

第3章 原子力利用の着実な推進

3-1 エネルギー利用

1. 原子力発電

エネルギー資源の輸入依存度が96.5%※¹と先進国の中では極めて高い我が国は、エネルギーの安定供給の確保が重要な政策課題です。これに加えて、近年、地球温暖化対策の観点から、温室効果ガスの発生量を減少する努力が求められており、温室効果ガスの主要な発生部門であるエネルギー部門においても、これに配慮したエネルギー利用の推進が重要な政策課題となっています。

このような課題に直面している中で、原子力発電が注目されるのは、①燃料であるウランは海外から輸入しているが、ウランは特定の地域に偏在せず政情の安定した国々で産出されていること、②燃料のエネルギー密度が高いため、大量のエネルギー供給を担うための燃料の備蓄が容易であること、③燃料の輸入制約が発生しても相当長期にわたって原子力発電所の運転を継続することが可能であること、④発電過程で温室効果ガスを発生しないこと等の特徴を有しているからです。

原子力委員会としては、我が国は各種エネルギー源の特性を踏まえて、供給安定性、環境適合性、経済性の観点からそれらの最善の組み合わせ（ベストミックス）となるエネルギー供給システムの実現を目指すべきと考えています。原子力政策大綱においては、原子力発電は2030年以降も総発電電力量の30～40%程度という現在の水準程度か、それ以上の供給割合を担うことを目指すべきであるとしています。

この目標を達成するため、原子力発電の安全確保に関する品質マネジメント活動や国民に対するリスクコミュニケーション活動を高い水準に維持しつつ、既設の原子力発電施設を最大限に活用することに取り組むと同時に、新規発電所の立地に着実に取り組むこととしています。また、将来見込まれる既設の原子力発電施設の代替に際しては、世界最高水準の次世代軽水炉を導入できるように、国内外の様々な動向を勘案しつつ、その準備を着実に進めていくこととしています。

現在、国際社会においては、大気中への二酸化炭素排出量を増大させることなく将来増大が見込まれるエネルギー需要に応えていくことが求められています。こうした中、発電過程で温室効果ガスである二酸化炭素を排出しないエネルギー源のうち、実証された技術で、かつ、大規模な電力を安定的に供給できる原子力発電技術を、省エネルギー技術等と並んで、積極的に利用していくべきとの機運が高まっています。このため、原子力発

1 平成19年データ、IEA：Energy Balance of OECD countries 2009 Edition

電所の新增設の動きや原子力発電導入政策への転換の動きを見せる国が増えてきており、また、原子力に関する国際協力の新たな動きや、原子力産業の国際的な合従連衡の動きも起きています。

我が国としては、国際社会に貢献する観点からも、これらの動きに対して核不拡散、安全性、核セキュリティ（3S）の確保を大前提としつつ、原子力発電の適切な拡大を可能とするための国際協力に積極的に対応していくことが必要です。

（1）エネルギー利用の現状

① 我が国の原子力発電の状況

昭和38年10月26日に原子力機構の動力試験炉 JPDR^{※2}（軽水型、電気出力12,500kW）が運転を開始し、我が国初の原子力発電が始まりました（後にこの10月26日は「原子力の日」と定められました）。その後、我が国の発電設備容量は順調に伸び、昭和53年には1,000万kWに達し、昭和59年には2,000万kW、平成2年には3,000万kW、平成6年には4,000万kWを超えました。

平成21年末現在、中部電力（株）浜岡原子力発電所1号機及び2号機の運転終了と北海道電力（株）泊発電所3号機の運転開始により、運転中の実用発電用原子炉は54基、発電設備容量は4,884.7万kWとなっています（表3-1）。この設備容量は米国、仏国に次ぐ世界第3位の規模となります。平成21年度電力供給計画によると、現在建設中の実用発電用原子炉は、中国電力（株）島根原子力発電所3号機及び電源開発（株）大間原子力発電所の2基、275.6万kWです。また、着工準備中のものは、東北電力（株）東通原子力発電所2号機、浪江・小高原子力発電所、東京電力（株）福島第一原子力発電所7、8号機、東通原子力発電所1、2号機、中部電力（株）浜岡原子力発電所6号機、中国電力（株）上関原子力発電所1、2号機、九州電力（株）川内原子力発電所3号機及び日本原子力発電（株）敦賀発電所3、4号機の合計12基、1,655.2万kWです。以上の運転中、建設中及び着工準備中のものを含めた合計は実用発電用原子炉68基、6,815.5万kWであり、研究開発段階原子炉（もんじゅ）を含めると、69基、6,843.5万kWとなります。

表3-1 我が国の原子力発電設備容量（平成21年末現在）

	基 数	総容量（グロス発電量）		
運 転 中	54	4,884.7		万 kW
建 設 中	3 (2)	303.6	(275.6)	万 kW
着工準備中	12	1,655.2		万 kW
合 計	69 (68)	6,843.5	(6,815.5)	万 kW

※（ ）内は研究開発段階の原子炉を除く。

（出典）内閣府

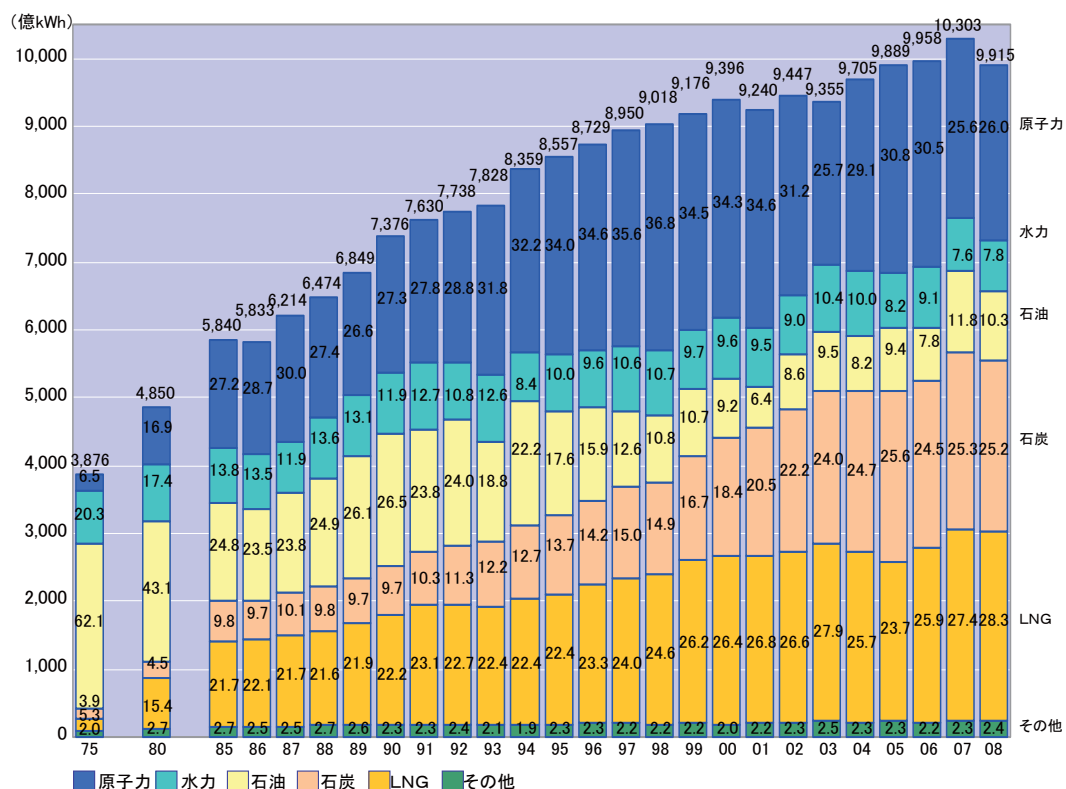
2 JPDR：Japan Power Demonstration Reactor

なお、日本原子力発電（株）敦賀発電所 1 号機及び関西電力（株）美浜発電所 1 号機は平成 21 年度に運転年数 39 年を迎えましたので、40 年目の高経年化技術評価を行い、原子力安全・保安院の認可を受けたうえで、40 年目以降も運転を継続することとしています。敦賀発電所 1 号機は、平成 21 年 9 月に経済産業省原子力安全・保安院より高経年化技術評価に基づいた長期保守管理方針を記載している保安規定が認可されました。

平成 20 年度末現在、原子力発電は一般電気事業用の発電設備容量の 20.1% を占め、平成 20 年度実績で、一般電気事業用の発電電力量の 26.0% を担っており、我が国の電力供給において主要な役割を果たしています（図 3-1、図 3-2）。

我が国では、原子力発電所の計画外自動スクラム（自動停止）発生頻度が各国に比して小さくなっています（図 3-3）。しかしながら、我が国における原子力発電所の設備利用率は、平成 14 年に明らかになった自主点検検査記録の不正記載問題等の影響で一時期 60% 弱まで低下し、平成 17 年度には 71.9%（前年度比 +3 ポイント）にまで回復したものの、世界の主要国の値と比べるとかなり低い状況にあります（図 3-4、図 3-5）。平成 19 年度以降設備利用率が低下し、平成 20 年度の設備利用率は 60.0%（前年度比 - 0.7 ポイント）となっていますが、主な原因は新潟県中越沖地震に端を発した柏崎刈羽原子力発電所 1～7 号機（設備容量合計 821.2 万 kW）の長期間の停止によるものです。

図 3-1 我が国の発電電力量の推移



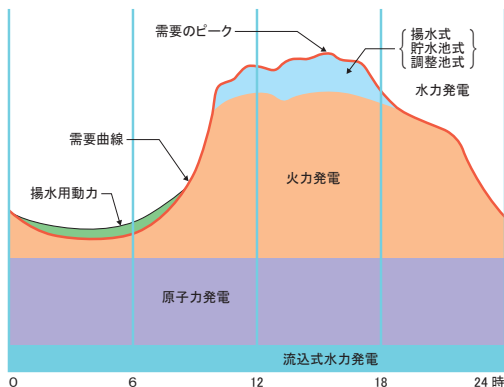
（注）1. その他は、その他ガスガス、LPG、地熱、歴青質混合物など。

2. 構成比の各欄の数値の合計は四捨五入の関係で 100 にならない場合がある。

（出典）「原子力 2009」日本原子力文化振興財団及び電気事業連合会資料に基づき内閣府作成

図 3-2 電力の需要と供給のイメージ

■ 電力の需要と供給の関係 (イメージ)



(出典)「原子力 2009」日本原子力文化振興財団

図 3-3 各国の計画外自動スクラム割合の比較

各国の 7,000 時間当りの計画外自動スクラム割合 UA7*

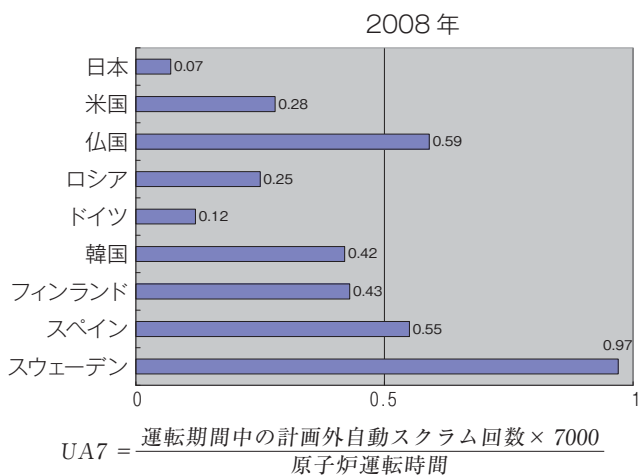
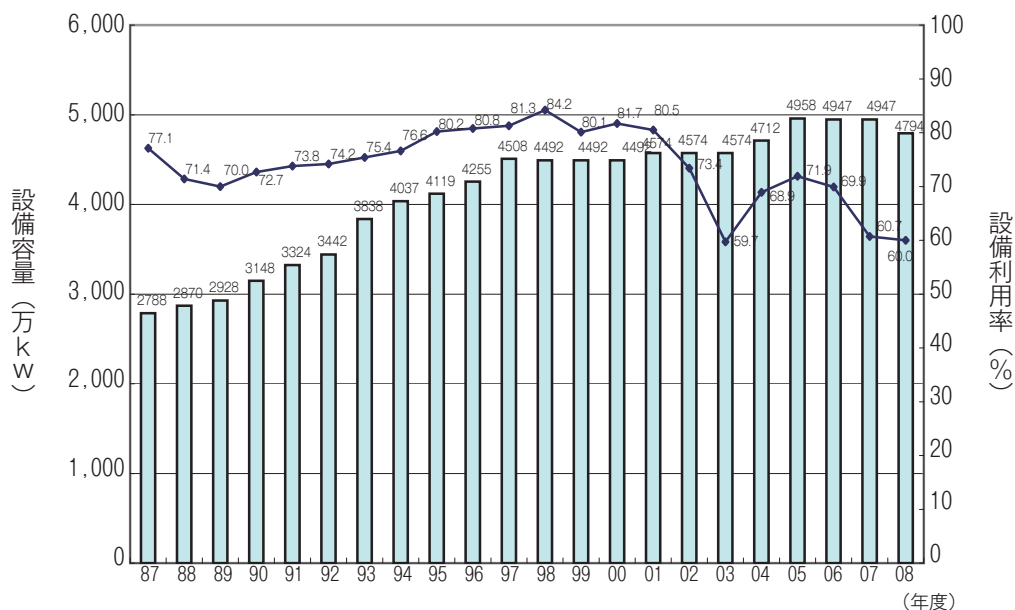


