

原子力政策大綱に示している放射線利用に関する  
取組の基本的考え方に関する評価について  
(案)

2010年4月23日

原子力委員会

# 目 次

はじめに	1
第1章 評価作業の経過	3
第2章 我が国の放射線利用に関する概況	5
第3章 主な関係行政機関等の取組等	7
3. 1 関係行政機関等の取組状況	7
(1)「基本的考え方」に関する取組状況	7
①安全管理体制の整備に関する取組の現状	7
②利用者・一般国民の理解促進のための活動	9
③産学官連携の推進	10
④放射線利用技術の高度化に向けた国の支援策	12
⑤科学技術活動に貢献する先端的な施設・設備の整備	12
⑥地域産業による施設の有効活用の促進	14
(2)「各分野における進め方」に関する取組状況	15
①科学技術・学術分野	15
②工業分野	17
③医療分野	18
④その他の分野	22
(3)「関連分野における基本的考え方」に関する取組状況	24
①研究施設等廃棄物の状況	24
②放射線利用に係る人材育成の現状	24
③放射線利用に係る国際協力	25
3. 2 関係行政機関等の取組に対する評価	27

第4章 放射線利用を進める上での課題等、解決に向けた方策等	・ ・ ・ ・ ・ 30
（1）放射線利用に係る施設・設備の整備と共用の促進	・ ・ ・ ・ ・ 30
（2）産学官連携の推進	・ ・ ・ ・ ・ 32
（3）放射線源の供給のあり方	・ ・ ・ ・ ・ 33
（4）安全の確保と合理的な規制	・ ・ ・ ・ ・ 34
（5）放射線利用に対する理解促進のあり方	・ ・ ・ ・ ・ 37
（6）人材育成・確保のあり方	・ ・ ・ ・ ・ 37
（7）放射線利用に係る国際協力	・ ・ ・ ・ ・ 38
（8）基礎的・基盤的な研究、技術の確保	・ ・ ・ ・ ・ 39
第5章 まとめ	・ ・ ・ ・ ・ 41

## はじめに

原子力委員会は、原子力の研究、開発及び利用に関する行政の民主的な運営を図るために設置された組織であり、原子力の研究、開発及び利用に関する事項（安全の確保のための規制の実施に関する事項を除く。）について企画し、審議し、及び決定することを責務としています。これを踏まえ、原子力委員会は、平成17年10月に、今後数十年間にわたる国内外情勢の展望を踏まえ、原子力発電や放射線利用の推進等に関して、今後10年程度の間に各省庁が推進すべき施策の基本的考え方や、原子力行政に関わりの深い地方公共団体、事業者、及び相互理解が必要な国民各層への期待を示す原子力政策大綱を策定しました。

原子力政策大綱では、政策評価を政策に関するPDCA活動（立案、実施、評価及び改善活動）の一環に位置付けて、原子力に関する施策を継続的に評価し、改善に努め、国民に説明していくことが大切であるとしています。また、この観点から、原子力委員会が、関係行政機関等の原子力に関する施策の実施状況を適時適切に把握し、国民の御意見等を踏まえつつ、自ら定めた政策の妥当性を定期的に評価し、その結果を国民に説明していくこととしています。

原子力委員会は、この政策評価の一環として、平成21年10月に「原子力政策大綱に示される『放射線利用』および『人材の育成・確保』に関する政策の評価について」と題する原子力委員会決定を行い、原子力政策大綱に示される「放射線利用」および「人材の育成・確保」に関する政策について評価を行うことを決定しました。

本報告書は、これを受けて、原子力委員会が、原子力政策大綱の「放射線利用」に関する政策評価を行なった結果をまとめたものです。報告書は5章から構成されており、第1章に「評価作業の経過」、第2章に「我が国の放射線利用に関する概況」、第3章に「主な関係行政機関等の取組等」、第4章「放射線利用を進める上での課題等、解決に向けた方策等」、第5章「結論」をまとめています。

放射線は、工業、医療、農業、環境等の幅広い分野で利用されており、我々は生活の身近なところで放射線の便益を享受しています。例えば、医療分野ではがん治療や診断、農業分野では植物の品種改良、工業分野では半導体製造やラジアルタイヤの製造などで放射線が利用されています。また、放射線の経済規模は、平成19年に行われた内閣府委託調査によれば、総額約4兆1000億円（平成17年度）であり、原子力のエネルギー利用の経済規模は4兆7000億円に匹敵しています。

このように放射線が国民生活の身近なところで利用されており、経済規模が大きいにもかかわらず、放射線に対する国民の正しい理解の不足や国民の過敏な反応に対する事業者の懸念が障壁となって、放射線の適切な利用が進まないという実態も報告されています。また、放射線は幅広い分野において様々な形態で利用されているために放射線利用の実態等の把握が難しいという側面もあります。

本報告書では、放射線利用に関する最新の動向や研究成果等を掲載しています。本報告書が、国民の皆様の放射線利用に対する理解の一助になるとともに、現場において放射線利用に携われている関係者の後押しになることを期待いたします。

## 第1章 評価作業の経過

原子力委員会は、評価作業として、原子力政策大綱に示す基本的考え方を踏まえて関係行政機関等において行われている放射線利用に関する取組状況を把握し、これらを踏まえて進捗状況の評価を行うとともに、有識者及び国民の御意見を聴きつつ、関係機関が今後取組を進めるに当たって留意すべき事項等について調査審議を行った。以下に具体的な作業を示す。

### (1) 原子力委員会による評価の実施

関係行政機関等の取組の状況を把握するため、以下のとおりヒアリングを実施した。

原子力委員会定例会 第43回：平成21年11月24日（火）

文部科学省からのヒアリング

農林水産省からのヒアリング

原子力委員会定例会 第44回：平成21年12月 1日（火）

（独）放射線医学総合研究所からのヒアリング

原子力委員会定例会 第45回：平成21年12月 8日（火）

（財）放射線利用振興協会からのヒアリング

茨城県からのヒアリング

（社）日本医学放射線学会からのヒアリング

原子力委員会定例会 臨時会：平成21年12月10日（木）

（独）日本原子力研究開発機構からのヒアリング

（社）日本アイソトープ協会からのヒアリング

原子力委員会定例会 第 4回：平成22年 2月 2日（火）

F N C Aコーディネータからのヒアリング

原子力委員会定例会 第 8回：平成22年 2月23日（火）

（社）日本原子力産業協会からのヒアリング

原子力委員会定例会 第10回：平成22年 2月26日（金）  
佐賀県からのヒアリング

原子力委員会定例会 第11回：平成22年 3月 2日（火）  
厚生労働省からのヒアリング  
（財）医用原子力技術研究振興財団からのヒアリング

（2）放射線利用に関する御意見聴取  
有識者から御意見をいただきました。

原子力委員会定例会 臨時会：平成21年12月25日（金）

石岡 典子	日本原子力研究開発機構
遠藤 啓吾	群馬大学
田川 精一	大阪大学
中島 宏	日本原子力研究開発機構
中西 友子	東京大学
林 眞琴	茨城県

原子力委員会定例会 臨時会：平成22年 3月 9日（火）

石岡 典子	日本原子力研究開発機構
田川 精一	大阪大学
田中 隆一	NPO法人 放射線教育フォーラム
中島 宏	日本原子力研究開発機構
中西 友子	東京大学
永山 悦子	毎日新聞社
林 眞琴	茨城県

（3）報告書の取りまとめ

国民の皆様から御意見募集（2010年4月23日（金）～5月7日（金））の結果を踏まえ、報告書を取りまとめる予定。

## 第2章 我が国の放射線利用に関する概況

放射線は科学技術・学術、医療、工業、農業等の幅広い分野において利用されており、科学技術・学術の進歩、国民の福祉、国民生活の水準向上等に大きな貢献をしている。

科学技術・学術分野では、X線・ $\gamma$ 線・電子線・イオンビーム・中性子線等の放射線を用いて、物質の構造解析、物質中の微量元素分析、動植物の体内の代謝・動態の解析等が行われるなど、物質科学・生命科学分野をはじめとする幅広い研究に放射線が利用されている。また、ニュートリノや中間子等の発生・計測により、物質の究極の構成要素等に関する研究が行われるなど、放射線は原子核物理・素粒子物理分野における研究にも欠かせないものとなっている。

医療分野では、放射線を利用した診断・治療が医療現場において広く行なわれている。診断については、胸部X線撮影をはじめとする単純X線撮影による診断に加えて、近年では、コンピュータ解析技術の発達により人体の断層画像や三次元画像を得るX線CT撮影による診断が一年間に約200万件行なわれるなど普及が進んでいる。また、放射性医薬品を体内に投与して代謝機能等を画像化するSPECTやPETといった核医学診断も年間約140万件行なわれている。治療については、高エネルギーX線や粒子線（陽子線・重粒子線・中性子線）、放射性医薬品を用いた治療などが行われている。

工業分野では、種々の放射線の性質を利用した材料の製造やサービスの提供等が行なわれている。電子線を利用した微細加工（リソグラフィ）や中性子線等を利用した不純物導入（ドーピング）の技術は半導体製造に利用され、電子線・ $\gamma$ 線を利用して物質に新たな機能を付加するグラフト重合技術は電池用隔膜の製造に利用されている。また、電子線照射によりゴムの弾力性を改善する技術は、ラジアルタイヤの製造に利用されている。医療器具等の滅菌サービスの提供にも、 $\gamma$ 線、電子線等の放射線が利用されている。

農業分野では、放射線を利用した「放射線育種」や「不妊虫放飼法による病害虫根絶」等が行われている。放射線育種については、 $\gamma$ 線やイオンビーム照射などによる突然変異を利用した耐病性のナシ、収量性や成分を改良したイネやダイズ、高付加価値の花弁などの新品種の開発が行なわれている。沖縄県等では、放射線により不妊化した成虫を放してウリミバエ等の病害虫の根絶を行う不妊虫放飼法による特殊病害虫根絶が行なわれている。また、放射線を照射することによりジャガイモの芽止めを行なう食品照射も行なわれている。

その他、環境・資源分野では、電子線を用いて排煙中の有害物質を分解する処理、放射線を利用した温泉水中のスカンジウムや海水中のウラン等の有用金属を捕集する材料の開発、燃料電池の高性能化に資する高分子電解質膜の開発など、今後の環



境・資源に関する問題を解決する新たな技術開発が行なわれている。

これらの放射線利用の経済規模は、平成 19 年に行われた内閣府委託調査によれば、総額約 4 兆 1000 億円（平成 17 年度）であり、原子力のエネルギー利用の経済規模 4 兆 7000 億円に匹敵する。放射線利用の経済規模の分野別内訳においては、工業分野で約 2 兆 3000 億円、医療分野で約 1 兆 5000 億円、農業分野で約 2800 億円となっている。

このように、放射性同位元素（RI）や放射線発生装置を用いて多様な放射線利用を行う国内の事業所数（「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」に基づく使用許可・届出事業所数）は、平成 22 年 4 月 1 日現在、6297 事業所に達している。これを機関別に見ると、民間企業が 3422 か所、研究機関が 513 か所、医療機関が 944 か所、教育機関が 538 か所、その他機関が 880 か所となっている。

密封された放射性同位元素（密封線源）を放射線源として使用する事業所は 5,335 か所ある。密封線源の主な用途例としては、コバルト-60 が医療用具の滅菌等の照射装置に、イリジウム-192 が非破壊検査装置に、クリプトン-85 が厚さ計に、アメリカシウム-241 が厚さ計や密度計に、セシウム-137 がレベル計や密度計に、ニッケル-63 がガスクロマトグラフ装置に利用されている。医療分野では、コバルト-60 がガンマナイフ等の遠隔照射治療に、イリジウム-192 がアフターローディング用治療装置に、ヨウ素-125、金-198 等が治療用密封小線源に利用されている。

密封されていない放射性同位元素（非密封線源）を放射線源として使用する事業所数は 895 か所ある。非密封線源は、主に教育機関、研究機関、民間機関において水素-3、炭素-14、リン-32、硫黄-35 等が研究等に利用され、医療機関においてヨウ素-131、ストロンチウム-89、イットリウム-90 が治療に、モリブデン-99/テクネチウム-99m、ヨウ素-123、タリウム-201、ガリウム-67、フッ素-18 等が核医学診断に利用されている。

また、放射線発生装置は平成 22 年 4 月 17 日現在 1,269 台に達しており、その 81.3% は医療機関に設置され、がん治療、診断用の放射性同位元素の製造等に利用されている。また、同装置は教育機関、研究機関、民間企業等にも設置され、様々な研究開発や事業活動等にも利用されている。

その他に、放射線障害防止法の規制対象とならない低エネルギー電子加速器、イオン注入装置等も民間企業等に多数設置され、幅広く利用されている。

## 第3章 主な関係行政機関等の取組等

原子力政策大綱では、第3章に放射線利用に関する「基本的考え方」<sup>1</sup>及び「各分野における進め方」<sup>2</sup>を示している。また、第3章以外<sup>3</sup>にも関連する分野における放射線利用に関する施策の基本的考え方（以下「関連分野における基本的考え方」という。）を示している。

「基本的考え方」では、①安全管理体制の整備、②利用者・一般国民の理解促進、③産学官連携の推進、④放射線利用技術の高度化に向けた支援、⑤科学技術活動等に貢献する先端的な施設・設備の整備、⑥先端技術施設の地域産業による有効活用の推進等についての施策の基本的考え方を示している。

「各分野における進め方」では、①科学技術・学術分野においては基礎研究の推進、世界最先端の施設・設備の共用・支援体制の整備等、②工業分野においては研究開発の推進、産学官連携による研究協力・技術移転等、③医療分野においては放射線治療の普及、放射線診断による患者の被ばく線量の最適化等、④その他の分野においては放射線育種、不妊虫放飼法による特殊病害虫根絶事業、資源・環境に関する技術、食品照射等に関する施策の基本的考え方を示している。

「関連分野における基本的考え方」では、①廃棄物の処理・処分については研究所等廃棄物の処分の実現に向けた取組等、②人材の育成・確保については放射線医療分野の専門家の育成・確保等、③国際的取組の推進については放射線利用分野における開発途上国との協力等に関する施策の基本的考え方を示している。

原子力委員会は、政策評価作業の一環として、定例会・臨時会において、原子力政策大綱に示しているこれらの基本的考え方を踏まえ、関係行政機関等<sup>4</sup>が実施している主な取組の状況について聴取した。その結果を以下に示す。

### 3. 1 関係行政機関等の取組状況

#### （１）「基本的考え方」に関する取組状況

##### ①安全管理体制の整備に関する取組の現状

我が国では、事業者が安全かつ適切に放射線利用を進めることができるよう、国は法令やそれらに基づく規制等を整備している。事業者は、これらの法令や規制等に

<sup>1</sup> 原子力政策大綱、「3-2-1 基本的考え方」。

<sup>2</sup> 原子力政策大綱、「3-2-2 各分野における進め方」。

<sup>3</sup> 原子力政策大綱、「2-3 放射性廃棄物の処理・処分」、「2-4 人材の育成・確保」、「5-2 国際協力」。

<sup>4</sup> 原子力政策大綱は、各省庁における施策の企画・推進のための指針を示すとともに、原子力行政に関わりの深い地方公共団体や事業者、さらには原子力政策を進める上で相互理解が必要な国民各層に対する期待を示すものである。これを踏まえ、ここでは、関係行政機関等を、各省庁、地方公共団体、事業者（教育機関、公的な研究開発機関を含む）と定義する。

