

## 国家基幹技術としての高速増殖炉サイクル技術の研究開発のあり方

平成18年7月11日

原子力委員会

国家基幹技術として選定された高速増殖炉サイクル技術について、国は原子力政策大綱において、これを2050年頃から原子力発電体系の中核技術として導入することができるように、その研究開発を、実用化すべき技術体系をまず定め、ついでその実用化に取り組むという段階的アプローチに基づき着実に進めていくべきとし、当面は、昨年度で終了した実用化戦略調査研究フェーズⅡの成果を踏まえて、高速増殖炉サイクル技術の適切な実用化像とその実現のための研究開発計画を2015年頃に提示することを目的とした研究開発を行うこととしている。この方針の具体的内容は、文部科学省を中心として現在実施中のこの調査研究及び関連の研究開発活動の成果の評価を踏まえて確定すべきものであるが、当委員会は、この評価の中間報告を過日文部科学省より受けたので、これを踏まえて、高速増殖炉サイクル技術の研究開発の現状と今後の研究開発の進め方に関する基本認識を以下に取りまとめた。文部科学省における評価作業がこれも考慮に入れてなされることを期待する。なお、当委員会は、今後、この評価の最終報告がまとまった時点において、高速増殖炉サイクル技術の今後の研究開発方針についての決定を行う予定である。

### 1. 将来の原子力利用における高速増殖炉サイクル技術の位置づけ

世界のエネルギー総消費量は、21世紀後半にはその伸びは鈍化するものの、今後とも増大を続けると見込まれており、2100年には現在の3倍以上になるとのIIASA-WEC<sup>1</sup>による試算もある。これに伴って、地球温暖化現象の深刻化が長期的に憂慮されているなか、化石燃料に比べて二酸化炭素の排出量が格段に少ない原子力発電の利用が進み、世界の一次エネルギー供給に占める割合は、現在の約5%から2100年には8～29%程度にまで上昇すると見込まれている（IPCC<sup>2</sup>等）。

ところが経済的に採取可能なウラン資源が限られているため、2050年時

---

<sup>1</sup>「国際応用システム解析研究所（IIASA：International Institute for Applied Systems Analysis）」と「世界エネルギー会議（WEC：World Energy Conference）」

<sup>2</sup>「気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）」

点における世界の原子力発電規模を現在の3倍強の1200GWとすると、この時点以降において電気事業者が寿命60年の原子力発電設備を運転開始する場合、その設備が軽水炉では、その運転期間を通じては、競争力のある発電を続けられる価格のウランを確保できない可能性が高い。そこで、その時点で、競争力のある高速増殖炉発電システムが利用可能であることが望ましい。これは、このシステムはウランの利用効率が格段に高いので、ウラン価格が高騰したとしても発電コストが有意には上昇することがないからである。

また、高速炉<sup>3</sup>は、高レベル放射性廃棄物処分場の処分容量を決定する重要な要因である廃棄体の発熱量を決める物質の一つであるマイナーアクチニドを軽水炉に比較して効率的に燃焼できるので、使用済燃料の再処理においてマイナーアクチニドを分離・回収して、プルトニウムに添加した燃料を高速炉で利用することにすれば、この処分場の面積を小さくできる。さらに、このようにプルトニウムをマイナーアクチニドと混合したままで取り扱う核燃料サイクル施設を備えた高速炉システムは、核拡散抵抗性が高いので、核不拡散と大規模な原子力利用という二つの要請を両立させる上で優れている。

以上のことから、これらの特徴を備えた高速増殖炉とその核燃料サイクル技術は、将来における我が国のエネルギー安定供給に大いに貢献するのみならず、世界各国における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て世界の持続可能な発展に貢献する可能性が高いので、我が国としては、21世紀後半にはこの技術が世界各国で大規模に利用されるよう、その研究開発を着実に進めるべきである。

