

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

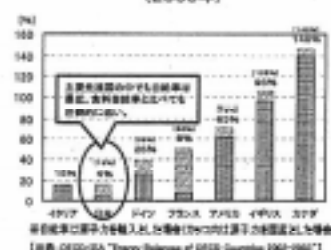
総論 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて	1
1. 原子力発電と高速増殖炉サイクル	3
(1) エネルギーを巡る現状と課題	3
(2) 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへ	5
2. 国内外の動向	7
(1) 諸外国の高速増殖炉サイクル技術に関する研究開発の進展	7
(2) 日本の高速増殖炉サイクル研究開発	11
(3) 日本の技術的競争力	15
3. 進むべき道筋	17
(1) 高速増殖炉サイクルが担う役割	17
(2) 技術的な開発目標	19
(3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル	21
(4) 2015年までの研究開発計画	25
(5) 2015年までの研究開発の進め方	32
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

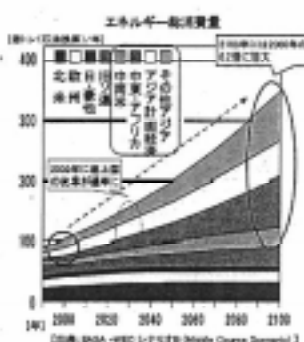
総論 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

図表-1-1 主要国のエネルギー自給率 (2003年)



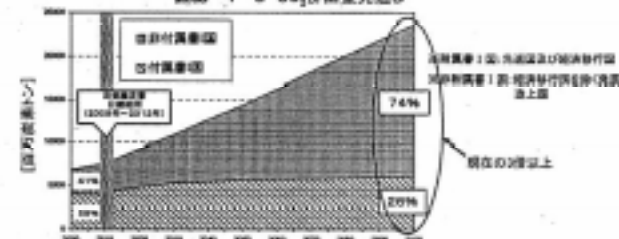
出典：原子力委員会報告(2005年4月)

図表-1-2 エネルギー消費量の見通し



出典：原子力委員会報告(2005年4月)

図表-1-3 CO<sub>2</sub>排出量見通し



【出典】国際エネルギー機関(IEA)の「World Energy Outlook 2004」に基づく見通し。注：IEAの推定は、2004年現在の技術水準に基づいている。

出典：原子力委員会報告(2005年4月)

# 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に鑑み、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える。

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える。

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 CO<sub>2</sub> 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(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。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。

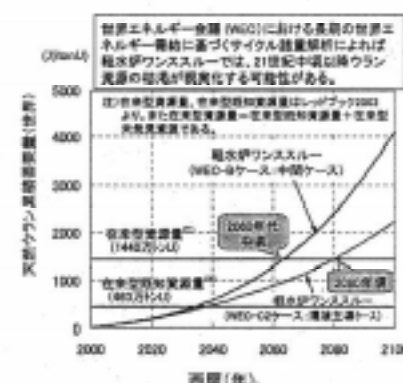
図総-1-4 各種電源のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(メタンを含む)



【注】 原子力については、電力中央研究所「ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量による原子力発電技術の評価」(2001年8月)、他電源については、電力中央研究所「ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量による発電技術の評価」(2000年3月)

出典: 電力中央研究所(2000年3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: 資源エネルギー庁「原子力発電の持続可能性に関する調査報告書」(2000年3月)

## (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「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 CO<sub>2</sub> 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（軽水炉ワンススルー）場合には、21 世紀中頃にウラン資源の枯渇が現実化する可能性がある（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、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」、「ウラン需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 (MW)	炉心燃料 (燃料/ moderator)	運転開始	状況
中国	HM-1	200MW	ループ (Na/NaCl)	1992	運転終了
	HM-11	270MW	タンク (Na/NaCl)	1992	運転終了
	HTTR	450MW	ループ (Na/NaCl)	1990	運転終了
	HM	200MW	ループ (Na/NaCl)	—	運転中
仏国	Super-Phénix	475MW	ループ (Na/NaCl)	1987	運転終了
	Phénix	250MW	タンク (Na/NaCl)	1984	運転中
	Super-Phénix	1200MW	タンク (Na/NaCl)	1986	運転終了
韓国	PMR	1.250MW	ループ (Na/NaCl)	1992	運転終了
	PMR	270MW	タンク (Na/NaCl)	1992	運転終了
韓国	HM-11	270MW	ループ (Na/NaCl)	1992	運転終了
	HM-200	21.250MW	ループ (Na/NaCl)	—	運転中
韓国	HTTR	450MW	タンク (Na/NaCl)	—	運転中
ロシア	BM-400	0.4 MW (実用炉)	ループ (Na/NaCl)	1980	運転終了
	BM-400	1.250MW	ループ (Na/NaCl)	1970	運転中
	BM-200	1200MW (計画)	ループ (Na/NaCl)	1970	運転終了
	BM-100	600MW	タンク (Na/NaCl)	1980	運転中
インド	PHWR	1.250MW	タンク (Na/NaCl)	—	運転中 (2009年運転予定)
	PHWR	1.250MW	ループ (Na/NaCl)	1990	運転中
インド	PHWR	500MW	タンク (Na/NaCl)	—	運転中 (2010年運転予定)
	PHWR	500MW	タンク (Na/NaCl)	—	運転中 (2010年運転予定)

