

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

目次

I. 前回の政策大綱策定時からの環境の変化	2
II. 高速炉サイクル技術開発の目的(意義)と効果	6
III. 技術開発の現状	9
IV. 日本の今後の取り組みについて(開発実施機関の視点から)	17

添付資料

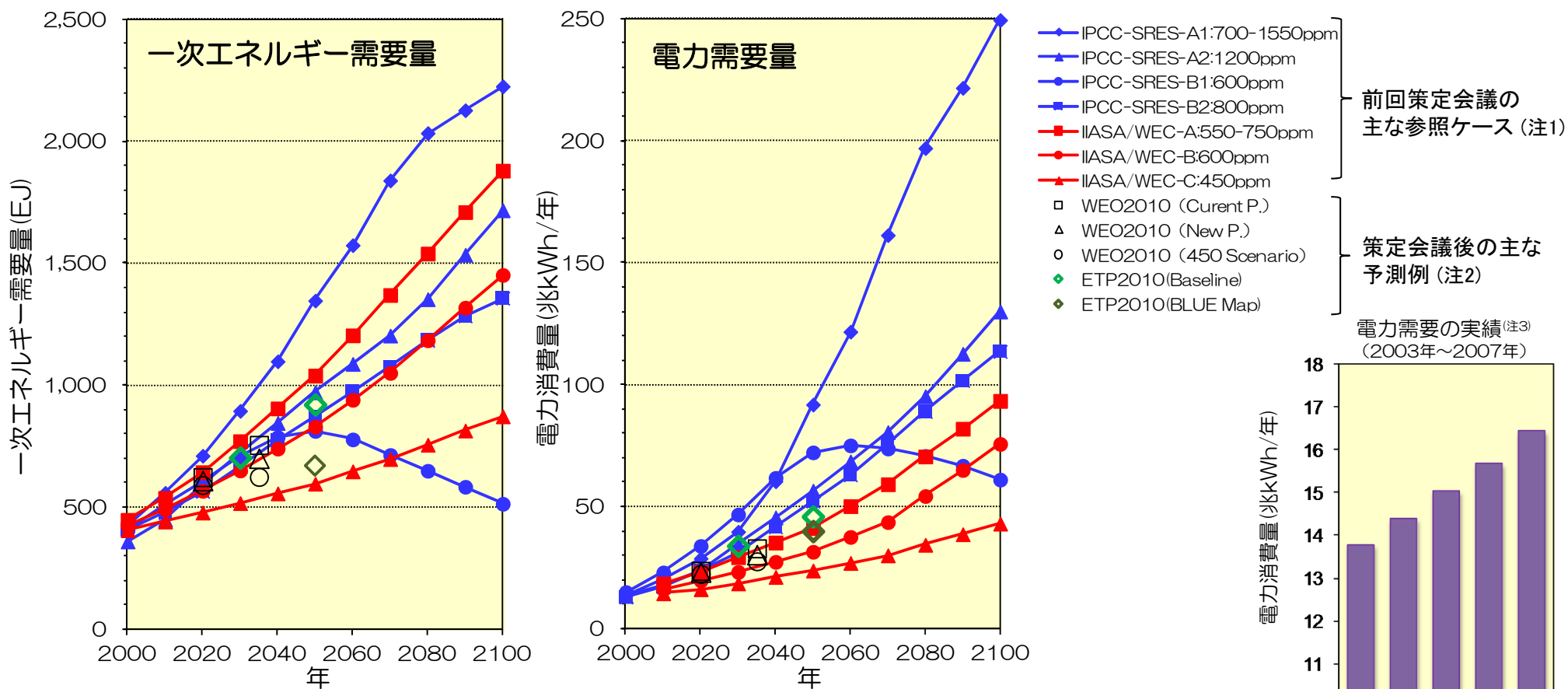
A. 核燃料サイクル	19
B. 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故後の対応	21
C. 東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた「もんじゅ」の安全対策	24
D. 第4世代高速炉の安全性	29
E. GIF(第4世代原子力システム国際フォーラム)	33

高速炉：この資料では、この用語を、増殖率1.0を超える高速増殖炉、及び環境負荷低減性の観点からPu燃焼を重視した増殖率1.0以下の炉を含めた総称として用いている。

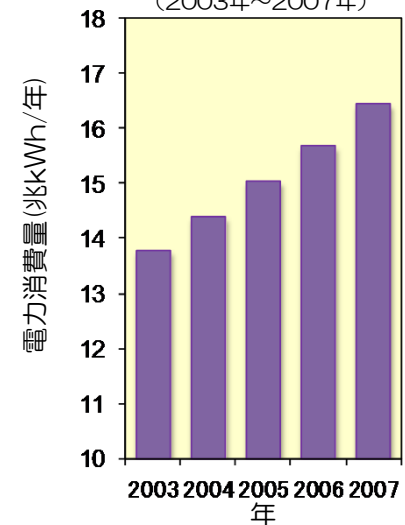
I. 前回の政策大綱策定時からの環境の変化

世界の一次エネルギーと電力の需要見通し

- 一次エネルギー需要量と電力需要量については、最近の国際機関の評価では引き続き堅調な伸びを予想しており、前回策定会議時で議論したIIASA-Cケースよりも高めで推移。
- 電力需要については、近年の実績も増加傾向。
- 電力需要の伸びに対応可能な供給能力が必要。



(注1) IIASA/WEC: "GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES", IIASA/WEC (1998)、IPCC/SRES: "Special Report on Emissions Scenarios", IPCC(2000)、
 (注2) WEO2010: World Energy Outlook 2010, IEA, ETP2010: Energy Technology Perspective 2010, IEA
 (注3) IEA, "Energy Balances of OECD Countries", "Energy Balances of Non-OECD Countries"



福島原発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。
- 世界の高速炉サイクル実用化計画に変更なし。

◆事故以降の世界の原子力導入・利用計画

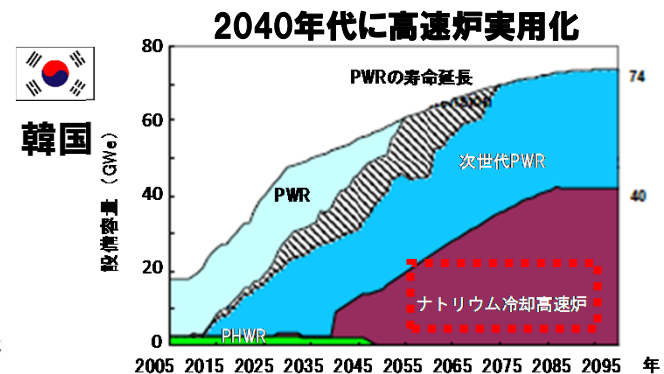
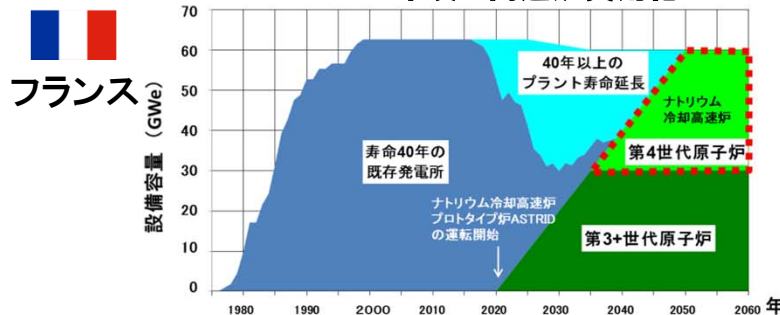
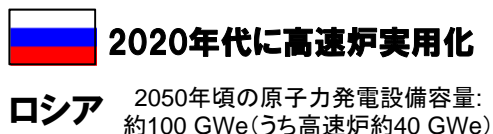
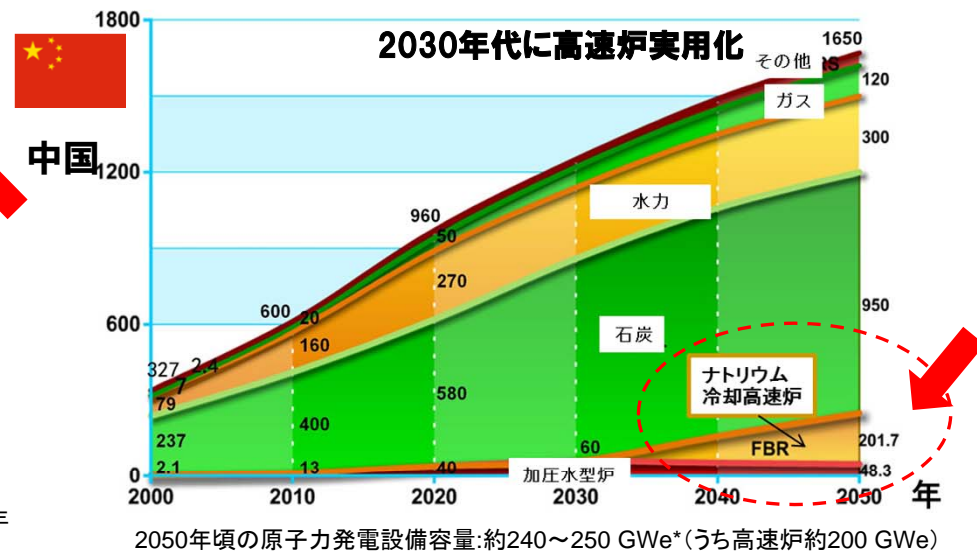
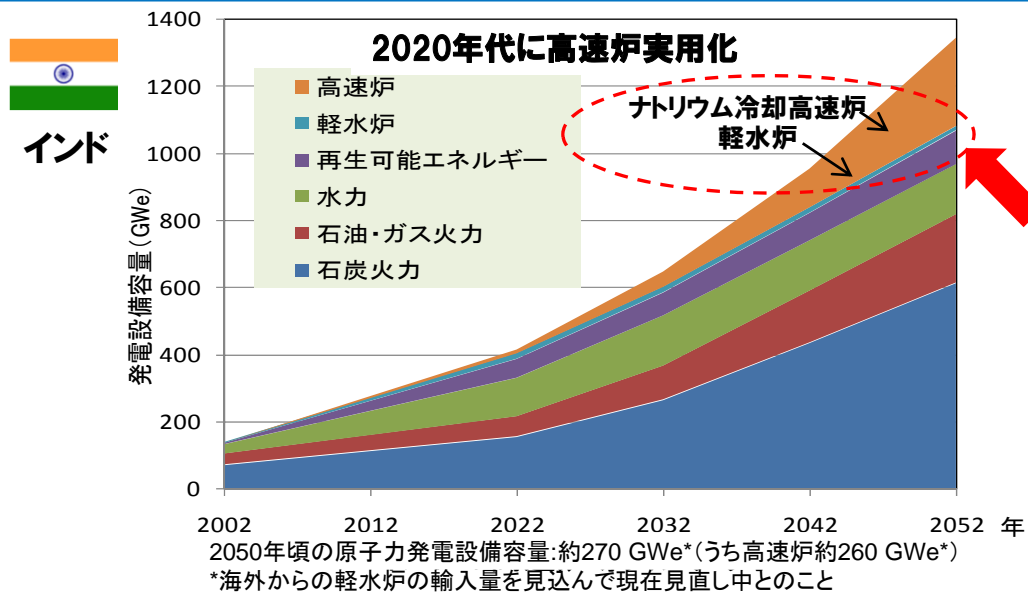
- ◆ ドイツ、イタリアを除くG8各国は利用拡大を維持
- ◆ アジアでは大幅増設計画を維持
- ◆ 新規導入を計画している国の多くは計画を維持
(但し、インドネシア等一部の国は慎重姿勢)
- ◆ ドイツ、イタリア、ベルギー、スイスは脱原発政策に回帰

