

原子力エネルギー の展望

原子力エネルギーと 気候変動への取り組み

序論

原子力発電はCO₂を
発生させるか？

現在原子力はどの程度
利用されているか？

原子力発電能力の
急速な拡大は可能か？

核燃料の供給は十分か？

安全、廃棄物、核拡散
問題について懸念
はないか？

補足資料

問い合わせ先

序論

気候変動問題の解決に向けた取り組みにおいては、温室効果ガスの削減がエネルギー政策の主な柱となっている。そして多くの人々が、化石燃料に大幅に依存しているエネルギー供給体制を変革し、CO₂排出量を削減する、「エネルギー革命」が必要と考えている。世界の平均気温の上昇を2℃～3℃までにとどめ、地球温暖化が最悪の結果を招く事態を回避するためには、2050年までに温室効果ガス排出量を2005年レベルから少なくとも半減させる必要がある、というのが専門家達の一般的な意見である。

電力供給システムは、大規模な組織が所有し運転している比較的少数の施設で構成されているため、その把握が容易で、温室効果ガスの排出削減策を最も導入しやすい分野の一つである。しかし今後40年間で電力部門のCO₂排出量削減を実現するには、相当な努力を必要とするであろう。何故なら既存の関連施設の変更には長期間を要し、例えば現在建設中の石炭火力プラントは2050年時点においてもまだ現役で稼働可能と考えられる。一方、二酸化炭素低減技術による大規模なエネルギー供給システムの開発には、この先まだ長期間を要するにもかかわらず、多くの発展途上国における電力需要は近年急速に増加している。

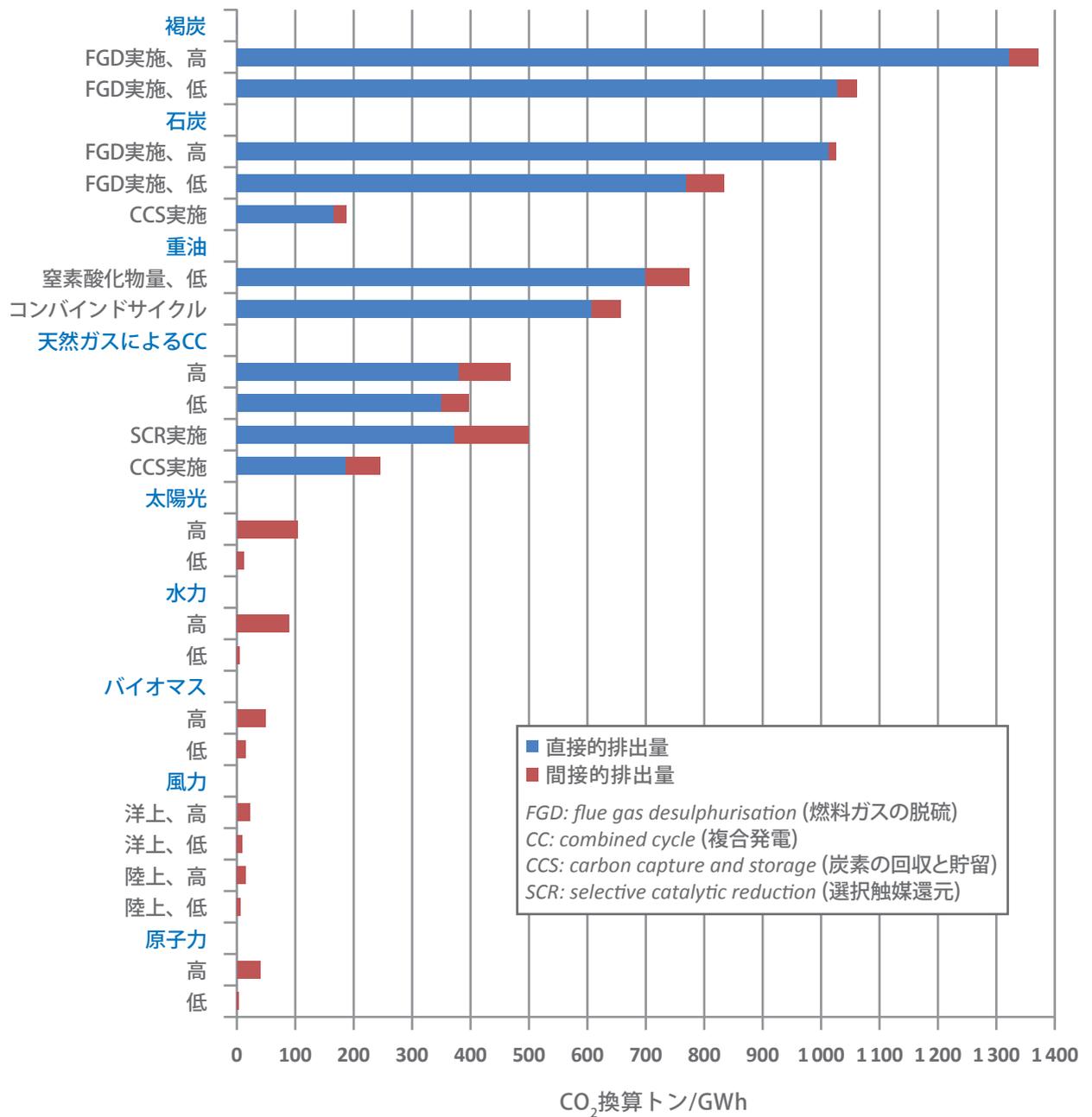
CO₂排出量の少ない電力を供給するための1つの方法は、原子力発電を大規模に拡大させることである。原子力発電は既に技術が確立した大規模なエネルギー供給システムであり、今後40年間で急速にそのエネルギー供給量を拡大できる可能性が高い。そしてCO₂をほとんど排出せずに世界全体の電力の約25%を供給することが可能である。しかし、一方で原子力に関しては安全性、核廃棄物の処分、そして原子力技術が民生用から軍事目的に転用される危険性等についての懸念が残されている。

