

第4章

原子力研究開発の推進

4

原子力研究開発の推進

先人の努力により実用化された原子力エネルギー技術は、我が国においてエネルギー安定供給とエネルギー消費に伴って排出される温室効果ガス量の低減に貢献し、また、放射線利用技術は、学術の進歩、産業の振興、人類の生活の福祉向上に大きく寄与している。

これまで継続して実施されてきている原子力研究開発活動は、これらの技術進歩に多大な貢献を果たしてきており、我が国を含む人類の持続可能な発展に貢献できる可能性を有する新たな知見や革新技術を産み出すとともに、人々に学術分野や医療を含む産業分野でそれらを効果的に活用する意欲を与えるものである。

我が国では、(独)日本原子力研究開発機構(原子力機構)をはじめとする研究機関、大学、民間等様々な主体が、平和の目的に限り、安全の確保を大前提に、効果的かつ効率的に行うことに留意しつつ、現在利用されている技術の陳腐化に備えて、あるいは新たな利用分野の開拓を目指して、新しい原子力科学技術を実用化していくための原子力研究開発に精力的に取り組んでいる。

(1) 原子力研究開発に関する政策の基本的考え方

原子力政策大綱では、原子力研究開発は、その役割と研究開発の有する不確実性等を踏まえ、実現時期が遠い将来となると考えられる長期的な視点に立った研究から、既に実用化された技術の改良・改善という短期的な視点に立った研究開発まで、異なる段階の研究開発を並行して進めることが適切であるとした上で、表4-1に示すように各段階に応じて取り組むべき課題に言及している。

また、大綱では、原子力研究開発を進めるにあたって必要となる大型の研究開発施設は、原子力分野のみならず、科学技術活動の幅広い分野において重要な役割を果たすとともに、これを有効利用することで、科学技術のセンター・オブ・エクセレンス(COE)を形成する可能性も有していることに留意し、施設の建設・運用にあたっては、関係者が連携・協力してユーザーの利便性向上のための環境を整備していくことが重要であること、加えて、原子力研究開発を将来にわたって着実に進めていく上では、様々に創出された知識やそれを獲得するまでの経験を次の世代に適確に継承するとともに、その過程を通じて、新たな知識・経験を創出する機会を得ていくための知識・情報基盤を整備していくことにも取り組むことが重要であるとしている。

表 4-1 原子力研究開発の段階と取組課題の事例

<p>○基礎的・基盤的な段階</p> <p>我が国の原子力利用を分野横断的に支え、その技術基盤を高い水準に維持したり、新しい知識や技術概念を獲得・創出することを目的とし、また、研究者・技術者の養成にも寄与するところが大きい研究開発。</p> <p>国や研究開発機関、大学によって、国際協力を効果的に活用しつつ、主体的に推進されるべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力安全研究 ・原子力の共通基盤技術（核工学、炉工学、材料工学、原子力シミュレーション工学等） ・保障措置技術 ・再処理の経済性の飛躍的向上を目指す技術 ・分離変換技術 ・量子ビームテクノロジー 等
<p>○革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する段階</p> <p>基礎的・基盤的な研究開発で生まれた革新的技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する研究開発。</p> <p>国は実用化に至るまでに要する費用との関係において、予想される実用化に伴う公益の大きさに応じて取組の在り方を定めるべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ITER（国際熱核融合実験炉）計画等 ・核融合エネルギーを取り出す技術システム ・高温ガス炉とこれによる水素製造 ・小型加速器がん治療システム 等
<p>○革新的な技術システムを実用化候補まで発展させる段階</p> <p>原子力利用や広範な科学技術分野に革新をもたらす可能性が大きい革新技术システムを実用化候補にまで発展させる研究開発。</p> <p>国及び研究開発機関が産業界とロードマップを共有し、大学や産業界の協力・協働を得つつ、主体的に取り組むべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高速増殖炉及びそのサイクル技術 等
<p>○革新技术システムを実用化する段階</p> <p>実用化候補技術システムの中から実用化するために計画・実施される研究開発。</p> <p>原則として、そのシステムによる事業を行う産業界が、自ら資源を投じて実施すべき。国は、公益の観点から重要と考える場合等に限って、費用対効果を評価し、支援を行うべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物処分技術 ・改良型軽水炉技術 ・軽水炉の全炉心ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）利用技術 ・放射線を利用した環境浄化技術 等
<p>○既に実用化された技術を改良・改善する段階</p> <p>既に実用化された技術を改良・改善する研究開発。</p> <p>事業者が自ら資源を投じて実施すべき。成果が多く、事業者間で共有されることが望ましい場合や、公益に資するところが大きい場合には、国がその内容を評価しつつ、共同開発等の仕組みを整備して、これを支援・誘導することが妥当。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・既存軽水炉技術の高度化 ・遠心法ウラン濃縮技術の高度化 ・MOX 燃料加工技術の確証 ・高レベル廃液のガラス固化技術の高度化 等

(2) 原子力研究開発に関する取組と現状

①各段階の原子力研究開発の取組

1) 基礎的・基盤的研究開発

原子力を支える基礎的・基盤的研究は、物理・化学分野、医学・ライフサイエンス分野、環境科学分野、燃料・材料その他の工学的分野等広範にわたり、様々な機関において推進されている。

〈原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブの創設〉

文部科学省では、これまで原子力試験研究費制度によって、原子力政策大綱に示された原子力の研究、開発及び利用に関する政策の基本方針に則り、各省庁の行政ニーズを踏まえた基礎的・基盤的研究を推進してきたが、これをより開かれた競争的な制度に改革するとともに、政策ニーズを明確にした戦略的なプログラム・テーマを設定し、重点化を図る観点から、新たな競争的資金制度として「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」を平成 20 年度に立ち上げた。本制度により、以下の 3 つのプログラムを一体的に推進し、基礎的・基盤的研究の充実・強化を図る。

原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ

－戦略的原子力共同研究プログラム－

国の政策ニーズに基づき重点化されたテーマ設定に従い、組織や研究領域を超えた横断的な共同研究を推進し、戦略的かつ先端的な研究を行うプログラム

－研究炉・ホットラボ等活用研究プログラム－

原子力固有のホット施設の活用を推進し、原子力利用に係る技術基盤の維持・向上を図るため、ホット施設の特色を生かした基盤的かつ先端的な研究を行うプログラム

－若手原子力研究プログラム－

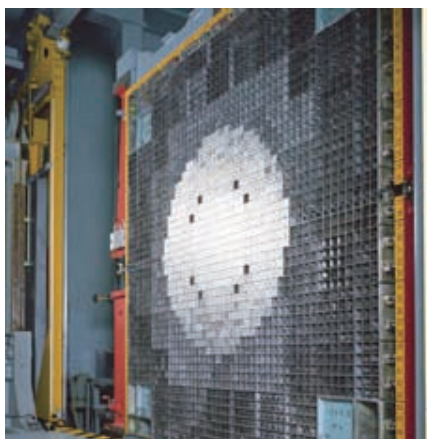
原子力分野の革新技术の探索や将来を担う研究者を育成するため、若手研究者が斬新なアイデアに基づき、基礎的・基盤的な研究を行うプログラム

〈原子力機構の取組〉

原子力機構は、核工学・炉工学研究、燃料・材料工学研究、環境・放射線工学研究、先端基礎研究、高度計算科学技術研究等、原子力の持続的な利用と発展に資する基礎的・基盤的研究等を総合的に推進している。

核工学・炉工学研究では、高速炉臨界実験装置（FCA）（図 4-1）を用いた超ウラン元素含有炉心の特性評価や、中性子を用いた流体を可視化する技術成果に基づいて、炉心設計技術の高度化のための高精度解析システムの整備が進められている。また、原子炉設計のほか、放射線医療や宇宙物理研究等に広く利用されている汎用評価済み核データライブラリー（JENDL）については、近く核データ誤差評価機能を充実させた新版 JENDL-4 が公開される予定である。