基づき、安全管理体制を整備し、この下で適切に放射線利用を行っている。また、関係行政機関や研究開発機関は、安全確保に資する研究開発、国際協力、人材育成等の活動や、放射線による災害が生じた場合に対応するための体制の整備を行っている。

我が国では、放射性同位元素等による国民の放射線障害を防止するために、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下「放射線障害防止法」という。）」に基づき、放射線発生装置の使用者及び放射性同位元素の使用・販売・廃棄等の事業を行う者には、文部科学省に対して事業内容や放射性同位元素数量について許可または届出の申請を行うことが義務付けられている。また、文部科学省は、必要に応じて、施設の検査、定期検査・確認、立入検査等を行うことを通じて、放射線障害の防止及び公共の安全確保につとめている。また、同法に基づき整備しなければならない安全管理体制としては、放射線取扱主任者の選任、放射線障害予防規程の届出、管理区域に立ち入る者及び取扱等業務に従事する者に対する教育及び訓練、放射線業務従事者に対する健康診断の実施、線量の測定結果の記録等がある。

研究開発機関では、国内外における放射線安全のための規制等の考え方の根拠となる科学的データを提供するための研究開発など、放射線の安全管理に資する研究開発が着実に行われている。独立行政法人放射線医学総合研究所（以下単に「放射線医学総合研究所」という。）では、放射線管理の高度化や放射線防護に関する研究開発を行っており、環境放射線の計測等、環境中に放出された放射性核種の挙動の分析、低線量放射線リスクに関する研究（自然放射線被ばく研究、放射線障害発生メカニズムに関する研究）を通じて、規制の考え方の根拠となる科学的データの提供に資する研究を行っている。

我が国の研究開発機関は、こうした放射線の安全管理活動の品質の維持・向上に資する研究開発活動を通じて、原子力安全委員会、原子力安全・保安院、放射線審議会等の放射線安全・規制関連の国内機関はもとより、国際放射線防護委員会（ICRP）、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際原子力機関（IAEA）、世界保健機関（WHO）等の国際機関に対しても、科学的データの提供や新たな安全管理手法に関する知見の提供など大きな貢献を行っている。

また、我が国では、法令等<sup>5</sup>に基づき、放射線取扱主任者、作業環境測定士をはじめとする放射線安全管理のための国家資格制度が整備されており、関係機関において、資格取得のための試験や資格講習などが行われており、放射線の安全管理を支える人材の育成・確保が行われている。

---

<sup>5</sup> 放射線取扱主任者は「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和三十二年六月十日法律第百六十七号）」、作業環境測定士は「作業環境測定法（昭和五十年五月一日法律第二十八号）」に基づく資格。

万が一、災害が生じてしまった場合に備え、防災活動に対する訓練・教育、災害時の技術支援、緊急被ばく医療に関する研究や体制の整備等も行われている。

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）は、災害対策基本法に基づき、原子力に関する緊急事態が発生した場合には、国や地方自治体などの要請に応じ、指定公共施設として各種の技術支援を行う機関として指定されている。同機構では、この役割を担うために原子力緊急時支援・研修センターを設置し、地方自治体、警察、消防、自衛隊等の関係者など原子力防災に携わる者に実践的な研修・訓練を実施している。

放射線医学総合研究所では、緊急被ばく医療研究として、線量評価、障害低減化（体内除染）、治療技術に関する研究を行っている。

また、同研究所は被ばく医療に関する三次被ばく医療機関<sup>6</sup>に指定されており、被ばく事故発生時には初期・二次被ばく医療機関を支援するための専門家派遣を実施するとともに、初期・二次被ばく医療機関では対応が困難な場合には、被ばくした患者の受入を行うなど、緊急被ばく医療体制における中核的役割を担っている。更に専門医療機関と緊急被ばく医療機関の協力のためのネットワークを構築し、被ばく医療体制の強化を図りつつ、緊急被ばく医療に関わる人材の育成研修、地方自治体の実施する原子力防災訓練等への専門家派遣、関係機関との連携のための「地域緊急被ばく医療連携協議会」の開催なども行っている。

## ②利用者・一般国民の理解促進のための活動

### ○潜在的な放射線利用者への技術情報の提供や効用・安全性に関する理解促進活動

潜在的な放射線利用者への技術情報の提供や、放射線利用の効用や安全性に関する理解の促進を行うために、関係機関では、講演会、セミナー、関連施設の見学会の開催、広報誌の頒布等の活動を積極的に行っている。

例えば、（財）放射線利用振興協会では、放射線利用に関する話題について専門家が易しく紹介する技術誌「放射線と産業」を年4回刊行するとともに、同協会のホームページに放射線利用に関するデータベースを整備し、放射線利用に関する最新の技術情報を一般公開している。また、茨城県では、J-PARCをはじめとする中性子利用施設の産業利用により地域産業の活性化を図るために、地元企業への精力的な訪問、セミナーの開催等を通じて、産業界に対して中性子利用の有効性・安全性等を説明するなど、中性子利用に関する理解促進活動を行っている。

---

<sup>6</sup> 緊急被ばく医療体制は、原子力施設内の医療施設や避難所のほか、汚染の有無にかかわらず初期診療や救急診療を実践する「初期被ばく医療機関」、専門的な診療を実践する「二次被ばく医療機関」、高度専門的な診療を実践する「三次被ばく医療機関」からなる。災害発生地区に近い医療機関を初期被ばく医療機関、地域の基幹病院を二次被ばく医療機関として指定。その上に、三次被ばく医療機関として、西日本地域に広島大学、東日本地域に放射線医学総合研究所を指定している。

### ○一般国民の放射線利用に対する理解促進のための活動

一般国民を対象とした放射線利用に関する普及・啓発事業も、関係機関において積極的に行われている。

放射線総合医学研究所、原子力機構、農業生物資源研究所放射線育種場等の放射線利用施設を有する機関では、放射線利用に関する研究開発活動等を紹介するホームページの公開やパンフレットの頒布、施設見学会の開催等を通じて、一般国民及び関係者の放射線利用に対する理解促進のための活動を行っている。

放射線医学総合研究所では、リスクコミュニケーション活動の一環として、年に2～3回の頻度で、一般国民向けに専門家との対話方式のダイアログ・セミナーを開催し、一般国民の関心が高いテーマを設定して意見交換を行っている。また、宇宙線や自然放射性物質による被ばく線量等について、インターネットを利用して一般国民向けに情報提供を行っている。

(社)日本原子力産業協会では、放射線及びその利用の概要と食品照射に関する情報を一冊にした普及啓発リーフレットを作成・配布する等の普及啓発活動を実施している。

### ○放射線利用に関する教育活動

平成20年3月に中学校学習指導要領の改訂が行われ、「放射線の性質と利用」が取り扱われることとなった。

(財)放射線利用振興協会では、文部科学省からの委託を受け、小、中、高等学校の教員を対象とした原子力・放射線の教育に関する研修事業を行っており、NPO法人放射線教育フォーラム等の関係団体とも協力しつつ、教職員を対象として、学習指導要領に基づいた原子力の現状や放射線の取扱等に関する指導方法の研修を行うとともに、先行して実践されている授業例の紹介等を行うなどの取組を行っている。

また、学校教育への支援として、放射線総合医学研究所、原子力機構では、研究開発施設の周辺にある学校を対象とした出張授業等を行うなど学校教育への支援を行っている。茨城県では、スーパーサイエンスハイスクールにおいて放射線利用施設を使った体験学習の実績もある。

## ③産学官連携の推進

### ○放射線利用に関する研究成果の技術移転、産学官連携の推進

(財)放射線利用振興協会では、文部科学省からの委託を受け、平成18年度より、原子力発電施設等の地元企業等に対して原子力機構が有する研究炉JRR-3を用いて実施する中性子利用実験の計画立案や利用支援を行う「中性子利用技術移転推進プログラム

ラム」事業を実施している。平成 18 年から平成 20 年の 3 年間で、126 研究グループ（173 課題）の支援を実施し、このうち 47 研究グループ（40%弱）が事業終了後も独自に研究炉を利用している。この結果、JRR-3 における全産業利用課題数は 3 倍に増加している。

原子力機構では、産学連携推進部を設置し、民間企業と共同研究等を進める産学官連携活動や、研究開発された技術や特許等を用いて実用化・製品化を図るための技術移転活動を積極的に進めている。放射線利用に関する研究開発を主として行っている同機構高崎量子応用研究所では、民間企業との共同研究等を積極的に行うとともに、地方自治体と共同で開催するシンポジウム等地域の産学官連携によるイベントを通じて、研究成果の報告や技術移転の取組の紹介などを行っている。このような活動を通じて、ハイドロゲル創傷被覆材、改質ポリテトラフルオロエチレン、新規植物活力剤の開発など、放射線を利用した研究開発成果の実用化・商品化を行っている。

（社）日本原子力産業協会は、産学官の関係機関が問題意識を共有し、協力・協調して放射線利用に係る普及活動を行うための「量子放射線利用普及連絡協議会」を設置、相互の情報交流、連携・協力を行っている。

#### ○重粒子線がん治療装置等に関する技術移転、産学官連携

重粒子線がん治療装置については、放射線医学総合研究所で研究開発された重粒子線がん治療装置に係る技術を用いて、群馬大学や佐賀県鳥栖市に小型化かつ低コスト化した普及型の重粒子線がん治療施設の実証機の建設が進められるなど、円滑な技術移転が進められている。

群馬大学は、放射線医学総合研究所における研究開発の成果を踏まえ、平成 18 年から普及型重粒子線がん治療装置の第 1 号機の建設を行い、平成 22 年 3 月に治療を開始している。放射線医学総合研究所は、建設に際して必要となる技術的な支援とともに、治療に必要となる放射線治療医、医学物理士等の人材養成等の支援も行っている。

佐賀県では、我が国で初めて、民間を事業主体とする重粒子線がん治療施設「九州国際重粒子線がん治療センター」（SAGA HIMAT）を建設するプロジェクトが進められている（平成 25 年春に開院予定）。佐賀県が中心となって企画し、地域経済界が中心となって資金調達を行い、地元大学が、医療関係人材を育成・確保し、放射線医学総合研究所は専門家派遣、人材育成等の支援を行うなど、産学官の緊密な連携により、プロジェクトが着実に進行している。

これらの取組は、研究開発機関で開発された技術が、円滑に民間等へ移転された良好な事例であり、この際に、研究開発機関で研究開発に携わってきた人材が、技

術移転段階において中核的人材となり重要な役割を果たしている。

#### ④放射線利用技術の高度化に向けた国の支援策

文部科学省では、我が国の原子力研究の裾野をひろげ、効率的・効果的に基礎的・基盤的研究の充実を図るため、平成20年度より公募事業「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」を創設している。本事業では、政策ニーズを踏まえた戦略的な3プログラムを設定し<sup>7</sup>、プログラムごとにテーマを設定して研究の公募を行っている。プログラムの1つである「戦略的原子力共同研究プログラム」では、放射線影響や放射線利用に関するテーマとして、平成20年には「放射線による影響・リスク評価技術の高度化」、「放射線利用による医療技術の高度化」、「量子ビームを利用した新素材や加工・計測技術の開発」及び「放射線利用による食品安全への貢献」、平成21年には「環境放射線・被ばく線量の評価に係る安全研究」及び「量子ビームを利用したライフサイエンスへの貢献」のテーマを設定して公募を行い、研究開発を進めている。また、その他のプログラムにおいても放射線利用に関する課題が提案され、採択されている。

#### ⑤科学技術活動に貢献する先端的な施設・設備の整備

我が国が国際競争力のある科学技術活動を行うためには最先端の施設・設備の整備が重要であり、独立行政法人理化学研究所（以下単に「理化学研究所」という。）、原子力機構、放射線医学総合研究所等の研究開発機関において、科学技術活動に貢献する世界最先端の施設・設備が整備されている。現在、大型放射光施設（SPring-8）、大強度陽子加速器施設（J-PARC）、RI ビームファクトリー（RIBF）、重粒子線がん治療施設（HIMAC）などが稼働している。また、X線自由電子レーザー（XFEL）については、平成23年度中の供用開始を目指して施設の建設が進められている。

##### <大型放射光施設（SPring-8）>

世界最高性能の放射光を発生・利用することができる施設で、兵庫県播磨科学公園都市に設置され、平成9年10月より供用を開始した。主に物質の種類・構造・状態の解析や材料の加工に用いられ、材料科学、地球科学、生命科学、環境科学及び医学利用などの様々な分野で学術研究・産業応用等の幅広い分野で利用されている。平成21年6月時点で、延べ利用者人数が10万人に達し、施設の産業利用も20%を推移しているとともに、施設を利用した研究に関する論文が著名な学術誌に多く掲載さ

<sup>7</sup> 「戦略的原子力共同研究プログラム」、「研究炉・ホットラボ等活用研究プログラム」、「若手原子力研究プログラム」

れるなど一定の成果があがっている。

#### <X線自由電子レーザー（XFEL）>

高輝度、高空間分解能、高時間分解能のX線レーザーを発振する施設で、SPring-8に隣接する場所に、平成23年度中から供用開始を目指して整備が進められている。化学反応の超高速動態・変化の観察や、結晶化が難しい膜タンパク質の構造解析など、従来の放射光施設では観察できなかった現象、物質の計測・分析を可能とする。今後、ライフサイエンスやナノテクノロジーなど最先端の科学技術分野、産業分野等での活用が期待される。

#### <大強度陽子加速器施設（J-PARC）>

世界最高レベルのビーム強度を有する陽子加速器施設であり、陽子ビームから得られる多彩な二次粒子（中性子、ミュオン、中間子、ニュートリノ等）を用いて、物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理等の基礎科学から産業応用までの幅広い研究開発が行われている。施設は、リニアック、3GeVシンクロトロン、50GeVシンクロトロンの加速器施設と、物質・生命科学実験施設（MLF）、原子核・素粒子実験施設、ニュートリノ実験施設等の加速器からのビームを利用する施設で構成されており、茨城県東海村の原子力機構原子力科学研究所に設置されている。MLFでは、3GeVシンクロトロンの陽子ビームから得られる中性子・ミュオンにより、物質、生命科学等の研究が行われている。原子核・素粒子実験施設、ニュートリノ実験施設では、50GeVシンクロトロンの陽子ビームから得られる二次粒子を利用した研究を行っている。平成21年度までにすべての施設が稼働開始しており、今後は陽子ビーム出力の向上を図る予定である。

#### <RI ビームファクトリー（RIBF）>

水素からウランまでの全元素の同位元素を世界最大の強度でビームとして発生させるための施設であり、埼玉県和光市にある理化学研究所和光研究所に整備が進められている。「RI ビーム発生系施設」と、発生系施設で生成したRI ビームの各種精密測定及び利用実験に用いる「基幹実験設備」から構成される。「RI ビーム発生系施設」は、平成18年度までに整備が完了し、ウランイオンの加速によるRI ビーム生成に成功した。「基幹実験設備」は、平成19年度より順次、施設の整備を行っている。RIBFでは、新たなRI ビームの解析・利用により、基礎科学（核図表の拡大、新たな原子核モデル構築、元素起源の解明等）から応用利用（炭素-9による新たな重粒子線がん治療、分子イメージング、高レベル放射性廃棄物核種の核データ、イオンビーム育種、RI 製造等）までの幅広い分野における成果が期待されている。



