

目次

はしがき	1
1. 概説	2
1.1 刊行の経緯	2
参考文献	3
1.2 編集方針	3
1.3 本書使用上の注意点	3
1.4 委員名簿と各章の執筆者	5
2. 線源	8
2.1 概要	8
2.2 アイソトープ線源	8
2.2.1 γ 線源	8
2.2.2 β 線源	10
2.2.3 中性子線源	11
(1) 自発核分裂、(2) (α, n)反応	
参考文献	12
2.3 商業用軽水型原子炉施設における線源	12
2.3.1 線源の概要	12
(1) 中性子、(2) γ 線	
2.3.2 BWR	12
(1) 通常運転時の線源、(2) 事故時の線源	
2.3.3 PWR	16
(1) 通常運転時の線源、(2) 事故時の線源、(3) 大型改造工事に係る線源	
参考文献	20
2.4 核融合炉	20
2.4.1 磁場閉じ込め DT 核融合炉	20
2.4.2 DT 核融合中性子及び γ 線の発生	22
2.4.3 核融合炉における中性子発生量と遮蔽の目的	24
参考文献	26
2.5 核燃料再処理施設等における線源	27
2.5.1 施設の概要と線源	27
(1) 再処理施設等の概要、(2) 再処理施設等の線源の考え方	
2.5.2 線源強度への影響因子	32
(1) 線源の生成プロセス、(2) 燃焼度の影響、(3) 冷却時間の影響	
2.5.3 線源強度の算出法	35
(1) 燃焼計算コードを用いた線源強度の算出法、(2) 放射化 γ 線源強度の算出法	

参考文献	37
2.6 電子線加速器	37
2.6.1 考慮すべき放射線と主な発生源	37
2.6.2 電磁カスケードに対する遮蔽設計	38
2.6.3 中性子の生成と遮蔽設計	38
2.6.4 ミューオンの生成と遮蔽設計	39
2.6.5 ガス制動放射線	39
参考文献	41
2.7 陽子線、重イオン加速器	41
2.7.1 背景	41
2.7.2 陽子線、重イオン加速器の概要	41
(1) サイクロトロン、(2) 小型サイクロトロン、(3) 線形加速器、(4) 重イオン加速器	
2.7.3 γ 線生成	42
2.7.4 中性子生成	42
(1) Moving Source Model による中性子生成量スペクトルの汎用評価法	
参考文献	50
3. 断面積とライブラリー	52
3.1 概要	52
3.2 断面積	52
3.2.1 定義	52
(1) 微視的断面積、(2) 巨視的断面積、(3) 反応率	
3.2.2 種類	53
(1) γ 線、(2) 中性子	
3.2.3 断面積データライブラリー	63
(1) 評価済核データライブラリー、(2) 特殊目的核データライブラリー	
参考文献	67
3.3 群定数ライブラリー	68
3.3.1 群定数ライブラリーの定義	68
3.3.2 群定数処理	69
(1) 共鳴パラメータ処理、(2) スムース断面積処理、(3) 温度処理、(4) KERMA 係数と DPA 断面積の処理、(5) 自己遮蔽因子処理、(6) 中性子散乱マトリックス処理	
(7) 群定数ライブラリーの作成	
3.3.3 群定数処理コード	78
(1) NJOY99、(2) NJOY2012、(3) AMPX-2000、(4) CALENDF-2010、(5) PREPRO2012	
3.3.4 群定数ライブラリーセット	80
参考文献	83
3.4 連続エネルギー断面積ライブラリー	85