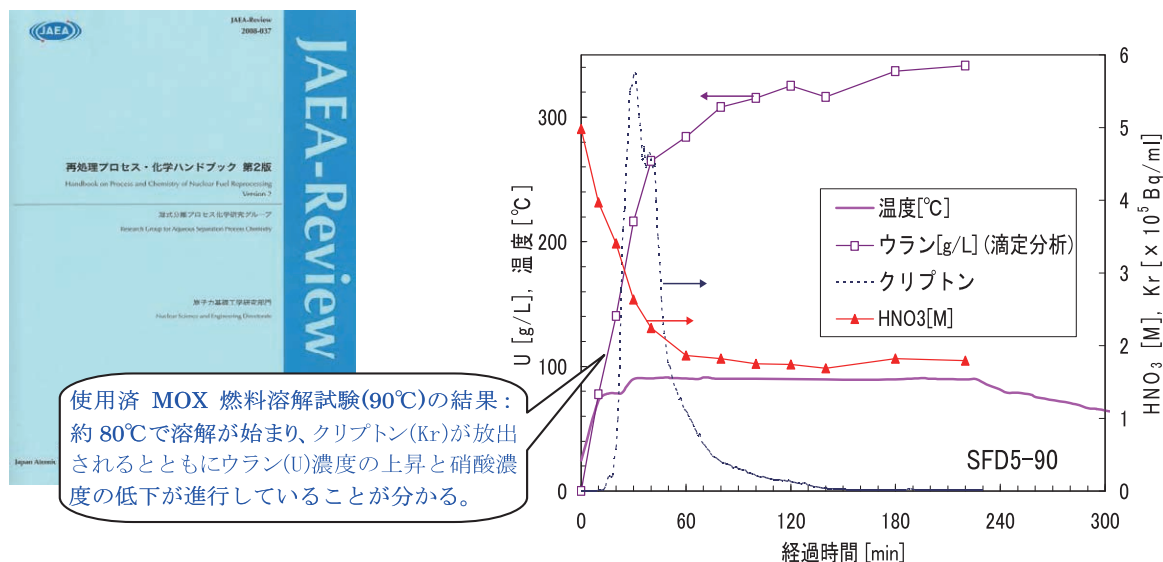
図 4-1 高速炉臨界実験装置（FCA）と主な利用実績



主実験期間	実験目的
1967-1969	ウラン系基礎実験
1972-1974 1975-1980	高速増殖原型炉「もんじゅ」模擬実験
1992-1994	酸化物燃料高速炉標準炉心特性実験
1999-2001	ADS 基礎実験
2002-2004	低減速炉模擬実験
2004-2007	将来型高速炉模擬実験

燃料・材料工学研究では、新型燃料と再処理技術に関する基礎的研究を実施している。再処理技術に関する基礎的研究の成果として、「再処理プロセス・化学ハンドブック第2版」を完成させた（図4-2）。本書には、使用済混合酸化物（MOX）燃料等の湿式再処理試験で得た元素挙動に関するデータに加え、アクチノイド元素（ネプツニウム等）の基盤特性データ、各種原子炉からの使用済燃料の組成等も記載されており、湿式再処理の技術基盤の一層の強化に役立つことが期待される。

図 4-2 「再処理プロセス・化学ハンドブック第2版」と記載データ例



環境・放射線工学研究では、放射性物質等の環境動態を解明するための包括的予測モデル・システムの構築を行っている。その基礎として、炭素 14 の海洋及び森林における環境挙動の解明を進めた。また、国際的核不拡散体制の強化に資する極微量同位体比分析技術の開発を行い、国際原子力機関（IAEA）の保障措置分析技術として技術認定された。中性子・高エネルギー放射線被ばく評価手法の開発等を実施し、医療分野で広く使われている米国核医学会線量評価用放射性核種データ集の最新版に、原子力機構で開発したデータベースが組み込まれた。

先端基礎研究では、将来の原子力科学の萌芽となる未踏分野の開拓を進めることを目的に、超重元素核科学、アクチノイド物質科学、極限物質制御科学、物質生命科学の 4 つの分野で研究を行っている。

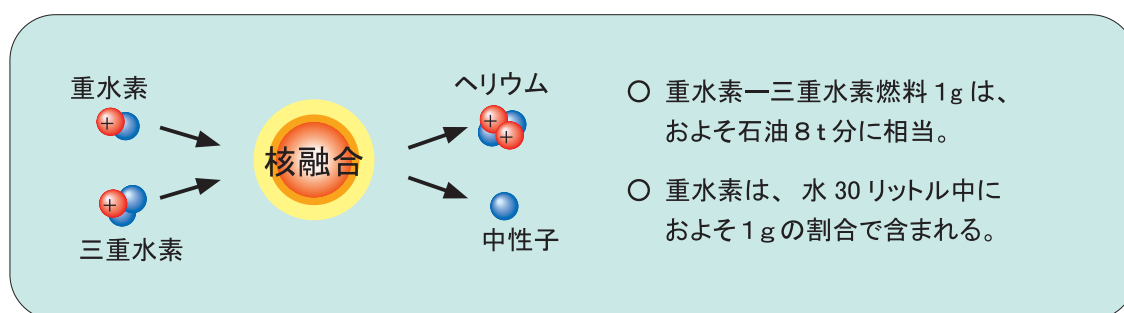
高度計算科学技術研究では、原子力分野における様々な開発に貢献する計算手法やデータベースの構築、グリッド技術による並列分散計算技術の開発、超高速コンピューティングニーズに効率的に対応できるシステムの開発を行っている。

また、軽水炉技術を中心とする研究開発を産業界と協働で実施するため、原子力エネルギー基盤連携センターを設け、官民協力による技術開発を実施している。

2) 革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する研究開発 〈核融合研究開発〉

核融合エネルギーは、軽い原子核同士（重水素、三重水素）が融合してヘリウムと中性子に変わる際、質量の減少分がエネルギーとなって発生するものである（図 4-3）。

図 4-3 核融合の原理と発生エネルギー



【核融合エネルギーの特徴】

- 豊富な資源 …燃料資源が海水中に豊富に存在し、枯渇の恐れがない。少量の燃料から膨大なエネルギーを得ることができる。
- 安全性 …燃料の供給を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することができるなど、安全対策が比較的容易。
- 高い環境保全性…発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素を発生しない。低レベル放射性廃棄物は発生するが、従来技術で処理処分が可能。

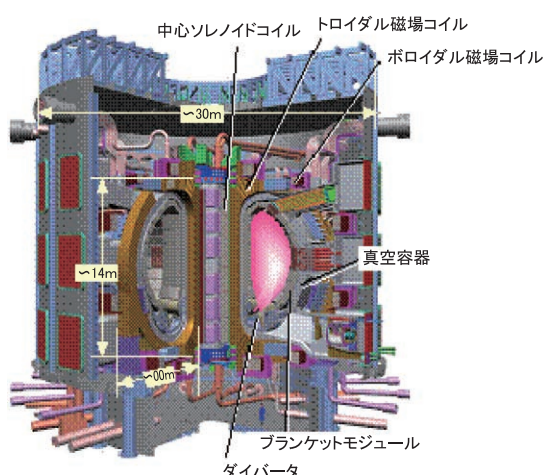
エネルギーの長期的な安定供給と環境問題の克服を両立するエネルギー源として、核融合研究開発は、1950年代に本格的に開始され、段階的に推進している。

我が国では、現在、原子力委員会が策定した「第三段階核融合研究開発基本計画（平成4年）」等に基づき、原子力機構、核融合科学研究所及び大学等の相互の連携・協力により核融合研究開発を進めている。

ITER計画は、核融合実験炉の建設・運転を通じて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ことを目指す国際共同プロジェクトであり、現在、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国及びインドの7極が参加している。