図 3-4 日本の原子力発電の設備容量※1) 及び設備利用率※2) の推移 (電気事業用)



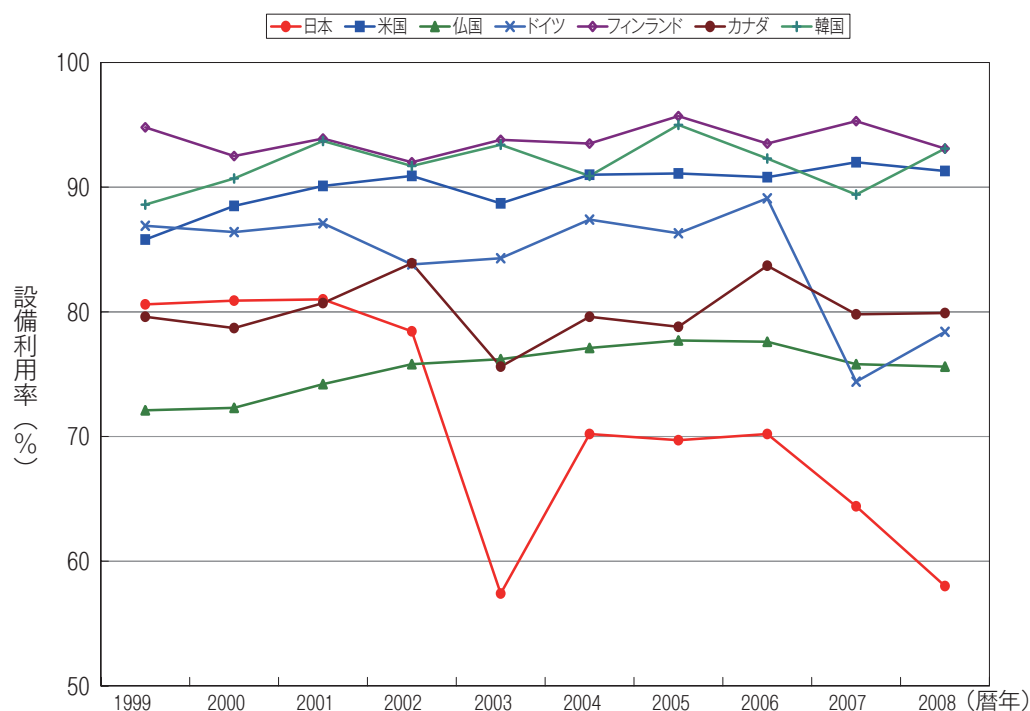
※1) 発電所の設備容量：発電設備の能力。発電所がどのくらい電気を作ることができるかを示す。(W、kW で表す)

※2) 設備利用率：発電所が、ある期間において実際に作り出した電力と、その期間休まずフルパワーで運転したと仮定した時に得られる電力量（定格電気出力とその期間の時間との掛け算）との百分率比。

年間の設備利用率(%) = [実際の年間発電電力量(kW) ÷ (定格出力(kW) × 365日 × 24時間)] × 100

(出典) (独) 原子力安全基盤機構「平成 21 年版原子力施設運転管理年報」

図 3-5 各国の原子力発電の設備利用率の推移



(出典)「平成 21 年版原子力施設運転管理年報」(独) 原子力安全基盤機構

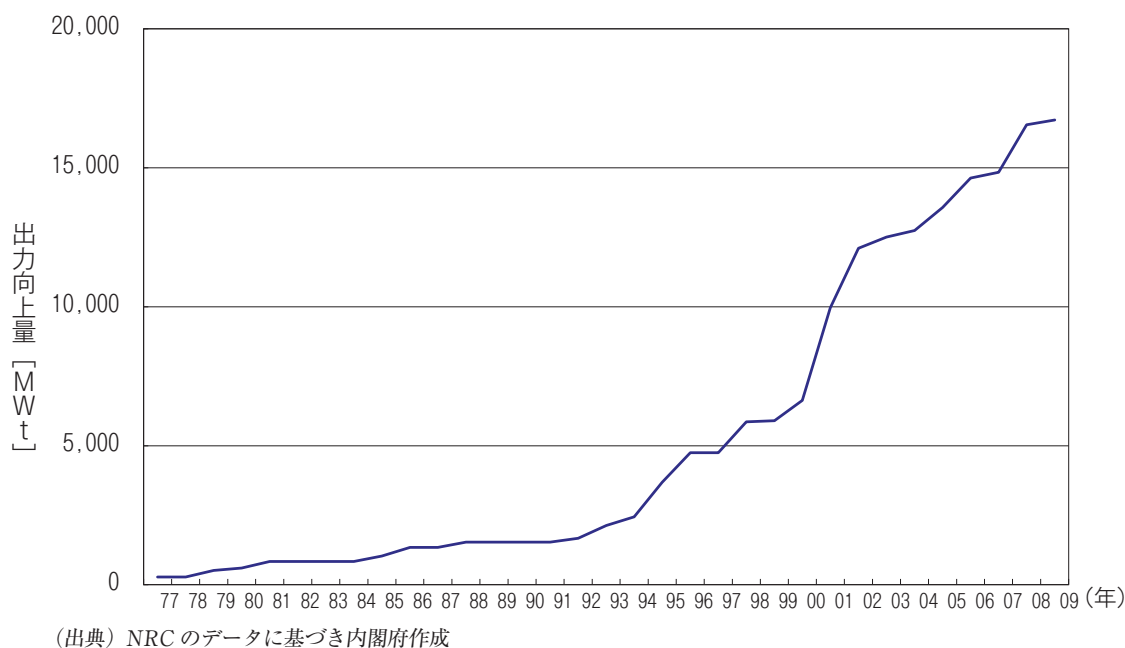
なお、現在、点検・評価や復旧作業、耐震強化工事等の取組が進められており、平成 21 年 12 月に柏崎刈羽原子力発電所 7 号機が、平成 22 年 1 月には同 6 号機が営業運転を再開しました。さらに、同 1～5 号機についても運転再開に向けた作業が進められており、設備利用率の向上に寄与することが期待されます。

原子炉出力の増強や長期サイクル運転による設備利用率向上といった既存原子力発電施設の高度利用や、新しい検査技術を用いた定期検査の柔軟化については、欧米における経験も踏まえて、安全確保を確かにする観点から慎重に評価・検討し、実現可能と判断されたものから積極的に採用していくことが重要です。

欧米では、運転年数 30 年以上のプラントから最新のプラントに至るまで、延べ約 160 件に及ぶ原子炉熱出力向上が認可されていますが、これらのプラントはその後良好な運転実績を残しています。米国においては、平成 21 年(2009 年)10 月現在、129 件の出力向上が認可されており、その累積原子炉熱出力向上は約 1 億 7,200MWt に上り、100 万 kWe 級プラント 6 基分に相当する出力の増加をもたらしています(図 3-6)。一方、国内では、(社)日本原子力学会が、平成 19 年 10 月、日本国内においても現在の知見と技術をもってすれば、原子炉熱出力向上は可能であるとする「原子炉熱出力向上の安全性に関する技術検討評価」と題する報告書を取りまとめました。また、原子力安全・保安院は、原子炉熱出力向上による原子炉の安全性、設備の健全性、保守・運転管理への影響などについて、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会において検討を進めています。なお、日本原子力発電(株)は、我が国で初となる東海第二発電所の原子炉熱出力を約 5%向上させる具体的な計画を進めています。

また、新検査制度の導入により、これまで一律に 13 か月以内と定められていた原子炉の運転間隔について、国の認可を得たプラントについては、18 か月以内で設定することが可能となります(新検査制度の内容については、第 2 章 2-1 1. (3) ②に記載しています)。

図 3-6 米国の累積原子炉出力向上量



②原子力発電の将来見通し

原子力発電所の新増設については、平成 21 年末現在、国内で 2 基が建設中ですが、これに続く計画は遅延しているものが多い状況です。その背景としては、平成 14 年の東京電力（株）の自主点検検査記録の不正記載や平成 16 年の関西電力（株）美浜発電所 3 号機の復水配管の破損事故、平成 19 年の新潟県中越沖地震の際に柏崎刈羽原子力発電所が設計に用いていた基準地震動を大きく上回る地震動を経験したことなど原子力安全確保システムに対する国民の信頼を損なう問題が発生したこと、及び、電力需要の伸びの鈍化等が挙げられます。

平成 21 年度電力供給計画によると、15 基の新増設が計画されていますが、平成 30 年度までに運転開始するのは 9 基、1,226.2 万 kW（平成 21 年 12 月に営業運転を開始した北海道電力（株）泊発電所 3 号機（91.2 万 kW）を含む）であり、総発電設備規模は 61 基、6,010.5 万 kW となる計画になっています。

③世界の原子力発電の状況

世界の原子力発電設備容量は、平成 21 年（2009 年）12 月末現在、運転中のものは 435 基、3 億 7,270 万 kW に達しており、建設中、計画中のものを含めると総計 623 基、5 億 6,916 万 kW となっています。

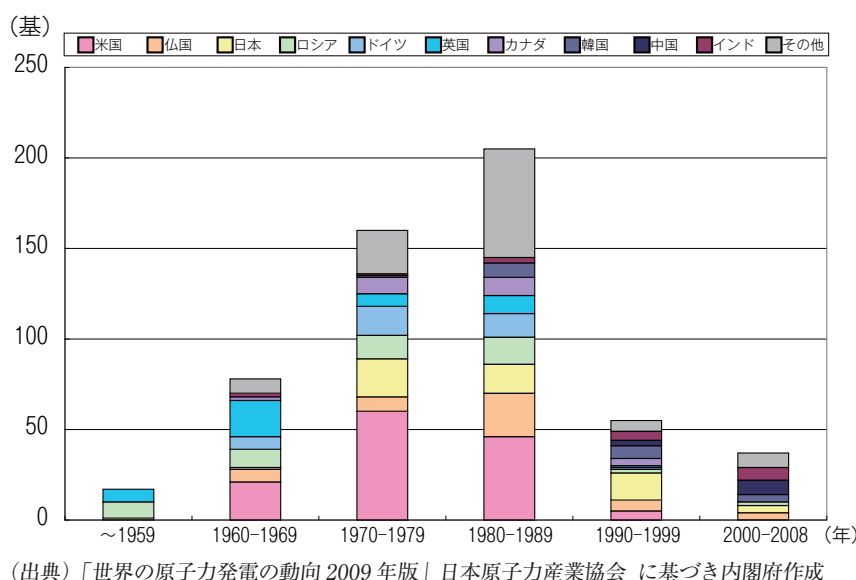
スリーマイルアイランド原子力発電所の事故※³やチェルノブイリ原子力発電所の事故※⁴等

3 1979 年 3 月 28 日、米国のスリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所 2 号機で発生した事故。原子炉内の一次冷却材が減少、炉心上部が露出し、燃料の損傷や炉内構造物の一部溶融が生じるとともに、周辺に放射性物質が放出され、住民の一部が避難した。INES（国際原子力事象尺度）レベル 5。

4 1986 年 4 月 26 日、旧ソ連ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所 4 号機で発生した事故。急激な出力の上昇による原子炉や建屋の破壊に伴い大量の放射性物質が外部に放出され、ウクライナ、ロシア、ベラルーシや隣接する欧州諸国を中心に広範囲にわたる放射能汚染をもたらした。INES（国際原子力事象尺度）レベル 7。

の後、欧米諸国の中には原子力発電に対し消極的な政策や脱原子力政策を掲げる国々が現れ、1990年代以降、世界における原子力発電所の新增設は減少してきました（図3-7）。しかし、近年はエネルギー価格の高騰への懸念やエネルギー安全保障、地球環境問題に関する懸念の高まりから、国ごとに力点の置きどころに違いはあるものの、原子力発電の価値が見直される傾向にあります。

図3-7 世界における10年間ごとの営業運転を開始した原子力発電所数の推移



各国の近年の動向として、米国では、中断していた建設工事の再開や新規建設計画が発表されています。英国では、新規建設に向けてエネルギー法が施行され、新規建設候補地が公表されています。イタリアにおいても原子力復帰法案が可決されています。また、アジアや中東など世界各国で原子力発電の新規導入の計画があります。平成21年12月には、アラブ首長国連邦が、同国発となる原子力発電所の建設を韓国企業連合に発注することを発表しています（世界各国における原子力発電の導入拡大の動きについては、資料編に記載しています。）。

