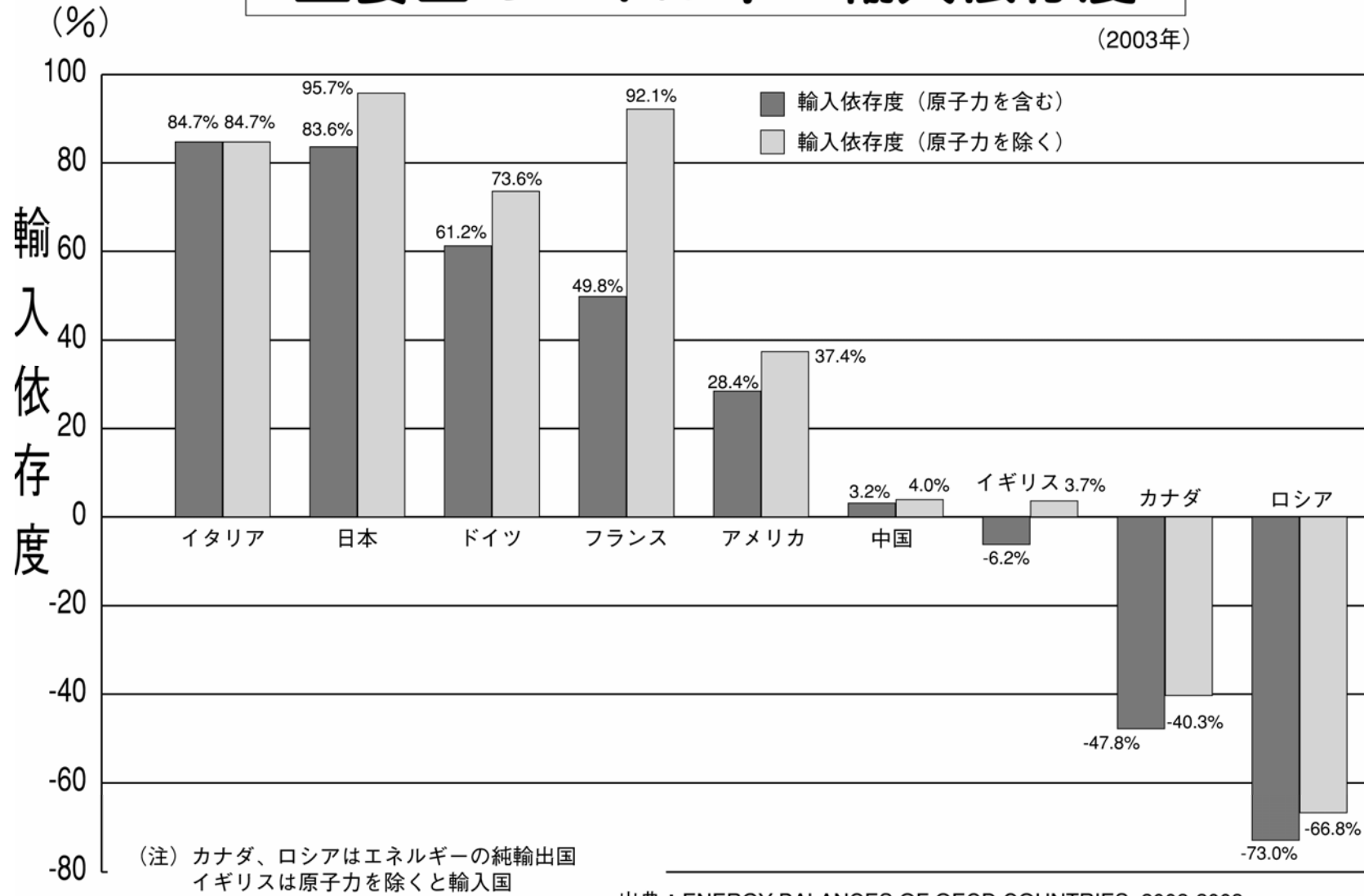


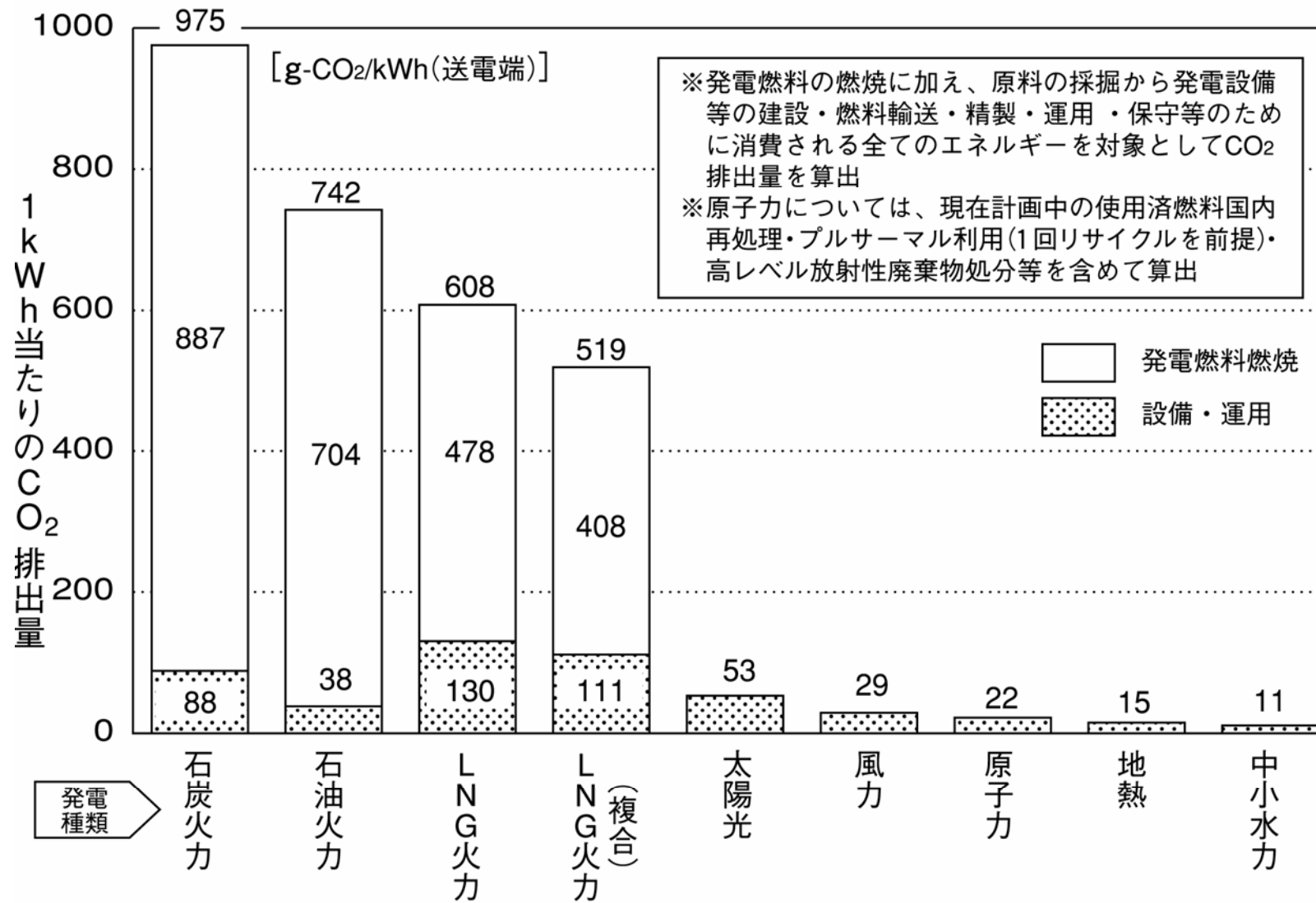
# 主要国のエネルギー輸入依存度

(2003年)



出典：ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES, 2002-2003  
ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES, 2002-2003

# 各種電源別のCO<sub>2</sub>排出量



出典：電力中央研究所報告書 他

## 第一部 高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

### 1. 高速増殖炉サイクルのビジョン

#### (1) 現状と課題

資源の乏しい我が国においては、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、主要先進国の中でも最低のレベルにあります。産業活動、医療活動などを含め、日常生活のあらゆる側面において多分に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をすることは、喫緊の重要課題です。

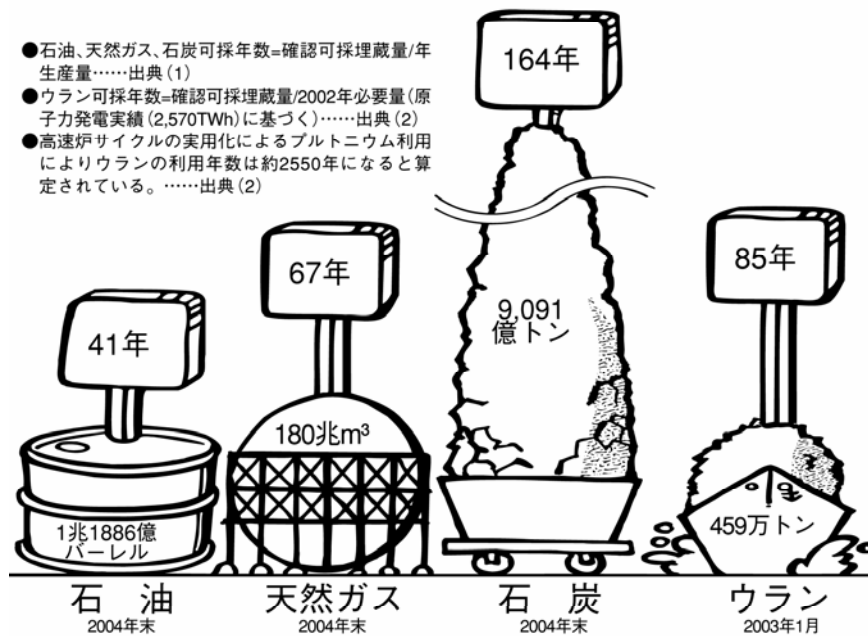
特に近年、原油価格の上昇、アジアを中心とした世界的なエネルギー需要の増大などを背景として、エネルギー情勢は世界的に逼迫してきています。2003年には1バレル当たり20ドル代であった原油価格が、2006年には70ドル代と高値で推移しており、今後は、世界的にエネルギー資源獲得のための競争が一層激しくなると予想されます。石油に大きく依存したエネルギー構造を維持していくことは、社会的、経済的に大きなリスクを抱えることになると考えられます。

