

原子力発電・核燃料サイクル勉強会（第1回目）

平成23年11月17日（木）

配布資料

六ヶ所再処理工場を止めた場合  
及び原子力からフェードアウトした場合のデメリット

平成 23 年 11 月 17 日  
日本原子力研究開発機構  
次世代原子力システム研究開発部門

1. 六ヶ所再処理工場を止めた場合のデメリット

(1) 使用済燃料管理の困難化（処分場及び中間貯蔵施設の立地対策等）

【デメリット】

- 炉サイト使用済燃料貯蔵の長期化・容量増加が必要
- 中間貯蔵施設の複数立地が必要
- 高レベル放射性廃棄物（使用済燃料）増加と処分場の複数立地が必要
- Pu を含む使用済燃料直接処分関連の研究開発・制度設計が必要
- バックエンド政策全般の実現性に疑問が生じる可能性あり

【論点・データ】（上記デメリットの明確化のための論点と必要なデータ：以下同じ）

- 炉サイトで貯蔵される使用済燃料量、必要な対策（地元理解を含む）
- 中間貯蔵する使用済燃料量、必要な立地対策（貯蔵長期化に関する立地地域の懸念解消）
- 高レベル放射性廃棄物（使用済燃料、ガラス固化体）量、処分場面積・サイト数、必要な立地対策
- 超長期の（Pu を含む）使用済燃料管理制度設計上の課題（核セキュリティ、保障措置の終了可否、想定される業務量等）
- 直接処分に関する研究開発課題・計画、実施主体選定・予算・人員の見通し等

(2) 回収したプルトニウムとウランの再利用によるウラン資源節約の機会喪失

【デメリット】

- 回収ウランの再利用ができず、天然ウラン節約効果や経済性向上効果を楽しめない。（原子力発電利用を維持する場合）
- 回収プルトニウムの再利用ができず、天然ウラン節約効果を楽しめない。

【論点・データ】

- 回収ウラン利用の経済的なメリット（技術検討小委で既出）、天然ウラン節約量
- ウラン探鉱促進の確実性、非在来型ウラン資源利用に関する開発課題、実現性

(3) 核燃料サイクル（FBR も含む）という選択肢の喪失

【デメリット】

- 将来の原子力政策が不確実ななか、長期的なエネルギー安定供給と環境負荷の低

減を可能とする FBR サイクル開発・導入を放棄

- 日米協定等をはじめ、我が国の再処理実施に対する国際社会による承認の放棄（先人による原子力外交における努力の放棄）
- 再処理施設が各国で建設・操業される事態となった場合、それらが高い核拡散抵抗性（保障措置の適用を含む）を備えた施設となるよう、我が国の開発成果や運転経験を活かして先導することが困難となる。

#### 【論点・データ】

- 燃料サイクル以外の安定供給確保方策の実現性（ベストミックスの議論、コスト・経済性影響、CO2 影響等、長期的には 2. と共通）
- 東海再処理交渉（1977～1980）、日米再処理交渉（1982～1988）、LASCAR（1988～1992）等の経緯の確認とその再実施の困難性
- 非核兵器国における核拡散抵抗性の高い再処理技術開発の促進方策の実現性（六ヶ所再処理施設が停止された場合における核不拡散規範の確立方策等）

## 2. 原子力がフェードアウトした場合のデメリット

### （1）エネルギー供給の不安定化

#### 【デメリット】

- 資源供給の観点から長期的なエネルギー・セキュリティの確保が困難
- 原子力発電が減少するため、速やかな対策（省エネ、代替電源の開発・導入）が必要

#### 【論点・データ】

- 省エネのポテンシャル、実現性（当面可能な節電、高効率化等の実施可能な規模）
- 火力発電の焼き増し余力や新規立地上の問題点、化石燃料の安定供給確保の可能性（天然ガスの国際パイプラインによる安定供給確保の問題点、中近東、東南アジアのチョークポイントにおけるセキュリティ確保等）
- 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル、安定性・経済性（機器の低価格化、設置の容易化、発電効率向上等）見通し
- 熱効率向上、送電ロス低減、スマートグリッド、運輸利用技術等、エネルギー転換、利用技術を中心とする省エネ技術の実用化見通し、とその効果

### （2）原子力施設の安全性・信頼性確保の困難化

#### 【デメリット】

- 原子力産業に携わる人材の減少・枯渇による、寿命期間内の原子力発電所等の安全性・信頼性確保への不安

#### 【論点・データ】

- 現場における知識継承の方策

- 原子力の専門家（研究者、技術者）の推移・見通し、原子力を専攻とする高等教育機関の定員等
- 操業中・及び廃止措置中の施設の推移と必要となる人員数

### （3）地球温暖化対策の困難化

#### 【デメリット】

- 炭素排出削減に関する京都議定書等の国際約束の履行が困難
- 今後も積極的な削減方針を打ち出せず、国際的な信用、期待を喪失する可能性
- SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 等の排出も再増加の可能性

#### 【論点・データ】

- 原子力減少時の CO<sub>2</sub> 発生量の見通し
- 炭素回収・貯留技術のポテンシャルと経済性への影響（特に長期の大量貯留方式の安全性・信頼性の確認と経済性等）
- 原子力減少時の SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 発生量の見通し

### （4）我が国の経済への悪影響

#### 【デメリット】

- 発電コスト高騰による実質的な家計負担増、企業の国際競争力低下
- 化石燃料資源の輸入増加による貿易収支の悪化、海外移転等による産業空洞化及び経済成長全般への悪影響

#### 【論点・データ】

- 発電コスト見通し
- 家計負担増と各産業への影響（電力費割合・製造原価への影響等）
- 化石燃料資源輸入量、輸入増加（費用増加）見通し
- 企業の海外移転の意思（アンケート結果等）
- GDP 等への影響