我が国は、ITER計画を実施する国際機関であるITER機構に対し積極的に人員を派遣するほか、ITERの建設に当たり、欧州に次ぐ割合の機器を製作するなど、ITER計画の推進に大きな役割を担っている。平成20年度においては、ITER機構との調達取り決めにに基づき、我が国が担当するITERの主要機器である超伝導コイルの製作を進めるなど、建設活動が本格化している（図4-4）。

図4-4 ITERの概要（左：ITER鳥瞰図、右：ITER機構本部ビル（平成20年11月完成））



さらに、原型炉の実現のために必要である炉工学研究やITERだけでは実施できないプラズマ物理研究等、ITER計画を補完・支援する先進的研究開発プロジェクトである幅広いアプローチ活動を、日欧協力により、我が国において実施している。平成20年においては、我が国が担当する機器の製作やサイトの整備を進めてきたところである。

また、我が国では、ITER計画等の多国間協力に加え、米国、欧州、韓国、中国との二国間協力も推進している。

国内においては、将来の原型炉を見据えて、トカマク方式、ヘリカル方式、レーザー方式の3方式を中心とした核融合研究開発を進め、世界を先導する成果を上げている。

原子力機構は、平成20年8月、世界最高プラズマ温度（5.2億度）をはじめとする世界を牽引するプラズマ性能を達成してきたトカマク型臨界プラズマ試験装置（JT-60）の23年4か月にわたる運転を停止し、幅広いアプローチ活動の一環としての超伝導化改修に着手した。また、核融合炉用発電ブランケットに向けた第一壁の製作技術の確立と性能実証に世界で初めて成功

した。その他にも、理論・シミュレーション研究、核融合炉材料研究や核融合炉の安全性に係る試験等を実施している。

大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所においては、我が国独自のアイデアに基づくヘリカル方式による世界最大の大型ヘリカル装置を建設し、全国の関連分野の研究者の共同利用・共同研究に供するとともに、新しいプラズマ領域の研究を世界に先駆けて行っている。平成 20 年 12 月には、体積平均ベータ値（プラズマ圧力と閉じ込め磁場の比）5.1% の高圧力プラズマの生成に成功するなど、今後の動向について世界から注目を集めている。

また、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいては、レーザー方式の先駆的・基礎的研究を実施している。この他、他大学、独立行政法人等において、各種閉じ込め方式による基礎的研究、炉工学に係る要素技術等の研究が進められている。

〈革新的原子力システム〉

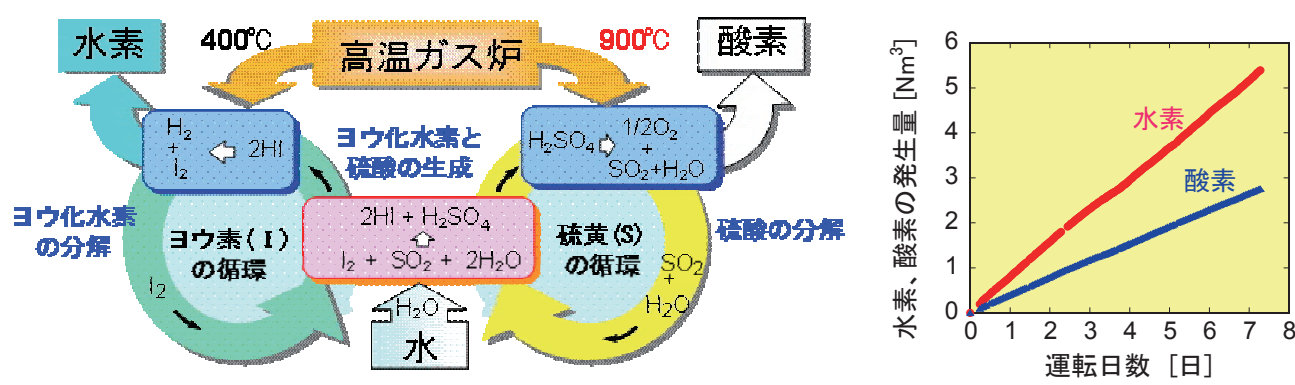
i) 高温ガス炉研究開発

高温ガス炉は、固有の安全性をもった原子炉設計が比較的容易であるだけでなく 1,000℃ 程度の高温の熱を供給できるため、発電のみならず水素製造のための手段として利用するなど、原子力エネルギー利用に選択肢を与えることが期待されている。

原子力機構では、高温ガス炉の基盤技術の確立を目指した研究開発として、高温工学試験研究炉（HTTR）での運転・試験を進めており、平成 16 年 4 月には、世界に先駆け原子炉出口冷却材温度 950℃ を達成し、平成 20 年度には、HTTR において次年度以降に計画している定格出力 30MW、出口温度 950℃ での長期間運転及び炉心流量をゼロとする安全性実証試験のための準備を進めた。また、水を原材料として水素を製造する高温熱分解水素製造技術（IS プロセス）について、耐熱・耐食材料・機器・水素製造効率に関する要素技術の確証に向けた研究開発を進めている（図 4-5）。これらのような研究開発を通して、二酸化炭素を放出しない高温ガス炉水素製造技術の開発を着実に進めている。

また、原子力機構は、カザフスタン国内における発電・熱供給用の超小型高温ガス炉の技術支援を行うとともに、カザフスタンとの間で平成 20 年 6 月に安全性研究、10 月に人材育成に関わる覚書を結び、情報交換を行った。

図 4-5 IS プロセスの概要



ii) 革新的水冷却炉の研究開発

原子力機構、メーカー等は、プルトニウムの増殖率を高め、燃料の多重リサイクルを可能にすることにより、ウラン・プルトニウム資源の有効利用を図る革新的な低減速水冷却炉の開発に向けて、炉物理試験、限界熱流速試験、被覆管材料開発等の革新的水冷却炉実用化に向けた技術開発を連携しつつ進めている。

また、東京大学と（株）東芝を始めとするメーカー等との産学連携の下、超臨界圧水冷却炉の開発が進められている。超臨界圧水冷却炉は、現在数多くの火力発電プラントで用いられているタービン・ボイラー技術を活用した軽水炉であり、単純でコンパクトな構造及び熱効率の向上等を実現することにより、建設及び運転コストの低減を目指している。

iii) 公募型研究制度

文部科学省においては、公募による競争的環境の下、産学官のポテンシャルを最大限発揮できる環境を整備し、革新的原子力技術の研究開発を推進するため、平成 17 年度から競争的資金制度を適用した公募事業「原子力システム研究開発事業」を実施している。本事業により、原子力の基盤的研究における産学官の連携の強化や関連技術の蓄積を図るとともに、革新的原子力技術の開発を実施している。

経済産業省においては、第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム（Generation IV International Forum：GIF）や国際原子力エネルギー・パートナーシップ（Global Nuclear Energy Partnership：GNEP）構想に基づく日米の原子力エネルギー研究開発協力等の国際協力枠組みにおいて国際連携による研究開発が提案されている技術分野や、近年希薄化が懸念される原子力を支える基盤技術分野について、産業界の参画やニーズの提示の下、大学等が実施する研究活動への支援や将来の原子力人材の育成を実施しており、各分野の目的に沿った革新的な技術開発を推進している。

iv) 国際協力

実用化に至るまで長期間と膨大な資源が必要となる革新的な原子炉や核燃料サイクル技術（革新的原子力システム）に関する研究開発については、これを一国で進めるよりは、人的・資源的に国際分担を行い、成果を共有する国際的枠組みで進めることが合理的であるという認識の下、現在、GIF、革新的原子炉及び燃料サイクルに関する国際プロジェクト（International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles：INPRO）、GNEP 等の国際協力の枠組みを活用して研究開発を進めている。

