

目 次

第 1 章 高エネルギー加速器

(木村嘉孝)

1.1	高エネルギー加速器小史	1
1.1.1	概観	1
1.1.2	重要な原理と技術	4
A.	位相安定性の原理	4
B.	強集束の原理	5
C.	超伝導技術	6
1.2	日本の高エネルギー加速器	8
1.2.1	電子シンクロトロン時代	8
1.2.2	KEK-PS の建設から , TRISTAN , KEKB , J-PARC へ	10
1.2.3	初期の重要な研究	13
A.	FFAG シンクロトロン	13
B.	機能分離型強集束シンクロトロン	14
C.	APS 型リニアック	15
1.3	高エネルギー加速器の応用	16
1.3.1	加速器の応用	16
1.3.2	主な高エネルギー加速器の応用	17
A.	放射光利用	17
B.	中性子利用	19
C.	ミュオン利用	20
D.	医学利用	21
文 献		23

第 2 章 ビーム源

2.1	イオン源	(森 義治)	25
2.1.1	イオンの生成		25
	A. 電子衝突による正イオン生成		25
	B. 負イオン生成の基礎過程		28
2.1.2	イオン源からのビーム引出し		33
2.1.3	エミッタンス		35
2.1.4	いろいろなイオン源		37
	A. 正イオン (陽子・重陽子) 源—デュオプラズマトロン		37
	B. 多価イオン源—ECR イオン源		39
	C. 負イオン源		40
	D. 偏極イオン源		43
2.2	電子銃	(大沢 哲)	44
2.2.1	陰極の種類と特徴		44
	A. 熱電子放出型陰極		45
	B. 電界放出型陰極		48
	C. 光電子陰極		49
2.2.2	空間電荷効果		51
	A. 空間電荷伝導		51
	B. 空間電荷によるビームの発散		53
2.2.3	ピアス型電子銃		54
2.2.4	新しい電子銃の動向		56
2.3	陽電子ビームの生成	(大沢 哲)	59
2.3.1	陽電子の生成機構		60
2.3.2	陽電子ビームの集束		61
	A. QWT 型磁気レンズ		62
	B. 断熱 (AT) 型磁気レンズ		63
	C. QWT と AT の比較		64
2.3.3	KEKB の陽電子源の構造と性能		64
2.3.4	低速陽電子ビームの生成		65
文 献			67

第 3 章 陽子加速器とその応用

3.1	陽子リニアック (山崎良成)	71
3.1.1	はじめに	71
3.1.2	陽子リニアックの加速原理	73
	A. 加速効率とシャントインピーダンス	73
	B. ビームの加速と集束 — 断熱減衰と周波数	78
3.1.3	加速管の構造	81
	A. 高エネルギー部の加速管	81
	B. 中エネルギー部の加速管 — ドリフトチューブリニアック	83
	C. 低エネルギー部の加速管 — 高周波 4 極 (RFQ) リニアック	84
3.1.4	高エネルギー陽子リニアック大強度化への道	87
	A. ピーク電流増強への道	87
	B. パルス幅の増加と超伝導連続ビーム陽子リニアック	88
3.2	陽子シンクロトロン (町田慎二)	89
3.2.1	陽子シンクロトロンの概要	89
	A. シンクロトロンの基本構成	91
	B. ビームダイナミクス	95
	C. ビームの入射と取出し	98
3.2.2	ビームの大強度化に伴う問題点とその解決法	102
	A. 空間電荷効果	102
	B. 電子-陽子不安定性	106
	C. トランジションエネルギー	109
	D. ビームローディング	113
	E. 金属軟磁性体合金 (MA) を使った高周波加速空洞	118
3.3	スポレーション中性子源 (池田 進)	122
3.3.1	物質科学のための中性子源	122
3.3.2	スポレーション中性子源の構造	124
3.3.3	パルス中性子ビーム	127
	A. パルス中性子ビームの計測 (飛行時間法)	127
	B. パルス中性子ビーム強度とパルス波形	129
3.3.4	パルス中性子ビームの利用	130
	A. 弾性散乱測定装置	130

B. 非弾性散乱測定装置	131
3.3.5 将来のパルス中性子源と中性子光学素子	135
3.4 ミュオンの発生と利用 (永嶺謙忠)	137
3.4.1 パイオンの発生とミュオンの発生	137
A. パイオンの発生	137
B. ミュオンの発生	139
C. 直流状ミュオンとパルス状ミュオン	139
3.4.2 ミュオンの利用	140
A. ミュオン触媒核融合 (μ CF)	140
B. ミュオンスピン回転・緩和・共鳴法 (μ SR) による物性研究	146
C. ミュオン元素分析	148
D. ミュオンラジオグラフィ	148
3.5 原子核変換応用 (柴田徳思)	149
3.5.1 加速器駆動型未臨界炉	149
A. 系内での中性子の振舞い	149
B. 系内における中性子の分布	151
C. 中性子および核反応の総数	153
3.5.2 エネルギー増幅	154
A. 加速器駆動型未臨界炉によるエネルギー増幅	154
B. トリウム燃料サイクル	156
C. システムの概要	158
3.5.3 長半減期放射性核種の変換	161
A. 長半減期放射性核種の変換処理	161
B. 原子炉で生成される放射性核種の量と毒性	161
C. 加速器駆動型未臨界炉による変換処理	163
3.6 陽子線の照射治療応用 (高田義久)	167
3.6.1 陽子線治療の概要	167
A. 陽子線治療の歴史	167
B. 治療の立場から見た陽子線の特徴	169
C. 陽子線と他の放射線との比較	170
D. 陽子線照射技術	172
3.6.2 陽子線治療用の加速器	174
3.6.3 陽子線治療専用施設と陽子加速器	174
文 献	180

