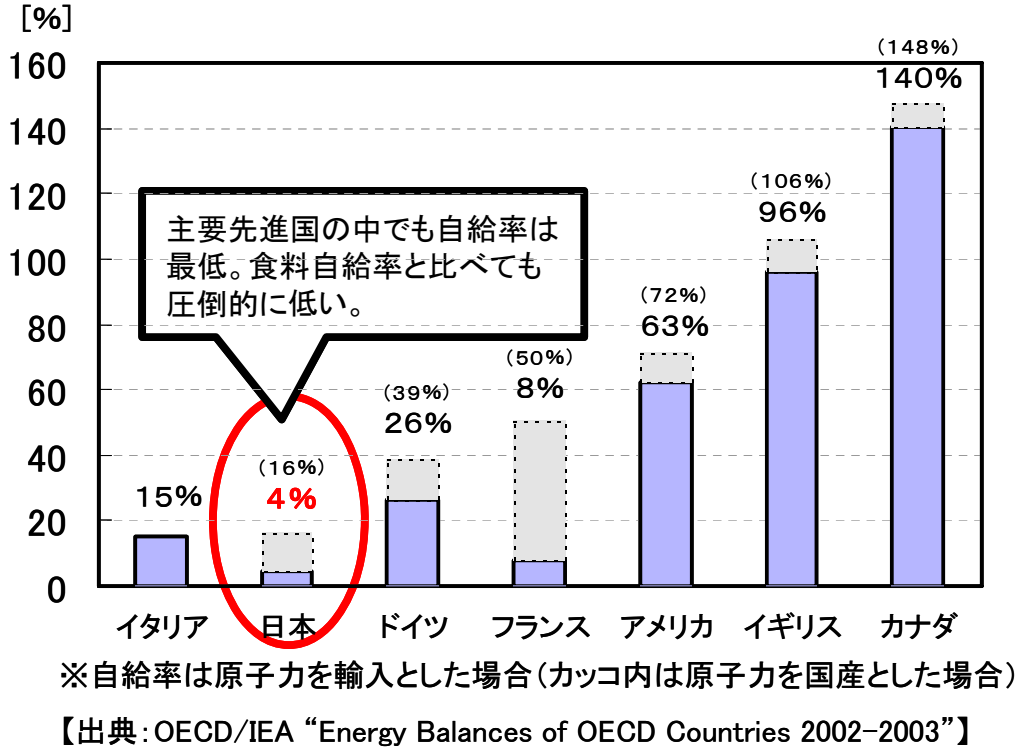


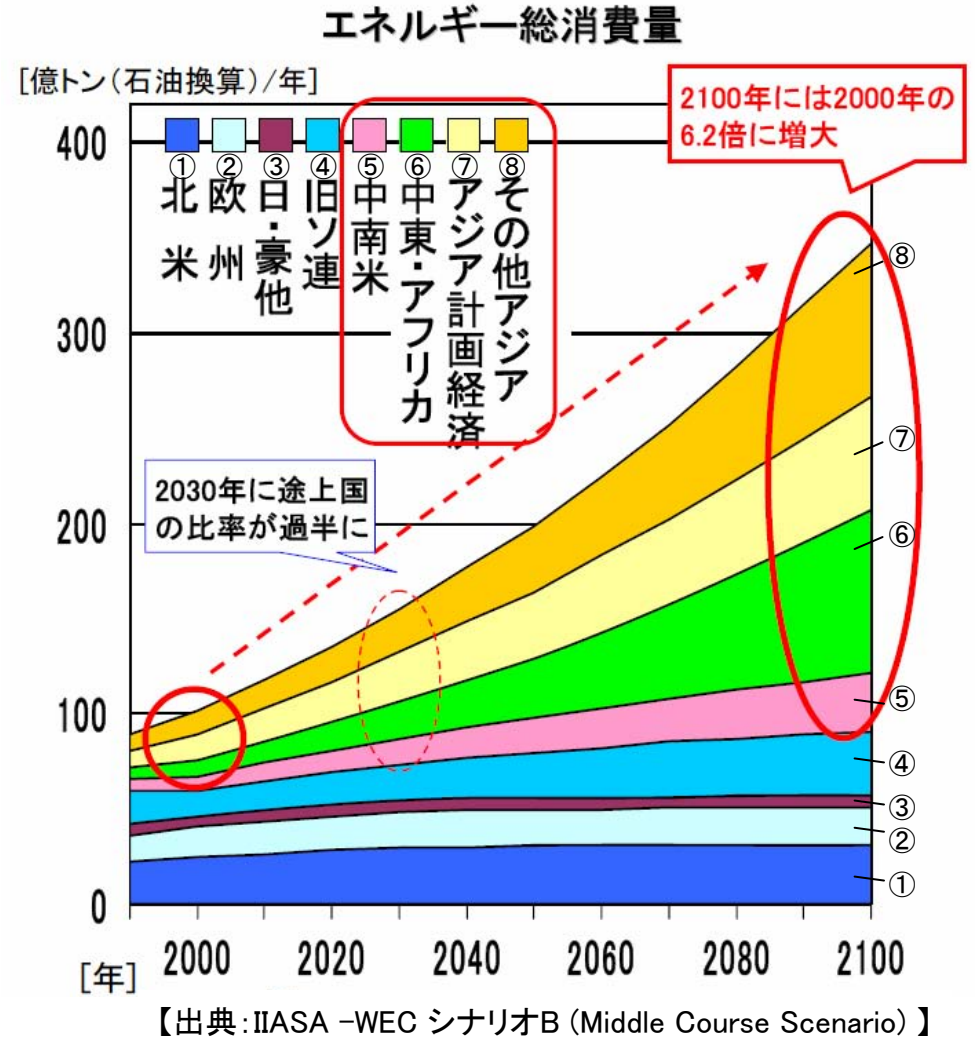
総論 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

図総-1-1 主要国のエネルギー自給率
(2003年)



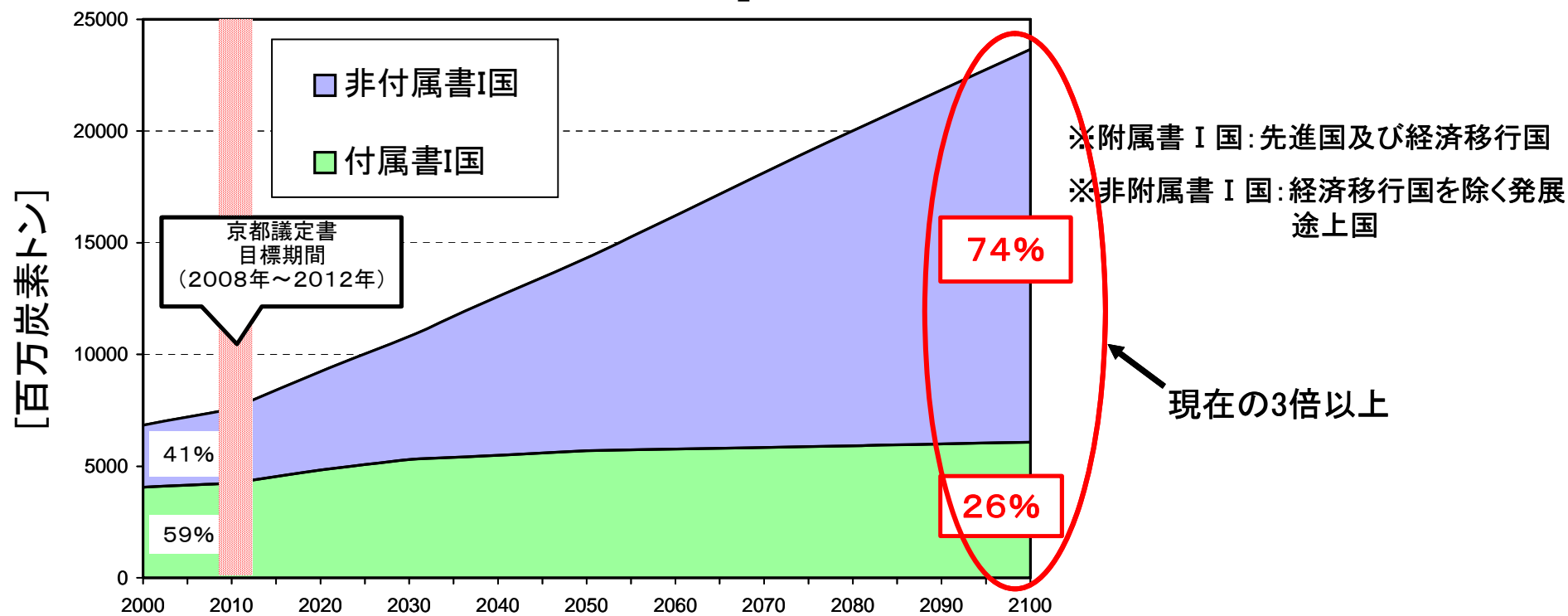
出典: 原子力部会報告書(2006年8月)

図総-1-2 エネルギー消費量の見通し



出典: 原子力部会報告書(2006年8月)

