

## 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

## 3

## 原子力利用の着実な推進

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、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と同時に、新規発電所の立地に着実に取り組み、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る。

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 대응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きている。このため、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る。

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 日に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

※1 平成 18 年データ、IEA : Energy Balance of OECD countries 2008 Edition

※2 JPDR : Japan Power Demonstration Reactor

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 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 を超えた。

平成 20 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（表 3-1）。この設備容量は米国、仏国に次ぐ世界第 3 位の規模である。一方、平成 20 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 3 号機、中国電力（株）島根 3 号機及び電源開発（株）大間の 3 基、366.8 万 kW である。また、着工準備中のものは、東北電力（株）東通 2 号機、浪江・小高、東京電力（株）福島第一原 7、8 号機、東通 1、2 号機、中国電力（株）上関 1、2 号機及び日本原子力発電（株）敦賀 3、4 号機の合計 10 基、1,356.2 万 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、6,669.7 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、6,697.7 万 kW である。

表 3-1 我が国の原子力発電設備容量（平成 20 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	4 ( 3 )	394.8 (366.8) 万 kW
着工準備中	10	1,356.2 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 21 年 1 月に、中部電力（株）浜岡 1、2 号基（54 万 kW、84 万 kW）が運転を終了。

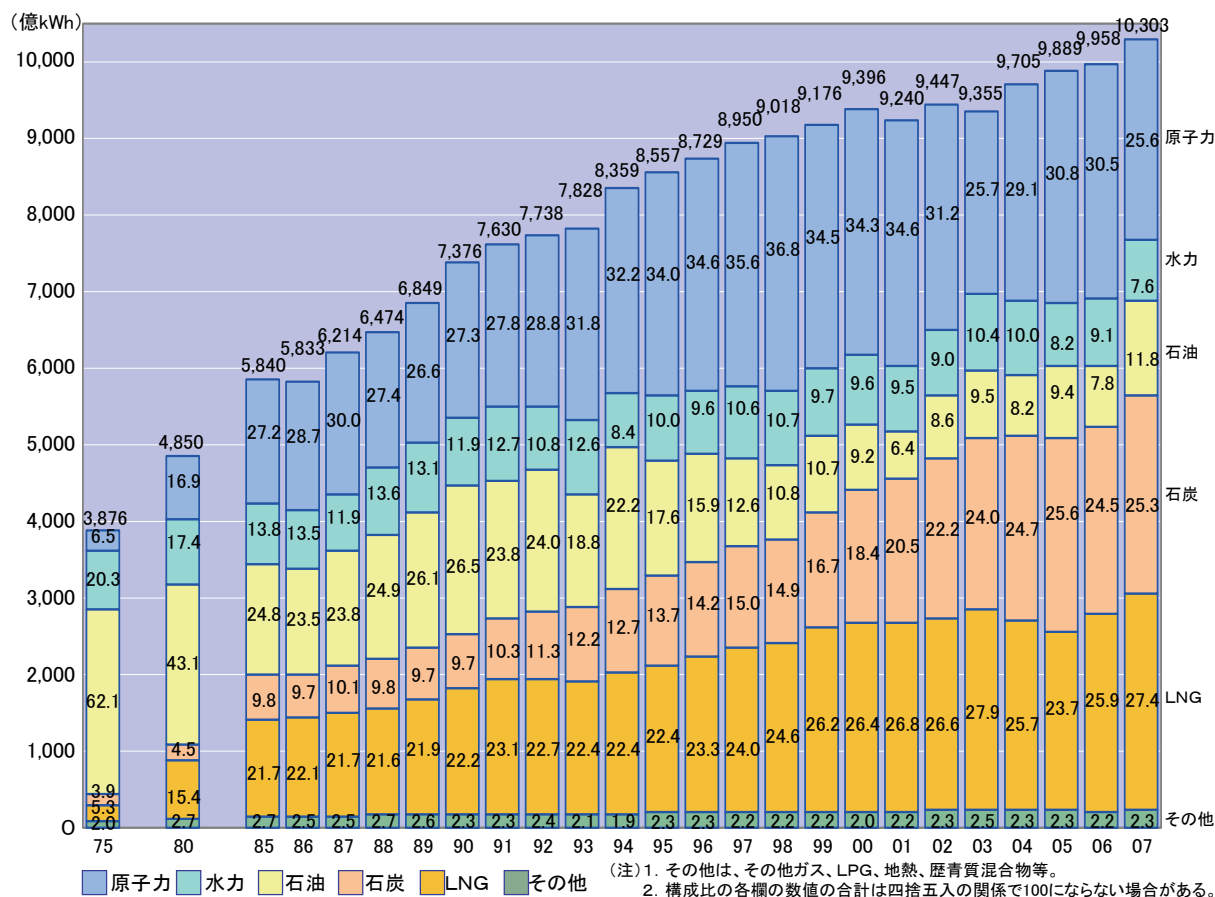
原子力発電は、平成 19 年度末現在、一般電気事業用の発電設備容量の 20.8% を占め、平成 19 年度実績で、一般電気事業用の発電電力量の 25.6% を担っており、我が国の電力供給において主要な役割を果たしている（図 3-1、図 3-2）。

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 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る（図 3-4、図 3-5）。平成 19 年度の設備利用率は 60.7%（前年度比 - 9.2 ポイント）であり、設備利用率低下の主な原因は新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の長期間の停止によるものである。

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、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重要である。

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 20 年（2008 年）2 月現在、116 件の出力向上が認可され、その累積原子炉出力向上は約 15,700MWt に上り、100 万 kW<sub>e</sub> 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）。

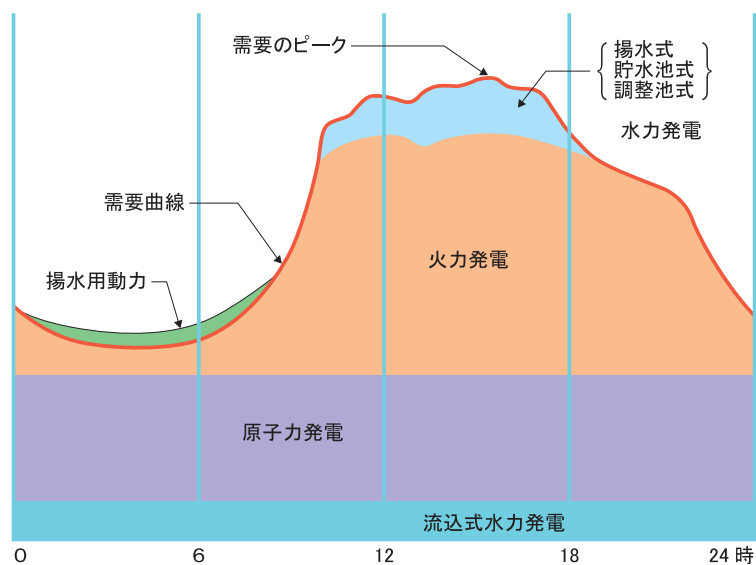
図 3-1 我が国の発電電力量の推移



(出典) 原子力 2008 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)



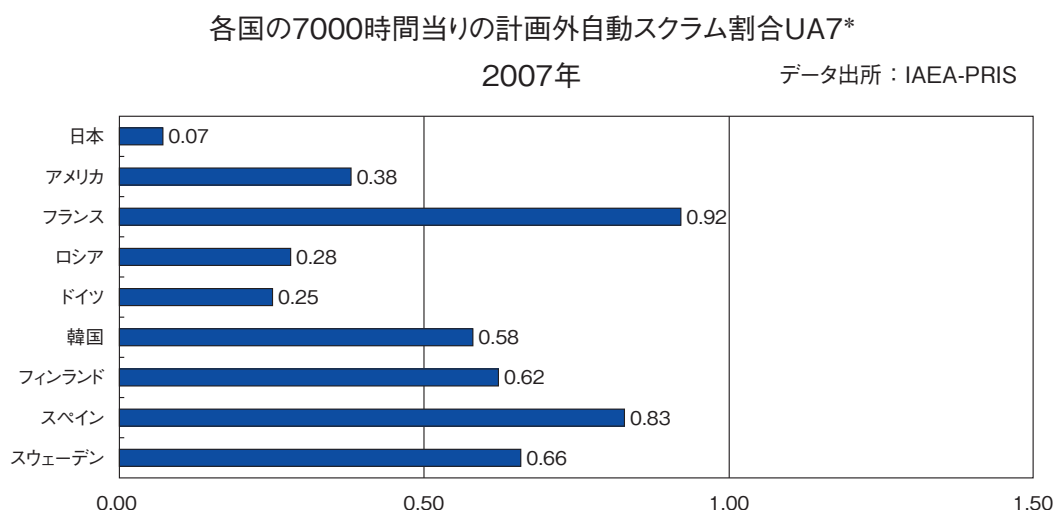
(出典) 原子力 2008

(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。

国内における原子炉出力の増強については、日本原子力発電（株）が東海第二発電所の原子炉熱出力を約 5 % 向上させる計画を平成 19 年度及び平成 20 年度の事業計画において公表している。

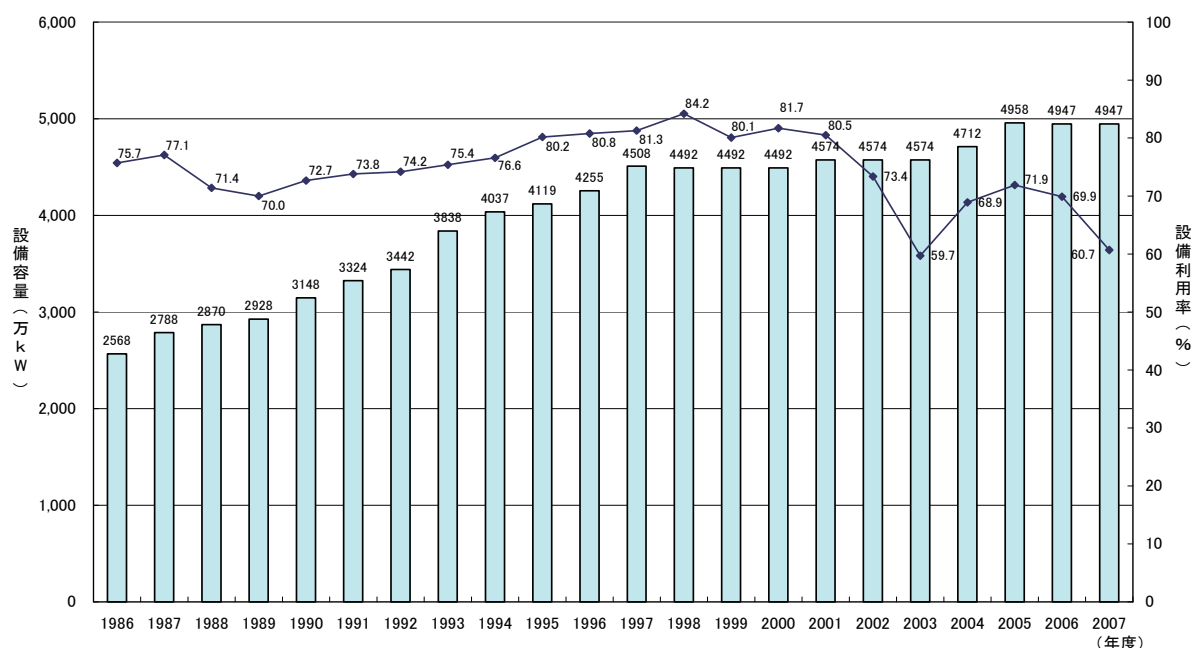
図 3-3 各国の計画外自動スクラム割合の比較



$$*UA7 = \frac{\text{運転期間中の計画外自動スクラム回数} \times 7000}{\text{原子炉運転時間}}$$

(出典) IAEA-PRIS

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)

