

## 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96.1%<sup>1</sup>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ある。これに加え、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各方面で求められており、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、環境問題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る。

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から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ある。

原子力委員会は、我が国としては、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、原子力政策大綱において、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る。

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こと、さらには、新規発電所の立地に着実に取り組むとともに、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る。

現在、国際社会においても、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对应していくことが求められており、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、省エネルギー技術などと並んで、積極的に利用していくべきとの機運が高まってきている。このため、

1 平成17年データ、IEA：Energy Balance of OECD countries 2007 Edition



原子力発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が見られ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る。

我が国としては、これらの動きに対して、国際公益の増進に寄与する観点からも、核不拡散、安全性、核セキュリティを確保できることを大前提としつつ、積極的に対応していくことが必要である。

## （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、原子力機構の動力試験炉 JPDR<sup>2</sup>（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った（後にこの10月26日は「原子力の日」と定められた）。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、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、平成9年には4,500万 kW を超えた。

表3-1 我が国の原子力発電設備容量（平成19年末現在）

	基 数	総容量（グロス電気出力）
運 転 中	55	4,946.7 万 kW
建 設 中	3（2）	256.5（228.5）万 kW
着 工 準 備 中	11	1,494.5 万 kW
合 計	69（68）	6,697.7（6,669.7）万 kW

（ ）内は研究開発段階の原子炉を除く

平成19年末現在、運転中の商業用原子力発電所は55基、発電設備容量は4,946.7万 kW となっている。この設備容量は米国、仏国に次ぐ世界第3位の規模である。一方、平成19年度電力供給計画によると、現在建設中の商業用原子力発電所は、北海道電力（株）泊発電所3号機及び中国電力（株）島根原子力発電所3号機の2基、228.5万 kW である。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、中国電力（株）上関原子力発電所1、2号機、電源開発（株）大間原子力発電所及び日本原子力発電（株）敦賀発電所3、4号機の合計11基、1,494万5千 kW である。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、商業用原子力発電所は68基、6,681万 kW、研究開発段階原子炉（もんじゅ）を含めると、69基、6,709万 kW である。

原子力発電は、平成18年度末現在、一般電気事業用の発電設備容量の20.7%を占め、平成18年度実績で、一般電気事業用の発電電力量の30.5%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る。

2 JPDR：Japan Power Demonstration Reactor



図3-1 我が国の発電電力量の推移

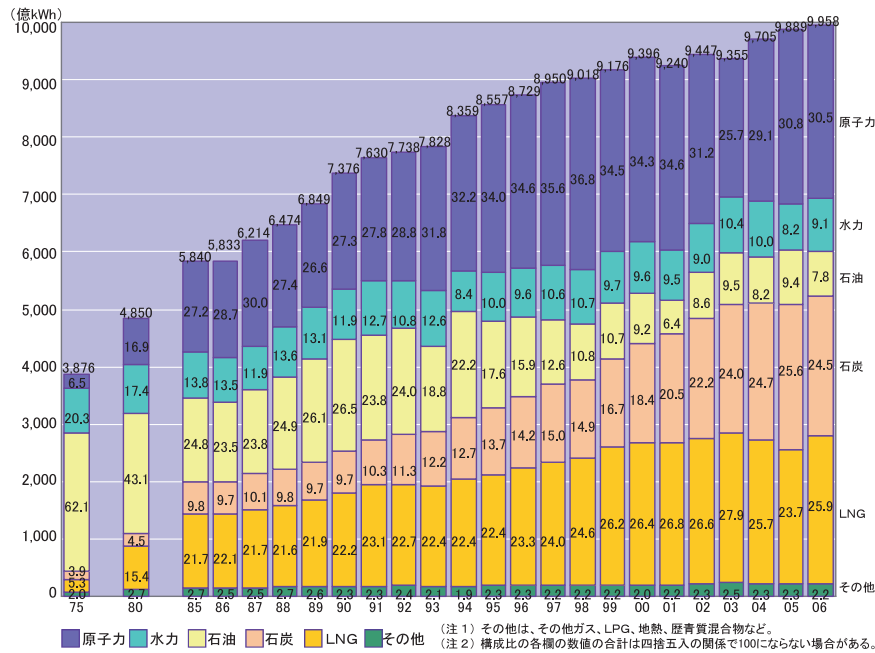
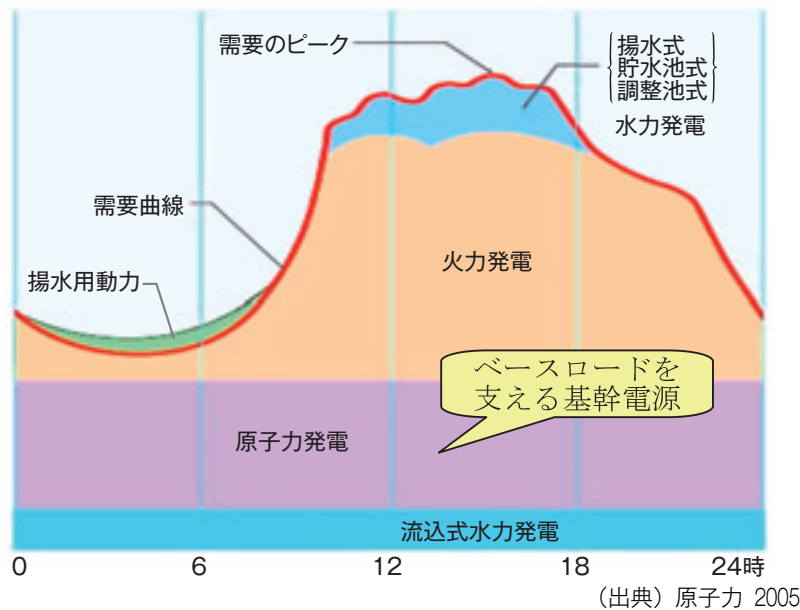


図3-2 電力の需要と供給のイメージ



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い（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検査・点検等における不正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%）にまで回復したものの、その後、女川、志賀原子力発電所が設計基準地震動を超える地震動を経験したことから長期停止を余儀なくされたこともあり、世界の主要国の値と比べるとかなり低い状況にある（図3-4、図3-5）。平成19年度の設備利用率は、昨年7月の中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の運転停



止などにより、更に低下する見込みである。

予想しえないような外的事象や事故が発生した際には、安全確保システムの健全性を確認し、必要に応じてこれに改善を加え、それが信頼できるものであることについて国民の理解を得ていくことが必要である。

同時に、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について、新しい検査技術を用いて定期検査の柔軟化を実現できる可能性や、技術進歩や高度化された安全評価技術を導入して安全性を低下させることなく定格出力を上昇できる可能性について、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に取り組むことも忘れてはならない。

図3-3 各国の計画外自動スクラム割合の比較

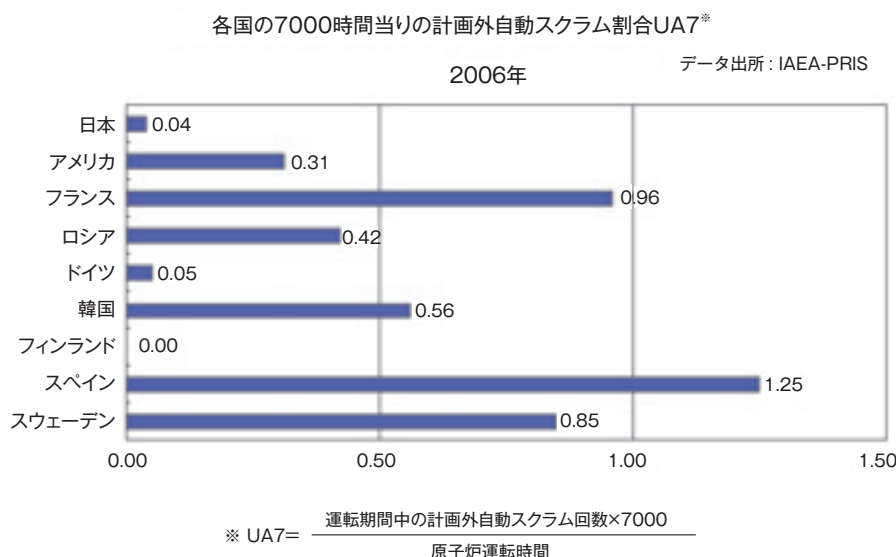
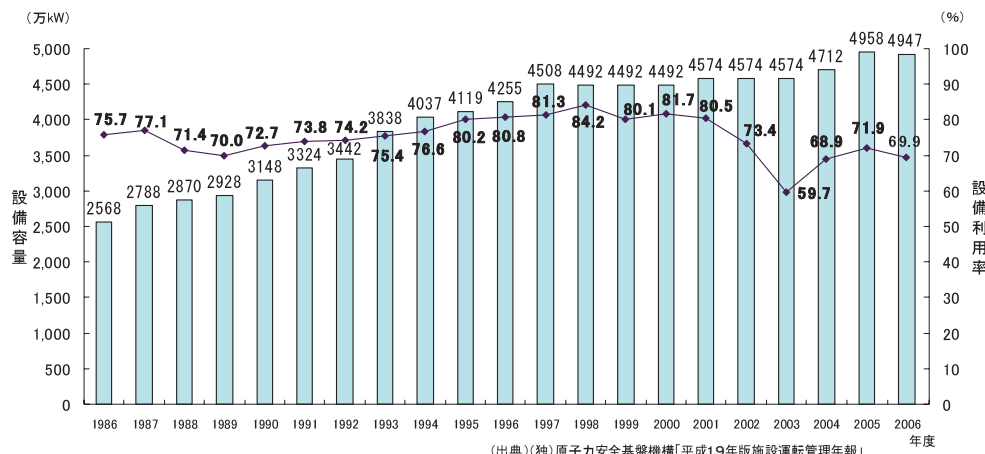


図3-4 日本の原子力発電の設備容量\*及び設備利用率#の推移（電気事業用）



※発電所の設備容量

発電設備の能力。発電所がどのくらいの電気を作ることができるかを示す。(W、kWで表す)

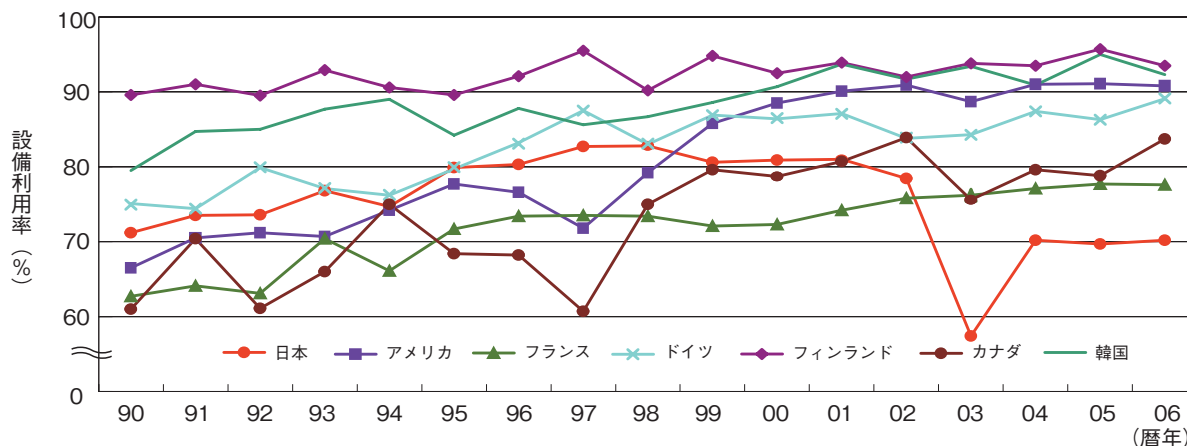
#設備利用率

発電所が、ある期間において実際に作り出した電力量と、その期間休まずフルパワーで運転したときと仮定したときに得られる電力量(定格電力量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(%) =  $\frac{\text{実際の年間の発電電力量(kWh)} \div (\text{定格出力(kW)} \times 365 \text{日} \times 24 \text{時間})}{1} \times 100$



図3-5 各国の原子力発電の設備利用率の推移



(注) フランスでは、昭和57年（1982年）より、電力需要に応じて出力を低下させる負荷追従運転が取り入れられているため、アメリカ・ドイツよりも相対的に低い設備利用率となっている。

(出典) 平成19年版原子力施設運転管理年報

表3-2 運転月数の推移（ガス冷却炉（GCR）を除く平均）

終了年度	平成9年	平成10年	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年
運転月数	12.5	12.6	12.4	12.7	12.9	11.5	12.2	11.8	11.4	11.5

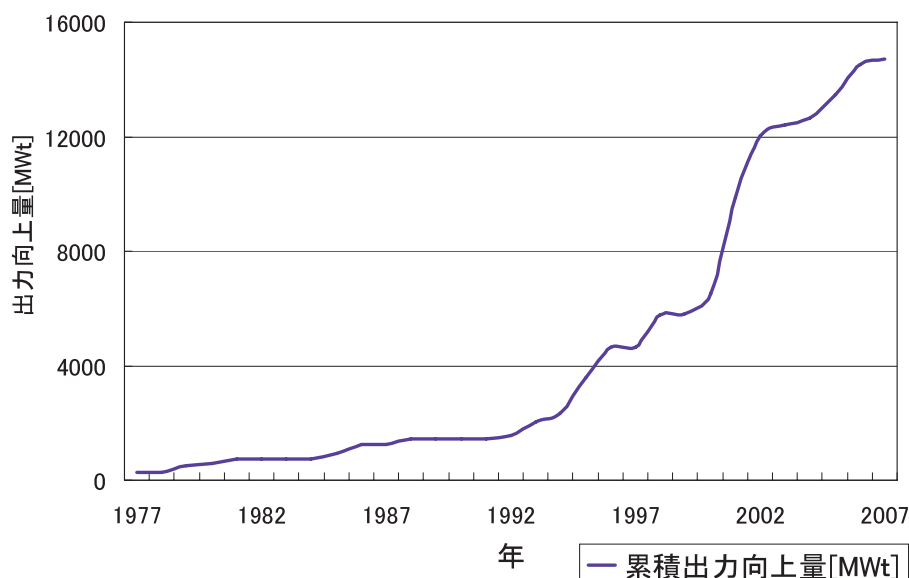
(注) ・年度内に定期検査が開始された各プラントの前回定期検査終了（総合負荷性能検査）から今回定期検査開始による発電停止までの期間（中間停止及びトラブルによる停止期間は除く）を平均したものを運転月数（日数／30日）とした。  
・新規プラントの第一サイクルは除いた。

(出典) 平成19年版原子力施設運転管理年報

なお、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件におよぶ定格出力向上が認可されているが、これらのプラントはその後良好な運転実績を残している。米国においては、平成19年（2007年）3月現在、113件の出力向上が認可され、その累積原子炉出力向上は約14,700MWtに上り、100万kWe級プラント5基分に相当する出力の増加をもたらしている（図3-6）。これを踏まえ、(社)日本原子力学会では、平成17年9月に「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会を設置し、原子炉の定格出力向上に際して安全上評価すべき事項の抽出と、それら事項に対する対応及び考え方を明確化することを目的に、技術検討評価を2年間にわたり実施し、平成19年10月に、日本国内においても現在の知見と技術をもってすれば、定格出力向上は可能であるとする「原子炉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た。



