

原子炉の安全工学（上巻）

目 次

1 章 動力用原子炉の特性

1.1	はじめに	1
1.2	放射性物質	2
1.2.1	放射性物質の保有量	2
1.2.2	核分裂生成物の収量と半減期	4
1.2.3	核分裂生成物の崩壊系列	6
1.2.4	崩壊熱	9
1.2.5	中性子捕獲生成物	10
1.2.6	放射線の生物学的効果	11
1.3	原子炉と中性子による核分裂連鎖反応	14
1.3.1	中性子による核反応	15
1.3.2	無限媒質の原子炉	16
1.3.3	1群拡散モデル	22
1.3.4	一様かつ裸の炉心	26
1.4	動力用原子炉の炉心	30
1.4.1	炉心の構成	30
1.4.2	炉心内での出力分布	34
1.4.3	炉心での熱輸送	36
1.5	動力用原子炉プラントの分類	41
1.5.1	軽水炉	43
1.5.2	重水炉	47
1.5.3	ガス冷却炉	48
1.5.4	高速炉	50
1.6	原子炉の安全上の特徴	51
1.6.1	核分裂生成物の障壁	52
1.6.2	原子炉事故の特徴	54
1.6.3	原子炉の安全系	56
	演習問題	59

2 章 安全性のアセスメント

2.1	はじめに	61
2.2	定量的リスク評価	67
2.2.1	イベント ツリー	69
2.2.2	受容限界曲線	71
2.2.3	フォルト ツリー	74
2.3	原子炉の許認可	77
2.3.1	許認可の手続き	78
2.3.2	立地のための放射線防護基準	80
2.3.3	安全評価の審査基準	82
設計基準	.....	82
安全解析	.....	84
確率論的考察	.....	86
2.4	原子炉の信頼性	88
2.4.1	安全系の機能性	89
事故の検出	.....	90
安全保護系の論理	.....	91
制御系対安全保護系	.....	93
要求性能	.....	94
2.4.2	信頼性	95
故障確率	.....	95
アベイラビリティ, 試験, 修復	.....	97
2.4.3	冗長性	100
$1/n$ システム	.....	101
フェイルセーフとフェイルデンジヤ	.....	103
2.4.4	共通モード故障	105
演習問題	.....	108

3 章 原子炉の動特性

3.1	はじめに	110
3.2	1群動特性方程式	111
3.2.1	方程式の導出	111
3.2.2	空間に依存しない動特性方程式	113

3.3 反応度が既知の場合の動特性方程式の解	117
3.3.1 ステップ状反応度添加	118
3.3.2 ランプ状反応度添加	123
3.3.3 起動事故	125
3.3.4 原子炉トリップ反応度	127
演習問題	129

4 章 反応度フィードバック効果

4.1 はじめに	131
4.2 反応度フィードバックモデル	131
4.2.1 反応度の温度効果	133
4.2.2 炉心平均フィードバックモデル	135
4.2.3 局所反応度フィードバック	138
4.3 熱中性子炉	140
4.3.1 四因子公式	141
4.3.2 k_{∞} の反応度係数	145
4.3.3 燃料温度係数	146
4.3.4 減速材温度係数	148
4.3.5 温度係数の例	150
加圧水型原子炉	150
高温ガス冷却炉	152
4.4 高速炉	153
4.4.1 燃料温度係数	154
4.4.2 冷却材密度係数	156
4.5 複合反応度係数	160
4.5.1 即時温度係数	160
4.5.2 等温温度係数	161
4.5.3 出力係数	162
4.6 反応度制御	162
4.6.1 即時フィードバックと遅延フィードバック	163
4.6.2 温度欠損と出力欠損	163
4.6.3 過剰反応度	165
4.6.4 停止余裕	166
演習問題	167

5 章 反応度事故

5.1 はじめに	170
5.2 原子炉ダイナミクス	172
5.2.1 単純化ダイナミックモデル	172
5.2.2 炉心での熱輸送モデル	174
5.3 反応度添加の機構	177
5.3.1 中性子毒物	178
制御棒価値	178
制御棒の故障	179
可溶性毒物	181
5.3.2 冷却材密度効果	182
5.3.3 炉心構成要素の再配置	182
5.3.4 不要物質の混入	183
5.4 過出力過渡現象	184
5.4.1 準静的過渡現象	186
5.4.2 遅発超過臨界過渡現象	189
5.5 即発臨界超過エクスカージョン	192
5.5.1 ステップ状反応度添加	194
5.5.2 ランプ状反応度添加	197
5.5.3 複雑な停止機構	201
5.6 高速炉の炉心崩壊事故	201
5.6.1 崩壊反応度フィードバック	203
5.6.2 炉心崩壊事故の特性	206
5.6.3 爆発的エネルギー放出におけるドップラー効果	209
演習問題	214

6 章 燃料要素の挙動

6.1 はじめに	217
6.2 定常運転時の熱輸送	218
6.2.1 燃料要素内温度分布	219
6.2.2 対流熱伝達	223
6.2.3 水の沸騰	225
6.2.4 ナトリウムの沸騰	228

6.3	過渡状態における熱輸送	230
6.3.1	1領域集中定数モデル	230
6.3.2	2領域集中定数モデル	231
6.3.3	過出力過渡時の熱輸送	233
6.3.4	冷却失敗過渡時の熱輸送	235
6.4	燃料要素の破損機構	238
6.4.1	混合酸化物燃料	239
	ひび割れと組織変化	239
	核分裂生成物の挙動	241
6.4.2	金属被覆	242
6.4.3	過渡変化時の挙動	244
	過出力過渡現象	245
	冷却失敗過渡現象	249
6.4.4	被覆粒子燃料	251
	演習問題	253
	付録	
	A. 日本における原子炉の許認可	255
	B. 米国の安全目標	263
	C. 反応度投入事象における安全評価基準	267
	索引	271

下巻の目次

7章	冷却材過渡現象
8章	冷却材喪失事故
9章	事故時の格納容器
10章	放射性物質の放出
付録	TMI事故の概要・ほか
