

# 資料10 放射線の利用

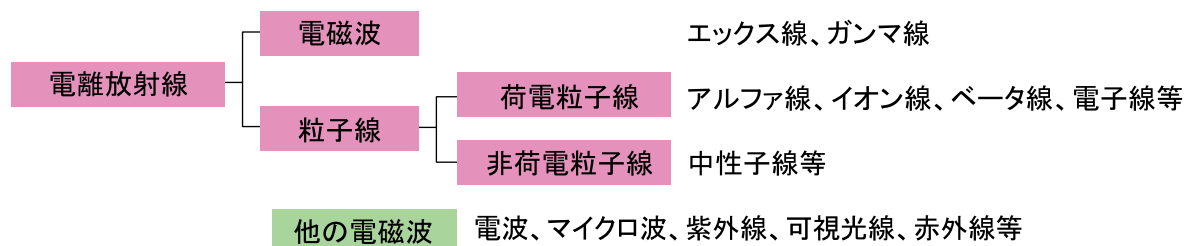
(資料10 放射線の利用)

## 1 放射線とその特徴

放射線には、エックス線、ガンマ線、ベータ線等の様々な種類があり、これらを物体に照射すると、その材料となる原子や分子を電離させます。光と同じような電磁波であるガンマ線やエックス線とは区別して、アルファ線、電子線などのように粒子を伴うものを粒子線と呼んでいます。また、放射線を出して別の原子核へ崩壊していく元素については、放射性同位元素と呼ばれています。放射線や放射性同位元素は、医療、農業、工業、学術等の分野において、以下の特性を活かして利用されており、これを「放射線利用」と呼んでいます。

- ① 物質を透過したり、散乱したりする性質があるため、その物質や生体の内部を細部まで調べることができます。
- ② 局所的に大きなエネルギーを付与して微細加工を行ったり、材料に特殊な機能を与えて、これまでの技術では得られなかった新しい材料を創生したりできます。
- ③ 周囲への影響を抑えながら、集中的に細菌やがん細胞などを殺傷する能力を有していることから滅菌やがんの治療に利用できます。
- ④ 有害な化学物質等を利用せずに加工処理ができるため、環境への負荷を少なくすることができます。

放射線を利用することは非常に有益なのですが、過度な被ばくにより放射線障害をもたらしますので、放射線を安全に取り扱う技術や放射線防護の法規制が整備されています。こうした有益な性質を学術研究や産業技術に活用する研究開発が進められ、今日では様々な分野の活動に放射線が効果的かつ安全に利用されています。