以上

11月17日版ドラフト

# 高速炉サイクル技術開発の意義

平成23年11月30日

日本原子力研究開発機構

次世代原子力システム研究開発部門

# 目次

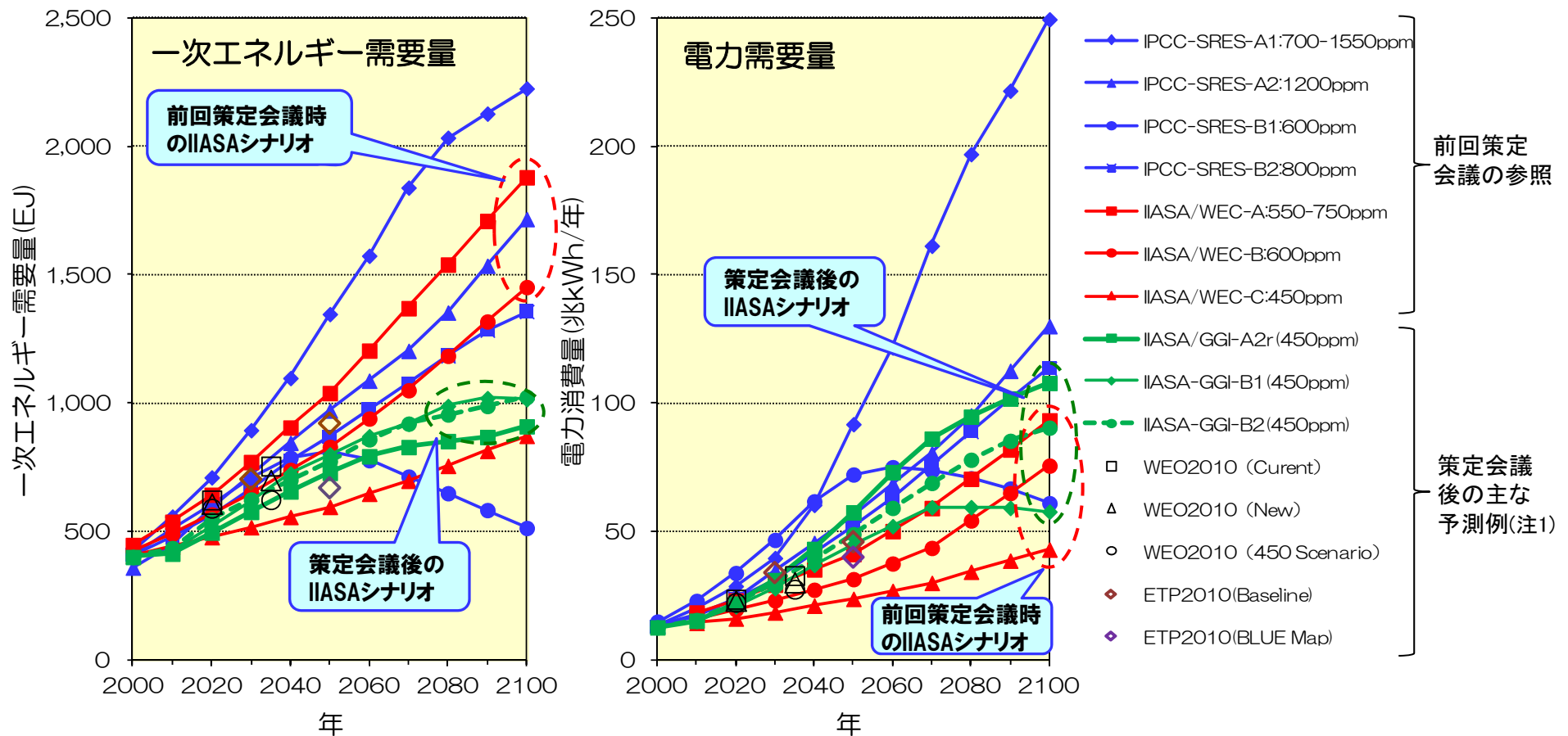
---

<b>I. 前回の政策大綱策定時からの環境の変化</b>	<b>2</b>
<b>II. 高速炉サイクル技術開発の目的(意義)と効果</b>	<b>6</b>
<b>III. 技術開発の現状</b>	<b>9</b>
<b>IV. 今後の取り組み</b>	<b>12</b>
<b>添付資料</b>	
<b>A. 高速炉の安全性</b>	<b>14</b>

# **I. 前回の政策大綱策定時からの環境の変化**

# 世界の一次エネルギーと電力の需要見通し

- より厳しいCO<sub>2</sub>制約シナリオが主流になってきている
- 一次エネルギー需要量は、省エネ等で低減の方向
- 電力需要量は、脱CO<sub>2</sub>を目指した電力利用へのシフトで増加の傾向



(注1)①IIASA/GGI: International Institute for Applied System Analysis (IIASA) Greenhouse Gas Initiative (GGI) Scenario Database, 2011  
 See also the special issue on the GGI scenarios, forthcoming in Technological Forecasting and Social Change (Vol. 74/8-9, October/November 2007).  
 ②WEO2010:World Energy Outlook 2010,IEA  
 ③ETP2010:Energy Technology Perspective 2010,IEA



# 福島事故の各国原子力政策への影響

- 世界的に原子力発電推進の動き。福島原発事故前後で多くの国々の政策に変更なし
- 事故前に脱原発政策を見直していた国は、事故後再び脱原発政策に回帰
- 世界の高速炉実用化計画は着実に進行

## ◆世界の原子力導入・利用計画

- ◆ ドイツ、イタリアを除くG8各国は利用拡大を維持
- ◆ アジアでは大幅増設計画を維持
- ◆ 新規導入を計画している国の多くは計画を維持（但し、インドネシア等一部の国は慎重姿勢）
- ◆ ドイツ、イタリア、ベルギー、スイスは脱原発政策に回帰

## ◆世界の高速炉開発・利用計画

- ◆ フランス・韓国は実用化計画発表
- ◆ ロシアは開発予算を大幅増額
- ◆ 中国は自主技術のみならずロシアと協力して実用化促進
- ◆ インドは高速炉開発計画を促進
- ◆ 米国・EUはR&D継続

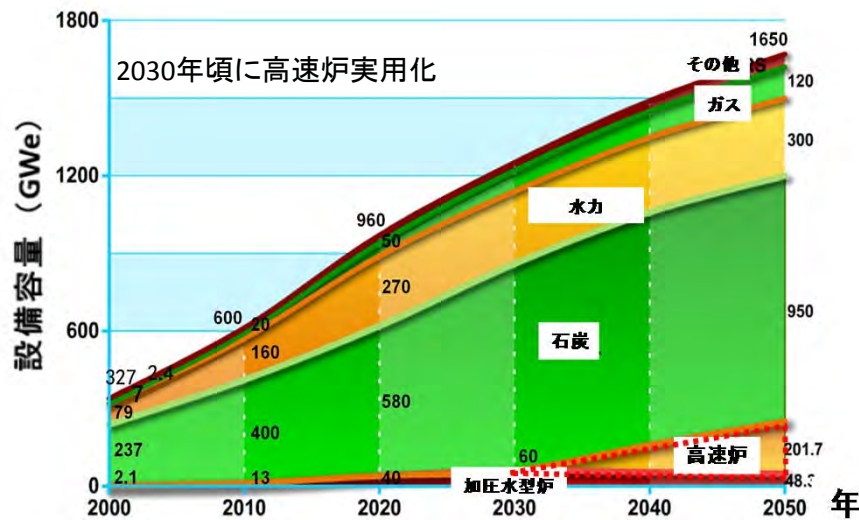
# 世界の原子力・高速炉利用計画

- アジア、特に中国、インドを中心に原子力利用拡大を計画
- 2050年時点の原子力発電設備容量は、中国:240~250GWe、インド:約270GWe
- 高速炉実用化計画はアジアを中心に着実に進行。  
2050年時点の高速炉の設備容量は、中国:200GWe、インド:約260GWe