原子力発電はCO₂を発生させるか？

化石燃料の燃焼とは異なり、核分裂のプロセスにおいてはCO₂やその他の温室効果ガスは全く生成されない。但し、ウランの採掘や濃縮等、核燃料サイクルの様々な段階で化石燃料を中心としたエネルギー源が使用されるため、原子力発電においても間接的には若干のCO₂が排出されることになる。これらの各段階で使用されるエネルギー消費量は場合によって大きく異なる。例えばウランの採掘においては、鉱床に掘った井戸から硫酸や過酸化水素水を注入してウランを溶媒中に溶出させ、それをポンプで抽出する原位置抽出法に比較すると、伝統的な坑内採鉱の方がより多くのエネルギーを使用することになる。

今後原子力の利用が拡大すれば、比較的低位のウラン資源を利用しても全体での採算が合うことになり、結果として燃料製造の工程で消費される総エネルギー量が増える可能性がある。しかし一方で、今後のウラン採掘の進展により高品位のウラン資源がより多く利用されるようになり、さらに原位置採掘法の採用が進めば、燃料製造の工程で消費される総エネルギー量が減少することが期待できる。また、エネルギーを大量に消費するガス拡散ウラン濃縮プラントは今後数年間で段階的に廃止されるため、その結果、ウラン濃縮に関連したエネルギー消費は減少するであろう。また、電力部門全体での化石燃料の使用比率は減少するため、それに伴い原子力発電からの間接的な温室効果ガス排出量も減少することになると考えられる。

図1. 代替発電システムの直接的および間接的な温室効果ガス排出量



出典: *Mitigation of Climate Change*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

図1は各種代替発電システムについて、その発電に関わる全サイクルでの単位電力あたりの温室効果ガス排出量を欧州数カ国で平均し比較したものである。(図中では、高く見積もった場合と低く見積もった場合が併記されている。)この図から、褐炭と石炭を用いた発電による温室効果ガス排出量が最も高く、化石燃料発電システムの中では、天然ガスを用いた発電による温室効果ガス排出量が最も低いことが分かる。また、原子力と再生可能エネルギーによる間接的な温室効果ガス排出量は、化石燃料エネルギーによる温室効果ガス排出量よりも一桁以上少ないことが分かる。