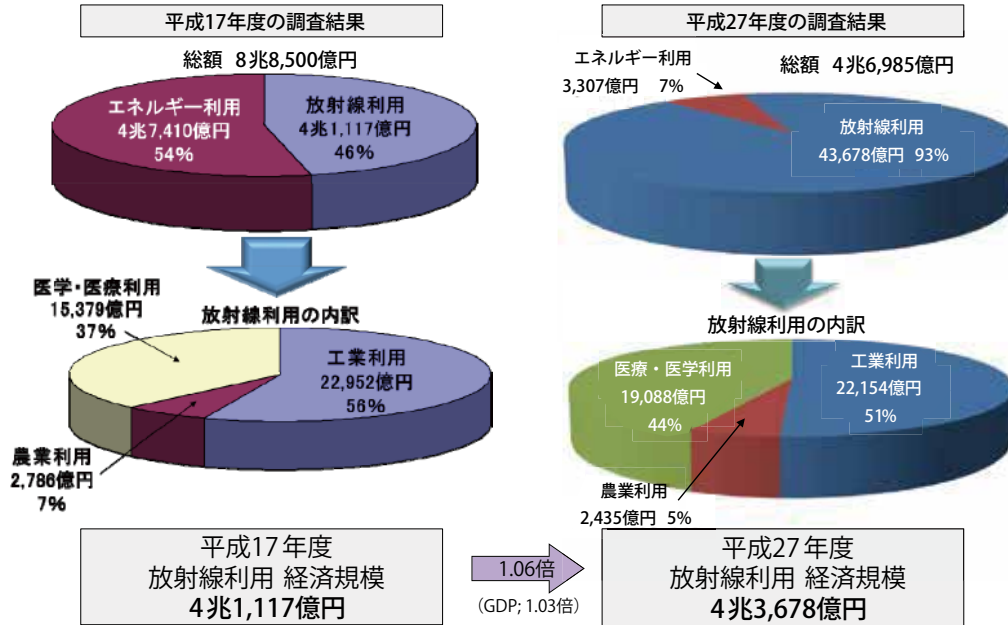


参考：原子力白書平成21年版

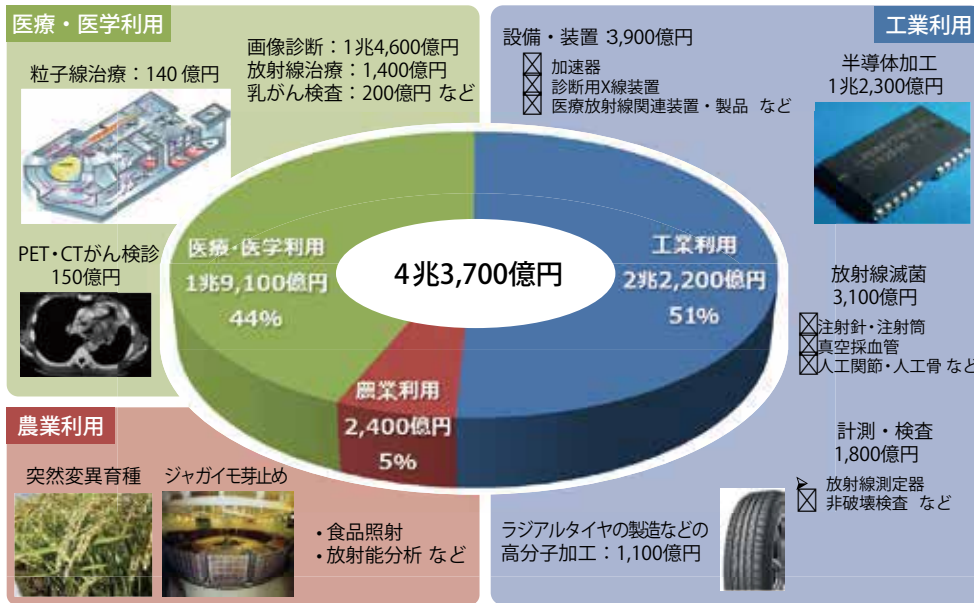
## 2 放射線利用の現状

放射線を利用する活動の経済規模は、2015年度の調査では、4兆3700億円と評価されています。また、法律で規制される放射性同位元素(RI)の使用・届出事業所数は、近年も増加傾向が続いています。