◆事故以降の世界の高速炉サイクル開発・利用計画

- ◆ フランス・韓国は実用化計画を維持
- ◆ ロシアは大幅な開発予算増額計画を維持
- ◆ 中国は自主技術開発及びロシアと協力した実用化促進計画を維持
- ◆ インドは開発計画促進を維持
- ◆ 米国・EUは研究開発継続

世界の原子力・高速炉サイクル利用計画

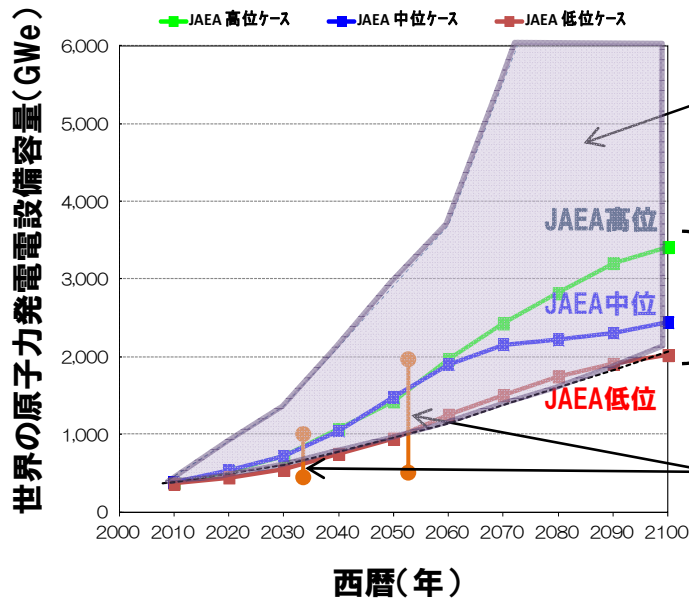
- アジア、特に中国、インドを中心に積極的な原子力利用拡大を計画。
2050年時点の原子力設備容量は、現在の日本に比して、中国:約5.5倍、インド:約6倍。
- 高速炉サイクル実用化計画はアジアを中心に着実に進行。
2050年時点の原子力設備容量の内、高速炉の割合は、中国:約80%、インド:約95%。
- 各国の目標値の実現可能性は不透明と思われるが、高速炉のニーズの高さは窺える。



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

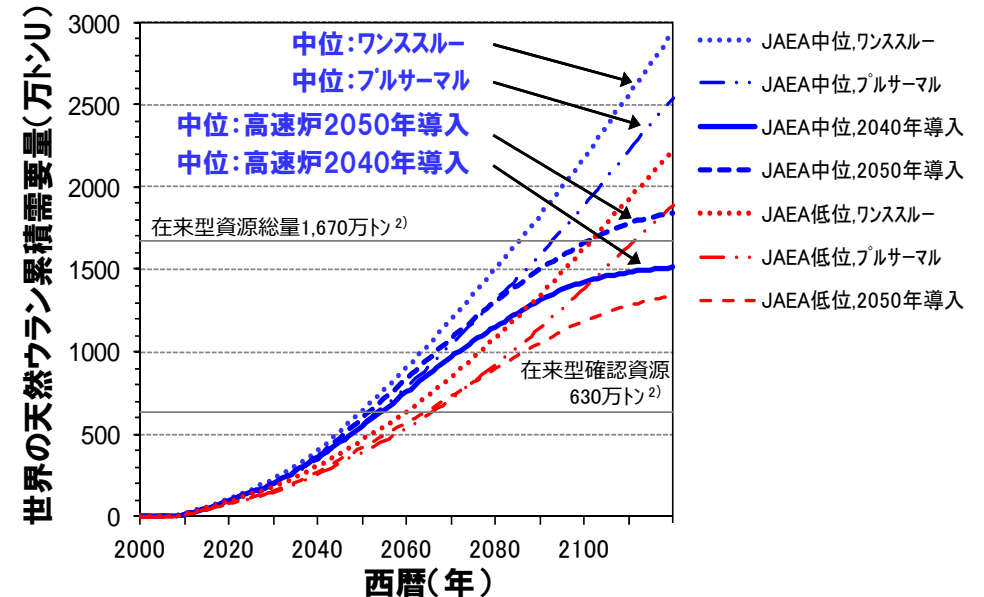
- アジア地域、取り分け中国、インドでは、大容量安定電源としての原子力利用の大幅拡大を目標としていることを考慮し、前回策定会議時(IIASA-C2ケース)よりも高めの原子力発電設備容量を想定し、JAEA中位ケースを設定。加えて、前回策定会議時と同様の条件を想定し、JAEA低位ケースも評価の対象として幅を持って設定。
 - レッドブック²⁾によると、既存や確定的な鉱山の生産量及び解体核からの回収に加え、計画中や見込みの生産量も考慮すれば、2020年頃～2030年頃までの需要は満たせる。しかし、種々の不確実性を考慮し、早急な鉱山開発の重要性が高い。
 - 既に始まっている国際的な資源獲得競争の中で、世界の原子力発電利用が順調に伸びれば、21世紀末頃にはウラン資源の需給がひっ迫して、獲得競争がさらに厳しくなる可能性が高い。
- 将来に向け、エネルギー安全保障の観点から世界的に見て高速炉サイクルの開発が重要。高速炉サイクルを早期に実用化した国はウラン資源獲得競争から解放される。そのため、この選択肢を確実なものとするための高速炉サイクル技術開発が必要。



薄紫の網掛けは、WNA (2011)、IIASA/WEC-C2 (1998)、IPCC・SRES-B2 (2000) の2100年までの超長期予測範囲を示す。

JAEAの予測は、最近の国際機関の予測及び各国の原子力利用計画を基に作成。低位は500ppm台、中位・高位は約450ppmのCO₂制約を想定。中位は高度な省エネの普及、高位は非化石電源へのシフトを想定。

橙の線は、最近公表されたIEA/WEO2010 (2010)、IEA/ETP2010 (2010)、IAEA (2011) の2030年及び2050年時点の中長期の予測範囲を示す。



主要機関およびJAEAによる原子力発電電力量の将来予測^{1) 3)}

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)³⁾

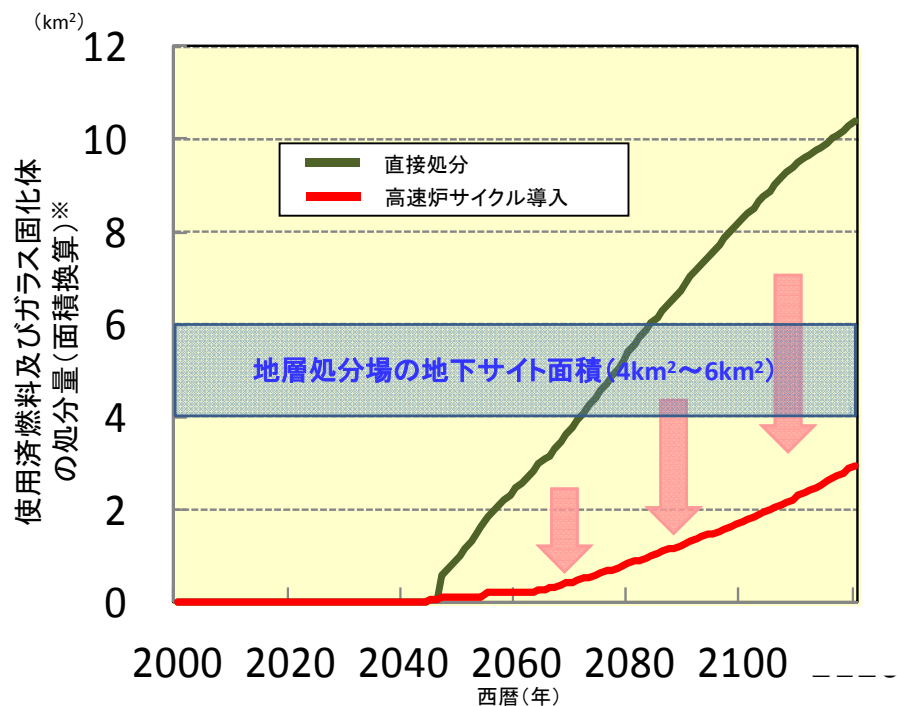
1) IIASA/WEC: "GLOBAL ENERGY PERSPECTIVES", IIASA/WEC(1998)、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) /SRES: "Special Report on Emissions Scenarios", IPCC(2000)、IEA/WEO: "World Energy Outlook 2010" IEA(2010)、IEA/ETP: "Energy Technology Perspectives" IEA(2010)、IAEA (International Atomic Energy Agency): "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 2011 Edition" IAEA(2011)、WNA (World Nuclear Association): "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

