

## 第4章 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、我が国の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、国民の福祉、生活の水準向上等に大きく寄与しています。

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ました。そして、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生み出すとともに、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となっています。

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開発機関、大学、民間企業等の様々な主体が、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ます。

### (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、原子力研究開発について、「原子力開発利用の技術に関する基盤を維持し新たな概念を生み出していく基礎的・基盤的な研究開発活動は、今後とも継続していくべきである」としています。また、原子力研究開発が他の科学技術に有力な研究手段を提供している側面を指摘しています。さらに、原子力研究開発の役割とその研究開発が有する不確実性等を踏まえ、実現時期が遠い将来になると考えられる長期的な視点に立った研究開発から、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を適切としています。その上で、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ます。

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等は、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こと、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するよう指摘しています。また、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を求めています。さらに、原子力研究開発を将来にわたって着実に進めていくためには、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的確に継承することや、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指摘しています。

表 4-1 原子力研究開発の段階と取組課題の事例

<p>○<b>基礎的・基盤的な段階</b></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"> <li>・原子力安全研究</li> <li>・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）</li> <li>・保障措置技術</li> <li>・再処理の経済性の飛躍的向上を目指す技術</li> <li>・分離変換技術</li> <li>・量子ビームテクノロジー 等</li> </ul>
<p>○<b>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</b></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"> <li>・ITER（国際熱核融合実験炉）計画等</li> <li>・核融合エネルギーを取り出す技術システム</li> <li>・高温ガス炉とこれによる水素製造</li> <li>・小型加速器がん治療システム 等</li> </ul>
<p>○<b>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</b></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術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"> <li>・高速増殖炉及びそのサイクル技術 等</li> </ul>
<p>○<b>革新技術システムを実用化する段階</b></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"> <li>・放射性廃棄物処分技術</li> <li>・改良型軽水炉技術</li> <li>・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</li> <li>・放射線を利用した環境浄化技術 等</li> </ul>
<p>○<b>既に実用化された技術を改良・改善する段階</b></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。成果が多くの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"> <li>・既存軽水炉技術の高度化</li> <li>・遠心法ウラン濃縮技術の高度化</li> <li>・MOX 燃料加工技術の確証</li> <li>・高レベル廃液のガラス固化技術の高度化 等</li> </ul>

(出典) 内閣府

## (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・基盤的な段階の研究開発

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ます。

#### 〈原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ〉

平成 20 年度より新たな競争的資金制度として創設された「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」では、我が国における原子力研究の裾野をひろげ、効率的・効果的に基礎的・基盤的研究の充実を図ることを目的として、①戦略的原子力共同研究プログラム、②研究炉・ホットラボ等活用研究プログラム、③若手原子力研究プログラム、の 3 つのプログラムを設定し、研究開発を推進しています。

## 平成21年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブの概要

### —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

(採択課題例：「先進燃料被覆管材料の水素化及び照射効果の解明に関する研究」他13件)

### —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

(採択課題例：「研究炉 JRR-3 中性子輸送の高効率化が招く新しい物質・生命科学—機能場における水・プロトンの輸送現象の解明を目指して—」他6件)

### —若手原子力研究プログラム—

原子力分野の革新技術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

(採択課題例：「放射線発がんにおける非遺伝子変異的プロセスの解明」他17件)

## 〈(独)日本原子力研究開発機構(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ます。

核工学・炉工学研究では、J-PARC 物質生命科学実験施設の第4ビームラインに高精度核データ測定を可能とする中性子核反応測定装置を設置し、キュリウム 244 などの核変換用核データの測定を開始しました(図4-1)。また、原子炉設計のみならず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、平成22年度に公開予定の第4版の整備を進めています。

燃料・材料工学研究では、使用済混合酸化物(MOX)燃料の湿式再処理試験に関するデータの評価・検討を反映した「再処理プロセス・化学ハンドブック改訂版」を完成させるとともに、再処理硝酸環境中での耐食性に優れた EHP ステンレス合金については、(株)神戸製鋼所と共同で、0.5 トン規模の量産技術を確立しました。

図4-1 J-PARC に完成した中性子核反応測定装置



(出典) (独) 日本原子力研究開発機構

環境・放射線工学研究では、緊急時環境線量情報予測システム（SPEEDI）世界版の第2版（WSPEEDI-II）の開発を完遂し、現在は、第3世代SPEEDIとしてSPEEDI-MPの開発を行っています。放射線防護研究では、すべて原子力機構から提供されたデータで構成される被ばく線量計算用放射性核種データベースが、国際放射線防護委員会（ICRP）刊行物（ICRP Publication 107）として出版されました。

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い、放射線と物質の相互作用の基礎過程に関する研究では、高温高压下にある水の放射線分解をピコ秒レベルで観測することに成功しました。

高度計算科学技術研究では、部品単位の詳細度で原子力施設全体の耐震評価を行う組立構造解析手法や、原子炉シュラウド等の材料劣化の主要因である材料内不純物による脆化効果等を定量的に予測するシミュレーション技術の開発を行っています。