(2) エネルギー利用に関する最近の取組

①「長期エネルギー需給見通し」の見直し

経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会では、将来の我が国のエネルギー需給構造の姿を描いたものとして「長期エネルギー需給見通し」を3年程度毎に策定しています。さらに、平成20年5月に策定した「長期エネルギー需給見通し」については、平成21年8月に見直しを行いました。

見直しでは、原子力発電の供給安定性、環境適合性、経済性等を評価し、最適な組み合わせにより需要に見合った供給力を確保する観点から、原子力発電を将来にわたる基幹電源として引き続き推進していくこととしています。

具体的には、原子力発電所の新設は9基（2000年以降に竣工済の5基を含む）、設備利用率は約80%程度と想定しています。その結果、発電電力量に占める原子力発電の割合は、2005年の31%から、2020年には42%、2030年には49%まで増加するとの見通しとなっています。

②「原子力発電推進強化策」のとりまとめ

経済産業省は「原子力立国計画（総合資源エネルギー調査会原子力部会、平成18年8月）」の方針に沿って、原子力発電を一層強化するとの基本的考え方と具体的取組の方向性を示すため、「原子力発電推進強化策」を平成21年6月にとりまとめました。その概要は以下のとおりです。

—原子力発電推進強化策の概要（平成21年6月）—

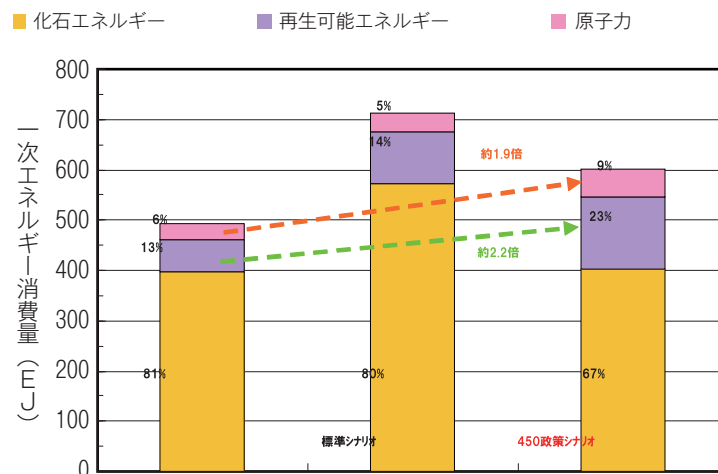
- 原子力なしにエネルギー安定供給、地球温暖化への対応は不可能。
- 中期目標等の達成には2020年時点で原子力発電比率40%程度必要。
- 経済産業省として、関係機関と協力・連携し、以下の取組を推進。
- 1. 既設炉の高度利用
 - 主要利用国並に設備利用率向上。
 - 事業者の努力による安全安定運転、運転高度化。
 - ・新検査制度への対応
 - ・出力向上の推進 等
- 2. 新增設・リプレースの円滑化
 - 2018年度までに運転開始予定の9基の新增設を着実に推進。
 - 将来のリプレース本格化に向けた更なる新增設も着実に推進。
 - ・原子力発電の投資リスクの低減に向けた環境整備
 - ・次世代軽水炉開発の推進 等
- 3. 核燃料サイクルの推進
 - 確固たる国家戦略として核燃料サイクルを着実に推進。
 - ・六ヶ所再処理工場の円滑な操業に向けた関係者一体の取組
 - ・使用済燃料貯蔵施設の立地整備の強化
 - ・プルサーマル計画実現に向けた最大限の支援
 - ・高レベル放射性廃棄物処分事業の文献調査の複数地点実施 等
- 4. 国民との相互理解促進
 - 相互理解に向けて広聴・広報等を工夫・充実。
 - ・副読本の充実や教員への情報提供等、次世代向け教育の強化
 - ・マスメディア等への適確な情報提供
 - ・地球温暖化対策上の必要性に関する国民理解への関係府省連携 等
- 5. 地域共生
 - 電源立地地域の地域振興を推進。円滑な合意形成に向けて工夫。
 - ・国自らの立地地域や住民との対話
 - ・立地自治体の持続的発展に対するきめ細かい支援
 - ・電源三法交付金に関する施策の重点化、産業振興等の地元の取組促進 等
- 6. 国際的課題への対応
 - 各国の期待に積極的に応え、世界の原子力発電の拡大に貢献。
 - ・電力・メーカー連携、官民連携の促進 等

(3) 関連の動向

①原子力エネルギー技術の地球温暖化対策としての意義

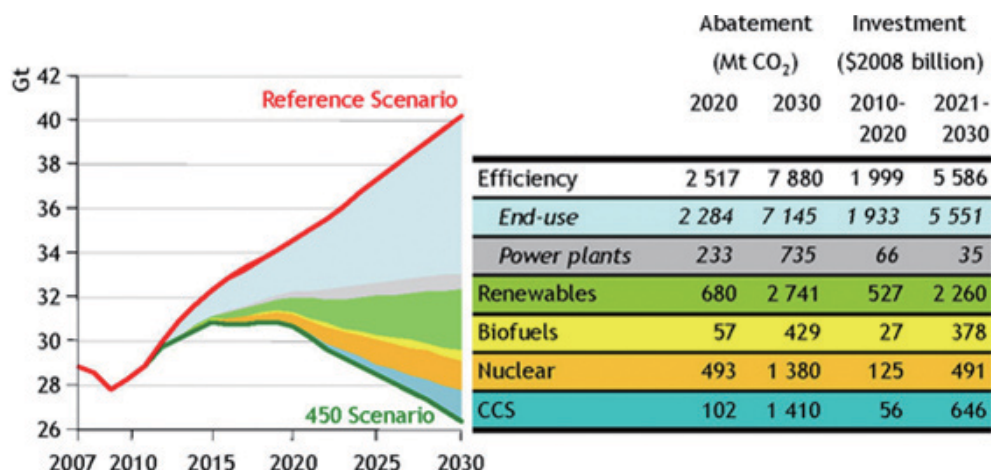
我が国は、2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減するとの目標をすべての国と共有するよう努めるものとするとしています。この目標を実現するためには、徹底した省エネルギーに努めるとともに、エネルギー供給及び利用分野において効率がよく、炭素集約度の低い技術を緊急に開発、展開、促進して、世界のエネルギーシステムを早急かつ大幅に変革せねばなりません。この点を示唆するためにIEA（国際エネルギー機関）は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）による最も低い温室効果ガス安定化レベル達成のために必要となる対策について試算を行いました。エネルギー消費の大幅な節約、エネルギー利用効率の格段の向上と並んで、エネルギー供給部門において従来型化石エネルギーの利用増加の抑制と、再生可能エネルギー、原子力エネルギー、炭素回収・貯留技術（CCS：Carbon Capture and Storage）の利用の急速な拡大を仮定した試算例を示しています（World Energy Outlook 2009、450政策シナリオ）。この例では、2030年における世界全体の一次エネルギー需要の伸びは、2005年比の約1.2倍にとどまり、化石エネルギー利用はほぼ現状維持となっています。一方、世界の電力需要は2030年に現状の1.5倍となり、その中で再生可能エネルギー全体では現状の約3.5倍となり、一次エネルギーの約23%を占めています。また、これとともに原子力発電も大きく増加し、現状の約1.9倍（一次エネルギーの約9%）となっています。これらを達成することはいずれも容易ではなく、非常に大きな努力を必要とします（図3-8、図3-9）。

図3-8 世界の一次エネルギー消費量の試算



（出典）IEA “World Energy Outlook 2009” に基づき内閣府作成

図 3-9 世界の二酸化炭素排出量削減の試算



(出典) IEA "World Energy Outlook 2009"

世界の発電分野の二酸化炭素排出量は他の分野に比して大きく、しかも高い伸び率で増大してきています。これはこの間、電力需要の拡大が堅調で、その多くを化石燃料でまかなってきたことが理由です。今後、電力需要の伸びが続き、発電設備の新設が続くと考えた場合、2050年において二酸化炭素の排出量を半減するためには、発電能力の増大を二酸化炭素の排出を増大させないようにして実現していくことが求められます。そのため、IEAの分析では、再生可能エネルギー、原子力エネルギーによる供給を増大させるシナリオが採用されています。化石燃料を利用する火力発電については、今後も途上国を中心に導入が進むと予想されますが、国際的な資源獲得競争激化等を背景とした燃料価格の上昇に加え、二酸化炭素の排出抑制が求められています。先進国を中心として、供給安定性の確保等を目指すエネルギー政策と整合性を図りつつ、途上国への技術移転や革新的技術の開発等による二酸化炭素排出抑制の取組が進められています。

一方で、原子力発電は、1年から2年に一度燃料交換し、適切な維持管理を行うことで40年から60年程度は発電を継続することができるなど供給安定性に優れており、1986年以来世界の電力の16%程度を安定して供給しています。平成21年（2009年）には31国で435基、約3億7,270万kWの設備が運転されています。この規模の電力を、原子力発電の代わりに火力発電を利用したとすれば、最も二酸化炭素排出量の少ない液化天然ガス複合サイクル発電を用いたとしても、世界の二酸化炭素排出量は年間11億トン（2005年の世界総排出量の4%）増大したことになります。

原子力委員会は、「地球環境保全・エネルギー安定供給のための原子力のビジョンを考える懇談会」（原子力ビジョン懇談会）において、2050年までに温室効果ガスの排出を半減するとの目標に向けて今ここで何をなすべきかの検討を行いました。平成20年3月にとりまとめた報告において、我が国が重点的に取り組むべきとした6項目は以下のとおりです。

—原子力ビジョン懇談会報告概要（平成20年3月）—

- 取組1 地球温暖化対策には原子力エネルギーの平和利用の拡大が不可欠との共通認識の形成と、利用拡大に向けた国際的枠組みの構築
- 取組2 原子力エネルギーの平和利用の前提となる、核不拡散、原子力安全及び核セキュリティの確保のための国際的取組の充実
- 取組3 各国における原子力エネルギーの平和利用推進のための基盤整備の取組への積極的協力
- 取組4 世界的な原子力エネルギーの平和利用の拡大に資するための原子力エネルギー供給技術の性能向上を目指した我が国における研究開発活動の強化
- 取組5 国内における原子力政策上の課題への取組の強化
- 取組6 原子力エネルギー利用を安全に推進するための取組に関する国民との相互理解活動の強化

②政策評価部会におけるエネルギー利用に関する取組の評価

原子力委員会政策評価部会は、平成21年6月、報告書「原子力政策大綱に示されているエネルギー利用に関する取組の基本的考え方の評価について」をとりまとめました。

原子力委員会は、同報告書の内容は妥当と判断し、関係行政機関等に対して、原子力政策大綱に示した基本的考え方及び同報告書の提言を尊重して、エネルギー利用に関する取組を推進することを求める旨の決定を行いました。

—エネルギー利用に関する取組の政策評価報告書概要（平成21年6月）—

〈主な提言〉

1. 社会環境等の変化を踏まえた立地地域社会と共存する仕組みの見直しと強化
2. 国の行政判断の立地自治体に対するより効果的な説明方策の検討
3. 原子力発電に係る課題の認識を共有する仕組みの整備
4. 電気事業者の運転管理に係る技術基盤の整備
5. 原子力発電への投資を促すための環境整備の継続
6. 原子力発電を新規に導入又は拡大することを意図する国に基盤整備の重要性を伝える取組等を運営する組織の整備
7. 事業者の国際展開に係る基盤の整備
8. 次世代軽水炉等の技術開発計画の適切な立案実行
9. ウラン資源を有する開発途上国への総合的な観点からの支援
10. ウラン濃縮事業における新型遠心分離器の着実な導入
11. 六ヶ所再処理工場における業務リスク管理の徹底
12. 核燃料サイクルに係る基盤的技術開発能力の維持・強化
13. 実用化を目指す開発活動に位置付けていない技術の適切な水準での研究開発

③原子力損害賠償制度の改正

「原子力損害の賠償に関する法律」（昭和 36 年法律第 147 号。以下、「原賠法」という。）は、原子力損害が生じた場合の特別の賠償制度を定め、被害者の保護と原子力産業の健全な発達を目的として制定されました。原賠法の時限的な規定の期限が「平成 21 年 12 月 31 日まで」とされていたことや、平成 11 年の前回改正後に我が国で最初の原子力損害の賠償事例となった JCO 臨界事故が発生したことを踏まえて、文部科学省において改正に向けた検討が進められ、平成 20 年 12 月、第一次報告書がまとめられました。なお、以下の 2 項目については、ワーキンググループを設置して引き続き検討を進めました。

