

改訂新版

放射線機器学 (Ⅱ)

— 放射線治療機器・核医学検査機器 —

齋藤 秀敏 監著
福土 政広

藤崎 達也
布施 拓
橋本 光康
浦橋 信吾 共著

入船 寅二
井上 一雅
三枝 健二

コロナ社

は し が き

このたび「改訂新版 放射線機器工学（Ⅱ）—放射線治療機器・核医学検査機器—」を上梓することとなった。診療放射線技師を目指す学生にむけて本書の初版が発刊されたのは1991年である。2004年には「新版 放射線機器工学（Ⅱ）」として内容の見直しが行われ、さらに13年の時を経て内容を改訂して本書を発刊する。

この間、放射線治療および核医学診断分野の技術的な進展と理工学分野の技術開発による相乗効果で、放射線治療および核医学診断機器の種類は変化し、その機能は大幅に向上した。例えば、2004年頃にはおよそ200台の ^{60}Co γ 線遠隔治療装置、20数台のマイクロトロンが使用されていたが、現在ではほとんど設置されていない状況となった。代わって ^{60}Co γ 線源を搭載するのは定位手術的照射のためのガンマナイフ装置、他の光子線・電子線治療はもっぱらニアックで行われるようになった。また、陽子線や炭素線治療のためサイクロトロンやシンクロトロンが日本だけでも15台を超えて稼働し、原子炉利用から加速器利用へと移行してホウ素中性子捕捉療法が実施できる施設数が拡大している。同時に放射線治療では投与線量と照射位置の確かさが求められ、治療計画用CT、治療計画システムや各種固定器具など周辺機器が利用され、品質管理・品質保証に対する知識が必須となった。

また、核医学検査機器では、2002年にFDG-PET検査が健康保険診療として採用されたのを契機として、PET装置やPET/CT装置および小形サイクロトロンの普及が加速的に増加した。また、既存のガンマカメラもSPECT/CT装置が普及し多機能化している。さらに、半導体カメラも実用化の時代に入り臨床現場で使用されるようになった。

このため、新たな著者を加えて大幅に内容の見直しを行って、改訂新版として刊行することとなった。本書第1編は第1章から第9章で構成されており、放射線治療機器に関連する項目を記述している。章は、加速器を利用した治療装置と放射性同位元素を装備した機器に大別した。また、加速器を利用した装置については、先に線形加速と円形加速の加速原理を述べ、つぎに診療用高エネルギー放射線発生装置と診療用粒子線照射装置として必要な構造について解説した。また、放射性同位元素を装備した治療機器については、外部照射と密封小線源治療に章を分けて記述した。周辺機器と品質管理の章については以前より内容の充実を図ったつもりであるが、紙面の都合上すべての機器、管理項目を網羅していないことについてはご容赦願いたい。

ii は し が き

第2編は第10章から第17章で構成されており、核医学検査機器および放射線管理機器に関連する項目を記述している。特に第14章では、前述した半導体カメラやSPECT/CT装置およびPET/CT装置に関して新たに記述し、充実を図った。また、他の章においても陳腐化した内容に関しては削除し、新たな内容を追加するとともに装置や器具およびファントム類の新たな写真を掲載した。一方、臨床ではほとんど利用されることがなくなった機器については削除したのものもあるが、核医学検査機器の変遷を知るうえで必要な装置は残し、簡単に説明するのみとした。また、周辺機器と品質管理に関しては内容を精査しコンパクトにした。

本書は診療放射線技師を目指す学生の入門書として国家試験出題基準を満たすだけでなく、放射線診療業務に従事した後も必要となる知識を提供できるよう心がけ記述した。また、すでに放射線診療に従事されている方々の参考書として利用していただければ、執筆者の望外の喜びである。

本書執筆の分担を下記に示す。

第1編 放射線治療機器

監著者 齋藤 秀敏 第1章～第3章, 第6章, 第7章

著者 浦橋 信吾 第1章～第3章

入船 寅二 第3章

藤崎 達也 第4章, 第5章

布施 拓 第4章, 第5章

橋本 光康 第8章, 第9章

第2編 核医学検査機器

監著者 福士 政広 第10章～第17章

著者 三枝 健二 第10章～第15章

井上 一雅 第13章～第17章

最後に、著者の無理を聞き入れ、発刊にあたりご尽力いただいたコロナ社の方々に心よりお礼申し上げます。

2017年3月

著者しるす

目 次

第 1 編 放射線治療機器

1. 概 論

1.1 放射線治療機器および関連機器の発達	1
1.1.1 初期の加速装置 1	1.1.2 電子加速器 2
1.1.3 重イオン加速器 3	1.1.4 放射性同位元素による初期の放射線 治療 5
1.1.5 外部照射のための放射性同位元素 5	1.1.6 密封小線源治療のための放射性同位 元素 7
1.2 放射線治療機器の分類	7
1.3 第 1 編 の 構 成	8

2. 線 形 加 速

2.1 線形加速の基礎	9
2.2 静電型加速装置	10
2.2.1 X 線装置 11	2.2.2 コッククロフト・ウォルトン装置 (高電圧整流型加速装置) 14
2.2.3 ヴァン・デ・グラフ装置 15	
2.3 線形加速器	16
2.4 電子線形加速器	18
2.4.1 パルス変調器 19	2.4.2 マイクロ波管 20
2.4.3 導波管 23	2.4.4 電子銃 24
2.4.5 加速管 24	2.4.6 冷却装置 29
2.4.7 真空装置 29	
2.5 重イオン線形加速器	30
2.5.1 RFQ 線形加速器 30	2.5.2 ドリフトチューブ線形加速器 31