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ます。

## 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段階の研究開発

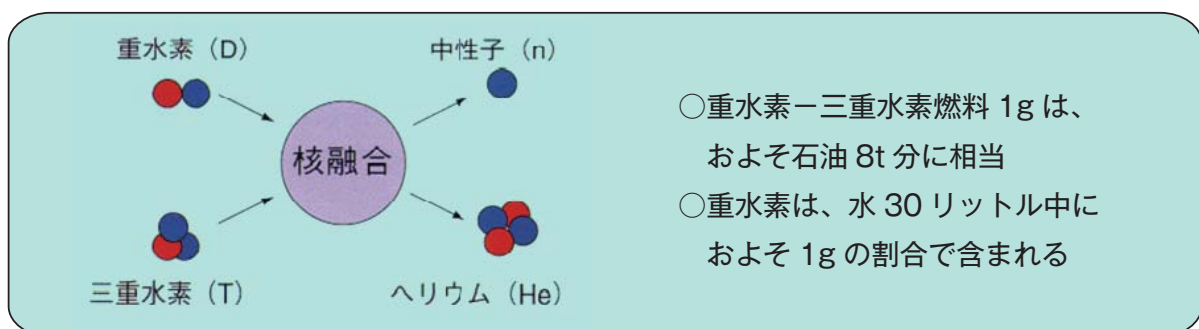
### 〈核融合研究開発〉

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します（図4-2）。

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ます。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、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（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ます。

ITER計画は、国際熱核融合実験炉（ITER）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極が参加しています（図4-3）。同計画では、世界で初めて、長時間（400秒）にわたる核融合エネルギーの生成を実証することを目標としてプロジェクトが進められています。

図4-2 核融合の原理と発生エネルギー



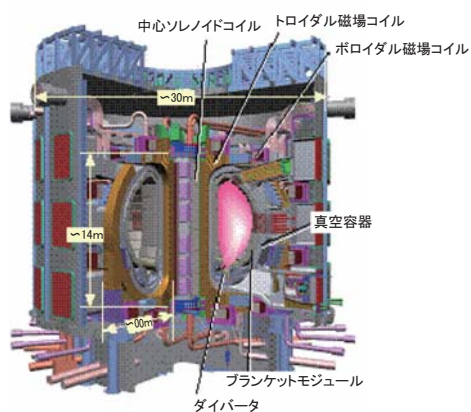
（出典）（独）日本原子力研究開発機構



### 〔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。

図 4-3 ITER の概要（平成 21 年 8 月末）



（出典）（独）日本原子力研究開発機構



ITER 建設の様子

我が国は、ITER 計画を実施する国際機関である ITER 機構（本部：仏国）との調達取り決めにに基づき、超伝導コイルなどの主要機器等の製作において欧州に次いで多くを分担するなど、ITER 計画の推進に大きな役割を担っています。平成 22 年 1 月、最先端技術を集結した超伝導コイル用導体の製造工場が福岡県北九州市に完成し、製造を本格的に開始しました。

さらに、原型炉の実現のために必要な炉工学研究や、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（BA）活動を、日欧協力により、我が国において実施しています。その一環として、青森県六ヶ所村では、平成 22 年 3 月の 3 つの研究建屋の完成に向けてサイト整備が進められており、国際核融合エネルギー研究センター事業及び国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動事業における機器設計・製作、予備試験を実施しました。茨城県那珂市で進めているサテライト・トカマク計画事業については、原子力機構のトカマク型臨界プラズマ試験装置（JT-60）の超伝導化改修（JT-60SA）のための作業等を継続しています。

我が国では、上記プロジェクトのほか、IAEA や OECD 国際エネルギー機関（IEA）の枠組下での多国間協力、米国、欧州、韓国、中国との二国間協力も推進しています。これらの協力を通じて、ITER での物理的課題の解決のために国際トカマク物理活動（ITPA）で実施されている装置間比較実験へ参加するとともに、韓国や中国の超伝導トカマク装置での実験に参

加しています。

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ます。

原子力機構は、世界最高プラズマ温度（5.2億度）を達成するなど世界を牽引するプラズマ性能を達成してきたJT-60の運転を停止し、超伝導化改修を進めています。また、JT-60で用いていた中性粒子ビーム入射装置及びマイクロ波加熱装置の改良を行いました。中性粒子ビーム入射装置については、心臓部であるイオン源の耐電圧を大幅に改善することに成功し、世界で初めて1アンペア以上の水素イオンビームを500キロボルトまで加速することに成功しました。マイクロ波加熱装置については、出力の世界最高記録を従来の1,000kWから1,500kWに更新することに成功しました。これらの成果は、ITERやJT-60SAの加熱装置の高性能化に大きく貢献するものです。

大学共同利用機関法人自然科学研究機構が設置する核融合科学研究所では、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平成9年12月に建設しました。同装置は、全国の関連分野の研究者による共同利用・共同研究に供され、定常運転の実証に関して、1,000万度以上の温度のプラズマを1時間保持するなど、新しいプラズマ領域の研究を世界に先駆けて行っています。