3.4.1	連続エネルギー断面積ライブラリーの定義	85
3.4.2	断面積処理	87
	(1) エネルギー・角度分布処理、(2) 連続エネルギー断面積ライブラリーの作成	
3.4.3	断面積処理コード	89
	(1) NJOY99、(2) NJOY2012、(3) AMPX-2000、(4) CALENDF-2010、(5) PREPRO2012、 (6) LICEM2010	
3.4.4	連続エネルギー断面積ライブラリーセット	90
	参考文献	93
3.5	線量換算係数	94
3.5.1	実効線量	94
3.5.2	計測実用線量	94
3.5.3	照射線量	95
3.5.4	遮蔽計算に用いる線量換算係数の標準値	95
	参考文献	95
4.	輸送計算法	98
4.1	概要	98
4.2	ボルツマン輸送方程式の基礎概念	98
4.2.1	緒言	98
4.2.2	位相空間と分布関数	98
4.2.3	輸送方程式の導出	101
4.2.4	遮蔽計算コードで用いる輸送方程式	103
4.2.5	境界条件	104
4.2.6	基本形状に対するドリフト項の表現	104
4.2.7	積分表現	104
4.2.8	多群近似	106
	参考文献	108
4.3	離散座標法	108
4.3.1	序論	108
4.3.2	基本式	109
4.3.3	差分近似式	110
4.3.4	数値解法	111
4.3.5	中性子・ γ 線結合計算	112
4.3.6	離散座標法における注意点	114
	(1) 空間メッシュと差分近似、(2) レイエフェクト、(3) 角度分点とルジャンドル展開	
4.3.7	計算コード	116
	(1) ANISN、(2) DOT 及び DORT、(3) TORT、(4) PARTISN、(5) SCALE コードシステム、(6) その他のコードシステム	

参考文献	121
4.4 モンテカルロ法	124
4.4.1 概要	124
4.4.2 乱数と疑似乱数	126
4.4.3 確率分布	127
(1) 確率変数が 1 つの場合の確率密度関数及び累積分布関数、(2) 分布からの標本抽出、(3) 確率変数が 2 つの場合の確率密度関数及び累積分布関数	
4.4.4 アナログモンテカルロ法による標本抽出	132
(1) 粒子の追跡、(2) 統計の方法	
4.4.5 誤差の評価	134
(1) 期待値、(2) 分散、(3) 中心極限定理	
4.4.6 アナログモンテカルロ法を使用した具体的な計算例	139
4.4.7 非アナログモンテカルロ法	141
(1) 分散の性質、(2) インポートランス・サンプリング、(3) 分散低減法	
4.4.8 位相空間内における粒子の追跡	149
(1) 断面積と衝突、(2) 中性子の散乱、(3) 光子の相互作用、(4) 多群相互作用、(5) タリー、(6) 幾何学的形状内における粒子の追跡、(7) 粒子の追跡、(8) 幾何学的形状の記述の単純化	
4.4.9 計算形状	155
(1) 計算形状定義の種類、(2) 計算形状作成の留意点、(3) 計算体系の定義例 (原点が中心の上側半球の領域)、(4) CAD データから形状入力データ自動作成コード	
4.4.10 CADIS 法	160
(1) 概要、(2) 理論、(3) CADIS 法、(4) FW-CADIS	
4.4.11 計算コード	164
(1) MCNP、(2) PHITS、(3) MVP/GMVP、(4) EGS、(5) FLUKA、(6) TRIPOLI、(7) MARS、(8) MONACO/MAVRIC、(9) Geant	
参考文献	178
4.5 随伴計算	182
4.5.1 概要	182
4.5.2 輸送計算と随伴結合計算による遮蔽設計	182
(1) 基礎式、(2) モンテカルロ-随伴モンテカルロ結合計算法の計算例	
4.5.3 輸送計算と随伴計算による断面積感度解析	185
(1) 基礎式、(2) 断面積感度解析の適用	
参考文献	186
4.6 Invariant Embedding 法	188
4.6.1 序論	188
(1) 開発の経緯、(2) 角度分布計算上の課題	
4.6.2 反射・透過関数の基本式	188

