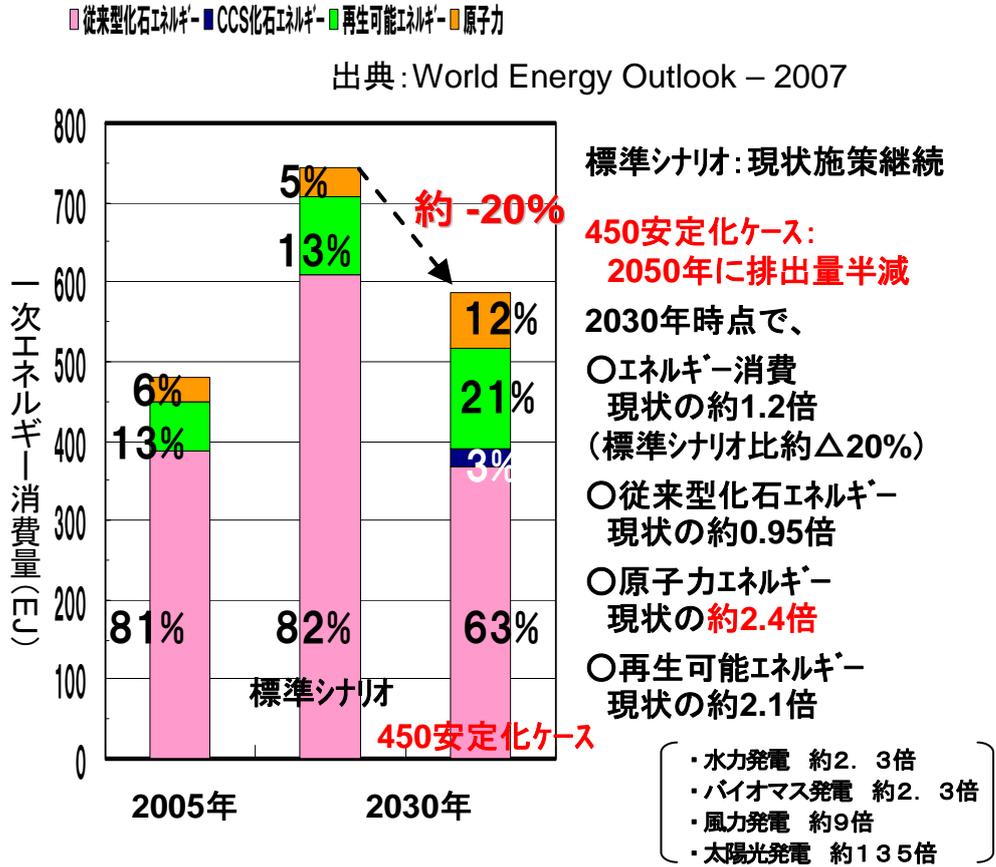


図2-1 450 安定化ケースにおける
一次エネルギー消費の試算



(4) 地球温暖化対策に貢献する原子力のビジョン

原子力委員会が策定した原子力政策大綱は、原子力発電については、エネルギー安定供給の確保及び地球温暖化対策に取り組むことの重要性に鑑みれば、2030年以後も我が国の総発電電力量の3割から4割程度か、それ以上の供給割合を担うことを目指すべきとしている。そして、そのための取り組みを、

- 1) 現在、すでに、地球温暖化対策に貢献している既存の原子力発電施設の安全、安定運転に努め、これをより効果的かつ効率的に利用するための工夫を行う短期的観点からの取組、
- 2) 既存技術システムに代わるより優れた実用原子力発電技術を準備して取替え需要や、市場拡大需要に備える中期的観点からの取組、
- 3) 持続可能な発展を目指す将来社会において原子力技術が一段と大きな役割を果たす

ことができるように、年々進歩を遂げつつある他の低炭素エネルギー技術に勝るとも劣らない性能を有する革新的原子力エネルギー技術の研究開発を進める長期的観点からの取組、

