

# 世界の高速炉サイクル開発の動向

核燃料サイクル開発機構

## これまでの各国における高速炉サイクル開発経緯の概略(1/3)

<p>アメリカ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 世界で最も早く高速炉開発に着手しパイオニア的役割を果たし、各種の実験炉を建設、運転してきた(1951年にEBR-I:200kWe、1964年にEBR-II:2万kWe、1980年にFFTF:40万kWtなどの実験炉を運転開始)。</li> <li>○ 実験炉に続く原型炉「CRBR:38万kWe」を建設すべく準備を進めていたが、1977年に核不拡散政策の強化により計画を中止した。これにより米国の高速炉開発プロジェクトは中止された。しかしながら、高速炉の設計研究等の研究開発は継続された。</li> <li>○ 1993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た。これにより、高速炉の設計研究を含めた高速炉サイクルに関わる研究開発は中止された。</li> <li>○ 共和党ブッシュ政権になり、原子力に関する国際競争力、人材及び知的基盤の維持などを目的として1999年にNERI(原子力エネルギーイニシアチブ)を開始するとともに、2000年からGEN-IVを開始した。</li> <li>○ 2001年には原子力を重要な国家戦略とするNEP(国家エネルギー政策)を発表し、2003年からは「処分する高レベル廃棄物(使用済燃料)を減容すること」、「毒性の高い元素の分離」及び「貴重なエネルギー源を再利用をすること」を目的として、燃料サイクルの研究開発を行うAFCI(先進的核燃料サイクルイニシアチブ)を開始した。</li> <li>○ 米国では依然としてワンスルーの政策をとりつつも、燃料サイクルに関する研究開発を再開した。なお、MITレポートに見られるように、米国では2050年まではプルトニウム利用が不要との意見もある。</li> </ul>
<p>GEN-IV</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2000年に米国DOEの提唱によりGEN-IV(第4世代原子力システム計画)が開始された。</li> <li>○ GEN-IVでは安全性・信頼性、経済性に加えて、持続可能性(環境適合性、核拡散抵抗性、資源有効利用性)を兼ね備えた次世代原子力システムの開発とその実証を目的としたプロジェクトを進めている。</li> <li>○ 現在、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の10カ国と1機関が参加している。</li> </ul>

\* 記載している高速炉は全てナトリウム冷却高速炉である。GEN-IV(第4世代原子力システム計画)はナトリウム冷却高速炉やガス冷却高速炉を含む6概念を対象としている。

## これまでの各国における高速炉サイクル開発経緯の概略(2/3)

<p>フランス</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1967年に実験炉「Rapsodie: 4万kWt」の運転を開始して以来、1974年に原型炉「Phenix: 25万kWe」、1986年に実証炉「Super-Phenix: 124万kWe」の開発を進め、1988～1998年には欧州協力による欧州統合高速炉(EFR: 150万kWe)開発計画を主導した。</li> <li>○ 1969年から1979年にかけてラ・アークの再処理パイロットプラントで、1974年からはマルクールのパイロットプラントにて、「Rapsodie」や「Phenix」の燃料が処理された。</li> <li>○ 1998年の政権交代にともない、経済的理由からSuper-Phenixの放棄を政策決定した。これ以降、フランスでは高速炉の大規模なプロジェクトの推進を中止し、Phenixを中心にマイナーアクチニド燃焼等の研究開発並びに、高温熱源の多目的利用(水素製造など)と、核燃料サイクルにおける次世代炉としてガス冷却高速炉の研究開発を進めている。ナトリウム冷却高速炉に関する研究開発は、GEN-IVの中で検討している。</li> <li>○ また、1991年に放射性廃棄物法(バタイユ法)が制定され、2006年に廃棄物管理の実施に関する最善方策の結論を下すこととしている。この検討の一環として、全アクチニドを回収し、高速炉の燃料として利用するGAM(グローバルアクチニド管理)計画を進めている。</li> </ul>
<p>イギリス</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 実験炉「DFR: 1.5万kWe」(1963～1977年)、原型炉「PFR: 25万kWe」(1977～1994年)など長期にわたる運転実績と燃料再処理の実績を有する。しかし、北海の豊富なエネルギー資源の発見により、1988年に英国政府は高速炉開発予算の削減を決定した。</li> <li>○ ドーンレイ研究所においてDFRの使用済燃料の再処理試験(1962～1979年)を行い、その後、PFR燃料を処理(1980～1996年)した。</li> <li>○ 原子力研究機関の民営化を機に、1992年には高速炉開発は民間で行うこととして、1993年以降の政府出資の停止を決定した。</li> <li>○ それ以降は、英国単独での高速炉開発を中止し、EFR計画に参加した。現在はGEN-IVに参加している。現在の予算は、単独の開発を行っていた頃から大幅に低下している。</li> </ul>
<p>ドイツ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 実験炉「KNK-II: 2万kWe」(1979～1991年)の運転・改良に続き、原型炉「SNR-300: 32.7万kWe」の建設を行うが、政治的・財政的理由から1991年に計画を中止した。</li> <li>○ それ以降は、産業界及びカールスルーエ原子力研究所(KfK: 現FZK)はEFR計画の研究開発に参加した。現在は、高速炉サイクルに関する研究開発はほとんど実施されていない。</li> </ul>

\* 記載している高速炉はNaK冷却のDFRを除きナトリウム冷却高速炉である。GEN-IV(第4世代原子力システム計画)はナトリウム冷却高速炉やガス冷却高速炉を含む6概念を対象としている。

## これまでの各国における高速炉サイクル開発経緯の概略(3/3)

<p>ロシア</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1958年の実験炉「BR-5:0.59万kWt」の運転開始以来、1969年実験炉「BOR-60:1.2万kWe」、1980年原型炉「BN-600:60万kWe」を運転開始、また実証炉「BN-800:80万kWe」は建設中と、国のプロジェクトとして積極的に高速炉開発を進めている。</li> <li>○ BN-600は、数十件に及ぶナトリウム漏洩事故及び蒸気発生器伝熱管水漏洩事故などを経験しながらも、過去22年間の平均稼働率74%(連続運転サイクル期間160日/定検期間50日と想定した理論稼働率は約76%)と、高い稼働率を達成している。</li> <li>○ マヤークにおいて1976年に再処理プラントの改造を行ない、その後「BN-600」使用済燃料の再処理を行っている。</li> <li>○ 2004年にロシア議会在が、高速炉建設と核燃料サイクル開発計画の完結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)を承認した。</li> </ul>
<p>中国</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 軽水炉から高速炉への核燃料サイクル開発を国のプロジェクトとして進めている。</li> <li>○ 実験炉「CEFR:2.3万kWe」を建設中(2007年初臨界予定)であり、それに続く原型炉(30～60万kWe)、実証炉(100～150万kWe)の開発計画があり、商用炉の運転開始目標を2030年としている。</li> </ul>
<p>韓国</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1997年に高速炉開発を国の長期研究計画に位置付け、現在、原型炉「KALIMER:60万kWe」の設計研究をGEN-IVの枠組みで実施している。</li> </ul>
<p>インド</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 原子力エネルギーの確保には、高速増殖炉と燃料サイクルが不可避と位置付け、国のプロジェクトとして1985年に実験炉「FBTR:1.3万kWe」を臨界させ、2010年完成を目指して原型炉「PFBR:50万kWe」を建設している。</li> <li>○ カルパッカムに、FBTRの使用済燃料の再処理も可能な再処理工場を建設中であり、2020年までに4基の高速増殖炉プラントを建設する計画としている。</li> </ul>

\* 記載している高速炉は全てナトリウム冷却高速炉である。GEN-IV(第4世代原子力システム計画)はナトリウム冷却高速炉やガス冷却高速炉を含む6概念を対象としている。