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、平成21年3月に世界最高強度の超短パルスレーザー装置（LFEX）が完成し、これを用いた我が国独自の高速点火方式による点火実証計画が進められているとともに、レーザー方式の先駆的・基礎的研究を実施しています。この他、他の大学等においても、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ます。

平成21年8月には、核融合科学研究所と原子力機構との間で、核融合研究開発分野における連携協力の推進に係る協定が締結されました。両機関が連携することにより、核融合科学の学術的深度が一層深まり、より効果的かつ効率的に研究開発を推進することが可能となり、我が国の核融合エネルギー研究開発の更なる進展が期待できます。

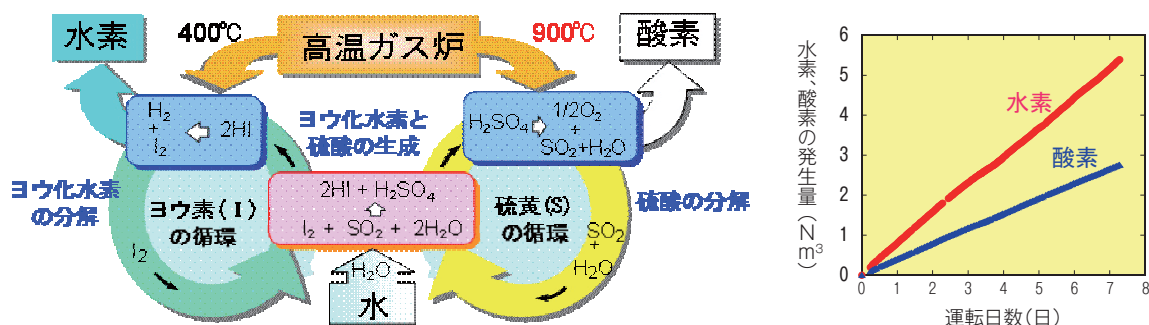
### 〈革新的原子力システム〉

#### 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、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ます。

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・試験を進めています。HTTRは、平成19年5月に定格出力3万kW、原子炉出口冷却材温度850℃で30日間の連続運転を達成し、平成22年3月には、原子炉出口冷却材温度約950℃での長期間運転（50日間）を達成しました。優れた固有の安全性を確認するための安全性実証試験についても、平成13年から段階的に実施しています。また、水を原材料に原子炉の核熱を利用することで二酸化炭素を放出しない革新的水素製造技術（図4-4）の開発についても着実に進めています。

図 4-4 IS プロセスの概要



(出典) (独) 日本原子力研究開発機構

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、平成 21 年 10 月に国立カザフスタン大学、カザフスタン国立原子力センターとの高温ガス炉技術分野の人材育成に関する協力覚書を締結しました。覚書に基づき、原子力機構から大学への講師の派遣、カザフスタンの学生等の日本における研修の実施等を行うことが検討されています。

民間においても、三菱重工業㈱が HTTR の建設に関わった経験を踏まえ、南アフリカとのペブルベッドモジュール型高温ガス炉の開発に関し覚書を結びました。今後熱出力 20 万 kW のプラント設計に係わる協力を検討し、将来的にはプラントの建設、市場開拓等での協力も検討されています。

## ii) 革新的水冷却炉の研究開発

原子力機構、メーカー等は、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研究開発として、これまでに実施した炉物理試験等の成果を踏まえた設計研究を進めています。

我が国では、国内の大学やメーカー等がコンソーシアムを形成し、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) にも参加し、超臨界圧水冷却炉 (SCWR) の開発が進められています。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ます。平成 21 年 10 月には、GIF の SCWR を対象とした協力枠組みの中で、日本、カナダ、EURATOM の間で「伝熱流動・安全プロジェクト取決め」が締結されました。

## iii) 公募型研究制度

文部科学省においては、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」を実施しています。本事業は、基盤的段階にある革新的原子力技術に関する研究開発を産学官の連携強化や関連技術の蓄積により進め、技術システムの実現を目指しています。

経済産業省においては、「革新的実用原子力技術開発費補助事業」を実施しています。本



事業では、産業界の参画やニーズの提示の下、大学が実施する研究活動への支援を通じて将来の原子力人材の育成を実施しており、近年希薄化が懸念される原子力を支える基盤技術分野を対象に、革新的な技術開発を推進しています。

#### iv) 国際協力

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）に関する研究開発は、実用化に至るまで長期間と膨大な資源が必要です。そのため、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もと、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）等の国際協力の枠組みを活用して研究開発を進めています。

##### － GIF －

「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す。米国エネルギー省（DOE）の提唱により平成 13（2001）年に発足し、平成 21（2009）年 12 月現在、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））が参加しています。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）を対象に、国際共同作業を進めるための準備検討を行っています。最高決定機関である政策グループ会合の議長を日本人が務めるなど、我が国は主導的立場で積極的に貢献しています。