図総-1-3 CO₂排出量見通し



【出典:産業構造審議会将来枠組み検討専門委員会中間取りまとめ「気候変動に関する将来の持続可能な枠組みについて」】

総論 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

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

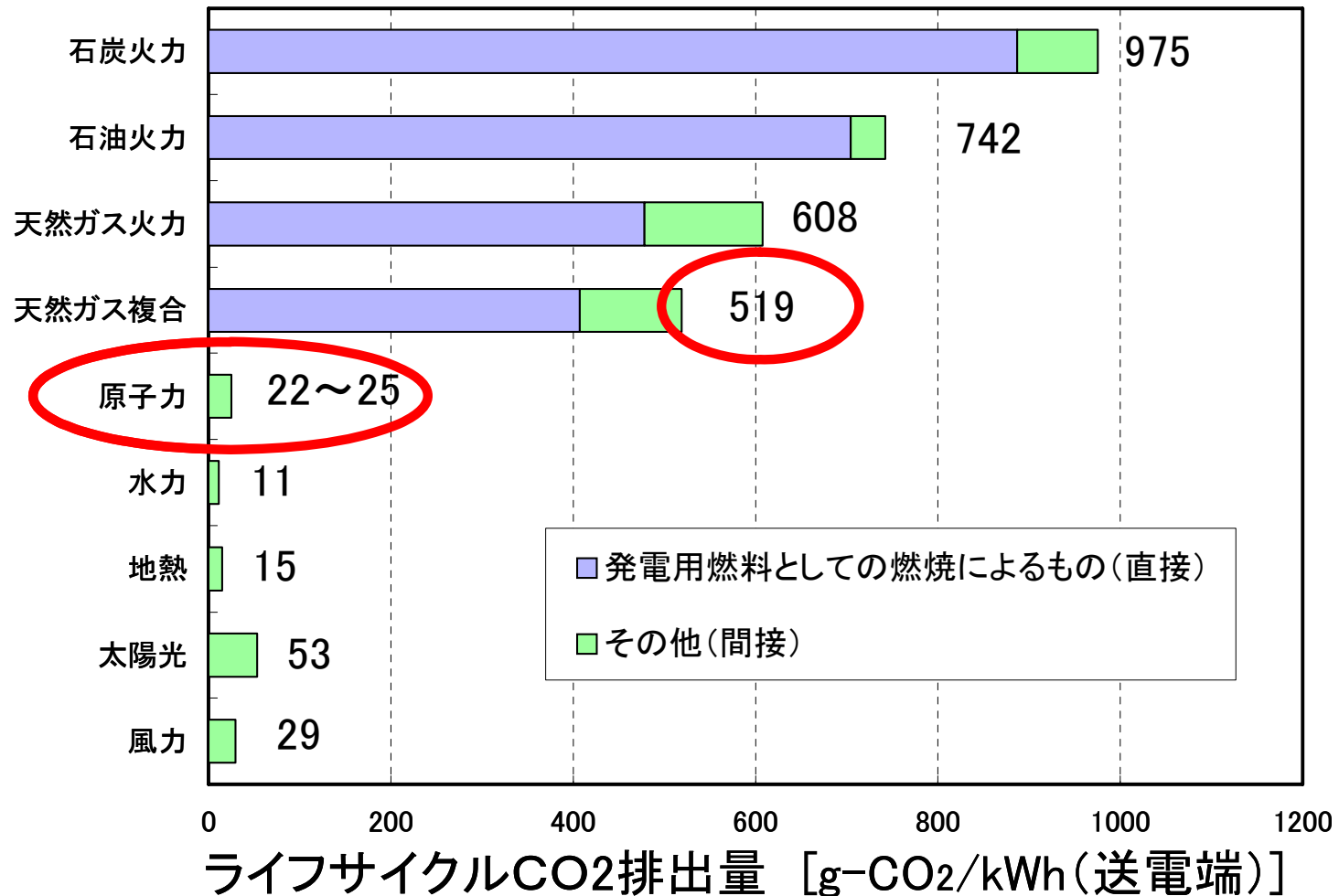
資源の乏しい我が国は、エネルギー資源をはじめとする多くの資源を海外に依存しており、エネルギー自給率は、原子力を除けばわずか 4%に過ぎず、主要先進国の中でも最も低い（図総－1－1 参照）。産業活動、医療活動などを含め、日常生活のあらゆる側面でエネルギーに依存している現実に鑑み、我が国としてエネルギーセキュリティを確保することは、喫緊の重要課題であると考えます。

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ます。

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ます。（図総－1－3 参照）

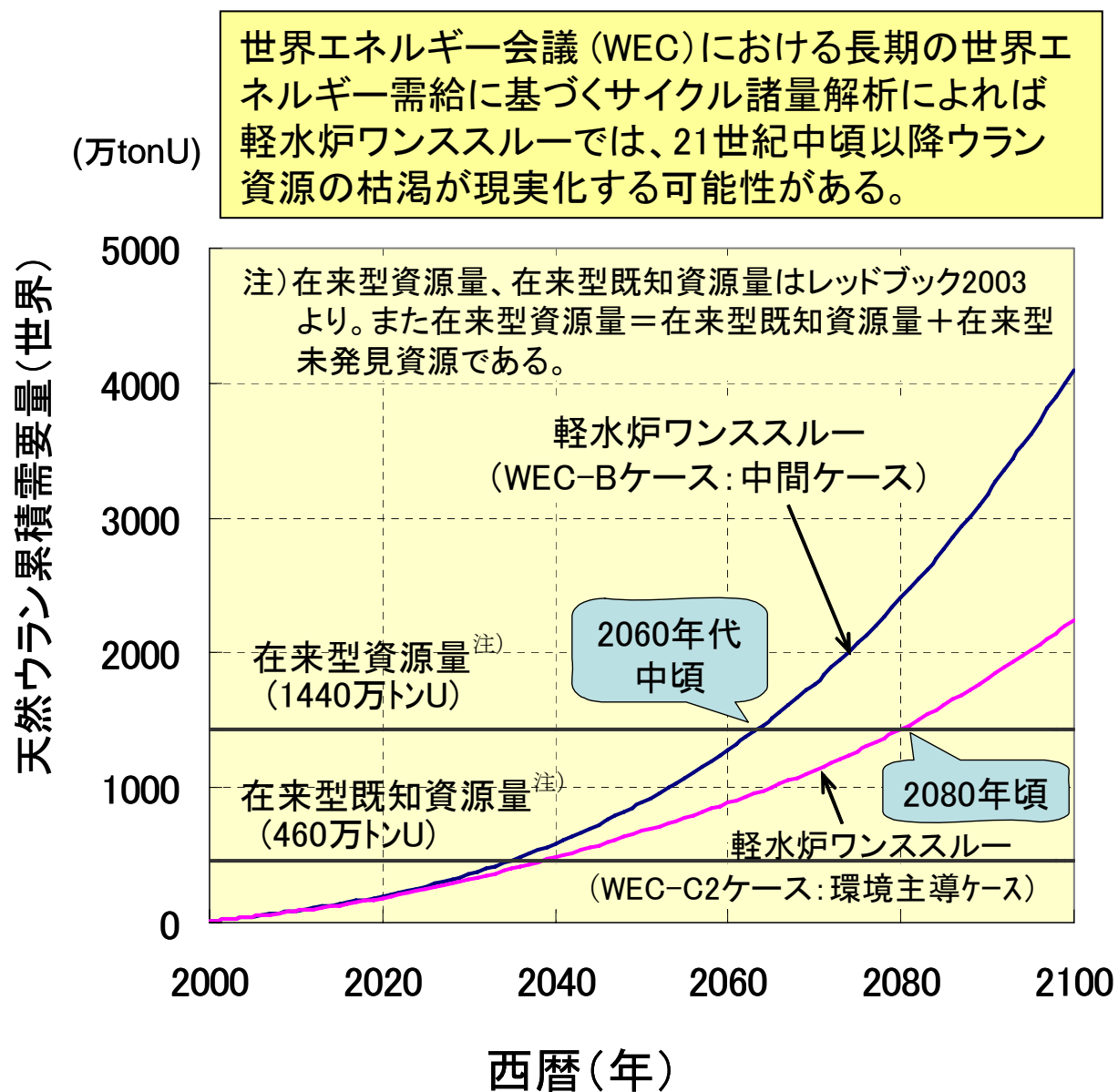
今後とも、バランスのとれたエネルギー供給構造を維持するとともに、化石燃料への依存度を減らし、地球レベルで持続的に経済社会を発展させることを目指した取り組みが必要であると考えます。省エネルギー、新エネルギーの導入を最大限に進めるとともに、原子力発電については、基幹電源としての役割が期待されている。

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)



【出典： 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8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 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



(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、原子力発電は準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、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	原子炉名	出力 (kW)	型式 (冷却材一次/二次)	運転開始	現状
米国	EBR-I	200kWe	ループ (NaK/NaK)	1951	運転終了
	EBR-II	2万kWe	タンク (Na/Na)	1964	運転終了
	FFTF	40万kWt	ループ (Na/Na)	1980	運転終了
	CRBR	38万kWe	ループ (Na/Na)	—	計画中止
仏国	Rapsodie	4万kWt	ループ (Na/Na)	1967	運転終了
	Phenix	25万kWe	タンク (Na/Na)	1974	運転中
	Super-Phenix	124万kWe	タンク (Na/Na)	1986	運転終了
英国	DFR	1.5万kWe	ループ (NaK/NaK)	1963	運転終了
	PFR	25万kWe	タンク (Na/Na)	1988	運転終了
独国	KNK-II	2万kWe	ループ (Na/Na)	1979	運転終了
	SNR-300	32.7万kWe	ループ (Na/Na)	—	建設中止
欧州	EFR	150万kWe	タンク (Na/Na)	—	設計研究終了
ロシア (旧ソ連)	BR-5(10)	0.5(0.8)万kWt	ループ (Na/NaK)	1958	運転終了
	BOR-60	1.2万kWe	ループ (Na/Na)	1970	運転中
	BN-350	13万kWe +脱塩	ループ (Na/Na)	1973	運転終了
	BN-600	60万kWe	タンク (Na/Na)	1980	運転中
	BN-800	80万kWe	タンク (Na/Na)	—	建設中
中国	CEFR	2.3万kWe	タンク (Na/Na)	—	建設中 (2008年初臨界予定)
インド	FBTR	1.3万kWe	ループ (Na/Na)	1985	運転中
	PFBR	50万kWe	タンク (Na/Na)	—	建設中 (2010完成予定)

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(GIF)

- 日仏米が中心となり、10カ国＋1機関が参画した国際共同研究開発
- 2030年頃に初号機の導入を目標
- 2015～2020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)
- 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

- 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 核拡散抵抗性

(2) 経済性

- ① コスト(資本費、運転費、燃料費)
- ② 投資リスク

(3) 安全性と信頼性

- ① 通常運転時の安全性と信頼性
- ② 炉心損傷防止
- ③ 敷地外緊急時退避不要

検討対象の6概念

- ・ナトリウム冷却高速炉(SFR)
: 日、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)
- ・熔融塩炉(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総－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(表総－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ニ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ニ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「放射性廃棄物管理研究法」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。全アクチニド元素を回収して高速炉の燃料として利用

表総－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

政策的目標

- 米国と世界のエネルギー安全保障を増進する。
- 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。
- 核拡散リスクを低減する。

米国の国内政策の方針

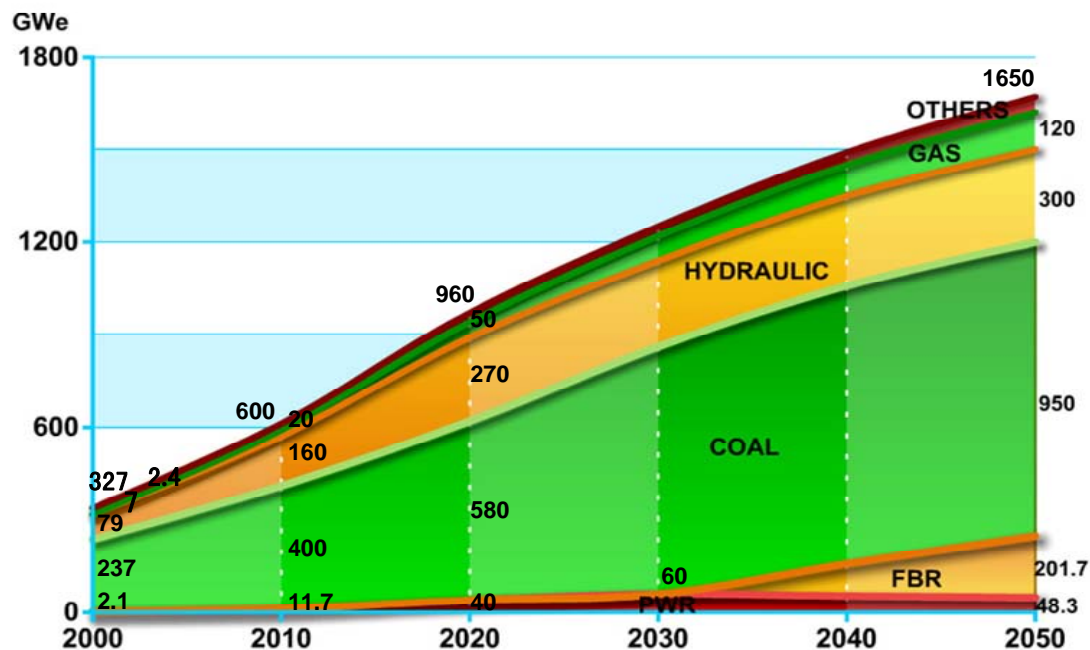
米国は、本構想の下で、放射性廃棄物を減量し、核拡散抵抗性に優れ、プルトニウムを単体で分離しない先進的再処理技術開発を促進するとともに、こうして取り出されたプルトニウム等を燃やすための高速炉開発を進める方針。