図3-6 米国の累積原子炉出力向上量



(社) 日本原子力学会 原子炉出力向上の安全性に関する技術検討評価報告書より作成

## ②原子力発電の将来見通し

原子力発電所の新增設については、現在、国内で2基が建設中であるが、これに続く計画は、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により柏崎刈羽原子力発電所が設計基準地震動を大きく上回る地震動を経験したこと等の、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、電力需要の伸び悩み等を背景として、遅延しているものが多い。平成19年度電力供給計画によると、13基の新增設が計画されているが、平成28年度までに運転開始するのは、9基、1,226.2万kWであり、同年の総発電設備規模は63基、6,148.5万kWにとどまるとされている。

## ③世界の原子力の基本政策と原子力発電の状況

世界の原子力発電設備容量は、平成19年(2007年)12月末現在、運転中のものは439基、3億7,206万kWに達しており、建設中、計画中のものを含めると総計566基、5億45万kWとなっている。

運転中の発電所の多くは、昭和45年(1970年)～平成2年(1990年)の期間に米国や仏国を中心に建設されたものである。スリーマイルアイランド原子力発電所<sup>3</sup>やチェルノブイリ原子力発電所の事故<sup>4</sup>を境に、エネルギー資源価格が安定したこともあり、欧米諸国

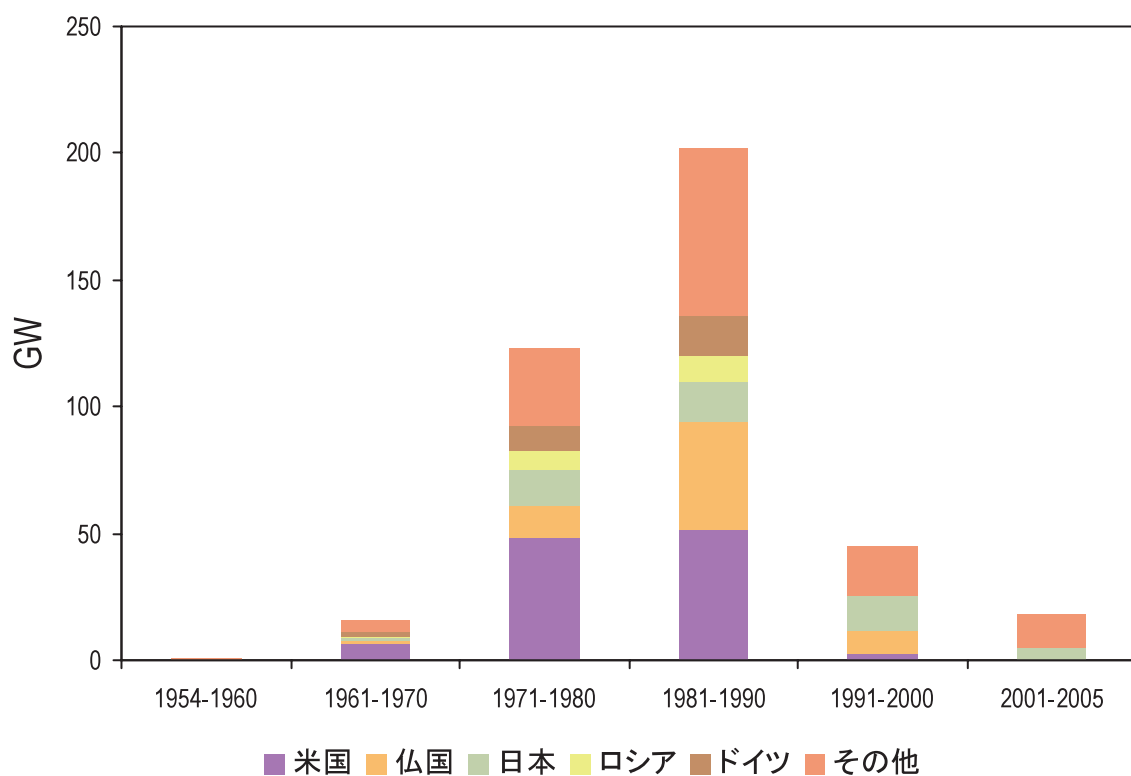
3 1979年3月28日、米国のスリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所2号機で発生した事故。原子炉内の一次冷却材が減少、炉心上部が露出し、燃料の損傷や炉内構造物の一部溶融が生じるとともに、周辺に放射性物質が放出され、住民の一部が避難した。INES(国際原子力事象尺度)レベル5。

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。



の中には原子力発電に消極的政策や脱原子力政策を掲げる国々が現れた結果、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た。

図3-7 世界における10年間毎の原子力発電所の新增設に伴う設備規模の伸びの推移



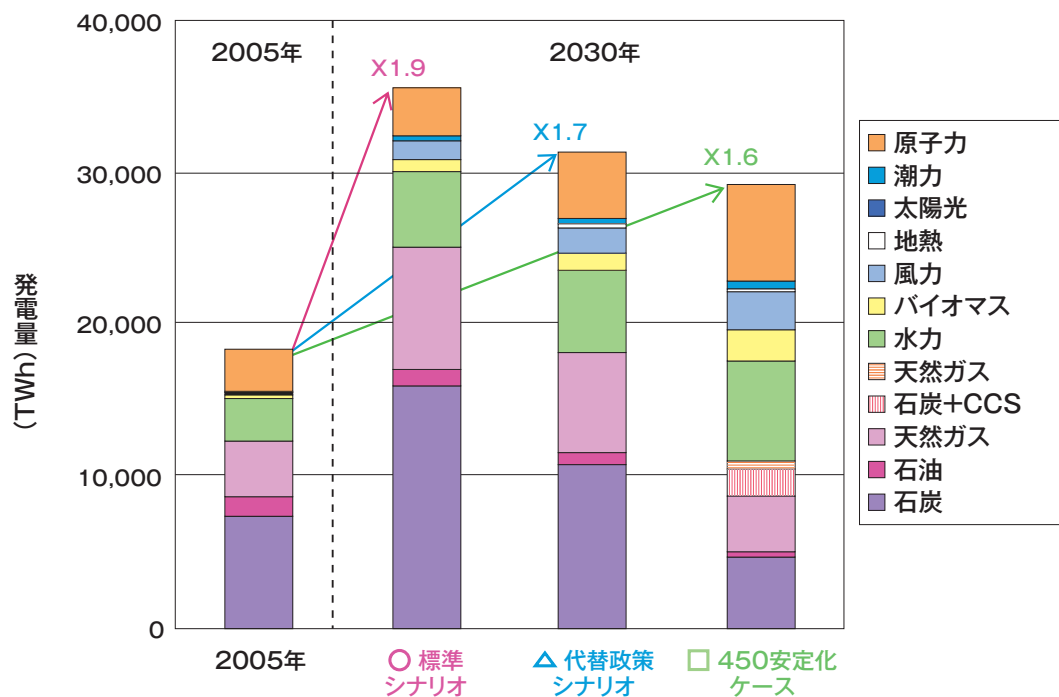
(出典) IEA WORLD ENERGY OUTLOOK 2006

しかし、近年、エネルギー価格の高騰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る。国際エネルギー機関（IEA）の見通しでは、世界の原子力発電所の発電電力量は、平成17年（2005年）に2,770TWhであったものが、2030年には現行政策に沿ったシナリオで約15%増の3,185TWh、各国が検討中の温暖化ガス排出抑制策等を盛り込んだ代替政策シナリオでは約57%増の4,359TWhに達する見込みである。図3-8には、それぞれのシナリオにおける発電電力量の構成の見通しを示す。

※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。



図3-8 世界における原子力発電の発電電力量の構成の見通し（電源別）



世界の電力供給

World Energy Outlook 2007より作成

## (2) エネルギー利用に関する最近の取組

### ①電力供給における原子力の位置づけ

平成17年2月16日の京都議定書の発効を受けて同年4月28日に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」において、原子力発電は、エネルギー供給部門の二酸化炭素削減対策として極めて重要な位置を占めるものとして位置付けられ、着実に推進することとされている。

電気事業を取り巻く近時の重要な環境変化である電力自由化については、まず平成7年の電気事業法改正において、発電部門の自由化が行われ、発電設備を持つ企業が一般電気事業者に入札を通じて電力を販売できる卸電力入札制度が導入された。一方、市場から電気を購入できる需要家の範囲は段階的に拡大され、平成17年からは、全ての高压需要家（50kW以上）が対象となった。

電力自由化は、①法的供給独占による需要確保や総括原価主義に基づく電気料金の規制が行われなくなるため、供給設備に対して投資を行ってもその回収が保証されなくなる、②電気事業者各社は競合関係におかれることになり、事業者間競争の高まりを背景に、各社においてコストを圧縮する努力が求められることから、各電気事業者の設備投資意欲、特に巨額を要し、コスト回収に時間が掛かる原子力発電に対する投資意欲を減退させる可能性が高いなどの指摘もある。このため、平成18年8月に総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会が取りまとめた「原子力立国計画」においては、今後、全面自由化を行うかどうかなどの電気事業制度の在り方について経済産業省等で検討を行う際には、原子力発電の持つ公益性に鑑み、こうしたことに配慮して慎重な議論が行われることが適



切であるとされている。

## ②エネルギー基本計画の改定

エネルギー基本計画は、エネルギー政策基本法（平成14年法律第71号）に基づき、エネルギー需給全般に関し、基本的な方針、長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策、その推進のために重点的に研究開発のための施策を講ずべき技術等について、政府として定めているもので、平成15年10月に定められた。

平成19年3月には、この計画の改定が行われたが、この改定においては、原子力については、まず、そのリスクを踏まえた厳格な安全管理が必要であるが、安定供給に資するほか、地球温暖化対策の面でも優れた特性を有するエネルギーであるため、原子力政策大綱を基本方針として尊重しつつ、安全の確保を大前提に、今後とも基幹電源に位置付けて推進するとともに、供給安定性に優れる原子力の特性を一層向上させる核燃料サイクルを推進することとしている。その上で、原子力分野において長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策として、①原子力と国民・地域社会との共生、②現行水準以上の原子力発電比率の中長期的な実現に向けた取組、③核燃料サイクルの早期確立とサイクル関連産業の戦略的強化、④高速増殖炉サイクルの早期実用化、⑤原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的な枠組み作りへの積極的関与、⑥次世代を支える技術開発・人材育成、⑦我が国原子力産業の国際展開の支援、⑧放射性廃棄物対策の着実な推進、⑨原子力の安全の確保と安心の醸成等を目指すことを取り上げている。また、計画では、エネルギー技術戦略を新たに策定することとし、原子力分野については原子力政策大綱や原子力委員会決定を踏まえて、具体的な課題に対応した技術開発のロードマップを作成することとしている。

原子力委員会は、本計画の改定に先立ち、資源エネルギー庁から改定内容を聴取し、平成19年2月27日に、このエネルギー基本計画の改定案は、原子力に関して、原子力政策大綱を基本方針として尊重した上で、これを総合的・計画的に実現するための内容になっていると判断するので、示された原子力関連施策を関係省庁が一体となって着実に推進していくことが適切であると考えているという見解を示した。

## （3）原子力エネルギー技術の地球温暖化対策としての意義

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、平成19年（2007年）11月に発行した第4次評価報告書において、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、20世紀半ば以降の全球平均気温の上昇は、人為起源の温室効果ガス濃度の増加によって生じた可能性が非常に高いと結論づけた。また、平均気温の上昇に伴い、水資源、生態系、食料、沿岸、人の健康に様々な影響が現れることを予測して、これらの影響を削減し、遅らせ、回避するための緩和努力によって達成を目指すべき温室効果ガスの大気中濃度について複数の安定化レベルを示した。このうち最も低いレベル（二酸化炭素換算濃度445－490ppm）に大気中濃度を安定化させ、全球平均の気温上昇を産業革命以前比で2－2.4℃に抑えるには、年々増大しつつある世界の温室効果ガス排出量を10－15年以内に減少に転じさせ、2050年頃には平成12年（2000年）の排出量の半分以下にすることが必要であるとしている。この報告書



において、現在商業的に利用可能な主要緩和技術の一つとして原子力発電が位置付けられた。

平成19年6月に閣議決定された「21世紀環境立国戦略」では、内外の環境問題の解決に寄与するとともに、経済の活性化や国際競争力の強化を進め、環境と経済の両立を実現するため、省エネルギー、再生可能エネルギーに加え、原子力の技術革新を図ることが示された。また、気候変動問題の克服に向けた国際的リーダーシップの一つとして、原子力の安全で平和的な利用拡大のための国際的取組や、途上国への原子力導入のための基盤整備を始めとする支援を積極的に支援するとしている。

ハイリゲンドラム G8 サミット首脳宣言「世界経済における成長と責任」（平成19年（2007年）6月）は、気候変動に関して、温室効果ガス排出削減に関する地球規模での目標を定めるにあたり、2050年までに地球規模での排出量を少なくとも半減させることを含む、EU、カナダ及び日本による決定を真剣に検討するとした上で、この目標の達成にコミットし、主要新興経済国に対してこの試みに参加するよう求めるとしている。また、原子力エネルギーの平和的利用に関するこれまでのサミットにおける公約を再確認するとともに、原子力関心国は、原子力エネルギーの開発は、有害な大気汚染を削減し、気候変動の挑戦に取り組むのと同時に、世界のエネルギー安全保障に資すると信じるとの旨が述べられている。

平成19年（2007年）12月、アジア原子力協力フォーラム（FNCA）が東京で開催され、共同コミュニケの中で、民生原子力発電は、発電過程で温室効果ガスを排出しない電源であるとともに、電力供給の基盤を担うことが可能である実証された技術であることから、エネルギーの安定供給や温室効果ガスの排出の削減の双方に貢献できる実用的な手段の一つであること、また、原子力発電の利用は、核不拡散、原子力安全及び核セキュリティの確保が前提である旨について確認した。

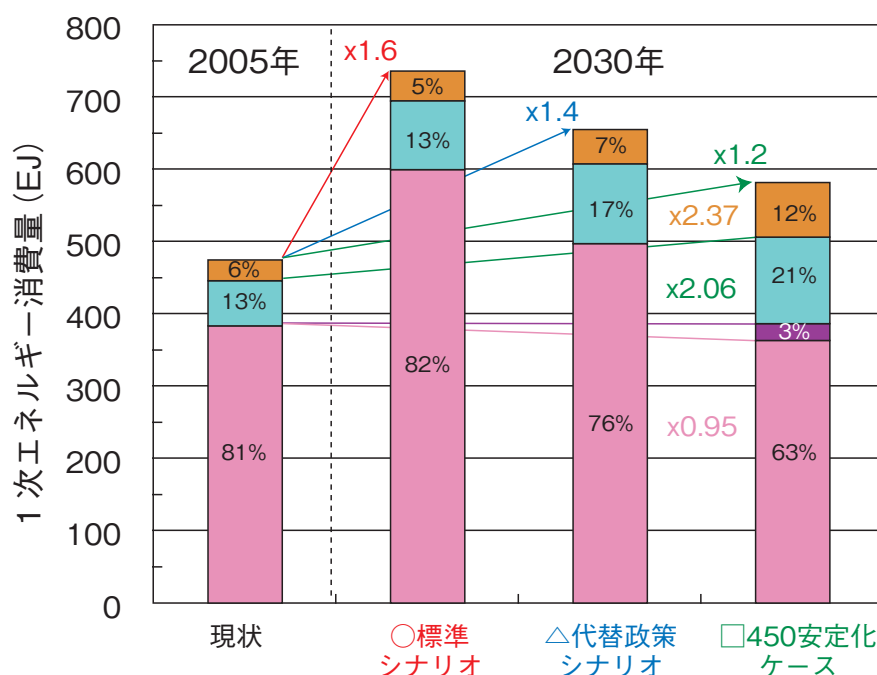
平成20年（2008年）1月、福田総理は世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）における特別講演の中で、我が国を議長国として同年7月に開催される北海道洞爺湖サミットの最大のテーマは気候変動問題であるとし、平成19年（2007年）に我が国が提案した戦略「クールアース50」を推進するための「クールアース推進構想」を提示した。主要排出国とともに今後の温室効果ガスの排出削減について、セクター別に今後活用される技術を基礎とした削減可能性を積み上げる方式による国別総量目標を掲げて取り組む必要性を述べ、2020年までに30%のエネルギー利用効率の改善を達成することを世界が共有する目標とすることを提案した。また、100億ドル規模の新たな資金メカニズム（クールアース・パートナーシップ）を構築し、省エネルギー努力等の途上国の排出削減への取組に積極的に協力するとともに、気候変動で深刻な被害を受ける途上国に対して支援を行うと述べた。



