

第3節 原子力利用の着実な推進

1 エネルギー利用

原子力発電は、地球温暖化対策と我が国のエネルギー安定供給に貢献している。国は、こうした貢献が今後とも公共の福祉の観点から最適な水準に維持されるように、原子力発電を基幹電源に位置付けて、着実に推進していくべきである。このため、国は、必要な原子力施設の立地が適時になされ、効率的に利用されるように、基本的考え方の明確化、事業環境の整備、研究開発の推進、国民や立地地域への広聴・広報活動による理解促進等に取り組むべきである。

1. 原子力発電

(1) 原子力発電を取り巻く状況

エネルギー情勢とその政策

島国である我が国では、諸外国のような近隣諸国とエネルギーを容易に融通しあえる状況ではなく、こうした地理的、資源的制約により、エネルギー安定供給のためには、エネルギー源の多様化、非常事態に備えた備蓄などの政策を採ることが求められている。今日ではこれに加え、環境保全・効率化にも対応したエネルギー政策が求められており、平成14年6月にはエネルギー政策基本法が成立、施行され、これに基づき平成15年10月にはエネルギー基本計画を閣議決定している。この中で、

原子力については安定供給性に資する他、地球温暖化対策の面で優れた特性を有するとされ、安全確保を大前提に、核燃料サイクルを含め、基幹電源として推進することとしている。

電気事業を取りまく近時の環境変化の一つとして電力自由化が挙げられるが、これについては、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。次に、平成11年の電気事業法改正において、電力小売部門の部分自由化が行われ、平成12年3月からは特別高圧需要家が対象需要家となった。小売自由化範囲は段階的に拡大され、平成16年4月からは高圧500kW以上の需要家が対象に、平成17年4月からは全ての高圧需要家（50kW以上）が小売自由化の対象となっている。

地球温暖化対策について

原子力発電は、発電過程で二酸化炭素を排出することがなく地球温暖化対策に資するという特性を持っている。そのため、平成17年2月16日の京都議定書の発効を受け、平成17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、原子力発電については、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

るものとして位置づけられ、着実に推進することとしている。

(2) 我が国の原子力発電の状況

昭和38年10月26日、原研（当時）の動力試験炉 J P D R⁵（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（後にこの日を「原子力の日」と決める）。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、1990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3-1-1 我が国の原子力発電設備容量（平成17年12月末現在）

	基 数	総容量（グロス電気出力）
運 転 中	54	4,822 万 kW
建 設 中	4(3)	392.3 (364.3) 万 kW
着工準備中	11	1,494.5 万 kW
合 計	69(68)	6,709.0 (6681.0) 万 kW

（ ）内は研究開発段階の原子炉を除く

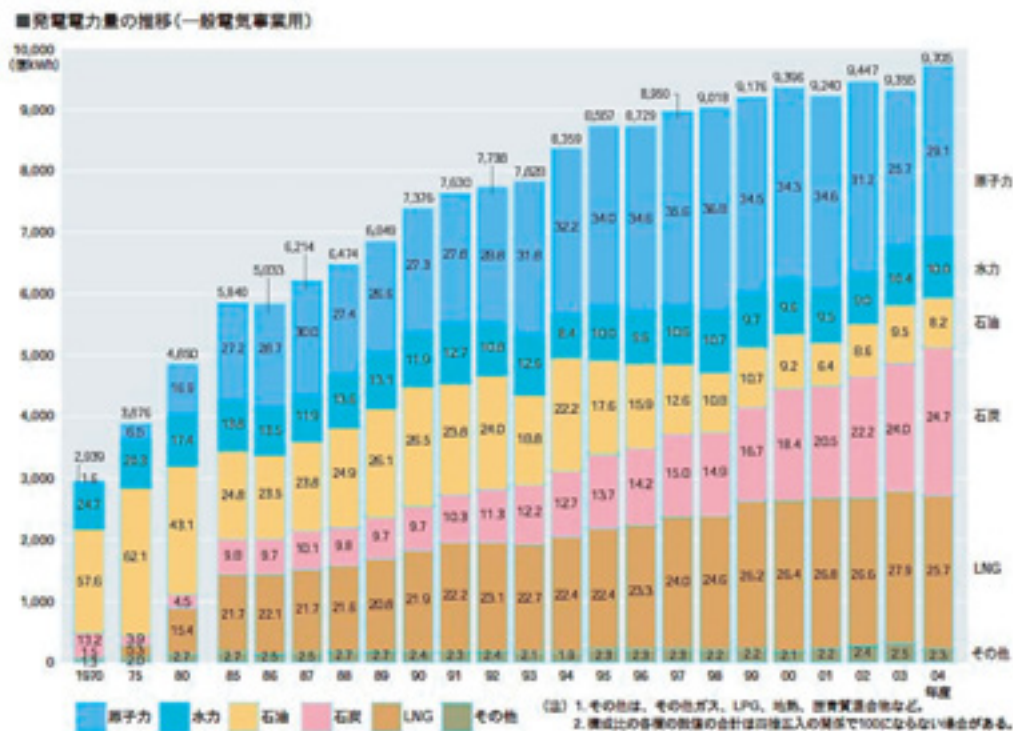
21世紀に入って、新規の原子力発電所として、平成17年1月に中部電力（株）浜岡原子力発電所5号機（138.0万kW）、平成17年12月に東北電力（株）東通原子力発電所1号機（110.0万kW）が運転を開始した。

平成17年末現在、運転中の商業用原子力発電所は54基、発電設備容量は4,822万2千kWとなっている。これは、米国、フランスに次ぐ世界第3位の設備容量である。

平成17年度電力供給計画などによると、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、北陸電力（株）志賀原子力発電所2号機及び中国電力（株）島根原子力発電所3号機の3基、364.3万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号機と合わせて合計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、2004年度末現在、一般電気事業用の発電設備容量の19.8%、2004年度実績で、一般電気事業用の発電電力量の29.1%を占め、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3-1-1 発電電力量の推移



出典：資源エネルギー庁「電源開発の概要2005」

表3-1-2 設備利用率の推移

（単位：％）

年 度	BWR	PWR	総合平均
平成 6 年	77.8〔25〕	75.2〔22〕	76.6〔48〕
平成 7 年	82.5〔26〕	77.6〔22〕	80.2〔49〕
平成 8 年	83.5〔27〕	77.5〔22〕	80.8〔50〕
平成 9 年	79.7〔28〕	83.4〔23〕	81.3〔52〕
平成 10 年	84.6〔28〕	83.7〔23〕	84.2〔51〕
平成 11 年	79.5〔28〕	80.9〔23〕	80.1〔51〕
平成 12 年	79.9〔28〕	84.1〔23〕	81.7〔51〕
平成 13 年	78.6〔29〕	82.9〔23〕	80.5〔52〕
平成 14 年	61.9〔29〕	89.1〔23〕	73.4〔52〕
平成 15 年	39.0〔29〕	87.9〔23〕	59.7〔52〕
平成 16 年	63.4〔30〕	76.5〔23〕	68.9〔53〕

（注） 設備利用率（％）＝[発電電力量（kWh）の合計] / [(認可出力（kW）×暦時間数（h）)の合計] × 100
平成 9 年までの総合平均はガス冷却炉（GCR）を含めた値
〔 〕内は基数

（出典：平成17年版原子力施設運転管理年報）

表3-1-3 運転月数の推移（ガス冷却炉（GCR）を除く平均）

終了年度	平成8年	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
運転月数	12.2	12.5	12.6	12.4	12.7	12.9	11.5	12.2	11.8

（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17年版原子力施設運転管理年報）

表3-1-4 トラブル報告件数（法律対象）と年平均報告件数

年 度	平成7年	平成8年	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
報告件数	14	14	14	14	17	19	11	8	11	20
基 数	49	50	52	51	51	51	52	52	52	53
平均報告件数 （件数／基数）	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4

（注） 基数は、年度末における営業運転基数。
一基当たり報告件数は、営業運転中の報告件数及び基数で算出。
省令改正（平成15年11月）に伴い、法律に基づく報告と通達に基づく報告は1本化。

（出典：平成17年版原子力施設運転管理年報）

（3）原子力発電の将来見通し

我が国の発電電力量の約1/3を供給する原子力発電は、供給安定性に優れていること、また、地球温暖化対策に優れた特性を有していることから、平成15年10月に閣議決定した「エネルギー基本計画」において、原子力発電を基幹電源と位置づけ推進することとしている。また、原子力政策の基本方針を示すものとして平成17年10月に政府として尊重する旨の閣議決定を行った。「原子力政策大綱」においても、中長期的に、原子力発電が、総発電電力量の30～40%という現在の水準程度かそれ以上の役割を担うことが適切である旨の方針が示されている。

原子力発電所の新增設については、平成17年に2基が運転を開始し、現在、3基が建設中であるなど進捗が見られる地点がある一方、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等、原子力に対する国民の信頼を損なう問題が発生したこと、また、電力需要の伸び悩み等を背景として、計画から運転開始までのリードタイムがさらに長期に及んでいる。

平成17年度電力供給計画などによると、14基の新增設が計画されており、平成26年度までに10基1,362万kWが運転開始し、63基6,148.5万kWになると計画されている。

注）経済産業省の総合資源エネルギー調査会需給部会において2005年3月にとりまとめた「2030年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）」では、2010年度までに運転開始する原子力発電所は、現在建設中の3基（うち東北電力（株）東通原子力発電所1号は2005年12月に運転開始）を加えた56基5,049.2万kWと見込んでいる。

(4) 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16年（2004年）12月末現在、運転中のものは434基、3億7,920万7千kWに達しており、建設中、計画中のものを含めると総計505基、4億4,698万2千kWとなっている。供給された電力量は2兆6,186億kWh⁶であり、これは全世界の電力の約16%にあたる。また、アジアや東ヨーロッパを中心に33基の建設中の原子力発電所があるが、欧米でも新規原子力発電所建設に向けた動きが出ている。他方、ドイツ、ベルギー、スウェーデン等では、緑の党の影響等により段階的に原子力発電所を廃止する脱原子力政策が採用されている。