### 放射線利用とエネルギー利用の経済規模比較

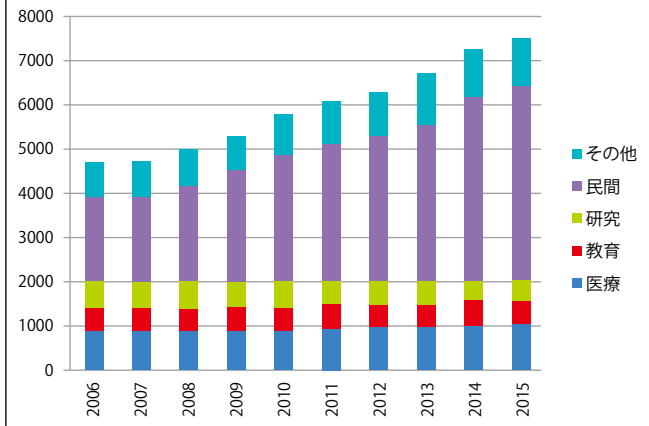


### 平成27年度の放射線利用の経済規模



(資料)内閣府 放射線利用の経済規模調査(平成27年度) 平成29年8月29日

### RI等使用許可・届出事業所数の推移



出典：日本アイソトープ協会、放射線利用統計

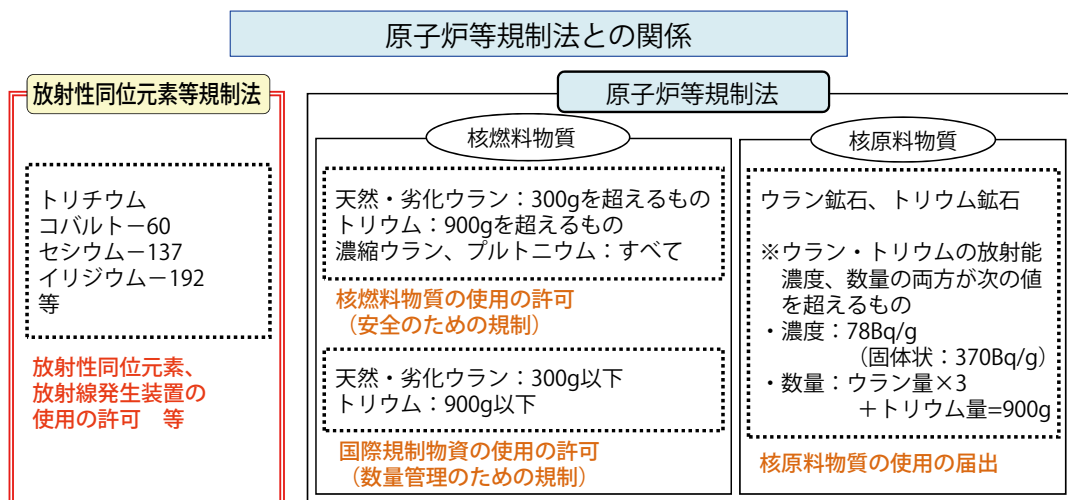
### 3 放射線及び放射性同位元素の規制

核燃料等の取扱いとは別に、原子力基本法を基本とする放射性同位元素等の規制に関する法律(以下「放射性同位元素等規制法」という。)が定められています。

この放射性同位元素等規制法は、原子力基本法の本質にのっとり、放射性同位元素の使用、販売、賃貸、廃棄その他の取扱い、放射線発生装置の使用及び放射性同位元素によって汚染された物の廃棄その他の取扱いを規制することにより、これらによる放射線障害又は放射線発生装置から発生した放射線を防止し、及び特定放射性同位元素を防護して、公共の安全を確保することを目的としています。

ただし、労働者の放射線安全や医療目的に行う放射線安全については、労働安全衛生法及び医療法にそれぞれ定められています。

また、放射性同位元素等規制法、労働安全衛生法及び医療法を基に法体系化がなされており、細かい内容について、政令、規則、総府令、告示などにより定められ、放射線を利用する者はこれらの法令を守って、活動することが求められています。



第18回原子力委員会資料第1号(平成28年5月17日)

#### (1) 規制対象となる放射性同位元素及び放射線発生装置

法律で規制される対象の放射性同位元素は、物理的に放射線を放出する放射性同位元素やその化合物並びに含有物で、かつ告示に規定する数量(以下「下限数量」という。)及び濃度(以下「下限濃度」という。)を超えるものが法律の規制対象となります。

また、下限数量の1,000倍を超える数量の密封線源や下限濃度を超える非密封線源の使用等には原子力規制委員会の許可が必要になります。ただし、ECDクロマトグラフ等の表示付認証機器の使用等については、原子力規制委員会に届け出ることによって利用できます。

また、放射線発生装置については、発生装置の表面から10cm離れた位置で600ナノシーベルト毎時を超えるものが規制対象となります。

なお、許可を受けた使用者や届出使用者並びに販売、賃貸及び廃棄業者(以下「許可使用者等」という。)は、放射線障害予防規程に組織、管理区域、点検、教育、安全な取扱い等のルールを定めて国に届けており、これを遵守して安全に活動していくことが法律上求められています。

