

第8章 暮らしに役立つ放射線利用

8-1 放射線の殺菌作用を利用して生活を感染症から守る

(1) 熱に弱い使い捨ての医療用具の滅菌には常温で殺菌作用のある放射線法が最適

SARS（重症急性呼吸器症候群）の例を見るまでもなく、感染症はとくに高齢者などにとっては危険なものである。放射線は病原菌などの有害菌を殺菌するのに大変効果的である。この効果を利用して、注射筒から人工腎臓まで多くの医療用具の放射線滅菌が広く行なわれ、われわれを感染症から守っている。

40年前は注射器などの医療用具はガラスで作られ、沸騰水で殺菌されていたが、現在はほとんど使い捨てのものになっており、注射筒、カテーテル、縫合糸、絆創膏、人工腎臓など、多くはプラスチックで作られている。プラスチックは熱に弱く、沸騰水滅菌では変形してしまうので、常温での殺菌が必要である。そのため温度に関係なく殺菌ができる放射線法が最も便利に利用されている。

写真 8.1.1 放射線で滅菌されるさまざまな医療器具



[出典] 著者提供

(2) 簡単に再汚染のない放射線滅菌法

照射処理法は簡単である。工場生産された注射筒などの医療用具をダンボールの箱に最終梱包し、そのまま照射工程にもっていく。放射線は箱の外から照射され、内部を透過しつつ医療用具を完全に滅菌する。そのまま発送できるので、再汚染の心配は全くない。放射線滅菌法は世界各国で利用されており、日本では70%の医療用具がこの方法で滅菌されている。放射線に代わるものとしては酸化エチレンガスの殺菌効果を利用する方法がある。しかし、このガスが「発がん性」をもつこと、殺菌された医療用具に僅かでも残留する可能性があること、作業員や環境に対する影響などに問題があるので、放射線法の方がすぐれている。また、ガンマ線か電子線のような放射線が医療用具に照射されても、それらが放射能を持つようにはならない。人工腎臓（人工透析器）には極細のチューブが多数充填されており、ガス滅菌ではガスが内部まで届かず完全に滅菌できないので、放射線法が唯一の滅菌方法である。

放射線法は照射施設の設置に数億円の投資を必要とするため、途上国には利用しにくい面もある。国際原子力機関はこのような国に対し、一部の資金援助を行っており、利用が広がっている。

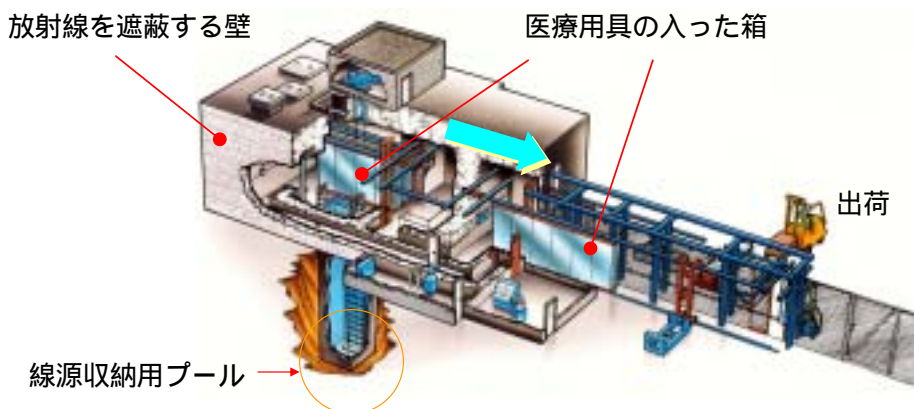
(3) 放射線滅菌するための設備

箱詰めされた医療用具にできるだけ均一に放射線を照射するために2種類の放射線発生装置（線源）が使われている。最も一般的に使われているものがガンマ線を発生するコバルト-60（Co-60）という放射性同位元素（ラジオアイソトープ）である。図8.1.1に示すようなガンマ線が外部に漏れないようにコンクリート壁で遮へいした照射室の中に板状の

Co-60 線源を配置し、その周囲をコンベアーで医療用具を梱包した箱をゆっくりと移動させる方法で 25 キログレイ¹照射する。装置を運転していないときは図にあるように線源をプールの水中に沈めて、放射線が水面には出て来ないようにしてあり、照射室の中に作業者が入ることができる。

もう一つの方法は Co-60 の代わりに電子加速器という電気を使って放射線（電子線）を発生させるもので、原理はテレビのブラウン管と同じである。スイッチを切れば放射線は出なくなるという使い易さがあるが、放射線の透過力が弱いので比較的浅い箱を用いたり、両面から照射したりする工夫が必要である。この場合も写真 8.1.2 に示すようにコンベアーで医療用具を入れた箱を加速器の下に通し照射する。最近では経済性などの理由で、電子加速器の利用がしだいに多くなっている。

図 8.1.1 コバルト-60 線源で医療用具を照射する装置



[出典] クレディオン社

写真 8.1.2 電子加速器で医療用具を照射する装置



[出典] カナダ原子力公社

¹ グレイは照射された物質に吸収される放射線の量の単位

8 - 2 放射線品種改良で環境にやさしい農業

(1) 途上国の農業生産性の向上

アフリカ、南米、アジアの国々では、必要な食物が手に入らない人々が沢山いる。そのために慢性的栄養失調に苦しむ人は8億人にもおよぶ。1996年11月、国連食糧農業機関（FAO、ローマ）が主催した「世界食糧サミット」があり、途上国の大臣は、「国民に十分な食糧を供給すること」が重要な課題であると同様に述べている。

「食糧の増産に原子力技術を役立てる」ことの代表例が、品種改良である。宇宙線などの自然の放射線を受けて長い期間に起きた「突然変異」によって生物は進化してきた。突然変異による品種改良は、放射線照射により突然変異率を高め、その中の有用な突然変異体を利用するもので、自然になじんだ方法である。

「放射線により生ずる突然変異を利用」した植物の新品種の開発は、これまでに1,900種にもなり、耐病性、高収量、耐干ばつ性、早熟成、矮性などの優良な性質を有する作物が、世界で数100万ヘクタールにも及ぶ農地に栽培されている。

米は最も重要な食糧である。中国では、放射線品種改良で作られた高収穫の稲の新品種が140万ヘクタールの耕地に栽培されているし、ベトナムでも最近開発された新品種の稲が20万ヘクタールに栽培されている。