また、エネルギーについては、それがもたらす利便性及びそれを失うことの不便性のみならず、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も十分に配慮しなければならないことが、世界的な共通認識となっています。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す。

このような現状認識の下、今後とも我が国がバランスのとれたエネルギー供給構造を確保するとともに、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す。この取り組みの大きな柱として、発電過程でCO<sub>2</sub>を排出せずライフサイクル全体でもCO<sub>2</sub>排出量が太陽光や風力と同レベルである原子力発電を着実に進めていくことが重要であり、我が国においては既に、総発電電力量の約3割を担う基幹電源として役割を果たしています。また、「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

## 世界のエネルギー資源確認埋蔵量

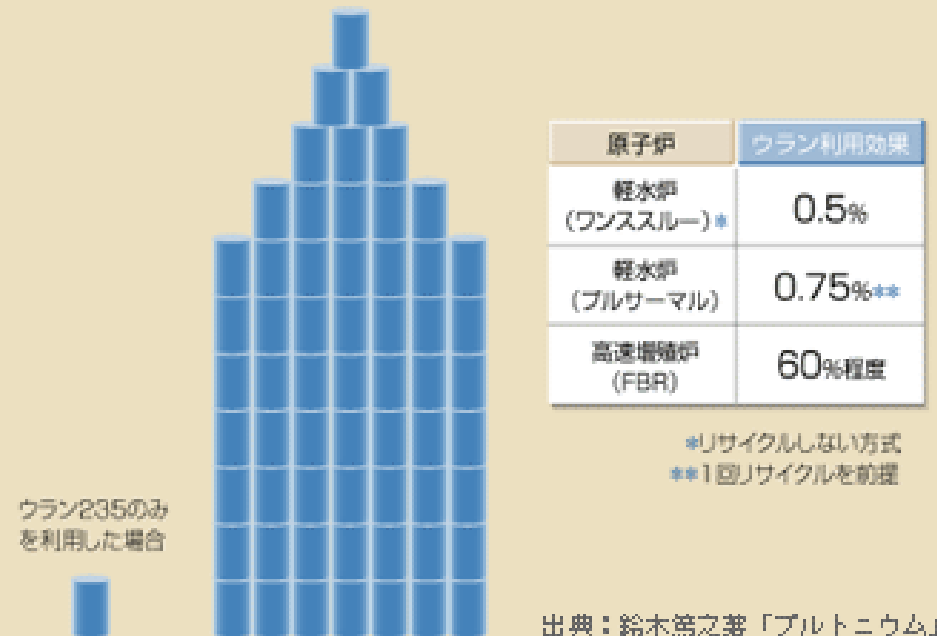
- 石油、天然ガス、石炭可採年数=確認可採埋蔵量/年生産量……出典(1)
- ウラン可採年数=確認可採埋蔵量/2002年必要量(原子力発電実績(2,570TWh)に基づく)……出典(2)
- 高速炉サイクルの実用化によるプルトニウム利用によりウランの利用年数は約2550年になると算定されている。……出典(2)



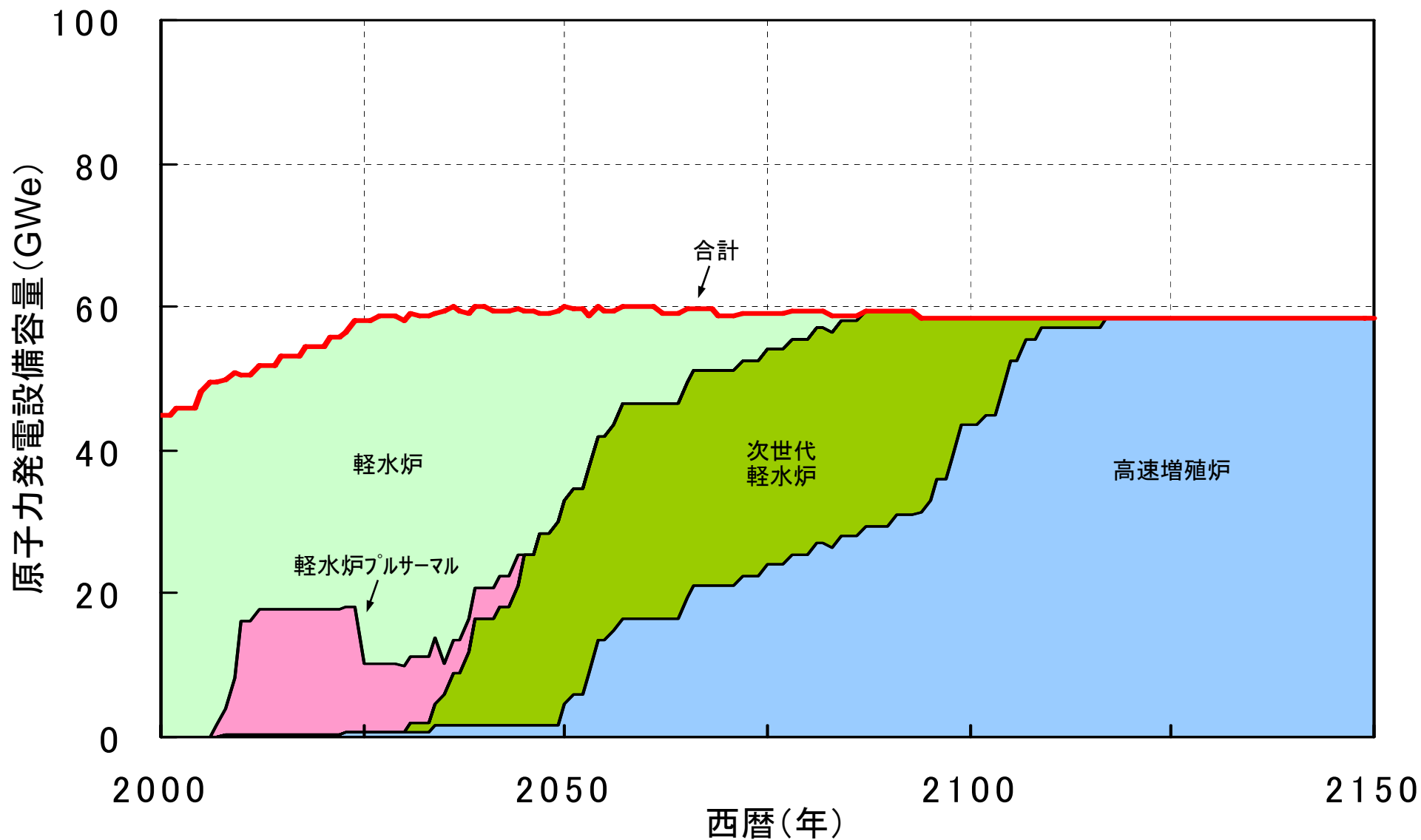
出典 (1)BP統計2005  
(2)URANIUM2003

## ウラン資源の有効利用

ウラン238をプルトニウム  
に変えて利用した場合



# 次世代軽水炉及び高速増殖炉の導入シナリオ (原子力による発電設備容量58GWeの場合)



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。」旨が、「原子力政策大綱（平成17年10月11日 原子力委員会）」でも提言されています。

## （2）高速増殖炉サイクルが担う役割

現在発電に用いられている原子炉は、世界的に見てもそのほとんどが軽水炉と呼ばれるタイプです。この軽水炉は、主にウランを原料とした核燃料を用いていますが、世界エネルギー会議（WEC）における長期の世界エネルギー需給に基づくサイクル諸量解析によれば、軽水炉での利用だけを考えると、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ます。

軽水炉からの使用済の核燃料（使用済燃料）を再処理し、使用済燃料に含まれているウランやプルトニウムを回収し、再び軽水炉で燃料として用いる「プルサーマル」を行うことにより、軽水炉の使用済燃料を再処理せずに処分する（軽水炉ワンスルー）場合より、ウラン資源を1～2割有効利用することが可能です。さらに、発電しながら使用した核燃料以上の核燃料を生み出すことが可能である高速増殖炉と高速増殖炉からの使用済燃料を再処理し、核燃料に加工する技術（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、高速増殖炉用燃料の製造の3つの技術を総称して「高速増殖炉サイクル技術」と呼びます。）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、数世紀以上にわたり原子力発電を利用することができます。

将来、高速増殖炉サイクルが実用化し、2050年頃以降、高速増殖炉が基幹電源として軽水炉に置き換わって順次建設（リプレース）され、我が国の総発電電力量の30%～40%（5800万 kW<sub>e</sub>）以上を担うこととした場合、一つのシミュレーションとして、以下のような高速増殖炉サイクルの導入シナリオ及び導入効果を描くことが可能です。