現在原子力はどの程度利用されているか？

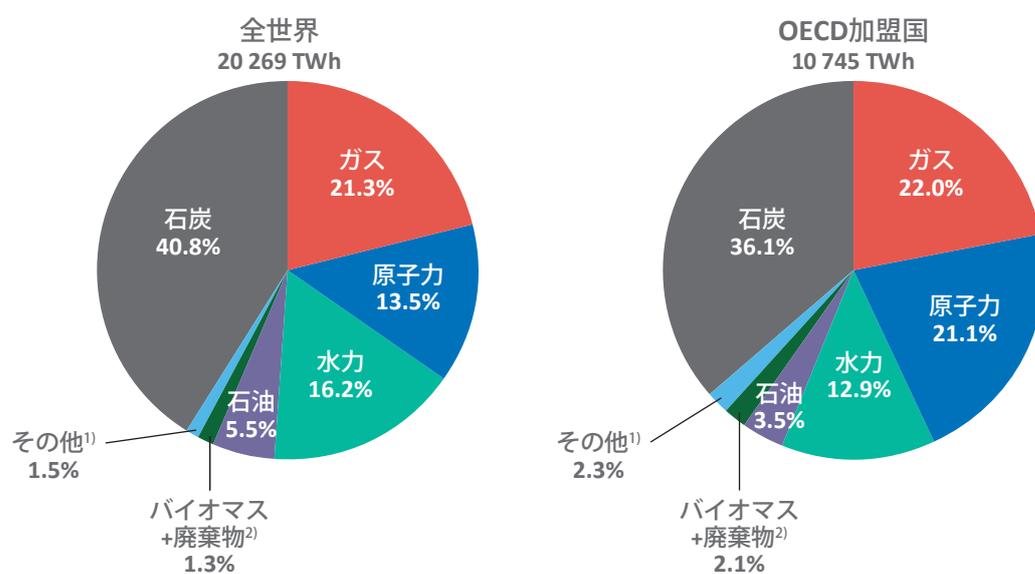
2008年時点で、全世界の発電量の約14%、またOECD加盟国の発電量の約21%は原子力発電によるものである（図2参照）。原子力発電は1970年代から80年代にかけて急速に拡大したが、1990年以降は原子力発電量の低迷と電力需要増加により、原子力による発電量が全発電量に占める割合は停滞あるいは若干減少した。

原子力発電はやはり最大の非化石エネルギー源の一つであり、その他の非化石エネルギー源の中では水力発電が唯一、原子力発電に匹敵する電力量を供給している。同じ電力量を石炭を用いた火力発電で供給した場合に比較すると、原子力発電の利用によりCO₂排出量を年間で最高29億トン低減可能である。つまり、仮にもし全く原子力発電を利用しなければ、OECD加盟国の全発電プラントからのCO₂排出量は、現状よりさらに3分の1多くなるのである。

1971年から2007年までの化石燃料発電によるCO₂累積排出量は2500億トンに相当する。一方、同じ期間の原子力発電の利用によるCO₂削減量の累積値は650億トンに相当する。すなわち、原子力発電の利用により上記期間中のCO₂累積排出量は約21%低減されたのである。