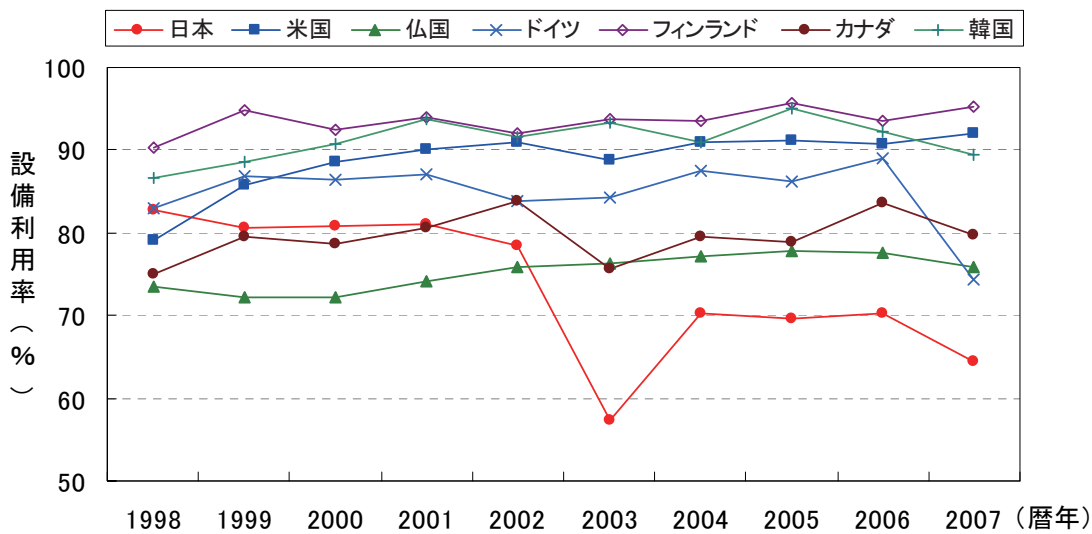
#設備利用率

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(kWh)÷(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 20 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) (独) 原子力安全基盤機構平成 20 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	平成19年
運転 月数	12.6	12.4	12.7	12.9	11.5	12.2	11.8	11.4	11.5	10.6

- (注) 1. 運転期間：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）。  
2. 新規プラントの第 1 サイクルを除く。  
3. 月数：30 日を 1 ヶ月とする。

(出典) (独) 原子力安全基盤機構平成 20 年版原子力施設運転管理年報

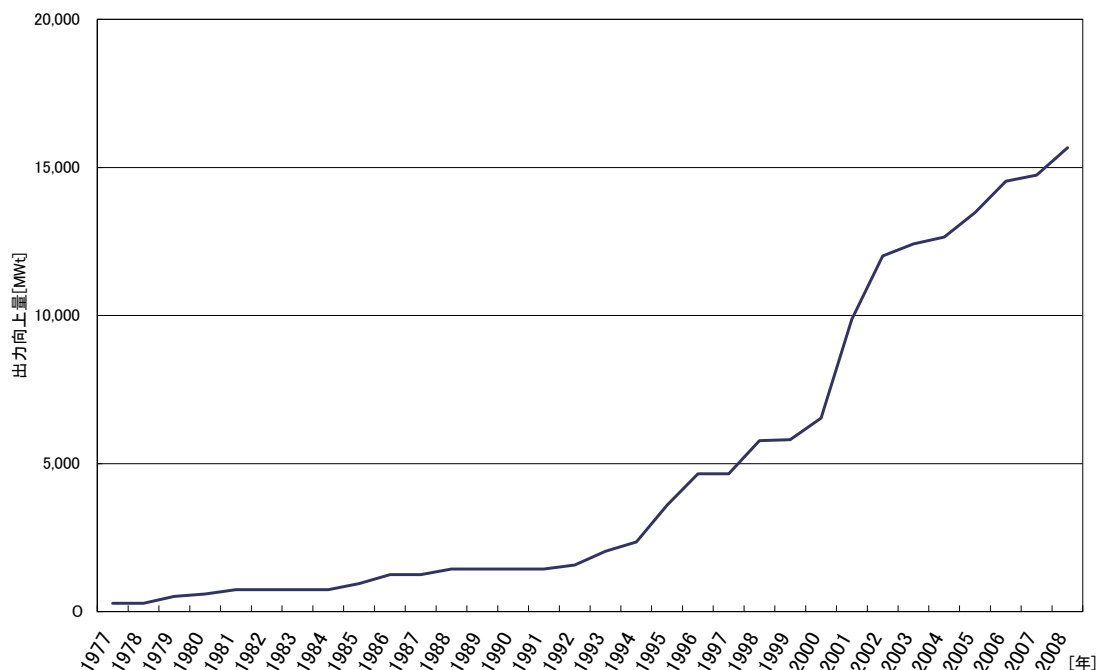
## ②原子力発電の将来見通し

原子力発電所の新增設については、現在、国内で 3 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 20 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 30 年度までに運転開始するのは 10 基、1,363.5 万 kW であり、総発電設備規模は 62 基、6,136.5 万 kW 程度となる計画である。

このほか、中部電力（株）浜岡原子力発電所 1・2 号機（54 万 kW、84 万 kW）が平成 21 年 1 月末に運転を終了し、平成 30 年代前半の運転開始を目的に 6 号機を増設する計画を平成 20 年 12 月に公表している。



図 3-6 米国の累積原子炉出力向上量



(出典) Fact Sheet on Power Upgrades for Nuclear Plants (NRC)

### 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 20 年（2008 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。

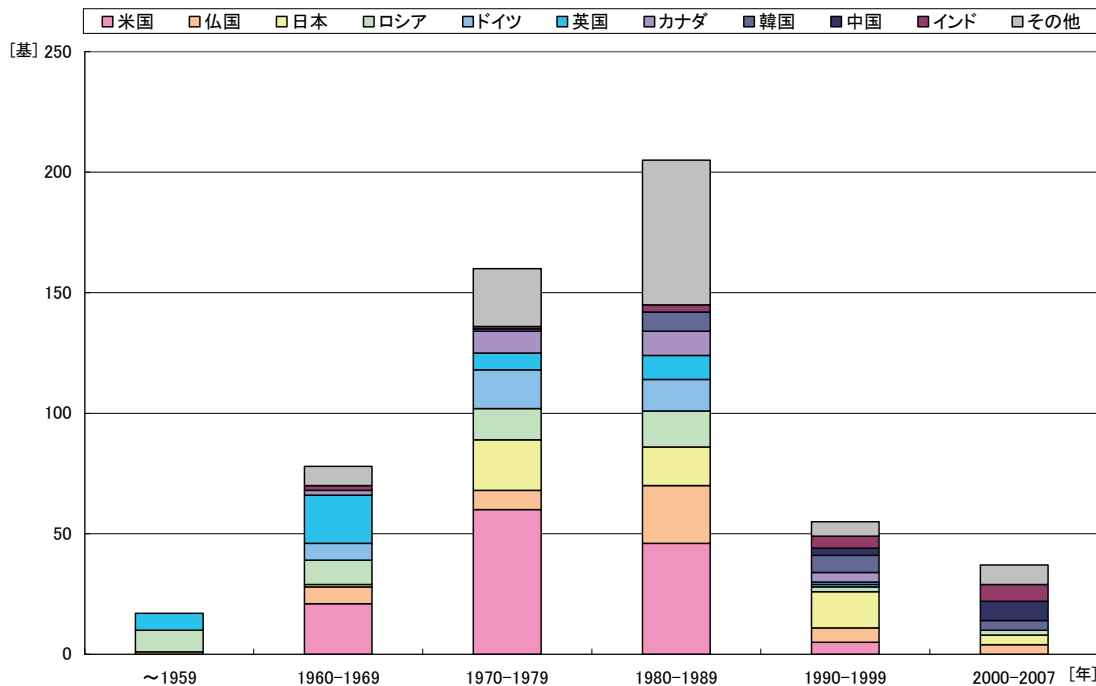
スリーマイルアイランド原子力発電所の事故<sup>※3</sup>やチェルノブイリ原子力発電所の事故<sup>※4</sup>等の後、欧米諸国の中には原子力発電に消極的政策や脱原子力政策を掲げる国々が現れ、1990 年代以降、世界における原子力発電所の新增設は減少してきた（図 3-7）。

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。2006 年に公表された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 27 億 7,000 万 kWh 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 31 億 8,500 万 kWh、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 43 億 5,900 万 kWh 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。

※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。

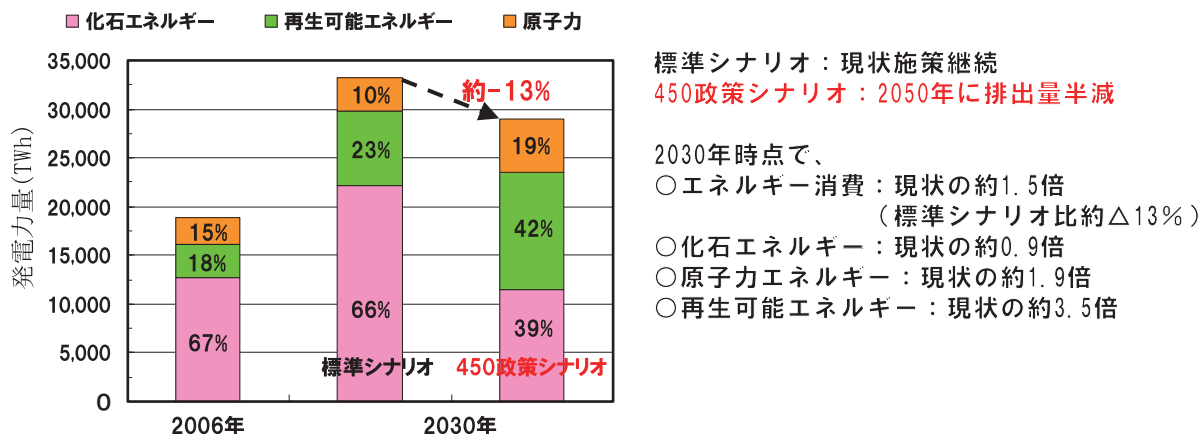
※4 1986 年 4 月 26 日、旧ソ連ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所 4 号機で発生した事故。急激な出力の上昇による原子炉や建屋の破壊に伴い大量の放射性物質が外部に放出され、ウクライナ、ロシア、ベラルーシや隣接する欧州諸国を中心に広範囲にわたる放射能汚染をもたらした。INES（国際原子力事象尺度）レベル 7。

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



(出典) 世界の原子力発電開発の動向 2007/2008 年版 (日本原子力産業協会) に基づき内閣府作成。

図 3-8 世界における原子力発電の発電電力量の見通し (電源別)



※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。

(出典) World Energy Outlook 2008

## (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」のとりまとめ

経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会需給部会では、平成 20 年 5 月に「長期エネルギー需給見通し」をとりまとめた。本見通しは、エネルギーの安定供給及び地球温暖化問題への対応といった政策課題を踏まえ、2030 年までのエネルギー需給や供給構造を見通すものである。

本見通しの中では、原子力発電は、供給安定性に優れ、また、発電過程において二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー源であることから、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を想定している。

具体的には、原子力発電所の新設は 9 基、設備利用率は約 80%程度と想定している。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 44%、2030 年には 49% まで増加するとの見通しとなっている。

## ②電力自由化時代の原子力発電の新・増設、既設炉リプレイス投資の実現に向けた取組

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 年度に第二再処理工場関連費用の暫定的引当金制度（バックエンド対応）及び原子力発電所新・増設費用の運転開始前引当金制度（初期投資負担の平準化）が創設され、毎事業年度の決算において着実に積み立てられている。平成 19 年度には、原子力発電施設解体引当金制度の積立ての過不足の検証・評価を行い（廃炉費用負担の軽減・平準化）、平成 20 年度には、企業会計上、料金上及び税制上の取扱いの整合性が図られた。

