

「2100年原子力ビジョン」

-低炭素社会への提言-

平成20年10月16日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

経営企画部戦略調査室

目 次

1. はじめに ―ビジョン策定の背景とねらい―	1
2. ビジョン検討過程の概要	3
3. 西暦 2100 年までのエネルギー需給システム像	5
①需要側のシステム	5
②供給側のシステム	7
③環境・資源関係の諸量等	11
4. ビジョンの実現へ向けた課題等	17
①社会的な合意の形成	17
②全地球的な課題解決に向けて	18
③原子力に固有の課題	18
④結びに代えて	20

参考文献

別添資料

【本ビジョンのポイント】

国民的議論の課題となっている環境問題の解決とエネルギー安定供給の実現に対して定量的・具体的な解決策を提案するもの。日本原子力研究開発機構が研究開発の成果として蓄積してきた技術や、現在実用化を目指して研究開発に取り組んでいる技術の適用により、2100年には化石燃料への依存度を現在の85%から30%に低減でき、同時に二酸化炭素の排出量を現在の10%に削減できる。

1. はじめに ―ビジョン策定の背景とねらい―

2007年11月に採択された気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第四次評価報告書[1]によって、人類の経済活動の拡大に伴う温室効果ガス（二酸化炭素等）の排出増が気候変動（いわゆる「地球温暖化」）の主要要因であるとの合意が形成された。持続可能な社会的・経済的活動を可能にする上で、二酸化炭素の排出削減等の環境対策と、エネルギーの安定供給とを表裏一体の課題として解決すべきことが一層明確になったと言えよう。気候変動問題は、本年7月我が国で開催されたG8北海道洞爺湖サミットでも主要議題とされ、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量の少なくとも50%の削減を達成するとの目標が合意された[2]。また、G8からの要請に応じて国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）が本年6月に公表したエネルギー技術展望2008年版（Energy Technology Perspective 2008）[3]は、この削減目標を達成するため省エネルギーや再生可能エネルギーの導入等の強力な取り組みが必要であると指摘している。

我が国においても、経済産業省資源エネルギー庁は「長期エネルギー需給見通し」（2008年5月）[4]を策定し、その中で国際エネルギー市場の構造的な需給逼迫を指摘した上で、今後最先端の技術を最大限導入することにより、国全体として2030年までに世界最高水準のエネルギー効率を達成すべきである等の認識を示した。また、内閣府原子力委員会は「地球環境保全・エネルギー安定供給のための原子力のビジョンを考える懇談会報告」（同3月）[5]で、発電過程で二酸化炭素を排出せず、かつ安定して経済的な電力供給が可能な原子力発電の導入拡大が世界的な低炭素社会の実現のために不可欠であるとの認識を示している。他方、あらゆる社会的・経済的活動に伴いエネルギーが消費され、二酸化炭素が排出されていること、現在エネルギー源の過半を占めている化石燃料の需給が逼迫に向かうと考えられること等を踏まえれば、エネルギー源の選択は暮らしや社会のあり方そのものの選択に他ならない。したがってこれからは、社会の構成員全てが当事者意識を持って主体的に判断し、環境・エネルギー・資源問題を包含する広範囲の議論に積極的に参画することが望まれており、社会の大半を占める一般の方々にとって、こうした議論に参加するための分かりやすく具体的な情報の提供が求められていると言えよう。

以上のような基本認識に立ち、「人類社会の福祉及び国民生活の水準向上に資する原子力の研究、開発及び利用の促進に寄与すること」を設置目的とする日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」）は、多くの一般の方々のために分

かりやすく具体的な選択肢を「2100年原子力ビジョン」として提案することとした。このビジョンは西暦2100年までの我が国のエネルギー需給の推移を見通し、現在開発途上にある多様なエネルギー関連技術の実用化の時期・規模等を可能な限り客観的に推測した上で、定量化・単純化したエネルギー需給シナリオの形で示すものである。これにより、原子力機構が研究開発の成果として蓄積してきた技術や、現在実用化を目指して研究開発に取り組んでいる技術の実社会への適用によって二酸化炭素排出削減と、化石燃料への依存の低減によるエネルギー安定供給とを両立させ得ること（表1参照）を示し、今後の有力な選択肢の一つとしてご議論頂くことを期待するものである。

表1 原子力エネルギーの技術体系が内包する3つの特性

【基幹エネルギー源としての特性】	供給可能なエネルギーの規模から見ても、供給し得るエネルギーの形態の多様さ（供給対象とし得る経済活動領域の広さ）から見ても、また、エネルギー供給に必要な社会的コストの点からも、エネルギー需要の大宗を担う「基幹エネルギー源」の役割を果たし得る。
【低排出性】	エネルギー供給過程で二酸化炭素を排出しないばかりでなく、燃料の取得から設備の建設、運転、廃棄、更には廃棄物の最終処分に至るまでのライフサイクル全体を通じて二酸化炭素排出量が極めて少なく、エネルギー供給に伴う二酸化炭素排出量の低減に貢献し得る。
【持続可能性】	核分裂炉の場合には今後の研究開発の進展によってプルトニウム・サイクルを確立することにより、海外エネルギー資源への依存を大幅に緩和し、長期にわたって安定かつ持続可能なエネルギーとなり得る。核融合炉の場合にはエネルギー資源の制約は更に小さく、真に持続可能なエネルギーと言える。

他方、このビジョンに描かれたエネルギー需給の姿を実現するためには、多様な原子力施設の立地を進める等、乗り越えていかなければならない多くの課題もある（4.参照）。また、このビジョンに盛り込まれた諸技術の中には現在研究開発途上にあるものも含まれており、現時点における技術的熟度も一様ではなく、その実現にはある程度の不確実性も存在する。このため、ビジョンの検討に当たっては、機構内専門家の見解を踏まえるばかりでなく、政府の原子力委員会報告書類に示された各技術の実現時期を踏襲する等、可能な限り客観的な推測に努めた。

2. ビジョン検討過程の概要

原子力機構のシンクタンク組織である戦略調査室が、高速増殖炉、核融合炉、高温ガス炉、放射線利用、分離変換等、機構内部の広範な領域の専門家の協力を得てビジョンの作成に当たった。検討に当たっては、まず我が国人口の将来予測等、外部機関のデータや既存の推計手法を活用し、ビジョンの大枠となるエネルギー需要の推計を行った。この過程では、民生、産業及び運輸の分野ごとにエネルギー消費を抑え、二酸化炭素排出を低減させるためにどのような技術の適用が可能であるかを検討し、導入時期・規模を設定した（表2参照）。

表2 エネルギー消費分野ごとの主な設定事項

【民生分野】	<ul style="list-style-type: none">・省エネルギー（「長期エネルギー需給見通し」に準拠）を進める・熱源としての化石燃料の利用を可能な限り早期に低減させる・太陽熱、地熱等の熱源を可能な限り利用する・他の需要は電力でまかなう
【産業分野】	<ul style="list-style-type: none">・製造業中心の現在の産業構造を維持する・省エネルギー（「長期エネルギー需給見通し」に準拠）を進める・熱源としての石炭及び石油の利用を可能な限り早期に低減させる・製鉄還元材のコークス（石炭製品）を可能な限り早期に水素で代替する・石油製品原料の石油を可能な限り早期に天然ガス及び水素で代替する・他の需要は電力でまかなう
【運輸分野】	<ul style="list-style-type: none">・エネルギー消費の大半を占める自動車を、現在の内燃機関（ガソリン及びディーゼル）→ハイブリッド→究極のエコカー（水素燃料電池車及び電気自動車）で順次代替する

なお、このビジョンでは製造業を中心とする我が国の現在の産業構造が基本的に維持されることを想定している。これは、ビジョンに示された高度な技術を実社会に適用していくためには、将来にわたり我が国産業界が技術面・生産面で十分な競争力を維持していくことが必要であると考えたからである。また、二義的には、我が国の社会基盤を維持・更新するための資機材の生産等に伴い発生する二酸化炭素の排出量をもれなく見積もるためでもある。言い換えれば、