もし原子力発電量が今後削減されれば、電力供給に関連したCO₂排出量の削減目標の達成はますます困難となり、達成までの道のりはさらに遠のくであろう。

図2. 2008年の全世界およびOECD加盟国の資源別発電量

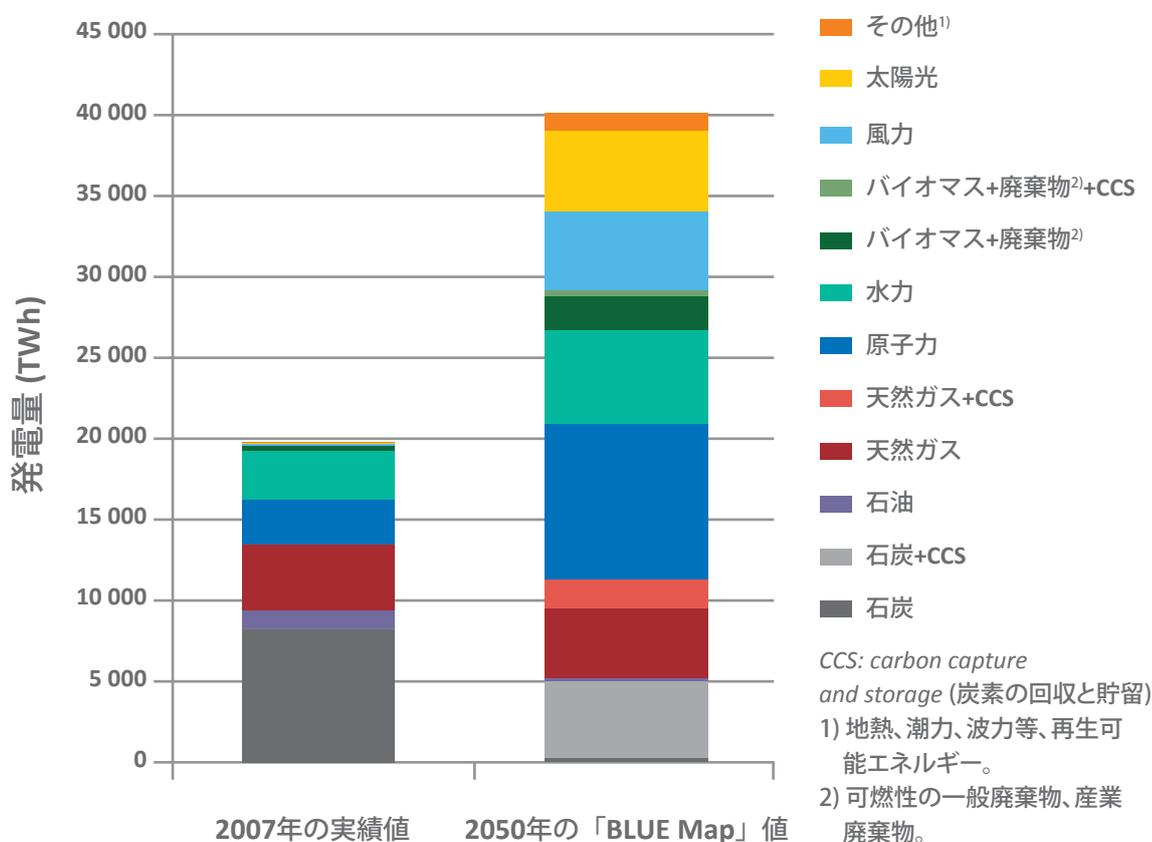


1) 風力、地熱、太陽光、潮力、波力等、再生可能エネルギー。

2) 可燃性の一般廃棄物、産業廃棄物。

出典: *Electricity Information*, International Energy Agency, 2010.

図3. CO₂排出量を2005年レベルから半減させるための2050年における電力供給の「Blue Map」シナリオ



出典: Energy Technology Perspectives, International Energy Agency, 2010.

原子力発電能力の急速な拡大は可能か？

原子力発電技術は過去50年以上に亘り開発が続けられ、最新型の原子力発電プラントではその間に得られた知識が具体的な形で利用されている。その技術は今後さらなる進歩を続ける事が期待されるが、現在でも既に原子力は十分に成熟した技術である。原子力発電の迅速な配備を妨げているのは技術的要因ではなく、むしろ社会的、政治的、経済的要因である。