##### － INPRO －

増加するエネルギー需要への対応の一環として、平成 13（2001）年 5 月に IAEA の呼びかけにより発足したプロジェクトです。安全性、経済性、核拡散抵抗性などを高いレベルで実現する革新的システムの整備のための国際協力を目的としています。我が国は平成 18（2006）年から参加しており、平成 21（2009）年 12 月現在、30 か国と 1 機関（欧州委員会（EC））が参加しています。これまでに革新的システムの評価方法を開発しており、平成 18（2006）年からはこの評価方法を活用し、複数の技術協力プロジェクトを実施するとともに、平成 62（2050）年までを見通した原子力エネルギー利用のビジョンとこれを実現するための制度基盤の検討などを行っています。

##### － 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－

ナトリウム冷却高速実証炉／プロトタイプ炉開発への取組の協力を強化するため、米国エネルギー省（DOE）、原子力機構（JAEA）及びフランス原子力庁（CEA）は、平成 20（2008）年 1 月、協力覚書に署名しました。同年 8 月には「もんじゅ」データの活用等に



関する協力が追加されました。

### 3) 革新的な技術システムを実用化候補まで発展させる段階の研究開発

高速増殖炉及びそのサイクル技術（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ます。さらに、再処理により回収されたマイナーアクチノイド（MA）も燃焼することができるため、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や長期にわたる潜在的環境影響を低減できます。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として実用化できれば、原子力エネルギーの大規模かつ継続的な利用が可能となり、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することが期待できます。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います。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同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ています。

#### 〈高速実験炉「常陽」〉

高速実験炉「常陽」はMOX燃料とナトリウム冷却技術を用いた高速中性子炉で、昭和52年4月の臨界以来、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ています。これまでに、累積運転時間約70,798時間、累積熱出力が約62.4億kW（発電設備を有しないため電気出力はない）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ました。現在は、平成19年11月に確認された燃料交換機及び炉心上部機構と計測線付実験装置試料部との干渉により運転を停止しています。これに関して、平成21年7月に原因究明と対策等を取りまとめ、再起動に向けて復旧作業を進めています。

#### 〈高速増殖原型炉「もんじゅ」〉

高速増殖原型炉「もんじゅ」(図4-5)は、MOX燃料とナトリウム冷却技術を用いた、我が国唯一の発電設備を有する高速増殖炉プラントです。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り、現在は運転の再開に向けた準備の最終段階にあります。

事故以来、原子力機構では、ナトリウム漏えい対策をはじめとする各種安全対策を施しました。併せて、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、「もんじゅ」に係る組織

図4-5 高速増殖原型炉「もんじゅ」

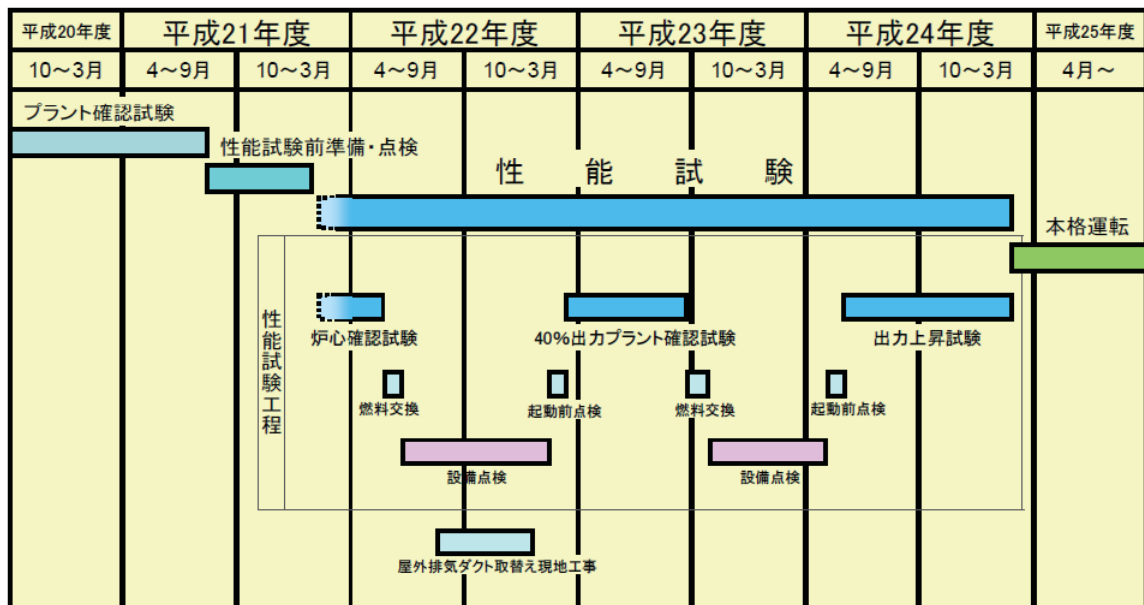


(出典) (独) 日本原子力研究開発機構

体制の改善を図るなど、安全確保を大前提とした運転の準備に努めています。

平成19年5月にナトリウム漏えい対策のための改造工事を完了し、平成20年8月に改造工事に係る工事確認試験を経て、平成21年8月には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完了しました。その後は、運転再開に向けた準備・点検を完了し、安全協定に基づく地元との了解を得た上での運転再開を目指しています。運転再開後は、約3年間の性能試験を経て、定格出力を達成し、本格運転に移行することとしています（図4-6）。