－GIF－

米国エネルギー省の提唱により発足した、「核拡散抵抗性の確保」、「持続可能性」、「安全性及び信頼性の向上」及び「高い経済性」の達成を目標とする次世代の原子炉概念の選定と、その研究開発を国際共同作業で進めるためのフォーラムであり、平成 13 年（2001 年）に発足し、日本を含む 12 か国と 1 機関（アルゼンチン、ブラジル、カナダ、中国、仏国、日本、韓国、ロシア、南アフリカ、スイス、英国、米国及び EURATOM（欧州原子力共同体））が参加している。現在、

第4世代原子力システムに求められている達成目標を満足し、2030年までに実用化が可能と考えられる6候補概念（①ガス冷却高速炉、②熔融塩炉、③ナトリウム冷却高速炉（MOX燃料、金属燃料）、④鉛冷却高速炉、⑤超臨界圧水冷却炉、⑥超高温ガス炉）の選定を終了し、今後の国際共同作業を進めるための準備検討を行っているところである。我が国は、最高決定機関である政策グループ会合の副議長を務めるなどして、主導的立場から積極的に参画している。

－INPRO－

増加するエネルギー需要への対応の一環として、安全性、経済性、核不拡散抵抗性等を備えた革新的システムの導入環境の整備等について支援を行うことを目的として、平成13年（2001年）5月にIAEAの呼びかけにより発足した。平成20年（2008年）12月現在、27か国と1機関（欧州委員会（EC））が参加しており、我が国は平成18年（2006年）から参加している。現在、2050年までを見通した、将来の原子力エネルギー技術、概念の比較方法及び基準を選定するとともに、ユーザー要求を定めるための検討を行っている。

－DOE/JAEA/CEAのナトリウム冷却高速炉プロトタイプに向けた協力－

原子力機構（JAEA）、フランス原子力庁（CEA）及び米国エネルギー省（DOE）は、ナトリウム冷却高速実証炉／プロトタイプ炉（以下、「実証炉／プロトタイプ炉」という。）開発への取組みの協力を強化するため、平成20年（2008年）1月31日に実証炉／プロトタイプ炉の協力覚書に署名した。同年8月、この協力をより一層強化するため、覚書の改定を実施し、「もんじゅ」データの活用等の協力内容を追加した。

3）革新的な技術システムを実用化候補まで発展させる研究開発

この段階に位置するのは高速増殖炉及びそのサイクル技術（以下、「高速増殖炉サイクル技術」）の実用化に向けた研究開発である。

高速増殖炉サイクル技術は、軽水炉システムに比べて、格段に高いウラン資源の利用率を実現できるのみならず、再処理により回収されたマイナーアクチニド（MA）も燃焼できるので、発生エネルギー当たりの高レベル放射性廃棄物の発熱量及び長期にわたる潜在的環境影響を低減できる。このため、この技術を軽水炉システムに匹敵する安全性や経済性を有するものにできれば、原子力エネルギーの大規模かつ継続的な利用を可能にし、我が国のエネルギー安定供給の確保のみならず、人類の持続可能な発展にも貢献できる可能性が高い。そこで、我が国は、2025年頃の実証施設の実現と2050年よりも前の商業炉の開発を目指して、安全性、経済性等に関する性能目標を定めて研究開発を進めてきており、第3期科学技術基本計画（平成18年3月閣議決定）においても、国家的な大規模プロジェクトとして基本計画期間中に集中的に投資すべき国家基幹技術として選定された。

〈高速実験炉「常陽」〉

実験炉「常陽」は、昭和52年4月初めの臨界以来順調な運転を続け、高速増殖炉の開発に必要なデータや運転経験を着実に蓄積し、初臨界以来、平成20年12月末現在で、累積運転時間

が約 70,798 時間、累積熱出力が約 62.4 億 kW 時に達しており、588 体の運転用燃料、220 体のブランケット燃料及び 101 体の試験燃料等を照射し、高速炉炉心での燃料集合体や燃料ピンの安全性と照射特性を明らかにしてきている。「常陽」では、環境負荷低減のためのマイナーアクチニド含有燃料、高速炉燃料の長寿命化を目的とした酸化物分散強化型フェライト鋼燃料被覆管材（ODS 鋼）、自己作動型原子炉停止機構（SASS）の電磁石構成要素等の照射試験等が実施されていたが、平成 19 年 11 月に確認された計測線付実験装置試料部との干渉による回転プラグ燃料交換機能の一部阻害により運転を停止しており、原因究明と対策を検討している。

〈高速増殖原型炉「もんじゅ」〉

高速増殖原型炉「もんじゅ」（図 4-6）は、高速増殖炉サイクル技術のうち最も開発が進んでいる MOX 燃料とナトリウム冷却技術を用いた、発電設備を有する我が国唯一の高速増殖炉プラントである。平成 7 年 12 月の 2 次冷却系ナトリウム漏えい事故以来、プラントは停止状態にあるが、原子力機構は、平成 19 年 5 月に原子炉施設の安全性向上を目的とするナトリウム漏えい対策に係る改造工事を完了し、平成 20 年 8 月に改造工事に係る工事確認試験を終え、プラント全体の健全性の確認を行うためのプラント確認試験を実施している。しかしながら、プラント確認試験中にナトリウム漏えい検出器の誤作動や屋外排気ダクトの腐食等のトラブルが相次ぎ、ナトリウム漏えい検出器の点検調査や屋外排気ダクトの補修のため、平成 20 年度に予定していた運転再開を延期し、工程を見直すこととなった。原子力機構では、原子力安全・保安院の特別な保安検査における安全管理体制等の不備に関する指摘を踏まえた「もんじゅ」に係る組織体制の改善や、新潟県中越沖地震の経験を踏まえた耐震安全性に係る評価を実施するなどして、運転再開に向けて精力的に準備を進めているところである。

図 4-6 高速増殖原型炉「もんじゅ」

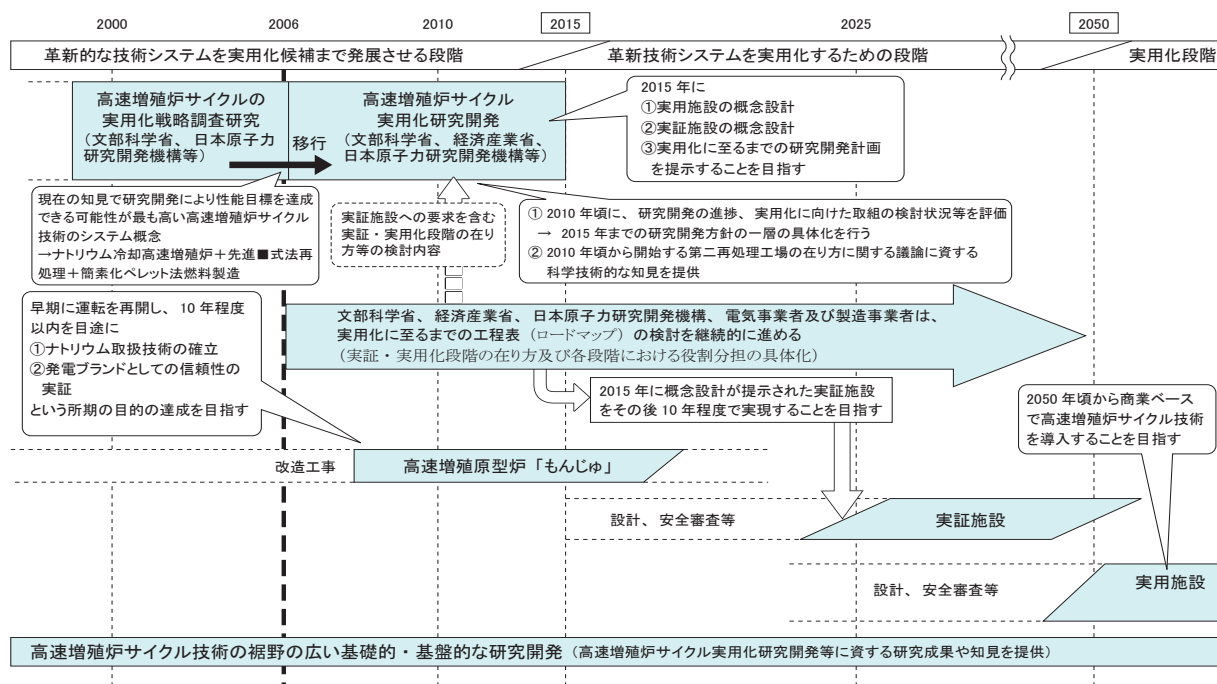


〈高速増殖炉の実用化に向けた取組〉

我が国では、原子力機構を中心として高速増殖炉サイクル技術の研究開発を着実に実施してきた。また、平成 18 年 8 月に経済産業省の総合資源エネルギー調査会原子力部会において「原子力立国計画」がとりまとめられるとともに、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評