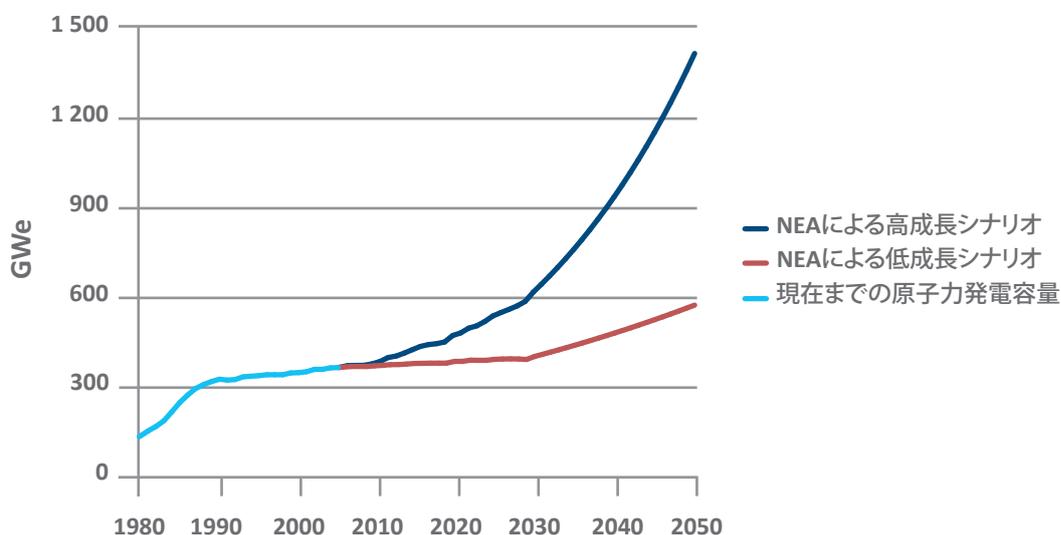
大規模な原子力利用拡大の開始には、いずれの国においても政府による明確かつ持続的な政策支援が必要である。その政策において原子力発電は、環境を保護しながら安価で安定したエネルギー供給を確保する、という難題に対処する総合戦略の一部となる。近年、多くの国の政府が原子力へのアプローチを再評価し、原子力利用をエネルギー戦略の重要な一部分と見なしている。一方、原子力を自国のエネルギー供給構造の一部に組み込むべきでないと考えられている国が今でもある。

2050年までにCO₂排出量を2005年レベルの約半分まで削減する、という計画に基づいて国際エネルギー機関(IEA)が作成した将来のエネルギー供給シナリオにおいて、エネルギーの最終利用効率の向上、再生可能エネルギー利用の大規模な拡大、化石燃料燃焼からの温室効果ガスの回収と貯留の実施とともに、原子力発電は非常に重要な役割を果たす(図3参照)。このシナリオでは、原子力発電容量を2050年までに現在の375 GWeから、約1200 GWeにまで3倍以上増加させる計画である。

この計画の実現のためには、2020年代に年間約20基の大型原子力プラント（1.5 GWeクラス）の建設を完了させる必要がある。さらに2040年代にはこの数を年間25基もしくは30基程度にまで増やす必要がある。NEAが発刊した「Nuclear Energy Outlook」（2008）においては、高成長シナリオに基づいて2040年代に強力に建設を押し進めれば、2050年までに原子力発電容量を1400 GWeにまで増加させることが可能であると述べられている（図4参照）。

このシナリオを実現させるためには、原子力および関連産業が現状よりもはるかに多くの産業資源、人的資源、財源を結集する必要があることは明白である。大規模な投資が不可欠であり、必要な技能と訓練経験を持つ人員の大幅な増員、原子力発電プラントの建設、ウランの採掘、処理、また廃棄物管理能力についても相応に増加させることが必要であるため、原子力発電容量の拡大には長期間を要すると考えられる。

図4. 2050年までの原子力発電容量拡大に関するNEAのシナリオ



出典：Nuclear Energy Outlook, OECD Nuclear Energy Agency, 2008.

1970年代から1980年代にかけて、原子力利用が大幅に拡大したことを考えると、強力な政策支援があれば原子力発電容量を急速に拡大することは可能と考えられる。1980年代、原子力プラント建設のピーク時には、一年で30基以上が竣工した。また、平均では年間22基のプラントが建設された。これらのプラントは現在の多くのプラントよりも小型で、技術的にもまだ十分に成熟していなかった。また、この頃の原子力利用の拡大は少数の国々に集中しており、世界全体の総発電容量は現在よりも大幅に低かった。

将来の電力供給の増加の大半は、以前は大規模な原子力計画を持たなかった発展途上国の、特に大国で生じる。これらの国々は工業化に伴い、今後原子力発電能力を拡大させていくと考えられる。特に中国やインドがその先鋒であり、意欲的な原子力計画を既に開始している。

核燃料の供給は十分か？

前述のとおり、原子力利用の大規模な拡大には相応の核燃料サイクル能力の増大が必要である。原子力発電の燃料サイクルには、ウランの採掘や燃料集合体の完成までの複数の製造工程が含まれ、比較的複雑である。多くの原子炉型で使われる燃料集合体は、濃縮二酸化ウランのペレットを入れた金属製の燃料被覆管を支持格子で束ねて構成したものである。ウラン生産量の拡大は、採算性のある既知のウラン資源がどの程度利用可能かに依存しており、また機微な技術情報を要するウラン濃縮が主な課題となっている。

