

3. 原子力分野における革新的技術開発のロードマップ

ここでは、前章までに明らかになったビジョンを実現することに寄与することのできる可能性を有する技術候補の技術開発を計画期間で分類して、その道程を明らかにする。その分類は、以下のようにする。

- 1) ビジョン1の実現という、直ちに成果が求められる短期の技術開発活動、
- 2) ビジョン2の実現というすでに実用化候補技術となっている技術を実際に実用技術にまで発展させて2030年頃には市場においてシェアを確保することを旨とする中期的技術開発活動、
- 3) ビジョン3、4の実現という、現在実用化候補の実証を目指した取組がなされている革新的技術を2050年頃には市場に参入できるものとする長期的技術開発活動や、現在、実用化候補技術の探索が行われている技術を21世紀後半には市場に参入できるようにすることを旨とする長期的技術開発活動、
- 4) こうした原子力エネルギー供給技術に共通して必要な安全確保技術、燃料サイクル技術、核不拡散技術を改良・発展させていく技術開発活動という、これらの活動に共通の原子力技術の持続的発展を可能にするための研究開発活動、そして、
- 5) ビジョン5の実現という革新的エネルギー技術のブレークスルーの実現に貢献する原子力科学技術の進歩を目指す技術開発活動

以下の各節には、それぞれの期間における各活動の対象技術と性能目標と、ビジョンを実現するための取組の道筋（ロードマップ）を明らかにする。なお、この取組を円滑に進めるためには、技術開発活動そのものの他に、配慮がなされるべきと考えられた事項は第4章に取りまとめる。

3. 1 技術開発活動の対象の選定

(1) 軽水炉の高度利用

趣旨：現在、我が国で利用されている軽水炉は、発電過程で温室効果ガスを排出せず、大規模かつ安定に電力を供給している。したがって、この軽水炉が安全を確保しつつ、より効果的かつ効率的に電力供給を担えるように細心の注意を払いつつ改良改善を進めることは、地球環境保全とエネルギー安定供給に大きく役立つ。

取組の内容：

① 原子力安全確保技術

- a. 現行軽水炉が高い安全性、信頼性を維持していくことが出来るように、中越沖地震を踏まえた耐震安全確保、高経年化対応、燃料の高燃焼度化、検査制度の改善など、新たな知見、経験を適宜に反映したリスク管理活動を着実に推進するための基盤技術の充実を図る。
- b. 現行軽水炉がより高い設備利用率で運転したり、定格出力を上昇して運転出来るように、運転中機器検査診断技術を開発したり、リスク情報を活用した科学的・合理的な試験・検査計画の評価技術、合理的な安全規制を可能にする基礎・基盤学術の充実を図る。

効果の生まれる時期：取組は実行可能な限り迅速に進め、成果を順次現場に反映していく

② 核燃料サイクル技術

趣旨：我が国は、原子力エネルギーを安定的かつ長期的に利用していくため、核燃料サイクルの推進を基本方針としている。今後、安全の確保を図りつつ、その着実な推進を図るとともに、経済性の向上を図り、我が国において核燃料サイクルの推進を意義あるものとするよう努めることが重要である。

取組の内容：

- a. 核燃料供給に不可欠なウラン濃縮について、技術の改良・改善、最新技術の導入によって、経済性向上と大規模化を実現し相当規模の自給率を達成することで、安定的な原子力利用の基盤を強化する。
- b. 使用済燃料を再処理し、プルトニウム、ウラン等を回収し有効利用する技術について、2015年頃までに燃料の高燃焼度化等に伴う処理方法の改良改善を図り、安定的な原子力利用の基盤を強化する
- c. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関して、段階的に技術の実証、安全規制基盤の充実に資する研究開発を進め、事業をスケジュールにそって推進することにより、原子力の持続的な利用の基盤を強化する。
- d. 低レベル放射性廃棄物の処理処分や原子力施設の廃止措置について、技術開発により、より安全で、経済的な方法を実現し、廃棄物の低減や資源の再利用につなげることで、原子力の持続的な利用の基盤を強化する。