表3-1-5 世界の原子力発電開発状況（平成16年12月末現在）

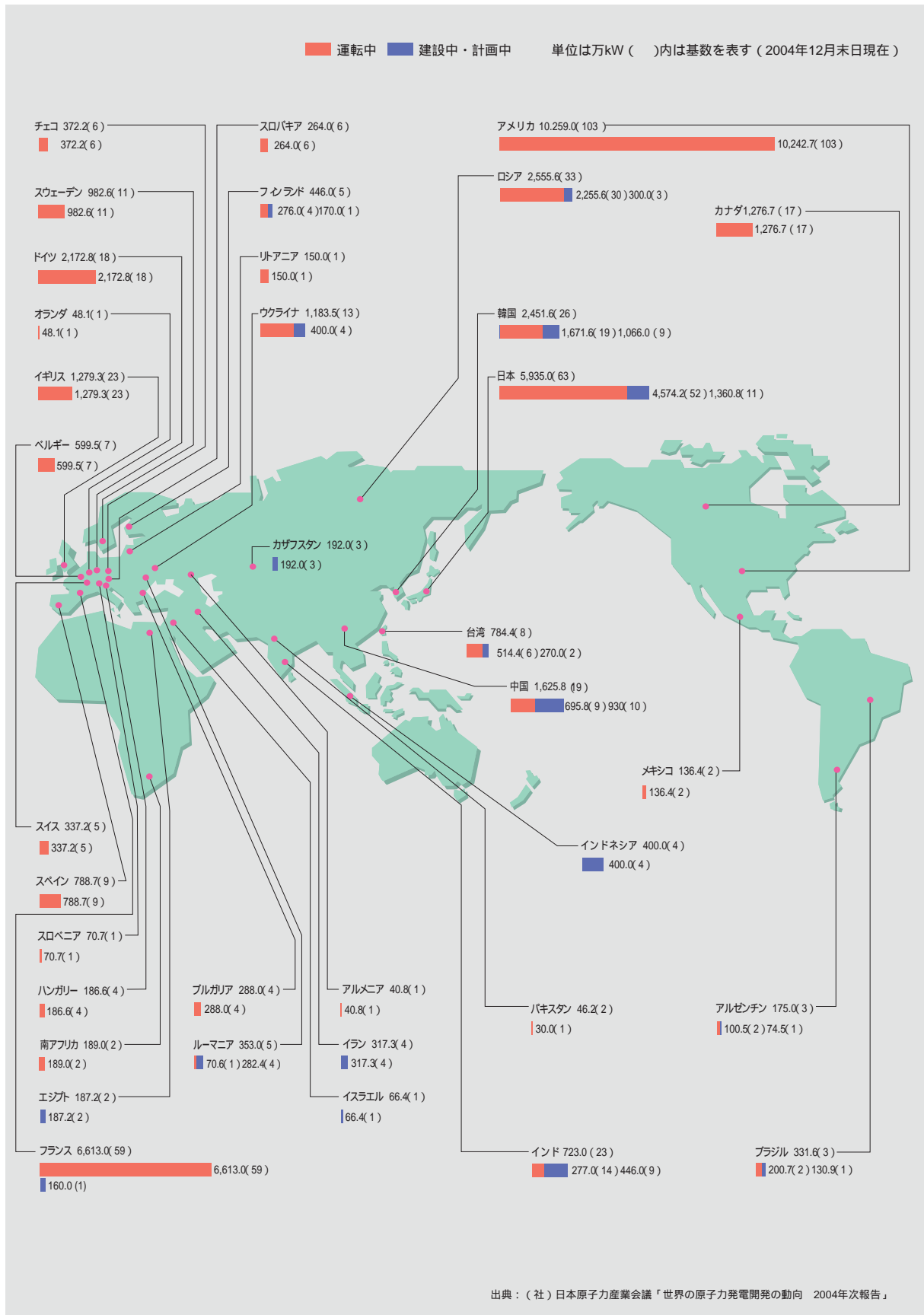
（万 kW、グロス電気出力）

国・地域	運転中		建設中		計画中		合計	
	出力	基数	出力	基数	出力	基数	出力	基数
1 米国	10259.0	103					10259.0	103
2 フランス	6613.0	59			160	1	6773.0	60
3 日本	4574.2	52	503	5	857.8	6	5935.0	63
4 ロシア	2255.6	30	300	3			2555.6	33
5 ドイツ	2172.8	18					2172.8	18
6 韓国	1671.6	19	100	1	960	8	2731.6	28
7 英国	1279.3	23					1279.3	23
8 カナダ	1276.7	17					1276.7	17
9 ウクライナ	1183.5	13	400	4			1583.5	17
10 スウェーデン	982.6	11					982.6	11
11 スペイン	788.7	9					788.7	9
12 中国	695.8	9	200	2	730	8	1625.8	19
13 ベルギー	599.5	7					599.5	7
14 台湾	514.4	6	270	2			784.4	8
15 チェコ	372.2	6					372.2	6
16 スイス	337.2	5					337.2	5
17 ブルガリア	288.0	4					288.0	4
18 インド	277.0	14	446	9			723.0	23
19 フィンランド	276.0	4			170	1	446.0	5
20 スロバキア	264.0	6					264.0	6
21 ブラジル	200.7	2			130.9	1	331.6	3
22 南アフリカ	189.0	2					189.0	2
23 ハンガリー	186.6	4					186.6	4
24 リトアニア	150.0	1					150.0	1
25 メキシコ	136.4	2					136.4	2
26 アルゼンチン	100.5	2	74.5	1			175.0	3
27 スロベニア	70.7	1					70.7	1
28 ルーマニア	70.6	1	282.4	4			353.0	5
29 オランダ	48.1	1					48.1	1
30 パキスタン	46.2	2		3	0	1	76.2	3
31 アルメニア	40.8	1					40.8	1
32 イラン			229.3	2	88	2	317.3	4
33 インドネシア					400	4	400.0	4
34 カザフスタン					192	3	192.0	3
35 エジプト					187.2	2	187.2	2
36 イスラエル					66.4	1	66.4	1
合 計	37920.7	434	2805.2	33	3972.3	38	44698.2	505
() 内は前年値	(37,628.6)	(434)	(3,128.4)	(34)	(2,792.3)	(28)	(43,549.3)	(498)

((社) 日本原子力産業会議調べ)

図3-1-2 世界の原子力発電所

世界の原子力発電の開発状況



米国

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中 103基 10,259.0万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)):19.9% (データ出典:IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)):91.0% (データ出典:JNES)

原子力発電はその設備容量が1億kWと世界一の規模を誇っている。現在103基の原子炉が稼働しており、発電シェアでは約20%を占めている。昭和49年(1974年)以降原子力発電設備の新規の建設は行われておらず、効率の低い発電所に対しては許可期間終了を待たずして閉鎖するケースもあったが、近年は、運転期間40年を60年に延長できるようにする動きがあり、アーカンソー・ニュークリア・ワン1号機を含めて平成17年(2005年)9月現在、30基が運転期間の延長をNRCから認められている。平成12年(2000年)~平成13年(2001年)にカリフォルニア州で発生した電力危機や天然ガス価格の上昇により原子力は電力供給の要として新たに脚光を浴びるようになっている。平成13年(2001年)5月に発表されたブッシュ政権の国家エネルギー政策は、カリフォルニアのエネルギー危機等を背景に、省エネルギー、エネルギー基盤の強化、エネルギー供給の拡大、環境保全の加速、エネルギー安全保障の強化という5つの目標のもと様々な政策を進めるものである。原子力については、エネルギー安全保障、温室効果ガス削減の観点から重要な役割が与えられており、原子力推進に対する政府の強い姿勢を示し、原子力開発の再開も表明された。このような米国の姿勢は、平成22年(2010年)までに新たな原子力発電所を建設、運転開始することを目標とした、「原子力2010計画の推進」として具体化されている。

既設の原子力発電設備は近年、設備利用率が90%を越える等、自由化された電力市場でも十分、競争力を持って運転されているが、ブッシュ政権下で新規設備の建設や次世代炉開発の動きも活発化している。

また、放射性廃棄物政策修正法に基づく手続きを経て、高レベル放射性廃棄物の処分場をネバダ州ユッカマウンテンに建設することが、平成14年(2002年)7月に決定された。

米国エネルギー省は、別途、先進的燃料サイクル・イニシアチブ(Advanced Fuel Cycle Initiative: AFCI)を立ち上げ、原子力発電所から出る高レベル放射性廃棄物の量の削減、使用済燃料中に含まれる放射毒性の強い長寿命核種の分離、使用済燃料を発電のための燃料として再利用することについて検討を行っている。

さらに、平成15年(2003年)2月、ブッシュ大統領は、水素燃料イニシアチブを発表した。温室効果ガスを劇的に削減し、国家のエネルギー自立性を高める水素利用のメリットを主張した。平成27年(2015年)までに高温ガス炉等を使用した水素製造システムの構築を目指すこととしている。そして、平成17年8月には包括エネルギー法が成立し、原子力発電については、新規原子力発電所の建設再開や、次世代原子炉の開発に対する

支援が盛り込まれた。

図3-1-3 米国 デュアンアーノルド原子力発電所



図3-1-4 アーカンソー・ニュークリア・ワン 1号機



フランス

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	59基	6,613.0万kW
計画中	1基	160.0万kW
	60基	6,773.0万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)): 78.1% (データ出典: IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成15年(2003年)): 77.1% (データ出典: JNES)

原子力発電規模はアメリカに次ぐ第2位を誇り、総発電電力量に占める原子力の割合は77.1%となっている。周辺各国のイタリア、イギリス、ドイツなどに約732億kWh(平

成11年（1999年）総発電電力量の約14％）の電力を輸出している。また、使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムをMOX燃料に加工して軽水炉で使用するプルサーマルが1980年代後半から行われている。また、PWRの改良を進め、N4シリーズの開発に続き、平成元年（1989年）には仏フラマトム社と独ジーメンス社の共同でEPR（欧州加圧水型炉）の開発に着手した。

平成9年（1997年）の社会党、共産党、緑の党の連立政権発足により、反原子力を提唱し、平成10年（1998年）のスーパーフェニックスの廃止など原子力推進政策に変化が見られるのではないかと注目されたが、平成14年（2002年）5月の大統領選挙で原子力推進派のシラク大統領が再選され、同年6月の国民議会総選挙においても、大統領支持派が勝利するなど、今後も原子力推進の方針が継続されるものと見られる。ラファラン首相は、原子力エネルギーの位置付けを明らかにするエネルギー政策法を制定する方針を示しており、同法の策定プロセスに国民を参加させることを目的とした「エネルギー政策に関する国民討論」が平成15年（2003年）3月から5月にかけて行われた。この結果を受けて、エネルギー戦略法案が平成16年（2004年）6月に可決された。

図3-1-5 フランス フラマンビル発電所



英国

（平成16年（2004年）12月末現在）

運転中 23基 1,279.3万kW

総発電電力量に占める原子力の割合（平成16年（2004年））：19.4％（データ出典：IAEA PRIS）

平均設備利用率（平成16年（2004年））：70.8％（データ出典：JNES）

北海油田の開発により、国内のエネルギー自給率100％を超えていることから、現在のところ原子力発電所の新規建設計画の見通しはない。

ブレア首相の指示により、内閣府が平成14年（2002年）2月にまとめた「The Energy

Review」と題した報告書をたたき台に、貿易産業省（D T I）が将来のエネルギー供給を見据えた「エネルギー政策レビュー」をとりまとめた。この白書では、原子力発電所の新設についての具体的な計画は盛り込まれなかったが、将来において検討する可能性は排除しないとされている。また、ブレア首相は、エネルギー政策の見直しを行い、2006年を目途に政策提言を行うようD T Iに指示したと2005年11月に発表した。この見直しにおいては、現行の発電技術を含む全てのオプションが検討されることとなっている。

図3-1-6 英国 コールダーホール発電所



ドイツ

（平成16年（2004年）12月末現在）

運転中 18基 2,172.8万kW

総発電電力量に占める原子力の割合（平成16年（2004年））：32.1%（データ出典：IAEA PRIS）

平均設備利用率（平成16年（2004年））：87.4%（データ出典：JNES）

平成10年（1998年）の総選挙で、社会民主党（SPD）が、キリスト教民主同盟（CDU）を破り、緑の党と連立政権を樹立、シュレーダー内閣が誕生した。その後、連邦政府は電力業界を始めとする産業界と、段階的な原子力発電の閉鎖について協議を行い、連邦政府と大手電力4社は平成13年（2001年）6月に原子力発電所の発電量の設定などを盛り込んだ取り決めで正式に署名した。原子力発電所の運転期間については、送電開始から基本的に32年とした上で、これまでの運転実績をベースに平成12年（2000年）以降の発電電力量を19基合わせて約2兆6,233億kWhと設定。この規定の発電量に達した原子力発電所から順次、閉鎖されることとなっており、平成15年（2003年）11月には、初めての原子力発電所の閉鎖が行われた。

平成17年（2005年）9月の総選挙の結果誕生したCDUとSPDによる大連立政権に

おいては、原子力政策に関する両党の見解が一致しなかったため、前政権の脱原子力政策が継続されている。

図3-1-7 ドイツ オブリッヒハイム発電所



スウェーデン

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中 11基 982.6万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)) : 51.8% (データ出典 : IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)) : 90.8% (データ出典 : JNES)