GNEP構想の7つの構成要素

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| ① 米国における原子力発電の拡大 | ② 放射性廃棄物の低減 |
| ③ 核拡散抵抗性の高いリサイクル技術の実証 | ④ 先進燃焼炉(ABR)の開発 |
| ⑤ 燃料供給サービスの確立 | ⑥ 輸出可能な小型炉の開発 |
| ⑦ 先進的保障措置技術の開発 | |

図総-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



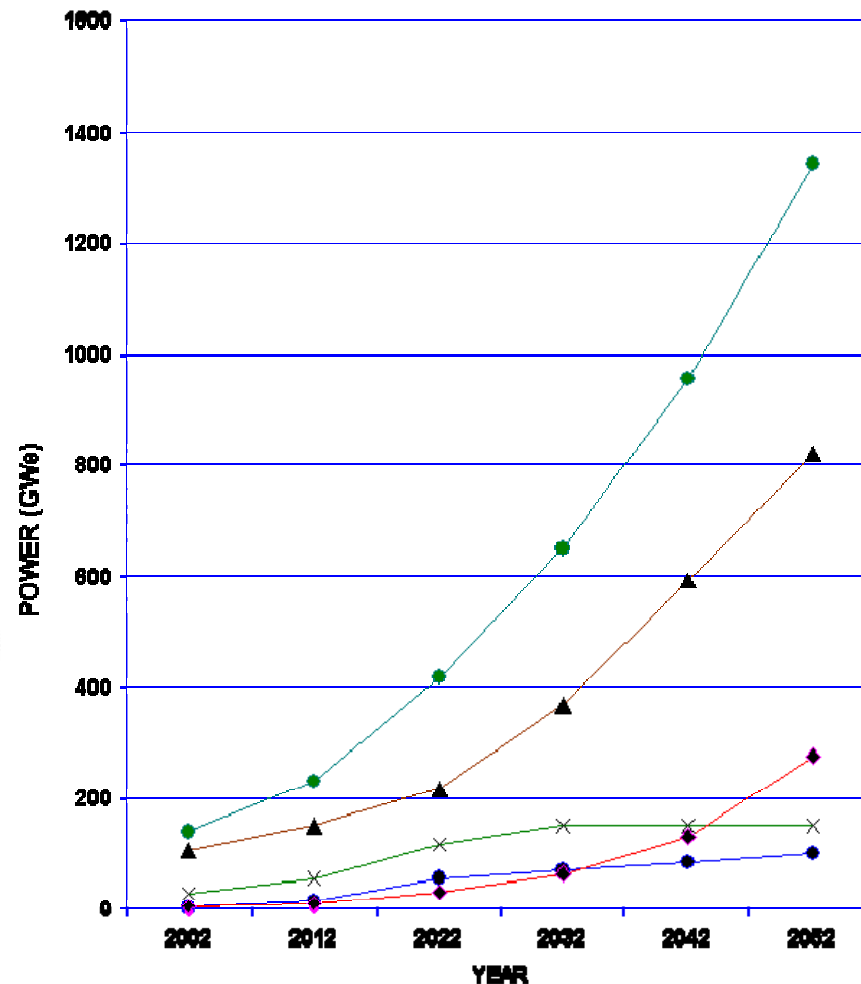
Electric Capacity Development Envisaged In China

出典) Mi Xu, Status and Prospects of Sustainable Nuclear Power Supply in China, GLOBAL2005, No.511, Tsukuba, JAPAN (2005).

(参考) 日本の発電設備容量(平成16年度末推定実績)

- ・総発電設備容量: 238GWe
- ・原子力発電設備容量: 47GWe

インドの発電設備容量推移



Legend: Fossil (triangle), Hydro (cross), NonConv (circle), Nuclear (diamond), Total (square)

出典) Government of India, Department of Atomic Energy (DAE), <http://www.dae.gov.in/>

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「CFTC」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

実験炉「常陽」



成果及び今後の目標

- 高速増殖炉としての増殖性能の確認、必要なデータの取得
- 今後、高速増殖炉用燃料の高燃焼度化等を実証

原型炉「もんじゅ」



成果及び今後の目標

- 現在、2008年頃の運転再開を目指し改造工事を実施
- 運転再開後、10年以内を目途に所期の目的(ナトリウム取扱技術の確立、発電プラントとしての信頼性の実証)を達成

再処理技術



成果及び今後の目標

- 軽水炉再処理技術の確立
- 民間再処理工場への技術移転
- 今後、再処理技術の高速増殖炉使用済燃料への適用可能性の実証、使用済燃料を用いた先進湿式再処理プロセス試験を実施

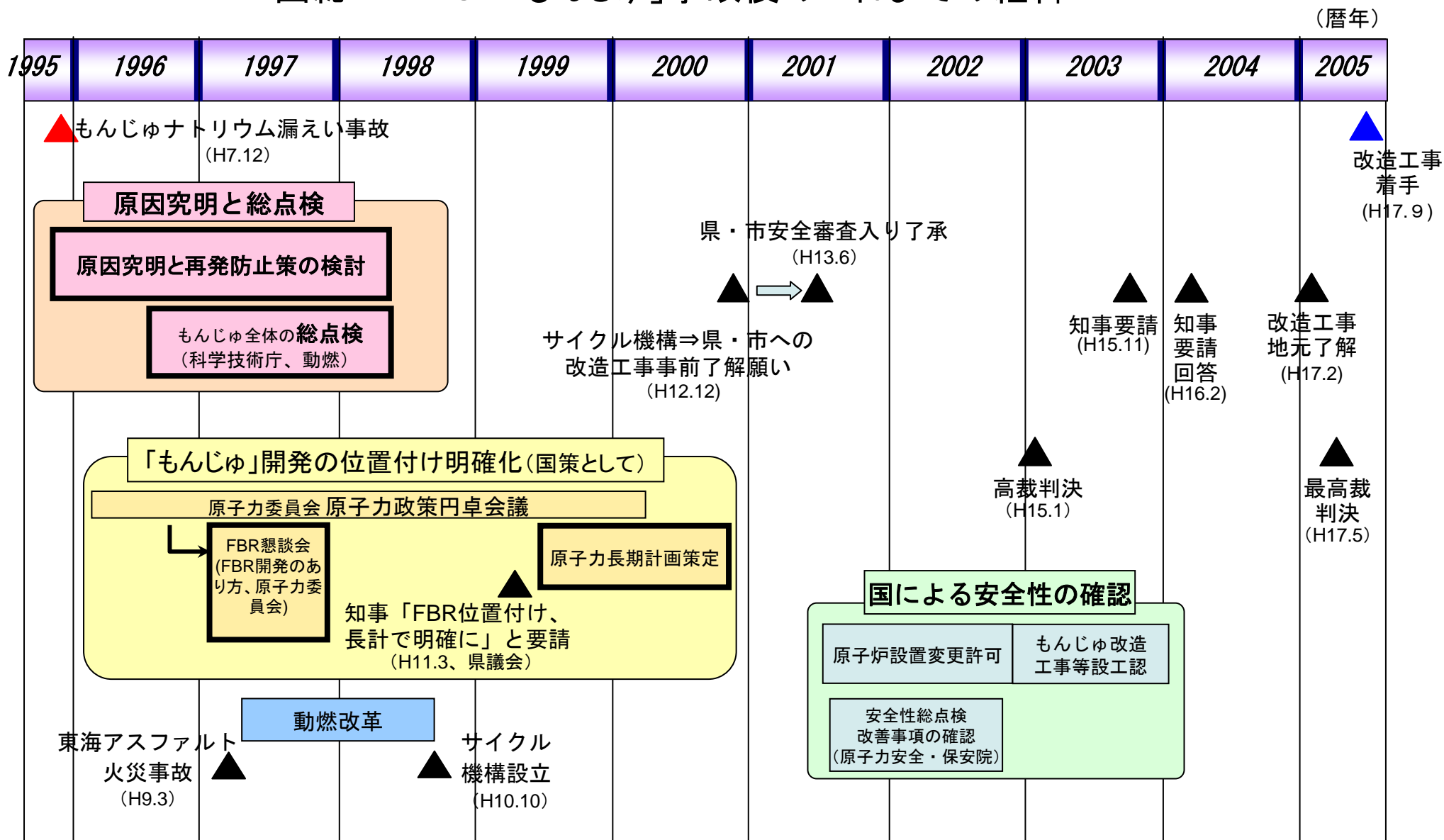
プルトニウム燃料製造



成果及び今後の目標

- MOX燃料製造技術体系の確立
- 民間MOX加工事業への技術移転
- 今後、「常陽」、「もんじゅ」の燃料製造及び経済性の高いMOX燃料製造技術の小規模実証を実施