## アメリカにおける高速炉サイクル開発の経緯(1)

- 1940年代前半から高速炉開発に着手し、1951年には実験炉「EBR-I:200kWe」により、軽水炉より早く世界で最初に発電に成功した。その後も1964年に「EBR-II:2万kWe」、1980年に「FFTF:40万kWt」等の実験炉の運転を開始する一方、原型炉「CRBR:38万kWe」の設計・建設を進めるなど高速炉開発におけるパイオニア的役割を果たした。
- 1977年、カーター政権による核不拡散政策の強化により、原型炉クリンチリバー(CRBR)及び高速炉燃料再処理施設の計画を無期延期した。
- 1981年、レーガン政権により建設計画が復活したものの、1983年の議会で経済性の観点からCRBR建設プロジェクトの予算が否決され、建設計画を中止した。
- しかし、酸化物燃料の安全性、高燃焼度燃料開発など、研究開発は継続されており、加えて核拡散抵抗性に優れた金属燃料サイクル及び新型液体金属冷却炉の設計研究が1984年より再開された。
- クリントン政権になりプルトニウム利用に関する研究開発が見直され、1993年9月のホワイトハウスの声明で、核不拡散の観点からアメリカはプルトニウムの民生用の利用を行わないことを決定し、高速炉を含む核燃料サイクルに関する研究開発を一切中止することとし、実験炉(EBR-II)も閉鎖が決まった。

## アメリカにおける高速炉サイクル開発の経緯(2)

- 実験炉FFTFも、CRBRプロジェクトの中止決定後、運転を正当化する使命が不明確になり、また、財政負担の懸念から、米国エネルギー省(DOE)は1993年12月に閉鎖状態におくことを決めた。
- 1999年に原子力に関する国際競争力、人材及び知的基盤の維持などを目的としてNERI(原子力エネルギー研究イニシアチブ)が開始された。これに続き、2000年に将来炉についての国際共同開発を目的としたGEN-IVを提唱した。2001年のNEP(国家エネルギー政策)の発表以降、新たな開発プロジェクトとしてNHI、NGNP、AFCIを開始した。
- 米国では依然としてワンスルーの政策をとりつつも、燃料サイクルに関する研究開発を再開した。

### 新型炉関連の予算規模

	2005年度予算
NHI	900万ドル (約10億円)
GEN-IV <sup>注</sup>	4000万ドル (約44億円)
AFCI	6800万ドル (約75億円)

NERI : Nuclear Energy Research Initiative  
NHI : Nuclear Hydrogen Initiative  
NGNP : Next Generation Nuclear Plant  
AFCI : Advanced Fuel Cycle Initiative

注) GEN-IVはNGNPを含む

# アメリカにおける最近の原子力政策

- 原子力水素イニシアチブ (NHI: Nuclear Hydrogen Initiative)
  - 燃料電池車の導入に向けて米国エネルギー省(DOE)が、2002年11月に発表した国家水素エネルギー開発計画の一部であり、原子炉を用いた水素製造技術の開発と実証が目的
  - 2006年までに実験室規模の水素製造試験を完了、2007年頃にはパイロットプラント規模の試験を実施するプロセスを決定し、その後、水素製造を実証する計画
- 次世代原子力プラント (NGNP: Next Generation Nuclear Plant)
  - 先進原子炉(高温ガス炉等)を用い電力と水素を併産するプロジェクト
  - 電力と水素を併産する先進原子炉(熱出力約60万kW)を建設し、2016年頃に原子力による水素製造を実証する計画
- 先進的燃料サイクルイニシアチブ (Advanced Fuel Cycle Initiative: AFCI)
  - 「処分する高レベル廃棄物(使用済燃料)を減容すること\*」、「毒性の高い元素の分離」及び「貴重なエネルギー源を再利用をすること」が目的
  - 高速炉による核燃料サイクル(全アクチニド・クローズドサイクル)への進展を計画
- 原子力エネルギー研究イニシアチブ (Nuclear Energy Research Initiative: NERI)
  - 研究所・大学で鉛や鉛ビスマスを冷却材とした高速炉概念を検討

\*商用炉の使用済燃料をこのまま蓄積していくと、ユッカマウンテン処分場(容量: 63000t)は2015年には満杯になると見込まれている。

# 米国DOEの原子力エネルギー拡大促進構想

## Nuclear Power 2010

- 新規サイトの開拓
- 産業界の取引機会の拡大
- 第3世代原子炉+ 技術の開発
- 新しい許認可プロセスの実証

## Advanced Fuel Cycle Initiative

- 使用済燃料からのエネルギー価値の回収
- 民生用Puインベントリの低減
- 廃棄物の毒性及び発熱量の低減
- 処分場の更なる有効活用



## Nuclear Hydrogen Initiative

経済性に優れる商用規模の水素製造  
技術の開発

## Generation IV

下記を改良したより良い、より安全性の高い  
より経済性に優れた原子力発電プラント

- 安全性と信頼性
- 核拡散抵抗性と核物質防護
- 経済的競争力
- 持続性



## フランスにおける高速炉サイクル開発の経緯

- 1967年に実験炉「Rapsodie: 4万kWt」の運転を開始して以来、原型炉「Phenix: 25万kWe」、実証炉「Super-Phenix: 124万kWe」の建設・運転を相次いで行い、1988年から欧州統合型高速炉(EFR)計画を主導するなど、世界においてロシアとともに最も熱心に高速炉開発を進めてきた。しかし、1998年のSPXの放棄とともに大規模なプロジェクトの推進を中止した。また、EFRの設計も同年に取りまとめられ、その後は凍結されている。
- 1969年から1979年にかけてラ・アークの再処理パイロットプラント:AT1で、1974年からはマルクールのパイロットプラント:APMにて、「Rapsodie」や「Phenix」の燃料が処理された。
- 高速炉の研究開発は継続され、Phenixは2008年までの運転を予定している。現在は、高温ガス炉の研究開発を重点的に進め、2015年頃にガス冷却高速炉に繋がる試験炉(ETDR)を建設することを目指して研究開発を展開している。GEN-IVにおいて、ガス冷却高速炉の研究開発を先導するとともに、ナトリウム冷却炉の研究開発に参画している。

2003年度 CEA民生用研究開発費 486百万ユーロ(約680億円)

## フランスにおけるナトリウム冷却高速炉の開発実績

- ◆ フェニックス(Phenix) (原型炉、25万kWe、1973年初臨界)
  - 1974年から1990年まで16年間の順調な運転実績[平均稼働率:61%]
  - 1990年に発生したトラブルと、プラント寿命延長のための安全評価と対策工事によって1991年から2003年まで停止
  - 2003年6月から運転再開し、2008年まで運転を継続する予定
- ◆ スーパーフェニックス(Super-Phenix) (実証炉、124万kWe、1985年初臨界)
  - 運転開始後、種々のトラブル(使用済燃料貯蔵タンクからのナトリウム漏洩、タービン建屋の積雪による損壊など)を経験したものの、最長16ヶ月の連続運転の実績を残す
  - 1994年に運転を再開し、良好な稼働率を達成するが、1998年の政権交替に伴い、経済的理由から閉鎖を決定。現在、廃炉中
- ◆ 欧州統合型高速炉(EFR)計画を主導
  - 2010年代の商用化を目指して、1988年よりEFR計画が開始され、フランス、イタリア、イギリス、ドイツ、ベルギー、オランダなどの欧州各国の産業界及び研究機関が参加し、フランス(電力庁(EdF)及びCEA)が本計画を主導

# フランスにおける新たな原子力政策

## ○ ガス冷却炉の研究開発

- Super-Phenixの閉鎖以降、超高温ガス炉の研究開発に重点がおかれ、その延長線上にガス冷却高速炉を位置付けている。
- 超高温ガス炉は、GEN-IVの枠組みで、水素製造に適用可能な高温(炉心出口温度: 1000°C程度)の炉概念を検討している。
- 熱出力5万kWeの試験炉ETDRの建設判断を2005年から2010年の間に行い、2015年頃に建設を終了する計画としている。
- GEN-IVでは、ガス冷却高速炉の共同議長として米国とともに研究開発を先導している。また、EU議会の研究開発計画(フレームワーク6)でも研究開発を主導している。