今後、各国が経済発展を追求しながら2050年頃までに世界全体として温室効果ガス排出量を半減させることは人類にとって極めて困難であり、これ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、エネルギー供給および利用分野において効率が高く、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らない。この点を示唆するべく IEA は、上記の IPCC 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、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る（World Energy Outlook 2007、450安定化ケース）。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、現状（2005年）比の約1.2倍にとどまり、従来型化石エネルギー利用は現状より若干減っている。一方、世界の電力需要は2030年に現状の1.6倍となり、その中で、水力発電は約2.3倍、バイオマス発電は約9倍、風力発電は約22倍、太陽光発電は約135倍と飛躍的に増加しており、再生可能エネルギー全体では現状の約2.1倍となり、一次エネルギーの約21%を占めている。また、これとともに原子力発電も大きく増加し、現状の約2.4倍（一次エネルギーの約12%）となっている。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要するものである（図3-9、図3-10）。

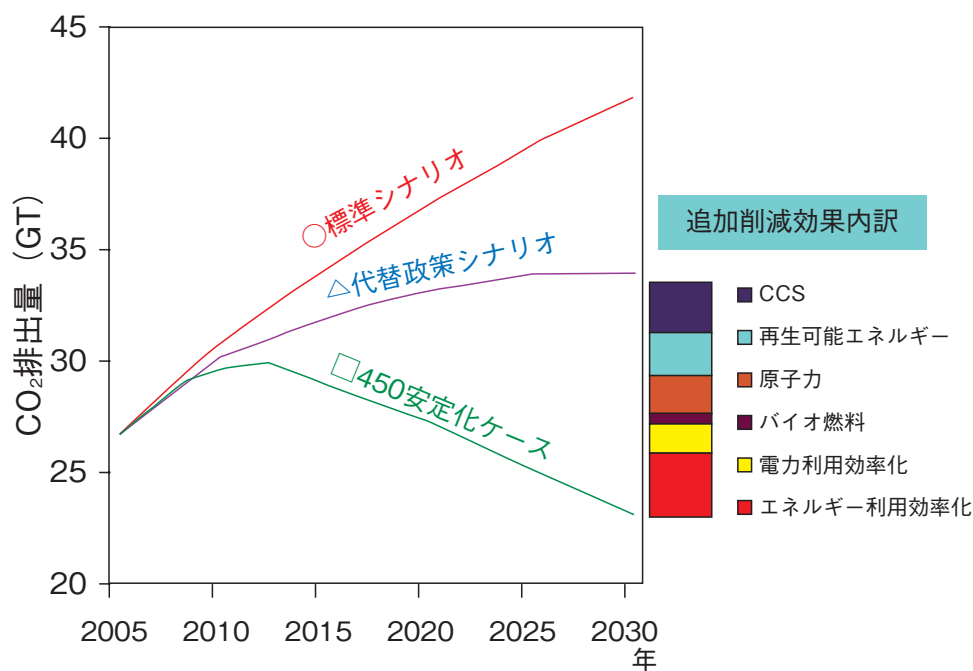
図3-9 世界の一次エネルギー消費量の試算

■従来型化石エネルギー ■CCS化石エネルギー ■再生可能エネルギー ■原子力  
(水力、風力、太陽光等)



World Energy Outlook 2007より作成



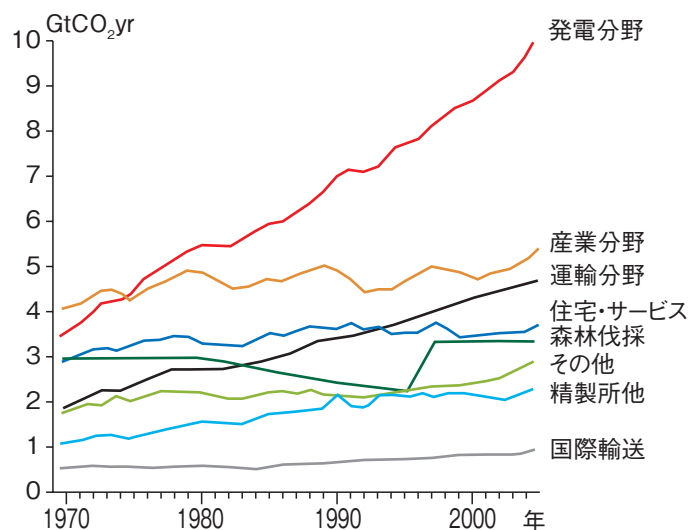
図3-10 世界のCO<sub>2</sub>排出量削減の試算

World Energy Outlook 2007より作成

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る（図3-11）。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からである。しかしながら、今後については、電力需要の伸びは続き、発電設備の新設は続くと考えられるが、2050年において二酸化炭素の排出量を半減するためには、この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る。IEAの分析で、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るのは、そのゆえんである。



図3-11 世界の分野別二酸化炭素排出量の推移



(出典) IPCC第4次評価報告第3WG報告書

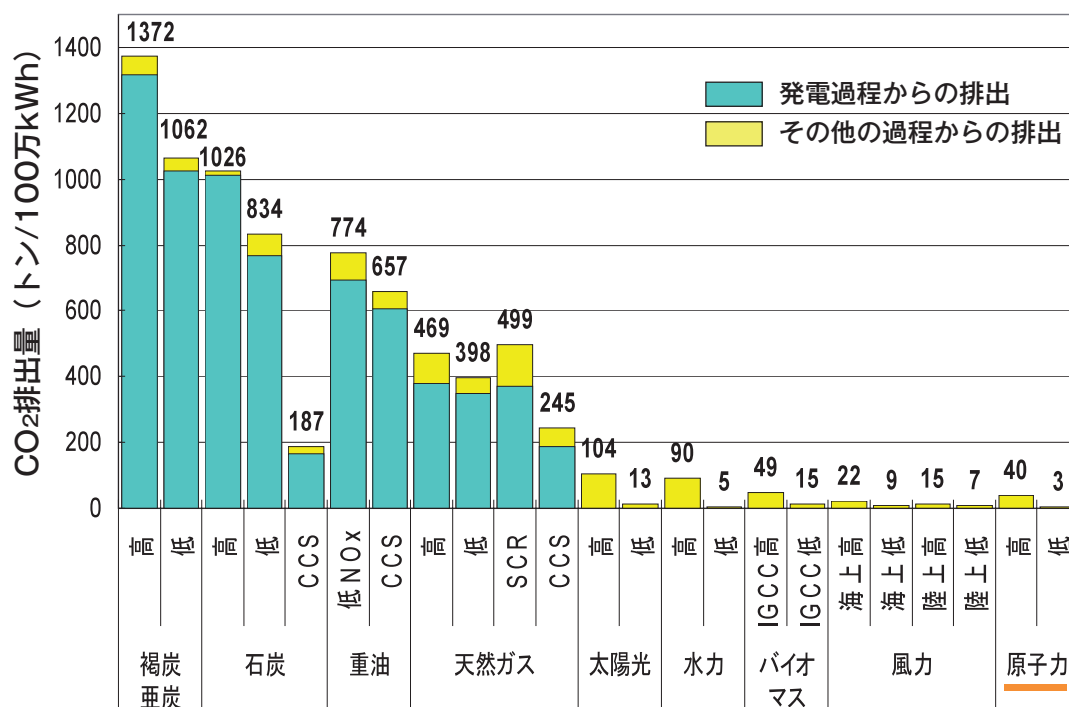
化石燃料を利用する火力発電については、今後も途上国を中心に導入が進むと予想されるが、国際的な資源獲得競争激化等を背景とした燃料価格の高騰に加え、二酸化炭素の排出抑制が求められており、供給安定性等のエネルギー政策と整合性を図りつつ、途上国への技術移転や革新的技術の開発等による二酸化炭素排出抑制の取組が進められているところである。

一方、一旦建設されると、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供給安定性に優れた原子力発電は、昭和61年（1986年）以来世界の電力の16%程度を安定して供給しており、平成18年（2006年）には30か国で435基、約370GWの設備が運転されている。この規模の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（平成17年（2005年）の世界総排出量の4%）増大することになる。



図3-12

各種発電プラントの、ライフサイクル評価に基づく二酸化炭素排出原単位算出結果  
 (高、低：同カテゴリ中のプラントで、最大または最小の値)  
 (CCS：炭素回収・貯留技術適用プラント)

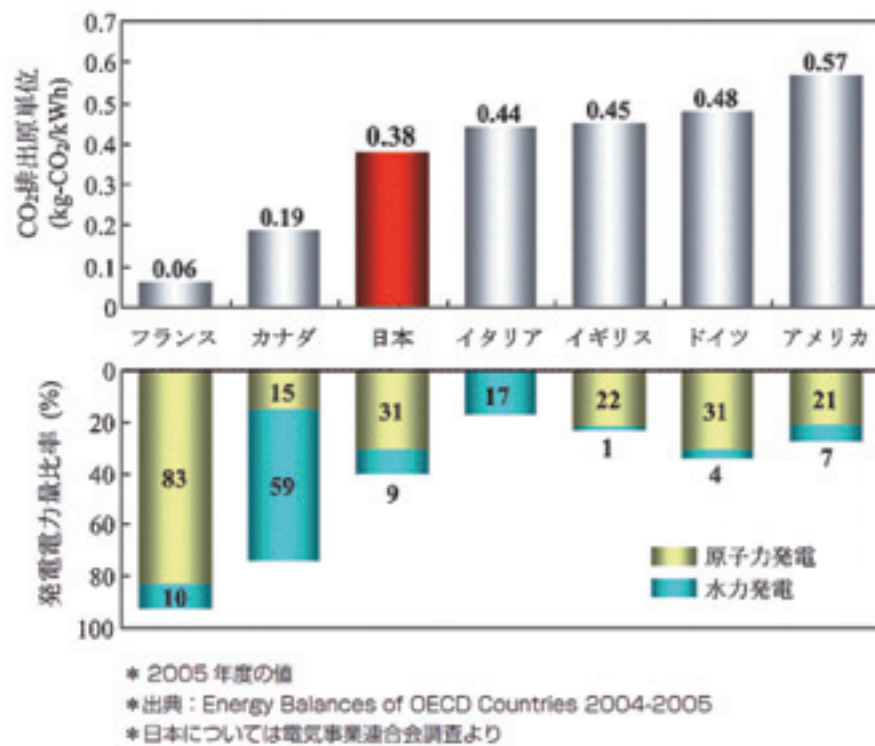


(出典) Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment, WEC, 2004

現在は、エネルギー安全保障の観点に加えて、二酸化炭素を排出させないで発電能力を増強できる点にも着目して、さらに多くの国々がこの利用を目指しており、計画、構想されているものの合計は約350基（約330GW）に達する。これらが実現して世界の原子力発電設備が合計700GWの規模になると、同規模の液化天然ガス複合サイクル発電を利用した場合に比較して、年間20億トン（平成17年（2005年）の世界総排出量の7%）の二酸化炭素排出量の低減がもたらされる。したがって、各国は、人類が低炭素社会の実現を目指す観点から、核不拡散、原子力安全、核セキュリティが厳格に確保され、このような計画、構想が実現されるように多面的な協力を推進していくべきであろう。



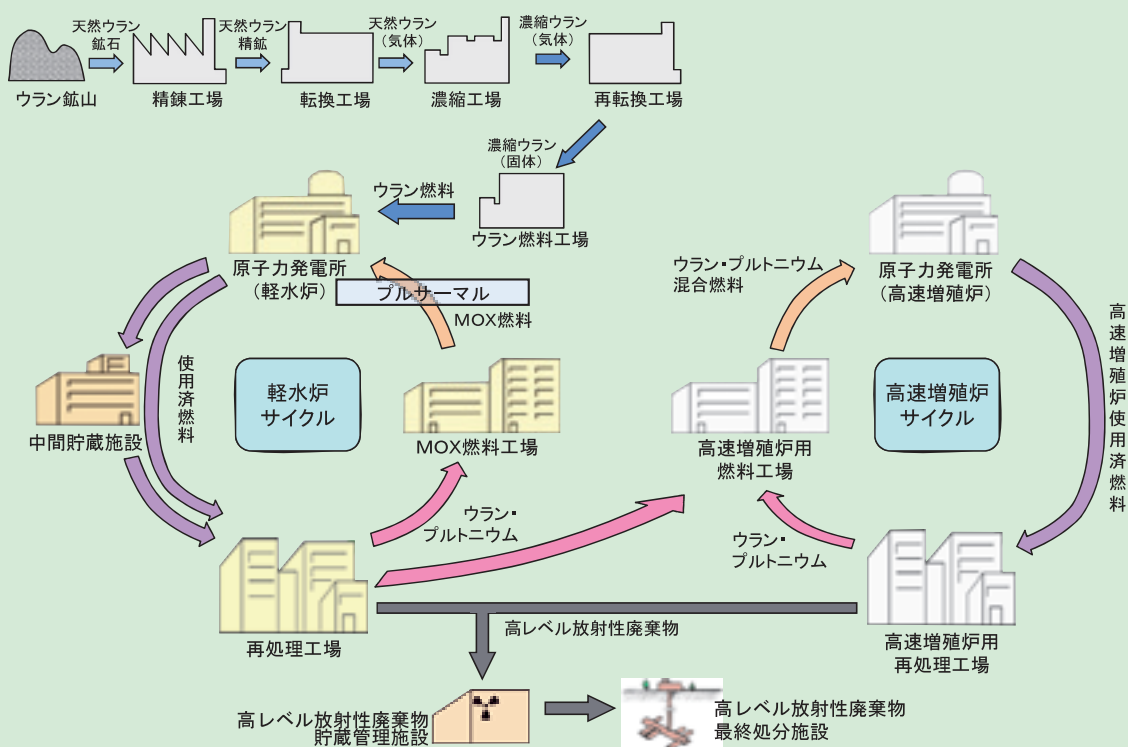
図3-13 CO<sub>2</sub>排出原単位（発電端）の各国比較（電気事業連合会試算）





エネルギー資源の大部分を輸入に依存している我が国では、原子力発電所で発生する使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を再び燃料として有効利用する「核燃料サイクル」の確立を国の基本方針としている。この方針に基づき、立地地域をはじめとする国民の理解と協力を得つつ、安全の確保を大前提に、国や事業者等による様々な取組が進められている（図3-14）。