## （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

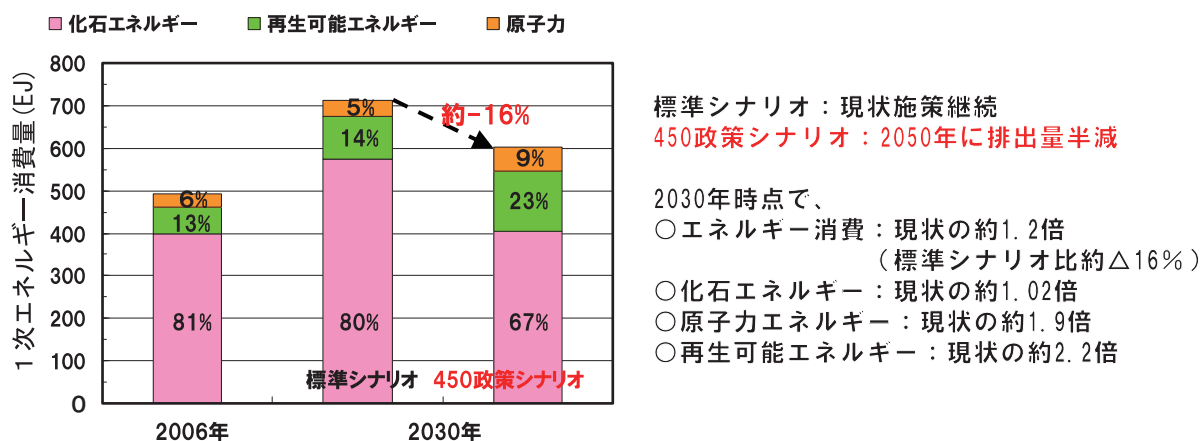
今後、各国が経済発展を追求しながら 2050 年頃までに世界全体として温室効果ガス排出量を半減させることは人類にとって重要な課題であり、これを実現するためには、徹底した省エネルギーに努めるとともに、エネルギー供給及び利用分野において効率が高く、炭素集約度の低い技術を緊急に開発、展開、促進して、世界のエネルギーシステムを早急かつ大幅に変革せねばならない。この点を示唆するべく IEA は、上記の IPCC による最も低い温室効果ガス安定化レベル達成のために必要となる対策について試算を行い、エネルギー消費の大幅な節約、エネルギー利用効率の格段の向上と並んで、エネルギー供給部門において従来型化石エネル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 2008、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る。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 1.9 倍（一次エネルギーの約 9%）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）。

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してきたからである。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る。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る。

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上昇に加え、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。

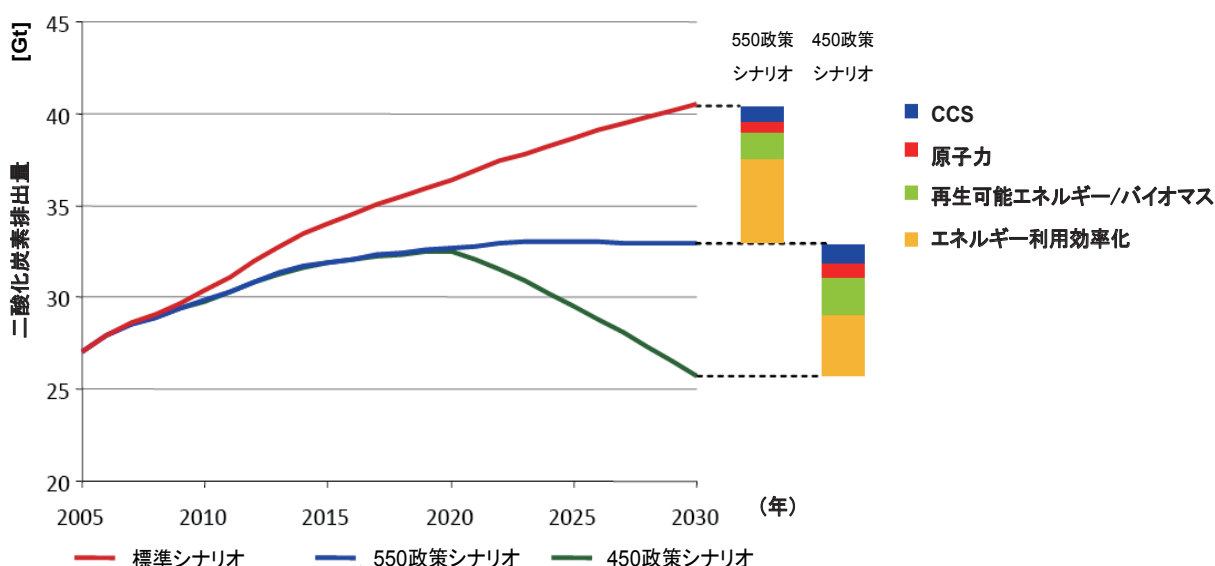


図 3-9 世界の一次エネルギー消費量の試算



(出典) World Energy Outlook 2008

図 3-10 世界の二酸化炭素排出量削減の試算

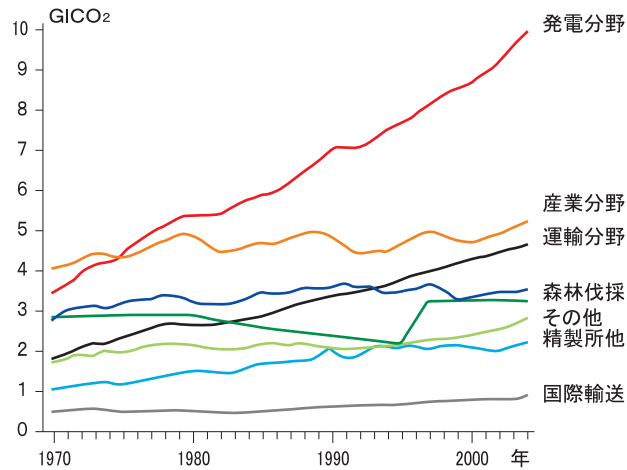


(出典) World Energy Outlook 2008

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おり、2006年には30か国で435基、約3億7,000万kWの設備が運転されていた。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t（2005年の世界総排出量の4%）増大したことになる。

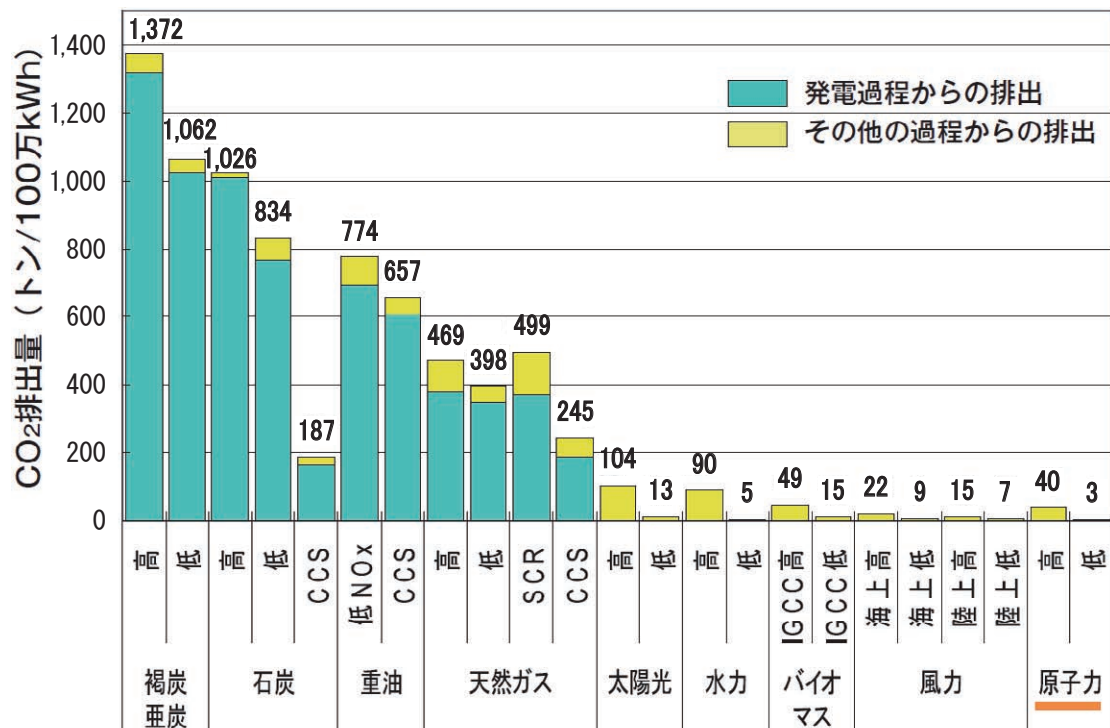
現在は、エネルギー安全保障の観点に加えて、二酸化炭素を排出させないで発電能力を増強できる点にも着目して、さらに多くの国々がこの利用を目指しており、計画、構想されているものの合計は約350基（約3億3,000万kW）に達する。これらが実現して世界の原子力発電設備が合計7億kW程度の規模になると、同規模の液化天然ガス複合サイクル発電を利用した場合に比較して、年間20億t（2005年の世界総排出量の7%）の二酸化炭素排出量の低減がもたらされる。

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

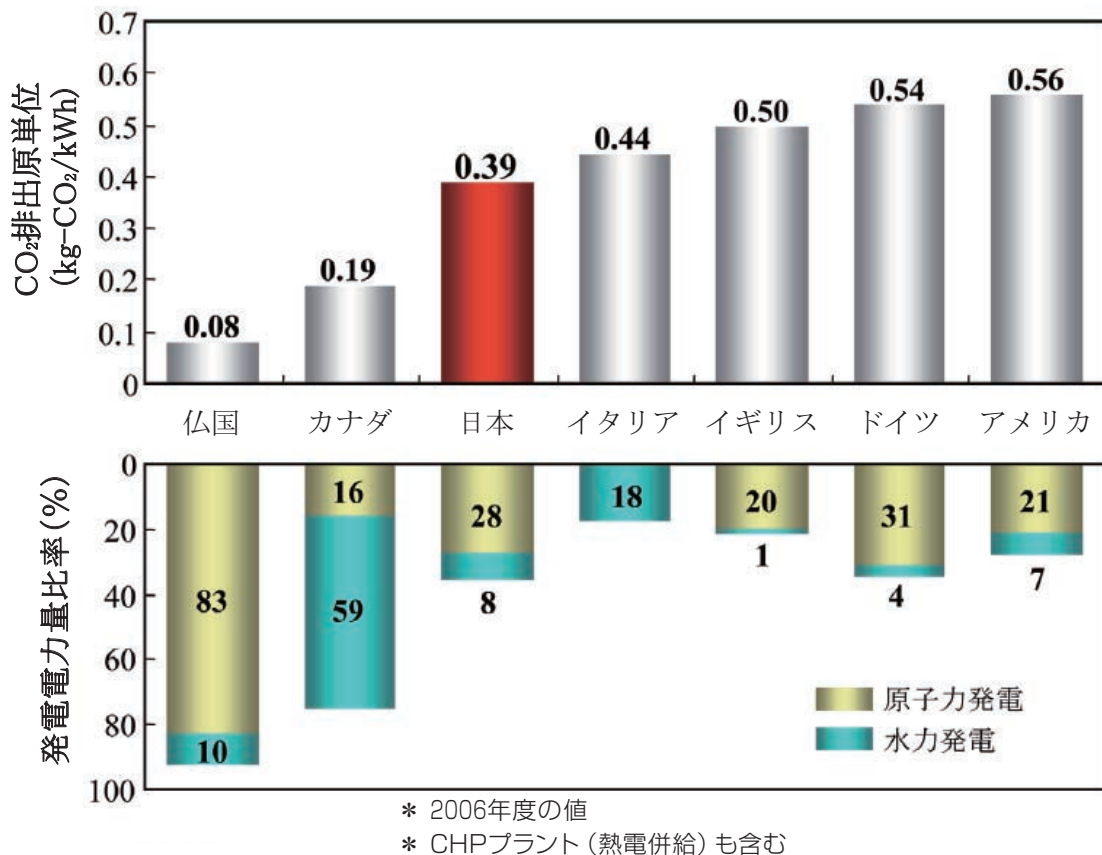
図 3-12 各種発電プラントのライフサイクル評価に基づく二酸化炭素排出原単位算出結果(高、低: 同カテゴリ中のプラントで、最大または最小の値)



