

目 次

まえがき

第1章 プラズマを用いた粒子加速研究の重要性と将来性	1
1.1 新方式加速器への期待.....	1
1.1.1 高エネルギー加速器の現状.....	1
1.1.2 加速器の応用.....	5
1.2 プラズマによる高エネルギー粒子制御.....	5
1.2.1 粒子加速の物理.....	5
1.2.2 プラズマを用いた主な新方式加速器.....	9
1.3 プラズマとレーザーと粒子ビーム.....	11
第2章 加速の原理	15
2.1 加速器物理入門.....	15
2.1.1 エネルギーと電流.....	15
2.1.2 ベータトロン振動.....	17
2.1.3 転送行列.....	21
2.1.4 リュウビルの定理とエミッタンス.....	22
2.2 従来方式の加速器.....	23
2.2.1 線形加速器.....	24
2.2.2 電磁波による粒子加速.....	25
2.2.3 アルバレ型線形加速器.....	28
2.2.4 ディスクロード型線形加速器.....	34
2.3 ビーム診断.....	38
2.3.1 電流あるいはバンチの電荷.....	40

2.3.2	粒子エネルギー測定.....	42
2.3.3	荷電粒子の検出.....	44
2.3.4	ストリークカメラによる測定.....	47
2.3.5	エミッタンス.....	49
2.3.6	窓による電子線の散乱.....	50
2.4	加速器の応用.....	51
2.4.1	原子核物理学.....	52
2.4.2	高エネルギー物理学.....	54
2.4.3	放射光の利用.....	58
2.4.4	その他の応用.....	59
第3章	プラズマと電磁波の相互作用の基礎	63
3.1	プラズマ波の基礎.....	64
3.1.1	プラズマ波の固有モードの分散式.....	64
3.1.2	プラズマ中の横波と電子プラズマ波.....	69
3.1.3	プラズマ波および横波の速度.....	72
3.2	波による粒子の捕捉.....	75
3.3	電場強度の飽和.....	79
3.3.1	波の破壊と電場の飽和.....	79
3.4	高速運動している媒質中の電磁波と光子加速.....	82
3.4.1	動いている完全導体.....	83
3.4.2	高速で走る誘電体.....	85
3.4.3	運動するプラズマ.....	87
3.4.4	静止したプラズマで電離面が動いている場合.....	89
3.4.5	実験的検証.....	93
3.5	プラズマ生成と診断.....	98
3.5.1	プラズマ生成(トンネル電離).....	98
3.5.2	プラズマ密度計測.....	100
3.5.3	プラズマ波計測.....	107

第4章	プラズマビート波加速	113
4.1	ビート波によるプラズマ波の励起と加速電場の生成.....	113
4.1.1	誘導ラマン散乱(Stimulated Raman Scattering)と電子加速.....	113
4.1.2	ビート波による相対論的プラズマ波の励起.....	115
4.1.3	振幅の飽和と電場の強さ.....	120
4.2	プラズマ波による粒子加速.....	121
4.2.1	プラズマ波による電子の捕捉と加速.....	122
4.2.2	加速距離とレーザーの回折.....	125
4.3	ビート波加速の実験.....	126
4.3.1	大阪大学のビート波実験.....	127
4.3.2	外国の実験研究.....	133
第5章	プラズマ航跡場加速	139
5.1	ビーム励起航跡場加速.....	141
5.1.1	航跡場の方向と大きさ.....	142
5.1.2	トランス比.....	146
5.1.3	ビーム航跡場加速の実験.....	150
5.2	レーザー励起航跡場加速.....	157
5.2.1	レーザーによる航跡場.....	158
5.2.2	レーザー航跡場加速の実験.....	167
5.2.3	加速距離の問題とその解決:光導波.....	170
5.2.4	自己変調レーザー航跡場加速.....	179
5.3	非線形航跡場.....	185
第6章	直交場加速	193
6.1	直交場加速の理論.....	194
6.1.1	非相対論的直交場加速($V_p \times B$ 加速).....	194
6.1.2	相対論的直交場加速(サーファトロン加速).....	199
6.2	直交場加速の実験的検証.....	203

6.2.1	不均一プラズマ中の電磁波伝搬と共鳴吸収	204
6.2.2	実験装置の概略と原理	206
6.2.3	直交場加速 ($V_p \times B$ 加速) 現象の検証	207
6.2.4	直交場型線形加速器	211
6.2.5	検討とまとめ	215
第7章 レーザー光を直接利用する加速		
7.1	自動共鳴レーザー加速	222
7.1.1	粒子加速と放射損失	222
7.1.2	研究の現状	223
7.2	逆自由電子レーザー加速	224
7.2.1	粒子加速と放射損失	224
7.2.2	研究の現状	227
7.3	真空中の横波による直交場加速	228
7.3.1	粒子加速と遅波の必要性	228
7.4	中性ガス中における直交場加速	231
7.4.1	粒子加速とガスによる散乱	231
7.5	複数レーザーによる電子加速	232
7.5.1	加速の原理	232
7.6	逆チェレンコフ加速	236
7.6.1	加速の原理	236
7.6.2	実験的研究	238
7.7	重なり合うレーザー光による電子加速	239
7.7.1	加速の原理	239
7.8	レーザー光の縦電場による電子加速	241
7.8.1	加速の原理	241
7.9	逆シンクロトロン放射による電子加速	243
7.9.1	加速の原理	243
7.9.2	シミュレーション	245

7.10	逆制動放射による電子加速	246
7.10.1	加速の原理	246
7.10.2	シミュレーション	249
第8章 プラズマを利用した荷電粒子の制御		
8.1	プラズマレンズ	254
8.1.1	自己ピンチプラズマレンズ	254
8.1.2	自己ピンチ・プラズマレンズの実験	262
8.1.3	リニアコライダーにおけるプラズマレンズ	263
8.1.4	能動的プラズマレンズ	267
8.2	プラズマ・アンジュレーター	270
8.2.1	静的プラズマ・アンジュレーター	271
8.2.2	動的プラズマ・アンジュレーター	278
第9章 おわりに		
付録A	相対論的力学	293
付録B	静止した境界における電磁波	296
付録C	プラズマ境界における電磁波	298
付録D	単振子の作用	301
付録E	粒子モデルによるシミュレーション：Particle-in-Cell (PIC) 法	303