図3-14 核燃料サイクルの概念



## (1) 核燃料サイクルを構成するプロセス

核燃料サイクルは、ウラン燃料を生産して、燃料を原子炉に装荷し、発電するまでのいわゆる上流側のプロセスと、原子炉から取り出された使用済燃料を一時貯蔵後、再処理し、ウラン、プルトニウム等の有用資源を回収し、再び燃料として利用するとともに、不要物を廃棄物として分離・処分する、いわゆる下流側のプロセスに大別される。

上流側のプロセスは、①天然ウランの確保・採掘・製錬、②ウラン濃縮を行うためにガス状の六フッ化ウランを製造する「転換」、③ガス状の六フッ化ウランを供給して、ウラン235とウラン238の僅かな質量差を利用し、核分裂し易いウラン235の割合を3～5%程度に高める「ウラン濃縮」、④ガス状の濃縮六フッ化ウランを酸化物の粉末にする「再転換」、⑤粉末の濃縮ウランを成形し、原子炉に装荷する燃料集合体にする「加工」、⑥ウランの核分裂により発生する熱エネルギーを電力として取り出す「発電」からなる。



下流側のプロセスは、①使用済燃料を再処理されるまでの間、安全に貯蔵・管理する「中間貯蔵」、②使用済燃料からウラン及びプルトニウムを分離・回収し、残った高レベル放射性廃棄物をガラス固化する「再処理」、③ウランとプルトニウムの混合酸化物のMOX 燃料への成形加工、④MOX 燃料を軽水炉で利用する「プルサーマル」、⑤放射性廃棄物の適切な処理・処分等からなる。

軽水炉を利用している国における核燃料サイクルの上流側のプロセスの構成は、その一部又は全部を国内で行うか輸入するかを別にすれば、各国において相違はない。一方、再処理等からなる下流側のプロセスの構成は、再処理を行わない政策を取っている国では、原子炉から取り出した使用済燃料を直接、高レベル放射性廃棄物として処分（直接処分）するものとなる。なお、ウラン濃縮プロセスと再処理プロセスについては、それぞれ核兵器の材料になる高濃縮ウランやプルトニウムの製造に転用される可能性があるため、これらのプロセスを国内において実施している我が国は、原子力利用は平和利用に徹するという方針の下、核不拡散文化を遵守することの重要性を認識してこのプロセスの運営にあたるとともに、国際的な核不拡散体制の強化に向けて一層の貢献を行っていくことが重要である。

## （２）我が国の取組の基本的考え方

我が国は、供給安定性に優れている原子力発電の特性を一層向上させ、原子力を長期にわたってエネルギー供給を可能なものとする 것을 目指して、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核燃料サイクルの確立を国の基本方針としてきた。

この基本方針に則って、ウラン濃縮事業については、動力炉・核燃料開発事業団が人形峠においてウラン濃縮施設を建設し、主として遠心分離法によるウラン濃縮技術の研究開発を実施し、それにより得られた成果は民間事業者へ技術移転されてきた。

再処理事業については、発生する使用済燃料の再処理を英・仏の再処理事業者に委託しつつ、日本原子力研究所における基礎研究を踏まえて、動力炉・核燃料開発事業団が電気事業者の出資も受けて東海再処理工場を建設し、各種の困難を克服しながら運転を進め、技術を習得してきた。この経験を踏まえ、電気事業者は、平成５年、商業用再処理施設である日本原燃（株）六ヶ所再処理工場の建設を開始した（図3-15）。



図3-15 青森県六ヶ所村 日本原燃（株）六ヶ所再処理工場



しかしながら、平成16年6月からの原子力政策大綱の策定過程においては、プルサーマルの実施の遅れ、六ヶ所再処理工場の建設の遅れ、高速増殖炉開発の遅れ、電力自由化に伴う電気事業者の投資行動の変化などの状況変化の中で、経済性や核不拡散性、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する懸念が提起された。

そこで、原子力委員会新計画策定会議では、今後の使用済燃料の取扱いについて、直接処分を含む四つのシナリオを仮定し、それぞれについて、安全性、技術的成立性、経済性、エネルギー安定供給、環境への影響を比較した場合どうかという環境適合性、核不拡散の観点から比較した場合の優劣はどうかという核不拡散性、海外の動向、政策変更に伴う課題及び社会的受容性、選択肢の確保（将来の不確実性への対応能力）という10項目の視点からの評価をできる限り定量的に行った。その結果、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く、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、これの処分場の面積が小さくて済むこと、安全性や核不拡散抵抗性については、それぞれの施設の安全確保活動が安全基準を遵守し、IAEAの保障措置の下におかれ、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、差はないこと、発電コストは直接処分路線を選択する場合に比べて1割程度高くなること、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いところ、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と、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ことなどが指摘され、再処理工場を完成に至らしめ、回収したプルトニウムはプルサーマルで利用していくことが妥当と結論づけられた（図3-16、図3-17）。

海外では、仏国、ロシア、中国等が使用済燃料の再処理によりプルトニウムを回収して利用する方針をとっている。一方、米国は、これまでは、使用済燃料を直接処分する方針をとってきているが、近年に至り、米国政府は将来において必要となる地層処分場の数を減らすことが可能であるとして、核不拡散性に優れた再処理技術の研究開発などを推進する国際原子力エネルギー・パートナーシップ（GNEP）を開始しており、今後の動向が注目される。



図3-16 使用済燃料の再処理によるウラン資源節約効果

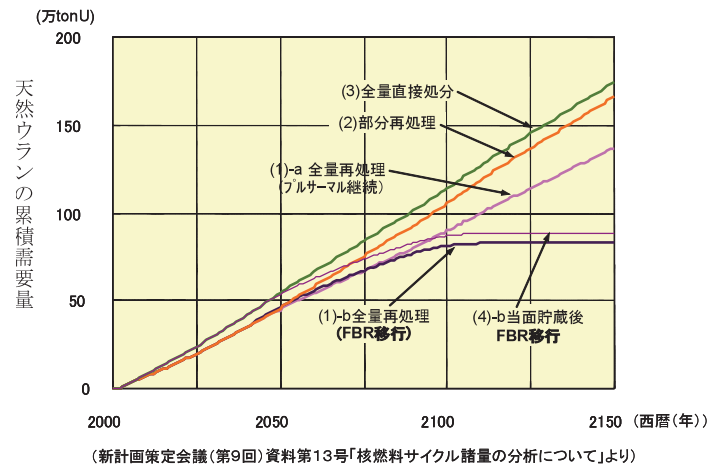
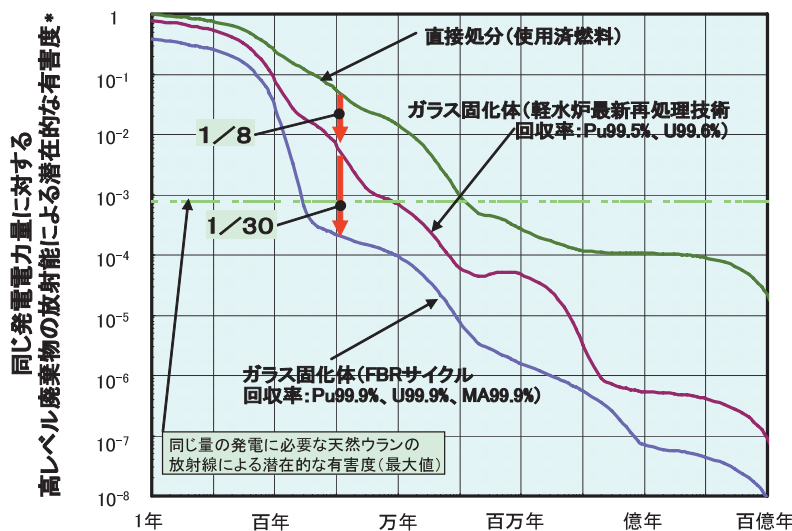


図3-17 処分される高レベル放射性廃棄物の放射能の潜在的な有害度の相対値



\* ) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的な有害度を1とした相対値。

(新計画策定会議(第9回)資料第13号「核燃料サイクル諸量の分析について」より)

### (3) 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が消費量の6割程度しか行われておらず、残りを解体核高濃縮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ある。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(平成25年(2013年))等によるウラン二次供給の減少から、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る。



図3-18 ウラン価格の推移

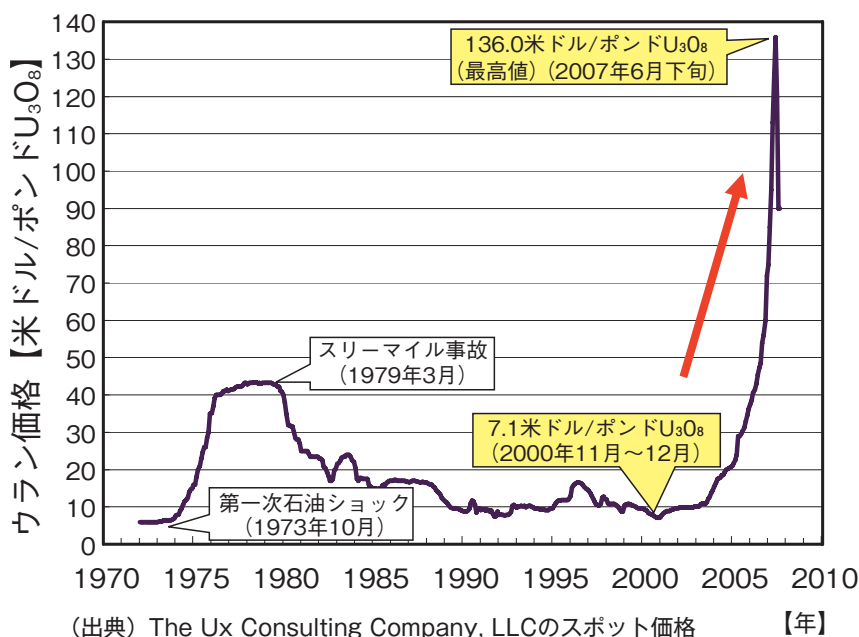
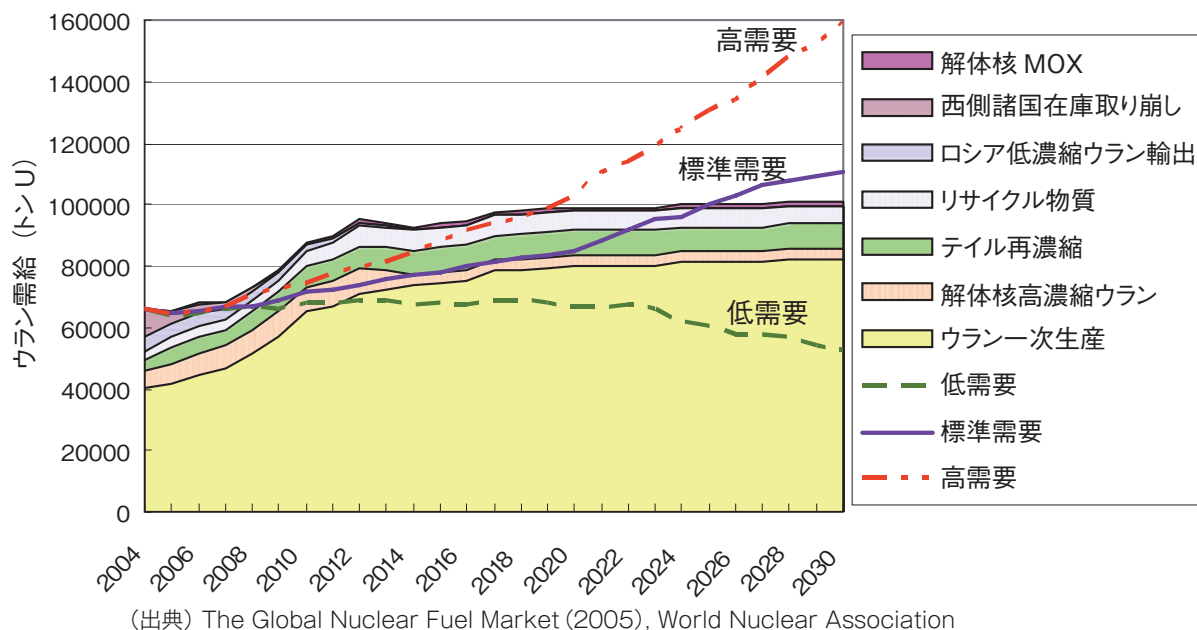


図3-19 ウラン需給見通し（高供給シナリオ）



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、カザフスタンなどにおいて、我が国企業による自主開発を進めている。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)日本貿易保険や国際協力銀行等政策金融による支援などが重要である。

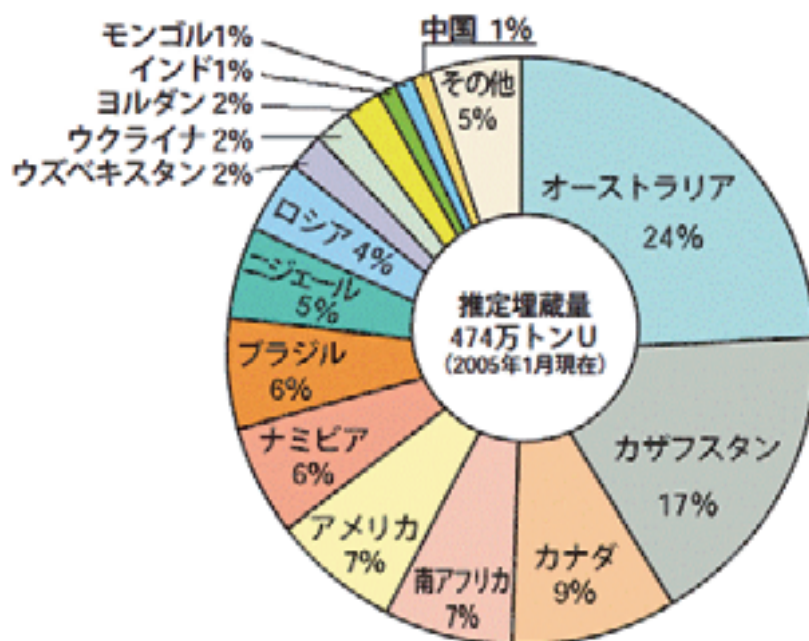


特に、カザフスタンについては、ウラン資源埋蔵量は世界第2位(全世界の約5分の1)にも拘わらず、我が国のカザフスタンからのウラン輸入量は1%に満たないため、ウラン確保の最重要地点と位置付けた。そのため、平成18年8月に小泉内閣総理大臣(当時)がカザフスタンを訪問した際に、原子力の平和的利用の分野での協力強化につき両国首脳間で一致し、ウラン鉱山共同開発や核燃料加工役務分野での協力、カザフスタンにおける軽水炉導入への協力、等を内容とする「原子力の平和的利用の分野における協力の促進に関する覚書」に署名した。平成19年4月には、カザフスタンが我が国からの働きかけを受け、IAEA 追加議定書を締結したことを受けて、麻生外務大臣(当時)よりカザフスタンとの間で日カザフ原子力協定締結交渉の開始を発表し、交渉を開始した。また、同年4月に甘利経済産業大臣が企業トップを含む総勢150名の官民合同ミッションで訪問し、24件の具体的協力案件につき一致するとともに、協力案件の支持と日カザフ原子力協定交渉開始を歓迎する共同声明を発出した。具体的には、原子力分野における我が国の高度な技術力(核燃料加工、原子炉プラント等)を活かした日本型資源外交を展開し、日本のウラン総需要量の3~4割に相当する権益を獲得した。