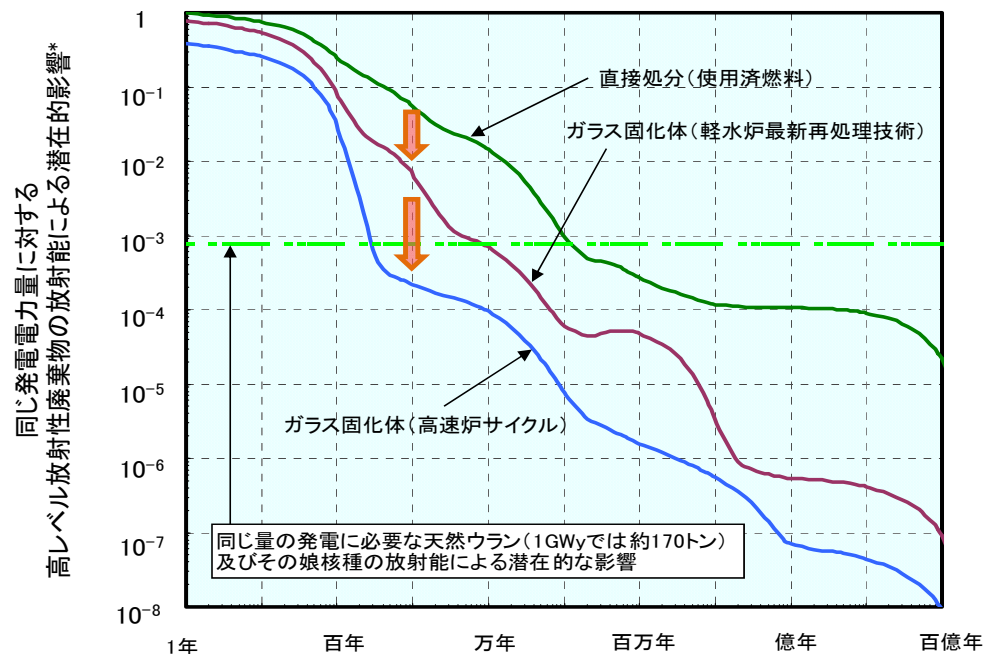
高レベル放射性廃棄物による環境負荷の低減

- 高速炉サイクルの導入により、高レベル放射性廃棄物の発生量を大幅に低減し、処分場数を抑制可能。
(狭い国土の日本では、廃棄物の量を極小化することが特に重要。)
- 高速炉サイクルにより、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が必要。



※) 処分場に搬入され、処分された時点の量を示す。
 ※) 建設中のものを含む現在の原子力発電設備容量を維持し、高速炉は2050年に導入すると想定。また、使用済燃料とガラス固化体は50年間中間貯蔵後、処分すると想定。

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



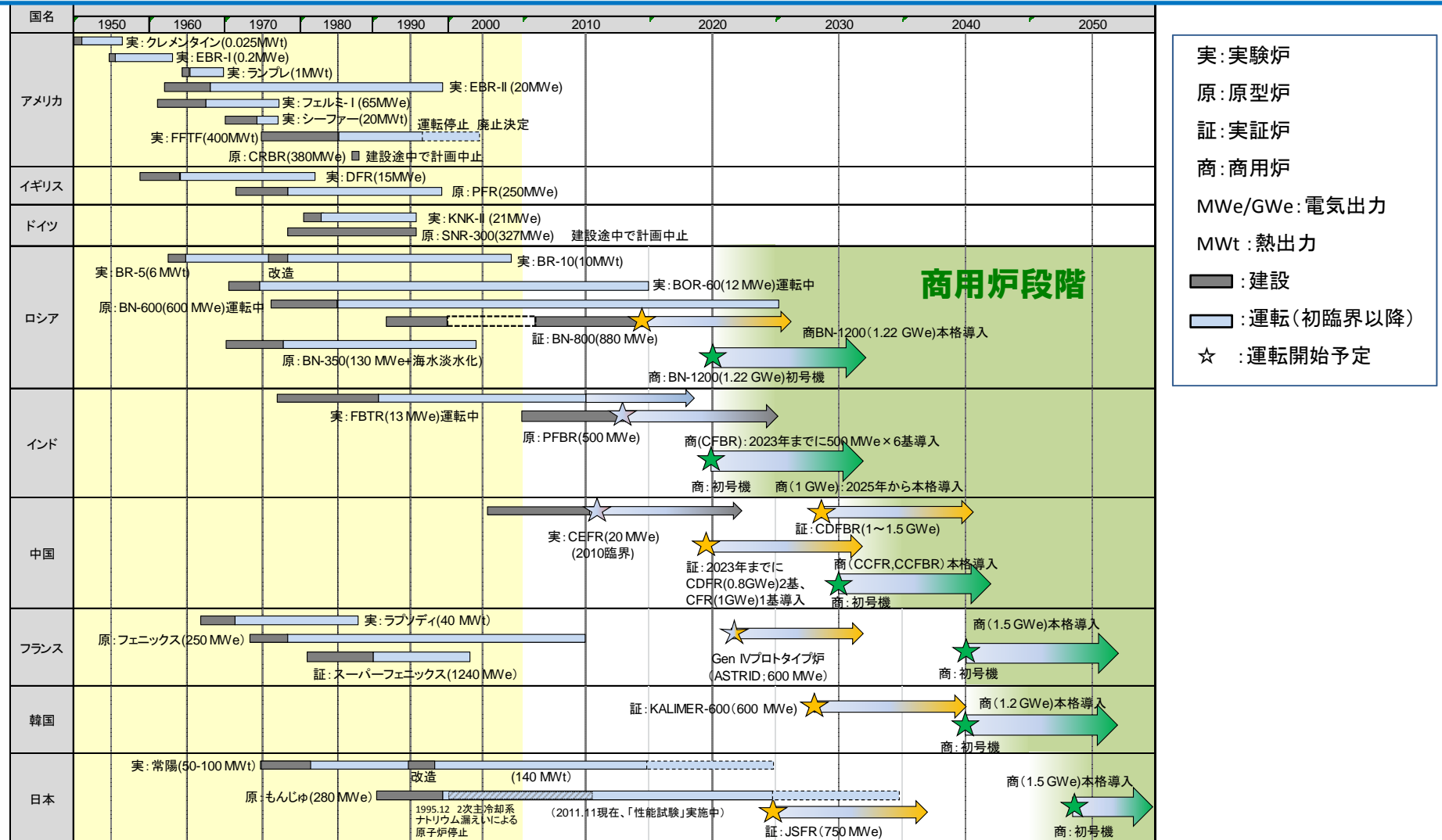
*) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。

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

世界の高速炉サイクル開発の歴史と今後の開発計画

- 世界の2011年現在までの高速炉の累積運転年数は、約400炉・年。
- 米国は多くの実験炉の建設・運転経験を蓄積後、原子力政策再考により原型炉開発を中断。フランス、英国、ロシアは原型炉の豊富な運転経験を既に蓄積。
- 日本は、実験炉「常陽」の豊富な運転経験の蓄積と共に、原型炉「もんじゅ」の設計・建設、及び実用化に向けた研究開発を着実に推進。



世界の高速炉サイクル開発計画の現状

- 資源小国のフランス、韓国、日本は、高速炉サイクルの開発を積極的に推進。特にフランスと日本は、第4世代炉国際フォーラム (GIF) の場も活用して研究開発を進め、安全性等に優れた第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/実証炉を建設し、2020年代には商用炉を導入する計画。
- 経済成長を続けるアジアの国々は、資源制約からの脱却を目標として 増殖性を追求。フランス及び日本は、増殖性と環境負荷低減の両面から開発を推進。米国は、当面、環境負荷低減を目標とした開発を指向。
- 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供用期間中検査ガイドライン等の国際標準化を早期に実現することが必要。GIFにおいてこれを実施中。
- 高速炉原型炉を中断した米国でも、ブルーリボン委員会の分科会報告書(案)では、「原子炉及び燃料サイクルの先進的技術(例:アクチニドリサイクルが可能な高速炉等)への取組は、安全性、経済性、環境性、エネルギー保障の観点から大きな効果をもたらすことが期待されるため、引き続き研究開発を実施すべき。」と提言。
- また、米国エネルギー省は、研究開発の優先度評価を目的とした包括的なスクリーニング手法を構築し、数多くのサイクルオプションを対象に予備的評価を実施したところ、ワンスルー方式等に比較して完全リサイクル方式の方がより高い評価結果(2011年8月報告)。
- なお、環境負荷低減については、高速炉以外に、加速器駆動未臨界炉を使用した研究開発も進められている(例:EUでのMYRRHA計画)



中国
高速実験炉
(CEFR)
20MWe



・初臨界 2010年7月
・発電電(40%出力) 2011年7月



インド
高速増殖原型炉
(PFBR)
500MWe



・初臨界 2012年予定
・商業運転開始 2013年予定



ロシア
高速実証炉
(BN-800)
880MWe

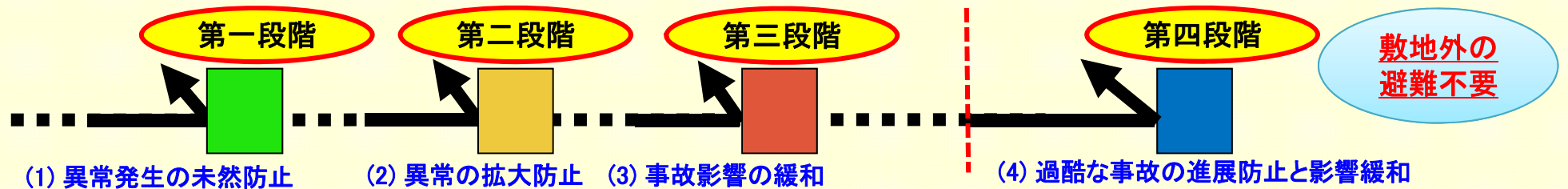


・初臨界 2013年予定
・商業運転開始 2014年予定

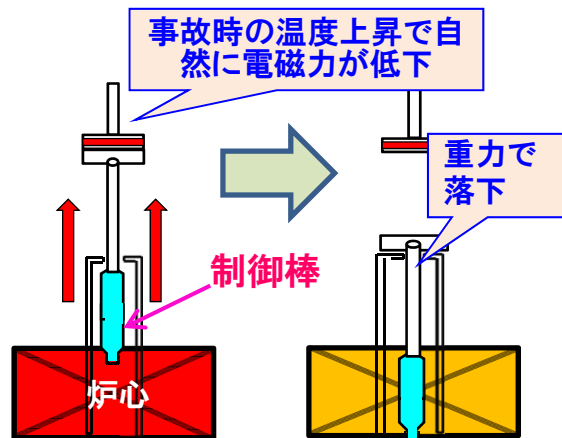
第4世代高速炉の安全確保の考え方

- 将来に向けた第4世代炉の開発においては、高い水準の安全性を世界規範として実現することが必要。
 - 多重防護の設計思想。
 - 過酷な事故への設計対応として、自然にはたらく安全機能を導入。
 - 止める ⇒ **自然に止まる**
 - 冷やす ⇒ **自然に冷える**
 - 閉じ込める ⇒ 原子炉容器と格納容器で閉じ込める ⇒ **避難不要**
 - 国際的な安全設計クライテリアに適合。