### ＜重粒子線がん治療装置（HIMAC）＞

優れた線量集中性、強い生物効果を有する重粒子線（炭素イオン線）による放射線がん治療の臨床研究を行うための装置で、放射線医学総合研究所に設置されている。平成 6 年より臨床試験を開始し、「固形がんに対する重粒子線治療は平成 15 年より高度先進医療、平成 18 年に先進医療としての承認を受け、治療を行っている（平成 21 年度末までに 5000 人を超える治療実績がある）。

なお、治療が行われていない夜間は研究開発に供されており、生物、物理、治療装置等に関する幅広い研究が行われている。

### ⑥地域産業による施設の有効活用の促進

茨城県は、サイエンスフロンティア 21 構想の下、J-PARC を核にした先端産業地域の形成に向け、県独自のビームライン<sup>8</sup>を整備するとともに、中性子の産業利用を推進するための産学官による連絡協議会や産学協同研究施設を設置するなど、産学官の連携を通じた取組を積極的に行っている。同県では随時の課題募集、秘密保持の規定等の整備、産業利用に適した申請システム等の取組を通じて産業利用の促進を図っており、県独自のビームラインを使用した研究課題については、平成 20 年度から平成 21 年度までの期間に約 100 件の課題を採択している。

「茨城県中性子利用促進研究会」では、産学官のセミナーの開催や中性子を利用するモデル実験を実施するなどの試みが行われている。「県内中性子利用連絡協議会」では、県内企業の中性子利用促進とともに、中性子関連の産業の育成に資するため、中性子利用に関する技術情報、利用成果、周辺機器開発等の情報提供や情報交換が行われている。「中性子産業利用推進協議会」では、全国の産業界の意見を集約して、J-PARC などの中性子の産業利用を推進するとともに、産業界が利用しやすい仕組みや施設の充実について国等へ提案する取組が行われている。

また、県立の産学協同研究施設「いばらき量子ビーム研究センター」を J-PARC の近くに設置し、産学官連携の拠点として活用している。

佐賀県では、国の支援を得つつ、地方自治体として初めて産業利用を主な目的とする放射光施設を設置し、平成 18 年より施設の供用を行っている。県有ビームライン 6 本と、大学、企業などの他機関のビームライン 3 本が設置され、県有ビームラインは、企業、大学、県の公設試等により利用されている。同施設では地域産業に資する利用として、放射光を利用した陶器の絵具・釉薬開発、緑茶の産地識別、魚群識別等による海産資源管理への応用等の地域の特色を生かした研究が行われてい

<sup>8</sup> 茨城県は、J-PARC に茨城県材料構造解析装置（iMATERIA）、茨城県生命物質構造解析装置（iBIX）のビームラインを設置

る。

## （２）「各分野における進め方」に関する取組状況

### ①科学技術・学術分野

#### ○放射線を利用した基礎研究

放射線を利用した最先端の基礎研究が、原子力機構、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（以下単に「高エネルギー加速器研究機構」という。）、理化学研究所等の研究開発機関、大学等で行われている。

原子力機構及び高エネルギー加速器研究機構は、茨城県東海村に設置した大強度陽子加速器施設（J-PARC）に、原子核・素粒子実験施設、ニュートリノ実験施設、物質生命科学実験施設などを設置し、世界最先端の研究を行っている。平成 22 年に、J-PARC のニュートリノ実験施設において人工的に発生させたニュートリノを、約 295km 離れた岐阜県飛騨市神岡町の検出器スーパーカミオカンデにおいて検出することに成功するなど研究成果を生み出している。

その他、原子力機構は、J-PARC、JRR-3 等から得られる中性子線や SPring-8 の放射光の利用により、高温超伝導、負の熱膨張の要因となる局所ナノ構造などの物質構造の解明に関する研究、宇宙進化機構の解明に資する強誘電性氷の研究、高強度レーザーを使った光速飛翔鏡やレーザープラズマによる新たな量子ビーム源開発に関する研究など広く基礎科学分野の発展に資する研究を行っている。また、原子力機構では、ポジトロン放出核種を用いたイメージング技術により動植物内における化学物質の動態を定量的に解析するなど、幅広く放射性同位元素を活用した基礎研究を行っている。

理化学研究所では、RI ビームファクトリー（RIBF）を用いて、これまでに発見されていない放射性同位元素を発見し、その性質を調べる研究を行っており、核図表への新たな知見の反映、新たな原子核モデルの構築、元素起源の解明、新たな RI 利用技術の発展等に資する研究開発を行っている。この研究の中で、平成 16 年に超重元素 113 番元素の生成に世界で初めて成功し、国際純正・応用化学連合（IUPAC）に新元素命名権を申請した。これは、新元素として登録されるとアジア初の新元素発見となる。

大学等においては、リン-32、硫黄-35、カルシウム-45 などの汎用の放射性同位元素がトレーサ実験やイメージング等に利用されるなど、放射性同位元素が多様な分野の基礎研究に幅広く活用されている。

#### ○共用・支援体制の整備等

（特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律による先端研究施設の共用の促

進)

SPRING-8、J-PARC 中性子線施設等の大型先端研究施設については、多様な研究等の活用により、その価値を最大限に発揮することが望ましい。この観点から、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律（以下「共用促進法」という）」に基づき、施設の設置者は、施設の建設・維持管理を行い、これを研究者等の共用に供するとともに必要な支援を行うこととしている。

SPRING-8 では、理化学研究所が施設の維持・管理を行い、研究者等の共用に供するとともに、共用促進法に定められる「登録施設利用促進機関」に登録されている（財）高輝度光科学研究センターが利用者選定業務および利用支援業務を行っている。現在、52 本のビームラインが整備されており、大学、研究開発機関及び企業の研究者は、理化学研究所が整備した共用ビームラインを利用して研究を行う他に、大学、研究開発機関及び企業自らが専用のビームラインを整備して研究を行っている。

J-PARC 中性子線施設においては、現在、原子力機構が施設の維持・管理、共用の業務を行っている。また、平成 23 年度中に共用促進法に基づく共用の開始に向け、共用のためのビームラインの整備等を進めているところである。

#### （国の事業による研究施設の共用の促進）

大学、独立行政法人等の研究機関が有する先端的な研究施設・設備を幅広い分野において活用し、科学技術活動全般の高度化を図ることを目的として、文部科学省は、利用ニーズがあり、更なる共用が見込める等の要件を満たす施設を所有する事業者を対象に補助金を交付する「先端研究施設共用促進事業」を実施している。補助を受けた事業者は、外部の利用者に提供できる適切な利用時間を確保し、利用課題の募集・選定を行い、選定された利用者に対して、施設を提供するとともに必要な技術的支援等を行うこととしている。

なお、当該補助事業において放射線利用施設としては、京都大学のタンデムおよびシングルエンド加速器、筑波大学のタンデム加速器、大阪大学激光XII号レーザーシステム、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の放射光科学研究施設（フォトンファクトリー）、原子力機構高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設（TIARA）、原子力機構原子力科学研究所のJRR-3等が対象となっている。

#### （研究開発機関による研究施設の共用の促進）

研究開発機関は、それぞれ独自に施設を機関以外の者の利用に供するための取組を進めている。

原子力機構では、上述したJ-PARCやTIARA、JRR-3のほか、原子科学研究所のJRR-3、4、タンデム加速器、放射線標準施設、大洗研究開発センターの材料試験炉、高崎量

子応用研究所の電子加速器、コバルト-60 照射施設、関西光科学研究所の光量子科学研究施設、放射光科学研究施設等について、施設共用の促進を行っている。

放射線医学総合研究所においては、重粒子線がん治療装置（HIMAC）を、治療に用いない夜間に生物・物理分野の研究、治療機器の研究開発等に供すとともに、放射性同位元素の製造に用いている 3 台のサイクロトロン、PIXE 分析装置、ラドン・トロンバク露実験施設等を共用施設として、外部利用者の利用に供している。

## ②工業分野

### ○放射線を利用した研究開発

放射光や中性子線による加工・測定技術、新規材料の開発・評価等が行われている。

原子力機構では、熱・放射線 2 段グラフト重合技術により燃料電池用の高耐久性電解質膜の開発を行うとともに、中性子ラジオグラフィによる燃料電池の機能解析、放射光による触媒機能の解明等の研究開発が行われている。また、中性子回折による残留応力解析技術が、産業界ニーズに対応するために開発され、研究炉 JRR-3 において供用されている。

（財）放射線利用振興協会は、原子力機構の研究炉において、パワーデバイス用のシリコン半導体へのリンのドーピング技術の開発を行っている。ドーピングは従来化学的な方法により行われていたが、中性子線照射ではより均一で性能の良い半導体を製造できることから、有効な方法として注目されている（世界において中性子照射により製造されている半導体は 2004 年推計で年間 160 トン。我が国では JRR-3 を利用して 5 トン製造している。JMTR において再起動後に現状の 3 倍の量の生産をするための検討も行われている）。

### ○技術移転、産学官連携、民間による先端施設利用

研究協力の推進、円滑な技術移転、民間による先端施設の利用等の連携・協働活動については、別項で紹介したように、原子力機構や茨城県等における取組事例がある。

### ○放射線、放射能標準技術

各種放射線の標準照射場、放射性同位元素の放射能標準を整備・維持することは、放射線や放射性物質の正確な測定を行い、放射線作業従事者の線量管理や、放射線診断・治療における線量の管理、工業製品への正確な照射など、各分野において安全かつ適切に放射線利用を行う上で、極めて重要な取組である。

産業技術総合研究所では、X 線、 $\gamma$  線、 $\beta$  線、中性子線などの標準照射場を整備

し、一次標準を維持するとともに、二次標準器の校正サービスを提供している。一次標準に関する取組としては、放射能絶対測定装置群を用いて 60 以上の核種の放射能標準の維持・供給を行ったり、放射線、放射能標準の供給と高度化に関する研究開発を行っている。また、近年重要度を増している診断・治療技術の高度化に寄与するため、I-125 シード線源やマンモグラフィ用の軟 X 線標準等の開発と整備を進めている。

原子力機構では、放射線標準施設を設置し、放射線測定器の校正及び特性試験を行うとともに、測定器や線量評価に関する研究開発を行っている。

### ③医療分野

#### ○放射線、放射性同位元素を利用した研究開発

(放射線を利用した診断・治療技術の高度化)

放射線医学総合研究所では、1994 年より炭素線を用いた重粒子線がん治療の臨床研究を開始し、平成 21 年度末までに 5000 人を超える治療を行い、放射線を利用した治療技術の開発研究を行っている。この結果、適応疾患の拡大、治療期間・回数の短縮化、呼吸同期照射などによる患部以外の被ばくの低減等が図られるなど治療技術の高度化が進められている。

また、同研究所の技術を元に開発されたよりコンパクトでコストパフォーマンスに優れる重粒子線がん治療装置の普及機が、群馬大学に建設され、平成 22 年 3 月から治療を開始している。また、平成 25 年春の開院を目指して、計画が進められている佐賀県鳥栖市の「九州国際重粒子線がん治療センター」に同様の普及機が導入されることとなっており、この装置にはより高度なスキャンニングビーム技術が将来的に採用される予定である。

1960 年代より、原子炉から得られる中性子を利用したホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の臨床研究が行われており、2009 年 1 月までに 500 件を超える臨床治療が行われている。京都大学原子炉実験所の KUR、日本原子力研究開発機構の JRR-4 等の研究炉が照射場として利用されてきている。また、治療技術の高度化のため、BNCT 用のホウ素薬剤や加速器を用いた中性子源等に関する研究開発が行われている。

原子力機構では、医療用加速器の小型化を目指し、レーザー駆動の陽子線加速器の開発を行っており、20MeV の加速に成功している。また、同機構では、イオンマイクロビームを用いたマイクロ PIXE 分析により、肺組織内のアスベストの検出法を開発している。また、量子ビームを創薬に活かす研究として、元素に対する感度の異なる中性子と放射光を相補的に使った生体高分子の構造解析による新規治療法や効果の高い薬剤の創出に資する取組を行っている。

（放射性同位元素を利用した診断・治療技術の高度化）

放射線医学総合研究所では、ポジトロン断層撮像法（PET）中心としたがんの診断、精神・神経疾患の病態解析のための標的分子の探索、高比放射能のプロープ製造、イメージング計測技術、基礎・臨床研究などの分子イメージング技術の開発を行っている。また、亜鉛/銅-62 ジェネレータ、短寿命核種以外の中半減期核種である臭素-76 及びヨウ素-124、金属核種である銅-61・64 及び亜鉛-63 など新規診断薬研究に向けた製造開発を行っている。

原子力機構では、銅-64 を標識したがん治療薬の開発などの新規の診断・治療用放射性同位元素の開発、放射性同位元素の摂取による内部被ばく線量評価のデータベースの構築、量子ビームを使った創薬に資する研究等を行っている。

米国核医学会の MIRD（Medical Internal Radiation Dose）委員会が開発した線量評価法（MIRD 法）に基づく被ばく評価用核種データベースは、核医学診断等における被ばく線量推定の世界標準データベースとして世界中で利用されているが、平成 20 年の改訂版の作成にあたり、原子力機構は、DNA レベルでの線量計算にも対応できる詳細データの追加などにより、これに貢献している。

#### ○放射線治療の情報の共有（医療、教育の場）

（財）医用原子力技術研究振興財団では、原子力の技術を用いて行われる粒子線等によるがんを初めとする各種疾病の診断・治療に関して、国民や関係者への理解促進活動等を行っている。全国を対象とした講演会の実施や広報誌の発行を行っているほか、医学部大学生等が主催する、放射線医学への興味・関心を高めるための「放射線医療施設の見学ツアー」への支援・協力を行っている。

#### ○関係団体と現場の医療関係者等との連携等による、診断・治療による患者の被ばくの適正化・指針の策定等

（診断による患者の被ばくの適正化・指針の策定）

我が国では、診断参考レベル（診断に最適な線量）は規制に取り入れられていないが、関連学会や技師会等から個別にガイドラインが出されている。世界では、患者の線量の目安となる診断参考レベルを規制に取り入れている国もある。

WHO の Global Initiative は、昨年からは医療放射線防護の実践に向けて取組をはじめており、これに対応するため、放射線医学総合研究所が中心となって、オールジャパンとして対応可能なハブ的母体としてのネットワークを立ち上げている。また、日本核医学会、放射線医学総合研究所、その他の研究機関が連携して、医学研究の被験者の放射線防護の考え方を取りまとめる研究活動も継続されている。

厚生労働省では、平成 19 年度より、厚生労働科学研究費補助金研究事業において、

医療機関において患者の被ばく線量を簡便かつ安価に計測する手法の検討、全国の医療機関のエックス線CTに関する医療被ばくの現状把握等を行い、診断参考レベルの導入に向けた調査研究を実施している。今後、医療放射線被ばくの最適化を行うためには、医療被ばく関連データ、生物学的・疫学的知見の収集・蓄積が必要である。

#### （放射線治療の精度向上）

（財）医用原子力技術研究振興財団では、放射線治療の精度向上に資するため、全国の医療機関の放射線治療機器の線量計の校正、放射線治療機器の出力線量測定を実施している。線量計の校正事業では、全国の放射線治療施設（721 施設）の 98.5%に相当する 710 施設の線量計校正を実施している。世界の先進国のほとんどが治療用出力線量の外部監査を実施している中で、我が国は未実施の国であったが、2007 年 11 月より実施国として国際的に認められている。