中国

大幅増強を計画、徐々に高速炉に移行

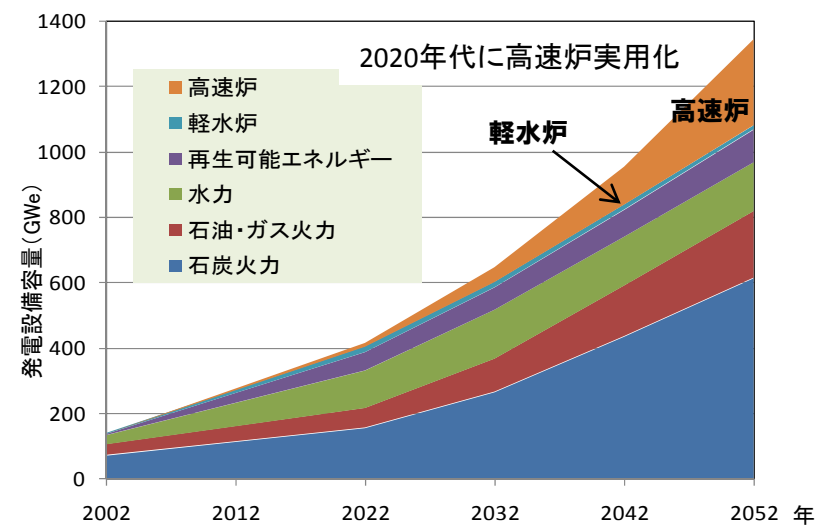


出典:FR09資料



インド

大幅増強を計画、徐々に高速炉に移行



出典:Dr. Anil Kakodkar, "Nuclear Energy in India- Retrospect and Prospects," An International Journal of Nuclear Power-Vol.18, No.2-3 (2004)



ロシア

大幅増強を計画、徐々に高速炉に移行

2020年代に高速炉実用化

2050年に約100GWeに増大(うち高速約40GWe)



韓国

大幅増強を計画、徐々に高速炉に移行

2040年頃に高速炉実用化

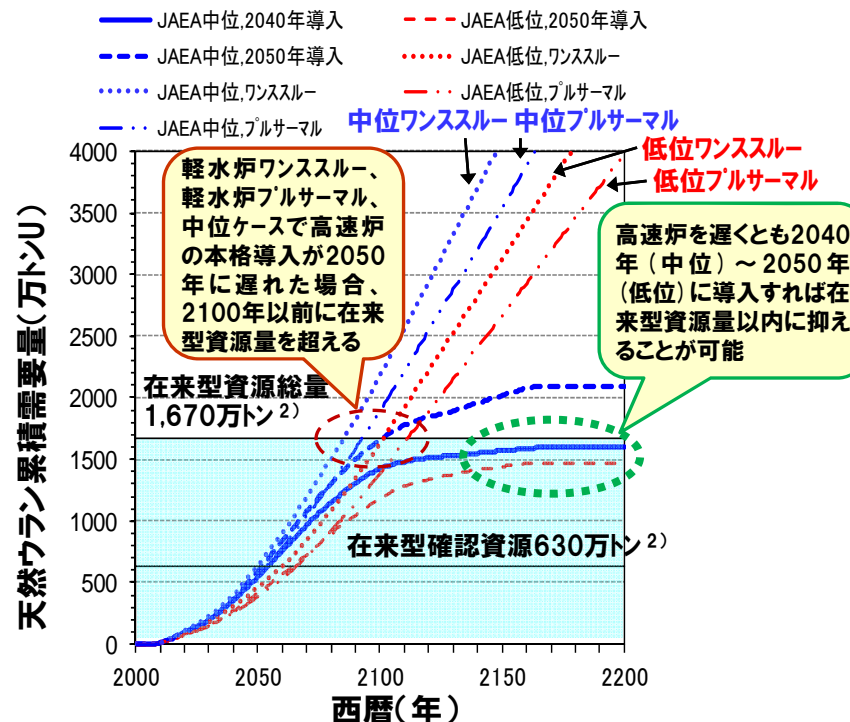
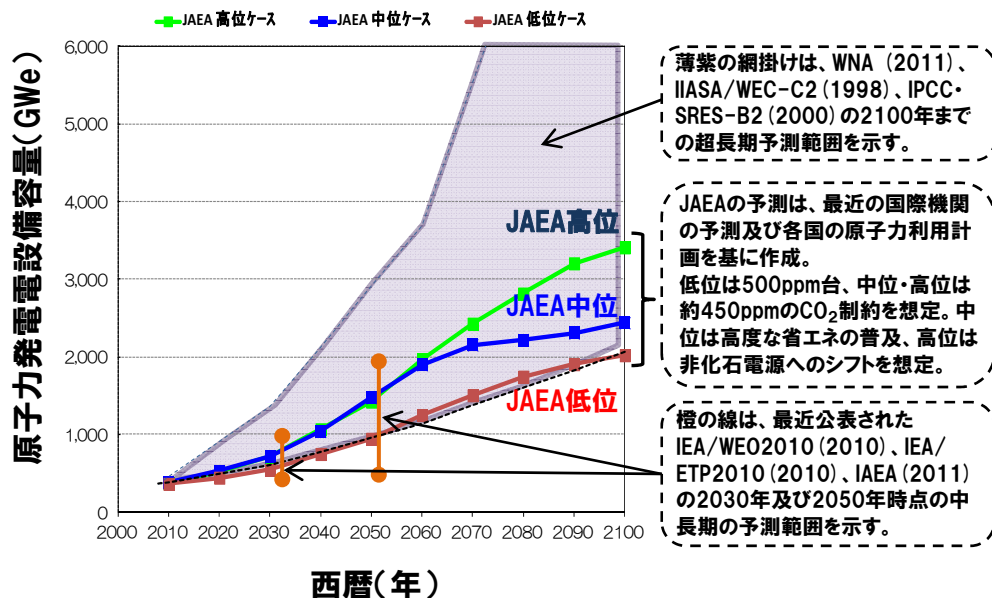
2100年頃には約74GWe(うち高速炉約40GWe)

## **II. 高速炉サイクル技術開発の目的(意義)と効果 (資源と環境の観点から)**

# ウラン資源制約からの解放

- 中国、インド等のアジアを中心に世界では大容量安定電源としての原子力の利用が拡大する見通し
- 在来型ウラン資源※は21世紀末までには枯渇する可能性が高く、国際的な資源獲得競争が起こる可能性がある
- 将来が不確実な中、エネルギー安全保障の観点から高速炉サイクルの開発が必要

(※資源量と価格共に不確実性の高い未発見資源の増加や非在来型ウラン資源の回収は、長期的な電力安定供給を目的とする原子力の開発戦略構築の前提とはしない)