昭和55年(1980年)6月の国民投票の結果を受け、平成22年(2010年)までにすべての原子力発電所を全廃するとの国会決議がなされたが、エネルギー供給の安定化と経済の国際競争力維持、雇用確保の観点から閉鎖の実施は先送りされてきた。平成10年(1998年)与野党3党は、バーゼベック発電所1、2号機を平成10年(1998年)平成13年(2001年)までに閉鎖することで合意されたが、その一方で、平成22年(2010年)までという原子力発電所の全廃期限は延期された。バーゼベック1号機の閉鎖については、電力会社が政府の決定を不服として最高裁に提訴したため、当初の予定から遅れて平成11年(1999年)に閉鎖した。

平成14年(2002年)6月、議会は政府が策定した新エネルギー法案を承認した。原子力発電所の段階的閉鎖の期限が撤廃され、政府と産業界の合意により、具体的なスケジュールが検討されることとなった。既に閉鎖が決まっていたバーゼベック2号機の閉鎖時期については、政府と産業界の協議が合意に至らなかったため、平成17年(2005年)5月に閉鎖された。

図3-1-8 スウェーデン フォルスマルク発電所



フィンランド

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	4基	276.0万kW
計画中	1基	170.0万kW
	5基	446.0万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)): 26.6% (データ出典: IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)): 93.5% (データ出典: JNES)

平成12年(2000年)11月、民営電力会社であるTVO社は国内5基目の原子力発電所の建設に関する原則決定を政府に求める申請を提出した。平成14年(2002年)1月、政府はこの建設を認める原則決定を行い、同年5月、議会において承認され、平成16年(2004年)2月、国内5基目となるオルキルオト3号機(EPR、160万kW)の掘削・土木工事を開始した。また、オルキルオトに高レベル放射性廃棄物の処分場を建設することが決められている。

図3-1-9 フィンランド ロビーサ発電所



スイス

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中 5基 337.2万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)) : 40.0% (データ出典 : IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)) : 90.2% (データ出典 : JNES)

原子力発電開発に対する世論は開発当初の1960年代から賛否両論に分かれている。原子力発電の是非を問う国民投票が過去4回行われ、平成2年(1990年)の国民投票では新規原子力発電所の建設を平成12年(2000年)まで10年間凍結することが選択された。この凍結の期限切れを受けて、平成11年(1999年)、社会民主党と緑の党は「凍結の10年延長」と「原子力に依存しない電力」の二つの発議を連邦評議会に提出した。平成15年(2003年)5月に行われた国民投票では、新たに2案提示されていた原子力の段階的廃止議案がいずれも否決され、原子力発電を継続することとなった。

連邦評議会は平成13年(2001年)2月、原子力をエネルギー源の選択肢として維持することや、使用済燃料の再処理を今後一切行わないことなどを内容とする改正原子力法案を議会に提出した。この法案は、上院において、再処理の禁止期間を10年延長へと修正された上で可決された。下院においては、再処理の禁止について否決された。その後、上下院での調整が行われたが、再審議において、下院が10年間の再処理凍結案を可決するなどの歩み寄りを見せ、平成15年(2003年)3月、改正原子力法が可決、成立した。

図3-1-10 スイス ベツナウ発電所



ロシア

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	30基	2,255.6万kW
建設中	3基	300.0万kW
	33基	2,555.6万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)): 15.6% (データ出典: IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)): 73.1% (データ出典: JNES)

ロシア政府は原子力を重要なエネルギー源として位置付け、原子力省を中心に積極的な開発を続けている。平成12年(2000年)5月、原子力省(当時。現ロシア連邦原子力庁(ROSA TOM))は原子力開発の今後50年間の長期戦略として、「21世紀前半におけるロシアの原子力発電開発の戦略」を発表した。平成22年(2010年)までに原子力発電容量を3,000万kW~3,200万kWに増加させる等の目標を掲げている。平成15年(2003年)には平成32年(2020年)までの「ロシアのエネルギー戦略」を策定、その中で原子力発電所における発電量を火力発電所に比べより迅速に増加させること等により、電力生産構成を整備すると記述されている。

海外の使用済燃料受け入れについては、これまで国内への中間貯蔵及び処分を目的とした持ち込みを禁じていたが、プーチン大統領は平成13年(2001年)7月、海外からの使用済燃料の輸入を解禁する関連法案に署名、同法が成立した。平成15年(2003年)7月、カミヤノフ首相が使用済燃料輸入の条件と手続きを定めた政令に署名したことにより、国外から持ち込まれた使用済燃料の中間貯蔵が可能となっている。原子力庁は、今後10~20年間に、外国からの使用済燃料を最大2万トン受け入れることにより、少なくとも200億米ドルの収入が得られると試算している。

図3-1-11 ロシア コラ発電所



ウクライナ

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	13基	1,183.5万kW
建設中	4基	400.0万kW
	17基	1583.5万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年))：51.1%(データ出典：IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年))：80.9%(データ出典：JNES)

平成7年(1995年)12月、ウクライナ政府とG7及び欧州委員会(EC)との間で、チェルノブイリ発電所で最後まで運転を続けていた3号機の閉鎖及び代替電源の確保への支援・協力等を内容とする了解覚書を合意した。平成12年(2000年)12月、ウクライナ政府は同機を停止、閉鎖した。この閉鎖に伴う代替電源の確保として、ウクライナは2基の原子力発電所を完成させることとし、建設資金総額148,000万ドルは、EU、欧州復興開発銀行(EBRD)、輸出信用機関からの融資などで調達する計画であった。平成12年(2000年)12月には、EBRDは条件付で21,500万ドルの融資を決定したが、ウクライナ政府がEBRDの融資の全ての条件を満たせなかったため、この融資計画全体が白紙に戻されることとなった。EBRDとの交渉が難航する一方、ロシアがウクライナに融資を提案。平成13年(2001年)12月、ロシアとウクライナは両国の協力により2基の原子力発電所を完成させるための合意文書に調印した。

図3-1-12 ウクライナ 南ウクライナ発電所



韓国

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	19基	1,671.6万kW
建設中	1基	100.0万kW
計画中	8基	960.0万kW
	28基	22731.6万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成16年(2004年)): 37.9% (データ出典: IAEA PRIS)

平均設備利用率(平成16年(2004年)): 90.9% (データ出典: JNES)

平成12年(2000年)に合意された第5次長期エネルギー開発計画によると、平成27年(2015年)までの計画では、12基の原子力発電所の新設が予定されている。その時点での原子力発電所の設備容量は2,605万kWとなり総発電設備の33%、発電電力量の44.5%を占めることになる。一方、昭和53年(1978年)最初に運転開始した古里1号機が平成20年(2008年)に閉鎖を予定している。

平成4年(1992年)より次世代炉(APR1400)の研究開発が行われており、新古里3、4号機において採用することを決定し、2010年以降の運転開始を予定している。また、電気事業は過去40年間、韓国電力公社(KEPCO)が実施していたが、平成21年(2009)年からの完全自由化に向けて現在準備を進めている。

図3-1-13 韓国 蔚珍（ウルチン）発電所



中国

（平成16年（2004年）12月末現在）

運転中	9基	695.8万kW
建設中	2基	200.0万kW
計画中	8基	730.0万kW
	19基	1625.8万kW

総発電電力量に占める原子力の割合（平成16年（2004年））：2.2%（データ出典：IAEA PRIS）

平均設備利用率（平成16年（2004年））：85.7%（データ出典：JNES）

平成13年（2001年）3月、全国人民代表大会会議において第10次5カ年計画（平成13年（2001年）～平成17年（2005年））が承認されたが、この中で平成17年（2005年）までに総発電設備容量が3億9,000万kWに達し、原子力の総発電電力量に占める割合も現在の1%から2.5%になると予測された。平成15年（2003年）9月に発表された国家発展・改革委員会の電力発展原則では、「原子力の積極開発」が盛り込まれた。

平成16年（2004年）3月に発表された国家電力網会社の「第11次電力産業五カ年計画」では、平成32年（2020年）時点の総発電設備容量9億5100万kWのうち原子力が3,600万kW（3.8%）まで引き上げる予定となっている。

平成17年（2005年）12月の時点では、8基の建設計画がある。

図3-1-14 中国 泰山原子力発電所



台湾

(平成16年(2004年)12月末現在)

運転中	6基	514.4万kW
計画中	2基	270.0万kW
	8基	784.4万kW

総発電電力量に占める原子力の割合(平成15年(2003年)): 21.6%

平均設備利用率(平成16年(2004年)): 88.3% (データ出典: JNES)

エネルギー資源に恵まれない台湾では、原子力発電に大きな期待を寄せている。特に、近年の電力需要の増大に伴い新たな電源確保が急務となっている。

同国で7、8番目の原子力発電所となる「第四(龍門)原子力発電所」については、昭和55年(1980年)に行政院の建設承認が得られた後、政府内の協議が長期化し、ようやく平成11年(1999年)に原子能委員会が龍門原子力発電所の建設を承認した。しかし、平成12年(2000年)3月の総選挙で、民主進歩党の陳水扁氏が勝利すると、計画の見直しが行われ、平成12年(2000年)10月、行政院は、建設中の龍門原子力発電所の建設を中止する旨の決定を発表。建設を推進する国民党を第一党とする立法院が激しく反発し、政局が混乱した。その後、行政院と立法院との間で協議が行われ、平成13年(2001年)2月に行政院が、「エネルギー不足を生じさせないことを前提とする将来的な脱原子力」を最終的な目標とすることを条件に建設の再開に応じ、平成13年(2003年)11月には本格的に工事が再開された。

一方、政府に「脱原子力国家推進委員会」が設置され、原子力発電の段階的廃止を含む「脱原子力国家推進基本法案」が起草され、平成15年(2003年)5月に行政院で可決

され、立法院における審議が行われている。

平成16年（2004年）3月に選挙が行われ、陳水扁現総統が辛勝し、現政策を維持している。

図3-1-15 台湾 第2原子力発電所（国聖）



その他

その他として、以下の国において原子力発電所を運転中である。

表3-1-6 各国の運転状況

地 域	国	運転基数	発電設備容量
北米	カナダ	17 基	1277 万 kW
西欧	スペイン	9 基	789 万 kW
	ベルギー	7 基	600 万 kW
	オランダ	1 基	48 万 kW
C I S (独立国家共同体)	アルメニア	1 基	41 万 kW
中・東欧等	ブルガリア	4 基	288 万 kW
	リトアニア	1 基	150 万 kW
	スロバキア	6 基	264 万 kW
	ハンガリー	4 基	187 万 kW
	チェコ	6 基	372 万 kW
	スロベニア	1 基	71 万 kW
	ルーマニア	1 基	71 万 kW
アジア	インド	14 基	277 万 kW
	パキスタン	2 基	46 万 kW
アフリカ	南アフリカ	2 基	189 万 kW
中南米	ブラジル	2 基	201 万 kW
	メキシコ	2 基	136 万 kW
	アルゼンチン	2 基	101 万 kW

（注記）

- ・運転中、建設中、計画中の基数および容量は、（社）日本原子力産業会議「世界の原子力発電開発の動向」による。供給電力量及び総発電電力量に占める原子力の割合は、IAEAの発表データによる。平均設備利用率は、NUCLEONICS WEEK、JNES等による。

2. 核燃料サイクル

(1) 天然ウランの確保

世界のウラン市場では、二次供給ウランが需要量の半分近くを補ってきたため、一次供給であるウラン鉱山からの供給量は需要量を大きく下回っている。今後、二次供給ウランの減耗に見合って新規鉱山の開発や既存鉱山の生産能力拡張が順調に進まない場合、ウラン需給が逼迫する可能性がある。我が国の電気事業者はカナダ、オーストラリア、英国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他、東京電力によるカナダのシガーレイク鉱山など、開発輸入の取り組みも進めているが、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努力も重要である。