製造業の大規模な海外移転を伴うような産業構造の変化を想定する場合には、我が国の社会基盤維持更新のために海外の生産拠点で排出される二酸化炭素の抑制策を講じない限り、全地球的な排出削減は実現できないことになる。更にこのビジョンでは、現在実現の見通しが立っていない未知の技術等による長期にわたる継続的かつ大幅な省エネルギーは想定せず、二酸化炭素排出量の過少評価を避けることとした。

需要側の検討の結果、エネルギー消費媒体のかなりの部分を電力及び水素に集約することとしたことから、供給側については発電及び水素製造をどのように行うかを中心に検討した。まず発電部門については、原子力と同様に発電過程で二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギー（太陽光、風力及び水力）を最大限利用する一方、現在大きく依存している化石燃料のうち、需給の逼迫が最も懸念される石油への依存を可能な限り早期に低減させ、エネルギーセキュリティの改善を図ることとした。また、二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon Capture and Storage）システムの導入を前提に石炭火力はベース電源として、天然ガス火力はピーク電源としてそれぞれ引き続き使用することとした。再生可能エネルギー及び火力発電以外の電力供給は原子力（核分裂炉及び核融合炉）でまかなうこととしたが、核分裂炉については燃料となるウラン資源の有効利用を図るため、可能な限り早期に現在の軽水炉（次世代型の軽水炉を含む）から高速増殖炉への切り替えを進めることとした（3. ③参照）。また、核融合炉については技術開発の状況を踏まえ可能な限り早期の導入を進めることにより電源構成の多様化を図り、超長期的に持続可能なエネルギー安全保障の実現を目指すこととした。次に水素製造については水素燃料電池自動車の導入初期（2030年頃：化石燃料から水素を製造）を除き、高温ガス炉を利用し水の熱化学分解により水素を製造する「IS法」[6]により行うこととした。更に高温ガス炉を化学コンビナートにおける自家発電や蒸気供給の熱源としても活用することとした（3. ②参照）。なお、バイオ燃料は二酸化炭素排出削減に有効なエネルギー媒体として期待されているが、既存の外部検討事例においてそれ程大規模な利用は想定されていない。このため、仮に需給量の検討に含めたとしても、最終的な推計結果には大きな差異を生じないと判断し、本ビジョンの推計対象とはしなかった。

これらの検討過程における議論を通じて、本ビジョンの対象期間を西暦2100年とし、標題を「2100年原子力ビジョン」とすることとした。これは、化石燃料（特に原油）の可採年数、発電設備や産業分野での大規模製造設備（例えば高炉や化学コンビナート）等の耐用年数等を考慮すれば、超長期的に持続可能

なエネルギー需給構造への転換には少なくとも今後 100 年間以上を要するとの認識による。更に、以上により描かれたエネルギー需給構造に基づき、原子力機構内専門家の協力を得て今後必要とされるウラン資源や化石燃料の輸入量、原子力関連施設（核分裂炉、核融合炉、使用済燃料再処理施設、最終処分場）の設備容量を算出するとともに、二酸化炭素排出量を算出した。その上でそれらの数値の妥当性・実現可能性等を検討し、需給シナリオの検討にフィードバックさせた。そして最終的に 2100 年には二酸化炭素の排出量を現在の 10% に削減できるとの結果が得られたため、本ビジョンの副題を「低炭素社会への提言」としたものである。以上の作業内容の詳細については「別添資料」を参照されたい。

3. 西暦 2100 年までのエネルギー需給システム像

①需要側のシステム

最終エネルギー消費（民生、産業及び運輸の 3 分野で最終的に消費されるエネルギーの総計）の規模を推計するため、人口については厚生労働省が参考値として公表している 2100 年までの推計人口[7]のうち高位ケース（2100 年の人口 6,407 万人）を採用した。また経済活動については 2100 年における人口一人当たりの GDP が 2004 年比 2 倍に増大（2000 年価格で 413 万円→825 万円）することとした。これは、ビジョンの読者が将来の生活の豊かさを想像でき、かつ必要十分な産業基盤を維持し得る水準として、検討過程での議論を通じて設定したものである。次に、分野別のエネルギー消費の推計では、まず民生分野のうち家庭部門のエネルギー消費は世帯数に連動することとし、厚生労働省推計値に示された世帯当たり人数[8]から世帯数を推計した。但し同推計に示されていない 2031 年以降は、2.4 人／世帯で一定とした。民生分野の業務部門（事務所、事業所、公共施設等）のエネルギー消費は業務用の床面積に連動すること、床面積は GDP に連動することとして推計した。その上で、両部門とも経済産業省の長期エネルギー需給見通しに示された省エネルギー水準を達成することとした。但し同見通し対象期間外の 2031 年以降については更なる省エネルギーは想定していない。そして民生分野全体にわたり、暖房や厨房用の化石燃料を電力や地熱、太陽熱等の再生可能エネルギーで置き換えることとした。産業分野のエネルギー消費も GDP に連動させ、長期エネルギー需給見通しの水準の省エネルギーを考慮して推計を行ったが、更に 2031 年以降も 2040 年までエネルギー消費量一定のまま GDP が拡大するとの想定（結果として若干の省エ

エネルギーの進展が継続する)を行った。また、製造工程における水蒸気供給等の熱源としての化石燃料の利用の削減は勿論、製鉄用還元材としてのコークスを水素で置き換える等、原材料としての化石燃料の使用も抑制することとしている。最後に、運輸分野では自動車の保有台数が人口や GDP に連動すると仮定した上で、現在主力の内燃機関車両を 21 世紀半ばまでに燃費の良い内燃機関ハイブリッド車両で置換え、2100 年頃までに水素燃料電池車両(トラック、バス、普通乗用車を置換え)及び充電式電気自動車(軽乗用車や軽トラックが担う近距離輸送用)への置換えを図ることとして推計した[9]。このうち内燃機関車両については、長期エネルギー需給見通しに示された水準の燃費改善が達成されることとした。以上の推計結果を図 1 に示す。

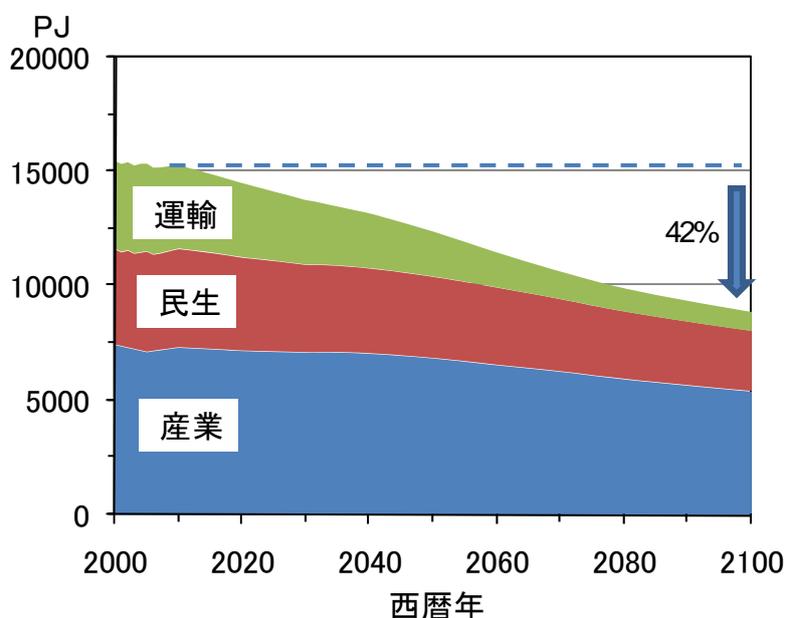


図 1 最終エネルギー消費の分野別内訳の推移

注：PJ；ペタジュール（10 の 15 乗ジュール=1,000 兆ジュール）

推計の結果、2100 年の最終エネルギー消費（需要）は現在比 42%減となる一方、電力消費は約 53%の増加となり、最終エネルギー消費に占める電力の割合は現在の 24%から 62%に大幅に増大する。また、水素は最終エネルギー消費の 8%を占める（図 2）。また、最終エネルギー消費媒体としての化石燃料の使用を可能な限り削減し、かなりの部分を電力及び水素の二大媒体でまかなうこととしたため、②で述べる供給側の一次エネルギー（最終エネルギー消費をまかなうため、最初に投入されるエネルギー）源として再生可能エネルギー（太陽光、