- ・原子力損害賠償制度の運用ガイドライン
- ・原子力損害賠償に関する国際条約への対応

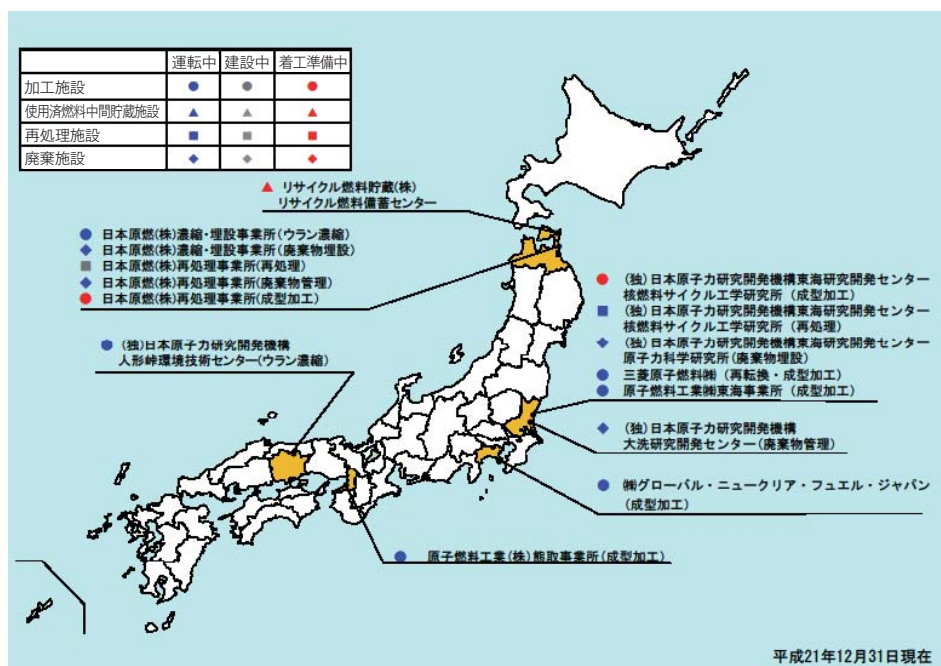
平成 21 年 4 月には、「原子力損害の賠償に関する法律及び原子力損害賠償補償契約に関する法律の一部を改正する法律」（平成 21 年法律第 19 号）が成立しました。改正された主な事項は以下のとおりです。

- ・原賠法第 20 条の適用期限を平成 31 年 12 月 31 日まで 10 年間延長
- ・賠償措置額を現行の 600 億円から 1,200 億円に引上げ
- ・紛争審査会の所掌事務に、紛争の自主的な解決の促進に資する損害の範囲の判定等に関する指針の策定を追加 等

④原子力発電所新・増設費用の運転開始前引当金制度

電力自由化の下で電気事業者の長期投資を促すための制度として、平成 18 年度に原子力発電所新・増設費用の運転開始前引当金制度（原子力発電工事償却準備引当金）が創設され、対象となる電気事業者は毎事業年度の決算において積み立てを行っています。

図 3-11 我が国の核燃料サイクル施設立地地点



(出典) 内閣府

(1) 我が国の取組の基本的考え方

原子力政策大綱では、核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効に利用することを目指して、安全性、核不拡散性、環境適合性を確保するとともに、経済性にも留意しつつ、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本方針としています。

原子力政策大綱の策定に向けて行われた議論の過程では、原子力利用を巡る様々な状況変化が起こっている中で、経済性、核不拡散性、安全性等の観点から、それまでの国の方針を継続することに対し懸念が提起されました。そこで、使用済燃料の取扱いについて、直接処分を含む4つのシナリオを仮定し、①安全の確保、②エネルギーセキュリティ、③環境適合性、④経済性、⑤核不拡散性、⑥技術的成立性、⑦社会的受容性、⑧選択肢の確保、⑨政策変更に伴う課題、⑩海外の動向の各視点から、できるかぎり定量的な評価を行いました。

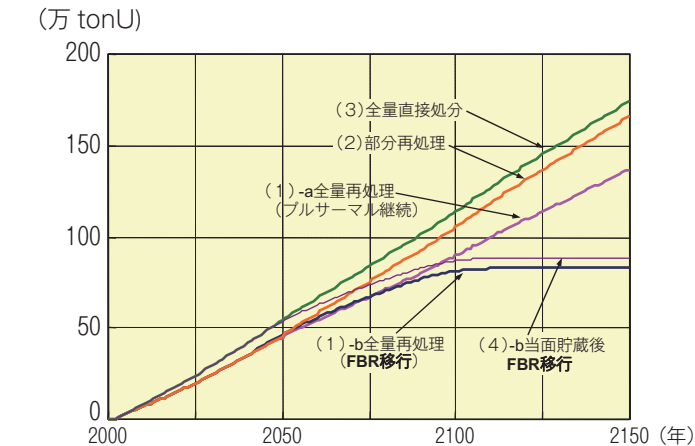
評価に基づく以下の指摘を総合的に判断した結果、建設中の六ヶ所再処理施設を竣工・運転し、回収したプルトニウムをプルサーマルで利用していくことが妥当と結論づけました。

- ・ 使用済燃料を再処理してプルトニウム等を回収して利用する場合、直接処分する場合に比べてウラン資源の利用効率が高い。
- ・ 処分される高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度が低く、処分場の面積が小さい(図3-12、表3-2)。
- ・ 各施設で安全基準を遵守した安全確保活動が行われ、IAEAの保障措置の下で、我が国の原子力利用が平和利用に限定して行われる限り、安全性や核拡散抵抗性について差はない。
- ・ 発電コストは直接処分路線を選択する場合に比べて1割程度高くなる。
- ・ 人類が長期にわたって原子力発電を利用していく可能性が高く、再処理活動を行っている場合の方がそうした状況に対応する能力が高い。

・ここで方針を変更することは地球温暖化対策やエネルギー安定供給に資する原子力発電による安定した電力供給に対して悪影響を与える可能性が高い。等

この結論を踏まえ、平成 17 年 10 月に策定した原子力政策大綱においては、上述の基本方針を定めました。

図 3-12 使用済燃料の再処理によるウラン資源節約効果



(出典) 原子力委員会 新計画策定会議（第 9 回）資料第 13 号

表 3-2 定量化可能範囲のコスト試算

(単位：円／kWh)

	①全量再処理	②部分再処理	③全量直接処分	④当面貯蔵
発電コスト※ ¹	約 5.2	約 5.0 ～ 5.1	約 4.5 ～ 4.7	約 4.7 ～ 4.8
核燃料サイクルコスト	約 1.6 ※ ²	約 1.4 ～ 1.5 ※ ²	約 0.9 ～ 1.1 ※ ²	約 1.1 ～ 1.2 ※ ²
うち①フロントエンド	0.63	0.63	0.61	0.61
うち②バックエンド	0.93	0.77 ～ 0.85	0.32 ～ 0.46	0.49 ～ 0.55
政策変更に伴う費用※ ³	—	—	約 0.9 ～ 1.5	
うち①六ヶ所再処理施設関連	—	—	約 0.2	
うち②代替火力発電関連	—	—	約 0.7 ～ 1.3 ※ ⁴	
(参考値) 発電コスト※ ¹ +政策変更に伴う費用※ ⁴	約 5.2	約 5.0 ～ 5.1	約 5.4 ～ 6.2	約 5.6 ～ 6.3

- ※ 1 発電コストと核燃料サイクルコスト（前頁）の差分は、総合エネ調電気事業分科会コスト等検討小委員会の試算（H16.1）を活用。設備利用率 80%、割引 2% の場合で、発電コスト 5.1 円 / kWh、核燃料サイクルコスト 1.53 円 / kWh となっており、その差分（5.1 - 1.53 ≒）3.6 円 / kWh をシナリオ①～④の核燃料サイクルコストに加算して発電コストを算定。
- ※ 2 今回の使用済燃料の直接処分コストの算定ではいくつかの不確実性については取り扱っていない。このため、現時点のコストの不確定幅は今回の算定結果よりも大きいと考えるのが妥当である。
劣化ウラン及び回収ウランはシナリオにより処分又は貯蔵していずれ使用されることとなるが、これら物質の経済的価値及び費用（注）は算定していない。プルトニウムの経済的価値はゼロとする。
（注）再処理工場における回収ウランの貯蔵費用は、再処理費用の中に含まれている。
- ※ 3 政策変更に伴う課題としては、立地地域との信頼関係を損なう可能性など様々な項目が存在するが、ここでは、一定の仮定の基に定量化が可能なものについて算定結果を求めた。
- ※ 4 政策変更により原子力発電所が停止する蓋然性については確定的なことは言えないが、代替火力発電関連のコスト算定の際の政策変更後の運転再開時期は、a) 2015 年、b) 2020 年とした。これは、再処理を前提にしない中間貯蔵施設の立地やサイト内貯蔵容量の大幅増といった対策がこれだけの時間をかければ立地地域の理解を得て実現できると仮定しておいたものである。

(出典) 原子力委員会 新計画策定会議（第 10 回）資料第 4 号

(2) 核燃料サイクルに関する取組

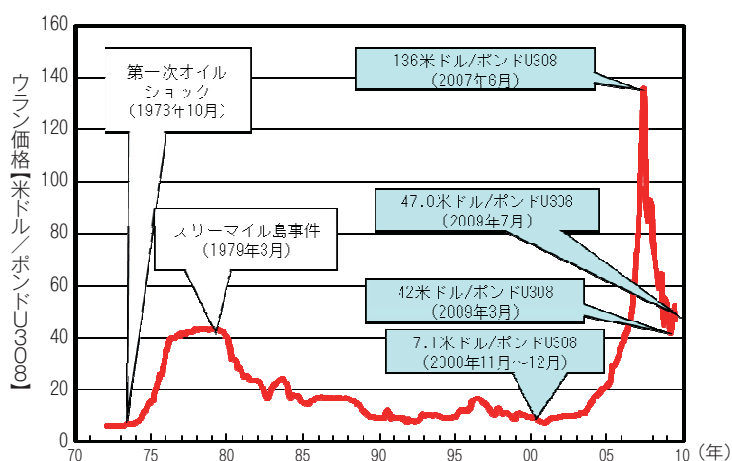
①天然ウランの確保

現在、世界のウランは、鉱山開発による供給は消費量の6割程度しか行われておらず、残りを核兵器を解体した際に取り出した高濃縮ウラン（解体核ウラン）や民間在庫取り崩し等の二次供給により補っているのが現状です。国際的なウラン価格は1980年代中旬以降、20米ドル／ポンドを下回る水準で推移していましたが、2005年以降は価格が大きく変動しており、2007年6月には136米ドル／ポンドの最高値を記録しました（図3-14）。今後、中国、インド等の原子力発電の推進による世界的なウラン需要の増加等に加えて、解体核ウランの民生供給に係る米露間契約の終了（2013年）等によるウラン二次供給の減少が見込まれることから、中・長期的にウラン需給が逼迫することが懸念され、世界的なウラン獲得競争が激化しています（図3-14）。

我が国の電気事業者はカナダ、オーストラリアなどから主として長期購入契約により天然ウランを確保しているほか、我が国企業がカザフスタン、ウズベキスタンなどにおいてウラン鉱山の自主開発を進めています。今後とも供給国の多様化に努めるとともに、ウラン鉱山開発・探鉱プロジェクトへの参画など、自主開発輸入の比率を高めるためにも資源外交の強化、（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構による探鉱事業へのリスクマネー供給、独立行政法人日本貿易保険や国際協力銀行等の政策金融による支援などが重要です（図3-15、図3-16）。

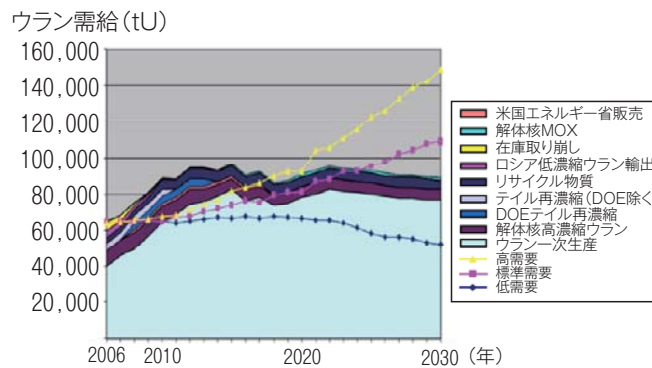
オーストラリアに次いで世界第2位のウラン資源埋蔵量が確認されているカザフスタンは、平成19年4月に「原子力の平和利用に関する戦略的パートナーシップ強化に関するカザフスタン共和国首相と日本国経済産業相との間での共同声明」に基づき、平成20年5月、同国エネルギー・鉱物資源省と経済産業省の間で、24件の協力案件の重層的かつ着実な発展を確認する覚書を取り交わしています。

図3-13 ウラン価格の推移



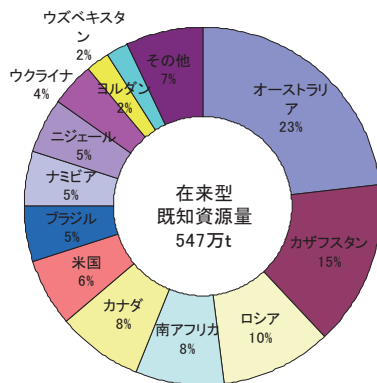
(出典) The Ux Consulting Company, LLC のスポット価格