表3-1-7 世界のウラン資源埋蔵量（平成15年（2003年）1月1日現在）

（単位：1,000 トンU）

国 名	確認埋蔵量*
オーストラリア	1,058
カザフスタン	848
カナダ	439
南アフリカ	396
米国	345
ロシア	264
ナミビア	258
ニジェール	228
ブラジル	143
ウズベキスタン	118
ウクライナ	76
モンゴル	62
インド	60
中国	50
日本	7
その他	238
合 計	4,589

資料：OECD/NEA, IAEA, Uranium2003 : Resources, Production and Demand (2004)

注) *ここで確認埋蔵量とは出典資料の「既知資源」に該当。

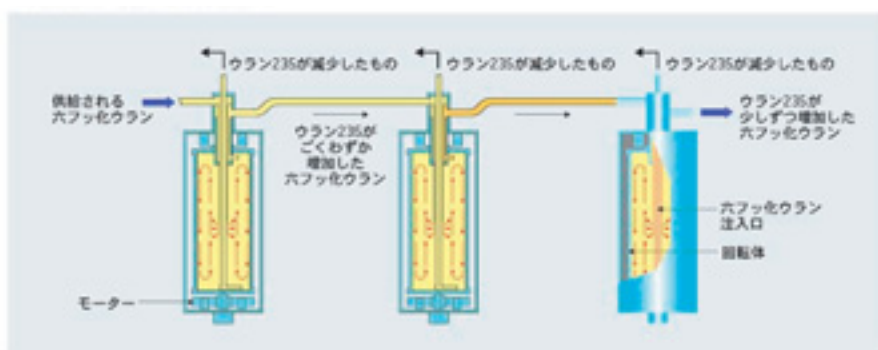
(2) ウラン濃縮と核燃料成型加工・再転換

ウラン濃縮

ウラン濃縮については、現在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ユーロディフ（仏）およびUSEC（米）のガス拡散プラントは、その高い電力コストから競争力を失いつつあり、いずれも2010～2015年頃の商業運転を目指して遠心分離プラントの開発に取り組んでいる。両社とも、ガス拡散プラントは経済的理由から公称生産能力どおりの運転が不可能であり、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およ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3-1-16 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、昭和63年10月に建設工事が開始され、平成4年3月のRE-1A（150トンSWU⁷/年）の操業開始から、最終目標である1,500トンSWU/年体制の確立を目指し順次拡大を続け、平成10年10月にはRE-2C（150トンSWU/年）の運転開始により、1,050トンSWU/年規模で操業を行っていた。しかし、RE-1Aは、回転胴底部部品へのウラン化合物の付着、剥離を原因とする遠心機の早期停止により生産能力が低下したために、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月に生産を停止し、現在450トンSWU/年の規模で生産運転を行っている。

なお、動力炉・核燃料開発事業団（当時。後に核燃料サイクル開発機構に改組。現原子力機構）が開発した技術については、六ヶ所ウラン濃縮工場に導入され、国内ウラン濃縮事業の確立に活かされている。

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、核燃料サイクル開発機構との技術協力協定により同機構が培ってきた技術の移転を受けつつ、より高性能で経済性に優れた新型遠心分離機開発に向けて研究開発を進めている。なお、

7 SWU：Separative Work Unit

SWUは、天然ウランを濃縮する際に必要とする濃縮度の濃縮ウランを得るための仕事量を表す単位である。ウラン濃縮度を高めるほど、また、廃棄濃度を低くするほど、SWUは大きくなる。例えば、約0.7%の天然ウランから4%の濃縮ウランを1トン生産するためには、廃棄濃度が0.25%の場合、約5.8トンSWUの分離作業量が必要である。

新型遠心分離機は、平成22年度頃から六ヶ所ウラン濃縮工場へ導入を予定している。

さらに、次世代の技術と考えられる原子レーザー法によるウラン濃縮技術については、昭和62年度から平成11年度までの研究開発により、各要素技術を商業規模のレベルまで高めることができた。しかし、当面は実用技術としての確立が求められる環境にはないことなどから、将来、外部環境が整い実用化が必要になった時点で円滑に対応できるよう成果の取りまとめを行うこととし、要素機器を組み合わせたシステム全体の性能を評価するために、平成13年度までウラン濃縮試験を実施した。

また、再処理により回収されるウランについても、経済性及び利用可能量の観点から、再濃縮によるリサイクル利用を図っている。平成8年9月より平成9年5月までと、平成9年12月より平成10年3月までの2回にわたり、動力炉・核燃料開発事業団（当時。現原子力機構）のウラン濃縮原型プラントにおいて、回収ウランの濃縮が行われた。

表3-1-8 回収ウラン利用実績（平成17年3月末）

電 力	プラント	装荷時期	装荷体数
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
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2号機	平成17年	24体
四国電力（株）	伊方3号機	平成15年	12体
日本原子力発電（株）	敦賀2号機	平成14年	24体
九州電力（株）	川内2号機	平成17年	12体

図3-1-17 青森県六ヶ所村 日本原燃（株）ウラン濃縮工場



図3-1-18 原子燃料サイクル施設の位置



核燃料成型加工・再転換

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。再転換事業については、平成11年9月にJCO事故が発生し、それ以降は我が国では三菱原子燃料（株）のみが再転換業務を実施している。これにより、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、BWR用のものについては、そのほとんど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、PWR用、BWR用ともに必要とされる燃料の大部分を国内で生産している。

諸外国のウラン濃縮の状況

アジア地域の需要増加により、今後、世界全体の濃縮需要は徐々に増加するものと見られている。主要国の状況を以下に示す。

ア) 米国

ウラン濃縮事業はエネルギー省（DOE）の所管であったが、平成4年（1992年）10月に成立したエネルギー政策法により公社化されることとなり、平成5年（1993年）7月に合衆国濃縮公社（USEC）が発足、平成9年（1997年）7月に米国政府が民営化の実施を承認し、平成10年（1998年）1月に民営化プロセスが開始された。オハイオ州ポーツマス、ケンタッキー州パデューカのガス拡散法による2工場は、老朽化による生産性の低下により平成13年（2001年）5月にポーツマス工場が操業を停止し、現在はパ

デューカ工場のみが生産運転を行っており、このような状況の中、将来的に生産能力を確保するために、USECは遠心分離法を用いた新たな濃縮工場の建設計画を進めており、平成15年（2003年）2月にオハイオ州に先行カスケード工場の建設を行うための許認可申請を原子力規制委員会（NRC）に提出している。また、米国電力会社と欧州の濃縮会社URENCO社との合併会社であるルイジアナ・エネルギー・サービス社も、テキサス州に遠心分離法による新たな工場の建設計画を進めている。

なお、原子レーザー法による濃縮技術については、平成6年（1994年）からローレンス・リバモア国立研究所において技術開発を進められてきたが、平成11年（2001年）6月に中断している。

イ）フランス

フランス、イタリア、スペイン、ベルギー及びイランの合併会社であるユーロディフ社が、トリカスタンにおいてガス拡散法による工場を操業しており、我が国の濃縮役務需要の一部を賄っている。

ウ）その他

英国、ドイツ及びオランダの合併会社であるウレンコ社が、カーペンハースト（英国）アルメロ（オランダ）、グロナウ（ドイツ）において濃縮工場の操業を行い、また、ロシアでは、ロシア連邦原子力庁が、遠心分離法による濃縮工場での操業を行っている。

（3）軽水炉による混合酸化物（MOX）燃料利用（プルサーマル）

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、軽水炉でウラン・プルトニウム混合酸化物（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4,900体の実績（平成16年12月末現在）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。

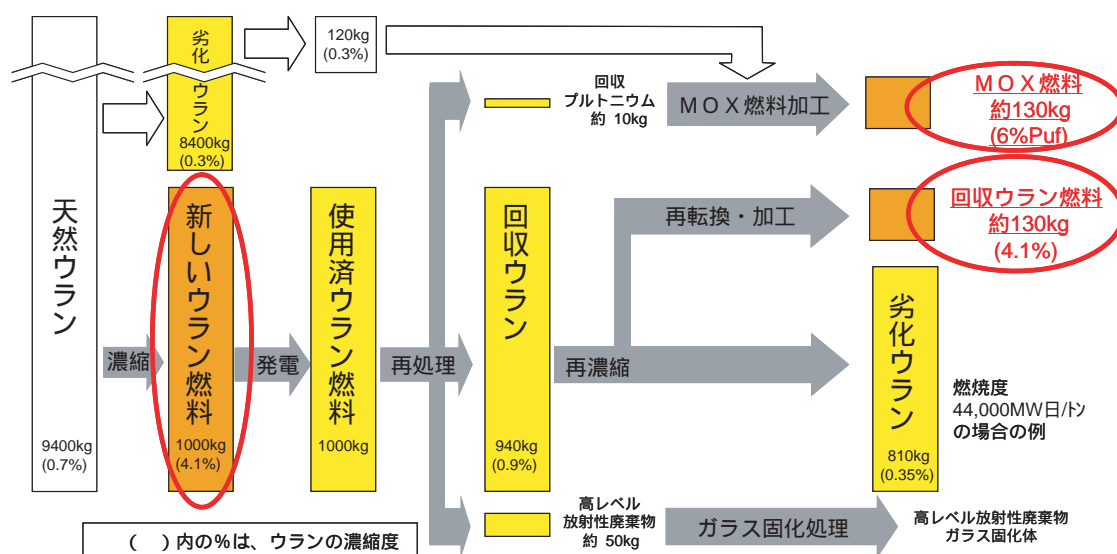
平成9年2月には、「現時点で最も確実なプルトニウムの利用方法であるプルサーマルを早急に開始することが必要である」とする閣議了解が行われ、これを踏まえて橋本総理大臣（当時）から、福島県、新潟県及び福井県の三県の知事に対し閣議了解の説明及び協力要請が行われた。電気事業者においても、これにあわせて平成22年度までに16～18基の軽水炉においてプルサーマルを順次実施するプルサーマル計画を取りまとめ公表した。

プルサーマルについては、「エネルギー基本計画」（平成15年10月閣議決定）において、「核燃料サイクルの重要な前提である使用済燃料の再処理によって発生するプルトニウムの確実な利用という点で、当面の中軸となるプルサーマルを着実に推進していくものとする。このため、電気事業者は、関係住民等の理解を得つつ、プルサーマルを計画的かつ着実に進めることが期待される。これと併せて、国としても国民の理解を得る活動を前面に出て実施すること等により、プルサーマルの実現に向けて政府一体となって取り組むこととする。」としている。また、平成17年に策定した「原子力政策大綱」において

も、「我が国においては、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という基本の方針を踏まえ、当面、プルサーマルを着実に推進することとする。」としている。

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」を取得した。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、了承された。同日、四国電力（株）は、「原子炉設置変更許可」を申請し、平成17年7月現在、原子力委員会及び原子力安全委員会において審査が行われている。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た。中部電力（株）は、平成17年9月、浜岡原子力発電所4号機において、プルサーマルを実施する計画を公表し、静岡県、御前崎市等に説明した。

図3-1-19 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）

MOX燃料加工

我が国では、独立行政法人日本原子力開発機構（以下、本節において「原子力機構」と呼ぶ。（旧サイクル機構））を中心として、新型転換炉、高速増殖炉等のMOX燃料加工の研究開発を実施してきており、その加工実績も平成17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。

