

目 次

第1章 総 論

1.1 核エネルギー	1
1.2 わが国のエネルギー需給と原子力発電	3
1.3 原子力発電所の概要	5
1.4 原子力発電の特徴と火力発電との比較	8
設備—蒸気条件—放射能対策—燃料—運転保守—安全性	
1.5 摘 要	11
1.6 問 題	11

第2章 原子炉理論

核 理 論

2.1 中性子とその核反応	12
2.1.1 原子核	12
原子核—同位元素—原子核の崩壊—物理定数	
2.1.2 中性子とその核反応	15
核反応—散乱—吸収	
2.1.3 中性子束と断面積	18
断面積—中性子束—エネルギースペクトル	
2.2 核分裂反応	22
2.2.1 概 説	22
2.2.2 即発中性子と遅発中性子	23
即発中性子—遅発中性子	
2.2.3 核分裂に伴うエネルギー放出	25
2.2.4 連鎖反応	26
2.3 原子炉	27
2.3.1 概 説	27
2.3.2 原子炉の作動原理	27
中性子バランス—中性子サイクル	
2.3.3 熱中性子炉	29
核燃料—減速材—冷却材—反射体—制御棒—しゃへい	
2.3.4 高速中性子炉	31

	序—核燃料—冷却材—ブランケット—反射体—制御棒—しゃへい	
2.4	中性子の拡散と減速	33
2.4.1	拡散	33
	拡散方程式の導出—境界条件—中性子拡散の例	
2.4.2	減速	37
	無限媒質中の減速—フェルミ年令方程式	
2.5	原子炉の臨界条件	39
2.5.1	裸の原子炉	39
	—組拡散理論による臨界条件—減速過程を考慮した場合の臨界条件	
2.5.2	反射体つき原子炉	42
	—組理論による臨界条件	
2.5.3	二組理論による取り扱い	44
2.5.4	非均質の取り扱い	46
2.5.5	多組拡散方程式	47
2.6	原子炉の動特性	49
2.6.1	動特性の方程式	49
	動特性方程式の導出—動特性方程式の解	
2.6.2	種々の変化に対する応答	53
	反応度からステップ状に変化した場合—反応度が時間の関数として 直線的に変化する場合—反応度が振動する場合	
2.7	原子炉の反応度の変化	56
2.7.1	概要	56
2.7.2	核分裂生成物による変化	56
2.7.3	核燃料組成の変化	59
2.7.4	温度による変化	59
	熱中性子炉の場合—高速中性子炉の場合	
2.7.5	その他の原因による変化	61
	圧力係数—ポイド係数	
2.8	原子力コード	62
	スペクトル群定数—次元拡散方程式—多次元拡散方程式—輸送方 程式	

熱 理 論

2.9	流動伝熱の基礎	64
2.9.1	概要	64
2.9.2	流動	64
2.9.3	熱伝達の3形態	65
2.9.4	対流の形態	67

2.9.5	無次元表示式	68
2.9.6	冷却材の性質	69
2.10	原子炉炉心の熱除去	71
2.10.1	炉心内の出力分布	71
2.10.2	炉心内の温度分布	73
2.10.3	燃料体の温度分布	75
	温度分布計算法	
2.11	各種原子炉の熱的特性	78
2.11.1	水冷却炉	78
2.11.2	ガス冷却形原子炉	80
2.11.3	液体金属形原子炉	83
2.12	摘要	85
2.13	問題	85

第3章 原子炉の設計

3.1	概説	86
3.2	最適化設計	86
3.2.1	設計の目標	86
3.2.2	設計の基準	87
3.2.3	設計の手順	91
3.3	格子・燃料集合体設計	97
	炉心全冷却断面積—燃料要素の寸法	
3.4	炉心設計	110
3.4.1	反応度計画	110
3.4.2	出力分布の平坦化	112
3.4.3	反応度制御素子	118
3.4.4	ブランケット	122
3.5	反応度係数、出力係数	122
3.6	群定数および核計算方法	127
3.7	摘要	129
3.8	問題	130

