目　次

はしがき

第1章　プラズマとは

1.1　プラズマの定義 1

1.2　デバイ遮蔽 3

1.3　核融合炉心プラズマ 5

第2章　プラズマの諸量

2.1　速度分布関数，電子温度，イオン温度 10

2.2　プラズマ振動数，デバイ長 11

2.3　サイクロトン周波数，ラーマー半径 12

2.4　案内中心のドリフト速度 14

2.5　磁気モーメント，ミラー磁場による閉じ込め，縦の断熱不変量 16

2.6　クーロン衝突時間，高速中性粒子入射加熱 19

2.7　逃走電子，ドライサー電場 24

2.8　電気抵抗，オーム加熱 25

2.9　プラズマの時間および空間スケールの多様性 26

第3章　磁場配位と荷電粒子の軌道

3.1　マックスウェルの電磁方程式 28

3.2　磁気面 31

3.3　荷電粒子の運動方程式 32

3.4　回転対称系における軌道面 35

3.5　トーラス磁場における案内中心のドリフト 37

(a) トーラスを周回する非捕捉荷電粒子の案内中心

(b) トーラスの外側に捕捉されるバナナ粒子の案内中心

3.6　案内中心のドリフト 42

3.7　バナナ粒子の軌道に対する縦電場の影響 43

第 4 章　分布関数とプラズマの基礎方程式
4.1　位相空間と分布関数 45
4.2　ボルツマン方程式，ブラゾフ方程式 47

第 5 章　電磁流体としてのプラズマ
5.1　電磁 2 流体プラズマの運動方程式 50
5.2　電磁 1 流体運動方程式 52
5.3　簡単化された電磁流体方程式 55
5.4　磁気音波 57

第 6 章　平　衡
6.1　圧力平衡 60
6.2　軸対称系および移動対称系における平衡の式 61
6.3　トカマクの平衡 64
6.4　トカマク・プラズマの平衡を保つためのポロイダル磁場 71
6.5　ベータ比の上限 75
6.6　Pfirsch-Schlüter 電流 76

第 7 章　プラズマの拡散，閉じ込め時間
7.1　衝突頻度が大きい場合の拡散（古典拡散） 82
(a) 電磁流体力学的取り扱い
(b) 粒子的取り扱い
7.2　トカマクにおける衝突頻度が小さい場合の電子の新古典拡散 85
7.3　揺動損失，ボーム拡散，磁力線を横切る対流損失 88
7.4　磁場揺動による損失 92

第 8 章　電磁流体力学的不安定性
8.1　交換不安定性およびソーセイジ不安定性，キンク不安定性 95
(a) 交換不安定性
(b) 交換不安定性の安定条件，磁気井戸
(c) ソーセイジ不安定性
(d) キンク不安定性
8.2　電磁流体力学的不安定性の公式化 105

(a) 電磁流体力学方程式の線形化
(b) エネルギー原理
8.3　円柱プラズマの不安定性 112
(a) 表面電流構成における不安定性 (Kruskal-Shafranov 条件)
(b) 分布電流構成における不安定性
(c) Suydam 条件
(d) トカマク配位
(e) 逆転磁場ピンチ
8.4　Hain-Lüst の電磁流体運動方程式 130
8.5　バルーニング不安定性 132
8.6　密度勾配と温度勾配がある場合の η_i モード 135

第 9 章　抵抗不安定性
9.1　ティアリング不安定性 140
9.2　抵抗性ドリフト不安定性 145

第 10 章　電磁波伝播媒質としてのプラズマ
10.1　冷たい無衝突プラズマの分散式 152
10.2　波の諸性質 156
(a) 波の偏光性と粒子の運動
(b) カット・オフと共鳴
10.3　2 成分プラズマの波 158
10.4　いろいろな波 163
(a) アルフベン波
(b) イオン・サイクロトロン波
(c) 低域混成共鳴
(d) 高域混成共鳴
(e) 電子サイクロトロン波など
10.5　静電波の条件 170

第 11 章　ランダウ減衰，サイクロトロン減衰
11.1　ランダウ減衰（増幅） 173

11.2 トランジット・タイム減衰 177
11.3 サイクロトロン減衰 177
11.4 準線形理論による分布関数の変化 180

第 12 章 波の伝播，波動加熱
12.1 エネルギーの流れ 185
12.2 光線追跡 189
12.3 熱いプラズマの分散式，波の吸収，プラズマ加熱 191
12.4 イオン・サイクロトロン周波数領域の波動加熱 197
12.5 低域混成波加熱 201
12.6 電子サイクロトロン加熱 205

第 13 章 速度空間不安定性（静電波）
13.1 静電波の分散式 209
13.2 2 流体不安定性 211
13.3 電子ビーム不安定性 211
13.4 ハリス不安定性 213

第 14 章 高温プラズマの閉じ込め
14.1 プラズマ閉じ込め研究の発展経過 218
14.2 トカマク 226
(a) トカマク装置
(b) プラズマの平衡
(c) MHD 不安定性
(d) 高ベータ化
(e) 不純物制御
(f) 閉じ込め比例則
(g) 追加熱
(h) プラズマ電流駆動
(j) トカマク型核融合炉
14.3 逆転磁場ピンチ 247
(a) 逆転磁場ピンチ装置

(b) RFP の緩和現象
(c) RFP の閉じ込め
(d) 振動場による電流駆動
14.4 ステラレーター 254
(a) ステラレーター磁場
(b) ステラレーター装置
(c) ステラレーター磁場における新古典拡散
(d) ステラレーターの閉じ込め
14.5 開放端系 265
(a) ミラーおよびカスプの閉じ込め時間
(b) ミラーの閉じ込め実験
(c) ミラーにおける不安定性
(d) タンデム・ミラー
14.6 慣性閉じ込め 275
(a) ペレット利得
(b) 爆縮

付録 A 電磁流体力学運動方程式の導入 290

付録 B 熱いプラズマの誘電率の導入
B.1 熱いプラズマの分散式の公式化 295
B.2 線形化ブラゾフ方程式の解 297
B.3 熱いプラズマの誘電率テンサー 299
B.4 マックスウェル分布の場合の誘電率テンサー 302
B.5 静電波の分散式 304
B.6 密度，温度勾配があるプラズマの静電波分散式 305

物理定数，プラズマ・パラメーター，数学公式 310

索引 313