



# 目 次

改訂版まえがき

まえがき

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第 1 章 放射線遮蔽設計の基本的考察</b> ..... | 1  |
| 1.1 放射線遮蔽の目的.....                | 1  |
| 1.2 放射線防護と許容線量.....              | 1  |
| 1.3 遮蔽設計の基本方針.....               | 3  |
| 1.4 線源に対する考慮.....                | 3  |
| 1.5 遮蔽体の配慮.....                  | 4  |
| 1.6 二次放射線に対する考慮.....             | 4  |
| 1.7 ストリーミングと二次遮蔽.....            | 5  |
| 1.8 遮蔽体の材料の選択.....               | 5  |
| 1.9 放射線発熱と放射線損傷に対する考慮.....       | 5  |
| 1.10 最適設計.....                   | 6  |
| 1.11 放射線遮蔽とその関連する分野.....         | 6  |
| <b>第 2 章 予備知識</b> .....          | 8  |
| 2.1 放射線.....                     | 8  |
| 2.2 質量とエネルギー.....                | 8  |
| 2.3 荷電粒子の放出.....                 | 10 |
| 2.4 ガンマ線.....                    | 11 |
| 2.5 核反応.....                     | 14 |

|                                 |                                |           |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 2.6                             | 中性子                            | 15        |
| 2.7                             | 制動放射と特性 X 線                    | 19        |
| 2.8                             | 線源の強度                          | 19        |
| 2.9                             | 空間の表示                          | 19        |
| 2.10                            | 中性子束, 光子束, 粒子フルエンス, エネルギーフルエンス | 21        |
| 2.11                            | 媒質の形状                          | 23        |
| 2.12                            | 自然対数                           | 24        |
|                                 | 練習問題                           | 24        |
| <b>第 3 章 ガンマ線と物質との相互作用</b>      |                                | <b>27</b> |
| 3.1                             | ガンマ線と物質との相互作用の基礎過程             | 27        |
| 3.2                             | 光電効果                           | 28        |
| 3.3                             | コンプトン散乱                        | 29        |
| 3.4                             | 電子対生成                          | 33        |
| 3.5                             | 弾性散乱                           | 35        |
| 3.6                             | 光核反応                           | 36        |
|                                 | 練習問題                           | 37        |
| <b>第 4 章 細いビームのガンマ線の物質による減衰</b> |                                | <b>38</b> |
| 4.1                             | ガンマ線と物質との相互作用の巨視的現象            | 38        |
| 4.2                             | 線減衰係数と質量減衰係数                   | 39        |
| 4.3                             | 平均自由行程                         | 44        |
| 4.4                             | エネルギーの吸収                       | 45        |
| 4.5                             | 吸収線量                           | 47        |
| 4.6                             | 照射線量                           | 47        |
| 4.7                             | 線量当量                           | 50        |
|                                 | 練習問題                           | 51        |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>第5章 一次ガンマ線の物質による減衰</b> ..... | 53 |
| 5.1 簡単な線源.....                  | 53 |
| 5.2 平面一方向線源.....                | 54 |
| 5.3 点等方線源.....                  | 54 |
| 5.4 線等方線源.....                  | 57 |
| 5.5 円板等方線源, 無限平面等方線源.....       | 59 |
| 5.6 無限平面コサイン線源.....             | 61 |
| 5.7 球面線源.....                   | 62 |
| 5.8 半無限大の体積線源.....              | 63 |
| 練習問題.....                       | 63 |
| <br>                            |    |
| <b>第6章 ガンマ線の物質による減衰</b> .....   | 69 |
| 6.1 コリメートされていないガンマ線の物質透過.....   | 69 |
| 6.2 ビルドアップ係数.....               | 75 |
| 6.3 無限媒質に対するビルドアップ係数.....       | 76 |
| 6.4 ビルドアップ係数を表わす式.....          | 84 |
| 6.5 無限媒質中の散乱ガンマ線のスペクトル.....     | 87 |
| 6.6 層状物質のビルドアップ係数.....          | 89 |
| 6.7 斜入射ガンマ線のビルドアップ係数.....       | 92 |
| 6.8 特殊な形状の物体のビルドアップ係数.....      | 94 |
| 練習問題.....                       | 95 |
| <br>                            |    |
| <b>第7章 中性子と物質との相互作用</b> .....   | 97 |
| 7.1 放射線遮蔽における中性子物理学.....        | 97 |
| 7.2 中性子のエネルギーによる分類.....         | 97 |
| 7.3 中性子と物質との相互作用.....           | 98 |