3. 診療用高エネルギー放射線発生装置

3.1	電子ビーム偏向部（ベンディング部）	32
3.2	照射ヘッド部	35
3.3	X線ターゲット	35
3.4	一次コリメータ	38
3.5	平坦用フィルタ（フラットニングフィルタ）	38
3.6	スキヤッタラ（散乱箔, スキヤッタリングフォイル）	39
3.7	線量モニタシステム	39
3.8	照射野限定システム	41
3.8.1	モノブロックコリメータ	41
3.8.2	マルチリーフコリメータ	41
3.8.3	電子線アプリケータ	42
3.9	ウエッジフィルタ（くさびフィルタ）	43
3.9.1	物理ウエッジ	43
3.9.2	非物理ウエッジ	44
3.10	治療寝台	44
3.11	サイバーナイフ	45
3.12	トモセラピー	46
3.13	Vero4DRT	46

4. 円形加速

4.1	加速原理	47
4.1.1	サイクロトロン	47
4.1.2	AVFサイクロトロン	48
4.1.3	シンクロトロン	49
4.1.4	マイクロトロン	50
4.1.5	ベータトロン	51
4.2	装置の構成	53
4.2.1	サイクロトロン(AVFサイクロトロン)	53
4.2.2	シンクロトロン	54
4.2.3	マイクロトロン	55
4.2.4	ベータトロン	56

5. 診療用粒子線照射装置

5.1	陽子線治療装置	59
5.1.1	照射野形成装置	59
5.1.2	その他照射に必要な装置	65
5.2	重粒子線治療装置	66
5.3	中性子捕捉療法	68

6. 関連機器

6.1 X線シミュレータ	72
6.2 X線CT装置	73
6.3 放射線治療計画装置	75
6.4 患者セットアップと照射位置照合のための器具および装置	78
6.4.1 ポインタ 79	6.4.2 ポータル画像装置 80
6.4.3 照射位置照合装置 82	
6.5 照射野形成用器具・補助装置	84
6.6 線量分布補正用器具	85
6.6.1 補償フィルタ 85	6.6.2 ボーラス 86
6.7 患者固定具と監視装置	86

7. 外部放射線治療機器の品質管理

7.1 受入試験と品質管理	89
7.2 品質管理項目と頻度	90
7.3 線量系の品質管理	90
7.3.1 線質指標 94	7.3.2 線量モニタシステム校正に必要な機器, 器具 96
7.3.3 線量モニタシステムの校正 99	7.3.4 線量分布の平坦度と対称性 101
7.4 幾何学系の品質管理	102
7.4.1 照射野と光照射野の変位 103	7.4.2 アイソセンタと回転軸の変位, 照射ヘッドの振れ 104
7.4.3 マルチリーフコリメータの品質管理 105	

8. 診療用放射線照射装置および診療用放射線照射器具

8.1 医療用密封線源の種類	107
8.2 物理特性	108
8.3 ガンマナイフ	109
8.3.1 ガンマナイフの構造 109	8.3.2 治療の手順 112
8.3.3 精度管理 113	
8.4 遠隔操作式後充填照射装置	114
8.4.1 治療装置の構成 114	8.4.2 精度管理 116

8.5 密封小線源の構造 117
 8.6 密封小線源治療関連機器 122

9. 小線源治療の品質管理

9.1 線量管理 126
 9.1.1 線源強度測定（出力測定） 126 9.1.2 LDR 線源強度測定 127
 9.1.3 HDR 線源強度測定 127
 9.2 定期的な品質管理項目 129

第2編 核医学検査機器

10. 核医学の誕生

11. 核医学検査装置の変遷

12. 放射線測定器の種類

12.1 放射線検出の方法 137
 12.1.1 気体電離検出器の特性 138 12.1.2 電離箱 139
 12.1.3 比例計数管 139 12.1.4 GM 計数管 141
 12.1.5 シンチレーション検出器 144 12.1.6 半導体検出器 154
 12.2 γ 線エネルギー分析装置 158
 12.2.1 γ 線の検出 158 12.2.2 シングルチャンネル波高分析装置 161
 12.2.3 マルチチャンネル波高分析装置（多重波高分析器） 162

13. 試料測定装置と体外測定装置

13.1 試料測定装置 165
 13.1.1 ウェル形シンチレーションカウンタ 166 13.1.2 液体シンチレーションカウンタ 169

13.1.3 ラジオクロマトグラフ装置 175	13.1.4 RI キャリブレーション 179
13.2 体外測定装置 181	
13.2.1 摂取率測定装置 181	13.2.2 全身計測装置 185
13.2.3 動態機能検査装置 189	13.2.4 骨塩定量分析装置（骨密度測定装置） 193

14. RI 画像診断装置

14.1 ガンマカメラ 195	
14.1.1 アンガー型ガンマカメラ 195	14.1.2 オートフルオロスコープ（多結晶形ガンマカメラ） 204
14.1.3 半導体ガンマカメラ 205	
14.2 ガンマカメラの性能試験 208	

15. 断層イメージング装置

15.1 単光子放射型 CT 装置（SPECT）・SPECT/CT 装置 210	
15.1.1 原理 210	15.1.2 投影データ収集 210
15.1.3 画像再構成 211	15.1.4 装置 213
15.1.5 性能 215	15.1.6 SPECT/CT 装置 217
15.2 陽電子放射型 CT 装置（PET）・PET/CT 装置 218	
15.2.1 原理 218	15.2.2 装置の構造 220
15.2.3 性能 225	15.2.4 PET/CT 装置 231
15.2.5 その他の PET 装置 232	
15.3 医用超小形サイクロトロン 235	

16. 核医学イメージング装置性能評価

16.1 ガンマカメラ性能評価 237	
16.1.1 面状線源ファントム 237	16.1.2 小形面状線源ファントム 238
16.1.3 鉛バーファントム 239	16.1.4 鉛スリットファントム 239
16.1.5 その他の管理用ファントム 240	
16.2 SPECT 装置性能評価 240	
16.2.1 SPECT 用ファントム 240	16.2.2 PET 装置性能評価 241
16.2.3 臓器用ファントム 242	