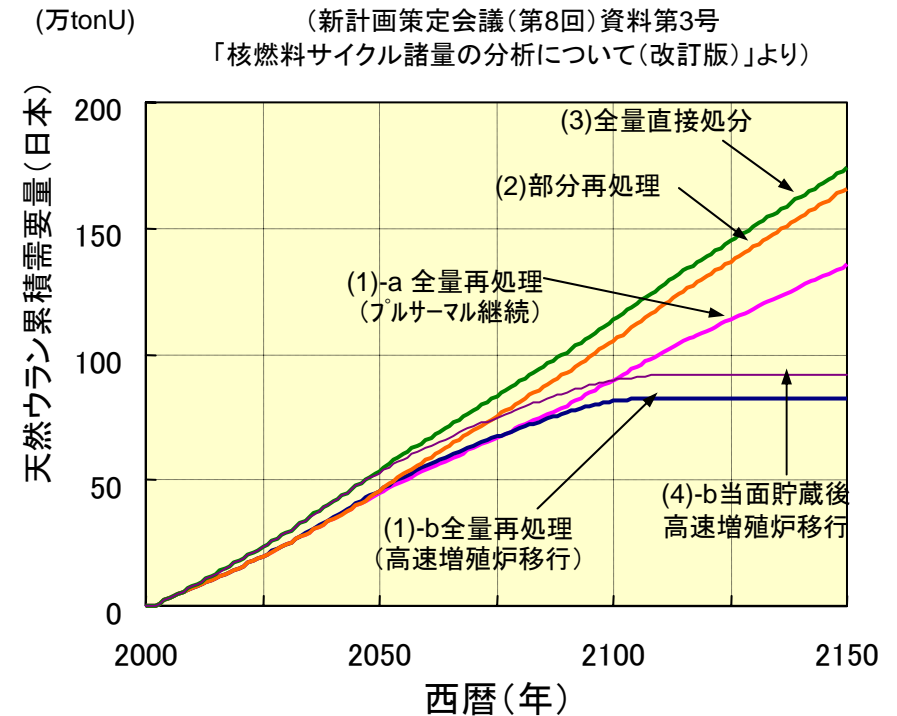
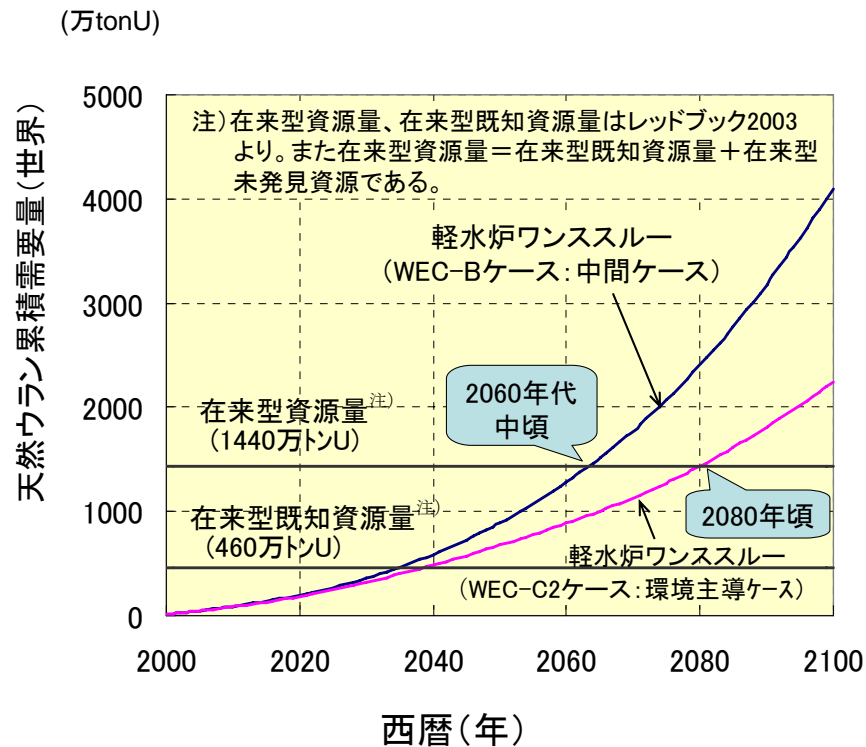
- 2100年過ぎには、発電に必要な核燃料を海外から輸入不要となる（原子力発電におけるエネルギー自給の確立）

# 我が国における高速増殖炉サイクル導入の意義(1/2)

## ー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ー

世界エネルギー会議 (WEC)における長期の世界エネルギー需給に基づくサイクル諸量解析によれば、軽水炉ワンスルーでは、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。

我が国においては、2050年以降、軽水炉のリプレイ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。

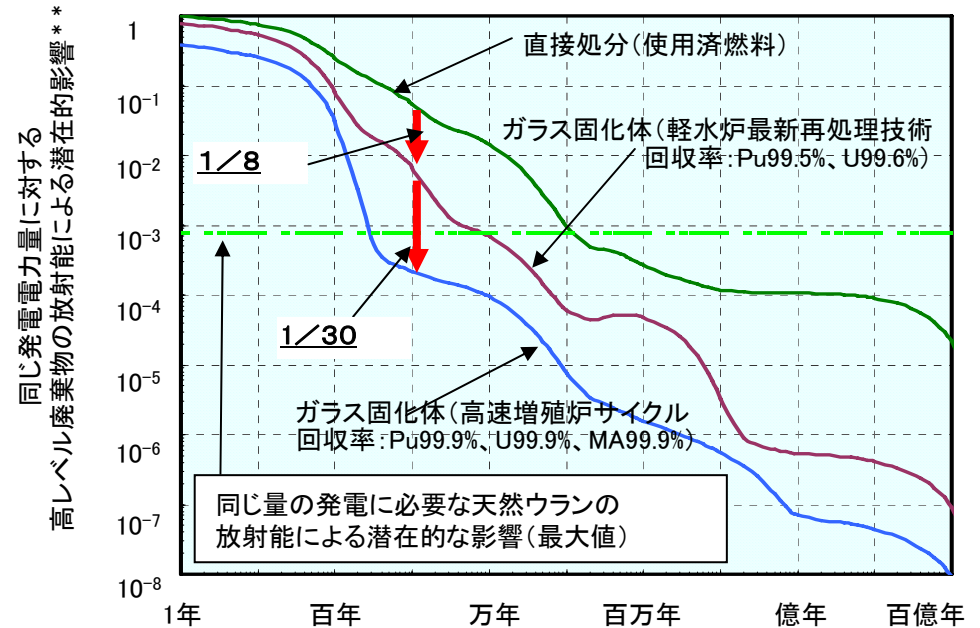
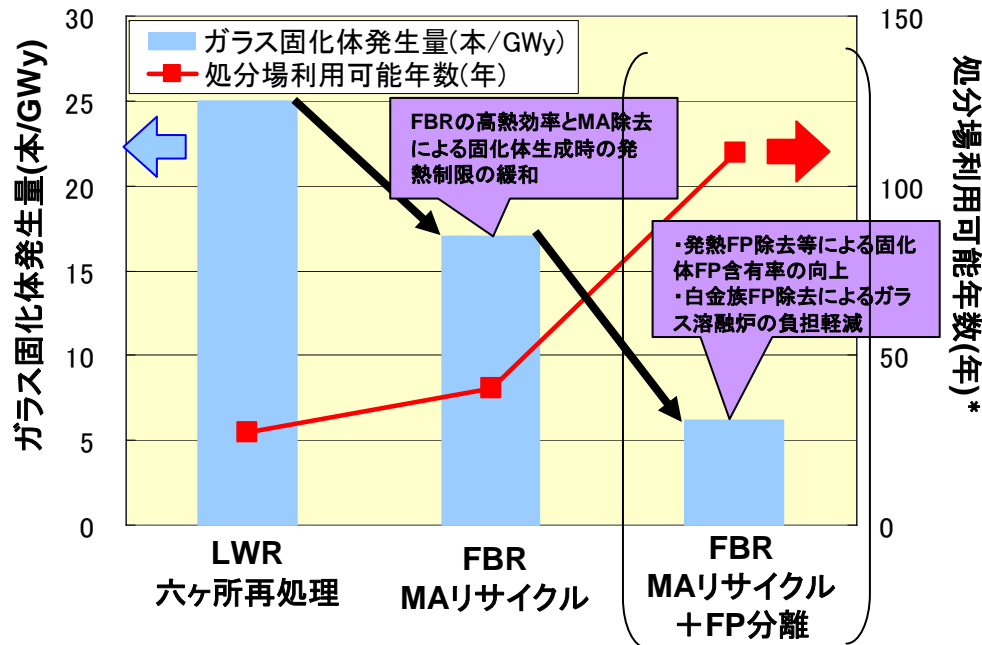


# 我が国における高速増殖炉サイクル導入の意義(2/2)

## — 高レベル放射性廃棄物量の削減と放射能による潜在的影響の低減 —

FBRサイクルではMA:マイナーアクチノイド(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。)

処分される放射能の潜在的影響は、再処理しガラス固化体にすることで減ずる。高速増殖炉へ移行すると、その効果はさらに大きくなりうる。



\*) 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。

\*\*) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。



○原子力発電に伴って放射性廃棄物が発生しているが、軽水炉サイクルと比べて特に高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の発生量は約 1/4 に、潜在的有害度が約 1/30 に低減する

○核兵器の原料ともなるプルトニウムを利用しているが、プルトニウムは常にマイナーアクチニド等と混合された状態で取り扱われることで核拡散抵抗性が高い

また、現在の化石燃料による発電部分も高速増殖炉サイクルに置き換えていくとした場合は、CO<sub>2</sub>排出量を数十分の一に削減できるほか、我が国のエネルギー自給率を相当程度まで高めることが可能であると考えられます。将来のエネルギー情勢、化石燃料を取り巻く環境などが急変した場合などに備えて、できる限り早期に高速増殖炉サイクルを技術的に導入可能なレベルにまで高めておくことが重要です。