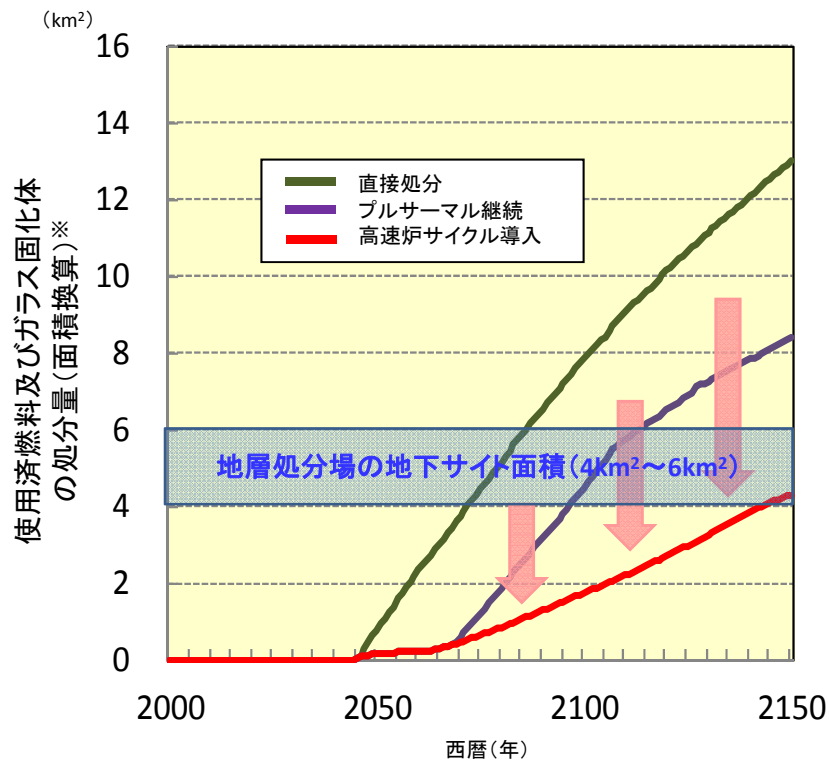


主要機関およびJAEAによる原子力発電電力量の将来予測<sup>1)</sup> 天然ウラン累積需要量の推移(高速炉導入と軽水炉ワンスルー)<sup>3)</sup>

1) IIASA/WEC: "GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES" IIASA/WEC(1998)、IPCC/SRES: "Special Report on Emissions Scenarios", IPCC(2000)、WEO: "World Energy Outlook 2010" IEA(2010)、ETP: "Energy Technology Perspectives" IEA(2010)、IAEA: "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 20350 2011 Edition" IAEA(2011)、WNA: "The WNA Nuclear Century Outlook" WNA(2011)  
 2) Uranium 2009, OECD/NEA-IAEA  
 3) 日本原子力研究開発機構試算

# 高レベル放射性廃棄物による環境負荷の低減

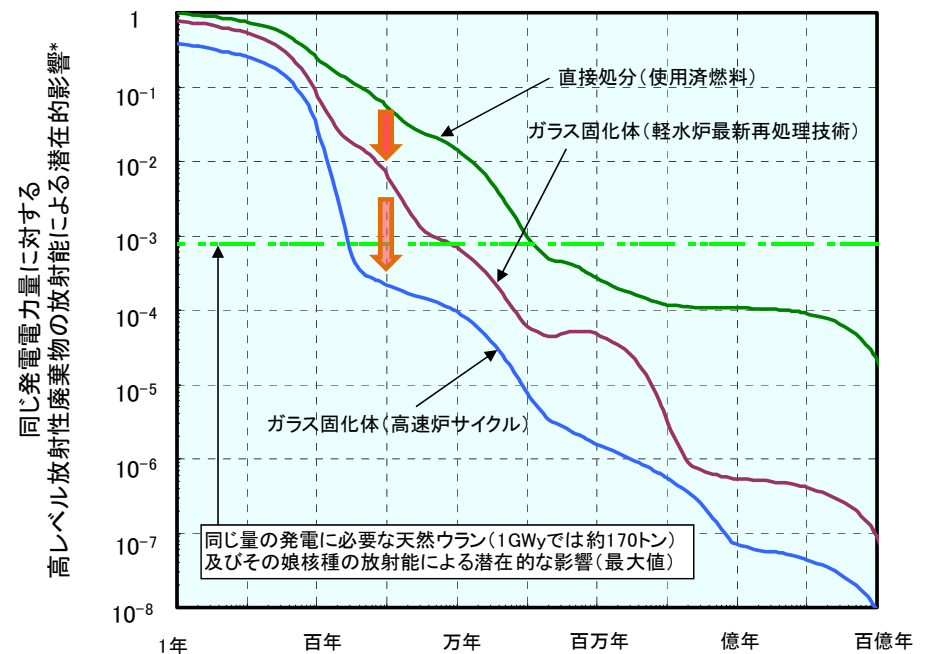
- 高速炉サイクルの導入により、高レベル放射性廃棄物発生量を大きく低減し、処分場数を抑制可能
- 高速炉サイクルによるMA 燃焼により、高レベル放射性廃棄物による潜在的有害度(毒性)も大きく低減可能
- 環境負荷低減の観点からも高速炉サイクル開発の継続が必要