図総-2-3 「もんじゅ」事故後のこれまでの経緯



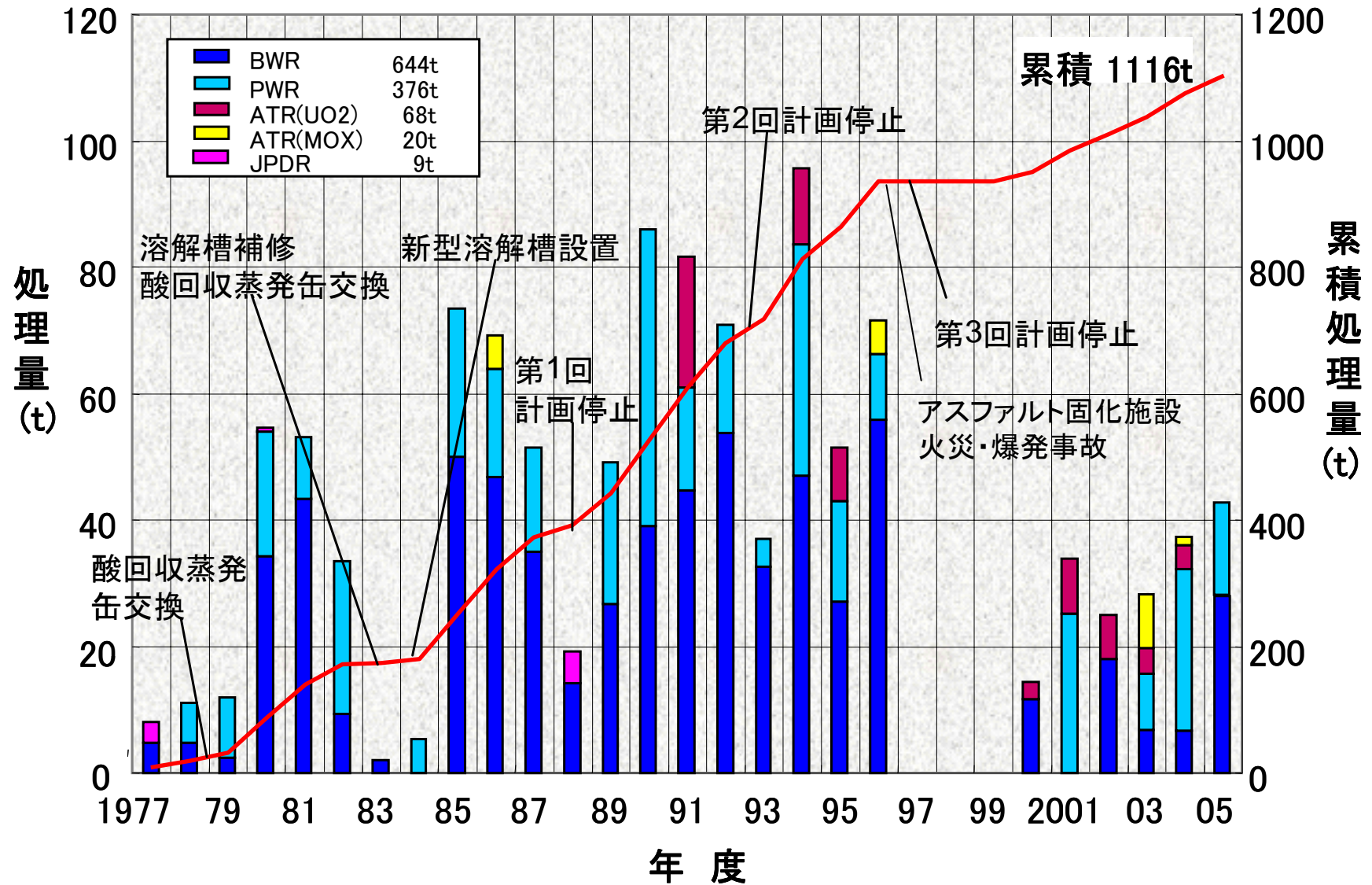
(2) 日本の高速増殖炉サイクル研究開発

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につ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。

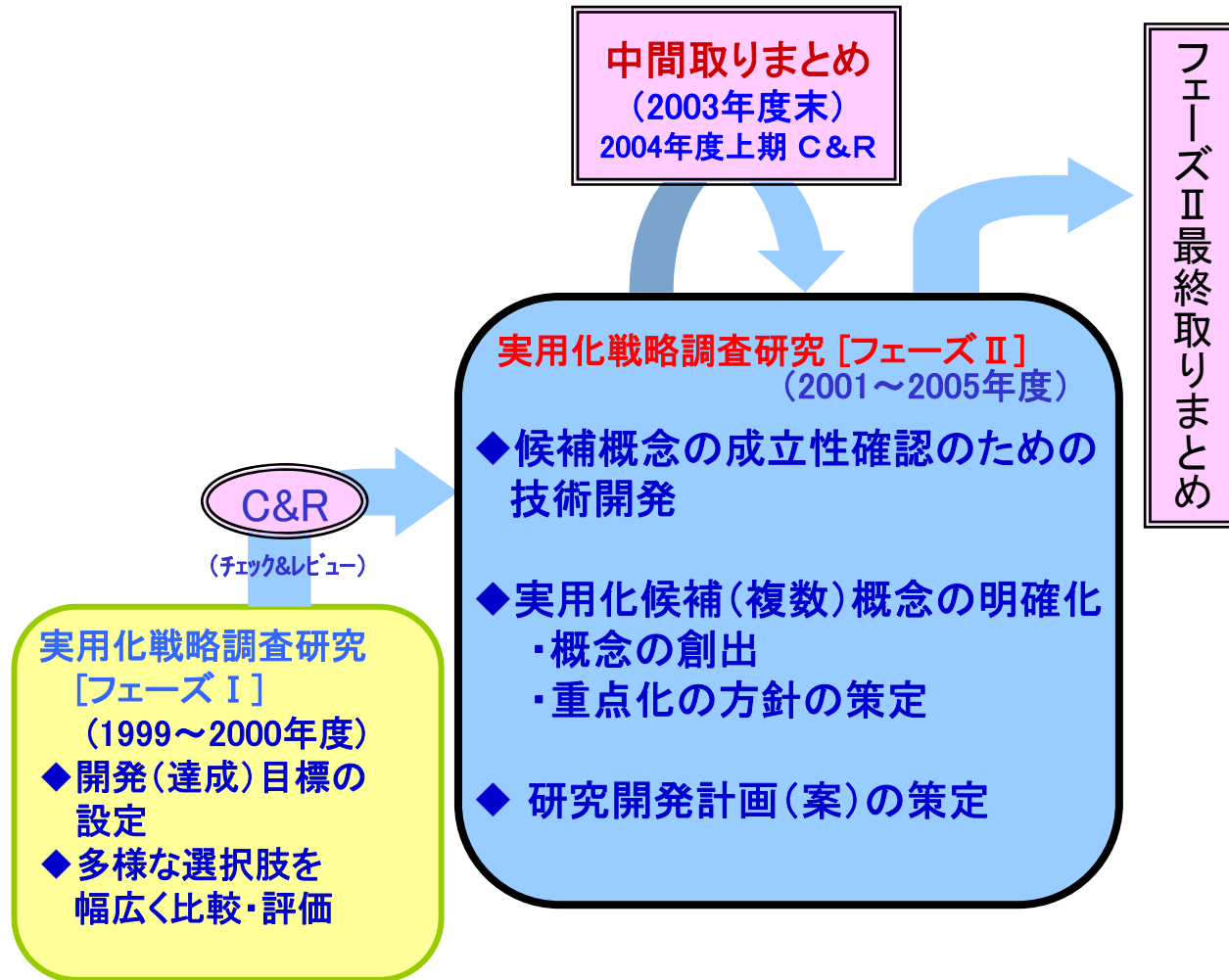
その後建設された高速増殖原型炉「もんじゅ」は1995年に初送電を行ったが、2次系主配管温度計測部からナトリウムが漏えいする事故が発生し、性能試験を中断している。ナトリウム漏洩事故は高速増殖炉研究開発を含む原子力政策全体に対する国民の不安感、不信感を助長したことから、原子力委員会は、高速増殖炉懇談会を設置し、高速増殖炉の研究開発のあり方について審議を行い、「高速増殖炉を将来の非化石エネルギー源の一つの有力な選択肢と位置付け、高速増殖炉の実用化の可能性を技術的、社会的に追求するために、その研究開発を進めることが妥当。その際、原子力関係者以外の人々を含め広く国民の意見を反映した、定期的な評価と見直し作業を行うなど、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造工事を行っており、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



出典: 原子力機構作成

図総-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（図総－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（図総－2－5参照）。

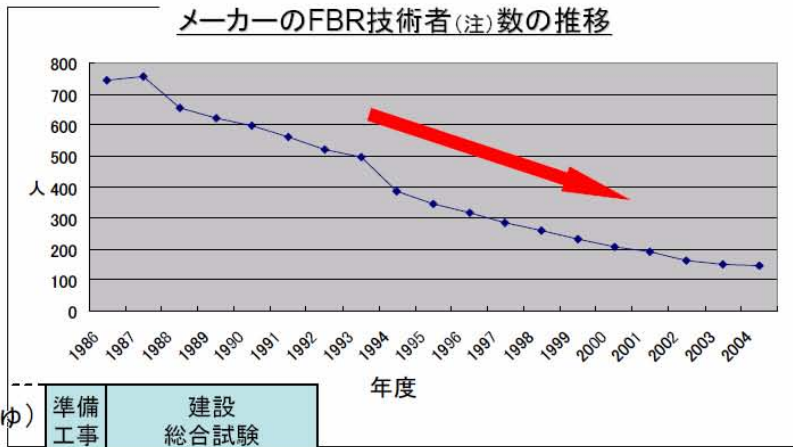
表総－２－４ GIFにおけるナトリウム冷却高速炉を対象とした研究開発項目

－ <u>設計・安全</u>	対 象：日本のJSFR（注1）、韓国のKALIMER炉（注2） 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、安全設計要求の具体化、 設計オプションの安全評価 参加国：日本、仏国、米国、韓国
－ <u>先進燃料</u> ：	対 象：酸化物、窒化物、金属燃料 項 目：MA含有燃料の製造技術、同燃料の照射試験、 革新炉心燃料材料（ODS鋼）の開発、 参加国：日本、仏国、米国、EU、韓国
－ <u>機器・BOP</u> ：	項 目：保守・補修技術の開発、革新的蒸気発生器の研究、 超臨界CO2ガスタービンの開発、破断前漏洩に関する研究 参加国：日本、仏国、米国、英国、韓国
－ <u>国際協力実証照射</u> ：	項 目：「もんじゅ」を用いたMAバンドル照射、MA原料準備、集合体製造、 照射試験、照射挙動評価 参加国：日本、仏国、米国

(注1) Japan Sodium Fast Reactorの略。実用化戦略調査研究フェーズⅡで選択したナトリウム冷却炉。

(注2) Korea Advanced Liquid Metal Reactorの略。液体金属冷却高速炉開発計画として1992年から韓国原子力委員会の承認を受けて開発がスタート。同年、電気出力150MWの基本技術開発に着手し、2002年からの概念設計フェーズ3では出力を600MWeに増加し、不核拡散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。2003年に概念設計が終了。