現在の燃料製造設備能力は、高速増殖炉燃料製造施設プルトニウム燃料第三開発室FBRラインの5トンMOX/年である。

また、日本原燃（株）は、平成12年11月にMOX燃料加工事業に係る事業主体となることを表明し、平成24年4月の操業を目指してわが国初の民間MOX燃料工場（最大加工能力は年間130トン・HM）を建設することとしており、平成13年8月に青森県及び六ヶ所村に対して立地協力要請を行った。青森県は、平成13年9月にMOX燃料加工施設に係る安全性チェック・検討会を設置し、県民の視点から検討を重ね、平成14年4月に報告書を取りまとめ、さらに、住民説明会等が開催された。その後、六ヶ所再処理工場における使用済燃料受入れ・貯蔵施設のプール水漏えい等の問題により検討は中断されていたが、日本原燃（株）の品質保証体制が改善されたこと等を受け、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出された。

海外再処理により回収されるプルトニウムについては、基本的には欧州においてMOX燃料に加工し、我が国の軽水炉で利用する予定である。このためのMOX燃料加工については、平成7年4月東京電力が、同年12月には関西電力が、それぞれベルギー、英国で加工を行うべく契約を締結した。平成9年2月には、ベルギーでの加工のため移転される我が国起源の核物質が平和目的以外に転用されないことなどについて保証を得るため、我が国政府と欧州共同体委員会との間及びベルギー政府との間で交換公文が取り交わされた。なお、東京電力（株）は平成9年（1997年）5月にベルゴニュークリア、関西電力（株）は平成10年（1998年）1月に英国核燃料会社（BNFL）の各燃料製造会社でそれぞれ加工開始し、加工を完了した燃料は、各発電所に搬入されたが、BNFLによる品質管理データ改ざんにより、関西電力（株）向けのMOX燃料はBNFLに返還された。

図3-1-20 原子力機構東海研究センター 再処理施設



軽水炉使用済燃料再処理

我が国は、使用済燃料の再処理について、これまで、原子力機構東海研究センター再処理施設において行うほか、英国核燃料会社（BNFL（現在の再処理事業の実施主体はBNGS））及び仏国核燃料会社（COGEMA）への再処理委託契約により実施してきた。

我が国初の再処理施設である原子力機構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17年12月末までに、約1,102トンUとなっている。

また、日本原燃（株）は、青森県六ヶ所村に年間再処理能力800トンUの再処理工場を平成19年8月の操業開始に向けて建設中である。平成17年11月現在の建設工事進捗率は約96%であり、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）を開始するなど試運転を進めており、平成16年12月からはウラン試験が開始された。今後、使用済燃料を使ったアクティブ試験を実施することとしている。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を開始し、平成17年12月の使用済燃料の受け入れ量は約1,541トンUとなっている。

一方、我が国の電気事業者は、BNGS及びCOGEMA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COGEMA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フランスに輸送されている。

使用済燃料は、再処理されるまで適切に貯蔵・管理することとしており、各原子力発電所の貯蔵プールには、平成17年9月末現在、合計11,570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の貯蔵プールの中には貯蔵容量が比較的小さいものがあり、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、対策が講じられている。

我が国における再処理技術に関する研究開発においては、原子力機構などにおいて行われており、同機構では、前述の東海研究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）六ヶ所再処理施設に反映させるなど、技術協力を進めている。また、現在高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究の実施により、再処理法についても、乾式再処理を含めた複数の実用化候補概念における技術的課題等の明確化を図るとともに、今後の研究開発計画の提示に向けた研究を進めている。

また、同機構の燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF⁸）では、臨界安全性に関する研究、高度化再処理プロセスに関する研究、TRU廃棄物の安全管理技術に関する研究などについて、ホット試験⁹を実施している。

8 NUCEF：Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility

9 ホット試験：実際に放射性物質を用いて行う試験。

表 3-1-9 海外再処理委託の状況

(単位：tU)

	BNFL	COGEMA	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

図 3-1-21 青森県六ヶ所村 日本原燃（株）再処理工場



表3-1-10 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

（2005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	320	420
東北電力	女川	260	60	300	790
東京電力	福島第一	580	150	1,430	2,100
	福島第二	520	140	1,040	1,360
	柏崎刈羽	960	250	1,980	2,800
中部電力	浜岡	570	140	840	1,580
北陸電力	志賀	60	20	80	160
関西電力	美浜	160	50	310	620
	高浜	290	100	1,020	1,370
	大飯	360	120	1,160	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	730	1,060
	川内	140	50	670	900
日本原子力発電	敦賀	140	40	540	870
	東海第二	130	30	310	420
合計		4,880	1,380	11,570	17,860

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3-1-22 燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）



(4) 使用済燃料中間貯蔵

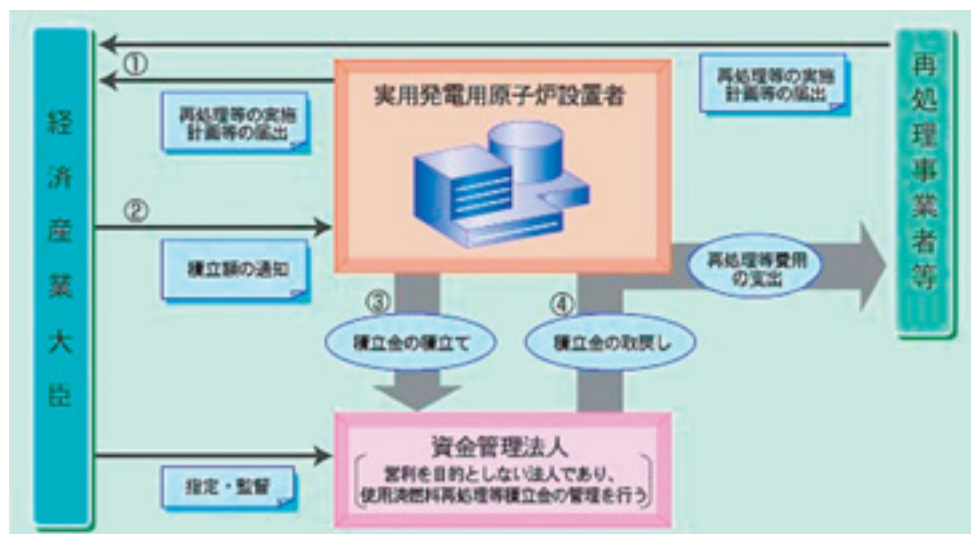
使用済燃料貯蔵対策については、今後長期的に使用済燃料の貯蔵量が増大するとの見通しを踏まえ、平成9年2月の閣議了解に基づき、科学技術庁（当時）、通商産業省（当時）及び電気事業者からなる使用済燃料貯蔵対策検討会にて同年3月から実務的な検討を行い、使用済燃料を中間的に貯蔵することを目的とした施設を2010年までに確実に操業開始できるよう取り組むことが必要であるとの報告をまとめた。これを受け、平成10年6月の総合エネルギー調査会原子力部会（当時）中間報告において、中間貯蔵施設の必要性を述べ、その中で貯蔵対策必要量等について言及された。引き続き、使用済燃料の貯蔵事業が可能となるように法整備がなされ、平成11年6月に原子炉等規制法の一部改正が行われた。

現在、事業者が操業に向け施設の立地を進めている。その中、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））を設立した。同社の計画では、最終的貯蔵量は5,000トンであり、平成22年頃までに操業開始の予定である。

(5) 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とを受け、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・措置について検討を行い、平成16年8月に総合資源エネルギー調査会電気事業分科会中間報告「バックエンド事業に対する制度・措置の在り方について」において、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・運営の実施主体としては、積立金の公共性に鑑み、外部の法人とすることが適当との報告をまとめた。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月より施行された。

図3-1-23 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

（６）核燃料サイクルを巡る諸外国の動向

原子力の平和的利用を進める上で核燃料サイクルを行うこととしている国は、フランス、英国、ドイツ、スイス、ベルギー、日本などである。ドイツは、今後再処理を行わない方針であり、スイスも凍結、ベルギーも凍結の見込みである。他方、核燃料サイクルを行わないこととしている国としては、カナダ、スウェーデンなどがある。

原子力政策の選択は、それぞれの国ごとの事情によってなされるものであるが、核不拡散の動向やエネルギー資源の状況によるところが大きく、また、経済性の比較、環境への負荷度の評価も大きな要素であると考えられる。特にエネルギー資源の状況に関しては、ウラン資源の需給動向が大きな要素であり、各国の核燃料サイクルへの取組に影響を与えている。

使用済燃料の再処理

平成15年（2003年）現在の世界の再処理設備容量を表3-1-11に示す。

（ア）フランス

自国内で再処理を実施するとともに、外国からの委託再処理も実施している。また、軽水炉でのプルトニウム利用など核燃料サイクルを積極的に推進しており、平成10年（1998年）12月に高速増殖実証炉スーパーフェニックスは閉鎖されたものの、核燃料サイクルの方針については変わっていない。

COGEMAは、ラ・アーグにUP-3（処理能力：軽水炉燃料1,000トン／年、操業開始：平成2年（1990年））及びUP2-800（処理能力：軽水炉燃料1,000トン／年、操業開始：平成6年（1994年））の2つの再処理工場を有している。

表3-1-11 世界の主な再処理施設

フランス	UP2-800	1,000トンU / 年	(軽水炉燃料 (MOX燃料含む)) *
	UP3	1,000トンU / 年	(軽水炉燃料 (MOX燃料含む)) *
英 国	THORP	1,200トンU / 年	(軽水炉燃料等)
	B205	1,500トンU / 年	(ガス炉燃料)
ロシア	RT-1	400トンU / 年	(軽水炉燃料)
日 本	JAEA東海再処理	90トンU / 年	(軽水炉燃料等) **
	六ヶ所再処理	800トンU / 年	(軽水炉燃料) ***

* ただし、2機合計の処理能力は1700トンU / 年

** 日本の再処理設備容量 (原子力機構東海再処理工場) は0.7トン / 日であり、年間70 ~ 90トンUの再処理実績がある。

*** 建設中

図3-1-24 ラ・アーグ再処理工場 (フランス、ラ・アーグ)



(イ) 英国

セラフィールドの再処理工場 B-205 プラント (処理能力1,500トンU / 年 (天然ウラン)) に加え、平成6年 (1994年) 1月よりセラフィールドにおいて、1,200トンU / 年の処理能力を有する軽水炉燃料の再処理工場 (THORP¹⁰) の操業を開始した。

なお、平成17年 (2005年) 4月にTHORPで放射性溶液の漏えいが発見され、現在運転を停止している。

10 THORP : Thermal Oxide Reprocessing Plant

図3-1-25 THORP（英国、セラフィールド）



（ウ）ドイツ

再処理・プルトニウム利用の推進が基本であったが、E C 統合などの背景の下、平成元年（1989年）に自国内での再処理方針から、英国、フランスに再処理委託を行っていく方針に変更した。

また、平成14年（2002年）4月に施行された改正原子力法では、再処理のための輸送を平成17年（2005年）6月までとするとともに、中間貯蔵施設を設置することとした。

（エ）ロシア

自国内で再処理を進めており、昭和51年（1976年）に運転開始した再処理工場R T - 1によりV V E R -440の使用済燃料の再処理を実施している。

（オ）中国

核燃料サイクル政策を進めており、使用済燃料は基本的に自国で再処理することとしている。このため、再処理のパイロットプラントの建設を進めており、さらに、大規模再処理工場を平成32年（2020年）頃に操業することを計画している。

MOX 燃料利用

プルトニウムの軽水炉による利用については、主として欧州で実績が積み重ねられている。

表3-1-12 軽水炉でのMOX燃料利用

(平成16年12月現在)