価分科会原子力分野の研究開発に関する委員会においては、原子力機構が電気事業者とともに実施してきた「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ」の最終報告書を受けて、同年 10 月「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」がとりまとめられた。これらを受けて、原子力委員会は「高速増殖炉サイクル技術の今後 10 年程度の間における研究開発に関する基本方針」（平成 18 年 12 月 26 日：原子力委員会決定）を提示した（図 4-7）。

図 4-7 原子力委員会の定める「高速増殖炉サイクル技術の今後 10 年程度の間における研究開発に関する基本方針」を踏まえた実用化に至るまでの取組のイメージ



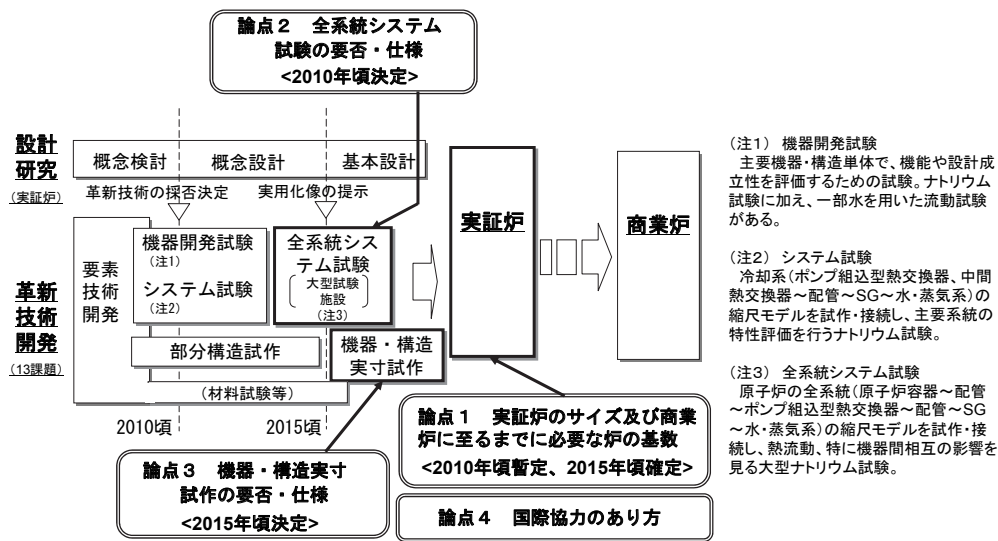
これらの方針等を受けて、原子力機構では、平成 19 年より「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を開始し、革新的な技術の成立性に係る要素技術開発とその成果を反映した設計研究を実施している。

高速増殖炉サイクル実用化研究開発では、現在の知見で実用施設として実現性が最も高いと考えられる実用システム概念「ナトリウム冷却高速増殖炉、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組み合わせを開発対象の主概念として、「もんじゅ」における成果をも反映し、安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性に係る開発目標を達成できる高速増殖炉サイクルの実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を 2015 年に提示することを目指している。2010 年には、実用施設に採用する革新技術の採否について判断を行うこととしている。

また、この研究開発は、研究開発側と導入者側が連携協力し、研究開発段階から実証・実用化段階に円滑な移行を図るべく、平成 18 年 7 月より、経済産業省、文部科学省、電気事業者、メーカー、原子力機構の関係者からなる、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」による議論、合意に基づき進められている。特に、高速増殖炉については、同協議会において合意された「高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理」（平成 19 年 4 月 25 日）に基づく開発のステップと論点に則して、

産学の役割分担の下で研究開発が進められている（図4-8）。

図4-8 高速増殖炉の実証ステップと、それに至る研究開発プロセスのイメージ



※ 太枠は、論点に位置付けられるステップを示す。

原子力委員会は、研究開発の進捗状況や、実用化に至る工程表の検討を始めとする実用施設及びその実証施設の設計の具体化に係る取組状況、それらに対する評価等について、文部科学省及び経済産業省から適宜に報告を受け、これを確認し、必要に応じて意見を述べるとともに、本基本方針の妥当性について評価を行うこととしている。

4) 革新技術システムを実用化するための研究開発

2030年前後に到来が予想される、現在稼動している原子力発電所の高経年化等による代替炉建設時代までの間、我が国の原子力産業の技術・人材の厚みを維持・発展させることはエネルギー政策上の深刻な課題となっている。経済産業省は、電気事業者・メーカー・学識経験者等の参画を得つつ、官民一体となって次世代軽水炉開発戦略調査を実施し、世界標準を獲得し得る高い革新性を有する技術、参画するメーカー各社に共通性のある基盤的技術を基本原則として、次世代軽水炉の技術開発項目等を検討した。その結果を踏まえ、官民一体となった開発体制の下、平成20年度から次世代軽水炉開発に着手した。2015年度までに基本設計の完了を目指し、以下のような研究開発を進めている。また、技術開発の成果の円滑な実用化に資するため、安全当局との連携を図り、規制高度化を一体的に推進することとしている。

<次世代軽水炉の6つのコアコンセプト>

1. 世界初の濃縮度5%超燃料を用いた原子炉系の開発による、使用済燃料の大幅削減と世界最高の稼働率実現
2. 免震技術の採用による、立地条件によらない標準化プラントの実現
3. プラント寿命80年とメンテナンス時の被ばく線量の大幅低減を目指した、新材料開発と水化学の融合
4. 斬新な建設技術の採用による、建設工期の大幅短縮
5. パッシブ系、アクティブ系の最適組合せによる、世界最高水準の安全性・経済性の同時実現
6. 稼働率と安全性を同時に向上させる、世界最先端のプラントデジタル化技術

電源開発（株）は、国の補助のもと、大間原子力発電所の稼動に向けた全炉心 MOX 炉の技術開発を着実に推進しており、平成 20 年度は、原子炉系、原子炉冷却系、燃料取扱系等に係る技術開発項目について、特性確認試験に必要な機器の設計や材料発注を行うとともに、機器の製作を進めている。また、同年 4 月の原子炉設置許可を受け、同年 5 月に着工した。

原子力機構は、民間事業者からの要請に応じて、六ヶ所再処理工場への技術者の派遣による人的支援、要員の受け入れによる養成訓練を継続して行っている。また、東海再処理施設において、平成 18 年度から「ふげん」の MOX 燃料の再処理試験を実施しており、加えて、高燃焼度燃料の再処理試験を行うための準備を進めている。

5) 既に実用化された技術を改良・改善するための研究開発

日本原燃（株）は、我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、国際的なレベルに比肩する経済性と技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を国の補助のもとに進めており、原子力機構による六ヶ所ウラン濃縮工場への技術者派遣による人的支援も併せて行われている。また、同社は、我が国初の民間 MOX 燃料工場の円滑な設計、建設、操業に資するため、同工場で採用する各種技術の適合性の確証等の研究開発を進めており、原子力機構は、同社の要請に応じ、MOX 燃料粉末調整設備に関する確証試験を継続して実施している。