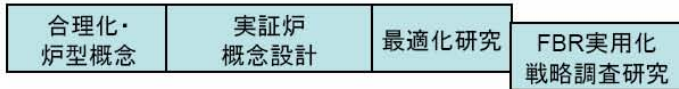
図総-2-6 高速増殖炉及び再処理関係技術者の状況



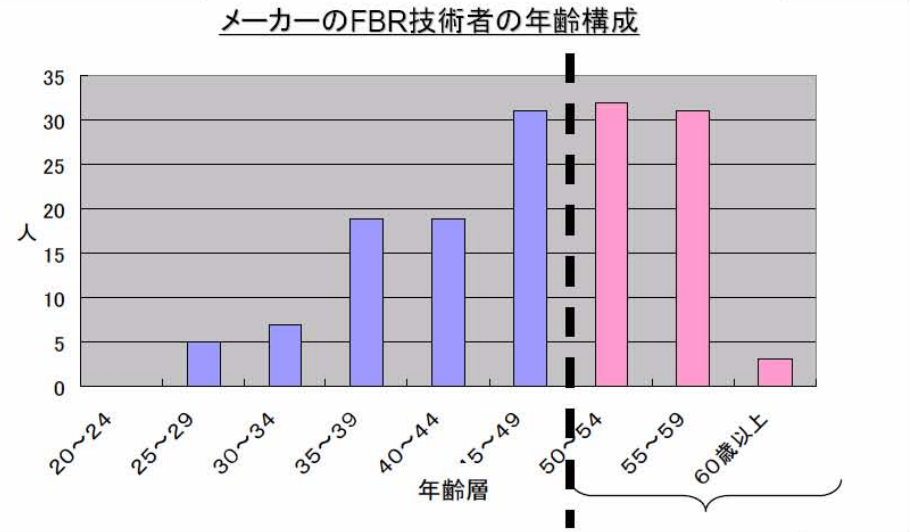
(もんじゅ)



(実証炉計画)



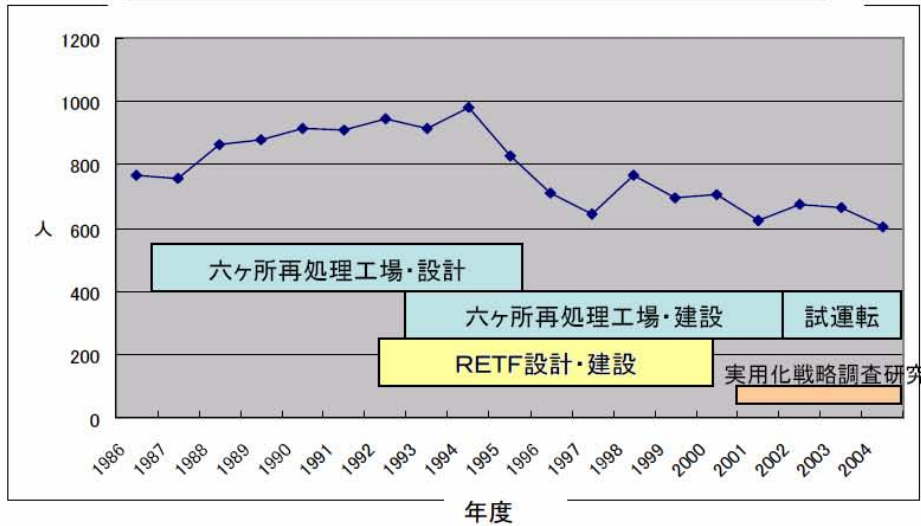
(注) 設計、製造、工程管理、品質管理、及び、研究開発部門の技術者の合計。現場作業者は含まない。



「もんじゅ」設計経験者

(出典) (社)日本電機工業会調べ

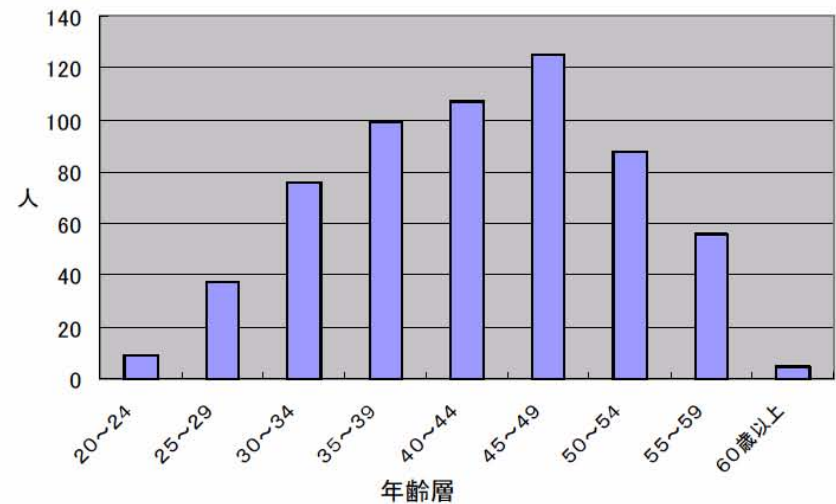
メーカーの核燃料サイクル関連技術者(注1、2)数の推移



(注1) 設計、製造、工程管理、品質管理、及び、研究開発部門の技術者の合計。現場作業者は含まない。

(注2) 核燃料サイクル関連とは、再処理プラント設備、燃料輸送用キャスク、濃縮プラント用機器、RI機器を指す。

メーカーの核燃料サイクル技術者の年齢構成



(出典) (社)日本電機工業会調べ

出典: 第6回総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会資料

(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原型炉「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)。

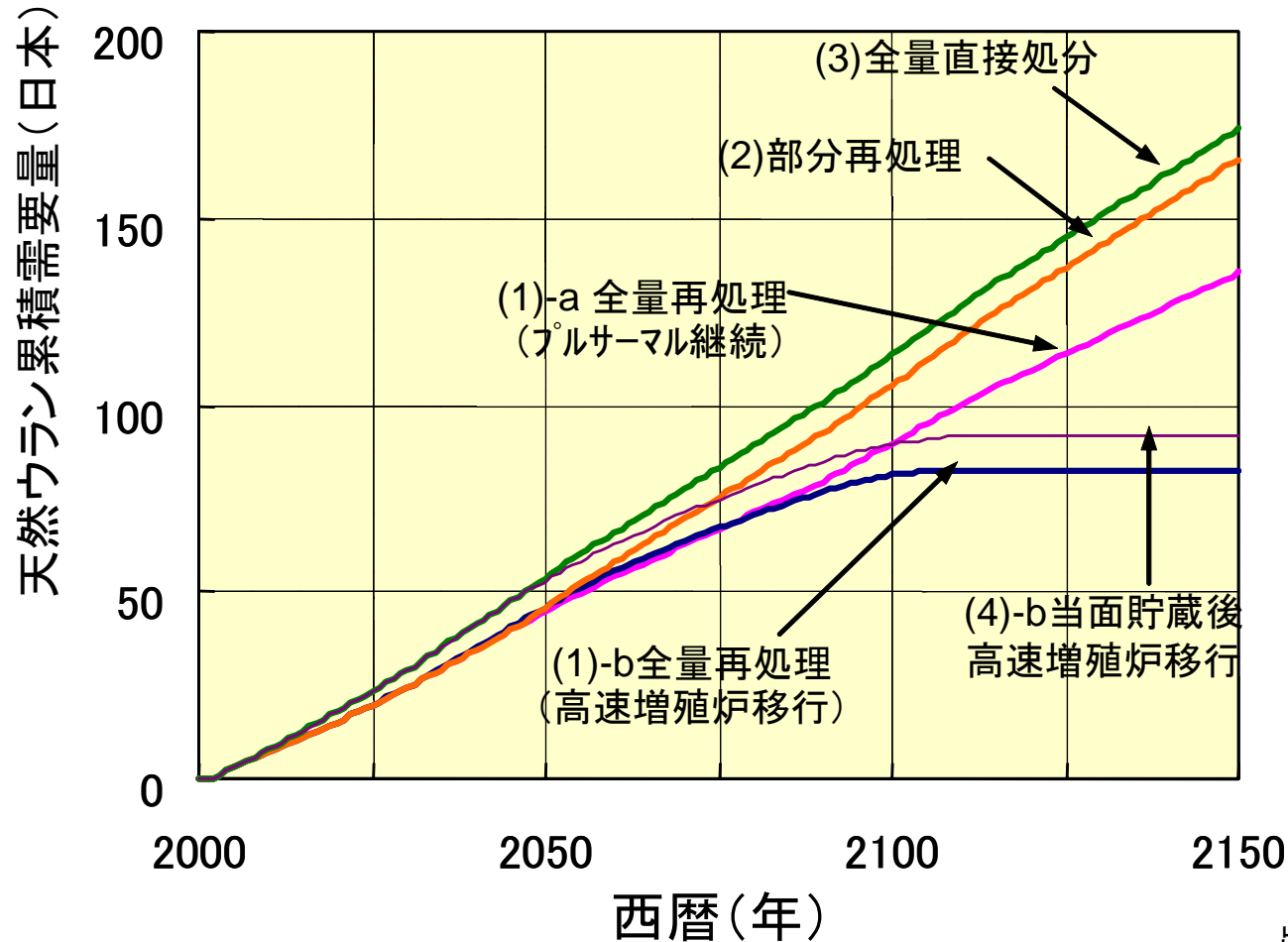
燃料サイクル施設については、原子力機構において、軽水炉燃料を再処理する [東海再処理施設](#) や高速増殖炉燃料を製造する MOX 燃料製造施設の建設運転の実績を積み重ねてきた。また、民間事業者において、現在試運転中の軽水炉燃料の商業再処理施設である六ヶ所再処理工場の建設や試運転の実績を有しており、さらに今後の運転や保守・補修維持経験の蓄積が期待される。これらの経験は、燃料サイクルの研究開発や将来の燃料サイクル施設の建設、運転、保守に反映することが可能である。

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、FS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