国名	装荷年	装荷体数
アメリカ	昭和39年(1964年)～昭和60年(1985年)	91
ドイツ	昭和41年(1966年)～	1,828
フランス	昭和49年(1974年)～	2,270
スイス	昭和53年(1978年)～	304
ベルギー	昭和38年(1963年)～	305
イタリア	昭和43年(1968年)～昭和57年(1982年)	70
オランダ	昭和46年(1971年)～平成5年(1993年)	7
スウェーデン	昭和49年(1974年)～昭和54年(1979年)	3
日本	昭和62年(1986年)～平成3年(1991年)	6
インド	平成6年(1994年)～	10
合 計		4,894

(ア) 米国

平成14年(2000年)9月に米国とロシアの間で締結された「核軍縮に伴う余剰プルトニウムの処分に関する協定」に基づく余剰プルトニウム処分のため、DCS社(デューク・コジェマ・ストーン&ウェブスター社)によりMOX燃料加工施設(MFFF、年間:3.5tPuの核兵器解体プルトニウムを処理)がサバンナリバー・サイト(サウスカロライナ州)で平成15年(2005年)10月に着工された。

MFFFで製造されたMOX燃料は米国内のPWRにおいて使用される計画であり、これに先立ち、フランスCOGEMA社において製造された4体の先行照射試験用MOX燃料が平成15年(2005年)6月にデュークパワー社のカトーバ1号機(PWR、112.9万kW)に試験装荷された。

(イ) ベルギー

デッセルにおいてベルゴニュークリア社が40トンHM/年のMOX燃料加工工場を操業中である。

平成5年(1993年)12月、ベルギー議会は2基の軽水炉へのMOX燃料装荷を承認した。ベルギーでは、昭和38年(1963年)から昭和62年(1987年)まで研究炉BR-3(PWR、1万kW)においてMOX燃料を合計151本装荷した経験を有しており、平成7年(1995年)からチアンジェ2号機(PWR、94.1万kW)及びドール3号機(PWR、105.6万kW)においてMOX燃料が装荷されている。

(ウ) フランス

昭和62年(1987年)から軽水炉でのプルトニウム利用を開始し、平成8年(1996年)には11基の90万kW級軽水炉でプルトニウムのリサイクルを行っている。これまでに20基でMOX燃料が装荷されている。燃料加工に関しては、マルクールにおいてCOGEMA、フラマトムが共同で建設した120トンHM/年のMELOXが、平成7年(1995年)に操業を開始し、現在、145トンHM/年で操業中である。また、40トンHM/年で操業

を行ってきたカダラッシュの工場は平成15年（2003年）9月に商業生産を中止した。

（エ）ドイツ

1960年代よりMOX燃料を試験的に使用し、1980年代からは本格的に展開して、現在は10基の軽水炉でMOX燃料を使用している。

（オ）英国

BNGSが、セラフィールドにおいて8トンHM/年のMOX燃料加工実証プラント（MDF）を運転してきたが、現在、商業生産を中止している。また、BNGSは120トンHM/年のセラフィールドMOXプラント（SMP）の建設を平成6年（1994年）4月に開始しており、平成13年（2001年）12月に操業が開始されている。

高速増殖炉の開発

（ア）米国

核不拡散などの観点から研究開発を中断しているが、原子力開発当初から高速増殖炉研究開発に着手しており、相当の技術的蓄積を有している。また近年、米国エネルギー省が中心となって次世代原子力システムの開発に関し、各国と共同研究を行うべく、第4世代原子力システムに関する国際フォーラムを積極的に推進しており、本枠組みの下での研究開発の対象の一つとして高速炉に対して関心を示している。

（イ）フランス

平成10年（1998年）に経済性等の理由から実証炉スーパーフェニックス（124万kW）の放棄を決定したが、原型炉フェニックス（25万kW）による研究開発は平成20年（2008年）まで継続される。また、米国と共に国際フォーラムに対して積極的に取り組んでおり、高温ガス冷却高速炉に対して高い関心を示している。

（ウ）英国

原型炉（25万kW）を約20年間運転し、開発成果を蓄積してきた。平成6年（1994年）3月に運転を終了した。

（エ）ロシア

実験炉BOR-60（1.2万kW）、原型炉BN-600（60万kW）などを運転するとともに、これに続くBN-800（80万kW）の建設計画を有するなど高速増殖炉の研究開発を積極的に推進している。また、フランスとともに高速増殖炉の研究開発に長期的視点から取り組んでいる。

（オ）中国

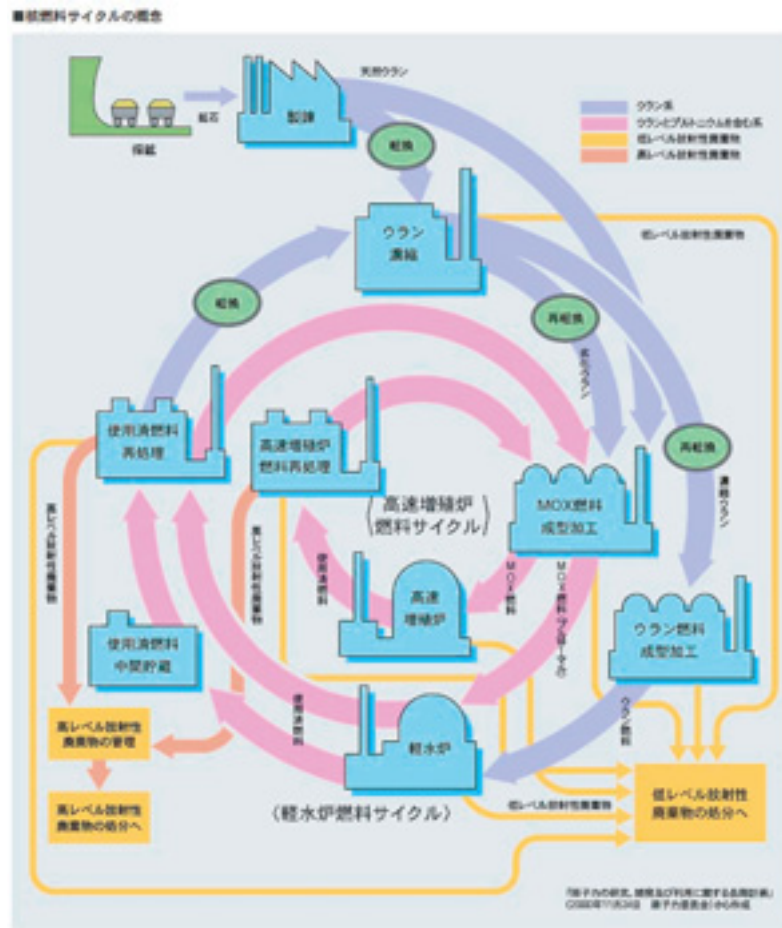
高速増殖炉開発を積極的に進めており、実験炉CEFR（2.5万kW）を建設中である。

（カ）インド

高速増殖炉としてはナトリウム冷却炉の開発を積極的に進めており、昭和60年（1985

年)に実験炉F B T R (1.3万kW)を臨界させ現在も運転中である、平成22年(2010年)完成を目指して原型炉P F B R (50万kW)を建設中である。

図3-1-26 核燃料サイクルの概念



2 放射線利用

放射線利用技術は、学術、工業、農業、医療の分野で重要な役割を果たしているが、その特徴を伸ばし、問題を克服する努力を継続的に推進して、この技術が引き続き学術の進歩、産業の振興及び人類社会の福祉と国民生活の水準向上に広範囲に貢献していくことができるようにする。

1. 各分野における進め方

(1) 放射線利用環境の整備

放射性同位元素及び放射線発生装置の利用状況

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）に基づく放射性同位元素（R I）または放射線発生装置の使用事業所は、平成17年3月末現在、

4,583事業所に達している。これを機関別に見ると、民間企業1,880、研究機関590、医療機関852、教育機関483、その他の機関778である。

また、密封放射性同位元素の使用事業所数は3,670である。コバルト60は医療用具の滅菌等の照射装置やレベル計に、ニッケル63はガスクロマトグラフ装置に、クリプトン85は厚さ計に、ストロンチウム90はたばこ量目制御装置に、セシウム137はレベル計、密度計等に、イリジウム192は非破壊検査装置に、アメリカシウム241は厚さ計、密度計などに主に使用されている。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利用されているほか、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。

放射線障害防止法に定める放射線発生装置は、平成17年3月末現在、1,304台に達している。放射線発生装置の71.1%は医療機関に設置され、がん治療などに利用されている。また、25.6%が教育機関、研究機関、民間企業などに設置され、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、イオン注入装置等も民間企業などに多数設置され、幅広く利用されている。

関係機関における取組

文部科学省においては、地方の研究開発機関等の放射線利用に関わる人材育成の観点から、電源開発促進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、技術研修を実施している。

原子力機構高崎研究所においては、大型照射施設や各種の加速器により、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、放射線利用に関する研究開発を進めている。

社団法人日本アイソトープ協会においては、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、放射性同位元素に関する供給から廃棄物処理までの一貫した体制を通して、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。

財団法人放射線利用振興協会においては、放射線利用に関する普及啓発活動、原子力機構（旧原研）の施設を利用した種々の試験照射等を実施している。

表3-2-1 おもな非密封アイソトープの供給量の推移（平成17年3月末現在）

（単位：MBq）

核種	年度	平成 12 年度	平成 13 年度	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度
³ H		790,134	788,760	736,208	471,123	4,208,400
¹⁴ C		338,516	388,553	299,729	298,153	371,932
²² Na		348	442	592	289	315
³² P		785,499	689,457	654,959	505,918	433,445
³³ P		41,214	43,005	41,946	39,063	51,814
³⁵ S		309,022	302,653	284,505	259,805	225,080
⁴⁵ Ca		5,291	6,858	6,327	3,737	4,524
⁴⁶ Sc		21	-	-	-	37
⁵¹ Cr		125,774	112,596	113,658	100,724	93,875
⁵⁴ Mn		307	122	226	189	145
⁵⁵ Fe		222	1,077	814	703	407
⁵⁷ Co		1,018	430	339	296	604
⁵⁹ Fe		12,964	12,455	10,166	13,376	12,573
⁶⁰ Co		136	124	196	341	189
⁶³ Ni		185,563	725,776	259,872	482,057	518,539
⁶⁴ Cu		259	37	-	-	-
⁶⁵ Zn		493	208	85	160	217
⁶⁷ Ga		666	666	999	925	703
⁶⁸ Ge		1,591	1,850	1,887	1,295	2,335
⁷⁵ Se		376	189	341	112	441
⁸⁵ Kr		152,831	190,919	201,658	333,740	424,391
⁸⁵ Sr		474	191	185	557	298
⁸⁶ Rb		2,812	5,032	8,732	5,550	2,812
⁹⁹ Mo		120,363	216,820	101,972	142,450	114,700
^{99m} Tc		24,901	27,779	49,287	28,083	77,589
⁹⁹ Tc		4	2	2	104	62
¹⁰³ Ru		111	189	-	74	-
¹⁰⁹ Cd		593	48	899	267	167
¹¹¹ In		2,335	3,700	2,664	2,257	1,998
¹¹³ Sn		93	23	4	24	10
¹²³ I		444	5,772	5,852	7,670	5,772
¹²⁵ I		577,111	314,476	324,763	271,854	268,321
¹³¹ I		60,395	71,893	120,012	133,036	224,864
¹³³ Xe		2,800	4,050	3,600	2,000	1,110
¹³⁷ Cs		1,693	915	21	600	858
¹⁴¹ Ce		130	148	74	167	74
¹⁴⁷ Pm		2,220	2,960	6,660	-	3
²⁰¹ Tl		1,221	999	4,625	2,368	2,519
²⁰³ Hg		37	-	-	4	-
²⁰⁴ Tl		-	370	-	370	40