風力、太陽熱、地熱、水力等) や原子力エネルギーの利用が容易になり、また、化石燃料を利用する場合でも設備を大規模化・集中化できるため CCS システムの導入等による二酸化炭素排出削減が容易となる。

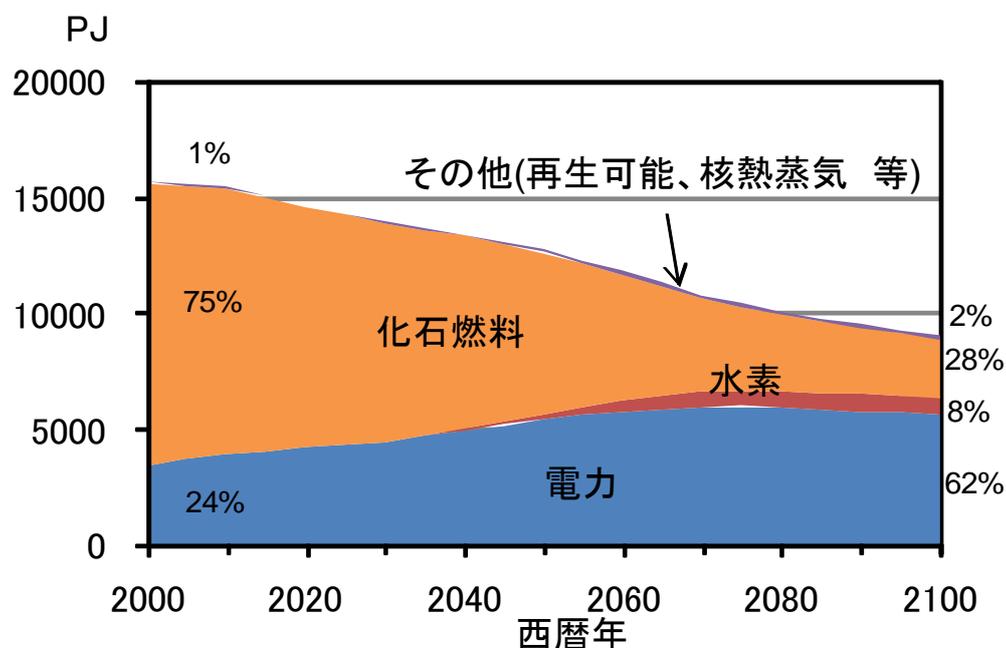


図2 最終エネルギー消費のエネルギー媒体別内訳の推移

②供給側のシステム

前述の需要を満たすためには、電力供給量の大幅な増加が必要となる。電力供給のための一次エネルギー源構成の基本的な考え方として、ライフサイクルでの二酸化炭素排出量が少ない太陽光、風力、水力等の再生可能エネルギー及び原子力エネルギーを可能な限り導入することとした。まず再生可能エネルギーについては、我が国の自然条件等から見て現実的に導入可能な最大規模[10]を可能な限り早期に達成することとした。次に原子力エネルギーのうち核分裂炉については実現可能な増設ペース、及び燃料である天然ウラン資源の調達が無理なく行える範囲内で、なるべく早期に火力発電を置き換えるとの考え方で検討を行った。また、技術開発の進展を踏まえ、真に持続可能なエネルギー源である核融合炉の導入を進め、電源の多様化による一層のエネルギー安全保障を目指すこととした。核融合炉の導入規模の検討に当たっては、我が国の原子力産業が世界市場において十分な競争力を達成・維持できるような規模とすることとした。具体的には、当面次世代型の軽水炉の増設を進め、2045年からウ

ラン資源利用効率の大幅な向上を可能とする高速増殖炉への切り替えを進めるとともに、2055年からは核融合炉の導入を進めることとした。これらの導入時期は、原子力委員会の「地球温暖化対策に貢献する原子力の革新的技術ロードマップ」[11]に沿ったものである。以上の結果、図3に示すように2100年時点の発電電力量に占める原子力のシェアは核分裂炉が53%（うち軽水炉18%、高速増殖炉35%）、核融合炉が14%、計67%と推計した。

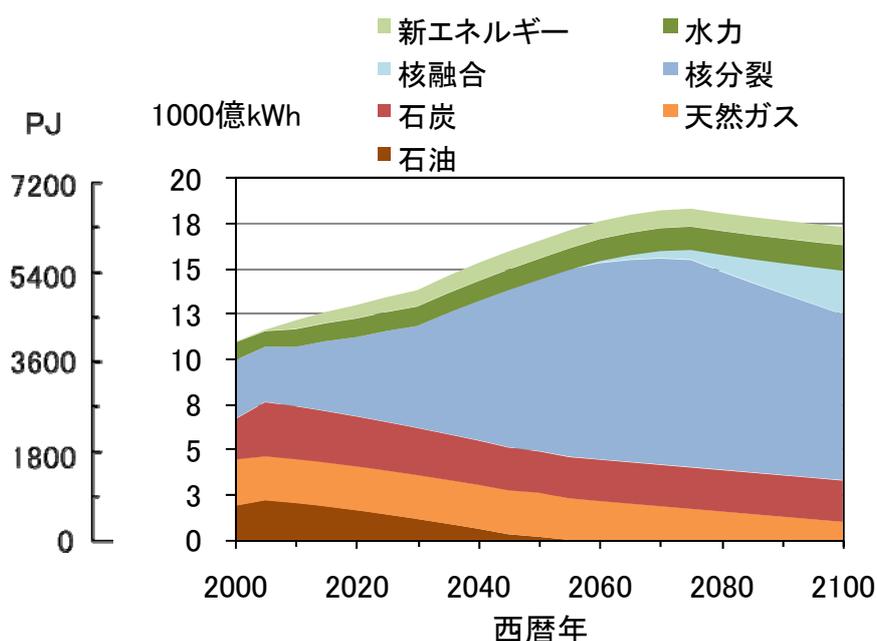


図3 電源別発電電力量の推移

注：kWh；キロワットアワー（1kWh=3,600,000J）

他方、火力発電のうち今後一段と需給逼迫が予想される石油火力は2050年までに全廃することとするが、石炭火力は原子力と並ぶ基幹電源として、天然ガス火力は、揚水式水力発電とともに季節や時間帯による電力需要の変動に追従するための供給予備力として、いずれもCCSシステムの導入（本ビジョンでは、回収した二酸化炭素は公海底下の帯水層に貯留することを想定し、回収・輸送・貯留に必要な全てのエネルギー消費及びそれに伴う二酸化炭素排出を見積もっている。）を前提として引き続き利用することとした。以上の電力量を供給するための各電源の設備容量を図4に示す。本ビジョンでは、基幹電源である石炭火力及び原子力の設備利用率を85%以上[11]に維持するとともに、主として夜間に発生する余剰電力を揚水式発電所及び今後実用化される大容量蓄電設備に蓄えることとしている。ここでは、電気自動車の普及が夜間の電力需要を押し上げ、蓄えるべき余剰電力をある程度低減できると想定している。また、夏季

昼間を中心とする電力需要のピークには、揚水式発電所及び大規模蓄電設備からの供給に加え、天然ガス火力発電からの供給で対応することとして天然ガス火力の設備容量を推計した。設備容量ベースでの原子力のシェアは核分裂炉が31%（うち軽水炉10%、高速増殖炉21%）、核融合炉が9%、計40%と推計された。他方再生可能エネルギーのうち水力を除く新エネルギー（太陽光及び風力）は自然条件による発電量の変動が大きく結果的に設備利用率が低くなるため、設備容量ベースのシェアは発電電力量のシェアよりも相当大きくなっている。