ウラン資源埋蔵量世界第10位であるウズベキスタンについても、平成18年8月に小泉内閣総理大臣(当時)が訪問し、ウラン開発・取引が有望な分野となり得ること等について首脳間で一致した。また、平成19年4月に甘利経済産業大臣が訪問した際には、ウランを始めとする鉱物資源分野における協力に合意した。

今後とも、こうした日本の強みを活かした戦略的な資源外交を展開していくことが必要である。

図3-20 ウラン資源埋蔵量

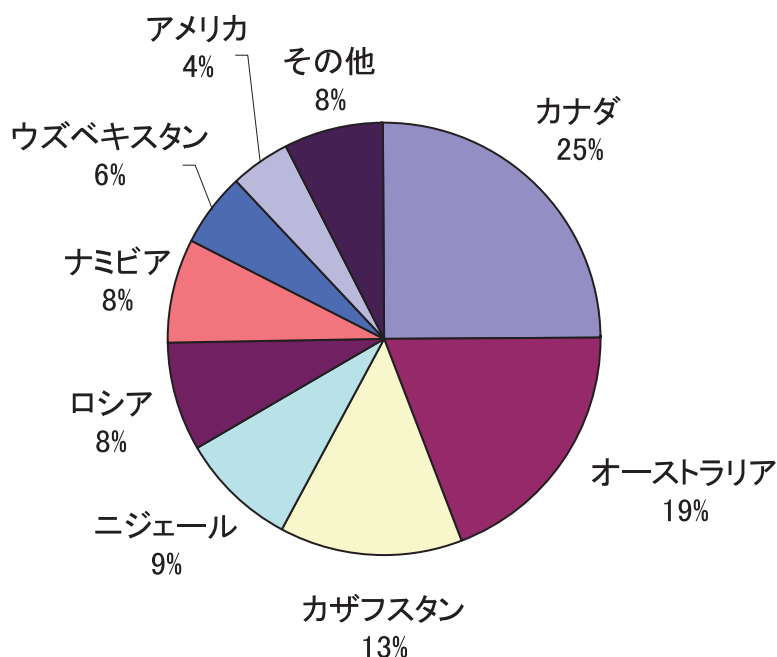


(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。  
トンU: 金属ウランでの重量トン

(出典) OECD/NEA & IAEA, Uranium 2005



図3-21 世界の天然ウラン生産量（平成18年（2006年））



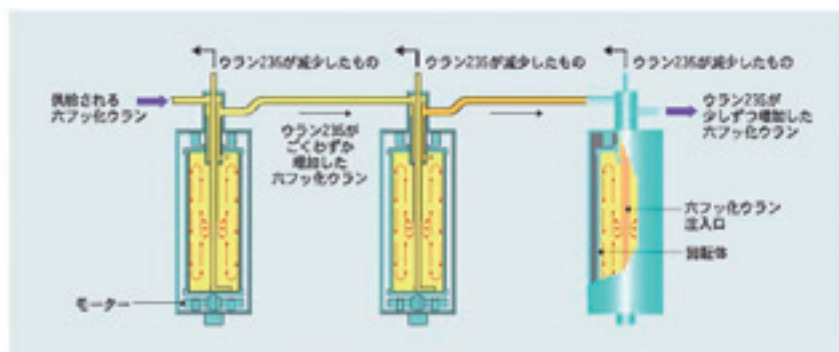
（出典）World Nuclear Association（平成19年（2007年）7月現在）

## ②ウラン濃縮

ウラン資源需要の上昇に伴い、ウラン濃縮役務の需要も高まっている。さらに、濃縮役務の需要を押し上げる要因として、天然ウラン価格の上昇に伴う劣化ウランの更なる低濃度化などが挙げられる。さらに、核兵器由来の高濃縮ウランを希釈した低濃縮ウランの供給動向や、米国のロシアに対する濃縮役務依存の動向などにより、濃縮役務市場には変動要因が多い。また、現在濃縮技術においては世界的に大きな過渡期に位置している。すなわち、西側世界の主要なウラン濃縮企業である AREVA 社（仏）及び USEC 社（米）が所有するガス拡散プラントは、遠心分離プラントに比べ極めて多くの電力を消費するために競争力を失いつつあり、遠心分離プラントへの移行に向けた取組が進められている。現状では西側世界のウラン濃縮役務（約30,000tSWU）の約1／3は、ロシアの原子力庁 ROSATOM のウラン濃縮役務サービス及びロシアの高濃縮ウランから変換された低濃縮ウランによって供給されている。また、世界のウラン濃縮役務需要は、天然ウラン価格の上昇にともなうテールアッセイの低濃度化などにより、増加の傾向にある。今後の世界のウラン濃縮役務市場は、上記2社の遠心機プラント開発の成否によって大きく変動する可能性を秘めている。このような状況において、我が国としては、濃縮ウランの安定供給を確保する観点ばかりではなく、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る。



図3-22 ウランの濃縮・遠心分離法の原理



日本原燃（株）の六ヶ所ウラン濃縮工場については、RE-1A が経年劣化による遠心機の停止により生産能力が低下したため、平成12年4月に計画的に運転を停止した。また、同様に RE-1B が平成14年12月に、RE-1C が平成15年6月に、RE-1D が平成17年11月に、RE-2A が平成18年11月に、RE-2B 及び RE-2C の一部の運転設備が平成19年11月に、RE-2C が平成20年2月に生産運転を停止した。

日本原燃（株）は、平成12年11月にウラン濃縮技術開発センターを設立し、より高性能で経済性に優れた新型遠心分離機を開発中であり、平成19年11月からウランを使用したカスケード試験（多数台の新型遠心分離機を組み合わせたカスケード設備による試験）を開始している。同社は、開発した新型遠心分離機を平成22年度頃から六ヶ所ウラン濃縮工場へリプレース導入することを目指しており、将来的には同工場の操業規模を1,500トンSWU／年とする計画である。

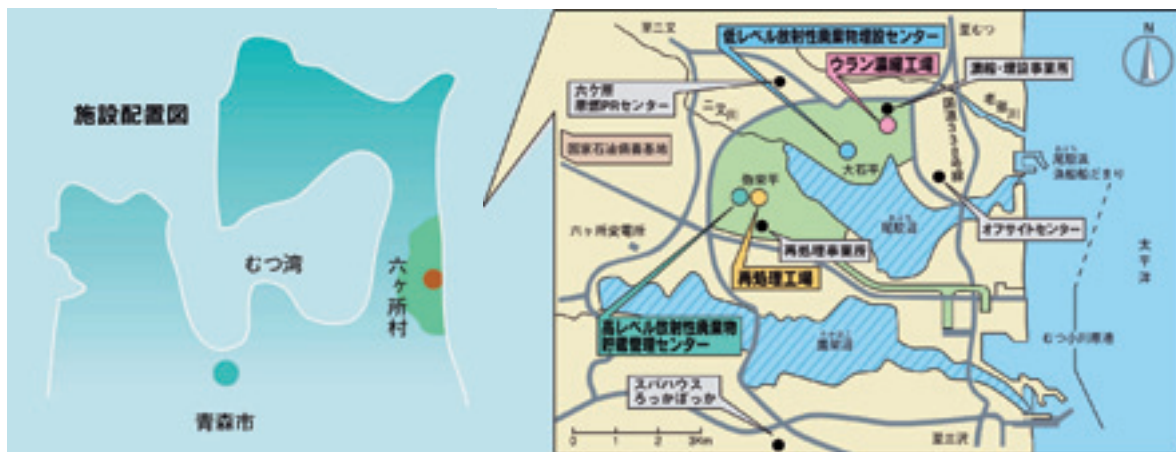
また、新型遠心分離機のリプレースに向け、平成19年3月から、停止した現行遠心分離機に付着したウランを回収するための設備設置等についての安全審査が行われている。

図3-23 青森県六ヶ所村 日本原燃（株）ウラン濃縮工場





図3-24 青森県六ヶ所村 核燃料サイクル施設の配置



### ③燃料再転換・成型加工

濃縮されたウラン（六フッ化ウランの形態）を軽水炉用の核燃料として使用できる形にするためには、これを粉末（二酸化ウランの形態）にする「再転換」と、これをペレットに加工し、被覆管の中に収納して燃料集合体とする「成型加工」の工程が必要となる。

再転換業務については、現在、我が国では三菱原子燃料(株)のみが実施しているため、加圧水型軽水炉（PWR）用のウランについては、一部を海外で再転換した後に輸入している。また、沸騰水型軽水炉（BWR）用のウランについては、その大部分を海外で再転換した後に輸入している。

成型加工事業については、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、原子燃料工業（株）の3社が、PWR用、BWR用ともに必要とされる燃料の大部分を国内で成型加工しており、高品質の製品を製造している。

### ④使用済燃料中間貯蔵

使用済燃料貯蔵対策については、今後長期的に使用済燃料の貯蔵量が増大するとの見通しを踏まえ、平成9年2月の閣議了解に基づき、科学技術庁（当時）、通商産業省（当時）及び電気事業者において検討がなされ、平成11年6月に核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）の一部改正により、使用済燃料の貯蔵を事業として実施することが可能となった。

その後、事業者は貯蔵施設の操業に向け施設の立地を進めてきており、平成17年10月には、青森県、むつ市、東京電力（株）及び日本原子力発電（株）により、我が国で初となる使用済燃料中間貯蔵施設に関する協定が締結された。これを受け、同年11月、両社は使用済燃料の貯蔵・管理を目的とする新会社（リサイクル燃料貯蔵（株））を設立し、平成19年3月、リサイクル燃料貯蔵（株）から経済産業大臣に対し、貯蔵事業許可申請が提出されている。同社の計画によれば、平成22年頃までに貯蔵量3,000トン規模で操業が開始され、最終的に貯蔵量は5,000トンとする予定である。



## ⑤使用済燃料再処理

我が国は、使用済燃料の再処理は、これまで、我が国初の再処理施設である（独）日本原子力研究開発機構（原子力機構）東海研究センター核燃料サイクル工学研究所再処理施設において行ってきた。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12月末までに、約1,140トンUとなっている。

一方、我が国の電気事業者は、英国核燃料会社 BNGS 及び仏国核燃料会社 AREVA NC と再処理委託契約を結んでいる。軽水炉使用済燃料については、BNGS 及び AREVA NC と合計約5,600トンUの再処理委託契約を結んでいる。さらに、ガス炉使用済燃料については、BNGS と約1,500トンUの再処理委託契約を結んでいる。これらの契約に基づき、平成13年6月までに、軽水炉使用済燃料及びガス炉使用済燃料の契約全量が既に英国及び仏国に輸送されている。

なお、使用済燃料は、再処理されるまで適切に貯蔵・管理されており、各原子力発電所の貯蔵プールには、平成19年9月末現在、合計12,140トンUの使用済燃料が安全に保管されている。初期に建設された発電所には、貯蔵プールの中には貯蔵容量が比較的小さいものがあるため、各事業者は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に使用済燃料を移送したり、貯蔵容量を増強するなど、各種対策を講じている（「各原子力発電所（軽水炉）の使用済燃料の貯蔵量及び貯蔵容量」は表3-4を参照。）。

このように使用済燃料は種々の対策が講じられながら適切に貯蔵・管理されているところであるが、これらの再処理は、我が国における核燃料サイクルの自主性を確実なものにするという観点から、国内で行うことを原則としている。そのためには、日本原燃（株）が青森県六ヶ所村に建設を進めている六ヶ所再処理工場が、我が国初の商業用再処理施設として本格操業を開始し、安定した運転実績を重ねていくことは極めて重要である。日本原燃（株）は、平成13年4月から通水作動試験（水・蒸気・空気を使った試験）、平成14年11月から化学試験（化学薬品を使った試験）、平成16年12月からウラン試験を開始するなど試運転を進め、平成18年3月からは使用済燃料を使ったアクティブ試験を実施した。これまでに、建屋毎に系統を連結したアクティブ試験第3ステップが平成19年1月から4月までで終了し、平成19年9月から、各建屋を統合した工場全体の試験である第4ステップが実施されている。平成19年12月現在の建設工事進捗率は約99%であり、平成20年の間に控えた本格操業に向け、初期トラブルを克服しつつ慎重に準備が進められている。

なお、電気事業者は、六ヶ所再処理工場での使用済燃料を用いた試験が平成18年から開始されたのを受け、平成15年3月に原子力委員会が決定した「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方について」に則して、平成18年からプルトニウム利用計画の報告を行っており、原子力委員会においてもこれを妥当なものとして評価している。

再処理工場の使用済燃料受入れ・貯蔵施設については、平成12年12月から電気事業者の使用済燃料の本格搬入が開始され、平成19年12月現在で約2,435トンが搬入されているが、そのうち、約308トンが再処理工場の試運転のために既に使用されている。

また、我が国の再処理技術に関する研究開発は、原子力機構等により実施されており、同機構は、前述の東海研究開発センター再処理施設において、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を日本原燃（株）六ヶ所再処理工場に反映させるなど、技術協力を進めている。また、同機構では、高速増殖炉サイクル実用化研究開発の実施により、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画の提示に向け、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等を精力的に進めている。

表3-3 海外再処理委託の状況

(単位：tU)

	BNGS	AREVA NC	合 計
軽水炉	約2,700	約2,900	約5,600
ガス炉	約1,500	—	約1,500

委託契約量は平成13年6月に全量搬出済み

表3-4 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19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	330	420
東北電力	女川	260	60	340	790
	東通	130	30	10	230
東京電力	福島第一	580	150	1,520	2,100
	福島第二	520	140	950	1,360
	柏崎刈羽	960	250	2,140	2,910
中部電力	浜岡	570	140	950	1,580
北陸電力	志賀	210	50	100	690
関西電力	美浜	160	50	310	620
	高浜	290	100	1,150	1,630
	大飯	360	110	1,220	1,900
中国電力	島根	170	40	350	600
四国電力	伊方	170	60	510	930
九州電力	玄海	270	100	760	1,060
	川内	140	50	770	900
日本原子力発電	敦賀	140	40	560	870
	東海第二	130	30	320	420
合計		5,160	1,430	12,140	19,000

(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」。  
(注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。



## ⑥ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料加工

我が国では、原子力機構を中心として、新型転換炉、高速増殖炉等に使用するための MOX 燃料加工に関する研究開発を実施してきている。その加工実績は平成19年12月末までの累積で MOX 燃料重量約170トンに達しており、ここで培われた MOX 燃料加工技術は世界的にみても高い水準にある。なお、現在は、高速増殖炉燃料製造施設である同機構プルトニウム燃料第三開発室 FBR ラインが運転中であり、その最大処理能力は年間4.5トン-HM である。

また、日本原燃（株）は、我が国初の民間 MOX 燃料工場（最大処理能力は年間130トン-HM）を、平成24年10月の竣工を目指して建設することとしており、平成17年4月、青森県、六ヶ所村及び日本原燃（株）の間で「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、同月、日本原燃（株）から経済産業大臣に対し、加工事業許可申請が提出された。本件は現在、原子力委員会及び原子力安全委員会の二次審査中であり、平成19年9月には、加工施設として初めて原子力安全委員会主催の第2次公開ヒアリングが開催された。