(内は事業者数)

事業者区分		事業内容	
許可届出使用者	特定許可使用者 (1,208)	<ul style="list-style-type: none"> <li>非密封RIの使用 (貯蔵施設の貯蔵能力：下限数量の10万倍以上)</li> <li>密封RIの使用 (貯蔵施設の貯蔵能力：10TBq以上)</li> <li>放射線発生装置の使用</li> </ul>	放射線発生装置 (例) リニアック(直線加速装置)  RI 装備機器 (例) ガンマナイフ  <sup>60</sup> Co線源を約200個装填
	許可使用者 (2,320)	<ul style="list-style-type: none"> <li>非密封RIの使用</li> <li>密封RIの使用 (数量：下限数量の1,000倍を超える)</li> </ul>	非密封RIの利用例 リン32を使用したATP(アデノシン三リン酸)の標識  密封RI 装備機器 (例) ガンマ線厚さ計  <sup>241</sup> Am線源
	届出使用者 (521)	<ul style="list-style-type: none"> <li>密封RIの使用 (数量：下限数量を超え、密封RIの利用例かつ下限数量の1,000倍以下)</li> </ul>	校正用線源 
表示付認証機器届出使用者 (4,723)		<ul style="list-style-type: none"> <li>表示付認証機器 (※) の使用 (※) 放射線障害防止のための機能を有する部分の設計や使用条件等が、国又は登録機関による認証を受けた設計に合致することが、あらかじめ認証された機器</li> </ul>	表示付認証機器 (例) 微量物質分析機器 (ガスクロマトグラフ用ECD(電子捕獲型検出器)) 
許可廃棄業者 (7)		放射性的同位元素等の業としての廃棄	
届出販売・賃貸業者 (468)		放射性的同位元素の業としての販売・賃貸	

合計：約8,000事業所

第18回原子力委員会資料第1号(平成28年5月17日)

## (2) 近年発生した法令報告事象とその概要

近年では、放射性同位元素の管理区域外への漏えいや盗取、所在不明などの法令報告事象が発生しています。

### ①放射性同位元素の管理区域外への漏えい

平成28年3月、大阪大学では、非密封RIを取り扱う施設を対象にRI配水管の漏えいの有無について自主検査を実施したところ、ラジオアイソトープ総合センター豊中分館において、実習棟から排水の受入槽にいたる埋設配管のエルボ一部にて破断が発見され、セシウム137及びマンガン54による土壌汚染が確認されました。

破断の原因は、配管の老朽化及び建物周辺の地盤沈下と考えられ、その後、実習棟の埋設RI配水管を全て2重配管に交換し、地中のエルボ部位付近には点検口を設け、容易に漏水検査ができるよう改善されました。

### ②放射性同位元素の管理区域外への漏えい

平成29年10月、東京工業大学では、大岡山放射線実験施設の自主点検の際、排水系統の老朽化による損傷が疑われたため、点検範囲を地下埋設配管まで広げたところ、複数のRI排水管と柵の接続部分に隙間が確認され、そのうちの1カ所からトリチウムの漏えいが確認されました。

地中に埋設された排水系統の経年劣化により生じたもので、定期的な点検を実施していなかったことから、発見が遅れる結果となりました。

この漏えい事象を受け、老朽化した地下埋設配管を持つ本実験施設での放射性同位元素の使用を廃止するとともに、定期点検の方法を含めた放射性廃水の管理に関するマニュアルを策定し、放射線安全管理に関する全学ルールを整備することとしました。

### ③放射性同位元素の管理区域外への漏えい

平成30年12月、塩野義製薬株式会社医薬研究センター（大阪府豊中市）において、管理区域内で発生した水を排水槽へ送る配水管からの漏水がありました。

漏水の原因は、配管系統の接続部において塗装の隙間に流水が入り込み、腐食が進行したことによるものでした。

対策として、全接続部の交換工事を実施するとともに、定期的に流水テストを行い、漏水を確認することとしました。

### ④放射線業務従事者の計画外被ばく

平成31年4月、株式会社ウィズソルの化学工場内（山口県周南市）において、非破壊検査を行っていた同社の放射線業務従事者1名が、計画外被ばく線量（5 mSv）を超えました。