# 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 1次/二次)	運転開始	現状
米国	EBR-I	200kWe	ループ (NaK/NaK)	1951	閉鎖
	EBR-II	2万kWe	タンク (Na/Na)	1964	閉鎖
	FFTF	40万kWt	ループ (Na/Na)	1980	閉鎖
	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	閉鎖
	Phenix	25万kWe	タンク (Na/Na)	1974	運転中
	Super-Phenix	124万kWe	タンク (Na/Na)	1986	閉鎖
英国	DFR	1.5万kWe	ループ (NaK/NaK)	1963	閉鎖
	PFR	25万kWe	タンク (Na/Na)	1988	閉鎖
独国	KNK-II	2万kWe	ループ (Na/Na)	1979	閉鎖
	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	閉鎖
	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	閉鎖
	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)

## 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) 諸外国における研究開発計画の進展

ウラン資源の有効利用の観点から米国、仏国、英国、独国を中心に欧米各国では 1950 年代より高速増殖炉の研究開発が開始されました。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が建設、運転されるとともに、高速増殖炉燃料の再処理に関する研究開発などが精力的に進められてきました。

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 年には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て、高速増殖炉サイクルに関する研究開発を中止しました。一方、欧州においても、仏国が 1988 年に経済的理由から運転中の高速増殖炉実証炉「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ました。

しかしながら、近年再び次世代の原子力システムの研究開発の機運が高まっています。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)」に発展しています。この中で検討対象としている 6 つの原子炉概念のうち、3 つは高速炉です。また、使用済燃料を減容すること、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元素 (ネプツニウム、アメリシウム、キュリウム) の分離及び貴重な資源を再利用することなどを目的として、核燃料サイクルの研究開発を行う「先進的核燃料サイクルイニシアチブ (AFCEI)」を 2003 年に開始しました。仏国では、実証炉「Super-Phenix」の停止後も、原型炉「Phenix」を使用したマイナーアクチニド元素の燃焼などの研究開発や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るとともに、日仏協力や GIF の中でナトリウム冷却高速炉に関する研究開発を進めてきました。また、1991 年には放射性廃棄物法 (バタイユ法) 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、放射性廃棄物による環境負荷低減及びエネルギー回収の観点から、全アクチニド元素を回収して高速炉の燃料として利用する「グローバルアクチニドマネージメント (GAM)」計画を進めています。

# 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

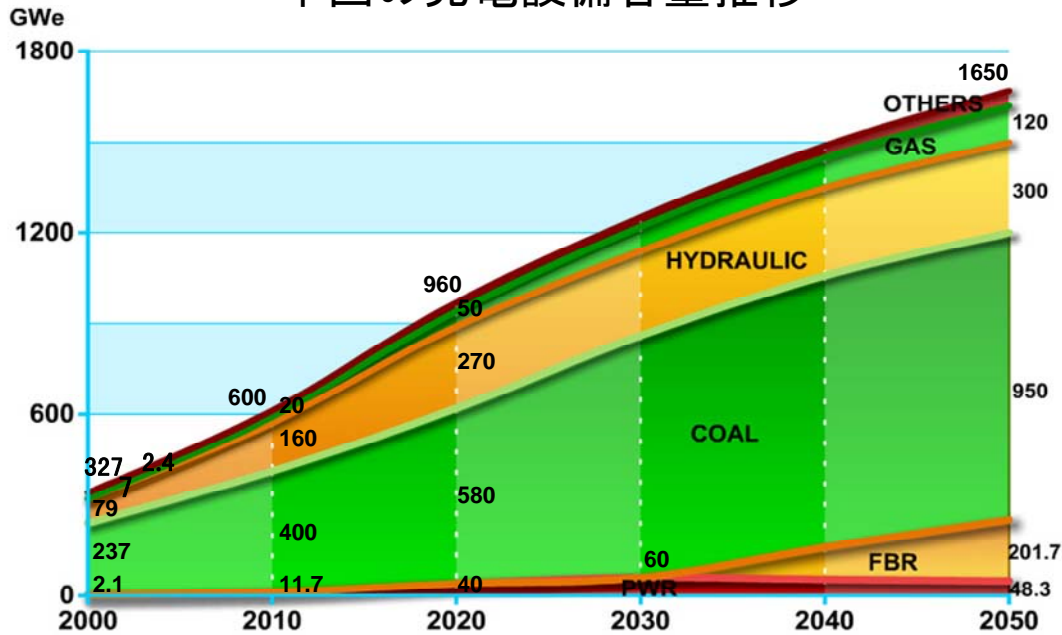
米国は、本構想の下で、放射性廃棄物を減量し、**核拡散抵抗性に優れ、プルトニウムを単体で分離しない先進的再処理技術開発を促進**するとともに、こうして取り出されたプルトニウム等を燃やすための高速炉開発を進める方針。

## 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

# 中国、インドにおける将来の発電設備容量推移

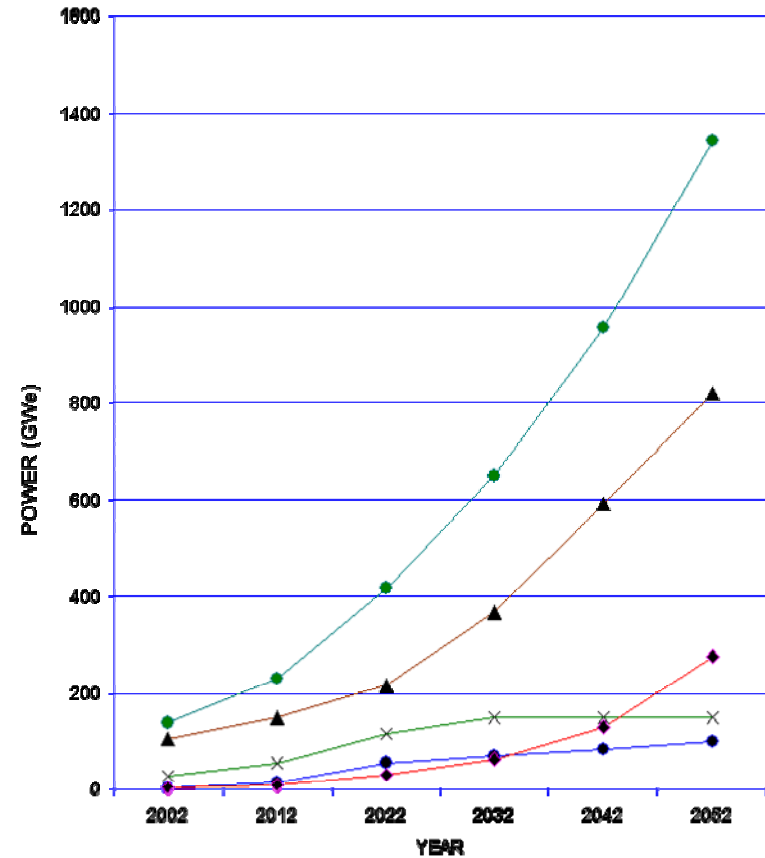
## 中国の発電設備容量推移



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).

## インドの発電設備容量推移



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

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

(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

今年 1 月には、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の目標を発表し、また米国ブッシュ大統領が 1 月に一般教書演説で言及した「先進エネルギーイニシアチブ」の一部として、2 月にエネルギー省 (DOE) がナトリウム冷却高速炉の先進燃焼試験炉「ABTR」を 2014 年頃に運転開始し、2011 年には軽水炉燃料再処理技術の工学規模実証施設「ESD」を運転開始するとともに、2016 年には先進的燃料サイクル試験施設「AFCE」を運転開始することなどを盛り込んだ「国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)」を提唱するなど、欧米において高速増殖炉サイクル関連の研究開発が大きく取り上げられています。

ロシアは、2004 年に議会在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)」を承認するなど、高速増殖炉サイクルの研究開発に積極的な国のひとつです。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 が運転しています。また、現在実証炉 BN-800 を建設するなど、精力的に高速増殖炉開発を実施しています。

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が盛んな国です。中国では 2050 年頃における高速増殖炉の設備容量を 200GWe 程度と、インドでは原子力発電の設備容量を 270GWe (高速増殖炉の割合は不明) と予測したエネルギー供給計画を発表し、両国ともこの急激な設備容量拡大に対応するために、特に増殖性能の高い金属燃料を利用した高速増殖炉を建設することが必要とされています。中国では、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するとしています。一方、インドも、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です。

## (2) 日本の高速増殖炉サイクル研究開発

我が国では、1960年代初頭より高速増殖炉の調査研究が開始され、1960

# 我が国の高速増殖炉サイクル技術開発の経緯





# 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 : 日本のJSFR、韓国のKALIMER炉<sup>(注)</sup>を対象に、  
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
- 先進燃料 : 酸化物、窒化物、金属燃料を対象に、  
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
- 機器・BOP : 保守・補修技術の開発、革新的蒸気発生器の研究、  
超臨界CO<sub>2</sub>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
- 国際協力実証照射: 「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) 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。

年代後半から本格的に研究開発が行われてきました。

我が国で初めての高速実験炉「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きました。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ています。

その後建設された高速増殖原型炉「もんじゅ」は1995年に初送電を行いましたが、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て性能試験を中断しています。国はこの事故の反省を踏まえて、研究開発体制を改組して核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構）を設立した。核燃料サイクル開発機構は、安全性向上を目指した設備改造方法の検討を行い、国の審査等の諸手続を終え、住民との対話を通じた相互理解活動を進めて、現在、2008年の運転再開を目指した改造工事を実施しています。