## ○ ナトリウム冷却炉の研究開発

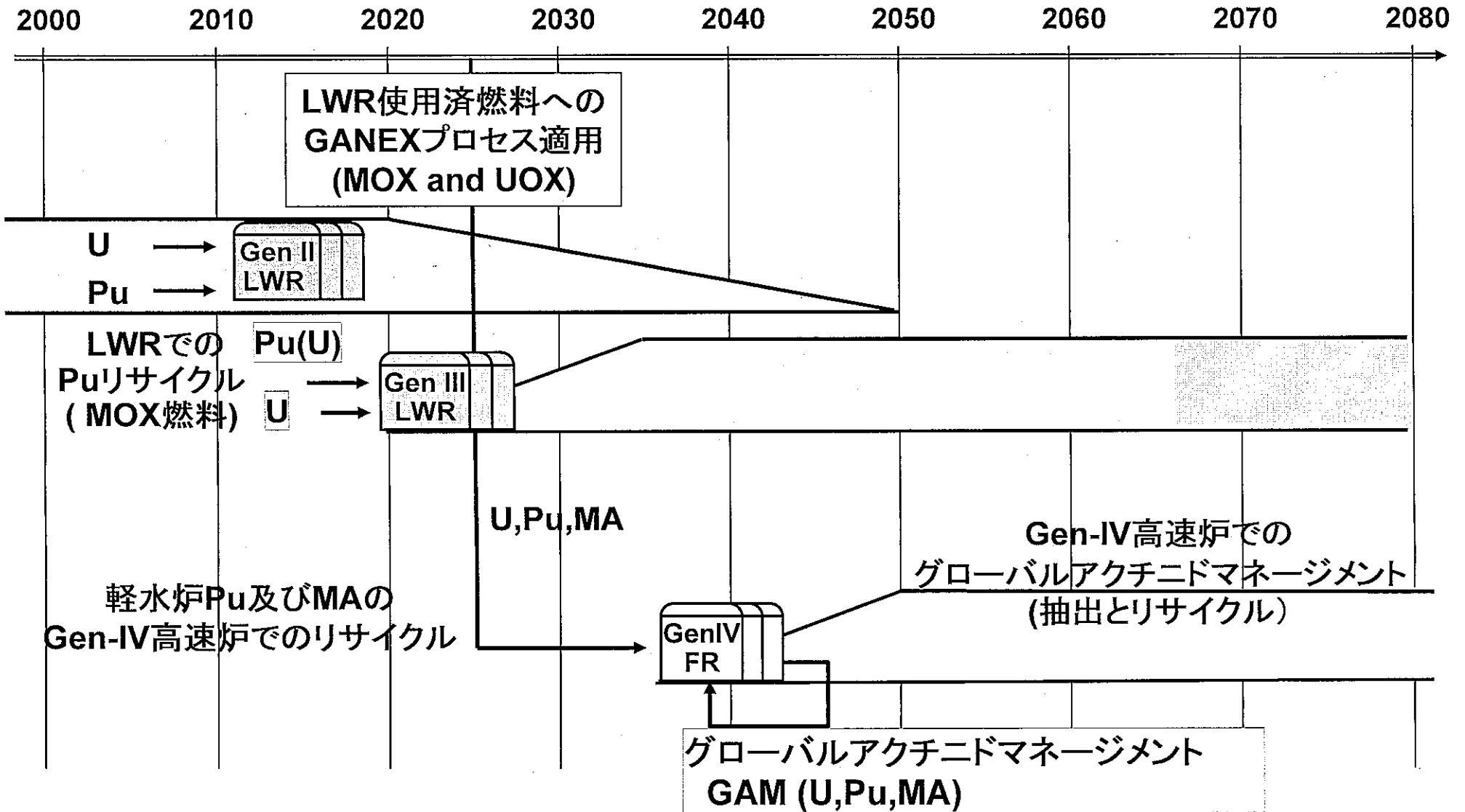
- ナトリウム冷却高速炉については、豊富な開発経験を活用したGEN-IV候補概念の設計レビュー、先進燃料の照射試験などを担当している。

## ○ グローバル・アクチニド管理計画(Global Actinides Management: GAM)

- 1991年にバタイユ法が制定され、深地層処分に加えて、長寿命放射性核種の分離・核変換、地上での長期貯蔵についても研究を行い、2006年に廃棄物管理の実施に関する最善方策の結論を下すこととしている。
- 資源の有効利用と放射性廃棄物量の低減と改善(長寿命核種の短半減期への変換)、核拡散抵抗性の向上を目的として、全アクチニドを回収し、高速炉の燃料として再利用する計画を提案している。

# フランスにおけるアクチニドマネージメントの方向性

— 軽水炉Puリサイクルから高速炉アクチニドリサイクルへ —



出典: P. Bernard, CEA, 4<sup>th</sup> Tsuruga Int. Energy Forum, Tsuruga, Japan, Apr. 26, 2004

## イギリスにおける高速炉サイクル開発

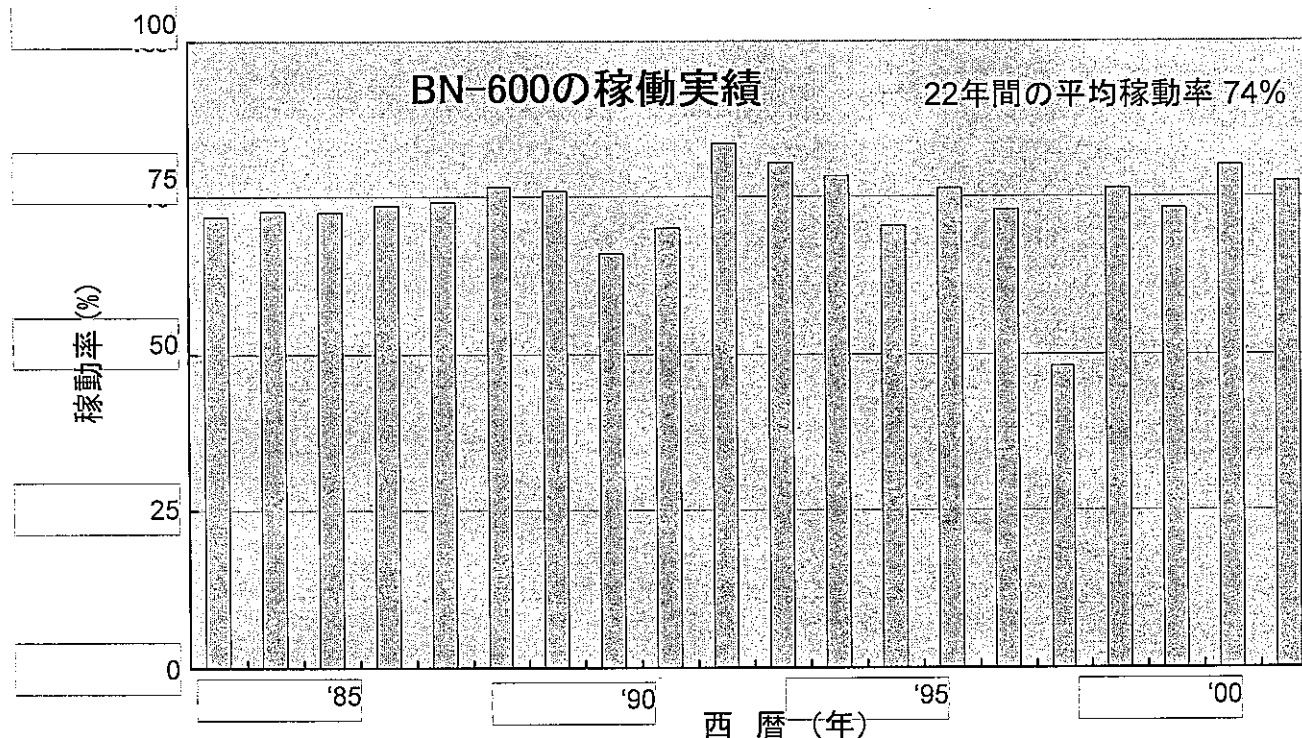
- 英国政府は1988年に高速炉開発計画を見直し、石炭及び天然ガスに恵まれた英国は少なくとも30～40年間高速炉を必要としないとの結論から予算削減を決定した。
- さらに、英国政府は、エネルギーも1つの「貿易材」と捉え、また高速炉は既に発電技術のオプションの1つであるとの認識から、次に投資すべき技術を決めるのはエネルギー市場の業界であり、政府ではないと判断した(政府出資を抑える方策でもある)。
- そのため、政府は1992年11月に、高速炉開発は民間で行うこととして予算上1993年3月以降の高速炉開発に関する政府出資の停止を決定した。これまでに、実験炉「DFR:1.5万kWe」の運転は1963～1977年まで行い、原型炉「PFR:25万kWe」の運転は1977～1994年まで継続した。
- 高速炉研究開発は規模を縮小して行われることとなり、産業界及び英国原子力公社(UKAEA)は、EFR計画の研究開発に参加した。また、欧州協力のプルトニウム及びマイナーアクチニドの燃焼計画における炉物理、炉心安全、燃料研究にも参画した。
- ドーンレイ研究所においてDFRの使用済燃料の再処理試験を行なった(1962～1979年)。その後、規模を拡張し、1980～1996年までの間にPFR燃料を処理した。
- 現在の予算は、単独の開発を行っていた頃から大幅に低下している。