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

※ CCS: 炭素回収・貯留技術用プラント

図 3-13 二酸化炭素排出原単位（発電端）の各国比較（電気事業連合会試算）



（出典）電気事業における環境行動計画（電気事業連合会、2008年9月）

## ②クールアース推進構想

平成 20 年（2008 年）1 月、福田内閣総理大臣（当時）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量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。

## ③原子力委員会 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

原子力委員会は、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を検討するため、「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）を平成 19 年 6 月に設置した。同懇談会は、

○世界的に、エネルギーの安定供給を図りつつ、2050 年に向けた温室効果ガス排出量の大幅削減を実現していくためには、エネルギー消費の節約、エネルギー利用効率向上や再生エネルギー利用等の他の有力な対策の最大限の実施と並んで、原子力エネルギーの平和利用の拡大は不可欠。

○我が国は、核兵器の拡散の防止（核不拡散）、原子力安全及び核セキュリティの確保を大前提として、原子力エネルギーの平和利用が地球規模で一層拡大するよう取り組む。

との考え方の下に、具体的な取組について報告を平成 20 年 3 月にとりまとめた。報告において重点的に取り組むべきとして 6 項目は以下のとおり。

- |      |   |
|------|---|
| 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                          |

#### ④原子力賠償制度の改正に関する検討状況

「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、被害者の保護と原子力産業の健全な発達を目的に昭和 36 年に制定された、万が一原子力損害が生じた場合の特別の賠償制度を定める法律であるが、一部に時限的な規定があることから、これまで概ね 10 年ごとに改正されてきている。現行の原賠法の時限的な規定の期限が「平成 21 年 12 月 31 日まで」とされていることや、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、原賠法を所管する文部科学省の「原子力損害賠償制度の在り方に関する検討会」において平成 20 年 6 月より検討が進められ、同年 12 月に第 1 次報告書がまとめられた。同報告書では原子力損害賠償制度の見直しに関する事項として、以下の事項が示されている。

- ・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
- ・補償契約に係る政府の業務を損害保険会社へ一部委託できる仕組みを創設 等

また、引き続き検討を行う事項として以下の 2 つの項目が挙げられ、ワーキンググループを設置して検討を進めるべきこととされた（それぞれ平成 22 年 1 月下旬に検討を開始）。

- ・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

## 2. 核燃料サイクル

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おり、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取組が進められている。核燃料サイクルは、ウラン燃料の生産から発電までの上流側プロセスと、使用済燃料の中間貯蔵や再処理、MOX 燃料製造及び放射性と廃棄物の適切な処理・処分等からなる下流側プロセスに大別される（図 3-14）。

上流側のプロセスは、①天然ウランの確保・採掘・製錬、②六フッ化ウランへの転換、③ウラン 235 の割合を高めるウラン濃縮、④二酸化ウランへの再転換、⑤ウラン燃料の成型加工、⑥ウラン燃料を用いた発電からなる。

下流側のプロセスは、①使用済燃料の中間貯蔵、②ウラン及びプルトニウムを分離・回収し、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 燃料加工、④ MOX 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。なお、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。

ウラン濃縮或使用済燃料の再処理は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、これらを国内で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、核不拡散文化のための取組の重要性を認識して実施するとともに、国際的な核不拡散体制の強化に貢献していくことが重要である。

図 3-14 核燃料サイクルの概念

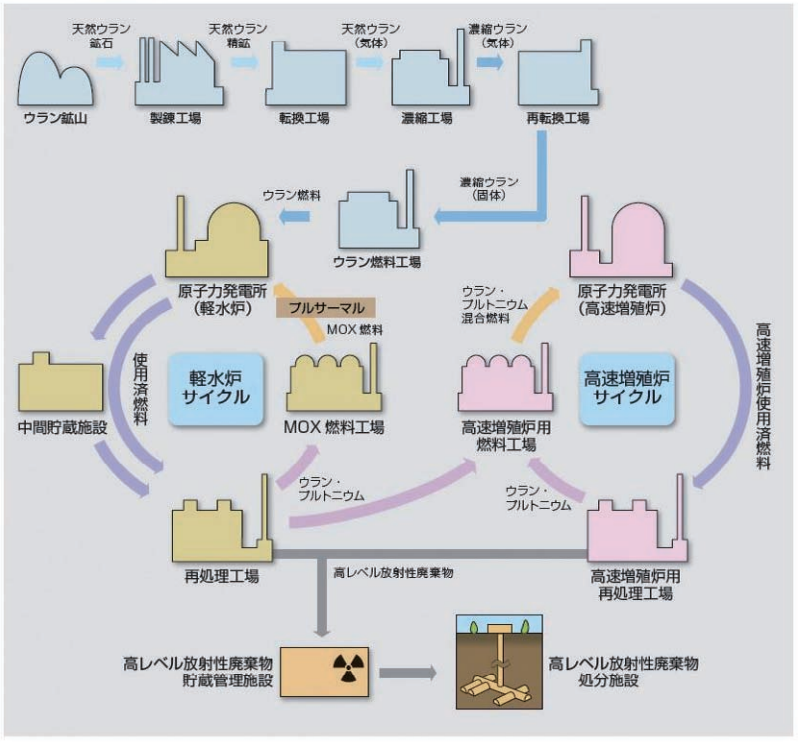
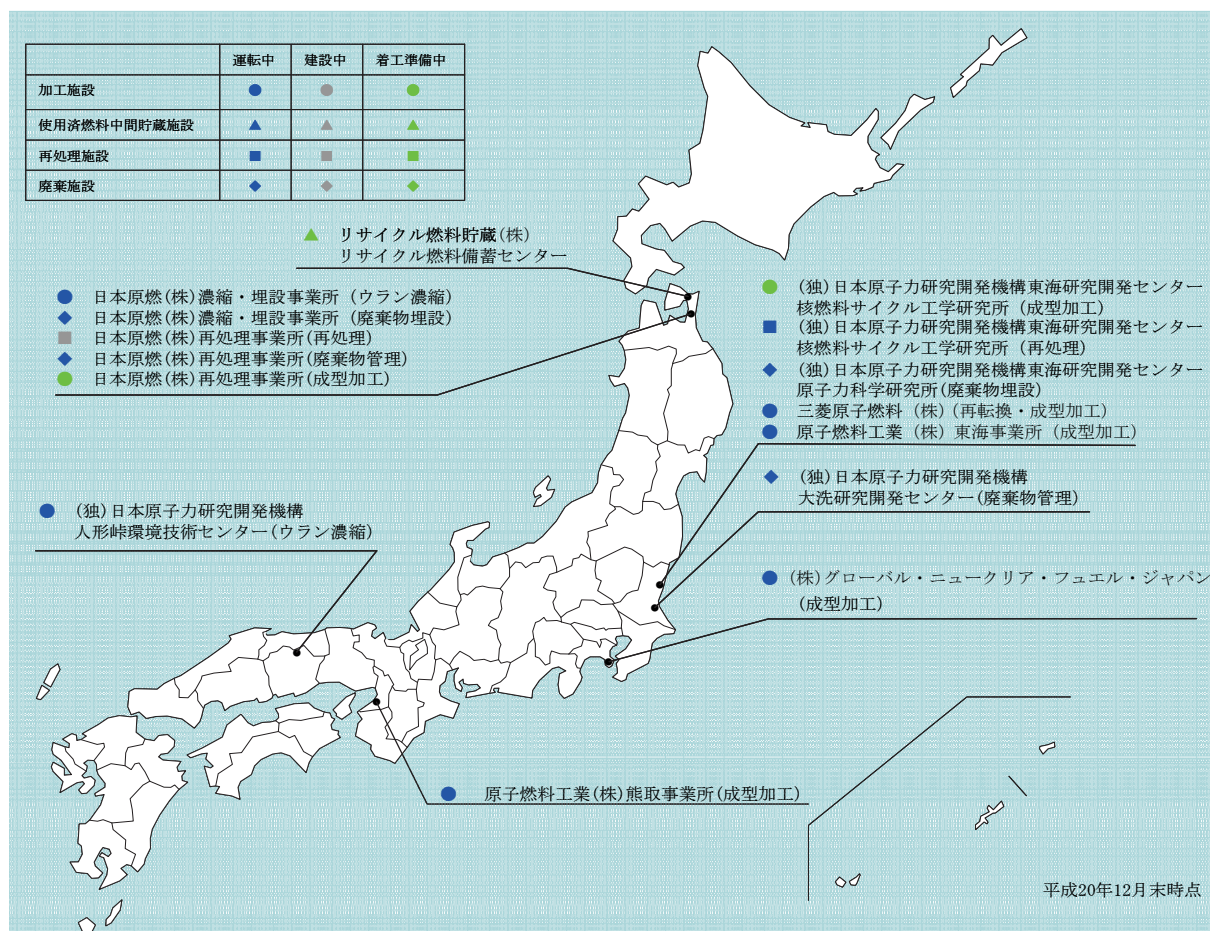




図 3-15 我が国の核燃料サイクル施設立地地点



### (1) 我が国の取組の基本的考え方

平成 17 年 10 月に策定された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る。

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等の状況変化の中で、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、原子力政策大綱の検討を行う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 4 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、環境適合性、核不拡散性、海外の動向、政策変更に伴う課題、社会的受容性及び選択肢の確保（将来の不確実性への対応能力）という 10 項目の評価をできる限り定量的に行った。

評価に基づく以下の指摘を総合的に判断した結果、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）。

- ・ 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低い。

- ・ 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。
- ・ 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

図 3-16 使用済燃料の再処理によるウラン資源節約効果 (万tonU)

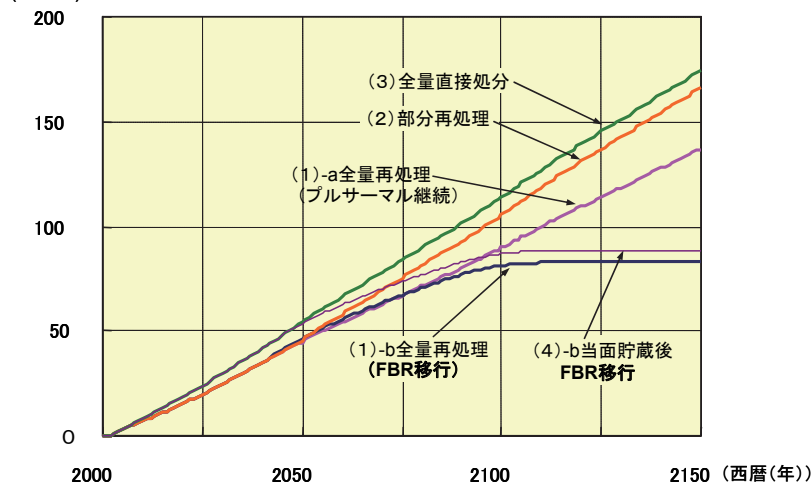
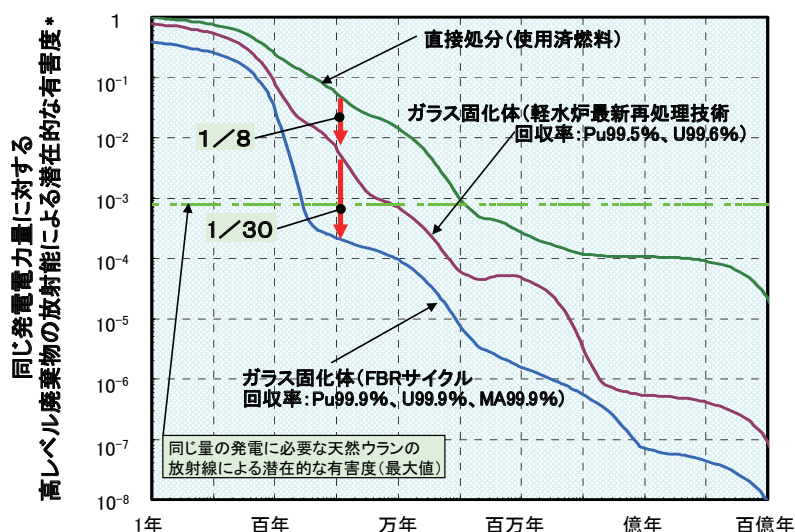


