

もんじゅ研究計画

平成25年9月
もんじゅ研究計画作業部会

目次

1. はじめに	1
2. 「もんじゅ」を取り巻く現状認識	3
(1) 従来の高速増殖炉/高速炉開発の意義・取組.....	3
(2) 国内外の高速増殖炉/高速炉を取り巻く現状と動向.....	5
(3) 現状認識を踏まえた高速増殖炉/高速炉技術保有の意義の再定義	8
(4) 実存するプラントとしての「もんじゅ」の位置付け	1 1
(5) 研究計画策定における基本的考え方	1 2
3. 具体的な研究開発プログラムについて	1 4
(1) 高速増殖炉の成果の取りまとめを目指した研究開発	1 4
(2) 廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発	2 4
(3) 高速増殖炉/高速炉の安全性強化を目指した研究開発	2 9
4. 研究開発プログラムの実施における国際協力の在り方	3 4
(1) 国際協力の基本方針.....	3 4
(2) 具体的な国際協力の在り方.....	3 4
① 2 国間協力の強化	3 4
② G I F 等の多国間協力の更なる深化	3 5
③ I A E A の枠組みを活用した国際協力.....	3 5
5. 研究開発プログラムの着実な推進を支える体制・仕組みについて	3 6
(1) 我が国の研究開発体制の在り方.....	3 6
(2) 研究開発プログラム評価の在り方	3 8
(3) 研究開発プログラムの実施に不可欠な取組.....	4 0

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災とそれに伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故は、原子力政策の在り方を根本から問い直す契機となった。前政権下において、原子力政策を含むエネルギー政策の見直しが行われ、国民的議論を経て、平成24年9月14日、「革新的エネルギー・環境戦略」（エネルギー・環境会議決定）が策定された。

同戦略において、「もんじゅ」は、「国際的な協力の下で、高速増殖炉の成果の取りまとめ、廃棄物の減容及び有害度の低減等を目指した研究を行うこととし、このための年限を区切った研究計画を策定、実行し、成果を確認の上、研究を終了する。」こととされた。

これを受けて、文部科学省は、「もんじゅ」等の具体的な研究計画を策定するために、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会の下に、もんじゅ研究計画作業部会（以下、「作業部会」という。）を平成24年10月に設置し、同年12月には「中間的な論点のとりまとめ」を行った。

（新たな「責任あるエネルギー政策」の構築に向けて）

平成24年12月には、第2次安倍内閣が発足し、平成25年1月に開催された日本経済再生本部（本部長 内閣総理大臣）において、「経済産業大臣は、前政権のエネルギー・環境戦略をゼロベースで見直し、エネルギーの安定供給、エネルギーコスト低減の観点も含め、責任あるエネルギー政策を構築すること。」との総理指示がなされた。これを受けて、現在、経済産業省の総合資源エネルギー調査会において、我が国の中長期的なエネルギー政策の方針となる「エネルギー基本計画」を、年内を目途に取りまとめるべく、検討が進められている。

（本研究計画の位置付け）

このように、エネルギーとりわけ原子力を取り巻く状況が大きく変化する中、本作業部会においては、高速増殖炉サイクルを含む核燃料サイクルに係る研究開発の一翼を担う「もんじゅ」の役割・位置付けについて、特に技術的な観点からの再整理が必要との認識の下、新たなエネルギー政策の検討状況を見据えつつ、「中間的な論点のとりまとめ」以降も検討を進めてきた。

今般、本作業部会は、これまで12回にわたって議論を行ってきた検討の結果として、国内外の現状を踏まえ、「もんじゅ」等を用いた研究開発によって、いつまでにどのような成果が得られるのか技術的な観点から整理し、「もんじゅ

ゆ研究計画（以下、「研究計画」という。）」を策定した。本研究計画は、エネルギー政策の議論、特に、高速増殖炉サイクルを含む核燃料サイクル政策の議論における検討に資するものとして取りまとめたものである。

政府においては、本研究計画を踏まえ、今後のエネルギー政策の検討の中で、「もんじゅ」の位置付けの明確化を図ることが求められる。なお、本研究計画については、今後、エネルギー政策における「もんじゅ」の位置付けや運転再開に向けた具体的なスケジュールの見通しが得られた時点で、再度見直しを行う必要がある。

（運転再開を判断するための前提条件）

「もんじゅ」については、平成24年11月に明らかとなった1万点を超える機器の点検漏れ（保守管理上の不備）に対する平成25年5月の原子力規制委員会による措置命令への対応が必要となっていること、さらには、これを受けた日本原子力研究開発機構改革本部（本部長：文部科学大臣）（以下、「改革本部」という。）における議論の結果として同年8月8日に取りまとめられた「もんじゅ」の運転管理の抜本的な見直しを含む「改革の基本的方向」に沿った日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）の抜本改革が途上であること等、「もんじゅ」を取り巻く状況を考慮すると、現段階で、運転再開の時期を明確に見通せる状況にはない。JAEAは、まず第一に、役職員一人一人がこの組織改革を不退転の覚悟で断行しなければ、その後の研究開発の継続はあり得ないことを認識しなければならない。

また、「もんじゅ」に対する原子力規制委員会による安全確認については、発電用原子炉として、商業用軽水炉と同様に、本年7月に施行された新規制基準を遵守することが求められていることに加え、今後中長期的に検討されるとされている高速炉固有の安全性に関する新規制基準の適合性確認を受ける必要がある。高速炉特有の新規制基準の検討に当たっては、JAEAは、我が国の高速増殖炉開発を担う研究開発機関として、新規制基準策定に資する研究データ等これまで蓄積された研究開発成果・知見を最大限に提示し、規制基準の策定に貢献することが求められている。JAEAとして与えられた責任をしっかりと果たし、国際社会からも納得の得られる新規制基準の策定検討に取り組むべきである。

上記を総合的に勘案し、「改革の基本的方向」においても、「もんじゅ」の運転再開に係る最終的な判断は、①エネルギー政策上の「もんじゅ」の位置付け、②原子力規制委員会による安全確認、③JAEA改革の定着状況、④国民や立地自治体の理解等の進展状況を踏まえて行うこととされており、これに向けた着実な対応が期待される。

2. 「もんじゅ」を取り巻く現状認識

資源に乏しい我が国にとって、エネルギー安定供給・確保は重要な課題である。発電しながら消費した以上に燃料を生産することによりウラン資源の利用効率を飛躍的に高めることができる「高速増殖炉」は、これに大きく貢献するものとして、我が国に原子力が導入された当初より、将来の実用化を目指した研究開発が進められてきた。

一方で、平成7年に発生した「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故をはじめとしたトラブルによる研究開発の停滞に加え、東京電力福島第一原子力発電所事故を契機とした原子力政策を含むエネルギー政策の見直し等原子力を取り巻く環境が大きく変化する中、高速増殖炉/高速炉を開発・導入する意義についても、従来のウラン資源の有効利用の観点のみならず、将来のバックエンド対策に有効な廃棄物の減容・有害度低減技術としての観点が従来よりも一層着目されるなど、「もんじゅ」を含む高速増殖炉/高速炉開発を取り巻く我が国の状況は大きく変化している。

また、海外に目を向けると、フランスやロシアといった従来から高速増殖炉/高速炉開発を先行してきた国に加え、近年では、インドや中国といった国が強力に開発に取り組むなど国際的に開発が進展しつつある。

本章では、「もんじゅ」をはじめとする高速増殖炉/高速炉開発を取り巻く現状及び動向について、国内・国際の両面から検証した上で、エネルギー安全保障と廃棄物の減容・有害度低減に資する技術を将来のオプションとして維持・継承するという観点から、高速増殖炉/高速炉開発、とりわけ「もんじゅ」の役割・位置付けについて再定義を試みる。

(1) 従来の高速増殖炉/高速炉開発の意義・取組

我が国では、昭和31年に原子力委員会が策定した「原子力研究・開発及び利用に関する長期計画」において「最終的に国産を目標とする動力炉は、原子燃料資源の有効利用ひいてはエネルギーコストの低下への期待という見地から増殖動力炉とする」とされているように、当初より高速増殖炉の国産開発を目標として、その研究開発が進められてきた。なお、当初より、高速増殖炉は電力の安定供給に資するという観点から、電力会社やプラントメーカー等の民間会社においても、商用炉の運転を視野に入れた技術取得がなされてきた。

この方針に沿って、昭和52年には高速実験炉「常陽」が初臨界を達成し、その後、電力会社等の民間拠出金も得て建設された高速増殖原型炉「もんじゅ」が平成7年に初送電を行うなど研究開発の進展が見られたが、同年12月に発

生じた「もんじゅ」の2次系主配管温度計測部からのナトリウム漏えい事故の発生により、その開発計画の見直しが議論されるなど研究開発は停滞した。

その後の国内における高速増殖炉/高速炉開発に関する議論、さらには、地球規模での温暖化問題への対応等の観点からの原子力への期待の高まりも踏まえ、平成17年に策定された原子力政策大綱において、高速増殖炉サイクル技術については、「長期的なエネルギー安定供給や放射性廃棄物の潜在的有害度の低減に貢献できる可能性を有する」ものとして意義付けられ、「研究開発の場の中核と位置付けられる「もんじゅ」の運転を早期に再開」した上で、所期の目的を達成することに優先して取り組むべきとされた。平成22年に改定されたエネルギー基本計画においても同様の位置付けとなっている。従来の高速増殖炉/高速炉開発の意義については、具体的には、以下のとおり整理することができる。

(エネルギー安全保障)

- ・環境持続性やエネルギー安全保障の問題は、世界共通の課題である。特に先進国は、先進的な技術を活用してそれらの問題解決に貢献する責務がある。
- ・今後、世界各国で原子力発電利用が伸長することにより、ウラン資源の獲得競争激化や価格高騰が生じる可能性がある。
- ・高速増殖炉では、高速中性子を用いることにより、ウラン資源を有効活用し、海外からのウランの輸入に頼ることのない準国産エネルギーとして長期にわたり利用可能である。
- ・具体的には、高速増殖炉は、軽水炉では燃えにくいウラン238を燃料に変換して利用できるため、ウラン資源の利用可能年数を、軽水炉のみ利用した場合の約100年から、数10倍の約3,000年以上に延長可能。(参考資料2-1)

(廃棄物の負担軽減)

- ・原子力発電から発生する高レベル放射性廃棄物(以下、「廃棄物」という。)の処理・処分の問題は、原子力を推進してきた各国共通の課題である。
- ・高速増殖炉/高速炉は、軽水炉と比較して発電時の熱効率が高く、また、軽水炉では燃えにくいマイナーアクチニド(MA¹)も、高速中性子を用いることで効率よく燃やすことができる。そのため、高速増殖炉/高速炉サイクルの実現により、ウランやプルトニウム(Pu)に加えてMAも燃焼し燃料サイクル内に閉じ込め、廃棄物の減容・有害度低減が可能となる。なお、Puを常にMA等と混合された状態で取り扱うことにより、技術的にも核拡散抵抗性を更に向上させることができる。

¹ MA: Minor Actinide

- ・具体的には、高速増殖炉/高速炉再処理により、直接処分の場合と比較して、最終的な廃棄物の発生量を低減し、その処分体積を1/7に低減可能であると評価されている。（参考資料2-2）
- ・また、有害度の低減により、廃棄物が天然ウランと同程度の放射線毒性になるのに要する期間（有害期間）について、直接処分とした場合に約10万年必要であるところ、高速増殖炉/高速炉再処理では、約300年に短縮できる可能性がある。（参考資料2-2）
- ・高速増殖炉/高速炉では、ブランケットの着脱によってPuの増殖・燃焼を調節することが可能である。また、初期のMA濃度を調節することにより、MAの燃焼量を増減させることも可能である。（参考資料2-3）