■ 多重防護

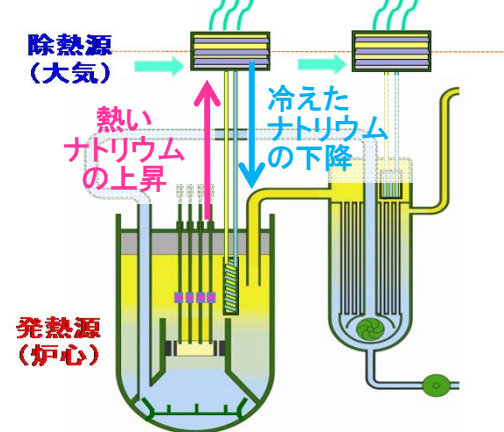


止まる



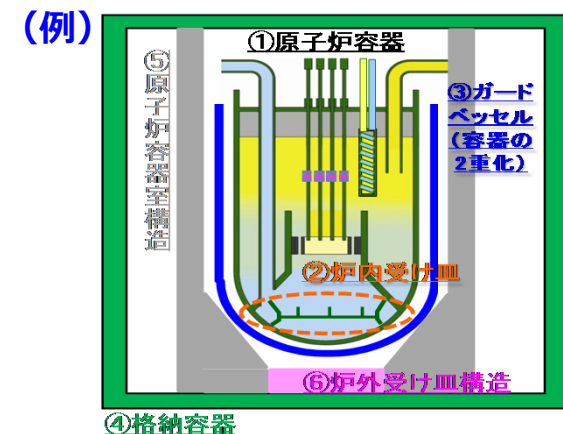
- 異常時は、制御棒が自然に落下

冷える



- ナトリウムの自然循環と大気への放熱で冷却

閉じ込める



- 燃料が溶けても原子炉及び格納容器で閉じ込め ⇒ 敷地外の避難不要

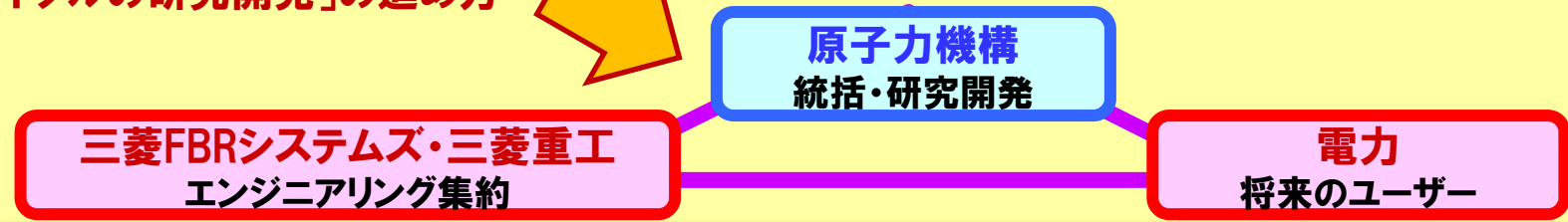
日本の高速炉サイクル技術開発の現状

- 国、原子力機構、電力、メーカーの協議会(五者協議会)で全体の進め方を協議し、原子力機構だけでなく、産業界(電力、メーカー)が参画して研究開発を実施中。
- 蓄積された知見をベースに、2006年度からは実用化に注力した開発を実施。5年間の開発により、2010年度に高い安全性・信頼性等を達成するための革新技術の採否を判断し、最初のステップを完了。工学規模の技術実証段階に到達。(ただし、政策見直しの間は、次ステップに移行せず待機中)
- 「もんじゅ」は、試運転を再開し、40%出力試験の準備を実施中。また、緊急安全対策とストレステストを実施中。

開発体制

五者協議会(文部科学省、経済産業省、電力、メーカー、原子力機構)

「高速炉サイクルの研究開発」の進め方



高速炉サイクルの研究開発

高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT)

革新技術の要素技術開発及び概念設計研究



原型炉「もんじゅ」

- 運転及び先進保守技術の確立
- 炉心・燃料設計手法と炉心管理技術の確立

実験炉「常陽」



燃料・材料の照射試験

高速炉サイクルの
実用化像 (概念設計)

高速炉発電技術の
技術基盤と信頼性

燃料・材料の
基礎データ

商業ベースでの導入

高い安全性・信頼性、
軽水炉に比肩する経済性

2025年頃実証炉実現
2050年より前に商用炉導入

エネルギー基本計画
2010年6月18日

「もんじゅ」の役割

- 「もんじゅ」の設計・建設を通して指針類、設計・評価手法を整備。
- 「もんじゅ」の運転を通して発電炉としての技術・信頼性を実証。



実証炉に不可欠なステップ

実験炉 常陽



初臨界: 1977年4月

- 熱出力 : 140MWt
- 出口温度 : 500°C
- 目的:
 - 高速炉の原理確認
 - 機器開発
- 運転実績: 30年
- 得た成果:
 - 増殖、ナトリウム自然循環、燃料サイクル*の実証
 - 燃料照射挙動、材料共存性の確認
 - 受動的炉停止機構の照射場・ナトリウム中での特性確認

*「常陽」使用済燃料から回収したPuを含む燃料を再び「常陽」に装荷し、臨界達成



原型炉 もんじゅ



初臨界 : 1994年4月
初併入(発電) : 1995年8月
ナトリウム漏えい事故 : 1995年12月
性能試験再開 : 2010年5月

- 電気出力 : 280MWe
- 出口温度 : 529°C
- 目的:
 - 機器開発、設計基準・安全の考え方の整備
 - 保守・ナトリウム取扱い技術の確立
 - 発電炉としての信頼性実証
- これまでの成果(建設段階):
 - 燃料、主要機器の開発
 - 設計・評価手法、高温構造設計方針等の整備
- 必要な実績(運転段階):
 - 主要機器設計技術の信頼性の検証
 - 商用炉の炉心に適用する燃料設計手法の検証と炉心管理技術の確立
 - ループ型炉の先進的保守技術の確立
 - 安全設計クイテリア構築に向けた受動的安全技術の根拠提示(自然循環除熱性能実証)



実証炉

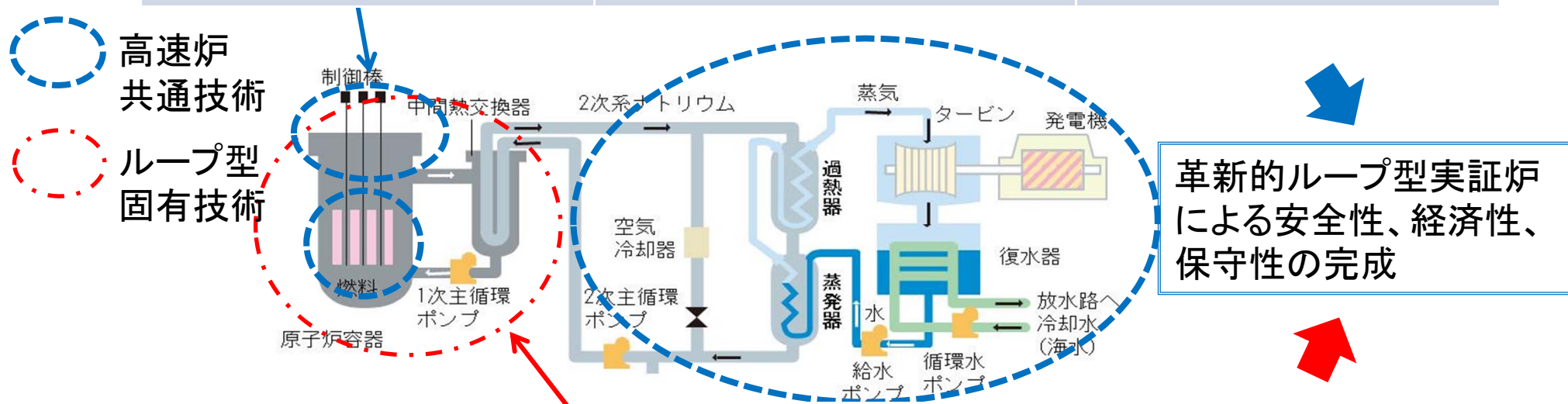


- 電気出力 : 750MWe
- 出口温度 : 550°C
- 目的:
 - 革新技術を導入したプラントシステムとしての性能実証
- 必要な実績:
 - 経済性の実証

実用炉に向けて「もんじゅ」でのみ実証・確立可能な技術

炉型に拘らない全てのナトリウム冷却高速炉共通技術=1次主冷却系を除くシステム
設計・運転を通じて実証すべき日本固有技術:燃料取扱設備

項目	性能試験	実サイクル運転
燃料取扱設備	高発熱燃料の台車移送実証	合理化方策の構築



耐震性に優れるループ炉に固有の技術=1次主冷却系
運転を通じて実証すべき技術:原子炉容器、1次主冷却系、基準類等

項目	性能試験	実サイクル運転
原子炉容器(ホットベッセル)	設計の妥当性確認	溶接線健全性確認
1次主冷却系	冷却システム性能確認	先進的保守技術の確立
基準類-1 安全クライテリア	自然循環試験	-
基準類-2 運転保守ガイドライン	基本ガイドラインの構築	ガイドライン合理化方策の構築

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競争の開始。
- 日本は、「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保有。第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)では、議長国として中核的役割。
- 日本は、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、高速炉の安全設計クライテリアの国際標準化や高速炉サイクルの技術開発をリード。また、3か国協力で廃棄物低減に効果的なマイナーアクチノイドの燃焼実証プログラム(常陽、もんじゅによる燃焼)を推進中。

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

印露協力

印-ROSATOM
協力覚書(高速炉開発を含む)、2010.12

中露協力

露よりBN800の
技術導入、2009.10

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. 日本の今後の取り組みについて （開発実施機関の視点から）

日本の今後の取り組みについて(開発実施機関の視点から)