図4-6 もんじゅの性能試験計画



#### 〈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ました。平成18年8月に経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力部会が「原子力立国計画」を、同年10月には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が「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」をとりまとめました。これらを踏まえて、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）を提示しました。

これらを受け、原子力機構は、電気事業者、メーカー等と連携・協力し、平成19年より「高速増殖炉サイクル実用化研究開発（FaCT プロジェクト）」を進めています。FaCT プロジェクトは、高速増殖炉サイクルの実用施設とその実証施設の概念設計、および実用化に至るまでの研究開発計画を平成27年に提示することを目標としています。

FaCT プロジェクトでは、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（MOX 燃料）、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組み合わせを中心に革新的な要素技術の開発及びその成果を踏まえた設計研究等を進めています。平成22年には革新技術についてその採用可能性を判断し、それ以降の研究開発方針の一層の具体化を行う計画です。

高速増殖炉の研究開発体制については、平成 19 年 4 月に、高速増殖炉開発のエンジニアリング等を行う中核企業として、公募により三菱重工業(株)が選定され、平成 19 年 7 月に高速増殖炉開発を専業として行う「三菱FBRシステムズ株式会社」が設立されました。

平成 21 年 6 月、原子力機構及び電気事業者は平成 20 年度までの研究開発の成果を中間的にとりまとめ、原子力機構が設置した外部評価委員会はこれに対する中間評価をとりました。

また、平成 18 年 7 月に、文部科学省、経済産業省、電気事業者、メーカー及び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」(五者協議会)が設置され、研究開発段階から実証・実用段階への円滑な移行に関する協議が行われています。五者協議会は、平成 21 年 7 月に「高速増殖炉実証炉・サイクルの研究開発の進め方について」をとりまとめ、将来の製造者であるメーカーや最終的なユーザーである電気事業者が研究開発に対して積極的参画を行う体制を構築することとしました。

これらを受け原子力委員会は、平成 21 年 8 月に「高速増殖炉・サイクル技術に関する研究開発の進捗状況及びその取組に関する検討結果の報告に対する原子力委員会の評価(見解)」を公表しました。同見解では、原子力機構を含む五者が今後とも高速増殖炉・サイクル技術に関する研究開発に関する取組を着実に推進することを期待するとともに、特に踏まえるべき 6 点を指摘しています。

#### 4) 革新技术システムを実用化する段階の研究開発

2030 年前後には、現在稼働している原子力発電所の高経年化等のため、代替炉の建設が必要となる時代がくると予想されます。それまでの間、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重要な課題です。

経済産業省は、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や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について検討しました。その結果を踏まえ、官民一体となった開発体制のもと、平成 20 年度から次世代軽水炉の技術開発に着手しており、平成 27 年度までに基本設計の完了を目指しています。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、規制の高度化を一体的に推進することとしています。

次世代軽水炉に適用される新技術については、代替炉建設需要の本格化に間に合う時期までに、安全性・信頼性を確保するために必要な確証試験等を実施し、知見や経験の蓄積を計画的に進めるとともに、実機への先行的な適用に取り組むこととしています。



## 〈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

原子力機構は、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います。この実績を踏まえ、事業者からの要請に応じて、現在の六ヶ所再処理施設では再処理ができない高燃焼度燃料の再処理試験を行うこととしており、その成果を事業者に展開していくこととしています。

## 5) 既に実用化された技術を改良・改善する段階の研究開発

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います。現在は、平成23年9月からの新型遠心分離機による生産開始を目指して施設の建設、設備整備、製造などが進められています。また、同社は、我が国初の民間MOX燃料施設の円滑な設計、建設、操業に資するため、同施設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います。そのほか、再処理施設で用いられる高レベル廃液のガラス固化技術について、新しいガラス素材及び溶融炉の開発に着手しました。

なお、研究開発に際して原子力機構は、日本原燃（株）からの要請等に応じて、技術者派遣や試験の実施等の支援を行っています。

## 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、重要な基盤施設です。

## 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ります。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、原子力分野で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行われています（図4-7）。それ以外の分野でも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ます。平成21年にはヒト由来ギャップ結合チャネルの立体構造を世界で初めて解明したり、燃料電池電極触媒の劣化現象の直接観測に成功するなどの成果が生まれています。

図4-7 大型放射光施設（SPring-8）



（出典）（独）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」計画を推進しています。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ます（図4-8）。

図4-8 RI ビームファクトリー（RIBF）超伝導リングサイクロトロン



（出典）（独）理化学研究所

### 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を図っています。平成21年には、集束式重イオンマイクロビーム装置を用いて生きた細胞の照準照射に成功したほか、新たな展開として、数百 MeV 級重イオンのマイクロビームを用いた直描式微細加工による三次元ナノ構造の創製研究を開始しました。