六ヶ所再処理工場で回収されるプルトニウムはこの燃料工場では MOX 燃料に加工され、我が国の軽水炉で利用される予定であり、六ヶ所再処理工場の運転と歩調を合わせ、国内の MOX 燃料加工事業の整備が着実に進められることが期待される。

なお、海外再処理施設での再処理により回収されたプルトニウムについては、基本的に海外において MOX 燃料に加工し、我が国の軽水炉で利用する予定である。

## ⑦軽水炉による MOX 燃料利用（プルサーマル）・回収ウラン利用

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た。軽水炉での MOX 燃料利用は、海外において既に約5,700体の実績（平成18年末）があり、我が国において実施した少数体規模での実証試験においても、良好な成果が得られている。平成9年2月には、「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、これを踏まえて橋本内閣総理大臣（当時）から、福島県、新潟県及び福井県の3県の知事に対し閣議了解の説明及び協力要請が行われた。電気事業者においても、これにあわせて平成22年度までに16～18基の軽水炉においてプルサーマルを順次実施するプルサーマル計画を取りまとめ公表した。また、プルサーマルについては、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）において着実に推進することとされている。



図3-25 電気事業者のプルサーマル計画

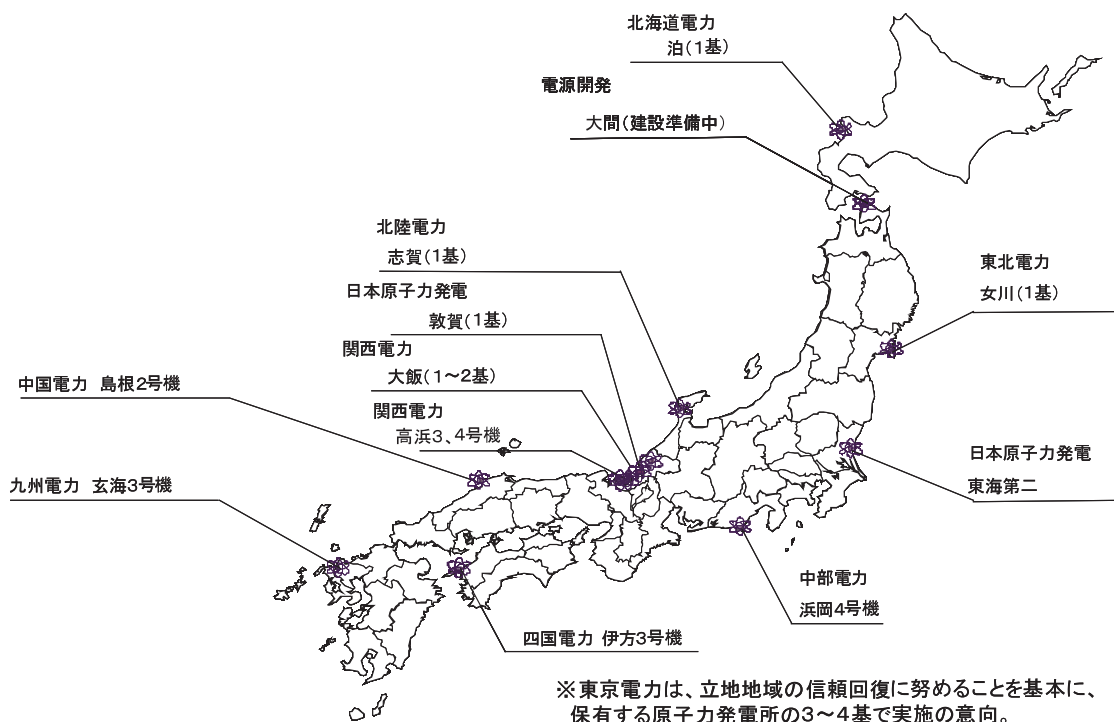
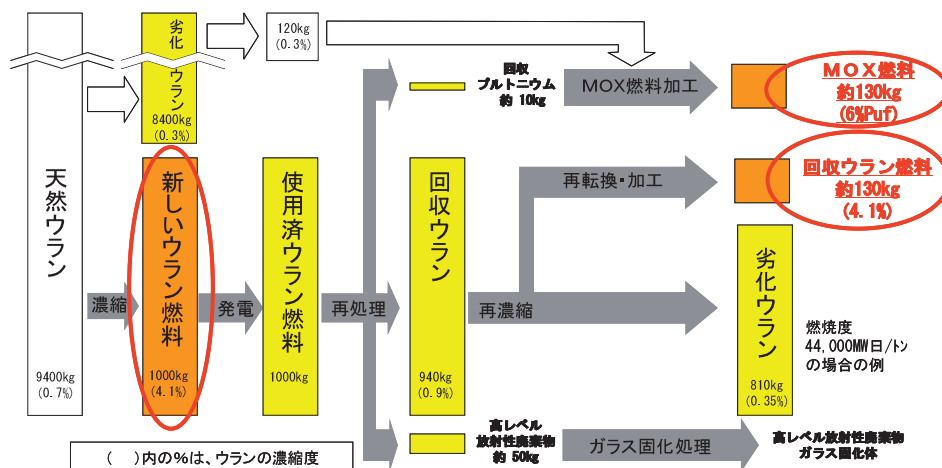


図3-26 プルサーマルによるウラン資源節約効果



(新計画策定会議(第5回)資料第4号「核燃料サイクルによるウラン資源の節約について」より)

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る。また、国も立地地域において“国の顔が見える”取組を積極的に行い、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いる。

九州電力(株)は、平成16年5月、玄海原子力発電所3号機のプルサーマル計画について「原子炉設置変更許可」申請を行うとともに、佐賀県及び玄海町に対し、事前了解願いを提出し、平成17年9月、「原子炉設置変更許可」を取得、平成18年3月には両自治体より事前了解がなされた。平成19年9月に、輸入燃料体申請が経済産業大臣に対して行われ



ている。

四国電力（株）は、平成16年5月、伊方発電所3号機においてプルサーマルを実施する計画について、愛媛県及び伊方町に対し事前了解願いを提出し、同年11月、国への申請が了解された。同月、「原子炉設置変更許可」を申請し、平成18年3月に「原子炉設置変更許可」を取得、同年10月には両自治体よりプルサーマル計画に対して事前了解がなされた。平成19年9月に、輸入燃料体検査申請が経済産業大臣に対して行われている。

中部電力（株）は、浜岡原子力発電所4号機のプルサーマル計画について、静岡県、御前崎市等に説明の上で、平成18年3月に「原子炉設置変更許可」を申請し、平成19年7月、「原子炉設置変更許可」を取得、平成20年2月にはこれらの自治体よりプルサーマル計画の了承がなされた。

関西電力（株）は、平成10年、高浜発電所3、4号機のプルサーマル計画について「原子炉設置変更許可」を取得し、翌年には福井県及び高浜町より事前了解がなされたが、英BNFL社によるMOX燃料検査データのねつ造などにより同社は計画を中断していたが、平成20年1月に計画の準備作業を再開した。

中国電力（株）は、平成17年9月、島根原子力発電所2号機においてプルサーマルを実施する計画を公表し、同日、事前了解願いを島根県及び松江市に提出し、平成18年10月に国への申請が了承されたことを受け、同月、「原子炉設置変更許可」を申請した。

電源開発（株）は、平成16年、全ての炉心にMOX燃料を装荷する大間原子力発電所の「原子炉設置許可」を地元の了解を得て申請し、平成19年末現在、耐震指針の改定を受けた補正書の審査中である。

なお、使用済燃料の再処理により回収されたウランについても、資源の有効利用の観点から、再濃縮により回収ウラン燃料としてリサイクル利用が図られている。



表3-5 回収ウラン利用実績（平成19年3月末）

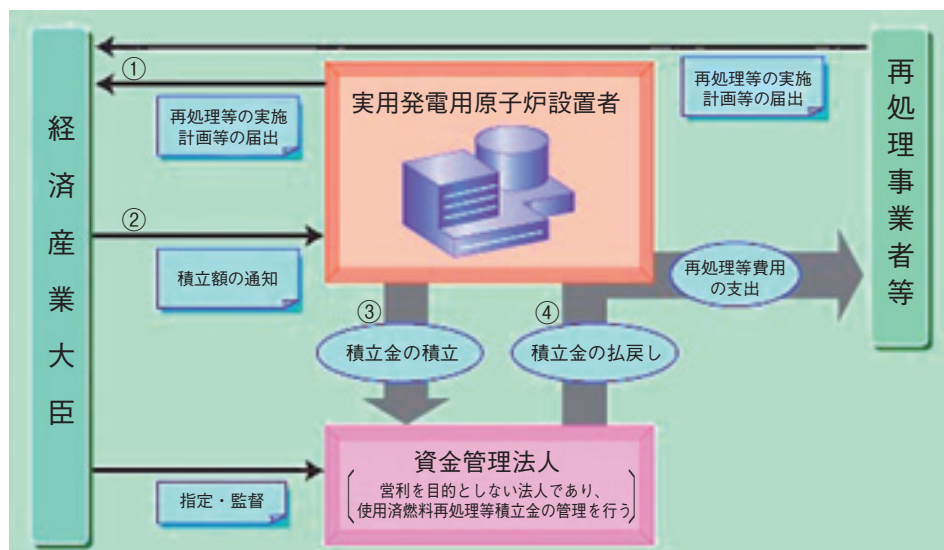
電力	プラント	装荷時期	装荷体数
東北電力（株）	女川3号機	平成18年	68体
東京電力（株）	福島第一3号機	昭和62年	4体
	福島第二1号機	平成5年	24体
	柏崎刈羽6号機	平成18年	196体
関西電力（株）	大飯2号機	平成3年	20体
	美浜3号機	平成7年	52体
	高浜1号機	平成15年	24体
	高浜1号機	平成16年	24体
	高浜1号機	平成19年	24体
	高浜2号機	平成17年	24体
中国電力（株）	島根2号機	平成18年	100体
四国電力（株）	伊方3号機	平成15年	12体
九州電力（株）	川内2号機	平成17年	12体
日本原子力発電（株）	敦賀2号機	平成14年	24体

#### ⑧使用済燃料の再処理等のための積立金制度について

再処理等のバックエンド事業は極めて長期間にわたり多額の費用を要すること等から、平成15年10月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、経済措置等の必要な措置を講ずることとされた。これを受け、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会において、バックエンド事業全般にわたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価を行うとともに、バックエンド事業についての経済的措置等の具体的制度・措置について検討がなされ、平成16年8月に、再処理等に要する将来費用を電気事業者があらかじめ少しずつ積み立てる仕組みを整備することが必要であり、当該積立金の管理・運営の実施主体は、積立金の公共性に鑑み、外部の法人とすることが適当とする中間報告「バックエンド事業に対する制度・措置の在り方について」がまとめられた。本報告をもとに、原子力発電における使用済燃料の再処理等を適正に実施するため、平成17年5月に「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の積立て及び管理に関する法律」（「再処理等積立金法」）が成立し、同年10月より施行され、着実に運用されている。



図3-27 再処理等積立金法のスキーム図



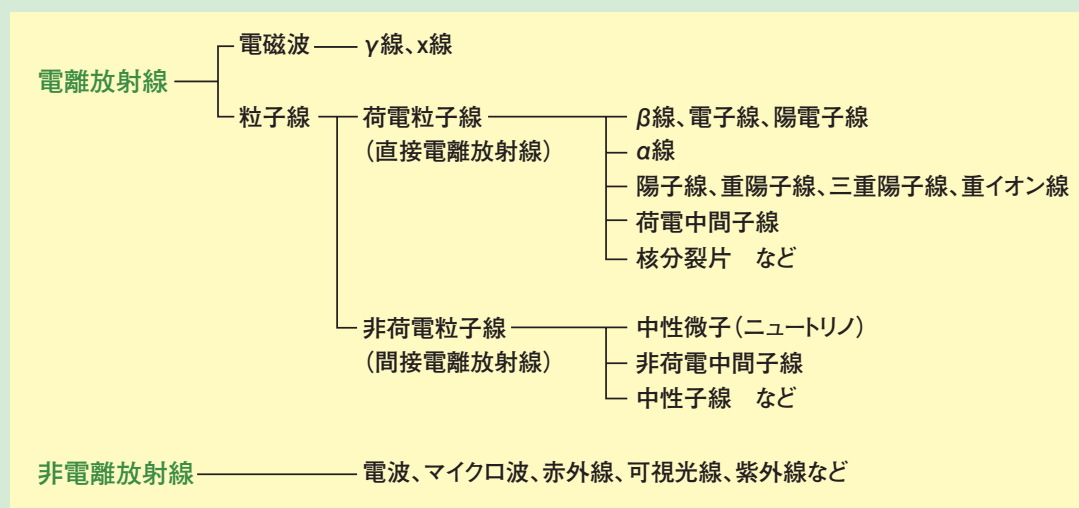
(出典) 経済産業省資料より作成



## 3-2 放射線利用

「放射線」には、X 線、 $\gamma$  線、電子線等の種類がある（図3-28）。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」という。

図3-28 放射線の種類



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すが、他方、

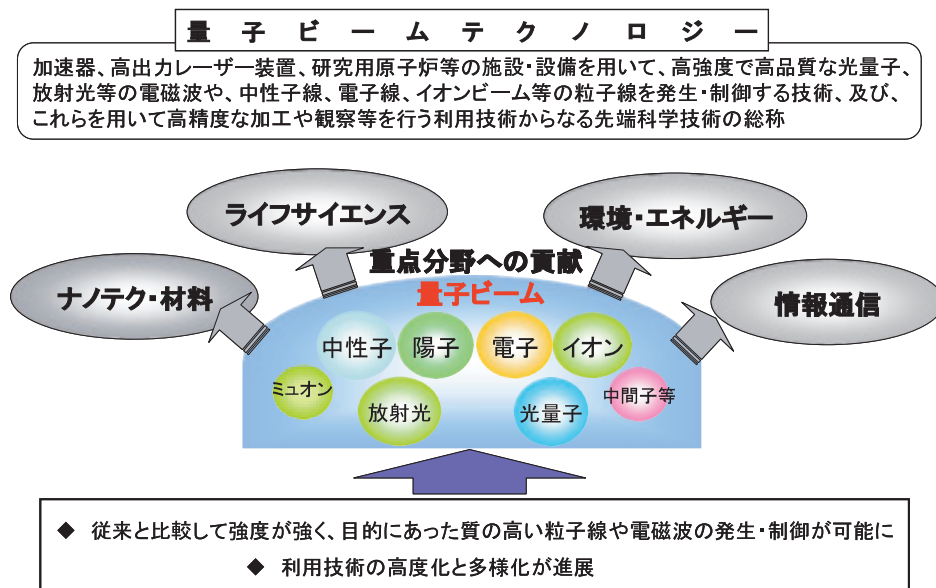
- ①物質を透過したり原子核で散乱したりするため、物質や生体の内部を細部まで調べることができる。
  - ②局所的にエネルギーを集中し、材料の加工や特殊な機能の付与ができる。
  - ③細菌やがん細胞等に損傷を与え不活性化することができる。
  - ④電離作用があるので、化学物質等に照射して別の物質に変えることができる。
- など、応用して利用できる有益な性質がある。

そこで、放射線を安全に取り扱う技術や放射線防護の法規制が整備されるとともに、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る。

### (1) 放射線利用に関する政策の基本的考え方

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る。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る。これは、ナノテクノロジーやライフサイエンスなど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る（図3-29）。