(2) 中期的観点から取り組む技術開発活動

① 次世代軽水炉の技術開発

趣旨：2030年前後に見込まれる既設軽水炉の大規模な代替炉建設需要に備えるとともに、世界的な原子力回帰に伴う原子力発電所建設需要に対応するため、安全

性、経済性、信頼性等に優れ世界標準を獲得し得る次世代軽水炉を開発し、国内外の市場に投入することにより温室効果ガス排出量削減により貢献することができる。

成果の反映時期：2030年の市場において優位性を有することを目指す

② 中小型炉の研究開発

趣旨：途上国や島嶼国等において中小規模の発電需要に対応可能なコンパクトで安全性の高い中小型炉を開発することにより、原子力発電導入国の多様なニーズに対応し、国際的な原子力の利用拡大に貢献することができる。

成果の反映時期：2015年頃以降に海外市場への展開を目指す。

(3) 長期的観点から取り組む技術開発活動

① 高速増殖炉（FBR）とその燃料サイクル技術の研究開発

趣旨：安全で信頼性の高い、FBRサイクル技術は、ウラン資源の飛躍的な有効利用を可能とし、放射性廃棄物の潜在的有害度の低減に貢献でき、原子力エネルギーの持続的利用に貢献する。

取組の内容と成果の反映時期：2050年よりも前の商業炉の開発を目指して、高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転再開をはじめ、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性に関する開発目標・設計要求を設定し、これらを満足する概念設計を2015年に得ることを当面の目標として、FBRサイクル技術を実証・実用化するための研究開発を実施する。

② 原子力による革新的水素製造技術

趣旨：高温ガス炉により温室効果ガスを排出することなく水素を製造する技術を確立し、従来の水素製造技術を置き換え、発電分野以外の温室効果ガスの排出削減に貢献する。

取組の内容：水素製造等の高温ガス炉を用いた熱供給システムの実用化を目指して、以下を行う。

1) 高温ガス炉高性能化技術

2) 水の熱分解による革新的水素製造技術

成果の反映時期：当面、HTTR等を活用して高温ガス炉及び原子炉熱を利用した水素製造技術を開発し、2020～2030年頃の実証を目指す。

③ 核融合エネルギーの研究開発

趣旨：核融合エネルギーは反応が連鎖的に起こる恐れが無く安全性に優れ、燃料が豊富で地域偏在性がなく、そして、高レベル廃棄物が発生せず、より環境に優しく、持続可能なエネルギー源である。

取組の内容：核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証する国際協力プロジェクト「ITER計画」及びこれを補完・支援する「幅広いアプローチ」を活用して研究開発を推進する。

成果の反映時期:21 世紀中葉までに実用化の目処を得るべく研究開発を促進する。

(4) 革新的な原子力の技術開発を持続させるために必要な技術開発活動

① 原子力の安全確保・核不拡散技術

趣旨：次世代軽水炉、中小型炉、高速増殖炉、核融合、原子力による水素製造等の革新的原子力技術に係る安全性、信頼性、また、核拡散抵抗性を高めていくための研究開発を行うとともに、その知見を新たな規制等のあり方に反映していく。

取り組みの内容：

それぞれの研究開発の中で、安全確保技術に係る研究開発も併せて行う。

② 原子力基礎・基盤技術

趣旨：軽水炉の高度利用、次世代軽水炉、中小型炉、高速増殖炉、核融合、原子力による水素製造等の革新的原子力技術の持続的な発展を維持するため、核データ、原子炉設計解析ソフト、安全解析ソフトの整備、革新的材料の照射試験等の継続的实施による充実など、核工学・炉工学の研究、燃料・材料工学の研究、環境・放射線工学の研究、革新的核燃料サイクル技術の探索などに継続的に取り組む。例えば、

- a. 海水等からのウラン等の有用金属を回収する技術を、技術革新により競争力のある技術とすることができれば、ウランその他有用な鉱物資源の供給を安定的に行うことができる。
- b. 長寿命核種を分離し、短寿命化等の変換が経済的に実施できれば、放射性廃棄物処分の負担を大幅に軽減することができる。

(5) 革新的エネルギー技術のブレークスルーの実現に貢献する原子力科学技術

趣旨：量子ビームは、材料改質や微細加工、微小試料の構造解析、軽元素や磁性体の解析など物質・材料を原子レベルで「みる」「つくる」ことができる強力な手段であり、量子ビームテクノロジーを高度化・活用することにより、材料開発等、革新的エネルギー技術の開発にブレークスルーをもたらすことが可能である。これを用いて、燃料電池や水素貯蔵用の高機能性材料の創出などを行い、水素社会実現に向けたロードマップを着実に推進する。また、太陽電池の高性能化などを通して、様々な高機能の地球環境保全技術の開発に貢献する。