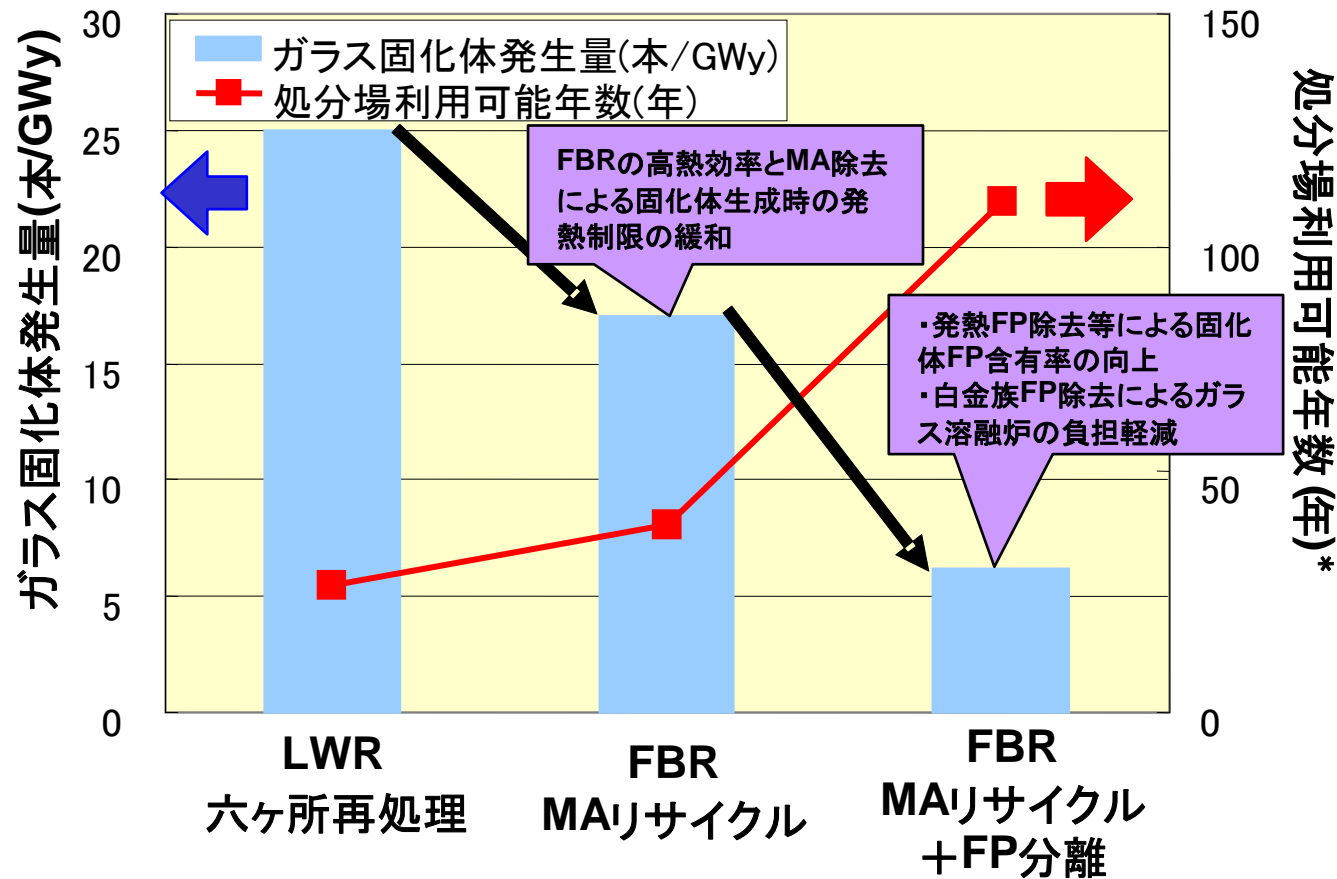
我が国においては、2050年以降、軽水炉のリプレースにより高速増殖炉を本格的に導入していけば、22世紀には、天然ウランの調達は不要となる。

(万tonU) (新計画策定会議(第8回)資料第3号
「核燃料サイクル諸量の分析について(改訂版)」より)



図総-3-2 高レベル放射性廃棄物量の削減

FBRサイクルではMA:マイナーアクチニド(ネプツニウム、アメリカシウム、キュリウム)リサイクルと高熱効率とがあいまって高レベル放射性廃棄物の体積を減少できる可能性がある。(また、発熱FP等の分離処分技術が実現すれば、さらに体積を減少できる可能性がある。)



*) 処分場利用可能年数(年)

原子力発電設備58GWeとして、各処理技術を適用した場合に、ガラス固化体4万本処分可能な処分場を満杯にするのに要する期間を示す。

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（リプレース）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kWe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）
- マイナーアクチニドを回収し燃料に混ぜて燃焼させること及び熱効率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体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、プルトニウムは常にウランやマイナーアクチニ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、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 : 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 信頼性	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
	SR-2 極めて低い炉心損傷頻度と影響		
	SR-3 サイト外緊急時対応が不要		
経済性	EC-1 ライフサイクルコスト	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原価を確保できること
	EC-2 財政的なリスク	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
持続 可能性	SU-1 長期的・効果的な資源利用	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
	SU-2 廃棄物の最小化他	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
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		

(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、FSにおいて我が国が世界に先駆けて設定したが、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

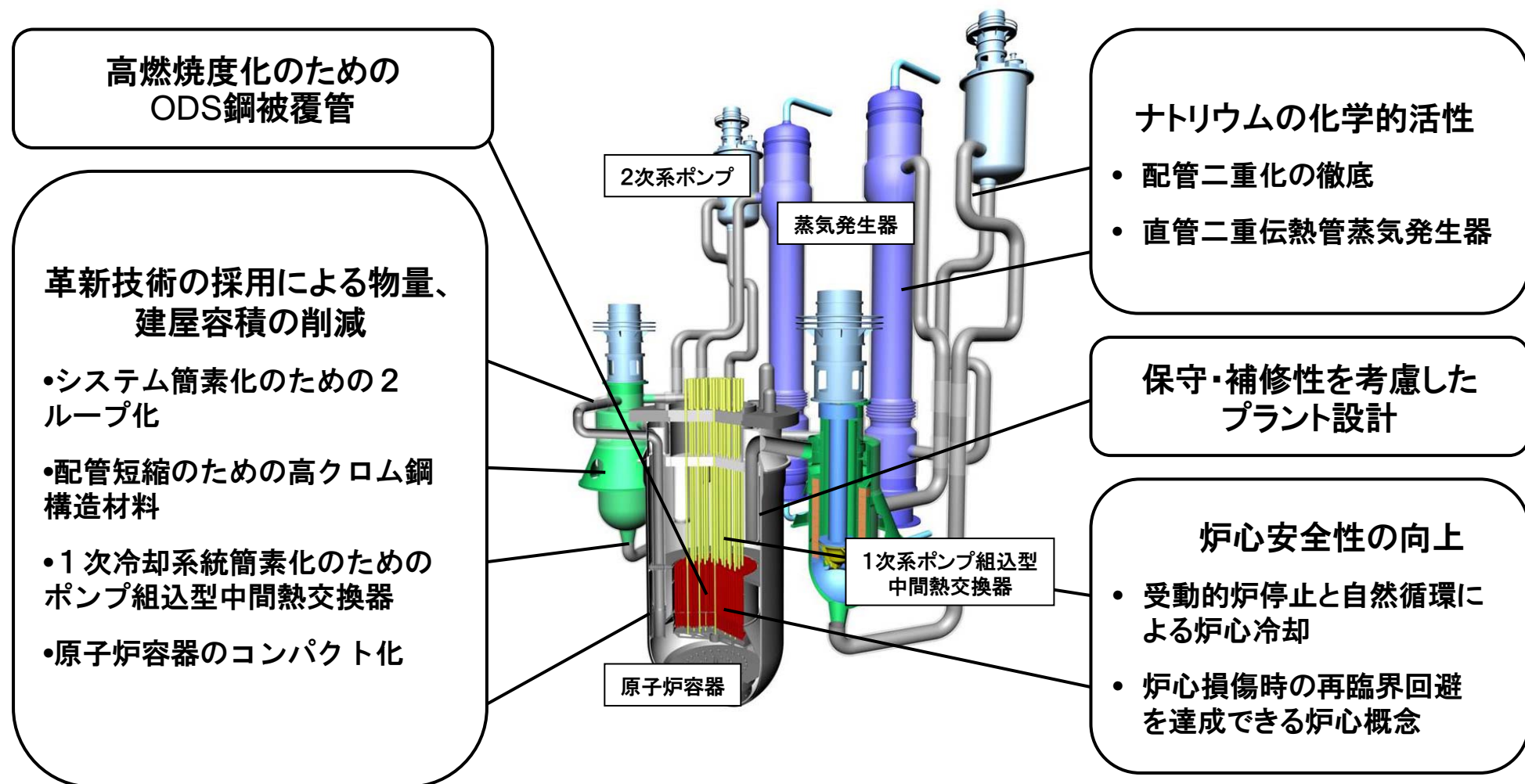
研究開発目標	高速増殖炉の設計要求	燃料サイクルの設計要求
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ● 炉心損傷の発生頻度10^{-6}/炉・年未満 ● 炉心損傷に至る代表事象に対する受動安全性の強化 あるいは事故管理方策の具体化 ● 仮想的な炉心損傷時の再臨界発生を回避し、その影響を原子炉容器あるいは格納施設内で確実に終息 	<ul style="list-style-type: none"> ● 同時代の軽水炉燃料サイクルシステムと同等以上 (異常の発生要因を極力排除、異常の拡大防止等) ● 施設内での放射性物質の大規模放出事象の発生頻度を10^{-6}/プラント・年未満に抑制し、その事象を想定しても、施設の閉じ込め能力を確保して、影響を周辺環境に及ぼさない設計
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ● 建設費:20万円/kWe以下* ● 燃料費:炉心燃料の平均燃焼度 15万MWd/t以上* ● 運転費:連続運転期間 18カ月以上*、稼働率 90%以上* 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処分費等を含む燃料サイクル費は1.1円/kWh以下* ● 再処理・燃料製造費としては 0.8円/kWh以下*
環境負荷低減性	<ul style="list-style-type: none"> ● 低除染TRU燃料 (MA含有率 5% 程度) を燃焼できること 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電量あたりの放射性廃棄物の発生量が軽水炉燃料サイクル施設と同等以下 ● UおよびTRUの廃棄物への移行率 0.1%以下
資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> ● 増殖比; 低除染TRU燃料で、増殖比1.2以上を達成できること (60年程度で軽水炉から高速増殖炉に移行できること) ● 増殖ニーズに柔軟に対応できること 	<ul style="list-style-type: none"> ● UおよびTRU回収率99%以上
核拡散抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> ● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性を制限 	<ul style="list-style-type: none"> ● 核物質防護、保障措置への対応を考慮した設計として、プルトニウムが単体の状態で存在しないこと ● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性の制限

* :ユーザーとの協議が続けられている項目

図総-3-3 高速増殖炉システム(ナトリウム冷却炉)

● システムの特徴

- 150万kWe大型炉の概念を構築。(酸化物燃料)
- 革新的な技術の採用により物量、建屋容積を大幅に削減。



(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、「FS 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。但し、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）