放射線の利用は社会に大きな効用をもたらすが、そのために用いられる機器や放射性物質は取扱いを誤れば人の健康に悪影響を与える可能性がある。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製造、販売、使用、測定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、それぞれの分野における放射線の利用は、これらの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る。

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あるが、他の技術に比較して優位であるにも関わらず、利用側における技術情報や認識の不足などから採用されていないことがある。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、更には、技術導入を図る当事者、利用者、その他関係者の間で、その技術導入を図ることによる得失利害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放射線利用の拡大のためには重要である。

## (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

#### イ) 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の使用事業所は、平成19年3月末現在、4,699事業所に達している。これを機関別に見ると、民間企業1,979、研究機関575、医療機関897、教育機関525、その他の機関723である。

また、密封放射性同位元素の使用事業所数は3,851である。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、アメリシウム241が厚さ計や密度計等に主に使用されている。また、医療機関においては、ヨウ素125、イリジウム192、金198など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（放射線障害防止法）に定める放射線発生装置は、平成19年3月末現在、1,401台に達している。放射線発生装置の71.4%は医療機関に設置され、がん治療などに利用されている。その他教育機関、研究機関、民間企業等に設置され、様々な研究開発に利用されている。

なお、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、イオン注入装置等が民間企業などに多数設置され、幅広く利用されている。

#### ロ）関係機関における取組

文部科学省は、地方の研究開発機関等の放射線利用に関わる人材育成に資するため、エネルギー対策特別会計の委託事業を通じて、放射線利用技術に関するセミナーの開催、専門家の派遣、中性子利用技術移転の推進を実施している。

（独）日本原子力研究開発機構（原子力機構）高崎量子応用研究所は、大型照射施設や各種の加速器を用いて、宇宙、核融合炉等の先端材料、機能材料の開発、バイオ技術、環境保全技術の開発など、放射線を利用した研究開発を進めている。また、関西光科学研究所では放射光や極短波レーザーを利用した研究開発を、原子力科学研究所では重イオン加速器を使った核物理や物性物理の研究、d-T中性子源を使った核融合工学技術開発、様々な量子ビームを利用した研究開発を行うための大強度陽子加速器J-PRACの整備を進めている。

（独）理化学研究所の播磨研究所が有するSPring-8では、放射光を利用した幅広い研究開発が行われている。最近、産業利用が急速に拡大し、民間出資による新たなビームライン整備も進んでいる。

（独）放射線医学総合研究所では、医療用の重粒子線がん治療用加速器HIMACによる先進医療を進めると同時に、重粒子線がん治療用加速器の小型化、PET技術の高度化、分子イメージング技術の開発などに取り組んでいる。

（社）日本アイソトープ協会は、研究用、産業用、医療用の各種放射性同位元素の安定供給に努めるとともに、廃棄物の集荷・処理事業などを行い、放射性同位元素の利用者の負担の軽減を図り、放射性同位元素の利用の促進に寄与している。

（財）放射線利用振興協会は、放射線利用に関する普及啓発活動、原子力機構の施設を利用した種々の試験照射等を実施している。

#### ハ）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、放射線による障害を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、放射線や放射性同位元素等を診断や治療、医薬品を規制する医療法や薬事法などに基づいて、厳格な安全管理体制の下で進められて



いる。

また、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あるが、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る。

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、研究協力及び人的交流等を行い、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らない。

(独)放射線医学総合研究所は、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る。

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、(独)放射線医学総合研究所では、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る。

また、原子力機構や(独)放射線医学総合研究所では、環境放射線管理、施設放射線管理及び線量管理の実務が行われている傍ら、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る。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) の開発が開始され、それに基づき、文部科学省が「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム」を開発・運用している。現在は国外の事故に対応するための SPEEDI の世界版 (WSPEEDI) の開発に続き、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る。

さらに、原子力機構は、外部被ばく、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、平成20年1月には核医学検査・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などの成果も得ている。

## ②科学技術・学術分野

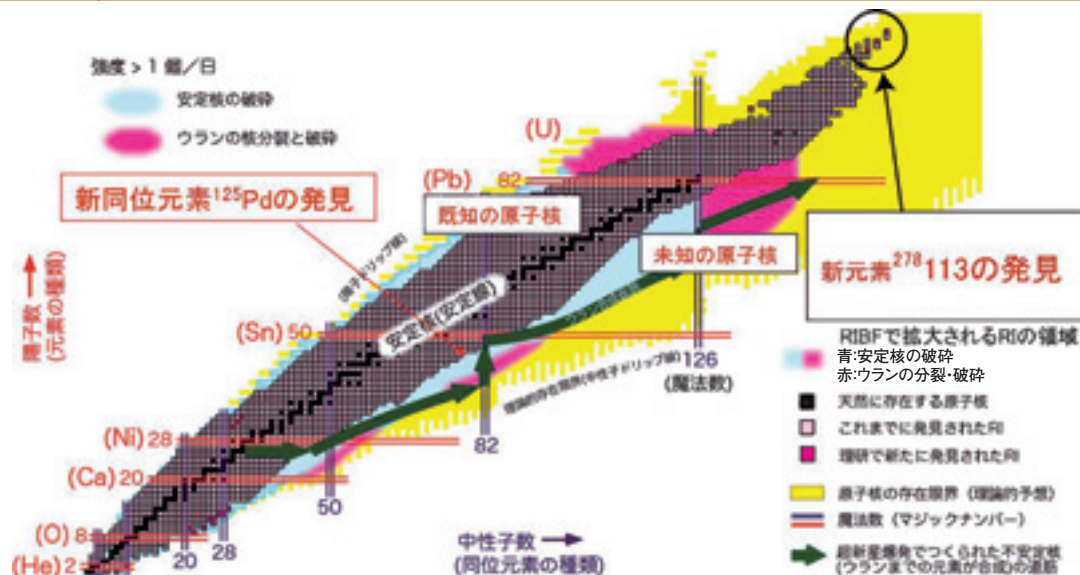
放射線は、物質の根源や宇宙誕生時の物質の起源にせまる謎を解明する基礎科学研究や、物質の極微の世界の構造を調べる研究等に利用され、学術分野の進展に貢献し人類共通の知的資産となる物理の諸原理を解明するとともに、最先端の生命科学や医学、農学など幅広い分野での研究開発につながる成果を創出してきている。

(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 Pd125



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解明等に取り組んでいる。

図3-30 核図表の拡大



### ③医療分野

X線CT（図3-31）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、医療分野における放射線利用は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一つとして身近な存在となりつつある。

図3-31 X線CT

#### X線CT

CTとは、Computed Tomographyの略で、コンピュータを使って断層撮像を行う装置。X線発生装置が身体を周りを360回転しながらX線を照射し、身体を透過したX線の情報をコンピュータ処理することにより、断層画像が得られる。



CT装置

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<sup>5</sup>、SPECT<sup>6</sup>、PET<sup>7</sup>など）等も実用化されている。最近では、分子イ

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ラジオアイソトープを含む標識化合物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ガンマ線を検出することで映像化する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

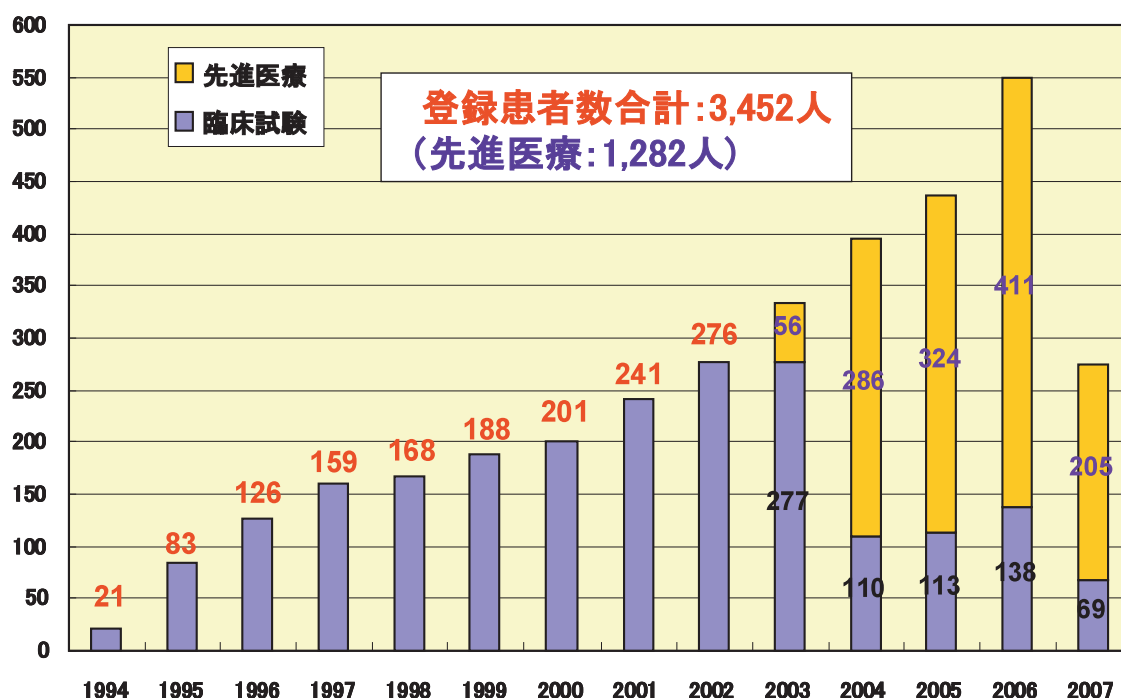
体内に投与された放射性同位元素から発生するガンマ線を体軸の周囲から計測し、コンピュータを用いて体内放射能分布像を構成する方法。



メーキ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機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る。

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る。最近は、加速器で発生する陽子線や重粒子線などの粒子線もがん治療に用いられるようになってきている。現在、国内には5か所の陽子線治療施設と2か所の重粒子線治療施設がある。(独)放射線医学総合研究所では、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、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た。頭頸部、肺、肝臓、前立腺、骨・軟部、直腸等の腫瘍を中心に平成19年8月までに3,400例を超える臨床例を蓄積してきた(図3-32)。

図3-32 重粒子線治療の登録患者数(平成6年6月～平成19年8月)



現在、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るとともに、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る。

一方で、放射線診断及び治療の普及に伴い、放射線診断・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も報告されており、放射線医療における適

7 PET (Positron Emission Tomography) : 陽電子断層撮像法

人体に投与された陽電子放出核種から発生する陽電子が対消滅して180度方向に二つ発生するガンマ線を同時に計測することにより、核種の分布を断面像として描く核医学診断法。



正照射を推進することが求められている。そのため、放射線治療に関連する五つの学会及び団体<sup>8</sup>が、平成17年9月に「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」を取りまとめた。また、学協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」や高度な放射線治療に従事する「放射線治療専門技師」並びに「医学物理士」の認定、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る。

なお、今後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ない。平成18年6月に成立した「がん対策基本法」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るところである。

表3-6 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 <sup>6</sup> )	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	776 F T E	約4,000
医学物理士	382*	約4,000

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)  
 日本放射線腫瘍学界構造調査 ASTRO Fact Sheet 2004  
 ※平成20年2月現在 (医学物理士会 HP より)

#### ④農業分野

農業分野では、品種改良、害虫防除等に放射線が利用されている。

品種改良：植物にγ線等を照射することによって、多数の新品種が作り出されている。その中には低蛋白質の米が実るイネや黒斑病に強いナシ、斑点落葉病に強いリンゴ、花の色や形が多彩なキク、病害虫に強く冬でも枯れない芝等がある。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・身体的負担の軽減や、環境の保全に役立ったり、消費者の多様なニーズに合った商品の提供を実現したりしている。

最近では、エネルギーを付与できる特徴から新しい品種を高い効率で作り出すことができるため、イオンビームで品種改良を行う研究が急速に進められ、既に、多彩な花色及び花形のキクやカーネーションの新品種が作出され、商品化されている。平成19年には、

8 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



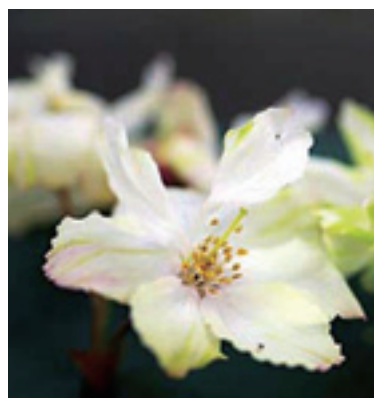
(独) 理化学研究所では、リングサイクロトロンで加速した炭素イオンビームを在来種に照射することにより、淡い黄色の花びらを持つサクラの新品種を開発した。

また、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、環境耐性や環境浄化に役立つ新品種の作出も行われている。

図3-33 原品種のカーネーション（左）とイオンビームによって作出された新品種（右）



図3-34 新たに開発された淡い黄色いサクラ「仁科蔵王」



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るが、受精させることはできなくなる。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を交尾する機会が少なくなり、受精卵を生む割合が減っていくので、ついに害虫集団が絶滅する。これを不妊虫放飼法という。この方法によって、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、平成5年までにこれらの地域からの根絶が達成された。その結果、ゴーヤなど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ったが、沖縄県においては、常に南方の国々からウリミバエの侵入の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る。また、沖縄及び奄美群島のみが生息しているさつまいもの重要害虫であるアリモドキゾウムシに関しても、久米島や喜界島において、不妊虫放飼法を用いた根絶防除が進められている。さらに、現在、国際原子力機関（IAEA）



ではツエツエバエの駆除が試みられている。

### ⑤食品照射

食品や農畜産物に $\gamma$ 線や電子線などを照射することによって、発芽防止、熟度遅延、殺菌、殺虫等の効果が得られ、食品の保存期間が延長される。特に収穫後の腐敗、害虫等による食品の損耗は、世界の食糧問題の一角をなしていることから、食品照射はその解決に重要な役割を果たし得る。平成5年（1993年）のIAEA総会では「開発途上国における食品照射の実用化促進」に係る決議が採択され、実用化農作物の損耗防止や香辛料の放射線殺菌や鶏肉、魚介類などに付着している食中毒菌の放射線殺菌などに利用される食品照射は、すでに世界の多くに国々や地域で法的に許可されている（表3-7）。平成14年（2002年）には、米国において、輸入生鮮青果物に対する病害虫駆除のために利用されていた臭化メチルの使用が、オゾン層破壊原因物質であるとして制限されたことにより、その代替技術として放射線照射ができるようになった。

我が国では、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る（図3-35）。また、平成8年に全国的な食中毒の発生を引き起こした病原性大腸菌O-157に対して、放射線で効率的に殺菌できることが、原子力機構において確認されている。

原子力委員会食品照射専門部会は平成18年9月に報告書を取りまとめ、諸外国における許可・実用化の進展やその実績等から食品照射は有用性があり、また照射食品の健全性（毒性学的安全性、微生物学的安全性、及び栄養学的適格性）については、適正な線量等を守り照射を行った場合には健全であるという現在までの国内外における研究成果の蓄積などを踏まえ、一定の見通しがある等の結論を示すとともに、適正な照射線量の遵守等を前提とした食品照射を食品の衛生確保等のための技術の選択肢の一つとできるようにする観点から、今後進めるべき取組を示した。原子力委員会はこの報告を受け、本報告書は十分な調査審議を行ってとりまとめられたもので、その考えは尊重すべきものと評価した上で、同年10月に関係行政当局において、有用性が認められる食品への照射に関する食品安全行政の観点からの検討・評価や、食品照射の社会受容性向上のための情報公開及び広聴・広報活動の推進などの取組を進めることが必要であるとする旨の委員会決定を行った。