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  
2030年頃に初号機の導入を目標  
2016～2020年頃までに研究開発を終了し、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候補対象6機関の内、3機関が高速炉

### 開発目標

- ① 持続可能性
  - ① 資源有効利用性
  - ② 環境負荷低減性
  - (廃棄物の最小化と管理)
  - ③ 核燃料循環性
- ② 経済性
  - ④ コスト (資本費、運転費、燃料費)
  - ⑤ 投資リスク
- ③ 安全性と信頼性
  - ⑥ 過渡期からの安全性と信頼性
  - ⑦ 炉心損傷防止
  - ⑧ 事故発生時の迅速な対応

### 候補対象の6機関

- ・ナトリウム冷却高速炉 (SFR)
- ・仏、米等5カ国
- ・ガス冷却高速炉 (GFR)
- ・仏、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)
- ・超臨界水冷却炉 (SCWR)
- ・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、アメリカとEU

## 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kW)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kW)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。

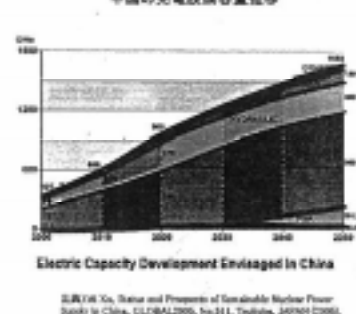
米国は2000年に「第4世代原子力システム計画(Generation IV)」を提唱し、現在、10ヶ国+1機関からなる「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)」に発展している(表2-2参照)。GIFで検討対象とされた6つの原子炉概念のうち、3つは高速炉である。また、高レベル放射性廃棄物の減容、使用済燃料の中に含まれる潜在的有害度の高いマイナーアクチノイドの分離などを目的に、「先進的核燃料サイクルイニシアチブ(AFCI)」を2003年に開始した。

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

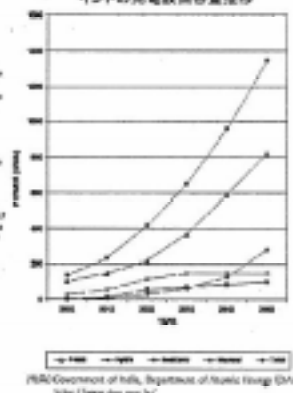
政策目標	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 本国と世界のエネルギー安全保障を促進する。</li> <li>○ クリーンなエネルギーを世界中に広め、環境の改善を図る。</li> <li>○ 核拡散リスクを低減する。</li> </ul>	
米国の国内政策の方針	
米国は、本構想の下で、放射性廃棄物を減量し、核拡散低減に貢献し、プルトニウムを単体で分離しない先進的再処理技術開発を促進するとともに、こうして取り出されたプルトニウム等を燃料とする高速炉開発を進める方針。	
GNEP構想の7つの構成要素	
<ul style="list-style-type: none"> <li>① 米国における原子力発電の拡大</li> <li>② 核拡散低減性の高いリサイクル技術の開発</li> <li>③ 燃料供給サービスの確立</li> <li>④ 先進的再処理技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⑤ 放射性廃棄物の低減</li> <li>⑥ 先進的再処理(AREX)の開発</li> <li>⑦ 経済可能な小型炉の開発</li> </ul>

図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



(参考) 日本の発電設備容量(平成14年度末現在実績)  
・総発電設備容量: 239,296 MW  
・原子力発電設備容量: 47,626 MW

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2-2-3参照)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。