## 2. 高速増殖炉サイクル技術が備えるべき性能

現在、持続可能な発展への貢献を目指して、様々なエネルギー供給技術の研究開発が進められている。そこで、将来において高速増殖炉サイクル技術が1.に述べた貢献をなし得るためには、この技術が将来のエネルギー市場において他のエネルギー供給技術と比較して優位性を有するものでなければならない。このことから、この技術の研究開発においては、少なくとも以下の性能目標を

---

<sup>3</sup> 「高速炉」のうち、炉心で消費されるよりも生産されるプルトニウムの量が多いものは「高速増殖炉」、逆のものは「燃焼炉」と呼ばれる。高速炉が増殖炉であるかどうかは炉心に増殖ブランケット領域を設けるか否かで決まることが多いので、同一原子炉でも炉心構成を変えることにより増殖炉にも燃焼炉にもなる。

満足する技術の実現を目指すべきである。

#### ◎安全性

この技術は地震等の自然現象はもとより、人は誤り、機械は故障することを考慮しても、シビアアクシデントの発生確率が十分に低く、従業員と公衆の健康リスクが十分に小さいものでなければならない。なお、この性能は、実用化に至る実証施設や研究開発施設においても満足されるべきである。

#### ◎経済性

この技術は経済性の面で他のエネルギー技術と競合できることが重要である。経済性の指標は第一義的には運転期間を通じての発電コストであるが、経営リスクの観点から初期投資や出力規模が過大でないことや建設期間の短いことが重視されることにも留意して定める必要がある。

#### ◎環境影響

この技術は、気体、液体及び固体状放射性廃棄物（高レベル放射性廃棄物を含む）の発生量が軽水炉技術のそれを超えないようにするべきである。この場合、これが技術進歩により変化していくこと、高レベル放射性廃棄物にはマイナーアクチニドが含まれないようにすることがその処分場の大きさを小さくすることに効果的であることに配慮するべきである。

#### ◎資源の利用効率

この技術は、資源の利用効率を格段に高くするために、1をある程度超える増殖比を実現できるべきである。また、増殖比が大きく使用済燃料を再処理するまでの待ち時間を含む炉外サイクル時間が短いと、燃料の倍增時間が短くなり、この技術システムの原子力発電体系への導入速度を大きくできることに留意するべきである。

#### ◎核拡散抵抗性

この技術が世界各国で広く利用されるためには、核不拡散、核物質防護の観点から、その核燃料サイクルにおいてプルトニウムが常にマイナーアクチニド等と混合された状態にあることが重要である。なお、再処理施設を有する原子炉利用国を限定して、この国が一般の原子炉利用国に対して燃料供給を行うというビジネスモデルが核不拡散の観点からグローバルスタンダードとされた場合には、燃料の倍增時間が短いことが重要になる可能性が高いことに留意するべきである。

### ◎軽水炉と高速炉の共生

この技術は軽水炉による原子力発電体系が確立している社会に導入され、数十年をかけて高速炉中心の体系に移行していく状況で利用されていくことが多いので、上の性能目標を満足し、軽水炉と高速炉を共存させる燃料サイクルシステムの整備が必要であることに留意するべきである。

なお、これらの性能目標について達成すべき水準を設定するのは、他のエネルギー技術のみならず、他の国が開発する高速増殖炉技術システムとも競合できる技術を開発するためである。したがって、この目標水準は、将来社会における人々の選好と世界各地で開発が進められている原子力、非原子力エネルギー供給技術の特性を予測しつつ決定し、適宜の外部評価によって絶えずその妥当性を確認していくべきである。

## 3. 高速増殖炉サイクル技術の研究開発の現状認識

高速増殖炉の研究開発は、原子力発電の利用が本格化し、20世紀末にはウラン資源の需給が逼迫すると予想された1960年代から欧米とロシアにおいて開始され、1970年代には米、仏、英、露で原型炉クラスの原子炉が建設され、これらを含めてこれまでに約20基が運転された。その多くはナトリウム冷却炉であり、運転経験は累積で300炉年に達している。

