

高速増殖炉サイクルの研究開発方針について

高速増殖炉サイクルの研究開発方針について

文部科学省研究開発局

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取りまとめた『高速増殖炉サイクルの研究開発方針について－「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」を受けて－』を踏まえ、国は高速増殖炉サイクルの実用化に向けた研究開発を推進する。

2006年11月2日

文部科学省
研究開発局

高速増殖炉サイクルの研究開発方針について

－「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究
フェーズⅡ最終報告書」を受けて－

2006年10月31日

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

本年7月に開催されたサンクトペテルブルク・サミットにおいては、世界のエネルギー安全保障や気候変動等の課題への対応に資するための原子力エネルギーの役割について言及されました。また、これまで原子力発電の促進に消極的であった諸外国において、再び原子力発電導入に向けた動きが活発化してきています。

現在の原子力発電の主力は軽水炉です。一方、高水準の安全性を前提に、核拡散抵抗性の向上や放射性廃棄物の問題への対応に関心が高まっており、これに対応でき、ウラン資源の有効利用性が高い革新的な原子力システムとして、高速増殖炉サイクル技術の研究開発が進められています。

高速増殖炉サイクル技術としては、これまで多くの概念が提案されています。このため、日本原子力研究開発機構と日本原子力発電株式会社は、1999年より、高速増殖炉サイクルの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に、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を開始し、多様な選択肢について調査研究が行われてきました。そして、本年3月30日、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズII最終報告書」を取りまとめ、公表したところです。これに関し原子力政策大綱(2005年10月11日原子力委員会決定)は、「国は、(中略)実用化戦略調査研究フェーズIIの成果を速やかに評価して、その後の研究開発の方針を提示する」としています。

当委員会(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)は、高速増殖炉サイクル技術の研究開発の進め方について調査審議をいたしました。本報告書は、当委員会における検討結果を踏まえ、これまでの研究開発成果の評価と2015年頃までの研究開発計画を取りまとめたものです。

今後、国及び関係者は、本報告書を踏まえ、高速増殖炉サイクル技術の研究開発を着実に推進していくことが必要であると考えます。

本報告書は、総論「高速増殖炉サイクルの実用化に向けて」、各論第一部「高速増殖炉サイクルの技術的な検討」及び各論第二部「今後の進め方」の三部構成になっています。このうち、総論の「3. 進むべき道筋」の「(2) 技術的な開発目標」と「(3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル」は各論第一部の要約となっています。また、総論の「(4) 2015年までの研究開発計画」と「(5) 2015年までの研究開発の進め方」は各論第二部の要約となっています。



目次

総論 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて	1
1. 原子力発電と高速増殖炉サイクル	3
(1) エネルギーを巡る現状と課題	3
(2) 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへ	5
2. 国内外の動向	7
(1) 諸外国の高速増殖炉サイクル技術に関する研究開発の進展	7
(2) 日本の高速増殖炉サイクル研究開発	11
(3) 日本の技術的競争力	15
3. 進むべき道筋	17
(1) 高速増殖炉サイクルが担う役割	17
(2) 技術的な開発目標	19
(3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル	21
(4) 2015年までの研究開発計画	25
(5) 2015年までの研究開発の進め方	32
各論 第一部 高速増殖炉サイクルの技術的な検討	37
1. 高速増殖炉サイクル実用化概念の選択	39
(1) 選択に当たっての基本的な考え方	41
(2) 様々な候補概念の概要	45
(3) 様々な候補概念の比較検討	69
(4) 主概念及び副概念の選択	79
2. 主概念の今後の研究開発の進むべき方向	89
(1) 開発目標、設計要求の留意事項	89
(2) 主概念の技術開発課題	101
(3) 高速増殖炉の技術開発課題の留意事項	117
(4) 再処理の技術開発課題の留意事項	129
(5) 燃料製造の技術開発課題の留意事項	134

(6) その他の留意事項	135
各論 第二部 今後の進め方	137
1. 2015年までの研究開発計画	138
(1) 基本的な考え方	138
(2) 実用化に向けてのロードマップ	143
(3) 研究開発計画	147
2. 2015年までの研究開発の進め方	155
(1) 安全の確保	155
(2) 国際協力の推進	155
(3) 研究開発体制	161
(4) 研究開発の評価体制	163
(5) 研究開発資源の確保	165
(6) 説明責任を果たす活動の充実	172
添付資料	173

1. 原子力発電と高速増殖炉サイクル

(1) エネルギーを巡る現状と課題

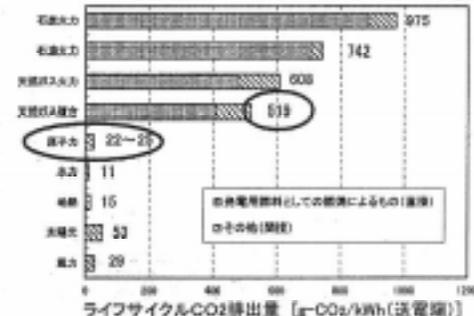
資源の乏しい我が国は、エネルギー資源をはじめとする多くの資源を海外に依存しており、エネルギー自給率は、原子力を除けばわずか4%に過ぎず、主要先進国の中でも最も低い(図総-1-1参照)。産業活動、医療活動などを含め、日常生活のあらゆる側面でエネルギーに依存している現実を鑑み、我が国としてエネルギーセキュリティを確保することは、喫緊の重要課題であると考えられる。

特に近年、原油価格の上昇、アジアを中心とした世界的な需要増大などを背景に、2003年には1バレル当たり20ドル代であった原油価格が、2006年には50ドル代から70ドル代と高値で推移している。今後、世界全体のエネルギーの総消費量は大幅に増加し、2100年には現在の3倍以上になるとの試算もある(図総-1-2参照)など、今後は、世界的にエネルギー資源獲得のための競争が一層激しくなると予想されている。現在、我が国はエネルギーの5割弱を石油に依存しており、その約9割を中東に依存している。石油に大きく依存したエネルギー構造は、社会的、経済的に大きなリスクを抱えていると考えられる。

また、エネルギーの大量消費が地球環境に与える影響について、社会は強い関心を寄せている。化石燃料を消費することに伴うCO₂などの発生とそれらによる地球温暖化問題は、各国が英知を結集して解決しなければならない課題であると考えられる(図総-1-3参照)。

今後とも、バランスのとれたエネルギー供給構造を維持するとともに、化石燃料への依存度を減らし、地球レベルで持続的に経済社会を発展させることを目指した取り組みが必要であると考えられる。省エネルギー、新エネルギーの導入を最大限に進めるとともに、原子力発電については、基幹電源としての役割が期待されている。

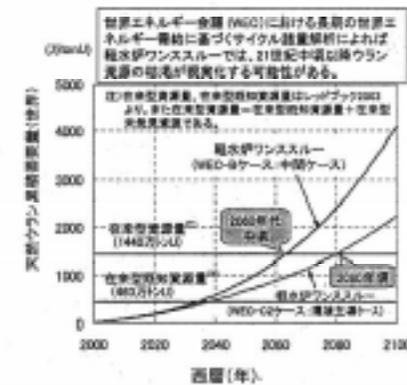
図総-1-4 各種電源のライフサイクルCO₂排出量(メタンを含む)



【注】：原子力については、電力中央研究所「ライフサイクルCO₂排出量による原子力発電技術の評価」(2001年4月)、他電源については、電力中央研究所「ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価」(2006年3月)

出典：原子力委員会報告書(2006年2月)

図総-1-5 軽水炉ワンスルーによる天然ウランの累積需要量



出典：高速増殖炉サイクルの実用化に関する研究チームによる報告書(以下、PFRチーム報告書)の集約

(2) 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへ

2003年10月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、原子力発電は本国産エネルギーとして位置づけられるエネルギーであり、発電過程でCO₂を排出することがなく(図総-1-4参照)地球温暖化対策に貢献するものであり、安全確保を大前提として、今後とも基幹電源として位置づけ、引き続き推進して行くべきであるとされている。現在、総発電電力量の約3分の1を担う基幹電源として重要な役割を果たしており、2030年以降も30～40%程度以上の役割が期待されている。

現在発電に用いられている原子炉は、我が国はもちろん世界的にもそのほとんどが軽水炉である。この軽水炉は、主にウランを燃料に用いている。世界エネルギー会議(WEC)の報告に基づく解析によれば、軽水炉からの使用済燃料を再処理せずに直接処分する(軽水炉ワンスルー)場合には、21世紀中頃以降ウラン資源の枯渇が現実化する可能性があるとしてされている(図総-1-5参照)。ウラン供給量の評価は、今後開発されるウラン鉱山の評価など、不確実性が伴うものの、我が国がウランの全てを輸入に依存していることを考慮するならば、我が国における原子力発電の持続的推進を図るために必要な燃料供給の方策について十分検討しなければならない。

再処理して使用済燃料に含まれるウランやプルトニウムを回収し、再び軽水炉の燃料にすること(プルサーマル)は、軽水炉ワンスルーと比較した場合、ウラン資源を1～2割有効利用することが可能である。さらに、将来における核燃料サイクルの有力な選択肢である高速増殖炉サイクル技術(本報告書では、高速増殖炉、高速増殖炉からの使用済燃料の再処理、高速増殖炉用の燃料製造の3つの技術を総称して、「高速増殖炉サイクル技術」と呼ぶ。)が確立されれば、ウラン資源の利用効率が飛躍的に高まり、数世紀以上にわたって原子力発電が利用可能となる。

2005年10月に原子力委員会が決定した「原子力政策大綱」においては、「原子力発電は核燃料のリサイクル利用により供給安定性を一層改善できること、高速増殖炉サイクルが実用化すれば資源の利用効率を飛躍的に向上できること等から、長期にわたってエネルギー安定供給と地球温暖化対策に貢献する有力な手段として期待できる」、「ウラン供給の動向等を勘案し、経済性等の諸条件が整うことを前提に、2050年頃から商業ベースでの導入を目指す」とされている。

表総-2-1 各国の主な高速増殖炉開発の歩み

国名	炉型	出力(MWe)	炉種	運転開始	状況
中国	HM-1	200Mw	Na-冷却 Na-回路	1992	運転終了
	HM-11	270Mw	Na-冷却 Na-回路	1992	運転終了
	HM-1	450Mw	Na-冷却 Na-回路	1992	運転終了
	HM	300Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中
ロシア	Breidne	450Mw	Na-冷却 Na-回路	1997	運転終了
	Flamingo	250Mw	Na-冷却 Na-回路	1979	運転中
	Super-Phenix	1200Mw	Na-冷却 Na-回路	1986	運転終了
韓国	HTTR	1,200Mw	Na-冷却 Na-回路	1992	運転終了
	HTTR	270Mw	Na-冷却 Na-回路	1992	運転終了
韓国	HM-11	270Mw	Na-冷却 Na-回路	1979	運転終了
	HM-200	21,120Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中
韓国	HTTR	1000Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中
ロシア	BM-100	0.1Mw(実用炉)	Na-冷却 Na-回路	1956	運転終了
	BM-40	1,200Mw	Na-冷却 Na-回路	1970	運転中
	BM-200	1200Mw+増殖	Na-冷却 Na-回路	1972	運転終了
	BM-100	600Mw	Na-冷却 Na-回路	1982	運転中
	BM-100	600Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中
中国	HM-1	1,200Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中(2009年稼働予定)
インド	FR	1,200Mw	Na-冷却 Na-回路	2000	運転中
	FR	500Mw	Na-冷却 Na-回路	-	運転中(2010年稼働予定)

表総-2-2 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(IGF)

日本企業が中心となり、10カ国+1機関が参加した国際共同研究開発
 2050年頃に初号機の導入を目標
 2016～2020年頃までで研究開発を終了し、その後は実証試験を行う予定
 (現在は研究開発課題とその協力体制について議論中)
 7検討対象6概念の内、3概念が高速炉