注）100MBq以下の核種については省略した。

（出典：放射線利用統計 2005年）

表3-2-2 発生装置の使用許可台数（平成17年3月末現在）

装置の種類	機関	総数（構成比）	医療機関	教育機関	研究機関	民間企業	その他の機関
総 数		1,304	927	66	135	140	36
（ 構 成 比 % ）		（ 100 ）	（ 71.1 ）	（ 5.1 ）	（ 10.4 ）	（ 10.7 ）	（ 2.8 ）
サイクロトロン		137 （ 10.5 ）	86	1	16	32	2
シンクロトロン		30 （ 2.3 ）	3	5	17	4	1
シンクロサイクロトロン		- （ - ）	-	-	-	-	-
直線加速装置		963 （ 73.8 ）	813	17	39	64	30
ベータトロン		3 （ 0.2 ）	1	-	2	-	-
ファン・デ・グラーフ加速装置		41 （ 3.1 ）	-	16	24	-	1
コッククロフト・ワルトン加速装置		79 （ 6.1 ）	-	23	26	28	2
変圧器型加速装置		18 （ 1.4 ）	-	-	9	9	-
マイクロトロン		32 （ 2.5 ）	24	4	1	3	-
プラズマ発生装置		1 （ 0.1 ）	-	-	1	-	-

（ 出典：放射線利用統計 2005年 ）

（ 2 ）放射線の生体影響研究と放射線防護

原子力関連施設の事故や医療被ばくなど、放射線利用の増加に伴う放射線被ばくの影響について、国民が大きな不安と関心を持つところとなった。今後、低線量域での放射線の影響を解明すると同時に、原子力エネルギー利用や放射線の医学利用のみならず、宇宙空間を含めたすべての放射線環境からの放射線被ばくに伴う健康リスクの大きさを把握し、それを左右する要因を明らかにすることで、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とともに、国民に対し、放射線被ばくによる人体影響及びリスクに対する正確な理解を促す必要がある。

原子力関連施設の事故等の災害に対しては、万が一の事態に備え、諸外国を含め、治療等の対応技術に関する情報交換、研究協力及び人的交流等を行い、外部の高度専門医療機関も交えた上で緊急時の被ばく医療のため、より効果的なネットワークを形成し、緊急時の医療体制・支援体制を確立しなければならない。

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、国から与えられた役割を適切に果たすため、原子力安全委員会における緊急被ばく医療体制に関する検討結果等を踏まえ、緊急時の医療体制・支援体制の確立を目指すとともに、放射線の生体影響に関する広範な研究や高線量被ばくの生体影響の検証を通じ、その放射線障害発生のメカニズムについて研究し、急性放射線障害に対する新しい治療法の実験レベルでの確立や、効果的な体内除染剤の投与法や放射線障害低減化剤等の開発の基礎となる物質の同定等の研究開発を行っている。

平成11年に東海村で起きた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た。中性子による重要な影響として発がん及び白血病が挙げられるが、放射線医学総合研究所では、中性子被ばくと発ガンなどの関連性を解明するためマウスなどを用いた動物実験が行われており、一方、原子力機構（旧原研）では、シミュレーション計算手法を用いてこの動物実験を物理学的観点から解析し、協力している。

原子力機構では、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を行うとともに、原子力利用の基盤を支えるエネルギーシステム研究や原子力施設の安全性研究等の研究開発における放射線安全を確保するため、環境放射線管理、施設放射線管理及び線量管理を行っている。

特に、原子力施設の事故により大気中への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備え、米国のスリーマイル島原子炉事故後の昭和55年から緊急時環境線量情報予測システム（SPEEDI）を開発した。開発終了後、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」として運営している。その後、大気拡散の予測精度を決定する最大の要因となる局地気象予報性能の向上を主目的として、大気力学モデルをSPEEDIに導入するなど、改良を行っている。また、国外の事故に対応するために、SPEEDIの世界版（WSPEEDI）も開発しており、現在、さまざま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）を構築中である。

（3）医療分野

放射線の医療への利用は、1895年11月のX線発見とその2ヶ月後のがん治療への適用に始まり、近年、高エネルギー陽子線を利用した治療施設などが国内の数カ所に設置され、身近な医療施設となりつつある。さらに、中性子を利用したホウ素中性子捕捉療法（BNCT）やがんの特異的に集積するR I 標識化合物による治療など新たな試みも進められている。放射線が医療に応用されるようになって100年以上が経過した昨今、放射線診療は、患者の身体的負担の少ない診療を実現する手段の1つとして確固たる地位を確立している。

放射線は人体等の物質を透過する性質を持つので、これを利用して古くから人体内部を観察し、病気の診断を行うために使われてきた。写真フィルムを用いた古典的な画像診断はもちろん、人体を透過した放射線の計測データをコンピュータ処理して画像を作るX線CT*なども広く普及している。また、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*やSPECT*、PET*など）も実用化されており、形態のみならず、人体の機能を画像化することも可能となっている。最近では、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、新しい技術による放射線診断技術の開発も進んでおり、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。

放射線は、その細胞殺傷能力を利用してがん等の治療にも応用されている。がんは我が国における死亡原因の第1位を占め、その克服は国民の悲願でもある。放射性ラジウ

ムをがん組織に埋め込んで治療する方法は古くから行われており、最近では放射性イリジウムによるより良質な治療も普及してきた。また、放射性コバルトから放出される線や、放射線発生装置で作られるX線を体外から照射する方法も広く用いられ、外科手術に比べて患者の身体的負担が少ない治療法としてがん治療の一翼を担っている。最近では、陽子線や重粒子線などの粒子線によるがん治療の研究開発も進んでいる。独立行政法人放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置（HIMAC）が使用している炭素線は体内での線量集中性及び生物効果においてがん治療に適した性質を持つと期待される放射線であり、放射線医学総合研究所では平成6年6月より重粒子線がん治療の臨床試験を開始し、頭頸部、肺、肝臓、前立腺、骨・軟部等の腫瘍を中心に平成17年12月までに2,500例を超える臨床例を蓄積してきた。治療効果の有効性、安全性が実証されたため、平成15年11月より高度先進医療による治療も開始され、難治がんへの適応疾患拡大等のための臨床試験と並行して実施されている。平成15年に文部科学大臣と厚生労働大臣により策定された「第3次対がん10か年総合戦略」では、粒子線治療の臨床的有用性の確立及び治療装置の小型化等が重点研究課題として指定され、また、がん研究・治療の中核的拠点機能の強化等として、放射線医学総合研究所を中心に重粒子線治療など、放射線治療の研究開発を行うことが求められている。今後、放射線医学総合研究所では、重粒子線がん治療の普及をめざすこととしている。

また、放射線の医療への応用にあたり、より少ない被ばく量での診断、より少ない副作用での治療をめざすための研究も広範に行われている。

図3-2-1

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線発生装置が身体の周りを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。



用語解説

CT: コンピュータ断層撮影

人体周囲横方向の種々な角度からX線を照射し、その投影像をコンピュータにより処理して人体内部の二次元的な断面像を取得し、さらに照射位置をずらしていくことにより、3次元像を合成する装置。がんや脳卒中などの診断に用いられる。

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。ラジオアイソトープの時間的な変動、取り込まれ方などで血流や、臓器の機能を推測することが可能。肝臓がんの発見に効果。

SPECT: シングルフォトンエミッションCT

(Single Photon Emission Computed Tomography)

体内に投与された放射性同位元素から発生する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。

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。

重粒子線がん治療装置

(ア) 研究の経緯

放射線医学総合研究所（放医研）の重粒子線がん治療装置（HIMAC: Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）は、昭和59年に始まった「対がん10カ年総合戦略」の一環として建設され、医療を目的とした重粒子加速器としては世界初のものである。平成6年6月21日には、HIMACから発生される炭素線を用いてがん治療臨床試験が開始された。また、がん治療と同時に、国内外の生物・物理工学研究にも供される多目的共同利用施設として稼働してきた。

HIMACによる重粒子線がん治療は、平成15年10月には、それまでの臨床試験で示した抗腫瘍効果と安全性に基づき、厚生労働省より「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の承認を受け、平成15年11月1日より実施している。なお、平成6年から平成17年12月までに2,500例を超える臨床例を蓄積してきた。

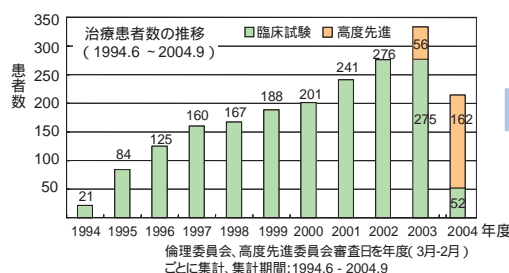
(イ) 重粒子線がん治療の原理と装置の概要

炭素線は、従来の放射線よりも線量集中性に優れ、かつ高い生物効果を有しているため、各種粒子線の中では最もがん治療に適している。そのため、これまで放射線抵抗性が高いと言われてきた難治がんに対しての有効性が示されてきた。また、その生物効果が細胞増殖周期によらないことから、従来の治療よりも治療期間を大幅に短縮できる可能性も期待され、それが実現されつつある。炭素線や陽子線などの荷電粒子線は、共通の性質として、体内でエネルギーが小さくなり止まる寸前で最大の電離を起こし、放射線治療においてはこの性質が非常に有利で、病巣の近くに重要器官があっても比較的安全に高線量を照射出来ることになる。一方、電離放射線の生物作用はDNAに与える損傷によると考えられ、炭素線は光子線や陽子線より生物効果（RBE）は2～3倍大きく、がん治療上都合の良い生物学的特徴を有している。また、炭素線は、各種イオン線のなかでもヘリウムやネオンに比べてピーク部の生物学的効果が大きな値をとり、治療に適した粒子線といえる。

図3-2-2 重粒子線がん治療の進展

これまでの経過

- ・平成6年より炭素線を用いた臨床試験を開始。
- ・平成15年10月、厚生労働省よりの承認。
- ・平成16年9月までに2,010名に適用。



重粒子線がん治療の今後の展開

- ・臨床試験の継続
超難治性がんへの適用の拡大のための高度な治療法の開発等
- ・小型治療装置の開発
- ・照射方法の高度化に関する研究開発等
スポットキャンニング(点描)照射法、呼吸同期照射法などの研究開発

(新計画策定会議(第19回)資料第3号「放射線利用について」より)

(ウ) 現在までの成績と治療体制

平成17年12月までに登録された患者総数は2,500名を超えている。成績を一言でいうのは困難であるが、まとめてみると、炭素線治療は、部位としては、頭蓋底、頭頸部(眼を含む)、肺、肝臓、前立腺、骨軟部組織に対して、組織型では、特に光子線に抵抗性を示す腺癌系(腺癌、腺様嚢胞癌、肝細胞癌)や肉腫系(悪性黒色腫、骨・軟部肉腫など)に対して有効であり、さらに、生物学的線量分布の利点を生かすことにより、短期小分割照射法が有効であった。特に、肺や肝などでは1、2回で治療を終える超短期照射が実施可能で、また比較的照射回数が多い前立腺や子宮癌でも20回/5週照射、頭頸部や骨・軟部では16回/4週照射が可能であった。治療後の有害反応(副作用)についてみると、一部の患者に線量増加に伴い重篤な消化管潰瘍が見られ手術を要するものがいたが、原因が詳細に分析され、照射方法を改善することにより解決可能であった。

肺や肝がんなどでは、短期小分割照射法の有効性が示されたが、これも炭素線の物理生物学的特性を裏付けるものである。肝がんに対しては、一週間に4回分割して照射を行う治療法が平成17年9月より高度先進医療に移行した。また、早期肺がんに対しては、