を適切に組み合わせて推進することとしている。

また、原子力政策大綱は、原子力科学技術に係る基礎・基盤研究の推進も重要課題としている。その趣旨は、原子力科学技術は、原子力エネルギー技術の進展のみならず、原子炉によるシリコンへのドーピングのように他のエネルギー技術の実現や量子ビームの原子分子レベルの診断能力を生かした研究開発の進展を通じてエネルギー技術革新にも貢献してきており、これからもこうした貢献が期待できるからである。

以上に加えて、最近の地球温暖化対策を巡る内外の議論、提言も考慮に入れると、原子力の技術開発が目指すべきところ、すなわち、ビジョンは以下のように整理できる。

ビジョン1：既存の原子力発電技術が、事実上温室効果ガスを発生しない発電技術として、内外において、社会に受容されつつ、現在より一層効果的かつ効率的に地球温暖化対策に貢献していること

ビジョン2：既存技術を発展、改良させた原子力発電技術が既存施設の寿命到来後にも、長期的な地球温暖化対策として内外において広範に採用されていること

ビジョン3：将来社会において、持続可能性の高い革新的原子力エネルギー供給システムが発電部門に導入され、原子力技術が脱炭素社会の実現に対する貢献を一層拡大していること

ビジョン4：原子力エネルギー供給技術が温室効果ガスを排出しない熱源として海水脱塩、水素製造等における熱需要に込えていること

ビジョン5：原子力科学技術がエネルギー産業の技術インフラやエネルギー技術革新インフラの一部として、エネルギー技術の供給や革新に貢献していること

(5) ビジョンの実現に必要なシステムの性能

このようなビジョンの実現に役立つ原子力技術システムを用意するためには、それぞれが貢献を目指す社会において好意的に受け入れられる性能（安全性、信頼性、経済性など）の実現を目指す必要がある。ただし、これらの具体的内容は、社会の価値観、嗜好とともに変化していくし、他の技術との比較で決まる面もあるから、競争技術の特性の動向も調査しつつ、価値観が現在とは異なるかもしれない将来社会においても受け入れられるように、システム性能について絶えず見直しを行ない、再設定していく必要がある。

① 安全性・信頼性

イ) 安全性：

定量的安全目標：

原子力施設のリスクについては、日常生活における他のリスクと比較しても、相対的に十分小さく抑えられている。しかし、原子炉施設の安全性に対する要求に関しては、チェルノブイリ事故が原子力発電に対する公衆の不安感の増幅をもたらし、一部の国が原子力発電から撤退したことを踏まえて、公衆災害の発生可能性が十分小さいことを明示することの重要性が議論され、その目安として炉心損傷確率や大規模な放射性物質の放出する事態の発生頻度で与えられる定量的安全目標案が用意されるようになってきている。こうした安全目標が社会的に受け入れられ、尊重されるように取り組んでいくことが重要である。

なお、我が国においては、阪神淡路大震災以来、地震学の知見が飛躍的に増大していることから、既存施設について、現在、新しい耐震設計審査指針など、新知見を踏まえた耐震安全性の確認が求められている。さらに、地震学の知見の増大は当分止まるところがないこと、地球温暖化に伴って自然現象の激しさが増大していく傾向にあることから、自然の脅威に関する新知見を含む様々な新知見を設計基準自然現象に反映する等、既存施設のリスク評価を見直し、既存施設の目標達成状況を再確認する作業を定期的に行う定期安全レビューも重要である。

防災対策に対する余裕：

動的機器は静的機器に比べて点検・保守頻度を高くしなければならないので、安全機能等の実現において動的機器に対する依存性を減らしたり、自己制御性やフェイルセーフ性を高くしたり、炉内の放射能インベントリを減らしたりして、故障や失敗が事故に至る確率や潜在する事故の重大性を軽減するなどの取組は固有の安全特性を強化する取組と呼ばれる。公衆災害の発生するような重大な事故が絶対に発生しないということはできないにしても、そうした事態に至るには起因事象が発生してから長い時間を経てからであるようなシステムを実現できる可能性があるため、安全要求の一つに掲げられることもある。