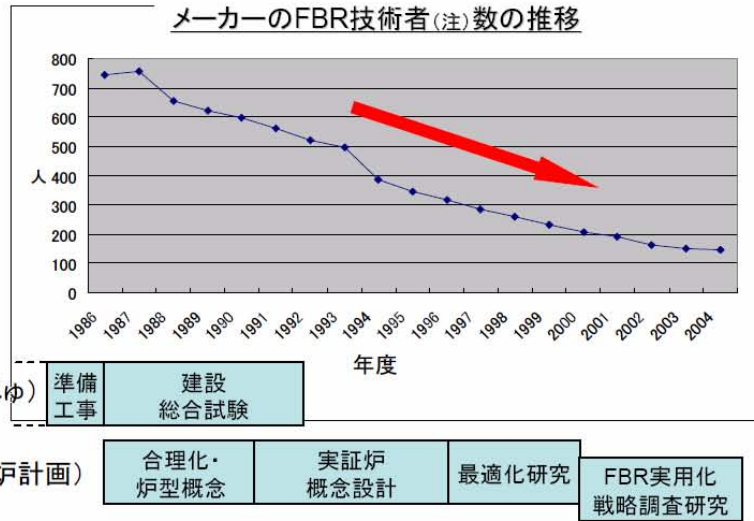
さらに、1999年からは、「もんじゅ」などの開発経験を踏まえて、高速増殖炉の実用化に向けた「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を、日本原子力研究開発機構と日本原子力発電株式会社が中心となって実施しています。

### （3）日本の技術的競争力

各国の高速増殖炉サイクルに関する研究開発が停滞していた時期においても、我が国は着実に研究開発を継続してきたことから、現在国際的な技術的競争力を維持しています。

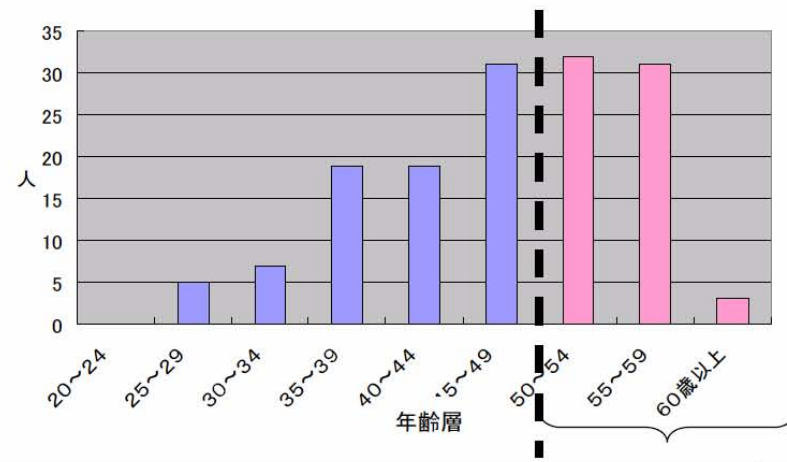
我が国は、実験炉「常陽」及び原型炉「もんじゅ」の2基の高速炉を保有し、これらを利用した研究開発を進めています。また、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を実施しており、国際的にはGIFに参加して、ナトリウム冷却高速増殖炉の研究開発をリードするなど高速増殖炉サイクルの研究開発の国際競争力を有しています。

# FBRおよび再処理関係技術者の状況



(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。

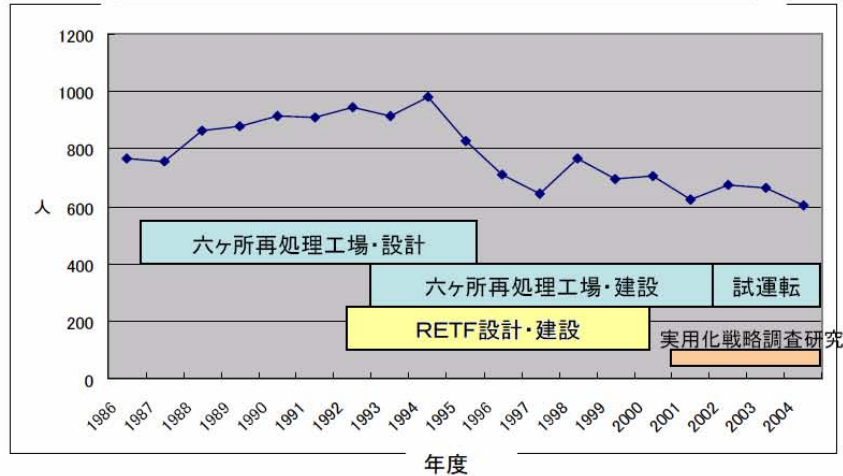
メーカーのFBR技術者の年齢構成



(出典) (社)日本電機工業会調べ

「もんじゅ」設計経験者

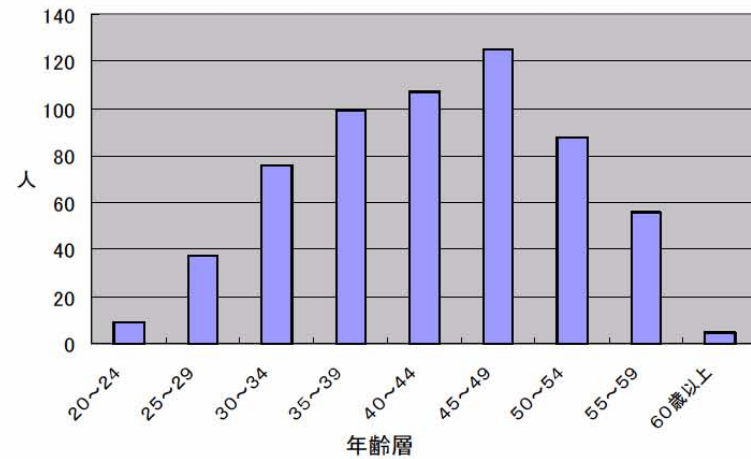
メーカーの核燃料サイクル関連技術者(注1、2)数の推移



(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

また、燃料サイクル施設については、軽水炉燃料を再処理する東海再処理工場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があり、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、さらに今後の運転や保守・補修維持経験の蓄積も期待されます。

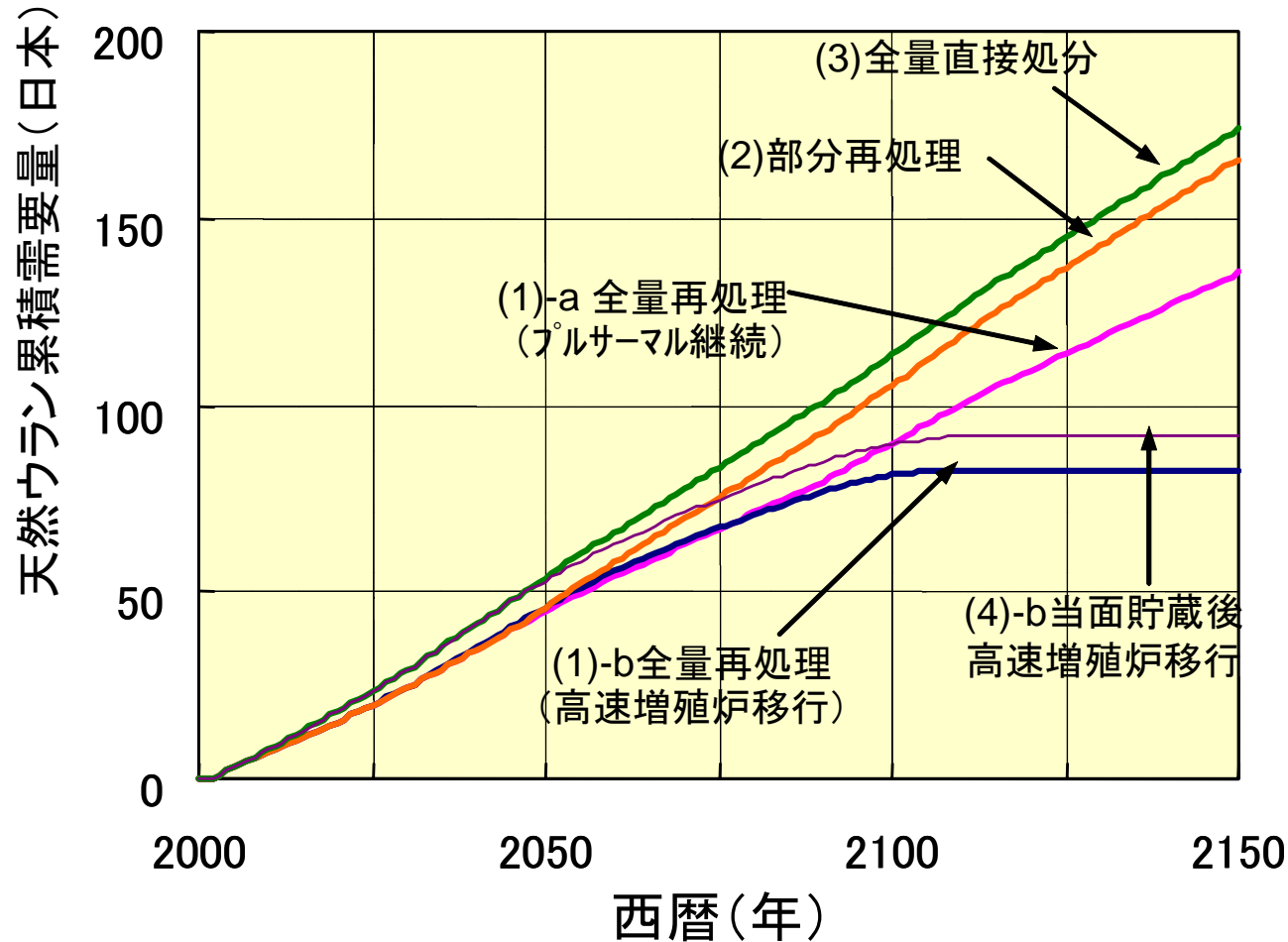
さらに、我が国のメーカーは、これまでに現在国内で稼動している55機の商業用原子炉を建設・維持するとともに、外国への原子炉主要機器の輸出を行ってきた実績があるなど、原子力分野において高い技術力が認められています。高速増殖炉や再処理関係の技術者については、原型炉「もんじゅ」の建設や六ヶ所再処理工場の建設の後新規のプラント建設がないことからその人数が減少してきているものの、現時点では、開発力、技術力、陣容は、高いレベルを維持しています。