一方、パキスタンでは、収穫量が原品種の2倍にもなる綿の品種が開発され輸出量を大幅に増やすことができた。バナナは多くの途上国で重要な作物であり、その改良は大きな経済効果をもたらす。バナナの組織の一部を採取して照射し、組織培養技術を利用して生育し良いものを選定、増殖していく方法によって新品種が開発されている。マレーシアでは、IAEAの研究所でノバック博士が開発した新品種の早熟成高収穫のバナナが利用されている。



写真 8.2.1 ガンマーフィールド

世界最大のガンマーフィールド。中央の塔から出た放射線が周りの植物に突然変異を発生させる。

この農園に「二十世紀」の若木を植え弱い放射線をあてる実験を続けて新品種を見出した。

[出典] 農業生物資源研究所

(2) 日本では環境にやさしい「ゴールド二十世紀」梨を開発

日本の「二十世紀」梨は千葉県で発見されてから、100年間にわたり、日本人の味覚を楽しませてきた。しかし「二十世紀」梨は「黒斑病」という病気に大変に弱く、写真8.2.2に示すように黒い斑点ができ農家を悩ませてきた。この病害を防除するために、1年に20回以上の農薬散布が欠かせず、果物の発育に合わせて3回の袋掛けが必要であった。

1980年頃には、「二十世紀」梨はこの病気との戦いに疲れた農家が栽培を止め、姿を消すかと思われていた。しかし、放射線育種場のガンマーフィールドを用いた研究が成功し、黒斑病に対して強い突然変異品種「ゴールド二十世紀」が1990年に開発された(写真8.2.2)。これによって、黒斑病を防除するための農薬はほとんど不要になり、主要生産地では、農薬の節減額は数十億円に達するのみならず、環境の汚染も著しく減少した。「ゴールド二十世紀」は「二十世紀」と入れ替わり、生産され続けるであろう。

このように品種改良の成功例は多いが、今後は環境にやさしい品種、途上国のニーズに対応できる高収量の品種の開発が必要である。日本原子力研究所や理化学研究所で「イオンビーム」という放射線を利用した新しい突然変異法が開発されている。従来の線照射では得られなかった新しい変異種が出来るので期待が大きい。最近の例では美しいカーネーションや菊の新品種が出来て実用化されようとしている(写真8.2.3)。

写真 8.2.2



黒斑病に侵された「二十世紀」梨の若い実(上)と放射線品種改良で得られた黒斑病に強い新品種の二十世紀梨 - 「ゴールド二十世紀」(下)

[出典] 農業生物資源研究所

写真 8.2.3



放射線品種改良でつくられたカーネーションの新品種(左上角が原種)

[出典] 日本原子力研究所

8 - 3 環境を汚さないで「害虫」をなくす放射線不妊虫法

(1) 沖縄以外で「ゴーヤ」が買える

ここ数年、スーパーで沖縄の「にがうり(ゴーヤ)」が買えるようになった。自宅で「ゴーヤチャンプルー」が楽しめる。10年前はこうはいかなかった。放射線を利用した「不妊虫放飼法」で「ウリミバエ」という「にがうり」や果物につく害虫を根絶することができたからである。それ以前は、「ウリミバエ」が「にがうり」と一緒に侵入することを防ぐために沖縄産の「にがうり」や「パパイア」などは沖縄から持ち出すことが出来ず沖縄の中だけで消費されていた。「ウリミバエ」の根絶によって「にがうり」の生産は倍増し、農家の収入は増えた。県外に輸出することが許可されたからである。

(2) 不妊虫放飼法の原理と利点

「不妊虫放飼法」の原理は簡単である。駆除したい害虫を工場で多数増殖生産し、その「サナギ」にガンマ線をあてる(写真 8.3.1)。この「サナギ」を成虫にして、自然界に放す。この「不妊オス」が自然界の「メス」と交尾して、その結果生まれる卵は「ふ化」しない。オスの精子が変化しているためである。これを数世代繰り返せば害虫は根絶できる。

この方法には大きな利点がある。

第1に、殺虫剤のように「環境を汚染」しない。実は、害虫によって失われる農作物の量は10~20%に達し、これを防ぐために多量の殺虫剤が散布され環境汚染している。殺虫剤を用いないこの方法によって環境を守ることができる。第2に放したウリミバエは同種のウリミバエとだけ交尾するので、他の虫には影響ない。殺虫剤は多くの種類の昆虫を殺すので、種の保存という点からも多用するのは好ましくない。

(3) 果物を害する地中海ミバエを

撲滅する

IAEAは、環境にやさしいこの「不妊虫放飼法」に注目して、アフリカや南米・中東、ヨーロッパなどで利用を拡げてきた。多くの地域で果物を害している「地中海ミバエ」の根絶・制御ですばらしい成績を上げている。メキシコ、アメリカのカリフォルニア、チリ、アルゼンチンの一部、ポルトガルのマデイラ島、ペルーの一部などで成功している。日本の他オーストラリア、タイ、フィリピンなどで一部利用されている(写真 8.3.2)。

写真 8.3.1
ウリミバエのサナギに対するガンマ線照射施設(沖縄)



[出典] 沖縄県ミバエ対策事業所

写真 8.3.2 地中海ミバエに害されたオレンジ



[出典] 著者提供

(4) 家畜動物を「ナガナ病」や「ラセンウジバエ」から守る

アフリカの農業は深刻な問題を抱えている。その一因として「ツェツェバエ」の害がある。この害虫は、家畜動物の「ナガナ病」、人間の「ねむり病」を媒介し、牛などの家畜に大きな害を与えている。牛はアフリカの農民にとっては、動力であり、食糧であり、肥料源となる貴重な資源である。「ナガナ病」に侵された家畜は、やせ衰え、子供を生めなくなり、生産性が著しく下がってしまう。農民にとっては最も深刻な問題で、動物に薬を塗ったり、殺虫剤で「ツェツェバエ」を押えようとしてきたが効果は上がらなかった。IAEA は「ツェツェバエ」の大量増殖法を開発し、「不妊虫放飼法」をアフリカ・タンザニアのザンジバル島に適用して、約3年かけて根絶に成功した。現在、この島には生産性の高い牛の導入が可能になり、畜産業は大幅に効率化されて農民の生活が豊かになっている。この経験をモデルとしてエチオピアでの「ツェツェバエ」根絶作戦が開始された。成功すれば極めて大きい利益をもたらす。