### 重粒子線がん治療装置

（独）放射線医学総合研究所（放医研）が有する重粒子線がん治療装置は HIMAC と呼ばれ、医療用としては世界初の重粒子線がん治療装置です。放医研は、HIMAC を利用して、平成6年6月より重粒子線治療の臨床試験を開始し、平成9年3月には重粒子医科学センター病院を開設するなど、本格的な臨床試験の場として運営し、これまでに4,500例を超える臨床例を得ています。また、スキャニングビームを用いた次世代照射装置の開発に取り組んでいます。

群馬大学は、HIMAC の約3分の1のサイズの重粒子線がん治療装置を建設し、平成22年3月に重粒子線による治療を開始しました。

また、佐賀県では、民間団体である医療運営法人を主体とする産学官の共同プロジェクトとして、群馬大学と同規模の重粒子線がん治療装置を中心とした、九州国際重粒子線がん治療センターの建設が計画されています。施設は、平成 22 年度に着工する予定となっており、平成 25 (2013) 年の完成を目指しています。

### 大強度陽子加速器施設 (J-PARC)

大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、核破砕反応により生成される多様な 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するもので、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ます。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 (図 4-9)、平成 21 年には施設の本格稼働が始まりました。これまでに、中性子利用実験に延べ 1,165 人・日、原子核素粒子実験及びニュートリノ実験では外国人を中心に 9,276 人・日の利用者がありました。

図 4-9 大強度陽子加速器施設 (J-PARC)



(出典) 日本原子力研究開発機構

### 2) 研究用原子炉

研究炉、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のものです。平成 21 年末現在、我が国の試験研究用の施設及び研究開発段階にある原子炉施設は、33 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など原子力に関する研究開発のほか、ナノテクノロジー・材料分野など広範な研究開発に利用されています (図 4-10)。



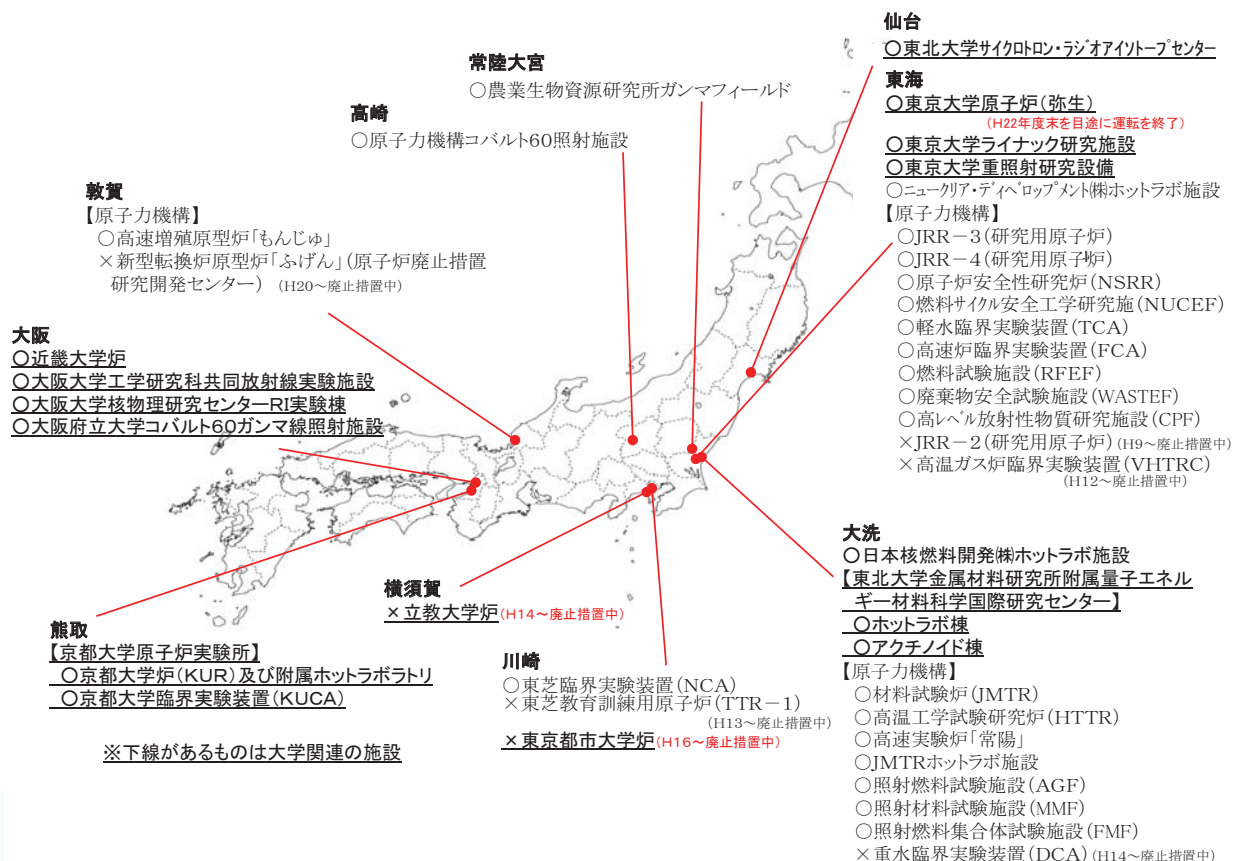
## 材料試験炉 (JMTR)