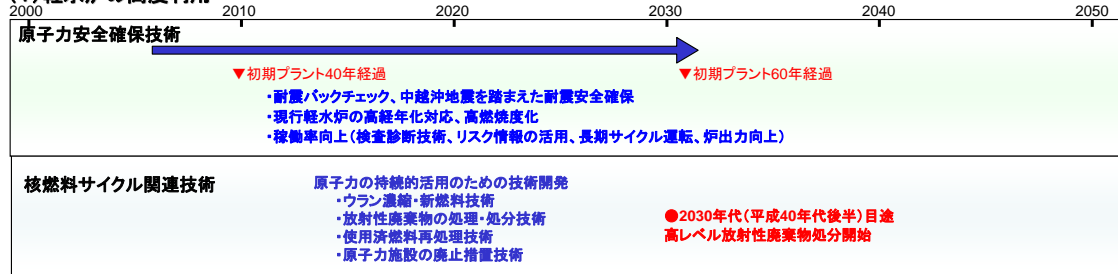
表3-1 原子力技術開発に求められる主な性能要求

性能要求 原子力 技術開発	安全性・信頼 性	持続可能性	経済性	立地制約
軽水炉の高度利用	現状と同等以上の 安全性	(軽水炉：プルサ ーマルの着実な 推進) (ウラン濃縮： 1,500tSWU/年の 達成)	(軽水炉：将来的 に設備利用率 90%) (ウラン濃縮：国 際的に比肩しう る経済性)	
次世代軽水炉	(被ばく線量の大幅な低減)	(プラント設計寿命：80年) (使用済燃料の発生量の削減)	(建設工期：約30ヶ月以下) (設備利用率：97%)	(耐震性：免震技術の採用)
中小型炉	現状と同等以上の 安全性			途上国の電力系統への柔軟な対応
高速増殖炉サイクル技術	(炉心損傷確率： 10^{-6} /炉年未満)	(ウラン及びTRUの廃棄物への移行率：0.1%以下) (低除染TRU燃料で増殖比1.2以上等)	(炉建設費：20万円/kWe以下) (再処理・燃料製造費0.8円/kWh以下)	
核融合	制御不能となるような連鎖反応は起こらない。	原型炉建設判断までに燃料に使用されるトリチウムの増殖、回収機能を実証。	高ベータ（高圧力）定常運転法の確立	
原子力による革新的水素製造技術	(炉心損傷確率： 10^{-6} /炉年未満)		～2010(熱効率：約40%) ～2050(熱効率：50%以上)	

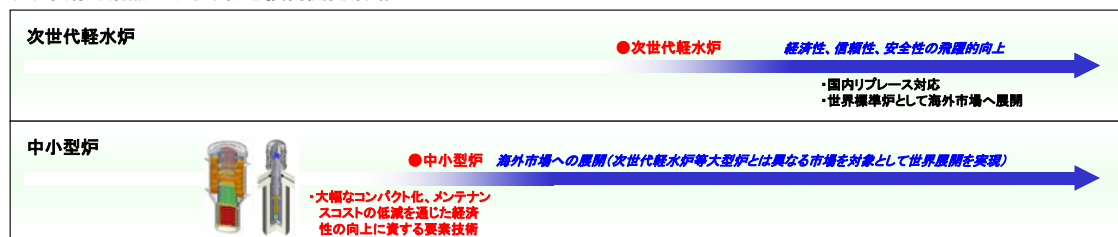
※上記は、今後の技術開発において、現時点で想定されている主なもの。開発段階の進捗により追加・修正されうるものである。