従業員の安全に対する配慮：

従業員の安全に配慮することも重要なことであり、労働災害リスク評価に基づき、このリスクを十分低くするようにするとともに、被ばくを実行可能な限り、小さくすることが求められる。

ロ) 信頼性：

運転信頼性：

原子炉施設の信頼性に対する要求は、運転している時間の割合を示す設備利用率、緊急停止の発生頻度、運転開始後燃料交換や設備の検査のために運転を停止

するまでの期間の長さ、燃料交換や設備の検査のために運転を停止している期間の長さ、さらには設備の寿命などで表される。これらについては、既存施設の運転管理についても将来の市場に向けた施設の設計においても、既存施設の最良値を確実に実現できることを要求に掲げるのが一般的である。

なお、設備の寿命については、最近、既存の軽水炉について、これを80年とするために必要な研究開発課題の議論が開始されており、次世代炉に対する要求として、この数字を掲げることもある。

トラブル発生頻度：

原子炉施設は、人は誤り、機械は故障するものとして、しかもなお公衆災害の発生に至る可能性を十分小さくするために深層防護の考え方を採用している。したがって、人の誤り、設備の故障が発生しても、公衆安全が損なわれるまでには十分な防御機能が残っている。しかしながら、こうした誤りや故障の発生の際に人々が不安を述べる現実があるので、この事実について相互理解活動を行うことが第一義的には重要であるが、動的機器の数を減らすなどして、こうした誤りや故障の発生頻度が小さくすることという要求を掲げることもある。

② 持続可能性

原子力技術システムが上に述べたビジョンを実現できるためには、これが世界各地で、しかも長期にわたって持続的に利用可能でなければならない。このためには、廃棄物処分場の確保可能性、燃料の確保可能性が 主要な要件となる。

1) 放射性廃棄物処分場の確保可能性：

原子力施設の運転や廃止に伴って固体状の放射性廃棄物が発生する。これらは、できるだけ減容し、安定化処理した上で、地下に埋設処分される。高レベル放射性廃棄物の場合には地下三百メートル以深に処分されるが、これが発熱体であるので、この処分場の所要面積は処分体の発熱量に依存する。そこで、将来、原子力発電が大規模に行われる場合には、処分場の開設頻度を大きくしないで済むように、この廃棄物の発熱密度を低下させることが考えられてよい。これは原理的には発熱に寄与するアクチノイド元素や核分裂生成物をなるべく廃棄物に入れないで燃料の一部に加え、原子炉で別の各種に変換することによって達成可能であるので、長期的観点からの研究においては、要求に掲げられることがある。

2) 燃料の確保可能性：

炉心に増殖特性を付与して、ウラン資源の利用率を高めることによって発電あたりの核燃料物質の消費量を小さくすることで、燃料確保の確保可能性を高めることが出来る。また、ウラン鉱石以外にもウランを含む自然物があるので、これからウランを採取することにより、利用可能なウランを多くすることが出来る。さらに、

インドでは、トリウム資源を利用することで、燃料を確保する取組も行われている。

ハ) 核拡散抵抗性：

核兵器への転用の防止及び不法接近に対する防御：

原子炉によるエネルギー供給を利用する国が増えて、機微な技術や物質を扱う原子力施設が世界各地に分散して多数設置されるようになると、核拡散リスクは増大すると考える人が多い。そこで、十分な保障措置を実施できる体制の整備や技術開発を進めるとともに、個々の施設の核拡散抵抗性を高めていくことが必要になる。また、個々の施設においては機微な物質や枢要区域に対する不法な接近を深層防護の考え方に従って排除することが求められる。

なお、施設に存在する機微な物質が核拡散の観点から魅力の薄いものにするとは、固有の抵抗性を高める観点から有効であるから、これを要求に掲げることもある。

妨害破壊行為に対する防御：

また、9.11テロ以来、妨害破壊行為に対する防御も重視されるようになり、重要な原子力施設については設計基礎脅威を定めて、これに対する防御を用意することが求められている。