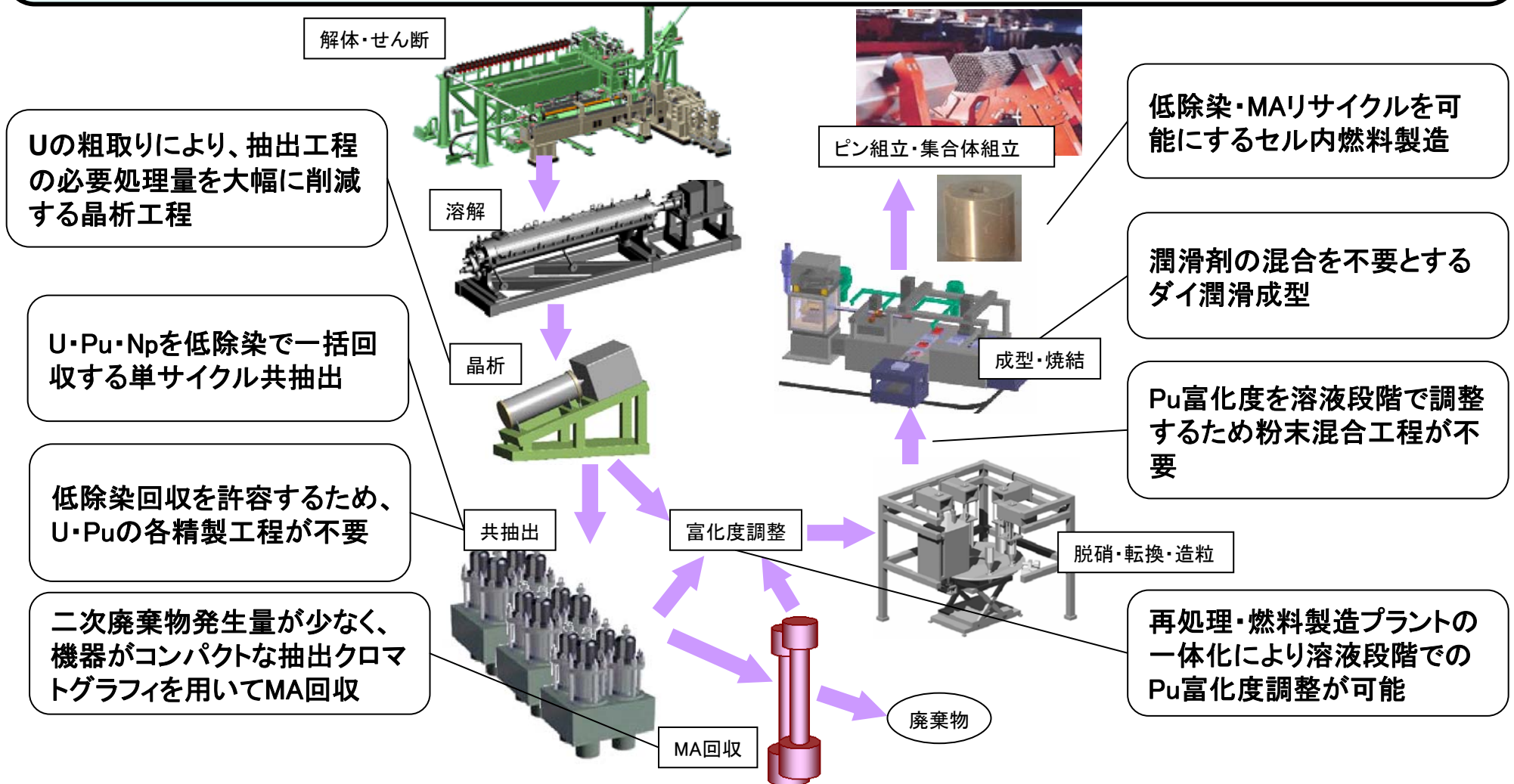
- 再処理 : 先進湿式法再処理
- 燃料製造 : 簡素化ペレット法

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

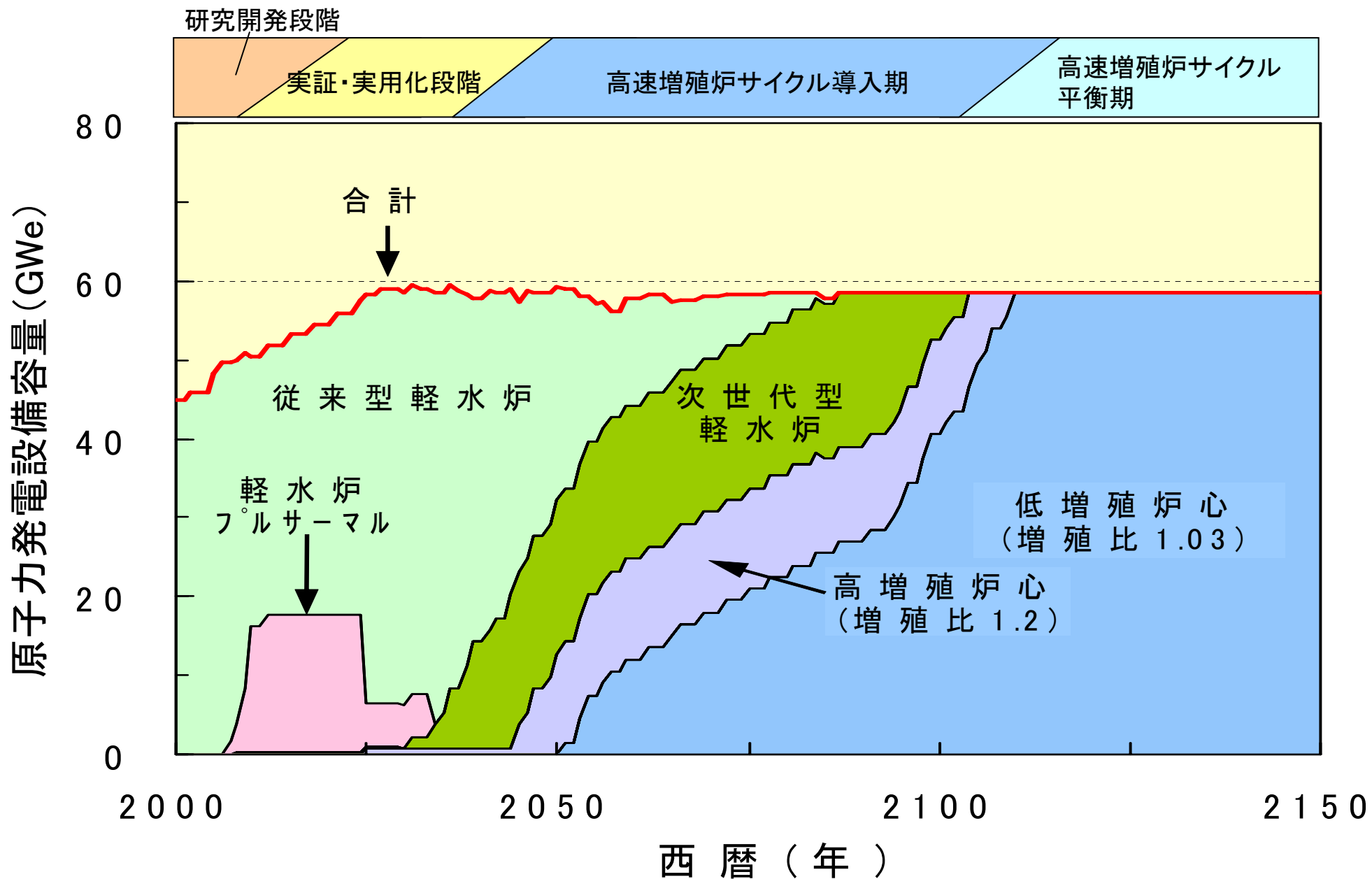
図総-3-4 燃料サイクルシステム(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

●システムの特徴

- 低除染燃料の使用が許容される高速増殖炉の特徴を生かし、回収/精製工程を合理化。
- 溶液段階でのPu富化度調整などにより、従来のペレット製造から粉末混合工程を削除。



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向上することになる。

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。但し、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プレースが完了し、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（図総-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。

表総－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） |

表総－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	簡素化ペレット法
副概念	ナトリウム冷却炉 (金属燃料)	金属電解法	射出鑄造法

主概念：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

副概念：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には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・設計要求を満足する概念設計を得ることを目標とする。

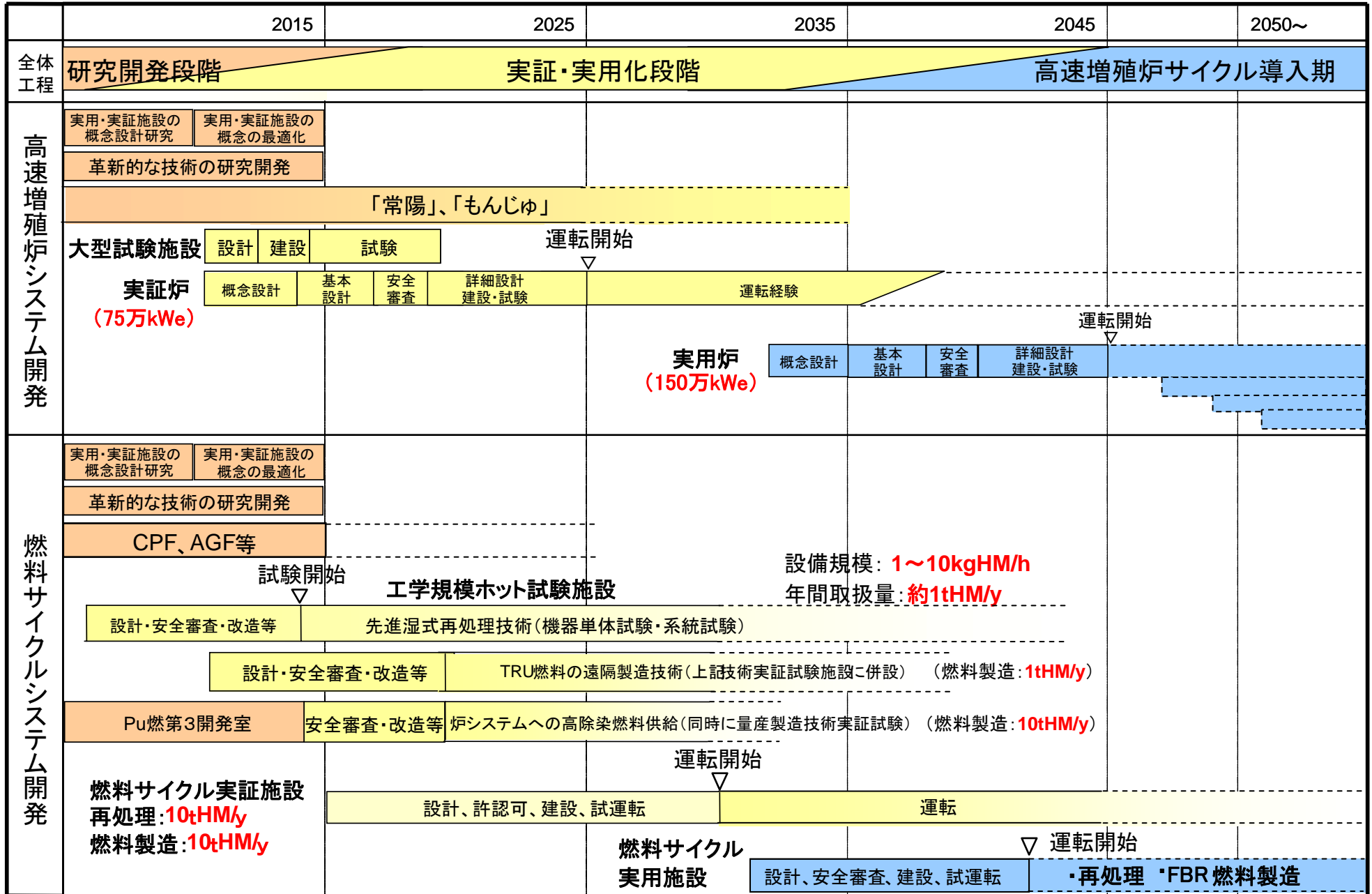
この概念設計は、2015年以降2050年頃までの期間に必要な実証炉と燃料サイクル実証施設の概念設計、及び、2050年頃からの高速増殖炉サイクル導入期と2110年頃以降の高速増殖炉サイクル平衡期の両方をにらんだ高速増殖炉サイクル実用施設の概念設計とする（表総－3－4参照）

