

# 目 次

## 1. プラズマ概説

1.1	プラズマとは	1
1.1.1	まえがき	1
1.1.2	プラズマの発生	2
1.1.3	粒子間相互作用	3
1.1.4	プラズマの定義と存在条件	4
1.2	衝突	7
1.3	プラズマの保持	10
1.4	極限条件のプラズマ	12
1.5	応用されるプラズマの性質	14
1.5.1	熱的性質	14
1.5.2	光学的性質	16
1.5.3	導電的性質	19
1.5.4	電磁的性質	20
1.5.5	力学的性質	21
1.5.6	化学的性質	22
問	題	23

## 2. 気体力学的運動論

2.1	熱力学法則	24
2.1.1	熱プラズマ	24
2.1.2	熱力学法則	25
2.1.3	統計力学法則	29

2.2 状態方程式および熱力学関数	29
2.2.1 分配関数(状態和)	29
2.2.2 Saha の式	33
2.3 熱力学的非平衡	34
2.4 Boltzmann 方程式に基づく輸送理論の基礎	35
2.4.1 気体運動論の基礎概念	35
2.4.2 Boltzmann 方程式	36
2.4.3 Boltzmann 方程式の解法	37
2.5 BGK 方程式	38
問 題	39
3. 弱電離プラズマの巨視的運動論	
3.1 モーメントの式	40
3.2 輸送係数	41
3.2.1 輸送係数の導出	41
3.2.2 電気伝導率	42
3.2.3 零磁界中の拡散係数	43
3.2.4 磁界中の拡散係数	44
3.2.5 磁界中の拡散係数および導電率のテンソル表示	44
3.2.6 熱伝導率	46
3.2.7 粘性係数	46
3.3 流体力学	47
3.3.1 速度界	47
3.3.2 圧力テンソル	50
3.3.3 基本方程式	53
3.3.4 粘性および熱伝導と流体のエネルギー保存式	58
3.4 磁気流体力学	61
3.4.1 基礎概念	61
3.4.2 電磁方程式	61
3.4.3 流体力学方程式	63
3.4.4 導電性流体と磁界の相互作用	65
3.4.5 磁力線の凍結	67
問 題	68

## 4. 弱電離プラズマの応用

4.1 放電プラズマ	70
4.1.1 概説	70
4.1.2 高圧陽光柱	71
4.1.3 低圧陽光柱	73
4.2 MHD 発電プラズマ	76
4.2.1 概説	76
4.2.2 発電の原理	77
4.2.3 各種発電形式の特性	79
問 題	81

## 5. 高温プラズマ工学

5.1 磁気流体力学	82
5.1.1 基本方程式	82
5.1.2 境界条件	83
5.1.3 エネルギー積分	84
5.1.4 磁気流体波	84
5.2 CGL 方程式	87
5.2.1 まえがき	87
5.2.2 CGL 方程式の応用	88
5.3 一般化されたオームの法則	90
5.4 ドリフト近似の方程式	92
5.4.1 案内中心の運動	92
5.4.2 ドリフト速度	92
5.5 Fokker-Planck 方程式	94
5.6 階級方程式	97
問 題	100

## 6. 高温プラズマの閉じ込め

6.1 磁気閉じ込めの原理	101
---------------	-----

6・1・1	力学的平衡	101
6・1・2	磁気面	103
6・1・3	トーラスドリフト	104
6・1・4	磁束関数	104
6・2	閉じ込め方式	106
6・2・1	ステラレータ	106
6・2・2	マルチポール	108
6・2・3	スフェレータ	109
6・2・4	トータトロソ	111
6・2・5	ヘリオトロソ	112
6・2・6	Zピンチ	113
6・2・7	$\theta$ ピンチ	116
6・2・8	レビトロソ	118
6・2・9	スクリュウピンチ	118
6・2・10	トカマク	119
6・2・11	ハイブリッドトカマク	123
6・2・12	ミラー	124
6・2・13	カスプ	125
6・2・14	ヨッフエ棒	127
6・2・15	ベースボールシーム	128
6・2・16	アストロン	128
6・3	閉じ込めの問題点	128
6・3・1	閉じ込め時間	128
6・3・2	ドリフト面	130
問題		131

## 7. 高温プラズマの生成と加熱

7・1	断熱圧縮法	132
7・2	衝撃波法	134
7・3	変化する界との相互作用による方法	135
7・3・1	乱流加熱	135
7・3・2	高周波加熱	137
7・3・3	統計加熱	140
7・3・4	レーザー光加熱	140

7・3・5	磁気ポンプ加熱	142
7・4	高エネルギー粒子入射法	144
7・5	ジュール加熱法	146
7・6	特殊な方法	147
7・6・1	回転プラズマ加熱	147
7・6・2	プラズマ銃	147
7・6・3	プラズマフォーカス	148
問題		149

## 8. 高温プラズマの不安定性

8・1	分類	150
8・1・1	巨視的不安定性	151
8・1・2	微視的不安定性	152
8・2	巨視的不安定性概説	152
8・2・1	交換(縦溝)不安定性	152
8・2・2	風船形不安定性	158
8・2・3	中性粒子ひきずり不安定性	159
8・2・4	らせん不安定性	159
8・2・5	さざなみ不安定性	159
8・2・6	Kelvin-Helmholtz不安定性	160
8・2・7	有限熱伝導率不安定性	160
8・2・8	くびれ不安定性	160
8・2・9	よじれ不安定性	161
8・2・10	表面不安定性	161
8・2・11	フリップ不安定性	162
8・2・12	裂け不安定性	162
8・2・13	重力不安定性	162
8・3	微視的不安定性概説	163
8・3・1	微視的不安定性と分布関数	163
8・3・2	2ビームおよびビーム-プラズマ不安定性	164
8・3・3	イオン波不安定性	165
8・3・4	損失円すい不安定性	165
8・3・5	電磁サイクロトロン波不安定性	166