③ 経済性

良いサービスを行うため、また、市場において優位性を保つために、経済性の一層の向上は重要である。エネルギー源の経済性の第一の指標は kWh あたりの発電費用や kcal あたりの発生費用といった単位エネルギー量の生産コストであり、これは資本費と燃料費等から構成され、資本費は設備の建設費とこれを調達する費用（金利）から構成される。建設費を下げるには、kW あたりの材料重量や工数を小さくすることや、設計や工法の標準化や工場組み立て作業の増加により建設期間を短縮することが重要である。特に後者は投資リスクに影響する。

燃料サイクル費はウランの調達費用から、燃料加工費、再処理費、廃棄物管理費などから構成される。我が国は、経済性に限定せず総合的評価に基づいて再処理を行うことを選択したが、この選択は核燃料サイクル費の低減に努めることの重要性を変えるものではないことに留意すべきである。

④ 立地制約の緩和

原子炉は、現行の安全審査指針では、その中心からある距離の範囲内は非居住区域とすることが求められている。また、わが国では原子炉施設については耐震安全の観点から、十分な支持性能を持つ地盤に設置することが要求されている。また、発電機を回転するのに蒸気タービンを使うために、蒸気タービンの下流にある復水器で蒸気を水に戻し、真空を確保するため、これを冷却する低温源が必要であり、河川水や空

気が使われることもあるが、わが国では、原子力発電所を海岸に立地して、これに海水を使用している。

今後、原子力発電や原子炉熱供給が内外の多くの地域で普及していくためには、立地条件に応じて、耐震安全の観点からは免震構造を採用すること、モジュラー化して非居住区域を小さくすること、大陸の内部においても建設できるように冷却塔技術を高度化することなどの工夫を採用して、立地制約を軽減していくことが重要になる。

特に、小型炉については、年間製造基数を多くすることが経済性を確保するために肝要であることから、このような点に配慮して立地制約が少ない標準設計を確立することが重要となる。

(6) ビジョンを実現できる技術システムの候補

原子力エネルギー供給技術システムは、エネルギー発生・変換技術、燃料サイクル技術、放射性廃棄物管理技術、安全確保・核不拡散抵抗性確保技術から構成される。

エネルギー発生技術には、核分裂原子炉、加速器駆動原子炉、核融合炉があり、エネルギー転換技術には主として水蒸気タービン技術が選択されるが、ナトリウム冷却炉では水と異なる冷却材を用いたランキンサイクルも、高温ガス炉ではガスタービン技術も研究開発対象になっている。

核分裂原子炉、加速器駆動原子炉の燃料サイクル技術は、核燃料物質を採掘して、濃縮し、あるいは再処理工程で回収したウランやプルトニウムと一緒にして燃料に成型加工する技術、エネルギー発生部門から取り出された使用済燃料からウランやプルトニウム、さらにはマイナーアクチニドを回収する技術、その過程及びエネルギー発生施設の運転や関連施設の廃止により排出される放射性廃棄物を管理する技術からなる。核融合のそれとしては初装荷用トリチウムの生産技術及びリチウムを採取し、“燃料”を作り出す増殖ブランケット技術がある。

安全確保・核不拡散抵抗性確保技術は、これらの技術と密接に関連してシステムを構成するが、同一のエネルギー供給技術に関するものでも、性能目標の変化に対応して高度化されていかなければならないものである。

これらの技術には様々な候補があり、それらを組み合わせて一つのエネルギー供給技術システムができるから、ビジョンを実現する観点から定まる時期に所要性能が実現できる可能性を見定めて、これらを選び、組み合わせてシステムを実現していくことを目指すことが必要になる。同時に、所要性能に係る要求水準は、原子力エネルギー供給技術の利用状況や競合技術の性能に応じて変化することがあるから、そうした変化に適応できる技術を選ぶことも重要である。