（2）国内外の高速増殖炉/高速炉を取り巻く現状と動向

東京電力福島第一原子力発電所事故により、原子力が持つ潜在的危険性や国及び事業者の危機管理能力のせい弱性等が露呈した結果、国及び事業者に対する国民からの信頼は失墜し、我が国の原子力発電に対する社会的受容性が大きく低下した。また、この事故は、政府や国会等の事故調査委員会からも指摘されているとおり、シビアアクシデント（SA）の発生防止及びSA発生時の緩和対応策の重要性を改めて提起した。一方で、国内の原子力発電所の停止に伴い、これを補うための天然ガスをはじめとする膨大な化石燃料購入費用の負担（海外への国富流出）、これによる貿易赤字の拡大や電力料金の値上げが発生し、その結果として我が国の産業への影響が生じるなど、我が国における経済的・社会的影響も無視できない状況となっており、このような「国民の減原子力願望や原子力の安全性への不信」と「国家レベルでの経済的・社会的損失の拡大防止」という2つの間で「現実解」を探る難しい作業が求められている。

このため、政府においては、現在、「エネルギーの安定供給、エネルギーコスト低減の観点も含め、責任あるエネルギー政策を構築すること」との総理指示に基づき、経済産業省の総合資源エネルギー調査会において、我が国の中長期的なエネルギー政策の方針となる「エネルギー基本計画」を、年内を目途に取りまとめるべく、検討が進められている。

世界のエネルギー状況に目を向けると、アジアを中心にエネルギー需要が増加の傾向である一方で、米国におけるシェールガスの生産の急速な拡大により世界の天然ガスや石油の供給構造が変わりつつあるなど、世界のエネルギーを取り巻く環境も大きく変化しており、このような将来のエネルギー確保の見通しが不明確な中で、我が国においては、化石燃料や再生可能エネルギーとともに、安全性が確認された原子力の利用の可能性について検討が行われている。国際的には、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、ドイツ等の一部の国では原子力発電を放棄する方針を継続しているが、フランスや米国では安全性の更なる向上を図りつつ引き続き原子力発電を進めていく方針を示しているほ

か、中国やインドでは積極的にその拡大を図るなど、特にアジアや中東において原子力発電所の新設・需要は増加傾向にある。このような状況を踏まえると、今後のウラン需給の見通しは不明確であり、資源の獲得競争や価格高騰などが生じるリスクも存在する。

このような状況の中、現在、高速増殖炉/高速炉開発についても、以下に示すとおり、国内においては、上述の原子力政策の見直しの議論やトラブルの影響等により、「もんじゅ」の開発が遅延している一方で、国際的には、フランスやロシアに加えて、インドや中国等の台頭が目立っている状況である。

(国内の状況)

- ・「もんじゅ」については、将来の電力安定供給に大きく貢献する原子炉として、昭和60年には、電力会社等の民間拠出も得て、建設に着工し、平成6年4月の初臨界、その翌年の平成7年8月の初送電と順調にその進展が見られてきたものの、同年12月に発生した2次系主配管温度計測部からのナトリウム漏えい事故、さらには同事故における通報遅れや虚偽報告・情報隠し等の不適切な対応により、技術的な信頼性のみならず、社会的な信頼性を失い、その結果、「もんじゅ」の位置付けや必要性に関する幅広い議論、ナトリウム漏えい対策の強化、さらには実施主体であった動力炉・核燃料開発事業団の改革や地域の方々からの信頼を回復して運転再開への了解を得ること等のため、その後長期間にわたり停止する状況となった。
- ・なお、電力会社等の民間会社においても実証炉開発が進められており、平成11年からは、JAEAと電力会社が協力して、電力会社がそれまで得た技術情報や経験を反映しつつ、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(FS²)」に着手した。その後、FSの成果を踏まえ、平成18年からは、文部科学省・経済産業省・電力会社・メーカー・JAEAが一体となって、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT³)プロジェクト」を進めてきた。平成23年には、高速増殖炉サイクルシステム全体が安全性・経済性等の性能目標を達成できることを確認(フェーズI)し、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究計画を提示すること(フェーズII)となっていたが、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、現在、プロジェクトは事実上凍結の状態にある。
- ・「もんじゅ」については、その後、平成19年5月に事故原因であった温度計の改造工事を終了し、平成22年5月には14年半のときを経て試運転を再開、2か月の炉心確認試験を終了したものの、同年8月には燃料交換後の後片付け作業中に燃料交換に用いる炉内中継装置の落下トラブルが発生した。平成24年8月には炉内中継装置の復旧が完了し、通常の状態に回復したものの、その間に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた原子力政策の見直し議論を踏まえ、運転再開については、その議論の結果を受けて

² FS: Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor Cycle Systems

³ FaCT: Fast Reactor Cycle Technology Development Project

対応することとしている。

- そのような状況の中で、平成24年11月には1万点を超える機器の点検漏れ（保守管理不備）が明らかとなり、本年5月には、原子力規制委員会から使用前検査に向けた準備停止命令を含む措置命令が発出され、現在、措置命令解除に向けた取組を実施している。（参考資料2-4）
- このように、「もんじゅ」については、技術的な問題のみならず組織的な問題あるいは社会的な問題により、本格運転に向けた工程が進んでいない状況にある。技術的な問題についても、温度計さや管の破損や炉内中継装置の落下をはじめとした設計等に起因したものであり、高速増殖炉そのものが持つ安全性の問題というより、設計・開発のマネジメントの不十分さに起因するものである。組織的な問題や社会的な問題も含めて、事前に徹底したリスクアセスメントを行い、これらのリスクをマネジメントすることが、原型炉で実施すべき取組としての本質的な要件であることへの認識が不足していたと言わざるを得ない。結果として、この「もんじゅ」の開発の遅れが我が国の高速増殖炉/高速炉開発の遅れの主要因となっている。

（国際的な状況）

- 世界に目を転じれば、一時的に先進諸国において高速増殖炉/高速炉開発が停滞あるいは計画が長期化する時期があったものの、近年では、フランスやロシアといった従来から高速増殖炉/高速炉開発を先行してきた国に加え、特にインドや中国といった国が将来のエネルギーの確保の観点から強力に開発に取り組んでおり、各国の「技術優位性」をめぐる競争は激しさを増している。
- 各国における最新の取組状況は以下のとおりであり、現状の大きな方向性を分析すると、エネルギーセキュリティの観点から専ら増殖を志向する国と、増殖技術を取得した上で廃棄物対策を中心に取り組んでいる国の2つに大別することができる。（参考資料2-5）

【エネルギーセキュリティの観点から増殖を志向する国】

○ロシア：

原型炉（BN600）を1980年から現在に至るまで運転するなど豊富な運転経験を有する。2014年には実証炉（BN800：87万kW）を運転開始予定。2025年頃に商用炉（BN1200）の運転開始を計画している。

○中国：

原型炉で取得すべき技術は、ロシア原型炉の技術により代替し、実証炉（CFR600：60万kW）を2025年頃に建設予定。

○インド：

発電機能を有する実験炉（FBTR：1.3万kW）を1985年か

ら現在まで運転中。2014年に原型炉（PFBR：50万kW）を運転開始予定。2025年頃には実証・商用炉を複数建設する計画。

【増殖技術を習得した上で廃棄物対策を中心に取り組んでいる国】

○フランス：

原型炉（フェニックス：26万kW）及び実証炉（スーパーフェニックス：124万kW）等の豊富な運転経験を有しており、増殖技術は習得済み。現在は、廃棄物対策を主眼に置き、2025年頃の運転開始を目指して新たな実証炉（ASTRID：60万kW）を開発中。

○米国：

初期の開発を先導し、実験炉の運転経験は豊富であるが、1977年の政権交代において、核不拡散政策の変更により高速炉計画を改め、商業化を延期。現在は、技術維持及び将来の技術選択肢の確保の観点から、国際協力により、廃棄物対策も考慮に入れた研究開発を実施中。

- ・その一方で、多国間の国際協調の取組も活発化しており、「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム」（以下、「GIF⁴」という）においては、本年5月、ナトリウム冷却炉の安全設計クライテリア（以下、「SDC⁵」という）のドラフトが承認され、次の段階として、国際原子力機関（IAEA）等の規制側との議論やSDCの内容の具体化と対応施策の検討作業（安全設計ガイドライン。以下、「SDG⁶」という）の開始が合意されている。
- ・以上のような国際的な動向については、本年4月に、本作業部会の検討の一環として、高速増殖炉/高速炉開発を推進している各国・関係機関（IAEA、アメリカ、フランス、ロシア、中国、韓国、インド、GIF）の参加の下、開催した国際ワークショップにおいて、各国の高速増殖炉/高速炉の開発状況を共有し、「もんじゅ」を活用した国際協力の在り方について議論した中でも確認している。（参考資料2-6）

（3）現状認識を踏まえた高速増殖炉/高速炉技術保有の意義の再定義

高速増殖炉サイクルを含む核燃料サイクルの意義は、本来、使用済燃料の「核物質としての価値の認識」や「廃棄物の管理の在り方」に対する各国政府としての判断に基づくものであることから、各国それぞれの原子力利用の長期展望に依存するものである。

一方で、我が国においては、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた、

⁴ GIF: The Generation IV International Forum

⁵ SDC: Safety Design Criteria

⁶ SDG: Safety Design Guidelines

原子力政策を含むエネルギー政策の見直し議論が継続中であることを踏まえれば、現段階において、将来のエネルギー構成（原子力比率）を前提とした高速増殖炉/高速炉の導入に向けた計画を立てることは困難である。

このような状況の中で、さらに、（２）で示した国内外の状況を踏まえて、我が国にとって、今後、高速増殖炉/高速炉技術を保有する意義とはいかなるものとなるのか再定義を試みる。

（国内的な視点からの意義の再定義）

- ・原子力の長期展望を含む将来の方向性に不確実性がある現時点において、基本原則として、我々が考慮すべき重要な視点は、「将来世代へのリスクや課題の先送りを回避し、同時に、将来世代の選択肢をあえて狭めないこと」である。
- ・上記視点を踏まえ、エネルギー安全保障の観点に立てば、将来にわたって持続的なエネルギーオプションを確保しておくことは重要である。高速増殖炉は、発電のためのウラン資源の輸入を不要とすることができ、ウラン資源の獲得競争や価格高騰のリスクを回避・緩和できる。したがって、「もんじゅ」については、高速増殖原型炉として、適切な管理・運転を通じて、ナトリウム冷却発電プラントとしての技術実証を示すことで研究成果を取りまとめ、我が国として高速増殖炉技術を確立・継承する意義は大きい。
- ・また、廃棄物の負担軽減については、現実問題として、使用済燃料のバックエンドに対する社会的な懸念が一層高まっていること、さらに、我が国のみならず原子力発電に関わる全ての国が抱えている問題であることを踏まえると、引き続き中長期的な視点に立って取り組むべきものである。世界各国が、それぞれの国の国情や戦略に基づき、「直接処分」と「再処理」のどちらかの方針を選択し、最終処分の方法について判断することが求められている。我が国としても、処分場の選定を含め最終処分の方向を明確に示す必要があるが、現段階では確定に至っていない。このような状況を踏まえ、将来のバックエンドに対する有効な技術オプションを確保する観点からも、高速増殖炉/高速炉システムを用いた廃棄物の減容・有害度低減に資する研究開発を継続することの意義も大きい。
- ・具体的には、既に述べたように、高速増殖炉/高速炉は、高速中性子を利用することで、軽水炉と大きく異なる燃焼特性を有する次世代炉であり、多くのPuやMAを燃料として受け入れることができる。そのため、高速炉の意義としては、従来、劣化ウランをPuに変換することによって利用できるという「燃料の増殖」だけが特に強調されてきたが、「PuやMAを自在に操れる、これらの受皿」としての炉といった捉え方も可能であり、かかる観点から将来の不確実性に対して柔軟性を持った技術である。換言すれば、ウラン