#### ○医療用アイソトープの安定供給

核医学診断で利用件数が最も多い放射性医薬品（テクネチウム製剤）の原料である放射性同位元素モリブデン-99 については、我が国はその 100%を輸入に依存している。（世界のモリブデン-99 市場において、我が国の需要は世界需要の約 1 割を占める）。モリブデン-99 の 9 割以上は、世界にある数基の原子炉により担われているが、一部の原子炉の故障等により、世界的なモリブデン-99 の供給不足が生じている。また、いずれの炉も老朽化しており、さらに深刻な事態が起き得ることが想定される（カナダの NRU が 7 月末、オランダの HFR が 8 月頃に再起動予定であること、南アフリカやオーストラリア等の炉では増産を予定していることなどを踏まえると、今後、短期的にはモリブデンの供給危機が緩和する方向にあると予測される）。

このような状況の中、これまで世界のモリブデン-99 の約 4 割（平成 20 年 7 月時点）を供給してきたカナダの要請を受け、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）は、各国の原子炉運転者、放射性医薬品の製造・販売業者、行政関係者等を集め、供給問題についての議論を行うワークショップを平成 21 年 1 月に、専門家会議を同年の 6 月、12 月に開催した。この会議には、文部科学省及び（社）日本アイソトープ協会が我が国の代表として参加している。この会議では、モリブデン-99 の製造を行っている原子炉が同時に停止することのないように国際的に連絡を取りつつ、より一層の連携を行っていくことの重要性や、供給構造の脆弱性に関する検討の必要性、国の保健機関等のより強い関与の必要性などが指摘された。

平成 21 年 12 月に行われたアジア原子力協力フォーラム（FNCA）大臣級会合においても、この課題が討議され、決議において、「研究炉に関して、既存炉及び計画中的の新

設炉の効率的活用、それらによるアイソトープ（モリブデン-99を含む）の製造・供給に関するネットワークを含めた連携協力の可能性を検討する。」との旨、言及されている。また、平成22年3月に行われた同コーディネータ会合では、研究炉ワークショップ（平成22年7月中国で開催予定）においてこれらの問題について具体的に協議し、アジア・オセアニア地域のアイソトープ供給のためのロードマップ作りを行っていくことが合意された。

放射性医薬品を供給する製薬企業においては、医療機関等の理解を得ながら、厚生労働省等の関係省庁や、（社）日本アイソトープ協会と連携・協力し、代替検査方法の有無を勘案して、当該放射性医薬品を用いた検査以外の代替検査法が見当たらない検査については供給を確保しつつ、代替検査法があるものについては代替検査を実施するなどの対応を行っている。この結果として、当該放射性医薬品を用いた検査の約80%を確保しつつ、他の放射性医薬品による核医学検査や他の検査方法に代替するなどして、医療現場への影響を軽減している。また、製薬企業では、調達ルートの多様化による安定的調達を図るとともに、国内では、病院に供給するジェネレータの数を制限し、製薬企業で集中的にモリブデン-99 からテクネチウム製剤を製造・頒布することにより効率的にモリブデン-99 を使用する等の対応を行っている。なお、近隣アジア諸国との供給ネットワークの構築については、放射性同位元素の供給に携わる日中韓の関係者間での検討・議論が行われている。

原子力機構では、平成23年度より再起動予定の材料試験炉（JMTR）を使って、現在主流の高濃縮ウランの核分裂反応による製造方法に代替する方法として、天然もしくは濃縮モリブデン-98の放射化法によりモリブデン-99を製造するための研究開発を行っている。この方法は、現在主流の高濃縮ウランの核分裂反応による製造方法に代替する方法であり、核不拡散上の懸念のある高濃縮ウランを使用しないこと、生じる放射性廃棄物の量が少なく、低コストで製造できる等のメリットがある。一方で、比放射能（モリブデンの同位体全体に占める放射性同位元素モリブデン-99の割合・濃度）が低いことなど、同原料を用いて既存の放射性医薬品と同等のものが製造可能かどうかといった技術的課題などがある。現在、この課題を克服するため、アジア原子力協力フォーラム（FNCA）のテクネチウム-99mジェネレータプロジェクトで開発されたPZC（Poly Zirconium Compound）吸着材を用いて、テクネチウムを効率的に抽出し、製剤を集中的に製造して病院に頒布することが検討されている。現在、原子力機構が、インドネシアと共同で、実用化に向けてPZCの耐放射線性等の性能試験を行っている。

なお、JMTR等の国内の研究炉等でモリブデン-99を製造する場合、新たに製造施設を整備する必要があり、費用確保の課題がある。



#### ④その他の分野

##### 〈農業〉

##### ○放射線育種等

独立行政法人農業生物資源研究所の放射線育種場では、放射線育種技術の開発と品種改良、突然変異が生じるメカニズムを明らかにする研究、大学との放射線育種場共同利用運営などによる共同研究、大学、民間企業、研究開発機関等からの依頼照射等を実施している。2008年現在、我が国で生み出された突然変異直接利用品種242種のうち、放射線育種場で品種改良を行ったものが100種を占めるなど大きな成果を出している。菊やバラなどの花卉類、耐病性のナシ、リンゴ等の果実類、腎臓病患者のためのタンパク質の含有量が低いコメなど、多数の品種改良を行い、国民生活に大きな便益を与えている。近年は、韓国、マレーシア、ベトナム等のアジア諸国の $\gamma$ 線照射施設による突然変異育種への期待が大きく、50年近い実績を有する我が国の技術協力への期待が高まっている。

原子力機構では、イオンビームを用いた育種技術による新種のキクなどの花卉やN0x高吸収化オオイトビ等の新品種開発が行われている。

その他に、原子力機構では、ポジトロンイメージング技術を利用した植物機能の定量的解析、かにの殻などの海産資源を放射線加工して農作物の活力剤の製造等の農業に関する研究開発が行われている。

##### ○不妊虫放飼法

沖縄県、鹿児島県の奄美群島には、さつまいもに重大な害を与えるアリモドキゾウムシおよびイモゾウムシが生息している。現在は、これら害虫の未発生地域への蔓延防止のため、宿主となる植物の移動の禁止または制限の措置がとられている。

農林水産省では、これらの害虫の発生地における農業生産振興とともに、未発生地域への蔓延を防止するため、放射線を用いた不妊虫放飼法による根絶に向け、特殊病虫害根絶事業を行っている。

また、既にこの方法によって根絶が達成されたウリミバエについても、不妊虫放飼法による再侵入防止事業を継続している。

##### 〈資源・環境〉

##### ○放射線を利用した研究開発

放射線照射による有害物質の分解・除去技術の開発、有害物質除去あるいは資源捕集のための材料の開発、ハイブリットカーの電池の材料の開発など、放射線を利用した環境・資源問題の解決に資する技術開発等の取組が行われている。

有害物質の除去に関しては、原子力機構において、ダイオキシン等の環境汚染物質

を電子ビームにより分解・除去する浄化プロセスの開発が行われている。また、希少金属あるいは有害金属を選択的に吸着できる分子を基材に結合させるグラフト重合技術の開発も行われている。この技術は、汚染物質の除去による環境浄化、海水中からのウラン捕集などの有用資源回収など、資源・環境分野における多様な利用が期待されている。電子線を利用した橋かけやグラフト重合により、高性能の燃料電池膜に関する技術開発が期待されている。また、中性子照射により製造される電力損失の少ない高性能シリコン半導体部品は、ハイブリットカー等の性能向上に貢献することが期待される。

#### ＜食品照射＞

国際食品規格委員会（コーデックス委員会）は 10kGy 以下の照射食品の一般規格（コーデックス規格）を 1983 年に採択した。また、2003 年「最高吸収線量は、正当な技術目的を達成するのに必要な場合を除き、10kGy を超えるべきではない。」とする規格の改定案が採択されている。

我が国では、平成 18 年 9 月に原子力委員会食品照射専門部会の報告書が取りまとめられ、同 10 月に原子力委員会にて同報告書の考え方を尊重すべきものとする決定を行った。同決定では、関係省庁において、「食品安全行政の観点からの判断等」、「検知技術の実用化等」、「食品照射に関する社会的受容性の向上」の取組が進められることが必要であるとしている。

平成 18 年 12 月、厚生労働省薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会において、食品安全行政の観点から食品への放射線照射について検討することが了承された。これを受けて、科学的知見の収集及び消費者の意見等について外部機関に調査を委託し、その結果をもって部会で検討していくことが了承された。今後、部会での検討に資するよう、当該調査結果の取りまとめ等を行っていくこととしている。

なお、食品安全委員会では、平成 21 年度より食品健康影響評価技術研究において、「アルキルシクロブタノン類を指標とした照射食品の安全性解析」を実施している。

また、食品の吸収線量が 0.10 グレイ以下及びジャガイモに発芽防止の目的で照射する場合を除き、食品の製造工程又は加工工程における照射は認められておらず、食品等の輸入時には、照射食品はその旨を届け出ることとされている。

厚生労働省では、平成 19 年 7 月より、熱ルミネセンス（TL）法による輸入香辛料に関する食品照射の検査を開始し、その後も、検知法の開発にあわせて、検査品目を拡大している。また、農林水産省は、同省の委託事業として、事業者が自主管理等で利用できる簡易分析法の開発を行っている。

### （３）「関連分野における基本的考え方」に関する取組状況

#### ①研究施設等廃棄物の状況

研究施設等から発生する低レベル放射性廃棄物（研究施設等廃棄物）は、研究機関、大学、医療機関、民間事業者等の多様な事業所において発生している。その量は、平成 21 年 3 月現在において、200 リットルドラム缶換算で累積約 56 万本であり（うち、約 35 万本は原子力機構）、この処理・処分が課題となっている。

これまで原子力機構では、自らが発生した廃棄物については施設内で保管してきた。また、原子力機構以外で発生する研究施設等廃棄物のうち、RI 廃棄物については、（社）日本アイソトープ協会が集荷し、これを同協会が所有する貯蔵施設に貯蔵している。（将来的に処理施設において RI 廃棄物を、処分に適する性状に処理する予定）

このような背景を踏まえ、平成 20 年 6 月に「独立行政法人日本原子力研究開発機構法」が改正され、処分に係る技術的知見を有し、我が国において最も多くの研究施設等廃棄物を発生している原子力機構が処分業務を実施することとなった。原子力機構は、国が定める基本方針に即して埋設処分業務の実施計画を作成し、平成 21 年 11 月にこの計画の認可を受けており、今後は、この計画に沿って、埋設施設の概念設計、立地基準・手順の作成など処分に向けた取組を、（社）日本アイソトープ協会等の関係機関と協力しつつ進めていくこととしている。なお、同計画では、原子力機構は、安全確保を大前提に、効率的な処分を行うための研究開発を進め、経済性を考慮した合理的な処分の実施に努めることとしている。

#### ②放射線利用に係る人材育成の現状

放射線利用に関わる人材の意識と技術の向上に資するものとして、資格制度、研修等の事業が行われている。

平成 16 年度には、技術士制度に原子力・放射線部門が新設され、試験及び登録が行われている。平成 21 年度末の二次試験合格者数は 343 名となっている。

また、我が国では、法令等に基づき放射線取扱主任者をはじめとする国家資格制度が整備されており、（社）日本アイソトープ協会や原子力機構等の関係機関において、資格取得のための講習が行われている。放射線医学総合研究所では、医療分野や放射線防護分野の人材の育成を行っており、放射線を取扱う医師、看護師、医学物理士、放射線安全管理に携わる実務者等の養成を行っている。

（財）医用原子力技術研究振興財団では、文部科学省の委託事業として、「粒子線がん治療に係る人材育成プログラム」を実施しており、粒子線がん治療に従事する放射線腫瘍医、診療放射線技師、医学物理士等の中核的人材を平成 19 年より 5 年間で 40 名程度育成することを目指し、既存の粒子線がん治療施設等との協働で事業を行

っている。また、同財団では、医学物理士の海外研修支援事業を行っており、毎年 3 名の医学物理士を海外の先進的な放射線診療施設に派遣し、2 週間の期間の研修を行っている。

### ③放射線利用に係る国際協力

#### ○開発途上国との協力

原子力分野におけるアジア地域協力を効果的かつ効率的に推進するために、我が国が中心となって、1990 年に「アジア地域原子力協力国際会議」を創設し、1999 年からは「アジア原子力協力フォーラム」として協力を推進している。毎年、閣僚級会合を開催するとともに、特定テーマに関する協力を進めるための実務者レベル会合を開催し、研究炉利用、ラジオアイソトープ・放射線の農業利用（突然変異育種とバイオ肥料）、医学利用、原子力広報、放射線安全・廃棄物管理、原子力安全文化、人材養成、工業利用の各分野におけるプロジェクトの実施を通して、協力を行っている。

途上国のニーズに合ったテーマを設定し、社会・経済効果のある成果を目指して協力を行っているが、放射線利用分野では、特に貧困の撲滅に資する農業・食糧、医療分野を重要な柱として協力している。この成果として、カニの殻などの海産資源を放射線加工して製造する成長促進剤の開発による農産物の収量向上、放射線育種による干ばつに強いソルガムやダイズ、耐虫性のラン、及び耐病性バナナの開発、子宮頸ガンの放射線治療プロトコルの作成、PET 診断技術の訓練及び診断のための画像・解説集（アトラス）の作成など、途上国のニーズに対応した分野において著しい成果が得られている。加えて、テクネチウム-99m 製剤を我が国で国産化する試みにおける枢要技術として注目されている高性能吸着剤 PZC の開発など、互恵的な協力体制が築かれている。

国際原子力機関（IAEA）では、アジア地域の開発途上国を対象とした、原子力科学技術に関する研究開発等を、締約国間の相互協力及び IAEA の協力により行うことを目的として、「原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定」（RCA）が締結され、協力が行われている。現在、アジア諸国、オーストラリア及びニュージーランドなど 17 カ国が締約国となっており、農業、健康、工業、環境、エネルギー・研究炉・廃棄物管理、放射線防護、一般の 7 分野で合計 30 のプロジェクトが行われている。我が国では、放射線医学総合研究所、群馬大学医学部、原子力機構等がこのプロジェクトに参加している。

#### ○先進国との協力

放射線医学総合研究所は、米国、ロシア、韓国、欧州など、12 カ国 1 地域 22 大

学・研究所及び IAEA と 25 件の協定、覚書を結んでおり、医学、粒子線がん治療、放射線防護、緊急被ばく医療等の研究協力を行っている。原子力機構は、米国、中国、韓国、欧州等と、放射光、加速器、中性子源・利用、RI 応用等の分野での研究協力を行っている。

#### ○国際機関への参加・協力

原子力機構、放射線医学総合研究所等の研究開発機関は、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）、世界保健機構（WHO）、国際放射線防護委員会（ICRP）、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）等への情報提供、専門家派遣等を通じて、国際機関への参加・協力を行っている。また、放射線医学総合研究所は、国際原子力機関（IAEA）の協働センターとして、低線量放射線影響研究、重粒子線治療研究及び分子イメージング研究を推進している。

### 3. 2 関係行政機関等の取組に対する評価

関係行政機関等においては、原子力政策大綱に示す基本的考え方を踏まえて取組が着実に行われており、以下に示すように、これらの取組が、科学技術・学術の進歩、産業の振興、社会の福祉、国民生活の水準の向上等に貢献していると評価できる。

#### (1) 「基本的考え方」に関する取組状況

##### (基本的考え方(分野横断事項))

事業者・研究開発機関等が安全かつ適切に放射線利用を進めることができるよう、国は放射線障害防止法をはじめとする法令等を整備し、事業者は、これらに基づき安全管理体制を整備し、適切に放射線利用を進めている。また、研究開発機関においては、放射線安全にかかる研究開発を進めており、放射線安全・規制関連の機関に対して規制の考え方の根拠となる科学的データの提供等を行っている。