※) 処分場に搬入され、処分された時点の量を示す。

※) 原子力発電設備容量は40GWe、使用済燃料とガラス固化体は50年間中間貯蔵、高速炉は2050年導入。

高速炉サイクルによる高レベル放射性廃棄物処分場面積の低減



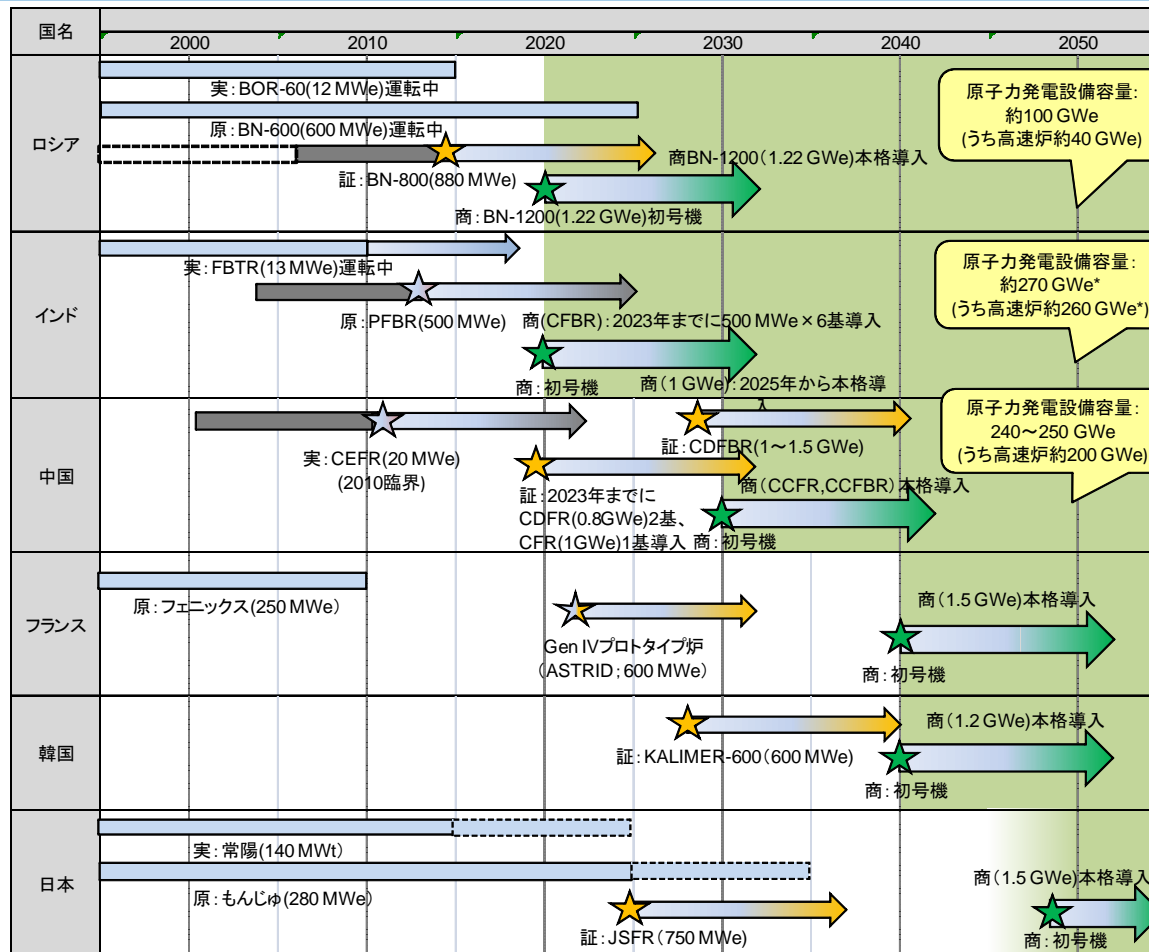
\*) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。

高速炉サイクルによる潜在的有害度の低減

### **III. 技術開発の現状**

# 世界の高速炉開発計画の現状

- ▶ 仏国と日本は、安全性等に対して総合的に優れた第4世代炉の実証炉を2020年代に実現する計画
- ▶ ロシアやインドは、より早期の実用化を指向し、既存技術をベースに積極的な技術開発を推進。2010年代に原型炉または実証炉を建設し、2020年代には商用炉を導入する計画
- ▶ 第4世代炉としての高い安全性・信頼性を有する高速炉技術を世界に定着させるためには、安全設計クライテリアやISIガイドライン等のクライテリアの国際標準化を早期に実現する必要がある



実: 実験炉、原: 原型炉、証: 実証炉、商: 商用炉、MWe/GWe: 電気出力、MWt: 熱出力 ☆: 運転開始を示す。

(注) インドの2050年の高速炉を含めた原子力発電設備容量は暫定値(海外からの軽水炉の輸入量を見込んで現在見直し中とのこと)

- 経済成長を続けるアジアを中心とした国々は、資源制約からの脱却を目標とした増殖炉を開発。
- 米国は、環境負荷低減を目標とした燃焼炉の開発を指向。
- なお、欧州ではEUが中心となってMA、FPの核変換実験等を目的に加速器駆動未臨界炉(MYRRHA)の開発も進められている。

# 国際協力の活用

- 高速炉サイクルの開発を進める国々の間では、実用化に向けた技術開発の国際協力が活発化。国際的パートナーシップの競合化が始まっている。
- 我が国は、「常陽」、「もんじゅ」の設計、建設、運転及びFaCTプロジェクト等の実施により培った高い技術力を有しており、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)では、議長国として次世代高速炉開発の中核的役割を果たしている。
- 我が国は、2カ国/3カ国間及びGIF等の多国間の国際協力の枠組みを駆使して、世界の高速炉サイクル開発をリードする立場にある。

## 仏露協力

CEA-ROSATOM  
協力取決め(次世代炉開発を含む)、2010.6

## 米露協力

“米露123agreement”  
(革新的原子力システム開発を含む)、“2011.1

## 日米仏

CEA-DOE-JAEA  
高速炉覚書(MOU) 2008.1

## 仏印協力

仏CEA-印DAE  
原子力科学技術に関する  
協力取決め、2010.12

## 中露協力

露よりBN800の  
技術導入、2009.10

## 印露協力

印-ROSATOM  
協力覚書(高速炉開発を含む)、2010.12

JAEA-CEAフレームワーク取決め、2005.12

日米原子力共同行動計画(JNEAP) 2007.4

## 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF) [参加国:12カ国1機関]

ナトリウム冷却高速炉(SFR)システム取決



## 国際原子力機関 (IAEA)

革新的原子炉および燃料サイクルに関する国際プロジェクト(INPRO) [参加国:33カ国1機関]



## **IV. 今後の取り組み**

## 今後の取り組み

---

- 将来のエネルギー政策と原子力利用政策が未確定の現状においても、将来の基幹エネルギーの有力な選択肢であり、かつ廃棄物低減に極めて有効な高速炉サイクルの研究開発の継続が必要。もんじゅは世界的にも、高速炉開発のための貴重な施設。
- その際、増殖炉と燃焼炉及び、そのサイクルの技術課題はほぼ共通であるため、各国の開発目的が異なっても、国際協力が可能。
- 我が国の開発動向に係らず、世界各国は高速炉サイクル開発を推進しており、軽水炉のような国際的に共通の安全設計クライテリアの構築が必要。
- 世界が安全性・信頼性の高い高速炉サイクルを導入するよう、我が国の高い技術レベルを生かし、今後も国際的な安全設計クライテリア構築等を先導する責務を有す。