図 3-17 処分される高レベル放射性廃棄物の放射能の潜在的な有害度の相対値



\* ) 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。

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

## (2) 核燃料サイクルに関する取組

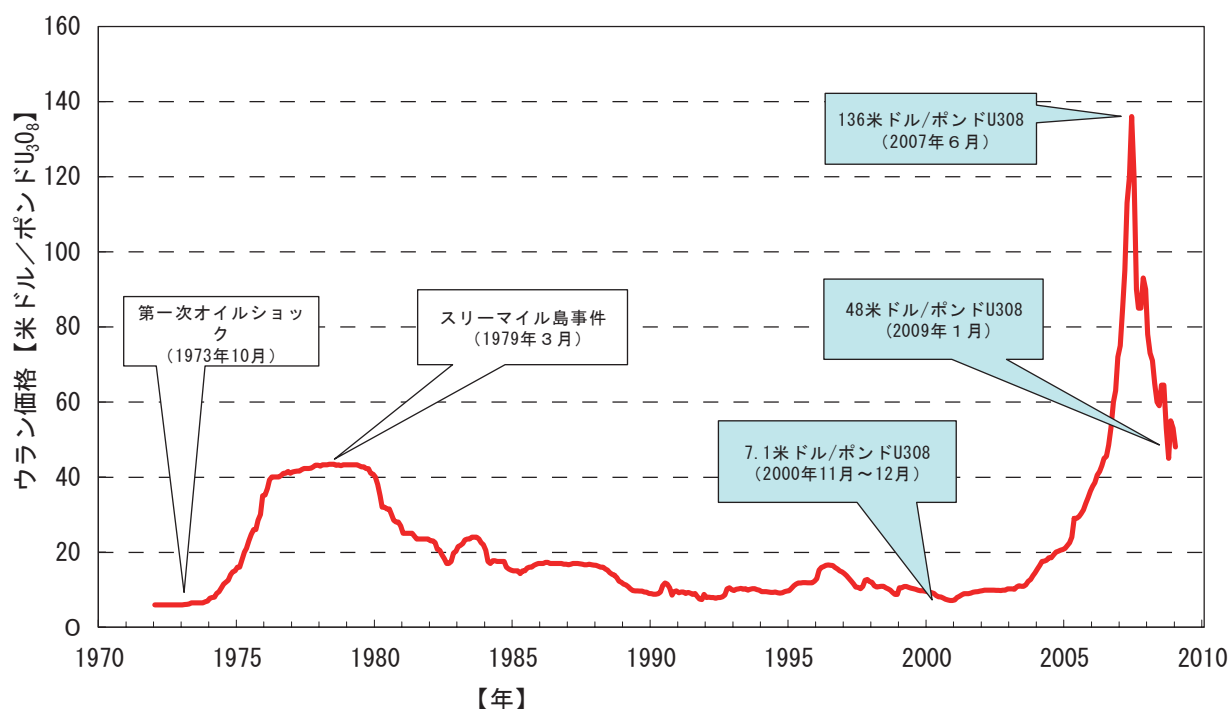
### ①天然ウランの確保

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(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、図3-19)。

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、ウズベキ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(図3-20、図3-21)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。

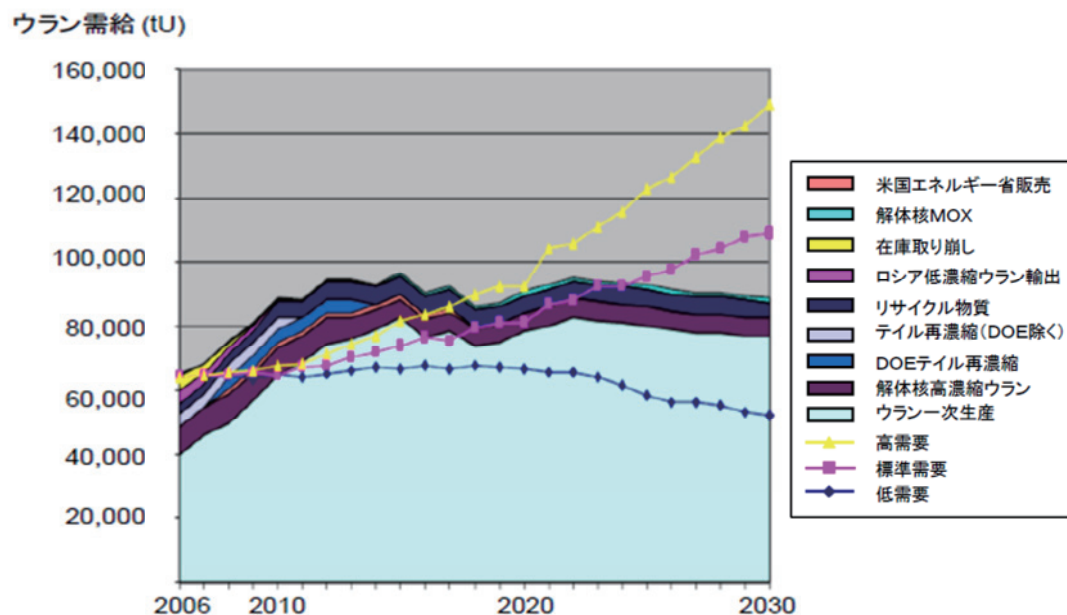
カザフスタンとは、平成19年4月の「原子力の平和利用に関する戦略的パートナーシップ強化に関するカザフスタン共和国首相と日本国経済産業相との間での共同声明」に基づき、平成20年5月に同国エネルギー・鉱物資源省と経済産業省の間で、24件の協力案件の重層的かつ着実な発展を確認する覚書を取り交わした。

図3-18 ウラン価格の推移



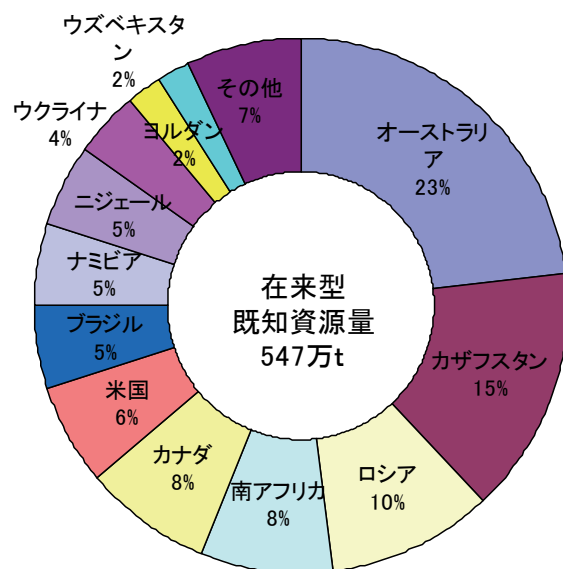
(出典) The Ux Consulting Company, LLC のスポット価格

図 3-19 ウラン需給見通し（高供給シナリオ）



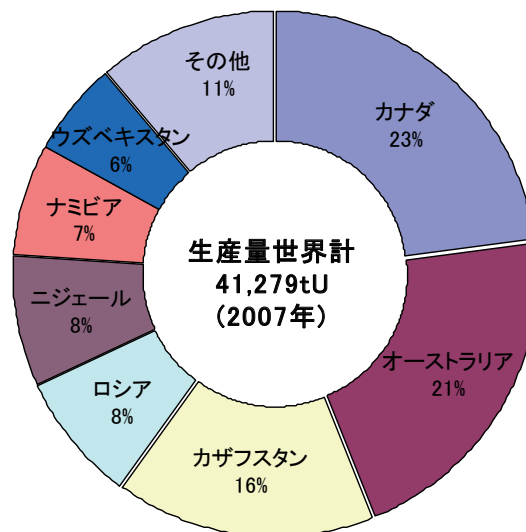
(出典) The Global Nuclear Fuel Market (2007) , World Nuclear Association

図 3-20 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 3-21 世界の天然ウラン生産量  
(平成 18 年 (2006 年))



(出典) World Nuclear Association (2007 年)



## 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等が挙げられる。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等により、濃縮役務市場には変動要因が多く、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。

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。

日本原燃（株）の六ヶ所ウラン濃縮工場（図3-22）については、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機器を計画的に停止しつつ、生産運転を行っている。日本原燃（株）は、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、開発した新型遠心分離機を平成22年度末より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1,500tSWU／年とする計画であり、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）を実施している。平成20年12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許可申請を経済産業大臣に提出し、原子力安全・保安院において安全審査が行われている。

また、新型遠心分離機へのリプレースに向け、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について、現在設置工事が行われている。

図3-22 日本原燃（株）ウラン濃縮工場



（出典）日本原燃（株）



### ③燃料再転換・成型加工

濃縮されたガス状のウラン（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。

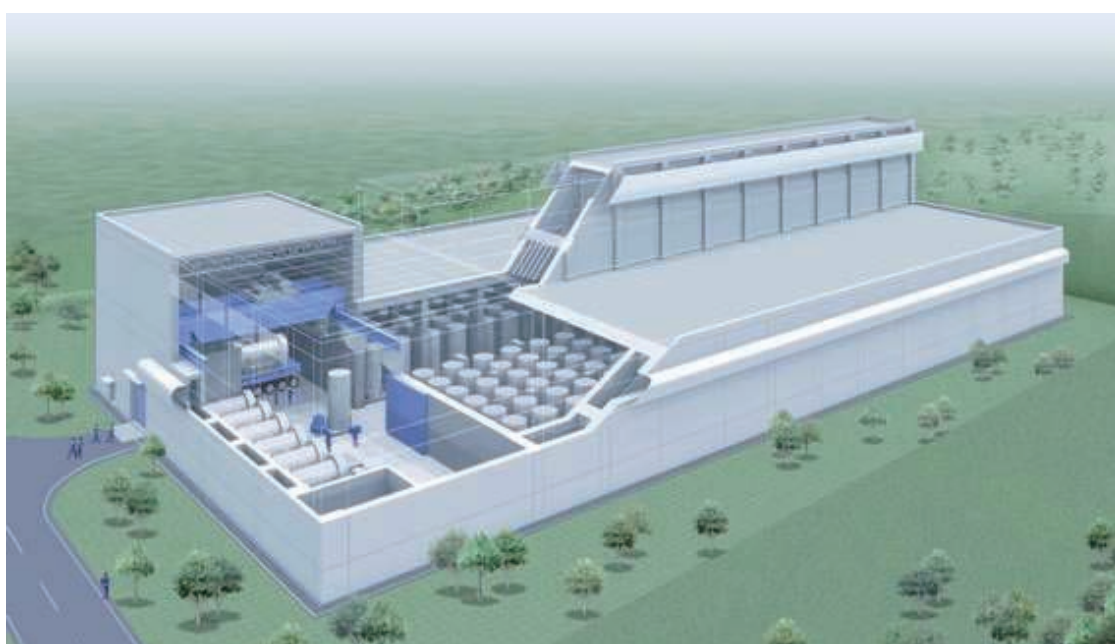
再転換業務については、現在、我が国では三菱原子燃料（株）のみが実施している。そのため、加圧水型軽水炉（PWR）用のウランについては、一部を海外で再転換した後に輸入しているほか、沸騰水型軽水炉（BWR）用のウランについては、その大部分を海外で再転換した後に輸入している。

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・ジャパン及び原子燃料工業（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、高品質の製品を製造しており、平成20年末時点での製造実績（累計）は約27,700tUである。

### ④使用済燃料中間貯蔵

平成17年10月に、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とを受け、同年11月、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））が設立された。平成19年3月に、同社から経済産業大臣に対して貯蔵事業許可申請が提出され、現在、原子力安全・保安院において一次審査が行なわれている。同社の事業計画によれば、平成22年頃までに貯蔵量3,000tU規模で操業が開始され、最終的に貯蔵量は5,000tUとする予定である。平成20年3月より、準備工事が行われている（図3-23）。