# 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、軽水炉のリプレイ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。

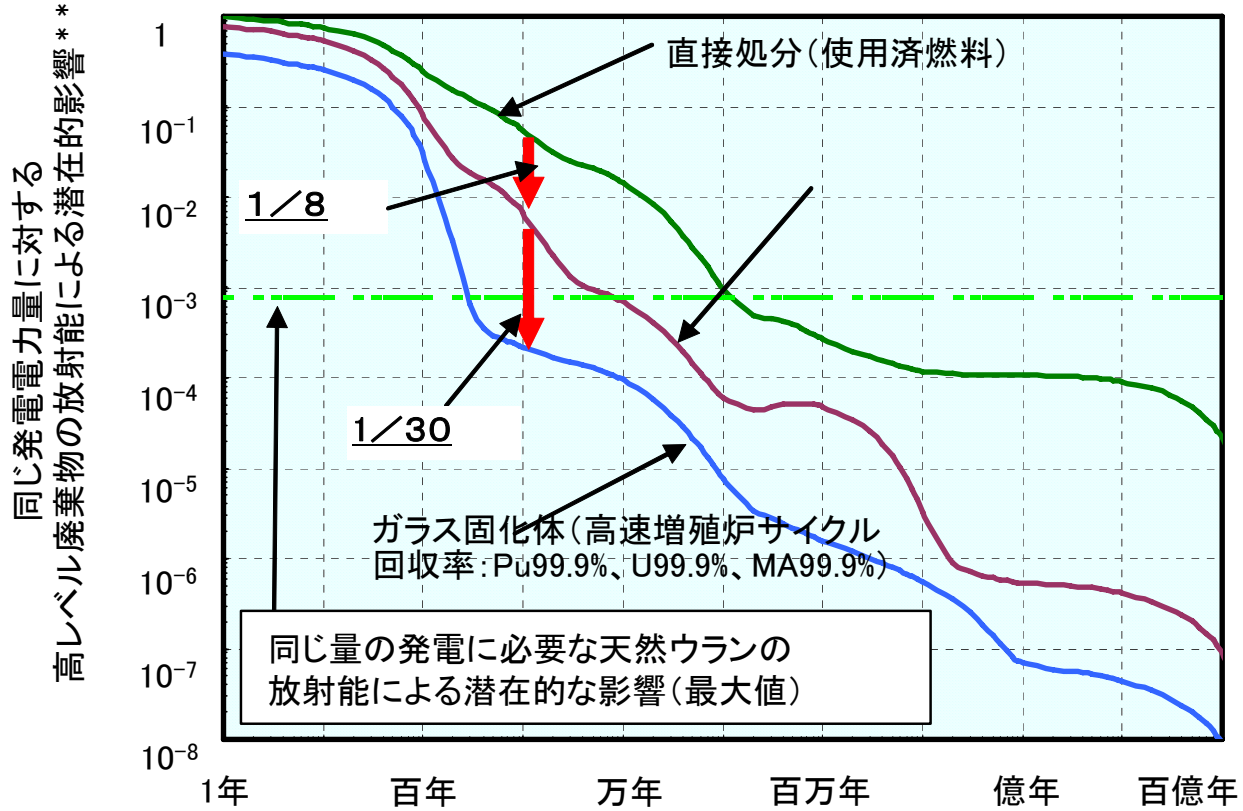
(万tonU)

(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)



# 高レベル放射性廃棄物の削減と放射能による潜在的影響の低減

処分される放射能の潜在的影響は、再処理しガラス固化体にすることで減ずる。高速増殖炉へ移行すると、その効果はさらに大きくなりうる。



\*\* )高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。

### 3. 進むべき道筋

#### (1) 高速増殖炉サイクルに関する研究開発の必要性

日本におけるエネルギー自給率は、非常に低く、エネルギーセキュリティ上、大きな問題を有しています。また、現在の一次エネルギー需要全体に占める原子力の割合は、1割強となっていますが、原子力の燃料であるウランについても輸入に頼っています。高速増殖炉システムは、発電しながら消費した核燃料以上の核燃料を生み出すという特性を有したシステムで、使用済燃料を再処理し、燃料に加工して、再び高速増殖炉システムの燃料とすることが可能です。この高速増殖炉サイクルの実現により、原子力発電は、新たなウランの輸入が不必要になり、国産のエネルギーとしてエネルギーセキュリティを向上させることができます。

また、高速増殖炉システムは、現在の軽水炉を用いている原子力発電所と同様に発電中には二酸化炭素を排出しないという特性を有するとともに、軽水炉と比較して単位発電量あたりに発生する放射性廃棄物を減少させることが可能です。これは、発電効率が軽水炉に比べて高くなり、相対的に放射性廃棄物の発生量が減少するとともに、発電の際に発生した放射性物質のうち、寿命が長く、発熱量も比較的大きなマイナーアクチノイド元素を核燃料に混ぜて一緒に燃焼させることが可能となるためです。このように高速増殖炉システムは、地球環境の保全に対しても特長を有しています。

さらに、高速増殖炉サイクルは、プルトニウムをウランやマイナーアクチノイド元素と混合した状態で扱い、また核分裂生成物（FP）の一部が混入（低除染）することにより、核燃料の放射線量が高くなりテロリスト等盗取を試みる可能性のある者の接近を阻害できることなどにより核拡散抵抗性を高めることができる特長を有しています。

日本における高速増殖炉サイクルの研究開発は、日本原子力研究開発機構を中心として継続的に実施してきています。さらに、原子炉としては実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」の建設・運転、再処理としては「東海再処理工場」、「六ヶ所再処理工場」の建設・運転、燃料製

# 実用化戦略調査研究の実施方針(開発目標)

- 世界に先駆けて、高速増殖炉サイクルの5つの開発目標を設定

## 開発目標

- 安全性 : 社会の既存のリスクに比べて小さいこと
- 経済性 : 将来の軽水炉の発電単価に比肩すること
- 環境負荷低減性 : 放射性廃棄物による負荷を低減すること
- 資源有効利用性 : 持続的に核燃料を生産するとともに、多様なニーズへ対応できること
- 核拡散抵抗性 : 核物質防護及び保障措置への負荷軽減



造としては「プルトニウム燃料開発施設」（実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」などの燃料製造施設）の建設・運転などの実績を有しています。これらを通じて、現在までに、産業界には、多くの技術の蓄積が行われてきています。これらの蓄積を活かし、今後、高速増殖炉の建設が進み拡大が期待される国内外のマーケットにおいて、世界的に競争力を持ち、我が国のイノベーション力を発揮できる可能性の高い分野として期待されます。

## （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当たっては、実用化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するものとするのが、要求されています。

高速増殖炉サイクルの実用段階で要求される特性などを考慮して、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズⅡにおいては、「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つを開発目標として設定しています。

- ・ 安全性については、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を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
- ・ 経済性については、建設時期における他の基幹電源と比肩し得る経済性を確保できるよう、将来軽水炉の予測発電原価に相当する発電原価を下回る
- ・ 環境負荷低減性については、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とともに、高レベル放射性廃棄物の放射能及び潜在的有害度の低減を図る
- ・ 資源有効利用性については、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）燃料を用いて、高速増殖炉の導入シナリオ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

# 高速増殖炉システム(ナトリウム冷却炉)

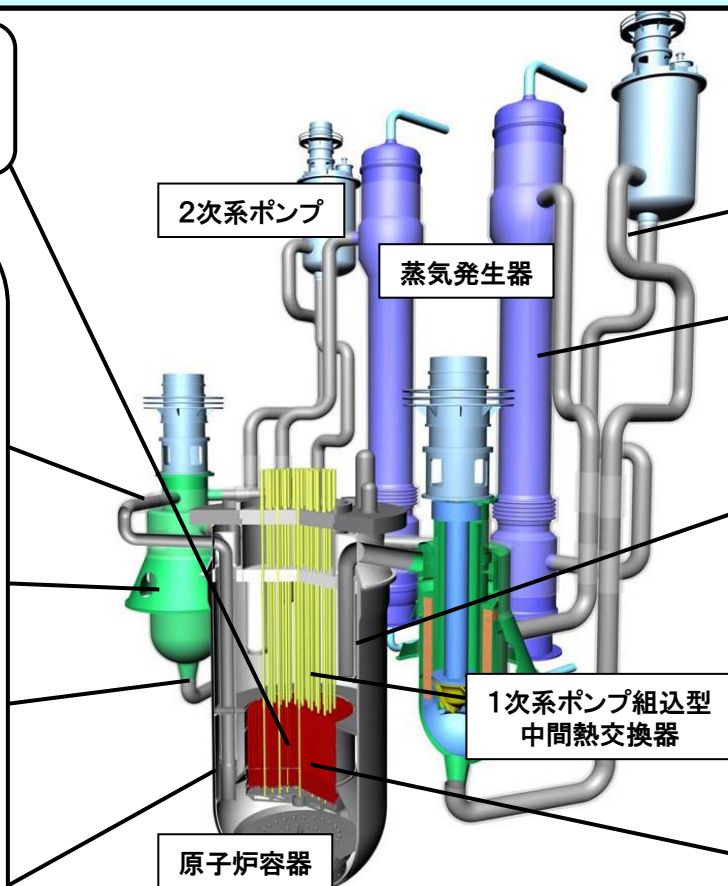
## ● システムの特徴

- 150万kWe大型炉の概念を構築。(酸化物燃料及び金属燃料)
- 革新技術の採用により物量、建屋容積を大幅に削減。
- ナトリウム固有の課題に対する対応策を設計に取り込むことで信頼性を確保。