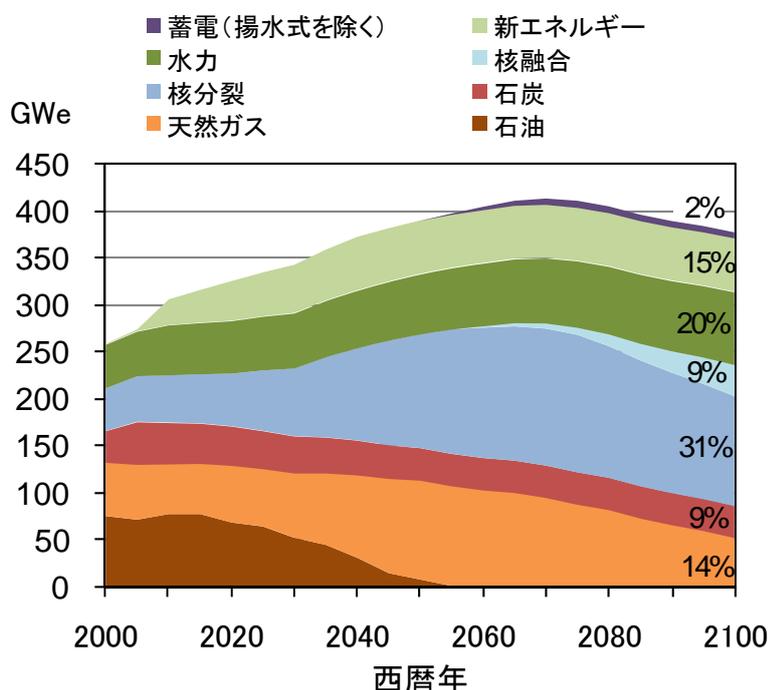


図4 発電設備容量の推移

「転換部門」は、最終エネルギー消費媒体のうち、電力以外のガソリンやプロパンガス、更には将来の媒体である水素の製造や精製を担っている（但し、このような狭義の転換部門に電力を加えた全体を「転換部門」とする定義もある）。図5に転換部門の一次エネルギー別推移を示すが、本ビジョンでは現在の我が国において転換部門に投入される一次エネルギーの大半を占めている化石燃料を、高温ガス炉の核熱利用により可能な限り置き換えていくこととした。水素製造等を目的とした高温ガス炉による熱供給システムの実用化については、前述の「地球温暖化対策に貢献する原子力の革新的技術開発ロードマップ」[11]に沿って、2030年代までに設計・建設等必要な準備を行い、2040年から商業利用を開始することとした。ここではまず化学コンビナートにおける自家発電

及び産業用蒸気供給の熱源とするとともに、水の熱化学分解により水素を製造する「IS法」と組み合わせて、輸送部門の水素燃料電池車両への水素供給源として導入する。続いて2050年頃からは製鉄産業における還元材であるコークス（石炭製品）の代替として、また、化学コンビナートにおける原料として、水素を供給することとしている。高温ガス炉とIS法による水素製造は、化石燃料を原材料及び熱源として製造する方法に比べ、製造過程で二酸化炭素を発生しないことが特徴であり、排出削減のためのCCSの導入を必要としない。また、他の一次エネルギーにより発電した電力を利用する電解法よりも総合的なエネルギー効率が低い。

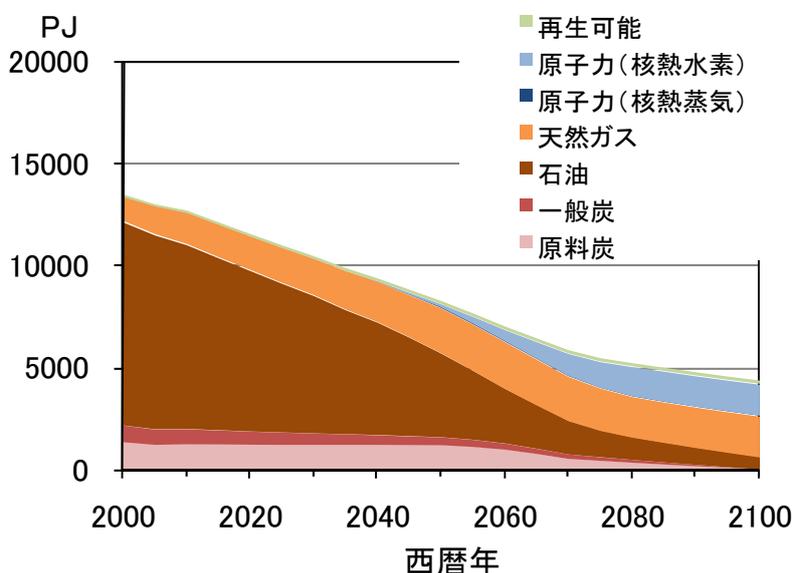


図5 転換部門の一次エネルギー供給量の推移

以上の検討結果から導かれた我が国の一次エネルギー供給量の推移を図6に示す。現状で85%を占める化石燃料の割合を30%に縮小させ、我が国のエネルギーセキュリティを大幅に改善することができるとの推測結果となった。また、再生可能エネルギー及び原子力エネルギーの割合を合計で70%へと拡大させている。また、最終エネルギー消費のエネルギー媒体の多くを電力と水素が担うようにしたことから、本ビジョンの試算では想定していないが高速増殖炉や核融合炉に水素製造設備を併設することにより、更なる将来において電力需要が減少する場合でも、原子力設備の稼働率を高水準に維持したままで電力需要の変動に追従することも可能である。また、これら一連の技術を発展途上国等に展開することにより、世界の二酸化炭素排出削減に貢献することも重要であろう(4.②参照)。