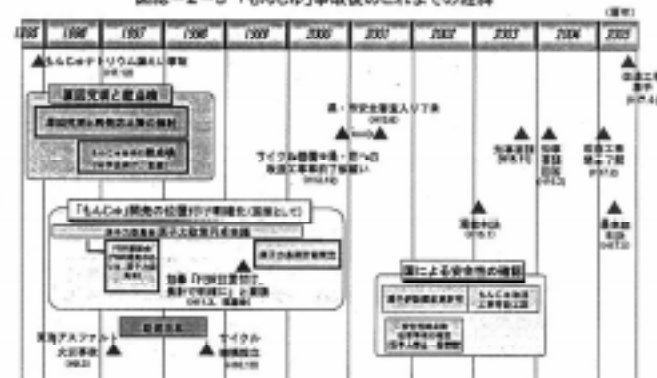
ロシアは、高速増殖炉サイクルの研究開発に積極的な国の一つである。1950年代より高速増殖炉の各種実験炉や原型炉の建設・運転を進めており、現在、実験炉「BOR-60」及び原型炉「BN-600」の運転を行うとともに、実証炉「BN-800」を建設中である。2004年には、高速増殖炉建設と核燃料サイクル開発計画の達成を基本とする「持続的な経済発展のためのエネルギー戦略 (2005～2010年)」を国会で承認している。

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2-2-1参照)。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2-2-2 我が国の高速増殖炉サイクル技術開発の経緯



図2-2-3 「もんじゅ」事故後のこれまでの経緯



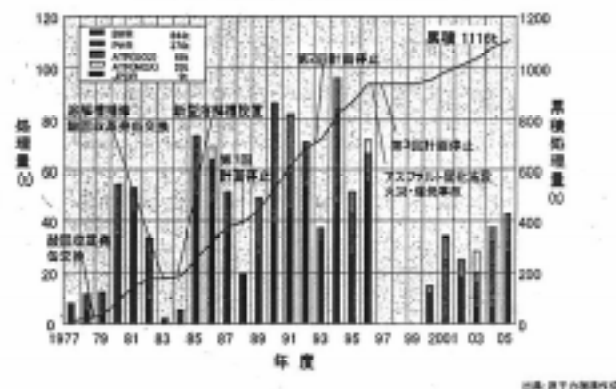
## (2) 日本的高速増殖炉サイクル研究開発

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（図総-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。ナトリウム漏液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（図総-2-3参照）。

図総-2-4 東海再処理施設の処理実績



図総-2-5 実用化戦略調査研究の経緯





### (3) 日本の技術的競争力

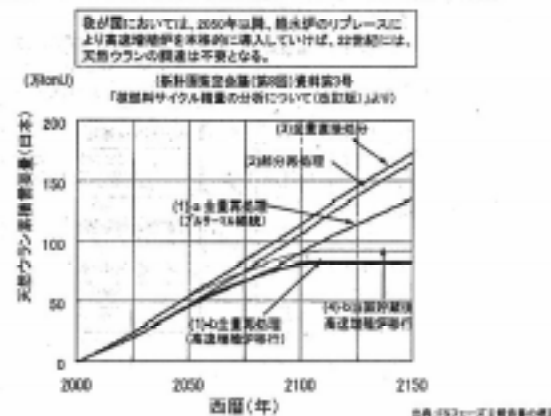
米国や仏国など高速増殖炉サイクル先進国において研究開発が停滞していた時期に、我が国も高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故により研究開発計画が大きく遅れる状況であった。しかし、以下のようにより研究開発を着実に継続し、また、軽水炉による原子力発電や軽水炉燃料再処理など、原子力の研究開発利用が着実に進められてきたことから、我が国は、現時点では高速増殖炉サイクルの研究開発において技術的な国際競争力を維持している。

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、研究開発や改造工事を進めている。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）。

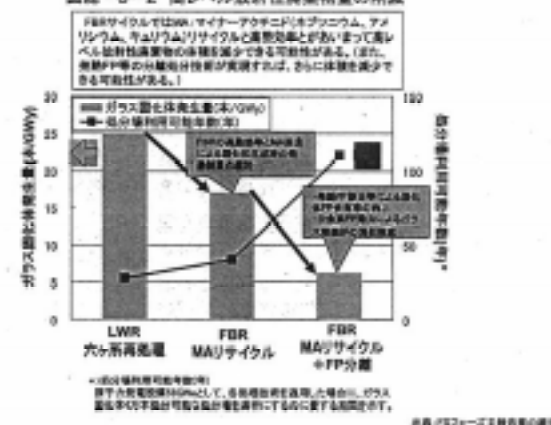
燃料サイクル施設については、原子力機構において、軽水炉燃料を再処理する東海再処理施設や高速増殖炉燃料を製造する MOX 燃料製造施設の建設運転の実績を積み重ねてきた。また、民間事業者において、現在試運転中の軽水炉燃料の商業再処理施設である六ヶ所再処理工場の建設や試運転の実績を有しており、さらに今後の運転や保守・補修維持経験の蓄積が期待される。これらの経験は、燃料サイクルの研究開発や将来の燃料サイクル施設の建設、運転、保守に反映することが可能である。