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、発電用軽水炉の燃料や構造物の材料等の照射試験、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ました。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す。

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、再稼働後は産業界等に広く開放することとしています。さらに、軽水炉の高経年化対策や次世代軽水炉の開発のほか、ITER に係る研究開発等の科学・技術水準の向上に貢献するとともに、高性能シリコン半導体や医療用アイソトープの製造等、産業利用にも供される予定です。

また、原子力機構は、平成 21 年 9 月に米国アイダホフォールズで開催された、第 2 回汎用照射炉に関する国際会議に参加し、JMTR が欧米・アジアの中核試験炉として国際的に活用される研究基盤構築に向けた活動を行っています。

図 4-10 我が国の主な研究炉・ホットラボ等施設



(出典) 文部科学省

## JRR-3、JRR-4

原子力機構の研究炉 JRR-3 は、中性子ビーム実験及び材料照射が可能な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ます。平成 21 年には、生体高分子用中性子回折装置を用いて、タンパク質 HIV-1 プロテアーゼの全

原子構造決定を行いました。新しい抗エイズ薬開発につながる成果として注目されています。JRR-3の利用者は平成21年度には延べ6,518人・日（平成21年12月末現在）に達しています。

また、試験研究炉 JRR-4 は、利用者の希望により出力や運転時間、パターンを容易に変更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ます。

### ③知識・情報基盤の整備

我が国では、原子力に携わる人材の高齢化が進む中、知識管理の問題が顕在化しています。特に新規建設の機会が減少することにより、後継者が十分に育成されず、現場の生きた知識の伝承が困難になりつつあります。そこで、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し、有効活用できる情報ネットワークを構築する必要があります。このため、（独）原子力安全基盤機構（JNES）は、平成17年12月、産学官の有機的連携を調整するための委員会を設置しました。

また、国際的にも原子力知識管理に関する活動が活発化しています。各国、各地域、国際間において、大学、産業界、研究機関、規制機関等が連携し、人材育成ネットワークを構築しています。

その他、研究機関等において知識基盤の整備が進められています。例えば、原子力機構では、食品照射データベースシステム、各種の核データをとりまとめた JENDL などの整備をしており、これらは我が国の原子力研究開発利用において活用されています。また、地層処分プロジェクトに不可欠な科学・技術の知見を集積した知識マネジメントシステムの開発も進められており、平成22（2010）年からの試験運用の開始を目指しています。

## （3）原子力研究開発に関する最近の動向

### ①研究開発専門部会における検討

原子力委員会研究開発専門部会は、平成21年11月、報告書「原子力政策大綱に示している原子力研究開発に関する取組の基本的考え方の評価について」をとりまとめました。

原子力委員会は、同報告書の内容を尊重すべきであると判断し、原子力委員会自らが、我が国の研究開発活動全体の状況を常に把握した上で絶えず政策を見直し、これを国民、関係行政機関等に明示することに努めること、また、関係行政機関に対して具体的方策を検討するなど適切に対応することを求めること等を決定しました。

## —原子力研究開発専門部会報告書概要（平成21年11月17日）—

## 〈原子力研究開発のあり方に関する課題〉

## (1) 基礎的な研究と基盤的な研究の役割

基礎的な研究は、研究開発機関や民間を含むあらゆる機関で広範に実施されるべきであるが、特に大学等において、将来を担う人材の育成とともに新しく自由な発想に基づいて推進されることが望ましい。

## (2) 研究開発プロジェクトを進める上での留意点

研究開発の初期段階からシミュレーション技術を駆使して実用化するシステムについて検討すべきである。研究開発成果をフィードバックするための仕組み、将来の不確実性に対する頑健性の確保が肝要である。

## (3) 原子力研究開発施設・設備の利活用

国内外のニーズを踏まえて施設・設備の改廃計画を策定するとともに、合理的な規制のあり方を含め、組織を越えた施設利用の方策を検討すべきである。

## (4) 研究開発人材の流動性向上による技術成果の適切な移転

「暗黙知」を有した「人」や「組織」の一部が、研究開発機関と民間の間で相互に技術を背負ったまま流れていく仕組みをつくることが重要である。

## (5) 原子力機構が今後担うべき役割

原子力機構は、「もんじゅ」の運転再開を最重要課題として、これに組織をあげて取り組むべきである。核燃料サイクル事業に関する諸課題について適切な支援を行える体制を整備すべきである。