17. 放射線管理用機器

17.1 個人被ばく管理用測定器	245
17.1.1 蛍光ガラス線量計	245
17.1.2 OSL 線量計	248
17.1.3 アラームメータ	249
17.1.4 熱ルミネセンス線量計	250
17.1.5 ポケット線量計	255
17.1.6 フィルムバッジ	262
17.1.7 個体飛跡線量計	265
17.1.8 各種個人被ばくモニタの比較	266
17.2 環境管理用放射線機器	266
17.2.1 空間線量率測定器 (エリアモニタ)	266
17.2.2 空气中放射能濃度測定器	269
17.2.3 水中放射能濃度測定器 (水モニタ)	272
17.2.4 表面放射能汚染密度測定器 (表面汚染モニタ)	274
引用・参考文献	277
索引	282

「改訂新版 放射線機器学 (I) - 診療画像機器 -」

主 要 目 次

1. 総 論
2. X 線発生装置
3. X 線機械装置
4. X 線映像装置
5. 診断用 X 線画像処理装置
6. 関 連 機 器
7. X 線増感紙・X 線蛍光板
8. 診断用 X 線装置システム
9. 診断用 X 線装置の管理
10. 医用 X 線 CT 装置
11. 磁気共鳴画像診断装置
12. 超音波画像診断装置
13. 眼底写真撮影装置 (眼底カメラ)

1. 概 論

1.1 放射線治療機器および関連機器の発達

放射線治療に用いられる電離放射線 (ionizing radiation) には、電荷をもち原子を直接電離できる比較的軽い β 線および電子線、重粒子である陽子線、 α 線、炭素線などと、電荷をもたず相互作用で発生する荷電粒子で間接的に原子を電離する γ 線および X 線 (光子線)、中性子線などがある (図 1.1)。

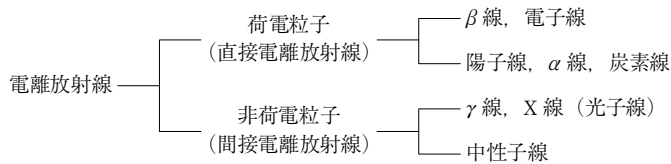


図 1.1 放射線治療で利用される電離放射線の分類

1895 年の Röntgen による X 線、そして 1898 年の Curie 夫妻による Ra の発見、つまり電子の加速によって発生する電離放射線の発見と、放射性同位元素から放出される電離放射線の発見から数年という短い期間に、放射線治療への応用が始まっている。

このように、放射線治療では電離放射線の発生源として、加速器または放射性同位元素を利用している。このことから、加速装置と放射性同位元素の歴史的視点からその変遷を概説する^{1)~6)†}。

1.1.1 初期の加速装置

1910 年代の後半から、熱陰極 X 線管や整流管の発明、また高電圧回路の発達により、管電圧 200 kV 程度の深部治療 X 線装置が製作されるようになった。1920 年代から 1950 年代までは外部照射装置の主流は深部治療 X 線装置であった。

† 肩付き数字は、巻末の参考文献の番号を表す。

さらに高い加速エネルギーが得られる加速器は、原子核物理学の研究のために発達した。1932年に、イギリスの Cockcroft と Walton が整流管とコンデンサによる多段の倍電圧回路で高電圧を発生して陽子を加速し、初めて原子核の人工壊変を行った。ほぼ同時期に、Van de Graaff が絶縁ベルトに電荷を乗せて電極に運んで高電圧を得る方法、Lawrence らがサイクロトロンを発明した。1930年代後半の欧米で、コッククロフト・ウォルトン（Cockcroft-Walton）装置、ヴァン・デ・グラフ（Van de Graaff）装置を用いて1 MV から2 MVの加速電圧でX線を発生させ、高エネルギーX線による放射線治療が試みられた。

1.1.2 電子加速器

電子の加速器であるベータトロン（betatron）は1922年に Slepian によって提案され、1940年アメリカの Kerst によって実用化された。1940年代後半から1950年代にかけて、ドイツ、スイスおよびアメリカで医療用装置として製作され、わが国では1960年に国産化されて、1970年代には約40台が医療施設で用いられていた。表1.1にわが国の医療用加

表 1.1 わが国の医療用加速器数の年次推移

年度	ベータトロン	リニアック	マイクロトロン	サイクロトロン	シンクロトロン
1965	7	2			
1970	30	32			
1975	45	86		1	
1980	48	170		2	
1985	44	275	2	5	
1990	24	467	9	11	
1995	11	519	20	15	
1996	11	539	22	16	
1997	10	556	22	17	
1998	8	578	24	19(1)	
1999	8	601	22	22(1)	
2000	6	621	24	24(1)	1
2001	5	628	24	29(1)	2
2002	5	647	24	36(1)	2
2003	2	656	24	42(1)	2
2004	1	671	23	60(1)	3
2005	1	691	23	82(1)	3
2007	1	725	14	118(1)	3
2008	1	747	12	126(1)	3
2010		752	5	127(1)	8
2011		747	4	127(1)	7
2012		783	4	131(1)	8
2013		802	4	135(1)	9
2014		824	2	140(2)	10
2015		827	2	143(2)	11

(注) 2006年度と2009年度は統計が実施されなかったため省略。
サイクロトロン装置数はPET製剤用を含む。()内の数値は放射線治療用の装置数。
日本アイソトープ協会発行「放射線利用統計」^{(7),(8)}による。