第4章 計測・制御

4.1	原子力発電所の計測	132
4.1.1	概要	132
4.1.2	放射線計測	133
	放射線計測の役割—放射線の検出	
4.1.3	中性子計測回路	138

	概説—始動領域—ピリオド領域—出力領域—安全回路	
4.1.4	プロセス計測装置	140
	検出器, 引出線などに対する放射線損傷—漏れに対する考慮—信頼性	
4.1.5	放射線モニター	141
	プロセス放射線モニター—保健物理上の放射線モニタ	
4.2	原子力発電所の制御	143
4.2.1	概 要	143
4.2.2	制御要素としての原子炉の特性	145
	実効増倍率 k_{eff} —原子炉出力を変化させる手順—遅発中性子の重要性—原子炉の超過反応度—原子炉の増倍率 k_{eff} の調整—出力領域での原子炉の特性	
4.2.3	原子力発電所の制御	148
	原子力発電所の構成—原子炉に対する負荷変動の影響—原子力発電所の運転方式—原子力発電所の出力制御—安全制御	
4.3	摘 要	155
4.4	問 題	156

第5章 核燃料および原子炉材料

5.1	通 論	158
5.2	核燃料	163
5.2.1	各種の動力炉燃料	163
	金属ウラン—ウラン合金—二酸化ウラン—プルトニウム—ウラン混合酸化物—炭化物燃料—その他のセラミック燃料—分散形燃料	
5.2.2	動力炉燃料集合体の製造加工と検査	169
	ジルカロイ-2被覆管の受入検査— UO_2 粉末試験— UO_2 ペレット試験—燃料棒検査—集合体部材—集合体検査	
5.3	炉材料	171
5.3.1	燃料被覆材	171
	オーステナイト・ステンレス鋼—ジルコニウム合金—ニオブ合金—マグネシウム合金—高速炉用燃料被覆材	
5.3.2	減速材, 反射材	181
	黒鉛—重水—軽水—反射材	
5.3.3	熱中性子炉の制御材, シャヘイ材	186
	金属制御材—化合物を用いた制御材—シャヘイ材	
5.3.4	冷却材	190
	炭酸ガス—液体金属	
5.3.5	その他の構造材料	193
	原子炉用鋼材—圧力管材	

5.4 摘 要	195
5.5 問 題	197
5.6 参考文献	197

第 6 章 原子力発電所各論

6.1 軽水形原子力発電所	198
6.1.1 加圧水形原子力発電所	198
原子炉—原子炉一次冷却材循環系—制御および安全計装—格納容器	
6.1.2 沸騰水形原子力発電所	209
原子炉—原子炉再循環系と気水分離器—制御および安全計装—格納容器	
6.2 ガス冷却形原子力発電所	218
6.2.1 マグノックス形原子力発電所	218
原子炉—原子炉一次冷却回路—制御および計装—燃料取換え機および燃料取扱い系	
6.2.2 AGR 原子力発電所	227
原子炉と蒸気発生設備—その他の設備	
6.3 重水形原子力発電所	232
6.3.1 原子炉容器	232
6.3.2 圧力管	233
6.3.3 燃料要素	233
6.3.4 制 御	234
6.3.5 燃料取扱い	234
6.4 高速増殖形原子力発電所	235
6.4.1 原子炉容器	235
6.4.2 燃料要素	235
6.5 摘 要	239
6.6 問 題	240

第 7 章 原子力発電の安全性

7.1 概 説	241
7.2 原子力発電所の安全設計	242
7.2.1 安全確保の基本的考え方	242
運転員の保護—公衆の安全確保	
7.2.2 安全設計の基礎	243
7.2.3 安全性増加対策	243
自己制御性—格納容器の設置—設計上の余裕—フェイルセーフ設計—フルプルーフ設計—独立な多重系統の原理—原子炉保護系設計	