|                              |                       |            |
|------------------------------|-----------------------|------------|
| 7.4                          | コリメートした高速中性子の物質透過     | 103        |
| 7.5                          | 中性子データ                | 104        |
| 7.6                          | 弾性散乱                  | 105        |
| 7.7                          | 弾性散乱による中性子の減速         | 106        |
| 7.8                          | 非弾性散乱                 | 109        |
| 7.9                          | 放射捕獲                  | 110        |
| 7.10                         | 荷電粒子を放出する核反応          | 112        |
| 7.11                         | $(n, 2n)$ 反応          | 112        |
| 7.12                         | 核分裂                   | 113        |
| 7.13                         | 中性子の線量およびカーマ          | 114        |
| <b>第 8 章 物質中における高速中性子の減衰</b> |                       | <b>118</b> |
| 8.1                          | 高速中性子の物質による減衰の概要      | 118        |
| 8.2                          | 水中における高速中性子の減衰        | 119        |
| 8.3                          | 除去断面積                 | 122        |
| 8.4                          | 緩和距離                  | 126        |
| 8.5                          | 中性子減衰曲線の例             | 128        |
| 8.6                          | 物質中および物質透過後の中性子のスペクトル | 129        |
| <b>第 9 章 減衰核法と除去拡散法</b>      |                       | <b>135</b> |
| 9.1                          | 大型体積線源の遮蔽計算           | 135        |
| 9.2                          | 減衰核                   | 135        |
| 9.3                          | 減衰核法                  | 136        |
| 9.4                          | 拡散方程式                 | 137        |
| 9.5                          | 拡散方程式の解               | 139        |
| 9.6                          | 除去拡散法                 | 142        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>第10章 輸送理論</b> .....                        | 144 |
| 10.1 ガンマ線および中性子の物質透過の問題に対する輸送理論の応用            | 144 |
| 10.2 ガンマ線光子の伝達に関する時間に独立なボルツマンの輸送<br>方程式 ..... | 145 |
| 10.3 単一エネルギー中性子に対するボルツマンの輸送方程式 .....          | 147 |
| 10.4 ルジャンドルの多項式による展開 .....                    | 148 |
| 10.5 多群法によるボルツマンの輸送方程式の取扱い .....              | 150 |
| 10.6 ディスクートオーディネート .....                      | 152 |
| 10.7 ガンマ線光子の伝達に関する時間に独立なボルツマンの輸送<br>方程式 ..... | 153 |
| <br>  |     |
| <b>第11章 モンテカルロ法</b> .....                     | 157 |
| 11.1 モンテカルロ法の遮蔽計算への適用 .....                   | 157 |
| 11.2 乱数 .....                                 | 158 |
| 11.3 ランダム変数 .....                             | 158 |
| 11.4 ガンマ線の透過に対する適用例 .....                     | 159 |
| 11.5 統計的手法の導入 .....                           | 160 |
| 11.6 遮蔽計算モンテカルロコードの例 .....                    | 161 |
| <br>  |     |
| <b>第12章 後方散乱</b>                              |     |
| 12.1 中性子とガンマ線の後方散乱 .....                      | 163 |
| 12.2 ガンマ線に対するアルベト .....                       | 164 |
| 12.3 ガンマ線に対するアルベトのデータ .....                   | 167 |
| 12.4 微分線量アルベドの本経験式 .....                      | 170 |
| 12.5 中性子に対する微分アルベド .....                      | 171 |
| 12.6 散乱体外の点における後方散乱線量と線量の計算 .....             | 174 |

|             |                          |            |
|-------------|--------------------------|------------|
| 12.7        | 高エネルギーX線の後方散乱            | 177        |
| 12.8        | スカイシャイン                  | 178        |
|             | 練習問題                     | 181        |
| <b>第13章</b> | <b>ダクト，ポイドおよび迷路</b>      | <b>182</b> |
| 13.1        | 遮蔽中のダクトとポイド              | 182        |
| 13.2        | 直視法                      | 184        |
| 13.3        | 減衰核法の応用                  | 186        |
| 13.4        | 長いダクト中の中性子とガンマ線のストリーミング  | 187        |
| 13.5        | 屈曲ダクト                    | 190        |
| 13.6        | ダクトストリーミングに対するモンテカルロ法の応用 | 194        |
| 13.7        | 輸送方程式の数値解法の適用            | 197        |
| <b>第14章</b> | <b>重い高速荷粒子の物質透過</b>      | <b>198</b> |
| 14.1        | 高速荷電粒子と物質との相互作用          | 198        |
| 14.2        | $\alpha$ 線の飛程，電離         | 199        |
| 14.3        | 荷電粒子のエネルギー損失             | 201        |
| 14.4        | 飛程とエネルギー関係               | 202        |
| 14.5        | 阻止能と線エネルギー付与             | 204        |
| 14.6        | 核分裂破片の飛程                 | 206        |
| 14.7        | 重い荷電粒子による放射線損傷           | 206        |
|             | 練習問題                     | 207        |
| <b>第15章</b> | <b>高速電子の物質透過</b>         | <b>209</b> |
| 15.1        | 高速電子の物質透過の特徴             | 209        |
| 15.2        | 非弾性衝突によるエネルギー損失          | 209        |