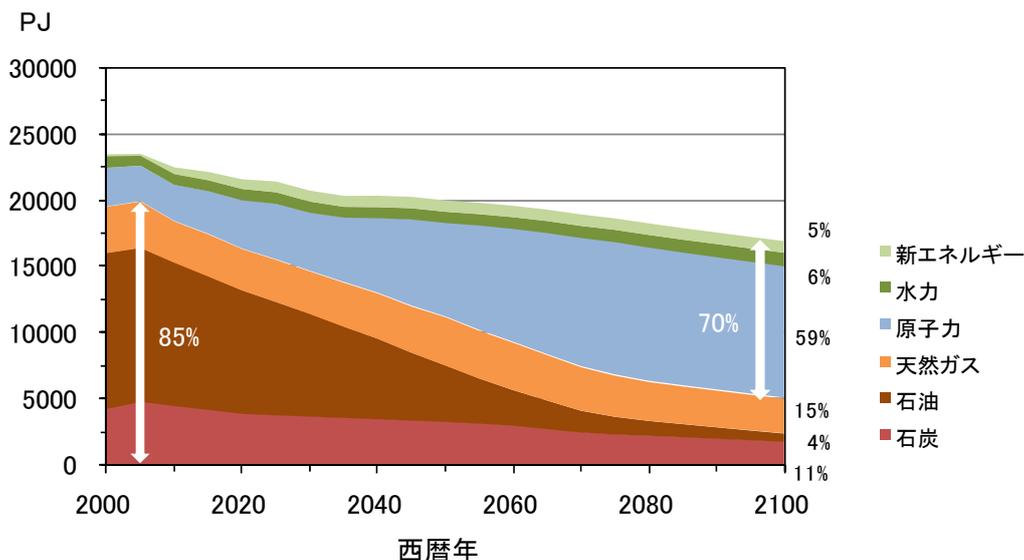


図6 一次エネルギー供給のエネルギー源別推移

③環境・資源関係の諸量等

以上の推計に基づく二酸化炭素排出量の推移を図7に示す。2100年時点での排出量は現状の1割に抑えられている。製造業の海外移転を前提としていないにもかかわらず、これほど大幅な削減が必要であるかどうかについては議論の分かれるところであろう。しかしながら、今後とも我が国が先進国として、また科学技術創造立国として世界の発展を先導していく姿勢を示す上では意義のあることである。また今後のいわゆる排出権取引制度の推移によっては、我が国として大きな外交・経済上の力を得ることともなろう。他方、2050年時点における削減幅は2005年比54%に達しているが、今後我が国の更なる削減目標として、例えば60%減に設定されるのであれば、その達成のためには、本ビジョンでは想定していない未開発の技術等による一段と強力な省エネルギー対策の実施や、産業構造における製造業のシェア大幅減等、主としてエネルギー需要側での更なる対応が必要となる。なお、現在原子力機構では先端的な放射線利用技術である「量子ビームテクノロジー」の研究開発に取り組んでいる。それら技術の多くは未だ開発途上にあるため、本ビジョンの試算には含めなかったが、例えば植物由来の原料を使用し放射線加工技術を駆使することにより、原油を消費することなくプラスチックを製造できる可能性が示されている。これが実用化されプラスチック製品のかなりの部分を置き換えることができれば、相当程度の二酸化炭素排出量の低減が達成されるばかりでなく、石油需要の更なる削減にも貢献できよう。

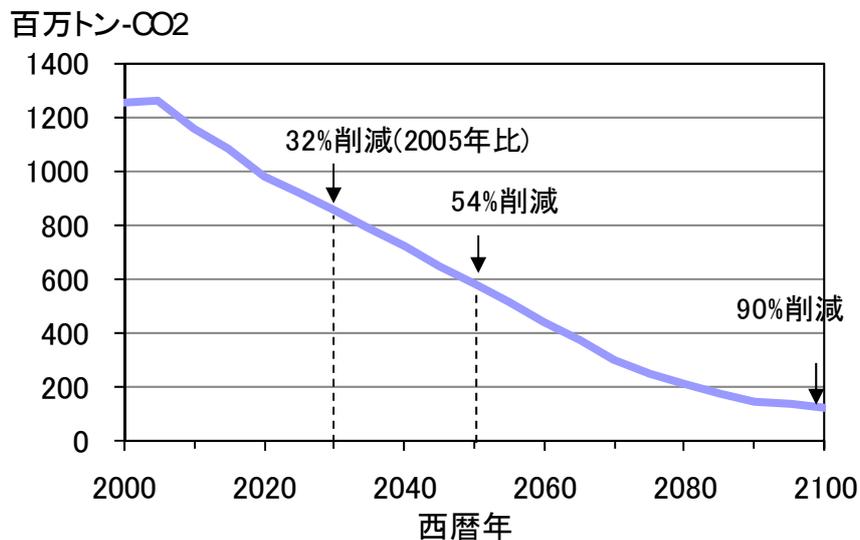


図7 二酸化炭素排出量の推移

二酸化炭素削減の技術要因別寄与を図8に示す。このグラフでは、原子力及びその他の技術の導入による排出抑制量が示され、最下段の「ビジョン」の値は図7に一致している。2100年の排出抑制のうち、原子力の電源利用による削減は38%、高温ガス炉の産業利用による削減は13%、計51%となった。

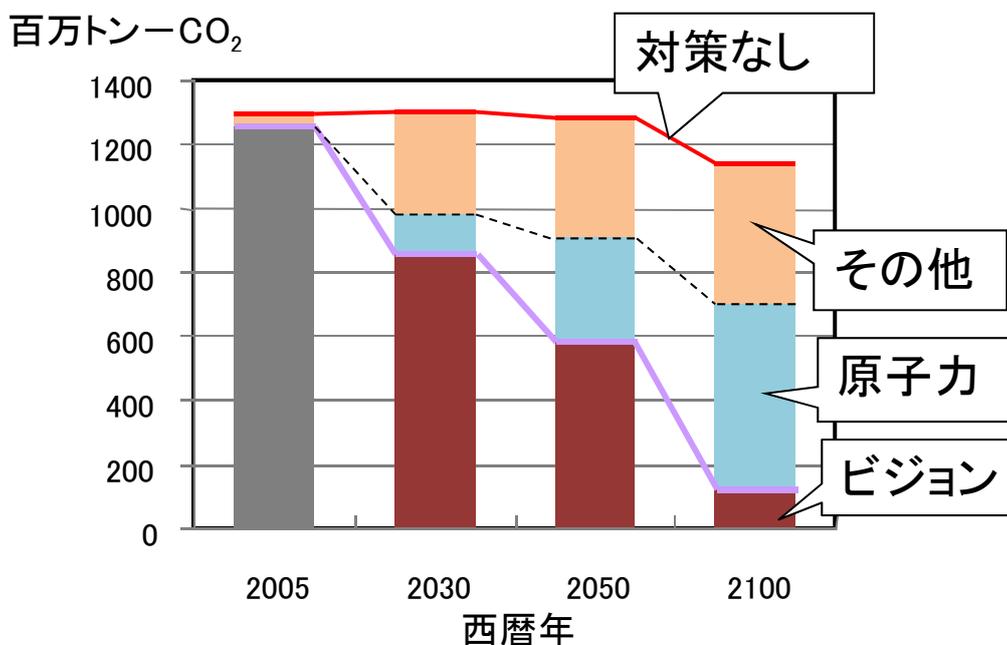


図8 二酸化炭素排出削減要因別寄与度の推移

更に、推計に基づく化石燃料の需要量の推移を図 9 に、天然ウランの累積需要量の推移を図 10 にそれぞれ示す。我が国に限らず二酸化炭素排出削減のため化石燃料への依存を小さくする必要があることは当然であるが、このことが天然ウランの需要増を通じてウラン市場の逼迫を招く可能性は否定できない。原子力発電や高温ガス炉の核熱利用はライフサイクルにおける総コストに占める

