

目次

| | |
|--|----|
| 第 1 章 放射線と物質の相互作用 | 5 |
| 1-1 放射線の定義 | 5 |
| 1-2 質量とエネルギー | 6 |
| 1-3 質量欠損と結合エネルギー | 9 |
| 1-4 放射線源と放射線の種類 | 10 |
| (1) 放射性壊変 (radioactive decay または disintegration) | 11 |
| (2) 逐次壊変 | 11 |
| (3) 放射平衡 | 12 |
| (4) α 壊変 (α 線放射) | 15 |
| (5) β 壊変 (β 線放射) | 16 |
| (6) γ 壊変 (γ 線放射) | 17 |
| (7) X 線 | 19 |
| (8) 中性子 | 19 |
| 1-5 放射線と物質との相互作用 | 20 |
| 1-6 荷電粒子と物質との相互作用 | 20 |
| (1) 相互作用の種類 | 20 |
| (2) 衝突過程の kinematics | 21 |
| (3) 阻止能 (stopping power) | 23 |
| (4) 阻止能と線エネルギー付与 (LET, linear energy transfer) | 25 |
| (5) 重い荷電粒子の飛程 | 26 |
| (6) 電子の飛程 | 34 |
| (7) 制動放射 (bremsstrahlung) | 34 |
| (8) 放射エネルギー損失と放射長 (radiation length) | 36 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| (9) | チェレンコフ放射 | 38 |
| (10) | クーロン場による散乱 (弾性散乱) | 39 |
| 1-7 | 光子と物質との相互作用 | 40 |
| (1) | 極微少過程 | 41 |
| (2) | 微少過程 | 42 |
| (3) | 光電効果 (photoelectric effect) | 42 |
| (4) | コンプトン散乱 (Compton scattering, incoherent scattering) | 44 |
| (5) | 電子対生成 | 47 |
| (6) | 陽電子の消滅 | 50 |
| (7) | 吸収の全断面積 | 50 |
| 1-8 | 中性子と物質との相互作用 | 53 |
| (1) | 断面積 | 53 |
| (2) | エネルギーと運動量の保存 | 54 |
| (3) | 複合核 | 56 |
| (4) | 核反応におけるチャンネルの概念 | 58 |
| (5) | 弾性散乱によるエネルギー損失 | 59 |
| (6) | 非弾性散乱 | 62 |
| (7) | 捕獲 | 63 |
| (8) | 核変換 | 63 |
| (9) | 核分裂 | 63 |
| (10) | 中性子のエネルギーによる分類 | 65 |
| 第 2 章 | 放射線の量と単位 | 69 |
| 2-1 | 線源の強度と粒子束 | 69 |
| 2-2 | エネルギー吸収と線量 | 71 |
| (1) | 付与エネルギー (energy imparted) | 71 |
| (2) | 吸収線量 (absorbed dose) | 72 |
| (3) | 照射線量 (exposure) | 73 |
| (4) | 照射線量と空気吸収線量との関係 | 74 |
| (5) | カーマ (kerma) | 74 |