第 4 章 放射光源とコヒーレント光の発生

4.1	低エミッタンスリング (大見和史)	185
4.1.1	電子貯蔵リングのエミッタンス	186
	A. シンクロトロン放射	186
	B. 電子の運動	188
	C. エミッタンス—放射減衰と量子揺らぎ	194
4.1.2	実際の放射光リング	198
	A. ラティスとエミッタンス	199
	B. FODO ラティス	200
	C. アクロマトラティス	202
4.1.3	低エミッタンスリングの諸問題	205
	A. 軌道補正, 安定性	205
	B. 非線形効果	205
	C. 集団効果によるビーム不安定性	207
4.2	小型放射光源 (山田廣成)	209
4.2.1	小型放射光源開発の歴史	209
	A. 産業利用の期待	209
	B. 世界の小型放射光源	212
	C. 加速器技術へのインパクト	214
4.2.2	小型化技術の特徴	214
	A. 小型放射光源のデザインルール	214
	B. ビーム入射法	219
	C. 小型放射光源の性能	220
4.2.3	小型放射光源を用いた新しい光子発生技術	221
	A. 小型リングで作る極超短パルスビーム	221
	B. 光と電子の蓄積	222
	C. 小型電子蓄積リングを用いた新しい高輝度 X 線発生法	224
4.3	挿入光源 (山本 樹)	225
4.3.1	放射光発生の原理	225
4.3.2	円軌道放射光源	228
4.3.3	挿入光源	229
	A. ウィグラおよびアンジュレータ	229
	B. 挿入光源の放射特性	234

4.4	自由電子レーザー	(山崎鉄夫)	241
4.4.1	自由電子レーザーの原理		242
4.4.2	要素技術		247
	A. アンジュレータ		247
	B. 光共振器		249
	C. 電子ビーム		251
4.4.3	自由電子レーザーの現状		251
4.4.4	自由電子レーザーの将来展望と応用		254
文	献		259

第 5 章 衝突ビーム加速器

5.1	衝突ビームリング	(木村嘉孝)	263
5.1.1	衝突ビームリングの原理		263
	A. 実験室系と重心系の衝突エネルギー		265
	B. ルミノシティ		265
5.1.2	ルミノシティの最適化		267
	A. 低ベータインサクション		267
	B. ビーム・ビーム効果		269
5.1.3	代表的な衝突ビームリング		274
	A. 電子・陽電子衝突ビームリング : KEKB		274
	B. 陽子・陽子衝突ビームリング : LHC		281
5.2	リニアコライダー	(高田耕治)	286
5.2.1	主な特徴		287
	A. 加速器の構成		288
	B. 衝突点および最終集束系での諸問題		289
	C. 減衰リング		293
	D. パンチ圧縮路		296
5.2.2	リニアックの基礎		297
	A. 円筒セル空洞		297
	B. 多セル空洞		300
	C. 進行波型加速管		302
	D. 定在波型加速管		305

E. 高調波モード，ウェイク関数，インピーダンス	307
5.2.3 リニアコライダーのリニアック	308
A. 常伝導方式	309
B. 超伝導リニアック方式	312
文 献	317

第 6 章 加速器の高性能化技術

6.1 超伝導磁石 (新富孝和)	319
6.1.1 超伝導加速器	319
6.1.2 超伝導線	319
A. 超伝導材料	319
B. 超伝導線	321
6.1.3 超伝導磁石の構造	322
6.1.4 超伝導磁石の磁場	324
A. 超伝導特性と発生磁場	324
B. 磁場分布	326
C. 磁場測定	328
6.1.5 超伝導磁石の電磁現象	329
A. クエンチと保護	329
B. 磁場の多極成分のヒステリシス	331
C. 磁場分布の励磁速度依存性	332
D. 交流損失と安定性	332
6.1.6 超伝導磁石の製作	333
6.1.7 周辺機器	333
A. 冷凍機	333
B. 断熱真空容器	334
C. 電流リード	334
D. 電源	335
6.1.8 超伝導磁石の展望	335
6.2 超伝導加速空洞 (野口修一)	335
6.2.1 超伝導加速空洞の特徴	335
A. 高周波表面抵抗	336

	B. 臨界磁場による加速電場の上限	337
	C. 発熱による加速電場の上限	337
6.2.2	製作方法と性能評価	339
	A. 製作方法	340
	B. 表面処理	341
	C. 性能測定	344
6.2.3	周辺機器	346
	A. 高周波入力カップラー	347
	B. クライオスタット	348
6.2.4	超伝導空洞の展望	349
6.3	ビーム冷却	349
6.3.1	電子冷却 (田邊徹美)	350
	A. 電子冷却の原理	350
	B. 電子冷却装置	354
	C. 電子冷却実験	358
	D. 電子冷却の応用	362
	E. 新しい電子冷却装置	364
6.3.2	確率冷却 (徳田 登)	367
	A. 確率冷却の原理	367
	B. 確率冷却の装置	372
	C. 確率冷却の実験	374
6.3.3	新しい冷却技術 (田邊徹美)	376
	A. レーザー冷却の原理	376
	B. レーザー冷却実験	379
6.4	レーザーとプラズマによる粒子加速 (小方 厚)	381
6.4.1	レーザー・プラズマ加速の歴史	381
6.4.2	電子の加速	383
	A. 原理と実験の概要	383
	B. プラズマ生成	385
	C. テスト電子の生成	386
	D. レーザーのチャネリング	387
	E. プラズマ波の生成	389
	F. 単色ビーム	392
	G. プラズマ波の減衰	394

6.4.3	イオンの加速	395
6.4.4	レーザー・プラズマ加速の問題点	400
文 献		402
付録 1	基礎定数表	407
付録 2	本文で掲載した主な研究機関・施設 略称一覧	408
索 引		411