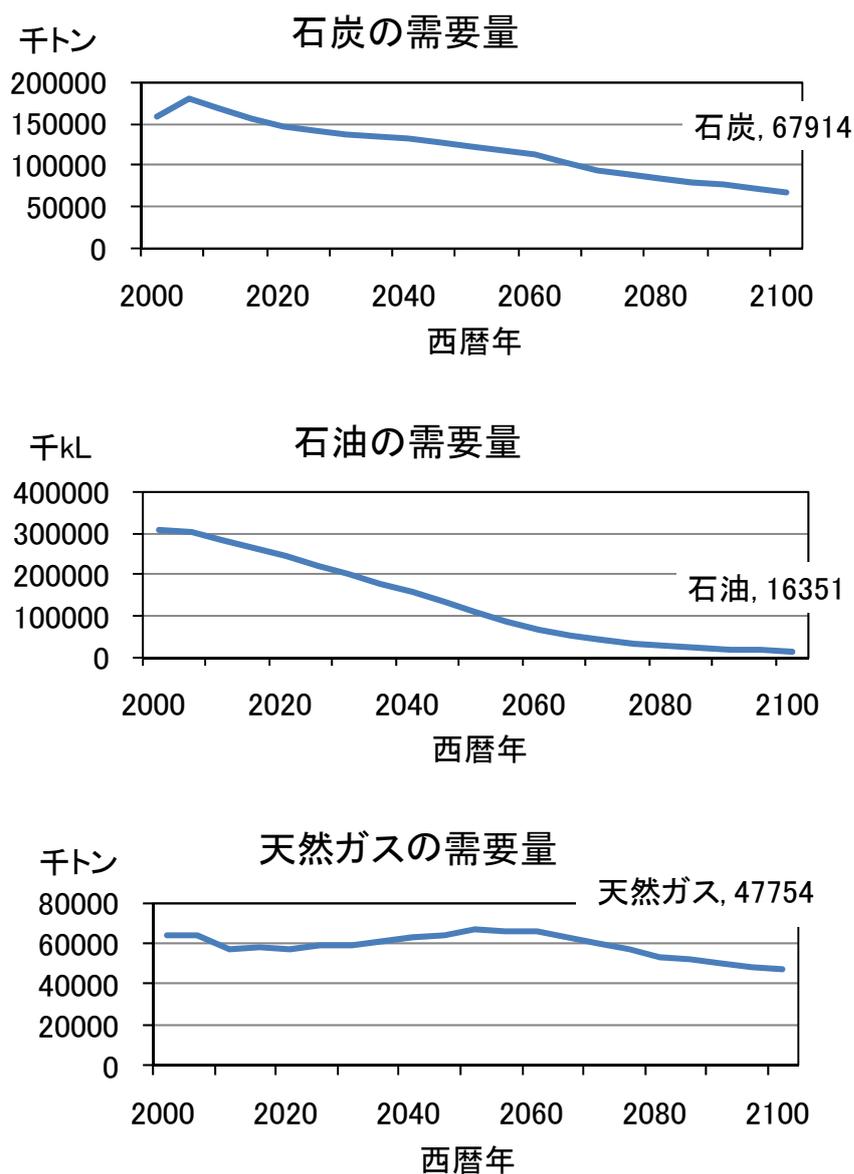


図 9 化石燃料需要量の推移

燃料費の割合が火力発電に比べて小さく、仮にウラン価格が相当程度上昇したとしても、十分な量が確保できるならば価格上昇自体はそれ程大きな問題とは

ならない。しかしながら価格の如何にかかわらず量的な確保が困難となる状況に対しては十分な手立てを講じておく必要がある。原子力機構では永年にわたり海水中に溶存する天然ウランの回収技術の開発に取り組んでおり、現在は量子ビームテクノロジー開発の一環として高選択性金属捕集材の開発を進めているが、将来のウラン供給の状況によっては早期に商業化に結び付けられる技術的見通しを得ている。

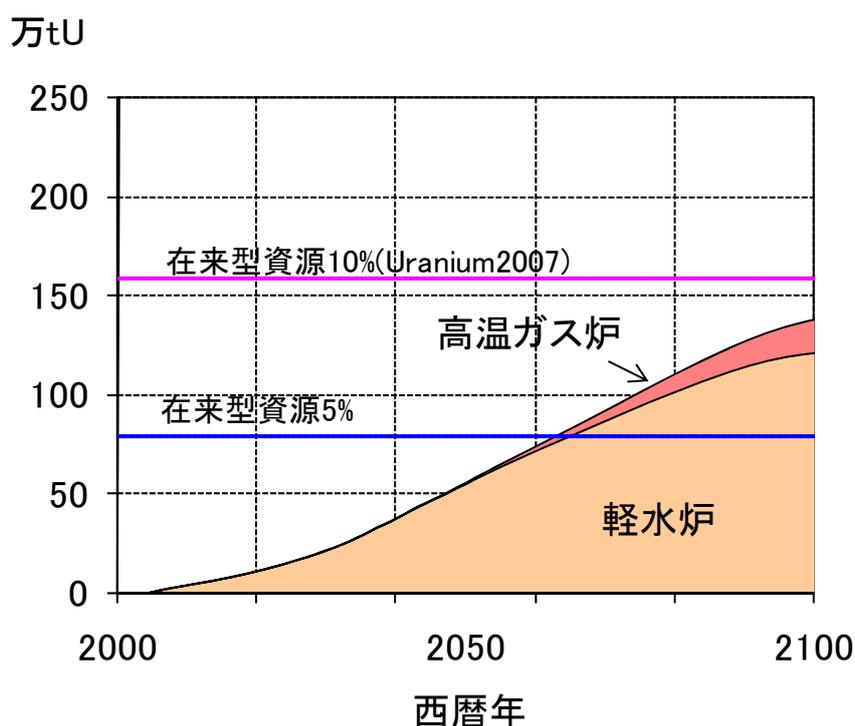


図 10 天然ウラン累積需要量の推移

また、原子力エネルギー（核分裂炉）の継続的利用にもかかわらず、2100年頃からは天然ウランの輸入はほとんど不要となる。これは核分裂炉の運転に伴い、核燃料物質であるプルトニウムが炉内で新たに生じ、これを用いて更に発電を行うことが可能となることによる。その実現のためには、まず軽水炉で一度使用した燃料（使用済燃料）を「再処理施設」で処理しプルトニウム等を回収して新たな核燃料に加工する必要がある。作られた燃料の一部は当面（特に高速増殖炉の本格的運転を開始する2045年まで）の間、軽水炉（プルサーマル）で利用し、同時に高速増殖炉の導入開始に必要な量を蓄積する。高速増殖炉の導入開始後は再処理施設の設備容量を拡大して使用済燃料の再処理を行う。こうした状況（プルトニウム・サイクルの確立過程）を図11に示す。またこの間

の軽水炉及び高速増殖炉の設備容量の推移を図 12 に、水素製造等を担う高温ガス炉の設備容量の推移を図 13 に、核融合炉の設備容量の推移を図 14 に、使用済燃料再処理設備容量の推移を図 15 にそれぞれ示す。なお、図 15 には高温ガス炉の使用済燃料の再処理に必要な設備容量も含まれている。