## ドイツにおける高速炉サイクル開発

- 実験炉「KNK-II:2万kWe」は1979～1991年まで運転し、原型炉「SNR-300:32.7kWe」は1973年に建設開始し、1986年には建設が完了していた。
- 地元のノルトライン・ウェストファーレン州政府は仮想的炉心損傷事故等の安全問題を取り上げ運転開始に反対の立場を取り続けた。
- 連邦政府は州政府に対して許可手続き促進の指示(手続き上の指導)を実施した。この対立は行政訴訟に発展し、1990年5月、連邦憲法裁判所で連邦政府側の主張が認められた。
- しかし、その後もノルトライン・ウェストファーレン州政府が燃料装荷の許可を出す見込みはなく、一方で試験・運転工程の遅延により財務負担が悪化することが懸念され、連邦政府は技術面・安全面では問題がないとしながらも1991年3月に計画断念を決定した。
- 産業界及びカールスルーエ原子力研究所(KfK:現FZK)はEFR計画の研究開発に参加した。FZKは欧州協力のプルトニウム及びマイナーアクチニドの燃焼計画における炉物理、炉心安全、燃料研究に参画した。
- 現在は高速炉サイクルに関する研究開発はほとんど実施されていない。

# ロシアにおける高速炉サイクル開発の経緯と現状

- 1958年の実験炉「BR-5(10)」の運転開始を皮切りに、ロシア(旧ソ連)では「BOR-60」(実験炉)、「BN-350」(原型炉、現カザフスタン共和国)、「BN-600」(原型炉)と立て続けに高速炉の建設・運転を進め、フランスとともに世界で最も熱心に高速炉開発に取り組んでいる。
- 「BN-350」及び「BN-600」は順調な運転実績を残し、また1986年に「BN-800」に着工するなど、現在も積極的な高速炉開発を進めている。BN-600は運転開始以降、多くのナトリウム漏えい、蒸気発生器の水漏えいを経験しているが、これらを含むトラブルによる稼働率の低下はわずか2%であり、以下に示すように良好な運転実績を残している。
- マヤークにあるRT-1にて、高速炉(「BN-600」)使用済燃料の再処理を行っている。
- 2004年にロシア議会在が、高速炉建設と核燃料サイクル開発計画の完結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)を承認した。



# ロシアにおける高速炉の研究開発

- ◆ BOR-60 (実験炉:1.2万kWe、1969年初臨界)
  - 新型燃料や被覆管材料の照射試験などに活用され、運転継続中
  - 日本が開発中の高燃焼度用被覆管材料(ODS鋼)の照射試験を実施中
- ◆ BN-350 (原型炉:35万kWe、1972年初臨界)
  - 1973年から1998年まで25年間の平均稼働率は約85%と良好な運転実績を残し周辺地域への水供給(カスピ海の海水淡水化)も含め貢献
  - 1994年に停止され、現在は廃炉措置中
- ◆ BN-600 (原型炉:60万kWe、1980年初臨界)
  - 1981年から22年間の平均稼働率は74%と良好な運転実績を残し、周辺地域への熱供給も含め現在も運転継続中
  - 解体核からのプルトニウムを燃料として用いる計画を実施(3体の実証照射が終了、3体を照射中)
- ◆ BN-800 (実用炉:80万kWe、建設中)
  - 1986年に着工後、地元住民の反対や財政難から工事を一時中断したが現在は再開し、2010年運開に向けて建設作業進展中
  - これまでに原子容器組み立て用の大型仮設備、冬季作業用の所内ボイラーなどの付属施設を完成
- ◆ BREST (30~120万kWe、概念検討)
  - エネルギー技術研究所(RDIPE)を中心に、冷却材として鉛を用いた高速炉概念を検討



## 中国における高速炉サイクル開発の現状

- 原子力エネルギー研究開発の進め方は、核燃料サイクルを基本としている。
- 高速炉としてはナトリウム冷却炉の開発を進めており、現在、実験炉「CEFR: 2.3万kWe」を建設している。
- 原型炉「PFBR: 30 ~ 60万kWe」、実証炉「DFBR: 100~150万kWe」、商用炉「CFBR: 100~150万kWe」の計画がある。商用炉の運転開始目標は2030年としている。





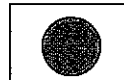








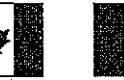











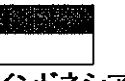






## 韓国における高速炉開発の現状

- 1997年に高速炉開発を国の長期研究計画に位置付け、現在、ナトリウム冷却の原型炉「KALIMER: 60万kWe」の設計研究をGEN-IVの枠組みで実施している。





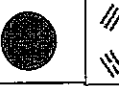






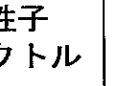
## インドにおける高速増殖炉サイクル開発の現状

- エネルギー成長のシナリオとして、「原子力エネルギーの持続的成長には高速増殖炉とクローズド燃料サイクルが不可避」との考えを提示している。
- 高速増殖炉としてはナトリウム冷却炉の開発を積極的に進めており、現在、実験炉「FBTR: 1.3万kWe、1985年臨界」を運転している。
- 原型炉「PFBR: 50万kWe」の2010年完成を目指して建設中であり、将来的には2020年までに4基の高速増殖炉プラントを建設する計画としている。
- カルパッカムに、FBTRの使用済燃料の再処理も可能な再処理工場を建設中である。

# 高速炉サイクル開発に係る主要な国際協カプロジェクト

国際協カプロジェクト名	活動目的・内容など	参加国
<p>第4世代原子力システム計画 (Generation-IV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性・持続可能性・環境適合性・経済性・核拡散抵抗性を兼ね備えた次世代原子力システムの開発を目的としている。</li> <li>・これまでに有望な6つの概念の選定(2002年5月)と、技術開発計画(ロードマップ)の策定(2002年12月)が行われ、国際共同研究を具体的に進めるための枠組み(実施体制や協定)並びに国際共同研究の内容について協議・検討が進められている。</li> </ul>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> アルゼンチン</div> <div style="text-align: center;"> ブラジル</div> <div style="text-align: center;"> カナダ</div> <div style="text-align: center;"> フランス</div> <div style="text-align: center;"> 日本</div> <div style="text-align: center;"> 韓国</div> <div style="text-align: center;"> 南アフリカ</div> <div style="text-align: center;"> スイス</div> <div style="text-align: center;"> 英国</div> <div style="text-align: center;"> アメリカ</div> <div style="text-align: center;"> EU</div> </div> <p style="text-align: right;">10カ国 + 1機関</p>
<p>革新的原子炉・核燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エンドユーザーのニーズに基づき、経済性、安全性、環境への負荷、核拡散抵抗性で利点を有し、21世紀社会のエネルギー需要を持続可能な形で充足する革新的な原子炉及び核燃料サイクルの開発を目的としている。</li> <li>・これまでユーザ要求の同定と革新技術の評価基準・評価手法の確立(フェーズ1A)を終了して、評価基準に照らした革新技術の評価を目的とするフェーズ1Bの検討が進められている。</li> </ul>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> アルゼンチン</div> <div style="text-align: center;"> ブラジル</div> <div style="text-align: center;"> カナダ</div> <div style="text-align: center;"> フランス</div> <div style="text-align: center;"> 韓国</div> <div style="text-align: center;"> 南アフリカ</div> <div style="text-align: center;"> スイス</div> <div style="text-align: center;"> 中国</div> <div style="text-align: center;"> アルメニア</div> <div style="text-align: center;"> ブルガリア</div> <div style="text-align: center;"> チリ</div> <div style="text-align: center;"> チェコ</div> <div style="text-align: center;"> ドイツ</div> <div style="text-align: center;"> インド</div> <div style="text-align: center;"> インドネシア</div> <div style="text-align: center;"> パキスタン</div> <div style="text-align: center;"> ロシア連邦</div> <div style="text-align: center;"> スペイン</div> <div style="text-align: center;"> オランダ</div> <div style="text-align: center;"> トルコ</div> <div style="text-align: center;"> EU</div> </div> <p style="text-align: right;">合計 : 20カ国 + 1機関</p>