本件の原因は、ガンマ線透過試験装置を使用して配管の撮影業務を行っていた際、線源が遮断機能を有した線源容器に収納されていない状態で装置の配置変更を行ったことによるものでした。

再発防止策として、手順書の見直しや教育の徹底、放射線検知型警告灯の設置等を行うこととなりました。

なお、人体への影響については、年間線量限度50mSv及び年間等価線量限度（皮膚）500mSvを超えていないことが評価・確認され、電離放射線健康診断受診の結果も異常は認められませんでした。

放射性同位元素等の利用では安全確保が前提であり、放射性同位元素等の利用に携わる全ての組織において、安全最優先の価値観が全体として共有され、その価値観に基づいて日々の業務が実行される必要があります。こうしたことから、原子力規制委員会では、放射線取扱主任者の資格講習、定期講習において安全文化の醸成を図るような項目に重点を置いたものとするよう、登録資格講習機関等に対し指導し、放射線取扱主任者に対する講習の強化を要請することとしています。

## 4 茨城県における主な放射線利用施設

### (1) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 (東海村)

原子力エネルギーを支える基盤技術や安全に関する研究開発とともに、原子力技術の応用分野として、研究炉や加速器からの量子ビーム利用による素粒子、物質・材料といったさまざまな科学技術領域で研究開発を行っています。

#### ①研究用原子炉 (JRR-3)

研究開発を行っている多くの施設のうち、1962年にわが国初の国産研究炉として利用を開始したJRR-3では、設置された利用設備を用いて、種々の中性子ビーム実験、原子力燃料・材料の照射実験、ラジオアイソトープの製造などを行っています。また、冷中性子(エネルギーの低い中性子)が利用できることから、高分子の構造解析による生命現象の解明などにも役立てられています。



研究炉JRR-3の外観



カブトムシの中性子ラジオグラフィ画像

#### ②大強度陽子加速器施設 (J-PARC)

J-PARCは、日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で運用している世界最高レベルの陽子加速器により、さまざまな分野の最先端の研究を展開する施設です。物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学など広範な研究分野を対象に、中性子、中間子、ミュオン、ニュートリノなどの多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、基礎科学から産業応用までさまざまな研究開発を推進しています。

中性子を使った研究では、タイヤのゴムの詳細解析等により、グリップ性能を維持しつつ耐摩耗性を格段に向上させたタイヤが開発され、製品化されています。ミュオンを使った研究では、2021年にハヤブサ2が持ち帰ったリュウグウの石の分析も行いました。

ニュートリノ研究では、2014年から進めている反ニュートリノの振動(変身)を観測する実験を行っています。



線形加速器

物質・生命科学実験施設

## (2) 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 (つくば市)

加速器と呼ばれる装置により粒子を加速して様々な現象を観察し、基礎科学を推進する研究施設です。最先端の加速器の開発を行い、宇宙の起源、物質や生命の根源を探求しています。

### ① フォトンファクトリー

フォトンファクトリーは P F (Photon Factory) リングと P F - A R (Advanced Ring) という 2 つの光源加速器を持つ放射光施設です。この施設にはさまざまな実験に特化した 40 以上の実験ステーションがあり、全国の大学や研究所、企業の研究者、海外の研究者も参加して放射光を用いて物質や生命を原子スケールで観察し、わたしたちの身の周りにある多種多様な物質のあらゆる性質や、複雑で神秘的な生命のしくみを解き明かす優れたツールとして利用されています。