1980年代に入り、ウラン資源の推定埋蔵量の急速な増大と原子力発電の伸び率の減少、チェルノブイリ事故による原子力安全に対する不安の高まり、高速増殖炉の資本費が軽水炉に比べてかなり大きく、成熟し始めた軽水炉に経済性の面で追いつく改良改善のための新規投資の担い手が現れなかったことなどから、次第に、その実用化活動を長期的取組に位置づける傾向が各国において顕著になってきた。

しかしながら、21世紀に入ると、原子力発電を大規模かつ長期的に利用していくことの人類の持続可能な発展に対する有用性の認識が高まり、21世紀後半には一定の経済性があれば高速増殖炉が導入されていく可能性が高いとも認識されるようになり、各国において高速増殖炉とその燃料サイクル技術の研究開発計画の見直しが行われており、さらに、これを第4世代原子炉システムの有力候補として共同して研究開発していくための組織であるG I Fが設立さ

れ、活動が開始されている。

我が国では、先進国に10年以上遅れて、実験炉「常陽」を1970年代末、原型炉「もんじゅ」を1990年代半ばに運転開始し、関連する再処理試験施設や燃料加工試験施設などを整備して、MOX燃料とナトリウム冷却を基本とする高速増殖炉サイクル技術の研究開発を進めてきた。しかしながら、原型炉「もんじゅ」で、試運転中の1995年にナトリウム漏えい事故が発生したことにより、以降運転停止を余儀なくされ、これらの研究開発活動は停滞した。

国は、この事故の反省を踏まえて、研究開発体制の改組を行い、新たにこの炉の所有者になった核燃料サイクル機構及びその後継組織である日本原子力研究開発機構は、安全性向上を目指した設備改造方法の検討を行い、国の審査等の諸手続きを終え、住民との対話を通じた相互理解活動を進めて、現在、その改造工事を行っているところである。また、こうした内外の情勢の変化を踏まえて、1999年、長期的観点に立って、炉型、冷却材、再処理法、燃料製造法などの高速増殖炉サイクル技術に関する多様な選択肢について検討し、「もんじゅ」等の成果も踏まえて、高速増殖炉サイクル技術として適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を2015年頃に提示することを目的として「実用化戦略調査研究」を開始させた。この研究は、核燃料サイクル機構が電気事業者とともに、電力中央研究所、日本原子力研究所、メーカー、大学等の協力を得つつ実施してきて、本年3月には、今後主として開発を進めていくべき技術概念と補完的に開発を進めていく技術概念の選択を行ったフェーズⅡの成果がとりまとめられた。この成果は、現在、文部科学省において評価が実施されており、それを踏まえて今後10年程度のこの技術システムの研究開発方針がとりまとめられる予定である。

エネルギー技術は、1) 革新的技術概念に基づく技術システムを実現する方策を探索する研究開発、2) 実現できるとわかった革新的技術システムを支える材料、構造、システム統合技術等の革新を通じてこれを実用化候補にまで発展させる研究開発、3) 関連する産業の技術基盤の革新を図ることによって実用化候補技術システムを実用化していく研究開発という3段階の研究開発活動を経て実用化される。

高速増殖炉サイクル技術のうち原子炉技術については、各国における原型炉及び実用規模の実証炉の運転経験の総括を通じてこの技術システムが実用規模で実現できることや、不透明で化学的活性が高いナトリウムを冷却材に用いる場合の課題を含む実用化のための課題が確認されている。このことを踏まえれ

ば、この技術の研究開発は、2. に示す性能目標を実現できる実用化像を定めるために、関連する材料、構造、機器、システム統合技術の革新を目指している第2の段階にあると判断される。

一方、燃料サイクル技術、特に、再処理技術については、これまでは既存の軽水炉の使用済燃料再処理施設を活用することを基本とした研究開発や金属燃料を使う高速炉に関して、その特徴を生かした技術の研究開発が探索的に行われてきたが、今世紀に入ってから環境適合性や核拡散抵抗性に係る性能要求が加わった。このことから、現在は、各国が改めてこうした性能要求に応えられる可能性のある革新的技術概念（実験室規模で科学としては成立性が確認されている）の調査研究を行い、所要の性能をもつ実現可能性の高い再処理・燃料製造技術システムを絞り込もうとしているところである。したがって、この技術の研究開発は、上の第1の段階から第2の段階への移行期にあると評価される。