以下には、こうしたことを踏まえて、(4)の各項に示したビジョンを達成する観点か

ら検討対象と考えられる技術システムの候補と検討において重点をおくべき性能要求について検討する。

- ① ビジョン1の達成:このためには、既存の軽水炉技術、軽水炉の燃料サイクル技術、及び安全確保・核不拡散技術について、安全性・信頼性、経済性、持続可能性を改良改善していくべきである。それにより効果的かつ効率的な地球温暖化対策である既存の原子力発電所の稼働率の向上、さらには出力の増加を図る。燃料サイクル技術のうち、再処理やプルスーマルの取組を施設の運転保守性の向上や廃止措置費用の低減追求して経済性の向上を図りつつ、確実に推進していくとともに、高レベル放射性廃棄物の処分事業の実現に向けて処分施設立地点の選定活動を着実に推進していくべきであり、この観点から必要な研究開発を実施するべきである。
- ② ビジョン2の達成:このためには、安全性・信頼性、経済性、持続可能性の点で既存の軽水炉より市場性の高い次世代軽水炉技術の実用化開発と併せて、高性能燃料開発に関しての核燃料サイクル技術及び安全確保・核不拡散技術の改良改善のための研究開発を実施するべきである。また、小さい電力系統に適した中小型原子炉を安全性・信頼性や経済性はもとより、立地制約の小さいものとして開発することも、このビジョンの実現に貢献できると考えられる。
- ③ ビジョン3の達成:このためには、国際共同作業で第IV世代の原子炉候補として選定した原子炉技術と燃料サイクル技術、加速器駆動炉技術とその燃料サイクル技術、核融合炉技術（以上の炉技術にはエネルギー変換技術も含む）、ならびにそれぞれの安全確保・核不拡散技術を将来社会が持続可能な発展の観点から求める安全性・信頼性、経済性、持続可能性、立地制約の要求を満たすものとすることを目指して、研究開発を進めるべきである。わが国としては、第IV世代の原子炉候補のうちからはナトリウム冷却高速炉とその燃料サイクル技術を、核融合炉技術についてはトカマク型磁気閉じ込め方式を重点的に研究開発しており、その他の炉型については、優れた実用化技術候補を探索する基盤的研究の対象としている。なお、海水ウランの採取技術もまた、持続可能性の観点からこのビジョンの実現に有効な寄与をなす可能性があるため、その可能性を高めるための努力を行う価値がある。
また、核融合技術については、国際協力を活用しながら、トカマク方式・ヘリカル方式・レーザー方式による研究開発を進めている。
- ④ ビジョン4の達成:このためには、海水脱塩や水素製造等の熱源として事業者が原子炉熱を利用したくなるように性能目標を設定して、原子炉技術とその燃料サイクル技術及び安全確保・核不拡散技術の研究開発を進めるべきである。なお、海外では、オイルサンド・オイルシェールからの石油抽出、バイオ燃料の製造、地域の熱供給などに原子炉の核熱を利用する取組や研究開発が行われている。

- ⑤ ビジョン5の達成：このためには、電力半導体用シリコンへのドーピング施設の充実、エネルギー技術に関する技術開発活動に貢献できる量子ビームテクノロジー研究開発活動の推進などが考えられる。

(7) まとめ

以上の検討から、原子力分野は地球温暖化対策に貢献するビジョンをもっており、それを実現するために必要な性能とそれを実現することを目指して技術開発を行う技術の候補がある。それらの技術候補は以下のように整理できる。

表2-1 原子力技術開発が目指すビジョンと達成する技術

ビジョンを達成する技術	既存の軽水炉技術	燃料サイクル技術	原子力安全確保・核不拡散技術	次世代軽水炉技術	中小型炉	高速増殖炉とその燃料サイクル技術	核融合エネルギーの研究開発	原子力による革新的水素製造技術	量子ビームテクノロジー研究開発	原子力基礎・基盤研究
原子力技術開発が目指すビジョン	ビジョン1 既存原子力発電技術が温暖化対策に貢献	○	○	○						
	ビジョン2 改良技術が長期的な温暖化対策に貢献		○	○	○					
	ビジョン3 革新的原子力エネルギー技術による貢献			○		○	○			
	ビジョン4 原子力エネルギー技術が熱源として貢献			○				○		
	ビジョン5 原子力科学技術が技術革新に貢献								○	○