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拒絶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すること
■ 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頻度と影響	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すること
	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	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
	EO-2 財政的なリスク	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
持続可能性	SU-1 長期的・効率的な資源利用		
	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 2013 Generation IV Roadmap: Final Consulting 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らる。

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れること

### (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

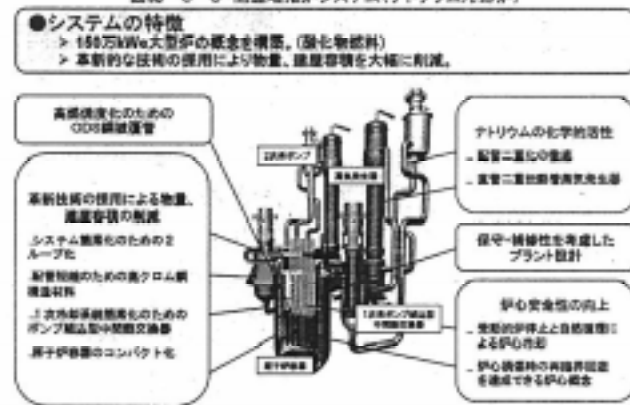
これらの開発目標の5つの分野は、PSにおいて我が国が世界に先駆けで設定したが、現在 GIF においても同様な分野を開発目標として採用している（表総-3-2参照）。

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	●炉心構造の安全確保(炉心・炉心外)の設計 ●炉心構造に由来する事故発生に対する安全設計の強化 ●炉心・炉心外構造の安全設計の強化 ●炉心・炉心外構造の安全設計の強化	●炉心構造の安全確保(炉心・炉心外)の設計 ●炉心構造に由来する事故発生に対する安全設計の強化 ●炉心・炉心外構造の安全設計の強化 ●炉心・炉心外構造の安全設計の強化
経済性	●建設費: 3000万円以下 ●運転費: 1000万円以下 ●燃料費: 1000万円以下	●建設費: 3000万円以下 ●運転費: 1000万円以下 ●燃料費: 1000万円以下
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)の設計 ●高レベル放射性廃棄物の低減(高レベル放射性廃棄物)の設計	●最終処分廃棄体量の低減(高レベル放射性廃棄物)の設計 ●高レベル放射性廃棄物の低減(高レベル放射性廃棄物)の設計
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

※：ユーザードの記載がされている項目

図総-3-3 高速増殖炉システム(ナトリウム冷却炉)



出典: PSフォーラム報告書の掲載

### (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kW（ツインプラント：150万kW×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）

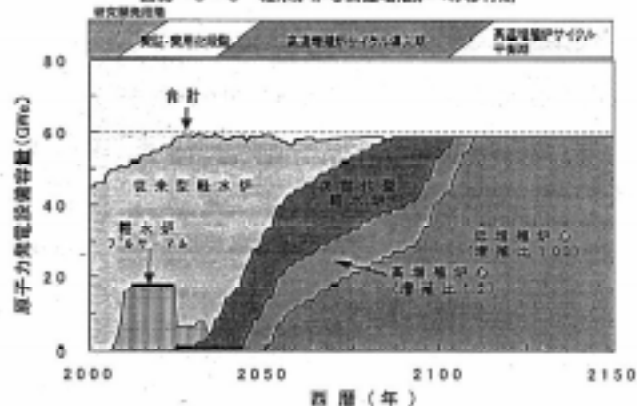
- 再処理：先進湿式法再処理
- 燃料製造：簡素化ペレット法

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	酸素化ペレット法
副概念	ナトリウム冷却炉 (金属燃料)	金属電解法	射出鋳造法

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、今後研究開発を併に進めるべきもの  
副概念：実用施設として実現性が認められるが、社会的な環境や技術的な観点から比較的に不確実性がある概念



#### (4) 2015年までの研究開発計画

高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について、2015年頃から国として検討を行うとされている。この検討の際に必要な科学的技術的な知見を提供することが、今後2015年までの研究開発の目的である。当委員会は、この目的を達成するため、2015年までの研究開発計画を次のように定めるべきと考える。