一日で照射・治療を完了することを目指した臨床試験を継続中である。一方、頭頸部の悪性黒色腫などでは、さらに生存率を向上させるために遠隔転移対策が重要で、炭素線に加えて抗がん剤との併用治療を開始している。

放医研の重粒子線治療は、開始以来一貫して重粒子線治療ネットワーク会議を頂点とする体制で実施されてきた。所内外の専門家および学識経験者から構成される当ネットワーク会議にて評価された疾患別の炭素線治療成績は、表3-2-3のとおりである。

(エ) まとめ

重粒子線治療は上記経過を経て一般医療の仲間入りを果たしたが、次の目標として、本治療法の普及が強く望まれている。放医研では、難治がんに対する臨床試験の継続と適応疾患の拡大を図るとともに、普及型装置の研究開発を推進しており、また、より治療成績を上げるための呼吸同期可能な体幹部へのスポットスキニング照射法やガントリなどの重粒子線治療装置の開発も計画している。さらに、近年、地方公共団体や大学等において施設建設の計画も高まりをみせており、普及に向けた情報提供や、治療関係者の人材育成への取組みも急がれている。

表3-2-3 放射線医学総合研究所における炭素イオン線治療結果

(治療期間：1994年6月～平成15年8月)

プロトコール	相	対象	照射(回/週)	患者数	3年局所制御率	3年生存率
頭頸部-1	I/II	局所進行癌	18/6	15	86%	53%
頭頸部-2	I/II	局所進行癌	16/4	19	76%	42%
頭頸部-3	II	局所進行癌	16/4	182(+2)	78%	46%
頭頸部-5	II	悪性黒色腫	16/4	26	67%	-
肺-1	I/II	I期(肺野型)	18/6	47(+1)	65%	66%
肺-2	I/II	I期(肺野末梢型)	9/3	34	90%	56%
肺-3	I/II	I期(肺門型)	9/3	20	95%	50%
肺-4	II	I期(肺野末梢型)	9/3	49(+1)	98%	68%
肺-6	I/II	I期(肺野末梢型)	4/1	71(+1)	93%	73%
肝-1	I/II	T2～4 N0M0	15/5	24(+1)	77%	50%
肝-2	I/II	T2～4 N0M0	4～12/1～3	82(+4)	87%	48%
肝-3	II	T2～4 N0M0	4/1	44(+3)	90%	88%
前立腺-1	I/II	B2～C	C ion+Hormone	35	100%	94%
前立腺-2	I/II	A2～C	C ion+Hormone	61	100%	97%
前立腺-3	II	T1C～C	C ion+Hormone	151	100%	92%
子宮-1	I/II	III-Iva(扁平上皮癌)	24/6	30	49%	40%
子宮-2	I/II	IIb-Iva(扁平上皮癌)	24/6	14	79%	43%
子宮-3	I/II	IIb-Iva(扁平上皮癌)	20/5	15	58%	58%
子宮腺癌	I/II	II-IVa(腺癌)	20/5	22	55%	68%
骨・軟部-1	I/II	手術非適応	16/4	57(+7)	67%	47%
骨・軟部-2	II	手術非適応	16/4	98(+10)	88%	54%

(4) 農業分野

農業分野では、品種改良、害虫防除、食品照射などの分野において放射線が利用されている。

植物の品種改良では、線などを直接照射することによって140種を超える新品種が作り出されており、その中には台風でも倒れにくいイネ、黒斑病に強いナシ（ゴールド二十世紀）、冬でも枯れない高麗芝などがある。ゴールド二十世紀は、農薬散布を大幅に減らせるため、農業者の健康面でも経済面でも大きな効果を生み出している。また、冬に枯れないが病害虫に弱い西洋芝に比べ、高麗芝は病害虫には強いが冬に枯れてしまうという欠点を持っていたが、線を利用することによりその欠点は改良された。このように農薬使用量の少ない植物は環境保全などに役立っている。最近ではイオンビームで品種改良する研究が急速に進められている。イオンビームはエネルギー付与の特徴から、今までにない新しい品種を高効率に作り出すことができるため、多彩な花色および花形のキクやカーネーションの新品種が作出され実用化された。また、環境耐性や環境浄化に役立つ新品種の作出も試みられている。

図3-2-3 (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))



害虫防除では、不妊虫放飼法¹¹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年から行われてきたが、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、ウリミバエが寄生する果菜類の移動規制が解除され、県外等への出荷ができるようになった。

食品への放射線照射については、食品や農畜産物に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、殺虫などの効果が得られ、食品の保存期間が延長される。特に収穫後の腐敗、害虫などによる食品の損耗にとって食品照射は重要な役

11 不妊虫放飼法：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と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、ついに害虫集団は絶滅する。これを不妊虫放飼法という。応用対象としては、ウリミバエのほか、IAEAがタンザニアで計画しているツエツエバエがある。

割を果たし得ることから、平成5年（1993年）IAEA総会において「開発途上国における食品照射の実用化促進」決議案が採択され、世界では平成15年4月現在、52ヶ国で農作物の損耗防止や食品衛生等のため食品照射が法的に許可されている。また、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が欧米諸国で実用化されている。一方、オゾン層破壊原因物質の臭化メチル代替技術としても食品照射技術の活用が期待されている。

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。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、原研（当時）において確認されている。

図3-2-4 ウリミバエの不妊化図



図3-2-5 ジャガイモへの照射



表3-2-4 食品照射許可国と品目

[illegible]

出典:JAIF データ集(<http://www.jaif.or.jp/>)

(2003年5月末現在、2003年5月許可一覧表に対応：IAEA資料等より)

- (注1) IAEAなどの資料にしたがい、アルファベット順に記載した。このため、じゃがいも、玉ねぎなどの具体的名称の食品類と生鮮野菜や水産物、肉類などの総称的名称の食品類が混在している。また、英語名は別でも日本語に訳すと同類名になる食品は一つにまとめた(例: BEANSとLEGUMES及びPULSES、 CEREAL GRAINSとGRAINS、 CHICKEN MEAT (MECHANICALLY RECOVERED)とCHICKEN MEAT (MECHANICALLY SEPARATED)、 CORNとMAIZE、 EGG(DEHYDRATED)とEGG POWDER、 FROG LEGSとFROG LEGS (FRESH OR FROZEN) 及びFROG LEGS (FROZEN)、 POTATOとWHITEPOTATOS、 SEAFOODとSEAFOOD(FROZEN)、 SHELLFISHとSHELLFISH (FROZEN)、 ROOTSとROOTS AND TUBERS、 POULTRY (MECHANICALLY SEPARATED)とPOULTRY (MECHANICALLY RECOVERED)、 SHRIMPとSHRIMP (FROZEN)、 SOYA FLOURとSOYA POWDER)。さらに、日本名が不明で馴染みのない食品は削除した (TEA,ROOI BUS、 WORS(DRIED))。なお、食品名左欄の一連の数字 (番号) は、上記 ~ の如く日本語への整理方法によって異なり、特別に記載がない限りその増減には意味がない。
- (注2) 右端欄の台湾は、許認可品目は把握しているが実用照射についての情報が皆無であり、許認可品目全てを で示す同時に後半にまとめ表示した。前回 (2004年3月現在) 一覧表と比べ新たにスペインが増えた。なお、これまで通り、実用国リストに記載されていても許認可リストに記載されていない場合 (国名及び食品名) は削除した。
- (注3) ベルギー、ブラジルの野菜由来調味料 (乾燥) 欄の 印は、許可は乾燥野菜全般だが実用表では野菜由来調味料に限定。デンマークのハーブ欄での 印は、許可はハーブ全般だが実用表では芳香性物に限定。フランスのハーブ欄の 印は、許可は乾燥物に限定。韓国の乾燥野菜欄での 印は、許可はニンニク又は乾燥野菜及び野菜由来調味料 (含む乾燥) だが、実用表ではニンニク粉末に限定。オランダのエビ、カエル脚での許可は冷凍物も含む。新たに加わったスペインのハーブ欄の 印は、許可はハーブ全般だが実用表は芳香性物に限定。タイの酵素欄の 印は、許可は乾燥物に限定。英国のハーブ欄での 印は、許可は乾燥物に限定。ベトナムのスパイス欄での 印は、許可はパプリカ粉末に限定。
- (注4) 放射線照射の目的: 根茎菜類などは発芽抑制、生鮮野菜 / 果実などは害虫駆除や成長抑制、穀類や豆類などは害虫駆除、生肉や生魚などは寄生虫及び食中毒性微生物の防除、乾燥野菜や果実、スパイス及び肉類や魚介類の加工品などは害虫駆除及び食中毒性微生物の防除などである。また、許認可には無条件と条件付 (ICGFI資料では条件の詳細は不明) がある。ICGFIの元資料は、許可国一覧と同じく、<http://www.iaea.or.at/iaefi/>で見ることができる。

(5) 工業分野

放射線の透過性を利用して、製紙業界などにおける厚さ、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に広く利用されている。平成17年3月現在、厚さ計が432事業所で2,550台、レベル計が163事業所で1,339台、非破壊検査装置が106事業所で873台である。一方、放射線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。

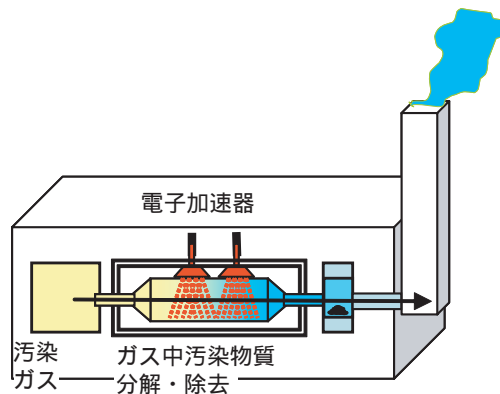
放射線工業利用のうち、半導体加工については、半導体の微細加工は、露光、エッチング、不純物添加（ドーピング）、成膜等の要素技術で構成されており、それぞれに数多くの電磁波や粒子ビームが利用されている。それらの中には電子線、X線、イオンビーム等の電離能力をもった電磁波や粒子が含まれている。露光の主要工程である一括露光に関しては、現在短波長のレーザービームが主役であるが、素子の微細化の進展によって近い将来短波長化が更に進んでX線が主役になると見込まれている。また、電子線を用いた放射線（高分子）加工分野では、自動車タイヤ、テレビに使われる耐熱電線・ケーブル、熱収縮チューブ・フィルム、発泡プラスチック、分解・硬化・グラフト等の製造に利用されている。特に、放射線橋かけをメカニズムとした自動車タイヤの加工に用いられており、ラジアルタイヤの製造では、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。

(6) 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、電子線で排煙を照射することで除去できる。そのとき排煙にアンモニアを加えておくと、硝安や硫安などの肥料に変えることができる。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、電子線がゴミ燃焼排煙中ダイオキシンの分解に有効であることも明らかにされ、実用化への検討が進められている。

図3-2-6 電子線を用いた排煙処理



(7) 基礎研究分野

ライフサイエンス分野では、DNA塩基配列の決定、蛋白質などの構造解明や合成、物質代謝、免疫応答など高度な分析が必要な研究において放射性同位元素（R I）が利用されている。その他、植物に対する施肥効果、家畜の代謝の研究などにも利用されている。また、植物の微量元素の呼吸を調べるためには、放射化分析が利用されている。今後は、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¹²を利用することが期待されている。

一方、試料に含まれるR Iの崩壊状況を測定することにより、その年代を知ることができるため、考古学の分野でも利用されている。また、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の開発が進んでいる。

12 マルチトレーサー：物質の中にR I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R I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R I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。