速器数の年次推移を示す^{7),8)}。ベータトロンは1980年代に48台が設置されていたが、現在では衰退した加速器となっている。

1944年にVekslerによって提唱された電子加速器であるマイクロトロン (microtron) は、1970年代初めスウェーデンのメーカーによって医療用装置として提供され、1970年代後半から医療施設に設置された。20 MeVを超える多様な電子線エネルギーを選択できることなどから、わが国では1982年から使用が開始され最盛期には24台が設置されたが、現在ではベータトロンと同様、衰退した加速器となっている。

1931年にイギリスのSloanがイオンの線形加速に成功した。しかし、当時は高出力の高周波発生器の製作が技術的に困難であったので、線形加速器はまったく顧みられなかった。しかし、第二次世界大戦中に発達したレーダのための高周波技術を応用して、1947年にイギリスのFryらがマイクロ波による電子の線形加速を成功させた。1952年には世界最初の医療用電子線形加速器 (リニアック) がロンドンのHammersmith病院に設置され、高エネルギー X線および電子線治療が普及することになった。

わが国では1964年ごろからリニアックによる放射線治療が開始され、1970年代になると導入が広がり、1980年に170台、1990年に467台、2000年に621台と急速に普及した。1985年頃から汎用リニアックを使用した定位照射が開始され、1990年代後半になるとマルチリーフコリメータを搭載したリニアックと3次元治療計画装置により、3次元原体照射 (3 dimensional conformal radiotherapy : 3D-CRT) や強度変調放射線治療 (intensity modulated radiotherapy : IMRT) などの高精度放射線治療が行われるようになった。さらに現在では、小形リニアックを工業用ロボットに搭載して定位照射が可能なCyberKnife装置、CT装置のガントりにリニアックを搭載しバイナリコリメータを併用して回転IMRTが可能なTomoTherapy装置が開発されるなど、リニアックは800台を超えて使用され、現在では放射線治療の主流の加速器となっている。

1.1.3 重イオン加速器

1970年代後半からはX線CTが治療計画に導入され、治療計画用コンピュータシステムの発展とともに標的体積への線量集中性を高めることが可能になり、高エネルギー X線および電子線、すなわち低LET (linear energy transfer, 線エネルギー付与) 放射線による治療成績が向上している。

一方、1960年代後半から1970年代にかけて高LETの速中性子線や、低LETではあるが線量分布が優れた陽子などの粒子線による治療が試みられるようになった。

速中性子線治療は、1938年から1943年にアメリカのLawrence Berkeley Laboratory (LBL) でサイクロトロンを用いて行われた。当時は中性子線に対する生物学的知識や線量計測法が未熟であったため、良好な治療成績が得られず一時中止された。1960年代後半になって再

び速中性子線治療が行われるようになって、わが国でも 1973 年から 1990 年頃まで速中性子線治療のためのサイクロトロンが 3 施設に設置されていた。

表 1.1 で 1980 年代から医療用サイクロトロンの設置台数が増加しているのは、核医学検査用短半減期 RI 製造用小形サイクロトロンが普及したためである。

陽子線治療は、1954 年 LBL の大形サイクロトロンで試みられ、ブラッグピーク (Bragg peak, 飛程終端における吸収線量の極大部分) をもつ線量分布の有効性が示された。その後、世界的にも原子核物理実験用の加速器を用いて臨床研究が行われた。わが国でも放射線医学総合研究所 (放医研) において、1979 年から 70 MeV サイクロトロン (cyclotron) を用いて陽子線治療が開始された。さらに、1983 年には筑波大学陽子医科学センターに 250 MeV シンクロトロン (synchrotron), 1998 年 11 月には国立がん研究センター東病院に 235 MeV サイクロトロンが設置され、陽子線治療が行われている。

π^- 中間子線による治療は、1974 年にアメリカ Los Alamos 中間子研究施設 (LAMPF) で超大型の陽子線形加速器を用いて始められた。その後 1979 年にはカナダ TRIUMF, 1980 年にはスイス SIN で、それぞれセクタ分離型大形サイクロトロンを用いて行われた。 π^- 中間子は陽子や電子をターゲットに衝突させて得られる二次粒子であり、発生には大形の加速器が必要となることから日本では実現に至らなかった。

1970 年台、LBL では線形加速器 SuperHILAC と大形シンクロトロン Bevatron で構成された Bevalac 用いて、炭素、ネオンなど重イオン線による治療が試みられ、がん治療の有用性が示された。1994 年、世界で初めて医療用として設計された放医研の HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba) が稼働し、わが国での炭素線治療が開始された。2016 年現在、重イオン線治療のためのシンクロトロンが全国 5 施設に設置されている。

陽子線形加速器は 1955 年 Alvarez によって完成された。単独で治療に必要な加速エネルギーを得るためには装置が長大となることから、現在はサイクロトロンやシンクロトロンの前段の加速器として利用されている。また、近年注目されている中性子捕捉療法 (BNCT) における中性子発生のための陽子加速器としても注目されている。

以上、各種加速器の加速の原理と特徴、発生する放射線を表 1.2 に要約する。

表 1.2 各種加速器の加速の原理と特徴、発生する放射線

装置の種類	加速粒子 または 線 源	加速の原理および特徴	発生する放射線と エネルギー	備 考
表在治療 X 線装置	電 子	Greinacher 定電圧回路 X 線管	X 線 最大定格 管電圧 50 kV	} 日本ではほとんど治療 には用いられない。
深部治療 X 線装置	電 子	同 上	X 線 最大定格 管電圧 250 kV	

表 1.2 (つづき)