##### ① 研究開発の目標

2015年までの研究開発の目的を達成するため、具体的には、革新的な技術についてその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、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、開発目標・設計要求を満たす概念設計を得ることを目標とする。

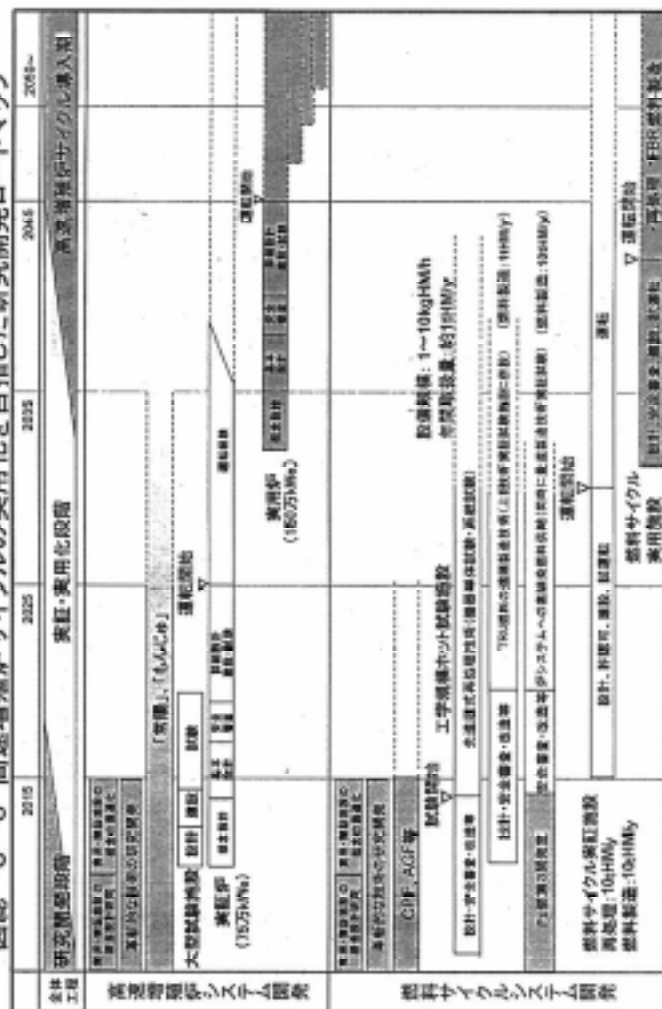
この概念設計は、2015年以降2050年頃までの期間に必要な実証炉と燃料サイクル実証施設の概念設計、及び、2050年頃からの高速増殖炉サイクル導入期と2110年頃以降の高速増殖炉サイクル平衡期の両方をにらんだ高速増殖炉サイクル実用施設の概念設計とする（表総-3-4参照）。

##### ② 研究開発課題の重点化

「主概念」すなわち、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であり、今後研究開発を特に進めるべきものは、「ナトリウム冷却高速増殖炉（MOX燃料）、先進型式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組み合わせとする（表総-3-5参照）。

「ナトリウム冷却高速増殖炉（金属燃料）、金属電解法再処理、射出鋳造法燃料製造」の組み合わせについては、実用施設として実現性が認められる概念であるが、「主概念」と比較した場合、社会的な視点や技術的な観点から不確実性がある。このため、「副概念」とし、高速増

図総-3-6 高速増殖炉サイクルの実用化を目指した研究開発ロードマップ



※本ロードマップは2015年までの研究開発計画を作成するにあたり想定したもの

殖炉サイクルの基盤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、技術的な知見を前倒しで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 年に予定している厚価において再検討されるべきである。