**添付資料 A.  
高速炉の安全性**

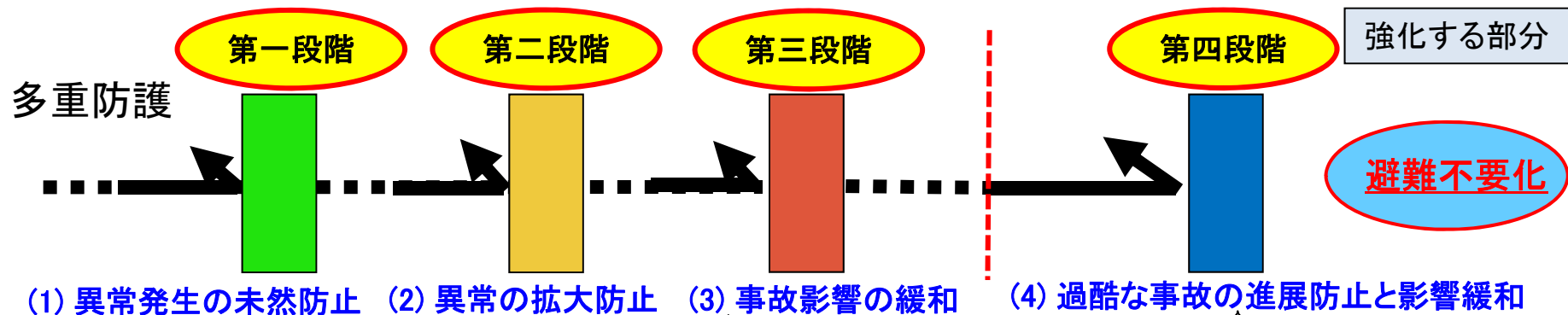
# 高速炉の安全確保の考え方

---

- 多重防護の設計
- 「止める」「冷やす」「閉じ込める」
  - 軽水炉と同様の基本となる安全設計の考え方
- ナトリウムの化学反応に対する対策
  - 原子炉の安全に影響しないようにする
- 過酷な事故への対応を取り入れた安全設計
  - 自然にはたらく安全機能を取り入れる
    - 止める⇒自然に止まる
    - 冷やす⇒自然に冷える
  - 閉じ込める⇒原子炉容器の中で+格納容器の中で閉じ込める
- 福島事故が起こったとしても「止める」「冷やす」「閉じ込める」を可能とする
- 国際的な議論を通じて構築される安全設計クライテリアに適合するようにする

# 高速増殖実証炉の安全設計の考え方

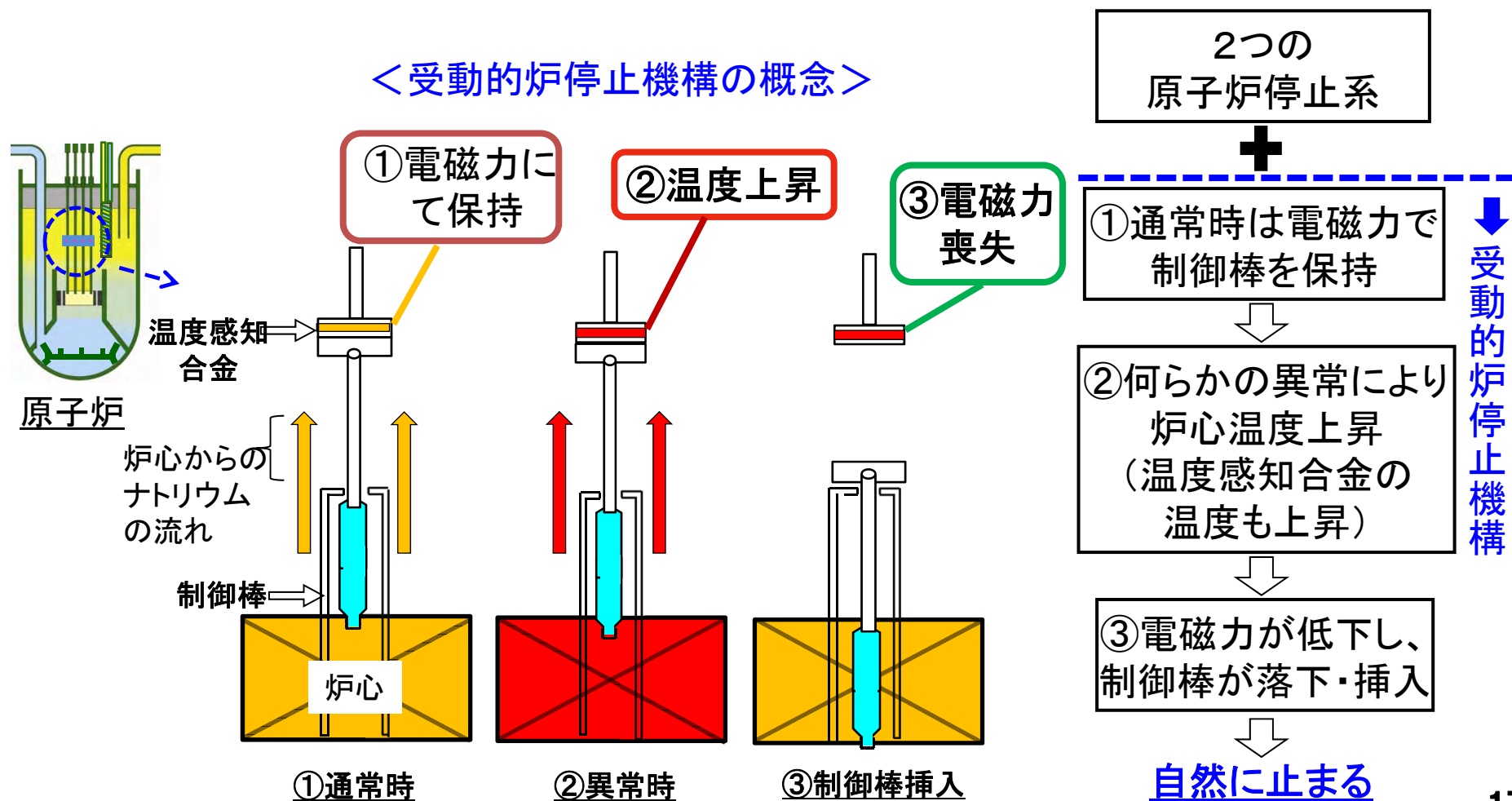
多重防護の第四段階を強化して、第三段階の安全装置が働かない場合にも、自然に「止める」「冷やす」ができるようにし、さらに、炉心が溶融したとしても「閉じ込める」ができるようにする



		設計基準事故	進展防止	影響緩和
異常がおきにくい設計	止める	2つの原子炉停止系 (センサと電気回路で作動)	受動的炉停止機構 (自然に作動)	閉じ込める
◆ 余裕ある設計 ◆ 検査で確認	冷やす	自然循環による冷却系(複数用意) (自然に作動)	アクシデントマネジメント (代替りの手立てを用意)	原子炉容器内での閉じ込め 格納容器内での閉じ込め