| | |
|---|------------|
| (6) カーマと吸収線量の関係 | 75 |
| 2-3 吸収線量の測定—空洞理論 | 80 |
| (1) 空洞が小さい時 | 81 |
| (2) 空洞が大きい時 | 82 |
| (3) 空洞が中間の大きさの時 | 83 |
| 2-4 防護のための線量の諸量 | 83 |
| (1) 線量当量 (dose equivalent, H) | 83 |
| (2) 等価線量 (equivalent dose, H_T) | 86 |
| (3) 実効線量当量 (effective dose equivalent, H_E) と実効線量 (effective dose, E) | 87 |
| (4) モニタリングのための実用量 | 88 |
| (5) 場の測定に用いる線量当量 | 91 |
| (6) 個人の測定に用いる線量当量 | 92 |
| (7) 線量換算係数と相互比較 | 93 |
| (8) 法令で定められた放射線防護のための諸量 | 99 |
| (9) 預託等価線量 (committed equivalent dose, $H_T(\tau)$) と預託実効線量 (committed effective dose, $E(\tau)$) | 101 |
| 第3章 放射線の物質による減衰 | 107 |
| 3-1 γ 線の物質中での減衰 | 107 |
| (1) 一次 γ 線 (直接線) の減衰計算 | 109 |
| (2) 二次 γ 線 (散乱線) を含む計算 | 117 |
| (3) 点減衰核法 | 125 |
| (4) 実効線量の計算法 | 126 |
| 3-2 中性子の物質中での減衰 | 135 |
| 3-3 制動放射線の物質中での減衰 | 142 |
| 3-4 後方散乱 | 146 |
| (1) γ 線と中性子のアルベド | 146 |
| (2) 後方散乱線束・線量の計算 | 148 |
| 3-5 ダクトストリーミング | 149 |
| (1) 直線状ダクト | 149 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| (2) | 屈曲ダクト | 151 |
| 3-6 | 遮蔽材料 | 153 |
| (1) | β 線遮蔽 | 153 |
| (2) | γ 線遮蔽 | 153 |
| (3) | 中性子遮蔽 | 154 |
| 第4章 | 放射線の計測 | 157 |
| 4-1 | γ 線エネルギースペクトルの測定 | 157 |
| (1) | シンチレーションスペクトロメータ | 157 |
| (2) | Ge半導体検出器 | 163 |
| 4-2 | 中性子エネルギースペクトルの測定 | 165 |
| (1) | 有機シンチレータ | 168 |
| (2) | 反跳陽子比例計数管 | 173 |
| (3) | ^3He 比例計数管 | 174 |
| (4) | 多減速材付検出器(ボナーカウンタ) | 175 |
| (5) | 放射化検出器 | 178 |
| (6) | 飛行時間分析(TOF)法 | 183 |
| (7) | カウンターテレスコープ | 186 |
| (8) | その他の測定器 | 188 |
| 4-3 | γ 線空間線量の測定 | 190 |
| (1) | 線量測定法 | 191 |
| (2) | 1cm線量当量 $H_{1\text{cm}}$ の測定 | 193 |
| (3) | 電離箱による吸収線量(組織吸収線量)の測定 | 194 |
| (4) | 環境モニタリング | 196 |
| 4-4 | 中性子空間線量の測定 | 197 |
| (1) | 線量測定法 | 197 |
| (2) | 組織等価型検出器による線量当量の測定 | 199 |
| (3) | レムカウンタによる線量当量の測定 | 203 |
| 4-5 | γ 線個人線量の測定 | 208 |
| (1) | 測定方法 | 208 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| (2) | フィルムバッジ | 210 |
| (3) | TLD(熱蛍光線量計、thermo-luminescent dosimeter) | 213 |
| (4) | ポケット線量計 | 216 |
| (5) | ガラス線量計 | 216 |
| (6) | シリコン線量計 | 217 |
| (7) | OSL 線量計 | 218 |
| (8) | DIS(Direct Ion Strage) 線量計 | 218 |
| 4-6 | 中性子個人線量の測定 | 219 |
| (1) | フィルムバッジ | 219 |
| (2) | TLD アルベド型線量計 | 220 |
| (3) | 固体飛跡検出器 | 221 |
| (4) | バブル線量計 | 223 |
| (5) | シリコン半導体線量計 | 223 |
| 第 5 章 | 加速器の種類と利用の現状 | 229 |
| 5-1 | 共振変圧器型加速器 (電子線発生装置) | 229 |
| 5-2 | X 線発生装置 | 229 |
| 5-3 | ベータトロン | 231 |
| 5-4 | リニアック (線形加速器) | 232 |
| 5-5 | マイクロトロン | 235 |
| 5-6 | サイクロトロン | 236 |
| 5-7 | 小型 (ベビー) サイクロトロン | 237 |
| 5-8 | コッククロフト-ワルトン型加速器 | 238 |
| 5-9 | バンデグラフ型加速器 | 239 |
| 5-10 | イオン注入・照射装置 | 241 |
| 5-11 | 微量元素分析装置 | 241 |
| 5-12 | 強力中性子源 | 242 |
| 5-13 | シンクロトロン | 245 |
| 5-14 | 電子貯蔵リング (放射光施設) | 246 |
| 5-15 | 自由電子レーザー | 247 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 5-16 RI ビームファクトリ | 248 |
| 5-17 がん治療用陽子・重イオン加速器 | 248 |
| 第 6 章 加速器施設の安全設計の考え方 | 251 |
| 6-1 放射線遮蔽設計の考え方 | 251 |
| 6-2 障害防止法令による安全規制 | 252 |
| 6-3 安全管理システム | 256 |
| 6-4 放射化物の取扱いについて | 261 |
| 第 7 章 加速器からの放射線と放射能の生成 | 265 |
| 7-1 概要 | 265 |
| 7-2 ビーム損失量の評価 | 267 |
| 7-3 放射線源の評価 — 陽子・イオン加速器の場合 | 272 |
| (1) 中性子生成断面積データ | 275 |
| (2) 中性子生成量 | 290 |
| 7-4 放射線源の評価 — 電子加速器の場合 | 310 |
| 7-5 放射化による放射能の生成 | 319 |
| (1) 低、中エネルギー荷電粒子(電子を除く)による放射化 | 319 |
| (2) 高エネルギー反応による放射化 | 321 |
| (3) 電子による放射化 | 330 |
| (4) 中性子による放射化 | 332 |
| 第 8 章 加速器施設の遮蔽設計計算法の概要 | 335 |
| 8-1 バルク遮蔽 | 335 |
| (1) 陽子加速器 | 335 |
| (2) 電子加速器 | 360 |
| 8-2 ストリーミング | 380 |
| (1) 迷路からのストリーミング | 380 |
| (2) 迷路終端部の扉による中性子、二次 γ 線の減衰 | 386 |
| 8-3 スカイシャイン | 390 |
| (1) γ 線スカイシャイン | 390 |