図3-23 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）

### ⑤使用済燃料再処理

原子力政策大綱において、使用済燃料の再処理は、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している。

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20年9月末現在、合計12,320tU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の中には、貯蔵プールの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への使用済燃料移送や貯蔵容量の増強など、各種対策を講じており（「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3-3を参照）、使用済燃料は適切に貯蔵・管理されているところであるが、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（図3-24）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。

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20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	330	790
	東通	130	30	30	230
東京電力	福島第一	580	150	1,640	2,100
	福島第二	520	140	980	1,360
	柏崎刈羽	960	250	2,140	2,910
中部電力	浜岡	570	140	800	1,580
北陸電力	志賀	210	50	110	690
関西電力	美浜	160	50	310	620
	高浜	290	100	1,130	1,630
	大飯	360	110	1,220	1,900
中国電力	島根	170	40	340	600
四国電力	伊方	170	60	500	930
九州電力	玄海	270	100	800	1,060
	川内	140	50	770	1,140
日本原子力発電	敦賀	140	40	560	860
	東海第二	130	30	350	410
合計		5,160	1,430	12,320	19,240

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。

図 3-24 日本原燃（株）六ヶ所再処理工場



（出典）日本原燃（株）

日本原燃（株）六ヶ所再処理工場は、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 月からは本格操業に向けた最終段階の試験を実施している。なお、アクティブ試験の実施中にせん断機や、ガラス固化体を製造するガラス溶融炉等で生じたトラブルにより、試験工程が延期されており、平成 21 年 8 月竣工予定となっている。

六ヶ所再処理工場において使用済燃料を用いた試験が開始されたことを受け、電気事業者は平成 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。

六ヶ所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 月に本格搬入が開始され、平成 20 年 12 月現在で約 2,817tU が搬入されているが、そのうち、約 425tU が同工場の試験運転のために既に処理されている。

なお、我が国では、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使用済燃料の再処理を行ってきた。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 20 年 12 月末までに、約 1,140tU となっている。

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いる。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。



### ⑥ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料加工

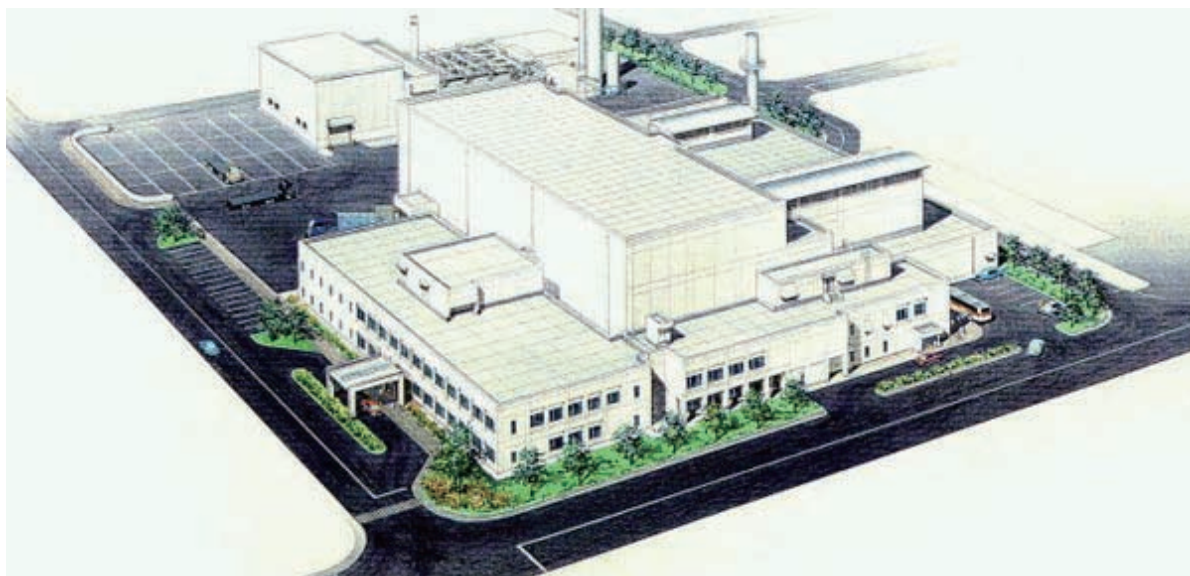
我が国では、原子力機構を中心として、新型転換炉、高速増殖炉等に使用するための MOX 燃料加工に関する研究開発を実施してきている。その加工実績は平成 20 年 12 月末までの累積で MOX 燃料重量約 170tMOX に達しており、ここで培われた MOX 燃料加工技術は世界的に見ても高い水準にある。なお、現在は、高速増殖炉燃料製造施設である同機構プルトニウム燃料第三開発室 FBR ラインが運転中であり、その最大処理能力は年間 4.5tHM である。

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 130tHM）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中である。平成 20 年 10 月から、準備工事が開始されている（図 3-25）。

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 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、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。

図 3-25 日本原燃（株）MOX 燃料加工工場（イメージ）



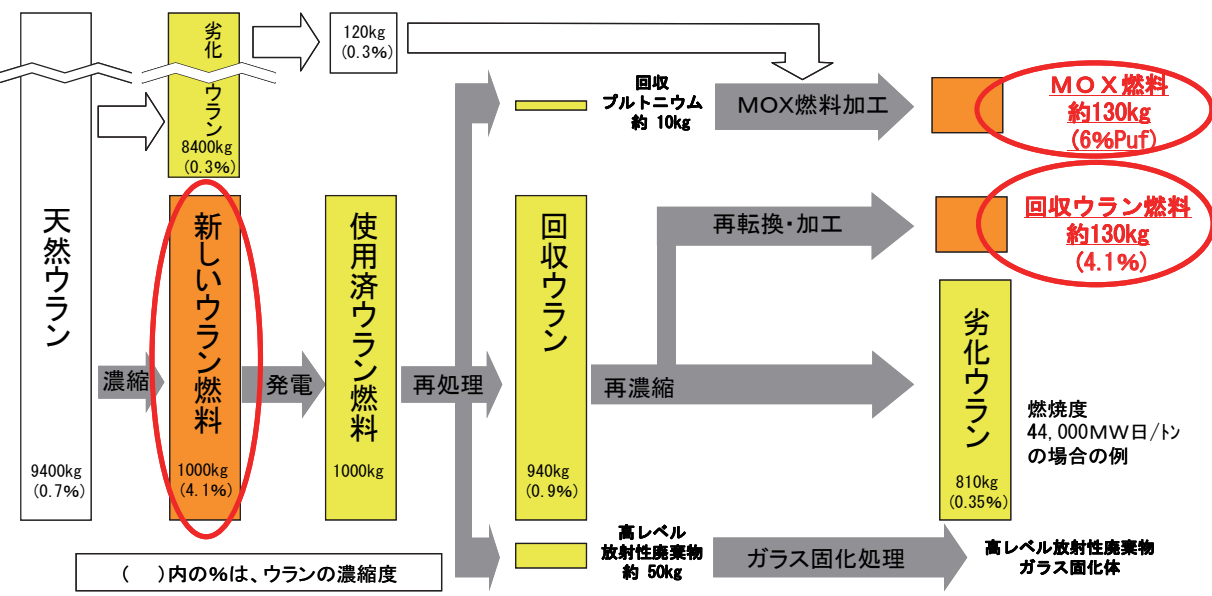
（出典）日本原燃（株）

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た。軽水炉での MOX 燃料利用は、海外において既に約 6,000 体の実績（平成 19 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。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）においても、着実に推進することとされている（図 3-26）。電気事業連合会において、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が平成 15 年 12 月にとりまとめ、公表されている。

図 3-26 プルサーマルによるウラン資源節約効果

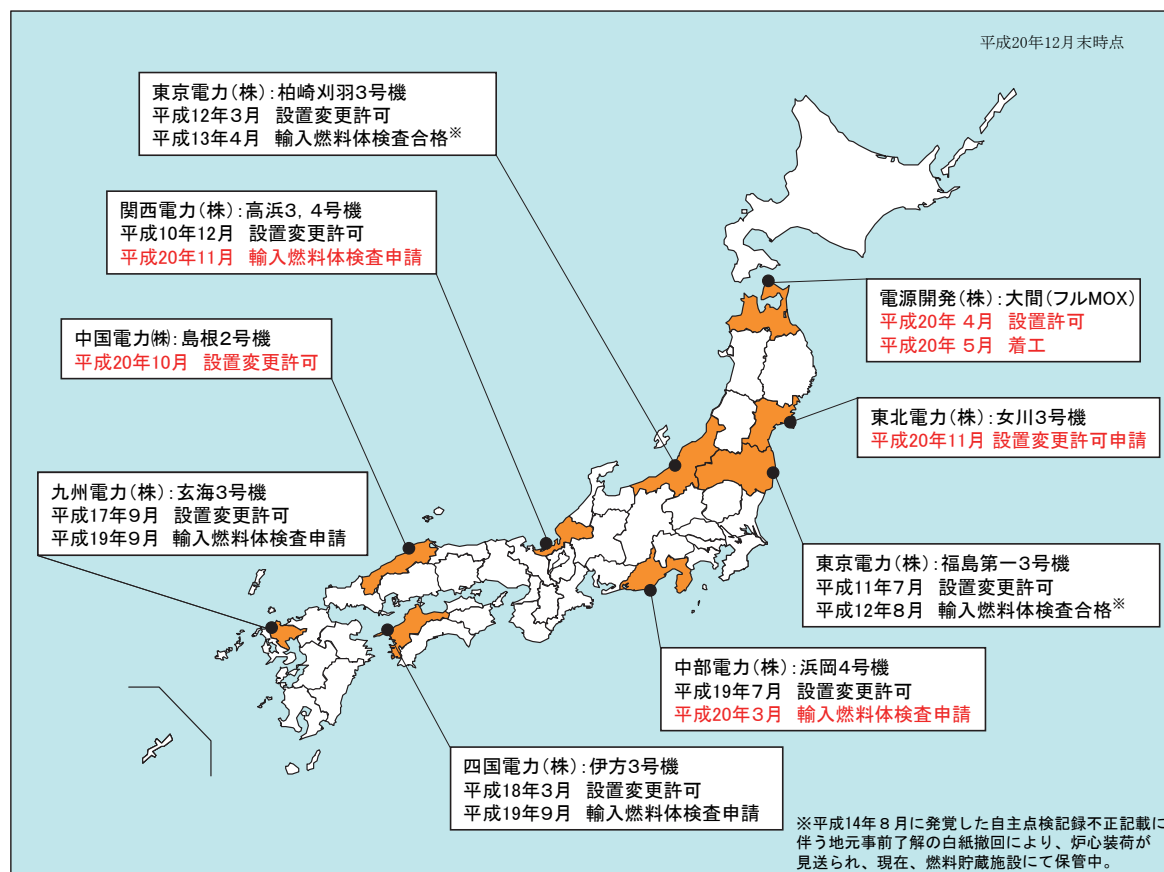


平成 19 年には九州電力（株）玄海 3 号機、四国電力（株）伊方 3 号機について、輸入燃料体検査申請が行われており、平成 20 年 3 月には、中部電力（株）浜岡 4 号機について輸入燃料体検査申請が経済産業大臣に対して行なわれた。同年 4 月には電源開発（株）大間の原子炉設置許可が経済産業大臣から出され、5 月に建設工事に着手した。同年 10 月には中国電力（株）島根 2 号機の原子炉設置変更許可が経済産業大臣から出された。同年 11 月には東北電力（株）女川 3 号機の原子炉設置変更許可申請及び関西電力（株）高浜 3、4 号機の輸入燃料体検査申請が経済産業大臣に対して行なわれた。また、北海道電力（株）は現在建設中の泊 3 号機でのプルサーマルについて、4 月に地元に応入れを行った（図 3-27）。