開発目標

- ① 持続可能性
- ② 資源有効利用性
- ③ 環境負荷低減性
(核廃物の最小化と管理)
- ④ 核拡散阻害性
- ⑤ 経済性
- ⑥ コスト(資本費、運転費、燃料費)
- ⑦ 投資リスク
- ⑧ 安全性と信頼性
- ⑨ 過剰生産物の安全性と信頼性
- ⑩ 安心感醸成
- ⑪ 地域発展促進
- ⑫ 地域外緊急時対応不要

検討対象の6概念

- ・ナトリウム冷却高速炉(SFR)
- ・ロ、仏、米等5カ国
- ・ガス冷却高速炉(GFR)
- ・中、米、日等7カ国+1機関
- ・鉛冷却高速炉(LFR)
- ・2カ国+1機関
- ・超高温炉(VHTR)
- ・超臨界水冷炉(SWR)
- ・溶融塩炉(MSR)
- 参加国:10カ国+1機関
アルゼンチン、ブラジル、カナダ、フランス、日本、韓国、南アフリカ、スイス、イギリス、アメリカなど

2. 国内外の動向

(1) 諸外国の高速増殖炉サイクル技術に関する研究開発の進展

各国の主な高速増殖炉開発の歩みを表紙-2-1に示す。ウラン資源の有効利用の観点から、欧米各国では米国、仏国、英国、独国を中心に1950年代より高速増殖炉の研究開発を開始した。特に、ナトリウム冷却高速増殖炉を中心に各種実験炉や原型炉の建設、運転がなされるとともに、高速増殖炉燃料の再処理などに関する研究開発が進められてきた。

その後米国では、1977年に核不拡散政策の強化により高速増殖炉原型炉「CRBR」(38万kWe)の建設計画を中止し、さらに1983年にプルトニウムの民生利用の研究開発を行わないことを決定した。欧州では、仏国が1998年に経済的理由から高速増殖炉実証炉「Super-Phenix」(124万kWe)の停止を決定するなど、各国において高速増殖炉開発が停滞した。

近年、原子力発電への回帰の動きが進展しており、ウラン資源の有効利用や放射性廃棄物による環境負荷の低減の観点などから高速増殖炉サイクルの研究開発の機運が再び高まっている。

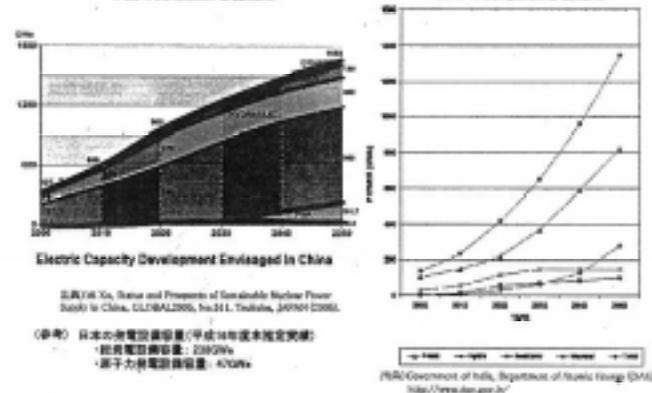
米国は2000年に「第4世代原子力システム計画(Generation IV)」を提唱し、現在、10ヶ国+1機関からなる「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)」に発展している(表紙-2-2参照)。GIFで検討対象とされた6つの原子炉概念のうち、3つは高速炉である。また、高レベル放射性廃棄物の減容、使用済燃料の中に含まれる潜在的有害度の高いマイナーアクチノイドの分離などを目的に、「先進的核燃料サイクルイニシアチブ(AFCI)」を2003年に開始した。

仏国では、実証炉「Super-Phenix」の停止後も、高速増殖炉原型炉「Phenix」を利用してマイナーアクチノイドの燃焼などに関する研究開発を進めている。また、水素製造など高温熱源の多目的利用を考慮したガス冷却高速炉の研究開発を進めている。さらに、1991年に「放射性廃棄物管理法」が制定され、2006年に放射性廃棄物管理の実施に関する最善方策の結論を下すことを目的に、地層処分、貯蔵、核種分離・変換等の研究が実施されてきた。全アクチノイド元素を回収して高速炉の燃料として利用

表紙-2-3 国際原子力エネルギー・パートナーシップ(GNEP)構想について

政策目標 <input type="checkbox"/> 本国と世界のエネルギー安全保障を促進する。 <input type="checkbox"/> クリーンなエネルギーを世界中に広め、環境の改善を図る。 <input type="checkbox"/> 核拡散リスクを低減する。	
米国の国内政策の方針 米国は、本構想の下で、放射性廃棄物を減量し、核拡散低抗性に優れ、プルトニウムを単体で分離しない先進的再処理技術開発を促進するとともに、これを取り除かれたプルトニウム等を経済するための高速炉開発を進める方針。	
GNEP構想の7つの構成要素	
<input type="checkbox"/> ① 米国における原子力発電の拡大 <input type="checkbox"/> ② 核拡散低抗性の高いリサイクル技術の発展 <input type="checkbox"/> ③ 燃料供給サービスの確立 <input type="checkbox"/> ④ 先進的再処理技術の開発	<input type="checkbox"/> ⑤ 放射性廃棄物の低減 <input type="checkbox"/> ⑥ 先進的炉(AGR)の開発 <input type="checkbox"/> ⑦ 経済可能な小型炉の開発

図紙-2-1 中国、インドにおける将来の発電設備容量推移
中国の発電設備容量推移
インドの発電設備容量推移



する「グローバルアクチニドマネージメント (GAM)」計画が提案されている。仏国国家評価委員会が 2006 年 1 月に政府に提出した最終評価報告書では、「ナトリウム冷却高速炉を除いて、長寿命放射性核種の破壊 (destruction) を保証できる原子炉は今のところ存在しない」と結論づけられた。2006 年 6 月、「放射性物質と放射性廃棄物の永続的管理計画に関する法律」が制定され、この中で、長寿命放射性元素の分離・変換に関する研究は、次世代原子炉に関する研究及び核変換用加速器駆動炉に関する研究と連携し、引き続き進めていくこととされた。

2006 年 1 月、仏国シラク大統領は、第 4 世代原子炉のプロトタイプを 2020 年に運転開始すると発表した。また、米国ブッシュ大統領は本年 1 月の一般教書演説の中で「先進エネルギーイニシアチブ」を発表したが、これを受け、2006 年 2 月、米国エネルギー省 (DOE) は、「国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)」(表総-2-3 参照) を提唱した。この GNEP 構想には、先進燃焼炉「ABR」及び軽水炉燃料を再処理し ABR 用燃料を製造する統合核燃料取扱センター「CFTRC」を 2020 年頃までに運転開始するとともに、先進的燃料サイクル試験施設「AFCF」を建設して研究開発することが盛り込まれている。このように、特に本年に入り、野心的な高速増殖炉サイクル関連の研究開発計画が相次いで発表されている。

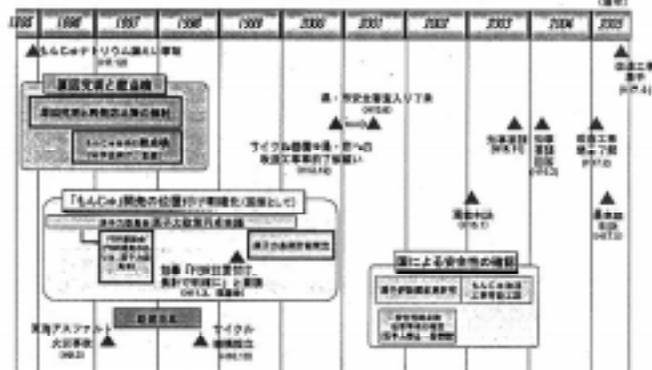
ロシアは、高速増殖炉サイクルの研究開発に積極的な国の一つである。1950 年代より高速増殖炉の各種実験炉や原型炉の建設・運転を進めており、現在、実証炉「BOR-60」及び原型炉「BN-600」の運転を行うとともに、実証炉「BN-800」を建設中である。2004 年には、高速増殖炉建設と核燃料サイクル開発計画の達成を基本とする「持続的な経済発展のためのエネルギー戦略 (2005 ~ 2010 年)」を国会で承認している。

経済発展が著しい中国やインドも高速増殖炉サイクルの研究開発に積極的である (図総-2-1 参照)。中国は 2050 年頃における高速増殖炉の設備容量を 200GWe 程度としたエネルギー供給計画を発表している。現在 2008 年臨界を目指して実験炉を建設しており、その後原型炉 (30 ~ 60 万 kWe)、実証炉 (100 ~ 150 万 kWe) を経て 2030 年頃の商用炉 (100 ~ 150 万 kWe) の運転開始を目標としている。インドは、現在実験炉を運転しつつ、2010 年に完成を目指した原型炉の建設を経て、2020 年までに 4 基の高速増殖炉を建設する予定としている。

図総-2-2 我が国の高速増殖炉サイクル技術開発の経緯



図総-2-3 「もんじゅ」事故後のこれまでの経緯



(2) 日本の高速増殖炉サイクル研究開発

我が国では、1956年に原子力委員会が策定した「原子力の研究、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、1960年代初頭より高速増殖炉の調査研究が開始され、1960年代後半から本格的に研究開発が行われてきた（図2-2-2参照）。

我が国で初めての高速中性子を利用した原子炉である高速実験炉「常陽」は、1977年に初臨界を達成後、設計の確認やプラント特性の試験などが行われ、さらに燃料や材料の照射施設として利用されている。1983年には「常陽」の使用済燃料の一部を再処理し、そこから回収した数十グラムのプルトニウムを新たな燃料に加工して再び「常陽」に装荷して、核燃料サイクルの輪を小規模ながらつなげることに成功した。

その後建設された高速増殖原型炉「もんじゅ」は1995年に初送電を行ったが、2次系主配管温度計測部からナトリウムが漏えいする事故が発生し、性能試験を中断している。ナトリウム漏れ事故は高速増殖炉研究開発を含む原子力政策全体に対する国民の不安感、不信感を助長したことから、原子力委員会は、高速増殖炉懇談会を設置し、高速増殖炉の研究開発のあり方について審議を行い、「高速増殖炉を将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢と位置付け、高速増殖炉の実用化の可能性を技術的、社会的に追求するために、その研究開発を進めることが妥当。その際、原子力関係者以外の人々を含め広く国民の意見を反映した、定期的な評価と見直し作業を行うなど、柔軟な計画の下に、進められることが必要。」（1997年12月）としている。当時「もんじゅ」を建設・運転していた動力炉・核燃料開発事業団は改組され、核燃料サイクル開発機構を経て、現在は日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」と呼ぶ。）となっている。そして、原子力機構が、安全性向上を目指した改修工事を行っており、これからも、国による安全審査等の諸手続や住民との対話を通じた相互理解活動を進め、2008年に運転再開し、「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」という所期の目的の達成を目指している（図2-2-3参照）。

図2-2-4 東海再処理施設の処理実績

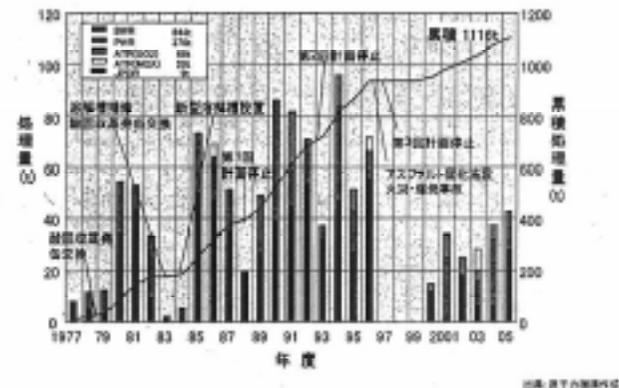
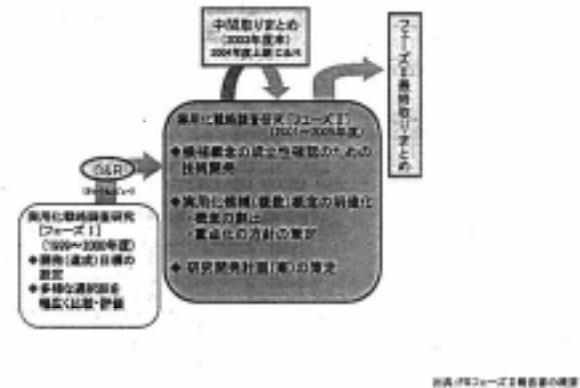