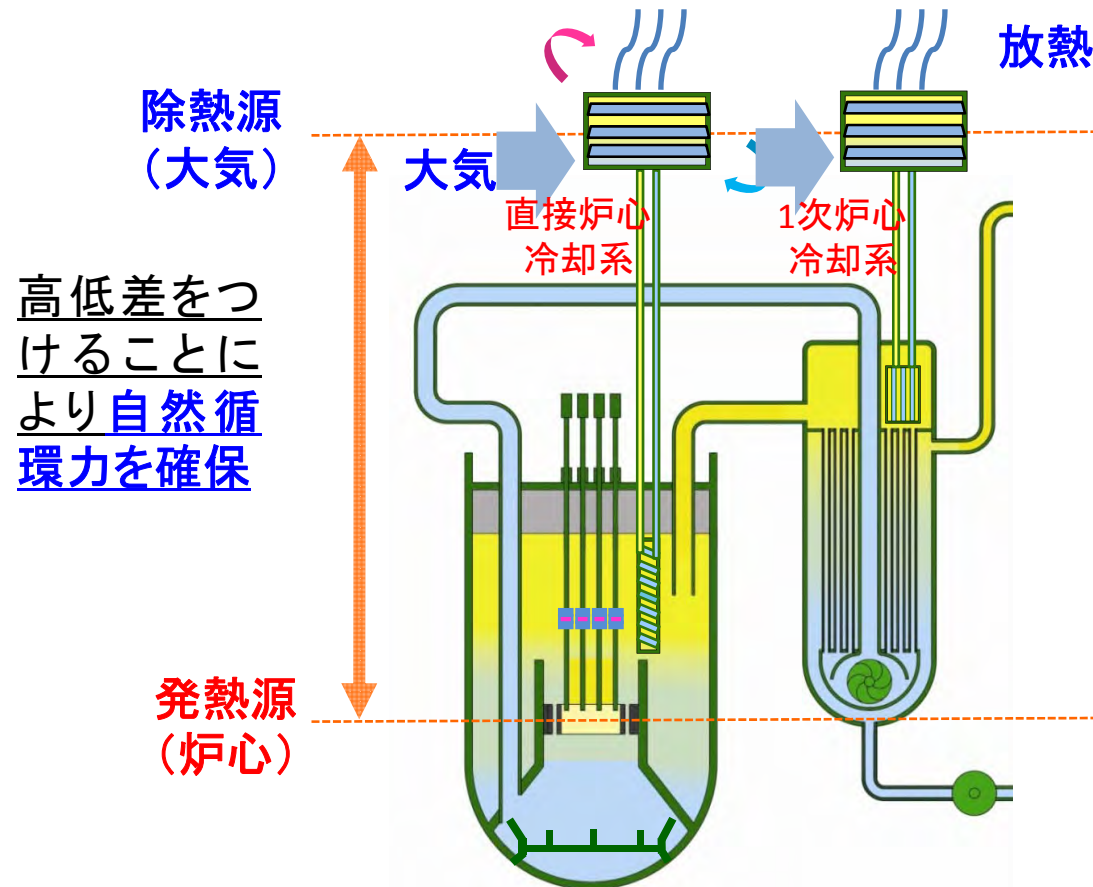
# 原子炉停止(止める)

- センサと電気回路で作動する2つの原子炉停止系で原子炉を安全に止める
- さらに炉心の温度が異常に上昇すると、温度感知合金により電磁力が急速に弱まり、制御棒は自らの重みで自然に落下して炉心に入る。⇒自然に止まる



# 原子炉停止後の冷却(冷やす)

- 温かい液体は上に、冷たい液体は下に動こうとする(密度差)。これを自然循環と呼び、この原理を利用して、炉心から一定以上の熱が発生する限り、**動力電源を喪失しても、長期的に炉心を冷却可能。**⇒自然に冷える
- 自然循環による冷却については、「常陽」や海外の高速炉で試験実績がある。



① 炉心に熱がある限り長期冷却可能

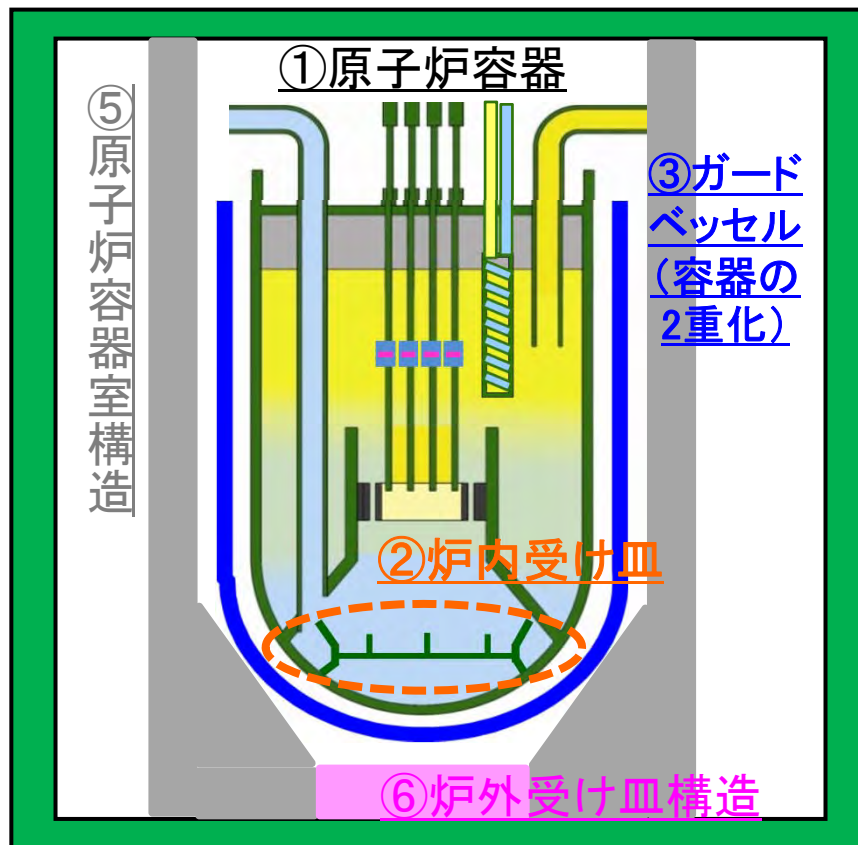
② 動力電源が不要

③ 複数の設備を設置

自然に冷える

# 格納(閉じ込める)

- 万一炉心が溶融するような事態となっても、**原子炉容器内で事象を終息させ、溶けた燃料を安定に保持できる(閉じ込められる)**ようにする。→ **再臨界回避炉心・構造設計＋受け皿**
  - 冷却材(ナトリウム)の沸点が高いため低圧で運転が可能(閉じ込めやすい)。
  - 沸騰により冷却材が無くなることはない(冷やす機能を維持しやすい)。



④格納容器

前提: ①原子炉容器で放射性物質をしっかり閉じ込める

+

炉心溶融時も、②炉内受け皿で溶けた燃料を受け止め、原子炉容器内で保持・冷却可能

+

仮に原子炉容器が損傷しても、③ガードベッセルで冷却材(ナトリウム)を確保し冷却を維持＋放射性物質の拡散は④格納容器で抑制

さらに、ガードベッセルまで破損を仮定した場合は・・・

⑤原子炉容器室の容積制限・断熱構造・冷却コイルで冷却材・冷却性能確保。2次系からのナトリウム補充も可能

溶融燃料の原子炉容器・ガードベッセル貫通まで仮定した場合は・・・

⑥炉外受け皿構造で溶融燃料を冷却、安定保持が可能

**閉じ込め性を確保して、避難不要化**



# ナトリウム漏えい(化学反応)対策

高速炉の固有の課題: 冷却材であるナトリウムは空気や水と反応しやすい

## ＜ナトリウム系統＞

- ・低圧のため激しく漏えいすることはない。
- ・2重構造により漏えいしてもナトリウムの広がる範囲を限定+窒素雰囲気による燃焼抑制
- ・厳しい地震や配管の破断を考慮して、ガードベッセルと外管の強度を向上。