利用者・一般国民の理解促進のための活動については、関係事業者等は、放射線利用技術の理解・普及促進のためのシンポジウムの開催等積極的に活動を行っている。また、平成20年の学習指導要領の改訂に伴い、中学校教育の中で「放射線の性質と利用」を新たに扱うこととなり、国民の放射線利用への正しい理解にも貢献することが期待される。

産学官連携活動に関しては、放射線医学総合研究所の重粒子がん治療技術等の普及等をはじめとして、産学官連携により研究開発成果が積極的に技術移転され、社会に大きな便益を与えている。

放射線利用技術を高度化するための国の支援事業として、基礎的・基盤的研究の充実に図るための公募事業等も着実に行われている。

科学技術活動に貢献する先端的な施設・設備である放射光施設、大強度陽子加速器施設等が整備され、一般利用、産業利用に供する取組も精力的に進められている。

また、地方自治体では、地域産業によるこれらの先端的な施設の有効活用を促進するための技術情報等の提供や利用の支援等の取組が行われている。

#### (2) 「各分野における進め方」に関する取組状況

##### (科学技術・学術分野)

J-PARC や SPring-8、XFEL など世界最先端の科学技術・学術や産業の発展に貢献する最先端の施設・設備の整備・共用が着実に進められている。また、最先端の施設・設備を利用した世界最先端の研究開発が着実に進められており、ナノテク・材料、ライフサイエンス、環境・エネルギー、情報通信等の幅広い分野の発展に貢献している。

#### （工業分野）

放射線を活用した燃料電池用の新素材の開発や新たな解析技術の開発など多くのイノベーションが創出され、これらが円滑に技術移転されることにより、国民生活に大きな便益を与えるとともに、我が国の経済成長に貢献している。

#### （医療分野）

重粒子線治療技術など放射線を利用した診断・治療技術の高度化・普及に向けた取組が行われ、高いQOLを維持できる放射線を利用した医療技術が広く活用され、多くの国民の福祉に貢献している。

#### （その他の分野）

##### ＜農業＞

放射線育種技術により、耐病性の果樹など高付加価値の多くの品種が生み出されており、生産の効率化や食の安全の確保等に貢献している。また、不妊虫放飼法による特殊病害虫根絶事業が着実に行われている。

##### ＜資源・環境＞

中性子照射によるハイブリッドカーの高性能化に資する電力損失の少ない高性能シリコン半導体素子の製造のように二酸化炭素排出低減に貢献する技術や、電子線照射による排ガス浄化技術、有用金属捕集材の開発等、今後の資源確保・環境保護に貢献し得る技術開発が行われている。

##### ＜食品照射＞

原子力委員会食品照射専門部会の報告書に対する原子力委員会の決定を受けて、厚生労働省において食品安全行政の観点から食品照射についての調査審議が行われている。また、食品安全委員会においても、食品に含まれる脂質への放射線照射によって生成するアルキルシクロブタノン類を指標とした照射食品の安全性解析に関する研究が実施されている。

#### （3）「関連分野における基本的考え方」に関する取組状況

##### （研究施設等廃棄物の状況）

研究施設等廃棄物の処理・処分が課題となっていることを踏まえ、平成 20 年 6 月に「独立行政法人日本原子力研究開発機構法」が改正され、原子力機構が処分業務を実施することとなった。原子力機構では、国が定める基本方針に即して作成した実施計画に沿って処分業務に係る取組を進めている。

（放射線利用に係る人材育成の現状）

放射線取扱主任者をはじめとする放射線利用に係る人材の国家資格制度の整備とともに、関係機関において研修が行なわれている。また、放射線医学総合研究所において、放射線を取扱う医師、看護師、医学物理士等の養成を行なっている。

（放射線利用に係る国際協力について）

原子力分野におけるアジア地域協力を進めるため、我が国が中心となって創設した「アジア原子力協力フォーラム」の協力枠組みにおいて、農業・食料、医療分野における放射線利用に係る発展途上国への協力が進められている。国際原子力機関（IAEA）においても、「原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定」が締結され、アジア地域の開発途上国を対象とした協力が進められている。

このように関係行政機関等において取組が着実に行われている一方で、財政状況が厳しい中で施設・設備の維持が困難になっていること、一部のアイソトープの供給が不足していること等、一部の分野において課題等が指摘されており、関係行政機関等においてこれらを解決するための適切な対応が必要である。これらについては次章以降で述べる。



## 第4章 放射線利用を進める上での課題等、解決に向けた方策等

原子力委員会では、定例会・臨時会において、関係行政機関等より主な取組状況について聴取し、または有識者のご意見をお伺いした。この中で、一部の分野において課題やさらなる取組の必要性等が指摘され、課題の解決方策や放射線利用を一層進めるための取組等について調査審議を行なった。ここでは、これらの課題等と、これらを解決するために考えられる方策等を紹介する。

### （１）放射線利用に係る施設・設備の整備と共用の促進

#### ①施設・設備の整備・維持・改廃

国の財政状況が厳しくなる中、大学や研究開発機関等では運営費交付金等の削減により、維持/管理/運営が困難な状況にあることが関係者より指摘されている。さらに、施設・設備の中には整備されてから相当の年月が経過し、老朽化が進んでいるものが多いが、改修または代わりの新たな施設を建設することが困難であるなどの懸念も関係者より指摘されている。

大学や研究開発機関等が運営する多額の予算を必要とする大型の先端的・基盤的な研究開発施設については、限られた資源の中で効果的・効率的に研究開発を進める観点から、可能な場合には複数の機関において共同で運用または利活用すること等の検討が重要であると考ええる。

また、大学や研究開発機関等における小・中規模の施設・設備については、放射線利用研究の裾野の拡大や利便性の観点から、ユーザが広く身近に利用できる環境を整備することが重要である。一方で、運営のための資源節約を進める観点では、可能な場合には複数の機関が共同で運営または利活用していくこと等、施設・設備の状況に応じた運営のあり方を検討することも重要である。これらの複数の機関での共同運営等による、施設・整備を身近に利用できる便益の低下と、資源節約が可能になることとのトレードオフの関係を考慮しつつ、施設・設備を効果的かつ効率的に運用することが重要である。

関係行政機関、研究開発機関、大学等の関係者は、緊密に連携して、これらの施設・設備の共同での運営・利活用等をはじめとして、効率的かつ効果的な施設・設備の維持/管理/運営のあり方についての検討を進めていくことが重要である。また、この際に、多様な考え方や知見を持つ人材が交流することにより、新たなイノベーションが創出されることが期待される。

また、この検討を進める際には、これらの施設・設備の産業利用を通してグローバルに戦うための先端的製品の創出に資すること、サイエンスインフラの整備は、広く人材育成や国際貢献にも資することに留意すべきである。

## ②ユーザにとって使いやすい施設・設備の整備、利用制度・支援体制の構築及び利用促進のための活動

原子力政策大綱では、「産学官が連携して活用できる環境の整備や研究者及び開発者にとって利用しやすい柔軟性に富んだ共用・支援体制の整備等に取り組むべきである。」及び、「放射線による新材料の創製技術や新しい加工技術・測定技術等の研究開発成果が産業界で効果的に活用されるよう、これらを周知する活動を強化することが重要である。」としている。

我が国では、共用促進法や、文部科学省の「先端研究施設共用促進事業」等の施設・設備の共用促進を目的とする取組により、研究開発機関等が有する施設・設備の共用のための体制の整備や支援等が行なわれている。

また、研究開発機関の施設・設備を産業界等のユーザが利用し易い環境とするための独自の取組として、利用者に対する支援スタッフの充実、随時・緊急の利用課題受付枠の設定、秘密保持システムの構築、メールインサービスなどの取組も行われている。また、関係機関が、産業界と利用施設のインターフェース機能を担い、実験計画の立案や実験実施の支援などを行う取組も紹介された。先端的な研究開発施設・設備の利用は、一般の産業界にとって馴染みが少なく、利用を行うにあたっての敷居が高い場合も少なくないため、利用のサポートをする組織が重要である。

放射線利用施設・設備の産業利用の拡大を図るため、常に利用者の視点に立ち、ユーザの利便性の高い環境を構築するための取組が引き続き行われること及びそのために国が必要な支援を行うことを期待する。

また、利用経験のないユーザによる施設・設備の利用を促すトライアルユース制度を導入して、潜在的ユーザを掘り起こした結果、施設の利用実績が増加した例も報告されている。今後も関係機関において、このような潜在的ユーザの掘り起こしのためのトライアルユース等の取組を継続・強化するとともに、このような取組に対して国が必要な支援を行っていくことが重要である。

## ③先端研究施設に関する国民理解の促進

国の財政が厳しくなる中、多額の国費を投入して大型の先端研究開発施設を整備・維持していくに当たって、国民の理解を得ることの必要性・重要性がさらに高まってきている。このため、施設の運営・利用に携わる関係者は、施設の意義、役割、必要性、施設利用によって得られる成果等について、可能な限り、国民に説明することに努めるなど、国民の理解を得るための取組の一層の充実を図ることが重要である。

## （２）産学官連携の推進

### ①先端研究開発施設における産学官連携

原子力政策大綱では、「研究協力の推進や円滑な技術移転を進めるための民間による先端施設の利用等の産学官の連携・協働活動を一層推進するべきである」としている。

共用促進法及び「先端研究施設共用促進事業」による施設の共用の促進、トライアルユース制度などの国の支援の下、産業界が大学や研究開発機関等と連携し、先端施設を利用して研究開発を進めている事例や、技術移転が行なわれている事例が報告された。産学官連携を国全体として支援する観点から、先端研究施設の共用等を通じた産学官連携の取組を今後も着実に進めようことを期待する。

また、地方自治体の取組として、研究面や情報面での産学官の交流・連携を図るため、先端研究施設の周辺に、大学、研究開発機関、地域産業界が同居する交流施設を設置している事例も報告された。地方自治体において、こうした先端研究施設や交流施設を産学官の交流・連携の場として、研究協力や技術移転を推進していくことは地域産業振興のために極めて重要であり、今後も地方自治体においてこのような取組を展開していくことを期待する。

### ②放射線医療分野における産学官連携

佐賀県では、県内の肝臓がん死亡率や九州のがん死亡率が全国平均よりも高いことを背景に、民間初となる重粒子線がん治療施設（九州国際重粒子線がん治療センター）建設プロジェクトを、平成 25 年春の開院を目指して進めている。県のイニシアティブの下、地域経済界を中心となって開設資金を調達し、地域の大学が人材育成等の協力を行うとともに、重粒子線がん治療の研究開発を進めてきた放射線医学総合研究所が人材面での協力を行なうなど、産学官連携が良好に進められている先進的な事例といえる。

このように、地方公共団体のイニシアティブの下、地域社会のニーズを真に踏まえて、産学官が緊密に連携し、産学官のリソースを結集して、これらを有効に活用しつつ、放射線利用に関する先端施設等の整備・活用等を通じて、効果的かつ効率的にプロジェクトを進めることは、地域の持続可能な成長に大きく貢献すると考えられる。今後、各地域において、放射線利用施設を核にするなどして、このような地域の持続可能な成長に大きく貢献し、地域の特色を生かした産学官連携プロジェクトが展開されることを期待する。この際に、国や関係行政機関等による技術移転や人材育成等の適切な支援が必要に応じて行われることも期待する。

### ③研究開発の円滑な実用化のための関係機関、関係省庁等の連携

文部科学省等の省庁が推進する基礎的な研究開発や同省庁が所管する独立行政法人における研究開発の成果の実用化を、他の省庁あるいは他の独立行政法人が担当することになる場合に、関係省庁間での連携の不足により円滑な技術移転が難しいという事例が指摘されている。このような研究開発段階から実用化段階への過渡期において、円滑に研究開発成果が技術移転されるためには、関係省庁・関係機関の相互の連携が行われることが重要である。特に、医療分野においては、臨床応用を目指して放射線医薬品、放射線治療に関する研究開発が行われており、研究開発段階から医療現場での臨床段階への円滑な移行のために関係者の連携が重要である。

### （３）放射線源の供給のあり方

核医学診断で利用件数が最も多い放射性医薬品（テクネチウム製剤）の原料である放射性同位元素モリブデン-99については、我が国はその100%を輸入に依存している。この放射性同位元素の9割以上は、世界にある数基の原子炉により担われているが、一部の原子炉の故障等により、世界的なモリブデン-99の供給不足の危機が生じている。また、いずれの炉も老朽化していることから、今後、さらに深刻な事態が起き得ることが想定される。

また、海外の炉の故障以外の事象により供給危機が生じるおそれもある。2010年4月にアイスランドの火山噴火があり、火山灰が拡散したため、欧州各国において飛行禁止措置がとられた。我が国ではこの時点でモリブデン-99の多くを、オランダやドイツ経由で南アフリカから輸入していたため、予定していた当該放射性医薬品を用いた核医学診断の延期が生じる等の影響が生じた。

現在の世界的な供給不足を踏まえて、一部の国では、生産の増強、既設炉により新規に製造を開始、生産炉の建設などの取組が実施・検討されている。これらの動きを踏まえつつ、多様な供給先を確保する取組が行われることも重要である。

一方で、モリブデン-99の半減期は66時間程度、テクネチウム-99mの半減期は6時間程度と短く、世界の生産地から我が国に輸送する際に放射能が減衰することを踏まえれば、国内需要の一部を自国で生産することの可能性についても検討の余地がある。

モリブデン-99の生産方法には、世界各国で既に商用ベースで導入されている核分裂法<sup>9</sup>と、我が国において導入の検討を行っている研究開発段階の放射化法<sup>10</sup>がある。いずれかの方法により、我が国においてモリブデン-99の生産を行う場合、事業化の

<sup>9</sup> 高濃縮ウランまたは低濃縮ウランを原子炉で照射し、核分裂物質からモリブデン-99を取り出す方法

<sup>10</sup> 天然のモリブデンまたは濃縮したモリブデン-98を原子炉で照射し、モリブデン-99を製造する方法

観点では以下のような課題がある。

核分裂法の場合、海外から輸入するモリブデン-99 と同様の品質のものを製造できるため、モリブデン-99 からテクネチウム-99m を抽出するプロセスにおいて放射性医薬品会社は既存のインフラを使用できるという利点がある。他方で、我が国では、ウランを調達し、原子炉での照射を行い、核分裂法によりモリブデン-99 を供給した経験を有する事業者はいない。また、原料である濃縮ウランの確保と、製造に伴い発生する廃棄物の処理等に関する問題が発生する。

放射化法については、現在研究開発段階であること、得られるモリブデン-99 の比放射能が核分裂法と比べて低いこと、新たな製造工程の追加等のインフラ整備が必要となること、新たな製造方法であるため薬事承認が必要となること等の課題がある。

以上のような課題に加え、核分裂法、放射化法のいずれの場合でも、研究炉内の照射設備、照射後のモリブデンの精製のための新たな施設の整備とそのための経費が必要となる。

このような状況を考えると、当面は、供給不足が生じた際に関係機関が連携協力して調整・対応を行なうべきであると考えるが、中長期的には、①既存の供給ネットワークの強化、②国産の可能性の検討及びそのための要素技術開発、③近隣アジア諸国との供給ネットワークの構築など、原料調達手段の多様化を検討することが重要である。