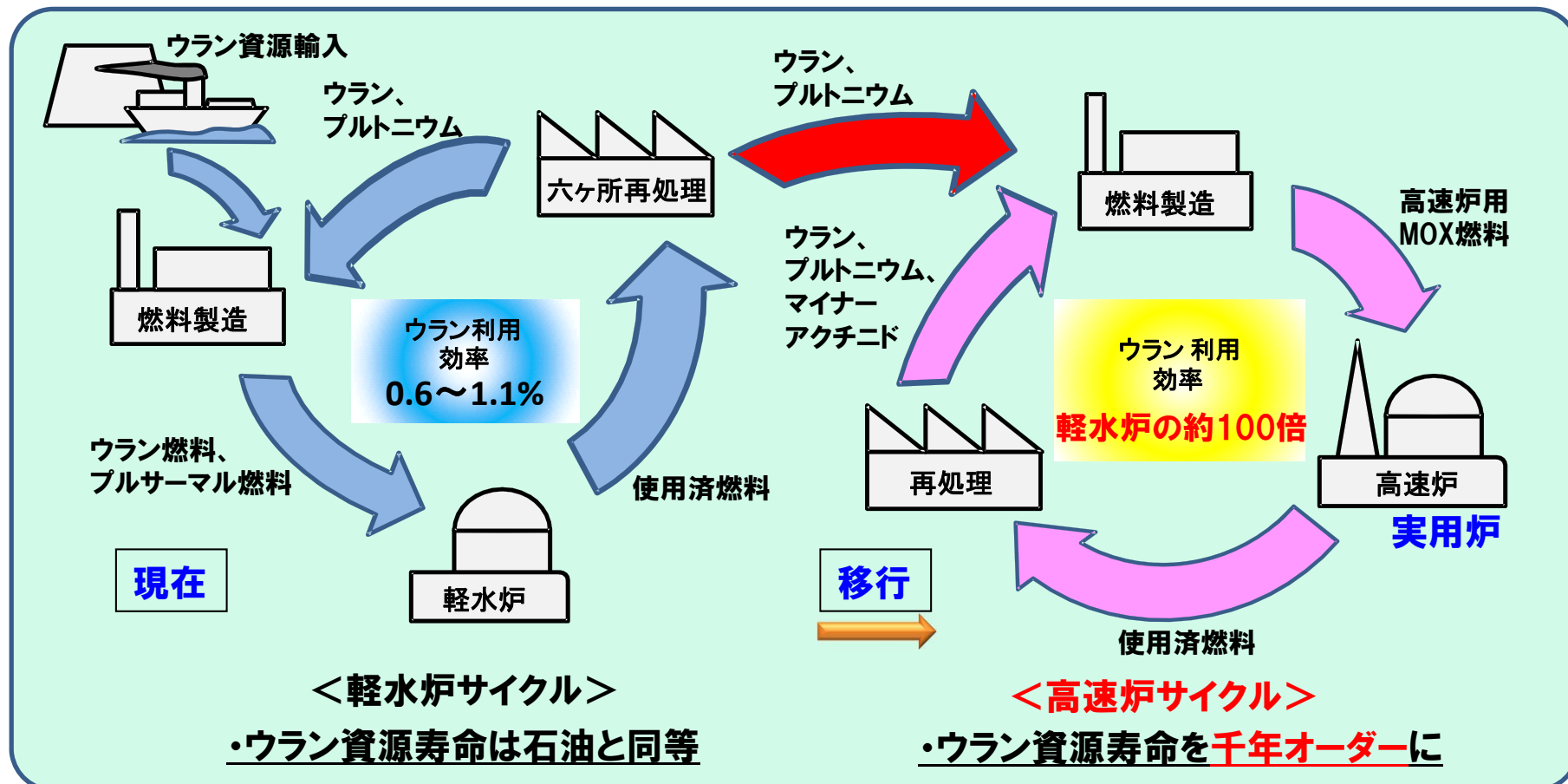
- 日本のエネルギー安全保障の観点から重要な選択肢であり、かつ、廃棄物低減効果が大きい高速炉サイクルの開発は継続が必要と考える。加えて、これまで世界で唯一認められてきた非核保有国日本の高速炉サイクル利用の権利は保持すべきと考える。
- 世界各国では、福島事故後も高速炉サイクル開発を推進している。日本は現在、多くの分野で世界をリードしており、今後も米仏等との国際協力を活用し、国際標準技術の整備をはじめ技術開発を効率良く進める必要があると考える。
- 「もんじゅ」は、世界的にも高速炉サイクル開発のための中核的な施設。そのため、実用化に必要なデータ取得のみならず、廃棄物問題への貢献など、世界の期待にも応えていく必要があると考える。
- 福島事故を踏まえ、世界が安全性・信頼性の高い原子力技術の確立を目指す中、日本は高い技術レベルを生かし高速炉サイクルについて高水準の安全性・信頼性を世界規範として共有すべく、今後と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ると考える。

添付資料 A. 核燃料サイクル

核燃料サイクル

- 高速炉サイクルはウランの利用効率を格段に高め、また、マイナーアクチノイド※をリサイクルすることにより、高レベル放射性廃棄物の低減も可能。
- 六ヶ所再処理施設等、現行の軽水炉サイクルで経験を積み、高速炉サイクルに移行する。
- 原子力発電利用は高速炉サイクルまで実現した段階で完全なものとなる。