|             |                            |            |
|-------------|----------------------------|------------|
| 15.3        | 原子核による散乱                   | 210        |
| 15.4        | 制動放射                       | 210        |
| 15.5        | 高エネルギー電子加速器のターゲットからの制動放射   | 212        |
| 15.6        | チェレンコフ放射                   | 213        |
| 15.7        | 厚い物質中の電子の透過                | 214        |
| 15.8        | $\beta$ 線の吸収               | 218        |
| 15.9        | 電子の後方散乱                    | 218        |
| 15.10       | 陽電子の消滅                     | 219        |
|             | 練習問題                       | 220        |
| <b>第16章</b> | <b>ガンマ線計測</b>              | <b>221</b> |
| 16.1        | 放射線遮蔽と放射線計測                | 221        |
| 16.2        | ガンマ線の測定                    | 221        |
| 16.3        | 電離箱による照射線量の測定              | 222        |
| 16.4        | X線およびガンマ線の吸収線量の測定          | 223        |
| 16.5        | ブラッグ グレイの原理                | 224        |
| 16.6        | G-M 計数管                    | 225        |
| 16.7        | G-M 計数管によるガンマ線エネルギー束の測定    | 226        |
| 16.8        | シンチレーションスペクトロメータ           | 227        |
| 16.9        | レスポンス関数とアンフォールディング         | 229        |
| 16.10       | Ge (Li) 検出器                | 234        |
| 16.11       | 高エネルギーガンマ線の測定              | 237        |
| 16.12       | シンチレーションカウンタによるガンマ線吸収線量の測定 | 238        |
| 16.13       | 熱蛍光線量計 (TLD)               | 238        |
| 16.14       | 写真乳剤による線量測定                | 238        |
| 16.15       | 化学線量計                      | 239        |



|   |     |
|---|-----|
| <b>第17章 中性子計測</b> .....                 | 240 |
| 17.1 中性子の測定.....                        | 240 |
| 17.2 BF <sub>3</sub> 計数管.....           | 241 |
| 17.3 核分裂計数管.....                        | 243 |
| 17.4 <sup>3</sup> He 計数管.....           | 244 |
| 17.5 反跳陽子計数管.....                       | 244 |
| 17.6 有機シンチレータによる高速中性子の測定.....           | 246 |
| 17.7 半導体カウンタを用いた中性子スペクトロメータ.....        | 249 |
| 17.8 飛行時間法による中性子のエネルギーの測定.....          | 250 |
| 17.9 ボナボール.....                         | 250 |
| 17.10 放射化による熱中性子計測.....                 | 252 |
| 17.11 しきい検出器による高速中性子の検出.....            | 255 |
| 17.12 中性子線量の測定.....                     | 256 |
| 17.13 熱蛍光線量計による中性子の計測.....              | 258 |
| 17.14 二次粒子飛跡による中性子の検出.....              | 259 |
| <br>                                    |     |
| <b>第18章 密封線源の遮蔽</b> .....               | 260 |
| 18.1 設計空間線量率の決定.....                    | 260 |
| 18.2 小ガンマ線源の遮蔽.....                     | 261 |
| 18.3 ガンマ線照射装置およびホットケープ.....             | 262 |
| 18.4 ( $\alpha, n$ ) 反応を用いた中性子源の遮蔽..... | 265 |
| 18.5 <sup>252</sup> Cf 中性子源の遮蔽.....     | 266 |
| 練習問題.....                               | 268 |
| <br>                                    |     |
| <b>第19章 原子炉の遮蔽</b> .....                | 271 |
| 19.1 原子炉で発生する中性子とガンマ線.....              | 271 |

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 19.2  | 遮蔽研究用原子炉     | 274 |
| 19.3  | 原子炉の遮蔽       | 276 |
| 19.4  | 熱遮蔽          | 280 |
| 19.5  | コンクリート遮蔽     | 280 |
| 19.6  | 水と金属の多重層遮蔽体  | 282 |
| 19.7  | 二次遮蔽         | 282 |
| 19.8  | 遮蔽体中における熱の発生 | 283 |
| 19.9  | 放射線損傷の推定     | 284 |
| 19.10 | 原子炉遮蔽設計の手順   | 284 |
| 参考文献  |              | 287 |
| 索引    |              | 301 |