②大型研究開発施設の活用

1) 加速器

加速器は、基礎科学の進歩や学術研究、工業、農業、医療活動等の放射線利用分野の拡大に貢献するとともに、先端的な放射線利用である量子ビームテクノロジーを発展させる上で、重要な基盤施設である。

原子力委員会では、研究開発専門部会の下に加速器検討会を設置し、平成 16 年 4 月に「加速器の現状と将来」と題する報告書をまとめた。

大型放射光施設（SPring-8）

遠赤外線から X 線までの広い波長領域の高輝度な光である放射光は、物質・材料科学や生命科学等の広範な基礎研究から応用研究のための有力な研究手段となる。平成 9 年 10 月に供用を開始した大型放射光施設（SPring-8）においては、原子炉材料の応力腐食割れの機構解明やアクチニド抽出分離材料の評価等の利用研究が本格的に進められており、我が国の科学技術、産業技術の発展に大きな役割を果たしている。



図 4-9 大型放射光施設（SPring-8）

提供：理化学研究所、高輝度光科学研究センター

RI ビームファクトリー

(独) 理化学研究所においては、水素からウランまでの全元素の放射性同位元素 (RI) を世界最大の強度でビームとして発生させる加速器施設「RI ビームファクトリー」計画を推進しており、平成 18 年度から RI ビーム発生系施設を稼働させたほか、RI ビームを用いた本格実験の開始を目指して基幹実験設備の整備が進められている。

図 4-10 RI ビームファクトリー (RIBF) 超伝導リングサイクロトロン



イオン照射研究施設 (TIARA)

原子力機構高崎量子応用研究所に設置されているイオン照射研究施設 (TIARA) では、イオンビームのマイクロ化、シングルイオンヒット技術等のユニークな技術を開発し、細胞レベルでの分析や材料微細加工等に応用できるビーム利用技術の展開が図られている。

重粒子線がん治療装置 (HIMAC)

重粒子線がん治療装置 (HIMAC) は、医療用としては世界初の重粒子線がん治療装置であり、(独) 放射線医学総合研究所では、平成 6 年 6 月より重粒子線治療の臨床試験を実施してきた。平成 9 年 3 月には重粒子医科学センター病院が開設され、本格的な臨床試験の場として運営されている。

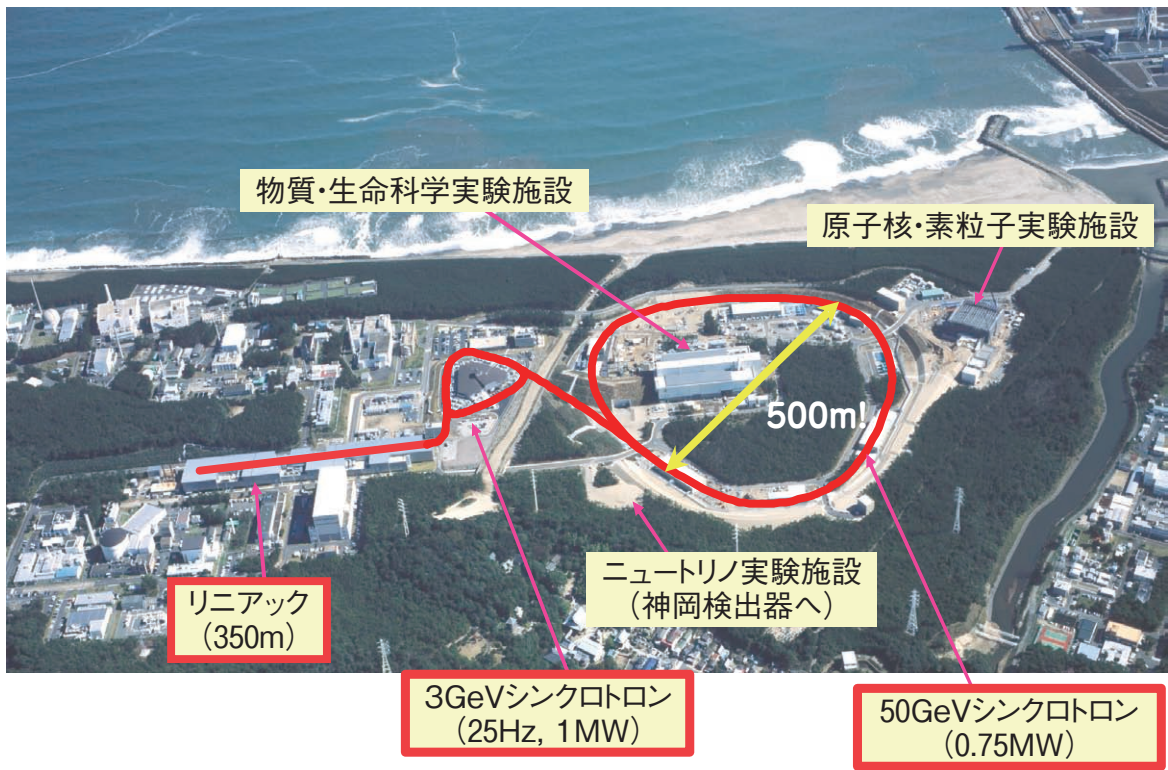
平成 16 年度から二か年計画で重粒子線がん治療の普及に向けた医療用重イオン加速器の小型化に関する研究を進め、現行の HIMAC の入射器と比較して大きさが約 5 分の 1 の小型線形加速器の開発及びビーム加速試験に成功した。これらの成果を踏まえ、平成 18 年度より群馬大学において、HIMAC の約 3 分の 1 の重粒子線照射施設の建設が進められている。一方、(独) 放射線医学総合研究所においては、スキャニングビームを用いる次世代照射装置の開発に取り組んでいる。

大強度陽子加速器施設 (J-PARC)

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 計画は、核破砕反応により生成される中性子、ミュオン、K 中間子、ニュートリノといった多様な 2 次粒子を用いて、広範な領域の科学技術の研究を進めようという実験施設の整備計画である。この計画は、平成 13 年度から原子力機構と大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構との共同プロジェクトとして建設が進められており、平成 18 年には施設運営を円滑に行う組織として J-PARC センターが発足し、平成 20 年 12 月から中性子、ミュ

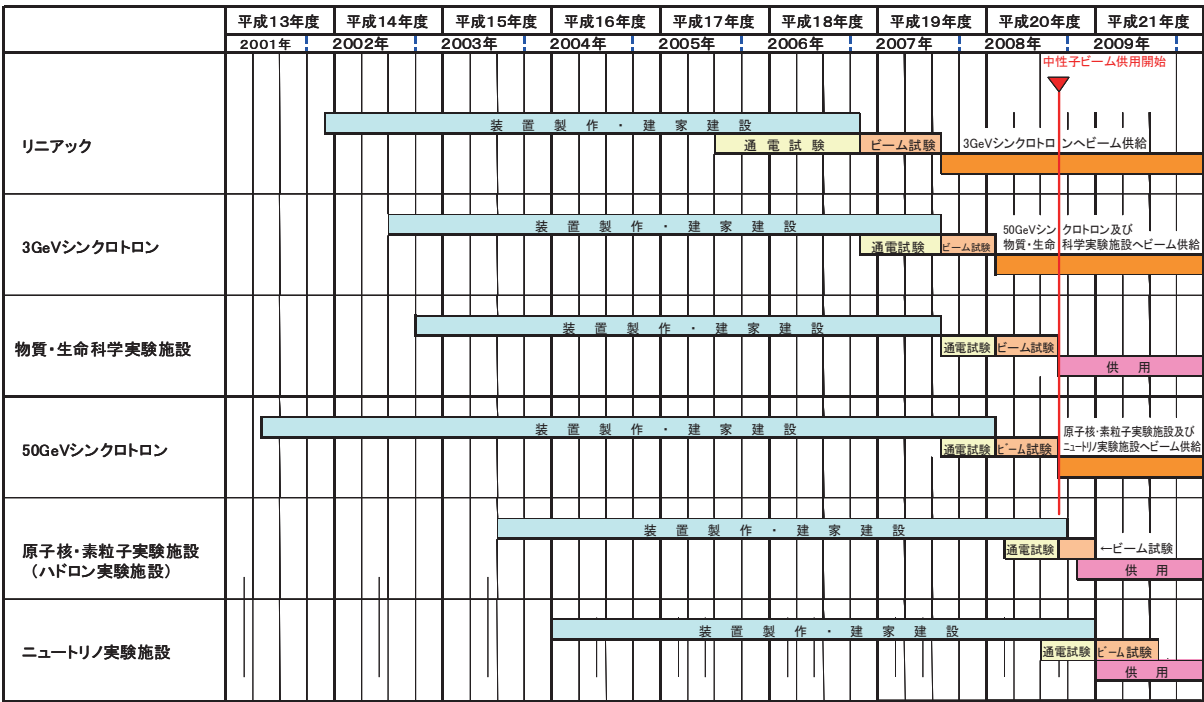
オンビームの供用を開始している。本加速器により、タンパク質等の構造解析等の物質・生命科学研究、物質の起源を探るための原子核・素粒子物理学研究など、基礎研究分野から産業利用まで幅広い分野での多様な貢献が考えられている。