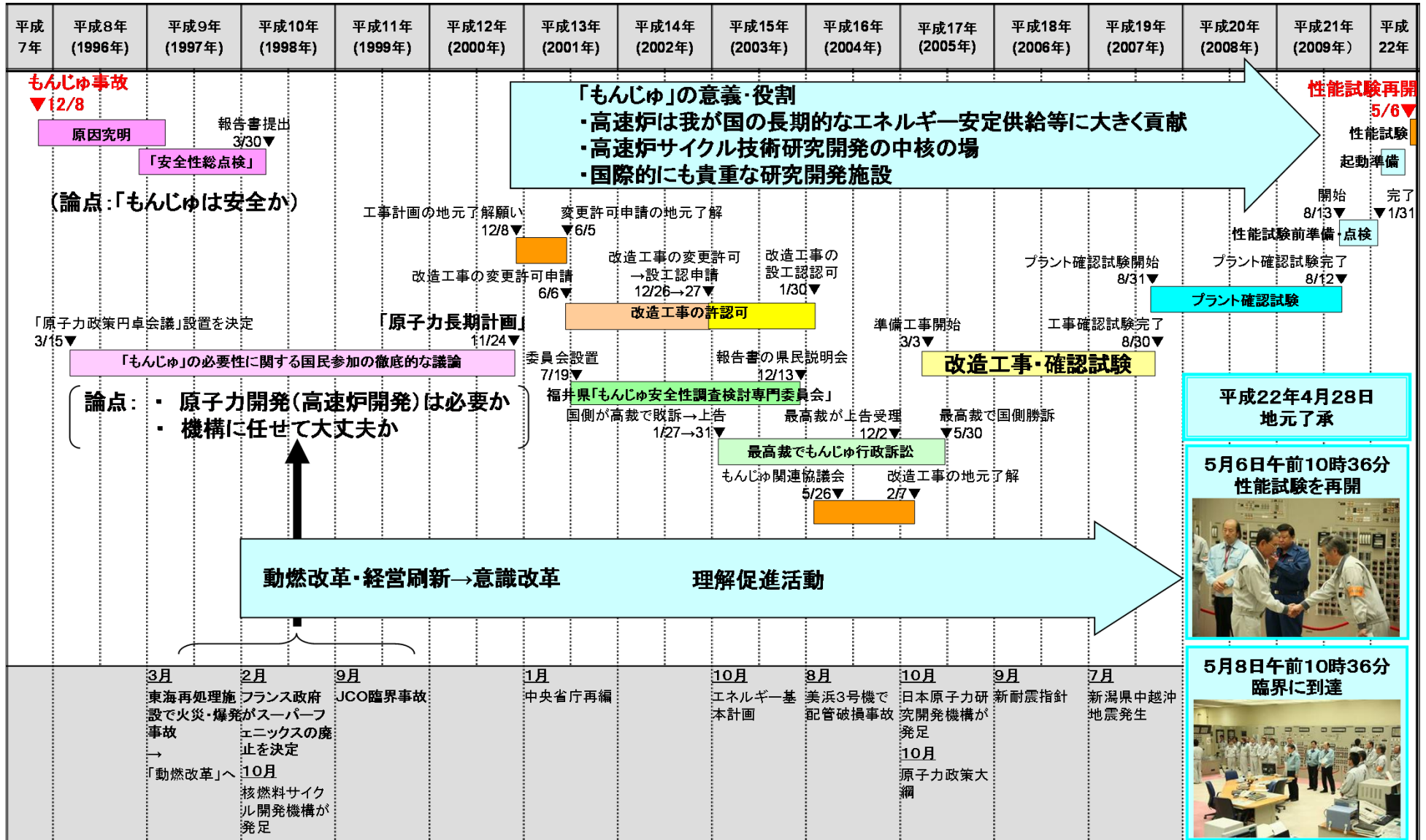
※ ネプツニウム、アメリシウム、キュリウム



添付資料 B.
「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故後の対応

「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故から性能試験再開まで

- ナトリウム漏えい事故後14年半を経て、性能試験再開。
- その後の炉内中継装置の落下についても確実に対応(引抜き終了)。



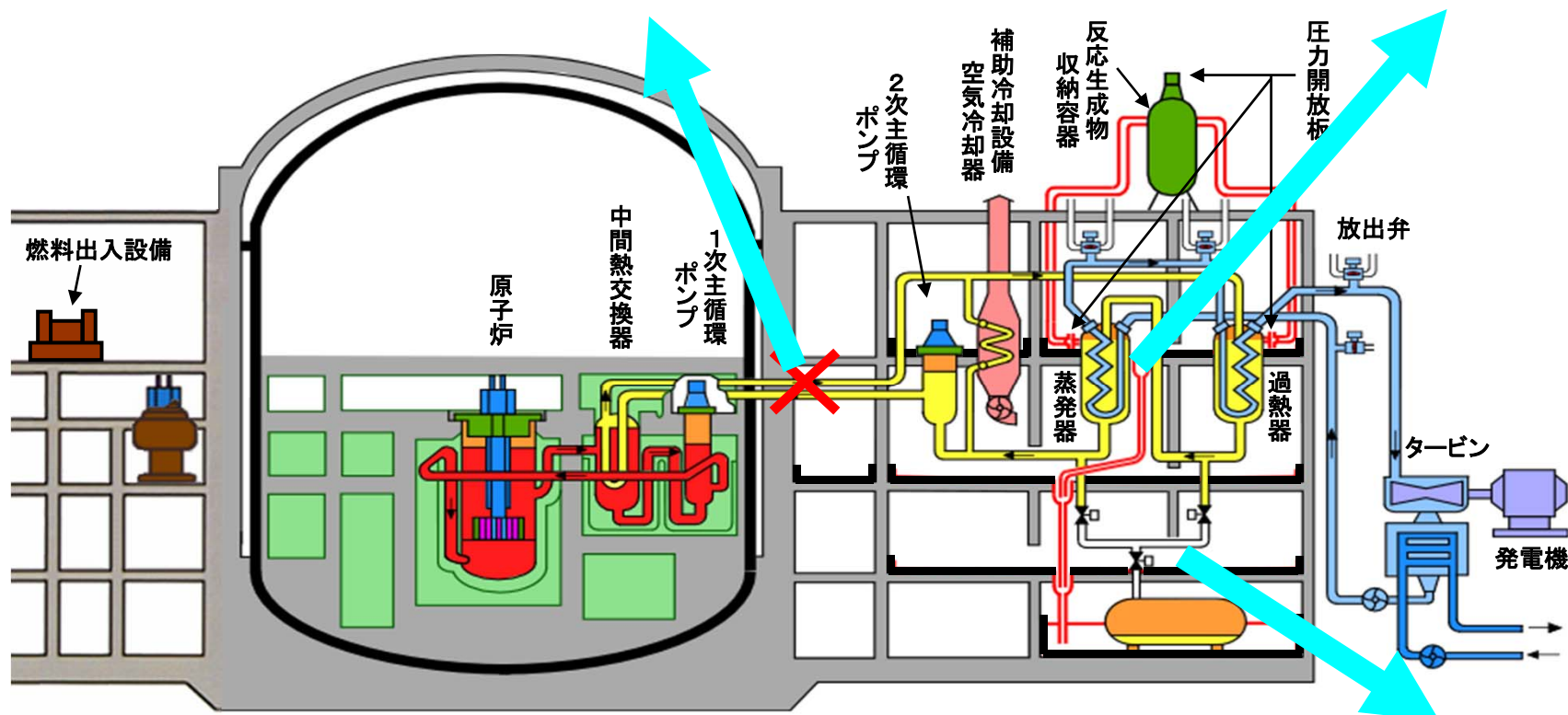
ナトリウム漏えい対策等改造工事（漏えい事故後に実施した対策）

温度計の交換・撤去工事

- 短く、段つき部のない形の温度計に交換
- 温度計の本数を48本から42本に削減

蒸発器安全性能改善工事

- 水漏えいを確実に検出して、早く水を抜き取り、ナトリウムと水の反応を止める



1次冷却系

2次冷却系

ナトリウム漏えい対策工事

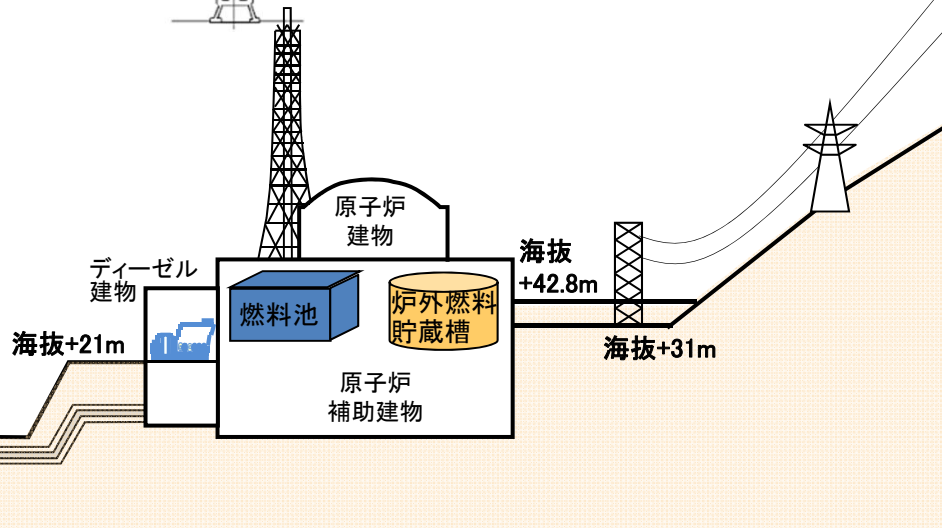
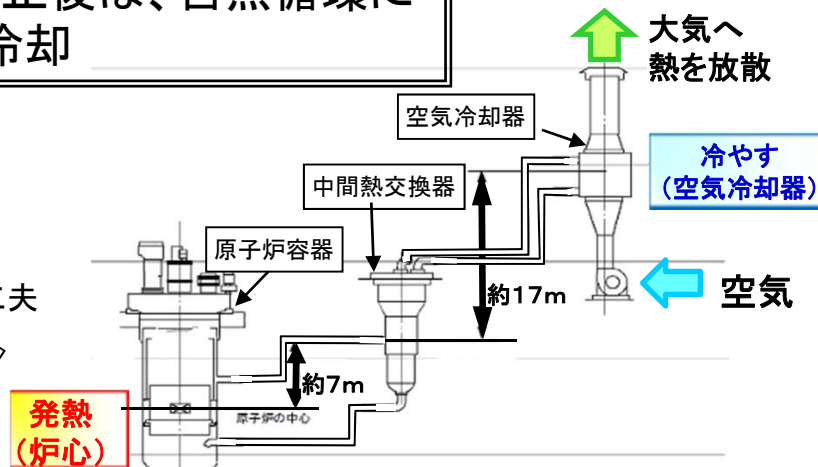
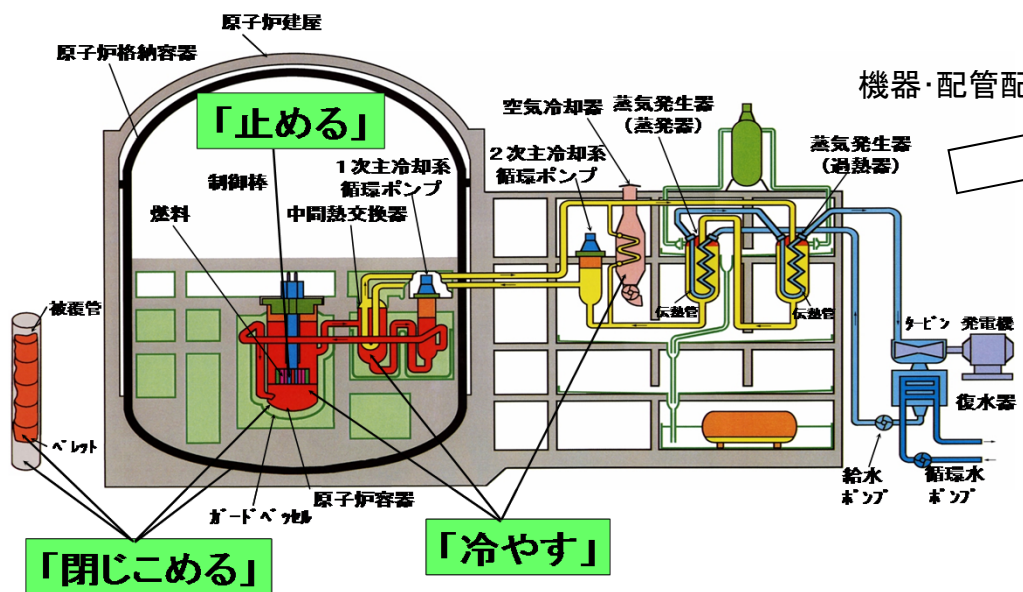
- ナトリウム漏えいを早期に検出して、早くナトリウムを抜き取り、漏えいを止める

**添付資料 C.
東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた
「もんじゅ」の安全対策**

「もんじゅ」の特徴

○炉外燃料貯蔵設備の使用済燃料は自然循環による空気冷却

○原子炉停止後は、自然循環による空気冷却



○ナトリウム機器、使用済燃料貯蔵設備など主要な設備は海面から21m以上の高い位置に設置

「もんじゅ」における安全対策の進捗状況

冷却機能の確保

□ : 実施済 □ : 対策対応中

○炉心冷却に関わる機器や設備の健全性確認

【平成23年3月実施済】

○止める、冷やす、閉じ込める機能に関わる設備の安全機能確認

【平成23年度下期】

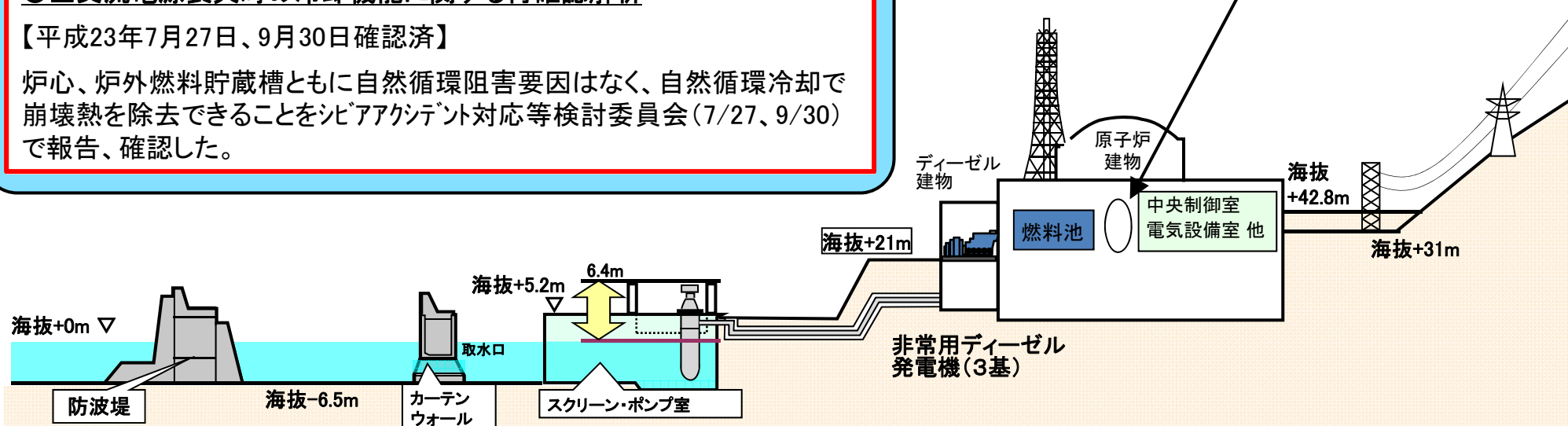
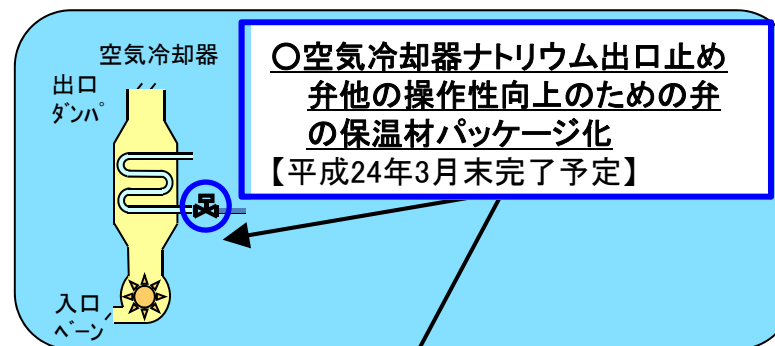
○炉心、炉外燃料貯蔵槽の自然循環冷却の再確認