ラセン状の形をして先端に歯をもっており、動物の傷口などから体に入りこみ家畜を殺す「ラセンウジバエ」の根絶にも不妊虫放飼法が利用された。米国で成功、12年前にはアフリカのリビアでも成功している。

写真 8.3.3 タンザニアザンジバル島でツェツェバエの撲滅に取り組む島民達。左はツェツェバエ。



[出典] 著者提供

写真 8.3.4 ラセンウジバエの被害を受けた子牛



[出典] 著者提供

8 - 4 安全な「食」へ放射線利用 - 日本でも食品照射を活用しよう -

(1) 肉による食中毒をなくすために放射線を利用する米国

驚くべき数字だが、米国では年間5千人が食中毒で死亡し、その何十倍もの数の人が治療を受ける。主な原因は生肉を汚染している病原大腸菌 O 157、サルモネラ、リステリア、カンピロバクターなどの細菌である。これらの菌は放射線に弱く、3 キログレイ以下の照射で検出できない程度に減らすことができる。エチレンオキサイドなどのガスによる殺菌は発ガン性物質の生成やガスの残留の問題があり、許可されていない。

照射食品の安全性については各国の膨大な研究を基に、WHO(世界保健機関)IAEA(国際原子力機関) および FAO(食糧農業機関)が専門家による十分な検討・審議の結果、1980年に10キログレイ以下の放射線を照射した食品について「安全である」と共同報告書を公表した。食品照射はコーデックス(国際食品規格)にも採用されている。このようなことから、米国のFDA(食品医薬品局)は食中毒を防ぐために肉の照射を許可し、3年程前から電子線で殺菌した食中毒の危険性がないハンバーガー用のひき肉が売られはじめ、現在は約5千のスーパーで販売されているという(写真8.4.1)。なお、放射線を照射すると食品が放射化して放射能を持つようになるのではないかと心配する人がいるが、ここで利用されているガンマ線、X線、電子線では放射化は起こらないことが実証されており問題はない。

写真 8.4.1 米国で売られている照射したハンバーガー用ひき肉の箱



[出典] 著者提供

(2) 安全な照射食品を世界52国が許可

世界を見ると、30以上の国で照射食品が生産され、52国で利用が許可されている(資料編参照)。欧州連合(EU)では、照射した香辛料、香草、ハーブ、乾燥野菜の利用が許可され流通している。フランス、ベルギー、オランダなどでは国ごとに鶏肉、冷凍エビ、冷凍のフロッグレッグ(カエルの足)などを照射殺菌し、食中毒の恐れのない安全な食品として販売されている。とくにフランスでは15年余り前から世界に先駆けて鶏肉を照射しサルモネラ菌を除去してソーセージ用に利用している。米国では、果物をだめにする地中海ミバエの卵を除去するために、オレンジ、パパイヤ、マンゴなどを照射しこの害虫の侵入を防いでいる。さらに医療では、オランダ、イギリス、米国等で病気のために免疫力の低下している患者の感染症を防ぐために、照射で無菌化した病人食を用いている。また、米国では宇宙飛行士がシャトル中で利用する食事も放射線で無菌化されているという。

(3) 香辛料を上手に使う

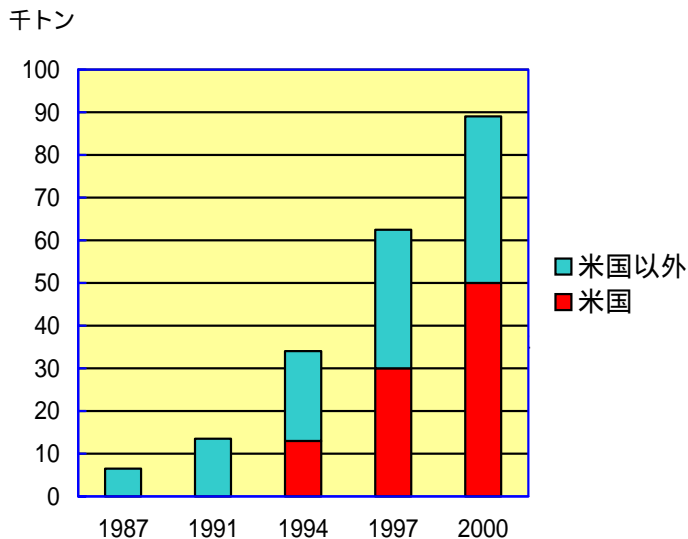
香辛料は多くの場合、細菌で汚染されているために、殺菌処理が必要である。日本では水蒸気による高温殺菌を行っているが、香辛料の命ともいえる香りの成分がとんでしまう。ガスによる殺菌は残留の問題があり、許可されていない。欧米をはじめ多くの国では、照射で無菌化した香辛料が広く使用され、年間の世界の生産量は9万トンに達している。主

要国で照射香辛料の使用が許可されていないのは日本だけである。「国際食品規格」にも採用されている安全な照射香辛料でより美味な料理を日本でも味わえるようになる日も近いのではなかろうか（図 8.4.1）。

日本では「ジャガイモ」の照射による「芽止め」を世界で最初に商業化した。現在年間1万トンを超えている。これは端境期のジャガイモの供給に役立っている。しかし、その後は食品照射に対する理解が進まないなどの理由で、30年近く、新しい利用がない。照射による「芽止め」は、「にんにく」、「玉ねぎ」、「こんにゃく」などにも応用でき、「にんにく」の芽止めはいくつかの国で保存期間を延ばし価格を安定させるとともに損失を減らすために薬剤に代わって利用されている。食品を汚染しない点で薬剤よりすぐれている。

このように、照射食品の安全性は国際的に確認され、グローバルスタンダードとなっている。我が国もより安全で豊かな食生活、損失の少ない流通、効果的な殺菌・殺虫に役立つ照射法を正しく理解し、適切に利用することが望まれる。

図 8.4.1 世界の照射香辛料の生産量が増えている



[出典]IAEA

写真 8.4.2 北海道のじゃがいも照射施設。



中心部に見える円筒状のものがコバルト-60線源

[出典]著者提供

写真 8.4.3 照射で「じゃがいも」の発芽を遅らす



未照射のじゃがいも
(発芽している)