燃料を使い切ることができるということであり、原子力ポテンシャルを余すことなく利用可能な技術といえる。

- ・原子力利用が長期に続く場合には、高速増殖炉/高速炉の利用は資源的な供給保証（燃料の自己増殖）に重点が置かれ、一方、原子力を将来に向け収束していく場合には、廃棄物対策の中でも特にP uやMAを消費していく能力の方が着目されることとなる。残留物としての余剰P uやMAを受け入れて燃料増殖のポテンシャルを生かすことで、将来の電力安定供給に資するコスト競争力のある電源として、将来的な資源供給の不確実性に対応することもできるため、軽水炉を継ぐ炉としての意義を有している。

（国際的な視点からの意義の再定義）

- ・国際的視点では、国際情勢や資源展望の分析及び主要国のエネルギー戦略の分析に加えて、我が国の政策の国際社会への影響の分析の視点が重要である。なぜなら、我が国の高速増殖炉/高速炉開発を推進するか否かは、本来国内の問題であるが、同時に、国際社会にも影響を与え得る問題であるからである。特に、国際的な原子力情勢や核不拡散問題とは無関係であり得ない。
- ・また、日本が世界のエネルギー問題に対する貢献や発言力を持ち続けるためには、安全確保を大前提に高速増殖炉/高速炉技術を含む原子力技術基盤を維持することが重要である。
- ・このように、国際的な原子力開発体制への影響、核不拡散への影響、さらには、我が国の国際的発言力の維持などの観点から、「もんじゅ」を含む高速増殖炉/高速炉技術を我が国が保有することの意義は十分にある。
- ・具体的には、世界的にも実存する高速増殖原型炉は貴重な資源であり、「もんじゅ」を有する我が国の高速増殖炉/高速炉技術は、当初計画からの開発の遅れはあるものの、いまだ国際的にも高いレベルにある。特に、高速増殖炉/高速炉開発の萌芽期を支えてきた米国、既にも実証炉開発まで進めてきた仏国に変わって、実存する炉を有する唯一の先進国として、今後の我が国が果たすべき役割・責任は大きい。
- ・また、廃棄物対策の一環としてバックエンド技術の高度化が求められている中で、我が国の「もんじゅ」を含む核燃料サイクル技術は、世界的にも高水準であり、実用化に向けた期待が高い。
- ・このように、「もんじゅ」については、我が国のみならず国際的な技術資産としての運用の価値が問われており、我が国の政策の検討に当たっては、これを失うことの国際社会への影響を十分に考慮する必要がある。
- ・例えば、国際的にも貴重な技術資産である「もんじゅ」の運転再開を断念すれば、フランスは、重要なパートナーを失い、フランス国内の関連産業技術の存立基盤の弱体化につながる恐れがある。また、米国は、実用規模の高速

炉技術は現在有していないが、将来の選択肢としては放棄していないことから、日本やフランスの技術に期待している。我が国の「もんじゅ」運転再開の断念は、従来の「日・仏・米」の技術連携の弱体化を招くおそれがあり、この3か国の連携の弱体化は、現在、この分野の開発を強力に進めている、中国やインド等の後発国への主導権の移譲につながりかねない。

- 加えて、非核兵器国としての日本がNPT体制の維持に貢献し、その核燃料サイクル活動が国際的に認められてきたことは、我が国の特別な優位性でもあり、国際的な核不拡散への貢献による大きな成果でもあった。「もんじゅ」の運転再開及び高速増殖炉/高速炉開発を断念することによって、最終的に我が国の核燃料サイクルに重大な影響が出れば、NPT体制下でのこの国際的な核不拡散の仕組みが変化することが懸念される。

(4) 実存するプラントとしての「もんじゅ」の位置付け

(3)で示された今日における国内・国際的な観点からの高速増殖炉/高速炉技術の保有の意義を踏まえて、「実存するプラント」として、「もんじゅ」の位置付けは以下のとおり整理できる。

(国内における「もんじゅ」の位置付け)

- 将来の不確実性に備える観点から、以下のエネルギー資源確保と廃棄物対策の両面において技術的実証を行い、我が国としての技術的選択肢を確保する。
 - 高速増殖炉プラントとしての技術成立性確認のための中核的な研究開発の場
 - 高速炉システムによる環境負荷低減の有効性確認のための中核的な研究開発の場
- また、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて重要性が高まっているアクシデントマネジメントやリスクマネジメント等の検討を実施するためには、計算機によるシミュレーション及び小規模の機器試験を組み合わせるだけでは不十分であり、実存するプラントでの実証が必要不可欠であり、そのためのデータを提供する。
- さらに、原型炉として研究開発段階にある「もんじゅ」を適切に管理・運転していくことを通じて、将来の高速炉プラントを適切にマネジメントする手法を確立する場としても重要である。

(世界における「もんじゅ」の位置付け)

- 世界的にも現存するプラントが少ない中で、世界的に貴重な高速増殖原型炉である「もんじゅ」は、国際的協力の場である国際研究拠点として位置付けられている。
- 特に、国際的な高速炉に係る安全基準の策定に当たっては、実存するプラントとしての「もんじゅ」での実証結果や取得するデータが不可欠であり、国

際貢献の観点からも重要な施設である。

- ・さらに、高速炉開発に不可欠な燃材料開発や国際的に関心の高まっている廃棄物の減容・有害度低減技術において、実規模レベルでの照射が可能な施設である。

(スパイラル型研究開発モデル)

- ・上記のような国内・国際的な位置付けとともに、大規模プロジェクトの推進に必要となる「基礎研究—プラント実証—エンジニアリング」の三者がそれぞれ関連しながら研究開発を進める「スパイラル型の開発モデル」の実践の場として、長期にわたる研究開発期間中に、初期段階でのトラブルや不具合への対応策を確立し、様々なレベルで得られる新技術や新知見、あるいは国際協力の成果を互いに効果的に活用することが必要である。なお、大規模プロジェクトに係るトラブルや不具合については、エンジニアリングの観点から可能な限り事前に減らす努力をするとともに、想定し得ないものが発生することを前提として、プラント実証の中でマネジメントしていくことが重要である。

(5) 研究計画策定における基本的考え方

上記のような国内外の現状と動向、更にこれを踏まえた高速増殖炉/高速炉技術保有の意義、その中における実存するプラントとしての「もんじゅ」の位置付けを踏まえ、本研究計画策定における基本的考え方を以下に示す。

(基本的考え方)

- ・「もんじゅ」については、国内における高速増殖原型炉として、特に発電システムを備えるプラント技術を実証し、運転・保守経験を通じた技術の確立・継承が行えるよう高速増殖炉開発の成果を取りまとめる。
- ・これに加え、重要な視点の一つとしてきた廃棄物の減容・有害度低減に関する研究について、従来よりも重点を置く。
- ・また、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力の社会的受容性の向上を図るためにも、原子力発電システムの安全性を従来よりも格段に高めつつ、社会とのコミュニケーションの充実に努めることが必要となっている。
- ・このような観点より、今回の研究計画における「もんじゅ」の役割を以下に示した3点を担う中核的な研究開発の場とし、研究計画を策定する。
 - ▶ 高速増殖炉プラントの技術成立性の確認を含む高速増殖炉技術開発の成果の取りまとめ
 - ▶ 高速増殖炉/高速炉システムを活用した廃棄物の減容・有害度低減等を目指した研究開発

- 原子力発電システムとしての高速増殖炉/高速炉の安全技術体系の構築を目指した研究開発
- なお、研究計画については、これまでの開発経緯を踏まえ、効果的・効率的に、かつ国民にその過程・成果が伝わるよう明確な目標をもって研究を推進していくという観点から、年限を区切った目標を掲げ、評価を行い、その後の研究の継続の可否を決めることとする。
- 加えて、国際的な「もんじゅ」の位置付けを踏まえ、国際的な協力・貢献に資する研究を重視する。

3. 具体的な研究開発プログラムについて

本章では、2. (5) に示した研究計画策定に係る基本的な考え方に示された「もんじゅ」で取り組むべき研究の3つの柱①高速増殖炉の成果の取りまとめを目指した研究開発、②廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発、③高速増殖炉/高速炉の安全性強化を目指した研究開発のそれぞれについて、基本的な考え方、全体の位置付け、研究開発項目の分類を示すとともに、それぞれの研究項目における目的、方法、成果及びそれが得られる時期について、詳細な研究開発プログラムとして示す。

(1) 高速増殖炉の成果の取りまとめを目指した研究開発

(基本的な考え方)

- ・「もんじゅ」は、国内唯一の発電設備を有するナトリウム冷却高速増殖炉であり、国内における高速増殖炉に関する研究開発を行い、そこで確立された技術の継承が行えるよう開発成果を取りまとめていくという観点において重要な施設である。
- ・「高速増殖炉プラントとしての技術成立性の確認」という目標を達成するために、まず、世界の高速増殖炉/高速炉研究開発における「もんじゅ」の位置付けを技術的観点から整理する必要がある。
- ・その上で、「もんじゅ」において開発する技術について、高速増殖炉開発における技術の重要度及び「もんじゅ」を利用することの優先度の2つの観点により分類し、技術項目をこれら重要度・優先度を軸に抽出した上で、成果の取りまとめに必要となる項目に絞り込みを行う。
- ・その後、各技術について、必要となる成果の程度及びそれを達成するために必要となる研究期間を検討し、上記重要度・優先度を踏まえて成果の取りまとめに必要となる研究期間を特定、これに基づく研究計画を策定する。

(研究開発項目の分類)

- ・高速増殖原型炉として取得すべき技術データを考慮して、技術項目を分類する。
- ・これまでの開発経緯も踏まえ、効果的かつ効率的に、かつ国民に研究の過程や成果が伝わるよう明確な目標をもって研究を推進していくという観点から、上記の技術項目の重要度及び優先度の分類を徹底して精査し、別紙1のとおり整理する。
- ・一方、目標とする成果を達成するために必要な研究期間を設定するに当たり、その前提となる運転パターンを以下のとおり設定する。

【運転パターン】

- ・原型炉としての成果を確実に取得するためには、十全な保全を行うための期間を設け、計画的に運転を継続することが必要。さらに、「もんじゅ」としては故障の克服とその経験蓄積を行うことも重要な役割。したがって、性能試験時（おおむね2年程度）は、「もんじゅ」が長期間停止してきたことも考慮しつつ、40%～100%出力を繰り返すことにより、必要な特性試験を一定の条件下で全て網羅し、その後の本格運転以降は、1サイクル（4か月）の運転に加え、8か月程度の点検を行う運転パターンを基本パターンとする。なお、この基本パターンについては、性能試験や本格運転時のトラブルや運転経験を踏まえて、技術向上や安全確保の観点から、適宜修正を行うことが適当である。（別紙2）
- ・上記の重要度・優先度の分類に応じて、性能試験完了後や初期炉心による燃焼試験が完了する第5サイクル等の一定の区切りを設定し、以下のとおり、どのタイミングでどのような研究成果が得られるかを整理する。（別紙3）

①炉心・燃料技術（参考資料3-1-1）

- ・「もんじゅ」の炉心特性を確認し、実機データに基づいた炉心設計手法及び炉心管理技術を確立する。また、「もんじゅ」の炉心燃料について、照射後試験を行い、実規模燃料の照射挙動を確認する。
- ・廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発の一環として、「もんじゅ」でMA含有燃料の照射試験を実施する。

➤ 高次化Pu/Am含有組成燃料で構成された炉心の設計・管理技術

【目的】 アメリシウム（Am）含有量が多く、軽水炉由来の高次化したPu組成を有する炉心特性を確認するとともに、性能試験、本格運転で取得した実機データに基づき、炉心設計手法及び炉心管理技術の検証・改良を行う。

【方法】 「もんじゅ」試験データに基づき、炉心状態の変遷に応じて段階的に下記を実施する。（設計手法による特性解析と炉心管理を基本とし、最新知見を反映した詳細手法による解析でその妥当性を裏付ける。）