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）、先進湿式法再処理、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、射出鑄造法燃料製造」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視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)

		2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
設計研究	実用炉の概念構築		概念設計研究		—	—
	実証炉の概念構築		予備的概念検討	概念設計研究	—	—
主概念・ナトリウム冷却炉	①配管短縮のための高クロム鋼の開発		1	2	1・クリープ疲労強度、長時間延性・靱性、溶接施工性の確認 2・長時間データの成立見通し	改良9Cr鋼
		設計用データ取得(強度、溶接性等)		長時間評価データ取得/交換補修法整備		
	②システム簡素化のための冷却系2ループ化		3	4	3・流力振動問題の成立性確認 4・高速流配管の耐エロージョン性の成立見通し 5・高速流配管の耐エロージョン性成立性の確認	ループ数増加
		流力振動試験(水) Na中エロージョン試験(エルボ等配管要素試験/浸食発生条件試験)				
	③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発		6	7	6・振動抑制対策及び寿命中の伝熱管磨耗量の確認 7・同機器の流動成立性の確認	従来型(分離配置)
		振動・伝熱管の磨耗量確認試験		入口プレナム流動試験		
	④原子炉容器のコンパクト化		8	9	8・実機熱流動条件での材料・構造の健全性確認 9・モデル試験と高温構造設計方針との整合見通し 10・高温構造設計方針の策定と設計の整合性確認	原子炉容器拡大
		切り欠き型による熱衝撃評価試験(Na, Na)		設計方針策定/適用性確認試験		
	⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発		11	12	11・燃料交換機、燃料出入機、燃料洗浄概念成立性見通し 12・燃料交換設備の操作性や冷却設備の有効性確認	—
		除熱性能、交換機性能確認		ガス中落下試験 出入機、EVST内移送機能確認		
	⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化		13	14	13・SC造格納容器成立性の見通し 14・設計基準との整合性確認	—
		SC造の技術開発		基準整備		
	⑦炉心燃料の開発[照射試験]		15	16	15・実用燃料への適用性見通し 16・設計基準整備	既存材料(低温化)
			照射試験・照射後試験			
⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化		17	18	17・漏洩検出器成立性見通し 18・2重配管の保守方法の確認	—	
			漏洩検出器開発 2重配管検査・補修技術開発			
⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発		19	20	19・2重伝熱管の製作性や大型球形管板の成立見通し 20・総合的な機能確認による成立性の確認	ヘリカルコイル型SG	
	実機長の2重伝熱管及び球形管板の製作、センサ開発		水リーク、高温ラプチャー試験、モデル構築/高度化			
⑩保守、補修性を考慮したプラント設計		21	22	21・目視センサー、体積検査機器の実用性見通し 22・同機器の分解能、処理能力と実機への適合性確認	—	
			革新的検査装置の開発(Na中目視試験装置、Na中体積試験装置)			
⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却		23	24	23・受動的炉停止装置の機能確認 24・自然循環による炉心冷却システムの成立性確認	—	
	受動的炉停止装置 要素照射(常陽)		受動的炉停止装置開発			
⑫炉心損傷時の再臨界回避技術		25	26	25・S-FAIDUSの熔融燃料排出能力の実証 26・炉心損傷影響を炉内終息できる概略見通し 27・炉心損傷影響を炉内終息できることの実証	—	
	自然循環水流動・Na流動試験		「もんじゅ」自然循環試験			
⑬建屋の3次元免震技術		28	29	28・技術成立性の見通し 29・設計基準整備	水平免震	
	S-FAIDUS有効性確認 炉内・炉外試験		炉内の安定冷却 炉内・炉外試験			
大型試験施設		要素試験・特性試験	技術確認試験		革新技術の成立性見通し	—
発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立		30	31	30・設計手法の妥当性検証 31・発電プラントとしての信頼性実証(稼働率60~70%)Na取扱技術の確立	—	
			「もんじゅ」の運転経験			

▼ 革新的な技術の決定 ◆ 各課題のマイルストーン

図総-3-8 2015年までの研究開発計画(再処理)

項目		2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術
先進 湿式 法	設計研究	概念設計研究(安全設計、周辺工程の設計) シナリオ解析、プラント概略仕様及び設備検討	最適化設計研究(要素技術開発の進展を考慮したシステムの最適化)		-
	①解体・せん断技術の開発	要素機での基本性能確認、実燃料せん断データ把握 システム試験機的设计・製作・コールド試験・評価、遠隔保守性検討		① 工学規模ホット試験施設(総合システム実証試験設備)の設計へのプロセスデータ反映	従来型Purexベース技術
	②高効率溶解技術の開発	各種溶解条件の影響評価 溶解計算コード改良 基本構造の検討 部分モックアップ試験機的设计・製作・試験(コールド、ウラン)	工学規模ホット試験に向けた溶解データ拡充 工学規模ホット試験に向けたコード拡張	② 工学規模ホット試験施設(総合システム実証試験設備)の設計への機器性能データの反映	従来型Purexベース技術
	③晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	FP同伴メカニズム解明、結晶洗浄技術の検討(ウラン、ホット) 基本構造、計測制御システム、遠隔保守構造の検討 工学規模試験機的设计・製作・試験(コールド、ウラン) 結晶分離機の成立性評価、高濃度溶液の移送技術の確立	工学規模ホット試験に向けたプロセスデータ拡充整備(操作条件最適化)	③ プロセス開発及び装置システム開発の成果に基づく革新技術の決定、操業条件提示、実用化見通し判断	従来型Purexベース技術
	④U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発	Np(U,Pu)抽出挙動の確認、一括回収プロセス条件の最適化 抽出計算コード改良 工学規模システム試験(耐久性、インライン計装技術、システム制御性、遠隔保守性検討)(コールド、ウラン) 基本性能確認、システム特性把握、遠隔保守構造検討(コールド、ウラン)	工学規模ホット試験に向けた抽出データ拡充 工学規模ホット試験に向けたコード拡張	④ プロセス開発成果及び装置システム開発成果に基づく工学規模ホット試験施設の施設整備開始の判断	従来型Purexベース技術
	⑤抽出クロマト法によるMA回収技術の開発	吸着材(抽出剤)の分離性能比較評価・安全性評価、使用済吸着材処理方法検討、回収フローシート構築、MA、FP元素挙動評価(コールド、ホット) 要素試験(カラム内流動性、安全性・耐久性評価)、遠隔操作性及び計装・制御法検討 工学規模プロセス試験用機器的设计・製作・試験(コールド→RD)	回収フローシート改良	⑤ 実用機器の性能(処理速度、除染性能等)の確認、実用化見通し判断	従来型Purexベース技術
	⑥廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発	周辺工程でのソルトフリー化検討、濃縮妨害試薬排除・硝酸分解技術検討 ソルトフリーオフガス洗浄装置、硝酸分解装置の要素試験、モックアップ装置による試験		⑥ 工学規模ホット試験施設の製作性や施工費等に係るデータの設計研究への反映	従来型Purexベース技術
工学規模ホット試験	設計、許認可 施設整備、試験	設計支援データ、試験条件 基本設計 安全審査、詳細設計、設工認	施設整備 革新技術試験、総合システム実証試験	⑦ 革新技術試験及び総合システム実証試験結果に基づく先進湿式再処理技術の実用化見通し判断	-

▼ 革新的な技術の採否の判断

◆ 各課題の主要なチェックポイント

図総-3-9 2015年までの研究開発計画(燃料製造)

項目		2010	2015	評価・判断のポイント	代替技術	
簡素化ペレット法	設計研究	概念設計研究	最適化設計研究		-	
	⑦脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発	原料粉末調整プロセス開発 (Pu富化度調整・転換・造粒) 遠隔保守対応量産技術開発	小規模試験設備整備 製造性評価試験 品質向上試験 条件最適化試験	プロセス選定試験、遠隔保守対応設備開発	1 簡素化ペレット法の原理的成立性の確認、製造システムでのグローバルボックス内製造システム 2 実用機器の性能(量産性、遠隔保守性等)の確認、工学試験規模ホット試験施設の設計・許認可への反映、実用化の見直し判断	従来型ペレット法ベース技術 高除染体系でのグローバルボックス内製造システム
	⑧ダイ潤滑成型技術の開発	ダイ潤滑型プロセス開発 遠隔保守対応量産技術開発	小規模試験設備整備 製造性評価試験 品質向上試験 条件最適化試験	プロセス選定試験、遠隔保守対応量産設備開発	2	従来型ペレット法ベース技術 高除染体系でのグローバルボックス内製造システム
	⑨焼結・O/M調整技術の開発	焼結・O/M調整プロセスの開発 遠隔保守対応量産技術開発	小規模試験設備整備 製造性評価試験 品質向上試験 条件最適化試験	量産用連続焼結炉の開発	3	従来型ペレット法ベース技術 高除染体系でのグローバルボックス内製造システム
	⑩燃料基礎物性研究	基礎物性と燃料設計コードの開発 基礎物性と燃料製造	実験的研究(物性データ測定) 理論研究(計算化学による物性データ予測手法の開発) 照射データ評価/挙動解析コードの開発	初期焼結挙動の速度論的評価、O/M変化の測定・調整技術評価 焼結挙動のモデル化	4 脱硝容器形状(円筒or浅皿)、焙焼還元及び造粒プロセスの最適な組合せ・方式を選定 5 保守性や熱処理方式を考慮したO/M調整・焼結炉の方式を選定 6 プロセス開発及び機器開発の成果に基づく工学規模ホット試験施設の施設整備開始の判断 7 MA含有酸化燃料の成立性の確認(FCCI等の挙動評価の観点)	-
	⑪セル内遠隔設備開発	セル内遠隔設備開発	遠隔対応設備、遠隔ハンドリング設備、機器監視異常診断技術、分析、検査迅速化の開発			高除染体系でのグローバルボックス内製造システム
	⑫TRU燃料取扱い技術	原料発熱影響評価	熱流動シミュレータによる計算モデルの開発、コールドモックアップ試験			高除染体系でのグローバルボックス内製造システム
	工学規模ホット試験	設備システムの選択 試験施設の設計・建設	試験施設の検討	設計支援データ、試験条件 セル設備を主体とした工学規模ホット試験施設の設計、許認可 Pu第3開発室を利用した工学規模ホット試験施設の設計、許認可	6	-

▼ 革新技術の採否の判断 ◆ 各課題の主要なチェックポイント

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ます。

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ます。

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べきであると考えます。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ます。

- 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はあるが、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術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える。

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、創造性と倦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。

⑥ 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ます。