装置の種類	加速粒子 または 線 源	加速の原理および特徴	発生する放射線と エネルギー	備 考
コッククロフト-ウォルトン装置 (Cockcroft-Walton)	陽 子 陽 子	多段整流器による直流高圧, 粒子を直線軌道で加速	陽子 750 keV X 線 1 MV	超大形加速器の初段加速器
ヴァン・デ・グラフ装置 (van de Graaff)	電 子 陽 子	ベルト起電による静電型, 粒子を直線軌道で加速	X 線 } 数 MeV 中性子 }	現在医用には使用されていない。
共振変圧器型装置 (resonance transformer)	電 子	変圧器の 2 次側に共振によって高圧発生, 電子を直線軌道で加速	X 線 数 MeV	現在医用には使用されていない。
陽子線形加速器 (proton linear accelerator)	陽 子	マイクロ波電界, 陽子を直線軌道で加速	陽子 ~ 800 MeV (LAMPF)	超大形加速器, 超大形加速器の入射器
電子線形加速器 (electron linear accelerator)	電 子	マイクロ波電界, 電子を直線軌道で加速	X 線 4 MV 6 MV 10 MV 電子線 4~20 MeV	主要な治療装置 核物理実験用の数百 MeV 装置もある。
ベータトロン (betatron)	電 子	電子は磁束の変化による電界で加速し, 磁界によって一定半径の円軌道上を周回する。	電子線 4 ~ 26 MeV X 線 26 MV	電子線治療装置 X 線出力が低い。 現在医用には使用されていない。
マイクロトロン (microtron)	電 子	電子は共振空洞内のマイクロ波電界によって加速。電子は磁界により周回軌道, エネルギーにより軌道を拡大する。	X 線 6 MV 10 MV 14 MV 21 MV 電子線 2~22 MeV	治療装置
サイクロトロン (cyclotron)	陽 子 重陽子	粒子はディー電極に加えられた高周波電界で加速, 磁界によって周回し, エネルギーによって軌道を拡大する。	中性子線 ${}^9\text{Be}(d, n){}^{10}\text{B}$ { 6 MeV 14 MeV 陽子線 70 MeV 235MeV	速中性子線治療装置 (Be ターゲット) 陽子線治療装置
セクタ分離型サイクロトロン	陽 子	サイクロトロンと同じ原理であるが磁極を 6 または 8 つのセクタに分離して, 加速の安定性を高める構造となっている。	陽子線 500 MeV (TRIUMF) 590 MeV (SIN)	原子核物理実験用加速器 陽子線やイオンの加速に用いられる。
シンクロトロン (synchrotron)	陽 子 重イオン 電 子	粒子を可変磁界によって周回させ, 加速空洞内のマイクロ波電界で加速する。	陽子線 500 MeV 12 GeV (KEK)	原子核物理実験用巨大加速器, 陽子線やイオンの加速に用いられる。

1.1.4 放射性同位元素による初期の放射線治療

放射性同位元素の放射線治療への利用は, ${}^{226}\text{Ra}$ の γ 線照射器具による小線源治療に始まり, 1910 年には Werner によって 0.3 g (111 MBq) の ${}^{226}\text{Ra}$ 線源を用いたテレキュリー装置が, 外部照射に使用された。1920 年代までは Ra による γ 線治療が放射線治療の主役であり, わが国では 1930 年代に Ra 療法が開始され, 針状や管状線源は多くの医療施設で使用された。

1.1.5 外部照射のための放射性同位元素

1942 年, シカゴで世界最初の原子炉が稼働して大量の人工放射性同位元素が生産される

索 引

【あ】

アクセプタ	154
アニーリング	252
アニール	248
アネロイド型気圧計	99
アバラシエフォトダイ オード	234
アプリケーション	123
アラームメータ	250
アンガー (形) カメラ	135, 195
暗電流	152
アントラセン	150

【い】

移送チューブ	116
位置演算回路	196
1気圧空気電離箱	179
一次コリメータ	38
位置情報	228
1 cm 線量当量	244
井戸形シンチレーション カウンタ	134
イメージングプレート	177
医療用電子線形加速器	3
インバースプランニング	76
インビトロ検査	165
インビボ検査	165

【う】

ヴァン・デ・グラフ装置	2, 15
ウイキンソン形 ADC	162
ウインドウ (幅)	161
ウエッジフィルタ	43
ウェル形シンチレーション カウンタ	134, 166
ウェル形シンチレータ	180
ウェル形電離箱	127, 179

【え】

液体シンチレーションカウンタ	165, 169
液体シンチレータ	150, 170
液柱型水銀気圧計	99
エスケープピーク	159
エネルギー制限スリット	34
エネルギー特性	259
エリアモニタ	266
円運動	222
遠隔操作式後充填照射装置	7, 114

【お】

横断断層イメージング	209
屋内環境用フィルムバッジ	265
オートウェルカウンタ	165, 166
オートフルオロスコープ	135, 204

【か】

加圧アルゴンガス封入電離箱	179
ガイガー放電	141
階段状ファントム	240
回転架台 (回転ガントリ)	18
回復時間	144
外部線源	232
外部標準線源	175
外部標準法	174
解 離	142
化学的な検出器	137
拡大ブラッグピーク	59, 62
角度揺動	228
隔 壁	201
下限数量	7
ガス増幅	139
ガス増幅率	139

ガスフロー形の比例計数管

	140
ガスモニタ	270
画像誘導小線源治療	122
数え落とし	144
加速管	24
加速空洞	51
活性剤	146
荷電器	258
価電子帯	146
荷電粒子	1
環境モニタリング	244
患者固定具	86
患者の位置決め	65
間接電離放射線	1
感 度	259
感度測定用ファントム	241
感度不均一性	215
感度補正	225
ガントリ	65
ガンマカメラ	135
ガンマナイフ	7, 109
ガンマプローブ	192

【き】

機械式ポインタ	79
キシレン	171
逆サンドイッチ法	128
逆同時計数回路	161
境界領域	140
禁止帯	146

【く】

空間分解能	216, 227
空中-2線源法	193
偶発同時計数	229
偶発同時計数率	229, 230
空乏層	154
クエンチング	171
クエンチング補正曲線	173
駆動機構	224
偶発同時計数	229