- 高次化Pu組成炉心特性の確認（出力特性、燃焼特性等）
- 炉心設計手法（核データ、解析コード）の精度評価及び妥当性検証
- 設計余裕の合理化検討と手法の改良
- 本格運転の実績からPu-241/Am-241を含有する炉心の反応度管理等発電プラントとしての炉心管理技術の検証と改良

【成果】 <性能試験時>

- ・性能試験データに基づく炉心特性の確認
- ・同データに基づく炉心設計手法の検証・高度化

＜第5サイクル程度＞

- ・初期炉心運転データに基づく炉心特性の確認
- ・同データに基づく炉心設計手法及び炉心管理技術の検証・高度化

＜第8サイクル以降＞

- ・平衡炉心運転実績に基づく炉心特性確認
- ・同データに基づく炉心設計手法検証及び炉心管理技術の確立

➤ 実用規模燃料等の設計技術

【目的】燃料及び制御棒の健全性及び照射挙動の確認、増殖性能の確認及び燃料材料に係る照射データの充実を図る

【方法】照射後試験による照射挙動データの取得と同データの評価による設計技術確認を行う。

【成果】下記表に示す。

燃焼状態	対象集合体	期待される成果
燃焼初期段階	炉心燃料集合体 <u>＜第1サイクル後取出＞</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼初期の照射挙動の確認 ・長期保管燃料の健全性確認 ・燃焼初期のAm挙動確認*
	制御棒集合体 <u>＜第2サイクル後取出＞</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・健全性確認
燃焼進行段階	炉心燃料集合体 <u>＜第4サイクル後取出＞</u> [最大燃焼度：約6.4GWd/t]	<ul style="list-style-type: none"> ・高照射量での健全性確認 (燃焼の進んだ定常照射燃料) ・増殖性能評価 ・Am-241の燃焼挙動確認*
	ブランケット燃料集合体 <u>＜第5サイクル後取出＞</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・増殖性能評価 ・健全性確認

*：「廃棄物の減容・有害度低減技術」の向上に資する成果

➤ 廃棄物の減容・有害度低減を目指した「もんじゅ」照射試験

【目的】MA含有、高Pu富化度、高次化Pu組成等の均質サイクルMOX燃料の実規模照射試験を行い、MA及びPuの核変換による増減量を評価、検証するとともに、照射中の燃料の熱的・機械的挙動のデータを取得して、燃料設計の妥当性を確認する。

【方法】「もんじゅ」の炉心において、次のような試料を照射し、照射後試験により、各種データを取得し、Pu及びMAの核変換量及び照射挙動の確認を行う。

- 長期保管中にAmが蓄積したMOX燃料集合体を低燃焼度、中燃焼度で照射

○ふげんMOX燃料から回収される高次化Puを原料としたMOX燃料の照射

○MA含有MOX燃料ピンを含む燃料集合体の照射（日米仏の協力によるGACID計画を含む）

【成果】 <第5サイクル後取出>

- ・高次化Pu-MOX燃料の照射挙動

<第5サイクル及び第8サイクル後取出>

- ・MA含有MOX実規模燃料の照射挙動
- ・実機炉心でのMA核変換積分データの取得
- ・MA含有、高Pu富化度に伴うHeガス生成量増加による影響
- ・高燃焼度範囲、高被覆管温度における酸素と重金属の比（O/M比）依存性を考慮した被覆管内面腐食挙動の確認（特に実規模燃料ピンを対象）
- ・Pu・MA再配分挙動、熱伝導度への感度を考慮したO/M比依存性
の確認

②機器・システム設計技術（参考資料3-1-2）

- ・「もんじゅ」実機データを用いて、高速増殖炉のシステム設計技術や大型ナトリウム機器及びナトリウム炉特有計測設備等の機器設計技術を検証する。
- ・定格運転を通じて、機器・システムの経年特性や健全性を実証する。

➤ プラント系統の設計・評価技術

【目的】 熱消費率、熱交換器伝熱性能等評価、ナトリウム冷却ループ型発電炉のプラント応答特性・制御特性の把握（水・蒸気系設備を含む）、原子炉容器周り及び1次系機器室の線量率評価、実機データによるループ型炉動特性評価手法の開発及びプラント性能の経年特性の把握を行う。

【方法】 ○性能試験、数サイクル定格運転を通じたデータを取得し、プラント性能（プラントヒートバランス、発電効率、熱交換性能、100%出力連続運転性能等）及びプラント応答特性・制御特性を把握する。また実機データにより動特性評価手法を検証する。

○しゃへい特性に関しては、放射線検出器を用いて、1次主冷却系室等の中性子及びガンマ線を測定し、設計値及び最新手法に基づく解析値と比較する。

【成果】 <性能試験時>

- ・プラント性能：プラントヒートバランス、発電効率、熱交換性能、100%出力連続運転性能等
- ・プラント応答特性・制御特性：トリップ時、負荷しゃ断時、出力変

更時等の1次系温度・流量、原子炉容器上部プレナム内温度、水・蒸気系温度・流量・圧力等、原子炉、ナトリウム系、水系を含めたプラント全系応答

- ・しゃへい特性：原子炉容器まわり、1次系機器室の線量率等

<性能試験終了後2年程度>

- ・実機データ（性能試験データ）による、ループ型炉動特性評価手法及びしゃへい評価手法の検証

<第5サイクル以降>

- ・プラント性能の経年特性（以降、継続）

➤ ホットベッセル原子炉容器等の設計評価技術

【目的】ホットベッセル原子炉容器等の機器設計技術の検証を、実機データ（性能試験データ及び定格運転データ）を用いて実施する。定格運転を踏まえて、機器・システムの経年特性や健全性実証を行う。

【方法】○性能試験（40%～100%）、数サイクル定格運転、定期点検における検査、供用期間中検査（ISI⁷）、サーベイランス試験片等から得られる情報の分析により構造健全性を確認し、設計妥当性を検証する。

○性能試験等により得られた機器性能を評価し設計手法の妥当性を確認する。

【成果】<性能試験時>

- ・実機データ（性能試験データ）による原子炉容器設計検証（上部プレナム部温度分布、炉心出口温度揺らぎ等）、しゃへいプラグ設計検証（熱・放射線しゃへい性能）、制御棒駆動機構設計検証（駆動特性、スクラム特性等）

<第3サイクル程度>

- ・制御棒駆動機構健全性確認（駆動部分解点検）

<第5サイクル程度>

- ・しゃへいプラグ・制御棒駆動機構等の経年特性（以降、継続）

<第10サイクル以降>

- ・原子炉容器健全性確認（サーベイランス材取り出し^{*1}。以降、12サイクル、30サイクル後に取り出し^{*1}。）
- ・原子炉容器健全性確認（ISI、33%/10年^{*2}）
- ・制御棒駆動機構健全性確認（上部案内管交換）

*1：サーベイランス材取出時期は今後の性能試験結果を踏まえて決定される。

*2：ISI実施時期、実施頻度は今後決定される。

⁷ ISI: In-Service Inspection

➤ 大型機器設計・評価技術

【目的】 ループ型高速増殖炉のポンプや熱交換器等の大型ナトリウム機器等の機器設計技術の検証を、実機データ（性能試験データ及び定格運転データ）を用いて実施する。更に定格運転を踏まえて、機器・システムの経年特性や健全性実証を行う。

【方法】 ○性能試験（40%～100%）、数サイクル定格運転、定期点検における検査、ISI等から得られる情報の分析により構造健全性を確認し、設計妥当性を検証する。

○性能試験等により得られた機器性能を評価し設計手法の妥当性を確認する。

【成果】 <性能試験時>

・実機データ（性能試験データ）による、ナトリウムポンプ設計検証（運転特性、制御特性等）、中間熱交換器設計検証（熱交換性能等）

<第3～5サイクル程度>

・定格運転を通じたナトリウムポンプ等の健全性確認

<第5サイクル程度>

・定格運転を通じたナトリウムポンプ、中間熱交換器等の経年特性（以降、継続）

・定格運転を通じたナトリウムポンプ等の健全性確認

➤ ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術

【目的】 ナトリウム炉特有な計測設備について、性能試験・本格運転を通して性能・信頼性確認を行うとともに、実機での経年データ（検出器性能の変化、寿命等）を蓄積する。

【方法】 炉外核計装設備、遅発中性子法破損燃料検出設備、ナトリウム漏えい検出設備、水漏えい検出設備、タグガス法破損燃料位置検出設備等に関する特性確認試験を実施し、試験結果に基づき、評価を実施する。

【成果】 <性能試験時>

・ナトリウム炉特有計測設備の初期性能確認

<性能試験終了後3年程度>

・新型計装技術の開発

<第4サイクル以降>

・ナトリウム炉特有設備の設備健全性確認

<第5サイクル程度>

・ナトリウム炉特有計測設備の経年特性（以降、継続）

➤ 燃料取扱システム設計技術

【目的】燃料交換、燃料処理・貯蔵等の燃料取扱作業を通じて、もんじゅ燃料取扱システムの性能を確認し実証するとともに、燃料取扱作業の信頼性向上、作業期間短縮のための運転ノウハウ、設計改良に資する知見を集積する。

【方法】○設備運転手順の検証、運転時間の確認、運転実績の蓄積等を行い、実績に基づき遠隔自動操作性の評価を実施する。
○設備保守手順、劣化傾向監視データの蓄積等を行い、実績に基づき燃料取扱機器に係る保全技術の評価を実施する。
○特に、ナトリウム中作動機器については、ナトリウム中軸受等の劣化傾向、蒸着ナトリウムの影響、配管・機器に付着する放射化物質（腐食生成物（C P）等）の影響等について評価を実施する。

【成果】<第5サイクル程度>

- ・初期炉心燃焼燃料取扱によるシステム実証（取出平均燃焼度約5万MW d / t 燃料）
 - ① 燃料取扱システムの性能実証（運転操作技術の確認等）
 - ② 燃料取扱機器に係る保全技術（放射化機器の取扱含む）の検証
 - ③ C Pを含んだ蒸着ナトリウムの除去技術の検証
 - ④ 運転・保守データ及び不具合データと対策処置経験知見の取得

<第8サイクル以降>

- ・より高燃焼度の燃料取扱によるシステム実証（取出平均燃焼度約8万MW d / t 燃料）
 - ① 燃料取扱システムの性能実証（運転操作技術の確認等）
 - ② 燃料取扱機器に係る保全技術（放射化機器の取扱含む）の検証
 - ③ C Pを含んだ蒸着ナトリウムの除去技術の検証
 - ④ 運転・保守データ及び不具合データと対策処置経験知見の取得
- ・しゃへいプラグ駆動部健全性確認（エラストマシール交換等分解点検）（10回の燃料交換後*）

*：設計上の交換時期。

➤ 蒸気発生器等設計・評価技術

【目的】実機データによる蒸気発生器設計検証、定格運転を通じた蒸気発生器の経年特性把握、及び健全性実証を行う。

【方法】性能試験（40%～100%）、数サイクル定格運転、定期点検における検査、I S I等から得られる情報の分析により設計妥当性を確認するとともに設計時の評価と実際の性能の差異を評価し設計手法の妥当性を確認する。