現在、国のモリブデン-99 の供給に関する国際的な会議への参加、研究開発機関における放射化法に関する研究開発、国内における放射性医薬品の供給調整等の対応を行っているが、国が一体となって中長期的な対応を検討する場はない。

今般の政策評価において、この課題については、民間企業の収益に関連することであり国の関与としては限定的とならざるを得ないのではないかと指摘とともに、国民の健康福祉という観点で緊急の対応を要する重要かつ喫緊の課題であり、関係行政機関が連携し、国としての一体的な対応を検討すべきとの意見が多くあった。

このような意見を踏まえ、モリブデン-99 の安定供給を喫緊の課題と捉え、関係行政機関が、産業界、医療関係者、研究開発機関等とともに、モリブデン-99 の安定供給のための対応を早急に検討することが必要であるとする。

#### （４）安全の確保と合理的な規制

海外と比較して放射線利用が進んでいないと見受けられ、その原因の一つとして、規制が問題となっている可能性がある事例が事業者、有識者等から指摘された。

規制当局は、海外の状況等を踏まえ、規制のさらなる合理化が必要であると認められる場合には、安全確保を大前提として、最新の科学的知見にもとづき、関係行政

機関と緊密に連携して十分な議論を行いつつ適切な対応を行うことが期待される。

指摘のあった事例の中には、規制当局として、規制の見直しを行い、既に合理化を図っている例も見られた。これらの取組が今後も継続的に行われることを期待する。

また、事業者等においても、規制のさらなる合理化が必要であると考えられる場合には、規制当局に対して具体的に規制のどの部分を改善すべきかを、具体的な根拠となるデータとともに示すことが期待される。

#### <指摘された事例>

##### <放射性医薬品の審査>

海外で使用されている診断や治療に用いられている放射性医薬品が我が国では使用されていないことが多く、審査に必要な臨床試験に関連する規制が負担であるとの指摘があった。臨床試験については、薬事法、医療法及び放射線障害防止法に基づき実施され、治験薬の輸送も薬事法と放射線障害防止法に基づいて行われるため、複雑な規制のために実施できる施設が少ないとの指摘があった。

薬事審査については、厚生労働省において、新医薬品の承認審査の迅速化や放射性医薬品の審査の合理化のための取組が行われているなど改善が図られてきているところである。現在、放射性医薬品は、科学的に正当な理由が示される場合には、製造販売承認申請資料のうち、薬理作用等に関する一部の資料の添付を省略できるなどの措置が取られている。また、診断用放射性医薬品の特性を考慮した標準的な評価方法を示すための臨床評価ガイドラインを現在作成中である。

##### <放射性廃棄物の処理・処分について>

RI 廃棄物は、一部の特殊な例を除き、その半減期を考慮した規制となっていないこと、一般の産業利用による廃棄物や医療利用による廃棄物など異なる事業から発生した廃棄物の処分には、法規制の区分に応じた施設が要求されることとなっていること等が課題として指摘されている。

これに関しては、文部科学省において、RI 廃棄物の中には、物理的には一定期間の保管により、自然界の放射性物質と同程度の数量・濃度となり得るものや、人の健康への影響が無視できるものもあることから、その処理・処分のあり方を合理的なものとするべく、クリアランス制度の導入など検討が行われてきており、今般の国会で審議が行われた。

##### <放射性同位元素の運搬に関して>

「放射性同位元素等の運搬の届出等に関する内閣府令」（最終改正：平成一七年五月三〇日内閣府令第七〇号）により、B 型輸送物を陸上輸送する場合には、輸送業者

は都道府県公安委員会に対して、当該輸送を一つの公安委員会の管轄する区域においてのみ行う場合には運搬開始の日の一週間前までに、その他の場合には運搬開始の日の二週間前までに輸送の届出をしなければならないとしている。

放射性医薬品のテクネチウム製剤の原料であるモリブデン-99 は、半減期が短いため、製造直後に空路での輸送を行っている。しかし、世界的なモリブデン-99 の供給不足の中、需給状況は刻々と変化しており、生産地から空輸する輸送物の詳細が判明するのは空輸を行う直前とならざるを得ない。一方で、この府令により、都道府県をまたがる輸送では2週間、1つの都道府県内の輸送では1週間前に届出を行うことを要求されており、関係者より円滑な輸送に係る懸念が指摘されている。

これに関しては、各都道府県警察において、上記期限までに届出が行われていれば、その後に輸送物の変更等の事情が生じて、速やかにその旨の届出を受けることにより対応するといった柔軟な運用が図られている。

#### 〈放射性同位元素内用療法を行う病室に関する規制〉

甲状腺がんの治療に適用されているヨウ素-131 の内用療法では、多くの場合3.7GBq以上を患者に経口投与し、500MBq以下になるまでRI治療病室に收容することとなっている。この治療病室は、医療法施行規則に基づく放射線管理が要求される。具体的には、治療に伴い患者の呼気や尿等に放出されるヨウ素-131を同規則で定める濃度限度以内に抑制することが義務付けられており、このための専用の排気・排水設備等を整備しなければならない。近年の財政状況が厳しい中で、大学病院等においてこれらの費用負担の大きい施設・設備を維持・管理することは困難となっており、国内のRI治療病室は減少傾向にある。そのため、国内で治療できない人が海外に渡航する等の事例が報告されている。これに関しては、関係者より運用の改善や同規則の規制緩和、適切な予算措置等を求める指摘があった。

平成22年度診療報酬改定に際し、放射線治療病室管理加算や放射性同位元素内用療法管理料が引き上げられており、RI治療病室の維持管理の負担が軽減されつつある。

また、500MBq以上のヨウ素-131を投与する治療として、甲状腺がんに対する全甲状腺切除後に、1110MBqのヨウ素-131を投与することで、再発リスクを低減する治療が欧米で行われている。我が国では放射線治療病室が不足しているため普及が進んでいないが、現在、厚生労働省と日本核医学会において、1110MBqのヨウ素-131を外来で投薬を行った後、患者や患者の家族に十分な説明と指導を行うことにより外来治療できるよう制度を整えつつあり、今後、この件について、通知により指針を示す予定である。

## （５）放射線利用に対する理解促進のあり方

放射線利用技術には、技術的優位性、固有の特長を有している一方で、その利用が進みにくい側面もある。この原因の一つとして、潜在的な利用者の、効用と安全性についての理解不足が指摘されている。

例えば、食品照射のように、放射線利用技術が活用できる分野において、活用が十分進められていないところもあり、社会への技術情報の提供や理解活動の不足等が課題として指摘されている。また、中性子ビームの産業利用についても利用者の増加などの一定の成果が得られてきているものの、潜在的な利用者である産業界の理解が不十分であり、技術情報や効用と安全性に関する理解の不足を解消するための活動の一層の充実の必要性が指摘されている。

このような課題に対して、関係行政機関等は、放射線利用が身近なところで行われており、その便益が日常生活を豊かにするために多大な貢献をしていることをアピールしつつ、さらに理解促進のための取組を行うことが重要である。

また、中学校学習指導要領の改訂により、「放射線の性質と利用」に関する教育内容についても取り扱うことになり、学校教育を通して、国民の放射線利用への理解を促進していくことが期待される。これらの教育が効果的かつ着実に実施されるよう、教員の研修、副教材の作成、出前授業等を含めて、原子力関係者のさらなる協力・支援、地方公共団体等の関与を期待する。その際には、放射線利用により社会に便益が与えられていることのみならず、放射線に関する科学的知見も理解されるよう配慮することが期待される。

## （６）人材育成・確保のあり方

### ○専門人材の育成・確保

放射線医学総合研究所、原子力機構等の研究開発機関から、法人の予算及び人員の減少に伴う専門人材の不足が指摘されている。また、一部の分野では、研究開発や施設運営に関わる人材の高齢化が進み、今後、後継人材の育成・確保が課題となっている。特に、放射線医療分野の人材、先端的な施設の産業利用を支援する人材等の不足が指摘されている。

### （放射線医療人材）

我が国には700台を超える放射線治療装置があるが、治療計画作成や線量評価などの業務に従事する医学物理士認定者は約460名（2009年11月）で、多くの施設では医学物理士の資格を有する診療放射線技師が兼任するなど、専任で放射線治療の品質管理業務に従事する医学物理士が少ないことが指摘されている。これを解決する方法として、広く理工系人材から医学物理士を希望する人材を募り、育成していくこと



が提案され、一部の機関で実施されている。しかし、課題として、医学物理士が国家資格化されておらず（現在は学会認定）、経済的な事情により病院側での雇用が困難であることや医学物理士の品質管理業務に対する理解不足が指摘されている。

また、一般の放射線治療装置よりも高度な専門性が要求される粒子線がん治療に従事する医学物理士については、育成できる機関が限られており、育成・確保が容易ではない。関係機関が連携・協力して、粒子線がん治療施設の建設計画とあわせて、計画的に人材を育成・確保することが重要である。

#### （先端施設の利用支援人材）

先端施設の共用をさらに進めていく上で、利用者への利用支援の充実が必要であり、このための人材の育成、確保が課題として指摘されている。

これを実施していくためには、施設の共用を供する機関において、施設の共用が機関のミッションとして位置づけられ、かつ、職員の利用支援業務が職務として確立されることが重要である。また、高度な研究に資する利用支援を行う場合には、研究者が利用支援業務を行うこともあり得ることから、研究者の利用支援業務についても適切に評価されるなどの柔軟な仕組みを構築することが重要である。

### （７）放射線利用に係る国際協力

#### ○開発途上国協力

食糧・農業、医療、工業分野における放射線利用は途上国の貧困削減、福祉、生活水準の向上に直接役立ち、我が国の貢献が特に期待されている。

放射線利用に関する国際協力は、内閣府及び文部科学省による「アジア原子力協力フォーラム」（FNCA）、IAEAによる「アジア原子力地域協定」（RCA）の枠組みの中で実施されている。両者については、協力の対象となる国や協力内容などで共通するところもあるため、関係者が密接に連携し、両枠組みの取組のうち連携・協力できるものについては一体的に運用するなど、効果的かつ効率的に取組を進めることを期待する。また、協力国の産業界と研究実施主体との出会いの場の提供等を通じて、研究成果等の技術移転が円滑かつ効果的になされることを期待する。

我が国では、様々な研究人材交流制度等において研究開発に携わる人材の育成を行っている。しかし、このような制度を通じて育成された途上国の人材の中には、帰国した後に、研究に必要な施設・設備・機器等（研究資材）の不足のため、十分に研究が行えない者もいることが課題として指摘されている。また、研究資材があってもそれを維持していくことが困難な場合もあり得る。このような状況を改善するためには、例えば、途上国援助スキーム等の中で研究資材供与に携わる関係者と連携して一体的な支援を行うことが期待される。

## ○国際機関への協力

国際原子力機関（IAEA）をはじめとする国際機関への我が国の人的貢献の不足が課題として指摘されている。例えば、IAEA の技術協力局（Department of Technical Cooperation）では、途上国への技術支援を行っているが、この部署の職員及び当該技術支援のために派遣される専門家に占める日本人の数が極めて少ないことなどが指摘されている。

このような関係機関において、国際機関への協力・貢献の重要性が関係機関によって認識され、国際機関の活動に貢献する人材の育成・確保が推進されることを期待する。

## （８）基礎的・基盤的な研究、技術の確保

### ○産業を支える基礎、基盤的技術の研究開発

放射線利用の経済規模は大きいが、放射線はプロセスの一部に利用されていることが多く、かつ、多様な形態で利用が行われているため、特定の産業利用分野に限ると産業規模は比較的小さく、その分野における産業のみでは基礎的な研究開発に十分な投資を行っていくことは必ずしも容易ではない。

このため、長期的な展望に基づき、国として推進すべき放射線利用に係る基礎的・基盤的な研究開発について検討を行うことが重要である。また、その際には、当該研究開発に対して、定常的に一定の支援がなされるべきか、また、競争的環境下で支援が行われるべきかも含め、国としての支援のあり方について検討することが重要である。

### ○共通基盤技術等の確保

平成 21 年に、米国エネルギー省及び商務省の指示により、米国で開発された放射線挙動解析コードが配布制限となった。我が国では放射線挙動解析は、米国製のコードに依存して行なっていたため、国内におけるこれらのコードを利用した研究開発、施設の設計・許認可等に影響が生じた。現在、コードの配布制限が解除されているが、今後、このような事態により、研究開発、施設の設計・許認可等の活動に影響が生じることのないようにするための何らかの措置が必要であると考えられる。このため、関連する分野において広く利用される基盤的な技術で、知的財産上の制約が生じる得る可能性のある技術については、その国産化等、使用できなくなるリスクを排除するための検討を行い、適切な対応を行っていくことが必要である。

研究炉の中性子を用いたシリコン・ドーピング法により、パワーデバイス用のシリコン半導体の製造を行っており、我が国ではその生産量はおよそ年間 100t におよぶ。

しかし、国内の研究炉を使った生産量は数%に過ぎず、生産量の大半は海外の研究炉での製造に依存している状況にある。アイソトープの供給についても同様の懸念が示されている。これらの状況を踏まえ、今後も我が国の産業、医療等において安定な生産力の確保が重要であると考えられるものについては、技術の安全保障という観点で、国内における放射線利用に係る必要なインフラの確保についての検討が関係者において行われることを期待する。

## 第5章 まとめ

原子力政策大綱に示す基本的考え方を尊重して、関係行政機関等において取組が着実に進められており、これらの取組が、科学技術・学術の進歩、産業の振興、社会の福祉、国民生活の水準の向上等に貢献していると評価できる。一方で、第4章に示したように、一部の分野において課題等が見られ、関係行政機関等においてこれらを解決するための適切な対応が必要である。

原子力委員会は、関係行政機関に対して、引き続き原子力政策大綱に示す基本的考え方を尊重して取組を進めることを求めるとともに、本報告書の第4章に示した課題と解決方策等を踏まえ、以下の点に留意して、今後、取組を一層充実することを求める。また、地方公共団体や事業者等においても、以下の点に留意して、放射線利用の一層の促進に向けた取組を進められることを期待する。

### ○放射線利用に係る施設・設備の整備と共同利活用の推進

関係行政機関、研究開発機関、大学等の関係者は、緊密に連携して、施設・設備の共同での運営・利活用等の効果的かつ効率的な施設・設備の維持/管理/運営のあり方についての検討を進めていくことが重要である。

産業界等の利用に供する施設・設備を所有する関係機関は、利用の拡大を図るため、トライアルユース制度等を活用したユーザの掘り起こし、ユーザの利便性の高い環境の構築等の取組を行うことが重要である。また、その際、国が必要に応じて適切な支援を行うことを期待する。

多額の国費を投入して大型の先端研究開発施設を整備・維持するに当たっては、施設の整備・維持に携わる関係者は、その意義、役割、必要性等について、可能な限り、国民に説明することに努めるなど、国民の理解を得るための取組の一層の充実を図ることが重要である。

### ○地域の特色を生かした産学官連携の推進

地域における多様なニーズを踏まえ、地域の持続可能な成長に資するプロジェクトを推進する上で、放射線利用は有効な手段となり得る。地方公共団体において、産学官が緊密に連携し、それぞれの資金面や人材面でのリソースを結集し、例えば、放射線利用施設を核にするなどして、地域の特色を生かしたプロジェクトを展開することを期待する。この際、必要に応じて国や研究開発機関による技術移転や人材育成等の支援が行われることも期待する。