図2-2-5 実用化戦略調査研究の経緯



また、1990年代には電気事業者を中心に高速増殖炉実証炉の設計検討が進められた。

一方、核燃料サイクルについては、1977年に東海再処理施設の運転を開始し、湿式法による再処理技術の研究開発を行っている。これまで、酸回収蒸発缶の漏洩やアスファルト固化施設火災・爆発事故等の経験を踏まえつつ、運転実績を積み重ね、2006年3月、電力会社との役務契約に基づく1,020トンの軽水炉燃料再処理を終了した。これらの経験については、高速増殖炉燃料再処理の研究開発に反映されている。また、高レベル放射性物質研究施設(CPF)などにおいて高速増殖炉燃料再処理の研究開発を行っている。燃料製造については、「もんじゅ」や「常陽」へのMOX燃料の安定供給を目指して製造技術の研究開発が行われている(図絶-2-4参照)。

これら、高速増殖炉、再処理、燃料製造などに関するこれまでの研究開発により得られた知見や事故の経験等を踏まえ、幅広い高速増殖炉サイクル技術の中から技術選択肢の評価を行い、革新的な技術を取り入れつつ、競争力のある実用化候補概念の構築とその研究開発計画などの検討・策定を行うため、1999年より、高速増殖炉の実用化に向けた「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」(以下、「FS」と呼ぶ。)を、原子力機構と日本原子力発電株式会社(以下、「日本原電」と呼ぶ。)が中心となって実施してきた。2000年度末にFSのフェーズIを終え、2006年3月にはフェーズIIの成果を「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズII最終報告書」(以下、「FSフェーズII報告書」と呼ぶ。)として取りまとめている(図絶-2-5参照)。

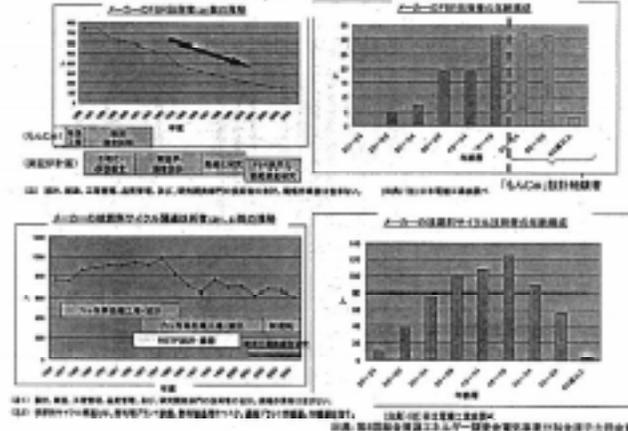
表絶-2-4 GIFにおけるナトリウム冷却高速炉を対象とした研究開発項目

- 設計・安全	対象: 日本のJHR (FR)、韓国のKAL 180WR (FR) 項目: 炉心設計研究、プラントシステム設計研究、実証試験施設の概念設計研究、安全設計要件の具体化、設計オプションの安全評価 参加国: 日本、仏国、米国、韓国
- 先進燃料	対象: 酸化物、窒化物、金属燃料 項目: 核分裂性燃料の製造技術、実証炉の燃料試験、革新炉心燃料材料 (OFR) の開発 参加国: 日本、仏国、米国、日、韓国
- 燃焼・安定	項目: 保守・増修技術の開発、革新的燃焼炉素子群の研究、超臨界CO2ガスタービンの開発、燃料燃焼過程に関する研究 参加国: 日本、仏国、韓国、英国、韓国
- 燃料製造実証試験	項目: 「もんじゅ」を用いた軽バンドル燃料、燃料材料、合金体製造、燃料試験、燃料挙動試験 参加国: 日本、仏国、米国

(注1) NaKer Sodium Fast Reactorの略、実用化候補調査研究フェーズIで選定したナトリウム冷却炉。
(注2) Korea Advanced Liquid Metal Reactorの略、法米企業共同高速炉実証計画として1992年から韓国原子力委員会の実証を受けて開発がスタート。同年、韓国政府は180MWの高速炉実証炉に着手し、2002年からの基本設計フェーズIIでは出力を400MWに増加し、中核燃料と燃料サイクルの概念、経済性と安全性の向上等を盛り込んだ設計に変更、2004年度概念設計が完了。