クライオスタット 157
 クライストロン 22
 グライナッヘル高圧回路 12
 グループ 41
 グロー曲線 252
 クロススライス像 220
 クロックパルス 163
 グローピーク 252
 クーロン力 9

【け】

蛍光ガラス線量計 245
 蛍光減衰時間 148
 蛍光効率 148
 蛍光波長分布 148
 計数特性 142
 頸部ファントム 184
 減弱補正 225
 検出感度 215
 減速材 70, 269

【こ】

硬 X 線用フィルムバッジ 263
 高エネルギー放射線発生装置 7
 光学式ポインタ 79
 高純度ゲルマニウム形検出器 156
 甲状腺摂取率測定装置 181
 校正 93
 高線量率照射 7
 高速中性子用フィルタ 70
 光電効果 158
 光電子増倍管 133, 151, 197
 光電ピーク 159
 広範囲用フィルムバッジ 263
 小形面状線源ファントム 238
 呼吸同期 65
 呼吸同期 PET 撮像 232
 呼吸同期再構成 74
 呼吸同期撮影 74
 呼吸抑制器具 87
 個人モニタリング 244
 個体飛跡線量計 265
 骨塩定量分析装置 193
 コッククロフト・ウォール
 トン装置 2, 14
 固定架台 (固定ガントリ) 18
 固定コリメータ 109
 コミッショニング 90

コリメータ 63, 198
 コリメータヘルメット 109
 コールドスポット描出用
 ファントム 240
 コンバージング 198
 コンバージングコリメータ 202
 コンプトンエッジ 160
 コンプトン効果 159

【さ】

サイクロトロン 3, 4, 47, 53, 136, 219, 235
 再結合領域 139
 サイドウィンドウ形 152
 サイドポインタ 79
 サイドホール 166
 サイバーナイフ 45
 サイラトロン 20
 雑音等価計数率 230
 サーベイメータ 275
 サムピーク 160
 3次元位置検出器 228
 酸素効果比 68
 サンプリング定理 211
 残余飛程 95
 散乱体ファントム 241
 散乱同時計数 230

【し】

シエル 87
 ジオキサン 171
 時間-放射能曲線 189
 軸外線量比 38, 39
 自然放電 259
 持続放電領域 142
 始動電圧 143
 シード線源 120
 シャドウシルド形 186
 シャドウトレイ 84
 シャントインピーダンス 27
 充電チョークコイル 20
 重粒子線治療装置 66
 出力波形 143
 消光作用 171
 照射位置照合装置 82
 照射筒 42
 照射野 103
 照射野形成装置 59, 60
 照射野限定システム 41

衝突損失 35
 情報キャリア 206
 消滅ガス 141
 消滅放射線 218
 シリコングリース 152
 試料チャンネル比法 173
 シングルチャンネル波高分析器 161
 シンクロトロン 4, 47, 49, 53
 進行波 25
 進行波型加速管 25
 真性半導体 154
 真性半導体領域 156
 心臓専用半導体 SPECT 装置 207
 人体ファントム 188
 シンチカメラ 134, 165, 195
 シンチカメラ回転形 213
 シンチグラフィ 165
 シンチグラム 165
 シンチスキャナ 134, 165
 シンチレーションカウンタ 134
 シンチレーション検出器 144
 シンチレーション式エリア
 モニタ 269
 シンチレーション式サー
 ベイメータ 275
 シンチレータ 144
 真の同時計数 230
 ジンバル機構 46
 深部治療 X 線装置 12
 心放射図 189
 診療用放射線照射器具 7
 診療用放射線照射装置 7
 診療用粒子線照射装置 7

【す】

水中-1線源法 193
 スキャナマグネット 70
 スキャニング照射法 64
 スキャン 134
 スターショット法 104
 ストレートポア形 190
 スパッタイオンポンプ 29
 スプリットフィールド法 104
 すべての同時計数 230
 スラロームベンディング 35
 スラントホール 198

乳房専用 PET 装置 232

【ね】

熱処理 252
熱ルミネセンス線量計 251

【は】

バイアルカリ 152, 170
倍電圧整流回路 14
波高分析器 161
波長シフタ 150, 171
パッシブ照射 68
パーファントム 240
パーマロイ 152
パラレルホール 198
パラレルホールコリメータ 201
パルス繰返し周波数 28
パルス形成回路 20
パルス電離箱 139
パルス幅 28
パルス変調機 19
パルスモード 138
ハロゲン分子気体 141
バンク配列検出器回転形 213
バンチャ部 25, 28
半導体カメラ 207
半導体ガンマカメラ 205
半導体検出器 154
ハンドフットクロスモニター 274

【ひ】

非荷電粒子 1
光核反応のしきいエネルギー 37
光刺激ルミネセンス 248
光パイプ 153
光利用の検出器 137
引渡・受入試験 90
引渡し前試験 89
飛行時間 149, 219
飛跡による検出器 137
非物理ウエッジ 44
微分計測 162
表在治療 X 線装置 11
標準バイアル 170
表面汚染モニター 274
表面障壁形検出器 156
比例計数管 139
比例計数領域 139

ピンホール 198
ピンホールコリメータ 199
ピン・ワイヤ状線源 118

【ふ】

ファーマ形電離箱 96
ファンビーム 198
ファンビームコリメータ 202
フィルタ補正逆投影法 211
フィルムバッジ 262
フェーディング 247, 253, 254
フェンステスト 105
フォワードプランニング 76
付加フィルタ 12
不感時間 144
フラグメンテーション 68
プラスチックシンチレータ 151
フラットフィールド形 183, 190
プラトー 143
フーリエ変換法 211
フロアモニター 274
フロントポインタ 79
分解時間 144