【平成23年3月実施済】

○全交流電源喪失時の冷却機能に関する再確認解析

【平成23年7月27日、9月30日確認済】

炉心、炉外燃料貯蔵槽ともに自然循環阻害要因はなく、自然循環冷却で崩壊熱を除去できることをシビアアクシデント対応等検討委員会(7/27、9/30)で報告、確認した。



「もんじゅ」における安全対策の進捗状況

電源の確保

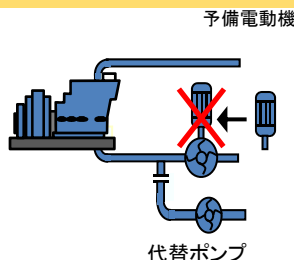
□ : 実施済 □ : 対策対応中

○補機冷却海水ポンプ予備電動機の配備

【平成25年3月末完了予定】

○補機冷却海水ポンプ代替ポンプの配備

【平成24年1月末完了予定】



海水冷却機能復旧対策の実施し、非常用ディーゼル発電機の迅速な復旧を果たす

○海水浸入経路の調査実施

【平成23年3月実施】

○海水浸入経路の止水対策の実施

【平成23年10月実施】

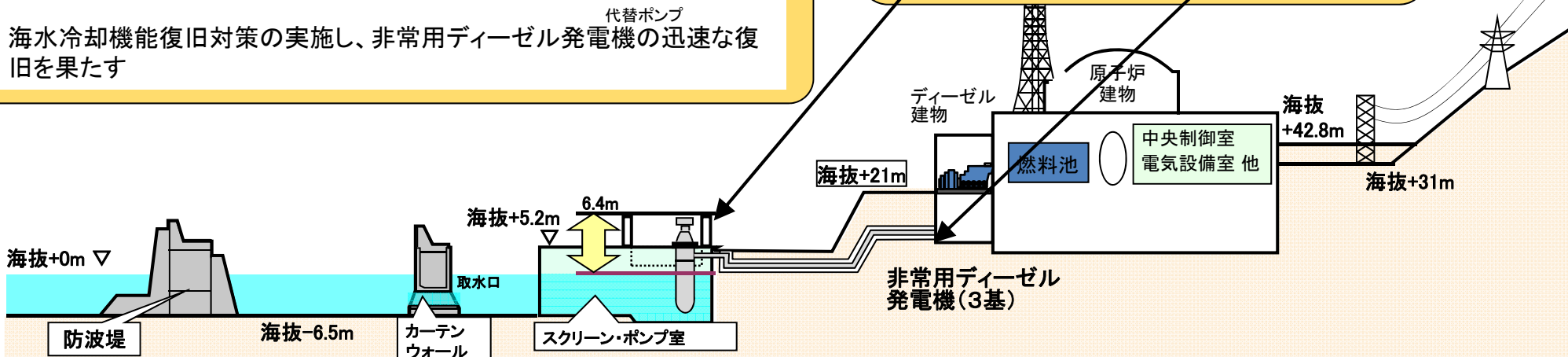
※非常用ディーゼル発電機水没の可能性から

○原子炉補機冷却海水ポンプ

周り防水壁の補強

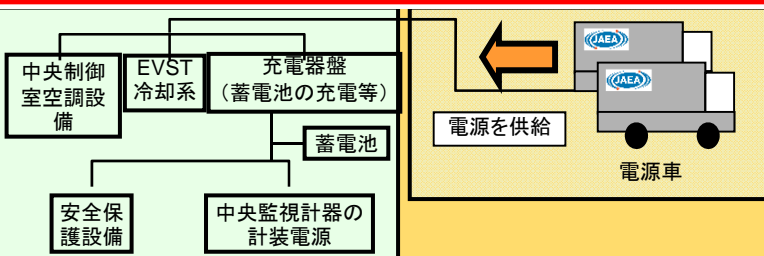
(高さ1.2m、板厚増)

【平成24年3月末完了予定】



○電源車及電源ケーブルの配置

【平成23年8月配備】300kVA電源車を2台



○非常用ディーゼル発電機代替空冷電源設備の設置

【平成25年3月末完了予定】

→電源車の電源容量に加え1ループ強制循環による炉心冷却を行う電源容量を想定

○電源接続盤の設置

【平成24年3月末完了予定】

「もんじゅ」における安全対策の進捗状況

緊急対応体制、シビアアクシデント対応

□ : 実施済 □ : 対策対応中

シビアアクシデント対応

○PHS、無線機、衛星電話、ヘッドライト等を配備
【平成23年6月実施済】

円滑な事故対応作業、復旧作業を可能とするため、全交流電源喪失時における通信手段及び照明機材を確保

○水素爆発防止対策

【平成23年8月対応方針策定済】

「もんじゅ」では、水素が発生し蓄積する可能性は極めて小さいが、排気口の設置を検討

○中央制御室の作業環境の確保

【平成23年8月実施済】

中央制御室空調の事故時循環運転

緊急時対応体制の強化

緊急時の燃料池の冷却確保※

○消防車等による燃料池への給水手順の作成
【平成23年3月実施済】

※燃料池が沸騰することはない。蒸発による水量の減少を防ぐ



○緊急時対応体制の強化(危機管理室設置)

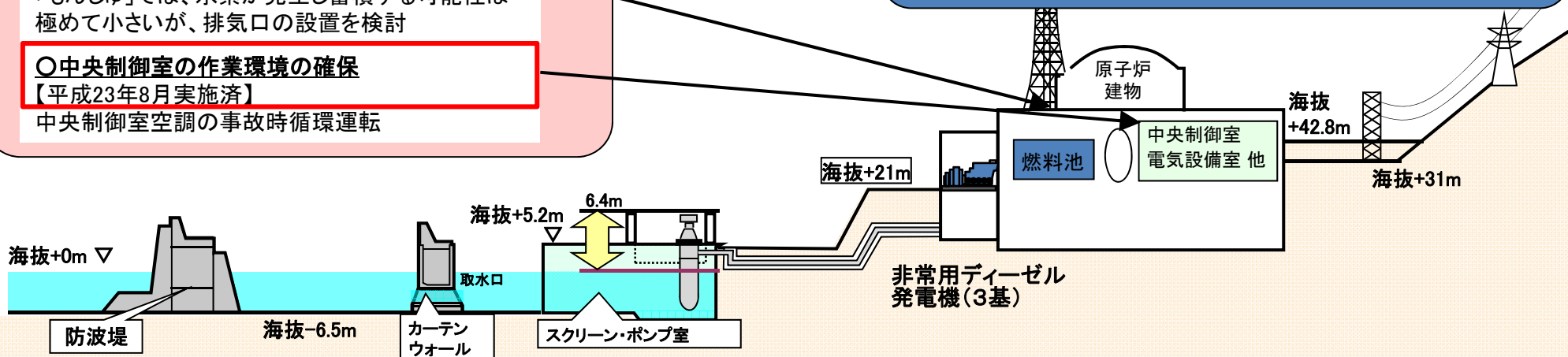
【平成23年10月1日実施済】

○津波対応体制の確立(電源車対応体制の確立)

【平成23年5月実施済】

○運転シミュレータを用いた全交流電源喪失の訓練実施

【平成23年5月実施済】



シビアアクシデント対応

○高線量対応防護服(応急処置として鉛エプロンを配備)の確保

○個人線量計の確保

○放射線管理体制の強化

【平成23年6月実施済】



○ホイールローダ(1台)の配備

【平成23年12月配備予定】

津波来襲後の所内アクセスルートを確保するため、がれき処理用の重機を配備

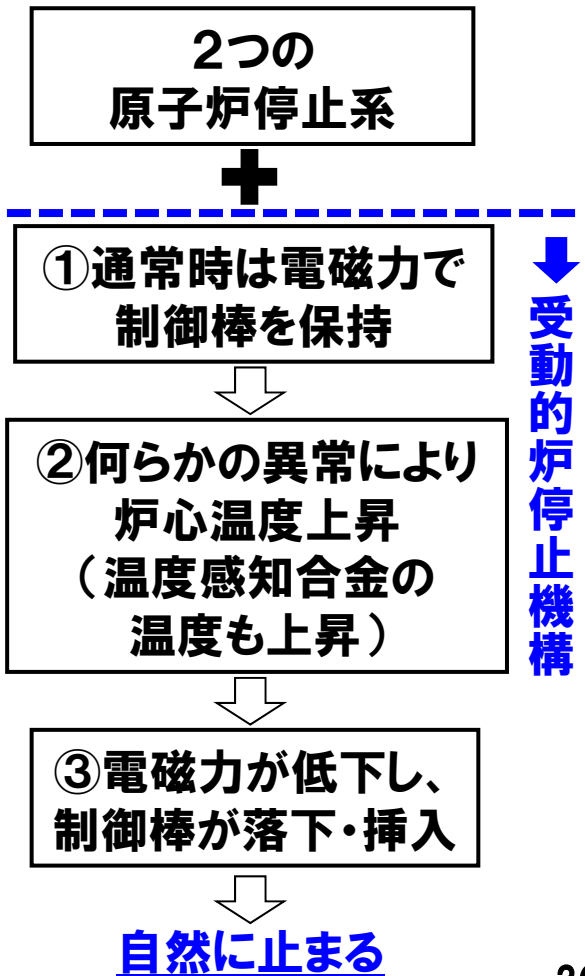
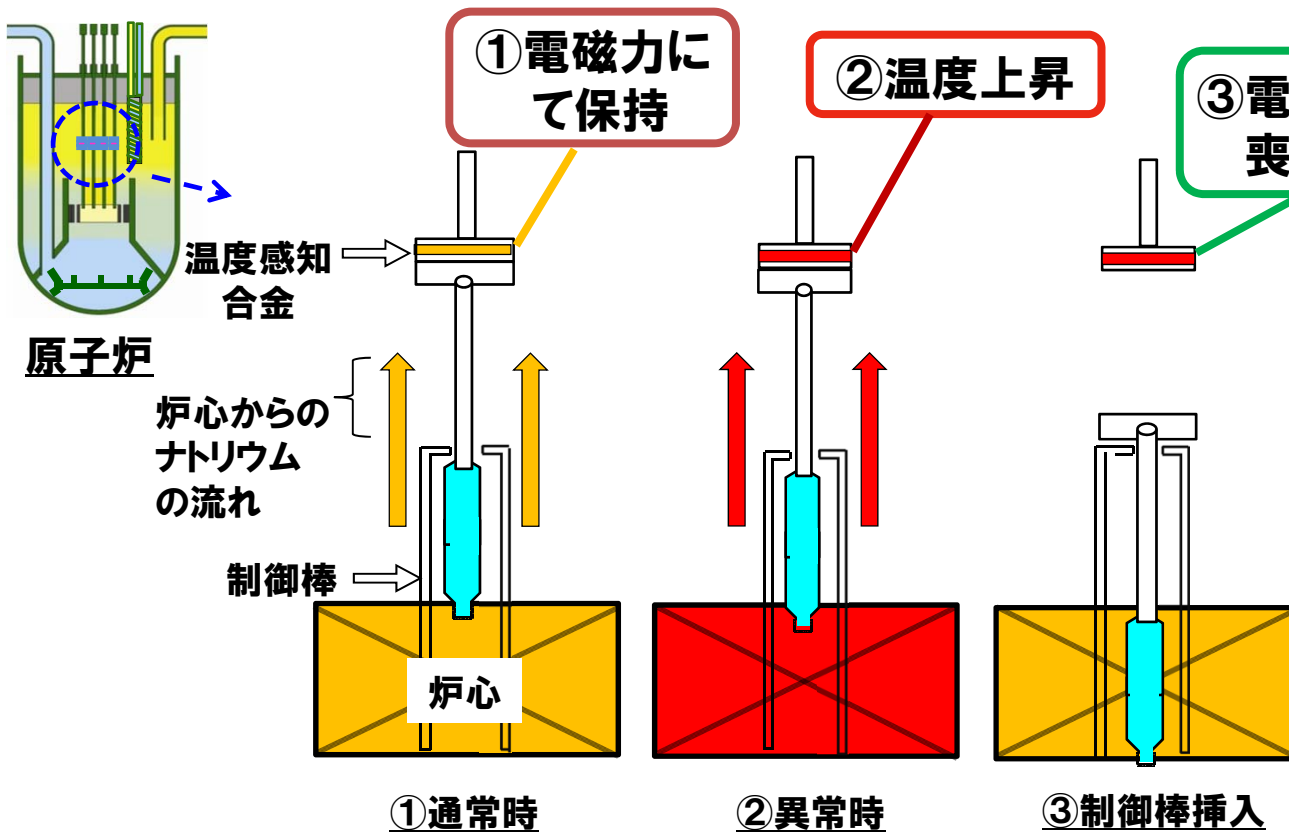