出典: 原子力機構提供

図絶-2-6 高速増殖炉及び再処理関係技術開発の状況



(注1) 1977年度、2000年度、2006年度、2010年度、2014年度、2018年度、2022年度、2026年度、2030年度、2034年度、2038年度、2042年度、2046年度、2050年度、2054年度、2058年度、2062年度、2066年度、2070年度、2074年度、2078年度、2082年度、2086年度、2090年度、2094年度、2098年度、2102年度、2106年度、2110年度、2114年度、2118年度、2122年度、2126年度、2130年度、2134年度、2138年度、2142年度、2146年度、2150年度、2154年度、2158年度、2162年度、2166年度、2170年度、2174年度、2178年度、2182年度、2186年度、2190年度、2194年度、2198年度、2202年度、2206年度、2210年度、2214年度、2218年度、2222年度、2226年度、2230年度、2234年度、2238年度、2242年度、2246年度、2250年度、2254年度、2258年度、2262年度、2266年度、2270年度、2274年度、2278年度、2282年度、2286年度、2290年度、2294年度、2298年度、2302年度、2306年度、2310年度、2314年度、2318年度、2322年度、2326年度、2330年度、2334年度、2338年度、2342年度、2346年度、2350年度、2354年度、2358年度、2362年度、2366年度、2370年度、2374年度、2378年度、2382年度、2386年度、2390年度、2394年度、2398年度、2402年度、2406年度、2410年度、2414年度、2418年度、2422年度、2426年度、2430年度、2434年度、2438年度、2442年度、2446年度、2450年度、2454年度、2458年度、2462年度、2466年度、2470年度、2474年度、2478年度、2482年度、2486年度、2490年度、2494年度、2498年度、2502年度、2506年度、2510年度、2514年度、2518年度、2522年度、2526年度、2530年度、2534年度、2538年度、2542年度、2546年度、2550年度、2554年度、2558年度、2562年度、2566年度、2570年度、2574年度、2578年度、2582年度、2586年度、2590年度、2594年度、2598年度、2602年度、2606年度、2610年度、2614年度、2618年度、2622年度、2626年度、2630年度、2634年度、2638年度、2642年度、2646年度、2650年度、2654年度、2658年度、2662年度、2666年度、2670年度、2674年度、2678年度、2682年度、2686年度、2690年度、2694年度、2698年度、2702年度、2706年度、2710年度、2714年度、2718年度、2722年度、2726年度、2730年度、2734年度、2738年度、2742年度、2746年度、2750年度、2754年度、2758年度、2762年度、2766年度、2770年度、2774年度、2778年度、2782年度、2786年度、2790年度、2794年度、2798年度、2802年度、2806年度、2810年度、2814年度、2818年度、2822年度、2826年度、2830年度、2834年度、2838年度、2842年度、2846年度、2850年度、2854年度、2858年度、2862年度、2866年度、2870年度、2874年度、2878年度、2882年度、2886年度、2890年度、2894年度、2898年度、2902年度、2906年度、2910年度、2914年度、2918年度、2922年度、2926年度、2930年度、2934年度、2938年度、2942年度、2946年度、2950年度、2954年度、2958年度、2962年度、2966年度、2970年度、2974年度、2978年度、2982年度、2986年度、2990年度、2994年度、2998年度、3002年度、3006年度、3010年度、3014年度、3018年度、3022年度、3026年度、3030年度、3034年度、3038年度、3042年度、3046年度、3050年度、3054年度、3058年度、3062年度、3066年度、3070年度、3074年度、3078年度、3082年度、3086年度、3090年度、3094年度、3098年度、3102年度、3106年度、3110年度、3114年度、3118年度、3122年度、3126年度、3130年度、3134年度、3138年度、3142年度、3146年度、3150年度、3154年度、3158年度、3162年度、3166年度、3170年度、3174年度、3178年度、3182年度、3186年度、3190年度、3194年度、3198年度、3202年度、3206年度、3210年度、3214年度、3218年度、3222年度、3226年度、3230年度、3234年度、3238年度、3242年度、3246年度、3250年度、3254年度、3258年度、3262年度、3266年度、3270年度、3274年度、3278年度、3282年度、3286年度、3290年度、3294年度、3298年度、3302年度、3306年度、3310年度、3314年度、3318年度、3322年度、3326年度、3330年度、3334年度、3338年度、3342年度、3346年度、3350年度、3354年度、3358年度、3362年度、3366年度、3370年度、3374年度、3378年度、3382年度、3386年度、3390年度、3394年度、3398年度、3402年度、3406年度、3410年度、3414年度、3418年度、3422年度、3426年度、3430年度、3434年度、3438年度、3442年度、3446年度、3450年度、3454年度、3458年度、3462年度、3466年度、3470年度、3474年度、3478年度、3482年度、3486年度、3490年度、3494年度、3498年度、3502年度、3506年度、3510年度、3514年度、3518年度、3522年度、3526年度、3530年度、3534年度、3538年度、3542年度、3546年度、3550年度、3554年度、3558年度、3562年度、3566年度、3570年度、3574年度、3578年度、3582年度、3586年度、3590年度、3594年度、3598年度、3602年度、3606年度、3610年度、3614年度、3618年度、3622年度、3626年度、3630年度、3634年度、3638年度、3642年度、3646年度、3650年度、3654年度、3658年度、3662年度、3666年度、3670年度、3674年度、3678年度、3682年度、3686年度、3690年度、3694年度、3698年度、3702年度、3706年度、3710年度、3714年度、3718年度、3722年度、3726年度、3730年度、3734年度、3738年度、3742年度、3746年度、3750年度、3754年度、3758年度、3762年度、3766年度、3770年度、3774年度、3778年度、3782年度、3786年度、3790年度、3794年度、3798年度、3802年度、3806年度、3810年度、3814年度、3818年度、3822年度、3826年度、3830年度、3834年度、3838年度、3842年度、3846年度、3850年度、3854年度、3858年度、3862年度、3866年度、3870年度、3874年度、3878年度、3882年度、3886年度、3890年度、3894年度、3898年度、3902年度、3906年度、3910年度、3914年度、3918年度、3922年度、3926年度、3930年度、3934年度、3938年度、3942年度、3946年度、3950年度、3954年度、3958年度、3962年度、3966年度、3970年度、3974年度、3978年度、3982年度、3986年度、3990年度、3994年度、3998年度、4002年度、4006年度、4010年度、4014年度、4018年度、4022年度、4026年度、4030年度、4034年度、4038年度、4042年度、4046年度、4050年度、4054年度、4058年度、4062年度、4066年度、4070年度、4074年度、4078年度、4082年度、4086年度、4090年度、4094年度、4098年度、4102年度、4106年度、4110年度、4114年度、4118年度、4122年度、4126年度、4130年度、4134年度、4138年度、4142年度、4146年度、4150年度、4154年度、4158年度、4162年度、4166年度、4170年度、4174年度、4178年度、4182年度、4186年度、4190年度、4194年度、4198年度、4202年度、4206年度、4210年度、4214年度、4218年度、4222年度、4226年度、4230年度、4234年度、4238年度、4242年度、4246年度、4250年度、4254年度、4258年度、4262年度、4266年度、4270年度、4274年度、4278年度、4282年度、4286年度、4290年度、4294年度、4298年度、4302年度、4306年度、4310年度、4314年度、4318年度、4322年度、4326年度、4330年度、4334年度、4338年度、4342年度、4346年度、4350年度、4354年度、4358年度、4362年度、4366年度、4370年度、4374年度、4378年度、4382年度、4386年度、4390年度、4394年度、4398年度、4402年度、4406年度、4410年度、4414年度、4418年度、4422年度、4426年度、4430年度、4434年度、4438年度、4442年度、4446年度、4450年度、4454年度、4458年度、4462年度、4466年度、4470年度、4474年度、4478年度、4482年度、4486年度、4490年度、4494年度、4498年度、4502年度、4506年度、4510年度、4514年度、4518年度、4522年度、4526年度、4530年度、4534年度、4538年度、4542年度、4546年度、4550年度、4554年度、4558年度、4562年度、4566年度、4570年度、4574年度、4578年度、4582年度、4586年度、4590年度、4594年度、4598年度、4602年度、4606年度、4610年度、4614年度、4618年度、4622年度、4626年度、4630年度、4634年度、4638年度、4642年度、4646年度、4650年度、4654年度、4658年度、4662年度、4666年度、4670年度、4674年度、4678年度、4682年度、4686年度、4690年度、4694年度、4698年度、4702年度、4706年度、4710年度、4714年度、4718年度、4722年度、4726年度、4730年度、4734年度、4738年度、4742年度、4746年度、4750年度、4754年度、4758年度、4762年度、4766年度、4770年度、4774年度、4778年度、4782年度、4786年度、4790年度、4794年度、4798年度、4802年度、4806年度、4810年度、4814年度、4818年度、4822年度、4826年度、4830年度、4834年度、4838年度、4842年度、4846年度、4850年度、4854年度、4858年度、4862年度、4866年度、4870年度、4874年度、4878年度、4882年度、4886年度、4890年度、4894年度、4898年度、4902年度、4906年度、4910年度、4914年度、4918年度、4922年度、4926年度、4930年度、4934年度、4938年度、4942年度、4946年度、4950年度、4954年度、4958年度、4962年度、4966年度、4970年度、4974年度、4978年度、4982年度、4986年度、4990年度、4994年度、4998年度、5002年度、5006年度、5010年度、5014年度、5018年度、5022年度、5026年度、5030年度、5034年度、5038年度、5042年度、5046年度、5050年度、5054年度、5058年度、5062年度、5066年度、5070年度、5074年度、5078年度、5082年度、5086年度、5090年度、5094年度、5098年度、5102年度、5106年度、5110年度、5114年度、5118年度、5122年度、5126年度、5130年度、5134年度、5138年度、5142年度、5146年度、5150年度、5154年度、5158年度、5162年度、5166年度、5170年度、5174年度、5178年度、5182年度、5186年度、5190年度、5194年度、5198年度、5202年度、5206年度、5210年度、5214年度、5218年度、5222年度、5226年度、5230年度、5234年度、5238年度、5242年度、5246年度、5250年度、5254年度、5258年度、5262年度、5266年度、5270年度、5274年度、5278年度、5282年度、5286年度、5290年度、5294年度、5298年度、5302年度、5306年度、5310年度、5314年度、5318年度、5322年度、5326年度、5330年度、5334年度、5338年度、5342年度、5346年度、5350年度、5354年度、5358年度、5362年度、5366年度、5370年度、5374年度、5378年度、5382年度、5386年度、5390年度、5394年度、5398年度、5402年度、5406年度、5410年度、5414年度、5418年度、5422年度、5426年度、5430年度、5434年度、5438年度、5442年度、5446年度、5450年度、5454年度、5458年度、5462年度、5466年度、5470年度、5474年度、5478年度、5482年度、5486年度、5490年度、5494年度、5498年度、5502年度、5506年度、5510年度、5514年度、5518年度、5522年度、5526年度、5530年度、5534年度、5538年度、5542年度、5546年度、5550年度、5554年度、5558年度、5562年度、5566年度、5570年度、5574年度、5578年度、5582年度、5586年度、5590年度、5594年度、5598年度、5602年度、5606年度、5610年度、5614年度、5618年度、5622年度、5626年度、5630年度、5634年度、5638年度、5642年度、5646年度、5650年度、5654年度、5658年度、5662年度、5666年度、5670年度、5674年度、5678年度、5682年度、5686年度、5690年度、5694年度、5698年度、5702年度、5706年度、5710年度、5714年度、5718年度、5722年度、5726年度、5730年度、5734年度、5738年度、5742年度、5746年度、5750年度、5754年度、5758年度、5762年度、5766年度、5770年度、5774年度、5778年度、5782年度、5786年度、5790年度、5794年度、5798年度、5802年度、5806年度、5810年度、5814年度、5818年度、5822年度、5826年度、5830年度、5834年度、5838年度、5842年度、5846年度、5850年度、5854年度、5858年度、5862年度、5866年度、5870年度、5874年度、5878年度、5882年度、5886年度、5890年度、5894年度、5898年度、5902年度、5906年度、5910年度、5914年度、5918年度、5922年度、5926年度、5930年度、5934年度、5938年度、5942年度、5946年度、5950年度、5954年度、5958年度、5962年度、5966年度、5970年度、5974年度、5978年度、5982年度、5986年度、5990年度、5994年度、5998年度、6002年度、6006年度、6010年度、6014年度、6018年度、6022年度、6026年度、6030年度、6034年度、6038年度、6042年度、6046年度、6050年度、6054年度、6058年度、6062年度、6066年度、6070年度、6074年度、6078年度、6082年度、6086年度、6090年度、6094年度、6098年度、6102年度、6106年度、6110年度、6114年度、6118年度、6122年度、6126年度、6130年度、6134年度、6138年度、6142年度、6146年度、6150年度、6154年度、6158年度、6162年度、6166年度、6170年度、6174年度、6178年度、6182年度、6186年度、6190年度、6194年度、6198年度、6202年度、6206年度、6210年度、6214年度、6218年度、6222年度、6226年度、6230年度、6234年度、6238年度、6242年度、6246年度、6250年度、6254年度、6258年度、6262年度、6266年度、6270年度、6274年度、6278年度、6282年度、6286年度、6290年度、6294年度、6298年度、6302年度、6306年度、6310年度、6314年度、6318年度、6322年度、6326年度、6330年度、6334年度、6338年度、6342年度、6346年度、6350年度、6354年度、6358年度、6362年度、6366年度、6370年度、6374年度、6378年度、6382年度、6386年度、6390年度、6394年度、6398年度、6402年度、6406年度、6410年度、6414年度、6418年度、6422年度、6426年度、6430年度、6434年度、6438年度、6442年度、6446年度、6450年度、6454年度、6458年度、6462年度、6466年度、6470年度、6474年度、6478年度、6482年度、6486年度、6490年度、6494年度、6498年度、6502年度、6506年度、6510年度、6514年度、6518年度、6522年度、6526年度、6530年度、6534年度、6538年度、6542年度、6546年度、6550年度、6554年度、6558年度、6562年度、6566年度、6570年度、6574年度、6578年度、6582年度、6586年度、6590年度、6594年度、6598年度、6602年度、6606年度、6610年度、6614年度、6618年度、6622年度、6626年度、6630年度、6634年度、6638年度、6642年度、6646年度、6650年度、6654年度、6658年度、6662年度、6666年度、6670年度、6674年度、6678年度、6682年度、6686年度、6690年度、6694年度、6698年度、6702年度、6706年度、6710年度、6714年度、6718年度、6722年度、6726年度、6730年度、6734年度、6738年度、6742年度、6746年度、6750年度、6754年度、6758年度、6762年度、6766年度、6770年度、6774年度、6778年度、6782年度、6786年度、6790年度、6794年度、6798年度、6802年度、6806年度、6810年度、6814年度、6818年度、6822年度、6826年度、6830年度、6834年度、6838年度、6842年度、6846年度、6850年度、6854年度、6858年度、6862年度、6866年度、6870年度、6874年度、6878年度、6882年度、6886年度、6890年度、6894年度、6898年度、6902年度、6906年度、6910年度、6914年度、6918年度、6922年度、6926年度、6930年度、6934年度、6938年度、6942年度、6946年度、6950年度、6954年度、6958年度、6962年度、6966年度、6970年度、6974年度、6978年度、6982年度、6986年度、6990年度、6994年度、6998年度、7002年度、7006年度、7010年度、7014年度、7018年度、7022年度、7026年度、7030年度、7034年度、7038年度、7042年度、7046年度、7050年度、7054年度、7058年度、7062年度、7066年度、7070年度、7074年度、7078年度、7082年度、7086年度、7090年度、7094年度、7098年度、7102年度、7106年度、7110年度、7114年度、7118年度、7122年度、7126年度、7130年度、7134年度、7138年度、7142年度、7146年度、7150年度、7154年度、7158年度、7162年度、7166年度、7170年度、7174年度、7178年度、7182年度、7186年度、7190年度、7194年度、7198年度、7202年度、7206年度、7210年度、7214年度、7218年度、7222年度、7226年度、7230年度、7234年度、7238年度、7242年度、7246年度、7250年度、7254年度、7258年度、7262年度、7266年度、7270年度、7274年度、7278年度、7282年度、7286年度、7290年度、7294年度、7298年度、7302年度、7306年度、7310年度、7314年度、7318年度、7322年度、7326年度、7330年度、7334年度、7338年度、7342年度、7346年度、7350年度、7354年度、7358年度、7362年度、7366年度、7370年度、7374年度、7378年度、7382年度、7386年度、7390年度、7394年度、7398年度、7402年度、7406年度、7410年度、7414年度、7418年度、7422年度、7426年度、7430年度、7434年度、7438年度、7442年度、7446年度、7450年度、7454年度、7458年度、7462年度、7466年度、7470年度、7474年度、7478年度、7482年度、7486年度、7490年度、7494年度、7498年度、7502年度、7506年度、7510年度、7514年度、7518年度、7522年度、7526年度、7530年度、7534年度、7538年度、7542年度、7546年度、7550年度、7554年度、7558年度、7562年度、7566年度、7570年度、7574年度、7578年度、7582年度、7586年度、7590年度、7594年度、7598年度、7602年度、7606年度、7610年度、7614年度、7618年度、7622年度、7626年度、7630年度、7634年度、7638年度、7642年度、7646年度、7650年度、7654年度、7658年度、7662年度、7666年度、7670年度、7674年度、7678年度、7682年度、7686年度、7690年度、7694年度、7698年度、7702年度、7706年度、7710年度、7714年度、7718年度、7722年度、7726年度、7730年度、7734年度、7738年度、7742年度、7746年度、7750年度、7754年度、7758年度、7762年度、7766年度、7770年度、7774年度、7778年度、7782年度、7786年度、7790年度、7794年度、7798年度、7802年度、7806年度、7810年度、7814年度、7818年度、7822年度、7826年度、7830年度、7834年度、7838年度、7842年度、7846年度、7850年度、7854年度、7858年度、7862年度、7866年度、7870年度、7874年度、7878年度、7882年度、7886年度、7890年度、7894年度、7898年度、7902年度、7906年度、7910年度、7914年度、7918年度、7922年度、7926年度、7930年度、7934年度、7938年度、7942年度、7946年度、7950年度、7954年度、7958年度、7962年度、7966年度、7970年度、7974年度、7978年度、7982年度、7986年度、7990年度、7994年度、7998年度、8002年度、8006年度、8010年度、8014年度、8018年度、8022年度、8026年度、8030年度、8034年度、8038年度、8042年度、8046年度、8050年度、8054年度、8058年度、8062年度、8066年度、8070年度、8074年度、8078年度、8082年度、8086年度、8090年度、8094年度、8098年度、8102年度、8106年度、8110年度、8114年度、8118年度、8122年度、8126年度、8130年度、8134年度、8138年度、8142年度、8146年度、8150年度、8154年度、8158年度、8162年度、8166年度、8170年度、8174年度、8178年度、8182年度、8186年度、8190年度、8194年度、8198年度、8202年度、8206年度、8210年度、8214年度、8218年度、8222年度、8226年度、8230年度、8234年度、8238年度、8242年度、8246年度、8250年度、8254年度、8258年度、8262年度、8266年度、8270年度、8274年度、8278年度、8282年度、8286年度、8290年度、8294年度、8298年度、8302年度、8306年度、8310年度、8314年度、8318年度、8322年度、8326年度、8330年度、8334年度、8338年度、8342年度、8346年度、8350年度、8354年度、8358年度、8362年度、8366年度、8370年度、8374年度、8378年度、8382年度、8386年度、8390年度、8394年度、8398年度、8402年度、8406年度、8410年度、8414年度、8418年度、8422年度、8426年度、8430年度、8434年度、8438年度、8442年度、8446年度、8450年度、8454年度、8458年度、8462年度、8466年度、8470年度、8474年度、8478年度、8482年度、8486年度、8490年度、8494年度、8498年度、8502年度、8506年度、8510年度、8514年度、8518年度、8522年度、8526年度、8530年度、8534年度、8538年度、8542年度、8546年度、8550年度、8554年度、8558年度、8562年度、8566年度、8570年度、8574年度、8578年度、8582年度、8586年度、8590年度、8594年度、8598年度、8602年度、8606年度、8610年度、8614年度、8618年度、8622年度、8626年度、8630年度、8634年度、8638年度、8642年度、8646年度、8650年度、8654年度、8658年度、8662年度、8666年度、8670年度、8674年度、8678年度、8682年度、8686年度、8690年度、8694年度、8698年度、8702年度、8706年度、8710年度、8714年度、8718年度、8722年度、8726年度、8730年度、8734年度、8738年度、8742年度、8746年度、8750年度、8754年度、8758年度、8762年度、8766年度、8770年度、8774年度、8778年度、8782年度、8786年度、8790年度、8794年度、8798年度、8802年度、8806年度、8810年度、8814年度、8818年度、8822年度、8826年度、8830年度、8834年度、8838年度、8842年度、8846年度、8850年度、8854年度、8858年度、8862年度、8866年度、8870年度、8874年度、8878年度、8882年度、8886年度、8890年度、8894年度、8898年度、8902年度、8906年度、8910年度、8914年度、8918年度、8922年度、8926年度、8930年度、8934年度、8938年度、8942年度、8946年度、8950年度、8954年度、8958年度、8962年度、8966年度、8970年度、8974年度、8978年度、8982年度、8986年度、8990年度、8994年度、8998年度、9002年度、9006年度、9010年度、9014年度、9018年度、9022年度、9026年度、9030年度、9034年度、9038年度、9042年度、9046年度、9050年度、9054年度、9058年度、9062年度、9066年度、9070年度、9074年度、9078年度、9082年度、9086年度、9090年度、9094年度、9098