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展している。

図 3-27 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

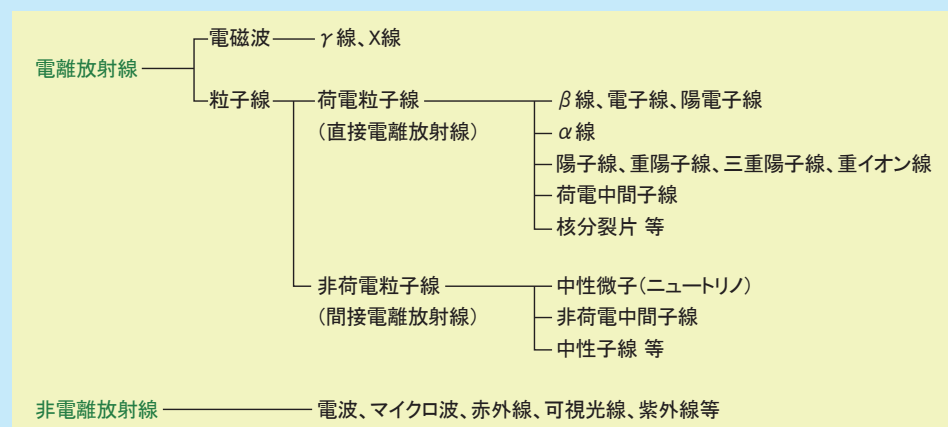
## 3-2 放射線利用

「放射線」には、X 線、 $\gamma$  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。

- 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。

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る。

図 3-28 放射線の種類



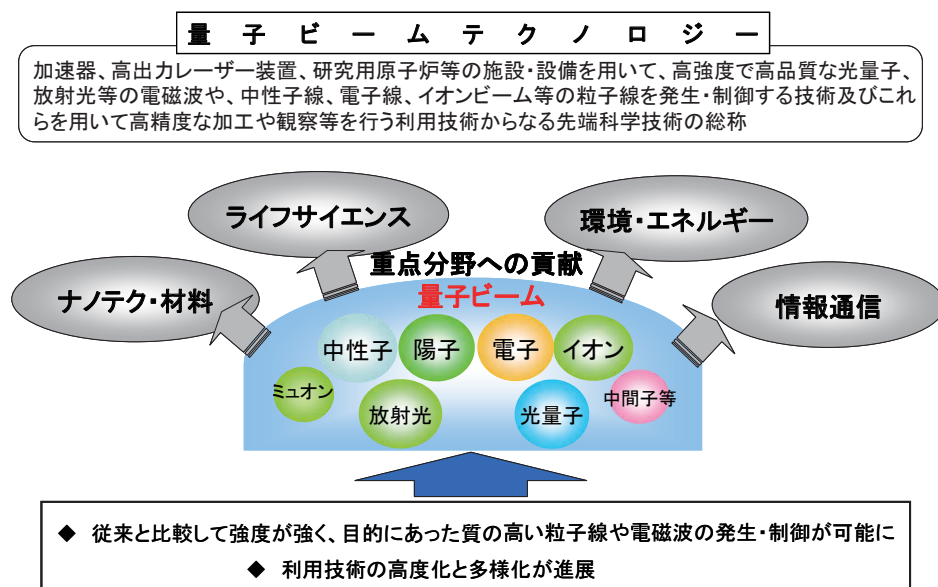
### (1) 放射線利用に関する基本的考え方

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かかわらず、利用側における技術情報や認識の不足等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、

図 3-29 量子ビームテクノロジー



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

#### 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の使用事業所は、平成 20 年 3 月末現在、4,966 事業所に達している。これを機関別に見ると、民間企業 2,237、研究機関 563、医療機関 915、教育機関 535、その他の機関 716 である。

また、密封放射性同位元素の使用事業所数は 4,021 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 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 20 年 3 月末現在、1,433 台に達している。放射線発生装置の 72.5% は医療機関に設置され、がん治療等に利用されている。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等に多数設置され、幅広く利用されている。

## 2) 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、核融合炉等で用いる先端材料、産業応用を目指した機能材料の開発、バイオ技術、環境保全技術の開発等、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高強度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、研究用原子炉(JRR-3)を使った物質科学・生命科学の研究を進めている。さらに、中性子やミュオンなど様々な量子ビームを利用した研究開発を行うために整備を進めてきた大強度陽子加速器施設(J-PARC)は、平成20年12月から中性子・ミュオンビームの供用を開始した。

(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、次世代照射技術の開発、PET技術の高度化、分子イメージング技術の開発等に取り組んでいる。

(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・処理事業等を行い、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。

## 3) 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、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等に基づいて、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。

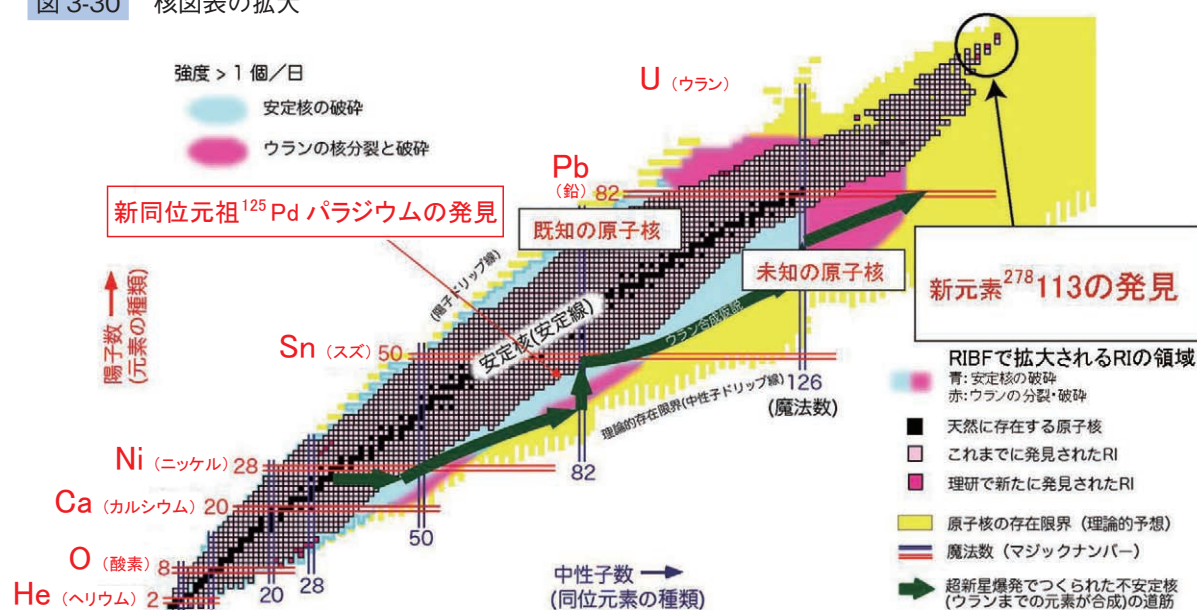
さらに、原子力機構は、外部被ばく、内部被ばくに関する研究や関連する基礎データの整備等を進めており、平成 20 年 1 月には核医学検査・治療に伴う患者の被ばく線量評価のための米国核医学会の線量計算用放射性核種データ集の改訂に貢献するなどの成果も得ている。

## 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、農学等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 (図 3-30)、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

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っている。

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>等）等も実用化されている。最近では、分子イメージ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。

図 3-31 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 線発生装置が身体の周りを 360 度回転しながら 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。



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 20 年 8 月までに 4,100 例を超える臨床例を蓄積してきた（図 3-32）。

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。

※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  $\gamma$  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。

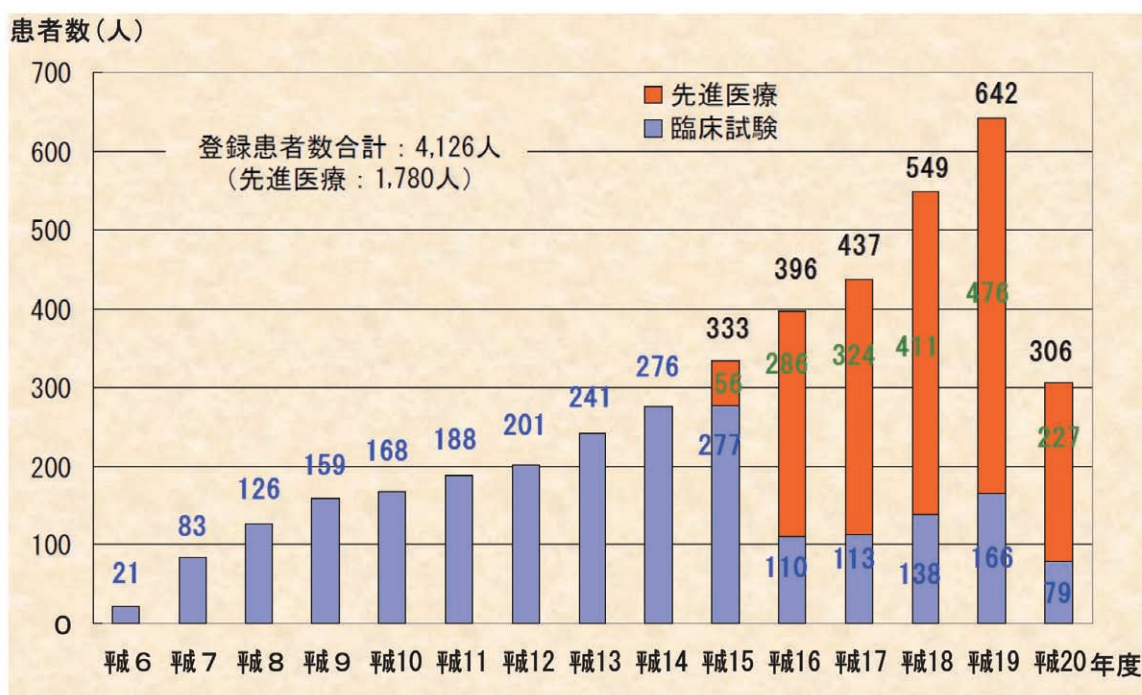
※6 SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography）：シングルフォトエミッション CT

体内に投与された RI で標識された薬剤から発生する  $\gamma$  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。

※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で標識された薬剤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消滅  $\gamma$  線を体外で同時に計測することにより、薬剤の分布を断面像として描く核医学診断法。

図 3-32 重粒子線治療の登録患者数（平成 6 年 6 月～平成 20 年 7 月）



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う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」をとりまとめた。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。

表 3-5 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	776FTE	約 4,000
医学物理士	382 <sup>※</sup>	約 4,000

(注) FTE : full time equivalent (週 40 時間放射線治療専任業務＝実質のマnpワ-を示す)

(出典) 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)

※ 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

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（表 3-5）。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。

#### 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  $\gamma$  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、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る。

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は、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、商品化されている。

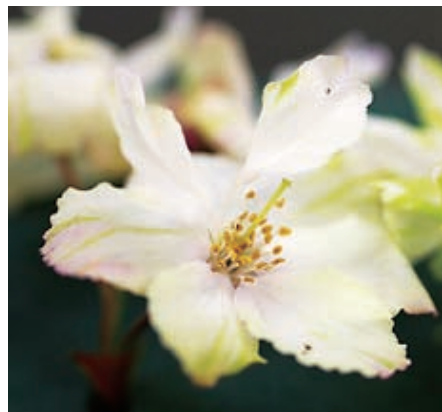
原子力機構では、イオンビーム照射研究施設（TIARA）の AVF サイクロトロンで加速した炭素イオンビームを在来種に照射することにより、パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種（図 3-33）や、大気汚染物質である二酸化窒素を高吸収する壁面緑化植物を開発した。

（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（図 3-34）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 パステル調の花色のオステオスペルマムの新品種