照射済みじゃがいも

[出典] 著者提供

8 - 5 手術しないで「がん」を治す - 放射線治療法は進歩している -

(1) 3.3人に1人が「がん」で死亡する -放射線治療を拡げよう-

厚生労働省「人口動態統計」によると、2000年に日本で病死した人の30.7%は「がん」が原因である。がん治療は、外科手術、抗がん剤治療、そして放射線照射治療で、先進国ではがんの治癒率は45%といわれている。治った患者のうち、手術が22%、放射線治療が18%、抗がん剤法が5%となっている。

米国の場合は、がん患者の約50%が放射線治療を受けているが、日本は20~25%という少ない状況である。臓器を切除しないで治療できる放射線照射法の適用を拡大することが望まれる。例えば、前立腺がんは、日本ではほとんど外科手術による治療であるが、米国では小さい線源を挿入して照射で治すというのがむしろ一般的になっている。

(2) 放射線治療法の特徴

放射線治療は、放射線でがん細胞を破壊して小さくし、最終的には消滅させることを狙った治療法である。手術と違って、「がん」がなくなるまで日数が必要だが、周囲に癒着していても適用できる。照射に痛みをとまなわないので、麻酔をかける必要もない。また、手術をすれば身体の機能が失われる。例えば「喉頭がん」でも、放射線ならば、声帯切除で声を失うようなこともなく治療できる。「乳がん」でも乳房切除を避けることも可能である。

(3) 正常細胞を損傷せず副作用を抑える照射方法が工夫されている

「がん」の周囲の正常な組織に放射線があたってしまうと、正常細胞が障害を受ける。そこで、どのようにしたら「がん細胞」には最大の効果を与えて正常細胞には最小の影響ですませるか、照射装置、照射方法が工夫、開発され年々進歩している。

例えば、リニアックというX線または電子線を照射する装置では遮蔽板を使って「がん」患部の形に合わせて照射野を作り、周囲の正常組織への不必要な放射線を減らし治療効果を高める(写真8.5.1)。

また、ガンマナイフという新鋭機では、ガンマ線を頭部病巣部に集中照射することができる。装置本体のヘルメットの201個の発射口よりコバルト60(^{60}Co)が出す線を照射する。1本1本の放射線の量は少ないので、頭を貫通するときには正常

写真 8.5.1 がんの治療に使われるリニアック照射装置

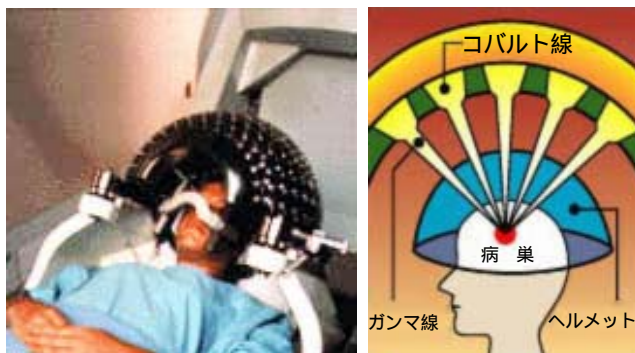


[出典](独)放射線医学総合研究所

な脳組織などには障害を与えず、ガンマ線が集中した部分に位置合せした「がん」の範囲にのみ、強力なエネルギーが集中し、「がん」を破壊することができるので脳腫瘍などの治療が行える。また、手術が困難とされている脳深部の病巣にも適用できる(写真8.5.2)。

脳腫瘍や皮膚がんの治療に効果がある「ホウ素中性子捕捉治療法 (BNCT)」が日本原子力研究所の研究用原子炉を利用して、臨床試験されている。この方法では、まずホウ素化合物を血管に注射すると、この化合物は脳腫瘍の部分に選択的に吸着される。次いで患者の頭部に原子炉からの中性子を照射すると、中性子の照射を受けたホウ素原子からアルファ線が放出され、これが「がん細胞」を破壊する。正常細胞に影響がないので副作用を少なくできる。選択的吸着性がより高いホウ素化合物の開発が課題となっている。

写真 8.5.2



左：脳腫瘍などの治療に使われるガンマナイフを装着した様子

右：ガンマナイフの仕組み

[出典] 照射線医学総合研究所

(4) 世界最先端の重粒子治療法

これまでの治療には主にガンマ線や X 線といわれる電磁波の一種が使われているが、最近、炭素やネオンなどの重粒子線を用いた放射線治療が日本で開始されている。重粒子線は、エネルギーの高さに応じて一定の深さのところを集中的に照射することができるので、正常な組織に影響を与えることがない。また、がんを死滅させる効果がガンマ線などより大きい。したがって従来のガンマ線照射治療でむずかしかった深部のがんや、放射線に抵抗性の高いがんに威力を発揮する。すでに、(独)放射線医学総合研究所では 1,300 人以上の治療例があり、肺がん、肝臓がん、前立腺がん、骨肉腫などに対し、きわめてすぐれた成績が得られている。この方法は臨床段階であるが、今後世界的に広まっていくことが予想される。

写真 8.5.3 世界最先端のがん治療法用の重粒子照射装置



[出典] (独) 放射線医学総合研究所

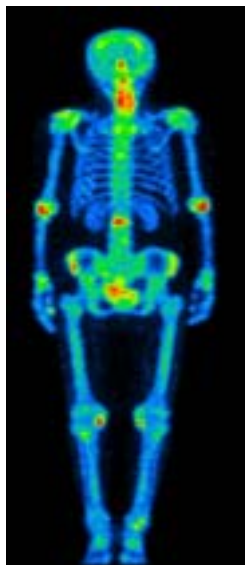
8 - 6 ラジオアイソトープで病気を早期に正確に診断する

(1) 核医学診断法の原理と特徴

ラジオアイソトープから出る微弱な放射線を測定して身体の機能を調べたり病気を見つけるのが核医学診断である。微量のラジオアイソトープで印（標識）をつけた薬（放射性医薬品）を注射すると、その化合物が「がん」の組織に吸着され、そこから出る微弱な放射線を体外から検出し、コンピュータで画像化し、「がん」の部位や大きさを決める。

また、核医学診断では注射した放射性医薬品の体内の分布やその動きをガンマカメラによって測定し、病気の有無、臓器の機能や病状を判定する。このように核医学診断は「がん」の存在、転移病巣の有無、骨の異常などさまざまな病気の検査に用いられる。たとえばテクネチウム（ ^{99m}Tc ）というラジオアイソトープを使った放射性医薬品の1つ ^{99m}Tc HMDP は、「がん」の骨への転移の診断にも使われる。この薬品が骨の転移がんが集まる性質を利用して、検出する（写真 8.6.1）。核医学診断では、テクネチウム以外にもヨウ素、タリウム、ガリウムなどのラジオアイソトープも利用され、心筋や脳の血流の状態、腎臓や肝臓、甲状腺の「がん」の診断などに役立てられている。