## ＜蒸気発生器＞

- ・伝熱管破損時には水とナトリウムが激しく反応。このため、以下の対策を施し炉心への影響を排除
  - －2次冷却系の設置により炉心への影響を抑制。
  - －水漏えいを早期に検知し、水・蒸気を排出することで反応停止。

① 容器・配管の2重化

+

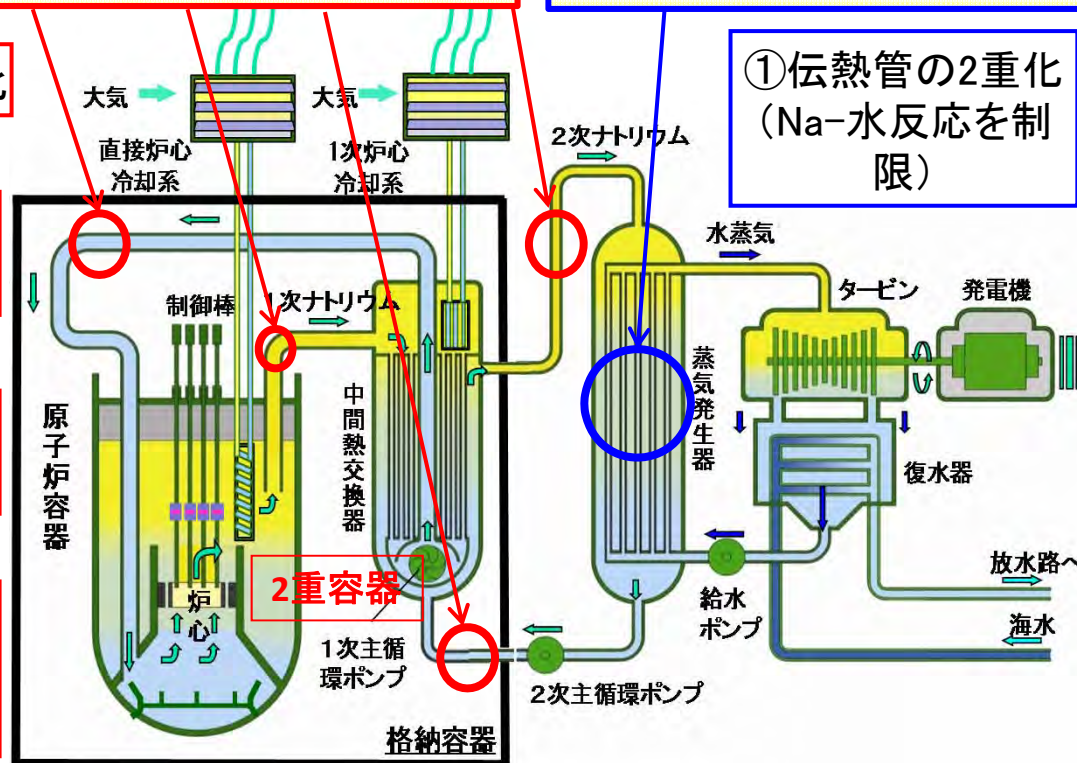
② 漏えいしても、窒素により燃焼防止

+

③ 早期検知で原子炉を安全に停止

+

④ 更に格納容器で閉じ込め  
+ 移送・貯留設備



① 伝熱管の2重化 (Na-水反応を制限)

+

② 早期検知で原子炉安全停止

+

③ 早期検知で水-蒸気を排出 (反応をストップ)

+

④ 発生する水素や圧力を適切に処理・開放

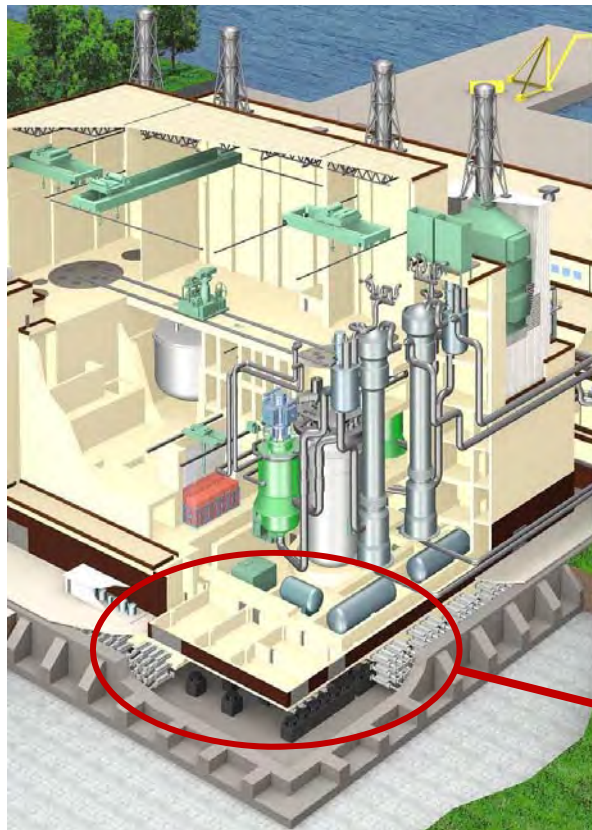
+

⑤ 2次系の存在により1次系への影響抑制

# 耐震性の強化

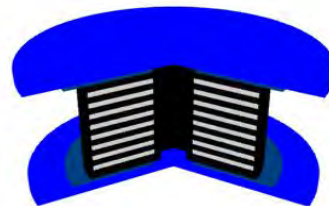
高速炉の固有の課題：軽水炉に比べて薄肉構造ゆえ地震対策が重要

- ・ **建物を免震構造**とすることにより、機器に対する地震の揺れを低減し余裕を確保  
— 設計に使用する地振動は福島事故よりもさらに厳しい条件を想定
- ・ 原子炉容器の厚みを増加させるなど**機器の強度を向上**



高速炉用の免震システムを開発

従来より厚肉の積層ゴム + オイルダンパー



直径：φ1600mm

ゴム層厚：30mm程度

ゴム層数：10～12枚程度



建屋免震技術

原子炉容器の耐震性を確保する  
のに必要な、免震システムの水平  
周期、上下周期の長周期化を実現

## 高速炉の安全性のまとめ

---

- 過酷な事故を想定しても避難の不要なプラントを実現します。
  - 過酷な地震や電源喪失にも耐えられるようにします。
  - 「止める」「冷やす」に加えて、自然に「止まる」「冷える」機能を設計に取り入れます。
  - 炉心が損傷しても閉じ込め機能を確保します。
  - ナトリウムの燃焼や水との反応が炉心の安全に影響しないようにします。