

目 次

緒 論

| | |
|------------------|----|
| 原子力発展の歴史..... | 9 |
| 原子力工学の今後の問題..... | 12 |

1. 原子核物理の基礎

| | |
|-----------------------|----|
| 1.1 原子核の構造 | 15 |
| 1.2 原子核の結合エネルギー | 17 |
| 1.3 原子核の相互作用 | 19 |
| 1.4 中性子の断面積 | 22 |
| 演習問題 | 27 |

2. 核分裂と連鎖反応

| | |
|-------------------|----|
| 2.1 核分裂のしくみ | 29 |
| 2.2 核分裂生成物 | 31 |
| 2.3 原子炉の倍率 | 34 |
| 2.4 原子炉の概要 | 36 |
| 演習問題 | 37 |

3. 中性子の拡散と減速

| | |
|-----------------------------------|----|
| 3.1 中性子の拡散理論 | 39 |
| 3.2 拡散方程式の境界条件 | 44 |
| 3.3 例 題 | 46 |
| (a) 無限に広い均質な媒質内に点状中性子源がある場合 | 46 |

| | |
|--|----|
| (b) 無限に広い均質な媒質内に平面中性子源がある場合 | 47 |
| (c) 無限に広い平面中性子源に接して有限の厚さの2種の平板媒質を置いた場合 | 48 |
| (d) 長方形の平面中性子源上に底面が同じ大きさの直方体媒質を置いた場合 | 49 |
| 3.4 中性子波 | 54 |
| 3.5 熱中性子の拡散積分核 | 55 |
| 3.6 速い中性子の弾性散乱 | 57 |
| 3.7 吸収のない無限に広い媒質内での中性子の減速 | 61 |
| (a) $E_0 > E > \alpha E_0$ の範囲 | 61 |
| (b) $\alpha E_0 > E$ の範囲 | 62 |
| 3.8 吸収のある無限媒質内での中性子の減速 | 64 |
| (a) 水素減速材中に質量数の大きな吸収物質がまじっている場合 | 65 |
| (b) 質量数が1より大きな吸収媒質による減速 | 66 |
| 3.9 フェルミの老成方程式 | 68 |
| 3.10 原子炉の臨界方程式 | 70 |
| 3.11 例題 | 74 |
| (a) 長方形の均質な平板中性子源上に底面が同じ大きさの直方体未臨界媒質をおいた場合 | 74 |
| (b) 厚さ H の無限平板炉心に厚さ T の反射体をもつ原子炉の臨界条件 | 76 |
| 3.12 組分け拡散近似法 | 77 |
| 3.13 遅発中性子を考慮したときの原子炉における熱中性子の時間的ふるまい | 82 |
| 演習問題 | 84 |

4. 原子炉の構成と構成材料

| | |
|---------------|----|
| 4.1 燃料体の概要 | 87 |
| 4.2 金属燃料 | 90 |
| 4.3 酸化物燃料 | 91 |
| 4.4 炭化物・窒化物燃料 | 94 |
| 4.5 減速材と反射材 | 96 |
| 4.6 制御用材料 | 98 |

| | |
|------------------|-----|
| 4.7 冷却材料 | 102 |
| 4.8 構造材料 | 106 |
| 4.9 シャヘイ材料 | 106 |
| 演習問題 | 108 |

5. 燃料の濃縮と再処理

| | |
|------------------------------|-----|
| 5.1 ウランの濃縮 (I) 気体拡散法 | 111 |
| 5.2 ウランの濃縮 (II) 電磁分離法 | 117 |
| 5.3 使用済燃料の再処理 (I) 湿式法 | 118 |
| 5.4 使用済燃料の再処理 (II) 乾式法 | 119 |
| 演習問題 | 122 |

6. 原子炉の除熱

| | |
|--|-----|
| 6.1 原子炉内における熱の発生 | 123 |
| 6.2 熱伝導 | 125 |
| 6.3 例題 | 128 |
| (a) 一様な発熱分布をもつ平板燃料の温度分布 | 128 |
| (b) 一様な発熱分布をもつ円柱燃料棒の温度分布 | 128 |
| (c) 発熱が場所的に一様で時間的に変動するときの円柱燃料棒の表面熱流束 | 129 |
| 6.4 対流熱伝達 | 131 |
| (a) 弦制対流による平板層流の熱伝達 | 134 |
| (b) 管内層流の熱伝達 | 134 |
| (c) 管内乱流の熱伝達 | 134 |
| (d) 液体金属における管内乱流の熱伝達 | 136 |
| (e) 自然対流による垂直平板の熱伝達 | 137 |
| 6.5 沸騰熱伝達 | 137 |
| (a) 表面沸騰熱伝達 | 139 |
| (b) 管内飽和沸騰熱伝達 | 140 |

| | | |
|-----|----------------------------|-----|
| 6.6 | 二相流（水蒸気—水）現象 | 142 |
| 6.7 | 発熱体温度が時間的に増大するときの熱伝達 | 146 |
| 6.8 | 原子炉の熱設計 | 148 |
| | 演習問題 | 150 |