図 3-14 ウラン需給見通し（高供給シナリオ）



(出典) The Global Nuclear Fuel Market (2007), World Nuclear Association

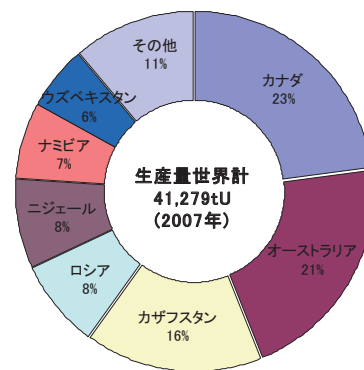
図 3-15 ウラン資源埋蔵量



(注) トン U：金属ウランでの重量トン

(出典) OECD/NEA & IAEA, Uranium 2007

図 3-16 世界の天然ウラン生産量



(出典) World Nuclear Association (2007 年)

② ウラン濃縮

ウラン資源の需要の上昇とともに、ウラン濃縮役務の需要も高まっています。このような状況において、我が国は、濃縮ウランの安定供給を確保する観点に加えて、我が国における核燃料サイクル全体の自主性を確保する観点から、経済性を考慮しつつ、ウラン濃縮の事業化を推進しています。

日本原燃（株）の六ヶ所ウラン濃縮工場では、濃縮ウランの生産が行われていますが、経年劣化により遠心分離機が停止しこれにより生産能力が低下した機器を計画的に停止しており、現在の生産能力は 150tSWU／年未満となっています（図 3-17）。同社は、より高性能で経済性に優れた新型遠心分離機を開発し、六ヶ所ウラン濃縮工場敷地内に新型遠心分

図 3-17 日本原燃（株）ウラン濃縮工場



(出典) 日本原燃（株）

離機の製造工場を建設しています。また、平成 22 年 1 月には、新型遠心分離機への更新を行うための核燃料物質加工事業変更が経済産業大臣により許可されました。現在、平成 23 年 9 月から新型遠心分離機による濃縮ウランの生産を開始し、将来的には、同工場の操業規模を 1,500tSWU / 年とすることを計画しています。

③燃料再転換・成型加工

ウラン濃縮工場の製品は、気体状の六フッ化ウランです。軽水炉用の核燃料（燃料集合体）を製造するためには、これを粉末状の二酸化ウランにする「再転換」工程と、粉末状の二酸化ウランをペレットに加工し、被覆管の中に収納して燃料集合体に組み立てる「成型加工」工程の 2 つの工程が必要となります。

再転換事業については、現在、国内では三菱原子燃料（株）のみが実施しています。同社の設備で、国内の原子力発電用核燃料として必要とされるウランの約 3 ～ 4 割を再転換しています。残りは海外で濃縮し、再転換した後に輸入しています。なお、三菱原子燃料（株）の再転換能力は 450tU / 年ですが、平成 27 年頃までに最新の設備約 600tU / 年を増設し、1,050tU / 年とする計画で検討が進められています。

成型加工事業については、現在、国内では三菱原子燃料（株）、（株）グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン及び原子燃料工業（株）の 3 社が実施しています。加圧水型軽水炉（PWR）用、沸騰水型軽水炉（BWR）用ともに国内で必要とされる量の大部分をこの 3 社でまかなっており、高品質の燃料集合体を製造しています。

④使用済燃料の貯蔵

1) 原子力発電所における貯蔵・管理

使用済燃料は、再処理されるまで各原子力発電所の貯蔵プール等で貯蔵・管理されており、平成 21 年 9 月末現在、合計 12,840tU の使用済燃料が貯蔵・管理されています（表 3-3）。

初期に建設された原子力発電所には、貯蔵プールの容量が比較的小さいものがあるため、同じ発電所内で貯蔵容量に余裕のある他の原子炉の貯蔵プールへ使用済燃料を移送したり、貯蔵プールの容量の増強（リラッキング）するなどの対策を講じています。

また、東京電力（株）福島第一発電所及び日本原子力発電（株）東海第二発電所においては、同じ発電所内に乾式使用済燃料貯蔵施設を設置・運用しており、中部電力（株）浜岡原子力発電所では平成 28 年度の使用開始を目標に乾式使用済燃料貯蔵施設の設置を計画しています。

表 3-3 各原子力発電所（軽水炉）の使用済燃料の貯蔵量及び管理容量

(平成 21 年 9 月末現在)

電力会社	発電所名	1 炉心 (tU)	1 取替分 (tU)	使用済燃料貯蔵量 (tU)	管理容量 (tU)
北海道電力	泊	100	30	340	420
東北電力	女川	260	60	360	790
	東通	130	30	30	230
東京電力	福島第一	580	140	1,720	2,100
	福島第二	520	120	1,030	1,360
	柏崎刈羽	960	230	2,140	2,910
中部電力	浜岡	410	100	1,080	1,740
北陸電力	志賀	210	50	110	690
関西電力	美浜	160	50	320	620
	高浜	290	100	1,120	1,630
	大飯	360	110	1,250	1,900
中国電力	島根	170	40	370	600
四国電力	伊方	170	60	540	930
九州電力	玄海	270	100	740	1,060
	川内	140	50	810	1,140
日本原子力発電	敦賀	140	40	540	860
	東海第二	130	30	350	440
合計		5,000	1,340	12,840	19,420

(注) 1. 管理容量は、原則として「貯蔵容量から 1 炉心 + 1 取替分を差し引いた容量」。

2. 四捨五入の関係で合計値は、各項目を加算した数値と一致しない部分がある。

3. 福島第一、東海第二の管理容量には、乾式使用済燃料貯蔵施設が含まれる。

(出典) 電気事業連合会の資料をもとに内閣府作成

2) 使用済燃料中間貯蔵

平成 17 年 10 月、青森県、むつ市、東京電力（株）及び日本原子力発電（株）により、「使用済燃料中間貯蔵施設に関する協定書」が締結されました。これは、使用済燃料中間貯蔵施設の立地に関する我が国で初めての協定です。これを受け、同年 11 月、使用済燃料の貯蔵・管理を目的としたリサイクル燃料貯蔵（株）が設立されました。平成 19 年 3 月、同社

から経済産業大臣に対してリサイクル燃料備蓄センターの貯蔵事業許可申請が提出され、現在、原子力委員会及び原子力安全委員会において二次審査を行っています。平成 24 年 7 月に貯蔵量 3,000tU 規模で操業を開始し、最終的に貯蔵量は 5,000tU とする予定としています。（図 3-18）。

⑤ 使用済燃料再処理

原子力政策大綱において、我が国は、使用済燃料の再処理について、核燃料サイクルの自主性を確実なものにする観点から、国内で行うことを原則とすることを明らかにしています。

図 3-18 リサイクル燃料貯蔵（株）
リサイクル燃料備蓄センター（イメージ）



(出典) リサイクル燃料貯蔵（株）

1) 日本原燃（株）

日本原燃（株）は、我が国初の商業用再処理施設である六ヶ所再処理施設の建設を青森県六ヶ所村で進めています（図 3-19）。

日本原燃（株）六ヶ所再処理施設は、化学試験、ウラン試験等を経て、平成 18 年 3 月から使用済燃料を使ったアクティブ試験を実施しており、平成 20 年 2 月からはアクティブ試験の最終段階である第 5 ステップを実施しています。せん断、溶解、分離等の工程についての試験は、ほぼ終了していますが、ガラス固化体を製造する工程でトラブルが生じたことなどにより、試験スケジュールが遅れています。このため、六ヶ所再処理施設の竣工は、平成 22 年 10 月予定となっています。

六ヶ所再処理施設の使用済燃料受入れ・貯蔵施設については、平成 12 年 12 月に原子力発電所からの使用済燃料の搬入が開始されており、平成 21 年 12 月末現在で約 3,117tU が搬入されています。そのうち、約 425tU がアクティブ試験の段階で再処理されています。

ガラス固化体を製造する工程では、溶かしたガラスをガラス固化体容器に流し込む部分で流動性の低下が発生し、その原因調査の過程で、ガラス溶融炉の天井レンガの一部損傷が確認されたり、高レベル廃液が固化セル内に滴下するなどしました。現在、その原因調査と対策を進めています。

図 3-19 日本原燃（株）
六ヶ所再処理施設



（出典）日本原燃（株）

2) 原子力機構

我が国ではこれまで、原子力機構（特に、東海再処理施設）を中心として、再処理及び再処理技術に関する研究開発を行ってきました。同施設での使用済燃料の累計再処理量は、試験運転期間を含め昭和 52 年 9 月から平成 19 年 9 月までに、約 1,140tU となっています。現在は、耐震補強工事が行われています。

また、原子力機構は、東海再処理施設での軽水炉及び新型転換炉「ふげん」の使用済燃料の再処理を通じて得た技術について、日本原燃（株）と技術協力を進めています。特に、日本原燃（株）六ヶ所再処理施設におけるガラス固化体を製造する工程でのトラブルに対応し、実規模モックアップ試験施設（KMOC）を利用して、トラブルを起こした溶融炉の構造の改良、運転方法の立案などの協力を行っています。

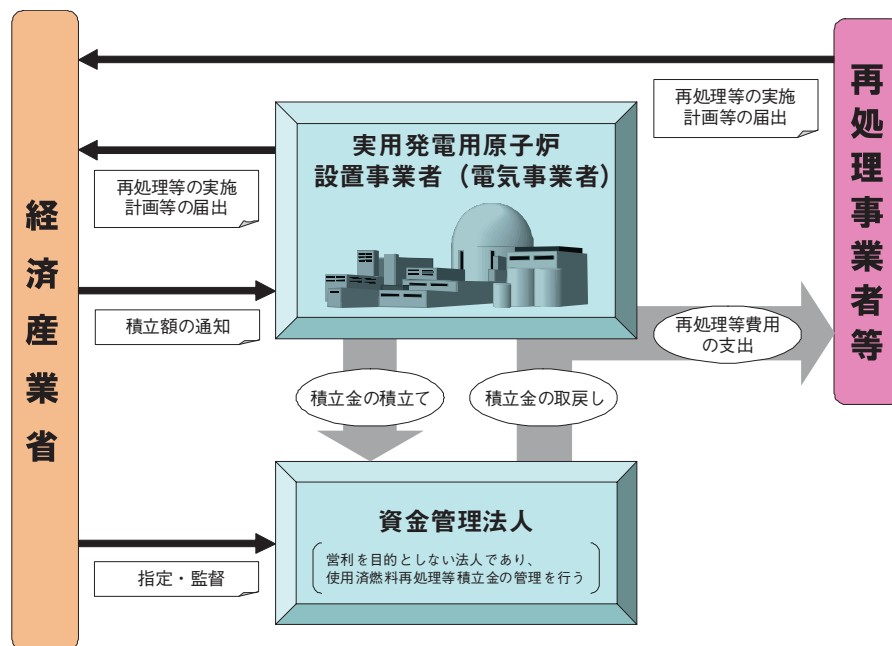
さらに原子力機構では、高速増殖炉のための核燃料サイクルの実用化に向けて、高速増殖炉サイクルに適した新たな再処理システムに関する研究開発を進めています。

3) 再処理に対する積立金制度

電気事業者は、六ヶ所再処理施設で使用済燃料を再処理する費用について「再処理積立金」として積み立てています。さらに、平成 18 年度に第二再処理施設関連費用の暫定的引当金制度（バックエンド対応）が創設され、電気事業者の毎事業年度の決算において着実に積み立て

られています（図 3-20）。

図 3-20 原子力発電における使用済燃料の再処理等のための積立金制度の概要



（出典）総合資源エネルギー調査会電気事業分科会（第1回）資料に基づき内閣府作成

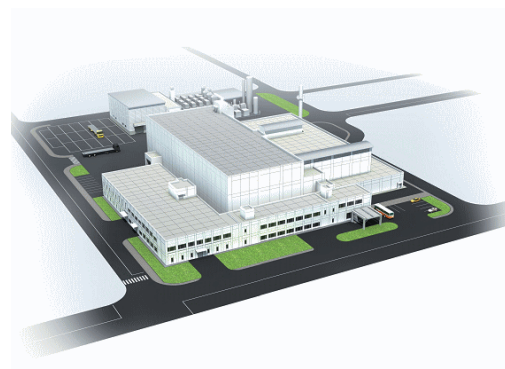
⑥ ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料製造

我が国では、原子力機構を中心として、「もんじゅ」、「常陽」等の高速増殖炉、新型転換炉等に使用するための MOX 燃料製造（成形加工）に関する研究開発を実施してきました。その実績は平成 21 年末までの累積で MOX 燃料重量約 171tMOX に達しており、ここで培われた MOX 燃料製造技術は世界的に見ても高い水準にあります。現在は、高速増殖炉燃料製造施設である原子力機構のプルトニウム燃料第三開発室の FBR ラインが運転中であり、その最大処理能力は年間 4.5tHM（燃料に含まれる重金属の質量）です。

日本原燃（株）は、我が国初の民間 MOX 燃料施設（最大処理能力は年間 130tHM）の建設を、平成 27 年 6 月の竣工を目指して進めています。平成 17 年 4 月、青森県、六ヶ所村及び日本原燃（株）により「MOX 燃料加工施設に係る立地への協力に関する基本協定書」が締結されました。これを受け、同月、日本原燃（株）から経済産業大臣に対して加工事業許可申請が提出され、現在、原子力委員会及び原子力安全委員会において二次審査を行っています（図 3-21）。