(3) 日本の技術的競争力

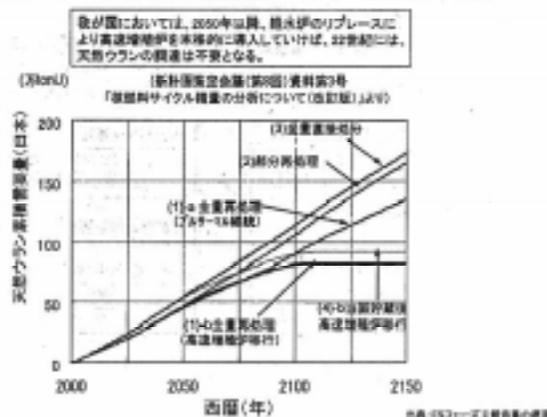
米国や仏国など高速増殖炉サイクル先進国において研究開発が停滞していた時期に、我が国も高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故により研究開発計画が大きく遅れる状況であった。しかし、以下のようにより研究開発を着実に継続し、また、軽水炉による原子力発電や軽水炉燃料再処理など、原子力の研究開発利用が着実に進められてきたことから、我が国は、現時点では高速増殖炉サイクルの研究開発において技術的な国際競争力を維持している。

高速増殖炉について、原子力機構は、実験炉「常陽」及び原型炉「もんじゅ」を保有し、研究開発や改造を進めている。また、1990年代には電気事業者を中心に高速増殖炉実証炉の設計検討が進められた。国際的には GIF に参加し、特に、ナトリウム冷却高速増殖炉の研究開発については、我が国は中核的役割を担っている（表総-2-4 参照）。

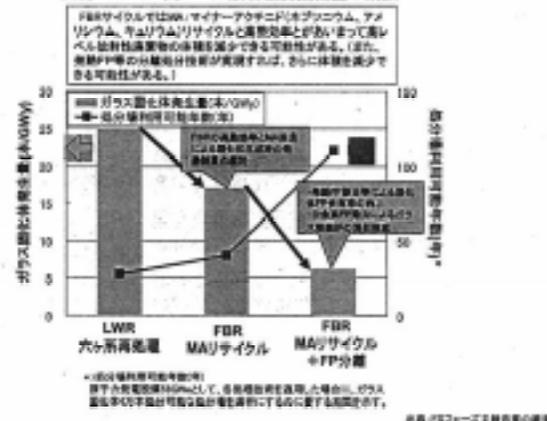
燃料サイクル施設については、原子力機構において、軽水炉燃料を再処理する東海再処理施設や高速増殖炉燃料を製造する MOX 燃料製造施設の建設運転の実績を積み重ねてきた。また、民間事業者において、現在試運転中の軽水炉燃料の商業再処理施設である六ヶ所再処理工場の建設や試運転の実績を有しており、さらに今後の運転や保守・補修維持経験の蓄積が期待される。これらの経験は、燃料サイクルの研究開発や将来の燃料サイクル施設の建設、運転、保守に反映することが可能である。

我が国のメーカーは、現在国内で稼働している 55 基の発電用原子炉を建設・維持するとともに、国外へ原子炉主要機器の輸出を行うなど、原子力分野において高い技術力を有している。高速増殖炉や再処理関係の技術者については、原型炉「もんじゅ」の建設や六ヶ所再処理工場の建設の後に新規のプラント建設がないことから、その人数を減らしてきているものの、「もんじゅ」の改造工事、六ヶ所再処理工場の試運転、PSへの参画を通じて、現時点では、まだ開発力、技術力、人材は、高いレベルを維持し続けている。しかし、現在稼働中の原子炉の大規模な代替建設需要が発生する 2030 年頃までの間、この開発力、技術力、人材の厚みを維持、発展できるかどうかという深刻な課題に直面していることは否めない（図総-2-6 参照）。

図総-3-1 ウラン資源の有効利用とエネルギーセキュリティの確保



図総-3-2 高レベル放射性廃棄物の削減



3. 進むべき道筋

(1) 高速増殖炉サイクルが担う役割

我が国は、原子力発電に軽水炉を用いているが、その燃料であるウランの全てを海外から輸入している。これに対し、高速増殖炉サイクルは、発電しながら消費した燃料以上の燃料を生み出す特長を有する、自己完結型のエネルギー供給技術である。このため、エネルギーセキュリティの向上や循環型社会の実現に貢献することが期待できると考える。

高速増殖炉サイクルの導入効果について、2050年頃から高速増殖炉を商業ベースで導入し、基幹電源として軽水炉（寿命60年と想定）に置き換わって順次建設（リブレース）することを仮定して、最終的には総発電電力量の30～40％程度という現在の水準程度（5,800万kWと仮定）を担うとして計算した場合、以下のような効果が期待できる。

- 2100年過ぎには、発電に必要な核燃料の海外からの輸入が不要となる（原子力発電におけるエネルギー自給の確立）（図総-3-1参照）
- マイナーアクチドを回収し燃料に混ぜて燃焼させること及び熱効率が向上することにより、発電電力量あたりの高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）発生量は約2/3に低減可能となる。さらに、発熱性核分裂生成物等の分離技術と対応する廃棄物の処理処分技術が実現すれば、ガラス固化体1体あたりに含有する核分裂生成物量を増やし、発電電力量あたりの高レベル放射性廃棄物発生量を約1/4まで低減できる可能性がある（図総-3-2参照）。
- 核兵器の原料ともなり得るプルトニウムを利用しているが、保障措置などの制度に加え、プルトニウムを常にウランやマイナーアクチド等と混合された状態で取り扱うことにすれば、これにより燃料の放射線量が高くなり、テロリストなど、盗取を試みる可能性のある者の接近を阻害することができるなど、技術的にも核拡散抵抗性を更に向上することができる。

また、産業界に多くの技術蓄積がなされており、今後、高速増殖炉の建設拡大が予想される国内外のマーケットにおいて、競争力を持ち、我が国のイノベーション力を発揮できる可能性が高いものと期待される。

表総-3-1 今後の開発目標

開発目標	
■ 安全性	公衆の日常活動において発生するリスクと比べて十分小さくなるようにすること
■ 経済性	建設時期における他の基幹電源と比肩し得る発電単価を確保できること
■ 環境負荷低減性	最終処分廃棄物量の低減及び高レベル放射性廃棄物処分場の合理化を図れること
■ 資源有効利用性	軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行ができる増殖性能を確保すること
■ 核拡散抵抗性	プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染TRU燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること

表総-3-2 今後の開発目標とGIFのゴールとの比較

GIF		今後の開発目標		
分野	ゴール	分野	開発目標	
安全性	SR-1 卓越した信頼性	安全性	公衆の日常活動において発生するリスクと比べて十分小さくなること	
信頼性	SR-2 極めて低い炉心損傷確度と影響	経済性	建設時期における他の基幹電源と比肩し得る発電単価を確保できること	
	SR-3 サイト外緊急時対応が不要		環境負荷低減性	最終処分廃棄物量の低減及び高レベル放射性廃棄物処分場の合理化を図れること
	経済性		EO-1 ライフサイクルコスト EO-2 財政的なリスク	資源有効利用性
持続可能性	SU-1 長期的・効率的な資源利用	核拡散抵抗性	プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染TRU燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること	
	SU-2 廃棄物の最小化			
核拡散抵抗性	PR-1 拡散・盗難防止並びに転用手段の困難性			

出典: GIF 13-20 Coreview 3' Roadmap: Fuel Supply Evaluation Methodology Report

(2) 技術的な開発目標

高速増殖炉サイクルの研究開発を実施するにあたっては、実用プラントが軽水炉サイクルと同等以上の安全性と経済性を実現し、高速増殖炉サイクルの特長を最大限に発揮させることを目標とすべきと考える。

このため、「安全性」、「経済性」、「環境負荷低減性」、「資源有効利用性」、「核拡散抵抗性」の5つの開発目標（表総-3-1参照）を設定して研究開発を進めるべきである。

(安全性)

現行軽水炉サイクルと同様の安全確保の考え方にに基づき、高速増殖炉サイクルシステムの導入によるリスクが、同時代の公衆の日常生活において発生するリスクと比べて十分小さくなるようにすること

(経済性)

建設時期における他の基幹電源と比肩し得る発電単価を確保できること

(環境負荷低減性)

最終処分廃棄体量の低減及び高レベル放射性廃棄物処分場の合理化を図ること

(資源有効利用性)

マイナーアクチニド (MA) を含有した低除染超ウラン元素 (TRU) 燃料を用いた上で、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行ができる増殖性能を確保すること

(核拡散抵抗性)

プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染 TRU 燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること

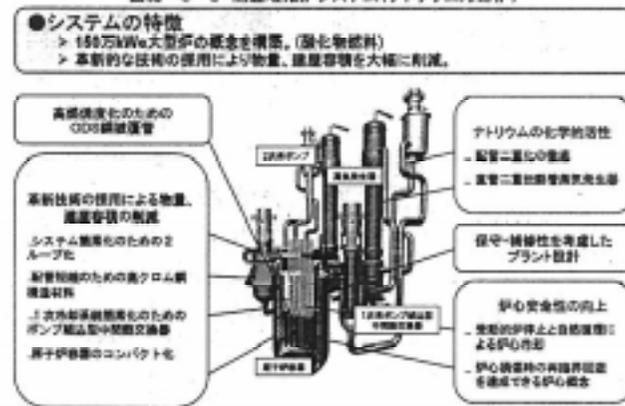
これらの開発目標の5つの分野は、PSにおいて我が国が世界に先駆けで設定したが、現在 GIF においても同様な分野を開発目標として採用している（表総-3-2参照）。