## 第4世代原子炉システム開発の参加国

GEN-IV概念	参加国											中性子 スペクトル	燃料 サイクル	
														
ナトリウム冷却 高速炉 (SFR)					○	◎	○			○	◎		高速	クローズ
ガス冷却高速炉 (GFR)					◎	○	○	○	○	○	◎	○	高速	クローズ
鉛合金冷却高速炉 (LFR)						○					○	○	高速	クローズ
超高温ガス炉 (VHTR)					◎	◎	○	○	○	○	◎	○	熱	ワンスルー
超臨界圧水冷却炉 (SCWR)				◎		○	○				◎	○	熱、高速	ワンスルー クローズ
熔融塩炉 (MSR)				検討中									熱	クローズ

注) ○: 当該炉型の研究開発に参加を表明している国  
◎: 当該炉型の研究開発をとりまとめる幹事国(共同議長国)

# 第4世代原子炉システム計画

## 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

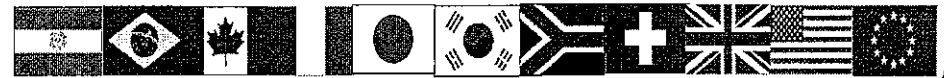
### (3) 安全性と信頼性

- 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

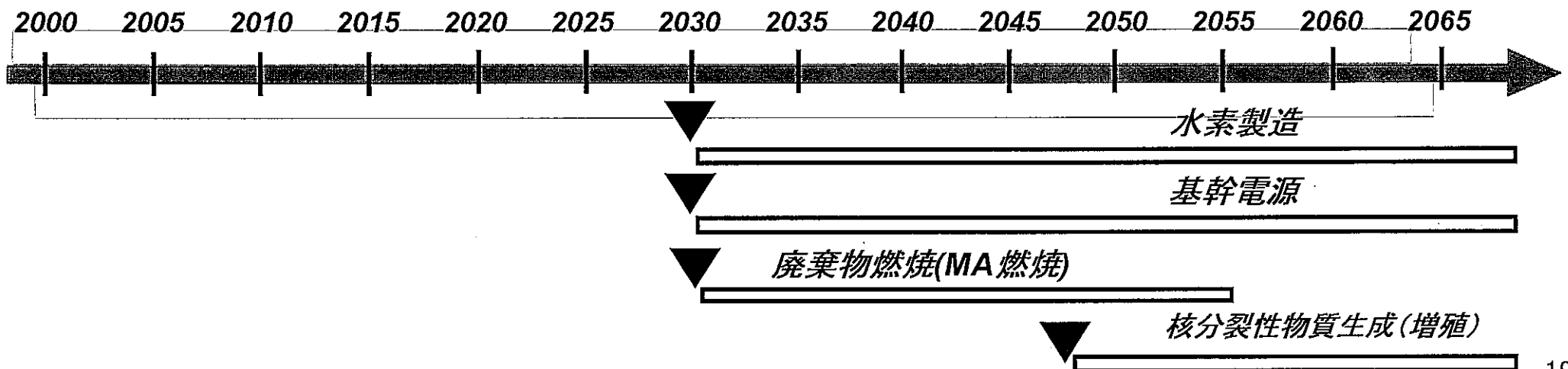
## 検討対象の6概念

- ・ナトリウム冷却高速炉(SFR)
- ・ガス冷却高速炉(GFR)
- ・鉛冷却高速炉(LFR)
- ・超高温炉(VHTR)
- ・超臨界水冷却炉(SCWR)
- ・溶融塩炉(MSR)

### 参加国



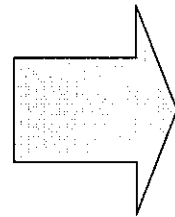
## 主要用途



# 国際協力による効率的な研究開発の実績と今後の役割

## 過去

- 欧米を中心とした先進国から学ぶ  
キャッチアップ型の開発
- 欧米で計画された試験計画  
や解析コード開発への参画
  - ・燃料開発: 照射、過渡試験  
FFTF, EBR(US), Phenix(FR),  
BOR-60(ロシア)
  - ・安全性: 炉内試験  
ACRR, TREAT(US), CABRI(FR)
  - ・安全性: 解析コード開発  
SAS, SIMMER(US, EU)



## 現在～将来

- 国際共同開発における先導的役割
- 世界で数少ない施設の有効活用:
  - ・高速中性子場;  
「常陽」「もんじゅ」(日本)
  - ・安全性試験炉  
IGR(カザフスタン)、TREAT(US)
  - ・燃料サイクル試験施設(燃料製造、  
再処理、等)  
FCF、FMF、HFEF-North(US)

ACRR: Annular Core Research Reactor

TREAT: Transient Reactor Test Facility

CABRI: フランス語でぴよんぴよんはねる子山羊の意味、出力パルス運転のCABRI炉を子山羊になぞらえて命名

SAS: Safety Analysis System

SIMMER: Sn Implicit Multi-field Multi-component Eulerian Recriticality

FCF: Fuel Conditioning Facility, FMF: Fuel Manufacturing Facility

HFEF: Hot Fuel Examination Facility

# 高速炉サイクル研究開発における国際協力のあり方

## (1) GEN-IVへの取り組み

GEN-IVを中核とする国際共同プロジェクトの推進により

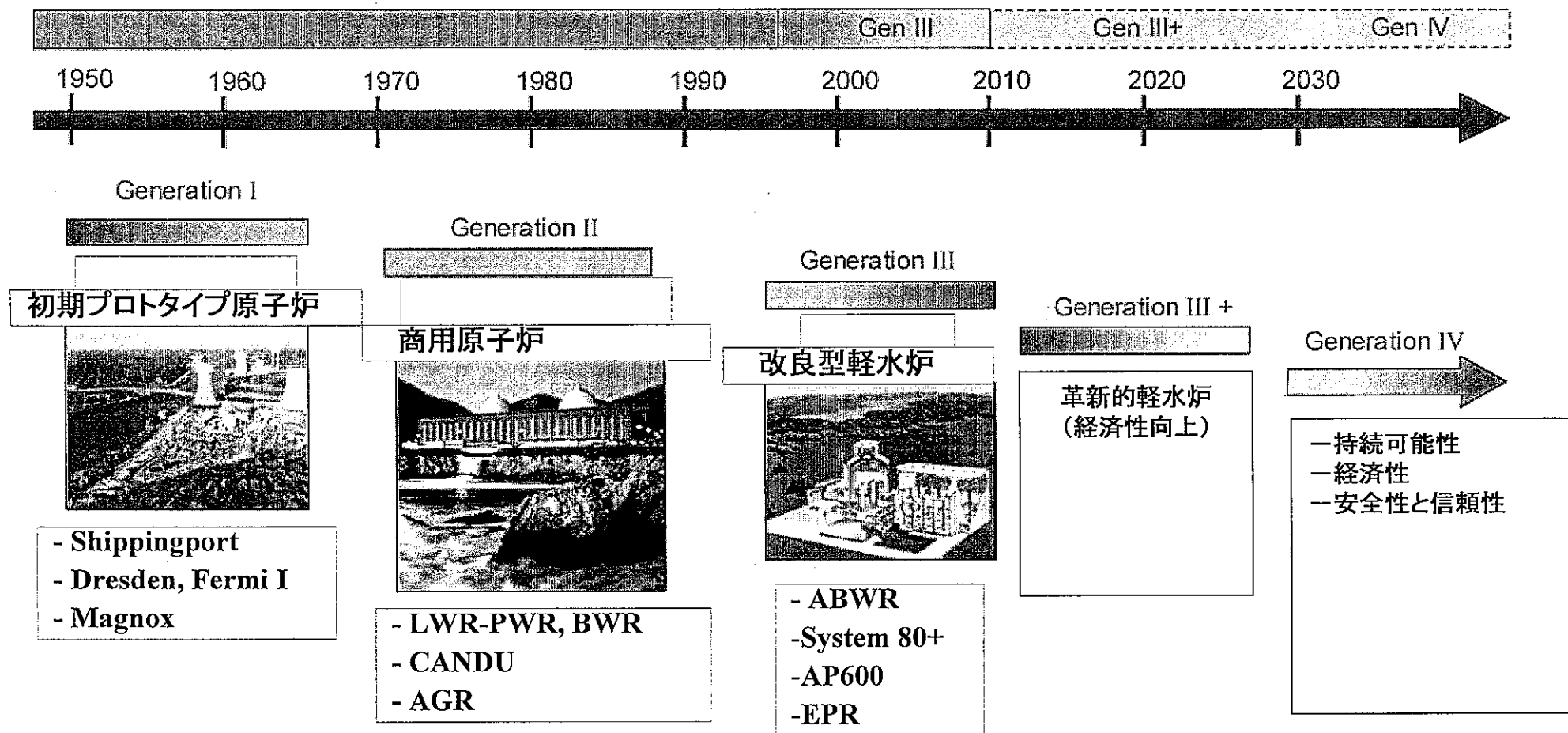
- ・グローバルスタンダードとなる高速炉サイクルシステムの構築
- ・研究開発リスクの分散化、研究資源の節約
- ・「常陽」、「もんじゅ」を活用して、世界で数少ない高速中性子場の提供を図る。