#### 4. 高速増殖炉サイクル技術の研究開発の進め方

##### (1) 研究開発方針

今後の研究開発活動において目指すべきは、実用化すべき高速増殖炉サイクル技術像の確定である。これは、実用化戦略調査研究フェーズⅡの成果を踏まえて候補とした革新技術概念を研究開発を通じて採用可能性を判断できるところにまで具体化させ、それらを取捨選択して組み合わせて高速増殖炉サイクル技術システムの設計研究を行い、性能目標を満足する設計を得たときに達成される。なお、この性能目標を満足する高速増殖炉サイクル技術システムの設計を提出するときには、その一部としてこの技術概念に基づく実証炉と適切な核燃料サイクル実証施設の概念設計も提出すべきである。

このように高速増殖炉サイクル技術の実用化像を確立するにあたっては、高速増殖炉のみならず、再処理、燃料製造などの燃料サイクル技術の技術要素概念についても、性能目標水準を満足できる可能性の評価を通じて実用化可能技術であるかどうかを判断できるところまでシステムとして成長させていく必要がある。このための取組は、主要技術要素毎に、その研究の狙い、システムへのステップアップ過程と達成時期を明らかにして企画されるべきであるが、これを示した研究開発計画は現在作成中と理解する。

この取組で重要なのは、安全確保に万全を期すことを大前提に、原型炉「も

もんじゅ」を2008年ごろに運転を再開し、MOX燃料製造施設において「もんじゅ」の運転に必要な燃料を加工・供給しつつ、「発電プラントとしての信頼性の実証」と「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」という所期の目的を達成すること、及び、「常陽」、「もんじゅ」及びMOX燃料加工施設、再処理工学試験施設等を利用して、マイナーアクチニドを添加した高速増殖炉燃料を製造・照射するとともに、この使用済燃料を再処理する技術及びこの再処理により回収された有用成分を用いて燃料を製造する技術の実用化候補の探索を着実に進めることである。

また、この高速増殖炉技術システムを我が国が採用する場合、その燃料は2010年頃から検討が開始される六ヶ所再処理工場に続く再処理工場において使用済MOX燃料を含む軽水炉の使用済燃料を再処理して回収されるプルトニウム等を用いて製造することになる。このため、燃料サイクル技術の研究開発は、この検討、特に2. に述べた性能目標に適合する高速増殖炉燃料の製造に適した軽水炉使用済燃料の再処理工程とその実用化に向けての取組の検討にも役立つように計画されるべきである。

ところで、2050年頃に商業ベースで高速増殖炉及び関連する核燃料サイクルを導入することを目指すには、実証炉と核燃料サイクルの実証施設が適当な期間運転され、さらにはその運転経験が実用施設の設計に反映されることが必須であることを踏まえ、2015年には性能目標を満たす実用化像とそれに基づく実証炉等の概念設計が提出されることが必要である。文部科学省における実用化戦略調査研究フェーズⅡの評価の中間報告を勘案すると、原子炉についてはこのことは可能であると考えられる。一方、高速増殖炉使用済燃料の再処理技術及び燃料製造技術の実用化候補の探索は、常陽及びもんじゅを照射施設とし、必要な高い燃焼度のマイナーアクチニド添加使用済燃料を得た上で、再処理工学試験施設においていくつかの再処理技術候補の実証的比較検討を通じて行うことが望ましいが、このような手順を踏むには長い時間を要するため、2015年までに実用化すべき技術システムの概念設計を確定することは容易ではないと考える。そこで、性能目標を満たす燃料サイクル技術の実用化像は実証炉の建設開始までに確定すればよいとして、「2015年には、その後の研究開発によりこれが達成される可能性が高いことを示すとする」という方針も検討されてよい。

