	42
6.1.4 物質の阻止能	44
6.1.5 荷電粒子の吸収、散乱、飛程	45
6.1.6 陽電子消滅	49
6.1.7 チェレンコフ効果	51
6.2 光子と物質の相互作用	52
6.2.1 光電効果	52
6.2.2 コンプトン散乱	54
6.2.3 電子対生成	57
6.2.4 相互作用断面積	58
6.2.5 二次電子エネルギー分布	59
6.2.6 物質中における $\gamma$ 線の減弱	61
6.2.7 $\gamma$ 線共鳴吸収	63
6.3 中性子と物質の相互作用	65
6.3.1 弾性散乱	66
6.3.2 非弾性散乱	67
6.3.3 核反応	68

## 第7章 放射線源と放射線発生装置 69

7.1 放射線源	69
7.1.1 非密封線源	70
7.1.2 密封線源	70
7.2 X線発生装置	77
7.3 粒子加速器	79
7.3.1 コッククロフト・ウォルトン加速器	79
7.3.2 バンデグラフ加速器	81
7.3.3 サイクロトロン	82
7.3.4 マイクロトロン	84
7.3.5 ベータトロン	84
7.3.6 シンクロトロン	85
7.3.7 線形加速器	86
7.3.8 シンクロトロン放射光	87

## 7.4 原子炉 89

解説 [2-1] エネルギー転移係数	92
解説 [2-2] 線質係数	92
解説 [2-3] 1cm線量当量	93
解説 [2-4] 線量の換算	93
解説 [3-1] 液滴モデルによる原子核の質量	94
解説 [3-2] 壊変図と壊変の特性	95
解説 [5-1] 熱中性子のマクスウェル・ボルツマン分布	96
解説 [6-1] 荷電粒子の阻止能	97
解説 [6-2] コンプトン散乱の微分断面積	98
参考文献	100

## 【II編 放射線測定の基本】

(野口 正安)

## 第1章 放射線測定の要点 103

1.1 放射線測定の分類	103
1.2 放射線の検出原理および信号の処理	104
1.2.1 放射線測定の原理	105
1.2.2 相互作用と検出器の種類	105
1.2.3 信号の処理	107

## 第2章 気体電離型放射線検出器 110

2.1 気体中の電離特性	110
2.2 電離箱	117
2.3 比例計数管	121
2.4 GM計数管	125

## 第3章 半導体検出器 132

3.1 動作の原理	132
3.2 信号の大きさと広がり	134
3.3 シリコン半導体検出器	136
3.3.1 $\alpha$ 線スペクトロメータ用Si検出器	136
3.3.2 X線用Si検出器	138
3.3.3 個人線量計	140

3.4	ゲルマニウム半導体検出器	140
3.4.1	検出器の種類と構造	141
3.4.2	特性および性能	147
3.5	その他の半導体検出器	151
3.5.1	化合物半導体検出器	151
3.5.2	位置有感フォトダイオード検出器	152
3.5.3	アバランシェフォトダイオード検出器	153
<b>第4章</b>	<b>シンチレーション検出器</b>	<b>154</b>
4.1	発光の原理	154
4.1.1	有機シンチレータの励起・発光	155
4.1.2	無機蛍光体の励起・発光	156
4.2	シンチレータの種類と特性	157
4.3	光電子増倍管の構造と特性	164
4.4	シンチレーション検出器の応用	170
<b>第5章</b>	<b>中性子検出器</b>	<b>172</b>
5.1	核反応による中性子検出器	172
5.1.1	He-3カウンタ	173
5.1.2	BF <sub>3</sub> カウンタ	175
5.1.3	Li-6中性子検出器	175
5.1.4	核分裂検出器	176
5.2	反跳陽子中性子検出器	177
5.3	放射化検出器	178
<b>第6章</b>	<b>イメージ検出器</b>	<b>180</b>
6.1	X線フィルム	180
6.2	イメージングプレート	181
6.3	イメージインテンシファイア	185
6.4	フラットパネル検出器	187
6.5	ファイバオプティックプレート	188
<b>第7章</b>	<b>積算線量計、その他の検出器</b>	<b>190</b>
7.1	熱ルミネセンス線量計	190
7.2	蛍光ガラス線量計	192
7.3	OSL線量計	194
7.4	フィルムバッジ	195
7.5	DIS線量計	196

7.6	化学線量計	196
7.7	高分子線量計	197
7.8	熱量計 (カロリメータ)	198
7.9	固体飛跡検出器	198
7.10	チェレンコフ検出器	199

## 第8章 放射能の測定 201

8.1	機器の組合せ	201
8.2	計数効率	202
8.3	スペクトル測定装置	206
8.4	$\alpha$ 線スペクトロメトリー	209
8.4.1	エネルギー校正	209
8.4.2	$\alpha$ 線の吸収効果	210
8.4.3	放射能の決定	211
8.5	$\gamma$ 線スペクトロメトリー	212
8.5.1	エネルギー校正、FWHM校正	212
8.5.2	ピーク面積	215
8.5.3	ピーク効率	217
8.5.4	自己吸収	222
8.5.5	サム効果	223
8.5.6	バックグラウンド $\gamma$ 線スペクトル	225
8.6	液体シンチレーション測定法	226
8.6.1	液体シンチレーション測定装置	227
8.6.2	クエンチング補正法	229
8.6.3	効率トレーサ法	231
8.6.4	$\alpha$ 線の測定	232
8.6.5	液体シンチレータおよび測定試料調製	233