表総-3-3 今後の開発目標を実現するための設計要求

研究開発目標	高速増殖炉の設計要求	軽水炉サイクルの設計要求
安全性	●炉心構造の健全確保が炉心安全確保の中心であること ●炉心構造に由来する事故に対する事故安全性の確保 ●炉心構造に由来する事故に対する事故安全性の確保 ●炉心構造に由来する事故に対する事故安全性の確保	●炉心構造の健全確保が炉心安全確保の中心であること ●炉心構造に由来する事故に対する事故安全性の確保 ●炉心構造に由来する事故に対する事故安全性の確保
経済性	●建設費 300万円/kW以下 ●運転費 100万円/kW以下 ●建設費 100万円/kW以下	●建設費 300万円/kW以下 ●運転費 100万円/kW以下 ●建設費 100万円/kW以下
環境負荷低減性	●最終処分廃棄体量の低減 ●高レベル放射性廃棄物処分場の合理化	●最終処分廃棄体量の低減 ●高レベル放射性廃棄物処分場の合理化
資源有効利用性	●マイナーアクチニド (MA) を含有した低除染超ウラン元素 (TRU) 燃料を用いた上で、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行ができる増殖性能を確保すること	●マイナーアクチニド (MA) を含有した低除染超ウラン元素 (TRU) 燃料を用いた上で、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行ができる増殖性能を確保すること
核拡散抵抗性	●プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染 TRU 燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること	●プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染 TRU 燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること

※：ユーザへの説明がなされている項目

図総-3-3 高速増殖炉システム(ナトリウム冷却炉)



図総-3-3(ア)高速増殖炉システム

(3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル

これまでの研究開発成果を踏まえると、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は、次のようなものであると考える。5つの開発目標に対応して設定した設計要求は、表総-3-3のとおりである。

なお、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルの移行期間（高速増殖炉サイクル導入期：軽水炉と高速増殖炉が並存して運転されている期間）は、便宜上2045年から2104年までの60年間と想定している。

① 発電施設（原子炉）（図総-3-3参照）

- 炉型：ナトリウム冷却高速増殖炉
- 燃料：マイナーアクチニド(MA)含有混合酸化物(MOX)燃料（低除染TRU燃料）
- 電気出力：150万kWe（ツインプラント：150万kWe×2基）

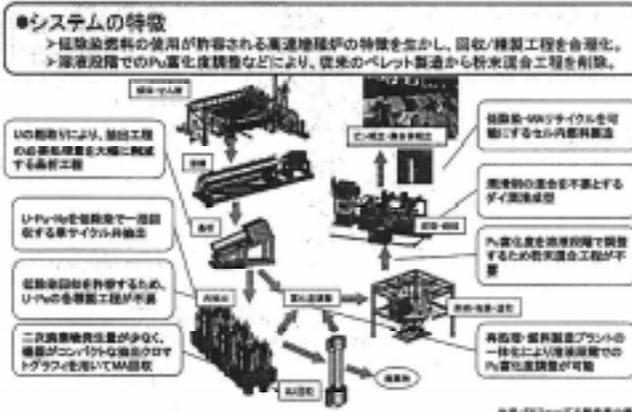
高速増殖炉の増殖比は、高速増殖炉の導入基数とそれに伴う燃料（プルトニウム）の量的バランスから、当初は増殖比1.2程度とし、全ての原子炉が高速増殖炉になった状況では、増殖比をわずかに1を上回る程度とすることが適切と考える。なお、「PS フェーズII報告書」では、増殖比1.1でもプルトニウムバランスが成立するとしている。しかし、増殖比1.1としたプルトニウムバランスには余裕が少ないことなどから、燃料供給の信頼性、確実性を確保する観点から設計要求としては増殖比1.2とすることが妥当と判断した。ただし、プルトニウムを増殖する部分であるブランケット燃料を加減することで増殖比を柔軟に設定することが可能であるため、必要に応じてプルトニウム発生量を制御することができる。

② 燃料サイクル施設（再処理施設、燃料製造施設）（図総-3-4参照）

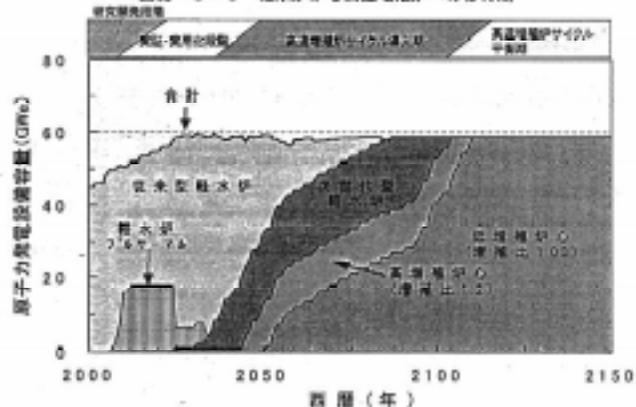
- 再処理：先進湿式法再処理
- 燃料製造：簡素化ペレット法

燃料サイクル施設においては、ウラン、プルトニウム、ネプツニウムを低除染で一括回収し、さらに高レベル廃液より回収したアメリカシ

図総-3-4 燃料サイクルシステム（先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造）



図総-3-5 軽水炉から高速増殖炉への移行期



ウム、キュリウムを混合するなど、プルトニウムを常にウランや MA と混合した状態で取り扱う工程としていること、また MA の高い放射線により接近性が制限されることから、核拡散抵抗性は現在の軽水炉サイクルよりも更に向上することが期待される。

MA を回収して燃料に混ぜて燃焼することにより、また熱効率の向上により発電電力量あたりの高レベル放射性廃棄物発生量が減少し、最終処分場への負荷が軽減されるとしている。なお、「FS フェーズII 報告書」では、長半減期核分裂生成物 (LLFP) の分離変換を「将来の目標」としているが、2050 年頃の実用化以降の目標とすることが妥当と考える。一方、最終処分場の受け入れ量の制限値「高レベル放射性廃棄物 1 体あたりの発熱量」を低減する観点から、高発熱性核分裂生成物の分離と処分方策の研究開発に取り組むべきであると判断する。

現在の知見で実用施設として実現性が高いと考えられる実用システム概念は、以上のようなものとする。ただし、これらの実用システム概念は、2110 年頃以降の高速増殖炉サイクル平衡期（軽水炉から高速増殖炉へのリブレースが完了し、高速増殖炉サイクルだけで我が国の原子力発電を賄っている時期）での最適な条件を想定したものである。高速増殖炉サイクル平衡期に至る以前に、実証・実用化段階と高速増殖炉サイクル導入期という、軽水炉と高速増殖炉が共存する時期が長期にわたり存在することから、これらの時期において軽水炉サイクルと整合性ある高速増殖炉サイクルシステムを検討する必要があると考える（図 3-5 参照）。

また、現在の知見では実現性が最も高いと考えられるとはいえ、革新的な技術の採用を前提としていること、工学的規模での実証が必要であること、また、国内外におけるエネルギー需給構造、地球温暖化対策の考慮など、今後の社会環境の変化に柔軟な対応をとる必要があることなどから、今後の研究開発結果などを踏まえ、適宜評価を行って見直すべきである。

表 3-4 2015 年までの研究開発の達成目標

達成目標	・開発目標・設計要求を満足する概念設計を得る
対象施設	・実証炉及び核燃料サイクル実証施設 ・高速増殖炉サイクル実用施設（導入期及び平衡期）

表 3-5 選択された「主概念」と「副概念」

	原子炉	再処理	燃料製造
主概念	ナトリウム冷却炉 (MOX 燃料)	先進湿式法	粉末化ペレット法
副概念	ナトリウム冷却炉 (金属燃料)	金属電解法	射出鑄造法

主概念：現在の知見で実用施設として実現性が高いと考えられるシステム概念であり、今後研究開発を進めるべきもの
副概念：実用施設として実現性が認められるが、社会的な観点から技術的観点から比較的に非現実性がある概念

殖炉サイクルの基礎的な研究開発として取り組むこととする（表総-3-5参照）。

その他の概念についても、研究開発を行うことにより科学技術として多様な知と革新が期待される。このため、原子力分野の裾野を広げる基礎研究として取り組むこととする。

高速増殖炉サイクルの研究開発を実用化に向けて促進するため、これまで「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」で行ってきた幅広い戦略的な調査という方向性を変更する。今後は、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として、実用化に集中した技術開発を行い、高速増殖炉サイクルの研究開発を加速する。

③ 実用化に向けてのロードマップ

2015年までの研究開発計画は、2050年頃までのロードマップを想定し、これと整合性あるものであることが必要である。

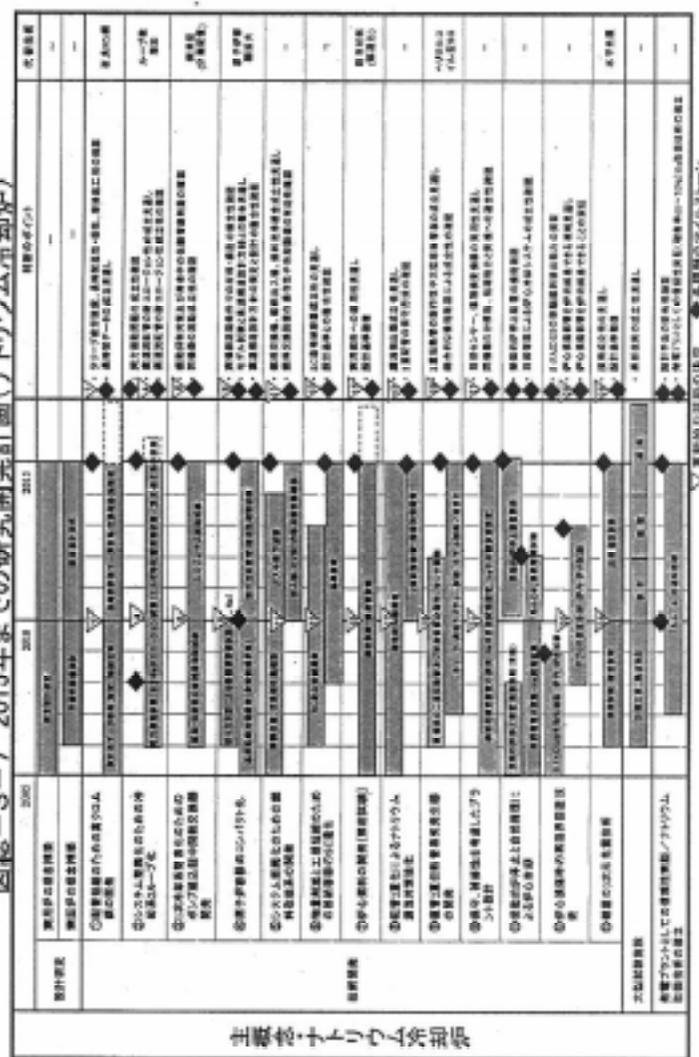
このようなロードマップについては現在複数の提案がなされているが、技術的な知見を前例して蓄積して行くことの重要性、研究開発資源の効率的利用などを考慮し、本委員会は図総-3-6のロードマップを想定した。本ロードマップは、2025年に実証炉を運転開始し、2045年頃に実用炉を運転開始できるよう、技術的な知見を整えることを目指すものとなっている。

なお、ロードマップは、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展に対応したものである必要があると考える。このため、2010年及び2015年に予定している評価において再検討されるべきである。