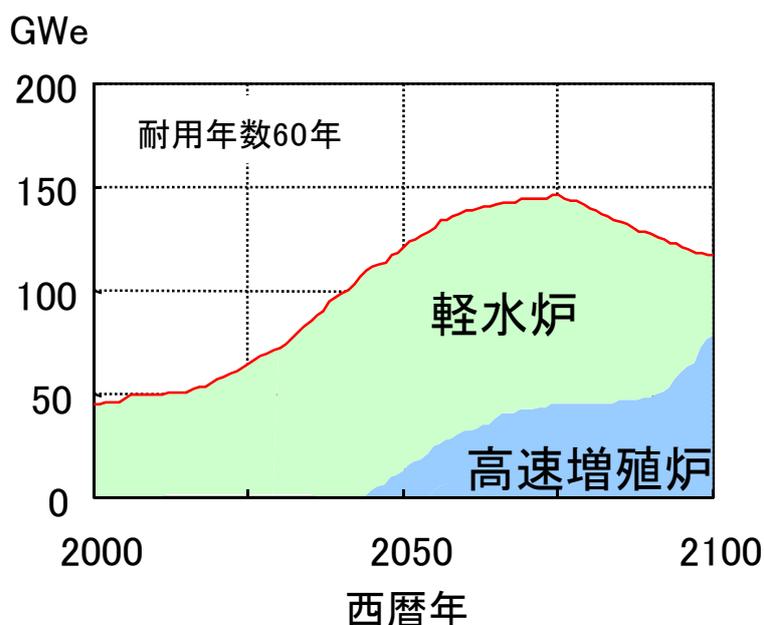


図 11 軽水炉から高速増殖炉への移行

注：GW；ギガワット（1GWe=100万kWe）eは「電気出力」を表わす

FBRの商用利用開始（2045年）以前にもんじゅ及び実証炉が導入される

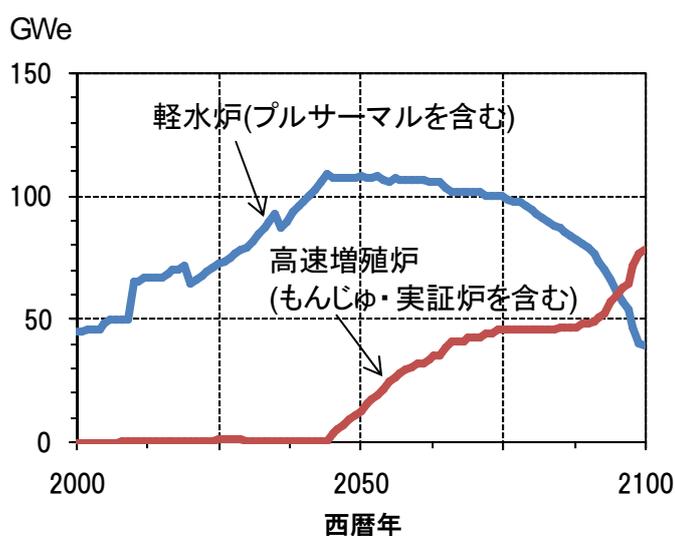


図 12 軽水炉及び高速増殖炉の設備容量の推移

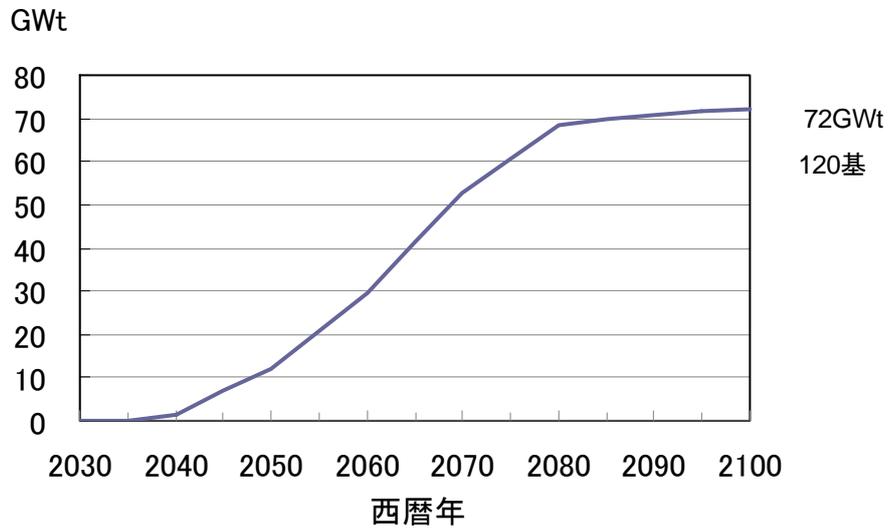


図 13 高温ガス炉設備容量の推移

注：tは「熱出力」を表わす（電気出力に換算するためには熱電変換係数
（高温ガス炉：約 0.5、軽水炉：約 0.33）をかける必要がある）

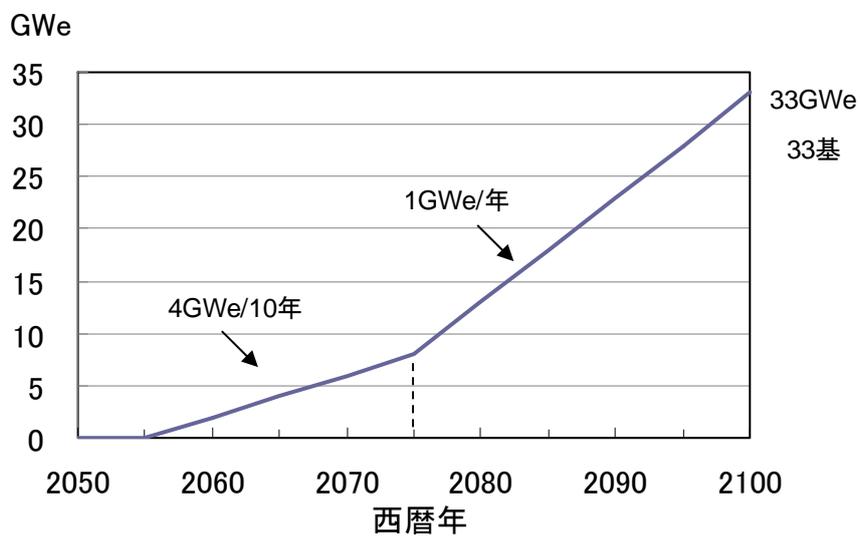


図 14 核融合炉設備容量の推移

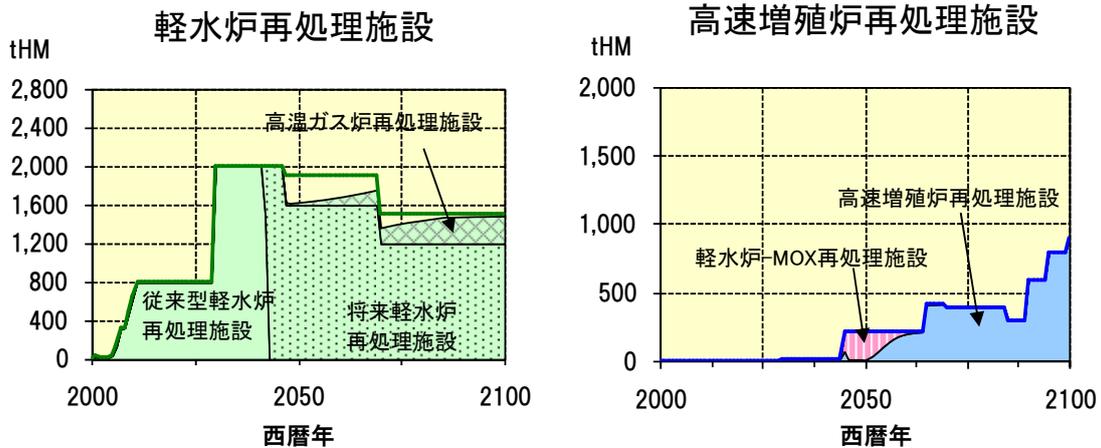


図 15 使用済核燃料再処理設備容量の推移

4. ビジョンの実現へ向けた課題等

①社会的な合意の形成

二酸化炭素の排出削減とエネルギー安定供給の両立のためには、エネルギー需給システムの全面的な転換が不可欠である。そして将来の基幹エネルギー源として何を選択するかにかかわらず、こうした転換のためにはいくつかの段階を踏んで、極めて大規模な設備の更新を行うことが必要である。(更に本ビジョンでは想定していない産業構造の大幅な変化を伴うような場合には、一層大規模な変革が必要となろう。) このため、例えば「2050年までに…」といった目標達成のためには、まず大きな方向性に関し十分な議論を重ね、社会的な合意形成を行うことが大切である。社会的合意形成を目指す議論において重要なことは、第1に社会の構成員全てが明確な当事者意識を持ち、正しい知識と情報に基づいて主体的に判断し、積極的に議論に参加していくことである。第2には、長期間にわたり、例えば化石燃料の需給状況や価格の推移、再生可能エネルギーや原子力エネルギーの利用コストの推移等、合意の内容に重大な影響を及ぼし得る諸条件を正確に予測することは困難であることを認識し、「手遅れ」になる前に最善の合意を目指すことである。そして第3には、一定の合意に達した場合には、その実現を直接の当事者の自主的取り組みだけに委ねるのではなく、必要なりソース等についても併せて合意形成を図り、実現を目指すことである。冒頭の「ねらい」の中で述べたように、このビジョンは将来のエネルギー・システムの具体的選択肢を提案することにより、社会的合意形成の一助とすることを旨として作成した。原子力機構としては、現時点では未だ実用化

レベルに達していない高速増殖炉、高温ガス炉、核融合炉等の研究開発に引き続き全力で取り組むことにより、これらシステムを他のエネルギー源と比べライフサイクルを通じての経済性も含めて優れたものとし、そのことを社会に対して分かり易く説明してまいりたい。

②全地球的な課題解決に向けて

気候変動の抑制は人類共通の課題であり、その解決のために科学技術が果たすべき役割は極めて大きい。また、将来の基幹エネルギー源について見れば、地球上各地域の特性等により、それぞれ異なる選択が行われる可能性がある。例えば自然エネルギーについては、自然環境条件によって相対的な適地は自ずと定まってくるだろうし、二酸化炭素の圧入・貯留により油田の生産量を増強できるような地域の場合には、CCS システムを装備した火力発電所の選択が他地域よりも有効となろう。また、これまで原子力発電を行っていなかった国々が、それぞれの理由から原子力エネルギーの導入を真剣に検討するようになってきたことも周知の事実である。こうした状況の中に、これまで産業構造の継続的な転換を図りながら絶えず海外市場に進出することにより経済発展を果たしてきた我が国としての方向性が示されているとも考えられる。即ち、エネルギーの供給に係る設備・機器類、環境負荷の低減を可能とする製造設備、高効率型耐久消費財等の生産・輸出を通じて、地球規模の二酸化炭素排出の抑制に貢献するとともに、我が国経済の持続的発展を果たすことが可能である。幸いにも我が国における原子力開発利用の着実な進展を通じて我が国の原子力産業の技術力は世界市場において高く評価されている[12]。今後はこの状況に安住することなく、技術的優位性を維持・強化していくことが望まれる。そのためには人的資源を含む科学技術基盤の絶え間ない維持や充実が不可欠であり、原子力機構も原子力の中核的研究開発機関として、基礎・基盤研究の推進や周辺技術領域への波及効果の創出、人材育成も含め引き続き貢献してまいりたい。