(1) 半無限均質平板の反射関数、(2) 修正透過関数の導入と基本方程式	
4.6.3 IE 法コード GTIET5	190
(1) 計算コードの概要、(2) 空間積分誤差の評価	
参考文献	191
5. バルク遮蔽の簡易計算手法	192
5.1 概要	192
5.2 単純形状線源に対する計算式	192
5.2.1 点減衰核法	192
(1) γ 線、(2) 中性子、(3) 点減衰核法の適用	
5.2.2 実効線量等の透過率を使用した各種計算法	202
(1)放射性同位元素に対する計算方法、(2) 医療用電子加速器、(3) 高エネルギー電子加速器、(4) 高エネルギーイオン加速器	
参考文献	215
5.3 簡易計算コード	128
5.3.1 γ 線計算コード	218
(1) SPAN、(2) QAD	
5.3.2 高エネルギーイオン加速器計算コード	224
(1) BULK	
参考文献	227
6. ストリーミングの簡易計算手法	229
6.1 概要	229
参考文献	230
6.2 簡易計算法	231
6.2.1 放射線ストリーミングの計算原理	231
(1) 線源条件、(2) 直接線に対する計算式、(3) アルベド直接線に対する計算式、(4) 漏えい線に対する計算式	
6.2.2 直円筒ダクト	235
(1) 直接成分、(2) 原子炉遮蔽における速中性子に対する経験式、(3) γ 線アルベド成分に対する Shindo らの半経験式、(4) 中性子アルベド成分に対する Simon-Clifford の式、(5) Ray analysis 法による漏えい成分の計算式、(6) Piercey の方法、(7) Fisher の理論式、(8) 中性子に対する Miura の式、(9) γ 線または速中性子に対する漏えい成分の計算データ表	
6.2.3 遮蔽体を部分的に貫通した直円筒ダクト	242
(1) 開口部が遮蔽体出口にある場合、(2) 開口部が線源側にある場合	
6.2.4 屈曲円筒ダクト	244
(1) 中性子に対する $1/\sin\theta$ 結合式、(2) 原子炉遮蔽での速中性子の経験式、(3) 中性子に対する Miura の式、(4) γ 線に対する Wijker の式、(5) γ 線に対する DIN 規格の式、(6) Fisher の理論式、(7) Shin の半経験式	

6.2.5 直円環ダクト	253
(1) 直接成分、(2) 原子炉遮蔽における経験式その 1、(3) 中性子に対する原子炉遮蔽における経験式その 2、(4) 中性子に対する Price らの式、(5) 中性子に対する Miura らの式、(6) Fisher の理論式	
6.2.6 直スロット (矩形直ダクトまたは直スリット)	256
(1) 直接成分、(2) 速中性子に対する原子炉遮蔽における経験式、(3) Fisher の理論式	
6.2.7 屈曲スロット (矩形屈曲ダクトまたは屈曲スリット)	259
(1) Fisher の理論式、(2) γ 線に対する Ingold-Huddleston の経験式、(3) γ 線に対する Huddleston-LeDoux の経験式、(4) γ 線に対する矩形 2 回屈曲ダクトの経験式、(5) 中性子に対する中村-上叢の式、(6) 中性子に対する Tesch の式、(7) 日本医学放射線学会の式等	
6.2.8 補償遮蔽設計法	266
6.2.9 アルベドデータ	267
(1) γ 線に対するアルベド簡易式、(2) 中性子に対するアルベド簡易式	
6.2.10 簡易式の適用における問題点	273
(1) 斜め入射、(2) 簡易式パラメータの選択、(3) 屈曲ダクトの問題点、(4) 空隙部斜め後方の線量評価、(5) 配管相互の影響	
参考文献	281
6.3 簡易計算コード (DUCT-III)	283
(1) 基本式、(2) 直接線の評価式、(3) ダクト入口面での仮想線源項 S_j の定義、(4) n 回散乱線束の深さ分布関数 $\phi_j^{(n)}(x)$ 、(5) アルベドデータ、(6) 屈曲ダクト、(7) 壁散乱成分、(8) 線源データベース	
参考文献	287
7. スカイシャインの簡易計算手法	289
7.1 概要	289
7.2 γ 線スカイシャイン	289
7.2.1 一回散乱計算法	289
7.2.2 Line-beam を用いた計算法	290
7.2.3 γ 線スカイシャイン簡易計算コード	292
(1) G33、(2) SKYSHINE	
参考文献	294
7.3 中性子スカイシャイン	295
7.3.1 空気の実効減弱距離を用いた計算法	295
(1) Stevenson-Thomas の式、(2) Stapleton の式	
7.3.2 中性子スカイシャイン簡易計算コード	297
(1) SHINE コード	
参考文献	298