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



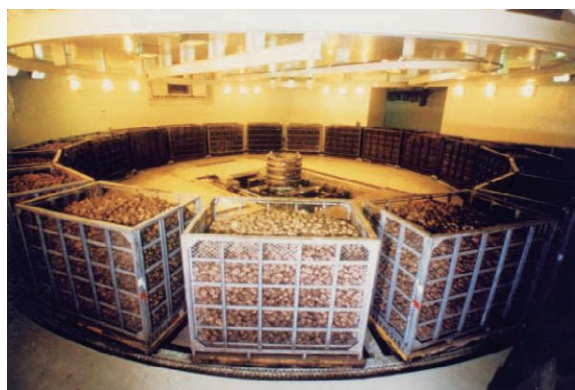
の成虫を自然界の害虫集団に継続的に大量に放飼すると、雌が受精能力のある雄を交尾する機会が少なくなり、受精卵を生む割合が減っていくので、ついに害虫集団が絶滅する。これを不妊虫放飼法という。この方法によって、沖縄県と奄美群島に生息するウリミバエを根絶する事業が昭和 47 年から行われ、平成 5 年までにこれらの地域からの根絶が達成された。その結果、ゴーヤ等ウリミバエが寄生する果菜類の移動規制が解除され、県外への出荷ができるようになったが、沖縄県においては、常に南方の国々からウリミバエの侵入の危険にさらされているため、現在でも不妊虫放飼法を用いてウリミバエの侵入・定着の防止を図っている。また、沖縄及び奄美群島のみに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、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る。なお、海外においては、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る。

### ⑤食品照射

食品や農畜産物に $\gamma$ 線や電子線等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、魚介類等に付着している食中毒菌の放射線殺菌等に利用される食品照射は、すでに世界の多くの国々や地域で法的に許可されている（表 3-6）。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虫害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。

図 3-35 ジャガイモへの照射



（出典）原子力機構

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



表 3-6 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、畜肉及びその製品 (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	仏国	★		★	★	★	★	★	★
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	ルクセンブルグ						★		
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－

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等を踏まえ、一定の見通しがあるなど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・広報活動の推進等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。本決定を受けて委員会自らも、報告書の内容に関する国民との相互理解の充実に努めるべく、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。

本件に関する原子力委員会決定後、食品安全委員会では、リスク管理機関からの諮問によらず、委員会が自らの判断により行う食品健康影響評価（「自ら評価」という。）の対象について審議した結果、平成19年3月に「食品への放射線照射に関する食品健康影響評価」については自ら評価を行わないが、引き続き情報収集に努めることとなった。この方向性を踏まえ、平成19年9月に、食品安全委員会の主催による「食品に関するリスクコミュニケーション—放射線照射食品をめぐる国際的な状況—」が開催された。

厚生労働省では、平成18年12月に厚生労働省薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会において、当分科会の下部組織にあたる食品規格部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、平成19年6月に開催された食品規格部会において報告事項として議題に挙げられ、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で了承がなされた。

今後、食品照射に関する食品安全行政の観点からの検討が進展するよう、関係者が食品照射に関する検討・評価、社会受容性向上のための取組を一層強化することとしている。

なお、食品照射に関する経済規模については、平成17年度に内閣府が実施した調査（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）によると、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、ニンニク等の発芽防止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、特に中国、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る。

## 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、航空機業界等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20年3月末現在、厚さ計が423事業所で2,484台、レベル計が162事業所で1,143台、非破壊検査装置が110事業所で904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

耗性の向上等を図る材料の改質が行われている。

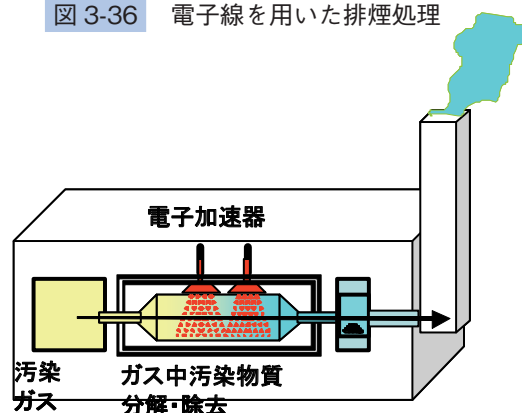
半導体素子の微細加工技術は、露光、エッチング、不純物添加（ドーピング）、成膜等の要素技術で構成されており、それぞれに数多くの電磁波や粒子ビームが利用されている。それらの中には電子線、X 線、イオンビーム等の電離能力を持った電磁波や粒子が含まれている。露光の主要工程である一括露光においては、現在は短波長のレーザービームが主役であるが、素子の微細化の進展に伴って短波長化が進んでおり、近い将来においては X 線が主役になると見込まれている。また、自動車タイヤ、テレビに使われる耐熱電線・ケーブル、熱収縮チューブ・フィルム、発泡プラスチック、分解・硬化・グラフト等の製造にも電子線を用いた放射線加工技術が利用されている。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、放射線グラフト重合の手法を用いて製作したボタン電池用隔膜は市場シェア 100%に達している。さらに、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、タイ等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等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る。

### 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等は、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等の肥料を得ることができる。この排煙処理技術は、東欧や中国等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る（図 3-36）。

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、J-PARC 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、放射光を利用したタンパク質の構造解析、中性子を使ったタンパク質の水素・水和構造を含む構造解析等の基礎研究、マイクロビーム技術を利用した細胞レベルでの研究、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による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による生きた植物の根の生長の観測等、他の手段ではできない大きな可能性を有するユニークな研究が行われている。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、中性子を利用した高温超伝導材料の研究開発が進展している。

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、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<sup>※9</sup>を利用する技術開発等が進められている。

また、炭素 14 等、試料に含まれる天然起源の RI の崩壊状況を測定することにより、その年代を知る年代測定技術が、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。

### ⑨放射線利用に関する経済規模調査

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<sup>※10</sup>（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）を行っている。

#### 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 3-7、図 3-37 に示す。両年

表 3-7 放射線工業利用の経済規模

(億円)

項目 \ 年度	平成17年度	平成9年度
	評価値	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

(注) 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。

(出典) 平成 19 年度放射線利用の経済規模に関する調査

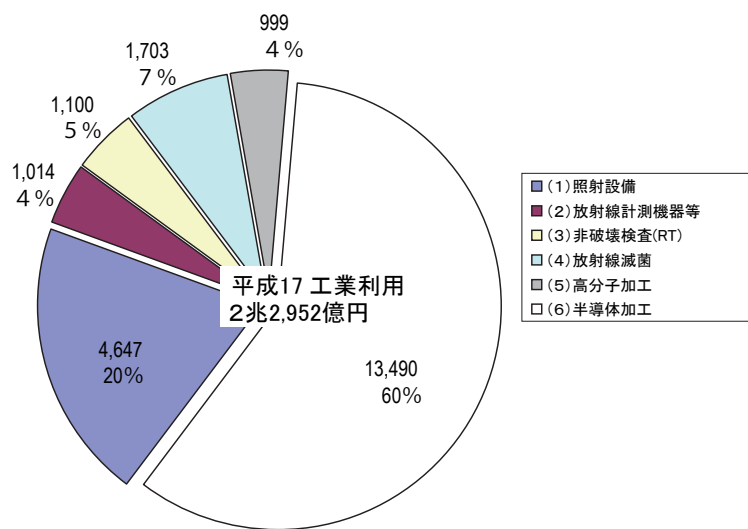
※9 マルチトレーサー：観察対象とする動植物等に RI で標識した化合物を投与し、その RI から放出される放射線を測定器で追跡することで、その観察対象内における化合物の挙動を調べる方法をトレーサー法といい、これに用いられる RI をトレーサー（追跡子）という。加速器を利用すると、同時に複数の RI を生成し、トレーサーとして利用することができる。これをマルチトレーサーという。マルチトレーサーを用いれば、多数の元素の挙動を同じ条件の下で同時に追跡することができる。

※10 同調査は、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。



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。

図 3-37 平成 17 年度の放射線工業利用出荷額



(出典) 平成 19 年度放射線利用の経済規模に関する調査

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 3-8）。

表 3-8 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)アイソトープ利用					
RIを用いる研究		4	5	7	7
放射能分析		140		21	21
炭素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、金額の算出は、その出荷額で行い、寄与率は適用していない。

(出典) 平成 19 年度放射線利用の経済規模に関する調査

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3-9）。

表3-9 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
	画像診断(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。

(出典) 平成19年度放射線利用の経済規模に関する調査

#### 4) まとめ

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3-10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3-10 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

(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
エネルギー利用合計		47,410	57,913

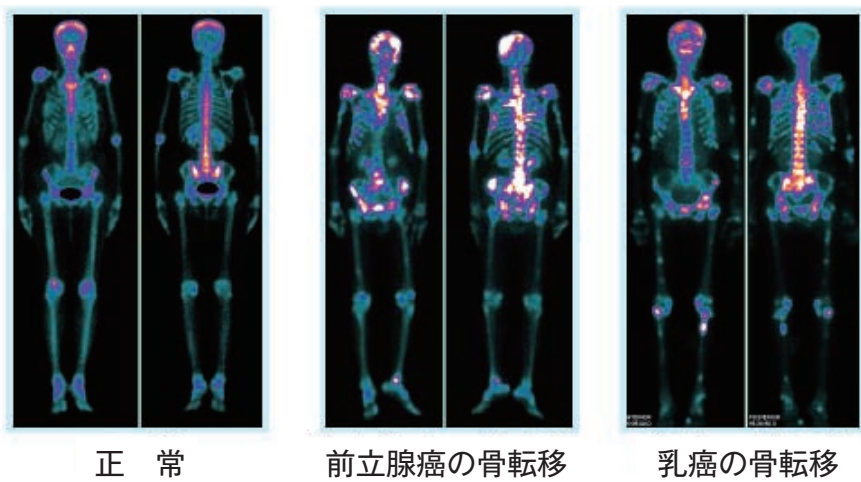
(出典) 平成19年度放射線利用の経済規模に関する調査

(3) 放射線利用に関する最近の動向

①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、微量の放射性同位元素（RI）を患者に投与し、その体内分布を画像化し、病気を診断するために用いられるものであり、半減期の短い $\gamma$ 線放出核種を、ごく微量しか使用せず、安全な診断法であるため、骨、心臓、脳等多くの病気の診断に用いられている。我が国でも年間約 100 万件の核医学検査が実施されている。

図 3-38 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

半減期約 6 時間程度であるテクネチウム 99m は、核医学の分野で使用頻度の高い RI であり、このテクネチウム 99m は、半減期が短いことから、モリブデン 99 の状態で輸送等が行われ、医療現場において利用されている。モリブデン 99 は、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より生産、供給されており（表 3-11）、これらによりモリブデン 99 の世界の全需要の約 95% をカバーしている状況にある。我が国で利用されているモリブデン 99 についても、ほぼ海外からの輸入によるものである。しかしながら、これらの原子炉は稼動してから約半世紀弱が経過し、老朽化が進んでいる。

表 3-11 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

世界需要に対し、約4割程度のモリブデン99を供給しているカナダでは、このモリブデン99供給体制に関連し、カナダ原子力公社のチョークリバー研究所にある原子炉NRU（National Research Universal）の運転について、議会をも巻き込んだ事態にまで発展した。平成19年11月、カナダ原子力安全委員会は、カナダ原子力公社のNRUに対する安全対策の実施の遅れを受け、同公社に対して運転停止期間を延長しこの対策を完了することを求めた。これにより、同原子炉の停止が延長したため、テクネチウム不足が発生し、多数の放射線画像診断がキャンセルまたは延期されることとなり、医療業界は混乱することとなった。これを受け、カナダ政府は同原子炉の運転再開を認める法案をカナダ連邦議会に提出し、同原子炉は運転再開することが可能となった。さらに、カナダ政府は、今回の事態における原子力安全委員会の行政的指導力に対する国民信頼が大きく損なわれたと判断して、原子力安全委員会委員長の更迭を発表するまでに至った。

我が国におけるRIの供給については、日本学術会議が、「放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会」を設置し、平成20年7月に、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」をとりまとめている。

これに関連して、原子力機構では、「JMTR運営・利用委員会」を設置し、産業利用の拡大に資する観点から、モリブデン99の国産化製造の取組について検討を実施しているところである。