目　　次

はしがき

第1章　核融合炉の条件

1.1　エネルギー資源 ……1
1.2　核融合反応 ……2
1.3　ローソン条件および着火条件 ……4
1.4　核融合炉の輪郭 ……7

第2章　磁場構成

2.1　マックスウェルの方程式……9
2.2　磁気面 ……12
a) 磁気面の厳密解
b) 磁気面の平均的近似解
c) 1次の微分方程式系の平均法
2.3　種々の磁場構成……17
a) 円環電流，直線電流による磁場(スフェレーター，レビトロン，トカマク，多極磁場)
b) ミラー磁場(最小磁場)およびカスプ磁場
c) ステラレーター磁場
d) 電流と磁場の関係
2.4　トーラス系における回転変換角，シアー，磁気井戸の深さ ……30
a) 回転変換角
b) シアー
c) 磁気井戸の深さ
d) トカマクおよびステラレーターの例

第3章　単一荷電粒子の運動

3.1　荷電粒子の運動方程式 ……39

3.2 軸対称系における粒子の軌道 ……41
a) 粒子の軌道と磁気面との関係(トーラス系)
b) カスプ磁場
c) ミラー磁場
3.3 ドリフト近似による粒子の運動の記述 ……45
a) 案内中心の運動方程式
b) ドリフト速度
c) 断熱不変量
3.4 案内中心の軌道 ……52
a) 案内中心の軌道と磁気面との関係
b) ミラー磁場による捕捉
c) トーラス磁場における案内中心の軌道(バナナ軌道)
3.5 バナナ中心のドリフト ……57
a) 縦の断熱不変量
b)* ステラレーター磁場におけるバナナ中心の軌道
c) 縦電場のバナナ運動への影響
3.6* 高周波電場における粒子の運動 ……68

第4章 クーロン衝突
4.1 エネルギー，運動量の変化 ……76
4.2 粒子ビームによるプラズマの加熱 ……79
4.3 二成分プラズマにおける温度の緩和時間 ……82
4.4 プラズマ中を運動する粒子の運動量変化 ……84
4.5 逃走電子 ……86
4.6 電気抵抗 ……87
4.7 デバイ遮蔽とクーロン対数 ……88

第5章 速度分布関数とプラズマの基礎方程式
5.1 位相空間と分布関数 ……90
5.2 ボルツマン方程式およびブラゾフ方程式 ……92
5.3 衝突項 ……94
a)* ボルツマンの衝突積分
b) フォッカー-プランクの衝突項
5.4 ミラー磁場における速度空間での拡散(ミラー損失) ……97

5.5 拡散テンサーと動的摩擦係数 ……102

第6章 電磁流体力学の方程式
6.1 巨視量に関する方程式の導入 ……107
6.2 電磁流体力学方程式 ……112
6.3 衝突項について ……115
a) 衝突による運動量およびエネルギーの輸送(熱伝導率等)
b)* 速度勾配と粘性
6.4 無衝突プラズマのC.G.L方程式 ……123
6.5 簡単化された電磁流体力学方程式 ……126

第7章 プラズマの平衡
7.1 圧力平衡 ……129
7.2 プラズマの流体力学的記述例 ……131
a) 断熱圧縮
b) 単純衝撃
c) プラズマ流
7.3 プラズマ中における粒子の移動 ……135
a) 完全電離プラズマにおける粒子の移動
b) 磁化ローレンツ・ガス中の粒子の移動
7.4 プラズマ平衡における諸関係式 ……139
a) Virial 定理
b) 非等方圧力平衡(ミラー磁場における平衡)
c) プラズマの拡散と電流密度，抵抗率
7.5 トーラス系における平衡と自然座標 ……145
a) 磁気面量
b) 平衡に関する式
c)* トーラス系における自然座標
7.6 軸対称系およびヘリカル対称系における平衡の式 ……153
a) 軸対称系における平衡の式
b) ヘリカル対称系における平衡の式
7.7 トカマクの平衡 ……157
a) トカマクにおける磁気面
b) トカマク・プラズマの平衡を保つためのポロイダル磁場

c) ベーター比の上限
7.8 ステラレーターの平衡とベーター比の上限 ……169

第8章 プラズマの拡散および閉じ込め時間
8.1 衝突頻度が大きい場合の拡散(古典拡散) ……175
a) 電磁流体力学的取り扱い
b) 粒子的取り扱い
8.2 トカマク磁場における衝突頻度が小さい場合の拡散(新古典拡散) ……178
8.3* ステラレーター磁場における拡散 ……182
a)* $\varepsilon_h \gg \varepsilon_t, \alpha$ の場合
b)* $\varepsilon_t \gg \varepsilon_h, \alpha$ の場合
c)* $\alpha \gg \varepsilon_t, \varepsilon_h$ の場合
8.4 揺動損失, ボーム拡散, 対流損失 ……188
8.5 擬古典拡散 ……193
8.6* 不純物イオンによる拡散 ……196
8.7* バナナ領域におけるブート・ストラップ電流 ……198

第9章 電磁流体力学的不安定性
9.1 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 ……203
a) 交換不安定性
b) 交換不安定性の安定条件
c) ソーセイジ不安定性
d) キンク不安定性
9.2 電磁流体力学的不安定性の公式化 ……212
a) 電磁流体力学方程式の線形化
b) エネルギー原理
9.3 円柱プラズマの不安定性 ……219
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, Newcomb の定理
d) トカマク配置, 拡散ピンチ(ゼーター配位)
9.4* トーラス系における局所モードの安定条件 ……237

a)* トーラス系におけるエネルギー積分
b)* 局所モードに対する安定条件
c)* 回転対称系における局所モードの安定条件
9.5* 抵抗不安定性 ……250
a)* 基本的関係式
b)* リップリング・モード, 重力交換型モード, ティアリング・モード
9.6 バルーニング不安定性 ……262
a) バルーニング・モード
b) 抵抗性バルーニング・モード
9.7 抵抗性ドリフト不安定性 ……267