高燃焼度化のための  
ODS鋼被覆管

革新技術の採用による物量、  
建屋容積の削減

- システム簡素化のための2  
ループ化
- 配管短縮のための高クロム鋼  
構造材料
- 1次冷却系統簡素化のための  
ポンプ組込型中間熱交換器
- 原子炉容器のコンパクト化



ナトリウムの化学的活性

- 配管二重化の徹底
- 直管二重伝熱管蒸気発生器

保守・補修性を考慮した  
プラント設計

炉心安全性の向上

- 受動的炉停止と自然循環に  
よる炉心冷却
- 炉心損傷時の再臨界回避  
を達成できる炉心概念

# 今後の研究開発目標 -設計要求への展開(検討中)-

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"> <li>● 炉心損傷の発生頻度<math>10^{-6}</math>/炉・年未満</li> <li>● 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</li> <li>● 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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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)</li> <li>● 施設内での放射性物質の大規模放出事象の発生頻度を<math>10^{-6}</math>/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</li> </ul>
経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 建設費:20万円/kWe *</li> <li>● 燃料費:炉心燃料の平均燃焼度 15万MWd/t *</li> <li>● 運転費:連続運転期間 18カ月以上*、稼働率 90%以上*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 処分費等を含む燃料サイクル費は1.1円/kWh *</li> <li>● 再処理・燃料製造費としては 0.8円/kWh *</li> </ul>
環境負荷低減性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低除染TRU燃料 (MA含有率 5% 程度) を燃焼できること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> <li>● UおよびTRUの廃棄物への移行率 0.1%以下</li> </ul>
資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 増殖比; 低除染TRU燃料で、増殖比1.1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)</li> <li>● 増殖ニーズに柔軟に対応できること</li> <li>● 高温熱源による多目的利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● UおよびTRU回収率99%以上</li> </ul>
核拡散抵抗性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性を制限</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> <li>● 低除染TRU燃料による高線量化で接近性の制限</li> </ul>

\* : 国際標準となる具体的な目標を設定予定

➢LLFPの分離変換に関する設計要求

- 放射性廃棄物発生量が軽水炉燃料サイクルの発生量の1/10に削減する(単位発電量当たり)

✓我が国における軽水炉から高速増殖炉への円滑な移行を図るため、増殖比1.1以上を要求するとともに、将来の国際的なエネルギー需給の不確実さを考慮して増殖比の柔軟性も要求した。また、環境負荷低減に関する高い目標を達成するため、UおよびTRUの廃棄物への移行率0.1%以下を設計要求とした。

- ・核拡散抵抗性については、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 燃料を用いることで、接近性を制限した設計とする

これらは、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を開始した時点で世界に先駆けて設定した目標ですが、GIFにおいても同様な目標が採用されています。

### (3) 現在の知見で見通される高速増殖炉サイクル

上記(2)に記載されている開発目標を考慮して、現時点において考えられる実現性の最も高い実用プラントは、次のようなものとなります。

#### ① 発電施設（原子炉）

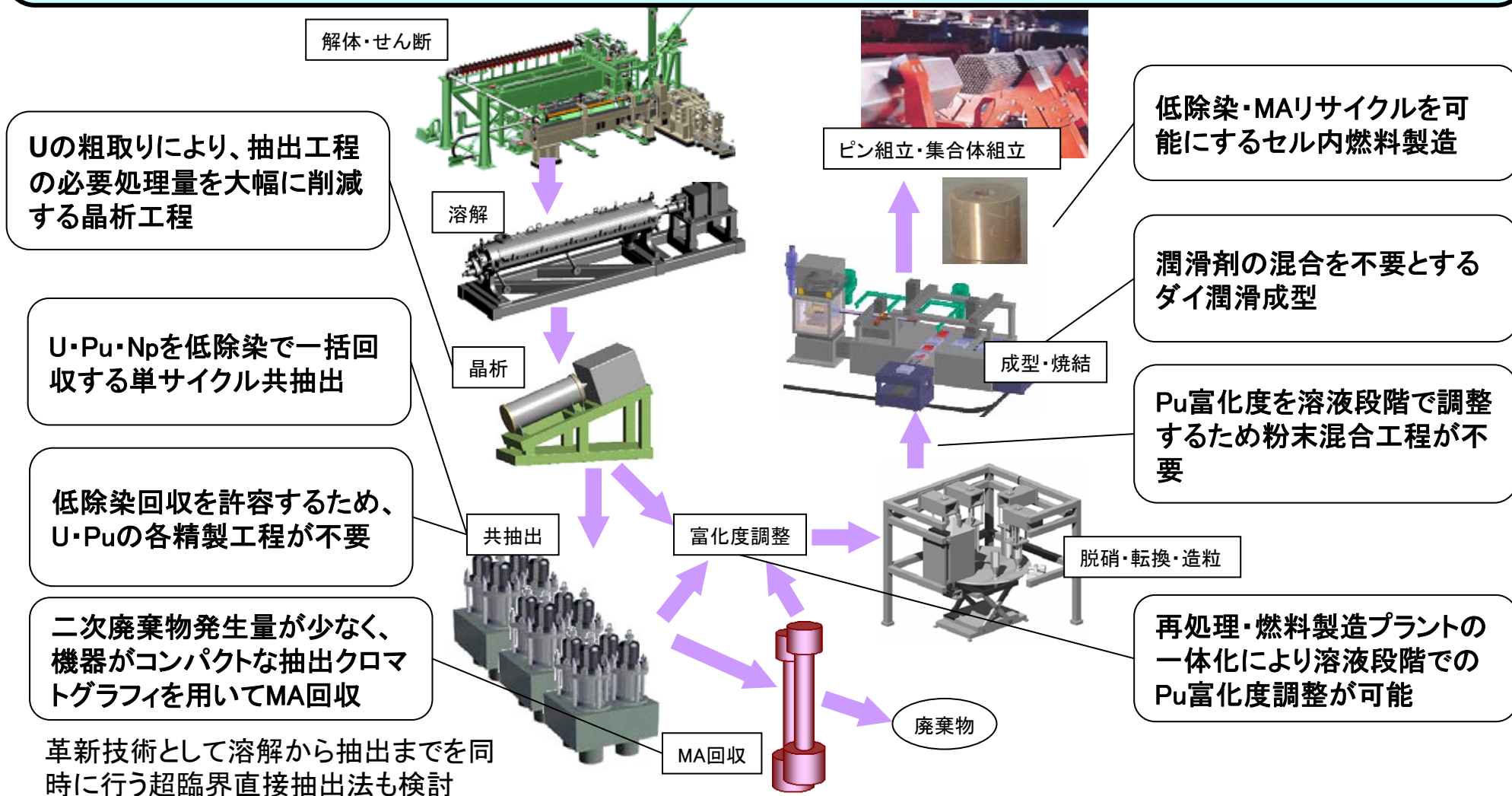
- ・炉型：ナトリウム冷却高速増殖炉
- ・燃料：マイナーアクチニド元素含有混合酸化物（MOX）燃料（低除染 TRU 燃料）
- ・電気出力：150万kWe（ツインプラント：150万kWe×2基）

発電施設の開発目標を実現するために、表一●のとおり、今後の設計要求を設定しました。軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルの移行期間（軽水炉と高速増殖炉が並存して運転されている期間）は、2050年頃から2110年頃までの60年間と想定しています。これは、2050年頃から高速増殖炉実用炉の導入を開始し、その時に運転中の軽水炉が60年間のプラント寿命を迎えて運転停止をした後これに置き換わっていくことを前提に、仮に2049年に運転を開始する軽水炉があるとしてこれが約60年間運転を行うことから、2050年頃から2110年頃までの約60年間は軽水炉と高速増殖炉が運転をしていることによるものです。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）量のバランスから、当初は増殖比1.2程度（資源重視）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は1をわずかに上回る程度（経済性重視）となります。