写真 8.6.1 核医学診断による画像。写真の赤い部分にがんの骨転移がみられる。



[出典] 日本メジフィックス(株)

写真 8.6.2 体内のアイソトープからの放射線を計測するガンマカメラ



[出典] (株)島津製作所

(2) PET による早期がん診断と脳機能の測定

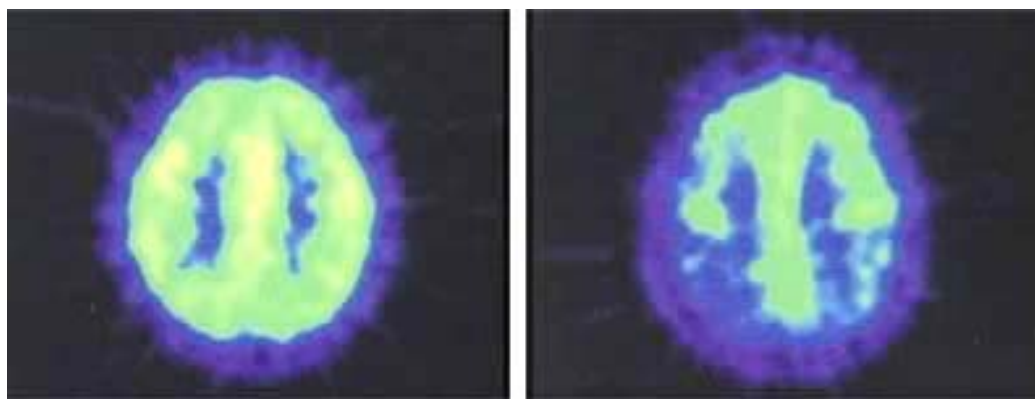
ポジトロン放出断層撮影（PET）という新しい診断方法がある。PET は「がん」の悪性度や部位、大きさなどの診断、治療効果判定に用いる。PET で使用される放射性医薬品はブドウ糖にフッ素 18F （ ^{18}F ）という半減期約 110 分の放射性アイソトープを結合させた FDG と呼ばれるものである。

がん細胞は正常の細胞よりも活動性が高いため、栄養としてブドウ糖をたくさん取り込む。そのため「がん」の部分から正常組織よりも強い放射線が出る。これを測定すれば大ききさ1センチ程度の初期の「がん」も発見できる。

PETは、脳の状態（脳血流量、脳酸素消費量、脳ブドウ糖消費量など）を調べることによって、脳血管障害、アルツハイマー病などの病態解明にも役立っている（写真8.6.3）。

PET設備は現在のところガンマカメラに比べて価格が高く、日本では約90台にとどまっている。昨年からは保険適用になっている。一方、欧米では早期がんの診断に有効であるとして急速に増えており、米国には約1,000台が設置されているという。人口当たりであれば日本の5倍である。近い将来FDGを供給するセンターが地域毎に設置されるとPETの台数は急速に増えると予想される。

写真 8.6.3 PETによるアルツハイマー患者の診断



左が健常者、右がアルツハイマー患者

[出典] 経済産業省・原子力のページ

（3）ラジオアイソトープの影響は大丈夫か

検査のために体内に注入されたアイソトープから発生する放射線の量は非常に少ない、半減期の非常に短いラジオアイソトープを微量使用しているので、速やかに放射線の量が減少し短時間で消滅する。したがって、核医学診断を受けたからといって健康に影響を与えるものではない。

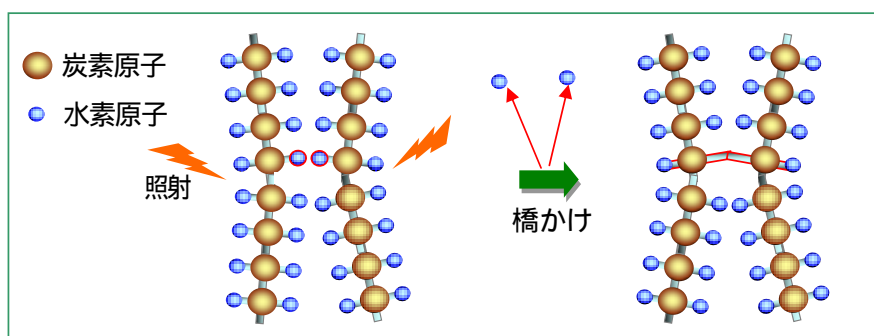
8 - 7 放射線で高度な高分子材料を創る-広く普及している工業プロセス-

(1) 放射線で巨大な網目状高分子を作る

さまざまな容器やフィルムに用いられるポリエチレン(PE)という加工しやすい高分子材料がある。戦前にはなかったもので「石油化学」の代表的な贈物である。しかしこのPEは熱に弱く70 位から少し柔らかくなり110 位で融ける。PEは優れた電気絶線性を持っているので、電線の被覆材として用いるが、温度が高いテレビの内部、自動車のエンジン周り、冷蔵庫などの配線として使用するためには耐熱性を付与する必要がある。

ここで放射線が登場する。PEは分子量が数万の直鎖状の分子である。炭素を骨格にしてそれに水素がついている(図8.7.1)。これに放射線を当てると炭素-水素の結合が切断され、そのときにできる炭素ラジカルが分子間で結合して橋架けを作る。これが多くの分子間にでき、超高分子量で網目状の構造をもつ新しいポリエチレンとなる。このものは耐熱性にすぐれ、化学薬品にも強く、機械特性もよい。

図 8.7.1 放射線によるポリエチレン分子の橋架けの仕組み



[出典]日本原子力文化振興財団

(2) 熱に強く、ヒビ割れもしない電線・ケーブル

熱に強い電線を作るにはPEで被覆した電線を電子線の下を走らせてごく短時間照射すればよい。極めて簡単な方法である(写真8.7.1)。この技術は日本のほとんどの大手の電線メーカーで利用されている。放射線で加工した電線は熱に強いのみならず、曲げた部分のひび割れも起こりにくい、より安全な材料である。