日本原燃（株）の六ヶ所再処理施設で回収されるプルトニウムは、この MOX 燃料加工施設で MOX 燃料体に加工され、我が国の軽水炉で利用される予定です。六ヶ所

図 3-21 日本原燃（株）
MOX 燃料加工施設（イメージ）



（出典）日本原燃（株）

再処理施設と歩調を合わせて、国内の MOX 燃料加工事業が着実に進められることが期待されます。

なお、海外の再処理施設において回収されたプルトニウムについては、海外において MOX 燃料体に加工され、我が国に輸送されます。

⑦軽水炉による MOX 燃料利用（プルサーマル）

我が国では原子力発電の初期の段階より、軽水炉で MOX 燃料を利用するプルサーマルの実施に向けて研究開発等の取組を進めてきました（図 3-30）。軽水炉での MOX 燃料利用は、海外において既に約 6,300 体の実績（平成 20 年末）があり、我が国においても日本原子力発電（株）の敦賀発電所 1 号機（BWR）と関西電力（株）の美浜発電所 1 号機（PWR）において少数体規模での実証試験が行われ、良好な成果が得られています。

プルサーマルについては、平成 9 年 2 月、「現時点で最も確実なプルトニウムの利用方法であるプルサーマルを早急に開始することが必要である」とする閣議了解が行われています。また、原子力政策大綱及びエネルギー基本計画（平成 19 年 3 月閣議決定）においても、着実に推進することとされています。

平成 21 年 5 月、中部電力（株）・四国電力（株）・九州電力（株）の 3 社が使用する MOX 燃料が海外から到着しました。九州電力（株）玄海原子力発電所 3 号機は、輸入燃料体検査の合格を経て MOX 燃料 16 体を炉心に装荷し、平成 21 年 12 月より営業運転を開始しました。四国電力（株）伊方発電所 3 号機については、平成 21 年 7 月に輸入燃料体検査に合格しており、平成 21 年度内にプルサーマルによる営業運転が開始される予定です。中部電力（株）浜岡原子力発電所 4 号機では、輸入燃料体検査を経て平成 22 年度内にプルサーマルが実施される計画です。

関西電力（株）高浜発電所 3、4 号機、中国電力（株）島根原子力発電所 2 号機及び東北電力（株）女川原子力発電所 3 号機については、燃料の一部に MOX 燃料を使用することを内容とする原子炉設置変更が経済産業大臣より許可されています。

東京電力（株）福島第一原子力発電所 3 号機及び柏崎刈羽原子力発電所 3 号機については、共に燃料の一部に MOX 燃料を使用する許可がなされており、輸入燃料体検査にも合格しています。しかし、平成 14 年 8 月、同社の自主点検記録不正記載により事前了解が白紙撤回されたこと等により、現在まで MOX 燃料は装荷されず、燃料貯蔵施設において保管されています。平成 22 年 1 月、同社は福島県に対し、改めて福島第一原子力発電所 3 号機のプルサーマル実施について申し入れを行いました。

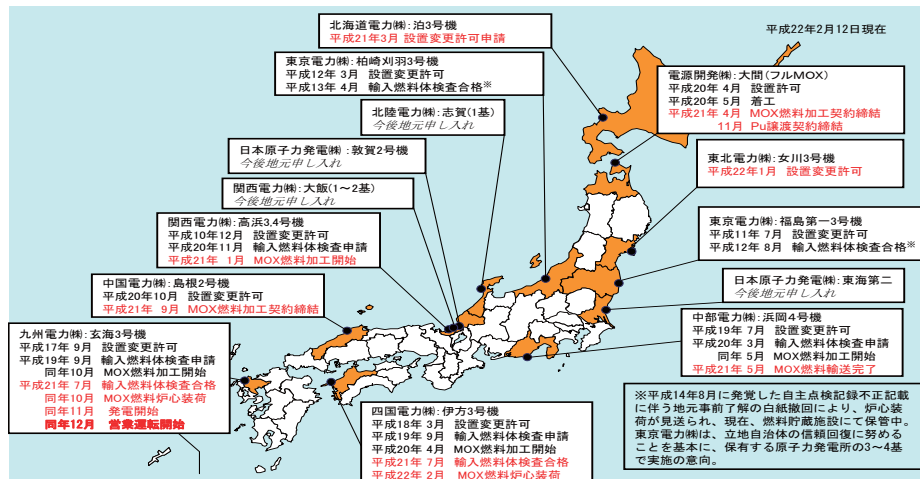
また、電源開発（株）は、国の補助のもとで、大間原子力発電所の稼働に向けて全炉心で MOX 燃料を使用する準備を着実に推進しています。平成 20 年 4 月の原子炉設置許可を受けて同年 5 月に着工し、平成 26 年 11 月の運転開始に向けて建設が進められています。同発電所に装荷する MOX 燃料については、計画的かつ段階的に利用していくことを基本的な考え方としており、初装荷として炉心の 3 分の 1 程度以下を装荷し、運転開始後 5 年から 10 年程度かけて段階的に全炉心まで MOX 燃料の装荷割合を増やすことを計画しています。

電気事業者はプルサーマルの実施に向けて、立地地域の信頼獲得を目指す相互理解活動等を継続的かつ積極的に実施しています。また、国も立地地域において“国の顔が見える”取組を

積極的に行うとともに、情報の受け手に応じたきめ細かい広聴・広報活動を実施しておりプルサーマルの実施に向けた取組は着実に進んでいます。

平成 21 年 6 月、電気事業者連合会はプルサーマル計画を見直し、平成 27 年度までに全国の 16 ～ 18 基の原子炉でプルサーマルを順次実施すると公表しています。

図 3-22 電気事業者のプルサーマル実施状況



(出典) 原子力委員会政策評価部会エネルギー利用(第2回)資料第2号「エネルギー利用(核燃料サイクル)電気事業者の取組み状況について」を基に内閣府作成

3-2 放射線利用

「放射線」には、X線、 γ 線、電子線等の種類があります（図3-23）。電離放射線を、医療、工業、農業、学術等の分野において利用することを「放射線利用」といいます。

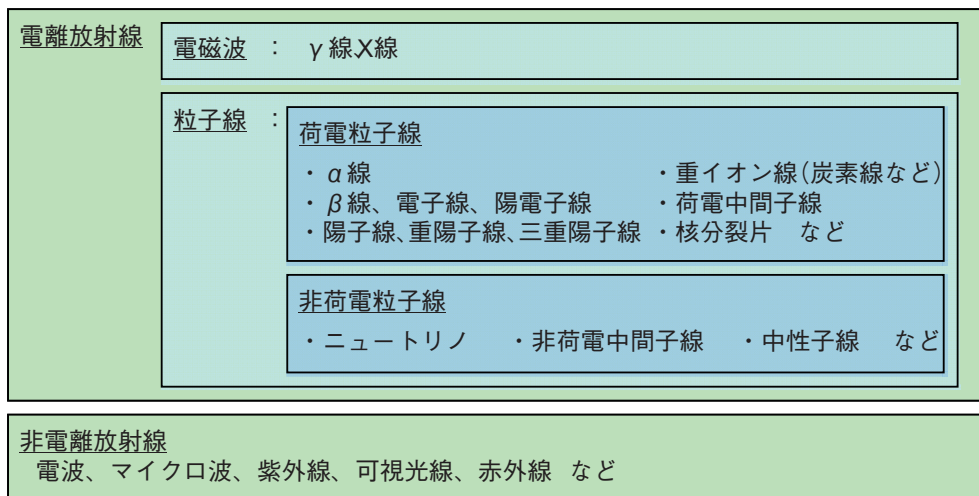
放射線は、生体組織に対して過度に照射すると障害をもたらしますが、

- ①物質を透過したり、原子核で散乱したりするため、物質や生体の内部を細部まで調べることができる。
- ②局所的にエネルギーを集中し、材料の加工や特殊な機能の付与ができる。
- ③細菌やがん細胞等に損傷を与え不活性化することができる。
- ④電離作用があるので、化学物質等に照射して別の物質に変えることができる。

など、応用して利用できる有益な性質があります。

このため、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るとともに、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に利用されています。

図3-23 放射線の種類



（出典）内閣府

（1）放射線利用に関する基本的考え方

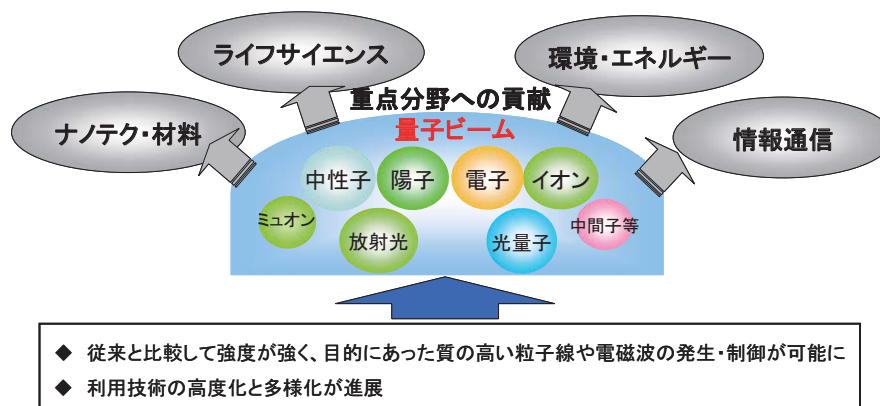
放射線利用技術は、私たちの生活や社会において重要な役割を果たしてきています。また、電磁波や粒子線を発生・制御する技術及びこれらの利用技術の進展により、「量子ビームテクノロジー」という新たな技術領域が形成されてきています。同領域は、ナノテクノロジーやライフサイエンス等最先端の科学・技術分野の発展に貢献し、幅広い産業分野を支えていくことが期待されています（図3-24）。

放射線の利用は社会に大きな効用をもたらしていますが、関連機器や放射性物質は取扱いを

誤れば人の健康や環境に悪影響を与える可能性があります。このため、放射線による障害を防止し、公共の安全を確保するため、放射性物質及び放射線発生装置に係る使用、販売、廃棄等に対する規制や保安及び保健上の措置に関することが各種の法律で定められており、それぞれの分野毎に関係法律の定めに基づく厳格な安全管理体制の下で進められています。

図 3-24 量子ビームテクノロジー

加速器、高出力レーザー装置、研究用原子炉等の施設・設備を用いて、高強度で高品質な光量子、放射光等の電磁波や、中性子線、電子線、イオンビーム等の粒子線を発生・制御する技術及びこれらを用いて高精度な加工や観察等を行う利用技術からなる先端科学技術の総称



(出典) (独) 日本原子力研究開発機構

なお、放射線利用技術は、様々な分野において同じ目的を達成することのできる他の技術と比較して優位性がある場合や、その特徴が必要不可欠な場合に採用されるべきものです。他方、他の技術と比較して優位であるにもかかわらず、利用者側における技術情報やその認識の不足等から採用されていないことがあります。そのため、技術情報の共有や利用者の学習機会の整備・充実が重要であることに加えて、技術導入を図る当事者、利用者及びその他関係者の間で、その技術導入を図ることによる利害得失等に係る相互理解の充実に向けた活動に取り組むことが重要です。

(2) 放射線利用に関する取組と現状

① 放射線利用環境の整備

1) 放射性同位元素及び放射線発生装置の利用状況

放射線障害防止法に基づく放射性同位元素（RI）または放射線発生装置は様々な用途で、幅広く利用されています。それらを利用する使用事業所は、平成 22 年 2 月末現在、6,370 事業所に達しています。これを機関別に見ると、民間企業が 3,501 か所、研究機関が 517 か所、医療機関が 938 か所、教育機関が 539 か所、その他の機関が 875 か所です。また、密封放射性同位元素の使用事業所は 5,379 事業所です。

これらの事業所においてはコバルト 60 が医療用具の滅菌等の照射装置やレベル計に、ニッケル 63 がガスクロマトグラフ装置に、クリプトン 85 が厚さ計に、ストロンチウム 90 がたばこ量目制御装置に、セシウム 137 がレベル計や密度計等に、イリジウム 192 が非破壊検査装置に、アメリカシウム 241 が厚さ計や密度計等に主に使用されています。また、医療機関において

は、ヨウ素 125、イリジウム 192、金 198 等が密封小線源として、コバルト 60 及びセシウム 137 が遠隔照射治療装置及びガンマナイフ装置の線源として利用されています。

放射線障害防止法に定める放射線発生装置は、平成 22 年 2 月末現在、1,523 台に達しています。放射線発生装置の 71.7%は医療機関に設置され、がん治療等に利用されています。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利用されています。