| | |
|---|------------|
| (2) 中性子スカイシャイン | 391 |
| 8-4 放射化 | 401 |
| (1) 機器の放射化 | 401 |
| (2) 空気の放射化 | 410 |
| (3) 水及び土の放射化 | 413 |
| (4) コンクリートの放射化 | 417 |
| 第9章 放射線の輸送計算 (I) — 輸送方程式 | 419 |
| 9-1 ボルツマン輸送方程式の導出 | 419 |
| (1) γ 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 | 419 |
| (2) 粒子伝播に関する時間に独立なボルツマンの輸送方程式 | 420 |
| 9-2 単一エネルギー粒子に対するボルツマンの輸送方程式 | 422 |
| (1) 球面調和関数展開 (spherical harmonics expansion) による解 | 423 |
| (2) 離散型座標展開 (discrete ordinate expansion) による解 | 426 |
| 9-3 球座標における輸送方程式 | 429 |
| 9-4 多群輸送方程式とその積分形 | 432 |
| 第10章 放射線の輸送計算 (II) — モンテカルロ法 | 437 |
| 10-1 確率変数 | 437 |
| (1) 離散型確率過程 | 437 |
| (2) 連続型確率過程 | 438 |
| (3) 確率変数の求め方 | 438 |
| 10-2 ランダム歩行問題における分散減少法 | 440 |
| (1) アナログ型モンテカルロ法 | 440 |
| (2) ノンアナログ型モンテカルロ | 442 |
| 10-3 放射線の物質内輸送現象への応用 | 444 |
| (1) 線源の決定 | 445 |
| (2) 飛行距離の決定 | 447 |
| (3) 新しい空間座標の決定 | 449 |
| (4) 体系内かどうかの決定 | 449 |

| | |
|--|------------|
| (5) 衝突の決定 | 450 |
| (6) 衝突後の新しい方向座標の決定 | 450 |
| (7) 考えている領域における結果の貯蔵 | 451 |
| 10-4 衝突過程の取扱い | 453 |
| (1) 中性子 | 453 |
| (2) 光子 | 458 |
| 10-5 輸送方程式とモンテカルロ法の関係 | 461 |
| 10-6 電磁カスケードモンテカルロ | 462 |
| 10-7 ハドロンカスケードモンテカルロ | 470 |
| (1) 核構造モデル | 471 |
| (2) 飛程、衝突点、衝突反応の種類および衝突された粒子の運動量のサンプリング法 | 474 |
| (3) モンテカルロ法による蒸発過程の計算法 | 474 |
| 参考書 | 477 |
| 参考文献 | 480 |