【へ】

平・凹面線源 121
平行平板形電離箱 96
平坦度 101
平坦用フィルタ 38
ベースライン 161
ベータトロン 2, 51, 56
ヘッドオン形 152
偏極現象 207
偏向マグネット 33

【ほ】

方向依存性 260
放射後補正法 216
放射状のアーチファクト 211
放射線検出器 137
放射線治療計画システム 75
放射損失 37
ホウ素化合物 69
放電開始電圧 143
ポケット線量計 255
ポケット電離箱 256
補償フィルタ 63, 85
ホットスポット 240
ポテンシャルエネルギー 146

ボーラス 63, 86
ホールボディカウンタ 185

【ま】

マイクロトロン 3, 50, 55
マグネトロン 20
マルチイメージャ 203
マルチチャネル波高分析器 162
マルチプレクサ回路 207
マルチリーフコリメータ 41

【み】

水ファントム 97
水モニター 273
ミニバイアル 170
ミューメタル 152

【む】

無機結晶シンチレータ 148
無機シンチレータ 146

【め】

メディカルスペクトロメータ 182
面状線源ファントム 237, 238

【も】

モザイク状 204
モデレータ 70
モニター電離箱 39
モノブロックコリメータ 41
モバイル形ガンマカメラ 204

【ゆ】

有機結晶シンチレータ 150
有機シンチレータ 146
ゆすり運動 222

【よ】

陽子線治療 4
陽子線治療装置 59
陽電子飛程 228
陽電子放射型 CT 装置 218

【ら】

ラジオアッセイ法 165
ラジオイムノアッセイ 166
ラジオクロマトグラフ装置 175

ラジオ薄層クロマトグラフ装置	176
ラジオペーパークロマトグラフ装置	175
ラジオルミノグラフィ装置	177
乱数同時計数	230
乱数フラクション	230

【り】

リチウムドリフト形検出器	156
リッジフィルタ	63
リニアック	3
リニアックグラフィ	80
硫化亜鉛	133
リング配列検出器形	213

【れ】

レギュラ部	26, 28
レノグラム装置	190
レムカウンタ	276
レンジシフタ	62
連続パルス測定法	246

【わ】

ワブラー法	61
-------	----

【A】

α -酸化アルミニウム	248
A-フィルタ	183
AAPM TG-43IU 計算式	126
acceptance test	90
ADC	162
annealing	252
annihilation radiation	218
Ar	142
¹⁹⁸ Au	120
avalanche	139
AVF	235
AVF サイクロトロン	48, 53
azimuthally varying field (AVF)	235

【B】

β 線源	121
B-フィルタ	183
beam flattening filter	38
beam quality index	94
Bender & Blau	204
¹⁰ Bf ₃ ガス	140
BGO	136, 149
BNCT	4
bolus	86
Butterworth フィルタ	212

【C】

calibration	93
CdTe	205
CdTe 半導体プローブ	192
Chang の方法	216
coincidence circuit	218
coincidence timing window	230
commissioning	90

compensator	85
cone	42
⁶⁰ Co γ 線遠隔照射装置	6
CR-39 プラスチック	265
CRT	195
¹³⁷ Cs 線源	118
CT 値-相対電子密度変換テーブル	74
CyberKnife	45
CZT	205

【D】

depth of interaction	228
de-Qing 回路	20
digitally reconstructed radiography (DRR)	83
disc-loaded structure	25
DIS 線量計	261
DMPOPOP	150, 171
DOI 検出器	228
dose-volume histogram (DVH)	78

【E】

ECT	209
electron gun	24
electronic portal imaging device (EPID)	80
ESC	174
ESCR	174

【F】

FBP 法	224
FFF モード	38
figure of merit	148
FORE 法	224
forward planning	76

【G】

γ 線スペクトル	160
γ 線用フィルムバッジ	263
GaAs	158
GM カウンタ	133
GM 管式エリアモニタ	268
GM 管式サーバイメータ	275
GM 計数管	141
GM 計数領域	141
GSO	136, 149

【H】

He	142
HgI ₂	158
human counter	185

【I】

¹²³ I	181
¹²⁵ I	120
¹²⁸ I	181
IAEA 形頸部ファントム	185
intrinsic	208
inverse planning	76
invitro 測定	134
invivo 測定	134
ionizing radiation	1
IP	177
¹⁹² Ir 線源	118
¹³¹ I 甲状腺摂取率	134
¹²⁵ I シード線源永久挿入密封小線源治療	124
¹²⁵ I 専用シンチレーション式サーバイメータ	276
¹²⁵ I 測定用シンチレーション式サーバイメータ	124
i 領域	156

【L】

LiI (Eu) 結晶	149
LSO	136, 149

【M】

MLC	63
ML-EM 法	224
monoblock collimator	41
multileaf collimator (MLC)	41
MWPC	176

【N】

NaI (TI) 結晶	134, 148
NEMA 規格	225
noise equivalent count rate (NECR)	230

【O】

OAR	38, 39
ORINS 形頸部ファントム	185
OS-EM 法	224
OSL 線量計	248

【P】

PDD (10)	94
PET	136, 210, 218
PET/CT 装置	231
PET/MRI 装置	234
PHA	196
photo peak	160
PIT 法	226
p-n 接合形検出器	155
POPOP	150, 171
post-injection transmission method	226
post-injection transmission method (PIT) 法	226
PPO	171
predose	245
pre inspection	89
primary collimator	38
projection	210
prompt coincidence count	230

PR ガス	140
pulse forming network (PFN)	20
pulse modulator	19

【Q】

Q ガス	140
------	-----

【R】

radiation treatment planning system (RTPS)	75, 76
radiophotoluminescence	245
RALS	7, 114
RALS 用線源	116
Ramp 関数	212
random coincidence count	229
RFQ	30
RI	131
RIA	166
RI イメージング	165
RI キャリブレーション	139, 179
RI データ処理装置	189
RI 濃度分布像	210
rms 雑音	217
RPC	216