④ 2015年までの研究開発計画

実用化を目指したロードマップを踏まえた高速増殖炉サイクルに関する2015年までの研究開発計画は、原子炉、再処理、燃料製造に対応して、それぞれ図総-3-7～図総-3-9とする。なお、原子炉の研究開発計画の詳細は添付資料4として、再処理及び燃料製造の研究

図総-3-7 2015年までの研究開発計画(ナトリウム冷却炉)



開発計画の詳細は添付資料5として本報告書に添付している。

2015年までの研究開発においては、その目標である実用及び実証施設の概念設計のとりまとめを目指し、設計研究を進めることとする。特に再処理の設計研究では、高速増殖炉サイクル導入期の検討として、シナリオ解析、プラント概略仕様及び設備検討を行うこととする。

技術開発としては、概念設計で採用を見込んでいる革新的な技術、すなわち、ナトリウム冷却炉13項目、燃料サイクルシステム12項目（再処理6項目、燃焼製造6項目）を中心に研究開発を進めることとする。この革新的な技術については、それぞれについて、採否の判断時期、主要なチェックポイント、評価・判断のポイント、及び代替技術を明示している。

また、革新的な技術を工学的規模で確認するための施設の設計、建設などを行うこととしている。

さらに、高速増殖原型炉「もんじゅ」を運転再開し、「発電プラントとしての信頼性実証」及び「ナトリウム取扱技術の確立」を目指して運転経験を着実に積み重ねることとしている。また、東海再処理施設やMOX燃料製造施設を着実に稼働し、運転経験を積み重ねることとしている。

(5) 2015年までの研究開発の進め方

当委員会としては、2015年までの高速増殖炉サイクル研究開発を進めるにあたり、次のような事項に配慮することが必要であると考え。

① 安全の確保

安全の確保は、高速増殖炉サイクル技術の研究開発を推進するにあたっての前提条件である。安全の確保が全てに優先されるべきことを改めて徹底し、安全確保に関する法令の順守、品質保証活動の絶えざる改善、業務に関する安全性についての十分な知識の蓄積、安全確保についての高い意識と倫理の維持、さらに、危機管理や積極的な情報公開などを通じ、高速増殖炉サイクルの研究開発に係わるすべての組織と人が安全文化を維持発展させて行くことによって、安全確保の実績を積み上げ、国民の信頼の確立に努めることが重要であると考え。

② 国際協力の推進

国内における資源の効率的で効率的な活用の観点や世界の公共財的な技術として国際的な貢献の観点から、競争する分野と協調する分野を峻別しつつ、国際協力を積極的に推進するべきであると考え。この際、次のような基本的な考え方に沿って進められることが重要であると考え。

- 我が国が進めている高速増殖炉サイクル研究開発について、諸外国と目標を共有することを目指すこと
- 我が国の技術が世界標準となることを目指すこと
- 研究開発のリスクや資源負担の低減、研究開発に要する期間の短縮など、我が国にとって利益が明確であること
- 必要に応じ、二国間協力と多国間協力を適切に選択すること
- 知的所有権の確保に留意すること
- 国際協力によって我が国の研究開発計画に悪影響が生じないように留意すること（例えば、国際協力への過度の依存は、相手国の方針変更等によって我が国の計画に重大な影響を及ぼすリスクがある）
- 平和利用、核不拡散の担保、安全の確保、核セキュリティの担保

を求めること

特に、米国が2006年2月に提唱した「国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)」構想に盛り込まれている高速炉サイクル技術分野の研究開発に対しては、共通点及び相違点を明確にしていく必要があるが、積極的、また前述の基本的な考え方に沿って戦略的に対応することが適切であると考ええる。

③ 研究開発体制

高速増殖炉サイクルの研究開発は、国および研究機関が、産業界とロードマップ等を共有し、大学や産業界からの協力・協働を得つつ、主体的に取り組むことが必要であると考ええる。この際、原子力機構を中核として、電気事業者とともに、電力中央研究所、製造事業者、大学等の協力を得つつ、着実に推進することが適切であると考ええる。

今後の研究開発においては、産業界が実用化の対象として選択できる環境を整えることが必要であると考ええる。このため、2015年までの研究開発の終了を待つのではなく、常に研究開発側と導入者側とで円滑な移行に向けた意見交換を行うことが重要であると考ええる。既に、経済産業省、文部科学省、電気事業者、製造業者、原子力機構により「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」が設置されているが、このような場を通じ、今後の研究開発に対する要求を随時反映させるとともに、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオ、国際協力のあり方、開発スケジュールと実証ステップのあり方などを検討することなどが重要であると考ええる。

④ 研究開発の評価体制

高速増殖炉サイクル技術の研究開発は、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の候補にまで発展させるための研究開発段階にあることから、段階的な計画として取り組み、段階を進める際には国が成果と計画の評価を行い、実施すべき研究開発を重点化して進めることが重要であると考えられる。

今後、国は、2010年及び2015年に評価を行うべきであるが、研究開発段階から実証・実用化段階に円滑に移行するための原子力政策全般に広くかかわる判断に資するものとなることから、よりふさわしい評価のあり方を検討する必要があると考ええる。また、研究開発の中核である原子力機構は、研究開発の当事者として適性かつ厳正に自らの研究開発成果を評価することが必要であり、国内外の関係者によるピアレビューや外部評価を効果的に活用して判断の妥当性を確保して行くことが必要であると考ええる。

⑤ 研究開発資源の確保

(研究開発費の確保)

高速増殖炉サイクル実用化研究開発の推進にあたっては、多額の資金が必要になる。このため、研究開発の中核となる原子力機構は、研究開発の重点化、既存施設の有効活用、大学等との共同研究、国際協力の活用などを含め、効果的・効率的に研究開発を着実に実施することはもとより、原子力機構の業務の選択と集中を行い、必要な研究開発資金を確保することが重要であると考ええる。また、国は、適切な資金を確保することが重要であると考ええる。

(人材の確保・育成)

高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、創造性とうむことなき探究心を持つ人材、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。また、研究開発機関、産業界、大学における人材、そして将来これらの組織において研究開発を担うであろう人材の確保・育成が必要であると考ええる。

このため、2015年までの研究開発を着実に推進するとの観点、研究開発段階から実用化段階への円滑な移行を推進するとの観点、さらに、将来を担う人材を確保・育成するとの観点から、それぞれに対応した適切な対応をとる必要があると考ええる。

③ 説明責任を果たす活動の充実

高速増殖炉サイクルに関する研究開発は、多くの資源の投入が必要とされるとともに、成果が得られるまでの期間が長く、様々な不確実性を伴うため、関係者はその内容を国民に積極的に公開あるいは公表し、施策について理解を求めることに十分留意しなければならないと考える。

特に、エネルギーセキュリティの向上、地球環境保全に貢献する研究開発の意義や内容についての国民の理解増進に努め、納税者への説明責任を果たすべく、積極的に広聴・広報活動を行うことが重要であると考える。

1. 高速増殖炉サイクル実用化概念の選択

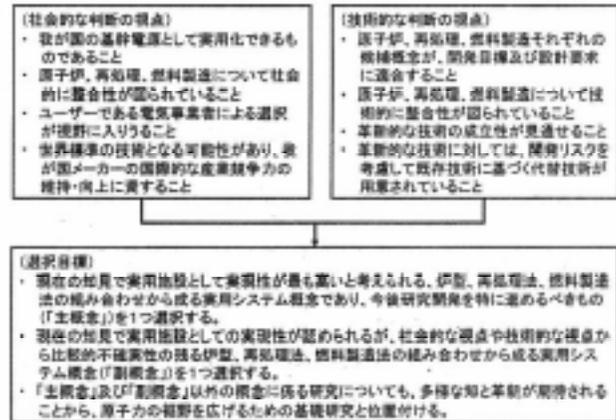
これまでに国内外で多くの高速増殖炉サイクルの概念が提案されている。このため、原子力機構と日本原電は高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を2015年頃に提示することを目的に、多様な炉型、再処理法、燃料製造法を対象として「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 (FS)」を実施してきた。

1999年度から2000年度に実施された「FS フェーズⅠ」では、技術的選択肢の幅広いサーベイを行い有望な技術が抽出された。具体的には、図1-1-1、図1-1-2に示すように、炉型について、冷却材や燃料形態などの組み合わせで考えられる約40の候補から、「ナトリウム冷却炉」、「鉛ビスマス冷却炉」、「ヘリウムガス冷却炉」及び「水冷却炉」が選択された。また、再処理法について、約10の候補から「先進湿式法」、「金属電解法」及び「酸化物電解法」が、燃料製造法について、約10の候補から「簡素化ペレット法」、「振動充填法 (スフェアバック燃料/パイバック燃料)」、「射出鋳造法」及び「被覆粒子燃料製造法」が選択されている。

2001年度から2005年度に実施された「FS フェーズⅡ」では、「FS フェーズⅠ」での検討結果を踏まえ、さらに、高速増殖炉サイクルの実用化候補概念を明確化するべく検討が行われている。この結果をとりまとめた「FS フェーズⅡ報告書」では、主概念として「ナトリウム冷却炉、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」が、補充概念として「ナトリウム冷却炉、金属電解法再処理、射出鋳造法燃料製造」及び「ヘリウムガス冷却炉、先進湿式法再処理、被覆粒子燃料製造」を選定することが適切であるとされている。

当委員会は、このような、これまでの「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」の成果を踏まえ、改めて高速増殖炉サイクル実用化概念の選択を行った。

図1-1-3 選択の考え方



(1) 選択にあたっての基本的な考え方

① 「選択と集中」による研究開発の効率化

我が国の経済社会状況、高速増殖炉サイクル技術の研究開発に関する国際的な情勢を勘案すれば、限られた研究開発資源の下で、引き続き効果的・効率的に高速増殖炉サイクルの実用化を図ることが必要であると考える。このため、これまでの研究開発の成果を評価し、研究開発対象を絞って集中的に研究開発資源を投資するという戦略的重点化をさらに強力に進めるべきであるとする。

② 「柔軟性」の確保

高速増殖炉サイクルの実用化までには長期間を要することが見込まれる。このため、研究開発にあたっては、電力需給の動向やウラン需給状況など将来の社会的な情勢変化に対応できることが重要であると考える。また、いくつかの革新的な技術が研究開発の結果採用できないと判断される場合や、基礎研究から多様な知と革新がもたらされる場合も想定しておく必要があると考える。さらに、海外における研究開発の進展を見極めることも重要であるとする。

従って、長期的展望を踏まえて高速増殖炉サイクル技術の研究開発を進めるにあたっては、高速増殖炉サイクル技術が技術的多様性を備えていることに着目し、柔軟性を持って研究開発を進めることが必要であるとする。

③ 「選択と集中」と「柔軟性」のバランス

このように、「選択と集中」と「柔軟性」はいずれも必要であるが、相矛盾する要求を内包している。「選択と集中」と「柔軟性」のバランスについては、以下のような判断の視点に基づき、これまでの研究開発の成果や技術評価を十分に踏まえ、これに柔軟性を加味し、社会的、技術的に総合した判断を行うことが適切と考える。(図1-1-3参照)。

(社会的な判断の視点)

- 我が国の基幹電源として実用化できるものであること
- 原子炉、再処理、燃料製造について社会的に整合性が図られていること
(利用目的のないプルトニウムを持たないなど、我が国の原子力政策に沿ったものであることが必要)
- ユーザーである電気事業者による選択が視野に入りうること
- 世界標準の技術となる可能性があり、我が国メーカーの国際的な産業競争力の維持・向上に資すること

(技術的な判断の視点)

- 原子炉、再処理、燃料製造それぞれの候補概念が、開発目標及び設計要求に適合すること
- 原子炉、再処理、燃料製造について技術的に整合性が図られていること
(高速増殖炉の利用は、再処理施設で使用済燃料からプルトニウムやウランなどを分離、回収して再び燃料としてリサイクルすることを前提としており、原子炉、再処理、燃料製造をひとつのシステムと捉えることが必要)
- 革新的な技術の成立性が十分に見通せること
- 革新的な技術に対しては、開発リスクを考慮して既存技術に基づく代替技術が用意されていること