そして、委員会自らも、食品照射専門部会報告書の内容に関する国民との相互理解の充実等に自ら努めることとし、平成19年3月に東京と京都の2会場において、当委員会主催による公開フォーラム「食品への放射線照射について」を開催し、国民への食品照射に関する理解の充実に努めた。

原子力委員会の決定を受けて、関係各省においては、所要の検討を進めているところである。



図3-35 ジャガイモへの照射



(出所) 原子力機構ホームページ



表3-7 世界の食品照射許可国及び許可品目

		1. 球根及び地下根茎類 (発芽防止)	2. 新鮮果物及び野菜 (熟度調整、殺虫)	3. 穀類及びその製粉品等 (殺虫)	4. 魚介類及びその製品 (殺虫・殺菌)	5. 家禽肉、蓄肉及びその製品 (殺虫・殺菌)	6. 乾燥野菜、スパイス等 (殺虫・殺菌)	7. 動物性乾燥食品 (殺虫)	8. その他 (殺菌)
1	アルジェリア	★	★	★	★	★	★	★	★
2	アルゼンチン	★	★	★			★		
3	オーストラリア		★				★		
4	オーストリア						★		
5	バングラデシュ	★	★	★	★	★	★	★	
6	ベルギー	★	★	★	★	★	★	★	★
7	ブラジル	★	★	★	★	★	★	★	★
8	ブルガリア						★		
9	カナダ	★		★			★		
10	チリ	★	★	★	★	★	★		
11	中国	★	★	★	★	★	★		★
12	コスタリカ	★	★	★	★	★	★		
13	クロアチア	★	★	★	★	★	★	★	★
14	キューバ	★	★	★	★	★	★	★	★
15	チェコ	★	★	★	★	★	★	★	★
16	デンマーク						★		
17	エジプト	★					★		
18	フィンランド						★		★
19	フランス	★		★	★	★	★	★	★
20	ドイツ						★		
21	ガーナ	★	★	★	★	★	★	★	★
22	ギリシャ						★		
23	ハンガリー						★		
24	インド	★	★	★	★	★	★		
25	インドネシア	★		★	★		★	★	
26	イラン						★		
27	アイルランド						★		
28	イスラエル	★	★	★		★	★	★	
29	イタリア	★					★		
30	日本	★							
31	韓国	★	★	★			★	★	★
32	リビア	★	★			★	★		
33	ルクセンブルク						★		
34	メキシコ	★	★	★	★	★	★	★	★
35	オランダ			★	★	★	★		★
36	ニュージーランド		★				★		
37	ノルウェー						★		
38	パラグアイ	★	★	★	★	★	★	★	★
39	ペルー	★	★	★	★	★	★	★	★
40	フィリピン	★	★	★	★	★	★	★	★
41	ポーランド	★	★				★		
42	ポルトガル						★		
43	ロシア	★	★	★		★	★	★	★
44	サウジアラビア	★	★	★	★	★	★	★	★
45	南アフリカ	★	★	★	★	★	★	★	★
46	スウェーデン						★		
47	スペイン						★		
48	シリア	★	★	★	★	★	★	★	
49	チュニジア	★		★			★		
50	ウクライナ	★	★	★	★	★	★	★	★
51	英国	★	★	★	★	★	★		★
52	米国	★	★	★	★	★	★	★	★
53	ウルグアイ	★							
54	タイ	★	★	★	★	★	★	★	
55	トルコ	★	★	★	★	★	★	★	
56	ベトナム	★	★	★	★	★	★	★	
57	ザンビア	★	★	★	★	★	★	★	★

(出典) 平成19年度 放射線利用の経済規模に関する調査－食品照射海外調査－



## ⑥工業分野

工業分野においては、放射線は製紙業界等における厚さ、密度、水分含有量の精密な測定や鉄鋼、航空機業界などにおける非破壊検査等に見られるように、その透過性が物質の性質に依存することを活かして、広く利用されている。平成19年3月末現在、厚さ計が427事業所で2,484台、レベル計が163事業所で1,116台、非破壊検査装置が110事業所で907台設置されている。

一方、放射線と物質との相互作用を利用して、材料に放射線を照射し、強度、耐熱性、耐磨耗性の向上などを図る材料の改質が行われている。

半導体素子の微細加工技術は、露光、エッチング、不純物添加（ドーピング）、成膜等の要素技術で構成されており、それぞれに数多くの電磁波や粒子ビームが利用されている。それらの中には電子線、X線、イオンビーム等の電離能力をもった電磁波や粒子が含まれている。露光の主要工程である一括露光においては、現在は短波長のレーザービームが主役であるが、素子の微細化の進展に伴って短波長化が進んでおり、近い将来においてはX線が主役になると見込まれている。また、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、分解・硬化・グラフト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る。特に、ラジアルタイヤの製造では、放射線橋かけをメカニズムとする使用ゴム量の削減と品質の安定化が電子線照射によって達成されている。また、日本で開発した天然ゴムラテックスの放射線加硫技術は、アレルギーを発生しない体に優しい手術用等のゴム手袋製造技術として、インドネシア、インド、マレーシア、タイなどで産業化されている。最近の新たな成果としては、放射線橋かけによるハイドロゲル創傷被覆材と燃料電池用電解質膜が市場化されている。

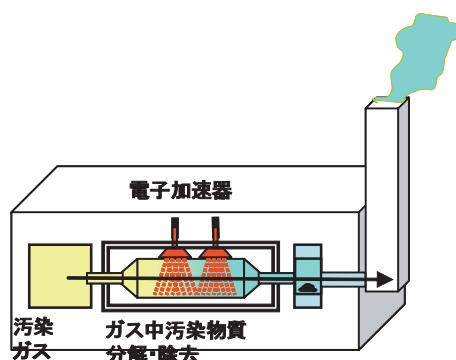
また、放射線による医療用具の滅菌は、化学殺菌のように残留有害物がなくことや包装したままでの滅菌ができること等から、注射針、注射筒、縫合糸など100種以上のものに実施されている。

## ⑦環境保全分野

排煙、排水の処理など環境保全のためにも放射線が利用されている。酸性雨の原因になる排煙中の窒素酸化物や硫黄酸化物などは、電子線を排煙に照射することで分解・除去できるが、排煙にアンモニアを加えておくと、この過程で硝安や硫安などの肥料を得ることができる。この排煙処理技術は国内を始め、東欧や中国などにおいて応用が進められている。また、ごみ燃焼排煙に含まれるダイオキシン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る。



図3-36 電子線を用いた排煙処理



### ⑧基礎研究分野での量子ビーム等の応用

量子ビームは、SPring-8、TIARA、JRR-3、RIBF 等の施設で利用でき、量子ビームを使った研究が広く行われている。

ライフサイエンス分野では、放射光を利用したたんぱく質の構造解析、中性子を使ったたんぱく質の水和結合を含む構造解析などの基礎研究、マイクロビーム技術を利用した細胞レベルでの研究などが行われている。また、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機構の解明、中性子を利用した超伝導材料の研究開発、農業・生物分野では、植物体内の光合成産物やカドミウムなどの微量物質の動きを動的に観察するためにポジトロン放出核種を利用した植物ポジトロンイメージング技術が応用され、また中性子ラジオグラフィーによる生きた植物の根の成長の観測など、他の手段では出来ない大きな可能性を有するユニークな研究が進展している。

この他、RI をトレーサーとした植物に対する施肥効果、物質代謝、免疫応答、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<sup>9</sup>を利用する技術開発などが進められている。

また、試料に含まれる天然期限の RI の崩壊状況を測定することにより、その年代を知る放射線年代測定技術が、考古学の分野で利用されてきたが、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開始されている。

### (3) 放射線利用に関する最近の動向

放射線利用の経済規模については、科学技術庁が平成9年度を対象とした調査（放射線利用の国民生活に与える影響に関する研究報告書(科学技術庁委託事業)、平成12年3月、日本原子力研究所）を行ったのに続き、内閣府が平成17年度を対象とした調査（放射線利用の経済規模に関する調査報告書(内閣府委託事業)、平成19年12月、原子力機構<sup>10</sup>)を行っ

9 マルチトレーサー：物質の中に RI を混合し、その放射線を測定器で追跡して、その物質の動向を調べることをトレーサー法と言い、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、溶液の中に取り出すことができる。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。



ている。今回の調査では、各種統計資料の分析のほか、アンケート、インタビュー、現地調査等が行われた。集計に当たっては、半導体加工、ラジアルタイヤ加工については、出荷額が約1兆円を超えるなど経済規模算定への影響が大きいこと等から、製品における放射線加工の寄与率を半導体加工について25%、ラジアルタイヤ加工（高分子加工）について4%と評価して、適用している。

### ①工業分野

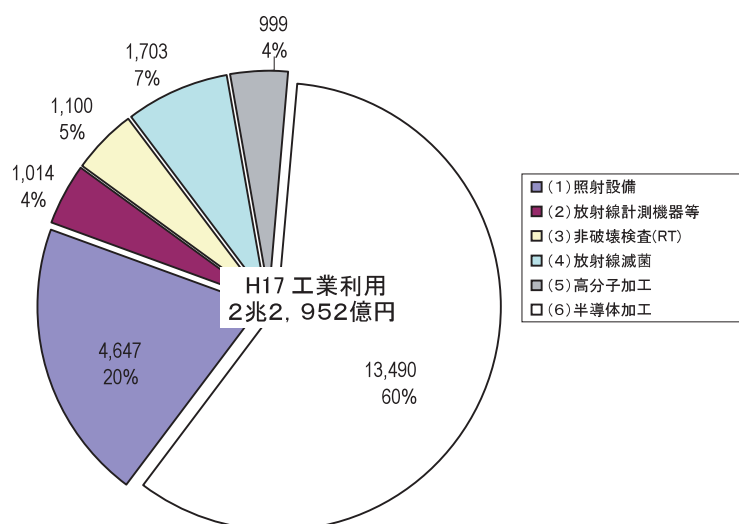
平成17年度及び平成9年度の放射線工業利用の経済規模を表3-8、図3-37に示す。両年度を対比してみると、平成9年度は約2兆1,800億円、平成17年度は約2兆3,000億円であり、内訳を見ると、非破壊検査が増加し、放射線滅菌が減少しているが、経済規模全体としては約1,200億円程度増加している。

表3-8 放射線工業利用の経済規模

(億円)

項目 \ 年度	平成17年度 評価値	平成9年度 評価値
(1) 照射設備	4,647	4,274
(2) 放射線計測機器等	1,014	728
(3) 非破壊検査(RT)	1,100	315
(4) 放射線滅菌	1,703	2,147
(5) 高分子加工	999	1,206
(6) 半導体加工	13,490	13,103
合計	22,952	21,773

図3-37 平成17年度の放射線工業利用出荷額



10 同調査では、平成17年度を対象とした調査であるが、一部平成9年度からの中間年である平成13年度の調査を行っている。



## ②農業分野

農業分野の経済規模の評価結果は約2,790億円と、平成9年度の約3,110億円に対し約320億円の減少となっている。

表3-9 放射線農業利用の経済規模

(億円)

項目	年度	平成17年度	平成13年度	平成9年度	
		評価値	評価値	評価値	再評価値
(1) 照射利用					
食品照射		9	5	19	18
害虫駆除 (SIT)		67	65	84	77
滅菌		26		62	15
(2) 突然変異育種					
イネ		2,453	2,760	937	2,935
その他		86		36	36
(3) アイストープ利用					
RI を用いる研究		4	5	7	7
放射能分析		140		21	21
C-14年代測定		1		1	1
合計		2,785		1,167	3,109

(注) 経済規模の算出は、対象が農産物等に係る放射線照射・分析の事業規模であるほか、放射線を利用した農産物、製品、育種等については、放射線利用の価値がその性質全体に及び分離不能のため、金額の算定は、その出荷額で行い、寄与率は適用していない。

食品照射については2005年（平成17年）の海外の実施状況について調査を行っている。

世界の食品照射処理量の総量は40.5万トンであり、その経済規模は1兆6,100億円となった。品目別では、香辛料類の殺菌18.6万トン、穀物・果実の殺虫8.2万トン、ニンニクなどの発芽防止8.8万トン、肉・魚介類の殺菌3.2万トン、その他1.7万トンであった。食品照射の処理量が千トン以上の国は16か国にのぼり、とくに中国、米国、ウクライナは処理量が7万トン以上と突出していた。アジアを中心に食品照射の実用化は順調に伸びているが、EUは後退している。これは表示違反の取り締まりを強化しているためと見られた。

## ③医学・医療分野

放射線を利用した医科と歯科の保険診療報酬および保険外（自由）診療報酬の経済規模の評価結果は約1兆5,400億円であり、平成9年度の総額1兆2,500億円に対し平成17年度は保険診療で約2,600億円、保険外診療で約300億円増加している。



表3-10 放射線医学・医療利用の経済規模

(億円)

項目	年度	平成17年度	平成13年度	平成9年度	
		評価値	評価値	評価値	再評価値
医科診療行為小分類	RI を用いた諸検査小計	0.5	0.2	2	2
	画像診療（除く MRI）	13,492	13,598	10,302	10,360
	放射線治療	1,077	914	564	564
歯科診療行為小分類	画像診断	1,279	1,062	1,027	1,027
	放射線治療	5	3	5	5
医科＋歯科の経済規模（健保及び DPC 考慮せず）		15,853	15,577	11,900	11,957
医科＋歯科の経済規模（健保考慮、DPC 考慮せず）		14,694	13,729		12,461
（Ⅰ）医科＋歯科の経済規模（健保及び DPC 考慮）		15,061	13,729	11,900	12,461
保険外（自由）診療					
	FDG-PET	82	—	未確定	2.8
	CT がん検診	9	—	—	—
	乳がん検診	200	—	—	—
	粒子線治療	27	—	4.3	0
	ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）	0	—	0.54	0
（Ⅱ）自由診療の経済規模		318	—	5	3
まとめ					
	保険診療合計	15,061	13,729	11,900	12,461
	自由診療合計	318		5	3
医学医療における放射線利用合計		15,379	13,729	11,905	12,464

医学・医療における照射設備（医療機器類）の経済規模は3,693億円（平成9年度）、4,257億円（平成17年度）あるが、工業利用で取り扱っている。

#### ④まとめ

平成9年と同様、参考のために、原子力エネルギー利用の経済規模の評価も行い、平成17年度における放射線利用についての経済規模と比較したところ、表3-11に示されるように、放射線利用が約4兆1,000億円であるのに対して原子力エネルギー利用は約4兆7,000億円であり、エネルギー利用がやや上回っている。また、放射線利用の経済規模が平成9年度の3兆7,346億円に対し、平成17年度は4兆1,117億円と増加しているのは、主として医学・医療利用分野における経済規模の拡大によるものである。



表3-11 放射線利用及び原子力エネルギー利用の経済規模；平成17年度、平成9年度

(単位：億円)

分野 \ 年度	平成17年度	平成9年度
	評価値	評価値
工業利用	22,952	21,773
農業利用	2,786	3,109
医学・医療利用	15,379	12,464
放射線利用合計	41,117	37,346
原子力発電 需要端	47,039	57,846
原子力機器 輸出	371	67
エネルギー合計	47,410	57,913