【S】

scatter coincidence count	230
scatter fraction	230
shadow tray	84
shell	87
side coupled cavity accelerating tube	27
SiPM	234
SiPM (silicon photomultiplier)	234
Sloan 型線形加速器	17
SOBP	62
Sorenson の方法	216
SPECT	135, 210
SPECT/CT 兼用装置	234
SPECT/CT 装置	217
SPECT/PET 兼用装置	233
SPECT 装置	213, 215

SPECT 用ファントム	240
standing wave	25
supralinearity	253
system	208

【T】

thermoluminescence	250
time activity curve	189
time of flight (TOF)	149, 219
TLD	251
TLD 素子の種類	252
TOF-PET 装置	220
TomoTherapy	46
$TPR_{20,10}$	94
traveling wave	25
true coincidence count	230

【U】

UFOV マスク	237, 238
----------	----------

【W】

wave guide	23
wavelength sifter	150
WBP	216
whole body counter	185
Winston-Lutz 法	104
wobbling	222

【X】

X-ray simulator	72
X 線シミュレータ	72
X 線ターゲット	35
X 線治療装置	11
X 線の線質指標	94
X 線の発生効率	37
X 線モード	35
X 線用フィルムバッジ	262

【Y】

YSO	149
3D re-projection (3DRP) 法	224

— 監著者・著者略歴 —

齋藤 秀敏 (さいとう ひでとし)

1982年 東京理科大学理学部Ⅱ部物理学科卒業
1994年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了
(医療・福祉工学専攻)
1997年 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了
(情報科学専攻), 博士(工学)(日本大学)
1993年 東京都立医療技術短期大学講師
1998年 東京都立保健科学大学助教
2005年 首都大学東京教授
現在に至る

藤崎 達也 (ふじさき たつや)

1984年 中央医療技術専門学校卒業
1984年 癌研究会附属病院勤務
1988年 中央医療技術専門学校勤務
1996年 茨城県立医療大学助手
1998年 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了
(医療・福祉工学専攻), 博士(工学)
2004年 茨城県立医療大学助教
2010年 茨城県立医療大学教授
現在に至る

橋本 光康 (はしもと みつやす)

1991年 東京理科大学理学部物理学科卒業
1996年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了
(量子理工学専攻)
2007年 博士(医学)(東北大学)
2007年 国際医療福祉大学准教授
2009年 国際医療福祉大学教授
現在に至る

入船 寅二 (いりふね とらじ)

1961年 立教大学理学部物理学科卒業
1961年 (財)癌研究会癌研究所勤務(物理部研究員)
1981年 医学博士(東京女子医科大学)
1986年 東京都立医療技術短期大学教授(診療放射線
学科)
1998年 東京都立保健科学大学教授(放射線学科)
2002年 東京都立保健科学大学名誉教授

三枝 健二 (さえぐさ けんじ)

1955年 東京理科大学理学部物理学科卒業
1959年 千葉大学医学部放射線医学教室入局
1974年 医学博士(千葉大学)
1976年 千葉大学医学部講師(放射線医学教室)
1986年 東京都立医療技術短期大学教授(診療放射線
学科)
1995年 東京都立医療技術短期大学客員教授
1999年 退任
2001年 日本核医学会名誉会員

富士 政広 (ふくし まさひろ)

1981年 東京理科大学理学部Ⅱ部化学科卒業
1994年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了
(医療・福祉工学専攻)
1997年 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程修了
(医療・福祉工学専攻)
博士(工学)(日本大学)
2002年 東京都立保健科学大学(現首都大学東京)教授
現在に至る

布施 拓 (ふせ ひらく)

2005年 茨城県立医療大学保健医療学部放射線技術科学
科卒業
2011年 名古屋大学大学院医学系研究科博士前期課程修
了(放射線技術学専攻)
2013年 茨城県立医療大学助教
現在に至る

浦橋 信吾 (うらはし しんご)

1966年 東京理科大学理学部物理学科卒業
1967年 日本大学医学部放射線医学教室入局
1980年 医学博士(日本大学)
1989年 日本大学医学部助教(放射線医学教室)
1994年 日本大学大学院理工学研究科兼任講師
2004年 日本大学大学院医学研究科・医学部兼任講師
2007年 日本医療科学大学教授
2011年 退職

井上 一雅 (いのうえ かずまさ)

2003年 駒澤短期大学専攻科修了(放射線技術科学専攻)
2005年 東京都立保健科学大学大学院保健科学研究科
博士前期課程修了(放射線学専攻)
2007年 国立がんセンター東病院臨床開発センター
リサーチ・レジデント
2008年 首都大学東京大学院保健科学研究科博士後期
課程修了(保健科学専攻)
博士(保健科学)(首都大学東京)
2009年 ハーバード大学医学部博士研究員
2012年 首都大学東京助教
2015年 首都大学東京准教授
現在に至る

改訂新版 放射線機器学 (II) —放射線治療機器・核医学検査機器—
Radiation Equipment Engineering (II)

© Hidetoshi Saitoh, Masahiro Fukushi 1991, 2004, 2017

1991年5月10日 初 版第1刷発行
2003年2月15日 初 版第11刷発行
2004年10月8日 新 版第1刷発行
2016年4月25日 新 版第12刷発行
2017年4月28日 改訂新版第1刷発行

検印省略

監著者 齋藤秀敏
福士政広
著者 藤崎達也
布施拓康
橋本光吾
浦橋信二
入船寅二
井上一雅
三枝健二
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 壮光舎印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07242-6 C3047 Printed in Japan

(高橋)



< 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。