フォトンファクトリー

### ② Bファクトリー

Bファクトリーでは、光速に近いスピードまで加速した電子と陽電子を衝突させて、B中間子を多量に生成し、このB中間子の崩壊現象を観測することにより、宇宙から反物質が消えた謎や未知の粒子の発見、新たな物理法則を探索する研究が行われています。これまでに、この施設を利用してB中間子の崩壊におけるC P対称性の破れの発見と小林・益川理論の検証など多くの成果があげられてきました。現在、Bファクトリーではビーム衝突性能を增强する改造を終え、性能向上の研究とデータ収集を行っています。今後、収集される大量のデータを解析することによって、標準理論とよばれる素粒子物理学の基本法則からの「ズレ」を捕らえて新しい物理法則探索の突破口を開くものと期待されています。



Bファクトリー

### (3) 日本照射サービス株式会社 東海センター (東海村)

未使用の医療機器や医薬品容器等の滅菌処理など、照射サービス事業を行うために設立されました。医療機器をはじめ、食品容器、衛生用品、理化学器材、実験動物用飼料等の滅菌、殺菌のための照射サービス、また各種工業材料の照射改質処理サービスを、放射線照射によって行っています。



日本照射サービス(株) 東海センターの外観



真空採血管

### (4) 筑波大学附属病院 陽子線治療センター (つくば市)

国内でも数少ない大学病院に併設された陽子線治療施設で、国内で最も長い歴史を有しています。陽子線治療は、がんに対して用いる新しい放射線治療です。水素の原子核である陽子を光速の約60%に加速して患部に照射します。陽子線は体に入ると一定の深さでピタリと止まるので、狙った病巣を集中的に照射することができます。がん病巣をくり抜くように照射することができます。正常な組織への影響を少なくできることから、副作用を抑えるがん治療として注目されています。



陽子線治療室



陽子線加速器

また、次世代のがん治療法であるホウ素中性子捕捉療法装置の整備も完了し、臨床研究を開始しています。

### (5) 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究部門放射線育種場 (常陸大宮市)

放射線を植物体や種子などに照射し、突然変異を自然界より高い確率で起こし、作り出された突然変異体を用いて新品種の育成や、突然変異が生じる仕組みの解明などの研究を行っています。これらの研究から生み出された作物の一例として、ナシ品種「二十世紀」に放射線を当てて作り出された病気に強い「ゴールド二十世紀」があり、鳥取県をはじめとした生産地から全国に出荷されていましたが、2022年度をもって照身業務は、終了しました。

#### 参考資料

- ・「知っておきたい放射線のこと 高校生のための放射線読本」 文部科学省(平成23年10月発行)
- ・「放射線利用の現状と今後のあり方(改訂版)」 新大綱策定会議(第20回)資料第1号(平成24年5月29日)
- ・「放射線利用の安全確保における課題について」 第18回原子力委員会資料第1号(平成28年5月17日)
- ・「放射線利用の経済規模調査(平成27年度)」 第29回原子力委員会資料第1-1号(平成29年8月29日)



## 放射線の利用本文中の用語の解説です。

### ●荷電粒子

電子や陽子などの正又は負の電気を帯びた粒子。

### ●光源加速器

電子を加速して放射光を作り出す円形加速器をいう。

### ●コバルト60

コバルト60はコバルト(原子番号27)の同位元素で、5.27年の半減期でベータ崩壊し、一崩壊あたりベータ線とともに1.173MeVと1.332MeVの2本のガンマ線を放出する。また、コバルト60は、医療分野での放射線療法、ガンマ線滅菌、食品分野での食品照射、工業分野での非破壊検査などの線源として広く利用されている。

### ●紫外線

紫外線は太陽から放出される光にも含まれており、光のスペクトルにおいて可視光の紫色の外側に観測される光線(電磁波)という。波長は10~400nmの不可視光線で、光のスペクトルの紫の外側となるため「紫外線」(Ultra Violet rays: UV)と呼ばれている。