3. 2 課題毎の原子力の革新的技術開発ロードマップの概要

(1) 軽水炉の高度利用



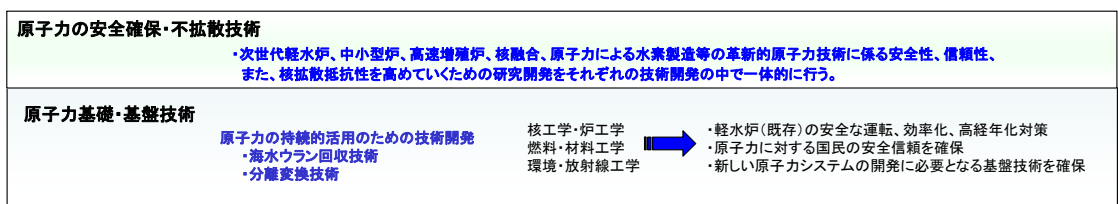
(2) 中期的観点から取り組む技術開発活動



(3) 長期的観点から取り組む技術開発活動



(4) 革新的な原子力の技術開発を持続させるために必要な技術開発活動



(5) 革新的エネルギー技術のブレークスルーの実現に貢献する原子力科学技術



※ 本ロードマップは、現時点での見込みであり、その推進は、各々の段階での評価等を経て、見直されることを前提としている。

4. 実現に向けた推進方策、必要な基盤整備等

(1) エネルギー技術の外部性の評価活動

原子力技術については、その潜在的リスク故に、当初より公衆リスクの観点が多様に議論され、その過程を通じて、極めてまれな大事故のリスクや廃棄物処分が（半減期が産廃と違って有限であるにも係らず）超長期間にわたって人類の将来に与える可能性としての影響、そして核拡散リスクといった外部性の大きさを評価する技術が発達し、これを小さく保つための国際的取り組みも推進されてきている。しかしながら、他のエネルギー技術については、地球温暖化問題自体がこうした外部性の評価が遅れたためにその顕在化が指摘されるまでに至ったものとも言えるにもかかわらず、その評価作業と情報共有が十分ではない。その対策と喧伝されて最近急速に増大している食用植物によるバイオ燃料生産が食料品価格を押し上げて貧しい人々の生活環境を悪化させるという外部不経済を生み出しているのはその一例である。

多様なエネルギー技術と資源を通じてのエネルギー需給は人類の生命維持装置という複雑系の一部であることを忘れず、特定の技術を重視しようとするときにはその技術の利用がこの複雑系に与える影響を少なくとも外部不経済の評価を加えたライフサイクルアセスメントを通じて明らかにし、その結果をステークホルダーたる人類と共有することはエネルギー技術の研究開発活動やエネルギー政策の推進に必須の要件である。

エネルギー技術の外部性評価については、EU が米国 DOE と連携して ExternE という先見性のある取り組みを行ってきたが、天然資源に恵まれないという地政学的特性を踏まえて、エネルギー効率の高い経済システムを構築する一方、多くの新エネルギー技術を輸出し、途上国に技術協力を行ってきているわが国は、こうした評価の検証に有用なデータに事欠かない国である。途上国を取り込んだこうしたエネルギー技術とシステムの評価を世界規模で推進することにわが国がリーダーシップをとるべきである。

(2) 国民との相互理解活動の充実

わが国が地球温暖化対策として原子力利用を推進していくためには、原子力発電所の新增設を着実に進めていく必要がある。このためには、引き続き、原子力の安全性や信頼性について国民との相互理解に努めるとともに、地球温暖化対策としての原子力の位置付けを国民に説明し、原子力エネルギー利用の意義についての理解促進もあわせて行う必要がある。また、新たな原子力技術の利用については、技術の進展に対応した規制等の整備を行うことになるが、この内容についての国民との相互理解活動も重要である。

こうした原子力を巡る国民と推進者の間の相互理解活動が円滑に進むためには、原子力を含む科学技術に対する国民の興味、理解を高めるための児童生徒、そして社会人に

対してのこの分野の学習機会の充実を図っていく必要がある。

(3) 科学的・合理的な規制の追求、基準の整備

既存の原子力発電所の設備利用率向上、定格出力向上等が、現実的かつ即効性がある地球温暖化対策として強く期待されている。これを可能にするためには、産学官の関係者が今後の技術的課題についての認識を共有し、明確な役割分担・連携の下で、研究を進めて、その成果を共有して、学協会などを有効に活用して、利害関係者としての国民の参加を可能にした公正・公平な手続きの下で、これを実現するための規格基準の整備を行っていくことが効果的である。

なお、新たな原子力技術システムを研究開発の終了後遅滞なく導入普及できるためには、研究開発段階の進展にあわせてその一部としてそのシステムを実用に供する際の規格基準類の開発を行い、それが時宜を得て規制当局の採用するものとなるよう規制当局との情報交換等を進めていくべきである。

(4) 他の分野、民間との連携による実用化、普及の促進

原子炉が温室効果ガスを排出しない熱源として様々な産業分野において利用されるためには、そうした産業分野において使いやすい熱源にしていく工夫や、化石燃料の燃焼による熱源に適応している技術を原子炉を熱源とできるように変換するのに必要な知見を提供すること、あるいは原子炉の建設・運転管理のノウハウを持たずして、この熱源を利用したいとする希望を満たす方法を案出することが原子力界に求められる。