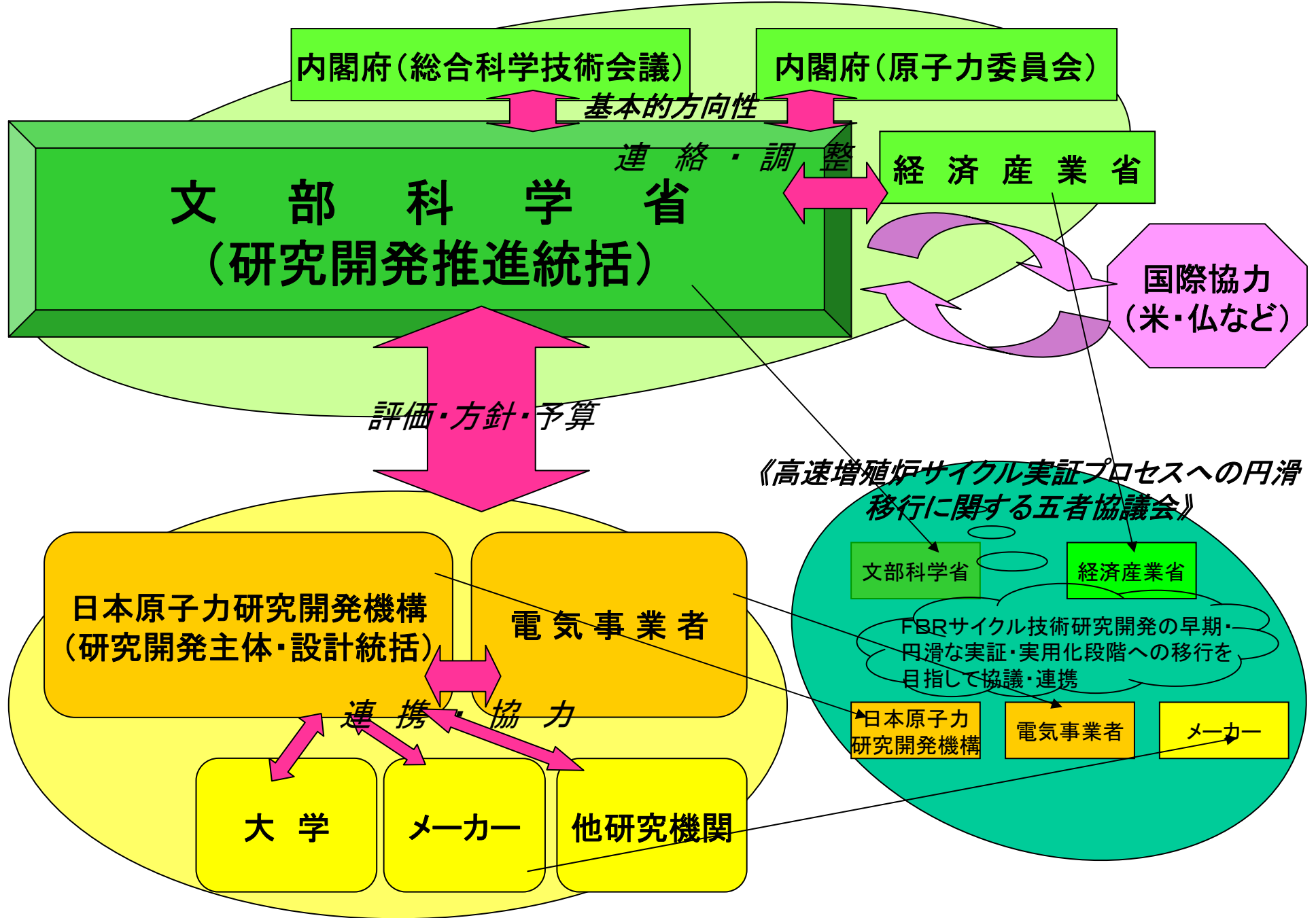
# 燃料サイクルシステム(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ●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。



# 高速増殖炉サイクル技術の研究開発推進体制





## ② 燃料サイクル施設（再処理施設、燃料製造施設）

- ・ 先進湿式法再処理（プルトニウムを常にマイナーアクチニド等と混合したままで取り扱うことにより核拡散抵抗性を強化）
- ・ 簡素化ペレット法燃料製造（工程を現在より簡素化）

燃料サイクル施設の開発目標を実現するために、表一●のとおり、今後の設計要求を設定しました。なお、マイナーアクチニド元素をリサイクルすることで放射性廃棄物の潜在的有害度を大幅に低減します。

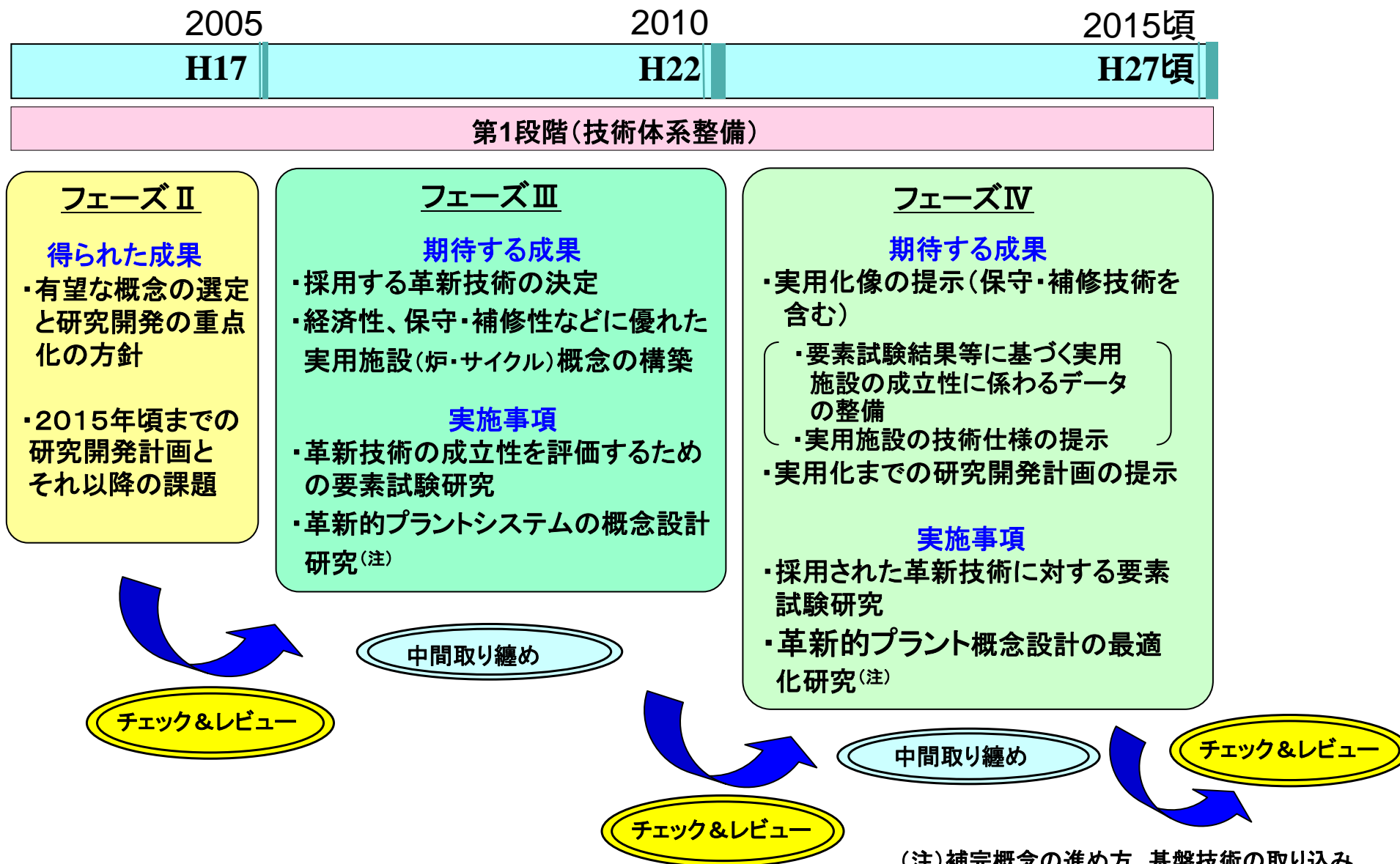
現時点において最も実現可能性の高い実用プラント像は以上のようなものです。しかし、これらの技術は、軽水炉から高速増殖炉へのリプレースが完了し、高速増殖炉サイクルだけで我が国の原子力発電を支えている時期（高速増殖炉サイクル平衡期）での最適な条件を想定しており、軽水炉が並存している状況を踏まえて、軽水炉サイクルとの整合性を図るための条件の見直しが考えられます。また、革新的な技術の採用を前提としていること、これまで得られているデータは小規模な試験から得られたものが多いこと、などから、今後必要な研究開発を早急に行い、その結果などを踏まえ、適宜評価を行い、必要に応じ見直されるべきものです。

## （４）研究開発の進め方（未検討）

- ・ 今後の高速増殖炉サイクルの研究開発に際しては、国（文部科学省、経済産業省）、日本原子力研究開発機構、ユーザー（電気事業者）、メーカー間において協議会を設置し、研究開発段階から実証段階への円滑な移行に向けた課題を検討します。具体的には、ユーザーからの要求を反映させることなどが考えられる。その際、高速増殖炉サイクルの性能仕様と構造仕様の作成主体をどこにどのように確立することが国富の増大に貢献する観点から合理的であるかについての検討等が重要となります。
- ・ 研究開発の実施に当たっては、チェックアンドレビューを行いつつ、

# 高速増殖炉サイクルの技術体系整備

－わが国としての今後の研究開発の展開－



(注)補完概念の進め方、基盤技術の取り込みの可否についても検討を実施。



段階的な研究開発を実施すべきです。現在の国際的な動向を踏まえると、今後5年、10年の研究開発の着実な実施が、重要とされています。

- 今後の研究開発においては、2010年、2015年頃に行われる政策判断に必要な技術的な知見を提供することが必要となります。具体的には、高速増殖炉サイクルの実用化像を確定することであり、これは革新技術を研究開発を通じて採用可能性を判断できるところまで具体化させ、それらを取捨選択して組み合わせて高速増殖炉サイクルシステムの設計研究を行い、設計要求を満足する設計を得たときに達成できます。なお、その際実証炉と適切な核燃料サイクル実証施設の概念設計も提出すべきです。また、その後の研究開発計画を提示することが必要です。