## (2) アジア諸国との関係

- ・中国・韓国等のアジア諸国は、今後原子力の利用に大きな進展が見込まれる。我が国がアジアの高速炉サイクル研究開発をリードする役割を果たすため、これらの国と協力・連携していくことが重要。

# 補足資料

# 第4世代原子炉システム開発における目標





# 第4世代原子力システム開発 —最近の活動状況—

全般

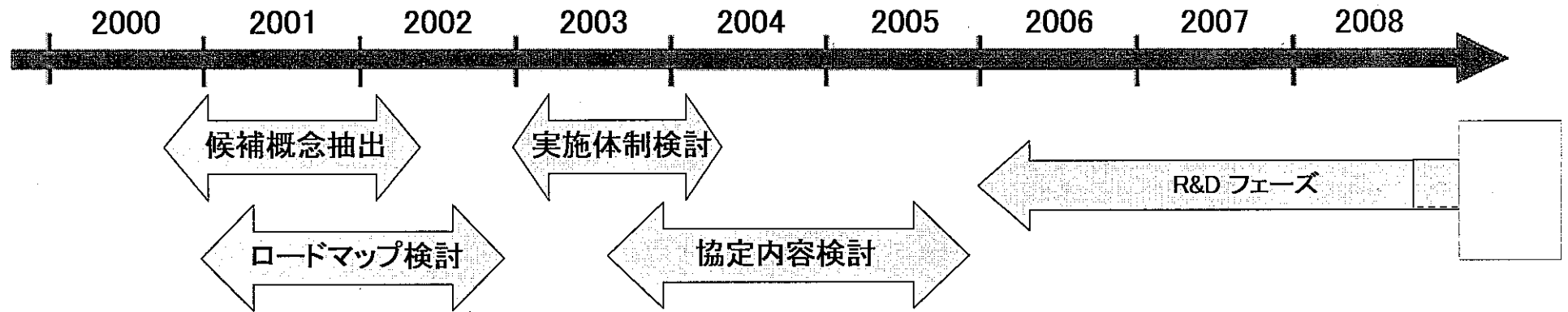
- 2005年1月に、協力協定(政府間)を締結予定
- 2005年中に、システム協定、プロジェクト協定を締結予定

## システム運営委員会の状況

- 各概念の研究開発計画の具体化作業を実施中
- プロジェクト管理会議(PMB)を設定し、個別研究計画への各機関の参加の可能性等について調査・とりまとめ中

ナトリウム冷却 高速炉	「設計・安全」「先進燃料」「革新機器」の3つのPMBに係るプロジェクト協定締結に向け原案作成中であり、来春締結の見込み。 さらに「もんじゅ」PMBを立ち上げ中。
ガス冷却高速炉	「炉システム概念」「R&D計画と国際協力」の検討状況に係る報告書作成中。 開発工程案では、2007年末にGFR概念の成立性判断ならびにフランスの提案する試験炉の建設採否を行う予定。
鉛合金冷却高速炉	R&D項目別の各国の関心度を調査(2003. 7)以降、顕著な進展なし。
超高温ガス炉	「水素製造技術」、「燃料・燃料サイクル」、「材料・コンポーネント」の3つのPMBにおける国際協力R&D項目及び計画案の検討中。「設計・安全性」PMBにおける検討を開始。
超臨界圧水冷却炉	「設計・統合」「材料・水化学」「伝熱流動・安全」の3つのPMBを設置し、R&D計画の見直しおよびプロジェクト協定案の検討中。材料開発は日米I-NERIとして本年度より開始予定。
熔融塩炉	顕著な進展なし。

# 第4世代原子力システム開発に関する主要工程



★ 共同声明 (1 月)

★ 憲章調印 (7 月)

★ 開発候補概念決定 (5 月)

★ 各候補概念に対するロードマップ策定 (12 月)

★ R&D 実施体制決定 (3 月)

★ 今後の進め方決定 (9 月)

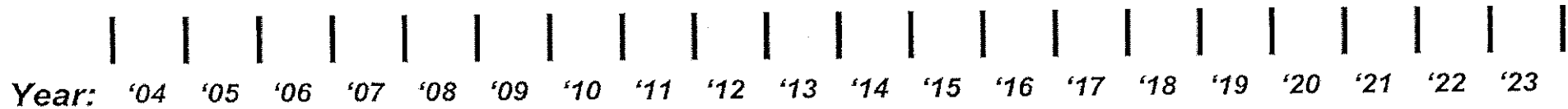
★ 政策グループ正式運用開始 (1 月)

☆ フレームワーク協定締結予定 (1 月)

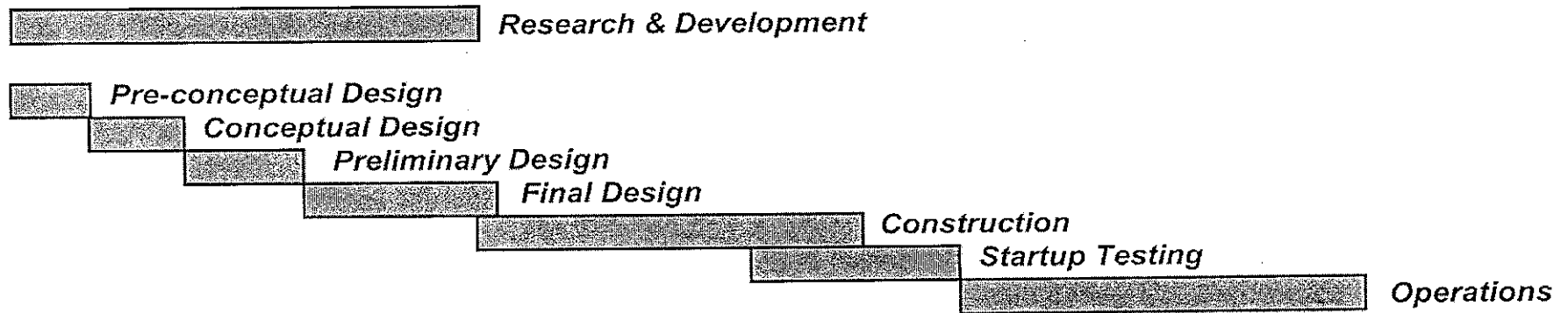
☆ システム協定、プロジェクト協定締結予定  
(~ 12 月)