## (6) 原子力安全に関する研究の推進・規制の協調体制の構築

規制行政の独立性が損なわれることなく、研究開発面において推進側と規制側が協調・協力し、研究開発や成果の共有ができる仕組みを検討すべきである。

## (7) 多種・多様な研究開発の有意性

シミュレーション能力の増強に関する研究開発、安心のメカニズムに関する研究開発、不確実性に備える研究開発等についても着実に実施すべきである。

## 〈提言〉

## 1. 原子力研究開発活動全体を俯瞰した政策の明示

○原子力委員会は、取り組むべき原子力研究開発活動を明らかにし、絶えず我が国全体の活動を俯瞰した政策を企画・審議・決定していくべきである。

○その際、将来に追求すべき原子力システムを見定めた上で、資源配分等を含め国が関与する範囲を柔軟に見直すことが必要である。

## 2. 日本原子力研究開発機構の役割の具体的な明示

○原子力機構の組織としての役割を明確化する観点から、原子力政策大綱において、原子力機構に対して業務運営に係る基本の方針を一括して示すべきである。

○主務大臣は、原子力機構に対して、基礎・基盤研究とプロジェクト研究との連携・融合の促進等を重視した責任ある中期目標を指示すべきである。

○原子力委員会は、次期中期目標の策定作業に然るべき関与をし、必要に応じて意見を述べるべきである。

## 3. 具体的方策として政策に反映すべき事項

原子力委員会は、関係行政機関等に対して以下の具体的方策を検討するよう働きかけるべきである。

- ・原子力研究開発施設・設備のあり方の検討
- ・研究開発人材の流動性向上による技術成果の適切な移転
- ・原子力安全に関する研究の推進・規制の協調体制の構築



## コラム ～研究開発専門部会からのメッセージ～

原子力委員会研究開発専門部会部会長  
東京大学大学院工学研究科教授 大橋弘忠

研究開発専門部会では、約1年にわたり、原子力研究開発の現状を調べ、そのあり方を議論しました。そして、いくつかの提言をまとめ、原子力委員会に答申しました。詳細は報告書を参照いただくこととして、ここではふたつのポイントを述べたいと思います。

まず、原子力研究開発はエネルギー・セキュリティが目的であることです。現代の文明は化石燃料資源に立脚しています。いずれこの資源が不足し、枯渇する 때가やってきます。また、二酸化炭素による環境問題が顕在化してくるおそれもあるでしょう。これらに対してできる限り備える、どのような変化にも対応できる力をつけておくことが必要です。将来のセキュリティを確保することは、同時に、現世代の将来への懸念や次世代に関する意思決定にまで影響するという意味で、現在のセキュリティにもなっています。

もう1つは柔軟性です。原子力研究開発は、時間や大型化を必要とします。ややもすると硬直化し、いったん決まると変更しにくい傾向があります。この点について、個別の研究開発だけでなく全体をシステムとしてとらえてイノベーションを図ること、状況や条件の変化に対応できるロバストな計画（頑健性のある計画）とすること、人材の流動による成果の移転や研究施設の利活用を促すことなどが重要です。

原子力研究開発が、今後ますます充実したものとして国民の福利の維持・向上に役立っていくことを期待します。

## ②分離変換検討会における検討

原子力委員会研究開発専門部会分離変換技術検討会は、平成21年4月、報告書「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」をとりまとめました。

原子力委員会は、同報告書の内容を適切と判断し、関係行政機関等に対し、今後は2010年頃に国が分離変換技術を含む高速増殖炉サイクル技術システムの性能目標に対する研究開発の達成度合いに関する評価を実施することを念頭において、同報告書の内容を尊重しつつ、分離変換技術に関する研究開発の取組を着実に推進することを求める旨、決定を行いました。

## —分離変換技術検討会報告書概要（平成21年4月28日）—

## 〈分離変換技術の意義〉

- (1) 廃棄物中のマイナーアクチノイド（以下「MA」という。）等の放射性物質に由来する有害度の低減効果
- (2) 処分方法の合理化に伴う、処分場の使用期間の延長や管理負担の低減効果
- (3) 廃棄体の性状の合理化に伴う、廃棄物処分体系の自由度の増大効果

## 〈研究開発の今後の進め方〉

## ○酸化物燃料高速炉サイクル技術

高発熱・高放射線量となる MA の分離回収システム、MA 含有燃料の実用的な製造技術、MA を装荷しても安全性に余裕がある炉概念などが課題となる。

## ○金属燃料高速炉サイクル技術

今後、工学規模の装置開発と実証試験が求められる一方、燃料となる MA 含有合金の基礎的な物性データが十分には揃っていない。高温下での MA の挙動に関するデータの取得が可能なホットセルの整備が今後の重要課題である。また、炉心解析に必要な核反応に関わるデータの精度向上も進める必要がある。

## ○階層型サイクル概念（発電サイクルより分離した MA の核変換専用のサイクルを併用する概念）

階層型概念を採用する上での課題に対して技術的・経済的な解決の見込みを得る活動を着実に推進すべきである。

## 〈提言〉

研究開発機関においては、以下の項目などに配慮して着実に研究開発を実施すべきである。

- ・「発電サイクル系」及び分離変換技術を含む「放射性廃棄物処分系」を一体として俯瞰した「原子力発電システム体系」の特性を評価する研究の強化
- ・基礎データ、ベンチマークの充実
- ・現在研究開発が行われている技術概念のより良い組み合わせの検討