【成果】<性能試験時>

- ・蒸気発生器の初期性能確認

<第5サイクル程度>

- ・蒸気発生器の経年特性（以降、継続）

<第10サイクル程度>

- ・蒸気発生器伝熱管健全性（ISI、33%/10年*）

*：ISI実施時期、実施頻度は今後決定される。

➤ 発電所補助システム設計技術

【目的】FBRプラントに特有、又はループ型特有な換気空調設備及びメンテナンス冷却系設備について、設計妥当性確認、運用性実証、経年特性把握を行う。

【方法】性能試験（40%～100%）、定期検査、数サイクル出力運転の結果に基づき、評価を実施。

○換気空調設備については、室温及び換気空調機器運転データを取得し、設備容量設計の妥当性を評価する。

○メンテナンス冷却系については、除熱特性データを取得し、設備容量設計の妥当性を評価する。

【成果】<性能試験時>

- ・換気空調設備・メンテナンス冷却系設備の初期性能

③ナトリウム取扱技術（参考資料3-1-3）

- ・「もんじゅ」を通じて、ループ型高速増殖炉特有の検査技術（原子炉容器用ISI技術、1次系主配管用ISI技術）、世界に例のない蒸気発生器伝熱管の検査技術（高速増殖炉用蒸気発生器伝熱管用ISI技術）を開発する。
- ・運転保守経験を通じて取得したナトリウム関連の管理データ（純度管理、放射化物挙動、ナトリウム蒸気挙動、ナトリウム洗浄等）を用いて、ナトリウム管理技術を検証・確立する。

➤ 供用期間中検査（ISI）技術

【目的】開発整備している、高温・高放射線環境等で行うループ型炉特有なISI技術を実機で適用し、信頼性や確実性向上を目指した開発を実施する。

【方法】3～6回程度の「もんじゅ」の定期点検で、原子炉容器用ISI技術、1次系主配管用ISI技術、蒸気発生器伝熱管用ISI技術を適用し、検査を実施する。

【成果】 ＜第3サイクル後*＞

- ・各検査技術（初期技術）の性能実証
- ・高温・高放射線環境等で行うループ型炉特有検査技術（原子炉容器用 I S I 技術、1次系主配管用 I S I 技術、蒸気発生器伝熱管用 I S I 技術）を保全計画に従い、「もんじゅ」に1回以上適用し、初期技術の性能実証

＜第6サイクル後*＞

- ・改良技術（検査性能の向上、期間短縮、コストダウン）の確認

*：I S I 実施時期・実施頻度は現時点での想定。

➤ **ナトリウム管理技術**

【目的】 1次/2次冷却系の酸素・水素濃度や1次冷却系のC P等のデータを実環境下で取得し、また機器・燃料の洗浄処理データ等を取得することで、ループ型高速増殖炉発電プラントのナトリウム管理技術を確立する。

【方法】 ○「もんじゅ」試験結果に基づき、評価を実施する。

○1次冷却系、2次冷却系のコールドトラップ運転データを採取し、ナトリウムサンプリングによるナトリウム中の不純物濃度等を測定する。

○水素やトリチウム及び1次冷却系内の放射性腐食生成物の分布、特に配管・機器表面への沈着分布に関するデータを取得する。

○照射済み燃料集合体や燃料取扱機器の洗浄及びナトリウム廃液等の減容処理手順の検証、実績の蓄積等を実施する。

【成果】 ＜第3サイクル程度＞

- ・ナトリウム純度管理技術（水素濃度、運用基準）

＜第5サイクル程度＞

- ・ナトリウム蒸気等対応設計検証、ナトリウム機器洗浄技術検証

＜第6～8サイクル程度＞

- ・2次系コールドトラップ交換*
- ・放射化物挙動評価手法

＜第10サイクル以降＞

- ・1次系コールドトラップ交換*
- ・1次系・2次系ベーパートラップフィルタ交換
- ・C P移行挙動データ（飽和値）、トリチウム挙動データ（飽和値）

*：設計上の交換時期。

④プラント運転・保守技術（参考資料3-1-4）

- ・運転保守経験を通じ、保全計画等の保守管理技術、運転手順等の運転管理技術について、成立性確認及び経験蓄積を行う。
- ・トラブル対応から得られる知見を集積する。

➤ トラブル対応から得られる知見の集積による運転・保守技術の向上

【目的】 運転等を通じて得られるトラブル経験及び克服知見を蓄積し、高速増殖炉の安全技術体系の構築（設計手法・規格基準・運転保守等）へ反映する。

【方法】 ○プラントで発生した事故・故障等に対する原因分析、対策立案のための検討・解析・試験と実機への反映等を実施し、それらの有効性と妥当性を評価する。

○運転を通じて、これらの経験を継続して蓄積し、高速増殖炉の安全技術体系の構築に反映していく。

【成果】 ＜プラント運転を通じ継続して蓄積＞

- ・トラブル経験及び克服知見の取得

➤ 高速増殖炉発電プラントの保守管理技術

【目的】 システム運転・保守を自ら行い、その経験を通じて成立性確認及び経験蓄積を実施する。また、運転初期における初期故障・トラブル（バグ出し）の経験・克服とその後の運転を経たランダム故障の経験・克服。それらを通じたナトリウム炉の特徴を活用した保全技術を確立する。

【方法】 ○「もんじゅ」試験結果に基づき、評価を実施する。

○実機規模の発電炉（ループ型炉）としての保全データ（定期検査の経験を含む）を取得する。

○磁氣的検出法や超音波検出法等によるクリープ・疲労検出法を調査し、有望な探傷検知技術を実機に適用するための試験を実施する。

【成果】 ＜第1サイクル後＞

- ・初期保全サイクル用保全計画（プラント供用開始）

＜第5サイクル程度＞

- ・実機データを踏まえた高速炉の保全計画（最適化）
- ・5年程度の運転経験を通じて蓄積された機器故障データ

＜第10サイクル以降＞

- ・10年程度の運転経験を通じて蓄積された機器故障データ
- ・高速炉用予防保全技術の開発

➤ 高速増殖炉発電プラントの運転管理技術

【目的】 実機の運転経験（性能試験結果含む）、ループ型高速増殖炉発電プラントの運転手順や保安規定等の運転管理技術体系を整備する。また、実機データを用いた高速増殖炉用異常診断技術を開発する。

【方法】 ○性能試験結果及び運転経験、定期点検等を通じて、運転手順（運転操作、監視、異常時対応）、保安規定を確立する。
○確立した運転手順、保安規定について、定格出力運転及び定期点検等のプラント運転経験を通じて継続的に改善する。
○性能試験で実機データを取得し、そのデータを用い高速増殖炉用異常診断手法を検討する。

【成果】 <性能試験時>

- ・ 試運転経験に基づき整備された運転管理技術（運転手法、手順書類、保安規定等）

<性能試験終了後3年程度>

- ・ 性能試験データを用いて開発した高速増殖炉用異常診断技術

<第5サイクル程度>

- ・ 本格運転及び定期点検等の経験に基づき整備された運転管理技術

⑤シビアアクシデント（SA）に関する安全機能確認・評価技術 【後述】

- ・ 確率論的安全評価（PSA）を踏まえたSAに対する安全性強化の研究を、「もんじゅ」という実機プラントへの適用を通じて実施する。
- ・ 高速増殖炉のSAの評価技術を構築する。また、シビアアクシデントマネジメント（SAM）策を検討し、訓練・運用を通じて改良を行う。
- ・ 自然循環による崩壊熱除去を実機スケールで実証する。

（2）廃棄物の減容・有害度低減を目指した研究開発

（基本的な考え方）

- ・ 「もんじゅ」をはじめとする高速増殖炉/高速炉は、軽水炉では燃やすことが難しい「高次化Pu」や「MA」を燃料として燃焼することが可能である。このため、廃棄物の減容・有害度低減等の環境負荷低減に貢献すると考えられている。
- ・ 一方で、「常陽」等を用いてこれまでもMA含有燃料等に関する基礎的な研究は行われてきたが、実際の燃料規模で環境負荷低減の有効性を確認するための核的性能や燃料性能に関する知見が十分ではない。「もんじゅ」は、これらの知見を得るために重要な施設である。
- ・ 以上を踏まえ、まずは「高速増殖炉/高速炉システムによる環境負荷低減の有効性の確認」を目標とし、燃料製造・高速炉による照射・再処理といった一

- 連の高速炉サイクルによる廃棄物の減容・有害度低減に資する全体システムの成立性を確認するため、全体システムの中核を成す「もんじゅ」において燃料照射試験と分析を行いデータの収集を実施するとともに、「もんじゅ」のデータを補強・補完する観点から、「常陽」でも照射試験等を実施する。
- ・加えて、MA含有燃料等の製造・照射・処理の各段階で必要な研究を実施する。

(廃棄物の減容・有害度低減に資する研究開発の全体の中での位置付け)

- ・廃棄物の減容・有害度低減に係る全体システムの有効性の確認を行うために必要な研究開発の全体像を整理し、本研究計画で取り扱う範囲を確定した。
- ・平成21年に原子力委員会において取りまとめられた「分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」では、MA核変換サイクルとして、高速炉を用いたMA均質/非均質サイクル及び加速器を用いた階層型サイクルが検討され、分離変換技術の研究開発は、高速炉サイクル技術の研究開発と強くリンクして行うべきであり、均質サイクル概念による分離変換技術の研究開発を高速炉サイクル技術に係る研究開発の一部として進めるべきとされた。これを受けて、高速炉サイクル技術に係る各分野の研究開発が進められ、基礎研究段階をおおむね終了する段階となっている。特に、Am均質サイクルの研究開発については、「もんじゅ」を用いた実規模での燃焼確認が可能な段階に達しており、海外からも試験実施への期待が高い。
- ・このため、本研究計画では、準工学研究段階にある高速炉を用いたシステムの有効性を確認する観点から、「もんじゅ」及び「常陽」を用いたAm均質サイクルの有効性確認及び高次化PuやAm以外のMAの燃焼や燃料サイクルに関する研究開発を加えた範囲について、技術的な検討を行う対象範囲として取り扱うこととした。(別紙4)

(研究開発項目の分類)

- ・「高速増殖炉/高速炉システムによる廃棄物の負担軽減の有効性を評価する」ためには、「もんじゅ」を用いた実規模燃料の照射試験に加えて、燃料製造及び再処理に係る技術開発や「常陽」での照射試験も併せて実施する必要がある。必要な研究開発について、以下の4種類に分類した。

①燃料製造技術 (参考資料3-2-1)

➤ MOX燃料製造プロセス開発

【目的】キュリウム(Cm)を除くMAの含有率やPu富化度を増加させたMOX燃料ペレットを安定した品質で製造するためのプロセス技術やMA添加等による発熱率及び放射線源強度の増加による製造上の課題の解決並びにMA含有スクラップ利用技術を開発することにより、廃棄物の減容・有害度低減に有効な基盤技術を開発する。

【方法】○現行のMOX燃料ペレット製造技術を基に、MA含有率やPu富化度を増加させた場合の影響を評価し、必要な対策を検討、開発する。
○MOXペレット製造試験や照射試験燃料製造により、データを取得する。

【成果】<研究開始後5年程度>

・後述する設備高度化と併せ、現在の製造プロセス技術の高度化で対応可能な燃料組成範囲の評価

<研究開始後10年程度>

・後述する簡素化ペレット法と併せ、遠隔製造に適合した製造プロセスの確立に資するための基礎データの取得

➤ 簡素化ペレット法のMA含有燃料製造への適用性検討

【目的】現在の製造プロセスの高度化では対応できない組成範囲のMA含有燃料の遠隔製造に適した簡素化ペレット法を開発することにより、廃棄物の減容・有害度低減に有効な基盤技術を開発する。

【方法】○小規模MOX及びMA試験による、造粒・整粒技術の確立、粉末調整時のMAの影響を評価する。

○上記試験から得られた粉末を用いたダイ潤滑成型試験による成型体の試作、焼結特性、O/M比調整へのMAの影響を評価する。

【成果】<研究開始後5年程度>

・MOX燃料製造用簡素化ペレット法システム概念の構築

<研究開始後10年程度>

・簡素化ペレット法によるMA含有MOX燃料の製造技術の確立に資するための基礎データの取得

➤ 遠隔自動製造設備の高度化

【目的】MA含有MOX燃料ペレット製造時の放射線源強度の増加への対応に必要な遠隔自動製造設備を高度化することにより、廃棄物の減容・有害度低減に有効な基盤技術を開発する。