# 米国におけるNGNPの開発工程

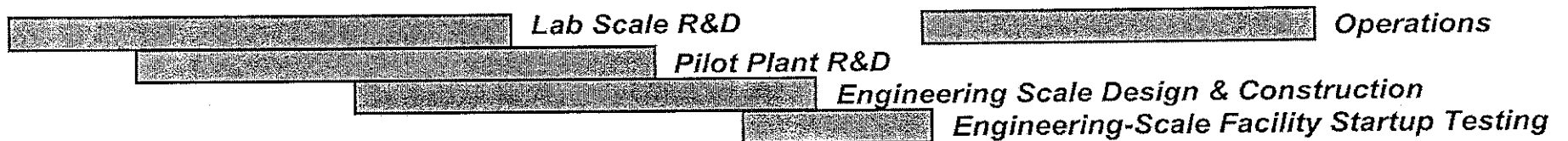
## Project Timeline



### NGNP Demonstrator Project



### Hydrogen Production Demonstrator



# Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI)

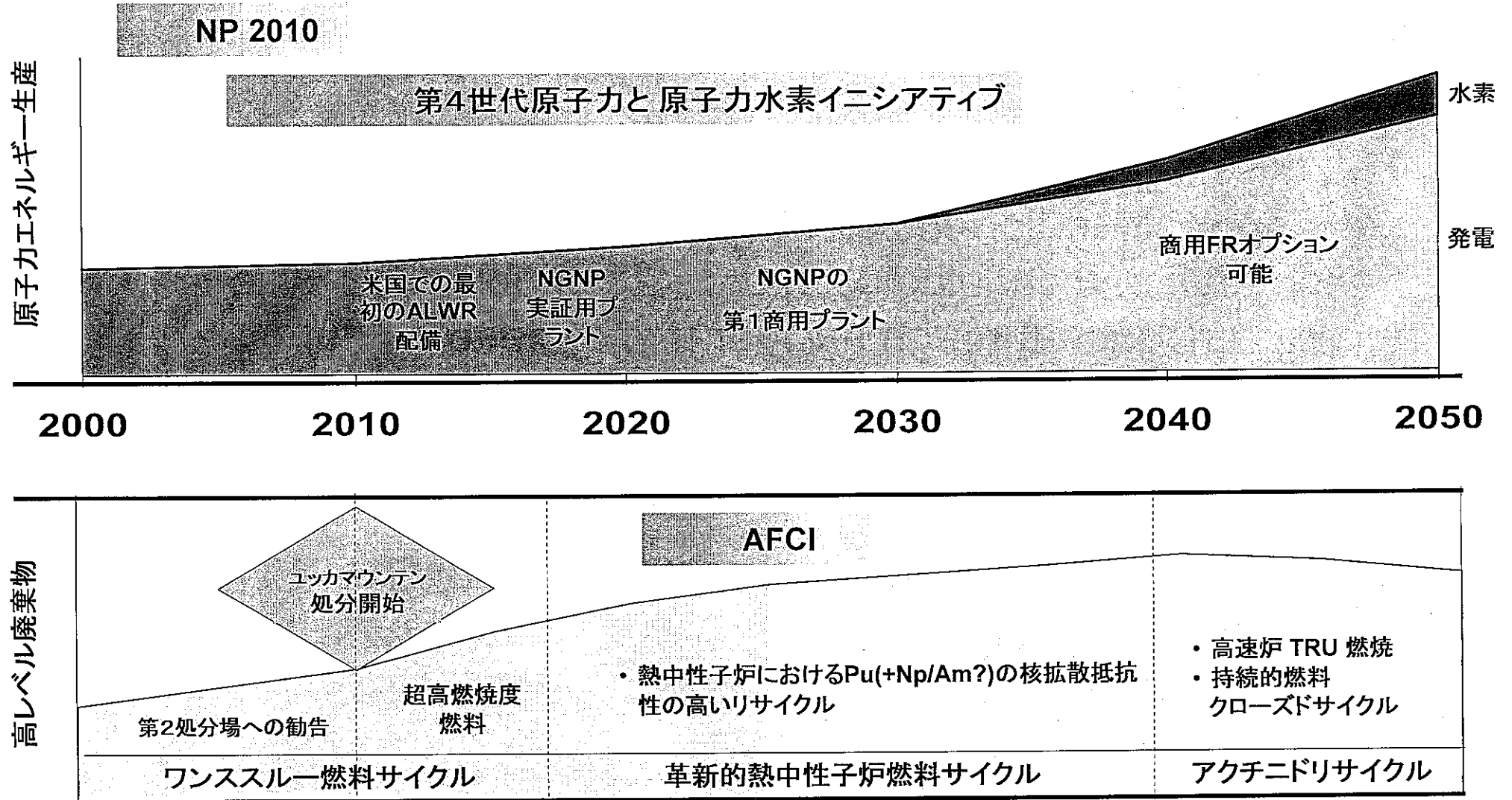
## Mission

The mission of the Advanced Fuel Cycle Initiative (AFCI) is to develop proliferation-resistant spent nuclear fuel treatment and transmutation technologies in order to enable a transition from the current once-through nuclear fuel cycle to a future sustainable, closed nuclear fuel cycle.

<http://www.nuclear.gov/>

先進的燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)の使命は、現在の直接処分から将来の持続型の閉じた核燃料サイクルへの移行を可能にするために、核拡散抵抗性の強い使用済燃料処理技術と核変換技術を開発することである。

# アメリカにおける原子力エネルギー長期戦略



# スーパーフェニックス炉の閉鎖について

仏ジョスパン首相の所信表明演説（1997年6月）

（抜粋：原子力関連）

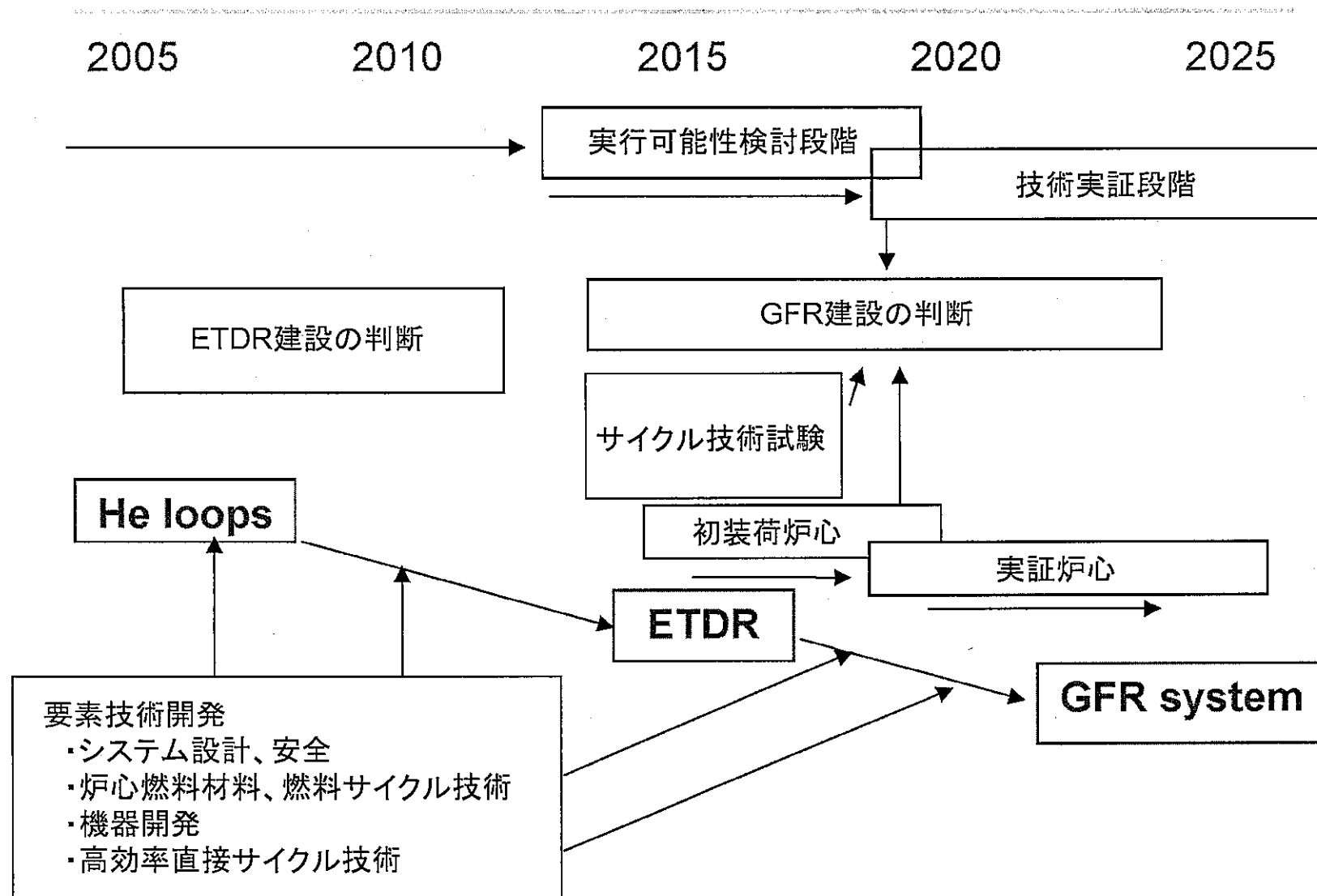
6月19日の仏国国民議会における所信表明演説において、以下の通り、仏国首相が高速増殖炉「スーパーフェニックス」の将来的な放棄を言及