#### ○放射線源の供給のあり方

モリブデン-99 の安定供給のために、関係行政機関が、産業界、医療関係者、研究開発機関等の関係機関と緊密に連携・協力しつつ、国としての対応について早急に検討を進めていくことが必要である。

#### ○安全の確保と合理的な規制について

規制当局は、海外の状況等を踏まえ、規制のさらなる合理化が必要であると認められる場合には、安全確保を大前提として、関係行政機関等と緊密に連携して十分な議論を行いつつ適切な対応を行うことが期待される。

#### ○人材育成・確保

不足が指摘されている医学物理士の育成・確保を図るため、関係機関が連携・協力し、計画的に人材育成に取り組むことが期待される。また、研究開発機関において、先端研究施設の共用を進めていく上で必要となる利用支援業務を行なう人材の育成・確保を図るため、これらの人材の業務が適切に評価される仕組みの構築等の検討が期待される。

#### ○教育への協力・支援について

中学校学習指導要領改訂において「放射線の性質と利用」に関する教育内容が盛り込まれたことを踏まえ、学校教育の中での放射線に関するリテラシーが養われ、放射線利用に対する国民の理解が促進されることを期待する。教育現場においてこれらの教育が効果的かつ着実に実施されるよう、教員の研修や副教材の作成、出前授業等、原子力関係者のさらなる協力・支援、及び地方自治体の関与が期待される。

#### ○国際協力

「アジア原子力協力フォーラム」、「アジア原子力地域協定」の枠組みの中で行なわれている放射線利用に関する国際協力について、関係者間の連携等を通じて、一体的かつ効率的な協力がなされることを期待する。また、協力国の産業界と研究実施主体との出会いの場の提供等を通じて、研究成果等の技術移転が効果的になされることを期待する。また、関係機関において、国際機関への協力・貢献の重要性が認識され、国際機関での活動に貢献する人材の育成・確保が推進されることを期待する。

#### ○基礎・基盤的な研究、技術のあり方について

今後、国として推進すべき放射線利用に係る基礎的・基盤的な研究開発及び推進方策、国として確保していくべき共通基盤的技術・インフラ及びそれらの整備のあり方について、関係行政機関等が連携して、検討を行うことが重要である。

## 主な用語解説

## 【あ行】

### アジア原子力協力フォーラム (FNCA, Forum for Nuclear Cooperation in Asia)

我が国が主導するアジア地域における原子力平和利用協力の枠組み。積極的な地域のパートナーシップを通じて、社会・経済的发展を促進することを目的としている。1999年に発足。2010年3月現在10カ国が参加。各国の原子力担当大臣の参加の下で政策対話を行う大臣級会合、プロジェクトの評価及び全体計画を討議するコーディネーター会合、工業・農業・医療等の各分野別(8分野12プロジェクト)の個別プロジェクトにおけるワークショップの開催等の協力活動が実施されている。

### アルキルシクロブタノン類

食品に含まれる脂質への放射線照射によって特異的に生成する脂質由来の分解生成物。2-ドデシルシクロブタノンなどが含まれる。

### イオンビーム育種

イオンビームを用いて突然変異を起こす品種改良技術。 $\gamma$ 線を用いる従来の放射線育種技術に比較し、被照射体の細胞中のDNAにより多くの損傷を生じさせ、より多様な変異を生じさせることができると考えられている。(独)理化学研究所、(独)日本原子力研究開発機構などで研究が行われている。

### 医学物理士

放射線医療に関する機器や技術の開発、治療計画の最適化や品質管理などに従事する専門家で、一定の要件を満たした者に与えられる認定資格(一般財団法人医学物理士認定機構が認定を行っている)。

### 一次標準

特定の計量分野における基準(標準器、標準物質等)。ほかの計量値との比較なしに計量値を確定できるもの。

## 【か行】

### 改質ポリテトラフルオロエチレン

ポリテトラフルオロエチレンは、テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素と炭素で構成される高分子化合物。耐熱性、耐薬品性に優れるが、機械的特性に欠点があった。この材料を融点以上の高温で放射線照射することにより、架橋反応を生じさせ、機械的特性を改善し、耐久性等を向上したもの。

### 核種

陽子数と中性子数の違いにより識別される原子核の種類。

### 核医学診断

放射性同位元素を利用した画像診断法。被験者に放射性医薬品を投与し、体内から放出される放射線を体外から計測・画像化することにより、被験者の疾患、代謝機能

を診断する。テクネチウム-99mなどで標識した放射性医薬品を使う単一フォトン断層撮影法（SPECT）、フッ素-18などの陽電子放出核種で標識した放射性医薬品を使用する陽電子断層法（PET）がある。

### **核データ**

原子核及び核反応に関する物理的データ。主に、中性子誘起核分裂、中性子捕獲、弾性散乱等の原子核反応の生じる確率を示す物理量である反応断面積等に関するデータであり、様々な実験や理論計算結果に基づき評価され、国内では JENDL-3.3 核データライブラリとして整備されている。

### **加速器（→放射線発生装置）**

### **環境放射線**

土壌や大気中に存在する天然の放射性核種（カリウム-40、ウラン系列核種、トリウム系列核種）等からの放射線、または宇宙線および宇宙線が大気の原子と衝突してできる核種からの放射線。

### **吸収線量（Gy, グレイ）**

物質に吸収された放射線のエネルギー。1Gy は、1kg あたりに 1J(ジュール)の放射線が吸収されたことを表す(1J = 0.24 Cal (カロリー))。

### **グラフト重合**

グラフトとは、“接ぎ木”の意味。ポリエチレンのような高分子に、放射線照射により活性点を形成し、別の分子を結合させることで新たな機能を付与する技術。

### **クリアランス**

ある物質に含まれる放射線性物質に起因する放射線の線量が自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、また、人の健康に対するリスクが無視できる場合に、当該物質を「放射性物質として扱う必要がないもの」として区分すること。その基準値を「クリアランスレベル」という。

### **経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA, Organization for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency）**

原子力平和利用における協力の発展を目的とし、原子力政策、技術に関する意見交換、行政上・規制上の問題の検討、各国の原子力に関係する法令の調査及び経済的側面の研究を実施するための国際機関。1958 年、欧州原子力機関（ENEA）として設立され、1972 年、我が国が正式加盟したことに伴い現在の名称に改組された。2008 年 11 月における NEA 加盟国は 28 カ国。

### **研究所等廃棄物**

原子炉等規制法による規制の下で、試験研究炉等を設置した事業所および核燃料物質等の使用施設等を設置した事業所から発生する放射性廃棄物。



### **原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation）**

国際連合（United Nations）に属する委員会の1つ。1955年に設置され、国連加盟国から各国の自然・人工放射線のレベルや放射線の健康影響の推定根拠となる科学的知見等の情報を収集・集約して、定期的に国連総会に報告を行うとともに、詳細な報告書を刊行している。現在の加盟国（2010年4月現在）は日本、米国、ロシア、中国、英国等21カ国。

### **原子力科学技術に関する研究、開発及び訓練のための地域協力協定（RCA, Regional Cooperation Agreement for Research, Development and Training Related to Nuclear Science and Technology）**

アジア・太平洋地域の開発途上国を対象とした原子力科学技術に関する共同の研究、開発及び訓練の計画を、締約国間の相互協力及びIAEAその他の国際機関等との協力により、適当な締約国内の機関を通じて、促進及び調整することを目的とした協力。2007-2008年に実施されているプロジェクトは、医療、農業、工業等の8分野20プロジェクト。2010年4月現在で17の締約国。

### **国際原子力機関（IAEA, International Atomic Energy Agency）**

世界の平和、保健及び繁栄に対する原子力の貢献の促進増大と原子力の軍事転用がなされないようにするための保障措置の実施を目的として1957年に設立された国連と連携協定を有する技術的国際機関。2009年9月における加盟国は150ヶ国。

### **国際純正・応用化学連合（IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry）**

元素名や化合物名についての国際基準（IUPAC命名法）を制定している国際学術機関。

### **国際放射線防護委員会（ICRP, International Commission on Radiological Protection）**

1928年に専門家の立場から放射線防護の基準を勧告することを目的に、国際放射線医学会の委託によって設立された国際組織。1950年に現在の名称となった。ICRP勧告は、各国の放射線障害防止に関する規制の規範として活用されている。ICRPは、主委員会と5つの専門委員会から構成されている。

### **光速飛翔鏡**

ほぼ光の速度で進行するプラズマ（物質が電離し、イオンと電子に分離された状態）で形成される鏡。この「鏡」にレーザー光を反射させることで、レーザー光のエネルギーを増幅（周波数を増大）させることができる。

### **呼吸同期照射**

呼吸により動く部位を放射線治療するときに、呼吸に合わせて照射することにより患部へ正確に放射線を照射する技術。

## コバルト-60

コバルト（元素記号 Co、原子番号 27）の放射性同位体。コバルト-59 の中性子吸収により生成される。コバルト-60 が半減期約 5 年で壊変してニッケル-60（元素記号 Ni、原子番号 28）になる。このとき、 $\beta$  線と  $\gamma$  線を放出する。

## コバルト-60 照射施設

コバルト-60 の密封線源を使って放射線照射を行い、材料改質、突然変異育種、食品照射および害虫不妊化等の研究開発や事業に利用する施設。特に、（独）日本原子力研究開発機構の高崎量子応用研究所や（独）農業生物資源研究所放射線育種場のガンマーフィールドとガンマーグリーンハウスなどのコバルト-60 照射施設が有名。

## 【さ行】

## 材料試験炉（JMTR, Japan Material Test Reactor）

（独）日本原子力研究開発機構の大洗研究開発センターに設置されている研究炉（50MW）で、1968 年初臨界。軽水炉材料の照射試験、アイソトープ製造等に使用されてきた。施設老朽化のため、平成 19 年より更新作業に着手、平成 23 年再稼動予定。

## 重粒子線

一般に、ヘリウムより重い粒子線の総称。電子線や X 線に比較して、線量集中性が良く、生物効果が高いことから、がん治療に利用されている。

## 作業環境測定士

労働安全衛生法により定められている作業環境中に有害な因子（有害な化学物質や粉塵、電離放射線等）が存在する屋内作業場やその他事業場（坑内、特定化学物質の製造工場、放射線関連施設等）において、作業環境中の因子の測定（作業環境測定）を実施する者であって、所定の要件を満たした有資格者。

## ジェネレータ

親核種の半減期が娘核種の半減期よりも長く、そのため両者の放射能の比が一定に保たれている、いわゆる放射平衡が成立している状態において、親核種から娘核種を分離・抽出するための装置のこと（放射性核種 A が壊変して放射性核種 B に変化するとき、A を B の親核種といい、B は A の娘核種という。）。

医療分野では、親核種モリブデン-99（半減期 66 時間）と娘核種テクネチウム-99m（6 時間）のジェネレータがよく用いられている。親核種のモリブデン-99 を吸着剤に吸着させておき、平衡になるたびに、吸着剤に生理食塩水を流して、親核種から生成した娘核種のテクネチウム-99m（吸着剤に吸着されにくい）を回収し、核医学診断に使う放射性医薬品の原料として用いている。ただし、ジェネレータの親核種の減衰に伴い、生理食塩水で回収する娘核種の濃度が低下するため、診断に十分な濃度で娘核種が供給できなくなったらジェネレータを交換する。

## 食品照射

放射線による生物学的作用（致死作用、代謝攪乱作用）を利用して、食中毒菌の殺

滅や、腐敗菌・食品害虫の制御、農産物の発芽防止をおこない、食品の衛生化や貯蔵性を向上させる技術。

### 新規植物活力剤

植物の成長を促進する物質。例えば、蟹などの甲殻類に存在する天然高分子のキトサンを放射線照射で分解することにより得られる物質は、植物成長促進剤や環境ストレス障害抑制剤として農業に利用されている。FNCAにおいて研究開発が行われた。

### スーパーカミオカンデ

岐阜県飛騨市の神岡鉱山跡の地下 1,000mに建設された、東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設のニュートリノ検出装置。円筒型タンク内に約 50,000 トンの純水で満たされ、水中でニュートリノと水との反応によって発生する荷電粒子が発する光（チェレンコフ光）を検出する。

### スキャンニングビーム技術

荷電粒子線による治療において、細く絞った粒子ビームを走査して照射することにより、患部以外への照射を抑え、患部への線量集中性をより高めて照射する技術。研究開発段階であり、今後の実用化が期待されている。

### 生物効果

放射線の種類による生体（細胞や臓器）に与える影響の違い。同じ吸収線量でも放射線の種類によってがん細胞の生存率が異なることが知られている。例えば、重粒子線がん治療に用いられる炭素線はX線と比べて一般にがん細胞に対する生物学的効果が高い（がんの殺傷効果が高い）ことが知られている。

### 世界保健機関（WHO, World Health Organization）

国連の専門機関として、1948 年 4 月 7 日に設立。「すべての人民が可能な最高の健康水準に到達すること」（世界保健憲章第 1 条）を目的としている。加盟国数は 193 カ国（2010 年 4 月時点）、本部はジュネーブ（スイス）。

### 先端研究施設共用促進事業

大学・独立行政法人等の研究機関等の保有する先端研究施設の共用を促進し、科学技術活動全般の高度化と国の研究開発投資の効率化を図るため文部科学省が実施している補助金事業。

### 線量

放射線防護のために考えられた量で等価線量と実効線量がある。等価線量は、放射線が人体に及ぼす影響を放射線の種類やエネルギーによらず同じ尺度で扱えるよう考え出された量。単位質量の物質に吸収された放射線のエネルギーの量を示す吸収線量（単位は Gy, グレイ）に放射線の種類とエネルギーによって決まる放射線荷重係数を乗じた量。実効線量は、放射線の種類やエネルギー及び放射線を受けた人体の組織や臓器の種類によらず同じ尺度で扱えるよう考え出された量。等価線量に身体組織や臓器により異なる放射線の影響度（放射線感受性）の指標となる組織荷重係数を乗

じた量。なお、放射線荷重係数及び組織荷重係数は無次元であるため、SI 単位はジュール/キログラム(J/kg)となるが、吸収線量の単位 Gy との混同をさけるため、Sv(シーベルト)を単位として用いている。

## 【た行】

### 中性子

陽子とともに原子核を構成する電氣的に中性の粒子。水素の原子核である陽子とほぼ同じ質量を持ち、中性子ビームを物質で散乱させた場合には、物質内の水素などの軽い原子に対し敏感な挙動を示す。

### 中性子トライアルユース制度（中性子利用技術移転推進プログラム）

原子力発電施設等立地地域の企業・公的研究機関等が、中性子を利用した計測等を実際に行い、その有用性を体験し、中性子利用の応用可能性を拡げるために行われている事業。平成 18 年度から、文部科学省が財団法人放射線利用振興協会に委託して実施。(独)日本原子力研究開発機構の施設を利用し、中性子を用いた実験や研究を幅広く実施するための技術支援・実験の支援を行っている。

### 超重元素

重イオン加速器を用いて人工的に合成実験が行われている元素。

### テクネチウム製剤

モリブデン-99 の壊変により生じる娘核種のテクネチウム-99m(半減期 6 時間で 141keV の  $\gamma$  線を放出してテクネチウム-99 になる)を原料とする核医学診断(SPECT)に使用する放射性医薬品。体内に投与されたテクネチウム製剤からの  $\gamma$  線を体外の放射線検出器で測定することにより代謝機能や疾患を診断する。