第10章 冷たいプラズマにおける波および熱いプラズマにおける粒子と波の相互作用
10.1 冷たい無衝突プラズマの分散式 ……275
10.2 波の諸性質 ……278
a) 波の偏光性と粒子の運動
b) カット・オフと共鳴
10.3 二成分プラズマの波 ……281
10.4 いろいろな波 ……285
a) アルフベン波
b) イオン・サイクロトロン波
c) 低ハイブリッド共鳴
d) 高ハイブリッド共鳴
e) 電子サイクロトロン波その他
10.5 エネルギーの流れと近接性 ……292
10.6 静電波の条件 ……295
10.7 速度分布を持つ(熱い)プラズマにおける粒子と波の相互作用 ……296
a) ランダウ減衰
b) transit time 減衰
c) サイクロトロン減衰

第11章 熱いプラズマにおける波(静電波)
11.1 熱いプラズマ中の波の分散式 ……304

11.2 静電波の分散式……306
a) 分 散 式
b) プラズマ分散関数
11.3 イオン音波，電子音波，バーンスタイン波 ……315
11.4 複流不安定性……318
11.5 不安定性に関するナイキストの判定条件 ……322
11.6* 絶対不安定性とコンベクティブ不安定性 ……323

第12章 速度空間不安定性(静電的)
12.1 圧力勾配による不安定性 ……330
a) 分 散 式
b) 交換不安定性(有限ラーマー半径効果)
c) ドリフト不安定性
d) ドリフト不安定性の安定化条件
e)* ドリフト・サイクロトロン不安定性
f) ドリフト不安定性に対する粒子衝突の効果
12.2 捕捉粒子不安定性 ……345
a) 無衝突捕捉粒子不安定性
b) 散逸性捕捉粒子不安定性
c) 捕捉粒子不安定性による拡散
12.3 速度分布関数の非等方性による不安定性 ……360
a) ハリス不安定性
b) ロス・コーン不安定性
12.4* クロス・フィールド不安定性 ……368

第13章 熱いプラズマにおける電磁プラズマ波
13.1 電磁プラズマ波の分散式 ……373
13.2 磁力線方向に伝播する波(whistler 不安定性) ……379
13.3 fire-hose 不安定性とミラー不安定性 ……382
13.4 電磁流体力学的解析(磁気音波) ……385

第14章 プラズマ加熱
14.1 ジュール加熱および高速中性粒子入射加熱 ……388
a) ジュール加熱

b) 高速中性粒子入射による加熱
14.2 圧 縮 加 熱 ……392
a) 断 熱 圧 縮
b) 磁気ポンプ
c) シーターピンチ加熱，ショック加熱
14.3 高 周 波 加 熱……396
a) 波 の 励 起
b) 波の近接性，伝播，モード変換
c) 熱 化
14.4* 非線形現象，統計過程 ……406
a)* 準線形理論による分布関数の変化
b)* 波と波との相互作用，Manley-Rowe の関係，非線形ランダウ減衰
c)* 統 計 加 熱
d)* 加熱時間と閉じ込め時間

第15章 プラズマの診断
15.1 プラズマ中における種々の素過程……425
15.2 制 動 輻 射 ……427
15.3* シンクロトロン輻射 ……432
a)* シンクロトロン輻射のスペクトル分布
b)* 輻射の吸収および放射
c)* シンクロトロン輻射による損失
15.4 電磁波のプラズマによる散乱 ……440
a) 無相関散乱
b)* 磁場がある場合の無相関散乱
c)* 協同的散乱
15.5 電磁波を利用した診断 ……447
a) ドップラー幅によるイオン温度測定
b) レーザー散乱(マイクロ波散乱)測定
c) 制動輻射測定
d) マイクロ波およびレーザー光を用いた干渉法による密度測定
e) スペクトル強度，アーベル変換その他

15.6 粒子測定法 ……458
a) 高速イオン検出による測定
b) 荷電交換による高速中性粒子のエネルギー測定
c) 中性粒子ビームの減衰による密度測定
d) 重イオン・ビームによる診断
e) 中性子検出によるイオン温度測定
15.7 静電プローブおよび磁気プローブ ……462
a) 静電プローブ
b) 磁気プローブ
15.8 種々の測定法の適用範囲 ……467
第16章 高温プラズマの閉じ込め
16.1 プラズマ閉じ込め研究の発展経過 ……473
16.2 トカマク ……481
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
i) トカマク型核融合炉
16.3 逆転磁場ピンチ ……500
a) 逆転磁場ピンチ装置
b) RFP の緩和現象
16.4 ステラレーター ……504
a) ステラレーター装置
b) ステラレーターの閉じ込め実験
16.5 開放端系 ……508
a) ミラー磁場およびカスプ磁場におけるプラズマの閉じ込め時間

b) ミラー磁場による閉じ込め実験
c) ミラーにおける不安定性
d) タンデム・ミラー
16.6 波動加熱による高温プラズマ生成 ……518
a) 波の伝播と吸収
b) イオン・サイクロトロン周波数領域の波動加熱
c) 低域混成波加熱
d) 電子サイクロトロン加熱
16.7 慣性閉じ込め ……534
a) ペレット利得
b) 爆縮
付録
1 ベクトル演算 ……549
2 微分演算 ……550
3 物理定数 ……553
4 プラズマ・パラメーターの公式 ……554
索引 ……557