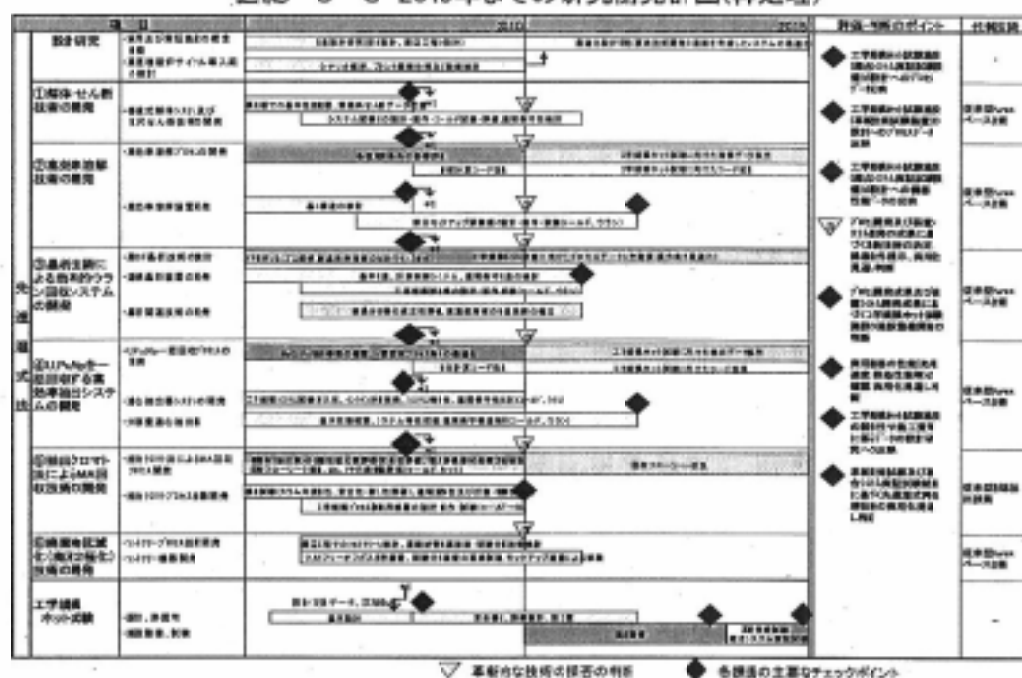
## ④ 2015年までの研究開発計画

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

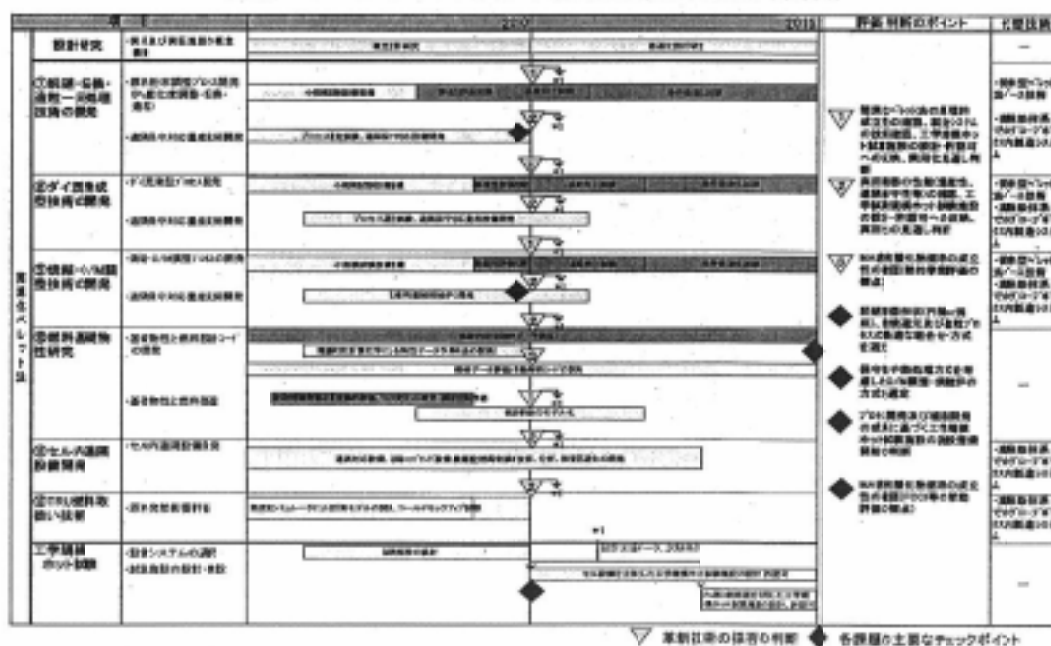
図総-3-7 2015年までの研究開発計画(ナトリウム冷却炉)