8・3・6 静電サイクロトロン波不安定性 .....168

8・3・7 負質量不安定性 .....170

8・3・8 ドリフト不安定性 .....170

8・3・9 ドリフト散逸不安定性 .....176

8・3・10 電流駆動ドリフト不安定性 .....177

8・3・11 ドリフトサイクロトロン不安定性 .....177

8・3・12 ドリフトアルフベン波不安定性 .....178

8・3・13 アルフベン波不安定性 .....179

8・3・14 ミラー不安定性 .....180

8・3・15 ホイスラー波不安定性 .....181

8・3・16 無衝突裂け不安定性 .....181

8・3・17 無衝突重力不安定性 .....181

8・3・18 捕捉粒子縦溝不安定性 .....182

8・3・19 捕捉粒子散逸不安定性 .....182

問 題 .....183

9. 高温プラズマの閉じ込めの理論

9・1 プラズマの閉じ込めと平衡 .....184

9・2 開放系における平衡 .....184

9・2・1 基本式 .....184

9・2・2 低ベータプラズマにおける平衡 .....185

9・3 閉じ込め磁界の性質とその記述法 .....189

9・3・1 比体積 .....189

9・3・2 磁束関数 .....190

9・4 トーラスによる閉じ込め .....198

9・4・1 一般的記述 .....198

9・4・2 ステラレータ .....201

9・4・3 トカマク .....203

9・5 トーラス系における粒子ドリフト軌道 .....208

9・5・1 ドリフト面 .....208

9・5・2 バナナ軌道 .....209

問 題 .....211

10. 巨視的不安定性理論

10・1 エネルギー原理と基準モード法 .....212

10・2 プラズマ変位の基本式 .....213

10・3 プラズマ変位とポテンシャルエネルギー .....215

10・4 基準モード法による安定性の解析 .....220

10・4・1 Zピンチ .....220

10・4・2 安定化Zピンチ .....223

10・5 エネルギー原理による安定性の解析 .....226

問 題 .....228

11. プラズマ波動と微視的不安定性の理論

11・1 零磁界中プラズマの誘電率と静電モード波動 .....230

11・2 微視的不安定性と分布関数 .....233

11・3 零温度プラズマの静電モード不安定性 .....236

11・3・1 ビーム系静電モードの分散式 .....236

11・3・2 同一粒子の2ビーム不安定性 .....237

11・3・3 ビーム-プラズマ不安定性 .....237

11・3・4 異種粒子のビーム不安定性 .....239

11・4 有限温度プラズマの静電モード波動と不安定性 .....239

11・4・1 イオン波 .....239

11・4・2 イオン波不安定性 .....241

11・5 プラズマの波動と誘電率テンソル .....242

11・6 プラズマの誘電率テンソル .....245

11・6・1 零磁界の場合 .....245

11・6・2 有限磁界の場合 .....247

11・7 磁界中の零温度プラズマの波動 .....249

11・7・1 零温度プラズマの誘電率テンソル .....249

11・7・2 磁界方向に伝わる波 .....250

11・7・3 磁界と直角の方向に伝わる波 .....253

11・7・4	任意の方向に伝わる波	255
11・8	磁界中の有限温度プラズマの波動	257
11・8・1	磁界方向に伝わる波	257
11・8・2	磁界と直角の方向に伝わる波	257
11・8・3	イオン波	258
問	題	259

## 12. 非線形および異常輸送現象

12・1	非線形現象の分類	261
12・2	波と粒子の相互作用	261
12・2・1	粒子捕捉効果	261
12・2・2	準線形理論	263
12・2・3	孤立波と無衝突衝撃波	264
12・2・4	非線形ランダウ減衰	266
12・3	波と波の相互作用	266
12・3・1	三つの波の過程	266
12・3・2	分類	267
12・4	異常輸送現象	269
12・5	古典拡散	270
12・6	トーラス系における新古典拡散	271
12・6・1	トーラスドリフトの効果	271
12・6・2	捕捉粒子の効果	273
12・7	異常拡散	275
問	題	277

## 13. 高温プラズマの応用

13・1	制御熱核融合反応	278
13・2	核融合反応の種類と断面積	279
13・3	熱核融合反応の制御	280
13・3・1	磁気閉じ込め	280

13・3・2	反応生成率と点火温度	281
13・3・3	零出力条件	283
13・4	熱核融合炉	286
13・5	レーザー光による熱核融合	288
13・6	2成分核融合炉	290
問	題	291

## 14. 高温プラズマ計測法

14・1	概説	292
14・2	中性粒子法	292
14・2・1	受動および能動的な中性粒子法	292
14・2・2	中性粒子ビームとプラズマの相互作用	293
14・2・3	能動的な中性粒子法	294
14・2・4	受動的な中性粒子法	295
14・3	レーザー光法	296
14・3・1	レーザー光法の特徴	296
14・3・2	散乱法	296
問	題	299
引用文献		300
索引		311