1990年代から2003年までは原子力利用の拡大が予想を下回り、また冷戦終結後の核軍縮により放出された軍用ウランを含む、事業者や政府が過去に採掘した大量のウランの在庫が市場に放出されたため、ウランは低価格であった。その結果、ウラン生産量は年間消費量の約3分の2に留まった。しかし今後数年間に渡りウラン生産量は増加することが予想される。

1980年代以来、ウラン探鉱は限定的にしか行われてこなかったが、2002年以降はウラン価格の上昇を受け、探鉱活動は以前の3倍以上に増加した。近年の探鉱活動が活発でなかったにも関わらず、現在の消費量に対する既知のウラン資源の割合（＝可採年数）は、他の鉱物エネルギー資源とほぼ同等で、約100年である。さらに現在の地質学的情報に基づいて発見が見込まれる資源を加えると、可採年数は300年分近くになる。また、「非在来型」資源、具体的にはリン鉱石中に含まれるウランも加えると、この数字は約700年にまで延びる（表1参照）。今後原子力利用の大幅な拡大が始まると仮定すると、ウラン探鉱も継続的に増加すると予想され、その結果、さらに多くのウラン資源が発見される可能性がある。

表1. ウラン年間消費量に対する資源量の割合（＝可採年数）
（2006年値）、高速中性子炉でリサイクルした場合を併記

	既知の在来型資源 のみの場合	発見見込みの 在来型資源も含め た場合	非在来型資源 も含めた場合
現在の原子炉技術 のみでの場合	100	300	700
高速中性子炉に よるリサイクル を含む場合	> 3 000	> 9 000	> 21 000

出典：Nuclear Energy Outlook, OECD Nuclear Energy Agency, 2008

ここで恐らく最大の問題となるのは、主な生産国での新たな鉱山の承認手続きが必要であり、また同時に莫大な投資も必要であるため、ウランの生産能力の拡大には長期間を要する、ということである。この問題もまた、原子力発電容量拡大に対する政策支援が重要であることを示している。

現在稼働中の発電炉と今後建設される先進的デザインの次世代炉に十分な燃料を供給するためには、継続的な濃縮ウランの増産が必要である。しかし、ウラン濃縮技術には核不拡散上、非常に機微な情報が含まれるため、現在その技術は少数の国に独占されている。基本的には、濃縮技術を持つ国々がその他の国々に濃縮ウランを供給するために、濃縮ウランの生産量を拡大させる事は技術的には容易である。しかし世界の何カ国かでは、これら特定の国に全ての濃縮ウラン供給能力が集中するのは、濃縮ウランの安定供給という点から問題である、と考えられている。このような懸念に対し、法的拘束力を持たせた濃縮ウラン供給保証制度や、多国間管理に基づく新たな濃縮施設建設等、様々な提案がなされている。確固たる政策により機微な原子力技術の不要な拡散を制限し、一方で濃縮ウランの供給を保証すれば、原子力の可能性を最大限に引き出すことが可能になるであろう。

安全性、廃棄物、核拡散問題について懸念はないか？

原子炉に装填されるウランの総量のうち、実際のエネルギー生産に消費されるウランは一部分であり、その他の大部分のウランは再利用可能である。つまり核燃料の再処理により、現在の在庫及び既知のウラン資源の利用だけでウランの供給可能年数を数百年から数千年間へと大幅に拡大可能と考えられる。また原子炉から発生する高レベル廃棄物も再処理によって大幅に低減できる可能性がある。現在の再処理技術は核不拡散上機微な情報を含むため、短・中期的には大幅な普及は難しい。しかし今後、先進的な再処理技術や原子炉技術の発展により、ウラン及びプルトニウム資源の効率的利用、長期的な核燃料の確保が実現できる可能性がある。またその場合、濃縮技術及び必要な燃料再処理技術の利用可能性を保証しつつ、核不拡散上機微な情報を適切に管理することが必要であると考えられる。