③原子力に固有の課題

本ビジョンが描いた大規模かつ広範な原子力エネルギー利用の実現のためには、高レベル放射性廃棄物の処分等の「バックエンド対策」が前提となる。図16に使用済燃料の再処理により発生する高レベル放射性廃棄物発生量及びその処分のために必要となる処分場累積面積の推移を示すが、原子力エネルギーを長期間にわたり持続的に利用していくためには、こうしたバックエンド対策にも適時・適切に対応していく必要がある。現在原子力機構では高レベル放射性

廃棄物から長期間にわたって放射線を出し続ける長寿命核種を分離し、高速増殖炉や加速器駆動システムを用いてこれを短寿命核種に核変換する技術（分離変換技術）の研究に取り組んでいる。図 16 では高速増殖炉によって生じる高レベル放射性廃棄物にはこの技術の適用を想定しているが、軽水炉に対しても別途の核変換方式を導入することで、分離変換技術の適用が可能である。この技術が実用化されれば、処分すべき廃棄物が千年以上の長期間にわたって保持し続ける潜在的な有害度を百分の一程度に低減できるばかりでなく、発熱性核分裂生成物の分離・長期（100～300 年間）保管と組み合わせることにより、処分場の面積を数分の一から百分の一程度に縮小できる可能性がある。なお、原子力利用の拡大に伴い、上記の高レベル放射性廃棄物ばかりでなく、原子力発電所の廃止に伴う発電所廃棄物や再処理工場で生じる長半減期放射性廃棄物等、低レベル放射性廃棄物の発生量も増加する。したがって、これら低レベル放射性廃棄物の処理・処分が持続的な原子力利用に支障をきたすことのないよう、処分施設の計画的整備を進めるとともに、クリアランス制度（放射性のレベルが一定の水準を下回るような廃棄物を、一般産業廃棄物と同様の方法で処分できるようにする制度）の導入等により発生量の削減を図る必要があろう。

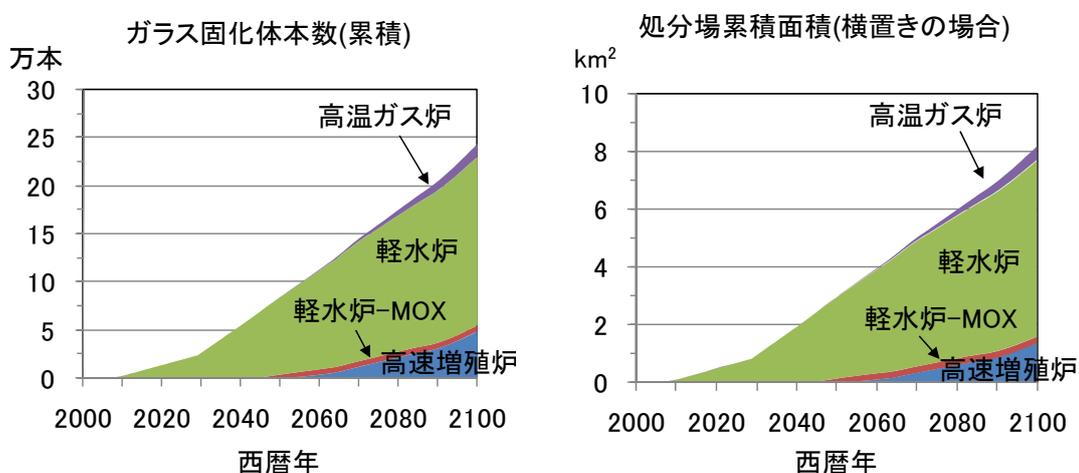


図 16 高レベル放射性廃棄物発生量の推移

※ガラス固化体製作後、例えば 50 年間冷却してから処分するが、ここでは、ガラス固化体製作年での発生量を処分場面積に換算した場合を示しているので、実際に各年度に必要となる処分場面積とは異なる。

④結びに代えて

原子力関連施設立地地域との共生を促進し、今後とも原子力の開発利用を進めていくためには「3つのS」の確保が前提である。即ち、十全の規制体系や更なる耐震性強化による「安全 (safety)」、国際的枠組みへの我が国としての主体的取り組みによる「核不拡散 (safeguards)」及び、核物質防護・核テロ対策強化等の「セキュリティ (security)」の3点の確保が責務である。このことは、今後新規原子力立地国の急激な増大が予測される状況において一層重要な意味を持つが、逆に「3つのS」の確保を前提とすれば、原子力発電こそこれまで十分な電力系統を持てなかった国・地域の基幹電源に適した技術的特性を有しているからでもある。最後に、我々と我々に続く世代が、後世の人々によって「気候変動の抑制と、人類の悲願である核兵器廃絶とを同時に成し遂げ、真に持続可能な人類社会を実現した先人達」として語り継がれることを念願し、本ビジョンの結びとしたい。

【参考文献】

- [1] IPCC 第4次評価報告書、平成19年11月
- [2] G8 北海道洞爺湖サミットの概要、平成20年7月
- [3] IEA エネルギー技術展望 2008年版 (Energy Technology Perspective 2008)
- [4] 経済産業省資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会 需給部会、「長期エネルギー需給見通し」、平成20年5月
- [5] 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報告」、平成20年3月
- [6] 総合科学技術会議、「環境エネルギー技術革新計画」、平成20年5月
- [7] 国立社会保障・人口問題研究所、「日本の将来推計人口 平成18年12月推計」、平成18年12月
- [8] 国立社会保障・人口問題研究所、「日本の世帯数の将来推計(全国推計) 平成20年3月推計」、平成20年3月
- [9] 蓮池 宏、「自動車用エネルギーアウトLOOK」、エネルギー総合工学、Vol29 No.4、2007.1
- [10] 通商産業省総合エネルギー調査会・新エネルギー部会資料、「新エネルギーの潜在性と経済性」、平成12年1月27日
- [11] 原子力委員会、「地球温暖化対策に貢献する原子力の革新的技術ロードマップ」、平成20年7月
- [12] 神田啓治、「日本の原子力産業の実力」、原子力学会誌、Vol.50, No.7, 2008
- [13] 経済産業省、「技術戦略マップ 2008」、平成20年4月
- [14] 日本エネルギー総合工学研究所、「平成17年度エネルギー環境総合戦略調査 超長期エネルギー技術ロードマップ報告書」、平成18年3月
- [15] 日本原子力産業会議、「2050年の原子力ビジョンとロードマップ」、2004年11月
- [16] 池田、田下、氏田、松井、「環境、経済、エネルギーの持続的発展のための原子力の役割」、原子力学会誌、Vol.49, No.5, 2007
- [17] 伊藤浩吉、「わが国の長期エネルギー需給展望」、日本エネルギー経済研究所、2006年6月 (<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/seminar/06-8.pdf>)
- [18] 関本、塩沢、小川、土江、西郷、「なぜ、いま原子力の熱利用なのか」、ENERGY、2006.6
- [19] 日本原子力産業協会、「高温ガス炉の導入シナリオ及び研究開発ロードマップの検討ー高温ガス炉将来展開検討会 WG2 報告書ー」、平成19年3月
- [20] 国土交通省総合政策局情報管理部、「交通関係エネルギー要覧 平成19年版」、2007年