図 4-11 大強度陽子加速器施設 (J-PARC)



4
原子力研究開発の推進

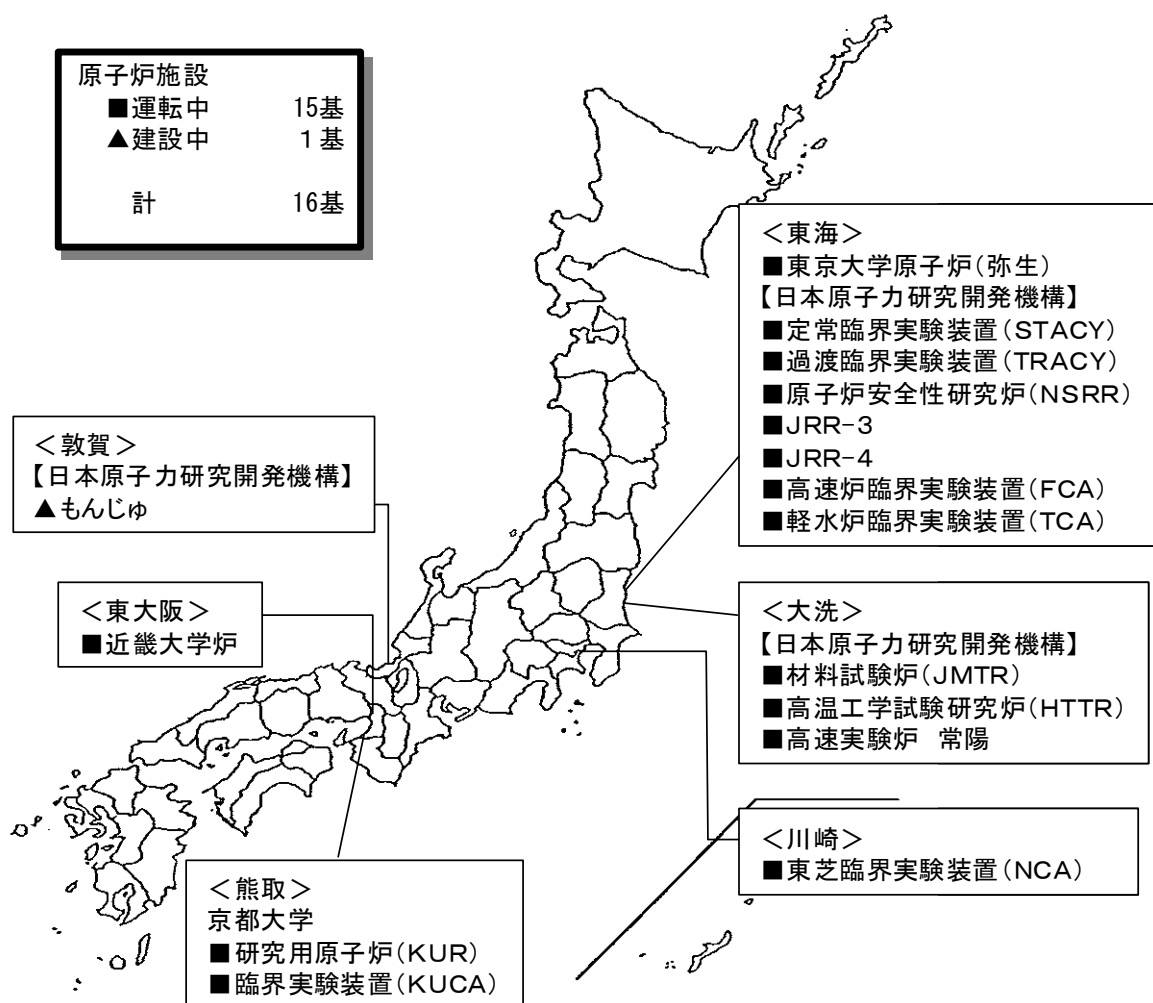
図 4-12 J-PARC 計画 今後の予定



2) 研究開発用原子炉

研究炉や試験炉、ホットラボ等の施設は、我が国の原子力研究開発基盤を支えるとともに、原子力人材を養成する場として必須となるものである。平成 20 年末現在、我が国の試験研究用及び研究開発段階にある原子炉施設は、16 の施設が原子力機構や大学等により設置されており、原子炉の設計や安全性等原子力に関する研究開発のほか、ナノテクノロジー・材料等広範な研究開発に利用されている（図 4-13）。

図 4-13 試験研究用及び研究開発段階にある原子炉施設立地地点（平成 20 年 12 月末現在）



材料試験炉（JMTR）

原子力機構の材料試験炉 JMTR は昭和 43 年に初臨界を達成して以来、発電用軽水炉燃材料等の照射試験、大学を中心とした基礎研究、人材育成、ラジオアイソトープの製造等に広く利用されてきた。平成 18 年に一旦停止した後、平成 19 年度から老朽化した機器の更新を開始しており、平成 23 年度から再稼働する予定である。設備の改修、更新にあたっては、利用ニーズに対応した新たな照射設備を整備し、再稼働後は、我が国の公共資産として産業界等に広く開放し、軽水炉の高経年化対策や次世代軽水炉の開発のほか、ITER 開発等の科学技術水準の向上に貢献するとともに、医療用アイソトープの製造や中性子による NTD シリコンの製造等、産業利用

にも供される予定である。このような JMTR の運営等に対して利用者等の意見が的確に反映され透明性を持った運営がなされるよう、原子力機構では、平成 20 年 2 月に機構内に JMTR 利用・運営委員会を設置したところである。

JRR- 3、JRR- 4

原子力機構の試験研究炉 JRR- 3 は、中性子ビーム実験及び材料照射ができる高性能汎用研究炉として、原子力の基礎研究、大学の共同利用、民間利用に広く供され、中性子散乱実験、材料照射試験、医療用ラジオアイソトープ製造、NTD シリコン半導体の製造等に利用されている。また、試験研究炉 JRR- 4 は、利用者の希望により、出力、運転時間、パターンを変更することができる特長を生かし、医療照射（BNCT）、原子力技術者の研修等に利用されている。JRR- 3 の利用者は平成 20 年度は、延べで 13,874 人・日（平成 20 年 12 月末現在）に達している。

③知識・情報基盤の整備

原子力に携わる人材の高齢化の中、昨今は知識管理の問題が世界的に顕在化し、また、建設・運転の機会減少による原子力知識の伝承が困難になりつつある。そうした中、様々な機器の経年劣化事象に関するデータ等の情報を関係者で共有するために、産学官において有効活用できる情報ネットワークを構築する必要があることから、平成 17 年 12 月に、産学官の有機連携を調整するための委員会が（独）原子力安全基盤機構（JNES）に設置された。