**添付資料 D.
第4世代高速炉の安全性**

原子炉停止(止める)

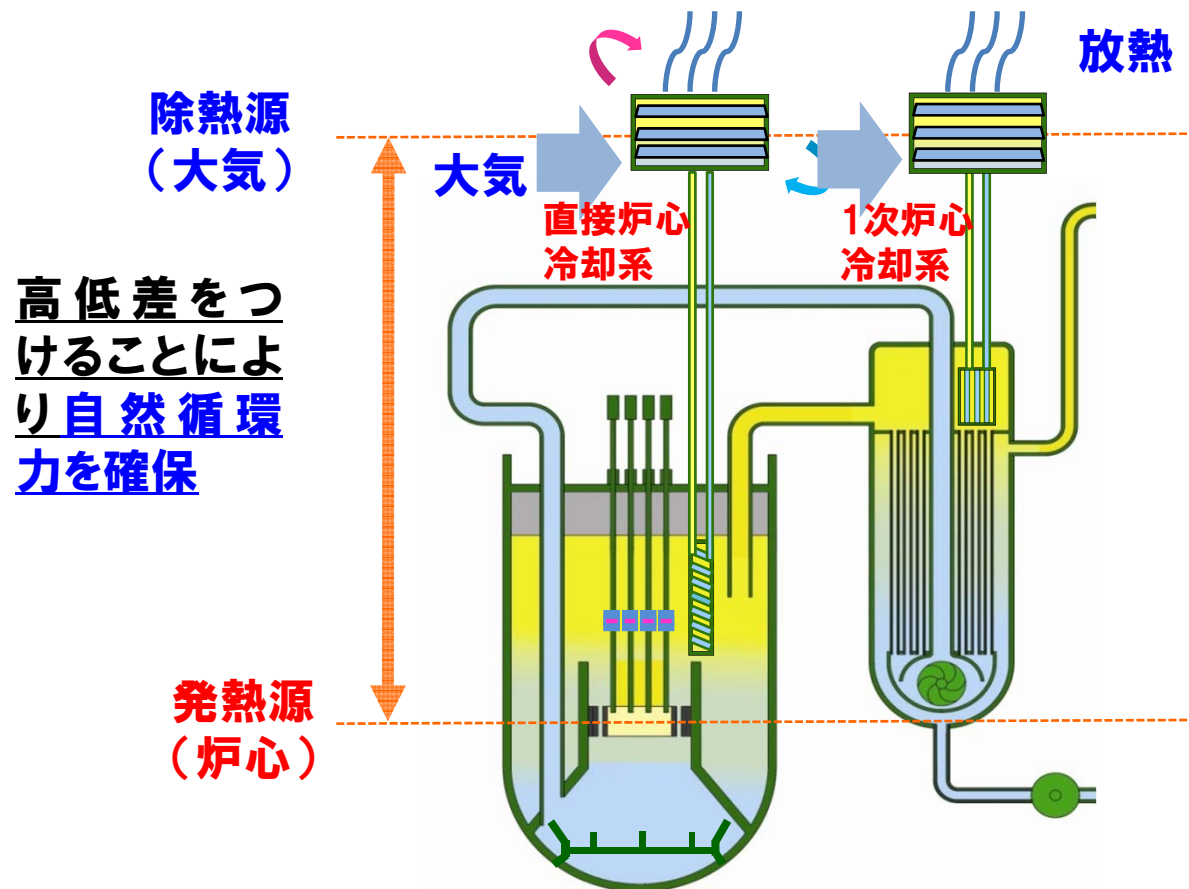
- センサと電気回路で作動する2つの原子炉停止系で原子炉を安全に止める。
- さらに炉心の温度が異常に上昇すると、温度感知合金により電磁力が急速に弱まり、制御棒は自らの重みで自然に落下して炉心に入る。
⇒自然に止まる。

<受動的炉停止機構の概念>



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

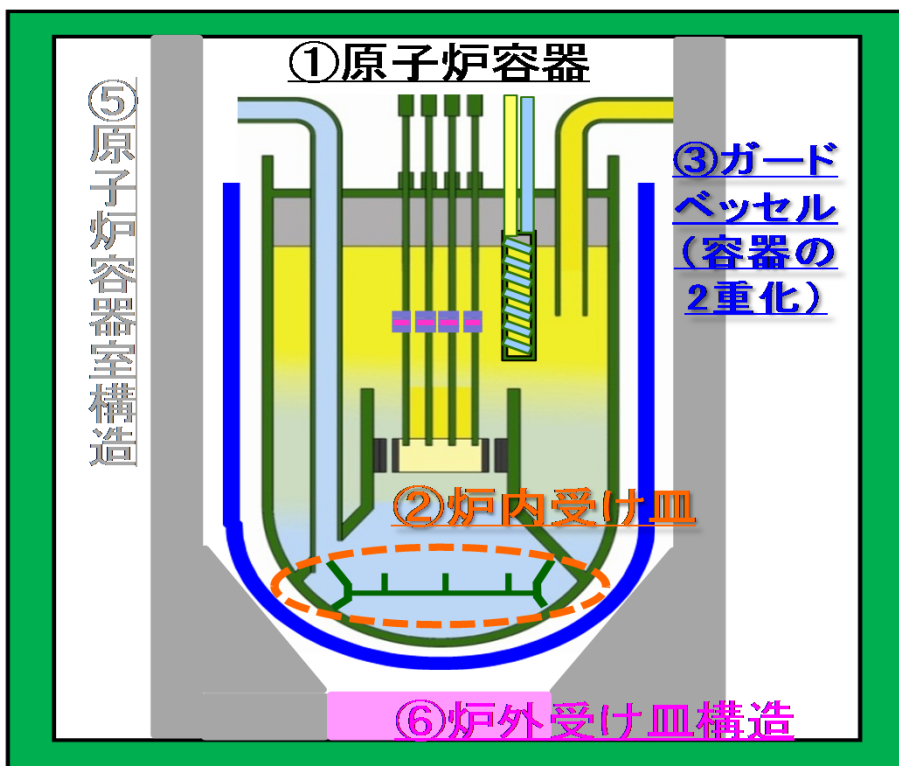
自然に冷える

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、避難不要に

**添付資料 E.
GIF(第4世代原子力システム国際フォーラム)**

GIF(第4世代原子炉システム国際フォーラム)

候補概念 (6システム)	参加国
超高温ガス 冷却炉 (VHTR)	
ナトリウム 冷却高速炉 (SFR)	
超臨界圧水 冷却炉 (SCWR)	
ガス冷却 高速炉 (GFR)	
鉛冷却 高速炉 (LFR)	
熔融塩炉 (MSR)	

LFRとMSRは覚書を締結、残りの4システムはシステム協定を締結

目的: GIFは、第4世代原子炉(Gen-IV炉)概念の開発のために設置された国際組織で、参加国(12ヶ国と1機関)で必要な研究開発を分担、実施。

開発目標: 21世紀に適用する革新的原子炉概念のための開発目標に、以下の4つを設定。(2030年頃の実用化を目指す)

- ① 持続可能性、② 経済性
- ③ 安全性と信頼性(敷地外緊急時退避不要等)
- ④ 核拡散抵抗性と核物質防護

SFRの開発状況

5プロジェクトを参加国間で分担し、技術開発を推進中。

- ① 先進燃料: マイナーアクチノイド(MA)含有した高燃焼度燃料の開発等
 - ② 機器: 検査・補修技術の開発等
 - ③ 安全・運転: 受動的安全系の特性評価のための解析・実験等
 - ④ GACID: MA含有酸化物燃料の照射試験を「常陽」・「もんじゅ」を活用し、日米仏3カ国で分担実施
 - ⑤ システム統合・評価: 上記4つのプロジェクトの知見を取り込んだシステム概念の成立性評価
- 並行して、各国のプロジェクトをサポートできるGen-IV炉の設計クライテリア、特に**安全設計クライテリア(SDC)**の国際標準化を追求。SDCは、2012年の完成を目標。