写真 8.7.1 マレーシアの電子線照射装置



[出典] 著者作成

(3) 同じ原理が広く応用できる

放射線を照射して、高分子材料に高度機能を与える研究はフランス、米国、ドイツ、日本などで広く行なわれ、その成果がさまざまな産業の中で利用されている(表8.7.1)。

この中でも、熱に強い電線、高性能ラジアルタイヤ、電池の陽極と陰極の間にはさむ高性能隔膜、温度をかけると強く収縮する材料は日常生活に欠かせないものとなっている。

環境にやさしい材料としては、火災の際に燃えにくい電線で、燃えても塩素などの有害ガスを発生しないものが放射線照射法で作られている(写真 8.7.2)。また、「光化学スモッグ」の原因となる有機溶媒を排出しない環境にやさしい塗装や印刷の方法として電子線法が利用されている。このような様々な産業利用のために、現在日本で約 200 台もの電子加速器が運転されている。

表 8.7.1 高分子材料の放射線による改良の産業化

製品	原料
耐熱電線	PE、ポリ塩化ビニル
熱収縮性チューブ	PE
自動車用タイヤ	天然ゴム、合成ゴム
電池用隔膜	PE-アクリル酸
発砲ポリエチレン	PE
自動車用プラスチック部品	ナイロン、ポリウレタン
表面塗装	各種プレポリマー
金属、セラミック複合材	炭化ケイ素繊維
創傷被覆材	ポリビニルアルコール
手袋、風船	天然ゴム

[出典] 著者作成

写真 8.7.2 ハロゲンフリー(燃えても有害なハロゲンガスが発生しない)絶縁体を使った高压回路ケーブル



出典] IAEA

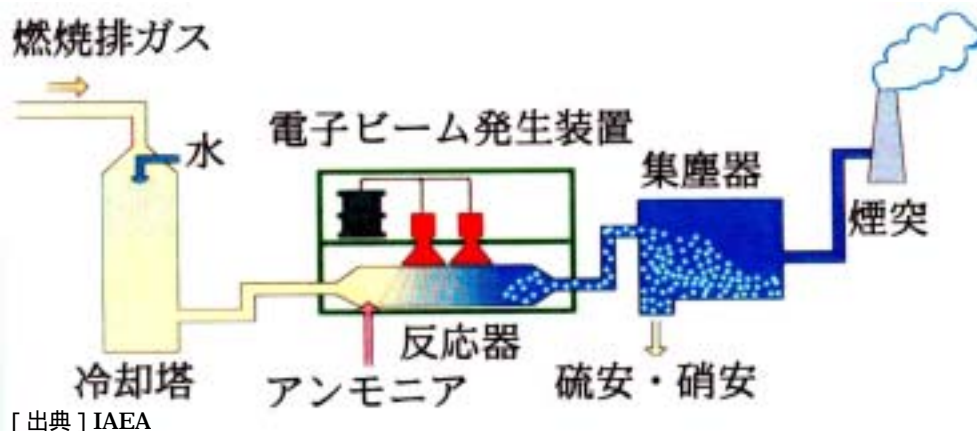
8 - 8 放射線を利用して環境をきれいにする - 電子線で酸性雨を防止する -

(1) 酸性雨の被害は深刻

世界のエネルギーの25%が石炭から得られている。石炭には硫黄分が多く火力発電所などで、燃すと亜硫酸ガスや窒素酸化物が発生する。これらが大気中に放出されると太陽からの紫外線を受け、大気中の酸素、水と反応して、硫酸と硝酸になり、雨に混入して酸性雨を降らせる。

酸性雨は湖水を酸性化して魚を住めなくし、森林の木々を枯らし、農地を酸性化するなど、その被害は東ヨーロッパやアジアの途上国などで深刻な環境問題を起こしている。

図 8.8.1 電子ビームによる石炭燃焼排ガスの処理の原理



(2) 火力発電所の排ガスを浄化し、肥料を副成する

ここで紹介するユニークな技術は日本原子力研究所と荏原製作所が共同で開発した「電子線を利用して酸性雨の原因物質を除去する」方法である。

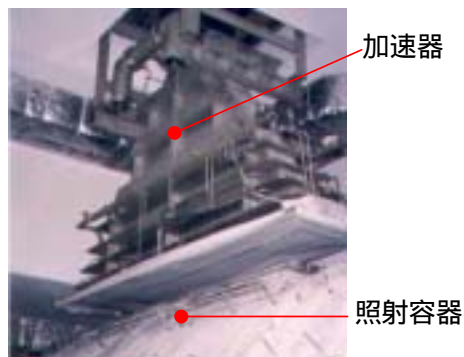
図 8.8.1 に示すように、石炭火力から出てくる排ガスを反応室に導き、電子ビームを照射し、煙の中の亜硫酸ガス、窒素酸化物を放射線的作用によって、硫酸、硝酸に変える。これらはあらかじめ加えておいたアンモニアと反応して、硫酸アンモニウム(硫安)と硝酸アンモニウム(硝安)に変わる。硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムは肥料として使えるので、この方法は副産物として肥料を製造し、同時に排ガスを浄化するという一石二鳥の方法である。

(3) キュリー夫人の母国ポーランドで実用化、中国でも2基目が完成

ポーランドでは、石炭が95%のエネルギーをまかなっており酸性雨の被害は深刻な問題である。そこでIAEAと日本政府、日本原子力研究所の協力を得て8万kWの石炭火力発電所の排ガスを浄化する電子線法の実用機を建設し、2000年末から運転している(写真8.8.1)。順調に稼働し、肥料の生産・利用もされている。中国でも荏原製作所が協力して1号機がすでに3年間運転されており(写真8.8.2)、2号機が試験運転中である。また、中国の清華大学の原子力研究センターでは、この方法の高度化に向けた研究も活発に行われている。

写真 8.8.1

加速器を 4 台使って 1 時間当たり 27 万立方メートルの排ガス（8 万 kW の石炭火力発電所）が処理できるポーランドの実用装置の一部



[出典] 著者提供

写真 8.8.2 中国の成都にある電子線法排煙浄化装置の全景



[出典] 著者提供

（４） 電子線法によってダイオキシンの除去、染色廃液の浄化法が開発された

これらの経験を踏まえて、日本原子力研究所では最近、ゴミ焼却炉から発生する排ガスを電子ビーム照射によって処理し、「ダイオキシン」の 95%を除去することに成功し、この技術の実用化を目指している。