7. 原子炉の動特性と制御

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.1 | 概論 | 153 |
| 7.2 | 零出力炉の1点近似動特性 | 156 |
| 7.2.1 | 原子炉の零出力伝達関数 | 156 |
| 7.2.2 | 1点近似動特性方程式の近似解 | 158 |
| 7.2.3 | 動特性方程式のアナログシミュレータ | 159 |
| 7.2.4 | Inhour Equation | 161 |
| 7.3 | 原子炉の内部フィードバック | 162 |
| 7.3.1 | Xe^{135} および Sm^{149} による毒作用 | 162 |
| 7.3.2 | 燃料の消耗による影響 | 164 |
| 7.3.3 | 温度および気泡による影響 | 165 |
| 7.3.4 | ドプラー効果による影響 | 167 |
| 7.3.5 | その他の影響 | 168 |
| 7.4 | 原子炉の伝達関数 | 169 |
| (a) | $G_f(s)$ の計算 | 172 |
| (b) | $G_{qa}(s)$ の計算 | 172 |
| (c) | $G_{q\delta}(s)$ の計算 | 173 |
| (d) | $G_{qp}(s)$ の計算 | 173 |
| (e) | $G_{p\delta}(s)$ の計算 | 175 |
| (f) | $G_{\delta a}(s)$ の計算 | 175 |
| (g) | $G_{pa}(s)$ の計算 | 176 |
| 7.5 | 原子炉の安定問題 | 176 |
| 7.6 | 原子炉の事故時の動特性 | 181 |

| | |
|---|-----|
| 7.7 原子炉の計装 | 185 |
| 7.7.1 中性子の検出器 | 185 |
| 7.7.2 原子炉の核計装 | 188 |
| 7.7.3 原子炉のプロセス計装 | 189 |
| 7.8 原子炉の運転制御 | 190 |
| 7.9 モード展開法による動特性解析 | 195 |
| (a) 一般理論 | 195 |
| (b) ω モードの展開 | 197 |
| (c) λ モードの展開 | 199 |
| (d) Helmholtz 方程式の固有関数による展開 | 200 |
| 7.10 ノード法と結合炉の解析法 | 203 |
| (a) ノード法 | 203 |
| (b) 結合炉の解析法 | 205 |
| 7.11 少数極展開法 | 208 |
| 7.12 シンセシス法による解析 | 210 |
| 7.13 空間依存動特性に関する実験と計算例 | 212 |
| (a) 空間依存伝達関数の実験および少数極展開法による計算例 | 212 |
| (b) モード展開法による原子炉の出力脱走動特性の計算例 | 213 |
| (c) 原子炉の出力脱走動特性計算における断熱近似法, シンセシス法, 1点近似法, および WIGLE コードによる解の比較例 | 214 |
| 演習問題 | 217 |

8. 発電用原子炉

| | |
|-------------------|-----|
| 8.1 発電用原子炉の概要 | 219 |
| 8.2 黒鉛減速気体冷却炉 | 220 |
| 8.3 加圧水形炉 (P.W.R) | 223 |
| 8.4 沸騰水形炉 (B.W.R) | 225 |
| 8.5 重水減速炉 | 229 |

| | |
|--------------------|-----|
| 8.6 高速増殖炉 | 232 |
| 8.7 各種動力炉の総括 | 235 |
| 演習問題 | 239 |

9. 原子炉の安全性

| | |
|-------------------------------|-----|
| 9.1 安全性に対する基本的な考え方 | 241 |
| 9.2 原子炉の事故例 | 244 |
| 9.3 安全防護装置 (I)事故発生防止装置 | 247 |
| 9.4 安全防護装置 (II)事故拡大防止装置 | 248 |
| 演習問題 | 250 |
| 文 献 | 251 |
| 演習問題略解 | 255 |
| 索 引 | 257 |