その他、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ます。

2) 放射線利用に関する規則と放射線防護に関する研究

放射線利用は、放射線による障害の防止のために制定された「放射線障害防止法」、放射線障害等から労働者を保護する「労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）」、放射線や放射性同位元素等を診断や治療で用いる際の基準等を定める「医療法（昭和 23 年法律第 205 号）」及び医薬品等の安全性等の確保のために必要な規制を行う「薬事法（昭和 35 年法律第 145 号）」等に基づいて、厳格な安全管理体制の下で進められています。

原子力関連施設の事故や医療被ばく事故が発生した際の放射線被ばくの影響について、国民は潜在的に不安を有していると考えられることから、より適切な放射線防護基準を策定し、安全な放射線利用を進めることが大切です。同時に、放射線被ばくによる人体影響及びリスクに関して国民が正確に理解できるように、学習環境を整備する必要があります。

一方、原子力関連施設の事故等によって引き起こされる放射線災害に備えて、関係機関は、諸外国の専門機関や高度専門医療機関も交えたネットワークを形成し、治療等に関する情報交換、研究協力、人的交流等を行い、緊急時の被ばく医療のための効果的な医療体制・支援体制を確立しなければなりません。

（独）放射線医学総合研究所（放医研）は、緊急被ばく医療体制の中核機関として緊急時の医療体制・支援体制の確立を目指すとともに、高線量被ばく患者に対する効果的な治療法を開発するため、治療剤候補の同定や革新的な線量評価法のプロトタイプの開発等の研究を行っています。同研究所では、平成 11 年に茨城県東海村で起きた JCO 臨界事故によって中性子線による被ばくの生物影響研究の重要性が改めて認識されて以来、中性子線等の生物学的効果比の年齢依存性に関する研究が行われています。

原子力機構や放医研では、科学的基盤に立脚したより合理的な放射線防護システムを確立するための研究も行われています。特に、原子力機構では、米国のスリーマイルアイランド原子力発電所事故後の昭和 55 年から、原子力施設の事故により大気中に放射性物質の放出が予想される場合や、放出が実際に起こった場合における環境線量を予測する環境情報予測システム（SPEEDI：System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information）の開発が開始されました。SPEEDI に基づく「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」が文部科学省により開発され、運用されています。その後、国外の事故に対応する第二世代の SPEEDI の開発、世界版の SPEEDI（WSPEEDI）の整備を経て、現在は、様々な環境汚染事故に対応できる新しい環境中物質循環予測システム SPEEDI-MP（Multi-model Package）の構築が進められています。

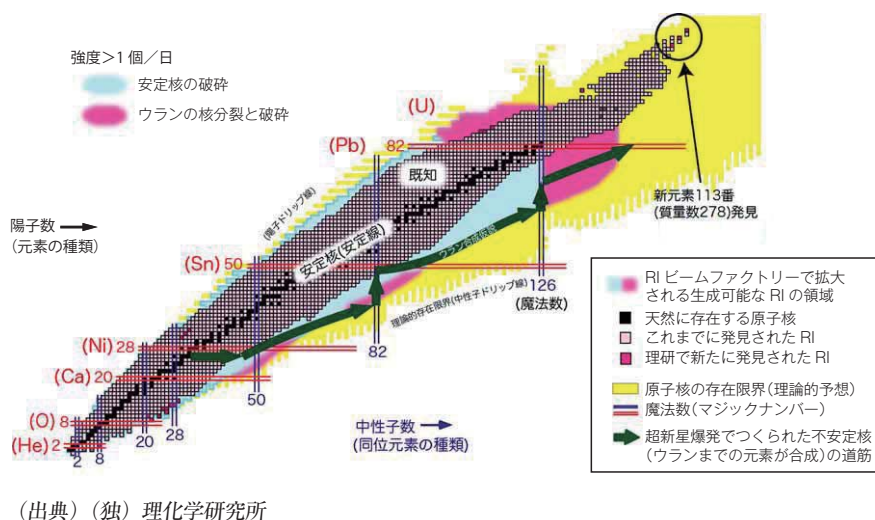
さらに、原子力機構は、外部被ばくや内部被ばくに関する研究や関連する基礎データの整備等を進めており、核医学検査・治療に伴う患者の被ばく線量評価のための米国核医学会の線量計算用放射性核種データ集の改訂に貢献する等の成果もあげています。

②科学・技術・学術分野

放射線は、物質の根源や宇宙誕生時の物質の起源にせまる基礎科学研究や、物質の極微の世界の構造を調べる研究等に利用されています。これにより、学術分野の進展に貢献し、人類共通の知的資産となる物理の諸原理を解明するとともに、最先端の生命科学や医学、農学等幅広い分野での研究開発の成果を創出しています。

(独) 理化学研究所では、RI ビームファクトリーを用いて、中性子が異常に多いパラジウム125を創生するなど、未知の原子核生成による核図表の拡大、既存理論では説明できない現象を網羅する原子核モデルの構築、ウランまでの元素合成仮説の検証等に取り組んでいます(図3-25)。

図 3-25 核図表の拡大



③医療分野

医療分野における放射線利用は、X線CT等による診断や放射線によるがん治療が多くの医療機関で採用されていることから分かるように、患者に対する身体的負担の少ない診療を実現する手段の1つとして身近な存在となっています(図3-26)。

放射性同位元素を含んだ薬剤を投与し、その薬剤の人体内の動態や分布を画像化する技術(シンチグラフィ※5、SPECT※6、PET等)も実用化されています。最近では、分子イメージ

5 シンチグラフィ：核医学検査

人体にほとんど無害な少量の RI で標識した薬剤を血液中に注入することにより、それが組織に集積された様子を放出される γ 線を検出することで映像化しがん組織発見のための診断法。

6 SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)：シングルフォトエミッション CT

体内に投与された RI で標識された薬剤から発生する γ 線を体軸の周囲から計測し、コンピュータを用いて体内放射能分布像を構成する方法。

ング研究等の進展に伴い、人体組織の機能や形態を高い空間分解能で画像化する放射線診断技術の開発も進んでおり、ごく初期のがん病巣の発見、人体機能異常の解明、新しい治療薬の開発への貢献等につながることが期待されています。

図 3-26 PET

PET (Positron Emission Tomography: 陽電子放射断層撮像法) は、陽電子を出す放射性同位元素を含む薬剤を投与して、陽電子の消滅から生じる 2 本の γ 線を人体周囲に並べた検出器で同時に計測することで、放射線源の体内集積度を 3 次元的に再構成します。

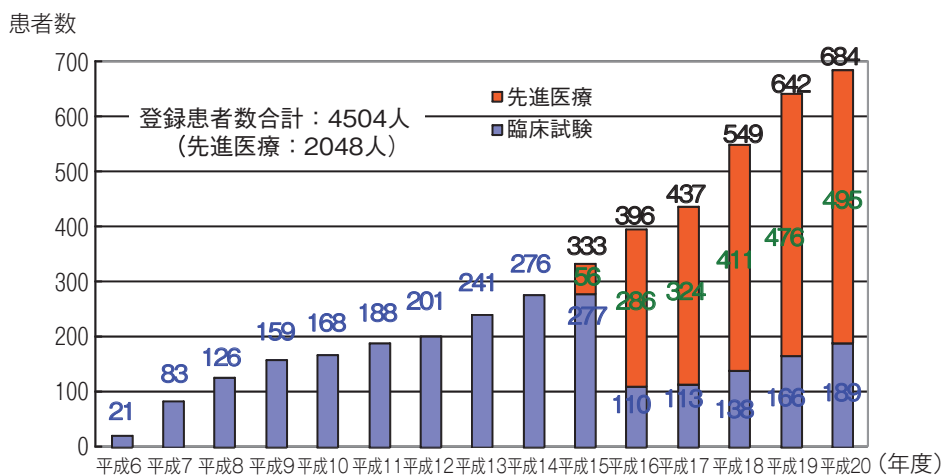


(出典) (独) 放射線医学総合研究所

放射線によるがん治療は、放射線の細胞殺傷能力を利用するものであり、最近では、加速器で発生する陽子線や重粒子線等の粒子線もがん治療に用いられるようになってきています。現在、国内には 5 か所の陽子線治療施設と 3 か所の重粒子線治療施設があります。

放医研で重粒子線がん治療装置 (HIMAC) を使用して平成 6 年 6 月より開始した臨床試験において、その安全性と有効性が認められた結果、平成 15 年 10 月に厚生労働省から「固形がんに対する重粒子線治療」という名称で高度先進医療 (現在、先進医療) を行うことが承認されました。平成 21 年 2 月までに、頭頸部、肺、肝臓、前立腺、骨・軟部、直腸等の腫瘍を中心に 4,500 例を超える臨床例を蓄積してきました (図 3-27)。現在は、放医研において臨床研究で得られた成果をもとに先進医療を推進するとともに、他の手法では治療が困難で、重粒子線による治療が確立していないすい臓がん等の疾患の治療法開発のための臨床研究を進めています。また、副作用のリスクをより低減し、線量集中性をさらに高めた次世代照射システムの開発に取り組んでいます。

図 3-27 重粒子線治療の登録患者数 (平成 6 年 6 月～平成 21 年 2 月)



(出典) (独) 放射線医学総合研究所

放射線による診断・治療の普及に伴い、診断・治療時に誤って患者が過剰照射や過小照射を受けるといった不適切な取扱事例が報告されています。そのため、放射線治療に関連する五つの学会及び団体^{※7}が、平成17年9月、「放射線治療における医療事故防止のための安全管理体制の確立に向けての提言」をとりまとめました。また、学会等の関係団体において、医療現場における品質管理に関わる作業等に従事する「放射線治療品質管理士」、高度な放射線治療に従事する「放射線治療専門技師」及び「医学物理士」の認定、並びに各種ガイドラインの作成をはじめとする医療現場における放射線医療の品質管理の向上のための取組が進められています。

放射線治療患者数の増大が見込まれる中、日米放射線医療の構造比較から明らかなように、我が国の放射線腫瘍医等の数は十分な状況にあるとはいえません（表3-4）。そうした状況を背景として、「がん対策基本法（平成18年法律第98号）」第14条では、「国及び地方公共団体は、手術、放射線療法、化学療法その他のがん医療に携わる専門的な知識及び技能を有する医師その他の医療従事者の育成を図るために必要な施策を講ずるものとする。」とされており、放射線医療分野の人材育成が求められています。

表3-4 日米の放射線治療の構造調査比較

	日 本	米 国
調査年	2005	2004
人口(×10 ⁶)	127.7	293.9
施設数	735	2,010
新規患者数	約162,000	700,000
放射線腫瘍医	776FTE ^{※1}	約4,000
医学物理士	461 ^{※2}	約4,000

※1 FTE：full time equivalent（週40時間放射線治療専任業務＝実質的マンパワーを示す）。

※2 平成21年12月現在（医学物理士会HPより）。

（出典）日本放射線腫瘍学界構造調査 ASTRO Fact Sheet 2004

4 農業分野

農業分野では、品種改良や害虫防除等に放射線が利用されています。

1) 品種改良

植物にγ線等を照射することによって、低蛋白質白米のイネや脱粒性をなくした飼料用イネ、黒斑病に強いナシ、斑点落葉病に強いリンゴ、花の色や形が多彩なキクやバラ、病害虫に強く冬でも枯れない芝等、多数の新品種が作り出されてきました。このような放射線の利用により生み出された新品種は、農薬使用量を削減でき、農業関係者の経済的・身体的負担の軽減、環境の保全、消費者の多様なニーズに合った商品の提供等に貢献しています。

最近では、新しい品種を高い効率で作り出すことができるイオンビームによる品種改良の研究が一層の展開を見せており、多彩な花色及び花形のキク、カーネーションの新品種が作出され、商品化されています。

7 日本放射線腫瘍学会、日本医学放射線学会、日本医学物理学会、日本放射線技術学会、日本放射線技師会

原子力機構では、イオンビーム照射研究施設（TIARA）の AVF サイクロトロンで加速した炭素イオンビームを在来種に照射することにより、パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種（図 3-28）や、大気汚染物質である二酸化窒素を高吸収する環境浄化に役立つ壁面緑化植物を開発しました。

（独）理化学研究所（理研）では、リングサイクロトロンで加速した炭素イオンビームを在来種に照射することにより、淡い黄色の花びらを持つサクラや開花に欠かさない休眠打破の低温要求性を低減したサクラの新品種「仁科乙女」（図 3-29）を開発したほか、重イオンビームを用いた育種法により、海水の約 50% 程度の塩分濃度の塩害水田でも育つイネの品種改良に取り組むなど、環境耐性に優れた新品種の作出も行われています。

また、近年、韓国（2005 年）及びマレーシア（2009 年）において新たな γ 線照射施設が建設され、安全管理と放射線育種の指導のために我が国の専門家が派遣されました。

2) 害虫防除

人工的に飼育した害虫の雄のさなぎに適量の放射線を照射すると、それから羽化した成虫は正常な雌成虫と交尾することはできませんが、受精させることができなくなります。このような雄の成虫を自然界の害虫集団に継続的に大量に放飼すると、雌が受精能力のある雄と交尾する機会が少なくなり、受精卵を生む割合が減り、やがて害虫集団が絶滅します。こうした害虫防除方法を不妊虫放飼法といいます。