8. 放射化	299
8.1 概要	299
8.2 核分裂炉と核融合炉における放射化	299
8.2.1 放射化のメカニズム	299
(1) 1次核反応、(2) シーケンシャル反応（荷電粒子逐次反応）、(3) 多段階反応	
8.2.2 放射化計算の基礎理論	300
8.2.3 誘導放射能	301
(1) 原子炉施設、(2) 核融合施設	
参考文献	302
8.3 加速器施設における放射化	305
8.3.1 放射化のメカニズム	305
(1) 中性子による放射化、(2) 陽子による放射化、(3) 重イオンによる放射化、	
(4) 電子による放射化	
8.3.2 簡易計算手法	314
(1) 空気の放射化、(2) 水の放射化	
参考文献	315
8.4 放射化計算コード	317
8.4.1 計算手法	317
(1) 遷移行列、(2) 指数行列法、(3) Bateman 法、(4) 輸送計算コードとの結合、	
(5) 荷電粒子による放射化、(6) モンテカルロシミュレーションによる放射化計算	
8.4.2 ORIGEN	324
(1) 核種生成量の計算手法、(2) ORIGEN2、(3) ORIGEN-S、(4) ORIGEN-ARP	
8.4.3 FISPACT	328
8.4.4 ACTIVE	330
8.4.5 DCHAIN-SP	331
参考文献	333
8.5 低放射化	335
8.5.1 低放射化のための考え方	335
(1) 構造材の放射化に起因する主要核種を低減する方法、(2) 構造材中に中性子吸収物質を入れて放射化に起因する主要核種の誘導放射能を減らす方法、(3) 構造材に入射する中性子を低減する方法	
8.5.2 低放射化のための具体例	337
8.5.3 クリアランス	338
参考文献	342
9. 遮蔽材	343
9.1 概要	343
参考文献	343
9.2 γ 線用遮蔽材	343

9.2.1 鉛	343
9.2.2 タングステン	344
9.2.3 水	345
参考文献	345
9.3 中性子用遮蔽材	346
9.3.1 水	346
9.3.2 ポリエチレン	346
9.3.3 ホウ素	347
9.3.4 グラファイト（黒鉛）	347
9.3.5 カドミニウム	348
9.3.6 水素含有材料	348
参考文献	348
9.4 γ 線・中性子共通の遮蔽材料	349
9.4.1 コンクリート	349
9.4.2 土	352
9.4.3 鉄	354
参考文献	354
9.5 各材料の中性子遮蔽特性	354
10. 放射線防護の考え方	357
10.1 いくつかのICRP主勧告を通じた放射線防護の変遷と線量限度	357
参考文献	358
10.2 線量概念の変遷	359
10.2.1 放射線防護に使用される諸線量の関係	359
10.2.2 防護量	360
10.2.3 実用量（実用計測量）	361
10.2.4 放射線加重係数、線質係数及びRBE	361
10.2.5 組織加重係数	363
参考文献	364
10.3 遮蔽計算における線量評価と線量測定	365
10.3.1 遮蔽計算における線量評価	365
(1) 遮蔽計算で求める線量、(2) 線量の計算法及び換算係数、(3) γ 線の計算で使用される係数及びカーマについて	
10.3.2 場の線量測定	367
(1) サーベイメータによる線量率測定、(2) モニタリングポストでの線量率測定	
10.3.3 個人被曝線量の測定	368
参考文献	369