## 第9章 放射線量の測定 237

9.1	照射線量の測定	237
9.2	吸収線量の測定	238
9.3	線量計の特性	239
9.3.1	エネルギー特性	239
9.3.2	フェーディング	240
9.3.3	方向依存性	240
9.3.4	測定範囲	241

第10章 電子機器および測定システム ----- 243

- 10.1 前置増幅器 243
- 10.2 主増幅器 245
- 10.3 ADC 247
- 10.4 タイミング回路 249
- 10.5  $\beta$   $\gamma$  コインシデンス法による放射能の絶対測定 251
- 10.6 アンチコンプトンスペクトロメータ 253
- 10.7  $\gamma$   $\gamma$  同時計数システム 254
- 10.8 パルス波形弁別法 256

第11章 測定データの統計 ----- 258

- 11.1 放射線の時間間隔 258
- 11.2 ポアソン分布とガウス分布 259
- 11.3 ガウス分布関数の積分 260
- 11.4 計数率とその誤差 261
- 11.5 検出限界値 263

- 解説 [8-1] デジタルMCA 266
- 解説 [8-2] 面線源効率積分法 267
- 解説 [8-3] 計算によるピーク効率校正法 269
- 解説 [8-4]  $\gamma$  線の自己吸収補正法 270
- 解説 [8-5] サム効果の補正 272
- 解説 [8-6] サムピーク法による放射能絶対測定 273
- 解説 [10-1]  $\alpha$ - $\beta$  波形弁別による低レベル  $\alpha$  放射能の測定 275
- 参考文献 277

【Ⅲ編 RI・放射線の計測応用】 (富永 洋)

第1章 放射線利用技術序論 ----- 281

- 1.1 計測利用と照射利用 281
- 1.2 計測利用の分類 282

第2章 RI (非密封) の計測利用 ----- 284

- 2.1 放射性壊変そのものの計測利用 284
  - 2.1.1 核種比測定 (考古学などにおける放射性年代測定) 284

- 2.1.2 自然  $\gamma$  線測定 (地層探査、資源探査、選鉱工程管理など) 285

2.2 ミクロ信号源としてのRI利用 285

- 2.2.1 RIトレーサの理工学利用 285
- 2.2.2 同位体利用分析法 286
- 2.2.3 オートラジオグラフィ 287
- 2.2.4 RIイメージング (放射型CTなど) 287

第3章 放射線と物質との相互作用の計測利用 ----- 289

- 3.1 放射線応用計測の特徴と概要 289
- 3.2 放射線応用計測外の計測利用概説 291
  - 3.2.1 ラジオグラフィ (放射線透過試験などの非破壊検査) 291
  - 3.2.2 X線および中性子回折 292
  - 3.2.3 メスバウアー分光分析 293
  - 3.2.4 放射化分析 293
  - 3.2.5 陽電子消滅測定 294
  - 3.2.6 気体分子イオン化の計測利用 295

第4章 放射線応用計測機器の最適設計 ----- 299

- 4.1 全体的な問題と共通の取扱い法 299
- 4.2 基本式と誤差要因 299
- 4.3 典型的透過型計測器における最適条件 301

第5章 計測器安定化制御の最適設計 ----- 303

- 5.1 安定化の対象と制御ループ 303
- 5.2 制御時の出力変動 305
- 5.3 制御要素最適化の検討 306

第6章 放射能透過利用計測の基本 ----- 308

- 6.1 典型的  $\gamma$  線透過減弱利用計測 308
  - 6.1.1 細い線束と広がった線束 308
  - 6.1.2  $\gamma$  線鋼板厚さ計の具体例 - わずかにコリメートされた場合 308
  - 6.1.3 厚さプロフィール計測 - 扇状X線ビーム利用 310
  - 6.1.4 地表密度計 - コリメータなしの  $\gamma$  線透過利用 311
  - 6.1.5  $\gamma$  線レベル計 - コリメートのさまざまなビーム利用 312
- 6.2 二重エネルギー  $\gamma$  線透過法 313
- 6.3 多重エネルギー光子応用計測 315

第7章 紙などシート厚さ測定におけるトピックス ————— 318

7.1  $\beta$ 線透過減弱係数の試料組成依存性 318

7.2 低エネルギー $\gamma$ 線後方散乱法の計測特性 319

第8章 中性子利用計測 ————— 322

8.1 透過型水分計の開発利用の展開 322

8.1.1 透過型水分計の開発利用の展開 322

8.2 減速促進型新水分・水素計の開発 324

解説 [2-1] トレーサの検出感度計算 326

解説 [5-1] レートメータ回路出力の統計的取扱い（時間領域の自己  
相関関数と周波数領域のスペクトル密度） 326

参考文献 328

索引 巻末