



# 目 次

## I. 加速器概論

### 1. 加速器の歴史

熊谷寛夫

1.1	加速器のはじまり .....	1
1.2	整流型加速器 .....	2
1.3	バンデグラフ型加速器 .....	3
1.4	線形加速器 .....	3
1.5	サイクロトロン .....	4
1.6	シンクロトロン .....	5
1.7	ベータートロン .....	6
1.8	加速器の分類 .....	7
	文 献 .....	7

<b>2. 加速器の加速電場</b>	熊谷寛夫
2.1 電場について .....	9
2.2 電場による加速 .....	11
<b>3. 加速器と真空</b>	熊谷寛夫
3.1 加速器と真空 .....	13
3.2 残留気体とイオンの衝突 .....	14
A. 残留気体の原子核によるクーロン散乱による損失...(14) / B. 原子核反 応による損失...(15) / C. 分子イオンが衝突によって分解する場合...(16) / D. 電荷変換による損失...(16)	
3.3 真空火花放電 .....	16
3.4 マルティパクタリング放電 .....	18
文 献 .....	20
<b>4. 加速器の利用</b>	熊谷寛夫
4.1 加速器の利用 .....	21
4.2 電子の利用 .....	22
4.3 ガンマ線の利用 .....	24
4.4 陽子の利用 .....	25
4.5 重陽子, $\alpha$ 粒子, 重イオンの利用 .....	27
<b>5. 電子銃およびイオン源</b>	今村 元・上山善司・元永昭七
5.1 電子銃 .....	29
5.2 イオン源の種類と発展経過 .....	34
5.3 RF 放電型イオン源 .....	36
5.4 PIG イオン源 .....	40

5.5	デュオプラズマトロンイオン源 .....	44
5.6	イオン源の性能 .....	48
	A. エミッタンス...(49) / B. ブライトネス...(53)	
5.7	偏極イオン源 .....	57
5.8	基底状態原子線型偏極イオン源 .....	63
	A. [第1段階]——原子線の生成...(63) / B. [第2段階]——電子スピンの偏極...(66) / C. [第3段階]——核スピンの偏極...(68) / D. [第4段階]——イオン化...(71)	
5.9	Lamb シフト型偏極イオン源 .....	73
	A. [第1段階]——原子線の生成...(73) / B. [第2段階]——電子スピンの偏極...(74) / C. [第3段階]——核スピンの偏極...(75) / D. [第4段階]——イオン化...(76)	
	文献 .....	77

## II. 直線状加速器

### 6. 高電圧整流型加速器

原 栄 一

6.1	高電圧整流型加速器の原理と種類 .....	81
	A. 高電圧整流型加速器の特徴...(81) / B. 基本的な高電圧整流回路と高電圧発生 の原理...(83) / C. 変形回路...(86)	
6.2	無負荷特性 .....	88
	A. 無負荷時の発生電圧...(88) / B. 直流高電圧に重畳する交流電圧...(97)	
6.3	負荷特性 .....	98
	A. 負荷に起因する電圧降下とリップル電圧...(98) / B. コンデンサの放電 に起因する電圧降下とリップル電圧...(99) / C. 電源変圧器および整流器 の内部抵抗に起因する電圧降下...(104) / D. 整流器の管内電圧降下...(106)	
6.4	高電圧整流型加速器の実例 .....	111
	A. コッククロフト-ワルトン型加速器...(111) / B. 対称コッククロフト- ワルトン型加速器...(112) / C. NS 型加速器...(114) / D. 鉄心絶縁変圧 器型加速器...(115) / E. ダイナミトロン...(116)	