2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		2034		2035		2036		2037		2038		2039		2040		2041		2042		2043		2044		2045		2046		2047		2048		2049		2050		2051		2052		2053		2054		2055		2056		2057		2058		2059		2060		2061		2062		2063		2064		2065		2066		2067		2068		2069		2070		2071		2072		2073		2074		2075		2076		2077		2078		2079		2080		2081		2082		2083		2084		2085		2086		2087		2088		2089		2090		2091		2092		2093		2094		2095		2096		2097		2098		2099		2100		2101		2102		2103		2104		2105		2106		2107		2108		2109		2110		2111		2112		2113		2114		2115		2116		2117		2118		2119		2120		2121		2122		2123		2124		2125		2126		2127		2128		2129		2130		2131		2132		2133		2134		2135		2136		2137		2138		2139		2140		2141		2142		2143		2144		2145		2146		2147		2148		2149		2150		2151		2152		2153		2154		2155		2156		2157		2158		2159		2160		2161		2162		2163		2164		2165		2166		2167		2168		2169		2170		2171		2172		2173		2174		2175		2176		2177		2178		2179		2180		2181		2182		2183		2184		2185		2186		2187		2188		2189		2190		2191		2192		2193		2194		2195		2196		2197		2198		2199		2200		2201		2202		2203		2204		2205		2206		2207		2208		2209		2210		2211		2212		2213		2214		2215		2216		2217		2218		2219		2220		2221		2222		2223		2224		2225		2226		2227		2228		2229		2230		2231		2232		2233		2234		2235		2236		2237		2238		2239		2240		2241		2242		2243		2244		2245		2246		2247		2248		2249		2250		2251		2252		2253		2254		2255		2256		2257		2258		2259		2260		2261		2262		2263		2264		2265		2266		2267		2268		2269		2270		2271		2272		2273		2274		2275		2276		2277		2278		2279		2280		2281		2282		2283		2284		2285		2286		2287		2288		2289		2290		2291		2292		2293		2294		2295		2296		2297		2298		2299		2300		2301		2302		2303		2304		2305		2306		2307		2308		2309		2310		2311		2312		2313		2314		2315		2316		2317		2318		2319		2320		2321		2322		2323		2324		2325		2326		2327		2328		2329		2330		2331		2332		2333		2334		2335		2336		2337		2338		2339		2340		2341		2342		2343		2344		2345		2346		2347		2348		2349		2350		2351		2352		2353		2354		2355		2356		2357		2358		2359		2360		2361		2362		2363		2364		2365		2366		2367		2368		2369		2370		2371		2372		2373		2374		2375		2376		2377		2378		2379		2380		2381		2382		2383		2384		2385		2386		2387		2388		2389		2390		2391		2392		2393		2394		2395		2396		2397		2398		2399		2400		2401		2402		2403		2404		2405		2406		2407		2408		2409		2410		2411		2412		2413		2414		2415		2416		2417		2418		2419		2420		2421		2422		2423		2424		2425		2426		2427		2428		2429		2430		2431		2432		2433		2434		2435		2436		2437		2438		2439		2440		2441		2442		2443		2444		2445		2446		2447		2448		2449		2450		2451		2452		2453		2454		2455		2456		2457		2458		2459		2460		2461		2462		2463		2464		2465		2466		2467		2468		2469		2470		2471		2472		2473		2474		2475		2476		2477		2478		2479		2480		2481		2482		2483		2484		2485		2486		2487		2488		2489		2490		2491		2492		2493		2494		2495		2496		2497		2498		2499		2500	
計画年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度	実施年度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

図総-3-8 2015年までの研究開発計画(再処理)



図総-3-9 2015年までの研究開発計画(燃料製造)



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果的で効率的な活用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る。

⑤ 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、積極的に広報・広聴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

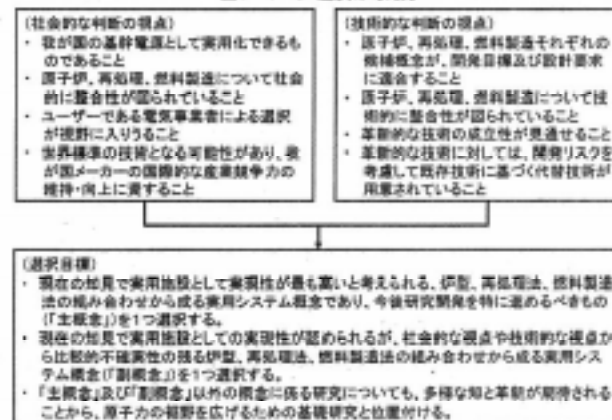
これまでに国内外で多くの高速増殖炉サイクルの概念が提案されている。このため、原子力機構と日本原電は高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るための研究開発計画を 2015 年頃に提示することを目的に、多様な炉型、再処理法、燃料製造法を対象として「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 (FS)」を実施してきた。

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、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考え、