Dans les domaines de haute technologie, qui comportent parfois des risques importants, je souhaite que les fonctions de contrôle ne soient pas confondues avec celles qui relèvent de l'exploitation.

Si l'industrie nucléaire est un atout important pour notre pays, elle ne doit pas pour autant s'exempter des règles démocratiques, ni poursuivre des projets dont le coût est excessif et la réussite très aléatoire : c'est pourquoi le surgénérateur qu'on appelle <<Superphénix>> sera abandonné.

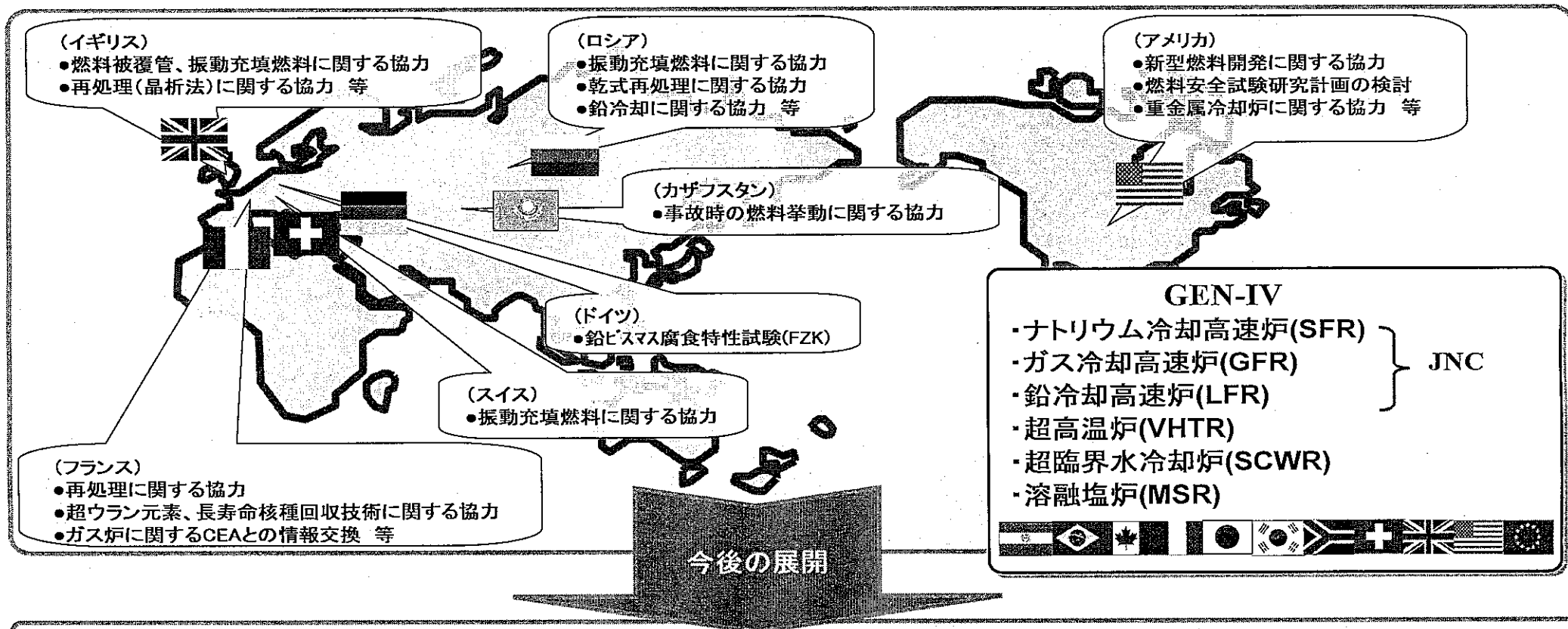
「時として重大なリスクを持つハイテク分野においては、抑制と開発を進めていくことを混同してもらいたくない。原子力産業が我が国にとって非常に重要であるからといって、民主主義のルールに従わずに済むものではないし、経費が高すぎ、成功が確実でないようなプロジェクトを続けていくべきものではない。従ってスーパーフェニックスと呼ばれる高速増殖炉は将来的に放棄する。」

# フランスにおけるガス冷却高速炉 (GFR) 開発工程



F. Carre, CEA, "CEA Plans of International Cooperation on Generation IV Nuclear Energy Systems and related Advanced Nuclear Technologies"

# 実用化戦略調査研究における国際協力



## 二国間協力の新たな取り組み

- ・「もんじゅ」、「常陽」の国際的な照射場としての活用 (MA燃料集合体照射試験、金属燃料照射試験 等)
- ・新規の基礎・基盤技術に関する研究協力 (I-NERI:ハイブリッド熱化学水素製造法 等)

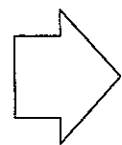
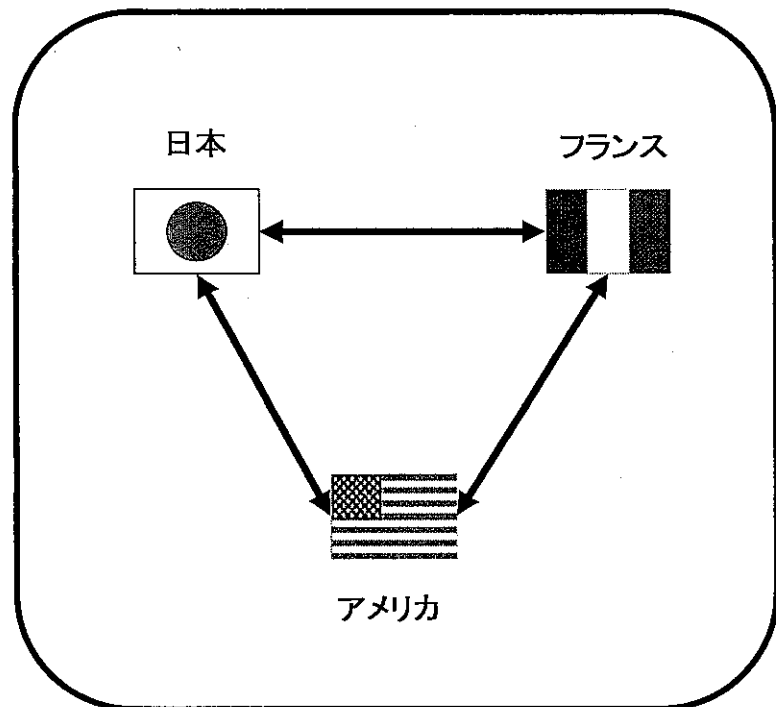
## GEN-IV等への取り組み

- ・グローバルスタンダードとなる次世代原子力システムの構築を目指し、今後の国際協力の中核として推進
- ・共通枢要技術を中心とした国際的協力体制による研究開発の実施 (「もんじゅ」、「常陽」の活用を含む)
- ・将来的には国際共同プロジェクトによるシステム設計の実施



# もんじゅを用いたMA含有燃料集合体の実証試験

三国協力



MA-MOX燃料集合体