上の考慮一点検， 保修の問題—運転員の管理	
7.2.4 原子力発電所の安全性と信頼度	245
7.2.5 原子力発電所の安全設計の実例	245
軽水炉—マグノックス炉の安全設計—AGRの安全設計	
7.3 原子力発電所の安全評価	253
軽水炉の安全評価—マグノックスの安全評価	
7.4 原子力発電に伴う危険	256
7.4.1 原子力発電と放射線管理	256
7.5 放射線がもつ危険性の医学的側面	257
7.5.1 放射線障害とその特殊性	257
放射線障害の分類—放射線被曝の形式—放射線障害の特殊性	
7.5.2 個人を対象とした場合と， 集団を対象とした場合	258
7.6 許容線量	259
7.6.1 許容線量の概念	259
限界線量—容認できる危険と許容線量	
7.6.2 許容線量に関する基本的な数値	260
被曝の対象—年間線量—集積線量—4半年の割当量	
7.6.3 異常被曝	261
職業人の異常被曝—一般人の異常被曝	
7.7 摘要	262
7.8 問題	263

第8章 原子力発電所の計画， 建設， および運転， 保守

8.1 原子力発電所の計画	264
8.1.1 立地	264
敷地環境条件—地盤—地震—気象および海象	
8.1.2 原子炉形式， ユニット容器および発電所最終規模	267
8.1.3 取水方式	267
8.1.4 配置	268
8.2 原子力発電所の建設	271
8.2.1 建設工程	271
8.2.2 輸送および倉庫保管	271
輸送計画—輸送上問題となる機器および材料—倉庫保管	
8.2.3 建設工法	275
加圧水炉の格納容器—沸騰水炉の原子炉建家—沸騰水炉の格納容器—AGRのプレストレスコンクリート圧力容器—原子炉格納容器の気密試験， 耐圧試験， 漏れ率試験—原子炉圧力容器のすえ付け	
8.2.4 試験および試運転	281

工場試験—建設および予え付け試験—運転前試験—燃料装荷に伴う
試験—出力上昇試験—全出力試験

8.3	原子力発電所の運転保守	287
8.3.1	始動	287
	始動方法	
8.3.2	停止	289
	通常停止—非常停止	
8.3.3	通常運転	291
8.3.4	機器の点検と保守	292
8.3.5	燃料取換え	293
8.3.6	放射線管理	294
	設計上の配慮—区域の区分—放射線作業の被曝管理—発電所敷地内 外の放射線監視	
8.3.7	運転および保守要員	296
8.4	摘要	296
8.5	問題	297

第9章 核燃料サイクル

9.1	概説	299
9.2	核燃料サイクルの構成要素	301
9.2.1	ウラン資源	301
9.2.2	ウラン濃縮	301
9.2.3	原子炉中での燃料取換え	303
	バッチ方式—部分的再装荷方式—スキュッタ方式（BWR）または チェッカボード方式（PWR）—連続取換え方式	
9.2.4	使用済燃料の再処理	304
9.3	燃料サイクルコスト	306
	燃料損耗費—燃料インベントリー費—プルトニウムクレジット—再 処理費—使用済燃料輸送費	
9.4	摘要	310
9.5	問題	310

第10章 原子力発電の経済性

10.1	概説	312
10.2	建設費	313
10.3	資本費	313
10.4	燃料費	314
10.5	直接費および関連費	315

10.6	摘 要	316
10.7	問 題	316

第11章 原子力関係法規

11.1	概 説	317
11.2	国内法	318
11.2.1	原子炉等規制法	318
	原子炉の設置，運転等—加工，再処理等—保障措置	
11.3	その他の関係法令	322
	国際協定—日米原子力協定—日英原子力協定—日加原子力協定— IAEAの保障措置移管	
11.4	摘 要	325
11.5	問 題	325
	索 引	326