【方法】○遠隔自動製造設備の保守、補修時間低減のための設備異常のモニタリング、診断技術を開発する。

○設備信頼性向上のためのペレット取扱・搬送システムの高度化及び粉末付着防止・回収技術を開発する。

【成果】<研究開始後5年程度>

・前述のMOX燃料製造プロセス開発と併せ、現在の製造プロセス技術の高度化で対応可能な燃料組成範囲の評価

②照射試験及び燃料材料開発（参考資料3-2-2）

➤ 「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等

【目的】 MA含有、高Pu富化度、高次化Pu組成等の均質サイクルMOX燃料の実規模照射試験及び短尺燃料の各種照射試験を行い、MA及びPuの核変換による増減量を評価、検証するとともに、照射中の燃料の熱的・機械的挙動のデータを幅広い照射条件、燃料仕様範囲で取得して、燃料設計の妥当性を確認する。

【方法】 次のような試料を照射し、照射後試験により、各種データを取得し、Pu及びMAの核変換量及び照射挙動の確認を行う。

○ 「もんじゅ」におけるAm蓄積MOX燃料集合体照射、高次化Puを原料としたMOX燃料の照射及びMA含有MOX燃料ピンを含む燃料集合体の照射を実施する。

○ 「常陽」における短尺燃料の高線出力試験、熔融試験、燃料仕様等の系統的比較試験を実施する。

○ 上記には、日米仏の協力によるGACID計画で実施するMA含有MOX燃料ピンの照射試験を含む。

【成果】 実機炉心でのMA核変換積分データの取得、MA含有及び高Pu富化に伴うHeガス生成量増加による影響等の評価を通して、均質MAサイクルMOX燃料の照射挙動データの取得及び核変換の有効性と燃料設計の妥当性の確認

<研究開始後5年程度>

・ 短期照射試験燃料、熔融限界線出力試験等に基づく廃棄物の減容・有害度低減に向けた燃料の特性確認

<研究開始後10年程度>

・ 長期照射試験燃料に基づく廃棄物の減容・有害度低減に向けた燃料像の具体化、有効性評価

➤ 長寿命炉心燃料材料の開発等の基盤技術開発

【目的】 燃料の長寿命化用の高中性子照射量に耐え得る炉心材料等（被覆管：ODS鋼等）、廃棄物の減容・有害度低減に有効な基盤技術を開発する。

【方法】 ODS鋼の製造試験、機械的強度、耐食性等に関する炉外試験を実施し、「常陽」での照射試験、照射後試験による材料特性データを取得する。また、MA含有MOX燃料等の物性測定、物性研究及びシミュレーションを実施する。さらに、FPターゲットを開発する。また、MA含有MOX燃料等に適用する燃料挙動評価、燃料設計手法を開発する。

【成果】 ＜研究開始後 5 年程度＞

- ・ MA含有MOX燃料等の物性測定、物性研究及びシミュレーションを用いた廃棄物の減容・有害度低減に向けた燃料の特性確認

＜研究開始後 10 年程度＞

- ・ 長寿命被覆管材料の開発見通し及びMA含有MOX燃料等の物性測定、物性研究及びシミュレーションに基づく廃棄物の減容・有害度低減に向けた燃料像の具体化、有効性評価

③炉特性・炉システム設計技術 (参考資料3-2-3)

➤ 炉特性の確認及び炉心概念の検討

【目的】 PuやMAを燃料とする高速増殖炉/高速炉の炉特性を確認し、廃棄物の減容・有害度低減に適した炉心概念を具体化する。

【方法】 「常陽」において、高次化PuやMAサンプルを照射し、核データを検証（積分測定）する。また、「もんじゅ」等の照射燃料の物質収支及び「もんじゅ」の性能試験等から得られる炉心特性データ等に基づき、高速増殖炉/高速炉のPuやMAの燃焼効果を確認し、廃棄物の減容・有害度低減に向けた炉心概念を検討する。

【成果】 ＜研究開始後 5 年程度＞

- ・ PuやMAの燃焼炉心の特性把握

＜研究開始後 10 年程度＞

- ・ PuやMAの燃焼炉心の具体化

④再処理技術開発 (参考資料3-2-4)

➤ MA分離プロセスの開発

【目的】 MA分離プロセスとして、AmやCmを効率的に回収可能な抽出剤を開発し、分離フローシートを構築することにより、廃棄物の減容・有害度低減に有効な基盤技術を開発する。

【方法】 MA分離用の抽出剤の比較評価試験を実施する。また、高放射性廃液を用いたMA回収試験による分離方法（液々抽出/固液抽出）比較検討及び改良抽出剤の基礎データを取得する。分離・回収性能及び廃液発生量を最適化したMA分離回収フローシートを検討する。

【成果】 ＜研究開始後 5 年程度＞

- ・ MA分離フローシートの構築のため、高Am含有及び高Pu富化度燃料の溶解・分離性能の把握とシミュレーション解析用データの取得

＜研究開始後 10 年程度＞

- ・ 照射済み燃料によるMA含有、高Pu富化度MOX燃料の再処理フローシートの検証

➤ MA燃料の再処理試験

【目的】MA含有による再処理工程への影響を評価し、Pu、MAサイクルの物質収支（核変換特性評価）を検証する。

【方法】「もんじゅ」等で照射されたMA含有燃料の再処理試験により、MA含有による溶解・抽出に関する基礎データを取得し、「もんじゅ」で照射した燃料に対する大洗の照射燃料試験施設（AGF）での照射後燃料微小試料の同位体等詳細分析データと、高レベル放射性物質研究施設（CPF）での燃料ピン単位でのマクロな元素・同位体分析データを取得する。

【成果】＜研究開始後5年程度＞

- ・MA含有及び高Pu富化度MOX燃料の再処理特性データの取得

＜研究開始後10年程度＞

- ・照射済み燃料によるMA含有及び高Pu富化度MOX燃料の再処理特性、MA分離性能の確認及び物質収支の積分検証

（3）高速増殖炉/高速炉の安全性強化を目指した研究開発

（基本的な考え方）

- ・高速増殖炉/高速炉の安全確保は、研究開発を行う際の大前提となる課題であり、安全性強化を目指した研究開発は、最優先に継続的かつ確実に取り組む必要がある。
- ・我が国では、これまでも「もんじゅ」の設計・許認可等を通じて、設計基準事象のみならず、設計基準を超える事象の一部にも対応し得る高速増殖炉/高速炉の安全性確保のための技術体系を構築してきた。
- ・一方、東京電力福島第一原子力発電所事故は、SAの発生防止及びSA発生時の緩和対応策の重要性を改めて提起したことから、高速増殖炉/高速炉に関わる深層防護の在り方を吟味する研究開発が必要である。特にSA発生後の緩和対応方策と緊急対応方策を検討することにより、高速増殖炉/高速炉の安全技術体系の強化を図ることが重要である。
- ・「もんじゅ」は実存するプラントとして運転やアクシデントマネジメントの検討・訓練等を通じて「高速増殖炉/高速炉全体の安全技術体系の構築」のための研究開発の場を提供することができる重要な施設である。
- ・一方で、炉心溶融時の基礎データ取得等の「もんじゅ」で行うことが困難な実験条件について、他の試験施設において実施したり、プラントシミュレーションによる原子炉の挙動解析等で行ったりすることも安全技術体系を構築するためには必要な研究開発である。
- ・これらを総合的に実施することにより、高速増殖炉/高速炉の安全技術体系の構築の実現を図ることが可能となる。このため、「もんじゅ」で実施する研究

開発項目と「もんじゅ」以外で実施する研究開発項目に整理し、高速増殖炉/高速炉の安全性強化を目指した研究開発を実施する。

(高速増殖炉/高速炉の安全技術体系の全体像と本研究計画の位置付け)

- ・高速増殖炉/高速炉全体の安全性強化を目指した研究開発の全体像について、「もんじゅ」の運転を通じた研究開発でしか得られない技術、解析コードを用いたシミュレーションにより得られる技術及び大型ナトリウム施設など関連施設を用いた研究開発で得られる技術の整理を行った。
- ・また、研究開発の成果は、「安全基準」、「安全設計・運転」、「安全評価」の3つの観点から集約し、互いに連携させつつ、国際標準や国内規制基準への反映を目指すことが重要であることを確認した。(別紙5)

(研究開発項目の分類)

- ・我が国の原子力規制委員会の策定する新規制基準への対応の検討や、国際的な高速炉に係る安全基準の策定に当たっては、実存するプラントとしての「もんじゅ」やA t h e N a⁸等の大型試験施設で取得するデータが不可欠である。必要な研究開発について、以下の5種類に分類した。

①SA評価技術の構築と安全性向上策の抽出 (参考資料3-3-1)

➤ PSA等によるSA評価技術の構築と安全性向上策の抽出

【目的】地震・津波等の幅広い外部事象を含むPSAを「もんじゅ」実機に対して実施し、リスク情報を活用して継続的に安全性向上策を抽出するとともに、それらを通じて、高速炉のSAの評価技術を構築する。

【方法】「もんじゅ」を運転することにより、ナトリウム機器の信頼性データを蓄積し、それらに基づくPSA、及び実機でのプラントウォークダウン等による実機条件の取得等を踏まえ、ナトリウム冷却高速増殖炉/高速炉の特徴を踏まえた安全性向上策を抽出する。

【成果】<性能試験時>

- ・PSAによる安全性向上策の抽出とその評価

<第5サイクル程度>

- ・安全性の継続的改善のための総合的なリスク評価

➤ 「もんじゅ」の安全性に関する総合評価

【目的】設計基準を超える想定に対する実機の耐性、安全裕度を確認する。

【方法】東京電力福島第一原子力発電所事故を考慮して「もんじゅ」の安全性に関する総合評価を実施し、安全性強化に関する知見を集約する。

⁸ AtheNa: Advanced Technology Experiment Sodium(Na) Facility

【成果】<性能試験時>

- ・「もんじゅ」の安全性向上策の検討への活用及び今後の高速増殖炉/高速炉のSAM策検討のための安全技術基盤の構築

➤ 自然循環除熱システムの設計技術・評価技術

【目的】ナトリウム冷却炉の特徴である高い自然循環性能による崩壊熱除去を実機スケールで実証する。

【方法】「もんじゅ」性能試験において、原子炉トリップ後の自然循環除熱による崩壊熱除去試験を実施する。

【成果】<性能試験時>

- ・自然循環による崩壊熱除去能力の実証（データ取得）

<性能試験終了後3年程度>

- ・実機データにより検証された評価手法

➤ 設計基準ベースの安全設計・評価技術

【目的】設計基準内の評価技術の確立のため、性能試験において安全系等の設計評価及び蒸気発生器急速ブロー評価等を実施する。

【方法】「もんじゅ」実機での性能試験や運転を通して、安全系の信頼性データを蓄積・評価する。また、「もんじゅ」性能試験の蒸気発生器ブローに係る試験により、ナトリウム-水反応時の安全性を評価する。

【成果】<性能試験時>

- ・蒸気発生器急速ブロー評価結果
- ・安全系設備信頼性データ

②SAM策の充実とその実証的な確認や訓練・運用（参考資料3-3-2）

➤ SAM策の整備

【目的】幅広い外部事象を含むSA事象シーケンスに対して、ナトリウム冷却高速増殖炉/高速炉の特徴を踏まえたSAM策を検討し、安全性の向上を図る。

【方法】「もんじゅ」実機に対して、設計基準を超える外部事象等の幅広い事象に関する安全機能の維持・回復、影響緩和等の安全性向上策を整備し、最適評価手法による安全評価手法を整備し、有効性を評価するとともに、定期的にSAM策を評価・改善する。

【成果】<性能試験時>

- ・SAM策に関する手順書

<第5サイクル程度>

- ・安全性の継続的改善のためのSAM策(手順書)の充実

③損傷炉心燃料等の安定的な冷却手段の多様化のための研究開発

(参考資料 3-3-3)

