

目次

1	緒論	1
2	非中性プラズマの物理	4
2.1	自己場をもつプラズマの集団現象 – 非中性プラズマから銀河まで	4
2.2	非中性プラズマの平衡	7
2.2.1	非中性プラズマの熱平衡 (剛体回転平衡)	8
2.2.2	Brillouin 密度限界	11
2.2.3	弱非中性プラズマの平衡	11
2.3	非中性プラズマのダイナミクス	12
2.3.1	渦のダイナミクス	13
2.3.2	非中性プラズマにおける渦のダイナミクス, およびその周辺	15
2.3.3	ミキシングと保存則	25
2.3.4	Kelvin-Helmholtz 型の不安定性	28
2.3.5	円柱非中性プラズマにおけるダイオコトロン不安定性	31
2.4	回転系としての非中性プラズマと銀河	35
2.4.1	回転する平衡状態	36
2.4.2	プラズマ振動と Jeans 不安定性	37
2.4.3	サイクロトロン周波数と epicyclic 周波数	38
2.4.4	高域混成振動と Lin-Shu 密度波	39
2.4.5	非中性プラズマと銀河の比較	40
2.5	非中性プラズマの応用	40
2.5.1	反物質プラズマの生成・閉じ込め	41
2.5.2	渦運動の非エルミート力学	42
2.5.3	高速流をもつプラズマの自己組織化	43
2.5.4	カオスの基礎研究 – 線形理論から非線形理論へ	45
3	非中性プラズマトラップの諸方法と比較	50
3.1	研究の歴史	50

3.2	各種トラップ方式とその研究	53
3.2.1	ポール（高周波）トラップ	53
3.2.2	ペニングトラップ	64
3.2.3	マルンバークトラップ	73
3.2.4	環状トラップ	79
3.2.5	キングダムトラップ	80
3.2.6	マルチポールトラップ	83
3.2.7	トロイダルトラップ	85
4	トーラス型非中性プラズマトラップの概念	90
4.1	非中性プラズマの磁気閉じ込め	90
4.2	粒子入射（カオスによる無衝突拡散）	90
4.2.1	磁場ヌル点と粒子運動のカオス	91
4.2.2	高周波電場による擾乱	94
4.3	平衡	98
4.3.1	環状プラズマ柱の運動論的平衡	98
4.3.2	トロイダル弱非中性プラズマの平衡（ドリフトモデル）	101
4.4	安定性（磁気シヤーによるダイオコトロン振動の安定化）	105
4.4.1	分散関係式の導出	107
4.4.2	ダイオコトロン波とプラズマ振動のカップリング	109
4.4.3	磁場に平行方向の運動による安定化効果	110
4.4.4	ダイオコトロン不安定性に対する外部磁場の有理面の影響	115
4.4.5	安定性のまとめ	119
5	PTOTO-RT による電子プラズマ閉じ込め実験	121
5.1	実験装置の構成	121
5.1.1	真空容器，磁場コイル・RF アンテナ，電源等	121
5.1.2	電子銃	123
5.1.3	測定方法	125
5.2	電子入射	126

5.2.1	Proto-RT における電子入射のための軌道計算 . . .	126
5.2.2	磁場配位依存性	128
5.2.3	電子ビームの軌道	131
5.3	ポテンシャル場の計測	131
5.3.1	浮遊電位の計測	132
5.3.2	エミッシブプローブを用いた空間電位の計測	134
5.4	電子プラズマの生成	138
5.4.1	ラングミュアプローブを用いた電子温度, 密度の見積もり	139
5.4.2	ビーム電流依存性	140
5.4.3	総電荷, 密度の見積もり, ビーム電子の滞在時間 .	141
5.4.4	電子プラズマの自己電場と入射電子ビーム軌道 (軌道計算結果)	142
5.4.5	流れの測定	144
5.5	静電揺動	146
6	非エルミート力学に関する考察	149
6.1	渦の運動と非エルミート性	149
6.1.1	スペクトル分解に関する問題点	150
6.1.2	渦の非エルミート力学	153
6.2	対流と振動	154
6.2.1	対流 — シヤー流による輸送	155
6.2.2	Chandrasekhar の表面波モデル	156
6.2.3	2つの生成作用素のカップリング	158
6.3	非エルミート生成作用素のスペクトル分解	161
6.3.1	生成作用素の数学的な定式化	162
6.3.2	生成作用素のスペクトル分解	163
6.3.3	プロパゲータのスペクトル表現	165
6.4	初期値問題の解の振舞い	166
6.4.1	解析的な評価	166
6.4.2	数値解	167
6.5	時間漸近挙動とミキシング	170

6.5.1	ミキシング	171
6.5.2	摂動展開と漸近解析	173
6.5.3	発散の繰り込み	176
6.6	ダイオコトロン振動の永年挙動と発散	178
6.7	不安定モードのストレッチと永年挙動	181
6.7.1	Kelvin の一般化されたモード展開法	181
6.7.2	プラズマ中の交換型不安定性	183
7	緩和状態に関する考察	192
7.1	緩和とは	192
7.2	緩和と保存則	193
7.2.1	保存則と完全解	193
7.2.2	統計力学の描像	194
7.3	運動論モデルによる記述	196
7.3.1	場の方程式との整合性と非線形性	196
7.3.2	静電平衡 (Penning 平衡)	196
7.3.3	磁気平衡 (Harris シート, Bennet 平衡など)	199
7.3.4	断熱不変量による平衡解	200
7.3.5	シヤー流をもつ平衡	201
7.4	巨視的モデルによる記述	202
7.4.1	MHD緩和の理論と場の統計力学	202
7.4.2	Beltrami-Bernoulli 条件	205
7.4.3	2 流体MHDモデル	206
7.5	新たな緩和状態の探求	208
7.5.1	特異摂動による Beltrami 渦の重ねあわせ	208
7.5.2	流れを用いたプラズマの閉じ込め	210
7.5.3	プラズマ境界のシヤー流 (H モード境界層)	211
7.6	プラズマの構造とエネルギー準位	213