なお、国際的な共同研究・共同開発は、共通概念のいくつかの技術候補の研究開発を分担したり、炉型や燃料の異なる高速増殖炉サイクル技術の研究開発

を並行して実施したりすることにより、研究開発のリスクや資源負担の低減を図ることができる可能性があるので、国内における資源の効果的で効率的な活用の観点から、競争分野と協調分野を峻別しつつ、企画・推進すべきである。

## (2) 研究開発体制

上記の高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、原子力基本法に定められる唯一の原子力研究開発機関である日本原子力研究開発機構を中核に、電気事業者、大学、メーカー、電力中央研究所等と協力して推進されるのが適切である。

この場合、文部科学省においては、研究開発目標、方針、計画の策定並びに成果の評価において強いイニシアチブを発揮し、適時適切に政策判断を行っていくことが必要である。

一方、日本原子力研究開発機構においては、昨年の二法人統合により知恵と経験が結集した利点を活かしつつ、自律的な経営判断のもと、研究開発の目標達成に責任をもって取り組むことが必要である。また、深い専門的能力を有し、組織横断的にリーダーシップを発揮するプロジェクトリーダーの下、強力に研究開発を推進することが望まれる。

2015年頃の実用化戦略調査研究の終了後、円滑に実証炉等の建設・運転による実証プロセスに移行するためには、その相当前から、当該調査研究と平行して、関係者間で実証プロセスに向けた検討を進め、その結果を調査研究にも反映していくことが有効である。このため、経済産業省、文部科学省、電気事業者、メーカー、日本原子力研究開発機構は協議の場を設け、1) 開発スケジュールと実証ステップのあり方の検討、2) 実証プロセスへの移行に必要な条件の検討、3) 2010年から行われる、中間貯蔵された使用済燃料や使用済MOX燃料<sup>4</sup>を含む軽水炉使用済燃料の処理方策の検討に資する、高速増殖炉の燃料製造システムにプルトニウム等を供給するこれらの再処理の技術と事業のあり方の検討及びその実現のための研究開発の進展状況の評価検討、4) 高速増殖炉サイクル技術システムの研究開発活動を通じて、その性能仕様と構造仕様の作成主体をどこにどのように確立することが国富の増大に貢献する観点から合理的であるかについての検討、等を行い、その結果を逐次研究開発及び実証プロセスに反映させていくべきである。

---

<sup>4</sup> プルサーマルにおいて MOX 燃料を使用した際に発生する使用済燃料のこと



### (3) 研究開発の評価体制の充実

高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、長期にわたり大規模な公的資金を投入して行われるものであるから、その取組の選択の妥当性、即ち、その活動の計画とそれに対する投入資源が公益の観点から期待される成果に見合っているものであるか、その取組の運営の妥当性、即ち、研究開発活動が効果的かつ効率的に進められているか、そして、その研究開発活動の成果の妥当性、即ち、その成果を以て性能目標を実現できる技術の実証・実用化過程を前進させることが適切かどうか、についてそれぞれの担当者には説明責任がある。もとより、これらに係る判断は、多方面にわたる基礎研究や技術革新、内外の研究開発動向の収集状況の妥当性、それらの目的達成に対する有用性に関する評価、研究開発活動の費用対効果、将来市場における競争条件の予測、国民の関心や国際関係まで考慮した多面的な評価に基づいて行われるべきであるから、いかに有能であれ、特定の個人や、組織が単独で行えるものではない。そこで、それぞれの担当者には、その判断の妥当性を、各種のピアレビューや外部評価を効果的に活用して確保していくことが求められる。

そこで、文部科学省においては、既に行っていると認識するが、この技術の研究開発戦略の設計と戦略要素に対する資源配分、そしてその取組の成果の総合的評価に基づく次の取組等に関する決定を行う際には、それぞれの決定内容に最も適した多方面にわたる学識経験者と当該分野に深い知識を有する専門家からなる助言チームに、その決定を支えるデータ、知見、判断・選択等の妥当性について意見を求めていくのが適切である。