一方、韓国では、染色工場団地から発生する着色した廃液を電子ビーム照射と生物分解法との組合せで効果的に脱色し浄化する技術をロシアの協力を得て進め、パイロットプラントで成功、実用機建設を計画している。このように環境の浄化に放射線を利用するのである。技術開発は今後の重要課題である。



写真 8.8.3

ゴミ焼却炉排ガスから電子線照射によってダイオキシン除去する日本原子力研究所のパイロットプラント（除去率 95%）

[出典] 日本原子力研究所

8 - 9 幅広いラジオアイソトープ (RI) の産業利用

日本で RI を利用している事業所、病院、研究所などの総数は約 5000 であるが、そのうち約 40% が工業分野の民間企業である。

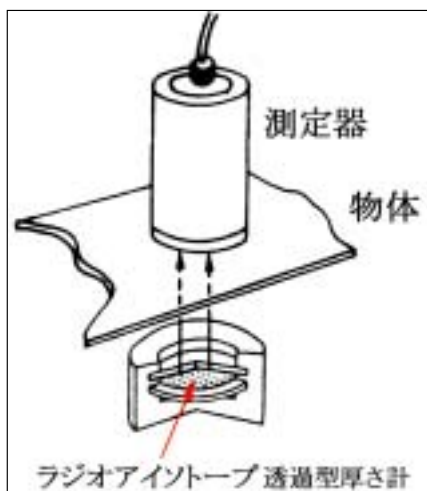
代表的な利用は 厚さ計、 密度計、 非破壊検査などである。

(1) 厚さ計、密度計

放射線が物質を通り抜けるとき、物質の厚さと密度に応じてエネルギーが吸収されるので、放射線の強さが弱められる。したがって、放射線の強さの変化を測れば、その物質の厚さや密度を知ることができる。

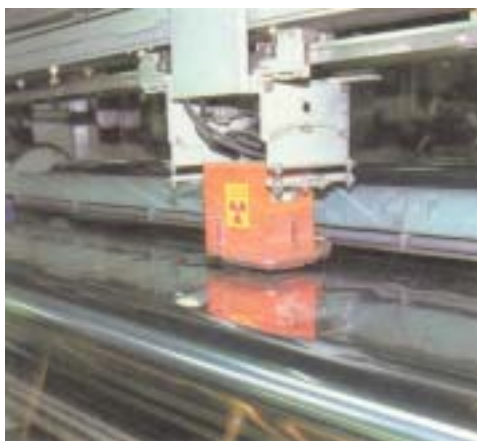
この方法では、測ろうとする対象物に触れずに厚さを測ることができるので、製造工程で高速で走っている紙やプラスチックフィルムの厚さ、高温で連続的に押し出されてくる鉄板の厚さの正確な測定と制御に広く利用されている。

図 8.9.1 厚み計の原理



[出典] 日本原子力文化振興財団

写真 8.9.1 プラスチックフィルム製造工程での厚みの連続測定装置



[出典] 日本原子力文化振興財団

厚み測定に利用されるラジオアイソトープは、対象物の厚みと密度によって最適なものを選ぶ。例えば紙などの薄い物の厚みを計るには透過力の弱いベータ線を発生するクリプトン-85 やストロンチウム-90 などが利用される。

同様の原理で、化学工場のタンクの中の液体の量、紙巻きタバコの充填率などの測定や管理にもラジオアイソトープが用いられている。

(2) 非破壊検査 - 物を壊さずに中を見る

病院で利用される X 線検査と同様の原理で、物体の内部の状態を調べる方法が工業的に利用されている。この方法は例えば、金属を溶接した部分に生ずる恐れのある空洞などの欠陥の有無を調べる安全検査に有効である。ラジオアイソトープとしてはコバルト-60、や

イリジウム-192 などが用いられ、加速器からの X 線も利用される。写真にはジェット機エンジンのタービン羽の検査を行っているところを示している。

写真 8.9.2 ジェット機エンジンの非破壊検査



[出典] 日本原子力文化振興財団

(3) 煙探知機

ラジオアイソトープから放出される α 線や β 線のような放射線が、空気を通過するとその成分（水、酸素、窒素など）がイオン化する。

電圧をかけた 2 枚の電極の間の空間にある空気を放射線でイオン化すると、イオン化量に応じて電流が回路に流れる。そこを煙の分子が通ると、イオンが煙の分子にくっついて運び去られるために電流が減少する。それを測定して煙を検知できる。このような装置を煙探知器という。ラジオアイソトープとしては、アメリシウム-241 が利用されている。この探知機によって火災を未然に防ぐことができる。

写真 8.9.3 煙探知機



[出典] 日本原子力文化振興財団

8 - 10 考古学の研究に役立つアイソトープ

(1) 弥生時代はいつ始まったのか

今年の5月、国立歴史民俗博物館が、九州北部の弥生時代の遺跡から出土した土器の付着物を加速器質量分析法(AMS)を用いた最新の「放射性炭素年代測定法」により年代測定した結果、これらの土器は従来縄文時代とされていた紀元前800~900年ごろのものであった、と発表し話題を呼んだ(写真8.10.1)。また、このことから、「水田稲作が日本に伝わり弥生時代が幕を開けたのは定説より約500年早い紀元前1000年頃になる可能性が高まった」とした。現在、歴史教科書を書き換えるかどうかの議論になっている。

写真 8.10.1 測定試料として使われた弥生式土器



[出典]日本原子力文化振興財団

(2) 放射性炭素年代測定法とは

新発見で用いられた測定試料は、福岡市の雀居遺跡(弥生早期)など数カ所から出土した土器の中にこびりついた「すす」などの微量なものである。「放射性炭素年代測定法」では測定試料の中のごく微量の炭素-14を数えて年代を計算する。