この方法により沖縄県と奄美群島に生息するウリミバエを根絶する事業が、昭和 47 年から行われています。平成 5 年、これらの地域からウリミバエが根絶されたことにより、ゴーヤ等ウリミバエが寄生する果菜類の移動規制が解除され、県外への出荷ができるようになりました。しかし、沖縄県は常に南方の国々からウリミバエが侵入する危険にさらされているため、現在でも不妊虫放飼法を用いてウリミバエの侵入・定着の防止を図っています。

その他、沖縄県と奄美群島にのみ生息しているサツマイモの重要害虫であるアリモドキゾウムシに関しても、久米島、津堅島、喜界島において、不妊虫放飼法を用いた根絶防除が進められています。なお、海外での取組としては、アフリカにおいて、国際原子力機関（IAEA）により、家畜や人間の害虫であるツエツエバエの駆除が試みられています。

海外では、オゾン層破壊の懸念のある臭化メチルの削減に向け、放射線照射処理を植物検疫措置にとりいれて農産物の輸出入を実施する動きがあります。国際植物防疫条約（IPPC：

図 3-28 パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種



（出典）（独）日本原子力研究開発機構

図 3-29 新たに開発された四季咲きサクラ「仁科乙女」



（出典）（独）理化学研究所

International Plant Protection Convention) の定める植物検疫に関する国際基準として、平成 15 (2003) 年 4 月、放射線照射を植物検疫処理法として利用するための指針「Guidelines for the Use of Irradiation as a Phytosanitary Measure (ISPM#18)」が採択されました。また、平成 21 (2009) 年 4 月には、8 種の害虫への具体的な処理について、規制有害動植物のための植物検疫処理“Phytosanitary treatments for regulated pest” (ISPM#28) の付属書 No.1 ~ No.8 が採択されました。なお、実際の植物検疫処理は、輸出国と輸入国の 2 国間での協定に基づいて実施されており、国際基準が、各国の国内基準に対して義務を負わせるものではありません。

5 食品照射

食品や農畜産物に γ 線や電子線等を照射することによって、発芽防止や熟度遅延、殺菌、殺虫等の効果が得られ、食品の保存期間を延長することが可能です。このような食品照射は、農作物の損耗防止、香辛料、鶏肉、魚介類等に付着している食中毒菌の殺菌等において、すでに世界の多くの国々や地域で法的に許可されています。我が国では、食品の製造工程又は加工工程の管理

を目的とし、かつ食品の吸収線量が 0.10 グレイ以下の場合、又は、ジャガイモに発芽防止の目的で照射する場合に限り、食品への照射が認められており、昭和 49 年から北海道士幌町でジャガイモの発芽防止のための照射が行われています (図 3-30)。また、食品の輸入時には、照射食品はその旨を届け出ることとされています。そのため、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、検査品目を拡大しています。

原子力委員会食品照射専門部会は、平成 18 年 9 月、報告書「食品への放射線照射について」をまとめました。原子力委員会は、この報告に基づき、関係行政当局において、食品安全行政の観点からの検討・評価の実施、食品照射の社会受容性向上のための情報公開、広聴・広報活動の推進等の取組を進めることが必要であると考えた旨の委員会決定を行いました。

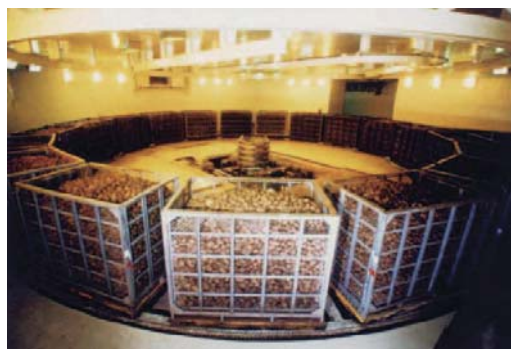
平成 18 年 12 月、厚生労働省薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会において、食品安全行政の観点から食品への放射線照射について検討することが了承され、科学的知見の収集及び消費者の意見等について外部機関に調査を委託し、その結果をもって部会で検討していくこととされました。今後、部会での検討に資するよう、当該調査結果の取りまとめなどを行っていくこととしています。

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」が実施されています。

6 工業分野

放射線は、部材や製品の厚さ、密度、水分含有量等の精密な測定や非破壊検査等において利

図 3-30 ジャガイモへの照射



(出典) (独) 日本原子力研究開発機構

用されています。平成22年2月末現在、厚さ計が421事業所に2,478台、レベル計が165事業所に1,148台、非破壊検査装置が110事業所に912台設置されています。

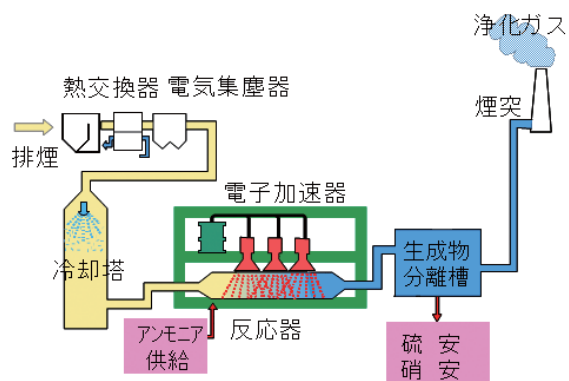
また、強度、耐熱性、耐磨耗性の向上等、材料の改質に用いられています。半導体素子の加工プロセスは、露光やエッチング、不純物添加、成膜等の要素技術で構成されていますが、各プロセスで電子線、X線、イオンビーム等の電磁波や粒子線が利用されています。自動車タイヤ、テレビに使われる耐熱電線・ケーブル、熱収縮チューブ・フィルム、発泡プラスチック等の製造にも電子線を用いた放射線加工技術が利用されています。最近の成果としては、放射線橋かけによるハイドロゲル創傷被覆材等と燃料電池用電解質膜が製品化されています。

さらに、放射線による医療用具の滅菌は、化学殺菌のように残留有害物がないことや包装したままでの滅菌ができること等から、注射針、注射筒、縫合糸等100種以上のものに実施されています。

⑦環境保全分野

排煙、排水の処理等環境保全のためにも、放射線が利用されています。酸性雨の原因になる排煙中の窒素酸化物や硫黄酸化物等を、電子線を排煙に照射することにより分解・除去する処理技術の活用が進められています。また、ゴミ燃焼排煙に含まれるダイオキシンや大気汚染の要因となる揮発性有機化合物の分解に電子線が有効であることも明らかにされ、実用化に向けた検討が進められています（図3-31）。

図3-31 電子線を用いた排煙処理



（出典）（独）日本原子力研究開発機構

⑧基礎研究分野での量子ビーム等の応用

量子ビームを利用することが可能な SPring-8、TIARA、JRR-3、RIBF、J-PARC 等の施設では、量子ビームを使つての様々な分野における研究が行われています。

ライフサイエンス分野では、放射光を利用したタンパク質の構造解析、ポジトロン放出核種を利用した植物体内の光合成産物やカドミウム等の微量物質動態の動的観察、中性子ラジオグラフィーを利用した生きた植物の根の生長の観測等、他の手段では代替できないユニークな研究が行われています。この他、RI をトレーサーとして使用した植物に対する施肥効果、物質代謝及び免疫応答の研究、放射化分析による植物による微量元素の吸収の研究、植物体内への複数元素の移行や分布の同時計測にマルチトレーサー※⁸を利用する技術開発等が進められてい

8 マルチトレーサー：観察対象とする動植物等に RI で標識した化合物を投与し、その RI から放出される放射線を測定器で追跡することで、その観察対象内における化合物の挙動を調べる方法をトレーサー法といい、これに用いられる RI をトレーサー（追跡子）という。加速器を利用すると、同時に複数の RI を生成し、トレーサーとして利用することができる。これをマルチトレーサーという。マルチトレーサーを用いれば、多数の元素の挙動を同じ条件の下で同時に追跡することができる。

ます。

ナノテクノロジーの分野では、放射光を利用したインテリジェント触媒の機構解明、中性子を利用した高温超伝導材料の研究開発が進展しています。

また、試料に含まれる天然起源の RI（炭素 14 等）の崩壊状況を測定することにより、その試料年代を知る年代測定技術は、これまで考古学の分野で多く利用されてきました。新たな応用として、地球温暖化の研究に関連して地球の様々なところに蓄積している炭酸ガス等の年代測定研究が行われています。

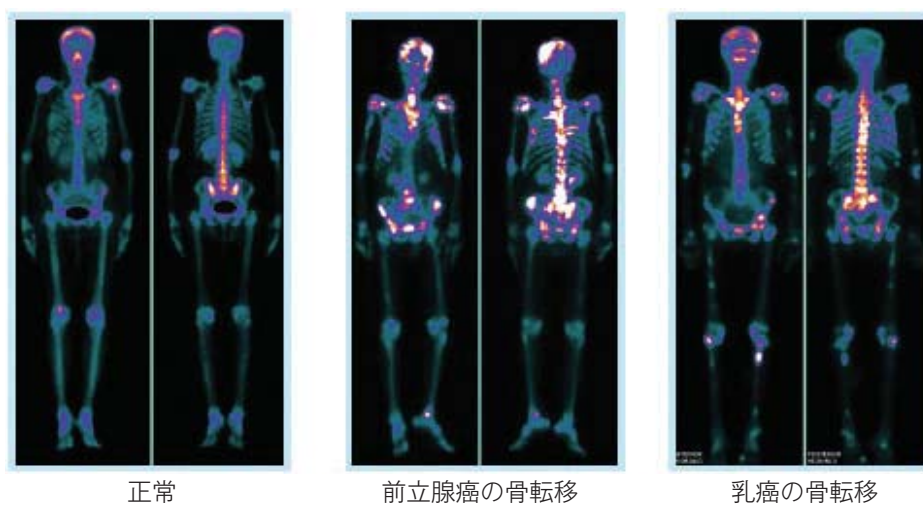
(3) 放射線利用に関する最近の動向

○核医学検査用モリブデン 99（テクネチウム 99m）の供給問題

核医学検査は、RI で標識した放射性医薬品を患者に投与し、その体内分布を画像化することにより、臓器の代謝機能やがん等の病気を診断する検査方法です。苦痛の少ない検査方法であり、半減期の短い γ 線放出核種を使用した診断法であるため、骨、心臓、脳等の多くの病気の診断に用いられています（図 3-32）。

我が国でも、年間約 140 万件（陽電子断層撮影を除く）の核医学検査が実施されています。

図 3-32 核医学検査



（出典）2008 年第 47 回原子力委員会定例会資料第 1-1 号より

モリブデン 99（半減期約 66 時間）より生成するテクネチウム 99m は核医学の分野で使用頻度の高い RI であり、これを用いた検査は年間約 90 万件行われています。テクネチウム 99m は半減期が約 6 時間程度と短いことから、モリブデン 99 の状態で海外から輸送が行われ、利用されています。モリブデン 99 は、主にカナダ、ベルギー、仏国、オランダ、南アフリカの 5 か国にある原子炉において生産・供給されており（表 3-5）、これらはモリブデン 99 の世界の全需要の約 95%をカバーしている状況にあります。しかしながら、これらの原子炉は稼働してから約半世紀弱が経過し、老朽化が進んでいます。

表 3-5 モリブデン 99 を製造している主な原子炉と供給業者

国名	原子炉	熱出力 (MW)	初臨界	稼働率 (%年)	供給業者	充当率 (%世界需要)
カナダ	NRU	135	1957	86	MDS-Nordion	38
オランダ	HFR	45	1961	79	Covidien, IRE	16 10
ベルギー	BR2	100	1961	31	Covidien, IRE	10 3
仏国	Osiris	70	1964	60	IRE	3
南アフリカ	SAFARI-1	20	1965	86	NTP	15
その他	OPAL, RA-3, GAS-MPR, HWRR- II, Dhruva 他					5

(出典) Nuclear Engineering International July 2008

カナダでは、カナダ原子力公社チョークリバー研究所にある原子炉 NRU (National Research Universal) において、研究のための利用と並行してモリブデン 99 を生産していましたが、平成 21 年 5 月に計画外停止が発生しました。その後の調査により、原子炉の重水漏れが確認されたことから、長期にわたる停止を余儀なくされています。NRU 炉では世界需要の約 4 割のモリブデン 99 を供給していたことから、世界的なモリブデン 99 の供給不足が発生しています。

これに対して、OECD/NEA において医療用アイソトープの安定供給に関する専門家グループが立ち上がるなど、世界的な対応が行われています。

我が国で利用されているモリブデン 99 についても、全量が海外からの輸入によるものです。日本学術会議は、平成 20 年 7 月、RI の安定供給の国内体制や RI の製造法の開発等に関する提言を含む報告書「我が国における放射性同位元素の安定供給体制について」をとりまとめました。また、原子力機構では、産業界との連携・協力の下、改修中の材料試験炉 (JMTR) を用いて、国内においてモリブデン 99 の製造を行うための検討を進めています。