➤ SA後の炉心冷却性に関するナトリウム試験 (A t h e N a) の実施とSA評価技術の確立

【目的】 大規模なナトリウム試験施設であるA t h e N a施設により、炉心損傷時の冷却対策検討のための試験データの取得を行うとともに、炉心損傷時除熱評価手法を確立する。

【方法】 A t h e N a施設を用いて、SA後の炉心冷却性に関するナトリウム試験を実施し、安全評価コードの検証を実施する。米、仏に加え、G I F参加国による国際協力による実施を計画する。

【成果】 <研究開始後5年程度>

- ・安全性強化方策の有効性の確認及び炉心損傷時の冷却性評価手法の確立

➤ SA後の炉心冷却性に関する水試験、ナトリウム試験 (P L A N D T L) の実施とSA評価技術の確立

【目的】 既存のナトリウム試験施設であるP L A N D T L施設等により、炉心損傷時の炉容器内冷却対策検討のための基礎的な熱流動挙動データの取得を行うとともに、炉容器内熱流動評価手法を確立する。

【方法】 P L A N D T L施設等を用いて、SA後の炉心冷却性に関する水及びナトリウム試験を実施し、安全評価コードの検証を実施する。米、仏に加え、第4世代国際フォーラム (G I F) 参加国による国際協力による実施を計画する。

【成果】 <研究開始後5年程度>

- ・安全性強化方策の有効性の確認及び損傷炉心の冷却現象を把握による炉容器内の熱流動評価手法の確立

➤ 炉外事象安全性評価手法開発

【目的】 原子炉容器外へ炉心溶融物が至る想定事象について、レベル2 P S Aや安全評価に用いる標準ツールとしてC O N T A I N / L M Rコードを整備する。

【方法】 格納容器内諸現象を扱う解析モデルの機能確認、改良・検証と要素試験による現象解明、検証用データの取得を実施する。

【成果】 <研究開始後5年程度>

- ・レベル2 P S Aや安全評価に用いる標準ツールの整備

④炉心損傷時の再臨界の防止と事象の炉容器内終息を図るための研究開発

(参考資料 3-3-4)

➤ 炉心損傷時の挙動分析のための試験 (EAGLE試験等) の実施

【目的】 炉心損傷時の挙動分析のための試験 (EAGLE試験等) により、再臨界防止策等の安全性強化方策の有効性を確認する。

【方法】 日、仏、カザフスタンの国際協力により、カザフスタン国立原子力センター (NNC) の IGR試験炉と炉外試験装置、及び大洗研究開発センターのMELT試験装置において、炉内及び炉外での燃料熔融試験を実施する。

【成果】 ＜研究開始後 5 年程度＞

- ・ 安全性強化方策の有効性の確認

➤ 炉心安全性評価手法の開発と整備

【目的】 SAの安全評価に用いる標準的手法として SAS 4 A、SIMMERコードを整備する。

【方法】 SAS 4 Aコードについては、既実施の試験データを用いて体系的な検証を日米仏の共同研究として実施する。また、SIMMERコードについては、EAGLE試験、MELT試験等を反映し日仏の共同研究として検証解析を実施する。

【成果】 ＜性能試験時＞

- ・ コードの整備及び試験検証解析

＜性能試験終了後 3 年程度＞

- ・ SAの安全評価に用いる標準的手法の整備

⑤高速炉の安全基準に資する研究開発 (参考資料 3-3-5)

➤ SA等の研究成果の安全基準への反映

【目的】 将来のナトリウム冷却型高速炉の適正な安全基準を確立するための知見を収集し、取りまとめを実施する。

【方法】 後述の安全性強化を目指した具体的な研究開発項目を通じて得られる知見を国際標準としての安全基準の観点で取りまとめる。

【成果】 ＜プラント運転を通じ継続して蓄積＞

- ・ 安全基準で求められているSA等の安全性能要求に対し、より具体的な機能要求あるいは設計要件等の取りまとめ及び国内外の安全基準に資する知見としての整備

4. 研究開発プログラムの実施における国際協力の在り方

原子力に関する取組は、一国のみの問題として捉えることは不可能であり、国際関係の中での取組として考える必要がある。「もんじゅ」は、世界に実存する数少ない高速増殖原型炉であり、国際協力・貢献の場としての国際研究拠点と位置付けて活用することが重要であり、真にその国際的な技術資産としての運用の価値が問われることとなる。高速増殖炉/高速炉技術の保有の意義についても、既に述べたように、我が国のエネルギー安全保障、国際的技術連携への影響や国際核不拡散への影響といった観点からの捉え方が必要である。また、国際協力を推進する際には、我が国が主体的に研究開発を推進することを大前提として、その中で国際貢献を果たすという姿勢が重要である。

本章では、国際協力の基本方針を示した上で、具体的な国際協力の在り方について、①2国間協力の強化、②多国間協力の更なる深化、及び、③ I A E A の枠組みを活用した幅広い国際協力について示す。

(1) 国際協力の基本方針

- ・国際協力の戦略策定に当たっては、(i) 開発リード国として国際貢献に資すること、(ii) 国内単独で実施するよりも費用分担によるコスト削減やリスク分散が見込まれること、(iii) 我が国の設計・技術等の国際標準化に有効であること等の観点で検討を行うことが必要である。
- ・具体的には、その目的に応じて、以下のとおり、2国間協力や多国間協力等活用して国際協力に取り組む。(別紙6)

(2) 具体的な国際協力の在り方

①2国間協力の強化

- ・日米間においては、米国における技術の蓄積を活用した協力を実施すべきであり、本年1月に文部科学省及び米国エネルギー省の間で締結された実施取決めに基づき、高速増殖炉/高速炉及び核燃料サイクルの技術基盤の高度化を目指した協力を推進する。
- ・日仏間においては、本年6月の首脳会談において高速炉協力を進めることが確認されており、仏国における新たな実証炉 A S T R I D 開発に関する協力として、S A シナリオの共通化や「もんじゅ」照射試験やループ型/タンク型に共通する技術についての研究開発等、我が国の技術の国際標準化に資する設計及び要素技術開発に係る協力を推進することによって、我が国の技術の国際標準化を推進するとともに、両国の開発コストの削減や開発リスクの分

散を図る。

- 日露間については、本年8月に文部科学大臣とロスアトム総裁との間で確認されたとおり、高速炉の安全性等に係る研究協力について具体化を進める。
- 日韓間については、本年9月にJAEAと韓国原子力研究所(KAERI)間の協力取決めが改正されたことを受け、AtheNa施設等のナトリウム試験施設を用いた研究協力を進めることにより、我が国の技術の国際標準化の推進を図る。
- その他の国(インド、中国等)については、相手国の技術力や国際情勢を踏まえ、対応する。

②G I F等の多国間協力の更なる深化

- G I Fについては、SDCやSDGの検討に代表されるように安全基準の検討等多国間で扱うことが効果的な分野での協力を実施する。その際、我が国の設計・技術が国際標準化され、国際貢献にも資するように、議論をリードすることが重要である。
- 日米仏間においては、「もんじゅ」及び「常陽」を用いたアクチニドサイクルの国際実証(GACIDプロジェクト)を推進する。
- AtheNa施設等を用いた研究開発については、G I F参加国にとって、ナトリウム試験設備を用いたSA対策試験は重要であり、我が国にとって費用分担によるコスト削減にも資することから、新たな協力の枠組みを構築すべきである。

③I A E Aの枠組みを活用した国際協力

- 平成7年の性能試験データを用いた従来の「もんじゅ」に係る共同研究(CRP)の成果を踏まえ、今後実施する新たな試験データを用いた新たなCRPの検討を進め、今後の国際基準の策定に貢献する。
- SDCの検討については、本年2月にINPRO⁹(革新的原子炉及び燃料サイクル国際プロジェクト)とG I Fとの共同ワークショップが開催されるなど、I A E Aの中でも検討が開始されている。専門家の派遣や公表データの提供などを通して、引き続きINPROの取組に貢献する。

⁹ INPRO: International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles

5. 研究開発プログラムの着実な推進を支える体制・仕組みについて

具体的な研究開発を着実に進めるためには、これを支える研究開発体制を構築することが不可欠である。特に、「もんじゅ」の運転管理については、原子力規制委員会からの措置命令も踏まえた立て直しが急務であり、加えて今後本研究計画を着実に進めるための研究開発体制の整備も不可欠である。一方、本研究計画が画餅に帰すことにならないよう、その後のプログラムの継続の可否も含めて厳しく評価を行うことが必要である。また、「もんじゅ」の設置主体である JAEA については、これまでのトラブル等により、地域の方々をはじめとする国民からの信頼を著しく損なっている現状を十分認識し、透明性を持ち、かつ十分な説明責任を果たしながら進めることが不可欠であり、そのための仕組み作りや環境整備は前提条件とも言うべきものである。

本章においては、これら研究開発プログラムの着実な推進を支える上で不可欠である体制・仕組みについて示す。

(1) 我が国の研究開発体制の在り方

(「もんじゅ」の研究開発・運転管理体制の在り方—JAEA改革本部の基本的方向を踏まえて)

- ・「もんじゅ」については、平成24年11月に1万点を超える機器の点検漏れが明らかとなり、平成25年5月には原子力規制委員会よりJAEAに対して、①品質保証体制及び保守管理体制の再構築、未点検機器の点検完了や保全計画の見直し等を行うこと、それらについて原子力規制委員会の確認が終了するまでの間、使用前検査を進めるための活動を行わないこと、②安全文化の劣化兆候が認められたこと等を受け、災害の防止を図るために保安規定変更を行うこと、を内容とする2つの命令が決定・発出された。
- ・本件及びその後発生したJ-PARCにおける放射性物質漏えいを踏まえ、同年5月28日に、文部科学大臣を本部長とし、「もんじゅ」の運転管理体制を含め、JAEAの組織体制・業務の抜本的見直しを検討するための改革本部が設置され、同年8月8日に、「もんじゅ」の運転管理の抜本的見直しを含むJAEAの「改革の基本的方向」が示された。
- ・改革本部における「もんじゅ」の運転管理体制の議論に際して、本作業部会においても「「もんじゅ」の研究開発体制・運転管理体制の在り方」として議論を行い、主に以下の3つの視点の指摘がなされた。

○運転・保守管理と研究開発とのバランスの視点

研究開発と大規模プラント運営との両立は非常に難しい。Optimization

(最適化)の技術が必要。研究開発と運転管理との間でうまくバランスを取るための体制と、それを操る Research Management が欠けていたのではないか。

○電力会社並の安全管理体制の構築の視点

プラント運営については、大前提となる安全文化は当然だが、複雑系・巨大システムを運営するというビジネス的なマネジメントの発想が必要であり、この点についての経験・能力が組織的に弱いのではないか。集約・強化を図るべき。電力会社の力を借りる必要性があるかもしれない。プラントメーカーとの関係も整理する必要があるのではないか。

○JAEA職員の規律改善の視点

組織としてやるべき仕事が完遂できていない。守りの意識が強い。特定の課の業務過多により、その課の職員のプレッシャーや心の余裕のなさが懸念される。業務の分担と責任を再度明確化し、自らの責務を各職員が再認識する必要がある。