また、この研究開発の中核的实施機関である日本原子力研究開発機構には、第1に、その研究開発活動が、その知識ベースを世界規模に維持しながら、その組織の全ての能力を効果的に活用して高い品質で行われるようにする責任がある。この責任を果たすためには、取り組むべき課題に対する取組の担い手や取組方法が資源の最も効果的な活用の観点から妥当であることを、たとえば複数の取組提案の相互比較を当該分野の専門家を含む学識経験者の集団に求めるなどして保証していく、プロジェクトレビューをまず充実させるべきである。次に、取組の進捗状況や成果に関する担当者的上司による評価や学会等におけるそれらの報告に対する同業者批判を効果的に活用する他、分野毎に国内外の専門家、成果の顧客からなるチームを設け、研究開発活動の妥当性評価を求めるなどして、取組が適切に推進されることを保証していくマネジメントレビューを充実させるべきである。

日本原子力研究開発機構は第2に、その研究開発活動の成果を性能目標の達成度の観点から評価し、それを踏まえて次に取り組むべき活動を提案する責任がある。そこで、この評価や提案の品質保証の観点から、その素案あるいは素案の作成活動に対して、多方面にわたる学識経験者と関係分野に深い学識を有する国内外の専門家から構成される評価チームのレビューを求めるべきである。この場合、高速増殖炉サイクル技術は国際市場において選択されてこそ意味があるものであることを念頭において、国際的なレビューチームを設立して行う国際レビューも適宜に取り入れるべきである。

原子力委員会としても、それぞれが行う評価を踏まえて、関係者の取組や決定が原子力政策の目標を効果的で効率的に達成する観点から適切であるかどうかについて適宜に評価を行うこととする。

#### (4) 研究開発の運営にあたって留意されるべき事項

##### ◎安全の確保

高速増殖炉サイクル技術の研究開発を実施するに当たって担保すべき最大の事項は安全の確保である。そのためには、もんじゅナトリウム漏れ事故、再処理工場アスファルト固化施設火災・爆発事故等から学んだリスクコミュニケーションを含むリスク管理活動のあり方に関する教訓を生かし、安全確保に関する法令遵守を徹底し、品質保証システムに絶えざる改善を加えていくことが必要である。本研究開発に携わるすべての組織と人は、安全文化を確立し、それぞれがその業務に関する安全性について十分な知識を有し、安全確保についての高い意識と倫理を持って、この国民の負託に取り組むことが重要である。

##### ◎人材の育成

高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、創造性と倦むことなき探求心を持つ人材、様々な困難を乗り越えて技術革新を実現していく強い意志を持った人材の確保が必要である。こうした人々が活動する姿が見えることは、その成果の公表を通じて世界の先端を目指した競争の姿を人々に伝え、あるいはその内容を通じて社会における科学技術に対する関心をより高めて、次世代の人材を惹きつけることにも役立つ。

そこで、長期にわたる研究開発において必要な将来を担うこのような人材を育成し、確保し、技術の継承を図る観点から、産業界、研究機関と大学との人的交流を進めるべきである。また、この研究開発活動に必要な施設を設計、建設、運転していく過程においては、これらの人的ネットワークによる相互学習

に基づく知識や技術の継承を通じて関連技術基盤を維持・強化していくことに配慮すべきである。なぜなら、これが新しい技術の開発・改良のための環境の整備につながるからである。

◎説明責任を果たす活動の充実

高速増殖炉サイクル技術の実用化を目指す研究開発は長期に亘り、国としても莫大な研究資源の投入が必要である。したがって、関係者は、常にその研究開発の計画、成果がもたらす公益の大きさと所要費用を、科学技術的な観点のみならず経済社会の発展や環境保全に関する意義にも照らし、国民に説明していく義務がある。この場合、その研究施設の建設・運転活動がその立地地域に密接に関連することから、当該地方自治体を含む地域社会に対する説明を丁寧に行うことに、特に留意すべきである。

以 上