### 同位体（アイソトープ）

原子番号（陽子数）が同じで質量数（原子核中の陽子と中性子の数の和）が異なるものを互いに同位体という。例えば、原子番号 12 の炭素は、質量数 12(存在比 98.9%)、13(1.1%)、14(微量、放射性同位元素)の 3 つの天然同位元素が知られている。

### 特定先端施設の共用の促進に関する法律（共用促進法）

研究開発等を行う者による先端大型研究施設の共用を促進するための措置を講ずることにより、研究等の基盤の強化を図るとともに、研究機関や研究者等の相互の間の交流による多様な知識の融合等を図り、もって科学技術の振興に寄与することを目的とする。「特定放射光施設」(SPring-8)、「特定中性子線施設」(J-PARC)等の対象施設につき、施設の設置者は、施設の建設・維持管理を行い、これを研究者等の共用に供するとともに必要な支援を行うこととしている。

### ドーピング技術

材料に不純物を加えて機能を改良する技術。加速器でイオンを注入する技術、シリコンに研究炉からの中性子線を照射して中性子捕獲した珪素の崩壊により生じるリ

ンを導入する技術など放射線を利用したドーピング技術も利用されている。

### トレーサー

放射線の検出感度が極めて大きいことを利用し、放射性同位元素で標識した物質がある系内に添加し、その物質の移動や分布、化学反応の過程等を調べる方法を放射性トレーサー法という。このとき用いる放射性同位元素（RI）をトレーサー（Tracer）という。

## 【な行】

### 二次標準

認定を受けた機関が備える標準器は特定二次標準器、生産頒布する標準物質を特定二次標準物質といわれ、それぞれ一次標準によって校正される。

### 二次粒子

陽子等が原子核に衝突して核反応を起こした時に発生する粒子。

### ニュートリノ

物質を構成する最小の単位である素粒子の一つであり、クォークや電子の 100 万分の 1 以下の重さしかもたず、電氣的に中性という性質を持つ。

### 熱ルミネセンス（TL）法

放射線照射によって結晶内で分離した電子や正孔が熱刺激によって再結合するとき、蛍光（ルミネッセンス）を発する。蛍光を検出して、放射線の吸収線量を物理的に求める方法。一部の施設では、放射線業務従事者の線量管理のための線量計として使用している。また、平成 19 年 7 月より、照射食品の検知法として、輸入香辛料等に対するモニタリング検査に用いられている。

## 【は行】

### ハイドロゲル創傷被覆材

セルロースやデンプンを水と良く練りペースト状にし、これに放射線照射を行うと橋かけ反応が起き、水を多量に吸収できる生体分解性材料のハイドロゲルが生成する。傷口を湿潤に保つことで早く治癒できること、剥がすとき痛みを与えないこと、透明なため治癒が観察できること等の特長があり、創傷被覆材として応用されている。

### 比放射能

単体又は化合物の単位重量あたりの放射能。単位は Bq/kg。

### 不妊虫放飼法

放射線で不妊化した害虫を大量に野外に放すと、野生虫同士の交尾頻度が低下し、さらに、不妊雄と交尾した雌が産んだ卵は孵化しないので、次世代の野生虫数は減少する。このような不妊虫の放飼を続けることによって害虫を根絶する方法。この方法

によって沖縄県ではウリミバエを撲滅した。

### 分子イメージング

生体内での遺伝子やタンパク質などの様々な分子の挙動を、生物が生きたままの状態画像化して観察する技術。生体を構成する分子の動的で総合的な活動を把握できるため、新しい薬の開発、疾患の診断、治療の評価等に役立つ技術として、近年、世界中で活発に研究が進められている。

### 放射光

光に近い速度で運動している電子の軌道を曲げたときに軌道の接線方向に放出される光(電磁波)。加速器から得られる赤外からX線領域までの幅広い波長の放射光は材料、生命物質等の構造解析などに利用されている。

### 放射性同位元素 (RI)

不安定な同位体であり、自然に壊変し、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線などの放射線を放出する。

### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

原子力基本法 の精神にのっとり、放射性同位元素及び放射線発生装置等の使用等を規制することにより、これらによる放射線障害を防止し、公共の安全を確保することを目的とする法律。放射性同位元素及び放射線発生装置の使用、放射性同位元素の販売の業、賃貸の業、及び放射性同位元素または放射性同位元素によって汚染された物の廃棄の業に関する規制をしている。

### 放射線

法令上、放射線とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつものであると定義されており、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、X線、中性子線、電子線、重荷電粒子線、X線等が含まれる。

### 放射線育種

放射線を照射することにより、細胞レベルでの突然変異の頻度を高め、形質が様々な変化した突然変異体の中から人類にとって有用な形質を持つものを選別する品種改良法。化学変異源と比較してDNA(塩基対)の欠失による突然変異頻度が高い。

### 放射線育種場

放射線により誘発される突然変異を利用した作物の品種改良やその効率的誘発技術の開発等の研究を行っている農業生物資源研究所の施設。屋内で種子・球根・穂木などの急照射を行うガンマルームと、半径100mの円形圃場の中央に設置されたコバルト-60線源で屋外緩照射を行うガンマフィールドがあり、多種多様な栽培植物の照射が行われている。

### 放射線障害予防規程

事業者が、事業開始の前に文部科学大臣に届け出を義務付けられている当該事業所における放射線障害を防止するための規程。

## 放射線取扱主任者

放射性同位元素又は放射線発生装置を使用する施設における放射線障害の防止について監督を行う者。放射線障害防止法第 34 条に基づき放射線取扱主任者免状を有する者等のうち、一定の要件を満たす者の中から選任することが義務づけられている。

## 放射線発生装置

電子、陽子、重粒子等を電場や磁場を用いて加速して放射線を発生する装置（加速器）。加速された荷電粒子は、それ自体が放射線であるが、物質との衝突により別の放射線を発生させることもできる（陽子線を照射して 2 次粒子として中性子線等を発生させる施設もある）。

静電場を利用した加速器として、コック・クロフト・ウォルトン、バンデ・グラーフなどがある。バンデ・グラーフは、静電場を 1 回加速に利用するシングルエンドと 2 段の加速機構によりさらに高エネルギーまで加速できるタンデム加速器がある。

高周波電場を利用する加速器として、直線的な軌道で 1 回加速するリニアック、荷電粒子を磁場中で回転させつつ一定周期で繰り返し加速させるサイクロトロン、荷電粒子の軌道を磁石で制御しつつ一定の円形軌道を周回させて繰り返し加速するシンクロトロンなどの種類がある。

素粒子、原子核や物性の研究等の学術研究、診断、ガン治療、放射性医薬品の製造等の医学利用、滅菌、材料改質等の工業利用等が行われている。

## 放射能（Bq）

放射性同位元素が壊変して放射線を発生する性質。単位は Bq（ベクレル）。放射性物質中の原子核が 1 秒間に 1 個の割合で壊変するときの放射能を 1Bq と定義している。旧単位 1 Ci（キュリー）=  $3.7 \times 10^{10}$  Bq

## 放射能絶対測定

標準線源との比較測定によらず放射線源の放射能を測定する方法。

## ホウ素中性子捕捉療法（Boron Neutron Capture Therapy, BNCT）

がん細胞に選択的に取り込まれるホウ素薬剤を投与した後に患部に原子炉等から発生する中性子線を照射して、がん細胞を選択的に殺傷する治療法。ホウ素の同位体のホウ素-10 は中性子を吸収するとヘリウム-4 及びリチウム-7 粒子を発生するが、これらの飛距離は短く、細胞内で止まるため、ホウ素薬剤を取り込んだがん細胞のみを選択的に殺傷できる。外科手術や粒子線等による治療が難しい、正常組織に浸潤したがん特に効果的な治療法。

## 【ま行】

## マンモグラフィー

X 線撮影による乳がん検診法。

## ミュオン

電子と同じく負の電荷を持ち、電子の約 200 倍の質量を持つ粒子。

## モリブデン-99

モリブデン（元素記号 Mo、原子番号 42）の放射性同位体であり、原子炉のウラン-235 の核分裂、あるいは、モリブデン-98 の中性子吸収により生成される。半減期 66 時間で壊変し、テクネチウム-99m を生じる。このテクネチウム-99m が核医学診断（SPECT）の放射性医薬品の原料となる。

## 【や行】

## ヨウ素-131

ヨウ素（元素記号 I、原子番号 53）の放射性同位体であり、原子炉のウラン-235 の核分裂により生成され、半減期約 8 日で壊変する。甲状腺に集まりやすいというヨウ素の性質を利用し、ヨウ素-131 を経口投与して甲状腺亢進症や甲状腺がんを治療するアイソトープ治療に用いられる。

## 【ら行】

## リスクコミュニケーション活動

技術は人間にとって望ましくない事態をもたらす可能性を有する。この事態の深刻さと可能性の大きさを定義されるのがリスクである。技術の負の側面であるこのリスクの評価や管理の在り方について、行政や事業者が市民に対して情報を提示し、意見を求めるとともに、議論を行うことにより、お互いに信頼と理解を深めてそのリスクに対する適切な対処の仕方を決めることに貢献していくプロセスをリスクコミュニケーションという。

## 量子ビーム

加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備からの光量子、放射光、 $\gamma$ 線等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線の総称。高精度な加工や観察、治療等に利用される。

## レーザー駆動陽子線加速

高強度で短パルス幅を持つレーザーを金属や高分子などの薄膜状の物質に照射すると特定の方向に高エネルギーの陽子線が発生することが知られている（レーザー駆動陽子線）。この現象を利用して、陽子を加速する方法。現在は研究段階だが、この加速方法は将来的に陽子加速装置の小型化につながる可能性があり、産業、医療分野への応用が期待されている。

## 【アルファベット順】

## B 型輸送物

放射性物質の輸送物の一種。文部科学大臣の定める告示に規定される量を超える放



射能を有する放射性同位元素の輸送物であって、所定の技術上の基準を満たすもの。主に、原子炉の使用済燃料の輸送、MOX(混合酸化物)燃料輸送、滅菌等に用いる高放射能の線源、医療用アイソトープモリブデン-99を大量に輸送する際、これらをB型輸送物として扱う。

### eV (エレクトロンボルト)

放射線のエネルギーをあらわす単位。真空中の電子が1V(ボルト)の電場で加速されて得るエネルギーと定義される。 $1.602 \times 10^{-19}$  J(ジュール)に相当する。

### JRR-3

(独)日本原子力研究開発機構の原子力科学研究所(茨城県東海村)に設置されている研究用、低濃縮ウラン軽水減速型の原子炉。熱出力20MW。昭和37年に初臨界、平成2年に改造炉で臨界、その後利用に供される。炉内における原子炉用燃料・材料照射、放射化分析、RI製造、シリコン半導体の製造等、炉心外に引き出した中性子ビームを利用した中性子回折・散乱、ラジオグラフィー、即発 $\gamma$ 線分析等が行われている。

### JRR-4

(独)日本原子力研究開発機構の原子力科学研究所(茨城県東海村)に設置されている研究用、低濃縮ウラン軽水減速型の原子炉。熱出力3.5MW。昭和40年に初臨界、平成10年に低濃縮燃料で臨界、その後利用に供される。炉内における放射化分析、RI製造、炉心外に引き出した中性子ビームを利用したホウ素中性子捕捉療法のための医療照射、即発 $\gamma$ 線分析等に用いられている。

### MIRD 委員会 (Medical Internal Radiation Dose Committee)

米国核医学会にある常設委員会。放射線医薬品の投与による内部被ばく線量を評価するための手法、モデル、データに関する調査・研究開発を行っている。これらの研究成果は、MIRD Pamphletと呼ばれる刊行物によって公開され、核医学、放射線防護等の分野において利用されている。

### PET (Positron Emission Tomography)

陽電子断層撮影法。陽電子(ポジトロン)を放出する放射性核種(フッ素-18等)で標識した放射性医薬品を被験者体内に投与し、体内から放出される放射線を測定して人体の機能、疾患を診断する方法。陽電子は電子との対消滅により互いに $180^\circ$ の角をなして2本のガンマ線を放出するため、これを同時検出することで高感度かつ、3次元的に放射性医薬品の体内挙動を検出できる。

### SPECT (Single Photon Emission Computing Tomography)

単一フォトン断層撮影法。テクネチウム-99mなどで標識した放射性医薬品を被験者体内に投与し、体内に代謝された放射性医薬品から放出される $\gamma$ 線を測定することで人体の機能、疾患を診断する方法。初期は、2次元画像撮影としてはじまったが、その後、検出器の回転やリング状配置により、収集したデータから3次元像を再構成する方法が開発されている。

## PIXE (Particle Induced X-Ray Emission)

数 MeV(百万電子ボルト)に加速した荷電粒子(イオン)を原子に衝突させ、発生する特性 X 線を測定する元素分析法。特性 X 線のエネルギーは元素の種類に応じて異なるため、微量元素分析に利用されている。

## PZC (Poly Zirconium Compound)

モリブデン吸着剤で、現在使用されているアルミナ吸着剤に比較して約 150 倍の吸着力を持つ。アジア原子力協力フォーラムで研究開発が行われ、現在も(独)日本原子力研究開発機構がインドネシアと共同研究を行っている。

## RI 廃棄物

放射性同位元素の使用施設の操業等で発生する放射性廃棄物。例えば、放射性同位元素が付着した試験管、注射器、ペーパータオル、排気フィルター等及びこれらの施設等の解体により発生する RI が付着したコンクリートや金属等。

## TIARA (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application)

(独)日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所(群馬県高崎市)に設置されたイオン照射研究施設。イオン注入装置、シングルエンド、タンデム、サイクロトンの 4 種類の加速器により、多様な粒子を幅広いエネルギー領域に加速し、イオンビームの持つ特徴を利用した材料科学・バイオ技術などの先端科学研究に供される。平成 5 年より全施設が稼働。

## X 線

光や電波と同じく電磁波の一種で紫外線よりも波長の短い(高エネルギー)もの。電子が減速されるときに発生する X 線を制動 X 線(連続の波長分布)といい、電子が原子の軌道間を移動するとき発生する X 線を特性 X 線という。様々な物体内部の診断や元素分析(蛍光 X 線分析)、また、 $\gamma$  線と同様に変異誘発効果があるため、突然変異育種にも利用されている。

## X 線 CT

X 線を多方向から照射し、検出された X 線の透過データをコンピュータ処理し、断層画像または 3 次元画像を得る方法。主に医療診断技術として使用されている。単純 X 撮影に比較して診断時の被ばく線量は高くなる。

## $\alpha$ 線 (アルファ線)

原子核から放出される高速のヘリウムの原子核。物を透過する能力は低く、紙 1 枚程度で遮蔽できる。特に  $\alpha$  線を放出する核種については、経口摂取等による体内被ばくの防止が重要。

## $\beta$ 線 (ベータ線)

原子核から放出される高速の電子。物を透過する能力は  $\alpha$  線と  $\gamma$  線の中間。人体は、外部被ばく、内部被ばくの両方の影響を受ける。エネルギーの低い  $\beta$  線を放出する核

種では経口摂取等による体内被ばくによる影響を避けることが重要。エネルギーの高い $\beta$ 線を放出する核種は内部被ばくに加えて外部被ばくを避けることも必要となる。

### $\gamma$ 線（ガンマ線）

原子核から $\alpha$ 線や $\beta$ 線が出たあとに残ったエネルギーが電磁波（光の仲間）の形で出てくるもの。物を透過する能力が高く、この放射線を止めるには鉛板や分厚いコンクリート壁を必要とする。外部被ばく、内部被ばくによる人体内への影響があるため、両者を避けることが重要。