核廃棄物の安全な管理と処分を実施するため、政府と原子力産業界の相互協力が必要である。放射性廃棄物の大部分を占めるのは低・中レベル廃棄物であるが、それらの廃棄物に含まれる放射エネルギーが、廃棄物全体の放射エネルギーに占める割合は大きくない。これらの低・中レベル廃棄物の処理技術は既に十分に成熟しており、大規模な原子力計画を実施している国々の大半は既に低・中レベル廃棄物の処理施設を稼働させているか、処理施設開発の相当進んだ段階にある。

廃棄物中の放射能の大半は、使用済み燃料や核燃料リサイクルによる廃棄物等、比較的容量の少ない高レベル廃棄物に集中している。これらの廃棄物は実は長年にわたり既存の施設に安全かつ容易に保管できるため早急に処分する必要はないが、現在原子力計画を実施している国々では高レベル廃棄物の最終処分のための長期計画が推進されている。また国際的にも、高レベル廃棄物の地層処分は技術的に実行可能かつ安全であるということが合意されている。しかし、現在のところ高レベル廃棄物の最終処分施設はまだ建設されていない。

一般的に、OECD加盟国の原子力発電プラントやその他の民生用原子力施設の安全性能は、他のエネルギーサイクル施設の安全性能と比較した場合、非常に優秀である。現在建設中の最新設計の原子炉では「受動的」安全性が強化され、安全性が運転員や自動安全システムの積極的介入に依存する割合が以前より低くなっている。しかし事故に対する恐怖は原子力に対する公衆の認識に今も強い影響を与えており、原子力に対する公衆の信頼感は世界的にあまり高くない。

原子力利用の大規模な拡大により、これまで原子力規制分野での経験の乏しかった国々が原子力プラントの建設に着手するようになる。これらの新たに原子力計画を導入する国々が適切な技術的手法および規制手法を踏襲し、適切な法的手続きを履行する事は、国際社会、特に原子力関連製品を売る国々が責任を持って保証しなくてはならない。この点に関連して、既に国際原子力機関（IAEA）は新たに原子力計画を導入する多くの国々への協力を行っており、また、それらの国々における制度の充実を図るための活動も行っている。

発電のための民生利用を目的に開発された物質や技術が、軍事目的に転用される危険性は当然存在する。核不拡散条約に基づくIAEAの安全保障システムは民生用核物質および原子力技術の軍事目的への転用を大幅に制限している。しかし、今後さらに多くの国々での原子力利用が大幅に拡大すれば、核拡散防止体制をさらに強化し、その履行を確実なものにする必要が出てくる。核不拡散の目標を達成する事と、原子力に依存する国々に適切な供給を保証する事の釣り合いを取る事が必要である。

補足資料：

OECD/NEA (2008), **Nuclear Energy Outlook 2008**

ISBN 978-92-64-05410-3, ¥13600, 460 pages.

(※日本語版「原子力エネルギー・アウトルック」は、www.nea.fr/neo/にて無料ダウンロード可能です。印刷版については下記までお問い合わせ下さい。)

OECD/NEA, IAEA (2010), **Uranium 2009:**

Resources, Production and Demand

ISBN 978-92-64-04789-1, ¥16900, 456 pages.

IEA (2010), **Energy Technology Perspectives 2010:**

Scenarios and Strategies to 2050

ISBN 978-92-64-08597-8, € 100, 650 pages.

OECD/NEA (2007), **Risks and Benefits of Nuclear Energy**

ISBN 978-92-64-03551-5, ¥3100, 84 pages.

お問い合わせ先：

Mr. Serge Gas

Head of External Relations and Public Affairs

OECD Nuclear Energy Agency (NEA)

Tel.: + 33 (0)1 45 24 10 10

E-mail: serge.gas@oecd.org

協力：

Mr. Martin Taylor

Nuclear Development Division

OECD Nuclear Energy Agency (NEA)

OECD Nuclear Energy Agency (NEA)

Le Seine Saint-Germain – 12, boulevard des Îles

92130 Issy-les-Moulineaux, France

Tel.: +33 (0)1 45 24 10 15 – Fax: +33 (0)1 45 24 11 10

E-mail: nea@nea.fr – Internet: www.nea.fr