また、IAEA においては平成 16 年 9 月の第 1 回原子力知識管理に関する国際会議で、「暗黙の知識」を顕在化する研究成果等が報告されるなど、国際的にも原子力知識管理についての動向が活発化しており、各国、各地域、国際間において、大学・産業界・研究機関・規制機関との連携が進み人材育成ネットワークが構築されつつある。

その他、原子力機構の整備している食品照射データベースシステムをはじめとして、各法人、研究機関等において知識基盤の整備が図られているところである。例えば、原子力機構においては、上述の食品照射データベースシステムや、各種の核データを取りまとめた JENDL の整備がなされており、我が国の原子力研究開発利用において、統一の参照データとして広汎な活用がなされているところである。

（3）原子力研究開発に関する最近の動向

①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

近年、地球環境問題への意識の高まりやエネルギー資源価格の高騰等を受け、世界的に原子力エネルギーを利用しようとする機運が高まりつつある。

このような状況を踏まえ、原子力委員会は、2050 年までに温室効果ガスの排出量を半減し、究極的には温室効果ガスの排出をゼロにすることを目指す「環境エネルギー技術革新計画」の策定に向けた総合科学技術会議における検討に資するべく、有識者の協力を得て、報告書「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」（平成 20 年 7 月 15 日 原子力委員会決定）を取りまとめ、地球温暖化対策に貢献する革新的原子力技術に関する研究・技術開発活動を体系的に示した。以下にその要約を示す。

本検討においては、原子力の技術開発が目指すべき地球温暖化対策に対する貢献のビジョンを以下のように整理した。

○地球温暖化対策に貢献する原子力のビジョン

ビジョン1：既存の原子力発電技術が、温室効果ガスを発生しない技術として、国内外において、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

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

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、脱炭素社会の実現に対する原子力技術の貢献が一層拡大している

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役立っている

ビジョン5：原子力科学技術インフラが、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、持続可能性の高いエネルギー技術の提供や革新に貢献している

これら原子力の技術開発が目指すべきビジョン、それに役立つシステムの性能要求（①安全性・信頼性、②持続可能性、③経済性、④立地制約の緩和）、技術開発活動の計画期間等について検討した結果として、それぞれの技術システムについて、ビジョンを実現するためのロードマップを明らかにした（表4-2）、（図4-14）。

表4-2 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	軽水炉の燃料サイクル技術	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									○	○

図 4-14 課題毎の原子力の革新的技術開発ロードマップの概要



②核融合専門部会における検討

原子力委員会核融合専門部会では、我が国の核融合研究開発全体のあり方や長期展望について検討を行い、平成 17 年 10 月 26 日、報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」をとりまとめた。

それ以降、核融合研究開発については、ITER 協定の発効（平成 19 年 10 月）等による ITER

計画の本格化や欧州との幅広いアプローチ（BA）協定の発効（平成 19 年 6 月）等による幅広いアプローチ活動（BA 活動）の始動等による新たな展開が見られ始めた状況を踏まえて、原子力委員会は、核融合研究開発に関して、関係機関等による取組の進捗状況を把握し、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性について評価するとともに、それを踏まえて、今後の関係機関等の施策の進め方に関する必要な提言・助言等を行うために、核融合専門部会において政策評価を実施することを決定した（平成 19 年 9 月 25 日 原子力委員会決定）。

本決定を受けて、核融合専門部会では、研究開発の進捗状況や今後の研究開発の進め方等について評価、検討を実施し、「原子力政策大綱等に示している核融合研究開発に関する取組の基本的考え方の評価について」と題する報告書を取りまとめた。同報告書では、原子力政策大綱及び「推進方策」に示されている核融合研究開発に関する取組の基本的考え方は引き続き尊重されるべきと結論され、関係行政機関等に対して、今後、以下の提言を踏まえて施策を推進していくことが必要であるとされた。

— 主な提言 —

（１）ITER 計画及び BA 活動について

ITER 計画に参画する優秀な人材の確保と、核融合炉実現に向けた我が国における知的財産・ノウハウ等の確保が確実に行われる体制の構築に向けて、関係機関において、多方面からの戦略的な検討を実施すべきである。

（２）学術研究について

ヘリカル、レーザー方式による研究の進捗を踏まえて、文部科学省において、適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

核融合に係る学術が広がりを持ち、革新性、厳密性が高く評価される文化が醸成されるべきであり、大学等における基礎研究が、プロジェクト研究と相補的な観点からも、着実に推進されるべきである。

（３）研究開発体制について

関連する科学技術分野、特に原子力の他の分野との連携・協力を視野に入れた戦略的な研究開発体制、人材育成・交流方策の構築を目指し、様々な場で検討されている人材の育成・確保策を、効果的かつ効率的な施策に具体化していくべきである。

（４）社会への発信について

国民に対して常に核融合エネルギーの意義や実現可能性、エネルギー問題全般とそこでの核融合の位置づけ等について説明していく努力が必要である。

なお、核融合に関する国民との相互理解を図る際には、広聴活動を通じて得られる国民の核融合に対する意識や意見等も踏まえて、広報や対話の活動を丁寧に進めていくべきである。

（５）次段階への移行の判断について

関係機関においては、「推進方策」に示されている、中間段階（ITER 機構発足後、約 10 年程度）での達成目標と最終的な次段階（原型炉段階）への技術上の移行条件を達成することを目安として施策を実施することを期待する。

その際、「選択と集中」の考え方に基づき、効果的かつ効率的な資源配分を行うことが必要不可欠であることから、今後も適宜適切なチェック・アンド・レビューを実施していくべきである。

原子力委員会は、平成 21 年 1 月 22 日に核融合専門部会より報告書を受領し、本報告書の内容は適切であるとするとともに、関係行政機関等に対し、核融合研究開発に関する取組を、引き続き原子力政策大綱及び「推進方策について」に示した基本的考え方を尊重するとともに、同報告書の提言にも留意しつつ推進することを求める旨の原子力委員会決定を行った。

③研究開発専門部会における検討

原子力委員会では、平成 20 年 8 月より、研究開発専門部会において、以下の論点を掲げ、今後の原子力研究開発の推進方策等についての検討を進めている。

また、研究開発専門部会では、平成 20 年 9 月より、分離変換技術検討会を開催し、分離変換技術に関する研究開発の現状について整理するとともに、本技術の効果及び意義を分析し、それらを踏まえた今後の研究開発の進め方等について検討を実施しているところである。

論点-1；原子力研究開発に係る資源・体制のあり方

国や民間の、原子力に対する研究開発投資が減少傾向にある中で、多くの大規模プロジェクトが進行している状況下において、我が国の原子力技術の基礎基盤的な部分から優先度の高い大規模な開発までをバランス良く支える観点から、国内外での協力、分担を視野に、資金的、人的資源をどのように有効に配分していくのか検討する必要があるのではないかな。

論点-2；プロジェクト研究と基礎基盤研究の連携のあり方

基礎基盤研究は、将来の環境変化や不確かさに対する弾力性を保つ意味でも重要であることから、プロジェクト研究との連携も視野に入れ、それを充実するための検討が必要ではないかな。

論点-3；原子力技術の産学官連携、技術移転のあり方

特にエネルギー利用に関する研究開発に関して、開発期間が長期に及ぶことから、国が主導してきた研究開発の所要の成果が、事業環境、社会環境などの変化にも柔軟に対応できるような、ユーザに有効に技術移転される仕組みを検討することが必要ではないかな。

論点-4；大型研究開発施設・設備の有効利用、環境整備のあり方

核物質を取り扱うなど原子力に特徴的な研究開発施設・設備の維持・整備が著しく困難となっている現状において、それらの有効利用や環境整備のあり方について、様々な社会的背景を考慮しながら検討していく必要があるのではないかな。