### 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考え、

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考え、

### 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。

- 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、炉型、再処理法、燃料製造法の組み合わせから成る実用システム概念であり、今後研究開発を特に進めるべきもの（「主概念」）を1つ選択する。
- 現在の知見で実用施設として実現性が認められるが、社会的な視点や技術的な視点から比較的不確実性の残る炉型、再処理法、燃料製造法の組み合わせから成る実用システム概念（「副概念」）を1つ選択する。
- 「主概念」及び「副概念」以外の概念に係る研究についても、多様な知と革新が期待されることから、原子力の相野を広げるための基礎研究と位置付ける。

なお、「選択と集中」と「柔軟性」のバランスには、適切なタイミングでの評価の実施や資源配分への考慮が必要であり、これらの点については「各論 第二部 今後の進め方」で述べる。

図1-1-4 ナトリウム冷却高速増殖炉概略図

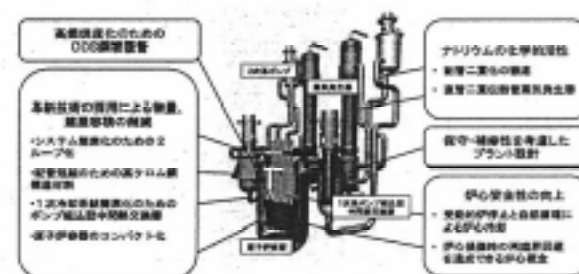
[illegible]

表1-1-1 ナトリウム冷却高速増殖炉の仕様比較

[illegible]

来源: RSCG, 一次非商业性使用



(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、コンパクトで簡素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 kW) を4基配置した直接サイクル発電方式 (150 万 kW) 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)、ドップ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

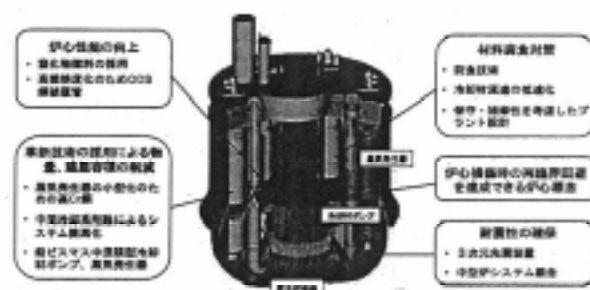


図1-1-6 Pb-Bi冷却高速増殖炉概念図

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	—	鉛ビスマス冷却高速増殖炉	ナトリウム冷却高速増殖炉
発電出力 / 熱出力	MW	750 / 1,800	750 / 1,700
熱効率	%	30	42.5
燃料サイクル期間	日	600 (180日)	600 (180日)
炉心燃料	—	Pb-Bi 合金燃料	Pb-Bi 合金燃料
炉心燃料 / 炉心熱出力	mm	750 / 1,800	1,000 / 1,700
燃料棒 (炉心熱出力)	W/M	10	10
燃料棒	—	1.10 × 1.20	1.10 × 1.20
燃料 / システム熱出力	MW	2	2
燃料棒熱出力	W	200	200
1次元炉心熱出力	W	200 / 1,800	200 / 1,700
1次元炉心熱出力	—	炉心熱出力 / システム熱出力	炉心熱出力 / システム熱出力
炉心熱出力	—	炉心熱出力 / システム熱出力	炉心熱出力 / システム熱出力
炉心熱出力	—	炉心熱出力 / システム熱出力	炉心熱出力 / システム熱出力

図1-1-6 Pb-Bi冷却高速増殖炉概念図

### 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プ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 を確保できるとしている。

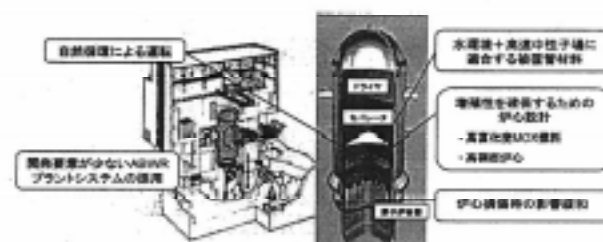
#### (c) これまで実施された要素技術開発

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フェーズ2報告書の図表

表1-1-4 水冷却高速増殖炉の仕様比較

項目	単位	水素素+高速中性子場 (JFE)	MOX+高速中性子場 (JFE)
熱出力 (熱出力)	MW	1,500 (1,500)	1,500 (1,500)
熱出力密度	MW/m <sup>2</sup>	7.2	7.2
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	5.4 (4.5)	4.5 (4.5)
炉心体積率 (%)	%	2.45	2.45
炉心径 (mm)	mm	3,600	3,600
炉心長さ (mm)	mm	900	900
炉心体積 (m <sup>3</sup> )	m <sup></sup>		