「FS フェーズII報告書」では、主として技術的な考察から主概念を1つ、補完概念を2つ選定している。しかし、戦略的重点化をさらに強力に進めるべきとの考えに立ち、以下のような主概念及び副概念を定め、それぞれ1つずつ選択することが適切と考える。

(2) 様々な候補概念の概要

FS フェーズIIにおいて比較検討された候補概念の概要を以下に紹介する。(詳細については、「FS フェーズII報告書」を参照のこと。)

① 高速増殖炉

i. ナトリウム冷却高速増殖炉(MOX燃料、金属燃料)

ナトリウム冷却高速増殖炉の概念図を図1-1-4に、仕様を表1-1-1に示す。

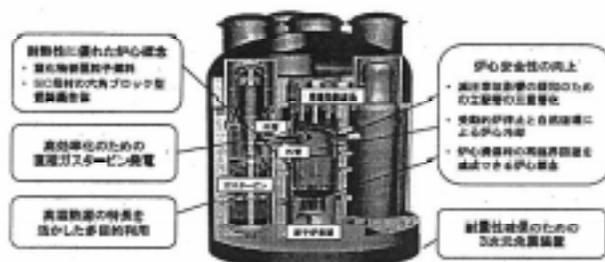
(a) プラントシステムの特徴

設計要求に掲げた建設費を実現するため、高い安全要求を満たしつつ、プラントの物量を大幅に削減できる革新技术を採用したシステム概念としている。ナトリウムに固有な課題(不透明で化学的活性が高いなど)に対しては、配管及び容器のナトリウム境界を二重化することにより、ナトリウム漏えいの影響範囲を限定するとともに、蒸気発生器の伝熱管を二重管構造とすることにより、プラント寿命期間中にナトリウム-水反応の発生可能性を極力低下させ、プラントの運転信頼性を向上させる設計としている。また、ナトリウムの特徴(構造材料との共存性が良いこと、不透明であること、運転停止中も約200℃という高温を保持する必要があることなど)を踏まえた供用期間中検査の方針を検討するとともに、事故や予期せぬ重大な不具合が発生した場合の機器の引抜き補修を含めて、保守・補修性を向上させたプラント設計を行っている。

(b) 炉心燃料

炉心燃料設計では、MOX燃料及び金属燃料ともに、設計要求を十分に満足した設計であるとしている。革新的な技術として、高燃焼度化と高出口温度化を達成可能な酸化物分散強化型(ODS)フェライト鋼被覆管、及び炉心損傷時の再臨界を回避するため、溶融燃料流出のための内部ダクト付き燃料集合体概念を採用している。その結果、MOX燃料炉心、金属燃料炉心ともに設計要求を上回る性能が見通され、ナトリウム冷却炉心の高いポテンシャルが示されたとしている。

図1-1-5 ヘリウムガス冷却高速増殖炉概念図



図表: FSフェーズII候補概念の概要

表1-1-2 ヘリウムガス冷却高速増殖炉の仕様比較

項目	単位	HTTR(200MW炉心)	HTTR(300MW炉心)	HTTR(300MW炉心)
電出力/熱出力	MW	1,300 / 2,200	1,500 / 2,500	— / 200
炉心径	m	4.7	4.0	—
燃料棒ピッチ	mm	19.0 (19.0)	19.0 (19.0)	—
炉心燃料	—	MOX燃料 (U/Pu混合金属燃料)	MOX燃料 (U/Pu混合金属燃料)	MOX燃料 (U/Pu混合金属燃料)
炉心径(炉心燃料管径)	mm	1,300 (1,300)	1,200 (1,200)	1,200 (1,200)
燃料管(炉心燃料管径)	mm	12	10.5 ~ 10	2.2
燃料比	—	1.1 ~ 1.2	1.2 ~ 1.3	—
平均炉心出力密度*	MW/m ³	100	110	3
炉心温度	℃	—	4	1
1次系炉心温度	℃	400 / 500	200 / 300	300 / 350 (最高運転温度200℃)
1次系炉心圧力	MPa	0	4.2	4
1次系炉心燃焼	—	燃焼率100% / 燃焼率100%	燃焼率100%	燃焼率100%
燃料集合体	—	—	燃料コア直径12	—
タービン	—	燃焼タービン	燃焼タービン	—
燃料燃焼率	%	32.0 (30MW)	33.0 (30MW)	—
炉心方式	—	—	—	—

* 平均炉心出力密度=炉心径×3.14×炉心燃料管径²×4

図表: FSフェーズII候補概念の概要

(c) これまで実施された要素技術開発

採用した革新的な技術の成立性見通しを得るために、高クロム鋼の開発、2ループ化に必要な大口径配管の流動安定性試験、ポンプ組込型中間熱交換器 (IHX) の振動伝達試験、蒸気発生器のための二重伝熱管試作試験、等を行っている。

ii. ヘリウムガス冷却高速増殖炉 (窒化物燃料)

ヘリウムガス冷却高速増殖炉の概念図を図1-1-5に、仕様を表1-1-2に示す。

(a) プラントシステムの特徴

発電と同時に高温熱源としても利用できる特長を活かすとともに、コンパクトで簡単なシステム構成とすることにより、高い熱効率による経済性の向上を図っている。原子炉容器の回りに縦型単軸ガスタービン (38万kWe) を4基配置した直接サイクル発電方式 (150万kWe) とし、冷却系配管を二重管 (内側配管をホットレグ、外側配管をコールドレグ) にした構造を採用している。減圧事故時の影響を緩和するため、二重管の外側にさらに配管で覆った三重管構造とし、原子炉容器からガスタービンまで内包できる大型格納容器を採用している。

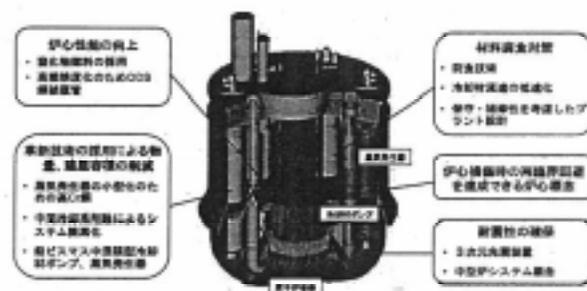
(b) 炉心燃料

窒化物燃料粒子を高温強度に優れる窒化チタン (TiN) で被覆した粒子燃料 (被覆粒子燃料) とし、さらに炭化ケイ素 (SiC) 母材に埋め込んだ六角ブロック型燃料集合体を採用している。炉心設計では、燃料の優れた高温耐性、低い炉心出力密度 (約 100W/cc)、ドブラー反応度の活用により、異常な過渡変化時のスクラム失敗事象 (ATWS) やさらに減圧事故時に原子炉スクラム失敗と強制循環熱機能喪失を重畳した事象 (AWS) を想定しても、炉心損傷に至らない可能性が示されたとしている。

(c) これまで実施された要素技術開発

被覆燃料に関する基礎的な試験として、燃料製造に係る厚膜蒸着特性、曲げ強度試験等を実施し、設計で想定している仕様に対して基本的に適合できる可能性があることを確認したとしている。

図1-1-6 鉛ビスマス冷却高速増殖炉概念図



出典: FCO-23 報告書の複製

表1-1-3 鉛ビスマス冷却高速増殖炉の仕様比較

項目	単位	鉛ビスマス冷却高速増殖炉	ナトリウム冷却高速増殖炉
炉心型式	—	球状炉心 (FR) 型	球状炉心 (FR) 型
発電出力 / 熱出力	MW	300 / 380	150 / 1,700
熱効率	%	30	42.5
燃料サイクル期間	日	400 (燃料ロス)	600 (燃料ロス)
炉心燃料	—	Pu-239 / MOX	Pu-239 / MOX
炉心径 (炉心熱源径)	mm	700 (5,400)	1,000 (3,800)
燃料径 (炉心熱源径)	mm	11	10
燃料長	—	1.30 ~ 1.35	1.30 ~ 1.40
燃料 / システム熱流	MW	2	300
燃料熱流密度	W/cc	270	700
1次冷却回路温度	℃	280 / 440	300 / 500
1次冷却回路圧	—	減圧 / 減圧 (減圧ポンプ)	減圧 / 減圧 (減圧ポンプ)
冷却媒体	—	鉛ビスマス合金	ナトリウム
冷却方式	—	二重伝熱管	二重伝熱管 (管外)

出典: FCO-23 報告書の複製

iii. 鉛ビスマス冷却高速増殖炉（窒化物燃料）

鉛ビスマス冷却高速増殖炉の概念図を図1-1-6に、仕様を表1-1-3に示す。

(a) プラントシステムの特徴

冷却材に鉛ビスマス (Pb-Bi)を用いることから、原子炉重量が大きくなる。このため、耐震性の検討において、3次元免震技術を採用しても構造部材にかかる荷重が過大になり、大型炉の成立性を見通せなかったとしている。このため、中型炉規模で2次系を必要としないボール型概念を検討し、この概念は耐震性を確保した上で建設費の目標を満たし得ることを確認したとしている。また、材料腐食を抑制するために被覆管最高温度や冷却材流速を制限し、窒化物燃料を採用することで、設計要求を満たし得る炉心概念を構築することができるとしている。

(b) 炉心燃料

冷却材の鉛ビスマスによる材料腐食を抑制しつつコンパクトな炉心設計を成立させるため、被覆管最高温度及び冷却材流速を制限し、酸化物燃料よりも重金属密度の高い窒化物燃料を用いた炉心としている。この窒化物燃料は、窒素 15 (N15) を 100%近くまで濃縮して用いることとしており、酸化物燃料を用いた炉心よりも中性子経済が良好であるため、径方向ブランケットを用いなくて増殖比 1.1 を確保できている。

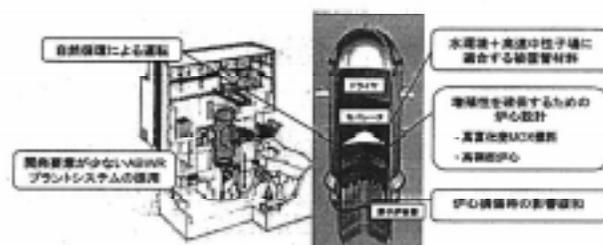
(c) これまで実施された要素技術開発

鉛ビスマス冷却材を利用する上で必要な技術課題となる、鉛ビスマスによる鋼材の腐食性に関する試験を実施し、その成果を設計に反映している。

iv. 水冷却高速増殖炉 (MOX 燃料)

水冷却高速増殖炉の概念図を図1-1-7に、仕様を表1-1-4に示す。

図1-1-7 水冷却高速増殖炉概念図



出典: JFEコーポレーションの提供

表1-1-4 水冷却高速増殖炉の仕様比較

項目	単位	水冷却高速増殖炉	炉心(炉心中心部)
電力出力/熱出力	MW	1,000/1,000	1,000/1,000
熱中性子経済	kffa	7.2	7.2
炉心径	m	3.4	2.7
燃料棒直径	mm	9.0	8.0
炉心棒束径/炉心径	mm	5.4/4.5	4.5/4.5
炉心棒束径	mm	2.95	3.71
炉心棒束径	mm	3.0	5.2
炉心棒束径	%	11	14.5
炉心棒束径	%	40	45
炉心径	mm	2.041	0.18
炉心径/炉心径	mm	2.1/2.2	— (炉心径/炉心径)
炉心径	%	13.4	—
炉心径	—	1.28	—
炉心径/炉心径	mm	11	12
炉心径	—	1.2	1.3
炉心径/炉心径	mm	2.5	4
炉心径/炉心径	mm	11	12
炉心径/炉心径	mm	2.1	—
炉心径/炉心径	mm	0.34	—

注: MOX燃料の平均濃縮率

出典: JFEコーポレーションの提供