- ・特に、1点目の「運転・保守管理と研究開発とのバランスの視点」については、本研究計画を実施する際に必要とされる具体的な研究開発体制に関して、以下のような指摘がなされた。
 - 研究開発と運転管理は二項対立の構図で議論するのではなく、研究開発と大規模プラント運営との両立を目指すべき。特に、高速炉プラントの運営については、複雑系・巨大システムの運営自体が研究開発という側面もあって、商業用軽水炉の運転とは次元が異なる面があることも念頭に置くべき。
 - 「もんじゅ」の発電プラントとしての運転業務とその他の高速炉技術の基礎基盤研究(安全研究等)や廃棄物の減容・有害度低減研究、実証炉設計開発等との有機的連携が必要。JAEA内にとどまらず、国内の大学や民間企業等との協力関係を強化し、総合的に研究開発を実施することが望ましい。
 - 研究開発を推進するに当たっては、柔軟かつ実効性・機動性を持った研究開発マネジメント体制の構築が必要である。特に、研究開発の主体となるJAEAにおいては、当初設定した計画を所与のものとしてせず、柔軟な対応が求められる。例えば、「もんじゅ」を活用して得るべき成果やデータについては、国内外の研究開発の進展や新たな知見の創出などに応じて変化するものであるため、本研究計画に対して、これらの最新の状況を踏まえた新たな提案を技術的な観点から積極的に行うことも必要である。
- ・上記内容については、改革本部の下に設置された大臣政務官をヘッドとするタスクフォースに報告され、特に改革本部における議論の中心となった「「もんじゅ」の運転管理体制の見直し」の項目に反映されている。
- ・今秋を目途に、当該基本的方向に従って、JAEAが具体的な取組内容や工

程表を作成することとなっているが、「運転管理体制」のみならず、研究開発体制についても、上記の指摘を踏まえて、本研究計画を確実に実施できるよう、JAEA全体の体制を構築すべきである。

- ・なお、この組織改革に当たっては、今般の保守管理の不備のみならず、これまでのトラブル対応における本質的な問題を、組織全体としての問題として捉え直し、不退転の覚悟で改革を断行し、国民が安心して「もんじゅ」の運転管理及び研究開発を任せることができる組織とならなければならない。

(人材育成・確保及び技術継承—Knowledge Managementの観点からの検討—の在り方)

- ・「もんじゅ」の運転・保守と研究開発とのバランスを持って進めるに当たっては、いかなる組織に運転員・保守管理要員・研究者の経験を蓄積するかについて、あらかじめ出口戦略を定めて取り組むことが必要である。
- ・具体的には、運転管理体制については、上記のJAEA改革本部の基本的方向においてもプロパー率の低さがマイプラント意識の低下につながっているのではないかとの指摘がされていることから、電力会社や関連会社の知見を最大限活用しつつも、JAEAが自立的に「もんじゅ」を運転できる人材を育成・確保し、技術継承できる体制を構築すべきである。
- ・その際、運転員や保守管理要員については、機械的な運転管理にとどまらず、日常的に発生するトラブルに対して即応できる Resilience（強じん）さを内在する「現場力」を有し、主体的な改善提案ができる人材を育成する必要がある。
- ・なお、将来の高速増殖炉/高速炉開発に係る政策が明らかになった時点で、次の段階の運転管理主体への技術継承の仕組みを改めて検討すべきである。
- ・一方、日常の保守管理業務に係る技術については、メーカーや関連会社に蓄積されることが望ましいと考えられるため、複数社にまたがる業務を一社で集約する仕組みを構築すべきである。

(2) 研究開発プログラム評価の在り方

(評価の基本的考え方)

- ・技術的観点からは、「もんじゅ」を最大限活用し、本研究計画「3. 具体的な研究開発プログラムについて」で示した開発プログラムの全ての項目にわたる成果を得ることが好ましい。
- ・一方で、これまでの「もんじゅ」における取組については、約1兆円もの経費を費やしながらも十分な成果が得られていない現状、さらにはこれに対して国民がいら立ちを感じている現実を踏まえると、まず目指すべき最低限ともいえる目標を明示した上で、その目標を着実に達成できたことを示すことができなければ、その後の「もんじゅ」を用いた研究開発を進めることはできないことを認識すべきである。

- ・かかる観点から、本研究計画においては、「2. (5) 研究計画策定における基本的考え方」に示したとおり、「これまでの開発経緯を踏まえ、効果的・効率的に、かつ国民にその過程・成果が伝わるよう明確な目標をもって研究を推進していくという観点から、年限を区切った目標を掲げ、評価を行い、その後の研究の継続の可否を決めることとする。」とし、その目標となる評価時期を「成果の取りまとめ時期」として定め、その時点での技術的な達成度を厳しく評価し、その技術的な観点からの結果とその時点でのエネルギー政策上の位置付け、さらには国際的な状況も勘案し、研究継続の可否を判断する。
- ・評価主体については、中立性・公平性の観点から、第三者の視点からの評価が必要であり、ピアレビュー等の形で、国際機関や海外の研究機関の専門家も含めた外部機関による評価を受けることが必要。なお、JAEAにおいては、内部で自己評価を行いつつ、研究開発を進めるべきである。

(評価の時期)

- ・本研究計画においては、以下をはじめとする高速増殖原型炉としての技術実証、高速増殖炉/高速炉の安全技術の体系的構築並びに同システムを用いた環境負荷低減の有効性確認に必須な最低限の知見を得ることができる「第5サイクル終了後」（おおむね6年程度）を「成果の取りまとめ時期」として定める。
 - ▶ 安定稼働の実証や主要機器性能の経時特性把握を含めた発電システム信頼性の確認、設計手法の検証、及び数回の本格点検経験や課題解決に基づく保守技術の整備を示し得る高速増殖原型炉としての経験知蓄積
 - ▶ 高速増殖炉/高速炉システムの高次化PuやMAを含有する炉心特性（臨界特性、出力特性、燃焼特性）の把握
 - ▶ 自然循環除熱試験等による安全技術体系の構築に資する基盤的データの取得
- ・一方、その前段階となる「性能試験完了後」（おおむね2年程度）においても、100%出力試験が完了し、必要な特性試験を一定の条件下で全て網羅するなど、その後の本格運転に入れるかどうかの重要な成果が取得できる時期であることから、その後の研究計画の見直しも含め、以下の評価の観点も踏まえた中間的な評価を行うこととする。
- ・なお、上記の評価に加えて、これまでの開発経緯も踏まえ、運転再開に向けた取組の進捗状況について、一定の時期に技術的な観点からの確認を行うことも必要である。
- ・上記の評価の時期について、第3章で示した具体的な研究開発プログラム及び第4章で示した国際協力の在り方の主要な事項との関係を整理し、全体像を示すと、別紙7のとおりである。

(評価の観点)

- 上記の判断を行うに当たっては、①技術メリット、②コスト、③安全性の3点を評価軸として設定することとする。
- 特に、②については、基本的には、第2章で示した技術保有の意義を踏まえれば、経済性で全てが決するものではないものの、一方で、不確実な将来の資源見通しとの関係で、目標達成のために必要となるコストが妥当な範囲であるか、すなわち合理的に許容できる範囲であるかという観点で、取り得る方向によって将来必要となるコストがどのように変化するかを分析することは、評価の観点として重要な要素である。
- ①については、「3. 具体的な研究開発プログラムについて」の中で示した個別技術の目的を達成するために必要な成果を出しているか否かについて、成果目標の達成度合いを技術的な観点から確認し、評価する。
- ②については、「成果の取りまとめ時期」以降の技術取得のために必要なコストについて、「もんじゅ」により取得する場合と代替手段により取得する場合とのコスト分析を行う。なお、代替手段については、評価の際に十分に国内外の研究開発の動向を踏まえた検討が実施できるよう、現時点から「成果の取りまとめ時期」以降の技術の代替手段の検討を開始すべきである。
- ③については、炉心燃料の構成を変更する場合等、原子力規制委員会による安全確認が得られた場合にのみ研究継続が可能となる。

(3) 研究開発プログラムの実施に不可欠な取組

(リスクコミュニケーションとリスクマネジメントの充実)

- あらゆる事象には大小の差こそあれ、必ずリスクが存在する。とりわけ原子力のリスクは、放射能という目に見えないリスクを内在しているため、十分に丁寧なリスクコミュニケーションが必要となる。
- 「もんじゅ」については、研究開発段階にある原型炉であるという性質上、商業用軽水炉で想定され得る以上に、トラブル・不具合が生じるリスクを内在している。また、これまで運転経験の蓄積が少ない中、今後、運転再開に向けた取組や性能試験を進める中で、様々なトラブル・不具合や課題が発生する可能性がある。JAEAにおいては、これらのリスクを事前に十分に分析(リスクアセスメント)することは言うまでもないが、加えて、想定し得ないことが発生し得ることも含めて、今後生じ得るリスクについて、積極的に対外的説明を果たし、外部と共有(リスクコミュニケーション)することにより、研究開発を円滑に進める環境を醸成(リスクマネジメント)することが必要である。
- 例えば、各国の高速増殖炉/高速炉におけるナトリウム漏えい経験(仏国の原型炉フェニックスで30回以上(微量~6.5トン)、露国の原型炉BN600で40回程度(微量~約1トン)等)について、個々の事例を改めて整

理し、その深刻度を分析した上で、あらかじめ事故レベルの認定に関する科学的評価手法を確立・共有しておくことが必要である。

- ・事業者においては、実際にトラブル・不具合や課題が発生した場合においては、十分なリスクアセスメントとその対策によって、どの程度影響が緩和されたのかについて説明責任を負っていることも十分に理解しなければならない。
- ・また、JAEAにおいては、通常の運転を通じて、常にリスク低減に努めるリスクマネジメントの取組も充実させるべきである。

(新規制基準による安全規制への対応)

- ・本年7月に施行されている新規制基準への対応は確実に実施する必要があることに加えて、運転期間中の保安検査・定期検査の中でも常に適格性の確認を受けることが大前提である。
- ・今後、原子力規制委員会が高速炉特有の新規制基準を策定する際には、適時適確に技術データを提供し、国際水準の安全基準策定に貢献すべきである。
- ・「もんじゅ」は、その安全確認が得られた後も、国際的にも重要な既存の高速増殖炉/高速炉としての運転及び継続的な安全性向上のための取組を進め、国際的な安全基準を含めた将来の高速炉に係る安全基準に反映可能なデータを蓄積し、安全基準の高度化に貢献すべきである。

(地域の方々をはじめとする国民との信頼関係の構築)

- ・社会において原子力活動を円滑に推進していくためには、地域の方々をはじめ国民の理解と協力を得ることが不可欠である。そもそも原子力施設が立地できて初めて原子力活動が可能になること、その安定的な活動により国民社会に対する貢献が可能となることから、特に地域の方々の理解と協力を得ていることが原子力活動の大前提となる。
- ・地域の方々をはじめ国民の理解と協力を得るためには、トラブル発生時の迅速かつ正確な情報発信はもとより、平常時より、施設の安全性に関わる事項や日々の活動状況、研究開発の成果やその意義等について積極的かつ分かりやすく情報発信を行うことにより、活動の透明性を高めることが重要である。
- ・原子力施設を運営する事業者は、上記の取組を続けることにより、地域の方々をはじめ国民との「信頼関係」を構築していなければ、地域の方々や国民と向き合い、対話をし、理解と協力を得るために更なる時間を要することとなる。
- ・「もんじゅ」については、「情報公開の不備」や「度重なるトラブル」、「多額のコストを費やしても十分な成果が上がらない」などの理由により、これまでも、国民より厳しい目が向けられてきたところ、今般の1万件を超える点検漏れにより、国民の理解や協力を得るための礎となる「もんじゅ」を運

営する JAEA に対する「信頼」が失墜した。

- 特に、「もんじゅ」を「将来の夢の原子炉」として受入れたにもかかわらず、長期にわたり様々なトラブルにより、その開発が予定どおり進んでいない状況にありながら、その活動に理解・協力を頂いてきた地域の方々の「信頼」を大きく損ねる事態となったことを重く受け止め、まずは、一日も早い信頼回復に努めることが喫緊の課題である。
- このため、JAEA においては、役職員一人一人が現在進めている組織改革を自らのこととして受け止め、不退転の覚悟で断行しなければならない。また、あらゆる機会を活用してその活動についての説明責任を果たし、地域の方々をはじめ国民が安心して「もんじゅ」の運転管理及び研究開発を任せられる組織、すなわち「信頼される組織」となることが不可欠である。

(以上)