文献 .....	117
----------	-----

## 7. バンデグラーフ型加速器

今村 元・磯矢 彰

7.1 原理 .....	119
7.2 電極構造 .....	125
7.3 絶縁支柱 .....	130
7.4 電荷運搬 .....	134
7.5 加速管 .....	137
A. 加速管の構造と材料...(138) / B. 加速管内の放電...(141) / C. 加速管の集束作用...(148) / D. 加速管と排気装置...(150)	
7.6 加速電圧およびビーム電流の測定と制御 .....	151
A. 電圧測定...(151) / B. ビーム電流の測定...(153) / C. 制御...(155)	
7.7 パルス運転 .....	157
7.8 タンデム方式バンデグラーフ型加速器 .....	161
7.9 ペレトロン加速器——新しい様式の電荷運搬機構と加速管 .....	169
A. ペレトロンの出現に至るまでの静電加速器...(169) / B. ウィスコンシン大学における静電加速器の新技术の研究...(176) / C. ペレトロンの特徴と性能...(177)	
文献 .....	181

## 8. 共振変圧器型加速器

宇都宮 申八

8.1 概要 .....	185
8.2 構成 .....	187
A. 高圧発生部...(188) / B. 粒子加速...(191)	
8.3 特殊な形式 .....	193
A. 強出力型...(194) / B. カスケード変圧器型...(194)	
文献 .....	196

## 9. 線形加速器

福本 貞義・田中 治郎

9.1 概説 .....	197
9.2 線形陽子加速器 .....	199
A. 概説...(199) / B. 位相安定性...(204) / C. 横方向の集束...(212) / D. 加速空洞...(218) / E. 過渡現象と Beam Loading 効果...(230) / F. 製作と測定...(240) / G. イオン源と前段加速・入射...(253)	
9.3 線形電子加速器 .....	256
A. 加速の原理...(256) / B. 加速管の特性...(266) / C. 大電力マイクロ波源...(280) / D. 電子銃...(286) / E. パルス電源...(291) / F. 応用...(302)	
文献 .....	305

## III. 円形加速器

## 10. 加速器の集束作用

小林 喜幸

10.1 集束の種類 .....	311
10.2 磁場による集束作用 .....	313
10.3 ベータトロン振動 .....	315
10.4 AG 集束 .....	318
10.5 FFAG 集束 .....	324
A. radial sector 型 FFAG シンクロトロン...(325) / B. spiral sector 型 FFAG シンクロトロン...(326) / C. SF サイクロトロン...(328)	
10.6 磁場の誤差の影響 .....	330
10.7 共鳴 .....	332
10.8 momentum compaction factor .....	336
文献 .....	338

<b>11. サイクロトロン</b>	松田 一久・宮沢 佳敏・元永 昭七 小寺 正俊・唐沢 孝・河野 功					
11.1 概論	.....	339				
A. サイクロトロンの原理と加速の条件	.....(342) / B. 可変エネルギーサイ クロトロン, シンクロサイクロトロンおよび SF サイクロトロン	.....(347) /				
C. サイクロトロンの諸問題	.....(352)					
11.2 電磁石	.....	364				
A. 電磁石の概要	.....(364) / B. サイクロトロン用電磁石と磁場生成	.....(372) /				
C. 励磁コイル	.....(377) / D. 可変エネルギー普通型サイクロトロン電磁 石	.....(377)				
11.3 発振器	.....	382				
A. サイクロトロンの発振器の特長	.....(382) / B. 加速電極の形状	.....(385) /				
C. 共振周波数と $Q$ 値の計算	.....(389) / D. 出力管の選定	.....(394) / E. 出 力管と共振器の結合	.....(400) / F. 周波数と加速電圧の安定化	.....(402) / G. 共 振系および発振器の特性の測定と調整	.....(403) / H. 加速電圧の測定	.....(407)
11.4 加速箱と真空	.....	408				
A. 必要とする真空度	.....(408) / B. 排気速度	.....(413) / C. 真空ポンプ	.....(414) /			
D. 真空計と運転	.....(417) / E. 加速箱	.....(420)				
11.5 イオン源	.....	425				
A. サイクロトロンイオン源の種類	.....(426) / B. 低電圧アーク放電	.....(432) /				
C. イオンの引き出し	.....(434)					
11.6 シンクロサイクロトロンと SF サイクロトロン, その他のサイク ロトロン	.....	435				
A. 電磁石の大きさ	.....(436) / B. 加速電圧と加速回数	.....(442) / C. エネル ギーの可変性	.....(446) / D. エネルギーの上限	.....(450)		
11.7 セパレートセクターリングサイクロトロン	.....	454				
A. その特徴のあらまし	.....(455) / B. 磁石の構造	.....(458) / C. 高周波加 速	.....(461) / D. ビームの軌道の性質	.....(464) / E. 重イオンの加速	.....(467)	
11.8 サイクロトロンビームの性質とその利用	.....	470				
A. サイクロトロンビームの性質	.....(470) / B. サイクロトロンビームの利					