さらに、各種のエネルギー供給技術に原子力技術が生かされるようにするためには、原子力分野以外のエネルギー技術分野との連携・共同作業を推進する必要がある。

(5) 国際展開、国際協力に向けた取組

地球温暖化問題は、今後ともエネルギー需要が着実に増大する途上国のエネルギー政策への対応も極めて重要である。したがって、地球温暖化対策の強化およびエネルギー安定供給確保の観点から、原子力発電の規模を拡大したり、新たな導入を検討したりしているこれらの国が、安全性と核不拡散を担保しつつ、それを実現できるように支援することには、国際公共政策としても妥当である。

このため、原子力発電が地球温暖化対策として有効であることについてのコンセンサスの形成に努め、クリーンデベロップメントメカニズム(CDM)、共同実施(JI)等の対象に原子力を加えること、ポスト京都の類似の枠組みにおいては当初より原子力も対象とすることに力を尽くすとともに、原子力利用の前提となる、安全、核不拡散、核セキュリティを確保する国際体制の強化を図りつつ、原子力を導入しようとする国々の

原子力利用のための基盤を整備する取組に積極的に協力していくべきである。

また、我が国としては、わが国原子力産業が国際展開を推進できる環境を整備する観点から、輸出に係る公的金融の活用、貿易保険の活用等を進めるべきである。さらに、第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(G I F)、国際原子力エネルギー・パートナーシップ(G N E P)、I T E R計画等の原子力の研究開発に係る二国間、多国間の枠組みを通じて、研究開発の効果的、効率的推進を図るべきである。

さらに、IAEAを中心に、原子力を安定的に利用するための国際的な核燃料供給保証の議論も進んでおり、我が国はこれらに、主要なメンバーとして積極的に参画するべきである。

(6) 国の科学インフラの充実

2050年までに温室効果ガスの排出量を現状の半分にし、究極的にはゼロにするという環境エネルギー技術革新計画を実施する上では、現在、国が実施しているエネルギー研究開発だけでなく、様々なブレークスルーを目指しての大学や研究機関における基礎的、基盤的研究が新しいアイデアの懐妊をもたらし、新エネルギー技術の研究開発を進展させる原理的知見を生み出し、そのための学術研究インフラが基礎データを提供し、あるいは生み出すことを忘れてはならない。基礎研究なくしてエネルギー技術の研究開発はあり得ないのである。

(7) 技術移転、知識管理と人材育成

エネルギー供給技術は、国が研究開発を行うとしても、民間の活動により市場を通じて普及する。そこで、その研究開発においては、なるべく早い段階から市場の声を聴いて、これを反映することが出来るようにすることが重要であり、実際、新技術の実用化においてダーウインの海を抜け出す一つの鍵は、市場からのフィードバックを受ける実証試験の成功である。この試験を企業家精神に溢れる民間事業者と連携して実施する仕組みは計画実現に必須であるとの認識が重要である。

また、実証及び実用化は産学官の役割分担を踏まえつつ柔軟な実施体制で推進されることが重要である。そして、知識・技術の移転には人の移転のみならず、ノウハウの移転のために国の整備した研究開発施設や設備の民間による利用も重要であることを踏まえて、知的財産を適切に管理しつつ、効果的、効率的な技術移転システム等を構築することが必要である。

さらに、こうした研究開発の成果として得られる技術の実用化や、これまでに得られた知識・経験を次代において積極的に活用するためには、組織内部あるいは組織間で知識・技術を体系的に管理して、円滑に継承することや、移転することが必要である。し

たがって、研究開発機関や研究者、技術者は、実用化に向けた努力の早い段階から産学官相互の知的連携が図られるよう研究開発活動の相互乗り入れや相互学習のためのネットワークの整備を心がけ、さらにはこれらを通じ世代を超えた知的財産管理の取組を推進していくべきである。

この場合、我が国の研究開発活動に知識の国際ネットワークの利用も有用であることに鑑み、国内外の人材の流動性の向上、研究データや関連情報の発信等のための基盤整備を進める等、多面的かつ国際的ネットワークも構築・整備していくべきである。また、事業を進めていくためには適正な質と量の人材を確保することが不可欠であるから、原子力分野の人材の育成のあり方について総合的に検討して関係者に発信し、産業界、教育界において責任ある適切な取り組みが行われるようにすることが重要である。