### ●CP対称性の破れ

Cは荷電共役変換(粒子から反粒子への反転又はその逆)、Pはパリティ変換(物理座標系の鏡像関係)を意味し、CPはこれら二つの演算子の積である。CP対称性は1957年にレフ・ランダウにより提唱された対称性で、物質と反物質の間には一つの過程ですべての粒子がその反粒子で置き換わったものは、もとの過程の鏡像と等価であるという仮定がなされていた。しかし、このCP変換は強い相互作用や電磁相互作用では成立するが、弱い相互作用ではパリティ変換が保存されず、わずかに対称性が破れると考えられている。J-PARCで生成したミューオンニュートリノ及び反ミューオンニュートリノをハイパーカミオカンデに打ち込み、それが電子ニュートリノ又は反電子ニュートリノへと変化する確率の差を調べることにより、弱い相互作用のCP非対称性を立証しようとしている。

### ●赤外線

赤外線は太陽から放出される光にも含まれており、光のスペクトルにおいて可視光の赤色の外側に観測される光線(電磁波)で、波長が0.7~1,000 $\mu$ mの不可視光線をいう。赤の外側となるため「赤外線」(Infra Red rays: IR)と呼ばれている。

### ●対称性の破れ

例えば、電子でいえばプラスの陽電子とマイナスの電子があり、これらが全く対称であれば同数存在することになるが、現世界ではマイナスの電荷を持つ電子で支配されているといつてよい。このように理論上では対称性が高い状態であるべき理論であっても、現実には対称性が低い状態になることがあり、これは対称性の破れによるものであるとされる。一般的には、対称性の破れとは無秩序な状態からある臨界点を過ぎて遷移する際に、小さな揺らぎによって偏りが生じた状態に至ると理解される。これは外側の観察者にとっては、この遷移は恣意的に分岐したように見えるが実施には極小さな揺らぎによって選択が生じるのである。対称性の破れには、①明示的な対称性の破れ、②自発的な対称性の破れ、③量子異常による対称性の破れの三種類が知られている。

### ●電波

電場又は磁場に周期的な変動を加えた時に空間を伝わる波が発生する。この波を電磁波と呼び、300万MHz以下の周波数の電磁波を電波と呼ぶ。

### ●B中間子

B中間子は、負の電荷を持つ電子と正の電荷を持つ陽電子を高速の近くまで加速し正面衝突させることで生成される中間子で、反ボトムクォーク(ボトムクォークの反粒子)とアップクォーク、ダウンクォーク、ストレンジクォーク又はチャームクォークと結合した中間子で四種類のB中間子が存在する。トップクォークとの結合したB中間子がないのは寿命が短い存在しないと考えられている。また、逆にボトムクォークと他の反クォークとが作る中間子を反B中間子と呼ぶ。

### ●放射光

光速近くまで加速された電子の進行方向を、偏向電磁石などによって円軌道に曲げられた際に発せられる電磁波を放射光と呼ぶ。

### ●放射線障害

放射線に被ばくすることで、発症する健康影響を言い、短時間に高線量被ばくしたときに早期に発症する紅斑・脱毛、潰瘍、骨髄障害などが急性障害とされ、低線量被ばくでも、白血病や悪性腫瘍の発生など数カ月から数十年後に発症する晩発障害がある。

### ●放射線取扱主任者

原子力規制委員会が与える国家資格である。放射性同位元素等の使用、販売、賃貸及び廃棄の業を行う場合、放射線障害防止のために監督を行うために放射線取扱主任者を事業所ごとに1名以上選任する必要がある。

### ●マイクロ波

電波のうち、周波数が300MHz以上3万MHzまでの電磁波をマイクロ波と呼ぶ。

### ●量子ビーム

原子や原子核を構成する電子、中性子、陽子等の粒子とエネルギーを伝達する光子などは、波と粒子の性質を併せ持っており、これらを総称して量子と呼んでいる。これら量子を束ねてビーム状にしたものを量子ビームと呼ぶ。例えば、電子や陽子などの荷電粒子を加速器で加速し、磁石等で細いビーム状に成形することで量子ビームを生成し、様々な物理実験に用いている。