用…(475)

文献 …………… 477

**12. シンクロトロン**

小林 喜 幸

12.1 シンクロトロン加速の原理 …………… 481

12.2 陽子シンクロトロン …………… 489

A. 入射器…(490) / B. 電磁石および励磁電源…(490) / C. 高周波加速装置…(498) / D. 真空系…(502) / E. 動作…(503) / F. 動作…(503)

12.3 電子シンクロトロン …………… 505

A. 構造…(506) / B. 動作…(509)

12.4 2段式シンクロトロン…………… 511

12.5 storage ring…………… 513

12.6 ビームの入射 …………… 516

12.7 ビーム取り出し …………… 520

A. Piccioni の方法…(521) / B. 共鳴による取り出し…(522)

12.8 ビームの測定 …………… 526

12.9 ビーム損失の原因 …………… 528

A. 残存気体による散乱…(528) / B. 空間電荷の影響…(531) / C. シンクロトロン放射の影響…(538)

文献 …………… 546

**13. ベータトロン**

亀 井 久

13.1 ベータトロンの原理 …………… 547

13.2 電磁石と電源 …………… 549

A. 電磁石…(549) / B. 電源…(553)

13.3 電子入射器とドーナツ …………… 553

A. 電子入射器…(553) / B. ドーナツ…(555)

13.4 放射線の発生 …………… 556

13.5	ベータトロンの性能 .....	559
	A. エネルギーの限界...(559) / B. 強度...(560) / C. 安定性...(560)	
13.6	ベータトロンの応用 .....	562
	文献 .....	564

## 14. マイクロトロン

小林 喜幸

14.1	原理 .....	565
14.2	構造および動作 .....	567
	A. 電磁石...(567) / B. 加速空洞...(568) / C. 電子の入射...(568) / D. ビームの性質...(568) / E. 陽子の加速...(569)	
	文献 .....	569

## IV. 加速器の制御

### 15. 加速器の制御

馬場 斉

15.1	序 .....	571
15.2	制御の原理 .....	573
	A. インターロック回路...(573) / B. リセットおよび故障表示回路...(573) / C. 停止および操作場所切り替え回路...(577) / D. 機器運転回路...(577) / E. 微動調整回路...(578)	
15.3	直流型と変圧器型加速器の制御 .....	578
	A. バンデグラーフ型の制御...(578) / B. コッククロフト-ワルトン型の制御...(581) / C. 共振変圧器型の制御...(582)	
15.4	ベータトン加速器の制御 .....	582
	A. 主電源装置...(583) / B. パルス発生器...(583) / C. 冷却および排気装置...(585) / D. 制御卓および制御パネル...(585)	
15.5	線型粒子加速器の制御 .....	585

	A. 線型電子加速器の制御装置…(586) / B. 付属制御装置…(591)	
15.6	サイクロトロン <small>の</small> 制御 ……………	592
	A. 真空系制御…(593) / B. 冷却系の制御…(595) / C. 電磁石電源の制御…(595) / D. 発振器共振系の制御…(596) / E. デフレクターの制御…(597) / F. イオン源の制御 (598)	
15.7	シンクロトロン <small>の</small> 制御 ……………	599
	A. 自動運転化…(600) / B. 現状の管理情報および表示の簡略化…(600) / C. 放射線管理…(600)	
15.8	多重送信技術とコンピュータの応用 ……………	606
	文献 ……………	608
	索引 ……………	611