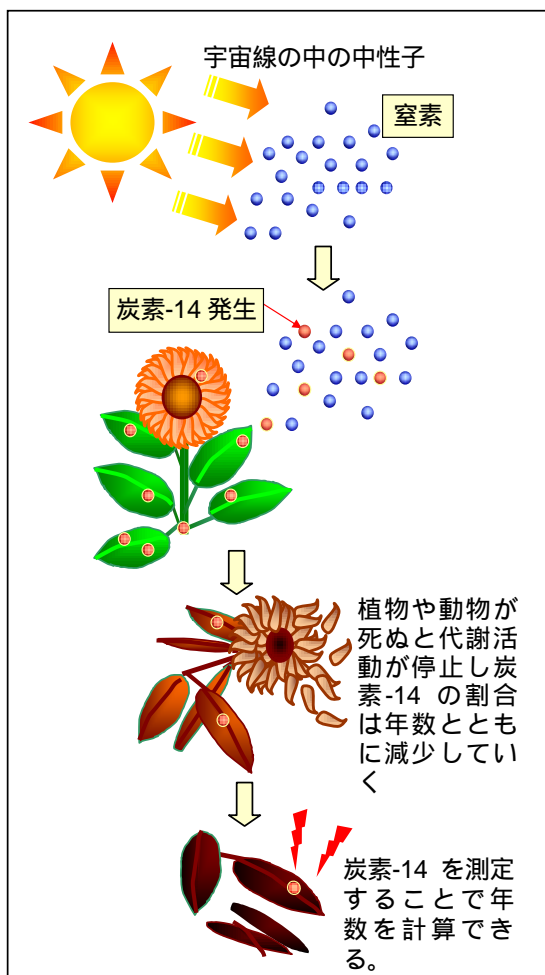
天然の炭素には質量数(原子核にある陽子と中性子の合計)の違いによって炭素-12、炭素-13、炭素-14の3種類がある。それらの存在比率は、全体を100としたときに、炭素-12がほとんどで、残りの炭素-13が1万分の1、炭素-14が1兆分の1程度である。また、炭素-12と炭素-13は安定で時間の経過に関係なく一定であるが、炭素-14(陽子6個と中性子8個)は不安定で、微弱な放射線(ベータ線)を出しながら安定した窒素-14(陽子7個と中性子7個)にゆっくりと変わる。この半減期は5,730年で、たとえば100個あった炭素-14は一定の速度で減少してゆき、5,730年経つとその半分の50個に減る。

炭素-14は、上空の窒素に宇宙線の2次中性子が当たってつくられ、さらに酸素と反応して炭酸ガスになり大気中に一様に分布される。植物は光合成によって大気中の炭酸ガスから炭素-12や炭素-13とともに炭素-14を取り込み、動物はその植物を食べてこれらの炭素を体内に取り込む。生物が活動している間、炭素-14の割合は大気中と同じだが、死んでしまうと代謝がなくなるので、炭素-14だけが年数とともに減っていく。そこで、炭素-14の割合を測定することで、炭素を新たに取り込めなくなった後(生物の場合は死後)から現時点までの年数を求めることができる(図8.10.1)。たとえば、大気中の炭素-14の濃度と測定試料の炭素-14の濃度の比がちょうど2分の1だったとすると、この試料は今から5,730年前のものと測定される。過去の炭素-14の濃度は太陽の活動などによってわずかに変動しているので真の年代との誤差が生じる。これを補正するためには1年単位で年代が正確に判る年輪年代測定法を用いる。この方法で年代の判った木の試料をC-14法で測定し、両者の対応を明らかにした国際標準校正表を用いる。

この「放射性炭素年代測定法」は 1940 年代後半に米国で開発され、炭素-14 が放出するベータ線の量を測定することによって炭素-14 の量を調べる方法が用いられてきた。一方、1980 年代に開発された加速器質量分析法（AMS 法）は、原子の質量の差を利用して炭素-14 の数量を直接測定する。AMS 法は、加速器と質量分析計を組み合わせた分析装置（写真 8.10.2）を用い、サンプル量が微量で済み、測定精度が高い新しい年代測定法である。たとえば骨の年代測定は、ベータ線計数法では骨 1 本分のコラーゲンを抽出して行わなければならないが、AMS 法では 0.05 グラム程度あれば測定できる。また、土器片についてスズや鉄器に含まれる炭素、古文書のとじ糸などわずかな資料でも測定できるようにな

り、測定対象が飛躍的に広がったことから、年代測定手法の主流となりつつある。このように、放射性同位元素は考古学や地層の年代測定にも重要な役割を果たしている。

図 8.10.1 放射線炭素年代測定法の原理



[出典] 原子力文化振興財団

写真 8.10.2 日本原子力研究所の加速器質量分析装置



[出典] 日本原子力研究所

8 - 1 1 放射光で物質の本質を解き明かす

(1) 放射光とは

宇宙には電波からガンマ線まで、長い波長から短い波長までの、あらゆるエネルギーを持つ電磁波（光）が飛び交っている。しかし、20世紀の後半になるまで、宇宙にはあるのに、地上では人工的に発生できない電磁波の領域があった。ところが、1947年に素粒子研究のために設計された電子加速器によって図らずもその発生が可能になり、やがてその光が科学や技術の広い分野で大きな恩恵をもたらすことになった。これが“放射光”である。放射光のスペクトルは電波からX線に及び、特に真空紫外線（波長0.2ミクロン以下）からX線（波長1ナノメートル以下）は、他に有効な発生方法がないために利用価値が極めて高い。この光の特長は、指向性が強く、エネルギーを選択できる強力な光といえる。この光を利用することによってこれまで観ることが出来なかった物質の原子構造、電子状態が明らかとなり、物質科学の本質に迫ることが可能になる。

(2) なぜ、金属や絶縁体、半導体、磁性、超伝導などの多様な物性が出るのか？

あらゆる物質の性質や機能は、原子が集まりそれらが結合し、それぞれの原子が持っている数個から数十個の電子が全体で $\sim 10^{23}$ 個以上となってお互いに相互作用をした結果、ある集団的な振る舞いをする事で決定されている。すなわち、原子がどのように並び（結晶構造）、そのときの電子の状態がどのようになっているか（電子状態）がわかれば物質の性質が解り、またそれらを人工的に制御することが出来れば物質の性質・機能を制御することも出来る。最近の材料科学の分野では、電子の持つ属性である、電荷、スピン、軌道が複雑に絡み合っている場合によって、金属、絶縁体、半導体、あるいは磁性体、誘電体、超伝導体となるといわれておりこれらの発現機構を解明することが大きな課題となっている。放射光X線を利用すれば結晶構造を原子レベルで観ることは勿論のこと、電荷、スピン、軌道のそれぞれを観測することで、材料科学の発展に大きく寄与し、やがては人間社会の発展に貢献するものと期待される。写真はX線非弾性散乱装置を示す。これを利用して、性質や機能発現に重要な役割を持っている電子間の大きさを観察することができる。

写真 8.11.1 X線非弾性散乱装置



[出典] 日本原子力研究所